

K O N F E R E N C I A



zborník odborných prác
z konferencie

• Zvolen - 2024



CENTRE
OF EXCELLENCE
OF FOREST-BASED
INDUSTRY



PARNÁ EXPLÓZIA SLAMY S PRÍDAVKOM KYSELINY OCTOVEJ

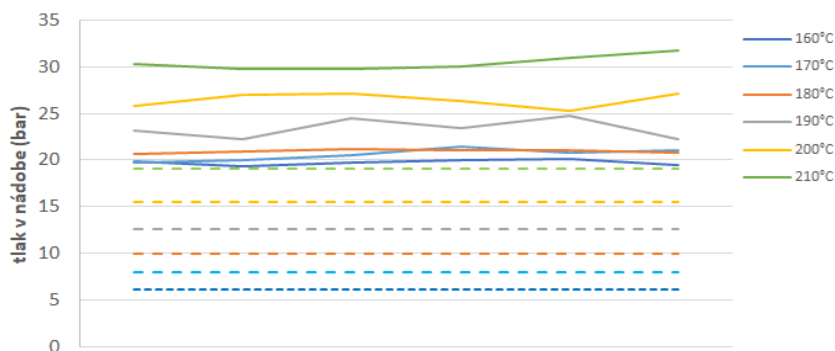
Albert Russ, Andrej Pažitný, Vladimír Ihnát, Juraj Krišta, Emma Weszelovszká

1 Úvod

Parná explózia sa javí ako najefektívnejší spôsob predúpravy biomasy (Pažitný a kol. 2019, 2020, 2022). Pri predspracovaní parnou explóziou alebo extrúziou sa výhodne používajú katalyzátory (Gigac a kol. 2017, Stankovská a kol. 2018). Bežný postup parnej explózie využíva prídavok 1 % kyseliny sírovej, čím sa pri nižšej reakčnej teplote zvyšujú celkové výťažky monosacharidov. Na rozdiel od kyseliny sírovej je kyselina octová menej závadná a navyše je prchavá, preto je možné ju separovať aj destiláciou. Pri vyšších teplotách rozklad acetylových skupín vedie k tvorbe kyseliny octovej, čím sa znižuje pH vody, a pri týchto podmienkach dochádza k následnej hydrolýze hemicelulóz. Za bežných podmienok pôsobí kyselina octová ako inhibítor pre následnú enzymatickú hydrolýzu, ale prídavok zriedených kyselín má na proces parnej explózie katalytický vplyv, vďaka čomu je možné znížiť retenčný čas a teplotu, čím sa znižujú energetické náklady.

2 Materiál a metódy

Slama bola predspracovaná mechanicky suchým mletím na frakciu 0,7 mm v mlyne Brabender. Slama bola impregnovaná vodou s 0 %, 5 %, 10 %, 15 % a 20 % hm. prídavkom kyseliny octovej tak, aby konečná relatívna vlhkosť vzoriek počas explózie pary bola 85 % hm. Experimenty boli realizované na malých vzorkách s hmotnosťou 50 g a.s. Rýchle stanovenie sušiny vo vzorkách bolo uskutočnené na analyzátore vlhkosti Denver IR35, ktorý využíva infračervený ohrev vzorky. Vzorky boli predspracované v 2 l parnom reaktore s možnosťou rýchleho uvoľnenia tlaku za pomoci pneumatického servoventilu. Na zvýšenie tlaku v reaktore bol do uzavretého reaktora s vloženou vzorkou zavedený vzduch. Reaktor s počiatočným tlakom 10 barov, podľa PP 50070–2023 (ÚPV SR, 27. 9. 2023), získaného za pomoci vzduchu z kompresora, bol dodatočne vyhriaty na teplotu 160, 170, 180, 190, 200 a 210°C. Tlak pary v nádobe pred uvoľnením tlaku, ktorý spôsobuje deštrukciu hmoty, sa tak dosiahol vyšší ako by to bolo iba v prípade, keby sa para vytvárala z vody obsiahnutej iba vo vzorke. To znamená 6,18 bar pri 160°C, 7,92 pri 170°C, 10,0 bar pri 180°C, 12,6 bar pri 190°C, 15,5 bar pri 200°C a 19,1 bar pri 210°C podľa termodynamickej tabuľky nasýtenej vodnej pary. Rozdiel dosiahnutých tlakov oproti teoretickým tlakom je znázornený graficky na obr. 1. Retenčný čas vzorky pri maximálnom dosiahnutom tlaku predstavoval 10 minút.



Obrázok 1. Tlak v reaktore v čase jeho uvoľňovania (plné čiary), porovnanie s teoretickými tlakmi podľa termodynamickej tabuľky nasýtenej vodnej pary (čiarkované čiary).

Po predúprave parnou explóziou bola predspracovaná pšeničná slama označená ako pôvodná vzorka (nepremytá) a časť predúpravenej pšeničnej slamy sa premyla teplou vodou a označila ako premytá vzorka aby sa odstránili inhibítory pre následnú enzymatickú hydrolýzu.

2.1 Enzymatická hydrolýza

Enzymatická hydrolýza bola uskutočnená pomocou prípravku Cellic® CTec3 (Novozymes) s dávkovaním 1,5 % hm. Všetky experimenty s enzymatickou hydrolýzou explodovanej slamy sa uskutočnili v citrátovom pufrí (0,05 M), ktorého pH sa upravilo roztokom NaOH (10 % hm.) na pH=5,0 pri 50°C. Trvanie enzymatickej hydrolýzy bolo stanovené na 48 hodín v Erlenmayerových bankách (250 ml) pri teplote 55°C. Na stanovenie obsahu monosacharidov v hydrolyzátoch bola použitá metóda HPLC s Rezex ROA H+ kolónou. Mobilná fáza pozostávala z 0,0025 M roztoku kyseliny sírovej v deionizovanej vode. Vzorky neutralizovaných hydrolyzátoch sa prefiltrovali pretlačením cez jednorazový teflónový filter (MS PTFE, veľkosť pórov 0,22 µm) pomocou injekčnej striekačky. Po prefiltrovaní sa z každej vzorky odobral objem 0,5 ml a zriedil sa deionizovanou vodou 20-krát na konečný objem 10 ml. Takto upravená vzorka sa nadávkovala do kolóny. Analýzy sa uskutočňovali pri 30°C a prietokovej rýchlosti 0,5 ml/min.

2.2 Faktor závažnosti procesu (severity faktor)

Závažnosť procesu (severity faktor) sa hodnotil na základe kombinovaného faktora závažnosti (CSF), ktorý sa určuje s ohľadom na teplotu T (°C), jeho trvanie t (min). Tento faktor nám umožňuje porovnať intenzitu procesov vykonaných za definovaných podmienok; jeho tri parametre sú korelované podľa rovnice nižšie:

$$R_o = t \cdot \exp \left[\frac{T_r - T_b}{14.75} \right] \quad (1)$$

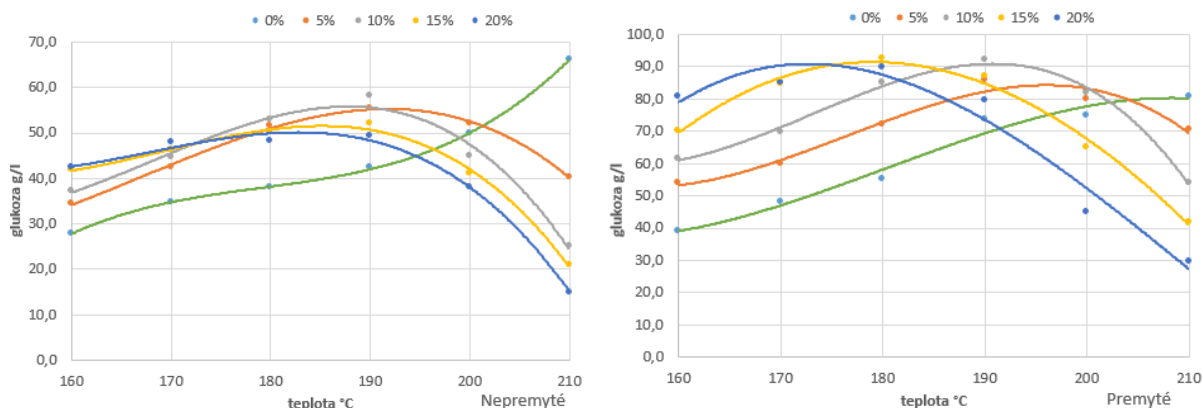
Tabuľka 1. Závislosť hodnoty severity faktora od teploty, pri ktorej bol experiment vykonaný.

Teplota T (°C)	Retenčný čas t (min)	Severity faktor (-)
160	10 min	2.77
170		3.06
180		3.36
190		3.65
200		3.94
210		4.24

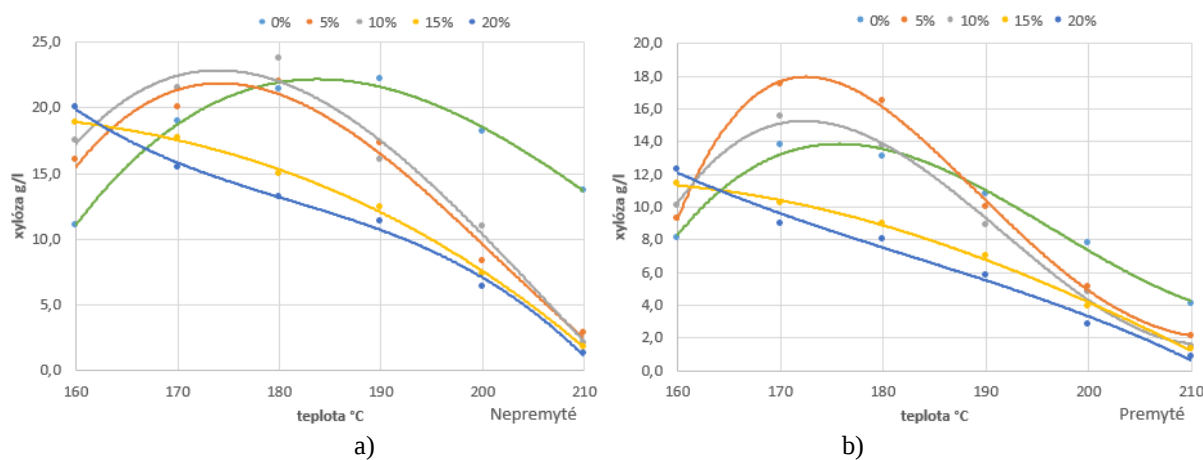
3 Výsledky a diskusia

V tejto štúdii sa zisťoval vzťah medzi teplotou párnej explózie, percentuálnym hmotnostným prídavkom kyseliny octovej pri impregnácii pšeničnej slamy vodou a výťažkom monosacharidov, pričom sa skúmali sa pôvodné (nepremyté) vzorky a vzorky premuté po párnej explózii vo vode. Výťažky glukózy (g/l) zo 48 hodinovej enzymatickej hydrolýzy sú znázornené na obr. 1, pričom obr. 2 porovnáva výťažky xylózy. Cez experimentálne namerané body boli preložené regresné krivky tretieho stupňa, tak aby sa dosiahol koeficient regresie 0,98 – 0,99. Porovnávacie zelené krivky v grafoch predstavujú namerané hodnoty pre vzorky slamy predspracované parnou explóziou bez prídavku kyseliny octovej.

Krivky dobre korelujú s našimi predchádzajúcimi výsledkami prvej štúdie predspracovania slamy (Russ 2016). Pre výtazky glukózy teplota 190°C predstavuje body zlomu, kedy krivky s prídavkom 5 – 20% kyseliny octovej prechádzajú do svojej regresívnej časti pri nepremytých vzorkách (obr. 1a). V prípade premýtaných vzoriek prechod nastáva skôr, postupne od najvyššej koncentrácie kyseliny octovej (obr. 1b). Pri výtazkoch xylózy je situácia komplikovanejšia. Už teplota 160°C predstavuje prechod do regresívnej časti pre vyššie koncentrácie kyseliny octovej (15 % a 20 %), tak pri nepremytých ako aj pri premýtaných vzorkách (obr. 2). Pre koncentrácie 5 % a 10 % sa prechod do regresívnej časti posúva na teplotu približne 175°C. Priebiehy znázornené na obr. 1 a 2 sú dôležité z hľadiska hodnotenia optimalizácie procesov.



Obrázok 1. Výtazok glukózy (g/l) z enzymatickej hydrolýzy slamy po párnej explózii s prídavkom kyseliny octovej: nepremytá vzorka (a), premýtaná vzorka (b).



Obrázok 2. Výtazok xylózy (g/l) z enzymatickej hydrolýzy slamy po párnej explózii s prídavkom kyseliny octovej: nepremytá vzorka (a), premýtaná vzorka (b).

3.1 Diskusia

Pšeničná slama je hojný a ľahko dostupný lignocelulózový materiál, ktorý je potenciálne vhodný na výrobu bioetanolu druhej generácie. Optimálna teplota parnej explózie pre jej predúpravu pred enzymatickou hydrolýzou bola stanovená na 200°C na základe koncentrácie monosacharidov v hydrolyzátoch, konverzie celulózy a xylánu a výtazku monosacharidov zo pšeničnej slamy (Russ a kol. 2016). Nižšia teplota neumožňuje dostatočnú dostupnosť enzýmu, zatiaľ čo príliš vysoká teplota vedie k výraznému rozkladu monosacharidov a lignínu a tvorbe inhibítorov. Závažnosť procesných parametrov je najlepšie vyjadrená tzv. severity

faktorom (Pažitný a kol. 2019). Pre rastlinnú biomasu pre nekatalizované podmienky parnej explózie uvádza Ruiz a kol. (2021) hodnoty 3,05 – 4,12. V našom prípade pri teplote 180°C dosahuje severity faktor hodnotu 3,36, čomu nepochybne napomáha aj prídavný vstupný tlak 10 barov.

Najvyššie výťažky glukózy boli dosiahnuté pri 190°C pri všetkých koncentráciách kyseliny octovej (5 – 20 %) (obr.1). Vyššia teplota spôsobuje pripálenie acidifikovanej vzorky na stenách reaktora. Výťažok xylózy kulminuje pri 180°C ale iba pre koncentrácie do 10 %-ného prídavku kyseliny octovej (obr. 2). Vysoké prídavky 15 – 20 % majú zmysel iba do teploty 160°C. Nad túto teplotu vyššie výťažky xylózy sú dosiahnuteľné bez katalizácie.

Podakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Literatúra

- GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., STANKOVSKÁ, M., PAŽITNÝ, A. 2017: Enzymatic hydrolysis of extruded wheat straw with addition of sodium hydroxide and calcium hydroxide. *Wood Research* 62(6): 919 – 930.
- IHNÁT, V., BOHÁČEK, Š., PAŽITNÝ, A., RUSS, A. 2023: Spôsob intenzifikácie účinku parnej explózie prídavkom stlačeného vzduchu. Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s. v Bratislave. PP 50070–2023 (ÚPV SR, 27. 9. 2023).
- PAŽITNÝ, A. 2019: Steam explosion of wood particles from fibreboard and particle board with indirect control by enzymatic hydrolysis. *Acta Chimica Slovaca* 12(2), 185 – 191.
- PAŽITNÝ, A., RUSS, A., BOHÁČEK, Š., ŠUTÝ, Š., IHNÁT, V. 2020: Perspective pretreatment method of beech and poplar wood and wheat straw in 2G biofuel production processing. *Nova Biotechnologica et Chimica* 19(1): 89 – 97.
- PAŽITNÝ, A., HALAJ, M., RUSS, A., BOHÁČEK, Š., IHNÁT, V., SKOTNICOVÁ, I., ŠUTÝ, Š. 2022: Steam explosion and steam extrusion pretreatment as auxiliary methods for concentration enhancement of monosaccharides from hydrolysates based on the selected lignocellulosic materials. *Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly* 153(11), 1077 – 1085.
- RUIZ, H. A., GALBE, M., GARROTE, G., RAMIREZ-GUTIERREZ, D. M., XIMENES, E., SUN, S. N., LADISCH, M. R. 2021: Severity factor kinetic model as a strategic parameter of hydrothermal processing (steam explosion and liquid hot water) for biomass fractionation under biorefinery concept. *Bioresource Technology* 342, 125961.
- RUSS, A., FIŠEROVÁ, M., LETKO, M., OPÁLENÁ, E. 2016. Effect of steam explosion temperature on wheat straw enzymatic hydrolysis. *Wood Research* 61(1), 65 – 74.
- STANKOVSKA, M., FIŠEROVÁ, M., GIGAC, J., PAŽITNÝ, A. 2018: Effect of alkaline extrusion pretreatment of wheat straw on filtrate composition and enzymatic hydrolysis. *Cellulose Chemistry and Technology* 52(9-10), 815 – 822.

Zhrnutie

Steam explosion of straw with the addition of acetic acid. The effect of steam explosion on the enzymatic hydrolysis of straw was investigated in the presence of 5, 10, 15 and 20 % wt. addition of acetic acid. Analyzes were performed at temperatures of 160, 170, 180, 190, 200 and 210°C. The concentration of monomers obtained after 48 hours of enzymatic hydrolysis was considered as the main indicator of cellulose availability. The results showed that glucose yields culminated at a temperature of 190°C in unwashed samples. In the case of washed samples, the culmination occurs earlier, gradually from the highest concentration of acetic acid. For xylose extracts, the culmination occurs at a temperature of 160°C for higher concentrations of acetic acid (15 % and 20 %) in both unwashed and washed samples. And for concentrations of 5 % and 10 % approximately at a temperature of 175°C. At a temperature of 180°C, the severity factor reaches a value of 3.36, which is undoubtedly helped by the additional inlet pressure of 10 bar.

Kľúčové slová

Parná explózia, kyselina octová, enzymatická hydrolýza, slama, kvapalinová chromatografia, monosacharidy.

Kontaktné adresy

Albert Russ, Andrej Pažitný, Vladimír Ihnát, Juraj Krišta, Emma Weszelovská
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14, Bratislava
841 04, Slovenská republika
russ@vupc.sk

ALTERNATÍVNE ZDROJE VLÁKIEN PRIDÁVANÝCH DO OBALOVÉHO PAPIERA. KUKURIČNÉ VLÁKNO

Andrej Pažitný, Juraj Krišta, Emma Weszelovszká

1 Úvod

Na výrobu hydrofóbného obalového papiera možno použiť veľké množstvo surových vlákien, ktoré spadajú do troch kategórií – lykové alebo vnútorné vlákna kôry ako je ľan a koza, vlákna listov, resp. časti rastlín ako je abaka a sisal (BRITO-PEREIRA, R., A KOL., 2023) a vlákna trávy, ako je bambus a ryžová slama (WU, Y., A KOL., 2021, DAULAY, I.R.S., A KOL., 2024, CHAUDHARY, U., A KOL., 2024), prípadne kukuričné kôrovie (XU, T., A KOL., 2021). Zaujímavé sú tiež konopné vlákna, z ktorých možno vyrobiť superhydrofóbnú mikronanocelulózu (FENG, Y., A KOL., 2024), ďalej tiež bavlnené vlákna, ktoré sú využiteľné v špeciálnych superhydrofóbných papieroch (WEN, Q., A KOL., 2017). Mnohí autori sa zaoberajú výskumom a výrobou superhydrofóbných papierov, a uvedené nedrevné materiály sú vhodné na tieto účely (FATRIASARI, W., A KOL., 2024). K sekundárnym vláknám, ktoré sú vhodné na spracovanie do papieroviny, taktiež patria vlákninové frakcie získané z vedľajších produktov zo spracovania kukuričného zrna – kukuričné mláto a kukuričná vláknina z výroby škrobu, prípadne hrubé mláto – výpalky ako vedľajší produkt z výroby bioetanolu prvej generácie na báze kukurice (PAŽITNÝ, A., A KOL., 2011).

2 Materiál a metódy

Odpad z výroby bioetanolu prvej generácie na báze kukuričného zrna bol získaný od spoločnosti ENVIRAL, a.s. v Leopoldove (SR). Sušina odpadu ako vedľajšieho produktu výroby bola na priemernej úrovni 34 %. Surový odpad – výpalky, bol spracovaný odstredením s modifikáciou procesných parametrov (zdržný čas, frekvencia otáčok, teplota a počet cyklov odstredovania), aby sa získal materiál s požadovaným obsahom vlákninovej frakcie. Odstredovanie bolo uskutočnené na laboratórnej odstredivke typu K26D od spoločnosti VEB MLW Zentrifugenbau Engelsdorf (Nemecko). 100 % odstredené výpalky s optimálnymi parametrami úpravy boli následne dekantované. Čisté výpalky a výpalky v kombinácii s buničinou z ihličnatého dreva sa ďalej podrobili mletiu v laboratórnom mlyne Valley holander. Drevná buničina k výpalkom bola v pomere 80:20 na suchú hmotu. Stupeň mletia sa zisťoval počas celej doby mletia s odbermi vzoriek v čase 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 a 80 minút podľa normy ISO 5264-1. Ďalším skúmaným materiálom na báze kukurice bolo kukuričné mláto dodané od spoločnosti Tate & Lyle Boleraz, s.r.o. v Boleráze (SR). Tento typ odpadu na báze kukurice ako vedľajšieho produktu škrobárenskej výroby mal sušinu v priemere 46 %. Kukuričné mláto bolo mleté s drevnou buničinou počas 60 minút v laboratórnom mlyne Valley holander. Pomer drevnej buničiny dodanej od spoločnosti Mondi Štětí a.s. (ČR) ku kukuričnému mlátu bol 75:25 na suchú hmotu. Stupeň mletia sa zisťoval počas celej doby mletia s odbermi vzoriek v čase 20, 40, a 60 minút podľa normy ISO 5264-1. Analogicky, 100 % buničina z ihličnatého dreva bola v laboratórnom mlyne Valley holander mletá týmto spôsobom podľa medzinárodnej normy ISO 5264-1. Pre odobrané vzorky boli následne stanovené hodnoty WRV (Water Retention Value – schopnosť buničiny/lignocelulóзовého materiálu zadržiavať vodu) a stanovil sa tiež stupeň mletia podľa normy STN ISO 5267-1 (hodnota °SR – Schopper-Riegler).

Pre každú vzorku, resp. meranie boli vypočítané aj odchýlky merania WRV v %. Výsledky pre stupeň mletia ($^{\circ}\text{SR}$) boli vo všetkých prípadoch korigované na absolútne suchý zostatok lignocelulózovej hmoty na sítku.

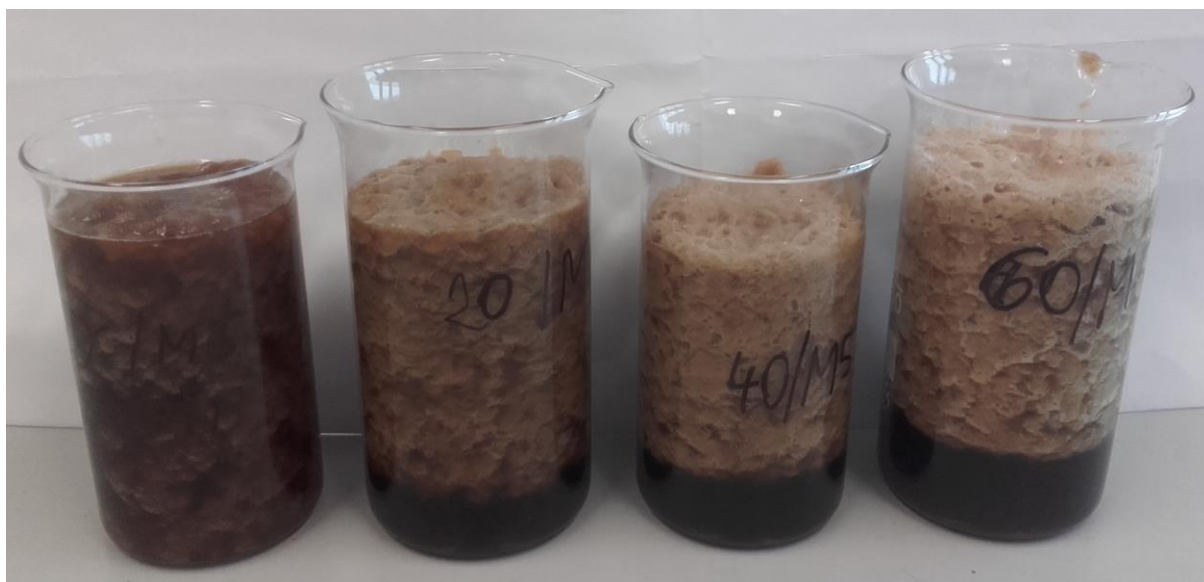
2.1 Mletie v laboratórnom mlyne Valley holander

Pri mletí materiálov sa vychádzalo z pôvodných vzoriek výpalkov z výroby biopalív prvej generácie, kukuričného mláta z výroby škrobu a buničiny na báze ihličnatého dreva z celulózo-papierenského podniku (Obr. 1).



Obrázok 1. Kukuričné výpalky, kukuričné mláto a buničina.

Mletie pevných látok v suspenziách s vodou sa realizovalo v laboratórnom mlyne Valley holander podľa medzinárodnej normy ISO 5264-1. Pre rozlíšenie fáz pri odberoch v rôznych periódach plánovaného experimentálneho mletia sa realizovalo aj mletie čistej buničiny z ihličnatého dreva (Obr. 2).



Obrázok 2. Pôvodná vzorka čistej buničiny z ihličnatého dreva v suspenzii s vodou (čas mletia 0 minút) a čistá buničina z ihličnatého dreva mletá v laboratórnom mlyne Valley holander odoberaná v čase 20, 40 a 60 minút.

Mletie sa aj v tomto prípade realizovalo v laboratórnom mlyne Valley holander. Je evidentné, že rozdeľovanie fáz v prospech vyššieho podielu vodnej fázy sa pri vizuálnom porovnaní približne rovnakých objemov odobratých vzoriek dialo pri dlhšej dobe mletia. Objemovo menšia vlákninová fáza signalizuje efektívnejšie mletie na jemnejšie častice buničiny z ihličnatého dreva.

2.2 Stanovenie WRV a °SR

Pre každý plánovaný experiment boli stanovené hodnoty WRV (Water Retention Value – schopnosť buničiny/lignocelulózového materiálu zadržiavať vodu) a °SR (hodnota °SR – Schopper-Riegler). Hodnota WRV bola vypočítaná podľa vzorca (1):

$$WRV = \frac{m_{mokr\acute{a}} - m_{such\acute{a}}}{m_{such\acute{a}}} \times 100 \% \quad (1)$$

kde: WRV – Water Retention Value [%]

$m_{mokr\acute{a}}$ – hmotnosť vlhkej/mokrej vzorky lignocelulózového materiálu [g]

$m_{such\acute{a}}$ – hmotnosť absolútne suchej vzorky lignocelulózového materiálu [g]

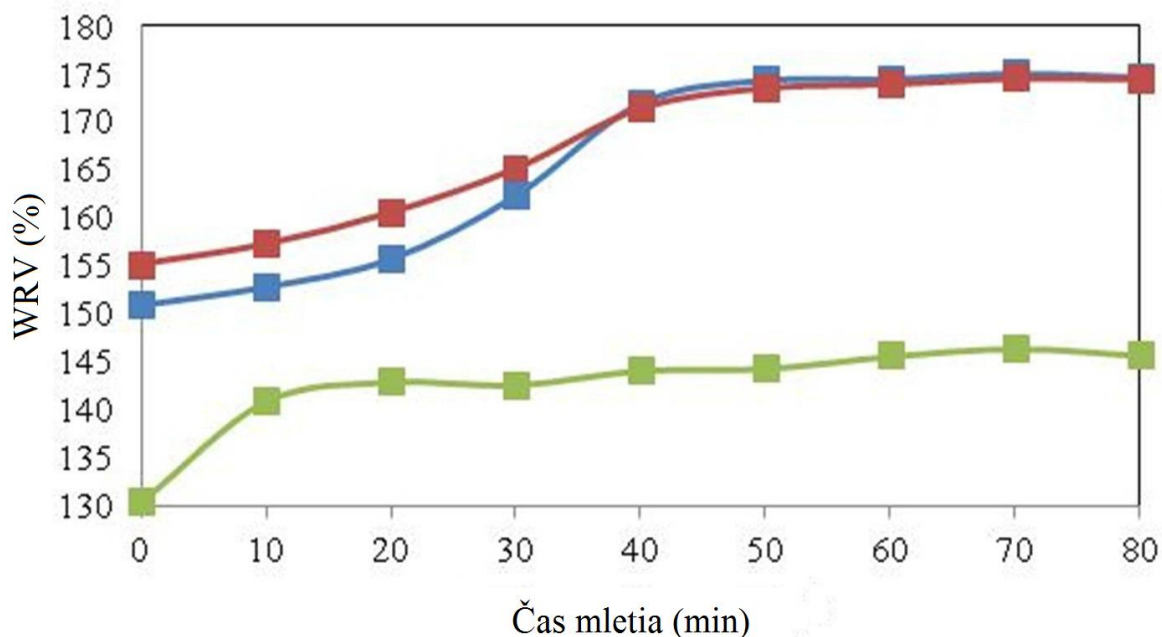
Odchýlke merania WRV sa okrem iného podrobnejšie venuje tretia kapitola – Výsledky a diskusia. Stupeň mletia študovaných lignocelulózových materiálov na báze kukuričného zrna, drevnej buničiny a ich kombinácie bol analyzovaný na prístroji na stanovenie stupňa mletia Schopper-Riegler podľa normy STN ISO 5267-1 (Obr. 3).



Obrázok 3. Prístroj na stanovenie stupňa mletia materiálu na báze kukurice, drevnej buničiny a ich kombinácie (°SR – stanovenie stupňa Schopper-Riegler).

3 Výsledky a diskusia

Fyzikálna štruktúra odstredených a zdekantovaných výpalkov z výroby bioetanolu prvej generácie sa upravovala pri ich mletí v laboratórnom mlyne Valley holander. Získané hodnoty retencie vody (WRV) pre každý čas mletia sú znázornené na Obr. 4. °SR (Schopper-Riegler) pre jednotlivé mlecie periódy sa však používa v popisovaní mletia bežnejšie. Dôvodom využitia časovej závislosti hodnôt WRV bola neefektívna aplikácia a zložitá aplikovateľnosť experimentálneho procesu pri meraní. Mletie v laboratórnom mlyne Valley holander nebolo skrakovacie, ale fibrilačné, podľa normy ISO 5264-1. Obr. 4 znázorňuje mlecie línie s odbermi v čase 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 a 80 minút. V prípade výpalkov boli výrazne nižšie hodnoty WRV ako v oboch prípadoch výpalkov v kombinácii s buničinou z ihličnatého dreva a 100 % buničinou z ihličnatého dreva, a to v každom čase mletia. Kritický moment pri mletí 100 % výpalkov nastal po 10 minútach mletia (WRV = 140,9 %), teda na začiatku experimentu. Hodnoty WRV sa v tomto bode začali zvyšovať zanedbateľne, čo znamená, že bod s konštantnou hodnotou WRV bol uvažovaný v 30. minúte (WRV = 142,6 %).



Obrázok 4. Časová závislosť hodnôt WRV odstredených a zdekantovaných výpalkov, buničiny vyrobenej z ihličnatého dreva a ich zmesi zomletých v laboratórnom mlyne Valley holander (■ 100 % drewná buničina, ■ 80:20 drewná buničina:výpalky, ■ 100 % výpalky).

Tab. 1 ukazuje výsledky mletia drewnej buničiny a výpalkov v pomere 80:20 na suchú hmotu (mletie s označením súboru vzoriek M0), drewnej buničiny a kukuričného mláta v pomere 75:25 na suchú hmotu (mletie s označením súboru vzoriek M2) a mletie čistej buničiny (mletie s označením súboru vzoriek M5). Z výsledkov je zrejmé, že počiatočný stav suspenzií neposkytuje značné rozdiely v stupni mletia v čase 0 minút (16 °SR pre M0, 13 °SR pre M2 a 15 °SR pre M5). V ďalších fázach mletia sa vodné suspenzie na báze kukuričného zrna (mletie M0 a mletie M2) začínajú viac podobat' na mletú drewnú buničinu vo vodnej suspenzii

(mletie M5). Pre mletie na požadovaný stupeň mletia v rozsahu 20 °SR až 32 °SR vhodný pre terminálne mletie buničiny postačuje doba mletia 40 minút. V tomto bode sú porovnateľné aj hodnoty WRV (171,9 % pre M0, 174,7 % pre M2 a 171,4 % pre M5). Tiež je v tomto bode mletia evidentná väčšia podobnosť stupňa mletia kukuričného mláta v kombinácii s buničinou so stupňom mletia čistej buničiny (23 °SR vs. 25 °SR) než podobnosť stupňa mletia pre kombináciu výpalkov a buničiny so stupňom mletia čistej buničiny (31 °SR vs. 25 °SR). Vypočítané odchýlky meraných hodnôt WRV sú v rozsahu od 0,25 % do 1,76 %, čo sú akceptovateľné hodnoty odchýlok pre každý prípad stanovenej hodnoty WRV. Ako naznačujú výsledky vo všeobecnosti, kombinácia mletého kukuričného vlákna z kukuričného mláta a buničiny je z daného pohľadu vhodná na výrobu dosiek, keďže získaná suspenzia má podobné vlastnosti ako drevotrieskové dosky po rozvláknení do suspenzie (IHNÁT, V., A KOL., 2018). Kombinácia výpalkov a buničiny je menej vhodná, avšak možno použiť aj túto kombináciu v rámci určitých limitov kladených na konštrukčné parametre dosky.

Tabuľka 1. Časová závislosť stupňa mletia rôznych typov buničiny a WRV (M0 – mletie drevnej buničiny a výpalkov v pomere 80:20 na suchú hmotu, M2 – mletie drevnej buničiny a kukuričného mláta v pomere 75:25 na suchú hmotu, M5 – mletie čistej buničiny).

Označenie vzorky	Čas mletia [min]	°SR	WRV [%]	Odchýlka merania WRV [%]
0/M0	0	16	150,9	1,12
20/M0	20	22	155,7	0,64
40/M0	40	31	171,9	1,76
60/M0	60	61	174,4	0,25
0/M2	0	13	136,0	1,07
20/M2	20	17	157,5	1,65
40/M2	40	23	174,7	1,31
60/M2	60	37	186,1	1,57
0/M5	0	15	155,1	0,94
20/M5	20	19	160,5	0,56
40/M5	40	25	171,4	1,26
60/M5	60	52	173,9	0,51

Z dôvodu prítomnosti farebných látok v skúmaných produktoch na báze kukurice sú dané materiály vhodné aj na výrobu obalových papierov, prípadne však aj iných typov papiera po aplikácii bieliacich postupov bez sušenia, keďže v dôsledku sušenia môže dôjsť k strate napučiavacej schopnosti vlákien, ktorá sa analyzuje práve pomocou WRV (KRIŠTA, J., 2024).

4 Záver

Papier sa v súčasnosti čoraz viac preferuje ako hydrofóbny obalový materiál v porovnaní s plastom predovšetkým kvôli viacerým aspektom súvisiacim s ekológiou. Rozťažnosť papiera súvisí s napučiavacou schopnosťou vlákien (WRV – Water Retention Value) a ich zodpovedajúcim potenciálom zmršťovania. Časová závislosť WRV bola sledovaná na vzorkách mletých lignocelulózových materiálov a ich kombinácií – výpalkov a mláta na báze kukuričného zrna a buničiny z ihličnatej dreviny.

Pre účely spracovania na dosky je na základe zistení vhodným materiálom kombinácia mletého kukuričného mláta a buničiny, avšak na výrobu obalového papiera sú okrem tejto kombinácie tiež vhodné kombinácie drevnej buničiny a výpalkov.

Podakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Literatúra

BRITO-PEREIRA, R., SILVA MACEDO, A., RIBEIRO, C., CARDOSO, V.F., LANCEROS-MÉNDEZ, S., 2023. Natural Indigenous Paper Substrates for Colorimetric Bioassays in Portable Analytical Systems: Sustainable Solutions from the Rain Forests to the Great Plains. *ACS Applied Materials & Interfaces* 15(40), 46747-46755.

DAULAY, I.R.S., ARIYANTA, H.A., KARIMAH, A., FITRIA, SANTOSO, E.B., CAHYANA, A.H., BUKHARI, M.N.S.S., BAKSHI, M.I., DUNGANI, R., HANIFA, T.Z., KARLIATI, T., FAROBIE, O., ISWANTO, A.H., FATRIASARI, W., 2024. Preparation of superhydrophobic biomedical pulp from rice straw coated with a stearic acid-cellulose composite. *Bioresource Technology Reports* 25, 101781.

FATRIASARI, W., DAULAY, I.R.S., FITRIA, SYAHIDAH, RAJAMANICKAM, R., SELVASEMBIAN, R., FAROBIE, O., HARTULISTIYOSO, E., SOLIHAT, N.N., HUA, L.S., 2024. Recent advances in superhydrophobic paper derived from nonwood fibers. *Bioresource Technology Reports* 27, 101900.

FENG, Y., XU, T., SHI, X., HU, Y., NI, C., CHU, Z., YANG, Z., 2024. Multifunctional coatings fabricated from Chinese hemp-derived superhydrophobic micro-nanocellulose. *International Journal of Biological Macromolecules* 263, Part 2, 130430.

CHAUDHARY, U., MALIK, S., RANA, V., JOSHI, G., 2024. Bamboo in the pulp, paper and allied industries. *Advances in Bamboo Science* 7, 100069.

IHNÁT, V., LÜBKE, H., RUSS, A., PAŽITNÝ, A., BORŮVKA, V., 2018. Waste agglomerated wood materials as a secondary raw material for chipboards and fibreboards. Part II: Preparation and characterization of wood fibres in terms of their reuse. *Wood Research* 63(3), 431-442.

KRIŠTA, J., 2024. Elasticita papierov a jej fyzikálna a chemická modifikácia. Diplomová práca, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Bratislava.

PAŽITNÝ, A., BOHÁČEK, Š., RUSS, A., 2011. Application of distillery refuse in papermaking: Novel methods of treated distillery refuse spectral analysis. *Wood Research* 56(4), 533-544.

WEN, Q., GUO, F., YANG, F., GUO, Z., 2017. Green fabrication of coloured superhydrophobic paper from native cotton cellulose. *Journal of Colloid and Interface Science* 497, 284-289.

WU, Y., ZHAO, W., WU, X., GAN, J., ZHANG, H., CAI, Y., 2021. A Superhydrophobic Moso Bamboo Cellulose Nano-fibril Film Modified by Dopamine Hydrochloride, s. 9.

XU, T., GAO, Z., JIA, Y., MIAO, X., ZHU, X., LU, J., WANG, B., SONG, Y., REN, G., LI, X., 2021. Superhydrophobic corn straw as a versatile platform for oil/water separation. *Cellulose* 28(8), 4835-4846.

Zhrnutie

Alternative sources of fiber added to wrapping paper. Corn fiber. The effect of addition of modified distillery refuse from first-generation bioethanol production and corn fiber from corn threshes to coniferous pulp on WRV (Water Retention Value) and °SR (Schopper-Riegler degree) was investigated. The time dependence of WRV was monitored on samples of beaten lignocellulosic materials and their combinations – distillery refuse and threshes based on corn grain and softwood pulp. Based on the findings, a combination of beaten corn threshes and softwood pulp is a suitable material for board processing, however, for the production of packaging paper, in addition to this combination, combinations of softwood pulp and beaten distillery refuse based on corn grain from first-generation bioethanol production are also suitable.

