



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE
ÎN SILVICULTURĂ „MARIN DRĂCEA”

CIF: RO 34638446, J23/1947/2015
B-dul Eroilor nr. 128, Voluntari, jud. Ilfov, codpoștal 077190
Fax: 021/3503245; tel: 021/3503238; 021/3503240;
<http://www.icas.ro>; e-mail: icas@icas.ro; office@icas.ro
Operator de date cu caracter personal înregistrat sub numărul 36421



Raport științific final

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 2.05.2018 - 31.10.2020

Director General

Dr. ing. Lucian Constantin DINCĂ

Director Științific

Dr. ing. Nicolae Ovidiu BADEA

Director proiect,

Dr. ing. Any Mary PETRIȚAN

Echipa proiectului:

ing. Victor Vasile Mihăilă

dr. ing. Cosmin Ion Bragă

dr. ing. Vlad Crișan

dr. ing. Elena Deleanu

Contract nr. 8/2018

1. Contextul științific

Nivelul concentrației atmosferice globale de dioxid de carbon, unul dintre principalele gaze cu efect de seră din atmosferă (Zahn 2009), este în continuă creștere (Krug 2019) și contribuie la încălzirea globală (IPCC, 2014). 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 a stoca carbonul în biomasă și sol (Yang și colab. 2011, Pan și colab. 2011, Van Do și colab. 2018) și de a sechestra emisiile globale de CO₂ (până la 30%), jucând un rol important în bilanțul global al carbonului și în încetinirea schimbărilor climatice (Houghton 2007). Prin urmare, estimarea capacității de sechestrare a carbonului a cât mai multor ecosisteme forestiere atât la nivel regional, cât și la nivel global este o problemă stringentă (Deng și colab. 2017).

Cu aproximativ 7 milioane de hectare de pădure, România are un potențial ridicat de a contribui la atenuarea emisiilor de CO₂. O altă particularitate a țării noastre constă în suprafața mare acoperită de păduri virgine (Veen și colab. 2010), păduri considerate drept referințe importante pentru gestionarea pădurilor (Wirth și colab. 2009). Cele mai multe cunoștințe despre pădurile virgine din zona temperată, în mare parte limitate la pădurile primare rămase în Europa de Est și de Sud, se referă în special la caracteristicile structurale (printre altele: Petritan și colab. 2015) și la dinamica acestora (Petritan și colab. 2013, Trotsiuk și colab. 2012). Mult mai puțin se cunoaște însă despre rolul pădurilor virgine în sechestrarea carbonului. Datorită longevității ridicate și a dimensiunilor mari pe care le pot realiza arborii din aceste păduri, pădurile virgine stochează cantități ridicate de carbon în biomasă și sol (Keith și colab. 2009). Deși, conform teoriei lui Odum (Odum 1969), pădurile seculare au fost considerate neutre din punct de vedere al emisiilor de carbon, noi studii (Knohl și colab. 2003, Luyssaert și colab. 2008) au arătat că aceste păduri, care conțin unele dintre cele mai mari componente de stocare a carbonului (Keith și colab. 2009), contribuie la reducerea emisiilor de carbon.

S-a susținut timp îndelungat că producția primară netă (NPP) a pădurilor crește continuu până la o anumită vârstă a arboretelor, după care descrește gradual (Ryan și colab. 2004, Gough și colab. 2008). Hardiman și colab. (2013) consideră însă că

astfel de rezultate ar fi influențate de o prezență mai mare a pădurilor de conifere și a pădurilor de foioase relativ tinere (<100 de ani) în aceste studii. Alte studii, efectuate în pădurile de foioase seculare din zona temperate au arătat însă că producția primară netă nu descrește după 100 de ani (Luyssaert și colab. 2008, Glatthorn și colab. 2017). Principalul mecanism al menținerii unei NPP ridicată în astfel de păduri cu vârste înaintate l-ar reprezenta complexitatea structurală (orizontală și verticală) ridicată a coronamentului acestor păduri (Hardiman și colab. 2013), care permite o utilizare mai eficientă a luminii și a azotului. În plus față de diversitatea structurală a coronamentului, în pădurile virgine, acumularea constantă de biomasă ar putea fi datorată și unei regenerări continue a arboretului (Petritan și colab. 2017; Petritan și colab. în preparare), prezenței arborilor de toate dimensiunile și vârstele (Petritan și colab. 2015), precum și umplerii rapide a golurilor mici din coronament cu arbori din coronamentul inferior. Inconsecvența rezultatelor privind ratele de stocarea a carbonului în funcție de vârsta arboretelor indică faptul că o teorie globală a productivității nu este valabilă pentru toate pădurile (Seedre și colab. 2020).

În plus, majoritatea studiilor despre dinamica carbonului au fost efectuate în păduri gospodărite, echine, parcurse cu lucrări silviculturale (Hardiman și colab. 2013, Taylor și colab. 2014), în timp ce informații de acest fel despre pădurile virgine, pluriene, caracterizate printr-o dinamică naturală de perturbări sunt rare (Glatthorn și colab. 2017, Seedre și colab. 2015, Seedre și colab. 2020). Dat fiind importanța pădurilor virgine ca și obiecte de referință pentru o gospodărire a pădurilor adaptativă, orientată spre natură, informații despre dinamica carbonului în acest păduri sunt binevenite.

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 CO₂ și H₂O 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 caracteristicilor biometrice în biomasă, ecuațiile alometrice sunt considerate drept cel mai important

instrument (Picard și colab. 2012, Dutca și colab. 2017). Pentru o acuratețe suficientă se recomandă însă utilizarea de ecuații alometrice de determinare a biomasei specifice fiecărei specii și regiuni (Dutca și colab. 2017, Montagu și colab. 2005).

Scopul principal al proiectului BIOCARB a fost de a determina biomasa și 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 patrimoniul universal Unesco, precum și conținutul de carbon din diferitele părți componente ale arborilor și din sol. În vederea realizării acestui scop, următoarele obiective specifice au fost definite:

1. Elaborarea de modele de biomasă pentru principalele două specii din pădurea virgină de la Șinca (fag și brad);
2. Estimarea biomasei supra- și subterană a pădurii virgine studiate;
3. Estimarea producției primare nete a acestei păduri;
4. Determinarea conținutului de carbon din diferite componente ale arborelui (% carbon fraction conform ICCP Forests), precum și din sol.

Cea mai dificilă și laborioasă parte a acestui proiect a constat în măsurătorile distructive, realizate în condiții dificile de teren, pentru un număr relativ mare de arbori de toate dimensiunile, din ambele specii (de până la 8 t biomasă supraterană, corespunzătoare unui diametru de bază de 86 cm și unei înălțimi de 40 m). Aceste măsurători au necesitat atât lucrări de teren complexe, în care au fost implicate resurse logistice importante, cât și prelucrări laborioase de laborator. Acestor măsurători li s-au adăugat diverse activități de teren necesare pentru estimarea biomasei arborilor și a producției primare nete, completate de lucrări de laborator în vederea determinării conținutului de carbon din diferite părți componente ale arborilor și din sol. Ca urmare activitățile planificate pentru realizarea diferitelor obiective au fost intercalate și sunt prezentate în următorul capitol.

2. Material și metodă

În vederea elaborării modelelor alometrice locale pentru estimarea biomasei din pădurea virgină de amestec de fag cu brad de la Șinca, măsurători distructive au fost realizate într-un arboret situat în imediata vecinătate a pădurii virgine, având condiții de mediu asemănătoare, compoziție și structură similare pădurii virgine. Acest

trup de pădure a fost tot pădure virgină înainte de anul 2009, când au avut loc primele intervenții silvotehnice. Identificarea arboretului corespunzător și a arborilor ce au fost tăiați și măsurați s-a realizat cu ajutorul colegiilor de la RPLP OS Pădurile Șincii, cărora le mulțumim și pe această cale pentru sprijinul acordat (Fig. 1). Deși a fost departe de drumul auto (la circa o oră de mers la deal) s-a optat pentru realizarea măsurătorilor distructive de biomasă în acest arboret, pentru a putea avea condiții și caracteristici similare celor din pădurea virgină. Dat fiind faptul că măsurătorile efectuate au fost foarte laborioase, necesitând resurse logistice importante, recoltarea datelor pentru modelele de biomasă pentru fag s-a realizat pe parcursul anului 2018 și a celor pentru brad în 2019.



Fig. 1. Alegerea arborilor de extras, împreună cu personalul ocolului silvic; 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.

Pentru măsurătorile de biomasă au fost aleși arbori din toate categoriile de diametre, de la 0,3 la 86,4 cm diametru pentru fag și de la 0,3 la 92,6 cm pentru brad. Exploatarea arborilor respectivi s-a realizat de către echipa de muncitori specializați ai ocolului silvic Pădurile Șincii R.A. (Fig. 1), iar măsurătorile la fag s-au fost efectuat sub îndrumarea colegului nostru, ing. Gheorghe Ștefan, de la Stațiunea Câmpulung Moldovenesc, care are experiență în acest domeniu.

Înainte de doborârea arborelui s-au măsurat cât mai exact circumferințele la 0,1m, 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. 1), valorile respective utilizându-se pentru cubarea arborelui prin însumarea volumului fiecărui tronson de către 1 m, volum calculat cu formula trunchiului de con.

Pentru fiecare ramură mai groasă de 5 cm s-a stabilit poziția (înălțimea ramurei pe arbore), circumferința la bază (Fig. 1) 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 împreună. 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 eșantioane de crăci subțiri. Pentru determinarea procentului deținut de aparatul foliar, în cazul fagului 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 înlăturat toate frunzele, după care au fost din nou cântărite. Pentru determinarea procentului de apă din ramurile subțiri și din frunze au fost prelevate eșantioane care au fost cântărite imediat (probele mai mari) sau la sfârșitul fiecărei zile cu o balanță de precizie pentru determinarea masei verzi a fiecărui eșantion, după care au fost duse la laborator pentru uscarea în etuvă. 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 eşantioane 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.

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 130 kg, cu o precizie de $\pm 0,1$ kg (Fig. 2), 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, cu o precizie de ± 1 kg (Fig. 2), 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. 1), 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 eşantioane 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.

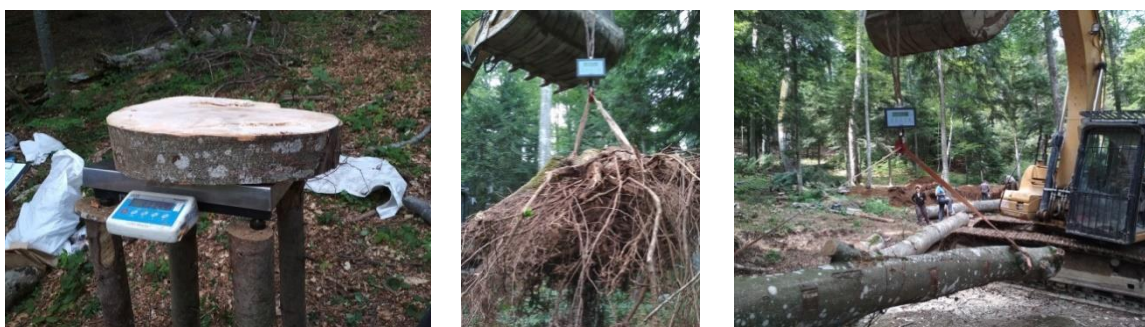


Fig. 2 Cântărirea rondelilor, rădăcinilor și a tronsoanelor de lemn mari cu cântarul platformă și cântarul cârlig

Pentru determinarea variației densității lemnului de-a lungul trunchiului arborelui s-au extras carote (Fig. 1) cu burghiul Pressler (cu un diametru interior de 5,15 mm), din jumătate în jumătate de metru, măsurându-se lungimea carotei (Fig. 1), care apoi a fost folosită pentru determinarea volumului acesteia, calculat cu formula

cilindrului. Carotele au fost puse în plăci de polycarbonat și la finalul fiecărei zile au fost cântărite cu o balanță de precizie de $\pm 0,01$ g. La laborator, carotele au fost uscate în etuvă, după care au fost recântărite, determinându-se masa uscată a fiecăreia. Valorile respective au fost folosite pentru determinarea densității fiecărei carote prin împărțirea masei uscate la volumul carotei.

