



LESNÍCKA FAKULTA

# Správy z výskumu Lesníckej fakulty pre prax

Február 2018



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE



## Obsah

<b>Stres suchom a lesné porasty</b> Doc. Ing. Katarína Střelcová, PhD.	2
<b>Quo vadis hospodárska úprava lesov</b> Doc. Ing. Ján Merganič Ing. Ján Bahýľ, PhD. Ing. Jozef Výboštok Ing. Peter Valent, PhD. Dr. Ing. Katarína Merganičová	10
<b>Je modelovanie lesa užitočné pre lesnícku prax, vedu a vzdelávanie?</b> Doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.	17
<b>Bezpilotné lietadlá v lesníctve</b> Ing. Martin Mokroš, PhD. Ing. Jozef Výboštok Doc. Ing. Ján Merganič, PhD.	21
<b>Pozemné laserové skenovanie a blízka fotogrametria v lesníctve</b> Doc. Mgr. Milan Koreň, PhD. Ing. Martin Mokroš, PhD.	26
<b>Využitie automobilového laserového skenovania na hodnotenie poškodenia lesných ciest</b> Ing. Michal Ferenčík, PhD. Doc. Ing. Bc. Miroslav Kardoš, PhD. Ing. Zuzana Slatkovská Ing. Michal Allman, PhD.	32
<b>Aké hrozia biologické riziká pri dlhodobom skladovaní lesných štiepok</b> Ing. Miloš Gejdoš, PhD. Ing. Martin Lieskovský, PhD.	39

## Stres suchom a lesné porasty

doc. Ing. Katarína Střelcová, PhD.

### Súhrn

Stres zo sucha je v súčasnosti považovaný za jeden z kľúčových predispozičných faktorov ovplyvňujúcich rozpad lesných porastov nielen na území Slovenska. V súvislosti s predpokladanou zmenou v časovej a priestorovej distribúcii zrážok sa čoraz nástojčivejšie vynára otázka reakcie lesných porastov na epizodické zníženie množstva dostupnej vody. Evidujeme narastajúce škody spôsobované suchom a tento trend bude s veľkou pravdepodobnosťou gradovať. Zmeny priemerných zrážok a teplôt, však nemusia byť v budúcnosti faktormi s rozhodujúcim vplyvom na rast a zdravotný stav drevín. Vplyv pravdepodobných zmien amplitúd a frekvencií opakovania sa extrémnych vplyvov bude zrejme výrazne významnejší. Pôsobenie rôznych nepriaznivých faktorov sa často prekrýva, čím sa prehĺbuje ich negatívny efekt. Nedostatok vody v pôde je napr. často sprevádzaný vysokými teplotami a nadmerným ožiareníím asimilačných orgánov, čo spôsobuje ich prehrievanie, ďalšie straty vody a zosilnenie stresu zo sucha. Zvýšená teplota a ožiarenie tak determinujú nielen mieru sucha, ale pôsobia spoločným – synergickým efektom. Časté je tiež pôsobenie sucha a následné zvýšenie agresivity drevokazných húb a podkôrneho hmyzu (obzvlášť v smrekových lesoch) a obmedzenie mobility živín v suchej pôde. Niekedy dochádza k poškodeniu rastliny suchom aj napriek veľkej zásobe vody v pôde a to z dôvodu jej fyziologickej nedostupnosti. Najbežnejšou príčinou takejto nedostupnosti je premrzanie pôdy v dôsledku často absentujúcej silnej izolujúcej vrstvy snehovej pokrývky. Nezanedbateľné je aj zvýšenie rizika vzniku a šírenia lesných požiarov počas suchých períód. Stáva sa tak, že i občasne sa vyskytujúce suché obdobia, ktorých samotné pôsobenie by adaptačné mechanizmy drevín dokázali eliminovať, môžu znamenať v spolupôsobení ďalších faktorov úplný rozpad porastov.

### Sucho ako dôsledok klimatickej zmeny

V súčasnosti sa široká vedecká komunita zaoberá otázkou stresovej fyziológie lesných drevín, mechanizmami ich adaptácie na zmenené podmienky prostredia a úlohe stresorov pri vzniku funkčných porúch. Veľká pozornosť je venovaná predpovedaniu dopadov klimatických zmien na lesné porasty. Jedným z očakávaných negatívnych vplyvov je zvýšený výskyt suchých períód, pričom nebezpečné je najmä ich časové umiestnenie v období tvorby asimilačných a reprodukčných orgánov, čo môže vážne ohroziť zdravotný stav a reprodukciu porastov. Zisťovanie poškodenia lesných drevín na úrovni fyziologických procesov (napr. transpirácie, fotosyntézy, vodného potenciálu asimilačných orgánov, prírastku) má značnú výhodu vzhľadom na skorú indikáciu ešte pred prejavom viditeľných symptómov.

V ostatných rokoch sa v súvislosti s očakávanými klimatickými zmenami prikladá čoraz väčší dôraz problematike monitoringu výskytu a intenzity sucha ako aj zmien v teplotnom režime a ich dopadov na lesné ekosystémy. Meniace sa chemické zloženie atmosféry a následné zmeny klímy sú a pravdepodobne aj naďalej budú sprevádzané vyššou frekvenciou výskytu extrémnych poveternostných javov (IPCC 2014). Výsledky meteorologických meraní na Slovensku v ostatných desaťročiach priniesli mnohé dôkazy o náraste počtosti neštandardných situácií v porovnaní s prechádzajúcimi obdobiami (Lapin *et al.* 2010, Damborská *at al.* 2015). Okrem preukázaných dynamických zmien v časových radoch rôznych meteorologických prvkov sa v posledných dekádach často hovorí o regionálnych zvláštnostiach vo vývoji klímy na Slovensku (Hlásny *et al.* 2012). V súvislosti s očakávanými klimatickými zmenami sa prikladá čoraz väčší dôraz problematike monitoringu zmien v priestorovej a časovej distribúcii úhrnov atmosférických zrážok, a to nielen na celosvetovej, ale aj regionálnej úrovni. Narastajúca frekvencia extrémnych meteorologických udalostí a vážnosť ich dôsledkov majú preukázateľne negatívne ekologické a ekonomické dopady na všetky sféry životného prostredia. Klimatické faktory patria k významným činiteľom determinujúcim druhové zloženie ekosystémov, ako aj ekofyziologické a produkčné procesy s priamou väzbou na celkovú funkčnosť a stabilitu ekosystémov a sekvestráciu CO<sub>2</sub>. S meniacimi sa ekologickými podmienkami častejšie dochádza k ničivým veterným kalamitám, klimatickým extrémom, zvyšovaniu rizika lesných požiarov a škôd spôsobených hmyzími škodcami a fytopatogénnymi organizmami. Jedným z významných bioklimatických prvkov, u ktorého sa očakáva rastúci trend je sucho a aridizácia stredoeurópskej krajiny. Vodný stres je jedným z najfrekvencovanejších ekologických limitov realizácie produkčného potenciálu rastlín. Stres suchom u drevín spôsobuje okrem redukcie rastu, žltnutie a stratu asimilačných orgánov, zvýšenie mortality sadeníc a pôsobí aj ako významný predispozičný faktor voči ďalším škodlivým činiteľom, napr. podkôrnym hmyzom.

Sucho v strednej Európe aj v horských a podhorských oblastiach (napr. Vysoké Tatry) sa napriek súčasnému výskytu na zrážky bohatých rokov stáva potenciálnym problémom v dôsledku globálnych klimatických zmien (Damborská *at al.* 2015). V porovnaní s dlhodobým režimom zrážok sa v súčasnosti vyskytujú intenzívnejšie zrážky, ale s menšou frekvenciou. Čoraz častejšie sú aj 10 a viacdňové periódy bez zrážok. Zníženie atmosférických zrážok sa prejavuje na poklese zásob pôdnej vody. Výraznejšie sa tento trend prejavuje v dospelých porastoch, ktoré majú vyššiu evapotranspiráciu. Priame pozorovania v posledných rokoch v teréne potvrdzujú, že bezprostredne po „bez zrážkových periódach“ dochádza na sukcesnej vegetácii kalamitných plôch z roku 2004 k náhlemu zhoršeniu zdravotného stavu predovšetkým listnatých drevín (vrba rakyta, topol osika, jarabina vtáčia).

Vysoké teploty, často doprevádzané extrémnym suchom, môžu zapríčiniť veľkoplošnú stratu na produkcii lesov, zhoršenie ich zdravotného stavu a odumieranie. V temperátnej zóne Európy letné horúčavy v roku 2003 spojené so suchom zapríčinili redukcii uhlíka vo fotosyntéze ekosystémov o  $195 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  a v respirácii ekosystémov o  $77 \text{ g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ , čo predstavuje  $0,5 \text{ Pg}$  (petagramov) uhlíka v Európe, čo je štvorročná sekvestrácia uhlíka. Takýto 30 %-ný pokles celkovej primárnej produkcie v Európe sa v poslednom storočí nevyskytol. V temperátnej zóne môžeme očakávať, že extrémne horúčavy, aké boli zaznamenané v roku 2003, sa do konca 21. storočia stanú priemernými sezónnymi teplotami mnohých oblastí. Často sa opakujúce suché a horúce obdobia podmienené klimatickými zmenami môžu viesť k odumretiu vegetácie (IPCC 2014).

Rastúca teplota a koncentrácia  $\text{CO}_2$  v atmosfére doprevádzaná zmenami v hydrologickom cykle bude ovplyvňovať štruktúru a fungovanie lesných ekosystémov. Pokles zrážok a nárast evaporačných požiadaviek ovzdušia môže zmeniť klímu v strednej Európe z humídnej na semiaridnú až aridnú. Odumieranie lesných porastov, ako následok extrémnych klimatických javov, môže mať dlhodobý vplyv na biodiverzitu a vzťahy medzi druhmi. Lesy mierneho a boreálneho pásma ovplyvňujú fyzikálne a chemické vlastnosti atmosféry cez evapotranspiráciu, albedo, výmenu  $\text{CO}_2$ , čo môže mať pozitívny alebo negatívny vplyv na regionálnu klímu. Významne ovplyvňujú sekvestráciu uhlíka a uhlíkovú bilanciu na Zemi a majú tiež dôležitú úlohu v regulácii globálneho hydrologického cyklu. Vyššia teplota ovzdušia znásobí vplyv sucha na transpiračné straty drevín zvýšeným sýtosťným doplnkom ovzdušia, a teda evaporačných požiadaviek na transpiráciu. Zmenená radiačná bilancia môže tiež zvýšiť transpiráciu. V súvislosti s potenciálnym rizikom odumierania lesov umocneného dopadmi zmien klímy je potrebné venovať zvýšené úsilie pri obhospodarovaní lesov smerujúce k zlepšeniu ich odolnosti a reziliencie voči stresu zapríčinenému extrémami počasia.

## Definícia a kvantifikácia sucha

Sucho v prírodnom prostredí v podstate znamená nedostatok vody v pôde, rastlinách a i v atmosfére. Vo všeobecnosti sa za sucho v prírodnom prostredí považuje stav alebo časový interval, v ktorom je zaznamenaný deficit vody v pôde, v rastlinách alebo v atmosfére. Definície sucha sa rôznia podľa zamerania jednotlivých vedných disciplín. Meteorologický a bioklimatologický slovník definuje sucho agronomické, atmosférické, fyziologické, hydrologické, meteorologické a sucho náhodilé.

Pre účely tejto práce má význam najmä výklad sucha meteorologického a fyziologického. Z **meteorologického** hľadiska sucho znamená dlhšie obdobie bez zrážok), ktoré však nemusí rastlinám spôsobovať stres. Stres je zapríčinený suchom fyziologickým, ktoré je definované ako nedostatok vody z hľadiska potrieb jednotlivých druhov rastlín. O suchu v rastline hovoríme, ak je transpirácia vyššia ako

prijem vody koreňmi, ale tiež v prípadoch, ak prístupnosť vody klesne pod kritickú úroveň a pod. Význam sucha **fyziologického** teda nie je totožný s významom sucha meteorologického. Príkladom je zimné sucho, pri ktorom je síce z meteorologického hľadiska vody v pôde dostatok, ale rastliny nie sú schopné vodu prijímať. K takýmto prípadom dochádza v horských oblastiach v neskorej zime, kedy je pôda ešte zamrznutá, ale slnečné lúče už ohrievajú vetvy, čím podporujú transpiráciu.

Napriek existencii množstva metód a indexov pre hodnotenie sucha, väčšina z nich hodnotí deficit vody z klimatologického hľadiska alebo z hľadiska vlhových potrieb hlavných poľnohospodárskych plodín. Mnohé metódy tiež pracujú s priemernými hodnotami za dlhšie časové úseky (týždne, mesiace) a nereflektujú tak krátkodobé výkyvy faktorov ovplyvňujúcich výskyt a intenzitu sucha. Zložitejšie metódy zohľadňujú ďalšie klimatické faktory ako sú teplota, vietor a radiácia, ovplyvňujúce výpar a bilančné metódy počítajúce priamo s evapotranspiráciou. Komplexnejšie metódy zohľadňujú aj pôdne charakteristiky. U nás sú najčastejšie používané klimatické charakteristiky sucha ako napríklad: Končekov index zavlaženia, Langov dažďový faktor alebo hydrotermický koeficient Seljaninova patriace k jednoduchším charakteristikám. Z bilančných metód sa u nás pre vyjadrenie charakteru klímy najčastejšie používajú klimadiagramy podľa Waltera, v pôvodnej alebo modifikovanej forme (Mindáš, Škvarenina 2010). V súčasnosti sa najmä v USA a Austrálii kladie čoraz väčší dôraz na vývoj a používanie komplexnejších ukazovateľov výskytu a intenzity sucha hodnotiacich meniace sa podmienky aj v kratších časových intervaloch (týždne, dni). Medzi staršie, no zároveň najpoužívanejšie, patrí Palmerov index závažnosti sucha (Palmer's Drought Severity Index – PDSI), Crop Moisture Index – CMI alebo novší štandardizovaný zrážkový index (Standardized Precipitation Index – SPI) (Vido *at al.*, 2016).

## Stres suchom a rastové procesy

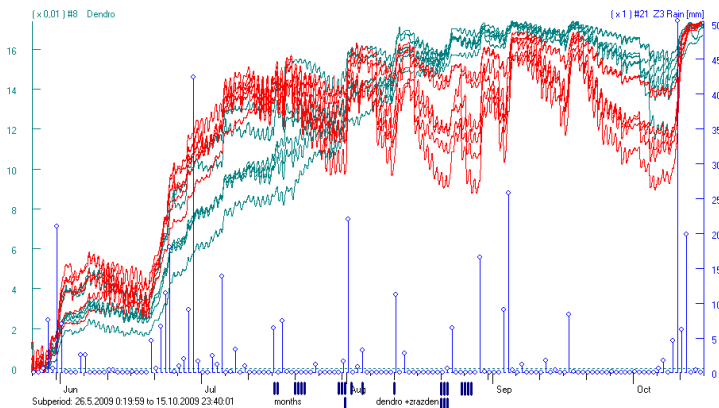
Intenzita rastu drevín a veľkosť ich hrúbkového prírastku závisí od kombinácie rastového potenciálu stromu a vonkajších faktorov obmedzujúcich, príp. podporujúcich rast. Rast stromov je viazaný iba na určité obdobie roka. Stromy mierneho pásma zväčšujú svoju hrúbku prevažne periodicky v priebehu vegetačnej sezóny činnosťou druhotných laterálnych delivých pletív – kambia a felogénu. Hrúbkový rast je spojený najmä s činnosťou kambia, ktoré tvorí smerom dovnútra bunky dreva a smerom navonok bunky lyka. Ich aktivita súvisí so základnými fyziologickými procesmi stromov, ako napríklad premenlivosťou obsahu rastlinných pigmentov, premenlivosťou intenzity fotosyntézy, transpiráciou, ktoré ju ovplyvňujú buď priamo alebo prostredníctvom metabolických procesov a hormonálnych rastových regulátorov. Tento proces je taktiež ovplyvňovaný klimatickými zmenami a zmenami počasia.

