

INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE – DEZVOLTARE ÎN SILVICULTURĂ
“MARIN DRĂCEA”

Metodologia de prelucrare a datelor Inventarului Forestier Național

1. Introducere

Inventarele forestiere naționale moderne sunt fundamentate pe două tipuri de eșantionaje: (i) un eșantionaj “aerian” sau fotointerpretarea pe ortofotoplanuri/materiale cartografice a folosinței și acoperirii cu vegetație a terenurilor și (ii) un eșantionaj terestru (de teren) prin care sunt măsurate sau estimate mai multe caracteristici ale arborilor, arboretelor, stațiunilor forestiere etc.

Pentru prelucrarea datelor se folosește o abordare care combină aceste două eșantionaje și care valorifică toate avantajele date de specificul fiecăruia, obținându-se o precizie și acuratețe optime a rezultatelor, precum și minimizarea cheltuielilor.

Formulele de calcul prezentate în continuare au fost agreate în detaliu cu mai mulți specialiști statisticieni din țări europene cu păduri apropiate ca structură cu cele din țara noastră și cu tradiție îndelungată în elaborarea inventarelor forestiere naționale (Elveția, Germania, Austria, Franța). Abordarea folosită în prelucrarea datelor IFN este una complexă, care permite aditivitatea datelor și care asigură că, spre exemplu, suma suprafețelor pe diverse categorii (regiuni, relief etc.) este egală cu suprafața totală la nivel de țară. Metodologia de prelucrare a datelor a rămas nemodificată din anul 2008, a fost avizată în ciclurile de inventariere precedente și publicată recent (Bouriaud, 2020).

Inventarul Forestier Național este o obligație legală definită în mod expres în Codul silvic, potrivit căruia “Autoritatea publică centrală care răspunde de silvicultură realizează continuu și actualizează periodic, la fiecare 5 ani, inventarul forestier național aliniat la standardele Uniunii Europene, în scopul obținerii de informații actualizate despre starea și evoluția vegetației forestiere de pe întreg teritoriul țării.” (art. 89 (1) din Codul Silvic, 2008).

În privința interpretării și utilizării rezultatelor noastre în scopul protejării mediului este aplicabil *principiul precauției*, potrivit căruia, în situațiile în care există prezumția unor prejudicii semnificative sau iremediabile, lipsa unor certitudini științifice nu poate fi folosită ca pretext pentru amânarea unor măsuri eficiente în scopul prevenirii degradării mediului (*Principiul nr. 15 din Declarația de la Rio privind mediul și dezvoltarea, 1992*).

2. Principiul general folosit la prelucrarea datelor IFN

În prezent, metodele moderne folosite la prelucrarea datelor din inventarele forestiere naționale folosesc toate datele disponibile, unele ca auxiliare, pentru a produce estimări corecte și cu proprietăți de aditivitate. Una din caracteristicile metodei este că suprafața teritoriului studiat este considerată cunoscută și egală cu suprafața țării, iar suprafața vegetației forestiere *nu este cunoscută*.

În această situație, volumul la hectar nu poate fi calculat ca o medie a volumului la hectar observat la nivelul suprafețelor de probă, deoarece volumul la hectar este un raport a două variabile aleatorii: volumul și suprafața. Acest lucru este mai evident în cazul în care volumul dorit este un volum asociat unei categorii specifice (regiune, relief etc.) raportat la unitatea de suprafață (hectar) a categoriei pădure.

Suprafața acoperită de vegetația forestieră poate fi determinată doar pe baza foto-interpretării. Raportul dintre suprafața acoperită de vegetația forestieră și suprafața țării este calculat cu proporția P_{VF} , al cărei estimator este dat de proporția punctelor fotointerpretate ce sunt clasificate ca vegetație forestieră:

$$\hat{P}_{VF} = \frac{N_{VF}}{N_T}, \text{ unde:} \quad (1)$$

- N_{VF} este numărul punctelor clasificate ca vegetație forestieră și

- N_T reprezintă numărul total de puncte fotointerpretate.

Varianța estimatorului $\hat{P}_{VF}$ fiind o variabilă binomială, este estimată ca:

$$\text{Var}(\hat{P}_{VF}) = \frac{\hat{P}_{VF}(1 - \hat{P}_{VF})}{N_T - 1} \quad (2)$$

și, ca urmare, varianța estimării suprafeței este:

$$\text{Var}(\hat{S}_{VF}) = \frac{\hat{P}_{VF}(1 - \hat{P}_{VF})}{N_T - 1} \cdot A_T^2 \quad (3)$$

unde A_T este suprafața totală a țării.

O estimare precisă a suprafeței pentru toate categoriile din IFN necesită o abordare integrată, combinând datele de fotointerpretare cu datele de teren. Cu toate acestea, această integrare este complexă din cauza imparității dintre cele două surse de date: fotointerpretarea oferă o clasificare punctuală, în timp ce datele de teren reflectă o realitate mai complexă, cu suprafețe de probă divizate (1-5 diviziuni), fiecare diviziune având potențialul de a reprezenta clase diferite față de cea atribuită prin fotointerpretare. De exemplu, în faza de fotointerpretare, un punct de sondaj poate fi clasificat "pădure", iar în faza de culegere a datelor de teren în aceeași locație, în cadrul suprafeței de probă pot fi cartate și alte categorii de acoperire sau folosință ale terenului în afara celei de "pădure" (e.g. drum forestier, pășune, teren agricol, curți și clădiri etc).

Abordarea care permite astfel de calcule este cea folosită atât pentru estimarea suprafețelor, cât și pentru estimarea volumului de lemn pe picior, a creșterii și a recoltei, și anume folosirea *estimatorilor eșantionajului în două faze*.

Principiul general include două faze:

- prima fază, de fotointerpretare, definește o serie de straturi și este folosită pentru a estima suprafața straturilor;
- a doua fază, de teren, prin care valorile medii per unitatea de suprafață a straturilor sunt definite pe baza observațiilor de teren.

Potrivit acestui principiu, suprafața totală acoperită de vegetația forestieră (A_{VF}) este suma suprafețelor straturilor h , obținute prin produsul pentru fiecare strat h al suprafeței stratului ($A_{VF,h}$) cu valoarea medie de acoperire a vegetației forestiere ($\underline{a}_{VF,h}$) în stratul respectiv:

$$A_{VF} = \sum_h A_{VF,h} \cdot \underline{a}_{VF,h} \quad (4)$$

Înlocuind acoperirea medie observată pe teren cu volumul mediu în stratul h ($\underline{v}_{VF,h}$), obținem volumul total:

$$V_{VF} = \sum_h A_{VF,h} \cdot \underline{v}_{VF,h} \quad (5)$$

Generalitatea acestei metode, care este folosită de toate inventarele forestiere din lume, este evidentă. Metoda de estimare a suprafețelor prezentată mai sus este doar un caz particular al acestei abordări, prin care calculul se efectuează pe un singur strat, a cărui suprafață este suprafața țării.

3. Fluxul de prelucrare al datelor IFN

Conform scopului și obiectivelor asumate, metodele și modelele de prelucrare au rămas practic identice în ciclurile de inventariere realizate până în prezent, ele fiind corespunzătoare proiectului IFN bazat pe două eșantionaje complementare, aerian și terestru, prin care au fost determinate caracteristicile suprafețelor acoperite cu pădure, ale arborilor și arboretelor, pe baze statistice.

Paradigma inventarierii pornește de la premisa că niciunul din parametrii utilizați nu este cunoscut a priori, astfel încât au fost definite încă din faza de proiect sursele de erori și modul de propagare a acestora, plecând de la selecția și amplasarea sistematică a rețelelor de inventariere, măsurarea și descrierea arborilor, determinarea atributelor, modelelor și a estimatorilor.

IFN a încheiat două cicluri consecutive de inventariere a resurselor forestiere la nivel național. Fluxul informațional a fost identic în ambele cicluri, cuprinzând două etape: de foto-interpretare (la birou) și de culegere a datelor de teren în cadrul unui sistem informatic integrat (*IFN Data collector*).

Metodologia de culegere, transmitere, stocare, validare și prelucrare a datelor este practic neschimbată pentru a asigura comparabilitatea datelor și cuprinde centralizarea datelor generate în fazele de fotointerpretare și de culegere a propriu-zisă a datelor din teren, la care se adaugă componenta de validare (conexiunea inversă), prelucrare și respectiv, generarea rezultatelor și a rapoartelor (Fig. 3.1).

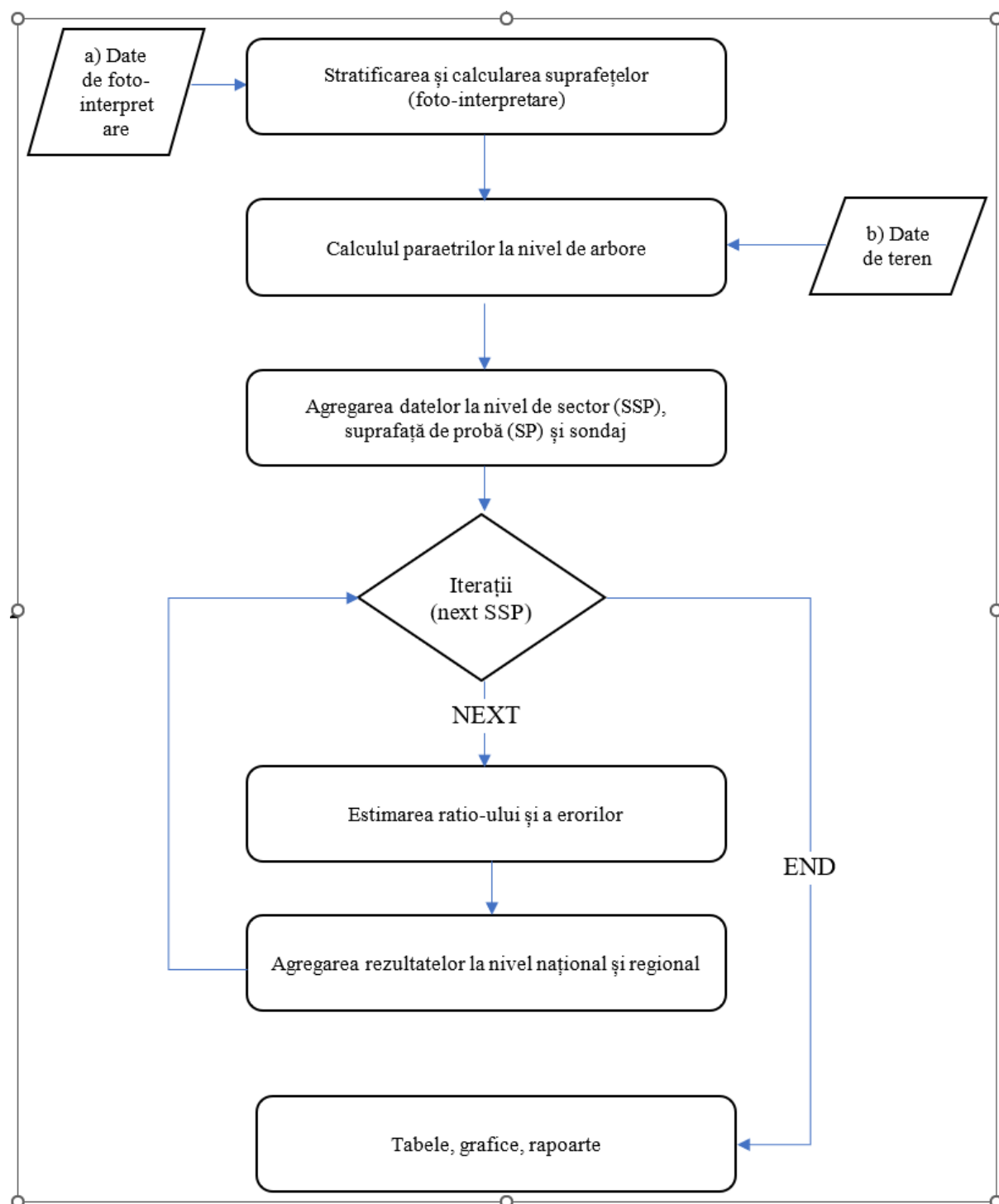


Fig. 3.1 Fluxul prelucrării datelor

4. Validarea datelor

Încă din faza de teren, datele sunt transmise în baza de date centrală după o validare semi-automatizată a concordanței acestora (e.g. praguri maxime pentru diametrul de bază și înălțime, formatul datelor, corelații între parametrii etc.). În metodologia de prelucrare a datelor IFN sunt prevăzute filtre de verificare a formatului, conformității (conținut) și uniformității (inter-comparabilitatea) datelor, eventualele erori fiind identificate și corectate prin contribuția și responsabilitatea echipelor de teren sub coordonarea colectivului de prelucrare a datelor, fiind înregistrate modificările și corecțiile solicitate în baza de date IFN.

