



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
AUTORITATEA NAȚIONALĂ PENTRU CERCETARE
ȘTIINȚIFICĂ ȘI INOVARE
**INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ÎN
SILVICULTURĂ "MARIN DRĂCEA"**

Cod de înregistrare fiscală RO 2607964/1992

B-dul Eroilor, nr. 128, Voluntari, cod postal 077190
Tel/fax: 021/3503245; 021/3503238; 0744 314700; 0722 541280
http://www.icas.ro; e_mail: icas@icas.ro; e_mail:
organizare.icas@yahoo.com



Raport științific sintetic final privind implementarea proiectului

PN-II-ID-PCE-2011-3-0781 – PROIECTE DE CERCETARE EXPLORATORIE

Proiect IDEI 111/5.10.2011 "FOREST GHG MANAGEMENT"

Contractor

Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice (05.10.2011-20.05.2015)

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea” (21.05.2015-03.10.2016)

B-dul Eroilor nr. 128

Jud. Ilfov

Proiectul

Nr. 111 / 05/10/2011

Cod Proiect

PN-II-ID-PCE-2011-3-0781

Termenul

05.10.2011 – 03.10.2016

Director de proiect

Olivier Bouriaud

Cuprins

Vizibilitatea rezultatelor proiectului	4
1. Introducere. Contextul științific	1
2. Scopul și obiectivele proiectului	1
3. Rezultate	3
3.1 Stocarea de carbon în ecosistemele forestiere	3
3.2 Efectul managementului asupra stocului de carbon	6
3.3 Managementul densității arboretelor	7
3.4 Analiza retrospectivă a productivității.....	8
4. Respirația solului	9
4.1 Aspecte metodologice.....	9
4.2 Analiza efectului managementului	9
4.3 Analiza variabilității spațiale a fluxurilor de CO ₂ din sol	10
4.4 Analiza datelor de derivă temporală	12
5. Concluzia analizelor realizate în cadrul proiectului	16
6. Recomandări cu privire la gestionarea stocului de carbon prin operațiuni silviculturale	17
Bibliografie.....	18

Vizibilitatea rezultatelor proiectului

- Pe durata proiectului prin metodele și cu ajutorul materialul achiziționat în cadrul proiectului au fost finalizate 3 teze de doctorat și o a patra este în desfășurare:

Mihai Lupescu, teză finalizată

Turcu Daniel, teză finalizată

Teodosiu Marius, teză finalizată

Cosmin Bragă, în curs.

- Au fost publicate 4 articole din lista roșie UEFISCDI:

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

Babst F., Bouriaud O., Alexander R., Trouet V., Frank D., 2014. Toward consistent measurements of carbon accumulation: A multi-site assessment of biomass and basal area increment across Europe. *Dendrochronologia*, 32(2): 153-161

van der Maaten-Theunissen M., van der Maaten E., Bouriaud O. 2015. pointRes: An R package to analyze pointer years and components of resilience. *Dendrochronologia*, 35(1): 34-38

Bouriaud O., Teodosiu M., Kirilyanov A.V., Wirth C. 2015. Influence of wood density in tree-based annual productivity assessments and its errors in Norway spruce. *Biogeosciences*, 12: 1-13

- Au fost stabilite colaborări internaționale, în special cu institutul Max Planck Biogeosciences (Jena, Germania) prin care au fost publicate 3 articole, și cu institutul Wald Schnee und Landschaft WSL (Zurich, Elveția) (1 articol în evaluare).
- Un articol este în evaluare în grupul Nature (ne-inclus în raportarea științifică din motiv de confidențialitate).
- În total au fost publicate 7 articole ISI și 10 BDI, iar 2 articole sunt în evaluare în reviste ISI, 1 în evaluare într-o revistă BDI.

- 2 articole BDI sunt publicate sau în curs de publicare în revista recentă Forest Ecosystems, creată în anul 2014. Revista este cu evaluare (peer reviewed) și face parte din colecția **SpringerOpen**, beneficiind de vizibilitate directă online (Open Access), articolele publicate fiind libere la descărcare.

1. Introducere. Contextul științific

Importanța pădurilor în stocarea de carbon la nivel planetar nu mai trebuie demonstrată, chiar dacă principalul serviciu al pădurilor rămâne producerea de masă lemnoasă. Masa lemnoasă reprezintă tocmai acel carbon, retras din atmosferă prin fotosinteză, și care este imobilizat în pădure. A fost recunoscut faptul că pădurile europene pot acționa ca rezervoare eficiente de CO₂, NH₄ și NO_x. Determinarea stocului de carbon în pădure este o prioritate pentru toate țările care au participat la negocierile Kyoto.

În ciuda eforturilor recente, contribuția ecosistemelor forestiere la stocarea carbonului nu este cunoscută cu precizie, și nici capacitatea lor de captare și sechestrare. Managementul forestier este mai degrabă optimizat pentru producerea de lemn, sau prezintă scopuri ecologice precum protejarea terenurilor contra diverșilor factori de risc natural sau antropic.

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 Național Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură are misiunea de a studia „Impactul gestiunii terenului asupra balanței regionale de GHG în regiuni selectate, bogate în informații, din Europa”. Scopul 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 ale căror variabilitate este minimizată.

