

MINISTERUL CERCETĂRII ȘI INOVĂRII



INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE - DEZVOLTARE ÎN SILVICULTURĂ
"MARIN DRĂCEA"
Stațiunea Experimentală Brașov



Raport științific anual

privind implementarea proiectului

**„Biomasa supra- și subterană și conținutul de carbon dintr-o pădure
virgină de amestec de fag și brad” (cod PN-III-P1-1.1-TE-2016-1508,
acronim **BIOCARB**) în perioada 2 mai - 31 decembrie 2018**

Contract nr. 8/2018

1. Introducere, contextul științific

Nivelul emisiilor de carbon și de alte gaze cu efect de seră este încă în creștere, contribuind la încălzirea globală. Dat fiind faptul că în ciuda eforturilor și angajamentelor luate prin semnarea diferitelor protocoale, emisiile de gaze cu efect de seră nu au putut fi reduse substanțial se încearcă o intensificare a activităților de promovare a ecosistemelor care pot sechestra carbonul. Dintre ecosistemele terestre, pădurile sunt bine cunoscute pentru capacitatea lor ridicată de stocare a carbonului (Yang și Luo 2011). Cu circa 7 milioane de hectare de pădure, țara noastră are un potențial ridicat de a contribui la atenuarea emisiilor de CO₂. În plus, România se caracterizează printr-o suprafață însemnată de păduri virgine (circa 200000 ha, conform Veen et al. 2010), care pot servi ca referință pentru pădurile gospodărite. Despre rolul pădurilor virgine în sechestrarea carbonului se cunoaște încă puțin, păreri fiind împărțite. Pădurile virgine au fost, în general, considerate neutre în ceea ce privește fluxul carbonului, conform teoriei lui Odum (1969), dar, cercetări recente (Knohl et al. 2003, Luyssaert et al. 2008) au arătat că acest tip de păduri contribuie la reducerea emisiilor de carbon prin cantitățile ridicate de biomasă și lemn mort pe care le dețin.

Estimarea bugetului de carbon se poate realiza prin metoda "Edy Covariance" (metodă foarte costisitoare) sau ca diferență între stocul de carbon determinat la două momente diferite. Această ultimă metodă se poate realiza prin inventarieri succesive ale arboretului și respectiv prin convertirea unor caracteristici biometrice (diametru de bază, înălțimea arborelui) ușor măsurabile în volum de masă lemnoasă, apoi în biomasă și respectiv în carbon. Pentru convertirea caracteristicilor biometrice în biomasă, ecuațiile alometrice sunt considerate drept cel mai important instrument (Picard et al. 2012, Dutca et al. 2017). Ecuațiile alometrice de determinare a biomasei sunt însă specifice fiecărei specii și regiuni (Dutca et al. 2017).

Scopul proiectului curent (BIOCARB) este de determinare a biomasei pădurii virgine de amestec de fag și brad din Codrul Secular Șinca, pădure care face parte din patrimoniul Unesco, începând cu anul 2017. **Obiectivul primei faze**, aferente anului 2018 este de determinare a ecuațiilor alometrice ale fagului, una din cele două specii principale din pădurea cercetată. În vederea îndeplinirii acestui obiectiv au fost prevăzute atât activități de reinventariere a suprafețelor de probă existente cât și de alegere și

tăiere a unui număr de arbori de fag, cărora li s-a determinat masa uscată pe diferite componente (trunchi, ramuri, frunze, rădăcini).

2. Material și metodă

În pădurea virgină de la Șinca, există mai multe suprafețe de cercetare permanente instalate în cadrul unor proiecte anterioare. Pentru a avea un punct de plecare s-a realizat o reinventariere a arboretului în anul 2018. Dar, dat fiind faptul că arboretele de amestec din pădurea virgină se caracterizează printr-o structură complexă și o desime mare a arborilor la hectar ($650 \pm 146,1$ (media $\pm$ abaterea standard)), respectiv printr-o competiție inter- și intraspecifică ridicată, creșterile în diametru anuale sunt reduse (de maxim 1- 2 cm pentru arborii mari, în timp ce pentru arborii de mici dimensiuni, care sunt cei mai frecvenți, aceste creșteri pot fi adesea insesizabile prin două măsurători succesive). De aceea pentru un număr cât mai mare de arbori s-a hotărât echiparea acestora cu benzi dendrometrice (Fig. 1), care pot sesiza și astfel de creșteri reduse. Pentru determinarea biomasei ce iese din ecosistem sub formă de litieră au fost confecționate colectoare de litieră cu un diametru de 60 cm (Fig. 1), care au fost instalate în 10 suprafețe de probă răspândite randomizat în pădurea virgină. În fiecare suprafață au fost instalate câte 8 colectoare.