În cadrul aplicației *IFN Data colector* formatul și conformitatea datelor sunt verificate prin intermediul a peste 50 de subrutine în privința conformității datelor.

Verificarea formatului datelor este realizată interactiv în 2 faze:

- a) la introducerea acestora în aplicația IFN Data colector, majoritatea parametrilor având un format prestabilit de tip text în cadrul unor liste conform manualului de culegere a datelor din teren. Datele de tip numeric, de exemplu diametrele și înălțimile sunt verificate în privința încadrării între limitele minime și maxime ale parametrilor dimensionali (Tabelul 4.1);
- b) la birou este verificată integral corespondența dintre datele înscrise în fișele de teren și datele din aplicația IFN Colector.

Tabelul 4.1

Limitele admise ale parametrilor dimensionali

Specia	Vmin	Vmax	DBHmi	DBHma	Hmi	Hmax
UM	m ³	m ³	cm	cm	m	m
Molid	0.010	12.445	6	100	6	47
Brad	0.009	14.846	6	100	6	52
Larice	0.008	6.107	6	70	6	40
Pin silvestru	0.011	4.581	6	60	6	38
Pin negru	0.011	3.757	6	60	6	30
Duglas	0.009	8.335	6	80	6	40
Fag	0.010	19.189	6	100	6	42
Mesteacăn	0.008	2.106	6	50	6	30
Anin alb	0.014	1.264	6	40	6	24
Salcie căpreasca	0.011	0.768	6	30	6	24
Plop tremurător	0.010	3.084	6	50	6	32
Gorun	0.011	14.448	6	100	6	38
Carpen	0.009	4.608	6	60	6	28
Frasin	0.013	4.791	6	60	6	32
Stejar	0.012	13.591	6	100	6	34
Paltin	0.010	4.032	6	60	6	36
Tei	0.011	5.621	6	70	6	32
Jugastru	0.016	2.323	6	50	6	26
Cer	0.011	7.456	6	80	6	34
Anin negru	0.010	2.750	6	50	6	30
Ulm	0.010	2.648	6	50	6	30
Salcâm	0.013	2.705	6	52	6	30
Stejar pufos	0.010	1.287	6	40	4	17
Stejar brumăriu	0.007	1.348	6	40	4	20
Plop alb si negru	0.010	4.006	6	60	6	32
Plop euramerican	0.010	3.757	6	60	6	34

Specia	Vmin	Vmax	DBHmi	DBHma	Hmi	Hmax
UM	m ³	m ³	n	x	n	
			cm	cm	m	m
Salcie sămănța	0.007	2.227	6	50	6	28
Salcie sulinari	0.007	0.663	6	34	6	23
Gârnița	0.019	3.951	8	60	6	27

Eventualele erori și avertismente sunt consemnate și transmise echipelor de teren care verifică, confirmă sau corectează, după caz. Fișierele de date validate sunt retransmise în Baza de date IFN.

În cadrul lucrărilor anterioare au fost identificați peste 1000 de arbori care depășesc valorile limită maxime ale diametrului sau înălțimii, volumul acestora nefiind în domeniul de aplicare al ecuației dublu logaritmice. O soluție corectă ar fi reprezentată de realizarea unor măsurători directe pe teren pentru a determina aplicabilitatea modelului matematic și pentru determinarea unor factori de corecție sau actualizarea modelelor dendrometrice.

Arborii care depășesc diametrul limită au o formă a fusului mai conică, care ar determina o supraestimare sistematică a volumului real, dacă se aplică ecuațiile de volum. Pentru acești arbori se aplică un filtru limită, prin care diametrul folosit pentru a calcula volumul este egal cu diametrul maxim admis de modelul matematic. Înălțimea nu suferă nicio corecție, rămânând cea măsurată pe teren.

Pentru analiza propriu-zisă, datele colectate și validate în diferite faze ale IFN sunt stocate sub forma lor ne-agregată și nealterată din baza de date. Agregarea datelor este realizată și verificată prin intermediul unor aplicații specializate. Rezultatele sunt exportate în fișiere conținând tabele cu două intrări pentru fiecare temă și separat pentru categoriile: pădure (A), alte terenuri cu vegetație forestieră (B) și arbori din afara pădurii (C), publicate online pe site-ul roifn.ro.

Lista preconizată a indicatorilor rezultați din analiza datelor cuprinde un număr provizoriu de peste 130 de indicatori (Anexa nr. 1), iar planificarea și actualizarea acestora se va realiza în funcție de eventualele solicitări ale beneficiarului rezultatelor IFN, respectiv autoritatea publică centrală care răspunde de silvicultură, dar și de obligațiile internaționale asumate de România (e.g. criteriile și indicatorii dezvoltării sustenabile, Forest Europe, 2020).

Indicatorii sunt clasificați în funcție de stabilitatea lor în timp, respectiv de susceptibilitatea de a se modifica semnificativ între cicluri de inventariere succesive. Suprafața totală sau volumul total al pădurilor sunt exemple de indicatori stabili deoarece se modifică nesemnificativ în intervalul dintre două inventarii succesive (5 ani). În categoria indicatorilor variabili putem încadra recolta de lemn, aceasta fiind dependentă de amplasarea în timp și spațiu a extragerilor de arbori. Sub-indicatorii reprezintă subdiviziuni ale indicatorilor, e.g. indicatorul A.1.0.2 *Suprafața pădurii pe forme de relief* are ca sub-indicatori *terenuri acoperite cu arbori*, *terenuri destinate împădurii*, și *alte terenuri goale*.

Erorilor asociate indicatorilor de caracterizare ai pădurii, la nivel național și regional, sunt impuse prin proiectul de eșantionaj pentru **indicatorii stabili (suprafața, volumul și creșterea)**, după cum urmează:

- 1% pentru suprafață la nivel național și 5% la nivel de regiune și formă de relief;
- 2% pentru volumul total la nivel național.

Pentru categoriile alte terenuri cu vegetație forestieră și arbori din afara pădurii, precum și pentru indicatorii variabili, cum este de exemplu recolta de lemn, și sub-indicatori, erorile pot fi mai mari, variind în raport cu volumul datelor și pentru care este recomandată prudență în ceea ce privește interpretarea lor.

5. Estimarea suprafețelor

Fiecare regiune istorică este separată în două zone, în funcție de desimea rețelei IFN terestre (2x2 km la câmpie și 4x4 km la deal și munte). Zonele sunt separate în straturi, definite în funcție de calculul cerut: statistici pentru toată vegetația forestieră, numai pentru pădure etc. Suprafața straturilor este calculată în funcție de datele de foto-interpretare:

$$S^{\wedge}_h = S \cdot p_h, \text{ unde: } (6)$$

- p_h este proporția punctelor din rețeaua aeriană care aparțin categoriei k în stratul h și este un estimator al proporției suprafețelor categoriei k în h , S fiind cunoscută.

De exemplu, suprafața pădurii $S^{\wedge}_{pad}$ este estimată la valoarea de 7037606,57 ha pe baza proporției numărului de sondaje fotointerpretate și identificate ca pădure (292670) raportat la numărul total de sondaje la nivel național (953498), rezultând procentul ocupat de pădure de 30,69% din suprafața totală a țării (23839100 ha), cu o eroare de eșantionare de $\pm 1,03\%$ ($p=0,95$). Eroarea de eșantionare admisă pentru suprafața totală a vegetației forestiere este 5% la nivel regional și 1% la nivel național.

Fiecare sondaj dintr-o regiune este clasificat într-un strat și trebuie să fie îndeplinite două condiții: să nu fie niciun strat cu suprafața nulă și fiecare sondaj să nu fie alocat decât unui singur strat.

Deoarece unitățile secundare de inventariere (suprafețele de probă) sunt cartografiate și împărțite în fracțiuni (sectoare), procentul de suprafață al unităților primare ocupate de categoria k este calculat după formula:

$$P^{\wedge}_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^{M_i} \sum_{l=1}^{L_{ij}} \delta_{ijl} \cdot a_{ijk}}{\sum_{l=1}^{L_{ij}} M_i \cdot a_0}, \text{ având } \sum_{l=1}^{L_{ij}} a_{ijl} = a_0, \quad (7)$$

unde:

- M_i reprezintă numărul de unități secundare,

- L_{ij} reprezintă numărul de fracțiuni l din suprafața j în sondajul i ,

- δ este o variabilă indicatoare, care ia valoarea 1 dacă fracțiunea l este în categoria k , respectiv 0 în oricare altă situație,

- a_0 reprezintă suprafața cercului mare al suprafeței de probă (500 m²).

Procentul de acoperire al categoriei k este dat de media procentelor pe unitățile primare din stratul h , N_h fiind numărul total de unități primare din strat h :

$$\underline{p}^{\wedge}_{ki} = \frac{\sum_{i=1}^{N_h} p_{hki}}{N_h} \quad (8)$$

În fine, suprafața ocupată de categoria k în regiunea r este calculată astfel:

$$S^{\wedge}_{kr} = S^{\wedge}_{k,2 \times 2} + S^{\wedge}_{k,4 \times 4} = S_{2 \times 2} \sum_h^H w^{\wedge}_{2 \times 2, h} \underline{p}^{\wedge}_{k, 2 \times 2, h} + S_{4 \times 4} \sum_h^H w^{\wedge}_{4 \times 4, h} \underline{p}^{\wedge}_{k, 4 \times 4, h} \quad (9)$$

Unde:

$S^{\wedge}_{k, 2 \times 2}$ și $S^{\wedge}_{k, 4 \times 4}$ reprezintă suprafața ocupată de categoria k în zonele de 2x2km și 4x4km,

$w^{\wedge}_{2 \times 2, h}$ și $w^{\wedge}_{4 \times 4, h}$ reprezintă ponderea stratului h în zona 2x2km, respectiv 4x4km.

Ponderarea straturilor este diferită de la o zonă la alta și rezultă dintr-un calcul specific realizat pe baza fotointerpretării realizate pe rețeaua de 500x500m din faza I. Pentru zona de 2x2 km, de exemplu, ponderea este:

$$w^{\wedge}_{2 \times 2, h} = \frac{n'_h}{n'_T}, \quad (10)$$

n'_h fiind numărul de puncte din rețea care cad în stratul h în zona 2x2km, și n'_T numărul total de puncte din zona 2x2km.

5.1. Prezentarea straturilor statistice constituite

Valorile indicatorilor de caracterizare au fost obținute prin aplicarea metodei cunoscută sub denumirea de *estimarea în două faze pentru stratificare*.

Această metodă combină eșantionajele realizate prin eșantionajul aerian și prin eșantionajul terestru, pentru a beneficia de avantajele fiecăruia (Cochran, 1977; Milesu and Alexe, 1983; Mandallaz, 2008; Mandallaz, 2012). Eșantionajul aerian este bazat pe o rețea de puncte de fotointerpretare foarte deasă, având aproape un milion de puncte. Precizia obținută prin această

rețea este foarte ridicată, dar nu are informații decât pentru un număr foarte mic de indicatori. Pentru a prezenta situațiile unor indicatori la nivel de arbore, de arboret, de stațiune etc. sunt necesare datele obținute prin măsurătorile de teren. Metoda folosită este singura metodă ce permite combinarea informațiilor din ambele rețele, cea aeriană și cea terestră.

