

# Raport stiintific

---

## Proiectul “Planificarea strategica forestiera la nivel de arbore folosind tehnici de teledetectie”

*Perioada: 1 ianuarie – 4 decembrie 2013*

### Rezumatul etapei a II-a

A doua etapa a proiectului s-a concentrat pe doua sectoare principale: 1) achizitia de date necesare planificarii forestiere, si 2) dezvoltarea modelului si programului de calculator necesar pentru amenajarea padurilor. In aceasta etapa s-a terminat colectarea datelor de teledetectie, s-a definitivat formalizarea problemei de amenajare, si s-au determinat formulele necesare estimarii cantitatii de produse ce pot fi obtinute din trunchiul fiecarui arbore. Tot in aceasta etapa s-a definitivat si procedura de identificare a arborilor folosind date LIDAR.

### Introducere

Dezvoltarea accelerata asociata cu societatea post-industriala identificata ca fiind responsabila nu numai de degradarea mediului (Toffler 1980) dar si de epuizarea capacitatii limitate de absorbtie a planetei a diferitelor schimbari induse de dinamica sociala (Meadows 1972) a condus la investigatii globale ale mediului (Contant and Ortolano 1985, Duinker and Kennedy 1994, Bolstad and Swank 1997, Dube et al. 2006, Duinker and Greig 2007). Analiza integrala a mediului a fost posibila datorita ordinatorilor care au facilitat executia de calcule complexe si ierahizate in timp real. Dintre ecosistemele terestre cele mai studiate folosind perspective integrate, padurea este probabil cea mai analizata (Spaling and Smit 1993, Spaling et al. 1994, Kalff 1998, Hegmann et al. 1999, Pratt 2000, Rohner and Demarchi 2000, McGarigal et al. 2001, Nitschke 2008, Gunn and Noble 2011). Varietatea problemelor de mediu si existenta unui cadru formal de analiza a proceselor folosite la descrierea mediului a condus la investigatii integrale care foloseau ca unitati elementare de studiu unitati cu o suprafata predefinita si au fost si sunt inca folosite in amenajarile de mediu, cum ar fi cele silvice si funciare.

### Obiectivul proiectului

Proiectul “Planificarea strategica forestiera la nivel de arbore folosind tehnici de teledetectie” are ca obiectiv principal dezvoltarea unei proceduri integrative de amenajari silvice ce foloseste ca unitate elementara unitati masurate cu tehnici de teledetectie, in particular LIDAR si stereo-analiza a imaginilor satelitare sau aeriene. O particularitate a proiectului este utilizarea unitatilor masurate negrupate, cum ar fi sumarea la nivel de arboret, sau transformate, cum ar fi normalizarea.

Un al doilea obiectiv al proiectului este dezvoltarea unui software care sa permita managementul integral de mediu plecand de la informatia de teledetectie si incorporand constrangerile impuse de gospodaria durabila a padurii, in mod specific limitari de mediu, sociale si economice.

## Activitatile Etapei a II-a

In etapa a II-a a proiectului au fost prevazute demararea a trei noi activitati si terminarea a doua activitati incepute in prima etapa. Cele cinci activitati, listate mai jos, au fost fiecare insotite de rapoarte tehnice:

1. Executarea zborului pentru achizitionarea de date LIDAR, stereofotografii si ortofotografii;
2. Conceperea si implementarea esantionajului;
3. Executia masuratorilor de teren necesare dezvoltarii ecuatiilor de contur;
4. Stabilirea detaliilor necesare problemei de planificare forestiera, in special alocarea produselor la nivel de arbore si arboret, complementar constringerilor sociale, economice si de mediu asociate cu amenajarile forestiere;
5. Demararea dezvoltarii de software pentru planificare forestiera pentru PC, dedicate operatorilor silvici cu acces limitat la resurse computationale puternice (i.e., supercomputer).

Activitatile detaliate precum si responsabilitatile fiecarui partener sunt urmatoarele (Table 1), cu mentiunea ca simbolurile din table sunt CO pentru coordinator (care este ICAS Bucuresti), P1 pentru INCD-Stiinte Biologice Bucuresti, P2 pentru Universitatea din Suceva, si P3 pentru OS Codrii Beiusului.

**Table 1. Activitatile programate pentru anul doi al proiectului, precum si responsabilitatile fiecarui partener**

| Activitatea                                                                        | Atributiile partenerilor                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| II1. Finalizare achizitionare date                                                 | CO: Zbor, post-procesare date LIDAR si ortofoto<br>P1: Prelucrare primara LIDAR                                                                      |
| II2. Identificarea produselor care pot fi obtinute din fiecare trunchi             | CO: Descrierea dendrometrica a trunchiului<br>P2: Evaluarea economica a produselor<br>P3: Stabilirea produselor                                      |
| II3. Procesare date LIDAR si stabilirea esantionajului pentru calibrare/verificare | CO: Procesarea datelor LIDAR si stabilirea esantionajului<br>P1: Cod procesare LIDAR<br>P3: Procesare date LIDAR                                     |
| II4. Executie masuratori de teren                                                  | P3: Executie masuratori                                                                                                                              |
| II5. Dezvoltare ecuatii de contur                                                  | CO: Stabilirea modelului matematic<br>P1: Cod ecuatiei de contur<br>P3: Testarea modelelor de contur                                                 |
| II6. Preparare input pentru amenajari forestiere                                   | CO: Stabilirea si verificarea platformei pentru introducerea de date amenajistice<br>P2: Pregatire input economic<br>P3: Pregatire date amenajistice |
| II7. Reprezentarea obiectivelor si constringerilor SFM                             | CO: Dezvoltarea problemei amenajistice<br>P2: Furnizarea detaliilor economice<br>P3: Implementarea si dezvoltarea problemei de amenajare             |
| II8. Scriere cod pentru parallel-computing                                         | CO: Furnizare parametri pentru cod<br>P1: Scriere cod<br>P2: Furnizare parametri economici pentru cod                                                |

### II.1. Finalizare achizitionare date LIDAR, multispectral-, stereo- si ortofotografii

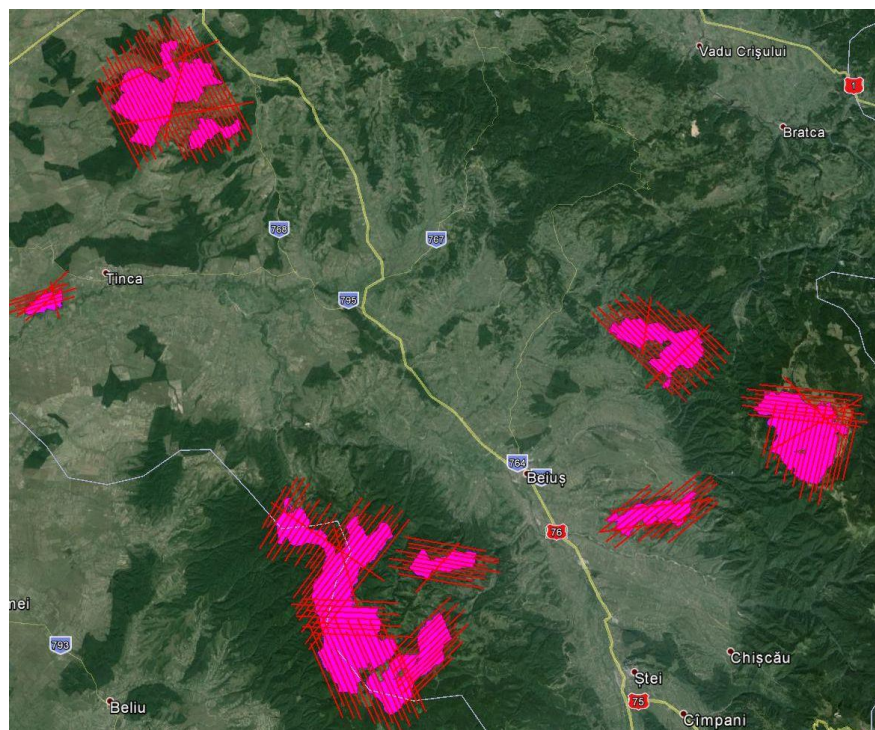
Compania care a colectat datele a fost Primul Meridian srl. Primul Meridian srl a folosit un avion Diamond DA 42 MPP echipat cu aparatura fotogrametrica pentru recoltarea de imagini si informatie

LIDAR instalate frontal (Figura 1). Imaginile au fost colectate cu o camera Vexcel Ultracam X iar datele LiDAR au fost recoltate cu un scanner RIEGL VQ 250.