Proiectului de față completează gradientul de gospodărire analizat în Europa 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, cu o frecvență și o intensitate a intervențiilor silvotehnice (lucrări de îngrijire, tratamente silviculturale) contrastante, 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 arboretelor naturale - arborete “de control”, adevărata referință pentru orice studiu de management (gospodărire) care să constituie extremitatea lipsită de influență umană a gradientului; în acest sens, România, cu peste 200000 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 neutre în privința fluxului de carbon. Achiziția de date experimentale din cadrul proiectului permite clarificarea statutului pădurilor naturale din Europa și a comportării acestora vis-à-vis de fluxurile de GHG.

Proiectul are următoarele două obiective :

O1: primul este estimarea dinamicii stocului de carbon aerian în pădurile studiate, cu scopul de a contribui la cunoașterea capacității de stocare a carbonului în păduri și a sensibilității stocării față de managementul forestier. O atenție specială a fost acordată pădurilor naturale (e.g. Teodosiu & Bouriaud 2012), un element de noutate pentru comunitatea științifică deoarece raritatea acestui tip de păduri a limitat disponibilitatea unor estimări, în ciuda faptului că ele reprezintă un punct de referință foarte util.

În cadrul acestui obiectiv au fost dezvoltate următoarele axe de cercetare:

1. Stocarea de carbon în ecosistemele forestiere
2. Efectul managementului asupra stocului de carbon
3. Managementul densității arboretelor
4. Efectul gestionării silvice asupra stocului de carbon
5. Analiza retrospectivă a productivității

O2: al doilea obiectiv privește monitoringul fluxurilor gazelor cu efect de seră din pădure, fiind practic vorba despre estimarea emisiilor de CO₂ din sol. 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.

În cadrul acestui obiectiv au fost dezvoltate următoarele axe de cercetare:

1. Clarificarea aspectelor metodologice și de tehnică a efectuării măsurătorilor
3. Analiza efectului managementului
4. Analiza variabilității spațiale a fluxurilor de CO₂ din sol
5. Analiza datelor de derivă temporală

3. Rezultate

3.1 Stocarea de carbon în ecosistemele forestiere

Pădurile stochează carbon în lemn, stocarea fiind una pe termen lung. Dar lemnul este recoltat și folosit mai departe în produse care, mai devreme sau mai târziu, vor fi arse sau descompuse. Carbonul stocat în lemnul revine așadar în atmosferă. O fracție mică a carbonului rămâne în pădure, care nu va mai fi emisă în atmosferă. Acesta este motivul pentru care s-a emis ipoteza potrivit căruia păduri naturale nu contribuie la reducerea concentrației în CO₂ din atmosferă: carbonul prelevat și depozitat în lemnul este destinat descompunerii. Această idee a fost generalizată chiar și pentru pădurilor cu funcție de producție.

În contextul managementului gazelor cu efect de seră din pădure, această ipoteză reprezintă o negare a rolului pădurilor și a posibilităților de a contribui la efortul mondial de scădere a concentrație de CO₂ din atmosferă.

În cadrul proiectului, au fost studiate productivitățile pădurilor de molid și de fag din România, care ulterior au fost comparate cu cele observate (măsurate) în Germania, pentru păduri ce prezintă condiții ecologice similare. Analiza comparativă a dovedit faptul că productivitatea pădurilor din România este multă mai mică decât cea observată în Germania. Motivul pentru care productivitatea în România nu este la nivelul la care ar trebui să fie este legat de managementul forestier.

Studiul a demonstrat în primul rând faptul că biomasa stocată în arboretele din Germania este de două ori mai mică decât cea din arboretele din România, dar vârsta este de asemenea mult mai mare în România (Figura 1). Relația dintre volumul la hectar și vârsta s-a dovedit a fi foarte asemănătoare de fapt, datele din România fiind doar decalate spre vârste mai mari.

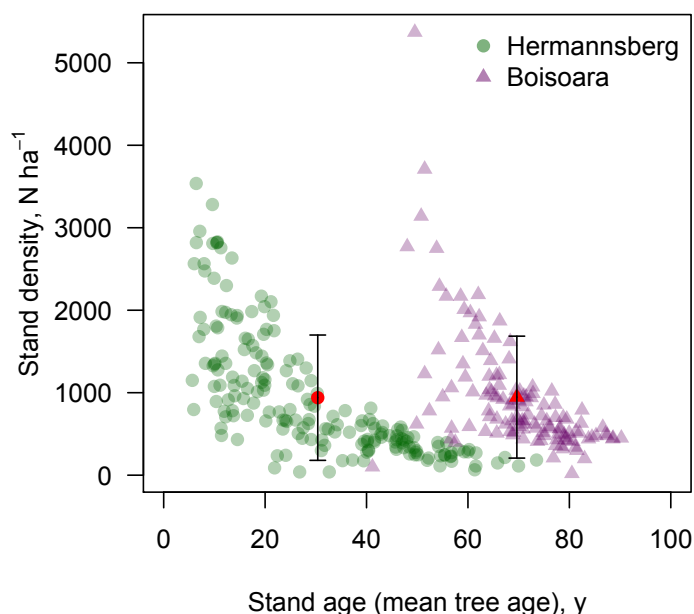


Figura 1. Descreșterea desimeii arboretelor în funcție de vârsta arboretului în Germania (verde) în România (mov). Figura arată faptul că profilul de descreștere este asemănător, dar decalat cu 40 de ani. În perioada acesta de 40 de ani productivitatea pădurilor din România scade puternic față de cea observată în Germania, deși bonitatea stațională este foarte apropiată.

