

K O N F E R E N C I A



PRI PRÍLEŽITOSTI 70. VÝROČIA VZNIKU
VÝSKUMNEJ STANICE JUH – GABČÍKOVO

zborník odborných prác z konferencie



16. 11. 2022 • GABČÍKOVO



**LIGNO
SILVA**

CENTRE
OF EXCELLENCE
OF FOREST-BASED
INDUSTRY





Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav
Výskumný ústav papiera a celulózy a.s.

a

Odbor lesníctva Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied

LIGNOSILVA 2022

ZBORNÍK Z KONFERENCIE
PRI PRÍLEŽITOSTI 70. VÝROČIA VZNIKU VÝSKUMNEJ STANICE
GABČÍKOVO



Gabčíkovo
16. november 2022

ZBORNÍK ODBORNÝCH PRÁC Z KONFERENCIE – LIGNOSILVA 2022

Názov: LignoSilva 2022

Zostavovatelia:

Ing. Martin Bartko, PhD

Ing. Radovan Gracovský, PhD.

Ing. Michal Pástror, PhD

Ing. Tomáš Gergel', PhD

Redakčná rada:

Ing. Martin Bartko, PhD

Ing. Štefan Boháček, PhD.

Vydavateľ: Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav

Technická úprava: Ing. Tomáš Gergel', PhD.

Grafická úprava: Ľuboš Frič

Tlač: Národné lesnícke centrum

Náklad: 100 ks

Rozsah: 207 strán

Rok vydania: 2022

Vydanie: Prvé

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

©Národné lesnícke centrum, Zvolen 2022

ISBN 978-80-8093-341-8

Obsah

Úvodné slovo	5
Fotoletecký monitoring zdravotného stavu lužných lesov ovplyvnených prevádzkou vodného diela Gabčíkovo v období 1994-2021.....	6
<i>Tomáš Bucha, Rastislav Raší, Martin Bartko, Maroš Sedliak</i>	<i>6</i>
Potenciálne produkčne vhodné introdukované dreviny do nížinných oblastí Slovenska	17
<i>Martin Slávik</i>	<i>17</i>
Rekonštrukcia a modernizácia výskumnej stanice v Gabčíkove.....	24
<i>Tomáš Gergel', Tomáš Bucha, Martin Bartko, Radovan Gracovský, Peter Veverka</i>	<i>24</i>
Lesná technika súčasnosti.....	33
<i>Marián Slamka, Tomáš Gergel', Milan Oravec,</i>	<i>33</i>
Predúprava topoľového dreva na jeho ďalšie biochemické využitie.....	40
<i>Štefan Boháček, Andrej Pažitný, Vladimír Ihnát, Albert Russ, Michaela Handlovská</i>	<i>40</i>
Papierové substráty pre tlač elektroniky nahrádzajú plasty	49
<i>Mária Fišerová, Juraj Gigac.....</i>	<i>49</i>
Inventarizácia lužných lesov Dunaja na základe dát leteckého laserového skenovania: prípadová štúdia z lesného celku Gabčíkovo	55
<i>Ivan Sačkov, Tomáš Bucha</i>	<i>55</i>
Možnosti CT skenovania introdukovaných drevín pestovaných v Lesníckom arborete Kysihýbel	59
<i>Martin Slávik, Tomáš Gergel'</i>	<i>59</i>
Produkčná a mimoprodukčná funkcia porastov RRD	67
<i>Marián Slamka, Andrej Gubka, Jozef Bučko, a Slavomír Strmeň.....</i>	<i>67</i>
Teoretické východiská postupov pestovania sadbového materiálu vybraných introdukovaných drevín určených pre potreby zakladania špeciálnych pestovateľských systémov	74
<i>Martin Belko.....</i>	<i>74</i>
Analýza termo-hydro-mechanicky predupraveného bukového dreva pomocou svetelnej mikroskopie a FTIR spektroskopie.....	82
<i>Andrej Pažitný, Štefan Boháček, Michaela Handlovská</i>	<i>82</i>
Koncept a základná architektúra lesníckej informačnej a modelovacej bázy na podporu rozhodovania	90
<i>Ladislav Kulla, Maroš Sedliak</i>	<i>90</i>
Výskyt najvýznamnejších hubových patogénov a hmyzích škodcov v oblasti nížinných lesov	96
<i>Roman Leontovyč, Milan Zúbrik, Andrej Kunca, Christo Nikolov.....</i>	<i>96</i>
GIS a jeho využitie pre podporu rozhodovania v lese hrúbkových tried	102
<i>Maroš Sedliak, Ladislav Kulla, Vlastimil Murgaš.....</i>	<i>102</i>

Recyklovateľnosť papierenských vlákien – situácia na Slovensku a v krajinách CEPI.....	107
<i>Alena Zuzánková, Daniela Majerčáková, Stela Slámová.....</i>	<i>107</i>
Použitie NIR analýzy pre určenie optických vlastností papierov zo sekundárnych vlákien	114
<i>Elena Opálená, Mária Fišerová, Juraj Gigac, Albert Russ.....</i>	<i>114</i>
Stav a vývoj štruktúry nížinných lesov v oblastiach Podunajskej nížiny a Juhoslovenskej kotliny.....	120
<i>Jozef Vladovič, Pavel Pavlenda.....</i>	<i>120</i>
Obsah prvkov v asimilačných orgánoch rýchlorastúcich drevín na Slovensku.....	128
<i>Slávka Tóthová, Danica Krupová.....</i>	<i>128</i>
Analýza konjunkturálnych cyklov v celulózo-papierenskom priemysle.....	134
<i>Stela Slámová, Daniela Majerčáková, Monika Stankovská, Michaela Handlovská</i>	<i>134</i>
Modelovanie hrúbky buka lesného (<i>Fagus sylvatica</i> L.) s využitím údajov prevádzkovej inventarizácie lesa	140
<i>Vlastimil Murgaš, Maroš Sedliak.....</i>	<i>140</i>
Zníženie nasiakavosti tenkoplošnej frakcie dreva tepelnou úpravou	145
<i>Vladimír Ihnát, Henrich Lübke, Alena Jandová.....</i>	<i>145</i>
Monitorovanie chemizmu pôdy v lesných ekosystémoch pozdĺž VD Gabčíkovo	152
<i>Danica Krupová, Pavel Pavlenda.....</i>	<i>152</i>
Technológia dopestovania sadbového materiálu topoľa sivého.....	158
<i>Martin Bartko, Štefan Miklós</i>	<i>158</i>
Pestovanie rýchlorastúcich drevín na dendromasu v podmienkach Slovenska	163
<i>Štefan Miklós, Martin Bartko</i>	<i>163</i>
Identifikácia zdrojov autochtónneho genofondu drevín podunajska.....	170
<i>Martin Bartko, Jozef Vladovič</i>	<i>170</i>
Pestovanie a využitie agáta bieleho	183
<i>Martin Bartko , Štefan Miklós</i>	<i>183</i>
Agrolesnícke systémy – potenciál pre ďalší rozvoj VS Gabčíkovo	190
<i>Jaroslav Jankovič, Michal Pástor</i>	<i>190</i>

ÚVODNÉ SLOVO

Čo povedať na úvod, ako začať, ako vystihnúť 70 rokov života výskumnej stanice Gabčíkovo. Príbeh tohto pracoviska sa začína písať v roku 1950 v povojnovom období, kedy sa význam kládol na tému ako zabezpečiť dostatok dreva pre drevospracujúci priemysel. Ako zásobiť trh nielen dostatkom dreva, ale aj v požadovanej kvalite. V roku 1952 už dostáva toto pracovisko názov, ktorý nesie hrdo aj dnes - *Výskumná stanica Gabčíkovo*.

Ako rezortné pracovisko patrila organizačne pod Výskumný ústav pre pestovanie lesov, semenárstvo a škôlkárstvo v Opočne. Koncom roka 1952 sa pričlenila pod Výskumný ústav lesného hospodárstva v Banskej Štiavnici.

Zakladateľom výskumnej stanice bol Ing. Martin Vojtuš, CSc., ktorý takmer 30 rokov svojho profesijného života venoval budovaniu a rozvoju tohto pracoviska. Uznávaná vedecká kapacita a držiteľ viacerých národných i medzinárodných ocenení sa zaslúžil o to, že dnes dokážeme aj v nížinných oblastiach Slovenska dopestovať kvalitné sortimenty dreva topol'ov či vrb.

Aj počas turbulentného obdobia, kedy sa rušili viaceré vonkajšie pracoviská Národného lesníckeho centra, výskumná stanica Gabčíkovo ukázala svoje opodstatnenie. V posledných rokoch sa obnovuje jej vybavenie, pribudol nový automatizovaný fóliovník ako aj moderné strojové vybavenie. A práve v tomto čase sa vďaka projektu *LignoSilva* realizuje najväčšia investícia od vzniku tejto výskumnej stanice, vďaka ktorej sa v areáli buduje hybridizačné laboratórium a v spolupráci s Výskumným ústavom papiera a celulózy, a. s. pribudne aj poloprevádzkový papierenský stroj pre testovanie papierových obalov.

O miesto však treba stále bojovať. Doma nik nie je prorokom a akceptácia práce a výsledkov výskumníkov nie je samozrejmá. Svedčí o tom aj fakt, že vízia a poslanie zakladateľa tohto pracoviska sú dnes už častokrát považované za prežitok, keď šľachtené topole sa považujú za čosi nepôvodné a v lese neželané.

Pevne verím, že sa nájde dostatok vôle a racionality, aby kolektív pracovníkov na výskumnej stanici Gabčíkovo mohol pokračovať vo svojich výskumných aktivitách, pretože pred nami stoja veľké problémy súvisiace so zmenou klímy a jej dôsledkami budú najviac trpieť práve nížinné oblasti Slovenska.

Prajem tomuto pracovisku a jej kolektívu, aby do ďalších rokov vstupovali plní energie, života a odolnosti voči vonkajším disturbanciám.

Ing. Martin Bartko, PhD.

FOTOLETECKÝ MONITORING ZDRAVOTNÉHO STAVU LUŽNÝCH LESOV OVPLYVNENÝCH PREVÁDZKOU VODNÉHO DIELA GABČÍKOVO V OBDOBÍ 1994-2021

Tomáš Bucha, Rastislav Raši, Martin Bartko, Maroš Sedliak

1 Úvod a problematika

V roku 1977 až 1992 sa realizovala výstavba vodného diela (VD) Gabčíkovo. Dôvodom výstavby bolo zabezpečiť niekoľko národohospodárskych zámerov, najmä energetické využitie Dunaja, zabezpečenie plavby na kritickom brodovom úseku a bezpečnosti územia pred povodňami. VD Gabčíkovo bolo vybudované ako VD kanálového typu, kde úsek Dunaja o dĺžke 32 km bol presmerovaný do derivačného kanála. S týmto riešením sa spájajú negatívne účinky spočívajúce v drenážnom účinku pôvodného koryta Dunaja, s tým súvisiaci pokles úrovne podzemných vôd s ohrozením existencie lužných lesných spoločenstiev. Problematika zachovania lužných spoločenstiev sa preto stala už začiatkom 80. rokov predmetom výskumného riešenia (CIFRA, 1983), ktoré vyústilo do prípravy podkladov pre projekt hydrotechnických úprav. Ich neskoršou realizáciou sa zabezpečil režim regulácie podzemných vôd vychádzajúci z biologických potrieb lužných spoločenstiev. Z rôznych alternatívnych riešení sa realizoval variant hydrotechnických úprav s prehrádzkovaním ramennej sústavy v 12 líniiach v území derivácie (od Dobrohošte po Sap) s cieľom udržať v ramennej sústave vodu tak, aby hladina podzemnej vody bola v dotyku s pokryvnou pôdnou vrstvou. Táto požiadavka vychádzala zo skutočnosti, že existencia lužných lesov a udržanie ich produkčného potenciálu je závislé predovšetkým od dostatku vody v celom pôdnom profile, pričom hlavným a nenahraditeľným zdrojom pôdnej vlhky je prísun vzliňaním z podzemnej vody (CIFRA, 1987).

Od spustenia VD Gabčíkovo do prevádzky v roku 1992 sa realizuje intenzívny komplexný monitoring jeho dopadov na prírodné prostredie. Od roku 1995 v zmysle Dohody medzi vládou Slovenskej republiky a vládou Maďarska o niektorých dočasných opatreniach a prietokoch do Dunaja a Mošonského ramena Dunaja je vyhodnotenie prírodného prostredia založené na vzájomnej výmene údajov monitorovania (DOHODA, 1995). Z pohľadu lesného hospodárstva a produkcie dreva je kľúčová dynamika hladín podzemných vôd a z nej vyplývajúca dostupnosť vody pre dreviny. Výsledky lesníckych pozorovaní z inundačného územia zdôrazňujú nevyhnutnosť simulovaných záplav. Tieto sú významné nielen z hľadiska vlhky, ale i ako zdroja prísunu živín (NEŠTICKÝ, 1994; NEŠTICKÝ & VARGA, 2001 in LISICKÝ & MUCHA, 2003). Okrem dostupnosti podzemnej vody ovplyvňuje zdravotný stav lesných porastov aj výskyt biotických škodlivých činiteľov. Uvedené veličiny sú zisťované prostredníctvom pozemného monitoringu na trvalých monitorovacích plochách (JANKOVIČ ET AL. 2018). Od roku 1994 v cca 3 ročnom kroku je v spolupráci s maďarskou stranou realizované letecké snímkovanie pre celoplošné monitorovanie zdravotného stavu lesov.

Cieľom príspevku je zosumarizovať 28 ročné obdobie fotoleteckého monitoringu lesov ovplyvnených prevádzkou VD Gabčíkovo a poskytnúť ucelený pohľad na (i) použité prostriedky leteckého snímkovania, (ii) postupy klasifikácie zdravotného stavu lesov z leteckých snímok a (iii) zhodnotiť zdravotný stav z jednotlivých snímok z rokov 1996, 1999, 2002 a 2005, 2008, 2012, 2015, 2018 a 2021 a (iv) sformulovať súhrnné závery.

2 Metodika a materiál

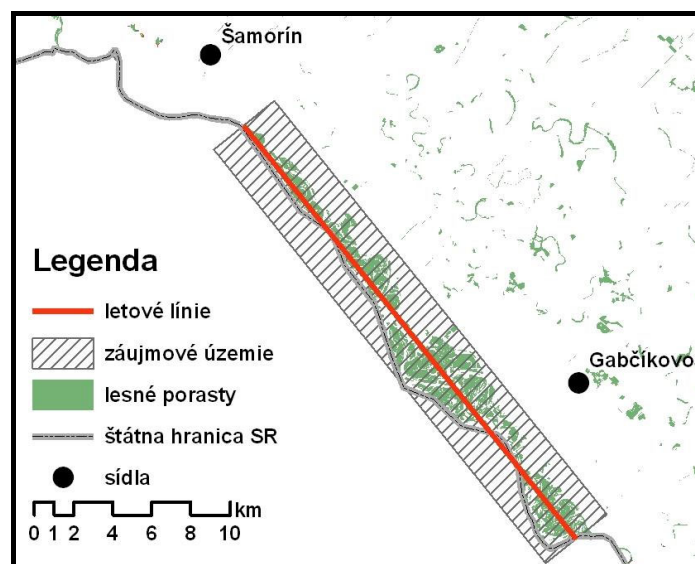
2.1 Základná charakteristika hodnoteného územia

Hodnotené územie ľavostrannej inundácie Dunaja sa nachádza medzi pôvodným korytom Dunaja a prírodným a odpadovým kanálom VD Gabčíkovo. Ide o úsek medzi obcami Dobrohošť a Sáp. Územie je charakteristické vyvinutým ramenným systémom, rozsiahlymi komplexami lužných lesov a aluviálnych lúk. Výmera lesa je približne 3000 ha. V oblasti ramennej sústavy Dunaja prevládajú v súčasnosti stanovištia zodpovedajúce prechodným luhom. Podľa typizácie lesných spoločenstiev vyjadrenej jednotkami hospodárskych súborov lesných typov (HSLT) ide najmä o *dubové lužné jaseniny* a *brestové lužné jaseniny*. Na najvlhkejších stanovištiach sa vyskytujú mäkké luhy reprezentované HSLT *vříbové topoliny*. Na pôdach s nižšie položenou hladinou podzemnej vody sú rozšírené tvrdé luhy reprezentované *hrabovými lužnými jaseninami*. Drevinové zloženie záujmového územia podľa LHP z roku 2005 tvoria: šľachtené topole (*Populus sp.*) 62 %, topole domáce (*Populus nigra* L. a *P. alba* L.) 10 %, vrbí (*Salix alba*, *S. fragilis* L.) 17 %, jasene (najmä *Fraxinus angustifolia* VAHL.) 6 % a ostatné listnáče 5 %, najmä dub letný (*Quercus robur* L.), agát biely (*Robinia pseudoacacia* L.), javor horský (*Acer pseudoplatanus* L.) a jelše (*Alnus sp.*). Organizačne patrí územie do LHC Šamorín a LHC Gabčíkovo.

2.2 Letecké snímkovanie a podkladové materiály

Pre plošné hodnotenie zdravotného stavu lesov v záujmovom území boli využité spektrozónálne letecké snímky a od roku 2008 multispektrálne digitálne letecké snímky. Parametre leteckého snímkovania a použitých filmových materiálov a technológií v rokoch 1994 až 2021 sú uvedené v tabuľke 1. Graficky je územie zobrazené na obr. 1.

Ako podkladové materiály boli využívané lesnícke porastové mapy záujmového územia mierky 1 : 10 000 so stavom k roku 1995, 2005 a 2015. Porastové mapy a údaje z LHP slúžili ako podklad pre tvorbu požadovaných mapových výstupov a ako podporné údaje pre spracovanie a vyhodnotenie leteckých snímok.



Obrázok 1. Záujmové územie ovplyvnené prevádzkou VD Gabčíkovo v úseku Dobrohošť - Sáp. Predmetom monitoringu sú lesné porasty záujmového územia.

Tabuľka 1. Projekty leteckého snímkovania 1994 až 2021

Rok:	1994	1996	1997 *	1999	2002 **	2005	2008	2011	2013	2018	2021
Dátum	30.VII	10.VIII	2.V	22.VIII	17.VIII	10.VIII; 30.VIII a 1.IX	18-19.VIII	10.IX	1.X	15.VII	9.IX
Typ kamery	MK 70 Hasselblad	MK 70 Hasselblad	MK 70 Hasselblad	MK 70 Hasselblad	MK 70 Hasselblad	MK 70 Hasselblad	UltraCam X	UltraCam X	UltraCam X	UltraCam Xp	Leica RCD30
Film /Pásma spektra	CIR- 2443 Kodak	CIR- 2443 Kodak	CIR- 2443 Kodak	CIR- 2443 Kodak	CIR- 2443 Kodak	N CIR- 2443 Kodak	B – G – R – IR	B – G – R – IR	B – G – R – IR	B – G – R – IR	B – G – R – IR
Filter	č.12 Wraten	č.12 Wraten	č.12 Wraten	č.12 Wraten	č.12 Wraten	č.12 Wraten	-	-	-	-	-
Výška letu	n	2000 m	1000 m	1150	1280 m	1280 m	4130 m	n	n	n	n
Veľkosť pixelu	n	1:33333	1:16320	1:19000	1:21000	600 dpi 90 x 90 cm	1:41000 30 x 30 cm	30 x 30 cm	20 x 20 cm	25 x 25 cm	20 x 20 cm
Šírka pásu	n	1733 m	800 m	1000 m	1050 m	1050 m	4329 m	4329 m	2900 m	3275 m	1500 m
Pozdĺžny prekryt	n	20 %	5 %	10 %	20 %	20 %	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %
Priečny prekryt	n	20 %	5 %	10 %	20 %	20 %	1 pás	1 pás	20 %	30 %	30 %
Počet pásov /snímok	2/ n	3/44	4/68	5 /94	5/92	5/92	1/27	1/42	3/52	4/79	7/331
Snímkované územie	2	2	2	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	2	1, 2	2	2	1, 2, 3
Dohľadnosť / oblačnosť	jasno	jasno	polojasno	jasno	jasno	jasno	8 km / Cu (18.8) jasno (19.8)	8-10 km / jasno	25 km / 1- 3/8Cu	15 km	Jasno
Realizátor snímkovania	LVÚ Zvolen	LVÚ Zvolen	LVÚ Zvolen	LVÚ Zvolen	LVÚ Zvolen	LVÚ Zvolen	Photomap a ARGUS	Photomap a ARGUS	ŽU, NLC, Photomap	Photomap, NLC	NLC Zvolen

Vysvetlenie použitých skratiek: **1997 *** – dokumentácia riadenej záplavy; **2002 **** – kulminácia povodne ($10120 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) - záujmové územie zatopené do cca 3 m;

CIR – Colour Infraed Film; MK 70 Hasselblad, typ 320, meračská kamera na film so šírkou 70 mm vybavená objektívom Biogon s clonou objektívu 1:5.6 s $c_k = 60 \text{ mm}$;

UltraCam X – strednoformátová digitálna multispektrálna meračská kamera snímajúca v rozlíšení 14430 * 9420 pixelov (v panchromatickom pásme) = analógia k formátu 23 cm x 15 cm resp. 4810 * 3190 pixelov pre 4 pásma RGB & NIR;

UltraCam Xp – 17310 * 11310 pixelov (v panchromatickom pásme) resp. 5770 * 3770 pixelov pre 4 pásma RGB & NIR;

B-G-R-IR – modré-zelené-červené a infračervené pásmo elektromagnetického spektra snímané digitálnou kamerou; **dpi** – dot per inch, použitá hustota skenovania filmu v pixeloch na palec; **n** – parameter neznámy **Cu** - Cumulus (kopa - typ oblaku);

Snímkované územie: 1: Bratislava-Šamorín; 2: Šamorín-Sap; 3: Sap-Kľúčovec; **Realizátor snímkovania:** Photomap - Photomap s.r.o. Košice; ARGUS – ARGUS GEO SYSTÉM, s.r.o. Hradec Králové; LVÚ – Lesnícky výskumný ústav vo Zvolene, ŽU – Žilinská univerzita v Žiline; NLC – Národné lesnícke centrum.

2.3 Metodika vyhodnotenia snímok

Zdravotný stav lesov sme posudzovali na základe vizuálnej interpretácie alebo digitálnej klasifikácie snímok. Vizuálnu interpretáciu snímok sme viazali na jednotky priestorového rozdelenia lesa, a to dielec a čiastkovú plochu. Túto metódu sme použili aj pri identifikácii porastov s výskytom suchárov, pričom sme rozlišovali porasty s jednotlivým, skupinovým a plošným výskytom suchárov. Pri digitálnej klasifikácii sme vyhodnocovali defoliáciu na úrovni obrazového prvku (pixelu), dielea a čiastkovej plochy.

Pri vizuálnej interpretácii aj digitálnej klasifikácii bolo nutné vykonať referenčné hodnotenie poškodenia na pozemných monitorovacích plochách alebo na stereo dvojiciach snímok získaných s vyšším rozlíšením (pri nižšej výške letu). Referenčné údaje sú potrebné pre odvodenia modelov spektrálnej odrazivosti a pre potreby validácie výsledkov. Pri terénnych šetreniach sme použili stratu asimilačných orgánov (SAO) za hlavný indikátor a základný vizuálny symptóm zdravotného stavu drevín. Vyjadruje sa ako percento chýbajúcich častí asimilačných orgánov k vzorovému, plne olistenému stromu. SAO sa hodnotila okulárnym odhadom v percentách so zaokrúhlením na 5 %, v zmysle metodiky medzinárodného programu UN-ECE ICP Forests. Pri hodnotení SAO zo stereo dvojíc snímok na stereokomparátore Zeiss 1818 sme vychádzali z manuálu HILDEBRANDT et al. (1991).

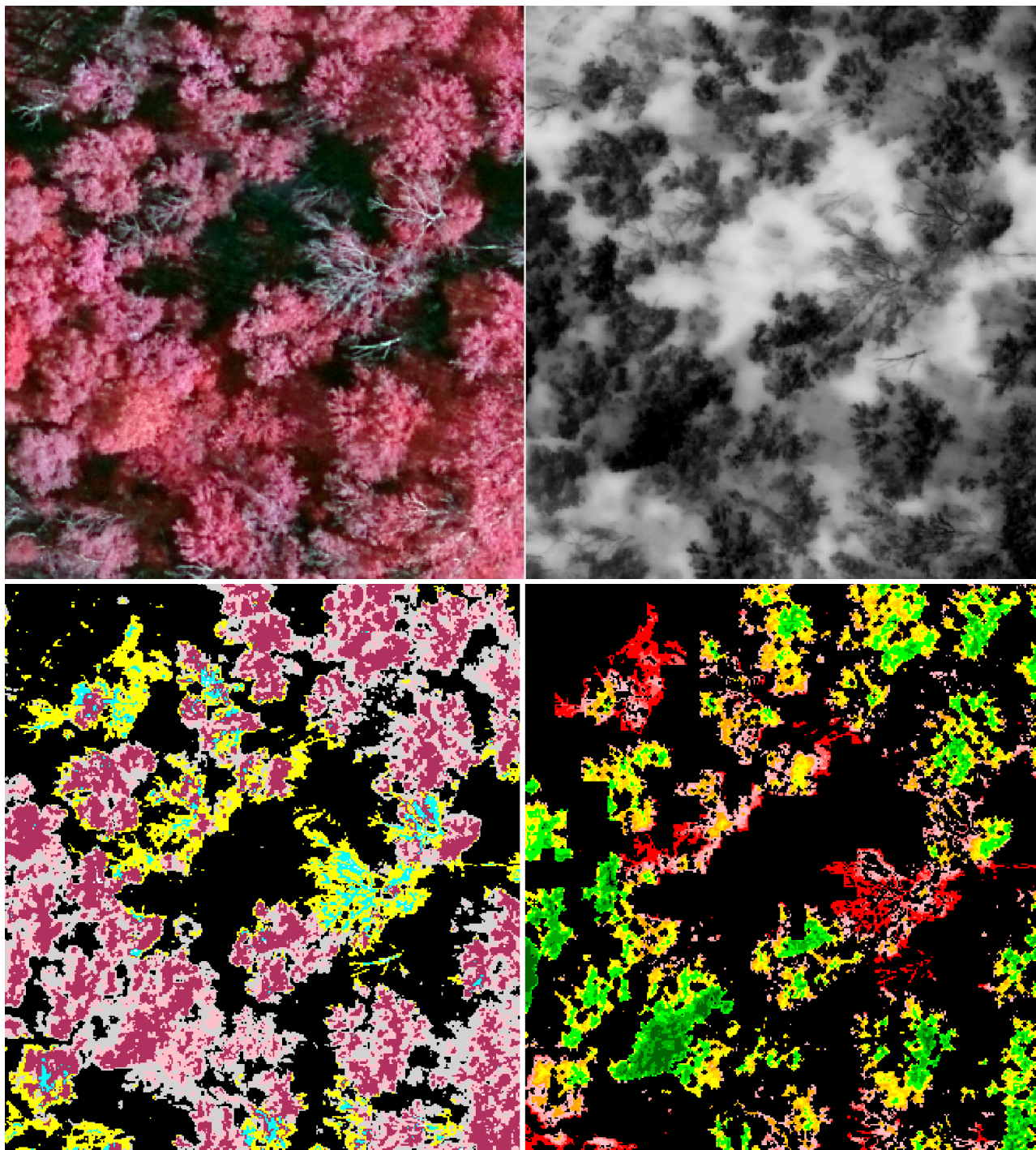
Aj keď SAO zisťovaná v teréne a hodnota spektrálnej odrazivosti zaznamenaná senzormi nemajú identickú javovú podstatu, viaceré práce potvrdili medzi nimi úzky vzťah (napr. GROSS et al. 2000). To sme využili pri digitálnej klasifikácii snímok, kde sme vyhodnotenie zdravotného stavu lesov vykonali:

- 1) metódou jednoduchej viacnásobnej regresie medzi originálnymi pásmami leteckých snímok a SAO, alebo
- 2) metódou dvojfázového regresného výberu (SCHEER 1995). V prvej fáze sme odhadli poškodenie z odvodeného komponentu NSC (New Synthetic Channel) optimalizovaného pre potreby hodnotenia poškodenia. NSC sme odvodili ortogonálnou transformáciou zo zdrojových pásiem snímok (B-G-R-IR). V druhej fáze sme spresnili odhad s využitím modelu spektrálnej odrazivosti medzi NSC a SAO. Metodický postup odvodenia NSC komponentu je uvedený v práci BUCHA & SLÁVIK (2013).

Správnosť a presnosť modelov pre odhad SAO je možné posúdiť podľa dosiahnutých parametrov regresnej analýzy (korelačný koeficient, stredná chyba regresnej priamky). Hodnota korelačného koeficientu r sa pohybovala od 0,81 do 0,97 a stredná chyba regresnej priamky s_{yx} od $\pm 6,4$ % do $\pm 19,0$ %. Príklad interpretácie strednej chyby ± 19 %: Ak je SAO v obrazovom prvku 30 % tak v skutočnosti môže pohybovať od 11 % po 49 % pri 68 % spoľahlivosti.

Kritickým krokom pri digitálnej klasifikácii poškodenia lesov zo snímok na úrovni pixelov je vymedzenie a odlíšenie hodnotenej koruny stromu od ostatných kategórií krajinej pokrývky t.j. tvorba masky lesa. Pri jej tvorbe sme použili metodický postup uvedený v práci (BUCHA & SLÁVIK, 2013) a jeho modifikáciu k roku 2018 (BUCHA & SEDLIAK, 2019). Správnosť odlíšenia lesa od ostatných kategórií je ~80 %. Poukazuje to na potrebu hľadania precíznejšieho algoritmu pre tvorbu masky lesa.

V grafickej zjednodušenej podobe je metodický postup digitálne založenej klasifikácie zdravotného stavu na úrovni pixelov ilustrovaný na obr. 2. Prehľad použitých metodických postupov podľa jednotlivých rokov je uvedený v tab. 2.



Obrázok 2. **Vľavo hore:** letecká multispektrálna snímka, kombinácia kanálov IR/G/B. Červene sa zobrazujú koruny stromov v dobrom zdravotnom stave. Červenosivá farba s variabilnou textúrou indikuje stredne až silne defoliovane koruny. Svetlosivou až tyrkysovou farbou sa zobrazujú sucháre. **Vpravo hore:** NSC komponent odvodený ortogonálnou transformáciou pôvodných kanálov leteckej multispektrálnej snímky optimalizovaný pre hodnotenie poškodenia. **Vľavo dole:** Klasifikácia leteckej snímky do 9 kategórií metódou Isodata s odfiltrovaním nelesných kategórií. **Vpravo dole:** Defoliácia korún stromov. Zelená farba - stromy zdravé a slabó defoliovane. Žltá – stredne defoliovane stromy, Červená - silne defoliovane stromy a sucháre. Čiernou farbou sú zobrazené odfiltrované plochy (bezlesie) a nehodnotené časti koruny (najmä z dôvodu ich zatienenia).

Tabuľka 2. Prehľad použitých metód, postupov pri klasifikácii zdravotného stavu lesných porastov v záujmovom území Šamorín - Sap

Rok	Hodnotená priestorová jednotka	Tvorba masky lesa - priestorová jednotka: pixel, objekt	Metóda odvodu SAO	Identifikácia výskytu suchárov	Produkty na portáli INMEIN	Publikácia (cf. Literatúra)
1994	Celé územie	-	Ortofoto mozaika celého územia	-	-	-
1996	Dielec, ČP	Pixel: ML (9 kategórií)	Dig - Dvojfázový regresný výber	-	Mozaika, SAO	Raši & Bucha 2001
1999	Dielec, ČP	Pixel: ML (9 kategórií)	Dig - Dvojfázový regresný výber	-	Mozaika, SAO	Raši & Bucha 2001
2002	Pixel, Dielec, ČP	Pixel: ML (7 kategórií v tom 4 triedy SAO a 3 nelesné kategórie)	Dig - ML (7 kategórií - v tom 4 triedy SAO: 0-10%, 11-25%, 26-40%, 40%+)	-	Mozaika, SAO	Bucha et al. 2003 (Technická správa)
2005	Dielec, ČP	Pixel: ML (25 kategórií v tom 8 lesné kategórie)	Dig - Dvojfázový regresný výber	-	Mozaika, SAO	Raši & Bajcar 2005 (Technická správa)
2008	Pixel, Dielec, ČP	Pixel: súbor pravidiel a prahových hodnôt (Správnosť 78 %)	Dig - Dvojfázový regresný výber	Vizuálna interpretácia v JPRL (dielec a ČP)	Mozaika, SAO	Bucha et al. 2009
2011	Pixel, Dielec, ČP	1.Objekty segmentácie (semi-manuálne); 2.Pixel (ISODATA - 9 kategórií)	Dig - Dvojfázový regresný výber	Vizuálna interpretácia v JPRL (dielec a ČP)	Mozaika, SAO	Bucha et al. 2013 Bucha & Slávik 2013
2013	Pixel, Dielec, ČP	Pixel: DMT ≥ 6 m (lidar) + ISODATA (9 kategórií)	Dig - Dvojfázový regresný výber	-	Mozaika, SAO	Bucha & Sačkov 2015 (Technická správa:)
2018	Pixel, Dielec, ČP	1.Objekty segmentácie (semi-manuálne); 2.Pixel (ISODATA - 9 kategórií)	Dig - Dvojfázový regresný výber	Vizuálna interpretácia v JPRL (dielec a ČP)	Mozaika, SAO	Bucha & Sedliak 2019 (Technická správa)
2021	Dielec, ČP	-	Viz - Vizuálna interpretácia podľa kľúča	Vizuálna interpretácia v JPRL (dielec a ČP)	Mozaika, SAO	Raši 2022 (Technická správa)
1997	Celé územie	Riadená záplava – fotodokumentácia územia Dobrohošť - Sap			-	-
2014	Celé územie	Laserové skenovanie vrátane maďarskej strany: 9-10. december 2014			DSM; DTM; nDSM	https://gis.nlcsk.org/inmein/

SAO - Strata asimilačných orgánov, **ML** - riadená klasifikácia obrazu (snímok) metódou maximálnej pravdepodobnosti, **ISODATA**- metóda neriadenej klasifikácie obrazu

Viz – vizuálna interpretácia snímok; **Dig** – digitálna klasifikácia snímok; **JPRL** – jednotka priestorového rozdelenia lesa; **ČP** – čiastková plocha

DSM - digitálny model povrchu; **DTM** - digitálny model reliéfu; **nDSM** - Výška lesných porastov v metroch odvodená ako rozdiel medzi DSM a DTM

3 Výsledky

3.1 Vývoj defoliácie porastov v období 1996-2021

Pre posúdenie vývoja zdravotného stavu na úrovni porastov uvádzame v tabuľke 3 zaradenie porastov zo záujmového územia Dobrohošť – Sap do defoliačných stupňov v rokoch 1996, 1999, 2002, 2005, 2008, 2011, 2013, 2018 a 2021. Z tabuľky 3 vyplýva, že v celom monitorovanom období 1996-2021 sa podiel porastov zaradených do kategórie zdravých a porastov a porastov s prvými príznakmi poškodenia s defoliáciou do 20 % pohyboval v rozpätí od 48,2 % do 82,6 %.

Tabuľka 3. Relatívne (%) a absolútne početnosti (n_i) zastúpenia JPRL v defoliačných stupňoch

	Defoliácia porastu v %						JPRL spolu (Nehodnotené)
	Relatívne početnosti v % (Absolútne početnosti počet JPRL)						
Rok	0 – 10	11 – 20	21 – 30	31 – 40	41 – 50	51 +	
	Zdravé	Slabo poškodené		Stredne poškodené		Silne poškod.,	
1996	19,5 (143)	41,7 (306)	33,5 (246)	5,3 (39)	0 (0)	0 (0)	734 (102)
1999	36,0 (252)	37,5 (263)	22,0 (154)	4,1 (29)	0,4 (3)	0 (0)	701 (135)
2002	33,6 (258)	49,0 (377)	14,3 (110)	2,8 (22)	0,3 (2)	0 (0)	769 (66)
2005	27,3 (242)	46,6 (414)	19,7 (175)	6,0 (53)	0,4 (4)	0 (0)	888 (187)
2008	20,3 (131)	44,6 (287)	27,3 (176)	7,3 (47)	0,5 (3)	0 (0)	644 (151)
2011	5,3 (38)	67,1 (482)	25,2 (181)	2,2 (16)	0,1 (1)	0 (0)	718 (77)
2013	0,4 (3)	47,8 (335)	47,5 (337)	3,9 (27)	0,4 (3)	0 (0)	795 (94)
2018	3,4 (26)	67,5 (520)	25,7 (198)	3,1 (24)	0 (0)	2 (0,2)	829 (59)
2021	25,1 (201)	53,7 (430)	18,5 (148)	2,4 (19)	0,2 (2)	0,1 (1)	801 (30)

* tučne sú vyznačené početnosti rozhodujúce pre určenie vývoja zdravotného stavu porastov.

Za kľúčový ukazovateľ zhoršenia zdravotného stavu považujeme podiel stredne a silne poškodených porastov s priemernou defoliáciou porastu > 30 %. Podľa vyhodnotenia v rokoch 1996-2021 sa podiel stredne silne poškodených porastov pohyboval v rozpätí od 2,3 do 7,8 %. Porasty silne poškodené s priemernou defoliáciou nad 50 % sa v záujmovom území takmer vôbec nevyskytli počas celého sledovaného obdobia. Ojedinelý výskyt v rokoch 2018 a 2021 je viazaný na porasty po ťažbe.

3.2 Súhrnné zhodnotenie zdravotného stavu lesov v úseku Dobrohošť - Sap

Lužné spoločenstvá môžu existovať len za podmienky dostatočného prísunu vody. Tvrdé luhy jej potrebujú minimálne 400 mm, prechodné 800 mm. Príjem vody z atmosférických zrážok v záujmovom území je cca 350 mm. Existencia a zachovanie produkčných vlastností lužných lesov ovplyvnených prevádzkou vodného diela Gabčíkovo je preto závislá od účinnosti hydrotechnických opatrení.

CIFRA & NEŠTICKÝ (1990) vyslovili predpoklad ďalšieho vývoja lužných lesov. V inundovanom území derivačného úseku Dunaja predpokladali, že z celkovej porastovej plochy 2432 ha sa HSLT prechodný luh zachová na 745 ha (30,64 %). K tomu pripočítali 5–10 % lesného pôdneho fondu, kde sa prejaví priaznivý infiltračný účinok z ramien. Celkovo očakávali, že priaznivý efekt hydrotechnických opatrení sa prejaví na 40 % plochy lesov v medzihrádzovom priestore. V uvedenej práci (str. 405) dospeli k názoru, že 879 ha bude nevyhnutné v prvej fáze vysychania likvidovať a obnoviť tvrdým listnatými drevinami.

Výsledky monitoringu od roku 1996 doteraz nepotvrdili hypotézu o nepriaznivom veľkoplošnom vplyve prevádzky vodného diela na zdravotný stav lesov záujmového územia. Podľa indikátora priemernej defoliácie a zastúpenia porastov v stredne silnom a silnom stupni

poškodenia je zdravotný stav lesov stabilný, bez tendencie k pozitívnej alebo negatívnej zmene.

Pre presnejšie vyjadrenie situácie bola v rokoch 2008, 2011 a 2018 analyzovaná početnosť porastov s výskytom suchárov a silne poškodených stromov (BUCHA ET AL. 2013, BUCHA & SEDLIAK 2019) vo vzťahu k porastovým a stanovištným podmienkam. Zistený bol podiel poškodených porastov 11 % v roku 2008, 18 % v roku 2011 a 14 % v roku 2018. Ich výskyt sme lokalizovali v 3 väčších zoskupeniach.

Najrozsiahlejšie zoskupenie sa nachádza v hornej časti územia až po materiálovú jamu „A“. Dochádza tu k predpokladanej zmene stanovištných podmienok k tvrdým luhom. Dlhodobo sa tu navrhuje, ale nedarí, realizovať prestavbu drevinového zloženia existujúcich porastov smerom k spoločenstvám tvrdého luhu. V roku 2013 v rámci revitalizačných prác bola do lokality Dunajské kriviny privedená voda z kanála zásobujúceho ramennú sústavu. Naše výsledky zatiaľ nepotvrdili zásadné zníženie výskytu suchárov a silne poškodených stromov v uvedenej lokalite.

Druhé zoskupenie porastov s výskytom suchárov sa nachádzalo medzi materiálovou jamou „B“ a Bodíkmi. Silné poškodenie v roku 2011 však súviselo s výskytom biotických škodlivých činiteľov. Zistenia Lesníckej ochrannárskej služby poukazovali na výskyt dotichízy topoľovej (*Cryptodiaporthe populea*) a tzv. hnedého miazgotoku, ochorenia spôsobeného baktériami rodu *Erwinia*.

V dolnej časti územia (Ilský les, Čiližská sihoť, Erčéd a Istragov) bolo v roku 2011 identifikované tretie zoskupenie porastov s výskytom suchárov a silne poškodených stromov. Ich ďalší vývoj bol neistý vzhľadom na variabilnú dynamiku hladín podzemnej vody. V roku 2011 sa začali realizovať práce, ktoré dotujú ramenný systém v oblasti mokradí Istragova v objeme $\sim 1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledky z roku 2018 indikujú zníženie počtu porastov s hlúčikovitým až plošným výskytom suchárov. Pretrvávajú jednotlivý výskyt suchárov v porastoch.

Celkovo z lesohospodárskeho pohľadu konštatujeme, že realizovaním hydrotechnických úprav s prehrádzkovaním ramennej sústavy sa eliminoval nepriaznivý vplyv výrazného poklesu hladiny vody v starom koryte Dunaja. Na väčšine územia sa vytvorili vhodné podmienky pre existenciu lužných lesných spoločenstiev prechodných a tvrdých luhov, ktoré plošne v záujmovom území dominujú, a ktorých zdravotný stav dlhodobo hodnotíme ako veľmi dobrý. Osobitnú pozornosť je však potrebné venovať najcitlivejším spoločenstvám mäkkých luhov, v ktorých sme zaznamenali zhoršenie zdravotného stavu. Dôležité sa javí obnovenie riadených záplav a ich časová optimalizácia z pohľadu zabezpečenia prísunu vody do pôdneho profilu, vytvorenia podmienok pre prirodzenú obnovu drevín mäkkého luhu a tlmenie rozširovania nepôvodných druhov.

Pre pokračovanie monitoringu sa metóda celoplošného vyhodnotenia zdravotného stavu lesov z leteckých snímok s 3 ročným cyklom opakovania osvedčila ako dostatočne citlivá a zároveň ekonomicky efektívna. Náklady snímkovania sa pohybovali okolo $0,25 \text{ €} \cdot \text{ha}^{-1}$ zalietnutej plochy. Celkové náklady jedného cyklu zahrňujúce aj terénne práce, vyhodnotenie dát, vypracovanie technickej správy a grafických mapových výstupov predstavovali približne 15 tis. €.

4 Mapový portál INMEIN

Mapový portál INMEIN - <https://gis.nlcsk.org/inmein/> - vznikol v rámci riešenia spoločného slovensko-maďarského projektu „Inovatívne metódy inventarizácie a monitoringu lužných lesov Dunaja s využitím 3-D technológií diaľkového prieskumu Zeme“ v rokoch 2012-2014.

Ide o mapovú službu poskytovanú Národným lesníckym centrom pre zobrazenie stavu lesov z leteckých snímok záujmové územia ovplyvnených prevádzkou VD Gabčíkovo, ktoré umožňuje vedeckým pracovníkom a verejnosti oboznámiť sa so stavom lesov, štátnej správe lesného a vodného hospodárstva efektívny výkon štátneho dozoru a majiteľom a obhospodarovateľom lesov uľahčuje identifikáciu zmien v konkrétnych lesných porastoch a na ich základe prijatie zodpovedajúcich opatrení. INMEIN ponúka nasledovné vyhotovené mapové výstupy v systéme S-JTSK členené podľa jednotlivých rokov leteckého snímkovania resp. lidarového skenovania:

- Mozaiky leteckých snímok záujmového územia k rokom 1996, 1999, 2002, 2005, 2011, 2013, 2018, 2021
- Mapy zdravotného stavu lesov k rokom leteckého snímkovania 1996, 1999, 2022, 2005, 2011, 2013, 2018, 2021
- Digitálny model reliéfu, normalizovaný digitálny model terénu (výšky stromov) a tieňovaný normalizovaný digitálny model terénu z lidarového skenovania z roku 2014.

5 Záver

V práci je podaný ucelený pohľad na históriu fotoleteckého monitoringu lužných lesov ovplyvnených prevádzkou vodného diela Gabčíkovo v inundácii Dunaja v úseku Dobrohošť – Sap z multispektrálnych leteckých snímok z obdobia 1994 až 2021. Sumarizované sú prístupy k leteckému snímkovaniu a metodické postupy klasifikácie zdravotného stavu lesov leteckých snímok. Na základe zhodnotenia zdravotného stavu z jednotlivých snímkovaní z rokov 1994, 1996, 1999, 2002 a 2005, 2008, 2012, 2015, 2018 a 2021 sú sformulované súhrnné závery a odporúčania, ktoré sú spolu s údajovou bázou z pozemného monitoringu v zmysle DOHODY (1995) predmetom vzájomnej výmeny a porovnania s Maďarskou stranou. Výsledky vrátane grafických výstupov sú prístupné cez mapový portál <https://gis.nlcsk.org/inmein/>.

PodĎakovanie

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

Literatúra

- BUCHA, T., RAŠI, R., NEŠTICKÝ, Š., 2003: Zhodnotenie zdravotného stavu lesov vybraného územia ovplyvneného prevádzkou vodného diela Gabčíkovo v roku 2002. Technická správa, NLC Zvolen, 10 s. + 4 prílohy.
- BUCHA, T., BARKA, I., BARTKO, M., 2009: Zhodnotenie zdravotného stavu lužných lesov v inundačnej oblasti Dunaja v úseku Dobrohošť – Sap z leteckých snímok. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 55(2): 145-164.
- BUCHA, T., SLÁVIK, M., HATALA, N., BARTKO, M., 2013: Zhodnotenie zdravotného stavu lesov v inundačnej oblasti Dunaja v úseku Dobrohošť – Sap z leteckých multispektrálnych snímok z roku 2011. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 59 (2): 95–107.
- BUCHA, T., SLÁVIK, M., 2013: Improved methods of classification of multispectral aerial photographs: evaluation of floodplain forests in the inundation area of the Danube. *Folia Forestali Polonica*, series A, 55 (2): 58–71.

- BUCHA, T., SAČKOV, I., 2015 Zhodnotenie zdravotného stavu lesov vybraného územia ovplyvneného prevádzkou vodného diela Gabčíkovo v roku 2013. Technická správa, NLC Zvolen, 33 s.
- BUCHA, T., SEDLIAK, M., 2019 Zhodnotenie zdravotného stavu lesov vybraného územia ovplyvneného prevádzkou VD Gabčíkovo v roku 2018. Technická správa, In: JANKOVIČ, J., BARTKO, M., BUCHA, T., SEDLIAK, M., VLADOVIČ, J., 2019, Monitorovanie lesných ekosystémov v oblasti vplyvu vodného diela Gabčíkovo v roku 2018, NLC Zvolen, 81 s.
- CIFRA, J., 1983: Prognóza vplyvu vodného diela Gabčíkovo na lesné hospodárstvo. Lesnícky časopis, 29 (2): 137–152.
- CIFRA, J., 1987: Podmienky zachovania lužných lesných spoločenstiev na Dunaji. Lesnícky časopis, 33 (6): 429–440.
- CIFRA J., NEŠTICKÝ, Š., 1990: Hodnotenie hydrotechnických úprav na zachovanie podunajských lesov. *Lesnícky Časopis*, 36(5): 397–407.
- DOHODA, 1995: Dohoda medzi vládou Slovenskej republiky a vládou Maďarskej republiky o niektorých dočasných technických opatreniach a o prietokoch do Dunaja a Mošonského ramena Dunaja, podpísaná 19. apríla 1995 v Budapešti.
- GROSS, C.P. 2000 : Remote sensing application for forest health status assessment. Second edition, Commission of the European Communities, ISBN 92-828-8144-X, 216 p.
- HILDEBRANDT, G. 1991: Remote sensing application for forest health status assessment. Manual. Commission of the European Communities, printed in Belgium by Walphot S.A.
- JANKOVIČ, J., BARTKO, M., BUCHA, T., SEDLIAK, M., VLADOVIČ, J., 2018: Monitorovanie lesných ekosystémov v oblasti vplyvu VD Gabčíkovo v roku 2018. Záverečná správa úlohy 514/A7000/2018. NLC Zvolen, 81 s.
- NEŠTICKÝ, Š., 1994: Monitorovanie vplyvu VD Gabčíkovo na lesné ekosystémy. Záverečná správa úlohy 33/AÚ-OLH. 28 s.
- NEŠTICKÝ, Š., VARGA, L., 2001: Optimalizácia vodného režimu ramennej sústavy z hľadiska lesného hospodárstva. Expertízne vyjadrenie k optimalizácii vodného režimu v inundácii. In: Lisický, Mucha (ed.): Optimalizácia vodného režimu ramennej sústavy v úseku Dunaja Dobrohošť – Sap z hľadiska prírodného prostredia. Bratislava, september 2003, s. 42–43.
- RAŠI, R., BUCHA, T. 2001: The evaluation of forest stands defoliation in the region of water construction system Gabčíkovo using aerial photos. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 47(2): 165–177.
- RAŠI, R., BAJCAR, V. 2005: Zhodnotenie zdravotného stavu lesov vybratého územia ovplyvneného prevádzkou VD Gabčíkovo v roku 2005 pomocou leteckých infračervených snímok. Technická správa, LVÚ Zvolen.
- RAŠI, R., 2022: Plošné vyhodnotenie zdravotného stavu lesných porastov na základe leteckého snímkovania. Technická správa, In: JANKOVIČ, J., BARTKO, M., RAŠI, R., VLADOVIČ, J., 2022, Monitorovanie lesných ekosystémov v oblasti vplyvu vodného diela Gabčíkovo v roku 2021, NLC Zvolen.
- SCHEER, L. 1995 : Zisťovanie zásob dvojfázovým regresným výberom pomocou družicových scén a terestrického merania. *Lesnictví-Forestry*, 41, 1995 (5): 224–229.

Summary

Aerial-based monitoring of the health status of floodplain forests influenced by hydropower plant Gabčíkovo in the period 1994-2021

Through the construction of the Gabčíkovo hydropower plant, the Danube was diverted into a derivation channel. The 32 km long natural river bed has been acting as a drain, thus causing a lowering of groundwater level in the forest in the inundation belt. The measures were realised by a system of cascades with culverts and water passes that regulate water flow and water levels and make ground water available for forest stands. According to an aerial-based forest monitoring from 1994 to 2021, using infrared aerial photos and multispectral aerial images, the oak-ash-elm flood plain forest and poplar plantations are in long-term good and stable health condition. Stands with average defoliation higher than 50% have never occurred in the territory. However, there are several localities with a higher occurrence of dead trees, mainly stands with willow, alder and domestic poplar, which are the most sensitive to lack of water and a change of groundwater regime. The map outputs are available through the map portal (<https://gis.nlcsk.org/inmein/>), displaying mosaics of aerial photos and defoliation of forest compartments in the surveyed Dobrohošť – Sap area.

Kľúčové slová

lužné lesy, letecké snímky, vodné dielo Gabčíkovo, monitoring, zdravotný stav

Kontaktné adresy

Dr. Ing. Tomáš Bucha, Ing. Rastislav Raši, PhD., Ing. Maroš Sedliak, PhD.

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav

T. G. Masaryka 22,

960 01 Zvolen

tomas.bucha@nlcsk.org

rastislav.rasi@nlcsk.org

maros.sedliak@nlcsk.org

Ing. Ing. Martin Bratko, PhD.

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav

Výskumná stanica Gabčíkovo

Parková cesta 557/11

930 05 Gabčíkovo

martin.bartko@nlcsk.org

POTENCIÁLNE PRODUKČNE VHODNÉ INTRODUKOVANÉ DREVINY DO NÍŽINNÝCH OBLASTÍ SLOVENSKA

Martin Slávik

1 Úvod

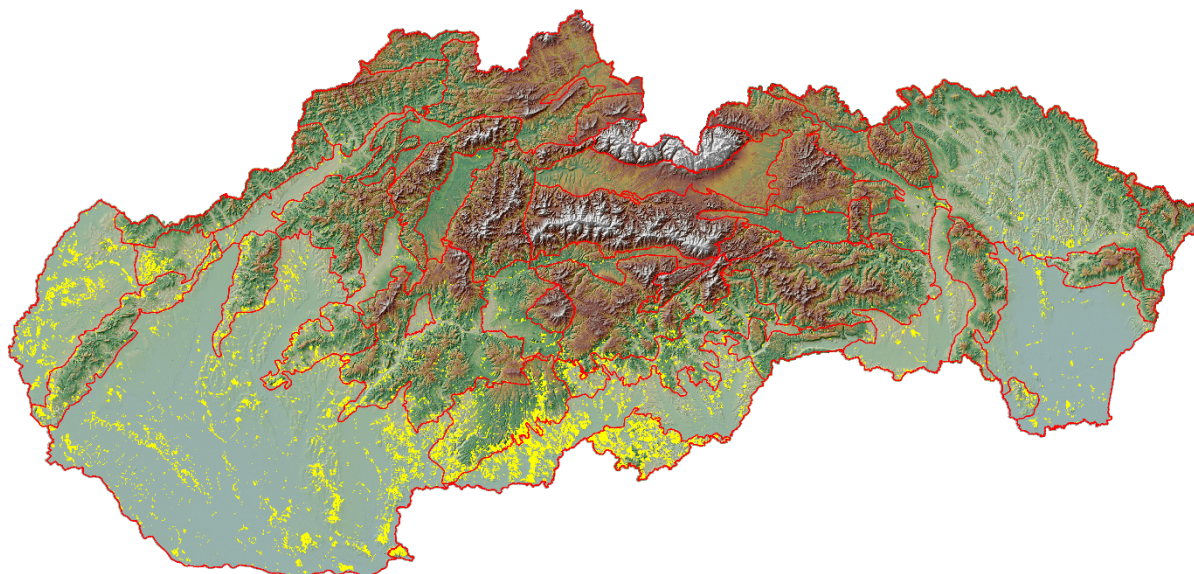
S ohľadom na súčasnú, vysoko nepriaznivú situáciu s prihliadnutím na dostupné energetické zdroje, možnosti ich využitia a stále rastúci dopyt po rôznych sortimentoch drevenej suroviny, sme sa zamerali na možnosti využitia introdukovaných drevín v oblastiach Slovenska, kde klimatické a pôdne pomery predurčujú ich maximálnu produkciu.

Využívanie nepôvodných druhov drevín v podmienkach Slovenska je, v porovnaní s inými vyspelými európskymi krajinami veľmi nízke, predstavuje necelých 2,5 % podielu lesného pôdneho fondu. Situácia je o niečo priaznivejšia práve v nížinných oblastiach, pretože najväčšiu porastovú plochu zaberá agát biely, ktorý rastie na cca 33 719 ha, čo reprezentuje približne 1,7 % lesného pôdneho fondu. Druhým najviac zastúpeným nepôvodným listnatým druhom na Slovensku je dub červený. Rastie približne na 2 250 ha, čo predstavuje 0,12 % výmery lesov. Ako mimoriadne ekonomicky zaujímavý druh v podmienkach Slovenska sa ukazuje orech čierny. Jeho výskyt je v súčasnosti približne na ploche 535 ha, čo je menej ako tri stotiny percenta lesnej pôdy. Zastúpenie drevín bolo prepočítané na základe údajov z platných programov starostlivosti o les (PSL) so stavom k roku 2017 (podľa VLADOVIČ, J., SEDLIAK, M., 2017).

2 Produkčne vhodné introdukované dreviny nížinných oblastí Slovenska

Agát biely *Robinia pseudoacacia* L., je pôvodom severoamerická drevina do Európy bola introdukovaná v roku 1601. K jej širšiemu rozšíreniu na Slovensku došlo približne pred 200 rokmi. Je predovšetkým drevinou nížinných teplejších oblastí odkiaľ však vystupuje až do podhorského pásma. Medzi prínosy pestovania agáta bieleho patrí jeho rýchly rast a tomu odpovedajúca krátka rubná doba a nenáročnosť na pôdne pomery, rovnako ako vhodnosť na biologickú rekultiváciu priemyslom devastovaných plôch. Na druhej strane k nesporným medzi nesporné riziká patrí skutočnosť, že na stanovištiach nemá tendenciu vytvárať s autochtónnymi drevinami zmiešané lesné spoločenstvá, konkurenčne ich vytláča a tým sa zaraďuje medzi invázne druhy.

Pestovanie agáta bieleho má v našich lesoch dlhú tradíciu. Je mimoriadne prispôsobivý, toleruje extrémne lokality a pre tieto svoje vlastnosti rastie dobre na miestach, kde mu nedokáže konkurovať žiadna domáca drevina. Má mimoriadnu objemovú produkciu, keď celkovým ročným prírastkom predstihuje všetky domáce dreviny (s výnimkou niektorých mäkkých listnáčov). Pri krátkej rubnej dobe sú porasty zrelé na ťažbu po 30-40 rokoch, v prípade energetických porastov aj skôr (ŠEBEŇ, V., 2004). V priaznivých podmienkach strednej Európy môže agát dorastať do výšky až 35 m (KERESZTESI, B., 1983), napriek tomu sa priemerná výška tejto dreviny aj v oblasti prirodzeného rozšírenia pohybuje v rozmedzí 12-18 m (JENSEN, J. S., DEANS, J. D., 1990). Napriek skutočnosti, že patrí medzi rýchlorastúce dreviny, pričom jeho rýchly rast sa prejavuje predovšetkým v mladosti (BORING, L. R., SWANK, W. T., 1984; JENSEN, J. S., DEANS, J. D., 1990) a dokáže poskytovať aj v našich podmienkach kvalitnú drevnú surovinu, je jeho výskyt na Slovensku obmedzený predovšetkým na oblasti nížin (obrázok 1) a lokality, kde plní najmä mimoprodukčné funkcie.



Obrázok 1. Mapa priestorovej distribúcie agátu bieleho v lesných porastoch na Slovensku a v lesných oblastiach

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

Tabuľka 4. Porovnanie vybraných fyzikálnych vlastností dreva agátu bieleho a duba letného

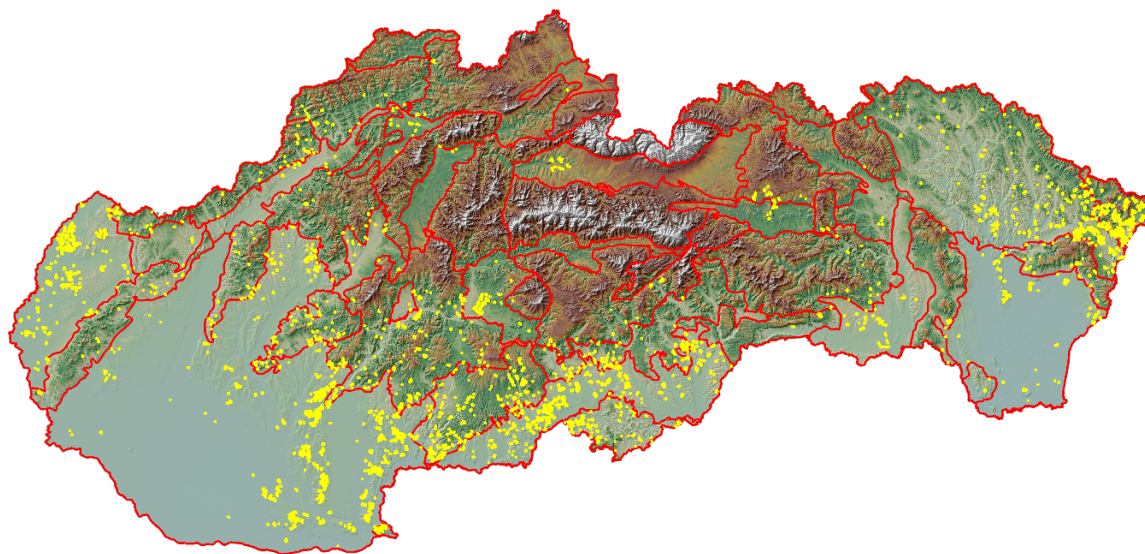
Drevina	Hustota kg.m ⁻³	Objemové zosychanie %	Pevnosť v tlaku MPa	Pevnosť v ohybe MPa
Agát biely	770	11,4 – 12,2	72	136
Dub letný	690	12,6 – 15,6	61	88

Dub červený *Quercus rubra* L je severoamerická drevina, prirodzene rozšírená vo východnej časti kontinentu. Areál rozšírenia je pomerne rozsiahly, či už od severu na juh, ale tiež od pobrežia Atlantiku do vnútrozemia. Severnú hranicu tvorí štátna hranica medzi Kanadou a USA a oblasť Nového Škótska, odkiaľ ide na juh, cez oblasť veľkých jazier, Apalačské vrchy až do Georgie a Alabamy. Do vnútrozemia zasahuje až do povodia rieky Missouri. Vertikálne sa výskyt duba červeného pohybuje od hladiny mora, morénových nížin a pahorkatín (severná hranica výskytu). Smerom na juh vystupuje postupne do vyšších nadmorských výšok, v Apalačskom pohorí až do 1 600 m.

V USA a v Kanade je dub červený dôležitou hospodárskou drevinou, ktorá sa využíva i mimo hraníc svojho prirodzeného rozšírenia. Drevo má všestranné uplatnenie. Využíva sa podobne ako pri našich duboch pri výrobe dýh, konštrukčných prvkov stavieb, na dlážky, interiérové ozdoby či nábytok. Menej kvalitné sortimenty sa používajú na výrobu stĺpov, železničných podvalov alebo ako palivo. Je drevinou, ktorá má široké uplatnenie aj v našich podmienkach ako drevina melioračná, vhodná na zalesňovanie ťažko zalesniteľných plôch, výsypiek a hald.

Dub červený dosahuje v porovnaní s domácimi druhmi dubov podstatne vyšší produkčný potenciál. Jeho výskyt v podmienkach Slovenska je orientovaný predovšetkým na južné, nížinné oblasti a najvýchodnejšie oblasti (obrázok 2).

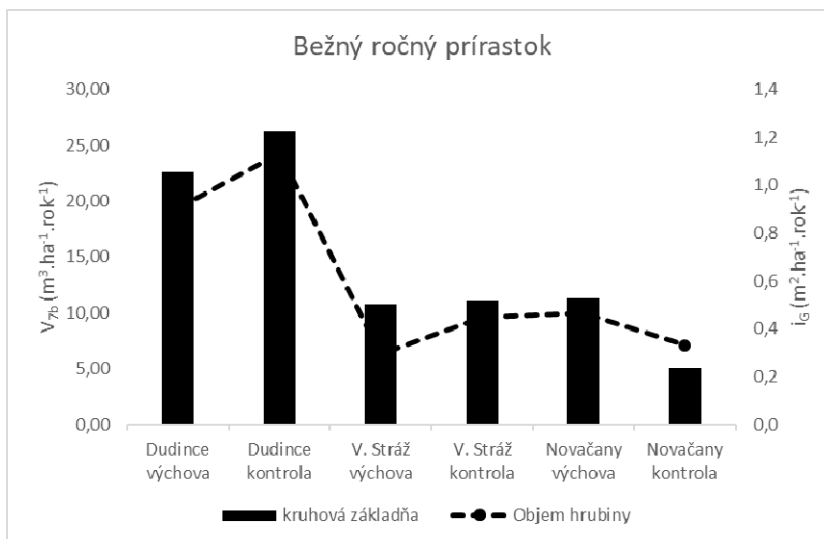
Porovnanie vybraných kvantitatívnych charakteristík 49 ročného porastu duba červeného (Dudince) s dvomi porastmi duba zimného (57 a 58 ročného – Veľká Stráž a Nováčany) v porovnateľných stanovištných podmienkach poukázalo na vyššie hodnoty strednej hrúbky $d_{1,3}$, strednej výšky, kruhovej základne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



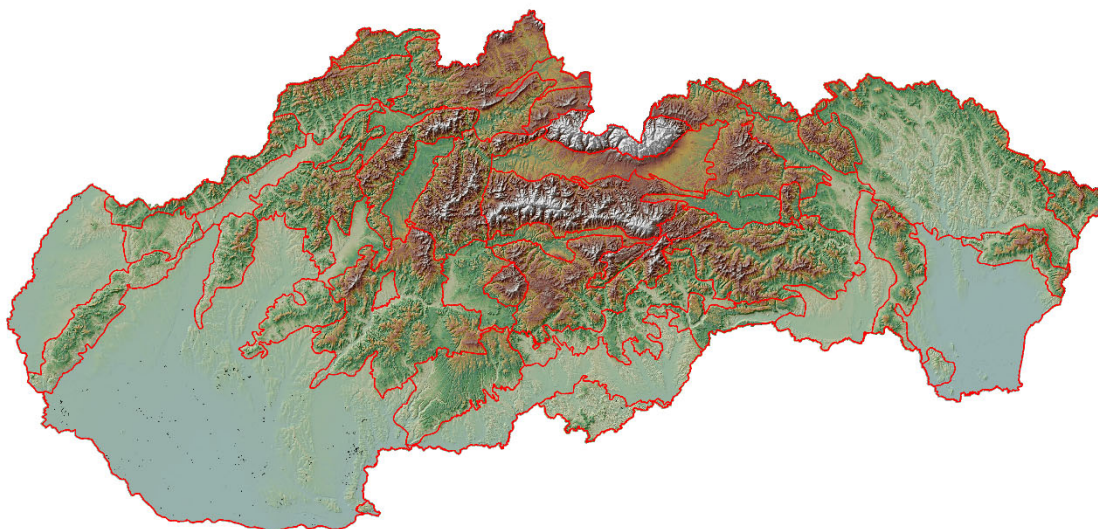
Obrázok 2. Mapa priestorovej distribúcie duba červeného v lesných porastoch vo vybraných lesných oblastiach Slovenska

Tabuľka 5. Kvantitatívne charakteristiky duba červeného na vybraných výskumných plochách

Lokalita	Porast	Vek (r.)	Počet stromov (ks.ha ⁻¹)	Kruhovú základňa (m ² .ha ⁻¹)	Objem hrubiny (m ³ .ha ⁻¹)	Stredná	
						hrúbka $d_{1,3}$ (cm) (d_g)	výška (m) (h_g)
Dudince	Výchova	49	1444	34,7	437	17,5	24,3
	Kontrola		1757	49,1	641	18,9	25,4
Veľká Stráž	Výchova	57	1760	31,3	289	15,5	18,2
	Kontrola		2106	39,1	357	16,4	18,9
Nováčany	Výchova	58	1186	24,2	228	16,1	19,3
	Kontrola		1090	24,1	226	16,8	19,1



Obrázok 3. Porovnanie bežného ročného prírastku na kruhovej základni a objeme hrubiny duba červeného (Dudince) a duba zimného (Veľká Stráž, Nováčany).



Obrázok 4. Mapa priestorovej distribúcie orecha čierneho v lesných porastoch na Slovensku a v lesných oblastiach

Orech čierny *Juglas nigra* L. je vysoko produkčný strom dorastajúci do výšky 30 – 50 m. Najčastejšie sa dožíva 250 – 300 rokov. Kmeň je spravidla rovný, hrubý 1,5 – 2 m, plnodrevný, priamy, niekedy aj vidlicovitý. Na voľnej ploche má tendenciu tvoriť široké koruny, v poraste vytvára dlhé, pomerne rovné kmene s vysoko nasadenou korunou. Kôra je zvyčajne hnedasto sivá a veľmi skoro, už vo veku 6 – 8 rokov sa vytvára hlboko sieťovito rozpraskaná tmavosivá až čiernastá borka. Orech už v prvom roku vytvára kolový koreň, ktorý dorastá viac ako 0,5 m.

Prirodzené rozšírenie orecha čierneho je vo východnej časti Severnej Ameriky. Od atlantického pobrežia zasahuje na západ do vnútrozemia približne až po 100° v. d. Severné

maximum dosahuje v oblasti Veľkých jazier medzi 30° až 40° s. š., odkiaľ smerom na juh postupuje až do oblasti Texasu, Georgie, Louisiany, severnej a Južnej Karolíny. V Kanade rastie len v najjužnejšom cípe, v povodí rieky Ontário. Rastové optimum má na naplaveninách rieky Ohio, v štátoch Kentucky, Virgínia, Illinois, ale predovšetkým Indiana a Ohio.

Je výrazne svetlomilnou drevinou s veľkými nárokmi na pôdnu vlaku. Vysoká hladina podzemnej vody nelimituje dobrý fyziologický stav dreviny, čo umožňuje jej pestovanie v oblasti lužných lesov (obrázok 4). Je veľmi náročný na minerálne a fyzikálne zloženie pôdy. Najlepšie rastie na hlbokých sviežich pôdach, bohatých na živiny a humus. V našich podmienkach vykazuje podstatne vyššiu toleranciu voči extrémom nízkych teplôt ako orech kráľovský, ale v mladom veku býva tiež poškodzovaný, predovšetkým jesennými mrazmi. Predpokladom úspešného rastu tejto dreviny je dostatočne dlhá vegetačná doba.

Do Európy bol orech čierny introdukovaný už v prvej polovici 17. storočia a veľmi úspešne sa uplatnil v lužných lesoch, najmä v oblasti prechodu mäkkého a tvrdého lužného lesa. V súčasnom období sa aj pri tomto druhu ukazuje jeho veľká perspektívnosť ohľadom zavádzania do agrolesníckych systémov, ako symbiózy lesníckeho a poľnohospodárskeho využitia krajiny.

V rámci vyhodnotenia produkčného potenciálu orecha čierneho, sme hodnotili dva porasty orecha čierneho na LC Levice, porast 694 (bažantnica) a 725a (Vozokanská remízka, Jamy) (tabuľka 3).

Tabuľka 6. Základné údaje na výskumných plochách.

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

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

3 Záver

Produkčný potenciál introdukovaných drevín v klimaticky priaznivejších podmienkach nížinných oblastí Slovenskej republiky predstavuje na jednej strane možnosti zvyšovania objemovej produkcie pri kratšej rubnej dobe, ale aj možnosti tvorby cenných sortimentov, ktoré sa svojimi fyzikálnymi vlastnosťami blížia až k tropickým drevám. Pestovanie nepôvodných drevín má svoj racionálny dôvod aj s ohľadom na prognózy budúcich klimatických režimov, pôsobenie biotických škodlivých činiteľov, či biologickú revitalizáciu prírodného prostredia poškodeného jednostranným pestovaním monokultúr.

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka finančnej podpore projektu APVV-17-0416 „Možnosti využitia vybraných introdukovaných drevín z ekologického a produkčného hľadiska na lesných a poľnohospodárskych pôdach Slovenska v meniacich sa klimatických podmienkach“ a vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

Literatúra

- BORING, L. R., SWANK, W. T., 1984: The role of black locust (*Robinia pseudoacacia*) in forest succession. *Journal of Ecology*, 72(3): 749–766.
- HALAJ, J., GRÉK, J., PÁNEK, F., PETRÁŠ, R., ŘEHÁK, J., 1987: Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR. Bratislava, Príroda: 361 s.
- HALAJ, J., PETRÁŠ, R., 1998: Rastové tabuľky hlavných drevín. Bratislava, Slovak Academic Press: 325 s.
- JENSEN, J. S., DEANS, J. D., 2004: Late autumn frost resistance of twelve north European provenances of *Quercus* species. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19: 390–399.
- KERESZTESI, B., 1983: Breeding and cultivation of black locust, *Robinia pseudoacacia*, in Hungary. *Forest Ecology and Management*, 6(3): 217–244.
- SLÁVIK, M., VLADOVIČ, J., 2019: Priestorová Distribúcia Najvýznamnejších nepôvodných drevín v podmienkach Slovenskej republiky. Spatial Distribution of most important non-native trees in the conditions of the Slovak Republic. s. 229 – 239 In: *Proceedings of Central European Silviculture 2019*. MENDELU Brno. Zborník referátov
- SLÁVIK, M., ŠTEFANČÍK, I., 2021: Zhodnotenie produkčného potenciálu vybraných listnatých introdukovaných drevín. s. 93 - 97 In: Konferencia Lignosilva 2021. NLC Zvolen
- ŠEBEŇ, V., 2004: Pestovanie agáta bieleho má svoje prínosy aj riziká. *Les*, 60(9-10): 18-20
- VLADOVIČ, J., SEDLIAK, M., 2017: Ekologické prístupy a súvislosti posudzovania stavu zachovalosti lesov. s. 143-147, In: Sitková, Z., Pavlenda, P. (eds.): Dlhodobý ekologický výskum a monitoring lesov: súčasné poznatky a výzvy do budúcnosti. Zvolen, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 150 s.

Summary

Potentially suitable introduced trees for production in the lowland areas of Slovakia.

The production potential of introduced trees in the climatically more favorable conditions of the lowland regions of the Slovak Republic represents, on the one hand, the possibility of increasing volume production with a shorter harvesting period, but also the possibility of creating valuable assortments that are physically close to tropical woods. Cultivation of non-native trees has its rational reason also with regard to forecasts of future climate regimes, the action of biotic harmful agents, or the biological revitalization of the natural environment disturbed by the unilateral cultivation of monocultures.

Kľúčové slová

Introdukované dreviny; produkčná schopnosť; nížinné oblasti

Kontaktná adresa

doc. Ing. Martin Slávik, CSc.
Odbor pestovania lesa
Lesnícky výskumný ústav
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
martin.slavik@nlcsk.org

REKONŠTRUKCIA A MODERNIZÁCIA VÝSKUMNEJ STANICE V GABČÍKOVE

Tomáš Gergel', Tomáš Bucha, Martin Bartko, Radovan Gracovský, Peter Veverka

1 Úvod

Národné lesnícke centrum (NLC) počas svojej 124 ročnej existencie prevádzkovalo a prevádzkuje niekoľko výskumných staníc, ktoré plnia svoje špecifické úlohy. Výskumná stanica Gabčíkovo, založená Ing. Martinom Vojtušom, CSc. už od roku 1952 plní svoje poslanie, ktorým je pestovanie a šľachtenie topoľov, vrb, agáta a iných rýchlorastúcich drevín produkcia sadeníc pôvodných drevín dunajského lužného lesa. Stanica počas svojej 70 ročnej existencie bola v nepretržitej prevádzke okrem rokov 2012-2014. V deväťdesiatich rokoch po revolúcii sa postupne počet pracovníkov znižoval až do roku 2012, kedy došlo k zatvoreniu areálu stanice a presťahovaniu jej zamestnancov do priestorov škôlkárskeho strediska v Trsticiach. Po výmene vedenia Lesníckeho výskumného ústavu Zvolen (LVÚ) v roku 2014 sa hľadali možnosti ako opätovne spravádzkovať stanicu, čo sa v roku 2015 podarilo. Od tohto roku dochádza k postupnému plnému spravádzkovaniu stanice tak, aby opätovne plnila svoje poslanie. Od roku 2019 do areálu prichádzajú prvé väčšie investície ako nové fóliovník, rekonštrukcia obslužných budov, modernizácia vybavenia. V roku 2022 je odovzdané stavenisko pre stavbu „Rekonštrukcia a dostavba výskumnej stanice JUH Gabčíkovo“ v rámci ktorého je realizovaná rekonštrukcia hlavnej administratívnej budovy (vonkajšia fasáda, vykurovanie, zníženie stropov, dažďova a splašková kanalizácia). Vybudované sú nové stavebné objekty ako hybridizačný skleník, hala pre papierenský stroj, hybridizačné laboratórium a plynofikácia objektu. Táto investícia cca 1 mil. € je výsledkom implementácie projektu „Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva“ a zriadením spoločného pracoviska s partnerom projektu Výskumným ústavom papiera a celulózy, a. s. (VÚPC) za účelom prevádzky experimentálneho papierenského stroja. Od 1. marca 2021 sa výskumná stanica Juh stáva súčasťou novej organizačnej jednotky NLC-LVÚ „Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu (LignoSilva)“. V súčasnosti na výskumnej stanici pracuje 6 zamestnancov..



Obrázok 1. Pamätník na počesť zakladateľa výskumnej stanice



Obrázok 3. Hlavná administratívna budova (Gergel', 2018)

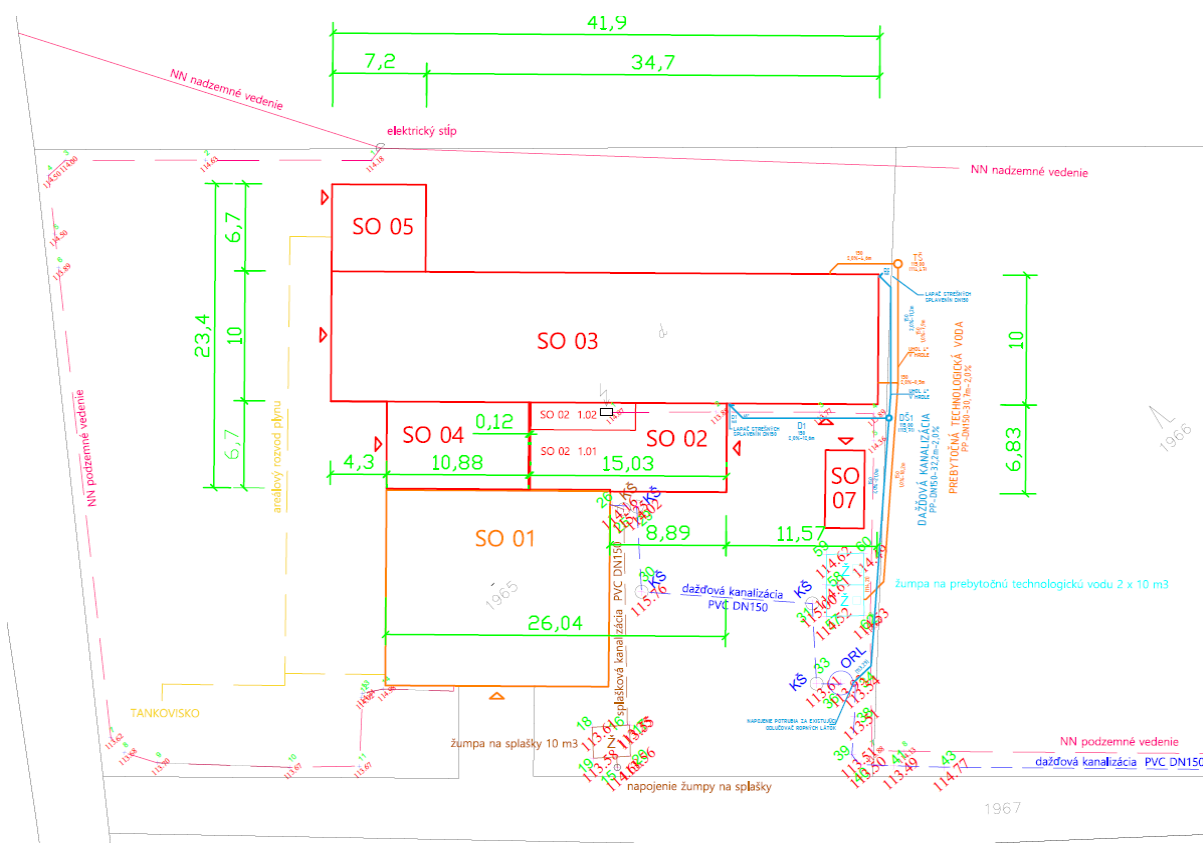
Pred vstupom do administratívnej budovy sa nachádza exotická drevina araukária chilská (*Araucaria araucana*) (Obr. 3). Ide o nahosemennú rastlinu pochádzajúcu z geologického obdobia jury a kriedy. Je to endemit z chilsko-argentínskeho pomedzia, kde rastie na svahoch Ánd v nadmorskej výške od 1000 m do 1600 m. Semená boli dovezené v roku 1970 z provincie Neuquén v juhovýchodnej časti Argentíny. Následne sa semená vysiali do skleníka a o 2 roky sa mladé sadenice vysadili pred administratívnu budovu výskumnej stanice. Z pôvodnej dvoch exemplárov sa zachovala iba jedna rastlina.



Obrázok 4. Araukária chilská (*Araucaria araucana*) pred vstupom do administratívnej budovy stanice Gabčíkovo

3 Rekonštrukcia a dostavba výskumnej stanice Gabčíkovo

Prvá fáza rekonštrukcie prebehla v roku 2015, kedy sa opravila strešná krytina, vymenili sa podlahové krytiny a interiérové dvere vo všetkých miestnostiach a všetky miestnosti sa vybavili novým nábytkom. Druhá fáza rekonštrukcie a dostavba výskumnej stanice je jedna z najvýznamnejších investícií infraštruktúrneho projektu „Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva“. V rámci tejto investície je zrekonštruovaná hlavná administratívna budova SO01, a dostavane sú nové stavebné objekty ako laboratórium SO02, poloprevádzková hala pre papierenský stroj SO03, hybridizačný skleník SO04, kotolňa SO05 a sklad buničiny SO07. Nasledovný obrázok 4 zobrazuje situačný výkres so zakreslenými stavebnými objektami.



Obrázok 5. Situačný výkres s polohou pôvodnej administratívnej budovy a nových stavebných objektov

3.1 Hydrogeologický prieskum

Oblasť Gabčíkova je známa s vysokou hladinou pozemnej vody a prítomnosťou pod s nízkou unosnosťou, bol pre potreby vypracovania realizačného projektu dostavby nových objektov v areáli výskumnej stanice uskutočnený podrobný hydrogeologický prieskum. Obsahom záverečnej správy je že Územie patrí do hydrogeologického rajónu Q 052 „Kvartér JZ časti Podunajskej roviny“. Kolektorom podzemnej vody sú štrkopiesčité sedimenty kvartéru. Charakteristická vlastnosť kvartérnych štrkopieskov je vrstevná heterogenita, podmienená častým striedaním priepustnejších a menej priepustných vrstiev spojená s vlastnou anizotropiou danou orientáciou sedimentárnych častí. Hladina podzemnej vody je priamo

závislá od vodného stavu v Dunaji, ktorý je zároveň hlavným zdrojom dotácie množstiev podzemnej vody.

V záujmovom území bolo dňa 21.6.2022 realizovali 6 inžinierskogeologických prieskumných vrtov V-1 až V-6, z toho 4 vrty do hĺbky 6,0 m a 2 vrty do hĺbky 9,0 m. Vrtne práce urobila posádka vrtnej súpravy UGB technológiou nárazovo-točivého vrtania Ø 180 mm.

Horninové prostredie záujmovej lokality tvoria kvartérne fluviálne sedimenty zastúpené jemnozrnnými, piesčitými a štrkovitými zeminami. Miestami sa nachádzajú antropogénne jemnozrnné zeminy. Najvrchnejšiu vrstvu horninového prostredia predstavujú fluviálne nivné silty až sitly piesčité (oblasť vrtov V-1 a V-5 do hĺbky 1,1 a 0,9 m p.t.) a jemnozrnné piesky (oblasť vrtov V-2, V-3 a V-4). Horninové prostredie tak do úrovne približne 5,1 až 6,2 m p.t. predstavuje málo únosnú a značne nerovnomerne stlačiteľnú základovú pôdu. Navrhovaný objekt preto odporúčame zakladať hĺbkovo do súvrstvia stredne uľahnutých až uľahnutých piesčitých a štrkopiesčitých sedimentov

3.2 Spevňovanie podlažia – unikátna technológia betónových vibrostĺpov

Na základe hydrogeologického prieskumu sa pri zakladaní nových stavebných objektov sa muselo pristúpiť k použitiu unikátnej technológie betónových vibrostĺpov (Obr. 5) na spevnenie podlažia stavby. Technológia tkvie v zhotovovaní nosných stĺpov z betónu pomocou vibračného zhutňovača, pre vystuženie podlažia pri striedaní súdržných a nesúdržných vrstiev.



Obrázok 6. Vrtná súprava a odhalené vibrostĺpy pri budovaní podzemného priestoru haly

3.3 Hlavná budova

Začatá rekonštrukcia v roku 2022 nadväzuje na prvú fázu rekonštrukčných prác z roku 2015. Druhá fáza rekonštrukcie pokračuje kompletným zateplením budovy, obnovou vonkajšej fasády, rekonštrukciou balkóna a jeho zastrešením a rekonštrukciou vstupného schodiska (Obr. 6). Vnútorne priestory boli upravené znížením kazetovým stropom, kompletov výmalbou a vybudovaním ústredného vykurovania. S osobitným zreteľom bolo pristúpené

k rekonštrukcii podzemného podlažia, kde bola uskutočnená výmena elektroinštalácie, vybudovanie kotolne, výmena a úprava dažďovej a splaškovej kanalizácie.