Pentru a determina variația densității scorței 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.

Toate eșantioanele prelevate au fost duse la laborator și uscate la etuvă la 70°C timp de 3-7 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. În continuare a fost determinat procentul de apă al fiecărei probe care a fost ulterior folosit pentru transformarea masei verzi a diferitelor tronsoane cântărite în pădure în masă uscată.

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, $\exp(\frac{\sigma_2^2}{2})$ 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 face 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 vătămările 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 și 14 brazi).

În cadrul acestui proiect am constatat că măsurătorile necesare pentru elaborarea unor ecuații alometrice locale, care să fie folosite pentru determinarea biomasei, mai ales în cazul unor arbori de mari dimensiuni, sunt foarte laborioase, necesitând un consum ridicat de resurse logistice și de timp. De aceea, ne-am pus problema dacă am putea calibra modele alometrice generice dezvoltate în alte locații cu date de biomasă locale, de la un număr restrâns de arbori, de dimensiuni mai mici și implicit mai ușor de măsurat (Zianis și Mencuccini 2004), cu o acuratețe suficientă în vederea utilizării într-o nouă locație dată. Această idee a fost investigată și diseminată în revista *ISI Forests* sub forma unui articol științific (Dutca și colab. 2020).

Au fost utilizate în acest sens 4 seturi de date. Primul set de date a constat din datele obținute în cadrul prezentului proiect pe bază de măsurători distructive, respectiv de la 15 fagi cu diametre de bază cuprinse între 5,7 și 86,3 cm și de la 14 brazi cu dbh între 6,3 și 92,6 cm. Al doilea set de date a conținut doar cei mai mici 7 arbori din setul 1 ai fiecărei specii cu un diametru maxim de 20 cm pentru fag și 27,9 cm pentru brad. Setul al treilea a constat din unirea datelor din setul 1 cu alte date generice pentru cele două specii din diferite locații preluate din baze de date internaționale (din Zianis și colab. 2005 și Schepaschenko și colab. 2017). Ca urmare setul al treilea a constat din 159 de fagi și 116 brazi. Al patrulea set de date a fost constituit din datele generice și datele pentru cei mai mici 7 arbori din setul 1 de date, și a constat din 151 de fagi și 109 brazi.

Pe lângă modelul cel mai folosit, al regresiei liniare pe baza datelor transformate logaritmice (LM), s-au mai folosit modelul cu interceptul întâmplător (RIM) și modelul Bayesian. În toate cele trei tipuri de modele s-a determinat biomasa atât pe baza diametrului și înălțimii (ec. 1), cât și doar pe baza diametrului (Dutca și colab. 2020). LM a fost folosit exclusiv cu setul de date locale (setul I).

Pentru RIM ecuațiile au fost utilizate pentru elaborarea modelelor efectelor mixte considerând interceptul ca efect randomizat (locația) și coeficienții variabilelor ca efecte fixe. RIM a folosit setul al treilea de date. Panta modelelor a fost similară pentru toate locațiile, în timp ce interceptul a variat în funcție de locație. Valorile parametrilor pentru pădurea Șinca au fost utilizați mai departe pentru estimarea biomasei. Modelele bayesiene nu necesită existența unui set de date brute ci doar informații despre parametri și residuurile modelului. Acestea au fost obținute pe baza setului al treilea pentru fiecare din cele două specii (pentru mai multe detalii a se vedea articolul Dutca și colab. 2020).

Pentru compararea celor trei tipuri de modele bazate atât numai în funcție de diametru, cât și de diametru și înălțime, s-a estimat biomasa supraterană pe baza datelor inventariate într-o suprafață permanentă de 1 ha. Pentru a evalua calitatea modelului au fost comparate valorile biomasei supraterane (AGB) prognozate cu cele observate și s-a calculat abaterea medie pătratică.

În vederea testării influenței altitudinii și a vârstei arboretului asupra biomasei supraterane s-au utilizat datele biometrice ale arborilor inventariați în 21 suprafețe de probă de 35 x 35 m (Petritan și colab. 2015). Pentru fiecare suprafață de probă a fost determinată altitudinea și fiecărui arbore viu cu un diametru de bază (dbh) ≥ 6 cm din fiecare suprafață de probă i-a fost determinată specia, și i s-a măsurat diametrul de bază și înălțimea. Determinarea vârstei arborilor s-a realizat pe baza carotelor extrase de la toți arborii din suprafețele de probă cu un diametru de bază mai mare decât 16 cm (Petritan și colab. în preparare).

În vederea determinării productivității primare nete (NPP) anuale s-a procedat la echiparea cu benzi de creștere a arborilor din 6 suprafețe de probă de 50 X 50 m cu benzi de creștere (Fig. 3), care s-au citit la începutul și finalul a două sezoane de vegetație. S-a optat pentru această soluție pentru a putea determina cu o mai mare acuratețe productivitatea arboretelor respective. Arboretele de amestec din pădurea

virgină de la Șinca 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 fiind reduse (de maxim 1-1,5 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). În plus măsurătorile repetate ale diametrului pot fi însoțite de erori, datorită înălțimilor de măsurare care pot fi ușor diferite (Glatthorn și colab. 2017). Benzile de creștere au fost citite la începutul și finalul a două sezoane de vegetație, creșterea anuală în diametru fiind calculată ca medie a celor două valori. Creșterile anuale în înălțime au fost determinate cu ajutorul modelelor dintre înălțime și diametru elaborate în proiectele anterioare. Productivitatea anuală a fiecărui arbore s-a estimat cu ajutorul creșterilor anuale în diametru și în înălțime, a diametrului și înălțimii arborilor din cele 6 suprafețe de probă și a modelelor de biomasă dezvoltate în cadrul proiectului BIOCARB pentru fiecare specie. Producția primară netă lemnoasă din arborii vii la nivel de plot s-a obținut prin însumarea creșterilor anuale în biomasă a arborilor din fiecare plot.

Pentru determinarea producției de litieră, respectiv de frunze, ace dar și de organe reproductive (jir și conuri) au fost confecționate colectoare de litieră cu un diametru de 60 cm (Fig. 3), care au fost instalate în 10 suprafețe de probă răspândite randomizat în pădurea virgină.



Fig. 3 Măsurarea creșterii în diametru cu banda dendrometrică; colectoare de litieră.

În fiecare suprafață au fost instalate în mod sistematic câte 8 colectoare. La finalul sezonului de vegetație au fost colectată litiera din aceste colectoare și dusă la laborator. Datorită faptului că două colectoare au fost distruse de urși, litiera a fost

colectată doar din 78 de colectoare. La laborator, litiera colectată a fost separată pe frunze de fag, ace de brad, fructe de fag, conuri 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 până la atingerea masei constante (Glatthorn și colab. 2017). Înainte de uscare, câte un eșantion de frunze/ace din fiecare colector a fost scanat pentru determinarea suprafeței foliare și ulterior a raportului dintre suprafața frunzelor și masa uscată a acestora (SLA, cm^2g^{-1}). Cu ajutorul 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, considerat un bun indicator al productivității arboretelor. Rezultatele despre producția de litieră și LAI, precum și a factorilor care îi influențează au fost diseminate în revista ISI Dendrobiology (Petrutan și colab. 2020). Printre factorii analizați au fost diversitatea verticală a arboretului, cuantificată prin indicii A Pretzsch, dominanța fagului în suprafața de bază a arboretului, valoarea medianeii vârstei arboretului din fiecare suprafață de probă, panta și expoziția (pentru mai multe detalii a se vedea articolul).

Pentru a determina creșterea anuală a rădăcinilor fine a fost inițiat un așa-numit experiment de “root ingrowth” (Ostonen și colab. 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 coșulețe 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, au fost separate pe vii și moarte, uscate în etuvă până la atingerea masei constante și cântărite în vederea determinării producției anuale de rădăcini fine.

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 și colab. 2004), ori 45- 54 % (Janssens și colab. 1999), în funcție de specie, pentru România nexistând astfel

de date. Deși unii autori utilizează o concentrație prestabilită a carbonului de 50 %, se consideră că aceasta poate conduce la o supra- sau la o subestimare a conținutului de C (Janssens și colab. 1999). În vederea realizării celui de-al IV-lea obiectiv al proiectului au fost prelevate probe din eșantioanele uscate pentru fiecare parte componentă de la arborii extrași pentru fiecare din cele două specii (rădăcini, trunchi, ramuri, frunze). Probele au fost măcinate și trimise la laboratorul de soluri din cadrul INCDS “Marin Drăcea” București pentru determinarea conținutului de C la analizatorul elementar C/N. Determinările au fost efectuate de doamna dr. chimist Elena Deleanu, membră a echipei de lucru a proiectului.

3. Rezultate și discuții

Modelele alometrice de biomasă specifice

În tabelul 1 sunt redate modelele alometrice de biomasă elaborate pentru fiecare parte componentă a arborelui, pentru cele două specii existente în pădurea virgină de la Șinca.

Tab. 1. 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
Brad						
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 cele două specii explică între 92,3 și 99,8 % din variația biomasei diferitelor componente. Cei mai mici coeficienți de determinare au fost găsiți pentru biomasa aparatului foliar în cazul ambelor specii.

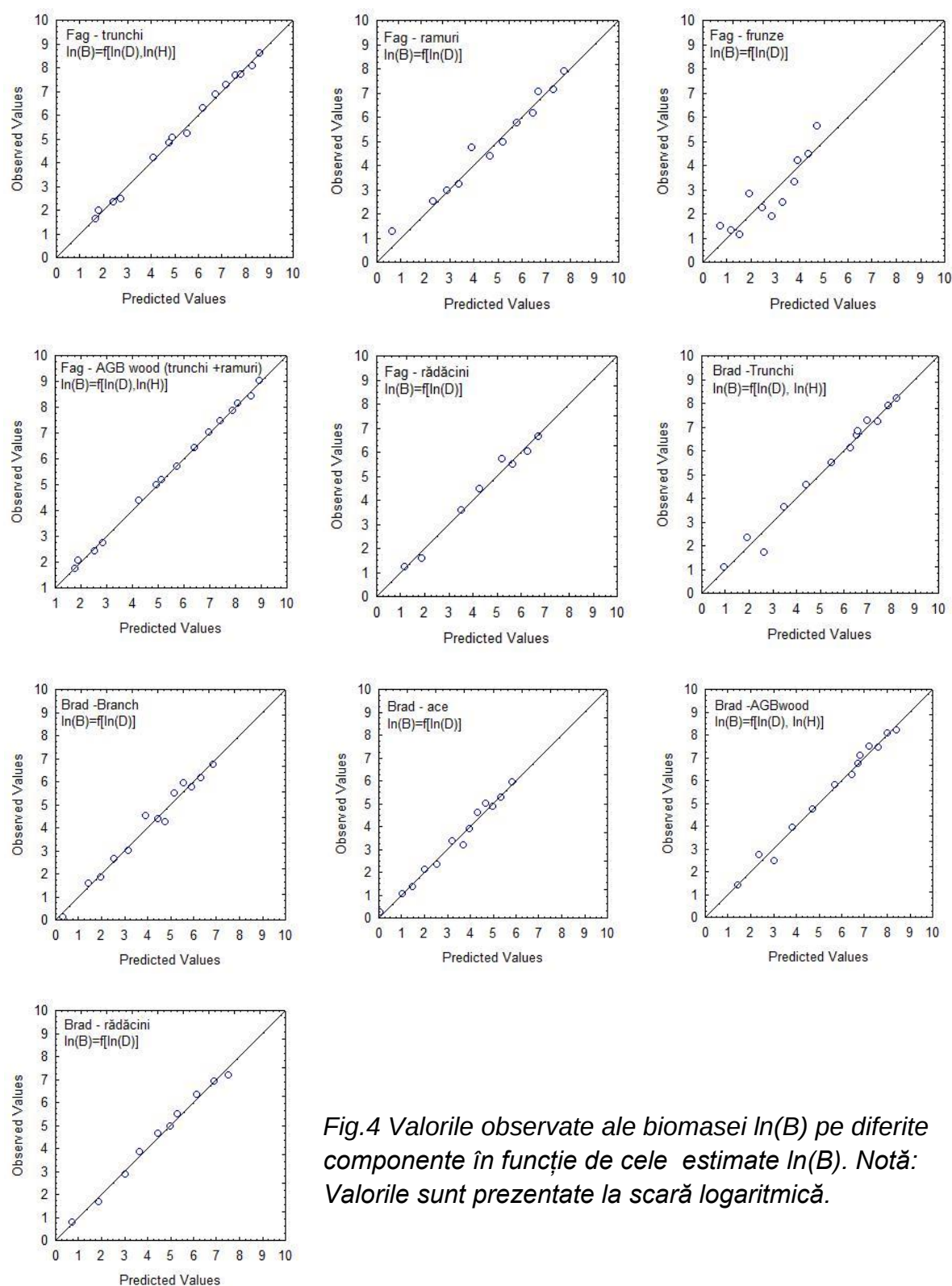


Fig.4 Valorile observate ale biomasei $\ln(B)$ pe diferite componente în funcție de cele estimate $\ln(B)$. Notă: Valorile sunt prezentate la scară logaritmică.