Desimea arboretelor din Germania s-a demonstrat a fi mult mai mică decât cea a arboretelor din România pentru aceeași vârstă: la vârsta de 30 de ani desimea este sub 1000 arbori/hectar, pe când în România desimea la 60 de ani depășește 1000 arbori/hectar.

Există un decalaj foarte important în modalitatea de a reduce desimea arboretelor, ceea ce reprezintă o lipsă de îngrijire a arboretelor tinere în România: practic curățirile și degajările nu sunt efectuate. Astfel, consecințele pentru productivitate sunt foarte mari: productivitatea în România este abia la jumătate din productivitatea observată în Germania. Rezultatele observate la nivel de sit sunt confirmate la nivel de țară (Figura 2): pentru a fi generalizate rezultatele locale, au fost comparate cu valorile de productivitate obținute în cadrul inventarelor forestiere naționale. Astfel, s-a confirmat diferența de productivitate. În Germania, pădurile de molid din clasa a III-a de vârstă au, la nivel național, o productivitate de $19.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, pe când în România ea este $9.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

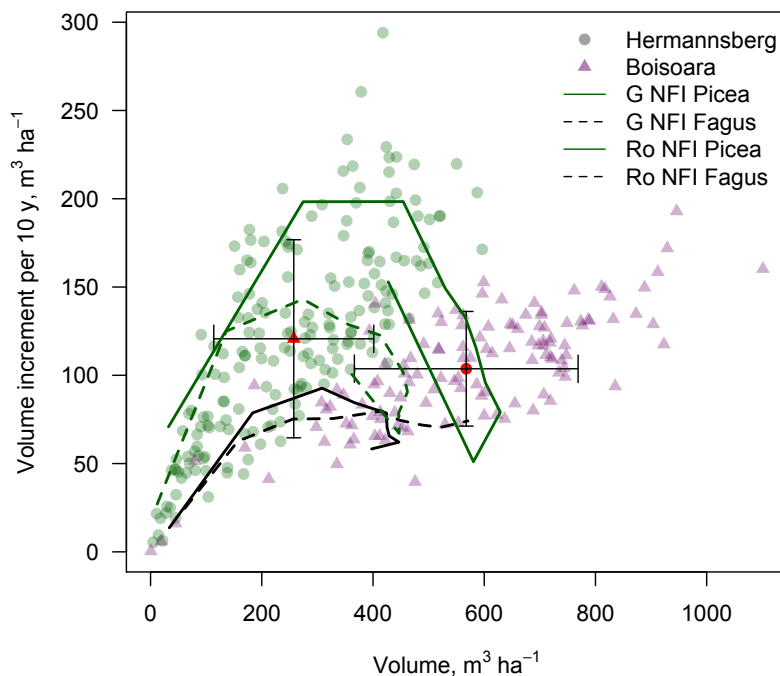


Figura 2. Relația dintre productivitatea și volumul la hectar pentru cele 2 situri de analiză, și în comparare cu datele din inventarul forestier național pentru fiecare țară.

Potrivit studiului, o dată integrate asupra unui ciclu de producție, aceste diferențe se traduc printr-o pierdere de productivitate globală de 50%. În Germania volumul de lemn produs și recoltat într-un ciclu este de $1400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ pe când în România volumul este de $700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Lungimea ciclurilor de producție practicate în România creează o a doua sursă de pierdere de productivitate : un ciclu în Germania este de 80 ani, adică aproape jumătatea ciclului realizat în România. Problemele de regenerare a arboretelor observate în România sunt datorate faptului că la vârsta atât de înaintată a unui arboret, arborii sunt prea bătrâni ca să producă semințe în cantitate suficientă și calitativ bune, ceea ce va compromite realizarea regenerării naturale.

3.2 Efectul managementului asupra stocului de carbon

Analiza efectului managementului forestier asupra stocului de carbon a fost scopul proiectului FP-7 GHG Europa, care s-a bazat pe setul de date constituit în cadrul inventarului forestier național. Analiza a avut obiectul principal pădurile de fag, deoarece ele reprezintă formația forestieră cea mai răspândită în România, iar aceasta specie are o importanță deosebită de mare și pentru toată Europa.

Studiul început în cadrul proiectului FP-7 a fost preluat și adâncit, iar diverse aspecte metodologice au fost îmbunătățite, precum cuantificarea biomasei aeriene a arboretelor studiate, estimarea productivității și descrierea managementului forestier. Astfel, managementul forestier a fost descompus în două tipuri de factori, unul fiind natura intervenției silviculturale efectuate, al doilea fiind intensitatea intervenției. În cadrul proiectului FP-7 au fost realizate niște încercări pentru a cuantifica intensitatea intervențiilor, dar acesta nu au fost concludente. Ele erau bazate asupra indiciilor de densitate relativă, definite în baza legilor de auto-răritură, care reprezintă nivelul de densitate maximă care o poate suporta un arboret forestier fără să aibă o mortalitate naturală a unor indivizi. Analizele realizate în cadrul proiectului ID au lărgit analizele, includând și indiciul de perturbare antropică a arboretului, numit LUDI (Luyssaert et al. 2006).

