

Proiect IDEI 111/5.10.2011 "FOREST GHG MANAGEMENT"

Raport științific sintetic (15.12.2011-15.12.2013)

Institut de Cercetări și Amenajări Silvice

Olivier Bouriaud, Marius Teodosiu, Daniel Turcu, Gheorghe Guiman, Cosmin Bragă, Laurențiu Ciobanu, Gheorghe Ștefan

Rezumat

Proiectul are scopul de a analiza stocarea carbonului, respectiv fluxurile gazelor cu efect de seră în păduri, precum și influența managementului forestier asupra acestor fluxuri. Metodica de cercetare a proiectului se bazează pe cea dezvoltată în cadrul unui proiect european „GHG Europe” (www.ghg-europe.eu), care a vizat exclusiv făgetele. Acest proiect lărgeste sau completează acoperirea proiectului european, prin analiza unor păduri foarte rar studiate: pădurile naturale.

S-au ales 10 suprafețe de studiu, dintre care 4 în păduri naturale, 4 în păduri cultivate apropiate din punct de vedere geografic și a condițiilor ecologice, în vederea surprinderii impactului managementului asupra stocului de carbon și a fluxurilor gazelor cu efect de seră emise din sol. Celelalte 2 suprafețe reprezintă situații speciale, precum suprafețe afectate de tăieri rase și împăduriri. Din păcate, datorită reducerilor severe ale bugetului în anul 2013, cercetările din aceste suprafețe au fost întrerupte.

În suprafețele rămase, s-au realizat măsurătorile specifice, necesare pentru estimarea stocului de carbon. În pădurea naturală de molid, în care cantitățile de lemn mort sunt deosebit de mari, s-a realizat un studiu a densității lemnului (factor necesar pentru a estima biomasa, respectiv carbonul asociat lemnului mort). Acest studiu a fost publicat într-o revistă cotate ISI.

Analiza dinamicii stocului de biomasă s-a bazat pe metode și măsurători dendrocronologice. Metodele de dendroecologie nu corespundeau în totalitate scopului studiului, astfel că o adaptare/modificare a acestora era necesară. Acest subiect a fost aprofundat în cadrul unui grup de lucru internațional, care s-a finalizat cu propunerea unei metodologii noi. Acest studiu a fost trimis spre evaluare într-o revistă cotate ISI.

Prin colaborări cu cercetători din Germania, s-a analizat impactul managementului forestier asupra naturalității și protecției pădurilor naturale sau de mare interes ecologic, precum pădurile încadrate într-o zonă Natura 2000. Acest studiu a fost publicat într-o revistă cotate ISI.

Regenerarea, care face parte din principalele mecanisme de dezvoltare a arboretelor și contribuie la creșterea cantităților de carbon stocat, fost analizată în pădurea naturală de molid. Acest studiu a fost trimis spre evaluare într-o revistă cotate ISI.

Cuprins

1	Introducere. Contextul științific	2
2	Scopul și obiectivele proiectului.....	3
3	Structurarea proiectului	3
4	Material și Metode	4
4.1	Prezentarea suprafețelor folosite pentru studii	4
4.2	Analize biometrice.....	6
5	Rezultate	8
5.1	Estimarea stocului.....	8
5.2	Estimarea dinamicii stocului de carbon	12
5.3	GHG flux monitoring	17
5.4	Punerea în valoare a rezultatelor proiectului.....	19
6	Concluzii și direcții viitoare de cercetare	21
7	Bibliografie	21

1 Introducere. Contextul științific

În România, principalele servicii ale pădurilor considerate sunt producerea de masă lemnoasă și protecția, estimarea emisiei și a absorbției gazelor cu efect de seră fiind o problemă foarte recentă. Funcțiile de stocare de carbon nu sunt încă considerate, însă presiunea pentru a fi estimate cu precizie este mare la nivel european și probabil va crește în continuare, după cum arată cartea verde publicată recent (<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A7-2011-0113&language=RO>). În acest raport se reamintește că “pădurile alcătuiesc biosfere care nu sunt formate doar din arbori și care furnizează servicii ecosistemice neprețuite, inclusiv stocarea carbonului, debite cursurilor de apă, conservarea mediului natural și protecția împotriva dezastrelor naturale, toate acestea fiind de o mare importanță pentru agricultură și pentru dezvoltarea rurală, precum și pentru calitatea vieții cetățenilor europeni”. Este de asemenea recunoscută “capacitatea pădurilor europene de a acționa ca rezervoare eficiente de CO₂, NH₃ și NO_x este încă neexploată, iar lemnul provenit din păduri gestionabile sustenabil ar putea prezenta avantaje durabile în materie de atenuare, servind drept o alternativă reciclabilă, bogată în carbon, la materialele mari consumatoare de energie, cum ar fi aliajele metalice, plasticul și betonul, utilizate la scară largă în construcții și în alte sectoare industriale”. Avizul comisiei pentru industrie, cercetare și energie (12.11.2010), ca reacție la Cartea verde, a fost de a saluta “opinia Comisiei conform căreia pădurile ar trebui să fie privite ca unul din principalele instrumente de neutralizare a acțiunii factorilor care contribuie la schimbările climatice, de exemplu prin captarea emisiilor de CO₂ din atmosferă; subliniază că gestionarea durabilă a pădurilor, inclusiv protecția pădurilor și regenerarea acestora, adaptate la diferitele condiții din Europa, are o importanță capitală în realizarea obiectivelor climatice ale UE și în protejarea biodiversității forestiere, care oferă numeroase servicii ecosistemice (aprovizionarea utilizatorilor de lemn, precum și servicii legate de stocarea carbonului și protejarea împotriva catastrofelor naturale), precum și servicii culturale (sub forma turismului durabil), care sunt indispensabile societății”.

Emisiile de gaze cu efect de seră (GHG, în engleză "GreenHouse Gases") au crescut în toate țările industrializate, în ciuda faptului că aceste țări au semnat protocoale internaționale care le obligă să reducă nivelul emisiilor. Constatarea că nivelul emisiilor nu poate fi redus în mod semnificativ a dus la concluzia că sunt necesare eforturi pentru a spori, pe cât posibil, stocarea de carbon. Ecosistemele forestiere, în principal pădurile și pajiștile (pășuni și fânețe) acționează ca și captatori de carbon. Bioxidul de carbon fiind drept gazul cu cea mai mare contribuție cantitativă la efect de seră, rolul ecosistemelor forestiere în atenuarea sau mitigarea efectelor emisiilor de GHG a fost dintotdeauna considerat drept esențial.

În primul raport IPCC (International Panel on Climate Change), Houghton et al. (1992) au sugerat că o strategie agresivă de mitigare prin crearea unor păduri, prin plantare la nivel foarte mare (1 miliard de hectar, adică mai mult de 130 de ori suprafața forestieră din România), concomitent cu stoparea tăierilor (*deforestation*), ar aduce la absorbirea carbonului la un nivel de 0.5 Gt de carbon pe an după 2050. S-a dezvoltat așadar idea că pădurile și ecosistemele forestiere, în general, pot fi de mare folos pentru reechilibrarea emisiilor de GHG.

Ideea de a echilibra emisiile GHG printr-o politică forestieră este seducătoare, însă se lovește de mai multe obstacole. Primul este legat de contribuția ecosistemelor forestiere la stocarea carbonului și de faptul că nu este cunoscută cu precizie capacitatea lor de captare și sechestrare. Al doilea: cercetările realizate în acest domeniu au arătat demonstrat caracterul dinamic al capacității de captare și de stocare, astfel potențial afectate de variațiile climatului. Aceste necunoscute au fost motivul principal pentru care s-au realizat mai multe proiecte la nivel mondial focalizate pe problemele de capacitate de captare și de stocare (e.g. proiectul CarboEurope, <http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/>). Dar problema cea mai importantă în planul de reducere a emisiilor GHG este faptul că pădurile nu sunt gospodărite pentru captarea sau stocarea de carbon. Managementul forestier este mai degrabă optimizat pentru producerea de lemn, sau prezintă scopuri ecologice precum protejarea terenurilor.

2 Scopul și obiectivele proiectului

Efectul gestionării pădurilor asupra stocului de carbon și a capacității de depozitare a carbonului este puțin documentat și se află în centrul atenției la nivel mondial. Proiectul FP-7 „GHG Europe” (www.ghg-europe.eu), finanțat de UE, are scopul de a determina cum, și în ce măsură ciclul carbonului și emisiile de GHG din ecosistemele terestre pot fi gestionate. Ideea de bază este aceea de a gestiona fluxurile de GHG prin managementul ecosistemelor terestre.

În cadrul acestui proiect, Institutului de Cercetări și Amenajări Silvice are misiunea de a studia „Impactul gestiunii terenului asupra balanței regionale de GHG în regiuni selectate, bogate în informații, din Europa”. Sarcina acestuia este de a institui un gradient de management (de gospodărire) în pădurile de fag pentru a studia impactul gospodăririi asupra bugetului de GHG. Acest gradient acoperă o gamă variată de modalități de gospodărire, de la arborete echine, la relativ pluriene și pluriene, având condiții de sol, de creștere și de productivitate a căror variabilitate este minimizată.

Scopul proiectului de față este de a completa acest gradient de gospodărire cu situații rare și relevante pentru România, anume păduri naturale și pășuni împădurite. Proiectul include tipuri de management specifice României, altfel destul de rar întâlnite și, implicit, nedocumentate. Obiectivul este de a obține date provenite din măsurători experimentale ale fluxurilor și fondului de GHG. Gradientul de management construit în cadrul proiectului *GHG Europe* este elaborat pentru fag, o specie foarte răspândită în Europa dar care este specie principală și în România în ceea ce privește volumul pe picior, în acest fel având mare relevanță atât la nivel național, cât și la nivel european. Gradientul urmărit este constituit în prezent din 12 suprafețe, fiind reprezentativ pentru gospodărirea forestieră tipică, având contrastante frecvența și intensitatea intervențiilor silvotehnice (lucrări de îngrijire, tratamente silviculturale) executate de-a lungul ciclului de existență a arboretelor.

Cu privire la acest gradient, se pot semna și unele deficiențe, prin lipsa condițiilor extreme: în primul rând absența arborete naturale - arborete “de control”, adevărata referință pentru orice studiu de management (gospodărire) care, printr-o lipsă totală a managementului, să constituie extremitatea lipsită de influență umană a gradientului; în acest sens, România, cu peste 200,000 ha de păduri naturale, este locația potrivită pentru un astfel de studiu. În afară de aceasta, în lumea științifică există o controversă cu privire la capacitatea pădurilor seculare și naturale de a funcționa ca și captatori de carbon (Knohl et al. 2003, Luyssaert et al. 2008, Wirth et al. 2009), mulți cercetători considerând aceste păduri ca fiind mai degrabă neutrale în privința fluxului de carbon. Achiziția de date experimentale din cadrul proiectului va permite clarificarea ulterioară a statutului pădurilor naturale din Europa și a comportării acestora vis-à-vis de fluxurile de GHG.

3 Structurarea proiectului

Proiectul se structurează în două activități distincte și complementare. Prima este estimarea dinamicii stocului de carbon aerian în pădurile studiate. Această activitate va aduce cunoștințe despre capacitatea de stocare a carbonului pădurilor și de sensibilitatea față de managementului forestier. În mod special, se va estima stocarea de carbon în păduri naturale, un element de noutate foarte așteptat de comunitatea științifică din acest domeniu, pentru că raritatea acestui tip de păduri a limitat disponibilitatea unor estimări, în ciuda faptului că ele reprezintă un punct de referință foarte util. Cea de-a doua activitate privește monitoringul fluxurilor gazelor cu efect de seră din pădure. Acest tip de monitoring rămâne destul de rar, din cauza faptului că cere un echipament și o investiție mare de timp. Măsurătorile sunt complementare, deoarece analiza stocării carbonului descrie în mod amănunțit stocarea sau fluxurile de carbon la nivel suprateran, partea subterană rămânând descoperită fără analiza emisiilor gazelor GHG din sol.