V posledných desaťročiach sa venuje veľká pozornosť zisťovaniu vplyvu klimatických faktorov na prírastok

počas celého života stromu. Senzitivita hrúbkového rastu na vonkajšie faktory prostredia dala vzniknúť oborom dendrochronológie a dendroklimatológie. Ročný kruh a jeho charakteristiky sa často používajú na analýzy a rekonštrukcie fluktuácií klímy a priebehu počasia, znečistení atmosféry, prirodzených areálov drevín a ich proveniencií, výskytu prirodzených disturbancií a zásahov človeka do lesných ekosystémov. Rast drevín vyjadrený predlžovaním ihlíc, listov alebo výhonku a rast kmeňa je ovplyvnený klímou, predovšetkým teplotou a dostupnosťou vody. Teplota vzduchu je jedna z najdôležitejších meteorologických charakteristík, ktoré determinujú fyziologické a produkčné procesy. Nedostatok zrážok, nízka relatívna vlhkosť vzduchu a nedostatok vody v pôde majú za následok buď adaptáciu rastlín na zmenené podmienky, alebo dlhotrvajúce suchá môžu vyvolávať „vodný stres“, a tým zapríčiniť poškodenie pletív. Vplyv sucha na dreviny sa obvykle najviac prejavuje koncom leta, pretože na začiatku tohto ročného obdobia (aj pri malých zrážkach) môžu dreviny ešte využiť zásoby vody v pôde naakumulované počas zimy. Stres z nedostatku vody redukuje rast buniek a výhonkov, zapríčiňuje uzatvorenie prieduchov, inhibuje fotosyntézu a ovplyvňuje celý rad fyziologických procesov, čo sa prejavuje obvykle znížením rastu. Vodný stav dreviny môže byť skúmaný meraním vodného potenciálu listu alebo monitorovaním denných zmien v obvode kmeňa pomocou automatického dendrometra (Ježík *at al.* 2015). Pokiaľ ide o dennú variabilitu hrúbky kmeňa ako priamej reakcie na množstvo vody v pletivách, na základe doterajších poznatkov a výsledkov sa predpokladá, že strom pri nedostatočnom zásobovaní vodou reaguje znížením denného prírastku až znížením priemeru kmeňa v porovnaní so stromom dostatočne zásobeným vodou (Ježík *at al.* 2015) (obr. 1).

Krátkodobé (v priebehu dňa, príp. niekoľkých dní) kolísanie hrúbky drevín je silne ovplyvnené vodnou bilanciou dreviny. Analýzy dendrometrických údajov umožňujú poznanie denných chodov stenčenia a prírastania kmeňa, ale aj sledovanie suchých a vlhkých období trvajúcich od niekoľko dní po niekoľko týždňov (obr. 1, Sitková *at al.* 2014). Z priloženého obrázku je zjavná redukcia prírastku vzorníkov smreka vo veku 40 rokov vystavených prirodzenému suchu vo vegetačnom období 2009 (príratkové krivky zobrazené červenou čiarou) ako aj vyššia denná amplitúda zmien obvodov kmeňov zapríčinená vyšším zmršťovaním kmeňa počas suchej periódy oproti vzorníkom umele zavažovaným (zelené čiary). Zmeny hrúbky kmeňa nie sú teda len výsledkom tvorby xylémových pletív, ale sú často zapríčinené vodnou bilanciou dreviny a zobrazujú aktuálne zmršťovanie a napučívanie kmeňa spôsobené prísunom a výdajom vody (obr. 1). V tomto prípade kmeň stromu a jeho pletivá (kôra, lyko, xylém) slúžia ako zásobník vody pre transpiráciu a denné zmeny hrúbky kmeňa. Rast nadzemnej časti môže byť redukovaný tiež obmedzením tvorby pupeňov, z ktorých by sa v nasledujúcom roku vytvárali výhonky. Znížený rast rastlín v dôsledku sucha býva prisudzovaný tiež zníženému príjmu živín zo suchej pôdy.





**Obř. 1:** Denné zmeny obvodov kmeňov vzorníkov smreka počas vegetačného obdobia roka 2009 (os Y1). Červené krivky zobrazujú zmeny vzorníkov vystavených prirodzenému suchu (6 stromov) a zelené krivky (6 stromov), zmeny obvodov zavlažovaných vzorníkov v období sucha, modré stĺpčky pod osou X predstavujú zavlahy, os Y2 sú denné úhrny zrážok. Loklita Hriňová, 450m n.m.

## Závery a odporúčania pre prax

V súvislosti s nastupujúcou aridizáciou klímy v strednej Európe najmä vo vegetačnom období bude potrebné zväžiť nástroje na adaptáciu lesov na zmenu klímy, najmä postupnú zmenu drevinového zloženia s cieľom zvýšiť druhovú diverzitu lesných porastov. Zmena druhového zloženia porastov by najmä v nižších vegetačných stupňoch a na južných svahoch vyšších vegetačných stupňov mala viesť k zvýšeniu zastúpenia druhov drevín lepšie znášajúcich sucho. Smrek ako drevina náročná na vodu a následne zraniteľná biotickými škodlivými činiteľmi a aj mechanicky, by mala byť nahradzaná odolnejšími listnatými drevinami, v nižších vegetačných stupňoch odolnejším dubom zimným a bukom vo vyšších polohách v prípadnom zmiešaní s jedľou. Redukcia smrekových monokultúr by mala byť kľúčovým adaptačným opatrením smerujúcim k zvýšeniu výmer zmiešaných a listnatých lesov. Ako veľmi perspektívna drevina, málo citlivá na zmenu klímy sa javí dub, ktorý by mohol byť využitý pri náhrade na sucho citlivejších druhov ako je buk, smrek a jedľa v nižších a stredných vegetačných stupňoch. Ide najmä o dub plstnatý (*Quercus pubescens*), dub cerový (*Quercus cerris*) a dub balkánsky (*Quercus frainetto*) na klimaticky exponovaných stanovištiach.

V tejto súvislosti je potrebné zdôrazniť význam provenienčných pokusov, ktoré napomáhajú poznaniu reakcie drevín naposum klimatických areálov. Informácie z týchto pokusov sú nevyhnutné pre identifikáciu porastov, prípadne jednotlivých stromov stresovaných vplyvom klimatických činiteľov. Otvorenou otázkou zostáva výber vhodných metód, prípadne fyziologických a rastových parametrov, ktoré budú na účely posúdenia vplyvu klimatických faktorov na dreviny použité. Často je veľmi zložitá získať informácie o každom faktore, ale aj určiť, ktorý z faktorov sa rozhodujúcou mierou podieľa na zhoršovaní zdravotného stavu dreviny a porastu. Podstata celého problému je fyziologická a genetická, preto by mali byť

rešpektované obidve hladiská. Napriek tomu, že reakcia dreviny v prevažnej miere závisí na meteorologických podmienkach, je spätá tiež s vlastnosťami tolerancie a rezistencie dreviny voči stresovým faktorom klímy. Pri súčasnom trende klimatických zmien a ich následkoch na živé organizmy sa zamýšľame nad typmi rastlín „budúcnosti“ s vlastnosťami, ktoré im umožnia odolávať zmenám prostredia.

Pri návrhu adaptačných opatrení v blízkej budúcnosti by mala byť vytvorená dlhodobou-udržateľná lesnícka aplikácia pre on-line biometeorologický monitorig v rámci navrhovaného aplikovaného projektu APVV so zámerom operatívneho hodnotenia s klímou súvisiacich rizík v lesných porastoch (sucha, vzniku požiarov, povodní a indikácie šírenia hmyzích škodcov) pre potreby lesníckej praxe, širšej verejnosti a v edukačnom procese. Súčasná sieť regionálnych biometeorologických staníc prevádzkovateľov NLC a TUZVO by sa mala integrovať do jednotnej webovej aplikácie, ktorá operatívne sprístupní biometeorologické údaje s odvodenými hydrometeorologickými a klimatickými indexami tak, aby sa vytvorili predpoklady na ich využívanie v praxi.

## PodĎakovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory projektu APVV-0480-12 a VEGA 1/0367/16.

## Literatúra

- BREŠTÍČ, M., OLŠOVSKÁ, K., 2001: Vodný stres rastlín: príčiny, dôsledky, perspektívy. SPU Nitra, 149 s.
- DAMBORSKÁ, I., GERA, M., MELO, M., LAPIN, M., NEJEDLÍK, P., 2015: Changes in daily range of the air temperature in the mountainous part of Slovakia within the possible context of global warming. *Neteorologische Zeitschrift* 25: 17–35.
- HLÁSNY, T., SITKOVÁ, Z. (eds.), 2010: Spruce decline in Beskyds. National Forest Centre – Forest Research Institute Zvolen, Czech University of Life Sciences Prague, Forestry and Game Management Research Institute Jílovište – Strnady. Zvolene, 182 p.
- HLÁSNY, T. *at al.*, 2012: Zmena klímy a lesy Slovenska: možné dopady, adaptácia a odprúčania pre prax. Zvolen 2012: 75 s.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: IMpacts, adaptation and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution to Working group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- JEŽÍK, M., BLAŽENEC, M., LETTS, M. G., DITMAROVÁ, L., SITKOVÁ, Z., STŘELCOVÁ, K., 2015: Assessing seasonal drought stress response in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) by monitoring stem circumference and sap flow. *Ecohydrology*, 8 (3): 378–386.
- LAPIN, M., GERA, M., KREMLER, M., 2010: Temperature and air humidity scenarios for Slovakia and possible impacts in the cities. *Životné prostredie* 44 (5): 227–231
- MINĎÁŠ, J., ŠKVARENINA, J., (eds.), 2010: Lesy Slovenska a voda. EFRA Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, Stredoeurópska vysoká škola v Skalici, 129 s.
- SITKOVÁ, Z., NALEVANKOVÁ, P., STŘELCOVÁ, K., FLEISCHER JR, P., JEŽÍK, M., SITKO, R., PAVLENDÁ, P. AND HLÁSNY, T., 2014. How does soil water potential limit the seasonal dynamics of sap flow and

circumference changes in European beech? *Forestry Journal*, 60(1): 19–30.

STŘELCOVÁ, K., SITKOVÁ, Z., KURJAK, D., KMEŤ, J. (eds.), 2011: *Stres suchom a lesné porasty, aktuálny stav a výsledky výskumu*. Technická univerzita vo Zvolene. 266 s., ISBN 978-228-2233-6.

VIDO, J., STŘELCOVÁ, K., NALEVANKOVÁ, P., LEŠTIANSKA, A., KANDRÍK, R., PÁSTOROVÁ, A., ŠKVARENINA, J. AND TADESSE, T., 2016: Identifying the relationships of climate and physiological responses of a beech forest using the Standardised Precipitation Index: a case study for Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 64: 246–251



**Doc. Ing. Katarína Střelcová, PhD.**

– je odborníčka v problematike vodnej bilancie, bioklimatológie lesných ekosystémov, transpirácie lesných drevín a bioklimatologických dopadov sucha na lesné ekosystémy. Je zodpovednou riešiteľkou projektov APVV, VEGA, KEGA a participuje tiež na medzinárodných projektoch COST ako národný delegát. Publikovala 3 kapitoly v zahraničných monografiách, 27 vedeckých článkov na Web of Science a má 105 citácií na Web of Science.

## Quo vadis hospodárska úprava lesov

**doc. Ing. Ján Merganič, PhD., Ing. Ján Bahýľ, PhD.,  
Ing. Jozef Výboštok, Ing. Peter Valent, PhD.,  
Dr. Ing. Katarína Merganičová**

### Súhrn

V súčasnosti sa HÚL podobne ako iné oblasti v našej spoločnosti nachádza v dôsledku nedostatočného financovania a zmeny vo vlastníckych vzťahoch v komplikovanej situácii. Prihliadnuc na dlhú históriu programov starostlivosti o lesy je však nutné nájsť riešenia, ktoré by zachovali kontinuitu plánovania a evidencie aj do budúcnosti. V predkladanej práci prezentujeme možnosti zefektívnenia HÚL prostredníctvom aktívneho zapojenia vlastníkov a obhospodarovateľov lesov do zberu údajov o ich porastoch, implementácie inventarizačných metód, rastových modelov a simulátorov, a následného prepojenia viacerých informačných zdrojov, ktoré umožnia vytvoriť alternatívne plány pre meniace sa podmienky obhospodarovania.

### Súčasný stav a predpoklady

Les je zložitý ekologický systém, od ktorého ľudská spoločnosť očakáva plnenie rôznorodých funkcií. Kým v minulosti bola v popredí produkčná funkcia lesa, ktorá súvisela s rýchlo napredujúcim hospodárskym rozvojom, v poslednom období kladie spoločnosť vysoké požiadavky na environmentálne funkcie lesa. S dopytom po „lese“ sa postupne rozvíja viacero lesníckych disciplín, z ktorých mnohé sa stali aj vednými odbormi, a ktorých všeobecným cieľom je zefektívniť hospodárenie v lesoch. Uvedomujúc si, že les plní množstvo nenahraditeľných funkcií, sa trvalo udržateľné hospodárenie v lesoch stalo základným princípom moderných lesných zákonov v mnohých krajinách s vyspelým lesným hospodárstvom. Hospodárska úprava lesa (HÚL) je disciplína, ktorá v sebe integruje poznatky z takmer všetkých lesníckych odborov a premieňa ich v plánovité hospodárenie v lesoch tak, aby sa pri zosúladení záujmov vlastníkov, obhospodarovateľov lesov a verejného záujmu smerovalo k naplneniu cieľov trvalo udržateľného hospodárenia v lesoch (§ 38 ods. 1 zákona č. 326/2005 Z. z. o lesoch).

Základnou etapou výkonu HÚL je zisťovanie stavu lesa, čo je téma, ktorá v poslednom období rezonuje asi najviac. Najmä problémy s financovaním vypracovania programov starostlivosti o lesy (PSL) sa výrazne podpisujú na kvalitu získaných informácií. V posledných rokoch cena za vypracovanie PSL na hektár dlhodobo klesala (Morong 2015, Mozola & Greguš 2010), čo bolo čiastočne odstránené zmenou financovania. Bez kvalitných vstupných informácií je problematické naštartovať ďalšie naväzujúce etapy HÚL ako hodnotenie, plánovanie, prognózy. Lesnícka verejnosť sa stále vo väčšej miere dožaduje takých výstupov, o ktoré je možné sa oprieť. Precízne lesníctvo, ktoré bolo naštartované už pred niekoľkými desaťročiami, kedy bola takmer celá plocha lesných pozemkov podrobne zmapovaná a popísaná, sa vďaka rôznym faktorom dostáva na šikmú plochu. Je teda potrebné hľadať cesty, ktoré

napriek rýchlo sa rozvíjajúcim moderným technológiám nebudú jednoduché. O tom, že rozdiely medzi informáciami v plánoch a realitou existujú, nás informujú inventarizácie lesov založené na báze štatistického výberu, ktoré sú stále vo väčšej miere zavádzané do praxe. Takéto zisťovanie realizované nezávisle od u nás zaužívaného celoplošného zisťovania poukazuje na rozdiel najmä v zásobách, ale aj iných veličinách (Šmelko et al. 2014, Šmelko et al. 2008). Rozdiel +23% po vyhodnotení prvého cyklu národnej inventarizácie a monitoringu lesa sa pravdepodobne potvrdí aj po zhodnotení jej druhého cyklu. Keďže výstupy zo štatistických inventarizácií zvyčajne poskytujú informácie aj s rámcami spoľahlivosti a dovoľujú aj analýzu možných zdrojov chýb, môžeme ich pri vhodne vytvorenom dizajne považovať za relevantnejšie a objektívnejšie pre aplikáciu v rozhodovacom a plánovacom procese. Z určitého pohľadu môžu byť inventarizácie lesa na báze štatistického výberu liekom na súčasnú situáciu v HÚL, pretože „ekonomiku“ inventarizácie môžeme optimalizovať viacerými spôsobmi. Inventarizácie a monitoring lesa, ktorých cieľom je poskytovať objektívne informácie o stave a zmenách lesných ekosystémov, majú už takmer storočnú tradíciu (Kangas a Maltamo 2006). S rozvojom techniky, matematickej štatistiky a geoinformatiky našli uplatnenie nielen vo svete, ale aj vo viacerých oblastiach slovenského lesníctva od celospoločensky významnej národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR (Šmelko & Merganič 2008), podnikových a regionálnych inventarizácií (Merganič 2001, Šmelko et al. 2014) po rôzne aplikácie pri monitoringu vývoja prírodných lesov (Merganič et al. 2003, Merganič et al. 2012a), monitoringu diverzity lesných fytoocenóz a ich reakciu na zmenu edaficko-klimatických podmienok Slovenska (Vladovič et al. 2008), monitoringu stavu lesných biotopov európskeho významu (Merganič a Šmelko 2009), ako aj pri hodnotení potenciálu funkcií lesa (Merganič et al. 2012b). Ekonomickú optimalizáciu inventarizácie resp. monitoringu lesa môžeme realizovať buď na základe zmien v požadovanej presnosti zisťovaných veličín, alebo zúžením resp. rozšírením zisťovaného informačného spektra, prípadne vhodnou voľbou výberového dizajnu. V zmysle pravidla, že najdrahšia je cesta na miesto merania, prináša komplexné hodnotenie lesného ekosystému zahŕňajúce nielen drevinovú zložku a jej produkciu, ktorá doteraz stála v centre pozornosti, ale aj ďalšie súčasti a charakteristiky biodiverzity lesného ekosystému vrátane štruktúry lesného porastu, regenerácie, fytoocenózy, zoocenózy, stability a prirodzenosti lesných porastov ako aj abiotických faktorov prostredia, hospodárovi cenné informácie o spravovanom celku. Navyše požiadavky spoločnosti sa pomerne dynamicky menia, čo pre inventarizačné metódy nie je veľký problém. V procese inventarizácie je doplnenie novej veličiny napr. pre potreby získania dotácie, alebo či zóna ochrany plní predpísané kritériá, jednoduché. Porastové štruktúry sú čoraz komplikovanejšie a trendy prírode blízkeho hospodárenia budú robiť lesy ešte komplikovanejšími. Plusom inventarizácií je v tomto smere aj to, že v porovnaní s celoplošnou taxáciou, kde sa aj tak vzhľadom na súčasné ekonomické problémy zväčša používajú rýchle metódy zisťovania stavu lesa (najmä rastové tabuľky), bude les síce na menšej

časti, ale objektívne a podrobne zmeraný. O problémoch zvýšeného využívania rastových tabuliek pri zisťovaní stavu lesa lesnícka verejnosť vie a dobre to popisujú vo svojich prácach aj Šmelko & Šebeň (2010) a Machanský (2014).