Obrázok 7. Zrekonštruovaná hlavná budova

3.4 Obslužné budovy

Rekonštrukcia vedľajších budov (garáže, sklady a sociálna miestnosť) sa uskutočnila v roku 2022 a bola financovaná z vlastných zdrojov. Náklady na rekonštrukciu boli cca 62 tis €. Rekonštrukcia sa uskutočnila za účelom modernizácie skladových priestorov pre pestovateľské účely, garáže a uskladnenie poľnohospodárskej techniky. Jej rozsah je výmena strechy, oprava vonkajšej a vnútornej fasády.



Obrázok 8. Zrekonštruované obslužné budovy

4 Nové prístavby realizované v areáli stanice

4.1 Fóliovník

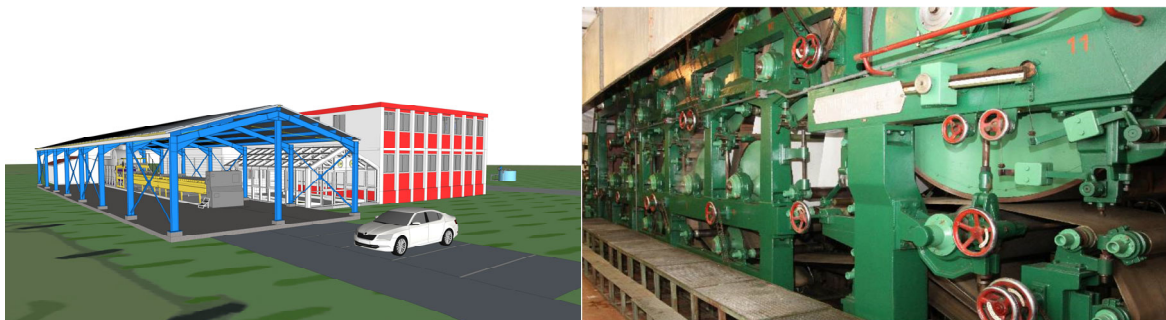
Nový fóliovník (Obr. 8) bol nainštalovaný v roku 2019. Je vybudovaný na mieste bývalého skleníka. Fóliovník má rozmery 19,2 m x 25m a výšku 8 m. Celková investícia do modernizácie krytej pestovateľskej plochy bola 157 tis €. Vybavený je automatickým riadením mikroklimy vo vnútri fóliovníka; ide o systém automatického zavlažovania, vetrania, kúrenia a dávkovača živín. Činnosť týchto systémov je riadená na základe údajov zo sústavy senzorov a mikrometeorostanice.



Obrázok 9. Fóliovník

4.2 Poloprevádzková hala pre papierenský stroj

Ide oceľovú konštrukciu IP 300 s rozmermi 41,95 m x 10 m s výškou 5,88 m. Hala je postavená na železobetónovej platni podoprenou betónovými vybrostlpmi. Opláštenie haly je tvorené izolačnými sendvičovými panelmi. Strešná konštrukcia je vyspádovaná do dvoch strán smerom k zaatikovým odvodňovacím žľabom. Hala disponuje podzemným suterénom. Hala je navrhnutá tak aby v nej mohol byť predávkovaný experimentálny papierenský stroj s príslušenstvom vo vlastníctve VÚPC. Ide o experimentálny papierenský stroj, ktorý je menší ako veľkokapacitné papierenské stroje. Jeho prevádzka je dôležitá z hľadiska testovania nových receptúr výroby papiera a jeho ďalších technologických uprav. Optimalizácia výroby modifikovaného papiera sa uskutoční na experimentálnom papierenskom stroji tak aby mohla neskôr začať výroba na veľkokapacitných papierenských strojoch v zmennej prevádzke.



Obrázok 10. Vizualizácia dostavby poloprevádzkovej haly pre inštaláciu experimentálneho papierenského stroja

4.3 Laboratórium a Hybridizačný skleník

Ide oceľovú konštrukciu IP 200 s rozmermi 26,04 m x 6,7 m s výškou 4,80 m. Hala laboratória a hybridizačného skleníka je postavená na železobetónovej platni podoprenou betónovými vybrostlpmi. Opláštenie haly je tvorené izolačnými sendvičovými panelmi. Strešná konštrukcia je vyspádovaná 2% na jednu stranu, z ktorej bude odvodnená dažďová voda vonkajším odvodňovacím systémom. Oceľová nosná konštrukcia tvorí jeden systém spolu s objektom SO 04 – skleník. Novo navrhovaný objekt bude pristavaný k pôvodnému objektu SO 01, od ktorého je oddielovaný tepelnou izoláciou z minerálnej vlny hr. 100mm.

Stavebné objekty sú navrhnuté za účelom vytvoriť pracovné zázemie pre výskumných zamestnancov NLC a VÚPC, kde sa uskutočňuje výskum v oblasti novošľachtených drevín a testy modifikovaného papiera vyrobeného na experimentálnom papierenskom stroji.

Laboratórium bude vybavené najnovšími laboratórnymi prístrojmi:

- laminárny box
- peľový extraktor
- sušička
- rastová komora
- inkubátor
- stereomikroskop
- sterilizátor

4.4 Nové obslužné budovy – sklad buničiny a kotolňa

Pre potreby prevádzky papierenského stroja a vykurovanie objektov bolo navrhnuté plynofikovať areál stanice. Zdrojom plynu – propán v dvoch nadzemných nádržiach. Pre potreby vykurovania administratívnej budovy je v podzemnom podlaží zriadená kotolňa. Pre potreby vykurovania nových objektov a na účely inštalácie vyvíjačov pary pre papierenský stroj je vybudovaná samostatná kotolňa.

Osobitne je vybudovaná menšia obslužná budova - sklad buničiny SO07, ktorý slúži na uskladnenie dovážanej buničiny, čo je surovinou na výrobu papiera.

Pod'akovanie

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

Summary

Reconstruction and modernization of the research station in gabčíkov. During its 124 years of existence, the National Forest Center (NFC) operated and operates several research stations that fulfill their specific tasks. Research station Gabčíkovo, founded by Ing. Martin Vojtuš, CSc. since 1952, it has been fulfilling its mission, which is the cultivation and breeding of poplars, willows, agave and other fast-growing trees, the production of seedlings of native trees of the Danube floodplain forest. In 2022, the construction site for the construction of the "Reconstruction and completion of the research station JUH Gabčíkovo" will be handed over, as part of which the reconstruction of the main administrative building (external facade, heating, lowering of ceilings, rainwater and sewage drainage) will be carried out. New building objects such as a hybridization greenhouse, a hall for a paper machine, a hybridization laboratory and the facility's

gasification are built. This investment of approx. €1 million is the result of the implementation of the project " Centre of Excellence of Forest-based Industry - Lignosilva".

Kľúčové slová

Výskumná stanica Gabčíkovo; rekonštrukcia; fóliovník; pestovateľské plochy; papierenský stroj

Kontaktné adresy (autorov)

Ing. Tomáš Gergel', PhD., Dr. Ing. Tomáš Bucha, Ing. Radovan Gracovský, PhD., Ing. Peter Veverka

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

tomas.gergel@nlcsk.org, tomas.bucha@nlcsk.org, radovan.gracovsky@nlcsk.org,

peter.veverka@nlcsk.org,

Ing. Martin Bartko, PhD

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,

LESNÁ TECHNIKA SÚČASNOSTI

Marián Slamka, Tomáš Gergel', Milan Oravec,

1 Úvod

Prírode blízke hospodárenie v lesoch predstavuje také pestovné a obnovné postupy, ktoré v maximálnej možnej miere využívajú prírodné procesy a to najmä prirodzenú obnovu drevín a regeneračnú schopnosť lesného ekosystému. Aby mohlo byť využívanie týchto procesov umožnené, musia byť v rámci ťažbovo-dopravného procesu využívané také technológie, ktoré umožňujú poškodenie alebo narušenie lesných ekosystémov minimalizovať. Ide predovšetkým o narušenie a poškodenie pôdneho krytu a pôdy, poškodenie stromov prirodzeného zmladenia a v neposlednom rade aj stromov ostávajúceho porastu (Picchio a kol. 2020). Výsledné odborné aj laické hodnotenie vplyvu jednotlivých technológií ktoré budeme ďalej uvádzať býva často veľmi rozporuplné. Z toho je zrejmé, že s každým prostriedkom možno zaobchádzať hrubo a nešetrne, resp. citlivo a pozorne. V tom druhom prípade však býva manažment podstatne zložitejší, vo všeobecnosti vedie k nižšej produktivite práce a vzrastajú náklady na jeho realizáciu (Spinelli a kol. 2020).

2 Materiál a metodika

V dňoch 17 – 20. júla 2022 sa na výstavisku v nemeckom Mníchove konal medzinárodný veľtrh lesného hospodárstva a lesnej techniky Interforst 2022. Veľtrhu, ako platformy pre trvalo udržateľné hospodárenie v lesoch, sa podľa záverečnej správy publikovanej na oficiálnych webových stránkach v tomto roku zúčastnilo 353 vystavovateľov z 21 krajín a zúčastnilo sa ho viac ako 31 000 návštevníkov zo 60 krajín. Cieľom pracovnej cesty bol predovšetkým náš záujem o ťažbovo-dopravné technológie využiteľné v princípoch prírode blízkeho hospodárenia v lesoch. Výber z ponuky predvádzaných mechanizmov, z ktorej nás zaujali aj produkty u nás menej známych výrobcov, uvádzame nasledovne.

3 Výsledky

3.1 Harvesterové technológie

Triedu malých harvesterov zastupoval harvester Alstor 840. Výrobcom je švédská spoločnosť Alstor AB, ktorej výhradným zástupcom na území českej a slovenskej republiky je spoločnosť Forest Meri. Alstor 840 H je malý harvester poháňaný 3-válcovým dieselovým motorom s výkonom 25 konských síl (HP), vybavený s hydrostatickou prevodovkou s uzamykateľným diferenciálom. Hydraulické rameno MOWI P25 má dosah 5,2 m. Celková hmotnosť tohto osemkolesového harvestera je 3 700 kg. Súvisiacim produktom je Alstor 822 (Obr.1), malý osemkolesový mini-forwarder bez kabíny, ktorý poháňa 3-válcový dieselový motor 24 HP Yanmar (24 HP). Môže byť vybavený hydraulickou rukou Farma s dosahom 3,8/4,2 m, alebo Palms s dosahom 5,0 m. Nosnosť 2 000 kg vážiaceho Alstor 822 je 3 000 kg.



Obrázok 1. Mini-forwarder Alstor 822 v prevedení bez kabíny (Slamka 2022).

Spoločnosť Ponnse vystavila harvester Bear, ktorý je najväčší z ich ponukovej rady. Ide o 8 kolesový harvester vážiaci takmer 25 ton. Je určený do obnovných ťažieb a môže byť vybavený až šiestimi typmi harvesterových hlavíc s priemerom spilovania do 740 mm.

Rottne H21D je najrobustnejší harvester z ponuky švédskej spoločnosti Rottne Industri. Tento harvester s hmotnosťou 26 700 kg pri osem kolesovom prevedení využíva hydraulické rameno RK 310 s dosahom 11 m. Pásový harvester Neuson 264 HVT predstavila rakúska spoločnosť Neuson Forest. Ide o prebierkový harvester, ktorý môže byť vďaka pásovému podvozku využiteľný aj na málo únosných a vlhkých pôdach a strmých svahoch. Dosah hydraulického ramena môže byť v závislosti od použitého typu až 13,5 m.

805HD Kombi je 6 kolesový forwarder nemeckej spoločnosti HSM. Hnací silou je štvorvalcový motor Volvo Penta s výkonom 129 kW (175 HP). Dosah hydraulického ramena je v závislosti od použitého typu až 10,2 m. Spoločnosť HSM bola založená už v roku 1967 keď na nemeckom trhu ponúkala lesnú techniku značky Timberjack a od roku 1978 sa venuje vlastnej výrobe. V ponuke sú špeciálne kolesové traktory, forwardery, harvestery a technológie do veľkých sklonov. HSM 405 H je osemkolesový harvester, ktorý sa vyrába v troch rôznych prevedeniach H2, H3 – H4 s celkovou hmotnosťou od 25 400 kg.

Švédska spoločnosť Malwa Forest AB predstavila na veľtrhu produkt Malwa 560 C Kombi, harvester, ktorý po jednoduchej prestavbe trvajúcej 20 min môže pracovať aj ako forwarder. Základná hmotnosť šesťkolesového Malwa 560 C Kombi je 5 700 kg, maximálna hmotnosť nákladu 5 500 kg. Výkon motora je 55 Kw. Na obrázku č. 2 je s nasadenými kolesopásmi Felastec.



Obrázok 2. Malwa 560C Kombi Harvester/Forwarder s kolesopásmi Felastec.

Komatsu 825 TX je osemkolesový forwarder s hmotnosťou 14 580 kg, ktorý je určený do prebierok. Pohon zabezpečuje štvorvalcový motor AGCO Power s výkonom 127 kW. Forwarder má hydraulické rameno Komatsu 105 F s dosahom až 10 m. Maximálna hmotnosť nákladu je 9000 kg.

Lesná vývozná súprava LVS 511 od českej spoločnosti Strojírny Novotný je určená na vyvážanie vytŕaženého materiálu z prebierok a náhodných ťažieb. Ložná plocha slúži k odvozu 2 až 5 metrových výrezov. Maximálna nosnosť je 5 t pri objeme ložnej plochy 5 m³. Celková hmotnosť stroja nepresahuje 10 t. Výkon spaľovacieho motora FPT je 55 kW.

K ďalším producentom prítomným na veľtrhu len stručne. Šestnásť a pol tonový forwarder na osem kolesovom podvozku EcoLog 1250 predstavila nemecká spoločnosť WFW. Forwardery Welte zastupoval 6 kolesový model W190K, ktorý je poháňaný štvorvalcovým motorom Volvo Penta s výkonom 175 kW. Svoje produkty predstavila aj švédka spoločnosť Vimek AB, ktorej hlavným programom sú harvestery a forwardery do prebierok. Harvestery John Deere na veľtrhu zastupoval osemkolesový JD 1270 G 8W s prevádzkovou hmotnosťou do 24 450 kg.

3.2 Špeciálne lesné kolesové traktory

Equus 175N je špeciálny kolesový traktor vyrobený na Slovensku. Na veľtrhu ho predstavil nemecký obchodný zástupca – spoločnosť Reil&Eichinger. Equus 175 BL je v základnom prevedení s hmotnosťou 8800 kg vybavený prednou radlicou, zadným štítom a navijakom. Traktory môžu byť doplnené o hydraulické rameno s drapákom alebo harvesterovou hlaviciou, alebo klenbakom s automatickým uzatváraním. V šesťkolesovom prevedení Equus 175N 6WDC pracuje traktor ako vývozná súprava s hmotnosťou od 17 240 kg.

Zastúpenie medzi špeciálnymi traktormi mal aj ďalší slovenský výrobca LKT. LKT 60 je svojimi parametrami predurčený predovšetkým do výchovných ťažieb nad 50 rokov. Poháňa ho motor Iveco/Cummis s výkonom 90 kW, celková hmotnosť je 7 500 kg. Vybavený je dvojhubnovým navijakom s ťažnou silou 60 kN a sklopným zadným štítom. Na želenie môže byť vybavený napr. diaľkovým ovládaním navijaku a pojazdu,

hydraulickou rukou s drapákom. Prídavnými zariadeniami sú vyvážací vozík 1042 alebo aj harvesterová hlavica Nissula 325 H. Robustnejší LKT 150 má celkovú hmotnosť 14 500 kg a je poháňaný motorom Cummins s výkonom 149 kW. Špeciálny lesný kolesový traktor, konkrétne BWS 240 4x4 (Obr. 14) predstavila Slovinská spoločnosť Bijol. V portfóliu spoločnosti je aj špeciálne protipožiarne prevedenie MFT 240 6x6.

3.3 Lesnícke lanovky

Nemecká spoločnosť Uniforest predstavila systém Cobra T9500, lesnícku lanovku, ktorá bola podľa výrobcu navrhnutá pre bezpečné, jednoduché a rýchle sústreďovanie dreva na strmých a neprístupných svahoch. Systém s 9,5 m vysokým stožiarom možno pripojiť k traktoru s minimálnym výkonom 120 HP. Nosné lano môže byť v závislosti od priemeru dlhé 400, resp. 450 m (Obr. 3).



Obrázok 3. Lesnícka lanovka Cobra T9500 pripojená na traktore Valtra (Slamka 2022).

Syncrofalke je univerzálny lanový systém rakúskeho výrobcu MM Forstechnik umožňuje približovanie dreva po svahu, rovne aj proti svahu s dosahom až 900 m. Podľa Horek (2008) vývoju tomuto produktu predchádzala celá rada systémov od ktorých sa líši predovšetkým novou koncepciou lanového vozíku Sherpa. Lanovku je možné po prestavbe využívať ako horský procesor.

Rakúsky výrobca lanoviek Koller predstavil na veľtrhu horskú lanovku K 507 GH, ktorá je s dosahom 1000 m určená do obnovných ťažieb. V ponuke spoločnosti je aj model K 507E –H. Revolučným riešením pri tomto type sú navijaky poháňané elektricky – generátor poháňa malý dieslový motor.

Na veľtrhu nechýbal ani známy výrobca lanoviek z Talianska - Valentini. Model V400 má dosah 400 a nosnosť 2,5 t, V550 dosah 550 m a nosnosť 2,5 t, V600 dosah 100 m a nosnosť 5,5 t, model V850 dosah 850 m a nosnosť 4 t, stožiar vysoký až 17 m. Najsilnejším model je V1000 s dosahom 1000 m a nosnosťou 5,7 t – inštalovaný je na nákladnom vozidle.

Hlavným zameraním rakúskej spoločnosti Konrad Forsttechnik GmbH je predovšetkým vývoj, výroba a predaj strojov na ťažbu dreva pre extrémne strmé svahy a náročný terén. Na veľtrhu predstavili model KR40-2 na pásovom podvozku. TST Forestry z Rakúska predstavili najnovší model TST Junior.

3.4 Univerzálne kolesové traktory

Na veľtrhu boli pomerne hojne zastúpené ako bázové stroje rôznych lesníckych nadstavieb traktory spoločnosti Valtra. Valtra ponúka širokú škálu poľnohospodárskych a lesníckych traktorov série F (75 – 105 HP), A (75 – 135 HP), G (105 – 135 HP), N (135 – 201 HP), T (155 – 271 HP) a S (290 – 405 HP). Spoločnosť Pfanzelt Maschinenbau ponúkala novú sériu traktorov PM Trac Generation 36 s výkonom 180, 235 a 292 HP. V prevedení Pfanzelt 8x8 forwarding, s klanicovým prívesom, traktor pracuje ako forwarder.

K 260 R je univerzálny kolesový traktor od spoločnosti Kotschenreuther. Poháňaný je 6 valcovým motorom John Deer Power Tech PSS s výkonom 174 kW. Na veľtrhu bolo možné vidieť aj traktory značky Fendt.

3.5 Štiepkovače

Štiepkovač CH383 predstavila na veľtrhu dánska spoločnosť Greenchip ktorá prevzala výrobu od zaniknutej spoločnosti Silvatec Skovmasiner. Základom konštrukcie Greenchip CH 838 je podvozok, kabína a výložník modelu 208F, prezývaného BigFoot, od nemeckého výrobcu HSM. Na stroj je tak možné namontovať pneumatiky so šírkou až 940 mm pri maximálnej šírke stroja 3 m.

Ako líder v inováciách v konštrukcii štiepkovačov sa prezentuje spoločnosť Eschlböck. Na veľtrhu prezentovali model Biber 84. Série RBZ je založená na podvozku MAN TGS 6x6 s výkonom 510 HP.

Výrobou bubnových sekačiek a zariadení na pílenie a štiepanie dreva sa zaoberá Talianska firma Pezzolato založená v roku 1976.

3.6 Malá mechanizácia

Jedným z výrobcov železných koní je aj švajčiarska firma Martin Alther. Na veľtrhu predstavila model Raupt Trac RT65. Tento 2,6 t vážiaci diaľkovo ovládaný traktor je poháňaný dieselovým motorom Yanmar s výkonom 70 HP. Okrem navijaku (6 t) môže byť vybavený mulčovačom, štiepkovačom, k doplnkovej výbave patria snehové reťaze alebo pásy. Produkty na český trh dodáva firma Strojírny Novotný (Olomouc).

Železný kôň Kapsen 18 je pásový hydraulický stroj primárne určený na približovanie dreva. Môže byť diaľkovo ovládaný systémom Linus 4. Približovanie hmoty do objemu 1,6 m³.

V portfóliu nemeckej firmy Pfanzelt Maschinenbau sú navijaky, klanicové prívesy, hydromanipulátory a lesnícke traktory. Zo všetkých predstavených produktov charakteristických svetlo-modrým sfarbením zaujal diaľkovo ovládateľný pásový minitraktor Moritz Fr 75 s hmotnosťou traktoru je 1 450 kg.

Na veľtrhu bol vystavená aj štvorkolka s prívesom na odvoz dreva a hydraulickým ramenom.

3.7 Príslušenstvo

Kolesopásky Felastec predstavila nemecká spoločnosť Felasto Pur Beverstedt – ide o zaujímavé polyuretánové prevedenie, ktorému výrobcu pripisuje lepšie jazdné vlastnosti, menšie opotrebovanie pneumatík, zníženie tlaku na pôdu a dlhú životnosť.

Mulčovače

Na veľtrhu bol vystavený aj mulčovač TFJ od španielskej spoločnosti TMC CANCELA. Tento mulčovač so šírkou záberu až 200 cm je vhodný drvenie konárov, malých stromov, ale aj pňov. Prekážkou pre tento mulčovač nie sú ani kamene.

4 Záver

Z hľadiska negatívnych dopadov ťažbovo-výrobného procesu zohráva kľúčovú úlohu najmä pôda. Pohyb mechanizmov sprevádzajú nepriaznivé zmeny vplývajúce na jej fyzikálne, chemické a biologické vlastnosti, pričom tieto môžu v budúcnosti negatívne ovplyvniť produkciu lesa ako aj funkčnosť celého ekosystému.

Vo všeobecnosti možno základné princípy šetrného prístupu z technologického hľadiska zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- Uprednostniť výber technológie s väčším predpokladom na vykonávanie šetrného prístupu
- Prispôbiť výber technológie a vykonávacieho prostriedku parametrom ťaženého porastu a klimatickým podmienkam (napr. suchá alebo zamrznutá pôda).
- Nepoužívať výrobné náklady na jednotku produktu vo fáze plánovania ako aj hodnotenia zásahu, ako hlavný faktor pri výbere technológií.
- Vyžaduje sa dôsledná technologická príprava pracovísk - voľba optimálnej technológie, vyznačenie pracovných liniek, vyznačenie stromov a frakcií prirodzeného zmladenia ktoré nesmú byť poškodené.
- Vzdelávanie, kontrola vykonaných prác, preferovanie kvalitnejších dodávateľov prác.

V rámci prebiehajúceho infraštruktúrneho projektu Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva bol pre potreby Národného lesníckeho centra – účelového zariadenia Stráž, zakúpený malotraktor Ferrari Cobram 60 RS (Obr. 4). Poháňaný je motorom Kohler s výkonom 53 HP. Cobram má vzhľadom na svoje technické parametre široké využitie v lesných škôlkach, sadoch, vinohradoch ale aj skleníkoch. S lesníckou nadstavbou môže byť úspešne využitý v princípoch prírody blízkeho hospodárenia v lesoch. Medzi výhody malotraktorov pri sústreďovaní dreva možno považovať nižšiu nadobúdaciu cenu v porovnaní s bežným poľnohospodárskym traktorom, univerzálnosť využitia a pomerne jednoduchú obsluhu. Výhodou sú aj ich malé rozmery, z čoho vyplýva pomerne jednoduchý transport na väčšie vzdialenosti (na prívese), nízka hmotnosť a s ňou spojený nízky tlak na pôdu, čím sa minimalizuje poškodenie pôdy traktorom a relatívne nízka ťažná sila ktorá neumožňuje sústreďovanie rozmernejšieho dreva čím sa minimalizujú škody spôsobované na ostávajúcom poraste.

V rámci projektu boli k malotraktoru zakúpené aj prídavné zariadenia, nákladný príves s nosnosťou 2200 kg, mulčovač INO EURO L 160, , jednobubnový navijak UNIFOREST E30 a klanicový príves na vývoz dreva, ktorý je vybavený s hydraulickou rukou s dosahom 4,1 m.



Obrázok 4. Malotraktor Ferrari Cobram RS s vlečkou (Gergel' 2022).

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a na základe finančnej podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci riešenia projektu APVV-0487-16 Optimalizácia využitia drevnej suroviny nižšej kvality na Slovensku.

Literatúra

Picchio, R., Mederski, P. S., Tavankar, F. 2020. How and How Much, Do Harvesting Activities Affect Forest Soil, Regeneration and Stands? Current Forestry Reports 6, 115-128.

Spinelli, R., Magagnotti, N., Labelle, E, R. 2020. The Effect of New Silvicultural Trends on Mental Workload of Harvester Operators. Croatian Journal of Forest Engineering 41(2):1-13

Summary

Current forest technology. The international fair of forestry and forest technology Interforst 2022 was held at the exhibition center in Munich, Germany from July 17 to 20, 2022. In this article, we present a selection from the range of exposed mechanism, from which we were also interested in products of lesser-known manufacturers in Slovakia. We also present the Ferrari Cobram 60 RS mini tractor, purchased as part of an ongoing project and the possibility of its use in forestry practice.

Kľúčové slová

Les, lesná technika, harvester, ťažba

Kontaktné adresy

Ing. Marián Slamka, PhD., Ing. Tomáš Gergel', PhD., Ing. Milan Oravec, PhD.,
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
marian.slamka@nlcsk.org; milan.oravec@nlcsk.org; tomas.gergel@nlcsk.org;

PREDÚPRAVA TOPOĽOVÉHO DREVA NA JEHO ĎALŠIE BIOCHEMICKÉ VYUŽITIE

Štefan Boháček, Andrej Pažitný, Vladimír Ihnát, Albert Russ, Michaela Handlovská

1 Úvod

Na výskumnom ústave papiera celulózy, a.s. v Bratislave boli stanovené charakteristiky tenčiny topoľového dreva (*Populus nigra* L.) z pohľadu jeho potenciálneho spracovania na biopalivá. Chemická analýza konárov topoľa čierneho a podiely anorganických prvkov sú uvedené v Tab. 1 (Ihnát a kol. 2021). V Tab. 2 je uvedené chemické zastúpenie základných chemických zložiek topoľového dreva v jeho častiach.

Tabuľka 1. Chemické zloženie dreva tenčiny a koncentrácia anorganických prvkov v tenčine topoľa čierneho (*Populus nigra* L.) (Ihnát a kol. 2021).

Popol	Extraktívne látky			Lignín			Polysacharidy					
	Dichlor metán	Horúca voda	Spolu	Klason	Kyselino rozpust.	Spolu	Glukán	Xylán	Mannán	Galaktán	Arabinán	Spolu
(%)												
0.64 ±0.02	0.78 ±0.02	2.65 ±0.01	3.43 ±0.02	23.5 ±0.18	3.03 ±0.06	26.53 ±0.12	48.9 ±0.42	16.7 ±0.35	1.4 ±0.08	0.6 ±0.06	0.3 ±0.02	67.9 ±0.89
Ca	K	Mg	P	Si	Na	Mn	Fe	Zn	Cu			
(mg/kg)												
932	1517	271	408	51.4	97.7	1.27	9.96	24.3	4.21			

Tabuľka 2. Chemické zloženie topoľového dreva (Pažitný a kol. 2020a).

	Holocelulóza	Celulóza	Lignín
	(% w/w a.s.)		
jadro	63.6	42.8	19.4
beľ	75.3	49.9	21.5
jednoročné výmladky	74.9	44.7	21.6

2 Bioetanolová konverzia biomasy

Prvý a zásadný problém je spojený s predspracovaním biomasy tak, aby bolo dostatočné pre efektívnu hydrolýzu celulózy a hemicelulóz. Druhý problém súvisí s efektívnou hydrolýzou týchto polysacharidov. Snahou je predspracovať tento lignocelulózový komplex, aby sa rozrušil lignínový obal, čím by sa sprístupnila celulóza a hemicelulózy k hydrolytickým enzýmom (Lim a kol. 2012). Úplná delignifikácia je neuplatniteľná z energetických a finančných dôvodov, preto do úvahy pripadá čiastočná delignifikácia. Hydroxid sodný patrí medzi najefektívnejšie alkalické činidlá na **chemické predspracovanie** biomasy (Mirahmadi a kol. 2010). Samostatnú kapitolu predspracovania biomasy tvoria tzv. eutektické zmesi (Vancov a kol. 2012). Napriek tomu, že iónové kvapaliny poskytujú veľký potenciál, ich úskalia spočívajú v ich cene ako aj náročnej recyklácii.

2.1.1 Fyzikálno-chemické metódy predspracovania biomasy

Jednou z najefektívnejších, ale aj energeticky najnáročnejších metód predspracovania biomasy pri výrobe bioetanolu druhej generácie ostáva parná explózia. Pri vysokej teplote v značnej miere vznikajú aj inhibítory hydrolýzy ako napr. kyselina octová, furfural, hydroxymetylfurfural, kyselina mravčia, kyselina levulová a fenolové zlúčeniny z degradácie lignínu. Základným princípom je ohrev biomasy impregnovanej vodou na

teplotu ďaleko prevyšujúcu 100°C (zväčša sa pohybuje okolo 200°C) pri vysokom tlaku a následná dekompresia zmesi v zlomku sekundy, pričom dôjde k mechanickému rozrušeniu lignocelulózového komplexu a kryštalickej štruktúry celulózy v ňom.

Okrem metódy parnej explózie existuje analogická metóda AFEX (ammonia fiber explosion), kde sa na explóziu používa amoniak, z dôvodu úspor energie, nakoľko bod varu amoniaku je hlboko pod bodom varu vody. Ďalším dôvodom je dosiahnutie vysokého tlaku pár amoniaku pri nižšej teplote ako je to v prípade použitia čistej vody a vodnej pary na tento účel. Tým sa eliminuje potreba zahriatia zmesi na vysoké teploty a marginalizuje sa tvorba inhibítorov hydrolýzy, vznikajúcich predovšetkým pri vysokých teplotách v prípade použitia vody, ako expanzného média. Zlepšenia výrobných technológií vodíka a amoniaku v posledných rokoch prinášajú väčší potenciál pre komerčné využitie metódy AFEX a zároveň zaraďujú amoniak medzi takzvané „zelené“ rozpúšťadlá vzhľadom na obnoviteľné zdroje vodíka, z ktorého sa amoniak katalyticky vyrába (Morgan a kol. 2017). Ako modifikácia metódy AFEX bola vyvinutá metóda RAAE, čiže expanzia pomocou recyklovaného kvapalného amoniaku (Zhang a kol. 2013).

2.1.2 Fyzikálne metódy predspracovania biomasy

Jedná z metód - kryolýza, čiže predspracovanie mrazom, je založená na zmene objemu vody prechodom z kvapalného do pevného stavu približne o 9%. Jedná sa o mechanické rozrušovanie (Halaj a kol. 2021a). Táto metóda umožňuje otvoriť celulóзовú štruktúru biomasy a zväčšiť prístupovú plochu pre enzýmy. Metóda je environmentálne vyhovujúca a nízkonákladová (Rooni a kol. 2017), ale výťažky sú nižšie v porovnaní s inými metódami, ako napr. parná explózia (Boháček a kol. 2020, Pažitný a kol. 2020, Zhu a kol. 2020).

Predspracovanie dreva kryolýzou za účelom lepšieho sprístupnenia celulózy pre enzýmy v procese konverzie biomasy na tekuté biopalivá si vyžaduje maximalizovať prítomnosť vody v dreve. Ihnát a kol. (2023) sledovali priebeh vlhkosti počas vegetatívneho pokoja a v čase pučania na štvorročných výmladkoch topoľa bieleho (*Populus alba* L.) s hustotou odkôrneného dreva v rozsahu od 0.405 do 0.554 g/cm³. Zistilo sa, že priebeh vlhkosti v dreve rastúceho stromu je nerovnomerný a pohybuje sa v rozsahu od 100 až do 200% v mladých vetvičkách. Prirodzeným namáčaním čerstvých štiepok (143.9%) sa dosiahlo zvýšenie absolútnej vlhkosti na 274.3% (< 2.5 mm), 233.4% (5-10 mm) a 220.5% (>10 mm) po 14 dňoch máčania, pričom prírastky oproti 7-dňovému máčaniu sú už nevýznamné. Máčanie suchých štiepok (6.6-6.8%) poukazuje na hysterézy účinok sušenia, kedy už nie je možné dosiahnuť pôvodnú hodnotu. Po 2-hod intenzifikácii máčania stlačeným vzduchom vysušené štiepky (6.7%) dosiahli absolútnu vlhkosť 228.6% (< 2.5 mm), 206.7% (5-10 mm) a 192.3% (>10 mm), čím sa takmer nahradilo 14 dňové máčanie. Čerstvé štiepky (148%) po 2-hod intenzifikácii dosiahli hodnoty 292.1% (< 2.5 mm), 222.5% (5-10 mm) a 215.4% (>10 mm), opäť, čím sa nahradilo 14 dňové máčanie.

3 Materiál a metódy

Všetky experimenty boli vykonávané v laboratórnom merítku na malých množstvách dezintegrovaných vzoriek dreva topoľov, ktoré boli zozbierané v Bratislavskom kraji. V závislosti od typu experimentu boli použité rôzne časti stromu topoľa bieleho (*Populus alba* L.), jeho jadrová, beľová časť a jednoročné výmladky pre vzájomné porovnávanie v práci Pažitný a kol. (2020) alebo topoľa čierneho (*Populus nigra* L.) v práci Ihnát a kol. (2021). Odkôrnené vzorky boli štiepkované na laboratórnom diskovom štiepkovači 2.8 kW s jedným nožom. Samostatné frakcie použité v jednotlivých experimentoch (0.7-10 mm) boli pripravené mletím na laboratórnom mlyne Brabender a v kombinácii so sitovým

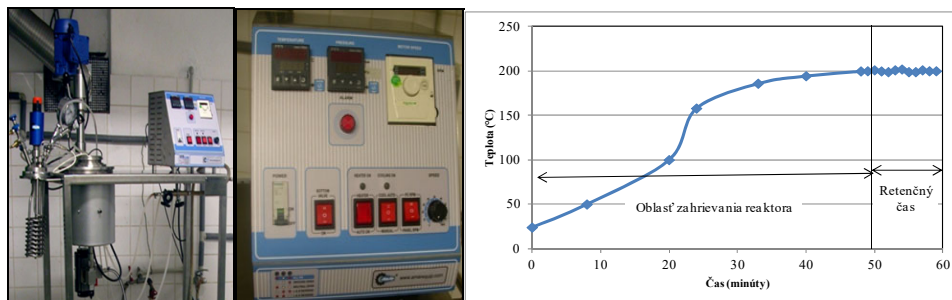
triedičom. Vzorky boli uchovávané v uzavretých polyetylénových sáčkoch. Počiatočná vlhkosť laboratórnych vzoriek bola vždy stanovená na sušinových váhach Denver IR35.

3.1 Stanovenie chemického zloženia topoľového dreva

Podiel popola bol stanovený podľa ISO 1762, obsah extraktívnych látok v dichlorometáne a v horúcej vode podľa Tappi T 204 cm-94, a Tappi T 207 cm-08. Metodika Tappi T 222 om-98 bola použitá na stanovenie Klasonovho lignínu, a metodika Tappi UM 250 na stanovenie rozpustného v kyseline. Obsah holocelulózy v analyzovaných vzorkách bol stanovený podľa Wiseovej metódy a obsah celulózy podľa ISO 692. Obsah prvkov K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu v dreve bol stanovený atómovou absorpciou spektroskopiou (AAS) podľa Tappi T 266. Na stanovenie obsahu prvkov bola časť získaného popola rozpustená v kyseline chlorovodíkovej. Obsah fosforu bol stanovený spektrometriou s molybdénanom amónnym podľa STN EN ISO 6878. Obsah Si v dreve bol stanovený z nerozpustnej časti gravimetrickým stanovením SiO₂ po rozpustení v kyseline fluorovodíkovej.

3.2 Parná explózia

Pred parnou explóziou sa vzorky biomasy impregnovali čerstvou vodou tak, aby konečný obsah vlhkosti vzoriek počas explózie pary bol aspoň 85% (w/w). Obsah vody, v ktorej bola vzorka namočená pred parnou predúpravou, bol vypočítaný na 15% (w/w) suchej biomasy. Vzorky boli namočené vo vode s teplotou 20°C počas najmenej 30 min. Pripravené materiály boli vystavené parnej explózii pri rôznych teplotách (180°C, 200°C, 220°C) so zodpovedajúcimi tlakmi (12.4 bar, 15.4 bar, 29.2 bar) a dobou zotrvania 10 min. Predúprava sa uskutočňovala v 2 L vsádzkovom reaktore (Amar Equipments Pvt. Ltd., India, Obr. 1).



Obrázok 1. Tlakový reaktor na parnú explóziu a teplotný režim zahrievania (Pažitný a kol. 2019).

Po uplynutí vopred nastavenej doby zdržania bola biomasa uvoľnená z reaktora rýchlym uvoľnením tlaku. Po predúprave parnou explóziou boli vzorky podrobené enzymatickej hydrolýze. Účinok prevádzkovej teploty a retenčného času je zahrnutý v tzv. faktore závažnosti procesu (severity factor), ktorý sa vypočíta podľa vzťahu:

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

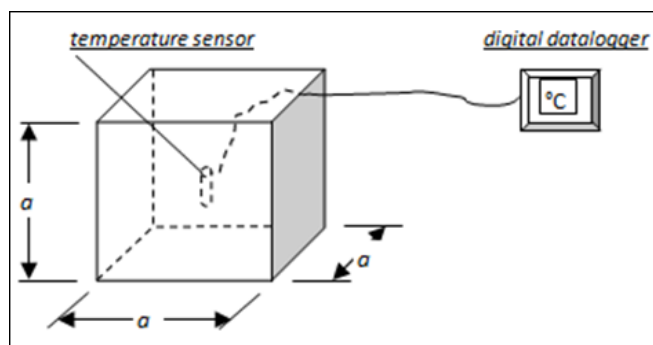
Významný vplyv faktora závažnosti procesu bol zistený pri predspracovaní smrekových a bukových častíc (0.7 mm) parnou explóziou (Pažitný a kol. 2019b). Najvyšší podiel monosacharidov z enzymatickej hydrolýzy bol zistený pri teplote predspracovania bukových častíc na úrovni 180°C. V tomto prípade bola hodnota faktora závažnosti procesu na úrovni $R_o = 3.36$ a podiel monosacharidov na úrovni 81.1 g.l⁻¹. Pri tejto teplote a pri príslušnej hodnote faktora závažnosti procesu bol však tiež zistený najvyšší podiel inhibítorov na úrovni zhruba 5.0 g.l⁻¹. Naproti tomu, najvyšší podiel inhibítorov (2.79 g.l⁻¹) predspracovaných smrekových častíc (0.7 mm) bol zistený pre $R_o = 4.53$, teda pre teplotu 220°C.

3.3 Kryolýza

Pre porovnanie experimentálnych výsledkov boli vzorky na zmrazenie pripravené ako nasýtené aj nenasýtené vodou a vždy aj slepá vzorka. Vzorky sa pripravili v uzavretých PET vreckách a umiestnili sa na impregnáciu do inkubátora na 24 hodín pri 60°C. Zmrazovanie zatavených PET vreciek sa uskutočňovalo pri -20 °C počas 24 hodín. Po zmrazení boli vzorky rozmrazované počas 24 hodín (Boháček a kol. 2021). Pri cyklickom zmrazovaní bol sledovaný vplyv zmrazovania pri -20°C a rozmrazovania pri +25°C (Boháček a kol. 2020).

3.3.1 Kinetika zmrazovania

Kinetika zmrazovania bola sledovaná na vzorkách *Populus alba* L. frakcie 0.7 mm, pripravených podľa vyššie opísaného postupu. Experimenty sa uskutočnili so vzorkami s hmotnosťou 31 g, 25 g, 62,5 g, 125 g, 250 g, 500 g a 1000 g. Vzorky boli impregnované destilovanou vodou a upravené kryolýzou pri rôznych rýchlostiach zmrazovania v pripravených laboratórnych kockách (Obr. 2) pri konštantnej teplote -20°C. Po kryolýze boli vzorky podrobené enzymatickej hydrolýze.



Obrázok 2. Laboratórne zariadenie na sledovanie kinetiky zmrazovania ("cubic test", Boháček a kol. 2020).

3.4 Enzymatická hydrolýza

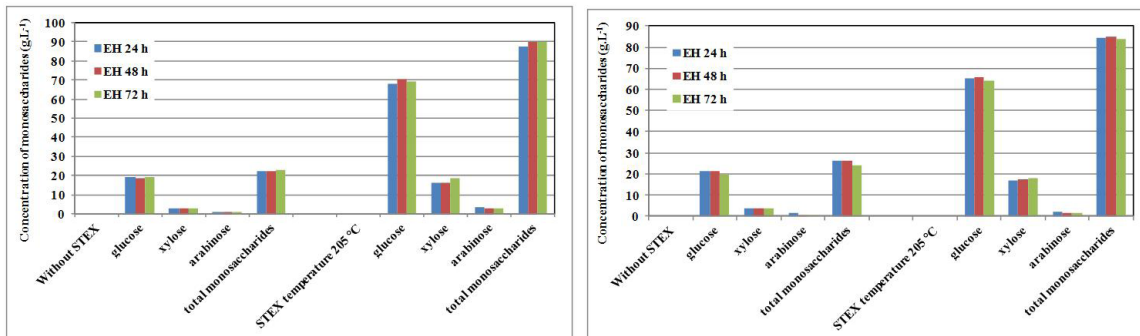
Enzymatická hydrolýza vzoriek topoľového dreva bola vykonaná enzýmovým prípravkom Cellic Ctec3 dodaným spoločnosťou Novozymes A/S (Bagsværd, Dánsko) v priemernej dávke 0.86% w/w (g Cellic Ctec3/100 g suspenzia) v inkubátore ES-20/60 (BioSan Ltd., Lotyšská republika) pri 50°C, pH = 5.0 počas 24, 48 a 72 hodín a 12.5% w/w suspenzii. Laboratórne bola nameraná aktivita enzýmu 1 700 BHU (jednotky hydrolýzy biomasy)/g produktu. Hodnota pH sa upravovala kontinuálne počas procesu hydrolýzy použitím 0.1 N kyseliny sírovej alebo 0.1 N hydroxidu sodného. Vzorky hydrolyzovaných topoľových častíc boli odoberané po 24, 48 a 72 hodinách. Koncentrácia monosacharidov a inhibítorov bola stanovená postupom National Renewable Energy Laboratory (Sluiter a kol. 2008). Monosacharidy (glukóza, xylóza a arabinóza) a inhibítory (kyselina mravčia, kyselina octová, 5-(hydroxymetyl)furfural a furfural) boli stanovené v hydrolyzátoch metódou HPLC s kolónou Rezex ROA (organická kyselina) H⁺. Mobilnou fázou bola 0,005 N kyselina sírová pri prietoku 0.5 ml.min⁻¹ a teplote 30°C. Chromatografické spracovanie dát bolo vykonané softvérom Clarity verzie 5.3.0.180 (DataApex Ltd., Česká republika).

4 Výsledky a diskusia

4.1 Vplyv parnej explózie na enzymatickú hydrolýzu rôznych častí topoľového dreva

Vplyv parnej explózie (STEX) pri teplote 205°C na koncentrácie monomérov, ako je glukóza, xylóza a arabinóza, bol sledovaný pre jednotlivé vzorky lignocelulózy, aby sa

vyhodnotilo zlepšenie dostupnosti holocelulózy (Obr. 3). Spomedzi všetkých častí topoľa jadrové drevo poskytlo maximálnu koncentráciu monosacharidov 90.0 g.l^{-1} . To môže byť spôsobené najnižším obsahom lignínu stanoveným na 19.4% w/w o.d. a najnižším obsahom hemicelulózy (20.8% w/w o.d.), čo môže spôsobiť účinnejšiu bariéru blokujúcu interakciu medzi enzýmami a sacharidmi v mladších častiach topoľov. Koncentrácia glukózy kulminovala na 70.4 g.l^{-1} po 48 hod enzymatickej hydrolýzy jadrového dreva. Maximálna koncentrácia inhibítorov na úrovni 9.3 g.l^{-1} bola stanovená pre výmladkové drevo. Koncentrácia týchto produktov kulminovala po 24 hod enzymatickej hydrolýzy.

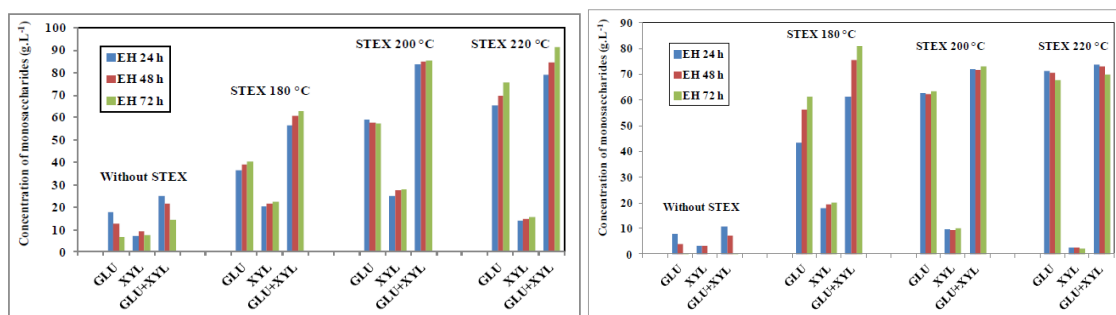


Obrázok 3. Vplyv parnej explózie pri teplote 205°C na koncentráciu monosacharidov v hydrolyzátoch po enzymatickej hydrolýze topoľa: a) jadro, b) beľ (Pažitný a kol. 2020a).

Hlavným inhibítorom pre každú hydrolyzovanú vzorku topoľa bola kyselina octová, ktorá je slabým inhibítorom. Maximálna koncentrácia kyseliny mravčej bola stanovená pre hydrolyzáty z výmladkov (1.5 g.l^{-1}). Tento lignocelulóзовý substrát tiež obsahoval 5-(hydroxymetyl)furfural (0.6 g.l^{-1}) a furfural (1.6 g.l^{-1}).

4.2 Porovnanie účinku parnej explózie s bukom a pšeničnou slamou

Predúpravy vybraných surovín na základe rôznych teplôt preukázali významný vplyv teploty parnej explózie. V dvoch prípadoch predúpravy biomasy - pšeničnej slamy a buka, bolo zistené zvýšenie koncentrácie monosacharidov so zvyšujúcou sa teplotou (Obr. 4).

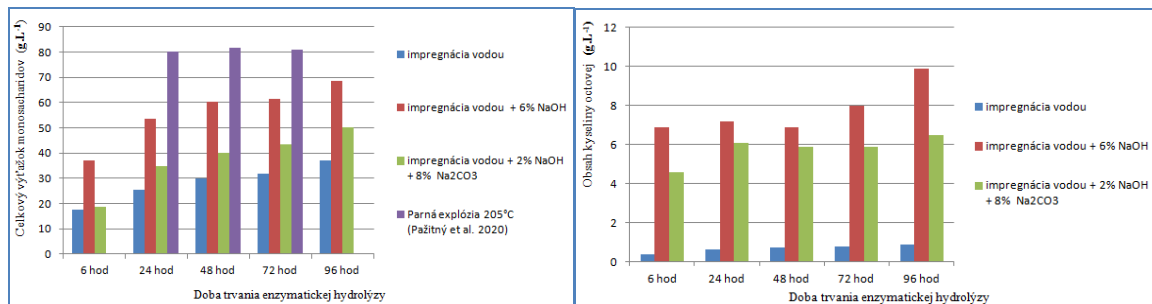


Obrázok 4. Vplyv teploty parnej explózie (STEX) na koncentrácie monosacharidov v hydrolyzátoch získaných počas enzymatickej hydrolýzy: a) pšeničnej slamy, b) buka (Pažitný a kol. 2020b).

Najvyššia koncentrácia zistených monosacharidov (91.3 g.l^{-1}) bola získaná enzymatickou hydrolýzou slamy predupravenej pri teplote 220°C a mierne nižšia v prípade topoľa pri teplote 200°C (90.0 g.l^{-1} , Pažitný a kol. 2020b). Z oboch hydrolyzátoch sa odobrali vzorky po dobe hydrolýzy 72 hod. Pri použití pšeničnej slamy ako suroviny na výrobu 2G bioetanolu je dôležité byť opatrný kvôli vyššej koncentrácii kyseliny mravčej generovanej pri vyššej teplote predúpravy parnou explóziou (2.0 g.l^{-1}), pretože táto zlúčenina je najsilnejším inhibítorom celuláz po kompletnej inaktivácii enzýmov.

4.3 Vplyv trvania enzymatickej hydrolýzy, času zmrazovania a počtu cyklov zmrazovania

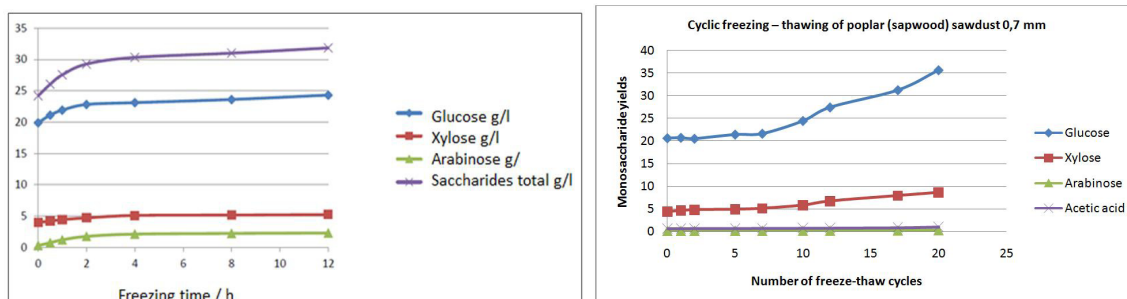
Účinnosť kryolýzneho predspracovania je nižšia, čo je možné zvýšiť prídavkom delignifikačných chemikálií. Experimentálne vyšetrenie preukázalo celkové koncentrácie monosacharidov v rozsahu 60.4 až 68.70 g.l⁻¹ pri použití 6% zanášky NaOH a v rozsahu 40.2 až 50.2 g.l⁻¹ pri čiastočnej substitúcii NaOH za Na₂CO₃. Obsah vznikajúceho inhibítora – kyseliny octovej je znázornený na Obr. 5b.



Obrázok 5. a) Celkové koncentrácie monosacharidov v hydrolyzátoch z topoľa (beľ frakcie do 0.7 mm) predupraveného kombinovaním zmrazovania pri teplote -20°C po dobu 48 hod a zanášky 6% NaOH alebo 2% NaOH + 8% Na₂CO₃ v porovnaní s účinnosťou parnej explózie pri 205°C. b) Vplyv trvania enzymatickej hydrolýzy na tvorbu kyseliny octovej (Boháček a kol. 2021).

Pre lepšiu predstavu, koncentrácie iba vodou predimpregnovaného substrátu (prekročený bod nasýtenia vlákien, 60°C, 24 hod) sa pohybujú v rozsahu 30.1 až 37.2 g.l⁻¹, pre porovnanie parná explózia poskytuje koncentrácie cez 80 g.l⁻¹ (Obr. 5a).

Experimentom bolo potvrdené, že koncentrácie monosacharidov nie sú ovplyvnené narastajúcou dĺžkou zmrazovania (Obr. 6). Dôležité je prekročiť časový interval, kedy už dôjde k úplnej tvorbe kryštálov ľadu, ktoré substrát sprístupňujú enzýmom (Boháček a kol. 2020).

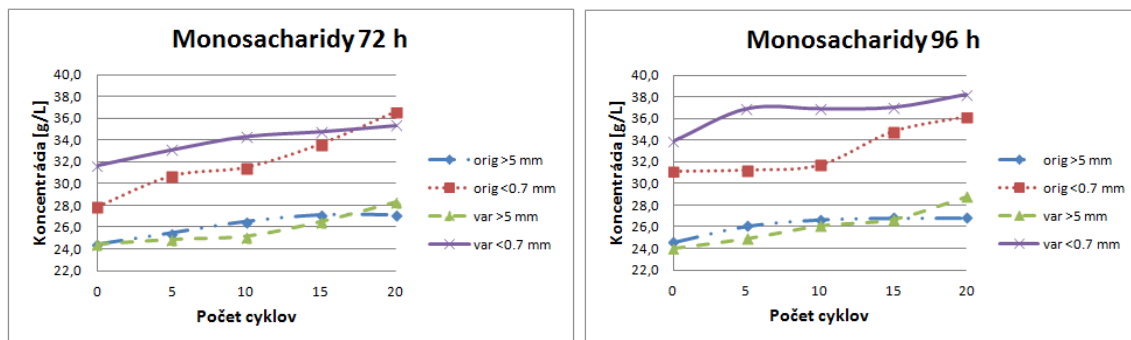


Obrázok 6. a) Koncentrácie monosacharidov po 48 hod enzymatickej hydrolýzy topoľových pilín veľkosti 0.7 mm v závislosti od: a) doby zmrazovania, b) počtu cyklov zmrazovania-rozmrazovania (Boháček a kol. 2020).

Výsledky ukázali, že jednorazové zmrazenie (-20°C) úplne impregnovaných vzoriek (0.7 mm, beľ, *Populus alba* L.) vodou alebo za sucha (obsah vody 5.8 %) nie je dostatočnou metódou predúpravy. Preto sa na zvýšenie koncentrácie monosacharidov použila metóda cyklického zmrazovania a rozmrazovania. Nakoniec bolo aplikovaných 20 cyklov, pričom sa ukázalo, že od 10 cyklov sa účinnosť začína zvyšovať. Analýzy z tzv. cubic tests ukázali, že pomalší proces zmrazovania spojený s tvorbou väčších kryštálov, ktoré môžu narušiť lignocelulózovú štruktúru, má pozitívny vplyv na prístupnosť celulózy pre enzým.

Podobné výsledky boli dosiahnuté aj na mladom dreve paulovnie. Materiál sa predspracovával varením počas 30 min a následným cyklickým zmrazovaním-rozmrazovaním pri -20°C, resp. +25°C. Celkový obsah monosacharidov frakcií > 5 mm a < 0.7 mm neprevarenej (orig) a prevarenej vzorky (var) po 72 a 96 hod enzymatickej

hydrolýzy v závislosti od počtu cyklov predspracovania zmrazovaním a rozmrazovaním ukazuje Obr. 7.



Obrázok 7. a) Koncentrácie monosacharidov po: a) 72 hod a b) 96 hod enzymatickej hydrolýzy topoľových pilín 0.7 mm v závislosti od počtu cyklov.

Výsledky potvrdili, že veľkosť častíc má zásadný vplyv na výťažok, resp. koncentráciu monosacharidov. Vplyv varenia z dôvodu získania vyššieho obsahu vody v dreve je slabý. S počtom cyklov sa zvyšovala koncentrácia monosacharidov a najvyššia sa dosiahla pri 20-tom cykle. Podiel konverzie hydrolýzy bol 43.7%.

5 Záver

Zverejnené štúdie preukázali potenciálnu vhodnosť topoľového dreva pre enzymatickú hydrolýzu a procesy výroby 2G bioetanolu. Získané výsledky ukázali, že topoľ, ako rýchlorastúci strom, je dobrým lignocelulózovým substrátom a porovnateľnou alternatívou k niektorým druhom tráv. Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať, že kombinácia surovín pre termo-hydro-mechanickú predúpravu pomocou parnej explózie môže byť užitočná. Výhodiskom pre predúpravu dendromasy sa javí optimálna teplota okolo 200°C. Cieľené experimenty zároveň potvrdili, že kryolýzny účinok je možné zvyšovať prídavkom delignifikačných činidiel a zvyšovaním počtu cyklov zmrazovania, pričom sa ich účinok prejavuje od počtu desať. Čas zmrazovania v tomto prípade nehrá rolu, ak je už kryštál ľadu vytvorený.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0533.

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

Literatúra

- BOHÁČEK, Š., PAŽITNÝ, A., HALAJ, M., BALBERČÁK, J., KUŇA, V., 2020: Freeze-thaw pretreatment of poplar sapwood dust. *Wood Research* 65(6): 905-916.
- BOHÁČEK, Š., IHNÁT, V., GALLOVÁ, J., PAŽITNÝ, A., RUSS, A., 2021: Enzymatická hydrolýza bele topoľového dreva predspracovaného zmrazovaním: vplyv trvania enzymatickej hydrolýzy a času zmrazovania. In: *Zborník výskumných prác. Január 2021. Centrum pre rozvoj drevárskeho, nábytkárskeho a celulózo-papierenského priemyslu. Bratislava, str. 26- 36.*

- BOHÁČEK, Š., HALAJ, M., PAŽITNÝ, A., GALLOVÁ, J., 2022: Enzymatická hydrolýza saturovaného dreva paulovnie predspracovaného cyklickým zmrazovaním a rozmrazovaním. In: *Zborník výskumných prác. Január 2022. Centrum pre rozvoj drevárskeho, nábytkárskeho a celulózo-papierenského priemyslu. Bratislava, str. 22-30.*
- HALAJ, M., BOHÁČEK, Š., PAŽITNÝ, A., KUŇA, V., BALBERČÁK, J., 2021A: Influence of ultra low and high temperature on enzymatic pretreatment of beech branches wood. *Wood Research* 66(4): 630-642.
- IHNÁT, V., FIŠEROVÁ, M., OPÁLENÁ, E., RUSS, A., BOHÁČEK, Š., 2021: Chemical composition and fibre characteristics of branch wood of selected hardwood species. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen* 63(2): 17–30.
- IHNÁT, V., BOHÁČEK, Š., CVIČELA, P., 2023: Distribúcia vlhkosti v čerstvom dreve výmladkového topoľa bieleho a intenzifikácia nasiakavosti v jeho dezintegrovanom stave pre potreby kryolýzy. In: *Zborník výskumných prác. Január 2023. Centrum pre rozvoj drevárskeho, nábytkárskeho a celulózo-papierenského priemyslu. Bratislava.*
- LIM, J.S., ABDUL MANAN, Z., WAN ALWI, S.R., HASHIM, H., 2012: A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(5): 3084–3094.
- MENON, V., RAO, M., 2012: Trends in bioconversion of lignocellulose: biofuels, platform chemicals and biorefinery concept. *Progressive in and Energy Combustion Science* 38: 522-50.
- MIRAHMADI, K., KABIR, M.M., JEIHANIPOUR, A., KARIMI, K., TAHERZADEH, M.J., 2010: Alkaline pretreatment of spruce and birch to improve bioethanol and biogas production. *Bioresource Technology* 98(16): 3000-3011.
- MORGAN, E.R., MANWELL, J.F., MCGOWAN, J.G., 2017: Sustainable ammonia production from US offshore wind farms: a techno-economic review. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 5:9554–9567.
- PAŽITNÝ, A., RUSS, A., BOHÁČEK, Š., STANKOVSKA, M., IHNAT, V., ŠUTÝ, Š., 2019A: Various lignocellulosic raw materials pretreatment processes utilizable for increasing holocellulose accessibility for hydrolytic enzymes: Part II. Effect of steam explosion temperature on beech enzymatic hydrolysis. *Wood Research* 64(3): 437-447.
- PAŽITNÝ, A., RUSS, A., IHNÁT, V., BOHÁČEK, Š., ŠUTÝ, Š., 2019B: Parná explózia smrekového a bukového dreva. Vplyv teploty na produkciu monosacharidov a inhibítorov enzymatickej hydrolýzy. In: *Zborník výskumných prác. Január 2019. Centrum pre rozvoj drevárskeho, nábytkárskeho a celulózo-papierenského priemyslu. Bratislava, str. 34-43.*
- PAŽITNÝ, A., RUSS, A., BOHÁČEK, Š., STANKOVSKÁ, M., IHNÁT, V., ŠUTÝ, Š., 2020A: Effect of steam explosion on enzymatic hydrolysis of various parts of poplar tree. *Wood Research* 65(4): 579-590.
- PAŽITNÝ, A., RUSS, A., BOHÁČEK, Š., ŠUTÝ, Š., IHNÁT, V., 2020B: Perspective pretreatment method of beech and poplar wood and wheat straw in 2G biofuel production processing. *Nova Biotechnologica Chimica* 19(1): 89-97.
- PAŽITNÝ, A., RUSS, A., STANKOVSKÁ, M., IHNÁT, V., ŠUTÝ, Š., 2022: Predspracovanie vybraných druhov dendromasy parnou explóziou a parnou extrúziou, ako nástroj pre zvyšovanie produkcie monosacharidov pre výrobu 2G biopalív. In: *Zborník výskumných prác. Január 2022. Centrum pre rozvoj drevárskeho, nábytkárskeho a celulózo-papierenského priemyslu. Bratislava, str. 31-42.*
- ROONI, V., RAUD, M., KIKAS, T., 2017: The freezing pre-treatment of lignocellulosic material: a cheap alternative for Nordic countries. *Energy* 139: 1-7.

VANCOV, T., ALSTON, A.S., BROWN, T., MCINTOSH, S., 2012: Use of ionic liquids in converting lignocellulosic material to biofuels. *Renewable Energy* 45: 1-6.

ZHANG, C., PANG, F., LI, B., XUE, S., KANG, Y., 2013: Recycled aqueous ammonia expansion (RAAE) pretreatment to improve enzymatic digestibility of cornstalks. *Bioresource Technology* 138: 314-320.

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

Summary

Pre-treatment of poplar wood for its further biochemical use. The presented article documents the research activities of the Pulp and Paper Research Institute in Bratislava for last years in the field of potential processing of unused parts of poplar wood for its further biochemical use. The research is focused on the necessary degree of pretreatment of disintegrated wood by physico-chemical and physical methods. The article summarizes the results of experimental measurements of various modifications of effective steam explosion and less effective cryolysis, in which the achieved yields of converted monosaccharides can be increased by cyclic freezing and thawing as well as by the addition of suitable delignifying agents such as sodium hydroxide.

Kľúčové slová

predúprava; topolové drevo; parná explózia; kryolýza; konverzia

Kontaktné adresy

Štefan Boháček, Andrej Pažitný, Vladimír Ihnát, Albert Russ, Michaela Handlovská
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava
bohacek@vupc.sk

PAPIEROVÉ SUBSTRÁTY PRE TLAČ ELEKTRONIKY NAHRÁDZAJÚ PLASTY

Mária Fišerová, Juraj Gigac

1 Úvod

V posledných rokoch sa rádiový frekvenčná identifikačná (RFID) technológia stáva hlavným prúdom v aplikáciách, ktoré umožňujú rýchlejšie a presnejšie spravovanie, kontrolu pozície a prítomnosti rôznych predmetov, osôb a zvierat a podobne. Táto technológia umožňuje identifikáciu predmetov na diaľku a na rozdiel od stále používaných technológií (napríklad optickej technológie čiarových kódov) nevyžaduje priamu viditeľnosť medzi čítacím zariadením a sledovaným objektom. RFID technológia je bezkontaktná, pracuje na princípe identifikácie použitím elektromagnetických vln. Existuje množstvo rôznych typov RFID systémov, ale na najvyššej úrovni môžeme RFID zariadenia rozdeliť do dvoch hlavných skupín: aktívne a pasívne. Pasívne zariadenia RFID sú omnoho zaujímavejšie z pohľadu ich využitia, pretože nevyžadujú externý zdroj energie ani internú batériu, nevyžadujú údržbu a preto majú neobmedzený interval použitia. Sú navyše dostatočne malé a je možné ich pripevniť bežnými prostriedkami na rôzne objekty. Pasívny RFID tag sa skladá z troch hlavných častí: z antény, polovodičového čipu a vhodnej formy ochrany - krytu čipu a antény.

Konvenčná výroba RFID antén leptaním je stále veľmi nákladná a nepriaznivá z hľadiska životného prostredia. V súčasnosti je snaha nahradiť chemické leptanie tlačenými RFID anténami. Používajú sa rôzne technológie tlače: ofsetová litografia, flexografia, hĺbkotlač, atramentová tlač, elektrografia, sieťotlač a termotransferová tlač. Pre tlač antén sa zvyčajne používajú rôzne plastové fólie (Janeczek 2010; Arazna a kol. 2017). Plastové substráty používané v tlačenej elektronike, ako je polyetylén tereftalát (PET), polyimid (PI) a polyetylén naftalát (PEN), sa vyrábajú z neobnoviteľných petrochemických produktov, ktoré prispievajú ku kríze v oblasti zmeny klímy. Na konci životnosti väčšina plastov skončí na skládkach, pričom menej ako tretina celosvetovo vyprodukovaného plastového odpadu sa recykluje (Geyer et al. 2017).

Papierové substráty ešte nenahradili plasty v mnohých aplikáciách, pretože porézna mikroštruktúra papiera spôsobuje nasiaklivosť a odvádzanie funkčných atramentov, čo znižuje potlačiteľnosť a rozlíšenie (Shrestha a kol. 2021; Sowade a kol. 2019; An 2019; Wang et al. 2020). Okrem toho ideálny ekologický proces recyklácie po skončení životnosti by mal oddeliť a opätovne použiť elektronické materiály a recyklovať substrát.

Okrem dostupnosti a nízkej ceny papiera medzi významné výhody patrí recyklovateľnosť, nízka hmotnosť, rozložiteľnosť, šetrnosť k životnému prostrediu a nízky koeficient tepelnej rozťažnosti (Alammouz a kol. 2018). Potlačiteľnosť je dôležitou vlastnosťou papiera. Na úpravu povrchu papiera je možné použiť procesy natierania a hladenia v kalandri (Gigac a kol. 2020; Gigac a kol. 2021a,b; Gigac a Fišerová 2021; Gigac a Fišerová 2022; Martinka a kol. 2022) alebo raziacom stroji (Gigac a kol. 2022).

2 Materiál a metódy

2.1 Materiál

Papier EXP1 – hladný bezdrevný papier, glejený do hmoty s 0,3% AKD (alkyl ketén dimér), , natieraný zmesou PCC (zrážaný uhličitán vápenatý) pigmentu s 30% PVOH, 2% kationového polyméru PDADMAC, *papier EXP2* – hladný bezdrevný papier, glejený do hmoty s 0,3% AKD, natieraný zmesou PCC pigmentu s 20% PVOH, 2% kationového

polyméru PDADMAC. *Papier EXP3* – hladený termotransferový papier, *papier EXP4* – hladený natieraný skladačkový kartón (185 g.m⁻²), *papier EXP5* – hladený nenatieraný skladačkový kartón (180 g.m⁻²), *papier SP* – smart papier, typ 1.

PET – polyetylén tereftalátová fólia.

UHF RFID anténa A1 – typ DogBone, UHF RFID anténa A2, UHF RFID anténa A3 – typ AD-227m5.

Pasívny UHF RFID tag 1 (tlačená anténa A1 s čipom NXP UCODE G2iL na papieri EXP3).

Pasívny UHF RFID tag 2 (tlačená anténa A1 s čipom NXP UCODE G2iL na PET fólii).

2.2 Metódy

Natieranie papierov sa uskutočnilo pomocou laboratórnej nožovej natieračky DOW CHEMICALS (systém Trailing Blade). Pri natieraní sa aplikoval nôž o hrúbke 0,3 mm.

Hladenie papierov v laboratórnom kalandri Kleinewefers sa uskutočnilo dvoma prechodmi papierovým alebo kovovým valcom pri tlaku 260 kPa a teplote 80°C.

Povrchová drsnosť papiera sa vyhodnotila fotoklinometrickou metódou. Povrch papierov bol zobrazený CCD kamerou Nikon Coolpix E4500 v makro režime. Špecifikácia skenovaných obrazov: 10° šikmé osvetlenie v smere výroby papiera (MD) a naprieč (CD), zväčšenie X4, veľkosť obrazu 2272 x 1704 pixelov². Pre spracovanie obrazov na histogramy bol použitý softvér ImageJ.

Tlač antén podľa predlôh na obrázku 1 sa uskutočnila termotransferovou tlačiarňou SATO CL4NX (300 dpi) s vodivou AL páskou Mettalograph® od firmy SPF (USA).



Obrázok 1. Dizajn symetrických dipólových UHF RFID antén

- *Elektrický odpor* antén sa meral multimetrom UNIT-T, model UT70B.
- *Impedancia antén* sa merala s Network Analyzer HP8753D.
- *Komunikačná kvalita* pasívnych UHF RFID tagov sa hodnotila dosahom identifikácie EPC (Electronic Product Code) a čítacím dosahom pomocou čítačky zhotovenej vo VÚPC.

3 Výsledky a diskusia

3.1 Povrchová drsnosť a obsah pórov v náteri

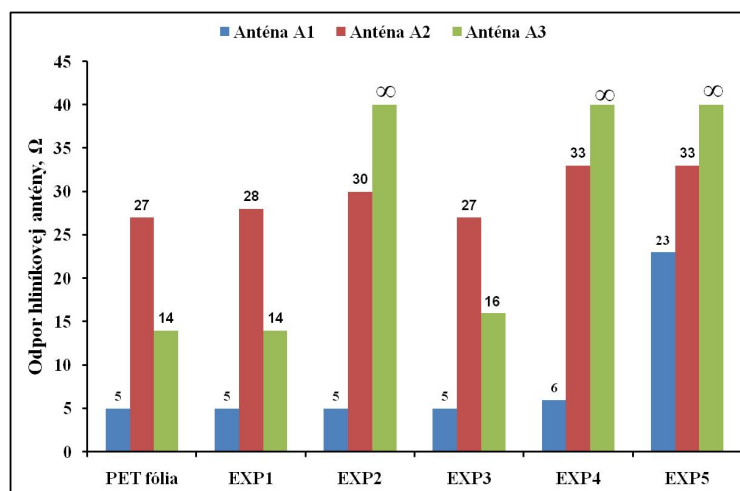
Z výsledkov merania optickej variability povrchu papierov uvedených v tabuľke 2 možno konštatovať, že najvyššiu povrchovú drsnosť 8,5% mal hladený nenatieraný skladačkový kartón EXP5. Hladený natieraný skladačkový kartón EXP4 mal drsnosť 6,9%. Najnižšiu drsnosť mali hladené experimentálne papiere EXP1 a EXP3 (5,3 a 5,8%), potom smart papier a hladený experimentálny papier EXP2 (6,1 a 6,5%). Obsah povrchových pórov hladeného natieraného skladačkového kartónu EXP4 a papierov EXP1-EXP3 bol v rozsahu od 30,9 do 34%. Veľmi nízky obsah pórov mal smart papier (6,2%).

Tabuľka 3. Povrchová drsnosť náteru a obsah povrchových pórov v náteri papierových substrátov

Papier	Povrchová drsnosť OVS _{SCLINO} (%)	Obsah pórov v náteri OVS _{SEM} (%)
SP - smart papier	6,1	6,2
EXP 1 - papier	5,3	33,5
EXP 2 - papier	6,5	34,0
EXP 3 - papier	5,8	30,9
EXP4 - kartón	6,9	32,5
EXP5 - kartón	8,5	nenatieraný

3.2 Elektrický odpor hliníkových antén

Elektrický odpor UHF RFID antén vytlačených na hladených papieroch a kartónoch na obrázku 2 sa porovnával s odporom antén vytlačených na PET fólii. PET fólia bola použitá ako referenčný substrát vhodný pre termotransferovú tlač vodivých UHF RFID antén. Antény vytlačené na hladenom natieranom papieri EXP1 a hladenom termotransferovom papieri EXP3, ktorých povrchová drsnosť bola 5,3 a 5,8% mali rovnaké elektrické odpory ako antény vytlačené na PET fólii. Hladený experimentálne natieraný papier EXP2 poskytol vyššie elektrické odpory antén A2 a A3 v dôsledku vyššej povrchovej drsnosti (6,5%). Elektrický odpor antény A1 vytlačenej na hladenom natieranom skladačkovom kartóne EXP4 bol rovnaký ako na PET fólii. Tento papierový substrát je vhodný len pre termotransferovú tlač antény A1. Odpory antény A2 vytlačenej na experimentálnych papierových substrátoch EXP2, EXP4 a EXP5 vyššie ako odpor antény A2 na PET fólii. Antény A3 vytlačené na hladenom experimentálne natieranom papieri EXP2 a hladených kartónoch EXP4 a EXP5 boli nevodivé. Preto tieto papierové substráty nie sú vhodné pre termotransferovú tlač antén A2 a A3.

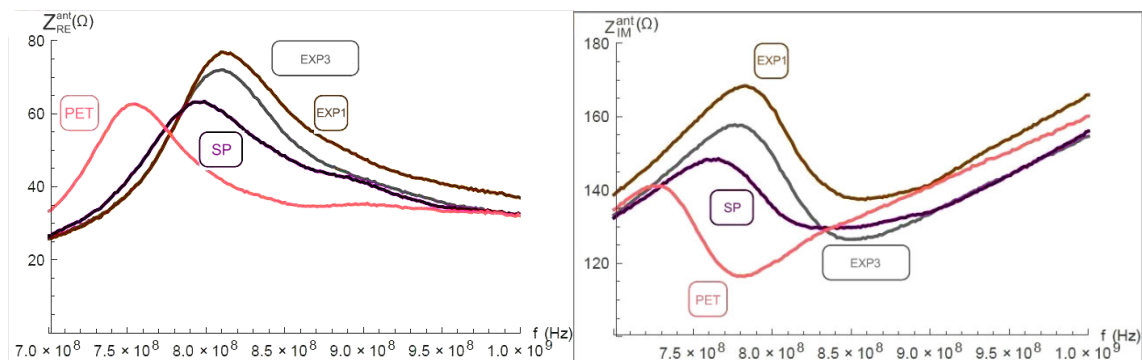
**Obrázok 2.** Porovnanie elektrických odporov hliníkových antén vytlačených na papierových substrátoch s anténami na PET fólii

3.2 Reálna a imaginárna zložka impedancie hliníkových antén

UHF RFID anténa musí byť navrhnutá a vytlačená na substráte tak, aby sa dala spojiť s čipom a aby spĺňala požiadavky na prenášaný výkon pri použití. Dipólový tvar antény poskytuje najlepšie šírenie vysokofrekvenčného signálu vo frekvenčnom pásme UHF (860 až 960 MHz). Podobne ako elektrický odpor charakterizuje vlastnosti antény pre jednosmerný prúd, impedancia charakterizuje vlastnosti antény pre striedavý prúd. Impedancia je zdanlivý odpor antény a vyjadruje fázový posun napätia oproti prúdu pri prechode harmonického striedavého elektrického prúdu danej frekvencie. Pre realizáciu

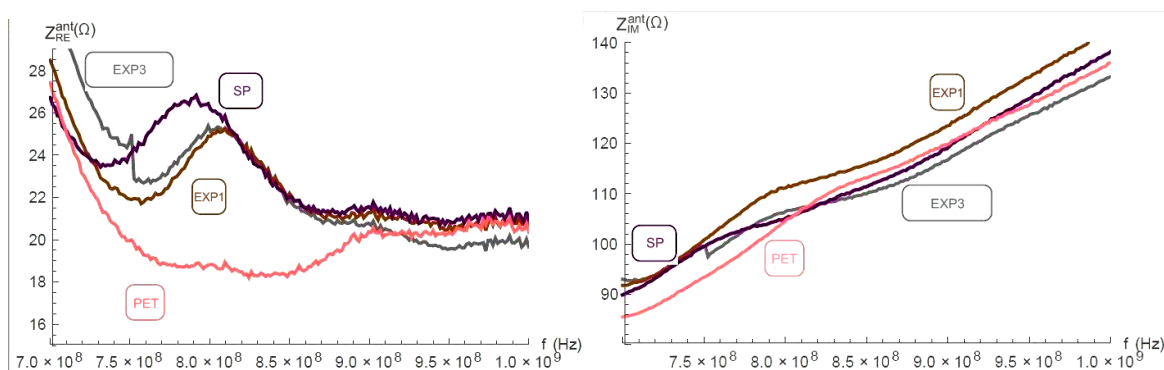
optimálneho prenosu energie sa musí impedancia antény tagu Z^{ant} prispôbiť impedancii čipu Z^{chip} .

Zmeny reálnej a imaginárnej zložky impedance UHF RFID antén A1 a A2 sa vyhodnotili v rozsahu frekvencií 700-1000 MHz. Na obrázku 3 je priebeh reálnej Z^{ant}_{RE} a imaginárnej zložky Z^{ant}_{IM} impedance antény A1 vytlačenej na papieroch EXP1, EXP3, SP a PET fólii v závislosti od frekvencie. Reálna zložka impedance antény A1 pri frekvencii 864 MHz bola na papierových substrátoch v rozsahu 44-54 Ω a na PET fólii 35 Ω . Závislosť imaginárnej zložky impedance od frekvencie vytlačenej antény A1 na PET fólii mala odlišný priebeh v porovnaní s anténami vytlačenými na papierových substrátoch.



Obrázok 3. Zmeny reálnej a imaginárnej zložky impedance tlačenej hliníkovej antény A1 na papieroch EXP1, EXP3, SP a PET fólii v závislosti od frekvencie

Na obrázku 4 je priebeh reálnej Z^{ant}_{RE} a imaginárnej zložky Z^{ant}_{IM} impedance hliníkovej antény A2 vytlačenej na papieroch EXP1, EXP3, SP a PET fólii v závislosti od frekvencie. Reálna zložka impedance antény A2 vytlačenej na papierových substrátoch a PET fólii bola v rozsahu 18-23 Ω . Priebeh reálnej zložky impedance antény A2 vytlačenej na PET fólii sa významne odlišoval od priebehov na papierových substrátoch. Priebehy imaginárnej zložky impedance antény A2 vytlačenej na papierových substrátoch a PET fólii boli podobné. Impedancie antén vytlačených na rôznych substrátoch boli ovplyvnené dizajnom antény a substrátom.



Obrázok 4. Zmeny reálnej a imaginárnej zložky impedance tlačenej hliníkovej antény A2 na experimentálne pripravených papieroch (EXP1 a EXP3), smart papieri (SP) a PET fólii v závislosti od frekvencie

3.3 Komunikačná kvalita pasívnych UHF RFID tagov

V tabuľke 3 je porovnanie identifikačných a čítacích dosahov pasívnych UHF RFID tagov s anténou A1 vytlačenou na papieri EXP 3 a PET fólii spojenou s čipom NXP UCODE G2iL. Dosah identifikácie kódu EPC a čítací dosah pasívnych UHF RFID tagov bol na rovnakej úrovni.

Tabuľka 4. Porovnanie komunikačnej kvality pasívnych UHF RFID tagov

Pasívny UHF RFID tag	1	2
Substrát	Papier EXP3	PET fólia
Dosah identifikácie EPC tagu (m)	4,1	4,0
Dosah čítania tagu (m)	3,5	3,6

4 Záver

Hladené natierané papierové substráty s povrchovou drsnosťou pod 6% sú vhodné pre termotransferovú tlač hliníkových antén, ktorých elektrický odpor bol na úrovni antén vytlačených na plastovej fólii.

Impedancia UHF RFID antény bola významne ovplyvnená dizajnom, substrátom a frekvenčným pásmom rádiofrekvenčnej identifikácie.

Pre zhotovenie výkonného pasívneho UHF RFID tagu je dôležitá rovnaká impedancia antény a čipu.

Identifikačný a čítací dosah pasívneho tagu s tlačenu anténou na papieri bol rovnaký ako tagu s anténou vytlačenou na PET fólii, z čoho jednoznačne vyplýva možnosť náhrady plastových tagov novými, ekologickými papierovými tagmi.

Pod'akovanie

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

Literatúra

- JANECZEK, K., 2010. *Performance of RFID tag antennas printed on flexible substrates*. XII International PhD Workshop, Wisla, Poland.
- ARAZNA, A., JANECZEK, K., FUTERA, K., 2017. *Mechanical and thermal reliability of conductive circuits inkjet printed on flexible substrates*. Circuit World 43(1): 9-12. <https://doi.org/10.1108/CW-10-2016-0047>.
- GEYER, R., JAMBECK, J.R., LAW, K.L., 2017. *Production, use, and fate of all plastics ever made*. Sci. Adv. 3(7):e1700782. DOI: 10.1126/sciadv.1700782.
- SHRESTHA, K., KIM, Y., JUNG, Y., KIM, S., TRUONG, H., CHO, G., 2021. *Wireless pH-logger label for intelligent food packaging*. Flex Print Electron. 6(4):044001. DOI:10.1088/2058-8585/ac298b.
- SOWADE, E., POLOMOSHNOV, M., WILLERT, A., BAUMANN, R.R., 2019. *Toward 3D-printed electronics: Inkjet-printed vertical metal wire interconnects and screen-printed batteries*. Adv. Eng. Mater. 21(10): 1900568. DOI: 10.1002/adem.201900568.
- AN, K., 2019. *High speed nozzle jet printing for bendable organic light emitting diodes*. Flex. Print. Electron. 4(1):015009.
- WANG, X., ZHENG, S., ZHOU, F., QIN, J., SHI, X., WANG, S., SUN, CH., BAO, X., WU, Z.S., 2020: *Scalable fabrication of printed Zn//MnO₂ planar micro-batteries with high volumetric energy density and exceptional safety*. Natl. Sci. Rev. 7(1):64-72.
- ALRAMMOUZ, R., PODLECKI, J., ABOUD, P., SORLI, B., HABCHI, R., 2018. *A review on flexible gas sensors: from materials to devices*, Sens. Actuators A: Phys. 284 (2018) 209–231, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.10.036>.
- GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., KOVÁČ, M., STANKOVSKÁ, M., 2020. *Paper substrates for inkjet printing of UHF RFID antennas*. Wood Research 65(1): 25-36.

GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., HEGYI, S., 2021a. *Comparison of thermal transfer and inkjet printing of UHF RFID tag antennas on paper substrates*. Wood Research 66(1): 71-84.

GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., KOVÁČ, M., HEGYI, S., 2021b. *Passive UHF RFID tags with thermal-transfer-printed antennas*. Materials and technology 55 (2), 277–282.

GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., 2021. *Hladené natierané lepenky a kartóny pre tlačenie elektroniky a spôsob ich prípravy*. Prihláška úžitkového vzoru PUV 50081-2021 (ÚPV SR 30.11.2021). Prihlasovateľ: Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s. Bratislava.

GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., 2022. *Effect of smoothing in calender and hot stamping machine on the properties of coated paperboards for printed electronics*. Wood Research 67(1): 26-40.

MARTINKA, J., SOLDÁN, M., GIGAC, J., 2022. *Spôsob bezdotykového merania drsnosti povrchu*. Patentová prihláška PP-105-2022 (ÚPV SR 8.11.2022). Prihlasovateľ: MTF v Trnave STU Bratislava.

GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., TIŇO, R., 2022. *Effect of paperboard surface modifications on electrical conductivity of printed UHF RFID antennas*. Wood Research 67(4): 671-685.

Summary

Paper substrates for electronics printing are replacing plastics. Paper substrates are ecologically and economically more advantageous than plastics. The papers are porous and have a rougher surface than the plastic film used to print electronic components and devices. In order to improve the surface properties of papers due to the replacement of plastics, the processes of coating and calendering were used. The surface roughness and pore content of the coating were influenced by the composition of the coating and the smoothing conditions.

The electrical resistance and impedance of aluminum antennas printed by the thermal transfer method depended on the surface properties of the paper substrate and the design of the antenna. The antenna and chip designs were chosen based on matching their real and imaginary impedance components. The range of identification and reading of passive UHF RFID tags with a printed antenna on smooth coated paper and on PET foil were at the same level.

