

Anexa 10 la Contract nr.12N/2023

Contractor: INCDS "Marin Drăcea" (anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

Cod fiscal : RO 34638446

**De acord,
DIRECTOR GENERAL**

Șerban Octavian DAVIDESCU

**Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM**

Nicolae Ovidiu BADEA

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 12N/2023

Proiectul: PN23090202 - *Contribuții științifice privind fundamentarea de metode și modele de stabilire a valorii funcțiilor și serviciilor ecosistemice oferite de păduri, adaptate sistemului românesc de clasificare și zonare funcțională.*

Faza: V.2 - *Dezvoltarea hărților tematice și analiza relațiilor de interdependență dintre diferitele funcții în vederea prioritizării metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice*

Termen de încheiere a fazei: 15.04.2025

1. Obiectivul proiectului:

Obiectivele științifice ale proiectului sunt reprezentate de:

- O1. Identificarea funcțiilor și serviciile ecosistemice oferite de păduri și armonizarea acestora cu funcțiile și categoriile funcționale specifice sistemului românesc de clasificare și zonare funcțională a pădurilor.
- O2. Analiza metodelor de evaluare și obținerea de informații alternative specifice teledetecției.
- O3. Aplicarea și optimizarea metodelor de evaluare a funcțiilor și serviciilor oferite de păduri.
- O4. Cuantificarea serviciilor ecosistemice, dezvoltarea cunoștințelor privind beneficiile oferite de serviciile ecosistemice și înlesnirea integrării acestora în deciziile luate de autorități prin sisteme de contabilitate națională sau alte mecanisme.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Acestea constau în realizarea de modele și soluții de evaluare a serviciilor ecosistemice furnizate de păduri, prin intermediul cărora se poate obține o valoare a ecosistemelor forestiere în raport cu beneficiile asigurate de acestea (dezvoltare rurală, sănătate, siguranță). Astfel, se va facilita înregistrarea în gestiunea unităților silvice a patrimoniului forestier aflat în administrare / proprietate și posibilitatea stabilirii valorii compensațiilor pentru proprietarii de păduri. Nu în ultimul rând se va determina îmbunătățirea procesului decizional și va aduce beneficii atât publicului larg cât și sferelor de profil prin dezvoltarea de politici specifice planificării teritoriale și implicit combaterea efectelor schimbărilor climatice.

3. Obiectivul fazei:

Obiectivele fazei constau în implementarea algoritmilor de dezvoltare a hărților tematice digitale cu acces liber, definitivarea bazei de date integrate privind serviciile ecosistemice identificate și publicarea unui articol științific, aplicarea de metodologii de priorizare a metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice și de identificare a relațiilor de interdependență corespunzătoare, continuarea activităților de dezvoltare a metodelor de ajustare alternative și a procesului de stabilire a indicilor cu rol în evaluarea serviciilor.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- 1 Articol științific BDI
- Raport științific de fază

5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

În cadrul activităților desfășurate în faza 5.2. a proiectului, au fost obținute rezultate semnificative privind evaluarea, cartografierea și înțelegerea serviciilor ecosistemice furnizate de pădurile din România.

Astfel, s-a finalizat ***aplicarea metodologiilor de prioritzare a serviciilor ecosistemice*** identificate. Echipa de implementare, în colaborare cu experți în silvicultură, a dezvoltat un chestionar prin care s-au corelat serviciile ecosistemice cu categoriile funcționale ale pădurilor. Au fost evidențiate două categorii principale de servicii: cele generale, furnizate de orice tip de arboret, și cele prioritare, ierarhizate în funcție de importanța lor pentru sustenabilitatea ecosistemelor forestiere. Rezultatele chestionarului au arătat că serviciile de reglare, precum controlul ciclului hidrologic, poluarea sau zgomotul, sunt considerate esențiale, iar serviciile de aprovizionare (ex. plante pentru hrană) au fost prioritizate de 60% dintre respondenți.

În continuare, ***a fost finalizată dezvoltarea hărților tematice aferente serviciilor ecosistemice***, folosind date vectoriale și raster, combinate prin tehnici avansate de analiză spațială. Aceste hărți, realizate în medii precum QGIS, Python și Google Earth Engine, au fost stilizate automat și exportate în formate compatibile cu platforme webGIS, incluzând metadate conforme cu standardele internaționale. Portofoliul cartografic rezultat este scalabil, vizual interpretabil și pregătit pentru integrare multiplatformă.

În paralel, s-au continuat eforturile de integrare a ***metodelor moderne de teledetecție (scanare laser terestră, imagini satelitare Sentinel-1 și Sentinel-2)***, pentru a actualiza și îmbunătăți bazele de date tematice forestiere. S-au obținut rastere precum CHM (Canopy Height Model) și indici vegetativi (NDVI), care au fost integrați cu date vectoriale. A fost dezvoltat un flux semi-automat de procesare, capabil să fie extins la scară regională, contribuind la modernizarea metodelor de monitorizare forestieră și la creșterea calității datelor.

Un alt pas important a fost ***investigarea relațiilor de interdependență dintre funcțiile și serviciile ecosistemice***. Pornind de la conceptul că serviciile nu funcționează izolat, ci într-un sistem interdependent, analiza a evidențiat sinergiile și compromisurile dintre acestea. De exemplu, o pădure care asigură stocarea carbonului contribuie și la biodiversitate, dar exploatarea excesivă poate afecta calitatea habitatului. Tabelul rezultat din această analiză oferă o bază pentru modelarea relațiilor ecologice complexe și sprijină luarea deciziilor echilibrate.

Pentru a selecta ***metodele optime de evaluare a serviciilor ecosistemice***, s-a realizat o analiză multidimensională. Aceasta a inclus o evaluare calitativă a avantajelor și dezavantajelor fiecărei metode, o ierarhizare operațională (pe baza costurilor, timpului, aplicabilității) și o evaluare strategică. Metode precum cartografierea matricială și modelarea serviciilor ecosistemice au fost identificate ca fiind cele mai potrivite în contextul proiectului.

Totodată, a fost completat **setul de indici relevanți pentru evaluarea serviciilor ecosistemice**, incluzând atât indicatori structurali (ex. SCI – Structural Complexity Index, SOC – Soil Organic Carbon, HCI – Habitat Connectivity Index), cât și funcționali (ex. NRI – Nutrient Retention Index, DRI – Drought Resistance Index). Acești indicatori oferă o viziune integrată asupra stării și potențialului pădurilor în furnizarea de servicii ecologice și pot fi utilizați în planificarea forestieră adaptativă.

Componenta de **conștientizare** a jucat un rol important în această fază. Au fost organizate activități educaționale în cadrul programului „Săptămâna Verde”, unde peste 200 de elevi au participat la ateliere practice despre funcționarea ecosistemelor forestiere și importanța serviciilor oferite de păduri. Totodată, rezultatele parțiale ale proiectului au fost diseminate în cadrul întâlnirilor anuale ale proiectelor Horizon Europe – OptFor-EU și ENFORCE, dar și printr-un workshop național dedicat managementului forestier sustenabil. Aceste activități au contribuit la creșterea vizibilității proiectului și la implicarea activă a societății civile și a factorilor de decizie.

Asfel, proiectul a reușit să avanseze în mod semnificativ în direcția înțelegerii, evaluării și promovării serviciilor ecosistemice forestiere, oferind instrumente metodologice și tehnologice solide, dar și consolidând legătura dintre știință, practică și societate.

Rezultatele acestei faze a proiectului s-au concretizat prin publicarea unui **articol ISI** și elaborarea **raportului de fază**.

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de îndeplinire a obiectivului cu referire la țintele stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

6.1. Rezultate

6.1.1. Aplicarea metodologiilor de prioritizare a serviciilor ecosistemice identificate

În cadrul activității V.1, care vizează aplicarea metodologiilor de prioritizare a serviciilor ecosistemice identificate, a fost utilizată o metodologie bazată pe expertiza echipei de implementare și feedback-ul primit de la experți din domeniul silviculturii. Procesul a fost ghidat de informațiile obținute din cercetările anterioare și din sistemele internaționale de clasificare. În acest context, am realizat un chestionar care a corelat categoriile funcționale din normele tehnice de resort cu serviciile ecosistemice identificate, având la bază cercetările INCDS Marin Drăcea și proiectele anterioare relevante.

Fiecare subgrupă din cadrul categoriilor funcționale a fost analizată pentru a stabili serviciile specifice pe care pădurile din aceste clase le pot furniza, iar această stabilire s-a realizat printr-o abordare de tip "expert judgement". Scopul a fost crearea unui chestionar concis și ușor de completat pentru intervievați.

Totodată, au fost delinuate două liste principale. Prima cuprinde serviciile generale asigurate de ecosistemele forestiere, servicii fundamentale oferite de fiecare arboret, indiferent de categoria funcțională atribuită, care reflectă rolul esențial al pădurilor în menținerea

echilibrelor ecologice (tabel 6.1.1.1). A doua listă se referă la serviciile ecosistemice cele mai importante, ierarhizate în funcție de importanța lor în cadrul diverselor categorii funcționale, evidențiind acele servicii prioritare care contribuie semnificativ la sustenabilitatea ecosistemelor forestiere și la satisfacerea cerințelor părților interesate (tabel 6.1.1.2).

Tabel 6.1.1.1.

