



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) etapa a II-a, aferentă anului 2019**

**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, Whittaker și Likens 1975). Cu circa 7 milioane de hectare de pădure, țara noastră are un potențial ridicat de a contribui la atenuarea emisiilor de CO<sub>2</sub>. În plus, România se caracterizează printr-o suprafață însemnată de păduri virgine (Veen et al. 2010), care pot servi ca referință pentru pădurile gospodărite. Despre rolul pădurilor virgine în sechestrarea carbonului se cunoaște încă puțin, părerile fiind împărțite. Pădurile virgine au fost, în general, considerate neutre în ceea ce privește fluxul carbonului, conform teoriei lui Odum (1969), dar, cercetări relativ recente (Knohl et al. 2003, Luysaert 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.

Pentru o estimare cât mai precisă a bugetului de carbon a fost dezvoltată o rețea globală de turnuri de eddy covariance (Baldocchi 2008), care măsoară continuu schimburile dintre CO<sub>2</sub> și H<sub>2</sub>O dintre ecosistem și atmosferă, monitorizând productivitatea netă a ecosistemului. O altă metodă, mai puțin costisitoare, utilizată pe scară largă, pentru estimarea producției primare nete a ecosistemului este determinarea diferenței stocului de carbon între două momente date. 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 biomasă și respectiv în carbon. Pentru convertirea cracteristicilor 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, Montagu et al. 2005).

**Scopul principal al proiectului BIOCARB** este de a determina biomasa, producția primară netă a pădurii virgine de amestec de brad cu fag din Codrul Secular Șinca, pădure care, începând cu anul 2017, a fost inclusă în patrimonial universal Unesco, precum și procentul de carbon din sol și din diferitele părți componente ale arborilor.

**Obiectivul** principal al **fazei a II-a**, aferente anului 2019 a fost de a determina ecuațiile alometrice pentru brad (*Abies alba*), cea de-a doua specie principală din pădurea virgină de amestec cercetată. Un alt obiectiv al acestei faze a fost de a determina procentul de carbon existent în diferitele părți componente ale arborilor de fag și din sol.

## **2. Material și metodă**

În vederea elaborării ecuațiilor alometrice locale, specifice bradului, împreună cu colegii de la O.S Pădurile Șincii, Regia Publică Locală pe raza și în administrarea căreia se află pădurea virgină Codrul Secular Șinca, au fost aleși în jur de douăzeci de arbori de brad cu dimensiuni foarte variate, acoperind întreaga plajă de diametre (0.3 – 92.6 cm diametru de bază) și de înălțimi (1.3 – 43.5 m), dintr-o pădure învecinată, cu compoziție și condiții de creștere asemănătoare celor din pădurea virgină. Arborii de brad au fost extrași din același trup de pădure din care s-au extras și arborii de fag în anul 2018.

Aceiași metodologie, ca și pentru fag, a fost utilizată, cu mici modificări. Astfel, înainte de doborârea arborelui s-au măsurat cât mai exact circumferințele la 0.1 m, 0.5 m, 1.3 m, 1.8 m și 2 m cu o ruletă. Înălțimea totală și înălțimea elagată a fiecărui arbore a fost măsurată cu un Vertex IV, dar și cu ruleta după doborâre. 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. Valorile respective au fost utilizate pentru cubarea trunchiului arborelui prin însumarea volumului fiecărui tronson de către 1 m, volum calculat cu formula trunchiului de con.

Ramurile de brad au fost elagate și cântărite separat pe trei părți ale coroanei (treimea inferioară, treimea mijlocie și treimea superioară). Ramurile cu un diametru de prindere pe trunchi mai mare de 5 cm au fost cântărite separat, și li s-a măsurat și lungimea. Datorită faptului că procesul de îndepărtare a acelor de brad de pe ramuri este foarte anevoios, ramurile au fost cântărite împreună cu acele. Mai multe eșantioane de ramuri cu ace au fost prelevate diferențiat pe cele trei părți ale coroanei, cântărite în pădure, uscate la etuvă până la atingerea masei constante și apoi cântărite din nou. După cântărire acele de brad au fost îndepărtate și cântărite separat pentru determinarea proporției acestora din masa totală a ramurilor cu ace.

Pentru a determina variația densității scoarței arborilor de-alungul fusului, s-a decupat, din metru în metru, scoarța într-o formă cât mai geometrică (de regulă paralelipiped), notându-se lungimea, lățimea și grosimea acesteia. Pe baza acestor măsurători s-a calculat volumul verde al fiecărei probe. Fiecare probă de scoarță a fost cântărită la finalul zilei, pe un cântar de precizie, uscată la etuvă și recântărită cu același cântar, după care s-a determinat densitatea convențională a acesteia.

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, 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 tone, 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 runde 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, 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 la fața locului masa verde, au fost aduse apoi la laborator, uscate în etuvă și recântărite.

După uscarea până la atingerea masei constante a tuturor eșantioanelor s-a determinat procentul de apă al fiecărei probe care a fost ulterior utilizat pentru convertirea masei verzi a diferitelor părți componente ale arborilor determinate prin cântărire în pădure, în masa uscată.

Având biomasa fiecărei componente, s-au putut determina ecuațiile alometrice. Pentru a se realiza acest lucru, s-a avut în vedere diferiți factori care influențează biomasa fiecărei părți componente a arborelui, și anume: diametrul la înălțimea de 1.30 m (D) și înălțimea totală.

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,  $\beta$ - 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  $\sigma_2^2$  rezultate din ecuația (1).

La începutul anului 2019 au fost prelevate probe din eşantioanele uscate pentru fiecare parte componentă a arborilor de fag extrași anul precedent (rădăcini, trunchi, ramuri, frunze), precum și din orizontul organic și primii 10 cm de orizont mineral de sol. Probele au fost măcinate și trimise la laboratorul de soluri din cadrul INCDS “Marin Drăcea” București pentru determinarea conținutului de C la analizatorul elementar CN. Determinările au fost efectuate de doamna dr. chimist Elena Deleanu, membră a echipei de lucru a proiectului. Totodată s-au prelucrat cele 80 de pungi de litieră colectată în toamna anului 2018. Reamintim faptul că au fost instalate în mod sistematic câte 8 colectoare de litieră în 10 suprafețe de probă de 2500 m<sup>2</sup>, distribuite aleatoriu pe întreaga suprafață a pădurii virgine. Litiera colectată a fost separată pe frunze de fag, ace de brad, fructe de fag, fructe de brad, ramuri de fag, ramuri de brad, licheni și mușchi, și altele (praf, gândaci, pene, etc..), după care a fost uscată în etuvă circa 48 ore la 70°C (Glatthorn et al. 2017). Înainte de uscare, câte un eşantion de frunze/ace din fiecare colector, a fost scanat pentru determinarea suprafeței foliare specific medii (SLA, raportul dintre suprafața frunzelor și masa uscată a acestora, cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>). Pe baza SLA și a masei totale a frunzelor/acelor din colectoare s-a calculat LAI (leaf area index), un indice folosit adesea pentru a exprima suprafața foliară a arboretului. Deși s-a demonstrat deja că LAI variază cu specia, vârsta arborilor și tipul de management forestier (Glatthorn et al. 2017), totuși este nevoie de cercetări suplimentare, datorită variabilității ridicate a efectului diferiților factori asupra LAI.