Fig. 1 Măsurarea creșterii în diametru cu banda dendrometrică; colectoare de litieră.

Pentru determinarea ecuațiilor alometrice de biomasă ne-am propus tăierea și măsurarea cât mai exactă a unui număr de minim zece arbori cu dimensiuni variabile, care cresc în condiții climatice, staționale și de creștere asemănătoare cu cele existente în pădurea virgină. Împreună cu colegii de la RPLP OS Pădurile Șincii, cărora le mulțumim și pe această cale pentru sprijinul acordat, au fost

identificate arboretele optime din care se puteau alege arborii necesari, precum și arborii care au fost tăiați (Fig.2). Dat fiind amploarea procesului respectiv, anul acesta s-a avut în vedere doar specia fag.

În imediata apropiere a pădurii virgine există un trup de pădure cu condiții de mediu asemănătoare celor din pădurea virgină, în care au avut loc primele intervenții silvotehnice acum circa 8 ani. În aceste arborete au fost aleși arbori de fag cu diferite dimensiuni (diametrele de bază variind între 0,4 și 74 cm și înălțimile fiind cuprinse între 1,3 m și 36,9 m (Tabelul 2). Exploatarea arborilor s-a efectuat de către echipa de muncitori specializați de la Ocol (Fig. 2), iar măsurătorile au fost efectuate sub îndrumarea colegului nostru ing. Gheorghe Ștefan, de la Stațiunea Câmpulung Moldovenesc, care are experiență în acest domeniu.



Fig. 2. Alegerea arborilor de tăiat cu personalul de la Ocol; echipa de exploatare a Ocolului; măsurarea circumferinței la baza arborelui înainte de tăiere; măsurarea circumferinței unei ramuri; însemnarea cu cretă a pozițiilor de măsurare a circumferinței și de prelevare a carotelor;

prelevarea carotelor cu burghiul Pressler; măsurarea lungimii carotelor; îndepărtarea frunzelor de pe crăci; scoaterea rădăcinilor.

Înainte de doborârea arborelui s-au măsurat cât mai exact circumferințele la 0,1 m, 0,5 m, 1,3 m și 2 m cu o ruletă și înălțimea acestuia cu un Vertex IV. Circumferința de la 1,3 m s-a marcat pe arbore cu creta forestieră printr-un inel, pentru a servi ca referință. După doborâre circumferința sau, după caz, diametrul arborelui s-a măsurat din metru în metru marcându-se fiecare poziție (Fig. 2).

Aceste valori au fost utilizate pentru cubarea trunchiului arborelui prin însumarea volumii fiecărui tronson de către 1 m, volum calculat cu formula trunchiului de con. Pentru determinarea variației densității lemnului de-a lungul trunchiului arborelui s-au extras carote (Fig. 2) cu burghiul Pressler (cu un diametru interior de 5,15 mm), din jumătate în jumătate de metru, măsurându-se lungimea carotei (Fig. 2), care apoi a fost folosită pentru determinarea volumului acesteia, calculat cu formula cilindrului. Masa verde a fiecărei carote a fost determinată la sfârșitul fiecărei zile cu o balanță de precizie.

Pentru fiecare ramură s-a stabilit poziția (înălțimea ramurei pe arbore), circumferința la bază (Fig. 2) și lungimea acesteia. În plus, similar trunchiului arborelui, s-au măsurat circumferințele fiecărei ramuri din metru în metru până la o grosime a acesteia egală cu 5 cm, ramurile mai subțiri decât 5 cm fiind cântărite în întregime. S-a determinat astfel, cu formula trunchiului de con volumul ramurilor mai groase la capătul subțire de 5 cm. Fiecare ramură s-a cântărit împreună cu frunzele, iar pentru determinarea densității lemnului și a procentului de apă din ramuri au fost extrase carote, prelevate rondele și eşantioane de crăci subțiri. Pentru determinarea procentului deținut de aparatul foliar, s-au ales mai multe ramuri pentru fiecare arbore (distribuite de-a lungul întregului gradient de diametre de prindere a ramurii pe trunchi și din diferite părți ale coronamentului) de pe care s-au dat toate frunzele jos, după care au fost din nou cântărite. Pentru determinarea procentului de apă din ramurile subțiri și din frunze au fost prelevate eşantioane care au fost cântărite imediat (probele mai mari) sau la sfârșitul fiecărei zile cu o balanță de precizie pentru determinarea masei verzi a fiecărui eşantion, după care au fost duse la laborator pentru uscarea în etuvă.

