

DIGITÁLNA STOPA DREVA AKO KLÚČOVÝ PRVOK V EVIDENCII A TRASOVANÍ VÝROBNÝCH TOKOV

Tomáš Gergel • Tomáš Bucha • Vojtěch Ondrejka • Peter Veverka

Gergel, T., Bucha, T., Ondrejka, V., Veverka, P.: Digital footprint of wood as a key element in the registration and tracing of production flows. APOL, 2021, vol. 2, no. 1, p. 171–176.

Abstract: For the sustainability of an important renewable resource, such as wood, it is important to significantly increase the efficiency of its processing. A large part of this raw material ends up in the wood processing industry, where it is used for the production of pulp, paper, construction and furniture timber, floors and others. Therefore, it is very important to gain the knowledge needed for optimal valuation of raw wood material, through quality detection and classification into quality classes. There are many defectoscopic methods working on different physical principles. X-ray methods are the latest technology using three-dimensional (3D) computed tomography (CT). The implementation of modern non-destructive methods is of great importance for the application of principles of Industry 4.0, where these methods provide collecting of data on the material properties, in its entire production flow of log processing.

Key words: CT scanner; log; wood defects; cutting pattern; digital track; quality

Úvod

Dnes sa pod rastúcim tlakom spoločnosti, ekologických štandardov a rozvíjajúceho sa priemyslu u nás aj vo svete, kladie čoraz väčší dôraz na posudzovanie kvality a pôvodu drevnej suroviny. Z týchto dôvodov Európska únia vytvorila niekoľko nástrojov zameraných na reguláciu a legalizáciu ťažby dreva. V roku 2003 bola vytvorená „Forest Law Enforcement, Governance and Trade“ (FLEGT), ktorá zabraňuje nelegálnemu obchodu s drevom a podporuje investície do legálnej ťažby dreva v rozvojových krajinách. „Reducing emissions from deforestation and degradation“ (REDD) ponúka nový spôsob ako obmedziť emisie CO₂ platením za akcie zabraňujúce odlesňovaniu alebo degradácii lesov. Zvyšujúce sa sociálne a environmentálne štandardy podnietili vznik FSC (Forest Stewardship Council), táto platforma predstavuje dôveryhodný systém pre certifikáciu spracovateľského (spotrebiteľského) reťazca spracovávajúceho drevo na celom svete.

Hodnotenie kvality drevnej suroviny a jej sortimentácie má významný vplyv na maximalizáciu výťažku. Pre zvyšujúcu sa výťaž sú významné finančné, kvantitatívne, ale aj ekologické dôvody. Celosvetovo je veľký posun v intenzite obhospodarovania lesov a spracovanie guľatiny, čo vyžaduje výrazne rýchlejšie a presnejšie hodnotenie vlastností dreva.

Vedecké poznatky v modelovaní a vizualizácii viacrozmerých obrazov priniesli revolúciu v chápaní štruktúry a funkčnosti prírodných a človekom vyrobených materiálov. Pomocou rôznych nedeštruktívnych metód sú dnes dostupné prostriedky na uplatnenie synergetickej analýzy pre kvantitatívne a kvalitatívne hodnotenie na základe vonkajších a vnútorných znakov objektov. Modelovanie a vizualizácia využíva pokročilú animáciu, simuláciu pomocou sofistikovanej počítačovej grafiky, ktorá vytvára trojrozmerné virtuálne modely so zabezpečením vysokej presnosti meraní, detekcie vnútorných a vonkajších štruktúr a znakov a skutočným virtuálnym zobrazením tvaru. Na trhu sú v dnešnej dobe dostupné skenovací zariadenia, ktoré vo vysokej kvalite dokážu vytvoriť potrebné podklady pre tieto vizualizácie. Tieto poznatky sa rovnako uplatňujú pri kvantitatívnom a kvalitatívnom hodnotení a triedení kmeňov stromov pre optimálne využitie tejto suroviny.