Servicii general asigurate de ecosistemele forestiere	
Denumire servicii ecosistemice conform CICES	
Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)	
Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)	
Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către microorganisme	
Controlul nivelului eroziunii	
Protecția împotriva vânturilor	
Reglarea compoziției chimice a atmosferei și oceanelor (reglare globală a climatului)	
Procese de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului	
Caracteristici ale sistemelor biologice care permit activități care promovează sănătatea, recuperarea sau plăcerea prin interacțiuni active sau imersive	
Polenizare	
Atenuarea zgomotelor	
Atenuarea impactului vizual	
Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă	
Caracteristicile sistemelor biologice care permit activități care promovează sănătatea, recuperarea sau distracția prin interacțiuni pasive sau observaționale	

Tabel 6.1.1.2.

Cele mai importante servicii ecosistemice ierarhizate în funcție de importanța lor în cadrul diverselor categorii funcționale (primele 3 clasate)

Cod categorie functionala	Cod serviciu ecosistemic	Serviciu Ecosistemic
1.1.a	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.1.a	4.2.1.1	Apă de suprafață potabilă
1.1.a	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.1.b	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.1.b	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.1.b	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.1.c	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.1.c	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii

1.1.c	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.1.d	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.1.d	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.1.d	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.1.e	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.1.e	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.1.e	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.1.f	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.1.f	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.1.f	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.1.g	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.1.g	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.1.g	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.1.g	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.1.h	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.1.h	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.1.h	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.1.i	4.2.1.2	Apă de suprafață folosită ca material (apă industrială)
1.1.i	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.1.i	1.1.5.3	Plante sălbatice (terestre și acvatice, inclusiv ciuperci și alge) folosite ca sursă de energie
1.2.a	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.a	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.a	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.2.b	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.b	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.b	2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor
1.2.c	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii

1.2.c	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.c	2.2.6.1	Reglarea compoziției chimice a atmosferei și oceanelor (reglare globală a climatului)
1.2.d	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.d	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.2.d	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.e	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.e	2.2.4.1	Procese de dezagregare și efectele lor asupra calității solurilor
1.2.e	2.2.4.2	Procese de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.2.f	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.f	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.f	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.2.g	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.g	2.2.4.1	Procese de dezagregare și efectele lor asupra calității solurilor
1.2.g	2.2.4.2	Procese de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.2.h	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.h	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.h	2.2.4.1	Procese de dezagregare și efectele lor asupra calității solurilor
1.2.i	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.2.i	2.2.4.2	Procese de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.2.i	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.j	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.j	2.1.2.2	Atenuarea zgomotelor
1.2.j	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.k	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.k	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.k	2.2.4.2	Procese de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.2.l	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.2.l	2.2.1.2	Amortizarea și atenuarea fluxurilor de masă
1.2.l	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.a	2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor
1.3.a	2.2.2.3	Mentținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)

1.3.a	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.b	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.3.b	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.b	2.2.4.2	Procesele de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.3.c	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.3.c	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.c	2.2.4.2	Procesele de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.3.d	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.3.d	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.d	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.3.e	2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor
1.3.e	2.1.2.2	Atenuarea zgomotelor
1.3.e	2.1.2.3	Atenuarea impactului vizual
1.3.f	2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor
1.3.f	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.f	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.3.g	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.3.g	2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor
1.3.g	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.h	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.3.h	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.h	2.2.4.2	Procesele de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.3.i	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.3.i	2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor
1.3.i	2.2.4.1	Procesele de dezagregare și efectele lor asupra calității solurilor
1.3.j	2.1.1.2	Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către microorganisme

1.3.j	2.2.6.1	Reglarea compoziției chimice a atmosferei și oceanelor (reglare globală a climatului)
1.3.j	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.j	2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor
1.3.k	2.1.1.2	Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către microorganisme
1.3.k	2.2.6.1	Reglarea compoziției chimice a atmosferei și oceanelor (reglare globală a climatului)
1.3.k	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.l	2.1.1.2	Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către microorganisme
1.3.l	2.2.4.1	Procese de dezagregare și efectele lor asupra calității solurilor
1.3.l	2.2.4.2	Procese de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.3.l	2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor
1.3.m	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.3.m	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.3.m	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.3.m	2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor
1.3.n	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.3.n	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.3.n	1.1.5.3	Plante sălbatice (terestre și acvatice, inclusiv ciuperci și alge) folosite ca sursă de energie
1.4.a	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.4.a	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.4.a	3.2.1.3	Elemente ale ecosistemelor utilizate pentru divertisment sau reprezentare
1.4.b	2.1.2.2	Atenuarea zgomotelor
1.4.b	2.1.2.3	Atenuarea impactului vizual
1.4.b	2.1.2.1	Atenuarea mirosurilor
1.4.b	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.4.c	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.4.c	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)

1.4.c	3.2.1.3	Elemente ale ecosistemelor utilizate pentru divertisment sau reprezentare
1.4.d	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.4.d	2.1.2.3	Atenuarea impactului vizual
1.4.d	2.1.2.1	Atenuarea mirosurilor
1.4.e	2.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.4.e	2.1.2.3	Caracteristicile ecosistemelor care sunt rezonante din punct de vedere cultural sau patrimonial
1.4.e	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.4.f	2.1.2.2	Atenuarea zgomotelor
1.4.f	2.1.2.3	Atenuarea impactului vizual
1.4.f	2.1.2.1	Atenuarea mirosurilor
1.4.g	3.1.2.3	Caracteristicile ecosistemelor care sunt rezonante din punct de vedere cultural sau patrimonial
1.4.g	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.4.g	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.4.h	2.1.2.3	Atenuarea impactului vizual
1.4.h	2.1.1.2	Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către microorganisme
1.4.i	1.1.5.1	Plante sălbatice (terestre și acvatice, inclusiv ciuperci și alge) folosite pentru hrană
1.4.i	3.2.1.3	Elemente ale ecosistemelor utilizate pentru divertisment sau reprezentare
1.4.i	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.5.a	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.a	1.2.1.2	Plante superioare și inferioare (organisme întregi) folosite pentru a reproduce de noi tulpini sau soiuri
1.5.a	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.5.b	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.b	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.b	2.1.1.2	Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către microorganisme
1.5.c	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)

1.5.c	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.c	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.5.d	2.2.2.3	Mentținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.d	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.d	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.5.e	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.5.e	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.5.e	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.f	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.5.f	3.2.1.1	Elemente ale ecosistemelor care au însemnătate simbolică
1.5.f	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.5.g	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.g	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.5.g	1.1.5.1	Plante sălbatice (terestre și acvatice, inclusiv ciuperci și alge) folosite pentru hrană
1.5.h	2.2.2.3	Mentținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.h	2.2.2.2	Răspândirea semințelor
1.5.h	1.2.1.2	Plante superioare și inferioare (organisme întregi) folosite pentru a reproduce de noi tulpini sau soiuri
1.5.h	2.2.2.1	Polenizare
1.5.i	3.2.2.1	Caracteristici sau trăsături ale ecosistemelor care au o valoare de existență
1.5.i	2.2.2.3	Mentținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.i	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.5.j	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale

1.5.j	2.1.1.2	Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către microorganisme
1.5.j	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.5.k	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.k	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.5.k	1.2.1.2	Plante superioare și inferioare (organisme întregi) folosite pentru a reproduce de noi tulpini sau soiuri
1.5.l	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.l	2.2.2.2	Răspândirea semințelor
1.5.l	1.2.1.2	Plante superioare și inferioare (organisme întregi) folosite pentru a reproduce de noi tulpini sau soiuri
1.5.m	1.2.1.2	Plante superioare și inferioare (organisme întregi) folosite pentru a reproduce de noi tulpini sau soiuri
1.5.m	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.m	2.2.2.2	Răspândirea semințelor
1.5.m	2.2.2.1	Polenizare
1.5.n	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.n	2.2.2.1	Polenizare
1.5.n	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.5.o	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.o	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.o	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.5.p	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.p	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.5.p	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.5.p	3.2.2.1	Caracteristici sau trăsături ale ecosistemelor care au o valoare de existență
1.5.p	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.q	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională

1.5.q	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.5.q	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.5.q	2.2.6.1	Reglarea compoziției chimice a atmosferei și oceanelor (reglare globală a climatului)
1.5.r	3.2.2.1	Caracteristici sau trăsături ale ecosistemelor care au o valoare de existență
1.5.r	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.r	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.5.s	3.2.2.1	Caracteristici sau trăsături ale ecosistemelor care au o valoare de existență
1.5.s	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.s	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.5.t	3.2.2.1	Caracteristici sau trăsături ale ecosistemelor care au o valoare de existență
1.5.t	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.5.t	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.u	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.5.u	3.2.2.1	Caracteristici sau trăsături ale ecosistemelor care au o valoare de existență
1.5.u	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.a	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.a	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.a	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.6.b	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.b	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)

1.6.b	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.6.c	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.c	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.c	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.6.d	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.d	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.d	2.1.1.2	Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către microorganisme
1.6.d	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.6.e	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.e	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.6.e	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.f	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.f	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.f	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.6.g	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.g	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.g	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.6.h	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.h	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.6.h	2.1.1.2	Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către micro
1.6.i	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)