Kľúčové slová

Drevná buničina, kukuričné mláto, °SR (stupeň mletia Schopper-Riegler), Valley holander, WRV (Water Retention Value)

Kontaktné adresy

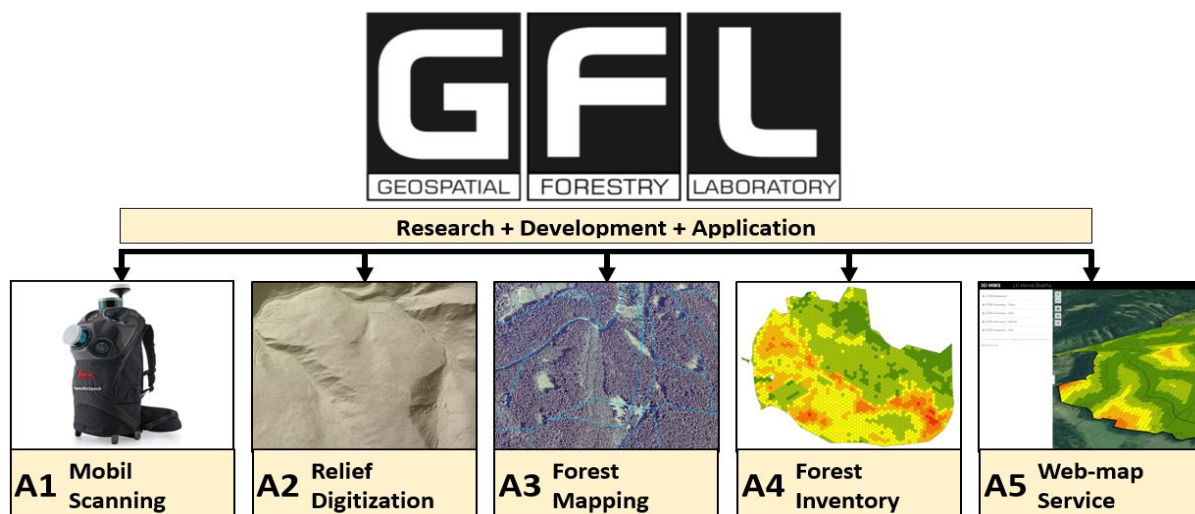
Andrej Pažitný*, Juraj Krišta, Emma Weszelovszká
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava
Slovenská republika
*pazitny@vupc.sk

LABORATÓRIUM GEOPRIESTOROVÉHO LESNÍCTVA

Ivan Sačkov

1 Profil

Laboratórium geopriestorového lesníctva (GFL) bolo založené v roku 2015 ako neoficiálna súčasť Národného lesníckeho centra. Formálne GFL predstavuje sieťovú skupinu, ktorá spája odborníkov z akademickej a súkromnej sféry na základe konkrétnych projektových aktivít. Hlavným cieľom GFL je vykonávanie výskumu, vývoja a aplikácie geopriestorových technológií v oblasti manažmentu lesa (Obr. 1).



Obrázok 1. Logo, cieľ a aktivity GFL.

2 Aktivita

2.1 Mobilné skenovanie

Štandardným výstupom je mračno bodov z laserového skenovania s priemernou hustotou 1000 b/m² alebo lepšou. Digitálne dvojčinky lesných porastov umožňujú inventarizáciu lesa na úrovni stromov a porastov.

2.2 Digitalizácie reliéfu

Štandardným výstupom je tlačaná alebo digitálna mapa terénu, povrchu, sklonu a expozície s rozlíšením 50 cm alebo lepším. Digitálne výškové modely umožňujú geopriestorové analýzy na miestnej, regionálnej a národnej úrovni (napr. doprava, hydrológia, využitie územia).

2.3 Mapovanie lesa

Štandardným výstupom je tlačaná alebo digitálna mapa budov, cestnej siete a lesných porastov s rozlíšením 50 cm a lepším. Mapované objekty možno klasifikovať podľa kvantitatívnych atribútov (napr. výška, plocha) a rozdeliť ich do výškových tried (m) alebo plošných tried (m²).

2.4 Inventarizácia lesa

Štandardným výstupom je tlačaná alebo digitálna mapa lesných zdrojov, ktorá obsahuje údaje na úrovni stromu, bunky alebo lesného porastu (napr. počet stromov, výška stromu, priemer

stromu, objem stromu, stredná výška bunky/porastu, stredný priemer bunky/porastu, celkový objem buniek/porastov, dopravná vzdialenosť buniek/porastov).

2.5 Web-mapové služby

Štandardným výstupom je link na web-mapovú službu, ktorá poskytuje všetky geopriestorové výstupy cez internet. Používateľ potrebuje na prístup ku všetkým relevantným informáciám iba bežné zručnosti, infraštruktúru a aktívnu dátovú službu.

3 Infraštruktúra

Kľúčové technické vybavenie predstavuje mobilný laserový skener LiBackpack DGC50 (SAČKOV, I. 2023), vysoko výkonné pracovné stanice HP Z6 G4 a príslušný štatistický ako aj geopriestorový softvér (napr. Trimble INPHO, ArcGIS Pro, Statistica, L360). Súčasťou je aj vlastné softvérové riešenie reFLex, ktoré je aktuálne dostupné vo verzii 19.2 (SAČKOV, I. et al. 2017).

4 Prípadové štúdie

Kľúčové záujmové územia predstavujú lesné celky ŠLP TU Zvolen (48°37'N, 19°05'E) a Vígľaš (48°32'N, 19°21'E), na ktorých sa vykonali dve kampane zberu dát z leteckého snímkovania, laserového skenovania a terénneho merania. Výsledok prípadových štúdií je uvedený v Tabuľke 1 a 2 (SAČKOV, I. 2022).

Tabuľka 1. Prípadová štúdia LC ŠLP TU Zvolen (7483 ha) založená na dátach leteckého laser. skenovania.

Parameter presnosti	Stredná výška	Stredná hrúbka	Zásoba dreva
Diferencia	-0.6 %	-2.7 %	-0.6 %
Celková chyba	±10.9 %	±23.1 %	±34.4 %

Poznámka: Diferencia predstavuje priemerný rozdiel medzi zistenými a nameranými charakteristikami. Celková chyba predstavuje interval rozdielu medzi zistenými a nameranými charakteristikami, ktorý sa dosiahne s pravdepodobnosťou 68 %.

Tabuľka 2. Prípadová štúdia LC Vígľaš (0,3 ha) založená na dátach mobilného laserového skenovania.

Parameter presnosti	Stredná výška	Stredná hrúbka	Zásoba dreva
Diferencia	-3.4 %	2.5 %	-3.6 %
Celková chyba	±9.3 %	±7.7 %	±11.5 %

Poznámka: Diferencia predstavuje priemerný rozdiel medzi zistenými a nameranými charakteristikami. Celková chyba predstavuje interval rozdielu medzi zistenými a nameranými charakteristikami, ktorý sa dosiahne s pravdepodobnosťou 68 %.

5 Centrum excelentnosti – LignoSilva

Špecifickým cieľom v rámci prioritnej oblasti „Technológie a systémy pre vyššiu valorizáciu dreva“ a inovačného programu „3D skenovanie s vysokým rozlíšením pre inventarizáciu lesa ForScan“ je (1) konceptualizovať pokročilý pracovný postup pre 3D inventarizáciu a sortimentáciu lesných porastov na základe lidar/radar záznamov, (2) overiť a demonštrovať tento pracovný postup v laboratórnom a lesnom prostredí a (3) disseminovať výsledky na národnej alebo medzinárodnej úrovni.

PodĎakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Literatúra

SAČKOV, I., HLÁSNY, T., BUCHA, T., JURIŠ, M., 2017. Integration of tree allometry rules to treetops detection and tree crowns delineation using airborne lidar data. *iForest* 10: 459–467.

SAČKOV, I. 2022. Forest Inventory Based on Canopy Height Model Derived from Airborne Laser Scanning Data. *Central European Forestry Journal* 68: 224–231.

SAČKOV, I. 2023. Metodika využitia technológie mobilného pozemného laserového skenovania v inventarizácii lesa. In: *LignoSilva 2023: Zborník odborných prác z konferencie dňa 13. júna 2023*. Zvolen: Národné lesnícke centrum. s. 93–97.

Zhrnutie

Geospatial Forestry Laboratory. Geospatial Forestry Laboratory (GFL) was established in 2015 as an informal part of National Forest Centre. Specifically, GFL represents a network group that connect specialists from academic and private sphere based on specific project activities. The related main goal is to perform research, development and application of geospatial technology focused on forest management. The key GFL activities include mobile laser scanning, relief digitization, forest mapping, forest Inventory, and web-map service. The key GFL infrastructure includes mobile laser scanner LiBackpack DGC50, high-performance workstation HP Z6 G4, and statistical as well as geospatial software (i.e., Trimble INPHO, ArcGIS Pro, Statistica, L360).

Kľúčové slová

GFL; LiDAR; reFLex

Kontaktné adresy (autorov)

Ivan Sačkov

Odbor manažmentu lesa

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

ivan.sackov@nlcsk.org

ZÁCHRANA A ZACHOVANIE GENOFONDU LESNÝCH DREVÍN PODUNAJSKÉHO LUHU

Martin Bartko, Juraj Piecka, Marian Nagy, Štefan Miklós, Jozef Vladovič

1 Úvod

Po stáročia boli ľudským zásahom najviac vystavené naše nížiny a pahorkatiny. Najvýraznejšie zásahy sa vykonali na nížinách, kde pôvodné lesné spoločenstvá v prevažnej miere nahradili poľnohospodárske kultúry. Súvislé lesné komplexy ostali len v medzihrádzovom priestore na dolných tokoch riek, kde pravidelné a dlhotrvajúce záplavy znemožňovali odlesnenie a zapojenie najúrodnejších lesných pôd do poľnohospodárskej výroby.

Scelovaním pozemkov v poľnohospodárstve sa začali postupne likvidovať aj fragmenty pôvodných lesných spoločenstiev, skupín, pásov, remízok a solitérov. Po uskutočnení rozsiahlych melioračných zásahov výrazne poklesla hladina podzemnej vody, čo malo za následok ďalší úbytok vysokej zelene na nížinách.

2 Historické zmeny prírodného prostredia vplyvom geologického vývoja územia

Podunajská nížina je vybudovaná na neogénnom podklade, ktorá pozdĺž tektonických zlomov poklesla do hĺbky asi 200 m a postupne bola vyplňaná štrkovými neogénnymi a pleistocénnymi sedimentami a mladšími, jemnejšími holocénnymi usadeniami. Celá oblasť je charakterizovaná stálymi recentnými poklesmi. Klesajúce bloky postihovali aj starý tok Dunaja, ktorý podľa pozdĺžneho profilu vykazuje stál depresiu, najväčšiu pri Sape. Tektonická panva sa vytvorila typický nánosový kužeľ, ktorý vznikol rýchlym uložením sedimentov po vyústení Dunaja z Devínskej brány, powyše Bratislavy. Nánosový kužeľ má zákonité usporiadanie a horná časť je z hrubého štrkovopieskovitého materiálu, hlbšie sedimenty a vlastný povrch má piesočnatú a hlinito-piesočnatú povahu. Tento hrubý rámec vývoja bol však rozmanito modifikovaný recentnými aluviálnymi pochodmi dunajského toku. Výraznú eróziivno-akumulačnú činnosť Dunaja za posledné obdobia dokazujú historické pozorovania zmien polohy hlavného toku a jeho bočných ramien /KOUTEK ET ZOUBEK, 1936/. Pokles Podunajskej nížiny si vynútilo viackrát zmenu hlavného toku Dunaja, ktorý náhlým ukladaním splavenín /hrubší nánosový materiál/ vytváral tzv. závesné korytá a v dôsledku čiastočného znášania koryta menil svoj pôvodný tok. Zanechal tak viac agradačných valov a štrkových riečisk, v súčasnosti pomerne vysoko položených.

Reliéf dunajského alúvia priamo súvisí s geomorfologickým vývinom terénu. Samotný Žitný ostrov je nízka, mierne zvlnená rovina, klesajúca v dolnej časti ostrova smerom na juhovýchod a k Malému Dunaju. Nadmorská výška je medzi 125 a 135 m n.m. Povrch terénu je však komplikovaný, budovaný systémom starých agradačných valov, zníženín, meandrov a eolických formácií. Brehová, pririekisková časť inundačného územia je vyvýšený val. Pozostáva z vrstevnatých piesočnatých a hlinito-piesočnatých nánosov. Tento val v čase existencie pôvodných prietokov podliehal najviac náporom povrchových vln. V súčasnosti funguje ako drenážna časť príbežných sedimentov.

V centrálnej časti inundácie, ktorá je už od začiatku 20. storočia v medzihrádzovom priestore, prevládali sedimenty jemného kalového materiálu, i keď tieto zákonitosti boli narušované v spojitosti s intenzívnymi zmenami toku a jeho bočných ramien, následkom nerovnomerného poklesu celého územia. Reliéf strednej časti nivy, čiže terajšieho inundačného územia je veľmi členitý a to horizontálne aj vertikálne. Na malé vzdialenosti sa výrazne menia relatívne výškové rozdiely, ktoré však nepresahujú 450 cm. Tento nepatrný rozdiel je ale v oblasti lužných lesov jedným z najdôležitejších faktorov pre štruktúru a rozloženie jednotlivých typov lužných lesov. On určoval častosť a intenzitu záplav, hĺbku hladín podzemných vôd, čiže celý hydrogeologický režim rastlinných spoločenstiev lužných lesov a tým aj ich pestrú mozaiku /JURKO, 1958/.

Ako už bolo naznačené dominantnými stavebnými prvkami centrálnej časti Podunajskej panvy, vrátane inundačného územia, sú sedimenty neogénu a kvartéru. Neogénne sedimenty dosahujú v centrálnej časti gabčíkovskej dielčej panvy hrúbku až 8 000 m. Vulkanické horniny vystupujú na povrch len hodne nižšie po toku a to v okolí Štúrova. Hrúbka kvartérnych sedimentov, rozhodujúcich pre biotu sa v pozdĺžnom profile Dunaja mení v rozpätí 10-340 m /VARGA, 1993/.

Celé inundačné územie vplyvom častých záplav spred prehradenia Dunaja v r. 1992 bolo postihované neustálymi zmenami vplyvom erózie a akumulácie. Záplavy v tomto území bývali každý rok a to aj viackrát. V priemere to bolo 4-6 krát do roka, s najväčšou intenzitou v júni a v júli, prípadne i v máji, alebo aj v auguste. Za obdobie 1935-1954 to bolo až 108 dní do roka /JURKO, 1958/. Voda vplyvom záplav začínala stúpanie v mŕtvych ramenách a terénnych zníženiach a až s oneskorením sa prelievala cez agradačný val koryta starého Dunaja. Tok záplavových vôd v lužnom lese bol veľmi komplikovaný, pomalší ako v bezlesnom území, ovplyvnený aj štruktúrou vegetácie. Podporoval obohacovanie pôdy živinami a prostredníctvom jemného kalu /splaveniny/ sa usadzoval pomedzi dreviny, ale aj bylennú a trávovitú vegetáciu. Prehradením Dunaja v Čunove v r. 1992 a odvedením podstatnej časti prietokov do derivačného kanála, boli záplavy novej inundácie vylúčené a objavujú sa len sporadicky pri katastrofických záplavách, aká bola napr. v lete roku 2002.

2.1 História budovania protipovodňových a reguslačných opatrení

Inundačné územie so svojou vegetáciou pôsobí dojemom pôvodnosti. História rieky však hovorí o zásadných zmenách, ktoré sa dunajského veľtoku dotkli. Už Ptolemajova mapa Podunajskej roviny ukazuje, že terajšie staré koryto rieky bolo len menším, bočným, pravobrežným ramenom hlavného toku. Vody hlavného toku odvádzal predtým systém ramien pretekajúcich približne osou terajšieho Malého Dunaja. Pre problémy plavby boli hlavné masy odvedené do tohto pravobrežného ramena, čím vznikol terajší hlavný tok Dunaja. Presmerovanie týchto vôd do nového koryta začiatkom 19. storočia vytvorilo novú hydropedologickú situáciu a to častejšie záplavy už predtým skultivovaného územia. Záplavami boli zlikvidované staré ochranné hrádze, pustošili ľudské obydla, ničili úrodu, strhávali cesty a zamokrovali ďalšie rozlohy poľnohospodárskej pôdy. Začalo sa preto s organizovaným budovaním ochranných hrádzi a to od roku 1831, s dôslednejším zámerom až od roku 1824. Po mnohých variantoch dostali definitívnu podobu až koncom 19. a začiatkom 20. storočia. Ich výška aj šírka koruny bola 4 m a mali dva jednometrové prehrádzky /JURKO, 1958/. Hrádze boli vybudované po oboch brehoch rieky, čím došlo k zvýšeniu vodných prietokov v medzihrádzovom priestore, ale aj k jeho častejším záplavám v priebehu roka.

Lokalizácia týchto hrádzi bola často upravovaná, najmä po katastrofických záplavách v rokoch 1954 a 1965. K ich dnešnému situovaniu došlo až v spojitosti s dokončením výstavby Vodného diela Gabčíkovo ako plánovanej súčasti Sústavy vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros. Ich funkciu môžeme datovať od roku 1992.

Ďalšie úpravy, v podstate nového koryta Dunaja vyplývali jednak z potrieb úplnej hlavnej plavebnej kynety po roku 1831, spočívajúcej vo vyrovnaní toku a v odstavení bočných ramien. Snaha po splavnení Dunaja aj pri nízkych prietokoch vyvolávala neustále ďalšie úpravy toku. Medzi nimi za najväčší zásah možno považovať mechanické prehlbovanie dna koryta bagrovaním štrku z oboch brehov Dunaja a odstavením vtokov do bočných ramien. Podľa hydrológov /MUCHA ET DUB, 1966/ v prvej polovici 20. st. pretekala voda v ramenách pri všetkých prietokoch v Dunaji. Na niektorých miestach vtekala, na iných miestach vytekala a to na obidvoch brehoch Dunaja. Pred prehradením Dunaja v októbri 1992 bol vo všetkých ramenách až pri prietokoch nad $350 \text{ m}^3 / \text{sek.}$, čo predstavovalo vodu v nich len 17 dní za rok. Po odstavení vôd do derivačného kanála je ramenná sústava zavodňovaná z nápuštného objektu v Dobrohošti po celý rok, podľa upravovaného harmonogramu.

2.2 Zmeny lesných ekosystémov v dôsledku historického vývoja vodného režimu dunaja

Odklon pôvodného množstva vody z osi dnešného Malého Dunaja do koryta terajšieho toku Dunaja mal nedozerne následky pre preformovanie sa lužných lesov novej inundácie, čiže medzihrádzového priestoru. Záplavy sa tu znásobili a búrlivosť ich vôd narástla. Pretrvávanie takého stavu po niekoľko desaťročí začalo selektívne pôsobiť na celé rastlinstvo, preukázane aj na lužné lesy. Tvrdé lužné lesy, tvorené jaseňom úzkolistým /*Fraxinus angustifolia*/, brestom hrabolistým /*Ulmus minor*/ a dubom letným /*Quercus robur*/ neznášali častú prítomnosť záplavových vôd a ich mohutnosť a z inundačného územia medzihrádzového priestoru postupne vymizli. Na ich miesto nastúpili vrbovo-topoľové lesy, zložené z vrby bielej /*Salix alba*/, na miestach so stagnujúcou vodou i vrby krehkej /*Salix fragilis*/ a topoľa čierneho /*Populus nigra*/, menej i topoľa bieleho /*Populus alba*/ a topoľa sivého /*Populus x canescens*/ . Prestavba rastlinstva po dobudovaní ochranných hrádzi sa dotkla aj nelesnej vegetácie. Niekdajšie úseky mŕtvych ramien sa v novom inundačnom území stali prietocnými a nedovoľovali vzniku a existencii rastlinstva stojatých vôd, ktoré tu bolo bežné, kým existovalo malé rameno, z ktorého sa stal veľtok. Rozvoj takej vegetácie však mohutne nastúpil v mimohrádzovom priestore, v ramenách odstavených ochrannými hrádzami, čiže vo vnútri nížiny. Takýmto pomerom inundácie sa lužné ekosystémy v priebehu ďalších 50-70 rokov dokonale prispôbili, takže stav okolo roku 1960 považujeme za taký, ktorý zobrazuje prírodnú, nie však pôvodnú vegetáciu. Zásluhou publikácie z roku 1958 /JURKO, 1958/ máme o nej takmer úplnú predstavu. K ďalším zmenám vo vegetácii lužných lesoch došlo v 70. rokoch minulého storočia a to po poklese vôd v starom koryte po intenzívnom bagrovaní dna Dunaja pre zlepšenie plavebných pomerov a pre ochranu pred záplavami. Tento pokles vody vážne ohrozil existenciu lužných lesov ako celku. Lesné hospodárstvo na tento neutešený, doslova katastrofický stav, reagovalo spontánnou výsadbou monokultúr šľachtených topoľov a vrb. Dopad rapídneho poklesu podzemných vôd bol pre úspech pestovania kultivarov týchto drevín menej významný. Pokles hladín vôd v starom koryte Dunaja už takmer 20 rokov pred výstavbou Vodného diela Gabčíkovo vyvolal aj drenážny efekt. Nízko situovaná voda v koryte nedokázala cez štrkovo-piesočnaté sedimenty vzlietať. Dreviny v pobrežnom páse koryta znižovali svoju vitalitu a začali hynúť.

A to aj také dreviny ako sú vrbý a topole. Tento drenážny efekt, ako naznačíme ďalej, sa rapídne zväčšil po odvedení vôd do derivačného kanála.

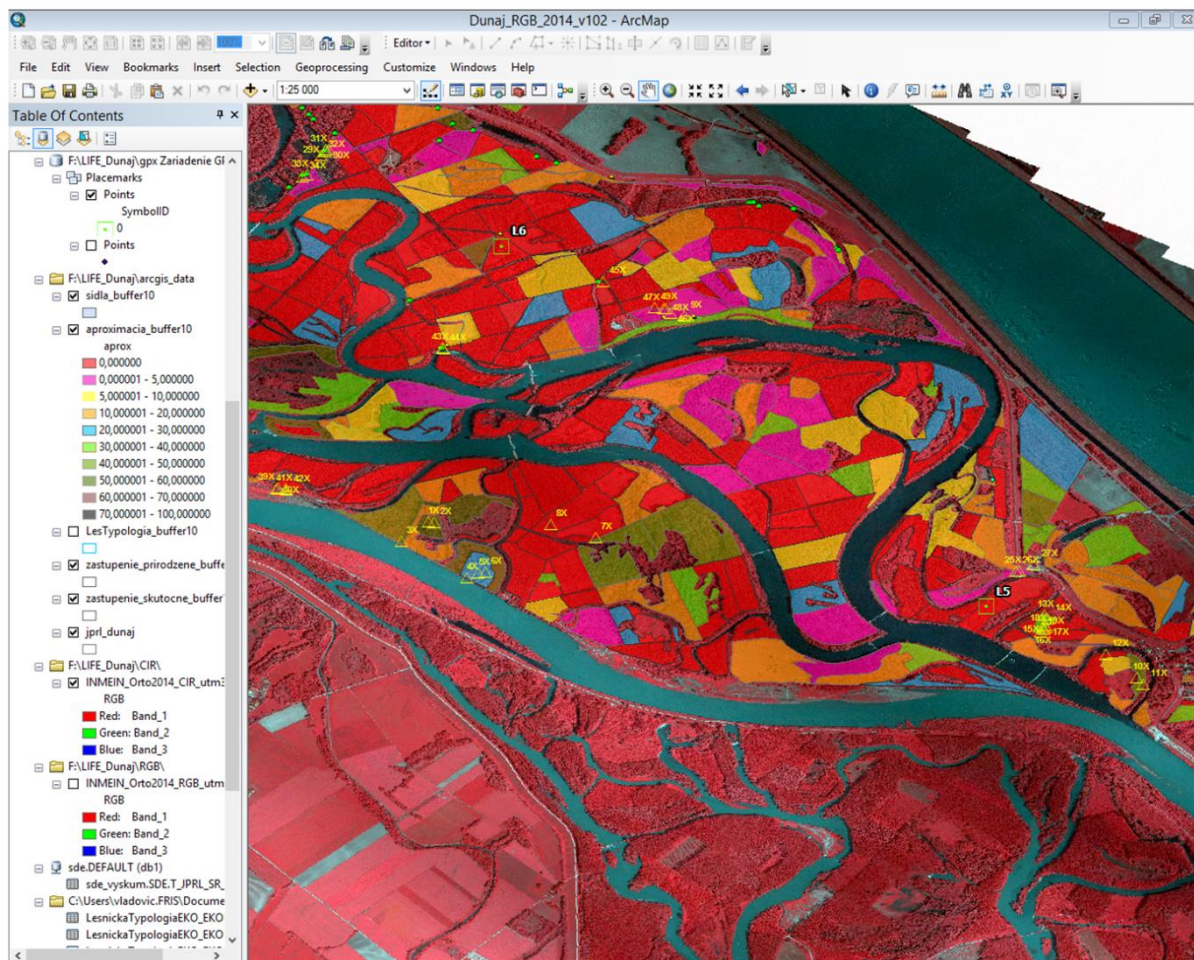
3 Najrozšírenejšie lesné ekosystémy dunaja

Mapovanie lesných spoločenstiev inundácie Dunaja /ŠOMŠÁK ET AL., 2003/ potvrdilo, že na rozlohe približne 3 160 ha lesnej plochy existujú podobné fytocenózy aké tu boli v roku 1958 /JURKO, 1958/ s jednou výraznou zmenou. Kým v 60. rokoch 20. st. takmer 73% lesov tejto oblasti malo prírode blízke drevinové zloženie /vrba biela, vrba krehká, topoľ čierny, topoľ biely, topoľ sivý, brest väzový/, v súčasnosti tu existuje až vyše 80% plochy monokultúr topoľových šľachtencov. Tie sú zakladané do rúbanísk s upraveným povrchom, spočívajúcim v zhrnutí pňov a zvyškov po ťažbe, často aj s povrchovými horizontami pôdy. Na takto upravené rúbaniská sú vysádzané kultivary vrb a topoľov do radov v uvoľnenom „spone“. Takéto kultúry sú v prvých rokoch po založení mechanizmami aj ošetrované. Po zapojení korún šľachtencov *Populus x euroamericana* 'Robusta', 'I-214' a 'Panonia' je bylinný podrast tvorený nitrátofilnými druhmi, viazanými na hydro- a mezotrofný charakter fluvizemných pôd. Ten sa nemení ani po zapojení monokultúrnych drevín. Existenciu i naďalej ovplyvňuje rôzne situovaná hladina podzemných vôd.

4 Metodika a zhrnutie výsledkov

V rámci riešenia úlohy sa vykonali vo vybranom modelovom území v širšom okolí toku Dunaja mapovanie a identifikovanie autochtónnych drevín a vybraných stromov.

Vykonala sa klasifikáciu a predvýber porastov a drevín s podporou použitia metódy aproximácie (odvodenia miery priblíženia) aktuálneho zastúpenia drevín k pôvodnému rekonštruovanému drevinovému zloženiu pre jednotlivé JPRL na základe typologických jednotiek (lesných typov a skupín lesných typov) a poznatkových báz. Na obrázku 1 uvádzame príklad z posúdenia zachovalosti drevinového zloženia porastov metódou aproximácie v ArcGIS v lokalite bodického a gabčíkovského ramena aj s lokalizáciou vybraných autochtónnych stromov na podklade údajov programov starostlivosti o lesy (PSL), typologických máp na pozadí leteckých infračervených snímok.



Obrázok 1. Posúdenie zachovalosti drevinového zloženia porastov metódou aproximácie v ArcGIS v lokalite Bodického a Gabčíkovského ramena s lokalizáciou vybraných autochtónnych stromov na podklade údajov PSL, typologických máp na pozadí leteckých infračervených snímok

Metóda aproximácie spočíva v odvodzovaní miery zachovalosti druhového zloženia porastov. Vychádza zo zistenia odchýlok skutočného zastúpenia dreviny od potenciálneho pôvodného, odvodeného z poznatkových báz. Pri použitej modifikovanej metóde aproximácie sa uplatnili algoritmy GRÉKA A PAPÁNKA (1966, 1967) in VLADOVIČ (2003).

$$a = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum O}{200} \right) \quad o = \frac{100 \cdot \sum O}{200}$$

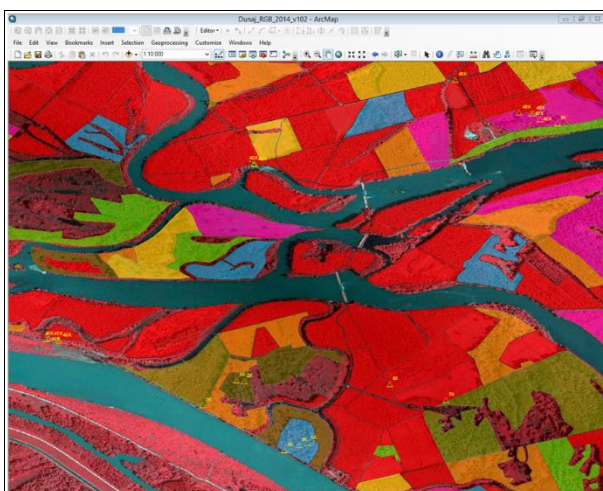
a = aproximácia o = odchýlka (%)
 $\sum O$ = suma absolútnych hodnôt odchýlok
 skutočného zastúpenia od potenciálneho
 (rekonštruovaného pôvodného)

Do hodnoty % aproximácie dreviny v rámci hodnotenej JPRL sa započítal % podiel skutočného zastúpenia každej žiaducej dreviny až do výšky jej potenciálneho zastúpenia,

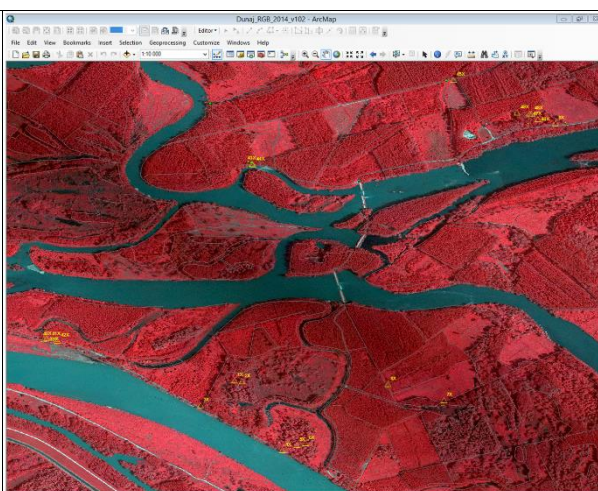
ktoré bolo odvodené z poznatkovej bázy. Aproximácia JPRL je súčtom hodnôt aproximácie drevín v JPRL. Uvedenou metódou sme pre každú posudzovanú jednotku priestorového rozdelenia lesa (JPRL) vypočítali pôvodné drevinové zloženie a porovnali sme ho s aktuálnym zastúpením drevín.

Pri mapovaní a klasifikácii sa uplatnili tiež dostupné letecké farebné multispektrálne snímky a prostriedky GIS a DPZ (najmä v prípravnej fáze mapovania), údaje PSL, oznámené podklady partnerov ako aj lesnej prevádzky.

Z predmetného územia v okolí toku Dunaja sa zabezpečila príprava plošných podkladov a empirického materiálu z vybraných jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL) za účelom odvodu aproximácie aktuálneho (súčasného) zastúpenia drevín k potenciálnemu pôvodnému a stanovenia stupňa zachovalosti drevinového zloženia (zastúpenie drevín, plošný podiel základných typologických jednotiek: lesné typy, skupiny lesných typov). Aproximáciu a stanovenie stupňov zachovalosti sa previedla v prostredí geografického informačného systému ArcGIS (obrázky 1, 2, 5, 7). Lokalizáciu vybraných autochtónnych stromov (ArcGIS) na pozadí infračervených leteckých snímok znázorňujú obrázky 3, 4, 6, 8.

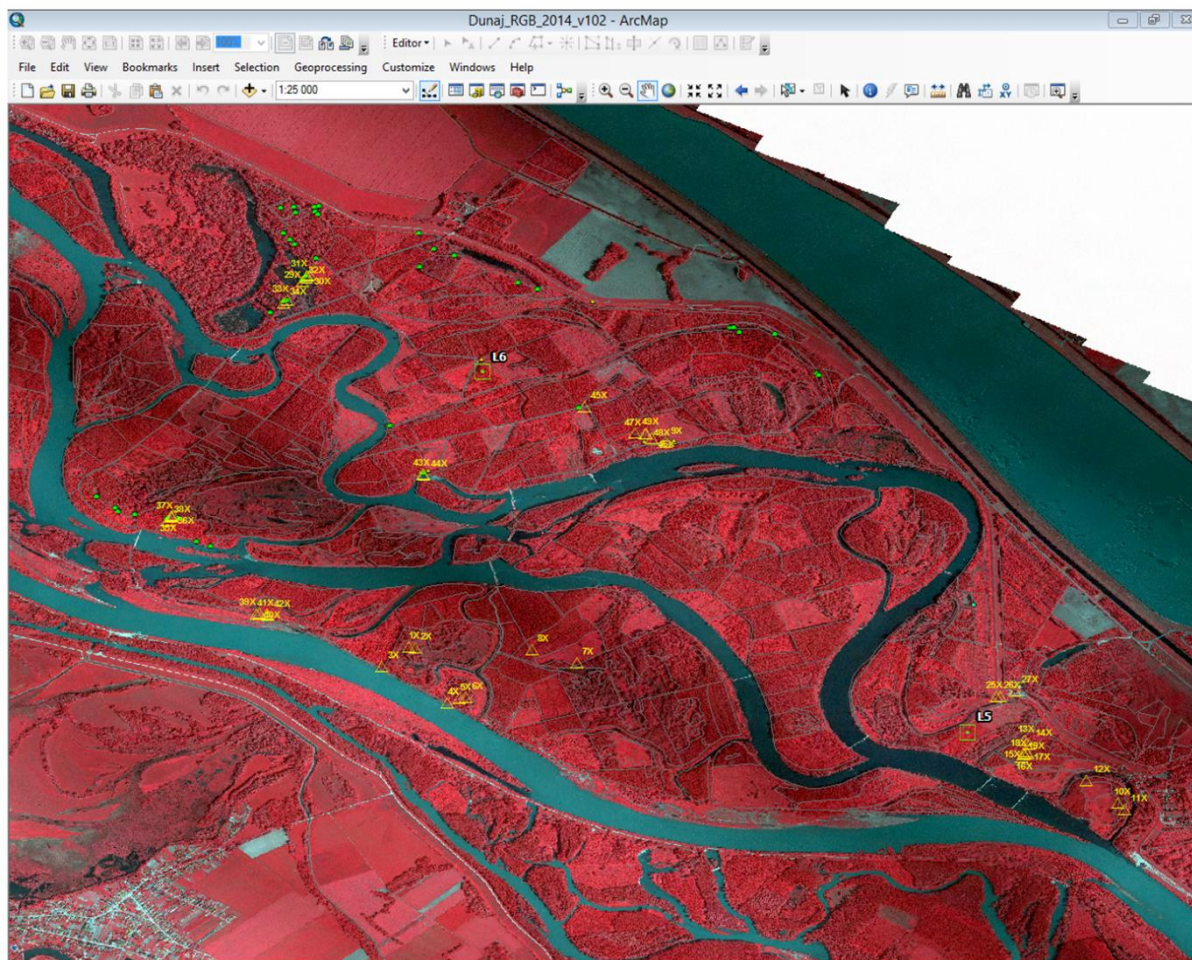


Obrázok 2. Posúdenie zachovalosti drevinového zloženia porastov metódou aproximácie – okolie Bodického a Bačianskeho ramena; Ostrov 24, Močiar



Obrázok 3. Lokalizácia vybraných pôvodných stromov – okolie Bodického a Bačianskeho ramena; Ostrov 24, Močiar

Potenciálne – pôvodné (prirodzené) zastúpenie drevín sa odvodili pre jednotlivé trvalé jednotky priestorového rozdelenia lesa (JPRL – dielce, čiastkové plochy) na základe uplatnenia poznatkovej bázy pôvodného rekonštruovaného drevinového zloženia podľa skupín lesných typov podľa VLADOVIČA (2003). Pôvodné drevinové zloženie bolo vypočítané na základe plošného podielu všetkých lesných typov (skupín lesných typov) uvedených v aktuálnej typologickej mape pre príslušnú posudzovanú JPRL. Percentuálny podiel pôvodného zastúpenia drevín vychádza z prepočtu sumy výmer jednotlivých drevín prevzatých a prepočítaných z poznatkovej bázy podľa skutočného čiastkového plošného podielu lesných typov na celkovej výmere JPRL. Stupeň zachovalosti drevinového zloženia bol odvodený použitím modifikovanej metódy aproximácie podľa publikácie VLADOVIČ (2003). Výsledné hodnoty zachovalosti drevinového zloženia sú uvádzané v jednotlivých stupňoch podľa dosiahnutej miery aproximácie v %.



Obrázok 4. Prípravná fáza predvýberu a lokalizácie autochtónych stromov (ArcGIS) v lokalite Bodickejho a Gabčíkovského ramena na podklade leteckých infračervených ortofotosnímkov

Potenciálne pôvodné drevinové zloženie vyplýva len zo stanovištných podmienok, ekologických a kompetičných vlastností drevín. Zodpovedá prirodzeným podmienkam jednotlivých stanovišť pri súčasnej klíme. Je rekonštruované na základe typologických jednotiek tak, ako by ho vytvorila samotná príroda bez zásahov človeka. Skutočné zastúpenie drevín je súčasné – aktuálne zastúpenie drevín prevzaté pre JPRL z programov starostlivosti o lesy (PSL). V etážových porastoch pri GIS klasifikácii sa uvádza ako vážený priemer zastúpenia drevín z jednotlivých etáží, kde váhami sú redukované výmery drevín v etážach.

Uvádzame príklady pôvodného rekonštruovaného zastúpenia drevín (VLADOVIČ 2003) pre vybrané plošne rozšírené skupiny lesných typov v okolí Dunaja:

- *Ulmeto-Fraxinetum carpineum* (UFrc) Brestová jasenina s hrabom. Pôvodné rekonštruované drevinové zloženie: brest poľný 30 %; dub letný 20 %; jaseň 20 %; brest väzový 10 %; hrab obyčajný 6 %; javor poľný 6 %; lipa malolistá 6 %; čremcha obyčajná 2 %.
- *Ulmeto-Fraxinetum populeum* (UFrp) Brestová jasenina s topoľom. Pôvodné rekonštruované drevinové zloženie: brest poľný 30 %; dub letný 20 %; domáce topole (biely, čierny, sivý) 20 %; jaseň 19 %; brest väzový 10 %; javor poľný 1 %; čremcha obyčajná 1 %.

- Querceto-Fraxinetum (QFr) Dubová jaseňina. Pôvodné rekonštruované drevinové zloženie: dub letný 80 %; jaseň 17 %; domáce topole (biely, čierny, sivý) 2 %; čremcha obyčajná 1 %.
- Saliceto-Alnetum (SAI) Vrbová jelšina. Pôvodné rekonštruované drevinové zloženie: jelša lepkavá 40 %; vrba biela 40 %; domáce topole (biely, čierny, sivý) 18 %; čremcha obyčajná 2%.
- Ulmetum (U) Brestové porasty. Pôvodné rekonštruované drevinové zloženie: brest poľný 60 %; brest väzový 20 %; javor poľný 10 %; hrab obyčajný 5 %; jaseň 5 %.
- Fraxineto-Alnetum (FrAI) Jaseňová jelšina. Pôvodné rekonštruované drevinové zloženie: jelša lepkavá 80 %; čremcha obyčajná 10 %; jaseň 8 %; domáce topole (biely, čierny, sivý) 2 %.

V teréne bolo v modelovom území v širšom okolí toku Dunaja lokalizovaných, mapovaných a meraných 220 stromov pôvodných drevín Dunajských lužných lesov (tabuľka 2). Boli lokalizované nasledovné autochtónne dreviny: Topoľ čierny (68 ks); Topoľ biely (30 ks); Topoľ sivý (3 ks); Dub letný (38 ks); Vrba biela (20 ks); Jaseň štíhly (15 ks); Jaseň úzkolistý (2 ks); Jelša lepkavá (12 ks); Brest väzový (9 ks); Brest hrabolistý (5 ks); Javor poľný (5 ks); Lipa veľkolistá (3 ks); Lipa malolistá (1 ks); Hruška obyčajná (planá) (4 ks); Čremcha obyčajná (trpká) (3 ks); Hloh obyčajný (1 ks); Jablň planá (plánka) (1 ks).

Mapovanie a lokalizáciu vybraných autochtónnych drevín a stromov sme prevádzali priebežne, pričom sme postupovali po jednotlivých pracovných segmentoch – združených lokalitách, zoradených podľa úsekov toku Dunaja. Združené lokality sú zoradené v smere po toku Dunaja. Celkovo sme pracovali v 13 združených lokalitách (pracovných segmentoch A až M) a v 25 lokalitách. Prehľad rozdelenia početností lokalizovaných stromov podľa združených lokalít uvádza tabuľka 1.

