

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: VI - *Augmentarea acurateței informațiilor din bazele de date "uzuale" pentru facilitarea procesului de stabilire a indicilor relevanți cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice*

Termen de încheiere a fazei: 09.12.2025

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 pot 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 urmăresc finalizarea demersurilor corespunzătoare dezvoltării metodelor de ajustare a informațiilor cuprinse în baza de date uzuale și setul de indici cu rol în descrierea ecosistemelor forestiere, respectiv evaluarea serviciilor, cât și desfășurarea de activități specifice calculului indicilor anterior menționați, dar și parametrizării metodelor de evaluare ce ulterior vor fi optimizate pentru prioritizarea serviciilor ecosistemice relevante.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- Baza de date integrată a informațiilor complementare
- Studiu privind setul de indici cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice
- 1 Articol științific BDI, 2 Articole științifice ISI
- Raport științific de fază

5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

În cadrul fazei VI s-au realizat lucrări în 6 activități, după cum urmează:

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) – în această fază s-a realizat finalul procesului de integrare a datelor geospațiale din surse multiple într-o bază de date completă și unitară, destinată evaluării serviciilor ecosistemice. Astfel, s-a realizat consolidarea și extinderea infrastructurii de date dezvoltate în fazele anterioare, cu accent pe completarea bazei de date amenajistice cu peste 50 de indicatori noi și complementari. Baza de date inițială a fost extinsă cu informații derivate sistematic din surse deschise de teledetecție satelitară (Sentinel-1 SAR, Sentinel-2 optic, Landsat 8/9), modele climatice (WorldClim 2.1, CHELSA), modele digitale de teren (SRTM, EU-DEM), și baze de date tematice (Corine Land Cover). Acest cumul de date permite o evaluare multidimensională riguroasă a potențialului de îndeplinire a serviciilor ecosistemice pentru fiecare unitate amenajistică din zona de studiu. În cadrul acestei activități nu se dorește înlocuirea datele amenajistice tradiționale, care rămân de referință pentru măsurătorile directe, ci s-a urmărit completarea și extinderea acestora prin informații derivate care permit validare și ajustare a datelor existente prin comparație cu surse independente, completarea lacunelor temporale și spațiale ale bazei de date amenajistice, uniformizarea și standardizarea rezoluției și acurateței pe întreg domeniul studiat și introducerea de noi variabile pertinente pentru evaluarea serviciilor ecosistemice, cum ar fi parametri climatici, indici de fragmentare, expunere la riscuri climatice, și conectivitate ecologică. Rezultatul acestei activități este reprezentat de o bază de date integrată relațională (Anexa 1), compusă din tabele principale interconectate prin relații logice, care permit interogări complexe și analize multidimensionale.

Finalizarea selectării setului de indici relevanți pentru evaluarea serviciilor ecosistemice - Evaluarea serviciilor ecosistemice forestiere necesită un cadru metodologic complex, bazat pe indicatori multipli capabili să surprindă structura, funcționalitatea și contextul ecologic al ecosistemelor, având în vedere că procesele biotice și abiotice care le susțin sunt interdependente și nu pot fi reprezentate adecvat printr-un singur indicator. În acest sens, metodologia dezvoltată integrează indicatori structurali (precum compoziția, biomasa, densitatea și structura arboretului), indicatori funcționali (productivitate, cicluri biogeochimice, starea de sănătate, fluxurile de carbon) și indicatori contextuali (variabile climatice, topografice și antropice), pentru a evalua atât starea actuală a ecosistemelor forestiere, cât și capacitatea lor de a furniza servicii în condiții socio-ecologice dinamice. Procesul de elaborare a setului de indicatori a pornit de la baza inițială elaborată în cadrul proiectului european OptFor-EU (<https://optforeu.eu/>), fiind ulterior extins și rafinat printr-o revizuire cuprinzătoare a cadrului legislativ și metodologic național, european și internațional, precum și prin inventarierea surselor CICES și a bazelor de date instituționale. În urma integrării și armonizării indicatorilor proveniți

din seturile inițiale, a analizei literaturii și a standardelor internaționale (Forest Europe, Global Core Set, SDGs, EU Forest Monitoring Regulation), a rezultat o bază de peste 150 de indicatori relevanți, grupați în peste 10 categorii asociate principalelor servicii ecosistemice și susținuți de peste 20 de surse de date instituționale. Un aport metodologic major l-a constituit integrarea tehnicilor avansate de teledetecție terestră și satelitară, utilizate pentru completarea sau înlocuirea indicatorilor tradiționali, prin variabile EO precum AGB, NDVI, LAI, LSWI sau indici derivați climatic și topografic. Această integrare a permis dezvoltarea unor relații de măsurare robuste între indicatorii biologici și sursele complementare, facilitând estimările indirecte, repetabile și scalabile spațial ale unor procese esențiale, precum stocarea carbonului, starea de sănătatea a arborilor sau procesul de regenerare. Selecție finală a indicatorilor a urmărit eliminarea redundanțelor, consolidarea definițiilor, standardizarea unităților de măsură și validarea fezabilității practice, conducând la un nucleu de indicatori operaționali aliniați cerințelor actuale de monitorizare forestieră și nevoilor părților interesate. Setul final, astfel obținut, oferă un cadru integrat și coerent pentru evaluarea serviciilor ecosistemice forestiere, permițând identificarea sinergiilor și compromisurilor dintre servicii, susținerea deciziilor de management adaptativ și asigurarea unei guvernante forestiere durabile, bazate pe dovezi științifice și pe monitorizare complexă multisursă. În urma finalizării acestei activități, a fost realizat un studiu privind setul de indici cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice (Anexa 2).

Determinarea indicilor și informațiilor cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice – În cadrul acestei faze s-a inițiat procesul de determinare a indicilor necesari evaluării serviciilor ecosistemice, după stabilirea listei complete de indicatori în cadrul activității precedente. Au fost colectate și procesate datele de intrare, fiind creată o rutină care să asigure eficiența și reproductibilitatea. Nu toți indicatorii selectați vor fi calculați, alegerea depinzând de metodologia hibridă stabilită în faza anterioară și de disponibilitatea datelor. Validarea algoritmilor se va realiza printr-un studiu pilot, completat cu date EO, foarte important pentru calibrare și pentru definirea finală a indicatorilor calculați.

Parametrizarea metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice utilizând datele specifice pădurilor cercetate – în cadrul acestei activități a fost inițiată etapa de parametrizare a metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice, prin adaptarea acestora la datele specifice ecosistemelor forestiere din zona de studiu. Procesul presupune corelarea bazelor de date folosite în metodele selectate cu seturile de date disponibile, pentru a asigura compatibilitatea și acuratețea parametrilor de intrare. Pe baza indicilor selectați și a datelor, metodologiile selectate sunt testate în un studiu pilot, ceea ce permite ajustarea algoritmilor și validarea performanței în condiții reale. Rezultatul va fi documentarea completă a metodelor adaptate și stabilirea liniilor directe pentru aplicarea lor extinsă.

Optimizarea metodelor aplicate în vederea prioritizării serviciilor ecosistemice relevante - Evaluarea serviciilor ecosistemice forestiere necesită un cadru metodologic capabil să gestioneze complexitatea ecologică, diversitatea valorilor și limitările de date. În contextul schimbărilor

climatice, al pierderii biodiversității și al presiunilor antropice, prioritizarea metodelor devine foarte importantă pentru selecția celor mai eficiente, fezabile și relevante instrumente de analiză. Cadrul metodologic ce este dezvoltat în proiect clasifică metodele în patru categorii – monetare, non-monetare, de modelare și integrate – și le evaluează din trei perspective: calitativă (principii, avantaje, date necesare), operațională (cost, timp, cerințe de date, aplicabilitate), respectiv strategică (utilitate pe termen lung, capacitate de cuantificare, integrare în planificare). Rezultatele arată că metode precum Transferul beneficiilor și Cartografierea matricială simplă excelează prin fezabilitate operațională, în timp ce modelarea avansată oferă robustețe științifică, dar presupune resurse mai mari. Datele proxy – obținute din teledetecție, hărți forestiere sau surse socio-economice – joacă un rol central, permițând estimări indirecte acolo unde lipsesc date directe și optimizând aplicabilitatea metodelor. Cadrul metodologic propus permite o selecție adaptată contextului forestier, echilibrând eficiența, acuratețea și relevanța strategică a evaluărilor.

Realizarea de activități de conștientizare în rândul tinerilor, persoanelor direct interesate și factorilor de decizie a efectelor benefice ale serviciilor ecosistemice - Activitățile de conștientizare privind serviciile ecosistemice au fost realizate printr-o prezentare educațională în cadrul „Săptămânii verzi” la INCDS Simeria, unde peste 20 de elevi din ciclul primar au descoperit rolul pădurilor și complexitatea ecosistemelor forestiere prin explicații și activități practice. Workshopul a contribuit la implicarea tinerilor în identificarea și prioritizarea serviciilor ecosistemice, oferind o perspectivă integrată asupra necesităților societății. Diseminarea rezultatelor științifice a continuat prin publicarea a 9 articole (Anexa 3), crescând astfel vizibilitatea proiectului.

Drept urmare, toate obiectivele fazei au fost realizate, obținându-se rezultatele preconizate. Astfel, a fost realizată o bază de date integrată a informațiilor complementare, un studiu privind setul de indici cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice și au fost publicate 9 articole științifice ISI (numărul de articole publicate depășește numărul de articole propuse inițial de 1 articol BDI și un articol ISI).

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. Finalizarea dezvoltării și aplicării de metode alternative pentru ajustarea informațiilor din bazele de date " uzuale " prin tehnici moderne de teledetecție terestre și satelitare

Activitatea a fost inițiată încă din anul 2024. Astfel, în faza III a proiectului s-a realizat validarea și preprocesarea datelor brute colectate din diverse surse. În această perioadă, s-au implementat trei algoritmi de control al calității datelor, fiecare cu un rol specific și complementar, și anume (1) Network-Based Integrity Analysis (NBIA), conceput pentru a verifica integritatea topologică a vectorilor, astfel detectându-se și corectându-se probleme precum intersecții între poligoane, geometrii invalide, și suprapuneri, pas esențial pentru asigurarea unei geometrii spațiale corecte, înainte de orice procesare ulterioară; (2) Attribute Consistency Checker (ACC), s-a concentrat pe validarea coerenței atributelor numerice și calitative asociate cu fiecare geometrie. ACC a detectat valori outlier, înregistrări cu date lipsă și inconsistențe logice între câmpuri (de exemplu, vârstă negativă sau suprafață zero), asigurându-se fiabilitatea datelor atributive, și (3) Machine Learning-Based Anomaly Detection (MLBAD) - tehnici avansate de identificare a anomaliilor care nu puteau fi detectate prin reguli explicite (clustering și analiza distribuției atributelor). Astfel, MLBAD a identificat modele neobișnuite care ar putea indica erori de introducere a datelor sau condiții ecologice cu adevărat excepționale. În urma activităților realizate, s-a obținut o bază de date preliminară cu o concordanță mai mare de 95% cu datele de referință, împreună cu un set de proceduri standardizate și reproducibile pentru preprocesare.

În cadrul fazei IV s-a realizat tranziția de la validare la calcul sistematic. Scopul acestei faze a fost să standardizeze toți indicatorii într-o formă unificată și comparabilă, indiferent de sursa lor originală. Primul pas a fost reeșantionarea tuturor datelor la o rezoluție spațială comună de 30 metri per pixel. Inițial, datele proveneau din surse cu rezoluții diferite: Sentinel-2 la 10 metri, Landsat la 30 de metri, modele climatice la 1 kilometru. Prin reeșantionare uniformă la 30 de metri, s-a asigurat că toți indicatorii puteau fi combinați și comparați. Al doilea pas a fost reproiectarea tuturor datelor în sistemul de referință EPSG:3844 (Stereo '70), standardul oficial folosit în România. Aceasta a asigurat conformitate cu cerințele și standarde de interoperabilitate. Această fază s-a finalizat cu crearea unei scheme relaționale cu tabele principale: Unitati_Amenajistice (geometria și informații amenajistice), Specii (compoziția specifică), Indicatori_Morfo (parametri topografici), Administrativ (management și proprietate), și Istoric (seria temporală de modificări). Aceasta structură relațională a permis la nivel conceptual stocarea datelor în scopul realizării de interogări complexe. La sfârșitul fazei IV, structura bazei de date cuprindea aproximativ 90 de câmpuri de informații dar încă incompletă din perspectiva serviciilor ecosistemice.

În faza V (fazele V.1 și V.2) s-a realizat dezvoltarea hărților tematice și identificarea relațiilor inter-indicatori, aducând o perspectivă holistică și orientată pe utilizator asupra datelor, nefind concentrată nu doar pe indicatori tehnici. Astfel au fost realizate chestionare de priorizare: servicii de aprovizionare (producție, lemn, apă), servicii de reglare (carbon, apă,

eroziune, climă), servicii culturale (recreație, valoare peisajeră), și servicii de suport (biodiversitate). Aceasta consultare cu experții a permis identificarea celor mai importante servicii ecosistemice specifice pentru zona de studiu pilot (Piatra Mare). Pe baza acestei consultări, în faza V au fost generate 6 hărți tematice de servicii ecosistemice de reglare considerate prioritare: retenție apă, stoc de carbon, reglare temperatură locală, prevenire eroziune, și polenizare. Fiecare hartă a fost construită prin combinarea datelor existente conform unei logici ecologice coerente. Un alt rezultat important al fazei V a fost analiza relațiilor de interdependență între servicii. Rezultatul final al fazei V a fost o metodologie solidă de evaluare a serviciilor ecosistemice și o bază de date preliminară care putea deja să ofere estimări brute ale potențialului de furnizare servicii.

Toate aceste rezultate au condus la finalizarea activității în această fază, prin integrarea activităților anterioare. Astfel, s-a realizat (1) completarea bazei de date cu indicatori complementari care asigură acoperire comprehensivă a variabilelor necesare; (2) structurare finală a schemei relaționale. A fost obținută baza de date integrată a informațiilor complementare finală, cât și transformarea datelor în informație.

Lucrările efectuate în cadrul acestei activități au fost justificate din punct de vedere metodologic. Astfel, au fost observate anumite limitări ale bazei de date amenajistice standard (BDAS). Baza de date amenajistică standard furnizează informații de referință esențiale și directe pentru parametri forestieri majori. Aceasta include: volumul de lemn pe categorii de diametru și specii, obținut din măsurători directe pe teren; compoziția speciilor în procente, reprezentând proporția fiecărei specii în volum; tipuri funcționale și categorii de protecție, care clasifică pădurile după rol și status de protecție; și parametri biometrici cum ar fi vârstă estimată, densitate arbori, și clasă de calitate a lemnului. Cu toate acestea, BDAS prezintă limitări care o fac insuficientă pentru o evaluare completă de servicii ecosistemice: Prima limitare este rezoluția spațială variabilă. BDAS este organizată pe unități amenajistice, care sunt adesea poligoane mari (uneori sute de hectare). Fiecare poligon conține o singură înregistrare cu attribute medii. Aceasta înseamnă că variabilitatea internă a poligonului nu este capturată. Din perspectiva serviciilor ecosistemice, aceasta granularitate limitată poate masca eterogenitatea. A doua limitare este gradul de actualizare. BDAS este revizuită la intervale neregulate, adesea 3-5 ani între inventare. Aceasta înseamnă că orice schimbare rapidă – incendii, boli, schimbare regim proprietate, dinamică naturală – nu este captă în timp util. Pentru o evaluare dinamică a serviciilor ecosistemice, sunt necesare date care pot fi actualizate frecvent. A treia limitare este absența unor variabile proxy esențiale pentru evaluarea serviciilor ecosistemice. BDAS furnizează date biometrice, dar nu conține informații directe despre stresul hidric, expunerea climatică, conectivitate cu alte ecosisteme sau riscuri de incendiu și boli. Aceste variabile sunt importante pentru evaluarea serviciilor de reglare și suport. A patra limitare este imposibilitatea de monitorizare rapidă și la scară largă. Pentru a detecta schimbări în starea pădurilor pe o suprafață mare, sunt necesare observații satelitare frecvente. BDAS, fiind bazat pe inventare manuale, nu poate oferi această frecvență de observare.