Masa verde a ramurilor și bucăților de trunchi nu foarte groase s-a determinat în pădure cu ajutorul unui cântar platformă cu o greutate maximă de cântărire de 130kg (Fig. 3), care a fost așezat pe niște pari. Tronsoanele mai mari/grele de trunchi au fost cântărite cu un cântar cârlig, cu capacitate

maximă de cântărire de 3 t (Fig. 3), care a fost legat de brațul excavatorului. Tronsoanele de lemn au fost tăiate în segmente cât mai lungi posibile, pentru a se evita pierderile de material lemnos. Pentru estimarea procentului de apă de la momentul cântăririi s-au preluat rondele din tronsoanele de trunchi după cântărire, care au fost individual cântărite pe cântarul platformă.

Pentru determinarea masei aparatului radicular s-a excavat rădăcina arborelui tăiat (Fig. 2), după care s-au cules rădăcinile rămase în pământ iar rădăcina groasă s-a curățat de pământ și s-a cântărit cu cântarul cârlig. Pentru transformarea masei verzi a rădăcinilor în masa uscată s-au prelevat și din rădăcini eșantioane cărora li s-a determinat în situ masa verde. Pentru estimarea masei rădăcinilor fine au fost prelevate probe de sol, cu o sondă de 5 cm diametru.



Fig. 2 Cântărirea rondelor, rădăcinilor și a tronsoanelor de lemn mari cu cântarul platformă și cântarul cârlig

Toate eșantioanele prelevate (785 probe) au fost duse la laborator și uscate la etuvă la 70 de grade Celsius timp de 3-5 zile consecutive, până la atingerea masei uscate constante. Eșantioanele au fost din nou cântărite, după scoaterea din etuvă, determinându-se astfel masa uscată a acestora. Procentul de apă din fiecare probă a fost determinat prin formula:

$$\% \text{ apă} = \frac{\text{Masa verde} - \text{Masa uscată}}{\text{Masa verde}},$$

iar densitatea fiecărei carote a fost determinată ca raport dintre masa uscată și volumul acesteia.

3. Rezultate preliminare

Densitatea medie a lemnului de fag, determinată pe baza a 679 carote extrase din arborii tăiați a fost de 544, 1 kg m⁻³, variind de la 413,9 la 666,1 kg m⁻³, cu un coeficient de variație relativ mic, de 7 %. Variația densității lemnului pentru fiecare arbore este prezentată sintetic în tabelul 1. Se poate observa că variația densității lemnului la nivelul fiecărui arbore este relativ redusă, valoarea coeficienților de

variație fiind mai mică decât 7. Densitatea lemnului medie pe arbore nu s-a corelat cu diametrul de bază al acestuia ($p>0.05$).

Tabelul 1. Caracteristicile statistice ale densității lemnului (kg m^{-3}) pentru fiecare arbore

Nr arb	Diametru (cm)	Număr carote	Medie	Mediană	Minim	Maxim	Abaterea standard	Coeficient de variație
Fa 7	8	12	528,9	531,9	499,8	548,0	13,7	3
Fa 9	14	22	584,5	578,2	548,2	744,3	38,5	7
Fa 6	17	34	557,2	557,8	501,3	597,8	23,5	4
Fa 11	20	26	543,2	548,5	438,8	633,7	40,6	7
Fa 5	24	42	515,7	512,4	420,1	613,8	3,3	6
Fa 20	31	59	582,9	580,8	508,0	666,1	30,1	5
Fa 2	37	67	549,4	547,9	452,3	627,6	31,3	6
Fa 4	45	66	521,8	515,0	452,8	599,9	31,0	6
Fa 3	56	126	545,4	547,7	447,8	627,9	36,4	7
Fa 10	60	97	528,8	530,8	413,9	609,5	38,6	7
Fa 8	74	129	547,3	541,8	457,3	633,7	39,1	7

Densitatea lemnului din ramuri a fost în general mai mare decât cea a trunchiului, diferențele fiind semnificative, în special, pentru arborii de mari dimensiuni (Fig. 4).