1.6.i	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.6.i	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.6.j	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.6.j	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.j	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.k	2.2.4.1	Procese de dezagregare și efectele lor asupra calității solurilor
1.6.k	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.k	2.2.4.2	Procese de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.6.k	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.6.l	2.1.1.2	Filtrarea/sechestrarea/ stocarea/ acumularea în ecosisteme de către microorganisme
1.6.l	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.l	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.6.l	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.6.l	3.1.2.4	Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice
1.6.l	2.2.4.1	Procese de dezagregare și efectele lor asupra calității solurilor
1.6.l	2.2.4.2	Procese de descompunere și fixare și efectul acestora asupra calității solului
1.6.m	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.m	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.n	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.n	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.6.n	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.6.n	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)

1.6.o	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.6.o	2.2.4.1	Procese de dezagregare și efectele lor asupra calității solurilor
1.6.o	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.6.p	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
1.6.p	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.p	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
1.6.p	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.6.p	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.q	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.q	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.q	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
1.6.q	2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității, inclusiv ventilație și transpirație (reglare microclimat)
1.6.r	2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor (Inclusiv protecția fondului genetic)
1.6.r	3.1.2.1	Caracteristicile ecosistemelor care permit/sunt folosite în investigații științifice sau pentru crearea cunoștințelor ecologice tradiționale
1.6.r	3.1.2.2	Caracteristicile ecosistemelor care facilitează activități educaționale sau de pregătire profesională
2.1.a	1.1.5.2	Fibre și alte materiale obținute din plante sălbatice folosite pentru utilizare directă sau pentru procesare (exclusiv materialele genetice)
2.1.a	1.1.5.3	Plante sălbatice (terestre și acvatice, inclusiv ciuperci și alge) folosite ca sursă de energie
2.1.a	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)
2.1.b	1.1.5.2	Fibre și alte materiale obținute din plante sălbatice folosite pentru utilizare directă sau pentru procesare (exclusiv materialele genetice)
2.1.b	2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului de apă (inclusiv controlul fluxurilor de apă care produc inundații și protecția coastelor)

2.1.b	1.1.5.3	Plante sălbatice (terestre și acvatice, inclusiv ciuperci și alge) folosite ca sursă de energie
2.1.c	1.1.5.2	Fibre și alte materiale obținute din plante sălbatice folosite pentru utilizare directă sau pentru procesare (exclusiv materialele genetice)
2.1.c	1.1.5.3	Plante sălbatice (terestre și acvatice, inclusiv ciuperci și alge) folosite ca sursă de energie
2.1.c	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii
2.1.d	1.1.5.2	Fibre și alte materiale obținute din plante sălbatice folosite pentru utilizare directă sau pentru procesare (exclusiv materialele genetice)
2.1.d	1.1.5.3	Plante sălbatice (terestre și acvatice, inclusiv ciuperci și alge) folosite ca sursă de energie
2.1.d	2.2.1.1	Controlul nivelului eroziunii

Rezultatele chestionarului au evidențiat, pe ansamblu, faptul că majoritatea respondenților consideră serviciile de reglare, precum reglarea ciclului hidrologic, controlul eroziunii, atenuarea mirosurilor și zgomotului, și menținerea habitatelor, ca fiind esențiale pentru un management sustenabil al ecosistemelor forestiere. De asemenea, un consens clar a fost atins privind importanța serviciilor de aprovizionare, cum ar fi producția de plante și utilizarea acestora ca hrană pentru fauna sălbatică, considerându-le prioritare pentru 60% dintre respondenți. Rezultatele acestui chestionar vor sta la baza finalizării, în faza VI, a activității privind selectarea indicilor relevanți pentru evaluarea serviciilor ecosistemice.

6.1.2. Finalizarea dezvoltării hărților tematice caracteristice serviciilor ecosistemice

Cartografierea distribuției serviciilor ecosistemice forestiere implică o complexă intersecție între date tematice, modele spațiale și reprezentare simbolică, având un rol esențial în sprijinirea proceselor decizionale legate de gestionarea durabilă a pădurilor, evaluarea vulnerabilității ecosistemelor și adaptarea la schimbările climatice. Într-un context global în care politicile de mediu devin tot mai dependente de date spațiale robuste și actualizate, hărțile tematice constituie un instrument fundamental în înțelegerea și comunicarea funcțiilor ecosistemice la scară regională și națională. Între date tematice, modele spațiale și reprezentare simbolică. În cadrul acestei faze s-a realizat finalizarea dezvoltării și consolidării hărților tematice asociate serviciilor ecosistemice, fără a realiza în această etapă o evaluare propriu-zisă a acestora, ci concentrându-se exclusiv pe aspectul informativ și reprezentativ al datelor, în acord cu metodologiile internaționale privind structurile de date geospațiale de mediu.

Această activitate se înscrie în continuitatea celor demarate în fazele anterioare, fiind orientată spre realizarea unui portofoliu de hărți tematice interpretabile vizual, scalabile, și compatibile cu standardele cartografice și geospațiale (INSPIRE, OGC). Totodată, se urmărește crearea unei infrastructuri reutilizabile care să permită actualizări automate și integrare multiplatformă.

Hărțile tematice sunt instrumente esențiale în evaluarea indirectă a distribuției serviciilor ecosistemice, permițând explorarea spațială a trăsăturilor structurale și funcționale ale ecosistemelor. Conform principiilor formulate de Bertin (1983), semiotica grafică joacă un rol

important în exprimarea diferențierilor cantitative și calitative prin simboluri cartografice. În context forestier, indicatori precum densitatea coronamentului, compoziția speciilor, altitudinea sau gradul de accesibilitate pot servi drept variabile proxy pentru diferite tipuri de servicii ecosistemice.

Aceste hărți sunt construite prin combinarea datelor tematice vectoriale și raster, folosind tehnici avansate de analiză spațială, inclusiv agregare zonală, filtrare focală și clasificare statistică (quantile, Jenks). Prelucrarea se desfășoară într-un mediu integrat (QGIS, Python, Google Earth Engine), cu accent pe reproductibilitate, modularitate și compatibilitate multiplatformă.

În fazele anterioare au fost definite tematicile principale de cartografiere și s-au stabilit criteriile de selecție pentru variabilele reprezentative. De asemenea, s-au testat primele fluxuri de integrare a rasterelor LiDAR și Sentinel-2 în layout-uri standardizate. Aceste rezultate preliminare au fost folosite ca bază pentru extinderea și definitivarea procesului în această fază.

În această fază s-au desfășurat o serie de etape de lucru, organizate logic, pornind de la structura datelor utilizate, continuând cu procesul de stilizare automată și încheind cu exportul final al hărților. Acest flux de lucru a fost conceput pentru a asigura o încadrare metodologică riguroasă, dar și o aplicabilitate practică extinsă, inclusiv în contexte de lucru cu mari volume de date și necesități de automatizare a producției cartografice.

- a) Structurarea datelor tematice. Datele utilizate au fost împărțite în trei categorii:
 - *Date vectoriale*: unități amenajistice, limite administrative, drumuri forestiere, tipuri de pădure.
 - *Date raster*: modele digitale de teren (MDT), rastere NDVI și LAI, rastere de altitudine și pantă, rastere din scanare laser (CHM).
 - *Date auxiliare*: ortofotoplanuri, rețele hidro, rețele electrice (în zonele unde acestea condiționează accesibilitatea).
- b) Simbolizare și stilizare automată. Fiecare strat tematic a fost stilizat pe baza unei clasificări automatizate în QGIS folosind fișiere QML generate scriptic astfel:

```
# Extragerea claselor și atribuirea simbolurilor
import qgis.core as qgc
renderer = qgc.QgsGraduatedSymbolRenderer()
renderer.setMode(qgc.QgsGraduatedSymbolRenderer.Quantile)
renderer.setClassAttribute('NDVI')
renderer.updateClasses(layer, qgc.QgsGraduatedSymbolRenderer.EqualInterval, 5)
layer.setRenderer(renderer)
```

Paletele cromatice utilizate au inclus scheme standard (Spectral, Viridis, Terrain), în funcție de caracterul ordonat sau nominal al variabilei tematice.

- c) Exportul automatizat al hărților. S-a utilizat funcționalitatea Atlas din QGIS pentru generarea de layout-uri automatizate:

```
from qgis.core import *
layout = QgsProject.instance().layoutManager().layoutByName('Atlas_Tematic')
exporter = QgsLayoutExporter(layout)
exporter.exportToPdf('atlas_output.pdf', QgsLayoutExporter.PdfExportSettings())
```

Fiecare hartă conține legendă dinamică, scară grafică, grilă geografică și un cartuș informativ.

În această fază s-a realizat maturizarea layout-ului standard pentru hărțile tematice, finalizarea straturilor tematice cu o clasificare unitară, pregătirea datelor asociate hărților, implementarea unei proceduri de randare în format PDF și GeoTIFF și verificarea compatibilității cu platforme webGIS (GeoServer, Leaflet).

Pentru a asigura utilizarea eficientă a produselor cartografice, s-au elaborat și structurat fișiere de metadate aferente fiecărui strat tematic în conformitate cu standardele internaționale ISO 19115 și Dublin Core. Acestea includ detalii despre sursa datelor, data producerii, rezoluția spațială și metodele de clasificare utilizate, facilitând astfel integrarea ulterioară în infrastructuri de tip INSPIRE sau GEOSS. De asemenea, toate hărțile generate au fost pregătite pentru a fi integrate într-un geoportal intern, utilizând tehnologii precum GeoServer și Leaflet pentru vizualizare interactivă. Layout-urile cartografice includ metadate încorporate, permițând accesul rapid la informații esențiale pentru fiecare strat, inclusiv codul de clasificare și legenda simbolică asociată.