În acest sens, au fost identificați indicatori complementari derivați din surse de teledetecție satelitară, modele climatice, și baze de date tematice adresează aceste limitări prin mecanisme complementare:

- În ceea ce privește rezoluția spațială, imaginile satelitare furnizează acoperire completă cu o rezoluție de 30 de metri. Aceasta înseamnă că fiecare poligon amenajistic poate fi

caracterizat nu prin câte o valoare medie unică, ci prin statistici derivate din zeci sau sute de pixeli interiori, capturând eterogenitatea.

- Pentru actualizare frecventă, Sentinel-2 revizitează aceeași locație la fiecare 5 zile, Landsat la 16 zile, și MODIS zilnic. Aceasta permit observarea schimbărilor sezoniere și, cu o repetitivitate adecvată.
- Pentru variabilele proxy, indicatorii calculați din date de teledetecție și modele climatice furnizează estimări directe ale aspectelor biofizice relevante pentru servicii ecosistemice. De exemplu, NDVI captează clorofila din coronament, care este direct legată de capacitate fotosintetică și productivitate. Indici privind concentrația de apă din sol sunt estimați din benzile spectrale infraroșii. Temperatura și precipitațiile sunt modelate la rezoluție spațială fină pe baza datelor climatice. Conectivitatea este calculată direct din date privind acoperirea terenului.
- Pentru monitorizare la scară largă, este necesară doar rularea aceluiași algoritm de calcul. Aceasta este o operație computațional intensivă, dar logistic simplă și reproductibilă, spre deosebire de inventare manuale care necesită personal de teren și sunt costisitoare.

Indicatorii complementari nu au scopul de a înlocui BDAS. Dimpotrivă, relația ideală este de complementaritate. BDAS rămâne referința pentru măsurători directe, care sunt greu sau imposibil de estimat prin teledetecție. Indicatorii complementari furnizează contextul spațial, temporal, și ecologic care transformă BDAS dintr-o colecție de numere în informație pentru management și factorii politici.

În aceasta "triangulație" de surse, BDAS oferă acuratețe și detaliu, teledetecția oferă acoperire spațială completă și frecvență temporală ridicată și diferitele date modelate oferă contextul fizic și bioclimatic. Împreună, acestea crează o imagine de ansamblu pe care nici una dintre ele singură nu ar putea-o furniza.

Baza de date finalizată în această fază constă din 7 tabele relaționale, care împreună conțin aproximativ 150 de câmpuri de informații. Aceasta structură relațională este fundamentală pentru a permite interogări complexe și analize care ar fi imposibile cu o abordare simplă. Primele cinci tabele au fost create în anul 2024 și sunt deja consolidate. Tabelele noi și extinderile lor se focalizează pe indicatori geospațiali și metrice de peisaj care acum au o relevanță directă pentru evaluare de servicii ecosistemice. (tabelul 6.1.1).

Tabelul 6.1.1

Tabele principale ale bazei de date și relațiile între ele

Tabel	Funcție	Relație	Nr. câmpuri
Unitati_Amenajistice	Geometrie + attribute amenajistice	Central (1)	25 (existent)
Specii	Compoziție specii pe UM	N:1 > UA	8 (existent)
Indicatori_Morfo	Parametri topografici	1:1 > UA	+12 noi
Administrativ	Management + proprietari	N:1 > UA	6 (existent)
Istoric	Seria temporală modificări	1:N < UA	7 (existent)
Indicatori_Teledetecție	Indici spectrali + derivate biomasă	N:1 > UA	+35 noi
Parametri_Climatici	Bioclimă + temperature/precipitații	N:1 > UA	+18 noi

Tabelul 6.1.1. rezumă structura relațională a bazei de date finale. Tabelul central este cel al unităților amenajistice (Unitati_Amenajistice), care conține geometria vectorială și atributele amenajistice de bază pentru fiecare unitate. Celelalte tabele sunt conectate la acesta prin relații 1:N (o unitate amenajistică poate avea multiple specii, mai multi proprietari, mai multi indicatori de-a lungul timpului) sau 1:1 (o unitate amenajistică are exact o înregistrare de parametri topografici și climatici). Cei peste 50 de indicatori noi au fost organizați în cinci categorii funcționale, fiecare adresând o dimensiune specifică a capacității ecosistemului de a furniza servicii. Această organizare nu este arbitrară ea reflectând procesele ecologice fundamentale și modurile în care ecosistemele susțin bunuri și servicii.

a) Indici de vegetație și biomasă

Indicii de vegetație sunt determinări spectrale care înregistrează prezența și starea fiziologică a plantelor. Indicii deja calculați (NDVI, EVI, SAVI) furnizează o imagine bună a vigorii generale a vegetației. Totuși, nuanțe importante rămân nedetectate. Indicii RedEdge (NDVI_RE, Chlorophyll Index) exploatează benzi spectrale din regiunea infraroșie apropiată (705-783 nm) care sunt extrem de sensibile la conținutul de clorofilă. Acești indici sunt mai insensibili la efecte atmosferice și detectează stresul plantelor la stadii incipiente, înainte ca NDVI să se modifice. Din perspectiva serviciilor ecosistemice, detecția precoce a stresului hidric sau nutritiv permite intervenții proactive. GNDVI (Green NDVI) utilizează banda verde în locul benzii roșii, oferind o sensibilitate mai mare la clorofilă. Este mai puțin afectat de factori atmosferici și furnizează o estimare mai robustă a potențialului fotosintetic, fundamental pentru estimarea productivității și a capacității de captare a CO₂. Indicii de stres hidric (LSWI, NDWI) măsoară conținutul de apă în vegetație. Aceștia sunt indicatori cheie pentru serviciile ecosistemice legate de capacitate de retenție și reglare a fluxului de apă. Indicii de biomasă (AGB – Above-Ground Biomass) și stocul de carbon sunt estimați prin regresii statistice și machine learning din indicatori spectrali. Aceștia sunt substitute pentru serviciile ecosistemice de aprovizionare (producție) și reglare (carbon). Un poligon cu AGB ridicat are atât o resursă lemnoasă substanțial cât și o capacitate mare de sechestrare carbon.

b) Parametri climatici

Clima este elementul abiotic fundamental care definește nișa ecologică a unui ecosistem. Doi indivizi de aceeași specie vor funcționa diferit dacă sunt în climă diferită. Pentru a evalua potențialul unui ecosistem de a furniza servicii, trebuie înțeles contextul climatic. Variabilele bioclimatice de la WorldClim (19 variabile standardizate, dintre care am selectat 12 cheie) captează aspecte importante ale regimului climatic: temperatura medie anuală și sezonieră, amplitudine diurnă, precipitații anuale și sezoniere, variabilitate. Aceștia sunt proxy-uri pentru stres ecologic. O temperatură maximă ridicată în luna cea mai caldă (BIO5) indică potențial stres termic. Cantități de precipitații foarte mici în luna cea mai uscată (BIO14) indică deficit hidric critic. Derivațiile climatice calculate (Aridity Index, continentalitate, intensitate precipitații, lungime sezon vegetativ) sunt combinații de variabilele care sintetizează limitările ecologice. De exemplu, indicele de ariditate este raportul dintre precipitații și evapotranspirație. O valoare sub 1 indică o regiune uscată unde disponibilitatea apei este limitantă. Un sezon vegetativ scurt (mai puțin de 100 zile cu temperaturi > 5°C) indică o regiune alpină sau subalpină unde creșterea plantelor este comprimată în fereastră sezonieră îngustă. Pentru evaluarea serviciilor ecosistemice, parametrii climatici joacă un rol fundamental, dar indirect. Identificarea zonelor cu

stres climatic (secetă, extreme termice) ajută la identificarea zonelor unde serviciile ecosistemice ar putea fi amenințate de schimbări climatice viitoare.

c) Indici topografici

Topografia controlează fluxul apei, distribuția solurilor, și microclimatul local. Două puncte aflate la aceeași elevație și în aceeași climă globală pot avea condiții diferite dacă unul este pe o creastă expusă și altul într-o vale. Pentru a modela servicii ecosistemice legate de furnizarea de apă, eroziune, și biodiversitate, topografia este esențială. Panta este cel mai evident parametru topografic. Pante abrupte prezintă risc de eroziune, presupun acces dificil, și determină scurgere apei. Pante ușoare favorizează acumulare apei și infiltrare. Orientarea pantei (aspect) determină expunerea la radiație solară, care afectează temperatura locală și evapotranspirația. Indici mai avansați, cum ar fi TRI (Terrain Ruggedness Index) și VRM (Vector Ruggedness Measure), captează rugozitate terenului. O zonă cu TRI ridicat are microhabitate diverse (creste, văi, versanți) și este mai susceptibilă la eroziune, dar și potențial cu biodiversitate mai mare. TPI (Topographic Position Index) clasifică pixelii drept creste ($TPI > 0$, drenate), văi ($TPI < 0$, acumulare apă), sau versanți neutri. LS Factor (din RUSLE – Universal Soil Loss Equation) cuantifică vulnerabilitate terenului la eroziune prin combinare pantei și lungimii acesteia. Un teren cu LS Factor ridicat (> 10) este foarte susceptibil la spălare solului și necesită vegetație densă pentru protecție. LS Factor este parametru cheie pentru evaluarea serviciilor ecosistemice de prevenire eroziune. Indicii de transport sediment (SPI – Stream Power Index, STI – Sediment Transport Index) estimează capacitatea terenului de a transporta apă și material, care este relevant pentru hidrologie. Curbura terenului (plan și profil) indică convergență vs divergență, respectiv unde se concentrează apa din scurgeri (curbura plan concavă) vs unde se dispersează (curbura plan convexă).

d) Indicatori de fragmentare și conectivitate

Configurația spațială a habitatelor este critică pentru biodiversitate și pentru funcționarea proceselor ecologice la nivel de peisaj. Aceeași zonă de pădure poate fi foarte diferită din perspectiva biodiversității dacă este o masă continuă sau o serie de fragmente izolate. Metricile de fragmentare (derivate din Corine Land Cover) includ procentul de pădure în fiecare unitate amenajistică (CORINE_Forest_Pct), care indică dominanța pădurii vs alte utilizări ale terenului, diversitatea peisajului (Shannon Index), care indică eterogenitate tipurilor de habitat; și indici de fragmentare care combină aria și perimetru pentru a cuantifica cât de fragmentată este pădurea. Distanța până la liziera pădurii și distanța până la cel mai apropiat corp de pădure sunt metrici de conectivitate care indică cât de izolate sunt fragmentele. Speciile care necesită habitate mari și continue (cum ar fi mamifere mari) sunt afectate dacă fragmentele sunt mici și izolate. Speciile ce se dispersează activ (insecte, păsări) au nevoie de "coridoare" și zone de "stepping stones". Indici de formă a poligoanelor (Shape Index) indică dacă poligoanele sunt compacte și circulare vs alungite și neregulate. Un poligon circular cu aceeași arie este mai stabil decât unul alungit cu perimetru mare având mai puțin efect de margine și mai mult "nucleu" stabil.

e) Indici de calitate datelor

Pentru a asigura reproducibilitate și încrederea evaluării serviciilor ecosistemice, fiecare valoare calculată este însoțită de metadate care indică calitatea și proveniența datelor. Aceasta permite identificarea de observații fiabile vs. incertitudini ridicate. Cloud_Cover_Pct indică procentajul pixelilor acoperiți de nori în imaginea satelitară utilizată. O imagine cu mulți nori ($> 80\%$) nu este optimă pentru estimarea indicilor de vegetație. Quality_Flag este o clasificare

simplă (Excellent/Good/Fair/Poor) bazată pe NDVI și acoperire noroasă ce oferă o evaluare rapidă a fiabilității datelor. Data_Source și Acquisition_Date indică din ce imagine satelitară sau model climatic provin datele, permițând urmărirea provenienței. Processing_Algorithm specifică metoda exactă de calcul, esențial pentru reproducibilitate. Uncertainty_Estimate cuantifică incertitudinea estimării (de exemplu, $\pm 5\%$ pentru AGB), bazată pe validări cu date de teren.

Indicatorii descriși sunt biofizici, adică măsuri ale unor aspecte concrete și observabile ale ecosistemului. Serviciile ecosistemice sunt beneficiile care pot fi obținute din ecosisteme. Legătura între cele două nu este directă și matematică, ci ecologică și probabilistică. O valoare ridicată a unui indicator nu garantează faptul că respectivul serviciu este furnizat de ecosistem, dar crește probabilitatea. Pentru fiecare serviciu ecosistemic important identificat în fazele anterioare, au fost catrați indicatori ce informează asupra sa și ce legătură ecologică stă la baza acestei relații.

a) Stocare Carbon (CICES 3.1.1 - Regulating Service)

- Serviciul: Captare și stocare pe termen lung a carbonului din atmosferă în biomasă lemnoasă și sol.
- Indicatori relevanți: AGB (biomasă estimată), Carbon_Stock (derivat din AGB cu factor stoichiometric), Biomass_Growth_Rate (rata de acumulare anuală), NDVI și derivate (proxy pentru eficiență fotosintetică), Forest% (prevalența pădurii în peisaj), și parametri climatici (temperatura și precipitațiile ce pot limita productivitatea).
- Legătură ecologică: O pădure cu AGB ridicat (> 150 tone/ha) stochează deja mult carbon. O pădure cu NDVI ridicat (> 0.6) are vegetație viguroasă care absorbe CO_2 rapid din atmosferă. O pădure cu Biomass_Growth_Rate pozitiv și ridicat stochează carbon nou în fiecare an. Climă optimă (temperaturi moderate, ploaie adecvată) susțin creștere rapidă. Păduri extinse în landscape (Forest% ridicat) reprezintă suprafață mai mare de sechestrare carbon. Interval teoretic:
 - scăzut (AGB < 50 t/ha, NDVI < 0.3 , Forest% $< 20\%$)
 - mediu (AGB 50-150, NDVI 0.3-0.6)
 - mare: (AGB > 150 , NDVI > 0.6 , Forest% $> 70\%$)

b) Retenție și reglare flux apă (CICES 2.2.1 - Regulating Service)

- Serviciul: Capacitate de absorbție și stocare apă în sol, reducând scurgere rapidă și viiturile.
- Indicatori relevanți: Slope (pantă), TPI, Elevation, BIO12_Annual_Precip (regim pluvial), Forest% și NDVI (vegetație interceptează ploaie și favorizează infiltrația), Moisture_Availability_Index (climă favorabilă absorbției), și Curvature (direcția naturală scurgere).
- Legătură ecologică: Terenurile cu pante mici ($< 10^\circ$) permit apei să se infiltreze în loc să curgă rapid. Văile (TPI negativ) sunt zone naturale de convergență unde are loc acumularea. Precipitații crescute = mai multă apă disponibilă pentru retenție. Vegetația densă interceptează picăturile de ploaie, reduce impactul direct asupra solului, și favorizează infiltrația prin dezvoltarea rădăcinilor. Moisture Index ridicat = ciclu apă mai activ. Terenuri cu surbura plan concavă concentrează apa. Interval teoretic:
 - scăzut: (Slope $> 25^\circ$, TPI > 0 , Forest% $< 30\%$)

- mediu: (Slope 10-25°, TPI ~ 0)
- mare: (Slope < 10°, TPI < 0, Forest% > 60%)
- c) Prevenire eroziune (CICES 2.2.2 - Regulating Service)
 - Serviciul: Protecția solului împotriva spălării și transportului de material datorită apei și vântului.
 - Indicatori relevanți: LS_Factor (cuantifică vulnerabilitate terenului), NDVI/SAVI/MSAVI (acoperire vegetală), Forest% (rădăcinile stabilizează sol), TRI/VRM (terenuri fragmentate disipează energie apei), și Slope.
 - Legătura ecologică: LS_Factor ridicat (> 10) indică terenuri foarte vulnerabile la eroziune datorită pantei abrupte și lungimii pantei. Totuși, dacă NDVI este ridicat (> 0.6), vegetația protejează solul – rădăcinile îl stabilizează, coroanele interceptează ploaia. Păduri dese cu rădăcini profunde stabilizează solul. Terenuri cu microvariații disipează energia apei reducând eroziunea. Interval teoretic:
 - scăzut: (LS > 10, NDVI < 0.3, Forest% < 20%, Slope > 30°)
 - mediu: (LS 3-10, NDVI 0.3-0.6)
 - mare: (LS < 3, NDVI > 0.6, Forest% > 70%)
- d) Reglare climă locală (CICES 2.1.2 - Regulating Service)
 - Serviciul: Moderarea variațiilor de temperatură locală prin evapotranspirație și umbră.
 - Indicatori relevanți: NDVI (densitate vegetație), Forest%, BIO1_Annual_Mean_Temp, Temperature_Continentalism, Elevation, și Moisture_Availability.
 - Legătură ecologică: Vegetația densă (NDVI > 0.6) transpiră cantități mai mari, care ceea ce consumă energie termică și duce la procese de răcire locală. Pădurile oferă efect de umbră. Peisaj cu vegetație abundentă (Forest% ridicat) reduce efectul de insulă de căldură și moderează amplitudinea termică zilnică. Moisture Index ridicat permit evapotranspirație mai bună. Interval teoretic:
 - scăzut: (NDVI < 0.3, Forest% < 20%, continentalism > 30°C)
 - mediu: (NDVI 0.3-0.6)
 - mare: (NDVI > 0.6, Forest% > 70%, continentalism < 20°C)

Crearea unei baze de date cu 150 de câmpuri pe sute de unități amenajistice din surse diverse a necesitat o procedură sistematică și automată. Soluția a constat în scrierea și rularea script-urilor care descarcă date, le procesează, și le înglobează în bază de date. Au fost folosite două platforme principale: Google Earth Engine pentru indicatori de teledetecție, și programul informatic R pentru indicatori topografici și de peisaj.

a) Google Earth Engine

Google Earth Engine este o platformă de procesare de date geospațiale la scară planetară. Conține arhive complete de imagini Sentinel-2, Landsat, MODIS, și alte baze de date geospațiale. Are capacitate computațională ridicată (procesare paralelă pe serverele Google) și acces gratuit pentru cercetare. Script-ul GEE parcurge următoarele etape:

- Citire shapefile UA și definire AOI (zone de interes). Script-ul filtrează toate imaginile Sentinel-2 din perioada de interes care intersectează AOI, cu condiția ca acoperire cu nori să fie < 20%.