4 Material și Metode

4.1 Prezentarea suprafețelor folosite pentru studii

Selectarea suprafețelor de probă este o etapă importantă, pentru că suprafețele vor determina rezultatele măsurărilor în continuare. De aceea, s-a acordat cea mai mare atenție acestor etape, portând discuții cu cercetători recunoscuți în domeniu din afara țării. Au fost identificate și selectate un număr de 10 suprafețe de probă (tabelul 1):

- (i) 4 suprafețe în regiunea sud-vestică: 2 în pădurea naturală, 2 în pădurea cultivată
- (ii) 5 suprafețe în regiunea estică: 3 în pădurea naturală (de molid), 2 într-o suprafață împădurită
- (iii) o suprafață în regiunea sudică, într-o suprafață goală, dintr-o zonă cu vegetație forestieră.

În regiunea sudică, experimentul a fost amplasat într-o tăiere rasă de 0.5 ha, semnificativă pentru o situație de schimbare de folosință a terenului. Piața de probă a fost amplasată într-un arboret majoritar cu fag, echien, la o altitudine de 55 m. Pentru comparabilitate, acesta se află în apropierea suprafețelor utilizate în cadrul programului FP7 omonim, la o distanță de cca. 200 m.

Tabelul 1. Caracteristicile generale ale arboretelor alese pentru amplasarea experimentului

Regiune	Ocolul Silvic	U.P.	u.a.	Compoziție	Tip structură	Consistență	Vârstă	Tip Pădure	Altitudine medie
Sud-Vest	Nera	II	123 A	10 FA	Plurienă, naturală	0.8	190	Naturală, fag	1200
		III	22	10 FA	Plurienă, naturală	0.8	170	Naturală, fag	1250
	Văliug	I	68 A	8 FA 2 BR	Relativ plurienă	0.8	140	Naturală, fag	1050
		I	68 B	10 FA	Relativ echienă	0.5	130	Cultivată, fag	1250
		I	70 B	10 FA	Relativ plurienă	0.6	115	Cultivată, fag	1250
		I	71	10 FA	Relativ echienă	0.8	70	Cultivată, fag	1100
Nord-Est	Pojorâta	-	-	MO	Pășune împădurită	0	10	-	1050
	Giulalău, rezervația	III	120A	10 MO	Plurienă, naturală	0.8	180	Naturală, molid	1100
Sud	Mihăiești		212F	7 Fa 3 DT	Echienă	0	0	Cultivată, fag	550

În regiunea Sud-Vest au fost alese amplasamentele pentru experiment în două locații: în pădurea naturală, cvasivirgină din Rezervația “Izvoarele Nerei” și în arborete cultivate echivalente, cu condiții staționale cât mai apropiate celor din pădurea naturală. Localizarea generală a amplasamentelor experimentului în această regiune este în Masivul Semenic, arboretele naturale fiind situate în partea sudică a masivului, iar arboretele cultivate în partea nordică a acestuia.

În primul rând, au fost investigate în teren arboretele cvasivirgine de fag din Rezervație, intrând în atenția noastră zona făgetelor montane localizate inferior altitudinal făgetelor de limită, și anume banda de păduri situate între 1300 și 1350 m altitudine. Este cunoscut faptul că Rezervația “Izvoarele Nerei” are o largă amplitudine atât

ca suprafață – 5028 ha, cât și ca gradient altitudinal – de la circa 650 la circa 1400 m; datorită acestui fapt, în Rezervație se întâlnesc o mare varietate de condiții staționale ce acoperă 3 zone altitudinale, de la zona fâgetelor de deal (pure), la zona fâgetelor montane și apoi la zona fâgetelor de mare altitudine (în Masivul Semenic, limita superioară altitudinal a pădurii se face prin fâgete, lipsind etajul amestecurilor și cel al rășinoaselor).

Ținând cont că metodologia experimentului de instalat cere o echivalență cât mai bună a condițiilor staționale între pădurea naturală și cea cultivată, amplasamentul ales pentru piețele de probă din pădurea naturală este în u.a. 123 A U.P. II și u.a. 22 U.P. III de la O.S. Nera, situate altitudinal la 1300-1350 m, în condiții pedologice de districambisol tipic, de productivitate superioară, precum și în condiții staționale favorabile; tipul natural fundamental de pădure este fâgetul normal, cu floră de mull de productivitate superioară.

În ceea ce privește localizarea experimentului în arborete cultivate, a fost ales un grup reprezentativ de unități amenajistice – 68AB, 70B și 71 – din U.P. I de la O.S. Văliug, care sunt stațional foarte apropiate de pădurea naturală, ocupând o plajă altitudinală de la 940 la 1350 m. Aceste u.a. au ca substrat în majoritate tot districambisolul tipic, cu o excepție (u.a. 71) unde este întâlnit subtipul litic al acestui tip de sol, dar păstrând productivitatea superioară. Tipurile de stațiune oferă o bonitate superioară-medie, iar tipul natural fundamental de pădure este fâgetul montan pe soluri schelete cu floră de mull, de productivitate mijlocie.

În aceste arborete au fost aplicate încă de acum circa 50 de ani tăierile de transformare spre grădinărit. Ocolul Silvic Văliug este emblematic pentru România, fiind una din cele mai importante locații în care se lucrează în codru grădinărit, cu o suprafață de circa 9000 ha. Acest tratament este cel mai intensiv posibil, fiind în același timp cel mai apropiat de legile naturale de funcționare a ecosistemului forestier (“close-to-nature” forestry). Varianta aleasă pentru aplicarea tratamentului codrului grădinărit este cea care include metoda controlului, ceea ce presupune supravegherea permanentă a structurii fondului de producție prin piețe de probă permanente, amplasate semnificativ în cadrul U.P.. Pe baza informațiilor obținute din aceste suprafețe de control, pentru fiecare U.P. se calculează o curbă teoretică a structurii, iar intervențiile silvotehnice au ca scop apropierea cât de mult posibil a structurii reale a pădurii de curba calculată (teoretică), recoltând în același timp produsele principale ale pădurii (lemnul gros, ajuns la diametrul-țel de recoltare). Datorită aplicării tăierilor de transformare spre grădinărit, multe din arboretele aparținând U.P. studiate au dobândit o structură cel puțin relativ plurienă. Trebuie menționat că în cuprinsul acestei U.P. se găsesc arborete parcurse cu tratamente din cadrul regimului de codru regulat, de exemplu tăieri progresive; totuși, arboretele au fost stimulate să dezvolte structura relativ plurienă. Chiar dacă această U.P. face parte din Parcul Național Semenic-Cheile Carașului, au fost aplicate tratamente silviculturale – grădinărit, tăieri progresive, lucrări de îngrijire, precum și tăieri de produse accidentale și de igienă, astfel încât influențele antropice sunt evidente și cuantificabile.

Localizarea generală este Masivul Semenic, versantul nordic, Ocolul Silvic Văliug, U.P. I. Datorită faptului că în decursul anului 2012 a fost exploatată unitatea amenajistică (u.a.) 70 B, care fusese aleasă inițial ca locație a experimentului, s-a procedat la re-localizarea acestuia, anume în u.a. 69 C, în condiții cât mai apropiate de cele din pădurea naturală.

Subparcela aleasă are 8 ha, este situată în partea superioară a versantului nordic al Muntelui Semenic, la circa 1300 m altitudine. Ca zonare funcțională, această u.a. este încadrată la 1-5L, păduri care constituie zone de protecție a rezervațiilor din Parcurile Naționale, fiind încadrată în tipul de categorie funcțională TIII.

Configurația versantului este ondulată, expoziția este Sud-Vest, înclinarea generală fiind de 14 grade, cu accentuări locale până la 25 de grade.

Solul este districambisol litic, cu următoarea succesiune de orizonturi pe profil: Ao – Bv – R. Este puternic acid cu pH = 4.0 – 5.8, foarte humifer (6.4 – 9.2), oligobazic sau oligomezobazic (V = 9 – 55%), bine aprovizionat cu azot (0.2 – 0.3 g%), slab aprovizionat cu fosfor (2.4 – 6.5 mg%). Textura în general este nisipo-lutoasă până la luto-nisipoasă. Cantitatea de schelet este de peste 50%, ceea ce micșorează volumul edafic pe profil. Pe aceste soluri, cu profunzimea în general de 40 – 60 cm, vegetează arborete de fag de clasa a III-a de producție, dar acolo unde volumul precipitațiilor este mai mare (la altitudini mai ridicate) sunt chiar de productivitate superioară.

Tipul de stațiune forestieră este 4410: Montan premontan de fâgete de productivitate inferioară, brun edafic mic cu *Asperula Dentaria*. Tipul de pădure întâlnit în această u.a. este 4117: Fâget montan pe soluri schelete cu floră de mull de productivitate inferioară.

Tipul de floră este *Asperula-Dentaria*, domină specii de plante eutrofe și mezotrofe, după cum urmează (xxx, 1986):

- a) Plante caracteristice: *Asperula odorata*, *Athyrium filix-femina*, *Dryopteris filis-mas*, *Oxalis acetosella*, *Dentaria glandulosa*, *Pulmonaria rubra*, *Dentaria bulbifera*, *Geranium robertianum*;
- b) Însușitoare frecvente: *Rubus hirtus*, *Mycelis muralis*, *Lamium galeobdolon*, *Actaea spicata*, *Mercurialis perennis*, *Symphytum cordatum*, *Euphorbia amygdaloides*, *Anemone nemorosa*, *Isopyrum thalictroides*.

În regiunea Estică, s-au înființat 3 piețe de probă într-o pădure naturală de molid din masivul Giumalău și două pe terenuri abandonate (Măgura), în care este în curs de desfășurare fenomenul de împădurire.

Suprafața de probă Giumalău se află la cca. 10 km SV de suprafața Măgura și este amplasată în rezervația Codrul Secular Giumalău, Ocolul Silvic Pojorâta. Altitudinal, rezervația se află între 1200 și 1700 m altitudine și are o suprafață de cca. 300 ha, dintre care 164 ha ca zonă strict protejată, aflată sub statut de protecție strictă din anul 1943.

Suprafața de probă aferentă dispozitivului experimental al proiectului (0.5 ha) face parte din aceasta (parceta 120A) și a fost instalată în anul 1978, la o altitudine de cca. 1200 m, pe o expoziție NV. Tipul de pădure este 1114, ce corespunde tipului de ecosistem 1226 - molidiș cu *Oxalis acetosella*. Până în prezent, au fost efectuate 5 reinventarii (în anii 1985, 1988, 2001, 2006 și 2011), în afara pozițiilor spațiale ale acestora fiind măsurate și următoarele caracteristici: la arbori - diametrul la 1.3 m, înălțimea (incl. elagată), starea (sănătos, debilitat, mort), iar la lemn mort - diametrul la capete, lungimea piesei, clasa de descompunere.

Piețele de probă corespunzătoare suprafeței Măgura au fost instalate pe pășuni împădurite, alese pentru reprezentativitatea spațială a acestui fenomen, care are o mare amploare în România. Limita pădurii a fost artificială, iar oprirea pășunatului a adus la apariția unor arbori diseminați, rari, conducând la o consistență foarte slabă. Progresul nu este lent, însă, iar zona va putea fi considerată drept pădure într-o perioadă de doar câteva decenii. Până atunci, piețele înființate vor fi reprezentative pentru zonele denumite “*afforestation*”, care nu sunt nici pajiști și nici pășuni.