Astfel, finalizarea acestei activități a dus la obținerea unui set coerent de hărți tematice pentru atribute forestiere, a unei infrastructuri cartografice standardizată cu layout automatizat, a unor coduri reutilizabile pentru exportul și simbolizarea hărților și la compatibilitate demonstrată cu aplicații desktop și webGIS. Aceste rezultate reprezintă o serie de instrumente funcționale în cadrul metodologic de susținere a realizării fazelor viitoare, inclusiv în ceea ce privește integrarea hărților în platforme de vizualizare, analiză și diseminare publică.

6.1.3. Continuarea dezvoltării și aplicării de metode alternative pentru ajustarea informațiilor din bazele de date "uzuale", inclusiv tehnici moderne ale teledetecției terestre și satelitare (scanare laser terestră, date satelitare)

În contextul unei nevoi tot mai accentuate de actualizare a bazelor de date forestiere la standarde înalte de precizie și interoperabilitate, această activitate a vizat aprofundarea metodelor alternative de ajustare a informațiilor tematice, cu accent pe integrarea datelor provenite din teledetecție activă și pasivă. Se continuă astfel direcțiile metodologice stabilite în fazele anterioare, fără a înlocui metodele clasice, ci completându-le prin instrumente moderne care facilitează acuratețea, reproductibilitatea și scalabilitatea. Astfel, s-a urmărit rafinarea structurii bazelor de date forestiere utilizând algoritmi de interpolare spațială, corectare semi-automată și integrare raster-vector, menținând în același timp o abordare prudentă asupra asumării rezultatelor, dat fiind caracterul încă exploratoriu al unora dintre aceste metode.

Teledetecția activă (TLS, SAR) și pasivă (multispectrală) furnizează surse complementare de date, fiecare având propriile avantaje și limitări. Scanarea laser terestră (TLS), conform Lefsky et al. (2002), oferă o reprezentare tridimensională a structurii coronamentului, esențială pentru înțelegerea complexității ecosistemelor forestiere. Radarul în bandă C (Sentinel-1), rezistent la nori și fenomene atmosferice, permite extragerea de informații indirecte despre structură, umiditate și variații sezoniere. Datele multispectrale (Sentinel-2) oferă acces la o gamă largă de indici fiziologici, folosiți pe scară largă în cercetare și practică (Drusch et al., 2012). Aceste surse sunt procesate în conformitate cu principiile prelucrării geospațiale moderne, incluzând interpolarea spline, regresii multivariate, agregare zonală și aplicarea principiilor FAIR în stocarea și diseminarea datelor.

În fazele anterioare au fost definite tipurile de surse externe relevante, fiind testate primele integrări de rastere Sentinel-1 și LiDAR într-un flux de corectare tematică. De asemenea, s-au dezvoltat scripturi inițiale de extragere automată a valorilor NDVI pe poligoane și s-au aplicat tehnici de interpolare pentru completarea atributelor lipsă la nivelul unităților amenajistice. Activitățile desfășurate în cadrul acestei faze au venit să consolideze aceste rezultate prin rafinarea codurilor, extinderea seturilor de date și testarea scalabilității.

Implementare tehnică și etapele operaționale au constat în:

- a) Prelucrare LS și generare modele altimetrice. Scanările laser (TLS și ALS) au fost prelucrate prin filtre de densitate și extracție stratificată folosind PDAL și CloudCompare, generându-se astfel:
 - MDT – pentru relief
 - MDS – pentru coronament
 - CHM – prin diferențiere (MDS - MDT)
 - Indici de densitate verticală și complexitate structurală
- b) Procesare multispectrală și radar în Google Earth Engine. Datele Sentinel-1 și Sentinel-2 au fost procesate pentru a obține rastere uniforme pe sezon vegetativ.

Cod GEE pentru RFDI:

```
var s1 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
    .filterBounds(aoi)
    .filterDate('2023-01-01','2023-12-31')
    .select(['VV','VH']);

var vv = s1.select('VV').median();
var vh = s1.select('VH').median();
var rfdIndex = vv.divide(vh).rename('RFDI');
```

- c) Ajustarea valorilor tematice prin interpolare spațială, în vederea suplinirii de date lipsă sau a unor inexactități:
 - interpolare spline bidimensională (pachet gstat din R)
 - regresie spațială multivariată (GAM)
 - validare cu date din surse auxiliare
- d) Integrarea valorilor raster în seturi de date vectoriale. Folosirea Python/R + Rasterio + GeoPandas:

```
gdf = gpd.read_file('unitati.gpkg')
with rasterio.open('rasters/ndvi.tif') as src:
    for idx, row in gdf.iterrows():
        geom = [row['geometry'].__geo_interface__]
        out_image, _ = mask(src, geom, crop=True)
        gdf.loc[idx, 'ndvi_med'] = out_image[out_image > 0].mean()
```

Activitățile desfășurate în această fază au permis extinderea metodei pe mai multe zone pilot și evaluarea nivelului de generalizare. Totodată, a fost dezvoltat un flux semi-automat de prelucrare care poate fi extins la nivel regional, fără a presupune un efort de codare suplimentar major. Acest flux este compatibil cu diverse formate de date raster și vector și poate fi adaptat la noi surse de date.

Astfel, în cadrul acestei activități, atât în fazele anterioare cât și în faza curentă, s-a realizat: integrarea de rastere structurale și fiziologice în fluxurile de actualizare a BD tematice, scripturi reproductibile pentru extragerea valorilor raster pe zone de interes, testarea cu succes a metodelor de interpolare spațială pentru completarea valorilor lipsă și o structură de cod unificată și modulară (Python + GEE + R), rezultate ce contribuie la modernizarea metodologică a sistemelor de stocare și prelucrare a datelor forestiere și permit extinderea înspre un sistem large-scale, semi-automat de actualizare a bazelor de date cu informații din surse externe și de teledetecție. Validarea rezultatelor a fost realizată prin comparație cu date de teren colectate în zone de control și prin utilizarea de puncte de referință. De asemenea, au fost efectuate verificări statistice ale coerenței între valorile extrase din rastere și cele disponibile din surse oficiale sau înregistrări istorice, în vederea estimării abaterilor și a posibilelor anomalii.

În ceea ce privește aplicabilitatea, rezultatele au fost testate în scenarii variate de acoperire forestieră (foioase, rășinoase, amestecuri) și pe terenuri cu relief diferit, pentru a verifica robustețea algoritmilor în diverse condiții topografice și structurale. Realizarea activității a condus la o îmbunătățire substanțială a calității și completitudinii bazei de date forestiere de referință. Astfel, s-au obținut: rastere validate de structură și fiziologie forestieră, hărți regionale cu RFDI și CHM aplicabile în monitorizare și o bază vectorială îmbogățită cu noi atribute spațiale și derivate tematice. Beneficiile aduse de atingerea acestor obiective includ creșterea rezoluției analitice asupra ecosistemului forestier, reducerea incertitudinilor privind datele vechi sau incomplete, crearea unei infrastructuri replicabile pentru actualizări automate a condus la o îmbunătățire substanțială a calității și completitudinii bazei de date forestiere de referință.

În continuare, se va realiza integrarea unui flux automatizat (cron jobs) pentru actualizare continuă pe baza datelor GEE, scalarea metodologiei la nivel județean și național, publicarea ca dataset FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) și utilizarea metodei în evaluări longitudinale, analize de vulnerabilitate climatică sau în sistemele suport pentru decizie (DSS)

Prin această activitate, proiectul s-a aliniat la tendințele moderne ale geoinformaticii forestiere, contribuind activ la fundamentarea unei baze științifice solide pentru monitorizarea și modelarea pădurilor în România.

6.1.4. Identificarea relațiilor de interdependență dintre diferitele funcții ecosistemice în vederea stabilirii potențialului unui ecosistem de a asigura seturi complexe de servicii ecosistemice

În ultimele decenii, serviciile ecosistemice au câștigat o poziție centrală în discuțiile despre conservarea biodiversității și politicile de mediu. După cum afirmă Millennium Ecosystem Assessment (2005), aceste servicii reprezintă „beneficiile pe care oamenii le obțin din ecosisteme”, evidențiind faptul că natura nu este un simplu cadru al existenței umane, ci un sistem dinamic care susține viața prin funcții esențiale. Acestea includ furnizarea de resurse (apă, hrană, materii prime), reglarea climatică, polenizarea culturilor și oferirea de spații de recreere. Funcțiile ecosistemice – procesele naturale care stau la baza acestor servicii – sunt „motoarele invizibile ale biosferei” (Daily, 1997). Ele cuprind ciclurile biogeochimice (carbon, azot), fotosinteza, purificarea apei și menținerea fertilității solului. Așa cum subliniază de Groot et al. (2002), aceste mecanisme sunt rezultatul interacțiunilor complexe dintre componentele biotice și abiotice ale ecosistemelor, funcționând ca un tot integrat.

O provocare cheie în ecologie este înțelegerea interdependențelor dintre funcțiile ecosistemice și modul în care acestea generează servicii multiple. Spre exemplu, o pădure nu asigură doar lemn, ci și stocare de carbon, protecție împotriva eroziunii și habitat pentru biodiversitate. Totuși, uneori, optimizarea unui serviciu (ex: agricultura intensivă) poate compromite altele (ex: calitatea apei), un fenomen denumit „trade-off” în serviciile ecosistemice (Bennett et al., 2009).

