

# INVENTARUL FORESTIER NAȚIONAL DIN ROMÂNIA

# PRELUCRAREA DATELOR DIN INVENTARUL FORESTIER NAȚIONAL

## 1. Introducere

Abordarea folosită pentru a prelucra datele inventarului forestier național decurge din scopul acestuia și din caracteristicile eșantionajului realizat. Ca orice inventar forestier național modern, inventarul românesc se bazează pe două eșantionaje diferite: (i) un eșantionaj aerian, care constă în analiza ortofotoplanurilor și imaginilor aeriene și (ii) un eșantionaj terestru (de teren) prin care sunt măsurate sau estimate mai multe caracteristici ale arborilor, arboretelor, stațiunilor forestiere etc.

Abordarea aleasă pentru prelucrarea datelor IFN combină aceste două eșantionaje, pentru a beneficia de avantajele fiecăruia. În acest fel, s-a asigurat atât precizia optimă a indicatorilor calculați, cât și absența unor abateri sistematice (bias).

## 2. Prelucrarea datelor la nivel de arbore

### 2.1. Cazul general. Regula de calcul aplicată

Datele IFN culese cu ocazia măsurătorilor de teren au fost mai întâi verificate și validate. În etapa următoare, datele validate pentru fiecare arbore eșantion au fost folosite pentru a calcula mai mulți indicatori deosebit de importanți pentru caracterizarea vegetației forestiere, cum ar fi: volumul, suprafața de bază etc. Toate calculele s-au realizat separat pentru fiecare arbore, pe specii, cu luarea în considerare a stării arborelui.

Pentru estimarea volumului a fost dezvoltată o procedură specifică (succesiune de teste și de calcule) folosindu-se un ansamblu de modele dendrometrice. Primul pas a fost obținerea unui cuplu diametru/înălțime pentru fiecare arbore pentru aplicarea ecuațiilor de volum.

Pentru determinarea volumului arborilor pe picior s-a folosit ecuația de regresie:

$$\log v = a_0 + a_1 \log d + a_2 \log^2 d + a_3 \log h + a_4 \log^2 h$$

prezentată în lucrarea Metode și tabele dendrometrice (Giurgiu, V., Decei, I., Drăghiciu, D., 2004). Valorile coeficienților de regresie, pentru fiecare din cele 43 de specii forestiere pentru care au fost stabiliți, se prezintă în Tabelul nr.1

Tabelul nr.1

Valorile coeficienților de regresie din ecuația

$$\log v = a_0 + a_1 \log d + a_2 \log^2 d + a_3 \log h + a_4 \log^2 h$$

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 păsăresc	-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

\*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 plus crăci), iar în cazul rășinoaselor numai la volumul fusului. Din această cauză, la speciile de rășinoase au fost elaborate modele pentru determinarea volumului crăcilor, ca procent din volumul fusului, în raport cu diametrul de bază al arborilor. Volumul crăcilor astfel obținut s-a adăugat la volumul fusului arborelui rășinos, obținându-se în acest fel volumul total suprateran al acestuia (fus plus crăci).

## 2.2. Cazuri particulare. Excepții de la cazul general de calcul al volumului

1. *Arborii cu vârful sau cu trunchiul rupt* (aproximativ 4% din numărul total de arbori eșantion mășurați în IFN) creează o dificultate pentru calculul volumului, deoarece utilizarea în calcul a înălțimii măsurate (la nivelul rupturii) ar duce la o sub-estimare a volumului arborelui. Pentru a evita această sub-estimare, în teren, în cazul arborilor eșantion cu vârful sau trunchiul rupt, s-a măsurat și s-a înregistrat în computerul de teren înălțimea măsurată (înălțimea părții rămase pe picior a arborelui la data efectuării măsurătorii) și s-a înregistrat și înălțimea totală 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, conform procedurii prezentate la punctul 2.1. în funcție de care, proporțional cu înălțimea măsurată, s-a estimat volumul rămas pe picior al arborelui rupt.

2. 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 cea mai reprezentată în suprafața de probă.

3. Pentru *speciile forestiere care nu au încă stabiliți coeficienții de regresie*, utilizate în IFN, s-au făcut asimilările prezentate în Tabelul nr.2 în vederea calculării volumului arborelui.