În vară, deasupra fiecărui colector de litieră, a fost făcută câte o fotografie hemisferică cu un aparat de fotografiat digital NIKON, prtevăzut cu lentilă de tip “fish-eye” și reglare auto-nivelantă. Fotografiile hemisferice au fost procesate cu ajutorul softului Winscanopy (Regents Instruments Inc. Sainte-Foy, Quebec, 2003). Acest soft permite obținerea directă a mai multor indici LAI (leaf area index) dar și a fracției reprezentată de golul din coronament.

Pentru a compara cele două metode de determinare a indicelui de suprafață foliară (LAI) s-au calculat valorile statistice de bază (media, mediana, varianța, valorile minime și maxime) pentru fiecare suprafață de probă și pentru toate datele.

S-a determinat ce factori de mediu influențează valorile rezultate ale indicilor de suprafață foliară cu ajutorul corelațiilor. S-a creat un model liniar, pe baza acestor corelații, pe care l-am folosit în determinarea existenței autocorelării spațiale, la nivelul fiecărei suprafețe de probă. Modelul folosit pentru definirea vecinilor a fost lista vecinilor de ordinul 1 de contiguitate (testarea autocorelării spațiale a fost aplicat pentru două suprafețe alăturate) (Bivand et. al 2008; Koenig 1999; Sokal et. al 1978)

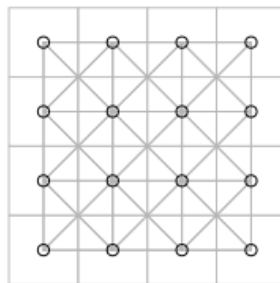


Fig 1. Lista vecinilor de ordinul 1 de contiguitate

De asemenea, rezultatele respective au fost diseminate de domnul Mihăilă în cadrul a două conferințe, una internațională și una națională.

În primăvară, înainte de intrarea în perioada de vegetație a fost instalate benzi de creștere în completarea celor din 2018, pe toți arborii din 5 suprafețe de probă de 50 x 50 m, pentru a putea determina cât mai precis creșterile în diametru anuale ale arborilor. De asemenea, au fost verificate și reparate, dacă a fost cazul, colectoarele de litieră.

Pentru a determina creșterea anuală a rădăcinilor fine a fost inițiat un așa-numit experiment de “root ingrowth” (Ostonen et al. 2005). În acest sens au fost realizate coșulețe de sârmă, cu un diametru puțin mai mare decât cel al sondei de prelevare a probelor de sol. În zece suprafețe de probă de 50 x 50 m au fost instalate în mod sistematic (în centru și la o pătrime din diagonale) 5 coșulete de ingrowth. În primăvară au fost extrase probe de sol, care cu foarte multă grijă au fost diferențiate pe orizontul organic și mai multe adâncimi de orizonturi minerale, fiecare de câte 10 cm. Rădăcinile din fiecare orizont au fost extrase și puse în pungi ermetice. Coșulețul de creștere a fost pus în groapa făcută de sondă și pământul fără rădăcini a fost repus în sol astfel încât să se păstreze ordinea orizonturilor. La laborator, rădăcinile au fost analizate și separate în vii și moarte, după care au fost uscate în etuvă și cântărite. Toamna au fost extrase din nou coșulețele de creștere, s-au extras rădăcinile tot diferențiat pe aceleași orizonturi și urmează să fie separate și uscate, pentru a se determina cantitatea de rădăcini care a crescut pe parcursul sezonului de vegetație al anului 2019.

### 3. Rezultate

#### 3.1 Concentrația de carbon (%) din diferite părți componente ale arborilor de fag

Pentru a putea estima carbonul stocat în diferite părți componente ale arborilor este nevoie atât de biomasa totală a acestora cât și de concentrația carbonului din ele. Datele existente din literatură variază între 45- 52 % (Huet et al. 2004), ori 45-54 % (Janssens et al. 1999), în funcție de specie. Deși unii autori utilizează o concentrație prestabilită a carbonului de 50 %, alții consideră că aceasta poate conduce la o supra- sau subestimare a conținutului de C (Janssens et al. 1999). Ca urmare am optat pentru determinări proprii ale C pe diferite compartimente ale arborelui (Tab.1).

*Tab. 1. Concentrațiile de C din diferite compartimente ale arborilor de fag și din sol*

Parte arbore	Nr probe	Medie	Minim	Maxim	Coeficient de variație
Trunchi	6	45.8	45.1	46.4	1.1
Ramuri	16	47.7	44.6	49.8	2.5
Frunze	18	48.6	45.3	47.7	1.5
Scoarță	13	45.7	44.6	47.4	1.8
Rădicini groase	2	47.5	46.8	48.1	1.9
Rădicini fine	16	45.9	42.6	47.9	3.4
Sol-orizont organic	22	10.1	7.8	14.8	20.5
Sol –primii 10 cm orizont mineral	22	5.4	3.2	7.8	24.2

Valorile conținutului de carbon din diferitele compartimente ale arborilor de fag sunt în general similare cu celor determinate pentru această specie în Franța (Huet et al. 2004) și Belgia (André et al. 2010). Astfel Huet et al. (2004) raportează pentru trunchi valori ale concentrației de C de 47,4 % (47-47,8%), pentru ramuri 47,6% (47,5-48.4%), pentru scoarță 48,8% (48,4-49,6%) iar pentru rădăcini 48,5% (47,9-48,9%), în timp ce André et al. (2010) a determinat o valoare medie a concentrației C din scoarță și din lemn (nedefalcat pe ramuri sau trunchi) similară (48,7 %). Jagodziński et al. (2020) a găsit că valoarea medie a carbonului a fost de 49,9 % în trunchi, de 48,3% în ramuri, de 49,4% în scoarță și de 48,3% în frunze.

