

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. 3

Raport științific și tehnic, etapa nr. III (2022)

Etapa 3. FINALIZAREA ACTIVITĂȚILOR DE TEREN ȘI BIROU

- Activitatea 3.1. Scanarea suprafețelor de probă
- Activitatea 3.2. Prelevarea eșantioanelor de lemn
- Activitatea 3.3. Activități de birou - procesarea datelor din scanări și inventarieri
- Activitatea 3.4. Calibrarea rezultatelor finale
- Activitatea 3.5. Diseminarea rezultatelor

Data depunerii: 14/08/2022

Numărul raportului	PN-III-P1-1.1-PD-2019-0388 - PD3/2020
Titlul	Raport științific și tehnic în extenso. Etapa 2022 - 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 III, 16.12.2021 – 31.08.2022)
Durata proiectului	01.09.2020 – 31.08.2022

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



Cercetările efectuate care au condus la aceste rezultate sunt finanțate prin PN III, Programul 1 - Dezvoltarea sistemului național de cercetare-dezvoltare, Subprogramul 1.1 - Resurse umane, autoritatea contractantă: Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării (UEFISCDI), tipul proiectului fiind: Proiecte de cercetare postdoctorală (PD), prin contractul: PN-III-P1-1.1-PD-2019-0388 - PD3/2020.

Cuprins

1. Preambul - contextul cercetărilor.....	2
2. Obiectivul general al proiectului.....	2
3. Obiectivele fazei III de execuție a proiectului	2
4. Rezumatul etapei.....	3
5. Descrierea științifică și tehnică	3
6. Activități de diseminare efectuate în etapa III	13
7. Concluziile etapei III de execuție	14
8. Referințe bibliografice	14

1. Preambul - contextul cercetărilor

Culturile de plop (*Populus spp.*) prezintă un rol important în economia forestieră globală, devenind o specie cu mare potențial energetic pentru investitorii în domeniu [1,2]. Culturile energetice de acest tip sunt promovate de peste 30 de ani în numeroase țări prin diferite politici de mediu, favorizând în acest mod reducerea gazelor cu efect de seră pe fondul schimbărilor climatice [3,4]. Plopul hibrid este printre cele mai răspândite specii pentru instalarea unor astfel de culturi în zona temperată datorită avantajelor pe care le oferă. De remarcat este producția și randamentul de biomasă obținută, pe lângă fiabilitatea mecanizării cultivării intensive [5,6]. În Europa sunt instalate peste 50.000 ha în regim intensiv, iar la nivel național suprafața raportată depășește cca. 2.600 ha [7]. Interesul pentru aceste culturi a crescut și în regiunea de Nord-Est a României, unde începând cu anul 2009 sunt instalate peste 800 ha [8,9]. Primele cercetări efectuate în aceste condiții (zona colinară a podișului Sucevei) au urmărit estimarea aportului de biomasă lemnoasă la variația unor caracteristici de cultură [10]. Estimarea cât mai precisă a producției de biomasă este necesară în special pentru planificarea sustenabilă a resurselor forestiere pentru investitori [11,12], iar utilizarea scannerului laser terestru (TLS) aduce în acest sens un important salt tehnologic [13,14]. Tehnologia TLS se justifică în situațiile în care metoda distructivă (directă sau gravimetrică) devine dificil de implementat sau în situațiile în care ecuațiile alometrice (metodă indirectă) nu furnizează informații satisfăcătoare [15]. Proiectul *ForCrops* își propune să evedențieze potențialul TLS-lui în estimarea biomasei lemnoase, comparând rezultatele obținute prin această metodă cu cele prin metoda gravimetrică cu scopul generării unor ecuații alometrice stabile pentru această regiune. Estimarea biomasei lemnoase este realizată pe părți componente de arbore (total, trunchi și ramuri) după trei sezoane de vegetație diferite [16].

2. Obiectivul general al proiectului

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

3. Obiectivele fazei III de execuție a proiectului

Faza III de execuție a proiectului s-a desfășurat în perioada 16 decembrie 2021 – 31 august 2022 și a avut următoarele obiective:

- Scanarea suprafețelor de probă și prelevarea eșantioanelor de lemn;
- Procesarea datelor provenite din scanări și inventarieri forestiere;
- Calibrarea rezultatelor;
- Diseminarea rezultatelor.

4. Rezumatul etapei

Activitățile au demarat cu scanarea și inventarierea suprafețele identificate în etapa precedentă. Au fost aplicate cele două metode de estimare a biomasei: scanarea TLS și metoda gravimetrică (distructivă) ulterior. Activitățile de teren s-au desfășurat în perioada de repaus vegetativ (fiind necesari arbori fără frunze), urmate de partea de procesare și prelucrare a datelor. Biomasă lemnoasă supraterană a rezultat în raport cu umiditatea specifică a părților componente de arbore prin diferența cântărilor probelor eșantion în stare verde și uscată. Volumul componentelor a fost obținut în urma scanărilor TLS după coreregistrare și filtrare prin aplicarea algoritmului QSM în aplicația *MatLab*, cât și în mod direct după densitatea lemnului. Rezultatelor finale au generat ecuații alometrice stabile pentru condițiile locale de vegetație. Acestea au fost înaintate către brevetarea unei aplicații de estimare a biomasei. Combinarea metodelor permit identificarea modalității potrivite de selecție a arborilor (sistematic, aleatoriu sau stratificat) pentru determinări ulterioare de biomasă. În această etapă au fost îndeplinite toate obiectivele prevăzute pe partea de activități proiect, realizare indicatori și sume contractate. Au fost publicate două manuscrise (1 ISI și 1 BDI – trimis în evaluare în etapa precedentă) și unul trimis în evaluare (ISI). A fost înregistrată o prezentare orală în cadrul unei conferințe științifice (*FORECOMON 2022*) și a fost depusă o cerere de brevet de invenție la OSIM pentru protejarea ideii unei aplicații de estimare a biomasei și a metodei de evaluare a productivității de biomasă în timp. Tot în această etapă au fost publicate două baze de date cu acces liber (*Zenodo.org*) cu rezultatele obținute și care stau la baza articolului trimis în evaluare. Rezultatele etapei III de execuție a proiectului au fost actualizate pe site-ul proiectului (<http://www.silvic.usv.ro/forcrops/index.php>) și în cadrul platformelor dedicate cercetării și inovării (*BrainMap* și *ResearchGate*).

5. Descrierea științifică și tehnică

5.1. Scanarea suprafețelor experimentale și prelevare eșantioanelor de lemn

Modul de colectare a datelor. În cea de-a treia etapă au fost scanate și inventariate suprafețele de probă identificate în etapa precedentă. Astfel, a fost adăugat la baza de date culturile ajunse la 7 sezoane de creștere pentru clona AF8 și Pannonia (*Tabelul 1*). Suprafețele de cultură sunt localizate în N.-E. României (în cuprinsul Podișului Sucevei) la o altitudine medie de cca. 350 m. Condițiile climatice sunt temperat continentale, iar solul este de tip *Faeoziom* din clasa *Cernisoluri* [17,18]. Delimitarea suprafețelor de probă în interiorul culturilor s-a făcut evitându-se zonele de influență marginală și inter-specifică. Plantarea culturilor a fost realizată mecanizat în anul 2015 după o pregătire în prealabil a terenului. Au fost folosite sade de 2 m lungime și diametrul de 2 – 3 cm ca material săditor, fiind introduse în sol la o adâncime de 0,6 m. Densitatea de plantare a fost de 1667 arbori·ha⁻¹ pentru schema de plantare 3 x 2 m, similară culturilor analizate în etapa precedentă. Culturile au fost întreținute în fiecare sezon de vegetație prin două mobilizări ale solului dintre rândurile de plop și erbicidări specifice în primii doi ani pe fiecare rând [8]. S-a respectat același protocol de scanare și inventariere adoptat în primele etape.

Metoda distructivă (gravimetrică, de determinare directă) a fost utilizată pentru validarea rezultatelor obținute în urma scanărilor TLS, care presupune parcurgerea a două etape de lucru (teren și birou).

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 inventarii	II / 2021	II / 2021	III / 2022
Material săditor	Sade – 2 m lungime		
Clona de plop	Numărul și localizarea suprafețelor de probă (10 x 6 m - cu cca. 10 exemplare)		
AF8	3	3	3
	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	3	3	3
	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
	3	3	3

Fișa 1

Nr	Identificare plot		Înălțimi - creșteri (m)													Masă trunchi (kg)				Sect. m	(m)	(m)	Probă ramură			
	Cloa	An	Plot	Arb	h ₁ T	h ₁ el	h ₁ ad	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇ bc	h ₇ zc	h ₇ V	Mv ₁	Mv ₂	Mv ₃				Mv ₄	L ₁ km ₁ V	Nv ₁ Rm	Mv ₁ Pb ₁
26	Pan	7	P3	6	1,5	2,0	4,0	2,2	3,0	3,7	5,13	9,22	10,5	5,76	10,4	5,18	60,72	48,6	4,92	13,8	5-6	4,02	10,4	142,5	34,2	119,6
27	Pan	7	P3	7	1,5	2,1	4,1	2,2	2,8	3,9	5,12	10,4	10,8	5,74	10,18	7,7	49,15	40,6	3,74	12,8	1-2	1,85	54,3	16,8	15,55	14,16
28	Pan	7	P3	8	1,5	2,1	4,1	2,2	2,8	3,9	5,12	10,4	10,8	5,74	10,18	7,7	49,15	40,6	3,74	12,8	1-2	1,85	54,3	16,8	15,55	14,16
29	Pan	7	P3	9	1,5	2,2	0,8	4	2,7	4,4	6,18	7,11	8,67	2,58	8,1	8,51	25,3	2,4	13,84	18,9	8-9	82,1	13,4	4,0	2,76	113,2
30	Pan	7	P3	10	1,5	2,2	0,8	4	2,7	4,4	6,18	7,11	8,67	2,58	8,1	8,51	25,3	2,4	13,84	18,9	8-9	82,1	13,4	4,0	2,76	113,2
31	AFB	7	P1	1	1,2	4,6	0,9	2,9	4,7	2,1	8,12	9,24	11,3	4,98	10,5	6,0	54,2	4,7	33,5	12,6	4-6	3,15	59,2	41,6	2,38	13,03