4.2 Analize biometrice

4.2.1 Estimarea stocului de carbon aerian în arboretele studiate

Măsurătorile necesare pentru a estima stocul de carbon a unui arboret - cel reprezentat în suprafața de probă - sunt măsurători biometrice clasice, necesare pentru a folosi unui model de cantități de carbon. Au fost inventariați toți arborii cu diametrul minim de 6 cm. Acestora li s-a determinat poziția relativă față de centrul suprafeței de probă, a fost înregistrată specia, apoi au fost măsurate diametrul la 1,30 m (dbh) și înălțimea totală (h).

S-a folosit în cadrul proiectului un model de biomasă deoarece studiile specifice au demonstrat că cantitățile de carbon reprezintă o fracție constantă a biomasei. Sigur există niște deviații în ceea ce privește cantitățile de carbon per unitate de cantitate de lemn (g de C per g de biomasă). Dar eroarea în estimarea cantităților de carbon depășește cu mult eroarea care rezultă din simplificarea care o reprezintă folosirea unui coeficient constant de conversie din biomasă în carbon (Joosten *et al.*, 2004).

Măsurătorile realizate în privința lemnului viu sunt cele realizate într-un inventar sistematic tipic: diametrul și înălțimea arborilor au fost înregistrate pentru fiecare suprafață. Pentru a estima cantitățile de carbon prezent în lemnul mort, măsurătorile sunt mai complicate pentru că starea lemnului influențează cantitatea de carbon care a rămas în lemn (Olajuyigbe *et al.*, 2011). Astfel, inventarul trebuia să se realizeze având în vedere cantitatea și calitatea lemnului mort, care este descrisă în mod tipic prin folosirea unor clase de descompunere.

Biomasa este estimată direct, printr-o funcție dependentă de diametrul și înălțimea aplicată arborilor individuali și nu prin utilizarea factorilor de expansiune sau a unor estimări la nivel de arbore/arboret pe baza volumului. Stocurile de carbon sunt derivate din biomasă utilizând cel mai simplu factor de 0,5, în lipsa unor măsurători directe sau estimări mai exacte.

Două categorii au fost deosebite: lemnul mort la sol și cel pe picior. Densitatea lemnului pentru fiecare din cele 5 clase de degradare este necunoscută, dar nu este documentată la fagul european pentru moment. După Mund și

Schulze (2006), densitatea lemnului a scăzut liniar de la clasa 1 la clasa 5, de la 558 kg/m³ la 62 kg/m³. Volumul pieselor descompuse a fost dedus din inventarul lemnului mort din cercul de 200 m². Diametrul pentru fiecare piesă a fost măsurat la mijlocul piesei, împreună cu lungimea piesei care cade în cercul inventarului. Lemnul mort pe picior a fost înregistrat în același mod ca și arborii vii (diametru, înălțime). Factorul de densitate utilizat a fost același ca și pentru arborii vii.

4.2.2 Estimarea dinamici cantităților de carbon stocate

Analiza retrospectivă pentru perioada recentă

Estimarea dinamicii cantităților de carbon stocate în arboretele studiate s-a bazat exclusiv pe metode dendrocronologice. În cazul unor suprafețe permanente, estimarea creșterii arborilor se obține printr-o simplă comparare a dimensiunilor arborilor (cu precădere a diametrului și a înălțimii totale) din interiorul suprafeței de probă. Această metoda s-a dovedit a fi cea mai sigură, dar necesită folosirea unor suprafețe înființate cu mult timp înainte, ceea ce nu a fost cazul în cadrul proiectului. Măsurătorile dendrocronologice apar, în acest context, drept cea mai bună metodă de a face estimări de creștere a arboretelor. Scopul măsurătorilor este de a estima diametrul arborilor la un interval de timp tip, de obicei 5 ani. Carote de creștere din toți arborii au fost prelevate (de la înălțimea pieptului - 1.3 m, considerată standard). Metoda și scopul analizelor dendrocronologice diferă substanțial de cele urmărite de obicei în analizele dendrocronologice - de a obține serii lungi de lățime de inele de creștere, care sunt procesate pentru a extrage un semnal anual sau multi-anual comun arborilor studiate. În acest scop, deseori orientat spre climatologie, tehnicile dendrocronologice au scopul de a extrage din seriile de creștere informații de natură climatică, prin transformarea variațiilor anuale de creștere în niște indici cu caracteristici specifice, precum absența tendințelor, varianța constantă în timp etc. Aici, eșantionajul nu s-a focalizat pe arborii mai groși, ci pe toți arborii, pentru că fiecare are o contribuție specifică în creșterea stocului de biomasă sau de carbon al arboretului. Metoda nouă aplicată aici face obiectul unui articol științific în curs de evaluare: Babst et al. (în evaluare în jurnalul *Dendrochronologia*).

Diametrul istoric este dedus din lățimea ultimelor 5 inele, iar creșterea grosimii scoarței se presupune a fi proporțională cu creșterea diametrului, după Bakker (2005). Toate probele au fost uscate și șlefuite înainte de a fi scanate la 1200-2400 dpi folosind un scanner tip *flatbed*. Lățimea inelelor, precum și distanța până la măduvă (când măduvă lipsește, ceea ce este frecvent pentru arborii groși) a fost măsurată folosind programul C-Dendro Apartment (Cybis Elektronik & Data AB Saltsjobaden, Suedia). Greșelile potențiale au fost detectate și corectate cu ajutorul programului C-Dendro.

Analiza retrospectivă pe perioada lungă

În cadrul analizei bilanțului de carbon, creșterea arborilor reprezintă intrarea carbonului în arborii, iar tăierile sau mortalitatea reprezintă ieșirea carbonului. Mortalitatea arborilor este unul din factorii cel mai dificil de analizat, deoarece lemnul mort este un element care se degradează repede în pădure. Studiile anterioare au demonstrat importanța pierderilor prin recoltarea masei lemnoase, dar și a includerii mortalității în studiile legate de bugetul de carbon al unei pădure. Pentru arboretele naturale studiate, pierderile prin recoltă sunt nule. Arborii morți pe picior se vor regăsi în inventarul realizat pe suprafețele de probă. Dar, pentru o reconstituire pe o durată de timp mai îndelungată, acești arborii nu pot fi regăsiți cu certitudine, de aceea este important să fie dezvoltat un indicator care să arate dacă există vreun risc ca niște arborii să fie dispăruți din suprafață.

Detectarea unor perturbări care ar fi putut să ocaziona o schimbare a numărului de arborii dintr-o suprafață se poate face pe baza analizelor datelor dendrocronologice. Mai multe detalii în privința metodei pot fi găsite în Bouriaud & Popa (2007), respectiv Svoboda et al. (2013).

4.2.3 Monitoring fluxurilor gazelor cu efect de seră

Gazele studiate sunt cele principale, emise în mod obișnuit de un sol forestier : CO₂, CH₄, N₂O. Metoda, aleasă pentru acest proiect este una bazată pe captarea acestor gaze folosind niște camere speciale de respirație, care vin amplasate în număr de patru pe fiecare suprafață de probă.

Din punct de vedere strict al proprietăților fizice, protoxidul de azot este, dintre aceste trei gaze, cel cu cea mai mare capacitate de captare a radiațiilor ultraviolete: potențialul de încălzire global (PIG) este de 298 de ori mai mare decât cel al bioxidului de carbon (Lashof & Ahuja 1990). Bioxidul este, în absolut, a doua moleculă cea mai importantă în efectul de seră, după vaporii de apă, în ciuda unui potențial de încălzire global redus. Metanul are o valoare a PIG-ului mult mai mare decât CO₂. Gazele studiate sunt așadar cele cu contribuție în procesul de efect de seră cel mai ridicat.

Fluxurile de bioxid de carbon și de metan fac parte din ciclul carbonului. Bugetul carbonului ecosistemelor studiate are la bază trei fluxuri principale: cel de intrare, prin fotosinteză, cel de alocare și cel de ieșire. Bugetul de carbon poate fi estimat prin monitorizarea fluxurilor, această metodă fiind folosită la scara mare prin metoda "Eddy Covariance". În această metoda, fluxurile gazelor schimbate (emise sau absorbite) între ecosistemul și atmosferă sunt măsurate direct cu ajutorul unor aparate de analiză a concentrației aerului, situate deasupra coronamentului arborilor și unele aparate de măsurători micro-meteorologice. Aceste aparate - și turnul lor - sunt foarte costisitoare și nu permit a fi analizate mai multe suprafețe. Deși această metodă a fost considerată ca metodă de referință pentru a estima bilanțul de carbon la nivel de arboret, cercetări recente au demonstrat limitele metodei și mai ales tendința acesteia de a supraevalua cantitățile de carbon absorbite (Curtis *et al.*, 2011).

Bugetul poate fi exprimat ca diferență între stocul observat la două momente diferite. Această abordare este cea mai puțin costisitoare și singura la ora actuală care permite analiza mai multor suprafețe. Principiul este de a converti caracteristici măsurabile ale arborilor într-un stoc de carbon.

5 Rezultate

5.1 Estimarea stocului

În codrul secular Giumalău, în care cantitatea de lemn mort este foarte mare (Figura 1) și prezintă un grad ridicat de variabilitate spațială la nivel de suprafață, s-a studiat relația dintre gradul de descompunere și densitatea lemnului. Acest studiu era necesar pentru a converti în mod precis cantitățile de carbon stocate în lemnul mort într-o pădure naturală de molid. Studiul s-a concretizat prin redactarea unui articol științific (Teodosiu & Bouriaud 2012). Specificul pădurilor montane naturale de molid este dat de cantitățile deosebite de lemn mort, un suport și mediator de biodiversitate.

Lemnul mort este o componentă de bază a pădurilor primare, care joacă un rol important atât în sechestrarea, cât și în ciclul carbonului. Estimările C din lemnul mort se bazează pe conversia volumelor - ușor de măsurat - în masă uscată, folosind factori de conversie asociați claselor de degradare. Puțin se cunoaște despre densitatea uscată specifică a lemnului mort în păduri primare de molid (*Picea abies* (L.) Karst), în special în zonele montane temperate. Pentru o astfel de pădure s-au studiat variațiile de densitate specifice lemnului mort pe picior și la sol în nordul Carpaților Orientali. Folosind o prelevare de probe echilibrată (15 probe), s-au înregistrat dimensiunea piesei, procentul de putregai și gradul de descompunere în două clase pentru lemnul pe picior și în 8 clase pentru cel la sol. Piesa la sol, poziția de prelevare a probelor de-a lungul piesei (sus, mijloc, jos) și contactul cu solul au fost considerate ca factori explicativi suplimentari. Clasificarea degradării lemnului mort la sol a fost intenționat mare, cu scopul de a testa un număr optim de clase de degradare. Densitatea medie a arătat variații mici pentru cioate (322.0 kg m⁻³ - 319.7 kg m⁻³), variind între 342.7 kg m⁻³ și 151.7 kg m⁻³ pentru piesele la sol. Putregaiul din lemnul mort pe picior a fost echilibrat și egal distribuit (40-43 %), și a crescut cu clasa de degradare pentru cel la sol, după cum era de așteptat. Variația medie a umidității masei a fost mai mare decât în alte studii, între 38.5-268.6 %, cea mai mare în categoriile superioare (5-8), în timp ce umiditatea volumetrică a variat între 11,6% și 39,7 %. Probele de la baza piesei au influențat pozitiv umiditatea, în timp ce contactul pieselor cu solul a avut numai efecte marginale. Relația dintre densitatea uscată și factorii de mai sus a fost modelată folosind modele cu efecte mixte. În afară de clasa de degradare, umiditatea și putregaiul au explicat mai multă variație decât orice alt factor investigat (poziția, altitudinea, contactul cu solul). Cel mai bun

model, care a explicat până la 76 % din varianța totală, a inclus procentul de putregai și clasa de degradare ca efecte fixe și piesa de probă ca un efect aleatoriu. Utilizarea unui sistem de degradare cu mai puține clase de descompunere pentru a estima în mod eficient densitatea lemnului mort este recomandarea practică desprinsă din studiu.