Kľúčové slová

papier, skladačkový kartón, PET fólia, termotransferová tlač, RF anténa, UHF RFID tag

Kontaktné adresy

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

INVENTARIZÁCIA LUŽNÝCH LESOV DUNAJA NA ZÁKLADE DÁT LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVANIA: PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA Z LESNÉHO CELKU GABČÍKOVO

Ivan Sačkov, Tomáš Bucha

1 Úvod

Vplyv vodného diela Gabčíkovo na okolité lesné ekosystémy sa monitoruje od roku 1992 pričom od roku 1995 sa vykonáva v spolupráci slovenskej a maďarskej strany (DOHODA, 1995). Tento monitoring sa realizuje prostredníctvom pozemného zisťovania na trvalých monitorovacích plochách (JANKOVIČ, J. ET AL., 2018) ako aj prostredníctvom leteckého snímkovania celého záujmového územia (BUCHA, T. ET AL., 2009).

Potenciál aplikácie leteckého laserového skenovania (ALS) v rámci predmetného monitoringu sa hodnotil v rokoch 2012-2014 na základe riešenia výskumného projektu “Innovative methods of inventory and monitoring of the Danube floodplain forests using 3-D Re-mote Sensing technology” (HUSK/1101/1.2.1/0141). ALS totiž ako jediná technológia leteckej platformy diaľkového prieskumu Zeme umožňuje získavať geodáta so submetrovou presnosťou aj pod korunovým krytom stromov, ktoré samostatne alebo v kombinácii s dátami leteckého snímkovania umožňujú zisťovanie rôznych dendrometrických charakteristík (MALTAMO, M. ET AL., 2014).

Cieľom tohto článku je prezentovať presnosť zistenia hlavných porastových charakteristík na základe ALS dát v štruktúrach lužných lesov Dunaja. Špecificky sa na piatich referenčných plochách s celkovou výmerou 1,00 ha lokalizovaných na území LC Gabčíkovo hodnotila presnosť ALS-zistenia počtu stromov, strednej výšky, strednej hrúbky a porastovej zásoby.

2 Materiál a metodika

Záujmové územie sa nachádza v lužných lesoch Dunaja v oblasti medzi jeho pôvodným korytom a prívodným a odpadovým kanálom vodného diela Gabčíkovo (47°52'N, 17°32'E). Dominantné druhy drevín reprezentujú šľachtené topole (*Populus sp.*), topole domáce (*Populus nigra L.*, *Populus alba L.*), vrbý (*Salix alba L.*, *Salix fragilis L.*) a jaseň úzkolistý (*Fraxinus angustifolia Vahl*).

2.1 Dáta z terénneho merania

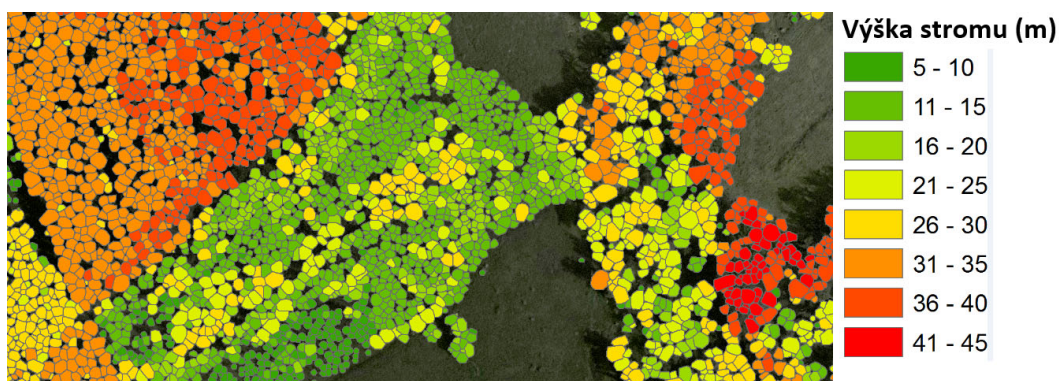
Záznam referenčných dát z terénneho merania bol vykonaný v roku 2013. Založených bolo päť kruhových referenčných plôch s celkovou výmerou 1,00 ha. Na stromoch s hrúbkou $d_{1.3} \geq 7$ cm sa evidovala lokálna pozícia kmeňa, druh dreviny, výška kmeňa, priemer kmeňa, dĺžka koruny, sociologické postavenie stromu, zdravotný stav kmeňa a zdravotný stav koruny. Lokálna pozícia kmeňa sa merala prostredníctvom zrkadlového kompasu a ultrazvukového zariadenia Vertex s presnosťou 1° a 0,1 m. Výška kmeňa a dĺžka koruny sa merala prostredníctvom ultrazvukového zariadenia Vertex s presnosťou 0,1 m. Priemer kmeňa sa meral prostredníctvom taxačnej priemerky s presnosťou 0,1 cm. Objem stromu sa vypočítal prostredníctvom objemových rovníc vyplývajúcich zo sústavy česko-slovenských objemových tabuliek s presnosťou 7-12 % (PETRÁŠ, R., PAJTIK, J., 1991). Porastové charakteristiky sa vypočítali priemerovaním (výška a hrúbka) alebo sumovaním (počet stromov a porastová zásoba) stromových charakteristík. V softvérovom prostredí ArcGIS (ESRI) sa finálne vykonal výpočet pozície kmeňa a následne sa vytvorila súborová geodatabáza, ktorá obsahovala stromové charakteristiky v bodovej vrstve a porastové charakteristiky v polygónovej vrstve.

2.2 Dáta z leteckého laserového skenovania

Záznam ALS dát bol vykonaný v roku 2013 prostredníctvom skenera RIEGL Q680i (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH). Skenovanie prebiehalo z priemernej letovej výšky 660 m so 45° uhlom a pulznou frekvenciou 400 Hz. Získané ALS dáta dosiahli polohovú chybu na úrovni 0,20 m a priemernú hustotu 5 bodov/m².

2.3 Inventarizácia lesa na základe dát leteckého laserového skenovania

Inventarizácia lesa na základe ALS dát bola vykonaná v prostredí softvérovej aplikácie reFLex (Národné lesnícke centrum). Použité boli nástroje submodulu „Tree-Based Approach“. Podrobný opis algoritmu je uvedený v publikácii SAČKOV, I. ET AL. (2017). Príklad geopriestorového výstupu algoritmu je uvedený na obrázku 1.



Obrázok 1. Identifikácia korún stromov a zistenie ich výšky prostredníctvom aplikácie reFLex.

2.4 Hodnotenie presnosti

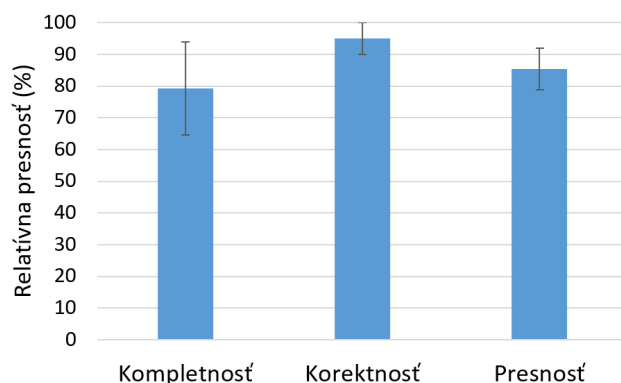
Za účelom hodnotenia presnosti zistenia hlavných porastových charakteristík na základe ALS dát sa v tejto štúdii použili nasledovné charakteristiky:

Kompletnosť identifikácie stromov: predstavuje podiel správne identifikovaných stromov z celkového počtu referenčných stromov.

- Korektnosť identifikácie stromov: predstavuje podiel správne identifikovaných stromov z celkového počtu identifikovaných stromov.
- Presnosť identifikácie stromov: vyjadruje pravdepodobnosť s akou je referenčný strom identifikovaný a zároveň je identifikovaný správne.
- Diferencia zisťovania: predstavuje rozdiel medzi zisťovanými a referenčnými porastovými charakteristikami.
- Vychýlenie zisťovania: vyjadruje systematickú zložku chýb zisťovania a predstavuje aritmetický priemer diferencií zisťovania.
- Variabilita zisťovania: vyjadruje náhodnú zložku chýb zisťovania a predstavuje smerodajnú odchýlku diferencií zisťovania.
- Celková chyba zisťovania: vyjadruje systematickú ako aj náhodnú zložku chýb zisťovania, ktorá sa v prípade nepotvrdenia prítomnosti systematickej chyby dosahuje s pravdepodobnosťou 68 %.

3 Výsledky

Presnosť detekcie stromov na základe ALS dát je uvedená na obrázku 2. Prostredníctvom aplikácie reFLex sa v modelovom území pri každom jednotlivo vykonanom zisťovaní môže s maximálne 68 % spoľahlivosťou očakávať, že zistený počet stromov sa bude od reálneho odlišovať o $\pm 20,5$ %.



Obrázok 2. Presnosť detekcie stromov na základe dát leteckého laserového skenovania.

Presnosť zistenia porastových charakteristík na základe ALS dát je uvedená v tabuľke 1. Prostredníctvom aplikácie reFLex sa v modelovom území pri každom jednotlivom vykonanom zisťovaní môže s maximálne 68 % spoľahlivosťou očakávať, že (1) stredná výška sa bude od reálnej odlišovať o $\pm 6,3$ %, (2) stredná hrúbka sa bude od reálnej odlišovať o $\pm 10,1$ % a (3) porastová zásoba sa bude od reálnej odlišovať o $\pm 19,6$ %.

Tabuľka 5. Presnosť zistenia porastových charakteristík na základe dát leteckého laserového skenovania.

Atribút	Vychýlenie zisťovania (%)	Celková chyba zisťovania (%)
Stredná výška	5,39	6,28
Stredná hrúbka	5,64	10,12
Porastová zásoba	-15,56	19,63

4 Záver

Technológia ALS predstavuje inovatívny prístup, ktorý má potenciál na čiastočné či úplne nahradenie extenzívnej pozemnej taxácie lesa, ktorá je fyzicky, ekonomicky a časovo značne náročná.

Možnosti a obmedzenia aplikácie ALS v rámci monitoringu lužných lesov Dunaja sa hodnotili v rokoch 2012-2014. Prípadová štúdia sa vykonala v oblasti medzi pôvodným korytom Dunaja a prívodným a odpadovým kanálom vodného diela Gabčíkovo. Záujmové územie zahŕňalo päť referenčných plôch dosahujúcich výmeru 1,00 ha. Z výsledkov vyplýva, že rozdiely medzi ALS-zistenými a terénne meranými porastovými charakteristikami dosiahli relatívnu strednú chybu na úrovni $\pm 20,5$ % pre počet stromov a $\pm 6,3$ %, $\pm 10,1$ % a $\pm 19,6$ % pre strednú výšku, strednú hrúbku a porastovú zásobu.

Podakovanie

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

Literatúra

BUCHA, T., BARKA, I., BARTKO, M. 2009. Zhodnotenie zdravotného stavu lužných lesov v inundačnej oblasti Dunaja v úseku Dobrohošť – Sap z leteckých snímok. Lesnícky časopis Forestry Journal, 55(2): 145-164.

DOHODA, 1995. Dohoda medzi vládou Slovenskej republiky a vládou Maďarskej republiky o niektorých dočasných technických opatreniach a o prietokoch do Dunaja a Mošonského ramena Dunaja, podpísaná 19. apríla 1995 v Budapešti.

JANKOVIČ, J., BARTKO, M., BUCHA, T., SEDLIAK, M., VLADOVIČ, J. 2018. Monitorovanie lesných ekosystémov v oblasti vplyvu VD Gabčíkovo v roku 2018. Záverečná správa úlohy 514/A7000/2018. NLC Zvolen, 81 s.

MALTAMO, M., NAESSET, E., VAUHKONEN, J. 2014. Forestry Application of Airborne Laser Scanning: Concept and Case Studies. Springer: Dordrecht, The Netherlands, 460 p.

PETRÁŠ, R., PAJTÍK, J. 1991. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. Lesnícky Časopis. 37: 49–56.

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.

Summary

Inventory of the Danube floodplain forests based on airborne laser scanning data: case study in Forest Unit Gabčíkovo. The overall objective of this case study was to assess the performance of forest inventory based on airborne laser scanner (ALS) data in the Danube floodplain forests. Specifically, the estimation accuracy of stem number, mean height, mean diameter and stand volume was assessed for purpose of this study. The study area included five reference plots (1.00 ha) with broadleaved forests in different development stage. The results show that the differences between ALS-predicted and ground-observed forest stand attributes reached a relative root mean square error at 20.5 %, 6.3 %, 10.1 %, and 19.6 % for the number of trees, mean height, mean diameter, and stand volume, respectively.

Kľúčové slová

vodné dielo Gabčíkovo; diaľkový prieskum Zeme; reFLex;

Kontaktné adresy

Ivan Sačkov, Tomáš Bucha
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
ivan.sackov@nlcsk.org
tomas.bucha@nlcsk.org

MOŽNOSTI CT SKENOVANIA INTRODUKOVANÝCH DREVÍN PESTOVANÝCH V LESNÍCKOM ARBORÉTE KYSIHÝBEL

Martin Slávik, Tomáš Gergel'

1 Úvod

Nedostatok dostupnej drevnej suroviny, predovšetkým jej cennejších sortimentov spolu so stálou zmenou stanovištných podmienok v našich lesných porastoch nás nútia hľadať nové možnosti jej tvorby. Pomerne známe a často publikované sú údaje o raste, ekologickom vplyve na prostredie, ale aj základné informácie o drevnej surovine introdukovaných druhov drevín, ktoré, po určitých, predovšetkým legislatívnych zmenách, môžu tento deficit dreva eliminovať. Tieto nepôvodné druhy drevín sa často prejavujú lepším, resp. rýchlejším rastom, často kvalitnejšou drevnou surovinou a lepším odolávaním na prebiehajúce príznaky prebiehajúcej klimatickej zmeny.

Národné Centrum vo Zvolene riadi výskumný objekt, Lesnícke arborétum Kysihýbel, kde sa získavajú informácie o raste dovezených, nepôvodných drevín z mierneho klimatického pásma, predovšetkým zo Severnej Ameriky, ale aj z oblastí Ďalekého východu.

2 Lesnícke arborétum Kysihýbel

Lesnícke arborétum je situované do blízkosti Banskej Štiavnice z dôvodu, že práve tu, v blízkosti banských miest sa nedostatok drevnej suroviny odrážal najvypuklejšie. Predovšetkým banská činnosť a zvýšený dopyt do dreva viedol k tomu, že okolité lesy boli odlesnené a vznikol výrazný nedostatok drevnej suroviny, pričom bol predpoklad, že práve niektoré cudzokrajné dreviny môžu vykazovať lepší rast. A práve cieľom založenia arboréta bolo vytvorenie takého objektu, v ktorom by bolo možné overovať adaptabilitu, prežívanie a rast cudzokrajných drevín v našich klimatických podmienkach s následným možným využitím v našich lesoch.

Lesnícke arborétum Kysihýbel bolo založené v roku 1900 veľmi originálnym a priekopníckym spôsobom. Celková plocha arboréta 7,76 ha bola rozdelená na pravidelné štvorce 15x15 m, pričom na každú plošku bol vysadený jeden druh dreviny. Týmto spôsobom vznikli malé „porasty“, kde bolo možné získať prehľad o rastových, produkčných, ale aj ekologických vlastnostiach jednotlivých drevín. Pôvodne bolo vysadených 282 taxónov lesných drevín pochádzajúcich z mierneho pásma severnej pologule. Z tohto počtu bolo vysadených 118 ihličnatých a 164 listnatých druhov. Zároveň s výsadbou introdukovaných druhov sa v arboréte vysádzali aj domáce hospodárske druhy s cieľom ich budúceho produkčného porovnávania. V súčasnosti sa v arboréte nachádza 267 taxónov, z čoho je 113 ihličnatých a 154 listnatých drevín.

V súčasnom období je arborétum rozdelené na 4 sekcie, v ktorých sú umiestnené jednotlivé štvorce, niekde s výskytom pôvodných drevín, niekde, z dôvodu úhynu boli aplikované nové výsadby. Na každej ploške sú dreviny očíslované a pravidelne biometricky hodnotené. Vzhľadom k tomu, že arborétum prechádza do obdobia zrelosti a vo veku 120 rokov niektoré dreviny výrazne odumierajú, pričom ich drevná surovina sa zhromažďuje na výskumnom objekte Stráže, kde po sfunkčnení lasera budú vykonávané ďalšie výskumné aktivity. Predovšetkým na otázku kvality ich drevnej suroviny.

3 Výber drevín k 3D CT skenovaniu

K výberu jednotlivých druhov drevín, ktoré by boli vhodné na následné skenovanie sme pristúpili na základe predpokladaných možností ich využitia v našich lesných porastoch.

Z ihličnatých drevín je predpoklad širšieho uplatnenia predovšetkým pri duglaske tisolistej, jedle obrovskej, a rovnako aj borovice čiernej. Pri listnatých druhoch drevín je predpoklad širšieho využitia agáta bieleho, duba červeného, orecha čierneho, hikórie bielej a korkovníka amurského.

1.1. Duglaska tisolistá

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco je jednou z najvýznamnejších hospodárskych drevín oblasti prechodu studeného a mierneho pásma. V Amerike sa považuje za absolútne najcennejšiu lesnícky upotrebiteľnú drevinu. Drevná surovina je mimoriadne kvalitná s žltkavo, niekedy aj červenavo sfarbeným hrubo vláknitým jadrom. Od všetkých ostatných ihličnatých drevín sa drevo duglasky odlišuje veľkým množstvom skrutkovite zhrubnutých cievic. Obsahuje viac živice než drevo smrekové, prípadne jedľové, ale menej ako smrekovec a borovica. Využíva sa na rôzne účely, ako drevo stavebné, konštrukčné k výstavbe mostov, na telegrafné tyče, železničné podvaly, okenné rámy, ale aj na výrobu papiera.

Po svojej introdukcii sa duglaska okamžite stala lesnícky najdôležitejšou nepôvodnou drevinou. Rýchlosťou svojho rastu a produkčnými možnosťami výrazne prevyšuje možnosti domácich druhov. Na chudobných stanovištiach dosahuje priemerný ročný prírastok $7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, na najlepších až $28 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (MUSIL, HAMERNÍK 2003). Netrpí až tak výrazne škodcami (okrem zveri) ako domáce dreviny. Jej širšiemu využitiu na Slovensku bráni jej nízke zastúpenie, ktoré v súčasnosti predstavuje cca 0,06 %, čo má za následok malé disponibilné množstvo drevnej suroviny na jej spracovanie. Dá sa predpokladať, že ekonomické zhodnotenie tejto dreviny by mohlo byť podobné, ako v Nemecku, kde je v porastoch zastúpená približne 2 %. Priemerná cena duglaskovej drevnej suroviny sa tam na trhu pohybuje približne o 20 % vyššie ako cena smrekového dreva, čo v porovnaní rýchlosti rastu duglasky oproti smreku a podstatne kratšej obnovnej dobe pri duglaske môže predstavovať aj o 100 % vyšší zisk oproti smreku.

1.2. Jedľa obrovská

Abies grandis (Douglas ex. D. Don) Lindl. je jedným z najmohutnejších zástupcov rodu, dorastá až do 90 m výšky, priemer kmeňa najčastejšie kolíše medzi 1-1,5 m. Na rozdiel od domácej jedle bielej rastie veľmi rýchlo aj v najmladších vekových štádiách. sa vyznačuje rýchlym rastom. Považuje sa za jednu z najproduktívnejších drevín západnej časti Severnej Ameriky. Jadrové drevo je zvyčajne biele až červenohnedé, s bledou belou, ktoré nie je farbene výrazne odlišená. Je vysoko hodnotená predovšetkým ako zdroj vlákni, ale vyrába sa z nej aj rezivo, prípadne sa používa na iné stavebné účely. Práve pre svoje rastové a produkčné danosti bola už v prvej polovici 19. storočia dovezená do Európy, kde patrí k drevinám s najvyšším produkčným potenciálom. V našich porastoch síce nedosahuje dimenzie ako na prirodzených lokalitách, jej nespornou výhodou však je predovšetkým rýchly rast a tomu odpovedajúca menej náročná obnova a kratšia rubná doba.

1.3. Borovica čierna

Pinus nigra Arn. je mohutným stromom dosahujúcim na dobrých stanovištiach výšku až 50 m s možnosťou tvoriť až 2 m hrubé kmene. Je vitálna, pomerne rýchlo rastúca, vysoko produkčná. Na prebierkových pokusných plochách v Dolnom Rakúsku dosiahla celková produkcia borovice čiernej vo veku 135 rokov $1\,296\text{--}1\,343 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (MUSIL, HAMERNÍK 2003).

V južnej Európe patrí k významným hospodárskym drevinám s kvalitnou drevnou surovinou bohatou na živicu, s menším tmavším jadrom. Jeho širšie a ekonomicky výhodnejšie drevárske využitie limituje častý výskyt vypadavých hrčiek ako pozostatok

bohatého zavetvenia. Skutočnosťou je, že u nás produkčne za domácou borovicou lesnou väčšinou zaostáva, avšak jej využitie v našich podmienkach je hlavne pri zalesňovaní exponovaných, ťažko zalesniteľných stanovišť, najmä na vápencoch a dolomitoch. Jej ekonomické zhodnotenie na kvalitnejších pôdach bude musieť byť predmetom ďalšieho výskumu.

1.4. Agát biely

Robinia pseudoacacia L. je pôvodom severoamerická drevina vyžadujúca teplú klímu a dostatočne dlhú vegetačnú dobu. Má veľmi vysoké nároky na svetlo, je jednou z tých drevín, ktoré majú v tomto ohľade najvyššie nároky. Porasty agáta sú pomerne riedke, veľmi slabo zatieňujú pôdu, napriek tomu v spodnej etáži agát nevydrží ani kratšiu dobu. Toleruje však nedostatok pôdnej vlhky a pre túto vlastnosť je využívaný ako ochranná drevina na extrémnych lokalitách. Na druhej strane však rastie aj v miestach s dobrým vodným režimom, kde často patrí k najlepšie prosperujúcim druhom. Agát je veľmi tolerantný k rôznym geologickým podkladom. Rastie takmer všade s výnimkou extrémne kyslých a rašelinných pôd. Je mimoriadne prispôsobivý k fyzikálnym vlastnostiam pôdy, dokáže rásť na miestach s nulovým obsahom humusu, na surových pôdach výkopov a násypov, na mŕtvych skrývkach lomov a baní.

Agát je introdukovaná drevina, ktorá sa nevyznačuje nielen rýchlym rastom, ale produkuje mimoriadne tvrdé drevo, ktoré je jedným z najťažších, aké produkujú lesy v Severnej Amerike. Je výnimočne odolné voči hnilobe a vďaka vysokému obsahu flavonoidov v dreve dokáže znášať extrémne dlhú dobu kontakt so zemou (viac ako 100 rokov), prípadne aj s vodou. Aj z tohto dôvodu bol do Európy introdukovaný veľmi skoro, približne v rokoch 1601 – 1604. V Holandsku a niektorých ďalších častiach Európy je agát považovaný za jednu z najodolnejších drevín. Začína sa využívať ako alternatíva tropického dreva a pestovať v plantážach. Drevo sa využíva v nábytkárstve, na výrobu podláh, obkladov, široké uplatnenie má predovšetkým v extraviláne, vyrábajú sa z neho ploty, záhradný nábytok, ale aj plavidlá.

1.5. Dub červený

Quercus rubra L. je severoamerická drevina s prirodzeným výskytom vo východnej časti kontinentu. Vo svojej pôvodnej vlasti dorastá do mimoriadnych rozmerov, výška 50 m a hrúbka okolo 1,5 m. Na rozdiel od domácich dubov sú rastové prejavy duba červeného výrazne intenzívnejšie, čo sa prejavuje aj v jeho produkčných schopnostiach.

V USA a v Kanade je dub červený dôležitou hospodárskou drevinou, ktorá sa využíva i mimo hraníc svojho prirodzeného rozšírenia. Drevo má všestranné uplatnenie. Využíva sa podobne ako pri našich duboch pri výrobe dýh, konštrukčných prvkov stavieb, na dlážky, interiérové ozdoby či nábytok. Menej kvalitné sortimenty sa používajú na výrobu stĺpov, železničných podvalov alebo ako palivo. Je drevinou, ktorá má široké uplatnenie aj v našich podmienkach ako drevina melioračná, vhodná na zalesňovanie ťažko zalesniteľných plôch, výsypiek a hald.

1.6. Orech čierny

Juglas nigra L. je vysoko produkčný strom dorastajúci do výšky 30 – 50 m. Je krátkovekejší, najčastejšie sa dožíva maximálne 250 – 300 rokov. Vyznačuje sa rýchlym rastom a tvorbou vysoko cenenej drevnej suroviny. Kmeň je spravidla rovný, hrubý 1,5 – 2 m, plnodrevný, priamy, niekedy aj vidlicovitý. Na voľnej ploche má tendenciu tvoriť široké koruny, v poraste vytvára dlhé, pomerne rovné kmene s vysoko nasadenou korunou.

Pôvodný areál tohto orecha je vo východnej časti Severnej Ameriky. Do Európy bol introdukovaný už v prvej polovici 17. storočia a veľmi úspešne sa uplatnil predovšetkým v lužných lesoch, najmä v oblasti prechodu mäkkého a tvrdého lužného lesa.

Zaraďujeme ho k ekonomicky najvýznamnejším z amerických orechov a zároveň k jednému z drevársky najdôležitejších listnatých druhov. Poskytuje vysoko kvalitnú tvrdú, pevnú a ohybnú drevnú surovinu so širokým, sivohnedým až fialovastohnedým jadrom. Má veľmi široké využitie, využíva sa na výrobu nábytku, obkladov stien, interiérov lodí a vagónov, parkiet, hudobných nástrojov, v rezbárstve a podobne. Považuje sa za veľmi vhodnú náhradu mahagónu.

1.7. Hikória biela

Carya ovata (Mill.) K. Koch je drevinou dorastajúcou výšky 20 až 40 m a hrubou najčastejšie 0,6 – 1,2 m. Doživa sa spravidla 250 – 300 rokov. Kmeň dospelého stromu je typicky „strapatý“ (shaggy) vďaka veľkým pozdĺžnym pásom odlupujúcej sa borky, ktorá sa na konci vykrivuje smerom od kmeňa. V porastoch vytvára nezavetvený priamy kmeň s malou, pomerne riedkou korunou. Rastie relatívne pomaly, aj keď v rámci svojho rodu patrí medzi najrýchlejšie rastúce druhy. Jeho lokality prirodzeného výskytu sú vo východnej časti USA a juhovýchodnej časti Kanady.

Drevo hikórie bielej je ťažké, mimoriadne tvrdé a tuhé. Využíva sa na výrobu premetov, ktoré vyžadujú vysokú pevnosť, ako sú držadlá horolezeckých, štiepacích sekier a kladív, drevených klinov na ťažbu stromov, na výrobu drevených lyží, obracákov a podobne. Drevo sa používa aj na výrobu gastronomických údených špecialít. Pôvodní obyvatelia si z dreva hikórie bielej vyrábali drevené nástroje, predovšetkým luky. V Severnej Amerike sa hikória využíva v tradičnej medicíne, kôra sa používa aj na dochutenie javorového sirupu. V gastronómii sa semená využívajú ako náhrada za pekanové orechy.

1.8. Korkovník amurský

Phellodendron amurense Rupr. je strom dorastajúci najčastejšie do menších výšok 10 – 15 m, výnimočne však až do takmer 30 m, s krátkym kmeňom a širokou, pomerne nepravidelnou korunou. V hustejších porastových skupinách má tendenciu vytvárať dlhý kmeň a vysoko nasadenú úzku korunu. Hrúbka kmeňa v optimálnych podmienkach môže dosahovať až 90 – 120 cm, pričom už pri metrových hrúbkových dimenziách je podiel korkovej borky značný a môže dosiahnuť hrúbku až 6 cm. Na lokalitách menej zásobených vodou býva hrúbka kmeňa podstatne menšia. Koreňový systém je mohutný, kolový koreň zasahuje po hladinu podzemnej vody a je doplnený hrubými, dlhými bočnými koreňmi, ktoré zabezpečujú stromu stabilitu aj v oblastiach lužného lesa. Prirodzený areál korkovníka amurského je na Ďalekom ruskom východe, predovšetkým v Chabarovskom a Primorskom kraji, v oblasti Amuru, v Číne, Kórei, Taiwane, na Sachaline či Kurilských ostrovoch. Najrozsiahlejší areál vytvára práve v Rusku a vyskytuje sa tu predovšetkým ako drevina brehových porastov v listnatých, prípadne zmiešaných porastových zmesiach maximálne do nadmorskej výšky 500 – 700 m.

Drevo tvorí úzku svetložltú bel' a pomerne široké škoricovohnedé jadro. Jadrové drevo je stredne ťažké, pomerne mäkké, stredne trvanlivé až trvanlivé, dobre odoláva hnilobám. Využitie dreva je veľmi variabilné, ale ani vo svojej vlastni nie je obzvlášť významné. Nápadný korok sa využíva na výrobu izolácií, do podlahových krytín aj na výrobu lisovaných korkových uzáverov. Lyko, často až 5 mm hrubé, sa v ázijskej alternatívnej medicíne používa ako tradičné homeopatikum.

2 3D CT skener guľatiny dreva

Centrum excelentnosti LignoSilva je zamerané na digitalizáciu, optimalizáciu a automatizáciu v lesnícko-drevárskom sektore prostredníctvom inovačných technológií. Implementáciou infraštruktúrneho projektu prináša vytvorenie modelových a prototypových pracovísk a kľúčových technologických celkov pre výskumné a demonštračné účely v oblasti produkcie dreva, detekcie kvality dreva, energetického a celulózo-papierenského spracovania dreva. Vlajkovou loďou centra je výstavba 3D CT skenovacej linky guľatiny dreva, ktorej súčasťou je unikátna technológia počítačovej tomografie. Táto technológia umožňuje vytvoriť trojdimenzionálny model každej guľatiny dreva a zobrazíť jej vnútorné chyby. Tento model následne slúži na optimalizáciu rezných plánov za účelom maximalizácie výťažnosti. Na svete je momentálne inštalovaných 14 kusov CT skenerov guľatiny a práve náš 15-ty je prevádzkovaný vo výskumno-vývojovom prostredí (Obrázok 1.), kde slúži ako nástroj na zvyšovanie konkurencieschopnosti lesnícko-drevárskeho sektora. Dňa 30.11.2022 sa v areáli Národného lesníckeho centra - BZ Stráž vo Zvolene úspešne uskutočnil prvý test 3D CT skenovacej linky guľatiny dreva.



Obrázok 1. Inštalácia 3D CT skenera do skenovacej linky

3 Certifikácia výrezov na základe vnútorných chýb dreva

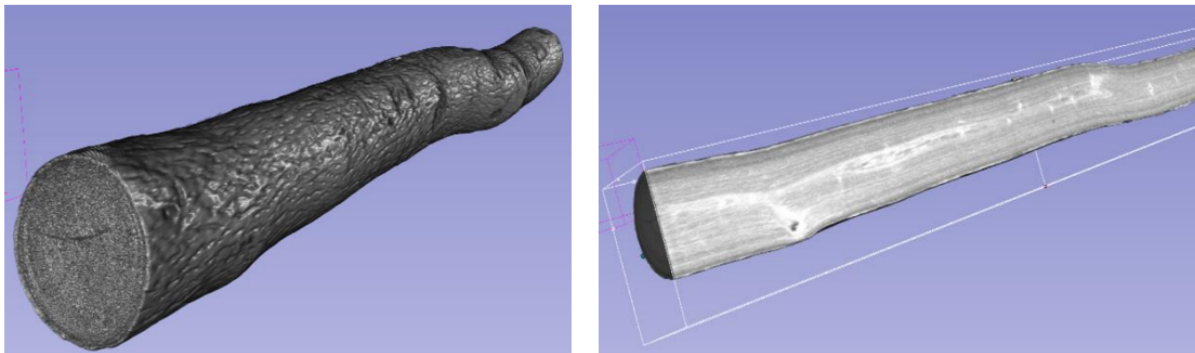
V súčasnosti je guľatina triedená na základe vonkajších znakov dreva najčastejšie okulárnou metódou. Tento spôsob je lacný no do veľkej miery závisí od subjektívneho posúdenia hodnotiteľa. Zmena prístupu – certifikácia kvality guľatiny na základe naskenovaných vnútorných znakov odstráni ľudský faktor a možnú vnesenú neistotu. Riešením problému je úprava okrajových podmienok identifikovaných znakov dreva s ohľadom na druh spracovaného dreva a účel použitia (rozmery, estetické požiadavky, požiadavky na pevnosť). Chyby dreva majú svoje špecifiká v závislosti na druhu dreva. Na základe účelu použitia dreva, parametrov vnútorných znakov dreva (vzájomne vzdialenosť, poloha, veľkosť, orientácia, prítomnosť) bude vypracovaná metodika certifikácie kvality guľatiny dreva na základe vnútorných znakov.

Zavedenie takejto certifikácie má veľký význam pri exporte guľatiny, aukciách s výrezmi, predaji guľatiny na estetické účely, pri výrobe špeciálnych výrobkov z dreva, ako sochy,

sudy, hudobné nástroje. Uplatnenie je jednoznačné pri požiadavkách na výrobu nosných konštrukcií z dreva. Zároveň vznikne efektívny nástroj na garanciu kvality guľatiny dreva.

3.1. Vnútorne chyby dreva zobrazené 3D CT skenovaním

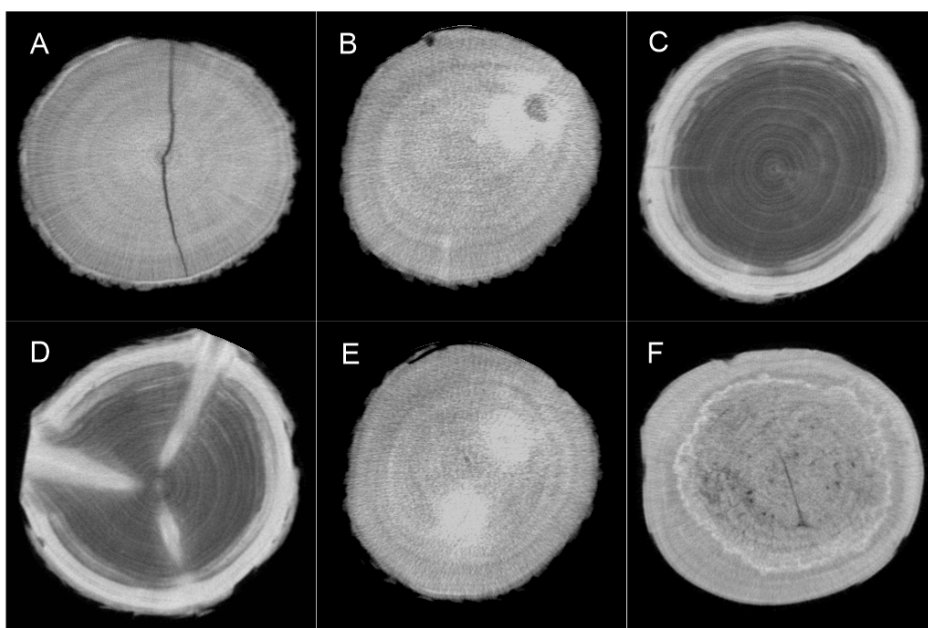
CT skenovanie je zásadným prvkom v drevo spracovateľskom reťazci, prináša detailné informácie o rozmeroch, objeme, krivosti, vonkajších a v vnútorných znakov guľatiny. Je identifikovaná poloha, rozmery jednotlivých znakov (chýb) a ich kategória. Nasledovný obrázok 1 zobrazuje 3D model dubového výrezu zrekonštruovaný z CT snímok.



Obrázok 2. Vizualizácia dubového výrezu v prostredí 3D Slicer. Vľavo: Vizualizácia 3D modelu CT skenu v celej dĺžke 4 m. Vpravo: virtuálny rez osou guľatiny. Svetlosivá až biela farba indikuje hustejšie drevo vrátane zdravých hrčí.

3.2. Príklad vyobrazenia vnútorných chýb v CT snímkach

3D model guľatiny je zrekonštruovaný z CT snímkou, ktoré CT skener realizuje ako priečne rezy zložené z voxelov s rozmermi 2 mm x 2mm x 10 mm. To znamená, že guľatina dlhá 4000 mm je zložená zo 400 kusov snímok, ktoré predstavujú jednotlivé rezy. Nasledovný obrázok 3 je výberom takýchto CT snímok, ktoré zobrazujú príklady roztrženia vnútorných znakov guľatiny dreva. Snímok A zobrazuje prasklinu vo výreze dubu, snímok B zobrazuje nezdravú hrču vo výreze dubu, snímok C zobrazuje belové a jadrové drevo vo výreze smreku, snímok D zobrazuje zdravé hrče vo výreze smreku, snímok E zobrazuje zdravé hrče vo výreze dubu a snímok F zobrazuje hnilobu vo výreze buku.



Obrázok 3. CT skeny rôznych druhov drevín s príkladmi zobrazenia ich vnútorných znakov

4 Záver

Dlhodobý výskum rastu, zdravotného stavu a využitia našich a rovnako aj nepôvodných drevín je problém, ktorou sa Národné lesnícke centrum na svojich pracoviskách zaoberá veľmi dlhú dobu. Výsledky výskumu sú publikované a mimoriadne úspešne využívané v lesníckej aj drevárskej praxi. Spreádzkovaním laserového zariadenia v rámci projektu dôjde k ďalšiemu posunu o získanie mimoriadnych informácií o tvorbe drevnej suroviny, prípadných vnútorných chybách dreva, ktoré budeme môcť identifikovať u širokého spektra ďalších drevín, ktoré sú potenciálne vhodné k zlepšeniu bilancie tvorby drevnej suroviny.

Výtvary sa objektívny spôsob hodnotenia drevnej suroviny a obmedzí sa tak subjektívny faktor v rôznych procesoch, kde táto surovina prechádza od jedného subjektu k inému. Vzhľadom na to, že aktuálne žiadna metodika certifikácie dreva nie je k dispozícii, by jej návrh prispel k transparentnejšiemu stanoveniu kvality, ale aj stanoveniu vhodného účelu použitia drevnej suroviny a zároveň optimalizoval súvisiace rozhodovacie procesy.

Pod'akovanie

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

Literatúra

MUSIL, I., HAMERNÍK, J., 2003: Lesnická dendrologie 1. Jehličnaté dřeviny. Skripta ČZU Praha. 177 s.

SLÁVIK, M., 2021: Prevádzkovo využiteľné dřeviny Lesníckeho arboréta Kysihýbel. Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 94 s.

SLÁVIK, M., JANKOVIČ, J., 2021: Lesnícke arborétum Kysihýbel. Odborný sprievodca. Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 30 s.

Summary

Forestry arboretum in Kysihýbel as a source of non-traditional introduced wood species for the purpose of testing for internal wood defects using scanning. Long-term research on the growth, health status and use of our and also non-native trees is a problem that the National Forestry Center has been dealing with in its workplaces for a very long time. The results of the research are published and especially used in forestry and woodworking practice. By operating the laser device within the project, there will be further progress in obtaining extraordinary information about wood raw materials, possible hidden wood defects, which we will be able to identify in a wide range of other wood, which are suitable for improving the balance of wood raw materials production.

Kľúčové slová

Lesnícke arborétum, introdukované dřeviny; 3D CT skenovanie

Kontaktná adresa

doc. Ing. Martin Slávik, CSc.
Odbor pestovania lesa
Lesnícky výskumný ústav
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic
martin.slavik@nlcsk.org

Ing. Tomáš Gergel, PhD.
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
tomas.gergel@nlcsk.org

PRODUKČNÁ A MIMOPRODUKČNÁ FUNKCIA PORASTOV RRD

Marián Slamka, Andrej Gubka, Jozef Bučko, a Slavomír Strmeň

1 Úvod

Jednou z možností získavania alternatívnych zdrojov energie je aj produkcia drevnej biomasy z porastov rýchlorastúcich drevín (RRD). Tento systém hospodárenia na čoraz väčšej rozlohe poľnohospodárskej pôdy sa začal využívať v posledných desaťročiach v západnej Európe, ako aj v niektorých oblastiach Severnej Ameriky. Produkcia takejto drevnej biomasy (dendromasy) je založená na schopnosti rýchleho rastu niektorých drevín v prvých rokoch po výsadbe a súčasne na ich vysokej výmladkovej schopnosti po zrezaní nadzemnej časti (Bartko 2015). Medzi rýchlorastúce dreviny v stredoeurópskych podmienkach zaradujeme tie, ktorých ročná objemová produkcia presahuje $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Na ich zakladanie sa prevažne využívajú tri druhy drevín, agát biely, topole a vrby (Oravec a kol. 2012). Energetické porasty možno zakladat' na plochách nevhodných pre tradičnú poľnohospodársku a lesnícku produkciu, na pôdach dočasne vylúčených z poľnohospodárskej výroby, pôdach kontaminovaných, ktoré sú vhodné len na produkciu pre nepotravinárske účely a tiež na zdevastovaných plochách v priemyselných aglomeráciách. Produktom plantáží rýchlorastúcich drevín je dendromasa, najčastejšie upravená vo forme energetických štiepok využiteľná ako palivo na vykurovanie, prípadne na kombinovanú výrobu tepla a elektrickej energie. Úspešnosť pestovania RRD a následnú produkciu dendromasy ovplyvňuje viacero faktorov, ako je výber a príprava vhodnej lokality, výber drevín a voľba jej odrody, spôsob pestovania, metóda zberu a finálna úprava produktu. Takto vzniknuté porasty RRD, najmä na poľnohospodárskej pôde s nedostatkom porastov drevín, vytvárajú vhodný životný priestor (úkryt, potravu, migračné koridory) pre voľne žijúce živočíchy (Bergström a Guillet 2002). Vplyvom aktivity niektorých druhov (najmä raticovej zveri) môže ale dochádzať k ich nadmernému poškodzovaniu (Obr. 1), čo má za následok znižovanie očakávanej produkcie dendromasy, alebo jej posunutie o niekoľko rokov (Posza a Borbély 2018). Podľa Guillet a Bergström (2002) sa od počiatkov zakladania porastov RRD považoval vplyv rôznych druhov jeleňovitých za jeden z hlavných problémov ich pestovania.

Príspevok sa zaoberá možnosťami zosúladenia produkčnej aj mimoprodukčnej funkcie týchto porastov.

2 Materiál a metodika

Vykonal sa literárny prieskum domácich aj zahraničných výskumných prác zaoberajúcich sa problematikou pestovania porastov RRD a ich atraktivnosťou pre voľne žijúce živočíchy. Na posúdenie časovo-priestorovej aktivity jelenej zveri využívajúcej ostrovčekovité lesné porasty v prevažne agrárnej krajine sme vyhodnotili údaje telemetricky sledovaného dva a pol ročného jeleňa. Telemetrický obojok Vectronic bol nastavený na zber 24 polohových údajov za deň s odosielaním súradníc 2 krát za 24 hodín. Údaje o polohe obojkov boli exportované z online systému Inventa Vectronic Wildlife, ktorý slúži na prezeranie záznamov a správu obojkov. Priestorové a tabuľkové údaje boli následne spracované v softvéri ArcGIS Desktop a Excel.



Obrázok 1. Pobytové znaky zveri, lúpanie kôry, v experimentálnom vrbovom energetickom poraste pri Budči (Slamka 2022).

3 Výsledky a diskusia

Výsledky viacerých publikovaných štúdií sa zhodujú na tom, že porasty RRD môžu mať okrem svojej produkčnej funkcie (dendromasa) aj súčasný pozitívny vplyv na biodiverzitu krajiny. Ide však predovšetkým o porasty zakladané v oblastiach intenzívne obhospodarovanej agrárnej krajiny (Bergström a Guillet 2002). Pri rastlinných spoločenstvách ovplyvňujú ich druhovú pestrosť najmä generalisti, teda druhy ktoré nemajú špeciálne vyhranené nároky na životné prostredie, bývajú najhojnejšie a najrozšírenejšie (Vanbeveren a Ceulemans 2019; Zitzmann a Rode 2021) a zvyčajne ich nachádzame v aj antropogénnom prostredí (Baum a kol. 2012). Porasty RRD môžu byť cenným biotopom aj pre entomofaunu. Podľa Piotrowska a kol. 2020, vytvárajú prechodné prostredie umožňujúce migráciu hmyzu medzi izolovanými populáciami a dokážu vytvoriť vzájomne výhodný synergický efekt so spoločenstvom čelade Carabidae, čo prispieva k vytvoreniu trvalo udržateľného poľnohospodárstva ochranou proti škodcom na poľných plodinách. Tak ako každá monokultúra, aj plantáže RRD sú potenciálne viac ohrozené škodcami a chorobami ako prírodný les. Podľa Bartka (2015) je v tejto súvislosti odporúča vytváranie mozaikovitej štruktúry a kombináciu drevín, upozorňuje však na skutočnosť, že z hľadiska zachovania vysokej produkcie to nie je vždy možné. Zo zvýšenej heterogenity týchto porastov môžu profitovať aj rôzne druhy vtákov (Chiatante a kol. 2019).

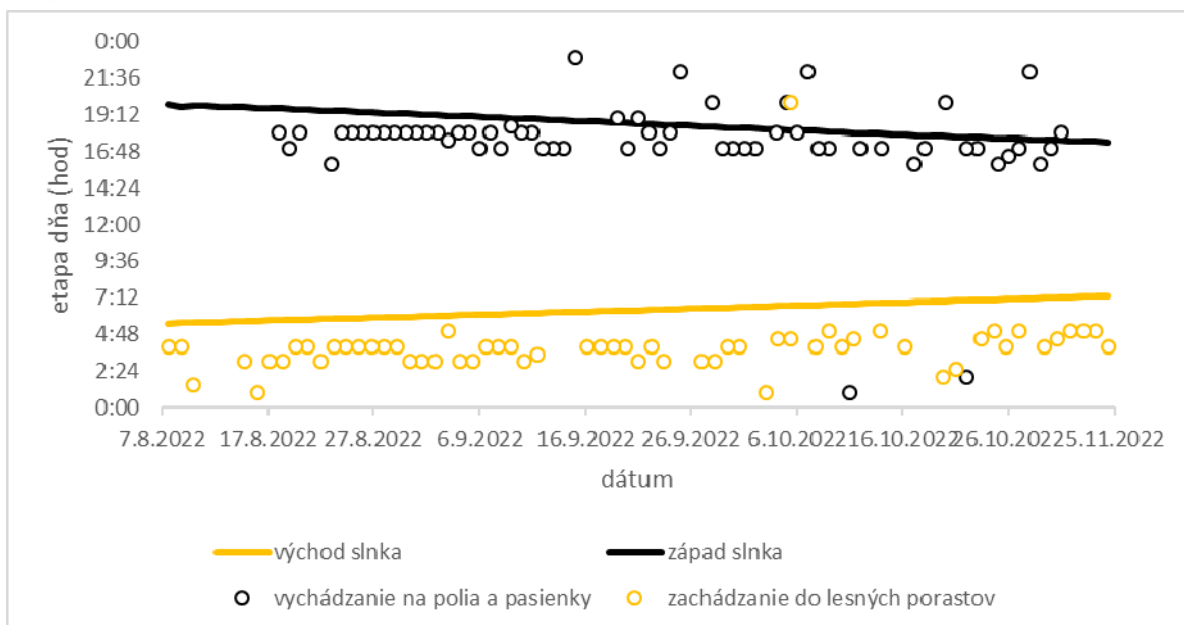
Výskyt a aktivitu veľkých a stredne veľkých cicavcov v porastoch RRD v severnom Nemecku s využitím fotopascí zisťovali Zitzmann a Reich (2022). Na šiestich komerčných plantážach zistili celkovo 11 druhov (6 - 9 na lokalitu), čo zodpovedalo väčšine druhov vyskytujúcich sa v predmetnej oblasti výskumu. Z hľadiska frekvencie návštev ako aj intenzity využívania porastov dominovala srnčia zver, pričom neboli zistené rozdiely vo výskyte medzi okrajovými a centrálnymi časťami porastov.

Využívanie ostrovčekovitých lesných porastov nachádzajúcich sa uprostred intenzívne obhospodarovanej krajiny jeleňov zverou hodnotíme na základe výsledkov nášho výskumu, v rámci ktorého sme telemetricky sledovali časopriestorovú aktivitu mladého jeleňa v agrárnej krajine PR Molnár v okrese Rimavská Sobota. Jeho strategický územím sa v období po návrate zo sezónnej (letnej) migrácie 15. augusta stal ostrov lesného porastu uprostred agrárnej krajiny, s rozlohou približne 0,9 km² (Obr. 2).



Obrázok 2. Časopriestorová aktivita telemetricky sledovaného jeleňa za obdobie 1.9.2022 – 10.9.2022

Lokalita má primerané úkrytové možnosti v podobe mladých a hustých porastov (zo severnej strany prevažne agátových) ako aj dostatok vodných zdrojov. Rozčlenená je niekoľkými približovacími cestami. Jeleň ju ako miesto denného úkrytu využíval počas viac ako 70% dní sledovaného obdobia (Obr. 3). Na okolitých otvorených plochách (poliach a pastvinách) bol aktívny za súmraku a v noci. Aktivita mimo lesného porastu za denného svetla bola zaznamenaná len v ojedinelých prípadoch a to nie viac ako na dve hodiny. Čas vychádzania jeleňa na polia a pasienky, resp. zachádzania do lesných porastov vo vzťahu k času východu a západu slnka znázorňuje obrázok č.3.



Obrázok 3. Aktivita sledovaného jeleňa na otvorených plochách vo vzťahu k východu a západu slnka

V rámci hodnoteného obdobia (1.1.2022 – 30.11. 2022) bolo zaznamenaných aj niekoľko udalostí, kedy došlo k výraznejším zmenám v dynamike jeho pohybovej aktivity. Predpokladáme, že pri nich išlo o vyrušenie, ktoré mohlo súvisieť s prítomnosťou šeliem, lesníckou činnosťou, poľnohospodárstvom, poľovníctvom, alebo inou ľudskou aktivitou. Prejavovalo sa to náhlou zmenou vo vzorci správania a následným rýchlym presunom na zriedkavejšie využívané lokality vzdialené v priemere 3 km. Zvyčajne sa z nich jeleň vrátil do 12 h, najdlhšie sa zdržal na útočisku 5 dní, pričom aj v noci obmedzoval pastvu na otvorených plochách. Podobné správanie pri jelenej zveri popisujú aj Sunde a kol. (2009), keď jelenice pod vplyvom prebiehajúcej spoločnej poľovačky opúšťali zvyčajne využívané miesto, odchádzali na vzdialenosť v priemere 4 km, ale na útočisku zotrúvali v priemere až 6 dní. Ich denná aktivita sa znížila a súčasne sa vyhýbali otvorenejším plochám. Uvedené poznatky môžu byť využiteľné z hľadiska ochrany lesných porastov, porastov RRD, ako aj manažmentu poľovnej zveri. Nutnosť raticovej zveri zdržovať sa z hľadiska bezpečnosti celý deň v lesnom poraste môže so sebou prinášať nemalé škody na lesných drevinách (Obr. 4).

Podľa Bartka (2015) sú z hľadiska poškodenia zverou najviac ohrozené porasty s výmerou do 1 ha, najmä ak sú založené v oblasti, kde sa zver už predtým zdržiavala. Najväčšie škody vznikajú v prvých mesiacoch, kde sú odhryzom atakované terminálne pupene drevín. Pre zver je veľmi atraktívna aj kôra, ohryz ktorej môže začínať na relatívne mladých stromoch, niekedy už od hrúbky kmeňa okolo 2,0 cm (Konôpka a kol. 2018). Konôpka a kol. (2022) zdokumentovali, že jelenia zver v prípade enormne vysokej populačnej hustoty dokáže ohryzť až 2/3 kôry v optimálnej výške (101 – 150cm) a často až 1/3 kôry v celom dostupnom vertikálnom profile kmeňa stromu (do 200 cm). Pri hodnotení poškodenie experimentálnej výbovej plantáže jeleňom sika, ktoré bolo spôsobené poruchou funkčnosti elektrického oplôtku, zistili Harayama a kol. (2020), že škody spôsobené jeleňou zverou sú významným faktorom vplyvujúcim na zníženie produkcie energetických porastov. Vzniknutá strata bola odhadnutá na 6 ton sušina na hektár a rok, čo predstavovalo približne 80 % dosiahnuteľnej produkcie. Jelene v ročnom poraste odhryzli najmä konččky rastlín, v niektorých prípadoch boli pri snahe dosiahnuť na koniec rastliny vrby zlomené. Zistili sa ale rozdiely medzi poškodením jednotlivých vysadených klonov. Podobnú skúsenosť majú aj Mrnka a kol. (2021), ktorí skúmali vplyv genotypu topoľa

z pohľadu vnímavosti zveri pri ohryzaní. Najmenšie poškodenie bolo zistené na krížencoch klonov *Populus nigra* × *P. maximowiczii* 'Max-4', pričom repelentný účinok sa zistil pri klone Max-4.



Obrázok 4. Jelenia zver sa prevažnú časť dňa ukrýva v lesných porastoch a na pastviny vychádza najmä v nočných hodinách. Možno tak predpokladať, že k najintenzívnejšiemu ohryzu drevín dochádza práve počas dňa (fotopasca NLC 2017).

Vplyv voľne žijúcej zveri na porasty RRD v Nemecku popisujú Landgraf a kol. (2011). Počas siedmych rokov hodnotenie vplyvu zveri zaznamenali rôzne druhy poškodenia počínajúcim lokálnym vytĺkaním parožia až po úplné zničenie porastov ohryzom jeleňou, danielou a srnčou zverou. Z pohľadu škôd sa výrazne lepšie výsledky dosahovali na lokalitách s aktívnym poľovníckym manažmentom. Autori hodnotili aj potravnú preferenciu vybraných druhov rýchlorastúcich drevín. Ukázalo sa že zver preferuje vrby pred topoľmi a rozdiely sa zistili aj u niektorých druhov a klonov topoľov. Atraktívnejší ako topoľ je pre zver aj agát, pokiaľ sú výhonky a ostne ešte mäkké.

Mimo-produkčnými funkciami porastov RRD sa zaoberali Zitzmann a kol. (2021). Odvolávajú sa na ďalšie publikované práce navrhli základné odporúčania ich pestovania ktoré uvádzame nasledovne.

- Zvýšenie druhovej pestrosti drevín.
- Ťažbu vykonávať postupne, aby sa vytvorila zmes rôznych vekových tried drevín. Zaisťuje to trvalú dostupnosť úkrytov a potravy.
- Zavedenie opatrení na podporu druhovej pestrosti bylinného podrastu, čo zabezpečí lepšiu dostupnosť potravy pre bylinožravce a ďalšie druhy.
- Obmedziť oplocovanie, menšie straty na produkcii možno kompenzovať príjmom z lovu zveri.
- Porasty možno rozčleňovať pásmom bylín, čím sa vytvoria na pastvu atraktívne okrajové zóny. Znížiť mieru vyrušovania zveri na takýchto miestach, aby mala dostatok času sa napásť.

4 Záver

Porasty RRD zakladané najmä v bezlesnej agrárnej krajine môžu predstavovať významný prvok podporujúci nárast jej biodiverzity. Ich vhodným návrhom a manažmentom, napríklad vytvorením mozaikovitej štruktúry a väčšej heterogenity, možno zvýšiť ich

atraktivitu pre viaceré druhy živočíchov a súčasne zmierniť vplyv potenciálnych škodlivých činiteľov. Súčasnému využívaniu produkčných aj mimo-produkčných funkcií porastov RRD je potrebné prispôbiť aj poľovnícky manažment.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja (50 %), vďaka finančnej podpore v rámci projektu "Promoles" – financovaného z rozpočtovej kapitoly MPRV SR (prvok 08V0301) (25 %) a finančnej podpore Podielnicko poľnohospodárskeho družstva Bakov (25%).

Použitá literatúra

- Bartko, M. 2015. Pestovanie rýchlorastúcich drevín na dendromasu v podmienkach Slovenska. In: Štefančík, I., Bednárová, D. eds. Aktuálne problémy v zakladaní a pestovaní lesa. Zborník referátov z 3. medzinárodnej konferencie. 5. – 6. Október 2015, Liptovský Mikuláš.
- Baum, S., Bolte, A., Weih, M. 2012. Short rotation Coppice (SRC) plantations provide additional habitat for vascular plant species in agricultural mosaic landscapes. *BioEnergy Research* 5:573-583.
- Bergström, R., Guillet, Ch. 2002. Summer browsing by large herbivores in short-rotation willow plantations. *Biomass and Bioenergy* 23: 27-32.
- Chiatante, G., Giordano, M., Merrigi, A., 2019. Bird diversity in short rotation Coppice in Northern Italy. *Ardea* 107(1):5-17.
- Guillet, C., Bergström, R. 2002. Summer browsing by deer in short-rotation coppice. *Sveriges Utsädesförenings Tidskrift* 2001 Vol.111 No.2 pp.104-108 ref.12
- Harayama, H., Han, Q., Ishihara, M., Kitao, M., Uemura, A., Sasaki, S., Yamada, T., Utsugi, H., Maruyama, Y. 2020. Estimation of Yield Loss Due to Deer Browsing in a Short Rotation Coppice Willow Plantation in Northern Japan. *Forests* 11(8):809.
- Konôpka, B., Pajčík, J., Shipley, L. A., 2018. Intensity of red deer browsing on young rowans differs between freshly-felled and standing individuals. *Forest Ecology and Management*, 429:511–519.
- Konôpka, B., Pajčík, J., Šebeň, 2022. Regeresné modely kvantity kôry kmeňa pre stanovenie potencionalného obhryzu drevín zverou. In: APOL 2022 – Časopis Lesníckej ochrany služby 2, 57-253 s.
- Landgraf, D., Brunner, J., Helbig, Ch. 2011. The impact of wild animals on SRC in Germany – a widely underestimated factor. In: Short Rotation Forestry and Agroforestry: an Exchange of Experience between CDM Countries and Europe. Conference proceedings. June 20 – 22, Marchesi di Barolo, Barolo, Italy.
- Mrnka, L., Frantík, T., Švecová, E. B., Schmidt, Ch. S., Vosátka, M., Knot, D., Šolcová, O., Hart, V. 2021. Clone-dependent browsing damage of poplar plantations and the repellent potential of *Populus nigra* × *P. maximowiczii* 'Max-4'. *Forest Ecology and management* 483:1, 118888.
- Oravec, M., Bartko, M., Slamka, M. 2012. Postupy intenzifikácie produkcie drevnej biomasy na energetické využitie. *NLC Zvolen*. 64 s.
- Piotrowska, S. N., Czachorowski, S. Z., Stolarski, M. J. 2020. Ground beetles (Carabidae) in short-rotation coppice willow and poplar plants – synergic benefits system. *Agriculture* 10, 648.

Posza, B., Borbély, C 2018. Sustainability examination of short rotation coppices. *Acta Agronomica Óváriensis* 59(1):44-61.

Sunde, P., Olsen, C. R., Madsen, T. L., Haugaard, L. 2009. Behavioural Responses of GPS-Collared Female Red Deer *Cervus elaphus* to Driven Hunts. *Wildlife Biology* 15(4):454-460.

Vanbeveren, S, P, P., Ceulemans, R. 2019. Biodiversity in short-rotation coppice. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11:34-43.

Zitzmann, F., Reich, M., Schaarschmidt, F. 2021. Potential of small-scale and structurally diverse short-rotation coppice as habitat for large and medium-sized mammals. *Biologia* 76, 2195-2206.

Zitzmann, F., Rode, M. 2021. Short-Rotation Coppice Managed According to Ecological Guidelines—What Are the Benefits for Phytodiversity? *Forests* 2021, 12(5), 646; <https://doi.org/10.3390/f12050646>

Zitzmann, F., Reich, M. 2022. Which Large- and Medium-Sized Mammals Use Commercial Short-Rotation Coppice as Habitat? *BioEnergy Research* 15:1415-1426.

Summary

Production and non-production function of RRD plants. The paper deals with the possibilities of harmonizing the production and non-production functions of SRC stands. These stands, established mainly in forestless agrarian land, can represent an important element supporting the increase of its biodiversity. By their appropriate design and management, for example by creating a mosaic-like structure and greater heterogeneity, it is possible to increase their attractiveness for wildlife and at the same time mitigate the impact of potential pests. It is necessary to adapt hunting management to the current use of production and non-production functions of RRD stands.

Kľúčové slová

short rotation coppice (SRC), tree damages, non-production function, ungulates, mitigating measures,

Kontaktné adresy

Ing. Marián Slamka, PhD., Ing. Andrej Gubka, PhD., Ing. Slavomír Strmeň
Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Ing. Jozef Bučko, PhD.,
Ústav lesných zdrojov a informatiky

Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
marian.slamka@nlcsk.org;

TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ POSTUPOV PESTOVANIA SADBOVÉHO MATERIÁLU VYBRANÝCH INTRODUKOVANÝCH DREVÍN URČENÝCH PRE POTREBY ZAKLADANIA ŠPECIÁLNYCH PESTOVATEĽSKÝCH SYSTÉMOV

Martin Belko

1 Úvod

Intenzívne pestovanie sadbového materiálu drevín a umelá obnova lesa má v podmienkach Slovenska dlhú históriu siahajúcu minimálne po prelom 17. a 18. storočia (STOCKMANN 2016). Medzi najvýznamnejšie úspechy umelej obnovy počas tohto obdobia môžeme zaradiť stabilizáciu viatych pieskov na Záhorí prostredníctvom výsadiieb borovice v 18. a 19. storočí (KONÔPKA et al. 2012a), obnovu vydrancovaných lesov v okolí banských miest v 19. storočí (MIKOVIČ 2009), zalesňovanie spustnutých plôch v Slovenskom krase (ZACHAR 1975) a obnovu lesných porastov poškodených veľkoplošnými disturbanciami v 20. a 21. storočí prípadne iné (KONÔPKA et al. 2012b). V lesnom hospodárstve sa počas tohto obdobia vyseletovali a prakticky overili najvhodnejšie postupy pestovania sadbového materiálu pre hospodársky najvýznamnejšie autochtónne lesné dreviny (ŠMELKOVÁ 2009). Na druhej strane, scenáre vývoja klímy na našom území v blízkej, ale aj vzdialenej budúcnosti poukazujú na potrebu riešenia otázky asistovanej migrácie nových, nepôvodných, prípadne domácich drevín z oblastí s prognózovanou klímou (HAZARIKA et al. 2021). Tieto dreviny sa v podmienkach Slovenska môžu uplatniť zatiaľ len prostredníctvom umelej obnovy. Avšak, vlastnosti a znaky význačné pre nové druhy drevín čiastočne limitujú priame použitie overených postupov pestovania sadbového materiálu domácich drevín aj na dreviny introdukované.

Aktuálny technologický pokrok zároveň prináša producentom sadbového materiálu nové možnosti dopestovania morfológicky a fyziologicky kvalitného sadbového materiálu (SARVAŠ et al. 2007). Prechod na nové technológie, najmä pestovanie krytokorenného sadbového materiálu, je však nákladný a vyžaduje si značné vstupné investície. Napriek tomu je postupný prechod na intenzívnejšie spôsoby pestovania sadbového materiálu do budúcnosti nevyhnutný. Pestovanie sadbového materiálu v podmienkach polyetylénových krytov s možnosťou presného dávkovania hnojiva, regulácie závlah a teploty vzduchu zároveň okrem iného umožňuje v porovnaní s pestovaním na voľnom záhone získať sadbový materiál presne podľa požiadaviek budúceho odberateľa (SARVAŠ et al. 2007; DUMROESE et al. 2016;). Obzvlášť dôležitou je táto okolnosť pri zalesňovaní stanovišť so špecifickými podmienkami. Na rastúci význam a potrebu tesnejšieho prepojenia a vzájomnej kooperácie medzi dodávateľom a odberateľom sadbového materiálu upozorňuje práve DUMROESE et al. (2016) v novej koncepcii, ktorú je možné dohľadať pod názvom „Target plant concept“. V podmienkach Slovenska, by mohla uvedená koncepcia čiastočne poslúžiť ako metodická pomôcka pri vnášaní drevinovej zložky v rámci zakladania špeciálnych pestovateľských systémov v nížinných oblastiach Slovenska, ktoré sa vyznačujú nižším množstvom zrážok a vyššími teplotami a v ktorých je aktuálny predpoklad uplatnenia menej významných autochtónnych, ale aj introdukovaných drevín vnesených prostredníctvom umelej obnovy (JANKOVIČ et al. 2016; JANKOVIČ, PÁSTOR 2021; PÁSTOR et al. 2022).

Cieľom tohto príspevku je čiastkový rozbor teoretických východísk problematiky intenzifikácie postupov pestovania sadbového materiálu vybraných introdukovaných drevín potenciálne vhodných pre potreby zakladania špeciálnych pestovateľských systémov v nížinných oblastiach Slovenska.

2 Rozbor teoretických východísk pestovania sadbového materiálu vybraných introdukovaných drevín

V rámci zakladania špeciálnych pestovateľských systémov sa v mnohých prípadoch uvažuje aj s účasťou rýchlorastúcich drevín predovšetkým domácich a introdukovaných topoľov, vrb a ich hybridov, ktorým je však venovaná osobitná pozornosť v publikáciách výskumnej stanice Juh v Gabčíkove a výskumnej stanice Košice organizačných jednotkách Národného lesníckeho centra Lesnícke výskumného ústavu (BARTKO 2011; KOHÁN 2012). Predmetom rozboru teoretických východísk pestovania sadbového materiálu v tomto príspevku tak budú v našich podmienkach ostatné menej preskúmané introdukované dreviny, s potenciálom zvýšenia hodnotovej produkcie, vhodné pre potreby zakladania špeciálnych pestovateľských systémov v nížinných oblastiach Slovenska: dub červený, orech čierny a paulovnia. Základné charakteristiky týkajúce sa reprodukčného materiálu vybraných introdukovaných drevín uvádzané v dostupnej literatúre sú zhrnuté v Tabuľke 1.

Tabuľka 1. Priemerné hodnoty základných charakteristík reprodukčného materiálu vybraných introdukovaných drevín uvádzané v dostupnej literatúre (DRVODELIC 2018; NOLAND et al. 2013; WILSON et al. 2007; SUTTER 1997; STRINGER 1986; DEHAYES, WAITE 1982)

Drevina	Hmotnosť 1000 ks semien (kg)	Počet semien v 1 kg	Charakter a doba skladovania semena	Predsejbová príprava	Sadbový materiál
Dub červený	4,5	220	rekalcitrantné 2 roky	+2 až + 5 °C / 4 mesiace	VK 1-1 KK fk1+0 výška 41,1 cm / hrúbka 6,5 mm výška 26,4 cm / hrúbka 4,7 mm
Orech čierny	17	59	subortodoxné 3 až 5 rokov	+2 až + 5 °C / 4 mesiace	VK 1-1 KK fk1+0 výška 32,5 cm / hrúbka 5,8 mm výška 30,6 cm / hrúbka 5,1 mm
Paulovnia sp.	1,6 · 10 ⁻⁶	6,1 · 10 ⁶	subortodoxné 3 až 4 roky	+2 až + 5 °C 1 mesiac	KK fk1+0 KK fv1+k1 výška 20 - 30 cm / hrúbka 4 – 6mm výška 20 - 30 cm / hrúbka 4 – 6mm

2.1 Dub červený (*Quercus rubra*)

Semenná surovina

Semenná surovina duba červeného je tvorená suchými nepukavými jednosemennými nažkami s veľkosťou 1,5 až 3 cm, ktoré dozrievajú začiatkom jesene v septembri až októbri. Po dozretí opadávajú plody na zem v priebehu októbra. Hmotnosť opadnutého plodu v čerstvom stave dosahuje pri dube červenom hodnoty z rozpätia 2,0 až 9,5 g (LOMMASON 1986).

Zber, spracovanie a skladovanie semennej suroviny

Jedince duba červeného rastúce vo voľnom postavení začínajú plodiť v 25. roku rastu. Pri jedincoch rastúcich v zápoji je možné očakávať prvú semennú úrodu až v 50. rokoch rastu. Produkcia semennej suroviny dubov sa rovnako, ako pri ostatných drevinách vyznačuje značnou premenlivosťou, kedy sa semenné roky opakujú spravidla každý druhý až tretí rok. Na rozdiel od domácich dubov (letný, zimný) patrí dub červený do sekcie *Erythrobalanus*. Druhy patriace do tejto sekcie sa vyznačujú dormanciou nadzemnej aj podzemnej časti. Pri domácich druhoch dubov sa kľúčnym pokojom vyznačuje len nadzemná časť, v priaznivých podmienkach dochádza ku klíčeniu podzemnej časti aj v krátkom období po opadnutí na zem (STRUVE 1998). Plody duba červeného je možné z hľadiska podmienok skladovania zaradiť medzi rekalcitrantné (obsah vody v semene počas skladovania nesmie poklesnúť pod 25 %, doba skladovania spravidla nepresahuje 5

rokov). Semená duba červeného je možné dlhodobo skladovať bez významnej straty klíčivosti najviac 18 mesiacov pri teplote -2°C (NOLAND et al. 2013).

Pestovanie sadbového materiálu

Generatívny sadbový materiál je možné v našich podmienkach zo získaného semena dopestovať štandardnými postupmi s miernou úpravou. Priamy výsev semien ihneď po zbere nie je možné odporučiť, najmä s ohľadom na nízku klíčivosť semien vysiatych v tomto termíne (STRUVE 1998). Nízka klíčivosť semien vysiatych v jesennom termíne je daná predovšetkým potrebou prelomenia klíčného pokoja počas zimných mesiacov, ktorý je možné odstrániť umiestnením semien do prostredia so stálymi podmienkami. Najvhodnejším sa v tomto smere javí umiestnenie semien do vlhkého piesku (resp. substrátu) s teplotou $+2$ až $+5^{\circ}\text{C}$, minimálne počas 4 mesiacov (STRUVE 1998; NOLAND et al. 2013). Klíčivosť (energia klíčenia a rovnomernosť vzchádzania) semien duba červeného je možné podľa zistení STRUVE (1998) zvýšiť namočením semien s ukončenou stratifikáciou do okysličenej vody s teplotou $+5$ až $+20^{\circ}\text{C}$ počas 10 dní pred výsevom. Okrem pozitívneho vplyvu na klíčivosť semien duba, uvádza STRUVE (1998), že táto metóda môže napomôcť aj k jednoduchšej identifikácii životaschopných semien, ktoré sa po vybratí z vody vyznačujú popraskaným osemením (pericarpom) v dôsledku absorpcie vody a iniciácie metabolických procesov súvisiacich s klíčením. Klíčiace semená je možné po prelomení klíčného pokoja vysievať v apríli do minerálnej pôdy alebo substrátu na záhon alebo do obalov. V prípade pestovania sadbového materiálu na voľnej ploche je potrebné v mesiacoch apríl a máj chrániť vyklíčené semenáčky pred neskorými jarnými mrazmi (protimrazové postreky, prikryvanie, zvyšovanie teploty vzduchu), v mesiacoch jún a júl pred intenzívnym slnečným žiarením (tienenie sieťovinou, roštami príp. iné).

V štandardných podmienkach je možné bez nutnosti nadmerného pridávania živín dopestovať výsadby schopné semenáčky s výškou nadzemnej časti 25 až 35 cm už v prvom roku (WILSON et al. 2007). S ohľadom na tvorbu výrazného kolového koreňa v raných rastových štádiách (dĺžka 10 – 20 cm) nie je vhodné sadbový materiál pestovať dlhšie ako 2 roky, prípadne je potrebné pamätať na vhodnú úpravu koreňového systému (VK semenáčky - podrezanie) (WILSON et al. 2007) (Tabuľka 1).

2.2 Orech čierny (*Juglans nigra*)

Semenná surovina

Semenná surovina orecha čierneho je tvorená suchými nepukavými, guľovitými plodmi s veľkosťou 3,5 – 5 cm, ktoré dozrievajú začiatkom jesene v septembri. Po dozretí opadávajú plody na zem v priebehu októbra. Priemerná hmotnosť opadnutého plodu v čerstvom stave dosahuje 17 g, pri špeciálnych odrodách a kultivaroch môže dosiahnuť až 20 – 30 g (DEHAYES, WAITE 1982).

Zber, spracovanie a skladovanie semennej suroviny

Jedince orecha čierneho rastúce vo voľnom postavení začínajú plodiť už v 12 rokoch. Semenná surovina sa zbiera po opadnutí na zem ručne alebo mechanizovane. V záujme lepšej manipulácie je zo zozbieranej semennej suroviny vhodné odstrániť vonkajšie semenné obaly tvorené pomerne hrubou šupkou, ktorá po čase degraduje a rozkladá sa. Najčastejšie sa vonkajšie obaly odstraňujú mechanickým odieraním po predchádzajúcom namočení do vody. Očistené semená je potrebné následne dôkladne presušiť na roštoch alebo prepravkách v priestore s dostatočným prúdením vzduchu.

Produkcia semennej suroviny orecha čierneho sa rovnako, ako pri ostatných drevinách vyznačuje značnou premenlivosťou, kedy sa semenné roky opakujú spravidla každý druhý až tretí rok. Skladovanie semien tak napomáha zabezpečiť produkciu sadbového materiálu aj v obdobiach neúrody (ŠMELKOVÁ 2009). Plody orecha čierneho sa zároveň z pohľadu

podmienok skladovania vyznačujú špecifickými vlastnosťami, kvôli ktorým ich nie je možné zaradiť ani medzi ortodoxné (obsah vody v semene počas skladovania nesmie poklesnúť pod 25 %, doba skladovania spravidla nepresahuje 5 rokov) ani medzi rekalcitrantné semená (obsah vody počas skladovania môže poklesnúť pod 25 %, spravidla 5 – 10 %, doba skladovania 10 – 20 rokov). Semená orecha čierneho sa preto zaraďujú do kategórie tzv. subortodoxných semien, pri ktorých môže obsah vody v semene poklesnúť pod 25 % v čerstvom stave, životaschopnosť si však spravidla udržiavajú len 5 rokov (SUTTER 1997).

Pestovanie sadbového materiálu

Generatívny sadbový materiál je možné zo získaného semena dopestovať štandardnými postupmi. Priamy výsev semien ihneď po zbere nie je možné odporučiť, najmä s ohľadom na nízku klíčivosť semien vysiatych v tomto termíne (DEHAYES, WAITE 1982). Nízka klíčivosť semien vysiatych v jesennom termíne je daná predovšetkým zvýšenou náročnosťou prelomenia klíčného pokoja počas zimných mesiacov, ktorý je možné odstrániť umiestnením semien do prostredia so stálymi podmienkami. Najvhodnejším sa v tomto smere javí umiestnenie semien do vlhkého piesku (resp. substrátu) s teplotou + 2 až + 5 °C, minimálne počas 4 mesiacov (DEHAYES, WAITE 1982; FLORES et al. 2016). Semená je možné po prelomení klíčného pokoja vysievať v apríli do minerálnej pôdy alebo substrátu na záhon alebo do obalov. V prípade pestovania sadbového materiálu na voľnej ploche je potrebné v mesiacoch apríl a máj chrániť vyklíčené semenáčky pred neskorými jarnými mrazmi (protimrazové postreky, prikrývanie, zvyšovanie teploty vzduchu), v mesiacoch jún a júl pred intenzívnym slnečným žiarením (tienenie sieťovinou, roštami príp. iné). V štandardných podmienkach je možné bez nutnosti nadmerného pridávania živín dopestovať výsadby schopné semenáčky s výškou nadzemnej časti 25 až 34 cm už v prvom roku (DEHAYES, WAITE 1982). S ohľadom na tvorbu výrazného kolového koreňa v raných rastových štádiách (dĺžka 10 – 20 cm) nie je vhodné sadbový materiál pestovať dlhšie ako 2 roky (Tabuľka 1).

2.3 Paulownia (Paulownia sp.)

Rod paulownia v súčasnosti zahŕňa viacero pôvodných, ale aj nových druhov, ktoré vznikli v rámci šľachtiteľských programov medzidruhovej hybridizácie s cieľom maximalizácie vybraných vlastností. Napriek vysokému produkčnému potenciálu, je uplatnenie paulovnie v špeciálnych pestovateľských systémoch stále vo fáze experimentálneho overovania (PÁSTOR et al. 2022). Jednou z príčin je obava z možného nekontrolovateľného šírenia tejto rýchlorastúcej dreviny v krajine. Jediné paulovnie sú totiž schopné vyprodukovať značné množstvo pomerne malého a ľahkého semena, ktoré sa môže šíriť aj do väčších vzdialeností. Na druhej strane, hybridy dostupné v súčasnosti na trhu by mali byť podľa producentov sadbového materiálu sterilné bez možnosti tvorby resp. získania životaschopného potomstva. Vzhľadom na túto okolnosť sa produkcia reprodukčného materiálu pri paulovnii v prevádzkových podmienkach obmedzuje skôr na vegetatívne spôsoby rozmnožovania (DRVODELIĆ 2018; JANKOVIČ et al. 2016). Pre úplnosť je ale vhodné uviesť aj aspekty týkajúce sa produkcie generatívneho sadbového materiálu.

Semenná surovina

Semenná surovina paulovnie je tvorená malými suchými nepukavými plodmi s veľkosťou 1,5 – 3 mm, ktoré sú umiestnené po dozretí začiatkom jesene, v septembri, v spoločných guľovitých obaloch. Po dozretí vypadávajú plody na zem v priebehu októbra. Priemerná hmotnosť opadnutého semena v čerstvom stave dosahuje $1,6 \cdot 10^{-6}$ kg (Tabuľka 1).

Zber, spracovanie a skladovanie semennej suroviny

Jedince paulovníí rastúce vo voľnom postavení začínajú plodiť už v 8 až 10 rokoch. Semennú surovinu je vhodné zbierať krátko po dozretí ešte priamo na strome, na ktorom sa nachádzajú hnedé guľovité plody so semenami. Z pohľadu skladovania je semeno paulovnie možné zaradiť medzi subortodoxné semená, pri ktorých môže obsah vody v semene poklesnúť pod 25 % v čerstvom stave, životaschopnosť si však udržiavajú len 4 roky.

Pestovanie sadbového materiálu

Generatívny sadbový materiál je možné zo získaného semena dopestovať s miernymi úpravami prostredníctvom štandardných postupov. Pred výsevom je klíčenie semien možné podporiť krátkou studenou stratifikáciou. Semeno je potrebné vysievať na povrch pripraveného substrátu a prekryť veľmi tenkou vrstvou zasyvky prepúšťajúcej dostatok svetla, ktoré stimuluje fyziologické procesy spojené s klíčením. V prípade pestovania v skleníku je potrebné pre získanie kvalitného sadbového materiálu včasné vyloženie na úložisko a zabezpečenie dostatočnej odolnosti proti nízkym teplotám.

V porovnaní s predchádzajúcimi drevinami je pri paulovnií pomerne rozšírené pestovanie sadbového materiálu generatívneho pôvodu získaného z koreňových odrezkov alebo in vitro kultúr (JANKOVIČ et al. 2016).

DRVODELIĆ (2018) zaznamenal pri hybridoch „Shan Tong“ a „9501“ úspešnosť zakorenenia koreňových odrezkov odobraných v skorom zimnom termíne v decembri na úrovni takmer 90 %. Dosiahnutie pomerne vysokej úspešnosti zakorenenia, bolo však pozorované len pri dodržaní nasledovných zásad a postupov: Odobranie segmentov z koreňového systému jedinec paulovnie s dĺžkou 8 až 15 cm a hrúbkou aspoň 1 cm. Čiastočné presušenie segmentov pri izbovej teplote (teplota: 21 °C, vlhkosť: 40 %) počas 5 dní. Umiestnenie segmentov do zakoreňovacieho substrátu. DRVODELIĆ (2018) následne pozoroval rast nových koreňov už po 70 dňoch od umiestnenia segmentov do substrátu. DRVODELIĆ (2018) taktiež uvádza, že koreňové segmenty je potrebné počas manipulácie chrániť pred teplotami nižšími ako 0 °C a nadmernou vlhkosťou, ktoré môžu spôsobiť poškodenie v dôsledku premrznutia, prípadne rozvoja hniloby. Zakorenené koreňové odrezky je možné vysádzať, len s dostatočne vyvinutou koreňovou sústavou, až po prvom vegetačnom období. Sadbový materiál paulovnie sa vzhľadom na intenzívny rast neodporúča pestovať dlhšie ako 1 rok (STRINGER 1986) (Tabuľka 1).

3 Záver

Rozbor teoretických východísk postupov produkcie reprodukčného materiálu vybraných introdukovaných drevín vhodných pre potreby zakladania špeciálnych pestovateľských systémov v nížinných oblastiach Slovenska poukázal na viaceré skutočnosti, ktoré je potrebné brať do úvahy v prípade budúceho záujmu o jeho pestovanie vo väčšom rozsahu. V prípade duba červeného ide najmä o potrebu pomerne dlhej studenej stratifikácie potrebnej pre prelomenie dormancie semien, pri orechu čiernom je okrem studenej stratifikácie potrebné pamätať taktiež na zvýšené nároky pri odstraňovaní pomerne hrubých vonkajších semenných obalov, ktoré inhibujú klíčenie semien a pri paulovniách, najmä hybridoch, ide predovšetkým o uprednostňovanie pestovania generatívneho sadbového materiálu. Prípadná praktická realizácia produkcie reprodukčného materiálu vybraných introdukovaných drevín v našich podmienkach však nepochybne prinesie ešte mnohé ďalšie aspekty, ktoré bude potrebné podrobiť experimentálnemu overovaniu.

Pod'akovanie

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

Literatúra

BARTKO, M. 2011. Aktuálne výsledky testovania a nová rajonizácia topoľov na Slovensku:

Recent results of poplar testing and regionalization of poplar clone in Slovakia. *Lesnícky časopis*. roč. 57, č. 4, s. 261 – 268.

DEHAYES, D.H., WAITE, C.E. 1982. The influence of spring sowing on black walnut germination in Northern Vermont. *Tree Planter's Notes*. roč. 33, č. 4, s. 16 – 18.

DRVODELIĆ, D. 2018. Razmnožavanie paulovnie korijenskim reznicama. *Šumarski list*. roč.

5, č. 6, s. 297 – 307.

DUMROESE, R. K., LANDIS, T. D., PINTO, J. R., HAASE, D. L., WILKINSON, K.W., DAVIS A. S. 2016. "Meeting Forest Restoration Challenges: Using the Target Plant Concept". *Reforesta*. roč. 1, č. 1, s. 37 – 52.

FLORES, P., POGGI, D., GARCÍA, S.M., CATRARO, M., GARIGLIO, N. 2016. Effects of

pre-stratification storage conditions on black walnut seed post-stratification germination capacity. *International journal of Fruit Science*. roč. 17, č. 1, s. 29 – 40.

HAZARIKA, R., BOLTE, A., BEDNAROVA, D., CHAKRABORTY, D., GAVIRIA J., KOWALZYK, J., LACKNER, M., LSTIBUREK, M., LONGAUER, R. 2021. Multi-actor perspectives on afforestation and reforestation strategies in Central Europe under climate change. *Annals of Forest Science*. roč. 78, č. 3, art. no. 60.

JANKOVIČ, J., PÁSTOR, M. 2021. Agrolesnícké systémy a potenciál ich využívania na Slovensku. Zvolen: NLC-LVÚ Zvolen, 2011. 68 s.

JANKOVIČ, J., MAĽOVÁ, M., LONGAUEROVÁ, V., SUJOVÁ, K. 2016. Potenciál a riziká pestovania klonov Paulovnie na Slovensku. In: *Aktuálne problémy v ochrane lesa 2016: január 21-22, 2016, Nový Smokovec – Slovakia*. Zvolen : NLC-LVÚ Zvolen, 2016. ISBN 978 - 80 - 8093 - 214 - 5, s. 96-101.

KOHÁN, Š. 2012. Assessment of the research on growing poplars in row planting on non forest land in the Eastern Slovak Lowland. *Lesnícky Časopis - Forestry Journal*, roč. 58, č. 3, s. 159 – 165.

KONÔPKA, J., GREPPEL, E., LIPTÁK, J., 2012a. Natural or artificial regeneration of pine

stands in Záhorie. *Lesnícky Časopis – Forestry Journal*, roč. 58, č. 2, s. 100 – 110.

KONÔPKA, J., ŠEBEŇ, V., KONÔPKA, B. 2012b. Obnova lesa na Slovensku. Zvolen: NLC Zvolen, 2012. 107 s.

LOMMASSON, R. C. 1986. "Red Oak Germination and Seedling Survival in Prairie Habitats". *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences and Affiliated Societies*. roč. 14, s. 51– 54.