- Extragere benzi spectrale și calcul indici. Din imaginile Sentinel-2 (cu 12 benzi spectrale), script-ul calculează toți indicii descriși în Categoria A: NDVI, EVI, SAVI, GNDVI, indicii RedEdge, indici de stres hidric, indici de clorofilă, și indici de biomasă.
- Agregare pe poligoane. Pentru fiecare poligon UA, script-ul calculează statistici (medie, deviație standard, min, max, mediană) ale tuturor indicilor din pixelii conținuți în poligon.

b) Programul informatic R

R este mediu statistic cu capacități ridicate de procesare geospațială prin pachete cum ar fi sf (simple features), raster, și GDAL. Script-ul R realizează:

- Citire DEM și calcul indicatori topografici. Panta, orientare, surbură plan și profil, TRI, VRM, TPI, LS Factor, etc.
- Analiză Corine Land Cover. Pentru fiecare poligon UA, script-ul calculează proporția diferitelor clase Corine și indicii de fragmentare (Shannon diversity, indici de formă).
- Extracție parametri climatici pe baza WorldClim 2.1 sunt citite și pentru fiecare poligon se calculează statistici (medie, mediana) ale BIO1-BIO19 și ale derivatelor climatice.
- Export bază de date SQLite. Toate datele sunt consolidate într-o bază de date SQLite indexată pentru interogări rapide.

Prin integrare sistematică a datelor din surse externe complementare, baza de date amenajistică tradițională a fost transformată într-un instrument capabil să susțină evaluarea comprehensivă a serviciilor ecosistemice.

6.1.2. Finalizarea selectării setului de indici relevanți pentru evaluarea serviciilor

Evaluarea serviciilor ecosistemice necesită utilizarea unor indicatori complecși care să reflecte atât structura, cât și funcționalitatea ecosistemelor forestiere. Ecosistemele furnizează servicii prin procese ecologice interdependente care nu pot fi capturate printr-un singur parametru sau o singură categorie de date. O abordare holistică integrează indicatori structurali (e.g., compoziție, biomasă), funcționali (e.g., productivitate, cicluri biogeochimice), și contextuali (e.g., climă, topografie, fragmentare) pentru a evalua nu doar starea actuală, ci și capacitatea ecosistemului de a furniza servicii în condiții variabile și sub presiuni antropice sau climatice. Această perspectivă multidimensională permite identificarea compromisurilor (trade-offs) și sinergiilor între servicii, fundamentând decizii de management adaptativ bazate pe dovezi științifice robuste.

Setul de indicatori rezultat reprezintă o listă structurată și consolidată de metrice menite să permită evaluarea și monitorizarea serviciilor ecosistemice cheie furnizate de păduri.

Procesul de selecție a demarat cu lista inițială de indicatori stabilită în cadrul proiectului OptFor-EU, care a servit drept bază de pornire. Ulterior, metodologia a progresat printr-o revizuire bibliografică riguroasă și extinsă a cadrelor de reglementare naționale, europene și internaționale. Obiectivul principal a fost acela de a elimina redundanța și de a filtra informația la un nucleu de indicatori relevanți.

Inițial, s-a considerat inventarierea completă a indicatorilor CICES. Pentru a obține o bază de date coerentă și comparabilă, indicatorii proveniți din două seturi inițiale, denumite convențional set A (indicatori asociați sectorului pădure-lemn) și set B (indicatori socio-economici asociați sectorului pădure-lemn), au fost supuși unui proces riguros de prelucrare, armonizare și standardizare (Material suplimentar 1).

Ulterior s-a urmărit integrarea indicatorilor din cadrul altor baze de date internaționale. În această etapă a fost realizat un inventar extins al indicatorilor relevanți, pe baza literaturii de specialitate, a cadrului internațional de referință (Forest Europe, Global Core Set, SDGs, EU Forest Monitoring Regulation etc.) și a surselor de date disponibile la nivel național. Drept urmare, în cadrul bazei de date cantitative:

- Au fost identificați peste 150 de indicatori relevanți pentru evaluarea serviciilor ecosistemice forestiere.
- Indicatorii sunt organizați în peste 10 categorii majore, precum: producție, reglare climatică, sănătatea pădurii, biodiversitate, aprovizionare, protecție, culturale etc.
- Datelor le corespund peste 20 de surse instituționale (Forest Europe, FRA, IFN, ICP Forests, UE Monitoring Reg., JFSQ, WRI etc.).

Rezultatul acestei analize preliminare este sintetizat în materialul suplimentar 2a și 2b, care include peste 150 de indicatori, structurați în peste 10 categorii majore corespunzătoare diferitelor servicii ecosistemice – de aprovizionare, reglare climatică, suport ecologic, protecție, culturale și socio-economice. Aceștia sunt asociați cu peste 20 de surse de date instituționale, ceea ce ilustrează complexitatea și diversitatea informațiilor necesare pentru evaluările ulterioare.

Pentru integrarea seturilor într-o bază de date integrată selecția indicatorilor fezabili s-a urmărit:

- detectarea duplicatelor conceptuale,
- consolidarea definițiilor,
- standardizarea unităților,
- verificarea redundanțelor,
- gruparea indicatorilor pe categorii funcționale

Procesul de validare internă condus la un nucleu final de indicatori operaționali (material suplimentar 3), aceștia formând un subset robust, aliniat la realitățile de colectare a datelor, la cerințele științifice actuale.

Rezultatul este o listă finală (materialul suplimentar 4), menită să răspundă nevoilor de informare și priorităților părților interesate (stakeholders) și experților, oferind un fundament solid pentru luarea deciziilor (Figura 6.1.2.1).

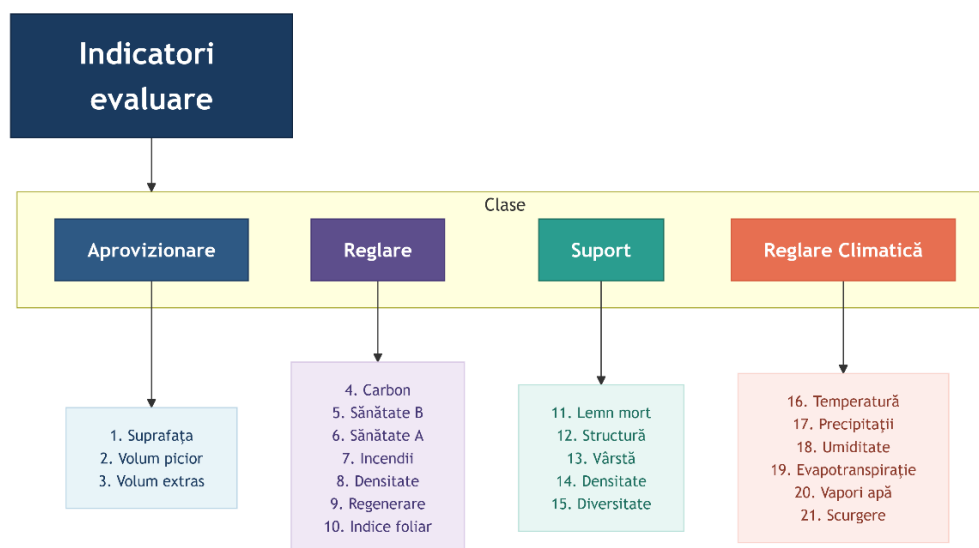


Figura 6.1.2.1 Sistemul de indicatori pentru evaluarea serviciilor ecosistemice forestiere

Totodata au fost considerate rezultatele (Material suplimentar 5) activității VI.1: *Finalizarea dezvoltării și aplicării de metode alternative pentru ajustarea informațiilor din bazele de date "uzuale" prin tehnici moderne de teledetecție terestre și satelitare* pentru a completa sau substituirea dupa caz a indicatorilor (Material suplimentar 6) (tabelul 6.1.2.1 și Figura 6.1.2.2).

Tabel 6.1.2.1

Matricea corelațiilor metodologice – indicatori și surse complementare

Indicator	Sursa Complementară	Variabilă Cheie EO / Model	Relație de Măsurare
Suprafața pădurii	Corine Land Cover / Sentinel-2	Forest%, AGB	Delimitarea spațială și monitorizarea schimbării de acoperire.
Volumul de lemn pe picior	Sentinel-2 / Landsat	AGB (Above-Ground Biomass)	Estimare indirectă a biomasei (proxy pentru volum) prin regresie Machine Learning.
Volumul de lemn extras	Baze de Date Amenajistice (BDAS)	(Date Inventar) Biomass_Growth_Rate	Măsurători directe de inventar completate de ratele de productivitate EO.
Stocarea carbonului	Sentinel-2 / Model OptFor-EU	Carbon_Stock, AGB	Calcul stoc carbon derivat direct din estimările de biomasă EO.
Sănătatea pădurii (Biotic)	Sentinel-2	NDVI_RE, Chlorophyll Index	Detecție timpurie a stresului din biomasă și a conținutului de clorofilă.
Sănătatea pădurii (Abiotic)	WorldClim 2.1 / EO Data	BIO5 (Temp Max), LSWI	Monitorizarea stresului termic și a deficitului hidric (stres abiotic).
Incendii	EO Data (Sentinel/Landsat)	(Analiză temporală)	Cartografierea extinderii și a severității zonelor arse.
Densitatea acoperirii	Sentinel-2 / Landsat	NDVI, EVI	Măsură directă a vigoriei și a gradului de acoperire (eficiență fotosintetică).
Regenerare a pădurii	EO Data / Corine Land Cover	(Analiză temporală a CLC)	Monitorizarea și cuantificarea zonelor cu schimbări de acoperire/reîmpăduriri.
Indicele suprafeței foliare	Sentinel-2 / Landsat	LAI (derivat din NDVI/EVI)	Măsură a suprafeței active de asimilare fotosintetică.
Lemn mort	Baze de Date Inventar / SRTM	TRI, VRM	Completarea datelor de inventar cu context topografic (proxy pentru acumulare).

Structura arboretului	EO Data / BDAS		(Metrici derivate din EO)	Evaluarea eterogenității structurale spațiale.
Vârsta arboretului	Baze de Date Amenajistice (BDAS)		Vârsta arbori	Măsurători amenajistice fundamentale.
Densitatea arboretului	BDAS / EO Data		(Număr de arbori/ha) / AGB	Măsurători de inventar completate cu informații de biomasă.
Diversitatea speciilor	Corine / SRTM		Shannon Index, TRI, Aspect	Proxy-uri pentru eterogenitatea habitatelor/microclimatice.
Temperatură	WorldClim	2.1 / CERRA	BIO1, BIO5	Intrare climatică fundamentală pentru contextul bioclimatic.
Precipitații	WorldClim	2.1 / CERRA	BIO12, BIO14	Intrare climatică esențială pentru modelele hidrologice.
Umiditatea solului	Sentinel-2	/ Model Hidric	LSWI, BIO12, Curvature	Măsurarea stresului hidric la suprafață (LSWI) și modelare la adâncime.
Evapotranspirație	Model OptFor-EU	/ WorldClim 2.1	Aridity Moisture_Availability	Index, Output din modele de bilanț energetic și hidric.
Vapori de apă	CERRA Reanalysis	/ WorldClim 2.1	Moisture_Availability	Date de reanaliză climatică.
Scurgere (Runoff)	SRTM / Model Hidric		SPI, STI, LS_Factor	Derivare din modele bazate pe topografie (pantă) și intensitatea precipitațiilor.

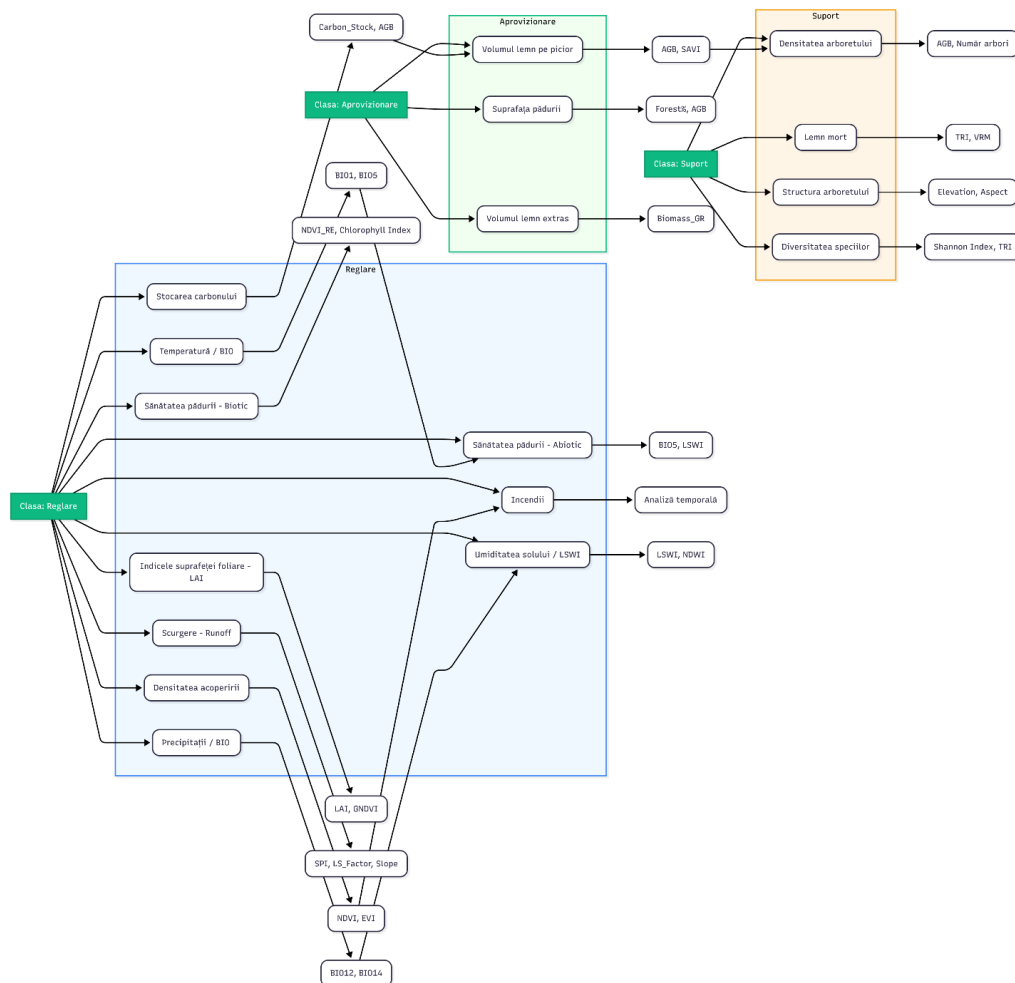


Fig. 6.1.2.2. Matricea corelațiilor metodologice – indicatori și surse complementare pentru serviciile de reglare

6.1.3. Determinarea indicilor și informațiilor cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice

În urma finalizării privind *finalizarea selectării setului de indici relevanți pentru evaluarea serviciilor*, care a stabilit lista comprehensivă a indicatorilor relevanți pentru evaluarea serviciilor ecosistemice, s-a demarat activitatea *Determinarea indicilor și informațiilor cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice*. Această etapă vizează procesarea informațiilor necesare pentru calculul acestor indici.