### 3.2. Densitatea convențională a lemnului și a scoarței

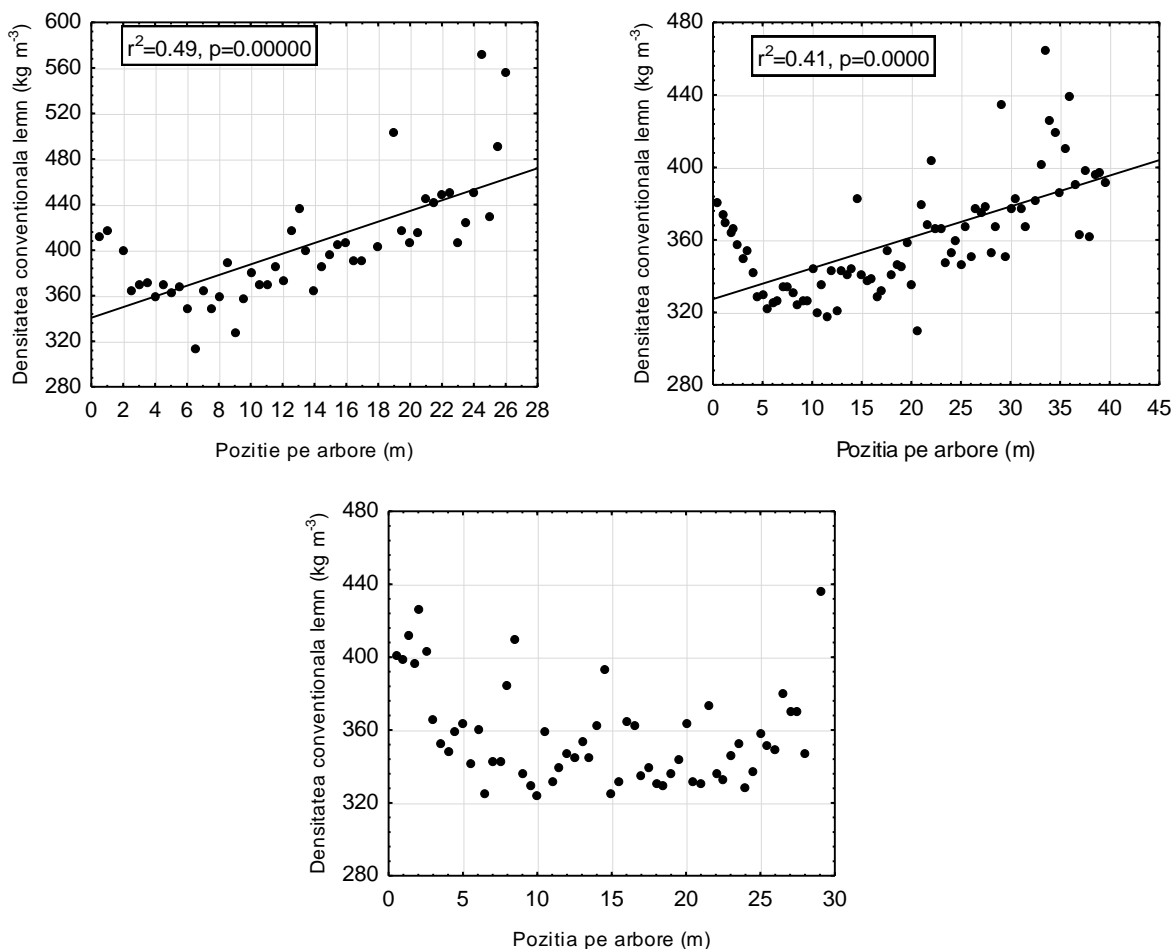


Fig.2 Variația densității convenționale a lemnului de-a lungul trunchiului. Exemple pentru trei arbori de brad de dimensiuni diferite



Densitatea convențională medie a lemnului de brad, determinată pe baza carotelor extrase, a fost de  $372.2 \text{ kg/m}^3$  ( $310\text{-}572 \text{ kg/m}^3$ ), mai mare decât cea ( $353 \text{ kg/m}^3$ ) din Global wood density database Dryad (Zanne et al. 2009, Chave et al. 2009), iar coeficientul de variație al acesteia a fost mai mare decât la fag, de 11.6 % față de numai 7%. Ca și la fag, s-a observat existența unei variații a densității lemnului atât de-a lungul fusului cât și între arborii aceleiași populații (Feranside et al 1997). Variația densității convenționale a lemnului de-a lungul fusului arborelui nu a prezentat un model clar. Astfel dacă pentru unii arbori, densitatea lemnului s-a corelat semnificativ și pozitiv cu poziția de la care a fost extrasă carota (Fig. 2 sus) pentru alți arbori nu a existat un trend clar (Fig. 2 jos). Se poate însă observa, că densitatea lemnului din primii 2 metri ai arborilor (aproape de baza acestora) prezintă valori mai mari, densitatea descrescând de la bază până la înălțimea de 4-5 metri, după care crește cu înălțimea arborelui (Fig. 2).

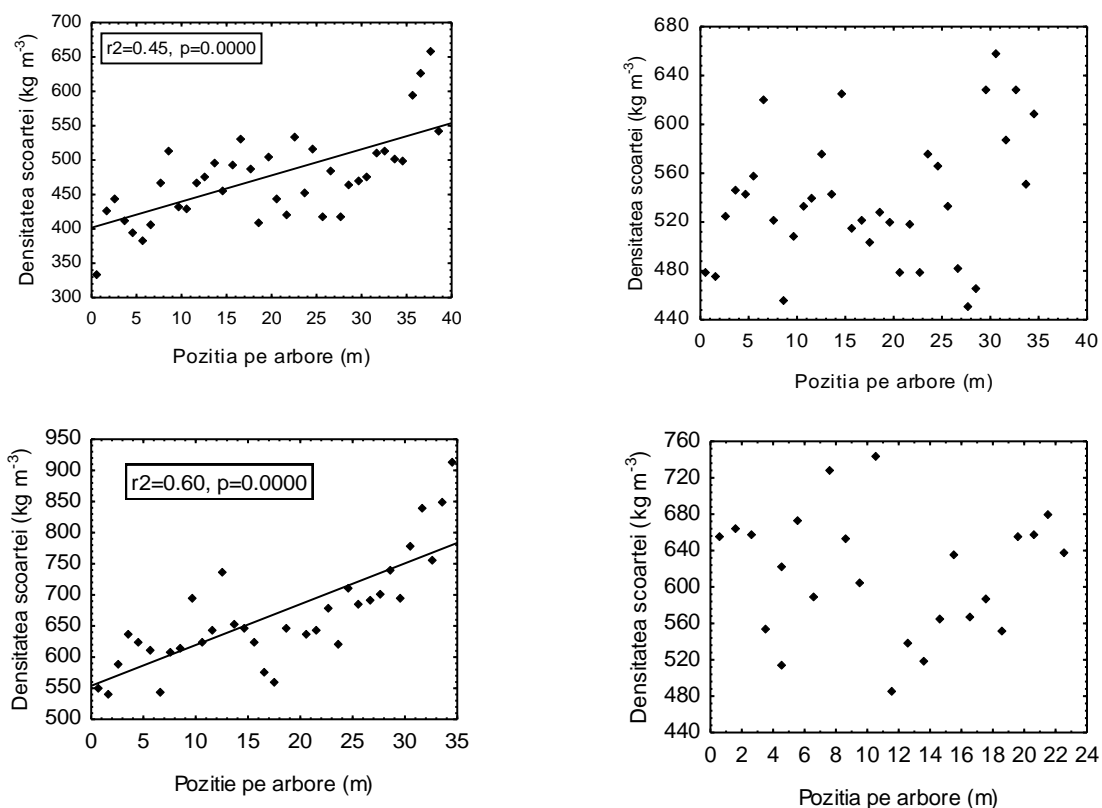


Fig.3 Variația densității convenționale a scoartei de-a lungul trunchiului. Exemple pentru arbori de brad (sus) și arbori de fag (jos).

Densitatea medie a scoartei a avut o valoare medie de  $529 \text{ kg/m}^3$  ( $336\text{-}680 \text{ kg/m}^3$ ) pentru brad și de  $610 \text{ kg/m}^3$  pentru fag ( $450\text{-}915 \text{ kg/m}^3$ ). Ca și în cazul densității convenționale a lemnului, densitatea

scoarței de-a lungul fusului arborelui nu a prezentat un trend clar pentru niciuna din cele două specii studiate (Fig. 3).

### 3.2 Ecuțiile alometrice locale pentru specia brad

Ecuții alometrice au fost dezvoltate între biomasa trunchiului, biomasa ramurilor, biomasa acelor, biomasa sub- și supraterană și câteva caracteristici biometrice ușor măsurabile (diametrul de bază și înălțimea) ale arborilor (Tabelul 2).