Modelele de biomasă elaborate estimează mai bine biomasa trunchiului, sau pe cea supratrană decât pe cea dispusă în ramuri și frunze, fapt observat adesea și în alte studii (Jagodziński și colab. 2019, 2020). 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.

Calibrarea modelelor alometrice generice de biomasă cu date locale

În continuare se prezintă analiza mai multor modele (linear, cu random intercept și bayesian) de estimare a biomasei supratrană, elaborate pe diferite seturi de date. Parametrii estimați ai acestor modele de biomasă sunt prezentați în tabelul 2.

După cum se poate observa, modelul linear (LM) estimează bine datele locale, coeficienții de determinare (R^2) fiind în cazul utilizării doar a diametrului ca predictor de 0,9972 pentru fag și de 0,9862 pentru brad, în timp ce în cazul utilizării atât a diametrului cât și a înălțimii ca predictori, acestea cresc ușor la 0,9986, respectiv la 0,9921. Valorile ridicate ale R^2 , și implicit predicția bună a modelului liniar, în ciuda unui număr nu foarte mare de arbori (14-15) se datorează faptului că au fost făcute măsurători de biomasă locale de-a lungul unui larg gradient de diametre, care acoperă plaja de diametre din pădurea virgină.

Se observă totodată că modelele bazate pe eșantionul de arbori de dimensiuni reduse (RIM pe baza setului patru de date și modelul bayesian pe baza setului al doilea) au produs parametri similari celor obținuți pentru întregul set de date (Tab. 2 adaptat din articolul Dutca și colab. 2020, elaborat în cadrul proiectului).

Pentru brad, s-au obținut însă diferențe clare între parametri estimați, mai ales când s-a făcut predicția pe baza diametrului și a înălțimii. Astfel parametrul corespunzător diametrului, care în mod uzual este aproape de 2, în cazul nostru a fost de 1,3301 și cel al înălțimii care de regulă este mai mic decât 1 a fost de 1,446. Deși pentru această specie, ecuații alometrice de estimare a biomasei sunt rare, o anomalie similară a fost observată și de Jagodziński și colab. (2019) și pare a avea legătură cu indicele de zveltețe (H/D), care în cazul bradului pentru arbori mici e comparabil cu cel al arborilor foarte mari (pentru mai multe detalii a se vedea fig. 3 din articolul Dutca și colab. 2020, parte a acestui proiect).

Tab. 2. Parametrii modelelor alometrice de biomasă pentru estimarea AGB
(RSE este eroarea standard reziduală și CF este factorul de corecție)

Modelul alometric	Setul de date	Variabilele predictoare	β_0	β_1	β_2	RSE	CF
Fag							
LM	#1	ln(D)	-2,6634	2,6368	N.A.	0,1337	1,0089
		ln(D), ln(H)	-3,1632	2,1468	0,6909	0,1000	1,0050
RIM	#3	ln(D)	-2,1312	2,4714	N.A.	0,1712	1,0148
		ln(D), ln(H)	-3,0039	2,1151	0,6733	0,1450	1,0106
	#4	ln(D)	-2,1625	2,4368	N.A.	0,1683	1,0143
		ln(D), ln(H)	-2,9793	2,1191	0,6512	0,1474	1,0109
Bayesian model	#1	ln(D)	-2,1768	2,4884	N.A.	0,2042	1,0211
		ln(D), ln(H)	-3,0637	2,1497	0.6553	0,1091	1,0060
	#2	ln(D)	-2,1456	2,4349	N.A.	0,2363	1,0283
		ln(D), ln(H)	-2,9856	2,1347	0.6324	0,1475	1,0109
Brad							
LM	#1	ln(D)	-3,4141	2,6997	N.A.	0,2965	1,0449
		ln(D), ln(H)	-2,9687	1,3301	1,4460	0,2344	1,0278
RIM	#3	ln(D)	-2,4756	2,4219	N.A.	0,2033	1,0209
		ln(D), ln(H)	-2,8079	1,7737	0,8745	0,1624	1,0133
	#4	ln(D)	-2,5086	2,3561	N.A.	0,1824	1,0168
		ln(D), ln(H)	-2,7987	1,8076	0,8040	0,1548	1,0121
Bayesian model	#1	ln(D)	-2,3284	2,3859	N.A.	0,3965	1,0818
		ln(D), ln(H)	-2,7679	1,9264	0,6847	0,2788	1,0396
	#2	ln(D)	-2,3553	2,3316	N.A.	0,4064	1,0861
		ln(D), ln(H)	-2,6917	1,9063	0,6305	0,3192	1,0523

Parametrii pentru modelele alternative (RIM și bayesian) calculați pe baza seturilor de date cu număr redus de observații au fost foarte apropiați de cei rezultați la utilizarea setului mărit de observații (Tab. 2). Parametrii modelelor de biomasă obținuți în acest studiu când estimarea s-a realizat doar pe baza diametrului au fost similari celor obținuți la nivel european pentru speciile respective (Zianis și colab. 2005, Forrester și colab. 2017). Valoarea ceva mai mare a pantei modelului indică faptul că la un diametru similar arborii din Șinca prezintă o biomasă supranaturală ceva

mai ridicată decât media europeană, probabil datorită unor înălțimi sau coroane mai mari pentru un același diametru în pădurea virgină.

Prezentarea AGB observată în funcție de AGB estimată (Fig. 5) indică faptul că predicția a fost mai bună pentru fag decât pentru brad și că utilizarea înălțimii alături de diametru, crește acuratețea estimării.

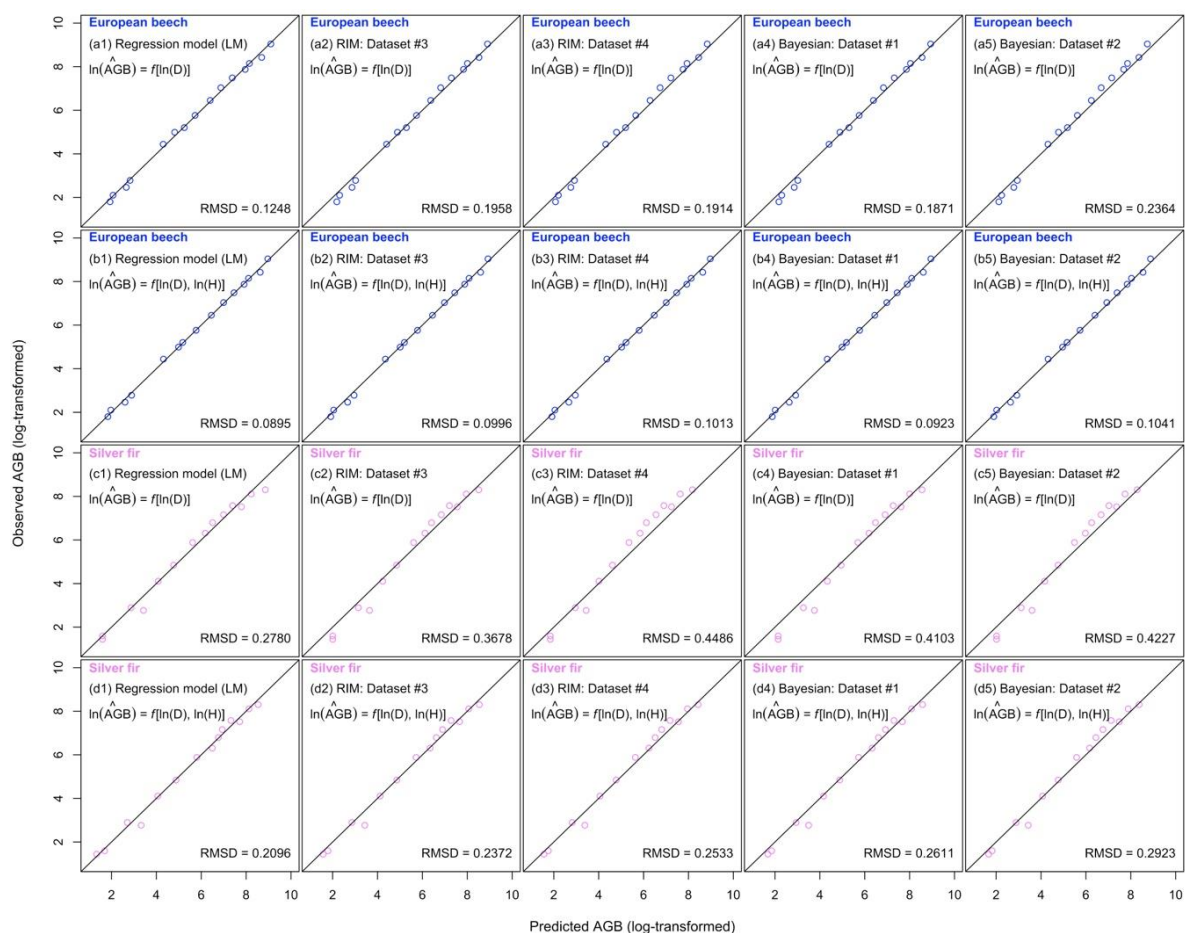


Fig. 5. Relația dintre valoarea logaritmată a biomasei supratereștrice observată (Observed AGB) și estimată (Predicted AGB); parte a articolului Dutcă și colab. (2020) raportat în cadrul acestui proiect

Aplicarea modelelor alometrice pentru estimarea biomasei la nivelul suprafeței de probă de 1 ha, a evidențiat faptul că utilizarea ambilor predictorii (D și H) crește acuratețea estimării biomasei supratereștrice. Modelele bazate pe eșantionul complet (seturile de date 1 și 3) a produs estimări mai consistente decât cele bazate doar pe eșantioanele reduse, dar diferențele nu au fost substanțiale. Astfel, AGB estimată pe baza modelului RIM și utilizarea setului al treilea de date a fost doar cu +0,1 % mai mare pentru fag, și cu -0,4 mai mică pentru brad decât cea rezultată pe baza LM.

Pentru utilizarea setului al patrulea de date, diferențele între AGB estimată a fost însă ceva mai mari de aproape 3 % pentru fag și circa -6 % pentru brad.

