

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Silvicultură și exploatarea forestieră

Alexandru-Claudiu DOBRE

Servicii ecosistemice oferite de păduri situate în regiunea Dealurilor

Subcarpatice și montană din partea central-sudică a României

Ecosystem services provided by forests situated in the

Subcarpathian and mountainous hills region of central-southern

Romania

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

CS I. dr. ing. Nicolae Ovidiu BADEA

Membru corespondent al Academiei Române

BRAȘOV, 2022

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. din

- PREȘEDINTE: Prof.dr.ing. Alexandru Lucian CURTU
Universitatea Transilvania din Braşov
- CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: CS I. dr. ing. – Nicolae Ovidiu BADEA
Universitatea Transilvania din Braşov
- REFERENȚI:
- CS I. dr. ing. - Ioan SECELEANU
Academia de Științe Agricole și Silvicultură "Gheorghe Ionescu-Sisești"
Prof.dr.ing. Mihai Daniel NIȚĂ
Universitatea Transilvania din Braşov
- CS II. dr. ing. - Bogdan APOSTOL
Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură "Marin Drăcea"

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:, ora, sala

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa alexandru.dobre@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS

	Teza	Rezumat
CUPRINS	1	1
LISTA DE ACRONIME	5	5
1. INTRODUCERE	8	7
2. SCOP ŞI OBIECTIVE	12	11
3. METODOLOGIE	13	12
3.1 Localizarea cercetărilor	13	12
3.2 Colectarea datelor pe teren	15	13
3.2.1 Măsurători de referinţă	15	13
3.2.2 Colectarea şi pre-procesarea datelor corespunzătoare scanărilor laser terestre	16	14
3.2.3 Colectarea şi pre-procesarea datelor corespunzătoare scanărilor laser aeropurtate	19	15
3.3 Identificarea şi selecţia serviciilor ecosistemice	20	15
3.4 Indici şi parametri de caracterizare a ecosistemelor forestiere	21	16
3.4.1 Parametri biofizici	22	17
3.4.2 Indici de diversitate structurală	25	19
3.4.3 Indici ai aparatului foliar	28	20
3.4.4 Alţi indicatori cu rol în evaluarea serviciilor	29	21
3.5 Interpretarea şi relaţionarea parametrilor studiaţi	30	21
4. REZULTATE ŞI DISCUŢII	31	22
4.1 Identificarea şi selecţia serviciilor ecosistemice	31	22
4.2 Determinarea caracteristicilor dendrometrice şi a indicilor specifici	33	24
4.2.1 Parametri biofizici	33	24
4.2.2 Indici de diversitate structurală	43	28
4.2.3 Indici ai aparatului foliar	47	30
4.2.4 Alţi indicatori cu rol în evaluarea serviciilor	50	32



4.3 Analiza, interpretarea și legătura dintre indicii studiați	56	35
5. CONCLUZII CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.	74	44
DISEMNIAREA REZULTATELOR		
5.1 Concluzii	74	44
5.2 Contribuții originale	79	47
5.4 Diseminarea rezultatelor	82	48
BIBLIOGRAFIE	85	49
Anexa 1. SCURT REZUMAT	95	53

CONTENT

	Thesis	Abstract
CONTENT	1	1
ACRONYMS LIST	5	5
1. INTRODUCTION	8	7
2. AIM AND OBJECTIVES	12	11
3. METHODOLOGY	13	12
3.1 Research location.....	13	12
3.2 Field data collection.....	15	13
3.2.1 Reference measurements.....	15	13
3.2.2 Data collection and pre-processing associated with terrestrial laser scans.....	16	14
3.2.3 Data collection and pre-processing associated with aerial laser scans.....	19	15
3.3 Ecosystem services identification and selection.....	20	15
3.4 Forest ecosystem characterization indices and parameters.....	21	16
3.4.1 Biophysical parameters.....	22	17
3.4.2 Structural diversity indices.....	25	19
3.4.3 Foliage indices.....	28	20
3.4.4 Other indicators for assessing services.....	29	21
3.5 Interpretation and relationship of studied parameters.....	30	21
4. RESULTS AND DISCUSIONS	31	22
4.1 Ecosystem services identification and selection.....	31	22
4.2 Assessment of dendrometric characteristics and specific indices.....	33	24
4.2.1 Biophysical parameters.....	33	24
4.2.2 Structural diversity indices.....	43	28
4.2.3 Foliage indices.....	47	30
4.2.4 Other indicators for assessing services.....	50	32
4.3 Analysis, interpretation and linking of the studied indices.....	56	35



5. CONCLUSIONS. ORIGINAL CONTRIBUTION. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS.	74	44
RESULTS DISEMINATIONS		
5.1 Conclusions	74	44
5.2 Original contributions	79	47
5.4 Results dissemination	82	48
REFERENCES	85	49
Annex 1. SHORT RESUME	95	53

LISTĂ DE ACRONIME

ALS – Scanare laser aeropurtată

BEF – Factorul de expansiune a biomasei

C – Carbon

CE – Indicele Clark Evans

CICES – Clasificarea internațională comună a serviciilor ecosistemice

CO₂ – Dioxid de carbon

DSM – Model digital al suprafeței

DTM – Model digital al terenului

EU ETS – Sistemul de comercializare a certificatelor de emisii al Uniunii Europene

FSCT – Instrumentul de complexitate structurală a pădurilor

GNSS – Sistemul global de navigație prin satelit

ICE ECX – Instrumentele financiare pe bază de carbon Futures și contracte de opțiuni

ICP-Forest – Programul internațional de cooperare privind evaluarea și monitorizarea efectelor poluării atmosferice asupra pădurilor

IPCC - Grupul interguvernamental de experți privind schimbările climatice

IR – Indice de dominanță relativă

LAD – Indice densitate suprafață foliară

LAI – Indice suprafață foliară

LTSER – Cercetări socio-ecologice pe termen lung

MEA – Millennium Ecosystem Assessment

MLS – Scanare laser terestră mobilă

OS – Ocol silvic

pgap – Grad de închidere

R – Coeficient de corelație

RMSE – Eroare medie pătratică

SFR – Suprafaţa permanentă de probă de fag parcurs cu răritură

SFRM – Suprafaţa permanentă de probă de fag propus pentru răritură

SFT – Suprafaţa permanentă de probă de fag parcurs cu tăieri progresive

SFTM – Suprafaţa permanentă de probă de fag propus pentru tăieri progresive

SGR – Suprafaţa permanentă de probă de gorun parcurs cu răritură

SGRM – Suprafaţa permanentă de probă de gorun propus pentru răritură

SGT – Suprafaţa permanentă de probă de gorun propus pentru tăieri progresive

SGTM – Suprafaţa permanentă de probă de gorun propus pentru tăieri progresive

SMR – Suprafaţa permanentă de probă de molid parcurs cu răritură

SMRM – Suprafaţa permanentă de probă de molid propus pentru răritură

SMT – Suprafaţa permanentă de probă de molid parcurs cu tăieri progresive

SMTM – Suprafaţa permanentă de probă de molid propus pentru tăieri progresive

SSP – Scenariu corespunzător cale socio-economică comună

TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity

TLS – Scanare laser terestră staţionară

UAV – Vehicule aeriene fără pilot

UI – Indice de uniformitate a unghiului

UN/ECE – Comisia Economică pentru Europa a Organizaţiei Naţiunilor Unite

1. INTRODUCERE

Ecosistemele forestiere au un rol esențial în conservarea diversității biologice, în asigurarea bunăstării umane și a echilibrului dintre aspectele economice globale și emisiile de carbon [1–3]. În contextul actual al schimbărilor climatice, productivitatea pădurilor din Europa a crescut considerabil [4,5], însă direct proporțional cu frecvența perturbărilor cu efect asupra distrugerii de biomasă [6–8]. Acest impact subliniază importanța înțelegerii proceselor specifice ecosistemelor forestiere și a serviciilor furnizate de pădure în asigurarea gestionării durabile și dezvoltării economice [9]. La nivel european cât și național, instrumentele dezvoltate cu rol esențial în evaluarea dinamicii, structurii și a răspunsului pădurilor la influențele antropice (concretizate, în principal, prin poluarea atmosferică și schimbările climatice) [3,10] sunt sistemele de cercetare/monitorizare pe termen lung [9,11–13] a acestora.

În acest context, inițiativa monitorizării stării de sănătate a pădurilor a fost preluată de către Programul Națiunilor Unite pentru Europa (UN/ECE) de Cooperare Internațională privind Evaluarea și Monitorizarea Efectelor Poluării Atmosferice asupra Pădurilor (ICP-Forest) [11] înființat în anul 1985, în baza Convenția Națiunilor Unite asupra Poluării Atmosferice Trans-frontaliere de lungă distanță (1979). În România au fost adoptate ambele niveluri de supraveghere forestieră din cadrul Programului (Level I și Level II), prin integrarea rețelei naționale (4 x 4 km), a celei pan-europene (16 x 16 km) de supraveghere a stării de sănătate a pădurilor începând cu anul 1990, respectiv 1991 și a rețelei nesistematice materializată în principalele ecosisteme forestiere reprezentative, prin cele 13 suprafețe de supraveghere intensivă a calității factorilor de mediu ce acționează asupra stării ecosistemelor inclusiv a poluării atmosferice (1992) [2]. Nivelurile de investigare presupun identificarea efectelor determinate în raport cu starea coroanelor și creșterii arborilor, calitatea aerului, depunerile atmosferice, compoziția chimică a aparatului foliar, precum și starea și soluția solurilor forestiere etc. [9,14].

În cadrul cercetării sistemelor ecologice complexe, relației dintre ecologie și economie i s-a atribuit o mare importanță, fapt confirmat de însăși natura serviciilor ecosistemice. Acest lucru a făcut posibilă dezvoltarea conceptului de Capital natural pe o bază ecologică [15] și a condus la ideea de valorizare, din punct de vedere monetar, a serviciilor și bunurilor ecosistemice [16]. Necesitatea de a exploata serviciile ecosistemice derivă din contribuția acestora la dezvoltarea economiei [17,18] și exprimarea lor în beneficii și bunuri comerciale [19,20]. Așadar, mediul înconjurător nu mai este înțeles în sens reducionista ci este abordat ca un complex de ecosisteme (sistem ecologic complex) constituit din capital natural și sistemul socio-economic [21].

La nivel internațional pentru conceptualizarea serviciilor ecosistemice au existat numeroase preocupări de clasificare a acestora. Prin cele mai cunoscute tipuri de clasificări se enumeră Millenium Ecosystems Assessment (MEA), The Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) și The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) [22–24].

În România, au fost realizate numeroase lucrări științifice (publicații) [25,26] și proiecte ce își propun implementarea proceselor specifice inițiativelor europene [27] și crearea unor rețele operaționale cu rol în integrarea conceptelor de capital natural și servicii ecosistemice [28] pentru a răspunde cerințelor procesului decizional. Totodată, domeniul forestier din România, Sistemul de zonare funcțională a pădurilor (OM766/23.07.2018) permite adoptarea conceptului de servicii ecosistemice

prin asimilarea acestor servicii cu grupele și categoriile funcționale din cadrul acestuia. Toate aceste preocupări au facilitat adoptarea conceptelor enunțate, însă din cauza complexității procesului propriu-zis de evaluare a serviciilor, în prezent sunt întâmpinate obstacole de natură teoretică, metodologică sau chiar economică [29].

În ceea ce privește evaluarea serviciilor ecosistemice, în România a existat o preocupare semnificativă, specialiștii din acest domeniu participând în numeroase parteneriate constituite în scopul identificării și cuantificării serviciilor. Informațiile preluate din siturile românești de cercetare socio-ecologică pe termen lung (LTSER) stabilite la nivel național (Delta Dunării, Bălțile Brăilei, Bucegi - Piatra Craiului, Retezat-Hațeg și alte situri de cercetare/monitorizare), au constituit baza procesului de evaluare și cuantificarea a serviciilor ecosistemice oferite de diverse sisteme biologice complexe (păduri, zone umede, zone ripariene).

Inițiativele cercetătorilor români au vizat evaluarea serviciilor prin utilizarea unor indici rezultați din analiza informațiilor de la nivelul rețelei LTSER și aplicarea unor matrice de punctaj în vederea interpretării posibilității de apariție și susținere serviciilor conform tipologiei Millennium Assessment [30,31]. Totodată, rezultatele și experiențele dobândite cu ocazia acestor preocupări, au condus la dezvoltarea unor ghiduri și metodologii integrate de cuantificarea și transpunere în unități monetare a serviciilor ecosistemice în vederea facilitării obiectivelor politice.

Cerințele factorilor decizionali și aspectele impuse de gospodărirea durabilă a pădurilor presupun o cantitate enormă de informații relevante necesare descrierii dinamicii complexe ale ecosistemelor forestiere [32]. Mecanismul principal pentru obținerea datelor cu rol în procesul de evaluare îl constituie inventarierea forestieră axată principalele caracteristici dendrometrice ale arborilor (de exemplu, diametrul de bază $[d_{1.3}]$, înălțimea arborilor, raportul înălțime – diametru de bază, lățimea coroanei etc.). Pe lângă aceste variabile, monitorizarea ia în considerare și informații privind principalii parametri climatici (temperatură și precipitații) și poluarea atmosferică (depuneri atmosferice, agenți fitotoxici – O_3 , NO_x , SO_x , NH_3 etc.). Cu toate acestea, este bine cunoscut faptul că inventarierea tradițională a pădurilor este deosebit de costisitoare, consumatoare de timp și necesită personal calificat numeros [3]. De altfel, inventarierea pădurilor este limitată la suprafețe de eșantionare stabilite statistic, ceea ce duce la eforturi financiare foarte mari pentru a asigura o precizie corespunzătoare la scară mare [33–35].

Pentru a depăși limitările menționate, au fost căutate soluții alternative și metodologii specifice în domeniul teledetecției. În ultimele decenii, sistemele de teledetecție au evoluat, asigurând o mare varietate de aplicații [36]. Așa cum era de așteptat, teledetecția a luat deja în considerare mai multe tehnici de investigare privind starea pădurilor și gestionarea acestora [37]. Încă de la începuturile lor, tehnicile de aplicare a teledetecției au fost asimilate în mare parte cu analiza imaginilor satelitare.

Noile instrumente, și anume scanarea laser aeropurtată, vehiculele aeriene fără pilot (UAV), sistemele de fotografiere digitală și scanerile laser terestre staționare (TLS) și mobile (MLS) au captat recent atenția cercetătorilor, câștigând treptat vizibilitate printr-un număr mare de inovații și realizări științifice. Aplicațiile specifice teledetecției dezvoltate cu precădere în domeniul silviculturii țin de analiza acoperirii terenului [38,39], estimarea biomasei [40–44], identificarea riscurilor [45–47], evaluarea structurii [48–53] și determinarea indicilor ecologici. Avantajele majore ale teledetecției

sunt legate de capacitatea de a înregistra un volum mare de date și de posibilitatea de a le reevalua în perioade relativ scurte, precum și de multitudinea de analize care pot fi desfășurate [51].

Un interes deosebit pentru teledetecție a fost reprezentat de parametrii biofizici, cum ar fi $d_{1.3}$, înălțimea arborelui, volumul acestora și implicit biomasa. Majoritatea acestor parametri au fost calculați inițial cu ajutorul unor modele de regresie, cu date de intrare derivate din valori ale proiecțiilor ale coroanelor și măsurători de înălțime din surse pasive de la distanță [54–56], calibrate cu informații obținute la sol. Noile tehnologii, cum este cazul scanării cu laser terestru, propun diferite abordări pentru estimarea caracteristicilor arborilor. Aceasta reprezintă o metodă mai directă, care implică clasificarea norului de puncte, segmentarea arborilor și reconstrucția trunchiului acestora [57–59].

Pe lângă parametrii biofizici, sistemele active de teledetecție sunt folosite pentru a descrie structura arboretului, prin analize indirecte ale numărului de arbori, straturilor din cuprinsul coronamentului și ale distribuției arborilor. După cum este cunoscut, scanarea laser aeropurtată și terestră oferă soluții optime în descrierea arboretelor prin intermediul indicilor structurali bazați pe procesarea norilor de puncte [51,60,61].

Referitor la acest aspect, literatura de specialitate oferă o varietate bogată de variabile bazate pe teledetecție activă, de la indicii aparatului foliar [51,62,63] (indicele suprafeței foliare - LAI, probabilitatea golurilor - p_{gap}) la distribuția spațială a arborilor [64,65] (în principal distanța și unghiurile dintre arbori, dar și poziția propriu-zisă pentru detectarea arborilor marginali, atenuarea efectului de margine sau a procesului de eșantionare, etc.). Imaginile provenite din satelit permit, de asemenea, determinarea unor indici legați de starea de sănătate a arborilor și arboretelor [66–69].

Fără a lua în considerare multitudinea de variabile ce pot fi analizate și evoluția sa promițătoare, tehnologia de teledetecție pasivă necesită încă abordări inovatoare pentru a răspunde cerințelor indicilor ecologici relevanți [37]. Necesitatea constantă de calibrare a măsurătorilor la sol reprezintă principalul dezavantaj al majorității sistemelor pasive de teledetecție. În plus, aplicațiile bazate pe modele de regresie pot conduce la erori importante, cauzate de ipotezele formulate cu privire la relația dintre caracteristicile biofizice ale arborilor [70,71].

Cuantificarea informațiilor obținute în urma cercetării și monitorizării ecosistemelor forestiere cu ajutorul indicilor stabiliți prin teledetecție activă cu privire la structura și dinamica stării pădurilor evidențiază necesitatea de a fi reanalizate și adaptate. Prelucrarea și asimilarea acestor date sunt necesare pentru corelarea indicilor respectivi cu capacitatea ecosistemelor forestiere de a oferi multiple bunuri și servicii.

În prezent, există o multitudine de metode de evaluare și cuantificare a serviciilor, majoritatea având un caracter subiectiv, deși includ în analize beneficiarii direct interesați (stakeholderi). Metodele se bazează pe preferințele oamenilor sau pe costurile fizice pe care le pot integra serviciile ecosistemice [15], astfel încât acestea pot fi clasificate în metode cu caracter *non-monetar* (modele biofizice, socio-culturale) sau *monetar* prin care valoarea ecosistemelor este transpusă în unități monetare.

Modelele biofizice utilizează informații cantitative detaliate corespunzătoare parametrilor structurali pentru a determina capacitatea ecosistemelor de a furniza beneficii, și pot fi enumerate: InVEst,

ARIES sau ESTIMAP [72–74]. În principiu, aceste modele pot reprezenta bazele unei metode cu caracter monetar prin interpretarea și evaluarea parametrilor utilizați.

Metodele monetare consacrate se bazează pe costul evitat al daunelor, costul de înlocuire, prețul pieței, costul productivității, prețuri hedonice, transfer de beneficii și metoda de evaluare contingentă [20,75,76]. În ceea ce privește metodologiile socio-culturale, acestea reprezintă alternative ale evaluării monetare și prioritizează valorile socio-culturale ale ecosistemelor. În general, se integrează evaluări deliberative, crearea de scenarii, cuantificarea preferințelor sau analize de fotografii (“photo-series analysis”) [77].

În sfera cercetărilor ecologice au fost propuse și abordări integrative, concepute cu scopul de a sintetiza diferite tipuri de valori, semnificative în acest sens fiind rețelele de influență bayesiană și analiza decizională multicriterială [78]. Totodată, ca și răspuns la nevoile stakeholderilor și pentru a reduce nivelul de incertitudine au fost enunțate așa numitele metode hibride. Aceste metode au integrat avantajele metodelor constitutive în vederea eficientizării procesului de preluare a datelor și a procesului de stabilire a valorii ecosistemelor [79,80].

În ciuda dificultăților întâmpinate în procesul de aplicare a metodelor de evaluare a ecosistemelor, acestea au un rol esențial în comunicarea valorii naturii către factorii de decizie și factorii de fundamentare a politicilor [81]. În acest sens, există o nevoie absolută de indici ecologici obiectivi, care să poată furniza informații referitoare la starea de sănătate și structura ecosistemelor. Însă, se pune întrebarea care este formula optimă, rentabilă și eficientă de indicatori pentru caracterizarea cât mai detaliată a cuantumului de beneficii care pot fi oferite de păduri?

2. SCOP ŞI OBIECTIVE

Cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat au drept **scop** dezvoltarea unei metodologii de identificare, analiză și evaluare a capacității ecosistemelor de a furniza bunuri și servicii prin tehnici de scanare laser staționară și aeropurtată.

Dezvoltarea acestei metodologii este impusă atât de efectele negative, ale acțiunilor antropice și naturale, exercitate asupra pădurilor, cât și de necesitatea obținerii unor informații scalabile cu caracter calitativ și cantitativ. Această dezvoltare metodologică este astfel favorizată de evoluția continuă a tehnologiei și automatizărilor din sfera teledetecției.

Obiectivul principal al cercetărilor desfășurate în cadrul tezei de doctorat este acela de a identifica și testa metodele și variabilele, aplicabile tehnicilor de scanare laser terestră staționară și aeropurtată în vederea îmbunătățirii procesului de determinare a valorilor propriu-zise ale ecosistemelor forestiere și oferirea de suport științific factorului decizional.

Pentru atingerea scopului și obiectivului principal urmărit cu ocazia cercetărilor s-a propus realizarea următoarelor **obiective științifice**:

- Identificarea și analiza potențialelor serviciilor ecosistemice oferite de păduri din zona de cercetare, în conformitate cu unele sisteme de clasificare a acestora
- Identificarea și integrarea unui set de indici specifici caracteristicilor arboretelor cercetate și structurii acestora.
- Determinarea caracteristicilor arboretelor și a indicilor de structură identificați prin metode specifice teledetecției active pentru suprafețele de probă analizate.
- Analiza, cuantificarea și relaționarea indicilor calculați cu serviciile ecosisteme forestiere specifice
- Realizarea unor scări relative în vederea ierarhizării și evaluării capacității pădurilor de a furniza servicii ecosistemice

Lucrarea propune o serie de abordări originale și facilitează transpunerea unor metode consacrate în domeniul teledetecției în vederea maximizării quantumului de informații preluate prin intermediul scanărilor laser. Astfel, pentru realizarea obiectivelor specifice s-a avut în vedere structura (compoziție, consistența, vârsta) și topografia extrem de complexă a arboretelor din România pentru care a fost necesară adaptarea și optimizarea metodelor de evaluare la specificul suprafețelor de probă analizate.