Tabelul nr.2

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
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
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

4. 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, V., Decei, I., Drăghiciu, D., 2004), pentru fiecare specie s-a aplicat un filtru pentru diametre și înălțimi la nivelul diametrelor și înălțimilor maxime din tabelele respective.

### 3. Agregarea datelor la nivel de suprafață de probă

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 măsuțați în fiecare suprafață de probă în două cercuri concentrice cu razele de 7,98 și 12,62 m, respectiv cu suprafețele de 200 m<sup>2</sup> și de 500 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup>)

$$p_{ij} = 1 \text{ ha} / 0,02 \text{ ha} = 50$$

b) pentru arborii din cercul mare (cu raza de 12,62 m, suprafața de 500 m<sup>2</sup>)

$$p_{ij} = 1 \text{ ha} / 0,05 \text{ ha} = 20$$

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 pe teren.

## 4. Estimarea valorilor totale la nivel de regiune și de țară

### 4.1. Necesitatea implementării estimatorilor în două faze

Suprafața fiecărei categorii diferențiate prin fotointerpretare poate fi estimată prin metoda prezentată mai sus. Dar, în mod evident, nu se poate calcula suprafața acoperită de categoriile care sunt măsurate/estimate numai pe teren (de exemplu, suprafața acoperită de o specie sau de o clasă de vârstă, sau suprafața arboretelor situate pe o anumită pantă). Pentru a estima suprafața acestor categorii, trebuie ca măsurătorile de teren să fie combinate cu rezultatele fotointerpretării.

Dificultatea principală care apare în acest moment este dată de faptul că fotointerpretarea furnizează o clasificare binomială (fiecare punct aparține unei singure categorii), în timp ce eșantionajului terestru este compus din suprafețe de probă care pot fi fracționate (în sectoare ale suprafeței de probă) și pot acoperi mai multe categorii.

Soluția care permite astfel de calcule este folosirea *estimatorilor eșantionajului în două faze*. Această soluție a fost aleasă încă din faza de proiectare a eșantionajului IFN din țara noastră. Atât eșantionajul cât și metoda de prelucrare a datelor în două faze sunt metode cunoscute și descrise în detaliu de mult timp în literatura de specialitate internațională și de la noi din țară (Alexe și Milescu, 1983). Ele sunt implementate în majoritatea inventarelor forestiere naționale din lume datorită avantajelor pe care le prezintă, asigurând o precizie mare la un cost relativ redus. Principiul general al acestei metode include două faze de eșantionaj, parțial sau complet independente:

- prima fază, de fotointerpretare, când se definește o serie de straturi și este folosită pentru a estima suprafața straturilor respective;
- a doua fază, de teren, când se fac măsurătorile IFN specifice pe baza cărora se calculează valorile medii per unitate de suprafață a straturilor .

Potrivit acestui principiu, suprafața totală acoperită cu vegetație forestieră  $A_{VF}$  este suma suprafețelor straturilor  $h$ , obținute ca produsul dintre suprafețele straturilor și valoarea medie de acoperire cu vegetație forestieră din fiecare strat, respectiv:

$$A_{VF} = \sum_h A_{VF,h} \cdot \bar{a}_{VF,h}$$

unde:

$A_{VF,h}$  este suprafața acoperită cu vegetație forestieră în stratul  $h$  și

$\bar{a}_{VF,h}$  este procentul mediu de acoperire cu vegetație forestieră a suprafețelor de probă din stratul  $h$ .

Procedând în același fel, se poate calcula volumul de lemn total  $V_{VF}$  prin înlocuirea în formula de sus a acoperirii medii cu volumul mediu calculat pentru stratul  $h$ ,  $\bar{v}_{VF,h}$ , respectiv:

$$V_{VF} = \sum_h A_{VF,h} \cdot \bar{v}_{VF,h}$$



Metoda, folosită în majoritatea inventarelor forestiere naționale, este de o generalitate evidentă. Observatorul atent poate constata că 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).