Štruktúrna diverzita lesných porastov je veľmi dôležitou charakteristikou stavu a vývoja porastov. Úzko súvisí so všetkými procesmi prebiehajúcimi v ekosystéme. Poznanie a rešpektovanie týchto zákonitostí môže významne napomôcť lesnému hospodárovi pri obhospodarovaní lesa v meniacich sa ekologických podmienkach a zabezpečiť jeho trvalosť. Zloženie a štruktúra lesa určujú a predstavujú priestorovú biodiverzitu a sú dôležité pre produkciu, mimoprodukčné funkcie a trvalú udržateľnosť lesných ekosystémov. Rozvoj metód hodnotenia štruktúry lesa má preto významné postavenie vo výskume v danej oblasti, pretože matematická kvantifikácia umožňuje nielen objektívnejšie ohodnotiť, ale v konečnom dôsledku aj lepšie pochopiť a popísať vzťahy, ktoré v ekosystéme fungujú (Merganič 2010). Tým, že štruktúra lesa má úzke väzby aj na mimoprodukčné funkcie, ktoré v súčasnej dobe rezonujú, parametre a indikátory štruktúry lesa sú veľmi dôležité v plánovacom a rozhodovacom procese.

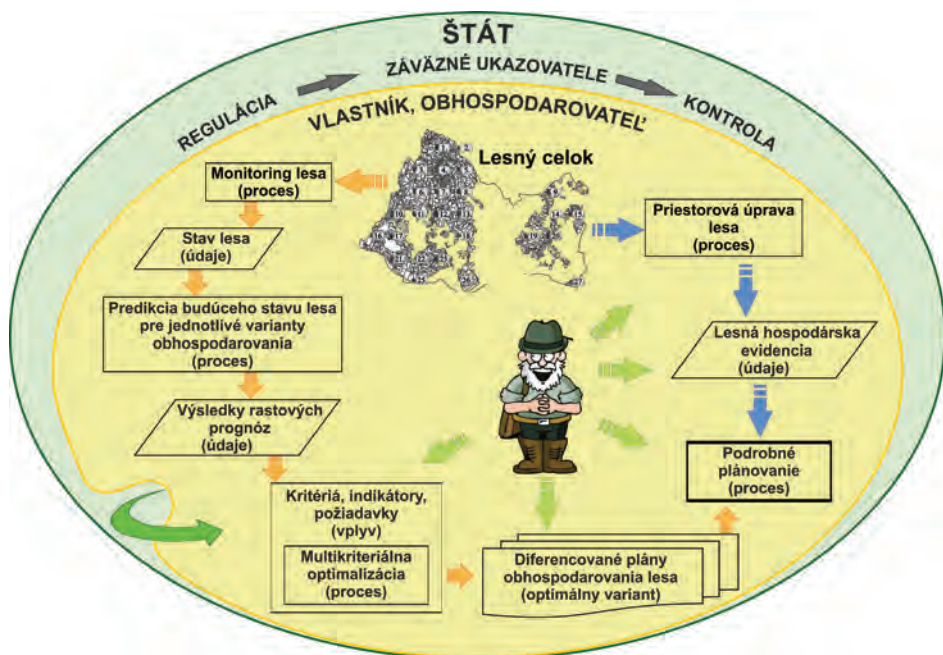
Plánovanie v HÚL na Slovensku má dlhoročnú tradíciu. V zásade prebieha na dvoch úrovniach a to ako rámcové plánovanie a podrobné plánovanie. Rámcové plánovanie sa v zmysle zákona realizuje bez ohľadu na druh vlastníctva a druh užívania na dobu dlhšiu ako PSL a kratšiu ako rubná doba, čo predstavuje plánovanú stratégiu. Výsledkom je určenie modelu hospodárenia pre jednotku rámcového plánovania, ktorou je prevádzkový súbor, t.j. homogénny súbor lesných porastov vytvorený na základe hospodársko-úpravníckej typizácie (kategória lesa, HSLT, PT, ohrozenie). Modely hospodárenia predstavujú optimalizované základné rozhodnutia, ciele a zásady hospodárenia, ktoré by mali byť dosiahnuté počas rubnej doby. Výhodou tohto systému (Kulla et al. 2010) je najmä systémová jednotnosť a automatizované prepojenie modelov hospodárenia na podrobné plánovanie a tvorbu PSL vo všetkých lesoch. Nevýhodou je najmä komplikovanosť a subjektívny prístup pri tvorbe modelov a slabá pružnosť k zavádzaniu nových poznatkov a potrieb (adaptačné opatrenia, požiadavky vlastníka a pod.). Aj keď tento princíp vytvára predpoklady uplatnenia jednotnej lesníckej politiky zachovania trvalo udržateľného hospodárenia bez ohľadu na druh vlastníctva, môže najmä z pohľadu súkromného sektora vyvolávať rôzne otázky. Zároveň tento princíp nie celkom dobre korešponduje so súčasnými modernými trendmi a koncepciami HÚL. Adaptívna HÚL je podľa Gadowa (2006) taký spôsob hospodárenia, pri ktorom dochádza ku kontinuálnym úpravám jednak managmentových opatrení a celkovej stratégie obhospodarovania, ako aj skladby a poradia dôležitosti požadovaných funkcií. Koncepcia vyžaduje objektívne informácie o stave lesa a permanentný monitoring, čo priamo súvisí so štatistickým princípom zisťovania stavu lesa (inventarizácia, monitoring). Úprava managmentových opatrení predstavuje optimalizáciu hospodárenia, t.j. nájdenie alternatív, pri ktorých sa dosiahne plnenie požadovaného mixu ekosystémových služieb (funkcií lesa).

Implementácia systému pre podporu rozhodovania (DSS) do rámcového plánovania by ponúkla vlastníkovi resp. obhospodarovateľovi viacero alternatív, ktoré by zabezpečovali trvalo udržateľné hospodárenie lesa, ale zároveň by neboli postavené iba na v súčasnosti jedinej koncepcie prírode blízkeho lesa vekových tried, ako uvádza Kulla et al. (2010). Takýmto spôsobom by bola dosiahnutá podstata rozhodovacieho procesu spočívajúca v konfrontácii potenciálu lesa plniť požadované ciele a funkcie s preferenciami a požiadavkami vlastníka lesa pri zhodnotení rozličných alternatív hospodárenia a ich dopadov na stav lesa (Pukkala 2002).

## Implementácia do praxe

Implementácia vyššie popísaných princípov a koncepcií do praxe lesného hospodárstva môže byť v hrubých rysoch realizovaná nasledovne:

- zachovanie a udržanie princípov súčasnej priestorovej úpravy lesa. Jednotky priestorového rozdelenia lesa by boli naďalej základom pre prehľad, orientáciu a evidenciu lesných pozemkov. Obnova hraníc, ich zmena (vplyv vlastníctva), hospodárskych kopcov a pod. je v plnej réžii vlastníka resp. obhospodarovateľa lesa. Týmto krokom sa zachová kontinuita mapového diela lesného hospodárstva.
- založenie siete neviditeľne fixovaných monitorovacích plôch vhodne zvoleným výberovým dizajnom a optimalizovaným informačným spektrom. Túto činnosť by v súčasnosti mohli vykonávať iba taxačné kancelárie s oprávnením pre vyhotovenie PSL.
- aktualizácia údajov o stave lesných porastov v jednotlivých JPRL (drevinové zloženie, zásoby, hospodárske opatrenia a pod.) by bola v plnej réžii vlastníka resp. obhospodarovateľa lesa prostredníctvom lesníkov resp. lesných hospodárov. Bolo by to súčasťou procesu vedenia lesnej hospodárskej evidencie. Pre aktualizáciu údajov ovplyvnených rastovým procesom by boli k dispozícii voľne dostupné resp. serverové verzie softvérov prostredníctvom portálu na NLC. Týmto krokom sa z veľkej časti zachová kontinuita informačného systému lesného hospodárstva. Informácie o JPRL by boli menej presnými odhadmi slúžiacimi pre smerovanie podrobného plánovania hospodársko-úpravníckych opatrení.
- po realizácii monitoringu by boli k dispozícii objektívne informácie o zásobách, prírastkoch a pod. Zároveň by tieto informácie slúžili na korekciu hrubých informácií v jednotlivých JPRL.
- Pomocou rastových modelov, simulátorov, požiadaviek vlastníka a DSS by boli vytvorené alternatívne plány. Išlo by najmä o stanovenie etátu ako záväzného ukazovateľa.
- podrobné plánovanie a naplnenie stanovených záväzných ukazovateľov by sledovalo princípy rozšírenej reprodukcie a výnosovej plynulosti, t.j. princípy integrovaného lesného hospodárstva, pri ktorom ide o cielené smerovanie hospodárskych opatrení do tých JPRL, kde sa to vyžaduje. Podrobné plánovanie by nebolo striktné viazané na konkrétne JPRL. Lesný hospodár by s využitím všetkých dostupných informačných zdrojov (korigované informácie o JPRL, LHE) smeroval hospodárske opatrenia do výšky záväzných ukazovateľov do tých JPRL, kde to situácia vyžaduje.



Obr. 1 Schéma a diagram vzťahov možného riešenia výkonu hospodárskej úpravy lesov

## Citovaná literatúra

- GADOW K. 2006: Prinzipien der adaptiven Forsteinrichtung. Forstzeitung, Wien: Österreichischer Agrarverlag, Göttingen, 175 p.
- KULLA, L., BOŠEĽA, M. AND BÜRGAN, K. 2010. Potreba a možnosti inovácie rámcového plánovania HÚL na Slovensku. In: Bortel, S., Bavlšík, J. (eds.): Súčasnosť a budúcnosť hospodárskej úpravy lesov na Slovensku. Zvolen: Národné lesnícke centrum Zvolen: 42-49 s.
- MACHANSKÝ M. 2014: Aplikácia metód zisťovania zásoby dreva v lesných porastoch na Slovensku v období 2001–2010. Lesn. Cas. For. J. 60, p. 94–108
- MERGANIČ J., 2001: Regionálna inventarizácia lesa s dôrazom na kvantifikáciu biodiverzity. Dizertačná práca. TU Zvolen, 176 s., Accessed online 27.11.2017: [www.forim.sk](http://www.forim.sk)
- MERGANIČ J., 2010: Progresívne inventarizačné a monitorovacie postupy a nové metódy hodnotenia štruktúry lesných ekosystémov. Habilitačná práca. Česká zemědělská univerzita v Praze, 184 s., Accessed online 27.11.2017: [www.forim.sk](http://www.forim.sk)
- MERGANIČ J., MARUŠÁK R., MERGANIČOVÁ K., TIPMANN L., STOLARIKOVÁ R., AUDOLENSKÁ V., 2012: Sampling design for integrated noncash and economic valuation of biodiversity – case study. Scientia agriculturae bohemica, 43, (4), p. 145-152, ISSN: 1211-3174
- MERGANIČ J., MERGANIČOVÁ K., MORAVČÍK M., VORČÁK J., MARUŠÁK R., 2012: Objective Evaluation of Forest Naturalness: Case Study in Slovak Nature Reserve. Polish Journal of Environmental Studies, 21 (5), p. 1327-1337, ISSN: 1230-1485
- MERGANIČ J., ŠMELKO Š., 2009: Monitorovanie stavu lesných biotopov európskeho významu v š.p. Lesy SR. Biometrická charakteristika a zhodnotenie stavu lesných biotopov. Čiastková správa projektu 563/NLC/2007 FORIM 51 s., Accessed online 09.11.2010: [www.forim.sk](http://www.forim.sk)
- MERGANIČ J., VORČÁK J., MERGANIČOVÁ K., ĎURSKÝ J., MIKOVÁ A., ŠKVARENINA J., TUČEK J., MINĎÁŠ J., 2003: Monitoring diverzity horských lesov severnej Oravy. EFRA Zvolen, Tvrdošín, 200 s., Accessed online 27.11.2017: [www.forim.sk](http://www.forim.sk)



- MORONG I. 2015: Stav a možnosti súčasnej lesníckej taxácie na Slovensku. Konferenčný príspevok.
- MOZOĽA J., GREGUŠ I. 2010: Vyhотовovanie LHP na Slovensku. Vyhотовovanie LHP na Slovensku (Združenie taxačných kancelárií SR). Zborník príspevkov z odborného seminára: Súčasnosť a budúcnosť hospodárskej úpravy lesov na Slovensku. 27. januára 2010, NLC Zvolen, 4s.
- PUKKALA T., 2002: Multi-objective Forest Planning. Managing Forest Ecosystems, Vol. 6., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 207 pp.
- ŠMELKO Š., ŠEBEŇ V., BOŠEĽA M., SAČKOV I., KULLA L. 2014: Nové varianty metód na viacúčelové zisťovanie a monitorovanie stavu lesných ekosystémov progresívnymi technológiami. Zvolen, NLC, 368 p.
- ŠMELKO, Š., ŠEBEŇ, V., 2010: Nové trendy v metódach zisťovania stavu lesa a potreba ich uplatnenia v HÚL na Slovensku. In: Zborník príspevkov z odborného seminára. Súčasnosť a budúcnosť hospodárskej úpravy lesov na Slovensku, Zvolen, NLC, p. 27–35.
- ŠMELKO, Š., ŠEBEŇ, V., BOŠEĽA, M., MERGANIČ, J., JANKOVIČ, J., 2008: National Forest Inventory and Monitoring of the Slovak Republic 2005-2006: Basic concept and selected summary informations. Zvolen, National Forest Centre, 16 p.
- VLADOVIČ J., MERGANIČ J., MÁLIŠ F., KRÍŽOVÁ E., UJHÁZY K., VODÁLOVÁ A., PÖBIŠ I., BOŠEĽA M., PAVLENDÁ P., HLÁSNY T., 2008: Reakcia diverzity lesných fytoocenóz na zmenu edaficko-klimatických podmienok Slovenska. Záverečná správa projektu APVV-27-009304. NLC Zvolen, 72 s., Accessed online 27.11.2017: [www.forim.sk](http://www.forim.sk)

## Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0714.