În cadrul acestei faze s-a realizat explorarea aceste relații și identificarea de metode de evaluare cantitativă a potențialului ecosistemelor de a furniza servicii multiple. După cum remarcă Costanza et al. (2017), o abordare sistemică este esențială pentru gestionarea durabilă a resurselor naturale, permițând luarea de decizii echilibrate între nevoile umane și integritatea ecologică.

Studiul relațiilor dintre funcțiile ecosistemice și serviciile ecosistemice reprezintă o problemă complexă, dar esențială pentru înțelegerea modului în care natura susține societatea umană. Această analiză pornește de la întrebarea: cum determină funcțiile ecosistemice capacitatea unui ecosistem de a furniza servicii multiple și complementare? Răspunsul implică o investigare a mecanismelor ecologice care stau la baza acestor servicii, precum și a interacțiunilor care pot genera sinergii sau compromisuri (trade-offs) între ele.

Astfel, funcțiile ecosistemice reprezintă procesele naturale care mențin structura și dinamica ecosistemelor. Ele includ procese ca: ciclul nutrienților (descompunerea materiei organice, fixarea azotului, absorbția fosforului), reglarea hidrologică (infiltrația apei, prevenirea inundațiilor, alimentarea acviferelor), producția primară (fotosinteza, formarea biomasei vegetale), polenizarea (reproducerea plantelor prin intermediul insectelor, păsărilor sau mamiferelor) etc. Aceste funcții nu acționează izolat, ci formează rețele de interdependențe. De exemplu ciclul nutrienților din sol susține nu numai productivitatea agricolă, ci și calitatea apei subterane (prin reducerea scurgerii de nitrați) și stabilitatea solului (prin menținerea structurii radiculare), polenizarea - în timp ce asigură reproducerea plantelor sălbatice, este și un serviciu esențial pentru agricultură, influențând direct randamentul culturilor precum fructele, legumele și oleaginoasele (Klein et al., 2007).

Ecosistemele funcționează ca sisteme integrate, unde modificarea unei funcții poate avea repercusiuni în lanț. De exemplu vegetația, prin fotosinteză, reglează nu doar ciclul carbonului, ci și microclimatul local (umiditate, temperatură), retenția apei în sol și prevenția eroziunii; sau distrugerea habitatului polenizatorilor poate duce la scăderea diversității floristice, afectând nu numai ecosistemele naturale, ci și securitatea alimentară (Potts et al., 2016).

Unele servicii se susțin reciproc (de ex: pădurile conservă biodiversitatea și stochează carbon), în timp ce altele intră în conflict (de ex. exploatarea forestieră intensivă poate crește producția de lemn, dar reduce capacitatea de stocare a carbonului și calitatea habitatului; sau drenajul zonelor umede poate extinde terenurile agricole, dar compromite reglarea inundațiilor și filtrarea poluanților)

Înțelegerea relațiilor dintre funcțiile și serviciile ecosistemice este foarte importantă pentru gestionarea durabilă a resurselor naturale, prevenirea degradării prin decizii informate și pentru optimizarea beneficiilor multiple fără a compromite integritatea ecologică.

În această fază s-a realizat determinarea relațiilor de interdependență între serviciile ecosistemice (tabelul 6.1.4.1), servind ca bază pentru modelarea interacțiunilor între servicii în

diferite tipuri de ecosisteme și integrarea cunoștințelor ecologice în politici pentru a asigura o abordare echilibrată între nevoile umane și sustenabilitate.

Tabelul 6.1.4.1.

Relații de interdependență între serviciile ecosistemice

Categorie CICES 5.1	Exemplu	Relație de interdependență
Animale sălbatice (terestre și acvatice) folosite pentru hrană	Cantitatea de păstrăv recoltată	Depinde de calitatea apei și de starea habitatului acvatic .
Apă de suprafață folosită ca material (apă industrială)	Temperatura și volumul apei pentru răcire/irigare	Influențată de reglarea ciclului hidrologic și filtrarea poluanților .
Apă de suprafață potabilă	Volumul și caracteristicile apei potabile	Dependentă de procesele de filtrare naturală și menținerea calității solului .
Atenuarea fluxurilor de masă	Capacitatea vegetației forestiere de a preveni avalanșe	Legată de stabilitatea solului și densitatea vegetației .
Atenuarea impactului vizual	Perdele forestiere în jurul obiectivelor industriale	Dependentă de serviciile culturale și biodiversitatea vegetală .
Atenuarea mirosurilor	Perdele forestiere ce filtrează particule cu mirosuri	Asociată cu filtrarea aerului și procesele de fotosinteză .
Atenuarea zgomotelor	Perdele forestiere de-a lungul autostrăzilor	Influențată de structura vegetației și densitatea copacilor .
Caracteristici ale ecosistemelor care permit activități de birdwatching	Diversitatea speciilor de păsări într-o pădure	Dependentă de polenizare , disponibilitatea hranei și calitatea habitatului .
Caracteristici ale ecosistemelor care facilitează experiențe estetice	Păduri observabile din zone panoramice	Legate de serviciile culturale și conservarea peisajului natural .
Caracteristici ale ecosistemelor cu valoare de existență	Zone desemnate ca zone sălbatice	Dependente de protecția biodiversității și funcțiile de reglare climatică .
Caracteristicile ecosistemelor care permit activități educaționale	Zone pentru activități de conservare voluntare	Legate de biodiversitate și serviciile culturale de tip educațional .
Caracteristicile ecosistemelor folosite în cercetare științifică	Păduri de interes științific (Natura 2000)	Dependente de integritatea ecologică și funcțiile de bază ale ecosistemului .
Caracteristicile ecosistemelor cu relevanță culturală	Grădiștea Muncelului (pădurile din jurul cetăților dacice)	Asociate cu conservarea patrimoniului și serviciile culturale .
Controlul eroziunii solului	Capacitatea vegetației forestiere de a reduce eroziunea	Dependentă de rădăcinile plantelor și procesele de stabilizare a solului .
Elemente ale ecosistemelor cu însemnătate sacră	Speciile totemice (Broasca țestoasă)	Legate de serviciile culturale și conservarea biodiversității .
Elemente ale ecosistemelor cu însemnătate simbolică	Stejarul lui Horea, Zăganul	Asociate cu identitatea culturală și valoarea istorică .
Elemente ale ecosistemelor utilizate în divertisment	Elemente naturale folosite în filme/cărți	Dependente de serviciile culturale și diversitatea peisagistică .
Fibre și materiale din plante sălbatice	Volum recoltabil de lemn	Influențat de procesele de creștere a vegetației și managementul forestier .
Filtrarea poluanților de către ecosisteme	Filtrarea prafului de către pădurile urbane	Legată de procesele de fotosinteză și capacitatea de retenție a solului .

Menținerea habitatelor pentru specii protejate	Habitatate pentru plante de pe Lista Roșie	Dependentă de polenizare, calitatea solului și regimul hidrologic.
Plante sălbatice folosite ca sursă de energie	Volum recoltabil de lemn de foc	Influențat de procesele de regenerare naturală și managementul sustenabil.
Plante sălbatice folosite pentru hrană	Volumul recoltabil de fructe de pădure/ciuperci	Dependent de polenizare, calitatea solului și condițiile climatice.
Plante folosite pentru reproducere genetică	Cantitate recoltabilă de semințe	Legată de biodiversitate și serviciile de polenizare.
Polenizare	Oferirea unui habitat pentru polenizatori	Dependentă de diversitatea floristică și lipsa pesticidelor.
Procesele de descompunere și fixare a azotului	Descompunerea reziduurilor vegetale	Asociate cu fertilitatea solului și creșterea plantelor.
Procesele de eliberare a nutrienților	Eliberarea de nutrienți anorganici în sol	Legate de ciclu biogeochimic și activitatea microorganismelor.
Protecția împotriva vântului	Capacitatea de a proteja infrastructura de viscol	Dependentă de densitatea vegetației și înălțimea copacilor.
Răspândirea semințelor	Răspândirea ghindei de către gaiță	Legată de biodiversitate și serviciile culturale (folclorul asociat).
Reglarea ciclului hidrologic	Capacitatea vegetației de a reține apa	Influențată de infiltrația solului și evapotranspirația.
Reglarea compoziției atmosferei (stocarea carbonului)	Stocarea carbonului în păduri	Dependentă de fotosinteză și procesele de descompunere.
Reglarea calității apelor curgătoare	Păduri ca zone tampon pentru filtrarea nutrienților	Legată de controlul eroziunii și procesele biogeochimice.
Reglarea microclimatului	Influența pădurii asupra temperaturii locale	Dependentă de umiditate, evapotranspirație și acoperirea vegetală.

6.1.5. Prioritizarea metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice în raport cu seturile de date disponibile

Demersurile necesare realizării acestei activități au presupus o analiză amănunțită a tuturor metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice identificate și prezentate în rezultatele obținute în fazele anterioare. Considerând complexitatea acestui domeniu și diversitatea factorilor care influențează alegerea celei mai potrivite metode, s-a adoptat o strategie multidimensională în procesul nostru de prioritizare. Astfel, au fost elaborate trei perspective complementare de analiză, fiecare concepută pentru a evidenția aspecte diferite ale metodologiilor disponibile.