Procesul a început cu inițierea etapelor de procesare a informațiilor de tip input. Au fost colectate datele necesare, fiind stabilită și o rutină de procesare menită să asigure eficiența și reproductibilitatea rezultatelor.

Deși a fost selectat un set extins de indicatori, se menționează că nu toți indicatorii vor fi calculați. Procesul de selecție finală și de calcul efectiv este guvernat de considerente metodologice și de disponibilitatea datelor. În acest sens, rezultatul activității *Prioritizarea metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice în raport cu seturile de date disponibile* – care a promovat o metodologie hibridă este determinant. Prin urmare, selecția finală a indicilor care vor fi supuși calculului se va realiza în funcție de specificațiile și cerințele fiecărei metodologii de evaluare adoptate.

Pentru a valida și ajusta algoritmul de calcul, inițial se va lucra pe baza unui caz de studiu pilot. Pe baza cerințelor informaționale identificate în acest studiu, se va proceda la compilarea datelor alternative de teledetecție (EO data). Această compilare, realizată conform principiilor stabilite în prima activitate a fazei, va asigura acuratețea și caracterul actual al informațiilor de intrare. Această etapă inițială este foarte importantă pentru calibrarea algoritmilor și pentru identificarea optimă a setului final de indicatori ce pot fi calculați robust, în contextul metodologiei hibride.

6.1.4. Parametrizarea metodelor de evaluare a Serviciilor Ecosistemice

În continuarea demersurilor de calcul și colectare a datelor inițiate prin activitatea anterioară, a fost începută parametrizarea metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice utilizând datele specifice pădurilor de cercetare. Această etapă reprezintă transpunerea practică a deciziilor metodologice anterioare. Obiectivul principal al acestei activități constă în adaptarea metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice. Această adaptare este esențială pentru facilitarea integrării optime a informațiilor obținute. Procesul implică realizarea de corespondențe între bazele de date utilizate în metodele de referință și seturile de date disponibile care caracterizează pădurile studiate. Prin această ajustare, se asigură compatibilitatea parametrilor de intrare ai metodelor cu structura și rezoluția datelor specifice.

În prezent, pe baza listei de indici selectați anterior și a bazelor de date compilate, s-a început faza de testare a diferitelor metodologii de evaluare prioritizate. Această testare se realizează pe un caz de studiu pilot. Testarea permite ajustarea fină a algoritmilor și validarea performanței abordării metodologice în raport cu datele reale, asigurând relevanța și precizia evaluării serviciilor ecosistemice pentru specificul ecosistemelor forestiere analizate.

Finalizarea acestei activități de parametrizare va conduce la documentarea detaliată a fiecărei metodologii adaptate și la stabilirea unor linii directe clare pentru aplicarea lor extinsă în cadrul proiectului.

6.1.5. Optimizarea Preliminară a Cadrului Metodologic pentru Evaluarea Serviciilor Ecosistemice Forestiere

Dezvoltarea și aplicarea unui cadru de prioritzare a metodelor de evaluare a serviciilor ecosistemice în silvicultură reprezintă un demers fundamental în contextul schimbărilor globale accelerate, caracterizate de transformări ale utilizării terenurilor, modificări climatice și pierderea accelerată a biodiversității, astfel că este necesară dezvoltarea cât mai rapidă a unei metodologii de cuantificare, interpretare și integrare a valorii serviciilor ecosistemice în procesele de planificare și management forestier.

Ecosistemele forestiere furnizează un spectru larg de servicii a căror valoare a fost tradițional subestimată sau neglijată, ceea ce a condus la o criză de valorizare ce subminează sustenabilitatea utilizării resurselor naturale și eficiența politicilor publice; în acest context, evaluarea SE se confruntă cu dificultăți metodologice majore, generate atât de complexitatea funcționării ecosistemelor, cât și de diversitatea perspectivelor valorice implicate, de natura lor interdependentă și de limitările inerente ale datelor disponibile.

Pe fondul unei panoplii metodologice extrem de variate – incluzând abordări monetare, non-monetare, de modelare și integrate – alegerea unei metode adecvate devine un proces influențat de factori contextuali precum accesibilitatea și calitatea datelor, resursele financiare și de timp, gradul de expertiză tehnică și obiectivele concrete ale evaluării, ceea ce poate conduce la selecții suboptimale în absența unui cadru sistematic de prioritzare.

Una dintre cele mai mari provocări, în special în silvicultură, o reprezintă deficitul de date directe, la rezoluții spațio-temporale corespunzătoare, ceea ce a orientat cercetarea contemporană către utilizarea datelor proxy – variabile substitutive, obținute frecvent prin teledetecție sau din baze de date forestiere și socio-economice, care corelează cu serviciile ecosistemice și permit estimarea lor indirectă, reducând semnificativ costurile și durata evaluărilor, dar introducând, totodată, noi surse de incertitudine ce trebuie gestionate riguros prin validare, transparență și analize de sensibilitate.

Pe acest fundal metodologic, cadrul de prioritzare dezvoltat în cadrul proiectului, corespunzător fazei 5, urmărește să optimizeze alegerea metodelor de evaluare a SE în funcție de contextul ecosistemelor forestiere, printr-o analiză multidimensională care articulează trei perspective complementare: calitativă, operațională și strategică. Perspectiva calitativă presupune o examinare conceptuală aprofundată a fiecărei metode, în ceea ce privește principiile de funcționare, cerințele de date, avantajele, dezavantajele și nivelul de încredere științific; perspectiva operațională evaluează fezabilitatea practică, atribuind scoruri între 1 și 5 pentru criterii precum cerințe de date, cost, timp de implementare, obiectivism metodologic și aplicabilitate forestieră, scorurile fiind apoi agregate pentru a identifica metodele cu potențial de utilizare imediată; perspectiva strategică completează analiza printr-o evaluare a utilității pe termen lung, luând în considerare poziționarea metodelor în raport cu capacitatea lor de integrare în monitorizare și planificare, gradul de cuantificare, costurile asociate și funcționalitatea bazelor de date disponibile. Aplicarea acestui cadru a presupus o revizuire sistematică a literaturii de specialitate și analiza a 28 de metode distincte, grupate în patru categorii majore – monetare, non-monetare, de modelare și integrate – evaluarea fiind realizată de un panel de cinci experți din domenii complementare, ale căror scoruri au fost mediate și armonizate pentru a obține o ierarhie consensuală. Rezultatele analizei operaționale au

evidențiat metode cu performanță ridicată, precum Transferul beneficiilor și Cartografierea matricială simplă, ambele cu scoruri mari datorate cerințelor reduse de timp și cost, disponibilității datelor necesare și relevanței pentru evaluări preliminare rapide; metode precum Prețurile de piață sau Metoda productivității s-au dovedit eficiente pentru servicii comercializabile, în timp ce metodele participative, cum este Foto-consultarea, s-au remarcat prin capacitatea lor de a surprinde valori culturale ale ecosistemelor forestiere. În opoziție, metodele de modelare avansată, inclusiv modelele biofizice și instrumente precum InVEST sau ARIES, deși caracterizate prin robustețe științifică și utilitate strategică, au obținut scoruri operaționale reduse din cauza cerințelor ridicate de date și expertiză, situându-se astfel în zona metodelor valoroase pentru analize aprofundate, dar inaccesibile în contexte cu resurse limitate. Din perspectiva strategică, analiza a evidențiat potențialul ridicat al metodelor care capitalizează date accesibile și dinamice, cum ar fi analiza fotografiilor din rețelele sociale, utilă pentru inferențe legate de preferințele recreative, precum și al modelării serviciilor ecosistemice, capabile să ofere simulări spațiale, evaluări scenariale și fundamentări solide pentru politici forestiere pe termen lung. În toate aceste categorii, datele proxy emerg drept un element pivot în optimizarea procesului de evaluare: pentru cartografierea matricială, hărțile de acoperire a terenului constituie proxy-ul principal; pentru modelare, proxy-urile biofizice derivate din teledetecție (precum înălțimea arborilor din LIDAR, indici de vegetație sau parametri climatici) sunt esențiale pentru estimarea indirectă a proceselor ecosistemice; pentru transferul beneficiilor, datele proxy contextuale asigură potrivirea adecvată între studiile sursă și ecosistemele țintă. Fluxul standard de lucru cu proxy-uri – de la achiziție la preprocesare, derivare de indicatori și validare – este indispensabil pentru asigurarea rigurozității metodologice și reducerea incertitudinii, mai ales în aplicațiile la scări regionale sau naționale. Cadrul de priorizare a demonstrat astfel că evaluarea SE în silvicultură necesită un echilibru între fezabilitatea operațională și relevanța strategică, precum și un mod de integrare inteligentă a datelor proxy care să maximizeze utilitatea practică a unor metode altfel inaccesibile.

Rezultatele fazei curente indică faptul că, pentru practicienii forestieri, metodele rapide precum cartografierea matricială simplă constituie instrumente eficiente pentru identificarea zonelor prioritare, în timp ce metodele de modelare avansată trebuie utilizate în etapele ulterioare, pentru analize detaliate. Pe termen lung, progresele în crearea bazelor de date regionale standardizate pentru SE, dezvoltarea platformelor de date interoperabile și validarea empirică a relațiilor dintre proxy-uri și serviciile ecosistemice vor consolida fundamentul metodologic al întregului domeniu și vor facilita integrarea evaluărilor SE în deciziile strategice. În ansamblu, cadrul dezvoltat reprezintă un instrument analitic cu valoare ridicată, nu doar prin capacitatea sa de a ierarhiza metodele existente, ci și prin potențialul de a orienta viitoarele dezvoltări metodologice către soluții adaptate contextului forestier, capabile să transforme datele disponibile – inclusiv proxy-uri – în informații relevante pentru managementul sustenabil al pădurilor.

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

Activitățile de conștientizare în rândul tinerilor privind serviciile ecosistemice a fost realizată prin intermediul unei prezentări educațional din cadrul “Săptămâna verde” (Fig. 6.1.6.1), la INCDS Secția Simeria.



Fig. 6.1.6.1 Prezentarea conceptului de servicii ecosistemice oferite de păduri tinerilor

Astfel, peste 20 de elevi din ciclul primar 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 (Fig. 6.1.6.2) cât și activități de socializare (jocuri interactive).



Fig. 6.1.6.2. Activități practice efectuate de tineri privind beneficiile aduse de ecosistemele forestiere

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.

Tot în cadrul diseminării și valorificării superioare a rezultatelor științifice, au fost publicat în reviste științifice 9 articole științifice, unde s-au dezbătut și analizat diverse servicii ecosistemice oferite de păduri, cât și determinarea și evaluarea indicatorilor asociați acestora (Anexa 3).

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 unui eveniment tip workshop cât și prin publicarea a xxx ISI, fapt ce a facilitat creșterea vizibilității proiectului și oportunitatea unor viitoare colaborări.

6.2. Stadiul realizării obiectivului fazei

Activitățile științifice desfășurate în cadrul fazei VI a proiectului, intitulată: *"Augmentarea acurateței informațiilor din bazele de date "uzuale" pentru facilitarea procesului de stabilire a indicilor relevanți cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice"* au condus la îndeplinirea în totalitate a obiectivelor propuse. Astfel au fost finalizate demersurile corespunzătoare dezvoltării metodelor de ajustare a informațiilor cuprinse în baza de date uzuale și setul de indici cu rol în descrierea ecosistemelor forestiere, respectiv evaluarea serviciilor, cât și desfășurarea de activități specifice calculului indicilor anterior menționați, dar și parametrizării metodelor de evaluare ce ulterior vor fi optimizate pentru prioritizarea serviciilor ecosistemice relevante.

Prin realizarea acestei faze a proiectului au rezultat *o baza de date integrată a informațiilor complementare, un studiu privind setul de indici cu rol în evaluarea serviciilor ecosistemice, 9 articole științifice ISI și un raport științific de fază*, îndeplinindu-se, în acest mod, țintele stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare.

6.3. Concluzii

În urma realizării activităților din cadrul fazei VI, se poate concluziona că:

- Au fost realizate completarea bazei de date a informațiilor complementare (de la 90 câmpuri în faza IV la 150 câmpuri în faza VI, obținându-se o acoperire completă a variabilelor biofizice necesare pentru evaluare servicii ecosistemice), integrare multi-sursă (combinația de date amenajistice -date teren, teledetecție satelitară - Sentinel, Landsat, modele climatice, și DEM - SRTM, furnizând astfel o perspectivă robustă asupra serviciilor oferite de păduri), asigurarea trasabilității (fiecare valoare este însoțită de metadata), a scalabilității (structura relațională permite ușor extinderea cu date noi și indicatori suplimentari în eventuale actualizări viitoare) și a disponibilității (indicatorii sunt calculați din surse libere - GEE, WorldClim, SRTM și metodologii publice, reproducibili și verificabili de terți).
- A fost dezvoltat unui sistem integrat de indicatori pentru evaluarea serviciilor ecosistemice forestiere, prin combinarea indicatorilor structurali, funcționali și contextuali cu date provenite din surse tradiționale și din teledetecție avansată.
- A fost inițiată (1) transformarea setului selectat de indicatori într-un instrument operațional de evaluare a serviciilor ecosistemice, prin integrarea datelor disponibile, aplicarea metodologiilor hibride și calibrarea algoritmilor în cadrul unui studiu pilot, și (2) operaționalizarea evaluării serviciilor ecosistemice, prin adaptarea și testarea metodelor

pe date reale din pădurile cercetate, prin ajustarea parametrilor și validarea algoritmilor într-un studiu pilot, astfel asigurându-se robustetea, relevanța și aplicabilitatea practică a abordării metodologice.

- A fost inițiată dezvoltarea unui cadru de priorizare al metodelor de evaluare a SE care oferă o abordare structurată și riguroasă pentru selecția acestora, permițând adaptarea lor la constrângerile reale legate de disponibilitatea datelor și resurselor
- Diseminarea activităților din proiect au demonstrat importanța implicării timpurii a tinerilor în înțelegerea și aprecierea serviciilor ecosistemice, contribuind la formarea unei generații mai responsabile față de mediu, prin realizarea de prezentări și activitățile practice
- Diseminarea rezultatelor științifice prin publicarea a 9 articole în reviste indexate ISI a crescut vizibilitatea proiectului și a deschis perspectiva unor colaborări viitoare.

