

Cuprins

Prefață	7
1. Introducere	9
1.1. Considerații generale	9
1.2. Inelul anual. Factori de creștere	9
1.3. Dendrocronologia – știința inelului anual	15
2. Istoricul dendrocronologiei	17
2.1. Istoricul dendrocronologiei în străinătate	17
2.2. Dezvoltarea dendrocronologiei în România	20
3. Principiile dendrocronologiei	23
4. Metodica elaborării seriilor dendrocronologice de referință	39
4.1. Criterii de alegere a zonelor de studiu și a arborilor	40
4.2. Prelevarea, prelucrarea și măsurarea probelor de creștere	45
4.3. Prelucrarea statistică a seriilor de creștere	48
4.4. Elaborarea seriilor dendrocronologice de referință	50
4.5. Testarea semnificației seriilor dendrocronologice	61
5. Serii dendrocronologice din rețeaua RODENDRONET	65
5.1. Serii dendrocronologice pentru molid (<i>Picea abies</i> Karst.)	67
5.2. Serii dendrocronologice pentru brad (<i>Abies alba</i> Mill.)	92
5.3. Serii dendrocronologice pentru alte specii de rășinoase	106
5.4. Serii dendrocronologice pentru speciile de cvercinee	109
6. Aplicații de dendrocronologie	113
6.1. Variabilitatea spațială a seriilor dendrocronologice	113
6.1.1. Analiza variabilității spațiale a seriilor dendrocronologice prin intermediul parametrilor statistici	113
6.1.2. Analiza variabilității spațiale a seriilor dendrocronologice prin metoda componentelor principale	118
6.1.2.1. Analiza variabilității spațiale la nivel interspecific	118
6.1.2.2. Analiza variabilității spațiale la nivel intraspecific	120
6.2. Analiza dinamicii regimului perturbărilor prin tehnici de dendroecologie	127
6.2.1. Analiza regimului perturbațiilor prin metoda separării semnalelor	128
6.2.2. Analiza regimului perturbațiilor prin metoda ratelor de creștere	135
6.3. Aplicații de dendroclimatologie	141
6.3.1. Analiza relației climat-arbore prin intermediul funcțiilor de răspuns	144
6.3.2. Analiza relației climat-arbore prin intermediul funcțiilor de transfer	156
7. Potențialul dendrocronologic al pădurilor din România	165
8. Direcții de cercetare în dendrocronologie	173
Bibliografie	175
Summary	183
Glosar de termeni	197

Contents

Preface	7
1. Introduction	9
1.1. General consideration	9
1.2. Tree ring. Growth factors	9
1.3. The dendrochronology – the science of tree ring	15
2. History of dendrochronology	17
2.1. History of dendrochronology in abroad	17
2.2. Development of dendrochronology in Romania	20
3. Principles of dendrochronology	23
4. Methodology of master dendrochronological series building	39
4.1. Criteria for sites and tree selection	40
4.2. Sampling, preparing and measurement of growth sample	45
4.3. Statistical analysis of growth series	48
4.4. Building of master dendrochronological series	50
4.5. Testing of dendrochronological series significances	61
5. Dendrochronological series from RODENDRONET network	65
5.1. Dendrochronological series for Norway spruce (<i>Picea abies</i> Karst.)	67
5.2. Dendrochronological series for Silver fir (<i>Abies alba</i> Mill.)	92
5.3. Dendrochronological series for other coniferous species	106
5.4. Dendrochronological series for oak species	109
6. Dencrochronological applications	113
6.1. Spatial variability of dendrochronological series	113
6.1.1. Analysis of spatial variability of dendrochronological series using statistical parameters	113
6.1.2. Analysis of spatial variability of dendrochronological series using principal component method	118
6.1.2.1. Analysis of spatial variability at interspecific level	118
6.1.2.2. Analysis of spatial variability at intraspecific level	120
6.2. Analysis of disturbance regime using dendroecological techniques	127
6.2.1. Analysis of disturbance regime by signal extraction method	128
6.2.2. Analysis of disturbance regime by growth rate method	135
6.3. Dendroclimatological applications	141
6.3.1. Analysis of climate-tree relation by response function	144
6.3.2. Analysis of climate-tree relation by transfer function	156
7. Dendrochronological potential of Romanian forests	165
8. Directions of research in dendrochronology	173
Bibliography	175
Summary	183
Glossary	197

PREFAȚĂ

În numărul său din 18 decembrie 2003, cunoscuta publicație pariziană Le Figaro, publica sub titlul “Stradivarius - viorile venite din frig” un interesant articol care pune în evidență valențele dendrocronologiei ca știință a descifrării informațiilor oferite de inelul anual. Plecând de la distribuția inelelor anuale de pe fața viorii “Le Messie” cunoscutul dendrocronolog Henri Grissino-Mayer, profesor la Universitatea din Tennessee, a constatat între altele că arborele din care a fost confecționată renumitul și valorosul instrument muzical, a crescut în perioada 1577-1687, suprapusă parțial peste așa zisă “mica glaciațiune” (minima Maunder) într-o zonă de mică altitudine. Vioara a fost produsă în 1716 după ce lemnul s-a uscat un număr de 29 de ani.

Lăsând la o parte aspectele de senzație, de fapt divers, oferite marelui public, trebuie subliniat faptul că dendrocronologia cu diversele ei ramuri, reprezintă instrumentul cu ajutorul căruia natura (care se știe se lasă cunoscută pas cu pas, numai prin dificile eforturi științifice) ne dezvăluie multiple secrete, care în alte condiții ar rămâne înglobate în lemn, necunoscute pentru totdeauna.

Dendrocronologia, vine să exploateze caracterul dual al arborelui : de cronicar și cronică, în același timp. Numai omul mai are această dublă însușire, dar și el este afectat de subiectivitate și erori, dovada fiind diferitele variante ale aceluiași eveniment istoric. Arborele, în schimb nefiind expus influențelor de natură socială, politică sau religioasă, înregistrează cu fidelitate orice modificare la care este martor. Inelul anual poartă înscrisă orice schimbare intervenită în mediul proximal al arborelui fie că i se datorează presiunii concurenței sau competiției sau modificărilor mediului climatic, edafic, biologic, geomorfologic.

Dendrocronologia este o știință de graniță relativ tânără, care în contextul general al dezvoltării științifice va permite cercetătorului să descifreze din ce în ce mai precis (să diminueze zgomotul) mulțimea de informații stocată și pusă la dispoziție de către arbori.

După o strălucită lucrare de doctorat, susținută în anul 2001 la Universitatea “Ștefan cel Mare” din Suceava, care i-a conferit titlul neoficial de “cel mai tânăr doctor din silvicultura română”, după un mare număr de teme științifice și realizate cu succes în ultimii ani, tânărul cercetător Ionel Popa a avut curajul de a aborda frontal problemele de dendrocronologie, continuând cercetările sporadice începute la noi în țară.

Mai mult decât atât, a încercat și a reușit să scrie primul tratat de dendrocronologie apărut în România concretizat în prezenta carte. Tinerețea și competența l-au ajutat să pună în valoare rezultatele dobândite în cadrul programului de cercetare pe care l-a condus pe parcursul a numai 3 ani, fapt ce conferă lucrării evidențul caracter de originalitate și noutate.

Cunoștințele de matematică și informatică ale autorului asigură înaltul caracter științific al lucrării.

Se remarcă faptul că la baza acestei cărți a stat o asiduă documentare științifică dublată de o multitudine de rezultate proprii. Acestea din urmă au darul de a actualiza și de a promova cercetările dendrocronologice românești. Pentru cititorul specialist sunt deosebit de interesante atât informațiile cu privire la evoluția cercetărilor cât și cele referitoare la resursele dendrocronologice ale României. Același interes îl prezintă prescripțiile metodologice și aplicațiile proprii realizate cu ajutorul unor moderne instrumente statistice, de exemplu analiza în componente principale. De aici rezultă caracterul unic al apariției editoriale în peisajul literaturii științifice silvice românești.

Prin modul cum a fost gândită și concepută, cartea reprezintă un instrument valoros pentru specialiștii din învățământ, administrația și cercetarea silvică, nefiind altceva decât un pas înainte în dezvoltarea acestei fascinante științe, dendrocronologia.

Ne facem o datorie de onoare de a avertiza cititorul că despre autorul tânăr, competent și ambițios, va mai auzi în curând. Îl rugăm să țină aproape !

Radu Cenușă

1. Introducere

1.1. Considerații generale

Creșterea arborilor într-un areal cu variații sezonale ale climatului (alternanță iarnă-vară sau sezon umed-sezon secetos) se caracterizează prin formarea unei singure creșteri pe perioada de vegetație respectiv: inelul de creștere. Inelul de creștere variază de la an la an (în cazul în care variația climatului general este anuală) sau de la sezon de vegetație la sezon de vegetație (în cazul variației sezonale a climatului cu un ciclu mai mare sau mic de un an), atât în ceea ce privește lățimea sa, cât și în ceea ce privește structura și densitatea lemnului. Aceste elemente variabile conțin informații privind relațiile dintre arbore și factorii de mediu. Inelul anual constituie o arhivă, o adevărată bază de date, care conține informații privind variația seculară și multiseculară a factorilor de mediu, atât la nivel global cât și mezo și microzonal.

Dendrocronologia, privită în sensul larg, este chemată să elucideze cauzele care au determinat variabilitatea caracteristicilor unei secvențe multianuale de inele de creștere, utilizând material și metode specifice, să identifice schimbările și evenimentele survenite în ecosistemele forestiere în retrospectivă. Giurgiu (1976) afirma “arborele își scrie într-un limbaj specific propria istorie. Arborele înregistrează pe răboj nu numai anii, dar și starea timpului. Se afirmă că arborele este un conștiințios cronicar (letopiseț) al timpurilor de mult apuse. Se justifică afirmația potrivit căreia arborele reprezintă un fitoclimatograf de mare sensibilitate, capabil să înregistreze și să depoziteze informații privind acțiunea factorilor de mediu”. Descifrarea acestui dendroalfabet constituie obiectul dendrocronologiei.

1.2. Inelul anual. Factori de creștere

Cunoașterea structurii lemnului este necesară pentru construirea și interpretarea modelelor privind legătura dintre variația factorilor de mediu și creșterea radială a arborilor, exprimată prin lățimea inelului anual, sau prin intermediul altor caracteristici ale acestuia (densitate, structură etc.) (Fritts, 1976). Este dificil a înțelege modalitatea în care factorii de mediu afectează creșterea arborilor fără a ști cum și când se desfășoară procesele fiziologice, care au drept rezultat formarea de noi inele anuale. Înțelegerea manierei în care sezonul de creștere activă începe și se termină,

perioada în care se formează anumite structuri ale lemnului, atât la nivelul trunchiului cât și la nivelul rădăcinilor sau ramurilor, este esențială pentru explicarea modului în care se pot forma într-un singur sezon de vegetație două inele anuale sau cum, în unele cazuri, inelul anual poate lipsi în anumite părți ale arborelui.

Lemnul este un ansamblu de țesuturi de origine secundară, formate din pereți lignificați, rezultat al funcționării către interior a cambiumului (Marocico, 1994). Cambiumul sau zona generatoare libero-lemnoasă apare în fascicolul primar al tulpinii, între liber și lemn, fiind constituit dintr-un singur strat de celule tinere, a căror însușire esențială este de a se divide. Din diviziunea celulelor cambiale se diferențiază spre exterior liberul secundar, iar spre interior lemnul secundar (Morariu, 1965). La speciile lemnoase din zona temperată, cambiumul este inactiv în perioada de iarnă, fiind reactivat sub influența hormonilor de creștere, primăvara. Această funcționare particulară a cambiumului conduce la apariția unor limite structurale, deci observabile, între creșterile anuale. Acestea definesc inelele anuale, distinct vizibile la speciile de rășinoase și foioase cu distribuția porilor inelară și mai puțin vizibile macroscopic la foioasele cu o distribuție a porilor difuză (fig. 1.1.).

Macrostructura anatomică a lemnului este rezultatul acumulărilor de straturi de

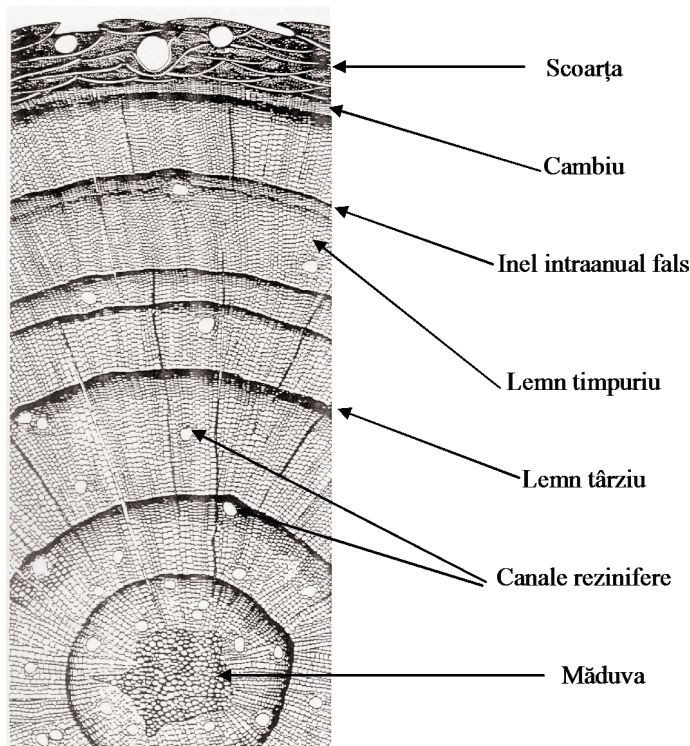


Fig. 1.1. Structura macroscopică a lemnului de rășinoase (după Fritts, 1976)
Macroscopic structure of coniferous wood (after Fritts, 1976)

celule lemnoase de diferite dimensiuni, organizate în inele anuale. Caracteristicile fiecărui inel anual sunt determinate de proporția diferitelor elemente celulare componente, reflectând condițiile de creștere din sezonul de vegetație, în situația unui plan de organizare a structurii lemnului constantă (Marocico, 1994). Ansamblul ultimelor creșteri anuale formează o zonă activă din punct de vedere fiziologic, asigurând transportul sevei brute, cunoscută sub denumirea de alburn. Creșterile anuale mai depărtate de cambiu suferă procese de transformare de ordin anatomic, fizic și chimic provocate și controlate de celulele de parenchim, proces denumit duraminificare. Prin acest proces are loc transformarea alburnului în duramen, inactiv fiziologic, dar cu un predominant rol mecanico-structural.

Coniferele prezintă o structură microscopică a lemnului relativ simplă, uniformă, prin traheidele longitudinale, razele medulare, parenchimul longitudinal și canalele rezinifere, remarcându-se absența traheelor (vase perfecte) și a fibrelor lemnoase (fig. 1.2.). Lemnul de primăvară este format din traheide cu lumenul mai mare și cu membrane mai subțiri, iar cel de toamnă din traheide cu lumen mai mic și cu pereți celulari îngroșați. Trecerea de la lemnul timpuriu la cel târziu se poate face progresiv (la molid) sau relativ brusc (la brad, duglas, larice).

Speciile de foioase prezintă o structură microscopică a lemnului mult mai complexă, comparativ cu coniferele. Dacă la rășinoase traheidele longitudinale îndeplinesc funcție dublă (fiziologică și mecanică), în cazul angiospermelor se disting celule specializate pentru conducerea sevei brute - trahee sau elementele de vase și fibrele lemnoase pentru asigurarea rezistenței mecanice (Morariu, 1965). Pe lângă aceste tipuri de celule, spre deosebire de rășinoase, se mai întâlnesc traheide vasculare, traheide vasicentrice și fibrotraheidele (fig. 1.3.).

În secțiune transversală, vasele apar sub formă de pori, care pot fi izolați, grupați în șiruri radiale, tangențiale sau oblice, diseminați mai mult sau mai puțin regulat pe suprafața inelului anual. Dimensiunile lor pot fi constante sau descreșc gradat, de la lemnul timpuriu spre cel târziu. În raport cu caracteristicile porilor, la speciile de foioase, se disting următoarele tipuri de lemn (Keller, 1991; Marocico, 1994):

- lemn cu distribuția inelară a porilor (cu zonă inițială poroasă), la care porii lemnului timpuriu au diametrul mult mai mare în raport cu lemnul târziu. La începutul sezonului de vegetație se formează una sau mai multe benzi de pori mari, urmați de pori mici, dispersați, în grupe mici (la frasin), în șiruri radiale (la stejar), oblice (la castan) sau tangențiale (la salcâm, ulm) (fig. 1.4a);
- lemn cu distribuția porilor difuză, la care elementele de vase au un diametru relativ constant pe întreaga întindere a inelului anual, fiind repartizați uniform în masa lemnului. Acest tip de lemn se întâlnește la mesteacăn, plop, anin, fag, paltin, nuc, scoruș, tei etc. (fig 1.4b).
- lemn cu distribuția porilor semiinelară (cu zonă semiporoasă), la care vasele au relativ același dimensiuni pe toată lățimea inelului anual, dar cu

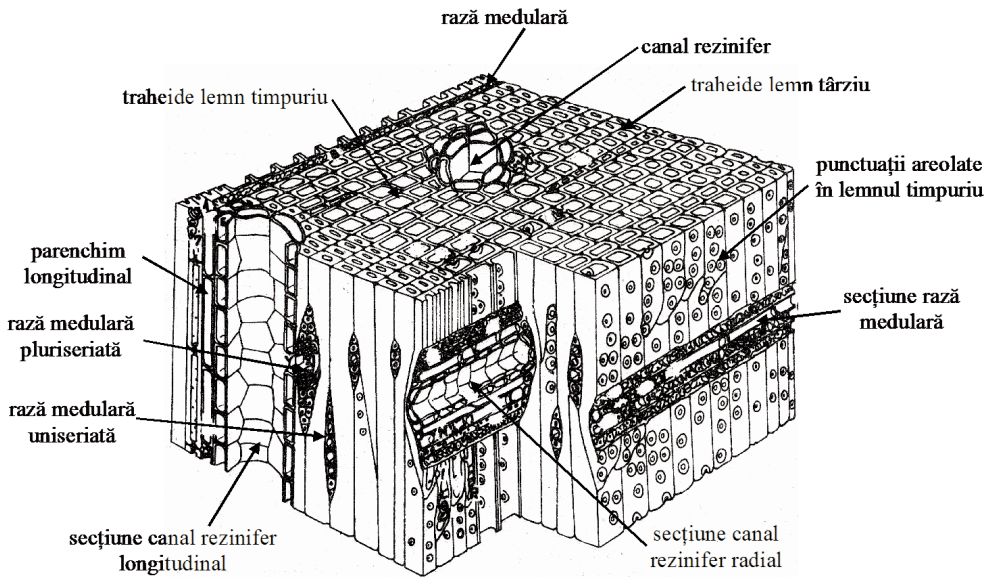


Fig. 1.2. Structura microscopică a lemnului de pin (după Marocico, 1994)
Microscopic structure of pine wood (after Marocico, 1994)

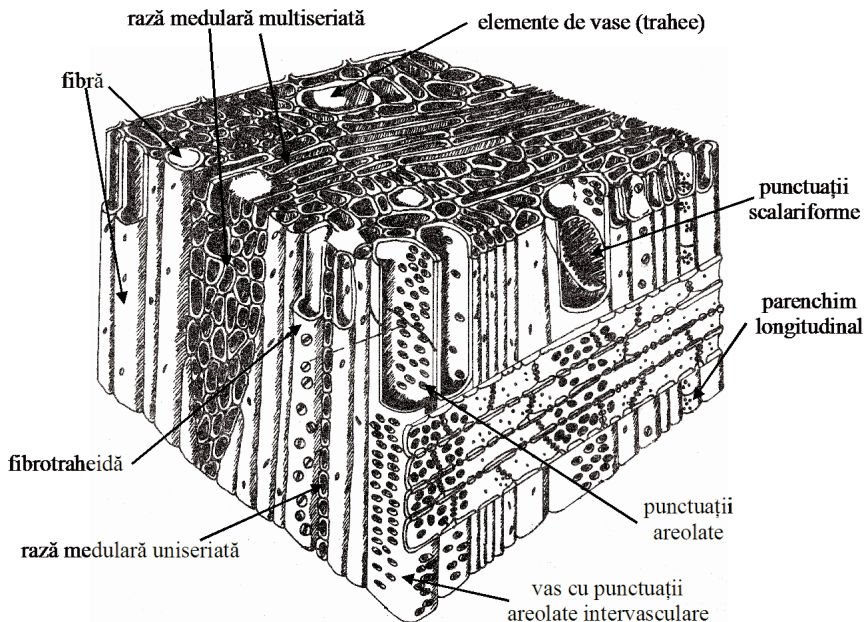


Fig. 1.3. Structura microscopică a lemnului de fag (după Marocico, 1994)
Microscopic structure of beech wood (after Marocico, 1994)

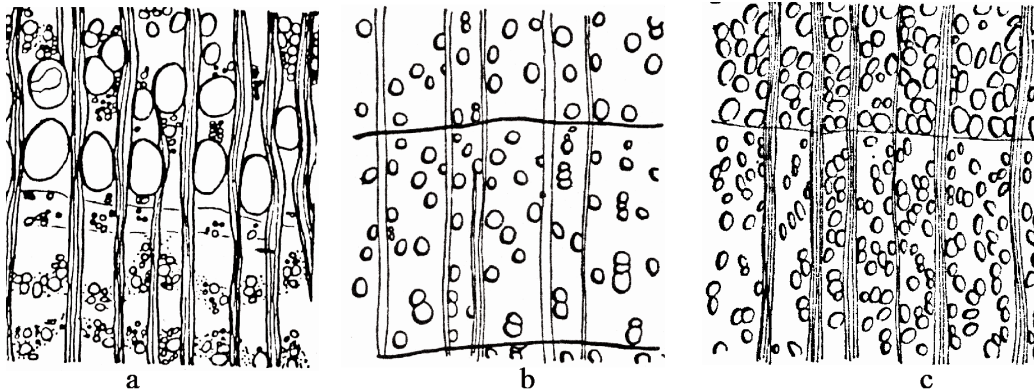


Fig. 1.4. Tipuri de distribuție a porilor la lemnul de foioase: a - inițial poroasă, b - difuză, c - semi-poroasă

Types of pores distribution of angiosperms wood: a - initial porous, b - diffused porous, c - semiporous

tendință de grupare în lemnul timpuriu sub formă de benzi inelare. Un exemplu tipic al acestui tip de distribuție este lemnul de cireș (fig. 1.4c).

Creșterea radială, precum și structura intrinsecă a lemnului este controlată în primul rând prin bagajul genetic al fiecărui arbore, care determină o constanță a compoziției calitative a țesuturilor lemnoase, a modului general de aranjare a elementelor celulare, a structurii interne a pereților celulelor lemnoase. Factorii de mediu, prin influențarea activității cambiumului, a proceselor de diferențiere celulară, de creștere a pereților celulari, induc caracteristici particulare ale inelelor anuale, sub raportul dimensiunilor, a densității etc. (fig. 1.5.). Controlul genetic asupra creșterii radiale se manifestă prin: longevitatea arborilor, procesele de îmbătrânire, sensibilitatea la factorii de mediu sub raportul caracteristicilor macroscopice (lățimea inel, densitate, proporție lemn timpuriu-lemn târziu) și a structurii anatomice (Schweingruber, 1996).