Analizele realizate au dovedit faptul că (Figura 3):

- nu se observă diferențe semnificative a biomasei aeriene între tipurile de regim, adică regimul arboretului nu afectează capacitatea unui arboret de a stoca carbon în lemn;

- biomasa aeriană stocată nu este afectată de desimea arboretului. Acest lucru dovedește faptul că exploatarea forestieră realizată în cursul ciclului unui arboret nu reduce biomasa decât temporar, arboretele compensează pierderea foarte repede;
- în mod surprinzător, pădurile protejate integral nu au o biomasă aeriană semnificativ mai mare decât pădurile cultivate.

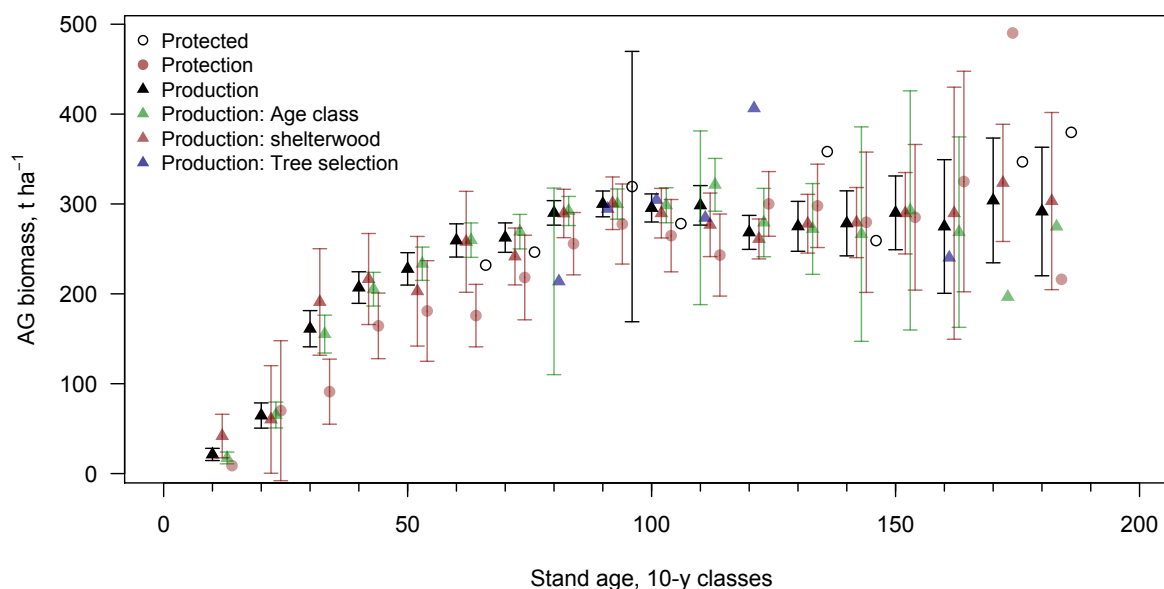


Figure 3. Compararea biomasei în picioare pe clase de vârstă pentru cele trei tipuri diferite de gestionare a pădurilor și a trei tratamente. Liniile verticale reprezintă 1 SD și sunt arătate numai pentru grupuri constituite de mai mult de 5 suprafețe de probă.

Rezultatele analizelor sunt prezentate într-un articol destinat unei reviste ISI din lista roșie urmând a fi trimis spre evaluare într-un termen scurt.

3.3 Managementul densității arboretelor

Aceste rezultate sunt foarte importante pentru că ele deschid noi posibilități de management a gazelor cu efect de seră și justifică pe deplin realizarea proiectului. Prin acest studiu am demonstrat faptul că exploatarea pădurilor în stadii juvenile (timpuriu) permite obținerea unei productivități mai ridicate al arboretului decât exploatarea în stadii mai târzii. Recoltarea de material lemnos în stadii juvenile se face prin lucrări de curățiri și rărituri. Ele sunt în cele mai multe circumstanțe

puțin rentabile, pentru că lemnul extras nu are o valoare economică ridicată. Mecanizarea acestor intervenții este o opțiune foarte avantajoasă, care este practică de mult timp în țările nordice. Arborii tineri, care sunt numeroși și de mici dimensiuni, se pretează foarte bine exploatareii integrale, adică fără a se deosebi sortimentele clasice, prin tocătură. Astfel, arbori tineri care nu pot fi puși în valoare prin metode clasice pot contribui la furnizare de lemn pentru tocătură, care răspunde foarte bine nevoilor în creștere de biomasă pentru energie. Arborii care rămân pe picior în arboret își măresc creșterea ca urmare a răriturilor realizate, și vor compensa foarte repede scăderea stocului de carbon în pădure, ca urmare a tăierilor realizate, dar productivitatea crescând, cantitatea totală de carbon produsă va fi în finalul ciclului mai mare.

Recoltarea de lemn este așadar un factor care permite să fie pus la dispoziție material lemnos, care se substituie produselor bazate pe resurse fosile, dar permite mai departe și sporirea productivității, adică crește absorbția de carbon pentru că este direct proporțională cu productivitatea.