Principala concluzie a analizei noastre a fost că modelele alometrice pot fi utilizate cu succes pentru calibrarea unor modele locale pe baza unui eșantion redus de arbori de dimensiuni mici, dar trebuie să se țină cont de:

- Trebuie să se verifice dacă indicele de sveltețe descrește relativ linear cu creșterea în diametru a arborilor. În caz contrar performanța modelului asupra arborilor de dimensiuni reduse este afectată.
- Ambele modele alternative utilizate în această analiză (cu interceptul randomizat sau bayesian) pot fi utilizate cu datele de biomasă de la un eșantion redus de arbori locali, în funcție de accesul la date. Dacă se pot utiliza date brute din bazele de date internaționale atunci se poate utiliza RIM dacă se știu doar parametrii modelelor atunci se poate utiliza modelul bayesian.
- Datele nelocale pentru o anumită specie trebuie să conțină cât mai multe observații posibile, de preferat să acopere gradientul de diametre al arborilor din pădurea pentru care se dorește a se face calibrarea locală a modelului.
- Eșantionul redus de arbori de dimensiuni mici trebuie să fie suficient pentru a calibra în special interceptul modelului (cel puțin 6-7 arbori). De asemenea se recomandă să se evite arborii cu $D < 5$ cm, alometria acestora fiind influențată de alți factori ca de exemplu de vătămări ale ierbivorelor, concurența cu subarboretul etc.
- Utilizarea unui eșantion redus de arbori să se facă neapărat împreună cu un model bazat pe cel puțin doi predictori: D și H .

Densitatea convențională a lemnului pentru cele două specii

Densitatea convențională este un parametru foarte important în convertirea volumului arborilor în biomasă. Valoarea medie a densității convenționale 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 3. Se poate observa că variația densității lemnului la nivelul fiecărui arbore este relativ

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

Tab. 3. Caracteristicile statistice ale densității lemnului (kg m^{-3}) pentru arborii de fag

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

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. 6).

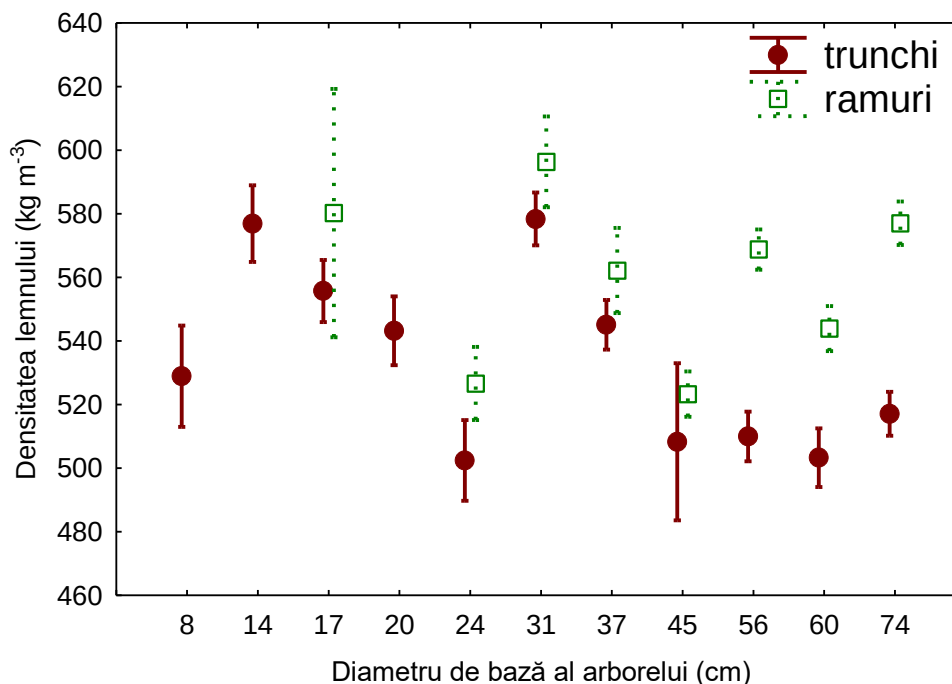


Fig. 6 Variabilitatea individuală a densității lemnului de fag din trunchi și ramuri

Densitatea convențională medie a lemnului de brad, determinată pe baza carotelor extrase, a fost de 372.2 kg m^{-3} ($310\text{-}572 \text{ kg m}^{-3}$), mai mare decât cea (353 kg m^{-3}) din Global wood density database Dryad (Zanne și colab. 2009, Chave și colab. 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 aceleași 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. 7 sus) pentru alți arbori nu a existat un trend clar (Fig. 7 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. 7).

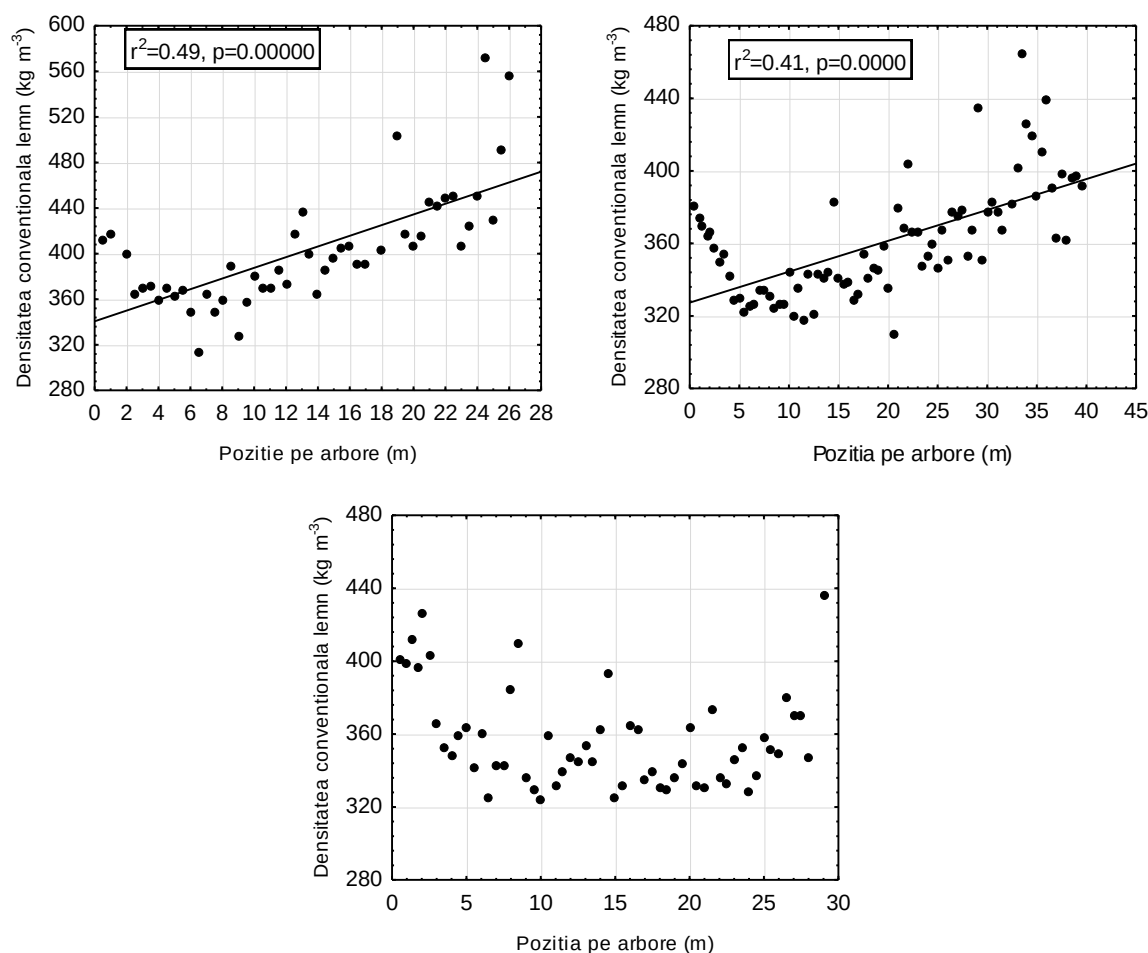


Fig. 7 Variația densității convenționale a lemnului de-a lungul trunchiului. Exemple pentru trei arbori de brad de dimensiuni diferite

Densitatea medie a scoarței a avut o valoare medie de 529 kg m^{-3} ($336\text{-}680 \text{ kg m}^{-3}$) pentru brad și de 610 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. 8).

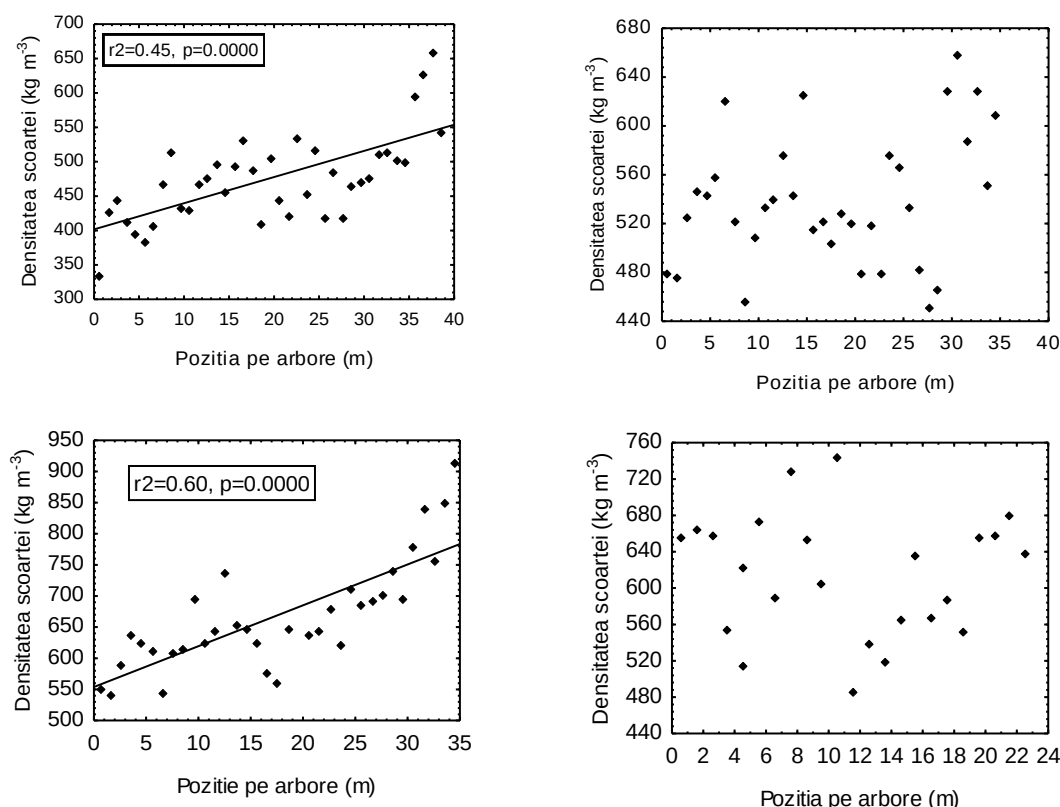


Fig. 8 Variația densității convenționale a scoarței de-a lungul trunchiului. Exemple pentru arbori de brad (sus) și arbori de fag (jos).

Biomasa supraterană și subterană din pădurea virgină de la Șinca

Biomasa supraterană (alcătuită din trunchi, ramuri și aparatul foliar) medie a arborilor vii din pădurea virgină de amestec de la Șinca a fost de $543 \pm 21 \text{ Mg ha}^{-1}$ ($\pm$ eroarea standard a mediei) calculată pe baza celor 21 de suprafețe de probă randomizat distribuite, mai mare decât cea a pădurilor virgine dominate de fag ($344\text{-}398 \text{ Mg ha}^{-1}$) din Slovacia (Glatthorn și colab. 2017) și respectiv față de cele gospodărite (320 Mg ha^{-1} , Glatthorn și colab. 2017). 68 % din biomasa supraterană a fost reprezentată de arborii de fag și doar 32 % de cei de brad. Valorile mai mari găsite în pădurea de la Șinca se datorează unui volum de masă lemnoasă la hectar net superior ($917 \text{ vs. } 616 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Petritan și colab. 2015, Glatthorn și colab. 2017). Valori

asemănătoare sau chiar mai mari ale biomasei supratereane au fost găsite de Martin - Benito și colab. (2019) în pădurile seculare de *Fagus orientalis* și *Picea orientalis* din Munții Caucaz de Vest ($488-623 \text{ Mg ha}^{-1}$). Din biomasa supratereană totală, cea mai mare parte este prezentă în trunchiurile arborilor (72,2%), 24,3% în ramuri și 3,5 % în aparatul foliar. Repartiția biomasei supratereane la nivelul fiecărei specii este ușor diferită: 76,7% din biomasa supratereană a bradului fiind reprezentată de trunchiurile arborilor, comparativ cu numai 70,2 % în cazul fagului; în schimb 27,9 % din biomasa supratereană a fagului se găsește sub formă de ramuri față de doar 16,5% în cazul bradului. Biomasa reprezentată sub formă de frunze sau ace reprezintă circa 7 % din totalul biomasei supratereane a bradului și doar 2% din cea a arborilor de fag. Similar, Yuste și colab. (2005) a găsit pentru un arboret de cvercinee o alocație mai mică a biomasei supratereane în trunchiuri (70%) comparativ cu un arboret de conifere (pin în studiul respectiv) (86%).