Lumina, temperatura, rezervele de apă și nutrienți, vântul, daunele mecanice la nivelul coroanei, rădăcinilor și trunchiului, poluarea solului și a aerului, activitatea umană etc., toți acești factori de natură abiotică și antropică au un impact pozitiv sau negativ asupra creșterii arborilor (Parascan și Danciu, 2001). Factorii abiotici pot influența creșterea radială a arborilor în maniere și intensități extrem de diferite. În mod obișnuit, este imposibil de probat influența unui singur factor, creșterea arborilor fiind sub influența acțiunii conjugate a acestora. De asemenea, reacția la nivelul diferitelor organe ale arborilor este diferită. Numai analiza unui număr mare de arbori, din stațiuni diferite, permite determinarea cauzelor care au generat lățimi reduse sau ridicate ale inelului anual, respectiv anumite raporturi dintre lemnul târziu și cel timpuriu. În prezent, este dificil a preciza și a oferi o explicație ecologică

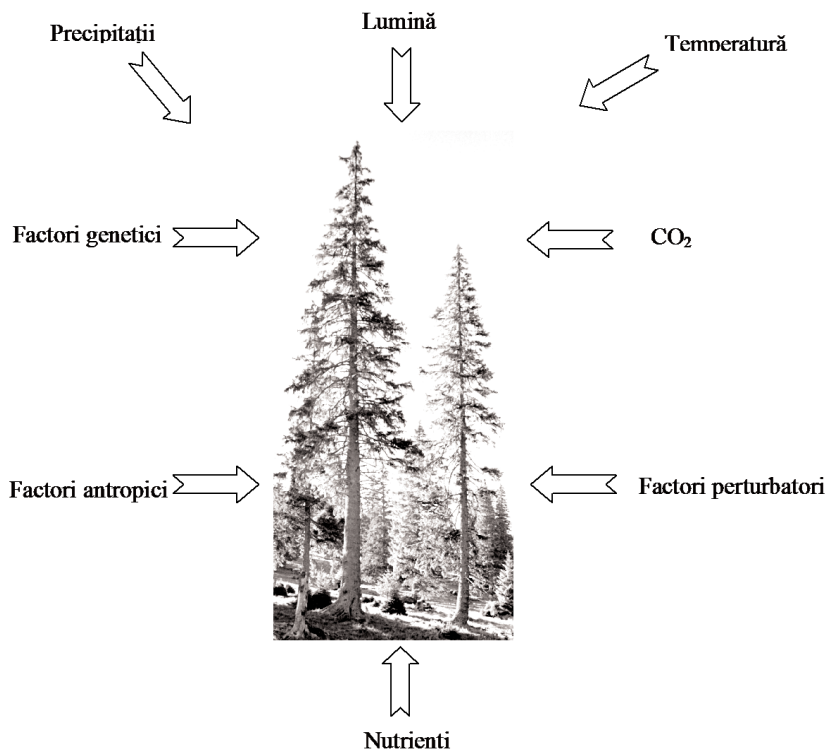


Fig. 1.5. Principalii factorii de creștere cu influență asupra inelului anual
The main growth factors with influence to tree-ring

a cauzelor care conduc la formarea de inele anuale normale.

Mult mai dificilă este detectarea acelor factori de mediu care sunt înregistrați în lățimea inelelor anuale sau în densitatea sau structura lemnului, respectiv în compoziția chimică a acestuia. Acest tip de informații, denumite generic “semnal de intrare”, sunt integrate în arbore prin intermediul aparatului foliar și radicular, deoarece aceste organe sunt în contact direct cu mediul înconjurător și funcționează ca porți de intrare. În acest context, se poate considera arborele ca fiind o “cutie neagră” în care un anumit set de intrări, influențe de mediu, este transformat - prin procesele fiziologice de acumulare de biomasă - în ieșiri vizibile și măsurabile (lățimea inelului anual, densitatea lemnului, structura lemnului, elementele chimice). Toate forțele directe care determină variabilitatea biologică a informațiilor de ieșire din sistem sunt localizate în această “cutie neagră” (Wrobel și Eckstein, 1997; Eckstein, 1983) (fig. 1.6.).

Analiza relației dintre factorii de mediu și caracteristicile inelului anual constituie fundamentul biologic și ecologic al dendrocronologiei. Este total inadecvat, de exemplu, a realiza cercetări dendrocronologice la molidul de rezonanță care, conform criteriilor de încadrare în această categorie, prezintă o uniformitate foarte ridi-

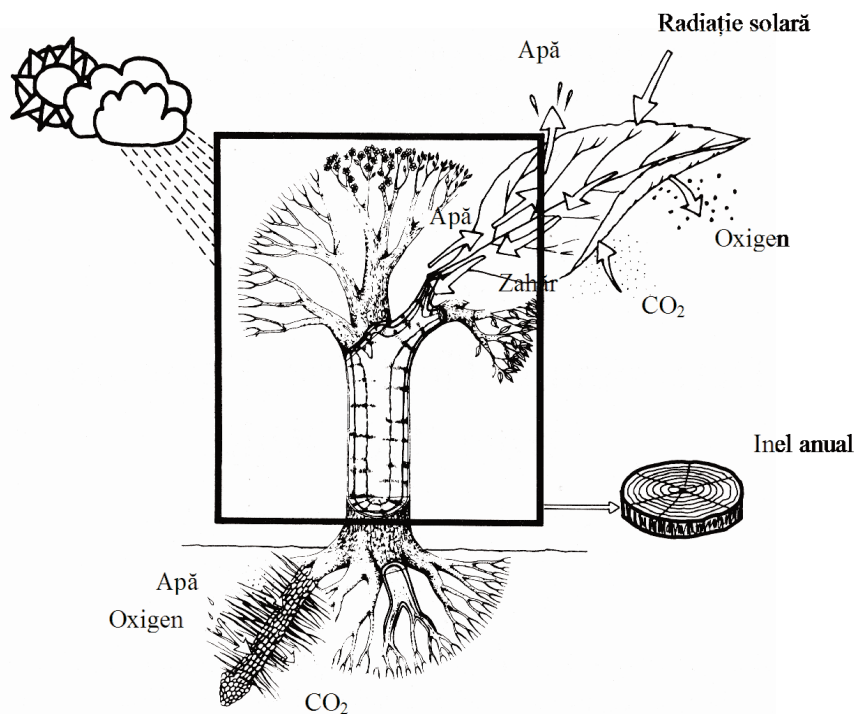


Fig. 1.6. Conceptul de cutie neagră în dendrocronologie (după Wrobel și Eckstein, 1997)
The black-box concept of dendrochronology (after Wrobel and Eckstein, 1997)

cată a lățimii inelului anual, având un potențial dendrocronologic practic nul. Desigur și acest tip de lemn stochează în caracteristicile inelelor anuale informații privind constanța condițiilor de vegetație, reprezentând un obiect de studiu al dendroecologiei.

1.3. Dendrocronologia - știința inelului anual

Dendrocronologia (din grecescul dendron-lemn, chronos-timp, logos-știință) poate fi definită drept știința care utilizează inelul anual, datat la anul exact al formării sale, în analiza temporală și spațială a proceselor din științele fizice și culturale (Grissino-Mayer, 2003). Uni autori restricționează termenul de dendrocronologie numai sensul utilizării inelelor anuale în datarea lemnului, integrând aici dendroarheologia (Bitvinskas, 1974; Schweingruber, 1996). Conform Webster's Ninth New Collegiate Dictionary (1990), dendrocronologia este definită drept știința datării evenimentelor și a variației factorilor de mediu prin studiul comparativ al inelelor de creștere ale arborilor și a vârstei reale a lemnului (anul exact al formării inelului de creștere).

Complexitatea informațiilor stocate în inelul anual, ca rezultat al interacțiunii

dintre factorii de mediu și genotip, a determinat apariția și dezvoltarea mai multor subdiscipline specializate:

- dendroecologia - utilizează inelul anual în studiul factorilor care influențează procesele ecosistemice (de ex. analiza efectului poluării asupra creșterii arborilor prin studiul variației în timp a lățimii inelului anual, analiza prin metode de dendrocronologie a dinamicii structurii arboretelor etc.);
- dendroclimatologia - utilizează inelul anual pentru studierea și reconstituirea climatului prezent și trecut (ex. reconstituirea variației temperaturilor și/sau a precipitațiilor dintr-o anumită zonă în ultimele secole);
- dendroentocronologia - utilizează inelul anual pentru datarea și studiul dinamicii istorice a populațiilor de insecte (ex. datarea perioadelor de gradație a defoliatorilor);
- dendrogeomorfologia - utilizează metodele dendrocronologice pentru datarea proceselor geomorfologice de suprafață care au creat, alterat sau format peisajul (ex. analiza schimbărilor în creșterea arborilor, prin intermediul lățimii inelului anual, pentru datarea seriilor de alunecări de teren);
- dendroglaciologia - datarea și studiul dinamicii ghețarilor prin intermediul variației caracteristicilor inelelor anuale (datarea avansării ghețarilor);
- dendrohidrologia - utilizarea caracteristicilor inelului anual pentru analiza și datarea dinamicii resurselor de apă (datarea perioadelor cu inundații);
- dendropirocronologia - utilizarea inelului anual pentru studiul dinamicii prezente și trecute a incendiilor;
- dendroarheologia - utilizarea caracteristicilor inelului anual pentru datarea când a fost exploatat, transportat, procesat și utilizat lemnul (ex. datarea bisericilor din lemn).

Dendrocronologia și disciplinele derivate constituie domenii care investigează aspectele spațiale și temporale ale proceselor din sfera largă a științelor mediului, și nu numai (arheologie, istorie etc.), operând la scară anuală și multiseculară. Cel mai utilizat obiect de studiu al acestor discipline este seria dendrocronologică.

Seria dendrocronologică este definită ca o serie de timp privind un parametru al inelului anual (lățime totală, lățime lemn timpuriu sau lemn târziu, densitate etc.), măsurată și transformată prin metode specifice - standardizare - într-o serie de indici. O serie dendrocronologică de referință, pentru o anumită specie și zonă ecologică, poate fi definită ca fiind o serie de indici de creștere care conține semnalul climatului macrozonal, acestea putând fi utilizată pentru datare, reconstituirea climatului etc.

2. Istoricul dendrocronologiei

2.1. Istoricul dendrocronologiei în străinătate

Primele informații privind inelele de creștere și relația acestora cu factorii de mediu își au originea încă din antichitate. Pliniu cel Bătrân, în lucrarea “*Naturalis Historia*” face o serie de notații asupra creșterii arborilor (Corona, 1983). În însemnările lui Leonardo da Vinci (1452-1519) se regăsesc informații privind legătura dintre climat și creșterea anuală la pinul din Toscana, Italia (Corona, 1986), acesta remarcând influența regimului precipitațiilor asupra lățimii inelelor anuale. El precizează în lucrarea “*Trattato della Pittura*” că “inelele din ramurile tăiate din arbori arată numărul de ani și, în raport cu grosimea lor, anii care au fost mai mult sau mai puțin secetoși” (Corona, 1983). Mai târziu, în anul 1737, naturaliștii francezi Duhamel și Buffon identifică într-o serie de trunchiuri, posibilitatea existenței unor înghețuri în urmă cu 29 de ani, realizând de asemenea un portret caracteristic al anului 1709 (Fritts, 1976). John Hill, în lucrarea ilustrată “*Construcția trunchiului*” din 1770 prezenta “*cercurile anotimpurilor*”, adică lemnul timpuriu și cel târziu din cadrul inelului anual (Flocea, 1996). La sfârșitul secolului al XIX-lea, în Germania, Theodor Harting (1805-1880) și Robert Harting (1839-1901) dezvoltă conceptul creșterii timpurii și târzii, realizând cercetări privind dinamica sezonieră a acesteia (Schweingruber, 1996; Vitas, 1998). În anul 1898, T. Harting și R. Harting stabilesc faptul că creșterea arborilor este direct influențată de lungimea perioadei de vegetație, de precipitații și de temperatura aerului. F.N. Schvedov, în 1882, explică posibilitatea utilizării inelelor anuale pentru analiza și prognoza climatului, observând o strânsă legătură între lățimea inelelor anuale de la salcâm, lângă Odessa-Ucraina, și precipitațiile înregistrate (Kairiukstis și Shiyatov, 1990; Vitas, 1998). În anul 1880 silvicultorul olandez Kapteyn măsoară și datează o serie de trunchiuri din Germania și Olanda (Eckstein și Wrobel, 1983; Eckstein și Pilcher, 1990).

Primele cercetările sistematice în domeniul dendrocronologiei își găsesc originea la începutul secolului XX, prin studiile întreprinse de Andrew Ellicott Douglass la observatorul astronomic de la Flagstaff. Cercetările întreprinse de Douglass vizau ciclicitatea naturală a activității solare, respectiv relația acesteia cu dinamica climatului. Neexistând înregistrări meteorologice istorice, el utilizează creșterile arborilor drept măsură indirectă a climatului. Investigațiile lui Douglass încep în anul 1901, bazându-se pe următoarea ipoteză: creșterile anuale ale arborilor sunt depen-

dente de cantitatea de substanțe nutritive care, la rândul lor sunt direct condiționate de oferta de substanțe minerale și de apă din sol. Rezerva de apă din sol este direct legată de regimul pluviometric, mai ales în regiuni secetoase, cum era Arizona. Astfel, Douglass ajunge la concluzia că mărimea creșterile anuale ale arborilor din regiunile cu deficit de precipitații este direct corelată cu regimul pluviometric. Din analiza probelor de creștere, el observă o alternanță de ani cu inele largi cu inele foarte înguste, observând existența unui model de succesiune a lățimii inelelor anuale din două arborete din apropierea Flagstaff (Prescott și Flawell), fundamentând metoda de interdatare a seriilor de creștere (Fritts, 1976). În mod independent, primele încercări de interdatare sunt realizate, în 1827 de către Twining, 1839, de matematicianul Babbage, 1904, de Douglass (Fritts, 1976). Meritul lui Douglass este de a utiliza acest principiu drept bază pentru dezvoltarea dendrocronologiei ca știință (Douglass, 1941). Analizând probe de lemn provenite din vechile satele indiene, acesta a observat prezența unor succesiuni particulare de inele, prezente și la arborii analizați anterior, reușit astfel datarea acestor vestigii arheologice. În anul 1937 s-a înființat la Universitatea din Arizona (Tucson), primul laborator de dendrocronologie sub conducerea lui Douglass, destinat exclusiv studiului inelului anual, în acest demers fiind ajutat de doi studenți: Waldo S. Glock - în dezvoltarea tehnicilor de analiză cantitativă și Edmund Schulman în analiza statistică și în tehnicile de dendroclimatologie (Robinson, 1990).

În Europa, Bruno Huber (1899-1969), la Institutul de Botanică Forestieră din Munchen, inițiază primele cercetări sistematice de dendrocronologie, preluând metoda de interdatare a lui Douglass, pe care o dezvoltă și o perfecționează. În condițiile climatului temperat din Europa, se dovedește necesară măsurarea și reprezentarea grafică a fiecărui inel anual, deoarece variația de la an la an a lățimii inelului nu este atât de evidentă ca în cazul speciilor din zona semiaridă a Arizonei, unde a lucrat Douglass (Eckstein, 1982; Eckstein și Wrobel, 1982; Eckstein și Wrobel, 1983; Eckstein și Pilcher, 1990). Cercetările de dendrocronologie din laboratoarele din Europa au vizat în special cuantificarea impactului activității industriale și a poluării asupra creșterii arborilor (Eckstein, 1986; Becker, 1987; Eckstein și Sass, 1988; Eckstein et al., 1989; Eckstein și Krause, 1989; Tessier et al., 1990). În țările nordice primele studii de dendrocronologie sunt cele întreprinse de Henrik Hesselman, Ernst Antevs, Stellan Erlanderson și Bo Eklund în Suedia, C.D.F. Reventlow, Erik Holmsgaard și Thomas Bartholin în Norvegia și de E. Laitakari și Peitsa Mikola în Finlanda (Eckstein și Wrobel, 1982; Graslund, 1984). În Europa, dendroclimatologia este o știință relativ tânără, comparativ cu cercetările întreprinse pe continentul american, în prezent existând numeroase rețele de dendrocronologie care au permis analiza dinamicii climatului în urmă cu peste două milenii (Eckstein și Aniol, 1981; Schweingruber et al., 1987; Briffa et al., 1990).

Dezvoltarea rapidă a dendrocronologiei a avut drept rezultat elaborarea unui număr mare de serii dendrocronologice de referință pentru diferite zone geografice

de pe mapamond și a condus la înființarea, în 1974, a Băncii Internaționale de Dendrocronologie - ITRDB - International Tree-Ring Database, ca organizație profesională și ca bancă de date pentru toate tipurile de date dendrocronologice, cu sediul inițial la Laboratorul de Dendrocronologie al Universității din Tucson, Arizona - S.U.A. Din anul 1990 în cadrul Programului Paleoclimatic al Administrației Naționale a Océanelor și Atmosferei (S.U.A.) - N.O.A.A. - Paleoclimatology Program of the National Oceanic and Atmospheric Administration, centrul mondial al datelor de dendrocronologie, a fost stabilit la National Geophysical Data Center (N.G.D.C.) în Boulder, Colorado, S.U.A. În prezent, această bază de date internațională cuprinde peste 6000 de serii dendrocronologice, de la peste 100 de specii (<http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/ftp-treering.html>). La nivel european funcționează un catalog de serii dendrocronologice implementat și menținut de către T. Levanic (<http://www.dendro.bf.uni-lj.si/first.html>).

Cercetările întreprinse în domeniul dendroclimatologiei au permis atât fundamentarea teoretică a metodelor de analiză statistică (Bitvinskas, 1974; Fritts, 1976; Schweingruber, 1985, 1996; Guiot et al., 1982; Guiot, 1984; Guiot, 1986; Guiot, 1991; Fritts și Guiot, 1990) cât și reconstituirea dinamicii climatului în ultimele secole și milenii (Schulmann, 1958; Eckstein și Aniol, 1981; Hughes et al., 1982; Schweingruber et al., 1987; Villalba, 1990; Briffa et al., 1990; Schweingruber și Eckstein, 1990; Serre-Bachet, 1992; Jacoby și D'Arrigo, 1996).

În domeniul dendrohidrologiei, cercetările realizate au permis evidențierea dinamicii inundațiilor și a nivelului apelor (Payette et al., 1990; Yanosky și Kappel, 1997; Swanson et al., 1998), a evoluției istorice a turbăriilor (Chambers et al., 1997). Dinamica ghețarilor și datarea avalanșelor au făcut obiectul a numeroase cercetări (Potter, 1967; Carrara, 1979; Smith et al., 1995; Smith și Laroque, 1996; Smith, 2000). Cercetări de dendroentocronologie au permis datarea atacurilor de insecte și a dinamicii istorice a gradațiilor (Swetnam et al., 1985; Weber, 1997; Muzika și Liebhold, 1999; Krause și Morin, 1999; Speer et al., 2001).

Perfecționarea continuă a tehnicilor de lucru, a metodologiilor de prelucrare și analiză a datelor dendrocronologice este reflectată în lucrări de referință în domeniu (Bitvinskas, 1974; Fritts, 1976; Hughes et al., 1982; Cook și Kairiukstis, 1990; Schweingruber, 1996).

Pentru America de Nord, cea mai lungă serie dendrocronologică, derivată din lemn arheologic, este de peste 8400 de ani, cu tentative de extindere la 10.000 de ani. Seria dendrocronologică pentru stejar, în Europa, este de 10.479 de ani, extinzându-se până în anul 8480 Î.Ch. O serie cronologică de 2012 ani a fost dezvoltată pentru pinul silvestru la nivel european, oferind astfel cercetătorilor o secvență completă până la ultima glaciațiune (Kromer și Spurk, 1998). În emisfera sudică, în Anzi, pentru *Fitzroya cupressoides* seria dendrocronologică merge până în anul 1634 Î.Ch., iar în Noua Zeelandă a fost elaborată o cronologie de 1200 ani pentru *Lagarostrobos franklinii* (Kuniholm, 2003).

În domeniul promovării cercetărilor de dendrocronologie din 1934 apare revista *Tree-Ring Bulletin* (transformată în *Tree-Ring Research*) editată de Societatea de Dendrocronologie (*Tree-ring Society*), iar din 1983 revista *Dendrochronologia* sub redacția Institutului Italian de Dendrocronologie. Un rol important în promovarea dendrocronologiei, prin bogatul conținut în informații și referințe este *Ultimate Tree-Ring Web Page* menținută de Grissino-Mayer (2003) - <http://web.utk.edu/~grissino/>.

La nivel internațional sunt dezvoltate o serie de baze de date utile în dendrocronologie dintre care se remarcă (Grissino-Mayer, 2003): *International Tree-Ring Data Bank*, una dintre cele mai complete baze de date paleoclimatice accesibilă la adresa <http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/ftp-treering.html>; baza de date cu peste 8500 de referințe bibliografice din domeniul dendrocronologiei realizată de Grissino-Mayer și accesibilă on-line la *Swiss Federal Institute of Forest, Snow and Landscape Research*, secția *Ecosisteme forestiere și riscuri ecologice*, menținută de M.K. Dobbertin - <http://www01.wsl.ch/dendrobiblio/>; baza de date cu speciile de arbori și arbuști utilizați în dendrocronologie realizată de Grissino-Mayer - <http://web.utk.edu/~grissino/species.htm>; baza de date cu adresele de contact a peste 900 de cercetători din domeniul dendrocronologiei accesibilă la <http://web.utk.edu/~grissino/address2.htm>.

Comunitatea științifică din domeniul dendrocronologiei are la dispoziție pe Internet un forum de discuție integrând peste 580 de cercetători din peste 32 de țări accesibil la adresa ITRDBFOR@LISTSERV.ARIZONA.EDU.

2.2. Dezvoltarea dendrocronologiei în România

La noi în țară, în domeniul dendrocronologiei cercetările au avut un pregnant caracter ecologic, de evaluare prin metode de dendroecologie a impactului degradării mediului, mai ales sub influența poluării, asupra creșterii arborilor și arboretelor. Analiza istorică a studiilor de dendrocronologie permite identificarea a trei etape distincte.

O primă etapă, reprezentată de studii și cercetări cu un caracter explorator al tehnicilor de dendrocronologie, care au fost efectuate mai ales în cadrul auxologiei forestiere (Giurgiu, 1967, 1974, 1977, 1979), fiind puse în evidență variațiile ciclice ale creșterilor la brad și alte specii forestiere (Giurgiu, 1967, 1974). De asemenea se elaborează primele serii de indici de creștere la *Pinus cembra* pentru masivele Rodna și Retezat în baza unui număr mic de arbori (1-2 runde) (Seghedin, 1977; Soran și Gârlea, 1981; Pânzaru și Soran, 1983). Se poate aminti aici și seria dendrocronologică pentru un trunchi fosil de stejar din albia Siretului (Dumitriu-Tătăranu și Popescu, 1983), la care s-au aplicat metode statistice de analiză a variației sezoniere și de eliminare a influenței vârstei. Tot în această primă etapă sunt

realizate primele cercetări de dendroclimatologie, prin corelarea regimului precipitațiilor cu indicii de creștere radială (Giurgiu, 1977) și se evidențiază rolul cercetărilor de dendrocronologie în domenii colaterale (arheologie, istoriografie) (Giurgiu, 1987, Alexandrescu, 1995, Flocea, 1996a).