Valori comparative ale cantităților de carbon stocat în arborete studiate (Tabelul 2):

Regiunea	Suprafata	Biomasa individuală maximă	Biomasa medie/arbori	Biomasa/ha Viu	Biomasa/ha Mort	Biomasa/ha Total
Vest	1 - natural	9.36	1.48 ± 1.63	458.35	20.78	479.13
	2 - natural	8.63	1.21 ± 1.43	488.77	52.61	541.38
	3 - cultivat					
	4 - cultivat					
Est (Giumălău)	1 - natural			228.82	84.59	293.41
	2 - natural			245.54	74.42	309.96

Din estimările de biomasă realizate se observă că stocul cel mai mare se află în făgetul natural.

În codrul cultivat din regiunea vest-sudică, arboretul ales este un făget pur, în cadrul căruia se găsesc diseminate exemplare de molid și brad, cu tipul de structură relativ-echien, caracterul actual al tipului natural de pădure fiind natural fundamental de productivitate inferioară. În acest arboret au fost amplasate două suprafețe de probă de formă circulară, cu mărimea de 2000 m² fiecare, în cadrul cărora s-a procedat la inventarierea arboretului și la extragerea de carote de creștere pentru toți arborii inventariați. Inventarierea s-a făcut folosind echipamentul FieldMap, alcătuit din computer de teren (Tablet PC), echipament Laser (pentru măsurarea distanțelor orizontale și a unghiurilor verticale) și busolă electronică (pentru măsurarea unghiurilor orizontale). Reprezentările grafice ale pozițiilor arborilor în cadrul suprafețelor de probă – ecranele de lucru al FieldMap – sunt redată în Fig. 1. și Fig. 2.:

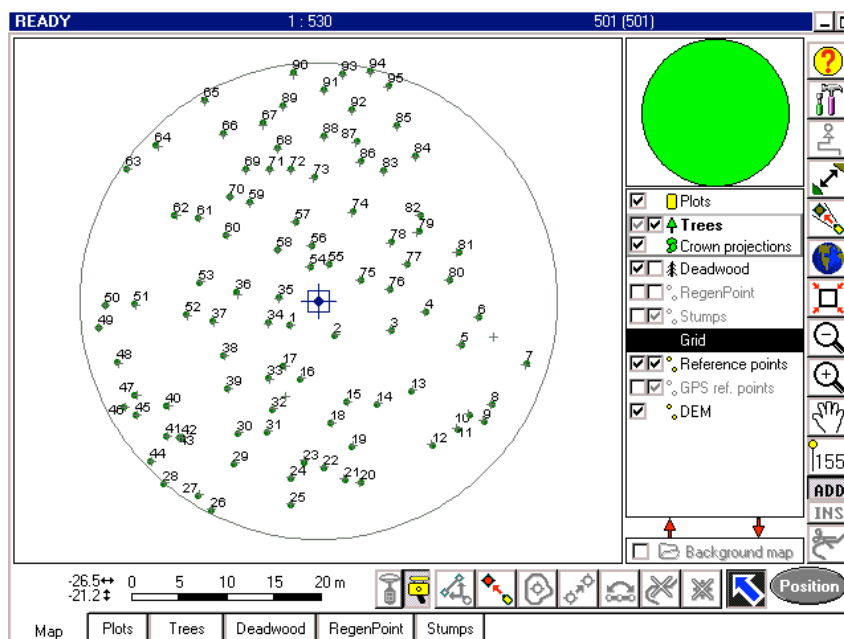


Figura 1. Poziționarea arborilor în piața de probă 1

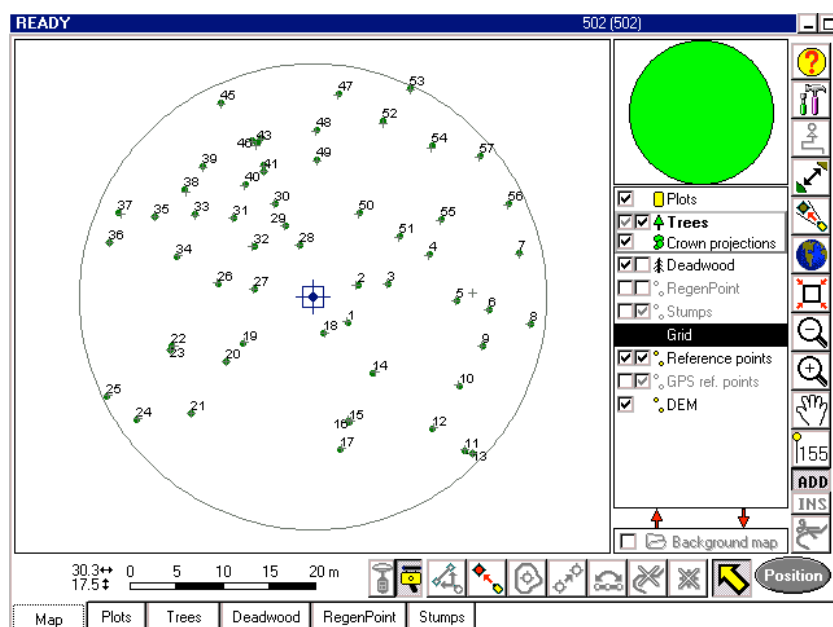


Figura 2. Poziționarea arborilor în piața de probă 2

Măsurători efectuate în pădurea naturală de fag

Una din cele mai importante locații ale proiectului este reprezentată de pădurea naturală de fag de la Izvoarele Nerei, cuprinsă în rezervația naturală cu același nume. Pentru studiul nivelurilor și respectiv fluxurilor de gaze cu efect de seră eliminate din sol a fost aleasă, în cadrul Rezervației Naturale Izvoarele Nerei, o locație ce prezintă cât mai multe similitudini cu condițiile din pădurea cultivată – sub raportul caracteristicilor pedostaționale și de arboret. Arboretele din această zonă sunt arborete naturale, ce păstrează caracteristici taxatorice similare pe întinderi mari, parcelarul fiind doar o delimitare geografică, iar subparcelarul delimitează poieni cu origini

naturale care au fost delimitate amenajistic ca terenuri pentru hrana vânatului.

Astfel, au fost alese arboretele aflate pe culmea principală dintre cele două bazinete menționate mai sus, la o altitudine de circa 1350 m, în O. S. Nera, U.P. II Nergana u.a. 123 A, respectiv U.P. III Nergănița u.a. 22:

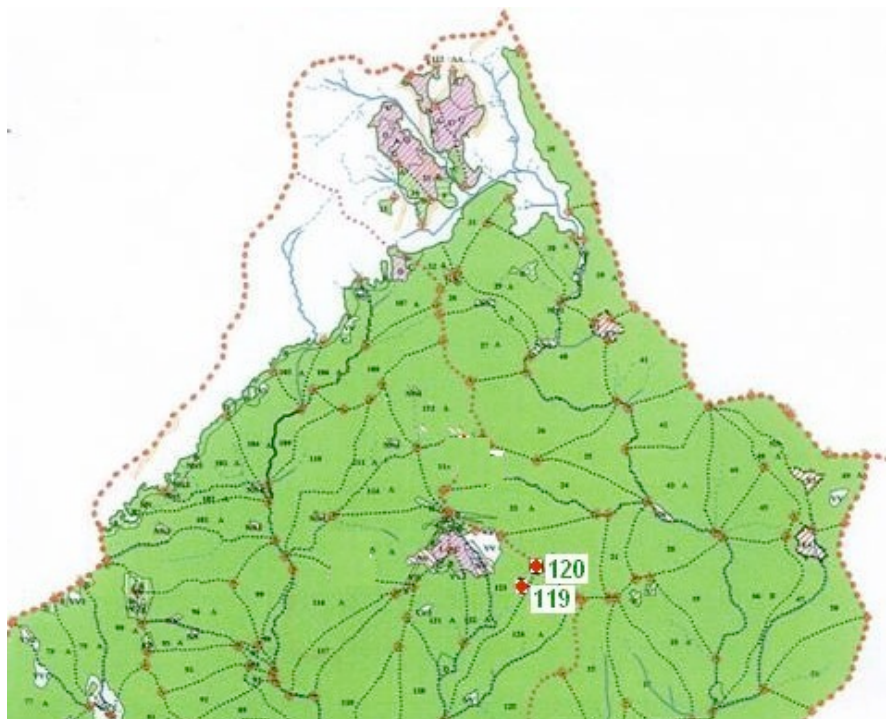


Figura 3. Amplasarea piețelor de probă din pădurea naturală

Suprafețele de probă de 2000 m² fiecare din pădurea naturală au fost localizate

spațial ca sub-ploturi în cadrul rețelei de suprafețe permanente de probă din Rezervație; au fost localizate concentric în suprafețele de probă P119 și P120 (fiecare de 1 ha).

Ca și în cazul locației din pădurea cultivată – O.S. Văliug, substratul litologic este format din micașturi, roci moi, friabile, ce dau naștere solurilor brune acide de pădure, foarte favorabile făgetelor.

Solul întâlnit în arboretele studiate este districambosolul tipic, care are următoarea succesiune de orizonturi pe profil: Ao – Bv – C. Este puternic acid cu pH = 4,0 – 5,8, foarte humifer (6,4 – 9,2), oligobazic sau oligomezobazic (V = 9 – 55%), foarte bine aprovizionat cu azot (0,2 – 0,3 g%), foarte slab aprovizionat cu fosfor (2,4 – 6,5 mg%). Textura în general este nisipo-lutoasă până la luto-nisipoasă, solul este profund, afânat, de bonitate superioară pentru fag cu condiția ca pe profil să nu apară schelet în cantitate mai mare de 30 – 40%. Pe acest tip de sol se întâlnesc făgete pure cu vâsta consemnată de amenajament de 160 – 180 de ani, sau chiar peste 200 de ani, arborete seculare-virgine de productivitate superioară. Acest tip de sol este preponderent în Rezervație.

Tipul de stațiune forestieră este 4.3.2.1., montan–premontan de făgete, bonitate medie, districambosol cu mull : edafic mijlociu, mezo și eutrofic, mezohidric, estival reavăn. Solurile sunt semischeletice, luto-nisipoase, divers structurate, cu humus și cu drenaj intern bun.

Tipul de pădure este 4.1.1.4. – făget montan pe sol schelet cu floră de mull de productivitate mijlocie, iar tipul de floră este *Asperula-Dentaria* (domină specii de plante eutrofe și mezotrofe; a fost descris mai sus, în cazul pădurii cultivate). Arboretele sunt făgete pure, virgine, de mare stabilitate ecositemică, care prezintă caracter natural fundamental de productivitate medie. Structura arboretelor este plurienă, consistența de 0,80, clasa de producție a III-a, elagajul este 0,6, vitalitatea sete normală, vârsta arboretelor este de peste 200 de ani, fiind identificate exemplare de arbori mult mai în vârstă, de peste 400 de ani.