### **Doc. Ing. Ján Merganič, PhD.**

– je vedúci Katedry lesnej ťažby, logistiky a meliorácií a gestor predmetu Hospodárska úprava lesov. Zaoberá sa aj problematikou oceňovania lesa, modelovaním rastu lesa, disturbanciami v lesných ekosystémoch a alokáciou uhlíka v lesných ekosystémoch.



### **Ing. Jozef Výboštok**

– je doktorand v študijnom programe Hospodárska úprava lesov. Jeho vedecká činnosť je zameraná na progresívne metódy v hospodárskej úprave lesov, predovšetkým získavanie informácií o stave lesa modernými technológiami a plánovanie hospodárskych opatrení vo vzťahu na plnenie funkcií lesov s využitím rozhodovacích modulov.



**Dr. Ing. Katarína Merganičová**

– pracuje ako výskumný pracovník na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie. Venuje sa cyklu uhlíka vzhľadom k rastovému procesu stromov a jeho modelovaniu z ekofyziologického hľadiska a diverzite lesa.



**Ing. Ján Bahýľ, PhD.**

– je odborný asistent na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie. Zaoberá sa problematikou hospodárskej úpravy lesov, oceňovania lesov, systémov na podporu rozhodovania a využitím techník optimalizácie pri tvorbe programov starostlivosti o lesy.



**Ing. Peter Valent, PhD.**

– je výskumný pracovník na Katedre Hospodárskej Úpravy Lesov a Geodézie. Zaoberá sa modelovaním rastu lesa a vizualizáciou prostredníctvom imerzívnych systémov virtuálnej reality.

## Je modelovanie lesa užitočné pre lesnícku prax, vedu a vzdelávanie?

### Súhrn

Vzhľadom na globálne zmeny ako sú zmeny klímy a socioekonomického prostredia je nevyhnutná náhrada používania rastových tabuliek za novú generáciu modelov. Modely sa snažia napodobňovať nielen chovanie lesa ale aj jeho štruktúru. Preto sa modelovacím prvkom stáva strom alebo jeho orgán namiesto celého porastu. Takéto modely sú potom flexibilnejšie. Dajú sa využiť v praxi, vede a výskume. Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie vyvíja takýto model s názvom SIBYLA vrátane jeho softvérového riešenia. Produkt je voľne dostupný pre nekomerčné využívanie. Podporuje aj virtuálnu realitu a je napojený aj na zariadenie virtuálnej jaskyne (CAVE).

### Potreba modelovania lesa pre lesnícku prax

Do procesu lesníckeho plánovania vstupuje širší okruh záujemcov ako v minulosti. Dnes je to štát, vlastníci lesa, mimovládne organizácie, verejnosť. Uspokojenie ekosystémových služieb sa rozširuje. Vyžaduje sa variantnosť scenárov obhospodarovania lesa, adaptívnosť plánovania a flexibilitnosť opatrení. Klasické nástroje pre predikciu stavu lesa ako sú rastové tabulky dnes už nestačia. Z mnohých dôvodov možno spomenúť nasledovné:

- a) Rastové tabulky sú určené pre rovnovékové monokultúry obhospodarované štandardným spôsobom prepojené na klasickú porastovú bonitáciu. Poskytujú iba obmedzenú paletu výstupov, čím majú dnes už obmedzenú platnosť.
- b) Modernizácia inventarizácie lesa previazaná s novými technológiami: laserové skenovanie, blízka fotogrametria, terénne GIS mapovanie, aplikácia bezpilotných prostriedkov, metódy diaľkového prieskumu Zeme. Modernizácia poskytuje rozsah údajov, ktorý ďaleko presahuje potreby vstupných údajov do rastových tabuliek a posúva možnosti plánovania smerom k precíznemu lesníctvu (plánovanie na úrovni stromov). S tým nevyhnutne súvisí aj potreba zodpovedajúceho modelu vývoja lesa.

Moderné modely lesa majú uplatnenie na všetkých úrovniach lesníckeho plánovania. Napríklad v rámci operatívneho (krátkodobého) plánovania môže ísť o aktualizáciu stavu lesa. Na základe východiskovej inventarizácie lesa, súboru vykonaných opatrení (napríklad prebierky) a samotného rastového modelu získa vlastníck resp. obhospodarovateľ lesa prehľad o aktuálnom stave porastových veličín (napríklad zásob) k aktuálnemu termínu bez potreby ďalšej inventarizácie lesa. V rámci taktického (strednodobého) plánovania môže ísť napríklad o stanovenie výšky obnovnej ťažby. Pomocou predikcie prírastku lesných porastov na najbližšie decénia, dokážeme stanoviť výšku ťažby tak, aby sme neprekročili veľkosť prírastku a zabezpečili trvalosť a udržateľnosť ťažby. V rámci strategického

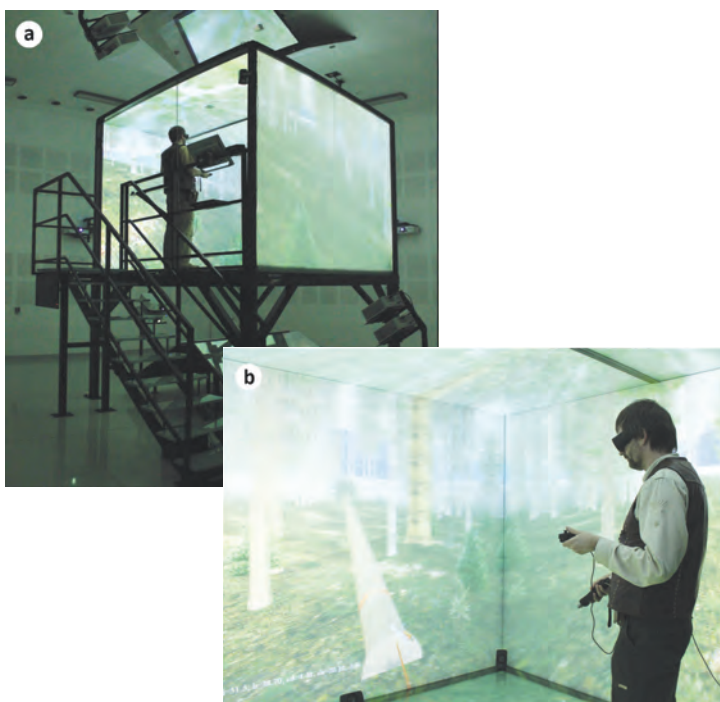
(dlhodobého) plánovania môže ísť napríklad o prípravu strategických cieľov obhospodarovania lesa vzhľadom na dlhodobé javy a scenáre (napríklad klimatické zmeny, zmeny lesníckej politiky). Toto môže vyústiť napríklad do tvorby modelov hospodárenia.

## Potreba modelovania lesa pre lesnícku vedu

Výskumné práce, ktoré sa zaoberajú vplyvom klimatických zmien na produkciu a štruktúru lesa alebo optimalizáciou obhospodarovania lesa v strednodobom, či dlhodobom horizonte, veľmi často využívajú prognostické nástroje. Dnes už je veľmi ťažké riešiť otázky podobného charakteru bez prognózy vývoja lesa na báze moderných modelov.

## Potreba modelovania lesa pre lesnícke vzdelávanie

Modely lesa majú aj veľký edukačný potenciál. Keďže ide o model napodobňujúci chovanie lesa, dá sa využiť aj ako názorná učebná pomôcka. Čím je model komplexnejší, tým je vzdelávací účinok silnejší. Ak obsahuje aj prvky virtuálnej reality, môže byť využitý aj ako trénažér obhospodarovania lesa. Dobrým príkladom je aplikácia vyvinutá na Lesníckej fakulte Technickej univerzity vo Zvolene (obrázok 1). Trénažér umožňuje pohyb po virtuálnom lese v prostredí špeciálneho zariadenia s názvom virtuálna jaskyňa (systém CAVE). Les môže byť vygenerovaný napríklad z programu starostlivosti o les, alebo získaný z akejkoľvek inventarizácie lesa. Vo virtuálnom lese sa môžeme pohybovať, rozhliadať, vyznačovať alebo spílovať stromy. Následne môžeme spustiť prognózu na potrebný počet rokov a teleportovať sa do budúceho lesa. Okrem toho môžeme porovnať sumárne údaje za porast v minulosti a budúcnosti.



Obr. 1 Virtuálna jaskyňa (systém CAVE) pre tréning obhospodarovania lesa.

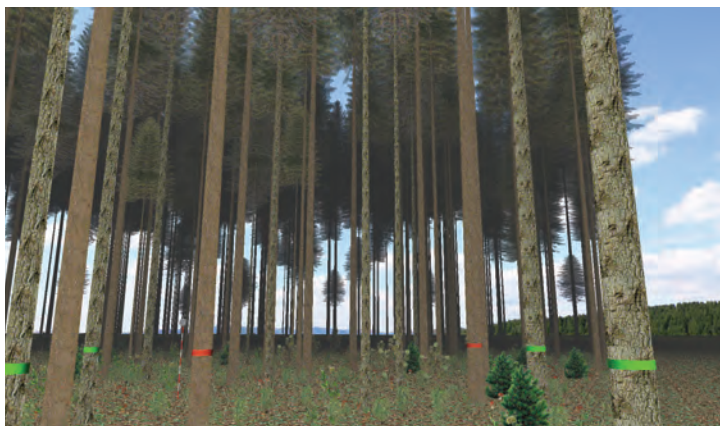
Súčasný stav modelovania lesa na Technickej univerzite vo Zvolene

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie vyvíja už od roku 2000 modely a od roku 2004 aj softvérové riešenie stromového rastového simulátora s názvom SIBYLA. Produkt je voľne dostupný pre nekomerčné využitie v lesnej prevádzke, výskume a výučbe. Dá sa bezplatne získať na nasledujúcej webovej adrese: <http://sibyla.tuzvo.sk/>

Ide o komplexný model lesa, ktorý napodobňuje chovanie aj štruktúru lesa. Model vyžaduje na vstupe stromové informácie (hrúbky, výšky, súradnice na ploche), alebo sa stromové údaje dajú vygenerovať na základe bežne dostupných údajov lesnej prevádzky, napr. z opisu porastov v pláne starostlivosti o les. Model je vytvorený pre rovnorodé ale aj zmiešané, rovnoveké ale aj rôznoveké porasty smreka, jedle, borovice, buka a duba. Povolená je aj množina ostatných drevín (celkovo 30). Iné dreviny sú však rastovo odvodené zo základných drevín. Model je citlivý na širokú paletu podmienok a opatrení: horizontálna a vertikálna štruktúra porastu, klimatické a pôdne podmienky, charakter reliéfu a terénu, spôsoby obhospodarovania lesa (prebierky), ťažbovo-dopravné postupy, socioekonomické prostredie a podobne. Model obsahuje všetky dôležité komponenty dynamiky vývoja lesa: rastový model, konkurenčný model, mortalitný model, model kvality stromov, model prirodzeného zmladenia, model rizika kalamít a ďalšie komponenty. Rast stromov vychádza z empirických (štatistických) vzťahov odvodených zo širokého dátového materiálu pokrývajúceho územie celého Slovenska. Softvérová štruktúra je zložená z veľkého počtu modulov (obrázok 2). Moduly sú vzájomne nezávislé, pracujú na určenej úlohe a navzájom komunikujú prostredníctvom centrálnej databázy, ktorá uchováva údaje o stromoch a poraste. Výsledkom simulácie sú produkčné údaje, údaje o biomase a biodiverzite, informácie o nákladoch a výnosoch. Takisto je k dispozícii aj možnosť zobrazenia výsledkov vo forme virtuálneho lesa (obrázok 3).



Obr.2 Modulárna štruktúra rastového simulátora SIBYLA.



Obr.3 Príklad virtuálnej reality lesa ako výstup z rastovej simulácie.

## Vízie modelovania lesa

Modelovanie lesa dnes patrí medzi najdynamickejšie sa rozvíjajúce oblasti lesníckeho výskumu a vývoja. Dnes sa aplikujú moderné trendy zviazané s pokrokovými metódami a technológiami, ktoré určujú smery budúceho vývoja. Z mnohých možno spomenúť nasledovné:

- prechod z empirických (štatistických) modelov na modely procesné, ktoré využívajú kauzálne vzťahy vývoja stromov a porastov ako sú priame ekofyziologické procesy (fotosyntéza, respirácia, alokácia a iné)
- využitie techník na detailnú vizualizáciu stromov na báze celkovej morfológie, ktoré sú riešené prostredníctvom dynamiky rastu cez rastové gramatiky (L-systémy) alebo prostredníctvom moderných 3D objektov v prostredí Game Enginov (Unity 3D, Unreal Engine, CryEngine)
- podpora zariadení pre zobrazenie virtuálnej reality ako sú hlavové displeje (napríklad OCULUS Rift) alebo špeciálne zariadenia (napríklad systém CAVE)
- zavádzanie technológií vysoko-výkonného spracovania (HPC) pre skracovanie výpočtového času rastových simulácií
- prepojenie zberu stromových údajov na pozemné laserové skenovanie alebo blízku fotogrametriu
- získavanie niektorých parametrov stromov napríklad z bezpilotných prostriedkov (dronov)
- zavádzanie nadstavbových nástrojov pre podporu rozhodovania

## Podakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka finančnej podpore projektov APVV-0069-12, VEGA 1/0618/12 a KEGA 3/6080/08.

**Doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.**



Autor príspevku je vedúcim katedry hospodárskej úpravy lesov a geodézie na Lesníckej fakulte Technickej univerzity vo Zvolene. Pôsobil jeden rok na univerzite v Mníchove a jeden rok na univerzite v Göttingene. Venuje sa problematike modelovania lesa a aplikovanej informatike. Je autorom modelu SIBYLA ako aj jeho softvérového riešenia. Takisto je autorom projektu virtuálnej jaskyne (systém CAVE).

## Bezpilotné lietadlá v lesníctve

**Ing. Martin Mokroš, PhD., Ing. Jozef Výboštok,  
doc. Ing. Ján Merganič, PhD.**

### Súhrn

Bezpilotné lietadlá (UAS) sa v súčasnom období javia ako vhodný nástroj získavania kvalitných a presných informácií o stave lesných ekosystémov v reálnom čase. UAS môžeme charakterizovať ako letecké prostriedky schopné letu a obrazového záznamu údajov s absenciou pilota na palube, ovládané pomocou ovládača prípadne pozemnej stanice. Vo svete v súčasnosti existuje veľké množstvo typov UAS s rôznymi úrovňami prepracovanosti, ktoré vďaka svojim výhodám našli svoje uplatnenie aj v lesnom hospodárstve. Zalietanie územia je dostupnejšie, efektívnejšie a flexibilnejšie ako pri pilotovanom lietadle. Zároveň nižšia výška letu poskytuje väčší detail a vyššiu rozpoznávajúcu schopnosť. V nasledujúcom texte sme sa zamerali na využitie UAS vo vzťahu k aktuálnym lesníckym problémom ktorým je monitorovanie vetrových kalamít lesných ekosystémov a hodnotenie množstva drevnej štiepky ako perspektívneho bio paliva.

### Bezpilotné lietadlá v lesníctve

Využitie bezpilotných lietadiel v lesníctve je objektom viacerých výskumov. Zároveň sa bezpilotné lietadlá začínajú používať aj v samotnej praxi a Slovensko nie je výnimkou. Pri použití v praxi ide hlavne o odhad objemu drevnej hmoty a drevnej štiepky na sklade. Vo výskume je záber širší. Práce sa zaoberajú zisťovaním zdravotného stavu lesných porastov (Smigaj a kol., 2015), mapovaním disturbancií (Aicardi a kol., 2016) greater attention should be devoted to prevention and resto-ration activities. Concerning in particular post-fire restoration actions, it is fundamental, together with a better understanding of ecological processes resulting from the disturbance, to define tech-niques and protocols for long-term monitoring of burned areas. This paper presents the results of a study conducted within an area affected by a stand-replacing crown fire (Verrayes, Aosta (AO, monitoringom lesných škodcov (Näsi a kol., 2015) miniaturized hyperspectral imaging technology is becoming available for small unmanned aerial vehicle (UAV, zisťovaním parametrov lesného porastu pre inventarizáciu lesa (Guerra-Hernández a kol., 2016) a detekciou lesných požiarov (Cruz a kol., 2016). Vo výskume prebiehajúcom na Lesníckej fakulte sme sa zamerali na dva objekty výskumu. Vetrovú kalamitu (Mokroš a kol., 2017) a hromady drevnej štiepky (Mokroš a kol., 2016).