Fișa 2

Nr	Identificare plot		Diametre fus (cm)													Masă (g), circumferință (cm) și lungime (cm)												
	Cloa	An	Plot	Arb	d ₁ 0	d ₁ 1	d ₁ 2	d ₁ 3	d ₁ 4	d ₁ 5	d ₁ 6	d ₁ 7	d ₁ 8	d ₁ 9	Mv ₁ d ₀	Cv ₁ d ₀	Lv ₁ rd	Mv ₁ d ₁	Cv ₁ d ₁	Lv ₁ rd	Mv ₁ d ₂	Cv ₁ d ₂	Lv ₁ rd	Mv ₁ d ₃	Cv ₁ d ₃	Lv ₁ rd		
26	Pan	7	P3	6	1,70	1,70	1,90	1,2	1,68	1,7	1,7	1,68	1,7	1,7	3,76	5,14	3,08	2,36	4,48	2,27	2,49	4,43	2,8	16,08	3,73	10,35		
27	Pan	7	P3	7	1,4	1,1	1,20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,58	4,68	2,72	2,62	3,73	2,32	1,12	3,74	2,8	10,35	3,73	10,35			
28	Pan	7	P3	8	1,50	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		
29	Pan	7	P3	9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2		
30	Pan	7	P3	10	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2		
31	AFB	7	P1	1	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8		

Figura 1. Captură a carnetului de inventariere cu fișele de teren 1 – necesară preluării înălțimilor, masei totale, a trunchiului, ramurii și probele eșantion ramură (a) și 2 – diametre pe fus, masă și circumferințe probe din trunchi (b).

Au fost recoltate în această etapă câte 10 exemplare din fiecare suprafață de probă (3 suprafețe x 10 exemplare x 2 clone) după un ciclu de producție de 7 ani. Astfel încât, în total au fost inventariați 184 de arbori prin cele două metode. Fiecare arbore a fost cântărit separat pe părți componente (total și trunchi) cu o balanță electronică (asigurând precizia de 10 g). Din fiecare componentă s-au prelevat probe pentru determinarea umidităților relative. Pentru determinarea biomasei trunchiului au fost recoltate runde de lemn pe fus (de la bază, 1, 2 și 3 m), iar pentru biomasa ramurilor a fost prelevată o ramură reprezentativă dintr-un sector de trunchi ales în mod sistematic de la un exemplar la altul pentru reprezentativitate (precizie cântărire de 0,01 g) (Figura 1). Pentru fiecare rondă/ disc de lemn prelevat a fost determinată circumferința și grosimea pentru determinarea volumului și ulterior a densității lemnului.

Circumferința a fost determinată cu o ruleta de precizie 1 mm, iar grosimea a fost determinată cu ajutorul unui șubler digital pe două direcții perpendiculare de măsurare la o acuratețe de 0,01 mm.

Înălțimile pe fus (m) au fost măsurate cu ruleta pe trunchi după doborârea arborilor, asigurând o precizie de 1 cm (Figura 2-b). Diametrele (cm) au fost măsurate pe fus din metru în metru cu clupa forestieră asigurând în acest caz o precizie de 0,1 cm.

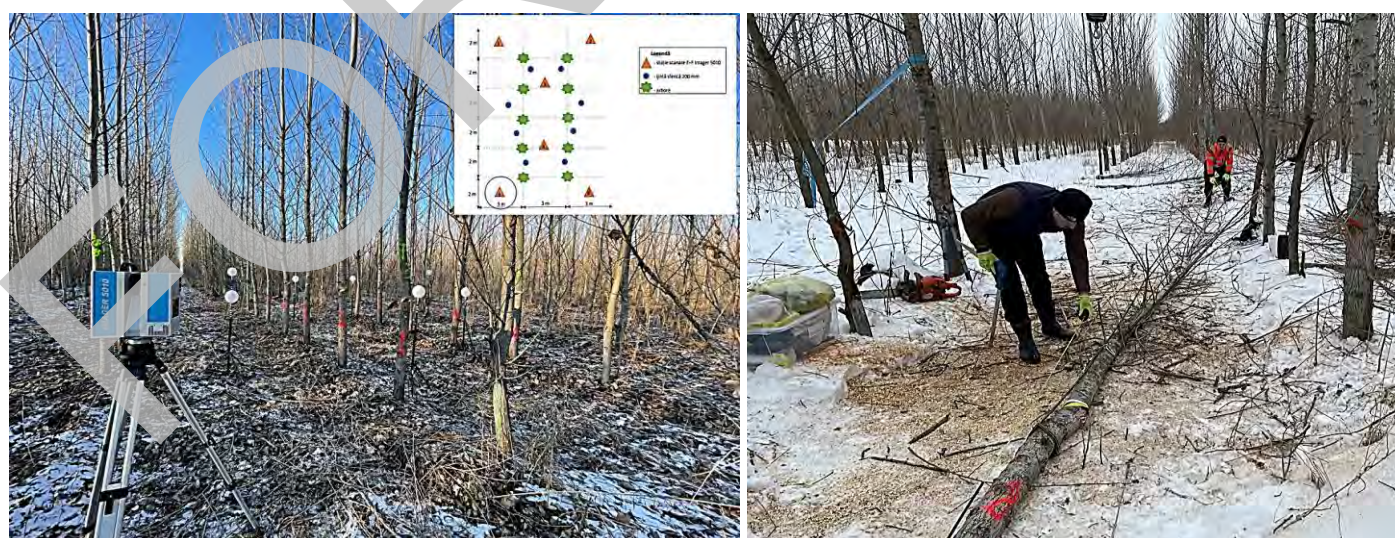


Figura 2. Imagini din cadrul etapei de teren. Scanarea suprafețelor de probă (a) și determinarea înălțimilor pe fusul exemplarelor recoltate prin metoda distructivă (b).

5.2. Procesare datelor provenite din scanări și inventarieri forestiere

Obținerea modelului 3D a suprafețelor de probă în teren a fost efectuată cu ajutorul aparatului laser Z+F Imager 5010 (Zoller and Fröhlich) (Figura 2-a). Coregistrarea scanărilor s-a făcut în raport cu reperle sferice instalate pe trepiede metalice la diferite înălțimi pe suprafața de probă, respectând protocolul de scanare (Anexa 1 - RST 1) (Figura 3). Metoda urmărește etapele descrise în faza precedentă: scanare propriu-zisă, coregistrarea scanărilor din fiecare suprafață de probă, filtrarea, exportul/ convertirea tipului de fișier .pts (Z+F LaserControl), individualizare/ decuparea arborilor și exportul acestora .txt (CloudCompare), segmentare și afișare caracteristici dendrometrice (QSM/ MatLAB).

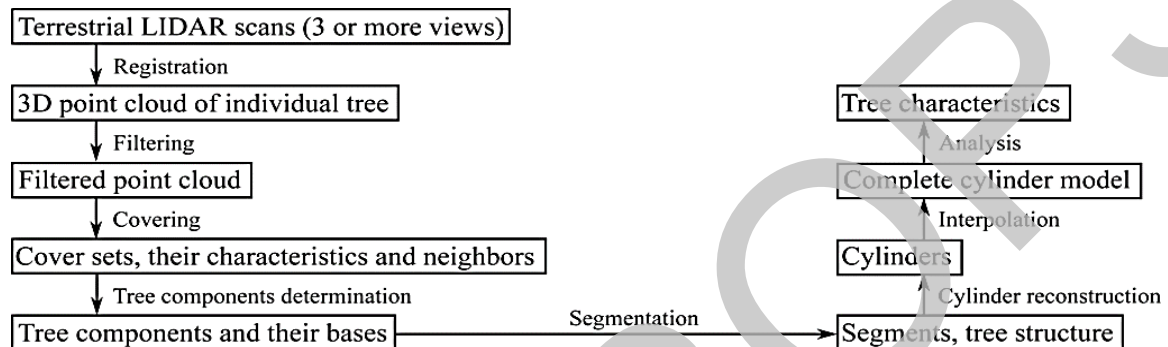
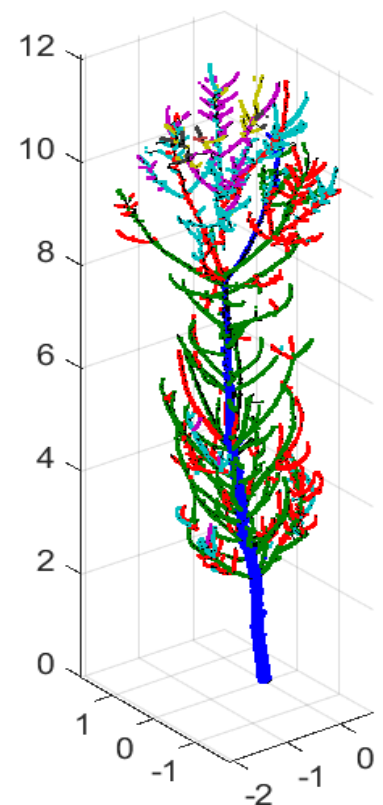