3. METODOLOGIE

Cu ocazia cercetărilor au fost adoptate și îmbunătățite metodele existente de stabilire a potențialului ecosistemelor forestiere în ceea ce privește furnizarea de bunuri și servicii. Dezvoltarea metodologiei propuse presupune colectarea unor serii de informații cu rol în aplicarea metodelor de evaluarea serviciilor ecosistemice.

Structura verticală și orizontală a arboretelor ocupă un rol cheie în înțelegerea stării și a proceselor care au loc în cadrul ecosistemelor forestiere [82,83]. Din aceste considerente, s-a urmărit ajustarea preciziei datelor calculate prin realizarea de scanări laser terestre și aeropurtate. Măsurătorile prin intermediul scannerelor staționare și aeropurtate poate fi răspunsul calculării biomasei, indicilor de structură orizontală [57,63,84,85], caracteristicilor biometrice [86,87] dar și metoda de înregistrare a arhitecturii ramurilor [88] sau a scoarței arborilor [89].

3.1 Localizarea cercetărilor

Pentru aplicarea metodelor propuse și analiza variabilele identificate, cu ocazia cercetărilor au fost luate în considerare 12 arborete diferite din punct de vedere al compoziției, structurii și lucrărilor silviculturale recomandate a fi aplicate din regiunea Dealurilor Subcarpatice și montană din partea central sudică a României.

În procesul de evaluare a aplicabilității metodelor studiate, precum și în evaluarea diferitelor caracteristici structurale ale arboretelor în care au fost amplasate suprafețele de probă permanente, au fost luate în considerare atât arborete de foioase cât și arborete de rășinoase relativ pure din punct de vedere al compoziției. Prin urmare, arboretele respective au fost alese în funcție de specie, vârstă și intervențiile silviculturale aplicate în arborete (Tabel 1).

Tabel 1. Caracteristicile arboretelor cercetate la nivelul suprafețelor de probă

Nr. crt.	Denumirea plot ¹	Ocolul silvic	Unitate producție/ amenajistică	Specia	Vârsta	Specificul lucrării	Coordonate (Proiecție stereografică 1970)	
							Latitudine	Longitudine
1	SGR	Mihăești	VI/203	GO	20	Răritură	503700	396600
2	SGRM	Mihăești	VI/203	GO	20	Răritură	502700	397300
3	SGT	Mihăești	XII/61E	GO	190	Progresive	508100	398700
4	SGTM	Mihăești	XII/61E	GO	190	Progresive	509700	400200
5	SFR	Mihăești	XI/45	FA	40	Răritură	506300	398300
6	SFRM	Mihăești	XI/45	FA	40	Răritură	506400	398700
7	SFT	Mihăești	XI/61A	FA	120	Progresive	506700	399100
8	SFTM	Mihăești	XI/61A	FA	120	Progresive	506600	399200
9	SMR	Vidraru	II/75D	MO	50	Răritură	475500	439500

10	SMRM	Vidraru	II/76E	MO	50	Răritură	475500	439600
11	SMT	Vidraru	I/29B	MO	150	Progresive	475900	439600
12	SMTM	Vidraru	I/29B	MO	150	Progresive	476100	439500

¹Acronimele utilizate în denumirea ploturilor au fost preluate din cadrul lucrării [51]

Acronim: S - suprafață de probă permanentă; G – gorun; F – fag; M – molid; R – răritură; T – tăieri progresive; GO – gorun; FA – fag; MO – molid.

Cele 12 suprafețe de probă sunt amplasate în două zone forestiere diferite din Carpații Meridionali, acoperind trei dintre cele mai reprezentative specii de arbori din România, și anume gorun (*Quercus petraea*) și fag (*Fagus sylvatica*) în zona de deal și molid (*Picea abies*) în zona de munte (Figura 1). Opt dintre cele 12 suprafețe de probă permanente au fost amplasate în cadrul Ocolului Silvic (OS) Mihăești (45°06'32.6"N 25°00'42.9"E), iar celelalte în proximitatea barajului Vidraru, în cadrul OS Mușătești (45°25'19.7"N 24°41'14.4"E).

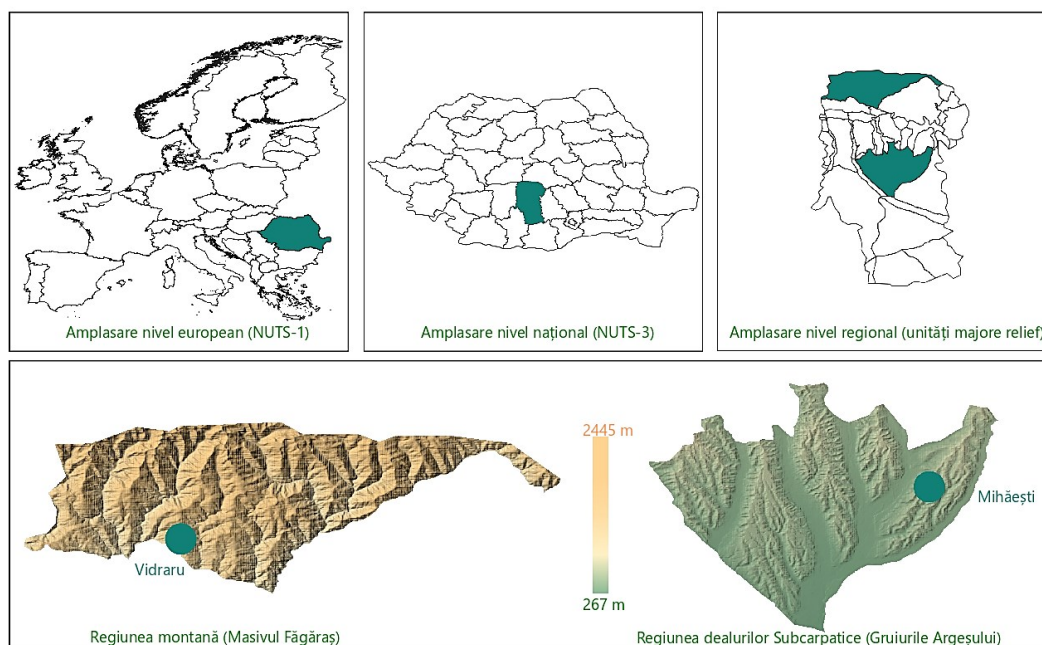


Figura 1. Zona de studiu și localizarea suprafețelor de probă permanente

3.2 Colectarea datelor pe teren

3.2.1 Măsurători de referință

Fiecare arboret a fost considerat drept populația de arbori dintr-o suprafață de probă permanentă de formă pătrată sau dreptunghiulară (plot) cu mărimea de un hectar, în cadrul căreia au fost amplasate trei subploturi de formă circulară cu raza cercului de 15 m, cu aria de 706.85 m².

Complementar măsurătorilor specifice tehnicilor de teledetecție, pentru a asigura controlul asupra seturilor de date și a viabilității rezultatelor a fost efectuată o inventariere clasică în suprafețele de probă permanente (plot). Măsurătorile de teren au constatat în măsurarea diametrului de bază ($d_{1.3}$), a înălțimii arborelui, înălțimii coroanei, lățimii coroanei, poziției fiecărui arbore (coordonate planimetrice și altimetrice – X,Y,Z) și identificarea lemnului mort.

3.2.2 Colectarea și pre-procesarea datelor corespunzătoare scanărilor laser terestre

În teren, simultan cu măsurătorile corespunzătoare inventarierii clasice, în fiecare sublot circular, cu raza de 15 m au fost efectuate cinci scanări terestre potrivit unei scheme de eșantionare a punctelor cardinale pentru a compensa umbrirea cauzată de ocluzia arborilor. Pentru a asigura o rezoluție îmbunătățită a norului de puncte și un sprijin pentru analizele viitoare, în zona ocupată de foioase, unde structura complexă a arboretelor, caracteristicile coroanei (orientarea și densitatea aparatului foliar) și conurile de umbră cauzate de crăcile cu diametru mare limitează tehnologia TLS, a fost efectuat un set suplimentar de scanări în perioada repausului vegetativ.

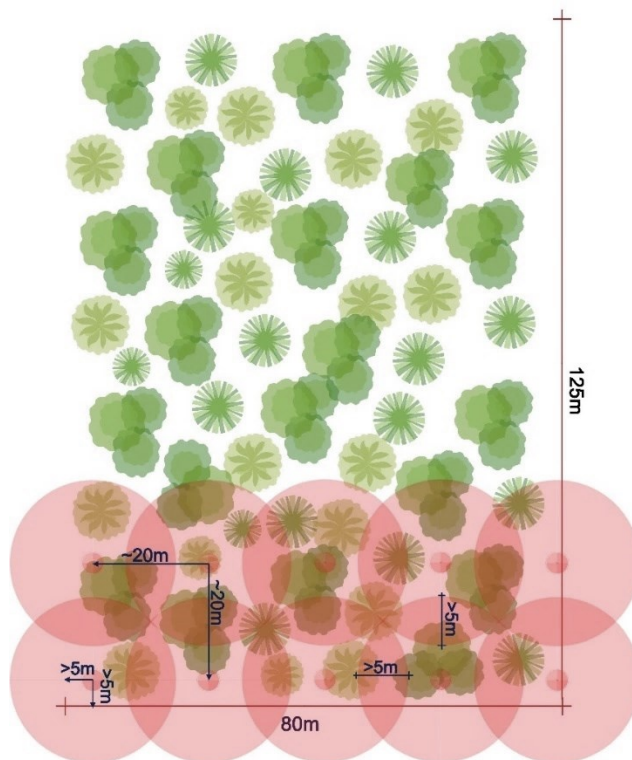


Figura 2. Rețeaua punctelor de scanare staționară la nivelul unei suprafețe de probă permanentă

În vederea scalării metodologiilor aplicate, patru din cele 12 suprafețe de probă permanente cu mărimea de un hectar au fost scanate integral. Rețeaua de puncte corespunzătoare stațiilor de scanare a fost determinată pe baza analizei aferente tehnologiei TLS (Figura 2). Astfel, în raport cu configurația terenului și structura arboretelor, au fost realizate de la 33 până la 42 de scanări per hectar, cu o distanță medie între stații de 20 metri și de minim 15 metri între culoarele de scanare, iar între două scanări consecutive a fost asigurată o zonă de suprapunere de minim 5 metri, necesară procesului de georeferențiere.

Determinarea parametrilor biofizici corespunzători fiecărui arbore presupune un timp de procesare considerabil și necesită aplicarea unor etape intermediare de pre-procesare. Pentru asigurarea calității datelor de ieșire, au fost utilizate o serie unitară de aplicații software open-source [82–84]. Inițial, norii de puncte au fost coregistrați cu softul dedicat scannerului laser terestru [85], prin utilizarea sferelor de coregistrare comune prezente în fiecare scenă corespunzătoare scanării integrale a subplotului.

Ulterior acestei corespondențe, pentru optimizarea procesului de coregistrare a fost aplicată prin intermediul softului menționat o analiză de verificare denumită "nor la nor". Această optimizare presupune compararea norilor pentru identificarea elementelor comune ce descriu același obiect, iar în cazul în care erorile de coregistrare depășesc toleranțele urmărite este necesară reluarea procesului de coregistrare, implicit a procesării primare a norului de puncte.

Clasificarea terenului și a vegetației a reprezentat următorul pas în prelucrarea norului de puncte. Acest proces a fost realizat automat în raport cu densitatea și continuitatea punctelor. În plus, asupra terenului a fost aplicate o serie de filtre pentru eliminarea zgomotului caracteristic covorului vegetal. În funcție de pasul anterior, arborii au fost segmentați împreună cu coroanele lor conform metodologiei propusă de Pascu et al. în [86]. Filtre specifice (statistice, euclidiene, de voxel) au fost aplicate pentru eliminarea seminișului, a cioatelor sau a resturilor care nu reprezentau un arbore sau o parte din acesta.

3.2.3 Colectarea și pre-procesarea datelor corespunzătoare scanărilor laser aeropurtate

Datele LiDAR aeropurtate pentru ploturile de un hectar au fost colectate prin utilizarea unui scanner laser aeropurtat cu undă completă [87]. Extragerea punctelor discrete a fost efectuată de furnizorul seturilor de date, în conformitate cu procedura standard de procesare. În urma prelucrării, s-a obținut nori de puncte cu o densitate ce se încadrează în intervalul 5-12 puncte / m² (densitate medie de 6 puncte / m²).

Pre-procesarea datelor LiDAR a fost efectuată cu ajutorul unor algoritmi de filtrare folosind un software dedicat [88,89]. Inițial, a fost asigurat controlul densității norului de puncte pentru toate suprafețele studiate prin generarea unei histograme corespunzătoare rasterului cu celula de 1m x 1m prin care au fost evidențiate zonele deficitare.

Modelul digital al terenului (DTM) a fost generat printr-o interpolare cu ponderare inversă a distanței, care a asigurat o rezoluție spațială de 1 m x 1 m. DTM și modelul digital al suprafeței (DSM) vor reprezenta suportul pentru calcularea mai multor parametri (de exemplu, înălțimea arborilor, panta terenului).

3.3 Identificarea și selecția serviciilor ecosistemice

Serviciile ecosistemice reprezintă beneficiile, procesele și bunurile asigurate de ecosisteme pentru bunăstarea umană [90]. Conceptualizarea serviciilor ecosistemice la nivel internațional a implicat demersuri în vederea clasificării acestora în raport cu funcțiile pe care le îndeplinesc. În cadrul proiectelor de cercetare și inițiativelor de evaluare, serviciile au fost atribuite următoarelor patru funcții: funcția de producție, funcția de reglare, funcția suport și funcția spiritual-culturală (Tabel 2).

Tabel 2. Corespondența sistemelor de clasificare a serviciilor ecosistemice

Millenium Ecosystem Assessment		The Economics of Ecosystems & Biodiversity	Common International Classification of Ecosystem Services
Servicii suport - formare sol	Servicii de producție (aprovizionare)	Servicii de producție (aprovizionare)	Servicii de producție (aprovizionare)

<ul style="list-style-type: none"> - ciclul nutrienţilor - producţie primară 	<ul style="list-style-type: none"> - hrană - apă potabilă - lemn - fibre - resurse genetice 	<ul style="list-style-type: none"> - hrană - materii prime - apă potabilă - plante medicinale - produse ornamentale - resurse genetice 	<ul style="list-style-type: none"> - nutriţie - materiale - energie 	
	<p>Servicii de reglare</p> <ul style="list-style-type: none"> - a climatului - a bolilor și a dăunătorilor - purificare a apei - eroziunii solului - polenizare 	<p>Servicii de reglare</p> <ul style="list-style-type: none"> - calitatea aerului - sechestrare carbon - moderare evenimente extreme - prevenirea eroziunii solului - polenizare 	<p>Servicii de reglare și menținere</p> <ul style="list-style-type: none"> - medierea deșeurilor - menținerea condițiilor fizico-chimice 	
	<p>Servicii culturale</p> <ul style="list-style-type: none"> - spirituale și religioase - recreaționale - estetice - educaționale 	<p>Servicii suport</p> <ul style="list-style-type: none"> - habitat - diversitate genetică <p>Servicii culturale</p> <ul style="list-style-type: none"> - recreaționale - turism - estetice - spirituale - informații pentru dezvoltare cognitivă 	<p>Servicii culturale</p> <ul style="list-style-type: none"> - interacțiuni intelectuale-spirituale 	

Diferențele existente între clasificările de interes internațional menționate în prima parte a lucrării sunt caracteristice stratificării aplicate. MEA a reprezentat fundamentul tuturor clasificărilor, însă în timp a necesitat actualizări pentru asigurarea unei sistematizări dezvoltate.

Ulterior acestei identificări, majoritatea funcțiilor și serviciilor ecosistemice vor fi analizate în raport cu indicii de diversitate structurală și parametrii biofizici specifice arborilor și arboretelor, precum și cu alte potențiale caracteristici, al căror calcul a fost adaptat la eșantionarea activă prin teledeteecție.

3.4 Indici și parametri de caracterizare a ecosistemelor forestiere

Caracteristicile structurii verticale și orizontale ale arboretelor au un rol definitoriu în înțelegerea stării și a dinamicii proceselor corespunzătoare ecosistemelor forestiere [91,92]. Abordarea tuturor informațiilor referitoare la stratificarea și arhitecturii arboretelor, biomasa, prezența și quantumul de lemn mort pot reprezenta un cadru de proiectare a stabilității din punct de vedere ecologic, a biodiversității, a dinamicii și funcționării corespunzătoare sistemelor forestiere, dar și a interdependenței existente între acestea [93,94].

De interes pentru analiza *funcției de producție (aprovizionare)* a fost determinarea volumului de lemn, principala resursă a ecosistemelor forestiere, iar evaluarea acestei resurse reprezintă un pas elementar în cuantificarea întregului spectru de bunuri corespunzătoare funcției de producție. Analiza

scenelor scanate a permis extragerea caracteristicilor dendrometrice principale la nivel de arbore, dar și la nivel de arboret.

Evaluarea *funcției de suport, reglare* și a celei *culturale* este dictată, în principal, de structura verticală și orizontală a arboretelor și de alte informații calitative. În consecință, a fost analizată posibilitatea extragerii indicatorilor ce oferă informații asupra distanței dintre arbori, unghiurile relative ale arborilor în raport cu un arbore de referință, distribuția arborilor și interdependențe posibile între indivizii arboretelor în raport cu anumite caracteristici. De asemenea, a fost studiată și mărimea coroanelor, densitatea, forma și dispunerea acestora în cadrul profilului transversal al coronamentului.

3.4.1 Parametri biofizici

Pentru estimarea biomasei supraterane conform metodelor și modelelor matematice românești, a fost necesară determinarea diametrelor și înălțimilor corespunzătoare arborilor. Astfel, prin intermediul norilor de puncte pre-procesați s-a recurs la individualizarea arborilor și determinarea pozițiilor lor.

Coordonatele relative X, Y au fost calculate în raport cu segmentul inferior al fiecărui arbore, ca și medie a punctelor din primele zece procente din înălțimea totală a norului de puncte segmentat. Calcularea altimetriei a fost obținută printr-o abordare similară, ca și media cotelor punctelor din interiorul cilindrii cu o înălțime de 0.2 m ce definește arborele respectiv. Datele înregistrate cu software-ul de teren integrat cu cartografiere electronică au reprezentat modalitate de verificare a cotelor obținute.

Diametrele arborilor au fost determinate prin utilizarea unei transformări randomizate de tip Hough [95]. Segmentul vizat pentru această analiză a fost cilindrii ce definește trunchiul la înălțimea de 1.3 m, cu includerea a unui buffer longitudinal de 0.1 m pentru evitarea defectelor sau a ramurilor lacome din această secțiune. Ulterior a fost aplicată o procedură statistică pentru estimarea cercului ce definește cel mai bine trunchiul la înălțimea de 1.3 m prin minimizarea sumei abaterilor (metoda celor mai mici pătrate).

În vederea estimării înălțimilor arborilor, au fost calculate diferențele dintre cotele Z corespunzătoare fiecărui arbore și punctul cel mai îndepărtat inclus în norul de puncte ce definește coroana arborilor respectivi.

Datorită valorilor subevaluate a înălțimilor totale ale arborilor, metodologia a fost completată prin utilizarea norilor de puncte preluate cu ajutorul scannerului laser aeropurtat. Cuantificarea datelor LiDAR a fost realizată prin generarea și analiza diferenței altitudinale dintre modelul digital al suprafeței și modelul digital al terenului.

Valori corespunzătoare diametrelor și înălțimilor au fost filtrate pentru a atenua limitările abordărilor utilizate prin eliminarea valorilor extreme și punerea în coincidență cu datele preluate la sol.

Caracteristicile biofizice ale arborilor au utilizate în continuare pentru determinarea volumului suprateran al arboretelor corespunzătoare subploturilor circulare.

În cadrul procesării scenelor coregistrate la nivel de hectar, a fost utilizat instrumentul de stabilire a complexității structurale a pădurii [96,97]. Prima etapă a metodei de procesare a fost segmentarea semantică a norului de puncte [98], pas ce a presupus clasificarea punctelor în 4 clase corespunzătoare terenului, vegetației, trunchiurilor și a resturilor lemnoase grosiere (resturi de exploatare, lemn mort) (Figura 3).

Pasul următor implică generarea modelului digital al terenului și curățarea norului de puncte după segmentare. Astfel, prin intermediul cotelor aferente modelului digital al terenului (DTM) sunt identificate punctele clasificate în mod eronat ca și vegetație, dar și modificarea unor clustere considerate resturi grosiere, însă care nu se află la nivelul terenului, acestea reprezentând erori ale procesului de segmentare (părți de coroană sau ramuri lacome).