### Odhad vetrovej kalamity

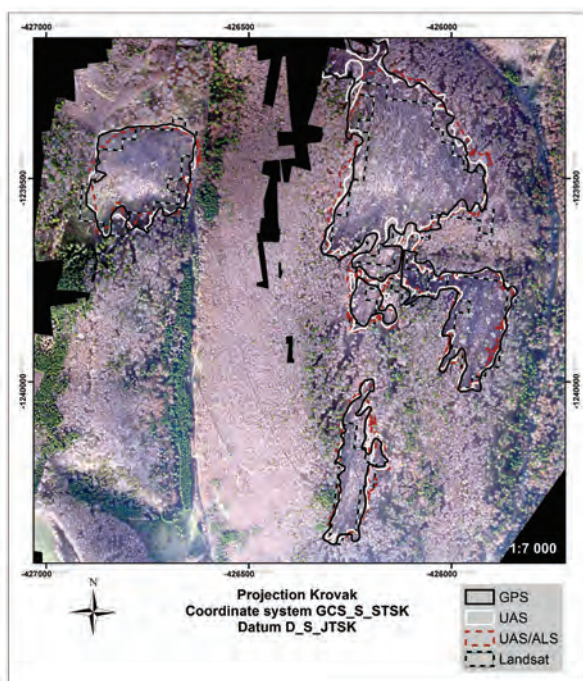
Vetrová kalamita Žofia zasiahla lesy Slovenskej republiky 14. a 15. mája v roku 2014. Je to druhá najväčšia zaznamenaná kalamita za posledné desaťročia (Kunca a kol., 2014). Rozsiahle poškodenie porastov sa nevyhlo ani lesným porastom, ktoré má v užívaní Vysokoškolský lesnícky podnik Technickej univerzity vo Zvolene. Naším cieľom bolo vytvoriť

a testovať postup na odhad rozsahu vetrovej kalamity v čo najkratšom čase po tejto udalosti.

Zamerali sme sa na 200 ha plochu, na ktorej sa vyskytlo päť väčších kalamitných plôch (od 0.75 ha do 12.69 ha) so sumárnou výmerou necelých 26 ha. Pre porovnanie sme použili dva ďalšie prístupy, ktoré sa momentálne využívajú v praxi. Kalamitné plochy boli preto zamerané GNSS (Global Navigation Satellite System) zariadeniami a odvodené zo satelitných snímok Landsat. Okrem plôch sme odhadovali aj samotný objem kalamitného dreva. Odhad sme porovnali s nameranými údajmi lesnej správy Budča.

Výsledky výmer kalamitných plôch boli v zhode z výmerami z GNSS zariadení. Pri kombinácii údajov z bezpilotného lietadla a leteckého laserového skenovania (ALS) sa detekcia kalamitných plôch signifikantne zefektívnila. Avšak nasadenie GNSS zariadení hneď po vetrovej kalamite je problematické z viacerých dôvodov. V prvom rade je veľké riziko zranení, ktoré môže vzniknúť pri prechode hranicami kalamitných plôch. Ďalším nedostatkom je zlý prehľad o celkovej situácii. Niektoré menšie plochy môžu ostať nepovšimnuté. Navyše do niektorých miest sa zo začiatku nie je možné dostať. Ak sme teda schopný poskytnúť porovnateľné výsledky, tak je účelnejšie a bezpečnejšie použiť bezpilotné lietadlo Obr. 1.

Z kombinácie výmery kalamitných plôch zistenej pomocou bezpilotného lietadla a údajov o porastoch z programu o starostlivosť o les sme boli schopný odhadnúť objem vyvrátenej drevnej hmoty. Náš odhad objemu sa líšil od nameraného objemu len o necelých 5% (11 173 m<sup>3</sup> verus 10 648 m<sup>3</sup>).



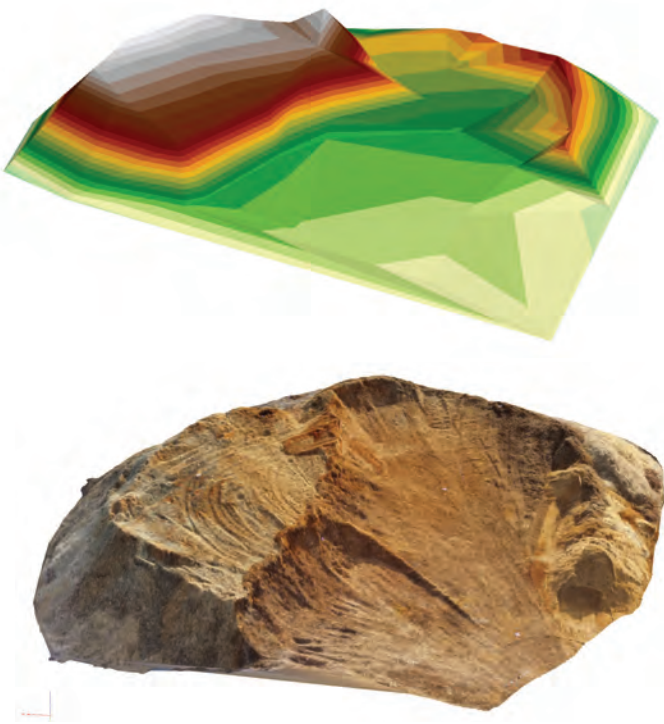
**Obr. 1** Náhľad na ortofotostánku s výslednými hranicami kalamitných plôch odvodených z GNSS zariadení z UAS z kombinácie UAS/ALS a Landsatu



## Odhad objemu hromady drevnej štiepky

Určenie objemu hromady drevnej štiepky uloženej na sklade je pomerne časovo náročná úloha, v prípade že sa používajú terestrické prístupy (napríklad meranie pomocou GNSS zariadenia). Zároveň sa operátor musí presúvať po hromade, čo zvyšuje riziko úrazu. Pri použití bezpilotného lietadla sa čas strávený terénnymi prácami môže znížiť až 20 násobne a operátor neprichádza do kontaktu s hromadou.

V našom výskume (Mokroš a kol., 2016) sme sa zamerali na štyri rôzne hromady drevnej štiepky. Pre porovnanie boli hromady zamerané GNSS zariadením (Trimble GeoExplorer 6000). Pri vytvorení modelu hromady z údajov bezpilotného lietadla je povrch vytvorený s veľkým detailom s minimálnym generalizovaním. Pri použití GNSS je povrch hromady značne generalizovaný (Obr. 2). Pri porovnaní času potrebného na zber údajov sa v prípade UAS pohyboval od 6 min. do 13 min. a v prípade GNSS od 72 min. do 192 min.



Obr. 2 Výsledný model povrchu hromady vytvorený s údajov GNSS (hore) a UAS (dole)

## PodĎakovanie

Táto práca vznikla vďaka podpore agentúry APVV v rámci projektov APVV-15-0714 a APVV-0069-12.

## Citované práce

AICARDI, I., GARBARINO, M., LINGUA, A., LINGUA, E., MARZANO, R., PIRAS, M., 2016. Monitoring Post-Fire Forest Recovery Using Multi-Temporal Digital Surface Models Generated From. EARSel eProceedings 15, 1–8. doi:10.12760/01-2016-1-01

CRUZ, H., ECKERT, M., MENESES, J., MARTÍNEZ, J.F., 2016. Efficient forest fire detection index for application in

Unmanned Aerial Systems (UASs). Sensors (Switzerland) 16. doi:10.3390/s16060893

GUERRA-HERNÁNDEZ, J., GONZÁLEZ-FERREIRO, E., SARMENTO, A., SILVA, J., NUNES, A., CORREIA, A.C., FONTES, L., TOMÉ, M., DÍAZ-VARELA, R., 2016. Using high resolution UAV imagery to estimate tree variables in Pinus pinea plantation in Portugal. For. Syst. 25. doi:10.5424/fs/2016252-08895

KUNCA, A., LEONTOVIČ, R., GALKO, J., ZÚBRIK, M., VAKULA, J., GUBKA, A., NIKOLOV, C., RELL, S., LONGAUEROVÁ, V., MAĽOVÁ, M., KONÓPKA, B., 2014. WINDTHROW ŽOFIA FROM MAY 15, 2014 IN SLOVAK FORESTS AND SUGGESTED CONTROL MEASURES Kunca, in: In Zborník Referátov Z Vedeckej Konferencie: „Dendrologické Dni v Arboréte Mlyňany SAV 2014“, 18.09.2014. Vieska Nad Žitavou: Arborétum Mlyňany SAV. pp. 105–112.

MOKROŠ, M., TABAČÁK, M., LIESKOVSKÝ, M., FABRIKA, M., 2016. Unmanned Aerial Vehicle Use for Wood Chips Pile Volume Estimation. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. XLI-B1, 953–956. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B1-953-2016

MOKROŠ, M., VÝBOŠŤOK, J., MERGANIČ, J., HOLLAUS, M., BARTON, I., KOREŇ, M., TOMAŠTIK, J., ČERŇAVA, J., 2017. Early Stage Forest Windthrow Estimation Based on Unmanned Aircraft System Imagery. Forests 8, 306. doi:10.3390/f8090306

NÄSI, R., HONKAVAARA, E., LYYTIKÄINEN-SAARENMAA, P., BLOMQUIST, M., LITKEY, P., HAKALA, T., VIJANEN, N., KANTOLA, T., TANHUANPÄÄ, T., HOLOPAINEN, M., 2015. Using UAV-Based Photogrammetry and Hyperspectral Imaging for Mapping Bark Beetle Damage at Tree-Level. Remote Sens. 7, 15467–15493. doi:10.3390/rs71115467

SMIGAJ, M., GAULTON, R., BARR, S.L., SUÁREZ, J.C., 2015. Uav-Borne Thermal Imaging for Forest Health Monitoring: Detection of Disease-Induced Canopy Temperature Increase. ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. XL-3/W3, 349–354. doi:10.5194/isprsarchives-XL-3-W3-349-2015



**Ing. Martin Mokroš, PhD.**

Autor ukončil doktorandské štúdium na Lesníckej fakulte, TU vo Zvolene. V súčasnosti pracuje ako vedecko výskumný pracovník na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie. Vo svojom výskume sa zameriava na pozemnú fotogrametriu a bezpilotné lietadla a ich využitie v lesníctve. Zároveň vyvíja multikamerový systém pre pozemnú fotogrametriu.



**Ing. Jozef Výboštok**

Autor je absolventom Lesníckej fakulty Technickej univerzity vo Zvolene. V súčasnosti je doktorand v študijnom programe Hospodárska úprava lesov. Jeho vedecká činnosť je zameraná na progresívne metódy v hospodárskej úprave lesov, predovšetkým získavanie informácií o stave lesa modernými

technologiami a plánovanie hospodárskych opatrení vo vzťahu na plnenie funkcií lesov s využitím rozhodovacích modulov.



**Doc. Ing. Ján Merganič, PhD.**

Je vedúci Katedry lesnej ťažby, logistiky a meliorácií a gestor predmetu Hospodárska úprava lesov. Zaoberá sa aj problematikou oceňovania lesa, modelovaním rastu lesa, disturbanciami v lesných ekosystémoch a alokáciou uhlíka v lesných ekosystémoch.

## Pozemné laserové skenovanie a blízka fotogrametria v lesníctve

doc. Mgr. Milan Koreň, PhD., Ing. Martin Mokroš, PhD.

### Súhrn

Pozemné laserové skenovanie a blízka pozemná fotogrametria patria medzi perspektívne metódy zberu 3D údajov o lesných porastoch. Husté bodové mračná zachytávajú presný tvar a polohu objektov. Ich spracovaním sa vytvárajú podrobné digitálne modely terénu s rozlíšením niekoľko centimetrov. Body terénu sa od bodov vegetácie oddeľujú segmentáciou bodového mračna. V bodovom mračne vegetácie sa dajú pomerne spoľahlivo identifikovať kmene stromov, určiť poloha jednotlivých stromov, odvodiť prsná hrúbka a výška stromov. Výhodou uvedených metód je, že dovoľujú odvodiť aj ďalšie parametre stromov, ktorých meranie klasickými postupmi je náročné a menej presné. Vytvárajú sa inovatívne postupy pre odvodenie hrúbky stromu v rôznych výškach nad terénom, výšky nasadenia koruny, tvaru a rozmerov koruny, indexu listovej plochy a ďalších charakteristík. Údaje z pozemného laserového skenovania a blízkej pozemnej fotogrametrie sa dajú použiť na vytvorenie realistických 3D modelov stromov a ich koreňového systému. Digitálne modely terénu odvodené z bodových mračen sú vhodným vstupom pre monitoring poškodenia pôdneho krytu, modelovanie erózie pôdy, mapovanie stavu lesných ciest a ďalšie aplikácie.

### Pozemné laserové skenovanie

Pozemné laserové skenovanie sa realizuje statickými alebo mobilnými laserovými skenermi. Statický skener je umiestnený na statíve a vytvorí 3D bodové mračno svojho okolia. Medzi mobilné laserové skenery patria personálne laserové skenery, alebo laserové skenery nesené dopravnými prostriedkami.

Personálne skenery sú malé zariadenia, ktoré môže niesť jedna osoba. Použitie nachádzajú pri mapovaní interiérov, ale aj pri mapovaní lesných porastov. Personálny skener má menší dosah ako statický skener a vytvára bodové mračno s nižšou hustotou a presnosťou. Jeho hlavná výhoda spočíva v mobilite.

Podobne na mobilné pozemné skenovanie môže byť použitý aj vhodný dopravný prostriedok, napr. traktor (Čerňava et al., 2017). Mobilné skenery sa používajú na mapovanie ciest a objektov v ich blízkom okolí. Konštrukcia mobilného skenera je náročnejšia, pretože je potrebné zaznamenávať polohu a vonkajšiu orientáciu skenera. Preto sú mobilné laserové skenery integrované s globálnymi satelitnými navigačnými systémami a inerciálnymi jednotkami.

V súčasnosti sa na skenovanie lesných porastov najčastejšie používa statické laserové skenovanie. Laserový skener je pripnutý na statíve, ktorý sa umiestni do vnútra lesného porastu (Obr. 1). Oproti leteckému laserovému skenovaniu má výhodu v tom, že dokáže podrobne zmerať celé kmene a koruny stromov. Prístroje pre pozemné laserové

skenovanie sú zvyčajne vybavené interným digitálnym fotoaparátom. Bodom z pozemného laserového skenovania sú potom priradené farby z fotografií. Farba bodu a intenzita odrazu laserového lúča sú dôležitou informáciou pre rozpoznávanie objektov v bodovom mračne.



**Obr. 1** Pozemný laserový skener Faro Focus 3D

Lesný porast sa skenuje z jedného alebo niekoľkých stanovíšť. Jednoskenové metódy sú jednoduchšie a rýchlejšie ako viacskenové. Pri jednoskenových metódach je veľkosť plochy limitovaná dohľadnosťou v lesnom poraste. Stromy sú zachytené len z jednej strany a v bodovom mračne sa nachádza veľa zatienených oblastí.

Z uvedených dôvodov sa lesný porast zvyčajne skenuje z viacerých stanovíšť, aby sa dosiahlo pokrytie celej plochy bodovým mračnom. Pre vyhodnotenie údajov je tiež vhodné, aby stromy a koruny boli naskenované zo všetkých strán. Jednotlivé skeny sa registrujú pomocou referenčných gúľ, alebo terčov. Tieto softvér rozpoznáva automaticky a na základe ich polohy vytvorí jedno spojené bodové mračno.