Figura 3. Principalele etape ale metodei TLS de obținere a caracteristicilor dendrometrice [19]

Scanările au fost coregistrate și filtrate cu ajutorul aplicației Z+F LaserControl 9.0.2 dedicată TLS-ului. Individualizarea exemplarelor a fost efectuată cu ajutorul aplicației CloudCompare v.2.12 alpha Stereo, iar prelucrarea modelului 3D a arborilor a fost efectuată în MathLab R2018b utilizând algoritmul QSM (Quantitative Structure Models) pentru un singur arbore. Modelul QSM este un model al structurii ramificate a arborelui care descrie cantitativ proprietățile sale topologice (structura ramificată), geometrice și volumetrice de bază. Include proprietăți precum numărul total de ramuri și estimarea ordinului de ramificare. Volumul este determinat la nivelul structural din interiorul arborelui către exterior determinând fusul principal și ramuri pe ordine de creștere aferente fiecărui sezon de vegetație (Figura 4). Astfel, modelul QSM reușește după norul de puncte prin reconstrucția segmentelor din aproape în aproape 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. Datele sunt generate de regulă sub formă tabelară sau grafic opțional (Figura 5). Volumul trunchiului (m^3) a fost determinat succesiv prin mai multe metode, utilizând relațiile alometrice dezvoltate local, după metoda destructivă în raport cu densitatea lemnului și în urma aplicării algoritmului QSM în aplicația MatLab (după scanarea TLS). Probele de lemn prelevate din fiecare componentă de arbore au fost utilizate pentru determinarea procentului de umiditate relativă (U%). Uscarea probelor s-a efectuat în laborator, după fiecare campanie de teren, în etuvă la temperatura de $105^{\circ}C$ până la o masă constantă între două cântăriri succesive (Figura 6). Biomasă lemnoasă (kg) a fost determinată în raport cu umiditatea probelor recoltate. Prelucrarea ulterioară și analiza datelor s-a realizat cu ajutorul aplicației R și XLStat 2012 [20,21].



exemplar scanat generat prin modelul QSM. Ex. arborele 3 din suprafața P3 – clona AF8, 7 sezoane de vegetație.

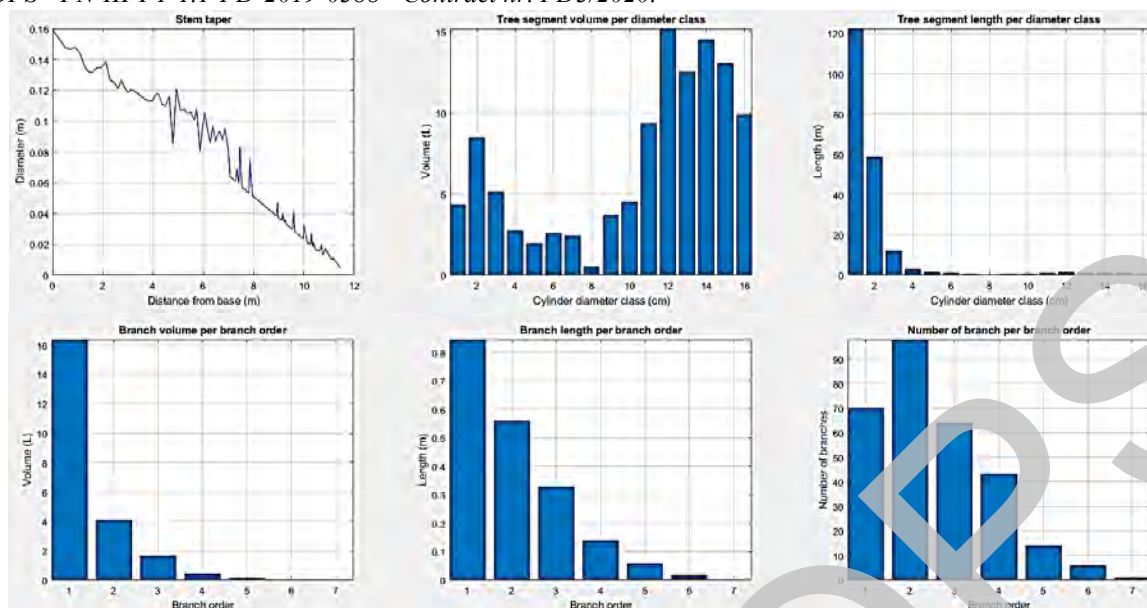


Figura 5. Rezultate obținute prin aplicarea modelului QSM pentru un arbore (AF8_7_P3_A3). Reducerea conicității tulpinii (a). Volumul și lungimea pe segmente și clase de diametre (b, c). Volumul și lungimea ramurilor pe ordin de creștere (d, e). Numărul ramurilor pe fiecare ordin de creștere (f).

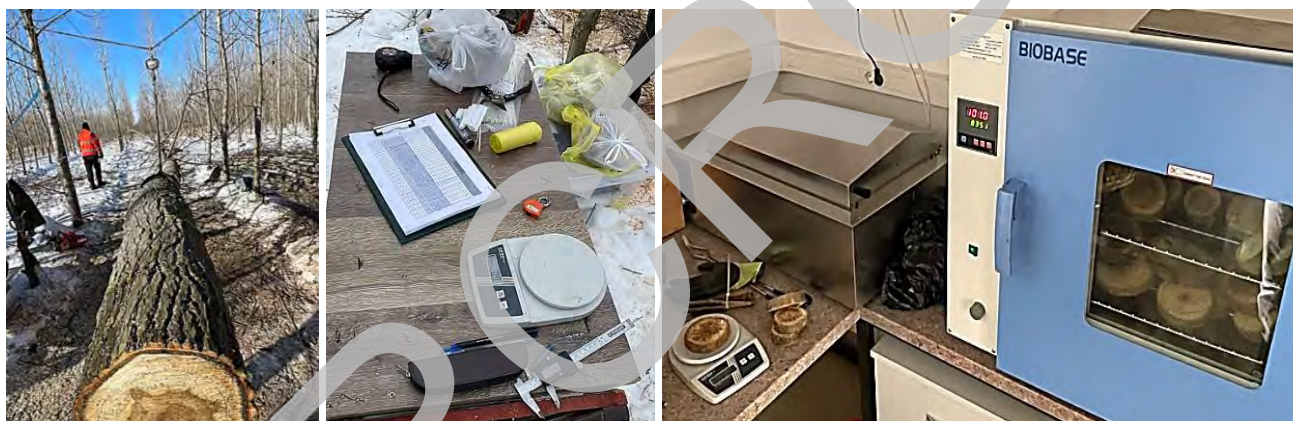


Figura 6. Imagini de ansamblu din etapa de teren – cântărirea exemplarelor de plop hibrid (a) și prelevarea probelor de lemn (b), cât și din etapa de laborator – procesul de uscare a probelor recoltate (c) (Foto. Iulian Dănilă)

5.3. Calibrarea rezultatelor

Variația înălțimilor. În teren au fost preluate valori pentru înălțimea totală, cea elagată, a sabei, pentru fiecare an de creștere, pentru diametrul de 8 și 2 cm. Analizând valorile înălțimilor totale obținute prin cele două metode pentru întregul bloc experimental se observă o reducere nesemnificativă a înălțimilor prin operația de filtrare a norilor de puncte, aspect observat în special la arborii de mari dimensiuni. Ocluzia (obturarea câmpului vizual) este un alt factor incident, dar care s-a redus prin respectarea schemei de montare a elementelor dispozitivului de scanare TLS (brevetat cu această ocazie în etapa precedentă). Reconstrucția înălțimilor totale pentru fiecare exemplar depinde în acest mod de filtrele aplicate și numărul lor în raport cu mișcările ușoare ale vârfului exemplarelor în momentul scanărilor din cele 6 puncte de stație/scanare. Așadar, cele mai accentuate pierderi/reduceri în înălțime se observă pentru clona Pannonia după 6 sezoane de vegetație (0,56 m) și pentru clona AF8 după 7 sezoane de vegetație (0,36 m), fiind și clonele cu cele mai mari creșteri (Tabelul 2). După analiza datelor se poate observa că pentru clona Pannonia au fost incluse în sondaj în cea de-a treia etapă, culturi (după 7 sezoane de vegetație) în care exemplarele prezintă dimensiuni mai reduse comparativ cu suprafața analizată după 6 sezoane. Aceste valori s-au înregistrat pe fondul condițiilor staționale limitative și transpuse la nivelul acumulărilor sau dinamicii în timp. Indiferent

de metoda de determinare, clona AF8 obține cele mai mari creșteri în înălțime, mai puțin după 6 sezoane de vegetație unde este surclasată de clona Pannonia. Dinamica creșterilor în înălțime poate fi analizată pe clone în raport cu diametrul măsurat la 1 m pe fus (Figura 8-b). Analiza datelor arată că apar diferențe semnificative între suprafețele de cultură analizate în raport cu sezonul de vegetație. Analizând influența clonelor, se observă că nu apar diferențe semnificative între acestea după 5 și 6 sezoane de creștere (Tabelul 3). În schimb, diferențe apar pentru suprafețele analizate după 7 sezoane de vegetație prin ambele metode de determinare a înălțimilor. Comparând cele două surse de date pentru înălțimi (pe baza AdQSM și cea de referință) se observă o acuratețea a estimărilor de 0,978 în raport cu coeficientul de determinare Pearson ($R^2=0,956$) (Figura 7-a).

