

Proiect de cercetare: **EVALUAREA DIRECTĂ A PRODUCTIVITĂȚII DE BIOMASĂ DIN CULTURILE FORESTIERE CU CICLUL SCURT DE PRODUCȚIE (SRF) CU SCANERUL LASER TERESTRU (TLS), FORCROPS, CONTRACT NR. PD3/2020.**

FAZA DE EXECUȚIE NR. 2

Raport științific și tehnic, etapa nr. II (2021)

Etapa 2. DERULAREA ACTIVITĂȚILOR DE TEREN ȘI BIROU

- Activitatea 2.1. Selectarea și materializarea în teren a suprafețelor experimentale
- Activitatea 2.2. Scanarea suprafețelor experimentale
- Activitatea 2.3. Inventarierea și prelevarea eșantioanelor de lemn din suprafețele experimentale
- Activitatea 2.4. Activități de birou - procesare date din scanări și inventarieri
- Activitatea 2.5. Calibrarea rezultatelor

Data depunerii: 02/12/2021

| | |
|--------------------|--|
| Numărul raportului | PN-III-P1-1.1-PD-2019-0388 - PD3/2020 |
| Titlul | Raport științific și tehnic in extenso. Etapa 2021 - Evaluarea directă a productivității de biomasă din culturile forestiere cu ciclul scurt de producție (SRF) cu scannerul laser terestru (TLS). |
| Stadiul | Raport de etapă (Etapa II, 16.12.2021 – 15.12.2022) |
| Durata proiectului | 01.09.2020 – 31.08.2022 |

Director Proiect,
dr. ing. ec. Iulian-Constantin DĂNILĂ



Cuprins

| | |
|---|----|
| 1. Preambul | 2 |
| 2. Obiectivul general al proiectului..... | 2 |
| 3. Obiectivele fazei nr. II de execuție a proiectului | 2 |
| 4. Rezumatul etapei..... | 3 |
| 5. Activități de diseminare efectuate în etapa nr. II | 3 |
| 6. Descrierea științifică și tehnică | 4 |
| 7. Concluziile etapei nr. II de execuție | 13 |
| 8. Referințe bibliografice | 13 |

1. Preambul

Plopul (*Populus spp.*) are un rol important în economia forestieră la nivel global, devenind și în România o specie cu mare potențial energetic în special pentru investitorii din domeniu (Carmona et al., 2015; Filat and Chira, 2004). Culturile energetice sunt promovate de peste 30 ani pe fondul schimbărilor climatice, prin diferite politici de mediu în multe țări pentru reducerea gazelor cu efect de seră (Aebiom, 2015; Lindegaard et al., 2016). Printre culturile energetice de la nivel global cele instalate cu plopi hibridi sunt printre cele mai răspândite datorită numeroaselor avantaje, cum este tehnologia de cultivare și producția de biomasă obținută în condiții staționale variate (Dickmann, 2001; Isebrands și Richardson, 2014).

În Europa sunt instalate peste 50.000 ha, iar la nivel național, suprafața raportată depășește 2.600 ha (IPC, 2012). Interesul pentru aceste culturi a crescut și în partea de nord-est a României, unde începând cu anul 2009 sunt instalate peste 800 ha (Danila et al., 2017; Dănilă, 2019). Primele cercetări efectuate pentru culturile din condițiile colinare ale podișului Sucevei, au arătat că oferă un important aport de biomasă lemnoasă supraterană (Dănilă et al., 2016).

Estimarea cât mai precisă a producției de biomasă este necesară în primul rând pentru planificarea sustenabilă a resurselor forestiere (Bouriaud et al., 2015; Næsset et al., 2013). Iar utilizarea scannerului laser terestru (TLS) aduce un important salt tehnologic în rândul metodele non-distructive de estimare (Coșofreț et al., 2018; Dănilă, 2020). Tehnologia TLS este justificată în situațiile în care metoda distructivă (gravimetrică) devin dificil de implementat sau ecuațiile alometrice nu furnizează informații satisfăcătoare (Dănilă, 2021).

Proiectul *ForCrops* își propune să evedențieze potențialul TLS-lui în estimarea biomasei lemnoase, comparând rezultatele cu cele obținute prin metoda gravimetrică în scopul generării unor ecuații alometrice stabile. Este nevoie de estimarea biomasei lemnoase pe părți componente de arbore, pentru trunchi și ramuri pe diferite nivele de creștere (Dănila et al., 2021).

2. Obiectivul general al proiectului

Utilizarea scannerului laser terestru (TLS) pentru evaluarea biomasei lemnoase supraterană (AGWB) din culturile de plop hibrid cu ciclu scurt de producție (SRF).

3. Obiectivele fazei nr. II de execuție a proiectului

Faza II de execuție a proiectului s-a desfășurat în perioada 16 decembrie 2020 – 15 decembrie 2021 și a avut următoarele obiective:

- Finalizarea activităților de selectare și materializare în teren a suprafețelor experimentale;
- Scanarea suprafețelor experimentale după un ciclu de 5, respectiv 6 ani de vegetație;
- Inventarierea și prelevarea eşantioanelor de lemn pentru determinarea umidității specifice;
- Procesare datelor după scanare și inventariere pentru calibrarea rezultatelor;
- Diseminarea rezultatelor parțiale.

4. Rezumatul etapei

Proiectul de cercetare evidențiază potențialul TLS-lui în estimarea producției de biomasă lemnoasă supratrană din culturile forestiere cu ciclul scurt.

În această etapă au fost îndeplinite toate obiectivele aferente. Activitățile au demarat cu scanarea și inventarierea suprafețele identificate în prima etapă. Au fost aplicate metode diferite (distructivă și două non-distructive) de estimare a biomasei doar în perioada de repaus vegetativ (arbori fără frunze), urmate de partea de procesare și prelucrare a datelor pentru validare. Astfel, biomasa a rezultat din umiditatea specifică pe părți componente de arbore prin diferența cântărilor din starea verde și uscată. Volumul a fost obținut pentru fiecare parte componentă prin aplicarea algoritmului QSM în aplicația *MathLab*.

Calibrarea rezultatelor conduc la generarea unor ecuații stabile în condițiile locale de vegetație. Metodologia de lucru cu TLS-ul a fost prezentată în cadrul a diferite manifestări în domeniul forestier și în cadrul activităților didactice a Facultății de Silvicultură din Suceava. Prezentarea tehnologiei TLS poate îmbunătăți strategiile pe termen scurt de aprovizionare cu biomasă lemnoasă, privilegiu care este atât științific, cât și economic.

În această fază de execuție au fost publicate patru manuscrise (1 ISI, 2 BDI și unul în arhivele *LEI*), iar rezultate preliminare au fost prezentate în cadrul a șapte conferințe științifice din țară și peste hotare (cu 9 lucrări științifice). De asemenea, a fost înregistrată o cerere de brevet de invenție la OSIM, iar rezultatele curente au fost actualizate pe site-ul proiectului și pe platformele dedicate cercetării și inovării (ca *BrainMap* sau *ResearchGate*).