În aplicarea metodei se are în vedere faptul că rapoartele elaborate trebuie să prezinte situații la nivel de regiune și de zone de relief. Aceste constrângeri impun realizarea calculului la nivelul zonelor rezultate din intersectarea limitelor dintre regiuni și zone de relief. În Figura 5.1 se prezintă limitele regiunilor diferențiate (Transilvania, Țara Românească și Moldova), iar în Figura 5.2 se prezintă limitele zonelor de relief (câmpie, deal și munte) definite potrivit Hărții geomorfologice elaborată de Institutul de Geografie al Academiei Române.

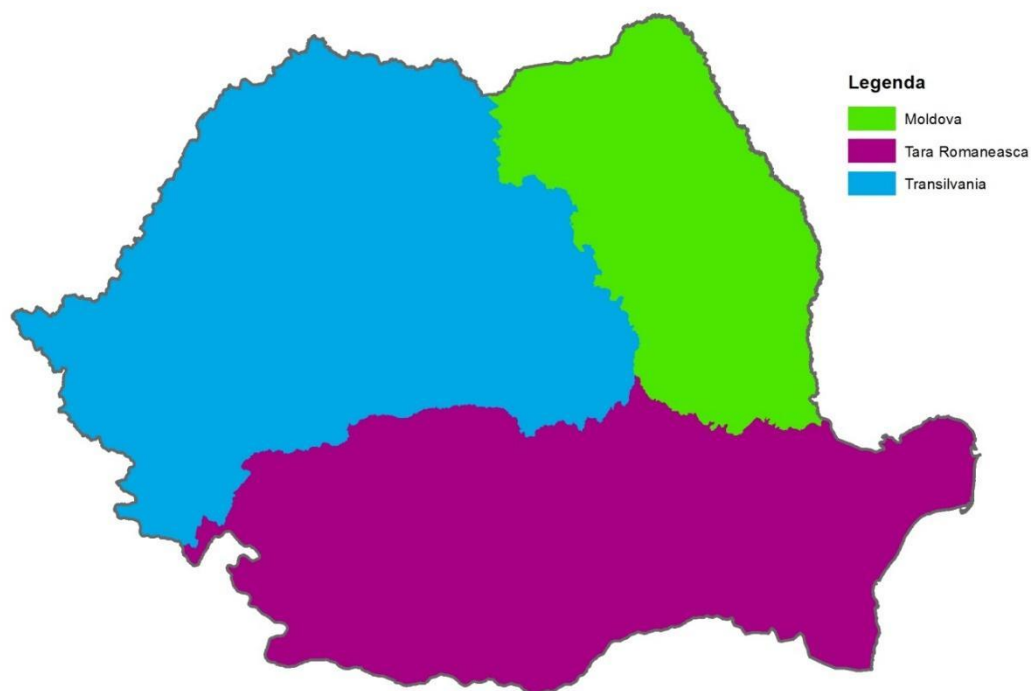


Figura 5.1. Harta regiunilor diferențiate pentru calculul indicatorilor

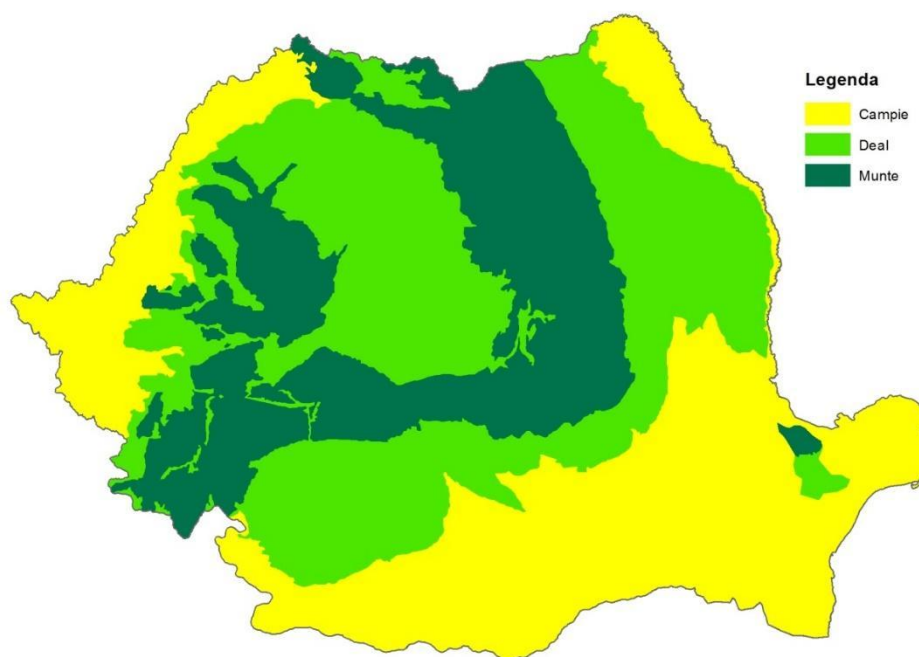


Figura 5.2. Harta zonelor de relief diferențiate pentru calculul indicatorilor

Intersectarea limitelor regiunilor cu cele ale zonelor de relief au dus la crearea a 9 zone cartate, ale căror limite au fost digitizate pentru a determina prin GIS mărimea lor (Figura 5.3).

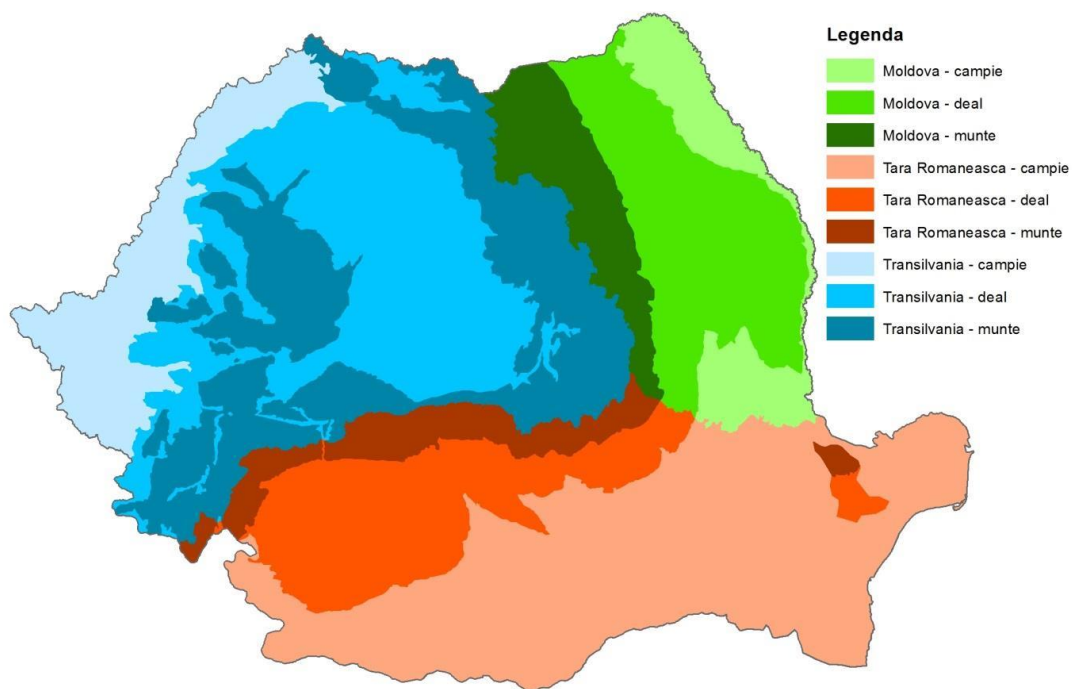


Figura 5.3. Harta zonelor diferențiate pentru calculul indicatorilor

Definiția straturilor de calcul statistic se bazează în mod exclusiv pe fotointerpretarea punctelor din rețea 500x500 m.

Mărimea straturilor a fost estimată în baza fotointerpretării ca proporția numărului de puncte din rețeaua 500x500 m care sunt în vegetația forestieră.

6. Agregarea datelor IFN

6.1. La nivel de suprafață de probă

Determinarea volumelor arborilor se realizează prin aplicarea metodei ecuației de regresie bifactorială pentru volumul arborilor (Giurgiu *et al*, 2004).

Volumul unui arbore (v) este dat de ecuația de regresie bifactorială:

$$\log v = a_0 + a_1 \log d + a_2 \log^2 d + a_3 \log h + a_4 \log^2 h, \text{unde} \quad (11)$$

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 , reprezintă coeficienții de regresie pentru specia respectivă (Giurgiu, 2004).

d – diametrul arborelui;

h – înălțimea arborelui stabilită cu ajutorul ecuației de regresie a înălțimilor în raport cu diametrul.

Primul pas este obținerea unui cuplu diametru/înălțime pentru fiecare arbore, pentru care s-a aplicat ecuația de regresie pentru determinarea volumului arborelui pe picior prezentată în lucrarea Metode și tabele dendrometrice (Giurgiu *et al*, 2004), care are valori ale coeficienților de regresie diferite pentru fiecare din cele 43 de specii forestiere pentru care au fost stabiliți și sunt prezentați în Tabelul 6.1.

Eroarea modelului matematic pentru determinarea volumului unui arbore este cuprinsă între ± 14 - 16% pentru o probabilitate de acoperire de 95% (Giurgiu *et al*, 2004). În cazul aplicării modelului pentru un număr foarte mare de arbori, conform legii numerelor mari, teoremă din teoria probabilităților care descrie rezultatele unui experiment repetat de mai multe ori, rezultatul mediu obținut se apropie tot mai mult de valoarea adevărată, cu cât măsurătorile se repetă de mai multe ori. Aceasta se explică prin faptul că abaterile întâmplătoare se compensează reciproc.

Tabelul 6.1.

Valorile coeficienților din ecuația de regresie bifactorială (Giurgiu *et al*, 2004)

Nr. crt.	Specia	Coeficienții de regresie				
		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
1	Molid*	-4,18161	2,08131	-0,11819	0,70119	0,148181
2	Brad*	-4,46414	2,19479	-0,12498	1,04645	-0,016848
3	Larice*	-4,59667	2,26066	-0,13256	1,02582	0,007491
4	Pin silvestru*	-3,84672	1,82103	-0,04107	0,35677	0,334910
5	Duglas verde*	-4,29910	1,90710	0,02841	1,01819	-0,055894
6	Pin strob*	-4,36966	1,55475	0,14981	1,40295	-0,157352
7	Pin negru*	-4,01698	1,96342	0,01241	0,57848	0,094783
8	Fag	-4,11122	1,30216	0,23636	1,26562	-0,079661
9	Paltin de munte	-4,06012	1,81478	0,07283	0,76688	0,006155
10	Scoruș pășăresc	-4,31485	2,58064	-0,21693	0,55092	0,025773
11	Salcie căprească	-4,01470	1,72202	0,08639	0,85987	-0,009759
12	Mesteacăn	-4,16999	2,27038	-0,21540	0,30765	0,368258
13	Anin alb	-3,24510	1,71111	0,08573	-0,43385	0,561237
14	Plop tremurător	-4,22131	1,76256	0,05900	1,04105	-0,009430
15	Măr pădureț	-3,50736	1,91195	0,02764	-0,28831	0,432403
16	Cireș	-3,59371	1,95047	0,04086	-0,12835	0,374948
17	Gorun	-4,17315	2,27662	-0,09084	0,57596	0,093429
18	Carpen	-4,23139	2,15204	-0,00988	0,59652	0,112810
19	Frasin	-3,53048	1,26636	0,31105	0,52368	0,082743
20	Tei	-4,80605	1,92424	0,02214	1,96408	-0,452969
21	Stejar	-4,13329	1,88001	0,04880	0,95371	-0,063638
22	Paltin de câmp	-3,48668	1,00128	0,40669	0,74812	-0,013734
23	Jugastru	-3,22096	1,58409	0,13567	-0,08677	0,313054
24	Cer	-3,68707	2,03534	-0,06747	-0,15871	0,500372
25	Gârniță	-4,25185	2,03370	-0,02026	0,93727	-0,022033
26	Stejar brumăriu	-4,13153	1,41818	0,02986	1,43414	0,027620
27	Stejar pufos	-3,39068	1,03989	0,33807	0,50014	0,232026
28	Stejar roșu	-3,60162	2,03988	0,00783	-0,13348	0,337740
29	Nuc negru	-4,13741	2,31493	-0,07492	0,52050	0,055740
30	Arțar tătarec	-3,45646	1,94746	0,01879	-0,16420	0,342355
31	Mălin	-3,96202	1,98138	0,02542	0,43872	0,130176
32	Anin negru	-4,14953	1,73468	0,09365	0,92817	0,000133
33	Ulm	-4,49118	2,18244	-0,10324	1,20293	-0,124978
34	Păr pădureț	-3,96965	2,11784	-0,03021	0,32199	0,127335
35	Vișin turcesc	-3,39611	1,79257	0,08424	-0,33765	0,467947
36	Salcâm	-3,37551	1,80802	0,02827	-0,33554	0,512150
37	Plop alb și plop negru	-3,79561	1,91262	0,00850	0,09525	0,365131
38	Plopi euramerici neselecționați	-3,38220	1,34234	0,15275	-0,09106	0,522973
39	Plopi euramerici clona R16	-3,80714	1,80591	0,10871	0,07110	0,357580
40	Plopi euramerici clona I 214	-3,56906	1,48741	0,22489	0,40494	0,096431
41	Plopi euramerici clona Sacrau 79	-3,47738	2,00583	0,04188	-0,49111	0,498210
42	Salcie (sămânța)**	-4,46841	2,10108	-0,13861	0,83031	0,212467
43	Salcie (sulinari)***	-4,19326	1,58473	0,01938	0,93588	0,144451