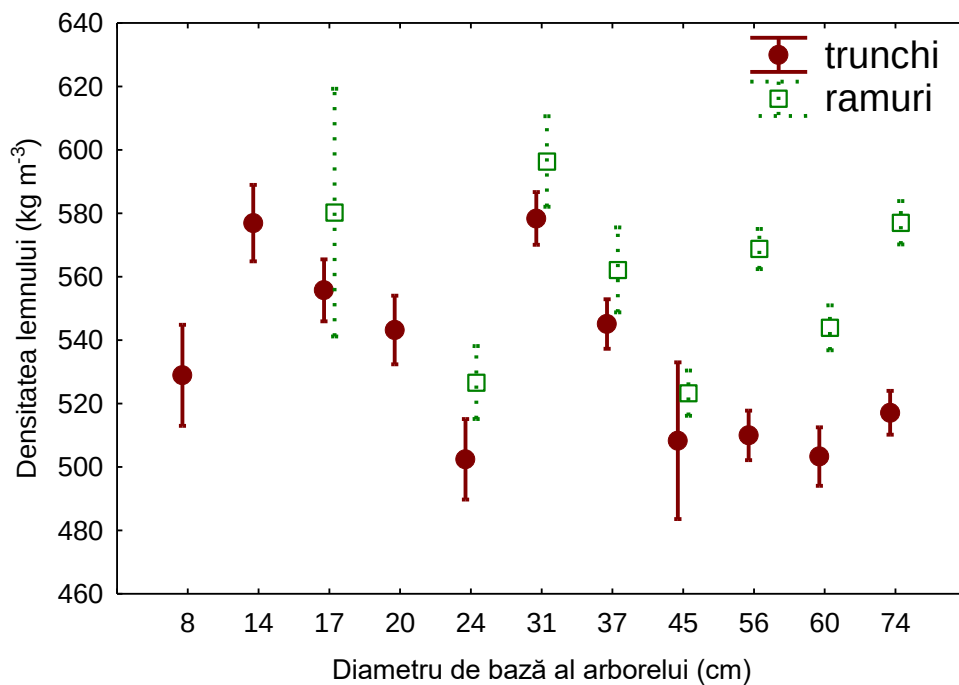


Fig. 4 Variabilitatea individuală a densității lemnului din trunchi și ramuri

Rezultatele noastre confirmă variația densității lemnului atât la nivelul aceluiași individ cât și între arborii ce cresc în aceeași locație (Feranside et al 1997).

Având biomasa fiecărei componente, s-au putut determina mai departe ecuațiile alometrice pentru fiecare componentă în parte, precum și pentru biomasa supraterană și subterană. În acest sens s-au utilizat modelul regresiei liniare, cel mai utilizat pentru astfel de estimări. Biomasa s-a determinat în funcție de caracteristici biometrice ușor măsurabile, respectiv în funcție de diametru de la 1,3 m înălțime (D) și înălțime (H). Modelele alometrice liniare au fost de forma:

$$\ln(B)_i = \beta_{01} + \beta_{11} \ln(D)_i + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$\ln(B)_i = \beta_{02} + \beta_{12} \ln(D)_i + \beta_{22} \ln(H)_i + \varepsilon_2 \quad (2)$$

și după transformare:

$$\hat{B}_i = \exp(\hat{\beta}_{01}) \cdot D_i^{\hat{\beta}_{11}} \cdot \exp\left(\frac{\hat{\sigma}_1^2}{2}\right) \cdot \exp(\varepsilon_1) \quad (3)$$

$$\hat{B}_i = \exp(\hat{\beta}_{02}) \cdot D_i^{\hat{\beta}_{12}} \cdot H_i^{\hat{\beta}_{22}} \cdot \exp\left(\frac{\hat{\sigma}_2^2}{2}\right) \cdot \exp(\varepsilon_2) \quad (4)$$

în care, B este biomasa diferitei componente a arborelui, β - sunt coeficienții modelului, D - diametrul de bază, H - înălțimea arborelui, $\exp\left(\frac{\sigma_2^2}{2}\right)$ este un factor de corecție, CF (Baskerville și colab. 1972, Sprugel și colab. 1983), bazat pe varianțele residuale σ_2^2 rezultate din ecuația (1).