Au fost efectuate măsurători biometrice în cele două suprafețe de probă folosind echipamentul FieldMap:

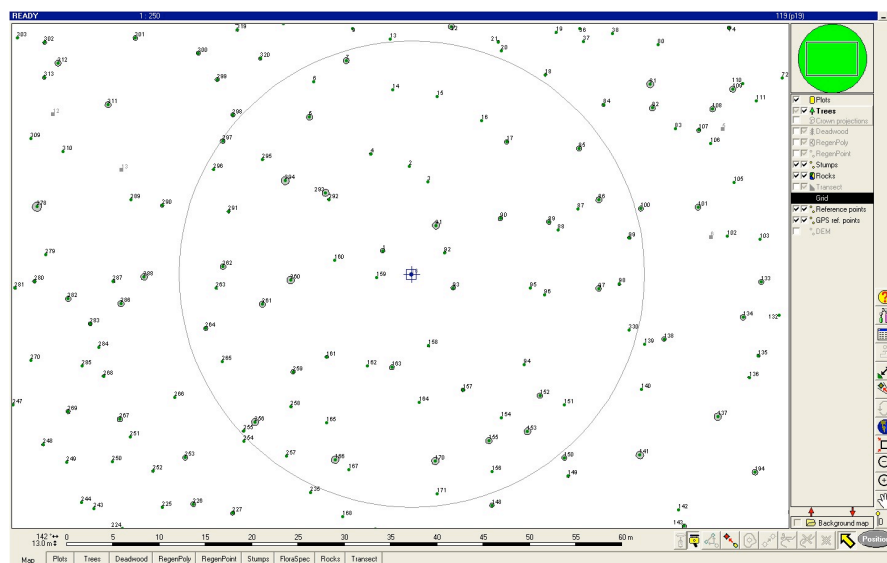


Figura 4. Distribuția spațială a arborilor cuprinși în suprafața de probă GHG, ca sub-plot al suprafeței de probă permanente P119

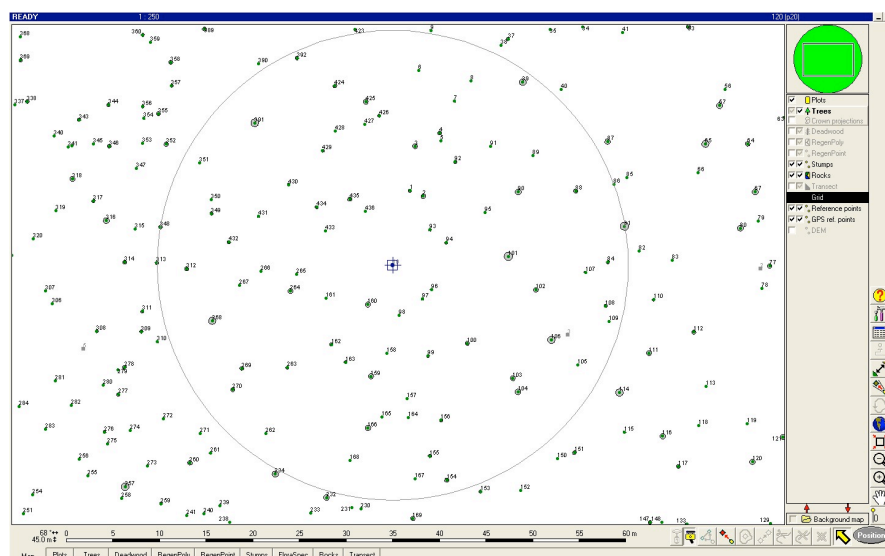


Figura 6. Distribuția spațială a arborilor cuprinși în suprafața de probă GHG, ca sub-plot al suprafeței de probă permanente P120

În urma inventarierilor efectuate folosind același echipament pentru măsurători (FiledMap) și același protocol de măsurare, au fost obținute valorile din Tab. 3 pentru arboretele din pădurea virgină:

Tabelul 3. Valorile la hectar ale numărului de arbori, suprafeței de bază și al volumelor

Suprafața de probă	Număr de arbori/ha	Suprafața de bază, m ² /ha	Volumul pe picior, m ³ /ha
119	311	44	715
120	406	43	589
Media	359	44	652

5.2 Estimarea dinamicii stocului de carbon

5.2.1 Analiza retrospectivă

Estimarea stocului de carbon în pădurile studiate se efectuează pe baza unor analize dendrocronologice. Analizele dendrocronologice publicate au avut scopul principal de a analiza variabilitatea creșterii arborilor în relație cu unii factori precum climatul, și astfel sunt bazate pe o metodologie clasică (Cook 1987). Spre deosebire de aceste studii, estimarea dinamicii stocului de carbon nu se concentrează asupra arborilor dominanți, iar variațiile creșterii radiale reflectate prin variabilitatea lățimii inelului anual nu sunt standardizate pentru a elimina unii factori interni precum vârsta. Eșantionajul realizat în cadrul reconstituirii creșterii radiale la nivel de arboret trebuie să țină cont de diferențele ratelor de creștere dintre arbori, adică să nu fie focalizat asupra unui număr redus de arbori mari, ci să cuprindă arbori de toate dimensiune. Eșantionajul sistematic este cel mai potrivit, când este posibil. Metoda de eșantionaj și prelucrarea datelor în vederea reconstituirii productivității (sensu bilanț de carbon) al arboretelor a fost descrisă în Babst, Bouriaud & Frank (2012) și aplicată arboretelor studiate în proiect (Fig 5).

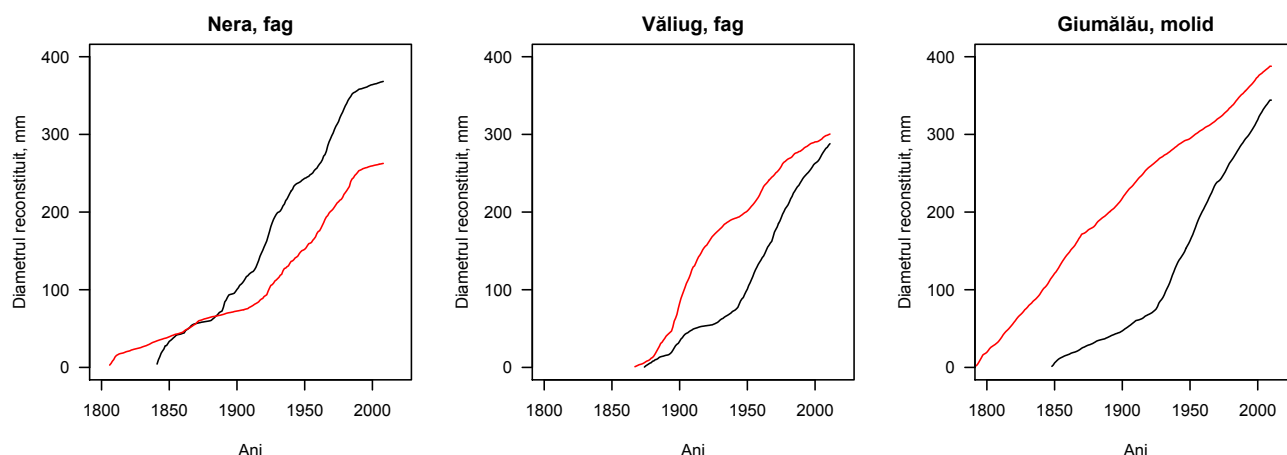
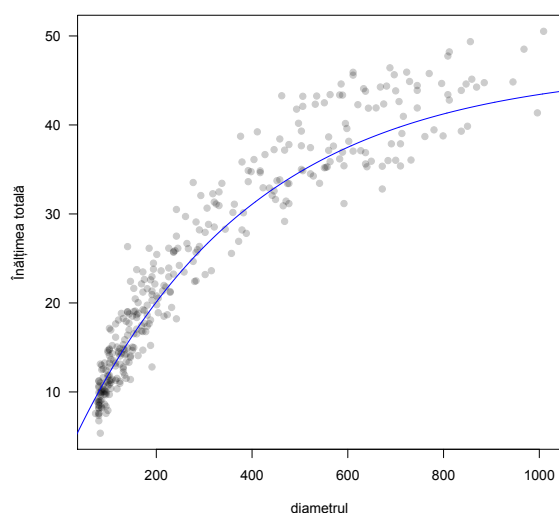


Figura 5. Exemple de reconstituire a diametrului retrospectiv pentru 2 arbori cu rata de creștere diferită din 3 regiuni studiate

Reconstituirea dinamicii stocului de carbon a unui arboret implică aplicarea unor ecuații de biomasă, care sunt funcții dependente de diametrul arborilor (incl. scoarța). În cadrul analizelor realizate în cadrul proiectului s-a observat că variabilitatea lății scoarței poate induce niște erori în reconstituirea diametrului istoric extern al arborilor. Într-adevăr, metoda de reconstituire a diametrului se bazează (i) fie pe ipoteza că lățimea scoarței este proporțională cu diametrul arborului, (ii) fie că creșterea scoarței este proporțională cu lățimea inelului radial. Aceste două ipoteze s-au dovedit a nu fi documentate pentru fag și au fost studiate în mod specific în cadrul proiectului. S-au cules 240 de eșantioane de scoarță pentru a verifica care din acele două ipoteze este cea mai plauzabilă. Rezultatele studiului au condus la redactarea unui articol științific care va fi trimis spre evaluare pe curând: Bouriaud, Turcu & Ponnette (*în pregătire*).

Estimarea biomasei retrospective a arborilor, convertită mai departe în cantități de carbon, necesită reconstituirea înălțimii arborilor, care este cea de a doua intrare a funcțiilor aplicate (fie de volum sau direct de biomasă). Creșterea în înălțime trebuie dedusă din creșterea radială, deoarece creșterea arborilor nu este documentată. Curba de înălțimi în funcție de diametru, stabilită într-un arboret echien, nu este echivalentă unei curbe de creștere (Prodan 1965; Curtis 1967). Această curbă de stare nu reprezintă parcursul înălțimilor în funcție de creșterea în diametru. Arboretele studiate fiind pluriene, distribuția înălțimii poate fi considerată ca o reprezentare a curbei de creștere. Astfel s-a stabilit, pentru arboretele studiate, curba de înălțime în funcție de



diametru, folosindu-se un model exponențial derivat din modele logistice. Metoda de ajustare este cea prezentată de Parresol et al. (1999) pentru modele nonlineare care prezintă heterogeneitate a varianței (heteroscedasticitate). Această metodă se bazează pe ajustări iterative cu ponderare în funcție de heteroscedasticitatea constatată la fiecare pas. Ecuația principală este ajustată cu algoritmul iterativ Gauss-Newton, pe baza optimizării verosimilității. Fiind modele cu scopuri predictive, trebuie stabilite cu estimări care să îndeplinească criteriile statistice esențiale: absența de bias, varianță reziduală constantă. S-au folosit analiza PRESS a rezidualelor.

Figura 6. Model de înălțime în funcție de diametrul la 1.3 m pentru arbori din suprafața naturală 1 din Izvoarele Nerei

5.2.2 Analiza perturbării

Rezultatele analizei au fost publicate, în mare parte, în articolul Svoboda et al. 2013 (publicat 2013/8/1 în *Journal of Vegetation Science*):

[Landscape-level variability in historical disturbance in primary *Picea abies* mountain forests of the Eastern Carpathians, Romania,](#)

Autori: Miroslav Svoboda, Pavel Janda, Radek Bače, Shawn Fraver, Thomas A Nagel, Jan Rejzek, Martin Mikoláš, Jan Douda, Karel Boublík, Pavel Šamonil, Vojtěch Čada, Volodymyr Trotsiuk, Marius Teodosiu, Olivier Bouriaud, Adrian I Biriș, Ondřej Sýkora, Petr Uzel, Jiří Zelenka, Vít Sedlák, Jiří Leheček.