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

Componenta arborelui	Variabilele predictoare	$\theta_0$	$\theta_1$	$\theta_2$	R <sup>2</sup>	CF
Trunchi	ln(D), ln(H)	-3,9545	0,7818	2,2915	0,982	1,0590
Ramuri	ln(D)	-4,2062	2,4503	N.A.	0,980	1,0465
Ace	ln(D)	-3,9189	2,1532	N.A.	0,983	1,0298
Trunchi și ramuri (AGB wood)	ln(D), ln(H)	-3,2843	0,9971	1,9006	0,988	1,0331
Biomasa subterană	ln(D)	-3,9604	2,5336	N.A.	0,990	1,0195

Modelele alometrice specifice elaborate pentru brad explică între 98 și 99 % din variația biomasei diferitelor componente. Cei mai mici coeficienți de determinare au fost observați pentru estimarea biomasei ramurilor.

Modelele de biomasă elaborate au estimat mai bine biomasa trunchiului, sau pe cea supraterană decât pe cea dispusă în ramuri și frunze, fapt observat adesea și în alte studii (Jagodziński și colab. 2019). Acest lucru se poate observa și din figura 4, 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 5.

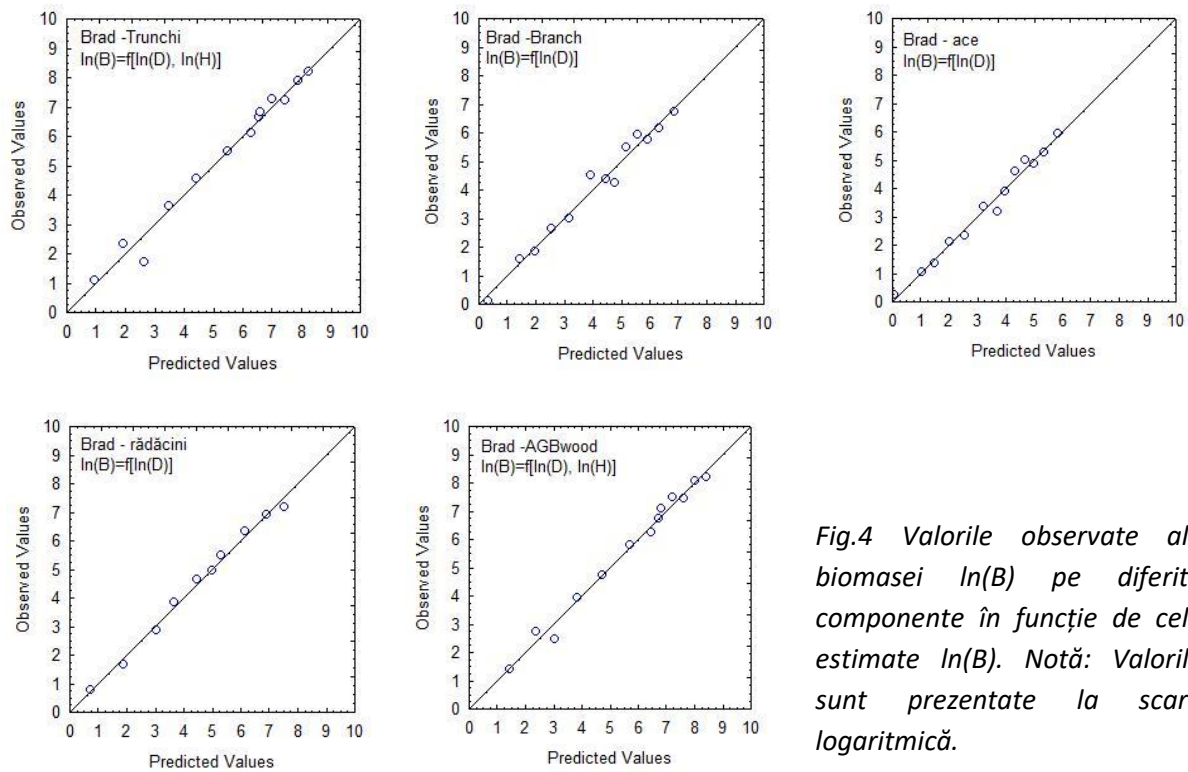


Fig.4 Valorile observate ale biomasei  $\ln(B)$  pe diferite componente în funcție de cele estimate  $\ln(B)$ . Notă: Valorile sunt prezentate la scară logaritmică.

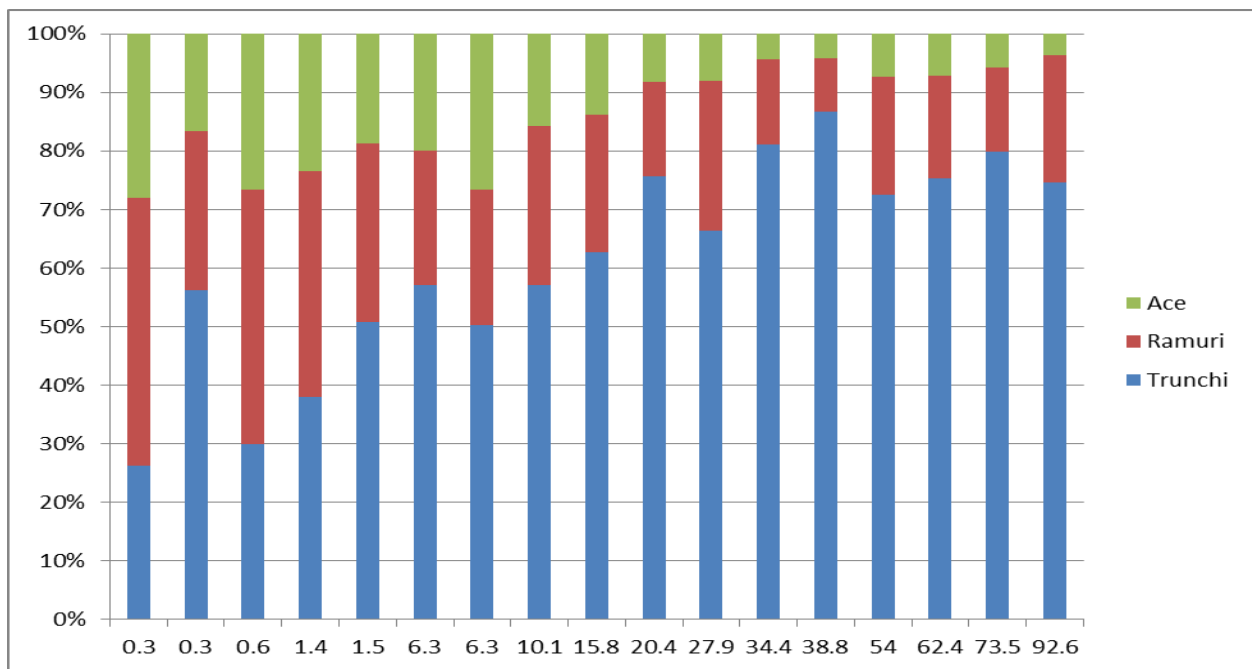


Fig. 6 Variația proporției diferitelor părți componente supraterrane ale arborilor de brad, de-a lungul unui larg gradient de diametre de bază

Se observă reducerea contribuției biomasei foliare cu creșterea în diametru, astfel procentul biomasei acelor a variat de la 4 la 28 % din biomasa supraterană, procentul ramurilor de la 9 % la 46 %, iar proporția biomasei trunchiului de la 26% (în cazul unui puiet de brad) la 89% pentru arborele cu cel mai mare diametru de bază măsurat.