**Figura 1. Avion Diamond DA 42 MPP echipat cu aparatura fotogrametrica instalata frontal**

Activitatea II.1 (Finalizare achizitionare date) a fost efectuata cand ecosistemul forestier era in perioada de vegetatie activa, stagiul care permite identificare speciilor folosind semnatura/amprenta spectrala a fiecarei specii. Achizitia de date de teledetectie s-a efectuat pe durata a cinci zile (i.e., Iunie 13-17, 2013) intrucat rezolutia ridicata a imaginilor (i.e., 15 cm) iar densitatea de puncte LIDAR peste 10 puncte / m<sup>2</sup> a necesitat zboruri multiple (Figura 2).



**Figura 2. Planul de zbor. Liniile rosii reprezinta traiectoriile de zbor pe care s-au colectat date iar suprafetele roz reprezinta suprafetele de padure studiate.**

Datele au fost livrate la Institutul de Cercetari si Amenajari Silvice (ICAS) in August 2013. Datele au fost procesate in principal de catre ICAS si INCD-Stiinte Biologice pentru a permite dezvoltarea de ecuatii de curbe de contur pentru arbori. Prelucraea primara a constat in urmatoarele activitati:

- Atasarea sistemelor de coordonate imaginilor sau fisierelor las fara coordonate;
- Mozaicarea imaginilor;
- Creerea fisierelor block necesare interpretarii stereo-fotogrametrice;
- Creera proiectelor GIS care permit procesarea informatiei LIDAR;
- Verificare de erori a informatiei LIDAR.

## II.2. Identificarea produselor care pot fi obtinute din fiecare trunchi de arbore

Identificarea produselor ce pot fi obtinute din trunchiul unui arbore este bazata pe curba de contur a arborelui, si pe presupunerea ca sectiunea transversala a arborelui este circulara. Doua proceduri au fost dezvoltate in cadrul proiectului, una bazata pe cunoasterea unor puncte de referinta de-a lungul trunchiului care pot fi observate din doua perspective ale arborelui aflate la 180°, si una generala, care nu necesita indentificarea de elemente pe trunchi, dar care se bazeaza pe verticalitatea trunchiului. Prima procedura (i.e., doua perspective opuse asupra arborelui) se poate aplica la orice arbore fara curbura sau defecte, intrucit considera explicit inclinarea arborelui. Din pacate aceasta procedura desi exacta necesita complicate pregatiri ale arborelui pe teren, ceea ce limiteaza aplicabilitatea acestei metode. A doua procedura este foarte rapida (i.e., in general 20 min pe arbore) dar este foarte sensibila la eroarile de verticalitate ale arborelui. Pentru a reduce aceasta eroare s-au executat fotografii de ambele parti ale arborelui, pentru a permite compararea curbele rezultate din fiecare masuratoare. Formulele de calcul a diametrului si inaltimei pe fusul arborelui, cele doua atribute ce definesc curba de contur a fusului, depind de procedura folosita si de geometria lentilei sferice. Proiectia lentilei este unghi equisolid, ceea ce a condus la urmatoarele formule, in raport de procedura:

Cu referinte pe fus:

$$h = \frac{l \sqrt{(\tan(2 \arcsin(r_1 / 2 f)) - \tan(2 \arcsin(r_2 / 2 f)))^2 + 4}}{\tan(2 \arcsin(r_1 / 2 f)) + \tan(2 \arcsin(r_2 / 2 f))} \quad \text{Equation 1}$$

Fara referinte pe fus:

$$h = \frac{l}{\tan(2 \arcsin(r / 2 f))} \quad \text{Equation 2}$$

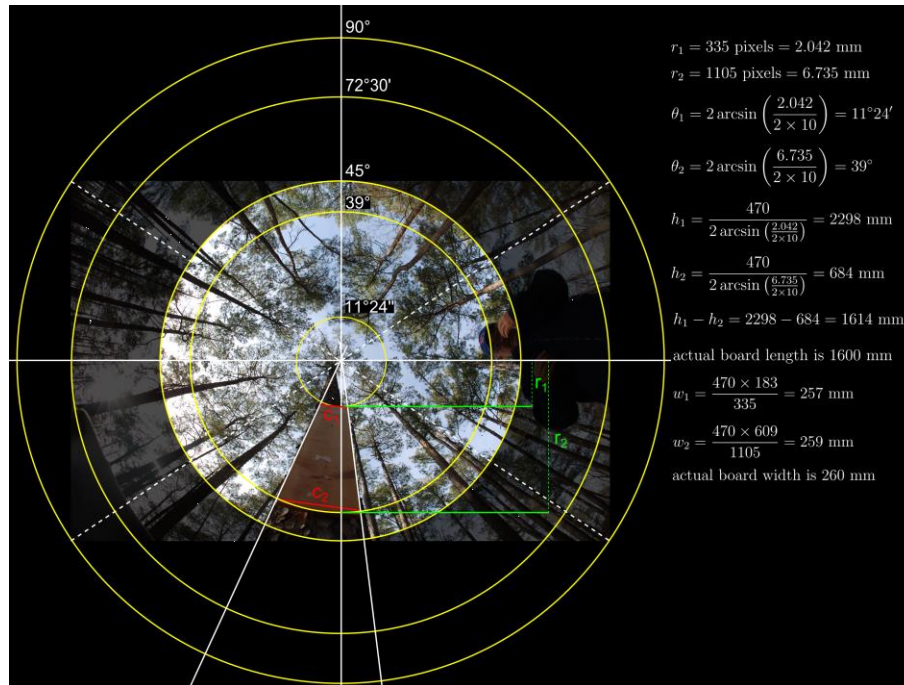
unde  $f$  – este distanta focala a lentilei,

$r, r_1, r_2$  – este distanta din centrul lentilei la punctul de pe fus. Indicele reprezinta cele dau parti opuse, sau executia numai a unei poze,

$l$  – distanta orizontala dintre centrul lentilei si centrul arborelui.

Detaliile de masurare pe imagine sunt prezentate in Figura 3:





**Figura 3. Masuratorile necesare de efectuat pe fotografia emisferica**

Produsele din arbore au fost estimate folosind limitele indicate de catre OS Codrii Beiusului, limite similare cu cele din FVS (Stage 1973), varianta southern. Aceste limite sunt:

- Lemn de foc sau pentru fibra/celuloza (pulpwood): diametru minim la 1.3 m: 15 cm
- Cherestea: diametru minim la 1.3 m: 30 cm

### II.3. Procesare date LIDAR si stabilirea esantionajului pentru calibrare/ verificare

Datele LIDAR sunt folosite pentru estimarea a patru atribute ce descriu arborii individual: inaltimea totala, inaltimea la baza coroanei, aria coroanei si perimetrul coroanei. Aceste atribute vor fi folosite ca variabile independente in dezvoltarea de ecuatii pentru curbele de contur. Estimarea acestor atribute se bazeaza pe identificarea precisa a pozitionarii arborilor. Prin urmare patru algoritmi au fost folositi in identificarea arborilor: 1) algoritmul dezvoltat de Dr. Popescu, care este implementat in programul TreeVaw (Kini and Popescu 2004), 2) algoritmul derivat din Chen si Vese (Chen and Vese 2001), 3) algoritmul bazat pe asemanarea coroanei arborilor cu un bazinet hidrografic, si 4) un algoritmul nou dezvoltat de Strimbu si Strimbu (Strimbu and Strimbu 2013).