5. Activități de diseminare efectuate în etapa nr. II

În cadrul acestei etape s-au realizate următoarele activități de diseminare a rezultatelor proiectului:

- *Publicarea unui articol ISI în zona roșie (Q1) și două în baze de date internaționale (BDI);*
- *Publicarea unui manuscris sintetic în arhivele LEI (Institutul Energetic Lituanian) din cadrul conferinței internaționale Cyseni 2021, cu privire la metodologia de lucru TLS pentru obținerea modelului 3D. Proceedings of Cyseni: ISSN 1822-7554, www.cyseni.com;*
- *Înregistrarea unei cereri de brevet de invenții la OSIM în vederea protejării amplasării dispozitivului optimizat de scanare pentru culegerea datelor de teren (octombrie 2021, cerere A100611);*
- *Participarea în cadrul a 7 conferințe internaționale de profil, cu 9 lucrări distincte: (i) Integrated Management of Environmental Resources Conference, (IMER 2021), Suceava (Romania), unde au fost prezentate trei materiale în secțiuni diferite; (ii) International Agriculture Symposium (Agrosym 2021), Jahorina (Bosnia and Herzegovina); (iii) Managerial, Social and Environmental Aspects of the Forest-based Sector for Sustainable Development (IUFRO 4.05 2021), Brno (Czech Republic); (iv) Council on Forest Engineering (COFE) and International Symposium on Forest Mechanization (FORMEC), Cofe-Formec 2021, Oregon (USA); (v) Comunicări Științifice Studentești: Economie europeană - prezent și perspective, Suceava (Romania); (vi) International Conference of Constructive Design and Technological Optimization in Machine Building Field (OPROTEH 2021), Bacău (Romania) și (vii) International conference of young scientists on energy and natural sciences issues (CYSENI 2021), Kaunas (Lithuania).*
- *Informarea grupurilor de interes asupra obiectivului general al proiectului. În acest sens, s-au desfășurat vizite de lucru pentru prezentarea tehnologiei TLS la Ocolul silvic privat Ghimeș-Făget și la Centrul de Pregătire și Perfecționare Profesională din Roznov (Neamț) – eveniment organizat de ASFOR - Asociația Forestierilor din România (Figura 1). Au fost purtate dezbateri pentru validarea prelucrării datelor obținute cu tehnologia TLS cu specialiști în domeniu. Discuții formale despre avantajele TLS și metodologia de scanare au fost purtate cu prilejul participării în conferințele științifice, cât și cu diverși colegi în domeniu (în special din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură "Marin Drăcea" și a Facultăților de profil silvic de la Suceava și Brașov). Prezentarea tuturor echipamentelor aferente metodologiei TLS de lucru s-a efectuat și în cadrul*

cursului de *Gestionarea integrată a resurselor forestiere* (program masterat) din cadrul *Facultății de Silvicultură* din Suceava (Figura 2). Tot în acest context, proprietarul suprafețelor de teren (*FE AGRAR SRL*, parte a grupului *EGGER*) și-a manifestat interesul pentru utilizarea în viitor a tehnologiei TLS cu scopul creșterii preciziei de estimare a biomasei lemnoase. Reprezentați ai acestuia au participat la multiple activități din cadrul proiectului.

- Actualizarea site-ului proiectului cu rezultatele curente (<http://www.silvic.usv.ro/forcrops/>). Prioritar a fost și actualizarea informațiilor în cadrul platformelor dedicate activităților de cercetare-inovare (ca *BrainMap.ro* sau *ResearchGate.net*).



Figura 1. Prezentarea tehnologiei TLS în cadrul Zilei Silvicultorului, ediția 2021 (Foto. Iulian Dănilă).



Figura 2. Prezentarea tehnologiei TLS în cadrul Facultății de Silvicultură din Suceava (Foto. Maria Asandei)

6. Descrierea științifică și tehnică

6.1. Selectarea și materializarea în teren a suprafețelor experimentale

În cea de-a doua etapă de desfășurare a proiectului au fost identificate și materializate în teren suprafețe de plop hibrid ce vor fi scanate și inventariate în perioada următoare de repaus vegetativ (*Tabelul 1*). Scopul este completarea bazei de date în cea de-a treia etapă cu culturi reprezentative pentru clonele hibride de plop AF8 (*P. x generosa 103-86 x P. trichocarpa PEE*) și Pannonia (*P. x euramericana*) cu creșteri cumulate în șapte sezoane de vegetație (*Figura 3*). De asemenea, au fost identificate și suprafețe experimentale de rezervă pentru a evita apariția situațiilor neprevăzute, corelate cu etapele de execuție a proiectului.

Culturile sunt localizate în apropierea localității Dornești și Vicșani, fiind poziționate în zona colinară a Podișului Sucevei, la o altitudine medie de 350 m. Condițiile staționale sunt caracteristice climatului temperat continental, unde temperatura medie anuală este de cca. 7°C, iar precipitațiile medii de 550 - 600 mm·an⁻¹ (Sandu et al., 2008; Tănăsă, 2011).

Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava, Facultatea de Silvicultură, Str. Universității 13, 720229, Suceava, Jud. Suceava, Laboratorul de Ecologie Aplicată, iulianandanila@usm.ro

Solul este de tip *Faeoziom* din clasa *Cernisoluri*, de la moderat la intens humifer în orizontul Am, slab diferențiat textural și bine aprovizionat în elemente bazice (eumezobazic) (Savin et al., 2019, 2014).

Alegerea suprafețelor experimentale s-a făcut evitându-se zonele cu influențe marginale și interspecifice, asigurând elementele necesare dispozitivului de scanare. Instalarea în teren a acestor culturi a fost realizată în anul 2015. Ca material săditor au fost utilizate sade cu lungimea de 2 m și diametrul de 2 – 3 cm, fiind introduse în sol mecanizat cu ajutorul mașinii de plantat la o adâncime de 0,6 m. Densitatea de plantare a fost aleasă în raport cu caracteristicile tehnologiei de cultivare pentru schema de 3 x 2 m, cu circa 1667 arbori/ha. În fiecare sezon de vegetație au fost efectuate lucrări de întreținere periodic prin două mobilizări specifice ale solului dintre rândurile și erbicidări pe rândurile de cultură (între exemplare), unde pătrunderea utilajelor este dificilă (Danila et al., 2017).



Figura 3. Imagine de ansamblu din suprafețele de cultură selectate pentru scanare și inventariere în etapa 3. Clona AF8 (stânga) și clona Pannonia (dreapta) (Foto. Iulian Dănilă).

Tabelul 1. Structura suprafețelor de probă analizate în cadrul proiectului

| | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|
| Dispozitiv plantare/ densitate | 3 x 2 m/ cu cca. 1667 exemplare/ha | | |
| Anul instalării | 2016 | 2015 | 2015 |
| Sezoane de vegetație (ani) | 5 | 6 | 7 |
| Etapa inventariere | 2021 | 2021 | 2022 |
| Material săditor | sade – 2 m lungime | | |
| Clona de plop | Numărul și localizarea suprafețelor de probă (10 x 6 m cu cca. 10 exemplare) | | |
| | 3 | 3 | 3 |
| AF8 | 47°51'21.40"N 25°59'30.23"E | 47°51'19.51"N 25°59'13.54"E | 47°51'19.51"N 25°59'13.54"E |
| | 3 | 3 | 3 |
| Pannonia | 47°50'39.60"N 26° 3'40.73"E | 47°51'19.67"N 25°59'27.52"E | 47°51'19.67"N 25°59'27.52"E |

În toate suprafețele experimentale se va aplica același protocol de estimare a biomasei supraterane adoptat pentru variantele de clonă și ciclu de producție, comparându-se metoda distructivă cu metode non-distructive. Așadar, se va utiliza pentru validarea rezultatelor metoda directă (gravimetrică) care presupune recoltarea integrală a exemplarelor și metode indirecte: utilizarea scannerului laser terestru (TLS-ul) și aplicarea ecuațiilor alometrice. Metodologia de inventariere și scanare a fost adoptată pentru caracteristicile culturilor energetice. Măsurătorile biometrice și prelevarea probelor vor fi efectuate imediat după scanare, eșantioanele fiind necesare pentru determinarea umidității și densității lemnului (Dănilă et al., 2016).