6.4. Propuneri pentru continuarea proiectului

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

- testarea și optimizarea metodelor de evaluare a funcțiilor și serviciilor oferite de păduri
- cuantificarea valorii totale a pădurii și integrarea rezultatelor în procesul decizional prin sisteme de contabilitate națională sau alte mecanisme de conștientizare

Responsabil,


Diana PITAR

Referinte

Material suplimentar 1 Set de date - Indicatori CICES relevanți studiului

COD	Exemple servicii ecosistemice	Denumire indicatori	Metode de evaluare	Sursa baza de date indicatori	Metode de măsurare
1.1.5.1	Plante sălbatice folosite pentru hrană	total cantitate recoltată (kg/an)	preț de piață al produselor; cost de înlocuire (cumpărarea hranei echivalente)	inventare forestiere; anchete gospodării; statistici piețe locale	eșantioane de recoltă pe suprafețe; chestionare NTFP; monitorizarea volumelor vândute pe piață
1.1.5.1	Plante sălbatice folosite pentru hrană	producție/ha	preț de piață al produselor; cost de înlocuire (cumpărarea hranei echivalente)	inventare forestiere; anchete gospodării; statistici piețe locale	eșantioane de recoltă pe suprafețe; chestionare NTFP; monitorizarea volumelor vândute pe piață
1.1.5.1	Plante sălbatice folosite pentru hrană	nr. de specii comestibile utilizate	preț de piață al produselor; cost de înlocuire (cumpărarea hranei echivalente)	inventare forestiere; anchete gospodării; statistici piețe locale	eșantioane de recoltă pe suprafețe; chestionare NTFP; monitorizarea volumelor vândute pe piață
1.1.5.2	Fibre și alte materiale din plante sălbatice	cantitate de fibre/material (t/an)	preț de piață; cost de înlocuire cu materiale industriale	inventare forestiere/NTFP ; statistici industriale; date comerciale	măsurarea volumelor extrase; fișe de producție; chestionare utilizatori/întreprinderi
1.1.5.2	Fibre și alte materiale din plante sălbatice	suprafață de recoltare (ha)	preț de piață; cost de înlocuire cu materiale industriale	inventare forestiere/NTFP ; statistici industriale; date comerciale	măsurarea volumelor extrase; fișe de producție; chestionare utilizatori/întreprinderi
1.1.5.2	Fibre și alte materiale din plante sălbatice	venit din vânzare	preț de piață; cost de înlocuire cu materiale industriale	inventare forestiere/NTFP ; statistici industriale; date comerciale	măsurarea volumelor extrase; fișe de producție; chestionare utilizatori/întreprinderi
1.1.5.3	Plante sălbatice folosite ca sursă de energie (lemn de foc, biomasă)	volum biomasă energetică (m ³ sau t/an)	preț de piață al combustibililor; cost de oportunitate față de alte surse de energie	statistici forestiere de exploatare; anchete energetice;	inventar volum lemn; registre de tăieri legale; sondaje privind consumul de combustibili

				piețe de lemn de foc	
1.1.5. 3	Plante sălbatice folosite ca sursă de energie (lemn de foc, biomasă)	consum pe gospodărie; suprafață de origine (ha)	preț de piață al combustibililor; cost de oportunitate față de alte surse de energie	statistici forestiere de exploatare; anchete energetice; piețe de lemn de foc	inventar volum lemn; registre de tăieri legale; sondaje privind consumul de combustibili
1.1.5. 3	Plante sălbatice folosite ca sursă de energie (lemn de foc, biomasă)	suprafață de origine (ha)	preț de piață al combustibililor; cost de oportunitate față de alte surse de energie	statistici forestiere de exploatare; anchete energetice; piețe de lemn de foc	inventar volum lemn; registre de tăieri legale; sondaje privind consumul de combustibili
1.1.6. 1	Animale sălbatice folosite pentru hrană (vânat, pește)	număr de indivizi recoltați/an; biomasa (kg/an); efort de vânătoare/pescuit	preț de piață al cărni; cost de înlocuire cu carne de fermă	registre de vânătoare/pesc uit; anchete gospodărie; statistici piețe	carne de vânătoare; jurnale pescari; eșantionare capturi
1.2.1. 1	Semințe/spori colectate pentru menținerea/înființarea populațiilor	cantitate de semințe/spori colectate (kg/an)	cost de înlocuire (achiziție semințe comerciale); cost de restaurare a ecosistemului	pepiniere forestiere; bănci de gene; programe de reîmpădurire	colectare eșantioane de semințe; testări de germinație în laborator; analize genetice de bază
1.2.1. 1	Semințe/spori colectate pentru menținerea/înființarea populațiilor	rată de germinație (%)	cost de înlocuire (achiziție semințe comerciale); cost de restaurare a ecosistemului	pepiniere forestiere; bănci de gene; programe de reîmpădurire	colectare eșantioane de semințe; testări de germinație în laborator; analize genetice de bază
1.2.1. 1	Semințe/spori colectate pentru menținerea/înființarea populațiilor	diversitate genetică (indici)	cost de înlocuire (achiziție semințe comerciale); cost de restaurare a ecosistemului	pepiniere forestiere; bănci de gene; programe de reîmpădurire	colectare eșantioane de semințe; testări de germinație în laborator; analize genetice de bază
1.2.1. 2	Plante întregi folosite pentru reproducerea de noi soiuri/tulpini	număr de genotipuri colectate	funcție de producție (valoarea câștigului de productivitate); cost R&D; valoarea drepturilor de soi	institute de cercetare; programe de ameliorare; registre de soiuri	colecții în grădini clonale; teste în parcele de experiment; evaluări fenotipice soiuri
1.2.1. 2	Plante întregi folosite pentru reproducerea de noi soiuri/tulpini	nr. de noi soiuri obținute	funcție de producție (valoarea câștigului de productivitate);	institute de cercetare; programe de	colecții în grădini clonale; teste în parcele de

			cost R&D; valoarea drepturilor de soi	ameliorare; registre de soiuri	experiment; evaluări fenotipice
1.2.1.2	Plante întregi folosite pentru reproducerea de noi soiuri/tulpini	parametri de performanță (creștere, rezistență)	funcție de producție (valoarea câștigului de productivitate); cost R&D; valoarea drepturilor de soi	institute de cercetare; programe de ameliorare; registre de soiuri	colecții în grădini clonale; teste în parcele de experiment; evaluări fenotipice
1.2.1.3	Gene individuale extrase din plante	număr de gene izolate/caracterizate	prețul de piață/licență al patentelor; cost de cercetare; metode de evaluare contingentă pentru bioprospecting	baze de date genomice; birouri de brevete; rapoarte proiecte de cercetare	secvențiere ADN; bioinformatică; urmărirea patentelor și licențelor
1.2.1.3	Gene individuale extrase din plante	nr. de aplicații biotehnologice	prețul de piață/licență al patentelor; cost de cercetare; metode de evaluare contingentă pentru bioprospecting	baze de date genomice; birouri de brevete; rapoarte proiecte de cercetare	secvențiere ADN; bioinformatică; urmărirea patentelor și licențelor
1.2.1.3	Gene individuale extrase din plante	venit din patente	prețul de piață/licență al patentelor; cost de cercetare; metode de evaluare contingentă pentru bioprospecting	baze de date genomice; birouri de brevete; rapoarte proiecte de cercetare	secvențiere ADN; bioinformatică; urmărirea patentelor și licențelor
1.2.2.1	Material genetic animal pentru menținerea/înființarea populațiilor	nr. de indivizi-sursă	cost de reintroducere/creștere în captivitate; valoare de existență pentru conservare	programe de conservare; bănci de gene animale; registre de specii amenințate	capturare și eșantionare; analize genetice; monitorizare populațională în teren
1.2.2.1	Material genetic animal pentru menținerea/înființarea populațiilor	mărimea băncii de gamete/embrioni	cost de reintroducere/creștere în captivitate; valoare de existență pentru conservare	programe de conservare; bănci de gene animale; registre de specii amenințate	capturare și eșantionare; analize genetice; monitorizare populațională în teren
1.2.2.1	Material genetic animal pentru menținerea/înființarea populațiilor	diversitate genetică	cost de reintroducere/creștere în captivitate;	programe de conservare; bănci de gene animale; registre de	capturare și eșantionare; analize genetice; monitorizare

			valoare de existență pentru conservare	specii amenințate	populațională în teren
1.2.2. 2	Animale întregi folosite pentru reproducerea de noi tulpini/varietăți	număr de linii de reproducere	funcție de producție (valori producție zootehnică/acvacultu ră); valoare reproductivă estimată	centre de ameliorare; registre genealogice; rapoarte ferme	monitorizare performanță în ferme; teste de încrucișare; analize pedigree
1.2.2. 2	Animale întregi folosite pentru reproducerea de noi tulpini/varietăți	performanță productivă	funcție de producție (valori producție zootehnică/acvacultu ră); valoare reproductivă estimată	centre de ameliorare; registre genealogice; rapoarte ferme	monitorizare performanță în ferme; teste de încrucișare; analize pedigree
1.2.2. 2	Animale întregi folosite pentru reproducerea de noi tulpini/varietăți	trăsături genetice cheie	funcție de producție (valori producție zootehnică/acvacultu ră); valoare reproductivă estimată	centre de ameliorare; registre genealogice; rapoarte ferme	monitorizare performanță în ferme; teste de încrucișare; analize pedigree
1.2.2. 3	Gene individuale extrase din organisme (animale/microorganism e)	nr. gene izolate	venit din produse biotehnologice; preț licențe; evaluare cost-beneficiu cercetare	baze de date brevete; rapoarte companii; baze de date genomice	laboratoare de biotehnologie; protocoale de secvențiere; urmărire licențe comerciale
1.2.2. 3	Gene individuale extrase din organisme (animale/microorganism e)	nr. de produse bazate pe aceste gene	venit din produse biotehnologice; preț licențe; evaluare cost-beneficiu cercetare	baze de date brevete; rapoarte companii; baze de date genomice	laboratoare de biotehnologie; protocoale de secvențiere; urmărire licențe comerciale
1.2.2. 3	Gene individuale extrase din organisme (animale/microorganism e)	venit din brevete	venit din produse biotehnologice; preț licențe; evaluare cost-beneficiu cercetare	baze de date brevete; rapoarte companii; baze de date genomice	laboratoare de biotehnologie; protocoale de secvențiere; urmărire licențe comerciale
2.1.1. 1	Bio-remedierea deșeurilor/substanțelor toxice de către organisme	reducere concentrații poluanți în sol/apă (mg/kg, mg/L)	cost de înlocuire cu tehnologii de remediere; costuri de daune evitate (sănătate, producție)	monitorizarea calității mediului; rapoarte de remediere; studii de cercetare	prelevare probe sol/apă; analize chimice; cartare GIS a suprafețelor remediere
2.1.1. 1	Bio-remedierea deșeurilor/substanțelor	rată de degradare (mg/kg/zi)	cost de înlocuire cu tehnologii de remediere; costuri de	monitorizarea calității mediului;	prelevare probe sol/apă; analize chimice; cartare GIS

	toxice de către organisme		daune evitate (sănătate, producție)	rapoarte de remediere; studii de cercetare	a suprafețelor remediere
2.1.1.1	Bio-remedierea deșeurilor/substanțelor toxice de către organisme	suprafață remediată (ha)	cost de înlocuire cu tehnologii de remediere; costuri de daune evitate (sănătate, producție)	monitorizarea calității mediului; rapoarte de remediere; studii de cercetare	prelevare probe sol/apă; analize chimice; cartare GIS a suprafețelor remediere
2.1.1.2	Filtrare/sechestrare/dep. poluanți de către organisme	cantitate de poluanți reținuți (kg/an)	cost tratament ape/aer evitat; costuri de sănătate publică evitate	agenții de apă/mediu; rețele de monitorizare aer; studii hidrologice	bugete de masă la nivel de bazin; măsurători fluxuri și concentrații; monitorizare continuă senzori
2.1.1.2	Filtrare/sechestrare/dep. poluanți de către organisme	stoc în biomasă/sol (mg/kg)	cost tratament ape/aer evitat; costuri de sănătate publică evitate	agenții de apă/mediu; rețele de monitorizare aer; studii hidrologice	bugete de masă la nivel de bazin; măsurători fluxuri și concentrații; monitorizare continuă senzori
2.1.1.2	Filtrare/sechestrare/dep. poluanți de către organisme	îmbunătățire indicatori de calitate (WQI, AQI)	cost tratament ape/aer evitat; costuri de sănătate publică evitate	agenții de apă/mediu; rețele de monitorizare aer; studii hidrologice	bugete de masă la nivel de bazin; măsurători fluxuri și concentrații; monitorizare continuă senzori
2.1.2.1	Reducerea mirosurilor neplăcute	reducere concentrații compuși odorigeni	evaluare contingentă a confortului; costuri de sănătate/bunăstare evitate	autorități de mediu; anchete populație; monitorizare industrială	măsurători chimice (H2S, NH3 etc.); chestionare rezidenți; modelare dispersie mirosuri
2.1.2.1	Reducerea mirosurilor neplăcute	nr. plângeri privind mirosul	evaluare contingentă a confortului; costuri de sănătate/bunăstare evitate	autorități de mediu; anchete populație; monitorizare industrială	măsurători chimice (H2S, NH3 etc.); chestionare rezidenți; modelare dispersie mirosuri
2.1.2.1	Reducerea mirosurilor neplăcute	distanța efectivă de atenuare	evaluare contingentă a confortului; costuri de sănătate/bunăstare evitate	autorități de mediu; anchete populație; monitorizare industrială	măsurători chimice (H2S, NH3 etc.); chestionare rezidenți; modelare dispersie mirosuri
2.1.2.2	Atenuarea zgomotelor	nivel zgomot înainte/după (dB); nr. persoane expuse peste praguri;	preț hedonic al locuințelor; costuri de sănătate evitate	monitorizare zgomot; statistici imobiliare;	sonometre pe transecte; modelare acustică; analize preț locuințe

		lungimea ecranelor verzi (km)	(tulburări legate de zgomot)	anchete de sănătate	
2.1.2.3	Ecranare vizuală (buffer verde)	procent suprafață ecranată	preț hedonic (efect asupra prețurilor locuințelor); evaluare contingentă pentru calitatea peisajului	planuri urbanistice; imagini satelit; sondaje sociale	fotogrametrie/GIS pentru linii de vizibilitate; chestionare privind satisfacția vizuală
2.1.2.3	Ecranare vizuală (buffer verde)	vizibilitatea sursei (grade sau scor)	preț hedonic (efect asupra prețurilor locuințelor); evaluare contingentă pentru calitatea peisajului	planuri urbanistice; imagini satelit; sondaje sociale	fotogrametrie/GIS pentru linii de vizibilitate; chestionare privind satisfacția vizuală
2.1.2.3	Ecranare vizuală (buffer verde)	percepția estetică în chestionare	preț hedonic (efect asupra prețurilor locuințelor); evaluare contingentă pentru calitatea peisajului	planuri urbanistice; imagini satelit; sondaje sociale	fotogrametrie/GIS pentru linii de vizibilitate; chestionare privind satisfacția vizuală
2.2.1.1	Controlul eroziunii	lungime versanți stabilizați	costuri evitate de dragare/reparații infrastructură; costuri de reabilitare a terenurilor	studii de eroziune; agenții de ape; lucrări publice	parcele de control eroziune; măsurarea sedimentului în cursuri; modelare (USLE/RUSLE)
2.2.1.1	Controlul eroziunii	grosimea solului păstrat	costuri evitate de dragare/reparații infrastructură; costuri de reabilitare a terenurilor	studii de eroziune; agenții de ape; lucrări publice	parcele de control eroziune; măsurarea sedimentului în cursuri; modelare (USLE/RUSLE)
2.2.1.1	Controlul eroziunii	grosimea solului păstrat	costuri evitate de dragare/reparații infrastructură; costuri de reabilitare a terenurilor	studii de eroziune; agenții de ape; lucrări publice	parcele de control eroziune; măsurarea sedimentului în cursuri; modelare (USLE/RUSLE)
2.2.1.2	Amortizarea mișcării masei (alunecări, avalanșe)	frecvența/volumul alunecărilor	costuri evitate ale pagubelor (clădiri, drumuri); costuri de stabilizare mecanică evitate	baze de date hazard natural; companii de asigurări; autorități locale	cartare alunecări; modele de stabilitate versant; analiza daunelor istorice
2.2.1.2	Amortizarea mișcării masei (alunecări, avalanșe)	suprafață protejată de păduri	costuri evitate ale pagubelor (clădiri, drumuri); costuri de stabilizare mecanică evitate	baze de date hazard natural; companii de asigurări; autorități locale	cartare alunecări; modele de stabilitate versant; analiza daunelor istorice