Prima perspectivă a fost centrată pe o analiză calitativă și detaliată a parametrilor fundamentali pentru aplicabilitatea practică a fiecărei metode (tabelul 6.1.5.1). S-au evaluat cu atenție datele necesare pentru implementare, costurile asociate, nivelul de încredere al rezultatelor obținute, precum și avantajele și dezavantajele specifice fiecărei metode de evaluare. Această analiză a permis înțelegerea în profunzime a potențialului și limitărilor fiecărei metode.

Cea de-a doua perspectivă a fost orientată spre crearea unei ierarhizări relative între metodele de evaluare, luând în considerare factori operaționali esențiali: datele necesare, timpul de implementare, costurile implicate, gradul de obiectivism al metodei și, nu în ultimul rând, aplicabilitatea specifică în contextul ecosistemelor forestiere (tabelul 6.1.5.2). Această abordare ne-a ajutat să identificăm metodele cele mai eficiente din punct de vedere al resurselor și cele mai relevante pentru contextul specific de cercetare al proiectului.

A treia perspectivă a adus în prim-plan o ierarhizare bazată pe criterii strategice, și anume: aplicabilitatea metodei pentru evaluarea serviciilor ecosistemice, existența unei baze de date pentru implementarea metodei, gradul de cuantificare al metodei, costurile de obținere a informațiilor necesare și timpul necesar pentru obținerea acestor informații (tabelul 6.1.5.3). Această abordare a permis evaluarea metodelor din perspectiva integrării lor în practicile curente și potențialul lor de utilizare pe termen lung.

Ultimele două abordări de ierarhizare s-au bazat pe judecata experților implicați în cadrul proiectului, fundamentată pe o consultare aprofundată a literaturii de specialitate și valorificarea experienței acumulate în proiectele anterioare în care institutul a fost implicat. Această combinație între cunoștințele teoretice și experiența practică a oferit o perspectivă echilibrată și realistă asupra aplicabilității diferitelor metode în contextul specific al cercetărilor proiectului. Prin această analiză comprehensivă, s-a reușit să identificarea metodelor cele mai promițătoare pentru evaluarea serviciilor ecosistemice, ținând cont de datele disponibile, caracteristicile specifice ale ecosistemelor studiate și obiectivele noastre de cercetare pe termen lung.

Tabelul 6.1.5.1

Aplicarea primei perspective de selecție a metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice

Metode de Evaluare Monetară						
Metodă	Descriere	Date Necesare	Cost	Nivel de Încredere	Avantaje	Dezavantaje
Prețuri de piață	Evaluează serviciile ecosistemice prin analiza tranzacțiilor reale din piață	Tranzacții reale de piață, date privind surplusul consumatorului/producătorului	Scăzut-Moderat	Ridicat	Măsurare directă, bazată pe tranzacții reale	Subestimează valoarea în regiuni sărace, captează doar servicii comercializate
Costurile de călătorie	Evaluează serviciile recreative prin cheltuielile pe care vizitatorii le fac pentru a ajunge la o destinație	Număr de vizitatori, cheltuieli de călătorie, timp investit	Moderat	Moderat-Ridicat	Eficient pentru evaluarea serviciilor recreative	Captează doar valori de utilizare, limitat la servicii recreative
Prețuri hedonice	Analizează cum caracteristicile mediului se reflectă în prețurile proprietăților	Prețuri imobiliare, date despre caracteristicile mediului	Ridicat	Moderat	Relevă valorile implicite ale atributelor de mediu	Necesită piețe imobiliare active și transparente, dificil de izolat factorii de mediu
Metoda productivității	Evaluează contribuția serviciilor ecosistemice la producerea bunurilor comercializabile	Date despre producție, contribuția serviciilor ecosistemice	Moderat	Moderat-Ridicat	Leagă serviciile ecosistemice direct de rezultatele economice	Captează doar valori de utilizare directă, necesită date detaliate despre producție

Evaluare contingentă	Utilizează sondaje pentru a determina disponibilitatea de plată în scenarii ipotetice	Răspunsuri din sondaje privind disponibilitatea de plată	Ridicat	Scăzut-Moderat	Poate capta atât valori de utilizare, cât și de non-utilizare	Costisitor, consumator de timp, subiect al prejudecăților ipotetice
Modelarea alegerii	Oferă respondenților multiple scenarii alternative între care să aleagă	Date din sondaje privind alegerile între alternative	Foarte Ridicat	Moderat	Captează preferințe nuanțate și compromisuri	Implementare complexă, necesită expertiză ridicată
Costurile de evitare/înlocuire	Evaluează serviciile prin costul înlocuirii sau evitării pierderii lor	Date despre costurile de restaurare, înlocuire sau curățare	Moderat	Moderat	Practic, bazat pe cifre concrete	Poate subestima valoarea totală, se concentrează pe substitute
Renta resurselor	Calculează valoarea prin deducerea contribuțiilor altor forme de capital din surplusul operațional	Date despre surplus operațional, contribuția capitalului	Moderat	Moderat	Util pentru resurse exploatare comercial	Limitat la resurse extractive cu valoare de piață
Transferul beneficiilor	Aplică estimări valorice din studii existente în noi contexte	Studii de evaluare existente din contexte similare	Scăzut	Scăzut-Moderat	Eficient din punct de vedere al timpului și costurilor	Poate să nu reflecte cu acuratețe condițiile locale

Utilizarea timpului	Măsoară valoarea prin timpul pe care oamenii ar fi dispuși să îl investească	Date privind disponibilitatea de investire a timpului	Moderat	Moderat	Util în economii non-monetare	Dificil de standardizat între contexte
Metode de Evaluare Non-Monetară						
Evaluarea preferințelor	Folosește sondaje pentru a analiza percepțiile și valorile asociate serviciilor ecosistemice	Date din sondaje privind percepțiile și valorile	Moderat	Moderat	Oferă informații directe despre valorile comunității	Natura calitativă face dificilă comparația
Foto-consultarea	Folosește experiențele vizuale pentru evaluarea serviciilor ecosistemice	Material vizual, interpretări ale participanților	Moderat	Moderat	Captivant, captează răspunsuri intuitive	Interpretare subiectivă, limitat la servicii vizibile
Jocul de cărți cu servicii ecosistemice	Combină elementele foto-consultării cu exerciții de evaluare într-un format interactiv	Sesiuni interactive structurate	Moderat	Moderat	Interactiv, accesibil diverselor părți interesate	Consumator de timp, necesită facilitare
Cartografierea deliberativă	Îmbină cunoștințele locale cu tehnologia GIS	Cunoștințe locale, date GIS	Ridicat	Moderat-Ridicat	Combină cunoștințele locale cu date spațiale	Necesită expertiză tehnică și implicarea participanților

	pentru hărți comprehensive					
Dezvoltarea scenariilor participative	Crearea de scenarii bazate pe perspectivele actorilor locali	Perspective ale părților interesate, modele de predicție	Ridicat	Moderat	Încorporează perspective locale privind schimbările viitoare	Consumator de timp, rezultatele variază cu participanții
Evaluare deliberativă	Creează un cadru de dialog pentru formarea preferințelor colective	Discuții de grup, contribuții ale părților interesate	Ridicat	Moderat	Construiește consens prin dialog	Consumator de timp, poate fi dominat de participanți vocali
Analiza fotografiilor din rețelele sociale	Folosește date geospațiale din platforme sociale pentru evaluarea preferințelor	Date geospațiale din platforme sociale	Moderat	Scăzut-Moderat	Utilizează date existente, captează comportament real	Eșantion părtinitor, limitat la servicii culturale
Analiza narativă	Captează importanța serviciilor prin poveștile personale	Povești personale, date din interviuri	Ridicat	Moderat	Captează conexiuni emoționale și culturale	Consumator de resurse, dificil de cuantificat
Analiza sistematică	Evaluează dovezile științifice prin tehnici de meta-analiză	Multiple studii științifice	Foarte Ridicat	Ridicat	Sinteză riguroasă și cuprinzătoare	Necesită resurse extinse de cercetare
Metode de Modelare						

Modelarea biofizică	Se concentrează pe înțelegerea relațiilor din mediul înconjurător	Date detaliate despre mediu	Foarte Ridicat	Ridicat	Riguros științific, bazat pe procese	Intensiv în date, necesită expertiză specializată
Modelarea serviciilor ecosistemice	Combină abordările spațiale cu modelarea biofizică	Date spațiale, parametri biofizici	Foarte Ridicat	Ridicat	Integrează multiple servicii, explicit spațial	Complex, necesită software specializat (InVEST, ESTIMAP)
Simularea procesului decizional	Reproduce modul în care actorii iau decizii	Date despre comportamentul părților interesate	Ridicat	Moderat	Captează dinamica decizională umană	Complex de parametrizat, ipotezele pot limita validitatea
Modelarea integrată de evaluare	Combină diferite modele sectoriale pentru a simula schimbările	Multiple modele și date sectoriale	Foarte Ridicat	Moderat-Ridicat	Analiză cuprinzătoare a sistemului	Extrem de complex, propagă incertitudini
Cartografierea matricială simplă	Stabilește legături între indicatori și categorii de acoperire a terenului	Date despre acoperirea terenului, indicatori SE	Scăzut	Scăzut-Moderat	Ușor de implementat, intuitiv vizual	Simplifică excesiv relațiile complexe
Cartografierea matricială complexă	Extinde abordarea simplă prin adăugarea mai multor seturi de date	Multiple seturi de date spațiale	Moderat	Moderat	Mai nuanțat decât cartografierea simplă	Se bazează încă pe ipoteze simplificatoare