6.2. Scanarea suprafețelor experimentale

Obținerea modelului 3D a suprafețelor din teren a fost realizată cu ajutorul aparatului *Z+F Imager 5010 (Zoller and Fröhlich, Wangen, German)*, de tipul «*phase-shift*», asigurând precizia de estimare a distanțelor de ± 1 Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava, Facultatea de Silvicultură, Str. Universității 13, 720229, Suceava, Jud. Suceava, Laboratorul de Ecologie Aplicată, iulianidanila@usm.ro

mm la 25 m și raza nominală de acțiune de 187 m. Pentru scanare a fost adoptat un număr de 6 puncte de stație și 8 ținte/ repere fixe (sfere de 200 mm) pentru coreregistrare. Au fost efectuate testări în acest sens în raport cu volumul datelor stocate și cu ocluzia incidentă în coronament, respectând instrucțiunile de utilizare a scannerului laser terestru (TLS). Dispozitivul de amplasare a echipamentelor a fost ales prin asigurarea vizibilității din fiecare punct de stație a minim trei repere fixe, necesar a fi poziționate la o distanță minimă de 1,5 m (Figura 4). Poziția țintelor este de ajutor și în momentul filtrării 3D a norilor de puncte rezultați, printr-un decupaj rectangular pe suprafața de probă.

Arbori incluși în sondaj (fără frunze) au fost marcați cu un inel de bandă adezivă (negru cu galben, lățime de 50 mm) la înălțimea de 1,4 m pe fusul arborelui pentru ajustarea rezultatelor în vederea calibrării lor. De altfel, se evită instalarea aparatului la mai puțin de 1,5 m de arbori sau ținte, pentru a reduce obturarea câmpului de scanare. De regulă, o scanare durează în medie circa 14 minute pentru rezoluție și calitate ridicată.

Perioada optimă de scanare trebuie să îndeplinească anumite condiții. Prioritar este lipsa frunzelor și se evită zilele cu precipitații (sau arbori umezi), vânt mai mare de 5 m/s, ceață sau temperaturi sub -10°C . Prezența frunzelor poate masca partea superioară a coroanei arborilor, iar vântul scade precizia scanării odată cu mișcarea detaliilor scanate. Ploaia sau ceața împiedică măsurătorile din cauza absorbției razelor laser.



Figura 4. Dispozitivul de amplasare a echipamentelor tehnologiei TLS în suprafețele experimentale (Foto. Iulian Dănilă).

Coreregistrarea este efectuată după reperele sferice (din material plastic) cu diametrul de 200 mm care nu reflectă unda și care sunt fixate pe trepiede metalice la înălțimi diferite. De asemenea, pentru un timp mai îndelungat de funcționare a TLS-lui în teren în condițiile unor temperaturi scăzute a fost folosit un generator electric (peste capacitatea acumulatorilor).

6.3. Inventarierea și prelevarea eșantioanelor de lemn din suprafețele experimentale

Metoda distructivă (gravimetrică) de determinare a biomasei presupune parcurgerea a două etape de lucru. Prima se desfășoară în teren prin măsurarea caracteristicilor dendrometrice, recoltarea în totalitate a exemplarelor și împărțirea pe părți componente de arbore (trunchi și ramuri) pentru aflarea masei în stare verde (precizie de ± 10 g). Iar a doua etapă se desfășoară în laborator pentru determinarea masei uscate a probelor eșantion recoltate (tratat la punctul 6.4).

Din fiecare unitate monoclonală omogenă s-au recoltat câte 10 exemplare din cele 3 suprafețe de probă, după un ciclu de producție de 5 și 6 ani (Tabelul 1). Pentru determinarea biomasei trunchiului au fost recoltate rondele de lemn pe fus (de la bază, 1 m, 2 m și 3 m), iar pentru biomasa ramurilor se prelevează o ramură reprezentativă pentru un sector ales sistematic (precizie de $\pm 0,01$ g).

Pentru fiecare rona (disc) de lemn a fost determinată circumferința și grosimea pentru calcularea volumului și ulterior a densității lemnului. Circumferința a fost determinată cu ruleta de mici dimensiuni (± 1 mm), iar grosimea cu ajutorul șublerului digital cu acuratețea de 0,01 mm.

Evaluarea directă a productivității de biomasă din culturile forestiere cu ciclul scurt de producție (SRF) cu scannerul laser terestru (TLS) - Direct assessment of biomass productivity in short rotation forestry (SRF) with the terrestrial laser scanner (TLS) - FORCROPS - PN-III-P1-1.1-PD-2019-0388 - Contract nr. PD3/2020.

Înălțimile (m) au fost măsurate cu ruleta după doborârea arborilor (asigurând o precizie de 1 cm) pentru fiecare an de vegetație în locul de inserție pe ax a segmentelor de trunchi de ordin inferior. Valori au fost preluate și pentru determinarea sortimentelor dimensionale, înălțimii sabei, elagate și cea a ramurii recoltate.

Diametrele (cm) au fost măsurate pe fus din metru în metru cu ajutorul clupeii forestiere pentru validarea formei fusului, asigurând în acest caz o precizie de 0,1 cm.

Volumul trunchiului (m^3) este calculat pentru fiecare exemplar și extrapolat la unitatea de suprafață (m^3/ha), utilizând relații alometrice dezvoltate pentru condițiile locale (Dănilă, 2015). După diametrul minim la capătul subțire trunchiul este împărțit în două sortimente, prima piesă până la 8 cm și cea de-a doua până la 2 cm. Iar prin cântărirea separat în stare verde a fost determinată și biomasă acestora (Figura 5).

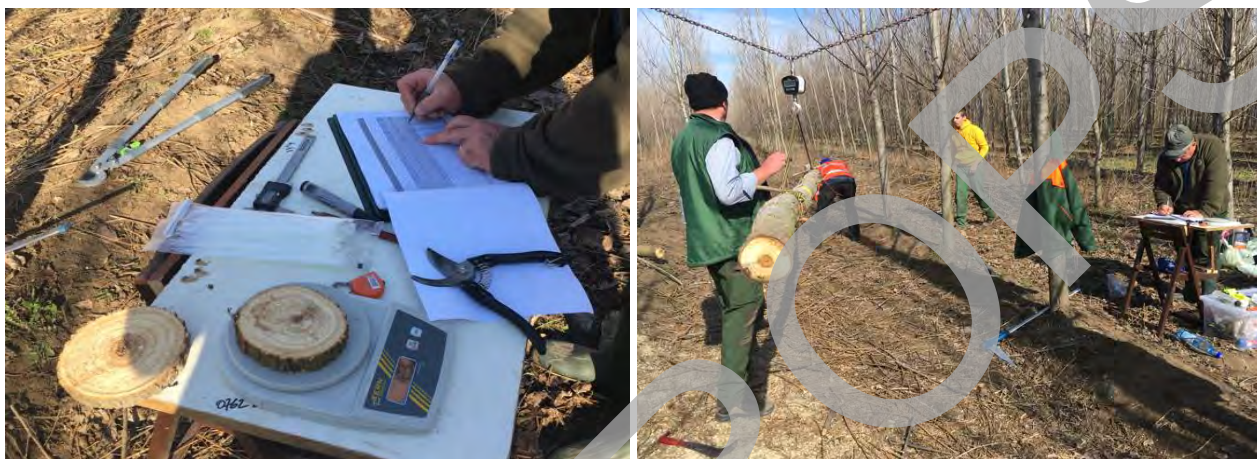


Figura 5. Prelevarea eșantioanelor de lemn și cântărirea în stare verde a exemplarelor de plop pe componente de arbore (operații din cadrul etapei de teren a metodei distructive). (Foto. Iulian Dănilă).