Metoda de segmentare bazata pe rezultatele raportate de Chen si Vese (C-V) face segmentarea unei imagini prin detectia marginilor diferitelor obiecte; acest lucru se face prin curbe evolutive. Se presupune ca avem obiectele de interes si background, iar modelul gaseste obiecte intr-o imagine fara a defini gradientul. Lucrarea Chen-Vese descrie algoritmul in felul urmator:

1. Initialize  $\phi^0$  by  $\phi_0$ ,  $n=0$

2. Compute  $c_1(\phi^n)$  and  $c_2(\phi^n)$  by

$$c_1(\phi) = \frac{\int_{\Omega} u_0(x, y) H(\phi(x, y)) dx dy}{\int_{\Omega} H(\phi(x, y)) dx dy} \quad \text{and} \quad c_2(\phi) = \frac{\int_{\Omega} u_0(x, y) (1 - H(\phi(x, y))) dx dy}{\int_{\Omega} (1 - H(\phi(x, y))) dx dy}$$

3. Solve the PDE in  $\phi$  from

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi) \left[ \mu \operatorname{div} \left( \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - \nu - \lambda_1 (u_0 - c_1)^2 + \lambda_2 (u_0 - c_2)^2 \right] = 0$$

Equation 3

$$\text{In } (0, \infty) \times \Omega, \quad \phi(0, x, y) = \phi_0(x, y) \quad \text{in } \Omega, \quad \frac{\delta_{\varepsilon}(\phi)}{|\nabla \phi|} \frac{\partial \phi}{\partial \vec{n}} = 0 \quad \text{pe } \partial \Omega$$

where  $\vec{n}$  is the exterior normal to the boundary  $\partial \Omega$ , and  $\partial \phi / \partial \vec{n}$  is the normal derivative of  $\phi$  at the boundary.

4. Reinitialize  $\phi$  locally to the signed distance function to the curve (optional)

5. Check whether the solution is stationary. If not,  $n=n+1$  and repeat

Algoritmul poate fi explicat in felul urmatoar:

- In pasul 1 se initializeaza curba evolutiva
- Pasul 2 calculeaza energia medie in interiorul si in exteriorul curbei evolute
- In pasul 3 se gaseste locatia exacta a curbei evolute depinzand de timpul t prin rezolvarea ecuatiilor cu derivate partiale.
- Pasul 4 este un pas optional pentru reinitializarea curbelor evolute
- In pasul 5 se verifica daca solutia curbei evolute este stationara sau nu, daca nu se merge la pasul 2 pentru iteratie

Modelul C-V a fost implementat folosind ecuatii cu diferente finite:

$$\frac{\phi_{i,j}^{n+1} - \phi_{i,j}^n}{\Delta t} = \delta_h(\phi_{i,j}^n) \left[ \frac{\mu}{h^2} \Delta^x \cdot \left( \frac{\Delta^x \phi_{i,j}^{n+1}}{\sqrt{(\Delta^x \phi_{i,j}^n)^2 / (h^2) + (\phi_{i,j+1}^n - \phi_{i,j-1}^n)^2 / (2h)^2}} \right) + \frac{\mu}{h^2} \Delta^y \cdot \left( \frac{\Delta^y \phi_{i,j}^{n+1}}{\sqrt{(\phi_{i+1,j}^n - \phi_{i-1,j}^n)^2 / (2h)^2 + (\Delta^y \phi_{i,j}^n)^2 / (h^2)}} \right) - \nu - \lambda_1 (u_{0,i,j} - c_1(\phi^n))^2 + \lambda_2 (u_{0,i,j} - c_2(\phi^n))^2 \right]$$

Equation 4

Ecuatia 4 reprezinta finite different scheme pentru Eq. 3.

Metoda de segmentare dezvoltata de Chen si Vese se bazeaza pe minimizarea energiei. O imagine este notata cu  $u_0$  si granta este notate cu  $C_0$ .

Imaginea  $u_0$  poate fi divizata in doua regiuni: una care este background-ul si notata cu  $u_0^o$  si cealalta, obiectele care este notata cu  $u_0^i$ . Inauntrul obiectelor avem  $u_0 \approx u_0^i$  (sau  $inside(C_0)$ ) si in afara obiectelor exista  $u_0 \approx u_0^o$  (sau  $outside(C_0)$ ). Functia de potrivire (fitting function) se exprima in felul urmator:

$$F_1(C) + F_2(C) = \int_{inside(C)} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy + \int_{outside(C)} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy,$$

unde  $C$  este curba variabila si  $c_1, c_2$  sunt constantele care depind de  $C$ .

$C_0$  este functia de potrivire minima exprimata ca:

$$\inf_C \{F_1(C) + F_2(C)\} \approx 0 \approx F_1(C_0) + F_2(C_0).$$

In modelul C-V functia de potrivire este minimizata si anumiti termeni sunt adaugati: lungimea curbei, aria din interiorul lui  $C$ . Functia de energie  $F(c_1, c_2, C)$  este definita ca si:

$$F(c_1, c_2, C) = \mu.Length(C) + \nu.Area(inside(C)) + \lambda_1 \int_{inside(C)} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy + \lambda_2 \int_{outside(C)} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy,$$

unde  $\mu \geq 0, \nu \geq 0, \lambda_1, \lambda_2 > 0$  sunt constante. In experimentele efectuate avem  $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$  si  $\nu = 0$ . In

acest caz valoarea lui  $u$  aproximeaza pe  $u_0$ , unde  $u$  e definit ca:

$$u = \begin{cases} average(u_0) inside C \\ average(u_0) outside C \end{cases}.$$

Acest caz particular de minimizare poate fi rezolvat prin metoda multimii constant (level set method).

$$\begin{cases} C = \partial\omega = \{(x, y) \in \Omega : \phi(x, y) = 0\}, \\ inside(C) = \omega = \{(x, y) \in \Omega : \phi(x, y) > 0\}, \\ outside(C) = \omega = \{(x, y) \in \Omega : \phi(x, y) < 0\}, \end{cases}$$

$$C \subset \Omega,$$

Unde  $\phi : \Omega \rightarrow R$ .

In metoda "level set"  $C$  este inlocuit cu  $\phi$ .

Folosind functia Heaviside  $H$  si functia Dirac  $\delta_0$  definite dupa cum urmeaza:

$$H(z) = \begin{cases} 1, & \text{if } z \geq 0, \\ 0, & \text{if } z < 0, \end{cases} \quad \delta_0(z) = \frac{d}{dz} H(z),$$

atunci termenii din functia de energie  $F(c_1, c_2, C)$  se pot rescrie ca:

$$Length\{\phi = 0\} = \int_{\Omega} |\nabla H(\phi(x, y))| dx dy = \int_{\Omega} \delta_0(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy,$$

$$Area\{\phi \geq 0\} = \int_{\Omega} H(\phi(x, y)) dx dy,$$

$$\int_{\phi > 0} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy = \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_1|^2 H(\phi(x, y)) dx dy,$$

$$\int_{\phi < 0} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy = \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H(\phi(x, y))) dx dy.$$

$F(c_1, c_2, \phi)$  se scrie ca si:

$$\begin{aligned} F(c_1, c_2, \phi) &= \mu \int_{\Omega} \delta(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy + \nu \int_{\Omega} H(\phi(x, y)) dx dy \\ &+ \lambda_1 \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_1|^2 H(\phi(x, y)) dx dy + \lambda_2 \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H(\phi(x, y))) dx dy. \end{aligned}$$