Notă. *Volumul se referă numai la fusul arborelui. **Se aplică și arborilor din plantații și lăstari. ***Diametrul va fi măsurat la 0,3 m de la inserție

Volumul rezultat prin aplicarea ecuației de regresie se referă, pentru foioase, la volumul suprateran al arborelui întreg (fus și crăci), iar în cazul rășinoaselor numai la volumul fusului. Pentru compensație, la speciile de rășinoase au fost utilizate tabelele pentru determinarea volumului crăcilor, ca procent din volumul fusului, în raport cu diametrul de bază al arborilor (Giurgiu *et al*, 1997, 2004) (Tabelul 6.2). Volumul crăcilor astfel obținut s-a adăugat la volumul fusului, obținându-se în acest fel volumul total suprateran al acestuia (fus și crăci).

Tabelul 6.2

Volumul total al crăcilor (%) (După Giurgiu *et al*, 1997, 2004)

Diametrul de bază (cm)	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	76	84	92	100	Media
Molid	7,7	5,7	4,9	4,6	4,5	4,5	4,4	4,4	4,3	4,3	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4,0	3,9	3,8	3,7	4,4
Brad	7,4	6,1	6,0	5,9	5,9	5,9	5,8	5,8	5,7	5,7	5,6	5,6	5,5	5,5	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5,7

În lipsa unui model matematic, în vederea operaționalizării calcului volumului crăcilor, pe baza valorilor din tabelul anterior a fost reconstituită o ecuație echivalentă de forma:

$$y = a * x^b \quad (12)$$

unde y este volumul crăcilor ca procent din volumul fusului;

x – diametrul de bază în cm;

a și b – coeficienți de regresie, respectiv pentru molid $a = 9.5961038317417$

și $b = -0.201471002350782$ ($R^2 = 0.96$), iar pentru brad $a = 8.37880660344535$ și $b = -0.103399357383943$ ($R^2 = 0.85$).

Excepții de la modelul general de calcul al volumului îl reprezintă următoarele cazuri particulare:

a) în cazul arborilor de dimensiuni foarte mari, care depășesc diametrele și înălțimile pentru care sunt calculate volumele arborilor în tabelele de cubaj din lucrarea Metode și tabele dendrometrice (Giurgiu *et al*, 2004) pentru fiecare specie se aplică un filtru pentru diametre și înălțimi măsurate la nivelul diametrelor și înălțimilor maxime din tabelele dendrometrice, pentru a se evita erorile de estimare mari.

b) arborii cu vârful sau cu trunchiul rupt creează o dificultate pentru calculul volumului, deoarece utilizarea în calcul a înălțimii măsurate (la nivelul rupturii) ar duce la o subestimare a volumului arborelui. Pentru a evita această subestimare, în teren, în cazul arborilor eșantion cu vârful sau trunchiul rupt, se măsoară și se înregistrează în computerul de teren atât înălțimea măsurată h_t (înălțimea părții rămase pe picior a arborelui la data efectuării măsurătorii) cât și înălțimea totală h_e estimată a arborelui în raport cu ceilalți arbori din arboret, din aceeași specie, cu aceeași proveniență și diametru de bază. Înălțimii estimate îi corespunde un volum total, în funcție de care, proporțional cu înălțimea măsurată, s-a estimat volumul rămas pe picior al arborelui rupt.

Volumul corectat V_{cor} este calculat ca produs dintre volumul complet V_{com} și k_r , reprezentând un coeficient de reducere a volumului, astfel încât să exprime o valoare cât mai apropiată de volumul real al fusului rămas pe picior în funcție de h_t și h_e (Fig 6.1).

$$V_{cor} = V_{com} * k_r, \quad (13)$$

$$k_r = 1 - \left(\frac{h_e - h_t}{h_e} \right)^3, \text{ unde} \quad (14)$$

V_{cor} reprezintă volumul corectat,

V_{com} - volumul arborelui determinat prin ecuația de regresie bifactorială,

k_r – factor de corecție,

h_e – înălțimea totală estimată a arborelui,

h_t – înălțimea părții rămasă pe picior a arborelui la data efectuării măsurătorii.

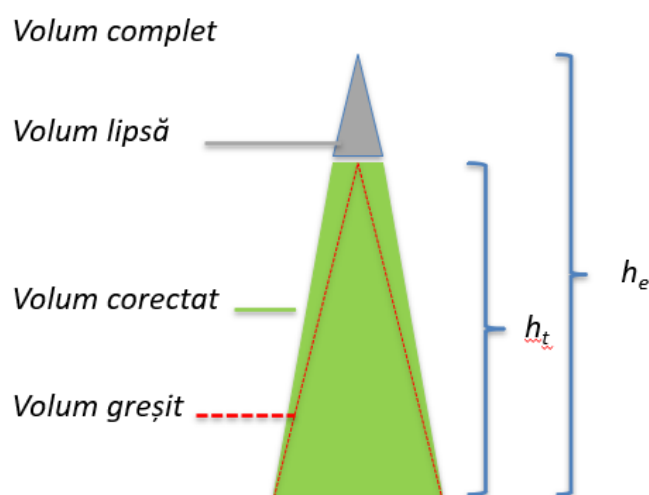


Fig. 6.1 Determinarea volumului în cazul arborilor cu vârful rupt (h_t reprezintă înălțimea totală măsurată, h_e înălțimea estimată)

În situațiile în care nivelul rupturii este mai mare de 1/3 de la vârf, volumul vârfului are o proporție medie de 4-5%, astfel încât poate fi corectat prin intermediul factorului de corecție k_r .

Dacă nivelul rupturii arborelui este mai mare de 1/3 de la vârf, volumul va fi corectat pe baza informațiilor privind volumele exprimate în procente, cumulate pe porțiuni de-a lungul fusului la arbori din literatura de specialitate (Giurgiu, Decei, 1997). De exemplu, pentru un arbore de molid rupt la jumătatea trunchiului, volumul corectat V_{cor} reprezintă 78,8% din volumul total V_{com} .

c) în cazul arborilor morți cu mult timp în urmă, dar care au rămas pe picior, s-a considerat că majoritatea crăcilor nu mai există, ele regăsindu-se în lemnul mort căzut la pământ. Astfel, volumul arborelui mort corespunde cu volumul estimat al fusului arborelui atât în cazul foioaselor cât și al rășinoaselor. În cazul arborilor morți cu mult timp în urmă pentru care specia nu a mai putut fi

determinată cu certitudine, pentru calculul volumului pe picior s-a folosit formula speciei predominante în suprafața de probă.

d) pentru speciile forestiere care nu au încă stabiliți coeficienți de regresie, în vederea calculării volumului arborelui se fac asimilări cu speciile cele mai asemănătoare din punct de vedere al formei fusului, prezentate în Tabelul 6.3.

Tabelul 6.3.

Asimilările făcute între speciile forestiere pentru calculul volumului arborelui

Nr. crt.	Grupa de specii	Specia	Specia asimilată
1	Rășinoase	Brad	Brad
2		Brad argintiu	Brad
3		Brad de Caucaz	Brad
4		Brad de Grecia	Brad
5		Brad de Spania	Brad
6		Brad uriaș (de Vancouver)	Brad
7		Alți brazi	Brad
8		Chiparos de baltă	Pin strob
9		Chiparos de California	Pin negru
10		Duglas	Duglas
11		Ienupăr de Virginia	Pin negru
12		Larice	Larice
13		Larice japonez	Larice
14		Molid	Molid
15		Molid argintiu	Molid
16		Molid de Caucaz	Molid
17		Molid de Sitka	Molid
18		Molid sârbesc	Molid
19		Alți molizi	Molid
20		Pin bancsian	Pin negru
21		Pin contorta	Pin negru
22		Pin galben	Pin strob
23		Pin negru	Pin negru
24		Pin negru de Banat	Pin negru
25		Pin silvestru	Pin silvestru
26		Pin strob	Pin strob
27		Zâmbru	Pin negru
28		Alți pini	Pin negru
29		Tisă	Pin negru
30		Tuie	Pin negru
31		Tuie, biota	Pin negru
32		Țuga	Pin negru
33		Diverse rășinoase exotice	Pin negru
34	Fag	Fag	Fag
35		Fag oriental	Fag
36	Cvercinee	Cer	Cer
37		Gârniță	Gârniță

Nr. crt.	Grupa de specii	Specia	Specia asimilată
38		Gorun	Gorun
39		Gorun balcanic	Gorun
40		Gorun transilvănean	Gorun
41		Stejar brumăriu	Stejar brumăriu
42		Stejar pedunculat	Stejar
43		Stejar pufos	Stejar pufos
44		Stejar roșu	Stejar roșu
45		Alți stejari	Stejar
46	Foioase tari	Alun turcesc	Stejar
47		Anin alb	Anin alb
48		Anin negru	Anin negru
49		Arțar american	Arțar tătarăsc
50		Arțar american argintiu	Arțar tătarăsc
51		Arțar tătarăsc	Arțar tătarăsc
52		Cais	Măr pădureț
53		Carpen	Carpen
54		Castan	Gorun
55		Castan porcesc	Gorun
56		Catalpa	Gorun
57		Cărpiniță	Carpen
58		Cireș pădureț	Cireș
59		Corcoduș	Păr pădureț
60		Dud alb	Stejar
61		Dud negru	Stejar
62		Frasin american	Frasin
63		Frasin comun	Frasin
64		Frasin de câmp/luncă	Frasin
65		Frasin de Pensilvania	Frasin
66		Frasin pufos	Frasin
67		Glădiță	Salcâm
68		Gutui	Măr pădureț
69		Jugastru	Jugastru
70		Jugastru de Banat	Jugastru
71		Liriodendron	Jugastru
72		Magnolie	Jugastru
73		Mălin	Mălin
74		Mălin american	Mălin
75		Măr pădureț	Măr pădureț
76		Mesteacăn	Mesteacăn
77		Mesteacăn pufos	Mesteacăn
78		Mojdrean	Frasin
79		Nuc	Nuc negru
80		Nuc american cenușiu	Nuc negru
81		Nuc negru	Nuc negru
82		Paltin de câmp	Paltin de câmp
83		Paltin de munte	Paltin de munte
84		Paulovnia	Salcie
85		Păr pădureț	Păr pădureț
86		Piersic	Măr pădureț
87		Platan	Paltin de câmp
88		Prun	Păr pădureț