Disturbanțele slabe sunt predominante în Giumalău, cele extreme fiind prezente doar în 36% din suprafețele de probă analizate. Dincolo de diferențele dintre suprafețele de probă, s-au putut identifica o serie de perioade comune (1800 – 1830, 1820 – 1850, 1840 – 1870, 1900 – 1930, 1950 – 1980), însă acestea se manifestă mai mult la nivel de arboret și nu la nivel de peisaj.

Analiza multivariată a disturbanțelor a arătat o largă distribuție în spațiul ordonării, fără a exista grupuri distincte ce reflectă istorii similare ale disturbanței. Ordonarea a explicat 96% (compensare non-metrică) din variația datelor brute și a confirmat variabilitatea spațială ridicată a acestora.

Evaluarea efectelor atributelor fiziografice asupra istoriei disturbanțelor a arătat că doar altitudinea a fost corelată, însă slab, cu axele de ordonare ($r^2=0.29$, $P<0.001$), fără a avea o legătură directă cu indicii de disturbanță DI.

Datele rezultate din analiză au fost comparate cu evidențe privind istoria disturbanțelor din arhive, în special a celor cu o severitate ridicată în ultimii 200 de ani. Datele istorice sugerează că furtunile și gâdaciile de scoarță sunt cei mai importanți agenți ai disturbanțelor. Maximele severității disturbanțelor înregistrate în cadrul studiului (1800 – 1830, 1820 – 1850, 1840 – 1870, 1900 – 1930, 1950 – 1980) au coincis cu furtuni majore și parțial cu gradații ale insectelor.

Studiile anterioare au arătat o predispoziție spre structuri agregate a disturbanțelor cu severitate ridicată la nivel de peisaj, acolo unde acestea sunt determinate majoritar de vânt (Frelich & Lorimer 1991; Foster & Boose 1992; Kulakowski & Veblen 2002; D'Amato & Orwig 2008). Predominarea acestuia poate explica și sincronicitatea redusă a disturbanțelor majore la nivel de peisaj (Panayotov et al. 2011, Foster & Boose 1992; Frelich & Reich 1995; Kulakowski & Veblen 2002; Stueve et al. 2011).

Multe suprafețe de probă la nivelul peisajului studiat nu au arătat o prezență a disturbanțelor severe, ci mai curând o istorie a unor disturbanțe de severitate scăzută și intermediară. Un exemplu îl constituie perioada 1950–1980, când un număr semnificativ de suprafețe a prezentat disturbanțe slabe-moderate cu o variație spațială considerabilă la nivelul arboretului.

Concluzii: dinamica bazată pe regenerare în ochiuri mici (gap-recruitment) a fost cea dominantă, reprezentând 80% din total. Important, regenerarea se pare că a apărut la perioade de timp relative lungi după producerea disturbanței (cel puțin trei decenii). Mai mult de jumătate din suprafețe au prezentat disturbanțe de intensitate ridicată-extremă la nivel de suprafață, cu toate că acestea nu au fost totdeauna sincronizate spațial sau temporal.

În cazul ultimelor, acestea au fost agregate spațial, suprafața acestora fiind între 10-20 ha, ceea ce indică faptul că acestea s-au datorat vântului. O tendință mai slabă de agregare s-a înregistrat pentru cele de intensitate moderată sau redusă.

5.2.3 Cuantificare efectul climatului asupra creșterii

Climatul este un element determinant pentru productivitatea pădurii. Fluctuațiile meteorologice și climatice provoc variații importante ale creșterii arborilor, care se reflectă în stocul de carbon prin mai multe mecanisme. La nivel de arbore, fotosinteza este procesul prin care carbonul din aer este preluat de arbori, și mai departe în arboret. Respirația este mecanismul prin care carbonul iese din arbori. Bilanțul dintre intrare și ieșire determină cantitatea fixată, care este estimată prin analize biometrice. Fotosinteza și respirația nu sunt mecanisme influențate în același mod de fluctuația climatului: fotosinteza este mai sensibilă la deficit hidric, iar respirația este determinată în primul rând de temperatură. Acest studiu are scopul de a determina amplitudina variațiilor inter-anuale de creștere ale arborilor, care au fost demonstrate a reflecta într-o mare măsură amplitudinea variațiilor stocurilor de carbon (Bouriaud et al. 2005).

Metodele folosinte nu sunt prezentate în detaliu deoarece sunt standard, fiind stabilite de mult timp (e.g. Cook 1987) și foarte bine documentate: seriile individuale de creștere brute de lățime a inelului sunt prelucrate pentru a extrage din ele numai variațiile anuale. Se generează astfel un set de serii individuale indexate, care variază în jur de 1 și cu proprietăți specifice: varianță constantă în timp. Aceste serii de indici de creștere, care reflectă nivelul de variație al creșterii radiale a arborilor de un an la altul, sunt mai departe asamblate pentru a constitui o așa-numită cronologie. Metoda clasică este de a calcula o medie a indicilor (o valoare pentru fiecare an), folosindu-se o medie ponderată iterativ, al cărei scopul este de a micșora influența unor valori extreme considerate ne-plauzabile. Cronologiile dezvoltate (e.g. Fig 7) reprezintă astfel variabilitatea medie a creșterii arborilor dintr-un sit experimental. În cazul proiectului, 4 astfel de cronologii au fost dezvoltate: două pentru fiecare zonă de monitoring, una în pădure naturală, una în pădure cultivată. Cronologiile sunt corelate cu date climatice locale, prin corelație liniară simplă, calculate pe subșanțioane de 66 de ani alese aleator (metoda bootstrap), din toată lungimea seriilor climatice (1901-2012).

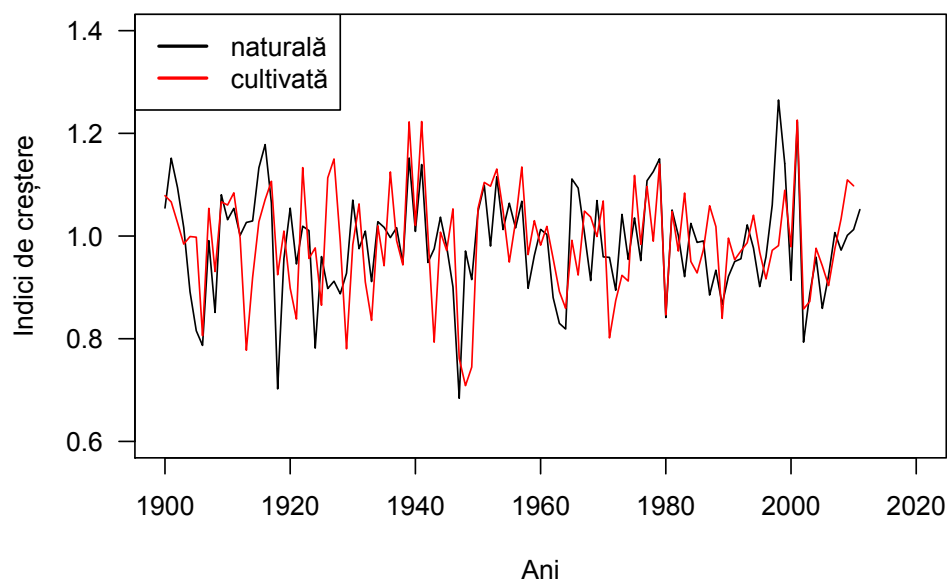


Figura 7. Compararea indicilor de creștere pentru păduri naturale și cultivate din zona estică (Giumalău)