Variația diametrelor. Pentru raportul în cauză sunt prezentate și analizate diametrele măsurate la înălțime de 1 m pe fus. Acestea prezintă diferențe semnificative de la o suprafață de cultură la alta, mai puțin în situația în care se analizează diferențele dintre cele două clone după un ciclul de producție de 7 și 5 ani (Figura 7). Cele mai însemnate valori la nivelul diametrului mediu sunt înregistrate de către clona Pannonia, după 6 sezoane de vegetație (cca. 13,7 cm), iar cele mai reduse valori sunt înregistrate de aceeași clonă după 5 sezoane de vegetație (cca. 9,82 cm) (Figura 8). Coeficientul de zvelțe 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 [22].

Tabelul 2. Valorile medii și abaterea standard ale înălțimilor de referință și cele determinate prin metoda QSM/ TLS

Sezoan / Clona	Medie h _t (m)	Medie H _t TLS (m)	StdDev h _t (m)	StdDev H _t TLS (m)
5	8,99	8,99	0,99	0,97
AF8	9,10	9,07	0,80	0,76
Pan	8,89	8,90	1,15	1,15
6	11,62	11,25	1,07	0,87
AF8	11,33	11,18	0,85	0,85
Pan	11,87	11,31	1,19	0,90
7	11,50	11,31	1,37	1,16
AF8	12,62	12,26	0,85	0,66
Pan	10,38	10,35	0,71	0,65
Total general	10,72	10,53	1,67	1,47

Tabelul 3. Rezultatele testului ANOVA privind diferențele pentru înălțimile determinate prin cele două metode

Clona*Sezon	H _t (m)	Semnificația testului statistic	H _t TLS (m)	Semnificația testului statistic
AF8*7	12,62	A	12,26	A
Pan*6	11,87	B	11,31	B
AF8*6	11,32	B	11,17	B
Pan*7	10,38	C	10,35	C
AF8*5	9,09	D	9,07	D
Pan*5	8,88	D	8,90	D

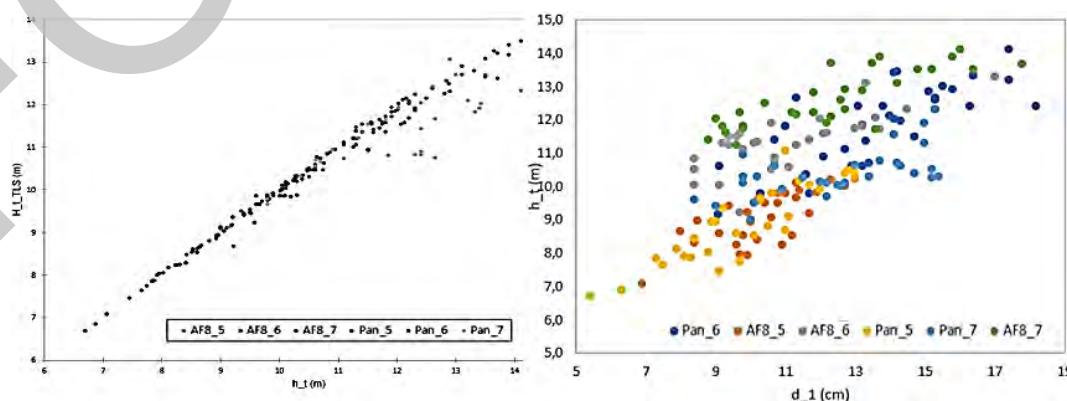


Figura 7. Comparația dintre înălțimea arborelui estimată de modelul QSM și valorile de referință (a). Distribuția înălțimilor pe diametru în raport cu clona și sezonul de vegetație - valori de referință preluate din teren (b).

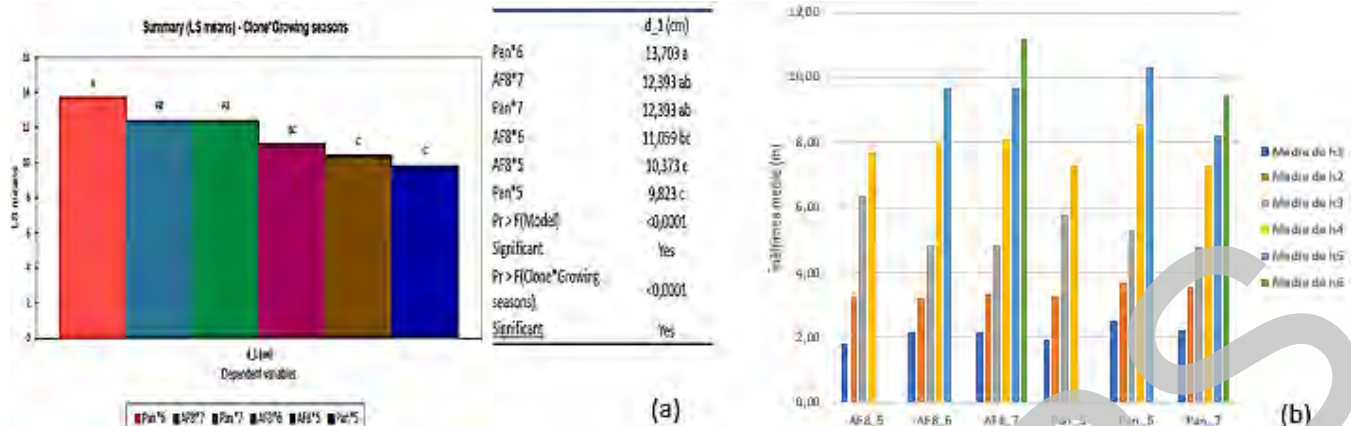


Figura 8. Distribuția diametrelor de referință pe clonă și sezoane de vegetație (a). Dinamica creșterilor în înălțime (b).

Producția de biomasă lemnoasă la nivel individual. Biomasă acumulată este direct influențată de mărimea distanței de plantare dintre exemplare și de lucrările de întreținere executate [10]. După analiza datelor curente, cele mai importante acumulări pentru biomasă totală sunt obținute de clonele AF8 în culturile analizate după 7 ani de vegetație ($24,8 \pm 9,5$ kg) și clona Pannonia după 6 ani ($25,7 \pm 10,04$ kg) (Figura 9). Cele mai reduse acumulări sunt obținute pentru clona Pannonia după 5 ani de vegetație ($11,52 \pm 5,3$ kg). Pentru trunchi se păstrează aceleași diferențe, cu valori extreme pentru clona Pannonia, care obține valoarea maximă după 6 ani de vegetație ($21,5 \pm 8,08$ kg) și cea minimă după 5 ani ($9,51 \pm 4,07$ kg). Situația se prezintă diferit pentru biomasă ramurilor, unde clona AF8 cu cca. 4,34 kg după 7 sezoane surclasează clona Pannonia (cca. 4,27 kg) care obține valoarea maximă la nivelul suprafețelor analizate pentru 6 ani. Cele mai reduse acumulări sunt obținute de clona Pannonia în cultura analizată la 5 ani (cca. 2 kg), indiferent de componenta analizată.

Din analiza statistică se observă diferențe semnificative între toate componentele de arbore analizate, clone și sezoane de vegetație. La nivelul clonelor, biomasă totală diferă semnificativ între acestea după 7 și 6 sezoane de vegetație, dar mai puțin după 5 sezoane (Tabelul 4). Aceeași diferență se păstrează și pentru biomasă trunchiului, iar pentru biomasă ramurilor nu sunt înregistrate diferențe între cele două clone în fiecare sezon de vegetație.

Producția de biomasă distribuită pe sortimente de trunchi. În trunchi au fost diferențiate două sortimente dimensionale în raport cu nevoile de prelucrare industrială a lemnului, sortiment I - cu diametrul minim la capătul subțire de 8 cm și sortimentul II - cu diametrul cuprins între 8 și 2 cm. Analizând primul sortiment, se observă că se înregistrează diferențe semnificative doar între clone analizate după 6 sezoane de vegetație. Pentru sortimentul II de trunchi nu sunt înregistrate diferențe semnificative între clone analizând fiecare sezon de vegetație.

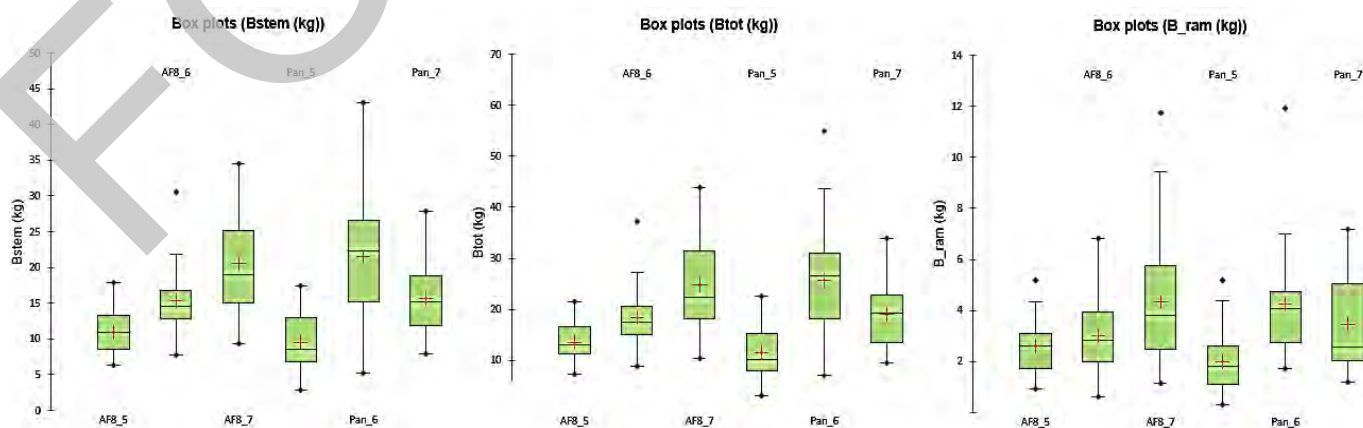


Figura 9. Biomasă lemnoasă supraterană la nivelul trunchiului, totală și ramuri pe clone și sezoane de vegetație (kg)

Biomasa sortimentului II de trunchi ($d=8\div 2$ cm) variază indiferent de clonă și sezon de vegetație analizat între valoarea minimă de 3,4 kg pentru clona Pannonia, producție analizată după 5 ani, și valoarea maximă de 4,8 kg pentru clona AF8 analizată după 6 ani. În schimb, amplitudinea pe producție se schimbă pentru sortimentul I, de la cca. 6 kg (Pan_5) la 16,9 kg (Pan_6) (Tabelul 4).