## 4.2. Estimarea suprafețelor

### 4.2.1. Estimatorul totalului

Fiecare regiune istorică (Transilvania, Țara Românească și Moldova) este separată în două zone, în funcție de desimea rețelei IFN terestre (2x2 km la câmpie și 4x4 km la deal și munte). Această separare pe zone constituie prima etapă în definirea straturilor de calcul în IFN, deoarece desimea diferită implică o prelucrare separată pentru fiecare nivel de densime al rețelei. Dar, dincolo de o simplă problemă de calcul matematic, separarea pe zone permite o așa-numită pre-stratificare prin care sunt segregate pădurile de câmpie de cele de deal și de munte, care au compoziție de specii aparte. Precizia estimărilor crește foarte mult datorită informațiilor apărute ca urmare a acestei zonări/stratificări.

În cadrul fiecărei regiuni istorice au fost separate formele de relief (câmpie, deal și munte) și s-a estimat proporția vegetației forestiere în funcție de rezultatul fotointerpretării pentru fiecare sondaj în parte. Suprafața straturilor este calculată în funcție de datele de foto-interpretare:

$$\hat{S}_h = S \cdot p_h$$

unde  $p_h$  este proporția punctelor din rețeaua aeriană care aparțin categoriei  $k$  în stratul  $h$  și este un estimator al proporției suprafețelor categoriei  $k$  în stratul  $h$ , iar  $S$  este suprafața zonei, care este cunoscută.

Fiecare sondaj dintr-o regiune face parte dintr-un singur strat, existând condiția să nu fie niciun strat cu suprafața nulă. Clasificarea este realizată în baza foto-interpretării realizată pentru SP3. Deoarece unitățile secundare de eșantionaj (suprafețe de probă) sunt cartografiate și împărțite în fracțiuni (sectoare de suprafață de probă) procentul de suprafață al unităților primare de eșantionaj (sondaje) acoperite de o categoria  $k$  este calculat după formula:

$$\bar{p}_{hki} = \frac{\sum_{j=1}^{M_i} \sum_{l=1}^{L_{ij}} \delta_{ijl} \cdot a_{ijk}}{\sum_{i=1}^n M_i \cdot a_0}, \text{ având } \sum_{l=1}^{L_{ij}} a_{ijl} = a_0, \text{ unde}$$

$M_i$  reprezintă numărul de unități secundare de eșantionaj,

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

$\delta$  este o variabilă indicatoare, care ia valoarea 1 dacă fracțiunea  $l$  este în categoria  $k$ , respectiv valoarea 0 în altă situație,

$a_0$  reprezintă suprafața cercului mare de inventariere (500 m<sup>2</sup>).

Procentul de acoperire al categoriei  $k$ , notat  $\hat{p}_{hk}$ , este dat de media procentelor pe

unitățile primare (sondaje) din stratul  $h$ ,  $\bar{p}_{hki}$ ,  $n_h$  fiind numărul total de unități primare din stratul  $h$ :

$$\hat{p}_{hk} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} \bar{p}_{hki}}{n_h}$$

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

$$\hat{S}_{kr} = \hat{S}_{k,2 \times 2} + \hat{S}_{k,4 \times 4} = S_{2 \times 2} \sum_h^H \hat{w}_{2 \times 2, h} \cdot \hat{p}_{k,2 \times 2, h} + S_{4 \times 4} \sum_h^H \hat{w}_{4 \times 4, h} \cdot \hat{p}_{k,4 \times 4, h}$$

unde

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

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

Ponderarea stratelor 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:

$$\hat{w}_{2 \times 2, h} = \frac{n'_h}{n'_T}$$

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

#### 4.2.2. Estimatorul erorilor

Formula valorilor totale la nivel de regiune, prezentată mai sus, permite o estimare optimizată a erorilor, în care fiecare sursă de eroare (ne referim la erori de eșantionaj) este clar definită. Calculul varianței estimărilor de suprafață este realizat separat, pentru fiecare strat din fiecare zonă, deoarece straturile sunt independente.