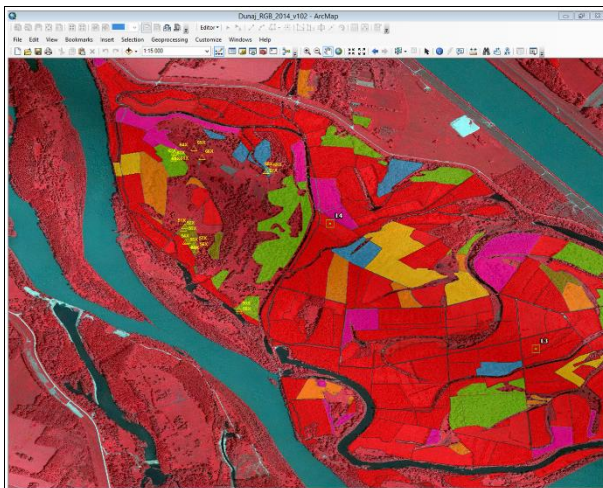
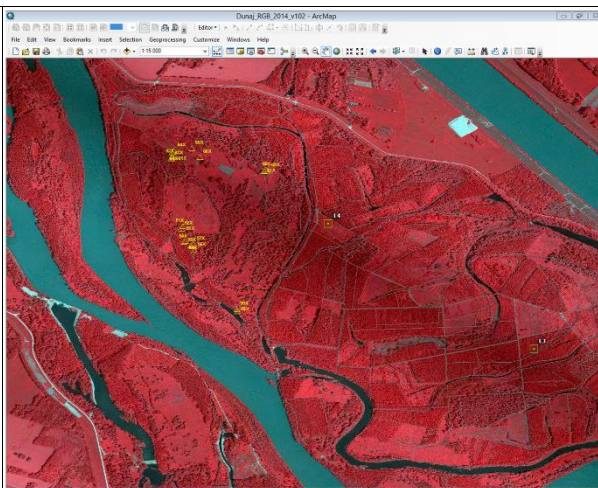
Vybrané stromy sú v teréne označené oranžovou farbou (1X až 220X), pozícia lokalizovaná GPS, meraný je obvod kmeňa vo výške 1,30 m, výška stromu, posúdená je kvalita kmeňa a vyhotovená fotodokumentácia. Výšky sme merali výškomermi VerTex s presnosťou na 0,1 m. Obvody kmeňa meračským pásmom s presnosťou na 1 cm. Pozície stromov v súradnicovom systéme WGS sme zisťovali GPS prístrojmi Garmin GPS MAP 76CSx s presnosťou na ± 5 m.

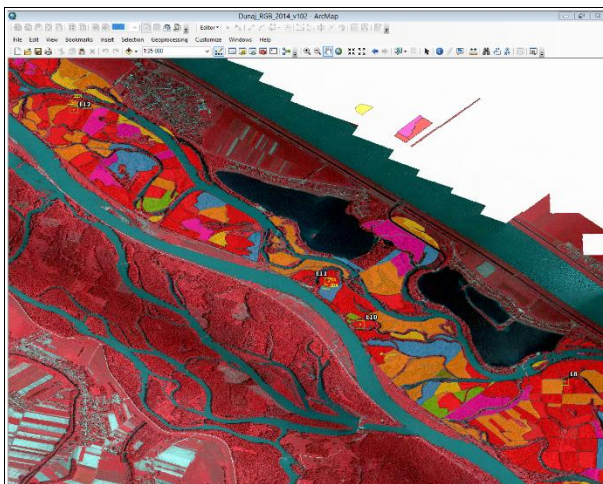
Databáza lokalizovaných stromov pôvodných drevín obsahuje nasledovné údaje: poradové číslo stromu (1 až 220); označenie stromu (1X až 220X); skratka dreviny; vedecký názov dreviny; slovenský názov dreviny; označenie združenej lokality (A až M); názov lokality; dátum merania stromu; pozícia stromu (WGS súradnice: stupne, minúty, sekundy); výška stromu (m); obvod kmeňa vo výške 1,3 m (cm); kvalita kmeňa (A, B, C), nadmorská výška (m n. m.); označenie fotodokumentácie; označenie osôb zabezpečujúcich merania; osoba zodpovedná za zápis v teréne; poznámka.

Tabuľka 1. Prehľad rozdelenia početností lokalizovaných stromov podľa združených lokalít v okolí toku Dunaja

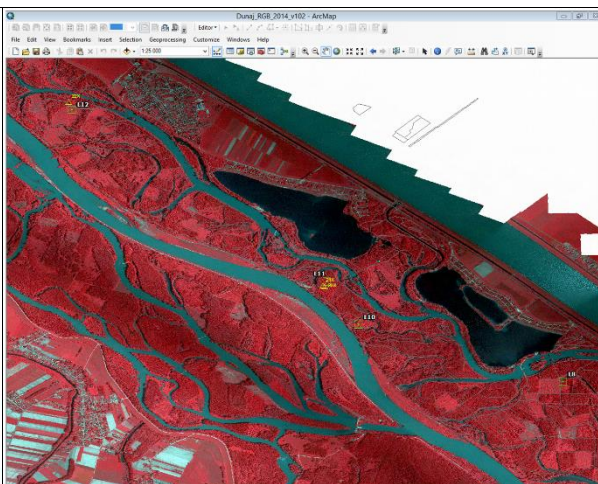
	Združené lokality	počet stromov
A	Biskupické rameno, Rusovský kanál, Rusovce	22
B	Vojčianske rameno	4
C	Bačianske a Bodícke rameno	31
D	Gabčíkovské rameno	13
E	Čiližský potok, Gabčíkovo, Jurová, Dedinská Lúka	22
F	Büdöš, Dunajský ostrov, Išpánsky Dunaj	22
G	Mŕtvy Dunaj, Sap – Medveďov	19
H	Čiližské, Ižop, Veľký Meder	21
I	Čičovské rameno, Čičov	16
J	Klížske rameno	15
K	Veľkolélsky ostrov, Veľký Lel	14
L	Nová Stráž	9
M	Moča – Kravany nad Dunajom, Patince	12
	Celkový súčet	220

Pri mapovaní sme využívali nasledovné podklady: GIS zdroje: ArcGIS, LGIS, GoogleEarth. CIR a RGB letecké ortofotosnímky (napr. z projektu bilaterálnej spolupráce INMEIN, 2014). Porastové mapy, ArcGIS, GPS. Typologické mapy – GIS vrstva. Poznatková báza pôvodného drevinového zloženia podľa typologických jednotiek. Databázy JPRL a GIS vrstva PSL. Aproximácia súčasného drevinového zloženia k pôvodnému rekonštruovanému. GIS projekt – ArcGIS, prekrytie vrstiev, predvýber JPRL (aproximácia) a vybraných porastových textúr na IRC ortofotosnímках (vizuálne posúdenie). Označená lokalizácia stromov (partneri projektu a lesná prevádzka).

**Obrázok 5.** Posúdenie zachovalosti drevinového zloženia porastov metódou aproximácie – okolie Dunajského ostrova, Büdöš, Istragov, Išpánsky Dunaj**Obrázok 6.** Lokalizácia vybraných pôvodných stromov – okolie Dunajského ostrova, Büdöš, Istragov, Išpánsky Dunaj



Obrázok 7. Posúdenie zachovalosti drevinového zloženia porastov metódou aproximácie – okolie Vojčianskeho ramena



Obrázok 8 Lokalizácia vybraných pôvodných stromov – okolie Vojčianskeho ramena

Na obrázkoch 13 až 36 uvádzame dokumentačné snímky vybraných autochtónnych drevín a jednotlivých stromov s uvedením vybraných údajov z databázy (označenie stromu, výška, obvod kmeňa, lokalita, súradnice WGS). Dokumentačné snímkovanie sme vykonali vo všetkých lokalitách pre všetky lokalizované stromy (220 stromov).

Literatúra

- GRÉK, J., 1966: Kontrola približovania druhového zloženia porastov k drevinovým prevádzkovým cieľom. Les, s. 247–251.
- JURKO, A., 1958: Pôdne ekologické pomery a lesné spoločenstvá Podunajskej nížiny. SAV, Bratislava, 264 str.
- KOUTEK, J., ZOUBEK, V., 1936: Vysvětlivky ke geologické mapě 1:75 000. List 4758. Bratislava-Praha.
- MUCHA, I., DUB, O., 1966: Limnológia československého úseku Dunaja, SAV, Bratislava, 327 str.
- PAPÁNEK, F., 1967: Doplnok k ZN Ing. J. Gréka č. 4, ÚHÚL Zvolen
- ŠOMŠÁK, L., ŠIMONVIČ, V., KOLLÁR, J., LAKATOŠOVÁ, E., 2003: Phytocoenological map of the Danube river inundation of the part Dobrohošť – Sap. Phytopedon /Bratislava/ 2/1: 59-98.
- VARGA, L., 1993: Geologický prieskum na slovenskom území Dunaja pre účely výstavby Sústavy vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros.- Sústava vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros, zámery a skutočnosť. Zbor. Z medzinárodnej konferencie 7.- 9. sept. 1993, Bratislava: 127-133.
- VLADOVIČ, J., 2003: Oblastné východiská a princípy hodnotenia drevinového zloženia a ekologickej stability lesov Slovenska. Bratislava, Príroda 2003, Lesnícke štúdie; 57/2003, 160 s.

PodĎakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Kľúčové slová

Dunajské luhy, autochtónne dreviny, záchrana a zachovanie biodiverzity

Kontaktné adresy (*autorov*)

Martin Bartko, Štefan Miklós, Marian Nagy, Juraj Piecka
Výskumná stanica Gabčíkovo
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
Parková cesta 557/11
930 05 Gabčíkovo, Slovak Republic
martin.bartko@nlcsk.org

Jozef Vladovič
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T. G. Masaryka 22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
jozef.vladovic@nlcsk.org

VPLYV RÔZNEJ DĹŽKY ODREZKOV A SPONU ICH VÝSADBY NA VÝŠKU VYPESTOVANÝCH SADENÍC PRI TOPOĽOCH *POPULUS NIGRA* L., *P. X* *CANESCENS* A *P. ALBA*

Martin Bartko, Juraj Piecka, Marian Nagy, Štefan Miklós

1 Úvod

Topoľ je drevina, ktorá má v zložení lesov vo všeobecnosti pomerne malé zastúpenie, ale vzhľadom na mimoriadne rýchly rast, veľké prírastky a vysokú potencionálnu produkciu dreva za relatívne krátke obdobie nadobúda stále väčší hospodársky význam. Takmer vo všetkých krajinách Európy, najmä v Taliansku, Francúzsku, Belgicku, Rusku i na Balkáne a Ukrajine sa preto problematike topoľov venuje primeraná pozornosť. Vymedzujú sa vhodné územia pre túto drevinu, robia sa šľachtiteľské pokusy, testuje sa produkčný výkon i odolnosť jednotlivých klonov voči škodcom a klimatickým faktorom a vypracúvajú sa špeciálne technológie pre intenzívne spôsoby pestovania topoľov. Na Slovensku podľa údajov Zelenej správy (2023) zaberajú topole približne len 0,7% z celkovej porastovej plochy a 0,58% z celkovej zásoby dreva. Existujú však typické nížinné a lužné oblasti – Podunajská nížina, Východoslovenská nížina, povodie Váhu a povodie Hrona, kde topole sú v porastoch hlavnou drevinou s dominantným hospodárskym významom.

Predkladaný príspevok prináša poznatky z pokusu, ktorého cieľom bolo porovnať výškový rast a prežívanie sadeníc troch topoľových klonov v závislosti od viacerých variantov technológie ich výsadby.

2 Materiál a metódy

Pokus bol založený v roku 2024 v lesnej škôlke Výskumnej stanice Gabčíkovo. Lokalita patrí k najteplejším a najsuchším oblastiam na Slovensku. Dlhodobá priemerná ročná teplota dosahuje 10,4 °C. Priemerný ročný úhrn zrážok predstavuje 650 mm. Pôdne pomery v škôlke reprezentuje pôdny typ fluvizem arenická, pôda je hlinito-pieščitá s hladinou podzemnej vody 1,8 m.

V pokuse išlo o zistenie, aká dĺžka odrezkov a aká hustota ich výsadby je pre pestovanie topoľových sadeníc v lesných škôlkach v daných podmienkach najvhodnejšia. Uvažovalo sa s tromi druhmi- topoľ čierny (*Populus nigra* L.), topoľ sivý (*Populus x canescens*) a topoľ biely (*Populus alba*), pri každom so 7 variantmi dĺžky odrezkov a so 4 variantmi sponu výsadby. Varianty sa pre účel vyhodnotenia pokusu označili nasledovne:

Varianty dĺžky odrezkov:

A = 12 cm, B = 14 cm, C = 16 cm, D = 18 cm, E = 20 cm, F = 22 cm, G = 24 cm.

Varianty spony (hustoty) výsadby v rámci každej dĺžky odrezkov A-G:

1 = 100 x 10 cm, 2=100 x 15 cm, 3=100 x 20 cm, 4 = 100 x 25 cm.

Odber odrezkov, ich skladovanie, dezinfekcia, výsadba ako aj ošetrovanie sadeníc v priebehu roka sa uskutočnilo podľa všeobecne platných zásad a postupov osvedčených v lokálnych podmienkach škôlky. Pokusné parcely boli usporiadané podľa princípu znáhodnených blokov. Za veličinu, na ktorej sa mal účinok skúšaných variantov prejavíť bola zvolená výška vypestovaných sadeníc. Merala sa v roku založenia pokusu po ukončení vegetačného obdobia. Pre každý variant bol pri založení pokusu počet odrezkov rovnaký - 25 kusov. Avšak nie všetky sa ujali a viaceré boli poškodené v procese ďalšieho rastu, preto počet

sadeníc a údajov o ich výškach je spravidla menší. Pokusné údaje sa považovali za výberové súbory a zhodnotené boli adekvátnymi štatistickými metódami – analýzou variácie, štatistickým testovaním, regresiou a koreláciou.

3 Výsledky a ich analýza

3.1 Zhodnotenie vplyvu rôzneho sponu výsadby na výšku sadeníc

Bolo prvým krokom zhodnocovania pokusného materiálu a vykonalo sa osobitne pre každý zo skúšaných variantov dĺžky odrezkov A-G. Každý variant A-G tým predstavoval určitý viac-menej homogénny výberový strom, v ktorom dĺžka odrezkov bola konštantná, ale premenlivý bol spon ich výsadby a ten mohol pozitívne, alebo negatívne vplývať na výškový rast sadeníc. Samotný účinok rôzneho sponu na výslednú výšku sadeníc sa analyzoval nasledovne:

- a) Vypočítali sa základné štatistické charakteristiky výšok sadeníc pre každý variant A-G a v rámci neho aj pre jednotlivé spony $j = 1-4$, pričom
 - aritmetický priemer $\bar{x}$, vyjadruje priemernú veľkosť výšky sadeníc
 - smerodajná odchýlka $s_{x(j)}$ charakterizuje variabilitu výšok (vymedzuje interval, v ktorom sa vyskytuje zhruba 68% zo všetkých jej hodnôt)
 - početnosť n_j udáva celkový počet hodnotených výšok a zároveň informuje o tom, koľko z vysadených 25 odrezkov zostalo vo forme sadenice až do ukončenia pokusu.
- b) Vykonala sa analýza variancie výšok sadeníc (aplikáciou jednofaktorového modelu s nerovnakým počtom opakovaní).
- c) V prípadoch, keď F-test analýzy variancie bol štatisticky významný, urobili sa aj následné Tukeyho testy rozdielov medzi výškami sadeníc, ktoré prislúchali jednotlivým sponom.

Zo získaných výsledkov vyplývajú tieto skutočnosti a všeobecné poznatky:

- Výšky sadeníc v rámci rovnakej varianty dĺžky odrezku nadobúdajú priemerné hodnoty pri druhu *P. nigra* L. 118 cm, pri druhu *P. x canescens* 122 cm a pri druhu *P. alba* 128 cm a majú tiež pomerne veľkú variabilitu, ktorá v relatívnom vyjadrení (smerodajná odchýlka/aritmetický priemer x 100) dosahuje 25 až 40%.
- Medzi výškami sadeníc rôzneho sponu (10,15,20 a 25 cm) sú však diferencie podstatne menšie. Z celkového počtu 7 x 3 variantov A-G sa ako štatisticky významné ukázalo iba v 6 prípadoch, a to pri klone *P. nigra* L. Raz (variant C), pri druhu *P. x canescens* tri krát (variant B,E,G) a pri druhu *P. alba* dva krát (variant A,E). Pritom v tzv. „signifikantných variantoch“ neboli všetky párové diferencie medzi rôznymi sponmi štatisticky významné, takúto podmienku splnilo iba 14 zo všetkých 126 možných (t.j. 11%), ostatných 89% diferencií malo len náhodný charakter.

To znamená, že rôzny spon pri výsadbe topoľových odrezkov v širšom priemere neovplyvňuje výraznejšie rast sadeníc do výšky. Takéto zistenie je do určitej miery prekvapujúce. Dá sa však vysvetliť všeobecne známym poznatkom z náuky o raste lesa (ŠMELKO – WENK – ANTANAITIS, 1992), že hustota stromov pôsobí menej na výšku stromov, ale oveľa viac na ich hrúbku a objem.

Potvrdzujú to aj výskumy s topoľmi v sponoch od 120 x 10 cm do 120 x 25 cm sa výška sadeníc zväčšila indexom 114, čiže o 14 %, avšak hrúbka sadeníc indexom až 126, čiže o 26 %.

3.2 Zhodnotenie vplyvu rôznej dĺžky odrezkov na výšku sadeníc

Keďže v predchádzajúcom rozbere sa nepotvrdil výrazný vplyv rozdielnej hustoty výsadby na výšku sadeníc, zhodnotili sme vplyv použitej dĺžky odrezkov spoločne pre všetky spony. Využili sme k tomu regresívnu analýzu. Všetky údaje o priemerných výškach sadeníc (H) v rámci variantov A-G pre každý klon osobitne sa vyrovnal v závislosti od dĺžky odrezku (L). Ukázalo sa, že :

- závislosti $H = f(DL)$ sú viac-menej lineárne,
- s rastúcou dĺžkou odrezku sa výška sadeníc všeobecne zväčšuje, a to v priemere o 2,5 až 5 cm na každý centimeter zväčšenia dĺžky odrezkov,
- tesnosť závislosti je priemerná, podľa koeficienta determinácie R^2 vysvetľuje cca 35 až 60% celkového rozptylu hodnôt výšok, korelačný koeficient r (= odmocnina z R^2) nadobúda hodnotu 0,60 až 0,77 a vzhľadom na počet výberových hodnôt je jeho rozdiel od nuly štatisticky signifikantný (kritická hodnota $t_{0,05(26)} = 0,317$),
- citlivosť výškového rastu na dĺžku odrezkov nie je však rovnaká, najväčšia je pri druhu *P. alba* , najmenšia pri druhu *P. nigra* L.
- Uvedené všeobecné poznatky platia pre všetky tri skúšané topoľové druhy, a to s 95 % spoľahlivosťou.

Tento rozbor jednoznačne naznačuje, že pozitívnejšie na výškový rast topoľových sadeníc majú dlhšie odrezky, ako tie krátke. Podobné zistenia sú známe aj z iných domácich a zahraničných pokusov.

3.3 Zhodnotenie ujatosti odrezkov a prežívania sadeníc

Popri výškovom raste sadeníc je pre úspešné založenie porastu rovnako dôležitá aj ujatosť odrezkov a následné prežitie z nich vypestovaných sadeníc, pretože to bezprostredne ovplyvňuje ekonomickú efektívnosť použitej technológie. Z pôvodne vysadených 25 odrezkov, pre každý pokusný variant zostalo 2 až 25 jedincov. Ich redukciu počas sledovaného obdobia spôsobil prevažne nedostatočne vytvorený kalus na odrezkoch, v menšej miere ostatné škodlivé činitele (*Chondroplea populea* (SACC. Et Briad), *Melampsora* sp. a *Marssonina brume* (Ell. Et Everh.)). Všeobecne na ujatie a prežívanie sadeníc v oveľa väčšej miere vplývala dĺžka odrezkov ako spon použitý pri ich výsadbe. Potvrdili to aj výsledky viacnásobnej analýzy variancie a regresie (vplyv dĺžky odrezkov bol signifikantný na hladine významnosti $\alpha < 0,0001$, pri spone sa hodnoty α pohybovali na úrovni 0,69 až 0,97), index korelácie pre závislosť $n\% = f(L, S)$ bol tiež vysoký 0,82 až 0,94). Maximálny relatívny počet jedincov na konci pokusu (od 70 po 100%) dosiahli skúšané druhy pri dĺžke 20 až 24 cm, zhruba rovnako pri všetkých uvažovaných sponoch. Lepšie výsledky v tomto smere vykázali druhy *P. alba* a *P. canescens* horšie *P. nigra* L.

Uvedené zistenie súhlasí so všeobecným poznatkom, že pri pestovaní topoľov v lesných škôlkach úspech produkcie veľmi silne ovplyvňujú rôzne škodlivé činitele, predovšetkým hubové ochorenia.

Tabuľka 1. Výsledky analýz pre topoľ *Populus nigra*

Dĺžka odrezkov	Spon (j) ²	Výška sadeníc (X,cm) ³			F-test/ Hl. výz.(p) ⁴	Štatisticky významné Diferencie medzi (j) ⁵
		$\bar{x}_j$	$s_{x(j)}$	n_j		
A (12cm)	1	106,45	33,28	11	0,259 0,983	žiadne ⁷
	2	101,25	25,82	4		
	3	109,50	41,72	2		
	4	102,67	25,90	6		
	spolu ⁶	104,83	28,86	23		
B (14cm)	1	99,41	35,54	16	1,578 0,209	žiadne
	2	112,09	25,59	21		
	3	125,10	23,60	19		
	4	111,10	41,31	11		
	spolu	110,02	30,51	67		
C (16cm)	1	121,00	33,66	11	6,019 0,0021	2-3*,2-4**
	2	146,92	21,53	12		
	3	92,60	30,13	5		
	4	102,80	27,80	10		
	spolu	121,18	33,44	38		
D (18cm)	1	87,07	25,52	15	1,233 0,306	žiadne
	2	102,92	35,34	12		
	3	107,12	45,97	16		
	4	109,06	31,71	17		
	spolu	101,82	35,55	60		
E (20cm)	1	118,06	28,89	18	2,446 0,071	žiadne
	2	140,47	26,51	19		
	3	138,10	26,48	19		
	4	124,50	35,92	16		
	spolu	130,69	30,30	72		
F (22cm)	1	116,12	32,68	17	1,016 0,393	žiadne
	2	125,46	23,67	13		
	3	134,27	31,13	15		
	4	128,53	31,34	15		
	spolu	125,78	30,23	60		
G (24cm)	1	137,95	29,41	20	2,624 0,057	žiadne
	2	118,75	31,29	20		
	3	144,75	25,94	16		
	4	139,95	34,87	21		
	spolu	134,12	31,82	77		

Tabuľka 2. Výsledky analýz pre topol' *Populus x canescens*

Dĺžka odrezkov	Spon (j) ²	Výška sadeníc (X,cm) ³			F-test/ Hl. výz.(p) ⁴	Štatisticky významné Diferencie medzi (j) ⁵
		$\bar{x}_j$	$s_{x(j)}$	n_j		
A (12cm)	1	125,00	34,75	10	2,290 0,106	žiadne ⁷
	2	110,00	22,72	7		
	3	102,33	40,41	3		
	4	86,17	16,87	6		
	spolu ⁶	109,38	31,29	26		
B (14cm)	1	88,94	18,46	16	8,990** 0,000048	1-2*, 1-3**, 1-4*
	2	107,86	18,75	21		
	3	119,47	17,55	19		
	4	111,36	13,89	11		
	spolu	107,21	20,60	67		
C (16cm)	1	117,37	26,10	16	1,285 0,288	žiadne
	2	123,60	24,07	15		
	3	107,90	30,86	25		
	4	107,71	26,06	19		
	spolu	113,52	27,42	75		
D (18cm)	1	110,81	21,98	21	1,700 0,173	žiadne
	2	120,64	23,63	22		
	3	130,50	35,81	25		
	4	122,30	29,40	23		
	spolu	120,98	28,45	91		
E (20cm)	1	128,42	18,58	19	2,749* 0,048	1-4*
	2	138,18	23,66	22		
	3	137,64	36,29	22		
	4	151,68	22,31	22		
	spolu	139,52	27,12	85		
F (22cm)	1	137,29	36,37	17	0,287 0,835	žiadne
	2	138,71	39,11	21		
	3	136,26	32,32	23		
	4	129,00	34,27	19		
	spolu	135,40	35,03	80		
G (24cm)	1	117,33	20,92	24	6,231** 0,00068	1-4**, 2-3*, 2-4**
	2	116,25	24,91	24		
	3	136,42	29,77	24		
	4	143,27	28,68	22		
	spolu	128,00	28,37	94		

Tabuľka 3. Výsledky analýz pre topol *Populus alba*

Dĺžka odrezkov	Spon (j) ²	Výška sadeníc (X,cm) ³			F-test/ Hl. výz.(p) ⁴	Štatisticky významné Diferencie medzi (j) ⁵
		$\bar{x}_j$	$s_{x(j)}$	n_j		
A (12cm)	1	130,25	23,33	4	3,638* 0,0315	1-3**,1-4*
	2	115,29	24,23	7		
	3	79,4	33,16	5		
	4	90,86	26,13	7		
	spolu ⁶	102,65	31,25	23		
B (14cm)	1	113,87	37,53	15	1,070 0,366	žiadne ⁷
	2	117,12	30,87	17		
	3	118,13	30,89	15		
	4	88,4	30,99	15		
	spolu	112,29	32,70	62		
C (16cm)	1	124,79	44,1	14	2,590 0,0614	žiadne
	2	94,19	38,24	16		
	3	89,14	43,99	25		
	4	90,91	26,30	15		
	spolu	98,81	41,54	70		
D (18cm)	1	110,95	24,25	19	2,256 0,089	žiadne
	2	131,00	31,71	19		
	3	130,71	36,30	21		
	4	113,20	34,37	20		
	spolu	121,59	32,91	79		
E (20cm)	1	145,42	32,97	19	3,476* 0,0194	2-3*,2-4*
	2	132,52	40,56	25		
	3	161,57	39,36	23		
	4	160,83	34,69	23		
	spolu	149,90	37,87	90		
F (22cm)	1	161,64	31,96	25	0,108 0,955	žiadne
	2	164,48	43,82	25		
	3	164,95	34,41	22		
	4	159,00	51,25	25		
	spolu	162,44	40,70	97		
G (24cm)	1	149,08	43,36	24	1,858 0,142	žiadne
	2	134,80	39,20	25		
	3	144,77	31,47	22		
	4	159,43	30,12	23		
	spolu	146,81	37,15	94		

4 Zhrnutie

Vykonaný pokus a jeho zhodnotenie potvrdilo, že spon výsadby odrezkov skúšaných topoľových druhov vplýva pomerne slabo na výškový rast sadeníc, len 11% zo všetkých hodnotených diferencií bolo signifikantných. Naproti tomu dĺžka odrezkov ovplyvňuje výšku sadeníc oveľa viac a to tým intenzívnejšie, čím sú odrezky dlhšie. S predĺžením odrezku o 1 cm sa výška sadeníc zväčší v priemere o 2,5 až 5 cm. Najúspešnejšie ujetie odrezkov a prežitie sadeníc vykázali druhy pri väčšej dĺžke odrezkov (20 až 24 cm), a to takmer rovnako pri všetkých uvažovaných sponoch výsadby.

Pri celkovom zhodnotení výškového rastu aj úspešnosti ujatia a prežitia sadeníc možno pre skúmané klony urobiť nasledovné poradie (od najlepšieho k najhoršiemu): *P. alba*, *P. x canescens* a *P. nigra* L. Zároveň sa ukázalo, že pri všetkých klonoch je v lesných škôlkach veľmi dôležité zabezpečiť dobrý zdravotný stav sadeníc a realizovať účinné ochranné opatrenia proti škodlivým činiteľom. Tieto poznatky aj napriek obmedzenému rozšahu pokusu majú všeobecnú platnosť, pretože boli odvodené použitím objektívnych štatistických metód, ktoré vylúčili nepodstatné vplyvy náhodných faktorov na celkový výsledok. Pomerne dobre korešpondujú s doteraz známymi poznatkami a praktickými skúsenosťami a obohacujú ich o nové údaje pre tri overované druhy v domácich podmienkach na Slovensku. Sú využiteľné v oblasti vedy, ako aj v prevádzkovej praxi.

Literatúra

ŠMELKO, Š., WENK, G., ANTANAITIS, V., 1992: Rast, štruktúra a produkcia lesa. Príroda, Bratislava, 342 s.

Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2023
(<https://www.mpsr.sk/zelena-sprava-2023/123---19005/>)

PodĎakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Kľúčové slová

Topoľ čierny, topoľ biely, topoľ sivý, sadenice, ujatosť, dĺžka odrezku

Kontaktné adresy (autorov)

Martin Bartko, Juraj Piecka, Marián Nagy, Štefan Miklós
Výskumná stanica Gabčíkovo
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
Parková cesta 557/11
930 05 Gabčíkovo, Slovak Republic
martin.bartko@nlcsk.org

EXPERIMENTÁLNE HODNOTENIE REDUKCIE FYTOPATOGENOV V MALÝCH HROMADÁCH LESNÝCH ŠTIEPOK

Miloš Gejdoš, Martin Lieskovský

1 Úvod

Produkcia fytopatogénov pri skladovaní biomasy vo väčších objemoch predstavujú závažné respiračné zdravotné ohrozenie pre ľudí a môžu spôsobovať celý rad ochorení, ktoré môžu mať za následok vývoj chorôb z povolania alebo aj smrť (Barontini et al. 2014; Noll, Jirjis, 2012; Yassin, Almouquatea, 2010; Thörnquist, Lundström, 1982; Schweier et al. 2016).

Kým existencia týchto rizík a ich identifikácia je vedecky dokázaná, stále je pomerne málo prác, ktoré ich presne kvantifikujú a stanovujú limity zdravotného ohrozenia a prípadný návrh opatrení pre ich minimalizáciu (Suchomel et al. 2014; Samson et al. 2011). Väčšina druhov fytopatogénov vyskytujúcich sa pri skladovaní biomasy má indikovaný aj vplyv na vývoj alergických ochorení (Nariadenie vlády č. 333/2020). Legislatívne však nie sú jednoznačne stanovené dovoľené hodnoty a úrovne expozície týmito škodlivým faktorom. Z ochranných opatrení vo vonkajšom prostredí pre priemyselné procesy je predpísaný len ochranný odev pracovníkov a s materiálom sa má manipulovať, tak aby sa minimalizovalo riziko uvoľňovania do ovzdušia. Prevádzková prax dokazuje, že v prípade priemyselných prevádzok so skladovaním biomasy sa ani tieto jednoduché ochranné opatrenia väčšinou nedodržiavajú. Taktiež nie sú stanovené ani limity vzdialeností umiestnenia takýchto prevádzok od ľudských obydlií, čo môže v prípade teplární mestského typu v intravilánoch miest a obcí predstavovať zdravotné riziko pre ich obyvateľov.

Cieľom príspevku je popísať princíp založenia a priebehu experimentálneho založenia hromád lesných štiepok s cieľom overiť možnosti minimalizácie produkcie spór fytopatogénov v takýchto hromadách, ako aj odskúšanie nových mobilných technológií pre stanovovanie objemu takýchto hromád.

2 Založenie experimentálnych hromád lesných štiepok

Pre založenie experimentálnych hromád lesných štiepok bola zvolená drevina buk lesný (*Fagus sylvatica*) v sortimente vlákninového dreva. Drevná surovina pochádzala z rovnakej lokality Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene. Experiment bol založený v lokalite CE LignoSilva. Drevo bolo v lesných porastoch vyťažené v priebehu mája 2024. Celkovo bol zhromaždený objem vlákninového dreva 50 m³ (obrázok 1).

Pripravená drevná hmota bola následne zoštiepkovaná (taktiež v máji 2024) mobilným štiepkovačom BIBER 84 a rovnomerne distribuovaná na 4 hromady v tvare ihlana s podstavou 4x4 metre a s výškou 2 metre. Počas štiepkovania boli do hromád aplikované viaceré typy prírodných aj na chemickej báze založených fungicídnych prípravkov. Konkrétne do hromady č. 1 bol postrekom aplikovaný prostriedok Lignofix. Je to prípravok primárne určený na preventívnu povrchovú ochranu dreva v interiéroch a exteriéroch proti drevokazným hubám, plesniam a drevokaznému hmyzu. Do hromady č. 2 bol rovnako postrekom vo viacerých vrstvách hromady aplikovaný tálový olej, ktorý patrí k prírodným organickým fungicidom. Je vedľajším produktom pri sulfátovom procese výroby buničín. Obsahuje 40-60 % mastných kyselín, 40-55 % živícných kyselín a 5-10 % neutrálnych látok.

Pre ochranu dreva voči hubám sú vhodné iba rafinované tálové oleje zbavené mastných kyselín a obohatené o živичné kyseliny (Reinprecht, 2008). Do hromady č. 3 bol posypom vo viacerých výškových úrovniach aplikovaný hydroxid vápenatý $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ktorý už bol testovaný na takéto využitie (Dumfort et al. 2023).



Obrázok 1. Bukové vlákňinové drevo pripravené na štiepkovanie a založenie experimentu.

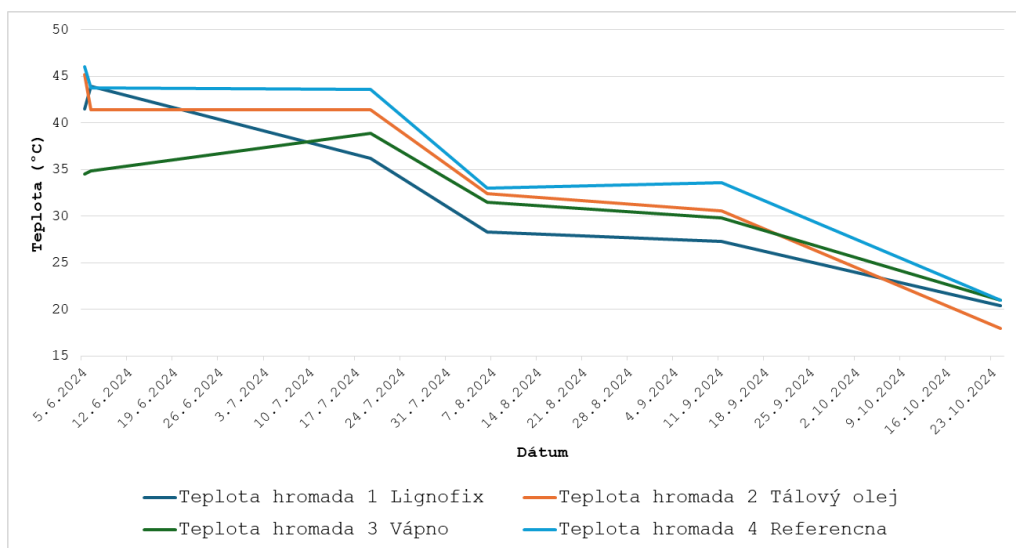
Hromada č. 4 bola ponechaná ako referenčná bez aplikácie fungicídneho prípravku. V malej časti bol aplikovaný retardér HR PROF ako antipyretikum pre výskum jeho vplyvu na chemické a energetické vlastnosti štiepok, ktoré sú ním upravené. Na obrázku 2 sú experimentálne hromady lesných štiepok s aplikovanými fungicídmi prípravkami.



Obrázok 2. Založené experimentálne hromady s aplikovanými fungicídnymi prostriedkami (1-Lignofix, 2 – Tálový olej, 3 – Vápno, 4 – Bez aplikácie v malej časti s retardérom HR PROF)

V experimentálnych hromadách je približne v mesačných intervaloch monitorovaný vývoj vnútornej teploty. Doposiaľ namerané hodnoty za 5 mesiacov tohto roka sú znázornené na obrázku 3. Vývoj teplôt zatiaľ neindikuje žiadne znaky samozahrievania v rámci prirodzených biologických procesov vo vnútri skladovaných hromád. Najvyššie teploty doposiaľ vykazuje hromada, ktorá je referenčná a nebol do nej aplikovaný žiadny chemický prípravok.

S poklesom atmosférických teplôt, postupne klesajú aj teploty v rámci jednotlivých hromád. Teploty sú merané certifikovaným teplomerom v hĺbke 1 meter od povrchu hromady.



Obrázok 3. Vývoj teplôt v experimentálnych hromadách v priebehu mesiacov júl – október 2024.

Prvotné vzorky na analýzu fytopatogénov po približne pol ročnom skladovaní boli odobraté v októbri 2024. Vzorky boli odoslané do akreditovaného laboratória Regionálneho úradu verejného zdravotníctva so sídlom v Poprade. Ďalej budú vzorky odobierané približne v ďalších polročných intervaloch až do konca experimentu, ktorý by mal trvať dva roky. Každý odber bude hodnotený z hľadiska identifikácie jednotlivých druhov patogénov a ich početností v jednotkách KTJ.m⁻³ (Kolónie tvoriace jednotku na meter kubický). Overené tak budú vlastnosti a účinnosť jednotlivých prípravkov z hľadiska fungicídneho účinku, ako aj vplyv na energetické vlastnosti biomasy.



Obrázok 4. Inštalovaná meteostanica v blízkosti experimentálnych hromád pre dlhodobý monitoring atmosférických podmienok.

Z hľadiska monitoringu výskytu a množstva fytopatogénov je tiež dôležité monitorovať atmosférické podmienky. Za týmto účelom bola v blízkosti hromád inštalovaná meteostanica (obrázok 4), ktorá zaznamenáva atmosférickú teplotu vo výške 2 metre nad zemským povrchom, relatívnu vlhkosť vzduchu a taktiež množstvo zrážok. Údaje sa zaznamenávajú každých 10 minút.

3 Určovanie objemu hromád mobilnými zariadeniami

Ako smart riešenia pre laserové skenovanie lesnej biomasy boli pre účely skenovania hromád zvolené: Laserový ručný skener Stonex Geoslam X120 GO (Obrázok 5) a iPhone 14 Pro Max s LiDAR senzorom. Pre účely spracovania dát bodového mračna laserového skenu boli použité softwéry CloudCompare a GOpot. Pre spracovanie skenovaných dát z iPhonu bola použitá aplikácia 3d Scanner App, ktorá je bezplatná.



Obrázok 5. Laserové pozemné skenovanie experimentálnych hromád ručným laserovým skenerom Stonex Geoslam X120 GO,

Z výsledkov je zrejmé, že analýza prostredníctvom oboch metód priniesla takmer totožné výsledky. Výsledok výrazne ovplyvňuje aj použitý prepočítavací koeficient.

Doposiaľ získané výsledky tiež preukázali, že v prípade použitia detekcie a kalkulácie výpočtu objemu pre malé hromady lesných štiepok, ponúkajú mobilné aplikácie a senzor LiDAR integrovaný v mobilných telefónoch pomerne presné a uspokojivé výsledky, ktoré je možné využiť z hľadiska lesníckej prevádzky. Tento prístup a metodické riešenie je možné využiť najmä pri inventarizácii skladových zásob menších objemov lesnej biomasy. V ďalšom výskume je plánované zalietat' skladované hromady aj prostredníctvom dronu a určiť ich objem na základe fotogrametrických metód.

Spracovanie získaných dát zo skenovania tiež vyžaduje určitú skúsenosť používateľa v rámci jednotlivých technologických a aplikačných riešení.

Výhodou je, že na hromadách je známy presný objem dreva. Výsledky tiež ovplyvňuje čiastočné rozptýlenie časti drevnej biomasy do okolitého prostredia (nenachádza sa kompaktné výlučne len na hromadách).

Na základe analýzy dostupných prác a aj našich výsledkov je možné konštatovať, že pre využitie akejkoľvek metódy pre určovanie objemu lesných štiepok je rozhodujúca jej presnosť, rýchlosť a náročnosť na obsluhu ako aj cena potrebného vybavenia.

4 Záver

Experimenty založené v areáli Centra excelentnosti LignoSilva Národného lesníckeho centra majú dlhodobý charakter. Experimenty budú prebiehať viac ako dva roky a výsledky môžu priniesť nové pohľady na manažment rizík pri dlhodobom skladovaní biomasy vo forme maloobjemových hromád. V prípade, že výsledky preukážu, že aplikácia organických fungicídnych prípravkov má významný vplyv na množstvo a šírenie existujúcich fytopatogénov mala by nasledovať ďalšia projektová fáza, ktorá bude riešiť možnosti využitia takto upravenej biomasy v zmysle platnej legislatívy, ako aj zmeny chemického zloženia a vplyv na proces energetického využitia (zloženie a množstvo exhalátov, zdravotná škodlivosť, energetické parametre v procese spaľovania atď.).

Moderné spôsoby určovania objemu lesných štiepok zatiaľ nenašli v praxi výraznejšie uplatnenie práve pre vysoké obstarávacie náklady na technológiu alebo značné nároky na obsluhu prípadne vyhodnotenie v rámci aplikačných softvérových riešení. Náš výskum sa zameriava na hodnotenie metód, ktoré sú ekonomicky dostupné a užívateľsky pomerne nenáročné. Preukázalo sa, že ponúkajú pomerne uspokojivo presné výsledky v reálnom čase.

Podakovanie

Príspevok vznikol na základe výsledkov výskumu riešeného v projektoch: APVV 22-0001 Optimalizácia hlavných zdravotných a bezpečnostných rizík pri využívaní lesnej biomasy na energetické účely; KEGA č. 004TU Z-4/2023 Inovatívne metódy hodnotenia kvalitatívneho potenciálu lesných porastov.