Nr. crt.	Grupa de specii	Specia	Specia asimilată
89		Salcâm	Salcâm
90		Salcâm japonez	Salcâm
91		Scoruș	Scoruș
92		Scoruș de munte	Scoruș
93		Sorb	Scoruș
94		Alți scoruși	Scoruș
95		Sâmbovină	Scoruș
96		Ulm de câmp	Ulm
97		Ulm de munte	Ulm
98		Ulm de Turkestan	Ulm
99		Velniș	Ulm
100		Vișin turcesc	Vișin turcesc
101		Alte foioase tari	Gorun
102		Diverse foioase tari exotice	Gorun
103	Foioase moi	Cenușer	Gorun
104		Oțetar roșu	Gorun
105		Plop alb	Plop alb și negru
106		Plop cenușiu	Plop alb și negru
107		Plop euramerican I 214	I214
108		Plop euramerican R16	R16
109		Plop euramerican Sacrau	Sacrau
110		Alți plopi selecționați	Sacrau
111		Plop negru	Plop alb și negru
112		Plop tremurător	Plop tremurător
113		Salcie albă (lăstari)	Salcie (sămânță)
114		Salcie albă (sămânță)	Salcie (sămânță)
115		Salcie albă (sulinari)	Salcie (sulinari)
116		Salcie căprească	Salcie căprească
117		Salcie plesnitoare	Salcie (sămânță)
118		Alte sălcii	Salcie (sămânță)
119		Sălcioară	Salcie
120		Tei argintiu	Tei
121		Tei cu frunza mare	Tei
122		Tei pucios	Tei
123		Alte foioase moi	Plop alb și negru
124		Diverse foioase moi exotice	Plop alb și negru

Datele individuale ale arborilor eșantion sunt agregate la nivel de suprafață de probă și raportate la hectar folosind o ponderare (factor de extrapolare) variabilă. Deoarece arborii sunt măsurați în fiecare suprafață de probă în două cercuri concentrice cu razele de 7,98 și 12,62 m, respectiv cu suprafețele de 200 m² și de 500 m², factorul de extrapolare este specific și proporțional cu suprafața cercului din care arborele eșantion face parte. Acest lucru este necesar pentru a reflecta probabilitatea de selectare a unui arbore. Pentru arborele i din suprafața de probă j , factorul de extrapolare p_{ij} se calculează astfel:

a) pentru arborii din cercul mic (cu raza de 7,98 m, suprafața de 200 m²)

$$p_{ij} = 1 \text{ ha} / 0,02 \text{ ha} = 50 \quad (15)$$

b) pentru arborii din cercul mare (cu raza de 12,62 m, suprafața de 500 m²)

$$p_{ij} = 1 \text{ ha} / 0,05 \text{ ha} = 20 \quad (16)$$

Ponderea este diferită în cazul suprafețelor de probă care nu sunt situate în întregime în interiorul vegetației forestiere, fiind necesară o corecție. Aceasta corecție necesită determinarea procentului din suprafața de probă (și din fiecare cerc în parte) care este în interiorul vegetației forestiere, procent care este determinat în urma măsurătorilor de teren. Funcțiile de densitate sunt calculate prin raportarea valorilor la suprafața cercului căruia îi aparțin. De exemplu, dacă suprafața de probă este parțial (e.g. 50%) în afara vegetației forestiere și restul suprafeței în pădure (restul de 50%), suprafața de probă se subdivide în două sectoare, pe limita fizică dintre cele două categorii de vegetație, din care rezultă o corecție $p_k = 0,5$ aplicată funcției de densitate.

6.2. La nivel de sondaj

Agregarea datelor la nivel de sondaj se face prin însumarea mediilor la nivel de suprafață de probă și împărțirea sumei obținute la numărul suprafețelor de probă din sondajul respectiv:

$$\bar{a}_{k,h,i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_j} a_{k,h,i,j}}{n_j} \quad (17)$$

unde $\bar{a}_{k,h,i}$ este media la nivelul sondajului i ,

n_j - numărul de suprafețe de probă j din sondajul j ;

$\bar{a}_{k,h,i,j}$ - media la nivel de suprafață de probă j .

6.3. La nivel de strat

Agregarea datelor la nivel de strat se face prin însumarea mediilor la nivel de sondaj și împărțirea sumei astfel obținute la numărul sondajelor din stratul respectiv:

$$\widehat{\bar{a}}_{k,h} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} \bar{a}_{k,h,i}}{n_h} \quad (18)$$

unde $\bar{a}_{k,h}$ este media la nivelul stratului h ,

$\bar{a}_{k,h,i}$ este media la nivelul sondajului i ,

n_h -numărul de sondaje din stratul h ;

$\bar{a}_{k,h,i}$ - media la nivelul sondajelor i din stratul h .

7. Estimarea erorilor

Formula valorilor la nivel de regiune, prezentată mai sus, permite o estimare optimizată a erorilor, în care fiecare sursă de eroare (erori de eşantionaj) este clar definită. Calculul varianţei estimărilor de suprafaţa este realizat separat, pentru fiecare strat h din fiecare zonă (deoarece sunt independente).

Pentru o zonă dată (e.g. 2×2 km), varianţa este calculată după formula:

$$V(S^{\wedge}_{kr}) = S^{\wedge 2}_{k,2 \times 2} \quad (19)$$

unde

$$V(\underline{p}^{\wedge}_{hk}) = \sum_{i=1}^{N_h} \quad (20)$$

Estimarea erorilor este realizată pentru fiecare zonă şi strat şi Ține cont de faptul că suprafaţa straturilor este estimată prin eşantionaj.

8. Estimarea valorilor totale (volumul, creşterea, recolta)

Valorile totale sunt calculate folosind aceeaşi abordare ca şi cea folosită pentru determinarea suprafeţelor: un total este produsul dintre o suprafaţă şi valoarea medie în această suprafaţă. Dificultatea constă în definirea acelei suprafeţe şi în însumarea valorilor totale pe suprafeţe, pentru a obţine un total la un nivel geografic dat (regiune, ţară). Suprafeţele straturilor sunt estimate prin eşantionajul aerian, iar valorile medii ale straturilor sunt estimate prin eşantionajul terestru. Media la nivel de strat este calculată ca medie aritmetică simplă pentru toate punctele i din reţeaua terestră care aparţin straturilor h , deoarece punctele au aceeaşi pondere:

$$\underline{y}^{\wedge}_{hk} = \frac{\sum_i^{N_h} \underline{y}_{hki}}{N_h}, \quad (21)$$

având $\underline{y}_{hki} = \frac{\sum_j^{M_i} y_{hkij}}{M_i}$ la nivel de unitate primară de eşantionaj.

8.1. Estimarea volumului de lemn pe picior

Ca şi în cazul estimărilor de suprafaţă, estimările valorilor totale de volum sunt efectuate separat pe regiuni, zone şi straturi. Pentru fiecare regiune, estimările sunt realizate la nivel de zonă şi de strat, în parte. Aşadar, valoarea totală pentru o categorie k într-o regiune dată este calculată ca o sumă, după formula:

$$Y^{\wedge}_k = \sum_z^Z S_z \left[\sum_h^{H_z} w^{\wedge}_{zh} \underline{y}^{\wedge}_{zhk} \right] \quad (22)$$

unde:

- z este zona cartografiată (în funcţie din desimea reţelei terestre),
- h - stratul,
- H_z - numărul total de straturi în zona z ,
- w_{zh} - ponderea stratului h în zona z .

Volumul mediu în categoria k la nivel de sondaj i este calculat folosind:

$$\underline{v}_{ki} = \frac{\sum_{j=1}^{M_i} \sum_{l=1}^{L_{ij}} v_{ijlk}}{M_i}, \text{ având } v_{ijlk} = \sum_{t \in L_{ij}} V_t \quad (23)$$

unde:

v_{ijlk} reprezintă volumul la hectar pentru sectorul L_{ij} din suprafaţa de probă j în sondajul i pentru categoria k ,

V_t - volumul (raportat la hectar) al arborelui t dacă arborele în sectorul de suprafaţa de probă l este eligibil în categoria k , altfel $V_t = 0$.

M_i - numărul de suprafeţe de probă în sondajul i .

La nivel de strat, volumul mediu este calculat după formula:

$$\underline{v}_{hk} = \frac{\sum_{i=1}^{N_h} \underline{v}_{ki}}{N_h} \quad (24)$$

unde N_h reprezintă numărul de sondaje din stratul h .

Reamintim faptul că sondajele constituie unitatea primară de eşantionaj în cadrul unui inventar în care suprafețele de probă sunt grupate, și ca atare nu pot fi considerate independente.

Volumul pentru fiecare strat h este calculat folosind $v^{^}_{kh} = A^{^}_h \times \underline{v}_{hk}$, $A^{^}_h$ fiind estimarea suprafeței stratului h .

Valorile totale la nivel de regiune sunt obținute în mod direct prin însumarea valorilor calculate la nivel de fiecare strat în regiunea respectivă:

$$\underline{v}_k = \sum_h^H v^{^}_{hk} \quad (25)$$

Volumul total la nivel de țară este suma valorilor calculate la nivel de regiune.

8.2. Estimarea creșterii curente anuale

Determinarea creșterii curente se va realiza prin metoda inventarierilor succesive, având vedere schimbările care pot surveni într-o perioadă de observație, sunt identificați arborii care sunt inventariați la începutul (a) și la sfârșitul perioadei (b), arborii subțiri (s) și arborii recoltați sau dispăruți (r) (Fig. 8.1).

Creșterea curentă este calculată prin procedeul inventarierilor succesive, al cărei bilanț este de forma:

$$I_v(m^3) = Vb - Va + Vr - Vs + Ee \quad (26)$$

unde I_v reprezintă creșterea curentă brută din perioada de observație,

- Vb - volumul arborilor la sfârșitul perioadei (m^3),
- Va – volumul arborilor la începutul perioadei,
- Vr – volumul arborilor recoltați sau dispăruți în timpul perioadei,
- Vs – volumul arborilor inventariați la sfârșitul perioadei, dar care la inventarierea precedentă nu existau sau aveau diametre mai mici decât limita inferioară de măsurare,
- Ee - eroarea de estimare (m^3).

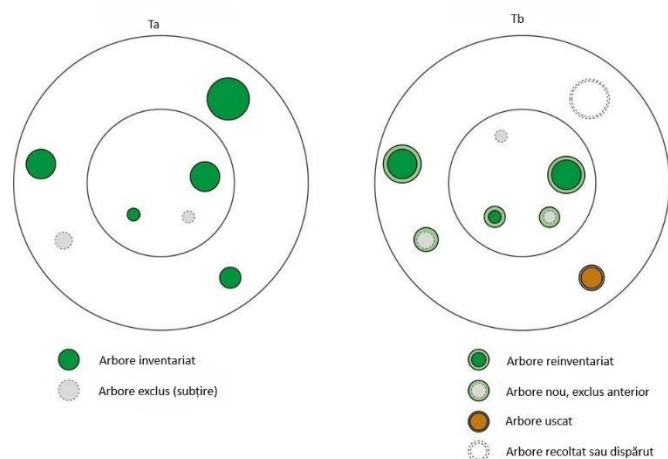


Fig. 8.1 Dinamica statutului arborilor eșantion la începutul (T_a) și sfârșitul (T_b) perioadei de observație, exemplificată într-o suprafață de probă IFN. Arborii eșantion sunt reprezentați cu cercuri a căror dimensiune indică diametrul de bază, iar culoarea indică statutul în momentele de la începutul (T_a) și sfârșitul (T_b) perioadei de observație.

Creșterea arborilor a fost abordată diferențiat în funcție de statutul fiecărui arbore (i.e. arbore măsurat în ambele cicluri de inventariere, arbore mort/viu pe picior) și determinată prin *diferența a două volume*, luând în considerare numărul de sezoane de vegetație dintre două măsurători succesive, rezultând astfel o creștere curentă anuală.