Deoarece în general inventarierea arboretelor se fac de la un diametru de bază mai mare și egal cu 6 cm, așa cum am procedat și noi în inventarierea din pădurea virgină studiată, și pentru că analiza efectuată în articolul nostru din Forests (Dutca și colab. 2020), a evidențiat că în elaborarea modelelor alometrice este bine să se evite arborii cu $D < 5$ cm, alometria acestora fiind influențată de alți factori precum vătămrile provocate de ierbivore sau concurența arbuștilor și a păturii erbacee, modelele alometrice au fost dezvoltate pentru aceiași arborii utilizați în Dutca și colab. (2020), respectiv cu un $D > 5,7$ cm (15 fagi).

În tabelul 2 sunt prezentat parametrii modelele alometrice de biomasă elaborate pentru fiecare parte componentă a arborelui, pentru arborii de fag.

Tab. 2. Parametrii modelului alometric liniar utilizat pentru estimarea biomasei pe diferite componente ale arborilor

Componenta arborelui	Variabilele predictoare	β_0	β_1	β_2	R^2	CF
Fag						
Trunchi	$\ln(D), \ln(H)$	-3,3014	1,9832	0,8274	0,995	1,0124
Ramuri	$\ln(D)$	-5,6163	3,0047	N.A.	0,981	1,0848
Frunze	$\ln(D)$	-5,0388	2,1907	N.A.	0,923	1,2022
Trunchi și ramuri (AGB wood)	$\ln(D), \ln(H)$	-3,2492	2,1400	0,7173	0,998	1,0049
Biomasa subterană	$\ln(D)$	-2,6252	2,1752	N.A.	0,983	1,0415

Modelele alometrice specifice elaborate pentru fag explică între 92 și 99,8 % din variația biomasei diferitelor componente. Cei mai mici coeficienți de determinare au fost găsiți pentru biomasa aparatului foliar.