- MIKOVIČ, F. 2009. Lesy mesta Banská Bystrica: história a súčasnosť. Banská Bystrica: Mestské lesy Banská Bystrica, 2009. 218 s.
- NOLAND, T., MORNEAULT, A., DEY, D., DEUGO, D. 2013. The effect of storage temperature and duration on northern red oak acorn viability and vigour. *Forestry Chronicle*. roč. 89, č. 6, s. 769 – 776.
- PÁSTOR, M., JANKOVIČ, J., BELKO, M., MODRANSKÝ, J. 2022. Evaluation of selected growth parameters of *Paulownia cotevisea* plantation in Danubian Lowland. *Journal of Forest Science*, roč. 68, č. 4, s. 156 – 162.
- SARVAŠ, M., HOFFMANN, J., SUŠKOVÁ, M., CHVÁLOVÁ, K., LONGAUER, R., TAKÁČOVÁ, E., TUČEKOVÁ, A. 2007. Lesný reprodukčný materiál a pestovanie lesa I. Zvolen: NLC Zvolen, 2007. 197 s.
- STOCKMANN, V. 2016. Dejiny lesníctva na Slovensku: chronológia dejinných udalostí v oblasti ochrany lesa, vývoja štátnej správy lesného hospodárstva a vývoja štátnych organizácií lesného hospodárstva. Bratislava: Lesy Slovenskej republiky, 2016. 1022 s.
- STRINGER, J. W. 1986. A practical method for production of *Paulownia tomentosa*. *Tree Planters Notes*., roč. 37 s. 8-11.
- STRUVE, D. K. 1998. Seed conditioning of red oak: a recalcitrant North American seed. *Scientia Agricola*. roč. 55, s. 67 – 73.
- SUTTER, E. G. 1997. Seed storage of Juglans species. *Walnut research reports*. s. 75 – 77.
- ŠMELKOVÁ, Ľ. 2009. Zakladanie lesa. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 338s.
- WILSON E. R., VITOLS K. C., PARK. A. 2007. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada. *New Forests*. roč. 34, s. 163 – 176.
- ZACHAR, D. 1975. Zalesňovanie spustnutých pôd v Slovenskom krase. Zvolen: Výskumný ústav lesného hospodárstva, 1975. 34 s.

Summary

Theoretical assumptions of selected introduced tree species planting material production practices proposed for establishment of special cultivation systems

In Central Europe, current climate change scenarios suggest on the necessity of investigation of assisted migration of new, non-native as well as native tree species grown in the area of distribution with proposed climate. However, these tree species can be introduced into Slovakia only through artificial regeneration. While planting material production practices for native tree species are verified and commonly used in large extend, they cannot be directly applied without modifications also for cultivation of planting material of new tree species. The main objective of this contribution is to theoretically analyse key assumptions of selected introduced tree species planting material production practices proposed for establishment of special cultivation systems. For red oak, literature review revealed, that special attention should be paid to correct pre sowing treatment practices that consist of 4-month storage of seeds in moist and cold environment. Similarly, to red oak, seeds of black walnut should be also treated by cold stratification before sowing. For black walnut further important task in process of planting material cultivation is the removal of thick husks that have inhibitory effect on the germination of collected seeds. Contrary to previous tree species, special feature of further tree species paulownia is that planting material is predominantly propagated vegetatively by root cuttings or in vitro cultures (Table 1). Specific practices used for planting material

production of selected introduced tree species described in this contribution are not definite and their cultivation in larger extent may initiate further tasks requiring scientific investigation.

Kľúčové slová

dub červený, orech čierny, paulovnia

Kontaktná adresa

Ing. Martin Belko, PhD.
Odbor pestovania lesa
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
martin.belko@nlcsk.org

ANALÝZA TERMO-HYDRO-MECHANICKY PREDUPRAVENÉHO BUKOVÉHO DREVA POMOCOU SVETELNEJ MIKROSKOPIE A FTIR SPEKTROSKOPIE

Andrej Pažitný, Štefan Boháček, Michaela Handlovská

1 Úvod

Bukové drevo so svojou základnou hustotou v rozsahu $600-650 \text{ kg.m}^{-3}$ patrí k drevinám s najväčšou hustotou, pričom sa aj vzhľadom k tomu zaraďuje medzi tvrdé dreviny (POŽGAJ A KOL. 1997, PETRÁŠ A KOL. 2020) a čo sa týka základnej hustoty patrí medzi nadpriemerne husté listnáčové dreviny, keďže niektorí autori uvádzajú základnú hustotu listnáčových drevín v rozsahu $510-570 \text{ kg.m}^{-3}$ (ŠMELKO A KOL. 1992). Napriek svojej štruktúrnej nepoddajnosti a tvrdosti, tento typ dreviny, resp. zvyšky po jej spracovaní (napr. piliny z piliarskej výroby, dezintegrované zvyšky z výroby nábytku a drevených doplnkov a pod.), môžu byť použité pri výrobe tekutého biopaliva druhej generácie. Disponibilita bukovej dreviny ju tiež predurčuje na výrobný vstup pre drevospracujúci priemysel, nakoľko počas ostatných dvoch dekád patril buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) medzi dominantné dreviny v rámci SR (BUCHA A KOL. 2014), čo v ďalšom slede znamená aj súvisiaci veľký podiel odpadov z výroby, resp. zo spracovania guľatiny buka lesného. Po dezintegrácii dreviny a vyseparovaní malých častíc sú tieto vhodné na prípravu hydrolyzátov pomocou kyslej, a v ostatnom období najmä enzymatickej hydrolýzy (PAŽITNÝ 2022). Je tu však nutné zaradiť najdôležitejší medzistupeň, a tým je predúprava suroviny. V súčasnosti sa na pracoviskách Výskumného ústavu papiera a celulózy, a.s. venuje pozornosť najmä termo-hydro-mechanickému predspracovaniu, resp. príslušným predúpravám. Vhodnou metódou je tu napríklad parná explózia, prípadne jej kontinuálna modifikácia – parná extrúzia. Z dôvodu lepšej delignifikácie suroviny sa môže pridávať aj hydroxid sodný, ktorý danú zmes alkalizuje a spôsobí rozklad a odstránenie lignínu. Metódu parnej extrúzie možno zaradiť aj medzi fyzikálne metódy predúpravy, avšak bežne sa využíva s relatívne vyšším podielom vody v porovnaní s pôvodnou lignocelulózovou surovinou, prípadne so zanáškou alkálií (už spomenutý hydroxid sodný, prípadne hydroxid draselný), čo túto metódu zaraďuje ku kombinovaným metódam fyzikálno-chemickej predúpravy. Dôvodom využitia uvedených typov predúpravy je zlepšenie prístupnosti molekúl celulózy pre molekuly enzymatických činidiel, pričom podľa zisteného podielu monosacharidov je táto prístupnosť niekoľkonásobne vyššia po aplikácii uvedených typov predúpravy (PAŽITNÝ 2022). Viacero autorov sa zhoduje v tom, že najvýhodnejšie je používanie termochemických metód predúpravy, hoci nevýhodou sú tu procesy vyžadujúce vysoké teploty (GOMEZ A KOL. 2008, THIAN HONG 2013, PAŽITNÝ 2022). Predúprava dendromasy kontinuálnou parnou explóziou, ako sa zvyčajne parná extrúzia označuje, bola uvedená v demonštračných prevádzkach na výrobu bioetanolu v Taliansku a Dánsku (THIAN HONG 2013). V súčasnosti však nie je známe, či sa v daných prevádzkach využíva alkalická extrúzia, alebo iný typ extrúzie ako priemyselný postup predúpravy lignocelulózových materiálov (napríklad veľmi odolných drevín) pri výrobe 2G biopalív. Po predúprave ako aj po následnej enzymatickej hydrolýze sa obvykle skúma zloženie hydrolyzátov, ale tiež získané tuhé podiely pomocou mikroskopie či spektrálnych charakteristík. Najvhodnejšou metódou, ktorá je navyše nedeštruktívna, je tu metóda FTIR (Fourier-Transform InfraRed spectroscopy – infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou), ktorou sa na našom pracovisku v minulosti analyzovali napríklad chemicky modifikované výpalky z výroby bioetanolu prvej generácie (PAŽITNÝ A KOL. 2011).

2 Materiál a metódy

2.1 Materiál

Základným lignocelulózovým substrátom bol buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) od spoločnosti Ing. Jozef Fraňo Drevo výroba (Pezinok, SR). Po predúprave lignocelulózovej dendromasy sa získal tuhý zvyšok, resp. extrudát s určitým obsahom vody, ktorý bol ďalej upravovaný a analyzovaný metódou svetelnej mikroskopie a spektrálne charakterizovaný, analogicky ako v prípade pôvodného lignocelulózového substrátu, teda bez predspracovania. Ako pomocné činidlá boli pri extrúzii, resp. pri alkalizácii, použité buď čistá voda (parná extrúzia), prípadne roztok alkálií (alkalická extrúzia), kde sa použil hydroxid sodný (NaOH) v zanáške 6 hmot. % na absolútne suchý lignocelulózový materiál.

2.2 Metódy

2.2.1 Extrúzia bukových častíc

Bukové častice predimpregnované 24 hodín vodou, prípadne roztokom alkálií, určené na termo-hydro-mechanické predspracovanie boli podrobené parnej a alkalickej extrúzii pri teplotách 190 °C a 200 °C, na kontinuálnom zariadení reaktora na parnú, resp. alkalickú extrúziu (Hungaromix Agrárfejlesztő-Fővállalkozó Kft., Maďarsko, Obr. 1).



Obrázok 1. Kontinuálny laboratórny jednozávitovkový extrudér (PAŽITNÝ 2022).

Retenčný čas pred parnou extrúziou bol v uvedených sériách experimentov 10 minút. Rýchle stanovenie sušiny vzoriek bolo vykonané na sušinových laboratórnych váhach Denver IR35 s infračerveným ohrevom vzoriek. Vzorky boli navažované v množstve 300 g a.s., čo platí pre všetky experimenty so vzorkami bukových častíc. Prechod lignocelulózového materiálu nastal počas parnej extrúzie na závitovke extrudéra, následne cez ružicu a dýzu na konci reaktorovej komory. Vystrelený extrudát sa zachytával do vopred pripravenej nerezovej nádoby.

2.2.2 Svetelná mikroskopia bukových častíc

Vybrané vzorky lignocelulózových materiálov na báze bukovej dendromasy pripravené kontinuálnou metódou predspracovania a následne voľne sušené na vzduchu (vzduchosuché), prípadne dosušené v peci pri teplote 105 °C, boli skúmané svetelnou mikroskopiou na digitálnom mikroskope Keyence VHX-7000 od spoločnosti Keyence International (Belgium) NV/SA (Belgicko). Boli získané snímky vzoriek pôvodných a predspracovaných bukových častíc, a to pri priemerne 700-násobnom zväčšení. Všetky mikroskopické snímky uvedených vzoriek boli spracované softvérom VHX-H5M (Keyence International (Belgium) NV/SA (Belgicko)).

2.2.3 FTIR spektroskopia bukových častíc

Päť vybraných vzoriek lignocelulózových materiálov na báze bukovej dendromasy získanej alkalizáciou a termo-hydro-mechanickým predspracovaním bolo analyzovaných pomocou FTIR spektroskopie a výsledky spektrálnej analýzy boli porovnávané so spektrom pôvodnej vzorky bukovej dendromasy. Pre stanovenie spektrálnych vlastností relevantných pôvodných vzduchosuchých lignocelulózových materiálov a vzduchosuchých materiálov predspracovaných extrúziou bolo vybraných a študovaných šesť vzoriek, ktoré zahŕňali okrem predspracovaných vzoriek a pôvodnej vzorky aj alkalizovanú vzorku. Spektrálna metóda FTIR bola aplikovaná na vzduchosuché tuhé zvyšky bukových častíc po termo-hydro-mechanickom predspracovaní, keďže po tomto predspracovaní boli vzorky vlhké a vo výslednej spektrálnej charakteristike by sa mohli objaviť absorpčné pásy typické pre vodu naviazanú na lignocelulózový materiál, prípadne absorpčné pásy typické pre voľnú vodu, ktorá nie je viazaná na daný materiál. Spektrálne vlastnosti vzoriek boli stanovené pomocou infračerveného spektrometra Thermo Scientific iS5 (Nicolet, USA). Vzorky boli pred každým meraním homogenizované na práškovú konzistenciu a aplikované v tenkej vrstve na ATR (Attenuated Total Reflectance – zoslabená celková odrazivosť) nadstavec spektrometra s Ge/ZnSe kryštálom. Následne bol stlačením piesta na uvedenom ATR nadstavci dosiahnutý konštantný tlak po celej ploche nanesej vrstvy vzorky. Kryštál v kombinácii uvedených materiálov prepúšťa široký diapazón vlnočtov s relatívne vysokým indexom lomu n v porovnaní s inými materiálmi, preto bola zvolená práve táto kombinácia (Tab. 1).

Tabuľka 2. Vybrané parametre materiálov kryštálu použitých pre ATR nadstavec.

Materiál kryštálu	Vlnočet prepúšťaného žiarenia (cm ⁻¹)	Index lomu n pri 1000 cm ⁻¹
Ge	5500 – 600	4,0
ZnSe	20000 – 454	2,4

Každé meranie príslušnej vzorky dezintegrovanej dendromasy na báze častíc buka lesného pozostávalo z 32 skenov v rozsahu vlnočtov od 600 cm⁻¹ do 4000 cm⁻¹, s rozlíšením 4 cm⁻¹. Výsledné spektrálne údaje boli normalizované. Na každé meranie spektier, ich zber a vyhodnotenie, resp. analýzu údajov FTIR získaných zo spektrometra bol použitý softvér Omnic verzie 9.11.727 (Thermo Fisher Scientific Inc., USA). Nastavenie experimentu v rámci použitej FTIR metódy bolo nasledovné:

- Počet skenov vzorky: 32
- Rozlíšenie: 4
- Rozostup dátového záznamu: 0,482117 cm⁻¹
- Formát výstupnej premennej: Absorbancia (Log (1/R))

3 Výsledky a diskusia

3.1 Analýza bukových častíc svetelnou mikroskopiou

Vzorky bukových častíc pripravené kontinuálnou metódou pedspracovania boli podrobené svetelnej mikroskopii na digitálnom mikroskope Keyence VHX-7000 a získané snímky potvrdili naše predpoklady rozrušenia štruktúry predmetných lignocelulózových materiálov vplyvom pedspracovania parnou extrúziou a alkalickou extrúziou v porovnaní s pôvodnou vzorkou lignocelulózového materiálu na báze buka lesného (Obr. 2).



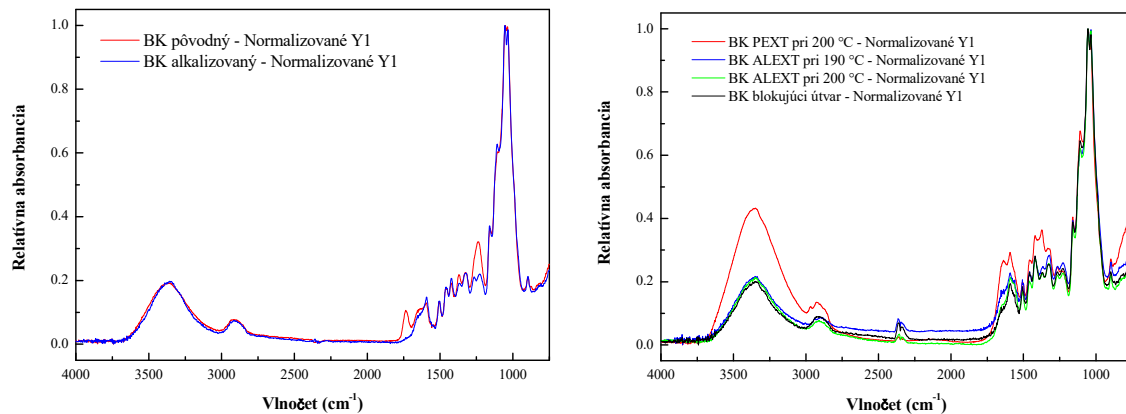
Obrázok 2. Výber mikroskopických snímok vytvorených pomocou digitálneho mikroskopu Keyence VHX-7000: pôvodná vzorka bukovej dendromasy (snímka vľavo), vzorka bukovej dendromasy pedspracovanej parnou extrúziou (snímka v strede) a alkalickou extrúziou (snímka vpravo).

Okrem zmeny farby pedspracovaných vzoriek bukových častíc v dôsledku prítomnosti rozkladných produktov sú dôležité poznatky z pohľadu zachovania lignocelulózových vlákien pri alkalicknej delignifikácii získané počas procesu pedspracovania alkalickou extrúziou. Naproti tomu, v súvislosti s predpokladaným miernym znížením obsahu celulózy počas parnej extrúzie, a vychádzajúc z nami publikovaných prác diskutujúcich o enzymatickej hydrolýze, nebolo zachovanie vlákien výrazné (PAŽITNÝ A KOL. 2022, PAŽITNÝ 2022). Podobné výsledky sa dosiahli v prípade pedspracovania topoľa (PAŽITNÝ 2022).

3.2 Analýza bukových častíc FTIR spektroskopiou

Päť vybraných vzoriek lignocelulózových materiálov na báze bukovej dendromasy získaných alkalizáciou a termo-hydro-mechanickým pedspracovaním metódou parnej extrúzie a alkalickej extrúzie bolo analyzovaných pomocou FTIR spektroskopie. Výsledky spektrálnej analýzy boli porovnávané so spektrom pôvodnej vzorky bukovej dendromasy. Obr. 3 ukazuje FTIR spektrá príslušných pedspracovaných vzoriek, resp. alkalizovanej vzorky a FTIR spektrum vzorky pôvodnej bukovej dendromasy, v ktorých sú zreteľne zaznamenané overtóny a kombinované pásy typické pre väzby v molekulách celulózy, hemicelulózy a lignínu. „Obalové“ krivky spektier teda tvoria tie pásy, ktoré sú charakteristické v prípade valenčných pásov C-H väzieb (Obr. 3, vľavo, pásy vlnočtov v rozsahu od 2960 cm^{-1} do 2840 cm^{-1}), valenčných pásov C=O väzieb (pásy vlnočtov okolo 1650 cm^{-1}) a valenčných C-C väzieb (pásy vlnočtov v rozsahu od 1600 cm^{-1} do 1425 cm^{-1}).

Uvedené valenčné pásy sú pritom typické najmä pre lignín. V súlade s nami predpokladanou delignifikáciou metódou alkalizácie (Obr. 3, vľavo), a tiež v súlade s výsledkami alkalickéj extrúzie (Obr. 3, vpravo) boli pásy typické pre lignín zredukované. Píky prislúchajúce celulóze s vlnočtami 3335 cm^{-1} a 3292 cm^{-1} sa pripisujú valenčným vibráciám O-H väzieb a rozsiahlej inter- a intramolekulárnej sieti vodíkových väzieb (ABIDI A KOL. 2014). Z Obr. 3 je tiež zrejmé zníženie tomu prislúchajúcim signálom v prípade predspracovania metódou alkalickéj extrúzie, v porovnaní s parnou extrúziou. Toto zníženie môže byť spôsobené predčasným rozkladom celulózy pri tvrdších podmienkach predspracovania.



Obrázok 3. FTIR spektrá vzoriek bukovej dendromasy – pôvodnej a alkalizovanej vzorky (FTIR spektrogram vľavo) a vzoriek predspracovaných parnou extrúziou (PEXT) a alkalickou extrúziou (ALEXT) pri teplote predspracovania $190\text{ }^{\circ}\text{C}$, resp. pri optimálnej teplote $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vzorky blokujúceho útvaru vytvoreného počas parnej extrúzie pri teplote $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ (FTIR spektrogram vpravo).

Pásy v rozsahu vlnočtov od 1165 cm^{-1} do 1158 cm^{-1} možno priradiť k asymetrickej valenčnej vibrácii cez mostík v rámci skupiny atómov C-O-C, ktorá je typická pre štruktúru celulózy a hemicelulóz (PANDEY 1999, HERGERT 1971, SCHWANNINGER A KOL. 2004). Spektrálne metódy v oblasti NIR (Near-InfraRed – blízka infračervená oblasť), resp. FTIR metódy sú veľmi selektívne a citlivé pri vysokých koncentráciách špecifických prírodných zlúčenín. Z tohto dôvodu môžu byť uvedené zlúčeniny a im prislúchajúce väzby detegované s vysokou presnosťou. Výsledná „obalová“ krivka však môže byť zmesou viacerých pásov, a preto niektoré pásy môžu byť skryté v oblasti s vyššou absorbanciou, napr. v prípade pásov charakteristických pre lignín. Napriek predpokladanému zníženiu obsahu celulózy v prípade parnej extrúzie bol zaznamenaný intenzívny signál typický práve pre molekulu celulózy (píky s vlnočtami 3335 cm^{-1} a 3292 cm^{-1}), čo však mohlo byť spôsobené jej silnejším naviazaním na lignín v porovnaní s procesom alkalickéj extrúzie, v ktorom sa lignín z veľkej časti odstránil pôsobením príslušných alkalických činidiel (NaOH). Získaný extrudát možno teda použiť v procese enzymatickej hydrolýzy, pričom proces následnej enzymatickej hydrolýzy s ohľadom na finálne hydrolyzáty bude spojený s vyššími koncentraciami monosacharidov na báze celulózy v prípade hydrolýzy vzoriek predspracovaných metódou alkalickéj extrúzie v porovnaní s hydrolyzovanými vzorkami z predspracovania parnou extrúziou, teda bez prídavku hydroxidu sodného (PAŽITNÝ 2022). V súlade s výsledkami enzymatickej hydrolýzy uvedenými v našich predchádzajúcich prácach (PAŽITNÝ A KOL. 2022, PAŽITNÝ 2022) sú aj mikroskopické snímky extrudátu získaného predspracovaním metódou alkalickéj extrúzie, ktoré dokazujú väčšiu mikromechanickú retenciu vlákien so zmenami sfarbenia typickými pre delignifikované lignocelulózové materiály v porovnaní s extrudátom z parnej extrúzie (Obr. 2). Na základe uvedených spektrálnych analýz a za

súčasného predpokladu silnejšieho naviazania celulózy na lignín v prípade parnej extrúzie bukových častíc v porovnaní s procesom alkalického extrúzie možno tvrdiť, že akcesibilita celulózy sa výrazne zvyšuje vplyvom zanášky alkalických činidiel v rámci impregnácie vodou s alkáliami a následného extrúzneho procesu. Vzhľadom na dosiahnuté výsledky enzymatickej hydrolýzy uvádzané v našich predchádzajúcich prácach o predspracovaní buka možno tiež predpokladať podobné spektrálne charakteristiky tuhých zvyškov aj v prípade diskontinuálneho procesu – parnej explózie (PAŽITNÝ A KOL. 2020, PAŽITNÝ 2022). Dokazovanie a analýzu zložiek v tuhom (polotuhom) zvyšku pomocou FTIR spektroskopie možno aplikovať aj v iných oblastiach než je výroba 2G biopalív. Využitie je tiež v celulózo-papierenskom, prípadne drevospracujúcom priemysle, kde sa často využívajú dynamické merania a dôkazy prítomnosti určitých funkčných skupín typických pre celulózu, hemicelulózu a lignín.

4 Záver

Analýza pôvodných a predspracovaných lignocelulóзовých materiálov na báze buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) ukázala výrazné zmeny v mikroskopickú štruktúru a spektrálnu charakteristiku vybraných substrátov. Snímky získané svetelným mikroskopom potvrdili naše predpoklady rozrušenia štruktúry predmetných lignocelulóзовých materiálov na báze buka lesného vplyvom predspracovania parnou extrúziou a alkalickou extrúziou v porovnaní s pôvodnou vzorkou lignocelulóзовého materiálu. Okrem zmeny sfarbenia predspracovaných vzoriek bukových častíc v dôsledku prítomnosti rozkladných produktov sa získali poznatky z pohľadu zachovania lignocelulóзовých vlákien najmä pri alkalickú delignifikácii v rámci procesu predspracovania alkalickou extrúziou.

Predpoklad silnejšieho naviazania celulózy na lignín v prípade parnej extrúzie bukových častíc v porovnaní s procesom alkalického extrúzie a príslušné spektrálne charakteristiky získané metódou FTIR ukazujú, že akcesibilita celulózy sa výrazne zvyšuje vplyvom zanášky alkalických činidiel v rámci impregnácie vodou s rozpustenými alkáliami a následného extrúzneho procesu.

Podľa našich zistení je kombinácia mikroskopickú a spektrálnu analýzy zameranej na FTIR metódy využiteľná v oblasti výroby 2G biopalív, v celulózo-papierenskom a drevospracujúcom priemysle, a to v rámci dynamických meraní a analýz na prítomnosť funkčných skupín typických pre celulózu, hemicelulózu a lignín, najmä v prípade tuhých alebo polotuhých zvyškov z predmetnej priemyselnej výroby.

Pod'akovanie

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

Literatúra

- ABIDI, N., CABRALES, L., HAIGLER, C.H., 2014: Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated by FTIR spectroscopy. In *Carbohydrate Polymers*. ISSN 0144-8617, 2014, roč. 100, s. 9-16.
- BUCHA, T., BARKA, I., HLÁSNY, T., KONÓPKA, M., KOREŇ, M., LUKASOVÁ, V., LUKÁČ, M., OLŠAVSKÁ, M., PAJTÍK, J., PAVLEDOVÁ, H., SITKOVÁ, Z., SNOPOKOVÁ, Z., VLADOVIČ, J., 2014: Satelity v službách lesa. ISBN 978-80-89607-25-9, 2014, SAP, Bratislava, 202 strán. Dostupné na internete: <<http://www.nlcsk.sk/satlesys/publikacie/satelity.pdf>>

GOMEZ, L.D., STEELE-KING, C.G., MCQUEEN-MASON, S.J., 2008: Sustainable liquid biofuels from biomass: the writing's on the walls. In *New Phytologist*. ISSN 1469-8137, 2008, roč. 178, č. 3, s. 473-485.

HERGERT, H.L., 1971: Infrared spectra. In *Lignins: occurrence, formation, structure and reactions* (ed. Sarkanen, K.W., Ludwig, C.H.). ISBN-13 978-0471754220, 1971, Wiley-Interscience, New York, s. 267-297, 916 strán.

PANDEY, K.K., 1999: A study of chemical structure of soft and hardwood and wood polymers by FTIR spectroscopy. In *Journal of Applied Polymer Science*. ISSN 0021-8995, 1999, roč. 71, č. 12, s. 1969-1975.

PAŽITNÝ, A., 2022: Predúprava lignocelulóзовých materiálov parnou explóziou a extrúziou na ich ďalšie spracovanie na biopalivá. Dizertačná práca, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Bratislava, 203 strán.

PAŽITNÝ, A., BOHÁČEK, Š., RUSS, A., 2011: Application of distillery refuse in papermaking: novel methods of treated distillery refuse spectral analysis. In *Wood Research*. ISSN 1336-4561, 2011, roč. 56, č. 4, s. 533-544.

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. In *Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly*. ISSN 0026-9247, 2022, roč. 153, č. 11, s. 1077-1085.

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. In *Nova Biotechnologica et Chimica*. ISSN 1338-6905, roč. 19, č. 1, s. 89-97.

PETRÁŠ, R., MECKO, J., KRUPOVÁ, D., PAŽITNÝ, A., 2020: Aboveground biomass basic density of hardwoods tree species. In *Wood Research*. ISSN 1336-4561, 2020, roč. 65, č. 6, s. 1001-1012.

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M., 1997: Štruktúra a vlastnosti dreva. (Structure and properties of wood). ISBN 80-07-00960-4, 1997, Príroda, Bratislava, 485 strán.

SCHWANNINGER, M., RODRIGUES, J.C., PEREIRA, H., HINTERSTOISSER, B., 2004: Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. In *Vibrational Spectroscopy*. ISSN 0924-2031, 2004, roč. 36, č. 1, s. 23-40.

ŠMELKO, Š., WENK, G., ANTANAITIS, V., 1992: Rast, štruktúra a produkcia lesa. (Forest growth, structure and production). Príroda, Bratislava, 342 strán.

THIAN HONG, N., 2013: Twin screw extrusion pre-treatment of wheat straw for biofuel and lignin biorefinery applications. Dizertačná práca, Brunel University London, Wolfson Centre for Material Processing, Londýn, 264 strán.

Summary

Analysis of thermo-hydro-mechanically pre-treated beech wood using light microscopy and FTIR spectroscopy. This article deals with thermo-hydro-mechanical pre-treatment of beech particles soaked in pure water and alkaline solution. The thermo-hydro-mechanical pre-treatment such as presented steam extrusion or alkaline extrusion is promising method for disintegration of lignocellulosic materials including dendromass. The mentioned methods allow an increase the accessibility of cellulose to reagents such as enzymes. Air-dried solids – original sample and pre-treated samples (extrudates) – were analyzed by light microscopy and FTIR method. The steam extrusion process was shown to be associated with a stronger binding of cellulose to lignin compared to the alkaline

extrusion process, where lignin was largely removed by the action of respective alkaline reagent – water solution of NaOH. Due to this delignification process, partially confirmed by the FTIR method, the assumption of better cellulose accessibility was confirmed in alkaline extrusion compared to steam extrusion. It has also been revealed that the combination of microscopic and spectral analysis focused on FTIR methods can be used in the 2G biofuel production, in pulp and paper and wood processing industry, within the framework of dynamic measurements and analyzes for the presence of functional groups they are typical for cellulose, hemicelluloses and lignin, especially in case of solid or semi-solid processing residues from the industrial production.

Kľúčové slová

alkalická extrúzia; bukové drevo; FTIR spektrá; parná extrúzia; svetelná mikroskopia; termo-hydro-mechanická predúprava

Kontaktné adresy

Andrej Pažitný, Štefan Boháček, Michaela Handlovská
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava, Slovenská republika
pazitny@vupc.sk

KONCEPT A ZÁKLADNÁ ARCHITEKTÚRA LESNÍCKEJ INFORMAČNEJ A MODELOVACEJ BÁZY NA PODPORU ROZHODOVANIA

Ladislav Kulla, Maroš Sedliak

1 Úvod

Adaptívny manažment lesov sa aktuálne orientuje najmä na riešenie problémov súvisiacich so zmenou klímy, a so zabezpečením rôznorodých ekosystémových služieb lesov popri ich tradičnej drevoprodukčnej funkcii (NOBRE et al., 2016). Lesnícke systémy na podporu rozhodovania (*decision support systems – DSS*) majú obvykle povahu počítačových aplikácií, ktorých cieľom je napomáhať subjektu rozhodovania pri riešení problémov manažmentu lesov. DSS môžu slúžiť pre rôzne potreby a úrovne rozhodovania. Od globálnej až po lokálnu úroveň, a od komplexných problémov po úzko špecifické lokálne otázky, a od strategickej úrovne rozhodovania na úrovni tvorby politík a rozhodnutí decíznej sféry, až po operatívne rozhodovanie vlastníka lesa. Príklady rôznych typov lesníckych DSS vyvinutých resp. využitelných v širšom regióne strednej Európy sumarizuje SEDLIAK (2021).

Základ systémov na podporu rozhodovania tvoria priestorové a atribútové údaje o lese, a poznatkové bázy a modely, umožňujúce z týchto údajov generovať ďalšie informácie a podklady užitočné pre kvalifikované rozhodovanie. Poznatkové bázy môžu mať rôzny charakter, od jednoduchých linkovacích funkcií, až po sofistikované simulačné modely schopné generovať viacero scenárov vývoja a možných dopadov na ciele, sledované rozhodovateľom. Najpokročilejšie simulačné modely obsahujú aj optimalizátor, ponúkajúci rozhodovateľovi ideálne riešenie problému, zodpovedajúce jeho preferenciám.

Slovensko disponuje veľmi solídnu údajovou bazou o lesoch, a takisto zaujímavými poznatkovými bazami a simulačnými modelmi využitelnými v oblasti manažmentu lesov. Doposiaľ však neboli tieto zdroje integrované do ucelených systémov, využitelných pre podporu rozhodovania s užívateľsky prívetivé rozhranie externými subjektami mimo výskumnej alebo akademickej sféry. Cieľom príspevku je predstaviť koncept a základnú architektúru takéhoto systému, pracovne nazvaného lesnícka informačná a modelovacia база (LIMBA).

2 Predstavenie koncepčného zámeru LIMBA

Systém LIMBA bude pracovať nad Informačným systémom lesného hospodárstva (ISLH) v správe NLC, čomu sa prispôsobí aj jeho hardvérová a softvérová platforma. Primárne (pre východiskovú verziu) bude využívať vlastné, perspektívne aj iné informačné a poznatkové bázy a simulačné modely využiteľné na národnej úrovni. Systém bude budovaný ako otvorený, schopný priebežne integrovať nové informačné zdroje, poznatkové bázy a modely. Užívateľské rozhranie bude mať charakter webovej aplikácie s rôznymi úrovňami užívateľského prístupu pre jednotlivé funkcionality.

2.1 Hardvérová a softvérová platforma

Systém bude využívať hardvérovú platformu NLC, vďaka ktorej sú prevádzkované aj iné informačné systémy (napr. ISLH). Systém bude využívať serverovú infraštruktúru NLC vo Vládnom cloude (MV SR 2022). Infraštruktúra bude založená na x86 serverovej architektúre s dostupnosťou služieb 24/7. Z hľadiska softvéru bude založená na Windows Server platforme, s využitím Internet Information Services (IIS) servera pre publikovanie samotnej webovej aplikácie. Publikovanie a spravovanie priestorových údajov bude zabezpečovať platforma ArcGIS Enterprise (ESRI 2022) vrátane softvéru ArcGIS Server

10 s využitím ArcGIS API. Viaceré zdrojové údaje aplikácie (napr. údaje ISLH) budú publikované pomocou služby SQL Server 2019. Samotná webová aplikácia bude využívať programovací jazyk JavaScript. Aplikácia bude dostupná cez moderný internetový prehliadač.

2.2 Základné funkcionality a hierarchia užívateľského prístupu

Systém bude mať dve bázy: informačnú, a modelovaciú (výpočtovú). Informačná база sprostredkuje vybrané informácie ISLH užitočné pre manažment lesa, predovšetkým z databázy PSL a LHE. Tieto budú doplnené o poznatkové bázy výskumu využiteľné pre manažment lesa, formalizované do podoby umožňujúcej prepojenie s priestorovými údajmi lesov Slovenska s využitím ISLH. Modelovacia vetva bude obsahovať tri vzorové výpočtové moduly na rôznej úrovni náročnosti. Informačné bázy, poznatkové bázy a výpočtové modely východiskovej verzie systému sú stručne opísané nižšie.

Systém bude mať tri úrovne užívateľského prístupu: voľný portál, registrovaný portál a komerčný portál. Voľný portál bude prístupný pre všetkých užívateľov, a bude obsahovať informácie a poznatkové bázy získané z verejných zdrojov, ako aj niektoré jednoduchšie funkcionality výpočtových modulov. Registrovaný portál bude obsahovať niektoré údaje a výpočtové moduly, ktoré z hľadiska odborného alebo obchodného nie je účelné, resp. možné uvoľniť bez vedomia oprávnených osôb. Komerčný portál bude zabezpečovať v plne alebo čiastočne automatizovanej podobe vybrané služby za poplatok.

2.3 Zdrojové informácie, poznatkové bázy a výpočtové moduly

2.3.1 Informačný systém lesného hospodárstva (ISLH)

ISLH poskytne najmä nasledujúce informácie využiteľné pri manažmente lesov:

- Údaje hospodárskej úpravy lesov (HÚL)
 - komplexné zisťovanie stavu lesov
 - podrobné zisťovanie stavu lesov
 - špeciálne prieskumy, monitoringy a inventarizácie lesov
 - hospodársko-úpravnícke plánovanie
 - lesnícke mapovanie
 - diaľkový prieskum zeme (DPZ)
 - geografický informačný systém (GIS)
- Údaje štátnej správy LH (ŠS LH)
 - registre obhospodarovateľov lesa a odborných lesných hospodárov
- Údaje štátnych a neštátnych subjektov obhospodarujúcich lesné pozemky
 - lesná hospodárska evidencia
 - evidencia zdrojov reprodukčného materiálu
 - obchod s drevom a ostatnými sledovanými komoditami
- Údaje iných rezortov a inštitúcií
 - evidencia lesných pozemkov
 - evidencia chránených území
 - štátne a tematické mapovanie

2.3.2 Poznatkové bázy východiskovej verzie

Vlastný výskum NLC poskytne pre východiskovú verziu nasledujúce poznatkové bázy:

- Modely bežného hospodárenia

Poznatkové bázy o cieľovom drevinovom zložení a poznatkové bázy o rubnej zrelosti drevín podľa rôznych autorov (napr. Vladovič 2003, Rizman a kol. 2007, Kulla a kol. 2014, Halaj a kol. 1990, a ďalšie).

- Modely adaptácie lesa na zmenu klímy

Model úpravy drevinového zloženia lesov, model rekonštrukcie najzraniteľnejších lesov, a model prebudovy na PBHL (Kulla a kol. 2019).

- Modely cieľového stavu PBHL

Modely ekonomicky optimalizovaného cieľového stavu rôznovekých lesov pre základné typy lesa Slovenska a rôznu úrokovú mieru, odvodené pomocou maticového modelu (Roessiger et al. 2023).

2.3.3 Výpočtové moduly východiskovej verzie

- **Disponibilná ťažba**

Jednoduchý výpočtový modul na výpočet bilancovaného etátu odčítaním vykonanej ťažby podľa LHE od plánovanej ťažby podľa PSL na úrovni porastov, s výsledkami podľa miery detailu a rozsahu agregácie prístupnými na voľnom alebo komerčnom portáli.

- **Výnosová hodnota lesa**

Zložitejší výpočtový algoritmus založený na simulovaných jednotkových výnosoch z lesa pri bežnom hospodárení (Kulla a kol. 2017), s možnosťou interaktívneho výpočtu pomocou kalkulačky na voľnom portáli, a automatizovaného agregovaného výpočtu za lesný celok na komerčnom portáli.

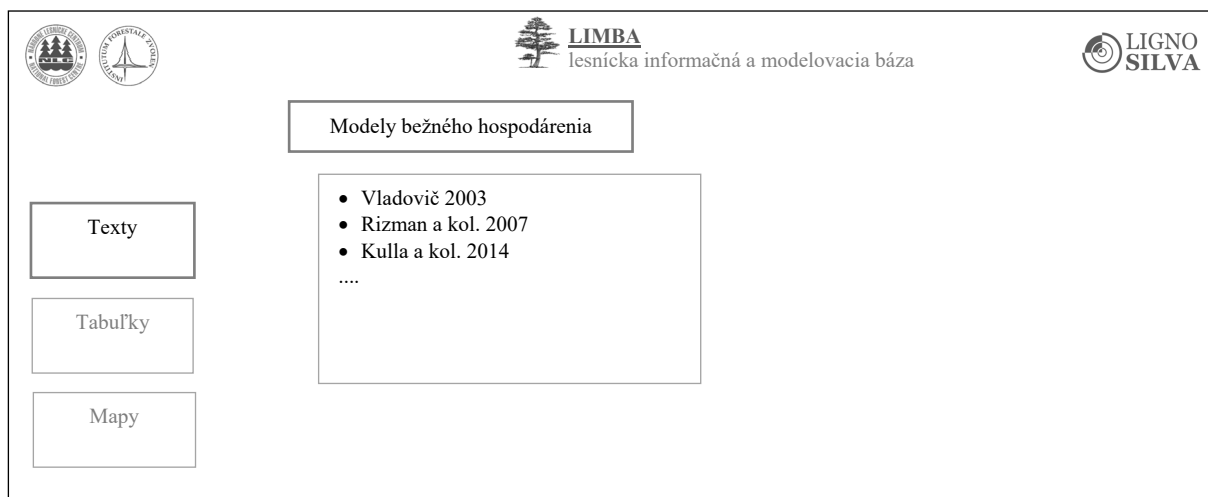
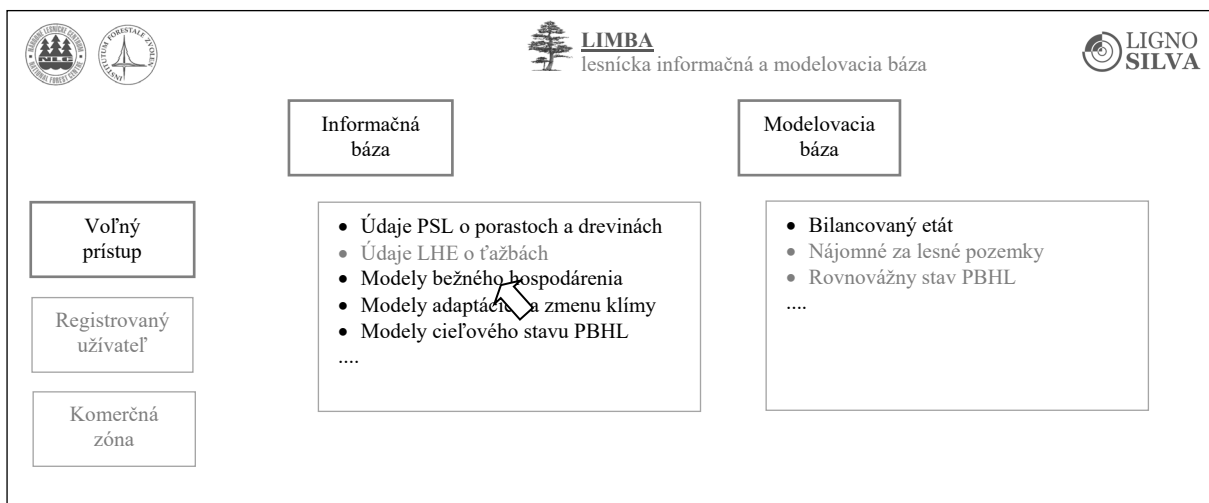
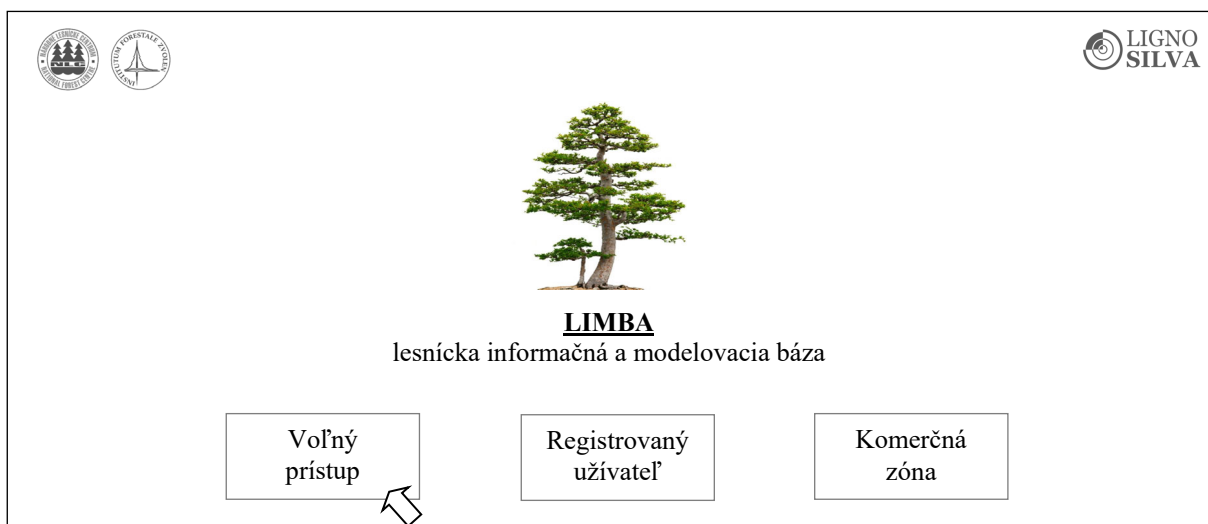
- **Optimálny cieľový stav PBHL**

Sofistikovaný maticový model s optimalizátorom ťažby (Roessiger et al. 2023) pre adaptívnu aktualizáciu modelov cieľového stavu PBHL po každom cykle NIML SR (prístup len pre správcu systému HÚL), perspektívne aj pre lokálnu optimalizáciu PBHL na báze prevádzkových inventarizácií lesov na komerčnom portáli.

3 Základná architektúra systému LIMBA

Tabuľka 1. Návrh obsahu a úrovni prístupu východiskovej verzie

Báza	Obsah/ funkcionálnosť	Prístup		
		voľný	registrovaný	komerčný
Informačná	Údaje PSL	x		
	Údaje LHE		x	
	Modely bežného hospodárenia	x		
	Modely adaptácie na zmenu klímy	x		
	Modely cieľového stavu PBHL	x		
	...			
Modelovacia	Disponibilná ťažba	x		x
	Výnosová hodnota lesa	x		x
	Optimálny cieľový stav PBHL		x	x
	...			



Obrázok 1. Návrh základného dizajnu vstupných obrazoviek užívateľského rozhrania

4 Závery a perspektíva

Predstavený koncept novej platformy na podporu rozhodovania v lesníctve, nazvanej pracovne LIMBA (lesnícka informačná a modelovacia база), vyvíjanej v rámci riešenia projektu CE LignoSilva, aktivity 1.6, podáva základné informácie o obsahu, architektúre a funkcionalitách nového systému. Vo východiskovej verzii 1.0 bude systém obsahovať vybrané informačné zdroje, poznatkové bázy, a výpočtové modely vo vlastníctve NLC. Platforma bude založená ako otvorená, a bude postupne dopĺňaná o ďalší obsah, využiteľný pri manažmente lesov a využívaní ich funkcií na národnej úrovni.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla s podporou Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- ESRI, 2022: What is ArcGIS Enterprise? Citované: 22.12.2022. Dostupné na internete: <https://enterprise.arcgis.com/en/get-started/latest/windows/what-is-arcgis-enterprise-.htm>
- HALAJ J., BORTEL J., GRÉK J., MECKO J., MIDRIAK R., PETRÁŠ R., SOBOCKÝ E., TUTKA J., VALTÝNI J., 1990.: Rubná zrelosť drevín. Lesnícke štúdie, 48, 117 s.
- KULLA, L., MURGAŠ, V., ROESSIGER, J., SEDLIAK, M., KOVALČÍK, M., 2017: Metodika na stanovenie nájomného z lesných pozemkov na báze simulovaných výnosov z lesa. Aktuálne otázky ekonomiky a politiky LH SR. NLC Zvolen, s. 59-69.
- KULLA, L., MURGAŠ, V., ŠTĚRBOVÁ, M., BOŠELA, M., BARKA, I., SCHWARZ, M., 2019: Modely adaptácie lesov Slovenska na zmenu klímy. MPRV SR, NLC; 59 s.
- MV SR, 2022: Čo je privátny Vládny cloud? Citované: 22.12.2022. Dostupné na internete: <https://www.sk.cloud>
- NOBRE, S., ERIKSSON, L.O., TRUBINS, R., 2016: The Use of Decision Support Systems in Forest Management: Analysis of FORSYS Country Reports. Forests 2016, 7, 72. <https://doi.org/10.3390/f7030072>
- RIZMAN, I., A KOL., 2007: Poznatková база o zastúpení drevín v lesných typoch Slovenska, základný podklad pre tvorbu modelov TUOL. NLC Zvolen, ISBN: 978-80-8093-033-2 (CD).
- ROESSIGER, J., KULLA, L., MURGAŠ, V., SEDLIAK, M., KOVALČÍK, M., ŠEBEŇ, V., 2023: Economically optimized target state of uneven-aged forest management for main forest types in Slovakia. Central European Forestry Journal (submitted).
- SEDLIAK, M., 2012: Použitie vybraných systémov na podporu rozhodovania v manažmente lesov, In: LignoSilva 2021: Zborník odborných prác z konferencie, Zvolen 28. september 2021, ISBN 978-80-8093-327-2. - s. 140-143.
- VLADOVIČ, J., 2003: Oblastné východiská a princípy hodnotenia drevinového zloženia a ekologickej stability lesov Slovenska. Bratislava, Príroda, Lesnícke štúdie; 57/2003, 160 s.

Summary

Concept and basic architecture of forestry informative and modeling base for decision support. The presented concept of a new platform to support decision-making in forestry, called LIMBA (Forestry Information and Modeling Base), developed as part of the CE LignoSilva project solution, activity 1.6, provides basic information about the content, architecture and functionalities of the new system. In the initial version 1.0, the system will contain selected information sources, knowledge bases, and calculation models

owned by NFC. The platform will be established as open, and will gradually be supplemented with additional content, usable in forest management and utilization of forest ecosystem services at the national level.

Kľúčové slová

Systémy na podporu rozhodovania; manažment lesov; informačné bázy; poznatkové bázy; výpočtové moduly

Kontaktná adresa autorov

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
ladislav.kulla@nlcsk.org, maros.sedliak@nlcsk.org

VÝSKYT NAJVÝZNAMNEJŠÍCH HUBOVÝCH PATOGÉNOV A HMYZÍCH ŠKODCOV V OBLASTI NÍŽINNÝCH LESOV

Roman Leontovyč, Milan Zúbrik, Andrej Kunca, Christo Nikolov

1 Úvod

Pestovanie rýchlorastúcich drevín má na Slovensku dlhoročnú tradíciu, aj keď v poslednom období dochádza v niektorých kruhoch k určitej averzii voči ich pestovaniu. Počas tohto obdobia sa pozornosť venovala šľachteniu najmä euroamerických topoľov, neskôr aj pôvodným domácim druhom topoľov. Neoddeliteľnou súčasťou šľachtiteľských prác sa stáva aj otázka zdravotného stavu jednotlivých klonov topoľov, najmä odolnosť voči hubovým ochoreniam. Napriek tomu, že v priebehu dlhodobého šľachtenia sa podarilo takmer úplne eliminovať vplyv hubových patogénov na produkciu jednotlivých klonov, dochádza od roku 2004 k nárastu výskytu pôvodcov ochorení spôsobujúcich chradnutie a odumieranie topoľových výsadiieb.

V príspevku chceme poukázať na najvýznamnejšie biotické činitele, najmä hubové patogény a hmyz, ktoré ovplyvňujú zdravotný stav drevín rastúcich v nížinných oblastiach. V poslednom decéniu každoročne zaznamenávame v oblasti Podunajskej nížiny zvyšovanie strát pri zalesňovaní, nielen vplyvom zdravotného stavu sadeníc, ale aj následkom nedostatku prístupnej vody, súvisiacimi zmenami sa klimatickými podmienkami. Vzhľadom na zmenené klimatické podmienky očakávame, že najviac postihnutými oblasťami v rámci Slovenska budú práve lesy v nížinných oblastiach.

1.1 Hubové patogény

Odolnosť topoľov voči pôsobeniu hubových patogénov podmieňuje najmä genetický pôvod jednotlivých klonov, stanovištné podmienky ako aj spôsob obhospodarovania výsadiieb. V našich podmienkach pestované klony topoľov sú najmä v počiatočných rastových fázach citlivé na pôsobenie hubových patogénov, baktérií, vírusov, listožravého a drevokazného hmyzu, ako aj poškodzovanie zverou (odhryzom, lámaním kmienkov, lúpaním a pod). Strednoveké a rubné porasty poškodzujú drevokazné huby a hmyzí škodcavia.

Napadnutie porastov so zastúpením vrby hubovými patogénmi je v porovnaní s topoľmi nižšie. Z hmyzích škodcov sa na vrbach vyskytujú najmä polyfágne druhy, ktoré poškodzujú vrby najmä počas ich gradácií.

Medzi najvýznamnejšie hubové ochorenia, ktoré napádajú topole všetkých vekových tried patrí dotichíza topoľová *Cryptodiaporthe populea* (SACC.) BUTIN, syn. *Chondroplea populea* (Sacc. et Briard.) Kleb., anamorfné štádium *Dothichiza populea* SACC. et BRIARD. Uvedená huba spôsobuje tzv. spálu kôry topoľov. V lesníckej praxi je taktiež zaužívaný termín dotichíza. Z hospodárskeho hľadiska najvýznamnejšie škody spôsobuje v lesných škôlkach a nových výsadbách.

Okrem dotichízy sa v našich podmienkach na odumieraní kôry podieľajú zástupcovia rodov *Valsa*, *Myxosporium*, *Venturia*.

Dotichíza topoľová *Cryptodiaporthe populea* (SACC.) BUTIN spôsobuje lokálne odumieranie kôry, ktoré sa prejavuje postupnou nekrotizáciou. Prejavy ochorenia sú rozdielne a závisia najmä od obdobia vzniku nákazy, veku a miesta vzniku nákazy. Vo všeobecnosti sa ochorenie prejavuje ako vodnaté stmavnutie kôry, pri ktorom dochádza k postupnému zhnednutiu až sčerneniu kôry v oblasti miesta infekcie (Obrázok 1). Z miesta infekcie dochádza k postupnému - sústredenému rozširovaniu kruhových útvarov. Po čase

sa pod kôrou tvoria 1-2 mm veľké plodnice, ktoré spôsobujú charakteristické pretrhávajúce kôry. Kontrolu výskytu dotichízy topoľovej je v lesných škôlkach a kultúrach potrebné robiť pravidelne v priebehu celého roka. Počas kontroly sledujeme najmä charakteristické príznaky ochorenia ako sú: vodnaté tmavé sfarbenie kôry, nekrotizácia kôry, vädnutie výhonov v miestach nekróz a nad nekrotizáciami, sčernenie vodivých pletív, prítomnosť pykníd.



Obrázok 1. Nekrotická rana na kmienku topoľa po napadnutí dotichízou topoľovou.

Poškodzovanie asimilačných orgánov, tak topoľov ako ja vrb spôsobujú hrdze rodu *Melampsora*. Hrdze bezprostredne nespôsobujú priame hospodárske škody. V dôsledku intenzívneho napadnutia listov hrdzami dochádza ku skracovaniu vegetačného obdobia, následkom čoho sú výhony nedostatočne nevyzreté a stávajú sa náchylnejšie na poškodzovanie mrazmi. V konečnom dôsledku vedie takéto poškodzovanie k strate prírastku, poškodené letorasty sú následne intenzívnejšie napádané hubovými ochoreniami, najmä rakovinovými a nekrotickými ochoreniami.

Škvritosť listov vrb spôsobuje čerň vrbová - *Rhytisma salicinum* (Pers.) Fr. Pri napadnutí uvedenou hubou dochádza na vrchnej strane listov k vytváraniu nepravidelne vystupujúcich čiernych škvŕn. Tieto škvŕny sú lesklé. Na takto napadnutých listoch sa koncom leta vytvárajú pyknidy. Najmä v jarných mesiacoch spôsobujú škvritosť listia huby z rodu *Venturia* (*V. chlorospora*). V dôsledku napadnutia dochádza k vytváraniu škvŕn tmavej farby, neskôr lístie vädne a krúti sa.

Drevokazné huby infikujú kmene topoľov a stromových vrb najmä v miestach po predchádzajúcom poranení, prípadne cez pahýle odumretých vetiev, najmä v spodných častiach korún. Hniloby spôsobuje množstvo drevokazných húb, na topoľoch najčastejšie zaznamenávame ohňovec Pilátov *Phellinus pilatii* Černý, podpňovka obyčajná *Armillaria mellea* (Vahl.) P. Kumm, šupinovka zhubná *Pholiota populnea* (Pers.) Kuyper et Tjall - Beuk, sírovec obyčajný *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, ohňovec osikový *Phellinus tremulae* (Bondartsev) Bondartsev et Borisov, zástupcovia rodu *Trametes* – trúdnikovec ako aj ďalšie druhy.

1.2 Hmyzí škodcovia

Ekosystémy lužných lesov sú prirodzene bohaté na entomofaunu. Medzi bohatým spektrom druhov sa vyskytujú aj také, ktoré sa za určitých okolností môžu správať ako škodlivé – môžu spôsobovať chradnutie alebo dokonca úhyn stromov.

Výskyt podkôrných a drevokazných druhov hmyzu v lužných lesoch je bežný. Pomerne často sa tu stretávame napríklad s druhmi, ktorých larvy žijú hlboko v dreve. Drevotoč obyčajný *Cossus cossus* žije v štádiu imága pomerne skryto a preto sa môže zdať, že je to relatívne nehojný druh. V skutočnosti sa s ním ale stretávame v lužných lesoch veľmi často. Napáda topol, vrbu, ale aj iné listnáče. Jeho larvy žijú v dreve a môže spôsobiť úhyn stromov. Samička kladie vajíčka v skupinách po 15 – 70 kusov do prasklín kôry, obvyčajne v spodnej časti kmeňa starších a hrubších stromov. Húseničky sa liahnu cca za 14 dní, do zimy žerú v lyku pod kôrou, kde prezimujú. Na jar začínajú vyžierať veľké, dlhé chodby (Obrázok 2). Ich dĺžka môže byť až 100 cm. Triesky zmiešané s trusom húsenice vytláčajú spodným otvorom. Húsenica je sfarbená ružovo až ružovo hnedo, na hlave má mohutné hryzadlá. Na jeseň druhého roku dosiahne veľkosť 7 – 10 cm. Napadnuté stromy je možné ľahko spoznať podľa kvasiacej šľavy pri päte kmeňa. Kuklí sa v dreve. Napadnuté drevo má silnú octovú vôňu.



Obrázok 2. Priečny rez kmeňa poškodeného žerom drevotoča obyčajného *Cossus cossus*.

Menej hojný druh je vrzúnik topoľový *Saperda carcharias*. Je výrazne lokálnejší, ale na lokalitách nemusí byť vzácný. Spôsobuje veľmi podobné poškodenie ako drevotoč obyčajný. Môže spôsobovať väčšie škody na mladších stromoch, ale napáda aj staršie. Zväčša nespôsobuje úhyn stromov, ale drevo môže výrazne technicky znehodnotiť. Požerky sú menšie, ako v prípade predchádzajúceho druhu. Najmenšie škody z tejto trojice druhov spôsobuje fuzáč drsnotykadlový *Aegosoma scabricorne*. Ten totiž napáda už veľmi oslabené a chradnúce, prípadne prestarnuté stromy. Podobník sršňovitý *Sesia apiformis* je ďalší drevokazný druh, ktorý sa hojne vyskytuje v lužných lesoch. Jeho pravidelné, okrúhle výletové otvory sú odlišné od oválnych výletových otvorov predchádzajúcich troch druhov.

Na sadeniciach topoľov a v mladých výsadbách môže škodiť podobník ovadovitý *Paranthrene tabaniformis*, vrzúnik osikový *Saperda populnea* alebo krytonos jelšový *Cryptorhynchus lapathi*. Všetky tri druhy bývajú lokálne hojné a spôsobujú problémy pri zalesňovaní.

Listnaté dreviny v regióne dlhodobo trpia defoliáciou spôsobenou celou skupinou listožravých druhov škodcov. Či už sú to húsenice piadiviek, morí a obaľovačov, alebo larvy a imága niektorých druhov chrobákov. V regióne je aktívna nebezpečná mniška veľkohlavá *Lymantria dispar*, ktorá môže spôsobovať veľkoplošné holožery. V posledných rokoch sme defoliácie spôsobené týmto druhom nepozorovali. Mniška vrbová *Leucoma salicis* je ďalší druh, ktorý sa tu bežne vyskytuje. Defoliáciu topoľových plantáží a stromoradií občas spôsobí mniška vrbová. Jej húsenice sú dosť podobné húseniciam mnišky veľkohlavej, majú však na chrbte viac oranžových a najmä bielych škvrn. Mladé húsenice po prezimovaní začnú skoro na jar žrať a spôsobia odlistenie porastov už koncom apríla a začiatkom mája (na rozdiel od mnišky veľkohlavej, ktorá poškodzuje porasty neskôr - koncom mája a hlavne v júni). Listy skonzumujú úplne celé tak, že zostanú len stopky.



Obrázok 3. Pohľad do korún porastu poškodeného larvami a imágami druhu *Phyllodecta* (= *Phratora*) *vitellinae*, 70-80 % listov je bez chlorofylu.

V topolinách sú hojné listožravé druhy chrobákov. Škodí ako v štádiu imága tak larvy. Úhyn stromov zväčša nespôsobujú, ale stromy môžu pri veľkom výskyte oslabovať a tiež otvárajú vstupné brány pre vstup rozličných infekcií, ktoré môžu mať na zdravotný stav stromu oveľa významnejší vplyv, ako je samotný žer na listoch. Prakticky všadeprítomná je liskavka topoľová *Melasoma populi*. Hojná najmä vo výsadbách a mladinách. Úplné defoliácie listov môžu spôsobovať larvy a imága liskavky *Phyllodecta* (= *Phratora*) *vitellinae* alebo príbuzného druhu *Phyllodecta laticollis* (Obrázok 3). Malé, kovovolesklé chrobáky sú veľké cca 5 – 7 mm. Čierne larvy vyžierajú spodnú stranu listov tak, že konzumujú prednostne parenchymatické pletivá, neskôr list poškodzujú tak, že zostávajú len žilky. Listy poškodzujú aj imága. Hojný v južných oblastiach, môže sa výrazne premnožovať aj na väčších výmerách.

V posledných rokoch sa v tvrdom luhu šíri nebezpečný, nepôvodný druh bzdochy sietnička dubová *Corythucha arcuata* (Obrázok 4). Je to asi 3 mm dlhý, bizarne vyzerajúci hmyz,

prezimujúci v štrbinách kôry alebo v opadaných listoch. Samičky na jar po prezimovaní vylezú do korún a tam kladú čierne vajíčka v zhlukoch po 15 – 100 kusoch, na spodnú stranu rašiacich listov. Po vyliahnutí začnú malé, čierne nymfy, sediac zväčša na spodnej strane listov, cicat' šťavy z listov a postupne sa meníť na dospelé jedince. Ročne má tento druh v Európe viacero generácií. Sietnička dubová bola zistená na území Slovenska po prvýkrát pracovníkmi Lesníckej ochrannárskej služby v roku 2018. Približne za 4 roky sa rozšírila do väčšiny dubových lesov a hojná je aj v regióne lužných lesov Dunaja. Vlhké, teplé lesy v okolí vodných tokov sú konca jej primárny biotop. Spôsobuje zmenu sfarbenie listov a stratu chlorofylu na veľkých výmerách. Hrozí znížovanie prírastku, oslabenie porastov a zvýšenie výskytu sekundárnych škodcov.



Obrázok 4. Typická, zelenožltá farba dubov napadnutých sietničkou dubovou *Corythucha arcuata*.

Pod'akovanie

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

Práca ďalej vznikla vďaka projektu Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov (FOMON) č. p. 313011V465 a vďaka projektu realizovaného s finančnou podporou Ministerstva obrany Slovenskej republiky.

Summary

Occurrence of the most important fungal pathogens and insect pests in lowland forests. Cultivation of fast-growing trees has a long tradition in Slovakia, although in recent times, there has been a certain aversion to their cultivation in some circles. In the article, we point out the most important biotic factors, especially fungal pathogens and insects, which affect the health of trees growing in lowland areas. Alluvial forest ecosystems are naturally rich in entomofauna. However, among the broad spectrum of species, some can behave as harmful under certain circumstances, causing withering or even the death of trees. In the last decade, we have been seeing an increase in reforestation

losses every year in the Danubian Lowland, not only due to the health status of seedlings but also due to the lack of accessible water related to changing climate conditions. Therefore, we expect that the most affected areas by climate change within Slovakia will be forests in the lowland.

Kľúčové slová

lužné lesy; zdravotný stav; rýchlorastúce dreviny; hubové patogény; hmyzí škodcova

Kontaktné adresy

Ing. Roman Leontovyč, PhD., Ing. Milan Zúbrik, PhD., Ing. Andrej Kunca, PhD., Ing. Christo Nikolov, PhD.

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav

Lesnícka 11

969 23 Banská Štiavnica,

roman.leontovyc@nlcsk.org

milan.zubrik@nlcsk.org

andrej.kunca@nlcsk.org

christo.nikolov@nlcsk.org

GIS A JEHO VYUŽITIE PRE PODPORU ROZHODOVANIA V LESE HRÚBKOVÝCH TRIED

Maroš Sedliak, Ladislav Kulla, Vlastimil Murgaš

1 Úvod

Systémy na podporu rozhodovania v lesníctve majú obvykle povahu počítačových aplikácií, ktorých cieľom je napomáhať pri rozhodovaní vlastníkom alebo obhospodarovateľom lesov v rámci manažmentu lesov. V súčasnosti preferovaný adaptívny manažment lesov je sústredený na riešenie problémov so stabilitou lesných porastov v podmienkach klimatickej zmeny, ich odolnosťou voči jej prejavom a zabezpečenie plnenia rôznorodých ekosystémových služieb v lese (NOBRE et al., 2016). Tieto systémy v sebe často integrujú rôznorodé údaje, informácie a zadané alternatívy vývoja.

Jednoduchšie systémy pre podporu rozhodovania môžu integrovať rozličné priestorové a atribútové údaje. Ich vzájomným prepojením môžu poskytovať nové presnejšie informácie, ktoré môžu napomôcť pri rozhodovaní v lese. Medzi takéto systémy môžeme zaradiť aj Geografické informačné systémy (GIS). Pri využití ich nástrojov nad priestorovými údajmi môžu slúžiť pre podporu mapovania, plánovania alebo návrhu opatrení v lese.

Cieľom príspevku je predstaviť tvorbu mapy lesa hrúbkových tried, ktorá v spojitosti s využitím GIS bude slúžiť pre podporu rozhodovania pri mapovaní a plánovaní hospodárskych opatrení v lese.

2 Metodika a materiál

Pre odvodenie výslednej geopriestorovej vrstvy (mapy) lesa hrúbkových tried na vybranej časti lesného celku VŠLP Budča I a jej využitie pre podporu rozhodovania bolo potrebné spracovať údaje rozličných typov a z rozličných zdrojov – terénne merania, vrstvy Diaľkového prieskumu Zeme (DPZ), GIS vrstvy, štatistické údaje. Bolo potrebné transformovať priestorové údaje prislúchajúce bodom tak, aby tieto údaje reprezentovali celé skúmané územie, a aby bolo možné odhadnúť strednú hrúbku stromov pre každý pixel mapy.

Záujmové územie má rozlohu 615,70 ha a nachádza sa v lokalite Kremenský potok, Dolné Sietno a Boky.

2.1 Vstupné údaje

2.1.1 Terénne merania

Základom údajov terénnych meraní bola bodová vektorová vrstva inventarizačných plôch (IP), ktorá reprezentovala ich geografickú polohu aj s popisnými atribútmi. Vzájomná vzdialenosť IP bola variabilná od 62,5 m po 500 m a bola určená na základe stratifikácie územia podľa typologického členenia lesných porastov. Pre každú IP boli v teréne merané stojace stromy pomocou technológie Field-Map. O každom strome boli evidované informácie, ako sú drevina, hrúbka $d_{1,3}$, výška h , poškodenie a kvalita kmeňa, nasadenie koruny a jej kvalita. Celkovo bolo na území lesného celku (LC) zmeraných 560 IP. Z údajov o počte stromov, drevinách a hrúbky $d_{1,3}$ bolo vypočítané zastúpenie agregovaných skupín drevín buk, dub, hrab, topol, smrek, jedľa a borovica v jednotlivých IP.

2.1.2 Diaľkový prieskum Zeme

Vstupnými vrstvami DPZ boli digitálny model reliéfu (DMR, angl. DSM) a digitálny model terénu (DMT, angl. DTM) odvodené z údajov leteckého laserového skenovania (GKÚ, 2022). Z nich bol odvodený výsledný normalizovaný digitálny model povrchu (nDMP, angl. skratka nDSM), ktorý reprezentoval výšku objektov na zemskom povrchu (napr. výšku vegetácie) vo forme rastrovej geopriestorovej vrstvy s priestorovým rozlíšením 50 cm. Pre výpočet bol použitý DMR vygenerovaný z údajov získaných mimo vegetačného obdobia a DMT vygenerovaný z údajov získaných počas vegetačného obdobia. Týmto postupom bolo dosiahnuté čo možno najpresnejšie odlíšenie vegetácie od zemského povrchu.

2.1.3 GIS vrstvy

Medzi podkladové geopriestorové vrstvy použiteľné pre GIS patrili vektorová vrstva jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL) s prislúchajúcimi atribútmi získanými z Informačného systému lesného hospodárstva (ISLH), napr. údajmi o typologickom zatriedení JPRL, z ktorého vychádzalo aj zatriedenie do vývojových typov lesa (VTL) a geobiotopov (GBT) (KULLA, BOŠELA, 2014).

2.1.4 Štatistické údaje

Údajmi potrebnými pre vytvorenie vrstvy lesa hrúbkových tried boli aj štatisticky odvodené údaje z nameraných údajov počas terénnych meraní. Medzi tieto údaje patrili modely odvodenia strednej hrúbky d na základe jeho výšky h :

$$d = f(h)$$

Modely (funkcie) boli odvodené z údajov nameraných na živých stromoch v rámci 560 IP, samostatne pre 6 agregovaných drevín a VTL: buk, dub, topoľ, smrek, jedľa, borovica. Štatistickými testami bolo preukázané, že najvhodnejšou a najuniverzálnejšou je Naslundova funkcia odvodenia výšky stromu z jeho hrúbky, ktorá bola pre naše účely transformovaná do inverzného tvaru pre odvodenie hrúbky stromu z jeho výšky:

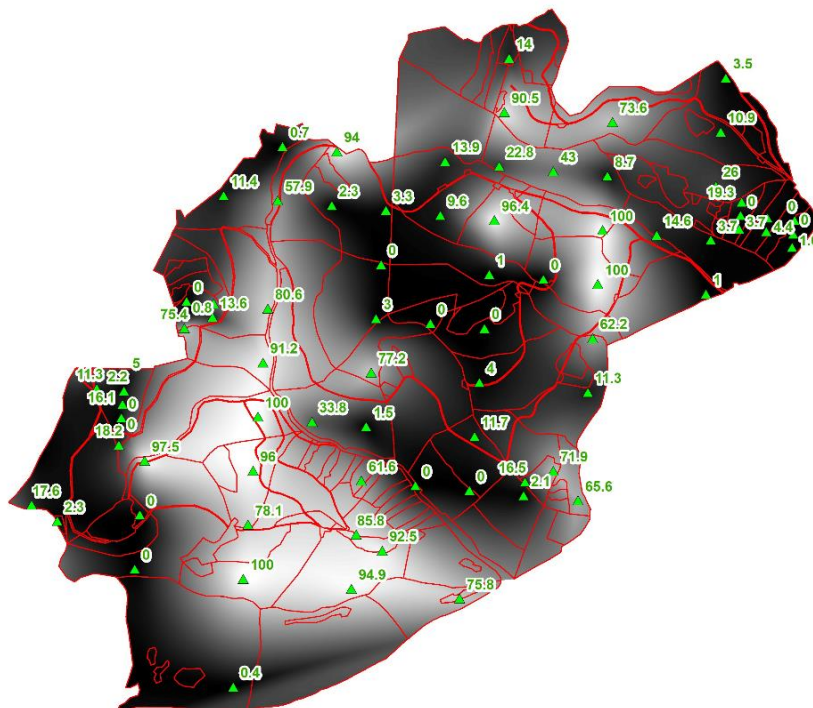
$$d = \sqrt{h - 1,3} \times \frac{a}{(1 - b \times \sqrt{h - 1,3})}$$

2.2 Spracovanie údajov

V prvom kroku bolo potrebné transformovať bodové vektorové údaje reprezentujúce zastúpenie agregovaných skupín drevín v IP tak, aby toto zastúpenie bolo distribuované do priestoru aj medzi IP. Pre túto transformáciu bola použitá interpolačná funkcia v prostredí ArcGIS Desktop s metódou prirodzeného suseda (Natural Neighbor) (ESRI 2022). Výsledkom bola rastrová vrstva reprezentujúca zastúpenie dreviny (skupiny drevín) v každom pixeli územia (obr. 1).

V ďalšom kroku boli vykonané výpočty s využitím nasledovných priestorových a číselných údajov:

- Rastrová vrstva zastúpenia jednotlivých skupín drevín (buk, dub, topoľ, smrek, jedľa, borovica)
- Rastrová vrstva nDMP reprezentujúca výšku objektov na zemskom povrchu (výšku vegetácie)
- Modely odvodenia strednej hrúbky z výšky diferencované pre jednotlivé skupiny drevín a VTL (GBT)



Obrázok 1. Zastúpenie buka na inventarizačných plochách a jeho priestorová interpolácia

Výpočtový vzorec zodpovedal vzorcu pre ododenie hrúbky stromu z jeho výšky. Výsledkom boli čiastkové rastrové vrstvy d_{dr} , reprezentujúce strednú hrúbku dreveny v každom pixeli, samostatne pre VTL. Agregovanie týchto rastrov do výsledného rastra strednej hrúbky d_r pre VTL bolo vykonané s použitím rastrov zastúpenia drevín zs_{dr} :

$$d_r = \sum_{dr=1}^6 d_{dr} \times zs_{dr}$$

Výpočet bol vykonaný v nástroji *Raster Calculator* programu ArcGIS Desktop 10. Celková vrstva hrúbok na celom záujmovom území vznikla priestorovým spojením (*Merge*) čiastkových vrstiev podľa hraníc VTL.

S cieľom ľahšej interpretácie hrúbok bol ich celý interval rozdelený do 5 hrúbkových tried, pričom 1. trieda Holina, nárast, kultúra (HNK) bola definovaná na základe výšky vegetácie z rastra nDMP (tab. 1).

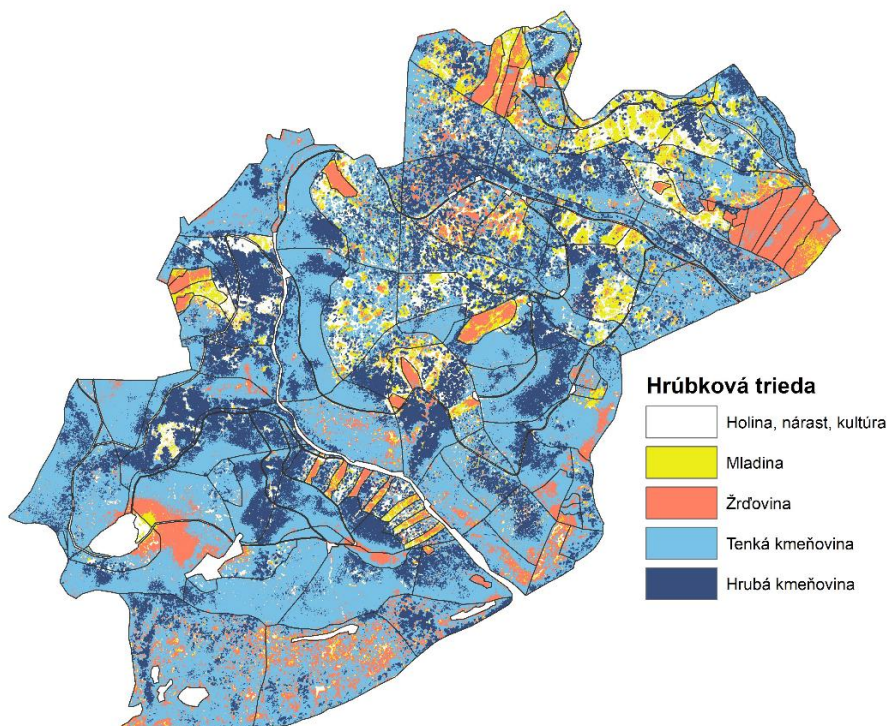
Tabuľka 1. Hrúbkové triedy mapy lesa hrúbkových tried

Hrúbková trieda	Skratka	Interval
Holina, nárast, kultúra	HNK	výška do 1,3 m
Mladina	MLA	od výšky 1,3 m do 8 cm hrúbky
Žrd'ovina	ZR	od 8 do 20 cm
Tenká kmeňovina	TK	od 20 do 36 cm
Hrubá kmeňovina	HK	36 cm a viac

Pre účely tvorby terénneho zápisníka boli pomocou nástroja *Tabulate Area* vypočítané plošné podiely hrúbkových tried v JPRL a z nich následne aj ich percentuálne podiely.

3 Výsledky a záver

Výsledkom spracovania rozličných druhov dát je mapa lesa hrúbkových tried (obr. 2), ktorá reprezentuje strednú hrúbku stromov v danom pixeli. Mapa je rastrová vrstva v súradnicovom systéme S-JTSK s priestorovým rozlíšením 50 cm.



Obrázok 2. Mapa lesa hrúbkových tried

Jedným z cieľov tejto mapy je podrobnejšie zobrazenie priestorovej štruktúry lesa na základe stredných hrúbok stromov v prislúchajúcich pixeloch, v porovnaní so v súčasnosti využívanou porastovou mapou so systémom značenia JPRL podľa vekových tried. Mapa bude slúžiť pre plánovanie a navigáciu počas terénnych meraní a návrh hospodárskych opatrení v lese. V mobilnom zariadení s GIS bude slúžiť ako prostriedok pre podporu rozhodovania priamo v teréne.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla s podporou Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

ESRI, 2022: How Natural Neighbor works. Citované: 21.12.2022. Dostupné na internete: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-natural-neighbor-works.htm>

GKÚ, 2022: Letecké laserové skenovanie a DMR 5.0. Citované: 21.12.2022. Dostupné na internete: <https://www.geoportal.sk/sk/zbgis/lis-dmr/>

KULLA, L., BOŠEĽA, M., 2014: Aspekty ekológie a lesníckej typológie v inventarizácii Lesa. In Nové varianty metód na viacúčelové zisťovanie a monitorovanie stavu lesných ekosystémov progresívnymi technológiami. Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen. 2014, 367 s.

NOBRE, S., ERIKSSON, L.O., TRUBINS, R., 2016: The Use of Decision Support Systems in Forest Management: Analysis of FORSYS Country Reports. Forests 2016, 7, 72. <https://doi.org/10.3390/f7030072>

Summary

GIS and its use for decision support in forest of diameter classes. The aim of the paper is to present the creation of a forest diameter classes map, which, in conjunction with the use of GIS, will be used for decision support in mapping and planning management measures in the forest. The procedure describes the processing of the input data from terrain, Remote sensing data, forestry GIS data and statistical data.

Kľúčové slová

Systémy na podporu rozhodovania; geografické informačné systémy; hrúbka; digitálny model povrchu

Kontaktná adresa autorov

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

maros.sedliak@nlcsk.org, ladislav.kulla@nlcsk.org, vlastimil.murgas@nlcsk.org

RECYKLOVATEĽNOSŤ PAPIERENSKÝCH VLÁKIEN – SITUÁCIA NA SLOVENSKU A V KRAJINÁCH CEPI

Alena Zuzánková, Daniela Majerčáková, Stela Slámová

1 Úvod

Rýchly rast konzumne orientovanej spoločnosti takmer na celom svete a s tým spojené zvýšené množstvá odpadov rôzneho druhu, núti ľudstvo sa zameriavať na výskum a prieskum nových metód efektívneho zhodnocovania prírodných zdrojov a nové postupy znova využívania niektorých druhov odpadov. Rozšírenie znalostí v tomto smere pomáha riešiť problém znižovania rozsahu nevyužiteľného odpadu na svete a spolu s tým aj vývoj nových druhov produktov. Rozsiahly výskum v oblasti spracovávania drevnej hmoty sa už dlhodobo venuje vývoju nových metód a postupov efektívnejšieho zhodnocovania prírodných zdrojov a zlepšovaniu procesov recyklácie papierov, kartónov a lepeniek. Vyplýva z toho nutnosť dôkladnejšie prepracovať základné postupy od prípravných prác, až po recykláciu vlákien; čo znamená zlepšenie organizácie zberu papierov, kartónov a lepeniek od prvej fázy prác so zberovým papierom, ako je vytriedňovanie nevhodných látok samotným spotrebiteľom, cez vhodné skladovanie až po transport. Cieľom je dosiahnuť surovinu, čo najviac oddelenú od nežiaducich látok pred vstupom do recyklačného procesu.

2 Recyklovateľnosť

Spotrebiteľia ako aj výrobcovia stále viac očakávajú, že obaly ktoré používajú sú recyklovateľné, ako súčasť globálneho prístupu k ekologickému dizajnu na zníženie jeho vplyvu na životné prostredie. Výrobcovia papierových obalov sa zaviazali splniť toto očakávanie. Značný nárast množstva odpadov súvisí s obalovými materiálmi, ktoré sa tvoria vo veľkom rozsahu, napríklad ako obalové a baliace papiere zo supermarketov, ale aj odpady obalov vznikajúce pri elektronických nákupoch s dodávkami zabalených tovarov. Dopyt trhu po sortimente rôznych obalových druhov papierov a lepeniek v poslednej dobe zaznamenáva značný boom. Obalové papiere a lepenky musia dosahovať dostatočne vysoké hodnoty pevnosti, odolnosť voči nárazom, ako aj vonkajším a vnútorným tlakom, aby bol transport tovarov čo najbezpečnejší. Požadované mechanicko-fyzikálne vlastnosti obalových papierov, kartónov a lepeniek pre rôzne druhy obalov sú normalizované podľa požiadaviek jednotlivých štátov Európy, ako aj pre medzinárodné trhy a medzinárodnú prepravu tovarov. Najkvalitnejšie obaly sa vyrábajú z vlákien získaných spracovaním dlhovláknitej sulfátovej buničiny, bielennej alebo nebielenej, podľa požiadaviek spotrebiteľa. Vlákna sulfátovej buničiny sú dlhé a pevné a pre pôvod z ihličnanových drevín sú hnedo zafarbené, čo plne vyhovuje požiadavkám na výrobu obalových papierov s vysokými hodnotami pevnosti. V prípade požiadaviek na vizuálne vylepšenie obalu sa problém rieši navrstvením vlákien bielených buničín na podkladovú vrstvu z nebielenej sulfátovej buničiny. Z hľadiska najvyšších pevností je sulfátová buničina zo severských ihličnanov považovaná za najkvalitnejšiu. Jej vlákna sa používajú do zanášok obalových papierov využívaných aj na medzinárodnú a lodnú dopravu, čiže pre obaly s vysokými pevnostnými vlastnosťami, odolné voči zlomu, nárazu, oderu a pod. Tieto vlákna sú plne využiteľné aj po viacerých stupňoch recyklácie, pokiaľ sa recyklačný proces reguluje a prebieha šetrne a pod kontrolou, hlavne v procesoch rozvlákňovania a mletia. Dodržiavaním požadovaných podmienok v jednotlivých stupňoch recyklácie sa získava kvalitná vlákna s vlastnosťami porovnateľnými s pôvodnou nerecyklovanou vlákninou. Vo všeobecnosti sa dnes výskum a vývoj zameriava na efektívne

zhodnocovanie prírodných zdrojov. V prípade celulózo-papierenského priemyslu je hlavnou základnou surovinou drevná hmota a preto je prioritou optimálne zhodnocovanie tejto základnej suroviny pre výrobu vlákien a následne pre výrobu papierov, kartónov a lepeniek.

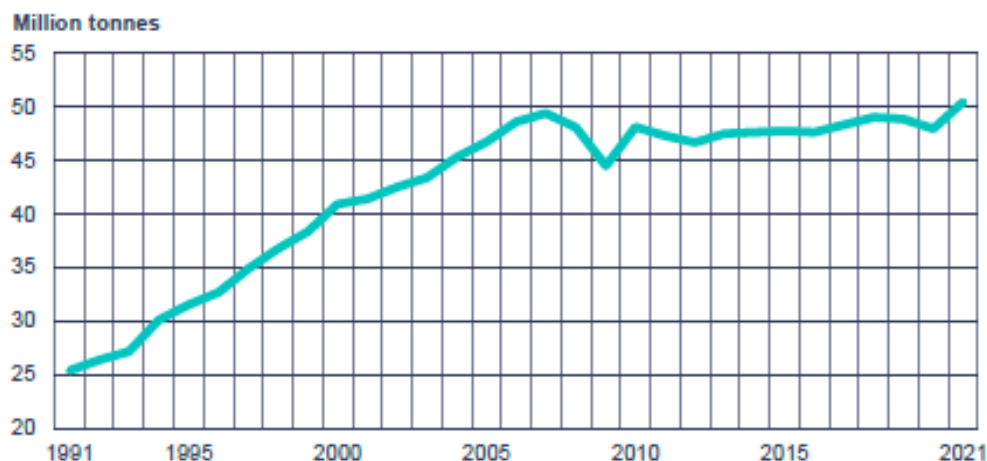
Európsky celulózo-papierenský priemysel, organizovaný v konfederácii európskeho papierenského priemyslu CEPI (Confederation of European Paper Industries) sa problematike viacnásobného využívania recyklovaných vlákien venuje už dlhodobo a celosvetovo je hodnotený, ako priemysel s najlepšimi výsledkami v oblasti zhodnocovania základnej suroviny. CEPI združuje 95% spoločností európskeho celulózo-papierenského priemyslu z 19 európskych krajín (Rakúsko, Francúzsko, Holandsko, Rumunsko, Švédsko, Belgicko, Nemecko, Nórsko, Slovensko, Švajčiarsko, Česká republika, Maďarsko, Poľsko, Slovinsko, Veľká Británia, Fínsko, Taliansko, Portugalsko, Španielsko). Od svojho založenia CEPI priebežne a úspešne presadzuje opatrenia na dosiahnutie čo najvyšších stupňov recyklovateľnosti vlákien a ich viacnásobné zhodnocovanie vo výrobných procesoch. Od svojho založenia v roku 1992, zhromažďuje a štatisticky vyhodnocuje dáta o výrobe rôznych sortimentov celulózo-papierenského priemyslu v asociovaných krajinách. Okrem iného reprezentuje a zbiera štatistické údaje z 550 výrobných spoločností zaoberajúcich sa výrobou vlákien a papierov v európskom regióne (CEPI, 2021).