Următoarea etapă o constituie aprofundarea cercetărilor de dendrocronologie aplicată (dendroecologie), remarcându-se cercetările privind cuantificarea impactului poluării asupra ecosistemelor forestiere (Ianculescu, 1975, 1977, 1978, 1987; Alexe, 1984; Decei et al., 1987; Tisescu, 1988, 1989; Ianculescu și Tisescu, 1989; Barbu, 1989, 1991; Flocea, 1992, 1996b), precum și cele din domeniul analizei modificărilor structurale în ecosistemelor forestiere fiind posibilă stabilirea unor criterii de clasificare a curbelor de creștere în raport cu poziția cenotică și modificările structurale (Cenușă, 1990, 1992, 1993, 1996, 1999; Iacob, 1998). Se realizează cercetări aprofundate de dendroecologie privind dinamica factorilor perturbatori (Popa, 2002, 2003a) și a variabilității spațiale a seriilor dendrocronologice (Popa, 2002, 2003a), de dendroclimatologie cu referire la relația climat-arbore (Popa 2002), realizându-se reconstituirea dinamicii istorice a unor parametri meteorologici din zonele studiate (Popa, 2002, 2003a, 2003e; Popa et al., 2003). Elaborarea primelor serii dendrocronologice, conforme cerințelor ITRDB, s-a realizat în ultimii ani pentru molid (Schweingruber, 1985; Alexandrescu, 1995; Popa, 2002, 2003e), brad (Ianculescu și Tisescu, 1989; Alexandrescu, 1995; Popa, 2002, 2003a, 2003e), zâmbru (Popa, 2002, 2003a), gorun și stejar (Tisescu, 1990; Borlea, 1998; Popa, 2002).

În domeniul dendroarheologiei se remarcă cercetările privind datarea bisericilor de lemn din Maramureș (Babos și Eggertsson, 2002) sau a unor construcții medievale (Alexandrescu, 1995).

În prezent se desfășoară un proiect național privind elaborarea seriilor dendrocronologice pentru principalele specii de rășinoase din pădurile României, urmărindu-se realizarea unei rețele naționale de suprafețe de dendrocronologie - RODENDRONET - avându-se în vedere, într-o primă etapă, valorificarea potențialului dendrocronologic al ecosistemelor forestiere. Această rețea națională reprezintă fundamentul dezvoltării cercetărilor de dendrocronologie aplicată, deschizând noi direcții de cercetare în domeniu.

3. Principiile dendrocronologiei

În orice știință, în timp, se produce o acumulare a unui set de cunoștințe cu caracter esențial, cu putere generalizatoare care, bazate pe observații repetate și experiență, pot fi descrise drept principii sau concepte ce întruchipează adevăruri fundamentale. Principiile nu sunt legi sau reguli absolute ale naturii, fiind raționamente foarte bine testate bazate pe ansamblul de cunoștințe existente la un moment dat. Principiile sunt mai mult sau mai puțin stabile în timp, fiind revizuite periodic, în conformitate cu evoluția și aprofundarea cercetărilor în domeniul respectiv.

Dendrocronologia, ca și alte științe, este guvernată de un set de principii sau reguli științifice. Principiile dendrocronologiei au fost, și ele, supuse tendinței generale de perfecționare, în acord cu dezvoltarea cercetărilor de dendrocronologie în general, și în direcțiile particulare (dendroecologie, dendroclimatologie etc.). Unele principii sunt general valabile și își au originea la 1785 - "Principiul uniformității" - altele sunt relativ recente - "Principiul modelului agregat al creșterii arborilor"(1985). Unele sunt specifice dendrocronologiei - "Principiul interdatării" - altele sunt caracteristice științelor ecologice - "Principiul factorilor limitativi" - sau altele sunt general valabile în știință - "Principiul repetabilității".

În dendrocronologie sunt fundamentate un număr de opt principii de bază:

- principiul uniformității;
- principiul factorilor limitativi;
- principiul amplitudinii ecologice;
- principiul modelului agregat al creșterii arborilor;
- principiul alegerii stațiunii;
- principiul interdatării;
- principiul repetabilității;
- principiul standardizării.

Principiul uniformității în ordinea naturii a fost enunțat de geologul James Hutton în 1785: "Prezentul este cheia trecutului". În plus, dendrocronologia realizează o completare a acestui principiu, cu dictonul "Trecutul este cheia viitorului". Cu alte cuvinte, cunoașterea și analiza condițiilor de mediu care au operat în trecut permite prognoza condițiile de mediu din viitor. Confucius spunea: "Studiază trecutul ca să prevezi viitorul" (ITRDB, 1998). Aplicat în dendrocronologie, principiul uniformității prezintă următoarele implicații de ordin metodologic și conceptual: procesele fizice și biologice care realizează legătura din-

tre mediul actual și variația actuală a creșterii arborilor trebuie să fi fost operaționale și în trecut; aceleași caracteristici ale inelului anual sunt determinate de aceleași condiții de mediu atât în prezent, cât și în trecut sau viitor; condițiile de mediu asociate unei caracteristici prezente a inelului anual au existat și în trecut când parametrul respectiv apare.

Acest principiu nu implică însă ca factorii de mediu sau condițiile de creștere să fie aceleași în trecut ca și în prezent. Principiul presupune că relațiile ce guvernează legătura factori de mediu-creștere să fie similare, adică aceleași condiții de mediu afectează aceleași procese de creștere, atât în trecut, cât și în prezent sau viitor. Numai frecvența, intensitatea și localizarea factorilor de influență ai creșterii variază. Principiul uniformității se consideră îndeplinit în orice analiză dendrocronologică, ca și în cazul altor științe care studiază fenomene și procese din trecut, nerealizarea acestuia conducând la concluzii eronate privind evenimentele istorice.

Principiul factorilor limitativi. Creșterea arborilor este determinată de o multitudine de factori, fiecare influențând acest proces complex în mod diferit, atât spațial, cât și temporal. Numărul de traheide sau trahee, dimensiunile și modul de organizare în planul inelului anual, grosimea peretelui celular, aceste caracteristici sunt controlate de un număr mare de factori de mediu. Activitatea cambială este strict determinată de dinamica factorilor climatici. Este binecunoscută legea biologică a factorilor limitativi, definită astfel: un proces biologic cum este creșterea arborilor nu poate avea o intensitate mai mare decât cea permisă de factorul cu acțiunea cea mai limitativă (Fritts, 1976). Același factor poate avea un caracter limitativ pentru mai mulți ani, dar gradul și durata efectelor limitative variază de la an la an. Dacă factorul se schimbă și nu mai are un caracter limitativ, rata și intensitatea proceselor de creștere se accentuează până la nivelul la care un alt factor devine limitativ.

De exemplu, în zona de stepă și silvostepă temperatura nu constituie un factor limitativ, în schimb cantitatea de precipitații reprezintă un factor care limitează creșterea arborilor. În opoziție sunt zonele alpine și subalpine, unde temperatura reprezintă un factor de creștere limitativ. Acest principiu este extrem de important în dendrocronologie, deoarece interdatarea seriilor de creștere se poate realiza numai dacă unul sau mai mulți factori de mediu devin limitativi, persistă pe o perioadă de timp suficient de lungă și acționează pe o arie geografică suficient de largă pentru a determina aceeași reacție la un număr mare de arbori.

Principiul implică ipoteza conform căreia creșterea anuală minimă oferă informații mult mai pertinente privind condițiile climatice limitative decât creșterile anuale ridicate. Dacă creșterea arborilor, într-o zonă dată, nu este limitată de factori climatici sau de mediu, este dificil, a extrage informații pertinente asupra variației condițiilor de mediu din trecut, iar interdatarea seriilor de creștere din această zonă pune probleme deosebite.

Principiul amplitudinii ecologice. Fiecare specie biologică în raport cu bagajul său genetic, care în interacțiune cu factorii de mediu determină fenotipul, poate crește și se poate reproduce între anumite limite ale habitatului. Aceste limite se referă la amplitudinea ecologică a fiecărei specii. Unele specii au o amplitudine ecologică relativ redusă, fiind limitate numai la anumite tipuri de habitate, altele au o amplitudine ecologică ridicată, cuprinzând în cadrul arealului lor zone geografice foarte largi.

În zona centrală a arealului geografic specia întrunește condiții de mediu favorabile pentru creștere, rareori factorii de mediu devenind limitativi (ani cu condiții climatice extreme, condiții staționale limitative particulare). Spre limita arealului natural condițiile de mediu devin limitative pentru specia respectivă, inducând o limitare a proceselor fiziologice și implicit, a creșterii. Astfel, creșterea arborilor de la limita silvostepii și a stepei este puternic afectată de secetă, pe când la limita altitudinală sau latitudinală superioară a vegetației forestiere procesele fiziologice sunt limitate de temperaturile scăzute. În multe situații, factori ca: lungimea perioadei fotosintetice zilnice, disponibilitatea resurselor minerale, care nu variază semnificativ de la un an la altul pot constitui factori limitativi ai proceselor de creștere, dar au influență redusă în variabilitatea anuală a parametrilor inelului anual.

Principiul modelului agregat al creșterii arborilor. Modelarea creșterii radiale a arborilor în directă corelație cu factorii de creștere a constituit și constituie una dintre provocările majore din domeniul dendrocronologiei, ecologiei, biometriei sau fiziologiei. Primele modele clasice în dendrocronologie au pornit de la modelarea sistemului creștere-climat, evoluând ulterior spre o modelare de tipul creștere-mediu, incluzând, pe lângă factorii strict climatici, și alți factori ai ecosistemului forestier (de ex. concurența inter- și intraspecifică).

Fritts (1976) propune o serie de modele cu baze fiziologice și biochimice privind legătura dintre lățimea inelului anual și variația factorilor climatici, respectiv temperatură și precipitații. Alte modele propun o cuantificare energetică a relației dintre arbore și mediu. Wilson (1964) introduce în dendroecologie un model complex privind dinamica activității cambiale la conifere, în relație cu factori climatici.

Principala deficiență a aplicării acestor modele cu baze fiziologice și biochimice în cercetarea dendrocronologică este dată de dificultatea elaborării și implementării de tehnici specifice de cuantificare și separare a diferitelor influențe utilizând caracteristicile macroscopice și unele elemente microscopice, măsurabile, ale inelului anual.

Cu toate că utilizarea inelului anual în studiul variației factorilor de mediu este larg răspândită, extragerea informației, a semnalului dorit, poate fi dificilă și incertă.

Semnalul este definit, în acest caz, în sensul unei ipoteze testate statistic, drept o informație derivată din parametrii inelului anual (lățime, structură etc.), relevant pentru studiul unei anumite probleme. Zgomotul este definit ca o informație nerelevantă în raport cu obiectivele studiului. Așadar, inelul anual, respectiv seria de

creștere radială poate fi analizată și asimilată cu o serie statistică de timp, rezultată din agregarea mai multor semnale - componente ale seriei de timp - diferența dintre zgomot și semnalul relevant putându-se face numai în contextul unor ipoteze și aplicații practice. Deci în dendrocronologie, problema esențială constă în extragerea semnalelor relevante, prin dezagregare, care se realizează prin metode și algoritmi statistici, ale lățimii inelului anual, într-un număr finit de semnale reprezentând suma influențelor factorilor de mediu asupra creșterii radiale a arborilor.

Pornind de la această teoretizare a inelului anual, Graybill (1982) propune un model agregat al creșterii arborilor, model preluat și dezvoltat ulterior de Cook (1990), care sintetizează ansamblul complex al factorilor de mediu în patru semnale complexe: curba de creștere biologică de diferite forme, semnalul macroclimatic general al zonei, perturbările endo- și exogene și zgomotul sau eroarea inerentă.

Modelul agregat al inelului anual poate fi redată sintetic astfel (Cook, 1990):

$$R_t = A_t + C_t + \gamma D1_t + \gamma D2_t + E_t \quad (3.1.)$$

unde:

R_t reprezintă lățimea inelului anual în anul t ;

A_t - relația creștere - vârstă determinată de procesele fiziologice normale de îmbătrânire;

C_t - semnalul climatului general comun pentru toți arborii dintr-o anumită zonă geografică - variația macroclimatului;

$D1_t$ - perturbările locale de natură endogenă cu origine în procesele de competiție inter și intraspecifică caracteristică ecosistemelor forestiere;

$D2_t$ - perturbările locale de natură exogenă cauzate de factori cu originea în afara arboretului cum ar fi atacurile de insecte, înghețuri târzii sau timpurii;

E_t - variabilitatea interanuală neexplicată - zgomotul;

γ - variabilă binară (0 sau 1) care exprimă prezența sau absența unei perturbări locale de origine endo sau exogenă.

Exprimarea într-o formă liniară a lățimii inelului anual facilitează analiza conceptuală a fiecărei componente din model. Ipoteza liniarității și independenței componentelor modelului nu este întotdeauna verificată, cunoscut fiind faptul că unele proprietăți ale inelului anual sunt multiplicative. De altfel, prin transformări adecvate, relațiile neliniare se pot liniariza, seria de creștere fiind astfel, în mod intrinsec, un proces liniar. Acceptând aceste ipoteze de liniaritate și independență, modelul oferă un instrument eficient de identificare și separare a diferitelor tipuri de influențe. Semnalele A_t , C_t și E_t sunt prezente în orice serie de creștere, iar $D1_t$ și $D2_t$ pot fi sau nu prezente, în funcție de existența unor perturbări în anul t .

Procesul A_t este un proces nestaționar, care reflectă constrângerile geometrice privind adăugările de volum, prin creșterea radială a trunchiului. În cazul în care

acest tip de limitare este principala sursă a acestui semnal, forma generală a trendului A_t este exponențială, diminuându-se în raport cu vârsta. Acest tip de curbă este caracteristică arborilor care vegetează în teren liber, unde competiția inter- și intraspecifică sunt minime (fig. 3.1.).

În acest caz, semnalul indus de vârstă poate fi modelat și separat prin intermediul modelelor matematice deterministice, prin netezirea curbei de creștere cu o funcție matematică. Cel mai frecvent, însă, influența strictă a vârstei asupra creșterii radiale este distorsionată datorită competiției și a perturbărilor inerente ecosistemelor forestiere (fig. 3.2.) (Lorimer și Frelich, 1989).

În primul caz se poate observa existența unei perioade inițiale de creștere activă, urmată de o perioadă de reducere accentuată a creșterii radiale, datorită concurenței la nivelul coronamentului. În ultimii douăzeci de ani se remarcă o reaccelerare a creșterii, ca urmare a dispariției factorului competitor (arborilor), fie datorită unei perturbări exogene - doborâtura produsă de vânt, fie datorită unei perturbări endogene - uscare naturală. În cea de-a doua situație distorsionarea semnalului A_t este diferită, prezentând inițial o perioadă de creștere redusă, urmată de o accentuare a creșterii radiale datorită punerii în lumină în jurul anului 1910, pentru ca, după 1960 să se înregistreze o scădere a potențialului de creștere. În aceste situații extragerea

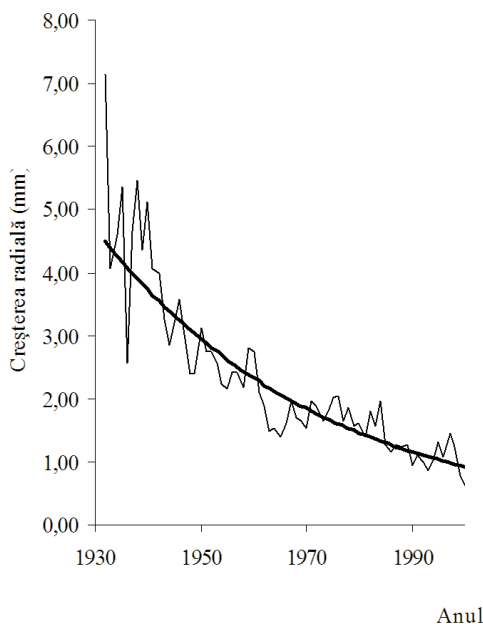


Fig. 3.1. Variația exponențială a semnalului A_t la un arbore de molid în teren liber
Exponential variation of A_t signal to a Norway spruce tree in open field

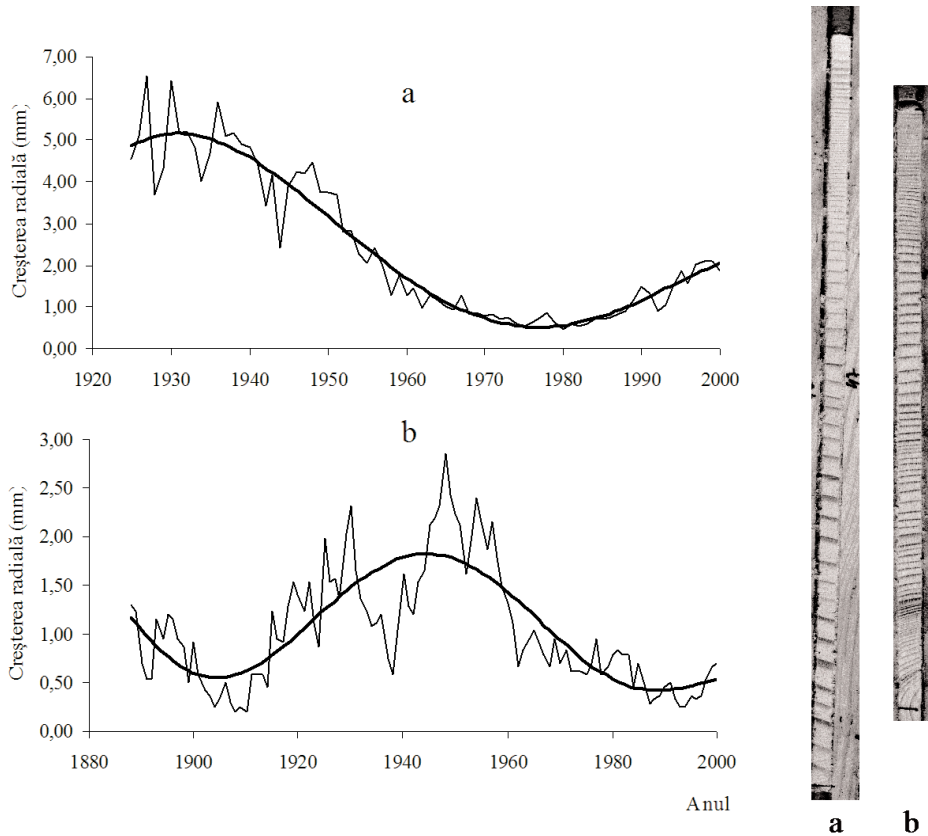


Fig. 3.2. Tipuri de distorsionări ale semnalului A_t în cazul unui arboret de molid cu structură pluriennă
Disturbance of distorsious types of A_t signal in the case of a Norway spruce stand unevenaged

semnalului A_t nu mai este posibilă prin utilizarea metodelor deterministice, A_t fiind un proces nestaționar, stocastic, necesitând metode de extragere complexe (modele autoregresive, filtre digitale etc.).

Semnalul C_t reprezintă influența climatului general (macroclimatul), respectiv impactul tuturor variabilelor climatice asupra creșterii radiale a arborilor, mai puțin parametrii climatici asociați cu perturbările endo- și exogene. Componentele tipice ale C_t sunt reprezentate de temperatură, precipitații, rezervele de apă din sol, evapotranspirație, în general factori climatici cu influență directă și semnificativă asupra proceselor fiziologice de creștere.

Se consideră că efectul acestui semnal este identic pentru toți arborii dintr-o anumită specie și din stațiuni similare și reprezintă un semnal comun pentru toți arborii dintr-o anumită zonă ecologică sau geografică. Adeseori, acest tip de semnal poate

fi confundat cu semnalul determinat de către poluare, în vedere decelării acestora fiind necesare observații și analize atente. Variabilele climatice utilizate adesea în modelarea și explicarea semnalului C_t fiind temperaturile și precipitațiile, procese stocastice staționare, este posibilă modelarea și extragerea semnalului C_t prin metode autoregresive și filtre digitale (fig. 3.3.).

Răspunsul arborelui la perturbări locale de origine endogenă este cuantificat de $D1_t$. Acest tip de perturbare este determinat de factori legați de caracteristicile vegetației, independente de condițiile de mediu, fiind consecința dezvoltării colectivității silvestre, prin care dispariția unui arbore dominant are efect numai asupra arborilor vecini și nu în tot arboretul. Acest tip de dezvoltare a arboretului prin “goluri” determină diferite tipuri de variații ale lățimii inelului anual (fig. 3.4.).

De asemenea, practicile silviculturale, respectiv lucrările silvotehnice reprezentate de rărituri selective, tăieri de regenerare cu efecte locale pot constitui o sursă de perturbări endogene, reliefate în semnalul $D1_t$. O proprietate importantă a acestui tip de perturbări este dată de caracterul aleatoriu, atât spațial, cât și temporal, nefiind posibilă corelarea semnalului $D1_t$ de la un arbore cu un alt arbore din același arboret. Această variabilitate accentuată este sugestiv reliefată în seriile de creștere prezentate în figura 3.4.