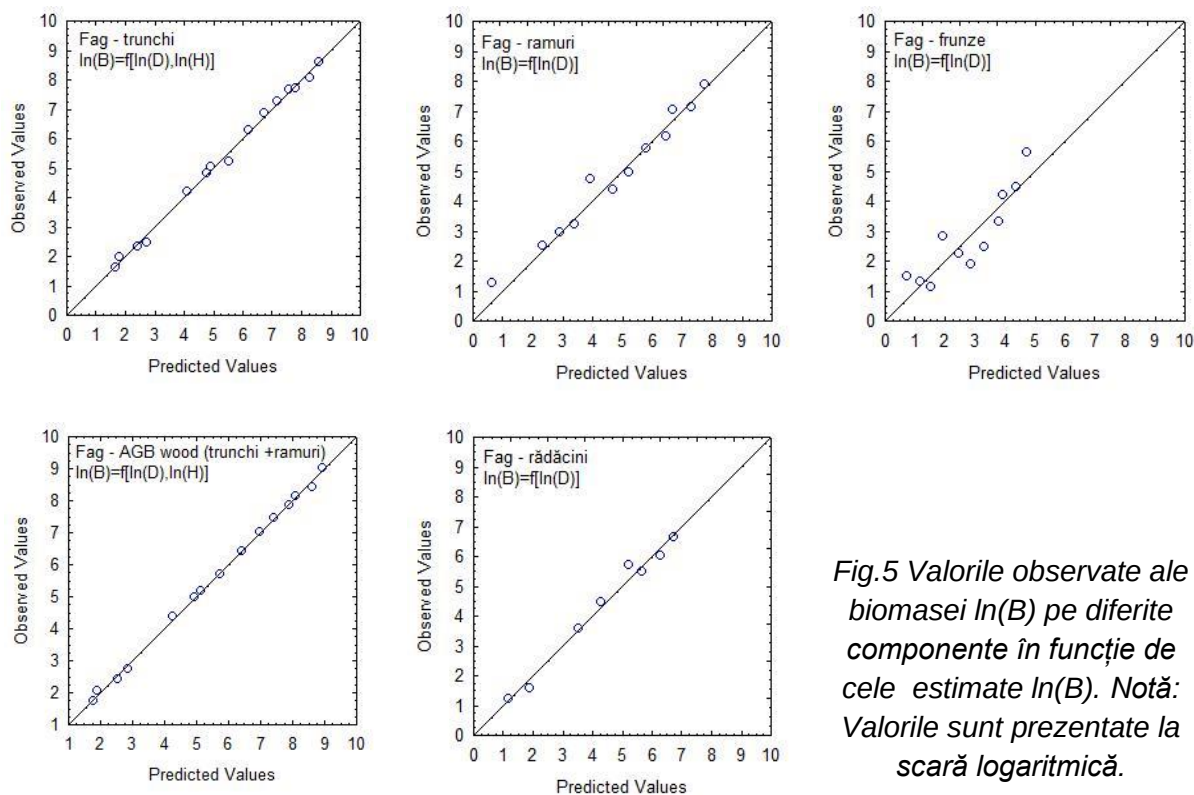


Fig.5 Valorile observate ale biomasei $\ln(B)$ pe diferite componente în funcție de cele estimate $\ln(B)$. Notă: Valorile sunt prezentate la scară logaritmică.

Modelele de biomasă elaborate estimează mai bine biomasa trunchiului, sau pe cea supraterană decât pe cea dispusă în ramuri și frunze, fapt observat adesea și în alte studii (Jagodźiński și colab. 2020). Acest lucru se poate observa și din figura 5, în care sunt redate valorile observate ale biomasei în funcție de cele estimate. Cu deosebire în cazul modelului de estimare a biomasei frunzelor de fag se poate observa diferențe destul de mari între valorile observate și cele estimate.

Distribuția relativă a biomasei supraterane pe cele trei părți aeriene ale arborelui de-a lungul unui larg gradient de diametre este prezentată în figura 6.

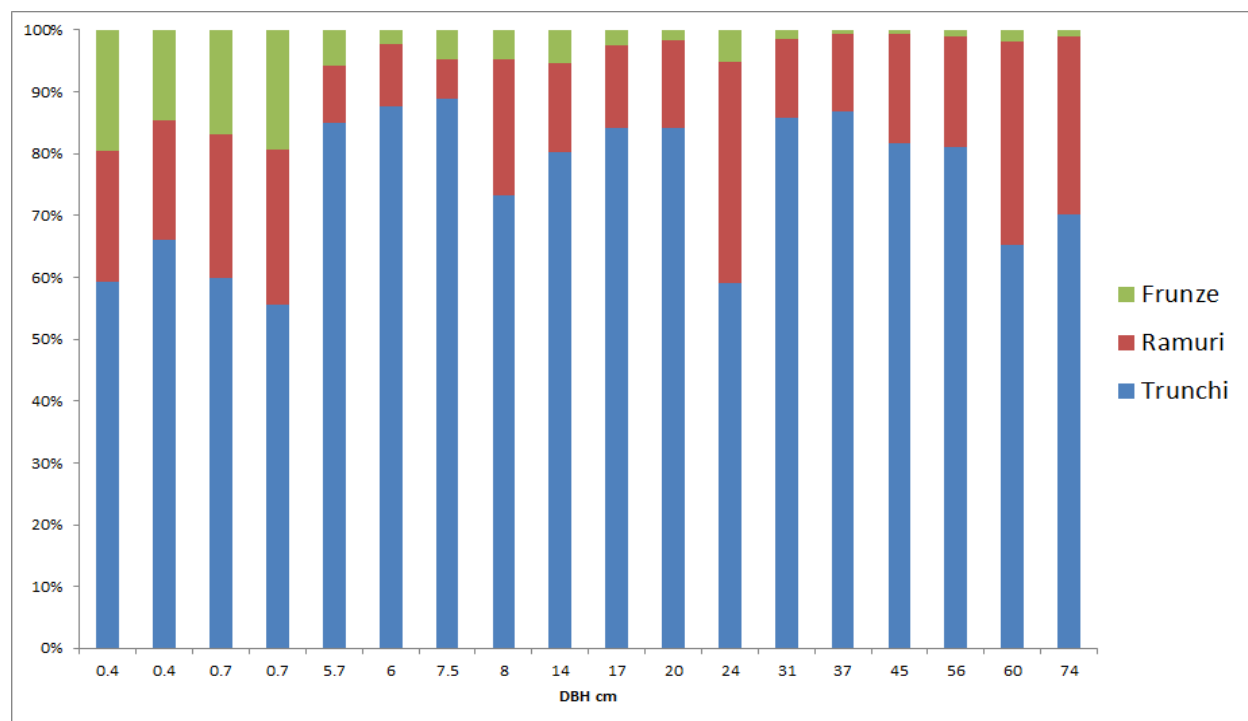


Fig. 6. Distribuția relativă a diferitelor părți componente aeriene ale arborelui din biomasă supraterană.