Literatúra

- BARONTINI, M., CROGNALE, S., SCARFONE, A., GALLO, P., GALLUCCI, F., PETRUCCIOLI, M., PASCIAROLI, L., PARI, L. 2014. Airborne fungi in biofuel wood chip storage sites. *Int. Biodeter. Biodegr.* 2014, 90, 17-22. doi: 10.1016/j.ibiod.2013.12.020.
- DUMFORT, S., LENZ, H., ASCHER-JENULL, J., LONGA, C.M.O., ZÖHRER, J., INSAM, H., PECENKA, R. 2023. The effect of calcium hydroxide on the storage behaviour of poplar wood chips in open-air piles. *Biomass and Bioenergy* 2023, 177, 106945. doi: 10.1016/j.biombioe.2023.106945.
- NARIADENIE VLÁDY Č. 333/2020: *O ochrane zdravia zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou biologickým faktorom pri práci*. 2020. Vláda Slovenskej republiky, Bratislava Slovakia.
- NOLL, M.; JIRJIS, R. 2012. Microbial communities in largescale wood piles and their effects on wood quality and the environment. *Appl. Microbiol. Biot.* 2012, 95, 551-563. doi: 10.1007/s00253-012-4164-3.
- REINPRECHT, L. 2008. *Ochrana dreva*. Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 978-80-228-1863-6. 453 s.

SAMSON, R.A., HOUBRAKEN, J., SUMMERBELL, R.C., FLANNIGAN, B., MILLER, J.D. 2011. Common and Important Species of Fungi and Actinomycetes in Indoor Environments. *Microorganisms in Home and Indoor Work Environments*, 2nd ed.; Flannigan, B., Samson, R.A., Miller, J.D., Eds.; CRC Press: New York, NY, USA, 2011; pp. 287–292.

SCHWEIER, J., SCHNITZLER, J.P., BECKER, G. 2016. Selected environmental impacts of the technical production of wood chips from poplar short rotation coppice on marginal land. *Biomass Bioenerg.* 2016, 85, 235–242.

SUCHOMEL, J., BELANOVÁ, K., GEJDOŠ, M., NĚMEC, M., DANIHELOVÁ, A., MAŠKOVÁ, Z. 2014. Analysis of fungi in wood chip storage piles. *Bioresources* 2014, 9, 4410–4420.

THÖRNQUIST, T.; LUNDSTRÖM, H. 1982. Health hazards caused by fungi in stored wood chips. *Forest Prod. J.* 1982, 32, 29–32.

YASSIN, M.F., ALMOUQATEA, S. 2010. Assessment of airborne bacteria and fungi in an indoor and outdoor environment. *Int. J. En-viron. Sci. Te.* 2010, 7(3), 535-544. doi: 10.1007/BF03326162.

Zhrnutie

Experimental Evaluation of the Reduction of Phytopathogens in Small Piles of Forest Wood Chips. The paper describes experiments conducted at the Center of Excellence LignoSilva, National Forestry Center. The aim of the experiments is to analyze the presence and spread of phytopathogens during the storage of wood chips. Four experimental piles, totaling 50 m³ of beech fiber wood, were established. Organic fungicide treatments were applied to three of the piles, while the fourth pile was left untreated as a control, including a section where a flame retardant was tested. Temperature is continuously monitored in the piles, along with atmospheric conditions. Additionally, modern laser-scanning technologies for determining the volume of stored biomass are being tested. A handheld mobile scanner and a LiDAR sensor integrated into a mobile phone were selected to assess the accuracy of volume measurements. The conversion coefficient from loose cubic meters to solid wood cubic meters proved to be a key factor.

Kľúčové slová

Wood Chips, Phytopathogens, Health risks, Occupational diseases, Chemical agents, Biomass storage

Kontaktné adresy

doc. Ing. Miloš Gejdoš, PhD.; doc. Ing. Martin Lieskovský, 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; lieskovsky@tuzvo.sk

SKRACOVANIE HORÚCEHO LISOVANIA KOMPOZITOV NA BÁZE DREVA IMPLEMENTÁCIOU INVERZNÉHO PROCESU CHLADENIA

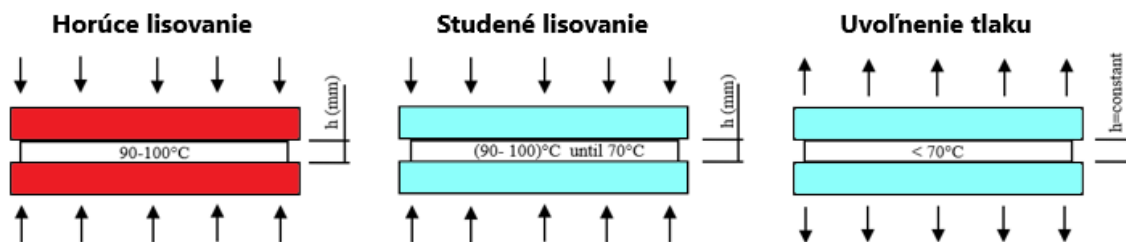
Vladimír Ihnát, Henrich Lübke

1 Úvod

Navrhovaná technológia výroby kompozitov na báze dreva technológiou studeného dolisovania po horúcom stlačení koberca podľa PCT/SK2023/000007 umožňuje použitie lepidiel na báze polyvinylacetátu (PVAc) aj močovino-formaldehydových (UF) a aj ich vzájomnú kombináciu. Technológia umožňuje použitie recyklovaného materiálu (Lübke a kol. 2020, Ihnát a spol. 2017, 2018, 2020). Technológia využíva známe tepelné vlastnosti lignín-sacharidického komplexu, kedy sa lignín ohrevom plastifikuje (Bouajila et al. 2006), pričom tento proces je reverzibilný. Výhodou novej technológie je, že skrátením až odstránením horúceho lisovania v kontinuálnom lise sa výrazne obmedzí spotreba energie oproti známym technológiám (Thoemen a Humphrey 2003).

2 Proces studeného lisovania po horúcom stlačení koberca (PCT/SK2023/000007, ÚPV SR, 13. 6. 2023)

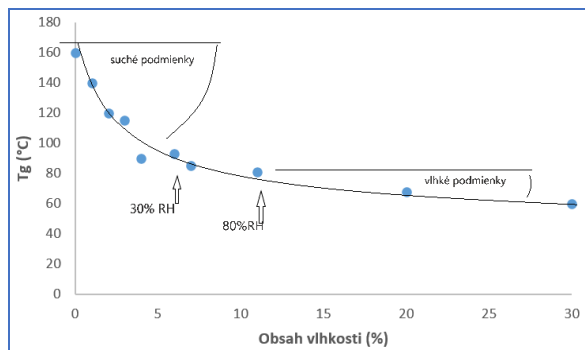
Triesky, respektíve vlákno, s naneseným lepidlom sa stlačia na požadovanú hrúbku. Podľa PCT/SK2023/000007 sa trieskový, respektíve vláknitý koberec, lisuje za horúca dovtedy, kým sa v strede prierezu koberca dosiahne teplota v rozsahu 90 – 100°C. Po dosiahnutí požadovanej teploty sa doska lisuje za studena, čím sa intenzívne chladí. Proces chladenia končí pod teplotou 70°C a doska sa uvoľní spod lisovacieho tlaku. Doska už neodpružuje, jej hrúbka ostáva konštantná aj po uvoľnení lisovacieho tlaku, napriek tomu, že lepidlo ešte nemusí byť vytvrdnuté. Schéma diskontinuálneho procesu studeného lisovania po horúcom stlačení koberca je znázornená na obr. 1.



Obrázok 1. Schéma procesu prípravy DTD studeným lisovaním po horúcom stlačení koberca (PCT/SK2023/000007 (ÚPV SR, 13. 6. 2023).

Podstata vynálezu spočíva vo využití vlastností komplexu lignín-celulóza, ktorý v lignocelulóзовých materiáloch, ako sú drevo, slama, cukrová trstina a podobne, pod vplyvom zvýšenej teploty a vody mäkne (Ihnát et al. 2015). Stupeň plastifikácie sa zvyšuje prekonaním skelného prechodu s postupným rastom teploty (Bouajila a spol. 2006). Podstata navrhovanej technológie spočíva v spojení procesu plastifikácie dreva s opačným procesom, procesom jeho tvrdnutia chladením do jedného technologického celku. Chladením je možné zmäknutý zalisovaný koberec stabilizovať tak, že po uvoľnení lisovacieho tlaku nedochádza k odpruženiu drevných častíc a doska má stabilnú hrúbku aj tvar. Táto skutočnosť umožňuje

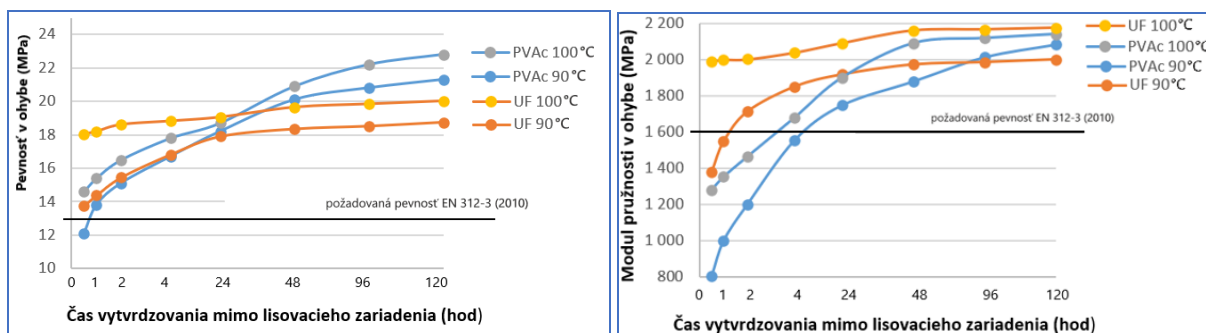
vyrobiť dosku, ktorej lepidlo nemusí vytvrdnúť v priebehu lisovania, môže tvrdnúť postupne v priebehu dlhšieho časového úseku v závislosti na ďalších technologických požiadavkách. Mechanizmus plastifikácie lignínu je úplne odlišný v suchých a vlhkých podmienkach (obr. 2). Zmenu mechanizmu možno definovať z hodnoty teploty skelného prechodu (T_g) v bode nasýtenia, ktorý sa nachádza okolo 100°C (Bouajila a spol. 2006).



Obrázok 2. Závislosť teploty skelného prechodu (T_g) od obsahu vlhkosti lignocelulózového materiálu podľa Bouajila a spol. 2006.

3 Proces vytvrdzovania lepidiel mimo lisovacieho tlaku

Po vybratí pripravených kompozitov zo studeného lisu pri teplote nižšej ako 70°C už nenastalo odpruženie, ktoré by mohlo zapríčiniť zhoršenie ich vlastností. Pripravené kompozity neodpružujú a sú schopné okamžitej manipulácie s nimi. Z uvedeného vyplýva, že nie je nutné vytvrdnutie lepidla počas lisovania v horúcom lise, ako sa to deje pri súčasnej technológii výroby s použitím lepidiel na báze UF. Kinetika vytvrdzovania PVAc lepidla, ale aj UF lepidla, sa dá popísať nepriamo sledovaním pevnosti v ohybe (obr. 3) a modulu pružnosti v ohybe (obr. 4), stanovených podľa EN 310 (1993), v závislosti na čase po uvoľnení lisovacieho tlaku. Po vytvrdnutí lepidiel sú dosky pripravené na použitie a dosiahnuté mechanické vlastnosti sú v súlade s požiadavkami EN 312-3 (2010) pre trieskové dosky na vnútorné zariadenie, vrátane nábytku, na použitie v suchom prostredí.



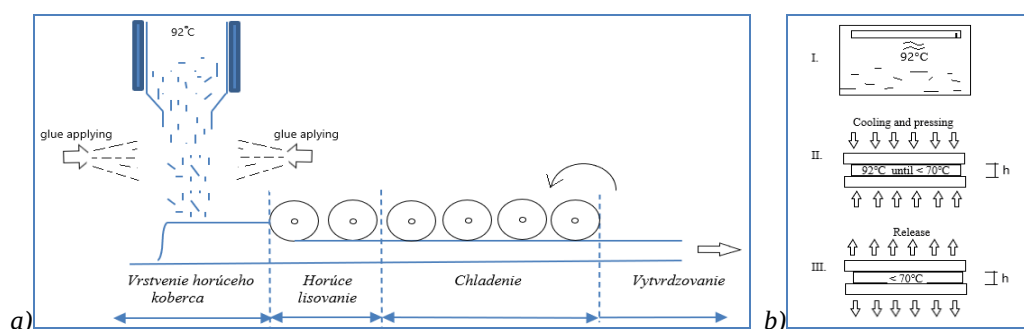
Obrázok 3. Vývoj pevnosti v ohybe (a) a modulu pružnosti v ohybe (b) v závislosti na čase vytvrdzovania kompozitov mimo lisovacieho zariadenia.

Na obr. 3 sú porovnané mechanické pevnosti tak pre PVAc ako aj UF lepidlo pri dvoch teplotách dosiahnutých v strede lisovaného koberca v teplom lise. Pri týchto teplotách (90°C a 100°C) sa pri doskách začalo s procesom chladenia pod teplotu 70°C. Pri PVAc lepidle, keď sa koberec triesok zohrial na 100°C, už 0.5 h po vybratí zo studeného lisu dosiahla pevnosť v ohybe 14.6 N/mm², čo prevyšuje požadované normové hodnoty.

Modul pružnosti dosahuje požadované hodnoty po 4 h. V prípade, keď sa koberec triesok zohrial len na 90°C normou, požadované hodnoty pre pevnosť v ohybe boli dosiahnuté po 1 h po vyľisovaní (15.4 N/mm²) a modulu pružnosti opäť v rozmedzí 4 až 24 h. Pri UF lepidlách je zrejmé, že vlastností kompozitov už 0.5 h po vybratí z lisu sa približujú úrovni aké dosahujú po 24 h vytvrdzovania, ak sa koberec triesok zohrial na 100°C. Tieto hodnoty vyhovujú požiadavkám normy STN EN 312-3. Keď sa koberec triesok ohrial na 90°C, normou požadované hodnoty pevnosti v ohybe sa dosiahli 0.5 hod po vybratí z lisu. Požadovaný modul pružnosti sa dosiahol 1 až 2 h po vybratí z lisu.

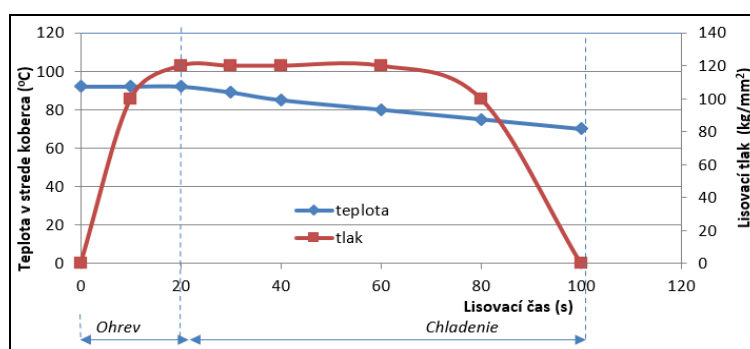
4 Simulácia kontinuálneho procesu studeného dolisovania po horúcom stlačení koberca

Oveľa väčší zmysel pre prax, oproti horeuvedenému modelu diskontinuálneho lisovania, má implementácia inverzného procesu chladenia do kontinuálneho lisovania. Na obr. 4 je znázornený model, kde triesky pred horúcim zalisovaním sú už nahriaté na požadovanú teplotu 92°C v mikrovlnnej alebo teplovzdušnej sušiarňi. Skracuje sa tým čas ohrevu a teoreticky tu stále existuje možnosť, že časť horúce lisovanie by takýmto spôsobom nebola potrebná a koberec po stlačení by sa hneď začal chladiť na teplotu pod 70°C.



Obrázok 4. a) Schéma modelu nanášania PVAc lepidla na horúce triesky s implementáciou kontinuálneho procesu studeného lisovania, b) laboratórna simulácia procesu (Lubke a Ihnát 2023).

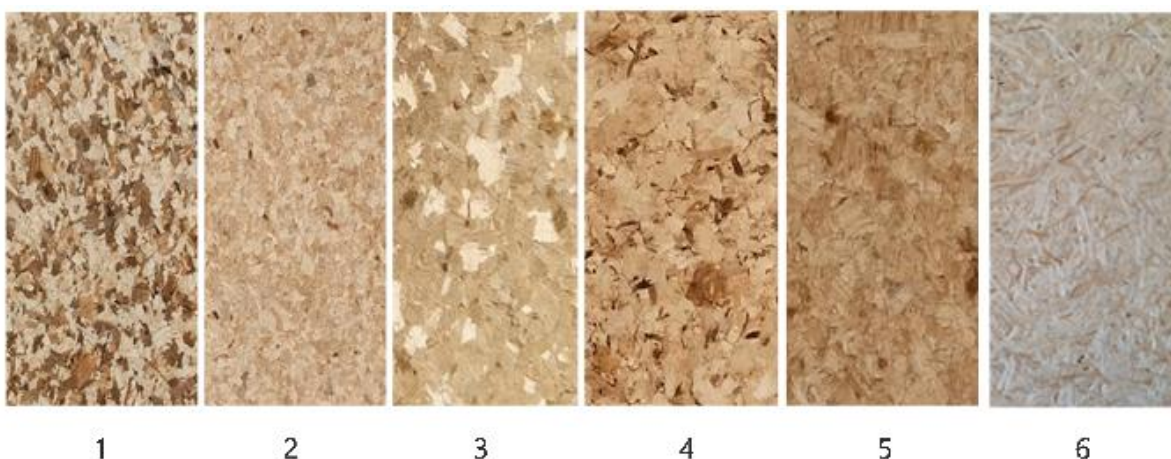
Táto laboratórna metóda simuluje kontinuálny proces prípravy kompozitu v prípade, že na padajúce horúce triesky vyhriate v sušiarňi na 92°C je rozprašovaním nanášané lepidlo (obr. 4a). Takto vytvorený trieskový koberec sa zalisuje pri teplote predlisu 92°C na požadovanú hrúbku. Po dosiahnutí požadovanej hrúbky sa koberec schladí v studenej časti lisu pod 70°C. V tomto prípade sa dosiahol čas uvoľnenia tlaku pod 100 s (obr. 5).



Obrázok 5. Teplotný a tlakový diagram prípravy kompozitu na báze PVAc z triesok zohriatých na teplotu 92°C v sušiarňi a následným chladením na 70°C (Lubke a Ihnát 2023).

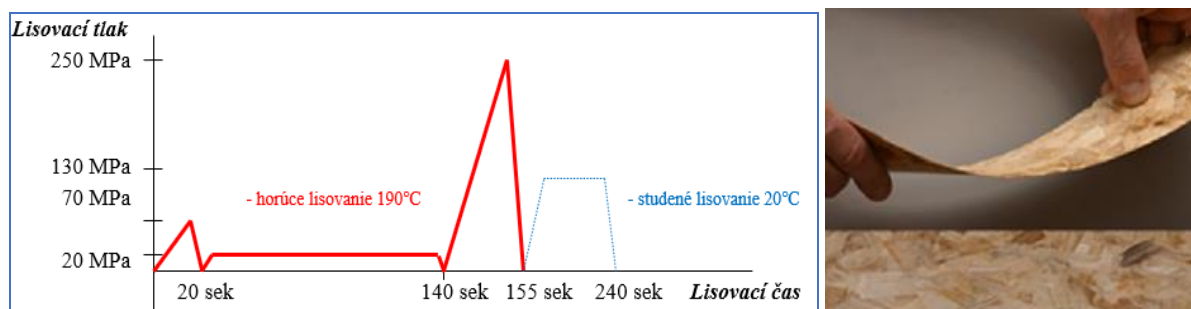
5 Alternatívne využitie inverzného procesu chladenia pri lisovaní kompozitov na báze dreva

Proces inverzného chladenia bol využitý pri lisovaní tenkých lignocelulózových linerov (LC) vyrobených z hoblín alebo drevitej vlny (obr. 6). Linery predstavujú menej hodnotnú alternatívu k tenkým dyhám z dreva vysokej kvality, z pohľadu obalových materiálov predstavuje alternatívu k hrubým linerom na báze polochemickej buničiny alebo z recyklovaného papiera (Ihnát a spol. 2023a,b).



Obrázok 6. (1) smrek – z hoblín tepelne upravených pri troch rôznych teplotách, (2) buk, (3) agát, (4) topoľ, (5) pajaseň a (6) drevitá vlna.

Pevnosť LC linerov je zabezpečená prídavkom 5 – 20 % PVaC alebo škrobového lepidla, pridávaného vo forme minimálne 30 % vodného roztoku. Obsah vody obsiahnutý v lepidlách je potrebný na rýchle vytvorenie pary pri teplote okolo 190 – 200°C. Pri plošnom lisovaní sa využíva viacstupňové stláčanie a uvoľňovanie tlaku spojené s vypúšťaním pary, ktorá môže spôsobiť napätostné defekty v priereze. Parný náraz rýchlo prehrieva tenký prierez, ktorý rýchlo mäkne a povrch lineru sa stáva hladší. Dotlačenie na tlak do 25 MPa zabezpečí vyššiu objemovú hmotnosť znížením hrúbky lineru na minimum a tým aj kompaktnosť lineru, liner sa nedrobí. Dotlačenie je krátkodobé, pretože horúci zmäknutý liner už neodpružuje a jeho vytvrdnutie prebieha pod tlakom 13 MPa v studenom lise (Lubke a Ihnát 2023). Lisovanie LC linerov sa uskutočnilo v lise s lisovacími platňami vyhriatými na 190°C. Lisovanie prebiehalo bez vymedzovacích podložiek. Lisovací cyklus je znázornený na obr. 7. Implementácia procesu chladenia výrazne skracuje celkovú dobu prípravu LC linerov. Po ukončení cyklu LC liner je pripravený na ďalšiu manipuláciu bez potreby klimatizácie.



Obrázok 7. Lisovací diagram prípravy LC linerov zo smrekových hoblín.

PodĎakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Literatúra

BOUAJILA, J., DOLE, P., JOLY, C., LIMARE, A. 2006: Some laws of a lignin plasticization. *Journal of Applied Polymer Science* 102: 1445 – 1451.

EN 310, 1993: Wood-based panels. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.

EN 312-3, 2010: Particleboards. Specifications.

IHNÁT, V., BORŮVKA, V., BABIAK, M., LÜBKE, H., SCHWARTZ, J. 2015: Straw pulp as a secondary lignocellulosic raw material and its impact on properties of insulating fiberboards. Part III. Preparation of insulated fiberboards from separately milled lignocellulosic raw materials. *Wood Research* 60(3): 441– 450.

IHNÁT, V., LUBKE, H. 2017: Waste agglomerated wood materials as a secondary raw material for chipboards and fibreboards. Part I: Preparation and characterization of wood chips in term of their reuse. *Wood Research* Vol.62(1). Pp.45 – 56.

IHNÁT, V., LÜBKE, H., RUSS, A., PAŽITNÝ, A., BORŮVKA, V. 2018: Waste agglomerated wood materials as a secondary raw material for chipboards and fibreboards. Part II: Preparation and characterization of wood fibers in term of their reuse. *Wood Research* 63(3): 431 – 442.

IHNAT, V., LÜBKE, H., BALBERČÁK, J., KUŇA, V. 2020: Size reduction downcycling of waste wood. Review. *Wood Research* 65: 205 – 220.

IHNÁT, V., BOHÁČEK, Š., KUŇA, V., BALBERČÁK, J., PAŽITNÝ, A., LÜBKE, H. 2023a: Hoblinová dyha. PUV 50021-2024 (ÚPV SR, 29. 2. 2024).

IHNÁT, V., BOHÁČEK, Š., KUŇA, V., BALBERČÁK, J., PAŽITNÝ, A., LÜBKE, H. 2023b: Dyha z drevitej vlňy. PUV 50052-2024 (ÚPV SR, 31. 5. 2024).

LÜBKE, H., IHNÁT, V., BOHÁČEK, Š., PAŽITNÝ, A. 2023: Method of production of wood agglomerated materials with reduced energy consumption. Pulp and Paper Research Institute in Bratislava. PCT/SK2023/000007 (ÚPV SR, 13. 6. 2023).

IHNÁT, V., LÜBKE, H., ČEREŠŇA, R., BALBERČÁK, J., KUŇA, V., PAŽITNÝ, A., BOHÁČEK, Š. 2024a: Thin lignocellulosic liners based of spruce shavings. *Wood Research* 69(1):120 – 131.

IHNÁT, V., LÜBKE, H., RUSS, A., BALBERČÁK, J., KUŇA, V., PAŽITNÝ, A., BOHÁČEK, Š. 2024b: Lignocellulosic liners based on wood wool. *Wood Research* 69(2):337 – 347.

LÜBKE, H., IHNAT, V. 2023. Technology of particleboard's preparation by cold pressing after hot mat compression. *Wood Research* 68(4), 704 – 717.

LÜBKE, H., IHNÁT, V., KUŇA, V., BALBERČÁK, J., 2020: A multi-stage cascade use of wood composite boards. *Wood Research* 65(5): 843 – 854.

THOEMEN, H., HUMPHREY, P.E. 2003: Modeling the continuous pressing process for wood-based composites. *Wood and Fiber Science* 35(3): 456 – 468.

Zhrnutie

Shorting the hot pressing of wood-based composites by implementing the inverse cooling process. The article describes the method of pressing wood-based composite materials using cooling after hot pressing of the mat according to PCT/SK2023/000007 (ÚPV SR, 13. 6. 2023). The process of pressing composites consists of heating the pressed cross-section of the board above 90°C and its subsequent cooling to a temperature below 70°C. In such a temperature regime, the pressed board is already stable and does not spring, which would lose its strength properties. The board can be released from the pressing pressure, even if the glue does not have to harden enough. Curing of the glue takes place over time, outside of the pressing device. The curing kinetics of the used adhesives is described indirectly by monitoring the evolution of the flexural strength and the flexural modulus as a function of time after the release of the pressing pressure. The mechanical properties of the composites prepared in this way are in accordance with the requirements of EN 312-3 (2010). The obtained results were applied to prepare a model for the implementation of the inverse cooling process in continuous pressing, where the chips were already preheated to a temperature of 92°C before hot pressing. An alternative use of the inverse cooling process in the pressing of thin lignocellulosic liners made from shavings or wood wool was presented at the end of the article.

Kľúčové slová

Lisovanie; kompozity na báze dreva; plastifikácia, studené lisovanie; horúce lisovanie.

Kontaktné adresy

Vladimír Ihnát, Henrich Lübke
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
úsek SDVÚ
Dúbravská cesta 14, Bratislava
841 04, Slovak Republic
ihnát@vupc.sk

INOVATÍVNE METÓDY V OBLASTI KVALITATÍVNEHO HODNOTENIA DREVA

Katarína Michajlová

1 Úvod

Pre lesné hospodárenie je dôležité určovanie hodnoty dreva, pretože predaj drevnej hmoty zabezpečuje veľkú časť príjmov lesného hospodárstva. Pri hodnotení dreva sú dôležité technické podmienky, ktorých hlavnými kritériami sú kvantitatívne a kvalitatívne parametre, medzi ktoré radíme napr. druh dreviny, hrúbka a dĺžka, hrčatosť, točitosť. Na správne kvalitatívne určenie výrezu a stanovenie účelu použitia je potrebné ohodnotiť aj negatívne znaky akosti – množstvo a rozsah znakov, chorôb a poškodení dreva, abnormalít, ktoré znehodnocujú drevo (GEJDOŠ, M. et al., 2009).

Spôsob hodnotenia jednotlivých negatívnych znakov akosti upravuje európska norma STN EN 1309-3, ktorá individuálne popisuje merania a hodnotenia týchto kvalitatívnych znakov dreva. Vzhľadom na potrebu zvyšovania vedomostí v tejto oblasti a uľahčenie zatried'ovania drevnej hmoty do jednotlivých kvalitatívnych tried, vznikajú nové moderné spôsoby hodnotenia týchto znakov (GEJDOŠ, M. et al., 2009).

Aby drevná hmota zabezpečila čo najväčšie výnosy lesnému hospodárstvu, je potrebné správne zatried'ovanie sortimentov surového dreva do kvalitatívnych tried. Keďže optické posúdenie kvality dreva podlieha subjektívnemu názoru jednotlivca, je vhodné investovať do moderných technológií na hodnotenie kvality dreva, ktoré znižujú subjektivitu a zvyšujú objektivnosť kvalitatívneho triedenia dreva.

Požiadavky trhu s drevom na kvalitu finálneho produktu sa neustále zvyšujú. Na prispôbenie sa týmto meniacim sa podmienkam boli zavedené nové prístupy v automatizácii a optimalizácii, založené na nedeštruktívnej analýze kvality dreva a jeho triedení. V posledných rokoch boli zavedené nové metódy na identifikáciu vnútorných vlastností dreva v každom kmeni. Najmä počítačová tomografia (CT) pomáha zabezpečiť, aby sa drevo použilo na najlepšie možné použitie a miesto určenia. Vďaka najnovším výdobytkom počítačového spracovania a analýzy obrazu umožňuje CT rýchle, presné a podrobné získavanie veľkého množstva informácií o vnútorných štruktúrach objektov (RAIS, A. et al., 2017).

2 Legislatívne prostredie v SR

„Kvalita dreva sa posudzuje vonkajšou obhliadkou surového kmeňa pri združených výrezoch alebo výrezu guľatiny podľa výskytu a rozsahu jednotlivých znakov. Technické podmienky pre zaradenie do jednotlivých tried kvality vyjadrujú hraničné hodnoty výskytu množstva a rozsahu prítomných znakov charakterizujúcich konkrétnu triedu kvality dreva (GREPPEL, E. et al., 2009).“

Znaky dreva rozdeľujeme na kvantitatívne a kvalitatívne. Medzi kvantitatívne znaky dreva patrí hrúbka, dĺžka a objem. Kvalitatívne znaky dreva, ktoré sú odchýlkou od normálnej farby, štruktúry alebo rastovej formy kmeňa, delíme na:

- znaky, ktoré vznikli počas rastu stromov (napr. hrče; trhliny – odlupčivé, stržňové; znaky tvaru kmeňa; nepravidelnosti štruktúry dreva),
- znaky zapríčinené abiotickými činiteľmi (napr. trhliny – mrazové, výsušné, spôsobené bleskom; zlomy a rozštiepenia – snehové vetrové; cudzie telesá; zuhoľnatenie; spálenie kôry),

- znaky zapríčinené biologickými činiteľmi (napr. poškodenie hmyzom; poškodenie vtáctvom; napadnutie hubami – hniloba, sfarbenie, rakovina, pleseň, zaparenie),
- výrobné chyby (napr. výrobná trhlina; zásek a zárez; oder kôry; lizina; nedorez, vytrhnuté vlákna a triesky; rozštiepenie) (GEJDOŠ, M. et al., 2009).

Povolené hodnoty kvalitatívnych znakov pre jednotlivé kvalitatívne triedy upravujú normy, pravidlá a technické podmienky. Závaznosť týchto noriem upravuje Zákon č. 264/1999 Z. z. o technických požiadavkách na výrobky a o posudzovaní zhody a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení 436/2001 Z. z. a 254/2003 Z. z., 505/2009 Z. z., ktorý rozlišuje medzinárodné, európske, slovenské technické normy a zahraničné normy. Legislatívne normy pre kvalitatívne triedenie surového dreva v SR sa delí na:

- normy, ktoré kvalitatívne triedia guľatinu, pri ktorej je známy účel použitia (STN 48 0055, STN 48 0056, STN 48 0059),
- normy, ktoré kvalitatívne triedia guľatinu, pri ktorej nie je známy účel použitia (STN EN 1316-1, STN EN 1316-2, STN EN 1927-1, STN EN 1927-2, STN EN 1927-3).

Spôsoby merania kvalitatívnych znakov upravujú tieto normy: STN EN 1309-1, STN EN 1309-2, STN EN 1309-3, STN 48 0024.

3 Spôsoby hodnotenia kvality dreva

„Komplexné hodnotenie kvality výrobkov je však v prípade sortimentov surového dreva pomerne náročným procesom, ktorý si vyžaduje značné odborné znalosti a určitú prax. Hodnotenie je možné vykonať len na základe komplexnej analýzy hodnotenia jednotlivých výrobkov, v rámci ucelených sortimentných skupín. Hodnotí sa nielen miera, ale aj vzájomné vzťahy jednotlivých vlastností výrobkov z hľadísk technicko – ekonomických a úžitkových pomocou poznatkov ďalších vedných odborov (SUCHOMEL, J. et al., 2009).“

Spolu s vývojom vedy a techniky dochádza aj k vývoju spôsobov merania a hodnotenia kvalitatívnych znakov dreva. Vnútorne znaky dreva ako sú hrče, praskliny a iné anomálie rastu stromov, často určujú ich konečnú hodnotu. Ak by boli tieto chyby známe pred porezom guľatiny, bolo by možné navrhnúť optimálnejší spôsob pílenia a tým dosiahnuť aj lepšie zhodnotenie dreva (BHANDARKAR, S.M., FAUST, T.D., TANG, M., 1999). Pracovníci vyrábajúci sortimenty surového dreva, nehodnotia všetky kvalitatívne znaky sortimentov, pretože je to práčne a časovo náročné. V dnešnej dobe už existuje dostatok moderných softvérových programov, ktoré dokážu dostatočne presne zhodnotiť kvalitatívne znaky. Jedným z týchto softvérových produktov je aj „ImageJ“, ktorý aktívne skúma digitálny obraz, pracuje s rozmermi na zdigitalizovanom obraze, na základe jedného skutočného rozmeru. Výsledky štúdie M. Gejdoša et al., 2019 ukazujú, že inovatívny spôsob hodnotenia kvalitatívnych znakov môže viesť k presnejšiemu hodnoteniu kvalitatívnych znakov a tým aj k optimalizácii hodnotenia sortimentu surového dreva. Veľké drevospracujúce prevádzky disponujú modernou technikou pre hodnotenie kvantitatívnych znakov. Z kvalitatívnych znakov dokážu analyzovať predovšetkým krivosť. Z tohto dôvodu kvalitatívne hodnotenie zostáva najmä na operátorovi. Táto vizuálna kontrola vonkajšieho povrchu má zjavné obmedzenia pretože mnohé vnútorné znaky nemožno priamo pozorovať (GAZO, R. et al., 2020). Preto je potrebné aby sa toto subjektívne hodnotenie minimalizovalo a zavádzali sa technológie umožňujúce hodnotiť viacero kvalitatívnych znakov jednotlivo alebo súbežne.

Rôzne znaky a anomálie v guľatine a vo výrezoch ako napríklad hniloba, trhliny, nepravé jadro, požerky, dutiny a iné, je možné určiť vizuálne z ich čiel, no objektívnejšie pomocou prístrojovej techniky (L. REINPRECHT, L., HRIVNÁK, J., 2012).

Existuje množstvo metód hodnotenia dreva, ktoré môžu byť rozdelené podľa stupňa zničenia hodnoteného materiálu na deštruktívne, semideštruktívne a nedeštruktívne, pracujúce na rôznych princípoch (ONDREJKA, V. et al., 2020).

3.1 Deštruktívne metódy hodnotenia kvality dreva

Deštruktívne metódy sú také, pri ktorých dochádza k fyzickému poškodeniu (narušeniu integrity) dreva. Ich podstata spočíva v zisťovaní vybraných fyzikálnych a mechanických vlastností podľa STN EN 408. K týmto metódam patrí napríklad ohybová skúška. Za dôležité parametre sa považujú: pevnosť v ohybe, modul pružnosti v ohybe, hustota dreva (ROHANOVÁ, A., VACEK, V., NUNEZ, E., 2013). Deštruktívnymi metódami sa zisťujú základné mechanické vlastnosti, medzi ktoré patrí: pevnosť, pružnosť, plasticnosť, húževnatosť.

3.2 Semideštruktívne metódy hodnotenia kvality dreva

Semideštruktívne metódy sú také, ktoré čiastočne narušajú drevinu, spôsobom, ktorý ju technicky neznehodnotí. Tieto metódy delíme na: odporové vŕtanie (Rezistograf), vpichové a penetračné metódy pri povrchových defektoch (Pilodyn) (L. REINPRECHT, L., HRIVNÁK, J., 2012). Semideštruktívne metódy poškodzujú drevo stromu len čiastočne bez ovplyvnenia jeho ďalšieho použitia. Používajú sa najmä na hodnotenie kvality dreva alebo historických strešných konštrukcií (ONDREJKA, V. et al., 2020).

3.3 Nedeštruktívne metódy hodnotenia kvality dreva

V súčasnosti prebieha celosvetový výskum a vývoj s cieľom preskúmať potenciálne využitie širokej škály technológií nedeštruktívneho testovania na hodnotenie dreva a drevovláknitých materiálov – od posudzovania stromov na pni až po stavby na mieste (BRASHAW, B.K., et al. 2009). Nedeštruktívne metódy sú také, pri ktorých nedochádza k technickému poškodeniu dreva. Kvalita danej drevinu sa následne určí pomocou nameraných hodnôt alebo vlastností charakteristických pre konkrétnu metódu. Tieto metódy môžeme rozdeliť na:

- ❖ elektrické (Vitamat, Dielektrik),
- ❖ ultrazvukové (Arbosonic, Pundit, Sylvatest),
- ❖ akustické 2D a 3D tomografie (Fakkop 2D, Arbotom 2D a 3D, Arbosonic 3D,
- ❖ rádiografické (mobilná alebo stacionárna CT počítačová tomografia, X-lúčová a neutrónová rádiografia) (L. REINPRECHT, L., HRIVNÁK, J., 2012).

3.3.1 Akustické a ultrazvukové metódy

Akustické metódy patria medzi najstaršie metódy hodnotenia vlastností dreva. Akustické, elastické vlny prechádzajú a šíria sa materiálom, generované prudkým uvoľnením energie. Zdrojom je akustický impulz, ako napr. úder kladiva alebo vybudený akustický signál (zvuk). Preto sa najčastejšie na hodnotenie používa zaznamenávanie rýchlosti akustických vln v dreve (ONDREJKA, V. et al., 2020).

Ďalšou nedeštruktívnou akustickou metódou je ultrazvukové meranie. Ultrazvuk je mechanické vlnenie s frekvenciou všeobecne vyššou ako 20 kHz. Diagnostické prístroje pracujú s frekvenciami v rozsahu od 20 kHz do 500 kHz. Počas merania sa generujú ultrazvukové vlny k objektu a následne sa merajú prenášané vlny, aby sa identifikovali prenosové vlastnosti dreva (ÖSTERBERG, P., 2009).

Vývoj akustických zariadení na hodnotenie stojacich stromov otvoril cestu k hodnoteniu vlastností dreva stromov pred ich ťažbou. To uľahčuje riadenie, plánovanie ťažby a spracovania dreva spôsobom, ktorý maximalizuje hodnotu získanú zo zdroja. V posledných desaťročiach sa akustické technológie stali v drevospracujúcom priemysle osvedčenými zariadeniami na hodnotenie dreva. Stali sa široko akceptovaným nástrojom pre kontrolu kvality a klasifikáciu produktov, ale aj pre šľachtiteľský výskum, kde sa využívajú na hodnotenie mladých stromčekov. Väčšina akustických zariadení, ktoré vyhodnocujú vlastnosti stromov sú modelované pre radiálne meranie (kolmo na os kmeňa). Napríklad zariadenia: Arbor-Sonic 3D akustický tomograf, Hitman Resonance Tool, IML Impulse Hammer a firemné nástroje FAKOPP (Microsecond Timer, Resonance Log Grader, ArborElectroImpedance Tomograph) (ONDREJKA, V. et al., 2020).

Akustická tomografia využíva viacero snímačov (zvyčajne 8 až 32) na meranie času prenosu vlny napätia v rôznych smeroch. Vzďialenosť medzi snímačmi sa meria posuvným meradlom. Úderom kladiva do každého z bodov snímania záznamu sa generuje vlna, ktorú snímač zaznamenáva. Počítač zaznamenáva čas šírenia vlny napätia ku každému z ostatných bodov záznamu. Na základe vzdialenosti a údajov o dĺžke prenosu dokáže počítač vypočítať rýchlosť. Počítačový projekčný softvér využívajúci údaje o vlne napätia z týchto multibodových meraní vytvára obraz rozloženia relatívnej rýchlosti akustickej vlny v priereze, a obsahuje algoritmy pre rôzne druhy drevín (ROSS, R.J., 2015).