6.4. Procesarea scanărilor și a probelor de lemn rezultate în urma inventarierilor

Scanările au fost coregistrate și filtrate cu ajutorul aplicația *Z+F LaserControl 9.0.2*, dedicată TLS-ului *Z+F Imager 5010* (Figura 6). Individualizarea exemplarelor a fost efectuată cu ajutorul aplicației *CloudCompare v.2.12 alpha Stereo*, iar prelucrarea modelului 3D a fost efectuat în *MathLab R2018b* utilizând algoritmul QSM (*Quantitative Structure Models*) pentru un singur arbore. Culorile de la nivelul ramurilor arată nivelul structural în reconstrucția volumului din interiorul arborelui, unde albastru închis reprezintă fusul, iar verdele pentru ramurile de ordinul 1, roșu pentru cele de ordinul 2, ș.a.m.d.

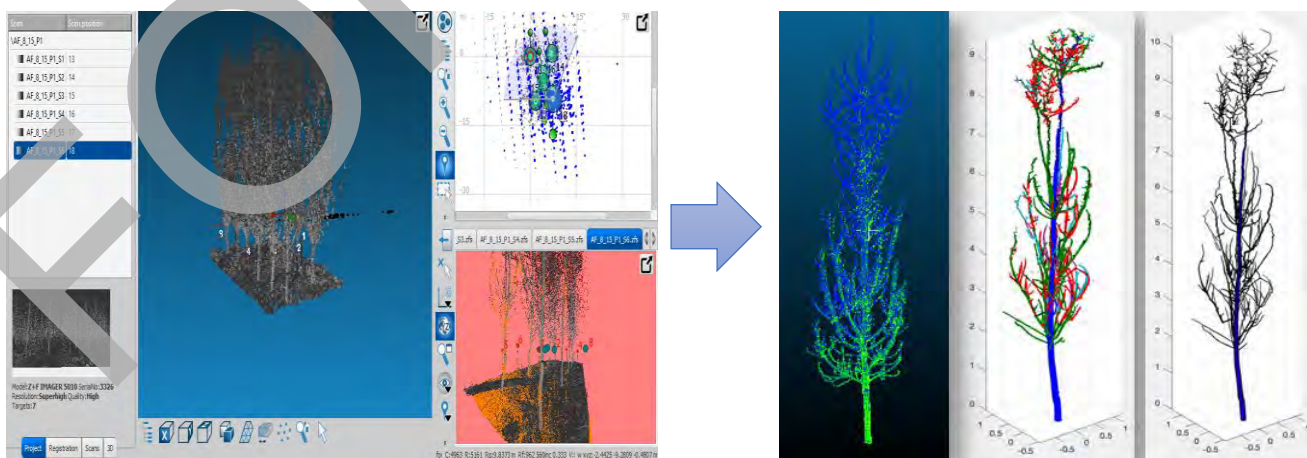


Figura 6. Prelucrarea arborilor în aplicația *Z+F LaserControl*. Filtrarea arborilor la nivel individual în *CloudCompare* și reconstrucția arborilor în *MathLab* pentru clona AF8 (2015) din suprafața de probă P1.

Modelul QSM reușește prin reconstrucția din aproape în aproape a segmentelor după norul de puncte să genereze volumul total, volumul trunchiului (pentru axul principal și până în vârf), volumul ramurilor (pe ordin sau adunate), înălțimea totală care depinde de punctul din norul cel mai îndepărtat asociat trunchiului. De altfel, modelul aplicat generează două diametre de bază, DBH_{qsm} estimat la 1.3 m și DBH_{cyl} pentru diametrul cilindrului ajustat pe segmentul corespunzător înălțimii (unde diferențele rezultatelor sunt neesențiale).

Potrivit aplicării metodei gravimetrice (distructive), activitatea de laborator presupune determinarea procentului de umiditate (U%) prin uscarea probelor în etuvă la temperatura de 105°C până la o masă constantă între cântăriri succesive (Ecuația 1).

$$(1) U\% = \frac{BLV - GC}{GC} \cdot 100,$$

unde: U% – procentul de umiditate al probei eșantion;
BLV – greutatea lemnului verde;
GC – greutatea constantă a probei eșantion.

Biomasa lemnoasă pe fiecare componentă (kg) este determinată în raport cu masa uscată a eșantioanelor de lemn recoltate (Ecuația 2). Iar potrivit densității de plantare, biomasa totală și pe părți componente de la nivel individual se extrapolează la unitatea de suprafață (t/ha) pentru fiecare lot experimental (Ecuația 3).

$$(2) Ba = \frac{BTW}{1 + U\%},$$

unde: Ba – biomasa arborelui;
BTW – greutatea în stare verde a părții componente.

$$(3) BTs = s \cdot BSA_{medie},$$

unde: s – densitatea de plantare (exemplare/hectar);
BSA_{medie} – media biomasei aeriene a arborilor de probă.



Figura 7. Prelucrarea eșantioanelor de lemn în vederea determinării umidității specifice și determinarea volumului prin imersie a probelor prelevate din ramura eșantion aleasă (Foto. Iulian Dănilă).

Pentru calibrarea volumului de ramuri generat în aplicația *MathLab* a fost recoltat separat un segment de ramură pentru care volumul este determinat prin măsurători biometrice și prin metoda convențională de imersie în apă (fluidul deplasat de corp, ±0,1 ml) după o păstrare adecvată a probelor (Figura 7). Determinarea volumului de ramuri este foarte dificil de estimat prin metoda distructivă, în special pe ordine de creștere. În acest sens, utilizarea tehnologiei TLS este o metodă actuală, de interes pentru cercetători, silvicultori și investitorii privați.

Testarea diferențelor dintre clone și cele două sezoane de vegetație studiate în această etapă s-a făcut utilizând testul *Anova* (*Tukey HSD*, $P \leq 0,05$) pentru distribuțiile normale (aspect verificat cu testul *Shapiro-Wilk*). În caz contrar este aplicat testul non-parametric *Kruskal-Wallis* (testul *Dunn*, $P \leq 0,05$). Testarea semnificațiilor s-a efectuat pe baza coeficienților *Pearson* sau *Spearman* (pentru datele care nu urmează o distribuție normală). Prelucrarea și analiza datelor s-a realizat cu aplicația *R* și *XLStat 2012* (Fahmy, 2003; Team and Studio, 2015).

6.5. Calibrarea rezultatelor (rezultate preliminare)

Măsurători biometrice. Analizând distribuția înălțimilor totale pe diametrul măsurat pe fus la înălțimea de 1 m se poate observa că apar diferențe atât între cele două clone cât și între sezoanele de vegetație (Figura 8). După 6 sezoane de vegetație (culturile instalate în 2015), clona Pannonia atinge înălțimile cele mai mari (în medie de $11,9 \pm 1,8$ m) comparativ cu clona AF8 ($11,3 \pm 0,8$ m). În schimb, situația se schimbă după 5 sezoane de vegetație, unde clona AF8 (cu înălțimea medie de $9,1 \pm 0,8$ m) surclasează clona Pannonia ($8,9 \pm 1,2$ m).