3.4 Analiza retrospectivă a productivității

Analiza productivității arboretelor a fost de multă vreme un subiect de studiu deoarece o fereastră temporală lungă este necesară pentru a trage concluzii pertinente. Doar două alternative există:

Analiza retrospectivă a productivității se bazează pe metoda dezvoltată în cadrul proiectului în parteneriat cu cercetători din Elveția (Babst et al. 2014). Această metodă a fost aplicată și citată în mai multe studii (e.g. Charney et al. 2016). În urma acestui articol s-a și elaborat un articol de sinteză, un review despre ciclul de carbon global văzut prin prisma seriilor dendrocronologice: A tree-ring perspective on the terrestrial carbon cycle, 2014, *Oecologia* 176: 307-322. În acest articol au participat autori specializați și recunoscuți în domeniu, pentru a face sinteza cunoștințelor actuale. Autorii au oferit și o perspectivă asupra folosului potențial al seriilor dendrocronologice pentru cercetări curente sau viitoare.

4. Respirația solului

4.1 Aspecte metodologice

În cadrul proiectului au fost dezvoltate recomandări în privința metodei de prelevare a gazelor cu efect de seră din sol. Metoda de prelevare a gazelor cu efect de seră poate fi aplicată fără modificare asupra oricărui tip de sol, adică inclusiv un alt sol decât solul forestier.

În urma proiectului am ajuns la concluzia că măsurătorile cromatografice sunt mai puțin eficiente și fiabile decât cele ale unui dispozitiv portabil. Precizia estimării fluxurilor gazelor detectate de cromatograf este însă mai mare decât cea a unui dispozitiv portabil. Însă stocarea gazului în fiole nu este o soluție fiabilă, mai ales pe o perioadă de câteva săptămâni. Am ajuns la concluzia că există unele pierderi chiar dacă septumul fiolei nu a fost perforat. În acest context recomandăm realizarea măsurătorilor fluxului dioxidului de carbon prin utilizarea unui dispozitiv portabil care nu presupune stocarea gazului prelevat, deci folosind așa numita tehnica camerelor dinamice (Pumpanen et al. 2004). Singurul inconvenient constituie determinarea doar a unui singur gaz cu efect de seră (dioxidul de carbon), comparativ cu metoda camerelor statice, ce folosește gaz-cromatograf. Concentrațiile foarte mici determinate în laborator la protoxidul de azot, lucru consemnat și în literatura de specialitate (Eickenscheidt N. & Brumme R., 2012), confirmă necesitatea folosirii unei metode precise de stocare a gazului în teren, lucru care până în prezent nu s-a reușit. Totuși determinările la nivel temporal și spațial a fluxului de dioxid de carbon din sol de pădure folosind analizor de gaze portabil EGM-4 (PP Systems, USA) a avut rezultate bune, comparative cu alte studii.

4.2 Analiza efectului managementului

Înțelegerea proceselor ce controlează fluxul de dioxid de carbon din sol este necesar pentru a prezice cu acuratețe valorile în viitor ale concentrației de dioxid de carbon și ale circuitului global

al carbonului. Dinamica fluxului poate fi determinată de practicile de management, ce pot avea implicații asupra intrărilor și ieșirilor de C în atmosferă. Studiile au arătat o dependență între densitatea arborilor și fluxul de dioxid de carbon și în același timp o legătură cu fiziologia arborilor. Mai mult de atât, intensitatea competiției pentru nutrienți și lumină corelată cu gradul de dezvoltare al arborilor constituie factori indirecti ce afectează respirația solului.

În perioada aprilie - decembrie 2015 s-au întreprins un număr de 16 campanii de măsurători de fluxuri în cadrul a trei suprafețe pentru care avem intensități diferite de intervenție (martor 0%, forte I - 7%, forte II – 14%). Măsurătorile efectuate au înregistrat valoarea minimă de $0.8 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ în luna aprilie în SP1 (martor) și valoarea maximă de $6.3 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ în luna iulie pentru SP II (forte II). Mai mult de atât, valoarea medie înregistrată a fluxului de CO_2 variază între $1.7 - 3.0 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, lucrul consemnat și de alte cercetări, precum Epron et al (1999).

Conform datelor obținute din măsurători putem sugera o influență ușor pozitivă a intensității intervenției asupra ratelor respirației din sol. De exemplu, în suprafața experimentală unde suprafața de bază sau volumul are valoarea cea mai mare s-a constatat o creștere a intensității respirației solului, datorat biomasei rădăcinilor cât și condițiilor favorabile de descompunere a materiei organice. Efectul separat al factori abiotici (temperatura și umiditate din sol) și biotici (structura pădurii implicit prin distribuția și densitatea rădăcinilor, dar și activitatea microorganismelor) nu a putut fi evaluat în cadrul metodologiei actuale (Bragă C, 2016). Astfel s-a considerat că este necesar analiza fluxurilor de dioxid de carbon în suprafețe cu indici de intensitate mai mari dar totodată și analize complexe în sol, ca de exemplu determinarea biomasei rădăcinilor, estimarea respirației heterotrofe, ca și cuantificări ale unor compuși cu azot, ce favorizează în general fluxurile de dioxid de carbon. Alte studii (Ma et al, 2004) au relatat că practicile silvice, cu impact în perturbarea procesului de intrare-iesire de carbon din sol, pot avea un rol de echilibru în contextul global al schimbărilor climatice.