Akustický tomograf Arbotom (Obr. 1) je novým impulzným tomografom umožňujúcim reálny dvojrozmerný alebo trojrozmerný obraz na vnútorný stav kmeňov a koreňov stojacich stromov alebo guľatiny. Vďaka zvukovým impulzom dokáže odhaliť ukryté znaky, neviditeľné dutiny, praskliny alebo hnilobu a dokáže zobrazit' ich rozsah a veľkosť. Vychádza zo zistenia, že neporušené drevo vedie zvuk rýchlejšie ako poškodené drevo s defektmi (SIMON, J., et al., 2015).



Obrázok 1. Akustický tomograf Arbotom

Táto nedeštruktívna metóda stojace stromy nijako nepoškodzuje a umožňuje presnú lokalizáciu znakov v stojacich kmeňoch alebo guľatine. Táto metóda je relatívne rýchla (15 až 30 minút/1 strom), jednoduchá a aplikuje sa priamo na mieste. Vyhodnocovací softvér prehľadne zobrazuje dvojrozmerný obraz o vnútornom stave objektu. Okrem merania kvality dreva kmeňov, koreňov a guľatiny sa využíva na zisťovanie bezpečnosti stromov v mestách, parkoch či riečnych hrádzach (www.lambda.sk). Cena zariadenia sa pohybuje od 6 990 € bez DPH. Suma za zariadenie môže dosiahnuť hodnotu až 22 000 € v závislosti od počtu senzorov a rôznych doplnkov k zariadeniu (MICHAJLOVÁ, K., GEJDOŠ, M., 2021).

3.3.2 Röntgenové metódy

V druhej polovici 80. rokov boli röntgenové zobrazovacie metódy vo fáze výskumu. Metódy vyvinuté na použitie v medicíne boli prenesené do drevospracujúceho priemyslu (ÖSTERBERG, P., 2009). Počítačová tomografia bola vždy snom drevárskeho priemyslu. Už niekoľko rokov po uvedení do medicíny v roku 1972 sa uskutočnili prvé testy na vzorkách dreva. Zloženie dreva, hlavne uhlíkové reťazce, spôsobujú, že výsledky počítačovej tomografie sú veľmi podobné výsledkom získaným v medicíne pri analýze vnútorných štruktúr ľudského tela. Prvé testy na guľatine sa uskutočnili v Kalifornii v spoločnosti Imatron. Neskôr na Štátnej univerzite v Louisiane sa vykonalo niekoľko testov na tvrdej guľatine. Už pri prvotných testoch bolo zrejmé, že technológia má potenciál umožniť úplnú rekonštrukciu vnútorných detailov každého kmeňa počas piliarskeho spracovania, čím by sa otvorili nové možnosti triedenia, zhodnocovania a optimalizovania rezných plánov (GIUDICEANDREA, F., VICARIO, E., URSELLA, E., 2011). Od 90-tych rokov začali najmodernejšie pily používať statické röntgenové skenery na zisťovanie vnútorných vlastností guľatiny. (URSELLA, E., 2020).

Na preskúmanie potenciálu poznania vnútorných vlastností guľatiny bol vyvinutý špeciálny simulačný softvér pre proces pílenia (NORDMARK, U., 2005). Ďalšie práce o simuláciách sa zameriavali na celý reťazec spracovania dreva. Všetky tieto štúdie jasne naznačujú, že v tomto procese existuje veľký potenciál zlepšenia. Preukázalo sa, že podrobné informácie o vnútorných vlastnostiach piliarskej guľatiny umožňujú zvýšiť výťažnosť hodnoty o viac ako 10%, a to jednoduchým optimalizovaním polohy kmeňa pri pílení (GIUDICEANDREA, F., VICARIO, E., URSELLA, E., 2011).

Najznámejšími výrobcami medicínskych makro CT skenerov sú Siemens a GE Healthcare. Na trhu je niekoľko výrobcov mikro CT skenerov, ktoré sú určené pre menšie objekty, ktoré dokážu skenovať s vyšším rozlíšením. Sú to napríklad BRUKER (rad SkyScan), ZEISS (rad Xradia), Nikon (ModelXT H 225). Belgická univerzita v Gente (modely: EMCT, Hector, Herakles, Nanowood) tiež vyvinula svoje zariadenia na mikro CT skenovanie. Iné zariadenie určené najmä na hodnotenie dreva využíva röntgenové žiarenie v kombinácii s inými metódami (laser, skenovanie obrazu). Známymi výrobcami sú: WEINIG Gruppe (Model CombiScan), Innovativ Vision (Model WoodEye 5), Microtec (séria Goldeneye). Existuje len veľmi málo výrobcov priemyselných röntgenových skenerov určených na skenovanie guľatiny. Jedným z výrobcov je nemecký Jörg Elektronik so svojím modelom JORO-X s dvomi röntgenovými zdrojmi. Druhým je 3D laserový skener s multisenzorovými kamerami a röntgenovým skenerom umiestneným v dvoch polohách, vyrábaný spoločnosťou MICROTEC® (séria Logeye). Talianska spoločnosť MICROTEC® sa špecializuje na oblasť CT skenerov pre lesnícky a drevospracujúci sektor. Jeho CT záznamové zariadenie je jediné známe zariadenie na svete určené na 3D skenovanie guľatiny. Zariadenie skenuje a digitálne rekonštruje vnútorné vlastnosti guľatiny, čo umožňuje optimalizovať rezačný plán v reálnom

čase. Vyvinutý softvér optimalizuje rezací plán guľatiny pre dosiahnutie najvyššej možnej kvality finálneho produktu. Doteraz bolo na svete nainštalovaných 8 týchto zariadení (ONDREJKA, V., et al., 2020).

Microtec CT Log 360° CT RTG (Obr. 2) skenuje a digitálne rekonštruje vnútorné charakteristiky guľatiny. To umožňuje výber optimálneho riešenia rezania v reálnom čase. Skener poskytuje hladkú, kvalitnú a plnú 3D rekonštrukciu, preto veľkosť a umiestnenie vnútorných znakov dreva možno vidieť vo všetkých troch rozmeroch. Variabilné softvérové a hardvérové možnosti týchto skenerov predstavujú najlepšiu technológiu v oblasti detekcie znakov a hodnotenia surovín (GERGEL, T., et al., 2019).



Obrázok 2. CT skener Microtec

Odhaduje sa, že podrobné znalosti o prítomnosti, umiestnení a veľkosti vnútorných znakov pred prvým rezom do kmeňa, vedú k potenciálnemu zvýšeniu hodnoty dreva o 15 –18 %. Optimalizovaná produkcia reziva z tvrdého dreva by maximalizovala výslednú hodnotu listnatého reziva, umožnila by lepšie využitie listnatých kmeňov, znížila by zbytočné plytvanie, a tak zohrala významnú úlohu pri ochrane vyčerpávajúcich sa lesných zdrojov dreva na celom svete. Detekcia a zobrazenie znakov tvrdého dreva a počítačová simulácia kľúčových obrábacích operácií by pomohli piliarom a strojníkom rozhodnúť o optimálnej stratégii výroby reziva pre daný kmeň z tvrdého dreva. Tiež by sa dal využiť aj ako interaktívny tréningový nástroj pre začínajúcich piliarov a strojníkov, čím by si mohli precvičiť rôzne stratégie výroby reziva na virtuálnych kmeňoch pred prácou na skutočných kmeňoch. Termín kvalitatívny znak v drevárskom priemysle sa vzťahuje na akúkoľvek nepravidelnosť, nedokonalosť alebo odchýlku od normálnej kvality dreva, ktorá spôsobuje, že drevo je nevhodné alebo menej vhodné na špecifické použitie (BHANDARKAR, S.M., FAUST, T.D., TANG, M., 1999).

PodĎakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Literatúra

- BHANDARKAR, S.M., FAUST, T.D., TANG, M. 1999. *CATALOG: A system for detection and rendering of internal log defects using computer tomography*. Mach. Vis. Appl. 1999. 11, s. 171-190.
- BRASHAW, B. et al. 2009. Nondestructive Testing and Evaluation of Wood: A Worldwide Research Update. In: *Forest Products Journal*. 2009. Vol. 59. s. 7-14.
- GAZO, R. et al. 2020. A fast pith detection for computed tomography scanned hardwood logs. *Comput. Electron. Agric.* 2020. 170, 105107.
- GEJDOŠ, M. et al. 2009. *Meranie kvalitatívnych znakov guľatiny*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 56 s.
- GEJDOŠ, M. et al. 2019. Possibilities of image analysis for quality wood sorting. In *Central European Forestry Journal*, 2019. 1-5 s.
- GERGEL, T. et al., 2019. Computed tomography log scanning – high technology for forestry and forest based industry. In *Central European Forestry Journal*. 2019. s. 51-59.
- GIUDICEANDREA, F., URSELLA, E., VICARIO, E., 2011. A high speed CT scanner for the sawmill industry. In *Hungary*. 2011. Vol. 1.
- GREPPEL, E. et al. 2009. *Zhodnotenie drevnej hmoty a marketingové riadenie*. 1. vyd. Zvolen: Národné lesnícke centrum vo Zvolene, 2009. 146 s. ISBN 978-80-8093-094-3
- MICHAJLOVÁ, K., GEJDOŠ, M., 2021. Moderné spôsoby hodnotenia kvality dreva. In: *LH a DSP v podmienkach zelenej ekonomiky: zborník vedeckých prác*. 2021. s. 104-112. ISBN 978-80-228-3308-8
- NORDMARK, U., 2005. *Value Recovery and Production Control in the Forestry-Wood Chain using Simulation Technique*. Doctoral thesis. Skellefteå: Luleå University of Technology. ISSN: 1402-1544. ISRN: LTU-DT—05/21--SE
- ONDREJKA, V. et al. 2020. Innovative methods of non-destructive evaluation of log quality. In *Central European Forestry Journal*. 2020. s. 3-13.
- ÖSTERBERG, P., 2009. *Wood quality and geometry measurements based on cross section images*. Dissertation thesis. Tampere: Tampere University of Technology. Publication 807, 192 s.
- RAIS, A. et al. 2017. The use of the first industrial X-ray CT scanner increases the lumber recovery value: case study on visually strength-graded Douglas-fir timber. In: *Annals of Forest Science*. 2017. Vol. 74, No. 2. 74:1-9 s. ISSN 1289-4560
- REINPRECHT, L., HRIVNÁK, J. 2012. Ultrazvuková a výtaniu odporová defektoskopia ihličnatej a listnatej guľatiny. In *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*. 2012. 54(1), s. 43-54.
- ROHANOVÁ, A., VACEK, V., NUNEZ, E. 2013. Vlastnosti a triedenie konštrukčného smrekového dreva z prizmy. In *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*. 2013. 55(1), s. 27-39.
- ROSS, R. J., 2015. Nondestructive evaluation of wood: second edition. In: *General Technical Report FPL-GTR-238*. 2015. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 176 s. DOI: 10.2737/fpl-gtr-238
- SIMON, J. et al., 2015. Combining a growth-simulation model with acoustic-wood tomography as a decision-support tool for adaptive management and conservation of forest ecosystems. In *Ecological Informatics*. 2015. s. 309-312.
- STN 48 0055 *Kvalitatívne triedenie ihličnatej guľatiny*.
- STN 48 0056 *Kvalitatívne triedenie listnatej guľatiny*.
- STN 48 0057 *Sortimenty dreva. Ihličnaté štiepky a piliny*.
- STN 48 0058 *Sortimenty dreva. Listnaté štiepky a piliny*.
- STN 48 0059 *Sortimenty dreva. Drevo na výrobu hudobných nástrojov*.

STN 48 0204 *Surové drevo. Guľatina. Meranie chýb.*

STN EN 1309-1 *Guľatina a rezivo. Metóda merania rozmerov. Časť 1: Rezivo.*

STN EN 1309-2 *Guľatina a rezivo. Metóda merania rozmerov. Časť 2: Guľatina. Požiadavky na pravidlá merania a výpočet objemu.*

STN EN 1309-3 *Guľatina a rezivo. Metódy merania rozmerov. Časť 3: Znaky a biologické poškodenie.*

STN EN 1316-1 (48 0065) *Listnatá guľatina. Kvalitatívne triedenie. Časť 1: Dub a buk.*

STN EN 1316-2 (48 0065) *Listnatá guľatina. Kvalitatívne triedenie. Časť 2: Topoľ.*

STN EN 1927-1 (48 0066) *Kvalitatívne triedenie ihličnatej guľatiny. Časť 1: Smrek a jedle.*

STN EN 1927-2 (48 0066) *Kvalitatívne triedenie ihličnatej guľatiny. Časť 2: Borovice.*

STN EN 1927-3 (48 0066) *Kvalitatívne triedenie ihličnatej guľatiny. Časť 3: Smrekovce a dublasky.*

SUCHOMEL, J. et al. 2009. *Sortimentácia dreva a tovaroznalectvo v lesníctve*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 188 s.

URSELLA, E., 2020. *In-line industrial computed tomography applications and developments. Dissertation Thesis*. Università Ca' Foscari Venezia. 100 s.

Zákon 264/1999 Z.z. o technických požiadavkách na výrobky a o posudzovaní zhody a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

<<https://www.lambda.sk/produkt/rinntech-diagnostics-stromov-a-drevenych-stavieb> >

Zhrnutie

Innovative methods in the field of quality evaluation of wood. Paper deals with modern wood quality assessment methods, as the introduction of new wood quality assessment technologies, such as scanning and acoustic technologies, could have huge returns for wood processors. Wood quality assessment methods can be categorized into destructive, semi-destructive, and non-destructive methods. This paper focuses on non-destructive methods, which include the latest technologies such as acoustic impulse 2D/3D tomography, radiographic CT scanner, and the software product ImageJ. The implementation of modern wood quality assessment methods into the sawing process is a necessary step in improving wood valuation and, consequently, a better economic effect, in line with the progress of science and technology.

Kľúčové slová

Kvalita dreva, deštruktívne metódy, nedeštruktívne metódy, akustický impulzný 2D/3D tomograf, CT-skener, ImageJ.

Kontaktná adresa

Ing. Katarína Michajlová, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

Lesnícka fakulta

Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií

T.G. Masaryka 24

960 01 Zvolen, Slovenská republika

xmichajlova@is.tuzvo.sk

VPLYV ADITÍV NA ELASTICITU PAPIEROV

Juraj Krišta

1 Úvod

Elasticite papierov sa v súčasnosti venuje veľká pozornosť vzhľadom na tendenciu nahrádzať plasty v obalových aplikáciách. Za dôležitú sa považuje najmä pri vreciach a papierových taškách. Bežne sa roztlačnosť papiera pohybuje v rozmedzí od 1 – 4 %, v priečnom smere a 3 – 6 % v pozdĺžnom smere. (Vishtal&Retulainen, 2014). Roztlačnosť papiera podľa Setha (2005) závisí od 2 faktorov: vlastností vlákien a medzivláknových väzieb. Z hľadiska kontroly roztlačnosti papiera by sme však ako samostatný faktor mali zahrnúť aj štruktúru papierového pásu. Rovnako dôležité sú aj deformačné podmienky.

Väčšina aditív ovplyvňuje medzivláknové väzby vytváraním nových alebo modifikovaných rozhraní. Vysoká miera medzivláknových väzieb umožňuje rovnomernejšie rozloženie ťahových napätí efektívnejším využitím sily a deformačného potenciálu vlákien (Khakalo, 2017). Škrob je známou prísadou používanou na zvýšenie pevnosti za sucha. Jeho pridávanie buď za mokra alebo prostredníctvom povrchovej úpravy pozitívne ovplyvňuje nielen pevnosť, ale aj roztlačnosť papiera. Lindström et al. (1985), že prídavok kationového škrobu na mokrom konci (4,2 % do vlákien) zlepšuje roztlačnosť plneného (z 1,2 % na 2,1 %) aj neplneného (z 2,1 % na 3,2 %) papiera (Lindström et al., 2005). Povrchový prídavok škrobu tiež zlepšuje roztlačnosť približne o 1 % v prípade obmedzene sušeného papiera a približne o 4 % v prípade voľne sušeného papiera; v druhom prípade sa účinok pochádza zo zvýšeného zmraštenia papiera (Lipponen et al., 2005).

Mikrofibrilovaná celulóza (Klemm et al., 2011), kombinácia sulfátového jemného podielu a škrobu (Taipale et al., 2010) sa pridávali do papierovej suspenzie s cieľom zlepšiť pevnosť a roztlačnosť zvýšením RBA (relative bonded area – parameter vyjadrujúci schopnosť papiera odolať ťahovému porušeniu založený na rozptyle svetla) a zmršťovaním papiera pri sušení. Prídavkom styren-butadiénového kaučuku (30 mg/g) do sulfátovej buničiny sa zlepšilo predĺženie papiera z 1,8 % na 4 % (Alince, 1977). Prídavok kyseliny polymliečnej (PLA) do papiera v množstve 20 % je schopný zlepšiť predĺženie o 5 – 10 % a takýto papier tiež preukázal spracovateľnosť v procese 3D tvarovania (Svensson et al., 2013). Natieraním lepenky polyhydroxybutyrátom (20 % hm.) sa získal materiál s hodnotami deformácie pri pretrhnutí okolo 36 % (Cyras et al., 2009). Prídavok 7,3 mg/g karboxymetylcelulózy (CMC) do nemletej sulfátovej buničiny z mäkkého dreva nielen zaistil zvýšenú pevnosť, ale zlepšilo sa aj predĺženie papiera od 3,6 % do 5,8 % (Laine et al., 2002). Zmiešanie celulóзовých vlákien s poly (3-hydroxybutyrát-co-3-hydroxyvalerátom) (PHBV) viedlo k získaniu materiálu podobnému plasty s predĺžením až 5,2 % (Hameed et al., 2011). Povrchové nanášanie chitozánu na papier z recyklovaných vlákien malo pozitívne vplyv na predĺženie papiera. V závislosti od koncentrácie chitozánu došlo k zlepšeniu predĺženia z 1,33 % na 2,39 % v smere výroby a z 2,94 % na 4,18 % v priečnom smere (Bhardwaj et al., 2023).

Cieľom štúdie bolo zhodnotenie vplyvu prídavku polyvinylacetátových disperzií a kationického polyelektrolytu do papierenskej suspenzie a ich množstva na mechanické vlastnosti laboratórne pripravených hárkov s dôrazom na elasticitu (relatívne predĺženie).

1.1 Materiály a metódy

Na prípravu hárkov bola použitá buničina RM 8495 Northern Softwood Bleached Kraft Pulp (The Procter & Gamble Cellulose Company, Memphis, Tennessee, USA).

Na zvýšenie hodnôt elasticity (relatívneho predĺženia v %) sa použili výrobky od firmy Duslo, a.s. Šaľa: homopolymérne polyvinylacetátové disperzie Duvilax BD-30 a Duvilax BD-50/59 a kopolymérne disperzie akrylátu a vinylacetátu Duvilax KA-31 a Duvilax KA-31/35M, ktoré sa pridávali do papieroviny. Na zlepšenie adsorpcie vinylacetátových disperzií na buničinové vlákna bol použitý vodný roztok katioaktívneho polyméru Magnafloc LT 38 (2-propen-1-aminium, N,N-dimetyl-N-2-propenyl-chlorid) od firmy BASF Performance Product plc.

1.1.1 Mletie buničiny

200 g vzduchосуšej buničiny bolo namočených cez noc vo vode. Buničina sa následne rozvláknila v rozvlákňovači Estanit pri 50 000 ot./min. Celý objem rozvláknenej buničiny z rozvlákňovača bol prenesený do holandra a doplnený na 20 l. Holander bol následne zaťažený závaží o hmotnosti 7,6 kg. Buničina mlela až kým sa nedosiahol stupeň mletia 30/32°SR.

1.1.2 Formovanie hárkov

2 l suspenzie vláken (20 g a.s. vláken) boli odobraté z holandra a zriedené na 10 l. Do suspenzie sa pridali 4 g Magnaflocu LT 38 a suspenzia sa miešala do jeho úplného rozpustenia. Následne sa pridalo 50 g daného typu Duvilaxu a nechalo sa miešať cca 5 min. Zo suspenzie sa odmerným valcom odobral 1 liter (2 g a.s. vláken) na formovanie hárkov. Hárky sa formovali na ručnom laboratórnom hárkovači UEC-2005. Hárky boli následne odlisované v lise medzi plstami a potom sušené v sušiarňi medzi drôtenými roštami 4 h pri 30°C.

Následne sa skúmal vplyv množstva prídavku Magnaflocu LT 38 na pevnostné vlastnosti hárkov. Prídavky Magnaflocu LT 38 do suspenzie buničinových vláken boli 1,2,3 a 4 g. Hárky obsahujúce len Magnafloc LT 38 sa pripravili podobným spôsobom ako je uvedené vyššie.

Na základe výsledkov získaných vykonaním experimentov s typmi Duvilaxu bolo vykonané pokračovanie experimentu s cieľom znížiť množstvo aditív pridaných do papieroviny, pričom sa použili prídavky Duvilaxu KA-31/35M v množstve 35;12,5;6,25 a 3,13 g. Ku každému prídavku sa pridali 4 g Magnaflocu LT-38. Hárky sa pripravili podobným spôsobom ako je uvedené vyššie.

1.2 Výsledky a diskusia

1.2.1 Vplyv prídavku vinylacetátových disperzií na pevnostné vlastnosti papiera

V tabuľke 1 sú uvedené mechanické vlastnosti hárkov z buničiny po rozvláknení, mletí a s prídavkom vybraných aditív. Najvyššie hodnoty relatívneho predĺženia a absorpcie ťahovej energie boli dosiahnuté pri použití Duvilaxu KA-31/35M spolu s Magnaflocom LT 38. Najvyššie hodnoty tržnej dĺžky, pevnosti v ťahu, modulu pružnosti a indexu pretrhnutia boli pozorované u hárkoch po mletí. Prídavok aditív sa negatívne prejavil na znížení hodnôt pevnosti v ťahu a modulu pružnosti. Prídavkom aditív došlo taktiež k zníženiu hodnôt tržnej dĺžky a indexu pretrhnutia. Výnimkou bol prídavok Duvilaxu BD-30, kde hodnoty tržnej dĺžky a indexu pretrhnutia sú podobné hodnotám po mletí.

Tabuľka 1. Vybrané pevnostné vlastnosti hárkov bez/s prídavkom aditív spolu so smerodajnými odchýlkami

Vzorka	°SR	Relatívne predĺženie (%)	Tržná dĺžka (km)	Pevnosť v ťahu (MPa)	Modul pružnosti E (GPa)	Absorpcia ťahovej energie (J/m ²)	Index pretrhnutia (Nm/g)
po rozvláknení	16	3,2±0,2	1,9±0,2	4,8±0,5	0,48±0,06	35,7±5,5	18,6±1,8
po mletí	32	6,0±0,7	7,9±0,3	29,6±1,1	1,55±0,13	237±29	77,9±2,9
4 g Magnafloc LT 38	32	7,2±1,3	6,7±0,9	21,8±2,9	1,02±0,29	379±70	65,3±8,7
50 g Duvilax BD50/59+ 4 g Magnafloc LT 38	32	7,1±0,4	6,0±0,5	18,4±1,5	0,66±0,05	270±29	59,1±4,9
50 g Duvilax KA-31+ 4 g Magnafloc LT 38	32	6,9±0,6	6,0±0,4	19,8±1,4	0,81±0,20	333±34	59,0±4,0
50 g Duvilax KA-31/35 M+4 g Magnafloc LT 38	32	8,5±0,8	5,2±0,4	21,8±1,5	0,71±0,08	491±62	51,0±3,6
50 g Duvilax BD-30+ 4 g Magnafloc LT 38	30	8,0±0,2	7,6±0,2	18,6±2,4	0,56±0,07	349,7±3,6	74,5±1,9

1.2.2 Vplyv množstva prídavku Magnaflocu LT 38 na pevnostné vlastnosti hárkov

V tabuľke 2 sú uvedené pevnostné vlastnosti hárkov v závislosti od množstva prídavku Magnaflocu LT 38 rovnako aj hodnoty týchto vlastností hárkov z buničiny po rozvláknení a mletí. Vplyvom mletia došlo k zvýšeniu hodnôt všetkých sledovaných vlastností. Prídavok Magnaflocu LT 38 zvyšuje relatívne predĺženie hárkov. Hodnota relatívneho predĺženia pri prídavku Magnaflocu osciluje v intervale 7 – 9 %. Pri tržnej dĺžke sledujeme trend mierneho nárastu od 1 g ku 3 g Magnaflocu a pri 4 g jej pokles. Prídavkom Magnaflocu došlo k poklesu hodnôt pevnosti v ťahu. Zvýšenie množstva jeho prídavku však nemá výraznejší vplyv na zmenu hodnôt pevnosti v ťahu. Absorpcia ťahovej energie vykazuje prídavkom Magnaflocu zvýšené hodnoty. Jej priebeh v závislosti od množstva prídavku je rovnaký ako u relatívneho predĺženia. Hodnota modulu pružnosti sa vplyvom prídavku Magnaflocu výrazne znížila. Najnižšia je pri prídavku 3 g. Pri prídavku 4 g je jeho hodnota oproti predchádzajúcim trom vyššia, ale zároveň nižšia ako pri hodnote pri mletí. Hodnoty indexu pretrhnutia mierne poklesli vplyvom prídavku Magnaflocu. Pri indexe pretrhnutia tiež sledujeme trend mierneho nárastu od 1 g ku 3 g Magnaflocu a pri 4 g jej pokles.

Tabuľka 2. Vybrané pevnostné vlastnosti hárkov s prídavkom Magnaflocu LT 38 spolu so smerodajnými odchýlkami

Magnafloc LT-38 prídavok(g)	°SR	Relatívne predĺženie (%)	Tržná dĺžka (km)	Pevnosť v ťahu (MPa)	Modul pružnosti (GPa)	Absorbcia ťahovej energie (J/m ²)	Index pretrhnutia (Nm/g)
0 ^a	16	3,2±0,2	1,9±0,2	4,8±0,5	0,48±0,06	35,7±5,5	18,6±1,8
0 ^b	32	6,0±0,7	7,9±0,3	29,6±1,1	1,55±0,13	237±29	77,9±2,9
1	32	8,6±0,1	7,1±0,2	22,3±1,7	0,78±0,14	412±21	70,1±1,4
2	32	7,8±0,1	7,4±0,4	23,7±1,7	0,74±0,01	375±13	72,4±3,6
3	32	8,6±0,5	7,9±0,2	22,5±0,2	0,67±0,09	439±27	77,2±0,5
4	32	7,2±1,3	6,7±0,9	21,8±2,9	1,02±0,29	379±70	65,3±8,7

a – hárky z buničiny po rozvláknení, b – hárky z buničiny po mletí

1.2.3 Vplyv množstva prídavku vinylacetátovej disperzie na pevnostné vlastnosti papiera

Na základe zistenia, že prídavkom kombinácie kationického polyelektrolytu Magnafloc LT 38 a disperzie Duvilax KA-31/35M k suspenzii vlákien sa zvýšilo relatívne predĺženie hárkov, sme sa rozhodli znížiť množstvo pridávaného Duvilaxu KA-31/35M s cieľom zistiť vplyv jeho zníženého prídavku na sledované pevnostné vlastnosti. Vplyv množstva prídavku Duvilaxu KA-31/35M na pevnostné vlastnosti je uvedený v tab. 3.

Tabuľka 3. Vybrané pevnostné vlastnosti hárkov s prídavkom Magnaflocu LT 38 a Duvilaxu KA-31/35M spolu so smerodajnými odchýlkami

Magnafloc LT-38 prídavok(g)	Duvilax KA-31/35M prídavok(g)	°SR	Relatívne predĺženie (%)	Tržná dĺžka (km)	Pevnosť v ťahu (MPa)	Modul pružnosti (GPa)	Absorbcia ťahovej energie (J/m ²)	Index pretrhnutia (Nm/g)
0 ^a	0	16	3,2±0,2	1,9±0,2	4,8±0,5	0,48±0,06	35,7±5,5	18,6±1,8
0 ^b	0	32	6,0±0,7	7,9±0,3	29,6±1,1	1,55±0,13	237±29	77,9±2,9
4	0	32	7,2±1,3	6,7±0,9	21,8±2,9	1,02±0,29	379±70	65,3±8,7
4	3,13	30	8,0±0,5	7,2±0,7	18,9±0,9	0,61±0,08	336±47	70,9±7,1
4	6,25	30	8,7±0,6	7,9±0,4	20,4±2,6	0,48±0,14	340±18	76,0±3,5
4	12,5	30	8,7±0,3	7,4±1,4	19,6±1,9	0,55±0,07	384±20	65,9±1,9
4	35	30	8,1±0,4	6,6±0,1	26,1±0,6	0,77±0,08	379±17	65,1±0,8
4	50	30	8,5±0,8	5,2±0,4	21,8±1,5	0,71±0,08	491±62	51,0±3,6

a – hárky z buničiny po rozvláknení, b – hárky z buničiny po mletí

Prídavok Duvilaxu KA-31/35M mal za následok zvýšenie hodnoty relatívneho predĺženia hárkov. Zmena množstva pridávaného Duvilaxu KA-31/35M nemá výrazný vplyv na hodnoty relatívneho predĺženia. Najvyššia tržná dĺžka sa pozorovala pri prídavku 6,25g Duvilaxu KA-31/35M, potom klesala. Hodnoty pevnosti v ťahu sú menšie ako v prípade hárkov po mletí. Zvyšovanie prídavku Duvilaxu KA-31/35M nemá výrazný vplyv na zmenu hodnôt pevnosti v ťahu. Výnimkou je prídavok 35 g, kde došlo k miernemu zvýšeniu hodnoty pevnosti v ťahu. Hodnoty modulu pružnosti pri prídavku Duvilaxu KA-31/35M sú nižšie v porovnaní s hodnotami u hárkov po mletí a s prídavkom Magnaflocu. So stúpajúcim množstvom prídavku Duvilaxu KA-31/35M sa hodnoty modulu pružnosti zvyšujú od 6,25 g ku 35 g, kde má modul pružnosti najvyššiu hodnotu a potom opäť klesá. Vplyv množstva prídavku

Duvilaxu KA-31/35M na absorpciu ťahovej energie nie je významný až na prídavok 50 g Duvilaxu KA-31/35M, pri ktorom došlo k výraznejšiemu zvýšeniu jej hodnoty. Najvyššia hodnota indexu pretrhnutia bola zaznamenaná pri hárkoch s obsahom 6,25 g Duvilaxu KA-31/35M, potom s rastom prídavku klesá.

2 Záver

Cieľom predkladanej práce bolo preskúmanie vplyvu prídavku vybraných aditív na pevnostné charakteristiky laboratórnych hárkov. Prídavok aditív mal pozitívny vplyv na zvýšenie relatívneho predĺženia a absorpcie ťahovej energie. Keďže disperzie Duvilaxu sú z hľadiska náboja negatívne, na zvýšenie ich fixácie sme buničinu predupravili prídavkom katioaktívneho polyméru Magnafloc LT 38. Vplyv samotného prídavku Magnaflocu bol tiež skúmaný z hľadiska jeho vplyvu na pevnostné vlastnosti skúšobných hárkov.

Prídavkom katioaktívneho polyméru Magnafloc LT 38 došlo k nárastu hodnôt relatívneho predĺženia aj absorpcie ťahovej energie. Zvýšenie pridávaného množstva nemalo zásadnejší vplyv na zvýšenie hodnôt oboch vlastností. Prídavkom Magnaflocu LT 38 sa znížila hodnota pevnosti v ťahu v porovnaní s hárkami z mletej buničiny. Zvyšovanie prídavku však výraznejšie neovplyvnilo zmenu hodnôt tejto veličiny. Pri tržnej dĺžke a indexe pretrhnutia bol zo zvýšením prídavku zaznamenaný mierny nárast po prídavok 3 g, potom došlo k poklesu hodnôt u oboch vlastností. U modulu pružnosti došlo k výraznému poklesu jeho hodnôt so zvyšujúcou sa dávkou Magnaflocu LT 38.

Spomedzi štyroch testovaných disperzií Duvilaxu s prídavkom Magnaflocu sa najvyššia hodnota relatívneho predĺženia 8,5 % vyskytla pri prídavku 50 g Duvilaxu KA-31/35M. Zmenou pridávaného množstva Duvilaxu KA-31/35M v rozmedzí 3,13 g do 50 g nedošlo k výrazným zmenám v hodnote relatívneho predĺženia. V prípade tržnej dĺžky bola jej hodnota najvyššia pri prídavku 6,25 g potom so zvyšujúcim sa prídavkom klesala. Hodnoty pevnosti v ťahu po modifikácii Duvilaxom KA-31/35M sú nižšie v porovnaní s hodnotami hárkov z buničiny po mletí. Zmena množstva prídavku Duvilaxu KA-31/35M nemala zásadnejší vplyv na zmenu hodnôt pevnosti v ťahu. Výnimkou je prídavok 35 g, kde došlo k miernemu zvýšeniu hodnoty pevnosti v ťahu. Pri absorpcii ťahovej energie nepozorujeme výrazný vplyv množstva prídavkov Duvilaxu KA-31/35M na zmenu jej hodnôt, až na prídavok 50 g, kde došlo k výraznejšiemu nárastu jej hodnoty. Pri indexe pretrhnutia bola jeho najvyššia hodnota pozorovaná pri prídavku 6,25 g Duvilaxu KA-31/35M, potom klesla.

Podakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Literatúra

ALINCE, B. (1977). Effect of heat on paper reinforcement by styrene-butadiene latex. *Svensk Papperstidning*, 13(10), 417–421.

BHARDWAJ, S., KAUR, P., BHARDWAJ, N. K., & NEGI, Y. S. (2023). Surface application of different concentrations of chitosan on recycled paper and its impact on packaging properties. *Journal of Coatings Technology and Research*, 20(4), 1285–1298. <https://doi.org/10.1007/s11998-022-00743-6>

CYRAS, V. P., COMMISSO, M. S., & VÁZQUEZ, A. (2009). Biocomposites based on renewable resource: Acetylated and non-acetylated cellulose cardboard coated with polyhydroxybutyrate. *Polymer*, 50(26), 6274 – 6280.

- HAMEED, N., GUO, Q., TAY, F., & KAZARIAN, S. (2011). Blends of cellulose and poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) prepared from the ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium chloride. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 94 – 101.
- KHAKALO, A. (2017). Advanced structures and compositions for 3D forming of cellulosic fibers.
- KLEMM, D., KRAMER, F., MORITZ, S., LINDSTRÖM, T., ANKERFORS, M., GRAY, D., & DORRIS, A. (2011). Nanocelluloses: A New Family of Nature Based Materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(24), 5438 – 5466. <https://doi.org/10.1002/anie.201001273>
- LAINE, J., LINDSTRÖM, T., NORDMARK, G. G., & RISINGER, G. (2002). “Studies on topochemical of cellulosic fibres. Part 2. The effect of carboxymethyl cellulose attachment on fibres swelling and paper strength. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 17(1), 50 – 56.
- LINDSTRÖM, T., KOLSETH, P., & NÄSLUND, P. (1985). The Dry Strengthening Effect of Cationic Starch Wet-End Addition on Filled Papers. V V. Punton (Ed.), *Trans. of the VIIIth Fund. Res. Symp. Oxford, 1985* (s. 589 – 611). Fundamental Research Committee (FRC), Manchester. <https://doi.org/10.15376/frc.1985.2.589>
- LINDSTRÖM, T., WÄGBERG, L., & LARSSON, T. (2005). Review: On the Nature of Joint Strength in Paper – A Review of Dry and Wet Strength Resins Used in Paper Manufacturing. V S. J. I’Anson (Ed.), *Trans. of the XIIIth Fund. Res. Symp. Cambridge, 2005* (s. 457– 562). Fundamental Research Committee (FRC), Manchester. <https://doi.org/10.15376/frc.2005.1.457>
- LIPPONEN, J., PAKARINEN, J., JÄÄSKELÄINEN, J., & GRÖN, J. (2005). Mechanical properties of wood free paper sheets at different surface size starch amounts. *Paperi ja Puu/Paper and Timber*, 87, 170 – 175.
- SETH, R. S. (2005). Understanding sheet extensibility. *Pulp&Paper Canada*, 106(2), 33 – 40.
- Sjöberg, J. C., & Höglund, H. (2005). Refining systems for sack paper pulp: Part I HC refining under pressurised conditions and subsequent LC refining. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 20(3), 320 – 328. <https://doi.org/10.3183/npprj-2005-20-03-p320-328>
- SVENSSON, A., LINDSTRÖM, T., ANKERFORS, M., & ÖSTLUND, S. (2013). 3D-shapeable thermoplastic paper materials. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 28(4), 602 – 610.
- TAIPALE, T., ÖSTERBERG, M., NYKÄNEN, A., RUOKOLAINEN, J., & LAINE, J. (2010). Effect of micro fibrillated cellulose and fines on the drainage of kraft pulp suspension and paper strength. *Cellulose*, 17(5), 1005 – 1020. <https://doi.org/10.1007/s10570-010-9431-9>
- VISHTAL, A. (2015). Formability of paper and its improvement [Doctoral thesis, Tampere University of Technology (TUT)]. https://cris.tuni.fi/ws/portalfiles/portal/2471639/vishtal_s94.pdf
- VISHTAL, A., & RETULAINEN, E. (2014). Boosting the Extensibility Potential of Fibre Networks: A Review. *Bioresources*, 9(4), 7951 – 8001. <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.7951-8001>
- WALLER, M. H., & SINGHAL, A. S. (1999). Development of paper properties during restrained drying of handsheets. *Proceedings of 1999 TAPPI Engineering/Process and Product Quality Conference*.

ZENG, X., VISHTAL, A., RETULAINEN, E., SIVONEN, E., & FU, S. (2012). The Elongation Potential of Paper – How Should Fibres be Deformed to Make Paper Extensible? Bioresources, 8(1). <https://doi.org/10.15376/biores.8.1.472-486>

Zhrnutie

Currently, there is an effort to replace plastics in packaging applications with paper. This raises the need to improve its strength properties. The paper deals with the investigation of the elasticity of paper. The inclusion of suitable additives into the paper furnish has been shown to have a positive effect on the elongation potential of paper. On the other hand, these modifications had a negative impact on the reduction of strength properties such as the modulus of elasticity. The highest value of relative elongation of 8.5 % occurred with the addition of Duvilax KA-31/35M with the addition of Magnafloc LT 38. Tensile strength values after modification were lower compared to pulp sheet values after milling. The results of the work show that the elasticity of paper should be perceived as a multi-factor phenomenon, and when influencing it, all the factors of paper formation as well as the difference in the composition of the paper should be taken into account.

Kľúčové slová

Rozťažnosť papiera; elasticita, mletie buničiny; aditíva; homopolymérne polyvinylacetátové disperzie; kopolymérne disperzie akrylátu a vinylacetátu.

Kontaktná adresa

Juraj Krišta
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava, Slovak Republic
krista@vupc.sk

HODNOTENIE ZDRAVOTNÝCH DOPADOV EXPOZÍCIE HLUKU A PRACHU V PROSTREDÍ CNC PREVÁDZKY: DÔSLEDKY PRE BEZPEČNOSŤ NA PRACOVISKU A VÝSKUM NANOČASTÍČ

Dagmara Bednárová, Miroslav Němec

1 Úvod

Tento príspevok hodnotí dopady expozície hluku a prachu v prevádzke CNC na Technickej univerzite vo Zvolene. Expozícia hluku môže viesť k významným zdravotným problémom, vrátane straty sluchu (Bos, 2023). Okrem toho môže pravidelná expozícia viesť k fyziologickým a psychologickým zmenám, ako je stres a zvýšený krvný tlak (MZČR, 2015). Nedávne zistenia (Kminiak, 2023) naznačujú, že hladiny hluku pri CNC obrábaní často presahujú bezpečné limity, čo zdôrazňuje potrebu neustáleho hodnotenia a intervencie. Ďalším problémom je generovanie vedľajších produktov, napríklad pilín, triesok či dreveného prachu, ktoré predstavujú ďalšie zdravotné riziká (Dzurenda, 2022). Cieľom tohto príspevku je načrtnúť víziu pre budúce meranie a posúdenie týchto fyzikálnych faktorov (hluk, prach) v pracovnom prostredí VDL, zhodnotiť zdravotné riziká spojené s vystavením sa vybraným fyzikálnym faktorom a navrhnúť vhodné osobné ochranné pracovné prostriedky (OOPP). Dôkladným preskúmaním problematiky sa zlepšia pracovné podmienky a informovanosť o bezpečnostných pokynoch.