Tabelul 4. Analiza statistică a diferențelor de biomasă pe părți componente de arbore

Grup	B_fus	B_fus I >8	B_sort_II	B_ram	B_TOT
Pan_6	21,324 a	16,910 a	4,131 ab	4,289 a	25,613 a
AF8_7	20,556 a	16,129 ab	4,243 ab	4,339 a	24,895 a
Pan_7	15,600 b	11,766 bc	3,690 b	3,457 ab	19,057 b
AF8_6	15,366 b	10,483 cd	4,803 a	3,006 abc	18,373 b
AF8_5	11,006 c	7,583 cd	3,397 b	2,604 bc	13,610 bc
Pan_5	9,518 c	6,026 d	3,476 b	2,007 c	11,526 c
Pr > F(Model)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Significant	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Pr > F(ID)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Significant	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Producția de biomasă lemnoasă raportată la unitatea de suprafață. Raportând biomasa individuală la hectar în raport cu densitatea de plantare (1667 exemplare), se observă că cea mai mare producție este înregistrată de clona Pannonia după 6 sezoane de vegetație (cu cca. 42,7 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 (pentru 5 ani, cu cca. 19,2 t·ha⁻¹). Randamentul în cele două situații variază de la 3,84 t·ha⁻¹ an⁻¹ după 5 ani, la 7,12 t·ha⁻¹ an⁻¹ după 6 ani. Clona italiană AF8 înregistrează o producție la hectar de cca. 41,5 t·ha⁻¹ după 7 sezoane, de cca. 30,6 t·ha⁻¹ după 6 sezoane de vegetație și 22,7 t·ha⁻¹ după 5 ani. În medie, indiferent de clonă și sezon de vegetație exemplarele de plop cumulează în total cca. 19 kg de masă uscată, din care cca. 82,6% (cca. 15,66 kg) reprezintă fusul și 17,4% (cca. 3,3 kg) ramurile. Sortimentul I reprezintă din biomasa totală cca. 61% și sortimentul II cca. 21,6%, cu variații de la o cultură la alta.

Aplicând ecuațiile alometrice propuse pentru condițiile staționale locale în vederea estimării biomasei totale [23], se observă o corelație de 0,941 indiferent de variabilele calitative analizate (Figura 11-b). Pe baza măsurătorilor efectuate de estimare a biomasei a fost depusă o cerere de brevetare la OSIM pentru protecția metodei de analiză a dinamicii acumulărilor de biomasă în timp și pentru dezvoltarea unei aplicații software de estimarea a biomasei pe părți componente de arbore, clonă și ciclu de producție, utilizând ecuațiile alometrice în raport cu două variabile cantitative (d_1 m și h_{tot}).

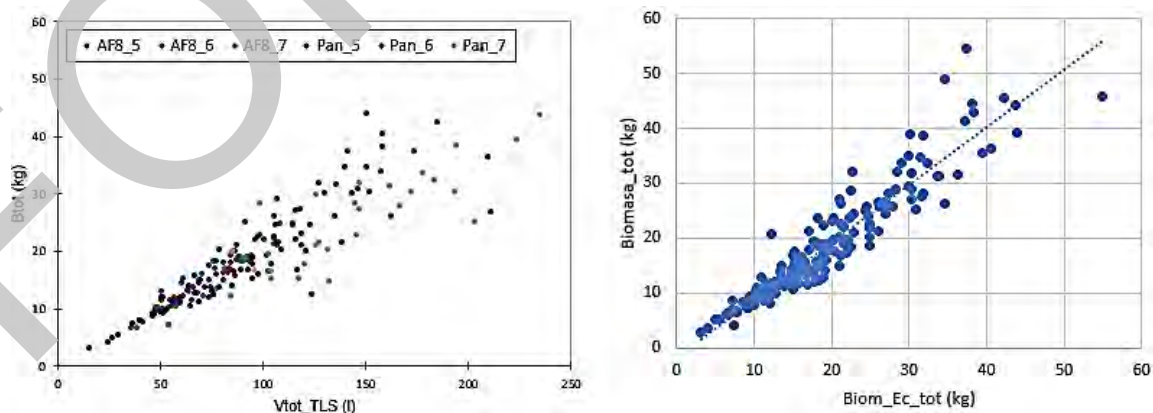


Figura 10. Corelație între biomasa totală obținută destructiv (kg) și volumul total TLS (dm³ sau litri) (a). Corelația între biomasa totală obținută destructiv și cea prin aplicarea ecuațiilor alometrice elaborate în aceleași condiții staționale (b).

Notă. Biomasa_tot este biomasa totală curentă rezultată prin metoda directă, iar Biom_Ec_tot este biomasa estimată prin aplicarea ecuațiilor alometrice pentru aceleași clonă și caracteristici de cultură.

Variația volumului. Volum total estimat prin modelul QSM variază pentru clona Pannonia de la 147,67 litri (dm^3), obținut după 6 sezoane de vegetație, la 60,52 litri (dm^3) în culturile analizate după 5 sezoane (Figura 12). Pentru clona AF8, variația este de la 107,17 litri, după 7 ani, la 75,88 litri, după 5 ani de vegetație. Pentru trunchi, volumul variază de la 75 dm^3 la clona Pannonia după 6 sezoane de vegetație la 36 dm^3 la aceeași clonă după 5 sezoane. Raportând producțiile la unitatea de suprafață, se poate obține o valoare maximă de cca. 246,1 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ pentru clona Pannonia în 6 ani de creștere și de cca. 178,6 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ la clona AF8 după 7 sezoane. Din volum total, indiferent de variabila analizată, volumul fusului reprezintă în medie cca. 59%, cu o valoare maximă la clona AF8 în 7 sezoane de vegetație (65,2%) și una minimă pentru clona Pannonia după 6 ani de vegetație (51%).

Analizând cele două metode de estimare a volumului la nivel de arbore întreg, se observă o corelație de 0,914 pentru un coeficient de determinare Pearson de 0,835 (R^2) (Figura 13-a), corelație care crește și mai mult pentru estimările de volum la nivelul trunchiului (0,977) (Figura 13-b).

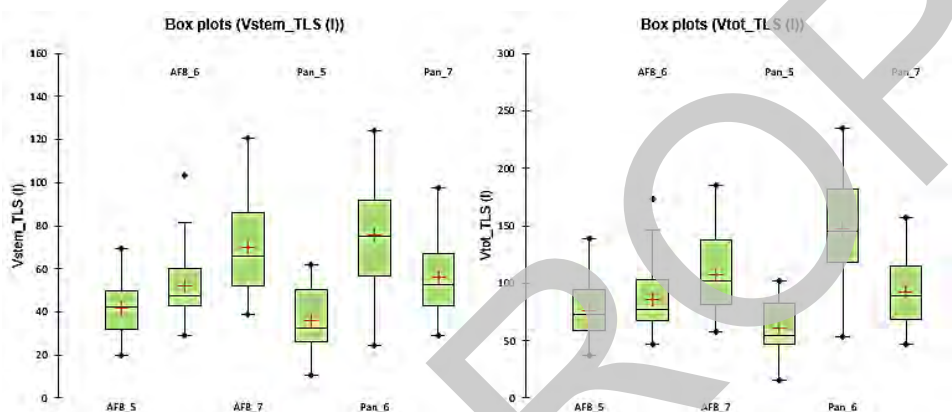


Figura 11. Distribuția volumului total (b) și cel al trunchiului (a) pe clone și sezoane de vegetație (litri sau dm^3)

Densitatea probelor din lemn. Densitatea lemnului este o variabilă esențială pentru cuantificarea biomasei lemnoase sau cea a stocurilor de carbon atunci când se utilizează metode indirecte de estimare. Analizând distribuția densității medii (masa unității de volum pentru probele de lemn recoltate) indiferent de sezonul de vegetație, se observă că aceasta variază de la maxim 297,83 kg/m^3 (0,29783 g/cm^3) pentru clona AF8 la un minim de 284,73 kg/m^3 (0,28473 g/cm^3) pentru clona Pannonia. Din datele analizate nu se observă o scădere a densității pe fus, de la rondeaua recoltată de la bază la rondeaua recoltată la înălțimea de 3 m, variație care nu se regăsește nici între ciclurile de producție, de la 7 la 5 ani de vegetație. 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 probele recoltate la înălțimea de 1 m pe fus (Figura 13-b).