Valoarea aproximativa a lui  $u_0$  se calculeaza dupa formula

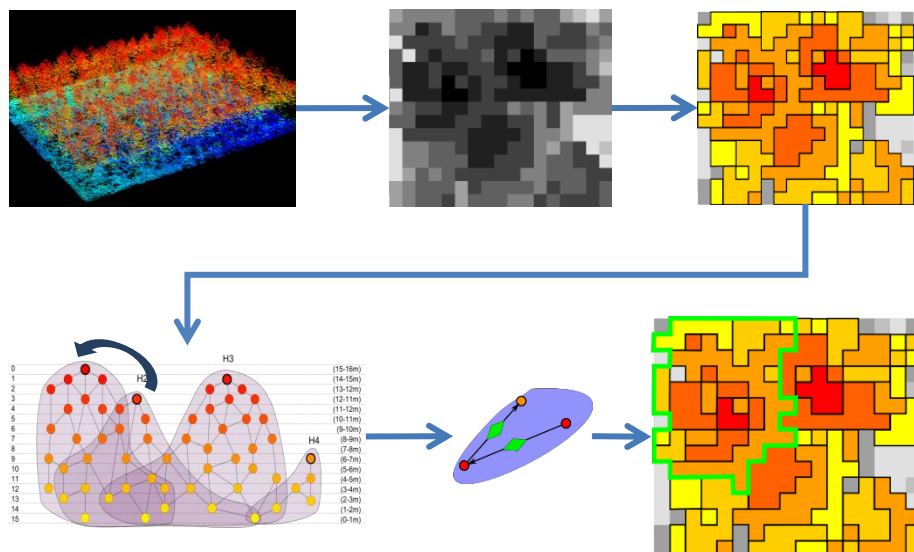
$$u(x, y) = c_1 H(\phi(x, y)) + c_2 (1 - H(\phi(x, y))), \quad (x, y) \in \bar{\Omega}.$$

Metoda de identificare de arbori dezvoltata de Strimbu si Strimbu se bazeaza pe dezvoltarea de ierarhi interconectate intr-un graf, fiecare ierarhie potential reprezentind un arbore. Schematic, algoritmul este executat in urmatoorii pasi:

- 1) Creaza raster cu diferite statistici din LIDAR data, cel mai probabil elevatie
- 2) Creaza petice din celulele cu aceeasi valoare
- 3) Creaza ierarhi din peticele adiacente
- 4) Grupeza ierarhiile ca urmare a similaritatii lor

Reprezentarea grafica a algoritmului este urmatoarea (Figura 4):

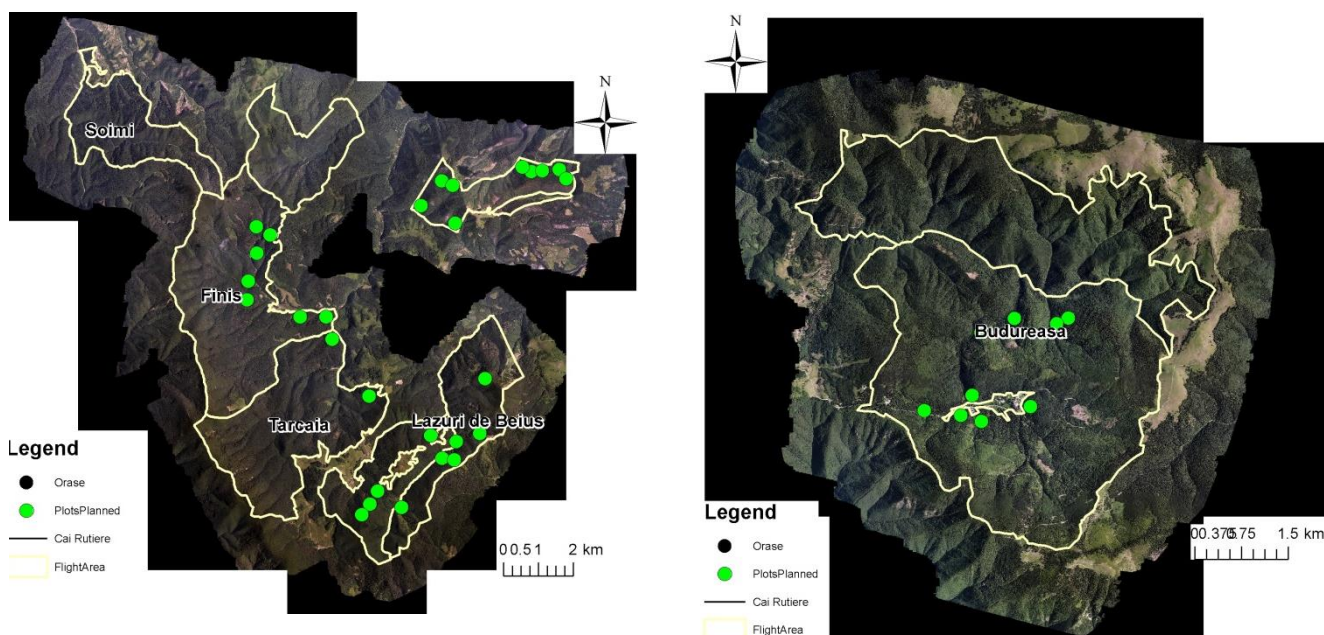




**Figura 4. Algoritm de segmentare a datelor LIDAR pentru identificarea de arbori dezvoltata de Strimbu si Strimbu**

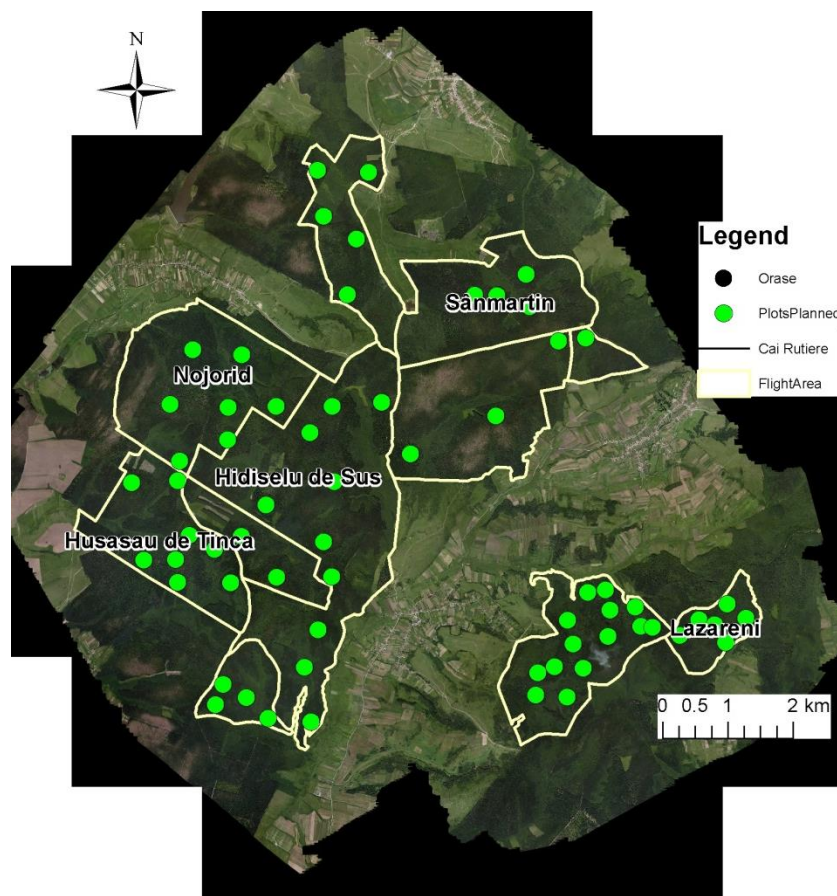
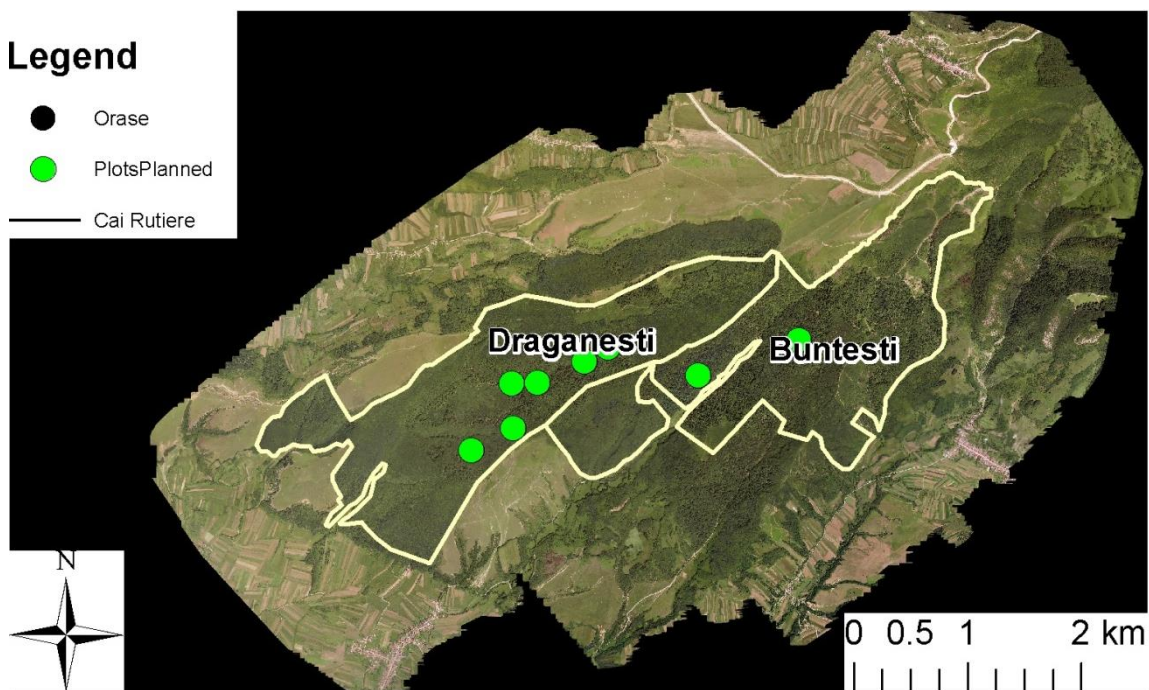
Algoritmul propus a fost testat pe doua tipuri de paduri: o plantatie tanara de pin cu variabilitate redusa ( $CV=5\%$ ), si un arboret matur cu variabilitate medie ( $CV = 15\%$ ). In plantatia tanara algoritmul a identificat 99% din arbori, iar in padurea matura 95%. Rezultatele obtinute recomanda algoritmul propus ca unul dintre cei mai performanti algoritmi de extractive/identificare de arbori din date LIDAR.