### Blízka pozemná fotogrametria

Druhou technológiou získavania trojrozmerných údajov o lesných porastoch je blízka pozemná fotogrametria. Pri blízkej pozemnej fotogrametrii sa vytvoria série fotografií jedného stromu alebo lesného porastu. Fotografie musia mať dostatočné prekrytie pre fotogrametrické spracovanie a súčasne musia úplne pokrývať modelovaný objekt (Niederheiser a kol., 2016). Na pokrytie celej výskumnej plochy je potrebné urobiť aj niekoľko stoviek fotografií. Vytvorenie 3D modelov a odvodenie bodového mračna zo súboru fotografií je automatizované, súčasne je však výpočtovo aj časovo náročné. Na registráciu a výpočet mierky bodového mračna sa používajú hlavne terče.

V porovnaní s pozemným laserovým skenovaním sú veľkou výhodou blízkej pozemnej fotogrametrie nižšie zriaďovacie náklady. Na zhotovenie fotografií sa dajú použiť bežne dostupné kompaktné digitálne fotoaparáty, alebo digitálne zrkadlovky. Fotografovanie lesných porastov sa dá urýchliť a skvalitniť použitím multikamerových systémov (Obr. 2).



Obr. 2 Multikamerový systém

Výsledné bodové mračná z blízkej pozemnej fotogrametrie sa spracovávajú rovnakým spôsobom ako údaje z pozemného laserového skenovania. Bodové mračná z blízkej pozemnej fotogrametrie zvyčajne majú nižšiu hustotu a presnosť ako bodové mračná z pozemného laserového skenovania (Obr. 3). Preto sa dá očakávať aj nižšia presnosť odvodených stromových charakteristík.

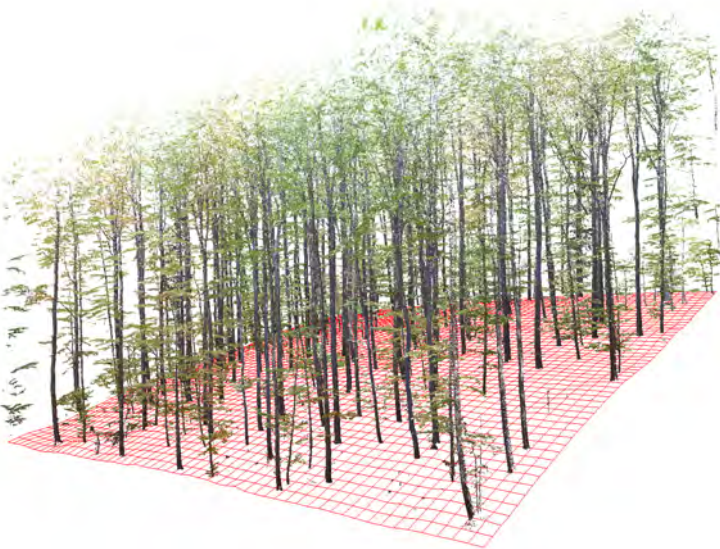


Obr. 3 3D model lesného porastu vytvorený blízkou pozemnou fotogrametriou

## Spracovanie bodových mračien

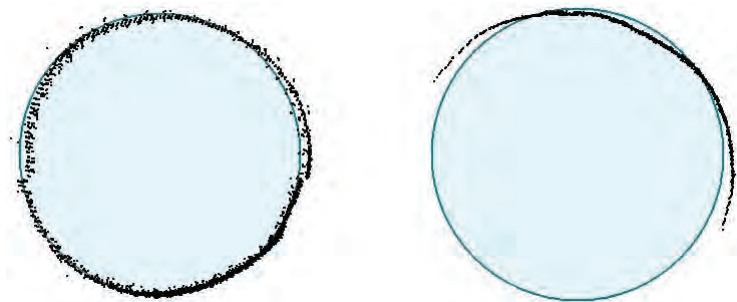
V súčasnosti sa intenzívne skúmajú a vyvíjajú postupy spracovania bodových mračien pre účely lesníctva. Metódy používané pre modelovanie priemyselných areálov, technických objektov, budov, sa nedajú aplikovať v lesnom prostredí. Objekty v lesnom poraste majú nepravidelné tvary, skladajú sa z množstva častí, vzájomne sa prekrývajú a zatieňujú. Cieľom je vyvinúť postupy spracovania bodového mračna, ktoré automatizovaným spôsobom umožnia odvodiť digitálny model terénu, digitálny model povrchu, identifikovať a merať stojace stromy.

V prvom kroku sa bodové mračno filtruje, aby sa jeho rozsah obmedzil na záujmové územie a odstránil sa prípadný šum. V ďalšom kroku sa z bodového mračna odvodí digitálny model terénu (Obr. 4). Na odvodenie boli vytvorené viaceré metódy. Medzi rýchle a často používané patrí metóda vertikálnej projekcie, ktorá pre každú bunku rastra vyhľadá bod s najmenšou zaznamenanou výškou. Vyhľadaním bodov s najväčšou zaznamenanou výškou sa dá odvodiť digitálny model povrchu, ktorý opisuje povrch lesných porastov a používa sa na určenie výšky stromov. Na vytvorenie detailných digitálnych modelov terénu sa používajú pokročilejšie metódy, ktoré filtrujú a vyhľadávajú body terénu podľa viacerých podmienok.



**Obr. 4 Segmentácia digitálneho modelu terénu a vegetácie**

Na identifikáciu stromov a meranie DBH sa používajú algoritmy, ktoré analyzujú geometrické vlastnosti bodového mračna. V bodovom mračne vyhľadávajú kružnice, elipsy, alebo valce. Medzi efektívne spôsoby patrí metóda rezu bodového mračna v stanovenej výške nad terénom (Obr. 5). V horizontálnom reze sa obvod stromov zobrazí formou kružníc, alebo ich častí. Tieto sa dajú automaticky vyhľadať a následne sa z nich vypočíta poloha a hrúbka stromu (Koreň et al., 2017).



Obr. 5 Horizontálny rez úplne a neúplne naskenovaným kmeňom stromu

Keď je známa poloha stromu, bodové mračno sa dá podrobnejšie klasifikovať a jednotlivé body priradiť k stromom. Podrobnou analýzou bodového mračna sa určí výška päty a vrcholu stromu. Na základe informácia o výške päty stromu sa dajú presne urobiť viacnásobné rezy bodového mračna stromu v rôznych výškach nad terénom. Z nich sa vypočítajú hrúbky stromu v rôznych výškach nad terénom.

Trojrozmerné modely lesných porastov vytvorené z bodových mračen sa vyznačujú vysokou vernosťou a detailnosťou. Vďaka detailnému zobrazeniu povrchov a použitiu fotografických textúr sú vhodným nástrojom pre štúdium tvaru a povrchu stromov, ako aj pre verné zobrazenie lesných porastov v počítačovej grafike. Údaje o polohe stromov, veľkosti kmeňov a korún dovoľujú vytvoriť simulácie rastu lesa v reálnych podmienkach (Fabrika a Pretzsch, 2013).

## Podakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore agentúry VEGA v rámci projektu VEGA 1/0881/17 Mobilný zber geografických údajov o lese a krajine.

## Literatúra

ČERŇAVA, J., TUČEK, J., KOREŇ, M., MOKROŠ, M. (2017). Estimation of diameter at breast height from mobile laser scanning data collected under a heavy forest canopy. *Journal of Forest Science*, 63 (9), pp. 433-441, doi:10.17221/28/2017-JFS

FABRIKA, M., PRETZSCH, H. (2013). *Forest ecosystem analysis and modelling*. Technical University in Zvolen, 620 p. ISBN 978-80-228-2506-1

KOREŇ, M., MOKROŠ, M., BUCHA, T. (2017). Accuracy of tree diameter estimation from terrestrial laser scanning by circle-fitting methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 63, pp. 122-128, doi:10.1016/j.jag.2017.07.015

NIEDERHEISER, R., MOKROŠ, M., LANGE, J., PETSCHKO, H., PRASICEK, G., ELBERINK, S. O. (2016). Deriving 3D point clouds from terrestrial photographs - Comparison of different sensors and software. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.* 41, 685-692. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B5-685-2016





**doc. Mgr. Milan Koreň, PhD.**

Pracuje na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie. Dlhodobu sa zaoberá problematikou geografických informačných systémov, zberu, spracovania a poskytovania geografických údajov.



**Ing. Martin Mokroš, PhD.**

Pôsobí ako vedecko-výskumný pracovník na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie. Venuje sa problematike blízkej pozemnej fotogrametrie, bezpilotným lietadlám a ich aplikáciám v lesníctve.

## Využitie automobilového laserového skenovania na hodnotenie poškodenia lesných ciest

**Ing. Michal Ferenčík, PhD., doc. Ing. Bc. Miroslav Kardoš, PhD.,<sup>\*</sup> Ing. Zuzana Slatkovská<sup>\*</sup>, Ing. Michal Allman, PhD.**

### Súhrn

Plánovanie viacúčelovej siete lesných ciest je nevyhnutným predpokladom pre napĺňanie cieľov trvalo udržateľného lesného hospodárstva. tento príspevok sa zaoberá využitím mobilného laserového skenovania pre zhodnotenie poškodenia lesných ciest. Meranie bolo vykonané na území Vysokoškolského lesníckeho podniku vo Zvolene. Dĺžka pokusného úseku lesnej cesty kategórie 1L bola 2050m. Tento úsek sme rozdelili na 41 sekcií s dĺžkou 50m. Skener (8 skenovacích jednotiek) bol namontovaný na osobnom automobile kategórie SUV. Zariadenie zaznamenávalo nasledujúce údaje: sklon, hĺbku poškodení, rozmery, plochy a objem jednotlivých poškodení, priemerné a sumárne údaje pre jednotlivé sekcie a pre celý úsek. Priemerná rýchlosť skenovania bola 24.8 km.h<sup>-1</sup> a meranie trvalo 4.95 min. Zaznamenali sme celkovo 6 790 jednotlivých poškodení (priemerne 165 na jednej 50m sekcii). Objem potrebný na vyplnenie priemernej sekcie bol 1.08 m<sup>3</sup> (44.15 m<sup>3</sup> pre celý skenovaný úsek). Štatistická analýza potvrdila, že počet poškodení aj ich objem na jednotlivých sekciiach závisel od vzdialenosti sekcie od začiatku merania, t. j., že poškodenie cesty rástlo smerom dole svahom (v smere odvozu dreva). Táto technológia sa javí ako veľmi efektívna, rýchla a presná metóda získavania údajov o poškodení lesných ciest pre lesnú prevádzku, ale aj pre výskumné účely.

### Problematika

Základom optimálneho obhospodarovania lesov a lesných porastov je raciónálne sprístupnenie lesnou dopravnou sieťou, ktorej základnú kostru tvoria väčšinou jednopruhové lesné odvozné cesty. Cesty sú dôležitým prvkom rozvoja civilizácie pre udržanie ekonomickej aktivity a kvality moderného života (Lugo, Gucinski, 2000). Obhospodarovanie lesov, lesná ťažba, manažment zveri, rekreačné aktivity si vyžadujú sprístupnenie, ktoré poskytujú lesné cesty (Demir, 2007).

Veľmi dôležité najmä z hľadiska sprístupnenia lesných oblastí je dodržanie optimálnej hustoty lesných ciest. Optimálny rozostup lesných ciest môže byť ovplyvňovaný rôznymi faktormi, ktoré majú vplyv na hustotu cestnej siete, predovšetkým ťažbová metóda, režijné náklady, hodnota dreva, veľkosť skladov, sklon, topografické pomery, potenciál daného územia pre výstavbu lesných ciest, prístupnosť lesných porastov pre ťažbu (Najafi et al., 2008).

V priebehu ťažbovo dopravného procesu je vyvíjaný zvýšený tlak na lesnú cestnú sieť pohybom technológií, sústreďovaním a odvozom dreva. Z tohto dôvodu vznikajú rôzne typy poškodení a porúch na lesných cestách. Poruchy

vozovky sú javy, ktoré vznikajú následkom pôsobenia vonkajších mechanických, fyzikálnych, chemických a iných vplyvov, ktoré spôsobujú poškodzovanie povrchu vozovky a ovplyvňujú jej prevádzkové funkcie a únosnosť jej konštrukcie. V súčasnosti sa na hodnotenie tohto poškodenia (najmä výtlkov a prasklín) využíva terénna prehliadka a manuálne meranie (dĺžka, šírka, výška) na základe ktorého sa výsledok zapisuje do terénneho zápisníka a zatrieduje podľa katalógových listov. V súčasnom období sa začínajú dostávať do popredia metódy mobilného laserového skenovania, ktoré sa používajú najmä vo verejnom sektore (verejné cesty, diaľnice). Laserové skenovacie systémy môžu byť rozdelené do štyroch kategórií (Wu et al., 2013):

- Satelitné laserové skenovanie (SLS),
- Letecké laserové skenovanie (ALS),
- Mobilné laserové skenovanie (MLS),
- Pozemné laserové skenovanie (TLS).

Ako najvhodnejšia v našom prípade sa javí metóda MLS. MLS umožňuje rýchle vykonanie 3D meraní a modelovanie povrchov lesných ciest (Jaakkola et al., 2008). Tento systém sa v súčasnosti používa na spracovanie údajov do 3D modelov a jeho význam do budúcnosti bude rásť najmä pre navigáciu vozidiel, navigáciu chodcov a lokalizačné služby (Kaartinen et al., 2012). Systémy MLS sú väčšinou montované na automobiloch a produkujú bodové mraky a/alebo panoramatické zábery, ktoré umožňujú extrahovať povrch cesty. Tieto informácie umožňujú rýchlym, jednoduchým a dostatočne presným spôsobom kvantifikovať mieru poškodenia a tým následné náklady na opravu a údržbu lesnej cestnej siete. V porovnaní s bežne používanými metódami hodnotenia poškodenia v lesníctve, ktoré sú založené na ručnom meraní poškodenia posuvnými meradlami ide o pokrokovú a veľmi aktuálnu metódu, ktorá má široké využitie.

V spolupráci s Katedrou hospodárskej úpravy lesa a firmou KVANT s. r. o. sme mali možnosť otestovať praktickú využiteľnosť mobilného skenovacieho zariadenia pre zistenie poškodení zvoleného úseku lesnej cesty.

## Praktické využitie laserového skenovania

Pre testovanie skenera sme zvolili úsek spevnenej lesnej odvoznej cesty kategórie 1L (STN 736108) na území VŠLP na SZ od Zvolena. Výška ťažby na VŠLP v r. 2016 dosiahla 68 236 m<sup>3</sup> (16 094 m<sup>3</sup> ihličnatého a 51 942 m<sup>3</sup> listnatého dreva). Dĺžka odvozných ciest (1L, 2L, ostatné) je nasledovná: lesné cesty 190km, zväžnice 272km, hustota 47,5 m.ha<sup>-1</sup>. Objem odvozu za rok 2016 z OM, bol 67 457 m<sup>3</sup>. Sledovaný úsek cesty v dĺžke 2050 m bol celoročne intenzívne využívaný na odvoz dreva a jeho bitúmenový povrch bol viditeľne poškodený. GPS súradnice začiatku úseku boli: N 48° 36' 56.79892" E 19° 02' 42.13752"; súradnice koncového úseku: N 48° 38' 00.20363" E 19° 02' 52.33041" (ETRS 89). Skenovanie pokusného úseku začalo v najnižšom bode a postupovalo hore svahom do najvyššieho bodu úseku, teda proti smeru odvozu dreva. Celý úsek sme rozdelili na 41 sekcií, pričom každá mala dĺžku 50m. Číslovanie sekcií sa zhodovalo so smerom skenovania, teda č. 1 bola 1. sekcia, č. 41 posledná sekcia. Pre každú sekciu sme zaznamenávali nasledujúce

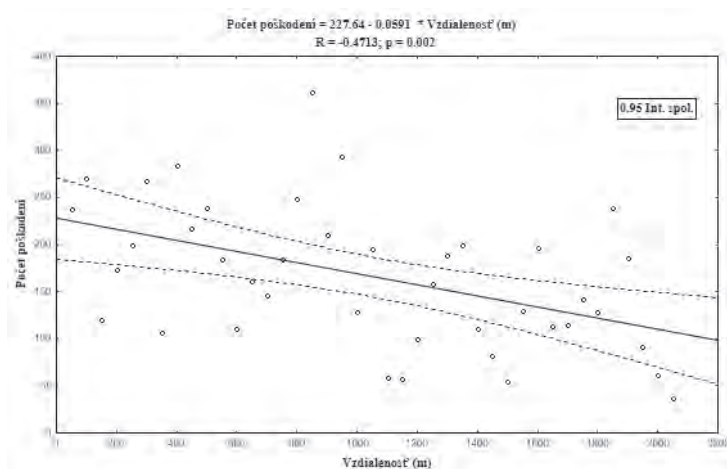
údaje: priemerný sklon, celkový objem poškodení za sekciu, počet poškodení a priemerná veľkosť jedného poškodenia.