Potrebná infraštruktúra

Najvyšším štandardom pre vytvorenie 3D skenov, vonkajších znakov, ale aj vnútornej štruktúry dreva sú CT röntgenové skenery. Sú rovnako jediným zariadením, ktoré dokáže naskenovať vnútornú štruktúru dreva vo vysokej kvalite. Prvotné pokusy využitia CT röntgenových skenerov pre skenovanie dreva smerujú k prístrojom využívaným v medicíne. Najznámejší výrobcovia medicínskych CT skenerov sú Siemens a GE Healthcare. Na trhu je niekoľko výrobcov mikro CT skenerov určených pre menšie objekty, ktoré dokážu skenovať s väčším rozlíšením. Sú to napr. BRUKER (séria SkyScan), ZEISS (séria Xradia), Nikon (model XT H 225). Svoje prístroje pre mikro CT skenovanie vyvinula tiež belgická Ghent University (modely: EMCT, Hector, Herakles, Nanowood). Ďalšie zariadenia využívajúce röntgen v kombinácii s ďalšími metódami (laser, obrazové snímanie) určené prevažne pre hodnotenie reziva. Známymi výrobcami sú: WEINIG Gruppe (model CombiScan +), Innovativ Vision (model WoodEye 5), Microtec (séria Goldeneye). Výrobcov priemyselných X-ray skenerov určených pre skenovanie guľatiny je minimálne množstvo. Jedným z výrobcov je nemecká Jörg Elektronik s modelom Joro-X s dvoma röntgenovými zdrojmi, iným je 3D laserový skener s viacerými-senzorovými kamerami a röntgenovým skenerom umiestneným v dvoch polohách od firmy MICROTEC® (séria Logeye). Táto firma je najznámejšia a najpokrokovejšia v oblasti CT skenerov pre drevársky priemysel. Na svete je inštalované zatiaľ 8 týchto zariadení, a to v Kanade, USA (2 ks), Čile, Francúzsku (2 ks), Nemecku a Švédsku. Jej zariadenie CT log© (obr. 1) je jediným známym zariadením na svete určeným pre 3D skenovanie guľatiny. Zariadenie naskenuje a digitálne rekonštruje vnútornú štruktúru guľatiny, to umožní odhaliť vnútorné chyby dreva a optimalizovať rezný plán v reálnom čase (Microtec, 2019). Vyvinutý softvér optimalizuje krivosť guľatiny, určí najlepší rezný plán pre dosiahnutie čo najväčšej kvality konečného produktu.



Obrázok 1. CT Log® skener Microtec® (Microtec, 2019)

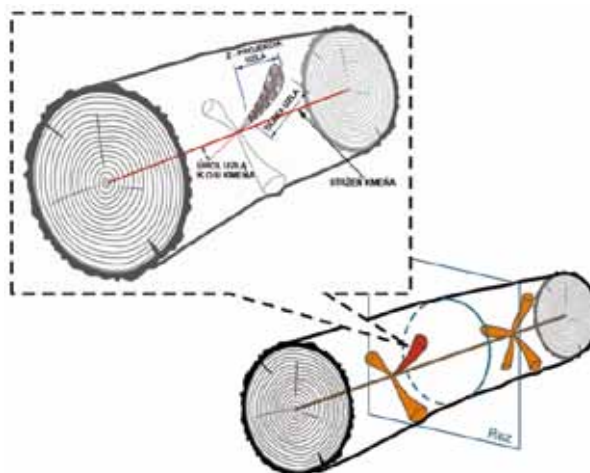
Figure 1. CT Log® scanner Microtec® (Microtec, 2019).

Tvorba digitálnej stopy guľatiny využitím 3D CT skenera

Konečným cieľom skenovania je detegovať chyby dreva v 3D obraze kmeňa zo série CT snímok jednotlivých virtuálnych rezov guľatiny. V tomto procese dochádza ku rekonštrukcii 3D obrazu defektov guľatiny z 2D CT snímok s extrahovanými chybovými oblasťami. Pre elimináciu vplyvu chybných klasifikácií defektov guľatiny je nevyhnutné pri rekonštrukcii 3D obrazu korelovať jednotlivé chybové oblasti v 2D CT snímkach s chybovými oblasťami v susedných 2D CT snímkach. Inými slovami, správne extrahovaná chybová oblasť v jednej 2D CT snímke musí byť identifikovaná alebo aspoň čiastočne potvrdená v susednej 2D CT snímke. Nesplnením tejto podmienky je chybová oblasť identifikovaná ako falošná. Splnením tejto podmienky sa chybové oblasti zoskupia. Výsledkom sú zoskupené chybové a klasifikované oblasti v kmeni v 3D súradnicovej sústave (obr. 2).