Esantionajul necesar verificarilor estimatiilor derivate din datele de teledetectie s-a efectuat prin masurarea a cel puțin patru suprafete de proba in fiecare trup de padure (Figura 5). Suprafetele de proba sunt circulare cu raza orizontala de 7,98 m, similar cu cele din Inventarul Forestier National. In total un numar de 78 suprafete de proba au fost masurate, cu un numar total de 934 arbori.



## Legend

- Orase
- PlotsPlanned
- Cai Rutiere





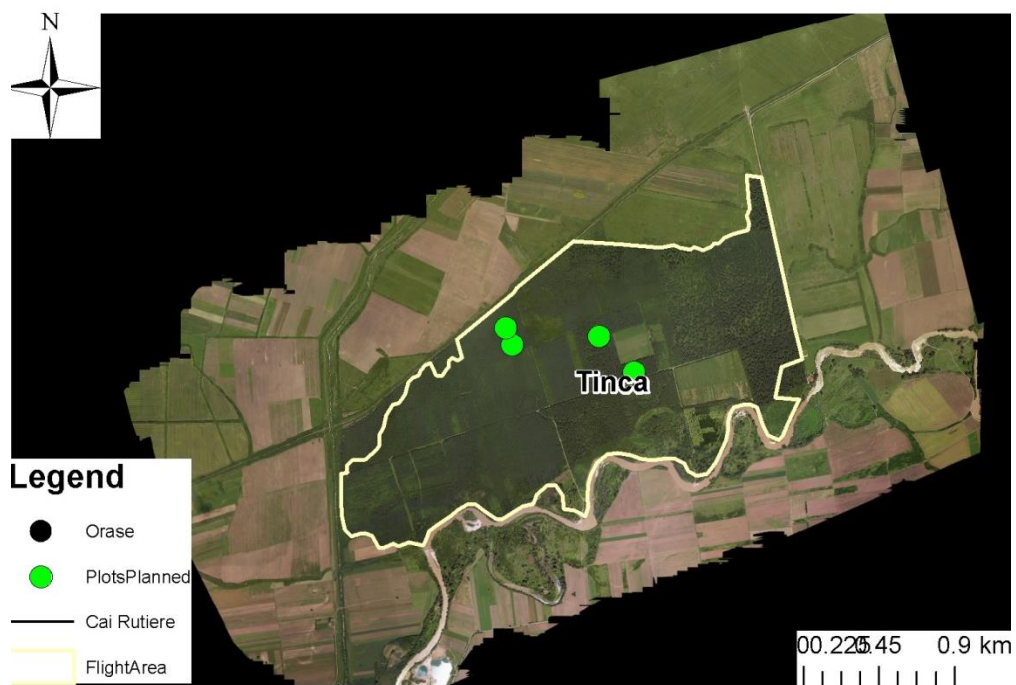
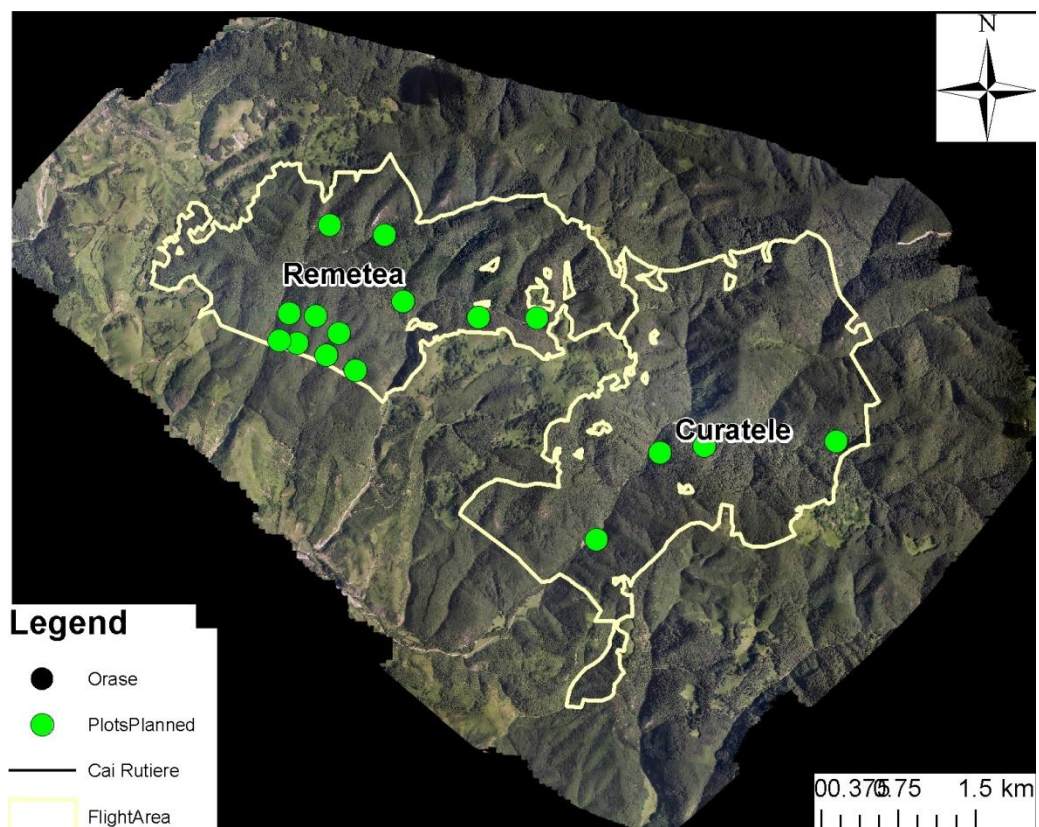