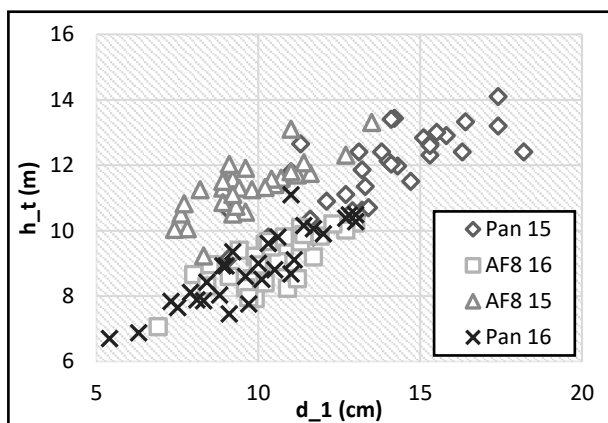


Figura 8. Distribuția înălțimilor totale pe diametrul măsurat la 1 m pe fus

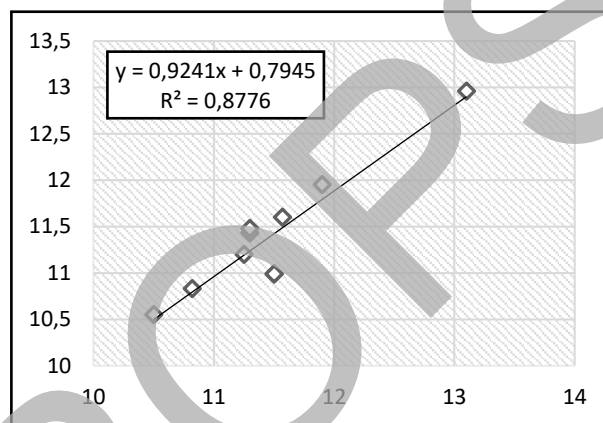


Figura 9. Corelația dintre înălțimile exemplarelor din suprafața de probă P1 a clonei AF8 (2015)

Testând dependența dintre înălțimile măsurate în teren și cele reconstituite în urma scanărilor, rezultă o corelație de 0,937 pentru suprafața P1 a clonei AF8 instalată în 2015 (Figura 9). Reconstrucția înălțimilor totale pentru fiecare exemplar depinde de filtrele aplicate și numărul lor în raport cu mișcările ușoare ale vârfului exemplarelor din momentul scanării în teren din cele 6 puncte de stație. Pentru această suprafață, volumul total variază de la 54 la 155 litri ($0,152 \text{ m}^3$), iar masa uscată totală aeriană variază între 16 și 45 kg pentru o densitate medie a lemnului de $289,5 \text{ kg/m}^3$ (Tabelul 2).

Tabelul 2. Rezultatul aplicării modelului QSM în suprafața de probă P1 a clonei AF8 instalată în 2015

| TotalVolume | TrunkVolume | BranchVolume | TreeHeight | TrunkLength | BranchLength | NumberBranches | TotalArea | DBHqsm | DBHcyl |
|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|----------------|----------------|---------|---------|
| L | L | L | m | m | m | | m ² | m | m |
| 70,56 | 45,2 | 25,36 | 10,99 | 11,94 | 138,5 | 201 | 8,162 | 0,1031 | 0,1028 |
| 72,41 | 44,28 | 28,14 | 11,43 | 10,57 | 164,2 | 253 | 8,957 | 0,09843 | 0,09988 |
| 59,51 | 35,97 | 23,54 | 10,55 | 10,5 | 127 | 192 | 7,451 | 0,08863 | 0,08994 |
| 54,14 | 33,43 | 20,71 | 10,83 | 10,91 | 119,5 | 182 | 6,942 | 0,08796 | 0,08803 |
| 73,34 | 40,56 | 32,78 | 11,2 | 11,46 | 161 | 220 | 9,226 | 0,09712 | 0,09648 |
| 82,47 | 47,97 | 34,5 | 11,6 | 10,85 | 149,3 | 210 | 9,341 | 0,1028 | 0,1033 |
| 130,3 | 62,06 | 68,23 | 11,95 | 12,51 | 229 | 380 | 14,76 | 0,1171 | 0,1199 |
| 94,33 | 45,81 | 48,52 | 11,48 | 9,355 | 184,6 | 256 | 10,92 | 0,1029 | 0,1022 |
| 88,18 | 44,17 | 44,01 | 10,99 | 11,29 | 183,2 | 311 | 11,15 | 0,09587 | 0,0964 |
| 155,3 | 78,85 | 76,45 | 12,96 | 13,41 | 274,5 | 402 | 17,71 | 0,1272 | 0,1255 |

Pentru un nivel de semnificație de 5% în cazul aplicării testului *Pearson* pentru masa în stare verde pe părți componente de arbore și volumul acestora reconstituit prin modelul QSM, rezultă o corelație de 0,89 pentru ramuri, de 0,97 pentru fus și 0,96 pentru total arbore (Figura 11). Rezultatul relativ redus pentru ramuri este probabil influențat de numărul mare al ramurilor fine (de mici dimensiuni și subțiri), care prezintă și un grad mare de uscare în momentul scanărilor. De asemenea, corelație semnificativă (0,96) este observată și între diametrul de bază ($h = 1,3$ m) măsurat în teren și cel reconstituit după algoritmul QSM.

Coeficientul de zveltețe dendrometric exprimă distribuția în spațiu a biomasei trunchiului, iar expresia matematică a acestuia este dată strict de raportul dintre înălțimea fusului și diametrul de bază. Modelarea matematică a formei fusului la clonele de plop se regăsește în forme geometrice cunoscute care se pot reconstitui în timp și pot genera o dinamică a creșterilor anuale (Dănilă et al., 2015).

Analizând distribuția diametrelor în raport cu înălțimile relative a exemplarelor incluse în sondaj, se observă că nu au fost înregistrate anomalii în procesul de culegere a datelor, iar datele urmăresc forma tipică a fusului cu valori mai mari la bază și care scad spre vârf (Figura 10). Se poate observa că cele două clone urmăresc aceeași curbă de contur (profil) a fusului pentru cele două cicluri de producție analizate. Lăbărțarea cea mai mare din partea bazală a trunchiului este observată la exemplarele de plop provenite din clona Pannonia, după 6 sezoane de vegetație. Pentru același ciclu de producție, clona AF8 prezintă o formă mai zveltă (aspect care se poate observa și în teren, Figura 11). Conicitatea formei fusului scade odată cu diametrul pentru toate categoriile analizate.