V energeticky náročnom celulózo-papierenskom priemysle sa v súčasnosti riešia aktuálne problémy spojené hlavne so spotrebou surovín a energií s cieľom ich najefektívnejšieho zužitkovania. Celulózo-papierenský priemysel má výhodné postavenie v tom, že spracováva obnoviteľnú surovinu drevnú hmotu, ale aj pre možnosti viacnásobného využívania recyklovaných vlákien hlavných produktov papiera, kartónu, lepenky a u niektorých produktov aj bez významných strát fyzikálnych a mechanických vlastností. Základná vláknitá surovina sa tak, pri splnení určitých podmienok, môže viacnásobne efektívne využívať a zhodnocovať na rôzne účely.

Rozsah výrobného sortimentu papierenského priemyslu je široký; od kvalitných grafických papierov, až po papiere a lepenky využívané na výrobu produktov, na ktoré sa nekladú vysoké vzhľadové, prípadne ani kvalitatívne nároky. Stále väčší podiel z celkovej výroby papiera sa v poslednej dobe orientuje na obalové papiere a lepenky, u ktorých sa nehodnotí ako významná vizuálna stránka výrobku, ale prevažujú požiadavky na pevnostné charakteristiky, ktoré sa musia dodržiavať podľa daných normalizačných kritérií. Podľa hodnotenia pevnostných vlastností je ich rozsah využívania značný. Od obalov na jednorazové použitie, až po obaly s vysokými požiadavkami na mechanickú pevnosť, pevnosť pri predĺžení, v prietlaku, v dotrhnutí, či odolnosť voči nárazu. Najvyššie hodnoty požadovaných vlastností dosahujú produkty vyrobené z pôvodných dlhovláknitých sulfátových buničín. Vlákná sulfátových buničín zabezpečujú aj po viacerých cykloch recyklácie, zodpovedajúce vysoké hodnoty sledovaných vlastností na požadovanej úrovni. Každý cyklus recyklácie, spojený s rozvlákňovaním, mletím, sušením alebo kalandrovaním je potrebné regulovať tak, aby sa nenarušila štruktúra dlhého vlákna sulfátových buničín. V rámci procesu recyklácie sa aplikujú rôzne technologické úpravy, ktoré umožňujú udržiavať, prípadne aj zlepšovať niektoré vybrané kvalitatívne vlastnosti vlákien aj po viacerých recyklačných cykloch. Takto recyklované vlákna, prípadne vlákna narušené po rôznych úpravách (menej šetrné mletie a rozvlákňovanie) sa väčšinou zužitkujú pri výrobe menej kvalitných papierenských produktov.

Snaha CEPI v kooperácii s EÚ27 je dosahovať čo najvyššiu úroveň recyklovateľnosti papiera. Výsledkom tohto úsilia je dosiahnuť najvyššie hodnoty miery využiteľnosti zberového papiera ($\text{recycling rate} = \text{domáci zber} + \text{import} / \text{spotreba papiera}$). V roku

2020, sa CEPI krajiny dostali vo využiteľnosti zberového papiera na prvé miesto na svete - s priemernou hodnotou návratnosti papiera 73,9 %. V dôsledku trvajúcej pandémie covid - 19 bol zaznamenaný pokles návratnosti recyklovaných vlákien z dôvodu poklesu výroby a celkového spomalenia celosvetového obchodovania so zberovým papierom na svetových trhoch. Pozitívne sa tým však zvýšilo spracovávanie zberového papiera pre recykláciu z domácich, resp. európskych zdrojov. Pandémia a zmeny vyvolané v spoločnosti ovplyvnili nielen dostupnosť zberových papierov, ale aj ich kvalitu z hľadiska využívania pre recykláciu. Vývoz zberového papiera, klesol takmer o 25% a v súčasnosti sa postupne dostáva na úroveň bežných hodnôt.



Obrázok 1. Vývoj stupňa recyklácie v CEPI krajinách. (roky 1991 až 2021)

Priemerný stupeň využitia zberového papiera (spotrebovaný ZP/celková spotreba papiera) v krajinách CEPI v roku 2021 dosiahol hodnotu nad 50%. Celková spotreba papiera na recykláciu v krajinách CEPI bola v roku 2021 v porovnaní s predchádzajúcim rokom zlepšená o 5,3 %. V porovnaní s rokom 2020 bolo už v roku 2021 vytvorené priaznivejšie výrobné a ekonomické prostredie. Elektronické obchody, hlavne v dobe covidu dosahovali u obyvateľov značnú obľubu a vytvoril sa tak priestor na rast dopytu a spotreby obalových papierov, kartónov a lepeniek pre zaistenie obalov pre dodávky rôznych druhov tovarov až do domácností.

Slovenský trh z dôvodu nedostatku obalových papierov využíval na doplnenie trhu niekoľko menších vlastných prevádzok ale hlavne z dovozu. Zrušenie výroby flutingu v roku 2010 malo veľmi negatívny dopad na slovenský celulózo-papierenský priemysel, jednak znížením celkovej výroby papierenského priemyslu (pokles o cca 15%), ale hlavne tým, že slovenský trh stratil najväčšieho spracovateľa zberového papiera. Pôvodne, bola výroba flutingu orientovaná na export a jej zrušenie významne ovplyvnilo rovnováhu obchodnej politiky celulózo-papierenského priemyslu. Najviac boli existenčne ohrozené firmy, ktoré priebežne zabezpečovali suroviny potrebné na výrobu flutingu, ako sú zberne zberového papiera a jeho príprava na spracovanie a na zabezpečovanie plynulých dodávok vlákny na výrobu flutingu. S tým súvisel hlavne pokles alebo zrušenie činnosti firiem, ktoré sa zaoberali organizáciou a spracovaním zberového papiera pre hlavného spracovateľa. Obrat nastal až v roku 2021, kedy sa realizovala veľká investícia v spoločnosti MONDI SCP Ružomberok do výstavby nového papierenského stroja 19. PS 19 sa orientuje na výrobu obalového kartónu - testliner, druh Kraft Top White, ktorý obsahuje podkladovú vrstvu z recyklovaných vlákien a bielu kryciu vrstvu z bielenej sulfátovej buničiny. Celková kapacita produkcie nového papierenského stroja je 300 000 ton testlineru za rok. Pre ekonomiku Slovenska a životné prostredie je realizácia nového

projektu veľkým prínosom, pretože umožňuje spracovať až 200 000 ton recyklovaného zberového papiera pri plnej prevádzke papierenského stroja. .

Spustenie novej výroby testlineru v marci roku 2021 sa v štatistike Zväzu celulózo-papierenských priemyslu okamžite prejavilo nárastom celkovej produkcie, ako aj v spotrebe zberového papiera vstupujúceho výroby obalových sortimentov papiera, viď obr. 2 Štatistické údaje ZCPP rok 2021.

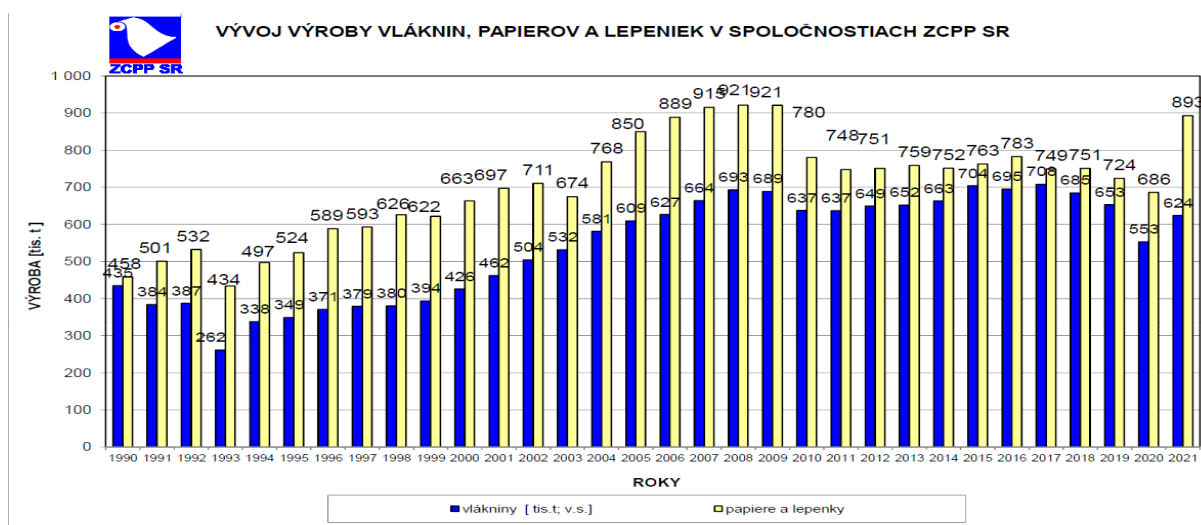
VYBRANÉ ŠTATISTICKÉ UKAZOVATELE ZCPP SR		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Výroba tovaru (VT)		18,5	23,1	24,8	26,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
Tržby spolu bez DPH a spot. dane		23 123 348	24 837 773	26 279 191	26 884 807	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354
Tržby z predaja na vývoz		23 123 348	24 837 773	26 279 191	26 884 807	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354
Tržby z priemyselnej výroby		23 123 348	24 837 773	26 279 191	26 884 807	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354	24 354
Príjem z predaja zamestnancov		4 110	3 885	3 810	3 580	3 354	3 354	3 354	3 354	3 354	3 354	3 354	3 354	3 354	3 354	3 354	3 354	3 354
Mzdy a náhr. mzdy		1 193 132	1 236 063	1 202 670	1 388 376	43 690	43 690	43 690	43 690	43 690	43 690	43 690	43 690	43 690	43 690	43 690	43 690	43 690
Odpis. hodn. zamestn. spolu		6 970 785	6 593 191	6 500 408	6 225 288	5 714 878	5 126 890	4 820 801	4 835 726	4 443 416	4 388 410	4 267 696	4 190 262	4 194 166	4 192 754	4 144 260	4 203 786	4 247 430
Príjem. mesačn. mzda		24 192	26 671	26 229	31 728	1086	1 157	1 143	1 191	1 204	1 225	1 268	1 336	1 331	1 413	1 384	1 458	1 534
Produkt práce z VT na prac.		5 626 118	6 426 332	6 886 580	7 435 109	221 692	252 340	257 975	302 081	330 268	324 838	352 204	378 102	350 554	370 851	385 267	237 456	262 671
Hodnotová prod. práce z VT na prac.		3 317	3 767	4 043	4 288	130	148	151	177	198	208	224	224	212	220	174	148	161
Hodnotová priemerná mzda		171	188	190	219	8	8	8,05	8,36	8,58	8,89	9,21	9,53	9,64	10,46	9,89	10,69	11,12
Investície spolu (hmotná a nehm.)		1 627 174	2 041 758	1 918 340	1 648 179	47 698	27 562	27 933	22 915	56 423	107 542	27 050	27 236	35 811	77 330	201 065	169 854	69 643 605
Zariadenia k HM a HM		19 350 138	21 335 273	22 548 617	20 980 969	948 017	843 438	842 751	888 911	1 147 221	1 104 614	1 269 388	1 357 013	1 409 328	1 489 444	1 304 610	1 585 888	1 653 691
Výnosy spolu (účt. trieda 6)		28 136 470	31 842 946	29 098 898	31 164 169	834 610	873 872	858 498	940 392	941 270	783 194	825 420	819 725	842 719	889 627	894 670	751 571	934 708
Produkcia (účt. trieda 6)		21 980 739	25 479 693	28 919 644	28 273 902	745 747	794 993	775 774	882 286	888 616	745 439	780 180	790 108	778 912	828 288	762 728	691 748	874 538
Hodnoty spolu (účt. trieda 6)		27 489 922	29 781 590	28 598 537	28 520 247	778 594	789 250	791 935	828 394	872 317	723 520	721 246	706 111	744 077	783 340	762 457	739 811	928 083
Hospodársky výsledok pred zdanením		680 548	2 201 558	3 400 359	2 634 953	48 048	84 622	64 561	113 908	68 594	50 674	102 177	110 612	88 639	108 288	81 877	12 759	6 915
Prídaná hodnota		4 452 282	5 488 056	5 991 285	5 495 481	168 718	184 434	179 780	172 422	192 308	179 120	217 539	225 676	204 973	204 767	181 507	137 633	147 209
Spot. spotreba papiera a lepenky		84,9	90,9	92,1	93,1	87,0	87,6	86,7	90,6	92,0	79,0	79,0	73,0	75,2	76,2	71,7	52,4	56,9
Výroba PVL		848 789	888 779	919 401	921 445	920 977	780 356	748 482	793 962	759 365	752 493	762 865	769 322	749 354	751 480	723 686	685 796	892 034
Vývoz PVL a výrobkov		797 991	885 971	867 176	888 936	862 242	740 187	687 801	669 078	708 667	614 806	635 838	636 510	598 561	565 045	762 159	817 815	1 040 293
Dovoz PVL a výrobkov		936 168	1 054 148	983 554	1 041 919	937 045	822 285	784 653	816 234	886 989	783 338	781 447	732 657	707 731	708 170	853 035	908 862	1 123 178
Výroba vláknin		431 197	487 024	448 607	488 036	415 451	435 314	420 941	440 149	447 580	438 951	391 289	385 167	372 715	238 987	429 532	417 631	457 736
Dovoz vláknin		687 980	808 570	748 678	694 072	560 054	588 067	580 521	614 017	769 751	448 000	449 180	448 273	436 542	431 251	432 272	420 371	462 679
Výroba celulózu		639 333	625 502	684 171	693 247	689 718	637 360	637 067	648 818	651 606	683 351	704 409	693 594	708 912	695 131	692 757	652 640	624 291
Vývoz celulózu		109 502	89 477	125 678	130 052	139 648	168 406	172 326	195 989	203 070	202 534	252 819	212 536	241 416	223 890	251 578	310 726	59 418
Dovoz celulózu		104 062	124 238	142 633	134 526	155 291	161 636	163 196	167 330	177 679	164 023	117 380	102 625	105 202	150 754	160 077	159 460	112 710
Spotreba celulózu		210 558	199 342	208 941	207 702	169 445	169 330	89 137	81 891	108 675	115 281	107 695	103 198	106 903	101 241	102 698	112 896	97 704
a toho SR		189 888	186 212	178 031	181 530	143 808	80 121	70 811	60 272	75 994	73 787	58 207	48 343	47 989	71 740	62 955	75 623	80 118
dovoz (z iných SR)		83 422	45 942	30 840	28 172	24 638	29 208	28 319	21 419	33 111	41 494	49 425	41 196	39 913	29 922	40 993	39 265	17 588
Spotreba celulózu		2 303	2 314	2 594	2 877	2 502	2 375	2 314	2 421	2 489	2 430	2 489	2 430	2 381	2 678	2 390	2 357	2 186
z toho SR		1 914	2 035	2 312	2 399	2 259	2 210	2 385	2 164	2 286	2 483	2 439	2 381	2 281	2 588	2 201	2 357	2 181
iných SR		389	279	282	221	244	165	129	149	152	6	6	6	6	107	146	26	6

Príloha 2009 odpovedá hodnotám uvedeným v súč. jednotke v €

Obrázok 2. Štatistické údaje celulózo-papierenského priemyslu v rokoch 2005 – 2021

Výroba papierov, kartónov a lepeniek sa spustením novej prevádzky v roku 2021 zvýšila o takmer 23%, voči roku 2020 a celková produkcia celulózo-papierenského priemyslu zaznamenala 12% rast. Z prehľadných štatistík výroby slovenského celulózo-papierenského priemyslu v rokoch 1990 až 2021 (obr.2) je zjavné, že celulózo-papierenský priemysel Slovenska svojou kvalitou a rozsahom úspešne odoláva rôznym negatívnym vplyvom, aj vývoju svetového trhového prostredia. Ako príklad sa dá uviesť obdobie krízových rokov 2007 až 2009, kedy sa dosiahla výroba celulózo-papierenského priemyslu takmer milión ton za rok. Dobrá kondícia celulózo-papierenského priemyslu Slovenska bola v roku 2010 tvrdo zasiahnutá zrušením výroby flutingu vlastníckou spoločnosťou Smurfit Kappa v Štúrove. V roku 2010 bol zaznamenaný celkový pokles výroby papiera o približne 15 %. Súčasne bola zasiahnutá aj celková obchodná rovnováha v rezorte, pretože výroba flutingu sa pôvodne orientovala hlavne na export. Tento deficit sa darilo menšími investíciami postupne znižovať, ale najväčší zvrät nastal až na jar 2021, kedy sa spustila nová prevádzka na výrobu obalového kartónu - testlineru. Spustenie výroby testlineru štatisticky zlepšilo hodnoty výroby už v roku 2021, keď bolo zaznamenaná zvýšená produkcia o 14% (celkove na 892 034 ton), čím sa aj dosiahlo priblíženie výroby k hodnotám evidovaných, ešte v roku 2009, kedy sa dosiahla úroveň výroby papierov takmer 1 mil. ton za rok (obr.3). Najnovšou a súčasne najväčšou investíciou do výstavby nového papierenského stroja a prídavných prevádzok na výrobu obalového kartónu testliner

v spoločnosti MONDI SCP Ružomberok sa slovenský celulózo-papierenský priemysel nasmeroval, popri výrobe grafických papierov aj na výrobu obalových papierov, ktorých dopyt na svetových trhoch stále narastá. Hlavným pozitívom výroby na novom PS19 je spotreba recyklovaných vlákien pri výrobe testlineru. Na spracovanie zberového papiera a prípravu recyklačnej linky sú pripravené prídavné prevádzky, ktoré priebežne dodávajú spracovanú surovinu - recyklované vlákna – priamo do zariadení výroby. Výroba testlineru tak zaplní voľný priestor pre najväčšieho spracovateľa recyklovaných vlákien na Slovensku, čím sa vyriešil problém so spracovaním kvalitných sulfátových dlhých vlákien, ktoré sú obsahom väčšiny odpadových obalových papierov zo supermarketov a tvoria významný zdroj recyklovaných vlákien. Ďalším pozitívom je, že spracovávaný zberový papier sa získava z vlastných, domácich zdrojov, pre komplikovaný a neekonomický transport zberového papiera.



Obrázok 3. Vývoj výroby vlákien, papierov a lepenie v spoločnostiach ZCPP SR

Z celkového hodnotenia recyklácie rôznych druhov papierov je v krajinách CEPI venovaná najväčšia pozornosť recyklácii obalových papierov, čo potvrdzujú štatistické hodnotenia v porovnaní s ďalšími obalovými materiálmi, ako sú kovy, sklo alebo plasty. Štatistiky EUROSTAT-u potvrdzujú že papierenské materiály dosahujú najvyššie hodnoty recyklácie - 82,9 %; čo je najvyššia hodnota v porovnaní s ďalšími obalovými materiálmi, ako sú kovy - 80,1%, sklo - 74,7% a plasty - 41,8%. (EUROSTAT, 2018). Potvrďuje sa tým, že v krajinách CEPI sa prikladá najväčšia pozornosť práve úrovni recyklácie papiera a dosahujú sa najvyššie svetové hodnoty. Prispieva k tomu dlhodobá koncentrácia výskumu na efektívne využívanie recyklovaných papierenských vlákien v krajinách združených v konfederácii CEPI. Podľa EUROSTAT-u recyklované suroviny pokrývajú cca 13% celkovej materiálnej spotreby EÚ. Európska komisia navrhuje revíziu právnych predpisov EÚ o obaloch a odpade z obalov s tromi hlavnými cieľmi; 1. znížiť vznik odpadu z obalov, 2. podporovať vysokokvalitnú recykláciu („uzavretý cyklus“) a 3. znížiť spotrebu primárnych prírodných zdrojov. Celulózo-papierenský priemysel sa otázkou viacnásobnej recyklácie papierenských vlákien a ich šetrným spracovaním intenzívne zaoberá a hľadá možnosti ich viacnásobného využitia v papierenskom priemysle, alebo pri výrobe iných sortimentov mimo výroby papierov, tzv. upcycling. Na základe výsledkov výskumu je možné papierenské vlákna recyklovať až 25krát. Podstatou recyklačných procesov je nastaviť podmienky pri viacnásobnom spracovaní vlákien šetrne, hlavne v procesoch rozvlákňovania a mletia.

Pre problematickú dopravu zberových papierov je pre krajiny najvýhodnejšie spracovávať zberové papiere z vlastných domácich zdrojov. Enormné množstvo zberu z obalov, ktoré vzniká ako odpad pri balení a rozbaľovaní rôznych tovarov v supermarketoch ako aj pri elektronickom obchodovaní sú zdrojom kvalitných, sulfátových vlákien, ktoré sú viacnásobne efektívne využiteľné pri výrobe ďalších obalov, takmer bez zníženia kvalitatívnych vlastností hodnotených pre obaly.

3 Záver

Najnovšie sa výskum zaoberá úpravou recyklovaných vlákien biochemickými metódami spracovania, hlavne z dôvodov nedostatku kvalitného vlákniťého materiálu na svetových trhoch a v snahe znižovať environmentálne zaťaženie prírodných zdrojov. Vývoj biotechnológie a aplikácia rôznych enzýmov (lakáza, amyláza, xyláza a i.) je zaujímavý hlavne pre oblasti medicíny v zdravotne - hygienických odboroch, ktoré okrem požadovaných fyzikálno-mechanických vlastností vyžadujú aj prísne dodržiavanie hygienických podmienok. Zvýšená domáca recyklácia v Európe zabezpečuje finančné investície na európskom recyklačnom trhu a taktiež aj to, že európsky cyklus recyklácie papiera poskytuje Európe sociálne, environmentálne a ekonomické výhody. So zvýšením domácich mier recyklácie možno zaručiť súlad recyklácie s európskymi normami a recyklačnými procesmi. Európsky papierenský priemysel spolu so všetkými zainteresovanými stranami Deklarácie (European Declaration on Paper Recycling) a v závislosti od vývoja podmienok na medzinárodnom trhu sa bude snažiť prijať opatrenia na dosiahnutie 76% miery recyklácie do roku 2030 pre výrobky z papiera a lepenky spotrebovaného v Európe. Je preto potrebné pokračovať v nastavenom trende recyklácie papiera, lepenky a kartónov tak, aby v hodnotovom reťazci stúpol aj vývoj v oblasti materiálov a recyklačných technológií.

Pod'akovanie

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

Literatúra

CEPI statistics. 2022. Annual Statistics European Pulp and Paper Industry 2021. Dostupné na internete: <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2022/07/Key-Statistics-2021-Final.pdf>

CEPI Monitoring report 2021, European Declaration on Paper Recycling 2021 – 2030. European Paper Recycling Council 2021. Dostupné na internete: https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2022/09/DRAFT_EPRC-Monitoring-Report-2021_20220909.pdf

CEPI. European Declaration on Paper Recycling 2021 – 2030. 12s. Dostupné na internete: <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2022/06/EPRC-22-010.pdf>

FIŠEROVÁ, M., ILLA, A., BOHÁČEK, Š., KASAJOVÁ, M. 2013. Handsheet Properties of Recovered and Virgin Fibre Blends. In *Wood Research* 58 (1), s. 57-66. ISSN 1336-4561 Dostupné na internete: <<http://www.woodresearch.sk/wr/201301/06.pdf>>

INCE, P.J., McKEEVER, D.B. 1995. *General Technical Report (GTR)*. Forest Products Laboratory. DOI <https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-88>. Dostupné na internete: <<https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/5785>>

MANTYRANTA H. 2018. *Recycling paper in sustainable economy – but without new wood fibre from forests it would end quickly*. Forest.fi. Dostupné na internete:

<<https://forest.fi/article/recycling-paper-is-sustainable-economy-but-without-new-wood-fibre-from-forests-it-would-end-quickly/#5fce370c>>

Statista, 2018. Štatistika EUROSTAT 2018. 8s. Dostupné na internete: <https://www.statista.com/statistics/273940/revenue-of-the-european-pulp-and-paper-industry-since-2000/>

YI, T., LIOU S.R., KUO W.Y. 2022. Research on Recycling Various Waste in Papermaking as Eco-Friendly Slurry. In *Sustainability* 14, 13536. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.3390/su142013536>>

Summary

Recyclability of Paper Fibers – Situation in Slovakia and CEPI Countries. Recycling is not only a trendy thing but also a necessity in today's consumer age. It is necessary not only to recycle sensibly and economically but to set research and development in the right direction in the field of recycling technologies, as well as technologies aimed at producing packaging materials with the goal of repeated use of fibres. The efforts of CEPI and its member organizations are focused not only on the trend of paper recycling but also on increasing the use of waste paper, as can be seen in the mentioned statistics and comparisons not only between years but also by sector with other recycled materials. Changes within Slovakia's pulp and paper industry went through several stages and significantly impacted the development of this sector and its competitiveness. The setting of multiple recycling processes and related processes of pulping and grinding of raw materials is a clear need for efficient and well-set options for the reuse of paper, cardboard and cartons.

Kľúčové slová

recyklácia; CEPI; papier; lepenka; Slovensko; fluting

Kontaktné adresy

Ing. Alena Zuzánková
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava
zuzankova@vupc.sk

doc. PhDr. Daniela Majerčáková, PhD., MBA
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava

Mgr. Stela Slámová
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava

POUŽITIE NIR ANALÝZY PRE URČENIE OPTICKÝCH VLASTNOSTÍ PAPIEROV ZO SEKUNDÁRNYCH VLÁKIEN

Elena Opálená, Mária Fišerová, Juraj Gigac, Albert Russ

1 Úvod

Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou (FTIR) je metóda, ktorá sa často používa pri rôznych analýzach, monitoringu technologických postupov a úprave rôznych materiálov. FTIR spektroskopia využíva najmä meranie difúznej reflexie v blízkej infračervenej oblasti (NIR) v rôznych odvetviach. Jej výhody sú: nedeštruktívnosť, rýchlosť merania, finančne a environmentálne šetrná prevádzka, možnosť detekcie organických aj anorganických štruktúr súčasne a dostupnosť rôznych technologických modifikácií. V modernom laboratóriu a prevádzkových podmienkach nachádza uplatnenie taktiež v kombinácii s inými metódami, v podobe vzájomne prepojených a zosynchronizovaných prístrojov.

NIR spektroskopia sa využíva aj v celulózo-papierenskom priemysle, pretože proces výroby papiera z drevných štiepok predstavuje sériu stupňov, ktoré zahŕňajú mechanickú, fyzikálnu a chemickú úpravu materiálu. Všetky tieto procesy ovplyvňujú kvalitu buničiny a finálneho produktu z papiera a často vyžadujú komplexnú a nákladnú kontrolu procesov. Spektrá buničiny a papiera obsahujú príliš široké, často sa prekrývajúce spektrálne pásy, nakoľko obsahujú viacero rôznych organických zložiek. Jednoznačné priradenie je možné len pre niekoľko málo molekulových skupín. Rozsiahle výskumy boli zamerané na infračervenú spektroskopiu dreva (Schimlek a kol. 1996), štruktúru a charakterizáciu celulózy (Fengel 1993) a kvalitu buničiny (Michell 1995).

Zásadný pokrok pri kvantitatívnej analýze spektier priniesol vývoj chemometrických metód, ako sú PCA (Principle Components Analysis) a PLS (Partial Least Square). Chemometrické postupy si vyžadujú tréningové sady so známym zložením a známymi vlastnosťami. Infračervená spektroskopia bola použitá na off-line alebo on-line analýzu výroby buničiny a papiera (Fardim a kol. 2005; Callis a kol. 1987; McLennan 1995). Kombinácia NIR s multivariačnou kalibráciou bola použitá na predikciu chemického zloženia dreva a buničiny (Yeh a kol. 2004; Fardim a kol. 2002; Russ a kol. 2012), obsahu anorganických plnív, pigmentov a vysokolignifikovaných buničín v papieroch zo sekundárnych vlákien, ako aj pevnostných vlastností papiera (Gigac a Fišerová 2011) a chemickej buničiny (Fišerová a kol. 2012).

2 Materiál a metódy

2.1 Materiál

Odrezky z polygrafickej výroby, sulfátový hnedý povrchovo glejený baliaci papier, bielený kancelársky papier, natieraný časopisový papier, novinový papier, zberový papier z použitých obalov z vlnitej lepenky (OCC), sulfátový hnedý povrchovo glejený baliaci papier, odrezky z polygrafickej výroby, odrezky z výroby šedých obalov, odrezky z výroby šedo bielych obalov a odrezky z výroby hnedo bielych obalov.

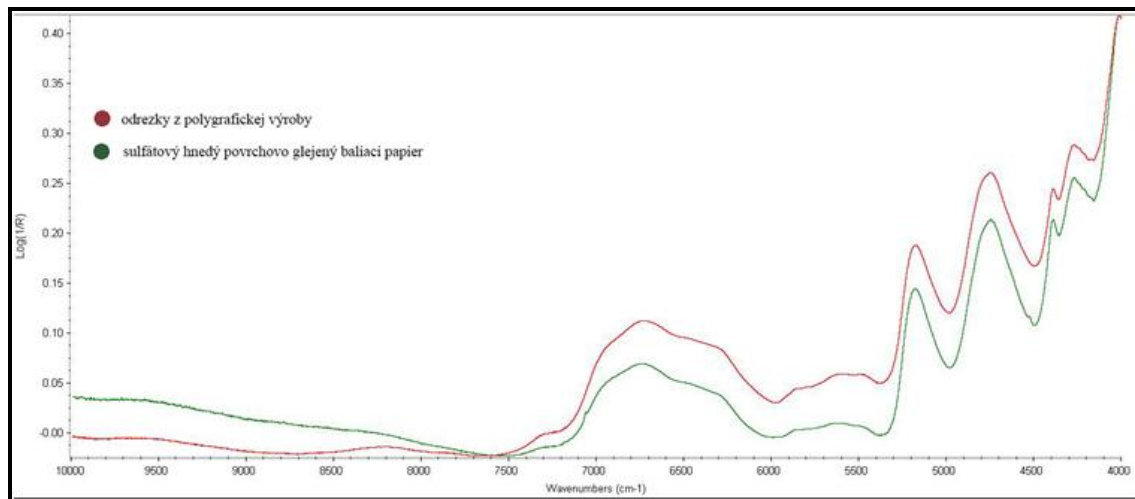
2.2 Metódy

Zberové papiere sa rozvlákňovali 10 min v laboratórnom rozvlákňovači Escher Wyss pri 3% hmotn. koncentrácii. Laboratórne hárky s plošnými hmotnosťami v rozsahu 40 až 220 g.m⁻² boli pripravené podľa STN EN ISO 5269-2. Koeficienty rozptylu svetla s₄₅₇ a s₉₅₀ boli merané podľa ISO 9416, číslo ERIC podľa STN ISO 22754 a zvyšková farba podľa

INGEDE 2. NIR spektrá laboratórnych hárkov sekundárnych vlákien zo zberových papierov boli merané v rozsahu 1000-2500 nm infračerveným spektrometrom Nicolet iS 10 metodikou DRIFT. Na NIR spektroskopické merania bolo použité rozšírenie Integrat IR od Pike Technologies. FT-NIR spektrálne údaje boli zhromaždené pomocou softvéru Omnic verzie 8.0 od Thermo Scientific. Zozbierané spektrá sa analyzovali a vyhodnotili pomocou softvéru TQ Analyst verzie 8.0 od Thermo Scientific. PLS a multivariačná metóda pre kalibrácie vzoriek bola začlenená do softvéru TQ Analyst.

3 Výsledky a diskusia

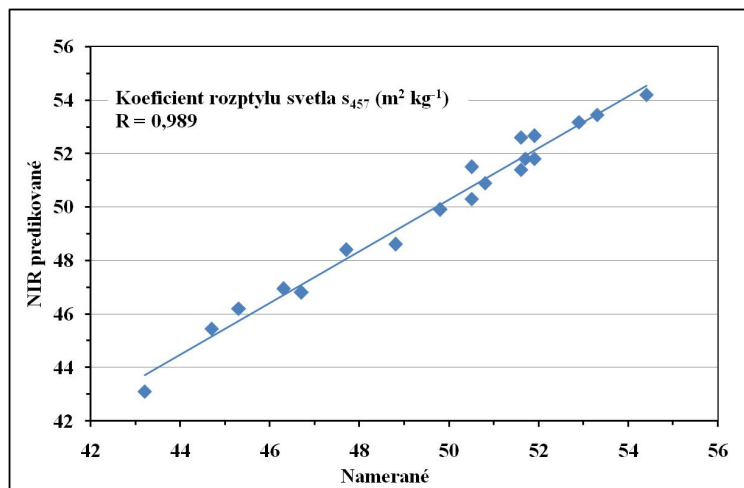
Na obrázku 1 sú NIR spektrá hárkov zo sekundárnych vlákien z odrezkov z polygrafickej výroby a sulfátového hnedého povrchovo glejeného baliaceho papiera, ktoré sú identické a líšia sa len intenzitou jednotlivých pík. Podobné NIR spektrá mali aj hárky zo sekundárnych vlákien z bieleného kancelárskeho papiera, natieraného časopisového papiera, novinového papiera, z použitých obalov z vlnitej lepenky, odrezkov z výroby šedých obalov, odrezkov z výroby šedo bielych obalov a odrezkov z výroby hnede bielych obalov.



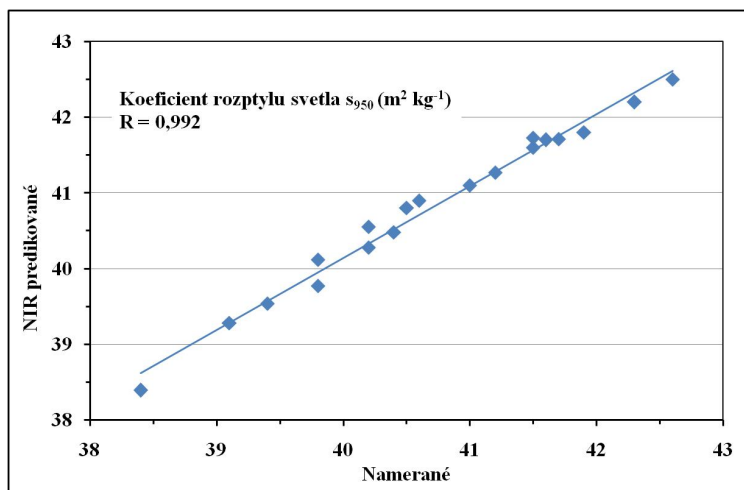
Obrázok 1. Priemerné NIR spektrum hárkov zo sekundárnych vlákien z odrezkov z polygrafickej výroby a sulfátového hnedého povrchovo glejeného baliaceho papiera.

3.1 Kalibračné modely

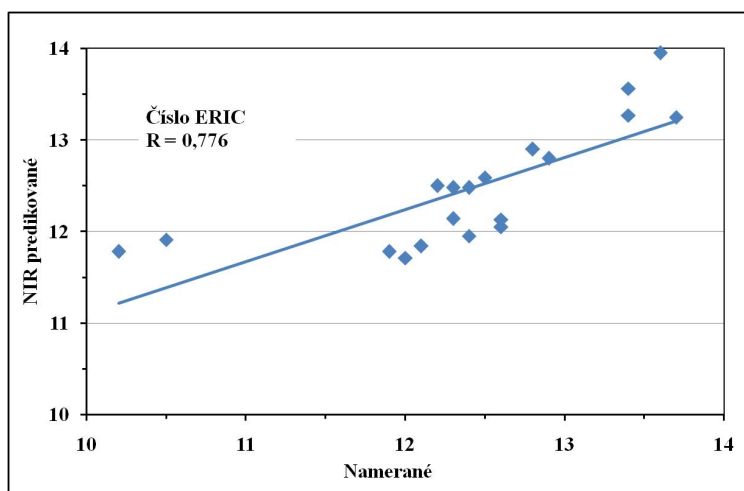
Kalibračné modely t.j. závislosti NIR predikovaných koeficientov rozptylu svetla s_{457} a s_{950} , čísla ERIC a zvyškovej farby od nameraných konvenčnými metódami boli určené pre hárky zo sekundárnych vlákien z odrezkov z polygrafickej výroby, sulfátového hnedého povrchovo glejeného baliaceho papiera, bieleného kancelárskeho papiera, natieraného časopisového papiera, novinového papiera, z použitých obalov z vlnitej lepenky, odrezkov z výroby šedých obalov, odrezkov z výroby šedo bielych obalov a odrezkov z výroby hnede bielych obalov (Opálená a Fišerová 2021). Na obrázkoch 2-5 sú kalibračné modely pre koeficienty rozptylu svetla s_{457} a s_{950} , číslo ERIC a obsah zvyškovej farby v hárkoch zo sekundárnych vlákien z odrezkov z polygrafickej výroby.



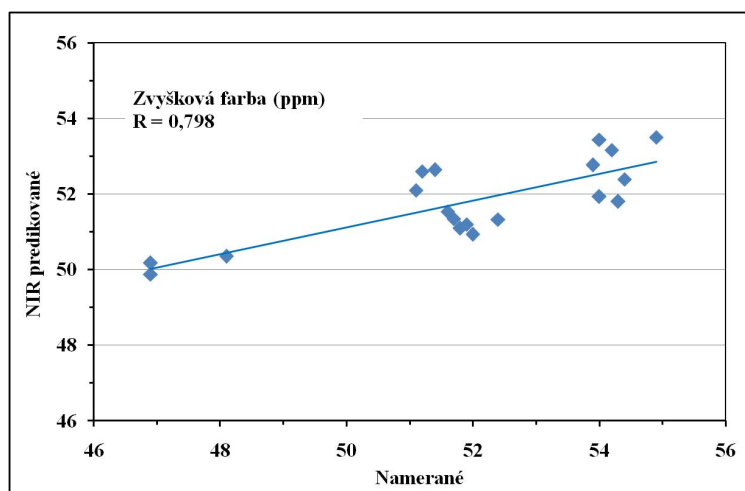
Obrázok 2. Kalibračný model pre koeficient rozptylu svetla s_{457} hárkov zo sekundárnych vlákien odrezkov z polygrafickej výroby



Obrázok 3. Kalibračný model pre koeficient rozptylu svetla s_{950} hárkov sekundárnych vlákien odrezkov z polygrafickej výroby



Obrázok 4. Kalibračný model pre číslo ERIC hárkov zo sekundárnych vlákien odrezkov z polygrafickej výroby



Obrázok 5. Kalibračný model pre zvyškovú farbu hárkov zo sekundárnych vlákien odrezkov z polygrafickej výroby

Podobné kalibračné modely sa získali aj pre hárky zo sekundárnych vlákien sulfátového hnedého povrchovo glejeného baliaceho papiera, bieleného kancelárskeho papiera, natieraného časopisového papiera, novinového papiera, z použitých obalov z vlnitej lepenky, odrezkov z výroby šedých obalov, odrezkov z výroby šedo bielych obalov a odrezkov z výroby hnedo bielych obalov. Korelačné koeficienty kalibračných modelov sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Korelačné koeficienty kalibračných modelov pre koeficienty rozptylu svetla s_{457} a s_{950} , číslo ERIC a obsah zvyškovej farby hárkov zo sekundárnych vlákien

Kalibračný model	Korelačné koeficienty			
	Koeficient rozptylu svetla s_{457}	Koeficient rozptylu svetla s_{950}	Číslo ERIC	Obsah zvyškovej farby
Odrezky z polygrafickej výroby	0,989	0,992	0,776	0,798
Sulfátový hnedý povrchovo glejený baliaci papier	0,936	0,986	0,868	0,925
Bielený kancelársky papier	0,978	0,968	0,981	0,922
Natieraný časopisový papier	0,966	0,967	0,846	0,866
Novinový papier	0,933	0,950	0,978	0,992
Použité obaly z vlnitej lepenky	0,942	0,992	0,987	0,969
Odrezky z výroby šedých obalov	0,942	0,992	0,987	0,969
Odrezky z výroby šedo bielych obalov	0,968	0,922	0,994	0,996
Odrezky z výroby hnedo bielych obalov	0,934	0,903	0,854	0,987

4 Záver

FT-NIR spektroskopia bola použitá pre predikciu koeficientu rozptylu svetla pri vlnových dĺžkach 457 a 950 nm, čísla ERIC a obsahu zvyškovej farby laboratórnych hárkov zo sekundárnych vlákien z odrezkov z polygrafickej výroby, sulfátového hnedého povrchovo glejeného baliaceho papiera, bieleného kancelárskeho papiera, natieraného časopisového

papiera, novinového papiera, z použitých obalov z vlnitej lepenky, odrezkov z výroby šedých obalov, odrezkov z výroby šedo bielych obalov a odrezkov z výroby hnedo bielych obalov. Z FT-NIR predikovaných a nameraných hodnôt konvenčnými metódami sa zostrojili závislosti - kalibračné modely, z ktorých možno na základe NIR spektier laboratórnych hárkov pre vybraný druh sekundárnych vlákien určiť koeficienty rozptylu svetla, číslo ERIC a obsah zvyškovej farby. Presnosť určenia optických vlastností pre vybraný druh sekundárnych vlákien závisí od korelačného koeficientu kalibračného modelu. Výhodou použitia FT-NIR spektrometrie je rýchlosť stanovenia a zníženie nákladov v porovnaní s konvenčnými metódami.

Pod'akovanie

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

Literatúra

- SCHIMLECK, L.R., MICHELL, A.J., VINDENM, P. 1996. Eucalypt wood classification by NIR spectroscopy and principal components analysis. *Appita* 49: 295-302.
- FENGEL, D. 1993. Neue Erkenntnisse über die Feinstruktur der Cellulose. *Das Papier* 47(12): 695-702.
- MICHELL, A.J. 1995. Pulpwood quality estimation by near-infrared spectroscopic measurements on eucalypt woods. *Appita* 48: 425-428.
- FARDIM, P., FERREIRA, M.M.C., DURÁN, N. 2005. Determination of mechanical and optical properties of eucalyptus kraft pulp by NIR spectrometry and multivariate calibration. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 25:267-279.
- CALLIS, J.B., ILLMAN, D.L., KOWALSKI, B.R. 1987. Process analytical chemistry. *Anal. Chem.*, 59 (9): 624A-635A.
- McLENNAN, F. 1995. Process analytical chemistry in perspective. In *Process Analytical Chemistry*, McLennan, F., Kowalski, B.R., Eds.: Blackie Academic and Professional, Glasgow, pp. 1-13.
- YEH, T.F., CHANG, H.M., KADLA, J.F. 2004. Rapid prediction of solid wood lignin content using transmittance near-infrared spectroscopy. *J. Agr. Food Chem.* 52(6): 1445-1439.
- FARDIM, P., FERREIRA, M.M.C., DURÁN, N. 2002. Multivariate calibration for quantitative analysis of Eucalypt kraft pulp by NIR spectrometry. *J. Wood Chem. Technol.* 22(1): 67-81.
- RUSS, A., FIŠEROVÁ M., OPÁLENÁ, E. 2012. Application of NIR spectroscopy for rapid estimation of wood chemical components. *Papír a celulóza* 67(5): 155-159.
- GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M. 2011. Identification of semichemical fluting properties by application of near infrared spectroscopy. *Wood Research* 56(2): 189-202.
- FIŠEROVÁ, M., GIGAC, J., RUSS, A., MAHOLÁNYIOVÁ, M. 2012. Using NIR analysis for determination of hardwood kraft pulp properties. *Wood Research* 57(1): 121-130.
- OPÁLENÁ, E., FIŠEROVÁ, M., 2021. Vplyv plošnej hmotnosti laboratórnych hárkov zo zberových papierov na optické vlastnosti a obsah ťažkých kovov. VS 3297, VTEI VÚPC.

Summary

Use of NIR analysis for the determination of the optical properties of papers from secondary fibers. We compare the optical properties of laboratory sheets from secondary fibres measured with conventional methods with NIR predicted values. The secondary fibres are from off-cuts polygraphic production, brown kraft wrapping paper, bleached office paper, coated magazine paper, newsprint, from old corrugated containers, off-cuts from the production of gray packaging, off-cuts from the production gray-white packaging and off-cuts from the production of brown-white packaging. The correlation coefficients of calibration models, i.e., of the relationship between the measured and predicted values of the light scattering coefficients at wavelengths 457 and 950 nm, the ERIC number and the residual ink content, were high (0.776-0.996) for all types of waste papers. The size of the correlation coefficients depends on the composition of waste papers. The light scattering coefficients increase mainly with the content of inorganic fillers and pigments, and also with the content of mechanical pulp in waste paper. The ERIC number and the residual ink content are mainly related to the amount and type of printing ink as well as the content of semichemical and mechanical pulp in the waste paper. NIR spectroscopy is widely used to waste paper control quality and the technological conditions of its processing.

Kľúčové slová

zberový papier, FT-NIR spektroskopia, kalibračné modely, koeficient rozptylu svetla, číslo ERIC, zvyšková farba

Kontaktné adresy

Ing. Elena Opálená, Ing. Mária Fišerová, PhD., Ing. Juraj Gigac, PhD., Mgr. Albert Russ
Výskumný ústav papiera a celulózy a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava, Slovak Republic
opalena@vupc.sk, fiserova@vupc.sk, gigac@vupc.sk, russ@vupc.sk
www.vupc.sk

STAV A VÝVOJ ŠTRUKTÚRY NÍŽINNÝCH LESOV V OBLASTIACH PODUNAJSKEJ NÍŽINY A JUHOSLOVENSKEJ KOTLINY

Jozef Vladovič, Pavel Pavlenda

1 Úvod

Cieľom práce bolo odvodenie a prezentovanie stavu a vývoja druhového drevinového zloženia v dvoch nížinných lesných oblastiach, a to v Podunajskej nížine a Juhoslovenskej kotline a poukázať na zmeny v distribúcii a plošných zmenách mapovaných typologických jednotiek v časti inundačného územia Dunaja za štvrtstoročie, a to za obdobie pred a po výstavbe vodného diela Gabčíkovo. Ďalej bolo cieľom aj opísať spôsob mapovania a lokalizácie výskytu vybraných pôvodných druhov drevín v oblasti Dunajských lužných spoločenstiev a uviesť koncept možných prístupov a priestorových súvislostí k eliminácii nekontrolovaného rozširovania zastúpenia agát na príklade v Juhoslovenskej kotline.

2 Materiál a metódy

Zmeny v zastúpení drevín v lesných oblastiach za posledné štvrtstoročie, zhruba medzi rokmi 1993 a 2021 uvádzame v zjednodušenej forme, a to k roku 1993 z práce VLADOVIČ *et al.* (1994) a k roku 2021 z údajov PSL z informačného systému lesného hospodárstva (ISLH, NLC, 2021). Stupeň zachovalosti drevinového zloženia bol odvodený použitím modifikovanej metódy aproximácie podľa publikácie VLADOVIČ (2003) v prostredí GIS. Metóda aproximácie spočíva v odvodzovaní miery zachovalosti druhového zloženia porastov. Vychádza zo zistenia odchýlok skutočného zastúpenia dreviny od potenciálneho pôvodného odvodeného z poznatkových báz. Miera aproximácie je vyjadrená v % a agregovaná do piatich stupňov. Potenciálne pôvodné zastúpenie drevín bolo odvodené pre jednotlivé jednotky priestorového rozdelenia lesa (JPRL) v kombinácii s typologickou mapou (GIS vrstva; NLC, 2015) s použitím poznatkovej bázy pôvodného rekonštruovaného drevinového zloženia podľa skupín lesných typov. Pri spracovaní výhľadového zastúpenia drevín pre lesné oblasti a lesy SR sa vychádzalo z poznatkových báz výhľadového drevinového zloženia jednotiek lesníckej typológie – hospodárskych súborov lesných typov (HSLT) a modelov cieľov hospodárenia (VLADOVIČ *et al.*, 1998; VLADOVIČ, 2003).

Porovnanie zmien v distribúcii a plošnom výskyte mapovaných typologických jednotiek v modelovej lokalite v inundačnom území Dunaja sme vykonali v ArcGIS, po digitalizácii typologických máp z obdobia typologického mapovania pred výstavbou vodného diela (VD) Gabčíkovo (LESOPROJEKT Zvolen, stav mapovania z r. 1990) a aktuálnou verziou typologických máp (NLC, stav z r. 2015).

Pri posudzovaní stavu a vývoja porastových textúr, mapovaní a lokalizácii výskytu a rozšírenia drevín a porastových typov, lokalizácii kontaktných zón s výskytom agátin sme využili letecké multispektrálne snímky a časové rady aktuálnych a historických leteckých meračských snímok a satelitných scén. Informácie o porastoch z programov starostlivosti (PSL) z Informačného systému lesného hospodárstva (ISLH) a podrobné informácie o porastových štruktúrach z výskumných plôch (VP) vlastného výskumu vrátane terénnych zisťovaní v rámci riešených projektov.

3 Výsledky

3.1 Stav a vývoj štruktúry lesov v Podunajskej nížine

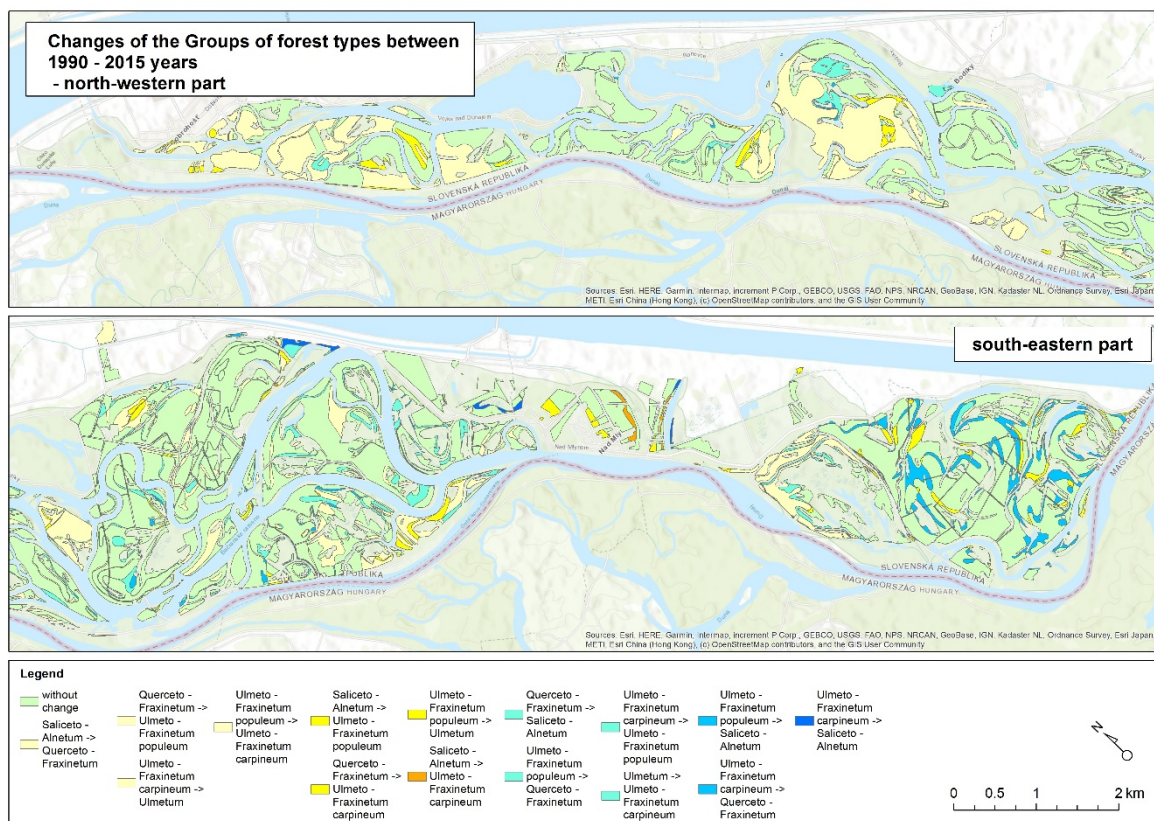
Lesná oblasť Podunajská nížina (LO 02) má výmeru porastovej plochy 62 526 ha, lesnatosť 6,4 %, prevažuje 1. dubový vegetačný stupeň (72 %) a B živný edaficko-trofický rad (62 %). Z pedologického hľadiska v oblasti prevláda skupina ilimerických pôd (37 %) s prevahou subtypov luvizem typická (17 %) a hnedozem typická (16 %). Skupina hnedých pôd má plošné zastúpenie 11 % s prevahou kambizeme luvizemnej (10 %). Skupina nivných pôd (24 %) s prevahou fluvizeme karbonátovej (11 %) a v skupine molických pôd (19 %) prevažuje černozem hnedozemná (12 %) (VLADOVIČ *et al.*, 1994). V aktuálnom zastúpení drevín je poradie nasledovné: dub zimný 20,37 %, agát 20,01 %, cer 13,96 %, topole šľachtené 10,42 %, jaseň štíhly 6,35 %, borovica lesná 4,25 %, hrab 3,92 %, dub letný 3,75 %, topole domáce 3,10 %, buk 1,64 %, vrbý 1,61 %, dub červený 1,51 %, javor horský 1,38 %, lipa malolistá 1,13 %, jelša lepkavá 1,00 %, orech čierny 0,85 %, javor poľný 0,79 % (NLC, 2021). V rekonštruovanom pôvodnom drevinovom zložení podľa našich výsledkov v LO 02 prevažovali dub zimný 38,26 % a dub letný 9,86 %. Nasledujú buk 9,36 %, hrab 8,24 %, brest poľný 7,52 %, jaseň štíhly 4,87 %, dub plstnatý 3,77 %, lipa malolistá 3,45 %, brest väzový 2,50 %, javor mliečny 2,34 %, javor poľný 1,98 %, topole domáce 1,50 %, brekyňa 0,66 %. Úhrnná priemerná aproximácia aktuálneho k pôvodnému drevinovému zloženiu všetkých JPRL lesnej oblasti odvodená metódou GIS je 25,98 % (N 16 927 záznamov, JPRL), to znamená, že porasty LO možno úhrnne charakterizovať ako stredne zachovalé na spodnej hranici intervalu, teda s priemernou hodnotou aproximácie už hraničiacou s prevažne nezachovalými spoločenstvami. V odvodenom výhľadovom zastúpení drevín by mali mať dominanciu duby 58,75 % (dub zimný 43,85 %, letný 13,89 %), nasleduje buk 8,57 %, hrab 7,96 %, borovica sosna 6,40 %, jaseň štíhly 4,08 %, javor poľný 2,61 %, topole domáce 1,92 %, jelša lepkavá 1,73 %, lipa malolistá 1,35 %, smrekovec 1,29 %, vrbá 1,27 %, čerešňa 0,90 %, javor mliečny 0,76 %, brekyňa 0,48 %. Za uplynulé viac ako štvrtstoročie zaznamenávame nežiaducu tendenciu nárastu plošného podielu ceru v tejto oblasti z 12,72 % (r. 1993) na 13,97 % (r. 2021), ďalej nárast zastúpenia agátu z 18,54 % (r. 1993) na 20,01 % (r. 2021).

3.2 Zmeny v distribúcii lesných spoločenstiev v inundačnom území Dunaja

V modelovej lokalite (ML) Dobrohošť – Sap v inundačnom území Dunaja sme sa zamerali na porovnanie zmien v distribúcii a plošnom výskyte mapovaných typologických jednotiek, a to z obdobia typologického mapovania pred (stav mapovania z r. 1990) a po výstavbe VD Gabčíkovo (stav mapovania z r. 2015). Zmeny v priestorovej distribúcii a relatívnom plošnom zastúpení vybraných skupín lesných typov uvádza obrázok 1.

V posudzovanom území, na celkovej výmere porastovej plochy 2495 ha, plošne prevládajú mapované stanovištia tzv. prechodných luhov. Nachádzajú sa na 70,03 % porastovej plochy. Z toho SLT *Ulmeto – Fraxinetum populeum* (UFrp) Brestová jasenina s topoľom, zaberajúca 43,68 % porastovej plochy a SLT *Querceto – Fraxinetum* (QFr) Dubová jasenina 26,35 %. Ďalej sú to spoločenstvá tzv. mäkkých luhov, SLT *Saliceto – Alnetum* (SAl) Vrbová jelšina zaberajúce 16,54 % porastovej plochy. Stanovištia tzv. tvrdých luhov majú relatívny podiel 13,43 %. Z toho SLT *Ulmeto – Fraxinetum carpineum* (UFrc) Brestová jasenina s hrabom 12,37 %; SLT *Ulmelum* (U) Brestové porasty 1,06 %.

Celkovo možno konštatovať, že sa medzi obdobím rokov 1990 a 2015 bolo bez zmeny na úrovni skupín lesných typov (SLT) 68,43 % územia. Zmena stanovištných podmienok smerom k suchším SLT bola zaznamenaná na 23,61 % územia a zmena k vlhším stanovištiam na 7,97 %.



Obrázok 1. Zmeny priestorovej distribúcie typologických jednotiek (skupín lesných typov) v modelovej lokalite Dobrohošť – Sap v inundačnom území Dunaja medzi obdobiami rokov 1990 a 2015

Z hľadiska priestorovej identifikácie zmien a tvorby zásad pre aktívny manažment sa prioritne sústreďujeme najmä na stanovištné zmeny podmienok v skupinách lesných typov smerom k suchším spoločenstvám. Z plošného hľadiska na relatívne najväčšom podiele porovnávanej výmery 9,91 % bola znamenaná zmena SLT *Querceto - Fraxinetum* na SLT *Ulmeto - Fraxinetum populeum*. Ide o zmenu podmienok smerom k suchším stanovištiam SLT v skupine prechodných luhov. Ďalej nasleduje zmena SLT *Ulmeto - Fraxinetum populeum* na stanovištia vhodné pre SLT *Ulmeto - Fraxinetum carpineum* na 5,65 % porovnávanej výmery a zmena SLT *Saliceto - Alnetum* na SLT *Querceto - Fraxinetum* 4,66 %. V poslednom uvedenom prípade ide o zmenu spoločenstiev zo skupiny tzv. mäkkých luhov na prechodné luhy, podobne ako v prípade stanovištnej zmeny podmienok SLT *Saliceto - Alnetum* na SLT *Ulmeto - Fraxinetum populeum* na 2,43 %, ďalej SLT *Saliceto - Alnetum* na SLT *Ulmeto - Fraxinetum carpineum* (0,21 %). Z plošného hľadiska so zohľadnením veľkosti posudzovaných plôch na menšej časti porovnávanej výmery (0,49 %) došlo k zmenám podmienok SLT *Querceto - Fraxinetum* na SLT *Ulmeto - Fraxinetum carpineum*. Bola tiež zaznamenaná zmena SLT *Ulmeto - Fraxinetum populeum* na SLT *Ulmeto* na 0,21 %. V posledných dvoch prípadoch ide o stanovištné zmeny z prechodných do tvrdých luhov.

3.3 Mapovania a lokalizácie autochtónnych drevín v dunajských lužných lesoch

V rámci spolu-riešenia projektu LIFE „Obnova a manažment dunajských lužných biotopov“, sme v Podunajskej nížine v širšej oblasti dunajských lužných lesov okrem iného vykonali aj mapovanie, vyhľadávanie a lokalizáciu autochtónnych drevín, jednotlivých stromov a relatívne zachovalých pôvodných lužných spoločenstiev. V teréne sme v širšom okolí toku Dunaja lokalizovali a zistili základné charakteristiky 220 stromov pôvodných

drevín Dunajských lužných lesov. Na časti z nich sa vypracovali návrhy na ich doplnenie do národného zoznamu uznaných zdrojov lesného reprodukčného materiálu (LRM). Pri pred-výbere a lokalizácii stromov sme využili aj letecké multispektrálne snímky (obr. 2) z projektu INMEIN (BUCHA *et al.*, 2014), GPS podporu a metódu aproximácie aktuálneho drevinového zloženia v JPRL k pôvodnému rekonštruovanému zastúpeniu drevín v JPRL. Pri mapovaní a vyhľadávaní autochtónnych stromov sme sa v teréne prednostne sústredili na JPRL s relatívne najvyšším dosiahnutým percentom aproximácie.

Z 220 lokalizovaných stromov boli autochtónne dreviny v nasledovnej štruktúra: topoľ čierny (68 ks), topoľ biely (30 ks), topoľ sivý (3 ks), dub letný (38 ks; obr. 3), vrbá biela (20 ks), jaseň štíhly (15 ks), jaseň úzkolistý (2 ks), jelša lepkavá (12 ks), brest väzový (9 ks), brest hrabolitý (5 ks), javor poľný (5 ks), lipy (4 ks); hruška obyčajná (planá) (4 ks), čremcha obyčajná (tŕпка) (3 ks), hloh obyčajný (1 ks), jablň planá (plánka) (1 ks).



Obrázok 2. Prípravná fáza pred-výberu a lokalizácie autochtónnych stromov (ArcGIS) v lokalite Bodického a Gabčíkovského ramena na podklade leteckých multispektrálnych IRC ortofotosnímkov



Obrázok 3. Výšková (m) a hrúbková (obvod v cm) štruktúra vybraných 38 pôvodných stromov duba letného

3.4 Stav a vývoj štruktúry lesov v oblasti Juhoslovenskej kotliny

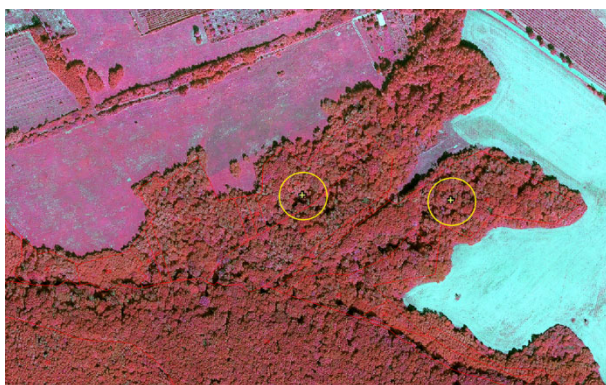
Lesná oblasť Juhoslovenská kotlina (LO 10) má výmeru porastovej plochy 34 486 ha, lesnatosť 18,4 %. Prevažuje 2. bukovo-dubový vegetačný stupeň (54 %) a B živný edaficko-trofický rad (95 %). Z pedologického hľadiska v oblasti prevláda skupina ilimerických pôd (68 %) s najrozšírenejšími pôdnymi subtypmi luvizem typická (64 %) a luvizem pseudoglejová (4 %). Plošne významný podiel má tiež skupina hnedých pôd (29 %), s prevahou subtypov kambizem luvizemná (20 %) a kambizem typická (8 %). V súčasnom drevinovom zložení je plošne najviac zastúpenou drevinou cer 31,51 %, nasledujú dub zimný 21,29 %, hrab 19,28 %, agát 15,88 %, borovica lesná 2,98 %, dub letný 2,89 %, buk 1,08 %, javor poľný 0,95 %, lipa malolistá 0,59 %, breza 0,58 %, jelša lepkavá 0,44 % (NLC, 2021). V rekonštruovanom pôvodnom drevinovom zložení v tejto oblasti podľa našich výsledkov (VLADOVIČ *et al.*, 1998; VLADOVIČ, 2003) prevažovali duby s podielom 62,22 % (zimný 54,38 %, letný 3,85 % a plstnatý 3,99 %), ďalej nasledovali dreviny buk 14,74 %, hrab 9,37 %, javor mliečny 4,12 %, lipa malolistá 3,94 %, cer 3,02 %, brekyňa 0,94 %, javor poľný 0,71 %. Úhrnná priemerná aproximácia všetkých JPRL lesnej oblasti odvodená metódou GIS je 31,50 % (N 7347 JPRL). V odvodenom výhľadovom zastúpení drevín by mali mať dominanciu duby 63,24 % (dub zimný 62,16 %), nasledujú dreviny buk 13,87 %, borovica sosna 9,46 %, hrab 7,03 %, smrekovec 1,24 %, lipa malolistá 1,02 %, javor mliečny 1 %, čerešňa 0,91 %, javor poľný 0,64 %, brekyňa 0,54 %.

Za uplynulé viac ako štvrtstoročie zaznamenávame v lesnej oblasti Juhoslovenská kotlina, Gemerská pahorkatina zníženie plošného podielu dubov (zimný + letný) z 26,96 % (r. 1993) na 24,18 % (r. 2021, zimný 21,29 %, letný 2,89 %) a zaznamenali sme nárast

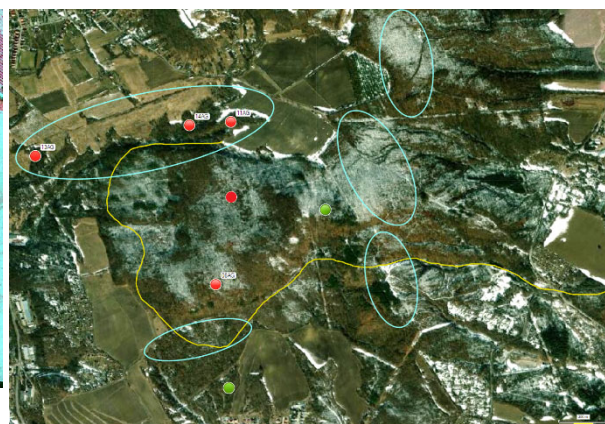
zastúpenia hrabu z 13,74 % (r. 1993) na 19,28 % (r. 2021). Z hľadiska zachovalosti druhovej štruktúry (prirodzenosti) možno považovať za nepriaznivý vysoký podiel agáta 15,88 % (r. 2021) a vysoké zastúpenie duba cerového 31,51 % (r. 2021), najmä na úkor zastúpenia autochtónnych dubov.

3.5 Prístupy k eliminácii nekontrolovaného šírenia agáta

Pri klasifikácii lokalít s výskytom agáta a pri zakladaní VP a výbere modelových lokalít s agátom sme sa sústredili na zabezpečenie argumentov na odhalenie príčin a elimináciu dôsledkov nepriaznivého rozširovania agáta nevhodnými postupmi starostlivosti (obhospodarovania) a pokynmi v PSL. Žiaduce bude eliminovať nepresnosti opisov porastov a nevhodnosti spôsobov obhospodarovania aj v kategórii ochranných lesov na zabezpečenie ochrany pôd. Často už plošnou regoknoskáciou a monitorovaním územia na podkladoch DPZ, najmä farebných multispektrálnych leteckých snímkach (obr. 4) v prostredí GIS možno odhaliť nezodpovedajúcu unifikáciu porastových štruktúr v opisoch porastov v PSL a nevhodnosť postupných premien zmiešaných porastov s prímiesou agáta na rovnorodé agátiny (obr. 5).



Obrázok 4. Textúry porastov s agátom, v lesoch s prevažujúcou funkciou ochrany pôdy, na infračervenej ortofotosnímke z r. 2021 (GKÚ Bratislava, NLC Zvolen – ISLH) s lokalizáciou výskumných plôch. Lokalita Katovka v Juhoslovenskej kotline (LC Čebovská Bukovina). Zvýrazňuje sa potreba zabrániť degradácii ekosystému prírode bližším spôsobom starostlivosti najmä v hornej zbernej časti územia s podporou prirodzených a pôvodných drevín.



Obrázok 5. Porastové textúry s výskytom agátin v modelovej lokalite Babka v Juhoslovenskej kotline (LC Čebovská Bukovina) s lokalizáciou výmoľov a strží na ortofotosnímke v období vegetačného pokoja (BirdsEyeTM Satellite Imagery (Garmin; Maxar); modré elipsy – zberné územia strží, žltá čiara – ohraničenie kontaktnej zóny výskytu agátin.

Osvedčenou a využiteľnou pomôckou pri posudzovaní stavu a vývoja porastových textúr a ich zmien v čase sú časové rady historických a aktuálnych leteckých meračských snímkov (LMS). V oblasti Juhoslovenskej kotliny to ilustrujeme na príklade modelovej lokality (ML) Babka, pričom boli využité snímky z rokov roky 1935 (obr. 6), (1949), 1955, 2005, 2021 (obr. 7). Na posudzovaných lokalitách sme uplatnili tiež časové rady satelitných snímkov Landsat. K dispozícii sú z rokov 1990 až 2022, s ročným odstupom (BARKA, BUCHA *et al.*, 2018). Využili sme ich pri vizualizácii zmien porastových textúr v JPRL s výskytom agáta pri identifikácii a lokalizácii ohraničenia kontaktných zón výskytu agátin aj s využitím údajov o porastoch z ISLH (obr. 5).



Obrázok 6. Panchromatická letecká meračská snímka, rok 1935 (Topografický ústav Banská Bystrica); lokalita Babka, LC Čebovská Bukovina



Obrázok 7. Ortofotomapa z multispektrálnych leteckých snímok, rok 2021 (GKÚ Bratislava, NLC Zvolen – ISLH) s lokalizáciou výskumných plôch; lokalita Babka

Jedno z riešení spočíva v optimalizácii prvkov priestorovej úpravy lesa. Napríklad v kategórii lesov ochranných pri výmoľoch a stržiach spravidla iba menšiu časť výmery JPRL tvorí vlastné teleso strže. Z funkčného hľadiska, rozhodujúcou je počiatočná horná zberná časť územia, kde sú namieste jemnejšie a prírode blízke spôsoby starostlivosti. Navrhovaným riešením je stratifikácia územia a diferencovaná najmä pestovno-ochranná starostlivosť s podporou pestovania prirodzených zmesí drevín iba s tolerovanou a cielene kontrolovanou prímiesou agáta. Dôležité je sústrediť sa na tzv. kontaktné zóny, v ktorých by sme mali eliminovať výskyt a rozširovanie rovnorodých nezmiešaných agátin. Časti porastov obnovené pňovými a koreňovými výmladkami viacerých generácií síce z časti protieróznou funkciu ochrany pôdy plnia, ale z dlhodobejšieho ekologického hľadiska spôsobujú degradáciu lesného ekosystému a znižovanie ekologickej stability. Evidentný je pokles kvality i vitality porastov.

4 Záver

Stav stanovištnej vhodnosti a zachovalosti druhovej a priestorovej štruktúry lesov má zásadný a určujúci význam pre ich ďalší vývoj. Naznačuje konkrétne východiská pre starostlivosť a manažment lesov v širších lesníckych a krajinnno-ekologických súvislostiach. Na celoslovenskej úrovni dáva dôležité podklady pre zostavovanie východísk pre štátnu lesnícku politiku. Na regionálnej úrovni sú to informácie pre formulovanie zásadných rozhodnutí a rámcových zásad ako východísk pre oblastné lesnícko-ekologické plánovanie. Na lokálnej aj regionálnej úrovni môže významne prispieť k zonácii lesov, formulácii rámcového aj podrobného plánovania v rámci programov starostlivosti o lesy.

Pri posudzovaní stavu a vývoja štruktúry nížinných lesov a ich zmien v čase sa osvedčili prístupy klasifikácie s využitím DPZ, aktuálnych a historických leteckých meračských snímok a satelitných scén a s využitím informačného systému lesného hospodárstva v prostredí GIS.

Pri posudzovaní stavu a vývoja lesov je žiaduce zohľadňovať širšie priestorové súvislosti. Je potrebné posudzovať väčšie komplexy porastov, zoskupenia JPRL – lesnícko-ekologické funkčné priestory, malé povodia, s jednotkovou výmerou okolo 50 až 100 ha. Uvedené by sa malo stať súčasťou podkladov pre základné rozhodnutia a rámcové plánovanie v procese vyhotovovania PSL. Optimalizáciou prvkov priestorovej úpravy lesov môžeme prispieť k eliminácii rozširovania zastúpenia stanovištne nevhodných drevín a drevín invázneho charakteru.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka finančnej podpore projektov APVV-18-0223 „Vyhodnotenie kľúčových vlastností lesných pôd Slovenska: aktuálny stav, vývoj, priestorové väzby a vzťahy k stavu lesa“; APVV-17-0416 „Možnosti využitia vybraných introdukovaných drevín z ekologického a produkčného hľadiska na lesných a poľnohospodárskych pôdach Slovenska v meniacich sa klimatických podmienkach“ a vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva“; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Táto publikácia vznikla aj vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov“; (kód ITMS2014+ 313011V465), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- BUCHA, T. et al. 2014: Inovatívne metódy inventarizácie a monitoringu lužných lesov Dunaja (INMEIN); <http://www.inmein.nlsk.sk/sk/index.php>
- BARKA, I., BUCHA, T. et al. 2018: Identifikácia zmien stavu lesa zo satelitných snímok; <https://www.nlsk.org/stales/>
- LESOPROJEKT Zvolen, 1990: Typologická mapa LHC Gabčíkovo.
- NLC Zvolen, 2015: Digitálna typologická mapa lesov Slovenska.
- NLC Zvolen, 2022: Informačný systém lesného hospodárstva (ISLH); <https://gis.nlsk.org/islhp/#lesnictvo>
- VLADOVIČ, J. et al. 1994: Lesné oblasti Slovenska. Lesoprojekt Zvolen, 500 s.
- VLADOVIČ, J., GRÉK, J., MINĎÁŠ, J., BUCHA, T. 1998: Prehodnotenie cieľového zloženia lesných drevín s dôrazom na využívanie prirodzenej obnovy. Záverečná správa úlohy 14/98, LVÚ Zvolen, 53 s.
- VLADOVIČ, J. 2003: Oblastné východiská a princípy hodnotenia drevinového zloženia a ekologickej stability lesov Slovenska. Bratislava, Príroda 2003, Lesnícke štúdie; 57/2003, 160 s.

Summary

The state and development of the structure of lowland forests in the regions of the Danube lowland and the South-Slovak Basin. The work presents the state and development of the tree species composition and structure of forests in two lowland forest areas, in the Danube lowland and in the South Slovak Basin over the past quarter of a century. We applied GIS approaches in the classification of the degree of congruity of the tree species composition to soil and site condition using the approximation method. In the assessed inundation area of the Danube river, based on typological mapping, between 1990 and 2015 (before and after the opening of the Gabčíkovo waterpower system) we recorded a 24% change in habitat conditions towards drier communities, 8% to wetter ones, and 68% of the territory was without changes at the level of mapped groups of forest types. We also applied RS and GIS to quantify current, original and prospective tree species composition. It draws attention to the unwanted increase in the representation of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and Turkey oak (*Quercus cerris* L.) over time, as well as the decrease of other oaks (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* L.) compared to the derived original representation in the area of lowland forests. Some proposals are presented how to

eliminate the consequences of the unfavourable expansion of black locust due to inappropriate management procedures. The solution lies in the optimization of the elements of the spatial management of forests. When assessing the state and development of vegetation textures and their changes over time, classification approaches using time series of current and historical aerial survey images and satellite scenes, also using the forestry information system, have proven themselves. When assessing the condition and development of forest stands, it is desirable to take into account wider spatial context, which means that it is necessary to assess larger forest stands complexes – forestry-ecological functional areas, small watersheds, with a unit area of around 50 to 100 ha.

Kľúčové slová

drevinové zloženie; pôvodné a introdukované lesné dreviny; stanovištná vhodnosť; lužné lesy

Kontaktné adresy

Ing. Jozef Vladovič, PhD.
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
jozef.vladovic@nlcsk.org

Ing. Pavel Pavlenda, PhD.
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
pavel.pavlenda@nlcsk.org

OBSAH PRVKOV V ASIMILAČNÝCH ORGÁNOCH RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN NA SLOVENSKU

Slávka Tóthová, Danica Krupová

1 Úvod

V príspevku sú uvedené čiastkové výsledky chemických vlastností asimilačných orgánov vybraných rýchlorastúcich drevín (*Populus species*, *Salix alba* L., *Robinia pseudoacacia* L.) získané zo starších, doteraz nespracovaných databáz, ktoré vznikli na základe rozsiahleho chemického prieskumu lesných ekosystémov na Slovensku v rokoch 1996 až 2000. Listová diagnostika prináša poznatky o minerálnej výžive drevín, či je optimálna, alebo sú živiny prítomné nedostatočne, resp. v nadbytku. Prináša poznatky o potenciálnej záťaži územia cudzorodými látkami nachádzajúcimi sa v ovzduší, vode a pôde, s ktorými rastlina príde do kontaktu. Pre hlavné druhy drevín, ihličnaté aj listnaté, má lesnícky výskum k dispozícii množstvo poznatkov na základe ktorých boli definované optimálne a limitné hodnoty pre živiny aj rizikové prvky, pre rýchlorastúce dreviny takéto poznatky doteraz neboli spracované.

2 Listová diagnostika

Každá drevina má špecifický prirodzený obsah prvkov, pričom výživový status je dôležitým indikátorom rastu stromov, ako aj ich vitality. Pre dobrý zdravotný stav drevín je nevyhnutý optimálny obsah jednotlivých prvkov a ich vzájomný pomer (MEHNE-JAKOBS & GULPEN, 1997). Na základe výsledkov chemických analýz je však možné identifikovať zmeny už v predvizuálnom štádiu. Zvyčajne ak minerálna výživa nie je optimálna, tak sú pozorované vizuálne symptómy. Sú to anomálie ako sfarbenie listov, deformácie, nekrózy, vyschýnanie výhonkov, ktoré poukazujú na nedostatok, resp. nadbytok jednotlivých prvkov vo výžive (ŠMELKOVÁ et al., 2001).

Zastúpenie minerálnych prvkov v asimilačných orgánoch je považované za dobrý indikátor zdravotného stavu stromov (SEIDLING, 2001). Koncentrácia prvku v asimilačnom orgáne je závislá na prístupnosti živín v pôde, ale tiež na zložení vstupujúcich atmosférických depozícií, ako i na procesoch vymývania z povrchu listov, či ihličia. Klimatické faktory môžu výrazne ovplyvniť zastúpenie jednotlivých prvkov v asimilačných orgánoch (SEIDLING, 2001).

Listová diagnostika vykonávaná chemickou analýzou, stanovením obsahov celkových minerálnych prvkov, je dobrým prostriedkom k získaniu poznatkov o stave drevín. Pri posudzovaní vplyvov cudzorodých materiálov je často presnejšia než diagnostika pôd. Spočíva na existencii vzťahu medzi obsahom určitého prvku v liste a rastom. Maximálny rast prebieha pri optimálnych hodnotách. Pri kritickej hladine prvku je rast potlačený a v princípe dosahuje menej ako 90 % optimálneho rastu (BONNEAU, 1988). Listová diagnostika si vyžaduje dodržanie jednotných metodických postupov pri odberoch a chemických analýzach vzoriek. Elementy, ktoré vstupujú do výživy drevín môžu vo vegetačných orgánoch vo zvýšenej miere kumulovať a tak narušiť fyziologickú rovnováhu. Listovou diagnostikou zisťujeme nedostatočnosť i nadbytok minerálnych prvkov, pričom zvýšený obsah nutričných prvkov môže byť pre rastlinu toxický.

Stresové faktory, ktoré sú spojené s vplyvmi prostredia, môžu spôsobiť deficit živín. Nedostatočné, ale aj nadlimitné množstvo živín v asimilačných orgánoch môže priamo vplývať na zníženie vitality a ohrozenie zdravotného stavu drevín. Vysoké obsahy rôznych prvkov v asimilačných orgánoch môžu byť výsledkom intoxikácie z pôdneho prostredia,

alebo vysokého imisného zaťaženia. Nepriaznivé chemické podmienky v koreňovej zóne v pôde môžu viesť k narušeniu zásob živín a nerovnováhe v nutričnej výžive stromov. Tento stav môže byť prechodný, ale môže limitovať rast stromov.

Obsahy minerálnych prvkov v rastlinných pletivách sú dôležité pre normálny rast. Jednotlivé prvky majú svoju funkciu, pričom ich rovnováha v rastlinách je základom zabezpečenia správnych funkcií (MAŇKOVSKÁ, 1996). Minerálne prvky sú zložkou protoplazmy, rastlinných pletív, hrajú úlohu v premene látok a energie, plnia úlohu katalyzátora, vplývajú na priepustnosť bunkových membrán, regulujú osmotické procesy, procesy nasávania vody (KMEŤ 1998). Minerálne prvky tvoriace rastlinné pletivo sa delia na makroelementy, mikroelementy a ultramikroelementy.

3 Metodika

Listová diagnostika si vyžaduje dodržanie jednotných metodických postupov pri odberoch a chemických analýzach vzoriek.

Vzorky asimilačných orgánov lesných drevín (*Populus species*, *Salix alba* L., *Robinia pseudoacacia* L.) boli odobraté z plôch v rokoch 1996–2000, kedy sa vykonávalo monitorovanie stavu lesov SR v sieti 4x4 km v rámci obnovy lesných hospodárskych plánov (LHP dnes PSL) aj pre účely vylišovania imisných pásiem. Monitoring robil Lesoprojekt Zvolen na základe „Rozhodnutia MP SR – Lesnícka sekcia – Odbor lesného hospodárstva, zo dňa 4. 7. 1995 č. 371/95 – 710“.

Počas monitoringu stavu lesov a prieskumu stavu lesa bolo v rokoch 1991-2000 na Slovensku odobraných 12 716 vzoriek pôd a 6 234 vzoriek asimilačných orgánov lesných drevín. Boli vykonané chemické analýzy širokého rozsahu zistením obsahu makroživín, mikroživín a rizikových prvkov. V asimilačných orgánoch sa stanovila síra, ortuť a 12 prvkov (sodík, draslík, horčík, vápnik, arzén, kadmium, meď, chróm, nikel, olovo, železo, zinok). Doteraz boli spracované údaje do roku 2000, ale existujú i údaje z rokov 2001 až 2007 v programe CHEMIA 2001 - Visual Fox Pro, ktoré treba ešte spracovať a doplniť do databázy poznatkov o obsahu prvkov v rýchlorastúcich drevinách. Odber vzoriek lesných drevín bol vykonávaný podľa zásad Metodického pokynu odberu pôdy a asimilačných orgánov lesných drevín MP SR podľa §22 zákona NR SR č. 15/1994 Zb. z. o hospodárení v lesoch a štátnej správe lesného hospodárstva (MAŇKOVSKÁ, PAVLENDÁ, 1995).

Vzorky asimilačných orgánov sa analyzovali neumyté. Sušili sa 24 hodín pri teplote nepresahujúcej 80°C. Lístie bolo oddelené od stoniek. Suché vzorky asimilačných orgánov boli dôkladne zomleté na jemný prášok a mineralizované (MDS 2000).

Na stanovenie prvkov bola použitá metóda atómovej absorpčnej spektrometrie (AAS-F: Ca, Cu, K, Fe, Mg, Na, Zn; AAS-ETA: Cd, Cr, Ni, Pb, As; AAS-AMA: Hg).

Celkový obsah Hg bol stanovený vo všetkých vzorkách priamo z pevnej vzorky na jednoúčelovom atómovom absorbčnom spektrometri AMA 254 od firmy ALTEC Praha.

Celkový obsah síry v asimilačných orgánoch lesných drevín bol stanovený na elementárnom analyzátore LECO SC 132.

Získané údaje boli vyhodnotené podľa druhu drevín v období 1996 – 2000. Boli vypočítané základné štatistické charakteristiky a výsledky porovnané s údajmi z Geochemického atlasu Slovenska: Lesná biomasa (Maňkovská 1996).