Estimarea creșterii curente anuale se realizează la nivel de arbore. Pentru estimarea creșterii se iau în considerare toți arborii măsurați în ciclul anterior, atât cei care au fost identificați și remăsurați în ciclul următor (vii sau morți), cât și cei care nu au mai fost identificați (au fost tăiați, suprafața de probă nu a mai fost practicabilă/accesibilă etc):

Pentru arbori identificați și remăsurați în ciclul următor, procedeul de calcul al creșterii este relativ simplu, respectiv estimarea creșterii se face pe baza diferenței dintre volumele arborilor măsurați la cele două momente în timp ($V_{IFNn} - V_{IFNn-1}$). Pentru determinarea creșterii anuale medii, se consideră numărul sezonelor de creștere dintre cele două măsurători. Estimarea duratei dintre măsurători se bazează pe contribuții lunare variabile și specifice zonelor de relief (câmpie și deal/munte) (Tabelul 8.1).

Tabelul 8.1

Estimarea numărului de sezoane de vegetație în funcție de perioada măsurării (%)

Zona/Luna	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Câmpie	0	0	0	10	30	30	20	10	0	0	0	0
Deal/Munte	0	0	0	0	30	50	20	0	0	0	0	0

Pentru a evita diferențe foarte mari între valorile diametrelor și înălțimilor măsurate în IFN_n și IFN_{n-1} se vor aplica filtre pentru a identifica și corecta posibile erori. În cazul creșterii în diametru, aceste

filtre sau plafoane admisibile ale creșterii curente anuale limitează creșterea radială la valoarea maximă de 4,5 mm/an.

O schemă de contribuție mai aproape de realitate și mai generală este exprimată în aceste contribuții lunare care se însumează la 10 pentru a permite o estimare a intervalului cu o zecimală semnificativă (Tabelul 8.2).

Tabelul 8.2.

Fracția sezonului de vegetație corespunzătoare perioadei în care au fost inventariați arborii dintr-un sondaj

Zona / Luna	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Câmpie /Contribuția lunară	0	0	0	1/10	3/10	3/10	2/10	1/10	0	0	0	0
Câmpie /Contribuția cumulată	0	0	0	1/10	4/10	7/10	9/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
Deal-munte /Contribuția lunară	0	0	0	0	3/10	5/10	2/10	0	0	0	0	0
Deal-munte /Contribuția cumulată	0	0	0	0	3/10	8/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10

În cazul estimărilor cu precizie lunară, dacă ziua măsurării în primul ciclu s-a situat în intervalul 1-15 (inclusiv 15) al lunii calendaristice, atunci se rotunjește la luna anterioară întreagă (altfel spus, nu se mai socotește creșterea realizată în cursul lunii în care se face măsurătoarea). Dacă ziua măsurării s-a situat în intervalul 16-31 al lunii calendaristice, atunci se consideră contribuția lunii întreagă. Spre exemplu, dacă măsurătoarea se face la data de 15/04/2020 se va considera că nu s-a realizat creștere în luna aprilie (prin urmare, practic se consideră că nu a pornit încă creșterea 2020), iar dacă măsurătoarea s-a efectuat la data de 16/04/2020 se va considera că 1/5 din creșterea 2020 a fost deja realizată.

Modelul de estimare a creșterii calculează câte sezoane de vegetație se înregistrează între două măsurători succesive. La diferența de ani dintre măsurători (reprezentând în fapt număr de sezoane de vegetație întregi) este adăugată fracția creșterii anuale realizate pentru anul primei măsurători și pentru anul următoarei măsurători:

$$\text{durata} = F1 + \text{numărul de sezoane întregi} + F2 \quad (27)$$

unde:

F1 este fracția creșterii în anul primei măsurători

F2 - fracția creșterii în anul următoarei măsurători.

Fracțiile F1 și F2 vor fi calculate în funcție de luna în care s-a făcut măsurătoarea. De exemplu un sondaj din zona de munte a fost inventariat succesiv în datele de 01.03.2017 și 01.10.2021. Având în vedere că prima măsurătoare a avut loc înainte de începerea sezonului de vegetație din anul 2017, iar următoarea măsurătoare a avut loc după încheierea sezonului de vegetație din anul 2021, astfel că în final vor rezulta 5,0 sezoane de vegetație. Un alt exemplu elocvent este inventarierea succesivă a unui sondaj în datele 01/07/2017 și 01/10/2022. Conform modelului de alocare lunară, până la sfârșitul anului arborii mai pot acumula 3/10 din creșterea anuală, respectiv 0,3 sezoane de vegetație. Durata totală între cele două inventarieri rezultată este de 5,3 sezoane de vegetație.

Baza de date IFN conține peste 450 de mii de arbori eșantion ($d \geq 56\text{mm}$), din care cea mai mare parte (~85%) vor fi reinventariați în ciclul următor. Restul este reprezentat de arbori care vor fi considerați dispăruți din diferite cauze sau a căror măsurătoare nu a fost posibilă. De asemenea, vor fi inventariați arbori noi (recruți) care au depășit diametrul limită (56mm) și vor contribui în următoarele cicluri la bilanțul creșterii.

Evaluarea creșterii i_v este realizată la nivelul fiecărui arbore în funcție de statutul său. Arborii comuni, care sunt măsurați în două cicluri de inventariere (v_B și v_A), vor avea o creștere estimată ca diferența dintre volumele determinate în cele două momente ale înregistrării ($v_B - v_A$). Creșterea medie anuală i_{va} a fiecărui arbore este estimată prin raportarea diferenței dintre v_B și v_A la numărul sezoanelor de vegetație.

$$i_{va} = (v_B - v_A) / \text{durata} \quad (28)$$

unde:

i_{va} este creșterea medie anuală,

v_A - volumul inițial al arborelui la momentul A,

v_B - volumul arborelui la momentul B.

În cazul arborilor măsurați și neidentificați în cicluri succesive de inventariere, setul de date pentru estimarea creșterii este considerat incomplet. Principiul de calcul și de alocare a creșterii va lua în considerare doar jumătate din intervalul de timp dintre inventarieri. Va fi testată suplimentar distribuția aleatorie a frecvenței datelor lipsă (e.g. diametrul de bază, înălțimea). În cazul în care ipoteza nulă este respinsă au fost luate precauții suplimentare (e.g. eliminarea a 1% din valorile extreme) în vederea estimării creșterii.

Au fost testate comparativ 3 metode diferite de estimare a valorilor lipsă, utilizându-se: a) valori medii determinate pe baza setului complet de date, b) metoda imputației multiple (MI) (Rubin, 1976, 1996), prin intermediul algoritmului *MICE* (*Multivariate imputation by chained equation*) în aplicația statistică R (van Buuren, Groothuis-Oudshoorn, 2011) și c) modelul de creștere (regresie).

În urma unei analize numerice detaliate a fost selectată metoda imputației multiple care presupune constituirea unei distribuții multivariate Z cu parametri necunoscuți Θ . Parametrii distribuției Θ au fost estimați în prima iterație prin eșantionaj succesiv din distribuția Z în care datele lipsă sunt completate cu valori medii. La următoarele iterații de calcul, datele lipsă sunt eșantionate din distribuția Z , astfel creându-se o nouă distribuție pentru care au fost estimați parametrii distribuției Θ . Prin iterații aleatorii, succesive, parametrii distribuției Θ converg către o valoare limită, indicând

tendința centrală și dispersia variabilelor (e.g. diametrul mediu și varianța), modelul de distribuție fiind parametrizat diferențiat pe specii, clase de diametre, relief și regiuni.

Metoda utilizată pentru estimarea volumului arborilor măsurați în ciclul de inventariere anterior și neidentificați în ciclul următor (recolta) a folosit același model dendrometric pentru calculul volumului arborilor individuali și metoda imputației multiple pentru calculul creșterilor în volum, la valorile volumelor obținute adăugându-se jumătate din creșterea corespunzătoare intervalului de timp dintre două măsurători.

Creșterea curentă anuală netă nu a fost raportată, dar poate fi calculată ca diferența dintre creșterea curentă brută și volumul arborilor eliminați natural (arbori morți din cauze naturale) dintre două inventarieri succesive, diferență raportată la numărul de sezoane de vegetație dintre două inventarieri succesive.

8.3. Estimarea recoltei de lemn

Pentru estimarea recoltei se folosește aceeași metodă folosită la determinarea volumului de lemn pe picior, cu deosebirea că din toți arborii eșantion se constituie un sub-eșantion format din arborii recoltați, la care se adaugă jumătate din creșterea acestora în perioada dintre două măsurători IFN succesive.

Arborii recoltați reprezintă toți arborii eșantion încadrați în una dintre următoarele trei categorii de statut din ciclul curent (IFN3):

- a) Arbore IFN2 (din ciclul precedent), recoltat prin tăiere selectivă;
- b) Arbore IFN2 (din ciclul precedent) recoltat prin tăiere definitivă;
- c) Arbore IFN2 (din ciclul precedent) care nu a mai fost găsit (nici măcar cioata).

Statutul arborilor este atribuit prin compararea situației individuale a fiecărui arbore înregistrat în ciclul anterior și identificarea cioatei sau constatarea dispariției acestuia.

Inventarul forestier clasifică un arbore ca fiind recoltat atunci când acesta a dispărut sau a fost tăiat, conform datelor din teren. Cu toate acestea, IFN are o capacitate limitată tehnic și juridic de a verifica legalitatea tăierii. Astfel, categoria arborilor recoltați include atât arbori tăiați în conformitate cu legislația, cât și cei tăiați ilegal.

Precizăm că volumul de lemn tăiat și rămas în pădure nu poate fi identificat, cu excepția situației în care a rămas lângă cioată și în suprafața de probă și poate fi astfel încadrat ca lemn mort căzut la pământ. Dacă lemnul dispărut sau tăiat nu se mai regăsește în suprafața de probă nu avem mijloace care să permită identificarea și inventarierea acestuia. Consecința este că volumul de lemn eliminat din pădure în urma exploatării nu poate fi diferențiat, rămânând inclus în volumul arborilor recoltați sau dispăruți.

Precizăm că inventarierile IFN se realizează succesiv la un interval de timp considerabil mai mare decât durată normală a unui parchet de exploatare, astfel încât nu poate fi diferențiat volumul resturilor de exploatare. Pentru a obține o imagine mai exactă asupra volumului de lemn exploatat și a impactului acestuia asupra pădurii, sunt necesare studii suplimentare, realizate pe termen scurt, în

timpul sau imediat după activitățile de exploatare. Aceste studii ar trebui să se concentreze asupra cuantificării lemnului netransportat și a resturilor lemnoase.

Pentru determinarea recoltei de lemn, se parcurg următoarele etape:

1. Se creează sub-eșantionul format din arborii recoltați între două cicluri IFN.
2. Se calculează volumul acestor arbori (V_a), fiecare având volumul egal cu volumul calculat în ciclul IFN anterior.
3. Se calculează creșterea (Cr) estimată pentru fiecare arbore din acest sub-eșantion pentru jumătate din numărul sezonelor de creștere dintre cele două măsurători IFN, aplicând metoda imputației multiple.
4. La volumul fiecărui arbore (V_a) se adună creșterea estimată pentru fiecare (Cr), rezultând volumele arborilor (V_t) care stau la baza estimării volumului recoltei de lemn.
5. Pe baza V_t se estimează volumul total al arborilor recoltați (V_r), folosind aceeași metodă de calcul ca în cazul estimării volumului de lemn pe picior.
6. Se calculează perioada medie (numărul de ani mediu T_m) dintre măsurătorile a două cicluri IFN.
7. Se obține volumul mediu anual al recoltei de lemn (V_{ra}) prin împărțirea volumului total al arborilor recoltați (V_r) la numărul de ani mediu (T_m) dintre măsurătorile a două cicluri IFN.

Recolta de lemn este un indicator care variază în funcție de amplasarea în timp și spațiu a exploatărilor forestiere și de alte perturbări naturale și antropice.