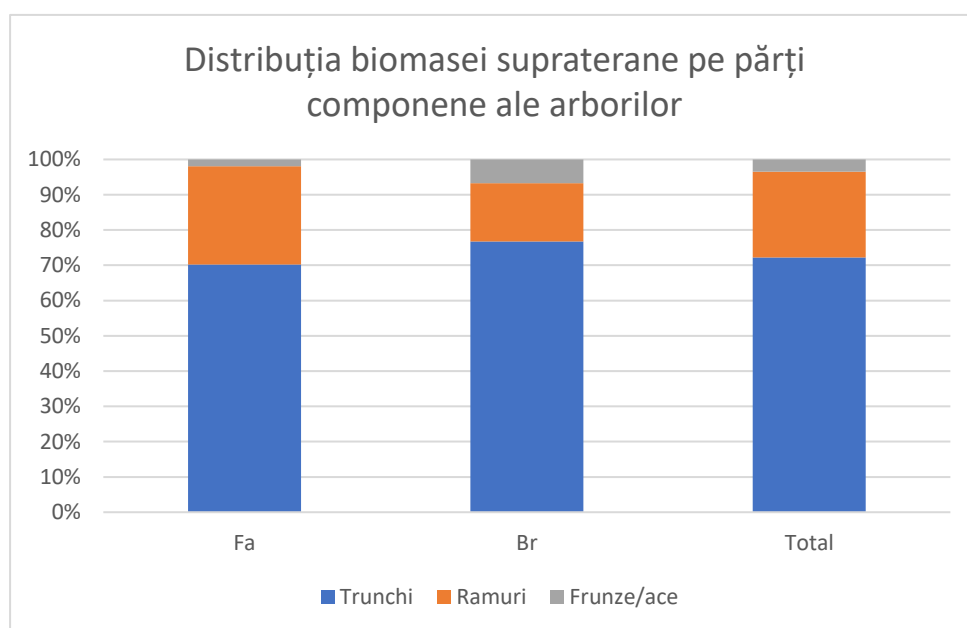


Fig. 9. Distribuția biomasei supratereane pe părți componente ale arborilor

Valoarea medie a biomasei subterane a fost de $120,72 \pm 4,76 \text{ Mg ha}^{-1}$ ($\pm$ eroarea standard a mediei), variind de la 67,29 la 169,74 Mg ha^{-1} . Raportul dintre biomasa subterană și cea supratereană a fost de 22%, variind de la 16-28% de-a lungul celor 21 de suprafețe de probă, fiind apropiat de cel raportat de Cairns și colab. (1997) pentru pădurile temperate de conifere (26%). În Yuste și colab. (2005) acest raport a fost de 17-18%, în timp ce molidișurile seculare montane din Cehia, biomasa

subterană a reprezentat circa 30% din cea supratereană (Seedre și colab. 2015). Valori ale acestui raport au variat între 17 și 19% pentru molidișurile mai tinere de 40 de ani, și între 29 și 34% pentru cele mai bătrâne de 40 de ani (Mund și colab. 2002).

În același studiu, Seedre și colab. (2015) a evidențiat o descreștere clară a carbonului stocat în biomasa supratereană cu altitudinea, precum și o lipsă de variație cu vârsta arboretelor. De aceea în figura 10 am prezentat efectul acestor doi factori asupra biomasei supratereane.

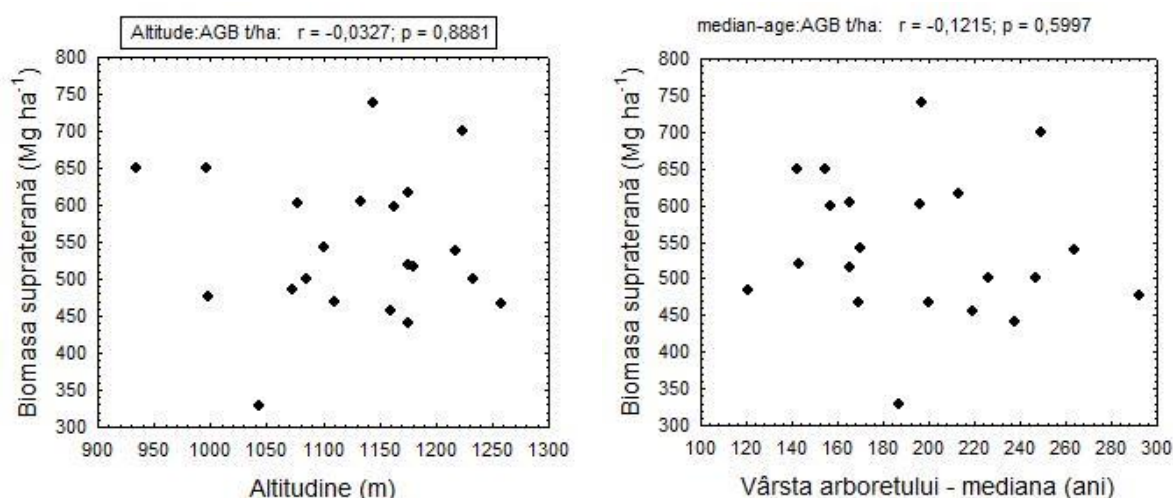


Fig. 10. Variația biomasei supratereane din pădurea virgină de amestec de la Șinca de-a lungul unui gradient de altitudine și de vârstă

Deși suprafețelor de probă din pădurea virgină de amestec de la Șinca au fost dispuse de-a lungul unui gradient altitudinal de circa 300 m (de la 935 la 1258 m), similar celui (1000-1340m) al arboretelor de molid studiate de Seedre și colab. (2015), în cazul nostru nu s-a identificat o influență a altitudinii asupra biomasei supratereane. Similar lui Seedre și colab. (2015), biomasa supratereană nu a variat semnificativ nici cu vârsta arboretului, deși în cazul pădurii de la Șinca valoarea mediană a vârstei acestora (121-292 ani) a fost mai mare decât în cazul molidișurilor din Cehia (116 - 145 ani). Menționăm că media vârstei arboretelor investigate a fost similară cu mediana acestora (196 ani versus 195 ani), variația mediei de vârstă a arborilor din diferite suprafețe experimentale fiind mai redusă decât cea a medianei (de la 139 la 267 ani). Biomasa supratereană nu a fost influențată semnificativ nici de media vârstei arborilor din suprafețele de probă ($p = 0,72$). Este de remarcat faptul că și la valori mari

ale vârstei (mediana = 292 ani, media= 267 ani), arboretele de amestec de la Șinca, se caracterizează printr-o cantitate ridicată de biomasă supraterană de circa 477,63 Mg ha⁻¹.

Producția primară netă a pădurii virgine de amestec de la Șinca

Producția primară netă din componentele lemnoase supraterane a arborilor vîi (ANNPwood) din pădurea de amestec de fag și brad de la Șinca exprimată prin creșterea anuală în biomasă a acestora a avut o valoare medie de 4,9 Mg ha⁻¹ și a variat de la 3,2 la 5,5 Mg ha⁻¹. Cele două specii au contribuit în proporții aproape egale la producția lemnoasă anuală cu 2,55 Mg ha⁻¹ fagul (52%) și 2,39 Mg ha⁻¹ bradul (48%). Creșterea în biomasa trunchiului a fost de 3,55 Mg ha⁻¹, reprezentată în proporție mai mare de brad (53%), iar cea sub formă de ramuri de 1,39 Mg ha⁻¹, la aceasta aducându-și un aport mai mare arborii de fag (64%). Valoarea medie a producției primare lemnoase nete (ANNP wood) de la Șinca este mai mică decât cea găsită de Glatthorn și colab. (2017) în făgetele virgine din Slovacia (5,2-6,3 Mg ha⁻¹), dar mult mai mare decât cea estimată de Yuste și colab. (2005) pentru un arboret de pin silvestru de 74 ani din Belgia (1,1 Mg ha⁻¹), respectiv aproape jumătate din cea a unui stejăret de 67 ani învecinat cu pinetul (9 Mg ha⁻¹).

Pe lângă ANPPwood, producția primară supraterană este formată și din producția anuală de frunze/ace și de organe reproductive. Aceasta a fost estimată cu ajutorul litierii colectate cu ajutorul a 78 captatoare a cărei biomasă și compoziție este prezentată sintetic în tabelul 4.

Tab. 4 Biomasa totală la hectar colectată în 2018 în cele 78 de colectoare dispuse sistematic în 10 suprafețe de probă răspândite randomizat în pădurea studiată; parte a articolului Petritan și colab. (2020) raportat în cadrul proiectului

Componentă litiera (kg ha ⁻¹)	N	Medie	Minim	Maxim	Abaterea standard	Coef. de variație
Frunze Fa	78	2309,4	691,7	3876,8	707,5	30,6
Fructe Fa	78	107,1	0,0	1236,3	200,2	186,9
Ramuri FA	78	142,7	0,0	5127,7	587,4	411,4
Ace BR	78	570,8	0,0	2277,4	483,8	84,7
Conuri BR	78	240,5	24,7	681,1	188,6	78,4
Ramuri BR	78	36,8	0,0	302,5	50,2	136,1
Licheni/muschi	78	6,4	0,0	50,2	9,1	141,8
Altele	78	96,3	35,7	214,0	45,4	47,2
Total	78	3510,4	1825,5	8257,9	960,1	27,3

Astfel producția anuală de frunze de fag a avut o valoare medie de $2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, iar cea a acelor de brad colectate a fost de doar $0,6 \text{ Mg ha}^{-1}$. Producția anuală de organe asimilatoare (frunze și ace) a arboretului de la Șinca, de $2,9 \text{ Mg ha}^{-1}$, este mai redusă decât cea găsită de Glatthorn și colab. (2017) în mai multe păduri virgine de fag din Slovacia, în care a variat de la $3,3$ la $4,1 \text{ Mg ha}^{-1}$. Valorile mai mici ale producției anuale de frunze și ace din pădurea de la Șinca față de cele raportate de Glatthorn și colab. (2017) se pot explica prin compoziția diferită a pădurilor studiate. Dacă în pădurile virgine din Slovacia, fagul este majoritar și doar în pădurea de la Stuzica, conține circa 10 % brad, bradul are o pondere semnificativă în compoziția pădurii de la Șinca, reprezentând 46 % din numărul total al arborilor, 43% din suprafața de bază și respectiv 38% din volum. Prezența bradului în compoziția arboretului a condus și în pădurile virgine studiate de Glatthorn și colab. (2017) la cea mai mică biomasă de frunze ($3,3 \text{ Mg ha}^{-1}$). Leuschner și colab. (2006) și Meier și Leuschner (2008), a raportat o producție anuală de frunze de 3.4 Mg ha^{-1} pentru făgete din Germania. Rezultatele noastre confirmă faptul că arboretele pure pot diferi de cele mixte în ceea ce privește anumite caracteristici și procese (Paluch și Gruba 2012), mai ales atunci când amestecurile sunt formate din foioase și rășinoase cu diferențe clare în mărimea și arhitectura coroanelor. Și Wutzler și colab. (2007) subliniază faptul că producția de litieră este influențată de compoziția arboretului și de calitatea stațiunii. Kavvadias și colab. (2001) arată și el diferențe clare în producția de litieră a arboretelor formate din specii diferite, aceasta variind de la $1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ într-un arboret de conifere la 4 Mg ha^{-1} în arborete de fag. Pe de altă parte, cantitatea de ace de brad colectată în captatoarele de litieră nu poate fi asimilată producției anuale de masă foliară a bradului, deoarece spre deosebire de foioase, care își leapădă toamna frunzele produse în anul respectiv, acest lucru nu se întâmplă la rășinoase. Dat fiind că perioada medie la care bradul își schimbă acele variază între 6-15 ani conform Stanescu și colab. (1997) și că biomasa totală a acelor estimată în acest studiu este de circa 12 Mg ha^{-1} , presupunem că producția anuală de ace de brad este mai mare decât cantitatea colectată.