Figura 5. Esantionajul de verificare a estimarilor LIDAR si pentru estimarea curbei de contur a arborilor

## II.4. Executia masuratori de teren.

Masuratorile de teren au fost planificate a fi executate dupa colectarea datelor de teledetectie. Datele au fost colectate in toamna anului 2013, pe baza valorilor determinate din amanajament si a valorilor estimate din datele LIDAR si ortofotografiile procesate sumar obtinute in urma zborului. Atributele masurate pe teren au servit doua scopuri: 1) validarea estimarilor determinate din datele de teledetectie, si 2) dezvoltarea de curbe de contur pentru identificare produselor ce pot fi obtinute din fiecare trunchi. Pentru dezvoltarea curbelor de contur folosind date LIDAR fotografii emisferice au fost capturate la toti arborii de clasa I de calitate din cardul suprafetei de proba (**Error! Reference source not found.**). Fotografiile emisferice au fost executate cu camera SLR Nikon D5300, ce are un sensor de 24.2-megapixels, si o lentila fisheye Nikon 10.5 mm DX. Fotografiile ce identifica fiecare plot au fost efectuate cu o camera Olympus TG-830, ce are o rezolutie de 12-megapixels (**Error! Reference source**



Figure 7. Fotografia emisferica a unui stejar



Figure 7. Pozitionarea echipamentului pentru colectarea de fotografii emisferice

## II.5. Dezvoltarea ecuatiilor de contur

Ecuatiile de contur se dezvoltă pe baza masuratorilor de teren folosind lentila emisferica. Cunoasterea specificatiilor camerei si lentilei, precum si a unei distante reale dintre camera si arbore, permit determinarea completa a conturului arborelui. Ecuatii empirice vor fi finalizate in prima parte a anului 2014, pana atunci urmatoarele modele fiind testate/incercate (Robertson 1993):

$$\text{Ormerod : } d = D_{1.3} \left( \frac{1-h_r}{1-1.3/H} \right)^{b_0}$$

$$\text{Behre hiperbola: } d = BA \frac{1-h_r}{b_0 + b_1(1-h_r)}$$

$$\text{Demaerschalk: } d = 10^{b_0} D_{1.3}^{(b_1-1)} (1-h_r)^{b_2}$$

$$\text{Kozak et al: } d = D_{1.3} (b_0(1-h_r) + b_1(1-h_r^2))$$

Biging:  $d = D_{1.3}(b_0 + b_1 \ln(1 - b_2 h_r^{1/3}))$

Max si Burkhart:  $d = D_{1.3} \sqrt{b_0(h_r - 1) + b_1(h_r^2 - 1) + b_2(a_1 - h_r)^2 I_1 + b_3(a_2 - h_r)^2 I_2}$

unde  $d$  este diametrul pe fus la inaltimea  $h$

$D_{1.3}$  – diametrul la inaltimea pieptului (1.3 m)

$H$  este inaltimea totala

BA este suprafata de baza

$h_r = h/H$

$I_1$  si  $I_2$  sunt functii indicator in raport cu parametrii  $a_1$  si  $a_2$ , respectiv

$b_0$ - $b_3$ ,  $a_1$  si  $a_2$  - parametrii

## II.6. Preparare input pentru amenajari forestiere

Informatia necesara pentru stabilirea deciziei optime de amenajare forestiera cuprinde doua componente:

- ❖ Stadiul curent al padurii, stadiul care constituie momentul initial al problemei de amenajare;
- ❖ Obiectivele si constrangerile impuse amenajarilor forestiere
  - Continuitate
  - Spatialitate
  - Resurse limitate
  - Politici si acorduri existente, care preclud amenajamentul.

In anul 2013 s-a elaborat limbajul si modalitatea de interactie dintre amenajist si computer. Interfata programului de amanajare este similara ArcGIS sau Woodstock/Stamley, si foloseste ca suport fisiere de tip ASCII.

## II.7. Reprezentarea obiectivelor si constrangerilor SFM

Reprezentarea obiectivelor si constrangerilor asociate cu dezvoltarea durabila a padurilor este derivata din cele trei fatete ale SFM: ecologica, economica, si sociala. In aceasta etapa a proiectului, efortul a fost depus in integrarea parametrilor economici in problema de amenajare, intrucat fatetele de mediu si sociala sunt reprezentate matematic ca si constrangeri. Unitatea de management pentru care s-a elaborat modelarea economica a fost ocolul silvic, iar obiectivul a fost optimizarea deciziei manageriale cand datele LIDAR sunt disponibile.

### Considerații generale

Prioritizarea lucrărilor de exploatare a arboretelor din planul decenal în raport cu prețurile așteptate pe (și de) piața lemnului este o problemă decizională complexă; pe de o parte, din cauza incertitudinii ce planează asupra prețurilor, când decalajul temporal este de ordinul a două luni, iar pe de altă parte datorită faptului că sortarea dimensională a lemnului, realizată prin sistemul

LIDAR, este de asemenea incertă/aproximativă. Incertitudinile în ceea ce privește valorificarea superioară a lemnului se datorează, în bună parte, și principiului prudenței, ce guvernează orice decizie în materie de gestionare a resurselor naturale în general, și a lemnului, în special. Această teză este confirmată de încercările de a utiliza metodele multicriteriale în analiza sustenabilității managementului forestier (Wolfslehner et al. 2005), precum și de tendința de a aduce managementul adaptativ al riscurilor în rețelele instituționale responsabile cu gestionarea durabilă și integrată a capitalului natural (Wintle and Lindenmayer 2008).

De asemenea, decizia de a recolta la un anumit moment anumite arborete, și nu mai târziu, și nu altele, este ea însăși riscantă, deoarece se poate rata șansa unei valorificări mai bune în viitorul mai mult sau mai puțin apropiat, a respectivelor arborete. Acesta este motivul pentru care studiarea *ciclicității* prețurilor este importantă, pentru a fundamenta decizii proactive în raport cu această ciclicitate, dacă ciclicitatea este dovedită. Dacă nu este dovedită, cel puțin trebuie studiată volatilitatea prețurilor, adică variația aleatoare a acestora în jurul unei valori medii multi-periodice (lunare sau anuale). Pe piața europeană de exemplu, legea prețului unic funcționează de mult timp, așa cum s-a arătat într-un recent studiu ce a abordat integrarea piețelor lemnului în Austria, Suedia și Franța (Toivonen, Toppinen et al. 2002).

O recentă sinteză a aplicațiilor *metodelor de decizii multicriteriale* (MDMC) aplicate în silvicultură (Diaz-Balteiro and Romero 2008) a reliefat tendința ascendentă a utilizării acestor metode în managementul forestier, ce a trecut, se pare, de faza planificării riguroase prin programare liniară. De cealaltă parte, a cumpărătorilor, respectiv a firmelor de exploatare, tendința de a utiliza sisteme de asistare a deciziei la achiziția de masă lemnoasă, a fost semnalată în literatura occidentală încă de la finele anilor 90 (Kärhä 1998, Epstein et al. 1999).

Problemele managementului forestier românesc, a căror soluționare depinde de utilizarea tehnicilor moderne de estimare forestieră și a tehnologiei informație, sunt sintetizate în tabelul de mai jos (Tabelul 2).