4 Výsledky

4.1 Veľkosť strany a číslovanie strany

Záchrana a identifikácia rozsiahlych súborov údajov o chemických vlastnostiach asimilačných orgánov lesných drevín, ktorá začala na NLC v roku 2021 prináša stále nové,

doteraz nespracované poznatky. V databáze sú údaje o viac ako 40 rôznych drevinách, pričom rozsah chemických analýz je pomerne široký a bol zameraný na stanovenie makroživín, mikroživín, ako aj rizikových prvkov. V tabuľkách 1–6 sú spracované údaje z danej databázy pre dreviny *Robinia pseudoacacia* L., *Populus species*, *Salix alba* L. Poskytujú prvotné údaje o chemickom zložení asimilačných orgánov na základe výsledkov analýz pre prvky vápnik, draslík, horčík, meď, zinok, síru, železo, sodík. Taktiež boli spracované údaje o arzéne a ťažkých kovoch kadmium, chróm, ortuť olovo, nikel. Týchto údajov sa nachádzalo v databázach menej, ale nie sú také dôležité pre výživu rastlín, skôr sú odrazom zaťaženia daného územia. V tabuľkách 7 a 8 sú spracované pre porovnanie údaje z atlasu o lesnej biomase, pre hlavné lesné dreviny, z listnatých ide o *Fagus sylvatica* L. a *Quercus species* (MAŇKOVSKÁ 1996). Asimilačné orgány lesných drevín sú citlivým bioindikátorom antropogénneho znečistenia prostredia (ovzdušie, voda, pôda). Akumulácia niektorých prvkov v asimilačných orgánoch lesných drevín bola v uvedených rokoch niekedy prekvapivo vysoká, čo odráža vplyv vysokého množstva emisií v danom období.

Tabuľka 1. Obsah Ca, K, Mg, Cu, Zn a S [mg.kg⁻¹] v asimilačných orgánoch *Robinia pseudoacacia* L. na Slovensku v rokoch 1996 - 2000

Štatistické charakteristiky	Ca	K	Mg	Cu	Zn	S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Priemer	17 410	13 730	3 506	6,40	20	2 723
Medián	15 930	12 940	3 516	6,00	17	2 600
Minimum	3 339	1 180	1 110	1,20	3	322
Maximum	44 170	34 400	7 621	15,70	55	7 000
Počet vzoriek	88	79	90	92	92	82

Tabuľka 2. Obsah Ca, K, Mg, Cu, Zn a S [mg.kg⁻¹] v asimilačných orgánoch *Populus species* na Slovensku v rokoch 1996 - 2000

Štatistické charakteristiky	Ca	K	Mg	Cu	Zn	S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Priemer	17 328	12 067	5 128	8,00	101	3 698
Medián	14 650	11 080	5 399	7,30	84	3 300
Minimum	9 490	1 352	223	4,50	20	1 851
Maximum	37 790	35 100	9 420	17,60	225	7 000
Počet vzoriek	18	18	18	21	20	13

Tabuľka 3. Obsah Ca, K, Mg, Cu, Zn a S [mg.kg⁻¹] v asimilačných orgánoch *Salix alba* L. na Slovensku v rokoch 1996 - 2000

Štatistické charakteristiky	Ca	K	Mg	Cu	Zn	S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Priemer	16 009	14 821	3 797	8,40	162	3 360
Medián	14 980	13 780	3 272	7,90	146	2 800
Minimum	3 010	2 749	1 043	3,00	21	1 900
Maximum	34 530	57 800	8 750	18,90	457	9 400
Počet vzoriek	38	37	39	43	43	37

Tabuľka 4. Obsah As, Cd, Hg S [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]; Cr, Pb, Fe, Ni a Na [mg.kg^{-1}] v asimilačných orgánoch Robinia pseudoacacia L. na Slovensku v rokoch 1996 - 2000

Štatistické charakteristiky	As	Cd	Cr	Hg	Pb	Fe	Ni	Na
	$\mu\text{g.kg}$	$\mu\text{g.kg}$	mg/kg	$\mu\text{g.kg}$	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Priemer	10 953	302	1,70	102	2,20	89	5,90	63
Medián	915	125	1,30	73	1,70	81	4,95	43
Minimum	690	10	0,10	24	0,20	21	0,50	11
Maximum	31 255	1 620	6,70	209	14,90	258	23,60	340
Počet vzoriek	3	32	65	3	65	89	74	50

Tabuľka 5. Obsah As, Cd, Hg S [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]; Cr, Pb, Fe, Ni a Na [mg.kg^{-1}] v asimilačných orgánoch Populus species na Slovensku v rokoch 1996 - 2000

Štatistické charakteristiky	As	Cd	Cr	Hg	Pb	Fe	Ni	Na
	$\mu\text{g.kg}$	$\mu\text{g.kg}$	mg/kg	$\mu\text{g.kg}$	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Priemer	n.d.	1 913	2,30	n.d.	3,07	86	6,10	n.d.
Medián		1 626	2,40		1,93	87	4,50	
Minimum		566	0,80		0,74	51	0,80	
Maximum		5 015	6,00		9,60	140	20,60	
Počet vzoriek		10	19		17	21	15	

Tabuľka 6. Obsah As, Cd, Hg S [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]; Cr, Pb, Fe, Ni a Na [mg.kg^{-1}] v asimilačných orgánoch Salix alba L. na Slovensku v rokoch 1996 - 2000

Štatistické charakteristiky	As	Cd	Cr	Hg	Pb	Fe	Ni	Na
	$\mu\text{g.kg}$	$\mu\text{g.kg}$	mg/kg	$\mu\text{g.kg}$	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Priemer	263	2 837	1,60	38	2,90	111	9,60	57
Medián	164	2 100	1,30	32	2,70	87	7,00	47
Minimum	40	169	0,20	23	0,30	33	0,50	4
Maximum	684	7 200	4,20	71	7,40	470	31,80	181
Počet vzoriek	4	15	27	5	32	42	42	18

Tabuľka 7. Obsah Ca, K, Mg, Cu, Zn a S [mg.kg^{-1}] v asimilačných orgánoch listnatých drevín (*Fagus sylvatica* L., *Quercus species*) na Slovensku (Maňkovská 1996)

Štatistické charakteristiky	Ca	K	Mg	Cu	Zn	S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Priemer	14880	9781	2147	9,67	38,4	3698
Medián	12811	9506	1864	8,32	30,5	3300
Počet vzoriek	903	903	903	902	903	909

Tabuľka 8. Obsah As, Cd, Hg S [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]; Cr, Pb, Fe, Ni a Na [mg.kg^{-1}] v asimilačných orgánoch listnatých drevín (*Fagus sylvatica* L., *Quercus species*) na Slovensku (Maňkovská 1996)

Štatistické charakteristiky	As	Cd	Cr	Hg	Pb	Fe	Ni	Na
	$\mu\text{g/kg}$	$\mu\text{g/kg}$	mg/kg	$\mu\text{g/kg}$	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Priemer	559	0,178	0,995	0,1	3,06	189	4,44	53
Medián	232	0,141	0,568	0,069	1,07	136	3,33	45
Počet vzoriek	868	863	865	907	898	903	903	903

5 Záver

Dreviny ako kumulatívny indikátor majú najmä tú výhodu, že ich fyziológiu a morfológiu poznáme lepšie ako pri nižších rastlinách. Na rozdiel od nižších rastlín, ktoré vedú určovať iba špecialisti, na určenie väčšiny drevín nie je potrebná osobitná odbornosť.

Preto má využitie asimilačných orgánov lesných drevín ako indikátora kvality prostredia veľký význam. Navyše sú prístupné vo veľkom množstve a väčšinou sú dostupné aj

v ľudských sídlach, alebo v prostredí starých environmentálnych záťaží. Geochemický atlas – Lesná biomasa (MAŇKOVSKÁ 1996) priniesol široké poznatky pre hlavné dreviny (z listnatých *Fagus sylvatica* L., *Quercus species*).

Postupné rozšírenie poznatkov o vlastnostiach rýchlorastúcich drevín pokladáme za vhodné, najmä s výhľadom na ich vysoký potenciál pri zvládání klimatickej zmeny, ako aj požiadaviek na produkciu dreva s potrebou doplnkového hnojenia.

Pod'akovanie

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

Literatúra

BONNEAU M., 1988. Le diagnostic en foliage. Revue Forestiere Francaise. Numero special Diagnostic en Forest, 15, p. 19-28.

MAŇKOVSKÁ, B., PAVLENDÁ, P. 1995. Metódy identifikácie a monitorovania ekologických porúch v lesných biocenózach. In *Integrovaná ochrana lesov v meniacich sa ekologických podmienkach*. Referenčná úloha LVÚ Zvolen, 1995.

MAŇKOVSKÁ, B. 1996: Geochemický atlas Slovenska. Lesná biomasa. Geologická služba SR, 87 s.

MEHNE-JAKOBS, B., GULPEN, M. 1997: Influences of different nitrate to ammonium ratios on chlorosis, cation concentrations and the binding forms of Mg and Ca in needles of Mg-deficient Norway spruce. Plant and Soil 188: 267–277.

SEIDLING, W. 2001: Integrative Studies on Forest Ecosystem Conditions, Multivariate Evaluations on Tree Crown Condition for two Areas with distinct Deposition Gradients March 2001. Programme Co-ordinating Centre of ICP Forests, Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH)

ŠMELKOVÁ, Ľ., VARÍNSKY, J., PAVLENDÁ, P., VARGA, L., ZÚBRIK, M., KUNCA, A., 2001. Lesné škôlky. ÚVVP LVH SR Zvolen, 275 s.

ŠVEC, M., VLADOVIČ, J. 1992. EKO dočasná príručka pre prieskum ekológie lesa. Zvolen, Lesoprojekt, 1992: 181 s.

Summary

The content of elements in assimilation organs of fast-growing trees in Slovakia. Concentrations of Ca, K, Mg, Cu, Zn, S, As, Cd, Cr, Hg, Pb, Fe, Ni and Na in the foliage of fast-growing trees (*Populus species*, *Salix alba* L., *Robinia pseudoacacia* L.) on the territory of Slovakia between 1996 and 2000 are discussed and compared with the data of common deciduous trees (*Fagus sylvatica* L., *Quercus species*). Data were obtained from old documents and electronic records of National Forest Centre. The samples were taking during monitoring of forest in Slovakia. Foliar analysis showed that a higher amount of all analyzed elements is accumulated in the foliage of fast-growing trees. The results can be used when establishing new plantations of energy crops and setting up proper fertilization.

Kľúčové slová

Asimilačné orgány, topol', agát, vrbá, chemická analýza

Kontaktné adresy

RNDr. Slávka Tóthová, PhD.
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen
slavka.tothova@nlcsk.org

Ing. Danica Krupová, PhD.
Centrálne lesnícke laboratórium
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
Sokolská 1
960 01 Zvolen
danica.krupova@nlcsk.org

ANALÝZA KONJUNKTURÁLNYCH CYKLOV V CELULÓZO- PAPIERENSKOM PRIEMYSE

Stela Slámová, Daniela Majerčáková, Monika Stankovská, Michaela Handlovská

1 Úvod

Trhové prostredie je zložitá a náchylná na možné výkyvy ekonomických ukazovateľov. Konjunkturálne cykly definujú výkyvy hospodárskej činnosti opakujúce sa v pravidelných intervaloch. Označujú pravidelné kolísanie ekonomickej aktivity na úrovni celej ekonomiky alebo jej veľkej časti. Jednotlivé ekonomiky sú zasahované krízami, ktoré majú rôznu podobu. Môžu zasiahnuť len jeden sektor, či odvetvie, alebo môžu mať vplyv na celú ekonomiku. Krízy sa taktiež líšia svojou dĺžkou, hĺbkou a spôsobenými škodami, ktoré je potrebné napraviť. Z histórie, ale aj z dnešnej ekonomickej situácie poznáme aj krízy, ktoré mali, resp. majú silný vplyv na chod svetovej ekonomiky.

Každá ekonomika alebo len vybraný reálny produkt sa vyvíja v čase, pričom dochádza k možným výkyvom. Častokrát sa vývoj v ekonomike definuje pomocou hospodárskeho, resp. konjunkturálneho cyklu. Striedajú sa v ňom obdobia kríz a prosperity. Výkonnosť ekonomiky sa najčastejšie vyjadruje hrubým domácim produktom. Je indikátorom ekonomickej situácie národa a odráža celkovú hodnotu všetkých vyrobených tovarov a služieb zníženú o hodnotu tovarov a služieb použitých na medzispotrebu pri ich výrobe.

Cieľom článku je nájsť možnosti optimalizácie výroby a predaja (ne)závislých premenných vo výrobnej oblasti priemyslu a reálnej ekonomiky. Analyzujeme vývoj cien vybranej komodity celulózo-papierenského priemyslu za sledované obdobie a predvídame jej budúci vývoj. Za pomoci nájsť závislosti s vybraným makroekonomickým ukazovateľom odhaľujeme ich vzájomné správanie sa a následne z toho predikujeme budúce hospodárske recesie. Zámerom článku je jednak odhaliť konjunkturálne cykly vo vybranom priemysle analýzou vývoja cien vybranej komodity celulózo-papierenského priemyslu za sledované obdobie ako aj predvídanie jej budúceho vývoja. Z pohľadu fungovania ekonomiky je možnosť predvídať veľké hospodárske krízy neoceniteľnou výhodou. Hlavnou myšlienkou tejto analýzy a neopísateľným významom je nájsť komplexného systému s cieľom maximalizovať výnosy z budúcich konjunktúr a minimalizovať prípadné riziká v období recesií.

Hlavnou myšlienkou tejto analýzy bolo priniesť spôsob, ako maximalizovať výnosy z budúcich konjunktúr a minimalizovať prípadné riziká v období recesií. Za toto sledované obdobie sme odhalili sedem konjunkturálnych cyklov, ktoré prichádzali približne po rovnakom čase.

2 Metodika

Vzhľadom na dostupné ceny buničín je analýza zameraná na obdobie rokov 1993 – 2020 so zameraním na analýzu cyklického kolísania týchto cien, následne boli tieto ceny použité na výpočet percentuálnej a absolútnej zmeny priebehu fáz cyklov. Získaním hodnôt boli definované konjunkturálne cykly celulózo-papierenského priemyslu a cieľom bolo nájsť závislosti medzi cenami a HDP vybraných krajín pomocou korelačného koeficientu. Interpretácia výsledkov a predikcia sú výsledkom tejto analýzy. Celkovo sme identifikovali 7 oscilácií celulózo-papierenského priemyslu, a to nasledovne: 1. konjunkturálny cyklus v období 1993 – 1996, 2. konjunkturálny cyklus v období 1996 – 1998, 3. konjunkturálny cyklus v období 1998 – 2004, 4. konjunkturálny cyklus v období

2004 – 2009, 5. konjunkturálny cyklus v období 2009 – 2013, 6. konjunkturálny cyklus v období 2013 – 2016 a 7. konjunkturálny cyklus v období 2016 – 2020.

2.1 Konjunkturálne cykly

Konjunkturálny cyklus je pomenovanie pre výkyvy hospodárskej činnosti, ktoré sa vracajú po takmer pravidelnej amplitúde a po približne rovnakom čase. Označuje kolísavosť ekonomickej aktivity na úrovni celej ekonomiky alebo jej veľkej časti s dlhodobým trendom. Toto kolísanie je často merané pomocou HDP a ďalších makroekonomických indikátorov, ako sú napríklad výkyvy v zamestnanosti, investíciách, úrokových mierach či výnosoch. Každá ekonomika prechádza všetkými časťami cyklu, ktoré sú mnohokrát nevyrovnané.

Vzhľadom k predpokladanému opakovaniu cyklu nemožno jednoznačne určiť, ktorá fáza je začínajúca. Dve z vyššie uvedených fáz sú ukončené buď vrcholom alebo dnom. To závisí od toho, či je reálny produkt a ekonomická aktivita na vysokej úrovni (na vrchole) alebo na nízkej úrovni (na dne). Všeobecne tieto body nazývame body obratu či body zvratu. Medzi týmito spomínanými bodmi sa ekonomika nachádza v ďalších dvoch fázach – vo fáze expanzie a vo fáze kontrakcie. Vo fáze kontrakcie dochádza k poklesu reálneho produktu a výnosov. Fáza expanzie je typická vzostupom ekonomickej výkonnosti, teda rastom reálneho produktu. Ekvivalentne hovoríme o rozmachu.

Pri analýze konjunkturálneho cyklu je nutné takisto rozlišovať medzi cyklickými javmi a bežnými fluktuáciami ekonomiky. Pokiaľ vieme identifikovať aspoň dva po sebe idúce cykly, môžeme hovoriť o cyklickom vývoji danej veličiny. Je potrebné rozlišovať, či ide o konjunkturálny cyklus alebo o izolovanú hospodársku fluktuáciu. Fluktuácie sa objavujú jednotlivo a náhodne, zatiaľ čo cyklus prichádza opakovane.

3 Analýza

Buničina je všeobecný pojem pre širokú škálu technicky odlišných výrobkov, ktoré sú výsledkom zložitých výrobných procesov. Jedným z najdôležitejších determinantov konečných vlastností konkrétnej buničiny je povaha dreva, ktoré vstupuje do systému – druh, vek, hustota, obsah vlhkosti a čas uplynutia od rezania. Všeobecne možno každý druh zaradiť do jednej z dvoch hlavných čeladi, listnaté – tvrdé dreviny a ihličnaté – mäkké dreviny.

Mäkké drevo má zjavnú vlastnosť sezónneho rastu. Všeobecne rastie v nadmorskej výške 100 až 1 500 metrov, má ekonomickú a okrasnú hodnotu. Medzi bežné mäkké drevo patrí pinus massoniana, smrekovec, červená borovica, smrek a iné. Väčšina mäkkého dreva rastie vo vysokohorských oblastiach. Krajiny ako Fínsko, Kanada a Švédsko sú hlavnými producentmi buničiny z mäkkého dreva na celom svete.

Na účely buničiny sú vlákna mäkkého dreva v priemere viac ako dvojnásobkom dĺžky vlákien obsiahnutých v tvrdých drevinách. A keďže zväčšenie dĺžky vlákna sa zvyčajne prejaví vo väčšom vzájomnom prepojení medzi vláknami, buničina z mäkkého dreva dodáva výrobkom, ktoré sú z nej vyrobené, väčšiu pevnosť ako pri buničine z tvrdého dreva vyrábanej rovnakým spôsobom.

3.1 Konjunkturálne cykly v celulózo-papierenskom priemysle

Reálny produkt predstavuje európsku trhovú cenu jednotlivých buničín. Za začiatok budeme považovať za nárast cien buničín, teda prechod zo dna k expanzii. Podľa dĺžky trvania cyklov, ktoré sú merané od vybranej fázy k jej zopakovaniu, môžeme všetkých 7 vzniknutých cyklov zaradiť medzi krátkodobé cykly. Nevýhodou je, že pri tomto type cyklov je ťažšie preukázať ich príčinu. Ak sa pozrieme na vývoj cien skúmaných buničín za posledné tri desaťročia zistíme, že pri všetkých troch typoch vlákien dochádzalo najskôr

k rastu z relatívne nižších cenových hladín. Vzápätí o rok až dva (v závislosti, o ktorý cyklus sa jedná) začala úroveň cenovej hladiny nadobúdať tendenciu poklesu. Vývoj cien bol veľmi podobný pri všetkých skúmaných buničínach. Svoje najvýraznejšie vrcholy dosiahli ceny buničín v rokoch 1995, 2000 či 2018, po ktorých v nasledujúcom roku nadväzoval výrazný pokles.

Rok 2000 bol s celosvetového hľadiska pre celulózo-papierenský priemysel rokom, kedy dosiahol dovtedy najvyššiu úroveň výroby papiera a lepenky. Vrcholiaca konjunktúra v roku 2000 a optimálne využitie výrobných kapacít firiem sa podpísali pod priaznivé výsledky celulózo-papierenského priemyslu. Ceny boli na vrchole a dosahovali maximum úrovne cien z roku 1995.

Vývoj v tomto odvetví je výrazne ovplyvňovaný zvyšovaním, resp. znižovaním cien zemného plynu. Nakoľko toto odvetvie má pomerne vysokú energetickú náročnosť, zdrazenie vstupov má preto nezanedbateľný vplyv na celkové náklady spoločností. Keďže ceny výstupov sú naopak dané vývojom na trhu, nedajú sa do nich zvýšené náklady premietnuť.

Na európsku výrobu celulózy a papiera v roku 2012 naďalej pôsobilo spomalenie hospodárstva, ktoré sa začalo v polovici roku 2011. No jej výkonnosť bola vyššia než pri ostatných energeticky náročných odvetviach v Európe. Európsky papierenský priemysel hľadal zdravšiu rovnováhu ponuky a dopytu a modernizoval svoju priemyselnú základňu, aby zostal konkurencieschopný. Členovia CEPI vyrobili v roku 2012 92,1 milióna ton papiera a lepenky, čo v porovnaní s rokom 2011 predstavuje pokles o 1,6%. Predkrízová výroba v roku 2008 predstavovala 97,9 milióna ton. Po miernom poklese produkcie (cca o 4%) v krízových rokoch 2010 – 2013 bol v nasledujúcich rokoch zaznamenaný mierny pokles výroby papiera, kartónu a lepenky. Avšak spolu s prebiehajúcimi rekonštrukciami a výstavbou nových prevádzok sa produkcia dostala už v roku 2017 nad 92,3 mil. ton.

Zaznamenané zmeny vo výrobe papierenského priemyslu v krajinách CEPI boli v poslednom období hlavne štrukturálne. V roku 2018 bol evidovaný 2,4% nárast výroby obalových papierov, kým grafické druhy papierov klesli o 1,4%. V roku 2019 bol podiel obalových druhov papierov, kartónov a lepeniek z celej produkcie papierenského priemyslu už 54% (52,5% v roku 2018) a to aj pri presadzovaní trendu znižovania plošnej hmotnosti vyrábaných produktov. Boli spustené nové výrobné kapacity a súčasne boli aj viaceré menšie podniky zatvorené, prípadne bola výroba obmedzená, čo mierne negatívne ovplyvnilo celkovú produkciu papierov, kartónov a lepenky (s poklesom výroby pod 90 mil. ton).

3.2 Zhrnutie výsledkov a predikcia budúceho vývoja

Na základe získaných cien troch typov buničín – sulfátovej dlho vláknitej ihličnanovej bielennej buničiny (ihličnany) a sulfátových krátko vlákнитých listnáčových bielených buničín (breza a eukalyptus), sa nám podarilo odhaliť cyklické kolísanie celulózo-papierenského priemyslu.

Ďalším krokom analýzy bolo nájdenie závislosti medzi cenami buničín a hrubým domácim produktom. Na porovnanie výsledkov sme analýzu aplikovali tak na HDP EÚ, ako aj na HDP USA. Vypočítané hodnoty môžeme prehľadne vidieť v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 1. Porovnanie závislostí

	Koeficient determinácie	Korelačný koeficient
EÚ	0,7755	0,8806
USA	0,7987	0,8937

Z vyššie uvedeného môžeme usúdiť, že závislosť medzi cenami buničín a HDP EÚ aj HDP USA je skoro rovnaká. Vzniknuté závislosti nám značia dosť silnú koreláciu medzi skúmanými veličinami a teda, že ich vývoj môžeme pokladať za približne rovnaký.

Analýzou sme zistili, že ak rastú (klesajú) ceny buničín, následne na to s určitým časovým oneskorením rastie (klesá) aj HDP s príslušnou koreláciou. Vzniknuté časové oneskorenie prichádza približne po pol roku, niekedy po trištvrte roku až roku. Vykonaná analýza nám umožňuje na základe vývoja cien buničín predvídať konjunktúry a recesie národného hospodárstva, pretože ekonomiky bývajú často zasahované krízami, ktoré majú rôznu podobu.

Posledné roky sa čoraz viac hovorí o globálnej ekonomickej kríze spôsobenej celosvetovou pandemickou krízou. Pre rozsiahli výskyt vírusového ochorenia COVID-19 bol zaznamenaný prudký nárast dopytu po obalových, hygienických a medicínskych papierenských produktoch. Tento nárast dopytu na trhu môžeme pozorovať už aj pri posledných mesiacoch roku 2020.

Podľa zatiaľ dostupných cien vybraných buničín môžeme pozorovať pokračujúci rastúci trend cien BHK a BSK. Odhaduje sa celkové zvýšenie cien o približne 15% – 20%. Celosvetovo je bilancia dopytu a ponuky ovplyvnená doposiaľ neuzatvorenými kúpnyimi zmluvami na dodávky väčších objemov. Najvyšší dopyt v súčasnosti je po BHK a stal sa celosvetovým fenoménom. Je spôsobený stúpajúcou spotrebou buničín, očakávaným zvyšovaním cien buničín, trvalými a rozsiahlymi časovými stratami pri kontajnerovej preprave a stále narastajúcimi sadzbami za prepravu. V neposlednom rade je zapríčinený aj narastajúcim rizikom vyplývajúcim z neplánovaných výpadkov dodávok pri súčasných nízkych zásobách v dôsledku pandémie COVID-19.

Výrobcovia tissue papierov si stále udržiavajú silný dopyt po BHK buničine, ktorý tvorí takmer polovicu z celkového dopytu po BHK. Dopyt výrobcov na výrobu tlačových a písacích papierov bol v sledovanom období lepší, ako sa očakávalo. Tento stav platí najmä v Európe, kde nákupcovia čelia informáciám o zvýšení cien papierov z rekordne nízkej úrovne spôsobenej výrobcami a následným navýšením výroby voči plánom, čo vyžaduje aj vyššiu spotrebu buničín. Spotreba BSK je naďalej silná vďaka spomínanému vysokému dopytu po obalových materiáloch. Tento trend bude takmer určite pokračovať, takže môžeme naďalej očakávať nárast cien spôsobený zvýšeným dopytom.

Vzhľadom na očakávania vývoja ponuky a dopytu ako je uvedené vyššie, ceny celulózy sa pravdepodobne budú pohybovať v priebehu nasledujúcich mesiacov vyššie. Tento pohyb by mal trvať do polovice roka 2022 a vzápätí v roku 2023 sa predpokladá dosiahnutie minimálnej úrovne cien buničín. Tým by sa malo ukončiť ďalšie kolísanie CPP a teda budeme môcť pozorovať ďalší konjunkturálny cyklus v rozpätí rokov 2020 – 2023. Predpokladáme aj opätovné kolísanie v CPP, ktoré sa bude opakovať každých 3 až 4 rokov v závislosti od aktuálneho vývoja ekonomiky.

Podakovanie

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

Literatúra

BHAGWAT, A., MASANI, S., SHARMA, H. & IYER, G. (2018): Effects of Demonetization on the Real Estate Sector. In: *Pacific Business Review International* 10 (7), ISSN: 0974-438X, s. 85-94

BOBÁKOVÁ, V. (2017): *Makroekonómia*. EQUILIBRIA. 310 s. ISBN 978-80-8152-565-0

CEPI statistics. 2022. Annual Statistics European Pulp and Paper Industry 2021. Dostupné na internete: <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2022/07/Key-Statistics-2021-Final.pdf>

FISEROVA, M., ILLA, A., BOHACEK, S. & KASAJOVA, M. (2013): Handsheet properties of recovered and virgin fibre blends. In: *Wood Research* 58 (1), ISSN 1336-4561, s. 57-65

KOLCHINSKAYA, E. (2015): Investment Attractiveness and Real Sector of Economy In: *International Multidisciplinary Scientific Conferences on Social Sciences and Arts, Economics and Tourism*, ISBN 978-619-7105-48-3, ISSN 2367-5659, s. 493-499

MERCIER, M. (1976): Study of Rate of Interest Structure in Conjunctural Cycle Using Factorial and Spectral Analysis. In: *Economic Appliquee* 29 (4), ISSN 0013-0494, s. 585-636

Overview of Wood Pulp [online]. Dostupné na internete: <<https://numeraanalytics.com/overview-wood-pulp/>>

PAZITNY, A., BOHACEK, S., MEDO, P. & BALBERCAK, J. (2015): Application of innovative heat recovery unit in the paper industry with potential utilization in wood-processing and furniture industry. In: *Wood Research* 60 (1), ISSN 1336-4561, s. 101-112

STANKOVSKA, M., FISEROVA, M., GIGAC, J. & OPALENA, E. (2020): Blending impact of hardwood pulps with softwood pulp on tissue paper properties. In: *Wood Research* 65 (3), s. 447-458, dostupné na: doi.org/10.37763/wr.1336-4561/65.3.447458

STANKOVSKA, M., GIGAC, J., FISEROVA, M. & OPALENA, E. (2019): Relationship between structural parameters and water absorption of bleached softwood and hardwood kraft pulps. In: *Wood Research* 64 (2), ISSN 1336-4561, s. 261-272

TÁNCOŠOVÁ, J. a kol. (2013): *Ekonomía*. Iura Edition. 296 s. ISBN 978-80-8078-598-7

TULEJA, P. a kol. (2008): *Základy makroekonomie*. Computer Press. 311 s. ISBN 80-251-0952-6

Summary

Analysis of Conjunctural Cycles in the Pulp and Paper Industry. The article aims to analyse the possibilities of optimizing the production and sale of (in)dependent variables in the production area of industry and the real economy. We analysed the development of available pulp prices for the monitored period, which revealed their cyclical development. At the same time, we examined the dependence between these prices and the development of the gross domestic product in Slovakia. With the help of finding the dependence with the selected macroeconomic indicator, we revealed their mutual behaviour and described the possible prediction of future economic recessions. We investigated cyclical fluctuations in a selected industry sector. Based on the investigated phenomena and findings, we also anticipate a recurrence of fluctuations in the pulp and paper industry, which will be repeated approximately every 3 to 4 years, depending on the current development of the economy.

The main idea behind this analysis was to provide a way to maximize returns from future booms and minimize potential risks during recessions, which has been accomplished because people in the pulp and paper industry dealing with pulp prices will be able to provide information on changes in pulp prices to national banks or other financial institutions. They, in turn, will be able to take the necessary steps to possibly prevent or at least mitigate economic crises.

Kľúčové slová

Konjunkturálny cyklus; buničina; celulózo-papierenský priemysel; analýza; závislosť

Kontaktné adresy

Mgr. Stela Slámová
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava, Slovak Republic
slamova@vupc.sk

doc. PhDr. Daniela Majerčáková, PhD., MBA
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava, Slovak Republic

Ing. Monika Stankovská, PhD.
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava, Slovak Republic

Mgr. Michaela Handlovská
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava, Slovak Republic

MODELOVANIE HRÚBKY BUKA LESNÉHO (*FAGUS SYLVATICA* L.) S VYUŽITÍM ÚDAJOV PREVÁDZKOVEJ INVENTARIZÁCIE LESA

Vlastimil Murgaš, Maroš Sedliak

1 Úvod

Pri bežnej inventarizácii lesov sú hrúbky a výšky stromov dôležitými rastovými veličinami, ktoré determinujú štruktúru a vývoj porastov. V lesníckej praxi sa bežne využívajú modely výškových kriviek, ktoré popisujú závislosť výšky stromu (h) od jeho hrúbky (d). Hrúbka stromu na rozdiel od jeho výšky sa v teréne dá pomerne jednoducho a rýchlo zmerať. Preto sa vo väčšine prípadov uprednostňuje meranie hrúbok všetkých stromov na ploche, pričom výška stromov sa meria len pre určitý počet stromov danej dreviny v závislosti od účelu zisťovania. Pracovné postupy hospodárskej úpravy lesov (BAVLŠÍK a kol., 2009) udávajú počty meraných výšok pri zisťovaní zásob v závislosti od metódy jej výpočtu. Vytvorením inverznej funkcie k funkcii modelu výškovej krivky vieme vyjadriť závislosť hrúbky stromu od jeho výšky.

Na základe rozsiahlych terénnych meraní na modelovom území lesného celku VŠLP Budča I. bolo potrebné zostaviť model hrúbkovej krivky, ktorý by slúžil ako podklad pre nevychýlený odhad hrúbok z rastra výšok stromov odvodeného z leteckého laserového skenovania (ALS) a zároveň ako podklad pre tvorbu mapy lesa hrúbkových tried (KULLA a kol., 2018).

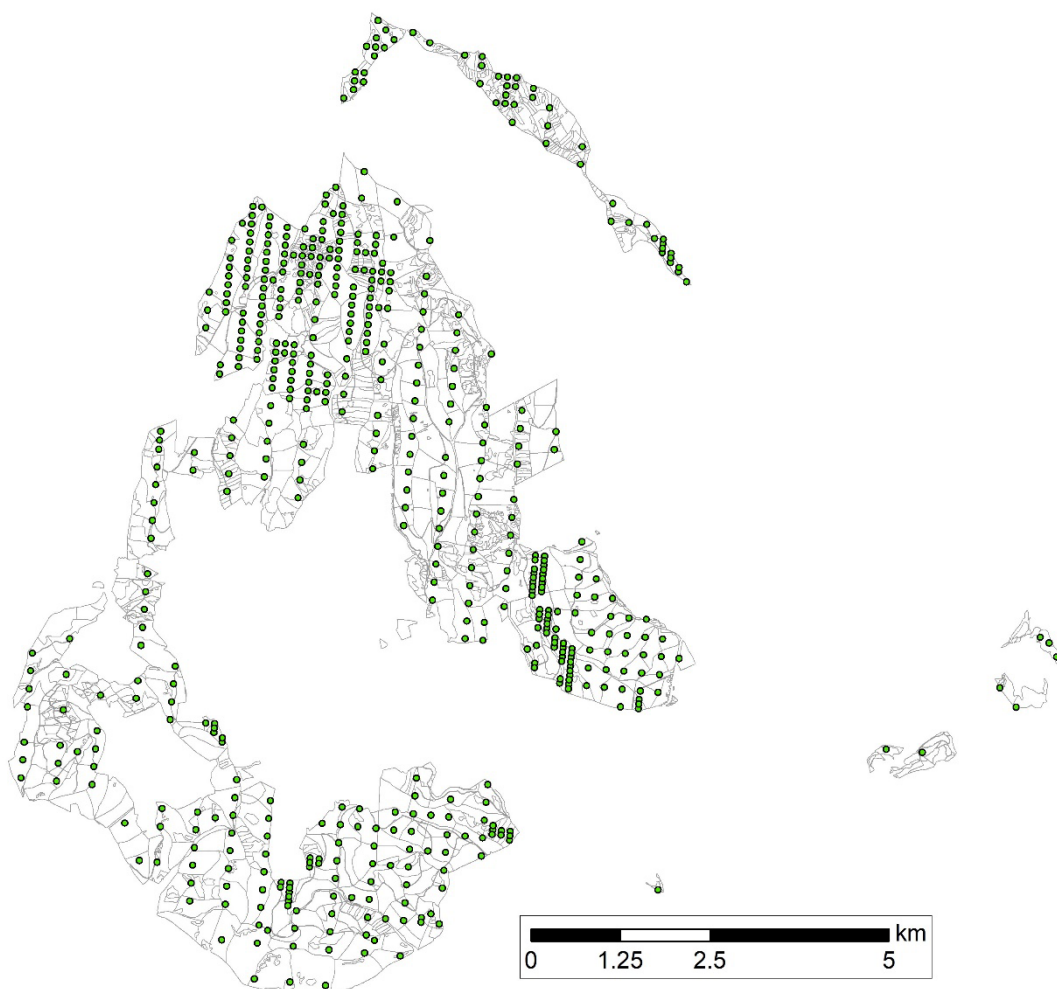
Systémy na podporu rozhodovania (decision support systems – DSS) pritiahli záujem lesníckej komunity začiatkom 80. rokov minulého storočia a odvtedy sa lesnícke DSS sústavne rozvíjajú (VACIK, H., LEXER, M. J., 2013). Neustály výskum a vývoj v tejto oblasti je nenahraditeľnou súčasťou úspechu adaptívneho manažovania lesov ako aj zdieľanie znalostí a informácií medzi výskumnými tímami na celom svete (KAŠPAR, J. et al., 2018).

Cieľom príspevku je predstaviť model hrúbkovej krivky na príklade dreviny buk, ktorý poslúži ako teoretický základ pre podporu rozhodovania pri mapovaní a plánovaní manažmentových opatrení v lese.

2 Materiál a metodika

2.1 Terénne merania

V roku 2021 sa vykonala prevádzková inventarizácia na území lesného celku VŠLP Budča I., ktorého výmera je 3 855 ha. Pre modelový lesný celok sa navrhla stanovištná stratifikácia na základe „robustnej“ agregácie stanovišť (podľa postupu Kulla a kol. 2018). Inventarizačné plochy (IP) boli založené vo variabilnej sieti, odvodenej od základnej siete Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR 4 x 4 km. Variabilná sieť sa navrhla tak, aby sa dosiahla pre zvolené stratá požadovaná presnosť zistenia zásoby od $\pm 15\%$ do $\pm 30\%$. Vzájomná vzdialenosť IP sa pohybovala od 62,5 m do 500 m (obrázok 1).



Obrázok 1. Schéma umiestnenia inventarizačných plôch na lesnom celku VŠLP Budča I. s variabilnou sieťou

Pre každú IP boli v teréne merané všetky stromy s hrúbkou $d_{1,3} \geq 8$ cm (registrované stromy) pomocou technológie Field-Map. Okrem polohopisu každého stromu boli zaznamenané aj informácie ako sú drevina, hrúbka $d_{1,3}$, výška h , výška nasadenia koruny a jej kvalita, poškodenie a kvalita kmeňa. V prípade potreby sa osobitne evidoval naklonený strom, zlom, čerstvý suchár, alebo inak poškodený strom, ktorý nezodpovedá normálnemu stavu potrebnému pre účely modelovania. Celkovo bolo na území lesného celku založených a zmeraných 560 IP.

2.2 Model hrúbok a kritéria výberu modelu

Na modelovanie výškovej krivky je možné použiť širokú paletu matematických funkcií, ktoré sú v odbornej literatúre podrobne opísané. Výškovú krivku môžeme vyjadriť ako závislosť výšky stromu (h) od jeho hrúbky (d):

$$h = f(d) \quad (1)$$

Ak je f prostá funkcia, potom k nej je možné nájsť inverznú funkciu. Inverzná funkcia k funkcii modelu výškovej krivky potom vyjadruje závislosť hrúbky stromu od jeho výšky a matematický ju vyjadruje vzťah:

$$f^{-1}: d = f(h) \quad (2)$$

Tabuľka 1. Prehľad vybraných modelov výškových kriviek a ich inverzný tvar

Názov funkcie	Model výškovvej krivky	Inverzný tvar výškovvej krivky
Näslund (1947)	$h = 1,3 + d^2 / (a + b \times d)^2$	$d = \frac{\sqrt{(h-1,3) \times a}}{1 - b \times \sqrt{h-1,3}}$
Michailoff (1943)	$h = 1,3 + a \times e^{(-b/d)}$	$d = \frac{-b}{\ln\left(\frac{h-1,3}{a}\right)}$
Exponenciálna (RATKOWSKY 1990)	$h = 1,3 + a \times e^{[b/(d+c)]}$	$d = -c + \frac{b}{\ln\left(\frac{h-1,3}{a}\right)}$
Chapman-Richards (CHAPMAN 1961, RICHARDS 1959)	$h = 1,3 + a \times (1 - e^{(-b \times d)})^c$	$d = \frac{\ln\left[1 - \left(\frac{h-1,3}{a}\right)^{\frac{1}{c}}\right]}{-b}$

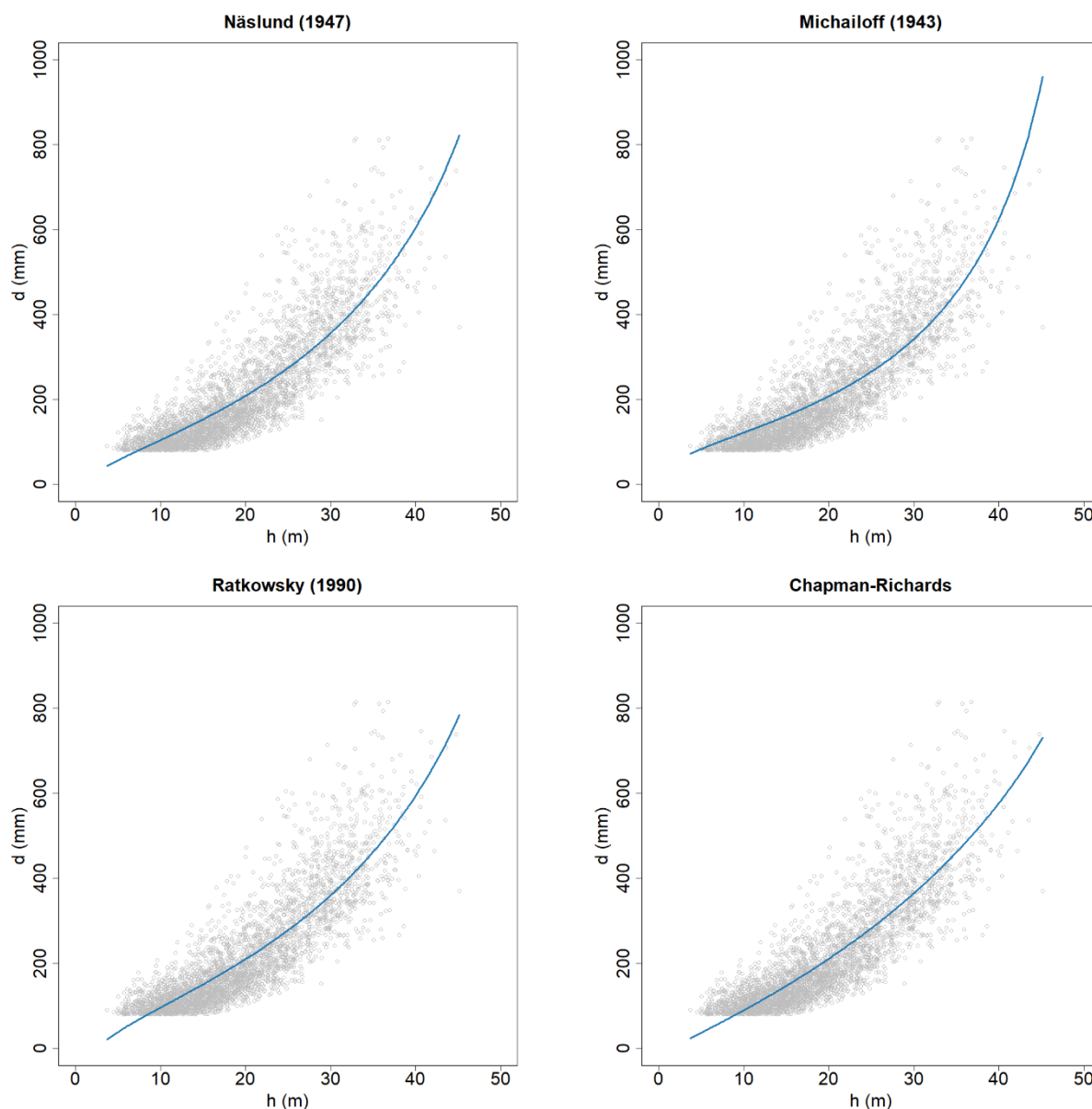
Model hrúbkovej krivky pre určitú drevinu bol parametrizovaný na súbore všetkých živých stromov. Pri výbere modelu sa zohľadnila štatistická významnosť koeficientov regresnej rovnice a ich počet, stredná kvadratická chyba regresnej rovnice (RMSE), index determinácie R^2 , Akaikeho informačné kritérium (AIC) a Bayesovo informačné kritérium (BIC). V príspevku sú ďalej prezentované výsledky na príklade dreviny buk v strate 3.4 Bukové kvetnaté lesy.

3 Výsledky a záver

Pri tvorbe modelovej hrúbkovej krivky boli preverené 4 regresné funkcie autorov Näslund (1947), Michailoff (1943), Ratkowsky (1990) a Chapman-Richards (CHAPMAN 1961, RICHARDS 1959). Z uvedených funkcií mala najpriaznivejší logický priebeh krivky najmä funkcia podľa Näslunda (tabuľka 2 a obrázok 2).

Tabuľka 2. Parametre regresných rovníc, p-hodnota (P), stredná kvadratická chyba (RMSE), index determinácie (R^2), Akaikeho informačné kritérium (AIC) a Bayesovo informačné kritérium (BIC)

Názov funkcie	a	P	b	P	c	P	RMSE	R^2	AIC	BIC
Näslund	22,379	< 0,001	0,124	< 0,001	-	-	65	0,74	40 916	40 934
Michailoff	55,526	< 0,001	225,480	< 0,001	-	-	67	0,72	41 194	41 213
Exponenciálna	69,518	< 0,001	-406,240	< 0,001	99,849	< 0,001	65	0,74	40 908	40 933
Chapman-Richards	60,078	< 0,001	0,002	< 0,001	1,018	< 0,001	65	0,74	40 884	40 909



Obrázok 2. Závislosť hrúbky ($d_{1,3}$ v mm) od výšky stromu (h v m) na príklade dreviny buk

Príspevok prezentuje odvodenie a porovnanie štyroch modelov hrúbkovej krivky buka lesného na podklade údajov prevádzkovej inventarizácie, ktorá sa vykonala na území lesného celku VŠLP Budča I. Získané výsledky poukazujú na možnosti využitia modelov hrúbkovej krivky, napr. pre nevychýlený odhad hrúbok z rastra výšok stromov odvodeného z leteckého laserového skenovania (ALS), pri mapovaní a plánovaní manažmentových opatrení v lese a v neposlednom rade ako súčasť výpočtového a zobrazovacieho modulu novej platformy na podporu rozhodovania v lesníctve.

PodĎakovanie

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

Literatúra

- BAVLŠÍK, J., ANTAL, P., KOČIK, L., KOMINKA, V., KUČERA, J., MACHANSKÝ, M., RUMAN, K., SZARKA, P., VALACH, L., ŽABKA, L., DUBEN, Z., RIZMAN, I., ŠANDORFI, K., ŽIAKOVÁ, M., 2009: Pracovné postupy hospodárskej úpravy lesov č. A/2008/1611. Zvolen (Národné lesnícke centrum vo Zvolene), 147 s.
- CHAPMAN, D. G., 1961: Statistical problems in dynamics of exploited fisheries populations. P.153–168 in Proc. 4th Berkeley Symp. on Mathematical statistics and probability, Neyman, J. (ed.). Vol. 4. Berkeley, CA.
- KAŠPAR, J., BETTINGER, P., VACIK, H., MARUŠÁK, R., GARCIA-GONZALO, J. 2018. Decision support approaches in adaptive forest management. In *Forests*. 2018, roč. 9, č. 4, s. 215.
- KULLA, L., RÖBIGER, J., SEDLIAK, M., MURGAŠ, V., ŠEBEŇ, V., SAČKOV, I.: 2018: Inovatívne metódy ťažbovej úpravy prírody blízkych lesov. Národné lesnícke centrum, Zvolen, 75 s.
- MICHAILOFF, I., 1943: Zahlenmäßiges Verfahren für die Ausführung der Bestandeshöhenkurven. Forstw. Cbl., H. 6, s. 273-279.
- NÄSLUND, M., 1947: Funktioner och tabeller för kubering av stående trad. Tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet. Medd. Statens Skogsforskningsinst. 36(3), pp. 81. (In Swedish with English summary).
- RATKOWSKY, D. A., 1990: Handbook of nonlinear regression. Marcel Dekker, Inc., New York.
- RICHARDS, F., 1959: A flexible growth function for empirical use. J. Exp. Bot. 10, 290–300.
- VACIK, H., LEXER, M. J. 2013. Past, current and future drivers for the development of decision support systems in forest management. In *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2013, roč. 29, č. sup1, s. 2 – 19.

Summary

Modelling tree diameter of European beech (*Fagus sylvatica* L.) based on forest inventory data. The paper presents the derivation and comparison of four regression models for diameter estimation of European beech (*Fagus sylvatica* L.) based on forest inventory data obtained from field survey in the forest unit VŠLP Budča I. The obtained results show the possibilities of using tree diameter models, e.g. for unbiased diameter estimation based on tree height raster derived from airborne laser scanning (ALS), for forest mapping and forest management planning and last but not least as a part of the computational and display module of the new platform for decision support in forestry.

Kľúčové slová

Model hrúbkovej krivky, Näslundová funkcia, Systémy na podporu rozhodovania, koncept lesa hrúbkových tried

Kontaktná adresa

Ing. Vlastimil Murgáš, PhD., Ing. Maroš Sedliak, PhD.
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
vlastimil.murgas@nlcsk.org, maros.sedliak@nlcsk.org

ZNÍŽENIE NASIAKAVOSTI TENKOPLOŠNEJ FRAKCIE DREVA TEPELNOU ÚPRAVOU

Vladimír Ihnát, Henrich Lübke, Alena Jandová

1 Úvod

Medzi priemyselne významné tenkoplošné frakcie odpadového dreva patria hobliny a drevná vlňa, ktoré je možné získať rovinným frézovaním. Veľkosť frakcie závisí od spôsobu frézovania, uhla frézovania vzhľadom k priebehu vlákien a rýchlosti vzájomného posunu nástroja a materiálu. Materiálová recyklácia sa sústreďuje na použitie tenkoplošných drevných častíc hlavne v odľahčených betónoch a drevocementových kompozitoch (Bederina a kol. 2007, 2009, da Gloria a Filho 2016, Khelifa a Ganaoui 2017, Santos a kol. 2017), pre biosorbenty (Velić a kol. 2018) a ako náhrada za izolačné materiály (Lakrafli a kol. 2017). Výskum bol zameraný na vplyv drevných častíc na fyzikálno-mechanické a tepelno-technické vlastnosti. Okrem materiálovej recyklácie existuje široké uplatnenie vo výrobe brikiet a peliet alebo na priame energetické využívanie, využitie v biokompostoch, ako podstielkový materiál pre zvieratá a pod. Je však potrebné patrične sledovať chemickú záťaž obsiahnutú v odpadovom dreve, z ktorého sa tenkoplošné drevné častice vyrábajú (Ihnát a kol. 2020).

Iné materiálové zhodnotenie predstavuje výroba veľkoplošných materiálov, kde sa uvažuje s náhradou drevných triesok za veľkoplošné drevné častice. Dosahuje sa rôzna plošná hmotnosť závislá od účelu použitia, od tepelnoizolačných panelov 55 to 400 kg/m³ (Paszatory a kol. 2021) až po konštrukčné 70 – 1200 kg/m³ (Gößwald a kol. 2021, Faria a kol. 2020). Podobne ako pri DTD sa používajú močovino-formaldehydové aj metyl difenyl diizokyanátové lepidlá.

Predmetom tejto štúdie je posúdiť možnosti zníženie nasiakavosti dezintegrovaných častíc z odpadového dreva ešte pred ich zalisovaním do kompozitného materiálu. Nasiakavosť predstavuje dôležitú vlastnosť z hľadiska využitia tenkoplošných častíc dreva na výrobu obalových materiálov. Známe procesy tepelnej úpravy boli vyvinuté pre rastlé kusové drevo. Známe sú fínske Thermo wood, holandské Plato wood, francúzske Retification a nemecké Oil heat treatment. Pri všetkých procesoch je rastlé drevo vystavené teplotám blízko alebo nad 200°C počas niekoľkých hodín. Tepelnou úpravou sa dosahuje dimenzionálna stabilita dreva a jeho odolnosť voči biologickým škodcom. Ihličnaté drevo používané v konštrukciách, ktoré potrebujú ochranu proti vlhkosti, napríklad pri vonkajších konštrukciách sa tepelne ošetruje tvrdším tepelným režimom. Naopak, tvrdé drevá sa ošetrujú miernejšie, väčšinou je najdôležitejšou vlastnosťou farba alebo dobrá kvalita povrchu. Tepelne spracované tvrdé drevo sa používa v interiéri na kuchynský nábytok, obklady a parkety.

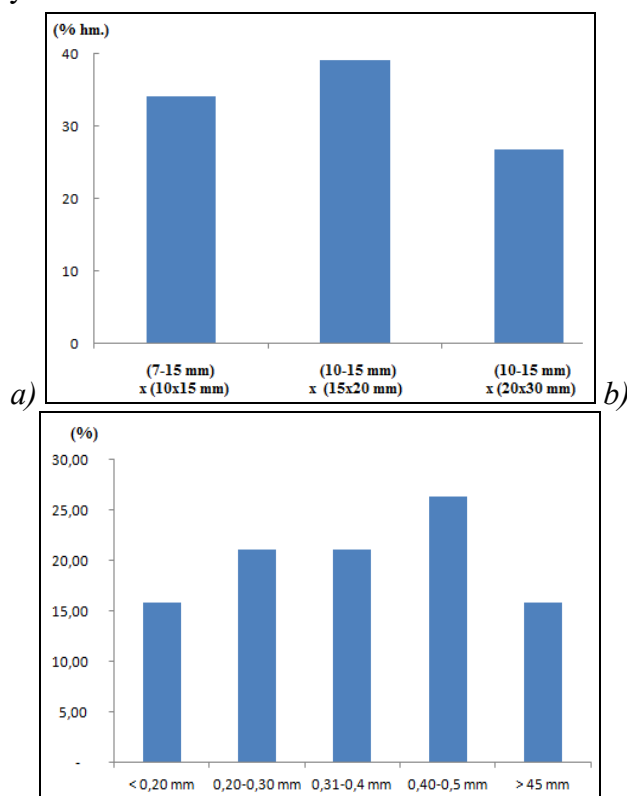
Tepelný proces je pri **Thermowood** rozdelený do niekoľkých krokov: 1) predbežné zahriatie vlhkého reziva → 100°C) + sušenie (100 - 150°C) + zvýšenie teploty (150°C →), až 48 hod, 2) samotné tepelné spracovanie (konštantná teplota 150-240°C), 0,5...4 hod a 3) chladenie + stabilizácia (až 24 hod). Ventilátor zabezpečuje primeranú cirkuláciu vzduchu (10 m/s), parný generátor vyrába potrebnú paru. Vodná para je potrebná na zabránenie horenia dreva a tiež ovplyvňuje kvalitu tepelne upraveného dreva. Proces **PLATO** (Ruyter 1989, Boonstra a kol. 1998) v zásade pozostáva z dvoch etáp s medzisušením. V prvom kroku (hydrotermolýza) procese, sa rezivo ošetruje pri teplotách typicky medzi 160°C - 190°C pod zvýšeným tlakom. Používa sa konvenčný proces sušenia dreva na vysušenie ošetrovaného dreva na nízky obsah vlhkosti (cca 10%).

V druhom kroku (vytvrdzovanie) sa suchý medziprodukt opäť zahrieva na teploty typicky medzi 170°C - 190°C. Doba spracovania závisí od použitého druhu dreva, hrúbky, tvaru dreva atď. Z časového hľadiska proces trvá: 1) termolýza 4-5 hodín, 2) krok sušenia 3-5 dní, 3) krok vytvrdzovania 14-16 hodín, 4) kondicionovanie 2-3 dni. V závislosti od druhu dreva a hrúbky materiálu môžu byť tieto časy aj kratšie. Vykurovacím médiom môže byť para alebo ohriaty vzduch. Pri **retification** (retified wood) sa drevo vysušené na 12% pomaly zohrieva v špeciálnej komore na 210 - 240°C v atmosfére dusíka s obsahom do 2% kyslíka alebo čerstvé drevo sa najprv suší a potom sa zahreje na 230°C v parnej atmosfére (para generovaná z vody z dreva). Retifikované drevo je trvanlivejšie, pri 230°C pravdepodobne dochádza k zosieťovaniu lignínu, ale je krehkejšie (modul pružnosti v ohybe klesá o 30-40%). Takto upravené drevo má nízku hygroscopicitu (4-5%) namiesto 10-12%. Vhodným druhom na túto úpravu je topol. Výrazný pyrolytický zápach ustupuje na intenzite až po niekoľkých dňoch a v miernejšej intenzite pretrváva celé mesiace. Tepelná úprava horúcim olejom (**oil heat treatment**) prebieha v inertnej atmosfére pri teplotách 160-260°C, pričom teplota varu olejov je podstatne vyššia. Teplotu 220°C je potrebné udržiavať v strede prierezu reziva po dobu 2 – 4 hod, celý proces s nahrievaním a chladením však môže trvať aj 18 hod a viac. Vhodnými druhmi na túto úpravu sú smrek a borovica.

2 Materiál a metódy

2.1 Stanovenie frakcie

Na laboratórne testovanie sme použili hobliny vyrobené rovinným frézovaním z dosiek hrúbky 25 mm. Bola použitá drevina pajaseň žliazkatý. Pajaseň žliazkatý (*Ailanthus altissima*) sa u nás považuje za inváznu drevinu. Hobliny boli v prvom kroku presitované (oko 5 x 5 mm) odstránené menšie častice a prach. Frakcia hoblín bola stanovená na priemernej vzorke o hmotnosti 8,83 g meraním priečných rozmerov a hrúbky (obr. 1). Celkovo bolo zmeraných 360 častíc.



Obrázok 3. Frakčné zloženie hoblín: a) hmotnostné, b) hrúbkové zastúpenie frakcií.

2.2 Tepelná úprava drewných částíc

Na tepelnú úpravu sme použili laboratórnu sušiareň 50 dm³ v ohňovzdornom prevedení s odsávaním prebytočnej vlhkosti. V príprave sme zvolili horný teplotný režim až 250°C, kedy došlo z zahoreniu částíc. Režim do 200°C bol vyhodnotený ako hraničný (tab. 1). Klimatizácia tepelne upravených vzoriek pri laboratórnej teplote trvala 24 hod. Následne boli vzorky podrobené máčaniu podľa zvolených časov.

Tabuľka 1. Teplotné režimy použité pri tepelnej úprave pajaseňa žliazkatého.

Teplotný režim 1	nahrievanie do 110°C	tepelná úprava 140°C	klimatizácia 20°C
	15 min	4 hod	24 hod
Teplotný režim 2	nahrievanie do 110°C	tepelná úprava 160°C	klimatizácia 20°C
	15 min	4 hod	24 hod
Teplotný režim 3	nahrievanie do 110°C	tepelná úprava 180°C	klimatizácia 20°C
	15 min	4 hod	24 hod
Teplotný režim 4	nahrievanie do 110°C	tepelná úprava 200°C	klimatizácia 20°C
	15 min	4 hod	24 hod

2.3 Testy nasiakavosti natívnych drewných částíc

Drewné částice boli 14 dni klimatizované na vlhkosť 3-5%. Sušina vzoriek bola stanovená na sušinových váhach. Na stanovenie nasiakavosti bol navrhnutý vlastný postup ponorením 50 g priemernej vzorky do vody 20°C po dobu 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 a 120 min a osobitne po dobu 24 hod. Pre každú vzorku sme vykonali tri paralelné merania. Vzorky vážené s presnosťou na dve desatinné miesta boli umiestnené do silónových vrecúšok a ponorené do vody tak, aby bol celý objem ponorený pod hladinu aspoň 25 mm. Vzorky boli do vody vkladané postupne a vyberané naraz. Meranie vzorky počas 24 hod máčania bolo vykonané osobitne. Po vybratí boli vzorky okamžite umiestnené do centrifúgy pri 1400 ot/min na 15 min ± 15 s. Opäť bola stanovená sušina vzoriek, aby sa potvrdil príjem vody. Sušina bola stanovená bezprostredne po odstredení, zatiaľ čo vzorky boli uchovávané v uzavretom plastovom obale.

Absolútna vlhkosť bola vypočítaná ako:

$$w_1 = m_{\text{vody}} / m_{\text{a.s.}} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

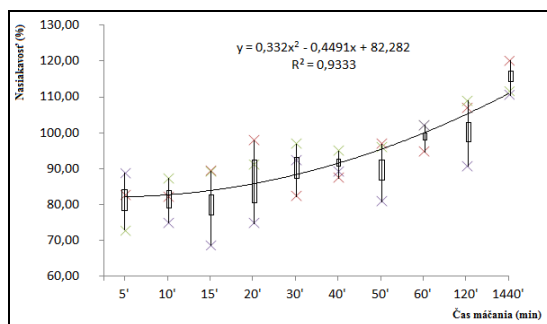
(1)

kde: m_{vody} - hmotnosť vody obsiahnutá vo vzorke po 15 min odstred'ovaní pri 1400 ot/min, $m_{\text{a.s.}}$ - hmotnosť absolútne suchej vzorky (g).

3 Výsledky a diskusia

3.1 Nasiakavosť neupravených hoblín

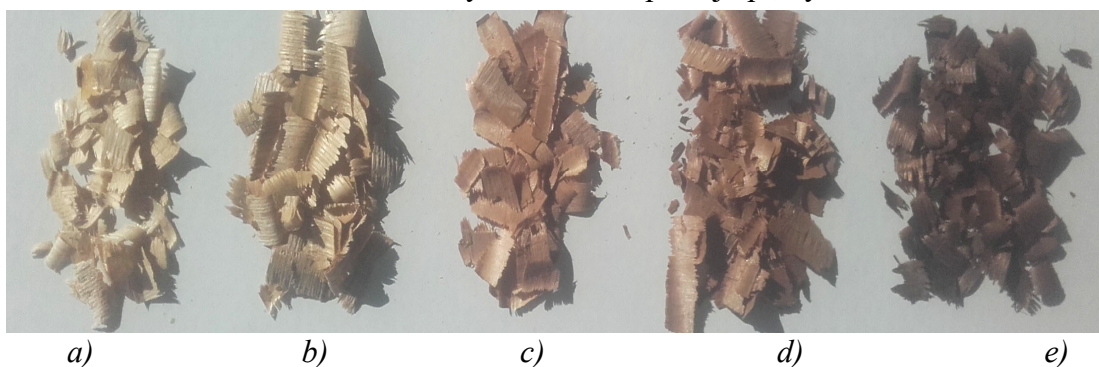
Absolútna vlhkosť hoblín sa máčaním vo vode z pôvodných 5,3% zvyšuje na 81,58% už v priebehu prvých 5 min. Kinetika nasiakavosti vody do tenkoplošných drewných částíc hrúbky 0,2 – 0,5 mm (obr. 1) má rýchly nástup ale prvých 30 min má iba mierne stúpajúci charakter. Po 24 hod máčania (1440') bola nameraná absolútna vlhkosť hoblín 114,22%, čo znamená, že drevo prijalo viac vody ako je váha jeho sušiny (a.s.). Na obr. 2 je znázornený graf nasiakavosti v závislosti od doby máčania, ktorý je reprezentovaný strednou hodnotou definovanou rovnicou druhého stupňa. Rozptyl v nasiakavosti v rámci jednotlivých časov máčania je významný a zrejme ovplyvnený hrúbkou částíc (obr. 1b).



Obrázok 4. Graf nasiakavosti neupravených drevených pilín získaných z odpadového dreva pajaseňa v závislosti od doby namáčania.

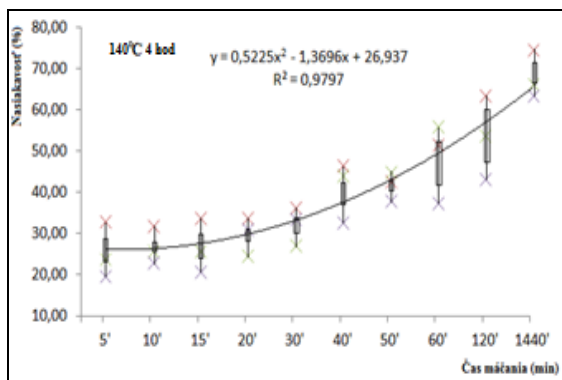
3.2 Nasiakavosť tepelne upravených hoblín

Z vizuálneho hľadiska sa 4 hodinovým tepelným spracovaním výrazne mení farba dreva (obr. 3). Výrazné hnednutie nastáva od teploty 160°C (obr. 3c). Teplota 200°C (obr. 3e) spôsobuje značné stmavnutie dreva, potlačanie rozdielu medzi letným a jarným drevom nastáva od teploty 160°C. Pri teplote 180°C sa už prejavuje výraznejšia krehkosť dreva, hoblíny strácajú svoju pružnosť a lámu sa. Rozsah teplôt od 140°C do 160°C sa zdá byť, na prvý pohľad aj vzhľadom na celkovú 24 hod nasiakavosť, vhodným pre ďalšie sledovanie, hlavne variovanie s celkovým trvaním tepelnej úpravy.

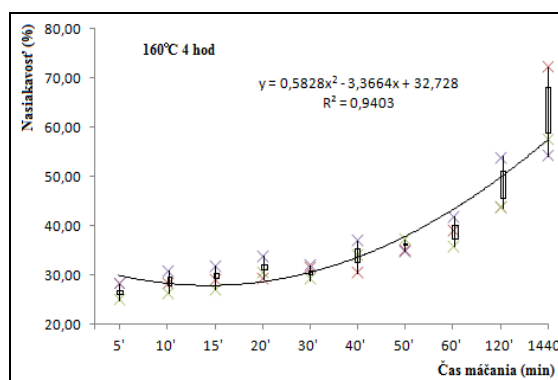


Obrázok 5. Vzorky hoblín z odpadového dreva pajaseňa: a) nespracované a tepelne upravené pri 140°C (b), 160°C (c), 180°C (d), 200°C (e).

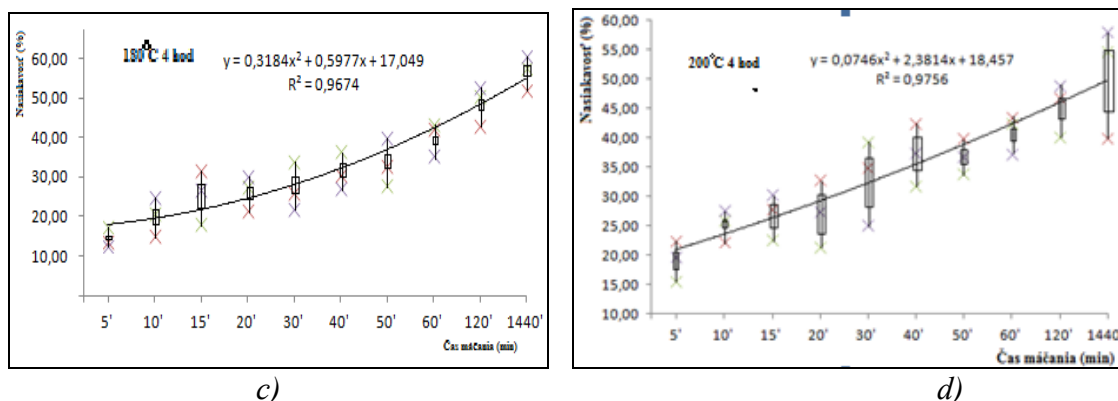
Na obr. 4 sú znázornené grafy nasiakavosti tepelne upravených vzoriek s vyneseními priemerných hodnôt v tvare rovníc. Spoľahlivosť sa pohybuje v rozsahu od 0,94-0,98. Z grafov je vidieť, že variabilita vlastností je vysoká, v niektorých prípadoch aj 20%.



a)

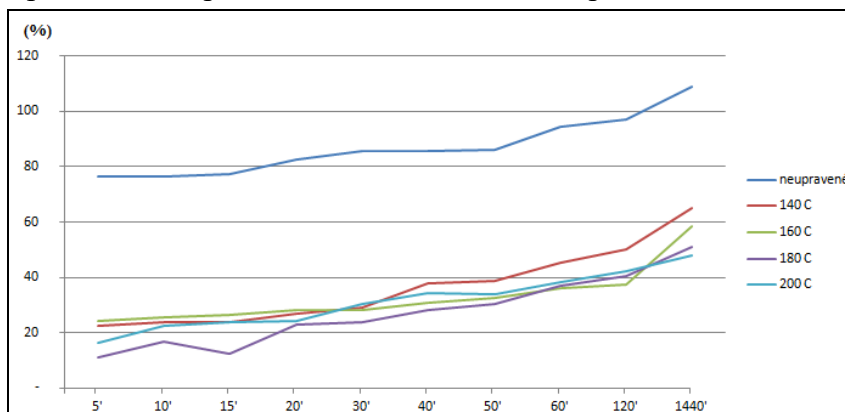


b)



Obrázok 6. Graf nasiakavosti drevených hoblín získaných z odpadového dreva pajaseňa tepelne upraveného 4 hod pri 140°C (a), 160°C (b), 180°C (c), 200°C (d) v závislosti od doby namáčania.

Príjem vody do tepelne upravených hoblín je výrazne nižší ako pri neupravených vzorkách (obr. 5). Z technologického hľadiska sa budeme zameriavať na 24 hod nasiakavosť. Takýto čas predpisuje EN 317: 1993 Drevotrieskové a drevovláknité dosky. Stanovenie hrúbkového napúčania po ponorení do vody. Neupravené hobliny tak prijali 108,92% vody, zatiaľ čo hobliny tepelne upravené pri 140°C množstvo 64,9% a hobliny upravené pri 160°C dokonca iba 58,34%. Hodnoty 50,95% (180°C) a 47,93% (200°C) sú veľmi pozitívne avšak za cenu straty iných dôležitých vlastností. V závere konštatujeme, že pri 4 hod tepelnej úprave sa nám podarilo znížiť nasiakavosť v priemere o 43%.



Obrázok 7. Percentuálne vyjadrený príjem vody (water uptake) hoblín pajaseňa tepelne upravených pri rôznych teplotách počas 4 hod úpravy (priemerné hodnoty). Pôvodná absolútna vlhkosť hoblín bola 5,3% (neupravené), 3,28% (140°C), 3,21% (160°C), 3,46% (180°C) a 3,04% (200°C).

4 Záver

Na základe predbežných experimentov preverených na drevine pajaseň žliazkatý (*Ailanthus altissima*) boli vyvedené závery pre ďalšie experimentálne práce: Experimenty je potrebné uskutočniť na dreve smreka a buka, našich najrozšírejších drevinách. Tepelnú úpravu, vzhľadom na malé hrúbky materiálu, orientovať na režimy s nižšími teplotami do 180°C. Je potrebné vypracovať kinetiku pre tepelnú úpravu pre časy v rozsahu 4 hod až 24 hod. Dobu klimatizácie je nutné predĺžiť z pôvodných 24 hod na minimálne 30 dni. V neposlednom rade je nutné vypracovať hysteréznú krivku navlhavosti, sledovať navlhavosť zo vzduchu tepelne upravených častí počas doby klimatizácie. Následne na základe získaných výsledkov vypracovať metodiku posúdenia hrúbkového napúčania pre lepený lisovaný kompozit z tepelne upravených tenkoplošných častí určený pre obalový priemysel.

Pod'akovanie

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

Literatúra

BEDERINA, M., LAIDOUDI, B., GOULLIEUX, A., KHENFER, M.M., BALI, A., QUÉNEUDECE, M., 2009. Effect of the treatment of wood shavings on the physico-mechanical characteristics of wood sand concretes. *Construction and Building Materials* 23(3): 1311-1315.

BEDERINA, M., MARMORET, L., MEZREB, K., KHENFER, M.M., BALI, A., QUÉNEUDECE, M., 2007. Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes: Experimental study and modelling. *Construction and Building Materials* 21(3): 662-668.

IHNAT, V., LÜBKE, H., BALBERCAK, J., KUNA, V., 2020. Size reduction downcycling of waste wood. Review. *Wood Research* 65(2): 205-220.

VELIĆ, N., STJEPANOVIĆ, M., BEGOVIĆ, L., HABUDA-STANIĆ, M., VELIĆ, D., JAKOVLJEVIĆ, T., 2018. Valorisation of waste wood biomass as biosorbent for the removal of synthetic dye methylene blue from aqueous solutions. *South-east European forestry: SEEFOR* 9(2): 115-122.

DA GLORIA, M.H.Y.R., TOLEDO FILHO, R.D., 2016. Influence of the wood shavings/cement ratio on the thermo-mechanical properties of lightweight wood shavings-cement based composites. In: *6th Amazon & Pacific Green Materials Congress and Sustainable Construction Materials LAT-RILEM Conference*, pp. 365-374.

SANTOS, D., DA GLORIA, M., ANDREOLA, V., PEPE, M., TOLEDO FILHO, R., 2017. Compressive stress strain behavior of workable bio-concretes produced using bamboo, rice husk and wood shavings particles. *Academic Journal of Civil Engineering* 35(2): 211-217.

LI, M., KHELIFA, M., EL GANAOU, M., 2017. Mechanical characterization of concrete containing wood shavings as aggregates. *International Journal of Sustainable Built Environment* 6(2): 587-596.

LAKRAFLI, H., TAHIRI, S., ALBIZANE, A., EL HOUSSAINI, S., BOUHRIA, M., 2017. Effect of thermal insulation using leather and carpentry wastes on thermal comfort and energy consumption in a residential building. *Energy Efficiency* 10(5): 1189-1199.

FARIA, D. L., LOPES, T.A., MENDES, L.M., GUIMARÃES JÚNIOR, J.B., 2020. Valorization of wood shavings waste for the production of wood particulate composites. *Matéria (Rio de Janeiro)* 25(03).

GÖßWALD, J., BARBU, M. C., PETUTSCHNIGG, A., KRIŠŤÁK, Ľ., TUDOR, E.M., 2021. Oversized planer shavings for the core layer of lightweight particleboard. *Polymers* 13(7): 1125.

PASZTORY, Z., KOKAI, P., ADAMIK, P., HALASZ, K., BÖRCSÖK, Z., 2021. Investigation of thermal insulation panels made of wood shavings. *Drewno* 63(207): 56-69.

CHENG, Q., WANG, J., MCNEEL, J., JACOBSON, P., 2010. Water retention value measurements of cellulosic materials using a centrifuge technique. *BioResources* 5(3): 1945-1954.

Summary

The subject of this study was to assess the possibilities of reducing the water absorbency of disintegrated particles from *Ailanthus altissima* wood using heat treatment before they are pressed into the composite material. Shavings produced by plane milling were used for laboratory testing. For heat treatment, the upper temperature regimes of 140, 160, 180 and 200°C was chosen, while the conditioning of heat-treated samples at laboratory temperature lasted 24 hours. Subsequently, the samples were immersed in water at 20°C for 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 and 120 min and separately for 24 h. Excess water was removed by centrifugation before determining absorbency. The results showed that the uptake of water into heat-treated shavings is significantly lower than that of untreated samples. After 4 hours of heat treatment, we managed to reduce the absorbency by an average of 43%.

Kľúčové slová

hoblíny, pajaseň žliazkatý, nasiakavosť, príjem vody, tepelná úprava

Kontaktné adresy

Vladimír Ihnát, Henrich Lübke, Alena Jandová
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava
ihnát@vupc.sk

MONITOROVANIE CHEMIZMU PÔDY V LESNÝCH EKOSYSTÉMOCH POZDĽŽ VD GABČÍKOVO

Danica Krupová, Pavel Pavlenda

1 Úvod

Realizovaná výstavba vodného diela Gabčíkovo a režim prevádzky boli kompromisným riešením oproti pôvodne plánovanej sústave vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros. Napriek tomu ide o výrazný zásah do krajiny s predpokladanými vplyvmi na zložky životného prostredia. V zmysle dohody medzi vládou Slovenskej republiky a vládou Maďarska z roku 1995 a následných dohôd sa vykonáva podrobný monitoring prírodného prostredia v dotknutom území. Súčasťou monitorovacích aktivít, ktoré vykonávajú viaceré výskumné a odborné inštitúcie, je monitorovanie lesných ekosystémov v oblasti vplyvu VD Gabčíkovo v celom potenciálne dotknutom území VDG, ktoré zabezpečuje NLC-LVÚ Zvolen. Základné zistenia sa realizovali ešte pred uvedením VD do prevádzky, v súčasnosti sa každoročne hodnotia vybrané ukazovatele vývoja lesných ekosystémov.

Monitoring prebieha na 16 lokalitách – trvalých monitorovacích plochách (TMP), označovaných L3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 18, 19, 20, 25, 26). Tieto plochy možno rozdeliť do štyroch základných úsekov najmä podľa dopadu prevádzkového režimu vodného diela na hladinu podzemnej vody (HPV). V oblasti Hrušovskej zdrže došlo výraznejšiemu vzostupu hladiny podzemnej vody (tu sú 4 TMP). Ďalej pokračuje úsek pozdĺž derivačného kanála s poklesom HPV, kde je regulovateľná HPV a kde sú technickými opatreniami umožnené riadené záplavy (8 TMP). Nižšie je úsek bez možnosti regulácie HPV – od gabčíkovského prístavu po Sap v oblasti pozdĺž odpadového kanála (2 TMP) a najnižšie v smere toku – medzi Sapom a Kľúčovcom je úsek mimo priameho vplyvu VD Gabčíkovo (2 TMP – považované za kontrolné).

Cieľom tohto príspevku je prezentovať základné informácie o tomto type monitoringu pôd v pomerne rozsiahlom aluviálnom území so špecifickými vplyvmi prevádzky vodného diela na okolité ekosystémy a na príkladoch komentovať niektoré výsledky.

2 Metodika monitorovania

V rámci monitorovania lesných ekosystémov v záujmovej oblasti sa každoročne realizuje najmä monitoring lesných porastov (biometrické charakteristiky, zdravotný stav), prízemnej vegetácie (ekologická charakteristika pomocou Ellenbergových indexov) a hladiny podzemnej vody. Keďže prevádzka vodného diela je spojená aj s redukciou záplav, ktoré boli dlhodobo určujúce aj pre vývoj chemických vlastností pôd, súčasťou monitoringu je aj vzorkovanie pôd a hodnotenie vybraných chemických vlastností pôd. V tomto príspevku sa venujeme práve tejto časti hodnotenia.

Vzorky sú na jednotlivých monitorovacích plochách odoberané z dvoch hĺbok pri povrchu, a to približne 0-15 cm a 15-35 cm. Laboratórne analýzy sú zamerané na základné pedochemické parametre, ako je pôdna reakcia, kvantita a vybrané indikátory kvality pôdnej organickej hmoty, obsah prístupných foriem živín, obsah karbonátov a elektrickú konduktivitu. Pre hodnotenie stavu pôd sa dlhodobo používajú rovnaké metódy, aby sa zachovala porovnateľnosť údajov, hoci postupne sa paralelne niektoré vlastnosti stanovujú aj modernejšími metódami.

Popis hodnotených vlastností a metód ich stanovenia (chemických analýz) je v nasledovnej tabuľke 1.

Tabuľka 2. Popis chemických analýz.

Por. Číslo	Skúšaná vlastnosť	Použitá metóda	
		Princíp	Názov
1.	pH H ₂ O	Potenciometria	ISO 10390 (ŠPP 8)
2.	pH KCl	Potenciometria	ISO 10390 (ŠPP 8)
3.	pH CaCl ₂	Potenciometria	ISO 10390 (ŠPP 8)
4.	Obsah karbonátov	Volumetria	ISO 10693(ŠPP 12)
5.	Celkový uhlík	EA-TCD	ISO 10694 (ŠPP 4)
6.	Celkový dusík	EA-TCD	STN ISO 13878 (ŠPP 4)
7.	Organický uhlík	výpočtom	STN ISO 10694, STN ISO 13878 (ŠPP 4)
8.	El.vodivosť (EC)	Potenciometria	STN EN ISO 7888 (ŠPP 10)
9.	Uhlík rozpustný	Spektrometria	ŠPP 39 Stanovenie humínových látok
10.	Uhlík fulvokyseliny	Spektrometria	ŠPP 39 Stanovenie humínových látok
11.	Uhlík humínové. kys	Výpočtom	ŠPP 39 Stanovenie humínových látok
12.	Odparok	Gravimetria	ŠPP 2 Stanovenie odparku
13.	Prístupný fosfor	ICP-AES	ŠPP 19 – fosfor výluh Olsen
14.	Prístupný draslík	ICP-AES	ŠPP 19 – draslík výluh Egner-Riehm
15.	Prístupný mangán	ICP-AES	ŠPP 19 – mangán výluh Rinkis
16.	Prístupný zinok	ICP-AES	ŠPP 19 – mangán výluh Rinkis
17.	Prístupná meď	ICP-AES	ŠPP 19 – mangán výluh Rinkis

3 Výsledky

Pôdy na monitorovacích plochách, rovnako ako na väčšine územia priliehajúceho k toku Dunaja v danej oblasti, sú klasifikované v aktuálnom klasifikačnom systéme ako fluvizeme. Ide teda o nívne pôdy, ktorých vývoj je narušovaný záplavami na recentných aluviálnych sedimentoch. Pod ochrickým A horizontom (iniciálne štádium - v dôsledku záplav aspoň v nedávnej minulosti) je rôzne zvrstvený aluviálny materiál, pričom stratigrafia je zásadne určená dlhodobým ukladaním aluviálnych náplavov. Následné pôdotvorné procesy prebiehajúce in situ sa neprejavujú diferenciaciou pôdneho profilu v podobe tvorby pôdnych horizontov, pod A horizontom je teda iba substrátový horizont C tvorený často vrstvami rozdielnych materiálov.

Pôdy na monitorovacích plochách boli klasifikované na základe hlbokých sond ešte v roku 1989. Podľa aktuálne platného klasifikačného systému MKSP (Kolektív 2014) ide na všetkých plochách o pôdny typ fluvizem (subtyp fluvizem modálna prípadne glejová, varieta karbonátová). Podľa aktuálnej klasifikácie svetovej referenčnej báz pre pôdne zdroje (WRB 2015) ide o rôzne typy v skupine pôd Fluvisols.

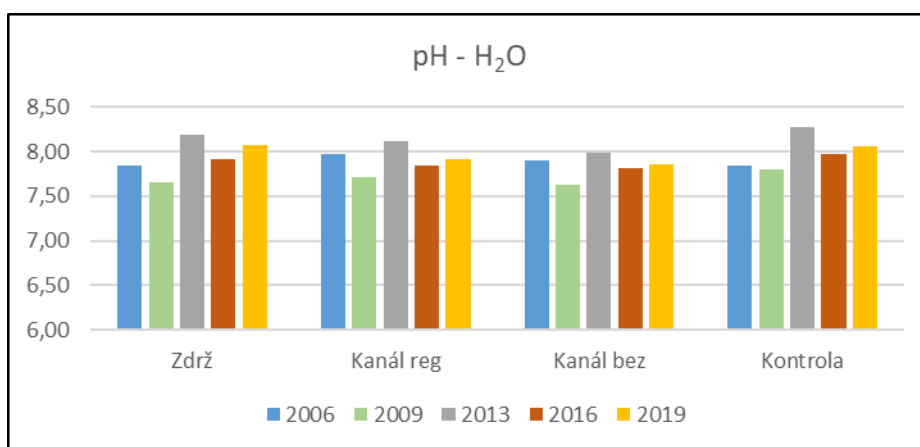
V zrnitostnom zložení vzorkovaných častí pôdneho profilu nie sú výraznejšie rozdiely medzi monitorovacími plochami, prevažujú stredné až ľahké pôdy s prevahou prachovej alebo pieskovej frakcie a s obsahom ílu väčšinou do 5%. S hĺbkou väčšinou podiel prachu klesá a podiel piesku stúpa.

Údaje analytických meraní boli spracované v súboroch monitorovacích plôch ako hodnoty aritmetického priemeru podľa očakávaných zmien hladiny podzemnej vody, ako to bolo naznačené v úvode. Boli definované a v grafoch sú označené nasledovne: horný úsek so vzostupom hladiny (označené ako „zdrž“), úsek prírodného kanálu s regulovateľnou HPV (označené ako „kanál reg“), úsek pozdĺž kanála bez možnosti regulovať HPV (označené „kanál bez“) a dolný úsek mimo priameho vplyvu VD Gabčíkovo (označené „kontrola“).

Pre veľkú časť chemických vlastností je dôležité, že v pôdach sú prítomné vo vysokom podiele karbonáty, keďže aluviálne naplaveniny sa do Dunaja a jeho okolia transportovali a akumulovali z územia, v ktorých vysoký podiel tvoria pôdy vyvinuté z karbonátových pôdotvorných substrátov (zvetraliny vápencov, dolomitov, dolomitických vápencov, vápnitých slieňov, vápnitých pieskocov a pod.). Podľa klasifikácie sú na základe stanovených hodnôt ekvivalentu karbonátov dané pôdy hodnotené ako silne karbonátové (v

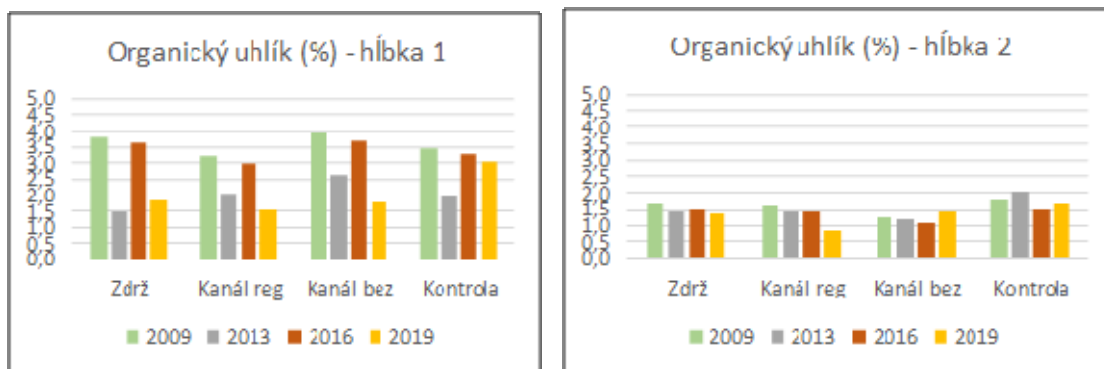
prípade obsahu karbonátov nad 25 %), v niekoľkých prípadoch ako stredne karbonátové. Namerané hodnoty boli v rozpätí od 15,0 % do 48 %, väčšinou sa pohybovali medzi 25 až 35 %. Táto vlastnosť je pri danom vysokom obsahu primárnych karbonátov vysoko stabilná a boli zaznamenané minimálne zmeny za sledované obdobie.