Rekonštrukcia obrazu z CT snímok je matematický proces, ktorý generuje tomografické obrázky z údajov röntgenovej projekcie získaných z rôznych uhlov pohľadu na skenovaný objekt (obr. 3) má

zásadný vplyv na kvalitu obrazu. Pre danú dávku žiarenia je žiaduce rekonštruovať obrazy s čo najmenším šumom bez toho, aby sa znížila kvalita obrazu a jeho priestorové rozlíšenie.



Obrázok 2. Schematicky znázornený proces zoskupenia chybových oblastí jednotlivých CT snímkov v rezoch do 3D obrazu
Figure 2. Schematically illustrated process of grouping defect areas of individual CT images in sections into a 3D image.



Obrázok 3. 3D model guľatiny s detegovanými chybami
Figure 3. 3D model of a log with detected defect.

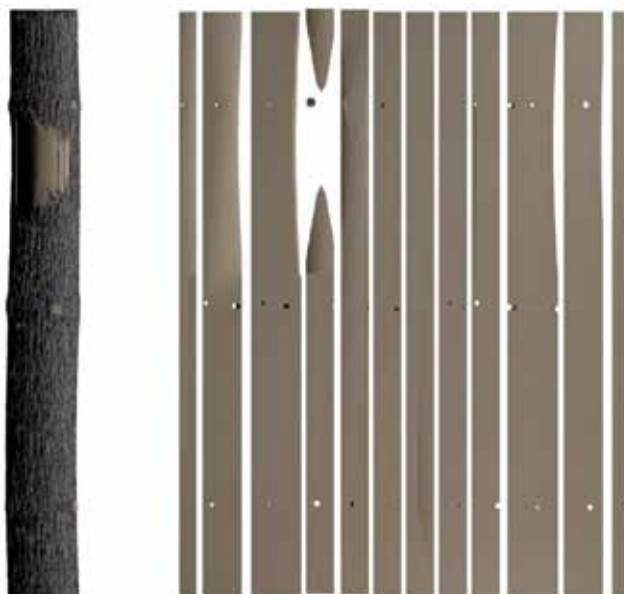
Informácie o množstve, type a polohe vnútorných chýb guľatiny dreva má zásadný vplyv na určenie rezného plánu. Prepojením programu OPTIREZ (vytvorený ako výstup vlastného riešenia projektu SLOVLES) s informáciami z CT skenovania guľatiny je možné maximalizovať výťažnosť z hľadiska objemu alebo kvality reziva.

Pre vybrané kusy guľatiny sa vo vytvorenom programe navrhne rezný plán. 3D model rezného plánu daného kusu guľatiny sa prekryje s 3D modelom reálnej guľatiny (obr. 4), čím sa zobrazia potrebné úpravy rezného plánu a bude možné určiť aj východiskovú polohu guľatiny pri realizácii rezného plánu. Následne sa prepočíta objem guľatiny, objem vyprodukovaného reziva, objem pilín, objem rezíduí a dĺžky jednotlivých kusov reziva. Potrené úpravy sa vyjadria matematicky.



Obrázok 4. Rezný plán v modeli reálnej guľatiny
Figure 4. Cutting pattern in real log models.

Rezivo, ktoré vznikne z navrhnutého rezného plánu je možné zobrazíť plošne a otáčaním guľatiny v jej osi sledovať premietnutie chýb dreva a úbytky dreva vplyvom zakrivenia na jednotlivých kusoch reziva (obr. 5).



Obrázok 5. Rozloženie chýb gulatiny v jednotlivých kusoch reziva v závislosti od stupňa otočenia gulatiny
Figure 5. Distribution of log defects in individual pieces of lumber depending on the degree of rotation of the log.