Verificarea procedurii de calcul se poate realiza prin intermediul ecuației bilanțului auxologic, conform relației (26), volumul recoltat (V_r) devenind:

$$V_r (m^3) = I_v - V_b + V_a + V_s - E_e \quad (29)$$

9. Estimarea erorilor pentru valorile totale

Estimatorul de varianță este compus din mai multe elemente, care probează faptul că estimările valorilor totale rezultă dintr-o înmulțire a două componente care au, fiecare, o eroare de eșantionaj. Varianța este o funcție complexă a varianței valorilor medii pe straturi $V(\underline{y}^{hk})$. Varianța valorilor totale la nivel de strat se calculează folosind formula:

$$V(\underline{y}^{hk}) = \sum_{i=1}^{N_{hk}} \quad (30)$$

Varianța valorilor totale pentru categoria k , cumulate la nivel de zonă (de ex. 2x2 km) se calculează folosind formula:

$$V(Y^{\wedge}_{2 \times 2, k}) = S^{\wedge 2}_{2 \times 2} \quad (31)$$

în care: n'_T și n'_h reprezintă numărul de puncte din eșantionajul aerian total, respectiv din stratul h .

Media pe mai multe straturi se calculează ca o medie ponderată:

$$\underline{y}^{\wedge}_k = \sum_h^H w^{\wedge}_h \cdot \underline{y}^{\wedge}_{hk} \quad (32)$$

Estimarea erorilor valorilor totale se bazează pe combinarea unor erori care rezultă din fiecare fază de eșantionaj. Elementul spațial de bază al calculului este zona, constituit de două straturi. Etapele de calcul sunt strict cele prezentate pentru estimarea suprafețelor, cu mențiunea că valorile medii ale volumului $\underline{y}^{\wedge}_{hk}$ înlocuiesc valorile $\underline{p}^{\wedge}_{hk}$.

10. Estimatorul 'ratio'

Estimatorul *ratio* (raport, proporție) este cel mai folosit în inventarele forestiere naționale. În esență, aproape toate estimările realizate în cadrul unui inventar forestier național apelează la acest *ratio*: volumul la hectar, proporția arborilor morți pe picior, suprafața de bază etc. Aceasta pentru că, de obicei, valori precum volumul, suprafața de bază etc. sunt raportate la o categorie dată (pădure, specie sau grupe de specii de arbori din pădure etc.), iar suprafața, volumul, numărul de arbori etc., nu sunt cunoscute înainte de inventar, ci ele sunt estimate numai prin inventarul forestier național.

Spre exemplu, volumul la hectar este de fapt un volum la hectarul de pădure sau, mai detaliat, de pădure din zona munte. Deci volumul, estimat prin inventar, este raportat la o suprafață estimată tot prin inventar. Așadar, raportul este un *ratio* între două variabile aleatorii, care au o eroare de eșantionaj.

11. Estimatorul

Estimatorul este raportul unor valori totale, spre exemplu, un volum raportat la o suprafață de referință corespunzătoare. În limba engleză estimatorul este denumit *ratio of means* pentru că totalul se calculează ca raportul dintre volumul mediu și suprafață. Numitorul este produsul unui procent mediu de acoperire cu o suprafață, aceeași suprafață ca la numărător. Ca urmare, estimatorul este raportul unor valori medii:

$$Ratio = \frac{\underline{V} \times A}{\underline{p} \times A} = \frac{\underline{V}}{\underline{p}} \quad (33)$$

Acest calcul poate fi realizat la nivel de strat sau de regiune, fără deosebire, doar că la nivel de regiune totalul provine din însumarea valorilor pe mai multe straturi:

$$Ratio = \frac{\sum_h \frac{x_h \cdot A_h}{y_h \cdot A_h}}{\sum_h \frac{y_h \cdot A_h}{x_h \cdot A_h}} \quad (34)$$

Numai în acest mod trebuie calculată, de exemplu, proporția unei specii.

12. Estimatorul erorilor

Estimarea erorilor estimatorilor *ratio* se bazează pe o abordare nouă, în care raportul este considerat ca o nouă variabilă aleatoare *unică*, așa numită *variabilă reziduală* de răspuns. Această abordare este cea folosită pentru crearea platformei europene de informații privind pădurile pe baza informațiilor furnizate de inventarele forestiere naționale din Europa (proiectul E-Forest, <http://efdac.ifn.fr/>). În unele cazuri (unde există puține puncte de eșantionaj) acest estimator poate fi mai puțin precis decât un estimator mai complex, bazat pe calcule de covarianță. Nu este însă cazul IFN, cu peste 26.000 de suprafețe de probă măsurate.

Metoda presupune realizarea unor calcule în mai mulți pași succesivi. Într-adevăr, formulele folosite pentru a estima eroarea *ratio*-ului sunt imbricate, pentru că sunt mai multe niveluri de eșantionaj, de la suprafața de probă la sondaj și la nivel de strat.

La nivel de suprafață de probă j din sondajul i , variabila reziduală $r_{kij}^{\wedge}$ pentru categoria k se exprimă ca:

$$r_{kij}^{\wedge} = x_{kij} - \frac{X}{Y} \times y_{kij}, \quad (35)$$

unde:

X și Y sunt valorile totale,

x_{kij} și y_{kij} - valorile observate pentru categoria k în suprafața de probă j din sondajul i .

Această variabilă se agregă la nivel de sondaj după formula:

$$\underline{r}_{ki}^{\wedge} = \frac{\sum_j^{n_j} r_{kij}^{\wedge}}{n_j}, \text{ unde} \quad (36)$$

$\underline{r}_{ki}^{\wedge}$ reprezintă valoarea medie a rezidualei r pentru categoria k în sondajul i .

Varianța rezidualei în strat h , $V(\underline{r}_{hk}^{\wedge})$, calculată pentru categoria k , reprezintă estimarea erorilor *ratio*-ului și este calculată după:

$$V(\underline{r}_{hk}^{\wedge}) = \sum_{i=1}^{n_h} \quad , \text{ unde} \quad (37)$$

r_{hki} este valoarea rezidualei medie pentru sondajul i

$\bar{r}_{hk}^{\wedge}$ - valoarea rezidualei medie pentru stratul h

n_h - numărul de sondaje din stratul h .

Asemenea calcule se fac separat pentru fiecare strat, respectiv nivel la care se calculează valoarea medie. Straturile fiind fără suprapunere, respectiv fiecare suprafață de probă este situată într-un singur strat, varianța estimatorului *ratio* se obține prin însumarea varianțelor estimate pe toate straturile.

Estimatorii prezentați au fost discutați cu numeroși specialiști din domeniul, precum și în cadrul unor proiecte al căror scop a fost acela de a armoniza inventarele forestiere europene. Estimatorii nu sunt simpli, deoarece însuși eșantionajul realizat este unul complex (în două faze, cu stratificare, gruparea suprafețelor de probă în sondaje, divizarea suprafețelor de probă în sectoare etc.). Folosirea sau punerea în practică a acestor formule nu este simplă sau intuitivă și cere o cunoaștere profundă a caracteristicilor eșantionajului folosit și a structurii datelor utilizate.

13. Exemple de estimare a suprafeței, volumului și erorii

13.1. Estimarea suprafeței pădurilor din Transilvania

Ca și celelalte regiuni, Transilvania este împărțită după relief în trei zone: câmpie, deal și munte. Dealul și muntele sunt două zone cu desimea eșantionajului terestru de 4x4 km, iar câmpia cu desimea de 2x2 km. Necesitatea de a raporta rezultatele pe forme de relief impune realizarea calculelor la nivelul fiecărei zone de relief în parte.

Zonele au fost definite prin digitizarea limitelor, iar suprafața acoperită este estimată prin GIS.

Faza de fotointerpretare a definit pentru fiecare punct din rețeaua de 500 x 500 m tipul de acoperire cu vegetație. În baza fotointerpretării, punctele au fost astfel clasificate în două categorii ce stau la baza estimării mărimii straturilor de calcul: vegetația forestieră (VF) și în afara vegetației forestiere (AVF). Ca exemplu, în ciclul 2, la nivelul Transilvaniei au fost interpretate 68,375 puncte în zona de câmpie, 166,354 în zona de deal și 166,399 în zona de munte (Tabel 13.1).

Tabel 13.1

Numarul de puncte, estimarea suprafețe straturilor pentru regiunea Transilvania

Zona	Strat	Număr puncte faza 1	Număr puncte faza 1 în strat	Suprafața zonei	Estimarea suprafețelor straturilor
2x2 Câmpie	Veg. forestiera	68375	3491	1710787.0	87347.09
2x2 Câmpie	Afara vg. for.	68375	64884	1710787.0	1623439.93
4x4 Deal	Veg. forestiera	166354	43408	4158111.2	1085007.21
4x4 Deal	Afara vg. for.	166354	122946	4158111.2	3073103.97
4x4 Munte	Veg. forestiera	166421	107067	4160436.9	2676618.33
4x4 Munte	Afara vg. for.	166421	59354	4160436.9	1483818.58

Mărimea straturilor este calculată folosind proporția dintre punctele ce cad în strat și suprafața zonei (A_{2x2} = 1710787 ha):

$$A(F, 2 \times 2) = A_{(2 \times 2)} \times p_F = 1710787 \times 3491 / 68375 = 87347.09 \text{ ha} \quad (38)$$

Modalitatea de calcul este aceeași pentru fiecare strat.

Observațiile de teren au raportat procentul mediu al suprafețelor unităților de inventariere care se află în pădure în straturile și zonele respective. Procentele medii sunt, în zona 2x2 km, 67,45% pentru strat VF și 0,91% în strat AVF, iar în zona 4x4 km, 84,92% , respectiv 20,71%.

Se poate calcula suprafața de pădure în fiecare strat:

În zona de câmpie: $87347.09 \times 0.6745 + 1623439.93 \times 0.0091 = 58919.418 + 14776.880 = 73696.298$ ha

În zona de deal: $1085007.21 \times 0.7268 + 3073103.97 \times 0.0759 = 1021990.744$ ha

În zona de munte: $2676618.33 \times 0.8492 + 1483818.58 \times 0.2071 = 2580161.839$ ha

Suprafața totală a pădurilor în Transilvania este așadar de $73696.298 + 1021990.744 + 2580161.839 = 3675848.881$ ha.

13.2. Estimarea volumului total al molidului pentru regiunea Moldova

Calculul se bazează pe estimarea suprafețelor straturilor, pe suprafața categoriei studiate (ex. pădure, codru, arborete pure, etc.) și pe estimarea volumului mediu al molidului în fiecare strat în categoria de interes, respectiv pădurea în cazul de față. Abordarea este așadar similară cu cea folosită pentru a determina suprafața acoperită cu pădure (exemplu de la pct. 13.1).

Volumul molidului în fiecare zonă este calculat prin adunarea volumului obținut în fiecare strat din zonă. La nivel de strat, volumul este produsul suprafeței stratului cu volumul mediu calculat în baza eșantioanelor de teren (Tabelul 13.2).

În zona de câmpie volumul mediu este nul în ambele straturi. Pentru zona de deal, volumul total al molidului este:

- stratul VF, $582553.59 \times 7.18 = 4179902.11 \text{ m}^3$

- stratul AVF, $1830047.14 \times 0.40 = 737459.31 \text{ m}^3$

Pentru zona de munte, volumul este:

- stratul VF, $868602.23 \times 190.94 = 165850692.65 \text{ m}^3$

- stratul AVF, $244467.10 \times 44.69 = 10925391.16 \text{ m}^3$

Tabelul 13.2

Numărul de puncte, estimarea suprafețelor straturilor și volumul mediu al molidului pentru regiunea Moldova

Zona	Strat	Număr puncte faza 1 în strat	Număr total de puncte faza 1	Suprafața zonei	Estimarea suprafețelor straturilor	Volumul mediu
2x2 Câmpie	Veg. Forestieră	2259	43669	1091648.1	56471.02	0
2x2 Câmpie	Afara vg. for.	41410	43669	1091648.1	1035177.04	0
4x4 Deal	Veg. forestieră	23306	96520	2412600.7	582553.59	7.18
4x4 Deal	Afara vg. for.	73214	96520	2412600.7	1830047.14	0.47
4x4 Munte	Veg. forestieră	34731	44506	1113069.3	868602.23	190.94
4x4 Munte	Afara vg. for.	9775	44506	1113069.3	244467.1	44.69

Volumul total al molidului pentru regiunea Moldova este obținut prin însumare:

$$[Volum]_{(Molid,Moldova)} = 0+0+4179902.11+737459.31+165850693.52 + 10925391.16= 1811693446.12 \text{ m}^3$$

Volumul molidului pe toată țara se obține prin însumarea valorilor obținute la nivel de regiuni, deoarece nu există suprapuneri spațiale între acestea, prin definiție.