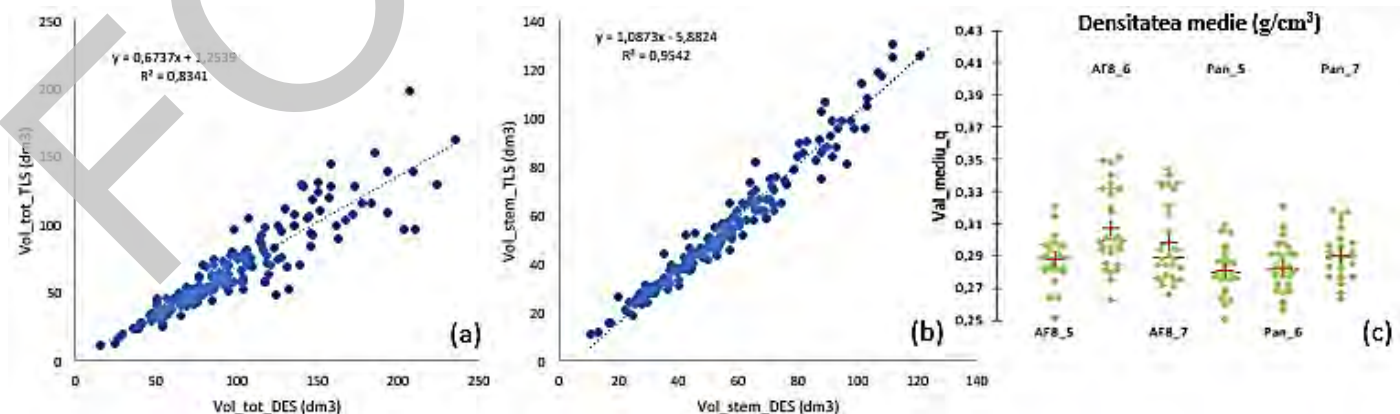


Figura 1. Corelația dintre volumul estimat prin modelul QSM/ TLS și cel obținut prin metoda destructivă/ densitate la nivelul de arbore (a) și trunchi (b). Distribuția densității medii a lemnului pe clone și sezoane de vegetație (c).

Ecuatii alometrice. Estimarea biomasei este esențială pentru înțelegerea rolului arboretelor în fluxul global al carbonului și pentru sprijinirea gestionării durabile a pădurilor. Literatura de specialitate oferă în acest sens multiple modele de estimare, atât a biomasei, cât și a volumului în raport cu diferite caracteristici dendrometrice măsurate și cu aplicabilitate la nivel global sau regional [24–26]. Calibrarea modelelor de predicție la scară largă nu este o noutate în sectorul forestier [27–29]. Ecuatii alometrice pentru condițiile locale au fost elaborate la nivel individual pe părți componente de arbore. A fost propus inițial un model liniarizat pentru aceleași variabile cantitative (caracteristici dendrometrice): diametrul măsurat la înălțimea de 1 m pe fus (cm) și înălțimea totală (m) (Tabelul 5). Utilizarea combinată a condus la o creștere a coeficientului de determinare (R^2) și la reducerea erorii. În acest mod, au fost elaborate noi ecuații alometrice de estimare a biomasei și volumului pentru cele două clone, care pot fi utilizate pentru caracteristici similare de cultură. Raportarea la unitate de suprafață se face după densitatea de plantare a culturilor.

Au fost disponibile două opțiuni de lucru: (i) adaptarea unei noi ecuații de volum și biomasă; sau (ii) utilizarea datelor disponibile pentru a calibra modelele existente. Calibrarea în sine a ecuațiilor este uneori criticată pe fondul extragerii unui număr mare de exemplare prin metoda distructivă. Această variantă este necesară în situația în care formarea modelului inițial s-a bazat tot pe eșantionare distructivă [30]. În ceea ce privește problematica erorilor de predicție a ecuațiilor propuse inițial și cele curente este propus un nou manuscris, care să evalueze performanțelor ecuațiilor generate pentru volum și biomasă, comparativ cu cele care se regăsesc în literatura de specialitate. Acest aspect se dorește a fi tratat pentru fiecare variantă de cultură pentru reducerea erorilor de estimare, cât și în raport cu condițiile staționale de temperatură și precipitații. Fiecare ecuație este evaluată ulterior pe baza predictibilității modelului de potrivire cu ajutorul coeficientului de determinare ajustat (adj. R^2) și eroarea sistematică (BIAS).

Distribuind valorile de referință pentru biomasă și cele rezultate în urma predicției pe volumul total - TLS, se observă o supraestimare a biomasei pentru clona Pannonia evaluată după 5 ani de vegetație (Figura 13-c). Estimarea s-a făcut prin utilizarea modelului propus inițial pentru cele două clone (Tabelul 5), aspect care se datorează în principal acumulărilor scăzute pentru producția curentă din această cultură.

Tabelul 5. Ecuatii alometrice utilizate pentru estimarea biomasei și volumului individual

Variabila calitativă estimată	Model propus	R^2	Model calibrat	R^2	
Biomasa	AF8_biom_tot (kg)	$B = 0,0106 d^2h + 0,647$	0,908	$B = 0,0098 d^2h + 4,1659$	0,885
	Pannonia_biom_tot (kg)	$B = 0,009 d^2h + 10,572$	0,717	$B = 0,0103 d^2h + 1,848$	0,964
	Model_general_tot (kg)	$B = 0,00952 d^2h$	0,822	$B = 0,01 d^2h + 3,099$	0,913
	AF8_biom_stem (kg)	$B = 0,0086 d^2h + 1,512$	0,926	$B = 0,008 d^2h + 3,545$	0,926
	Pannonia_biom_stem (kg)	$B = 0,0067 d^2h + 9,809$	0,603	$B = 0,0084 d^2h + 1,7336$	0,957
	Model_general_stem (kg)	$B = 0,0086 d^2h$	0,918	$B = 0,0082 d^2h + 27148$	0,936
	AF8_biom_ram (kg)	$B = 0,002 d^2h - 0,865$	0,716	$B = 0,0018 d^2h + 0,6204$	0,484
	Pannonia_biom_ram (kg)	$B = 0,0023 d^2h + 0,763$	0,679	$B = 0,0019 d^2h + 0,1144$	0,722
	Model_general_ram (kg)	$B = 0,00244 d^2h$	0,372	$B = 0,0018 d^2h + 0,3844$	0,598
	Volum	AF8_vol_stem (dm ³)	$V = 0,0217 d^2h + 3,053$	0,971	$V = 0,0256 d^2h + 15,987$
Pannonia_vol_stem (dm ³)		$V = 0,0204 d^2h + 2,363$	0,985	$V = 0,0264 d^2h + 12,436$	0,921
Model_general_stem (dm ³)		$V = 0,0223 d^2h$	0,911	$V = 0,0259 d^2h + 14,335$	0,929
AF8_vol_ram (dm ³)		-	-	$V = 0,0107 d^2h + 18,878$	0,355
Pannonia_vol_ram (dm ³)		-	-	$V = 0,0236 d^2h + 6,072$	0,579
Model_general_ram (dm ³)		-	-	$V = 0,0186 d^2h + 10,894$	0,477
AF8_vol_tot (dm ³)		-	-	$V = 0,0363 d^2h + 34,865$	0,814
Pannonia_vol_tot (dm ³)		-	-	$V = 0,05 d^2h + 18,508$	0,809
Model_general_stem (dm ³)		-	-	$V = 0,0445 d^2h + 25,229$	0,793

Tabelul 6. Valorile principalilor parametri biometrici

Clone	AF8				Pan			
	Stats	avg	min	max	SD	avg	min	max
d_1 (cm)	11,27	6,9	17,8	2,14	12,05	5,4	18,2	2,67
H tls (m)	10,84	7,10	13,50	1,53	10,24	6,70	13,10	1,60
B tot (kg)	18,93	6,35	43,97	8,34	19,07	3,18	54,93	9,60
V tot tls (dm ³)	89,57	36,82	185,27	32,21	102,33	15,35	243,89	50,50
V tot dis (dm ³)	64,34	23,28	153,58	28,64	97,57	11,93	198,01	34,38

Cele mai mici valori ale coeficientului de determinare în cazul ecuațiilor curente se regăsesc pentru clona AF8 la nivelul ramurilor. Pentru estimarea biomasei la hectar se pot utiliza ecuațiile generate după un ciclu de producție cuprins între 5 și 7 sezoane pentru condiții similare de vegetație (Figura 13).