Ecuatiile alometrice specifice, elaborate în cadrul etapei I pentru fag și în etapa a II-a pentru brad vor fi utilizate în ultima etapă a proiectului pentru estimarea biomasei arborilor din suprafețele de probă inventariate în cadrul pădurii virgine de la Șinca.

### 3.3 Cantitatea și compoziția litierei

Producția de litieră corespunzătoare anului 2018 captată cu ajutorul celor 78 de colectoare (2 dintre ele au fost distruse de urși) de litieră de formă circulară, cu o suprafață de 0.28 m<sup>2</sup> la nivelul celor 10 suprafețe de probă răspândite aleator în pădurea virgină studiată este prezentată sintetic în tabelul 3.

*Tab. 3 Biomasa totală la hectar colectată în 2018 în cele 78 de colectoare dispuse sistematic în 10 suprafețe de probă răspândite randomizat în pădurea studiată*

Componentă litiera (kg ha <sup>-1</sup> )	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Coef.Var.
Frunze Fa	78	2309.493	691.791	3876.858	707.5445	30.6364
Fructe Fa	78	107.087	0.000	1236.377	200.2120	186.9618
Ramuri FA	78	142.772	0.000	5127.742	587.4456	411.4564
Ace BR	78	570.885	0.000	2277.424	483.8917	84.7617
Fructe BR	78	240.505	24.770	681.175	188.6901	78.4558
Ramuri BR	78	36.883	0.000	302.548	50.2033	136.1157
Licheni/muschi	78	6.480	0.000	50.248	9.1946	141.8897
Altele	78	96.331	35.740	214.084	45.4802	47.2126
Total	78	3510.436	1825.548	8257.962	960.1661	27.3518

Biomasa totală a litierei colectată în anul 2018 a avut o valoare medie de 3.5 tone la hectar, prezentând o largă variație, de la 1.8 t la 8.2 t. Aceasta a fost compusă, în special din frunzele de fag care au căzut în toamna anului 2018. Biomasa colectată a frunzelor de fag, cu o medie de 2.3 ±0.7 t ha<sup>-1</sup>, reprezintă circa 66 % din total biomasa colectată (Fig. 7).

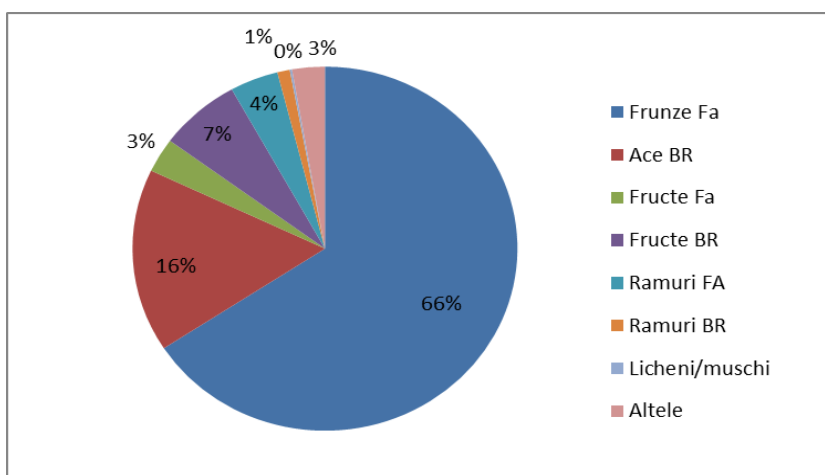


Fig. 7. Compoziția litierei colectată pe parcursul anului 2018

Glatthorn et al. (2017) au raportat pentru mai multe păduri virgine de fag din Slovacia valori totale ale producției de litieră anuale de 4 până la 4.3 t ha<sup>-1</sup>. Cele mai mici valori au fost obținute în pădurea Stuzica, în care bradul a fost prezent cu un procent de circa 10 % din suprafața de bază.

Biomasa compusă din acele de brad care au căzut în 2018, a reprezentat doar 16 % din totalul litierei colectate (Fig. 7), ceea ce este explicabil, dat fiind că bradul nu își schimbă tot frunzișul anual.

În ceea ce privește producția de fructe, aceasta a avut valori medii de 107 kg la hectar pentru fag și 240 kg ha<sup>-1</sup> pentru brad. Glatthorn a raportat masa uscată anuală la hectar a fructelor din pădurile virgine de fag din Slovacia variind între 400 - 800 kg, valori mai mari decât cele găsite pentru anul 2018 în studiul nostru.

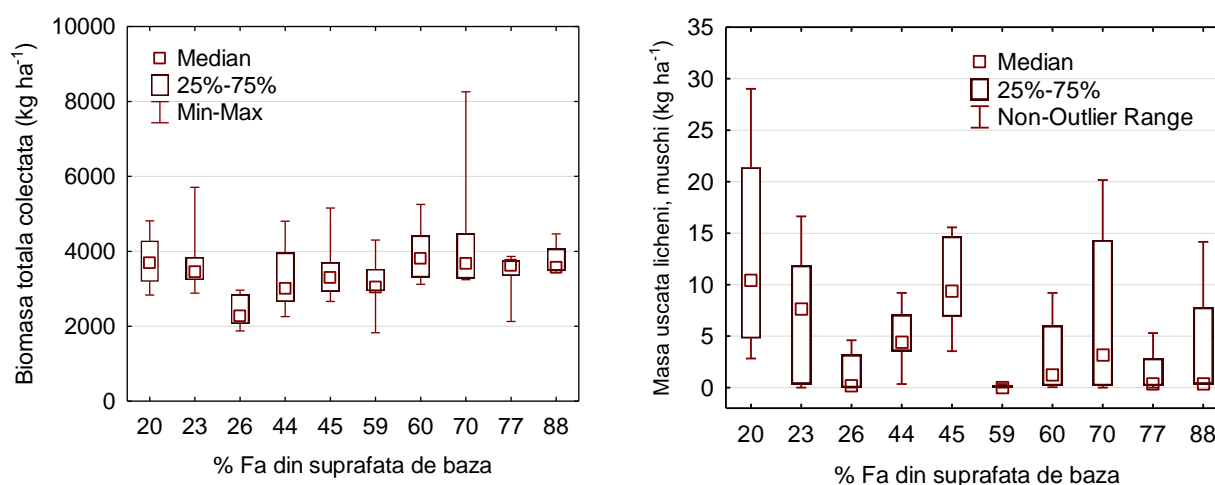


Fig. 8 Variația biomasei totale a litierei colectate în anul 2018 (stânga) și a biomasei alcătuită din mușchi și licheni (dreapta) în funcție de proporția de fag din suprafața de bază a arboretelor

După cum se poate observa din figura 8, producția totală de litieră din 2018 nu a fost influențată semnificativ de gradul de participare al fagului, respectiv al bradului (reamintim că bradul și fagul sunt speciile principale din pădurea respectivă). Cantitatea de mușchi și licheni a fost însă mai mare în arboretele cu o participare mai mare a bradului în compoziție. Așa cum era de așteptat, cantitatea de frunze respectiv de ace, precum și cea de fructe a fost însă influențată de dominanța uneia sau a celeilalte specii din arboret (Fig. 9).