4.3 Analiza variabilității spațiale a fluxurilor de CO_2 din sol

Respirația solului este afectată atât de factori abiotici cât și de factori biotici. Dacă variabilitatea temporală este studiată și înțelesă mai bine, pentru variabilitatea spațială acest lucru este mai puțin înțeles și mai greu de cuantificat, mai ales datorită multitudinilor de factori care influențează acest proces. Variabilitatea spațială a fluxului de dioxid de carbon poate fi măsurată și interpretată la diferite scări, de la nivelul centimetrilor la cel al hectarelor, necesitând un număr mare de probe,

care poate limita anvergura măsurătorilor datorită tehnicii de măsurare folosite. Potențialii factori care pot afecta variabilitatea spațială a fluxului de dioxid de carbon implică măsurători complexe la nivelul solului.

Analiza variabilității fluxurilor de CO₂ din sol s-a bazat asupra unui experiment al cărui scop a fost de a cuantifica variabilitatea spațială în condițiile reale ale fluxurilor solului la scara unui arboret, adică 2 ha. Obiectivul principal era de a estima valoarea fluxului mediu și varianța pentru un arboret de fag cu vârsta de 85 de ani, fiind considerat reprezentativ pentru arboretele studiate în cadrul proiectului. Pe întreaga suprafață a arboretului condițiile pedoclimatice sunt omogene, și totodată nu sunt evidențe substanțiale ale variabilității spațiale a intervențiilor silviculturale trecute.

Pe dispozitivul experimental s-a înființat o rețea sistematică de măsurate pe un pas de 25 x 25 m. La fiecare nod al gridului sistematic sunt localizate suprafețele primare de probă constituite de 4 repetiții, considerate a fi unități de eșantionaj secundare. Fluxul carbonului din sol a fost măsurat în două momente asupra rețelei astfel constituite: o dată la începutul sezonului de vegetației (iunie), atunci când umiditatea solului este încă mare, și o dată spre finalul sezonului (august) când umiditatea a scăzut. Măsurătorile au fost realizate cu ajutorul analizorului de gaze portabil EGM-4 (PP Systems, USA). Complementar acestuia, s-a folosit camera de respirație SRC-1 pentru determinarea fluxului și senzorul de temperatură STP, folosit în determinarea temperaturii din sol. O dată cu fluxul CO₂ din sol au fost măsurate în ambele momente temperatura solului pe orizontul superficial (primii 5 cm, pentru că ele reprezintă zona cea mai activă) și umiditatea solului pe o adâncime de 20 cm cu ajutorul dispozitivului TDR 300 (Spectrum Technologies, Inc.) care măsoară umiditatea volumică a solului integrată pe cele 20 cm.

Deoarece realizarea măsurătorilor de flux sunt costisitoare ca timp, măsurarea întregului grid nu poate fi realizat decât în mai multe zile, ceea ce ridică problema existenței unor derive temporale a nivelului fluxului. Pentru a testa dacă astfel de derivă temporală există și poate ascunde sau poate avea interacțiuni cu estimarea variabilității spațiale cercetate, măsurătorile au inclus o analiză specifică de derivă. Principiul este de a măsura repetitiv și periodic, pe toată durata de desfășurare a măsurătorilor pe rețeaua completă, o suprafață de probă dată, luată ca referință.

4.4 Analiza datelor de derivă temporală

O suprafața de probă din rețea a fost măsurată repetitiv timp de două zile. Șirul de valori a fluxurilor măsurate permite analiza derivei temporale prin detectarea prezenței unei tendințe. Măsurătorile realizate în dispozitivul experimental demonstrează faptul că valorile fluctuează asemănător cu o valoare medie globală (Figura 4), fără a urmări o pantă sau un motiv decernabil. Abaterile standard sunt destul de mari și confirmă ideea de unei variabilități aleatorii. Astfel s-a putut concluziona faptul că nu există o derivă lineară sau curvilineară temporală în măsurătorile repetate. Așadar este foarte puțin probabil ca analizele spațiale să fie influențate de o variabilitate temporală legată de faptul că suprafețele de probă nu pot fi măsurate simultan.