2 Vplyv expozície hluku a prachu z CNC prevádzky

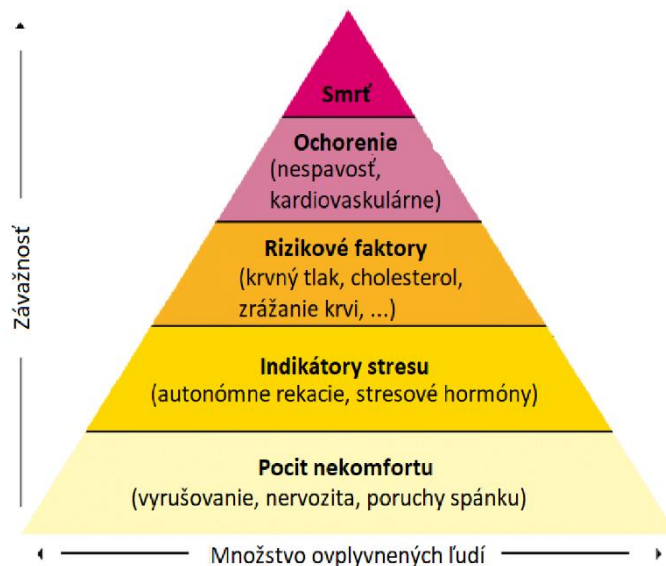
CNC stroj pracuje na princípe frézovania, teda odoberania materiálu rezným nástrojom vo forme triesky (Obrázok 1). Meranie sa uskutoční pri prevádzke CNC typu TECH Z5.



Obrázok 1. Ilustračné znázornenie CNC typ TECH Z5 (Boundary, 2023)

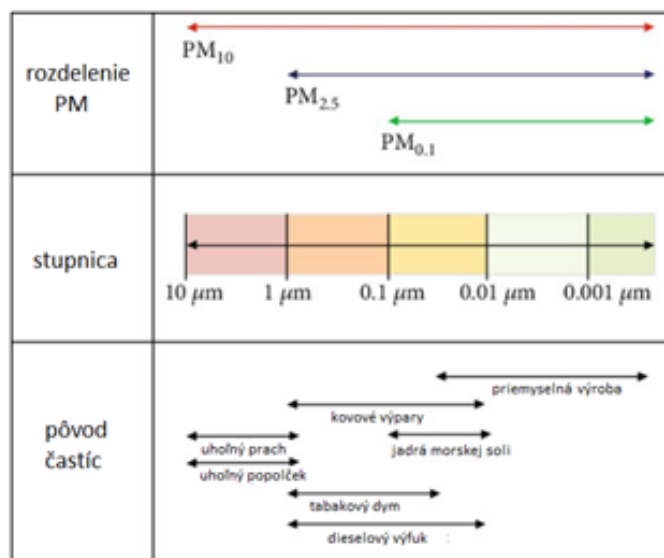
Nástroj (fréza) koná hlavný rezný otáčavý pohyb a obrobok je upevnený na stole, spravidla v smere kolmom na os nástroja (Čurma, 2024). Na hlučnosť pri frézovaní vplyva niekoľko faktorov. Okrem hluku z prevodovky stroja vzniká hluk napríklad pri frézovaní tenkostenných štruktúr, čo súvisí s tuhosťou obrobku vo vzťahu k materiálu. Vznikajú veľké vibrácie a hluk. Ďalším faktorom, ktorý prispieva k hluku pri viacčepelových frézach, sú vibrácie lôžka frézy, ktoré môžu viesť k rezonancii, ak sa frekvencia vibrácií zhoduje s vlastnou frekvenciou frézy (Boundary, 2023). Vyššie spomínaná štúdia uskutočnená vo VDL (Kminiak, 2023) preukázala hladiny akustického tlaku pri práci s CNC, ktoré prekračujú dolné akčné hodnoty pri 15 000 ot/min, úbere 4 mm a posuvnou rýchlosťou 4 m/min. Ďalej bola prekročená limitná

hodnota expozície pri otáčkach 20 000 ot/min, úbere 8 mm a posuvnej rýchlosti 8 m/min, pričom tieto otáčky sú štandardne odporúčané výrobcom. Ako poukazuje minuloročný výskum (Bos, 2023), každá hladina akustického tlaku nad 85 dB, v závislosti od podmienok a dĺžky expozície, môže viesť k strate sluchu. Už po 8 hodinách vystavenia sa zvuku s hladinou akustického tlaku 90 dB môžeme pociťovať bolesť a okamžité poškodenie sluchového aparátu. Na Obrázok 2 vidíme pyramídové znázornenie účinkov hluku na zdravie človeka.



Obrázok 2. Pyramída účinkov hluku na ľudské zdravie (Kjell, 2012)

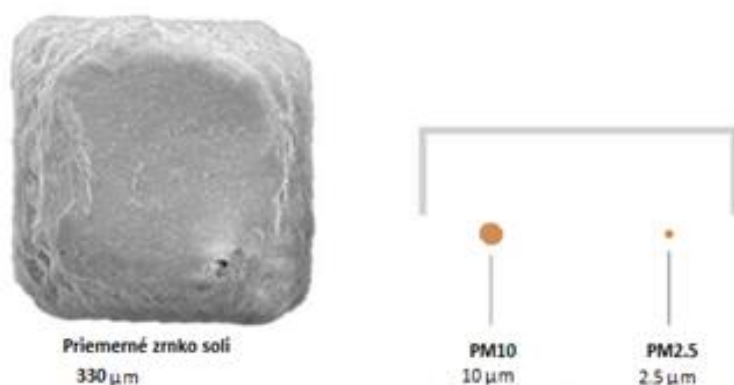
Ďalším činiteľom je prach na pracovisku. Nedávna štúdia pôvodu prachových častíc zobrazuje priemyselnú výrobu, akou je aj nami posudzovaná VDL, ako jednu z hlavných zdrojov tzv. ultrajemných častíc (Obrázok 3) (Nurcahyanto, 2022).



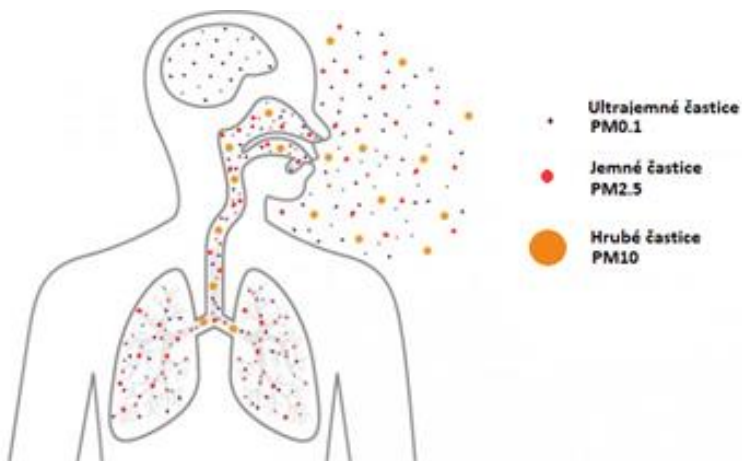
Obrázok 3. Základné rozdelenie a pôvod PM častíc (Nurcahyanto, 2022)

Vystavenie drevnému prachu vo vzduchu môže viesť k zdravotným problémom pre pracovníkov vo výrobe, vrátane rakoviny hrdla, zápalov sliznice, alergií a iných ochorení.

Už dávnejšie výskumy preukázali spojitosť medzi prácou pracovníkov v drevárskom priemysle a rozvojom onkologických ochorení nosovej dutiny (Acheson, 1976), (Zuhair, 1981), (Nylander, 1993). Jemné a ultrajemné častice sa rýchlo rozptyľujú v prostredí, čo vytvára vysokú pravdepodobnosť ich vdýchnutia pracovníkmi. Veľkostná distribúcia častíc dreveného prachu môže byť klasifikovaná podľa všeobecnej klasifikácie pevných častíc (PM): hrubé PM10 (do 10 μm), jemné PM2,5 (do 2,5 μm) a ultrajemné a nanočastice PM0,1 (do 0,1 μm). V závislosti od veľkosti môžu tieto častice preniknúť do krvného obehu a dokonca až do ľudského mozgu. Obrázok 4 znázorňuje veľkosť PM častice vedľa priemerného zrnka soli. Častice PM10 prenikajú do horných dýchacích ciest a priedušnice, PM2.5 do pľúc a PM0.1 vstupujú do kardiovaskulárneho systému cez pľúcne alveoly (Obrázok 5).



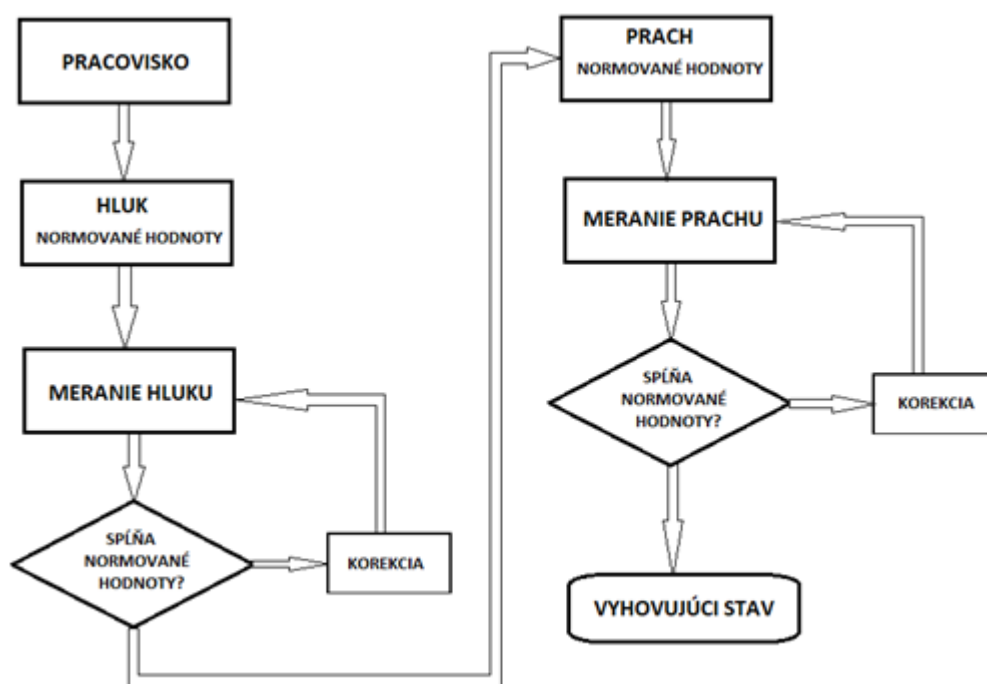
Obrázok 4. Porovnanie veľkosti PM častice vzhľadom na zrnko soli (MPCA, 2024)



Obrázok 5. Znázornenie penetrácie PM častíc v ľudskom organizme (MPCA, 2024)

3 Meranie vybraných fyzikálnych faktorov mobilnými zariadeniami

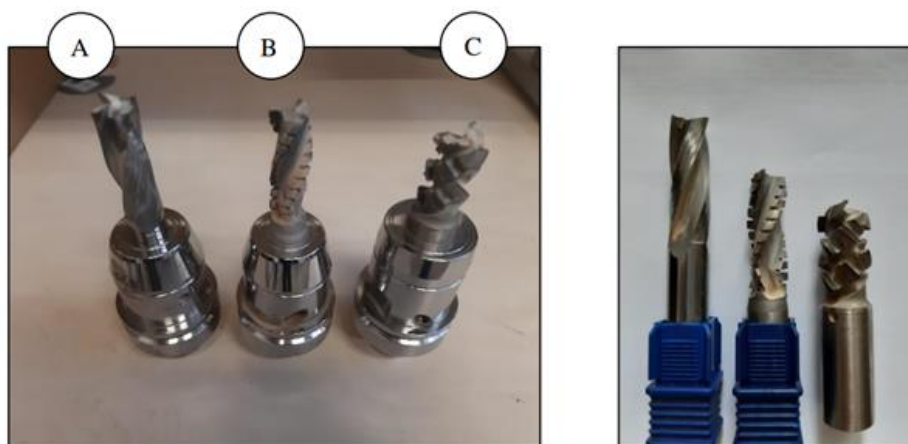
CNC, na ktorom sa uskutočnia nami vybrané merania, je umiestnené v samostatnej miestnosti dielni s vlastným odsávaním. V nej sa na podlahe vo vzdialenosti 1 m od stroja nachádza žltá čiara ohraničujúca bezpečnú vzdialenosť pre pracovníkov počas prevádzky CNC. Meranie hluku sa uskutoční zvukomerom Brüel & Kjær 2270 a meranie prachu spektrometrom NanoScan SMPS 3910 v kombinácii s optickým meradlom častíc OPS 3330 podľa schémy merania znázornenej na (Obrázok 6).



Obrázok 6. Schéma merania vybraných fyzikálnych faktorov v pracovnom prostredí VD (vlastný zdroj)

Zvukomer sa umiestni za žltou čiarou na statíve vo výške 1,50 m. Zvukomer sa pred samotným meraním skalibruje kalibrátorom Brüel & Kjær 4231. Meraná bude ekvivalentná hladina A akustického tlaku emitovaná CNC strojom pracujúcim pri otáčkach 18 000 ot/min a tiež maximálnych otáčkach 24 000 ot/min. Vybraným nástrojom je stopková fréza typu C (Obrázok 7) pre tri rôzne drevné veľkoplošné materiály: DTD, MDF, masívne drevo. Posúdi sa konkrétne prevádzkové zaťaženie zamestnanca vystaveného hluku pri konštantnej rýchlosti 8 m/min a úbere materiálu 6 mm, ktoré predstavujú stredné hodnoty štandardných pracovných podmienok CNC (posuvná rýchlosť sa pohybuje medzi 5–10 m/min a úber medzi 4–8 mm). Modelom situácie je 8 hodinová pracovná zmena, z toho 2,5 h bude CNC pracovať s frézou typu A, ďalších 2,5 h s frézou typu B a posledných 2,5 h s frézou typu C, pričom polhodina zostáva na obednú prestávku. Stanovia sa vhodné časové intervaly merania, aby sa zabezpečilo, že doba merania bude dostatočná na reprezentáciu priemernej ekvivalentnej hladiny akustického tlaku pre túto úlohu. Merania sa uskutočnia v zmysle platnej normy STN EN ISO 9612, ktorá opisuje meranie expozície hluku v pracovnom prostredí, podľa stratégie 1 – meranie pracovnej úlohy: práca vykonávaná počas dňa je analyzovaná a rozdelená do niekoľko charakteristických pracovných úloh, kde pre každú z nich sa získajú samostatné merania hladiny akustického tlaku.

Stopkové frézy najčastejšie používané pri frézovaní sú zvyčajne špirálovité, pričom súčasný trend tvorí dizajn ostria frézy typu C - WOOD-B. Tento typ frézy neodvádza triesku smerom von od obrobku, ale ju stláča, čím dochádza k fragmentácii významného množstva na veľkosť prachových častíc. Významná závislosť bola preukázaná medzi otáčkami nástroja a percentuálnym podielom potenciálne respirabilných častíc (Juda, 2024).



Obrázok 7. Stopkové frézy používané v procese veľkoplošného frézovania dreva (A) - ITA Tools, (B) - IGM Tools, (C) - WOOD-B (Juda, 2024)

Práve tieto respirabilné prachové častice vo veľkosti $0,01\ \mu\text{m}$ – $10\ \mu\text{m}$ budú merané spektrometrom NanoScan SMPS 3910 v kombinácii s OPS 3330. V súčasnosti neexistuje zákon, ktorý by špecifikoval metódy alebo normy na meranie PM_{0,1}. Merania sa budú uskutočňovať pod dohľadom kvalifikovaného špecialistu vyškoleného na prácu s NanoScanom. Výsledky oboch meraní budú spracované pomocou príslušného softvéru a porovnané s legislatívnymi normami na posúdenie zdravotných rizík pre pracovníkov. Následne sa navrhnu vhodné OOPP.

4 Záver

Neustála automatizácia a nahrádzanie ľudských úloh znamenajú čoraz väčšie spoliehanie sa na stroje na pracoviskách. Tento trend koreluje so zvýšenými hladinami hluku na pracovisku. CNC stroj je vo VDL zavedený už desať rokov, pričom aktívne funguje osem rokov. Služí ako vzdelávací nástroj pre Drevársku fakultu, a tak vystavuje nielen zamestnancov dielne, ale aj vyučujúcich a študentov riziku nežiaducich účinkov. Každý zvuk má podvedomý dopad na ľudský organizmus a po zastavení aj najmenšieho nerušivého zvuku jednotlivci často pociťujú okamžitú úľavu. Monitorovanie pracovného prostredia a používanie vhodných OOPP je kľúčové pre zdravie jednotlivcov, ktorí sa nachádzajú v blízkosti jeho zdrojov, najmä pre akútne alebo chronické nepriaznivé účinky. Nanočastice sú tiež voľným okom neviditeľné, čo robí hodnotenie ich nebezpečenstva obzvlášť náročným. Výskum nanočastíc nabral na dôležitosti na konci 20. a začiatku 21. storočia. Neustále štúdie v tejto oblasti sú nevyhnutné nielen na prevenciu zdravotných problémov medzi zamestnancami, ale aj na vytváranie legislatívnych rámcov, keďže aktuálne zákony v Slovenskej republike nedefinujú regulácie týkajúce sa nanočastíc. Príspevok načrtol víziu merania pre posúdenie týchto fyzikálnych faktorov (hluk, prach) v pracovnom prostredí VDL, zhodnotenie zdravotného rizika pre pracovníkov a navrhnutie vhodných OOPP.

Podakovanie

Príspevok vznikol na základe výsledkov výskumu riešeného v projekte: KEGA 003TU Z-4/2024: Rozvoj experimentálnych zručností v systéme vysokoškolského vzdelávania.

Literatúra

- ACHESON, E. D. (1976). Nasal cancer in the furniture and boot and shoe manufacturing industries(5(2), 295-315.). Preventive Medicine.
- BOS, S. (7. september 2023). What Are Decibels, and How Are They Measured? Dostupné na Internet: HowStuffWorks.com: <https://science.howstuffworks.com/question124.htm>
- BOUNDARY, Z. (19. Január 2023). Zero Boundary. (Nekonečný Hranica Inteligentný Technológia (Zhejiang) Co., Ltd.) Dostupné na Internet: Prečo CNC fréza produkuje hluk?: <https://sk.infiniteboundarymachine.com/info/why-does-the-cnc-milling-machine-produce-noise-79546604.html>
- ČURMA, P. (2024). Daily Automation. (Daily Automation/Tvoje vedomosti) Cit. 14. november 2024. Dostupné na Internet: Daily Automation Magazín: <https://www.dailyautomation.sk/01-frezovanie>
- DZURENDA, L. (2022). Granulometric composition of chip from the process of machining steamed and unmamned beech wood on the CNC machining center., In Chip and Chipless Woodworking processes.(13(1): 129-136, 2022). Zvolen: Technical university in Zvolen.
- JUDA, M. (2024). GRANULOMETRIA PRI OBRÁBANÍ DOSIEK NA BÁZE DREVA NA CNC OBRÁBACÍCH STROJOCH. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene.
- KJELL, M. (2012). Value for Money in Road Traffic Noise Abatement. 48. 1366-1374: Procedia - Social and Behavioral Sciences.
- KMINIAK, R. N. (2023). Advisability-Selected Parameters of Woodworking with a CNC Machine as a Tool for Adaptive Control of the Cutting Process. Forests, 14(2), 173 <https://doi.org/10.3390/f14020173>.
- MPCA. (2024). Minnesota pollution control agency. Dostupné na Internet: <https://www.pca.state.mn.us/pollutants-and-contaminants/fine-particles>
- MZČR. (2015). Nepříznivé účinky hluku na člověka. . Praha : Ministerstvo zdravotnictví české republiky.
- NURCAHYANTO, H. P. (2022). Multilevel RNN-Based PM10 Air Quality Prediction for Industrial Internet of Things Applications in Cleanroom Environment. (2022:1-12).
- NYLANDER, A. D. (1993). Carcinogenic effects of wood dust: review and discussion.(24(5), 619-647.). American journal of industrial medicine.
- ZUHAIR, Y. S. (1981). Ventilatory function in workers exposed to tea and wood dust.(38(4), 339-345). In Occupational and Environmental Medicine.

Zhrnutie

Assessing the Health Impacts of Noise and Dust Exposure in CNC Operational Environments: Implications for Workplace Safety and Nanoparticle Research. The paper describes the issue of selected harmful physical factors (noise, dust) produced by a CNC milling machine affecting workers at the Technical University in the renovated development workshops and laboratories (VDL). The introduction briefly describes the current state of the issue and outlines the objectives of the paper. The second section provides a detailed description of the CNC machine's operation, the origin of noise during its operation, and presents current scientific findings in this field, as well as the effects of noise exposure on human health. Later in this section, the consequences of human exposure to dust particles are

described, along with a detailed analysis of the particles based on their size and penetration into the human body. The third section deals with the description of the room where measurements will be taken, the measurement methodology, and other important conditions for measuring noise and dust caused by the CNC machine. The conclusion highlights the importance of using appropriate personal protective equipment and addresses the lack of Slovak legislation regarding nanoparticles. The conclusion also confirms the fulfillment of the paper's objectives.

Kľúčové slová

Noise, work environment, noise and dust measurement, nanoparticles, CNC milling machine, physical factors

Kontaktné adresy

Ing. Dagmara Bednárová; doc. Mgr. Miroslav Němec, PhD.
Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky
Drevárska fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T.G. Masaryka 24
960 01 Zvolen, Slovak Republic
xhlavcakova@is.tuzvo.sk; nemec@tuzvo.sk

ZMENY OBSAHU UHLÍKA, DUSÍKA A SÍRY PO APLIKÁCIÍ DREVNÉHO POPOLA NA PÔDU

Jana Luptáková, Laura Korčoková, Slávka Tóthová

1 Úvod

Pri výrobe energie spaľovaním dreva vzniká veľké množstvo drevného popola. Podľa J. Zhaia *et al.* je svetová produkcia popola cca 170 Mt/rok (2021). V súčasnosti sa väčšina popolov skládkuje, čo zaberá pôdu, ovplyvňuje krajinu a tým aj životné prostredie (THOMAS, B. *ET AL.*, 2021). Súčasne sa neustále zvyšujú poplatky za skládkovanie. Z týchto dôvodov je nevyhnutné hľadať vhodné spôsoby recyklácie drevného popola podľa princípov cirkulárnej ekonomiky (TÓTHOVÁ, S., 2023). Drevný popol obsahuje mnohé výživové prvky potrebné pre rast rastlín, hlavne vápnik, fosfor, draslík a horčík, v menších množstvách aj mangán, železo, zinok, sodík a bór (ASARE, M. O., HEJCMAN, M., 2022; ROLKA, E. *ET AL.*, 2023). Vďaka tomu môže byť využitý ako hnojivo, alebo hnojivá prímes v kompostoch a substrátoch. Vďaka svojej silne zásaditej povahe môže byť drevný popol použitý aj na zníženie acidifikácie lesných pôd (BALOCH, S., 2024). Okrem výživových prvkov obsahuje drevný popol aj rizikové prvky (SZOSTEK, M., 2023), preto je dôležité zvážiť v akých množstvách sa použije. Popol použitý v tomto príspevku mal obsahy rizikových prvkov významne pod limitmi uvedenými v legislatíve (LUPTÁKOVÁ, J., TÓTHOVÁ, S. 2024).

Vlastnosti drevného popola, ako obsah živín, ťažkých kovov, zlúčeniny v ktorých sa vyskytujú a s tým súvisiace hodnoty pH popola, závisia od mnohých faktorov. Kvalita drevného popola závisí hlavne od druhu, časti a veku spaľovanej dreveniny, stanovišťa, na ktorom vyrástla, od druhu použitého paliva, od technológie spaľovania a od miesta zachytu v peci (TÓTHOVÁ, S., 2022).

Súčasťou medzinárodného projektu LignoSilva Upgrade (Horizon Europe), ktorý prebieha v Národnom lešníckom centre vo Zvolene, je aj recyklácia živín z drevného popola a celulózových kalov v agrolesníctve. Cieľom projektu je navrhnúť postupy výroby kompostov, substrátov a hnojív z popolov a celulózových kalov a overiť rôzne spôsoby ich testovania na semenách aj sadenicích lesných drevín v laboratórnych, poloprevádzkových a agrolesníckych systémoch a zároveň zlepšiť transfer vedeckých poznatkov o aplikácii drevného popola a celulózových kalov ako hnojiva do praxe a tým znížiť množstvo skládkovaných odpadov v zmysle princípov cirkulárnej bioekonomiky.

V rámci projektu bolo založených niekoľko experimentov v Biotechnologickom parku Stráže (BTP Stráže) a vo Výskumnej stanici v Gabčíkove (VS Gabčíkovo). V BTP Stráže boli postupne založené tri ukážky. V prvej bola zmiešaná rašelina s popolom v dvoch rôznych pomeroch a do výslednej zmesi boli zasadené tri dreviny, borovica lesná, smrekovec opadavý a buk lesný. Tieto sú pestované vo fóliovníku. V druhej bol popol aplikovaný v dvoch rôznych množstvách na pole v areáli BTP Stráže, kde boli zasadené rovnaké dreviny. V tretej ukážke sa postupovalo rovnako ako v prvej, ale popol bol nahradený celulózovým kalom. V Gabčíkove boli postupne založené tiež tri ukážky. Prvá je rovnaká ako prvá ukážka v BTP Stráže, ale vysadené boli dreviny dub letný, lipa malolistá a brest väzový. V druhej ukážke boli tieto isté dreviny vysadené na pole v areáli VS a následne boli aplikované zmesi popola a rašeliny. V tretej ukážke sa uskutočňuje kompostovanie použitím štiepky, pokosenej trávy a drevného popola (LUPTÁKOVÁ, J., TÓTHOVÁ, S. 2024).

Tento príspevok je zameraný na obsahy uhlíka, dusíka a síry v použítom popole, pôde a v pôde po aplikácii popola. Cieľom práce je posúdiť vplyv aplikácie drevného popola na zmeny obsahov uhlíka, dusíka a síry.

2 Materiál a metódy

2.1 Materiál

Popol použitý v experimente bol získaný z prevádzky spaľujúcej drevnú štiepku za účelom výroby energie, nachádzajúcej sa v Hriňovej (Hriňovská energetická s. r. o.) na Slovensku. Použitý bol iba roštový popol, ktorý síce obsahuje menej výživových prvkov, ale aj menej rizikových prvkov. Na tento druh popola získal producent povolenie, že môže byť použitý ako pôdna pomocná látka. Na pôdu v areály BTP Stráže bol tento drevný popol aplikovaný v množstvách 5 t/ha a 10 t/ha.

Z drevného popola a pôdy boli odobraté po štyri vzorky pred aplikáciou popola. Ďalšie vzorky boli odobraté z pôdy po aplikácii drevného popola po cca 1,5 mesiaci a následne v cca mesačných intervaloch vždy v štyroch replikátoch. V Centrálnom lesníckom laboratóriu boli tieto vzorky analyzované na obsahy uhlíka, dusíka a síry.

2.2 Metódy

Predúprava vzoriek

Vzorky boli po prijatí do laboratória predupravené podľa ČSN ISO 11464 (2011). Tento postup zahŕňa sušenie, drvenie a sitovanie vzoriek. Všetky analýzy boli vykonané z takto predupravených vzoriek.

Uhlík, dusík a sira

Obsahy uhlíka, dusíka a síry boli stanovené podľa STN ISO 10694 (2001), DIN ISO 13878 (1998) a ISO 15178 (2000) suchým spaľovaním v prebytku kyslíka. Na stanovenie obsahov uhlíka a dusíka bol použitý LECO CHN828 a vzorky boli spálené pri teplote 950 °C. Veľkosť uhlíkového signálu bola zmeraná infračerveným detektorom a dusíkový signál tepelnovodivostným detektorom. Obsah síry bol stanovený na LECO S832 pri teplote 1350 °C. Veľkosť sírového signálu bola zmeraná infračerveným detektorom. Všetky výsledky boli vyhodnotené softwarom Cornerstone 2.10.2.

Štatistické vyhodnotenie

Všetky získané výsledky boli štatisticky spracované v programe MS Excel 2016. Najskôr boli vypočítané základné popisné štatistiky. Následne bola na štatistické zhodnotenie výsledkov použitá jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA). Ako hodnotiace kritérium bola použitá hladina významnosti 5% ($p = 0,05$).

3 Výsledky a diskusia

Použitý drevný popol obsahuje málo uhlíka a síry a prakticky žiadny dusík. Obsahy všetkých troch prvkov v použítom drevnom popole boli signifikantne nižšie ako v pôde. Obsah uhlíka sa po aplikácii popola v pôde signifikantne nezmenil ani pri aplikácii 5 t/ha ani 10 t/ha. Takisto ani vplyvom času sa tento obsah signifikantne nezmenil. Obsah dusíka v pôde nebol signifikantne odlišný po 1,5 mesiaci od aplikácie drevného popola od obsahu dusíka v pôde pred aplikáciou popola, ale neskôr začal signifikantne stúpať a to pri oboch množstvách aplikovaného drevného popola. Pri obsahoch síry výsledky neboli také jednoznačné, čo mohlo byť spôsobené nehomogenitou odberu vzoriek alebo aj horším spaľovaním prímеси

drevného popola. Bude užitočné urobiť ďalšie odbery a následné analýzy aj v dlhšom časovom úseku. Pomer obsahov uhlíka a dusíka sa postupne signifikantne znižoval.

Tabuľka 1. Obsahy uhlíka, dusíka a síry a pomer uhlíka a dusíka vo vzorkách použitého drevného popola a pôdy pred a po aplikácii drevného popola.

Vzorka	Dátum odberu	Ukazovateľ			
		C	N	S	C/N
Popol	28.2.2024	$1,61 \pm 0,09$	$<0,02$	$0,0308 \pm 0,0015$	-
Pôda	8.4.2024	$1,94 \pm 0,08$	$0,159 \pm 0,008$	$0,0339 \pm 0,0004$	12,2
5t/ha	14.6.2024	$2,06 \pm 0,03$	$0,155 \pm 0,005$	$0,0361 \pm 0,0007$	13,3
5t/ha	11.7.2024	$2,00 \pm 0,04$	$0,163 \pm 0,005$	$0,0287 \pm 0,0005$	12,3
5t/ha	20.8.2024	$1,96 \pm 0,09$	$0,172 \pm 0,004$	$0,0337 \pm 0,0006$	11,4
5t/ha	19.9.2024	$1,98 \pm 0,06$	$0,172 \pm 0,004$	$0,0301 \pm 0,0004$	11,5
10t/ha	14.6.2024	$1,96 \pm 0,04$	$0,147 \pm 0,007$	$0,0332 \pm 0,0010$	13,4
10t/ha	11.7.2024	$1,93 \pm 0,08$	$0,156 \pm 0,004$	$0,0310 \pm 0,0013$	12,4
10t/ha	20.8.2024	$1,86 \pm 0,04$	$0,161 \pm 0,002$	$0,0309 \pm 0,0007$	11,6
10t/ha	19.9.2024	$2,02 \pm 0,03$	$0,174 \pm 0,003$	$0,0346 \pm 0,0010$	11,6

Pozn.: pre stanovenie obsahu dusíka je hodnota LOQ (medza kvantifikácie) = 0,02%

Údaje v dostupnej literatúre sú rôzne. Sartori *et al.* (2007) skúmali obsahy uhlíka a dusíka v pôde 1-5 rokov po aplikácii drevného popola. Podľa ich výsledkov sa obsahy oboch prvkov v pôde zvýšili, avšak pomer C/N zostal zachovaný. V Kanade odobrali vzorky z 8 rôznych plôch, na ktoré bol aplikovaný drevný popol 7-27 rokov pred odberom. Výsledky obsahu celkového uhlíka a dusíka boli na niektorých plochách vyššie ako pred aplikáciou drevného popola a na niektorých plochách nižšie (JOSEPH, R. ET. AL., 2022). Podľa Hannama *et al.* (2019) dochádza po aplikácii drevného popola k úbytku uhlíka a dusíka v pôde, čo je spôsobené zrýchleným rozkladom organickej hmoty. Tento zrýchlený rozklad organickej hmoty je spôsobený zvýšením mikrobiálnej aktivity. Podľa Jokinena *et al.* (2006) to je spôsobené hlavne zmenou pH vplyvom silne zásaditej povahy drevného popola. Podľa ďalších štúdií, kde boli analýzy uskutočnené 1 – 2 roky po aplikácii drevného popola nedošlo k žiadnym zmenám v obsahu uhlíka a dusíka (GÖMÖRYOVÁ, E. ET. AL., 2016; VENTURA, M. ET. AL., 2019). V Maďarsku zistili zvýšenie obsahu síry v pôde po aplikácii drevného popola (FÜZESI, I. ET. AL., 2015).

Takéto rozdielne výsledky by mohli byť spôsobené veľkou variabilitou vlastností drevných populov v závislosti od druhu, časti, stanovišťa a veku spálenej dreveniny, spaľovacej pece, teploty spálenia, ale aj nehomogenitou samotných populov. Taktiež mohli mať vplyv na spomínané experimenty aj meteorologické podmienky, druh zasadenej dreveniny, množstvo opadanky a pod.

4 Záver

V tomto príspevku boli sledované zmeny obsahov uhlíka, dusíka a síry v pôde po aplikácii drevného popola. Drevný popol bol aplikovaný v dvoch množstvách a to 5 t/ha a 10 t/ha. Obsahy uhlíka neboli po aplikácii drevného popola signifikantne odlišné, nezmenili sa ani pri opakovaných odberoch v mesačných intervaloch. Obsahy dusíka sa vo vzorkách postupne zvyšovali a to pri oboch aplikovaných množstvách drevného popola. Pomer obsahov uhlíka

a dusíka sa signifikantne znižovali. Zmeny obsahov síry neboli jednoznačné. Demonštračná ukážka, z ktorej pochádzali vzorky analyzované v tomto príspevku bola založená iba na jar tohto roku. Stále sa pokračuje v odbere vzoriek v pravidelných intervaloch, z ktorých budú urobené ďalšie analýzy. Bolo by vhodné urobiť odbery aj po dlhšom časovom období.

Pod'akovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Literatúra

- ASARE, M. O., HEJCMAN, M. 2022. Effect of tree species on the elemental composition of wood ashes and their fertilizer values on agricultural soils. In *Global Change Biology Bioenergy* 14, 12, p. 1321-1335.
- BALOGH, S. B., ALI, S., BERNAS, J., MOUDRÝ, J., KONVALINA, P., MUSHTAQ, Z., MURINDANGABO, Y. T., ONYEBUCHI, E. F., BALOGH, F. B., AHMAD, M., SAEED, Q., MUSTAFA, A. 2024. Wood ash application for crop production, amelioration of soil acidity and contaminated environments. In *Chemosphere*, 357, 141865.
- ČSN ISO 11464:2011. Kvalita pudy – Úprava vzorku pro fyzikálne-chemické rozborý.
- DIN ISO 13878:1998-11. Soil quality - Determination of total nitrogen content by dry combustion ("elemental analysis").
- FÜZESI, I., HEIL, B., KOVÁCS, G. 2015. Effects of wood ash on the chemical properties of soil and crop vitality in small plot experiments. In *Acta Silv. Lign. Hung.* 2015, 11.1: 55-64.
- GÖMÖRYOVÁ, E., TÓTHOVÁ, S., PICHLER, V., HOMOLÁK, M., KRIŠŠÁK, V., GÖMÖRY, D. 2016. Wood ash effect on chemical and microbiological properties of topsoil in a Norway spruce stand one year after the treatment. In *Folia Oecologica*, 43, 156–163.
- HANNAM, K. D., FLEMING, R. L., VENIER, L., HAZLETT, P. W. 2019. Can bioenergy ash applications emulate the effects of wildfire on upland forest soil chemical properties? In *Soil Science Society of America Journal*, 83(s1), S201.
- ISO 15178:2000. Soil quality — Determination of total sulfur by dry combustion.
- JOKINEN, H., KIIKKILÄ, O., FRIZE, H. 2006. Exploring the mechanisms behind elevated microbial activity after wood ash application. In *Soil Biol Biochem* 38:2285–2291.
- JOSEPH, R., DIOCHON, A., MORRIS, D., VENIER, L., EMILSON, C. E., BASILIKO, N., BÉLANGER, N., JONES, T., MARKHAM, J., RUTHERFORD, M. P., SMENDEROVAC, E., VAN REES, K., HAZLETT, P. 2022. Limited effect of wood ash application on soil quality as indicated by a multisite assessment of soil organic matter attributes. In *Global Change Biology. Bioenergy*, 14(5), 500–521.
- LUPTÁKOVÁ, J., KRUPOVÁ, D., TÓTHOVÁ, S. 2024. Obnova a rozšírenie infraštruktúry CLL na podporu demonštračných ukážok v rámci projektu Upgrade LignoSilva, v časti „Recyklácia odpadov“. In *12. česko-slovenský odborný seminár k monitoringu lesov, Smrekovica - Veľká Fatra, Slovensko, 22. – 24.5.2024*, p. 44-45, ISBN 978-80-8093-361-6.
- LUPTÁKOVÁ, J., TÓTHOVÁ, S. 2024. Zmeny vybraných ukazovateľov v rašeline po pridaní drevného popola. In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2024 – Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, v. v. i. 11. – 12.9.2024*, p. 53-57, ISBN: 978-80-89408-38-2.

- ROLKA, E., ŽOLNOWSKI, A. C., WYSZKOWSKI, M., ZYCH, W., SKORWIDER-NAMIOTKO, A. 2023. Wood Biomass Ash (WBA) from the Heat Production Process as a Mineral Amendment for Improving Selected Soil Properties. In *Energies*, 16, 13, 5110.
- SARTORI, F., LAL, R., EBINGER, M. H., MILLER, R. O. 2007. Tree species and wood ash affect soil Michigan's Upper Peninsula. In *Plant Soil*, 98:125–144.
- SZOSTEK, M., SZPUNAR-KROK, E., ILEK, A. 2023. Chemical Speciation of Trace Elements in Soil Fertilized with Biomass Combustion Ash and Their Accumulation in Winter Oilseed Rape Plants. In *Agronomy*, 13, 3, 942.
- STN ISO 10694:2001. Kvalita pôdy. Stanovenie organického a celkového uhlíka po suchom spaľovaní (elementárna analýza).
- THOMAS, B. S., YANG, J., MO, K. H. 2021. Biomass ashes from agricultural wastes as supplementary cementitious materials or aggregate replacement in cement/geopolymer concrete: A comprehensive review. In *Journal of Building Engineering*, 40, 102332.
- TÓTHOVÁ S. 2022. Vlastnosti popolov z dreva. In: *Mačala, J., Carach, V. (eds.), 2022. Ochrana ovzdušia 2022. Kongres STUDIO, spol. s r.o. Zborník recenzovaných príspevkov z medzinárodnej konferencie Ochrana ovzdušia 2022, 23.-25. novembra 2022, Vysoké Tatry, Hotel Patria*, 222 s. ISBN 978-80-89565-56-6, EAN 9788089565566, s. 38-47.
- TÓTHOVÁ S. 2023. Miesto pre drevný popol v cestovnej mape obehovej bioekonomiky na Slovensku. In: *LignoSilva 2023: Zborník odborných prác z konferencie, 13. júna 2023. Zvolen, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav*, s. 69-72. ISBN: 978-80-8093-346-3.
- VENTURA, M., PANZACCHI, P., MUZZI, E., MAGNANI, F., TONON, G. 2019. Carbon balance and soil carbon input in a poplar short rotation coppice plantation as affected by nitrogen and wood ash application. In *New Forests*, 50(6), 969–990.
- ZHAI, J., BURKE, I. T., STEWART, D. I. 2021. Beneficial management of biomass combustion ashes. In *Renewable management of biomass combustion ashes*, 151, 111555.

Zhrnutie

Changes in the carbon, nitrogen and sulphur amounts after the application of wood ash into the soil. The article determined changes in the carbon, nitrogen and sulphur amounts in the soil after the application of the wood ash. Wood ash was applied in two amounts 5 t/ha and 10 t/ha. Carbon amounts weren't significantly different, they didn't change even after repeated samplings in monthly periods. Nitrogen in soil samples gradually increased at both amounts of applied wood ash. The carbon/nitrogen ratios decreased significantly. Changes in the sulphur amounts were vague. The demonstration case, which were the samples analysed in the article from, was established only in the spring of this year. Samplings regularly continue and more analyses will be made. It would be desirable to make sampling also after a longer period.