Na skenovanie povrchu cesty bolo použité mobilné skenovacie zariadenie ROADSCANNER od firmy KVANT s.r.o. (www.kvant.sk) namontované na zadnej časti motorového vozidla kategórie SUV (Obr. 1).



Obr. 1 Mobilné skenovacie zariadenie namontované na vozidle kategórie SUV

Priemerná rýchlosť skenovania bola  $24,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a čas  $4,95 \text{ min}$ , čiže približne 4 až 5 krát vyššia ako pri terénnej pochôdzke. Na sledovanom úseku cesty sme celkovo zaznamenali 6790 jednotlivých poškodení, ktorých sumárny objem bol  $44.15 \text{ m}^3$  (objem materiálu, ktorý je potrebné doplniť v rámci opravy sledovaného úseku). Na jednej pokusnej sekcii bolo zaznamenané v priemere 165 poškodení. Počet poškodení na jednotlivých úsekoch je premenlivý, ale s viditeľným trendom nárastu smerom dolu svahom, čiže v smere odvozu dreva (Obr. 2), ktorý bol potvrdený ako štatisticky významný. Tento trend je spôsobený smerom odvozu dreva, pričom objem odvezeného dreva rastie v smere odvozu, rastúcou spádovou oblasťou, z ktorej drevo gravituje na daný úsek cesty a pripájaním bočných ciest.



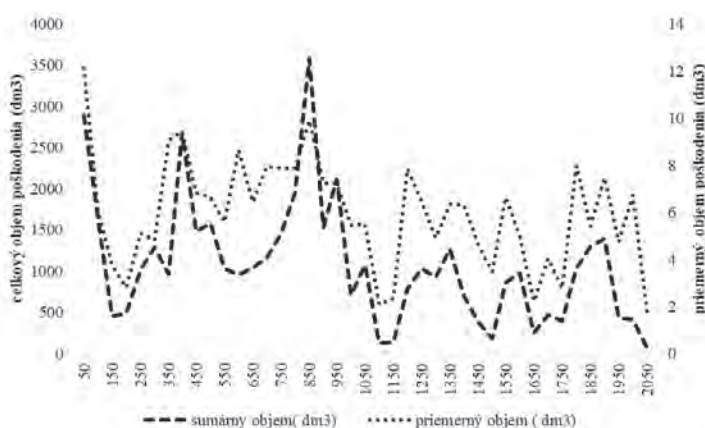
Obr. 2 Závislosť počtu poškodení v jednotlivých sekciách od vzdialenosti od začiatku

Ďalším faktorom, ktorý ovplyvňuje intenzitu poškodenia lesných ciest je pozdĺžny sklon cesty. Priemerný sklon celého meraného úseku cesty bol  $5,03^\circ$  (Tab.1), čo zodpovedá limitu predpísanému normou (STN 736108) pre danú kategóriu ciest. Závislosť počtu poškodení od sklonu sa nepotvrdila ako významná, čo je spôsobené pomerne vyrovnaným sklonom v rámci celého sledovaného úseku cesty.

**Tab.1** Prehľad zistených údajov o poškodení meraného úseku lesnej cesty

Veličina	Priemer	Min	Max	$s_x$
Sklon ( $^\circ$ )	5,03	1,49	8,45	1,49
Celkový objem poškodení ( $m^3$ )	1,08	0,07	3,58	0,76
Objem stredného poškodenia v sekcii ( $m^3$ )	0,007	0,003	0,011	0,002
Priemerná hĺbka koľaje (cm)	4,48	1,26	7,12	1,24
Max. hĺbka koľaje (cm)	19,96	6,22	32,13	5,00
Celková plocha poškodení v sekciiach ( $m^2$ )	19,7	3,94	51,02	10,77
Priemerná veľkosť poškodení v sekciiach ( $m^2$ )	0,12	0,07	0,19	0,03

Priemerná hodnota celkového objemu poškodení (výtlkov a trhlín) v jednotlivých sekciiach bola  $1,08 m^3$  (tab. 1). Pre závislosť medzi priemernými hodnotami objemu poškodení a vzdialenosťou od začiatku merania (Obr. 3) platí to isté ako v prípade závislosti počtu poškodení od vzdialenosti. Priemerná veľkosť jednotlivého poškodenia bola  $0,007 m^3$  (tab.1).



**Obr.3** Celkový a priemerný objem poškodení, zistených v jednotlivých sekciiach v závislosti od vzdialenosti sekcie od začiatku merania.

V prípade vzniknutých poškodení je z hľadiska možnosti prevádzky vozidiel dôležitá hodnota maximálnej hĺbky poškodenia, pretože aj jedno hlboké poškodenie môže výrazne obmedziť, prípadne znemožniť prevádzku na danom úseku cesty. Tu sme zaznamenali max. hĺbku poškodenia 32,13 cm (tab. 1), čo možno považovať za výrazné

obmedzenie prevádzky. Celková zaznamenaná plocha poškodení na celom úseku dosiahla 807.52 m<sup>2</sup>, čo predstavuje 9,8% plochy sledovaného úseku (šírka cesty 4 m a dĺžka 2050 m). Priemerná veľkosť poškodenia na jednu sekciu bola 19,7 m<sup>2</sup> (9,85%) Priemerná zistená veľkosť individuálneho poškodenia bola 0,12 m<sup>2</sup> (Tab. 1).

Podrobný prieskum vyššie spomínaných veličín sa v našich prevádzkových podmienkach stále vykonáva prostredníctvom pochôdzky spojenej s manuálnym meraním jednotlivých poškodení. Rýchlosť ľudskej chôdze, ktorá sa pohybuje okolo 4 - 6 km.h<sup>-1</sup> v kombinácii so zdĺhavým meraním si vyžaduje značný časový fond, pre dostatočne podrobné stanovenie údajov potrebných pre analýzu poškodení. Využitie najmodernejšej technológie mobilného laserového skenovania, pri dosiahnuteľnej rýchlosti pohybu nosného vozidla okolo 40 - 60 km.h<sup>-1</sup> (v závislosti od povrchu a stupňa poškodenia meranej cesty), v spojení s automatizovaným snímaním údajov v priebehu jazdy (bez vplyvu na jej rýchlosť) umožňuje výrazne zvýšiť efektívnosť a presnosť získavania údajov. Tieto údaje sú veľmi dobre využiteľné ako pre výskumné, tak aj pre praktické účely lesníckej prevádzky, kde umožňuje presné určenie množstva materiálu potrebného pre opravu ciest a aj lokalizáciu jednotlivých poškodení. Meracie zariadenie ROADSCANNER ([www.kvant.sk](http://www.kvant.sk)) využité v tomto pilotnom projekte sa v praxi využíva napríklad na hodnotenie kvality povrchu diaľnic po ich dobudovaní. Podobnú metódu využil kolektív autorov (Chen et al., 2013) pre hodnotenie poškodenia povrchu betónových cestných stavieb, vrátane hodnotenia strát hmoty spôsobených kolíziami s vozidlami, koróziou nosnej konštrukcie a povrchovou eróziou. Spracované údaje z takéhoto merania poskytujú statikom kritické informácie nevyhnutné pre posúdenie bezpečnosti cestných stavieb, ktoré doteraz používanými metódami (fotogrametricky, alebo prostredníctvom fotografií) nebolo možné zistiť. Na základe tohto pilotného projektu možno konštatovať, že táto technológia je veľmi perspektívna pre automatizované získavanie a spracovanie podrobných a veľmi presných údajov o lesných cestách. Tieto údaje môžu poslúžiť na vyhodnotenie miery ich poškodenia, ako aj na tvorbu ich presných 3D modelov použiteľných pre navigáciu, ďalší výskum, hodnotenie stavu, plánovanie stavby nových ciest a pod. Túto metodiku chceme v budúcnosti podrobnejšie rozpracovať v rámci práve predloženého výskumného projektu grantovej agentúry APVV.

## Odporúčania pre prax:

Vzhľadom na to, že v súčasnom období sa v hospodársko-úpravníckom plánovaní obnovili z prostriedkov rozvoja vidieka v rámci Programov starostlivosti o lesy (PSoL) aj prieskumy lesnej dopravnej siete, odporúčame pri ich realizácii využívať najmodernejšie technológie laserového skenovania (mobilné skenery, využitie dronov, letecké skenovanie). Tieto technológie produkujú dostatočne presné výstupy pre:

- identifikáciu polohy ciest v teréne,
- identifikáciu jednotlivých objektov (mosty, priepusty, odrážky, závary a pod),

- zisťovanie objemu poškodení a ich lokalizáciu,
- plánovanie výstavby nových ciest z ohľadom na prevádzkové, ekonomické aj ekologické kritériá.

Pri vhodnej kombinácii spomínaných metód je možné získať potrebný rozsah údajov pri únosnej miere nákladov.

## PodĎakovanie

Na tomto mieste sa chceme poďakovať firme KVANT s. r. o. za poskytnutie meracej technológie a prístup k softvéru pre spracovanie nameraných dát. Príspevok vznikol na základe projektu VEGA 1/0471/17 "Modelovanie technicko - ekonomických a environmentálnych parametrov odvozu dreva v podmienkach lesného hospodárstva SR."

## Literatúra

CHEN, S. E., LIU, W., BIAN, H., SMITH, B. (2013). 3D LiDAR scans for bridge damage evaluations. In *Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow* (pp. 487-495).

DEMIR, M. 2007. Impacts, management and functional planning criterion of forest road network system in Turkey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(1), 56-68.

JAAKKOLA, A.; HYYPPÄ, J.; HYYPPÄ, H.; KUKKO, A. (2008). Retrieval algorithms for road surface modelling using laser-based mobile mapping. *Sensors*, 8, 5238-5249

KAARTINEN, H., HYYPPÄ, J., KUKKO, A., JAAKKOLA, A., HYYPPÄ, H. (2012). Benchmarking the performance of mobile laser scanning systems using a permanent test field. *Sensors*, 12(9), 12814-12835.

LUGO, A. E., GUCINSKI, H. 2000. Function, effects, and management of forest roads. *Forest ecology and management*, 133(3), 249-262.

NAJAFI, A., SOBHANI, H., SAEED, A., MAKHDOM, M AND MOHAJER, M.M. (2008) Planning and assessment of alternative forest road and skidding networks. *Croatian J. For. Eng.* 29(1): 63-73.

STN 736108 Forest Transportation Network, Slovak technical standard

WU, B., YU, B., YUE, W., SHU, S., TAN, W., HU, C., ... & LIU, H., 2013. A voxel-based method for automated identification and morphological parameters estimation of individual street trees from mobile laser scanning data. *Remote Sensing*, 5(2), 584-611.

<http://www.kvant.sk/>



**Ing. Michal Ferenčík, PhD.**

Odborný asistent, zameriava sa na výskum negatívnych dopadov ťažbovo dopravných technológií pri sústreďovaní dreva na environment, ergonómiu a bezpečnosť pri práci v lesníctve a na sprístupňovanie porastov lesnou cestnou sieťou.



**doc. Ing. Bc. Miroslav Kardoš, PhD.**

Zameriava sa na racionalizáciu lesníckeho mapového diela, využitie diaľkového prieskumu zeme, fotogrametriu, identifikáciu a automatizovanou interpretáciou prvkov lesného mapovania (JPRL, budovy, cesty).



**Ing. Zuzana Slatkovská**

Doktorandka na katedre Hospodárskej úpravy lesov a geodézie so zameraním na problematiku DPZ konkrétne na možnosti interpretovania prvkov lesníckeho mapovania z údajov leteckého a pozemného laserového skenovania.



**Ing. Michal Allman, PhD.**

Vedecko-výskumný pracovník, vo svojom výskume sa zaoberá štúdiom ťažbovo dopravných technológií, ťažbovo dopravnej erózie, environmentálnych dopadov technológií na životné prostredie a bezpečnosti práce v oblasti lesníckych činností.



## Aké hrozia biologické riziká pri dlhodobom skladovaní lesných štiepok

Ing. Miloš Gejdoš, PhD., Ing. Martin Lieskovský, PhD.

### Súhrn

Pri veľkom rozvoji obnoviteľných zdrojov energie na báze dreva sa často zabúda na možné zdravotné riziká vyplývajúce z dlhodobého skladovania biomasy a následnej manipulácie s ňou. V odstupe pol roka a rok od založenia hromád sme analyzovali veľkokapacitné hromady lesných štiepok v štyroch teplárňach mestského typu, ktoré sa nachádzajú priamo v intravilánoch miest. Opakované analýzy po odberoch potvrdili v povrchových aj podpovrchových vrstvách štiepok prítomnosť vysokého počtu spór húb a plesní, ktoré predstavujú veľmi vážne riziko pre ľudské zdravie. Celkovo bolo identifikovaných až 17 druhov húb a plesní, ktoré spôsobujú rôzne typy ochorení. S predĺžením času skladovania sa tiež zvýšil priemerný počet spór tvoriacich jednotku kolónie na 1 gram. Zásadný vplyv pri tom má aj vývoj počasia počas roka. Spóram húb a plesní najlepšie vyhovuje priemerná ročná teplota okolo 10°C a priemerný úhrn ročných zrážok okolo 1000 mm.

### Biomasa obnoviteľný zdroj energie a jej riziká

Obnoviteľné zdroje energie na báze dreva naberajú čoraz viac na význame a popularite. S ich rastúcou spotrebou sa do popredia dostáva aj otázka ich kvality (Gejdoš et al. 2015). Kvalitu v konkrétnych prípadoch ovplyvňuje metóda výroby a proces skladovania (Cavalli & Grigolato, 2010; Schweier et al. 2016). S nárastom počtu prevádzok, využívajúcich ako zdroj energie drevné štiepky, sa čoraz častejšie vyskytujú otázky zdravotných a bezpečnostných rizík pri ich produkcii a skladovaní. Ako najrizikovejšie faktory pre ľudské zdravie sú z tohto pohľadu hodnotené riziká spojené s aktivitou húb a plesní v hromadách štiepok a vdychovanie dreveného prachu pri manipulácii s nimi (Thörnquist & Lundström, 1982; Pratt & May, 1984; Samson et al. 2001; Pietryczuk et al. 2013). V teplárňach mestského typu sa na Slovensku využíva najčastejšie skladovanie štiepok prostredníctvom veľkokapacitných hromád (nad 1 tonu), ktoré sú uložené voľne a sú tak vystavené poveternostným vplyvom. Prísun a odsun suroviny na takýchto hromadách často nemá kontinuálny charakter. Skládky a samotné prevádzky teplární sa tiež často vyskytujú priamo v intravilánoch obcí a miest. Takýto spôsob skladovania ešte viac znásobuje riziko vzniku zdraviu škodlivých húb a plesní (Sebastian et al. 2006; Alakoski et al. 2016). Pracovníci a ani obyvatelia, ktorí priamo susedia s areálmi teplární nie sú o rizikách takéhoto skladovania biomasy dostatočne informovaní. Chýba príslušná legislatíva a možnosti kontrol, aby sa takéto riziká a ich vplyv na ľudské zdravie mohol eliminovať.

Cieľom práce bol monitoring a analýza hlavných biologických rizík (aktivita húb a plesní) pri dlhodobom skladovaní energetických štiepok. Analýza prebiehala na 4 dlhodobých skladoch drevných štiepok v teplárňach mestského typu, s areálom v intraviláne obcí na Slovensku.