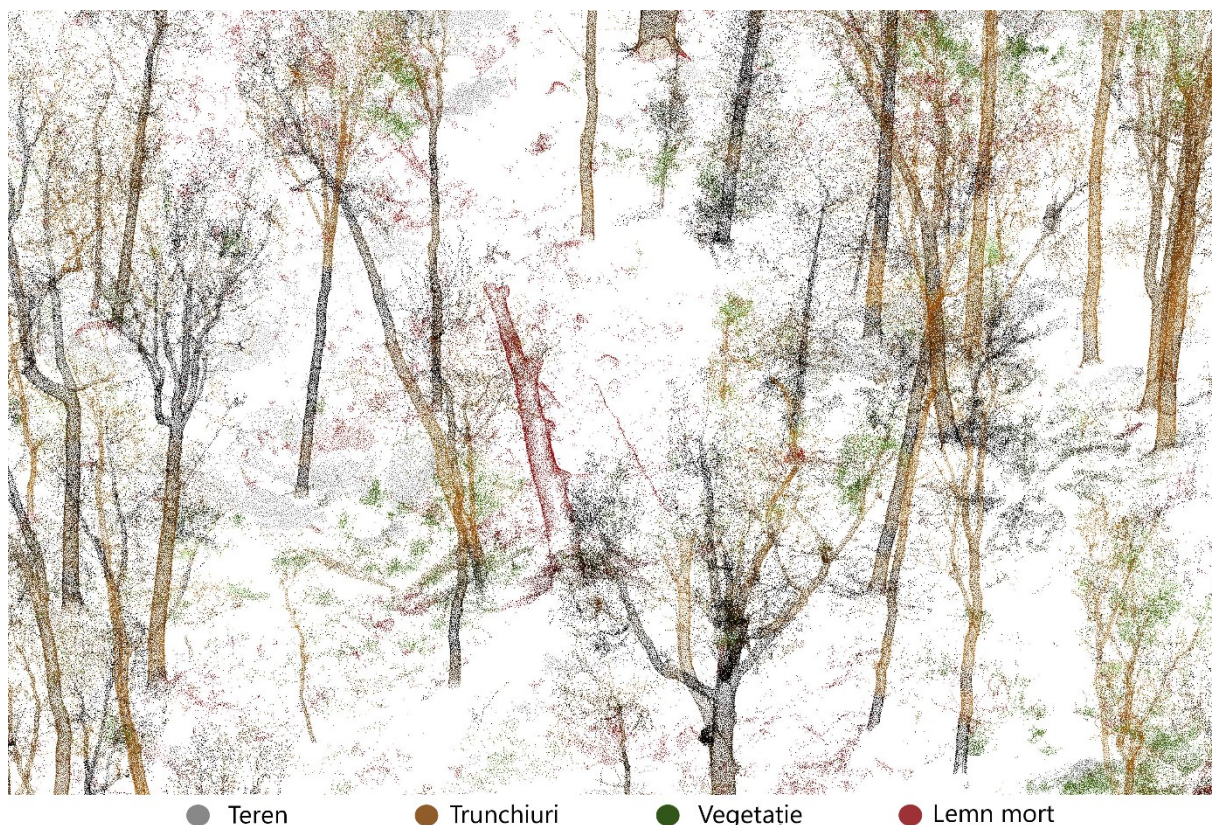


Figura 3. Scenă corespunzătoare procesului de segmentare semantică a arborilor, a unor părți componente ale acestora și a lemnului mort

În scopul stabilirii arhitecturii arboretului, norul de puncte a fost secționat în porțiuni paralele cu terenul. Apoi în raport cu densitatea norului de puncte, a fost definite clustere corespunzătoare fiecărui element (trunchi sau ramură), iar prin trasarea liniei mediane a fiecărui segment pe cuprinsul
Valorile obținute vor fi utilizate ca și date de referință sau pentru îmbunătățirea calculului privind stocul de carbon. Totodată, în vederea obținerii unor rezultate cât mai concludente privind valoarea monetară a lemnului din cadrul ecosistemelor forestiere studiate, a fost realizată o clasificare a arborilor în raport cu caracteristicile și defectele lor. În cadrul acestei analize s-a considerat asimetria arborilor, diametrul și lungimea segmentelor fusului, prezența ramurilor pe trunchi și diametrul acestora. Ulterior acestei clasificări, produselor lemnoase le-au fost aplicate deprecieri în raport cu clusterul în care se încadrau. Clasele aferente au fost stabilite în concordanță cu literatura de

specialitate din standardele româneşti [99] dar şi prin utilizarea unor intervale corespunzătoare modelelor structurale cantitative [100].

3.4.2 Indici de diversitate structurală

Aşa cum a fost precizat anterior, proprietăţile structurale ale pădurii precum şi biodiversitatea acestora reprezintă surse de informaţii semnificative în procesul de evaluare a serviciilor ecosistemice. În perspectiva utilizării acestor proprietăţi sunt necesari indici care să integreze şi să definească capacitatea sistemelor forestiere de a furniza bunuri şi servicii. Totodată, dificultatea nu o reprezintă metoda de evaluare în sine, ci modul de înregistrare, măsurare şi exprimare a caracteristicilor arboretelor. Astfel, în cadrul tezei de doctorat s-a urmărit calcularea la nivel de subplot a indicelui Clark-Evans al celui mai apropiat vecin (CE), al indicelui de uniformitate a unghiului (UI) şi indicele diametrului de dominanţă relativă, dar şi evidenţierea legăturii acestora cu potenţialul ecosistemelor forestiere.

În procesul de calcul ai acestor indici structurali, în vederea asigurării acurateţii rezultatelor, efectul de margine a fost compensat prin selectarea arborilor din interiorul unei zone tampon (buffer) care defineşte o suprafaţă mai mică decât suprafaţa subploturilor (Figura 4).

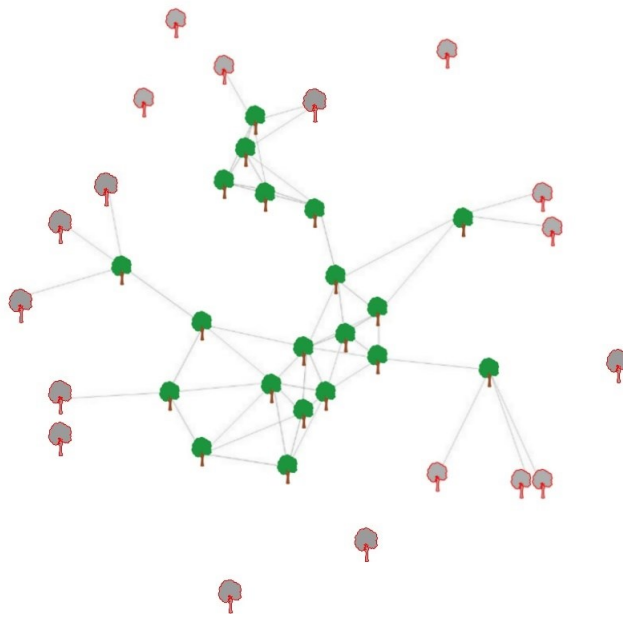


Figura 4. Selectarea arborilor de referinţă şi compensarea efectului de margine

Indicele Clark-Evans (CE) al celui mai apropiat vecin descrie distribuţia orizontală a arboretelor prin utilizarea distanţei medii dintre un arbore de referinţă şi cel mai apropiat vecin, şi distanţa medie definită de o distribuţie Poisson [101]. Valorile indicelui CE poate varia de la 0, când arboretul este caracterizat de grupuri de arbori, la 2,1491 [101] în cazul unei distribuţii uniforme.

Metodologia de calcul a distanţei medii dintre arbori a presupus utilizarea poziţiilor relative ale arborilor generate anterior conform abordării prezentate. Prin intermediul software-ului R statistics au fost trasate distanţele dintre arbori, iar pentru validare rezultatele au fost comparate cu măsurătorile realizate prin intermediul instrumentului de cartografiere digitală. Pentru automatizarea algoritmului

de calcul, în cadrul programului R statistics a fost utilizată funcția *clarkevans* din cadrul librăriei *spatstat*.

Complementar indicatorului Clark Evans, în analiza structurii spațiale ale ecosistemelor forestiere mai este utilizat indicele de uniformitate a unghiului ce descrie distribuția uniformă a arborilor din vecinătatea arborelui de referință [64,65]. Modul de calcul al acestui indicator se bazează pe alegerea unui arbore de referință și a celor mai apropiați patru arbori din cadru suprafeței de probă pentru care se calculează unghiurile corespunzătoare. Aceste unghiuri sunt comparate cu unghiul considerat ca fiind unghiul de dispersie uniformă, iar în cazul în care aceste unghiuri depășesc valoarea de 72° primesc coeficientul zero, respectiv unu dacă nu îndeplinesc această condiție.

Un descriptor cu rol în descrierea structurii profilului longitudinal al unui arboret este indicele de dominanță relativă. Acesta este definit ca proporție a numărului de arbori cu un diametru mai mare decât a celui considerat arborele referință. Proporția este calculată în raport cu coeficienții obținuți de indivizi din vecinătatea arborelui de referință, astfel arborii cu diametre mai mari primesc coeficientul 1, respectiv 0 în cazul în care nu îndeplinesc condiția menționată.

Valori acestui indice aparțin intervalului [0-1] și sunt interpretate în raport cu cele cinci praguri implicite. Astfel, în raport cu numărul de arbori cu un diametru mai mare comparativ cu al referinței, indicatorul se încadrează în următoarele categorii: tolerant la umbră, dominat, co-dominant, dominant, predominant. Aceste categorii corespund claselor Kraft, acesta fiind și modul de validare a valorilor obținute. De altfel, variabila considerată în determinarea indicatorului de dominanță poate fi substituită cu alte caracteristici ale arborelui, cum ar fi înălțimea sau specia.

În vederea cuantificării întregului set de indicatori menționați anterior, în cadrul tezei vor fi propuse scoruri și scări de valori. De asemenea, se vor propune factori de importanță pentru evidențierea anumitor indicatori cu o contribuție mai ridicată în descrierea arboretelor.

3.4.3 Indici ai aparatului foliar

Din varietatea de indici calculați prin teledetecție, în sfera cercetării, indicele de suprafață foliară (LAI) a fost cel mai frecvent utilizat. În plus, alături de LAI, un rol important în îmbunătățirea descrierii coronamentului îl deține densitatea suprafeței foliare (LAD), care oferă informații detaliate cu privire la structura orizontală a arboretului. Estimarea indicelui suprafeței foliare, ca raport între suprafața frunzelor (o singură față) și suprafața plotului studiat a fost măsurată, în timp prin diferite metode indirecte (senzori orbitali, fotografii emisferice și atenuarea intensității luminoase) [102–104], necesită încă îmbunătățiri în ceea ce privește stabilitatea și robustețea rezultatelor obținute.

În cadrul cercetărilor, LAI și LAD au fost estimate cu ajutorul ecuației lui MacArthur și Horn [105] dezvoltat pe baza principiului legii Beer-Lambert [106,107] și urmând metodologiile propuse în alte articole de cercetare relevante [108–112].

Simultan, indice suprafeței foliare a fost determinat și prin utilizarea scanărilor preluate cu scannerul laser terestru staționar (Ecuația 8). Necesitar aplicării acestui calcul a fost conversia coordonatelor polare în coordonate carteziane și estimarea gradului de închidere (P_{gap}).

3.4.4 Alți indicatori cu rol în evaluarea serviciilor

Biomasa seminişului are o semnificație ecologică importantă în stabilitatea ecosistemelor forestiere și în evaluarea relațiilor dintre animalele sălbatice și habitatul lor. În ciuda proporției reduse în cadrul volumului suprateran, biomasa corespunzătoare seminişului reprezintă un instrument pentru cercetători în evaluarea aprovizionării cu hrană și a calității mediului [113–121].

Calculul biomasei seminişului implică inventarieri și evaluări complexe și costisitoare, datorită multiplelor variabile care trebuie luate în considerare. În acest sens, au fost propuse aplicații active de teledetecție care au ca scop evaluarea biomasei subarboretului. Au fost analizate date de scanare laser terestre și aeriene pentru a estima subarboretul, conform unor metode specifice [113,119,122].

Pentru determinarea cuantumului seminişului au fost calculați doi indici: fracția de întoarcere a subarboretului și densitatea de acoperire a subarboretului. Fracția de întoarcere este calculată ca raport între numărul de puncte clasificate ca vegetație din intervalul 0,5 - 5 m și numărul total de puncte (vegetație și teren). Densitatea de acoperire a subarboretului reprezintă raportul dintre impulsurile laser clasificate ca vegetație din intervalul 0,5 - 5 m și suma dintre aceste impulsuri și cele ale punctelor clasificate ca teren.

Standardele internaționale propune inventarierea carbonului stocat în arborete din următoarele cinci rezervoare: biomasa supraterană, biomasă subterană, sol, litieră și lemn mort [123,124]. Alternativ variabilelor amintite în cadrul metodologiei de calcul pentru volumul suprateran și a stratificării arboretului, evaluarea stocului de carbon a presupus și un alt set de parametri preluați din tabelele de producție specifice și din ghidurile internaționale [99,125] și anume numărul teoretic (normal) de arbori la hectar, densitatea lemnului, raportul dintre rădăcini și trunchiuri și factorul de expansiune a biomasei. Totodată, pentru evidențierea importanței acestui serviciu, stocurile obținute au fost transpuse în unități monetare prin utilizarea prețului mediu corespunzător schemei Uniunii Europene de comercializare a certificatelor de emisii.

3.5 Interpretarea și relaționarea parametrilor studiați

În vederea ierarhizării și evaluării capacității pădurilor de a furniza servicii ecosistemice, cuantificarea și corelarea indicilor calculați a fost realizată pe baza literaturii de specialitate și a intervalelor de interpretare specifice. Pentru indicii caracterizați de valori continue, împărțirea în clustere a fost realizată prin aplicarea metodei de optimizare Jenks (metoda de clasificare a intervalelor naturale Jenks) prin care se urmărește reducerea varianței în cadrul claselor și maximizarea acesteia între clase. Ulterior acestei clasificări a rezultatelor, au fost implementate scări relative pentru fiecare indicator în raport cu importanța serviciului pe care îl descrie. Importanța serviciului, implicit a indicatorului a fost stabilit prin intermediul unui chestionar aplicat stakeholderilor dar și publicului larg. Sondajul de opinie a vizat aspecte cu privire la prioritizarea funcțiilor îndeplinite de ecosistemele forestiere, informații referitoare la eforturile financiare necesare într-o posibilă metodologie de cuantificare ("willingness to pay"-disponibilitatea de a plăti pentru îndeplinirea anumitor servicii), dar și preferințele publicului și principalii potențiali factori de risc la care sunt supuse pădurile. Totodată pentru integrarea percepțiilor persoanelor interesate și compensarea caracterului de subiectivism au fost adaptate scopului urmărit, căile socio-economice comune.

4. REZULTATE ŞI DISCUŢII

4.1 Identificarea şi selecţia serviciilor ecosistemice

Ecosistemele forestiere pot furniza o gamă complexă de servicii, iar potenţialul acestora este definit în principal de aspectele structurale. În cadrul cercetărilor au fost identificate şi analizate doar acele servicii care pot fi evaluate prin tehnici ale teledetecţiei şi cuantificate într-un mod obiectiv. De asemenea, procesul de selecţie a serviciilor ecosistemice în concordanţă cu sistemul de clasificare TEEB a fost coroborat cu grupele şi categoriile funcţionale corespunzătoare Sistemului de clasificare şi zonare funcţională a pădurilor (OM766/23.07.2018).

Rezultatele acestei selecţii, împreună cu asimilările grupelor funcţionale preluate din amenajamentele forestiere caracteristice fiecărui plot sunt prezentate în cuprinsul tabelului 3.

Tabel 3. Corespondenţa serviciilor ecosistemice cu grupele funcţionale şi prezentarea modului de evaluare

Tipul de servicii	Servicii ecosistemice conform TEEB	Încadrarea vegetaţiei forestiere pe categorii funcţionale	Observaţii privind modul de evaluare a potenţialului de furnizare de servicii
Producţie (Aprovizionare)	Materii prime (Lemn)	Păduri cu funcţii de producţie	Utilizarea unor ecuaţii alometrice pe baza determinării parametrilor biofizici şi structurali ai arboretului Determinarea volumului arborilor segmentaţi pe baza norilor de puncte operaţionalizate la nivel de hectar Determinarea arhitecturii arborilor şi clasificarea sortimentelor de lemn pe clase de calitate
	Hrană	Păduri cu funcţii prioritare de producţie cinegetică	Determinarea volumului de seminţiş şi arbuşti
Reglare	Climat local şi calitatea aerului	Păduri cu funcţii de protecţie contra factorilor climatici şi industriali dăunători	Calcularea unor indici cu rol în descrierea structurii orizontale şi verticale şi a coronamentului (aparaturii foliar) Determinarea unor caracteristici morfometrice
	Prevenirea eroziunii solului şi a fertilităţii acestuia		
	Atenuarea efectului corespunzător evenimentelor extreme		
	Stocarea şi reţinerea carbonului	Păduri cu funcţii de protecţie a solului	Determinarea biomasei pe baza parametrilor biofizici Calcularea volumului de lemn mort

			Clasificarea sortimentelor de lemn pe clase de calitate
Suport	Asigurare habitat	Păduri cu funcții prioritare de producție cinegetică	Determinarea volumului de semințis și arbuști
Cultural	Recreere și sănătate fizică și mentală	Păduri cu funcții de recreere	Identificarea stării de sănătate a arboretelor (porțiuni lemn mort ale arborilor pe picior)
	Turism		Aplicarea de chestionare persoanelor direct interesate
	Estetic		

Totodată, în concordanță cu fiecare funcție specifică, pe baza datelor s-a procedat la prelucrarea acestora în vederea stabilirii potențialului arboretelor de a furniza servicii.

Considerând *funcția de producție* din cadrul clasificării TEEB, se poate afirma că arboretele asigură furnizarea majorității serviciilor înscrise, menționându-se aici hrana (semințis, fructe, ciuperci), materii brute (lemn), plante și resurse medicinale, precum și aportul vegetației arborescente, cuantificate prin structura coronamentului, asupra circuitului și rezervelor de apă potabilă disponibilă pe plan local. Așa cum este menționat, analiza serviciilor de interes care pot fi evaluate prin intermediul scanărilor laser a urmărit calcularea volumului de lemn și a distribuției vegetației arbustive și a semințisului.

În ceea ce privește *funcția de reglare* au fost luate în considerare serviciile corespunzătoare asigurării calității aerului, retenției de carbon, efectului de reducere a impactului evenimentelor extreme și prevenției eroziunii solului și menținerea fertilității acestuia. Pădurea deține poate cel mai important rol în reglarea calității aerului prin reținerea poluării din atmosferă [126], iar informațiile necesare evaluării pot fi reprezentate de valorile indicelui suprafeței foliare sau a densității suprafeței foliare.

În cazul reducerii impactului evenimentelor extreme este cunoscut faptul că ecosistemele forestiere reprezintă o zonă tampon împotriva dezastrelor naturale, precum alunecările de teren sau vânturile puternice, care pot aduce prejudicii semnificative. De asemenea, terenurile acoperite cu pădure dețin una dintre cele mai importante ponderi în balanța dintre emisiile și reținerile de carbon, iar creșterea de biomasă din cadrul ecosistemelor forestiere reprezintă un element cheie în estimarea capacității de stocare a carbonului [127].

În analiza *funcției de suport* au fost urmărite serviciile ce îndeplinesc condițiile asigurării habitatului, și anume hrană și adăpost.

În demersul cuantificării potențialului ploturilor studiate de a furniza servicii din cadrul *funcției culturale*, pentru referință au fost interpretate chestionarele adresate persoanelor direct interesate și au fost coroborate cu indicii de structură determinați.

4.2 Determinarea caracteristicilor dendrometrice și a indicilor specifici

4.2.1 Parametri biofizici

Urmărind metodologia de identificare și segmentare a arborilor din cadrul scanărilor laser au fost determinați următorii parametri biofizici: numărul de arbori din fiecare subplot, diametrele și înălțimile corespunzătoare acestor arbori. Corectitudinea datelor obținute a fost verificată prin intermediul informațiilor preluate din teren.

Valorile specifice înălțimii totale ale fiecărui arbore, calculate cu ajutorul tehnologiei de teledetecție activă, sunt rezultatul biasurilor caracteristice procesului de segmentare, biasuri evidențiate și în lucrările de specialitate [57,128–131]. Astfel, erorile de determinare specifice înălțimilor ating valori de până la 10 m în cazul valorilor individuale și o diferență de ~3 m comparativ cu referința din teren în cazul înălțimilor medii ale arborilor din cadrul subploturilor. Pentru a depăși această limitare, au fost aplicate corecții bazate pe metodologii de scanare laser aeropurtată, materializându-se prin modelul înălțimii coronamentului (Figura 5).

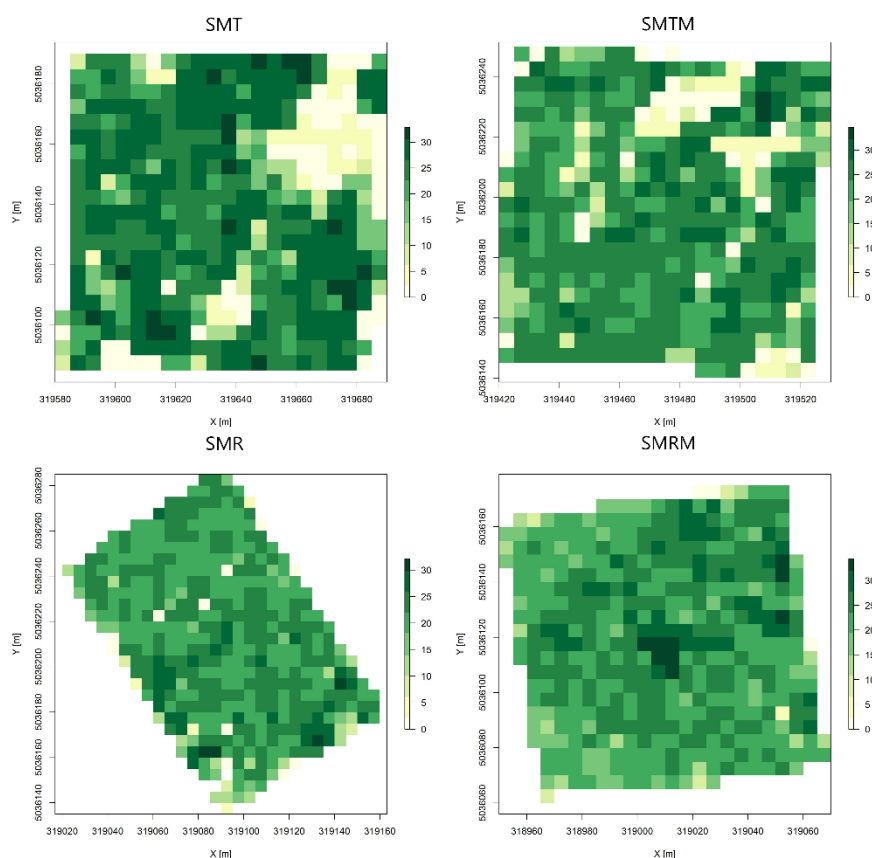


Figura 5. Modelul înălțimii coronamentului arboretului obținut din scanarea aeropurtată

În general, valorile înregistrate la nivelul modelului digital al coronamentului sunt influențate de consistența arboretelor și tipul lucrărilor aplicate în cadrul ploturilor. De asemenea, o influență majoră asupra seturilor de date o deține precizia de determinare a modelului digital al terenului. Astfel, erorile

sunt înregistrate preponderent în cazul arboretelor cu o consistență ridicată, așa cum este cazul arboretelor tinere de molid.

Intervalul al căror limite diferă cel mai mult, este cel aferent arboretelor mature de gorun (3.62-5.92). Gradul de intervenție în cadrul plotului SGT, a fost cel mai ridicat din întreaga serie de date, fapt ce se poate observa ulterior și în analiza numărul de arbori corespunzătoare acestui plot.

Deși sunt caracterizate de o abatere standard mică, suprafețele de molid tinere (3.14-3.38), propuse, respectiv parcurse cu rărituri, sunt afectate de o generalizare la nivel de pixel. Acest fapt se explică prin supraestimarea înălțimilor arborilor dominați. Având în vedere caracterul relativ echien al suprafețelor de probă, acest impediment poate fi considerat unul minor, variabila urmărită fiind de fapt volumul total al plotului, variabilă la care arborii de dimensiuni mici au un aport nesemnificativ.