Producția anuală de frunze și ace a fost influențată așa cum era de așteptat de compoziția arboretului, crescând semnificativ cu proporția fagului (Fig. 11a), a descrescut semnificativ cu valoarea mediană a vârstei arboretelor (Fig. 11b), nefiind influențată de indicele de diversitate verticală A Pretzsch (Fig. 11c). Desimea

arboretului s-a corelat negativ marginal ($p=0.06$) cu producția anuală totală de masă foliară (Fig. 11d). Descreșterea producției anuale de frunze de fag cu vârsta arboretului a fost evidențiată și de Leuschner și colab. (2006), în timp ce alte studii nu au găsit o legătură clară între cele două variabile (Möller 1945, Bray și Gorham 1964). Corelația mai puternică cu vârsta arboretului decât cu desimea acestuia, găsită pentru pădurea de la Șinca, indică faptul că influența anumitor factori diferă de la o pădure la alta. Desimea arboretului care în pădurile echienice este de regulă invers corelată cu vârsta arboretului, în pădurile pluriene, ca cea de la Șinca, nu este clar corelată cu vârsta arboretului.

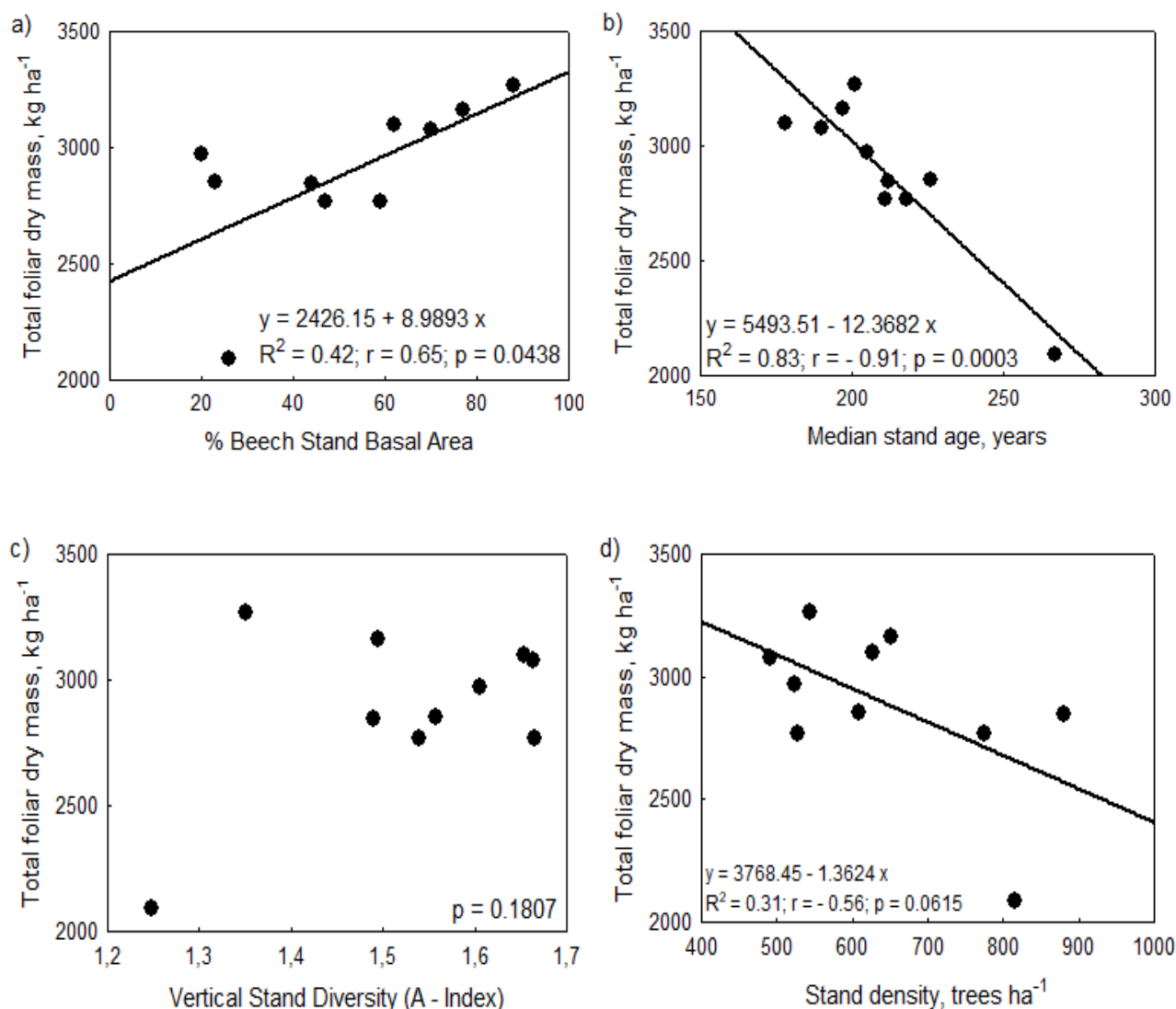


Fig. 11. Relația dintre producția anuală de biomasă foliară și proporția fagului din suprafața de bază a arboretului (a), valoarea medianei vârstei arboretului (b), indicele de diversitate verticală (c) și desimea arboretului (d); parte a articolului Petritan și colab. (2020) raportat în cadrul acestui proiect

Aceasta ar putea fi explicația faptului că, Leuschner și colab. (2006) au evidențiat o relație semnificativă a producției foliare anuale cu ambele variabile. În studiul respectiv desimea arboretului a influențat semnificativ producția anuală de frunze dar nu și indicele de suprafață foliară (LAI). În studiul nostru LAI nu s-a corelat semnificativ nici cu desimea nici cu vâsta arboretului.

Producția anuală de organe reproductive variază de la an la an, în funcție de diferiți factori. Cantitatea de jir colectată la finalul unui sezon de vegetație a fost în cazul nostru de 0.1 Mg ha^{-1} , iar cea de conuri de $0,24 \text{ Mg ha}^{-1}$, valori mai mici decât cele raportate de Glatthorn și colab. (2017), între $0,5$ și $0,7 \text{ Mg ha}^{-1}$. Așa cum era de așteptat producția de jir sau de conuri de brad s-a corelat semnificativ cu proporția fagului, respectiv a bradului în compoziția arboretului ($p < 0,05$) (Fig. 12).

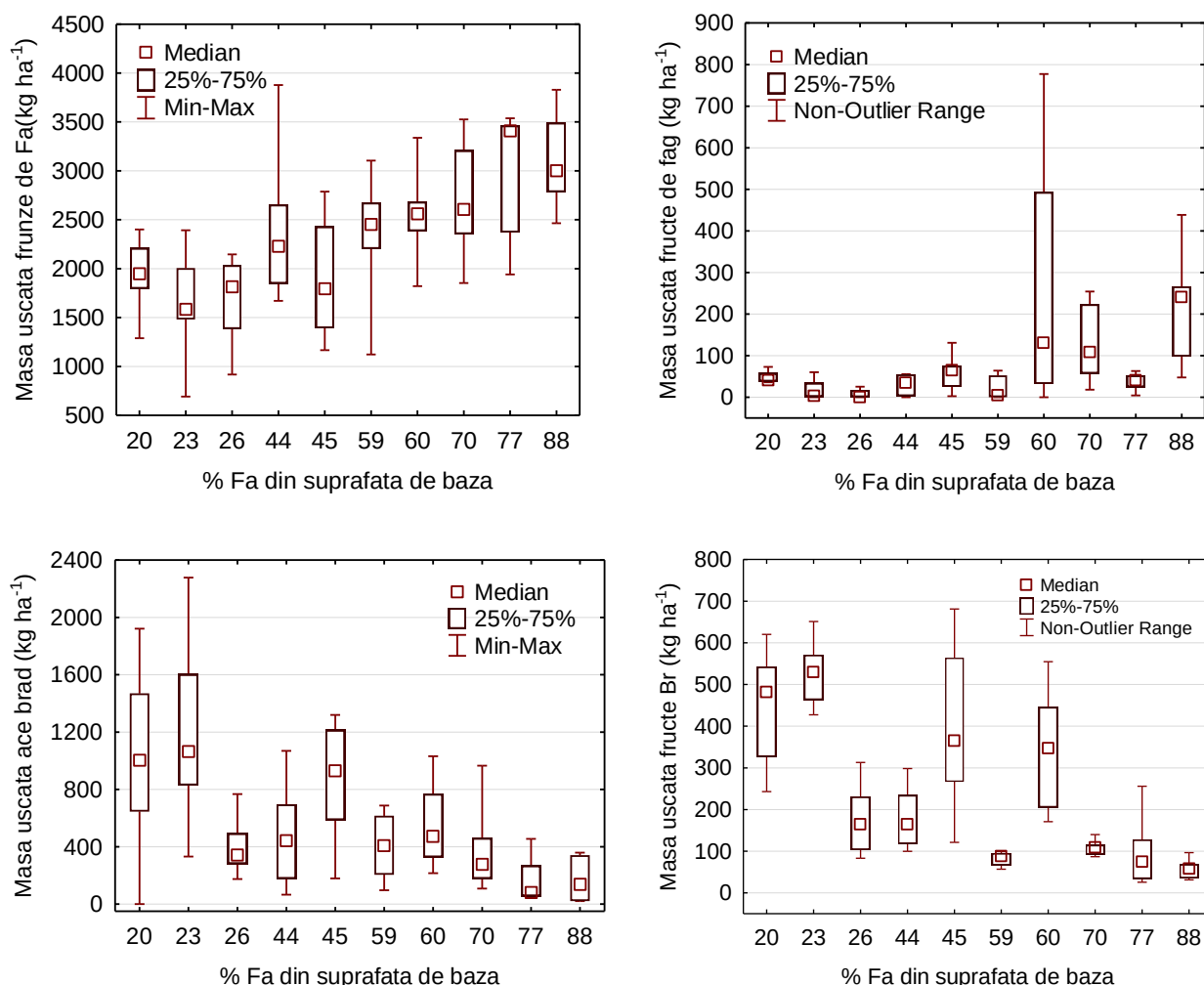


Fig. 12. Variația masei uscate anuale la hectar a frunzelor de fag (stânga sus), a acelor de brad (stânga jos), a fructelor de fag (dreapta sus) și a fructelor de brad (dreapta jos) în funcție de proporția fagului din suprafața de bază totală a arboretului.

Producția anuală subterană calculată pe baza relațiilor alometrice a variat de la 0,5 la 1,9 Mg ha⁻¹, cu o valoare medie de 1,3 Mg ha⁻¹, la aceasta bradul contribuind în proporție de 70%. Dat fiind că în acest studiu, nu s-a făcut o diferențiere între diferitele părți de rădăcină (ciot, rădăcini groase, rădăcini fine), nu se poate face o estimare a proporției acestora. Producția netă anuală de rădăcini fine realizată în timpul unui sezon de vegetație, determinată cu ajutorul metodei “ingrowth cores”, a fost de 2,41 Mg ha⁻¹, asemănătoare celei găsite de Yuste și colab. (2005), fiind la limita inferioară a producției nete determinată de Vogt (1991) pentru arborete de foioase.