Pentru o regiune  $r$  și o zonă dată (e.g. 2 x 2 km), varianța este calculată după formula:

$$V(\hat{S}_{kr}) = \hat{S}_{2 \times 2}^2 \left[ \sum_h^H \frac{n'_h(n'_h-1)}{n'_T(n'_T-1)} V(\hat{p}_{hk}) + \frac{1}{n'_T-1} \sum_h^H \frac{n'_h}{n'_T} (\hat{p}_{hk} - \hat{p}_k)^2 \right]_{2 \times 2}$$

având

$$\hat{p}_k = \frac{\sum_h^H \hat{w}_{2 \times 2, h} \hat{p}_{hk}}{\sum_h^H \hat{w}_{2 \times 2, h}}$$

și

$$V(\hat{p}_{hk}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (\bar{p}_{hki} - \hat{p}_{hk})^2}{n_h(n_h-1)}$$

unde  $n_h$  este numărul de sondaje în stratul  $h$ , celelalte variabile fiind definite mai sus (4.2.1).

Estimarea erorilor este realizată pentru fiecare zonă și strat, și ține cont de faptul că suprafața straturilor este estimată prin eșantionaj în prima faza.

### 4.3. Estimarea valorilor totale și a erorilor asociate

#### 4.3.1. Estimatorul totalului

Valorile totale sunt calculate folosind aceeași abordare ca și cea folosită pentru determinarea suprafețelor: un total este produsul dintre o suprafață și valoarea medie în această suprafață. Dificultatea constă în definirea acelei suprafețe și în însumarea valorilor totale pe suprafețe, pentru a obține un total la un nivel geografic dat (regiune, țară). Suprafețele straturilor sunt estimate prin eșantionajul aerian (faza 1), iar caracteristicile medii ale straturilor sunt estimate prin eșantionajul terestru. Media la nivel de strat este calculată ca medie aritmetică simplă pentru toate punctele  $i$  din rețeaua terestră care aparțin straturilor  $h$ , deoarece punctele au aceeași pondere:

$$\hat{y}_{hk} = \frac{\sum_i^{n_h} \bar{y}_{hki}}{n_h}, \text{ având } \bar{y}_{hki} = \frac{\sum_j^{M_i} y_{hkij}}{M_i} \text{ la nivel de unitate primară de eșantionaj.}$$

$n_h$  fiind numărul de sondaje în stratul  $h$ ,

$M_i$  numărul de suprafețe de probă în sondajul  $i$  (de regulă 4),

$y_{hkij}$  este valoarea observată în suprafața de probă  $j$  din sondajul  $i$ ,

$\bar{y}_{hki}$  este valoarea medie la nivelul sondajului  $i$ ,

$\hat{y}_{hk}$  este valoarea medie la nivelul stratului  $h$ .

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

$$\hat{Y}_k = S_{2x2} \left[ \sum_h^{H_{2x2}} \hat{w}_{2x2,h} \cdot \hat{y}_{2x2,hk} \right] + S_{4x4} \left[ \sum_h^{H_{4x4}} \hat{w}_{4x4,h} \cdot \hat{y}_{4x4,hk} \right]$$

unde

$S_{2x2}$  și  $S_{4x4}$  sunt suprafețele zonelor de 2x2km, respectiv 4x4km,

$H_{2x2}$  și  $H_{4x4}$  reprezintă numărul total de straturi în zonele 2x2km și 4x4km, iar

$\hat{w}_{2x2,h}$  și  $\hat{w}_{4x4,h}$  este ponderea stratului  $h$  în zona 2x2km, respectiv 4x4km.

#### 4.3.2. Estimatorul erorilor

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 totală este o funcție a varianței valorilor medii pe straturi  $V(\hat{y}_{hk})$ . Varianța valorilor totale la nivel de strat se calculează folosind formula:

$$V(\hat{y}_{hk}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hk}} (\bar{y}_{hki} - \hat{y}_{hk})^2}{n_{hk}(n_{hk} - 1)}$$

Varianța valorilor totale pentru categoria  $k$ , cumulate la nivel de zonă (de ex. zona 2x2 km) se calculează folosind formula identică cu cea prezentată la paragraful 4.2.2:

$$V(\hat{Y}_{2 \times 2, k}) = S_{2 \times 2}^2 \left[ \sum_h^H \frac{n'_h(n'_h - 1)}{n'_T(n'_T - 1)} V(\hat{y}_{hk}) + \frac{1}{n'_T - 1} \sum_h^H \frac{n'_h}{n'_T} (\hat{y}_{hk} - \hat{y}_k)^2 \right]_{2 \times 2}$$

în care:  $n'_T$  și  $n'_h$  reprezintă numărul de puncte din eșantionajul aerian total și din stratul  $h$ ,  $S_{2 \times 2}^2$  reprezintă suprafața totală a zonei la pătrat, cunoscută prin GIS și considerată fără eroare de eșantionaj.