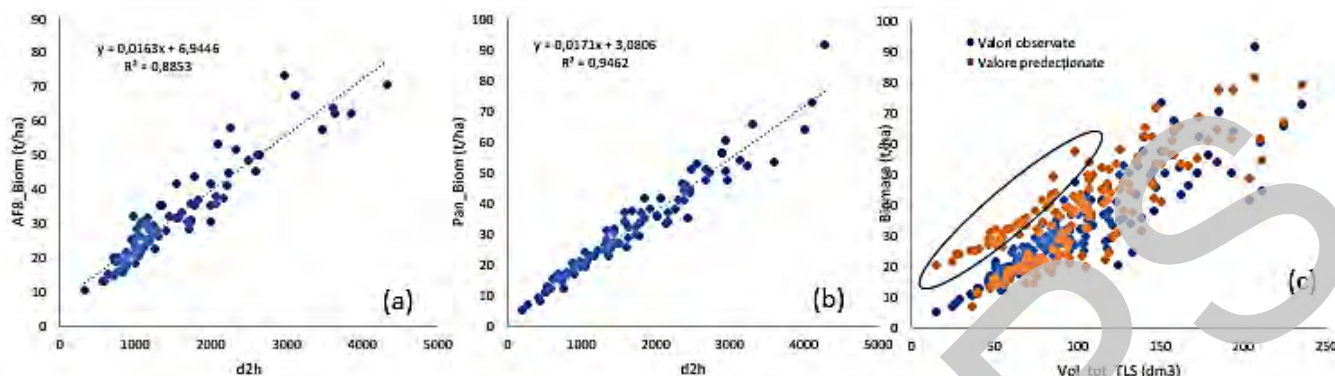
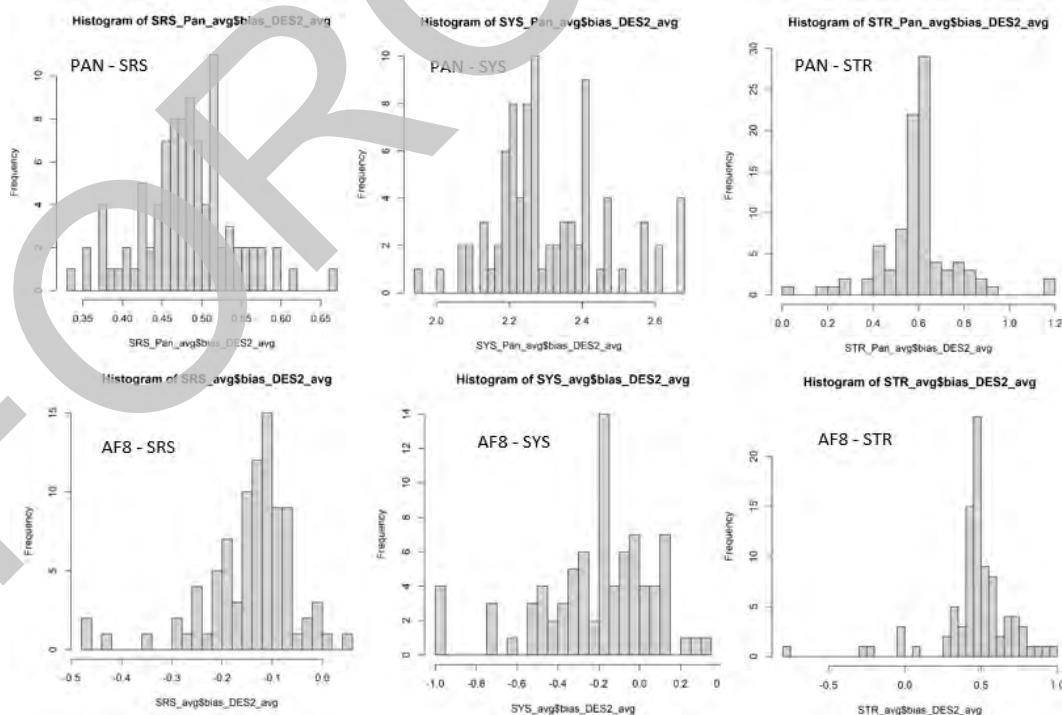
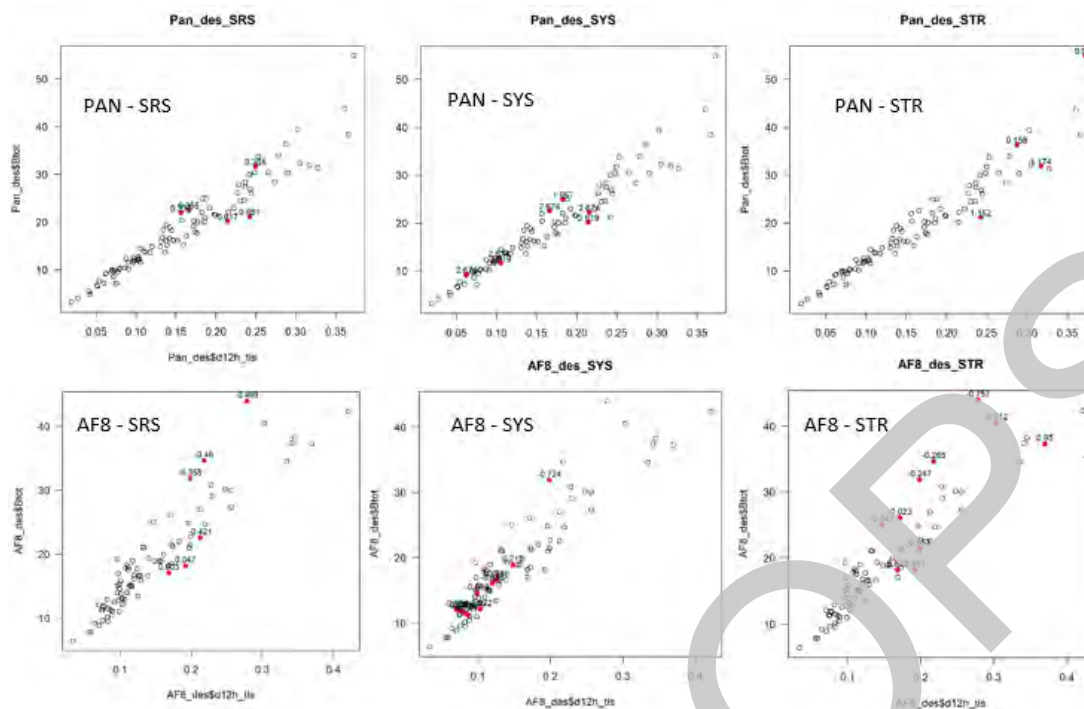


Figura 12. Reprezentarea grafică a modelului general de estimare a biomasei totale pe unitatea de suprafață pentru clona AF8 (a) și Pannonia (d). Distribuția biomasei totale observate și cea estimată pe volum TLS (c).

Metode de selecție a arborilor pentru prelevarea probelor de densitate. Selecția arborilor pentru recoltarea de probe pentru determinarea umidității și ulterior a densității lemnului a fost testată prin proceduri de subeșantionare diferite: aplicând pe rând un model aleatoriu (SRS), sistematic (SYS) și stratificat (STR). Acest fapt a fost posibil prin recoltarea în totalitate a exemplarelor care au fost scanate în suprafețele de probă. Același model a fost ajustat în mod repetitiv pe toate subeșantioanele rezultate, iar cel mai bun eșantion este considerat cel pentru care s-a observat cea mai mică deviație de predicție (BIAS și RMSE – eroarea medie pătratică) față de valorile medii pe baza validării încrucișate. Au fost comparate ulterior datele de estimare cu datele obținute prin ajustarea modelului pe măsurătorile distructive. După identificarea arborilor cu erori sistematice extreme (BIAS) rezultă că pentru clona AF8 (indiferent de sezonul de vegetație) au fost identificați arbori comuni pentru eșantionaje diferite (Figura 14, Anexa 1). În schimb, pentru clona Pannonia doar pentru eșantionajul stratificat (STR) a fost identificat un singur arbore comun.



Figură 13. Frecvența erorilor sistematice BIAS-uri (diferența dintre valoarea așteptată la estimare și valoarea reală) pentru sub-eșantioane și clone, indiferent de sezonul de vegetație.



Figură 14. Evidențierea arborilor care introduc erorile sistematice (BIAS) extreme

6. Activități de diseminare efectuate în etapa III

În cadrul acestei etape s-au realizat următoarele activități de diseminare a rezultatelor din proiect:

- Publicarea unui articol în zona roșie (ISI, Q1 - <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/7/1089>) și unul în baze de date internaționale, care a fost trimis în evaluare în etapa precedentă (BDI - <http://bucovina-forestiera.ro/index.php/bf/article/view/267>);
- Trimiterea în evaluare a unui articol în zona roșie (ISI, Q1 - "I.C. Dănilă, C.V. Coșofreț, O. Bouriaud. 2022. Optimizing tree sampling for allometric model fitting using TLS, Forest ecology and Management");
- Publicarea a două baze de date cu acces liber (Zenodo.org) din rezultatele TLS obținute (Anexa 2);
- Înregistrarea unei cereri de brevet de invenții la OSIM (Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci) în vederea protejării ideii unei aplicații de evaluare a biomasei supraterane din culturile de plop hibrid pe părți componente de arbore. Cererea prevede de asemenea protejarea metodologiei de elaborare a ecuațiilor și determinare a dinamicii de creștere în timp (cerere nr. A2022/00280);
- Înregistrare unei prezentări în cadrul conferinței internaționale "FORECOMON 2022 - The 10th Forest Ecosystem Monitoring Conference" (conferință amânată pentru 2023 pe fondul situației politice din Europa, determinată de atacul rusesc asupra Ucrainei - <https://forecomon2022.thuenen.de/>). Volumul conferinței: Forest dynamics in the Anthropocene – Integrated monitoring toward a whole system approach, cu titlul prezentării: Biomass and volume estimation of tree parts in short-rotation crops using a terrestrial laser scanner;
- Informarea grupurilor de interes privind desfășurarea proiectului. În acest sens au fost efectuate mai multe activități: (i) s-au desfășurat vizite de lucru/ prezentări în cadrul Ocoalelor silvice de regim - RNP și privat Ghimeș-Făget; (ii) au fost desfășurate demonstrații în cadrul evenimentului "Zilele USV 2022", cu tema: "Tehnici inovatoare folosite în silvicultură: Demonstrație de utilizare a tehnologiilor de scanare a arborilor", unde participanții au avut oportunitatea de a se familiariza cu modul de estimare a biomasei lemnoase (Figura 15); (iii) prezentarea metodologiei de lucru TLS s-a efectuat din nou în cadrul cursului de "Gestionarea integrată a resurselor forestiere" (program masterat) din cadrul Facultății de Silvicultură din Suceava; (iv) dezbateri au fost purtate cu diverși colegi interesați de activitatea proiectului cu prilejul desfășurării "Sesiunii Naționale de Comunicări

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.