Conținutului de carbon din diferite componente ale arborilor (% carbon fraction) și din sol

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). Cum la nivel local nu există astfel de informații, unul dintre obiectivele prezentului studiu a fost acela de a determina așa numita carbon fraction din diferite compartimente ale arborelui dar și din sol.

Valorile conținutului de carbon din diferitele compartimente ale arborilor de fag (Tab. 5) 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.

Valorile conținutului de carbon din diferitele compartimente ale arborilor de brad sunt în general puțin mai mici decât cele determinate pentru această specie în Croația (Paladinić et al. 2009), care a găsit o concentrație medie a carbonului în lemn de 48,7 % (48,22-49,54%), respectiv de 51,17% în ace.

Tab. 5. Conținutul de C din componentele ale arborilor și din sol

Componentă arbore	Medie	Minim	Maxim	Coeficient de variație
Fag				
Trunchi	45,8	45,1	46,4	1,1
Ramuri	47,7	44,6	49,8	2,5
Frunze	48,6	45,3	47,7	1,5
Scoarță	45,7	44,6	47,4	1,8
Rădicini groase	47,5	46,8	48,1	1,9
Rădăcini fine	45,9	42,6	47,9	3,4
Brad				
Trunchi	46,9	46,0	47,9	1,4
Ramuri	48,4	47,6	49,2	1,0
Ace	49,6	47,9	50,9	1,7
Scoarță	47,2	46,0	48,6	1,9
Rădăcini	44,0	41,4	46,0	3,1
Sol				
Sol-orizont organic	10,1	7,8	14,8	20,5
Sol –primii 10 cm orizont mineral	5,4	3,2	7,8	24,2

Similar și Jagodziński et al. (2019) a găsit valori ale conținutului de carbon ceva mai ridicate decât în studiul nostru, respectiv valoarea medie a carbonului din trunchi a variat de la 48,2 % în arborete de 8 ani la 49,3 % în arborete de 115 ani, cea din scoarță între 47,0 și 50,4%, cea din ramuri între 49,3 și 51,5% și cea din frunze între 50,4 și 51,4 %.

Pe baza conținutului de C din fiecare componentă a arborelui și biomasa determinată pe componente s-a calculat carbonul stocat în pădurea virgină de la Sinca în biomasa supra- și subterană. Valoarea medie a acestuia a fost de 257,82 Mg C ha⁻¹, variind între 210 and 328 Mg C ha⁻¹ în biomasa supratrană și de 55,46 Mg C ha⁻¹ (42-78 Mg C ha⁻¹).

Impact și concluzii

Prin cercetările realizate în cadrul acestui proiect s-au adus contribuții științifice importante privind estimarea biomasei și producției primare nete a ecosistemelor forestiere, realizându-se în premieră pentru România o astfel de estimare pentru o pădure virgină. Nici la nivel european nu există astfel de estimări pentru păduri virgine de amestec de fag și brad. În plus, estimarea biomasei și respectiv a stocului de carbon din alte studii s-au realizat, de regulă, pe baza unor ecuații alometrice, sau a unor valori ale densității convenționale a lemnului preluate din literatura de specialitate, adesea acestea fiind determinate în condiții staționale diferite și pentru păduri cu structură și mod de gospodărire diferite.

Pentru o acuratețe adecvată se recomandă însă, utilizarea de ecuații alometrice de determinare a biomasei, specifice fiecărei specii și regiuni, de aceea în cadrul acestui studiu au fost elaborate modele alometrice locale pentru cele două specii dominante din pădurea studiată, brad și fag. Cele două specii studiate sunt totodată foarte importante atât din punct de vedere economic cât și ecologic, atât în țara noastră cât și în Europa.

Dacă pentru fag există mai multe astfel de ecuații alometrice de determinare a biomasei supraterrane, dezvoltate însă pe baza arborilor de dimensiuni mai mici, de maxim 60-65 cm diametru, pentru brad astfel de modele alometrice sunt rare. Ca urmare, modelele alometrice elaborate în prezentul proiect, pe baza a circa 15 arbori din fiecare specie, distribuiți de-a lungul unui larg gradient de diametre, de la 6 cm la circa 90 cm, pot fi utilizate pentru estimarea biomasei altor păduri virgine de amestec de fag și brad cu condiții staționale asemănătoare. Datele de biomasă obținute în cadrul prezentului proiect vor contribui la extinderea bazei de date internaționale existente pentru cele două specii prin completarea informațiilor pentru arbori de dimensiuni mari.

În plus, în cadrul proiectului BIOCARB s-a demonstrat posibilitatea calibrării modelelor alometrice generice, dezvoltate în alte locații, cu ajutorul unui eșantion restrâns de arbori de dimensiuni mai mici, și implicit mai ușor de măsurat. Acest fapt are un impact științific ridicat, dat fiind faptul că, așa cum s-a putut constata în cadrul acestui proiect, măsurătorile distructive necesare pentru elaborarea ecuațiilor alometrice locale sunt foarte laborioase, necesitând un consum ridicat de resurse

logistice și timp, mai ales dacă se au în vedere și arbori de dimensiuni mari. Pentru a se asigura însă o precizie suficientă în calibrarea ecuațiilor alometrice generice din alte locații cu date locale de la un eșantion redus de arbori de dimensiuni mai mici este însă necesar ca datele nelocale pentru o specie dată să conțină cât mai multe observații posibile. Este de preferat ca acestea să acopere gradientul de diametre al arborilor din pădurea pentru care se dorește a se face calibrarea locală a modelului. De aceea datele de biomasă ale arborilor eșantionați în cadrul acestui studiu sunt deosebit de valoroase, deoarece acoperă un gradient mai larg de diametre decât cel existent. În analiza efectuată în cadrul proiectului și diseminată în articolul științific Dutcă și colab. (2020), s-a arătat de asemenea că pe lângă modelul regresiei liniare se pot utiliza fie modelul alometric cu interceptul randomizat, în cazul în care se pot utiliza datele brute din baze de date internaționale fie modelul bayesian dacă se cunosc doar parametrii modelelor.

Ecuațiile alometrice de determinare a biomasei subterane sunt și mai rare decât cele pentru estimarea biomasei supraterane, aceasta fiind și mai dificil de determinat. Ca urmare datele obținute și modelele alometrice de estimare a biomasei subterane elaborate în cadrul prezentului proiect vor fi surse importante pentru alte studii similare.

În cadrul proiectului BIOCARB s-au făcut atât determinări ale densității convenționale a lemnului și cojii pentru fiecare din cele două specii, analizându-se și variația acestora de-a lungul fusului și respectiv în ramuri, dar și determinări ale conținutului de carbon în diferitele componente ale arborilor. Aceste informații sunt relativ rare la nivelul țării noastre și vor putea fi utilizate pentru estimarea carbonului la raportările din cadrul LULUCF. Pe baza analizei variației densității convenționale a lemnului și cojii de-a lungul trunchiului se are în vedere elaborarea unui articol științific, deoarece informații științifice existente cu privire la acest aspect sunt foarte limitate. Mai cu seamă în contextul dezvoltării unor metode cât mai precise de determinare a volumului arborilor cu tehnologii de ultimă generație de tipul laserului terestru (TLS) aceste informații vor contribui la o estimare cât mai precisă a biomasei arborilor și implicit a carbonului stocat în ea.

În contextul încălzirii climatice, estimări cât mai corecte ale bugetului de carbon stocat în păduri sunt imperative, dat fiind rolul important al acestora în bilanțul global al carbonului și în încetinirea schimbărilor climatice. Intensificarea fenomenelor de

uscare care afectează inclusiv ecosistemele forestiere, atât la nivel regional cât și global pot avea efecte în cascadă asupra acestora transformându-le în surse (hot-spots) de CO₂, așa cum am arătat în Yuste et al. (2019). Pentru atenuarea unor astfel de efecte, este necesară identificarea semnalelor timpurii ale arborilor predispuși spre uscare (a se vedea articolul nostru Cailleret et al. 2019) și adaptarea managementului silvicultural pentru reducerea efectelor negative asupra carbonului stocat în ecosistemele forestiere.

În cadrul prezentului proiect, pe lângă biomasa supraterană și repartiția acesteia pe părți componente ale arborilor, a fost determinată și biomasa subterană, care deține o pondere însemnată din total biomasă. Pădurea virgină de la Șinca stochează o cantitate însemnată de carbon (257,82 Mg C ha⁻¹) sub forma biomasei supraterane, dar și în cea subterană (55,46 Mg C ha⁻¹). A fost evidențiat faptul că biomasa supraterană nu a variat semnificativ nici cu altitudinea și nici cu vârsta arboretului. Este de remarcat faptul că și la valori mari ale vârstei (mediana = 292 ani, media = 267 ani), arboretele de amestec de la Șinca, se caracterizează printr-o cantitate ridicată de biomasă supraterană de circa 477, 63 Mg ha⁻¹.

Producția primară netă a pădurii virgine de amestec de la Șinca s-a determinat sub forma mai multor componente: 1) producția primară anuală din componentele lemnoase supra (ANNPwood) și subterane a arborilor din 6 suprafețe de probă echipate cu benzi de creștere cu ajutorul modelelor alometrice elaborate în cadrul acestui studiu; 2) producția anuală a aparatului foliar estimată cu ajutorul a 78 de colectoare de litieră; 3) producția anuală de organe reproductive estimată tot cu ajutorul captatoarelor de litieră; 4) producția anuală de rădăcini fine estimată prin intermediul unui experiment de tip “ingrowth”.

Deoarece creșterile anuale determinate cu ajutorul carotele sunt adesea utilizate în estimarea carbonului stocat în biomasă și a productivității arboretelor (Martin-Benito și colab. 2020), s-a studiat dacă creșterea radială este influențată de direcția cardinală de extragere a carotelor, rezultatele fiind publicate în Gut et al. (2019).

Dat fiind raritatea informațiilor despre producția litieră din astfel de păduri virgine de amestec, precum și despre factorii care o influențează, aceste informații au fost diseminate în articolul Petrișan și colab. (2020).

Valorile medii ale conținutul de carbon (C fraction) din diferitele componente ale arborilor, determinate în cadrul prezentului studiu pentru cele două specii pot fi utilizate în estimarea carbonului stocat în biomasa altor păduri cu structuri și condiții de creștere similare. În acest sens, avem în lucru un articol pe baza rezultatelor despre biomasa obținute în cadrul proiectului și conversia acesteia în carbon cu ajutorul conținutului de C determinat în fiecare componentă de arbore, pentru fiecare specie, despre pădurea virgină de la Șinca.

Pentru a avea însă un tablou complet asupra carbonului stocat în aceste păduri naturale, neafectate de influențele antropice recomandăm continuarea cercetărilor în vederea estimării carbonului stocat sub formă de necromasă, dat fiind că aceste păduri dețin cantități însemnate de lemn mort. Pentru o estimare cât mai corectă se recomandă însă o determinare a densității lemnului mort pe clase de descompunere, știut fiind faptul că densitatea lemnului mort variază în funcție de gradul de descompunere a acestuia.

Informațiile științifice obținute în cadrul prezentului proiect pot fi utilizate pentru o mai bună gestionarea a biomasei și a carbonului și în elaborarea politicilor forestiere care implică sechestrarea carbonului, menite să atenueze schimbările climatice.

Obiectivele și activitățile proiectului au fost realizate integral, conform planului de lucru. S-a obținut un volum mare de date, din care o parte au fost deja diseminate prin participarea la conferințe sau sub formă de articole științifice publicate în reviste ISI cu factor de impact ridicat, o parte fiind în curs de diseminare.