2.2.1.2	Amortizarea mișcării masei (alunecări, avalanșe)	nr. de evenimente evitate	costuri evitate ale pagubelor (clădiri, drumuri); costuri de stabilizare mecanică evitate	baze de date hazard natural; companii de asigurări; autorități locale	cartare alunecări; modele de stabilitate versant; analiza daunelor istorice
2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului (incl. inundații)	debit de vârf redus (m ³ /s)	costuri de inundații evitate; cost tratament apă și stocare evitat	stații hidrometrice; planuri de gestionare a riscului; asigurări	serii de debit și precipitații; modelare hidrologică; cartare zonelor inundabile
2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului (incl. inundații)	volum de apă reglat (m ³)	costuri de inundații evitate; cost tratament apă și stocare evitat	stații hidrometrice; planuri de gestionare a riscului; asigurări	serii de debit și precipitații; modelare hidrologică; cartare zonelor inundabile
2.2.1.3	Reglarea ciclului hidrologic și a debitului (incl. inundații)	suprafața inundabilă protejată	costuri de inundații evitate; cost tratament apă și stocare evitat	stații hidrometrice; planuri de gestionare a riscului; asigurări	serii de debit și precipitații; modelare hidrologică; cartare zonelor inundabile
2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor	viteză vânt redusă în spatele perdelelor (m/s)	valoarea producției agricole protejate; costuri de reparații la construcții evitate	stații meteo; statistici agricole; rapoarte daune	anemometre pe transecte; inventariere perdele forestiere; estimarea randamentelor culturilor
2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor	număr structuri protejate	valoarea producției agricole protejate; costuri de reparații la construcții evitate	stații meteo; statistici agricole; rapoarte daune	anemometre pe transecte; inventariere perdele forestiere; estimarea randamentelor culturilor
2.2.1.4	Protecția împotriva vânturilor	pierderi de cultură reduse	valoarea producției agricole protejate; costuri de reparații la construcții evitate	stații meteo; statistici agricole; rapoarte daune	anemometre pe transecte; inventariere perdele forestiere; estimarea randamentelor culturilor
2.2.1.5	Protecția împotriva incendiilor	frecvența și intensitatea incendiilor	costuri de stingere și pagube forestiere/urbane evitate	baze de date incendii forestiere; servicii de	teledetecție și cartare arderi; statistică incendii;

				urgentă; asigurări	modelare riscului de foc
2.2.1. 5	Protecția împotriva incendiilor	suprafață tampon gestionată (ha)	costuri de stingere și pagube forestiere/urbane evitate	baze de date incendii forestiere; servicii de urgentă; asigurări	teledetecție și cartare arderi; statistică incendii; modelare riscului de foc
2.2.1. 5	Protecția împotriva incendiilor	timp de răspuns îmbunătățit	costuri de stingere și pagube forestiere/urbane evitate	baze de date incendii forestiere; servicii de urgentă; asigurări	teledetecție și cartare arderi; statistică incendii; modelare riscului de foc
2.2.2. 1	Polenizarea	cantitate producție dependentă de polenizare	funcție de producție (aportul la producția agricolă/forestieră); cost de închiriere stupi; evaluare contingentă	date agricole; apicultori; studii de ecologie a polenizatorilor	transecte pentru insecte; excludere polenizatori vs. control; cartare culturilor dependente
2.2.2. 1	Polenizarea	densitatea polenizatorilor	funcție de producție (aportul la producția agricolă/forestieră); cost de închiriere stupi; evaluare contingentă	date agricole; apicultori; studii de ecologie a polenizatorilor	transecte pentru insecte; excludere polenizatori vs. control; cartare culturilor dependente
2.2.2. 1	Polenizarea	diversitate specii polenizatoare	funcție de producție (aportul la producția agricolă/forestieră); cost de închiriere stupi; evaluare contingentă	date agricole; apicultori; studii de ecologie a polenizatorilor	transecte pentru insecte; excludere polenizatori vs. control; cartare culturilor dependente
2.2.2. 2	Dispersarea semințelor	rata de instalare a regenerării naturale	valoarea economisită prin lipsa plantării artificiale; valoarea pentru menținerea diversității	inventare regenerare; studii de faună; programe de conservare	capcane de semințe; marcarea surselor și urmărirea sămânței; inventarierea puieților
2.2.2. 2	Dispersarea semințelor	distanța de dispersie	valoarea economisită prin lipsa plantării artificiale; valoarea pentru menținerea diversității	inventare regenerare; studii de faună; programe de conservare	capcane de semințe; marcarea surselor și urmărirea sămânței; inventarierea puieților

2.2.2.2	Dispersarea semințelor	densitatea semințelor în bancul de semințe	valoarea economisită prin lipsa plantării artificiale; valoarea pentru menținerea diversității	inventare regenerare; studii de faună; programe de conservare	capcane de semințe; marcarea surselor și urmărirea sămânței; inventarierea puieților
2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor	suprafață habitat de referință (ha)	costuri de reabilitare/creare de habitate; valoare de existență și bequest	arii protejate; inventare de biodiversitate; bănci de gene	monitorizare populațională; transecte de vegetație; analize genetice simple
2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor	mărimea și structura populațiilor	costuri de reabilitare/creare de habitate; valoare de existență și bequest	arii protejate; inventare de biodiversitate; bănci de gene	monitorizare populațională; transecte de vegetație; analize genetice simple
2.2.2.3	Menținerea populațiilor semincere și a habitatelor	indici de diversitate genetică	costuri de reabilitare/creare de habitate; valoare de existență și bequest	arii protejate; inventare de biodiversitate; bănci de gene	monitorizare populațională; transecte de vegetație; analize genetice simple
2.2.2.3.1	Controlul dăunătorilor (inclusiv invazive)	incidența atacurilor (% arbori afectați); pierderi de producție; abundența prădătorilor naturali	costuri de tratamente chimice evitate; valoarea producției protejate	rapoarte fitosanitare; statistici forestiere/agricole	monitorizare dăunători cu capcane; evaluări de daune; experimente cu/fără control biologic
2.2.2.3.2	Controlul bolilor	incidența bolilor la plante/animale; mortalitate; suprafață afectată	costuri veterinare/fitosanitare evitate; valoarea producției/nepierderi	servicii veterinare; rapoarte de sănătate a pădurilor; ministere agricultură	monitorizare clinică; inventare sanitar-forestiere; testări de laborator
2.2.2.4.1	Controlul dăunătorilor (repetat pentru alte sisteme)	indicatori ca la 2.2.3.1 (incidență, producție salvată, abundență inamici naturali)	aceleași metode ca 2.2.3.1 (costuri evitate, producție protejată)	aceleași surse (rapoarte fitosanitare etc.)	aceleași metode de monitorizare și evaluare
2.2.2.4.2	Descompunere/fixare și efect asupra calității solului	rată de descompunere litieră; conținut de nutrienți/humus; activitate biotică în sol	valoarea fertilității naturale (cost fertilizanți evitați); creștere de productivitate	experimente de litieră; analize sol; statistici producție	plicuri de litieră; eșantionare sol; analize chimice și biologice

2.2.5.1	Reglarea calității apelor dulci	concentrații nutrienți și poluanți; indice calitate apă; debit ecologic menținut	costuri de epurare evitate; valoarea pentru apă potabilă și recreere	agenții de apă; stații de tratare; monitorizare râuri	prelevări apă; analize chimice; modelare transport poluanți
2.2.5.2	Reglarea calității apelor sărate	concentrații poluanți în zone costiere; sănătatea habitatelor (recife, ierburi marine); indice biotic marin	costuri evitate pentru curățare/restaurare marină; valoarea pescăriilor și turismului	monitorizare marină; institute oceanografice	eșantionare apă și sedimente; indicatori biologici; teledetecție pentru înfloriri alge
2.2.6.1	Reglarea compoziției chimice a atmosferei/oceanului (ex. C, N)	stoc de carbon (t C/ha); fluxuri C/N/O; concentrații gaze cu efect de seră	preț carbon pe piață; modele cost daune schimbări climatice	inventare forestiere; rapoarte GES; baze IPCC/naționale	măsurarea biomasei; camere flux; modele de sechestrare
2.2.6.2	Reglarea temperaturii și umidității (microclimat)	diferențe de temperatură/umiditate sub coronament vs. zone deschise; indice confort climatic; suprafață împădurită	preț hedonic al locuințelor; costuri de energie pentru răcire/încălzire evitate	stații meteo; consum energetic clădiri; date de folosire a terenului	senzori microclimatici; modelare energetică; analiza datelor de consum
3.1.1.1	Activități fizice/experiențiale active în natură (drumeții, sport)	nr. vizitatori; timp petrecut; frecvența activităților	metoda costului de călătorie; evaluare contingentă a bunăstării recreative	înregistrări arii protejate; sondaje vizitatori; statistici turism	numărătoare vizitatori; chestionare privind cheltuieli; monitorizare trasee
3.1.1.2	Interacțiuni pasive/observaționale (birdwatching, contemplare)	nr. vizitatori; satisfacție raportată; nr. puncte de observație	cost de călătorie; preț hedonic (vederi spre natură)	sondaje vizitatori; date imobiliare; platforme foto/social media	chestionare; analiza fluxurilor de vizitatori; analiză geospațială a punctelor de observare
3.1.2.1	Investigație științifică/cunoaștere tradițională	nr. proiecte de cercetare; publicații; număr de terenuri de studiu	costuri de cercetare; metode de evaluare contingentă pentru valoarea informațională	baze de date proiecte/granturi; publicații; universități	inventariere activități de cercetare; interviuri cu comunități; monitorizare situri permanente
3.1.2.2	Educație și formare în natură	nr. excursii școlare; participanți la programe educaționale; materiale didactice	metode cost-eficacitate; evaluare contingentă pentru beneficii educaționale	școli; centre de vizitare; ONG-uri	registre participanți; chestionare educatori/elevi; observarea activităților

3.1.2.3	Valoare culturală/istorică (patrimoniu)	număr de situri cu statut cultural; vizitatori; evenimente culturale/an	evaluare contingentă; preț hedonic (apropiere de peisaje emblematice)	liste patrimoniu; instituții culturale; statistici turism	inventariere situri; sondaje vizitatori; analiză economică locală
3.1.2.4	Experiențe estetice	scor estetic perceput; număr de fotografii/imagini; vizite motivate de peisaj	evaluare contingentă/choice experiments; preț hedonic pentru vedere	sondaje vizitatori; rețele sociale (foto); date imobiliare	chestionare; analiză imagini geolocalizate; analize de piață imobiliară
3.2.1.1	Elemente cu semnificație simbolică	nr. simboluri/embleme bazate pe natură; utilizare în branding local; percepție identitară	evaluare contingentă; metode narrative/participative (valoare simbolică)	materiale de marketing; studii sociologice; interviuri comunitare	analiză de conținut (steaguri, logo-uri); ateliere participative; chestionare
3.2.1.2	Elemente cu semnificație sacră/religioasă	nr. locuri sacre; pelerini; frecvența ritualurilor	evaluare contingentă; metode calitative (interviuri, focus grup)	organizații religioase; studii antropologice; autorități locale	cartare locuri sacre; chestionare pelerini; observație participativă
3.2.1.3	Elemente folosite pentru entertainment/reprezentare (filme, imagini)	număr producții media; venit din filmări/fotografii; audiență	venituri de licență; evaluare contingentă pentru valoare de imagine	companii media; birouri de film; parcuri/arii protejate	evidență autorizații filmare; contracte/licențe; statistici audiență
3.2.2.1	Valoare existențială a biodiversității	grad de conștientizare; WTP pentru conservare; indici de diversitate	evaluare contingentă/choice experiments; valoare bequest/existence	sondaje naționale; ONG-uri de conservare; baze de date biodiversitate	chestionare asupra WTP; analiză diversitate (specii, habitate); sinteze statistice
3.2.2.2	Valoare de moștenire (bequest)	WTP pentru păstrarea ecosistemelor pentru generații viitoare; indicatori de implicare intergenerațională	evaluare contingentă; experimente de alegere	sondaje populație; programe educaționale; ONG-uri	chestionare specifice; analiză participare la activități de conservare; monitorizare politici
4.2.1.1	Apă de suprafață potabilă	volum apă potabilă disponibil (m ³ /an); număr persoane deservite; parametri de calitate (nitrați, patogeni)	preț de piață al apei; cost de tratare evitat datorită calității naturale	companii de apă; agenții de mediu; stații de tratare	măsurarea debitelor; monitorizare calitate apă; balanțe hidrice
4.2.1.2	Apă de suprafață ca material (industrială, nepotabilă)	volum apă industrială (m ³ /an); nr. utilizatori	prețul apei industriale; cost de înlocuire cu alte surse	companii industriale; autorități de	contoare de debit; rapoarte de producție; monitorizare

		industriali; grad de fiabilitate al sursei		apă; contracte de furnizare	calitate pentru uz industrial
4.2.1. 3	Apă de suprafață ca sursă de energie (hidro, microhidro)	potențial hidro energetic (MW); energie produsă (MWh/an); factor de capacitate	valoarea pe piața energiei; costuri de combustibil evitate	operatori hidro; agenții energetice; statistici naționale	măsurare debite și căderi de apă; înregistrări producție centrală; modelare energetică
4.2.1. 4	Apă costieră/marină ca sursă de energie (valuri, maree)	potențial energetic (MW); energie produsă (MWh/an)	preț energie; analize cost-beneficiu proiecte marine	companii energie marină; institute oceanografice	măsurare înălțime valuri/curenți; monitorizare producție; modelare resurse
4.2.2. 1	Apă subterană potabilă	volum extras (m ³ /an); nivel pânză freatică; parametri de calitate	preț de piață; cost tratare/transport evitat	fântâni/foraje; companii de apă; agenții geologice	foraje de monitorizare; analize fizico- chimice; modelare acvifere
4.2.2. 2	Apă subterană pentru uz industrial (nepotabilă)	volum pentru industrie (m ³ /an); număr utilizatori; variația nivelului acvifer	prețul apei industriale; cost de înlocuire cu alte surse sau cu reciclare	companii industriale; autorități de apă; rapoarte de utilizare	monitorizare debite la foraje; analize de calitate relevante industrial; bilanțuri de apă în întreprinderi

Material suplimentar 2a Set de indici pentru evaluarea serviciilor ecosistemice din alte surse internaționale – indicatori bio-fizici specifici

Clasa serviciului ecosistemic	Serviciu ecosistemic	Indicator	Referință internațională	Sursă	Sursa de data necesara
Suport	Suprafață de pădure (ha)	Suprafață de pădure după tipul de stațiune forestieră (ha, %)	Forest Europe 1.1; Regulamentul UE privind monitorizarea pădurilor	Forest Europe	IFN/AMENAJAMENTE
		Ponderea pădurilor în suprafața totală (%)	SDG 15.1.1; Global Core Set 1; Forest Europe 1.1		
		Rata anuală netă de schimbare a suprafeței forestiere (%)	SDG 15.2.1 – subindicator; Global Core Set 2	Forest Europe	
		Suprafață forestieră disponibilă pentru producție de lemn (ha)	Forest Europe 1.1		
		Ponderea expansiunii forestiere prin împădurire (%)	Forest Europe 4.2	Forest Europe	
		Ponderea expansiunii forestiere prin regenerare naturală (%)			
	Producția primară	Stoc de masă lemnoasă (m ³ /ha)	Forest Europe 1.2 Draft EU Forest Monitoring Reg	Forest Europe	
		Stoc în pădurea disponibilă pentru producția de lemn (m ³ /ha)			
	Creștere	Creșterea anuală pe întreaga suprafață forestieră (m ³ /ha/an)	Forest Europe 3.1 Draft EU Forest Monitoring Reg		
		Creșterea anuală în pădurea disponibilă pentru producția de lemn			
	Stocul de Biomasă	Stocul de biomasă supraterană din pădure (tone/ha)	Subindicator of SDG 15.2.1 Global Core Set 8	INForest Database	
		Stocul de biomasă subterană din pădure (tone/ha)			
Aprovizionare	Producția primară (diu lemn)	Volumul de lemn recoltat din pădurile disponibile pentru producție (m ³ /ha)	Global Core Set 9 Forest Europe 3.1 Draft EU Forest Monitoring Reg	JFSQ Forest Europe	
		Producția de lemn rotund (m ³ , m ³ /ha)			
		Producția de lemn de foc (m ³ , m ³ /ha)			
Reglare	Stocare carbon	Stoc de carbon în biomasa forestieră (tone)	Forest Europe 1.4 EU Nature Restoration Law	Forest Europe	
		Carbon stocat în solurile forestiere (tone)	Forest Europe 1.4	Forest Europe ICP Forest soil survey	
		Carbon stocat în lemnul mort (tone)	Forest Europe 1.4	Forest Europe	