Perturbările exogene sunt determinate de factori de mediu, exteriori arboretului și independenți de acesta, fiind cuantificate în semnalul $D2_t$. Perturbările exogene pot fi de natură climatică (vânturi puternice, înghețuri târzii sau timpurii, chiciură, incendii) sau de natură non-climatică, reprezentate de atacuri de insecte, intervenții

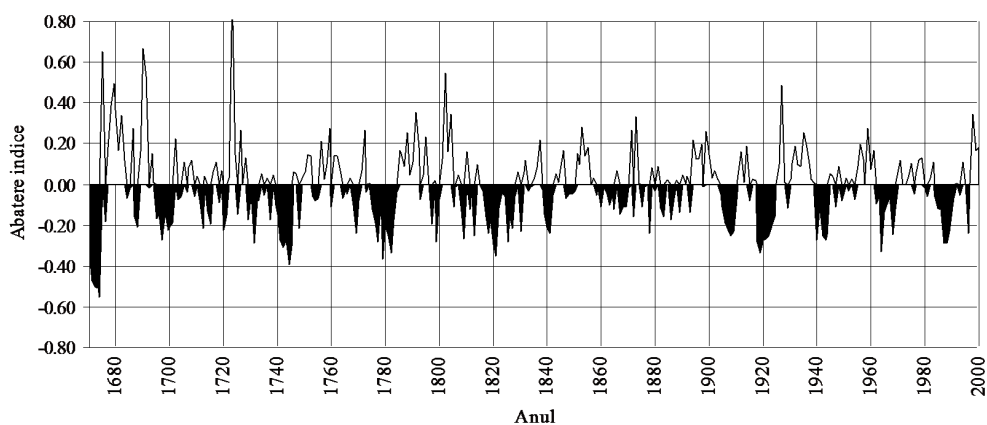


Fig. 3.3. Semnalul C_t în seria dendrocronologică de brad din Codrul Secular Slătioara (Popa, 2002, 2003a)
 C_t signal in silver fir dendrochronological series from Codrul Secular Slătioara (Popa, 2002, 2003a)

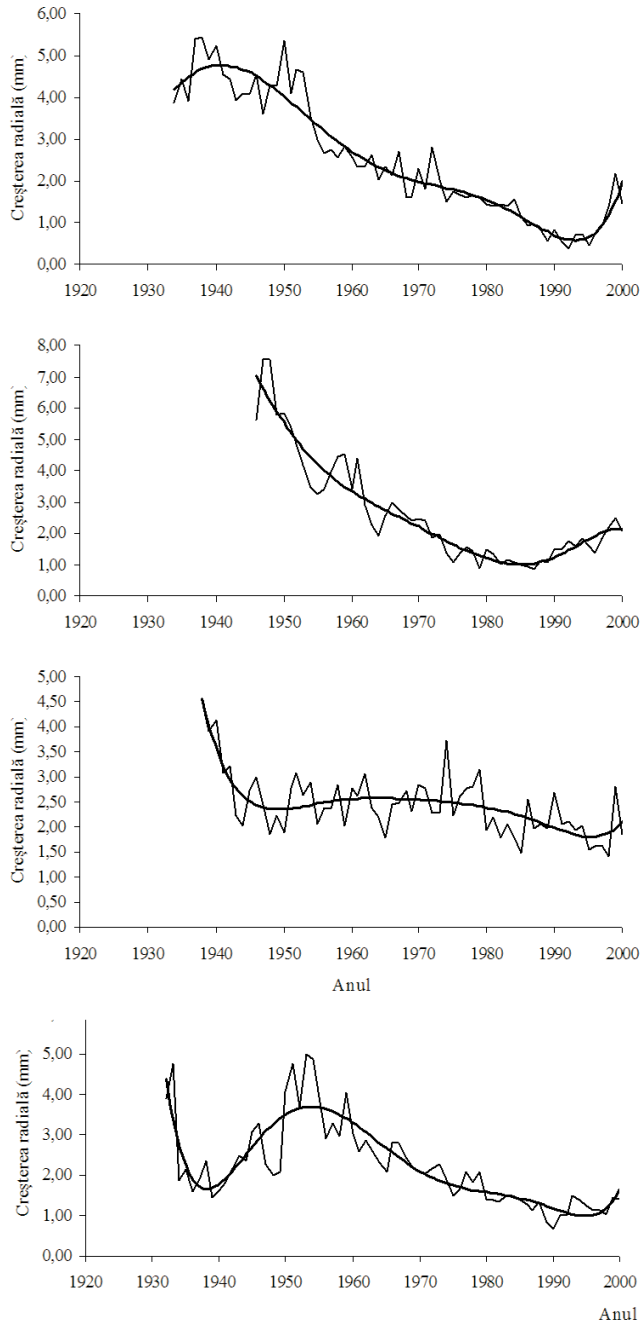


Fig. 3.4. Tipuri de reacție la perturbări endogene determinate de competiția intraspecifică într-un arboret de molid
Types of reaction at endogenous disturbances determined by the competition in a Norway spruce stand

silvice sistematice etc. Deosebirea dintre perturbările endogene și cele de natură exogenă este dată de sincronizarea temporală și spațială, în cazul celor exogene. Semnalul $D2_t$ este prezent la majoritatea arborilor din cadrul arboretului afectat de perturbare. În figura 3.5. este dat un exemplu de perturbare exogenă, determinată de o răritură sistematică cu influență asupra creșterii radiale a arborilor.

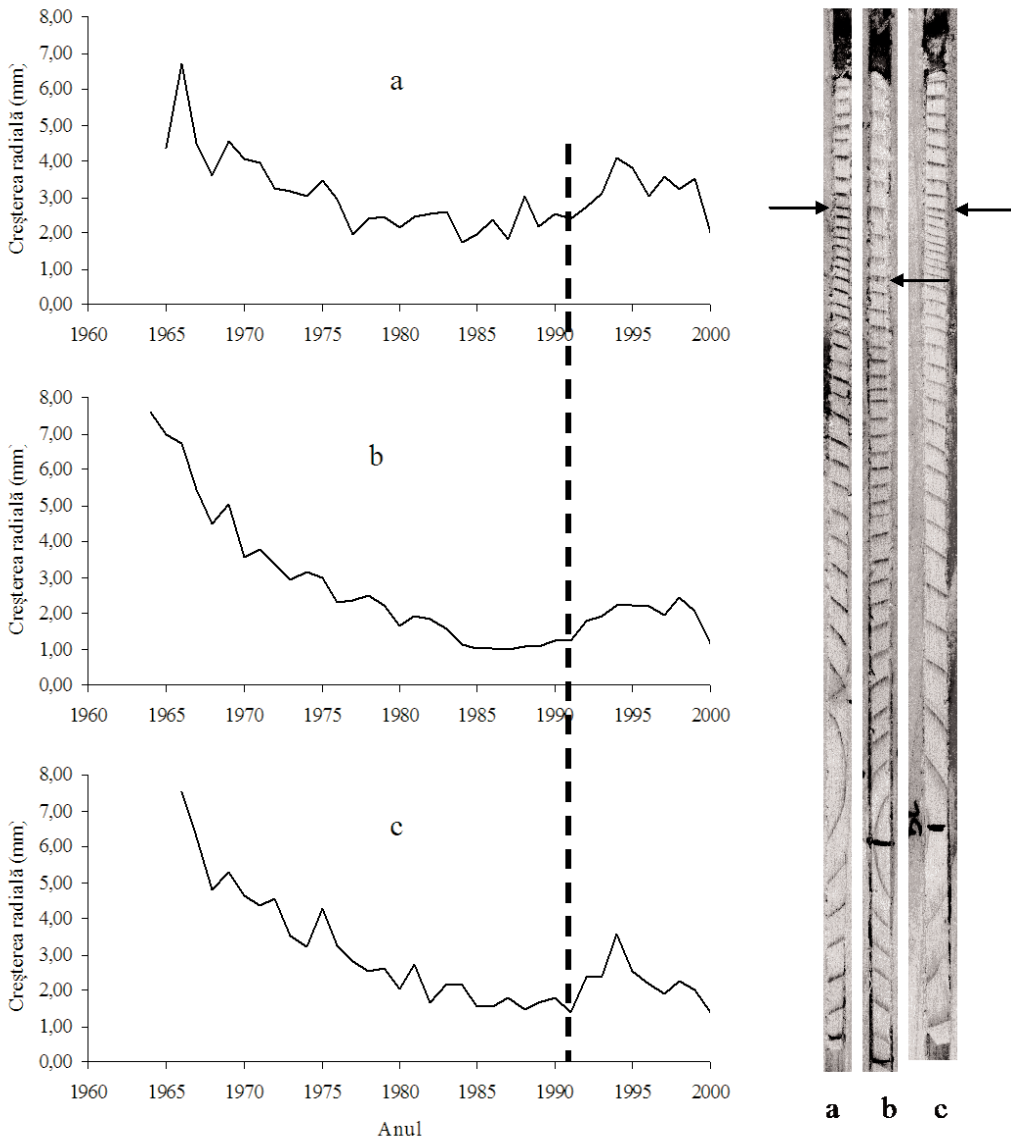


Fig. 3.5. Impactul unei rărituri sistematice asupra creșterii radiale într-un arboret de molid
The impact of systematic thinning on radial growth in a Norway spruce stand

Se poate observa că după răritura din anul 1990, considerată drept perturbare exogenă, arboretul a reacționat prin intensificarea creșterii radiale la majoritatea arborilor din arboret. Un alt exemplu de perturbare exogenă o constituie impactul doborâturilor produse de vânt cu intensitate ridicată, care afectează întreg arboretul. O astfel de perturbare s-a înregistrat în u.a 1a din U.P. VII Izvoarele Bistriței din cadrul O.s. Borșa ca urmare a unei doborâturi puternice din anul 1989 (fig. 3.6.).

Din analiza seriilor de creștere se remarcă clar anul producerii perturbației exogene (doborâtură produsă de vânt) și impactul acesteia asupra creșterii radiale. Arboretul a fost afectat pe toată suprafața, determinând apariția semnalului $D2_t$ în anul 1989 la majoritatea arborilor (fig. 3.7.).

Un ultim semnal cuprins în modelul agregat al inelului anual este reprezentat de

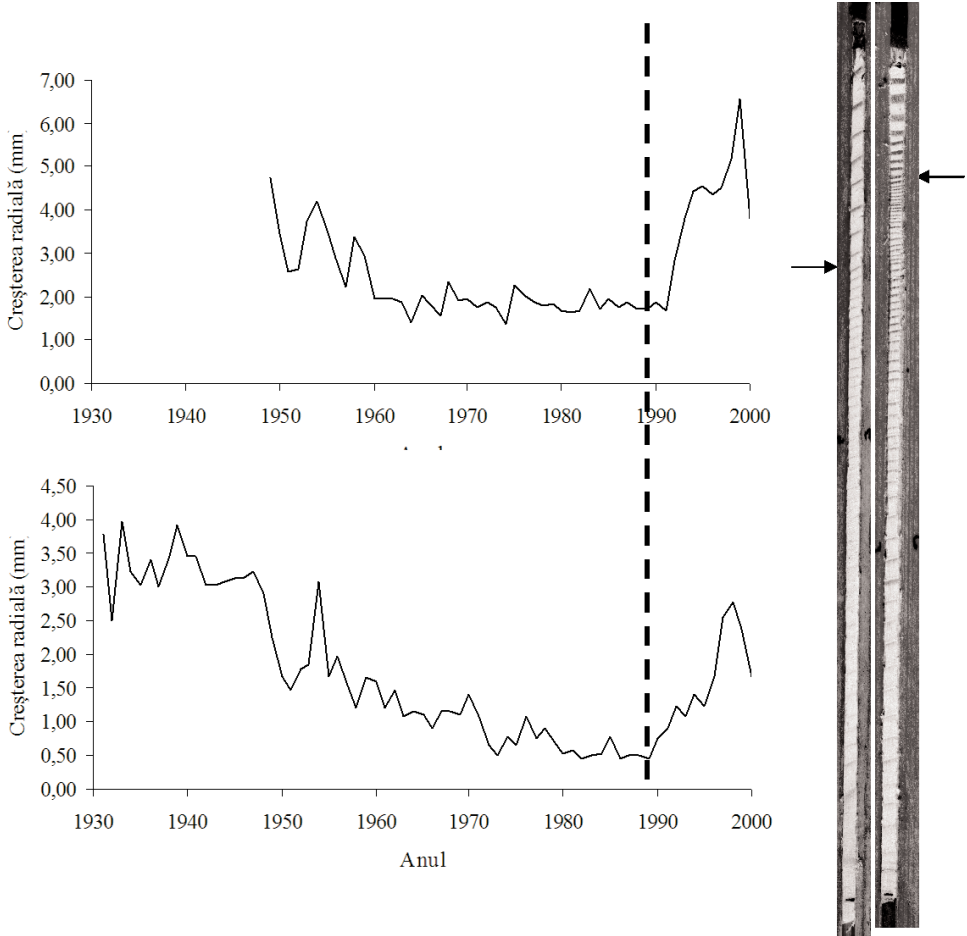


Fig. 3.6. Semnalul $D2_t$ determinat de o doborâtură produsă de vânt într-un arboret de molid
 $D2_t$ signal determined by windthrow in a Norway spruce stand



Fig. 3.7. Arboret afectat de doborâturi produse de vânt - U.P. VII Izvoarele Bistriței, O.s. Borșa
Stand affected by windthrow in Forest Compartment VII Izvoarele Bistriței, Forest District Borșa

zgomot - E_t - care constituie varianța inexplicabilă, inerentă oricărui proces natural. El este determinat de variații reduse, microstaționale, ale condițiilor de mediu, gradienti hidrologici, caracteristici ale solului, erori de măsurare etc. E_t se consideră a fi independent atât de spațiu cât și de timp.

Acest model conceptual, bazat pe principiul modelului agregat liniar, permite descompunerea seriei de creștere într-un semnal deterministic, ca urmare a influenței pure a vârstei (A_t), a două semnale stocastice comune (C_t și $D2_t$) și a două semnale de asemenea stocastice, singulare ($D1_t$ și E_t) (Cook, 1990). Separarea diferitelor semnale cuprinse în inelul anual se realizează prin standardizare, adică prin transformarea seriei de creștere exprimată în funcție de lățimea inelului anul sau alt parametru în serie de indici relativi.

Precizia și valabilitatea rezultatelor, rezultată din aplicarea modelului agregat al creșterii arborilor, în separarea diferitelor influențe ale factorilor de mediu, depinde foarte mult de strategia de alegere și amplasare a suprafețelor de probă, a arborilor de sondaj. Prin metode de sondaj adecvate este posibilă diminuarea unui anumit semnal și amplificarea altuia.

Principiul alegerii stațiunii. Alegerea stațiunilor, speciilor și arborilor prezintă o importanță fundamentală în cercetările de dendrocronologie. Criteriile de alegere și amplasare a suprafețelor experimentale variază în raport cu obiectivele studiului dendrocronologic. Astfel principiile de selecție a stațiunii, speciei și arborilor sunt diferite pentru un studiu dendrocronologic al cărui scop este elaborarea unei serii dendrocronologice de referință pentru o zonă ecologică, în comparație cu o cercetare dendroecologică privind impactul poluării sau dinamica structurală a ecosistemului. Cele mai favorabile regiuni pentru investigații dendrocronologice sunt cele în care factorii de mediu induc o variabilitate ridicată a parametrilor inelelor anuale ale arborilor. Regiunile cu condiții climatice optime pentru o anumită specie sunt indicate pentru reconstituirea dinamicii istorice a factorilor non-climatici, cum ar fi competiția intra- și interspecifică sau influența factorilor perturbatori (insecte, incendii, doborâturi și rupturi produse de vânt și zăpadă, intervenții antropice etc.).

Alegerea stațiunii și a arborilor de probă constituie o expresie a principiului factorilor limitativi, al amplitudinii ecologice și al repetabilității. Principiul selecției stațiunii stabilește care zonă ecologică sau geografică poate fi identificată și selectată, astfel încât să permită obținerea unei serii de timp sensibilă la variația facto-

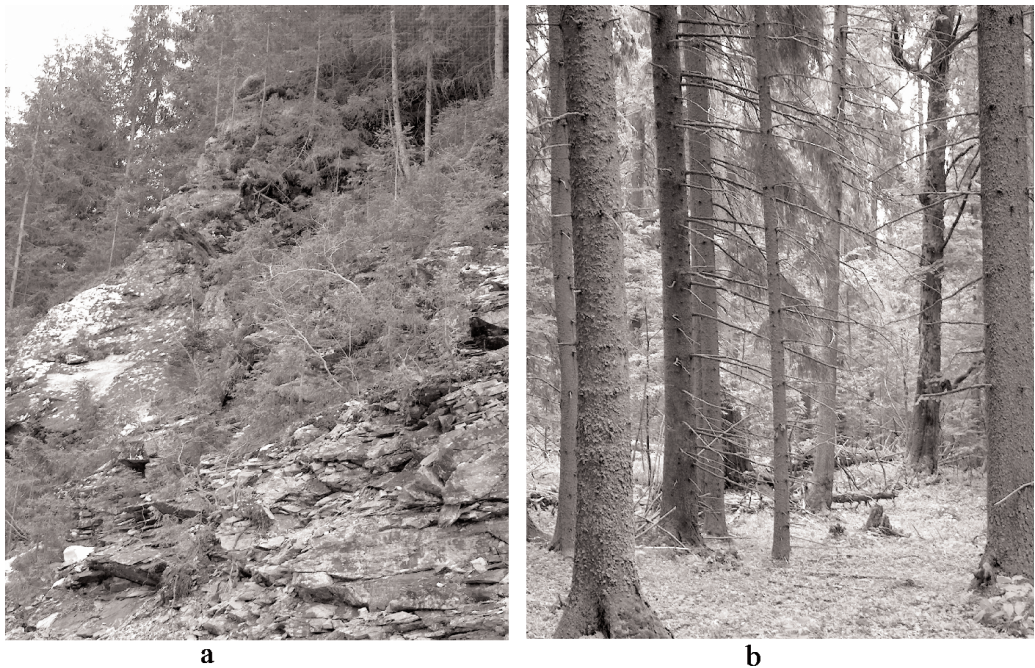


Fig. 3.8. Principiul alegerii stațiunii (a - disponibilitate redusă a rezervei de apă din sol; b - disponibilitate ridicată a rezervei de apă din sol)
The principle of site selection (a - low water reserve disposability; b - high water reserve disposability)

rilor de mediu (fig. 3.8.). De exemplu, pentru a se analiza dinamica perioadelor cu secetă se utilizează probe din arborii situați în stațiuni unde rezerva de apă, implicit precipitațiile, constituie un factor limitativ, cum sunt stațiunile cu pantă accentuată, cu sol superficial și cu rocă la suprafață. Selecția arborilor din stațiuni așezate cu rezerve de apă suficiente pentru studiul impactului secetei asupra creșterii arborilor, nu este oportună.

În cazul cercetărilor de dendroclimatologie având drept obiectiv reconstituirea dinamicii istorice a regimului termic se preferă stațiunile de la limita altitudinală sau latitudinală superioară, unde temperatura reprezintă principalul factor limitativ al creșterii, alegându-se arborii izolați, din plafonul superior, la care efectul proceselor concurențiale este minim. Selecția stațiunii implică limitarea la maximum a numărului de factori, eliminând variabilele irelevante pentru scopul cercetării.

Omogenitatea stațiunii alese determină calitatea seriei cronologice și relevanța acesteia pentru obiectul cercetării. Contrar principiilor statistice de alegere aleatoare a sondajelor, dendrocronologul va include acele stațiuni, specii și arbori care vor maximiza semnalul urmărit, aplicându-se un eșantionaj subiectiv.

Principiul interdatării. Interdatarea poate fi tratată din două puncte de vedere: ca principiu fundamental al dendrocronologiei și ca practică - metodă integrată în cercetarea dendrocronologică.

Acest principiu poate fi privit ca un control experimental, care asigură o plasare corectă în timp a fiecărui inel anual. Conform acestui principiu, fiecare inel anual trebuie datat și sincronizat în timp conform anului formării, pentru tot trunchiul, pentru toți arborii din arboret și pentru cei din arboretele vecine.

Interdatarea este posibilă deoarece factorii de mediu care au determinat o limitare a creșterii sunt similari la toți arborii dintr-o anumită zonă geografică, semnalul factorului limitativ fiind decelat în fiecare serie de creștere. De exemplu, este posibilă, grație acestui principiu, datarea unor construcții vechi, prin compararea și interdatarea secvențelor de inele anuale prelevate din lemnul din construcție cu o serie cronologică de referință pentru zona ecologică respectivă (fig. 3.9.).

Diferitele aspecte pe care le implică acest principiu pot fi sintetizate în șase etape de bază (Douglass, 1941; Fritts, 1976):

1. Compararea vizuală și statistică și punerea în evidență prin reprezentare grafică sau simboluri specifice, a diferitelor caracteristici ale inelului anual (lățime totală, lățime lemn timpuriu-lemn târziu, culoare, densitate sau diferențe de structură anatomică).

2. Dacă un inel anual și numai unul este format într-un an, cronologia parametrului luat în calcul este aceeași în toți arborii din zonă, iar numărarea începe cu acest inel. Dacă un inel anual este absent sau există două straturi de lemn timpurii formate în același an, cronologia începe după sau înainte de acest an. Acest tipar de lucru este adeseori dificil, necesitând analiza unui număr mare de probe, din stațiuni diferite.

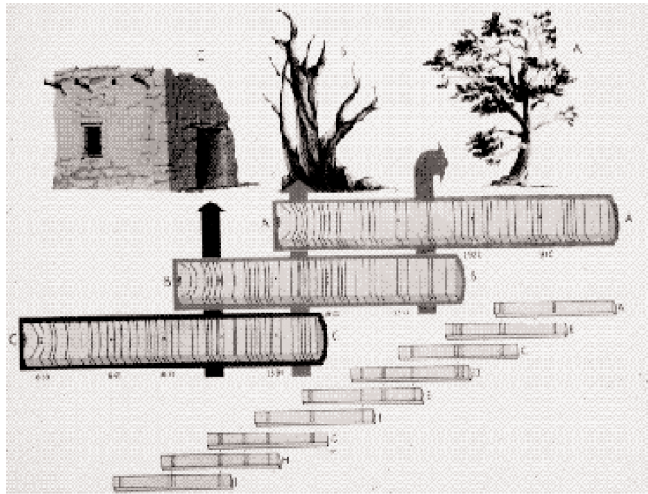


Fig. 3.9. Aplicarea principiului interdatării la datarea unei construcții (Grissino - Mayer, 2003)
Application of crossdating principle to the dating of a construction (Grissino - Mayer, 2003)

3. Compararea probelor utilizând prezența sau absența unei sincronizări între carote, respectiv arbori, în vederea identificării unor inele de creștere care pot fi utilizate drept repere.

4. Cunoașterea structurii inelului anual și a punctelor reper este utilizată pentru corectarea secvențelor asincrone, prin introducerea valorilor nule pentru inelele lipsă sau prin combinarea a două straturi într-un singur inel.

5. Compararea, analiza și corectarea este repetată de mai multe ori, utilizând probe de creștere diferite. Perioada de timp pentru care se realizează interdatarea trebuie să fie suficient de lungă pentru a include ani în care factorii climatici au constituit un factor limitativ pentru creșterea arborilor.

6. Etapa finală în interdatare este verificarea cronologiei obținute prin compararea ei cu alte serii cronologice de referință din zone geografice apropiate. Această etapă nu este absolut necesară, deoarece variația intrinsecă, specifică zonei ecologice analizate, poate estompa variația macrozonală.

Data fiind importanța acestui principiu în dendrocronologie s-au elaborat și perfecționat, în timp, mai multe metode. Interdatarea direct pe probele de lemn, utilizată de Douglass (1941) și colaboratorii săi, permite unui dendrocronolog cu vastă experiență într-o anumită regiune să observe vizual anumite secvențe de creșteri anuale pe care le compară, mental, cu seria de referință. Practic, aceasta constă în memorarea unor secvențe particulare de succesiuni de inele anuale, utilizate ulterior drept puncte de referință. Interdatarea cu ajutorul graficelor de tip “Skeleton plots”, bazată pe faptul că un factor de stress ce

acționează asupra creșterii arborelui determină apariția unor inele de creștere reduse față de normal. Reprezentarea grafică a anilor cu creștere redusă, denumiți ani eveniment, permite interdatarea diferitelor serii de creștere prin comparare vizuală (Swetnam et al., 1985; Schweingruber et al., 1990). O altă metodă este interdatarea cu ajutorul reprezentării grafice în scară logaritmică a lățimii inelului anual, perfecționată de Huber, foarte frecvent utilizată în laboratoarele de dendrocronologie din Europa și interdatarea cu ajutorul programelor informatice (Cropper, 1979; Holmes, 1983; Weber, 1994; Weber, 1995). După interdatare, seriile de creștere pot fi utilizate pentru elaborarea unei serii dendrocronologice de referință, posibil a fi utilizată ulterior la datare.

Principiul repetabilității. Semnalul de mediu investigat poate fi amplificat și prin diminuarea zgomotului. Metoda statistică clasică de minimizare a zgomotului într-o serie de date constă în utilizarea mediei aritmetice sau de altă formă, prin prelevarea unui număr de probe mai mare decât o carotă pe arbore și un arbore pe loc de probă. Obținerea a două sau mai multe probe dintr-un arbore conduce la minimizarea variabilității intra - arbore, iar selecția unui număr mare de arbori pe sondaj, precum și a unui număr mai mare de sondaje dintr-o zonă ecologică permite reducerea la maximum a zgomotului (fig.3.10.). Astfel, media unui număr mare de măsurători oferă o estimare corectă a climatului deoarece variația creșterii anuale, determinată de variația factorilor de mediu, comună tuturor arborilor, este extrasă prin intermediul mediilor.