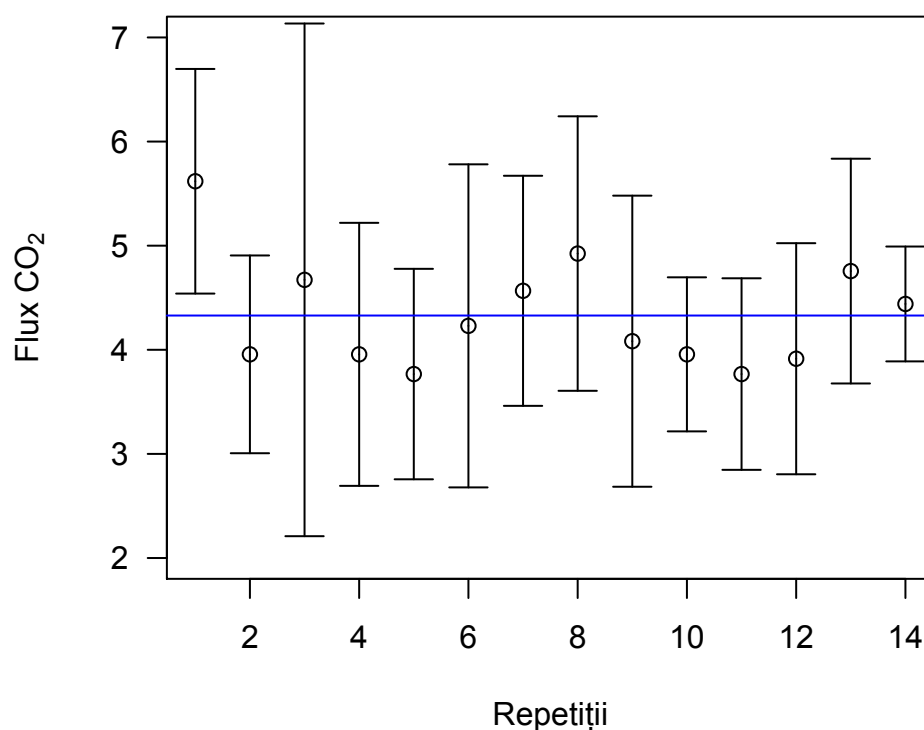


Figura 4. Analiza derivei temporale: valoarea medie a fluxurilor măsurată în mai multe repetiții oscilează alături de valoarea medie globală (reprezentată de linia albastru).

Valorile la nivel de suprafața principală sunt obținute prin calculul valorilor medii simple a măsurătorilor realizate la nivel de fiecare repetiție. Valoarea medie la nivel de dispozitivul (rețeaua) este de asemenea media mediilor. În ciuda faptului că valorile fluxurilor sunt rezultatul a mai multor repetiții ($N=330$), analizele au dovedit faptul că variabilitatea spațială este foarte mare în ambele date de măsurare. Astfel, coeficientul de variație la nivelul întregului dispozitiv este de 37%. În iunie fluxul mediu a fost de 5.12 ± 1.06 iar în august de 6.41 ± 2.42 (± 1 Std Dev). Prima ipoteză așa numită intrinsecă a variabilelor aleatoriu spațiale este de a avea o distribuție spațială uniformă: speranța matematică a mediei calculată asupra unui grup ales aleatoriu trebuie să fie constantă pe întregul dispozitiv. Tendințele spațiale sunt așadar analizate prin metode simple de regresie lineară. Valorilor fluxurilor nu au arătat existența unor tendințe particulare. Astfel s-a putut calcula semi-variograma empirică a valorilor fluxurilor (Figura 5). În ambele ocazii, semi-variograma a arătat faptul că datele nu prezintă o structură spațială.

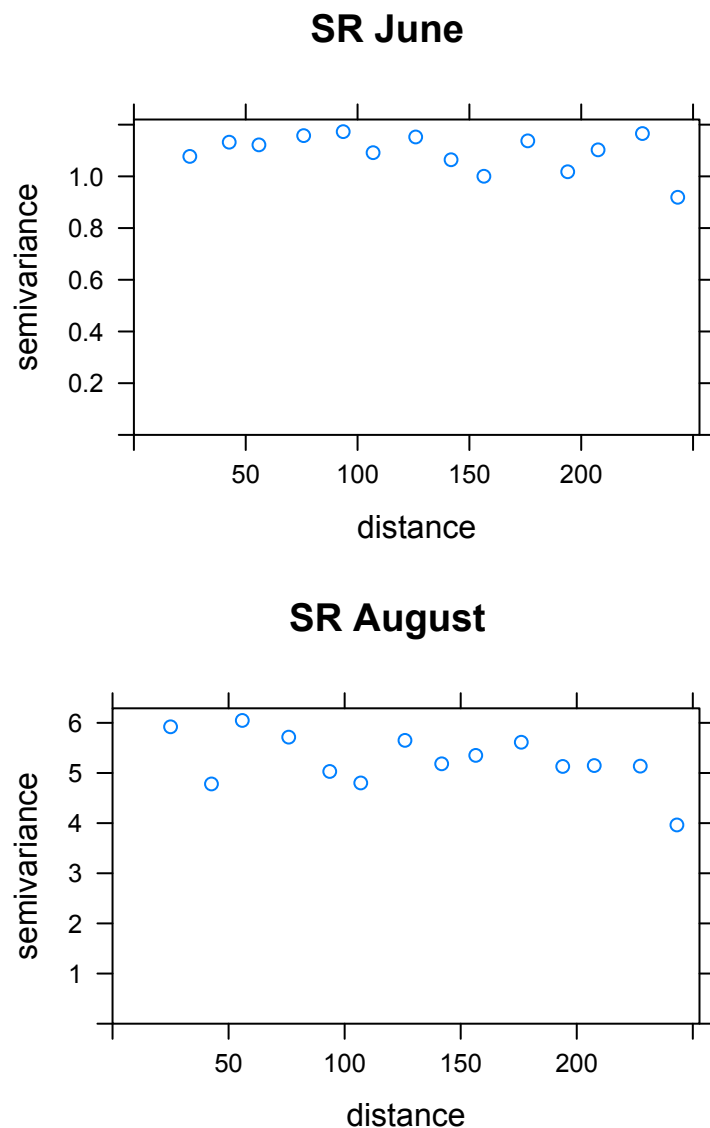


Figura 5. Semivariogramele experimentale obținute în urma măsurărilor din Iunie și August. Varianța nu crește cu distanța dintre punctele de măsurare, ceea ce demonstrează lipsa unei structuri spațiale.