14.3. Estimarea erorilor de eșantionaj

Pentru exemplul prezentat la estimarea suprafeței pădurilor din Transilvania, estimarea erorilor de determinare a suprafeței este bazată pe informațiile înregistrate în ambele faze, combinate pentru ca erorile din fiecare fază să fie reprezentate și să participe la eroarea totală a estimării.

Calculul varianței estimărilor de suprafață este realizat pentru fiecare strat din fiecare zonă separată deoarece ele sunt independente.

Pentru o zonă dată (e.g. 2x2 km, câmpie), varianța este calculată după o formulă constituită de două părți care sunt cumulate și apoi înmulțite cu suprafața zonei (cunoscută prin GIS):

$$Var(A_{k,2 \times 2}) = A_{2 \times 2}^2 \left[\sum_h^H \frac{n_h(n_h-1)}{n_T(n_T-1)} Var(\underline{a}^{\wedge}_{hk}) + \frac{1}{n_T-1} \sum_h^H \frac{n_h}{n_T} (\underline{a}^{\wedge}_{hk} - \underline{a}_k)^2 \right] \quad (39)$$

unde

$$Var(\underline{a}^{\wedge}_{hk}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (a_{hki} - \underline{a}^{\wedge}_{hk})^2}{n_h(n_h-1)} \quad (40)$$

și

$\underline{a}^{\wedge}_{hk}$ reprezintă gradul mediu de acoperire a categoriei k în stratul h ,

a_{hki} reprezintă gradul de acoperire observat în sondajul i ,

$\underline{a}_k$ este media pe ambele straturi din zonă,

n_h reprezintă numărul de eșantioane în stratul h ,

n_T numărul total de eșantioane în zona pentru care se face calculul,

H reprezintă numărul de straturi în zonă.

Pentru stratul VF din zona 2x2 km sunt 241 de sondaje.

$$\frac{\sum_{i=1}^{n_h} (a_{2 \times 2, F, i} - \underline{a}_{2 \times 2, F})^2}{n_h \times (n_h - 1)} =$$

$$\frac{1}{241 \times 240} [(100 - 67.5)^2 + (75 - 67.5)^2 + \dots + (90 - 67.5)^2] \times 10^{-4}$$

$$\frac{26.3587}{57840} = 4.5572 \times 10^{-4}$$

Pentru stratul AVF din zona 2x2 km sunt 4085 de sondaje. Varianța este estimată ca

$$\frac{13.5943}{4085 \times 4084} = \frac{13.5943}{16683140} = 7.7337 \times 10^{-7}$$

Așadar, pentru zona 2x2 km, prima parte a estimării varianței suprafeței este:

$$\sum_h^H \frac{n_h(n_h - 1)}{n_T(n_T - 1)} V(\underline{a}^k_k) =$$

$$\frac{3491 \times 3490}{68375 \times 68374} \times 4.5572 \times 10^{-4} + \frac{64884 \times 64883}{68375 \times 68374} \times 7.7337 \times 10^{-7} = 1.9210 \times 10^{-6}$$

A doua parte a varianței este estimată pentru zona 2x2 km după formula:

$$\frac{1}{n_T - 1} \sum_h^H \frac{n_h}{n_T} (\underline{a}^k_{hk} - \underline{a}_k)^2 =$$

$$\frac{1}{68374} \left(\frac{3491}{68374} \times (0.6745 - 0.0431)^2 + \frac{64884}{68375} \times (0.0009 - 0.0431)^2 \right) = 3.1377 \times 10^{-7}$$

Pentru zona 2x2 km, varianța totală este

$$Var_{2 \times 2} = A_{2 \times 2}^2 \times (1.9217 \times 10^{-6} + 3.1377 \times 10^{-7}) = 6.5428 \times 10^{-6}$$

având $A_{2 \times 2}^2 = 1710787^2$.

Pentru zona de deal, varianța totală este estimată astfel:

$$Var_{Deal} = A_{Deal}^2 \times (1.705610^{-5} + 4.911910^{-7}) = 3.033910^8$$

Pentru zona de munte, varianța este:

$$Var_{Munte} = A_{Munte}^2 \times (2.477610^{-5} + 5.683810^{-7}) = 4.386910^8$$

În fine, varianța pentru toată regiunea se obține prin însumarea varianțelor estimate pe fiecare zonă în parte

$$Var_{Transilvania} = 6.542810^6 + 3.033910^8 + 4.386910^8 = 7.486310^8$$

Eroarea de estimare a suprafeței pădurii pentru regiune este calculată după formula:

$$E. e. = t(5\%) \times Var^{0.5} = 1.96 \times \sqrt{7.4863 * 10^8} = 53627.75ha$$

t(5%) poate fi aproximat cu 1.96. În practică se folosește distribuția Student.

Eroarea procentuală este $\frac{53627.75}{3675848.881} = 0.01459$, reprezentând **1.459%**.

La nivel de țară, varianța totală este egală cu suma varianțelor regiunilor. Procedura de estimare a erorilor de eșantionaj este la fel ca pentru o regiune:

$$E. e. = t(5\%) \times Var^{0.5}$$

15. Concluzii

Suprafața inventariată acoperă întreg teritoriul țării deoarece suprafața vegetației forestiere este considerată necunoscută și trebuie să fie determinată prin inventar. Suprafața inventariată este separată în straturi, care sunt suprafețe omogene, în interiorul cărora procentul de acoperire al vegetației forestiere (sau al oricărei categorii) este determinat pe baza măsurărilor de teren. Suprafața straturilor este estimată prin foto-interpretare.

Pentru a determina o valoare totală se calculează suma totalurilor pe toate straturile constituite, care sunt estimate ca produsul valorilor medii într-o anumită categorie (spre exemplu, de pădure sau de vegetație forestieră) în stratul respectiv.

Volumul la hectar, sau orice altă valoare raportată la nivel de categorie specifică, este estimat prin calculul unui *ratio*.

Datele din teren sunt verificate și validate lunar în colaborare cu echipele de teren. În metodologia de prelucrare a datelor IFN sunt prevăzute peste 50 de subrutine de verificare a formatului, conformității (conținut) și uniformității (inter-comparabilitate) datelor, eventualele erori fiind identificate și corectate prin contribuția și responsabilitatea echipelor de teren sub coordonarea

colectivului de prelucrare a datelor, ulterior fiind înregistrate modificările și corecțiile solicitate în baza de date IFN.

Sistemul IFN a fost conceput pentru monitorizarea resurselor forestiere naționale și cuprinde toate componentele instituționale, informaționale și științifice necesare pentru a fundamenta politicile naționale forestiere și de mediu. Metodologia IFN este cuprinzătoare în ceea ce privește îndeplinirea obiectivelor asumate și a cerințelor naționale și internaționale de raportare și a fost într-un permanent proces de adaptare, testare și comparare a rezultatelor în diferite proiecte naționale și internaționale (e.g. FutMon, E-Forest, DIABOLO, LULUCF, COST E43 și COST FP1001 – USEWOOD, GHG Europe, RemoteForest, Forest Flux etc.).

Metodologia de prelucrare a datelor IFN este foarte complexă și este perfectibilă în privința asigurării și controlului calității datelor și a conceperii și implementării unui sistem informațional flexibil și operațional, pentru a crește valoarea adăugată a informațiilor și acuratețea estimărilor.

După două cicluri de inventariere, IFN a dovedit că este un instrument matur care furnizează informații exhaustive asupra resurselor forestiere naționale. Prin aplicarea unor metode moderne de culegere și prelucrare statistică a datelor și prin coroborarea acestora cu baze de date din domeniile social și economic, IFN este un sistem important de informare și comunicare necesar pentru factorii de decizie din domeniul bioeconomiei.

Bibliografie

Bouriaud, O., Marin, Gh., Herve, J.C., Riedel, T., Lanz, A., 2020, *Estimation Methods In The Romanian National Forest Inventory*, Nova Science Publishers, New York, 54 p.

Cochran, W.G., 1977, *Sampling techniques*. Wiley, New York, 448p.

Giurgiu, V., Decei, I., 1997, *Biometria arborilor din România*, Ed. Snagov, 307p.

Giurgiu, V., Decei, I., Drăghiciu, D., 2004. *Metode și tabele dendrometrice*. Editura Ceres, București, 575p.

Mandallaz, D.M., 2008. *Sampling techniques for forest inventories*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 272p.

Mandallaz, D.M., 2012. *Comparison of estimators in one-phase two-stage Poisson sampling in forest inventories*. Canadian Journal of Forest Research 42, pp.1865-1871.

Milescu, I., Alexe, A., 1983. *Inventarierea pădurilor*. Ed. Ceres, 491p.

Rubin, D. B., 1976, *Inference and missing data*, Biometrika, 63(3), pp. 581-592.

Rubin, D.B., 1996, *Multiple imputation after 18+ years*, Journal of the American statistical Association, 91(434), pp.473-489.

FOREST EUROPE, 2020: *State of Europe's Forests 2020*, 394p.

van Buuren, S., Groothuis-Oudshoorn, K., 2011, *mice: Multivariate Imputation by Chained Equations in R*. Journal of Statistical Software, 45(3), 1–67.

Lista indicatorilor IFN și a erorilor de eșantionaj (%) pentru o probabilitate de acoperire de 95% (rezultate ciclul II IFN)

Indicator	Nivel de agregare*	Suprafață			Volum			Volum la ha			Creșterea curentă anuală			Creșterea curentă anuală la ha		
		păd	atvf	aap	păd	atvf	aap	păd	atvf	aap	păd	atvf	aap	păd	atvf	aap
Volumul de lemn pe picior:																
Total România	relief	1,034	13,301	4,875												
Total România	regiuni	1,034	13,301	4,875												
grupe de specii	regiuni	1,034	31,686	4,875	1,787	47,313	7,621	1,419	30,527	5,707	1,673	51,068	7,3	1,3	34,551	5,352
clase de varsta	regiuni	1,034	31,686	4,875	1,787	47,313		1,419	30,527		1,673	51,068		1,3	34,551	
modul de regenerare	regiuni	1,034	31,686		1,787	47,313	7,621	1,419		5,707	1,673	51,068	7,3	1,3		5,352
amestecul de specii/proportia	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
calitatea arborilor	regiuni				1,787			1,419			1,673			1,3		
diametrul de baza (dbh) al arborilor	regiuni				1,787	47,313	7,621	1,419	30,527	5,707	1,673	51,068	7,3	1,3	34,551	5,352
stadiul de dezvoltare	regiuni				1,787			1,419			1,673			1,3		
indicele de inchidere a coronamentului	regiuni	1,034	31,686		1,787	47,313		1,419	30,527		1,673	51,068		1,3	34,551	
productivitatea	regiuni				1,787			1,419			1,673			1,3		
regimul	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
caracterul actual	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
structura	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
naturalitatea	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
gradul de naturalitate	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
numarul de specii	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
tipul functional	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
etajul fitoclimatic	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
inclinarea terenului	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
expozitia terenului	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		

Indicator	Nivel de agregare*	Suprafață			Volum			Volum la ha			Creșterea curentă anuală			Creșterea curentă anuală la ha		
		păd	atvf	aap	păd	atvf	aap	păd	atvf	aap	păd	atvf	aap	păd	atvf	aap
utilizare pentru recoltarea lemnului	regiuni	1,034			1,787			1,419			1,673			1,3		
principalele 10 specii	regiuni	N/A			N/A			N/A								
Volumul de lemn recoltat																
grupe de specii	total				4,752	97,903	14,82	4,719								
clase de diametre	total				4,752	97,903	14,82	4,719								
statutul arborilor	total				4,752	97,903	14,82	4,719								
Volumul de lemn mort căzut la pământ																
grupe de specii	regiuni				5,394			5,259								

* păd – Păduri, atvf – Alte terenuri cu vegetație forestieră, aap – Arbori din afara pădurii