Principiul standardizării. Potențialul de creștere al arborelui, precum și reacția acestuia la factorii de mediu variază în raport cu vârsta. Variația lățimii inelului anual nu este guvernată numai condițiile de mediu, ci este influențată și de schimbările sistematice în vârsta arborelui, înălțimea prelevării probei, condițiile microstaționale etc. În studiul și elaborarea seriilor dendrocronologice de referință,

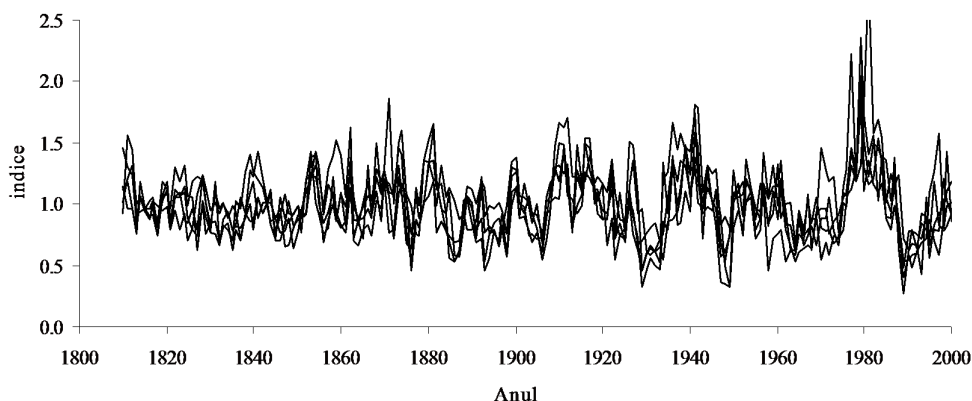


Fig. 3.10. Aplicarea principiului repetabilității în dendrocronologie
Application of repeatability principle in dendrochronology

în care climatul este semnalul investigat, influența celorlalți factori trebuie eliminată. Acest lucru se realizează prin standardizare, care constituie o procedură de bază în dendrocronologie, considerată drept principiu după uni autori (Fritts, 1976; Grissino-Mayer, 2003) și constă în transformarea, conform unui algoritm specific, a seriei de creștere, exprimată prin lățimea inelului anual sau unui alt parametru, în serie de indici de creștere, care reprezintă seria dendrocronologică de bază pentru obținerea seriilor dendrocronologice de referință.

În cercetările de dendroecologie (Fritts, 1976; Fritts și Swetnam, 1985) se face referire la încă trei principii: principiul sensibilității, principiul calibrării și verificării și principiul raportului semnal-zgomot. Aceste principii au aplicabilitate directă în dendroecologie și dendroclimatologie (principiul calibrării și verificării), iar principiul raportului semnal-zgomot poate fi inclus în categoria metodelor de verificare și testare a semnificației și reprezentativității seriilor dendrocronologice de referință. În dendrocronologie, gradul în care un arbore reacționează la factorii de mediu este măsurat prin sensibilitatea acestuia (Fritts, 1976; Schweingruber, 1996). Sensibilitatea arborelui depinde de specie și poate fi observată prin analiza vizuală a unei secvențe de inele anuale și cuantificată prin indicatori statistici, constituind o măsură a potențialului dendrocronologic al arborelui respectiv. Sensibilitatea este reflectată, de exemplu, prin variația lățimii inelului anual (fig. 3.11. a, b) sau a densității acestuia (fig. 3.11. c, d). Aplicarea acestor principii în cercetările de dendrocronologie și în disciplinele derivate constituie o cerință obligatorie și absolut necesară a reușitei și a valabilității rezultatelor și concluziilor

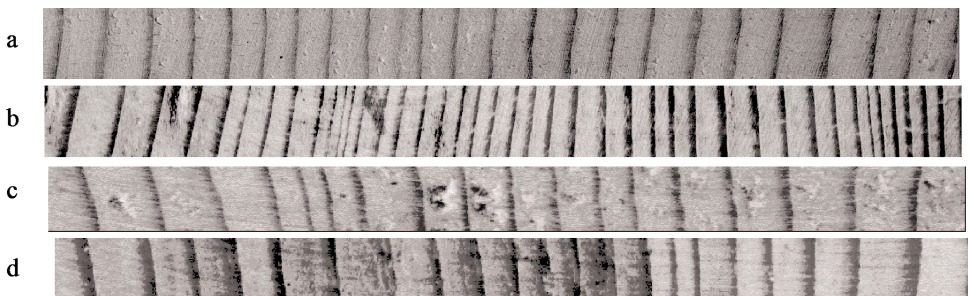


Fig. 3.11. Variația sensibilității inelului anual: a - sensibilitate redusă, exprimată prin variația lățimii inelului anual; b - sensibilitate ridicată, exprimată prin variația lățimii inelului anual; c - sensibilitate redusă exprimată prin variația densității inelului anual; d - sensibilitate ridicată exprimată prin variația densității inelului anual

Variability of tree-ring sensitivity: a - low sensitivity expressed by the tree-ring width variability; b - high sensitivity expressed by the tree-ring width variability; c - low sensitivity expressed by the tree-ring density variability; d - high sensitivity expressed by the tree-ring density variability

4. Metodica elaborării seriilor dendrocronologice de referință

Dendrocronologia și disciplinele derivate constituie discipline științifice de investigare a aspectelor spațiale și temporale ale proceselor din sfera largă a științelor mediului, și nu numai (arheologie, istorie etc.), operând la scară anuală și multiseculară. Seria dendrocronologică este definită ca o serie de timp privind un parametru al inelului anual (lățime totală, lățime lemn timpuriu sau lemn târziu, densitate etc.), măsurată și transformată prin metode specifice - standardizare - într-o serie de indici. O serie dendrocronologică de referință pentru o anumită specie și zonă ecologică poate fi definită ca fiind o serie de indici de creștere care conține semnalul climatului macrozonal, putând fi utilizată pentru datare, reconstituirea istorică a climatului etc. Modul de utilizare și posibilitățile de elaborare a seriilor dendrocronologice de referință multisekulare și milenare este sugestiv redată în figura 4.1.:

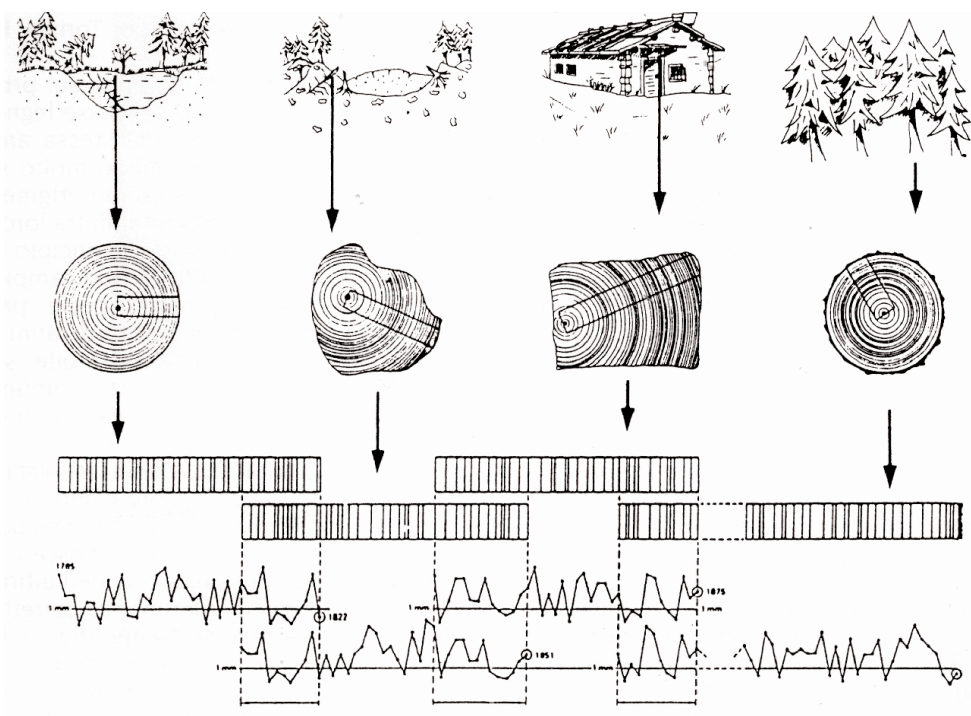


Fig. 4.1. Elaborarea de serii dendrocronologice de referință (după English Heritage, 1998)
The building of masters dendrochronological series (after English Heritage, 1998)

Dezvoltarea rapidă a dendrocronologiei având drept rezultat elaborarea unui număr mare de serii dendrocronologice de referință pentru diferite zone geografice de pe mapamond a condus la înființarea în 1974 a Băncii Internaționale de Dendrocronologie - ITRDB - International Tree-Ring Data Bank ca organizație profesională, ca bancă de date pentru toate tipurile de date dendrocronologice cu sediul inițial la Laboratorul de dendrocronologie din Tucson - Arizona - S.U.A. Din 1990 în cadrul Programului Paleoclimatic al Administrației Naționale a Océanelor și Atmosferei - N.O.A.A. - Paleoclimatology Program of the National Oceanic and Atmospheric Administration a fost stabilit drept centrul mondial al datelor de dendrocronologie având sediul la National Geophysical Data Center (N.G.D.C.) în Boulder, Colorado, S.U.A.

Scopul acestei organizații internaționale este de a facilita schimbul de date și serii cronologice interdate și verificate, de înaltă calitate științifică. Acceptarea unei serii dendrocronologice în cadrul acestei baze de date internaționale este condiționată de respectarea principiilor și metodelor standardizate și internaționalizate privind elaborarea seriilor dendrocronologice. ITRDB pune la dispoziție un set complet de programe de analiză, verificare și testare a datelor dendrocronologice care acoperă aproximativ întreg spectrul informatic necesar elaborării de serii dendrocronologice de referință (Cook et al., 1997).

Elaborarea unei serii dendrocronologice de referință, conformă cu cerințele ITRDB, necesită parcurgerea unor etape obligatorii (fig. 4.2.).

Elaborarea de serii dendrocronologice de referință pentru principalele specii forestiere și zone ecologice ale României și integrarea acestora în sistemul internațional trebuie și constituie o prioritate a cercetării științifice fundamentale din domeniul științelor mediului și implicit al silviculturii.

4.1. Criterii de alegere a zonelor de studiu și a arborilor

Alegerea și amplasarea suprafețelor de probă. Criteriile de alegere a sondajelor constituie o problemă fundamentală pentru reușita și valabilitatea cercetărilor din domeniul dendrocronologiei. Aceste criterii sunt determinate în principal de obiectivele cercetării. Criteriile de selecție a stațiunilor, speciilor și a arborilor de sondaj sunt diferite, de exemplu, când se urmărește elaborarea de serii dendrocronologice de referință (obiectivul este maximizarea semnalului macroclimatic) în comparație cu o cercetare dendrocronologică privind dinamica structurii unui ecosistem forestier (se urmărește maximizarea semnalului perturbărilor endo- și exogene). Principalul obiectiv la care trebuie să răspundă criteriile de selecție este reprezentat de maximizarea semnalului investigat și minimizarea celorlalte semnale. În situația inițierii unor cercetări de altă natură (dendroecologice, dendroclimatologice, dendrohidrologice etc.), parte din criteriile cu caracter general se mențin, ele fiind completate cu alte criterii specifice.

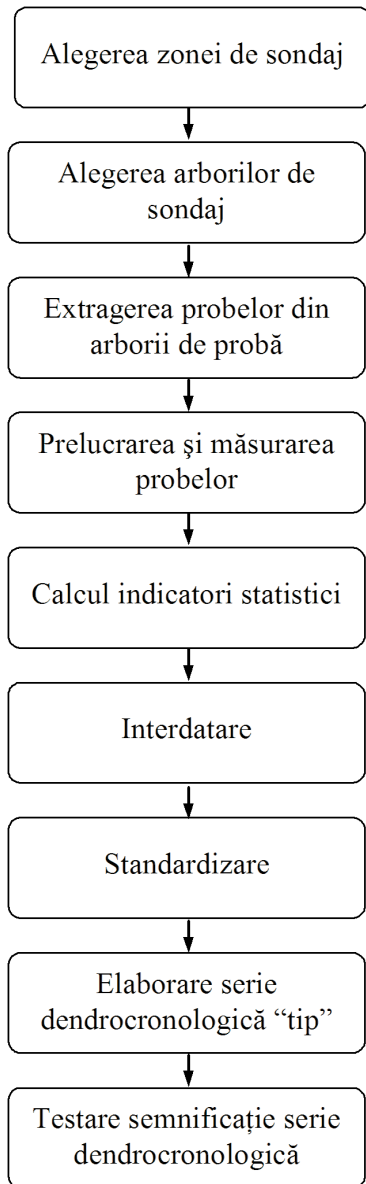


Fig. 4.1. Succesiunea operațiilor de elaborarea a unei serii dendrocronologice
Operations succession of the elaboration of a dendrochronological series

Zonele ecologice cu potențial dendrocronologic ridicat sunt regiunile în care unul dintre factorii climatici constituie factor limitativ determinând variații semnificative ale inelului anual (lățime, structură etc.). Aceste zone sunt situate, în special, la limita arealului speciei investigate, în condiții staționale extreme: stepă și silvostepă, zone alpine și subalpine etc.). Se aleg acele zone în care semnalul climatic este maxim, iar celelalte semnale respectiv $D1_t$ și $D2_t$ determinate de perturbări endo- și exogene sunt minime (fig. 4.3.).

Regiunile cu condiții optime de creștere nu sunt favorabile investigațiilor de elaborare a seriilor dendrocronologice de referință. În aria de studiu aleasă se pune problema alegerii punctelor de sondaj, fiind necesară respectarea unui set de principii care să asigure fezabilitatea datelor, respectiv: se aleg stațiunile în care competiția intraspecifică este redusă sau inexistentă - arbori izolați, evitându-se zonele cu perturbări locale - culoare de avalanșe, doborâturi produse de vânt, atacuri de insecte, incendii etc.. De asemenea se evită zonele cu condiții microstaționale particulare - exces de umiditate, urmărindu-se omogenitatea sondajului, care conduce la creșterea calității seriei dendrocronologice.

În ceea ce privește alegerea speciilor, toate speciile care prezintă creștere radială alternantă (sezon de vegetație - sezon de repaus) sunt potențial investigabile pentru elaborarea de serii dendrocronologice dacă realizează inele anuale distincte, au caracteristici ale



Fig. 4.3. Zone cu potențial dendrocronologic ridicat
Areas with high dendrochronological potential

inelului anual care pot fi utilizate în interdatarea dendrocronologică și ating o vârstă suficient de înaintată necesară utilizării pentru interdatare și datare.

Într-o zonă ecologică aleasă se va proceda la extragerea probelor de creștere, conform principiului repetabilității, de la un număr de 15 - 25 de arbori (Fritts, 1976, Schweingruber et al., 1990), care asigură maximizarea semnalului macroclimatic. Includerea în sondaj a unui număr mai mare de arbori conduce la o uniformizare a variațiilor interanuale și o reducere semnificativă a reprezentativității seriei dendrocronologice. În cazul unui număr mai mic de arbori există riscul includerii în seria dendrocronologică de indici de creștere, a unei proporții ridicate din variabilitatea interarbori, denaturând seria de indici.

Creșterea radială variază atât de la un arbore la altul cât și în raport cu poziția pe trunchi a sondajului. Criteriile de alegere a arborilor de probă variază foarte mult în raport cu obiectivele studiului, având o pondere ridicată în relevanța rezultatelor. Astfel, în cazul studiilor privind dinamica avalanșelor se aleg arborii care prezintă vătămări mecanice, pentru analiza dendroecologică a impactului poluării asupra creșterii arborilor se aleg arbori din diferite clase de vătămare. Pentru elaborarea seriilor dendrocronologice de referință se aleg arbori sănătoși, din clasa Kraft 1, predominanți (impactul concurenței este minim), evitându-se exemplarele cu coroană deformată, asimetrică (fig. 4.4.).

Din fiecare arbore se vor extrage minim două carote, evitându-se prelevarea probelor din zone cu lemn de reacțiune sau compresiune sau cu defecte de structură și formă (fig. 4.5.).

Pentru fiecare sondaj și arbore de probă se vor înregistra o serie de parametri privind condițiile generale și particulare de creștere: localizarea spațială și temporală a sondajului (denumire sondaj; data colectării probelor; nume și funcție persoanei care a efectuat sondajul; specia - denumire latină și populară; țara; latitudinea; longitudinea), parametri staționali (altitudine; expoziția; topografie; pantă; substrat; sol - tip, grosime; compoziția floristică), date privind probele recoltate (tip



Fig. 4.4. Arbori selecționați pentru cercetări dendrocronologice
Trees selected for dendrocronological studies



Fig. 4.5. Secțiune la un trunchi de molid cu rană veche produsă de vânat
Cross-section from Norway spruce stem with old scar caused by deer fraying

4.2. Prelevarea, prelucrarea și măsurarea probelor de creștere

Recoltarea și condiționarea probelor. Obținerea informațiilor privind creșterea radială a arborilor se poate realiza fie prin recoltarea de probe de creștere de la arbori, fie prin utilizarea metodelor și instrumentelor de măsurare directă a creșterii radiale - dendroauxometre, dendroauxografe etc. Această ultimă categorie de metode de măsurare a creșterii radiale are o aplicabilitate redusă în dendrocronologia clasică având însă un rol important în unele cercetări dendroecologice. Prelevarea de probe de creștere, în vederea măsurării parametrilor inelelor anuale, se poate realiza prin mai multe metode: (1) metode distructive prin doborârea arborilor și prelevarea de runde de la diferite înălțimi; (2) metode nedistructive cum este metoda carotelor, care reprezintă de probe de creștere prelevate cu burghiul Pressler și (3) metode moderne de măsurare a variației densității prin ultrasunete și metode tomografice.

Cea mai utilizată, este metoda carotelor prelevate cu burghiul Pressler. Pentru obținerea unor probe de creștere relevante din punct de vedere dendrocronologic este necesară, ținând cont de dimensiunile arborilor studiați, utilizarea unor burghie de creștere de dimensiuni relativ mari (40-80 cm), cu două începuturi pentru rășinoase și cu trei începuturi pentru foioase. Carotele astfel recoltate sunt transportate și păstrate în tuburi speciale, din hârtie sau plastic, asigurându-se uscarea lentă a acestora. După uscare, probele de creștere se montează pe suportți speciali de lemn, prin lipire cu adezivi. Acest sistem de prindere a carotelor permite o prelucrare mecanică eficientă a probelor, precum și o păstrare sigură a acestora.

Carotele montate pe suportți se șlefuiesc cu ajutorul unor discuri abrazive, cu granulație variabilă (de la grosieră la fină), punând în evidență mai bine structura inelelor anuale. Pentru speciile la care vizualizarea inelelor anuale este dificilă, se pot aplica tratamente chimice, de accentuare a contrastului dintre lemnul timpuriu și lemnul târziu sau prin aplicarea unui strat de ulei de in. Prelucrarea rondelor se realizează prin procedee similare, acordându-se o atenție deosebită la uscarea probelor după recoltare. Pentru a se evita crăparea rondelor, datorită uscării rapide, se vor depozita în spații deschise, cu o ventilație foarte bună, timp de 2-3 săptămâni.

Măsurarea lățimii inelului anual. Creșterea anuală a arborilor poate fi analizată din punct de vedere al variabilității în timp a lățimii totale a inelului anual, al lățimii inelului anual diferențiată în raport cu lemnul târziu și lemnul timpuriu, al densității și structurii precum și din punctul de vedere al compoziției chimice.

Metodele de măsurare a acestor parametri ai inelului anual variază de la simpla analiză vizuală a caracteristicilor generale ale inelului anual la metode sofisticate, cum sunt analiza densitometrică cu raze X, analiza de imagine sau tehnicile spectrometrice. Metodele moderne de analiză dendrocronologică, respectiv cele bazate pe studiul variației concentrației diferiților compuși chimici sau datarea cu C^{14} sau cu alți izotopi sunt condiționate de o aparatură extrem de sofisticată și costisitoare,

limitând cercetările în această direcție.

Măsurarea lățimii inelului anual, diferențiată sau nu în raport cu lemnul târziu și timpuriu, se poate realiza prin mai multe metode: măsurarea lățimii inelului anual cu ajutorul unei rigle sau șubler, utilizând metoda valorilor individuale sau cumulate; măsurarea lățimii inelului anual la binocularul cu scăriță; metode semiautomatizate de măsurare având la bază sisteme optice de tip microscop combinate sau nu cu sisteme informatice și sisteme informatice integrate automate sau semiautomate de măsurare a lățimii inelului anual bazate pe tehnicile de analiză de imagine (Guay et al., 1992; Schou și Rytter, 1992).

În cadrul Stațiunii Experimentale de Cultura Molidului Câmpulung Moldovenesc a fost pusă la punct o metodă de măsurare a lățimii inelului anual bazată pe scanarea carotei și determinarea grosimii inelului anual prin intermediul unor coeficienți de calibrare (Cenușă, 1996). Ulterior, metoda a fost îmbunătățită prin integrarea ei într-un sistem informatic semiautomat de măsurare a lățimii inelului anual rezultând aplicația informatică CAROTA 2.1., versiune ce constituie o perfecționare a programului CAROTA 1.0. (Popa, 1999). Principiul utilizat la măsurarea lățimii inelului anual include această metodă în categoria metodelor bazate pe scanare și analiză de imagine. Implementarea informatică a acestei metode de măsurare semiautomată s-a realizat în limbajul de programare VBA - Visual Basic for Applications, fiind constituită ca un modul Add-ins pentru Microsoft Excel. Echipamentele hardware necesare pentru utilizarea în condiții optime a programului CAROTA: scanner cu rezoluție peste 300 dpi, calculator din generația 486 sau superior, iar echipamentele soft: Windows 95 sau superior, Microsoft EXCEL 97 sau superior.

Măsurarea semiautomată a lățimii inelului anual cu ajutorul programului CAROTA presupune parcurgerea mai multor etape (fig. 4.6.). Într-o primă etapă se procedează la măsurarea lungimii reale, în milimetri, a zonei care urmează a fi analizată, cu ajutorul unui șubler sau cu o riglă gradată de precizie. Probele de creștere (carote sau rondele) se scanează, salvând imaginea în format grafic de tip Bitmap (*.bmp) sau JPEG (*.jpg). Această etapă este independentă de programul CAROTA, punând fi efectuată în orice aplicație grafică, permițând preluarea acestora din punct de vedere al contractului, raportului dintre culori etc. A doua etapă se realizează în cadrul programului CAROTA, fiind necesară parcurgerea următoarelor faze de lucru:

- se deschide aplicația Microsoft Excel;
- se pornește programul CAROTA din mediul Carota - Măsurare;
- se alege fișierul unde se află scanată carota sau rondeaua care urmează a fi măsurată;
- se identifică limitele dintre inelele anuale și se transmit programului prin click de mouse;

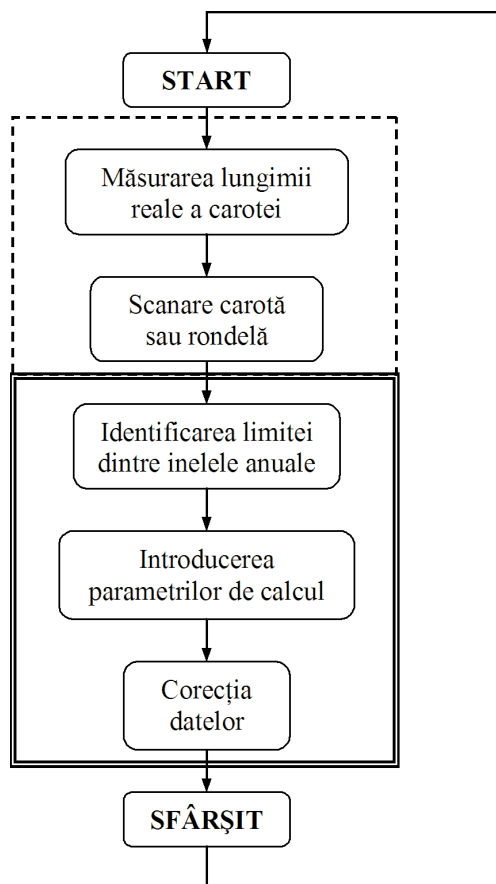


Fig. 4.6. Succesiunea operațiilor de măsurare a lățimii inelului anual cu programul CAROTA 2.1
Operations succession for measurements of tree-ring width with CAROTA 2.1.