Științifice Studențești, pe teme de Silvicultură și Protecția Mediului", în perioada 3 - 4 iunie 2022, la Brașov; (v) proprietarul suprafețelor de teren (FE AGRAR SRL, din grupul EGGGER) și-a manifestat din nou interesul față de metodologie și rezultatele obținute, participând cu reprezentanți la activitățile de teren și cele de prelucrare a datelor. (vi) prezentarea proiectului s-a făcut în cadrul grupului de lucru UEFISCDI (persoană de contact Cosmina Paul), în care s-au urmărit posibilitățile de exploatare a rezultatelor cercetărilor și îmbunătățirea creșterii vizibilității; (vii) prelegere online despre producțiile de biomasă a culturilor de plop hibrid instalate în Nord-Estul României (unde este prezentat proiectul ForCrops și obiectivele sale). Prelegerea va fi susținută în cadrul conferințelor organizate de comunitatea "Plantăm fapte bune în România" pe data de 8 septembrie 2022.

- Actualizarea site-ului proiectului: <http://www.silvic.usv.ro/forcrops/> și a platformelor dedicate activităților de cercetare și inovare (*BrainMap.ro* și *ResearchGate.net*).



Figura 25. Prezentarea tehnologiei TLS în cadrul Zilelor USV - ediția 2022 (Foto. Ramona Scriban).

7. Concluziile etapei III de execuție

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

- 1) Scanarea prin tehnologia TLS și inventarierea suprafețelor de cultură cu vârsta de 7 ani;
- 2) Prelevarea probelor de lemn pe părți componente în vederea determinării biomasei și densității;
- 3) Determinarea volumului arborilor pe părți componente;
- 4) Diseminarea rezultatelor cercetării prin prezentări, manuscrite și prelegeri;
- 5) Realizarea sumelor bugete;
- 6) Actualizarea site-ului proiectului și a informațiilor de pe platformele dedicate cercetării și inovării.

8. Referințe bibliografice

1. Filat, M.; Chira, D. Cercetări Pentru Introducerea În Cultură de Specii/Clone de Plop Și Salcie Cu Potențial Silvoprodusiv Superior Și Rezistență Sporită La Adversități. *Research for introducing clones of poplar and willow that have higher productive potential and higher diseases resistance* **2004**, 83–99.
2. Carmona, R.; Nuñez, T.; Alonso, M.F. Biomass Yield and Quality of an Energy Dedicated Crop of Poplar (*Populus* Spp.) Clones in the Mediterranean Zone of Chile. *Biomass and Bioenergy* **2015**, *74*, 96–102, doi:10.1016/j.biombioe.2015.01.004.
3. Aebiom, A. Aebiom Statistical Report 2014 2015.
4. Lindegaard, K.N.; Adams, P.W.R.; Holley, M.; Lamley, A.; Henriksson, A.; Larsson, S.; von Engelbrechten, H.; Esteban Lopez, G.; Pisarek, M. Short Rotation Plantations Policy History in Europe: Lessons from the Past and Recommendations for the Future. *Food Energy Secur* **2016**, *5*, 125–152.
5. Dickmann, D.I. An Overview of the Genus *Populus*. *Poplar Culture in North America* **2001**, 1e42.
6. Isebrands, J.G.; Richardson, J. *Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment*; CABI, 2014; ISBN 1780641087.
7. IPC Publications Listed in Country Progress Reports; 2012;

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.

8. Dănilă, I.-C.; Duduman, M.-L.; Palaghianu, C.; Bouriaud, L.; Bouriaud, O.; Coșofreț, V.C.; Savin, A.; Scriban, R.-E. *PN III Tehno-Crops - Optimizarea Tehnologiei de Cultivare În Cicluri Scurte a Plopilor Hibrizi În Scopul Obținerii Unei Producții Superioare de Biomasă*; Suceava, 2017;
9. Dănilă, I.C. 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 2019.
10. Dănilă, I.; Avăcăriței, D.; Nuțu, A.; Savin, A.; Duduman, M.; Bouriaud, O.; Bouriaud, L. Productivitatea Clonelor de Plop Hibrid Instalate În Culturi Intensive În Nord-Estul României. **2016**, *16*, 73–85, doi:10.4316/bf.2016.006.
11. Næsset, E.; Gobakken, T.; Bollandsås, O.M.; Gregoire, T.G.; Nelson, R.; Ståhl, G. Comparison of Precision of Biomass Estimates in Regional Field Sample Surveys and Airborne LiDAR-Assisted Surveys in Hedmark County, Norway. *Remote Sensing of Environment* **2013**, *130*, 108–120.
12. Bouriaud, L.; Duduman, M.L.; Dănilă, I.; Olenici, N.; Biriș, I.-A.; Ciornei, I.; Barnoaiea, I.; Măciucă, A.; Savin, A.; Grosu, L.; et al. How to Evaluate the Sustainability of Short-Term Cultures for Biomass Production? An Application from NE Romania. *Agriculture and Forestry* **2015**, *61*, AgricultForest, doi:10.17707.
13. Coșofreț, C.; Barnoaiea, I.; Scriban, R.E.; Dănilă, I.C.; Duduman, M.L.; Bouriaud, O. Utilizarea Scannerului Laser Terestru În Măsurătorile Forestiere : Cerințe Metodologice Și Precauții Necesare La Aplicarea În Practică. **2018**, *18*, 137–153, doi:10.4316/bf.2018.014.
14. Dănilă, I. 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). **2020**.
15. Dănilă, I.C. Use of Terrestrial Laser Scanner in Short Rotation Crops for Above-Ground Woody Biomass Estimation. In Proceedings of the 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...), 2021; Vol. 2021, pp. 970–976.
16. Dănilă, I.-C.; Barnoaiea, I.; Coșofreț, C.; Bouriaud, O. Terrestrial Laser Scanner Used in Short Rotation Poplar Crops for Biomass Estimation. Case of Study in NE Part of Romania (Methodology Aspects). In Proceedings of the Integrated Management of Environmental Resources Conference; Forestry Faculty of Suceava, Ed., Suceava, Romania, 2021.
17. Savin, A.; Avăcăriței, D.; Dănilă, I.C.; Duduman, M.L.; Rotaru-Buzdugan, C. Studiu Privind Impactul Culturilor de Plopi Hibrizi Asupra Proprietăților Solului. *Bucovina Forestieră* **2019**, *19*, 19–29, doi:10.4316/bf.2019.003.
18. Savin, A.; Trifan, O.; Covatariu, S.; Ciurlă, C.; Bouriaud, L. Influența Profunzimii Solurilor Aluviale Asupra Biodiversității Subterane Și a Unor Caracteristici Biometrice În Culturi de Clone de Plopi Hibrizi: Rezultate Preliminare. *Bucovina Forestieră* **2014**, *14(1)*, 60–67.
19. Åkerblom, M.; Raunonen, P.; Mäkipää, R.; Kaasalainen, M. Automatic Tree Species Recognition with Quantitative Structure Models. *Remote Sensing of Environment* **2017**, *191*, 1–12, doi:10.1016/j.rse.2016.12.002.
20. Team, R.s.; Studio, R. Integrated Development for R. RStudio. *Inc., Boston, USA* **2015**.
21. Fahmy, T. XLSTAT-Pro 7.0 (XLSTAT), Addinsoft. *Paris, France* **2003**.
22. Dănilă, I.C.; Avăcăriței, D.; Alexei, S.; Roibu, C.C.; Bouriaud, O.; Duduman, M.L.; Bouriaud, L. Dinamica Și Caracteristicile Creșterii a Șase Clone de Plop Hibrid Pe Parcursul Unui Ciclu de Producție Într-o Plantație Comparativă Din Depresiunea Rădăuți. *Bucovina Forestieră* **2015**, *15(1)*, 1–12, doi:10.4316/BF.003.
23. Dănilă, I.C. Cercetări biometrice privind productivitatea clonelor de plop hibrid în culturi cu ciclu scurt de producție din Nord-Estul României, 2015, Vol. PhD Thesis.
24. Návar, J. Allometric Equations for Tree Species and Carbon Stocks for Forests of Northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* **2009**, *257*, 427–434.
25. Istrefi, E.; Toromani, E.; Collaku, N.; Thaci, B. Allometric Biomass Equations for Young Trees of Four Broadleaved Species in Albania. *New Zealand Journal of Forestry Science* **2019**, *49*.
26. Blujdea, V.N.B.; Pilli, R.; Dutca, I.; Ciuvat, L.; Abrudan, I. v Allometric Biomass Equations for Young Broadleaved Trees in Plantations in Romania. *Forest Ecology and Management* **2012**, *264*, 172–184.
27. Zianis, D.; Seura, S.M. *Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe*; Finnish Society of Forest Science, Finnish Forest Research Institute, 2005; Vol. 4; ISBN 9514019830.
28. Roy, P.S.; Ravan, S.A. Biomass Estimation Using Satellite Remote Sensing Data—an Investigation on Possible Approaches for Natural Forest. *Journal of Biosciences* **1996**, *21*, 535–561.
29. Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest science* **1989**, *35*, 881–902.
30. Ketterings, Q.M.; Coe, R.; van Noordwijk, M.; Palm, C.A. Reducing Uncertainty in the Use of Allometric Biomass Equations for Predicting Above-Ground Tree Biomass in Mixed Secondary Forests. *Forest Ecology and management* **2001**, *146*, 199–209.