Așa cum a fost menționat, în cadrul cercetărilor desfășurate nu s-a urmărit validarea sau evidențierea limitărilor tehnologiei TLS, ci evaluarea utilității datelor obținute în procesul de evaluare a potențialului ecosistemelor forestiere de a furniza servicii. De altfel, metodologia aplicată a fost deja publicată în jurnale cotate ISI în cadrul programului de pregătire a doctoratului[132].

În ceea ce privește precizia de estimare a diametrelor, majoritatea coeficienților de determinație obținuți s-au încadrat în intervalul 0.88-0.99 cu un prag inferior de 0.83, iar valorile RMSE (eroarea medie pătratică) au variat de la 0.52 până la valori extreme de 3.71 (Figura 6).

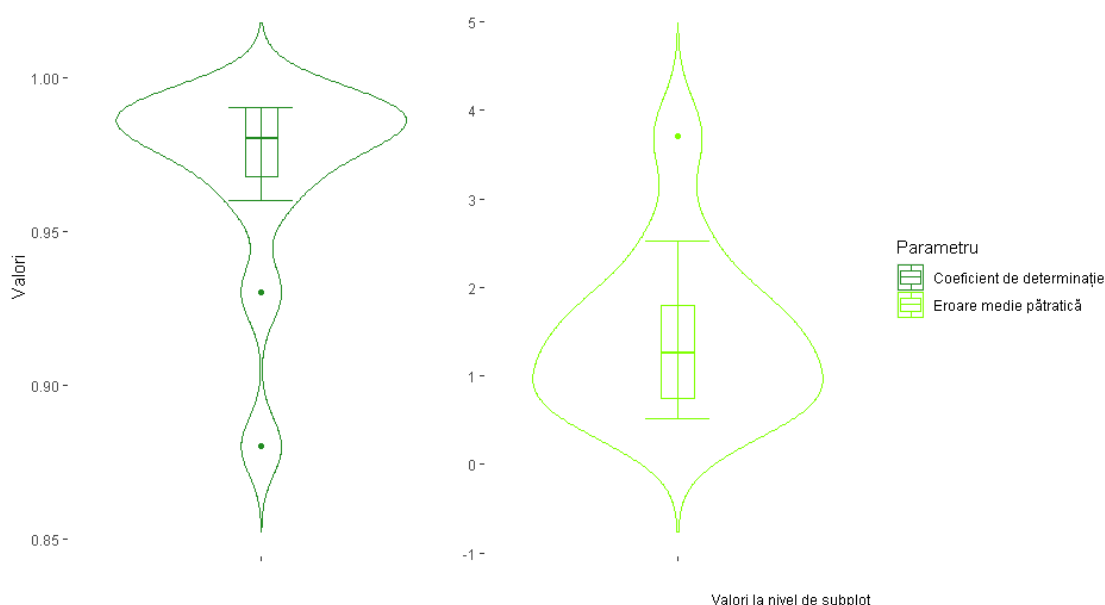


Figura 6. Parametri de precizie corespunzătoare diametrelor determinate din norii de puncte – a) coeficienții de determinație; b) eroare medie pătratică

Urmărind rezultatele obținute la nivel de arbore, erorile s-au înscris în intervalul 1-5%, eliminând din analiză influența unor defecte precum ovalitate, caneluri, răni sau excrescențe identificate în procesul de identificare și cuantificare al defectelor. Preciziile obținute sunt în concordanță cu cele enunțate în cadrul cercetărilor specifice teledetekției din silvicultura românească [57] dar și cea internațională [58,133].

Utilizarea norilor de puncte obținuți prin scanarea laser terestră s-a dovedit a fi o metodă adecvată pentru calculul biomasei [134]. Ulterior creării matricei aferente bazei de date, ce cuprinde diametrele și înălțimile corespunzătoare fiecărui arbore identificat, s-a recurs la calculul volumului suprateran la nivelul fiecărui plot.

Volumele supraterane la nivel de plot sunt prezentate în Tabelul 4. În comparație cu valorile determinate prin aceeași metodologie (Ecuația 1) însă utilizând măsurătorilor de teren, diferențele obținute se încadrează în intervalul 4,6-18,3 % în raport cu structura, specia și numărul de arbori identificați anterior. Astfel, ploturile de molid (SMT, SMTM, SMRM SMRM), indiferent de vârsta acestora, înregistrează erori considerabile (~14-18%) fapt explicat prin numărul mai mic de arbori identificați la nivel de subplot, ca și rezultat al procesului de segmentare afectat de o consistență apropiată de valoarea 1, și de gradul de eterogenitate mai scăzut în cadrul ploturilor de rășinoase.

Tabel 4. Volumul suprateran și caracteristicile medii ale arboretului

Plot	V [m ³ ha ⁻¹]	d _m [cm]	h _m [m]	v _m [m ³]
SGT	444.1	21.91	20.7	0.97
SGTM	646.4	24.15	22.36	0.90
SFR	434.6	17.81	21.9	0.52
SFRM	509.8	18.25	26.26	0.48
SFT	457.2	24.83	18.9	1.07
SFTM	622.3	25.45	19.4	1.05
SMR	345.7	17.3	17.8	0.28
SMRM	420.1	17.45	15.8	0.29
SMT	409.5	29.29	21.6	0.90
SMTM	558.3	33.01	26.6	0.93

V- volum arboret; d_m- diametru mediu al arboretului; h_m- înălțimea medie a arboretului; v_m – volumul arboretului mediu al arboretului

Conform așteptărilor, ploturile ce au fost propuse pentru tăieri de regenerare în cadrul amenajamentului silvic, comparativ cu cele propuse pentru rărituri, sunt caracterizate de volume supraterane ridicate (409.5-646.4 m³).

Aceste analize au fost adaptate, dezvoltate și îmbunătățite pentru a evidenția posibilitatea utilizării lor la o scară extinsă. În vederea obținerii de rezultate la nivel de hectar a fost considerat pentru prelucrare plotul SFR (Tabelul 5), plot ce a fost scanat integral alături de suprafețele SGR,SGT, SMT și SMR.

Tabel 5. Volumul suprateran și caracteristicile medii ale arboretului din cadrul plotului SFR obținute prin prelucrarea informațiilor de la nivel de hectar

Plot	V [m ³ ha ⁻¹]	d _m [cm]	h _m [m]	v _m [m ³]
SFR	416.17	17.1	20.3	0.47

Din cadrul informațiilor obținute la nivel de plot, se remarcă o diminuarea a valorii medii corespunzătoare diametrului și a volumului, fapt datorat optimizării procesului de segmentare prin introducerea în calcule a unor arbori din cadrul claselor de diametre inferioare.

Prelucrările realizate prin intermediul instrumentului automat FSCT (Forest structural complexity tool) [96] și a software-ului 3dforest [100] au permis determinarea volumului corespunzător fiecărui arbore (Figura 7). Diferența specifică diametrului mediu rezultată a fost de 0.1 cm iar volumul total la nivel de plot a înregistrat o subestimare de doar 9%, remarcându-se astfel, o optimizare a rezultatelor obținute prin utilizarea informațiilor la nivel de subplot. De menționat este și faptul că eroarea constatată este cauzată în principal de biasurile specifice înălțimilor arborilor.

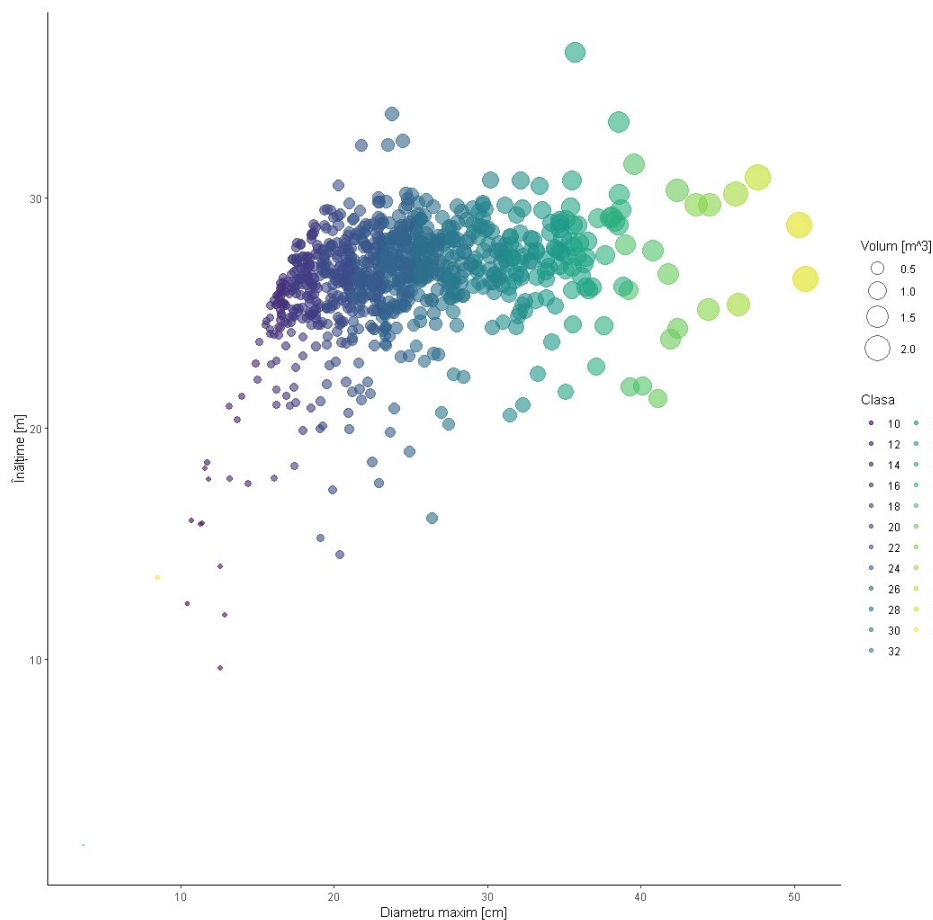


Figura 7. Volumele corespunzătoare arborilor din cadrul plotul SFR (reprezentare pe categorii de diametre)

Pentru clasificarea segmentelor de lemn corespunzătoare arborilor pe clase de calitate, în eventualitatea aplicării unei metode cantitative și calitative de evaluarea a serviciului de producție (aprovizionare), au fost considerate caracteristici precum asimetria, diametru, lungimea segmentelor, prezența ramurilor și diametrul acestora.

Pentru dezvoltarea și stratificarea rezultatelor obținute, a fost urmărit și volumul corespunzător crăcilor. Prin acest demers au fost clasificate ramurile în raport cu ordinul acestora și a fost aplicat un algoritm de calcul al volumului individual al segmentelor identificate. Pentru eliminarea efectului de generalizare al formei de cilindru, valorile obținute au fost corectate prin intermediul unei analize supervizate, care a luat în considerare diametrul de la baza și de la vârful ramurii.

Volumele specifice ramurilor au fost relativ mici ($\sim 4\text{m}^3$), iar clasificarea lor a necesitat o supervizare suplimentară. La sfârşitul acestui proces o mare parte din ramuri au rămas neclasificate sau s-a concluzionat că sunt segmente ce fac parte din fusul principal. Acest impediment este cauzat în principal de puterea de penetrare limitată a scannerului laser terestru şi densitatea reţelei de achiziţie a datelor.

Aşa cum a fost menţionat, alături de ramurile de ordinul 1 şi 2, au fost reprezentate şi volumele corespunzătoare trunchiurilor (208.82 m^3), dar şi ale segmentelor pentru care a fost imposibilă stabilirea ordinului, ale arborelui sau a originii ($101,79\text{ m}^3$). Cuantumul segmentelor neclasificate şi celor care fac parte din trunchi au fost net superioare volumelor preconizate.

Pentru integrarea acestor rezultate, stratificarea obţinută a fost corelată cu preţul mediu specific pieţei pentru fiecare tip de produs. Aceste preţuri de referinţă al materiilor lemnoase au fost preluate din Legea 171/2010 [135] (Tabel 6).

Tabel 6. Volumul pe sortimente şi contravaloarea acestora în unităţi monetare

Plot/Specie	Sortiment	v [m^3]	Preţ [lei/m^3]	Valoare [lei]
Fag (SFR)	Buşteni gater	6.47	283	1831.01
	Lemn de lucru pentru construcţii	65.76	193	12691.68
	Lemn de foc	225.67	163	36784.21
	Lemn rotund pentru celuloză	118.78	132	15678.96
Total				66985.86

v- volum specific materialului lemnos;

Conform celor menţionate anterior clasa lemnului destinat furnirului (estetic sau tehnic) nu a fost luat în considerare pentru că segmentele analizate nu au îndeplinit cerinţele de diametru şi de lungime specifice sortimentelor. Valoarea totală în unităţi monetare a plotului SFR fost de 66985.86 lei, cuantumul ce depăşeşte limita maximă a vegetaţiei forestiere stipulată în codul silvic pentru specia, vârsta şi clasa de producţie specifică arboretului analizat.

4.2.2 Indici de diversitate structurală

Urmând metodologia de calcul a indicilor structurali propuşi şi a procesului de eliminare a efectului de margine prin selectarea arborilor din interiorul unei zone tampon (buffer), au fost determinate caracteristicile structurale ale arboretelor din cadrul subploturilor studiate. Informaţiile calitative obţinute în cadrul acestei analize vor facilita evaluarea serviciilor ecosistemice furnizate şi nivelul la care acestea pot fi cuantificate (Tabelul 7).

Tabel 7. Valorile corespunzătoare indicelui Clark Evans şi indicelui de uniformitate a unghiului

Plot	Subplot	N _{ref}	Indice CE	Valoare t*	UI
SMTM	1	17	1.715	1.19	0.456
	2	11	1.829	2.19	0.432
	3	7	1.689	2.59	0.393

SGTM	1	20	1.558	3.12	0.563
	2	19	1.558	3.14	0.526
	3	25	1.825	2.68	0.510
SFTM	1	31	1.074	0.56	0.547
	2	37	1.272	1.59	0.574
	3	20	0.405	-8.75	0.55
SFRM	1	64	1.423	1.09	0.553
	2	55	1.283	0.91	0.515
	3	37	1.166	0.97	0.5
SFR	1	71	1.309	0.68	0.715
	2	99	1.866	1.16	0.707
	3	76	1.628	0.95	0.725
SMR	1	102	1.301	0.38	0.719
	2	131	1.244	0.21	0.722
	3	147	1.252	0.37	0.723

N_{ref} - numărul de arbori de referință, *t- value corespunzătoare CE, CE-indicele celui mai apropiat vecin, UI- indice de uniformitate a unghiului

Valorile determinate ale indicelui CE, ce depășesc pragul valorii 1, sugerează că subploturile studiate sunt caracterizate de o structură orizontală uniformă. Excepție face de la acest trend subplotul SFTM-3, care se caracterizează printr-o valoare medie de 0.4, valoare ce denotă o structură caracterizată de clustere (arbori grupați). Acest lucru ar putea fi explicat prin numărul mai mic de arbori care sunt grupați și prin faptul că acest subplot de formă circulară este traversat de un drum de colectare a materialului lemnos.

Pentru identificarea unor potențiale grupări de arbori s-a analizat indicele de uniformitate a unghiului dintre arbori, ce evidențiază diferențe structurale între arborete. Valorile indicelui de uniformitate a unghiului au variat între 0,393 și 0,725, ceea ce acoperă întregul interval de interpretare.

În cadrul arboretului bătrân de gorun fără intervenții (SGTM), subploturile corespunzătoare au înregistrat valori care descriu o distribuție mai degrabă aleatorie, cum este cazul subplotului SGTM-3 (0,510), cu excepția suprafețelor SGTM-1 și SGTM-2, caracterizate de o structură grupată a arborilor. În cazul subplotului corespondent de molid (SFTM), valorile obținute definesc o structură uniformă, în timp ce arboretul tânăr de fag cu intervenții (SFR) este caracterizat de o structură grupată în toate subploturile.

Evaluarea similitudinii structurii și a condițiilor din cadrul ploturilor s-a realizat prin intermediul distribuției grafice (Figura 8).

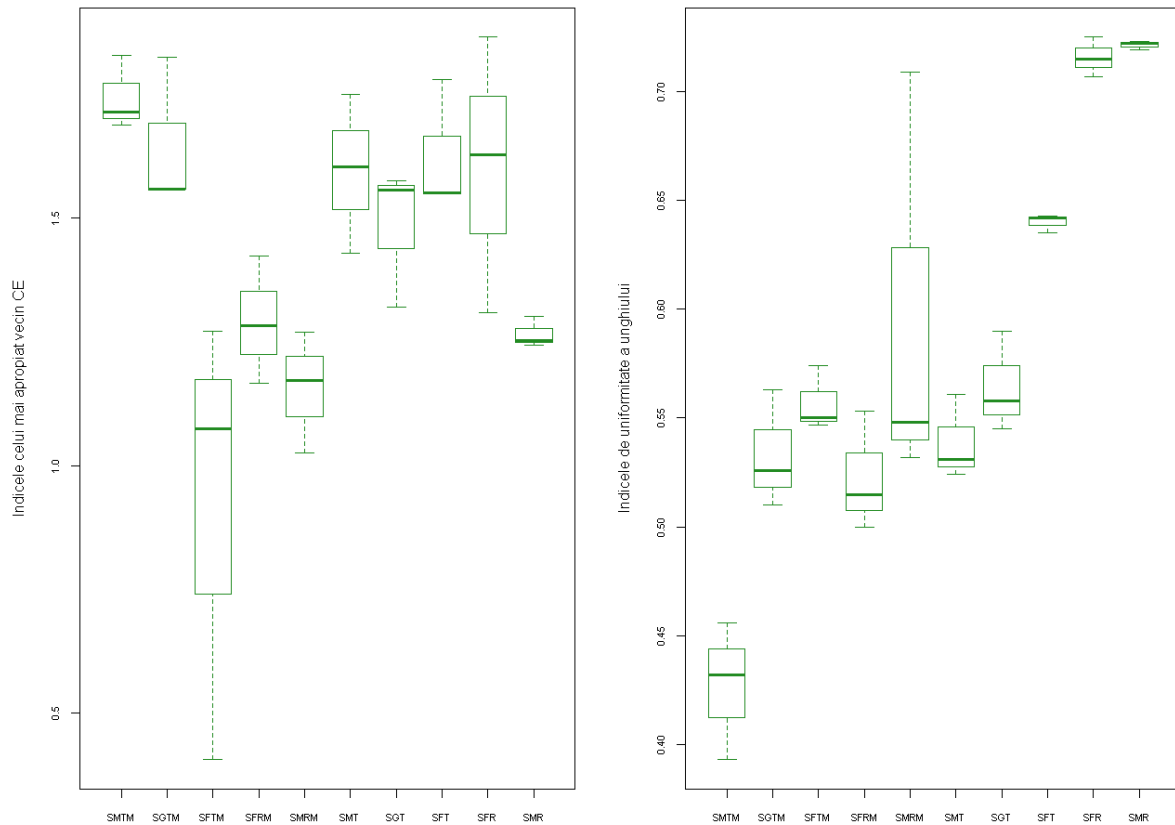


Figura 8. Distribuția indicelui celui mai apropiat vecin CE și indicele de uniformitate a unghiului

După cum s-a menționat anterior, apar discrepanțe în SFTM în ceea ce privește indicele CE și în SMRM în cazul indicelui de uniformitate a unghiului. Aceste diferențe au fost explicate prin identificarea unui drum de exploatare în SFTM-3 și prin doborâturile de vânt care au afectat subplotul SMRM-2.

Analizele privind indicele diametrului de dominanță relativă descriu structura verticală a arboretului la nivelul subploturilor. O similitudine a putut fi observată între subploturile de molid bătrân (SMTM), indicând o structură uniformă în cadrul arboretului și o distribuție uniformă a arborilor între clase. O tendință asemănătoare se observă și în cazul cercurilor aferente ploturilor SMT, SFT. În antiteză, arboretele de gorun (SGT,SGTM) sunt caracterizate de un grad mai ridicat de eterogenitate și de clase neuniforme.

În vederea relaționării serviciilor ecosistemice cu indicii de structură, adițional acestora au fost determinate pantele versanților specifice fiecărui plot. Pentru o bună descriere a condițiilor prezente în teren au fost calculate valorile minime, maxime și abaterile standard specifice caracteristicii urmărite și atribuite clase. Acestea vor servi în continuare ca și ponderi în determinarea potențialului și necesitatea impusă ecosistemelor în a îndeplini o serie de servicii.

4.2.3 Indici ai aparatului foliar

Indicii foliari vin în completarea informațiilor caracteristice structurii orizontale a arboretelor, oferind posibilitatea de descriere a coronamentului, implicit a structurii verticale. Conform datelor obținute ale LAI și LAD, tendințele dictate de indicii de uniformitate unghiulară și de dominanță relativă sunt

confirmate. Astfel, arboretul de gorun, fără intervenții silviculturale, este caracterizat de o structură neuniformă, iar în partea de nord-vest a plotului, densitatea mai mare de arbori mai mici are un impact asupra LAI și asupra tendinței înălțimii a LAD-ului mediu, înregistrând valori cuprinse între 1 și 3, respectiv între 5 și 10 m (Figura 9).

Valorile medii ale LAI la nivel de subplot sunt relativ uniforme în cadrul plotului. Valorile medii cele mari ale LAI sunt atinse de ploturile de molid propuse de a fi parcurse cu rărituri (3.7-4.0), arborete cu consistențe apropiate de 1 și un număr mare de arbori la hectar (~1200 arbori). La polul opus se situează plotul SGTM care înregistrează valoarea de 1.6 în ceea ce privește LAI-ul, o valoare ce explică distanțe între coroanele arborilor, înălțime mare de inserție a coroanelor, dar și un volum al coronamentului redus.

Valorile medii LAD, nu corespund în tocmai tendințelor LAI, diferențele de înălțime fiind un factor cu o influență majoră în pragurile atinse de ploturile studiate. Astfel valoarea maximă este caracteristică plotului SFR (1.89), unde densitatea numărului de arbori, înălțimea ridicată a coronamentului și variabilitatea redusă pe verticală converg către valori ridicate ale LAD.