- se introduc parametrii de calcul: anul recoltării, lungimea reală a zonei măsurate (în mm), codul probei;
- se alege una dintre opțiunile următoare: corecție date; nouă carotă; terminare;
- dacă este cazul, se procedează la aplicarea unui corecții pentru inelele care prezintă un unghi de înclinare față de verticala de măsurare semnificativ se introduce numărul de ani pentru care se va realiza corecția și unghiul mediu de înclinare.

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate sub formă tabelară într-o foaie de lucru Microsoft Excel, putând fi supuse, ulterior, altor prelucrări. Precizia de măsurare a lățimii inelelor anuale este de 0,01 mm. Precizia măsurătorilor și eficiența programului cresc în raport cu acuratețea scanării, rezoluția scannerului, precum și în raport cu prelucrările ulterioare ale fișierelor grafice, cu experiența operatorului în identificarea inelelor anuale etc.

Programe informatice similare de măsurare a lățimii inelului anual prin tehnici de analiză de imagine sunt: WinDendro (Regent Instruments, 2003), CooRecorder (Cybis Elektronik, 2003), DendroLab (IEH-Elektronik GmbH, 2003). Programele informatice de prelucrarea datelor de creștere din pachetul

de programe DLP (Dendrochronological Library Programs) (Grissino-Mayer et al., 1996; Cook et al., 1997) necesită prezentare datelor inițiale într-un format specific. În acest scop, în programul CAROTA a fost implementată o rutină care permite conversia datelor din forma CAROTA în format ITRDB (an, valoare) și invers. În vederea obținerii unor date în alte formate se recomandă utilizarea programului FMT, din cadrul librăriei DLP.

4.3. Prelucrarea statistică a seriilor de creștere

Indicatori statistici de caracterizare a variației lățimii inelului anual. Lățimea inelului anual, limitat în mare parte de variațiile factorilor de mediu, este variabilă de la an la an după legități mai mult sau mai puțin aleatorii. Descrierea seriilor de timp reprezentate de variația temporală a lățimii inelelor anuale se realizează prin intermediul unui ansamblu de indicatori statistici standardizați și consacrați pe plan internațional.

Principalii indicatori statistici cu relevanță în analiza dendrocronologică sunt (Fritts, 1976; Schweingruber, 1996; Briffa și Jones, 1990):

- lungimea seriei dendrocronologice - numărul de ani cuprinși în seria de timp analizată;
- media aritmetică - exprimă valoarea medie a caracteristicii analizate - lățimea

$$\bar{x} = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} x_t}{n} \quad (4.1.)$$

inelului anual;

unde: \bar{x} - media aritmetică;

x_t - lățime inel anual din anul t ;

n - număr total de ani din seria dendrocronologică.

$$s_x^2 = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} (x_t - \bar{x})^2}{n-1} \quad (4.2.)$$

- varianța - exprimă gradul de variabilitate a seriei dendrocronologice;

unde: s_x^2 - varianța;

\bar{x} - media aritmetică

x_t - lățime inel anual din anul t ;

n - număr total de ani din seria dendrocronologică.

- abaterea standard - măsoară gradului de abatere a valorilor individuale de la media aritmetică exprimată în unități de măsură identice cu parametrul analizat;

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{t=n} (x_t - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.3.)$$

unde: s_x - abaterea standard;

x - media aritmetică

x_t - lățime inel anual din anul t ;

n - număr total de ani din seria dendrocronologică.

- sensibilitatea medie - parametrul statistic particular cercetărilor de dendrocronologie, definit de Douglas (1936) ca fiind modificarea procentuală medie a lățimii inelului anual în raport cu următorul inel anual (Fritts, 1976). Sensibilitatea medie este o măsură a variației anuale a lățimii inelului anual, și implicit a potențialului dendrocronologic al probei. Valorile ridicate ale sensibilității reflectă influența factorilor limitativi de creștere asupra formării inelului anual.

$$ms_x = \frac{\sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|}{n-1} \quad (4.4)$$

unde: ms_x - sensibilitatea medie;

x_t - lățime inel anual din anul t ;

x_{t+1} - lățime inel anual din anul $t+1$;

n - număr total de ani din seria dendrocronologică.

- autocorelația de ordinul 1 - constituie o măsură a gradului de autocorelare a lățimii inelului anual din anul t cu inelul anual format în anul $t+1$;

$$r_1 = \frac{Cov(x_t, x_{t+1})}{Var(x_t)} = \frac{\sum_{t=1}^{t=n-1} (x_t - \bar{x})(x_{t+1} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^{t=n-1} (x_t - \bar{x})^2} \quad (4.5)$$

unde: r_1 - autocorelația de ordinul 1;

x - media aritmetică;

x_t - lățime inel anual din anul t ;

x_{t+1} - lățime inel anual din anul $t+1$;

n - număr total de ani din seria dendrocronologică.

Calculul și analiza acestor indicatori statistici ai seriei de timp reprezentând variația parametrilor inelului anual prezintă o importanță deosebită în analiza și diagnosticarea seriei dendrocronologice. Indicatorii statistici ne oferă informații relevante referitoare la gradul de reprezentativitate a seriei dendrocronologice, a potențialului dendrocronologic (sensibilitatea medie, abaterea standard). Pentru cal-

culul acestor indicatori statistici se pot utiliza programe specializate (Fritts, 1963; Aniol, 1983; Grissino-Mayer et al., 1996; Guiot și Goeury, 1996; Cook et al., 1997) sau programul CAROTA 2.1. care prezintă o serie de algoritmi informatici accesibili din meniul Parametri statistici.

4.4. Elaborarea seriilor dendrocronologice de referință

Interdatarea seriilor dendrocronologice primare. Interdatarea reprezintă un principiu fundamental al dendrocronologiei care constă în ajustarea prin comparație a variației lățimii inelului anual sau a altei caracteristici structurale la arbori care au crescut în aceeași zonă în vederea stabilirii exacte a anului formării inelului de creștere. Principiul interdatării sau sincronizării datelor se bazează pe existența “anilor caracteristici” care corespund unor condiții de creștere deosebită (pozitivă sau negativă). Acești ani martori ai unor evenimente extreme survenite în viața arborelui, constituie un criteriu de sincronizare a seriilor de creștere individuale pentru toți arborii din aceleași condiții de mediu.

Conceptul de interdatare a seriilor de creștere a fost fundamentat de Douglass (1941), definind interdatarea drept metoda de identificare a unor caracteristici particulare ale inelului anual într-un număr mare de arbori.

Interdatarea seriilor dendrocronologice se poate realiza prin mai multe metode. O primă metodă este analiza directă a probei de lemn, utilizată de Douglas și discipolii săi. Un dendrocronolog cu experiență într-o anumită zonă geografică care a procedat la analiza a unui număr foarte mare de serii de creștere poate realiza interdatarea unei noi serii de inele anuale prin comparația vizuală a acestora cu seriile de referință pentru zonă pe care le-a memorat. Metoda graficelor “schelet” “Skeleton Plots” este metoda cea mai uzitată în cercetările de dendrocronologie, principiul care stă la baza acestora constând în faptul că un factor de stress asupra creșterii arborelui determină apariția unor inele de creștere reduse față de normal. Prin reprezentarea grafică a anilor cu creștere redusă - denumiți ani eveniment - se poate realiza prin comparare vizuală interdatarea diferitelor serii de creștere (fig. 4.7.).

Interdatarea pe baza lățimii măsurate a inelului anual constă în reprezentarea grafică a lățimii inelului anual, utilizând scara liniară sau logaritmică pentru variația lățimii inelului de creștere, și analiza vizuală a curbelor de creștere cu identificarea anilor caracteristici și sincronizarea seriilor. Această metodă permite o informare ridicată (fig. 4.8). Interdatarea automată cu ajutorul programelor informatice presupune utilizarea unor algoritmi performanți de analiză și identificare a anilor asincroni din mai multe serii de creștere (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 1996; Cook et al., 1997).

O metodă perfecționată a metodei graficelor schelet, cu aplicabilitate mai ales în dendroecologie, este propusă de Schweingruber et al. (1990). Metoda constă în

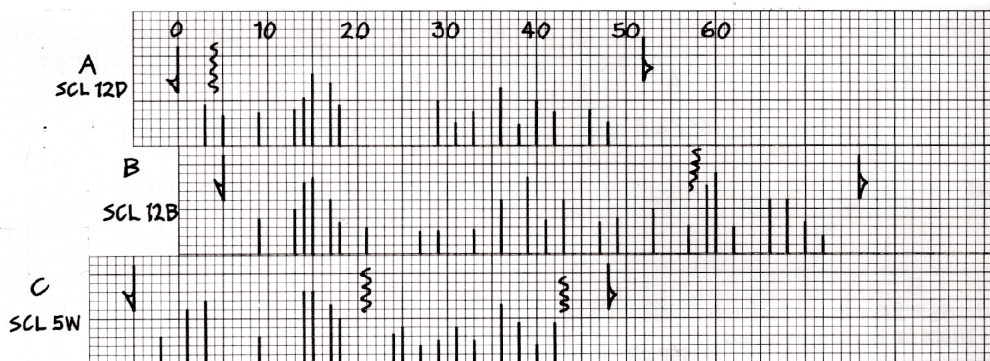


Fig. 4.7. Interdatarea seriilor dendrocronologice prin metoda graficelor schelet (după Swetnam și Thompson, 1985)

Cross-dating of dendrochronological series using Skeleton plots method (after Swetnam and Thompson, 1985)

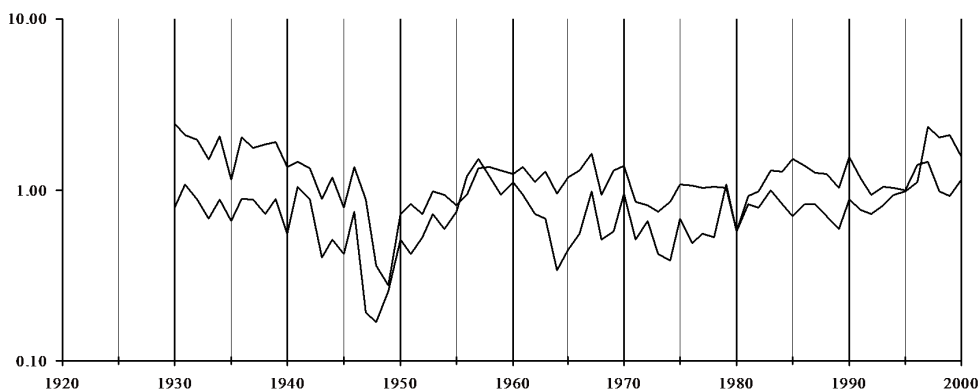


Fig. 4.8. Interdatarea seriilor dendrocronologice prin metoda reprezentării grafice, în scară logaritmică, a lățimii inelului anual
Cross-dating of dendrochronological series using the graphical representation, in logarithmic scale, of tree-ring width

identificarea a unei serie de indicatori de interdatare și reprezentarea grafică prin semne convenționale respectiv (Schweingruber, 1996):

- indicatori referitori la o singură serie de creștere:
 - inel caracteristic - reprezintă anul în care creșterea radială este evident mai redusă sau mai mare decât valoarea medie a lățimii inelelor de creștere (fig. 4.9.);
 - perioadă de creștere bruscă - reprezintă o succesiune de inele caracteristice pozitiv sau negativi (fig. 4.10.);
- indicatorii referitori la un grup de serii de creștere sunt:
 - an caracteristic - reprezintă anul pentru care majoritatea arborilor dintr-un grup prezintă un cerc caracteristic de aceeași natură (pozitiv sau negativ);

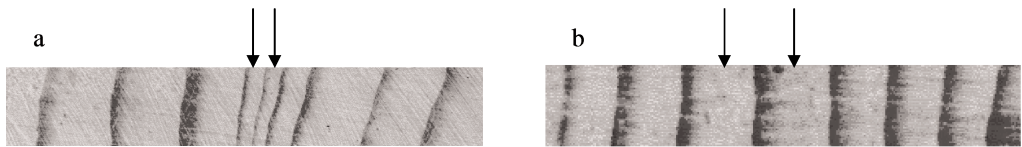


Fig. 4.9. Inele caracteristice (a - negativ; b - pozitiv)
Event years (a - negative; b - positive)

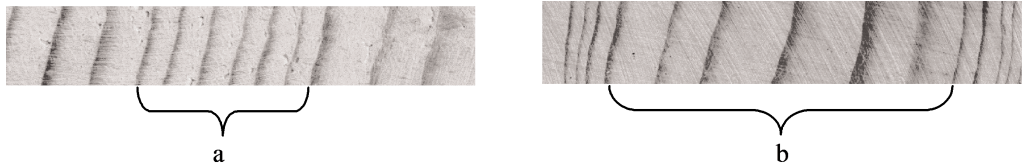


Fig. 4.10. Perioadă de creștere bruscă (a - negativă; b - pozitivă)
Abrupt growth period (a - negative; b - positive)

- valoare caracteristică - reprezintă valoarea medie sau singulară a unui an eveniment;
- interval caracteristic - reprezintă o succesiune de ani caracteristici;

Reprezentarea grafică a acestor elemente se realizează păstrând următoarele convenții: inelele și anii caracteristici se reprezintă prin linii verticale, perioadele de creștere bruscă prin linii orizontale, lungimea liniilor verticale, respectiv a numărului de linii orizontale se determină în raport cu clasele de creștere, care se stabilesc în funcție de procentul reducerii sau măririi creșterii anuale față de valorile de referință, modificările pozitive se reprezintă pe axa pozitivă, iar cele negative pe axa negativă. Stabilirea procentului de modificare a creșterii se realizează în raport cu o perioadă de referință, care poate fi: perioada inițială de creștere, perioada cu creștere considerată normală, valoarea creșterii medii a seriei cronologice (fig. 4.11.).

Determinarea frecvenței, a intensității anilor și a intervalelor caracteristice sau eveniment se poate realiza în două moduri: prin valori neponderate, în care lungimea liniei verticale, în cazul anilor caracteristici, sau a numărului de linii orizontale, în cazul perioadelor de creștere bruscă, este dată de proporția seriilor individuale în care este prezentă caracteristica luând în calcul numai frecvența inelelor caracteristice și prin valori ponderate, situație în care lungimea liniei verticale în cazul anilor caracteristici sau a numărului de linii orizontale în cazul perioadelor de creștere bruscă este dată de proporția seriilor individuale ponderată cu intensitatea evenimentului în care este prezentă caracteristica luând în calcul atât frecvența inelelor eveniment, cât și intensitatea lor.

Utilizarea inelelor și a anilor caracteristici, mai ales în studiile de dendroecologie, permite analiza spațială și temporală a variației factorilor de mediu, permițând identificare unor ani sau perioade în care aceștia au un caracter limitativ. Verificarea fiabilității interdatării se realizează cu programul COFECHA (Holmes, 1983;

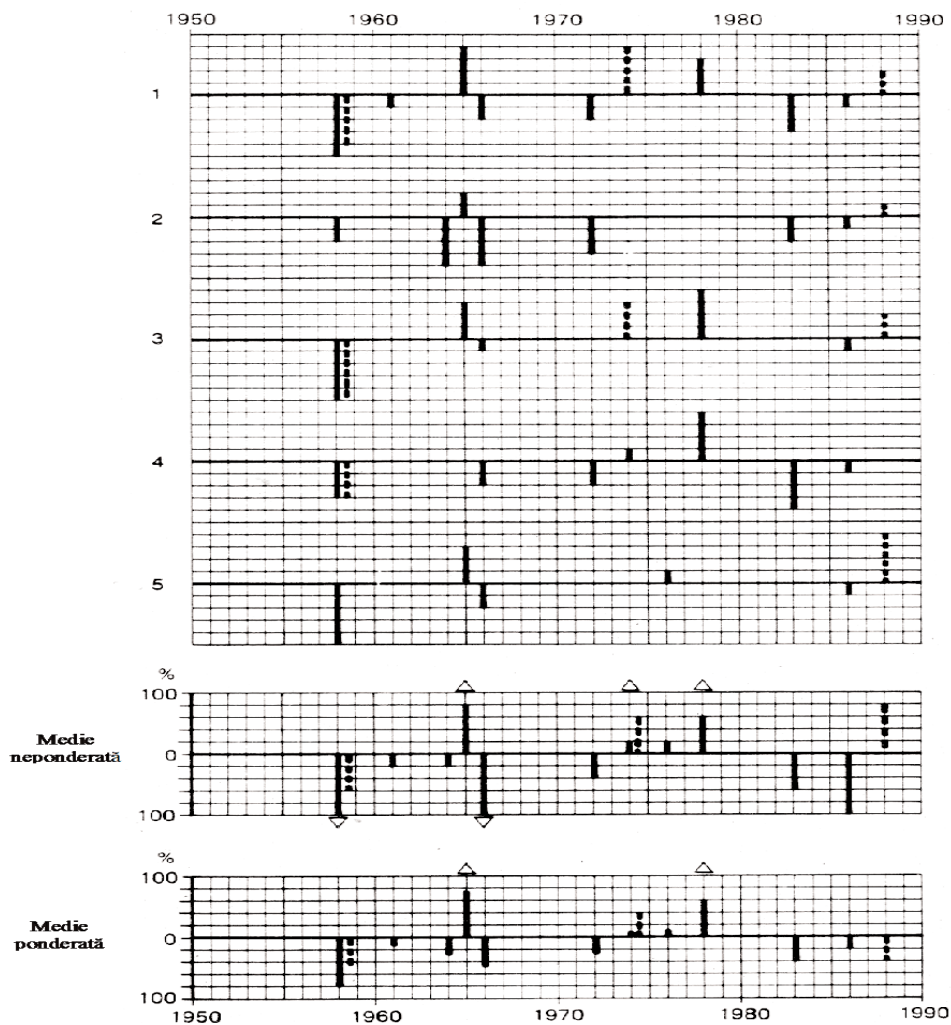


Fig. 4.11. Interdatarea seriilor dendrocronologice prin intermediul inelelor și anilor caracteristici (prelucrare după Schweingruber et al., 1990)
Cross-dating of dendrochronological series using event years (after Schweingruber et al., 1990)

Grissino-Mayer et al., 1996; Cook et al., 1997).

Standardizarea seriilor de creștere. Standardizarea seriilor cronologice este o metodă clasică în dendrocronologie și se bazează pe principiul separării factorului studiat de “bruiajul de fond”, care îi este inevitabil asociat (Fritts, 1976; Cook et al., 1990).

Standardizarea reprezintă procedura de transformare a seriei cronologice reprezentând un parametru al inelului anual într-o serie de indici prin extragerea unui

anumit semnal, cel mai adesea semnalul climatic C_t .

Analiza semnalelor componente ale modelului agregat al inelului anual permite gruparea semnalelor A_t , $D1_t$ și $D2_t$ într-un semnal comun G_t , numit curba de creștere generală, sub influența factorilor perturbatori endo- și exogeni. Această grupare a semnalelor este recomandată în cazul studiilor privind elaborarea seriilor dendrocronologice de referință, permițând separarea semnalului climatic general - C_t . Extragerea acestui semnal macroclimatic se realizează prin standardizare.

Prin standardizare se realizează o transformare a seriei de creștere nestaționare într-o serie de indici staționară cu medie 1 și varianță relativ constantă. Obținerea indicilor de creștere se poate realiza fie prin raportarea seriei de creștere inițiale la curba de creștere generală fie prin diferență.

Uzual se recomandă utilizarea metodei raportării, respectiv:

$$I_t = \frac{R_t}{G_t} \quad (4.6.)$$

unde: I_t - indicele de creștere din anul t ;

R_t - lățimea inelului anual din anul t ;

G_t - valoarea estimată prin curba de creștere din anul t .

Problema esențială în standardizarea datelor cronologice referitoare la caracteristicile inelului anual o constituie alegerea metodei, respectiv a curbei optime de estimare a semnalului G_t . În literatura de specialitate sunt recomandate un număr mare de algoritmi, care se pot grupa în trei categorii: metode grafice; metode deterministice și metode stohastice.

Metodele grafice au o aplicabilitate relativ redusă, în condițiile actuale ale tehnicii de calcul, cea mai cunoscută fiind metoda coridorului.

Metodele deterministice realizează netezirea funcției de creștere prin utilizarea unui model matematic definit a priori. Creșterea radială este definită ca o relație funcțională de tipul:

$$G_t = f(A_t) \quad (4.7.)$$

ignorând semnale $D1_t$ și $D2_t$.

Metodele stocastice sunt mult mai adaptive, considerând curba de creștere generală de forma:

$$G_t = f(A_t, D1_t, D2_t) \quad (4.8.)$$

Metodele deterministice utilizează o funcție matematică pentru ajustarea semnalului G_t , metoda de cuantificare a parametrilor modelului fiind metoda celor mai mici pătrate. Aceste metode deterministice sunt recomandate în cazul seriilor de creștere unimodale, în care influența semnalelor perturbatoare lipsește sau este

redușă. Principale tipuri de modele deterministice utilizate în standardizare pot fi sintetizate astfel:

- modelul liniar (fig. 4.12.): $G_t = b_0 + b_1 t$ (4.9.)

- model exponențial negativ (fig. 4.13.): $G_t = at^b e^{-gt}$ (4.10.)

- modelul polinomial (fig. 4.14.).

- parabola logaritmică (funcția lui Backman). $G_t = b_0 + b_1 \lg t + b_2 \lg^2 t$ (4.11.)