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, constituită din două straturi. Etapele de calcul sunt strict cele prezentate pentru estimarea suprafețelor: valorile medii ale volumului  $\hat{y}_{hk}$  înlocuiesc valorile suprafețelor  $\hat{p}_{hk}$ .

#### 4.4. Estimatorul 'ratio'-ului

Estimatorul *ratio* (raport, proporție) este cel mai răspândit și cel mai folosit estimator în inventarele forestiere naționale, dar, în același timp, este puțin cunoscut de către specialiștii din alte domenii. Complexitatea lui este, probabil, motivul pentru care este utilizat de specialiștii din inventarele forestiere naționale mult mai mult decât specialiștii din alte domenii. În esență, aproape toate estimările realizate în cadrul unui inventar forestier național apelează la acest *ratio*: volumul la hectar, proporția de arbori vătămați sau morți pe picior, până și suprafața de bază a arboretelor. Aceasta pentru că, de obicei, valori precum volumul sau suprafața de bază sunt raportate la o categorie dată: pădure, alte terenuri cu vegetație forestieră etc., iar suprafața, volumul, numărul de arbori etc., nu sunt cunoscute înainte de inventar, ci sunt estimate tocmai prin inventarul forestier național.

Spre exemplu, volumul la hectar este de fapt un volum la hectarul de pădure sau, mai concret, de pădure din zona de 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 fiecare propria eroare de eșantionaj.

##### 4.4.1. Estimatorul

Estimatorul se bazează pe raportul unor valori totale: spre exemplu, un volum pe o suprafață. Estimatorul se numește în engleză *ratio of means* pentru că valoarea totală se calculează ca produs dintre volumul mediu ( $\bar{V}$ ) și o suprafață ( $A$ ).

Numitorul este produsul unui procent mediu de acoperire ( $\bar{p}$ ) cu suprafață  $A$ , aceeași suprafață ca la numărător. Ca urmare, estimatorul este raportul unor valori medii:

$$Ratio = \frac{\bar{V} \times A}{\bar{p} \times A} = \frac{\bar{V}}{\bar{p}}$$

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:

$$Ratio = \frac{\sum_h \bar{x}_h \cdot A_h}{\sum_h \bar{y}_h \cdot A_h}$$

Proporția unei specii sau procentul arborilor vătămați se calculează după acest algoritm.

#### 4.4.2 Estimatorul erorilor

Estimarea erorilor estimatorilor *ratio* s-a bazat pe o abordare nouă (Mandallaz, 2012), 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 nostru, cu peste 28.000 de suprafețe de probă măsurate, singura consecință fiind că intervalul de erori este supraevaluat (adică eroarea calculată este mai mare).

Metoda nouă 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 suprafață de probă la sondaj și la nivel de strat.

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

$$\hat{r}_{kij} = x_{kij} - \frac{X}{Y} \times y_{kij}, \text{ unde}$$

$X$  și  $Y$  sunt valorile totale,  $x_{kij}$  și  $y_{kij}$  sunt valorile observate pentru categoria  $k$  în suprafața de probă  $j$  din sondajul  $i$ .

Această variabilă se integrează la nivel de sondaj după formula:

$$\hat{r}_{ki} = \frac{\sum_j \hat{r}_{kij}}{n_j}, \text{ unde}$$

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

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

$$V(\hat{r}_{hk}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (\bar{r}_{hki} - \hat{r}_{hk})^2}{n_h(n_h - 1)}, \text{ unde}$$

$\bar{r}_{hki}$  este valoarea rezidualei medii pentru sondajul  $i$

$\hat{r}_{hk}$  este valoarea rezidualei medii 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.

### 5. Estimarea creșterii

Având în vedere că acesta este primul inventar forestier din țara noastră, pentru determinarea creșterii pădurii nu a fost posibilă folosirea metodei care se bazează pe diferența de volum înregistrată între două cicluri IFN succesive. Din această cauză, pentru a putea estima creșterea pădurii, s-au folosit metode specifice, bazate pe recoltarea de probe de creștere (carote) din arborii situați în suprafețele de probă IFN și prelucrarea acestora prin procedee adecvate de dendrocronometrie.