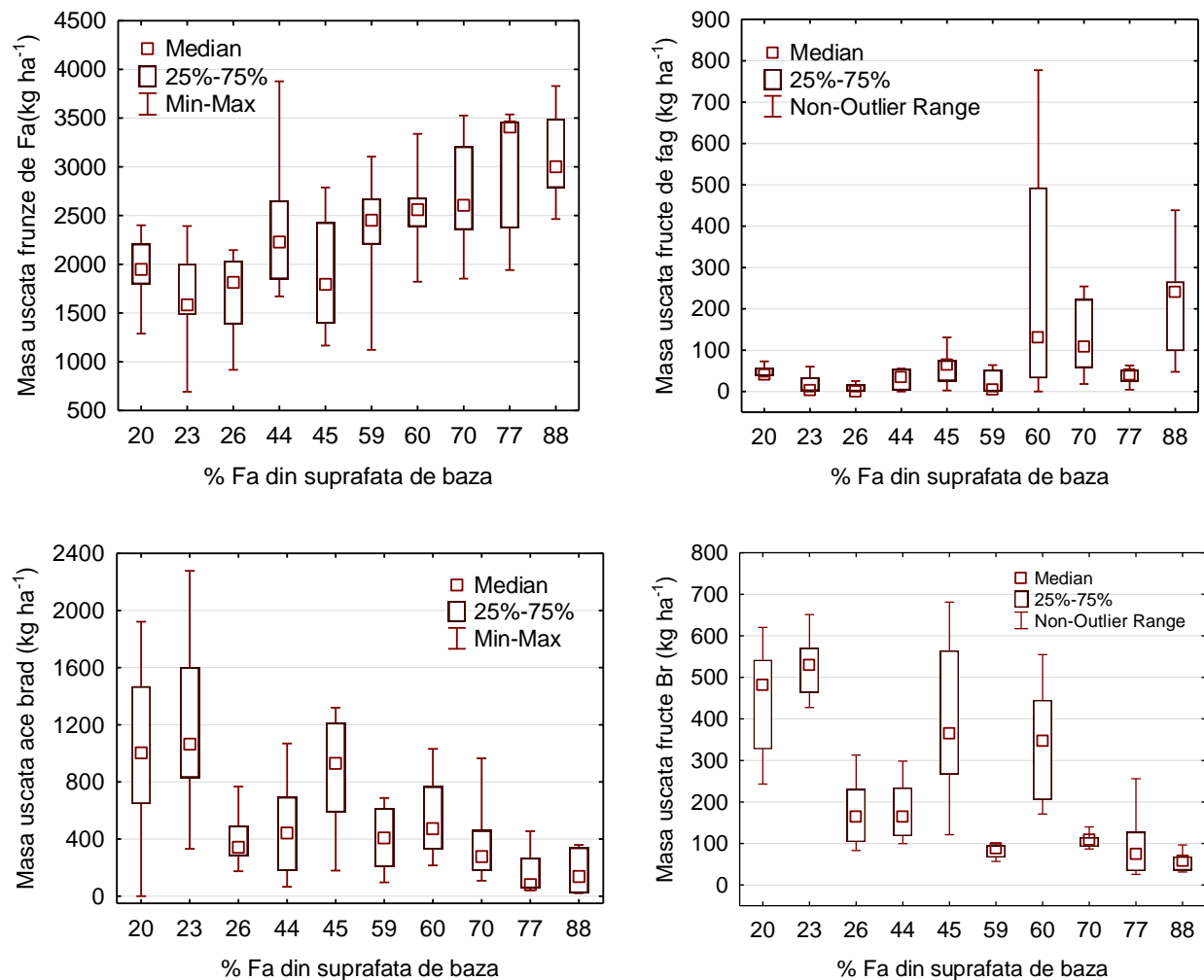


Fig. 9. Variația masei uscate anuale la hectar a frunzelor de fag (stânga sus), a acelor de brad (stânga jos), a fructelor de fag (dreapta sus) și a fructelor de brad (dreapta jos) în funcție de proporția fagului din suprafața de bază totală a arboretului.

### 3.4 Indicele de suprafață foliară (LAI)

Indicele de suprafață foliară mediu determinat pe baza metodei colectoarelor de litieră a fost de 3.67, în timp ce cel determinat cu metoda fotografică a avut o valoare mai mică, de 2.93. Comparativ cu o pădure din de amestec de fag cu brad (*Omphalodo fagetum*) din Munții Dinari, Croația, unde s-a înregistrat o valoare medie 3.41 (s.d. = 0.45) (Jelaska 2004), LAI-ul determinându-se pe baza fotografiilor hemisferice, valoarea indicelui din prezentul studiu a fost mai mare pentru metoda directă și mai mică pentru metoda indirectă. Valorile LAI au variat de la un minim de 1.40 până la un maxim de 6.18 în cazul metodei de determinare cu colectoarelor de litieră și de la 2.22 până la 3.95 în cazul metodei fotografice (Tab. 4). Comparând atât cu pădurea din Croația, unde s-au înregistrat valori cuprinse între 1.97 și 4.62 (Jelaska 2004), cât și cu metoda fotografică, valorile LAI determinate cu metoda colectoarelor de litieră au prezentat o variabilitate mai mare în ceea ce privește valorile rezultate (tab. 4, Fig. 10).

Tab 4. Valorile medii, minime și maxime, mediana și varianța LAI pentru cele două metode

	Min.	1st.Qu.	Mediană	Medie	3rd.Qu.	Max.	Varianța
Litieră LAI	1.40	2.90	3.61	3.67	4.21	6.18	1.02
Fotografic LAI	2.22	2.74	2.90	2.93	3.09	3.95	0.09

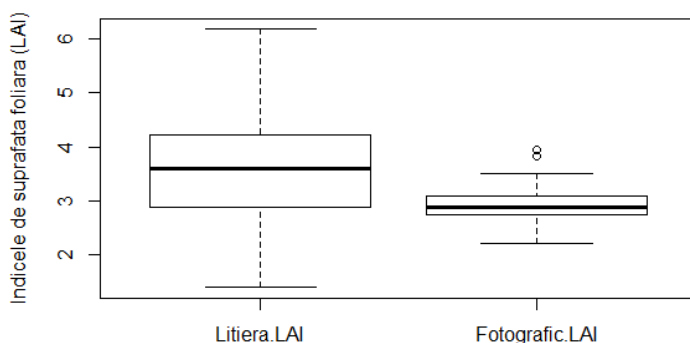


Fig 10. Valorile medii și abaterea standard a LAI, determinat prin cele două metode: metoda colectoarelor de litieră și metoda fotografiilor hemisferice

LAI determinat pe baza litierii colectate a prezentat valori mai mari în primele primele trei suprafețe comparative cu ultimele trei, acest lucru datorându-se pantei mai accentuate din primele trei

suprafețe ce duc la aglomerarea coroanelor, și respectiv la o masă mai ridicată de litieră colectată (Fig. 11).

Metoda de determinare a LAI au avut impact atât asupra variabilității din interiorul suprafețelor de probă cât și între diferitele suprafețe de probă (Fig. 11). Astfel, valorile LAI determinate pe baza colectoarelor au fost mult mai variate atât la nivelul fiecărei suprafețe proba cât și între diferitele suprafețe, comparative cu valorile determinate pe baza metodei fotografice (Fig. 11).