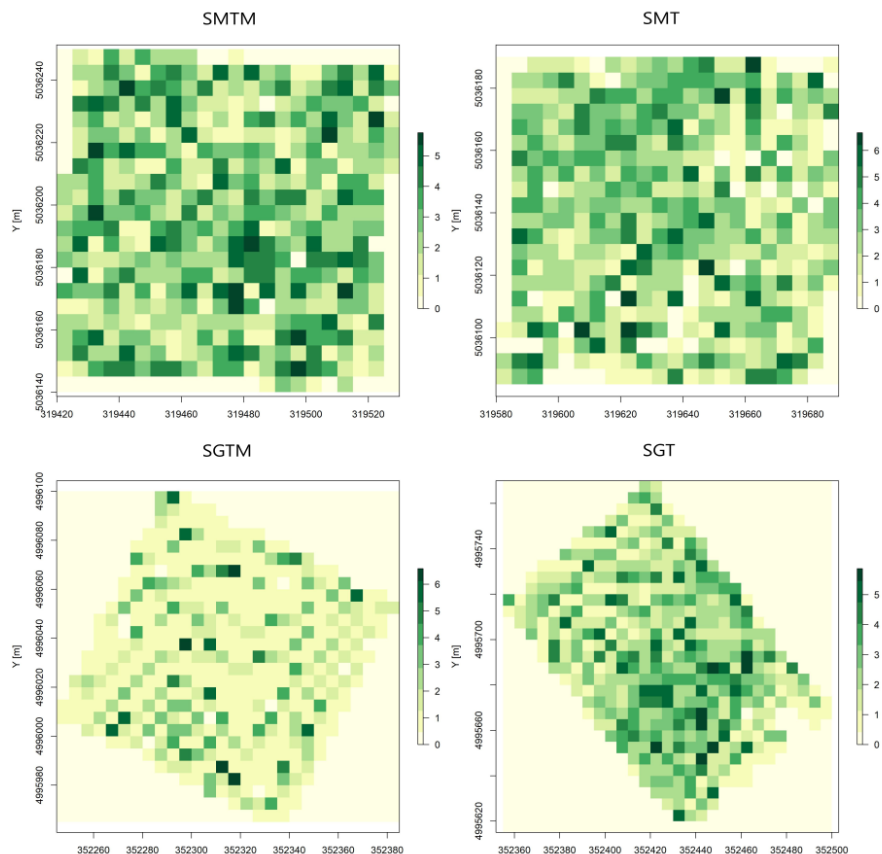


Figura 9. Distribuția spațială a valorilor indicelui suprafeței foliare

La nivelul distribuției spațiale a LAI, între ploturile parcurse cu lucrări silviculturale și cele desemnate ca martor, nu există diferențe evidente în ceea ce privește plaja de valori atinsă, pragul limită superior fiind de aproximativ 6 unități. Excepții de la acest trend, sunt reprezentate de diferențele existente în cazul arboretelor de gorun, cu un maxim de 5, respectiv 6 unități și o distribuție mult mai regulată în cazul SGTM. Distribuția valorilor corespunzătoare SGT este afectată atât de tratamentele silviculturale aplicate cât și de existența unui etaj inferior mult mai dezvoltat.

4.2.4 Alți indici cu rol în evaluarea serviciilor

Aplicarea metodologiei de determinare a prezenței straturilor de arbuști din norii de puncte preluate prin scanare aeropurtată a presupus determinarea a doi indici de descriere a structurii horizontale inferioare, și anume fracția de întoarcere specifică subarboretului (raport între numărul de puncte clasificate ca vegetație din intervalul 0,5 - 5 m și numărul total de puncte) și densitatea de acoperire a subarboretului.

În ceea ce privește distribuția spațială a fracției de întoarcere, se remarcă faptul că extremele superioare sunt reprezentate de zone izolate cu dimensiuni relativ reduse în cadrul tuturor ploturilor, cu precădere în SMTM și SFTM. Plotul SFRM înregistrează poate cea mai regulată dispersie (fracția de întoarcere specifică subarboretului ~ 20%) pe o suprafață extinsă.

Plotul de gorun de vârstă înaintată, în comparație cu cel de molid și cel de fag, este caracterizat de o distribuție rară a stratului de arbuști și de intensități mai scăzute, fără a fi identificate pâlcuri de subarboret. În cazul plotului de molid, se poate observa o zonă centrală-nordică cu o densitate mare a vegetației de subarboret, unde valorile modelului de înălțime a coronamentului sunt mai mici. În general, plotul de fag a înregistrat o valoare de 0,22 care, conform [136], indică o intensitate medie spre mare a acoperirii corespunzătoare semințișului.

Analizând restul ploturilor, majoritatea au o acoperire mică cu arbuști de la 6 până la 15%, ceea ce denotă o acoperire redusă cu semințiș în cazul ploturilor SMRM, SMR, SGT până la o acoperire medie în cazul ploturilor SFR, SFRM (Figura 10).

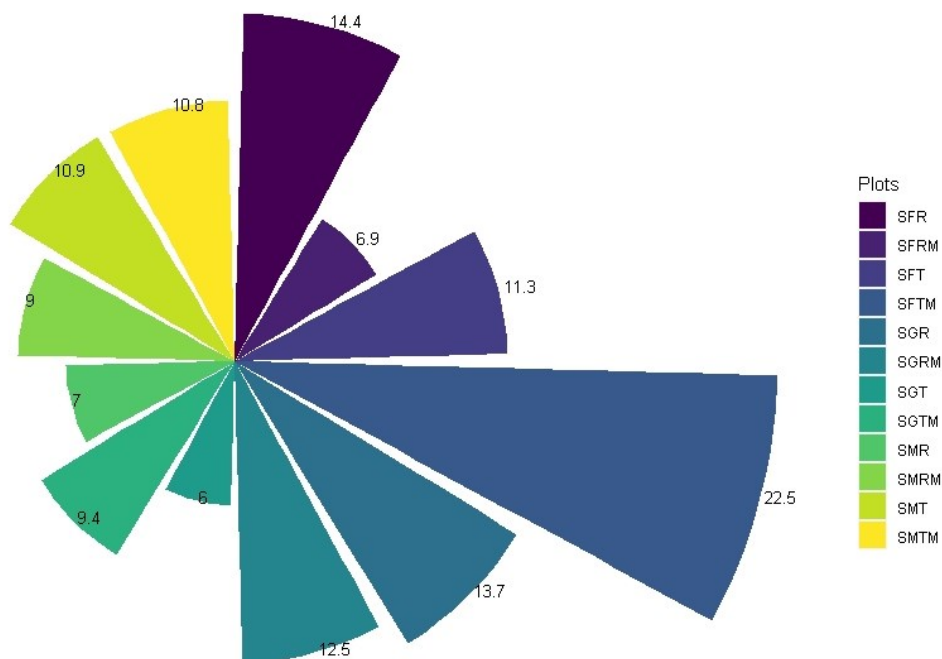


Figura 10. Valorile corespunzătoare fracției de întoarcere a vegetației subarborecente la nivel de plot

Tabel 8. Variabile de calcul al stocului de carbon

Plot	V [m ³ ha ⁻¹]	R ¹	BEF ²	CF ³	D ¹ [kg m ⁻³]	Stoc Carbon [tC·ha ⁻¹]	Valoare [lei/tCO ₂]
SMTM	558.3	0.2	1.3	0.51	353	120.61	192240.3
SMT	409.5	0.2	1.3	0.51	353	88.47	141012.3
SMRM	420.1	0.2	1.3	0.51	353	90.76	144662.4
SFR	434.6	0.19	1.4	0.46	545	129.66	206665.1
SGRM	227.3	0.22	1.4	0.48	584	77.73	123893.8
SGR	220.2	0.22	1.4	0.48	584	75.31	120036.6

1 [99] 2 [125] 3 [137]; V – volumul arbore; D – densitate lemn ; R – raportul dintre biomasa supraterană și cea subteran; BEF – factorul de expansiune al biomasei; CF – fracția de carbon

Valorile stocurilor de carbon obținute au variat între 74.68 tC·ha⁻¹ (273.82 tCO₂·ha⁻¹) în cazul plotului corespunzător molidului tânăr parcurs cu intervenții silviculturale și 221.06 tC·ha⁻¹ (810.55 tCO₂·ha⁻¹) în cazul plotului de gorun bătrân. Valorile superioare ale intervalului capacității de stocare a ploturilor studiate sunt în concordanță cu cele menționate în literatura de specialitate [138]. Valorile mai mici sunt induse de vârsta și caracteristicile speciei (densitatea lemnului, raportul rădăcină/trunchiuri și fracția de carbon).

Pentru evidențierea importanței acestui serviciu, rezultatele obținute au fost transpuse în unități monetare. În vederea facilitării acestui proces, au fost utilizate informații referitoare la factorul de conversie între carbon (C), emisiile efective, respectiv dioxid de carbon (CO₂), și prețul mediu utilizat în cadrul schemei Uniunii Europene de comercializare a certificatelor de emisii (EU ETS).

Astfel, la încheierea contractului EU Futures, prin care erau tranzacționate certificatele de emisii (EUA), costul stipulat conform pieței (ICE ECX-Instrumente financiare pe bază de carbon Contracte Futures și contracte de opțiuni) era de 87.82 euro/tCO₂ (434.7 lei/tCO₂ conform conversiei). Aplicând metoda de evaluare corespunzătoare evitării costurilor prin integrarea prețului menționat și factorul de corecție de 44/12 la stocurile rezultate, au fost obținute valorile în unități monetare ale serviciului de stocare a carbonului.

Din cadrul componentelor care pot asigura reținerea carbonului, se mai poate enumera lemnul mort. În determinările realizate cu ocazia scanării integrale a ploturilor a fost calculat și volumul de lemn mort din cadrul plotului SFR. O estimare utilizând informațiile aferente subploturilor ar fi caracterizată de erori considerabile, datorită, în principal, distribuției inegale a lemnului mort în cadrul plotului. În figura 11, au fost selectate trei zone caracterizate de un volum mare de lemn pentru evidențierea modului de calcul.

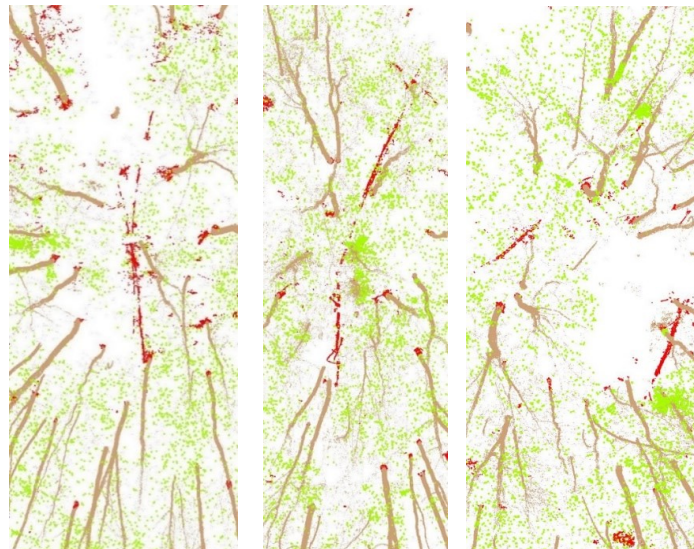


Figura 11. Distribuția lemnului mort identificat în cadrul plotului SFR

Odată identificate segmentele corespunzătoare lemnului mort s-a aplicat un filtru pentru stabilirea gradului de încredere. Astfel, în cadrul norului de puncte au fost urmărite segmentele paralele cu modelul digital al terenului și care se apropie cel mai mult de secțiunea de cilindru.

Ulterior acestei validări, segmentele identificate au fost generalizate la forma de cilindru [139] pentru facilitarea procesului de determinare a volumului. Zonele selectate au înregistrat un volum al lemnului mort de 2.16 m³, dintr-un total de 5.91 m³, valoare aferentă întregului plot SFR (1ha). Considerând proporția redusă a volumului de lemn mort la nivel de hectar, s-a optat pentru omiterea sa în formula de calcul corespunzătoare stocului de carbon, stoc ce a atins prin utilizarea informațiilor la nivel de hectar un prag de 124,16 tC·ha⁻¹.

Caracteristicile privind identificarea și analiza lemnului mort pe picior au fost realizate pe baza datelor de scanare laser aeropurtată, conform metodologiei prezentate în [140]. După implementarea analizelor de procesare, norii de puncte au fost clasificați în patru clase, și anume: arbori vii, mici porțiuni de lemn mort, lemn mort la extremitățile coroanei vii și lemn mort din interiorul coronamentului superior (Figura 12.

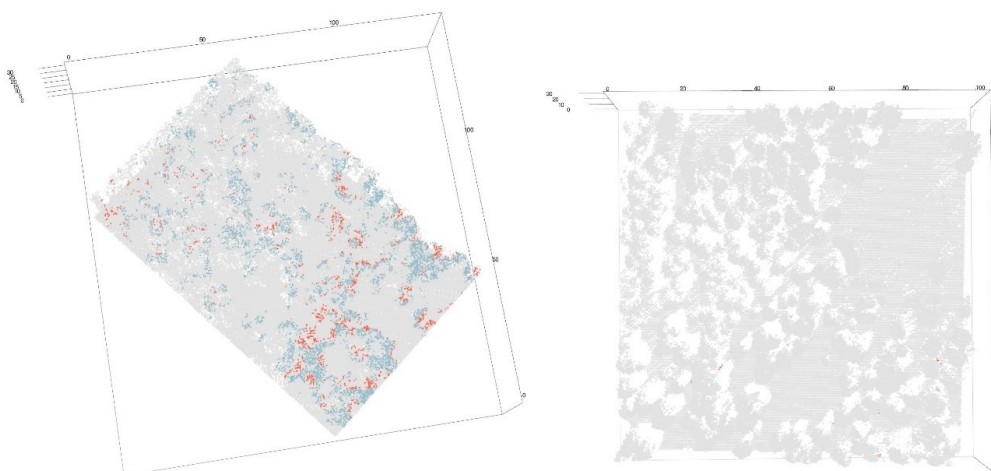


Figura 12 Identificarea și clasificarea lemnului mort pe picior (SGT - stânga; SMT - dreapta) [gri – arbori vii, bleu -lemn mort la marginea coroanei, roșu – lemn mort din coronamentul superior]

Din cauza proporţiei mici de arbori morţi din ploturile studiate, nu toate clasele au fost bine reprezentate. Mai mult, în urma analizelor, în plotul de molid (SMT) nu a fost identificată niciuna dintre clasele de lemn mort, cu excepţia porţiunilor mici, rare şi nereprezentative, din vegetaţia inferioară. Prin comparaţie, suprafaţa de gorun (SGT) prezintă o proporţie mai mare corespunzătoare clasei lemn mort de la marginea coroanei vii.

Cuantumul cel mai semnificativ de lemn mort caracteristic arborilor pe picior este înregistrat la nivelul plotului SMR (23%), cu un aport considerabil adus de marginea coronamentului. Consistenţa specifică arboretului şi aplicarea lucrărilor silviculturale corespunzătoare (răritură) au avut o influenţă majoră în rezultatul obţinut, ramurile inferioare uscate fiind surprinse odată cu tăierea arborilor dominanţi.

4.3 Analiza, interpretarea şi legătura dintre indicii studiaţi

Parametrii calculaţi anterior sunt analizaţi în continuare din perspectiva influenţei pe care o au asupra potenţialului ecosistemelor forestiere de a furniza servicii. Dat fiind faptul că în cadrul cercetărilor au fost considerate arborete diferite în ceea ce priveşte specia, vârsta, consistenţa şi lucrările silviculturale aplicate, ierarhizarea potenţialului corespunzător ploturilor se va face într-o manieră relativă în raport cu valorile minime şi maxime obţinute.

Calculul biomasei deserveşte două tipuri de servicii, unul de producţie, asimilat ca şi materii prime (lemn) şi unul specific funcţiei de reglare şi anume reţinerea carbonului. Scorul corespunzător fiecărui plot este rezumat în tabelul 9.

Tabel 9. Cuantificarea potenţialului ecosistemelor de a furniza materii prime şi de a stoca carbonul

Plot	V [m ³ ha ⁻¹]	Potenţial furnizare materii prime	Stoc Carbon [tC·ha ⁻¹]	Potenţial reţinere carbon
SMTM	558.3	4	120.61	3
SMT	409.5	3	88.47	2
SMRM	420.1	3	90.76	2
SMR	345.7	2	74.68	1
SGTM	646.4	5	221.06	5
SGT	444.1	3	151.88	3
SFTM	622.3	5	185.65	4
SFT	457.2	4	136.40	3
SFRM	509.8	4	152.09	3
SFR	434.6	3	129.66	3
SGRM	227.3	1	77.73	1
SGR	220.2	1	75.31	1

V – volumul arboret

Pentru simplificarea şi integrarea rezultatelor, au fost adoptate cinci clase specifice asigurării serviciilor urmărite. În concordanţă cu valorile biomasei, respectiv stocului de carbon, ploturile cu valori net superioare au fost încadrate în clasa cinci, iar cele ce au obţinut cele mai mici valori în clasa

întâi. Împărţirea pe clase a valorilor intermediare a fost realizată ca şi procent din maximul obţinut de ploturile studiate.

Alături de asigurarea aprovizionării cu materii prime, din cadrul funcţiei de producţie, poate fi evaluat indirect şi potenţialul arboretelor de a asigura hrană populaţiilor de ungulate. Această capacitate este analizată în raport cu fracţia de întoarcere specifică subarboretului, seminţişul reprezentând o sursă primară de hrană.

Stratificarea rezultatelor a fost realizată în concordanţă cu limitele impuse în publicaţii ştiinţifice [136]. De asemenea pentru validarea şi compararea rezultatelor a fost utilizat acelaşi număr de clase. Astfel, au fost stabilite cinci clase, acoperind plaja de valori 0-25%, cu o amplitudine între clase de 5%.

Date fiind intervalele extinse specifice indicilor de diversitate structurală în cazul anumitor ploturi (SFTM, SMTM), analizele vor include valorile caracteristice subploturilor componente. Indicele de dominanţă relativă (respectiv clasele Kraft) necesită o prelucrare suplimentară în vederea stabilirii punctajelor. În acest sens s-a urmărit calcularea varianţei între clase care a fost corectată prin intermediul numărului de arbori şi numărului de clase prezente într-un subplot.

În cazul indicelui celui mai apropiat vecin şi a celui de uniformitate a unghiului, stabilirea punctajelor a fost realizată conform toleranţelor impuse de literatura de specialitate, prezentate în cadrul metodologiei de cercetare. Intervalele definite au fost divizate în cinci categorii egale, astfel clasa unu reprezintă arborete cu arbori grupaţi, respectiv o distribuţie neuniformă, iar clasa superioară cinci tinde către o distribuţie regulată şi uniformă. Cea de-a treia clasă corespunzătoare ambilor indici, descrie o distribuţie aleatorie a arborilor, fără a exista o configuraţie grupată sau regulată

Datorită diferenţelor la nivel de subplot, determinarea punctajului deţinut de fiecare arboret (plot) a fost realizată conform mediei aritmetice a valorilor obţinute. Influenţe majore în calculul final, l-au avut valorile extreme din cadrul ploturilor SFTM şi SMRM.

Pentru indicele suprafeţei foliare şi a densităţii foliare nu au fost stabilite clase de punctaj. Raţiunea acestui opţiuni a urmărit valorile înregistrate şi principiul după care o valoare ridicată a acestor indici ilustrează un grad de asigurare sporit a tuturor serviciilor cercetate.

Evaluarea serviciilor din cadrul funcţiei de reglare reprezintă o mare provocare în procesele de evaluare [81]. Asigurarea serviciilor din această clasă, precum reglarea calităţii aerului, cea de atenuare a evenimentelor extreme, cea de prevenire a eroziunii solului şi cea de stocare a carbonului, impune analiza a unui cumul relativ ridicat de condiţii. Din acest motiv definirea potenţialului arboretelor de a asigura majoritatea serviciilor urmărite va fi definit în raport cu efectul sinergic al parametrilor determinaţi.

Factorii de influenţă caracteristici eroziunii solului sunt reprezentaţi de quantumul de precipitaţii şi de practicile silviculturale [141]. Pentru asigurarea acestui serviciu este necesar urmărirea şi cuantificarea efectului de filtrare a precipitaţiilor, în vederea evitării formării de ravene, ogaşe sau rigole de scurgere. Astfel, pentru evaluarea serviciului de prevenire a eroziunii solului au fost consideraţi următorii indici: indicele densităţii foliare, indicele de dominanţă relativă, indicele de uniformitate unghiulară şi indicele celui mai apropiat vecin. Prin utilizarea acestor indici, s-a urmărit definirea unei distribuţii uniforme, fără goluri extinse, consistenţe scăzute sau arbori grupaţi prin aplicarea următoarei relaţii (Ecuaţia 1):

$$P_{\text{sol}} = \frac{C_{LAD} * \left(1 + \frac{m}{10}\right) + \frac{C_{CE} + C_{UI} + C_{IR}}{3}}{2} \quad (1)$$

unde:

P_{sol} – reprezintă potențialul de asigurare a serviciului de prevenire eroziune

C_{LAD} – punctajul corespunzător indicelui densității foliare

m – clasa de pantă [m3]

C_{CE} – punctajul corespunzător indicelui celui mai apropiat vecin

C_{UI} – punctajul corespunzător indicelui de uniformitate unghiului

C_{IR} – punctajul corespunzător indicelui de dominanță relativă

Tabel 10. Cuantificarea potențialului ecosistemelor de a preveni eroziunea solului

Plot	Potențial prevenire eroziune sol
SMTM	3.95
SMT	4.08
SMRM	2.97
SMR	3.20
SGTM	2.93
SGT	5.08
SFTM	4.30
SFT	4.80
SFRM	4.47
SFR	5.67
SGRM	2.60
SGR	2.93

Valorile obținute la nivelul ploturilor cercetate, arată un potențial ridicat în cazul arboretelor din SGT (5.08) și SFR (5.67). Distribuția arborilor și clasele de pantă caracteristice reprezintă factorii principali care influențează potențialul de prevenire a eroziunii solului. Este de evidențiat faptul că ploturile de gorun, propuse pentru rărituri, sunt caracterizate de praguri relativ mici, comparativ cu celelalte ploturi. Rezultatul obținut nu evidențiază doar potențialul acestora de a furniza serviciul urmărit, ci și necesitatea îndeplinirii acestuia în condițiile geomorfologice specifice ploturilor respective.

Utilitatea valorilor indicelui ariei foliare, în calculul aferent atenuării poluării a fost expus anterior în numeroase publicații [142], rolul acestuia în evaluarea retenției de particule în suspensie reprezintă și bazele analizei de față. Totodată, serviciul de asigurare a calității aerului a fost evaluat și în raport cu rezultatele corespunzătoare fracției de întoarcere specifice subarboretului, parametru ce aduce un plus biomasei aparatului foliar.