Prínosy pre reťazec produkcie a spracovania dreva

V doterajších štúdiách (Gazo et al. 2020; Muller et al. 2019; Stängle et al. 2015) sú prehľadne zosumarizované poznatky z doterajších prác autorov v oblastiach detekcie chýb dreva a ich využitií pri sortimentácii stromov a porastov a piliarskom spracovaní dreva. Opísané, analyzované a kvantifikované sú prínosy zaradenia novej technológie 3D CT skenera do procesu spracovania gulatiny a využitií získaných údajov pri sortimentácii. V oblasti piliarskeho spracovania všetky zmieňované štúdie preukazujú nárast výnosu zo spracovaného dreva. Súčasný reťazec produkcie a spracovania dreva od pestovania lesa ku konečnému výrobku môžeme označiť ako stupňovitý systém:

- **Pestovanie lesa** – lesné hospodárstvo (vek porastu, uplatňovaný systém hospodárenia, lokalita, podmienky stanovišťa, škodcovia, kalamity, produkcia).
- **Ťažba a manipulácia** (logistika) – produkcia gulatiny (vek stromov, kvantita, kvalita, údaje o ťažbe, označenie kusov).
- **Prvotné spracovanie dreva** – krátenie na výrezy sortimentov dreva zatriedenie do kvalitatívnej triedy (objem, kvalita).
- **Druhotné spracovanie dreva** – rezivo (konštrukčné triedy), aglomerované produkty, celulóza (objem spracovanej gulatiny, objem vyprodukovaného reziva, objem zvyškov po spracovaní, cena).
- **Produkcia odvetví spracovania dreva** – nábytok, konštrukcie, papier, obklady a podlahy (objem, cena).
- **Spotrebiteľia** (cena, PEFC certifikácia).

Indikátory v zátvorke sú informácie potrebné pre vzájomné zdieľanie dát a optimalizáciu tokov dreva a ich spracovania.

Každý z týchto jednotlivých stupňov pracuje so svojim zavedeným systémom zberu vyhodnocovania údajov a modelovania prognóz. Napr. Lesy SR, š. p., využívajú systémy WebLES a KRPK pre komplexnú evidenciu, monitoring, plánovanie a kontrolu výrobných procesov, súvisiacich prírodných procesov a stavu lesa. Charakteristické je, že sa jednotlivé získané údaje neprenášajú naprieč jednotlivými stupňami. Rovnako nie je možné zabezpečiť tok informácií od člena na nižšom stupni reťazca k členovi na vyššom stupni v reťazci. V dôsledku toho dnes ročný plán ťažby dreva nereflektuje optimálne skutočné požiadavky odberateľov. Takto oddelený systém ponuky a dopytu dreva vedie k stratám na strane producenta aj spracovateľa dreva. Chýba spoločný informačný člen ako kľúčový integ-

račný prvok, ktorý by bol nástrojom na zdieľanie informácií medzi jednotlivými členmi drevospracovateľského reťazca bez závislosti na akom stupni sa jednotliví členovia v reťazci nachádzajú. Na to, aby takýto prvok bol efektívny, je nevyhnutné pri jednotlivých členoch reťazca zaviesť moderné inovačné technológie, ktoré digitalizujú niektoré stále používané analógové procesy.

Dnes už sú vyvinuté technológie ako mobilné laserové skenery na skenovanie ťažených porastov, CT trojdimenzionálne skenery guľatiny, optické skenery guľatiny, označovanie QR kódmi, ktoré presne definujú konkrétny kus guľatiny so svojimi špecifikami (rozmermi, chybami a znakmi). Vzniká tak digitálna stopa každého stromu a guľatiny, ktorá jednoznačne identifikuje konkrétne drevo v tokoch dreva a umožní byť spoločným nositeľom informácií získaných z jednotlivých členov drevospracujúceho reťazca. Tento koncept je základom pre optimalizáciu zhodnocovania dreva a zabezpečenie evidencie a monitorovania tokov dreva. Existujú dve úrovne optimalizácie zhodnocovania dreva:

- **Na úrovni člena reťazca spracovania dreva** – zavedením inovačných technológií, ktoré zvyšujú výťažnosť.
- **Na úrovni medzi jednotlivými členmi reťazca** – ťažbová činnosť plánovaná a realizovaná cez ročný plán ťažby dreva bude lepšie zohľadňovať reálne požiadavky spracovateľa dreva na dodávanú surovinu.

Digitálna stopa guľatiny môže byť rovnako súčasťou protokolu kvality suroviny, ktorý je zosúladený so štandardmi EÚ. Takýto protokol kvality je pridanou hodnotou oproti bežnému okulárnemu triedeniu. Nájde uplatnenie napríklad v aukciách výrezov hodnotných sortimentov dreva, exporte guľatiny, predaji guľatiny na špeciálne účely (umelecké diela, športové potreby, hudobné nástroje a dekoratívne drevené prvky a iné). Takýto protokol jednoznačne eliminuje neistotu pri obchodných vzťahoch z hľadiska vnútorných chýb dreva a prispieje k lepšiemu zhodnoteniu suroviny. Vytvorená metodika by mohla v budúcnosti slúžiť ako štandard pre akreditované skenovacie laboratória guľatiny dreva oprávnené vydávať tento protokol ako certifikát.