Modelul polinomial, spre deosebire de celelalte modele deterministice, este multimodal, permițând o surprindere a influenței semnalelor perturbatoare. Această metodă de estimare a trendului curbei de creștere nu se bazează însă pe un model de creștere “a priori” definit pe baze biologice, de aceea se recomandă, pe cât posi-

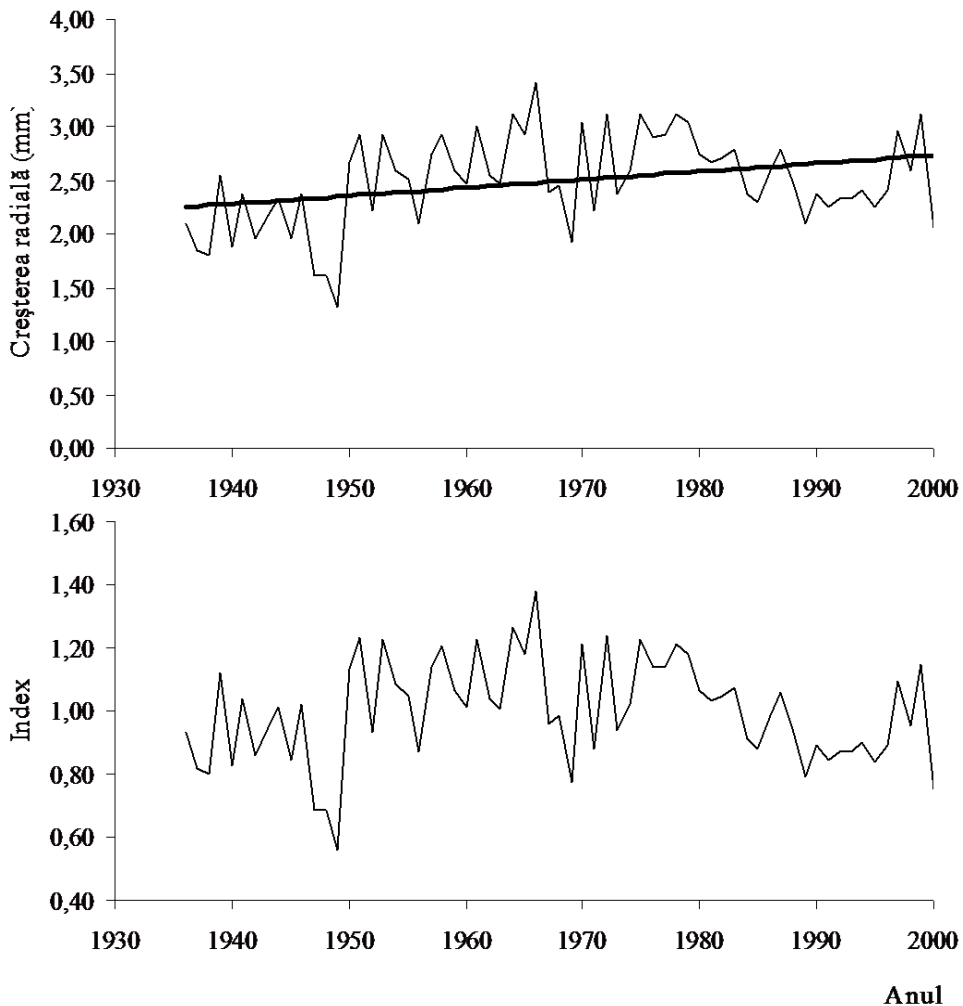


Fig. 4.12. Standardizarea seriei de creștere cu modelul liniar
The standardization of growth curve with the linear model

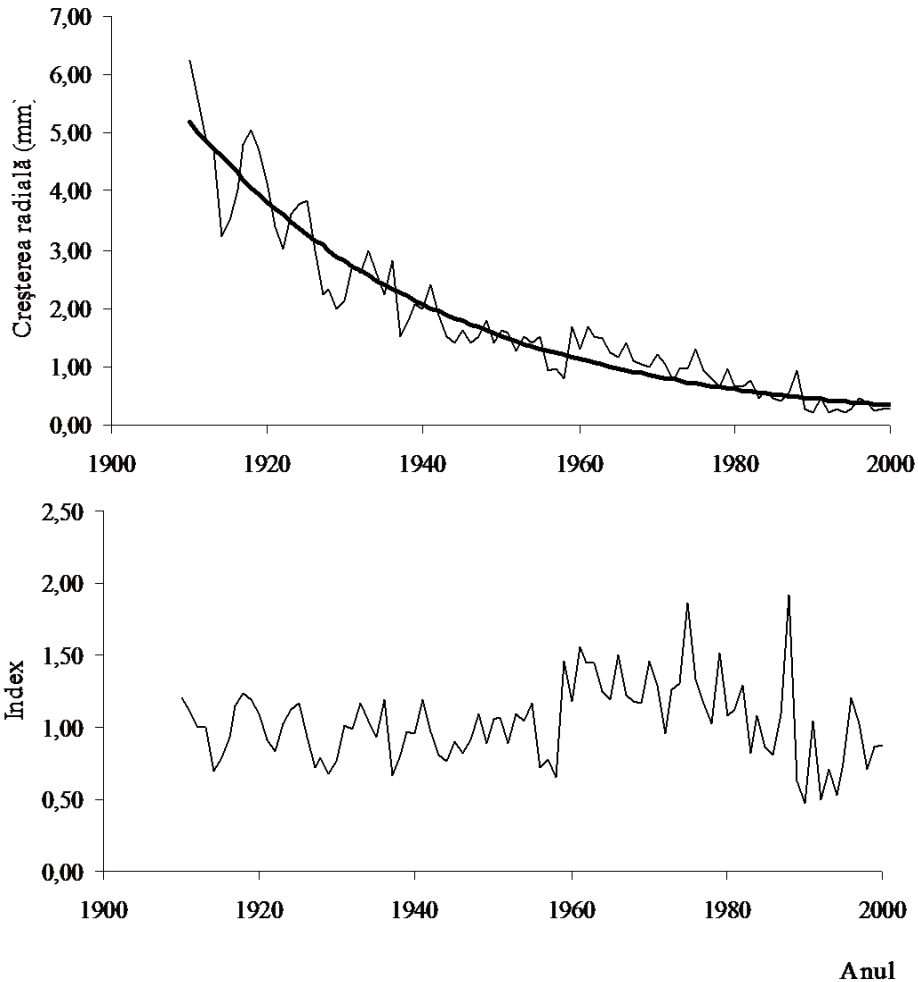


Fig. 4.13. Standardizarea seriei de creștere cu modelul exponențial
The standardization of growth curve with the exponential model

bil, evitarea utilizării sale în standardizarea seriilor cronologice. Date fiind inerențele limitări ale modelelor deterministice în extragerea semnalelor stocastice de joasă frecvență datorate perturbărilor, frecvent întâlnite în serii de creștere, metodele stocastice de standardizare se dovedesc eficiente. Metodele stocastice sunt mult mai flexibile, făcând apel la funcții complexe definite “a posteriori” (curbe de netezire). În dendrocronologie, și-au găsit o largă aplicare următoarele modele stocastice: metoda de netezire exponențială (fig. 4.15.) și modelul autoregresiv sau modelul AR-MA - model autoregresiv integrat cu modelul mediei mobile (fig. 4.16.).

$$G_t = \mu + \phi_1 R_{t-1} + \phi_2 R_{t-2} + \dots + \phi_p R_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (4.12.)$$

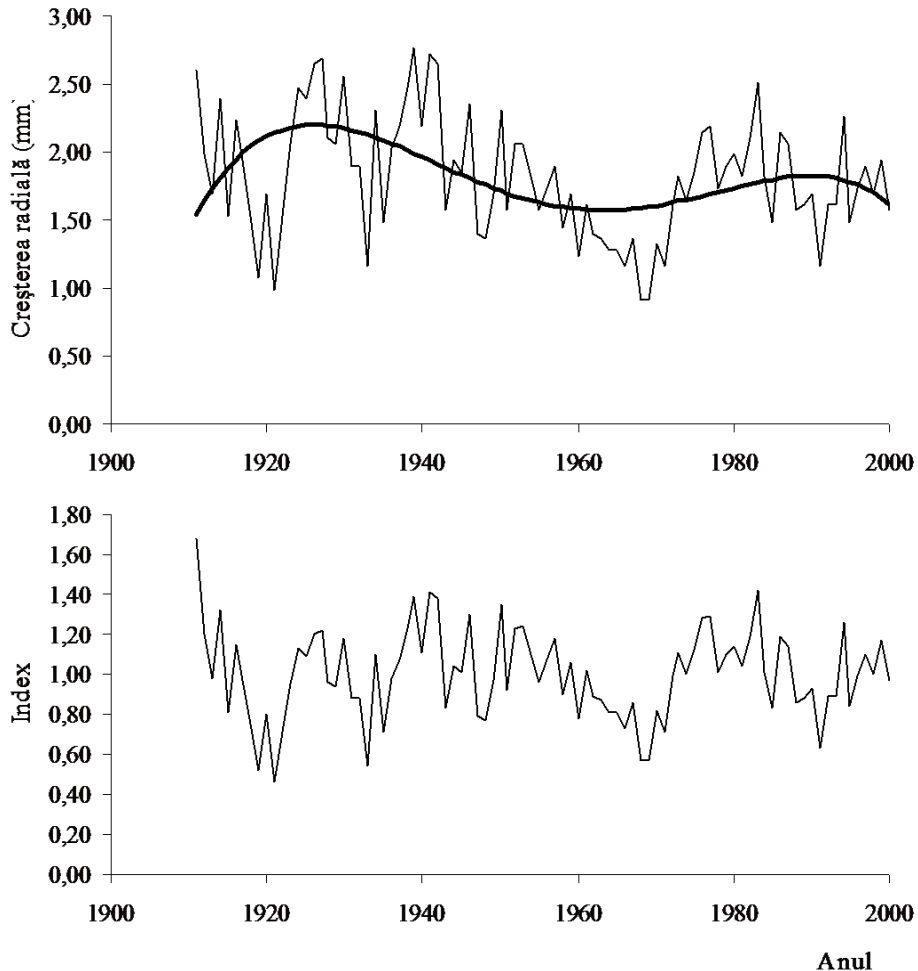


Fig. 4.14. Standardizarea seriei de creștere cu modelul polinomial
The standardization of growth curve with the polinomial model

O metodă particulară de standardizare a seriilor de timp referitoare la lățimea inelului anual este aplicată în Franța (Dupouey et al., 1993; Lebourgeois, 1997; Becker, 1987; Becker et al., 1995), respectiv metoda curbei de vârstă regionale. Aceasta constă în determinarea, în baza unui număr foarte mare de date, a unei curbe de creștere regionale standard, pentru fiecare specie. Prin raportarea sau diferențierea dintre curba de creștere regională și seria dendrocronologică, se obține seria de indici de creștere.

Aplicarea metodelor stocastice de standardizare a seriilor dendrocronologice presupune utilizarea unor programe informatice specializate. Alegerea și aplicarea unei metode adecvate de standardizare asigură maximizarea semnalului investigat

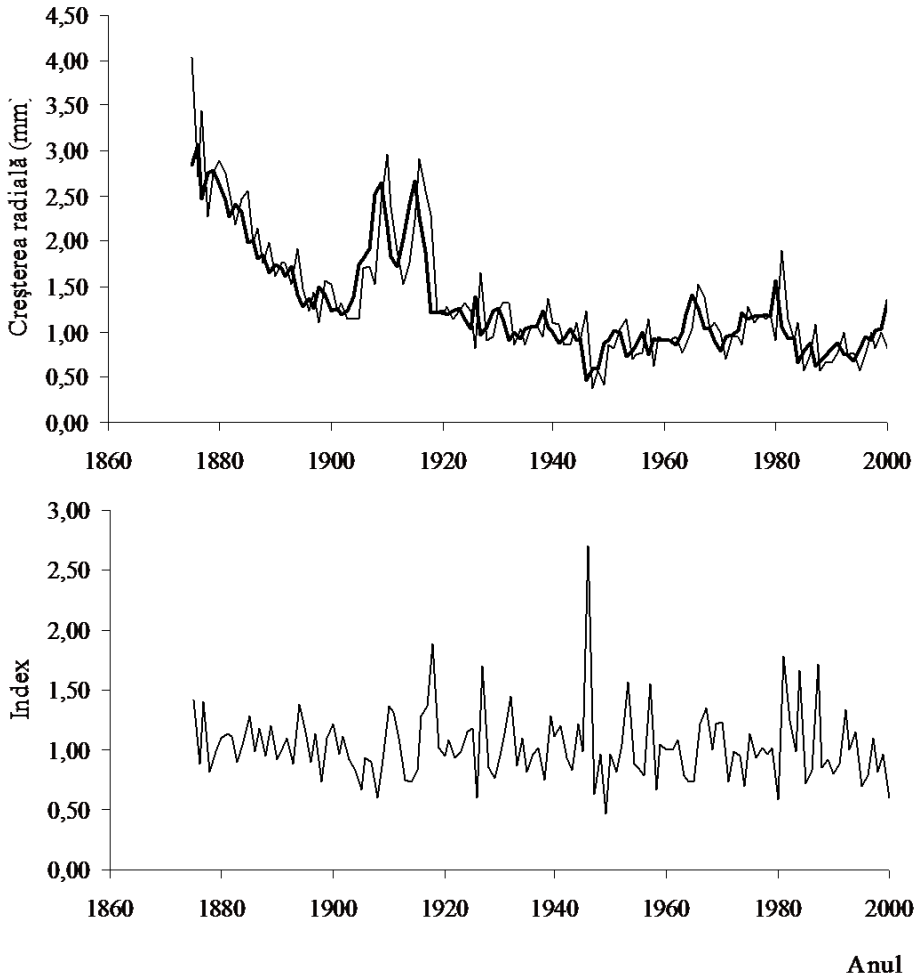


Fig. 4.15. Standardizarea seriei de creștere prin modelul de netezire exponențială
The standardization of growth curve with exponential smoothing model

în seria de indici de creștere obținută. În timp, s-a cristalizat în sfera cercetărilor dendrocronologice tehnica standardizării seriilor de creștere în două etape: o primă standardizare constă în ajustarea seriei de creștere prin intermediul unei funcții determinate de tip exponențial negativ sau liniar, care conduce la eliminarea semnalului A_t . Seria de indici de creștere primari este standardizată, în faza a doua, prin aplicarea unei funcții spline având o lungime a fazei în raport cu mărimea seriei de timp, eliminându-se influența factorilor perturbatori exo- și endogeni.

Practic, pentru standardizarea seriilor de creștere și a calculului seriei dendrocronologice, se utilizează programul ASTRAN (Fritts et al., 1969; Grissino-Mayer et al., 1996; Cook et al., 1997), aplicându-se o primă standardizare pentru elimi-

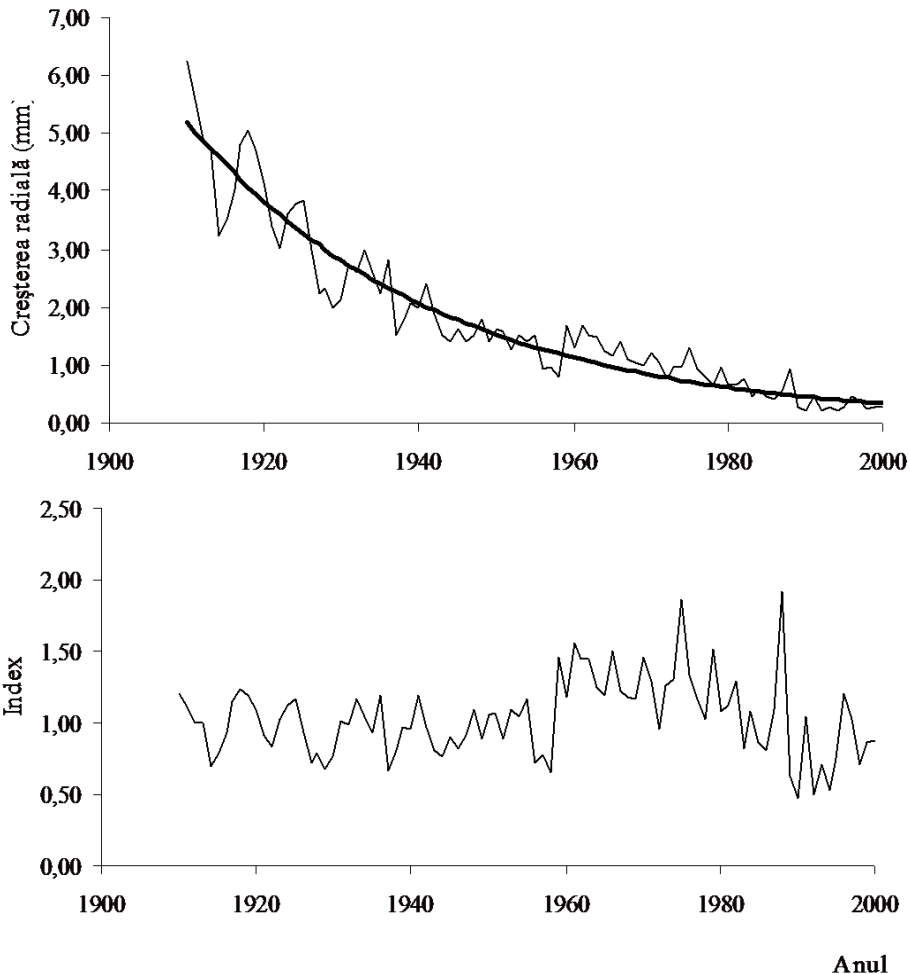


Fig. 4.16. Ajustarea seriei de creștere cu modelul AR-MA (AR(1) MA(1))
The standardization of growth curve with AR-MA (AR(1) MA(1)) model

narea influenței vârstei, cu o funcție exponențială negativă sau liniară, rezultând o serie de indici primari. În vederea eliminării semnalului datorat factorilor perturbatori endogeni și exogeni ecosistemului se aplică o a doua standardizare prin intermediul unei funcții spline cubică cu o lungime a perioade egală cu 2/3 din lungimea seriei. Lungimea perioadei de oscilație a funcției spline se alege astfel încât să asigure o maximizare a raportului semnal - zgomot (Cook et al., 1990). Calculul indicilor de creștere cu programul ASTRAN se poate realiza, la alegere, prin diferențiere sau prin raport între creșterea reală și cea estimată prin funcția de standardizare.

Estimarea seriei dendrocronologice tip. După ce fiecare serie de

creștere a fost inderdatată și transformată în serie de indici prin standardizare se procedează la obținerea seriei dendrocronologice de referință pentru stațiunea respectivă. În literatura de specialitate sunt descrise trei metode de obținerea a seriei medii de indici de creștere: media aritmetică, media bponderată și valoarea medie calculată prin intermediul distribuției frecvențelor indicilor individuali pentru fiecare an. Ultima metodă are o aplicabilitate mai redusă datorită complexității algoritmului de calcul. Metoda clasică de estimare a semnalului comun este reprezentată de calculul mediei aritmetice a serilor de indici de creștere, conform relației:

unde I_t reprezintă indicele mediu în anul t ;

$$\bar{I}_t = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ti}}{n} \quad (4.13.)$$

I_{ti} - indicele din anul t pentru serie i ;

n - numărul de serii de indici.

În cazul în care există valori extreme, utilizarea mediei aritmetice nu se recomandă, deoarece nu realizează o estimare minimă a varianței. Pentru astfel de cazuri se recomandă media robustă bponderată, care permite o reducere a influenței valorilor extreme. Calcularea mediei robuste bponderate se realizează prin iterație, după relația (Cook et al., 1990):

unde: I_{t*} reprezintă indicele mediu intermediar pentru anul t ;

$$\bar{I}_t^* = \sum_{i=1}^n w_t I_{ti} \quad (4.14.)$$

unde

$$w_t = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{I_t - \bar{I}_t^*}{cS_t^*} \right)^2 \right]^2, & \text{dacă } \left(\frac{I_t - \bar{I}_t^*}{cS_t^*} \right)^2 < 1 \\ 0 & \text{dacă } \left(\frac{I_t - \bar{I}_t^*}{cS_t^*} \right)^2 \geq 1 \end{cases}$$

w_t - ponderea pentru anul t ;

c - constantă (6 sau 9);

S_{t*} - mediana abaterilor absolute ($S_{t*} = \text{median}\{|I_t - I_{t*}|\}$)

Pentru calcularea primei iterații se utilizează fie media aritmetică, fie mediana. În general, 3-4 iterații sunt suficiente pentru minimizarea influenței valorilor extreme. În situația în care autocorelația dintre indicii seriei cronologice este ridicată, se recomandă utilizarea metodei autoregresive pentru modelarea semnalului comun ca un proces ARIMA. Programul ASTRAN realizează calculul seriei den-

drocronologice medii, la alegere, prin intermediul mediei aritmetice sau biponderate. În urma prelucrărilor statistice, rezultă trei tipuri de serii dendrocronologice: seria dendrocronologică standard - STD - care reprezintă valoarea medie a indicilor de creștere prin aplicarea mediei robuste biponderate, incluzând autocorelația dintre indici de creștere, seria dendrocronologică reziduală - RES - obținută prin aplicarea unui model autoregresiv la seria dendrocronologică standard în vederea eliminării autocorelației și seria dendrocronologică ASTRAN - ARS - se obține prin reîn-globarea modelului teoretic autoregresiv în seria dendrocronologică reziduală.

4.5. Testarea semnificației seriilor dendrocronologice

Seriile dendrocronologice de indici de creștere obținute prin standardizarea seriilor de creșteri sunt utilizate pentru estimarea seriilor dendrocronologice de referință, prin aplicarea metodei mediilor (aritmetice sau biponderate). Această serie dendrocronologică, standard pentru o anumită specie și zonă geografică sau ecologică, reprezintă o sumă a semnalului climatic macrozonal general și a zgomotului statistic inerent datorită variabilității creșterii anuale, a particularităților staționale și microstaționale, a metodelor de studiu. Acest bruiaj de fond, denumit în teoria statică a seriilor de timp, zgomot alb nu se poate elimina complet prin metodele de standardizare aplicate. O reducere semnificativă a zgomotului se obține prin calcularea valorii medii a indicilor de creștere. Întrebarea care se naște din aceste considerente este: în ce măsură seria dendrocronologică de referință calculată este reprezentativă pentru populația cronologică sondată?

Pentru a răspunde la această întrebare este necesar a se analiza semnificația semnalului surprins în seria dendrocronologică, aplicându-se una dintre metodele: analiza varianței, estimarea raportului semnal-zgomot și corelația medie.

Analiza varianței - ANOVA - este metoda cea mai uzitată în dendrocronologie pentru testarea semnificației seriilor dendrocronologice. Prin intermediul ANOVA se realizează o estimate a semnalului și a erorii între grupul seriilor de indici standardizați, prin măsurarea variabilității comune din/și între arbori. Aplicarea analizei varianței la testarea semnificației necesită o procedură complexă, cu posibilități ridicate de informatizare. Stabilirea ponderii fiecărei componente (sondaj, arbori și carote) în varianța totală a seriei dendrocronologice se realizează conform algoritmului prezentat în tabelul 4.1 (Fritts, 1976; Briffa și Jones, 1990).

Testarea semnificației seriei dendrocronologice prin analiza varianței permite separarea influenței diferitelor surse de variație, respectiv a variabilității comune din întregul set de indici de creștere, reprezentată de semnalul macroclimatic, a varianței datorate eterogenității microstaționale, a variabilității arborilor etc. Această metodă măsoară gradul de reprezentativitate și relevanță a seriei dendrocronologice de referință rezultată din media seriilor de indici calculați pentru fiecare carotă, pentru fiecare arbore din fiecare sondaj.