Pôdna reakcia (pH) je dôležitou vlastnosťou pôdy, ktorá má vplyv aj na väzby, v ktorých sú viazané minerálne živiny. Tým je ovplyvnená aj využiteľnosť živín rastlinami. Hodnoty aktívnej reakcie sú v danom súbore TMP v rozpätí 7,74 až 8,39, podľa obvyklej klasifikácie ide o hodnoty indikujúce mierne alkalické pôdy. Podľa koncepcie tlmivých intervalov ide o tlmivý interval karbonátov. Rozptyl hodnôt medzi plochami je veľmi malý, čo znamená, že pôdy v danom území sú z hľadiska pH homogénne. Taktiež nedochádza k výraznejším zmenám ani v sledovanom období. V nasledovnom grafe sú stredné hodnoty pH pre štyri hodnotené úseky (zdrž, kanál s regulovaním HPV, kanál bez možnosti regulácie HPV a kontrolný úsek) pre pH vo vode (aktívna reakcia) a vo výluhu v chloride draselnom (výmenná reakcia).



Obrázok 1. Hodnoty aktívnej a výmennej reakcie v rokoch 2006 – 2019

Dôležitými vlastnosťami pôd súvisiacimi s kvantitou a kvalitou pôdnej organickej hmoty (POH) sú najmä obsah organického uhlíka, obsah celkového dusíka, pomer C/N, obsah humínových kyselín a fulvokyselín a ich vzájomný pomer. Na rozdiel od iných vlastností pôd, ktoré sú v rozhodujúcej miere dané mineralogickým zložením a vlastnosťami substrátu, v tomto prípade určujúci je vplyv bioty a klimaticko-hydrických podmienok. Sú teda významnejšie ovplyvnené biologickými cyklami, stavom vegetácie a podmienkami, za ktorých dochádza k premenám organickej hmoty (humifikácia, mineralizácia). Uvedené vplyvy sa najvýraznejšie prejavujú na množstve a kvalite nadložného humusu (a teda aj na tom, aká humusová forma je vyvinutá), ale odrážajú sa aj na kvalite pôdneho humusu. Celkový organický uhlík pochádza jednak z usadených povodňových hĺn a kalov, ale jeho ďalším zdrojom je povrchový opad aktuálnej vegetácie (opad listia drevín i bylinnej a trávnej vegetácie) i tzv. koreňový opad (odumierajúce časti drevín i bylinnej a trávnej vegetácie). Vzhľadom na to, že obsah organického uhlíka najmä pri povrchu pôdy je značne závislý od interakcie s vegetáciou, hodnotíme ho oddelene pre prvú odberovú hĺbku (zodpovedajúcu A horizontu) a druhú odberovú hĺbku 10-20 cm (10-30 cm). V hornej vrstve na všetkých hodnotených plochách dochádza k výraznejším zmenám v priebehu rokov. Hodnoty sú od 1,5 % do 4 %. Na úrovni jednotlivých plôch i hodnotených úsekov je zistené určité kolísanie s náznakom trendu poklesu, tento trend ale nie je signifikantný. V prípade druhej odberovej hĺbky sú hodnoty stabilnejšie na všetkých plochách a pohybujú sa v rozmedzí 0,8-2 %.



Obrázok 2. Hodnoty organického uhlíka v dvoch hĺbkach v rokoch 2006 – 2019

Obsah celkového dusíka úzko súvisí s obsahom humusu. Pre obsah celkového dusíka možno konštatovať podobné zistenia ako pre organický uhlík. V prvej hodnotenej vrstve boli aktuálne zistené od 0,10 do 0,30 %. Výrazne nižšie rozdiely medzi jednotlivými plochami, ako aj medzi údajmi za jednotlivé roky sú pre druhú odberovú hĺbku, a to v rozmedzí 0,08 až 0,18 %. Z údajov by sa dal hodnotiť trend poklesu obsahu celkového dusíka v povrchovom horizonte, ale pri danej priestorovej variabilite v rámci celého územia i jednotlivých hodnotených úsekov nejde o signifikantný trend.

Pri hodnotení pôvodných výsledkov zisteného obsahu fulvokyselín a humínových kyselín sa konštatoval relatívne nepriaznivý ich vzájomný pomer. Pri porovnaní hodnôt nameraných v období od 2006 do 2019 bol konštatovaný trend vzostupu hodnôt pomeru humínových kyselín a fulvokyselín na plochách s priaznivou zmenou vodného režimu v blízkosti Hrušovskej zdrže a na plochách neovplyvnených vodným dielom, kým na plochách na celom úseku pozdĺž prírodného a derivačného kanála určitý trend poklesu hodnôt tohto pomeru.

Dôležité sú samozrejme i obsahy ďalších hlavných živín i mikroživín, a to ich celkové zásoby, ale najmä ich zásoby vo formách prístupných pre rastliny. Pozornosť sa z hlavných živín venuje obsahu fosforu a draslíka vo forme prístupnej pre rastliny.

Fosfor je živinou, ktorá je - podobne ako organická hmota - akumulovaná v horných častiach pôdneho profilu. Zdrojom zásob prístupného fosforu sú totiž produkty premien organických látok, a teda sú akumulované v najvrchnejších vrstvách organominerálneho horizontu. Pri východiskovom hodnotení boli prakticky na všetkých hodnotených monitorovacích plochách nízke zásoby prístupného fosforu. Vo väčšine pôdneho profilu boli namerané hodnoty okolo 1 - 2 mg.kg⁻¹, len vo zvršku pôdy to boli na časti plôch hodnoty okolo 3 - 10, výnimočne 20 mg.kg⁻¹. Hodnoty s hĺbkou veľmi výrazne klesali až na stopové množstvá, resp. pod detekčné limity stanovenia. Celkove na všetkých plochách sa zistili hodnoty nízke až veľmi nízke. Hodnotenie významnosti rozdielov v obsahu fosforu v celom súbore plôch tiež naráža na veľkú variabilitu tejto vlastnosti. Špecifickým problémom v prípade fosforu je nízka rozpustnosť jeho zlúčenín v silne kyslom i silne alkalickom prostredí. Aj na monitorovacích plochách so značným podielom karbonátov a alkalinitou prostredia je jeho dostupnosť pre rastliny nízka. Ak hodnotíme priemerné hodnoty obsahu fosforu vo výluhu podľa Olsena od roku 2005 do roku 2019 za celý súbor plôch, vidíme vo všeobecnosti vcelku stabilnú situáciu (po náznaku zvýšenia zásob opäť o niečo nižšie hodnoty v roku 2019).

Zásoby prístupného draslíka pri východiskovom opise stavu boli hodnotené boli vo všeobecnosti ako slabé až dobré, pričom neboli zistené také významné vzájomné rozdiely v profilovom priebehu ako pri fosfore. Hodnoty vo vrchnej časti profilu boli väčšinou okolo 50 - 80 mg.kg⁻¹, len ojedinele presiahli 150 mg.kg⁻¹. V súčasnosti sú, rovnako aj pri

východiskovom hodnotení, najlepšie zásoby prístupného draslíka na plochách č. 7, 10, 14 a 20. Pri porovnaní časových radov meraní je však zrejmé, že kým na kontrolných plochách 25 a 26 sa hodnoty menia minimálne, na ostatných plochách je dynamika výraznejšia a namerané hodnoty boli premenlivejšie. Pri vysokej variabilite tejto vlastnosti by pre určenie signifikantnosti trendu v danom časovom období v jednotlivých úsekoch vodného diela bol potrebný väčší počet monitorovacích plôch, výsledky však naznačujú, že práve pri tejto živine sa môže postupne prejavovať trend poklesu zásob v súvislosti s absenciou výraznejšieho prísunu sedimentov záplavovou vodou.

Z prístupných mikroživín sú pre účely monitorovania sledované prístupný mangán, zinok a meď. V roku 1999 bol zaznamenaný vzostup ich hodnôt. Namerané hodnoty medi, zinku aj mangánu bolo v tom období možné charakterizovať ako stredné až veľmi dobré. V ďalších rokoch sa však začal prejavovať opačný trend. Na všetkých hodnotených úsekoch stredné hodnoty koncentrácií všetkých hodnotených mikroživín medzi rokmi 2009 a 2019 mierne klesali. Zvýraznili sa pritom aj rozdiely v zásobách Cu, Mn a Zn medzi jednotlivými úsekmi VD. Najnižšie hodnoty sú vo všeobecnosti v oblasti Hrušovskej zdrže a smerom po toku Dunaja sú stredné hodnoty zásoby daných mikroživín vyššie.

4 Záver

Výsledky hodnotenia stavu pôd potvrdzujú, že niektoré vlastnosti sú stabilné a v podstate sa nemenia (obsah karbonátov reakcia pôdy), kým iné sú značne dynamické (prístupné obsahy hodnotených mikroživín) a prejavujú sa kolísaním nameraných hodnôt medzi jednotlivými odbermi. Pre celkové hodnotenie je podstatné, že nie sú identifikované rozdiely vo vývoji medzi úsekmi s rôznymi predpokladanými vplyvmi VD Gabčíkovo na kolísanie hladiny podzemnej vody a vodný režim. Výsledky analýz veličín charakterizujúcich pôdnu organickú hmotu naznačujú, že bude potrebné v ďalšom období veľmi pozorne sledovať tieto veličiny a analyzovať ich detailne vo vzťahu k vývoju lesných porastov, vývoju meteorologických prvkov a ďalších možných pôsobiacich faktorov.

Určujúcou vlastnosťou pôd je alkalinita pôdy a vysoký obsah karbonátov. Antagonizmus príjmu K a Ca je všeobecne známy, a podobne aj príjem väčšiny mikroelementov je pri absolútnej dominancii karbonátov v sorpčnom komplexe obmedzený. Aktuálne výsledky naznačujú, že celkove nedochádza k signifikantne rozdielnemu vývoju v jednotlivých hodnotených úsekoch podľa zmien v režime kolísania hladiny podzemnej vody. Podľa posledných výsledkov však možno predpokladať, že absencia záplav a celková úprava vodného režimu v dlhšom časovom úseku môže viesť k poklesu zásob draslíka, ale aj mikroživín. Ďalším dôležitým poznatkom je, že v dlhšom časovom úseku sa môžu prejaviť väzby medzi stavom lesných porastov a vlastnosťami pôd, ktoré súvisia s kvantitou a kvalitou pôdnej organickej hmoty a v blízkej budúcnosti by bolo vhodné komplexnejšie vyhodnotenie nielen všetkých dostupných údajov o pôdach na monitorovacích plochách, ale aj o vývoji porastov, ťažbových zásahov, vývoji HPV a spoľahlivých údajov o simulovaných záplavách

PodĎakovanie

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

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0223.

Literatúra

Bublinec, E., Kukla, J., 1997: Monitoring lesných pôd v oblasti VD Gabčíkovo. Ústav ekológie lesa SAV, Zvolen, 16 s.

Fulajtár, E., Čurlík, J., Barančíková, G., Sedláková, B., Šurian, B., 1998: Impact of the Gabčíkovo Hydropower Structure on the Agricultural Soils. Soil Fertility Research Institute, Bratislava, 184 pp.

IUSS Working Group WRB, 2015: World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 204 pp.

Kolektív, 2014: Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska: bazálna referenčná taxonómia. Bratislava, Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy NPPC, 96 s. ISBN 978-80-8163-00.

Summary

Monitoring of soil chemistry along the Gabčíkovo waterworks. Since 1989, forest ecosystems have been monitored in the area affected by the Gabčíkovo Waterworks. It is carried out in the entire territory of interest in 16 locations. As part of the pedological survey, laboratory analyses are carried out to determine the chemical properties of soils. Determination of pH, carbon and nitrogen contents, fulvic and humic acid contents and available nutrients (potassium, phosphorus, manganese, zinc and copper). Results were evaluated for the period from 2006 to 2019. The same methods have been used for the assessment of the condition of soils for a long time in order to preserve the comparability of the data. From the obtained results characterizing the properties of forest soils in the defined section of the Danube river, it is clear that some properties are relatively stable over time and not very variable spatially (pH and carbonate content). However, others are more variable in time on individual monitoring areas and also show greater spatial variability (contents of carbon, nitrogen and accessible nutrients). The results indicate that, overall, there is not significant different development in the individual assessed sections. They are not affected by changes in the regime of groundwater level fluctuations

Kľúčové slová

Monitoring pôd, fluvizem, organický uhlík, živiny, vodné dielo Gabčíkovo

Kontaktné adresy

Ing. Danica Krupová PhD.
Odbor ekológie lesa
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
danica.krupova@nlcsk.org

Ing. Pavel Pavlenda PhD.
Odbor ekológie lesa
Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Národné lesnícke centrum
T.G. Masaryka 2175/22
960 01 Zvolen, Slovak Republic
pavel.pavlenda@nlcsk.org

TECHNOLÓGIA DOPESTOVANIA SADBOVÉHO MATERIÁLU TOPOĽA SIVÉHO

Martin Bartko, Štefan Miklós

1 Úvod

Topoľ sivý (*Populus x canescens* (Ait.) J.E.Sm.) je spontánnym krížencom topoľa bieleho a osiky. Jednotlivé orgány má premenlivé a morfológickými znakmi sa raz blíži topoľu bielemu, inokedy osike, alebo má prechodné znaky.

2 Generatívne rozmnožovanie

Topoľ sivý je dvojdomá rastlina. Na jednom strome sú len samičie kvety a na druhom len samčie. Jahňady kvitnú pred rašením listov v prvej polovici marca. Samčie tobolky dosahujú dĺžku 6-10 cm a samičie tobolky 2-4 cm. V samčích toboľkách je počet semien 8-16. 1 kg semena obsahuje až 1,5 milióna ks. Semeno dozrieva koncom apríla alebo začiatkom mája v závislosti od počasia. Päť dní pred dozretím sa farba semien mení na žlto-zelenú farbu a tobolky sa stlačením medzi prstami ľahko otvárajú. V tomto čase treba pristúpiť k zberu toboľiek, nakoľko v zdravých a vhodne skladovaných jahňadách semená dozrejú. Tobolky sa uskladňujú v chladných vetraných miestnostiach v 5 cm vrstve.

Otváranie toboľiek sa urýchli ich premiestnením na slnečné a teplé miesto. Preschnuté tobolky sa po rozmrvení odstránia a pápernaté semeno sa prefúka cez sito. Zo 100 kg toboľiek sa získajú 3 – 4 kg čistého semena. Zdravé semeno je žltej farby, vajcovitého tvaru, dlhé 0,6 – 0,8 mm a 0,2 – 0,4 široké. Dlhodobé skladovanie semena je možné pri teplote 4 °C. Morenie semena prevažne nie je potrebné.

2.1 Výsev

Sejba sa vykonáva ručne do vopred vytvorených vlhkých rýh vzdialených od seba 0,5 m. Semená sú bez zásyvky, záhony sa prikrývajú rašľovým úpletom s 50 %-nou priepustnosťou (obr. 1). Semeno klíči už 24 hodín po vysiatí. Je dôležité, aby bezprostredne po sejbe sa nevyskytli prehánky alebo búrky, nakoľko tieto môžu semeno vyplaviť.



Obrázok 1. Rašľový úplet s 50%-nou priepustnosťou.

Po sejbe sa začína zavlažovať. Rozprašovanie je jemné a pôda nesmie vyschnúť. Dávkovanie vody musí byť také, aby nedošlo k vytváraniu mlák. Po dvoch týždňoch po výseve sa uberať z intenzity zavlažovania. Keď semenáčky dosiahnu výšku 15 cm, zavlažuje sa maximálne 2 x týždenne. Záhony sa v počiatočných fázach ošetrojú ručne, neskôr nastupuje mechanické kyprenie pôdy. Pôda musí byť neustále prekyprená. Chemické ošetrovanie sa vykonáva v 2 týždňových intervaloch fungicídnymi prípravkami so systémovým alebo kontaktným účinkom. Hnojenie listovým hnojivom a prípadná

ochrana pred hmyzom sa vykonáva podľa potreby. Z 1 kg semena sa dopestuje cca 420 000 ks výsadbyschopných sadeníc (výška 80 cm +).



Obrázok 2. Semenáčky topoľa sivého (vľavo 2 mesiace, vpravo 5 mesiacov po výseve).

Vyzdvihovanie sadbového materiálu sa vykonáva po opade lístia v prvých novembrových dňoch.

Dopestovanie kvalitných sadeníc topoľa sivého a ich ďalší rast a vývoj je v prvom rade závislý od ich genetickej hodnoty. Pri generatívnom spôsobe rozmnožovania sa získava geneticky vysoko hodnotný sadbový materiál len vtedy, keď sa pri jeho pestovaní využíva semeno známej proveniencie, pochádzajúcej z vybraných kvalitných materských porastov, skupín, príp. jedincov.



Obrázok 3. Semenné zdroje v Čenkove (vľavo dielec č. 491 c1, vpravo dielec č. 483 c1).

2.2 Vegetatívne rozmnožovanie

Získať väčší počet jedincov resp. sadeníc s rovnakými vlastnosťami ako má pôvodný jedinec (vynikajúce kvalitatívne a kvantitatívne charakteristiky, produkčné vlastnosti, dobrý zdravotný stav, relatívnu odolnosť voči chorobám a škodcom a dobrú schopnosť prispôbiť sa meniacim sa ekologickým podmienkam) možno len vegetatívnym množením.

U topoľa sivého rozlišujeme nasledovné vegetatívne rozmnožovanie:

- osovými odrezkami,
- koreňovými odrezkami,
- multiplikáciou („in vitro“).

V minulých rokoch sa vykonával výskum vplyvu jednotlivých stimulátorov a kombinácie rôznych druhov substrátov na zakoreňovaciu schopnosť osových odrezkov topoľa sivého. Ujatosť sa v priemere pohybovala okolo 10 %, čo je veľmi nízka ujatosť.

Rozmnožovanie koreňovými odrezkami je veľmi pracné a nákladné (o 700 až 1000 %). Preto je v prevádzkových podmienkach nepoužiteľné.

Metóda *in vitro* kultivácie alebo tiež mikropropagácia umožňuje rast izolovaných častí rastliny - explantátov v určených kultivačných médiách v sterilnom prostredí a pri regulovaných fyzikálnych podmienkach (teplota a svetelný režim).

3 Metodika mikropropagácie

Časový horizont na odber materiálu pre *in vitro* množenie je december až február (marec). V niektorých prípadoch, ak nie je úspešná iniciácia možno použiť aj letné odrezky. Ako experimentálny materiál sa používajú dormantné púčiky.

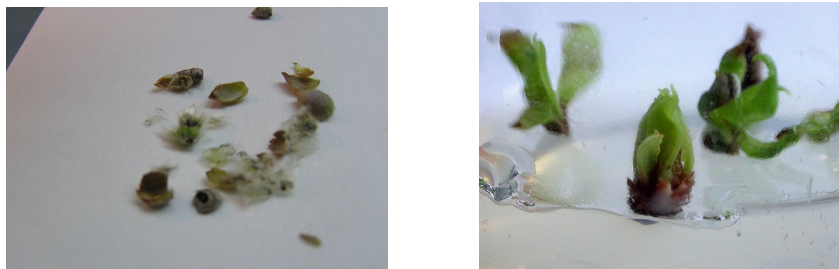
Reprodukčný proces prebieha na kultivačných médiách. Kultivačné média sú potrebné pre výživu kultúr, zaistenie potrebných živín a energie pre delenie a diferenciáciu buniek. Jednotlivé komponenty plnia špecifickú úlohu v regulácii fyzikálnochemických procesov. Úspech pokusov s aplikáciou metód *in vitro* je závislý vo veľkej miere na dobrých znalostiach potrieb výživy kultivovaných buniek a pletív. Pri kultivácii lesných drevín sa najčastejšie používajú chemicky definované média: Murashige-Skoog médium (MS) (MURASHIGE A SKOOG 1962) a WOODY PLANT MEDIUM (WPM) (LOYD A MCCOWM 1981). Tieto média vznikli na základe pomerného zastúpenia jednotlivých komponentov (makroelementy, mikroelementy, vitamíny a rastové regulátory – auxíny, cytokiníny a giberelíny).

Založené kultúry sú uložené v kultivačnej miestnosti s dennou teplotou v rozmedzí $22 \pm 2^\circ \text{C}$ a nočnou teplotou $20 \pm 2^\circ \text{C}$ pri 16 hodinovej svetelnej perióde pri intenzite svetla $50 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Na stužovanie médií sa používa agar. Základným zdrojom uhlíka pre rastliny pestované na kultivačných médiách je sacharóza.

3.1 Etapy mikropropagácie:

1. Etapa: Iniciácia - odvodenie aseptickéj kultúry

Cieľom je získanie z každého dormantného púčika fyziologicky zdatnú viacvrcholovú kultúru. Iniciačný proces trvá cca 3 až 4 týždne, kedy sa z dormantného púčika stáva čistá kultúra (zbavená infekcií, vírusov) schopná multiplikácie.



Obrázok 4. Iniciácia - odvodenie aseptickéj kultúry.

2. Etapa: Multiplikácia

Táto etapa predstavuje zmnoženie zdrojového explantátu do viacvrcholovej kultúry (z rozvinutého púčika vzniká mnohovýhonková viacvrcholová kultúra až trs vyvíjajúcich sa nových výhonkov).

Samotný proces multiplikácie (vznik nových viacvrcholových kultúr) trvá rôzne dlho (v závislosti od druhu, genotypu a veku), ale pri responsívnych explantátoch je možné dopestovať viacvrcholovú kultúru aj za 4 týždne.



Obrázok 5. Multiplikácia

3. Etapa: Zakoreňovanie

Etapa zakoreňovania sa prelína s etapou multiplikácie. Vyvinuté výhonky viacvrcholovej z multiplikačného média sa oddelia od zdrojovej kultúry a preniesú sa na zakoreňovacie médium.



Obrázok 6. Zakoreňovanie

4. etapa: Prenos a adaptácia rastliniek z podmienok *in vitro* do podmienok *in vivo*

Z celého procesu mikropopagácie je táto etapa najkritickejšou etapou z dôvodu prenosu zakorenených rastliniek zo sterilných podmienok do normálneho prostredia.



Obrázok 7. Prenos a adaptácia rastliniek z podmienok *in vitro* do podmienok *in vivo*.

Po adaptácii z *in vitro* do podmienok *in vivo* sa rastliny sa umiestnia v skleníku, alebo na vonkajšie úložiská, kde sú pestované na vzduchovom vankúši, aby sa zamedzilo deformáciám koreňového systému.

4 Záver

Topoľ sivý je dôležitou rýchlorastúcou drevinou vhodnou pre suchšie stanovišťa v oblasti nížinných lesov s vysokým profilom štrkov príp. s narušeným hydrologickým režimom vplyvom meliorácií. Vzhľadom na stále aktuálne problémy – zhoršovanie životného prostredia, klimatické zmeny, zmeny stanovištných podmienok sa prejavujú do určitej miery aj na reprodukčnej schopnosti rastlín, výskum by mal viac pozornosti venovať záchrane ohrozených populácií rôznych druhov drevín práve pomocou biotechnológie

rozmnožovania *in vitro*. Táto technológia rozmnožovania umožňuje pracovať s veľmi malým množstvom rastlinného materiálu, takže jeho odber darcovský strom nepoškodzuje.

Pod'akovanie

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

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0223.

Literatúra

CHLEBÍK, Š., 1975. Štepenie, očkovanie a preštepovanie drevín. Príroda, Bratislava, 310s.

IVANIČKA, J. 1987. In vitro Micropropagation of Mulberry *Morus nigra*. In: Scientia Horticulturae 32. Elsevier Science, Publishers B. V. Amsterdam, 33-39.

MURASHIGE, T., SKOOG, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15: 473-497

Summary

Technology of growing gray poplar seed material. Gray poplar (*Populus x canescens* (Ait.) J.E.Sm.) is a spontaneous cross between white poplar and aspen. Its individual organs are variable, and its morphological features sometimes resemble white poplar, sometimes aspen, or have transitional features.

Kľúčové slová

Topoľ sivý, pestovanie, mikropropagácia

Kontaktné adresy

Ing. Martin Bratko, PhD., Ing. Štefan Miklós
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav
Výskumná stanica Gabčíkovo
Parková cesta 557/11
930 05 Gabčíkovo
martin.bartko@nlcsk.org

PESTOVANIE RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN NA DENDROMASU V PODMIENKACH SLOVENSKA

Štefan Miklós, Martin Bartko

1 Úvod

Po ropnej kríze v roku 1971, ale najmä v posledných desaťročiach sa v západnej Európe ako aj v niektorých oblastiach Severnej Ameriky začína na čoraz väčšej rozlohe poľnohospodárskej pôdy využívať nový systém hospodárenia, ktorého výsledným produktom je produkcia rastlinnej hmoty – biomasy. Porasty drevín, ktoré sa takýmto spôsobom využívajú označujeme ako výmladkové plantáže rýchlorastúcich drevín (RRD), prípadne ako energetické plantáže, alebo ako energetický porast. Súčasťou produkčného systému sú aj reprodukčné porasty určené k produkcii sadbového materiálu označované ako matečnice. Produktom plantáží rýchlorastúcich drevín je dendromasa, najčastejšie upravená vo forme energetických štiepok využiteľná ako palivo na vykurovanie, prípadne na kombinovanú výrobu tepla a elektrickej energie.

2 Rýchlorastúce dreviny a energetické porasty

Medzi rýchlorastúce dreviny v stredoeurópskych podmienkach zaradíme tie, ktorých ročná objemová produkcia presahuje 10 m³/ha. Najväčšiu výmeru z týchto drevín na Slovensku zaberá agát biely (33 000 ha), potom nasledujú topole (21 000 ha) a nakoniec vrbu (3 500 ha).

Energetické porasty možno definovať ako špecifické typy intenzívnych porastov s krátkou rubnou dobou (2-20 rokov, diferencovane podľa drevín, klonov a stanovištných podmienok), ako aj porasty výmladkového pôvodu, v ktorých cieľová produkcia je zameraná na maximalizáciu dendromasy za čo najkratší časový úsek.

Energetické porasty v závislosti od rubnej doby rozlišujeme:

- s veľmi krátkou rubnou dobou (**mini rotácia**) – 2-3 - ročný cyklus,
- s kratšou rubnou dobou (**midi rotácia**) – 5-8 - ročný cyklus,
- s krátkou rubnou dobou (**maxi rotácia**) – 10-20 – ročný cyklus.

2.1 Mini rotácia

Pri mini rotácii sa realizuje zber dendromasy po dvoj až trojročnom raste. Pri takejto krátkej dobe vývoja sa prírastky pohybujú okolo 10 t sušiny.ha⁻¹. Dosiahnuť takýto prírastok sušiny je možné len pri veľmi hustom zápoji 16 000 – 20 000 jedincov na hektár. Takéto intenzívne pestovanie prináša vysokú hektárovú produkciu vo forme veľmi tenkého dreva. Priemer kmeňov v územku pri ťažbe je 3 – 4 centimetre. Využitie takéhoto materiálu je možné výhradne pre vykurovacie účely. Väčšinou sa mini rotácia využíva u vrby.

2.2 Midi rotácia

Zber dendromasy pri midi rotácii sa realizuje každých 5 – 8 rokov. Za tento čas dosiahnu stromy v územkovej časti priemer kmeňa 7 – 10 cm a vyššiu hmotnosť ako pri mini rotácii. Pri midi rotácii je preto možné počítať s menšou hustotou porastu pre zabezpečenie rovnakého výnosu. Optimálna hustota je od 8 000 – 12 000 kusov na hektár.

2.3 Maxi rotácia

Predpokladá zakladanie takých porastov, pri ktorých je plánovaný cyklus ťažby najskôr po 10 – 12 rokoch. Produkcia bude zabezpečená vďaka väčšiemu rozmeru už pri počte 1500-3000 stromov na hektár. Priemer kmeňov v čase ťažby je okolo 10 – 15 centimetrov.

Hlavnými dôvodmi pre zakladanie plantáží RRD sú

- využitie pôdy na nepotravinársku produkciu (využitie málo produktívnych poľnohospodárskych pôd, využitie degradovaných pôd a pôd v imisných oblastiach),
- rozvoj vidieckych oblastí a vytváranie nových pracovných príležitostí,
- posilnenie postavenia poľnohospodárstva a lesného hospodárstva v rámci regionálnej ekonomiky,
- znižovanie závislosti od dovážaných fosílnych palív,
- podpora trvalo udržateľného rozvoja a zvyšovanie kvality životného prostredia.

3 Sortiment drevín pre plantáže v SR

Na Slovensku ako aj v zahraničí prebieha výskum v šľachtení a selekcii drevín s cieľom rozšíriť sortiment drevín tak, aby umožnil zakladanie produkčných plantáží na čo najširšom spektre stanovišť.

V podmienkach SR majú najväčší praktický význam nasledovné druhy hospodárskych drevín:

- Topole – zastúpené skupinami *Aigeros*, *Tacamahaca* a *Leuce*
- Vrbý – zastúpené stromovými a krovitými formami
- Agát biely – vyselektované klony

Šľachtené klony topoľov a vrb sú vhodnými drevinami v južných oblastiach Slovenska práve pre svoj rýchly rast a produkciu dendromasy. Produkcia je podmienená pestovaním na pôdach bohatých na živiny a vodu. Na Slovensku sa najviac osvedčili nasledujúce druhy topoľov a vrb:

- Topole:
 - *I - 214*
 - *Gigant*
 - *AF 2*
 - *AF 8*
 - *Monviso*
 -
- Vrbý:
 - *Salix alba TH*
 - *Salix alba 107/65/7*
 - tzv. švédské klony *Sven*, *Olof*, ...)

Z tvrdých listnáčov najširšie uplatnenie nachádza agát biely. Okrem intenzívneho rastu sa vyznačuje vysokou odolnosťou voči škodlivým biotickým činiteľom. Vhodný je na pestovanie na marginálnych suchých lesných a nelesných pôdach v nížinných a pahorkatinných oblastiach. Okrem toho je schopný viazať vzdušný dusík.

3.1 Zakladanie, pestovanie a ochrana porastov RRD

Predpokladom zvládnutia produkcie biomasy z plantáží rýchlorastúcich drevín sú rozhodnutia, ktoré je možné rozdeliť do troch okruhov. Je to v prvom rade výber a príprava

vhodnej lokality, správne určenie dreviny a voľba odrody. Následne je potrebné venovať pozornosť ochrane drevín pred burinou a ostatnými biotickými škodcami. Poslednú fázu tvorí zber materiálu a jeho finálna úprava pre energetické využitie. Zvládnutie týchto krokov dáva predpoklad, že výsledná ekonomická bilancia bude priaznivá.

3.1.1 Výber lokality

Zakladaniu energetických porastov predchádza výber lokality. Na lesnej pôde sa opierame o údaje z Programu starostlivosti o les, ktoré v prípade potreby sa doplnia o rozboru týkajúce sa vlastností pôdy. Na poľnohospodárskej pôde sa musí do zóny budúceho vývoja koreňového systému vykonať rozbor fyzikálnych a chemických vlastností pôdy. Bez znalostí pôdných pomerov nie je možné zakladať energetické porasty. Ďalším faktorom pri posudzovaní vhodnosti danej lokality na pestovanie energetických porastov sú aj mikroklimatické podmienky a to najmä priemerná ročná teplota a ročný úhrn zrážok.

3.1.2 Príprava pôdy

S prípravou pôdy je vhodné začať rok pred výsadbou. Pri ťažkých pôdach sa odporúča hlboká orba na jeseň pred výsadbou. Pri ľahkých piesčitých pôdach je možné orbu vykonať na jar. Preoranie a skyprenie pôdy umožňuje ľahšiu rast koreňov. Pôda sa pripravuje ako pre obilniny, ale kultivuje sa do väčšej hĺbky.

Použitie chemických prostriedkov pre veľkoplošné odburinenie sa z dôvodu ochrany prírody a tvorby reziduí v pôde, ktoré môžu obmedziť rast RRD aj na niekoľko rokov po aplikácii nedoporučuje. V odôvodnených prípadoch (veľmi silné zaburinenie, bez možnosti mechanického odburinenia) je možné použiť overené biodegradujúce preparáty. Pri aplikácii presne podľa doporučených postupov je možné znížiť účinnú koncentráciu na minimum.

3.1.3 Zdroje sadbového materiálu

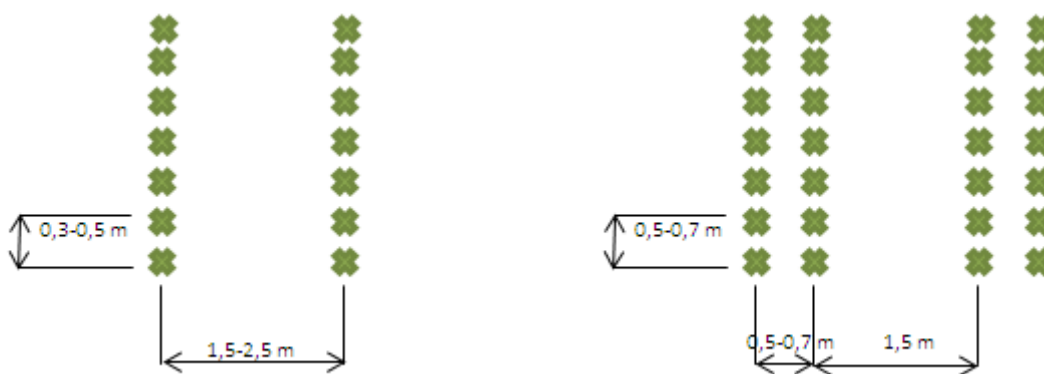
Základným reprodukčným materiálom na zakladanie energetických porastov sú zimné osové odrezky, ktoré sa bežne získavajú z matečníc. Matečnice sa zakladajú na sviežich, na živiny bohatých pôdach kvalitnými jednoročnými sadenicami. Výsadba sa realizuje skoro na jar v spon 1,5 × 1,0, alebo 2,0 × 1,0 m. Sadenice sa po výsadbe zrežú vo výške 80 cm a pestujú sa ako tzv. vysoké, resp. zrežú v 10 cm a ďalej sa pestujú ako nízke hlavy. Z jednej matečnice sa medzi 3 až 15 rokom získava každoročne 15 až 30 kusov kvalitných prútov. Z jedného prúta je možné vyrobiť 6-10 kusov odrezkov. Prúty sa do času výroby odrezkov uskladňujú v snehových jamách alebo v dobre vetraných a klimatizovaných pivniciach pri teplote 2-4 °C.

3.1.4 Schéma plantáže

Šírka radov musí byť prispôbená ťažbovej metóde. Tzv. švédsky dvojriadkový spon počítá s odstupom 0,75 m medzi radmi a 1,5 m medzi párami radov. Tento spon sa najviac hodí pre väčšinu v súčasnosti používaných strojov. S touto schémou pri rozstupe medzi odrezkami 0,6 m dosiahneme hustotu 15 000 kusov na hektár.

Schémy výsadby výmladkových plantáží:

- do jedného radu v sponoch (0,3-0,5m) × (1,5-2,5m)
- do dvojriadkov v sponoch (0,5-0,7m) × (0,5-0,7m) (medzi dvojriadkami 1,5 m)



Obrázok 1. Schéma jednoradkovej (vľavo) a dvojradkovej výsadby (vpravo)

3.1.5 Výsadba

Energetické porasty sa zakladajú z odrezkov, ktoré sa získavajú z jednoročných prútov. Pre zakladanie energetických plantáží sa sadia odrezky dlhé 180 mm až 200 mm s priemerom najmenej 8 mm. Odrezky sú sadené kolmo do zeme, do hĺbky 90 % svojej dĺžky, čo zabezpečuje dostatočný prístup vlhkosti. Kratšie odrezky sa môžu použiť počas vlhších rokov. V čase sucha sa ich použitie neodporúča, pretože rýchlo vysychajú.

Rozlišujeme dva typy výsadby:

- *ručná*, ktorá je vhodná na výsadbu plantáží s menšou výmerou. Jeden robotník dokáže za 1 hodinu vysadiť cca 350-500 ks odrezkov.
- *mechanizovaná*, pri ktorej sa využívajú sadzacie stroje. Existujú dva typy strojov. Prvý typ sadi do pôdy už pripravené odrezky. Odrezky dlhé 20 cm obsluha vkladá do podávacích diskov a následne sú uložené do brázdy, ktorú prítlačný valec zahŕňa zeminou a stláča. Pri druhom type sa do zásobníka vkladajú celé prúty a stroj si z nich na mieste vyrába odrezky a tie sadi priamo do pôdy.

Najvhodnejším časom na výsadbu odrezkov je skorá jar, najneskôr do 15. apríla v závislosti však od teplotných pomerov danej lokality. V najteplejších oblastiach po tomto termíne klesá uجات v dôsledku sucha, ale sú menšie problémy s burinou. Pred výsadbou je vhodné odrezky dezinfikovať fungicídmi so širokou spektrálnou činnosťou.

3.1.6 Hnojenie

Hnojenie priemyselnými hnojivami sa odporúča na chudobných stanovištiach. Preukázateľne vyššie prírastky a produkcia boli zaznamenané u topoľov po aplikácii hnojiva dusíkom. Na živinami dobre zásobených lokalitách má hnojenie obvykle vplyv pri rýchlejšom nástupe maximálnej produkcie, ale celkový výnos za celé obdobie plantáže významne neovplyvní. Pri aplikácii hnojiva na nívnych lokalitách a prameništích je nutné dbať na presné dávkovanie, aby hnojivá neboli splavené a nespôsobili znečistenie zdrojov vody.

4 Zdravotný stav a biotickí škodcovia porastov rýchlorastúcich drevín

Tak ako každá monokultúra aj plantáže RRD sú potenciálne viac ohrozené škodcami a chorobami ako prírodný les. V tejto súvislosti je možné predchádzať napadnutiu vytváraním mozaikovitej štruktúry a kombináciou drevín. To je však vzhľadom na potrebu zachovania vysokej produkcie nie vždy možné. Výhodou mozaikovitej štruktúry zakladania porastov RRD je aj zapadnutie takýchto porastov do štruktúry krajiny. Tu sa vytvára predpoklad vzniku polyfunkčného systému, ktorého význam je zameraný okrem produkcie dendromasy aj na plnenie potrieb ochrany a tvorby krajiny.

Dotichíza topoľová spôsobuje totálne odumieranie kôry, ktoré sa prejavuje postupnou nekrotizáciou. Prejavy ochorenia sú rozdielne a závisia od obdobia vzniku nákazy, veku a miesta vzniku nákazy. Vo všeobecnosti sa ochorenie prejavuje ako vodnaté stmavnutie kôry, pri ktorom dochádza k postupnému zhnednutiu až zčerneniu kôry v oblasti miesta infekcie.

Dominantné postavenie topoľov a vrb v južných oblastiach Slovenska prináša so sebou špecifické problémy v oblasti hmyzích škodcov. Zástupcovia skupiny drevokazných druhov môžu vo vhodnom prostredí spôsobiť úhyn kultúr. Jedným z najosvedčenejších spôsobov je pravidelná zámerna klonov, dodržanie technologickej disciplíny a na ucelených plochách s výmerou nad 10 ha aplikácia mozaikovej výsadby.

Z ostatných biotických činiteľov prichádza do úvahy poškodzovanie produkčných plôch ohryzom a vytĺkaním lesnou zverou. Pri malých plochách do 1 ha sa porasty RRD môžu stať veľmi atraktívne pre raticovú zver, hlavne v prípade, ak už pred vysadením porastu sa na týchto lokalitách zver zdržiavala. Najviac škody napácha zver v prvých mesiacoch, kedy sú ohryzom atakované terminálne pupene drevín.

Agát biely môžeme zaradiť medzi naše najodolnejšie listnaté dreviny, ktorý s výnimkou extrémne suchých stanovišť odoláva pôsobeniu hubových patogénov a škodcom asimilačných orgánov. V ojedinelých prípadoch sa vyskytuje vírusové ochorenie, ktoré v korunovej časti spôsobuje tzv. metlovitosť

Energetické porasty agáta bieleho obnovované z pňových a koreňových výmladkov vyžadujú pravidelnú kontrolu zdravotného stavu, s dôrazom na hubové choroby na pniakoch eliminujúce počet výhonov.

5 Zberová technika

Mechanizácia zberu má rozhodujúci význam pre úspešné zvládnutie prác na plantážach RRD. Náklady na zber musia byť porovnateľné s nákladmi pri zbere podobných poľnohospodárskych plodín. Pestovanie plantáží energetických drevín sa dá prirovnať viac k bežnému lesníctvu ako k poľnohospodárstvu. V zásade existujú tri technológie zberu dendromasy z výmladkových plantáží.

5.1 Zrezanie a zviazanie

Môže byť urobené manuálne alebo mechanizovane. V prvom prípade sa robí ručné rezanie stromov krovinorezom a manuálny presun na okraj plantáže. Tento postup je vhodný iba pre rozlohou malé plantáže, výskumné a testovacie plochy do rozlohy 2-3 ha. Pri väčších plochách je pre praktickú realizovateľnosť ťažby nutné používať prídavné zariadenia za traktor (napr. upravenú traktorovú pílu pre podrezávanie stromov), alebo špeciálne stroje, ktoré podrezávajú v danej výške kmene a viažu ich do viazaníc. Biomasa sa ponecháva buď na okraji plantáže, alebo sa hneď odváža na miesto konečného spracovania. Po vyschnutí na vzduchu (1-3 mesiace) sa biomasa štiepkuje. Takto pripravené štiepky sú dostatočne suché (20 -30%), aby mohli byť vhodné pre spaľovanie v zariadeniach s nižším a stredným výkonom. Tento spôsob je náročný na manipuláciu, ale stroje sú jednoduchšie (univerzálne) a ťažba malých plôch je možné zabezpečiť aj bez mechanizácie.

5.2 Zrezanie a štiepkovanie

Tento spôsob využíva väčšinou samopojazdné, ale aj ťahané stroje schopné okamžitej výroby štiepok na poli. Takto vyrobené štiepky majú vyššiu vlhkosť, ale manipulácia s nimi a doprava je jednoduchšia. Pre spaľovanie týchto štiepok sú vhodné kotle s výkonom väčším ako 1 MW.

5.3 Zrezanie, štiepkovanie a peletovanie

Tento spôsob využíva veľmi ťažké stroje BIOTRUCK schopné okamžitej výroby peliet. Manipulácia a doprava peliet je jednoduchá a takto vyrobené pelety sú vhodné pre spaľovanie v spaľovacích zariadeniach všetkých výkonových tried. Väčšina strojov používa pre rez kotúčovú pílu. Unášacie zariadenie píly často spôsobuje poškodenie hláv RRD a spôsobuje trhliny pod úrovňou rezu – rozštiepenie, čo môže mať za následok vznik chorôb. Neúmerná výška rezu môže spôsobiť rozstrapatenie hlavy pri jej napružení. Kotúčová píla môže vnášať do stroja sneh, následkom čoho sa zvyšuje vlhkosť suroviny. Pôvod týchto strojov je v upravených poľnohospodárskych kombajnoch prevažne určených pre zber cukrovej trstiny. Harvestery používajúce reťazové píly tieto problémy minimalizujú.

6 Záver

Biomasa predstavuje pre Slovensko potenciálne veľmi výdatný čistý zdroj energie. Energia biomasy pochádza zo Slnka a celkovo sa jej ročná produkcia na svete rovná $2 \cdot 10^{14}$ kg, čo predstavuje 90 TWh energie. Biomasou sa myslí drevo, slama, organický odpad v poľnohospodárstve, časť komunálneho odpadu ale aj účelovo pestované energetické rastliny. Biomasa sa ako palivo využívala odnepamäti vo všetkých kútoch sveta, dnes ju nové technológie umožňujú využívať omnoho efektívnejšie, a vo väčšej miere, možno z nej dokonca vyrábať elektrinu či pohonné hmoty. Jedným zo zdrojov drevnej biomasy (dendromasy) sú energetické porasty. Keďže cieľom je maximálne množstvo dendromasy za čo najkratší čas, zakladajú sa rýchlorastúcimi drevinami ako sú topoľ, vrbka alebo agát.

Aj pestovanie takýchto porastov má svoje pravidlá a zákonitosti. Aby výsadba bola úspešná a priniesla želaný efekt, je potrebné mať k dispozícii množstvo informácií o stanovišti (pôdne rozbery, mikroklimatické podmienky) ako aj o vlastnostiach pestovaných drevín (nároky na živiny, teplo, svetlo, vlhu). V neposlednom rade je dôležité z hľadiska pestovateľa vedieť, aký finančný efekt možno očakávať.

Pod'akovanie

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

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0223.

Literatúra

BARTKO, M.: Aká je ekonomika energetických porastov?. In: Lesnícká práce, 2011, august 2011, ročník 90, s. 27-30.

BARTKO, M.: Analýza biologických, produkčných a ekonomických aspektov pestovania rýchlorastúcich drevín na Slovensku. NLC Zvolen : Národné lesnícke centrum, 2011, 199 s.

TRENČIANSKY, M., LIESKOVSKÝ, M., ORAVEC, M.: Energetické zhodnotenie biomasy, Učebnica. Národné lesnícke centrum, 2007, 147 s.

Summary

Cultivation of fast-growing woods for dendromas in the conditions of Slovakia. Over the past few years, biomass has moved from being an interesting alternative fuel to being an attractive source of energy for all types of users. Energy in the global context is faced

with a number of problems and limitations, such as the gradual depletion of fossil fuel resources, growing import dependence on the import of these raw materials, etc. There are several reasons why renewable biomass sources are being talked about more and more. On the one hand, it is the effort of developed countries to reduce the risk of climate change as a result of anthropogenic activity, in particular the reduction of greenhouse gas emissions. Another positive of growing biomass is the possibility of using agricultural land for the production of energy wood, which would eliminate problems with overproduction of agricultural production and possibly also use land that cannot be used agriculturally, e.g. waterlogged, heavy, gravelly soils. The creation of new job opportunities in rural areas and increasing the energy independence of the region are related to this. Plantations of fast-growing trees (RRD) are a relatively new source of biomass, the goal of which is the purposeful production of biomass for energy or industrial use. This method of production began to develop in the last two decades in Western Europe and experimentally in some areas of North America. Their product is wood biomass (dendromass) that can be used as fuel. From a biological point of view, this dendromass production is based on the ability of some trees (clones) to grow very quickly in the first years after planting and at the same time on their high sapling ability after cutting the above-ground part. Another feature of these trees is their easy vegetative reproduction

Kľúčové slová

Rýchlorastúce dreviny, zakladanie a pestovanie energetických porastov, ekonomika

Kontaktné adresy

Ing. Martin Bratko, PhD., Ing. Štefan Miklós
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav
Výskumná stanica Gabčíkovo
Parková cesta 557/11
930 05 Gabčíkovo
martin.bratko@nlcsk.org

IDENTIFIKÁCIA ZDROJOV AUTOCHTÓNNEHO GENOFONDU DREVÍN PODUNAJSKA

Martin Bartko, 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.

Sceľovaním 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.

V Podunajskej nížine osobitné miesto prináleží lužným spoločenstvám, ktoré sú výsledkom vývoja riečiska (koryto a ramenná sieť). Hydrologický režim a rozmiestnenie pôdnych vrstiev v zóne koreňového systému zásadne určuje druhovú skladbu drevín. Dunajský lužný ekosystém, ktorý má charakter druhej najväčšej vnútrozemskej delty v Európe, patrí medzi lesné spoločenstvá s najdynamickejším vývojom. Celková rozloha plochy lesa v inundačnom území je okolo 3 100 ha.

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, povyš 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, znížení, 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.

3 História budovania protipovodňových a regulačných opatrení

Inundačné územie so svojou vegetáciou pôsobí dojmom 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 obydľia, 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 hydroológov /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 m³ / sek., čo predstavovalo vodu v nich len 17 dní za rok. Po odstavení vôd do derivačného kanála je ramenná sústava zavodňovaná z nápusťného objektu v Dobrohošti po celý rok, podľa upravovaného harmonogramu.

4 Zmeny lesných ekosystémov v dôsledku historického vývoja

Odklon pôvodného množstva vody z osi dnešného Malého Dunaja do koryta terajšieho toku Dunaja mal nepochybne následky pre preformovanie sa lužných lesov novej inundácie, čiže medzihrádzového priestoru. Záplavy sa tu znásobili a búrlivosť ich vôd narástla. Pretrvávajúce 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 vrbovotopľové 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 lesov 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 vzliňať. 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.

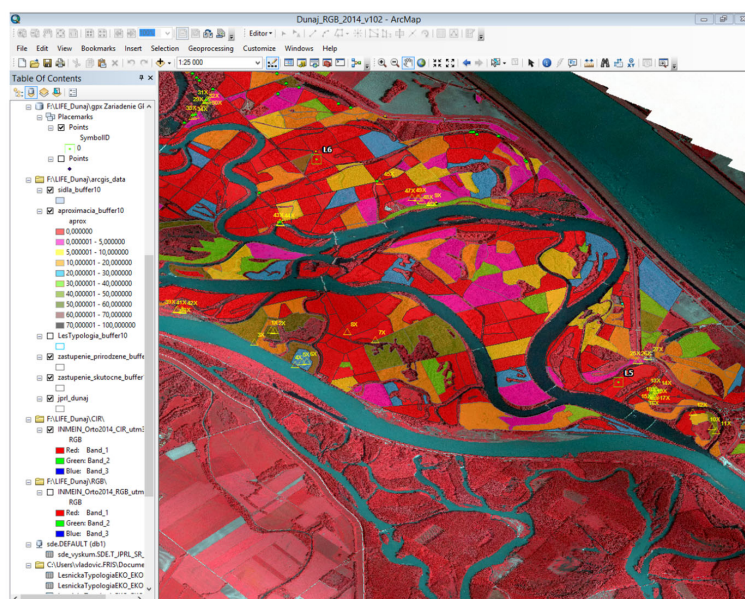
4.1 Najrozšírenejšie lesné ekosystémy Dunaja

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 vŕzový/, 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.

5 Metodika a zhrnutie výsledkov

Vo vybranom modelovom území v širšom okolí toku Dunaja sa vykonali mapovanie a identifikovanie autochtónnych drevín a vybraných stromov.

Vykonal 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).

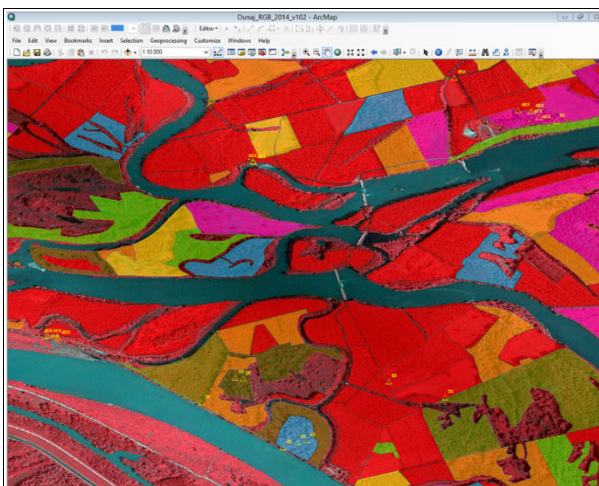
$$a = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum O}{200} \right) \quad o = \frac{100 \cdot \sum O}{200}$$

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

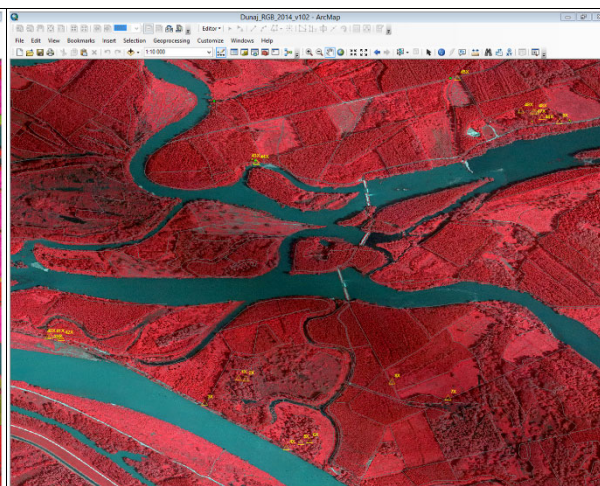
Do hodnoty % aproximácie dreviny v rámci hodnotenej JPRL sa započítal % podiel skutočného zastúpenia každej žiaducej dreviny až do výšky jej potenciálneho zastúpenia, ktoré bolo odvodené z poznatkovej bázy. Aproximácia JPRL je súčtom hodnôt aproximácie drevín v JPRL. Uvedenou metódou sme pre každú posudzovanú 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.



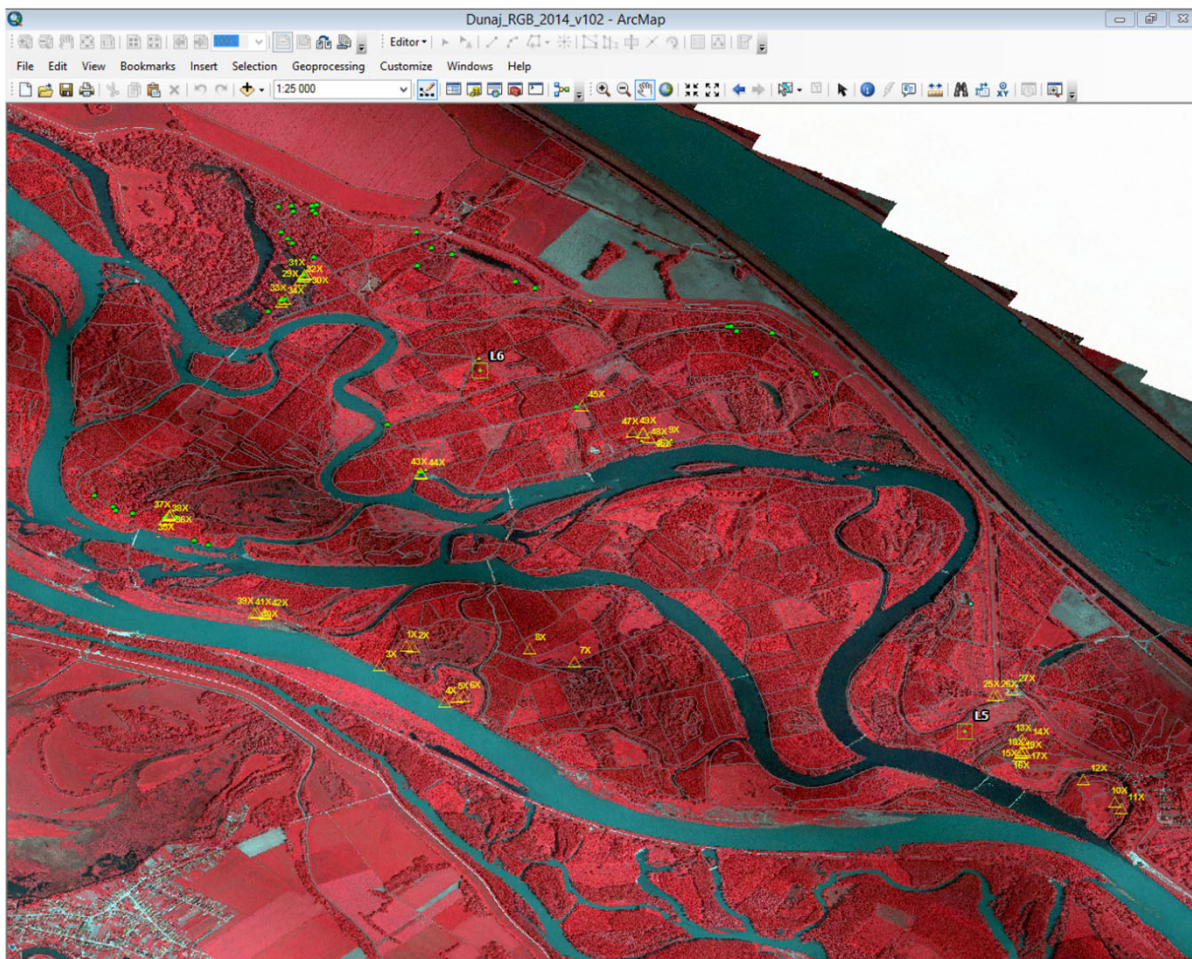
Obrázok 2. Posúdenie zachovalosti drevinového zloženia porastov metódou aproximácie – okolie Bodického a Bačianskeho ramena; Ostrov 24, Močiar



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 autochtých stromov (ArcGIS) v lokalite Bodického 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* (U_{Fr}p) 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* (Q_{Fr}) Dubová jasenina. Pôvodné rekonštruované drevinové zloženie: dub letný 80 %; jaseň 17 %; domáce topole (biely, čierny, sivý) 2 %; čremcha obyčajná 1 %.
- *Saliceto-Alnetum* (S_{Al}) Vrbová jelšina. Pôvodné rekonštruované drevinové zloženie: jelša lepkavá 40 %; vrba biela 40 %; domáce topole (biely, čierny, sivý) 18 %; čremcha obyčajná 2 %.
- *Ulmelum* (U) Brestové porasty. Pôvodné rekonštruované drevinové zloženie: brest poľný 60 %; brest väzový 20 %; javor poľný 10 %; hrab obyčajný 5 %; jaseň 5 %.
- *Fraxineto-Alnetum* (Fr_{Al}) 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 (třípka) (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 2 znázorňuje prehľad rozdelenia početností lokalizovaných stromov podľa druhu drevín a združených lokalít. Tabuľka 3 uvádza prehľad rozdelenia početností lokalizovaných stromov podľa druhu drevín a kvality kmeňov stromov.

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 Búdoš, Dunajský ostrov, Ispánsky Dunaj	22
G Mŕtvy Dunaj, Sap – Medved'ov	19
H Čiližské, Izop, 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

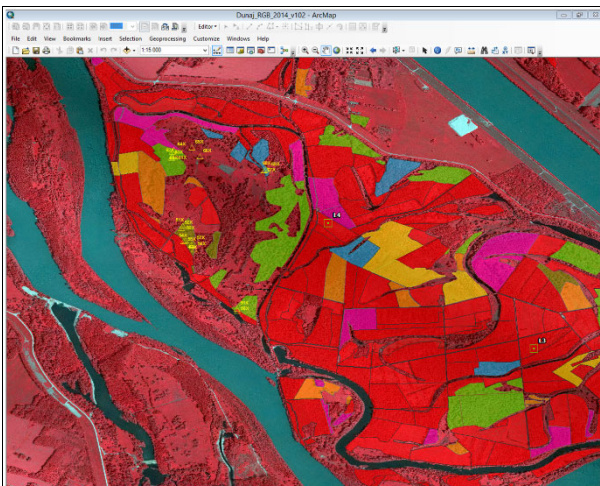
Tabuľka 2. Prehľad rozdelenia početností lokalizovaných stromov podľa druhu drevín a združených lokalít

Drevina / združené lokal.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Spolu
Topoľ čierny	2	1	9	2	3	4	15		2	2	9	9	10	68
Dub letný	4		3	8	5	5		6	3	3	1			38
Topoľ biely	5		7	1	1	4		2	8				2	30
Víňa biela		1	6			7	4	1	1					20
Jaseň štíhly	1				7	1		2	2	2				15
Jelša lepkavá		1			3			8						12
Brest väzový	5		2	2										9
Brest hrabolistý										4	1			5
Javor poľný	1		1		1					2				5
Hruška obyčajná		1									3			4
Čremcha obyčajná (trpka)								2		1				3
Lipa veľkolistá	3													3
Topoľ sivý			2		1									3
Jaseň úzkolistý	1					1								2
Hloh obyčajný			1											1
Jabloň planá (plánka)										1				1
Lipa malolistá					1									1
Celkový súčet	22	4	31	13	22	22	19	21	16	15	14	9	12	220

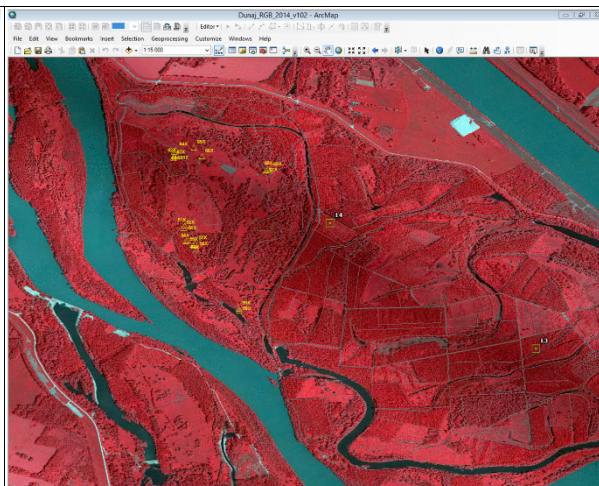
Tabuľka 3. Prehľad rozdelenia početností lokalizovaných stromov podľa druhu drevín a kvality kmeňov stromov

Drevina / kvalita kmeňa	A	AB	B	BC	C	Spolu
Topoľ čierny	4	10	23	12	19	68
Dub letný	12	8	6	5	7	38
Topoľ biely		12	10	4	4	30
Vrba biela	1	2	5	5	7	20
Jaseň štíhly	11	1	1	2		15
Jelša lepkavá	10	1	1			12
Brest väzový	1	1	4		3	9
Brest hrabolistý				2	3	5
Javor poľný			1	1	3	5
Hruška obyčajná				1	3	4
Čremcha obyčajná (tříпка)			1	2		3
Lipa veľkolistá	1		2			3
Topoľ sivý		1			2	3
Jaseň úzkolistý	1			1		2
Hloh obyčajný					1	1
Jabloň planá (plánka)					1	1
Lipa malolistá			1			1
Celkový súčet	41	36	55	35	53	220

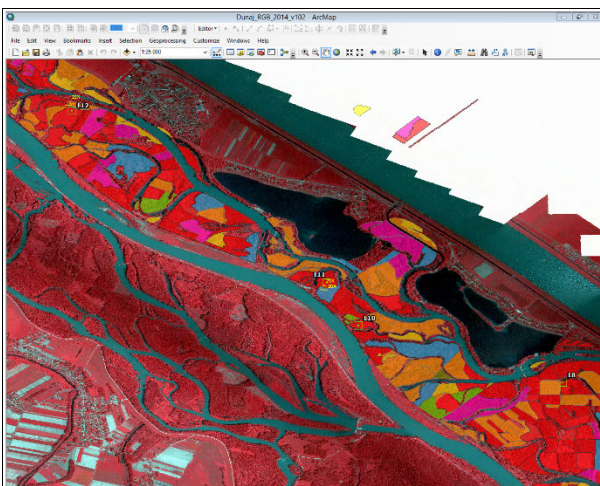
Pri mapovaní sme využívali nasledovné podklady: GIS zdroje: ArcGIS, LGIS, GoogleEarth. CIR a RGB letecké ortofotosnímky (napr. z projektu bilaterálnej spolupráce INMEIN, 2014). Porastové mapy, ArcGIS, GPS. Typologické mapy – GIS vrstva. Poznatková báza pôvodného drevinového zloženia podľa typologických 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). Oznámená lokalizácia stromov (partneri projektu a lesná prevádzka).



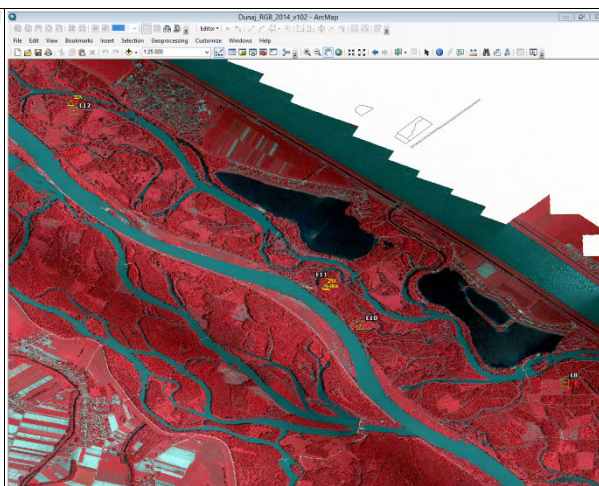
Obrázok 5. Posúdenie zachovalosti drevinového zloženia porastov metódou aproximácie – okolie Dunajského ostrova, Búdöš, Istragov, Ispánky Dunaj



Obrázok 6. Lokalizácia vybraných pôvodných stromov – okolie Dunajského ostrova, Búdöš, Istragov, Ispánky Dunaj

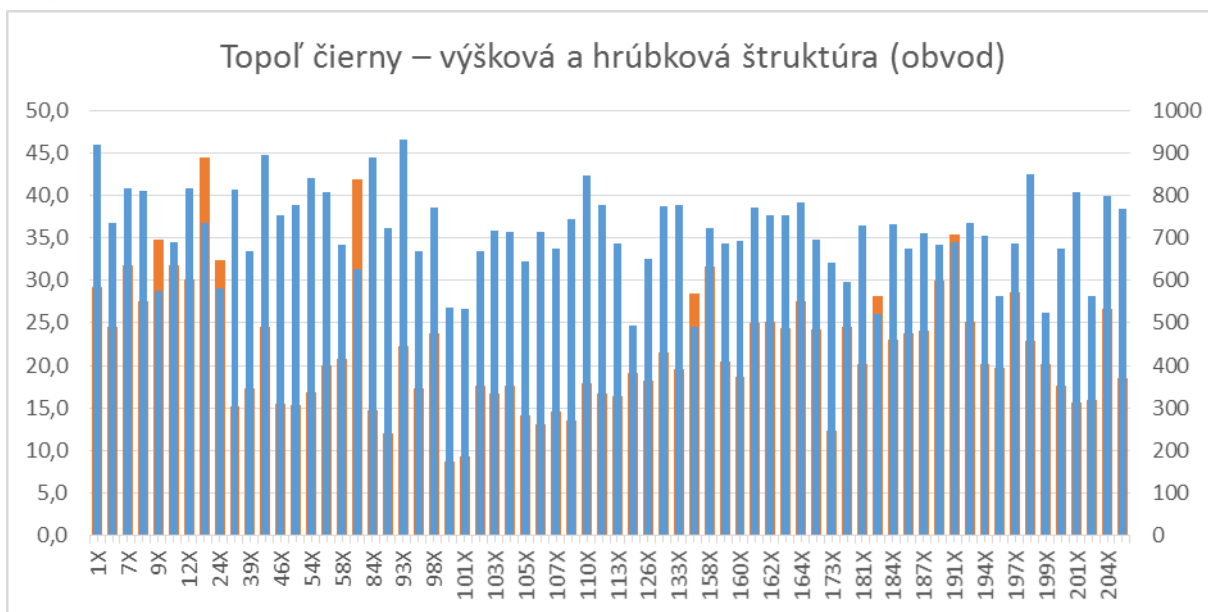


Obrázok 7. Posúdenie zachovalosti drevinového zloženia porastov metódou aproximácie – okolie Vojčianskeho ramena

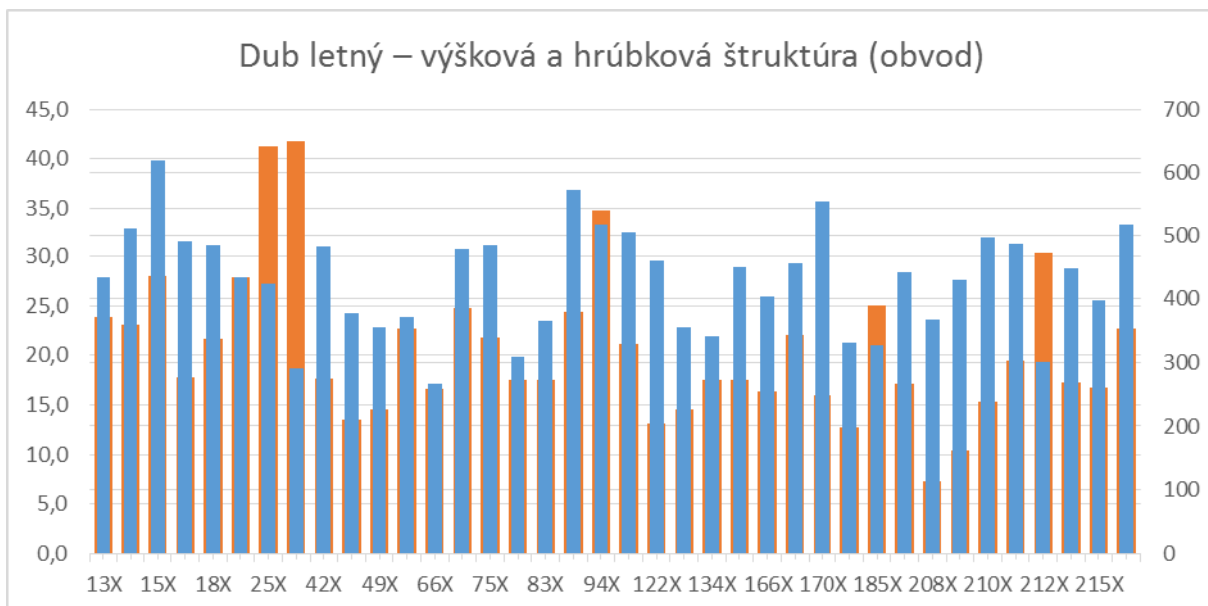


Obrázok 8. Lokalizácia vybraných pôvodných stromov – okolie Vojčianskeho ramena

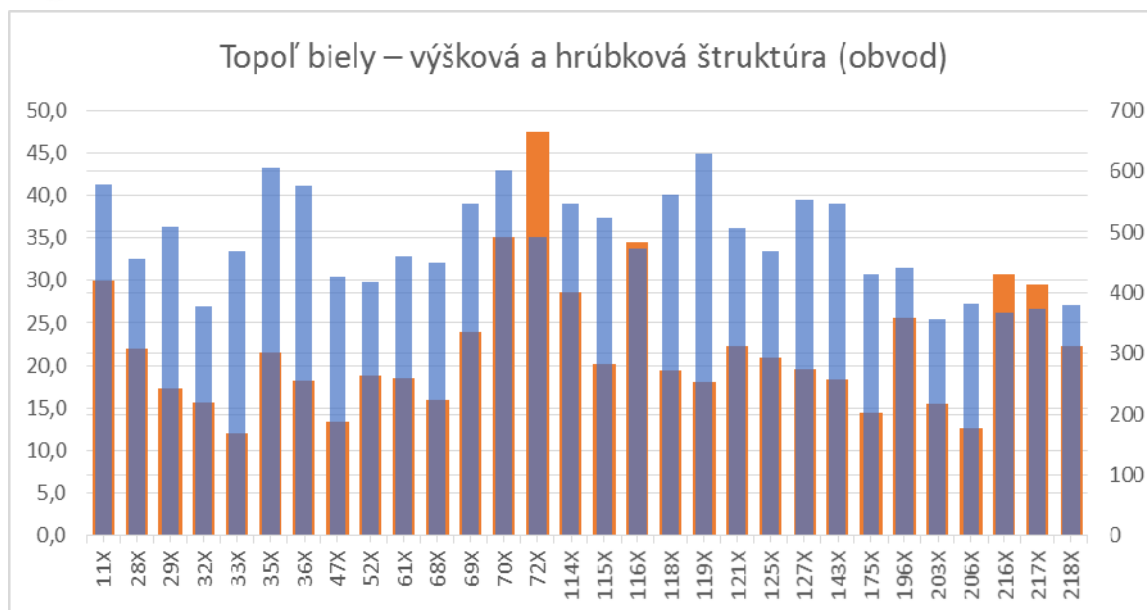
Obrázky 9 až 12 uvádzajú grafické zobrazenie výškovej štruktúry (modrá farba) a hrúbkovej štruktúry (oranžová farba) vybraných drevín a stromov. Uvádzame pre dreviny topol' čierny, dub letný, topol' biely a vĺba biela s početnosťou stromov ≥ 20 .



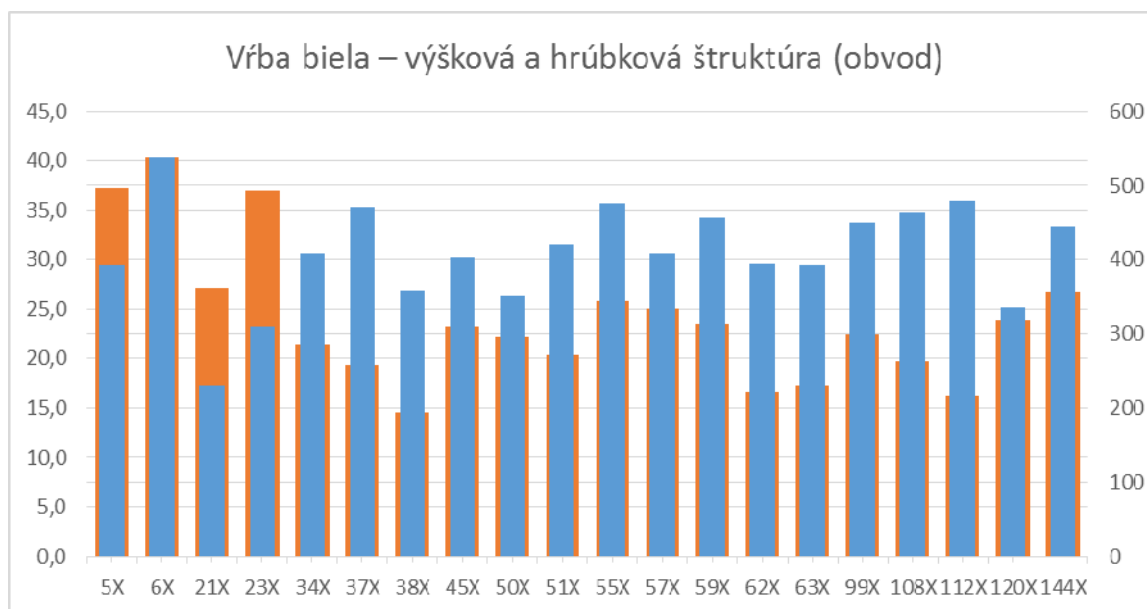
Obrázok 9. Výšková (m) a hrúbková (cm) štruktúra vybraných 68 pôvodných stromov topoľa čierneho



Obrázok 10. Výšková (m) a hrúbková (cm) štruktúra vybraných 38 pôvodných stromov duba letného



Obrázok 11. Výšková (m) a hrúbková štruktúra (cm) vybraných 30 pôvodných stromov topoľa bieleho



Obrázok 12. Výšková (m) a hrúbková (cm) štruktúra vybraných 20 pôvodných stromov vrby bielej

Pod'akovanie

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

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0223.

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., ŠIMONOVICH, 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.

Summary

Identification of the resources of the autochthonous genefound of the danube woods.

Mapping and identification of autochthonous trees and selected trees were carried out in the selected model area in the wider vicinity of the Danube. The classification and pre-selection of stands and trees was carried out with the support of the use of the approximation method (derivation of the degree of approximation) of the current representation of trees to the original reconstructed tree composition for individual JPRL on the basis of typological units (forest types and groups of forest types) and knowledge bases.

Kľúčové slová

Autochtónne dreviny, podunajsko, genofond

Kontaktné adresy

Ing. Martin Bratko, PhD.

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav

Výskumná stanica Gabčíkovo

Parková cesta 557/11

930 05 Gabčíkovo

martin.bartko@nlcsk.org

Ing. Jozef Vladovič, PhD.

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

jozef.vladovic@nlcsk.org

PESTOVANIE A VYUŽITIE AGÁTA BIELEHO

Martin Bartko , Štefan Miklós

1 Úvod

Agát biely (*Robinia pseudoacacia* L.) je jedným z najviac rozšírených druhov pestovaných drevín. Jeho prirodzene rozšírenie je v USA a to medzi 43. až 45. stupňom severnej šírky, najmä oblasti Appalache, kde sa vyskytuje až do nadmorskej výšky 1 400 m. Na týchto lokalitách uprednostňuje predovšetkým teplejšie južné – juhovýchodné svahy.

Pre jeho priaznivé vlastnosti a mnohostranné využitie sa v týchto oblastiach už pred 250 rokmi začali zakladať rozsiahle agátové porasty. V súčasnosti je prakticky rozšírený vo všetkých štátoch USA, kde sa často používa aj ako pionierska drevina. V poslednom období sa stále vo väčšom rozsahu pestuje aj v energetických porastoch pre získavanie dendromasy (ROWELL, CARPENTER 1983, HARRISON *ET AL.* 1986, STRINGER, CARPENTER 1986, BRINGEN 1992 a iní).

Do Európy, konkrétne do Francúzska z USA doviezol agát biely ROBIN ako prvú cudzokrajnú drevinu v roku 1601 a na jeho počesť dostal tento rod pomenovanie *Robinia*. Od tej doby sa rozšíril nielen v Európe, ale aj v mnohých krajinách sveta.

V Európe sa problematika agáta bieleho rieši takmer 200 rokov predovšetkým v Nemecku, vo Francúzsku, Taliansku, Španielsku, Bulharsku, Rumunsku, Českej republike. O jeho mnohostrannom uplatnení svedčí aj skutočnosť, že napr. v Nemecku sa veľmi často používa na zalesnenie devastovaných pozemkov a vo Francúzsku, kde výmera agátových porastov dosahuje v súčasnosti asi 100 000 ha sa najviac pestuje na získanie cenných hrubých sortimentov. V Bulharsku, kde sa agát pestuje na získanie tenších sortimentov a v poslednom období aj pre získanie dendromasy v energetických porastoch, výmera agátových porastov predstavuje asi 2,3 % všetkých lesov. Naproti tomu v Rumunsku, kde sa agát pestuje na výmere 161 000 ha sa aplikujú širšie spony, najmä na získanie guľatiny. Z ázijských krajín v Číne dosahuje výmera agátových porastov asi 1 000 000 ha. Okrem širokej palety rôznych výrobkov sa agát často používa na zakladanie ochranných lesných pásov, ako aj pri pôdoochrannom zalesňovaní. Na území Severnej a Južnej Kórey sa najviac používa ako palivové drevo, ale v poslednom období aj na energetické účely (BLUMKE 1950, SCHROCK 1953, BIRLANESCU 1977, VYSKOT *ET AL.* 1978, KOHAN 1985, ČAKOV *ET AL.* 1992, PERK 1996, YANLIN 2001).

Otázkam šľachtenia a pestovania agátových porastov sa už dávnejšie venuje veľká pozornosť v Maďarsku, kde s súčasnosti výmera agátových porastov dosahuje 396 000 ha, čiže 22,6 % lesnej plochy. Tak pracovníci lesnej prevádzky, ako aj vedy a výskumu uverejnili vo svojich prácach rozsiahle cenne výsledky šľachtenia, ochrany, zakladania, ako aj výchovy agátových porastov. Pri zakladaní agátových porastov tradičným spôsobom sa najčastejšie používa spon $2,4 \times 1,0$ m, kým pre intenzívny spôsob pestovania sa v súčasnosti riešia možnosti zväčšenia optimálnych sponov. Energetické porasty agáta bieleho sa prevažne zakladajú v spon $2,5 \times 0,5$, pri minimálnej 5-ročnej rubnej dobe. V súčasnosti majú k dispozícii 8 uznaných (rajonizovaných) a 2 perspektívne klony (KERESZTESI *ET AL.* 1988, RÉDEI 2006, SZEMEREDY 2004, FUHRER *ET AL.* 2003).

Prvé správy o dovezení agáta na územie Slovenska sú z rokov 1710 – 1720, kým o založení agátových porastov pri vojenskej pevnosti v Komárne z roku 1950. Od roku 1801 sa uvádza zalesňovanie agátom najmä v okolí Banskej Bystrice, južného Gemera, Medzibodrožia, čo dokázalo, že agát je perspektívnou drevinou aj v podmienkach Slovenska a problematika jeho pestovania sa riešila aj vo výskume (BLATTNY&ŠTASTNY

1959, CIFRA *ET AL.*, 1988, KOHAN 1991, 1998, 2002, BENČAĽ 1987, VARGA 2004). Výmera agátových porastov na území Slovenska sa v poslednom období postupne znižuje a v súčasnosti dosahuje iba 33 144 ha a tvorí iba 1,73 % z výmery lesov.

2 Rozmnožovanie

2.1 Generatívne rozmnožovanie

Pre zabezpečenie kvalitného sadbového materiálu dopestovaného zo semena je nevyhnutné, aby použité semeno pochádzalo z najkvalitnejších (uznaných porastov), resp. skupín stromov. Semeno dozrieva v októbri až novembri. Struky cez zimu ostávajú na stromoch, otvárajú sa v januári. Semeno je možné získavať dvojakým spôsobom: oberať zo stromov v strukoch trhaním alebo zostrihovaním nožnicami preosievaním vrchnej 5 cm vrstvy lesnej pôdy a hrabanky. Hmotnosť 1000 semien je 20 - 22 g, v 1 kg je asi 52 600 semien. Priemerná klíčivosť je 75 % a čistota 95 %. Klíčivosť si semeno udrží 4-8 rokov. Semeno agáta má tvrdé osemenie, ktoré je potrebné narušiť. Najbežnejším spôsobom predsejbovej prípravy semena je skarifikácia, menej časté je tepelné ošetrovanie.

Pri **skarifikácii** sa osemenie obrusuje a narušuje tým, že k semenu sa prisype ostrohranný kremíty piesok a táto zmes sa mieša v rotujúcom bubne. Pri tepelnom ošetrovaní (**hydrolyzácii**) sa agátové semeno na niekoľko minút ponorí do vriacej vody, potom do vody o teplote 60- 70 °C, v ktorej sa ponechá do vychladnutia. Pre chemické ošetrovanie, (**maceráciu**) sa najčastejšie používa koncentrovaná kyselina sírová. Agátové semeno sa ponorí do kyseliny na 15 - 60 minút (podľa hrúbky a tvrdosti osemenia). Potom sa semeno dobre prepláchne čistou vodou a nechá sa preschnúť. Tento spôsob sa používa veľmi zriedka. Semeno sa vysieva koncom apríla alebo začiatkom mája po pominutí nebezpečenstva neskorých mrazov. Výsev semena sa robí do pruhov alebo rýh. Vzdialenosť rýh má byť minimálne 80 cm. Na 100 m² výsevnej plochy sa vyseje 1 kg semena, na 1 bežný meter pruhu alebo ryhy 2 g. Vysiate semeno sa zasype 1 cm hrubou vrstvou piesku alebo rašelinového kompostu. Dopestovanie agátových sadeníc nevyžaduje náročnú technológiu. Vyklíčené semenáčky neznášajú tienenie, a preto ich treba starostlivo ošetrovať najmä proti burine. Odburiňovanie sa vykonáva chemickými prípravkami a mechanickým okopávaním medziradičkov. Herbicídne ošetrovanie prípravkom s účinnou látkou 36 % EPTC + 36 % butilát + 28 % AD - 67 bolo odskúšané v prevádzke s veľmi dobrými výsledkami. Mechanické ošetrovanie medziradičkov sa vykonáva malotraktorom podľa potreby, minimálne 3 - 4 krát za vegetačné obdobie. Hubové choroby a listové škodcovia len zriedka ohrozujú efektivitu pestovania sadbového materiálu. Na 1 ha sa dopestuje 250 - 350 tisíc sadeníc, s priemernou výškou okolo 1 m. Vyzdviňovanie sadbového materiálu sa vykonáva po opade lístia v prvých novembrových dňoch. Na jeseň sa doporučuje vyzdvihnúť iba toľko sadeníc, koľko je potrebných na jesenné zalesňovanie do príchodu mrazov, pretože agátové sadenice zle znášajú zazimovanie. Najvhodnejší sadbový materiál má mať hrúbku v koreňovom krčku 4 - 8 mm. Dopestovanie kvalitných agátových sadeníc a ich ďalší rast a vývoj je v prvom rade závislý na ich genetickej hodnote. Aj pri generatívnom spôsobe rozmnožovania získame geneticky vysokohodnotný sadbový materiál len vtedy, ak budeme pri jeho pestovaní používať semeno známej proveniencie, pochádzajúce z vybraných kvalitných materských porastov, skupín, prípadne jedincov.