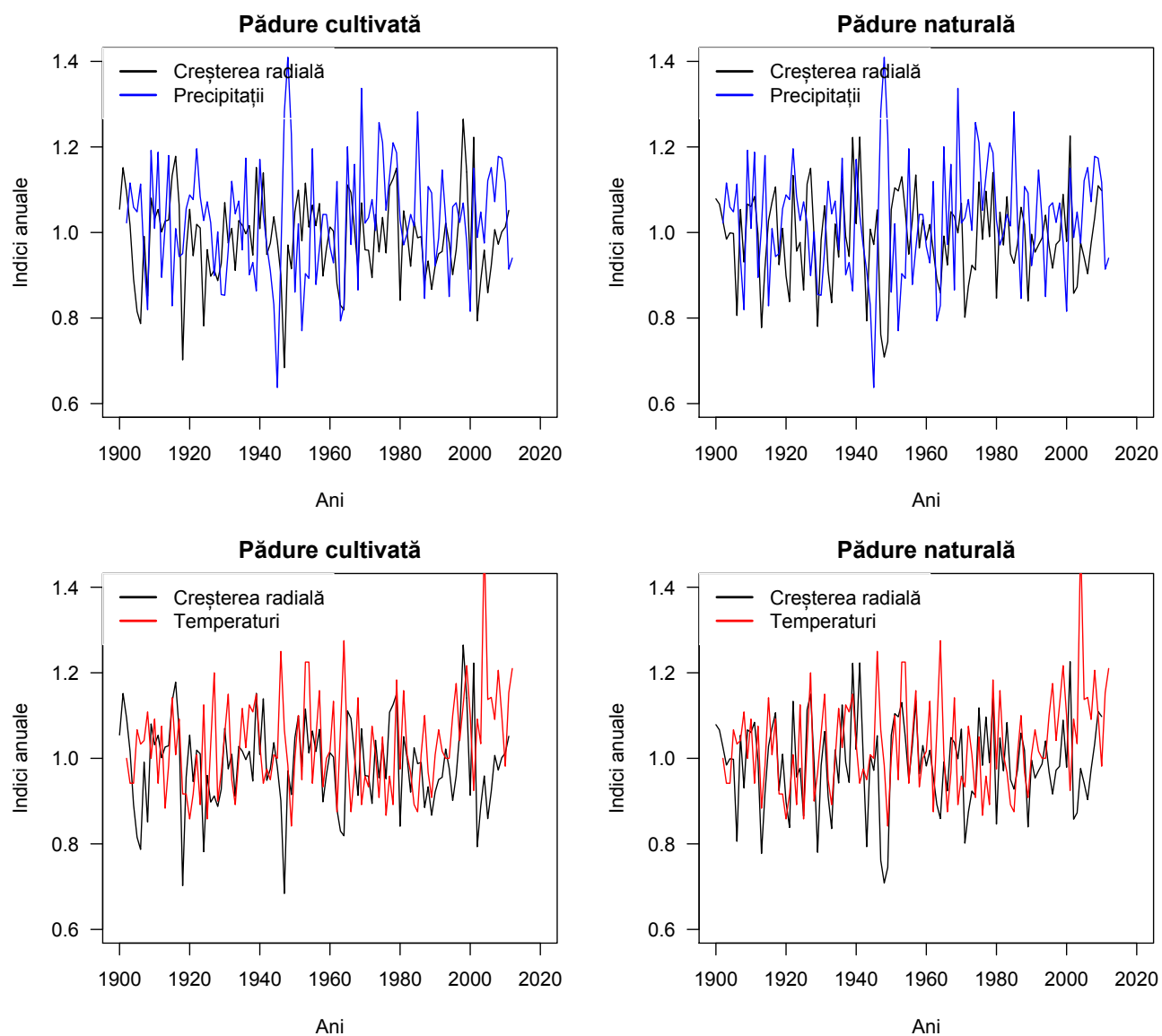


Figura 8. Compararea variațiilor seriilor de creștere și a seriilor climatice

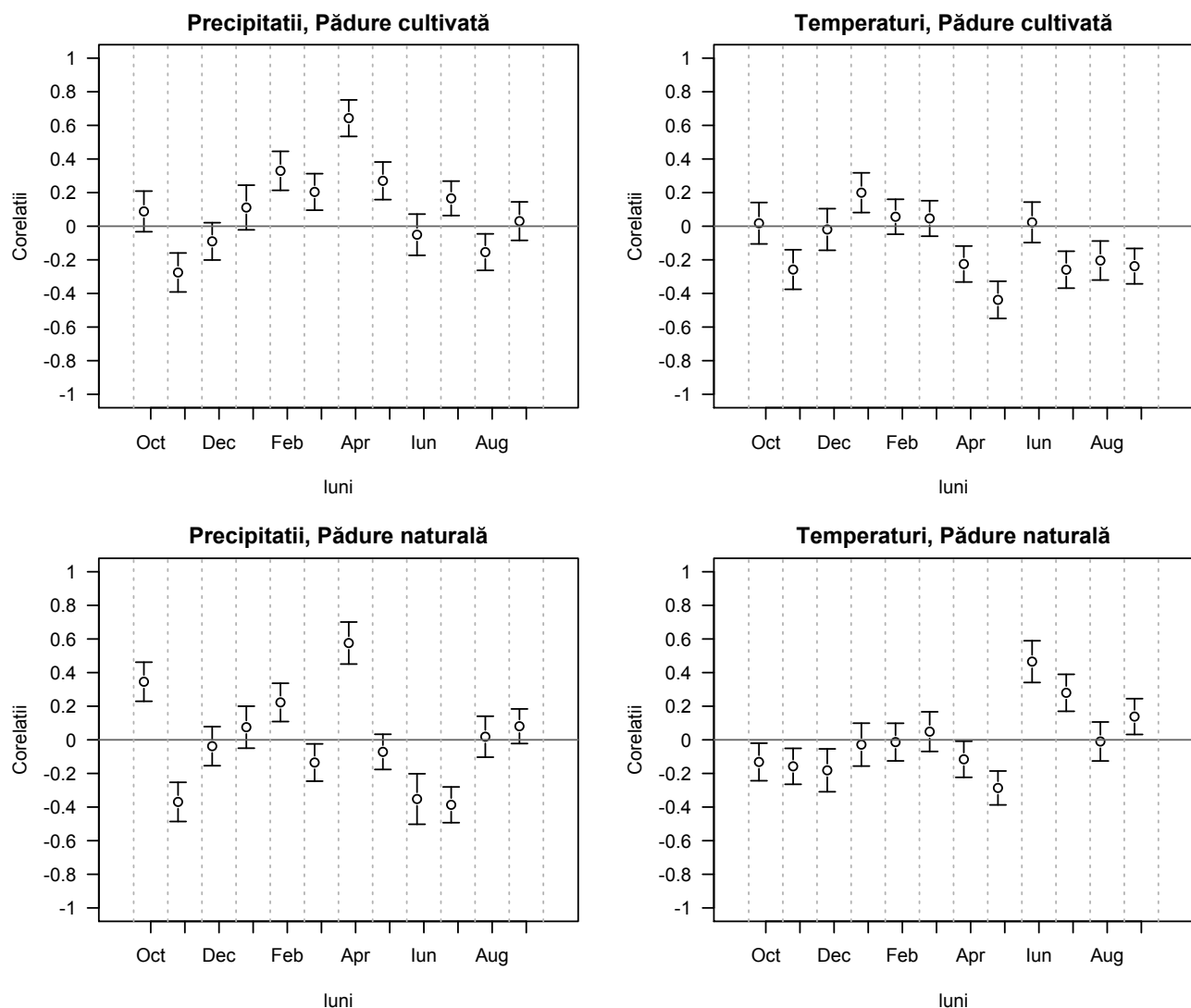


Figura 9. Sensibilitatea climatică a seriilor de creștere din păduri naturale sau cultivate din zona estică (Giulău)

După cum arată corelațiile cu date climatice lunare, luna aprilie este una din cea mai importantă pentru precipitații, faptul care se explică prin cererea de apă substanțială a pădurilor la pornirea sezonului de vegetație. Mai târziu, temperaturile devin mai importante și influențează în mod pozitiv creșterea arborilor. Pădurile studiate sunt, într-adevăr, situate la altitudini foarte mari, iar temperatura este elementul cel mai limitativ. Se poate observa o diferență clară între pădurea naturală și pădurea cultivată, deși altitudinile sunt apropiate. Acest element este fundamental pentru a explica diferențele de dinamică a dezvoltării arboretelor.

Acest studiu va fi aprofundat în continuare pentru că are un potențial ridicat de publicare.

5.3 GHG flux monitoring

Monitorizarea folosind camere manuale de respirație a fost desfășurată în cele 10 suprafețe înființate în cadrul proiectului. Colectarea eșantioanelor de gaze a fost realizată în funcție de accesibilitatea și condițiile meteorologice: cel puțin o serie pe lună a fost colectată în timpul sezonului de vegetație.

Fiolele de gaz colectate sunt stocate pentru a fi analizate prin cromatografie. Cromatogramele vor fi folosite pentru a converti concentrațiile gazelor observate în fiolele consecutive în fluxuri. O comparare a fluxurilor și a nivelul mediu al emisiilor va fi apoi realizată.

Anul 2012 a fost un an cu totul deosebit din punct de vedere climatologic și, din păcate, foarte nefavorabil monitorizării. Solul a fost prea uscat pentru ca fenomenele de respirație care trebuiau monitorizate să aibă loc. În plus, secetea a pus probleme de etanșitate a inelelor, unele fisuri în sol fiind vizibile deja în luna iunie. Ploile insuficiente au condus la uscarea rapidă a solului în adâncime. Solul s-a uscat rapid chiar după ploi, care au fost mult prea puține, vântul a uscat repede partea superioară a solului în așa fel încât primii 5 cm au fost uscați aproape totdeauna. Temperatura este descrisă ca elementul principal în determinarea intensității respirației. Descompunerea materiei organice este într-adevăr cunoscut a fi dependentă de temperatură. Dar în condițiile secetoase severe precum cele întâlnite în anul 2012, deficitul de umiditate reduce drastic activitatea biologică în sol. În contrast, în 2013 sezonul de vegetație a fost foarte umed, urmând a se evidenția o creștere importantă a nivelului emisiilor.

Prelevarea eșantioanelor de gaze pe teren este însoțită de măsurători de temperatură și de umiditate a aerului și a solului (Fig. 10), din care conversia concentrațiilor observate în fluxuri.



Figura 10. Stânga, camera de respirație închisă pentru prelevare de gaze. Dreapta, localizarea celor patru inele folosite pentru fiecare suprafață de monitorizare, aici în pădurea naturală Giumalău.

Eșantioanele obținute sunt transmise la laboratorul de analiză (ICAS Mihăiești), unde concentrația gazelor conținute în fiole este estimată prin cromatografie (Figura z). Fluxul gazelor cu efect de seră studiate crează o creștere a concentrațiilor lor în interiorul camerei de respirație. Eșantioane sunt prelevate în fiole etanșe, la momente predeterminate, după închiderea capacului camerei. Creșterea concentrațiilor gazelor în fiole permite calculul fluxului pentru camera respectivă. Sunt, așadar, patru repetiție pentru fiecare suprafață de probă.

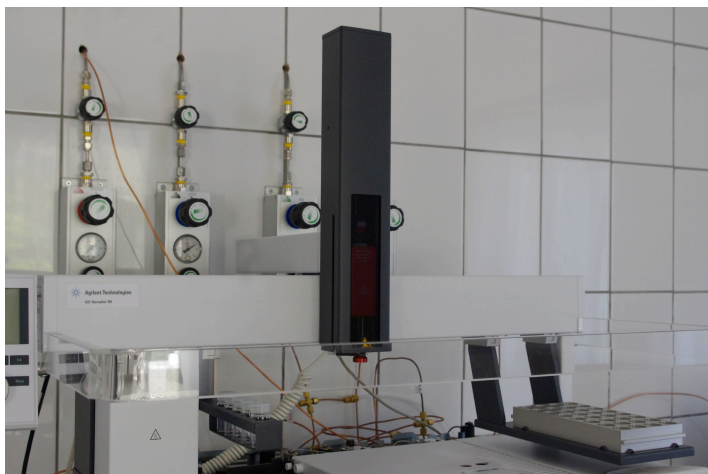


Figura 11. Cromatograful pe gaz Agilent devotat măsurătorilor concentrații gazelor cu efect de seră, instalat în laboratorul din Mihăiești

După instalarea și calibrarea cromatografului, au fost obținute primele cromatograme (Figura 4), din care se deduce concentrația gazelor în fiole, cu ajutorul aplicației informatice de prelucrare a cromatografului, specifică cromatografului ChemStation de la Agilent, USA. O serie de probleme tehnice au aparut pe parcursul măsurătorilor, legate de salturi de tensiune electrică, ce au afectat calculatorul ce pilotează cromatograful. Aceste probleme au provocat oprirea cromatografului pentru o perioadă mai lungă. Fiolele obținute prin monitorizarea de teren sunt stocate și inerte, așa că probleme întâmpinate nu vor provoca pierderea măsurătorilor, ci numai întâzieri ce urmează a fi recuperate.

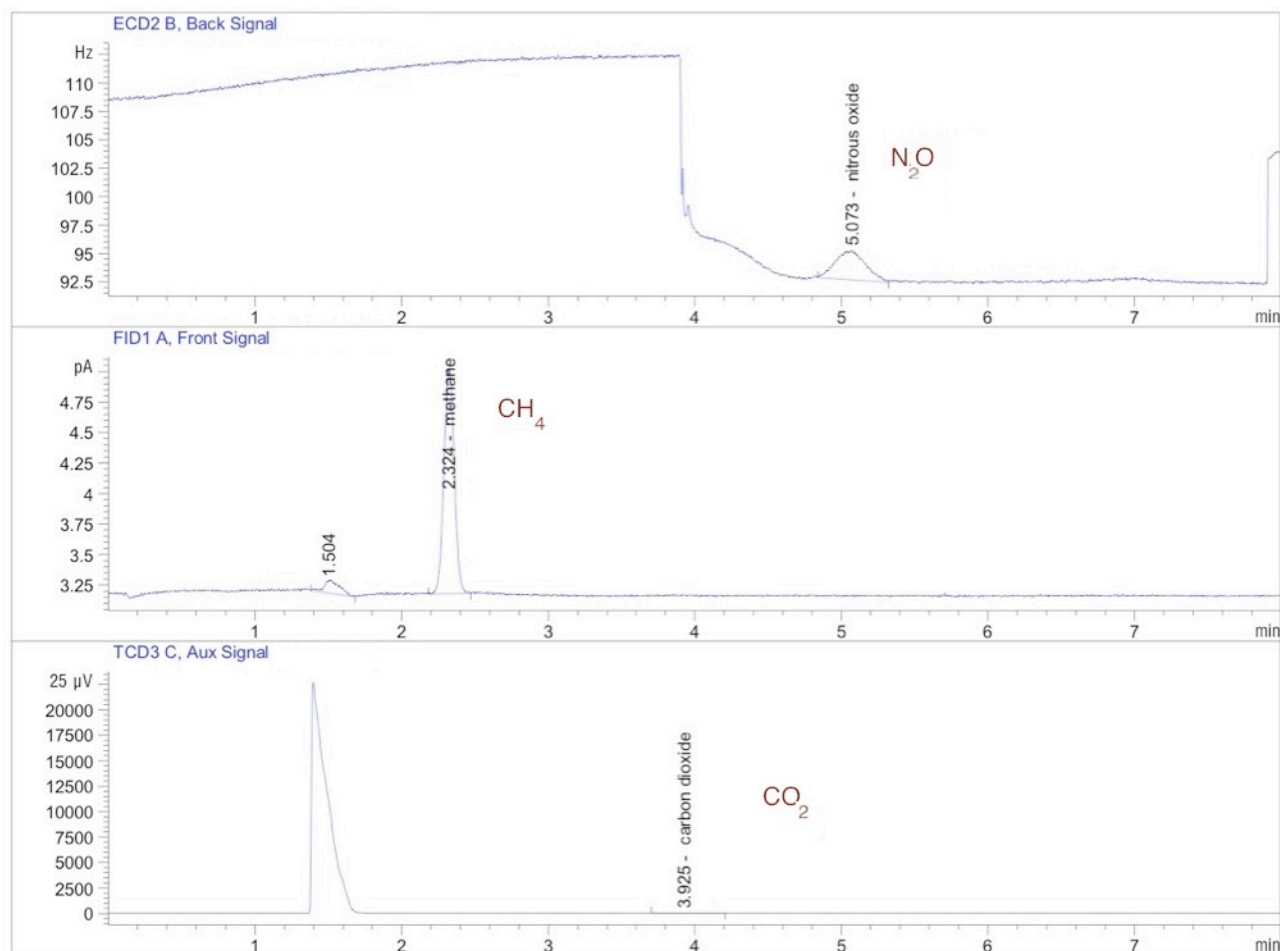


Figura 4. Exemplu de cromatogramă obținută de pe un eșantion de gaze prelevat pe teren. Fiecare captator generează un grafic specific unui element.