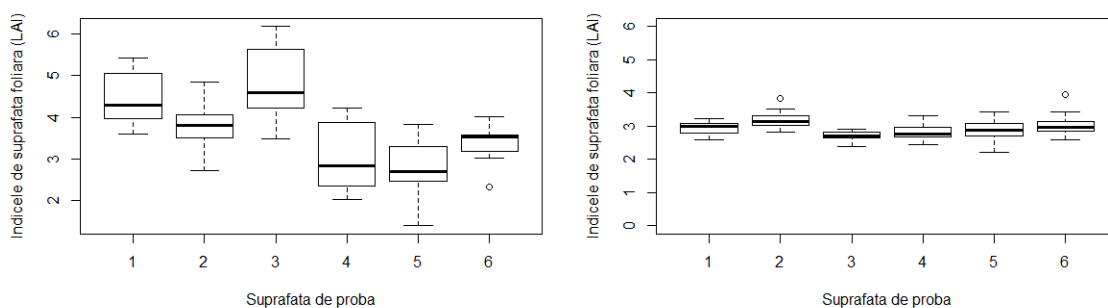


Fig 11. Valorile medii și abaterea standard ale LAI (metoda colectoarelor de litieră (în stânga) și metoda fotografiilor hemisferice (în dreapta))

Pentru a identifica factorii de mediu care influențează indicele de suprafață foliară rezultat din metoda de litieră, am testat corelația acestuia cu diferiți factori biotici și abiotici determinați. Corelațiile rezultate se pot observa în figura 12 de mai jos.

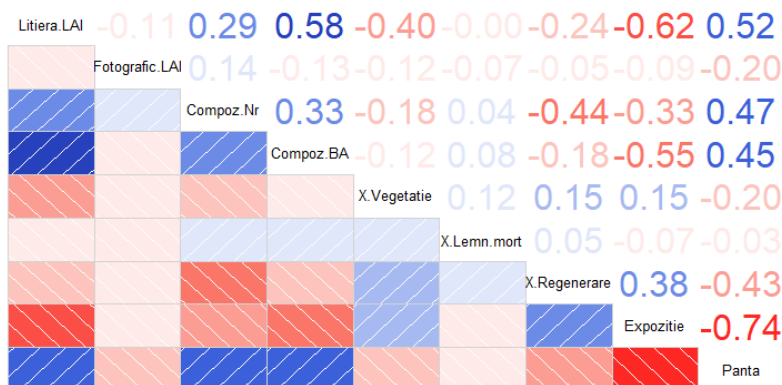


Fig 12. Corelogramă ce exprimă corelațiile existente între diverși factori biotici și abiotice și indicele de suprafață foliară



Din corelogramă reiese corelația puternică a indicelui de suprafață foliară determinat cu ajutorul colectoarelor de litieră cu expoziția, panta și compoziția determinată pe baza suprafeței de bază a arborilor (respectiv cu procentul de participare a fagului din suprafața de bază). Pentru a testa influența acestor factori asupra indicelui, s-a folosit analiza varianței (ANOVA), utilizând un model liniar. Compoziția (% fagului din suprafața de bază a arboretului), panta și expoziția au avut impact semnificativ asupra LAI ( $p < 0.001$  pentru compoziție și  $p < 0.05$ , pentru expoziție). Analiza varianței este prezentată sintetic în tabelul 5 iar corelațiile sunt reprezentate grafic în figurile 13 și 14.

Tab 5. Determinarea impactului factorilor asupra indicelui de suprafață foliară cu ajutorul analizei varianței (ANOVA)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Densitatea arborilor	1.00	0.26	0.26	0.42	0.520188	
Compoz.Nr	1.00	4.62	4.62	7.46	0.009341	**
Compoy.BA	1.00	11.37	11.37	18.36	0.000112	***
Expoziție	1.00	5.01	5.01	8.08	0.007007	**
Pantă	1.00	0.05	0.05	0.09	0.770163	
Residuri	40.00	24.78	0.62			

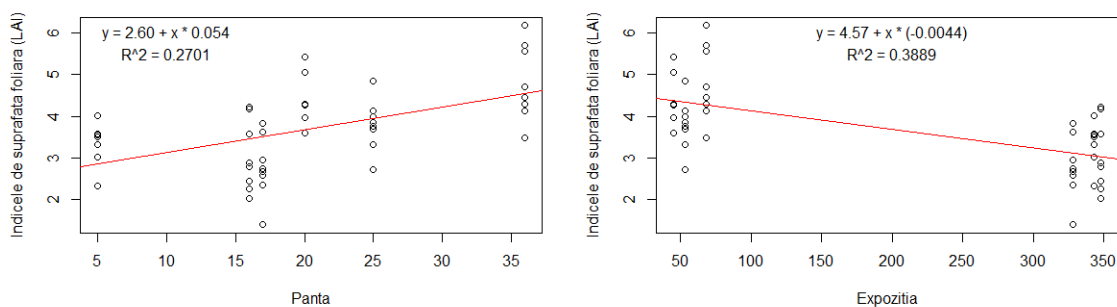


Fig 13. Corelația pantei (în stânga) și a expoziției (în dreapta) cu LAI

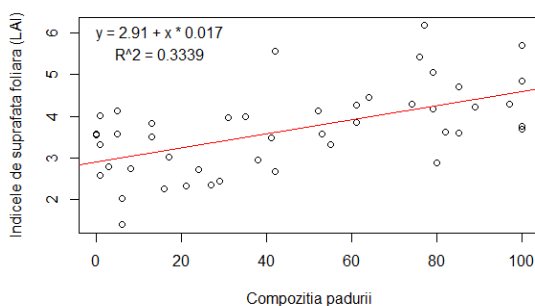


Fig 14. Corelația compoziție speciilor cu indicele de suprafață foliară (LAI)

Prin autocorelarea spațială a fost studiată influența suprafețelor vecine asupra indicelui de suprafață foliară determinat pe baza litierei, folosindu-se metoda Moran I. Ipoteza nulă a fost că valorile indicelui de suprafață foliară sunt distribuite aleator în cadrul zonei studiate. Dat fiind că nici o suprafață de probă nu a prezentat autocorelare spațială, se poate spune că indicele de suprafață foliară este distribuit la întâmplare în spațiu și nu este dependent de suprafețele de probă vecine (Tab 6).

Tab 6. Autocorelare Spațială. Valoarea Moran I

	P2	P3	P5	P6	P7
P-values	0.99	0.07	0.83	0.07	0.99
Valoarea Moran I	-2.31	1.51	-0.94	1.46	-2.31

Pe baza acestor rezultate s-a început elaborarea unui articol științific de către domnul doctorand Victor Mihăilă, articol ce va fi trimis spre publicare în perioada imediat următoare.