Metode Integrate						
Analiza decizională multicriterială	Structură pentru gestionarea situațiilor complexe cu obiective multiple	Date despre performanța multiplelor criterii, preferințele părților interesate	Ridicat	Moderat-Ridicat	Abordare structurată pentru decizii complexe, încorporează valori multiple	Necesită facilitare expertă, rezultate sensibile la selecția criteriilor
Analiza decizională bayesiană	Modele grafice probabilistice care codifică sistemul ca o rețea de noduri	Variabile de sistem, relații cauzale, distribuții de probabilitate	Foarte Ridicat	Ridicat	Încorporează explicit incertitudinea, integrează informații cantitative și calitative	Metodologie complexă, necesită expertiză specializată
Metode hibride/combrate	Combinații creative de metode pentru a maximiza avantajele	Variază în funcție de metodele combinate	Ridicat	Variază	Maximizează avantajele diferitelor metode	Implementare complexă, potențiale inconsecvențe metodologice

Tabelul 6.1.5.2

Aplicarea celei de-a doua perspective de selecție a metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice

Metode de Evaluare Monetară						
Metodă	Date Necesare	Timp	Cost	Obiectivism	Aplicabilitate (Ecosisteme forestiere)	Scor Total
Prețuri de piață	3	4	4	4	3	18
Costurile de călătorie	2	2	3	3	4	14

Modelarea biofizică	1	1	1	4	5	12
Modelarea serviciilor ecosistemice	1	1	1	4	5	12
Simularea procesului decizional	2	2	2	3	4	13
Modelarea integrată de evaluare	1	1	1	3	4	10
Cartografierea matricială simplă	3	4	4	3	5	19
Cartografierea matricială complexă	2	3	3	3	5	16
Metode Integrate						
Metodă	Date Necesare	Timp	Cost	Obiectivism	Aplicabilitate Forestieră	Scor Total
Analiza decizională multicriterială	2	2	2	3	5	14
Analiza decizională bayesiană	1	1	1	4	4	11
Metode hibride/combinat	2	2	2	3	5	14

Tabelul 6.1.5.3

Aplicarea perspectivei trei de selecție a metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice, unde coloanele

A-E reprezintă: A) Aplicabilitatea metodei pentru evaluarea serviciilor ecosistemice, B) Existența unei baze de date pentru implementarea metodei, C) Gradul de cuantificare al acestei metode, D) Costurile de obținere a informațiilor necesare pentru efectuarea cercetării (evaluarea ecosistemului) și E) Timpul necesar pentru obținerea informațiilor necesare pentru efectuarea cercetării (evaluarea ecosistemului)

Metode de evaluare monetară						
Metodă	A	B	C	D	E	Total
Prețuri de piață	0.5	0.5	0.5	1	0.5	3
Metoda productivității	0.5	0	0.5	0.5	0.5	2
Costurile de călătorie	1	0.5	0.5	0.5	0	2.5
Prețuri hedonice	0.5	0	0.5	0.5	0	1.5
Analiza cost-beneficiu	0.5	0	0.5	0	0	1
Costurile de evitare/înlocuire	0.5	0	0.5	0.5	0	1.5
Evaluarea contingentă	1	0	0.5	0	0	1.5
Modelarea alegerii contingente	1	0	0.5	0	0	1.5
Utilizarea timpului	0.5	0	0.5	0	0	1
Renta resurselor	0.5	0	0.5	0	0	1
Transferul beneficiilor	0	0	0.5	0	0	0.5
Metode de evaluare non-monetară						
Evaluarea preferințelor	0.5	0	0.5	0	0.5	1.5
Foto-consultarea	0.5	0	0.5	0.5	0.5	2
Jocul de cărți cu servicii ecosistemice	0.5	0	0.5	0.5	0	1.5
Cartografierea deliberativă	1	0.5	0.5	0	0	2
Dezvoltarea scenariilor participative	1	0	0.5	0	0	1.5
Evaluarea deliberativă	1	0	1	0	0	2

Analiza fotografiilor din rețelele sociale	1	0.5	0.5	1	0.5	3.5
Analiza narativă	0.5	0	0	0.5	0	1
Analiza sistematică	0.5	0	0.5	0.5	0	1.5
Metode de modelare						
Modelarea biofizică	0.5	0	1	0.5	0	2
Modelarea serviciilor ecosistemice	1	0	1	0.5	0.5	3
Modelarea bazată pe simularea procesului decizional	0.5	0	0.5	0.5	0.5	2
Modelarea integrată de evaluare	0.5	0.5	1	0	0	2
Cartografierea matricială simplă	1	0.5	0.5	0.5	0.5	3
Cartografierea matricială complexă	1	0.5	0.5	0.5	0.5	3
Metode integrate						
Analiza decizională bayesiană	0.5	0	0.5	0.5	0	1.5
Analiza decizională multicriterială	0.5	0	0.5	0	0	1

6.1.6. Selectarea setului de indici relevanți pentru evaluarea serviciilor ecosistemice

Evaluarea serviciilor ecosistemice (SE) necesită utilizarea unor indicatori complecși care să reflecte atât structura, cât și funcționalitatea ecosistemelor forestiere. Pe lângă indicatorii structurali clasici (e.g., gradul de închidere a coroanei, indicii de suprafață foliară), literatura de specialitate identifică o serie de alți parametri esențiali pentru cuantificarea SE, în special în contextul schimbărilor climatice și al cerințelor de management adaptativ (Albert et al., 2021). Această analiză integrează atât indicatori structurali și de compoziție, cât și indicatori funcționali și de proces, oferind o perspectivă holistică asupra modului în care pădurile furnizează servicii ecologice. Prin includerea unor noi metrice, precum indicii de complexitate structurală, stocul de carbon în sol sau indicii de conectivitate a habitatului, se extinde abordarea tradițională și se oferă instrumente mai precise pentru evaluarea SE. Astfel, au fost identificați indici ca:

1. Indicii structurali extinși pentru evaluarea SE.

a) Indicele de complexitate structurală (SCI – Structural Complexity Index): cuantifică heterogenitatea verticală și orizontală a arboretului. Acest indice se corelează cu indicii de biodiversitate a pădurilor (inclusiv păsări și nevertebrate).

b) Stocul de carbon în sol (SOC – Soil Organic Carbon) reprezintă cantitatea de carbon stocată în sol, inclusiv materia organică (Lal, 2005), un serviciu esențial de reglare climatică, indicând fertilitatea solului și capacitatea de susținere a vegetației.

c) Indicele de conectivitate a habitatului (HCI – Habitat Connectivity Index) măsoară gradul de fragmentare și legătura între habitate forestiere (Saura et al., 2011), analizând felul în care poziționarea anumitor tipuri de ecosisteme influențează mobilitatea speciilor și fluxul genetic și ajută la identificarea riscul de izolare a populațiilor în peisaje fragmentate (Fahrig, 2003).

2. Indicii funcționali și de proces.

a) Indicele de ciclare a nutrienților (NRI – Nutrient Retention Index) reprezintă eficiența cu care un ecosistem reține și reciclează nutrienții, ajutând la identificarea nivelului de poluare al apelor subterane și la determinarea productivității ecosistemului pe termen lung.

b) Indicele de rezistență la secetă (DRI – Drought Resistance Index) - capacitatea arboretului de a tolera stresul hidric (Choat et al., 2012), astfel determinându-se reziliența la schimbările climatice (Allen et al., 2015) sau producția de biomasă în condiții extreme (McDowell et al., 2020).

Acest indici pot fi folosiți în mod practic în managementul forestier astfel: SCI poate fi utilizat pentru identificarea zonelor cu valoare ecologică ridicată, SOC trebuie monitorizat pentru proiecte de carbon offset, iar HCI este esențial în planificarea coridoarelor ecologice.

În faza următoare se va realiza consultarea experților privind oportunitatea utilizării indicilor determinați în fazele anterioare, în strânsă corelare cu serviciile ecosistemice selectate.

6.1.7. Realizarea de activități de conștientizare în rândul tinerilor, persoanelor direct interesate și factorilor de decizie a efectelor benefice ale serviciilor ecosistemice

Creșterea gradului de conștientizare a tinerilor privind serviciile ecosistemice a fost realizată prin intermediul unui workshop educațional din cadrul “Săptămâna verde” (Fig. 6.1.7.1)



Fig. 6.1.7.1 Prezentarea conceptului de servicii ecosistemice oferite de păduri tinerilor

Așadar, peste 200 de elevi din ciclul gimnazial au luat contact cu importanța serviciilor ecosistemice oferite de pădure și complexitatea sistemului forestier (natura, om și societate) cât și cu elemente practice din cadrul silviculturii cum ar fi descrierea unei rondele de stejar, importanța inelelor anuale cât și aplicabilitatea acestor informații în cercetare și producție. În același timp, a fost efectuat un experiment de determinare a pH-ului solului în pădure (Fig. 6.1.7.2) cât și activități de socializare (jocuri interactive).