5.4 Punerea în valoare a rezultatelor proiectului

5.4.1 Colaborarea cu Max Planck Biogeosciences, Jena, Germania

S-a stabilit o colaborare cu Profesor E.-D. Schulze, directorul Institutului Max Planck Biogeosciences, cunoscut drept unul dintre cei mai importanți cercetători din domeniu. Profesor Schulze studiază o pădure situată într-un sit natura 2000, în zona Făgăraș, care are caracteristici similare cu cele studiate în cadrul proiectului: o mare parte din pădure nu a fost perturbată, în ultimele secole, de activități silviculturale. Astfel, s-a organizat un schimb de experiență și discuții cu privire la capacitatea de stocare a biomasei sau carbonului acestor păduri și

reglementarea activităților silviculturale. Discuțiile purtate, bogate, au condus la redactarea unui articol științific publicat în singura revista forestieră cu cotare ISI din Europa de Est: *Annals of Forest Research*.

Colaborările continuă și vor fi folosite pentru a adânci metodele de estimare a dinamicii stocării de carbon pe durată mai lungă. Se vor analiza și factorii principali de mediu care ar putea influența stocarea, precum gradientul altitudinal.

5.4.2 Colaborarea cu Institut National de la Recherche Agronomique, Nancy, France

În cursul verii 2013 s-a organizat o vizită în suprafețele de monitorizare din est (Giumălău), la care au participat cercetători din Institut National de la Recherche Agronomique: André Granier și Charlotte Grossiord. André Granier este inventatorul metodei de monitorizare a fluxului de sevă în arbori. Fluxul de sevă este elementul principal ce determină evapotranspirația arborilor, și deci fotosinteza. Această vizită a avut scopul de a promova cercetările realizate în cadrul proiectului și de a discuta posibilitatea de a echipa, în viitorul apropiat, suprafețele cu aparatura de măsurare a fluxurilor de sevă.

5.4.3 Colaborarea cu institutul Wald Schnee und Landschaft WSL, Zurich, Elveția

În Octombrie 2013 s-a organizat un eșantionaj în suprafețele de monitoring din west (Nera) și din Est (Giumălău) într-o colaborare informală cu cercetători din institutul elvețien WSL (Swiss Federal Research Institute), respectiv David Frank, șeful echipe de dendroclimatologie. Scopul colaborării este de a contribui, prin implicarea echipei și a datelor culese în cadrul proiectului, la un studiu realizat la nivel european de analiză a discriminării isotopice arborilor. Discriminarea isotopică pentru carbonul ^{13}C este, într-adevăr, un indicator al activității fiziologice arborilor. Discriminarea variază în funcție din condițiile hidrice din timpul fotosintezei, fiind indicator foarte fine al apariției unui stres hidric cauzat de secetă. Aceste măsurători vor fi complementare cu cele programate și realizate în cadrul proiectului. Contribuția a constat în furnizare de date și din înființarea unor suprafețe din care s-au extras carote în scopul enunțat.

5.4.4 Articole publicate sau în evaluare

Cercetările realizate au fost puse în valoare prin redactarea a mai multor articole științifice, și diseminarea lor s-a efectuat prin prezentarea proiectului la o conferință internațională (prezentate în pagina proiectului):

- **Articole științifice ISI publicate**

Teodosiu M & Bouriaud O. 2012. Deadwood specific density and its influential factors: A case study from a pure Norway spruce old-growth forest in the Eastern Carpathians. *Forest Ecology and Management*, 283, 77-85.

Walentowski et al. 2013. Sustainable forest management of Natura 2000 sites: a case study from a private forest in the Romanian Southern Carpathians. *Annals of Forest Research*, 56(1), 217-245.

Svoboda et al. 2013. (Lucrări desfășurate în conformitate cu planul de realizare a proiectului; refuz al editorului reviste de a menționa mai mult de un proiect-suport).

- **Articole științifice BDI**

Turcu et al. 2013. Litter and humus amounts in a beech natural forest. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 17(2):181-184.

Turcu D. in press. Tree mortality processes in natural forests. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*.

- **Articole în evaluare în reviste ISI**

Teodosiu & Bouriaud. *Oikos*

Babst F, Bouriaud O, Ross A, Trouet V & D Frank. Towards consistent measurements of carbon accumulation: A multi-site assessment of biomass and basal area increment across Europe. *Dendrochronologia*

6 Concluzii și direcții viitoare de cercetare

Suprafețele de analiză și monitoring au fost înființate conform planului, iar toate măsurătorile propuse au fost realizate. Eșantionajele implementate au avut scopul de a evalua stocul de carbon aerian din arborete dominate de fag, respectiv molid, în zone împădurite și cu vegetație forestieră.

Estimările stocului și ale dinamicii sunt încă în fază de realizare, dar mai multe elemente au fost deja puse în valoare în diverse publicații.

S-a studiat în mod special densitatea lemnului mort în păduri de molid, deoarece cantitățile de lemn mort sunt foarte importante din punct de vedere cantitativ (dar și calitativ, pentru relația cu biodiversitatea).

Monitorizarea fluxurilor gazelor cu efect de seră a beneficiat de o conjunctură favorabilă, potrivit căreia anul 2013 a fost un an ploios, care a urmat unui an secetos, oferind astfel un contrast important. Este de așteptat ca nivelul emisiilor să fie mare în 2013, ceea ce va permite o discriminare a tipurilor pădurilor studiate.

Dificultățile legate de funcționarea cromatografului sunt, de asemenea, în curs de rezolvare. Așadar, există condiții favorabile pentru a obține rezultate concrete în cursul anului 2014 în privința fluxurilor gazelor studiate.

La finalul proiectului, pentru situri cu păduri naturale, va fi posibilă o estimare a fluxurilor de carbon, rezultate în premieră pentru România, și așteptate de comunitate științifică din domeniu din Europa. Totodată se estimează că la finalul proiectului, pentru cel puțin una din păduri naturale considerate, vor fi disponibile și publicate în jurnale ISI estimări detaliate (spațial și pe componente) ale stocului de carbon. Pentru păduri naturale de molid și de fag, valorile vor prezenta importanța prin faptul că vor reprezenta stocul maxim (capacitate de suport) asociat acestor tipuri de pădure, date rare în literatura de specialitate.

7 Bibliografie

- Babst, F., Bouriaud, O., Frank, D. 2012. A new sampling strategy for tree-ring based forest productivity estimates. *TRACE*, 10, 62-70.
- Bakker, J. D. (2005). A new, proportional method for reconstructing historical tree diameters. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(10), 2515-2520.
- Bouriaud, O., Bréda, N., Dupouey, J. L., & Granier, A. (2005). Is ring width a reliable proxy for stem-biomass increment? A case study in European beech. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(12), 2920-2933.
- Bouriaud, O., & Popa, I. (2007). Dendroecological reconstruction of forest disturbance history, comparison and parametrization of methods for Carpathian mountains. *Analele ICAS*, 50, 135-151.
- Cook, E. R. (1987). The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin*, 47, 37-59.
- Curtis, R. O. (1967). Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. *Forest Science*, 13(4), 365-375.
- Curtis, P. S., Hanson, P. J., Bolstad, P., Barford, C., Randolph, J. C., Schmid, H. P., & Wilson, K. B. (2002). Biometric and eddy-covariance based estimates of annual carbon storage in five eastern North American deciduous forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113(1), 3-19.
- D'Amato, A. W., Orwig, D. A., & Foster, D. R. (2009). Understory vegetation in old-growth and second-growth *Tsuga canadensis* forests in western Massachusetts. *Forest Ecology and Management*, 257(3), 1043-1052.
- Foster, D. R., & Boose, E. R. (1992). Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in central New England, USA. *Journal of Ecology*, 79-98.
- Frelich, L. E., & Lorimer, C. G. (1991). Natural disturbance regimes in hemlock-hardwood forests of the upper Great Lakes region. *Ecological monographs*, 61(2), 145-164.
- Frelich, L. E., & Reich, P. B. (1995). Spatial patterns and succession in a Minnesota southern-boreal forest. *Ecological monographs*, 65(3), 325-346.
- Houghton, J. T. (Ed.). (1992). *Climate change 1992*. Cambridge University Press.

- Joosten, R., Schumacher, J., Wirth, C., & Schulte, A. (2004). Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in western Germany. *Forest Ecology and Management*, 189(1), 87-96.
- Knohl, A., Schulze, E. D., Kolle, O., & Buchmann, N. (2003). Large carbon uptake by an unmanaged 250-year-old deciduous forest in Central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 118(3), 151-167.
- Kulakowski, D., & Veblen, T. T. (2007). Effect of prior disturbances on the extent and severity of wildfire in Colorado subalpine forests. *Ecology*, 88(3), 759-769.
- Lashof, D. A., & Ahuja, D. R. (1990). Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming.
- Luyssaert, S., Schulze, E. D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B. E., ... & Grace, J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455(7210), 213-215.
- Olajuyigbe, S. O., Tobin, B., Gardiner, P., & Nieuwenhuis, M. (2011). Stocks and decay dynamics of above-and belowground coarse woody debris in managed Sitka spruce forests in Ireland. *Forest Ecology and Management*, 262(6), 1109-1118.
- Panayotov, M., Kulakowski, D., Laranjeiro Dos Santos, L., & Bebi, P. (2011). Wind disturbances shape old Norway spruce-dominated forest in Bulgaria. *Forest Ecology and Management*, 262(3), 470-481.
- Parresol, B. R. (2001). Additivity of nonlinear biomass equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(5), 865-878.
- Prodan, M. 1965. *Holzmesslehre*. J.D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt am Mein. 64 p.
- Stueve, K. M., Housman, I. W., Zimmerman, P. L., Nelson, M. D., Webb, J. B., Perry, C. H., ... & Cohen, W. B. (2011). Snow-covered Landsat time series stacks improve automated disturbance mapping accuracy in forested landscapes. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3203-3219.
- Teodosiu, M., & Bouriaud, O. (2012). Deadwood specific density and its influential factors: A case study from a pure Norway spruce old-growth forest in the Eastern Carpathians. *Forest Ecology and Management*, 283, 77-85.
- Walentowski, H., Schulze, E. D., Teodosiu, M., Bouriaud, O., Hessberg, A. V., Bussler, H., Schulze, W. (2013). Sustainable forest management of Natura 2000 sites: a case study from a private forest in the Romanian Southern Carpathians. *Annals of Forest Research*, 56(1), 217-245.
- Wirth, C., Gleixner, G., & Heimann, M. (Eds.). (2009). *Old-growth forests: function, fate and value* (Vol. 207). Springer.