Kľúčové slová

drevný popol, uhlík, dusík, síra

Kontaktné adresy (*autorov*)

RNDr. Jana Luptáková, PhD., Ing. Laura Korčoková
Centrálne lesnícke laboratórium
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
jana.luptakova@nlcsk.org, laura.korcokova@nlcsk.org

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

SUŠENIE PALIVOVÝCH DREVNÝCH ŠTIEPOK, SUŠIAREŇ KATRES KBD 3-4

Marián Slamka, Tomáš Gergel', Peter Veverka

1 Úvod

V príspevku sa zoberáme problematikou sušenia palivových drevných štiepok (ďalej len „štiepok“) v procese ich výroby a energetického využitia. Štiepky v súčasnosti z hľadiska rozmerov a možností prepravy predstavujú preferovanú formu biomasy (Manzone, 2015). Z hľadiska dodávateľského reťazca je ale podľa Rentizelas a kol. (2016) rozhodujúcou etapou ich skladovanie, pretože kompenzuje dočasné rozdiely v ich výrobe a spotrebe. Efektívne využívanie štiepok na tieto účely úzko súvisí s obsahom vlhkosti a úpravou vlastností pred spaľovaním, ako je proces sušenia (Del Giudice a kol. 2019). Jedným z typických znakov skladovania štiepok je napríklad zníženie ich energetického potenciálu (znižovanie výhrevnosti) v dôsledku pôsobenia vonkajších vplyvov prostredia alebo mikroorganizmov (Trenčiansky a kol. 2007, Hofmann a kol. 2018, Burrati a kol. 2019). Štiepky určené na energetické využitie by podľa Pecenka a kol. (2018) mali mať nízky obsah vlhkosti a popola, ako aj nízke zastúpenie frakcie jemných častíc. Niektorí autori, ako napr. Suchomel a kol. (2014) sa zaoberali hodnotením súvisiacich zdravotných a bezpečnostných rizík pre človeka.

Efektívne energetické využívanie drevných štiepok úzko súvisí s obsahom ich vlhkosti, ktorá negatívne ovplyvňuje ich výhrevnosť. Napríklad pri 60%-tnej vlhkosti sa výhrevnosť pohybuje na úrovni cca 6 MJ/kg, oproti tomu, po vysušení na 20 %-tnú vlhkosť je výhrevnosť približne 14 MJ/kg (Ihnát 2023 – osobná komunikácia). Sušením drevnej štiepky tak môžeme zvýšiť jej výhrevnosť o viac ako 50 %. Účelom procesu sušenia je odstrániť voľnú a viazanú vodu v dreve. Pretože voda má vysoké hodnoty skupenského tepla (2250 kJ/kg), je jej odstránenie z dôvodu zvýšenie výhrevnosti paliva zásadné. Molekulárnu vodu pri bežnom sušení nie je možné odstrániť. Okrem prirodzeného sušenia sa na zníženie vlhkosti štiepok využívajú aj technologické zariadenia - sušiarne (Slamka a kol. 2021). Vstupom do procesu je drevná hmota s definovanou frakciou zvyčajne G30, G50, G100 (ISO 17225-4:2014). Samotné zloženie štiepky nemusí byť presne definované, môže byť z rôznych druhov drevín. Niektorí výrobcovia sušiarň však vyžadujú, aby sušená štiepka neobsahovala prachové častice alebo piliny. Obvyklá vlhkosť čerstvej drevnej štiepky je od 50 % do 75 % v závislosti od dreviny, ročného obdobia a tiež spôsobu predchádzajúceho skladovania.

2 Sušiarne drevných štiepok

Okrem prirodzeného sušenia sa na zníženie vlhkosti štiepok využívajú aj technologické zariadenia – sušiarne. Z hľadiska prevedenia môžu byť konvenčné sušiarne bubnové rotačné, pásové (obr. 1), s fluidným lôžkom, vzduchové, alebo aj kombinované (Yi a kol. 2020). Sušiacim médiom môže byť horúci vzduch, horúci vzduch zmiešaný s parou, alebo prehriata para (Haque a Somerville 2013). Napríklad pri pásových sušičkách sa ako médium zvyčajne využíva horúci vzduch s teplotou od 100 do 110 °C (Myllymaa a kol. 2018). Zvýšenie teploty média môže podľa výsledkov Haque a Somerville (2013) znížiť čas sušenia a zvýšiť jeho výkon, ale nie nevyhnutne aj vstupné náklady na sušenie. Ekonomická výhodnosť sa podľa Matiska (2014) dosahuje predovšetkým v systémoch, ktoré využívajú ako zdroj energie odpadové teplo z iného priemyselného procesu. Toto potvrdzujú aj ďalší autori (napr. Myllymaa a kol. 2018), výsledky ktorých naznačujú, že cena vstupného tepla má zásadný

vplyv na celkovú ekonomiku. Z uvedeného dôvodu sa vyvíjajú aj sušičky využívajúce solárnu energiu – ktorá sa označuje ako čistá (Mishra a kol. 2021), resp. hybridné sušičky využívajúce solárnu energiu v kombinácii s externým zdrojom tepla (Khouya 2021). Podľa Patel a Bade (2019) je veľmi perspektívnym sušiacim médiom budúcnosti prehriata para.

3 Proces a ekonomická efektívnosť sušenia

Proces sušenia štiepok na novom prototype sušiarňi analyzovali Del Giudice a kol. (2019). Základným konštrukčným prvkom prototypu rotačnej sušičky bol valec s dĺžkou 5 m, priemerom 0,8 m a objemom 2,5 m³. Rotačný valec bol vybavený štyrmi otvormi, ktorých dva slúžili na nakladanie a vykladanie produktu a dva slúžili na vstup a výstup sušiaceho média, ktorým bol horúci vzduch. Sušička bola vybavená systémom na odsávanie prachu s účinnosťou 98%. Vlhká biomasa sa napĺňala do násypky vybavenej závitovým dopravníkom. Vnútorňá kovová konštrukcia valca obsahovala 48 lopatiek rôzneho tvaru slúžiacich na miešanie materiálu. Na konci procesu sušenia (experimentu) zistili 17 %-tné zníženie vlhkosti pri štiepkach z topoľového dreva a 31 % pri agáte. Rotačné sušičky majú podľa autorov v porovnaní s inými typmi nízke náklady na údržbu a potrebujú až o 30 % menej špecifickej energie na tento proces. Takéto konštrukčné mobilné prevedenie odporúčajú na malé farmy, ktoré ale majú možnosť využívať odpadové teplo. Lostec a kol. (2008) vykonali tepelnú a ekonomickú analýzu procesu sušenia s využitím mobilnej sušičky, ktorá využívala ako zdroj tepla jednostupňové tepelné čerpadlo. Do analýzy bol zahrnutý aj vplyv vonkajších klimatických podmienok. Systém bol efektívny iba v prípade, keď bola teplota sušiaceho vzduchu nižšia ako 60 °C. Proces bol zhodnotený ako energeticky aj finančne veľmi náročný, v rámci porovnania technológií sa osvedčili systémy využívajúce rekuperáciu tepla.

Pásová sušička od spoločnosti Cyberma je technologické zariadenie určené na zníženie vlhkosti dreva, ktoré môže byť vo forme štiepok rôznej veľkosti, alebo aj pilín. Požadovaná vlhkosť vstupnej štiepky je medzi 50-65%. Výstupná vlhkosť sa reguluje v procese sušenia a môže byť od 10-30%. Ako sušiace médium sa využíva horúci vzduch, ktorého primárnym zdrojom je podľa odporúčaní odpadové teplo z teplární, elektrární, alebo bioplynových staníc. Na sušenie vlhkých palivových štiepok a pilín sú vhodné aj pásové sušičky STELA (www.pawlica.cz). Môžu pracovať s výkonom od 1 do 50 t.h⁻¹ a využívať odpadové teplo z výroby vo forme vody, alebo pary. Na prísun paliva sa využívajú šnekové dopravníky. Pri modeli BTL 1/2000-4 je vstupom do sušiaceho procesu drevná hmota s definovanou frakciou G50 (voľný, nezmrznutý materiál bez hrubých častí). Štiepky s maximálnou vlhkosťou 50% sa sušia pri teplote okolo 80 °C. Aktívna sušiacia zóna má približne 8 m². Umožňujú aj vonkajšiu inštaláciu, avšak na teplote vonkajšieho prostredia potom závisí potrebné vstupné teplo (300 – 350 kW).

Efektívnosť sušenie borovicových drevných štiepok s využitím solárnej skleníkovej sušiarne testovali Perea-Moreno a kol (2019). V rámci experimentu ktorý trval 15 dní porovnávali niekoľko hromád drevnej štiepky uložených vo vnútorných aj vonkajších podmienkach. Analýza dokázala, že použitím solárnych sušičiek je možné znížiť vlhkosť štiepok až na 10%. Experimentálne vyvinutú solárnu sušičku (Obr. 3) na drevnú biomasu testovali Raitila a Tsupari (2020). Výsledky ukázali, že systém využívajúci solárne panely sa dá pri miernych teplotách sušenia (20-50 °C) úspešne aplikovať. Nevýhodou je zatiaľ návratnosť investície vypočítaná na 12 – 17 rokov. Keďže sušička bola v rámci meraní len vo fáze prototypu, predpokladá sa vykonanie technických vylepšení so súčasným znížením návratnosti investície

pod 10 rokov. Dobré výsledky experimentov s využitím solárneho sušenia drevných štiepok uvádzajú aj Baibhaw a kol. 2021. Pre ešte vyššiu účinnosť navrhujú autori hybridizovať solárnu sušičku externým zdrojom tepla. Hybridnú solárnu sušičku na drevnú biomasu s intergovaným tepelným čerpadlom testoval Khouya (2021). Kombinované prevedenie umožnilo znížiť dobu sušenia o 52, 37 a 24% pre tri nastavené teploty sušenia 50, 60 a 70 °C a podľa autora ide o efektívne riešenie. Ekonomickú efektívnosť a riziká priemyselného sušenia drevných štiepok na rotačnej sušiarňi z dôvodu vysokých vstupných a prevádzkových nákladov hodnotili Bianchini a Simiony (2021). Proces zhodnotili ako ekonomicky efektívny s návratnosťou 1,67 roka. Efektívnosť sa potvrdila aj pri variantoch, kde sa predpokladal nárast nákupných cien štiepok. Silva a kol. 2021, ktorí hodnotili proces sušenia pilín pri veľkoobjemovej výrobe peliet, odporúčajú na zlepšenie efektívnosti procesu využívanie odpadového tepla zo sušiaceho média.

4 Sušiareň Katres KBD 3-4

V rámci výskumnej témy Energetické využitie biomasy infraštruktúrneho projektu Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva, bolo predmetom technologického riešenia aj vybudovanie sušiarne drevených štiepok na BTP Stráž. Výsledným riešením je pásová sušiareň Katres KBD 3-4 (Obr.1).



Obrázok 1. Pásová sušiareň Katres KBD 3-4 vybudovaná v rámci BTP Stráž

4.1 Popis:

Pásová sušiareň Katres KBD 3-4 je určená na sušenie pilín, alebo drevnej štiepky. Skladá sa zo vstupnej sekcie pre surovinu, sušiaceho tunela s pásom, podtlakového systému vzduchu, pohonu, zariadenia na napínanie pásu a zariadenia pre výstup usušeného materiálu. K základným dielom patrí tiež systém riadenia a protipožiarneho zabezpečenia, vrátane riadiaceho velínu s rozvodnou riadiacou skriňou. Systém je možné ovládať na diaľku cez osobný počítač (Obr.2). Príslušenstvom sušiarne KBD 3-4 je zásobník sušeného materiálu, šnekový dopravník zabezpečujúci prísun materiálu do vstupnej sekcie sušiarne a šnekový dopravník odoberajúci vysušený materiál zo zariadenia pre výstup materiálu. Zdrojom tepla na sušenia je ohriata kvapalina (glycol), ktorá sa pripravuje v plynovom kotly. Primárnym

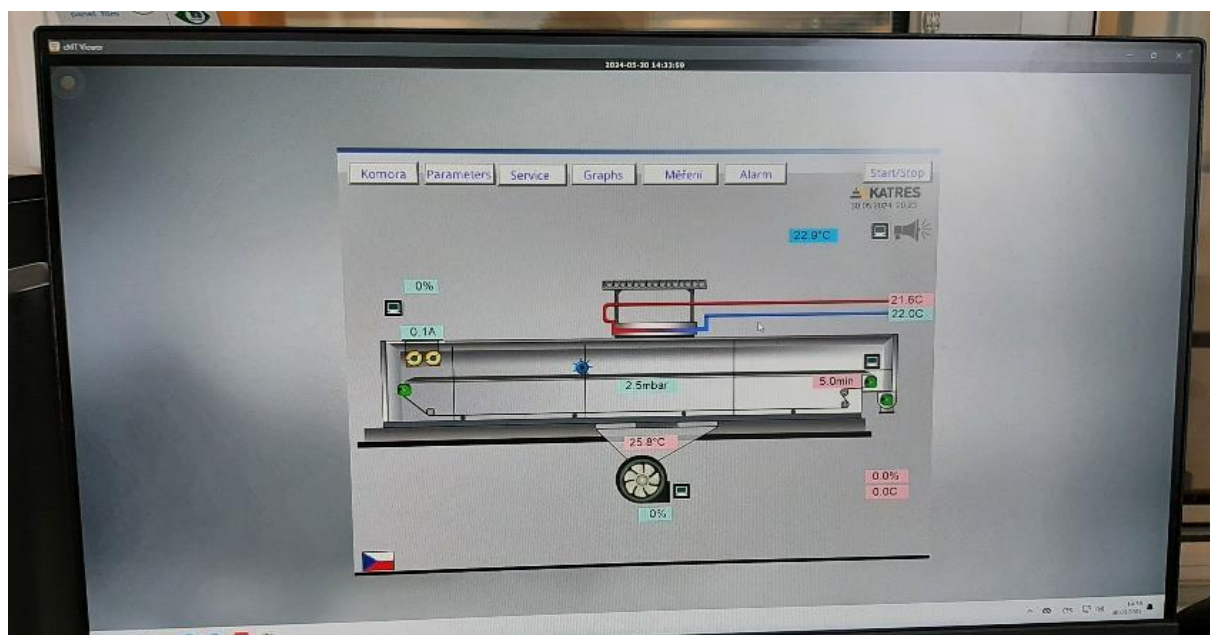
zdrojom energie bude skvapalnený zemný plyn – propán. Štiepka pripravená na sušenie sa do zásobníka naplňa pomocou šmykového nakladača. Vysušená drevná štiepka sa zhromažďuje v ocelovom kontajneri, ktorý sa odváža pomocou nákladného automobilu. Príslušenstvom sušiarne KBD 3-4 je zásobník sušeného materiálu, šnekový dopravník zabezpečujúci prísun materiálu do vstupnej sekcie sušiarne a šnekový dopravník odoberajúci vysušený materiál zo zariadenia pre výstup materiálu. Zdrojom tepla na sušenia je ohriata kvapalina (glycol), ktorá sa pripravuje v plynovom kotly. Primárnym zdrojom energie bude skvapalnený zemný plyn – propán. Štiepka pripravená na sušenie sa do zásobníka naplňa pomocou šmykového nakladača. Vysušená drevná štiepka sa zhromažďuje v ocelovom kontajneri, ktorý sa odváža pomocou nákladného automobilu.

4.2 Hlavné technické parametre:

Produkt určený na sušenie: drevná štiepka (voľne ložená, nepremrznutá, bez prachu a hrubých častíc)

Tabuľka 1. Hlavné technické parametre sušiarne KBD 3-4 od spoločnosti Katres

Vstupná vlhkosť materiálu	50 % obsah vody
Výstupná vlhkosť materiálu	15 % obsah vody
Elektrický príkon	celkom cca. 15 kW
Sypná hmotnosť materiálu	ca. 248 kg/m ³ (vlhký substrát)
Parametre vonkajšieho vzduchu	Teplota -10° C, rel. vlhkosť 70 %, bez prachu
Typ výmeníka voda-vzduch	Lamelový - nepriamy
Tepelné médium	Voda
Menovitý tepelný výkon zdroja	260 kW, -10°C
Sušiacia teplota vzduchu	max. 70° C
Predĺženie materiálu na páse	Rozsah doby zdržania 20 až 50 minút
Tlakový vzduch pre mokré čistenie	nie
Voda pre mokré čistenie	ne



Obrázok 2. Sušiareň Katres KBD 3-4, riadenie procesu sušenia z velína prostredníctvom PC

Sušiareň KBD 3-4 je vybavená rôznymi vstupnými a výstupnými otvormi, ktoré sú vybavené pevnými uzávermi a oknami, ktoré slúžia k prevádzaniu kontroly a údržby. Potrebná rýchlosť sušiaceho pásu, resp. otáčok prevodového elektromeru sa regulujú pomocou frekvenčného meniča. Nastaviteľnými otáčkami sa tak reguluje doba prechodu sušeného materiálu sušiarňou a tým sa ovplyvňuje aj konečný obsah vody vo vystupujúcom materiály. Konečný obsah vody stanovuje kontrolné zariadenie, vlhkomer, vo výstupe usušeného materiálu. Ohrev vzduchu sa zabezpečuje tepelnými výmenníkmi „vzduch-voda“, ktoré sú umiestnené v hornej časti sušiarne.

4.3 Ciele využitia experimentálnej linky

Hlavným cieľom využívania predmetnej experimentálnej linky je optimalizácia procesu energetického využívania palivových drevných štiepok vrátane možnosti ich skladovania, ktoré predstavuje rozhodujúcim prvok logistického reťazca zásobovania.

4.4 Inštalácia zariadenia

Z hľadiska procesu inštalácie a samotného procesu spustenia do prevádzky experimentálnej linky sa ako najproblematickejšie ukázalo zosúladenie sušiarne s parametrami príslušenstva (zásobníka a dopravníky), ako aj zosúladenie parametrov príslušenstva so sušeným materiálom (upchávanie zásobníka, zasekávanie nadrozmerných štiepok v dopravníkoch).

5 Záver

Výroba palivových drevných štiepok pozostáva z radu pracovných operácií a procesov, do ktorých patrí stínka stromov, približovanie dreva, štiepkovanie, doprava, skladovanie a sušenie (Oravec a Slamka 2018). Účelom procesu sušenia je odstrániť voľnú a viazanú vodu v dreve, pretože efektívne energetické využívanie drevných štiepok úzko súvisí s obsahom ich vlhkosti. Vlhkosť významne ovplyvňuje ich výhrevnosť, pričom sušením ju môžeme zvýšiť až o viac ako 50 %. Dôležité je poukázať aj na ďalšiu pridanú hodnotu sušenia vplývajúcu na možnosť dlhodobého skladovania drevných štiepok. Ekonomickú efektívnosť procesu sušenia možno dosiahnuť využitím odpadového tepla.

PodĎakovanie

"Táto práca bola podporená z kontraktu NLC s MPRV SR v rámci projektu výskumného zámeru NLC 2022-2026 Digiwood".

Literatúra

BIANCHINI, D. C., SIMIONI, F. J. 2021. Economic and risk assessment of industrial wood chips drying. Sustainable Energy Technologies and Assessments 44, 101016.

BURRATI, C., ORESTANO, F. C., COTANA, F., QUAGLIETTA, P., ANTONELLI, P., BARBANERA, M. 2019. Impact of storage on energy performance of laricio pine wood chips: A case study in Italy. Industrial Crops and Products, 131:301-306.

- DEL GUIDICE, A., ACAMPORA, A., SANTANGELO, E., PARI, L., BERGONZOLI, S., GUERRIERO, E., PETRACCHINI, F., TORRE, M., PAOLINI, V., GALLUCI, F. 2019. Wood chips drying through the using of a mobile rotary dryer. *Energies* 12 (9), 1590.
- HAQUE, N., SOMERVILLE, M. 2013. Techno-Economic and Environmental Evaluation of Biomass Dryer. *Procedia Engineering* 56:650-655.
- 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.
- KHOUYA, A. 2021. Modelling and analysis of a hybrid solar dryer for woody biomass. *Energy*, Elsevier, vol. 216(C).
- LOSTEC, B. L., GALANIS, N., BARIBEAULT, J., MILLETTE, J. 2008. Wood chips drying an absorbtion head pump. *Energy* 33(3):500-512.
- MANZONE, M. 2015. Energy consumption and CO₂ analysis of different types of chippers used in wood biomass plantation. *Applied Energy* 156: 686-692.
- MATISKO P. (2014). Sušičky dřevní štěpky. Dostupné na www.cyberma.cz/susicky-drevnistepky. [Posledný prístup 15.5. 2014].
- MISHRA, S., VERMA, S., CHOWDHURY, S., DWIVEDI, G. 2021. Analysis of recent developments in greenhouse dryer on various parameters- a review. *Materialtoday's: proceedings* 38(1):371-377.
- MYLLYMAA, T., HOLMBERG, H., ATHILA, P. 2018. Techno-economic evaluation of biomass drying in moving beds: The effect of drying kinetics on drying costs. *Drying Technology* 37(10):1201-1214.
- PATEL, S. K., BADE, M. H. 2020. Superheated steam drying and its applicability for various types of the dryer: The state of art. *Drying Technology* 39(3).
- 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.
- PEREA-MORENO, A. J., JUAIDI, A., MANZANO-AGUGLIARO, F. 2016. Solar greenhouse dryer system for wood chips improvement as biofuel. *Journal of Cleaner Production* 135:1233-1241.
- 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.
- SILVA, J., FERREIRA, A. C., TEIXEIRA, S., MARTINS, L., FERREIRA, E., TEIXEIRA, J. C. 2021. Sawdust drying process in a large-scale pellets facility: An energy and exergy analysis. *Cleaner Environmental Systems* 2, 100037.
- SLAMKA, M., GERGEL, T., ORAVEC, M., SCHWARZ, M. 2021. Technologické zariadenia na sušenie palivových drevných štiepok. In: Aktuálne otázky politiky a ekonomiky lesného hospodárstva. Zborník z vedeckej konferencie. Zvolen 14.12.2021, strana 141 – 147.
- SUCHOMEL, J., BELANOVÁ, K., GEJDOŠ, M., NĚMEC, M., DANIHELOVÁ, A., MAŠKOVÁ, Z. 2014. Analysis of fungi in wood chips storage piles. *BioResources* 9 (3).
- TRENČIANSKY, M., LIESKOVSKÝ, M., ORAVEC, M. 2007. Energetické zhodnotenie biomasy. NLC Zvolen. 153 s.

YI, J., LI, X., HE, J., DUAN, X. 2020. Drying efficiency and product quality of biomass drying: a review. Drying Technology 38(15):2039-2054.

ISO 17225-4:2014 Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 4: Graded wood chips.

Zhrnutie

Drying of fuel wood chips, dryer Katres KBD 3-4

We deal with the issue of drying of fuel wood chips in the process of their production and energy use in this paper. Among the most important factors affecting the quality of wood chips are moisture content, time and method of storage. In general, it is recommended to spend as little time of storage, as possible in covered area. Drying is carried out in order to reduce the moisture content of the fuel in order to increase its caloric value and improve the combusting process itself. Drying also extends the possible storage time of the chips. In addition to natural drying, technological devices - dryers - are also used. It is recommended to use waste heat in the drying process. In conclusion, we present the Katres KBS 3-4 fuel chip dryer.

Kľúčové slová

palivové štiepky, sušenie, výhrevnosť, sušiareň KBD 3-4

Kontaktné adresy

Marián Slamka
Odbor manažmentu lesa
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
marian.slamka@nlcsk.org

Tomáš Gergel
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

Peter Veverka
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
peter.veverka@nlcsk.org

SLEDOVANIE TOKOV DREVA V BP STRÁŽ

Maroš Sedliak, Matej Ján Dominka, Vlastimil Murgaš, Tomáš Gergel

1 Úvod a problematika

Sledovanie tokov, kontrola pohybu a informácie o pôvode dreva sú jednou z diskutovaných tém v oblasti lesníctva a spracovania dreva, a to ako z pohľadu verejnosti a mimovládnych organizácií, tak aj z pohľadu štátnej správy (ŠIROKÝ, 2019). Problematiku obchodovania s drevom upravuje Zákon NR SR č. 113/2018 Z.z..

Na Slovensku sú v prevádzke dva informačné systémy sledovania pohybu dreva. Lesy SR š.p. prevádzkujú systém Priebežné sledovanie pohybu dreva a portál „Otvorené drevo“ (LESY SR, 2023), v ktorom sú evidované výšky ťažieb a prevozu dreva podľa drevín, odštepných závodov, lokality a odberateľov. Druhý systém „Otvorené dáta“ prevádzkujú Vojenské lesy a majetky SR, š.p. (JURICA a kol., 2005, VLM SR, 2023), v ktorom sa pomocou štítkov eviduje ťažba dreva, zásoby, odvoz a predaj dreva.

Aby bola možná jednoduchá identifikácia dreva a kontinuálne sledovanie pohybu guľatiny alebo reziva je potrebné aplikovať moderné informačné technológie s cieľom vytvorenia digitálnej stopy dreva, ktorá bude základom pre elektronickú evidenciu toku dreva v dodávateľsko-odberateľskom reťazci od lesného porastu až po jednotlivé výrobky. Prepojenie a zdieľanie informácií o identifikačných znakoch dreva a jeho označenia s využitím načítania online údajov umožní jednoznačnú identifikáciu každého výrezu a produktov z neho vyrobených. Spolu s informáciami o jeho polohe a stave v každom bode spracovania dreva je možné vytvoriť kontinuálnu evidenciu toku dreva. Pre vytvorenie elektronickej evidencie toku dreva a reziva v dodávateľsko-odberateľskom reťazci je potrebné navrhnuť, otestovať, vyhodnotiť a porovnať viaceré metódy, technológie i technické prostriedky. Ich aplikáciu v rámci predmetného experimentálneho výskumu je zároveň nevyhnutné realizovať v správne naplánovanom časovo-priestorovom rámci viacerých jednotlivých etáp.

Zavádzanie digitálnych technológií do procesu spracovania dreva a identifikácie jeho vlastností, ako sú napr. aj 3D CT skener guľatiny a mobilný pozemný laserový skener, by mali prispieť k spresneniu porastových a stromových sortimentačných modelov a umožniť tým zvýšiť výťažnosť vyprodukovanej guľatiny v procesoch druhotovania, primárneho a sekundárneho pilárskeho spracovania dreva (GERGEL a kol., 2021).

Cieľom príspevku je predstaviť experiment testovania použiteľnosti rôznych technológií evidencie dreva, predovšetkým v problematike štítkovania stromov a koncept prepojenia doposiaľ oddelených lesníckych a spracovateľských systémov sledovania pohybu dreva a výrobkov z dreva. Slúžiť bude pre experimentálne navrhnutie, testovanie a validáciu možností digitálnej informačno-technologickej inovácie pri zvyšovaní pridanej hodnoty v sortimentácii, druhotovaní a spracovaní dreva a sledovaní pohybu dreva od producenta dreva až ku spracovateľovi.

2 Metodika a materiál

Pre overenie experimentálneho návrhu sledovania tokov dreva je využitý dielec 911 na LHC ŠLP TU Zvolen v lesnom celku VŠLP Budča. Jedná sa o dvojetážový porast kategórie lesa osobitného určenia (U – g – Lesy určené na lesnícky výskum a lesnícku výučbu) vo veku prvej etáže 125 rokov a veku druhej etáže 30 rokov. Na výmere porastu 1,59 ha sú najviac zastúpené dreviny dub zimný, lipa malolistá, hrab obyčajný, dub letný a borovica lesná.

Predmetný experimentálny lesný porast sa nachádza v areáli Biotechnologického parku Stráž. V uvedenom areáli sa taktiež nachádza 3D CT skenovacia linka guľatiny s ďalším výrobnotechnickým vybavením.

Sledovanie toku dreva sa začalo evidenciou dreva v podobe stojacich stromov v lesnom poraste ešte v období pred jeho plánovanou obnovou v rokoch 2023 a 2024. Tejto etape predchádzalo terestrické mapovanie a zber údajov vybraných dendrometrických veličín do evidencie stromov, vrátane ich označenia štítkami.

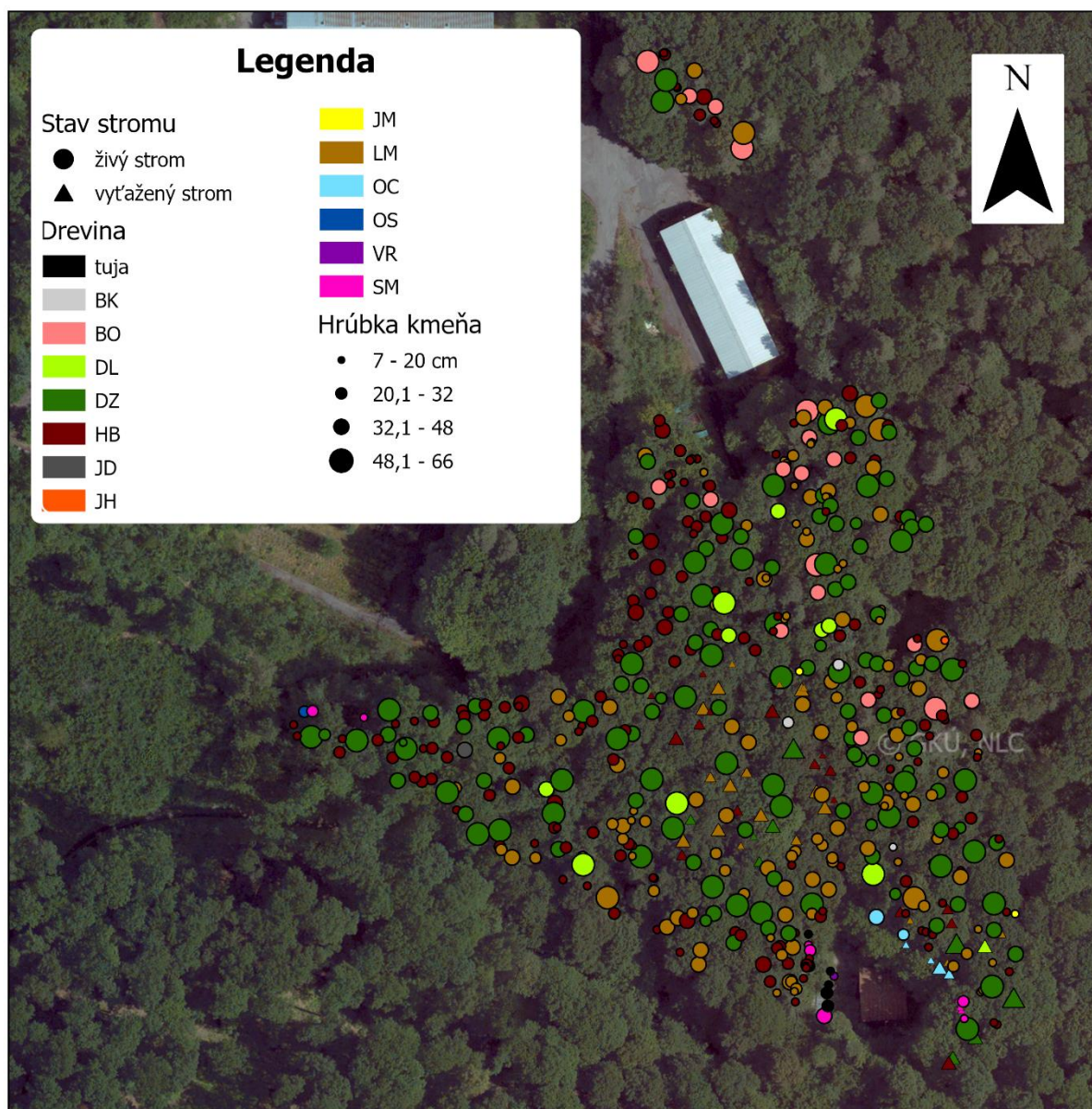
Po vyťažení stromov z lesného porastu sa realizoval presun drevnej hmoty z lesného porastu na miesto prvotného spracovania dreva, kde dochádza ku kráteniu stromov na výrezy dreva a ich zatriedenie do kvalitatívnej triedy (objem, kvalita). V tejto etape sa na jednotlivých stromoch vykonala kontrola označenia štítkom z hľadiska sledovania ich životnosti a odolnosti počas približovania a manipulácie. Ak bola guľatina rozdelená na viac častí, boli označené aj všetky tieto časti (výrezy) s výnimkou rôznych zostatkov, ktoré sa ďalej nespracovávali. Pre zvýšenie pridanej hodnoty v sortimentácii dreva a optimalizáciu výťažnosti dreva boli niektoré označené výrezy následne skenované prostredníctvom 3D CT skenera, ktorý umožňuje vytvorenie 3D modelu skenovaného výrezu a identifikáciu vnútornej štruktúry dreva vrátane jeho chýb. Zároveň, skenovanie bolo jedným z krokov manipulácie s drevom, počas ktorého boli overované navrhnuté technológie pre sledovanie tokov dreva.

Pre overenie použiteľnosti rôznych technológií označovania stromov boli vybrané 2 perspektívne technológie: tlačené štítky s čiarovými alebo QR kódmi (Zebra Polypro 4000D) a RFID čipy (Slimflex UHF). Tieto technológie boli vybrané ako alternatívy k v praxi už používaným plastovým štítkom. Z rešerše literatúry vyplynulo, že tieto dve technológie patria k najpoužívanejším v oblasti lesníctva a drevárstva. Cieľom je overiť použiteľnosť a hospodárnosť týchto technológií pre účely identifikácie stromov od stojaceho stromu po spracovanie dreva pod vplyvom poveternostných podmienok a manipulácie so stromami a ich časťami počas vykonanej ťažby.

3 Výsledky a záver

V lesnom poraste číslo 911 v LC VŠLP Budča v rámci experimentálneho preukázania konceptu sledovania tokov dreva bolo označených 548 stromov s hrúbkou 7 cm a viac (Obrázok 1).

Pre obidve technológie boli odhadnuté materiálové náklady na označenie 1 stromu (1 tlačný štítok alebo 1 RFID čip). Najlacnejšie označenie stromu v hodnote 0,58 € s DPH bolo pomocou tlačeného štítku umiestneného v laminovacej fólii. Druhé najlacnejšie, v hodnote 0,67 € s DPH, bolo použitie tlačeného štítku v plastovom obale. Najdrahším riešením bolo použitie RFID čipu v hodnote 2,38 € s DPH za 1 kus. Do nákladov boli okrem použitého materiálu štítkov a čipov započítané aj náklady na špecializované zariadenia, ako je napr. termotlačiareň s príslušenstvom, sponkovačka a pripevňovací materiál v podobe sponiek a klinec.



Obrázok 1. Lokalizácia drevín v lesnom poraste č. 911

Z pozorovania a testovania funkčnosti pod vplyvom poveternostných podmienok vyplýva, že kvalita zobrazenia čiarových kódov na tlačенých štítkoch sa postupom času zhoršuje. Papier štítkov postupne mení farbu z bielej na oranžovú až ružovú a čierna farba tlačенého čiarového kódu postupne slabne až úplne zmizne. Čitateľnosť štítkov optickou čítačkou sa postupne zhoršovala až sa stali štítky nečitateľnými (Obrázok 2). Vplyv rôznej orientácie štítkov na svetové strany a použitie 2 rôznych obalov nemal významnejší vplyv na ich životnosť.

V lesnom poraste bola vykonaná jeho obnova vo forme 2 kruhových obnovných prvkoch pri dodržaní princípov PBHL. Celkovo bolo v poraste vyťazených 59 stromov s objemom 50 m³ HBK (Tabuľka 1, Obrázok 2). Pri výbere stromov do obnovy bola zohľadnená vykonaná porastová a stromová sortimentácia.



Obrázok 2. Ukážka stavu štítkov po 1 roku od ich umiestnenia na strome v lesnom poraste č. 911

Tabuľka 1. Počet stromov a ich zásoba HBK vyťažené počas obnovy lesného porastu

Drevina	Počet stromov	Zásoba HBK v m ³
DL	1	1,78
DZ	9	15,46
HB	19	11,03
LM	22	20,36
OC	4	1,30
SM	4	0,24
Spolu	59	50,16

Počas obnovy porastu a ich manipulácie v rámci areálu Biotechnologického parku Stráž a skenovania pomocou CT skenera bola sledovaná životnosť štítkov a ich prípadné poškodenie. Zároveň bola testovaná aplikácia WoodFlow pre evidenciu tokov dreva a jej funkcie pre delenie jednotlivých stromov na viaceré časti (výrezy). Počas ťažby a manipulácie s 59 stromami a ich výrezmi boli zaznamenané 2 odpadnutia tlačných štítkov a 1 odpadnutie RFID čipu.

Z hľadiska použiteľnosti skúmaných technológií, ako alternatív k bežnému označovaniu guľatiny plastovými štítkami, obidve technológie vykázali výbornú mechanickú odolnosť pri ťažbe a manipulácii – viac ako 98 % štítkov nebolo poškodených, viac ako 99 % RFID čipov nebolo poškodených. Z hľadiska ich čitateľnosti snímačmi, kvôli zhoršovaniu kvality tlačného čiarového kódu je možné tlačné papierové štítky použiť len po obmedzenú dobu, napr. na označenie stromov pred ťažbou, maximálne na dobu 6 mesiacov. Ich výhodou sú

nízke náklady na obstaranie. Pri RFID čípoch nebol zaznamenaný problém s prečítaním jeho identifikátora.

Na základe dosiahnutých výsledkov bude v ďalšej fáze riešenia (2025 – 2026) navrhnutý systém elektronickej evidencie tokov dreva v dodávateľsko-odberateľskom reťazci, umožňujúci efektívne a transparentné spracovanie dreva. Zanalyzuje sa informačný systém producenta dreva Lesy SR, š.p. a spracovateľov dreva (piliarska výroba) s cieľom vzájomne prepojiť dáta získané technológiami označovania dreva, skenovania porastov a výrezov s údajmi z uvedených systémov - koncept kontinuálneho sledovania tokov dreva (guľatiny a reziva) s využitím údajov čipovania/štítkovania, pozemného laserového skenovania, statického 3D CT skenovania kmeňov a prepojenia vybraných údajov z báz existujúcich geografických informačných systémov.

Podakovanie

„Táto publikácia vznikla vďaka podpore z kontraktu medzi NLC a MPRV SR v rámci projektu výskumného zámeru NLC 2022-2026 Digiwood a vďaka podpore financovania štúdie Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence.“

Literatúra

- NÁRODNÉ LESNÍCKE CENTRUM – LESNÍCKY VÝSKUMNÝ ÚSTAV ZVOLEN, 2021: Výskum a vývoj pre udržateľný rozvoj lesnícko-drevárskeho sektora v meniacich sa podmienkach (Výskumný zámer na roky 2022-2026), Národné lesnícke centrum, Zvolen
- NÁRODNÉ LESNÍCKE CENTRUM – LESNÍCKY VÝSKUMNÝ ÚSTAV ZVOLEN, 2022: Zborník odborných prác z konferencie – LignoSilva 2022, Národné lesnícke centrum, Zvolen, ISBN 978-80-8093-340-1
- GERGEL, T., SEDLIAK, M., ONDREJKA, V., 2021: 3D zobrazovacie technológie pre detekciu chýb dreva, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, ISBN 978-80-8093-320-3
- LESY SR, 2023: Otvorené drevo. Lesy Slovenskej republiky, š.p., Citované: 27.4.2023. Dostupné na internete: <https://otvorene.lesy.sk/drevo>
- ŠIROKÝ, P. 2019: Ako zlepšiť sledovanie ťažby a prepravy dreva. Inštitút environmentálnej politiky. Ministerstvo životného prostredia SR. Bratislava
- JURICA, J., KOPANIČÁK, O., ČONGRÁDY, M. 2005: Využitie informačných technológií v praxi. Archív časopisu Lesnícka práce, ročník 84 (2005), Lesnícka práce č. 9/05. Dostupné online: <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-84-2005/lesnicka-prace-c-9-05/vyuzitie-informacnych-technologii-v-praxi>
- PETRÁŠ, R., NOCIAR, V., 1991: Sortimentáčné tabuľky hlavných drevín. VEDA, Bratislava, 304 s.
- VLM SR, 2023: Otvorené dáta. Vojenské lesy a majetky Slovenskej republiky, š.p., Citované: 26.4.2023. Dostupné na internete: <https://data.vlm.sk/>

Zhrnutie

The aim of the paper is to present the actual state of experiment focused on different technologies for wood flow evidence in forest stand number 911. Two prospective technologies were applied in the field: printed labels with barcodes or QR codes and RFID tags, designed for wood flow tracking. In the forest stand, there was done a regeneration harvesting with respect to close-to-nature forest management. There were harvested 59 trees

with stock 50 m³. Durability and lifetime of the labels and tags were checked during the harvesting. 98% of labels and 99 % of tags stay without damage after harvesting. The printed labels were a cheapest technology, but their lifetime is relative short. We recommend this technology only for labeling the trees up to 6 month before harvesting. The most expensive technology were RFID tags but they have a excellent lifetime a durability.

Next research will focus on testing and validation of the possibilities of digital information technology innovation in increasing the benefit in the sorting and processing of timber and tracking the movement of timber from the forest producer to the processor.