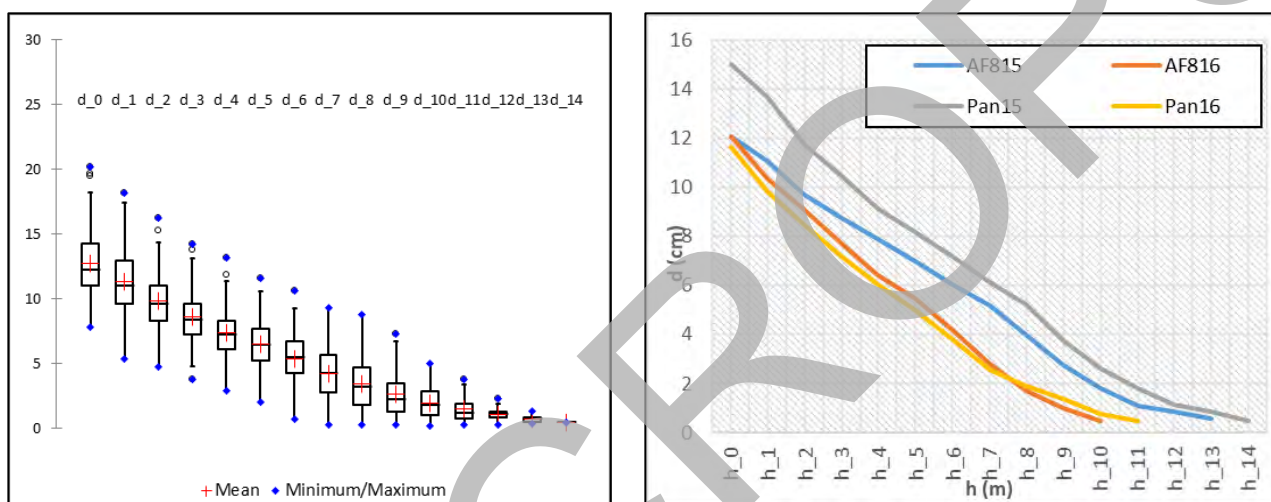


Figura 10. Reprezentarea grafică a relației dintre diametre și înălțimi relative

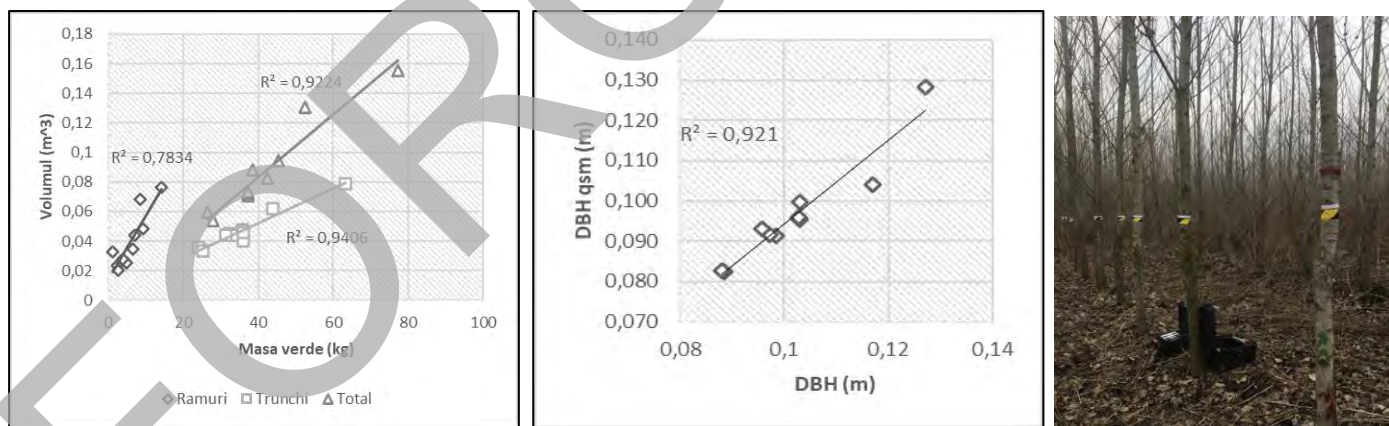


Figura 11. Corelația Pearson pentru (a) masa în stare verde și volumul reconstituit prin modelul QSM, și pentru (b) diametrul măsurat în teren și cel reconstituit. Imagine de ansamblu din suprafața de probă analizată - AF8/15/P1.

Biomasa lemnoasă supratrană. Biomasa acumulată la nivelul trunchiului este direct influențată de mărimea distanței de plantare dintre exemplare și de lucrările de întreținere efectuate (Dănilă et al., 2016). În trunchi au fost diferențiate două sortimente dimensionale în raport cu nevoile de prelucrare a lemnului, sortiment I (cu diametrul minim la capătul subțire de 8 cm) și sortimentul II (cu diametrul cuprins între 8 cm și minim la capătul subțire de 2 cm). Biomasa fusului și implicit a sortimentelor de la nivel individual crește față de biomasa ramurilor în raport cu creșterea distanței dintre exemplare (Dănilă, 2019).

Masa uscată a sortimentului I ($d > 8$ cm) variază în medie pentru clona Pannonia de la 6,1 kg cumulată după 6 sezoane de vegetație la 17,9 kg după 5 sezoane, iar pentru clona AF8 de la 10,7 kg după 6 sezoane de vegetație la 7,6 kg după 5 sezoane (Figura 12). Pentru primul sortiment de trunchi sunt înregistrate diferențe semnificative între categoriile analizate pentru un interval de încredere de 95% (Tabelul 3). Situația se păstrează și pentru biomasa sortimentului II ($d = 8 \div 2$ cm), unde variația este de la 3,3 kg pentru cele două clone din 2016, la 4,05 kg pentru clona AF8 și 4,6 kg pentru clona Pannonia după 6 sezoane de vegetație. Pentru acest sortiment nu sunt înregistrate diferențe semnificative între categoriile analizate.

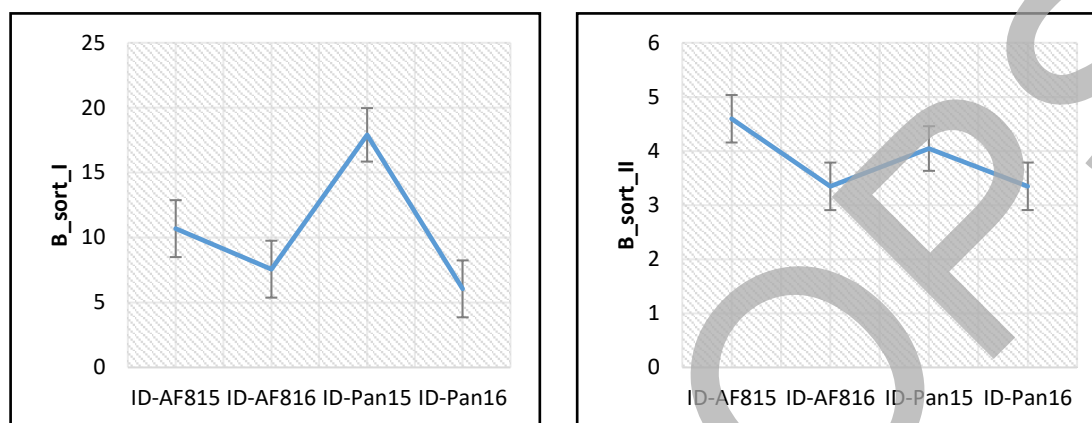


Figura 12. Distribuția biomasei sortimentului I și II pentru suprafețele de cultură analizate

Tabelul 3. Analiza statistică a diferențelor de biomasă pentru un interval de încredere de 95%

| Categoría analizată | Sortiment I ($d > 8$ cm) | | Sortiment II ($d = 8 \div 2$ cm) | |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| | Biomasa (kg) | Semnificația statistică/ Tukey | Biomasa (kg) | Semnificația statistică/ Tukey |
| Pan 2015 | 17,909 | A | 4,596 | A |
| AF8 2015 | 10,689 | B | 4,046 | A |
| AF8 2016 | 7,567 | B | 3,347 | A |
| Pan 2016 | 6,050 | C | 3,346 | A |

Indiferent de clonă și sezon de vegetație, biomasa totală a exemplarelor analizate prezintă o medie de 17,4 kg la nivel individual, diferențiată în trunchi (14,7 kg) și ramuri (3 kg) în raport cu umiditatea specifică a probelor recoltate din teren (Tabelul 4). Sortimentul I dimensional reprezintă circa 66% din biomasa totală a trunchiului. Acesta variază pentru clona Pannonia de la 55% în cultura instalată în anul 2016 (după 5 sezoane de vegetație) la 76% în anul 2015, iar pentru clona AF8 diferențe sunt foarte mici de la un ciclu la altul, cu cca. 65% pentru cultura din 2016 și 66% pentru anul 2015.