Analizele realizate prin acest experiment au demonstrat gradul foarte ridicat de variabilitate spațială a fluxurilor din sol, și totodată absența structurii spațiale. Condițiile de mediu, prin determinările de temperatură și umiditate din sol au arătat o structură spațială clară. Mai mult de atât, absența corelației între valorile fluxului și temperatura sau umiditatea din sol, dovedește faptul că variabilitatea fluxului de CO_2 din sol nu poate fi modelată și nici aproximat spațial în baza unor covariabile simple. Necesitatea măsurării unor noi parametri ce exprimă structura pădurii (DBH,

g, N) sau variabilitatea nutrienților și a biomasei din sol, este necesară pentru a asigura modele mai precise privind variabilitatea spațială a respirației solului. Aceste măsurări vor fi finalizate după terminarea proiectului pentru a fi utilizate pentru redactarea unui articol.

În baza măsurărilor de flux foarte numeroase realizate în cadrul experimentului s-a demonstrat gradul foarte ridicat de variabilitate a fluxurilor solului la nivel de arboret. Calculul numărului de suprafețe de probă care sunt necesare pentru ca valoarea medie la nivelul întregului arboret studiat să fie cuprins într-un interval de $\pm 5\%$ ne-a condus la o valoare de peste 1000 de suprafețe, ceea ce practic nu este fezabil.

5. Concluzia analizelor realizate în cadrul proiectului

Cercetările realizate în cadrul proiectului au produs rezultate fundamentale și concludente asupra subiectului studiat. Articolele publicate în reviste specializate au permis să răspundă întrebărilor adresate de proiect:

- este posibil gestionarea gazelor cu efect de seră? Astfel, în articolul Bouriaud et al. 2016 se demonstrează că gestionarea silvică contribuie la sporirea productivității pădurilor. Productivitatea condiționează intensitatea capacității de captare de carbon. Extragerea de lemn sporește productivitatea arborilor care rămân și furnizează materialul lemnos ce contribuie la reducerea folosirii materialelor și energiilor fosile.
- variabilitatea fluxului gazelor cu efect de seră din solul forestier este atât de mare încât nu se poate detecta un efect direct, cuantificabil, al managementului forestier. Acest rezultat este argumentat în articolul în curs de finalizare. Complexitatea și cuantificarea factorilor ce contribuie la variabilitatea acestui semnificativ proces în circuitul carbonului din ecosistemele forestiere rămâne un obiectiv important de rezolvat în cercetările viitoare.
- în cazul pădurilor naturale, contribuția efortului mondial de reducere a concentrației atmosferice în CO₂ este limitată la stocarea temporară a carbonului. Prin producția de lemn, pădurile cultivate contribuie pe de o parte prin mecanismul de substituie a energiilor iar pe altă parte prin acumularea de biomasă.

Datele adunate în cadrul proiectului sunt prelucrate în continuare și încă mai sunt articole în redactare care vor fi bazate pe datele proiectului și vor face referire la proiect în secțiunea Acknowledgement. Dincolo de date, proiectul a fost foarte util deoarece a pus unele baze pentru studii ulterioare, prin definirea unor metodologii de lucru.

6. Recomandări cu privire la gestionarea stocului de carbon prin operațiuni silviculturale

Reducerea desimii arboretelor în stadiul juvenil, prin curățiri și rărituri intense, permite sporirea productivității arborilor și arboretelor și optimizarea funcției de stocare a carbonului. Lemnul de mici dimensiuni obținut în urma acestor intervenții silvice este potrivit nevoilor de masă lemnoasă pentru bioenergie, dar și utilizării de către comunitățile rurale pentru nevoile gospodăriei. Prin producerea de bioenergie, recoltarea de lemn reprezintă o înlocuire a unor cantități de combustibil fosil (principiul de substituire care stă la baza politicilor stimulare a utilizării energiilor regenerabile). Scăderea stocului de carbon care rezultă din recoltarea masei lemnoase prin curățiri și rărituri intense în stagiile juvenile este mai mult decât compensată de productivitatea sporită a arboretelor.

Bibliografie

Babst, F., Bouriaud, O., Alexander, R., Trouet, V., & Frank, D. (2014). Toward consistent measurements of carbon accumulation: A multi-site assessment of biomass and basal area increment across Europe. *Dendrochronologia*, 32(2), 153-161.

Charney, N. D., Babst, F., Poulter, B., Record, S., Trouet, V. M., Frank, D., ... & Evans, M. E. (2016). Observed forest sensitivity to climate implies large changes in 21st century North American forest growth. *Ecology Letters*, 19(9), 1119-1128.

Eickenscheidt, Nadine, and Rainer Brumme. "NO_x and N₂O fluxes in a nitrogen-enriched European spruce forest soil under experimental long-term reduction of nitrogen depositions." *Atmospheric environment* 60 (2012): 51-58.

Epron, Daniel, et al. "Soil CO₂ efflux in a beech forest: dependence on soil temperature and soil water content." *Annals of Forest Science* 56.3 (1999): 221-226.

Luyssaert, S., et al. "Quantifying land use and disturbance intensity in forestry, based on the self-thinning relationship." *Ecological Applications* 21.8 (2011): 3272-3284.

Ma, Siyan, et al. "Short-term effects of experimental burning and thinning on soil respiration in an old-growth, mixed-conifer forest." *Environmental Management* 33.1 (2004): S148-S159.

Pumpanen, Jukka, et al. "Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO₂ efflux." *Agricultural and Forest Meteorology* 123.3 (2004): 159-176.