**Tabelul 2. Principalele probleme identificate în managementul/gestionarea pădurilor**

| Problema                                                                   | Prioritatea | Precedența | Soluția cu costul cel mai mic                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Calculul posibilității prin metode moderne                              | Medie       | 4          | Algoritmi noi de calcul                                                                                |
| 2. Planificarea realistă a veniturilor din masa lemnoasă                   | Medie       | 2          | Estimarea veniturilor realizabile prin metode moderne de evaluare (analiza vânzărilor anterioare)      |
| 3. Finanțarea investițiilor în infrastructură (drumuri forestiere)         | Medie       | 2,4,5      | Analiza multicriterială, proiecte integrate, tehnologii mai ieftine, simplificarea procedurilor legale |
| 4. Îmbunătățirea preciziei și metodelor de evaluare a volumului recoltabil | Ridicată    |            | Metode bazate pe teledetecție, LIDAR                                                                   |
| 5. Strategii comerciale proactive ale administratorilor de păduri          | Scăzută     | 4          | Sisteme de asistare a deciziei                                                                         |

Considerând că prognozarea și planificarea realistă a veniturilor este o condiție preliminară a îmbunătățirii managementului, complementară îmbunătățirii estimației cantitative a lemnului recoltabil, rezultă că de un la fel de mare interes trebuie să se bucure și adoptarea unor indicatori



economici sintetici, precum valoarea prezentă netă (încă neutilizată în silvicultura românească) și rata internă de revenire. Totuși, inputurile pentru acești parametri unanim recunoscuți depind de îmbunătățirea metodelor de estimare forestieră, prima fiind aceea a stabilirii corecte a prețului de vânzare/cumpărare a lemnului.

Analiza vânzărilor anterioare, care s-a bucurat de un bine-meritat interes pe piața nord-americană, a revenit în zona de interes a analiștilor pieței lemnului, și datorită posibilităților actuale de prelucrare a unor mari baze de date. Luând în considerație factorii fizici, ecologici, administrativi și de conjunctură economică (Brown et al. 2013) s-au analizat 4.395 vânzări de lemn, ajungând la concluzia că 63% din variația prețului este explicată de factorii enunțați mai sus, ceea ce dovedește complexitatea pieței lemnului. O analiză mai atentă a reliefat faptul că și durata contractului de exploatare, precum și prețul de pornire, influențează oferta finală de preț, cu observația că în 43% din cazuri prețul de pornire la licitații nu a influențat, semnificativ din punct de vedere statistic, prețul de adjudecare (Brown et al. 2013).

### *Ipoteze de lucru în evaluarea rentabilității sistemului LIDAR în evaluarea masei lemnoase destinate exploatării*

1. Planul de recoltare a produselor principale constituie cadrul de referință al optimizării rezultatelor economice, de la valorificarea masei lemnoase la regenerare (valoarea netă a recoltelor, sau renta forestieră).
2. Planul de recoltare este o mulțime finită de arborete exploatabile care, în absența unor produse accidentale care să modifice structura posibilității, rămâne neschimbat pe parcursul unui deceniu (perioadă de amenajare).
3. Mulțimea de arborete exploatabile incluse în planul de recoltare poate fi reordonată la finele fiecărui an (permutări de  $n$ ,  $n$  fiind numărul arboretelor rămase a fi recoltate până la finele deceniului), în funcție de valoarea prezentă netă a recoltelor și alte criterii de optimizare, stabilite în raport cu condițiile de teren (restricții tehnologice).
4. Criteriul economic de ierarhizare (sortare descrescătoare) a posibilelor variante de amplasare este valoarea economică prezentă netă, care se calculează la rate de scont variabile, potrivit principiului ”risc ridicat = rată mai mare de scont”, dacă două variante de amplasare, oricare ar fi acestea, au valori prezente egale.
5. Sortimentele lemnoase ce se pot obține din arboretele exploatabile sunt caracterizate prin coeficientul beta, ce se calculează printr-o metodologie similară celei folosite în analiza pieței de capital, respectiv modelul Markowitz, potrivit căruia  $R_{j,t} = \alpha_j + \beta_j R_{M,t} + \varepsilon_{j,t}$  în care:

$R_{j,t}$  este rata de rentabilitate a acțiunii  $j$ , în perioada  $t$ ;  $R_{M,t}$  = rata de rentabilitate a pieței, în perioada  $t$ ;  $\beta_j$  = parametru propriu fiecărei acțiuni, ce indică relația dintre fluctuațiile cotațiilor acțiunii  $j$  și fluctuațiile pieței; acesta se mai numește coeficient de volatilitate;  $\varepsilon_{j,t}$  = variabilă specifică acțiunii, care însumează alți factori de influență (similară erorii estimației, din analiza regresiei);  $\alpha_j$  = parametru care arată locul de intersecție a dreptei de regresie cu ordonata și reprezintă *rentabilitatea* titlului  $j$  în condițiile în care rentabilitatea pieței este zero.

Înlocuind în modelul Markowitz rentabilitățile cu prețuri pe specii și sortimente, respectiv prețuri medii la fiecare moment, se poate calcula coeficientul  $\beta$  pentru fiecare specie/sortiment, în măsura în care se dispune de serii de prețuri pe termen lung (ceea ce nu este cazul încă, în România).

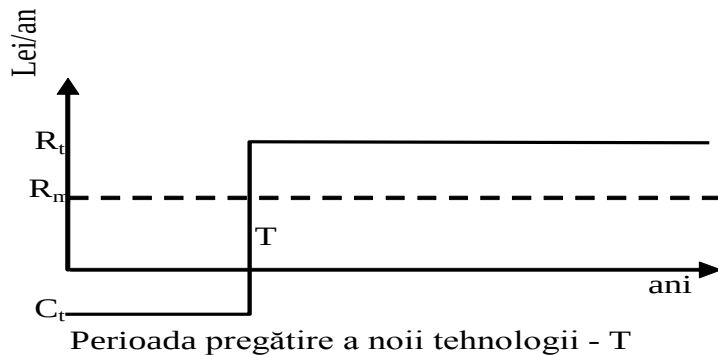


Figura 8. Impactul aplicării unei noi tehnologii, după T ani, asupra rentei forestiere

### Evaluarea rentabilității introducerii unei noi tehnologii de evaluare și comercializare a masei lemnoase recoltabile

Introducerea unei noi tehnologii presupune cheltuieli de cercetare și aplicare în producție a rezultatelor cercetării care, după implementare, se presupune că vor duce la creșterea veniturilor nete, fie prin vânzări mai mari, fie prin costuri mai mici, fie prin ambele. În **Error! Reference source not found.**8 se prezintă două situații ale rentei forestiere:  $R_m$  – renta forestieră medie actuală, fără nici o tehnologie superioară de valorificare a lemnului,  $R_t$  – renta forestieră după aplicarea noii tehnologii,  $C_t$  – costul studierii și implementării noii tehnologii, iar  $T$  este perioada de timp în care noua tehnologie va fi fost implementată.

Valoarea pădurii ce aduce o rentă anuală perpetuă ( $VPR_m$ ) este

$$VPR_m = \frac{R_m}{i} \quad \text{Equation 5}$$

În care  $R_m$  este renta medie multi-anuală a unui hectar de pădure, iar  $i$  este o rată a dobânzii, ce se va calcula ulterior ca rată internă de revenire.

După implementarea noii tehnologii, în fiecare an, până la implementare,  $C_t$  unități monetare, renta va sări la valoarea  $R_t$  și va rămâne la această valoare până la următorul salt tehnologic. Valoarea prezentă a cheltuielilor implementării este

$$VPS_t = \frac{C_t \left[ (1+i)^T - 1 \right]}{i(1+i)^T} \quad \text{Equation 6}$$

În care  $T$  este perioada de timp (în ani) în care va fi implementată noua tehnologie, iar  $i$  este aceeași rată a dobânzii.

Rata internă de revenire a noii tehnologii este dată acea dobândă  $i$  la care  $VPR_m$  este egală cu  $VPS_t$ .