Tabelul 4. Biomasa cumulată la nivel individual pentru suprafețele analizate (kg)

| Variable | Minimum | Maximum | Mean | Std. deviation |
|-----------|---------|---------|--------|----------------|
| B_totală | 3,155 | 56,908 | 17,386 | 9,147 |
| B_trunchi | 2,869 | 44,611 | 14,716 | 7,694 |
| B_sort_I | 0,000 | 43,326 | 10,686 | 7,659 |
| B_ramuri | 0,956 | 11,734 | 3,006 | 1,850 |

Diferențe semnificative apar pentru culturile analizate și între toate componentele de arbore. Biomasa totală cumulată diferă semnificativ între cele două clone analizate după 6 sezoane de vegetație, dar mai puțin după 5 sezoane (Tabelul 5). Aceeași aspect se păstrează și pentru biomasa trunchiului și cea a ramurilor.

Raportând biomasa individuală la unitatea de suprafață se observă că cea mai mare producție este înregistrată de către clona Pannonia după 6 sezoane de vegetație (cca. 43 t·ha⁻¹), iar cea mai redusă producție este înregistrată tot de aceeași clonă în situația în care se reduce cu un an ciclu de vegetație - 18,7 tone (Tabelul 6). Clona italiană AF8 înregistrează o producție la hectar de cca. 30 tone după 6 sezoane de vegetație și de cca. 22 tone după 5 ani. Aspect care se păstrează și de această dată pentru biomasa trunchiului și cea a ramurilor între cele două sezoane de vegetație și între clone.

Tabelul 5. Analiza diferențelor de biomasă dintre categoriile analizate pentru un interval de încredere de 95%

| Categoria analizată | Biomasa totală (kg) | Semnificația statistică/ Tukey | Biomasa trunchi (kg) | Semnificația statistică/ Tukey | Biomasa ramuri (kg) | Semnificația statistică/ Tukey |
|---------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Pan15 | 25,883 | A | 22,040 | A | 4,327 | A |
| AF815 | 17,913 | B | 15,378 | B | 3,030 | B |
| AF816 | 13,373 | B C | 10,987 | C | 2,537 | B |
| Pan16 | 11,243 | C | 9,481 | C | 1,953 | B |

Tabelul 6. Biomasa lemnoasă raportată la unitatea de suprafață (media ± eroarea de estimare)

| Anul instalării | B_totală (t/ha) | B_trunchi (t/ha) | B_ramuri (t/ha) |
|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Clona AF8 | | | |
| 2015 | 29,86±1,85 | 25,64±1,54 | 5,05±0,49 |
| 2016 | 22,29±1,13 | 18,31±0,87 | 4,15±0,37 |
| Clona Pannonia | | | |
| 2015 | 42,69±3,25 | 36,38±2,69 | 7,44±0,8 |
| 2016 | 18,74±1,54 | 15,8±1,26 | 3,26±0,39 |

Aplicând ecuațiile alometrice propuse pentru condițiile locale în vederea estimării biomasei (Dănilă, 2015), se observă o subestimarea a acesteia la nivel individual de cca. 1,27 kg față de rezultatele obținute prin metoda distructivă (Tabelul 7). Cele mai mici diferențe sunt înregistrate pentru clona AF8 indiferent de ciclu de producție analizat (de cca. 0,83 kg după 5 sezoane de vegetație), aspect probabil datorat caracteristicilor particulare ale acesteia (Dănilă et al., 2016).

Tabelul 7. Compararea rezultatelor obținute pentru biomasa totală a exemplarelor în urma aplicării metodei distructive și prin aplicarea ecuațiilor alometrice

| Variabile | B_tot (kg) | Std. deviation | B_tot2 (kg) | Std. deviation |
|-----------|------------|----------------|-------------|----------------|
| AF8 | 15,64 | 5,49 | 14,66 | 5,36 |
| 2015 | 17,91 | 6,07 | 16,79 | 6,34 |
| 2016 | 13,37 | 3,72 | 12,53 | 2,99 |
| Pannonia | 19,02 | 11,37 | 17,46 | 10,58 |
| 2015 | 25,88 | 11,01 | 24,35 | 9,51 |
| 2016 | 11,24 | 5,06 | 9,65 | 4,67 |
| Total | 17,38 | 9,14 | 16,11 | 8,55 |

Notă. B_tot este biomasa totală curentă rezultată prin metoda directă, iar B_tot2 este biomasa estimată prin aplicarea ecuațiilor alometrice pentru aceleași clone și caracteristici de cultură.

Densitatea probelor. Densitatea lemnului este o variabilă importantă pentru cuantificarea exactă a biomasei lemnoase și a stocurilor de carbon prin metode indirecte. Analizând distribuția masei uscate a rondelilor recoltate în raport cu volumul acestora, se observă că densitatea medie a clonelor analizate este de 289,51 kg/m³ (0,28951 g/cm³) indiferent de ciclu de producție. Nu se observă o scădere a densității spre baza fusului

și nici de la ciclul de producție de la 6 ani la 5 ani. Variațiile între cele două clone și sezoane de vegetație sunt ne semnificative pentru valorile medii, iar cea mai mare abatere standard este înregistrată pentru cele două clone după 6 sezoane de vegetație pentru eșantionul recoltat la înălțimea de 1 m (Figura 13).

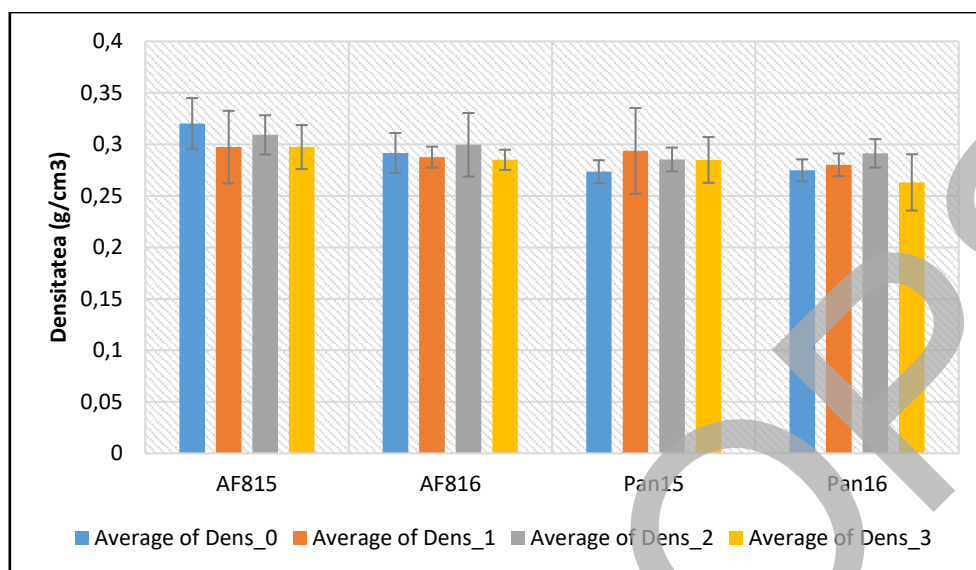


Figura 13. Distribuția densității lemnului pe clone, sezoane de vegetație și înălțimea probelor de lemn.