## Metodika práce

Hromady štiepok v teplárňach boli vytvorené v marci a apríli 2015. Plocha hromád bola 2002 m<sup>2</sup>, 1984 m<sup>2</sup>, 1754 m<sup>2</sup> a 231 m<sup>2</sup>. Objem skladovaných štiepok na skládkach bol 4713 m<sup>3</sup>, 4989 m<sup>3</sup>, 3596 m<sup>3</sup> a 242 m<sup>3</sup>. Prvý odber vzoriek bol vykonaný 29. 10. 2015 (skladovanie viac ako pol roka) a druhý odber vzoriek bol vykonaný 28. 10. 2016. 80% objemu štiepok bolo z buka a 20% zo smreka a jedle. Z každej hromady bolo odobratých 5 vzoriek (spolu v prvom a druhom termíne 40 vzoriek), pričom 3 vzorky boli vždy z povrchu hromady a 2 vzorky z hĺbky 0,5 m (Obrázok 1).



Obr. 1 Odber vzoriek v teplárni

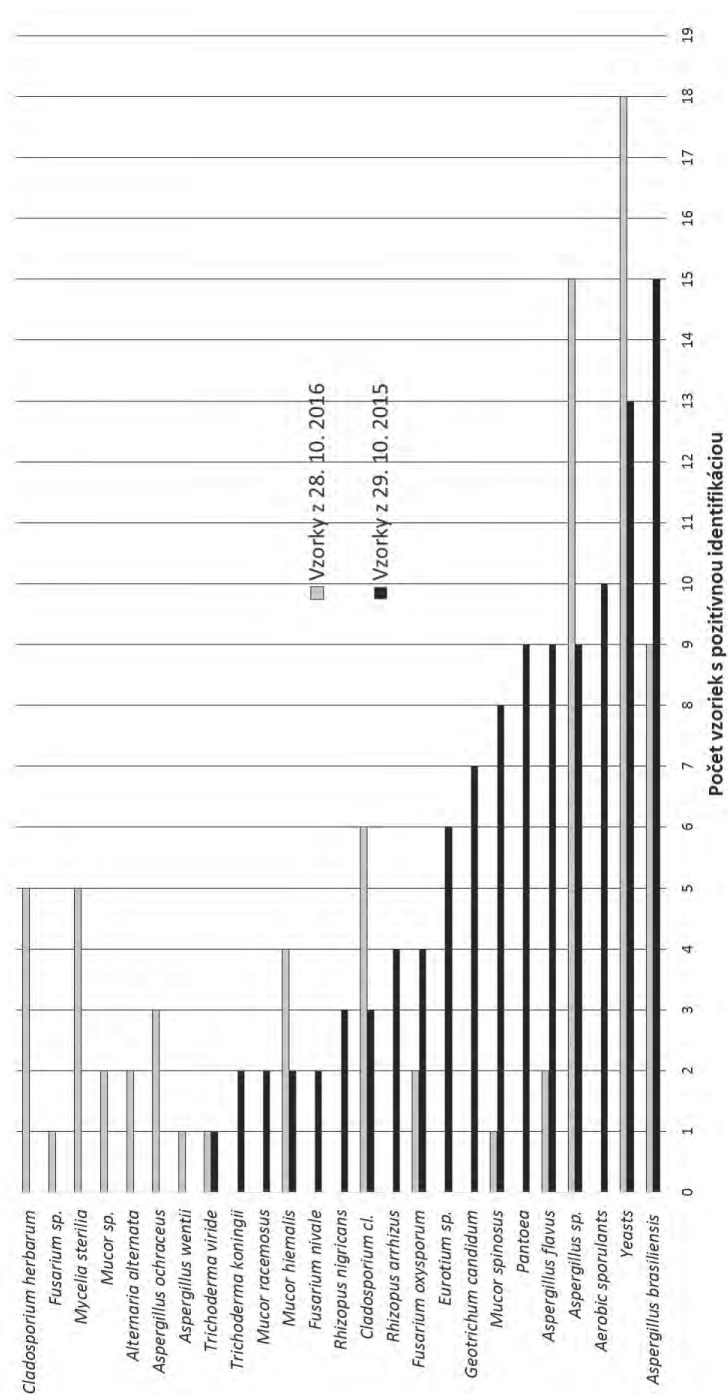
Mikrobiologickú analýzu húb v hromadách vykonalo akreditované laboratórium Regionálneho úradu verejného zdravia v Poprade podľa STN 560100. Pre kvalitatívnu identifikáciu mikroskopických húb bolo použité agarové médium. Presný laboratórny postup a spôsob určenia počtu kolónií tvoriacich jednotku (CFU.g<sup>-1</sup>) je popísaný v (Lieskovský et al. 2017).

## Identifikované hubové riziká v hromadách lesných štiepok

Pri prvej analýze (29. 10. 2015) boli v každej vzorke identifikované minimálne dva druhy húb. Vo vzorkách č. 1 až 10 (skládky 1 a 2) boli tiež identifikované aeróbne sporulanty. Kvasinky boli identifikované celkovo v 13 vzorkách. Pri opakovanom odbere po 1 roku (28. 10. 2016) neboli spóry húb a plesní identifikované v jednej vzorke z hĺbky 0,5 m, na skládke č. 2. Kvasinky boli identifikované v 18 z 20 vzoriek.

Najčastejšie identifikované druhy boli: *Aspergillus brasiliensis* (v 15 vzorkách z prvého odberu a v 9 vzorkách z odberu po 1 rokom); kvasinky boli identifikované v 13 vzorkách (v 18 vzorkách z odberu po 1 roku); *Aspergillus flavus* v 9 vzorkách z prvého odberu a v 2 vzorkách z odberu

po 1 roku), *Mucor spinosus* (v 8 vzorkách z prvého odberu a v 1 vzorke z odberu po 1 roku); spóry rodu *Aspergillus* boli identifikované v 9 vzorkách z prvého odberu a v 15 vzorkách z odberu po 1 roku. Menej často sa vyskytovali druhy *Trichoderma viride*, *Trichoderma koningii*, *Aspergillus wentii*, *Mycelia sterilia*, *Cladosporium herbarum*, *Mucor racemosus*, *Mucor hiemalis* a *Fusarium nivale*. Prehľad jednotlivých identifikovaných druhov vo vzorkách je na obrázku 2. Rovnaké spóry druhov húb a plesní pri oboch odberoch boli identifikované celkovo v 9 prípadoch.

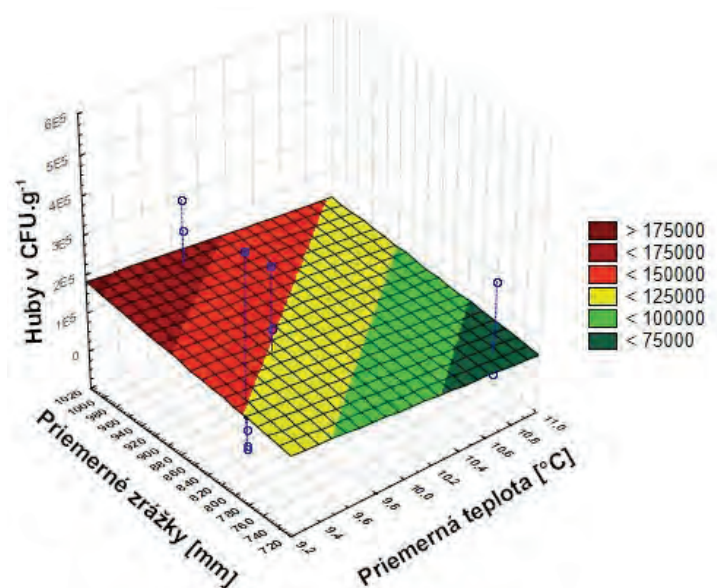


Obr. 2 Počet vzoriek s pozitívnou identifikáciou jednotlivých druhov húb a plesní N

Na prvých dvoch skládkach bola maximálna početnosť kolónií húb a plesní kvantifikovaná v povrchových vzorkách č. 4 a 6. Vysoký počet kolónií bol taktiež zaznamenaný vo vzorkách odobratých z hĺbky 0,5 m. Na skládkach č. 3 a 4, bol najväčší počet kolónií húb a plesní identifikovaný vo vzorkách z hĺbky 0,5 m. Tieto výsledky potvrdzujú, že miesto odberu vzoriek 0,5 m pod povrchom, ani v prípade väčších hromád signifikantne neovplyvňuje početnosť výskytu zdraviu škodlivých húb a plesní.

Po opakovanom odbere bola koncentrácia spór vo vzorkách výrazne vyššia. V priemere koncentrácia spór vo vzorkách na všetkých štyroch lokalitách stúpila o 456 907 CFU.g<sup>-1</sup>. To potvrdzuje, že s predlžovaním doby skladovania stúpa riziko infekcie patogénnymi spórmi v dôsledku ich vyššej koncentrácie. Rovnako bol identifikovaný väčší počet druhov húb a plesní vo vzorkách z druhého odberu, s výnimkou skládky č. 2, kde pri druhom odbere bolo potvrdených 7 druhov patogénnych húb a plesní.

Štatistická analýza vývoja atmosférickej teploty a úhrnu zrážok potvrdila význam týchto parametrov na vývoj identifikovaného počtu patogénov. Po odbere vzoriek uskutočnenom po jednom roku skladovania možno vyvodit záver, že najvyššia koncentrácia patogénnych spór bola pri priemernej ročnej teplote 10°C a priemerných zrážkach okolo 1000 mm za rok (obrázok 3).



Obr. 3 Výskyt spór húb v závislosti od teploty vzduchu a zrážok

Pri posudzovaní vplyvu mikroskopických húb na pracovníkov manipulujúcich s energetickými štiepkami nie je podstatný len ich počet, ale najmä ich druh. Z celkového počtu 25 identifikovaných mikroskopických húb až 17 druhov potenciálne spôsobuje rôzne typy ochorení. Nebezpečné sú najmä druhy z rodov *Aspergillus*, *Mucor* a *Rhizopus*. Spôsobujú závažné ochorenia, ktoré bývajú označované aj ako jedny z najagresívnejších mykotických infekcií, s vysokým percentom mortality (Malíř & Ostrý, 2003). Okrem týchto infekčných druhov boli v hromadách identifikované aj

druhy s vysokou toxicitou. Rody ako *Aspergillus*, *Fusarium* a *Trichoderma* bývajú označované ako najvýznamnejšie toxikogénne mikroskopické huby produkujúce karcinogénne mykotoxíny (alfatoxín B1 a B2, ochratoxín A a fumonizín) (Pitt, 2000).

## Podakovanie

Príspevok vznikol na základe výsledkov výskumu riešeného v projektoch: KEGA 013TU Z-4/2017 E-learningové vzdelávacie moduly zamerané na plantáže rýchlorastúcich drevín.

## Literatúra

- ALAKOSKI, E., JAMSEN, M., AGAR, D., TAMPIO, E., WIHERSAARI, M. 2016. From wood pellets to wood chips, risks of degradation and emissions from the storage of woody biomass - A short review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* **54**, 376, ISSN: 1364-0321.
- CAVALLI, R., GRIGOLATO, S. 2010. Influence of characteristics and extension of a forest road network on the supply cost of forest woodchips. *Journal of Forest Research-JPN*, **15**, (3), ISSN: 1341-6979, 202.
- GEJDOŠ, M., LIESKOVSKÝ, M., SLANČÍK, M., NĚMEC, M., DANIHELOVÁ, Z. 2015. Storage and Fuel Quality of Coniferous Wood Chips. *Bioresources* **10**, (3), 5544, ISSN: 1930-2126,
- PIETRYCZUK, A., GÓRNIĄK, A., S., WIĘCKO, A., CUDOWSKI, A. 2013. Biomass and Abundance of Aquatic Fungi in a Polyhumic Dam Reservoir. *Polish Journal of Environmental Studies* **22**, (3), 819.
- PRAATT, D. S., MAY, J. J. 1984. Feed-associated respiratory illness in farmers. *Arch Environ Health* **39**, 43.
- SAMSON, R. A., HOUBRAKEN, J., SUMMERBELL, R. C., FLANNIGAN, B., MILLER, J. D. 2001. Common and important species of fungi and actinomycetes in indoor environments. *Microorganisms in Home and Indoor Work Environments*. New York – Taylor & Francis, pp. 287-292.
- SEBASTIAN, A., MADSEN, A. M., MARTENSSON, L., POMORSKA, D., LARSSON, L. 2006. Assessment of microbial exposure risks from handling of biofuel wood chips and straw - Effect of outdoor storage. *Ann. Agr. Env. Med.* **13**, (1), 139, ISSN: 1232-1966.
- SCHWEIER, J., SCHNITZLER, J., P., BECKER, G. 2016. Selected environmental impacts of the technical production of wood chips from poplar short rotation coppice on marginal land. *Biomass & Bioenergy* **85**, 235, ISSN: 0961-9534.
- THÖRNQUIST, T., LUNDSTRÖM, H. 1982. Health hazards caused by fungi in stored wood chips. *Forest products Journal* **32**, 29.
- STN 56 0100, Mikrobiologické skúšanie požívateľín, predmetov bežnej spotreby a prostredia potravinárskych prevádzok, 1968.
- LIESKOVSKÝ, M., GEJDOŠ, M., MESSINGEROVÁ, V., NĚMEC, M., DANIHELOVÁ, Z., MORAVČÍKOVÁ, V. 2017. Biological Risks from Long-Term Storage of Wood Chips. *Polish Journal of Environmental Studies*, **26** (6), 2633. DOI: 10.15244/pjoes/70630.
- MALÍŘ, F., OSTRÝ, V. 2003. Vlákňité mikromycety (plísňe), mykotoxíny a zdraví človeka. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů. Pp. 348. ISBN 80-7013-395-3.
- PITT, I. J. 2000. Toxigenic fungi and mycotoxins. *British Medical Bulletin* **56**, (1), 184.



**Ing. Miloš Gejdoš, PhD.,  
Ing. Martin Lieskovský, PhD.**



Autori pracujú na Katedre Lesnej ťažby, logistiky a meliorácií, LF TU vo Zvolene. Venujú sa zhodnocovaniu sortimentov surového dreva a biomasy ako obnoviteľného zdroja energie. Svoj výskum orientujú do oblastí hodnotenia biologických, zdravotných a environmentálnych rizík pri produkcii lesnej biomasy, možnostiam jej pestovania a následného zhodnotenia v podmienkach Slovenska.

## Lesnícka fakulta v súčasnosti

Lesnícka fakulta (LF) svojím zameraním zaujíma jedinečné postavenie v systéme slovenského vysokoškolského vzdelávania. Ako jediná fakulta poskytuje študijné programy vysokoškolského vzdelávania v študijných odboroch lesníctvo a poľovníctvo, rozvíja vedecký výskum s aplikáciou jeho výsledkov v lesníckej hospodárskej praxi. Svojim absolventom udeľuje akademické tituly bakalára (Bc.) a inžiniera (Ing.). Vedeckovýskumné zameranie fakulty sa odvíja od trendov svetovej lesníckej vedy a požiadaviek na profil absolventa. Súčasný nosný smer výskumu fakulty je zameraný na adaptívny manažment lesných ekosystémov v podmienkach globálnych zmien a neistoty. V prepojení na vedecký výskum fakulta organizuje doktorandské štúdium v študijných odboroch a udeľuje absolventom vedecko-akademickú hodnosť „philosophiae doctor“ (PhD.).

Najdôležitejším výstupom činnosti LF je lesný inžinier ako odborník, ktorého poslaním je príprava podmienok, organizovanie a riadenie lesnej výroby najprogressívnejšími prístupmi tak, aby sa zabezpečila ekologická stabilita a adaptívnosť lesných ekosystémov, ako aj plnenie funkcií lesa, najmä vodohospodárskych, pôdoochranných, klimatických, zdravotných, rekreačných a produkčných. S týmto cieľom lesný inžinier nielen dôkladne pozná lesné ekosystémy temperátnej zóny Európy a uvedomuje si ich spoločenskú, ekonomickú a prírodnú hodnotu, ale je pripravený účinne podporovať ich biodiverzitu a udržateľnosť v podmienkach globálnej zmeny klímy.

Medzi najväčšie úspechy LF v poslednom období je možné zaradiť jej popredné umiestnenia (v rámci Top 10) v hodnotení fakúlt vysokých škôl nezávislou Akademickou rankingovou a ratingovou agentúrou (ARRA). V skupine AGRO sa od roku 2013 až do súčasnosti umiestňuje na 1. mieste.

*Spolu  
za udržateľnú  
budúcnosť*

---

LESNICKA FAKULTA ZVOLEN



ISBN 978-80-228-3040-9



9 788022 830409