#### 4. Concluzii

Obiectivele și activitățile propuse pentru anul 2019 au fost realizate integral, conform planului de lucru. Directorul de proiect împreună cu domnul Braga Cosmin, membru al echipei proiectului au fost implicați în elaborarea a două articole științifice ISI acceptate spre publicare:

- ✓ Gut U, Árvai M, Bijak S, Camarero JJ, Cedro A, Cruz-García R, Garamszegi B, Hacket-Pain A, Hevia A, Huang W, ... *Petritan AM*, ... and Isaac-Renton M. 2019. No systematic effects of sampling direction on climate-growth relationships in a large-scale, multi-species tree-ring data set. *Dendrochronologia*, 57, p.125624.
- ✓ Yuste, J.C., Flores-Rentería, D., García-Angulo, D., Hereş, A.M., *Bragă, C., Petritan, A.M., Petritan, I.C.*, 2019. Cascading effects associated with climate-change-induced conifer mortality in mountain temperate forests result in hot-spots of soil CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Biology and Biochemistry*, 133, pp.50-59.

Domnul ing. Victor Mihăilă, angajat ca masterand în cadrul proiectului și-a finalizat lucrarea de master intitulată "Cercetări privind determinarea principalilor indicatori care caracterizează fondul de producție al unei păduri prin rețeaua de inventar forestier" în sesiunea iulie 2019, și din octombrie 2019 a devenit doctorand în cadrul Universității Transilvania Brașov, în lucrarea de doctorat, domnul Mihăilă va valorifica rezultatele obținute în cadrul prezentului proiect de cercetare.

Domnul Mihăilă a prezentat rezultatele obținute în cadrul acestui proiect sub forma de prezentare orală la două conferințe internaționale:

- ✓ Mihaila VV, Boura M, Braga C, Stefan G, Crisan V, Dumitru-Dobre C, Petritan IC, Petritan AM. 2019. Leaf area index based on hemispherical photos and leaf-litter collection and its relations with the environmental factors in a virgin Silver fir-Beech forest from Southern Carpathians (Romania). International WSL conference “Temperate and boreal primeval forests in the face of global change”, 2-4 September 2019, Lviv, Ukraine. (Prezentare orală).
- ✓ Mihaila VV, Curiel Yuste J, Stefan G, Petritan IC, Braga C, Crisan V., Dumitru-Dobre C., Petritan AM. 2019. Above- and belowground tree biomass allometry and partitioning for beech, in a primeval forest in the central Carpathian Mountains. *The 49th Annual Meeting of the Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland (Science meets practice GFoe 2019)*, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster 9 - 13 September 2019, Germania. (Prezentare orală).

Rezultatele proiectului au fost prezentate sub formă de poster și la o conferința națională:

- ✓ Mihaila VV, Boura M, Curiel Yuste J, Braga C, Stefan G, Crisan V, Dumitru-Dobre C, Petritan IC, Petritan AM. Compararea a două metode de estimare a indicelui suprafeței foliare și influența factorilor de mediu asupra acestuia într-o pădure virgină de fag cu brad. Conferință aniversară prilejuită de împlinirea vârstei de 90 de ani de către dl. Prof. dr.ing. Nicolae Donita, USAMVBT, Timisoara, 15 Noiembrie 2019. (poster)

Pe baza rezultatelor obținute până acum, se va determina anul viitor, atât biomasa totală la hectar, împărțită pe componentele arborilor, cât și producția netă primară anuală (NPP) a pădurii virgine de amestec. Vor fi trimise la laborator și probe pentru determinarea procentului de C din diferitele părți componente ale arborilor de brad. Rezultatele proiectului vor fi diseminate anul viitor prin participarea la conferința “Mixed Species Forests” din Lund, Suedia. Pe baza litierei colectate în anul 2019 se va elabora o lucrare de diplomă de către Ioana Rujan, studentă în anul III la facultatea de silvicultură. De asemenea, se va avea în vedere elaborarea de noi articole științifice.

## 6. Bibliografie

André F, Jonard M, Ponette Q. 2010. Biomass and nutrient content of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) stem and branches in a mixed stand in southern Belgium. *Science of the Total Environment*, 408, 2285-2294.

- Baldocchi D. 2008. Breathing of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems. *Aust. J. Bot.* 56, 1–26.
- Bivand RS, Pebesma EJ, Gomez-Rubio V, Pebesma EJ. 2008. *Applied spatial data analysis with R* (Vol. 747248717). New York: Springer.
- Chave et al. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.234>
- Dutcă I, Mather R, Ioraş 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, 59-87.
- Glatthorn J, Pichler V, Hauck M, Leuschner C. 2017. Effects of forest management on stand leaf area: comparing beech production and primeval forests in Slovakia. *Forest Ecology and Management*, 389, 76-85.
- Huet S, Forgeard F, Nys, C. 2004. Above-and belowground distribution of dry matter and carbon biomass of Atlantic beech (*Fagus sylvatica* L.) in a time sequence. *Annals of Forest Science*, 61, 683-694.
- Jagodziński AM, Dyderski MK, Gęsikiewicz K, Horodecki, P. 2019. Tree and stand level estimations of *Abies alba* Mill. aboveground biomass. *Ann. For. Sci.* 76, 56.
- Janssens IA, Sampson DA, Cermak J, Meiresonne L, Riguzzi F, Overloop S., Ceulemans R. 1999. Above- and belowground phytomass and carbon storage in a Belgian Scots pine stand. *Annals of Forest Science*, 56, pp.81-90.
- Jelaska SD. 2004. "Analysis of Canopy Closure in the Dinaric Silver Fir - Beech Forests (*Omphalodo Fagetum*) in Croatia Using Hemispherical Photography." *Hacquetia* 3(2): 43–49.
- 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, 151-167.
- Koenig WD. 1999. "Spatial Autocorrelation of Ecological Phenomena." *Trends in Ecology and Evolution* 14, 22–26.
- Luyssaert S, Schulze ED, Börner A, Knohl A, Hessenmöller D, Law BE, ... Grace J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455, 213-215.
- Montagu KD, Düttmer K, Barton CVM, Cowie AL. 2005 Developing general allometric relationships for regional estimates of carbon sequestration—an example using *Eucalyptus pilularis* from seven contrasting sites. *For Ecol Manag* 204:113–127.).
- Odum EP. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164, 262–270.
- Ostonen I, Löhmus K, Pajuste K. 2005. Fine root biomass, production and its proportion of NPP in a fertile middle-aged Norway spruce forest: comparison of soil core and ingrowth core methods. *Forest Ecology and Management*, 212, 264-277.
- 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.

Regents Instruments Inc. Sainte-Foy, Québec 2003 WinScanopy for hemispherical image analysis.  
<http://www.regent-instruments.com>.

Sokal RR, Oden NL. 1978. Spatial autocorrelation in biology. *Biological Journal of the Linnean Society*, 10, 199-228.

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, 1805-1819.

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

Whittaker RH, Likens GE (Eds.) 1975. Primary Productivity of the Biosphere. *The Biosphere and Man*, vol. 14. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 305–328.

Wirth C., Schumacher J, Schulze ED. 2004. “Generic Biomass Functions for Norway Spruce in Central Europe - A Meta-Analysis Approach toward Prediction and Uncertainty Estimation.” *Tree Physiology* 24(2): 121–39.

Wutzler T, Wirth C, Schumacher J. 2008. “Generic Biomass Functions for Common Beech (*Fagus sylvatica*) in Central Europe: Predictions and Components of Uncertainty.” *Canadian Journal of Forest Research* 38, 1661–75.

Zanne AE, Lopez-Gonzalez G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL, Miller RB, Swenson NG, Wiemann MC, Chave J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier:  
<http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

Dr. ing. Any Mary Petriţan