7. Concluziile etapei nr. II de execuție

În această etapă de execuție a proiectului au fost urmărite următoarele aspecte:

- 1) Selectarea și materializarea suprafețelor experimentale pentru activitățile din etapa următoare;
- 2) Scanarea suprafețelor experimentale prin tehnologia TLS;
- 3) Inventarierea suprafețelor, cântărirea în verde și recoltarea eșantioanelor de lemn pe părți de arbore pentru determinarea biomasei supraterane;
- 4) Determinarea umidității eșantioanelor de lemn și a volumului segmentului de ramură prin metoda convențională de imersie;
- 5) Procesarea și prelucrarea scanărilor prin coreregistrare în *Z+F LaserControl*, individualizarea arborilor în *CloudCompare* și determinarea volumului pe părți componente în *MathLab*;
- 6) Participarea cu lucrări la diferite conferințe de specialitate din țară și străinătate. În acest sens au fost pregătite 9 lucrări distincte;
- 7) Prezentarea tehnologiei TLS în cadrul diferitelor manifestări;
- 8) Publicarea a patru manuscrise științifice (1 ISI, 2 BDI și 1 în arhivele *LEI – Lithuanian Energy Institute/ Cyseni International Conference*);
- 9) Realizarea achizițiilor necesare desfășurării activităților de teren și laborator;
- 10) Actualizarea informațiilor pe site-ul proiectului și pe platformele dedicate cercetării-inovării (*BrainMap, ResearchGate, ș.a.*).

8. Referințe bibliografice

Aebiom, A., 2015. Aebiom statistical report 2014.

Bouriaud, L., Duduman, M.L., Dănilă, I., Olenici, N., Biriș, I.-A., Ciornei, I., Barnoaiea, I., Măciucă, A., Savin, A., Grosu, L., Mutu, M., Nichiforel, L., Bouriaud, O., Dănilă, G., Avăcăriței, D., Roibu, C., 2015. How to evaluate the sustainability of short-term cultures for biomass production? An application from NE Romania. *Agric. For.* 61, *AgricultForest*. <https://doi.org/10.17707>

Carmona, R., Nuñez, T., Alonso, M.F., 2015. Biomass yield and quality of an energy dedicated crop of poplar (*Populus* spp.) clones in the Mediterranean zone of Chile. *Biomass and Bioenergy* 74, 96–102.

- Evaluarea directă a productivității de biomasă din culturile forestiere cu ciclul scurt de producție (SRF) cu scannerul laser terestru (TLS) - Direct assessment of biomass productivity in short rotation forestry (SRF) with the terrestrial laser scanner (TLS) - FORCROPS - PN-III-P1-1.1-PD-2019-0388 - Contract nr. PD3/2020.*
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.01.004>
- Coșofreț, C., Barnoaiea, I., Scriban, R.E., Dănilă, I.C., Duduman, M.L., Bouriaud, O., 2018. Utilizarea scannerului laser terestru în măsurătorile forestiere : cerințe metodologice și precauții necesare la aplicarea în practică 18, 137–153.
<https://doi.org/10.4316/bf.2018.014>
- Danila et al., 2017. Raport științific și tehnic, etapa II - Proiect PN III Tehno-Crops (PN-III-P2-2.1-BG-2016-0376/30BG-2016). Suceava.
- Dănilă, I.-C., Barnoaiea, I., Cosofreț, C., Bouriaud, O., 2021. Terrestrial laser scanner used in short rotation poplar crops for biomass estimation. Case of study in NE part of Romania (methodology aspects)., in: Forestry Faculty of Suceava (Ed.), Integrated Management of Environmental Resources Conference. Suceava, Romania.
- Dănilă, I., 2020. Direct assessment of biomass productivity in short rotation forestry (SRF) with the terrestrial laser scanner (TLS). Case of study in NE part of Romania (preliminary results).
- Dănilă, I., Avăcăriței, D., Nuțu, A., Savin, A., Duduman, M., Bouriaud, O., Bouriaud, L., 2016. Productivitatea clonelor de plop hibrid instalate în culturi intensive în nord-estul României.
- Dănilă, I.C., 2021. Use of terrestrial laser scanner in short rotation crops for above-ground woody biomass estimation, in: INTERNATIONAL CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS ON ENERGY AND NATURAL SCIENCES ISSUES. [https://cyseni.com/wp-content/archives/proceedings ...](https://cyseni.com/wp-content/archives/proceedings...), pp. 969-p.
- Dănilă, I.C., 2019. Cercetări biometrice privind productivitatea clonelor de plop hibrid în culturi cu ciclu scurt de producție din Nord-Estul României / Biometric research on the productivity of hybrid poplar clones in short-rotation crops from Northeastern Romania.
- Dănilă, I.C., 2015. Cercetări biometrice privind productivitatea clonelor de plop hibrid în culturi cu ciclu scurt de producție din Nord-Estul României. Univ. Suceava, Fac. For. Ștefan cel Mare Suceava.
- Dănilă, I.C., Avăcăriței, D., Alexei, S., Roibu, C.C., Bouriaud, O., Duduman, M.L., Bouriaud, L., 2015. Dinamica și caracteristicile creșterii a șase clone de plop hibrid pe parcursul unui ciclu de producție într-o plantație comparativă din Depresiunea Rădăuți. *Bucovina For.* 15(1), 1–12.
- Dickmann, D.I., 2001. An overview of the genus *Populus*. *Poplar Cult. North Am.* 1e42.
- Fahmy, T., 2003. XLSTAT-Pro 7.0 (XLSTAT), Addinsoft. Paris, Fr.
- Filat, M., Chira, D., 2004. Cercetări pentru introducerea în cultură de specii/clone de plop și salcie cu potențial silvoprodusiv superior și rezistență sporită la adversități. *Res. Introd. clones poplar willow that have High. Product. potential High. diseases Resist.* 83–99.
- IPC, 2012. Publications listed in country progress reports.
- Isebrands, J.G., Richardson, J., 2014. *Poplars and willows: trees for society and the environment*. CABI.
- Lindegaard, K.N., Adams, P.W.R., Holley, M., Lamley, A., Henriksson, A., Larsson, S., von Engelbrechten, H., Esteban Lopez, G., Pisarek, M., 2016. Short rotation plantations policy history in Europe: lessons from the past and recommendations for the future. *Food energy Secur.* 5, 125–152.
- Næsset, E., Gobakken, T., Bollandssås, O.M., Gregoire, T.G., Nelson, R., Ståhl, G., 2013. Comparison of precision of biomass estimates in regional field sample surveys and airborne LiDAR-assisted surveys in Hedmark County, Norway. *Remote Sens. Environ.* 130, 108–120.
- Sandu, I., Pescaru, V.I., Poiana, I., 2008. *Clima Romaniei*. Ed. Acad. Rom. Bucharest.
- Savin, A., Avăcăriței, D., Dănilă, I.C., Duduman, M.L., Rotaru-Buzdugan, C., 2019. Studiu privind impactul culturilor de plopi hibridi asupra proprietăților solului. *Bucovina For.* 19, 19–29.
- Savin, A., Trifan, O., Covatariu, S., Ciurlă, C., Bouriaud, L., 2014. Influența profunzimii solurilor aluviale asupra biodiversității subterane și a unor caracteristici biometrice în culturi de clone de plopi hibridi: rezultate preliminare. *Bucovina For.* 14(1), 60–67.
- Tănăsă, I., 2011. *Clima Podisului Sucevei - fenomene de risc, implicatii asupra dezvoltarii durabile*. Teza Dr. Universita, 72.
- Team, R., Studio, R., 2015. *Integrated development for R*. RStudio. Inc., Boston, USA.