#### 5.1. Reconstituirea diametrului anterior

Reconstituirea diametrului anterior cu coajă este necesară pentru a calcula volumul anterior al arborilor. Reconstituirea a fost realizată după metoda descrisă în detaliu în Bakker (2005). Această metodă presupune măsurarea diametrului de bază pe axul pe care s-a prelevat carota de creștere și măsurarea distanței dintre ultimul inel măsurat și măduvă (sau poziția teoretică a măduvei în cazul în care măduva lipsește din carotă). Suma lățimilor și distanța la măduva este raportată la diametrul cu scoarță al arborelui prin stabilirea unui factor de proporționalitate.

Factorul de proporționalitate este calculat ca raportul dintre diametrul mediu al arborelui observat în timpul eșantionajului (cu tot cu ritidom) și suma lățimii inelelor măsurate plus (dacă este cazul) distanța la măduva.

Pentru anii din urmă, se modifică doar suma lățimii inelelor, factorul de proporționalitate pe diametrul exterior rămânând cel stabilit:

$$dbh = 2 \times \left( \sum li + dm \right)$$

Unde:

$li$  este lățimea inelelor,

$dm$  distanța la măduvă.

Factorul de conversie este calculat pentru fiecare arbore eșantionat în parte ca:

$$fc = \frac{dbh}{2 \times \left( \sum_{i=1}^n li + dm \right)}$$

unde  $n$  este numărul total de inele pe carotă, incluzând ultimii ani de creștere.

Astfel, diametrul reconstituit pentru ultimii 5 ani compleți de creștere este calculat cu formula:

$$dbh_{t-5} = fc \times \left( \sum_{i=5}^n li + dm \right)$$

## 5.2. Estimarea ratelor de creștere în volum ale arborilor eșantion

Pentru arborii eșantion se calculează creșterea în volum și se stabilește o relație între creșterea în volum și volumul pe picior al arborilor. Astfel, pe baza măsurătorilor de teren și a diametrului reconstituit se calculează pentru arborii eșantionați diferența de volum:

$$\Delta \text{Volum} = \text{Volum}_t - \text{Volum}_{t-5}$$

unde  $\text{Volum}_t$  este volumul în momentul inventarierii, iar  $\text{Volum}_{t-5}$  reprezintă volumul cu 5 ani înainte. Intervalul de 5 ani cuprinde ani diferiți pentru fiecare arbore, în funcție de anul în care s-a făcut eșantionajul.

Modelul de creștere în volum este ajustat pentru fiecare specie, regiune și zonă de relief în parte.

Modelul ține cont de nivelul local de creștere, reprezentat de coeficientul stabilit la nivel de sondaj și are forma lineară următoare, după logaritmare:

$$\log(\Delta \text{Volum}_n) \sim \alpha_1 \cdot \log(\text{Volum}_t) + \alpha_2 \cdot \text{Age}_t + \beta_{\text{sondaj}} + \varepsilon$$

unde:

$\Delta \text{Volum}_n$  reprezintă creșterea în volum a unui arbore pe o perioadă de  $n$  ani,

$\text{Volum}_t$  este volumul în momentul inventarierii  $t$ , estimat în baza măsurătorilor de teren și ecuațiile de volum din biometrie, conform metodei descrisă în paragraful 2,  $\text{Age}_t$  este vârsta estimată tot în momentul inventarierii, estimată pentru fiecare arbore inventariat în suprafața de probă,

$\alpha_1$  este coeficientul de regresie asociat volumului arborelui

$\alpha_2$  este coeficientul de regresie asociat vârstei arborelui

$\beta_{\text{sondaj}}$  reprezintă nivelul intrinsec de creștere al sondajului și introdus în model sub formă de efect aleatoriu la nivel de sondaj,

$\varepsilon$  este valoarea reziduală, cu distribuție normală centrată pe 0.

Ajustarea modelului a fost realizată prin metoda iterativă de determinare a maximumului de verosimilitate, care a înlocuit în ultimul deceniu metodele bazate pe minimul celor mai mici pătrate, întrucât sunt mai robuste la asumptii.