Fig. 6.1.7.2. Activități practice efectuate de tineri privind serviciile ecosistemice oferite de păduri

Având în vedere necesitatea implicării tuturor categoriilor de utilizatori, inclusiv societatea civilă prin tinerii săi, acest workshop educațional a ajutat la identificarea și prioritizarea serviciilor ecosistemice oferind o privire de ansamblu și complexă asupra necesităților societății în funcție de categoria de vârstă și necesitate.

Totodată, în urma întâlnirii anuale din cadrul proiectului Horizon Europe 'OPTimising FORest management decisions for a low-carbon, climate resilient future in Europe' (OptFor-EU) s-au diseminat atât pe teren cât și în cadrul evenimentului rezultate parțiale ale proiectului, respectiv necesitățile utilizatorilor lemnului ca resursă cât și metodele de lucru atât pe parte tehnică cât și de creștere a gradului de conștientizare a tinerilor și a celor direct sau indirect implicați în luarea deciziilor cu privire la serviciile ecosistemice (Fig. 6.1.7.3).



Fig. 6.1.4.3. Diseminarea rezultatelor proiectului în cadrul întâlnirii anuale a proiectului OptFor-EU

Diseminarea rezultatelor parțiale ale proiectului a continuat în cadrul unui workshop organizat sub egida proiectului Horizon Europe ENFORCE “ Empower citizens to join forces with public authorities in protecting the environment”. Workshop-ul a vizat implicarea și modalități de implicare a cetățenilor în asigurarea sau/și promovarea respectării legislației de mediu. Rezultatele parțiale ale proiectului au fost subliniate prin prezentarea importanței serviciilor ecosistemice și cunoașterea acestora pentru ca societatea civilă să poată fi punte între știință și practică, facilitând schimbări comportamentale atât în rândul experților cât și la nivel societal (Fig. 6.1.4.4).



Fig. 6.1.4.4. Diseminarea rezultatelor proiectului în cadrul întâlnirii anuale a proiectului ENFORCE

De asemenea, proiectul a fost prezentat specialiștilor din domeniul forestier și factorilor de decizie în cadrul la workshop-ului „*Management forestier sustenabil adaptat schimbărilor climatice și provocărilor societale – Programul Nucleu FORCLIMSOC*”, organizat în data de 26 martie 2025, la Brașov, de către Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare în Silvicultură (INCDS) „Marin Drăcea”, sub patronajul Ministerului Educației și Cercetării - Autoritatea Națională pentru Cercetare (MEC - ANC), în parteneriat cu Academia Română, prin Secția de Științe Agricole și Silvicultură – Comisia de Științe Silviculturale, Academia de Științe Agricole și Silviculturale „Gheorghe Ionescu Șişești” – Secția de Silvicultură și cu suportul Universității Transilvania din Brașov. Acest eveniment a avut scopul de a analiza și dezbate stadiul de implementare a Programului Nucleu - FORCLIMSOC și a proiectelor componente ale acestuia, rezultatele și indicatorii de rezultat estimați și realizați, inclusiv proiecte atrase prin competiții CDI naționale, europene și internaționale și respectiv, prin colaborări cu mediul economic în perioada 2023-2024, precum și perspective pentru perioada următoare de implementare (2025-2026).

Tot în cadrul diseminării și valorificării superioare a rezultatelor științifice, a fost publicat în revista științifică *Ecological Informatics* (scor ISI 5.9) articolul “*Shifting vegetation phenology in protected areas: A response to climate change*” având ca și co-autor pe dl. Dr. Ing. Ionut Silviu Pascu, unde s-a dezbătut și analizat impactul încălzirii globale asupra fenologiei vegetației forestiere în ariile protejate din România. Această analiză s-a efectuat pe baza indicatorilor fenologici critici precum începutul sezonului de vegetație (SOS); sfârșitul sezonului de vegetație (EOS); lungimea sezonului de vegetație; maximă înregistrată (POP) și măsurători fotosintetice precum media sezonului de primăvară (MSP) și media sezonului de toamnă (MAU). Așadar, cu ajutorul tehnologiei avansate RS MODIS și date din ERA5-Land Climate Reanalysis (2001-2020), s-a ajuns la concluzia că ariile protejate din România sunt în condiții de stres fenologic având ca impact sezoane lungi de vegetație și alterarea ecosistemelor, în special datorită secetei pedologice. Contribuția cea mai importantă în domeniul ecologiei digitale este dată de integrarea indicatorilor și variabilelor bioclimatice cu modelarea climatică ce are ca rezultat un cadrul sigur și scalabil ce poate fi aplicat și în alte regiuni cu provocări climatice similare (anexa 1).

Așadar, creșterea gradului de conștientizare a continuat cu implicarea societății civile tinere și crearea unui spațiu sigur de învățare și colaborare între cercetători, cercetare și practică. Diseminarea rezultatelor parțiale ale proiectului s-a efectuat în cadrul a trei evenimente de tip workshop cât și prin publicare a unui articol cotelat 5.9 ISI, fapt ce a facilitat creșterea vizibilității proiectului și oportunitatea unor viitoare colaborări.

6.2. Concluzii

În urma realizării activităților în cadrul fazei 5.2, se poate concluziona că:

- Prioritizarea serviciilor ecosistemice s-a realizat pe baza unei metodologii riguroase, incluzând expertiza specialiștilor și consultarea actorilor din domeniul forestier.
- Hărțile tematice dezvoltate oferă o bază geospațială solidă pentru evaluarea distribuției serviciilor ecosistemice, fiind compatibile cu standardele internaționale și platformele webGIS.
- Integrarea teledetecției (TLS, Sentinel-1, Sentinel-2) a condus la actualizarea și îmbunătățirea semnificativă a bazelor de date tematice forestiere, prin metode semi-automate, scalabile și reproductibile.

- Relațiile de interdependență dintre funcțiile și serviciile ecosistemice au fost analizate, evidențiindu-se sinergii și compromisuri esențiale pentru decizii durabile în managementul pădurilor.
- Metodele de evaluare a serviciilor ecosistemice au fost comparate și ierarhizate pe baza unor criterii practice și strategice, rezultând un set clar de metode adaptate contextului forestier românesc.
- Indicatorii relevanți (SCI, SOC, HCI, NRI, DRI) oferă o evaluare detaliată și holistică a capacității pădurilor de a furniza servicii ecosistemice, susținând un management adaptativ și bazat pe date.
- Activitățile de conștientizare și diseminare au implicat activ tineri, cercetători și decidenți, consolidând legătura dintre știință și societate și sporind vizibilitatea națională și europeană a proiectului.
- Proiectul va oferi un cadru metodologic și operațional care poate fi extins la nivel național și utilizat în politici publice, planificare forestieră și monitorizare climatică.

6.3. Propuneri pentru continuarea proiectului

În urma încheierii fazei V.2 a proiectului, pentru atingerea scopului cercetărilor, se impune realizarea în continuare a următoarelor aspecte:

- Finalizarea dezvoltării și aplicării de metode alternative pentru ajustarea informațiilor din bazele de date "uzuale", inclusiv tehnici moderne ale teledetecției terestre și satelitare (scanare laser terestră, date satelitare)
- Finalizarea selectării setului de indici relevanți pentru evaluarea serviciilor ecosistemice
- Determinarea indicilor și informațiilor cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice
- Parametrizarea metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice utilizând datele specifice ecosistemelor forestiere cercetate
- Optimizarea metodelor aplicate în vederea prioritizării serviciilor ecosistemice relevante
- Realizarea de activități de conștientizare în rândul tinerilor, persoanelor direct interesate și factorilor de decizie a efectelor benefice ale serviciilor ecosistemice

Responsabil,



Diana PITAR

Referinte

- Millennium ecosystem assessment, M.E.A., 2005. Ecosystems and human well-being (Vol. 5, p. 563). Washington, DC: Island press.
- Allen, C.D., Breshears, D.D. and McDowell, N.G., 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6(8), pp.1-55.
- Bennett, E.M., Peterson, G.D. and Gordon, L.J., 2009. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology letters*, 12(12), pp.1394-1404.
- Bertin, J. (1983) *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*. University of Wisconsin Press, Madison.
- Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S. and Grasso, M., 2017. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?. *Ecosystem services*, 28, pp.1-16.
- Daily, G.R., 1998. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. *Environmental Values*, 7(3).
- De Groot, R.S., Wilson, M.A. and Boumans, R.M., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), pp.393-408.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote sensing of Environment*, 120, 25-36.
- Fahrig, L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 34(1), pp.487-515.
- Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C. and Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 274(1608), pp.303-313.
- Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Harding, D. J., Parker, G. G., Acker, S. A., & Gower, S. T. (2002). Lidar remote sensing of above-ground biomass in three biomes. *Global ecology and biogeography*, 11(5), 393-399.
- McDowell, N.G., Allen, C.D., Anderson-Teixeira, K., Aukema, B.H., Bond-Lamberty, B., Chini, L., Clark, J.S., Dietze, M., Grossiord, C., Hanbury-Brown, A. and Hurtt, G.C., 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*, 368(6494), p.eaaz9463.
- Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J. and Vanbergen, A.J., 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632), pp.220-229.
- Saura, S., Estreguil, C., Mouton, C. and Rodríguez-Freire, M., 2011. Network analysis to assess landscape connectivity trends: application to European forests (1990–2000). *Ecological Indicators*, 11(2), pp.407-416.