În cadrul moderării evenimentelor extreme au fost considerate cantitățile extreme ale precipitațiilor, doborâturile de vânt și un efect sinergic al schimbărilor climatice prin secetă și valuri de căldură. Cuantificarea efectelor precipitațiilor și a doborâturilor de vânt a fost determinată în raport cu

structura arboretelor, descrisă în principal de indicele densităţii foliare, indicele de dominanţă şi distanţa dintre arbori (indicele celui mai apropiat vecin), urmărindu-se în acest mod evitarea apariţiei de coridoare.

Atenuarea efectelor schimbărilor climatice a fost evaluată prin capacitatea arboretelor de a reţine carbonul şi particulele în suspensie, reprezentând un proces premergător unor fenomene precum seceta sau valurile de căldură [143]. Astfel ponderile indicilor calculaţi sunt prezentaţi în Ecuaţia 2:

$$P_{msvx} = \frac{\left[\left(\frac{C_{LAD} + C_{IR} + C_{CE}}{3} \right) + \left(\frac{C_{IR} + C_{CE}}{2} \right) + \left(\frac{C_{CS} + C_{LAI}}{2} \right) \right]}{3} \quad (2)$$

unde:

P_{msvx} – reprezintă potenţialul de asigurare a serviciului de moderare a evenimentelor extreme

C_{LAD} – punctajul corespunzător indicelui densităţii foliare

C_{CE} – punctajul corespunzător indicelui celui mai apropiat vecin

C_{CS} – punctajul corespunzător stocului de carbon

C_{IR} – punctajul corespunzător indicelui de dominanţă relativă

Prin aplicarea Ecuaţiei 2, au fost obţinute rezultatele prezentate în tabelul 11.

Tabel 11. Cuantificarea potenţialului ecosistemelor de moderare a evenimentelor extreme

Plot	Potenţial moderare evenimente extreme
SMTM	3.67
SMT	3.39
SMRM	3.17
SFRM	3.39
SFR	3.89
SGRM	2.72
SGR	3.00

Considerând punctajele obţinute, majoritatea ploturilor analizate tind să asigure efectul de moderare a evenimentelor extreme în proporţie de 60-70%. Scara relativă utilizată permite un maxim de 5 puncte, maxim caracterizat de condiţii ideale în ceea ce priveşte structura şi valorile LAI şi LAD înregistrate. Deşi este o scară relativă, dependentă de valorile obţinute pentru arboretele studiate, niciun plot nu a obţinut punctaj maxim sau minim (caracteristic valorii de 1), fapt datorat în principal de numărului mare de variabile din cadrul ecuaţiei de stabilire a potenţialului (CE, CS, IR, LAD, LAI). Punctajul maxim a fost atins de plotul SFR (3.89), un arboret cu valori peste medie în ceea ce priveşte indicii consideraţi, iar punctajul minim este înregistrat de plotul SGRM (2,72). Valoare din urmă indică faptul că arboretul asigură serviciul de moderare a evenimentelor extreme, într-o proporţia redusă de ~50% comparativ cu restul ploturilor.

Serviciile culturale constituie o problemă aparte în ceea ce priveşte procesele de evaluare. Aceste servicii furnizate de suprafeţele (ploturi) cu mărimea de un hectar nu sunt comercializate pe piaţă şi,

prin urmare, metodele de evaluare aplicate tind să fie afectate de un subiectivism mai pronunţat. De asemenea, evaluarea capacităţii ecosistemelor forestiere de a furniza aceste servicii constituie o provocare în ceea ce priveşte abordarea lor, datorată preferinţelor publicului larg şi a numărului de variabile implicate în procesul de evaluare a acestora.

Indicii de structură a pădurilor calculaţi în cadrul evaluării funcţiei de reglare şi o parte din informaţiile privind starea de sănătate pot fi utilizate pentru a cuantifica preferinţele oamenilor în ceea ce priveşte distribuţia ideală a arboretelor şi biodiversitatea. Grupurile de arbori, numărul de arbori, distribuţia spaţială rară a acestora, desimea mai mare a coronamentului, gradul de penetrabilitate a luminii, volumul subarboretului, volumul de lemn mort pot fi analizate indirect prin caracteristicile distribuţiei arborilor şi analiza mortalităţii acestora. Din aceste considerente, în analiza serviciilor culturale şi estetice au fost integrate preferinţele publicului cu privire la structura şi compoziţia arboretelor, dobândite prin utilizarea chestionarului referitor la evaluarea serviciilor ecosistemice din cadrul Parcului Natural Bucegi.

Conform acestor preferinţe, scările relative definite pentru indicii de diversitate structurală au fost ajustate şi adoptate. De altfel, au fost atribuite punctaje diferite pentru indicii foliari şi caracteristicile referitoare la înălţimea corespunzătoare a indicelui densităţii foliare medii. Prin aceste modificări s-a urmărit maximizarea punctajelor ce descriu o structură aleatorie, fără clustere de arbori, cu distanţe de ordinul metrilor între arbori, un grad de închidere a coronamentului ce permite penetrarea luminii şi un volum scăzut al subarboretului şi al lemnului mort.

Modul de calcul al potenţialului de furnizare de servicii culturale şi estetice a fost realizat cu ajutorul Ecuaţiei 3, iar rezultatele au fost descrise în tabelul 12.

$$P_{cultural} = \left(\frac{C_{HLAD} + C_{UI} + C_{CE} + C_{LAI} + C_{farb} + C_{lm}}{6} \right) * \left(1 + \frac{C_{SP}}{10} \right) \quad (3)$$

unde:

$P_{cultural}$ reprezintă potenţialul de asigurare a serviciilor culturale şi estetice

C_{HLAD} – punctajul corespunzător indicelui densităţii foliare

C_{CE} – punctajul corespunzător indicelui celui mai apropiat vecin

C_{UI} – punctajul corespunzător indicelui de uniformitate unghiulară

C_{farb} – punctajul corespunzător fracţiei de întoarcere subarboret

C_{lm} – punctajul corespunzător lemn mort – arbori pe picior

C_{SP} – punctajul corespunzător speciei [răşinoase -2; foioase -1]

Tabel 12. Cuantificarea potenţialului ecosistemelor de a asigura servicii culturale/estetice

Plot	Potenţial asigurare servicii culturale
SMTM	4.60
SMT	5.00
SMRM	3.60
SFRM	4.58
SFR	3.67

SGRM	3.30
SGR	3.30

Majoritatea ploturilor studiate s-au încadrat în intervalul de punctaj 3.5-4.6, din cadrul unei scări definite de limitele 1-5, fiind astfel eliminate clasele inferioare 1 și 2. Acest aspect este explicat de compensarea punctajului printr-o serie minimă de caracteristici ce satisfac preferințele publicului, niciun plot nefiind descris de o clasă inferioară în toate variabilele utilizate.

Integrarea rezultatelor a permis determinarea potențialului de a asigura serviciile analizate pentru fiecare plot din cadrul cercetărilor (Figura 13). Astfel, cumularea punctajelor obținute indică faptul că plotul SMRM tinde să asigure în mod unitar majoritatea serviciilor ecosistemice studiate. Aportul serviciilor furnizate prin funcția de producție (materii prime, hrană) și celei de reglare (asigurării calității aerului) clasează plotul pe primul loc în ierarhia realizată. De altfel, este importantă și îndeplinirea în mod constant a celorlalte servicii, plotul nefiind încadrat în clase inferioare pentru niciunul dintre serviciile considerate.

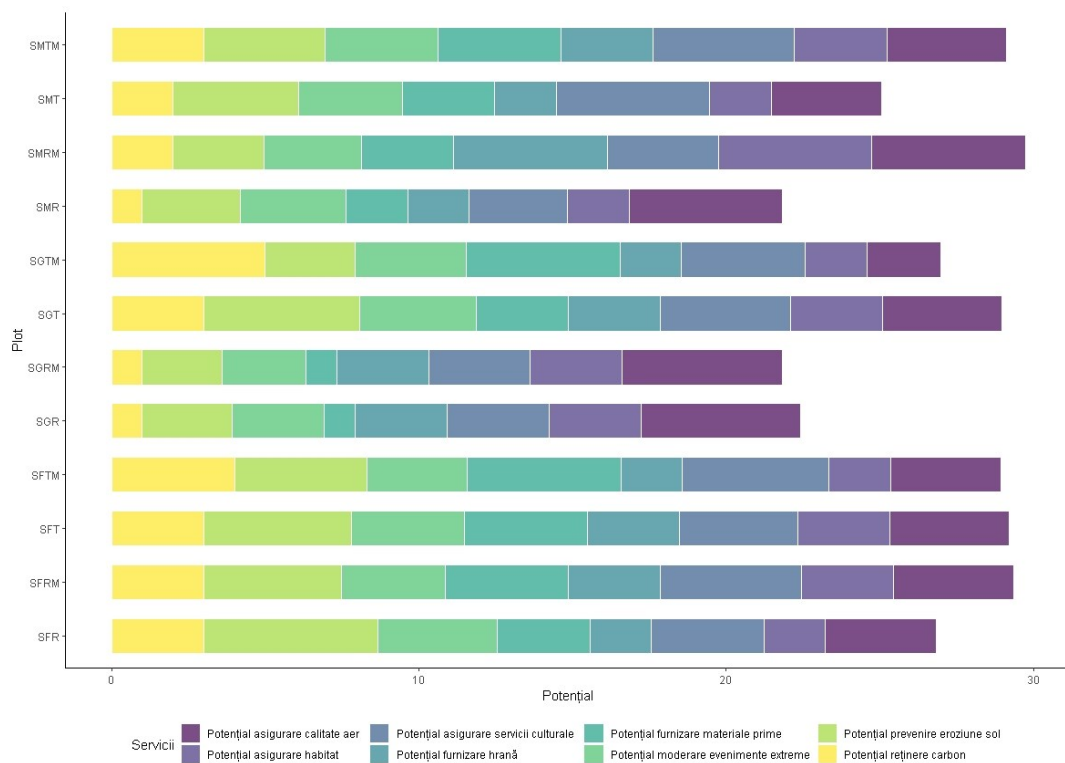


Figura 13. Ierarhizarea ploturilor cercetate în raport cu potențialul de asigurare al serviciilor ecosistemice

Punctaje considerabile și apropiate ca și valoare au fost înregistrate și de ploturile SFTM, SFT, SFRM și SGT, și acestea demonstrând o asigurare constantă în rândul serviciilor oferite. Totodată se pot observa diferențe între suprafețele propuse pentru lucrări silviculturale și cele parcurse cu acestea, însă fără a fi evident un trend în acest sens.

Încadrarea într-o clasă inferioară pentru cel puțin unul dintre servicii, scade considerabil punctajul total la nivelul ploturilor. Acesta este cazul arboretelor SMR, SGRM sau SGR, pentru care definitoriu este cuantumul scăzut de biomasă, aspect ce are un impact important atât în potențialul de furnizare de materii prime cât și în stocul de carbon acumulat.

Analiza anterioară consideră un echilibru între clasele de servicii ecosistemice, fiecărei funcții fiindu-i atribuită o pondere egală, diferențele fiind induse de numărul de servicii asociate fiecărei clase în cercetările desfășurate.

Preferințele persoanelor direct interesate sunt afectate astfel de diverși factori socio-economici, iar importanța serviciilor de reglare sau suport, servicii ce facilitează furnizarea celorlalte categorii de servicii tinde să nu primească atenția cuvenită.

În vederea integrării acestor atitudini au fost considerate și adaptate la scopul urmărit, căile socio-economice comune. Conceptual, ele reprezintă scenarii ale schimbărilor socio-economice globale preconizate până în anul 2100, iar scopul acestora este de a cuantifica efectele aplicării unor politici climatice diferite [144]. Astfel, în literatura de specialitate sunt evidențiate cinci scenarii definite de provocările socio-economice pentru atenuare și adaptare la schimbările climatice, care au fost traduse pentru analiza de față în clase de importanță a serviciilor ecosistemice conform figurii 14.

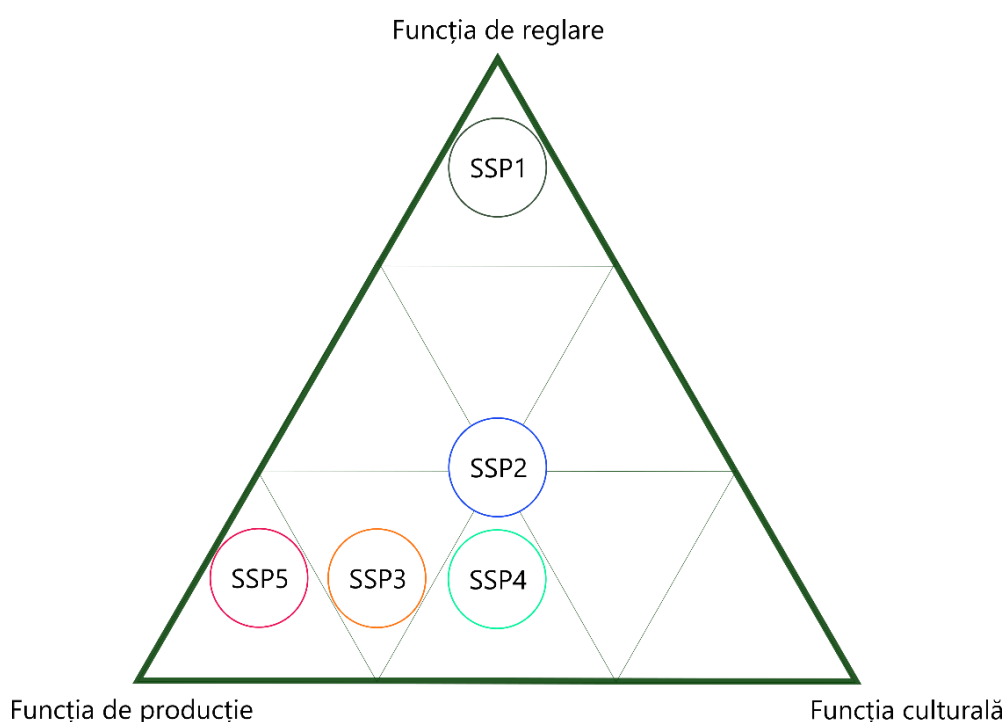


Figura 14. Corespondeța dintre scenariile socio-economice și serviciile ecosistemice

unde:

SSP 1 reprezintă – calea socio-economică comună pentru asigurarea sustenabilității

SSP 2 – calea socio-economică comună ce presupune un echilibru între atenuare și adaptare

SSP 3 – calea socio-economică comună ce impune o rivalitate regională

SSP 4– calea socio-economică comună ce presupune provocări mari în procesul de adaptare

SSP 5– calea socio-economică comună ce presupune provocări mari în procesul de atenuare

Ultimul scenariu propus evidențiază importanța serviciilor ecosistemice din cadrul funcției de producție, fapt pentru care această funcție primește cea mai mare pondere.

În baza matricei corespunzătoare figurii 14, potențialul serviciilor ecosistemice aferente funcțiilor analizate a fost recalculat. În raport cu poziția scenariului în cadrul matricei, fiecărui serviciu i-au fost atribuite ponderi cu valori de 0.5, 1 sau 2.

Aplicarea ponderilor a condus la o diferențiere substanțială între funcțiile îndeplinite de ecosisteme în cazul tuturor ploturilor analizate. Pentru evidențierea acestor diferențe și considerând numărul inegal de servicii dintre clase, punctajele medii înregistrate la nivel de plot au fost reprezentate grafic (Figura 15). Astfel, poate fi observat cuantumul serviciilor unei clase în cazul tuturor scenariilor utilizate.

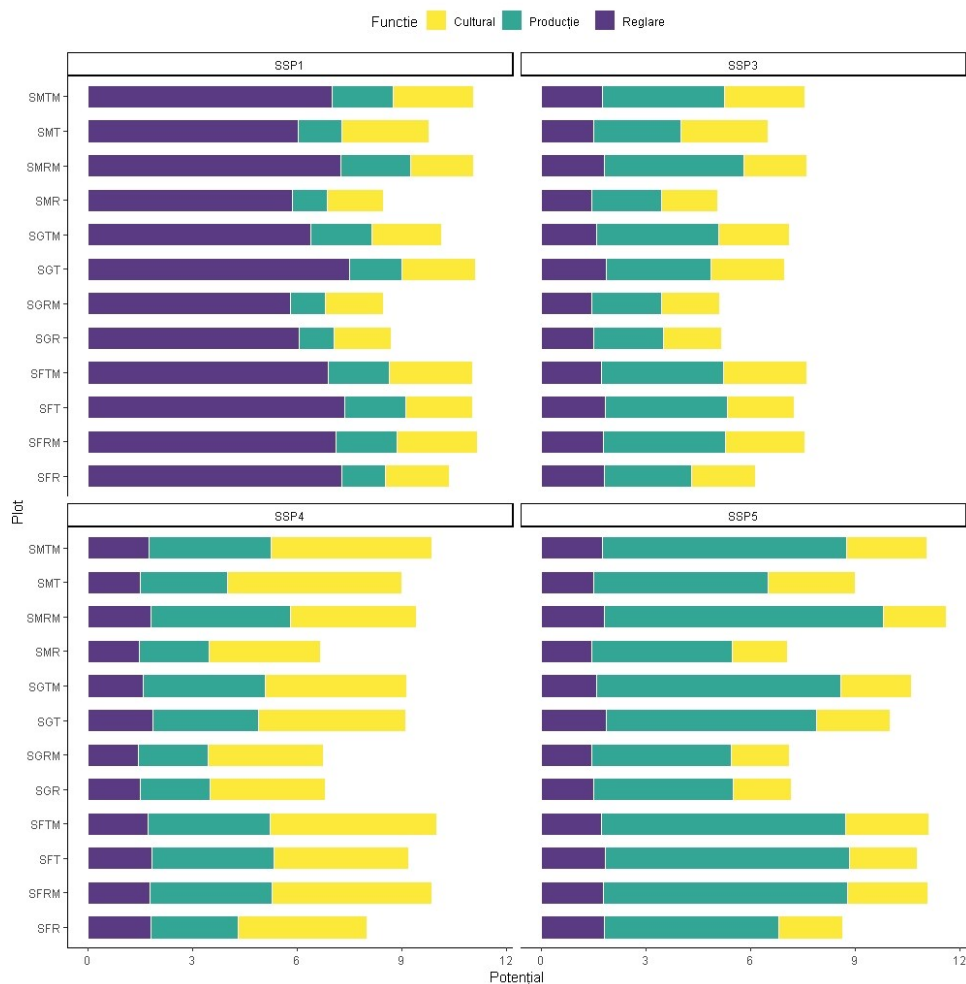


Figura 15. Potencialul arboretelor cercetate în raport cu ponderile aplicate la nivel de funcții (funcția de producție, de reglare și cea culturală)

Conform rezultatelor obținute în cadrul primului scenariu, arboretul cu punctajul cumulat cel mai ridicat este cel tânăr de fag (SFRM). Deși nu se clasează printre primele ploturi în ceea ce privește funcția cu cea mai mare pondere din cadrul acestui scenariu (de reglare), acest arboret compensează cu valori medii ridicate corespunzătoare celorlalte două clase urmărite (funcția de producție și cea culturală).

Plotul SFRM este precedat de arborete cu punctajele relativ apropiate, așa cum este cazul SGT al cărui punctaj caracteristic serviciilor de reglare este cel mai ridicat, SMRM, SMTM, SFTM și SFT. Totodată, prin reducerea ponderilor specifice funcțiilor de producție și cea culturală se evită acordarea unor avantaje ploturilor SFTM sau SGT.

Comparativ cu situația inițială, ierarhia specifică SSP3 este caracterizată de schimbări minore, în principal de inversiuni între arboretele parcurse și cele utilizate ca și martor. Astfel de situații sunt observate în cazul arboretelor de gorun și fag parcurse sau propuse pentru aplicarea tratamentului tăierilor progresive (SGTM,SGT respectiv SFTM și SFT).

Ploturile martor (SGTM, SFTM) tind să le declaseze pe cele parcurse cu lucrări (SGT, SFT-tăieri progresive) datorită cuantumului corespunzător volumului de lemn și a ponderii crescute specifică serviciilor de producție din cadrul acestui scenariu. Acest trend este menținut și în cadrul următoarelor scenarii, unde importanța funcției de producție crește în detrimentul celei de reglare.

Analizând rezultatele corespunzătoare scenariului SSP4, s-a observat o perpetuare a trendului identificat în cadrul SSP3, caracterizat de același inversiuni. Creșterea importanței serviciilor culturale nu au un efect major asupra ierarhiei, fapt datorat în principal și numărului mic de servicii analizate în cadrul acestei clase.

În ceea ce privește scenariul SSP5, influența serviciilor ecosistemice de producție (materii prime și hrană) devine mai vizibilă, arboretul de molid tânăr (SMRM) înregistrând cel mai ridicat punctaj dintre ploturile analizate. Motivul acestei clasări este explicat de aportul mare al serviciilor de asigurare a hranei, reprezentat în evaluarea aplicată de densitatea etajului corespunzător subarboretului și de scorul relativ crescut (comparativ cu alte ploturi) al serviciilor de reglare, amintind aici valorile considerabile ale indicilor suprafeței foliare și densității foliare.

Exceptând inversiunile menționate în cadrul scenariului SSP3, este de remarcat că scenariul SSP5 este caracterizat de o ierarhie similară cu cea în care nu au fost aplicate ponderi pentru evidențierea importanței serviciilor ecosistemice.

Totodată, influența determinată de ponderea importanței atribuite conform scenariilor este mult mai vizibilă în cazul serviciilor de asigurare a hranei și de furnizare cu materii prime, observându-se o evoluție ascendentă în cadrul serviciilor menționate.

5. CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMNIAREA REZULTATELOR

5.1 Concluzii

Evaluarea tuturor serviciilor furnizate de ecosistemele forestiere, caracterizate prin structuri diverse și procese complexe, definite de o multitudine de relații intra- și interspecifice reprezintă încă un subiect relativ dificil în sfera cercetărilor efectuate asupra complexelor ecosistemice, ca rezultat al interacțiunii dintre Capitalul Natural și Sistemul socio-economic. Rezultatele obținute, potrivit scopului și obiectivelor urmărite, au contribuit la dezvoltarea cunoașterii în sfera problematicii abordate și permit formularea următoarelor concluzii:

- **Cu privire la identificarea și analiza potențialelor servicii ecosistemice oferite de păduri din zona de cercetare:**
 - Arboretele cuprinse în zona de cercetare au capacitatea de a asigura funcții și servicii ecosistemice specifice clasificărilor internaționale cunoscute. Corespondența realizată între funcțiile - serviciile ecosistemice și grupele - categoriile funcționale atribuite pădurilor a facilitat validarea cu mare ușurință a identificării și atribuirii serviciilor ecosistemice îndeplinite de arboretele cercetate. Astfel, sistemul românesc de clasificare și zonare funcțională a pădurilor se dovedește extrem de bine fundamentat și integrat în preocupările actuale pe plan național, european și internațional privind clasificarea funcțiilor și serviciilor ecosistemice oferite de păduri.
- **Cu privire la identificarea și integrarea unui set minimal de indici specifici caracteristicilor biofizice ale arborilor și arboretelor cercetate și a structurii verticale / orizontale a acestora:**
 - Utilizarea în analiza funcțiilor și serviciilor ecosistemice identificate, cu ocazia cercetărilor efectuate, a setului de indici identificați prin tehnici ale teledetecției active, și anume a celor de diversitate structurală și a parametrilor biofizici specifici arborilor și arboretelor, precum și a altor potențiale caracteristici s-a dovedit eficientă în caracterizarea arboretelor și în procesul de stabilire a potențialului de furnizare de servicii ecosistemice a ploturilor analizate. Acest lucru a fost posibil datorită faptului că în procesul stabilire a acestui set de indici specifici analizelor desfășurate au fost luate în considerare unele variabile rezultate din: calculul volumului arborilor, al volumului semințșului, al unghiurilor și a distanțelor dintre arbori, anumiți indici cu rol în descrierea structurii verticale și a coronamentului arboretului.
- **Cu privire la determinarea caracteristicilor arboretelor și a indicilor de structură identificați prin metode specifice teledetecției active pentru suprafețele de probă analizate:**
 - Pentru a estima parametrii biofizici cheie ai unui arbore, norii de puncte obținuți prin scanarea laser terestră s-au dovedit a fi o soluție viabilă. Prelucrarea acestei surse de date a condus la erori de determinare asociate cu $d_{1,3}$ de 1 cm [57] la nivel de subplot în ceea ce privește arborele mediu al arboretului și precizia coordonatelor arborelui comparabile cu cele obținute cu ajutorul unui echipament de cartografiere pe teren.

- Beneficiind de informațiile oferite de scanarea laser terestră staționară, valorile obținute pentru volumul suprateran, la nivel de arbore și de arboret, s-au încadrat în limitele de toleranță caracteristice temei abordate.
- Agregarea rezultatelor analizelor efectuate la nivel de hectar conduce la o optimizare a rezultatelor obținute prin utilizarea informațiilor la nivel de suplot în principal la nivelul diametrelor și arhitecturii arborilor, fapt ce a permis ulterior clasificarea segmentelor de lemn pe clase de calitate și calculul volumului crăcilor, metodologii care necesită prin cercetări viitoare îmbunătățiri ale algoritmilor de calcul fiind necesare supervizări suplimentare.
- Asigurarea integrității rezultatelor corespunzătoare indicilor de diversitate structurală a fost asigurată prin eliminarea efectului de margine, realizat prin aplicarea unei zone tampon, în analiză fiind eliminați arborii, ai căror cei mai apropiați vecini erau situați în exteriorul subplotului.
- Integrarea datelor specifice ALS a permis calculul indicilor LAI și LAD, adaptarea metodologiilor de calcul a acestor indici completând setul de date necesar caracterizării structurii arboretelor, caracterul uniform al distribuției arborilor, identificarea zonelor lipsite de vegetație și etajarea vegetației evidențiind efectele și implicațiile arhitecturilor descrise. Complementar acestor analize, dezvoltarea studiilor precedente referitoare la volumul și distribuția etajului inferior al subarboretului oferă informații detaliate corespunzătoare ploturilor cercetate și permite ierarhizarea acestora în cercetările viitoare.
- Utilitatea informațiilor aferente caracteristicilor biofizice la nivel de arbore a fost dovedită și în procesul de determinare a stocului de carbon. Deși metodologia utilizată vizează ca și sursă volumul de biomasă, făcând abstracție de alte surse precum solul sau litiera, rezultatele obținute furnizează informații semnificative referitoare la capacitatea de retenție a carbonului.
- **Cu privire la analiza, cuantificarea și relaționarea indicilor și a caracteristicilor biofizice determinate cu serviciile ecosisteme forestiere specifice:**
 - Interpretarea rezultatelor referitoare la volumul suprateran a permis evaluarea serviciilor de producție, această relaționare demonstrându-se a fi cea mai directă din cadrul analizelor realizate. Erorile înregistrate, caracterizate de o medie de 9%, demonstrează utilitatea metodologiei aplicate în procesul de cuantificare a serviciilor ecosistemice menționate, fapt ce a permis transpunerea acestora în unități monetare, punând astfel bazele unui instrument necesar și care facilitează procesul decizional.
 - Contrar faptului că evaluarea stocului de carbon este un proces complex, rezultatele obținute prin utilizarea calculelor privind volumul de lemn s-au dovedit a reprezenta o sursă viabilă în estimarea reținerilor, valorile înregistrate fiind comparabile cu mediile specifice speciei și vârstei cunoscute în literatura de specialitate.
 - Indicii calculați prin procesarea norilor de puncte specifici scârilor laser s-au dovedit a fi o bază adecvată pentru dobândirea informațiilor referitoare la structura orizontală a pădurii și la distribuția arborilor. Implementările CE, UAI și IDR prin abordări ale teledetecției active pot

reprezenta legătura dintre ecosisteme și preferințele umane, dar și parametrii calitativi pentru evaluarea gradului de asigurare a anumitor servicii, și anume stabilitatea solului, calitatea aerului și reglarea apei.

-Serviciile de reglare a solului și a apei furnizate de ecosistemele forestiere cuantificabile prin distribuția arborilor, LAI, LAD și proiecția coronamentului sunt definite de distanțele, unghiurile și relația dintre diferiți arbori. Astfel, valorile unor indicii precum indicele de uniformitate a unghiurilor, indicele Clark Evans –CE– al celui mai apropiat vecin și indicele diametrului de dominanță relativă descrie cu succes structura ideală, care împiedică apariția de goluri sau coridoare, caracteristice unei distribuții uniforme a arborilor. În consecință, considerând valorile indicelui de uniformitate unghiulară –UAI–, arboretele cercetate corespunzătoare ploturilor SMTM, SGT, SMRM au demonstrat o capacitate mai bună de a asigura funcția de reglare, funcție care nu tinde să fie afectată de vârsta sau specie .

- **Cu privire la realizarea unor scări relative de evaluare-cuantificare în vederea ierarhizării și evaluării capacității pădurilor de a furniza servicii ecosistemice:**

-Cuantificarea potențialului arboretelor de a oferi servicii ecosistemice bazate pe ierarhizarea rezultatelor obținute corespunzătoare indicilor utilizați s-a dovedit eficientă deoarece această ierarhie ia în considerare toate caracteristicile arboretelor analizate, și deși scările aplicate sunt relative, metodologia poate fi aplicată și altor arborete cu caracteristici similare în ceea ce privește caracterul echien al arboretelor și al compoziției acestora. Variabilitatea arboretelor cercetate din punct de vedere al parametrilor structurali evidențiază clar spectrul larg de aplicabilitate a scărilor de ierarhizare utilizate și totodată reiterează validitatea metodologiei adoptate, iar prin aplicarea scenariilor consacrate la nivel internațional a fost exprimată și importanța diferită a serviciilor ecosistemice în percepția societății.

*
* *

Prin urmare, punerea în aplicare a metodologiilor descrise a evidențiat necesitatea dezvoltării scărilor de referință personalizate, relevante în procesele de evaluare a capacității relative a ecosistemelor forestiere de a furniza beneficii. Extinderea cercetărilor în vederea abordării unor arborete cu structuri, compoziții de specii și microclimat diferite va permite dezvoltarea și optimizarea metodologiei de evaluare a serviciilor ecosistemice aplicate, implicit a preciziei și utilității rezultatelor.

5.2 Contribuții originale

Pe baza rezultatelor cercetărilor efectuate cu ocazia elaborării tezei de doctorat, a analizei și a concluziilor prezentate în conținutul lucrării se pot formula și evidenția următoarele contribuții personale cu caracter de originalitate:

- a) Analiza comparativă a sistemelor existente de clasificare a serviciilor ecosistemice, realizarea și evidențierea importanței corespondenței dintre acestea, cât și a corespondenței dintre serviciile ecosistemice identificate, oferite de arboretele cercetate și categoriile funcționale în care acestea sunt încadrate potrivit sistemului de clasificare și zonare funcțională a pădurilor.
- b) Fundamentarea științifică a unei metodologii de integrare a datelor specifice scanărilor laser terestre și aeropurtate în evaluarea calitativă a serviciilor ecosistemice asigurate de pădure care iau în considerare caracteristicile fizice și structurale ale arboretelor realizând o imagine cât mai fidelă a condițiilor existente în cadrul arboretelor.
- c) Constituirea și adoptarea unui set minimal de indici și caracteristici biometrice ce pot fi determinate exclusiv prin tehnici specifice teledetecției active în vederea descrierii ecosistemelor forestiere cercetate.
- d) Adaptarea și aplicarea unor algoritmi de calcul în vederea stabilirii claselor de calitate a segmentelor de lemn și a volumelor aferente.
- e) Optimizarea unor rutine supervizate cu rol în identificarea lemnului mort și evidențierea limitărilor specifice instrumentelor și algoritmilor utilizați în procesul de estimare a stocului de carbon
- f) Evidențierea pentru prima dată în țara noastră a relațiilor dintre indicii de diversitate structurală și serviciile ecosistemice enunțate conform sistemelor de clasificare consacrate la nivel european și internațional.
- g) Evidențierea și integrarea în premieră a unor ecuații de calcul care iau în considerare diverse aspecte structurale, caracteristici cantitative și calitative ale arborilor și arboretelor în vederea stabilirii potențialului de a furniza servicii ecosistemice.
- h) Fundamentarea unor scări relative de punctare în vederea ierarhizării arboretelor cercetate sub raportul îndeplinirii diverselor servicii ecosistemice.
- i) Adoptarea unor scenarii caracteristice schimbărilor socio-economice preconizate la nivel internațional cu scopul de a stabili importanța funcțiilor ecosistemice în cadrul acestora.
- j) Fundamentarea unei metode de evaluare a potențialului arboretelor cercetate de a asigura servicii ecosistemice sub raportul caracteristicilor structurale, al parametrilor dendrometrici și condițiilor morfometrice (pantă), prin utilizarea tehnicilor specifice teledetecției active.

5.4 Diseminarea rezultatelor

A. Lucrări publicate în jurnale indexate de Clarivate Analytics (fostul ISI Web of Science)

1. Pascu Ionuț Silviu; Alexandru-Claudiu DOBRE; Badea Ovidiu; Tănase Mihai. Estimating forest stand structure attributes from terrestrial laser scans. *Sci. Total Environ.* 2019, **691**, 205–215. (autor corespondent)
2. Pascu Ionuț Silviu; Alexandru-Claudiu DOBRE; Badea Ovidiu; Tanase Mihai. Retrieval of Forest Structural Parameters from Terrestrial Laser Scanning: A Romanian Case Study. *Forests* 2020, **11**, 392. (autor corespondent)
3. Tudoran Gheorghe; Alexandru-Claudiu DOBRE; Cicșa Avram; Pascu Ionuț Silviu. Development of mathematical models for the estimation of dendrometric variables based on unmanned aerial vehicle optical data: A Romanian case study. *Forests*, **12(2)**, 200. (autor corespondent)
4. Alexandru-Claudiu DOBRE; Pascu Ionuț Silviu; Leca Ștefan; Juan Garcia-Duro.; Carmen Dobrota; Tudoran Gheorghe; Badea Ovidiu. Applications of tIs and aIs in evaluating forest ecosystem services: A southern carpathians case study. *Forests* 2021, **12**, 1269. (autor principal)

B. Lucrări publicate în reviste BDI

1. Pascu Ionuț Silviu, Alexandru-Claudiu DOBRE (autor corespondent), Zamfira Virgil, Apostol Ecaterina, Leca Ștefan, Pitar Diana, Apostol Bogdan, Chivulescu Șerban, Ciceu Albert, Garcia Duro Juan, Badea Ovidiu, 2020, "Analyze fenologice bazate pe înregistrări TLS multitemporale", *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, **46**, 38-46
2. Cazacu Roxana, Baciub Gabriela, Chivulescu Șerban, Pitar Diana, Alexandru-Claudiu DOBRE, Apostol Bogdan, Vergheleț Mircea, Leca Ștefan, Duro Garcia Juan, Lorentz Adrian, Vezeanu Constantin, Ciceu Albert, Pascu Ionuț Silviu, Marcu Cristiana, Angheluș Cristian, Ban Ioan, Loghin Cosmin, Bordea Ionuț, Kurta Andreea, Apostol Ecaterina, Badea Ovidiu, 2020, "Identifying and selecting methods for ecosystem services valuation - a case study in Piatra craiului national park", *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, **47**, 49-55
3. Alexandru-Claudiu DOBRE, Pascu Ionuț Silviu (autor corespondent), Tudoran Gheorghe, Cicșa Avram, Colțoiu Alexandru, Damian Mihai, Leca Ștefan, Apostol Ecaterina, Chivulescu Șerban, Garcia Duro Juan, Badea Ovidiu, 2021, "Aspecte metodologice cu privire la evaluarea serviciilor ecosistemice dintr-un Sit de Importanță Comunitară (SCI) - SIT Natura 2000", *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, **48**, 103-108
4. Alexandru-Claudiu DOBRE, Pascu Ionuț Silviu (autor corespondent), Tudoran Gheorghe, Cicșa Avram, Colțoiu Alexandru, Damian Mihai, Leca Ștefan, Apostol Ecaterina, Chivulescu Șerban, Garcia Duro Juan, Badea Ovidiu, 2021, "Metode de evaluare a serviciilor ecosistemice din cadrul Parcului Natural Bucegi", *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, **49**, 56-53

BIBLIOGRAFIE

1. Pan, Y.; Birdsey, R.A.; Fang, J.; Houghton, R.; Kauppi, P.E.; Kurz, W.A.; Phillips, O.L.; Shvidenko, A.; Lewis, S.L.; Canadell, J.G.; et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* (80-.). 2011.
2. Badea, O.; Tanase, M. Study on trees and stands growth in intensive monitoring system of forest ecosystems (forest monitoring level II). *An. Institutul Cercet. si Amenaj. Silvice* 2004.
3. Fu, X.; Zhang, Z.; Cao, L.; Coops, N.C.; Goodbody, T.R.H.; Liu, H.; Shen, X.; Wu, X. Assessment of approaches for monitoring forest structure dynamics using bi-temporal digital aerial photogrammetry point clouds. *Remote Sens. Environ.* 2021.
4. Boisvenue, C.; Running, S.W. Impacts of climate change on natural forest productivity - Evidence since the middle of the 20th century. *Glob. Chang. Biol.* 2006.
5. Gerlagh, R.; Jaimes, R.; Motavasseli, A. Global Demographic Change and Climate Policies. *SSRN Electron. J.* 2017.
6. Seidl, R.; Schelhaas, M.J.; Rammer, W.; Verkerk, P.J. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nat. Clim. Chang.* 2014.
7. Hanewinkel, M.; Cullmann, D.A.; Schelhaas, M.J.; Nabuurs, G.J.; Zimmermann, N.E. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nat. Clim. Chang.* 2013.
8. Schelhaas, M.J.; Nabuurs, G.J.; Schuck, A. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Glob. Chang. Biol.* 2003.
9. Badea, O.; Neagu, S.; Bytnerowicz, A.; Silaghi, D.; Barbu, I.; Iacoban, C.; Popescu, F.; Andrei, M.; Preda, E.; Iacob, C.; et al. Long-term monitoring of air pollution effects on selected forest ecosystems in the Bucegi-Piatra Craiului and Retezat Mountains, southern Carpathians (Romania). *IForest* 2011.
10. Lausch, A.; Borg, E.; Bumberger, J.; Dietrich, P.; Heurich, M.; Huth, A.; Jung, A.; Klenke, R.; Knapp, S.; Mollenhauer, H.; et al. Understanding forest health with remote sensing, Part III: Requirements for a scalable multi-source forest health monitoring network based on data science approaches. *Remote Sens.* 2018.
11. Lorenz, M. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests-ICP Forests-. *Water, Air, Soil Pollut.* 1995.
12. Badea, O.; Tanase, M.; Georgeta, J.; Anisoara, L.; Peiov, A.; Uhlirova, H.; Pajtik, J.; Wawrzoniak, J.; Shparyk, Y. Forest health status in the Carpathian Mountains over the period 1997-2001. *Environ. Pollut.* 2004.
13. Michel, A.; Prescher, A.-K.; Schwärzel, K. *Forest Condition in Europe: 2019 Technical Report of ICP Forests. Report under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (Air Convention);* 2019;
14. Popa, I.; Badea, O.; Silaghi, D. Influence of climate on tree health evaluated by defoliation in the ICP level I network (Romania). *IForest* 2017.
15. Gomez-Baggethun, E.; De Groot, R. Natural capital and ecosystem services: The ecological foundation of human society. *Issues Environ. Sci. Technol.* 2010.
16. Wyatt, T.D.; de Groot, R.S. Valuing Nature Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making. *Glob. Ecol. Biogeogr. Lett.* 1993.
17. Costanza, R.; Folke, C. Valuing ecosystem services with efficiency, fairness and sustainability as goals. *Natures Serv. Soc. Depend. Nat. Ecosyst.* 1997.
18. Balmford, A.; Bruner, A.; Cooper, P.; Costanza, R.; Farber, S.; Green, R.E.; Jenkins, M.; Jefferiss, P.; Jessamy, V.; Madden, J.; et al. Ecology: Economic reasons for conserving wild nature. *Science* (80-.). 2002.
19. de Groot, R.; Brander, L.; van der Ploeg, S.; Costanza, R.; Bernard, F.; Braat, L.; Christie, M.; Crossman, N.; Ghermandi, A.; Hein, L.; et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosyst. Serv.* 2012.
20. Kumar, P. *The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations;* Earthscan: London; Washington, D.C, 2013; ISBN 978-1-84977-548-9.
21. Vadineanu, A. *Managementul dezvoltării - O abordare ecosistemică;* Ars Docendi: Bucuresti, 2004; ISBN 973-558-070-5.
22. TEEB Teeb - The Economics of Ecosystem and Biodiversity for local and regional policy makers. *Report* 2010.
23. Kumar, P. *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations;* 2012; ISBN 9781849775489.
24. Haines-Young, R.; Potschin, M. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012;* 2013;
25. Popa, B.; Pascu, M.; Ni ă, D.M.; Borz, S.A.; Codreanu, C. The value of forest ecosystem services in Romanian protected areas - A comparative analysis of management scenarios. *Bull. Transilv. Univ. Brasov, Ser. II For. Wood Ind. Agric. Food Eng.* 2013.
26. Nichiforel, L.; Duduman, G.; Scriban, R.E.; Popa, B.; Barnoaia, I.; Drăgoi, M. Forest ecosystem services in Romania: Orchestrating regulatory and voluntary planning documents. *Ecosyst. Serv.* 2021.
27. Bodescu, F.; Gheorghiu, C.; Rusch, G.; Stoian, R.; Abaza, V.; Balteanu, D.; Diaconu, D.; Dumitraşcu, M.; GAN CZ, V.; GĂŞTESCU, P.; et al. *Assessment of Ecosystems and Ecosystem Services in Romania;* 2017; ISBN ISBN 978-606-8038-23-0.
28. European Centre for Nature Conservation Operationalisation of natural capital and ecosystem services (OpenNESS).
29. Platon, V.; Frone, S.; Constantinescu, A. New Developments in Assessing Forest Ecosystem Services in Romania. *Procedia Econ. Financ.* 2015.
30. Dick, J.; Al-Assaf, A.; Andrews, C.; Díaz-Delgado, R.; Groner, E.; Halada, L.; Izakovičová, Z.; Kertész, M.; Khoury, F.; Krasić, D.; et al. Ecosystem services: A rapid assessment method tested at 35 sites of the LTER-Europe network. *Ekol. Bratislava* 2014.
31. Grizzetti, B.; Liqueste, C.; Antunes, P.; Carvalho, L.; Geamănă, N.; Giucă, R.; Leone, M.; McConnell, S.; Preda, E.; Santos, R.; et al. Ecosystem services for water policy: Insights across Europe. *Environ. Sci. Policy* 2016.
32. Rasmussen, L.V.; Jepsen, M.R. Monitoring systems to improve forest conditions. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2018.
33. Grafström, A.; Zhao, X.; Nylander, M.; Petersson, H. A new sampling strategy for forest inventories applied to the temporary clusters of the