Se observă reducerea contribuției biomasei foliare cu creșterea în diametru, astfel procentul biomasei frunzelor a variat de la 0,59 la 19,7% (media 6%), procentul ramurilor a variat de la 6,4 % la 35,6 % (media 18,6%), în timp ce biomasa trunchiului a reprezentat cea mai redusă variație (de la 55,6 la 88,9%) cu o valoare medie de 75,2% din biomasă supraterană.

Ecuațiile alometrice dezvoltate pentru specia fag vor fi utilizate pentru estimarea biomasei arborilor vii de fag din suprafețele de probă inventariate în cadrul pădurii virgine de la Șinca. În următoarea etapă a proiectului va fi determinat procentul carbonului pentru fiecare parte componentă a arborelui, ceea ce va permite o estimare a carbonului înmagazinat în arborii din această pădure.

Valorificarea rezultatelor proiectului și vizibilitatea acestuia

În vederea creșterii vizibilității proiectului, acesta a fost înscris pe portalul researchgate.net, portal dedicat cercetării, care este considerat cea mai dezvoltată rețea socială din mediul academic din punctul de vedere al utilizatorilor. Totodată s-a creat o pagina web a proiectului pe site-ul institutului atât în limba română cât și în limba engleză.

Proiectul a fost prezentat în cadrul școlii de vară "CARSEQ": *Carbon Sequestration in Forest Ecosystems*, organizată de către Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL, Elveția, dar și în cadrul simpozionului internațional "Forest and sustainable development" organizat de Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, din cadrul Universității Transilvania Brașov.

Diseminarea rezultatelor proiectului s-a efectuat și prin participarea la conferința internațională "Forest Science for a sustainable forestry and human wellbeing in a changing world", organizată de INCDS "Mărin Drăcea", București și la Simpozionul Științific Internațional „Agricultura modernă – realizări și perspective”, - Universitatea Agrară de Stat din Moldova, 4-6 octombrie, Chișinău, Republica Moldova.

Două articole științifice "Cailleret M, Dakos V, Jansen S, Robert E M R, Aakala T, Amoroso MM, Antos JA, Bigler C, Bugmann H,**Petrutan AM**, ..., Martínez-Vilalta J. "Early-warning signals of individual tree mortality based on annual radial growth" a fost trimis la *Frontiers in Plant Science* și Curiel Yuste J, Flores-Rentería D, García-Angulo D, Hereș AM, **Braga C**, **Petrutan AM**, Petrutan IC. "Cascading effects associated with climate-change induced conifer mortality result in enduring hot-spots of soil CO₂ from mountain temperate forests" la *Soil Biology and Biochemistry* se află în procesul de evaluare.

Bibliografie

Baskerville GL. 1972. Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. *Can. J. For. Res.* 2, 49–53.

Dutcă I, Mather R, Ioraș F (2017). Tree biomass allometry during the early growth of Norway spruce (*Picea abies*) varies between pure stands and mixtures with European beech (*Fagus sylvatica*). *Canadian Journal of Forest Research*, 48(1), 77-84.

Fearnside PM (1997). Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest ecology and Management*, 90(1), 59-87.

Jagodziński AM, Dyderski MK, Horodecki P. 2020. Differences in biomass production and carbon sequestration between highland and lowland stands of *Picea abies* (L.) H. Karst. and *Fagus sylvatica* L. *For. Ecol. Manage.* 474, 118329.

Knohl A, Schulze ED, Kolle O, Buchmann N. (2003). Large carbon uptake by an unmanaged 250-year-old deciduous forest in Central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 118(3), 151-167

Luyssaert S, Schulze ED, Börner A, Knohl A, Hessenmöller D, Law BE, ... Grace J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455(7210), 213-215.

Odum EP 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164, 262–270.

Picard N, Saint-André L, Henry M. (2012). Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction. FAO and CIRAD, Rome, Italy, and Montpellier, France.

Veen P, Fanta J, Raev I, Biriş I A, de Smidt J, Maes B. (2010). Virgin forests in Romania and Bulgaria: results of two national inventory projects and their implications for protection. *Biodiversity and Conservation*, 19(6), 1805-1819.

Yang Y, Luo Y. (2011). Carbon: nitrogen stoichiometry in forest ecosystems during stand development. *Global Ecology and Biogeography*, 20(2), 354-361.

Dr. ing. Any Mary Petrițan