Na Slovensku je Národné lesnícke centrum v procese implementácie 3D CT skenera v rámci projektu Centra excelentnosti LignoSilva v lokalite Stráže pri Zvolene s predpokladom dodania v novembri 2021. Plné využitie potenciálu a implementácia 3D CT skenera do tokov dreva si vyžiada vytvorenie otvoreného a motivačného prostredia, ktoré podnieti tvorbu inovácií ako na strane prevádzkovateľa technológie (NLC) ako aj na strane užívateľov technológie (producentov a spracovateľov dreva). Výstupom výskumno-inovačnej činnosti NLC by mali byť certifikované metodiky 3D detekcie chýb dreva. NLC okrem metodík a samotnej technológie ponúkne komercializovateľné služby – napr. ocenenie výrezov dreva na základe detekcie jeho vnútorných chýb alebo optimalizáciu krátenia výrezov rezných plánov. Komercializáciu služby je možné reálne predpokladať, vzhľadom na očakávané zhodnotenie drevnej suroviny, zaujímavé pre producenta aj spracovateľa dreva. Ďalším aspektom záujmu zákazníkov je očakávané zníženie reklamácií za nedodržanie kvalitatívnych parametrov dodávkov výrezov dreva.

Pre dosiahnutie uvedených efektov je potrebné zabezpečiť aby členovia na nižších stupňoch drevospracujúceho reťazca (spracovatelia dreva) definovali svoje potreby a požiadavky na členov reťazca na vyšších stupňoch (producenti dreva) a prepojili tok dát a svoje informačné systémy s prevádzkovateľom technológie 3D CT skenera (NLC). Celý systém produkcie a spracovania dreva umožní pružne reagovať a zohľadňovať požiadavky spracovateľov dreva, dané požiadavkami trhu. Ak má byť sektor drevospracujúceho priemyslu konkurencieschopný, má efektívne spracovávať surovinu, zvyšovať kvalitu výrobkov, zavádzať CT skenovacie technológie alebo nové rezacie technológie, tak je spružnenie tohto procesu nevyhnutné. Ide o zásadnú technologickú inováciu, ktorá približuje náš sektor k úrovni technologických lídrov, akými sú automobilový, strojársky a kovospracujúci priemysel (Gergel et al. 2019).

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore MPRVSR číslo 08V0301 – Výskum a vývoj na podporu konkurencieschopnosti lesného hospodárstva (SLOVLES) a v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- Gazo, R., Vanek, J., Abdul_Massih, M., Benes, B., 2020: A fast pith detection for computed tomography scanned hardwood logs. *Computers and Electronics in Agriculture*, p. 105–107.
- Gergel, T., Bucha, T., Gejdoš, M., Vyhnáliková, Z., 2019: Computed tomography log scanning—high technology for forestry and forest based industry. *Central European Forestry Journal*, 65:51–59.
- Microtec, 2019: CT Log Computed Tomography for the sawmill of the future. [Brochure], Available online: <https://microtec.eu/assets/products/ctlog/MT-CT-Log2.pdf> (accessed on 18.5.2021).
- Müller, F., Jaeger, D., Hanewinkel, M., 2019: Digitization in wood supply – A review on how Industry 4.0 will change the forest value chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162:206–218.
- Stängle, S. M., Brüchert, F., Heikkilä, A., Usenius, T., Usenius, A., Sauter, U. H., 2015: Potentially increased sawmill yield from hardwoods using X-ray computed tomography for knot detection. *Annals of Forest Science*, 72:57–65.

Adresa:

Ing. Tomáš Gergel, PhD., Dr. Ing. Tomáš Bucha, Ing. Vojtěch Ondrejka, PhD., Ing. Peter Veverka
Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 2175/22, SK – 960 01 Zvolen
e-mail: tomas.gergel@nlcsk.org; tomas.bucha@nlcsk.org; vojtech.ondrejka@nlcsk.org;
peter.veverka@nlcsk.org