2.2 Vegetatívne rozmnožovanie

Všetky cenné dedične podmienené vlastnosti vyselektovaných výberových stromov zachováva len ich klonové (vegetatívne) potomstvo. Preto je potrebné, aby tieto vysokohodnotné jedince boli rozmnožované vegetatívnym spôsobom. V Maďarskej

republike vypracovali metódy vegetatívnej reprodukcie agáta koreňovými odrezkami a pomocou metódy kultivácie rastlinných pletív. (RÉDEI, K. 1998)

V prevádzkových podmienkach sa množiteľský materiál klonov získava z **koreňových odrezkov** na tento účel vypestovaných sadeníc. Východiskovým materiálom na množenie klonov sú zelené odrezky, uchovávané v klonovom archíve, pochádzajúce z materských jedincov alebo v prípade klonov, uchovaných spôsobom *in vitro*, mikropropagované rastliny. Tento sa označuje ako *superelitný množiteľský materiál*. Zelené odrezky sa nechajú zakoreniť a z ich koreňov sa následne vypestujú sadenice na získavanie koreňových odrezkov. Tieto sa označujú ako *elitný množiteľský materiál*, ktorý sa už využíva v prevádzke (slúži ako prevádzková matečnica). Sadenice sa do veku 3-5 rokov každoročne vyzdvihujú za účelom získania koreňových odrezkov. Po ich odbere sa opäť zaškôľujú. Takto získané koreňové odrezky sa nazývajú kontrolovaným množiteľským materiálom a sú východiskovým materiálom na pestovanie rezkovancov pre výsadby v lesnej prevádzke. Z týchto sadeníc (rezkovancov) možno ešte raz získať koreňové odrezky a z nich následne vypestovať sadenice, tieto však možno použiť iba na výsadby v prevádzke.

3 Stanovištné nároky

Intenzívne kultúry s agátom bielym sa zakladajú len v 1. ž 3. lesnom vegetačnom stupni. Nakoľko samotné pestovanie agáta je v porovnaní s obnovou z koreňových výmladkov spojené so zvýšenými nákladmi, pred zakladaním kultúr je nutné vykonať rozbor pôdy s dôrazom na pôdny typ a druh, vlhkostné pomery, proces humifikácie, obsah skeletu a sklon. Z praktických skúseností jednoznačne vyplýva, že na zakladanie sú vhodné piesočnatohlinité pôdy, bohaté na živiny, s hladinou podzemnej vody okolo 1,5 m a sklonom do 7 stupňov.

3.1 Príprava a ošetrovanie pôdy

Samotnému zakladaniu intenzívnych kultúr s agátom bielym predchádza celoplošná príprava a celoplošné ošetrovanie pôdy.

Celoplošná príprava pôdy s odstránením pňov - základom tejto technológie je odstránenie pňov z plochy pomocou radlice traktorbagra a ich následné navŕšenie na depónium a rigolačná orba. Je potrebné zdôrazniť jej zásadné nedostatky:

- narušenie, resp. odstránenie vrchnej humóznej vrstvy pri vytláčaní pňov a zarovnávaní terénu
- strata produkčnej plochy vznikom depónií pňov
- nevhodnosť použitia v inundačnom území
- vysoká nákladovosť a z toho vyplývajúca ekonomická aj biologická neefektívnosť

Vhodnosť jej použitia je potrebné určiť na konkrétnej lokalite. Biologicky, ekonomicky a časovo výhodnejšou variantou celoplošnej prípravy pôdy, v porovnaní s predchádzajúcou technológiou, je odstránenie pňov pňovým vrtákom. Princíp odstránenia pňov spočíva v ich rozrušení hobl'ovacími nožmi pňového vrtáka, ktorý na mieste pňa ponecháva len hrubú drevenú drť. Hrubšie korene je možné odstrániť vyčesávačom koreňov, po predchádzajúcom narušení pôdneho povrchu ťažkými diskovými bránami. Pred výsadbou sa plocha upraví diskovými bránami, bežne používanými v poľnohospodárstve. Na plochách pripravených touto technológiou je možné použiť mechanizovanú výsadbu sadeníc. Tento technnologickej postup by bolo možné úspešne použiť pri obnove agátových porastov z koreňových výmladkov.

Celoplošná príprava pôdy bez odstránenia pňov - princíp technológie celoplošnej prípravy pôdy bez klčovania pňov sa zakladá na sústave strojov, ktoré sú konštrukčne

prispôsobené prechádzať cez prekážky /pne, korene/ bez poškodenia pri súčasnom dodržaní požadovaných parametrov prepracovania pôdy a umožnenia následného mechanizovaného ošetrovania kultúr. Na takto pripravenej ploche je možné uplatniť mechanizovaný alebo ručný spôsob výsadby, v závislosti od vybavenia mechanizačnými prostriedkami a obnovného drevinového zloženia porastu. Zároveň sú vytvorené podmienky pre následné ošetrovanie výsadiel ľahkými výkyvnými diskovými bránami alebo valivým sekáčom.

4 Zakladanie a výchova

Intenzívne kultúry s agátom bielym sa zakladajú jednoročnými, kvalitnými sadenicami (+ 80 cm) z uznaných klonov. V prírodných podmienkach Slovenska sa najlepšie osvedčil východiskový spon 3,0 x 1,0, resp. 2,5 x 0,8 m. Rozhodujúci význam má nielen rastová plocha na sadenicu, nakoľko sa mechanické prepracovanie pôdy vykonáva prvý a druhý rok po výsadbe, a to dvakrát počas vegetačného obdobia. Okrem toho sa v prvom roku po výsadbe vykonáva aj okopávanie sadeníc, minimálne dvakrát ročne. V druhom roku sa odstránia dvojáky a suché jedince. Podľa potreby sa vykonáva vylepšovanie. Prečistka o sile zásahu 50 % z počtu stromov sa vykoná v 6. (8.) roku. Výchovný zásah má selektívno - schématicky charakter. Stromy sa odstraňujú po diagonále, s dôrazom na poškodené, suché, dvojáky a so silne vyvinutou korunou. Okliesňovanie sa vykonáva dvakrát. Prvý raz v 5. roku do výšky 3 m a druhý raz v 7. (10.) roku do výšky 6 m. Okliesňuje sa polovica z počtu stromov v poraste. Prebierka o sile 60 % z počtu stromov sa vykoná v 15. (18.) roku, pričom má selektívno - schématický charakter. Rastová plocha jedného stromu sa tým zvýši na 22 m² a počet stromov klesne na 440 kusov na 1 ha.

5 Choroby a škodcovia agáta bieleho

Agát možno zaradiť medzi naše najodolnejšie listnaté dreviny, ktorý za optimálnych stanovištných a klimatických podmienok odoláva pôsobeniu hubových patogénov. K poškodzovaniu agátových porastov dochádza spravidla pri kalamitnom premnožení najmä listožravého hmyzu. Na zdravotný stav porastov so zastúpením agáta, môžu postupne vplývať aj zmenené klimatické podmienky, ako aj spôsob hospodárenia v porastoch so zastúpením agáta.

Zakladanie porastov formou výmladkov vedie pri druhej až tretej generácii takto pestovaného agáta k postupnej deformácii a redukcii koreňového systému, čo v konečnom dôsledku spôsobuje fyziologické oslabovanie stromov a zvýšenú dispozíciu k chorobám a škodcom.

Medzi najčastejšie sa prejavujúce ochorenia vírusového pôvodu môžeme zaradiť „**metlovitosť agátu**“. V počiatočných príznakoch dochádza k sfarbovaniu okrajov listov do žltá až žltoranžova. Odtiaľ sa ochorenie postupne rozširuje žilnatinou do vnútra listov. Postupom času dochádza k zmenšovaniu listov, zužujú sa, stávajú sa chlorotickými s tmavšími žilkami. V dôsledku poškodenia dochádza k rašeniu spiacich púčikov čím sa vytvárajú charakteristické metlovité koruny, pri silnom napadnutí dochádza k presychaniu až odumretiu celého stromu. **Žltá deformácia agátu** - pri napadnutí dochádza k deformácii listov, k ich zmenšovaniu, zužovaniu až k poprehýbaniu, často dochádza na rube listu k vystúpeniu žiliek. V dôsledku rozširovania ochorenia dochádza k nerovnomernému vytváraniu mozaikovitých útvarov. K vytváraniu **nekróz** na kôre agáta môže dôjsť už na sadeniciach. Tieto sú často napádané cez poškodené miesta na kmienkoch. Zvyčajne dochádza k vytváraniu vhodných podmienok na prenos ochorenia počas mechanického poškodenia koreňových krčkov už v škôlkach, pri výsadbách, pri mechanickom ošetrovaní pôdy, prípadne poškodení zverou.

Z drevokazných a parazitických húb sa na agátoch vyskytuje ohňovec hrboľkatý *Phellinus torulosus* (Pers.) Bourdot et Galzin, ktorý sa vyskytuje najmä v teplejších oblastiach tak na agátoch ako aj duboch. K infekcii dochádza najmä v miestach poranení na koreňoch a bázach kmeňov.

Ohňovec mohutný *Phellinus robustus* (P.Karst.) Bourdot et Galzin - stromy infikuje najmä v miestach mechanických poranení na koreňových nábehoch, kmeňoch, príp. vetvách. Často infikuje kmene v miestach odumretia jednotlivých konárov. Na napadnutých stromoch sú viditeľné viacročné plodnice, ktoré vyrastajú po niekoľkých rokoch parazitácie.

Huba Sírovec obyčajný *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill vytvára na kmeňoch charakteristické žlté plodnice. Sírovec infikuje živé stromy najmä baziídiospórami v miestach poranenia na koreňových nábehoch prípadne priamo na kmeňoch. Podhubie postupne preniká do jadra a v priebehu niekoľkých rokov spôsobuje rozklad jadrového dreva koreňov, ako aj kmeňov.

V Európe sa vyskytuje iba 25 druhov hmyzu, ktoré žijú na agáte. Väčšinou sa jedná o polyfágne druhy, ktorých výskyt na agáte je viac menej náhodný. Je to veľký rozdiel oproti domovine agáta, kde má množstvo škodcov a v niektorých oblastiach nie je možné agát vôbec pestovať (pre vysokú mortalitu spôsobenú najmä drevokaznými druhmi a to už v pomerne mladom veku – 10 rokov). Výnimkou v našich podmienkach je voška *Appendiseta robiniae*, ktorá je monofágom, ale doteraz nebolo zaznamenané významnejšie poškodenie agáta týmto druhom.

Vzhľadom na fakt, že agát biely pochádza zo severnej Ameriky druhové spektrum hmyzu, ktorý ho poškodzuje je značne obmedzené. Donedávna sme prakticky poznali iba jeden hmyzí druh, ktorý spôsoboval vážnejšie defoliácie. Bola to **mníška veľkohlavá**. Tento druh je prevažne viazaný na duby, pri premnožení však konzumuje aj listie agátu.

Parectopa robiniella - tento druh bol na našom území po prvýkrát objavený v roku 1987 na južnom Slovensku. Je to malý motýlik s rozpätím krídel približne 10 mm. Prezимуje ako húsenica, prípadne ako kukla v mínach vnútri listov. Motýle sa liahnu počas apríla a počas roka majú zvyčajne 2 generácie. Mína sa tvorí od stredovej žilky a postupuje ku okraju a je lokalizovaná na hornej strane listu.

Phyllonorycter robiniella - uvedený druh bol v Európe po prvýkrát pozorovaný v roku 1983 neďaleko Bazileja vo Švajčiarsku. Od tohto momentu sa pomerne rýchlo šírila a v roku 1992 dosiahol aj naše územie v okolí Bratislavy. Je menší ako predchádzajúci druh (iba 5,5 – 6,5 mm v rozpätí) a na jednom liste sa vyskytujú až 3 míny, ktoré postupne môžu splynúť v jednu. Na rozdiel od predchádzajúceho druhu sú umiestňované na spodnú stranu listov. Podstatný rozdiel je vo význame pre agát biely. Tento taxón sa vyskytuje v extrémne vysokých početnostiach a spôsobuje silné defoliácie prakticky v celej západnej polovici Slovenska.

6 Vlastnosti dreva a jeho využitie

Drevo agáta bieleho je kruhovite pórovité s výrazným jadrom a bohatou tvorbou týl. Beľ má úzku (cca 12 mm). Hustota v suchom stave sa udáva v priemere okolo 740 kg.m³. Dĺžku vlákien má v rozpätí 0,76-1,25 mm, pre reakčné drevo 0,74-1,24 mm. Zo štrukturálnych chýb majú z hľadiska spracovania najväčší význam nerovnomerná šírka letokruhov, excentricita drene, nepravé letokruhy, zarastená kôra a hrčatosť (BENČAĽ 1987). Vlastnosti agátového dreva sú porovnateľné s vlastnosti dubového dreva, najmä čo sa týka jeho trvanlivosti. Parením agátové drevo vykazuje farebné odtiene dubového dreva, orecha či mahagónu. Je vhodné na výrobu nábytku, či drobných výrobkov do exteriéru ako sú záhradný nábytok, ploty, altánky a pod. V stavebníctve sa využíva na výrobu lepených

podvalov. Jeho vlastnosti ho predurčujú na použitie na vlhkých miestach a miestach, kde dochádza ku styku s vodou. Takými sa najmä rôzne drevené konštrukcie ako mostíky, altánky a prekrytia termálnych kúpeľov a pod. Špecifickým je jeho uplatnenie pri výrobe viničných kolov a stĺpov.

Pod'akovanie

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

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-18-0223.

Literatúra

- BENČAŤ, T., 1987: Agát z hľadiska produkcie nadzemnej biomasy. *Lesnícky časopis*, 33(4): 249–259.
- BIRLANESCU, E., 1977: Certetari provind ameliorarea salcinului (*Robinia pseudoacacia* L.). Studii siceratari Silvicultura, Bucuresti, no. 3, p. 42–53.
- BLATTNY, T., ŠŤASTNY, T., 1959: Prirodzené rozšírenie lesných drevín na Slovensku. Bratislava, SVPL.
- BLUMKE, S., 1950: Die Robinie in Deutschland Forstw.-Holzw., no. 4, p. 231–232.
- BRINGEN, M., 1992: Plantation silviculture of black locust. Biology, Culture and Utilisation, Proceedings Michigan State University, USA, p. 21–32.
- ČAKOV, C. *et al.*, 1992: *Pervi rezultati of izpitvane na njakoi klonove bjala akacija*. Nauka za gorata, no. 4, p. 24–30.
- CIFRA, J. *et al.*, 1988: Možnosti pestovania a využitia agáta na Slovensku. Zvolen, VULH, 66 p.
- FUHRER, E. *et al.*, 2003: *Ultetvenyszerű fatermesztes*. Budapest, Mezőgazdasági Kiado, 210 p.
- HARRISON, G. *et al.*, 1986: Growth and yield of Appalachia hardwoods after thinning Virginia Politechn. Institute. FGW, p. 1–86.
- KERESZTESI, B., 1988: The black locust. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- KOHÁN, Š., 1985: Intenzívne pestovanie lesných porastov v Juhoslávii. *Les*, 41(8): 372–376.
- KOHÁN, Š., 1991: Výsledky pestovania rýchlorastúcich listnatých drevín v meniacich sa hydrologických podmienkach nížinných lesov. *Lesnícky časopis*, 37(4):268–274.
- KOHÁN, Š., 1998: Celospoločenský význam a funkcia agáta bieleho (*Robinia pseudoacacia* L.) v ekologických podmienkach nížinných oblastí Slovenska. *Zprávy lesnického výzkumu*, 43(3–4):28–31.
- KOHÁN, Š., 2002: Pestovanie agáta bieleho (*Robinia pseudoacacia* L.) v podmienkach Medzibodrožia na Východnom Slovensku. *Zprávy lesnického výzkumu*, 47(1): 25–29.
- PERK, Y.G., 1996: The prospects for the utilisation of *Robinia pseudoacacia* in Korea. *Kor. J. Agricult.*, p. 25–57.
- RÉDEI, K., 1998: Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Management in Hungary. *Hungarian Agricultural Research*, no. 2, p. 23–25.
- RÉDEI, K., 2006: Az akác termesztés-fejlesztésének biológiai alapjai és gyakorlata. Agrarinform Kiadó és Nyomda Kft., 128 p.

- ROWELL, C.E., CARPENTER, S.B., 1983: Black locust biomass production on Eastern Kentucky strip mines. Dep.For.Univ. Kentucky, Lexington, KY USA, Southern Journal of Applied Forestry, no. 7, p. 27–30.
- SCHROCK, O., 1953: Beitrag zur Züchtung der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.). Züchter, no. 9, p. 66–72.
- STRINGER, J.W., CARPENTER, S.B., 1986: Energy yield of black locust biomass fuel. For. Sci., no. 32, p. 1 049–1 075.
- SZEMEREDY, M., 2004: Az akác honfoglalása a Nyírségben. Debrecen Nyírerdő Nyírsegi Erdészeti Részvénytársaság. 175 pp.
- YANLIN, Z., 2001: Black locust improvement in Henen province. Technical Report. Henen P. R. China.
- VARGA, L., 2004: Zakladáme energetické porasty. *Les*, 60(1): 8–10.
- VYSKOT, M. *et al.*, 1978: Pěstění lesů. Praha, SZN, 448 s.

Summary

Cultivation and use of black locust. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) is one of the most widespread species of cultivated trees. Its natural distribution is in the USA between 43 and 45 degrees north latitude, especially in the Appalachian region, where it occurs up to an altitude of 1,400 m. In these locations, it primarily prefers the warmer south-southeast slopes. Due to its favorable properties and versatile use, extensive agate groves began to be established in these areas already 250 years ago. Currently, it is practically widespread in all US states, where it is also often used as a pioneer tree. In the recent period, it is still grown on a larger scale in energy plantations for obtaining dendromass

Kľúčové slová

Rýchlorastúce dreviny, agát biely, pestovanie

Kontaktné adresy

Ing. Martin Bratko, PhD., Ing. Štefan Miklós
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav
Výskumná stanica Gabčíkovo
Parková cesta 557/11
930 05 Gabčíkovo
martin.bratko@nlcsk.org

AGROLESNÍCKE SYSTÉMY – POTENCIÁL PRE ĎALŠÍ ROZVOJ VS GABČÍKOVO

Jaroslav Jankovič, Michal Pástor

1 Úvod

Konvenčný poľnohospodársky model hospodárenia na pôde založený na špecializácii plodín a na masívnom využívaní externých vstupov a fosílnej energie, čelí v poslednom desaťročí hlbkej kríze (IPES-Food 2016). Považuje sa za neudržateľný zo sociálneho a environmentálneho hľadiska, pretože nie je schopný vyriešiť veľké výzvy udržateľnosti, ako je úbytok prírodných zdrojov a biodiverzity, zmena klímy, potravinová bezpečnosť a závislosť od fosílnej energie (Geiger et al. 2010; Godfray a kol. 2010; Tittone 2014, IPCC 2019). V agrosektore vyspelých krajín sa preto dnes hľadajú také systémy a modely hospodárenia na pôde, ktoré dokážu zachovať produkčný potenciál a zároveň pomôžu riešiť aktuálne problémy človeka a jeho životného prostredia vyplývajúce z doterajšieho hospodárenia a dopadov zmeny klímy (erózia, sucho, záplavy, pokles úrodnosti a degradácia pôd, vymiznutie mnohých živočíšnych druhov z krajiny, ale aj nezamestnanosť a pustnutie kultúrnej krajiny). K riešeniu týchto problémov, na základe súčasných celosvetových poznatkov, prispieva aj vytváranie a využívanie agrolesníckych systémov. Tie sú dnes odborníkmi považované za jedno z najvýznamnejších mitigačných a adaptačných opatrení proti negatívnym dopadom zmeny klímy a zároveň aj základnou zložkou tzv. „regeneratívneho poľnohospodárstva“.

Potreba vytvárania a podpory agrolesníckych systémov sa už stala nedeliteľnou súčasťou mnohých európskych strategických dokumentov v oblasti životného prostredia a pôdohospodárstva (Zelená dohoda, Stratégia EÚ pre lesy, Stratégia Z farmy na stôl, Carbon Farming atď.) a zdôrazňovaná je taktiež v novej spoločnej poľnohospodárskej politike EÚ smerujúcej k udržateľnému hospodáreniu na pôde. Významný posun k akceptovaniu a legalizácii agrolesníckych systémov sa v posledných rokoch udial aj na Slovensku. Agrolesníctvo sa dostalo do viacerých strategických materiálov Ministerstva životného prostredia (MŽP) SR a Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka (MPRV) SR a stalo sa súčasťou nového strategického plánu Spoločnej poľnohospodárskej politiky (SPP) na roky 2023 – 2027.

Na Slovensku sa agrolesníctvu začali ako prví venovať pracovníci Národného lesníckeho centra (NLC). Od roku 2014 sa pravidelne zúčastňujú európskych agrolesníckych konferencií a v roku 2020 bola problematika agrolesníctva doplnená aj do zriaďovacej listiny NLC. V rokoch 2019 – 2021 bol MPRV SR podporený rezortný projekt „Výskum a vývoj na podporu konkurencieschopnosti slovenského lesníctva (SLOV-LES)“, kde v rámci čiastkovej úlohy „Pestovateľské systémy na podporu produkcie dreva“ bola zaradená aj problematika agrolesníctva ako etapa s názvom „Výskum možností využívania agrolesníckych systémov na Slovensku“. Jej realizačným výstupom bolo publikovanie pilotnej štúdie (<https://bit.ly/3NSlcEt>), ktorá sa stala východiskom aj pre vypracovanie „Metodiky na zakladanie agrolesníckych systémov na poľnohospodárskej pôde pre stratégiu SPP 2023 – 2027“. Súčasťou výskumného zámeru NLC na roky 2022 – 2026 sa stala samostatná úloha „Modely transformácie drevinami zarastených nelesných pozemkov na produkčné agrolesnícke systémy“ (TRANSAGROLES).

V príspevku stručnosti predstavíme agrolesnícku problematiku a základné východiská metodiky pre zakladanie agrolesníckych systémov na poľnohospodárskej pôde a v závere naznačíme potenciál tejto problematiky pre rozvoj Výskumná stanica Gabčíkovo.

2 Čo je to agrolesníctvo?

Ak sa pozrieme do histórie, môžeme konštatovať, že na počiatku premeny ľudstva z lovcov a zberačov plodov na chovateľov zvierat a pestovateľov rastlín, ktorú historici datujú do obdobia okolo 11 000 rokov pred naším letopočtom, bolo primitívne poľnohospodárstvo od počiatku späté s drevinami. Obrovská rozmanitosť prírodných podmienok našej planéty viedla k vzniku nespočetného množstva systémov a kombinácií drevín a poľnohospodárskej produkcie. Na široké geografické pokrytie vytvárania takýchto systémov a ich ranné počiatky poukazujú príklady zo všetkých kontinentov (King 1968). Príkladov je veľa. V Európe bolo prinajmenšom do stredoveku všeobecným zvykom rúbať pôvodné lesy a na vypálených rúbaniskách siať poľnohospodárske plodiny a spolu s nimi vysádzať vybrané druhy drevín. Rozšírená bola aj takzvaná lesná pastva. Dôležité je pritom zdôrazniť, že prví praktici toho, čo sa dnes označuje ako „agrolesníctvo“, mali ako hlavný účel produkciu potravín. Stromy boli neoddeliteľnou súčasťou týchto poľnohospodárskych systémov a pestovali sa na vznikajúcej poľnohospodárskej pôde na podporu poľnohospodárstva. Hlavným cieľom týchto systémov teda nebola produkcia dreva, ale produkcia potravín. Poľnohospodárske systémy, ktoré kombinovali produkciu potravín s pestovaním drevín boli aj v celej Európe hojne využívané niekoľko storočí a rovnako tak tomu bolo aj na území dnešného Slovenska. Ešte v prvej polovici minulého storočia, v období pred kolektivizáciou, väčšina roľníkov okrem poľnohospodárskej produkcie pestovala na svojich pozemkoch aj dreviny, keďže každý gazda potreboval drevo, resp. plody ovocných drevín. Pochopiteľne vtedy pojem „*agrolesnícke systémy*“ neexistoval a hospodárenie sa riadilo iba zdravým sedliackym rozumom.

2.1 Ako a kde vznikol pojem „AGROLESNÍCTVO“

Rozsiahle plochy kde sa praktizovali systémy kombinujúce poľnohospodárstvo s pestovaním drevín dlhodobo pretrvávali najmä v tropickom pásme. Koncom 19. storočia sa však v týchto oblastiach začalo s masívnym zakladaním lesných plantáží a to práve na úkor tradičných spôsobov obživy farmárskych rodín. Tento rozvoj lesného hospodárstva a lesného priemyslu, ktorý sa odohral v zaostalom svete, bol podporovaný zvonka a preto nezohľadňoval základné potreby obyvateľov v týchto krajinách a v konečnom dôsledku priniesol zhoršujúcu sa potravinovú situáciu a rastúcu ekologickú degradáciu. V 70-tych rokoch 20. storočia tak prišlo k zmene politiky FAO (Food and Agriculture Organization), ktorá presmerovala svoju pomoc smerom k vidieckej chudobe. Hoci nová politika zdôraznila dôležitosť lesníctva pre rozvoj vidieka v rozvojových krajinách, upozornila na výhody, ktoré by mohli získať tak farmár, ako aj národ, ak by sa venovala väčšia pozornosť priaznivým účinkom drevín pri produkcii potravín a poľnohospodárskej výrobe a odporúčala správcom pôdy v trópoch, aby sa „vyvarovali falošnému rozdeľovaniu medzi poľnohospodárstvom a lesníctvom“ (King 1987). V 70-tych rokoch sa pre kombinované poľnohospodársko-lesnícke systémy v trópoch začal používať pojem „*agrolesníctvo*“, ktorý sa potom etabloval v roku 1977 so vznikom inštitúcie s názvom Medzinárodná rada pre výskum v agrolesníctve (International Council for Research in Agroforestry) dnes celosvetovo známej ako World agroforestry (ICRAF, <https://www.worldagroforestry.org/>). Z tohto obdobia pochádza aj jedna z prvých definícií agrolesníctva, ktorá znela nasledovne: **Agrolesníctvo je trvalo udržateľný systém obhospodarovania pôdy, ktorý zvyšuje výnos z pôdy, kombinuje produkciu plodín (vrátane produkcie stromov) a lesných rastlín a/alebo zvierat súčasne alebo postupne na tej istej jednotke pôdy a uplatňuje hospodárske postupy, ktoré sú kompatibilné s kultúrnymi postupmi miestneho obyvateľstva** (Bene a kol. 1977, King a Chandler 1978).

2.2 Definícia agrolesníckych systémov v podmienkach Slovenska

Od etablovania pojmu „agrolesníctvo“ a jeho prvej definície z roku 1977 začali vznikať definície agrolesníckych systémov vo všetkých krajinách sveta, ktoré si postupne pojem agrolesníctvo osvojovali. Všetky známe národné definície agrolesníctva a agrolesníckych systémov však vychádzajú z univerzálneho základu prvej definície, ktorým je kombinácia poľnohospodárskej produkcie s pestovaním drevín na tej istej jednotke pôdy. Okrem tohto spoločného základu však národné definície veľmi často zohľadňujú aj určité domáce národné špecifiká, ktoré vyplývajú buď z tradícií, alebo z reálnej situácie využívania takýchto systémov v tej-ktorej krajine. Zároveň však všetky národné definície zostávajú plne kompatibilné s ustálenými definíciami na celosvetovej (ICRAF), alebo európskej (EURAF) úrovni. Definícia agrolesníckych systémov pre podmienky Slovenska bola sformulovaná na NLC, ktoré sa ako prvá výskumná inštitúcia u nás začalo od roku 2014 systematicky venovať tejto problematike, ktorá bola v roku 2020 zaradená aj do jeho zriaďovacej listiny (<https://bit.ly/3HuKI0i>). Navrhovaná národná definícia zohľadňuje reálny stav na Slovensku, keď agrolesníctvo zatiaľ absentuje v našich právnych normách a zároveň v odbornej i laickej verejnosti stále pretrváva určitý sektorový prístup k chápaniu využívania funkcií drevín v krajine. Bola preto skonštruovaná tak, aby nebola príliš komplikovaná, ale aby podľa možnosti jednoznačne vymedzila čo na Slovensku budeme považovať za agrolesnícke systémy. Jej znenie je nasledovné:

Agrolesnícke systémy (ALS) predstavujú také systémy hospodárenia na pôde, pri ktorých sa na jednej ploche zámerne a cielene kombinuje poľnohospodárska produkcia (rastlinná a/alebo živočíšna) s pestovaním drevín (lesných a/alebo ovocných stromov a/alebo krovín).

Vzhľadom k odlišnému chápaniu využívania funkcií drevín v krajine zo strany sektora životného prostredia a sektora pôdohospodárstva, resp. odbornej a laickej verejnosti na Slovensku, pokladáme za potrebné aj v tomto príspevku uviesť, čo v zmysle našej definície nemožno za agrolesnícke systémy považovať. Agrolesníckymi systémami nemožno nazvať štruktúry s drevinami v krajine, ktoré síce sú na poľnohospodárskych pozemkoch prítomné, ale nie sú súčasťou hospodárskeho zámeru subjektu, ktorý tieto pozemky obhospodaruje. Rovnako tak nemožno nazvať agrolesníckym také hospodárenie, kde na väčšom území hospodári jeden subjekt, ale drevinové štruktúry svojou rozlohou presahujú limity stanovené pre agrolesnícke systémy a majú už parametre súvislých lesných porastov. Plošná interakcia drevín s poľnohospodárskou produkciou v takýchto prípadoch už nie je a jedná sa o oddelené poľnohospodárske a lesnícke obhospodarovanie príslušných pozemkov. Typickým príkladom u nás je Lesopoľnohospodársky majetok Ulič, štátny podnik, ktorý realizuje ako lesnícku tak aj poľnohospodársku produkciu, ale v drvivej väčšine na oddelených plochách, z ktorých jedna časť je vedená a zariadená ako lesné porasty a druhá časť ako poľnohospodárske pozemky.

Ak to teda zhrnieme, za agrolesnícke systémy nemožno považovať:

- striedanie lesných a poľnohospodárskych pozemkov,
- plošné zalesňovanie poľnohospodárskej pôdy,
- plošné výsadby rýchlorastúcich drevín na poľnohospodárskej pôde,
- v dôsledku sukcesie drevinami porastené nevyužívané poľnohospodárske pozemky,
- krajinné prvky v rámci registra LPIS, alebo nelesnú drevinovú vegetáciu (NDV), ktorá vznikla prirodzenou sukcesiou, prípadne aj umelou výsadbou človekom, ale dnes nie je obhospodarovaná,
- výsadby drevín v poľnohospodárskej krajine, ktoré sa dnes navrhujú ako „spoločné zariadenia a opatrenia“ v rámci pozemkových úprav.

Zároveň treba uviesť, že tak ako môžu byť do agrolesníckych systémov začlenené existujúce dreviny a ich skupiny na poľnohospodárskej pôde, ktoré sú v súčasnosti vedené ako „neproduktívne plochy“ tzv. krajinných prvkov v rámci dotačného systému na ďalšie ekologické požiadavky na hospodárenie farmárov v zhode s ochranou prírody (ide o takzvané normy dobrého poľnohospodárskeho a environmentálneho stavu pôdy (Good agricultural and environmental conditions – GAEC, <https://bit.ly/3ORR3WS>)), tak aj dreviny a ich skupiny, ktoré vzniknú pri zakladaní nových agrolesníckych systémov, môžu byť neskôr z nich vyčlenené a preklasifikované na neproduktívne plochy krajinných prvkov podľa normy GAEC. Národnú legislatívu navrhujeme upraviť tak, aby každý obhospodarovateľ pôdy mal možnosť vybrať si, či dreviny na ním obhospodarovaných pozemkoch budú súčasťou jeho agrolesníckeho zámeru, alebo ostanú v pozícii krajinných prvkov podľa GAEC (s jedinou povinnosťou „zabrániť zničeniu, ochrániť pred poškodením“), či sa stanú súčasťou spoločných opatrení realizovaných v rámci pozemkových úprav (bez manažmentového plánu), prípadne ako chránené lokality v národnom systéme chránených území. Tomu by mali odpovedať aj podmienky štátnych intervencií, resp. kompenzácií za obmedzenie ich využívania.

3 Ekonomické a environmentálne prínosy a riziká agrolesníckych systémov

S prudkým rastom svetovej populácie, najmä v posledných dvoch storočiach, prišlo postupne k zásadným zmenám pri produkcii potravín. Na veľkej časti územia Európy, pri snahe o využitie technologického pokroku pri intenzifikácii poľnohospodárskej produkcie, prišlo k striktnému oddeleniu poľnohospodárstva a lesníctva. Prejavilo sa to ako v praxi, tak aj vo vzdelávaní a vývoj dospel v druhej polovici 20. storočia až tak ďaleko, že administratívy mnohých európskych krajín, vrátane Slovenska, začali považovať za legitímne iba poľnohospodárstvo, alebo lesníctvo. Kombinované systémy z väčšiny európskych krajín postupne ustúpili a zachovali sa iba v tých územiach, kde prírodné podmienky – najmä klimatické a morfológické limitovali rozvoj modernej tzv. priemyselnej poľnohospodárskej veľkovýroby. Intenzívne moderné európske poľnohospodárstvo 20. storočia, výrazne podporované aj Spoločnou poľnohospodárskou politikou (SPP), však okrem radikálneho zvýšenia produkcie a výnosov z poľnohospodárskej činnosti prinieslo so sebou aj celý rad negatívnych javov, najmä v oblasti životného prostredia a rozvoja vidieka. Z najvýznamnejších treba spomenúť vysušovanie (dezertifikáciu) a degradáciu poľnohospodárskej pôdy, vodnú a veternú eróziu, kontamináciu pôdy, povrchových a podzemných vôd agrochemikáliami a ich metabolitmi, stratu biodiverzity, či vyhynutie viacerých živočíšnych druhov. Zo sociálnych dopadov je to napríklad strata pracovných príležitostí na vidieku, ktorá sa prejavuje v jeho vyľudňovaní. Ďalším významným fenoménom sa stáva tzv. klimatická kríza, vyplývajúca z dramatických zmien klímy v posledných približne štyroch dekádach. Kým v trópoch začala medzinárodná vedecká komunita presadzovať agrolesníctvo už koncom 70-tych rokov, v priemyselne vyspelých krajinách Európy sa mu začala venovať väčšia pozornosť až v priebehu 90-tych rokov 20. storočia. Prvá syntéza výsledkov výskumu a hodnotení týkajúcich sa rôznych aspektov agrolesníctva v Európe vyšla v roku 2009 vo vydavateľstve Springer (Rigueiro-Rodríguez, McAdam, Mosquera-Losada, eds., 2009). Starodávna prax pestovania stromov a poľnohospodárskych plodín a zvierat v interakčných kombináciách – ktorá bola desaťročia ignorovaná v paradigmách rozvoja európskeho poľnohospodárstva a lesníctva orientovaného na jednu komoditu – sa dostala do oblasti moderného využívania pôdy a záujem o ňu medzi farmármi začal stúpať. Od roku 2007 je špecifická podpora na zakladanie nových agrolesníckych systémov jedným z voliteľných opatrení v rámci 2. piliera SPP. V ďalšom období (2014 – 2020) sa toto opatrenie rozšírilo o podporu na

udržanie ako nových tak aj existujúcich agrolesníckych systémov a navrhovaná legislatíva pre ďalšie programové obdobie SPP ponúka podobné možnosti. V roku 2011 vznikla Európska agrolesnícka federácia (www.eurafagroforestry.eu/) a agrolesníctvo sa postupne stalo významným inovačným trendom v sektore pôdohospodárstva. Multidisciplinárna povaha agrolesníctva, ktoré integruje poľnohospodársku výrobu s pestovaním drevín, má veľký potenciál poskytovať okrem zvýšenej produkcie z jednotky plochy aj ďalšie environmentálne prínosy. Analýza potenciálu pre rozširovanie agrolesníctva navrhla zamerať sa na prioritné oblasti, kde agrolesníctvo môže mať vplyv na viaceré environmentálne problémy spojené s poľnohospodárskou pôdou, ako sú degradácia pôdy, kvalita vody, zmiernovanie negatívnych dopadov zmeny klímy a ochrana biodiverzity (Kay et al. 2018 a 2019). Burgess et al (2019) poskytujú súhrn poznatkov z literatúry od autorov, ktorí skúmali rôzne očakávania farmárov pri vytváraní agrolesníckych systémov z hľadiska pozitívnych, negatívnych, alebo neutrálnych vplyvov. Patria sem výnosy z produkcie, platby za viazanie uhlíka, ale aj širšie ekonomické prínosy pre rozvoj vidieka, vrátane vplyvov na zamestnanosť. Z environmentálnych očakávaní je to predovšetkým ochrana pôdy pred degradáciou a eróziou, zadržiavanie vody v krajine a obmedzenie straty dusičnanov. Keďže agrolesnícke systémy sa vyznačujú obrovskou variabilitou a rôznorodosťou, možnosti zovšeobecnenia ich potenciálnych ekonomických a environmentálnych prínosov a prípadných rizík sú veľmi sťažené. Najvyššiu výpovednú hodnotu tak vždy bude mať predovšetkým priame porovnanie konkrétneho agrolesníckeho systému s konvenčnými poľnohospodárskymi postupmi v konkrétnych prírodných a sociálnoekonomických podmienkach (Graves et al. 2007; Ghaley, Porter 2013; Jalón et al. 2018). Napriek tomu je zavádzanie agrolesníckych systémov vo všeobecnosti spájané s viacerými prínosmi (Quinkenstein et al. 2009; Lehmann et al. 2020a; Lojka et al. 2020a).

3.1 Ekonomické prínosy agrolesníckych systémov

Ukázalo sa, že agrolesnícke systémy sú multifunkčné a prinášajú farmárom nielen hospodársky, ale aj ekologický a sociálny prospech. Zavádzanie drevín (stromov a kríkov) do existujúceho systému pestovania plodín alebo chovu hospodárskych zvierat, alebo naopak hospodárskych zvierat do lesných porastov, má obvykle za cieľ priniesť financie navyše z diverzifikácie príjmov a z biologických interakcií v rámci ekosystému farmy (Raskin, Osborn 2019) a to najmä prostredníctvom:

- zachovania alebo zvýšenia celkovej produkcie podľa princípu miery efektívnosti využitia pôdy (Graves et al. 2007; Sereke et al. 2015; Jalón et al. 2018);
- diverzifikácie produkcie (poľnohospodárska produkcia rozšírená o produkciu drevnej hmoty, plodov, zdroj peľu pre včelstvá) a rozložením podnikateľského rizika na viacero zložiek (Ghaley, Porter 2013; Lojka et al. 2020b);
- tvorby nových pracovných miest a podpory lokálnej zamestnanosti v dôsledku potreby vyššieho počtu pracovníkov na jednotku plochy (Ramachandran 1993; Umrami, Jain 2010).

Osobitným ekonomickým prínosom agrolesníckych systémov pre farmárov môže byť pripravovaná schéma platieb za tzv. "uhlíkové farmárčenie" (Carbon Farming), ktorej uvedením do praxe vznikne pre agrolesníctvo možnosť platieb na základe výsledku - teda bilancie uloženého uhlíka v nadzemnej drevnej biomase. Predpokladá sa škálovateľnosť platieb, keď platobné schémy budú založené na údajoch z pilotných objektov. Ako potenciálne negatíva, resp. riziká sa uvádza možnosť zvýšeného uvoľňovania uhlíka v dôsledku intenzívnejšej poľnohospodárskej výroby, resp. v súvislosti s reverznými zmenami agrolesníckych systémov naspäť k čistým poľnohospodárskym.

3.2 Environmentálne prínosy agrolesníckych systémov

Z environmentálneho hľadiska sú agrolesnícke systémy predovšetkým významný funkčný krajinný prvok, prispievajúci k lepšiemu plneniu mimoprodukčných ekosystémových služieb v rámci poľnohospodárskej krajiny (Dupraz et al. 2018; Jalón et al. 2018; Lehmann et al. 2020b). Z najvýznamnejších environmentálnych prínosov agrolesníckych systémov možno na základe literárnych prameňov uviesť nasledovné:

- zvýšenie druhovej rozmanitosti
- zníženie pôdnej erózie
- zlepšenie kolobehu živín
- zlepšenie klimatických a hydrologických pomerov
- vyššiu sekvestrácia uhlíka

Podrobne sú tieto prínosy aj s literatúrnymi prameňmi uvedené v pilotnej štúdii zverejnenej na stránkach NLC (<https://bit.ly/3NSlcEt>).

3.3 Riziká vyplývajúce z využívania agrolesníckych systémov

V odbornej literatúre možno nájsť len veľmi málo informácií o potencionálnych rizikách z využívania agrolesníckych systémov. Prípadová štúdia o agrolesníckych systémoch v rámci iniciatívy Carbon Farming uvádza iba nasledovné potenciálne riziká:

- možné negatívne účinky na biodiverzitu, ak sa nepôvodné druhy/genotypy drevín pestujú v blízkosti existujúcich poloprárodných lesných biotopov;
- možné riziká pre príjmy poľnohospodárskych podnikov a širšie pre potreby rozvoja vidieka, ak sa pri plánovaní agrolesníckych systémov v dostatočnej miere nezohľadňujú alternatívne náklady, vplyvy na výnosy a na dodávateľské/spracovateľské reťazce.

Agrolesníctvo ako nástroj spravovania kultúrnej krajiny v komplexnom ponímaní nemá výraznejšie nedostatky. Prekážky brániace širšiemu uplatneniu agrolesníckych systémov v poľnohospodárskej krajine pramenia skôr z chýbajúcich systémových opatrení a vyšších počiatkových finančných nárokov (Seserman et al. 2019; Lehmann et al. 2020a). V takýchto podmienkach sú dreviny na poľnohospodársky využívanú pôdu vnímané skôr ako prekážka než prínos najmä v dôsledku (Lojka et al. 2020a):

- dlhšej produkčnej doby drevinovej zložky, keďže produkcia drevnej hmoty a plodov je otázkou strednodobého až dlhodobého horizontu (Graves et al. 2007; Lehmann et al. 2020a),
- záberu ornej pôdy, ktorá by mohla byť inak osiata poľnohospodárskymi plodinami (Burgess et al. 2005; Lehmann et al. 2020a),
- obmedzovania pohybu mechanizácie,
- vyššej náročnosti na dodatočné schopnosti a zručnosti pri spravovaní,
- zvýšenej administratívnej záťaži spojennej so zavádzaním agrolesníckych systémov na ornej pôde,
- zníženia výnosu poľnohospodárskych plodín v dôsledku konkurencie drevinovej zložky (Miller, Pallardy 2001; Arenas-Corraliza et al. 2017; Jalón et al. 2018; Dufour et al. 2020),
- prípadne v dôsledku uvoľňovania inhibítorov rastu do okolitého prostredia (orechy), alebo zmien v chemizme pôdy v dôsledku opadu asimilačného aparátu pri ihličnatých drevinách, zvýšeného rizika šírenia konkurenčnej vegetácie medzi vysiate poľnohospodárske plodiny (Burgess 1999, Boinot et al. 2019).

4 Podpora zakladania agrolesníckych systémov v Strategickom pláne SPP na roky 2023 - 2027

Slovenská republika navrhla do svojho strategického plánu SPP na roky 2023 – 2027 zaradiť podporu na zakladanie agrolesníckych systémov v rámci neprojektových intervencií na podporu vidieka a to na 2 typy agrolesníckych systémov na poľnohospodárskej pôde bez zámeru prevodu pozemku na lesný porast:

- pestovanie drevín na ornej pôde a
- pestovanie drevín na trvalých trávnych porastoch (TTP).

Tomu zodpovedá aj obsah metodického usmernenia na zakladanie a údržbu ALS na ornej pôde a na TTP, ktorého vypracovanie gestorovalo NLC.

4.1 Kritériá pre identifikáciu poľnohospodárskej pôdy vhodnej na zakladanie ALS

Možnosti využívania agrolesníckych systémov pri poľnohospodárskej prvovýrobe v zásade nemajú žiadne limity z hľadiska vhodnosti pôdy. Ukázalo sa, že niektoré agrolesnícke systémy sú ekonomicky výnosnejšie ako konvenčné monokultúry, no iné sa musia spoliehať na kompenzáciu za svoje ekosystémové služby, aby boli ziskové (Grado a Husak 2004; Winans et al. 2015).

Intervencie na zakladanie a udržiavanie agrolesníckych systémov definované v rámci intervenčnej stratégie na roky 2023 – 2027 sú prepojené s environmentálnymi, klimatickými a inými záväzkami, ktoré sa týkajú hospodárenia v poľnohospodárskej krajine pre zabezpečenie agroenvironmentálno-klimatických cieľov. Vzhľadom na obmedzené zdroje na podporu ALS budú pri tejto intervencii uplatňované výberové kritériá, primárne na základe stupňa ohrozenia pôdy eróziou, tzv. erodovateľnosti, a ďalej na základe ohrozenosti suchom a zamokrením. Presné zatriedenie konkrétneho pôdneho bloku (konkrétnej parcely) spravuje a záujemcom o zakladanie ALS poskytne NPPC – VÚPOP Bratislava.

4.2 Dizajn agrolesníckych systémov, definovanie parametrov pre zakladanie agrolesníckych systémov na ornej pôde a na trvalých trávnych porastoch

Špecifický dizajn agrolesníckych systémov v metodike vychádza z definovania intervencií na zakladanie a udržiavanie agrolesníckych systémov, ako boli navrhnuté v slovenskej stratégii SPP na roky 2023 – 2027. Podporované budú 2 typy agrolesníckych systémov:

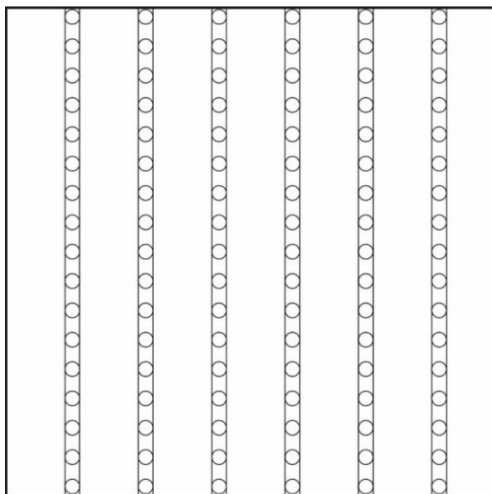
- a) pestovanie drevín na ornej pôde spolu s poľnohospodárskymi plodinami a
- b) pestovanie drevín na TTP spolu s chovom zvierat, alebo výrobou sena.

Súčasťou podpory bude ďalej ochrana a údržba drevín v rámci už založeného ALS a to 5 rokov záväzku po výsadbe. U oboch typov agrolesníckych systémov – na ornej pôde aj na TTP bude podporovaná realizácia líniových výsadiieb drevín – teda tzv. alejové pestovanie. Na TTP bude podporovaná aj realizácia roztrúsenej výsadby, prípadne skupinovej výsadby drevín za účelom vytvárania dobrých životných podmienok (welfare) pre pasúce sa hospodárske zvieratá (napr. poskytnutie úkrytu pred vysokými teplotami alebo pred zlým počasím). Oprávnení príjemcovia sú fyzické a právnické osoby, ktoré vykonávajú poľnohospodársku činnosť na poľnohospodárskej pôde evidovanej v LPIS. Plocha oprávneného hektára pri vstupe do záväzku je minimálne 1 ha a súhlas orgánu štátnej ochrany prírody s realizáciou agrolesníckeho systému je potrebný, v prípade, ak sa výsadby drevín budú realizovať na plochách spadajúcich do oblasti Natura 2000 ako aj CHKO. S prijatím novej právnej úpravy, ktorou budú do nášho právneho systému zavedené definície a ustanovenia o agrolesníckych systémoch by mali byť novelizované aj ďalšie súvisiace zákony a vyhlášky. V zákone č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny

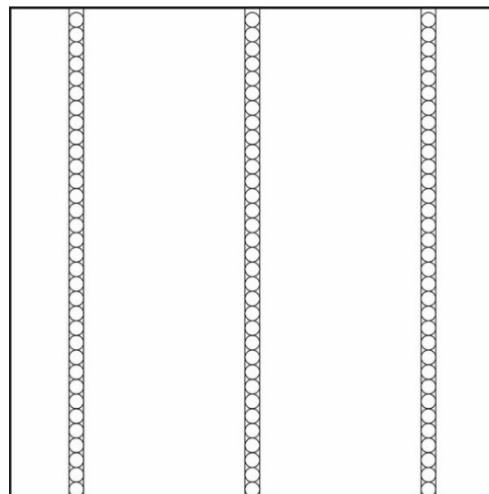
bude upravené postavenie drevín v agrolesníckych systémoch. Dreviny, ktoré sa v ALS stávajú integrálnou súčasťou hospodárenia na pôde sa dostanú do rovnakého postavenia ako dreviny v hospodárskych lesoch, to znamená, že napr. pri ich ťažbe už nebude potrebný súhlas orgánu ochrany prírody a krajiny, tak ako je to dnes.

Samotný dizajn agrolesníckych systémov vychádza zo stanovených podmienok záväzku, ktoré boli pracovnou skupinou formulované nasledovne:

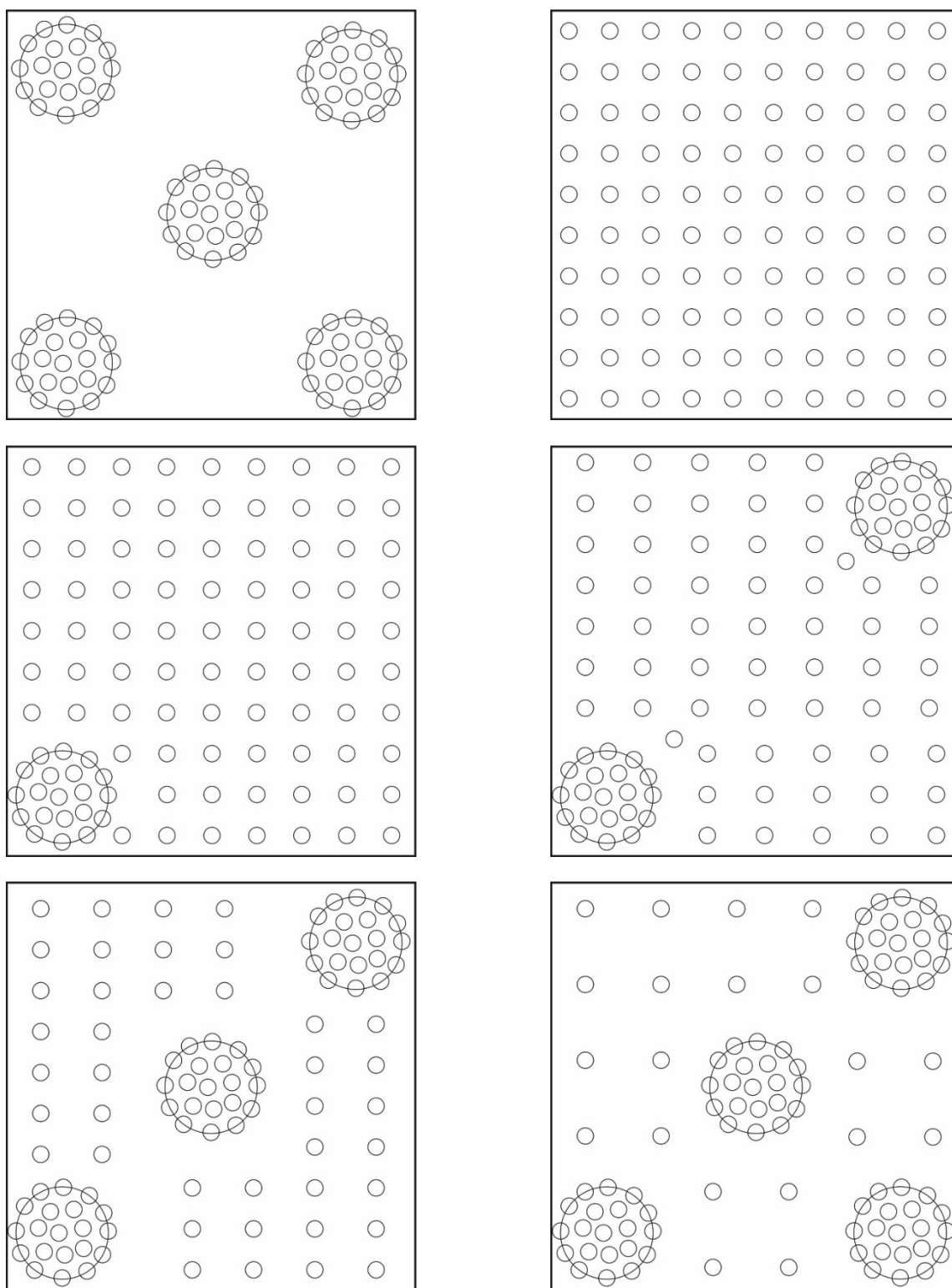
- výsadbu 100 ks stromov na hektár realizovať v prvom roku záväzku najneskôr do 15. decembra;
- výsadbu drevín realizovať iba v medziach schváleného zoznamu drevín pre agrolesnícke systémy uvádzaného v tejto metodike;
- líniovú výsadbu drevín realizovať v maximálnej šírke do 3 metrov obrábanej ornej pôdy (OP), prípadne OP ležiacej úhorom a TTP, s minimálnou vzdialenosťou línii, resp. pásov drevín 12 m, pričom minimálna vzdialenosť medzi stromami (spon stromov) je stanovená na 3 m;
- roztrúsenú a skupinovú výsadbu drevín na TTP realizovať za predpokladu, že minimálna vzdialenosť medzi stromami (spon stromov) je 8 m; v prípade vytvárania skupín drevín, v každej z nich nesmie počet stromov presiahnuť 20 kusov a súčasne veľkosť skupiny nesmie presiahnuť 400 m² plochy vonkajším obvodom svojich kmeňov; počet takýchto skupín drevín je limitovaný celkovým počtom 100 ks stromov na 1 ha;
- výsadbu drevín vo vzťahu k výberu drevín, typu a dizajnu výsadby realizovať v zmysle predkladaného plánu.



Obrázok 1. Rozmiestnenie 100 ks stromov na 1 ha pri dodržaní minimálne 12 m šírky oranej pôdy medzi líniami stromov (102 ks stromov pri rozstupe 6 m na líniiach šírky 3 m, líniová výsadba na OP aj TTP)



Obrázok 2. Rozmiestnenie 100 ks stromov na 1 ha pri dodržaní minimálne 3 m rozstupu (99 ks stromov na troch líniiach neoranej pôdy šírky 3 m, líniová výsadba na OP aj TTP)



Obrázok 3. Schematické znázornenie možných kombinácií rozmiestnenia skupín a solitérov na TTP (pre 100 ks stromov na 1 ha)

Základné parametre v rámci intervencie „Zakladanie agrolesníckeho systému“ uvedené vyššie predstavujú tzv. ideálne hodnoty, pre ktoré boli stanovené technické tolerancie presnosti pre posúdenie oprávnenosti intervencie.

Pri základnej podmienke „výsadba 100 ks stromov na ha“ je stanovená tolerancia $\pm 20\%$, to znamená splnenie záväzku v rozpätí 80 – 120 stromov na 1 ha agrolesníckeho systému na OP aj TTP. Výnimku na menší počet majú nasledovné ovocné dreviny: orech kráľovský, gaštan jedlý, oskoruša, hruška, čerešňa.

Prípustné kombinácie výsadiieb stromov na TTP – teda počet solitérov a počet skupín na 1 ha sú jednoznačne limitované maximálnym počtom 20 ks stromov v jednej skupine s maximálnou veľkosťou 400 m² plochy vonkajším obvodom svojich kmeňov a celkovým počtom 100 ks stromov na 1 ha s toleranciou $\pm 20\%$.

Nevyhnutnou súčasťou a základnou podmienkou pre oprávnenosť intervencie „Zakladanie agrolesníckeho systému“ je ochrana vysadených stromov pred poškodením voľne žijúcou zverou a hospodárskymi zvieratami bezprostredne po ich vysadení. Táto ochrana môže byť individuálna, najlepšie mechanickou ochranou každého vysadeného jedinca, ale líniové a skupinové výsadby je možné chrániť aj skupinovým spôsobom použitím mechanických, či elektrických oplôtkov.

Pre oprávnenosť intervencie „Ochrana a údržba drevín v rámci založeného Agrolesníckeho systému“ v prvých piatich rokoch po jeho založení sú okrem permanentnej kontroly funkčnosti ochranných opatrení proti poškodeniu výsadby zverou a hospodárskymi zvieratami nevyhnutné aj pestovateľské zásahy vo výsadbách. Tie spočívajú v nasledovných činnostiach:

- dopĺňanie odumretých jedincov tak, aby bol v každom roku záväzku dodržaný počet 100 ks stromov na 1 ha (v rámci stanovenej tolerancie $\pm 20\%$),
- odstraňovanie nežiaducej konkurenčnej vegetácie, ktoré je mimoriadne dôležité najmä pre výsadby lesných drevín, pri ktorých bola použitá sejba, alebo štandardné lesnícke sadenice,
- úprava a tvarovanie vysadených drevín rezom – odstraňovanie bočných výhonkov a tvarovanie korunky ovocných drevín,
- v prípade suchých období aj zalievanie vysadených stromov – najmä v prvých dvoch rokoch po výsadbe.

Pri zakladaní agrolesníckeho systému líniovými a skupinovými výsadbami je možné 3 m široké línie vysadených stromov na OP a TTP, ako aj vysadené skupiny stromov na TTP dopĺňať aj ďalšími drevinami krovitého vzrastu, ktoré však sami osebe nie sú súčasťou intervencie. Môžu ale významne zvýšiť efektívnosť agrolesníckeho systému ako z hľadiska produkčných (biomasa, plody ovocných krov a pod.), ale aj mimoprodukčných funkcií (ochrana pôdy, vodozadržnosť, biodiverzita, viazanie uhlíka a pod.).

4.3 Dreviny do agrolesníckych systémov

Dreviny vhodné do agrolesníckych systémov delíme na lesné dreviny (stromy a kry) a ovocné dreviny (stromy a kry). V prípade ovocných stromov sú preferované predovšetkým dlhoveké a vysokokmenné jedince starých a tradičných krajových odrôd, naštepené na generatívne množené podpníky. Pri výbere vhodných druhov a odrôd pre konkrétnu lokalitu je potrebné zohľadňovať ich požiadavky na pôdu, polohu a starostlivosť. Problematika pestovania takýchto ovocných drevín je prehľadne spracovaná v sérii publikácií „Sadíme spolu dlhoveké stromy“, „Rez ovocných stromov v súlade s prírodou“ a „Pestujeme životaschopné ovocné stromy a kríky“ (Vašš, Veselý 2017, 2018; <https://ovocnystrom.sk/nase-publikacie/>).

Semená a sadenice lesných drevín, ktoré sa použijú pri zakladaní agrolesníckych systémov musia spĺňať požiadavky na geografický pôvod, kvalitu zdroja, ktoré podrobne definuje zákon č. 138/2010 Z. z. o lesnom reprodukčnom materiáli (LRM) v platnom znení a vyhláška

MPRV SR č. 501/2010 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o produkcii lesného reprodukčného materiálu a jeho uvádzaní na trh v platnom znení. Predpokladá sa, že obe uvedené právne normy budú novelizované a rozšírené o ustanovenia priamo sa týkajúce agrolesníckych systémov. V žiadnom prípade neodporúčame používať pri zakladaní agrolesníckych systémov s domácimi lesnými drevinami sadbový materiál neznámeho pôvodu, napr. sadenice z dovozu určené na okrasné účely, alebo sadovnícke úpravy v intravilánoch obcí a miest. Dohľad nad používaním LRM na zalesňovanie a iné lesnícke účely v zmysle zákona č. 138/2010 Z. z. vykonáva Národné lesnícke centrum, ktoré raz za päť rokov vydáva Národný zoznam zdrojov lesného reprodukčného materiálu Slovenskej republiky. Každý obhospodarovateľ, ktorý bude používať lesné dreviny pri zakladaní ALS a bude si chcieť uplatňovať nároky na intervencie, bude musieť viesť evidenciu o pôvode použitého LRM. Výber lesných drevín vhodných do agrolesníckych systémov sa riadi čiastočne inými kritériami ako v prípade zakladania lesných porastov na lesných pozemkoch. Je pri ňom potrebné zohľadniť odlišnú typológiu poľnohospodárskych pôd, rozdielny vlhový režim a predovšetkým špecifické podmienky voľnej plochy, ako silné oslnenie a nízka vzdušná vlhkosť. Preto sa do agrolesníckych systémov vyberajú najmä dreviny kontinentálneho charakteru (duby, borovice, smrekovec, javory, lipy i pôvodné druhy planých ovocných drevín – jablň lesná, hruška poľná, čerešňa vtáčia). Vo vyšších polohách, kde deficit pôdnej aj vzdušnej vlhky je nižší možno však do ALS využiť napríklad aj smrek obyčajný. Výber drevín do ALS ďalej determinujú konkrétne prírodné podmienky a typ agrolesníckeho systému. Pri výbere drevín pre uplatnenie v ALS je v súčasnosti nevyhnuté rešpektovať obmedzujúce podmienky vzťahujúce sa na výsadbu a pestovanie nepôvodných – introdukovaných drevín v extraviláne, ktoré vyplývajú z § 7 zákona č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny v znení neskorších predpisov.

Okrem drevín tvoriacich kostru agrolesníckych systémov sa v ich podraze využívajú často aj fruktifikujúce dreviny, produkujúce plody slúžiace ako potrava pre hospodárske i voľne žijúce zvieratá. Dreviny a najmä ich krovitú etáž s obľubou využívajú zvieratá ako ochranu pred prípadnými predátormi, prípadne ako úkryt počas teplotných extrémov. Rovnako sa odporúča na vhodných miestach, predovšetkým v živočíšnej výrobe pomiestne vysádzať aj tzv. ohryzové, dobre regenerujúce mäkké listnáče, ktorých výskyt zníži riziko poškodenia hospodárskych drevín v agrolesníckom systéme. Pri výbere drevín je potrebné vyhodnocovať aj určité riziko, ktoré pestovanie niektorých druhov prináša. Je všeobecne známe, že niektoré dreviny sú medzihostiteľmi škodcov poľnohospodárskych plodín, či ovocných drevín a je preto vhodné sa im pri zavádzaní do agrolesníckych systémov vyhnúť. Jedná sa predovšetkým o hrdzu hruškovú spôsobenú hubou *Gymnosporangium fuscum* (syn. *sabinae*), tento vážny škodca hrušiek využíva ako medzihostiteľa borievky z podrodu *Sabinea*, predovšetkým borievku netatovú. Obrovská rozmanitosť prírodných podmienok na Slovensku umožňuje vytváranie množstva rôznych typov agrolesníckych systémov, pri ktorých sú využiteľné, okrem bežne u nás pestovaných ovocných drevín, aj prakticky všetky naše domáce lesné dreviny. Pri niektorých špecifických požiadavkách obhospodarovateľov na produkčné alebo mimoprodukčné funkcie je možné s úspechom využiť v agrolesníckych systémoch aj viaceré nepôvodné (introdukované) dreviny a to najmä v prípadoch keď nepôvodné dreviny:

- svojimi produkčnými schopnosťami prevyšujú na príslušnom stanovišti domáce druhy,
- majú schopnosť rásť a zabezpečovať produkčné i mimoprodukčné funkcie na degradovaných stanovištiach, kde sa domáce dreviny už nedokážu prispôbiť prostrediu a dôsledkom zmeny klímy.

Zoznam drevín pre agrolesnícke systémy v členení na ovocné stromy, domáce lesné dreviny stromovitého vzrastu, nepôvodné lesné dreviny stromovitého vzrastu, domáce dreviny krovitého vzrastu a ovocné kry je súčasťou metodiky na zakladanie ALS vypracovanej na NLC a bude aj súčasťou nariadenia vlády SR ktorým sa ustanovujú pravidlá poskytovania podpôr.

5 Legislatíva vo väzbe na agrolesnícke systémy

Agrolesníctvo zatiaľ v právnom systéme na Slovensku nie je zavedené. Existujúce právne normy v aktuálnom znení obsahujú viaceré legislatívne bariéry, ktoré sťažujú proces rozširovania ALS v praxi pri hospodárení na poľnohospodárskej pôde. Zásadná zmena nastane až s prijatím nového zákona, ktorého súčasťou bude definícia agrolesníckych systémov a ďalšie príslušné ustanovenia k nim. Vytváranie agrolesníckych systémov na lesnej pôde je ešte problematickejšie, vzhľadom na zákonnú povinnosť uplatňovať na lesných pozemkoch obhospodarovanie lesa podľa programov starostlivosti o les (PSL) alebo projektu starostlivosti o lesný pozemok. Možnosť realizovať pastvu na lesných pozemkoch je zo zákona o lesoch zakázané a realizovať sa môže iba na základe výnimky, alebo v prípade istých špecifických podmienok (napr. pastva na južnom Slovensku a maďarský hovädzí dobytok, alebo na holiach v rámci programu starostlivosti o chránené územie schváleného vládou SR). Reálne tak zakladanie agrolesníckych systémov na Slovensku má najväčší potenciál na poľnohospodárskej pôde. V rámci spracovania pilotnej štúdie bol identifikovaný zoznam právnych noriem vo väzbe na ALS, v ktorých je potrebné na odstránenie existujúcich bariér doplniť ustanovenia týkajúce sa agrolesníckych systémov:

- Úprava zákona č. 543/2002 o ochrane prírody a krajiny v ktorom je potrebné doplniť ustanovenia týkajúce sa agrolesníckych systémov a upraviť ustanovenia týkajúce sa pestovania nepôvodných drevín v lesných porastoch a agrolesníckych systémoch mimo chránených území a zosúladiť ich so zákonom č. 138/2010 o lesnom reprodukčnom materiáli (ktorý je rovnako potrebné novelizovať kvôli zárukám pôvodu a kvality zdroja, pravosti, vysledovateľnosti pôvodu a zabezpečeniu rastlinolekárskeho dohľadu nad množiteľským materiálom lesných drevín pre agrolesnícke systémy) tak, aby sa pri agrolesníckom hospodárení na pôde umožnilo v širšej miere využívanie introdukovaných drevín, čiže pestovanie nepôvodných drevín, ktoré (1) svojimi produkčnými schopnosťami prevyšujú domáce druhy, ktoré (2) majú na odpovedajúcom stanovišti podstatne lepší vplyv na ekologickú stabilitu porastov (pôdne prostredie, tvorba humusu, vodný režim...) a ktoré (3) majú schopnosť rásť a zabezpečovať produkčné i mimoprodukčné funkcie na degradovaných stanovištiach, kde sa domáce dreviny už nedokážu prispôsobiť prostrediu a dôsledkom zmeny klímy.
- Novelizácia zákona č. 220/2004 o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy (doplnenie ustanovení o agrolesníckych systémoch).
- Novelizácia zákona č. 504/2003 o nájme poľnohospodárskych pozemkov, poľnohospodárskeho podniku a lesných pozemkov (doplnenie ustanovení o agrolesníckych systémoch).
- Novelizácia zákona č. 229/1991 o úprave vlastníckych vzťahov k pôde a inému poľnohospodárskemu majetku (doplnenie ustanovení o agrolesníckych systémoch).
- Novelizácia zákona č. 330/1991 o pozemkových úpravách, usporiadaní pozemkového vlastníctva, pozemkových úradoch, pozemkovom fonde a o pozemkových spoločenstvách (doplnenie ustanovení o agrolesníckych systémoch).

- Novelizácia zákona č. 326/2005 o lesoch (doplnenie ustanovení o agrolesníckych systémoch).
- Novelizácia zákona č. 597/2006 o pôsobnosti orgánov štátnej správy v oblasti registrácie odrôd pestovaných rastlín a uvádzaní množiteľského materiálu pestovaných rastlín na trh (doplnenie ustanovení o agrolesníckych systémoch).
- Pre možnosť jednoznačnej identifikácie a registrácie parciel, na ktorých sa budú dlhodobo praktizovať agrolesnícke postupy pri ich obhospodarovaní odporúčame do prílohy č. 2 k vyhláske č. 461/2009 Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, ktorou sa vykonáva zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 162/1995 Z. z. o katastri nehnuteľností a o zápise vlastníckych a iných práv nehnuteľnostiam (katastrálny zákon) doplniť nové kódy spôsobu využívania pozemku: „agrolesnícky systém na ornej pôde, agrolesnícky systém na vinici alebo záhrade, agrolesnícky systém na trvalých trávnych porastoch a agrolesnícky systém na lesnom pozemku.

V prípade ovocných drevín do agrolesníckych systémov možno ako súvisiacu právnu normu uviesť aj zákon č. 597/2006 Z. z. o pôsobnosti orgánov štátnej správy v oblasti registrácie odrôd pestovaných rastlín a uvádzaní množiteľského materiálu pestovaných rastlín na trh, podľa ktorého MPRV SR každoročne vydáva Listinu registrovaných odrôd, v ktorej sa však mnohé, najmä staršie odrody ovocných drevín, neuvádzajú.

Presná špecifikácia a formulovanie doplňujúcich ustanovení o agrolesníckych systémoch do vyššie uvedených právnych noriem si bude vyžadovať širokú odbornú diskusiu a dlhší legislatívny proces.

6 Záver

Na Slovensku máme stále veľké množstvo zanedbaných a neobhospodarovaných poľnohospodárskych plôch, tzv. bielych plôch (poľnohospodárske pozemky porastené drevinami). Zároveň je u nás obrovská výmera intenzívne obhospodarovaných pôdných blokov, ktoré sú dlhodobo obhospodarované veľkoplošnými monokultúrnymi systémami tzv. priemyselného poľnohospodárstva a každoročne trpia klimatickými extrémami. Degradácia našej poľnohospodárskej krajiny je preto aktuálny proces, ktorý neustále prebieha s menšou alebo väčšou intenzitou. Erózia, vysušovanie, zamokrenie, utláčanie pôd, znižovanie obsahu pôdnej organickej hmoty a vyplavovanie živín do hlbších horizontov, neustály pokles biodiverzity – to všetko sú degradačné procesy, ktoré môže pomôcť riešiť aj zavádzanie agrolesníckych systémov do poľnohospodárskej praxe. Problematika agrolesníctva nebola na Slovensku do nedávna výskumnými a akademickými pracoviskami vôbec riešená a agrolesníctvo zatiaľ absentuje aj v našom vzdelávacom systéme. Nedostatok domácich vedeckých poznatkov o všetkých aspektoch využívania agrolesníckych systémov vytvára nové príležitosti aj pre lesnícky aplikovaný výskum, keďže lesné dreviny budú v týchto systémoch zohrávať dôležitú úlohu. Výskumná stanica Gabčíkovo svojím zameraním na dreviny nížinných lesov, vybudovanou infraštruktúrou a lokalizáciou v poľnohospodársky najproduktívnejšej oblasti, ktorou je Žitný ostrov, má aj vzhľadom na súčasnú pozíciu NLC v riešení problematiky agrolesníckych systémov veľký potenciál pre jej ďalší rozvoj. Pôjde predovšetkým o získavanie nových poznatkov v oblasti pestovania drevín do agrolesníckych systémov – rozšírenie sortimentu o dreviny (stromy a kry), ktoré sa dnes v našich škôlkach bežne nepestujú a rovnako tak o získavanie nových poznatkov pri zakladaní a nevyhnutnom manažmente drevín pestovaných v agrolesníckych systémoch našich poľnohospodárskych podnikov.

PodĎakovanie

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

Literatúra

- ALTIERI, M. A. 1987. *Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture*. Golden Horn Press, Berkeley, CA. 433 p. ISBN-13: 978-0813372846.
- ARENAS-CORRALIZA, M. G. 2018. Mediterranean silvoarable walnut system in the face of climate change. In *Agriculture, Ecosystems & Environment*. vol. 264, pp. 111–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.024>.
- ARENAS-CORRALIZA, M. G. – LÓPEZ-DÍAZ, M. L. – MORENO, G. 2018. Winter cereal production in a Mediterranean silvoarable walnut system in the face of climate change. In *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 264, pp. 111–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.024>
- ARTRU, S. – GARRÉ, S. – DUPRAZ, C. – HIEL, M. P. – BLITZ-FRAYRET, C. – LASSOIS, L. 2017. Impact of spatio-temporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for temperate agroforestry. In *European Journal of Agronomy*, vol. 82, pp. 60–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.004>.
- BENE J. G., BEALL H. W., CÔTÉ A., 1977. *Trees, food, and people: land management in the tropics*. Ottawa, IDRC, 52 p. diagrams, tables. ISBN: 0-88936-121-5.
- BURGESS P. J., ROSATI, A., 2018. Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. *Agroforest Syst* 92, 801–810. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0261-3>.
- BURGESS, P. J. – GRAVES, A. R. – METSELAAR, K. – STAPPERS, R. – KEESMAN, K. – PALMA, J. – MAYUS, M. – VAN DER WERF, W. 2004. Description of Plot-SAFE Version 0.3. Dostupné na: <http://www.cranfield.ac.uk/sas/naturalresources/iessi/projects/safe/>
- ECKBERG, J. – JOHNSON, G. – HEIMPEL, G. – SHEAFFER, C. – PETERSON, J. – PLECAS, M. – KASER, J. – WYSE, D. 2015. Integrative cropping systems to enhance biological control and increase soybean yield. University of Minnesota – Monsanto Fellows Meeting, pp. 29–30.
- EICHHORN, M. P. – PARIS, P. – HERZOG, F. – INCOLL, L. D. – LIAGRE, F. – MANTZANAS, M. – MORENO, G. – PAPANASTASIS, V. P. – PILBEAM, D. J. – PISANELLI, A. – DUPRAZ, C. 2006. Silvoarable systems in Europe – past, present and future prospects. In *Agroforestry systems*, vol. 67, pp. 29–50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-005-1111-7>.
- GILLESPIE, A. R. – JOSE, S. – MENGEL, D. B. – HOOVER, W. L. – POPE, P. E. – SEIFERT, J. R. – BIEHLE, D. J. – STALL, T. – BENJAMIN, T. 2000. Defining competition vectors in a temperate alleycropping system in the midwestern USA In. *Agroforestry Systems*, vol. 48, pp. 25–40. DOI: 10.1023/A:1006241406462.
- GEIGER, F. – BENGTSSON, J. – BERENDSE, F. – WEISSER, W. W. – EMMERSON, M. – MORALES, M. B. – CERYNGIER, P. – LIIRA, J. – TSCHARNTKE, T. – WINQVIST, C. et al. 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic Appl Ecol* 11:97–105.

- GRADO, S. C. – HUSAK, A. L. 2004. Economic analyses of sustainable agroforestry systems in the Southeastern United States. In: Alavalapati JRR, Mercer DE (eds) Valuing agroforestry systems: methods and applications. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp 39–57.
- GODFRAY, H. C. J. – BEDDINGTON, J. R. – CRUTE, I. R. – HADDAD, L. – LAWRENCE, D. – MUIR, J. F. – PRETTY, J. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327:812–818.
- ILAVSKÁ, B. – JAMBOR, P. – LAZÚR, R. 2005. Identifikácia ohrozenia kvality pôdy vodnou a veternou eróziou a návrhy opatrení. VÚPOP Bratislava 2005, 215 s.
- INURRETA-AGUIRRE, H. D. – LAURI, P. – DUPRAZ, C. – GOSME, M. 2018. Yield components and phenology of durum wheat in a Mediterranean alley-cropping system. In *Agroforestry Systems*, vol. 92, pp. 961–974. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0201-2>
- IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]
- IPES-Food, 2016. From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. International Panel of Experts on Sustainable Food systems. www.ipes-food.org.
- JAMBOR, P. – ILAVSKÁ, B. 1998. Metodika protierózneho obrábania pôdy. Bratislava: VÚPÚ. 70 s. ISBN 80-85361-46-9.
- JANKOVIČ, J. – PÁSTOR, M., 2021: Agrolesnícke systémy a potenciál ich využívania na Slovensku. Pilotná štúdia – výstup z etapy rezortného projektu Výskum a vývoj na podporu konkurencie-schopnosti lesného hospodárstva. Zvolen, NLC, 2021, 67 s.
- KIRKEGAARD, J. A. – LILLEY, J. M. – BRILL, R. D. – WARE, A. H. – WALELA, C. K. 2018. The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). In *Field Crops Research*, vol. 222, pp. 180–188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.018>.
- KING, K. F. S. 1987. The history of agroforestry. In: Steppeler H. A., Nair P. K. R. (eds.), 1987: *Agroforestry: a decade of development*. Nairobi, Kenya: ICRAF, p. 3–11, ISBN 92-9059-036-X
- KING, K. F. S. – CHANDLER, M. T. 1978. The wasted lands. Nairobi:ICRAF, 39 p. (<https://bit.ly/3D056Tm>).
- KOBZA, J. et al. 2005. Návrh regulačných pôdoochranných opatrení z výsledkov monitoringu pôd SR: (ako podklad k účinnosti Zákona č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy). Bratislava: Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy. 22 s. ISBN 80-89128-21-1
- LAKE, L. – GODOY-KUTCHARTT, D. E. – CALDERINI, D. F. – VERRELL, A. – SADRAS, V. O. 2019. Yield determination and the critical period of faba bean (*Vicia faba* L.). In *Field Crops Research*, vol. 241, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107575>
- LETOURNEAU, D. K. – ARMBRECHT, I. – RIVERA, B. S. – MONTROYA, J. – CARMONA, E. J. – DAZA, M. C. – ESCOBAR, S. – GALINDO, V. 2011. Does plant

diversity benefit agroecosystems? A sythetic review. In Ecological Application. DOI: <https://doi.org/10.1890/09-2026.1>.

MARTINÍK, A. – ČÍŽKOVÁ, L. – EHRENBERGEROVÁ, L. – JELÍNEK, P. – KADAVÝ, J. – KŘEN, J. – ROMERO, V. – ŠŤASTNÁ, M. – WEGER, J. 2013. Agrolesnictví. Skriptum pro posluchače MENDELU, 108 s. (<https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/AGLES.pdf>).

PANTERA, A. – BURGESS, P. J. – LOSADA, R. – MORENO, G. – LÓPEZ-DÍAZ, M. L. – CORROYER, N. – MCADAM, J. – ROSATI, A. – PAPADOPOULOS, A. M. – GRAVES, A. 2018. Agroforestry for high value tree system in Europe. In Agroforestry System, vol. 92, pp. 945–959. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0181-7>.

PENG, K. – INCOLL, R. D. – SUTTON, L. L. – WRIGHT, S. – CHADWICK, C. 1993. Diversity of airborne arthropods in a silvoarable agroforestry system. In Journal of Applied Ecology, vol. 30, no. 3, pp. 551–560. DOI: <https://doi.org/10.2307/2404194>

REYNOLDS, P. E. – SIMPSON, J. A. – VATHASAN, N. – GORDON, A. M. 2007. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. In Ecological Engineering, vol. 29, no. 4, pp. 362–371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.024>.

RIGUERIO-RODRIGUEZ, A. – MCADAM, J. – MOSQUERA-LOSADA, M. R. (Eds.). 2009. Agroforestry in Europe, Advances in Agroforestry, Volume 6, Springer, 450 p., ISBN: 978-1-4020-8271-9.

SMITH-UNNA, R. – SMITH, S. E. – BURGESS, R. W. – JENSEN, A. J. – JOHNSON, O. E. – PRESTON, G. N. – MURCHIE, S. P. 2015. Exploiting heterogeneous environments: does photosynthetic acclimation optimize carbon gain in fluctuating light? In: Journal of Experimentak Botany, vol. 66, no. 9, pp. 2437–2447. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv055>.

STANKOVIANSKY, M. 2003. Geomorfologická odozva environmentálnych zmien na území Myjavskej pahorkatiny. Bratislava: Univerzita Komenského, 2003. 152 s. ISBN 80-223-1784-5

TITTONELL, P. 2014. Ecological intensification of agriculture: sustainable by nature. Curr Opin Environ Sustain 8:53–6.

WINANS, K. S. – TARDIF, A.-S. – LTEIF, A. E. – WHALEN, J. K. 2015. Carbon sequestration potential and cost-benefit analysis of hybrid poplar, grain corn and hay cultivation in southern Quebec. Canada Agrofor Syst 89:421–43.

Internetové zdroje

Carbon Farming (informácie o pripravovanej schéme) https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/carbon-farming_en, <https://bit.ly/3kxz22H>, <https://bit.ly/3wIUNSl>, <https://bit.ly/3Cf52yP>, <https://agfundernews.com/carbon-farming-eu-framework-by-end-2021-following-two-year-study.html>

Európska agrolesnícka federácia (<https://www.agroforestrysystems.eu/sk/>)

Európske inovačné partnerstvá EIP AGRI, Focus Group Agroforestry: introducing woody vegetation into specialised crop and livestock systems (<https://bit.ly/34f7JQ7>)

Medzinárodná rada pre výskum v agrolesníctve (<https://www.worldagroforestry.org/>)

Prípadové štúdie agrolesníckych systémov zo 6-tich európskych krajín spracované v slovenskej mutácii pracovníkmi NLC v rámci projektu AGFOSY (<https://www.agroforestrysystems.eu/sk/pripadove-studie-r/>)

Rez ovocných stromov v súlade s prírodou, Pestujeme životaschopné ovocné stromy a kríky, Výsadba dlhovekých ovocných drevín (<https://ovocnystrom.sk/nase-publikacie/>)

What is regenerative Agriculture (https://www.youtube.com/watch?v=_0yn74At4ks)

Zriaďovacia listina Národného lesníckeho centra (<https://bit.ly/3HuKI0i>)

Summary

Degradation of agricultural landscapes in Slovakia is a current process, which is constantly taking place with greater or lesser intensity. Loss of biodiversity, erosion, drying, waterlogging and soil compaction, reduction of soil organic matter and leaching of nutrients into deeper horizons are degradation processes that can be addressed by the introduction of agroforestry systems into agricultural practice. Agroforestry is now considered to be a major innovative trend in the whole European agricultural sector and one of the main components of regenerative agriculture. The first part of the paper summarises the general knowledge on agroforestry systems from the literature, including knowledge on the economic and environmental benefits as well as the risks in their application. In the second part, it discusses the issue of the support for the introduction of agroforestry systems in Slovakia within the framework of the Common Agricultural Policy strategy for 2023-2027, as well as the legislative aspects of this process. In the conclusion, the potential and new opportunities for the development of this issue at the Research Station in Gabčíkovo are outlined.

Kľúčové slová

Agrolesnícke systémy; orná pôda; trvalé trávne porasty, spoločná poľnohospodárska politika 2023 – 2027, VS Gabčíkovo

Kontaktné adresy

Ing. Jaroslav Jankovič, CSc., Ing. Michal Pástor, PhD.

Odbor pestovania lesa

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

jaroslav.jankovic@nlcsk.org, michal.pastor@nlcsk.org

Bibliografická citácia

- Citácia zborníka:

BARTKO, Martin, GRACOVSKÝ, Radovan, PÁSTOR, Michal a GERGEL, Tomáš, eds., 2022. Konferencia LignoSilva 2022: *Zborník odborných prác z konferencie*. Gabčíkovo 16. november 2022. Gabčíkovo: Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav. ISBN 978-80-8093-341-8

- Citácia príspevku:

GERGEL, Tomáš, BUCHA, Tomáš, BARTKO, Martin, GRACOVSKÝ, Radovan, VEVERKA, Peter, 2022. Rekonštrukcia a modernizácia výskumnej stanice v Gabčíkove In: *LignoSilva 2022: Zborník odborných prác z konferencie, 16. november 2022*. Gabčíkovo: Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, s. 23-31 ISBN 978-80-8093-341-8



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



MINISTERSTVO
DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Koordinátor projektu:



Partner projektu:



<http://lignosilva.nlcsk.org>

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

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

ISBN 978 - 80 - 8093 - 341 - 8