	Flux de carbon (MgC / pixel / an)	Forest Europe 1.4	Forest Europe
	Carbon în produsele din lemn recoltate(tonne)	Global Core Set 3 Forest Europe 1.4	
	Schimbarea totală a stocului de carbon în păduri (tone/an) / fluxuri GES (Gt CO ₂ e)		World Resources Institute Global Forest review
Funcții de protecție	Suprafață forestieră desemnată pentru protecția solului, apei și altor funcții ecosistemice (ha, %)	Global Core Set 11; Forest Europe 5.1	Forest Europe EUROSTAT
	Suprafața defrișată (ha)		World Resources Institute Global Forest review
	Suprafață forestieră degradată (ha, %)	Global Core Set 7 Forest Europe 2.5	Forest Europe World Resources Institute Global Forest review
	Tăieri ilegale (m ³ /ha)		EEA
	Pierderi naturale (mortalitate a arborilor) (m ³ /ha)	Part of Forest Europe 3.1	Forest Europe
Sănătatea pădurii	Schimbări ale densității coronamentului (%)	Draft EU Forest Monitoring Reg.	Landsat data archive, Turubanova et al 2023
	Suprafață forestieră cu daune / perturbări (ha, %) cauzate de: • evenimente meteorologice severe • alți factori abiotici (cu excepția incendiilor)	Global Core Set 6 Forest Europe 2.4	Forest Europe FRA
	Suprafață forestieră cu daune / perturbări (ha, %) cauzate de: insecte și boli alți agenți biotici, precum fauna sălbatică și pășunatul	Global Core Set 6 Forest Europe 2.4 Draft EU Forest Monitoring Reg	

Suport	Gestionarea daunelor	Eroziunea solului	Part of Forest	<u>Forest</u>
		Suprafața forestieră dominată de specii de arbori introduse, invazive (ha, %)	Europe 4.4	<u>Europe</u>
		Presiune pășunatului		<u>FRA</u>
		Recoltarea (vânarea) cerbilor și căprioarelor (nr./ha)		
		Măsuri de protecție împotriva pășunatului (EUR/ha)		
		Tăieri accidentale (m³/ha)		
		Îndepărtarea și eliminarea arborilor infectați/infestați (m³/ha)		
		Lucrări de curățire (EUR/ha)		<u>World</u>
				<u>Resources</u>
				<u>Institute</u>
Suport	Sănătatea și vitalitatea	Restaurarea pădurii / refacerea pădurii (ha, ponderea suprafeței forestiere afectate sau degradate restaurate)		
		Costuri pentru refacere / reîmpădurire (EUR/ha)		
		Monitorizarea daunelor (recunoașteri aeriene și la sol) (EUR/ha)		
		Utilizarea măsurilor preventive chimice, biologice sau tehnice (EUR/ha)		
		Starea solului, în funcție de tipul de sol • Aciditate: scala pH; unități • CEC (Capacitatea de schimb cationic): cmol/kg • Raport C/N • Densitatea carbonului organic: g/kg, t/ha • Saturația în baze: % (suma cationilor bazici / CEC) × 100	Forest Europe 2.2	ICP Forests Forest Europe
Suport	Biodiversitate	Defoliere (%)	Forest Europe 2.3 Draft EU Forest Monitoring Reg	ICP Forests Forest Europe
		Ponderea regenerării pădurii prin regenerare naturală (%)	Forest Europe 4.2 Draft EU Forest Monitoring Reg	FRA Forest Europe
		Ponderea regenerării naturale neadaptate stațiunii (%)		
		Ponderea regenerării pădurii prin plantare și/sau însămânțare (%)		
		Ponderea suprafeței de pădure cu 1, 2–5, respectiv		

Aprovizionare	peste 6 specii de arbori regenerate		
	Ponderea suprafeței de regenerare în care domină specii invazive (%)		
	Ponderea suprafeței de pădure cu modificare a speciilor de arbori reziliente stațiunii după tăieri sau după producerea unor daune forestiere (ha, %)		
	Rata de supraviețuire a arborilor/puietilor regenerați (%)		
	Schimbarea suprafeței pădurilor primare (%)	Global Core Set 5 Draft EU Forest Monitoring Reg	
	Pădure după clase de naturalitate – Ponderea suprafeței de pădure neafectată de activitatea umană din totalul suprafeței forestiere (ha, %)	Part of Forest Europe 4.3	
	Pădure după clase de naturalitate – Ponderea plantațiilor din totalul suprafeței forestiere (ha, %)		
	Ponderea suprafeței forestiere cu o singură specie de arbori prezentă (%)	Part of Forest Europe 4.1	
	Ponderea suprafeței forestiere cu 2–5 și peste 6 specii de arbori prezente (%)	Part of Forest Europe 4.1	
	Suprafață forestieră cu specii introduse reziliente stațiunii (ha)		
	Specii de arbori amenințate (număr)	Part of Forest Europe 4.8	
	Arborete pluristratificate (ha) sau ponderea arboretelor pluristratificate (%)	Draft EU Forest Monitoring Reg	
	Arborete monostratificate (ha, %)		
	Densitatea arboretului (număr de arbori/ha)		
	Vârsta arboretului (ani / clase de vârstă, %)		
	Înălțimea coronamentului (m)		
	Distribuția înălțimii arborilor (%)		
	Lemn mort (în picioare) (m ³ /ha)	Forest Europe 4.5 Draft EU Forest Monitoring Reg	FRA Forest Europe
	Lemn mort (culcat) (m ³ /ha)	EU Nature Restoration Law	
	Stadiul de descompunere al lemnului mort		

	Populații de arbori gestionate pentru conservarea genetică (ha)		
	Potentialul pentru producerea de Material Forestier de Reproducere (număr de unități/suprafață)	Part of Forest Europe 4.6	
Protejarea biodiversității	Suprafață forestieră protejată (ha, %)	Global Core Set 4 Subindicator of	FRA Forest Europe
	• Fără intervenție activă	SDG 15.2.1	
	• Intervenție minimă	Forest Europe 4.9	INForest
	• Conservare prin management activ	Draft EU Forest Monitoring Reg	FISE
	• Protecția peisajelor		
	Pădure în interiorul rețelei Natura 2000 (%)	Draft EU Forest Monitoring Reg	FISE

Material suplimentar 2b Set de indici pentru evaluarea serviciilor ecosistemice din alte surse internaționale – indicatori specifici socio-economici

Clasa serviciului ecosistemic	Serviciu ecosistemic	Indicator	Referință internațională	Sursă	Sursa de data necesara
Reglare	Management	Suprafață forestieră cu management al acoperirii continue (ha, %)		Forest Europe	IFN/AMENAJAMENTE
		Suprafață forestieră fără management de recoltare (ha, %)			
		Suprafață forestieră cu management adaptiv (ha, %)			
		Suprafață forestieră gestionată prin management forestier integrativ (ha, %)			
		Suprafață forestieră gestionată prin metode apropiate de natura pădurii (ha, %)			
		Suprafață forestieră gestionată în regim echien (even-aged) folosind tăieri rase (ha)			
		Suprafață forestieră gestionată în regim echien folosind tăieri progresive (shelterwood) (ha, %)			
		Recoltare selectivă (ha, %)			
		Exploatare forestieră cu impact redus (ha, %)			
		Suprafețe agroforestiere (ha, %) (de ex. pășuni împădurite tip Dehesa, Montado)			
		Suprafață de pădure cu rotație scurtă (pentru bioenergie) (ha, %)			
		Suprafață de pădure tratată în regim crâng cu arbori de masiv (coppice with standards) (ha, %)			
		Area of forests coppice (or other traditional management types) (ha, %)	Part of Forest Europe 4.2		
		Intensitatea gestionării (creștere/procent de tăieri)	Forest Europe 3.12		
Aprovizionare	Apă curată	Cantitatea de apă subterană dintr-un bazin hidrografic forestier (m ³ /ha)			
		Ponderea suprafeței de pădure în bazinul hidrografic (%)			
		Calitatea apei (nivelul de nutrienți, sedimente, contaminanți, pH) (mg/L)			
	Hrană	Produce nelemnoase (tone)	Forest Europe 3.3		
	Disponibilitatea FES	Prezența/absența unui anumit serviciu ecosistemic forestier			
	Servicii ecosistemice	Valoarea serviciilor comercializate și OWL (Euro)	Forest Europe 3.4		

	forestiere comercializate	Credite de carbon vândute (un credit pentru fiecare tonă de CO ₂ sechestrată de pădure)		
		Suprafață forestieră certificată independent pentru management forestier (ha, %)	Global Core Set 20 Forest Europe qualitative ind.	
	Gospodărire	Pondere suprafeței forestiere aflate sub un plan de management forestier pe termen lung (ha, %)	Global Core Set 19 Forest Europe qualitative ind.	
		Lungimea drumurilor forestiere (km, m/ha)		
		Investiții în silvicultură (ISIC/NACE 02) (EUR)	Forest Europe 6.4	
Culturale	<i>I Livelihood</i>	Sprijin financiar public și investiții private pentru servicii ecosistemice forestiere (EUR/ha)		
		Numărul de angajați în silvicultură (ISIC/NACE 02)	Forest Europe 6.5	FRA Forest Europe Statistical Offices
	Educație continuă	Contribuția financiară a pădurii la venitul proprietarului forestier (EUR)		
		Numărul de manageri forestieri care participă la cursuri avansate de instruire (nr.)		
		Temperatură (K) sau (°C) (media anuală/sezonieră/lunară/diurnă; min/max; amplitudine termică zilnică/anuală)	ETCDI Climact indices	
		Temperatura suprafeței		
		Durata (zile consecutive) a evenimentelor extreme de iarnă sau a valurilor de căldură din timpul verii		
		Intensitatea (durata + variația temperaturii) a evenimentelor extreme de iarnă sau vară (K sau °C)		
Reglare	Reglare climatică regională	Profil vertical al temperaturii (K sau °C)		
		Precipitații (mm)		
		Indicatori ai schimbărilor climatice și extremelor:		
		– Precipitații maxime zilnice (mm)		
		– Numărul de zile/an cu precipitații > 20 mm		
		Vapori de apă zilnici		IFN/AMENAJAMENTE
		– ca umiditate relativă (%)		
		– sau ca umiditate specifică (kg/kg)		

Vapori de apă – conținut integrat vertical al coloanei de aer (kg/m^2)		
Profilul vaporilor de apă troposferici		
Adâncimea optică a norilor		
Viteza și direcția vântului la suprafață (m/s)		
Viteza maximă a vântului (m/s)		
Rafale de vânt (m/s)		
Albedo-ul suprafeței terestre		
–lunar		
– zilnic		
Albedo-ul solului		
Suprafața foliară verde (o singură față) raportată la suprafața solului		IFN/AMENAJAMENTE
Fluxuri zilnice de căldură (W/m^2)		
Raport Bowen (raportul dintre fluxul de căldură sensibilă și cel latent)		
Evapotranspirație (mm/m^2)	e.g. SPEI	
Evaporarea solului neacoperit (mm/m^2)		
Evaporarea vegetației (mm/m^2)		
Evapotranspirația coronamentului (mm/m^2) sau ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
Indicatori de zăpadă:	Part of US	
• acoperirea cu zăpadă (%)	Climate	
• grosimea stratului de zăpadă (m)	Change	
• echivalentul în apă al stratului de zăpadă (mm/m^3)	Indicators	
Umiditatea solului [m]	Proxy indicator for land quality	IFN/AMENAJAMENTE
Carbonul din sol (g/m^2 sau t/ha)	FRA	
Apă subterană	Forest Europe 1.4	

Material suplimentar 3 Set de indicatori integrat (CICES + alte baze de date internaționale)

COD	Denumire indicatori	Metode de evaluare	Data sources	Measurement methods
2.2.6.1	Suprafață forestieră totală (ha)	indicator de stoc potențial de carbon și bază pentru raportare GES	inventarul forestier național; baze GIS de acoperire a solului; statistici naționale	digitizare limite fond forestier; interpretare imagini satelit; agregare pe UAT/region/national
2.2.6.1	Suprafață forestieră disponibilă pentru producția de lemn (FAWS) (ha)	indicator de potențial de recoltă și stoc de carbon gestionabil	inventare la nivel de unitate de producție; baze cadastrale; planuri de management	clasificare funcțională a suprafețelor; GIS; extragere FAWS din total
2.2.6.1	Volum de masă lemnoasă pe picior (growing stock) (m ³ /ha)	indicator cantitativ al stocului de biomasă și carbon	inventar statistic pe eșantioane; inventar de amenajare	măsurarea diametrelor, înălțimilor; aplicarea ecuațiilor alometrice; calcul volum/ha
2.2.6.1	Stoc de biomasă aeriană (t substanță uscată/ha)	conversie volum → biomasă; integrare în bilanțuri de carbon	inventar forestier; produse satelit (Sentinel, Landsat, GEDI)	aplicarea funcțiilor alometrice; calibrare cu parcele de referință; mapare raster biomasa
2.2.6.1	Stoc de carbon în biomasa vie (t C/ha)	conversie biomasă → carbon (factori IPCC)	inventare volum/biomasă; factori de conversie IPCC	biomasă × fracție C; agregare pe tipuri de pădure; raportare pe perioade
2.2.6.1	Stoc de carbon în lemn mort (t C/ha)	indicator al stocului de carbon necrotic și al habitatelor saproxilice	eșantionare lemn mort pe transecte/parcele; clasificare pe dimensiuni și stare	măsurarea volumelor; densități specifice; conversie în t C/ha
2.2.6.1	Stoc de carbon în sol (t C/ha; g C/kg)	integrare în bilanț de carbon, evaluarea stării solului	profile de sol, probe pe adâncimi standard; laborator	determinarea C organic (TOC); calcul stoc pe orizont și pe adâncime de referință
2.2.6.1	Schimbarea anuală a stocului de carbon în păduri (t C/ha/an)	indicator de flux net (sursă/puț de carbon)	serii de inventar; statistici de recoltare; modele de mortalitate	bilanț intrări/ieșiri (creștere – recoltă – pierderi naturale); modelare la scară națională
2.2.6.1	Recolte de lemn (wood removals) în păduri disponibile pentru lemn (m ³ /ha, m ³ /an)	evaluarea presiunii de recoltare asupra stocurilor de carbon	registre de exploatare; date de autorizare tăieri	raportare volum tăiat vs. volum total; normalizare la suprafață și la perioadă
2.2.6.1	Producția de lemn rotund (roundwood) (m ³ , m ³ /ha)	indicator economic + flux de carbon extras	rapoarte de producție; registre comerciale	agregare volum pe sortimente; raportare pe categorii de proprietate/regiuni
1.1.5.3	Producția de lemn de foc (m ³ , m ³ /ha)	funcție de producție (valoarea energiei); înlocuire combustibili fosili	statistici naționale; anchete la consumatori; comercianți de lemn de foc	estimarea consumului pe gospodărie; extrapolare la scară regională; conversie în energie/CO ₂ e
2.2.6.1	Pierdere de pădure (suprafață anuală pierdută, ha)	evaluarea emisiilor asociate schimbării de folosință a terenului	serii temporale de imagini satelit; registre de schimbare de folosință	dectecția schimbărilor (change detection); validare teren; calcul rate deforestare
2.2.6.1	Suprafață forestieră degradată (ha, %)	indicator de reducere a capacității de sechestrare	inventare forestiere cu variabile de degradare; date privind productivitatea	clasificare standuri cu volum/creștere sub potențial; scoruri de degradare; cartare GIS