În cadrul prezentului proiect au fost publicate **5 articole științifice** peer-reviewed, de tip Original research în reviste cotate ISI, din care patru în zona roșie (Q1) și unul în zona gri (Q3), având un *factor de impact cumulat de 16,086* și mai sunt în pregătire două articole:

- ✓ Dutcă I, Zianis D, Petritan IC, Bragă CI, Stefan G, Yuste JC, Petritan AM. 2020. Allometric biomass models for European beech and silver fir: testing approaches to minimize the demand for site-specific biomass observations. *Forests* 11, 1136. <https://doi.org/10.3390/f11111136>
- ✓ Petritan IC, Mihăilă VV, Bragă CI, Boura M, Vasile D, Petritan AM. 2020. Litterfall production and leaf area index in a virgin european beech (*Fagus*

sylvatica L.)–silver fir (*Abies alba* mill.) forest. *Dendrobiology* 83, 75–84.
<http://dx.doi.org/10.12657/denbio.083.008>

- ✓ 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. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.125624>
- ✓ Yuste JC, Flores-Rentería D, García-Angulo D, Hereş AM, Bragă C., Petritan AM, Petritan IC. 2019. Cascading effects associated with climate-change-induced conifer mortality in mountain temperate forests result in hot-spots of soil CO₂ emissions. *Soil Biology and Biochemistry* 133, 50-59. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.02.017>
- ✓ Cailleret M, Dakos V, Jansen S, Robert E M R, Aakala T, Amoroso MM, Antos JA, Bigler C, Bugmann H,Petritan AM, ..., Martínez-Vilalta J. 2019. Early-warning signals of individual tree mortality based on annual radial growth. *Frontiers in Plant Science* 9, 1964. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01964>

În vederea creşterii vizibilităţii proiectului, acesta a fost înscris pe portalul *researchgate.net*, portal dedicat cercetării, care este considerat cea mai dezvoltată reţea socială din mediul academic din punctul de vedere al utilizatorilor. Totodată s-a creat o pagina web a proiectului pe site-ul Institutului Naţional de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură “Marin Drăcea” atât în limba română cât şi în limba engleză <https://www.icas.ro/BIOCARB>.

Proiectul a fost prezentat în 2018 în cadrul şcolii de vară “CARSEQ”: *Carbon Sequestration in Forest Ecosystems*, organizată de către Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL, Elveţia, de către domnul Victor Vasile Mihăilă, masterand şi apoi doctorand în cadrul proiectului, dar şi în cadrul simpozionului internaţional “*Forest and sustainable development*” organizat de Facultatea de Silvicultură şi Exploatare Forestiere, din cadrul Universităţii “Transilvania” din Braşov.

Rezultatele obţinute în cadrul acestui proiect au fost diseminate sub formă de prezentare orală şi poster la trei conferinţe internaţionale:

- ✓ 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).
- ✓ Dutcă I, Mihailă VV, Petritan IC, Ștefan G, Bragă CI, Yuste J C, Petritan AM. Improving the Local Calibration of Allometric Biomass Models. *9th international symposium forest and sustainable development Brașov, România, 16 october 2020* (poster).

S-a dorit prezentarea rezultatelor proiectului sub forma unei prezentări orale și a două postere și la conferința internațională *"Mixed Species Forests" din Lund, Suedia*, în martie 2020, dar din cauza pandemiei de coronavirus aceasta nu a mai avut loc.

Rezultatele proiectului au fost prezentate sub formă de poster și la o conferință 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).

În cadrul proiectului au fost începute o teză de doctorat (a domnului ing. VV Mihăilă), o lucrare de disertație (a domnișoarei ing. Diana Chiriloiu, student la programul de master în engleză al Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere) și o lucrare de diploma (a domnișoarei Ioana Rujan, student în anul IV la Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere), toate în parteneriat cu Universitatea Transilvania din Brașov.

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.
- Baskerville GL. 1972. Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. *Can. J. For. Res.* 2, 49–53.
- Bray JR, Gorham E. 1964 Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research* 2: 101-157.
- Cairns MAS, Brown S, Helmer EH, Baumgardner GA. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia* 111, 1–11.
- Chave et al. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.234>
- Deng L, Liu SG, Kim DG, Peng CH, Sweeney S, Shangguan ZP. 2017. Past and future carbon sequestration benefits of China's grain for green program. *Global Environmental Change- Human and Policy Dimensions* 47, 13–20.
- Dotcă 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*). *Can. J. For. Res.* 48, 77-84.
- Dotcă I, Zianis D, Petritan IC, Bragă CI, Stefan G, Yuste JC, Petritan AM. 2020. Allometric biomass models for European beech and silver fir: testing approaches to minimize the demand for site-specific biomass observations. *Forests* 11, 1136
- Fearnside PM. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *For. Ecol. Manage* 90, 59-87.
- Forrester DI, Tachauer IHH, Annighoefer P, Barbeito I, Pretzsch H, Ruiz-Peinado R, Stark H, Vacchiano G, Zlatanov T, Chakraborty T, Saha S, Sileshi GW. 2017. Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate. *For. Ecol. Manage.* 396, 160–175.
- 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. *For. Ecol. Manage.* 389, 76-85.
- Gough CM, Vogel CS, Schmid HP, Curtis PS. 2008. Controls on annual forest carbon storage: lessons from the past and predictions for the future. *Bioscience* 58, 609–622.
- Hardiman BS, Gough CM, Halperin A, Hofmeister KL, Nave LE, Bohrer G, Curtis PS. 2013. Maintaining high rates of carbon storage in old forests: A mechanism linking canopy structure to forest function. *For. Ecol. Manage.* 298, 111–119.
- Houghton RA. 2007. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 35, 313–347.

- 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. *Ann. For. Sci.* 61, 683-694.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- 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.
- 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.
- 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. *Ann. For. Sci.* 56, 81-90.
- Kavvadias VA, Alifragis D, Tsiontsis A, Brofas G, Stamatelos G. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *For. Ecol. Manage.* 144, 113-127.
- Keith H, Mackey BG, Lindenmayer DB. 2009. Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 11635-11640.
- 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.
- Krug JH. 2019. How can forest management increase biomass accumulation and CO₂ sequestration? A case study on beech forests in Hesse, Germany. *Carbon Balance and Management* 14, 17.
- Leuschner C, Voß S, Foetzki A, Clases Y. 2006. Variation in leaf area index and stand leaf mass of European beech across gradients of soil acidity and precipitation. *Plant Ecology* 186: 247–258.
- 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.
- Martin-Benito D, Pederson N, Lanter C, Köse N, Doğan M, Bugmann H, Bigler C. 2020. Disturbances and Climate Drive Structure, Stability, and Growth in Mixed Temperate Old-growth Rainforests in the Caucasus. *Ecosystems* 23, 1170-1185.
- Martin-Benito D, Pederson N, Ferriz M, Gea-Izquierdo G. 2020. Old forests and old carbon: a case study on the stand dynamics and longevity of aboveground carbon. *Science of The Total Environment*, p.142737.
- Meier IC, Leuschner C. 2008. Leaf size and leaf area index in *Fagus sylvatica* forests: Competing effects of precipitation, temperature, and nitrogen availability. *Ecosystems* 11, 655–669.
- Möller CM. 1945. Untersuchungen über Laubmenge, Stoffverlust und Stoffproduktion des Waldes. *Forstl Forsöksv Danmark* 17, 1–287.
- 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 Manage* 204,113–127.
- Mund M, Kummetz E, Hein M, Bauer GA, Schulze ED. 2002. Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe. *For Ecol Manage* 171, 275-296.
- Odum EP. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164, 262–270.
- Ostonen I, Lõhmus 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. *For Ecol Manage* 212, 264-277.
- Paladinić E, Vuletić D, Martinić I, Marjanović H, Indir K, Benko M, Novotny V. 2009. Forest biomass and sequestered carbon estimation according to main tree components on the forest stand scale. *Periodicum Biologorum* 111, 459-466.
- Paluch JG, Gruba P. 2012. Effect of local species composition on topsoil properties in mixed stands with silver fir (*Abies alba* Mill.). *Forestry: An International Journal of Forest Research* 85, 413-426.
- Pan YD, Birdsey RA, Fang JY, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, Phillips OL, Shvidenko A, Lewis SL, Canadell JG, Ciais P, Jackson RB, Pacala SW, McGuire AD, Piao SL, Rautiainen A, Sitch S, Hayes D. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333, 988–993.
- Petritan AM, Nuske RS, Petritan IC, Tudose NC. 2013. Gap disturbance patterns in an old-growth sessile oak (*Quercus petraea* L.)–European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest remnant in the Carpathian Mountains, Romania. *For Ecol Manage* 308, 67-75.
- Petritan AM, Bouriaud O, Frank DC, Petritan IC. 2017. Dendroecological reconstruction of disturbance history of an old-growth mixed sessile oak–beech forest. *Journal of Vegetation Science* 28, 117-127.
- Petritan IC, Commarmot B, Hobi ML, Petritan AM, Bigler C, Abrudan IV, Rigling A. 2015. Structural patterns of beech and silver fir suggest stability and resilience of the virgin forest Sinca in the Southern Carpathians, Romania. *For Ecol Manage* 356, 184-195.
- 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.
- Ryan MG, Binkley D, Fownes JH, Giardina CP, Senock RS. 2004. An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. *Ecol. Monogr.* 74, 393–414.
- Schepaschenko D, Shvidenko A, Usoltsev V, Lakyda P, Luo Y, Vasylyshyn R, Lakyda I, Myklush Y, See L, McCallum I, Fritz S, Kraxner F, Obersteiner M. 2017. A dataset of forest biomass structure for Eurasia. *Sci. Data* 4, 170070.
- Seedre M, Janda P, Trotsiuk V, Hedwall PO, Morrissey RC, Mikoláš M, Bače R, Čada V, Svoboda M. 2020. Biomass carbon accumulation patterns throughout stand development in primary uneven-aged forest driven by mixed-severity natural disturbances. *For Ecol Manage* 455,117676.

- Seedre M, Kopáček J, Janda P, Bače R, Svoboda M. 2015. Carbon pools in a montane old-growth Norway spruce ecosystem in Bohemian Forest: Effects of stand age and elevation. *For Ecol Manage* 346, 106-113.
- Sprugel DG. 1983. Correcting for Bias in Log-Transformed Allometric Equations. *Ecology* 64, 209–210.
- Stanescu V, Sofletea N, Popescu O. 1997. Flora forestiera lemnoasa a Romaniei. Ed. Ceres, Bucuresti, 451 pp.
- Taylor AR, Seedre M, Brassard BW, Chen HYH. 2014. Decline in net ecosystem productivity following canopy transition to late-succession forests. *Ecosystems* 17, 778–791.
- Trotsiuk V, Hobi ML, Commarmot B. 2012. Age structure and disturbance dynamics of the relic virgin beech forest Uholka (Ukrainian Carpathians). *For Ecol Manage* 265, 181-190.
- Van Do T, Trung PD, Yamamoto M, Kozan O, Thang NT, Van Thuyet D, . . . Cam NV. 2018. Aboveground biomass increment and stand dynamics in tropical evergreen broadleaved forest. *Journal of Sustainable Forestry* 37,1–14.
- 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.
- 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, 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. *Can. J. For. Res.* 38, 1661–75.
- Yang Y, Luo Y. 2011. Carbon: nitrogen stoichiometry in forest ecosystems during stand development. *Global Ecology and Biogeography* 20, 354-361.
- Yuste JC, Konôpka B, Janssens IA, Coenen K, Xiao CW, Ceulemans R. 2005. Contrasting net primary productivity and carbon distribution between neighboring stands of *Quercus robur* and *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology* 25, 701-712.
- Zahn R. 2009. Climate change beyond the CO₂ connection. *Nature*, 460, 335–336.
- 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>.
- Zianis D, Mencuccini M. 2003. Aboveground biomass relationships for beech (*Fagus moesiaca* Cz.) trees in Vermio Mountain, Northern Greece, and generalised equations for *Fagus* sp. *Ann. For. Sci.* 60, 439–448.
- Zianis D, Mencuccini M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *For. Ecol. Manage.* 187, 311-332

Braşov, 29.10.2020

Dr. ing. Any Mary Petriţan