Kľúčové slová

Sledovanie toku dreva, RFID tag, geografické informačné systémy, Biotechnologický park Stráž

Kontaktná adresa autorov

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen

T.G.Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovenská republika

maros.sedliak@nlcsk.org, matej.dominka@nlcsk.org, vlastimil.murgas@nlcsk.org,

tomas.gergel@nlcsk.org

DETEKCIA VNÚTORNÝCH CHÝB V LISTNATÝCH DREVINÁCH POMOCOU GRADIENTOV

Ondrej Vacek , Tomáš Gergel'

1 Úvod

V kontexte skenovania protokolov počítačovou tomografiou je presná detekcia uzlov kľúčom k dodaniu úspešného produktu. Tieto môžeme odhaľovať napríklad pomocou CT skenovania tak, ako sa to deje na linke CE LignoSilva. Pre časovo čo najefektívnejšie vyhodnotenie je potrebné vytvoriť automatizované algoritmy, ktoré budú fungovať bez zásahu ľudského operátora.

Spôľahlivá detekcia uzlov v beli je pri tradičných technikách počítačového videnia obtiažna z dôvodu rozdielnych podmienok hustoty medzi belovým a jadrovým drevom. Pokroky poskytované hlbokým učením v oblasti sémantickej segmentácie obrazu odštartovali nový spôsob pristupovania k takýmto problémom. Použitím viac ako 10 000 označených hrčíc z borovicovej a smrekovej guľatiny bolo možné vyvinúť nový dvojkrokový prístup na identifikáciu hrčíc v CT skenoch guľatiny s bezprecedentnou presnosťou a zároveň uspokojenie časových obmedzení, ktoré potrebuje priemyselná aplikácia v reálnom čase (STEFANO G. 2019). Problematika detekcie hrčíc v ihličnatých drevinách je podrobne rozpracovaná aj v dielach (FREDERIKSSON ET AL. 2017, BELLEY ET AL. 2019 a BHANDARKAR 1999.)

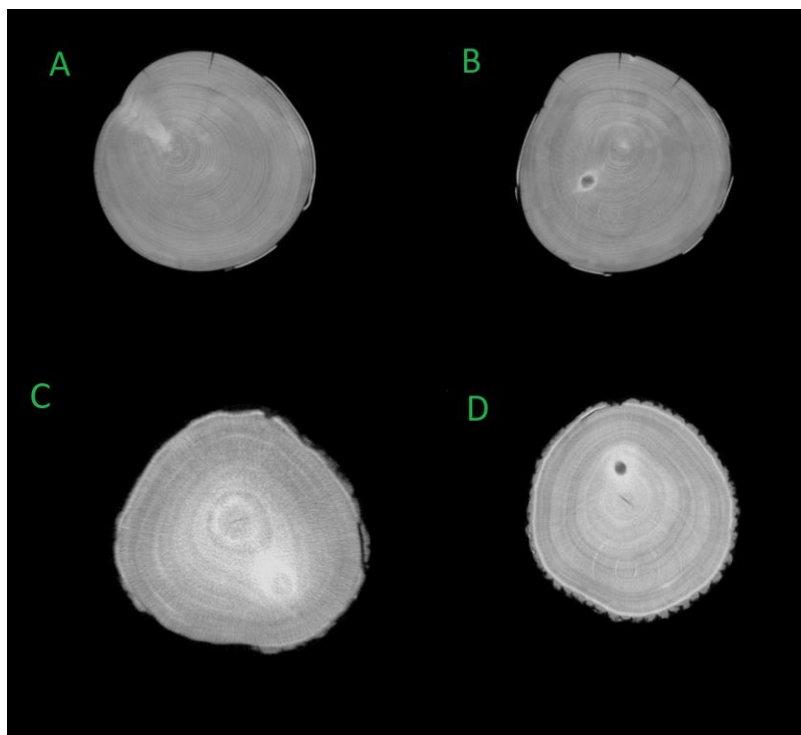
Detekcia hrčíc v listnatých drevinách je naproti tomu náročnejší problém. Menší rozdiel v hustote znamená, že algoritmy na detekciu musia pracovať s menej jednoznačnou informáciou, čo sa prejavuje na ich nižšej úspešnosti. V tomto príspevku sa zameriame na návrh algoritmu použiteľného na takúto detekciu.

2 Použité prostriedky

Obrazové vstupy boli získané prostredníctvom 3D CT skenera s voxelmi rozmeru 1mm x 1mm x 10mm. Svetlosť každého voxelu je závislá na hustote v konkrétnom mieste v guľatine. Sken jedného kmeňa potom pozostáva zo stoviek po sebe nasledujúcich obrázkov. Algoritmus detegujúci hrče v listnatých drevinách typicky potrebuje segmentovať vnútorné znaky na jednom z týchto obrázkov tak, ako ich vidíme napríklad na obrázku 1.

Kód algoritmu na analýzu CT snímok bol vytvorený a testovaný v prostredí balíka MatLab vo verzii 2024b. MatLab (Matrix Laboratory) je výkonný nástroj pre technické výpočty a analýzu dát, ktorý je veľmi vhodný na segmentáciu obrázkov. Obsahuje množstvo preddefinovaných funkcií pre spracovanie a analýzu obrazu, pretože je jedným zo štandardných nástrojov na riešenie problematiky v oblastiach automotive či medicíny.

Tu boli využité funkcie na výpočet gradientov (viď napr. JAIN 1995), morfológických operácií (RAVI ET AL 2013) a základných štatistických parametrov na súbore pixelov v každom obrázku získanom z príslušného rezu. Matlab tiež umožňuje generovanie kódu do iných programovacích jazykov alebo tvorbu interaktívnych aplikácií na základe skriptov a funkcií v ňom naprogramovaných preto je pre nás vhodný na praktickú aplikáciu navrhnutých algoritmov.

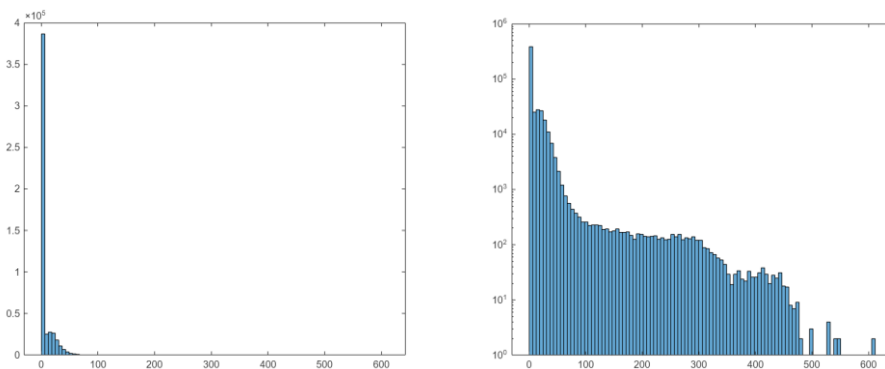


Obrázok 1. Zdravé (A,C) a nezdravé (B,D) hrče – buk (horný rad), dub (dolný rad)

3 Algoritmus detekcie

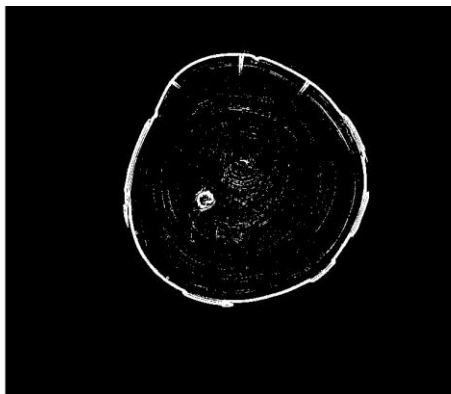
Samotný algoritmus si predvedieme na obrazovom výstupe 3D CT skenera. Ako prvú budeme detegovať nezdravú hrču na obrázku 1B.

V prvom kroku využijeme skutočnosť, že na okraji hrče dochádza výraznej zmene hustoty oproti okoliu. Táto skutočnosť sa dá použiť na selekciu vnútorných bodov na základe veľkosti gradientu, ktorý si môžeme pre daný obrázok vypočítať sobelovou metódou. Na histograme je dobre vidieť, že na obrázku sa nachádza len malá časť bodov s veľkým gradientom.



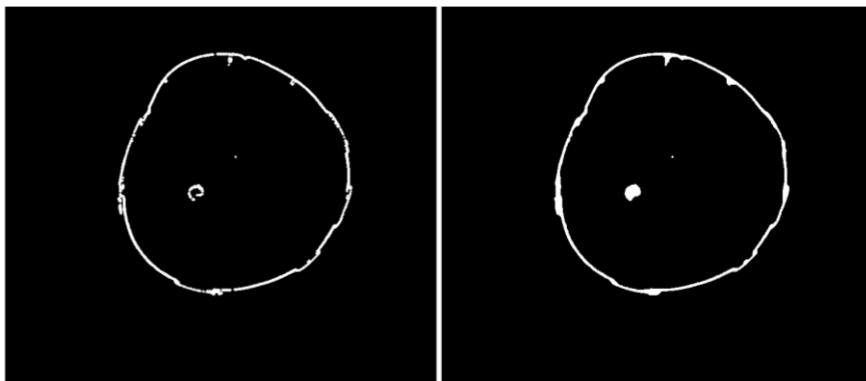
Obrázok 2. Histogram v lineárnej a logaritmickú škále.

Znázornením bodov, v ktorých gradient dosahuje hodnoty >50 vyfiltrujeme tie časti rezu, na ktorých dochádza k prudkej zmene hustoty v kmeni, t.j. okraje, hrče ale tiež šum rovnomerne rozložený v reze.



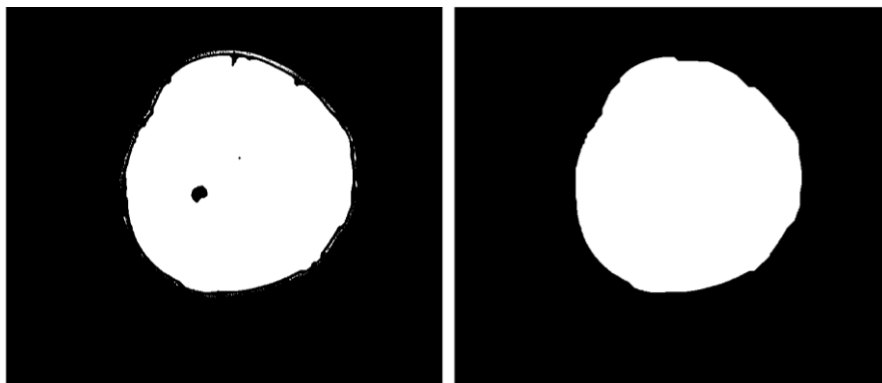
Obrázok 3. Regióny s gradientom >50

Postupným použitím morfológických operácií otvorenia (na štruktúre disk s polomerom 2 pixely) a uzatvorenia (disk s polomerom 10 pixelov) obrázku najprv odstránime šum a potom uzavrieme oblasť hrče.



Obrázok 4. Postupné použitie operácií otvorenia a uzavretia

Regióny s veľkou hodnotou gradientu (obrázok 5) sa dajú použiť aj na určovanie okraja kmeňa a odhad veľkosti oblasti prislúchajúcej kôry. Najprv sa odseparuje oblasť s drevnou hmotou (stačí vyfiltrovať pixely s hodnotou väčšou ako 5), vnútro kmeňa bez kôry sa odhadne ako rozdiel tejto oblasti bez regiónov identifikovaných v gradientom. Nakoniec sa vykoná operácia otvorenia a uzavretia na odstránenie šumu a vyplnenie celej vnútornej oblasti

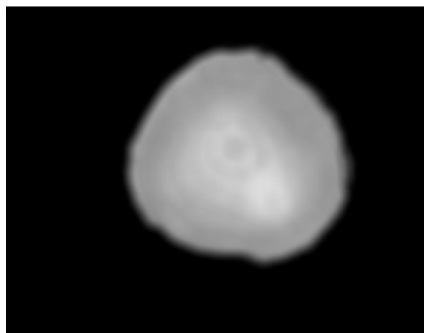


Obrázok 5. Detekcia vnútra a okraja

Na takto upravených obrázkoch sa potom môžu aplikovať funkcie MatLabu na detekciu okrajov v čiernobielych obrázkoch.

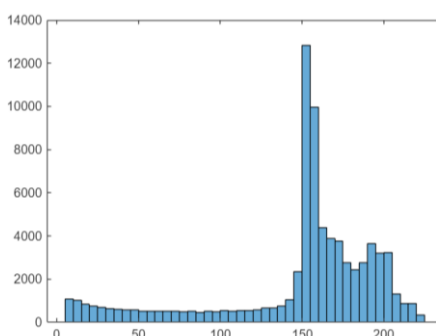
Ďalšou otázkou je problém detekcie zdravej hrče. Hodnoty gradientov v tomto prípade nie sú také extrémne. Zdravá hrča má však vyššiu hustotu, je preto na výstupe zo skenera znázornená výrazne svetlejšou farbou (obrázok 1C).

Región v ktorom sa vyskytuje, sa dá lepšie odseparovať z obrázka upraveného filtrom priemerujúcim okolité hodnoty.



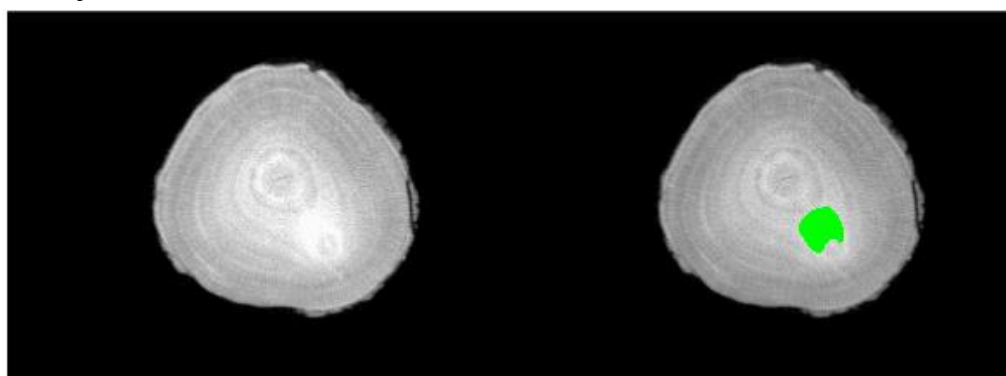
Obrázok 6. Filtrovaný obrázok (priemerné hodnoty na disku s polomerom 10 pixelov)

Na takto upravenom obrázku môžeme na príslušnom histograme pozorovať rozdelenie pixelov s výrazným globálnym maximom v okolí priemeru (160) a ďalším lokálnym maximom ktoré tvoria výrazne svetlé pixely tvoriace okolie zdravej hrče.



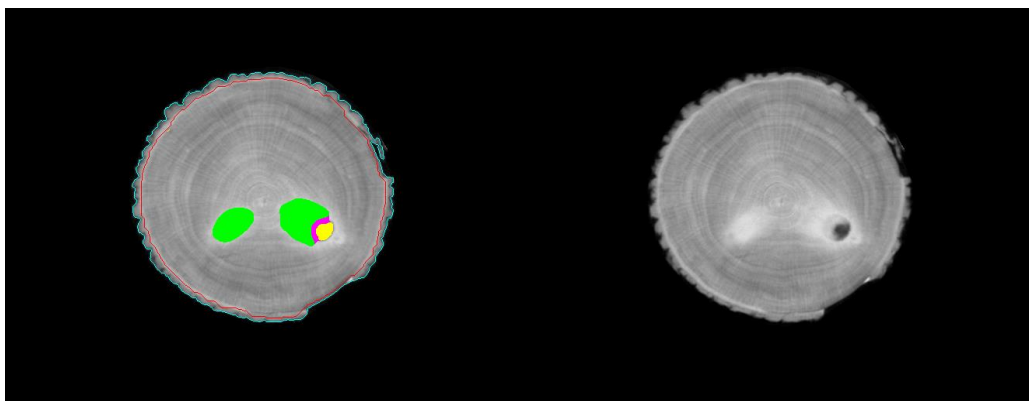
Obrázok 7. Rozdelenie pixelov v spriemerovanom obrázku

Vyselektovaním pixelov so svetlosťou väčšou ako priemer plus smerodajná odchýlka (približne 160+50 pixelov) a otvorením obrázku (odstránením šumu) dostávame zvýraznené okolie zdravej hrče.



Obrázok 8. Región okolo detegovanej zdravej hrče

Po detekcii regiónu je ešte vhodné urobiť zjednotenie regiónov s identifikovanou zdravou a nezdravou hrčou a vykonať na tomto zjednotení morfológickú operáciu uzatvorenia (región v okolí centra nezdravej hrče môže byť identifikovaný ako hrča zdravá). Spojením troch predvedených algoritmov môžeme potom znázorňovať skúmané charakteristiky kmeňa na základe CT skenu.



Obrázok 9. Príklad správnej detekcie zdravej, nezdravej hrče, okraja a kôry

Podakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Literatúra

- BELLEY, D.; DUCHESNE, I.; VALLERAND, S.; BARRETTE, J.; BEAUDOIN, M. 2019 In: *Computed tomography (CT) scanning of internal log attributes prior to sawing increases lumber value in white spruce (Picea glauca) and jack pine (Pinus banksiana)*. Can. J. For. Res. 2019, 49, 1516–1524.
- BHANDARKAR, S.M.; FAUST, T.D.; TANG, M.J. 1999 In: *Catalog: A system for detection and rendering of internal log defects using computer tomography*. Mach. Vis. Appl. , 11, 171–190.
- FREDRIKSSON, M.; COOL, J.; DUCHESNE, I.; BELLEY, D. 2017 In: *Knot detection in computed tomography images of partially dried jack pine (Pinus banksiana) and white spruce (Picea glauca) logs from a Nelder type plantation*. Can. J. For. Res, 47, 910–915.
- JAIN, RAMESH. 1995 *Machine vision*. McGraw-Hill,. ISBN 0-07-032018-7.
- STEFANO, G., DAVIDE, B., ENRICO, V., MAURO, C., ANDREA, B., STEFANO, G., & URSELLA, E. 2019 In: *Improving knot segmentation using deep learning techniques*. In Proceedings 21st International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium (pp. 40-47). US Department of Agriculture.
- RAVI S., KHAN A. M. 2013. *Morphological Operations for Image Processing : Understanding and its Applications*. In National Conference on VLSI, Signal processing & Communications

Zhrnutie

Gradient-Based Method for Internal Defect Detection in Non-Coniferous Wood Species.

In recent years, algorithms for defect detection in CT scans of wood have been vastly improved. However, most of the progress has been done for coniferous wood species. This paper presents gradient-based algorithm that is designed to detect dead knots in non-coniferous wood species. Supporting method based on statistical properties of images for detecting regions that contains live knots is also provided. Furthermore, combination of both approaches is used for segmentation of trunk borders and bark. Detailed step by step instruction are shown and it is explained how combination of gradient analysis along with morphological operations can lead to desired results.

Kľúčové slová

detekcia vnútorných chýb, spracovanie obrazu, 3D CT skenovanie

Kontaktné adresy

Ondrej Vacek

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

ondrej.vacek@nlcsk.org

Technická univerzita vo Zvolene

Drevárska fakulta

T.G. Masaryka 24

960 01 Zvolen, Slovak Republic

ondrej.vacek@tuzvo.org

Tomáš Gergel

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

tomas.gergel@nlcsk.org

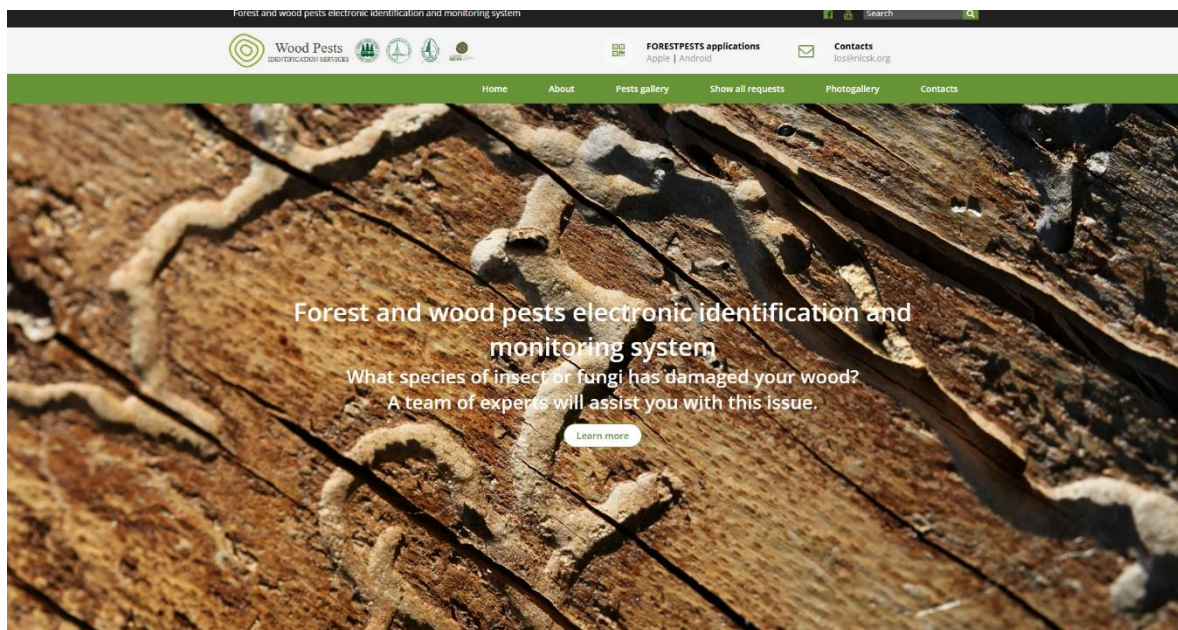
ELEKTRONICKÝ SYSTÉM PRE INDETIFIKÁCIU PRÍČIN POŠKODENIA DREVA „WOODPESTS”

Milan Zúbrik, Andrej Kunca, Jozef Vakula, Slavomír Rell, Juraj Galko, Roman Leontovyč, Andrej Gubka, Michal Lalík, Valéria Longauerová, Christo Nikolov, Marcel Dubec, Bohdan Konôpka

1 Úvod

Elektronický systém *WoodPests* je moderný nástroj navrhnutý pre potreby lesných pestovateľov, majiteľov píl a spracovateľov dreva, ktorý nadväzuje na existujúci systém *Škodcovia drevín*.

Základným predpokladom úspešnej ochrany lesa je správna identifikácia škodlivého činiteľa – bez presného určenia pôvodcu poškodenia nie je možné zvoliť efektívne a bezpečné ochranné opatrenia. Nesprávna diagnostika môže viesť k zbytočným nákladom, nesprávnym zásahom a potenciálnemu poškodeniu rastlín či životného prostredia. Tieto okolnosti boli dôvodom vzniku elektronického systému *Škodcovia drevín* (ZÚBRIK A KOL. 2016, 2019, 2021). Ten k dnešnému dňu obsahuje viac ako 750 druhov škodcov, viac ako 23 000 fotografií a za posledných 12 mesiacov ho navštívilo viac ako 120 000 návštevníkov (metrika Google Analytics). Avšak nie všetky druhy škodcov, ktoré znižujú vitalitu stromov, zhoršujúci zdravotný stav porastov či zapríčiňujú úhyn stromu, majú priamy dopad aj na kvalitu dreva. Z toho dôvodu sme naplánovali, naprogramovali a do pilotného režimu spustili nový elektronický systém, zameraných výlučne na škodcov dreva – *WoodPests*. Systém *WoodPests* nie je k dnešnému dňu užívateľsky prístupný a existuje len v neverejnej – pilotnej – verzii. Počítame s jeho zverejnením na doméne www.woodpests.com do konca marca 2025.



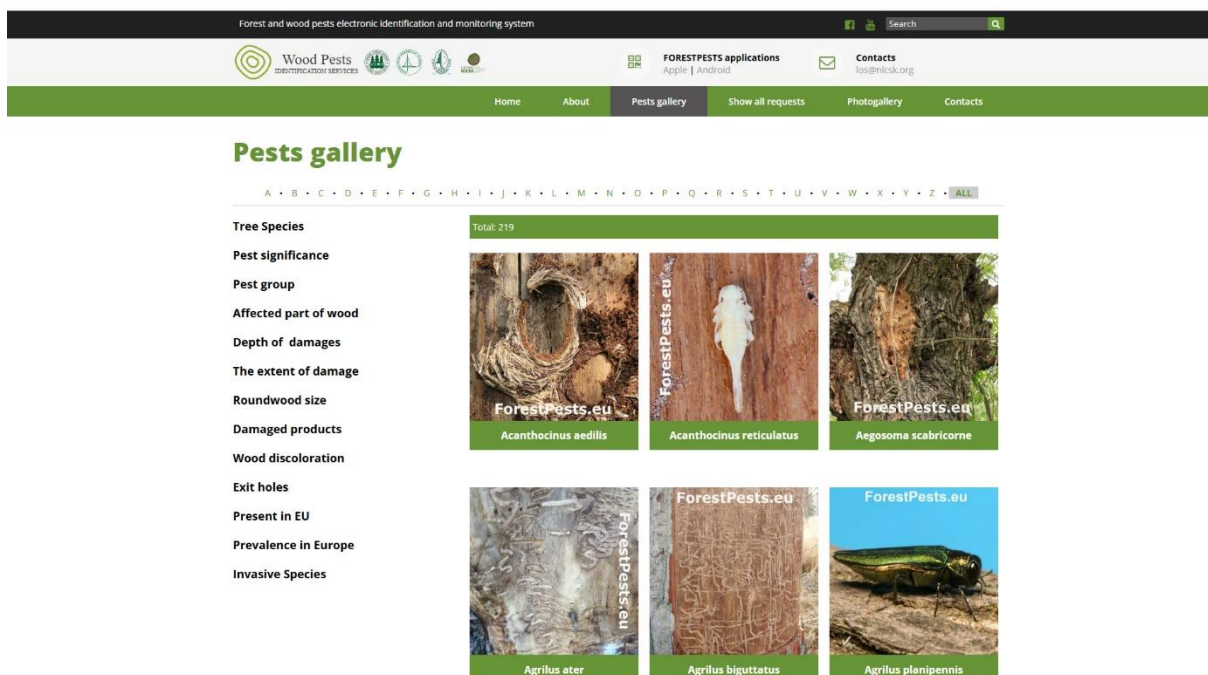
Obrázok 1. Vstupná stránka systému *WoodPests*.

Systém *WoodPests* technologicky a databázovo nadväzuje na administračný systém *Škodcovia drevín*. Systém *WoodPests* sa špeciálne zameriava na škodcov, ktorých aktivita priamo ovplyvňuje kvalitu dreva, čím pomáha odhaľovať príčinu poškodenia, manažovať škodcov, manažovať výrobu v drevospracujúcom podniku, zlepšovať efektivitu lesného hospodárstva a minimalizovať riziká. Systém je napísaný v anglickom jazyku, s cieľom osloviť nie len Slovenské ale aj širšie publikum záujemcov v stredoeurópskom priestore.

2. Základné funkcionality systému *Woodpests*

2.1. „Pests gallery“ – galéria škodcov

Databáza škodcov obsahuje zatiaľ 219 druhov (k 30. 10. 2024). V ďalšom období neplánujeme zásadným spôsobom zvyšovať počet škodlivých druhov. Odhadovaný finálny počet škodcov v atlase je cca na úrovni 250. S takýmto počtom uvedených v atlase sa počíta v horizonte do 5 rokov. Do zoznamu sme už dnes zaradili všetky najvýznamnejšie druhy, ktoré sa môžu vyskytovať v stredoeurópskom priestore. Systém umožňuje triedenie druhov podľa trinástich kategórií (obr. 2). Cieľom triedenia je zúžiť výber potencionálneho pôvodcu poškodenia. Budeme naďalej pracovať na špecifikácii triediacich kritérií aj na zvýšenie užívateľského komfortu vzhľadom stránky.

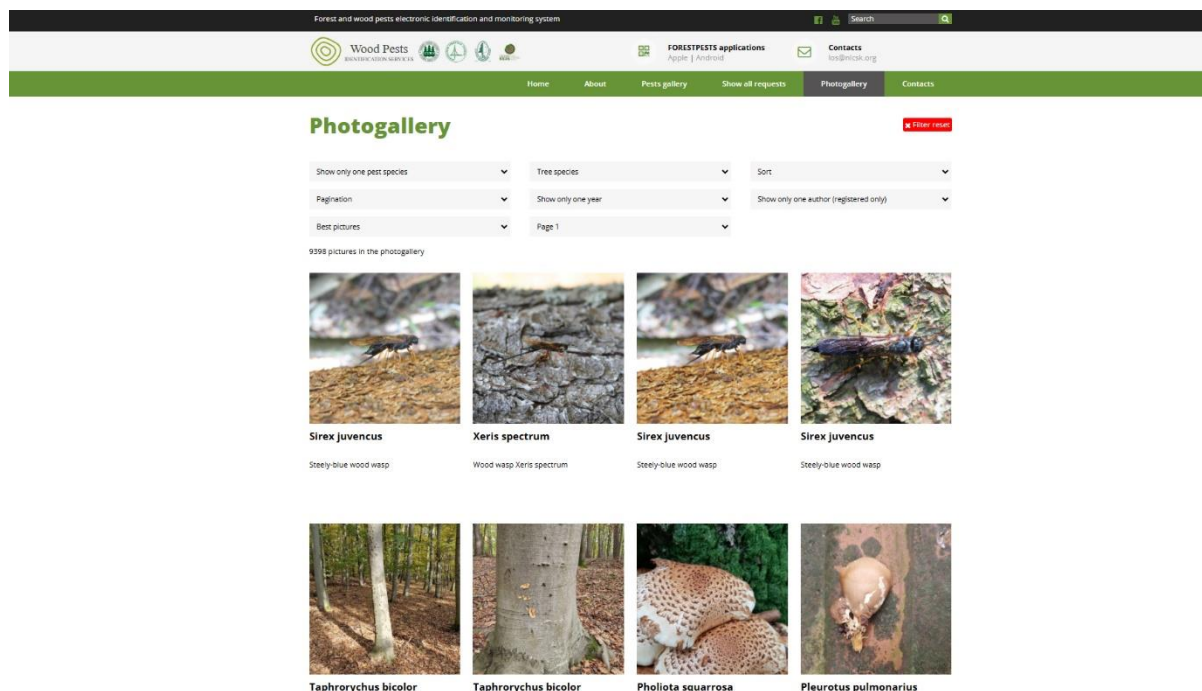


Obrázok 2. Základom systému *WoodPests* je zoznam - „Pests gallery“ - nebezpečných druhov, ktoré môžu znižovať kvalitu dreva.

2.2. „Photogallery“ - databáza fotografií v systéme *Woodpests*

V časti databáza fotografií - „Photogalley“ - je aktuálne viac ako 9 000 fotografií (k 30. 10. 2024). Fotografie sa dajú triediť pomocou ôsmich triediacich kritérií. Systém umožňuje prihlásenému užívateľovi vkladať fotografie cez špeciálne rozhranie. Z technických dôvodov sa pre vkladanie fotografií používa zatiaľ rozhranie na stránke www.forestpests.eu. V budúcnosti, v rámci aktualizácie a ďalšieho vývoja systému *WoodPests* zvažíme vytvorenie

vlastného - samostatného rozhrania pre nahrávanie fotografií. V prvej fáze, sme toto riešenie nerealizovali, pretože sa javí ako technologicky príliš komplikované a vyžadovalo by si dodatočné, náročné zmeny v celom systéme *Skodcovia drevín – WoodPests*. Dá sa predpokladať, že v budúcnosti dôjde k úpravám celého systému, ktoré umožnia vytvorenie takéhoto rozhrania.

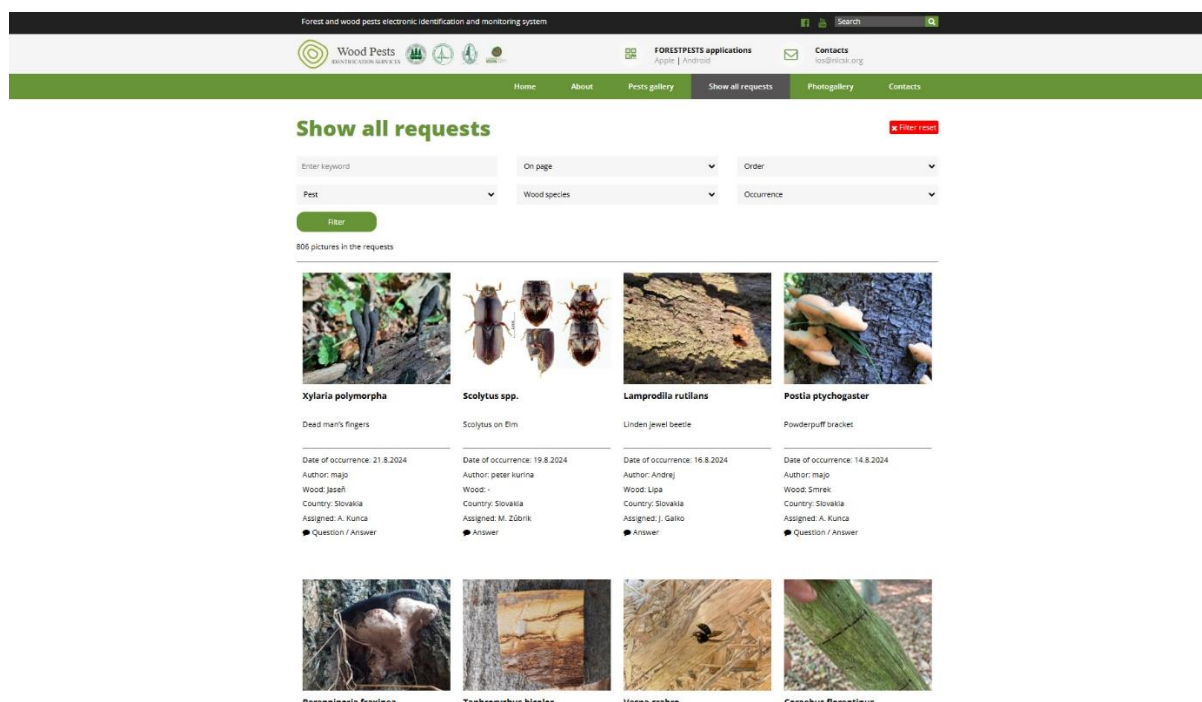


Obrázok 3. V databáze fotografií je vyše 9 000 fotografií.

Databáza fotografií nateraz využíva fotografie systému *ForestPests*. V najbližších rokoch by sme sa chceli zamerať na získanie fotografického materiálu tematicky viac zameraných na poškodenie dreva. V horizonte do 5 rokov by sme radi nadviazali kontakt s drevospracujúcimi spoločnosťami resp. manipulačnými skladmi dreva a vytvorili systém pre systematický zber fotografického materiálu. Chceli by sme tým zvýšiť celkovú využiteľnosť systému.

2.3. „Requests“ - zasielanie dotazu expertom v systéme *WoodPests*

Unikátnou časťou systému je možnosť kontaktovať expertov v predmetnej oblasti a požiadať o identifikáciu poškodenia. Z technických dôvodov sa pre posielanie dotazu používa zatiaľ rozhranie na stránke www.forestpests.eu. V budúcnosti, v rámci aktualizácie a ďalšieho vývoja systému *WoodPests* zvážime vytvorenie vlastného - samostatného rozhrania. Toto riešenie sa ale momentálne javí ako technicky príliš komplikované a bude v budúcnosti realizované v nadväznosti na ďalšie úpravy obidvoch systémov (*WoodPests* a *ForestPersts*). Schválené dotazy a odpovede sa zobrazujú na samostatnej stránke „Show all requests“ (obr 4).



Obrázok 4. Zobrazenie dotazov sa deje automaticky na samostatnej stránke.

2.4. Mobilné aplikácie

Na zasielanie dotazov a fotografií ako aj na monitoring druhov sa používajú tie isté mobilné aplikácie ako pre systém *Skodcovia drevín* a *ForestPests*. Sú voľne šíriteľné pre systém Android a systém iOS. V tejto fáze sa nepočíta s výrobou vlastných, špecifických mobilných aplikácií pre systém *WoodPests*. Ak sa v budúcnosti takáto požiadavka objaví a bude sa javiť z nejakého dôvodu ako prospešná, nie sú žiadne zásadné (technické) dôvody, prečo by sa potom nemohli takéto samostatné aplikácie naprogramovať.

3. Ďalší rozvoj systému *WoodPests*

V najbližšej budúcnosti plánujeme realizovať nasledovné aktivity:

- Zverejnenie systému na doméne www.woodpests.com do konca marca 2025.
- Testovanie pilotnej verzie – apríl – september 2025. Zbieranie skúseností s používaním, a zaznamenávanie podnetov od užívateľov.
- Zvýšenie užívateľského komfortu systému zapracovaním požiadaviek riešiteľov a užívateľov a naprogramovanie nových funkcionalít – október 2025 – marec 2026.
- Vytvorenie systému zberu fotografického materiálu relevantného k téme škodcov dreva (do konca roku 2025). Priebežne počítame so zväčšovaním a skvalitňovaním databázy fotografií.

4. Záver

Pracujeme na vytvorení elektronického systému na zber údajov o výskyte škodcov dreva a zároven na systéme, ktorý umožní distribúciu informácií o nich. Jedná sa o pomerne špecifickú skupiny škodlivých organizmov.

Špecifickú skupiny tvoria aj užívatelia tohto systému, nakoľko sa jedná najmä o spracovateľov dreva, správcov skladov dreva a len v menšej miere potom majiteľov lesa, či bežných návštevníkov lesa.

Podakovanie

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

Literatúra

ZÚBRIK, M., KUNCA, A., VAKULA, J., NIKOLOV, CH., RELL, S., GALKO, J., LEONTOVYČ, R., GUBKA, A., ŠPILDA, I., KULFAN, J., ZACH, P. 2016. Internetová verzia publikácie: Hmyz a huby – atlas poškodení lesných drevín. In: Kunca, A. (Ed.), *Aktuálne problémy v ochrane lesa 2016, Zborník referátov z 25. medzinárodnej konferencie konanej 21.-22.1.2016 v Kongresovom centre Kúpeľov Nový Smokovec, a.s., Národné lesnícke centrum, Zvolen*, s. 66 – 70.

ZÚBRIK, M., KUNCA, A., VAKULA, J., NIKOLOV, CH., RELL, S., GALKO, J., LEONTOVYČ, R., GUBKA, A. 2019. Interaktívny atlas biotických činiteľov ovplyvňujúcich zdravotný stav drevín. In: *Výstupy pre lesnícku prax*, Národné lesnícke centrum, Zvolen, 49 – 58.

ZÚBRIK, M. a kolektív LOS, 2021. *Mobilná aplikácia internetového atlasu „Škodcovia drevín“*. Les & Letokruhy, 77 (7-8): 36 – 37.

Zhrdnutie

Electronic system for identifying causes of wood damage "WoodPests". The *WoodPests* electronic system is a modern tool designed for forest managers, sawmill and wood storage owners, building on the foundation of the existing *ForestPests* system. Accurate identification of harmful agents is crucial for effective forest protection, as misdiagnosis can lead to unnecessary costs and environmental damage. The original *ForestPests* system now hosts over 750 pest species with more than 23,000 photos, attracting 120,000 users over the last year. Recognizing the need to focus specifically on wood-damaging pests that directly impact wood quality, the team developed *WoodPests*. Currently in a pilot stage, *WoodPests* will be launched publicly at www.woodpests.com by March 2025. The system, available in English, targets Central European users. Key features of *WoodPests* include the "Pests Gallery" with 219 wood-damaging species, sortable by 13 criteria to aid in pest identification. A "Photogallery" with over 9,000 images and a unique "Requests" feature allows users to consult experts for pest identification. Users can also contribute images through an interface on www.forestpests.eu, with plans to develop an independent upload system in future updates. Future goals include incorporating feedback from users and experts, expanding the photo

database, and collecting more wood-focused images in collaboration with wood-processing industries.

Kľúčové slová

škodcovia dreva; identifikácia škodcov; mobilné aplikácie

Kontaktné adresy

Ing. Milan Zúbrik, PhD., Ing. Andrej Kunca, PhD., Ing. Jozef Vakula, PhD., Ing. Christo Nikolov, PhD., Ing. Slavomír Rell, PhD., Ing. Juraj Galko, PhD., Ing. Roman Leontovyč, PhD., Ing. Andrej Gubka, PhD., Ing. Michal Lalík, PhD., Ing. Marcel Dubec, Ing. Valéria Longauerová, PhD., doc. Dr. Ing. Bohdan Konôpka

Národné lesnícke centrum

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Stredisko ochrany lesa,

Lesnícka 11

969 01 Banská Štiavnica, Slovenská republika

milan.zubrik@nlcsk.org



**LIGNO
SILVA**

CENTRE
OF EXCELLENCE
OF FOREST-BASED
INDUSTRY

Koordinátor projektu:



Partner projektu:



Fraunhofer



9788080933692

<https://www.lignosilva.eu/>

T. G. Masaryka 2175/22, 960 01 Zvolen

"Táto štúdia bola financovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552]
v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence."

ISBN 978-80-8093-369-2