2.2.6.1	Pierderi naturale (mortalitate naturală) (m ³ /ha/an)	flux negativ de carbon (pierdere biomasă)	re-eșantionare parcele; înregistrare arbori uscați/căzuți	marcarea arborilor morți; calcul diferențe volum între inventare; conversie în C
2.2.6.1	Schimbări în densitatea coronamentului (%)	indicator proxy pentru degradare și variații de stoc de biomasă	teledetecție optică/radar; date IFN	analiză multi-temporală a densității coronamentului; validare cu inventar teren
2.2.1.2	Suprafață forestieră cu pagube datorate alunecărilor/avalanselor (ha, %)	indicator al rolului pădurii în stabilizarea versanților	inventare de daune; baze naționale de hazard	cartare pagube; suprapunere cu acoperirea forestieră; analiză spațială a expunerii
2.2.1.1	Suprafață forestieră cu eroziune moderată/severă (ha, %)	indicator de risc pentru pierderi de carbon din sol	date pedologice; modele de eroziune	aplicare USLE/RUSLE; calibrare cu măsurători sedimente; clasificare pe clase de risc
2.2.3.1	Suprafață de pădure cu daune biotice (insecte, boli) (ha, %)	indicator de risc pentru pierderi de carbon și sănătatea ecosistemului	inventar de daune; rețele de monitorizare	evaluări de coronament, simptome; transecte; clasificare intensitate atac
2.2.3.2	Mortalitate indusă de boli (m ³ /ha/an)	flux negativ de carbon și indicator de vulnerabilitate	re-inventariere arbori marcați; evidență tăieri sanitare	cuantificarea volumului afectat; conversie în C; analiză serii temporale
2.2.1.5	Suprafață de pădure afectată de incendii (ha, %)	indicator de emisii brute de carbon și degradare	hărți de arderi; înregistrări intervenții	delimitarea suprafețelor arse din imagini satelit; verificare pe teren; calcul frecvență/intensitate
2.2.1.5	Suprafață de pădure gestionată ca zonă tampon contra incendiilor (ha)	indicator de capacitate de prevenire	documentații tehnice; GIS amenajistic	cartare benzi tăiate, drumuri, zone cu combustibil redus; analiză de proximitate față de infrastructură
2.2.3.1	Presiune de pășunat/răsfoire (indice de vătămare; % puiști afectați)	indicator de risc pentru regenerare și viitorul stoc de carbon	observații în teren; parcele de regenerare; date de efective vânat	scoruri de vătămare (0–4); număr puiști afectați; corelare cu densitatea de cervide
2.2.3.1	Efective de cerb/ căprior recoltate (nr./ha)	indicator indirect al controlului presiunii de răsfoire	registre de vânătoare; autorizații de recoltă	analiză densitate recoltă/ha; raportare pe fonduri de vânătoare
2.2.6.1	Salvare de masă lemnoasă (salvage logging) (m ³ /ha)	indicator al pierderilor bruște și al fluxurilor de carbon post-perturbare	evidențe de exploatare; amenajamente revizuite	cuantificarea volumului afectat; separare între exploatare programată și salvage
2.2.6.1	Volum de arbori infectați/infestați îndepărtați (m ³ /ha)	indicator de răspuns la perturbări biotice și limitare pierderi	tăieri sanitare; procese verbale	măsurarea volumelor extrase; localizare în GIS; corelare cu focare de boală
2.2.6.1	Suprafață de pădure restaurată/recuperată (ha; % din suprafața degradată)	indicator de refacere a capacității de sechestrare	baze de proiecte; rapoarte de implementare	delimitare suprafețe restaurate; monitorizare succes (închidere coronament, stoc C)
2.2.6.1	Costuri de reîmpădurire/restaurare (EUR/ha)	analiză cost-eficacitate a măsurilor de restaurare	rapoarte financiare; ghiduri de costuri	colectarea costurilor directe/indirecte; normalizare la ha; analiză pe tipuri de intervenții
2.2.6.1	Costuri de monitorizare a daunelor și stării pădurii (EUR/ha)	indicator al efortului instituțional de adaptare și răspuns	planuri de monitorizare; rapoarte anuale	total costuri program / suprafață monitorizată; defalcare pe tip de metodă (aerian/terestru)
2.2.2.3	Indici de structură a arboretului (număr straturi, diversitate diametre)	indicator pentru reziliență și capacitate de adaptare	date dendrometrice detaliate; descrieri structurale	clasificarea verticală a coronamentului; histograme

				de diametre; indici structurali
2.2.6.2	Diferență de temperatură/umiditate sub coronament vs. zone adiacente deschise	indicator al rolului pădurii în ameliorarea microclimatului	senzori în pădure și în afara pădurii; stații meteo apropiate	serii de temperatură/umiditate; compararea mediilor și extremelor; analize statistice
2.2.6.1	Defoliere medie a coronamentului (%), pe specii/tip de pădure	indicator de stres și reducere a capacității de fotosinteză/sechestrare	observații vizuale standardizate; evaluări periodice	estimare procentuală defoliere; scală de clase; analiză trenduri temporale
2.2.2.2	Succesul regenerării (puieți/ha; % acoperire regenerare; % specii reziliente la sit)	indicator al viitorului potențial de sechestrare	inventar regenerare pe suprafețe eșantion; clasificare specii	numărarea puieților; clasificare după origine și tip funcțional; comparare cu obiectivele de management

Material suplimentar 4

Clasa	Cod	Indicator	Sub-indicatori [UM]
Aprovizionare	1	Suprafața pădurii	1.1 Suprafața pădurii [ha]
			1.2 Suprafața disponibilă pentru aprovizionarea cu lemn [ha]
			1.3 Suprafața pădurii pe tipuri [ha]
	2	Volumul de lemn pe picior	m3/ha sau tone/ha
	3	Volumul de lemn extras	m3/ha
Reglare	4	Stocarea carbonului	4.1 Carbon în biomasa vie [tone C/ha]
			4.2 Carbon în lemnul mort [tone C/ha]
			4.3 Carbon în solurile forestiere [tone C/m2]
	5	Sănătatea pădurii (Biotic)	5.1 Daune cauzate de insecte și boli [ha, %]
			5.2 Daune cauzate de alți agenți (faună, pășunat) [ha, %]
	6	Sănătatea pădurii (Abiotic)	6.1 Daune cauzate de vreme severă [ha, %]
			6.2 Daune cauzate de alți agenți abiotici (exclusiv foc) [ha, %]
	7	Incendii	Suprafața pădurii afectată de incendii [ha, %]
	8	Densitatea acoperirii	Modificări ale densității acoperirii cu arbori [%]
	9	Regenerarea pădurii	9.1 Regenerare naturală [%]
9.2 Plantare și/sau însămânțare [%]			
10	Indicele suprafeței foliare	LAI [m2/m2]	
Suport	11	Lemn mort	11.1 Lemn mort pe picior [m3/ha]
			11.2 Lemn mort căzut [m3/ha]
	12	Structura arboretului	Arborete multietajate [ha, %]
	13	Vârsta arboretului	Ani / clasa de vârstă [%]
	14	Densitatea arboretului	Număr de arbori/ha
	15	Diversitatea speciilor	15.1 O singură specie [ha, %]
15.2 Între 2-5 specii [ha, %]			
15.3 Peste 6 specii [ha, %]			
Reglare	16	Temperatură	16.1 Temp. aerului (2m) și interval [°C]
			16.2 Zile de îngheț [zile]
			16.3 Zile caniculare (>30°C) [zile]
			16.4 Durata valului de căldură [zile]
			Temperatura suprafeței solului [°C]
	17	Precipitații	Cantitate totală [mm]
	18	Umiditatea solului	18.1 La suprafață [m3/m3]
			18.2 În zona rădăcinilor [m3/m3]
			18.3 Capacitatea de reținere a apei [%]
			18.4 Variabilitatea umidității [m3/m3]
19	Evapotranspirație	[mm/m2], [kg/m2], [mm/zi]	
20	Vapori de apă	[mm], [kg/m2], [kg/kg], [ppmv], [%]	
21	Scurgere (Runoff)	21.1 Scurgere totală [mm]	
		21.2 Scurgere de suprafață [mm]	

Material suplimentar 5

Clasa	Indicator	Sursa	Descriere
Reglare	AGB (Above-Ground Biomass)	Sentinel-2 Landsat (prin regresii ML)	Biomasă estimată stocaj carbon actual
	Carbon_Stock	Derivat din AGB	Stocare carbon cu factor stoichiometric
	Biomass_Growth_Rate	Sentinel-2 Landsat (analiză temporală)	Rata de acumulare anuală
	NDVI	Sentinel-2 Landsat	Eficiență fotosintetică vigoare vegetație
	EVI	Sentinel-2 Landsat	Indice vegetație îmbunătățit
	SAVI	Sentinel-2 Landsat	Indice vegetație ajustat pentru sol
	GNDVI (Green NDVI)	Sentinel-2	Estimare robustă productivitate
	NDVI_RE (RedEdge NDVI)	Sentinel-2 (benzi RedEdge 705-783nm)	Sensibilitate stres timpuriu
	Chlorophyll Index	Sentinel-2 (benzi RedEdge)	Conținut clorofilă
	LSWI (Land Surface Water Index)	Sentinel-2 Landsat	Conținut apă în vegetație (stres hidric)
	NDWI (Normalized Difference Water Index)	Sentinel-2 Landsat	Conținut apă în vegetație
	MSAVI	Sentinel-2 Landsat	Indice vegetație modificat
	Forest%	Corine Land Cover	Prevalența pădurii în peisaj
	Slope (Pantă)	SRTM EU-DEM	Gradient teren influență infiltrație
	TPI (Topographic Position Index)	SRTM EU-DEM	Clasificare creste/văi/versanți
	Elevation	SRTM EU-DEM	Altitudine
	Aspect	SRTM EU-DEM	Orientare pantă (diversitate microclimat)
	Curvature (Plan/Profile)	SRTM EU-DEM	Direcția naturală scurgere
	LS_Factor	SRTM EU-DEM (RUSLE)	Vulnerabilitate teren la eroziune
	TRI (Terrain Ruggedness Index)	SRTM EU-DEM	Rugozitate teren
	VRM (Vector Ruggedness Measure)	SRTM EU-DEM	Variabilitate topografică
	SPI (Stream Power Index)	SRTM EU-DEM	Capacitate transport apă
	STI (Sediment Transport Index)	SRTM EU-DEM	Capacitate transport sediment
	BIO1 (Annual Mean Temp)	WorldClim 2.1	Temperatura medie anuală
	BIO5 (Max Temp Warmest Month)	WorldClim 2.1	Stres termic potențial
	BIO12 (Annual Precipitation)	WorldClim 2.1	Regim pluvial/precipitații anuale
	BIO14 (Precip Driest Month)	WorldClim 2.1	Deficit hidric critic
	BIO1-BIO19 (19 variabile)	WorldClim 2.1	Parametri bioclimatici standardizați
	Temperature_Continentality	WorldClim 2.1 (derivat)	Amplitudine termică

	Continentality	WorldClim 2.1 (derivat)	<i>Amplitudine termică sezonieră</i>
	Moisture_Availability_Index	WorldClim 2.1 (derivat)	<i>Climă favorabilă absorbției apei</i>
	Moisture_Availability	WorldClim 2.1 (derivat)	<i>Disponibilitate apă pentru evapotranspirație</i>
	Aridity Index	WorldClim 2.1 (derivat)	<i>Raport precipitații/evapotranspirație</i>
	Precipitation Intensity	WorldClim 2.1 (derivat)	<i>Intensitate precipitații</i>
	Season Length	WorldClim 2.1 (derivat)	<i>Lungime sezon vegetativ</i>
Aprovizionare	AGB (Above-Ground Biomass)	Sentinel-2 Landsat (prin regresii ML)	<i>Resursă lemnoasă disponibilă</i>
	Biomass_Growth_Rate	Sentinel-2 Landsat (analiză temporală)	<i>Productivitate anuală</i>
	NDVI	Sentinel-2 Landsat	<i>Potențial fotosintetic</i>
	GNDVI (Green NDVI)	Sentinel-2	<i>Estimare robustă productivitate</i>
	Volume pe specii	Bază Date Amenajistică (BDAS)	<i>Măsurători directe teren</i>
	Vârstă arbori	Bază Date Amenajistică (BDAS)	<i>Maturitate stand</i>
Suport	Shannon Diversity Index	Corine Land Cover	<i>Eterogenitate tipuri habitat</i>
	Forest%	Corine Land Cover	<i>Dominanța pădurii</i>
	Shape Index	Corine Land Cover	<i>Formă poligoane (compacte vs alungite)</i>
	Distance to Forest Edge	Corine Land Cover	<i>Conectivitate habitat</i>
	Distance to Nearest Forest	Corine Land Cover	<i>Izolare fragmente</i>
	TRI (Terrain Ruggedness Index)	SRTM EU-DEM	<i>Diversitate microhabitate</i>
	Elevation	SRTM EU-DEM	<i>Gradiente altitudinale</i>
	Aspect	SRTM EU-DEM	<i>Orientare pantă (diversitate microclimat)</i>
	TPI (Topographic Position Index)	SRTM EU-DEM	<i>Diversitate poziții topografice</i>
	NDVI	Sentinel-2 Landsat	<i>Eficiență fotosintetică</i>
	EVI	Sentinel-2 Landsat	<i>Productivitate vegetație</i>
	Chlorophyll Index	Sentinel-2 (benzi RedEdge)	<i>Conținut clorofilă</i>
	NDVI_RE (RedEdge NDVI)	Sentinel-2 (benzi RedEdge 705-783nm)	<i>Sensibilitate stres timpuriu</i>
	Season Length	WorldClim 2.1 (derivat)	<i>Lungime sezon vegetativ</i>
Cultural	Shannon Diversity Index	Corine Land Cover	<i>Diversitate peisaj</i>
	Forest%	Corine Land Cover	<i>Acoperire forestieră</i>
	Elevation	SRTM EU-DEM	<i>Relieful peisajului</i>
	TRI (Terrain Ruggedness Index)	SRTM EU-DEM	<i>Variabilitate vizuală</i>
	VRM (Vector Ruggedness Measure)	SRTM EU-DEM	<i>Complexitate peisaj</i>
	NDVI	Sentinel-2 Landsat	<i>Vegetație viguroasă (estetică)</i>

Material suplimentar 6

<i>Cod</i>	<i>Indicator Principal</i>	<i>Detalii Sub-indicatori</i>	<i>Complementar</i>
Aprovizionare			
1	Suprafața pădurii	<i>Suprafața totală și disponibilă (ha); Tipuri de pădure (ha).</i>	Forest%, NDVI, EVI
2	Volumul de lemn pe picior	<i>Volum total (m³/ha sau tone/ha).</i>	AGB, Biomass_Growth_Rate, SAVI
3	Volumul de lemn extras	<i>Volum recoltat (m³/ha).</i>	AGB, Biomass_Growth_Rate, NDVI
Reglare			
4	Stocarea carbonului	<i>Carbon în biomasa vie, lemn mort (tone C/ha) și în sol (tone C/m²).</i>	Carbon_Stock, AGB
5	Sănătatea pădurii (Biotic)	<i>Daune cauzate de insecte și boli, faună, pășunat (ha, %).</i>	NDVI_RE, Chlorophyll Index, LSWI
6	Sănătatea pădurii (Abiotic)	<i>Daune cauzate de vreme severă sau alți agenți abiotici (ha, %).</i>	BIO5, LSWI, BIO1
7	Incendii	<i>Suprafața pădurii afectată (ha, %).</i>	NDVI, EVI, MSAVI
8	Densitatea acoperirii	<i>Modificări ale densității acoperirii cu arbori (%).</i>	NDVI, EVI, Forest%
9	Regenerarea pădurii	<i>Regenerare naturală și prin plantare/însămânțare (%).</i>	Forest%, NDVI (Analiză temporală)
10	Indicele suprafeței foliare	<i>LAI (m²/m²).</i>	LAI, NDVI, EVI, GNDVI
16	Temperatură	<i>Temp. aerului, zile de îngheț/caniculare, durata valului de căldură, temp. suprafeței solului (°C, zile).</i>	BIO1, BIO5, Temperature_Continentality
17	Precipitații	<i>Cantitate totală (mm).</i>	BIO12, BIO14, BIO1-BIO19
18	Umiditatea solului	<i>Umiditate la suprafață/rădăcini, capacitate reținere apă, variabilitate (m³/m³, %).</i>	LSWI, NDWI, Curvature, BIO12
19	Evapotranspirație	<i>Rata Evapotranspirației ([mm/m²], [kg/m²], [mm/zi]).</i>	(Model Output), BIO1, BIO5
20	Vapori de apă	<i>Concentrație vapori de apă ([mm], [kg/m²], [%], etc.).</i>	(CERRA/WorldClim), BIO12
21	Scurgere (Runoff)	<i>Scurgere totală și de suprafață (mm).</i>	SPI, STI, LS_Factor, Slope, Curvature
Suport			
11	Lemn mort	<i>Volum lemn mort pe picior și căzut (m³/ha).</i>	TRI, VRM, Slope, TPI
12	Structura arboretului	<i>Arborete multietajate (ha, %).</i>	TRI, VRM, Elevation, Aspect
13	Vârsta arboretului	<i>Ani / clasa de vârstă (%).</i>	(BDAS date inventar)
14	Densitatea arboretului	<i>Număr de arbori/ha.</i>	AGB, NDVI
15	Diversitatea speciilor	<i>Păduri cu 1, 2-5 sau peste 6 specii (ha, %).</i>	TRI, Aspect, TPI, Elevation