- Swedish national forest inventory. *Can. J. For. Res.* 2017.
34. Ginzler, C.; Hobi, M.L. Countrywide stereo-image matching for updating digital surface models in the framework of the swiss national forest inventory. *Remote Sens.* 2015.
 35. Masek, J.G.; Hayes, D.J.; Joseph Hughes, M.; Healey, S.P.; Turner, D.P. The role of remote sensing in process-scaling studies of managed forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 2015.
 36. Lechner, A.M.; Foody, G.M.; Boyd, D.S. Applications in Remote Sensing to Forest Ecology and Management. *One Earth* 2020.
 37. Boyd, D.S.; Foody, G.M. An overview of recent remote sensing and GIS based research in ecological informatics. *Ecol. Inform.* 2011.
 38. Antonarakis, A.S.; Richards, K.S.; Brasington, J. Object-based land cover classification using airborne LiDAR. *Remote Sens. Environ.* 2008.
 39. Yan, W.Y.; Shaker, A.; El-Ashrawy, N. Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review. *Remote Sens. Environ.* 2015.
 40. García, M.; Riaño, D.; Chuvieco, E.; Danson, F.M. Estimating biomass carbon stocks for a Mediterranean forest in central Spain using LiDAR height and intensity data. *Remote Sens. Environ.* 2010.
 41. Popescu, S.C. Estimating biomass of individual pine trees using airborne lidar. *Biomass and Bioenergy* 2007.
 42. NÅsset, E. Estimating tree height and tree crown properties using airborne scanning laser in a boreal nature reserve. *Remote Sens. Environ.* 2002, 79, 105–115.
 43. Lim, K.S.; Treitz, P.M. Estimation of above ground forest biomass from airborne discrete return laser scanner data using canopy-based quantile estimators. In Proceedings of the Scandinavian Journal of Forest Research; 2004.
 44. Brede, B.; Calders, K.; Lau, A.; Raunonen, P.; Bartholomeus, H.M.; Herold, M.; Kooistra, L. Non-destructive tree volume estimation through quantitative structure modelling: Comparing UAV laser scanning with terrestrial LIDAR. *Remote Sens. Environ.* 2019.
 45. Chuvieco, E.; Congalton, R.G. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sens. Environ.* 1989.
 46. Chuvieco, E.; Kasischke, E.S. Remote sensing information for fire management and fire effects assessment. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 2007.
 47. Jaboyedoff, M.; Oppikofer, T.; Abellán, A.; Derron, M.H.; Loye, A.; Metzger, R.; Pedrazzini, A. Use of LIDAR in landslide investigations: A review. *Nat. Hazards* 2012.
 48. Lim, K.; Treitz, P.; Wulder, M.; St-Onge, B.; Flood, M. LiDAR remote sensing of forest structure. *Prog. Phys. Geogr.* 2003.
 49. Jayathunga, S.; Owari, T.; Tsuyuki, S. Evaluating the performance of photogrammetric products using fixed-wing UAV imagery over a mixed conifer-broadleaf forest: Comparison with airborne laser scanning. *Remote Sens.* 2018.
 50. Palace, M.W.; Sullivan, F.B.; Ducey, M.J.; Treuhart, R.N.; Herrick, C.; Shimbo, J.Z.; Mota-E-Silva, J. Estimating forest structure in a tropical forest using field measurements, a synthetic model and discrete return lidar data. *Remote Sens. Environ.* 2015.
 51. Pascu, I.-S.; Dobre, A.-C.; Badea, O.; Tănase, M.A. Estimating forest stand structure attributes from terrestrial laser scans. *Sci. Total Environ.* 2019, 691, 205–215.
 52. Wulder, M.A.; Hall, R.J.; Coops, N.C.; Franklin, S.E. High spatial resolution remotely sensed data for ecosystem characterization. *Bioscience* 2004.
 53. Lefsky, M.A.; Cohen, W.B.; Parker, G.G.; Harding, D.J. Lidar remote sensing for ecosystem studies. *Bioscience* 2002.
 54. Holmgren, J.; Nilsson, M.; Olsson, H. Estimation of tree height and stem volume on plots using airborne laser scanning. *For. Sci.* 2003.
 55. Mcroberts, R.; Tomppo, E. Remote sensing support for national forest inventories. *Remote Sens. Environ.* 2007, 110, 412–419.
 56. Lefsky, M.A.; Cohen, W.B.; Acker, S.A.; Parker, G.G.; Spies, T.A.; Harding, D. Lidar remote sensing of the canopy structure and biophysical properties of Douglas-fir western hemlock forests. *Remote Sens. Environ.* 1999.
 57. Pascu, I.-S.; Dobre, A.-C.; Badea, O.; Tanase, M.A. Retrieval of Forest Structural Parameters from Terrestrial Laser Scanning: A Romanian Case Study. *Forests* 2020, 11, 392.
 58. Cabo, C.; Ordóñez, C.; López-Sánchez, C.A.; Armesto, J. Automatic dendrometry: Tree detection, tree height and diameter estimation using terrestrial laser scanning. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2018.
 59. Othmani, A.; Lew Yan Voon, L.F.C.; Stolz, C.; Piboule, A. Single tree species classification from Terrestrial Laser Scanning data for forest inventory. *Pattern Recognit. Lett.* 2013.
 60. Wallace, L.; Lucieer, A.; Malenovský, Z.; Turner, D.; Vopěnka, P. Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests* 2016.
 61. Jarron, L.R.; Coops, N.C.; MacKenzie, W.H.; Tompalski, P.; Dykstra, P. Detection of sub-canopy forest structure using airborne LiDAR. *Remote Sens. Environ.* 2020.
 62. Zheng, G.; Moskal, L.M. Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. *Sensors* 2009.
 63. Hosoi, F.; Omasa, K. Voxel-based 3-D modeling of individual trees for estimating leaf area density using high-resolution portable scanning lidar. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2006.
 64. Zhang, G.; Hui, G.; Zhao, Z.; Hu, Y.; Wang, H.; Liu, W.; Zang, R. Composition of basal area in natural forests based on the uniform angle index. *Ecol. Inform.* 2018.
 65. Zhao, Z.; Hui, G.; Hu, Y.; Wang, H.; Zhang, G.; Von Gadow, K. Testing the significance of different tree spatial distribution patterns based on the uniform angle index. *Can. J. For. Res.* 2014.
 66. Lausch, A.; Erasmi, S.; King, D.J.; Magdon, P.; Heurich, M. Understanding forest health with remote sensing-Part I-A review of spectral traits, processes and remote-sensing characteristics. *Remote Sens.* 2016.
 67. Listopad, C.M.C.S.; Masters, R.E.; Drake, J.; Weishampel, J.; Branquinho, C. Structural diversity indices based on airborne LiDAR as ecological indicators for managing highly dynamic landscapes. *Ecol. Indic.* 2015.
 68. Wang, K.; Franklin, S.E.; Guo, X.; Cattet, M. Remote sensing of ecology, biodiversity and conservation: A review from the perspective of remote sensing specialists. *Sensors* 2010.
 69. Kerr, J.T.; Ostrovsky, M. From space to species: Ecological applications for remote sensing. *Trends Ecol. Evol.* 2003.

70. Duncanson, L.I.; Niemann, K.O.; Wulder, M.A. Estimating forest canopy height and terrain relief from GLAS waveform metrics. *Remote Sens. Environ.* **2010**.
71. Lefsky, M.A.; Cohen, W.B.; Acker, S.A.; Spies, T.A.; Parker, G.G.; Harding, D. Lidar remote sensing of forest canopy structure and related biophysical parameters at H.J. Andrews experimental forest, Oregon, USA. In Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS); 1998.
72. Arcidiacono, A.; Ronchi, S.; Salata, S. Ecosystem services assessment using invest as a tool to support decision making process: Critical issues and opportunities. In Proceedings of the Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics); 2015.
73. Zulian, G.; Polce, C.; Maes, J. ESTIMAP: A GIS-based model to map ecosystem services in the European Union. *Ann. di Bot.* **2014**.
74. Villa, F.; Ceroni, M.; Bagstad, K.; Johnson, G.; Krivov, S. ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services): a new tool for ecosystem services assessment , planning , and valuation . *Aries* **2009**.
75. Häyhä, T.; Franzese, P.P. Ecosystem services assessment: A review under an ecological-economic and systems perspective. *Ecol. Modell.* **2014**.
76. Bradbeer, J.; Pearce, D. Economic Values and the Natural World. *Geogr. J.* **1995**, *161*, 335.
77. Tenerelli, P.; Demšar, U.; Luque, S. Crowdsourcing indicators for cultural ecosystem services: A geographically weighted approach for mountain landscapes. *Ecol. Indic.* **2016**.
78. Dunford, R.; Harrison, P.; Smith, A.; Dick, J.; Barton, D.N.; Martin-Lopez, B.; Kelemen, E.; Jacobs, S.; Saarikoski, H.; Turkelboom, F.; et al. Integrating methods for ecosystem service assessment: Experiences from real world situations. *Ecosyst. Serv.* **2018**.
79. Barton, D.N.; Dunford, R.; Gomez-Baggethun, E.; Harrison, P.A.; Jacobs, S.; Kelemen, E.; Martin-Lopez, B. *Integrated Assessment and Valuation of Ecosystem Services: Guidelines and Experiences*; 2017;
80. Hernández-Blanco, M.; Costanza, R.; Cifuentes-Jara, M. Economic valuation of the ecosystem services provided by the mangroves of the Gulf of Nicoya using a hybrid methodology. *Ecosyst. Serv.* **2021**.
81. Kornatowska, B.; Sienkiewicz, J. Forest ecosystem services-assessment methods. *Folia For. Pol. Ser. A* **2018**.
82. Piboule, A.; Krebs, M.; Esclatine, L.; Hervé, J.-C. Computree: a collaborative platform for use of terrestrial lidar in dendrometry. In Proceedings of the International IUFRO Conference MeMoWood; Nancy, France, 2013.
83. John, C. The R Project for Statistical Computing Available online: <https://www.r-project.org>.
84. Girardeau-Montaut, D. CloudCompare: 3D point cloud and mesh processing software. *Webpage: http://www.cloudcompare.org* **2015**.
85. FARO Technologies Inc. FARO SCENE 2018.
86. Pascu, I.S.; Dobre, A.C.; Badea, O.; Tanase, M.A. Retrieval of forest structural parameters from terrestrial laser scanning: A Romanian case study. *Forests* **2020**.
87. RIEGL LMS-Q680i.
88. Terrasolid Ltd. TerraScan.
89. Axelsson, P. DEM Generation from Laser Scanner Data Using adaptive TIN Models. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.* **2000**.
90. Daily, G.C.; Matson, P.A. Ecosystem services: From theory to implementation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2008**.
91. Spies, T. A Forest Structure: A Key to the Ecosystem. *Northwest Sci.* **1998**.
92. Sallabanks, R.; Riggs, R.A.; Cobb, L.E. Bird use of forest structural classes in grand fir forests of the Blue Mountains, Oregon. *For. Sci.* **2002**.
93. Bobiec, A. Living stands and dead wood in the Białowieża forest: Suggestions for restoration management. *For. Ecol. Manage.* **2002**.
94. Naumburg, E.; Dewald, L.E. Relationships between Pinus ponderosa forest structure, light characteristics, and understory graminoid species presence and abundance. *For. Ecol. Manage.* **1999**.
95. Lei, X.; Erkki, O. Randomized Hough transform (RHT). *Encycl. Artif. Intell.* **2009**, *3*, 1354.
96. Krisanski, S.; Taskhiri, M.S.; Aracil, S.G.; Herries, D.; Muneri, A.; Gurung, M.B.; Montgomery, J.; Turner, P. Forest structural complexity tool—an open source, fully-automated tool for measuring forest point clouds. *Remote Sens.* **2021**.
97. Sean, K.; Yuchen, B. Forest Structural Complexity Tool Available online: <https://github.com/SKrisanski/FSCT> (accessed on Dec 10, 2021).
98. Krisanski, S.; Taskhiri, M.S.; Aracil, S.G.; Herries, D.; Turner, P. Sensor agnostic semantic segmentation of structurally diverse and complex forest point clouds using deep learning. *Remote Sens.* **2021**.
99. Giurgiu, V.; Decel, I.; Draghiciu, D. *Metode si tabele dendrometrice*; Ceres: Bucharest, 2004;
100. Trochta, J.; Kruček, M.; Vrška, T.; Kraňal, K. 3D Forest: An application for descriptions of three-dimensional forest structures using terrestrial LiDAR. *PLoS One* **2017**.
101. Clark, P.J.; Evans, F.C. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations. *Ecology* **1954**.
102. Savastru, D.M.; Zoran, M.A.; Savastru, R.S. Geospatial information for assessment of climate change impact on forest phenology.; 2019.
103. Nezval, O.; Krejza, J.; Světlík, J.; Šigut, L.; Horáček, P. Comparison of traditional ground-based observations and digital remote sensing of phenological transitions in a floodplain forest. *Agric. For. Meteorol.* **2020**.
104. Alivernini, A.; Fares, S.; Ferrara, C.; Chianucci, F. An objective image analysis method for estimation of canopy attributes from digital cover photography. *Trees* **2018**, *32*, 713–723.
105. MacArthur, R.H.; Horn, H.S. Foliage Profile by Vertical Measurements. *Ecology* **1969**.
106. Swinehart, D.F. The Beer-Lambert law. *J. Chem. Educ.* **1962**.
107. Calloway, D. Beer-Lambert Law. *J. Chem. Educ.* **1997**.
108. Sumida, A.; Nakai, T.; Yamada, M.; Ono, K.; Uemura, S.; Hara, T. Ground-based estimation of leaf area index and vertical distribution of leaf area density in a betula ermanii forest. *Silva Fenn.* **2009**.
109. Stark, S.C.; Enquist, B.J.; Saleska, S.R.; Leitold, V.; Schietti, J.; Longo, M.; Alves, L.F.; Camargo, P.B.; Oliveira, R.C. Linking canopy leaf area and light environments with tree size distributions to explain Amazon forest demography. *Ecol. Lett.* **2015**.
110. Parker, G.G.; Harding, D.J.; Berger, M.L. A portable LIDAR system for rapid determination of forest canopy structure. *J. Appl. Ecol.* **2004**.

111. Kamoske, A.G.; Dahlin, K.M.; Stark, S.C.; Serbin, S.P. Leaf area density from airborne LiDAR: Comparing sensors and resolutions in a temperate broadleaf forest ecosystem. *For. Ecol. Manage.* **2019**.
112. Stark, S.C.; Leitold, V.; Wu, J.L.; Hunter, M.O.; de Castilho, C. V.; Costa, F.R.C.; McMahon, S.M.; Parker, G.G.; Shimabukuro, M.T.; Lefsky, M.A.; et al. Amazon forest carbon dynamics predicted by profiles of canopy leaf area and light environment. *Ecol. Lett.* **2012**.
113. Li, S.; Wang, T.; Hou, Z.; Gong, Y.; Feng, L.; Ge, J. Harnessing terrestrial laser scanning to predict understory biomass in temperate mixed forests. *Ecol. Indic.* **2021**.
114. Martire, S.; Castellani, V.; Sala, S. Carrying capacity assessment of forest resources: Enhancing environmental sustainability in energy production at local scale. *Resour. Conserv. Recycl.* **2015**.
115. Street, G.M.; Rodgers, A.R.; Avgar, T.; Fryxell, J.M. Characterizing demographic parameters across environmental gradients: A case study with Ontario moose (*Alces alces*). *Ecosphere* **2015**.
116. Pringle, R.M.; Fox-Dobbs, K. Coupling of canopy and understory food webs by ground-dwelling predators. *Ecol. Lett.* **2008**.
117. Arnold, J.M.; Gerhardt, P.; Steyaert, S.M.J.G.; Hochbichler, E.; Hackländer, K. Diversionary feeding can reduce red deer habitat selection pressure on vulnerable forest stands, but is not a panacea for red deer damage. *For. Ecol. Manage.* **2018**.
118. Ewald, M.; Dupke, C.; Heurich, M.; Müller, J.; Reineking, B. LiDAR remote sensing of forest structure and GPS telemetry data provide insights on winter habitat selection of European roe deer. *Forests* **2014**.
119. Martinuzzi, S.; Vierling, L.A.; Gould, W.A.; Falkowski, M.J.; Evans, J.S.; Hudak, A.T.; Vierling, K.T. Mapping snags and understory shrubs for a LiDAR-based assessment of wildlife habitat suitability. *Remote Sens. Environ.* **2009**.
120. Nilsson, M.-C.; Wardle, D.A. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: evidence from the northern Swedish boreal forest. *Front. Ecol. Environ.* **2005**, *3*, 421–428.
121. Gilliam, F.S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *Bioscience* **2007**.
122. Hill, R.A.; Broughton, R.K. Mapping the understorey of deciduous woodland from leaf-on and leaf-off airborne LiDAR data: A case study in lowland Britain. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2009**.
123. Ajrrough, S.; Maanan, M.; Mharzi Alaoui, H.; Rhinane, H.; El Arabi, E.H. MAPPING FOREST ECOSYSTEM SERVICES: A REVIEW. In Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives; **2019**.
124. Houghton, R.A.; House, J.I.; Pongratz, J.; Van Der Werf, G.R.; Defries, R.S.; Hansen, M.C.; Le Quéré, C.; Ramankutty, N. Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences* **2012**.
125. IPCC 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use Chapter 4 forest land 2006. *Forestry* **2006**.
126. Nowak, D.J.; Hirabayashi, S.; Bodine, A.; Greenfield, E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environ. Pollut.* **2014**.
127. Sedjo, R.; Sohngen, B. Carbon sequestration in forests and soils. *Annu. Rev. Resour. Econ.* **2012**.
128. Astrup, R.; Ducey, M.J.; Granhus, A.; Ritter, T.; von Lüpke, N. Approaches for estimating stand-level volume using terrestrial laser scanning in a single-scan mode. *Can. J. For. Res.* **2014**.
129. Ducey, M.J.; Astrup, R.; Seifert, S.; Pretzsch, H.; Larson, B.C.; David Coates, K. Comparison of forest attributes derived from two terrestrial lidar systems. *Photogramm. Eng. Remote Sensing* **2013**.
130. Brack, C.; Schaefer, M.; Jovanovic, T.; Crawford, D. Comparing terrestrial laser scanners' ability to measure tree height and diameter in a managed forest environment. *Aust. For.* **2020**.
131. Roussel, J.R.; Caspersen, J.; Béliand, M.; Thomas, S.; Achim, A. Removing bias from LiDAR-based estimates of canopy height: Accounting for the effects of pulse density and footprint size. *Remote Sens. Environ.* **2017**.
132. Dobre, A.C.; Pascu, I.S.; Leca, Ştefan; Garcia-Duro, J.; Dobrota, C.E.; Tudoran, G.M.; Badea, O. Applications of TLS and ALS in evaluating forest ecosystem services: A southern Carpathians case study. *Forests* **2021**.
133. Liu, G.; Wang, J.; Dong, P.; Chen, Y.; Liu, Z. Estimating Individual Tree Height and Diameter at Breast Height (DBH) from Terrestrial Laser Scanning (TLS) Data at Plot Level. *Forests* **2018**, *9*, 398.
134. Dassot, M.; Colin, A.; Santenoise, P.; Fournier, M.; Constant, T. Terrestrial laser scanning for measuring the solid wood volume, including branches, of adult standing trees in the forest environment. *Comput. Electron. Agric.* **2012**.
135. ORDIN nr. 71 din 20 ianuarie 2020 pentru aprobarea Listei pre-urilor de referință, pe specii și sortimente, stabilite pentru anul 2020, pentru a fi folosite la calculul contravalorii materialelor lemnoase prevăzute la art. 22 alin. (6) din Legea nr. 171/2006; **2020**.
136. Gersom Zomer Mapping the shrub layer in a forest using LiDAR, Wageningen University and Research Centre, **2018**.
137. Lamtom, S.H.; Savidge, R.A. A reassessment of carbon content in wood: Variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy* **2003**.
138. Justine, M.F.; Yang, W.; Wu, F.; Tan, B.; Khan, M.N.; Zhao, Y. Biomass stock and carbon sequestration in a chronosequence of Pinus massoniana plantations in the upper reaches of the Yangtze River. *Forests* **2015**.
139. Chum, O.; Matas, J. Optimal randomized RANSAC. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* **2008**.
140. Wing, B.M.; Ritchie, M.W.; Boston, K.; Cohen, W.B.; Olsen, M.J. Individual snag detection using neighborhood attribute filtered airborne lidar data. *Remote Sens. Environ.* **2015**.
141. Misir, N.; Misir, M. Modeling of Soil Erosion and Its Implication to Forest Management. In *Research on Soil Erosion*; **2012**.
142. Wang, H.; Shi, H. Particle retention capacity, efficiency, and mechanism of selected plant species: Implications for urban planting for improving urban air quality. *Plants* **2021**.
143. Swanston, C.W.; Janowiak, M. Forest Adaptation Resources: Climate Change Tools and Approaches for Land Managers. *Gen. Tech. Rep. NRS-87* **2012**.
144. König, M.; Loibl, W.; Haas, W.; Kranzl, L. Shared-Socio-Economic Pathways. In *Springer Climate*; **2015**.

Anexa 1. SCURT REZUMAT

Pădurile joacă un rol important în conservarea biodiversității, fiind unul dintre principalii furnizori de servicii ecosistemice, conform Economics of Ecosystems and Biodiversity. Funcțiile și serviciile ecosistemice furnizate de păduri sunt diverse și vizează capitalul natural și sistemele socio-economice. Progresele înregistrate în ultimele decenii în domeniul teledetecției permit abordarea unui set mare de variabile, incluzând atât parametri biofizici, cât și indicatori ecologici, care caracterizează ecosistemele forestiere și capacitatea acestora de a furniza servicii.

În acest context, această cercetare are ca scop identificarea și testarea metodelor și variabilelor, aplicabile tehnicilor de scanare laser terestră staționară și aeropurtată în vederea îmbunătățirii procesului de determinare a valorilor propriu-zise ale ecosistemelor forestiere și oferirea de suport științific factorului decizional. În vederea realizării scopului propus, a fost necesară inițial identificarea și analiza potențialelor serviciilor ecosistemice oferite de pădurile din zona de cercetare și stabilirea unui set de indici specifici caracteristicilor și structurii arboretelor. Astfel, au fost determinați prin metode specifice teledetecției active diametrele și înălțimile specifice arborilor precum și indicii de diversitate structurală (indicele celui mai apropiat vecin, indicele de dominanță relativă) și indici ai aparatului foliar (indicele suprafeței foliare, indicele densității foliare). Ulterior acestor determinări, a fost demarată analiza și relaționarea indicilor calculați cu serviciile ecosisteme forestiere specifice. Astfel fiecare serviciu a fost descris de un set de indici și caracteristici, iar efectul sinergic al acestora a fost transpus prin realizarea unor scări relative în vederea ierarhizării și evaluării capacității pădurilor de a furniza servicii ecosistemice.

Teza de doctorat, prin implementarea analizelor menționate mai sus, facilitează dezvoltarea unei abordări complexe de monitorizare și reprezintă o soluție potențială pentru evaluarea serviciilor ecosistemice furnizate de pădure, precum și o bază pentru abordări ulterioare de monetizare.

Annex 1. SHORT RESUMES

According to The Economics of Ecosystems and Biodiversity, forests play an important role in biodiversity conservation, as one of the main providers of ecosystem services. The ecosystem functions and services provided by forests are various and address Natural Capital and the socio-economic systems. Developments in remote sensing in recent decades can address a large set of variables, including both biophysical parameters and ecological indicators, that characterize forest ecosystems and their capacity to provide services.

In this context, this research aims to identify and test methods and variables, applicable to stationary and airborne terrestrial laser scanning techniques to improve the process of determining the intrinsic values of forest ecosystems and in providing scientific support to policy makers. In order to achieve the proposed goal, it was necessary to identify and analyze the potential ecosystem services provided by the forests in the research area and to establish a set of specific indices of stand characteristics and structure. Thus, specific tree diameters and heights as well as structural diversity indices (nearest neighbor index, relative dominance index) and leaf area indices (leaf area index, leaf density index) were determined using specific active remote sensing methods. Following these assessments, it was initiated the analysis and the correlation of the calculated indices with specific forest ecosystem services. Hence, each service was described by a set of indices and characteristics, and their synergistic effect was translated into relative scales to rank and assess the capacity of forests to provide ecosystem services.

The PhD thesis, by implementing the above-mentioned analyses, facilitates the development of a complex monitoring approach and represents a potential solution for the valuation of ecosystem services provided by forests, as well as a basis for further monetization approaches.