Dacă pentru o specie nu au fost recoltate și analizate cel puțin 50 de carote de creștere într-un strat de calcul, modelul a fost ajustat la nivel de specie și de zonă de relief, adică prin fuzionarea regiunilor. Nivelul local de creștere este oricum reținut de model, prin calculul coeficientului propriu al sondajului.

## 5.3. Calculul creșterii în volum la nivel de suprafață de probă

Pentru primul ciclu IFN, creșterea la nivel de suprafața de probă a fost considerată creșterea în volum a arborilor vii în momentul inventarierii. Aceasta deoarece nu s-a putut determina cu precizie pe teren anul tăierii arborelui în cazul tuturor

cioatelor identificate în suprafețele de probă (cioate au fost clasificate pe categorii de degradare aparentă, dar nu s-a putut stabili dacă tăierea a avut loc în perioada de 5 ani dinainte de inventariere), iar arborii morți nu au creșteri.

Creșterea volumului pe picior pentru fiecare arbore viu din suprafața de probă este definită după relația:

$$C_{vij} = \frac{\Delta Volum_{5;i,j}}{5},$$

unde:

$C_{vij}$  – creșterea în volum a arborelui  $j$  din specia  $i$ , pe  $n=5$  ani

$\Delta Volum_{5;i,j}$  este creșterea în volum a arborelui calculată în baza modelului de creștere (regresie) prezentat mai sus.

Valorile individuale de creștere sunt agregate la nivel de suprafață de probă și raportate la hectar folosind o ponderare variabilă în mod identic cu volumul pe picior. Creșterea la nivel de suprafața de probă poate fi obținută așadar în mod direct prin însumarea creșterilor individuale ponderate.

La repetarea măsurătorilor IFN, ecuația care descrie creșterea în volum pentru fiecare suprafață de probă permanentă,  $C_{SP}$ , se bazează pe 4 componente principale:

$C_{SP} = C_v + C_t + C_m + C_r$ , unde :

- $C_v$  reprezintă creșterea în volum a arborilor vii mășurați cu  $n$  ani în urmă și care au fost remășurați ca arbori vii și la următorul ciclu al inventarului;
- $C_t$  creșterea în volum a arborilor tăiați între două măsurători succesive IFN;
- $C_m$  creșterea în volum a arborilor eșantion identificați ca morți la inventarul curent, dar care erau vii la ultimul inventar;
- $C_r$  creșterea arborilor recruți (arbori eșantion care au atins diametrul limită între două cicluri IFN succesive).

Concluzii cu privire la formulele de calcul utilizate pentru prelucrarea datelor IFN

Formulele prezentate mai sus au fost dezvoltate și discutate în cadrul întâlnirilor și cooperărilor cu specialiști și statisticieni care își desfășoară activitatea în inventarele forestiere naționale din Elveția, Germania, Austria și Franța. Dezvoltarea lor s-a făcut având în vedere ultimele publicații din domeniu și a beneficiat de experiența participării inventarului forestier național român la proiectul european „E-Forest” finanțat de Joint Research Centre al Comisiei Europene, în care s-au purtat discuții și cu privire la armonizarea metodelor de prelucrare a datelor din inventarele forestiere europene.

Inventarul forestier național din România este un inventar statistic bazat pe metode de eșantionaj moderne și complexe, inspirate din ceea ce se practică curent în țările lider în domeniul inventarelor forestiere din Europa. Aspectele expuse arată gradul



ridicat de complexitate al prelucrării datelor IFN, care se bazează pe distribuția valorilor măsurate și pe eșantionajele prin care au fost măsurate. Ele sunt în conformitate cu metodele aplicate în țări cu experiență îndelungată în domeniu și pun în aplicare cele mai moderne și noi practici. Estimatorii prezentați au fost dezvoltati în cadrul unor proiecte al căror scop a fost acela de a armoniza inventarele forestiere europene. Modalitatea de calcul a estimatorilor este complexă, deoarece și eșantionajul realizat este unul complex (în două faze, cu stratificare și gruparea suprafețelor de probă în sondaje). Folosirea sau punerea în practică a acestor formule nu este simplă sau intuitivă și necesită o cunoaștere detaliată a caracteristicilor eșantionajelor și a datelor folosite.