Avantajul acestei abordări este acela că se bazează pe estimatii realiste, ușor de calculat la nivel de ocol silvic. Mai departe, se pot estima diverse valori ale creșterii rentei forestiere, cu diverse probabilități, probabilități care vor fi folosite și la estimarea ratei interne de revenire, obținând o rată internă de revenire așteptată, conform Equation 6.

$$RIR_m = \sum_{j=1}^{j=n} i_j p_j$$

Equation 7

În care  $i_j$  este rata internă de revenire  $j$ , iar  $p_j$  este probabilitate așteptată a acesteia,  $n$  putând lua diverse valori, în funcție de scenariul luat în considerație.

## II.8. Scriere cod pentru paralel-computing

S-a implementat un cod pentru compilatorul MPICC pentru supercalculatoare folosind sistemul Message Passing Interface pentru paralelizarea procesarii de date, în special pentru segmentarea la nivel de arbori. Rezultatele preliminare sunt foarte promitatoare și vor fi publicate în conferințe sau jurnale de impact.

S-a demarat cu segmentarea datelor LIDAR intrucat algoritmii nu sunt în mod necesar foarte complecsi, dar manipuleaza o cantitate mare de date, situatie considerata mai usor de rezolvat decat situatiile în care algoritmii au complexitate ridicata. Algoritmul de segmentare dezvoltat ca urmare a proiectului are o complexitate polinomiala, ceea ce îl face atractiv din punct de vedere computational. Implementarea algoritmilor de amenajare forestiera au demarat în 2013, dar implementarea lor efectiva se va efectua în anul III al proiectului.

## Grad de realizarea a obiectivelor

| <i>Faza</i> | <i>Obiectivul fazei</i>                      | <i>Grad de realizare<br/>faza/2013</i> | <i>Grad de realizare<br/>faza/proiect</i> |
|-------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1.          | Achizitionarea si formatarea datelor         | 100%                                   | 100%                                      |
| 2.          | Reprezentarea problemei de amenajare silvica | 100%                                   | 50%                                       |
| 3.          | Produse LONI                                 | 10%                                    | 10%                                       |
| 4.          | Procesarea si interpretarea datelor          | 100%                                   | 80%                                       |
| 5.          | Dezvoltarea de software                      | 10%                                    | 20%                                       |
| 6.          | Rapoarte tehnice si articole stiintifice     | 100%                                   | 70%                                       |

### Indicatori de rezultat

|                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Numarul de articole publicate sau acceptate spre publicate în fluxul stiintific principal international | <ul style="list-style-type: none"><li>• 1 articol publicat in Theoretical Computer Science</li><li>• 1 articol publicat in Canadian Journal of Forest Research</li><li>• 1 articol acceptat de US Forest Service in Technical Report asociat cu the 17<sup>th</sup> Biennial Southern Silvicultural Research Conference</li></ul> |
| Factorul de impact relativ cumulat al publicatiilor publicate sau acceptate spre publicare              | 2.048                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Ponderea contributiei financiare private la proiect                                                     | 12%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Valoarea contributiei financiare private la proiect                                                     | 108000 RON                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |



## Bibliografie

- Bolstad, P. V. and W. T. Swank. 1997. Cumulative impacts of landuse on water quality in a southern Appalachian watershed. *Journal of the American Water Resources Association* **33**:519-533.
- Brown, R. N., M. A. Kilgore, C. R. Blinn, and J. S. Coggins. 2013. The Impact of Reserve Prices and Contract Length on Stumpage Bid Prices: An Empirical Assessment. *Northern Journal of Applied Forestry* **30**:85-91.
- Chan, T. F. and L. A. Vese. 2001. Active contours without edges. *Image Processing, IEEE Transactions on* **10**:266-277.
- Contant, C. K. and L. Ortolano. 1985. Evaluating A Cumulative Impact Assessment Approach. *Water Resources Research* **21**:1313-1318.
- Diaz-Balteiro, L. and C. Romero. 2008. Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment. *Forest Ecology and Management* **255**:3222-3241.
- Dube, M., B. Johnson, G. Dunn, J. Culp, K. Cash, K. Munkittrick, I. Wong, K. Hedley, W. Booty, D. Lam, O. Resler, and A. Storey. 2006. Development of a New Approach to Cumulative Effects Assessment: A Northern River Ecosystem Example. *Environmental Monitoring and Assessment* **113**:87-115.
- Duinker, P. N. and L. A. Greig. 2007. Scenario analysis in environmental impact assessment: Improving explorations of the future. *Environmental impact assessment review* **27**:206-219.
- Duinker, P. N. and A. J. Kennedy. 1994. Cumulative effects assessment: what's the big deal? . Pages 11-24 *Cumulative effects assessment in Canada: from concept to practice*. Alberta Association of Professional Biologists, Calgary.
- Epstein, R., E. Nieto, A. Weintraub, P. Chevalier, and J. Gabarró. 1999. A system for the design of short term harvesting strategy. *European Journal of Operational Research* **119**:427-439.
- Gunn, J. and B. F. Noble. 2011. Conceptual and methodological challenges to integrating SEA and cumulative effects assessment. *Environmental impact assessment review* **31**:154-160.
- Hegmann, G., C. Cocklin, R. Creasey, S. Dupuid, A. Kennedy, L. Kingsley, W. Ross, H. Spaling, and D. Stalker. 1999. *Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide*. Canadian Environmental Assessment Agency, Hull, QC.
- Kalff, S. 1998. *Cumulative Effects Assessment Study Kouchibouguac National Park, New Brunswick*. Minister of Canadian Heritage, Montreal West.
- Kärhä, K. 1998. The decision-making environment at different hierarchical levels in timber procurement. *Scandinavian Journal of Forest Research* **13**:224-236.
- Kini, A. and S. Popescu. 2004. TreeVaW: a versatile tool for analyzing forest canopy LIDAR data: A preview with an eye towards future. *in Images to Decisions; Remote Sensing Foundations for GIS Applications*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Kansas City MS.
- McGarigal, K., W. H. Romme, M. Crist, and E. Roworth. 2001. Cumulative effects of roads and logging on landscape structure in the San Juan Mountains, Colorado (USA). *Landscape Ecology* **16**:327-349.
- Meadows, D. L. 1972. *The limits to growth*. Universe Books, New York.
- Nitschke, C. R. 2008. The cumulative effects of resource development on biodiversity and ecological integrity in the Peace-Moberly region of Northeast British Columbia, Canada. *Biodiversity and Conservation* **17**:1715-1740.
- Pratt, G. C. 2000. Cumulative impact. *Environmental Health Perspectives* **108**:A162-A162.
- Robertson, F. D. 1993. *Timber volume estimator handbook*. USDA, Washington DC.
- Rohner, C. and D. A. Demarchi. 2000. Cumulative effects and mountain caribou in west-central Alberta: an individual-based and spatially explicit population model for conservation planning. Dept. of Renewable Resources, University of Alberta, Edmonton.

- Spaling, H. and B. Smit. 1993. Cumulative Environmental-Change - Conceptual Frameworks, Evaluation Approaches, and Institutional Perspectives. *Environmental management* **17**:587-600.
- Spaling, H., B. Smit, and A. J. Kennedy. 1994. Classification and evaluation methods for cumulative effects assessment. Pages 47 -65 *Cumulative effects assessment in Canada: from concept to practice*. Alberta Association of Professional Biologists, Edmonton.
- Stage, A. R. 1973. *Forest Vegetation Simulator / Prognosis*. US Forest Service, Ogden UT.
- Strimbu, V. F. and B. Strimbu. 2013. Individual Tree Detection Algorithm Using Remote Sensing Data. Society of American Foresters National Convention 2013. Society of American Foresters Horth Charleston USA.
- Toffler, A. 1980. *The third wave*. William Morrow and Company.
- Wintle, B. A. and D. B. Lindenmayer. 2008. Adaptive risk management for certifiably sustainable forestry. *Forest Ecology and Management* **256**:1311-1319.
- Wolfslehner, B., H. Vacik, and M. J. Lexer. 2005. Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* **207**:157-170.