Tabel. 4.1. Testarea semnificației seriilor dendrocronologice prin analiza varianței
The testing of dendrochronological series significance by variance analysis

Sursa variației	Suma pătratelor corectate	Grade de libertate	Media pătratelor	Componenta de varianță	Procent
Între grupuri (G)	$\frac{1}{g} \left[\sum_{i=1}^g \left(\sum_{j=1}^n y_{ij} \right)^2 \right] - K = G_c$	g-1	$MS(G) = \frac{G_c}{g-1}$	-	-
Între carote (C)	$\frac{1}{c} \left[\sum_{i=1}^c \left(\sum_{j=1}^n y_{ij} \right)^2 \right] - K = C_c$	c-1	$MS(C) = \frac{C_c}{c-1}$	-	-
Între arborii din grup (T/G)	$\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^g y_{ij} \right)^2 \right] - G_c - K = T_c$	(t-1)g	$MS(T) = \frac{T_c}{(t-1)g}$	-	-
Între carotele din grup (CxG)	$\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^c y_{ij} \right)^2 \right] - C_c - G_c - K = CG_c$	(c-1)(g-1)	$MS(CG) = \frac{CG_c}{(c-1)(g-1)}$	-	-
Între carotele din arborii din grup (CxT/G)	$\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^g y_{ijk} \right)^2 \right] - G_c - C_c - T_c - CG_c - K = CT_c$	(t-1)(c-1)g	$MS(CT) = \frac{CT_c}{(t-1)(c-1)g}$	-	-
Între indicii din toată cronologia (Y)	$\frac{1}{g} \left[\sum_{i=1}^g \left(\sum_{j=1}^n y_{ij} \right)^2 \right] - K = Y_c$	n-1	$MS(Y) = \frac{Y_c}{n-1}$	$MS(Y) - MS(T) / g$	$\frac{MS(Y)}{MS(T)} \cdot 100 / \frac{MS(T)}{MS(Y)}$
Între cronologiile din grupuri (YxG)	$\frac{1}{g} \left[\sum_{i=1}^g \left(\sum_{j=1}^n y_{ij} \right)^2 \right] - Y_c - G_c - K = YG_c$	(n-1)(g-1)	$MS(YG) = \frac{YG_c}{(n-1)(g-1)}$	$MS(YG) - MS(T) / c$	$\frac{MS(YG)}{MS(T)} \cdot 100 / \frac{MS(T)}{MS(YG)}$
Între cronologiile din arborii din grupuri (YxT/G)	$\frac{1}{c} \left[\sum_{i=1}^c \left(\sum_{j=1}^n y_{ij} \right)^2 \right] - Y_c - G_c - T_c - YG_c - K = YT_c$	(n-1)(t-1)g	$MS(YT) = \frac{YT_c}{(n-1)(t-1)g}$	$MS(YT) - MS(CT) / c$	$\frac{MS(YT)}{MS(CT)} \cdot 100 / \frac{MS(CT)}{MS(YT)}$
Între cronologiile din carote (YxC)	$\frac{1}{g} \left[\sum_{i=1}^g \left(\sum_{j=1}^c y_{ij} \right)^2 \right] - Y_c - C_c - K = YC_c$	(n-1)(c-1)	$MS(YC) = \frac{YC_c}{(n-1)(c-1)}$	$MS(YC) - MS(CT) / g$	$\frac{MS(YC)}{MS(CT)} \cdot 100 / \frac{MS(CT)}{MS(YC)}$
Între cronologiile din carote din grupuri (YxCxG)	$\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^g y_{ijk} \right)^2 \right] - Y_c - G_c - YG_c - YC_c - K = YCG_c$	(n-1)(c-1)(g-1)	$MS(YCG) = \frac{YCG_c}{(n-1)(c-1)(g-1)}$	$MS(YCG) - MS(CT) / t$	$\frac{MS(YCG)}{MS(CT)} \cdot 100 / \frac{MS(CT)}{MS(YCG)}$
Între cronologiile din carote din arborii din grup (YxCxT/G)	$\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^g y_{ijk} \right)^2 \right] - Y_c - G_c - C_c - T_c - YG_c - YC_c - YCG_c - K = YCT_c$	(n-1)(c-1)(t-1)g	$MS(YCT) = \frac{YCT_c}{(n-1)(c-1)(t-1)g}$	$MS(YCT) - MS(CT)$	$\frac{MS(YCT)}{MS(CT)} \cdot 100 / \frac{MS(CT)}{MS(YCT)}$

n = număr de grupuri (sondaje), $i=1...t$ - număr de arborii din grupuri; $j=1...c$ - număr de carote pe arbore; $k=1...n$ - număr de ani din cronologie;

$$K = \frac{1}{g} \left[\sum_{i=1}^g \left(\sum_{j=1}^n y_{ij} \right)^2 \right] - Y_c$$

$$VC_{total} = VC(Y) + VC(YG) + VC(YT) + VC(YC) + VC(YCG) + VC(YCT)$$

O altă metodă de testare a semnificației constă în utilizarea coeficienților de corelație dintre toate seriile de indici luați în calculul seriei dendrocronologice de referință, rezultând astfel o matrice de coeficienți de corelație. În baza acestei matrici de coeficienți de corelație se pot calcula o serie de indicatori statistici de corelație medii, care să reflecte ponderea semnalului investigat în seria dendrocronologică.

O primă statistică este coeficientul de corelație mediu dintre diferite carote, în și dintre arbori, calculat cu relația (Briffa și Jones, 1990):

unde: r_{tot} - coeficientul de corelație medie dintre toate carotele;

$$\bar{r}_{tot} = \frac{1}{N_{tot}} \sum_{i=1}^t \sum_{\substack{l=i \\ l \neq i}}^t \sum_{j=1}^{c_i} r_{ij} \quad (4.15.)$$

unde:

$$N_{tot} = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^t c_i \right) \left[\left(\sum_{i=1}^t c_i \right) - 1 \right]$$

r_{ij} - coeficientul de corelație dintre lățimea inelului anual din anul i și l din carota j ;

N_{tot} - numărul total de carote.

Estimarea ponderii variației datorate carotei din arbori (variabilitatea din interiorul arborelui) este dată de coeficientul de corelație mediu dintre seriile de indici de creștere de la același arbore, calculați pentru toți arborii din sondaj, astfel:

unde: r_{wt} - coeficientul de corelație medie dintre seriile de indici de la același

$$\bar{r}_{wt} = \frac{1}{N_{wt}} \sum_{i=1}^t \left(\sum_{j=2}^{c_i} r_{ij} \right) \quad (4.16.)$$

unde:

$$N_{wt} = \sum_{i=1}^t \frac{1}{2} c_i (c_i - 1)$$

arbore;

r_{ij} - coeficientul de corelație dintre lățimea inelului anual din anul i de la arborele j ;

N_{wt} - numărul total de carote.

Valoarea $1-r_{wt}$ este echivalentul VC(YCT) din analiza varianței (tabelul 4.1.). Ponderea semnalului dintre arbori este dat de coeficientul de corelație calculat între perechile posibile de serii de indici, astfel:

unde: r_{bt} - coeficientul de corelație medie dintre seriile medii de indici de creștere

$$\bar{r}_{bt} = \frac{1}{N_{tot} - N_{wt}} (\bar{r}_{tot} N_{tot} - \bar{r}_{wt} N_{wt}) \quad (4.17.)$$

dintre arbori;

r_{tot} - coeficientul de corelație mediu dintre toate seriile de indici de creștere;

r_{wt} - coeficientul de corelație mediu dintre seriile de indici de creștere de la același arbore;

N_{tot} - numărul total de serii de indici de creștere;

N_{wt} - numărul total de serii de indici de creștere de la un arbore.

Procentul semnalului comun în toate seriile de indici se calculează în funcție de raportul dintre semnal și zgomot după relația:

unde t reprezintă numărul total de serii de indici de creștere.

$$\text{Procent comun} = \frac{\frac{tVC(Y)}{1-VC(Y)}}{1 + \frac{tVC(Y)}{1-VC(Y)}} \quad (4.18.)$$

Aceste metode de analiză a semnificației seriei dendrocronologice de referință constituie un instrument eficient în analiza a variabilității seriilor de indici de creștere de la stațiune la stațiune, de la arbore la arbore și în interiorul aceluiași arbore. Programul ASTRAN realizează o analiză complexă a semnificației statistice a seriilor dendrocronologice, pe perioada comună tuturor seriilor individuale, calculând toți indicatorii statistici prezentați anterior, atât pentru seria standard (STD) cât și pentru cea reziduală (RES).

Dendrocronologia poate fi considerată drept o știință de interfață dintre arbore, prin inelul anual, și celelalte discipline din domeniul ecologiei, climatologiei, istoriei etc. Ea oferă tehnicii, metode și instrumente de analiză, datare și reconstituire istorică, suficient de precise și cu acoperire spațială și temporală mare.

Prin adaptarea metodelor clasice de elaborare și analiză a seriilor dendrocronologice, obiective specifice fiecărei cercetări, se pot obține rezultate interesante sub raport științific. Astfel, seriile dendrocronologice elaborate pot servi drept material de studiu pentru analiza dinamicii perturbațiilor, sub forma seriilor medii de creștere și a seriilor de indici primari de creștere, a variabilității spațiale a reacției la modificarea factorilor de mediu sau a relației climat-arbore.

5. Serii dendrocronologice din rețeaua RODENDRONET

Rețelele de suprafețe de dendrocronologie oferă posibilitatea integrării componente temporale cu cea spațială, oferind un suport spațial cercetărilor de reconstituire a dinamicii istorice a climatului. La nivel internațional există implementate rețele de dendrocronologie constituite dintr-un număr foarte mare de serii dendrocronologice (fig. 5.1.). Astfel în baza de date internațională - ITRDB - sunt înregistrate peste 3300 de serii dendrocronologice.

La nivel european rețeaua de dendrocronologie, existentă în circuitul internațional, cuprinde peste 500 serii dendrocronologice, localizate mai ales în partea de vest și nord a continentului (fig. 5.2). La nivelul lanțului carpatic sunt prezente numai trei serii dendrocronologice pentru molid, elaborate de Schweingruber (1985).

Primele serii dendrocronologice pentru pădurile din România au fost elaborate de Schweingruber (1985) pentru molid, pentru trei zone din Carpați: Giumalău, Făgăraș și Novaci, privind lățimea inelului anual și densitatea lemnului. Ulterior au fost elaborate serii dendrocronologice pentru molid și brad în zona Sinaia, Slătioara (Suceava), Brașov, Azuga, Sibiu (Alexandrescu, 1995). Serii dendrocronologice pentru speciile de cvercinee (stejar, gorun, cer, gârniță) au fost realizate pentru zona de vest și sud a țării, însă au lungimi maxime cuprinse între 80 și 150 de ani, nere-liefând adevăratul potențial dendrocronologic al stejăretelor din România.

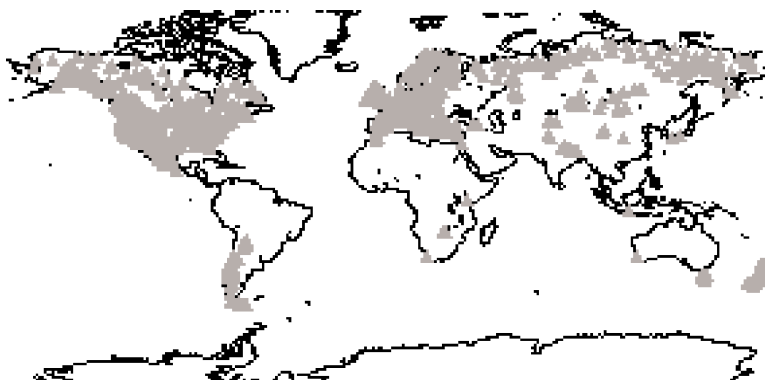


Fig. 5.1. Rețeaua mondială de serii dendrocronologice din cadrul ITRDB (ITRDB, 2003)
World network of dendrochronological series from ITRDB (ITRDB, 2003)



Fig. 5.2. Rețeaua europeană de serii dendrocronologice din cadrul ITRDB (ITRDB, 2003)
European network of dendrochronological series from ITRDB (ITRDB, 2003)

Tentativele de extindere a seriilor dendrocronologice de la arbori cu cele provenind din piese de lemn arheologic sunt încurajatoare (Alexandrescu, 1995; Babos și Eggertsson, 2002).

Potențialul dendrocronologic ridicat al ecosistemelor forestiere din România, coroborat cu o lipsă a integrării cercetărilor românești din domeniul în circuitul internațional, au constituit elemente determinate pentru factorii de decizie din cercetarea silvică, concretizate în includerea în programul național de cercetare ORIZONT 2000, în cadrul obiectivului fundamental Fundamentarea gestionării durabile a pădurilor pentru potențarea funcțiilor lor ecologice, economice și sociale a unui subobiectiv distinct pentru impulsionearea cercetărilor dendrocronologice: “Fundamente dendrocronologice, dendroclimatologice și dendroecologice pentru gestionarea durabilă a pădurilor”. În cadrul acestui program s-au derulat, în perioada 2000-2002 un număr de 2 teme de cercetare vizând elaborarea seriilor dendrocronologice pentru molid, brad și gorun cu aplicabilitate în dendroclimatologie și dendroecologie, respectiv cercetări privind schimbările climatice. În cadrul temei de cercetare “Elaborarea de serii

dendrocronologice pentru molid, brad și gorun cu aplicabilitate în dendroecologie și dendroclimatologie” au fost elaborate și validate un număr de 16 serii dendrocronologice (fig. 5.3., tabelul 5.1.) acoperind condiții ecologice diverse, altele trei (DOMA, DOMB și DEMB) fiind în curs de analiză.

5.1. Serii dendrocronologice pentru molid (*Picea abies* Karst.)

Seriile dendrocronologice pentru molid provin din două masive muntoase din nordul țării, respectiv din munții Rodnei și din masivul Rarău-Giumalău. Aceste serii dendrocronologice surprind influențele exercitate de către cele două văi principale (Bistrița Aurie și Moldova), pe care se găsesc punctele de dendrocronologie, asupra climatului general. În vederea surprinderii variabilității microzonale în munții Rodnei, pe versantul estic, au fost amplasate trei puncte de dendrocronologie în masivul Putredu (PUTA, PUTB și PUTC), trei în masivul Bila (BILA, BILB, BILC), precum și o serie intermediară între aceste două zone în masivul Tomnatic - TOMA. Tot pentru acest bazin hidrografic a fost elaborată o serie dendrocronologică pentru zâmbbru - BILD (fig. 5.4.).

Seria dendrocronologică Putredu A - PUTA. Suprafața dendrocronologică PUTA este situată la limita altitudinală superioară a pădurii în masivul Gargalău. Evoluția ecosistemului din această suprafață s-a desfășurat sub impactul



Fig. 5.3. Seriilor dendrocronologice elaborate în cadrul programului de cercetare ORIZONT 2000
Dendrochronological series elaborated in the research program ORIZONT 2000

Tabel. 5.1. Parametrii statistici ai seriilor dendrocronologice
The statistical parameters of dendrochronological series

Specia	Cod serie dendrocronologică	Latitudine	Longitudine	Altitudine (m)	Lungime serie (ani)	Sensibilitate medie	Raportul semnal /zgomot
Molid	PUTA	47°33'	24°49'	1550	1793-2000 (208)	0.14	8.32
	PUTB	47°33'	24°49'	1500	1748-2000 (253)	0.14	11.15
	PUTC	47°33'	24°49'	1500	1732-2000 (269)	0.14	7.50
	TOMA	47°32'	24°51'	1650	1822-2000 (179)	0.15	10.27
	BILA	47°31'	24°55'	1500	1769-2000 (232)	0.13	9.28
	BILB	47°31'	24°55'	1600	1831-2000 (170)	0.13	9.74
	BILC	47°31'	24°52'	1650	1818-2000 (183)	0.14	8.09
	GIUA	46°26'	25°26'	1300	1738-2000 (263)	0.17	12.39
	SLAA	47°27'	25°38'	1300	1753-2000 (248)	0.15	7.41
Brad	TIBA	47°29'	24°16'	1250	1667-2001 (335)	0.15	6.78
	SLAB	47°27'	25°38'	830	1670-2000 (331)	0.19	7.86
	DEMA	47°39'	25°30'	1100	1670-2001 (332)	0.11	5.14
	SOVA	45°58'	26°37'	800	1710-2001 (292)	0.14	7.76
	SINA	45°21'	25°32'	1050	1715-2001 (287)	0.16	5.25
Zâmbru	BILD	47°31'	24°52'	1650	1672-2000 (329)	0.15	6.88
Gorun	BORA	47°37'	23°15'	220	1777-2001 (225)	0.13	7.43

pu-ternic al factorului antropic, care a condus, prin tăieri succesive, la o rărire accentuată (fig. 5.5.). Din analiza cioatelor existente se apreciază că modificări majore datează din ultimele cinci decenii. Dinamica structurii ecosistemului este confirmată și de seria de creștere medie (fig. 5.6.). În vederea elaborării seriei dendrocronologice s-au recoltat probe de creștere de la un număr de 20 de arbori, respectiv un număr 40 de carote. În urma analizelor preliminare și a măsurătorilor efectuate s-a renunțat la un număr de 4 arbori. Seria dendrocronologică acoperă o

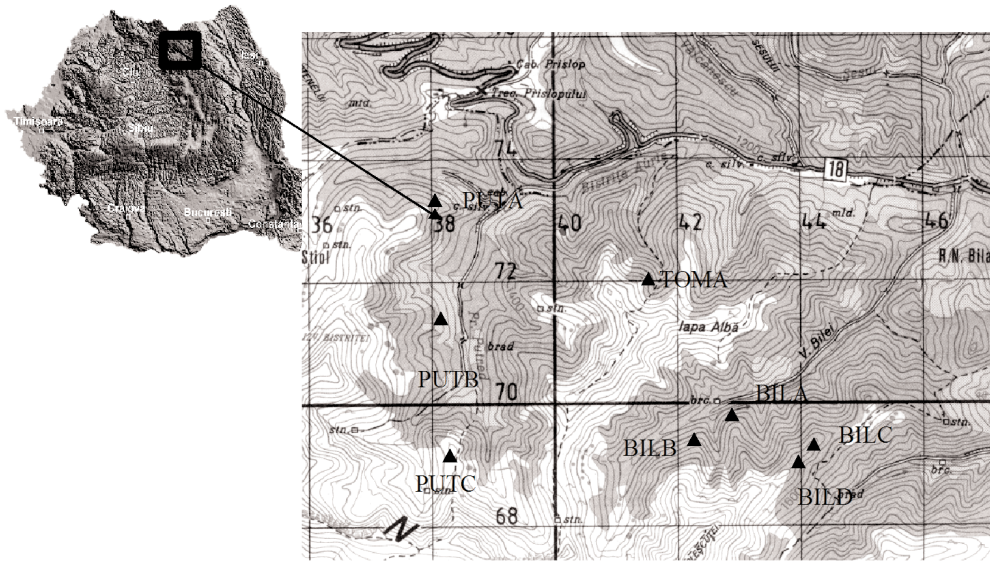


Fig. 5.4. Localizarea geografică a seriilor dendrocronologice pentru molid din munții Rodnei
Geographic location of Norway spruce dendrochronological series from Rodna Mountains



Fig. 5.5. Vedere generală a suprafeței dendrocronologice Putredu A-PUTA
General view of dendrochronological site Putredu A -PUTA

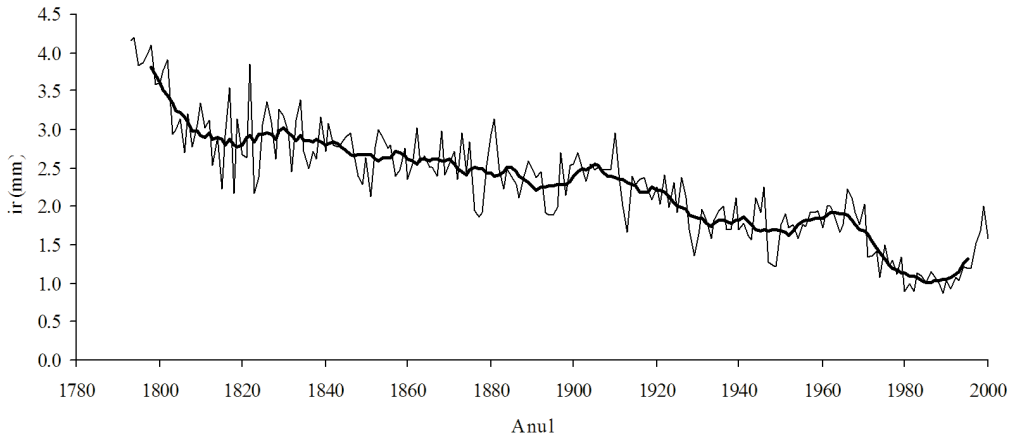


Fig. 5.6. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Putredu A - PUTA
Average growth curve from dendrochronological site Putredu A - PUTA

peri-oadă de 208 ani, până în 1793 (tabel 5.2., fig. 5.7., 5.8.).

Alura curbei de creștere radială medie este tipică pentru un arboret lipsit de procese concurențiale intense, remarcându-se perioada de după 1970, când se înregistrează o reducere semnificativă a proceselor auxologice și o revenire a creșterii în ultimul deceniu. Sensibilitatea curbelor de creștere individuale variază între 0,15 și 0,27, cu o medie de 0,20, distingându-se drept ani caracteristici negativi: 1877, 1913, 1929 și 1947 cunoscuți în literatură ca ani foarte secetoși.

Prin standardizare se obține o accentuarea a anilor caracteristici, remarcându-se perioada 1970-1990 fiind caracterizată de o scădere a creșterii radiale, urmată de o revigorare bruscă după 1990. Această perioadă de regres auxologic, datorită întinderii în timp, își găsește explicație în prezența unui semnal perturbator (de ex. poluare, intervenție antropică etc.), ipoteza determinării climatice fiind mai puțin plauzibilă. Sensibilitatea medie a seriei dendrocronologice este de 0,14, în cazul seriei de indici reziduală (RES), variabilitatea comună, exprimată în prima componentă prin-

Tabel. 5.2. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice PUTA
The statistical parameters of dendrochronological series PUTA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	13	13	Intervalul comun analizat	1872-2000	
Număr carote	26	26	Număr de arbori (carote) analizate	13(25)	
Anul minim	1822	1822	Între toate carotele	0.396	0.450
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.385	0.441
Lungime serie	179	179	Între carotele din același arbore	0.645	0.644
Sensibilitate medie	0.14	0.16	Carote vs. Medie	0.645	0.684
Abaterca standard	0.15	0.14	Raportul semnal - zgomot	8.148	10.27
Autocorelația de ord. I	0.32	-0.05	Varianța în prima componentă principală	42.93	47.81

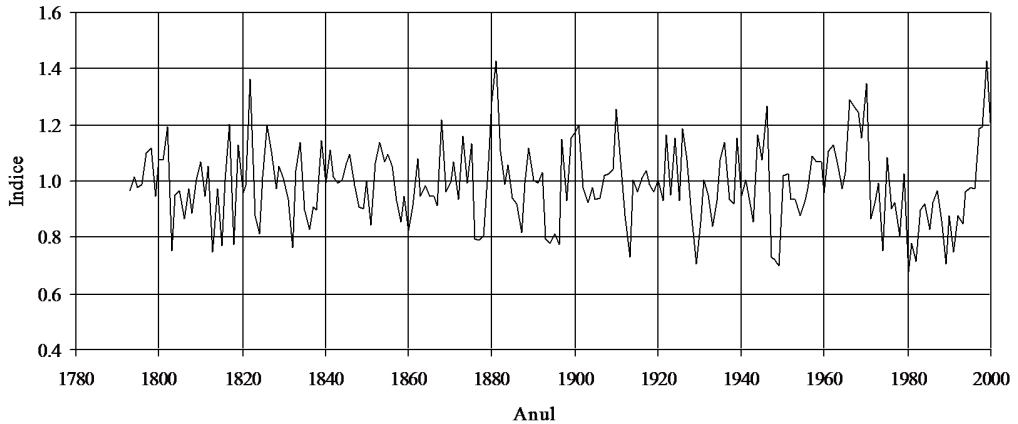


Fig. 5.7. Seria dendrocronologică (STD) pentru molid - PUTA
Dendrochronological series (STD) for Norway spruce - PUTA

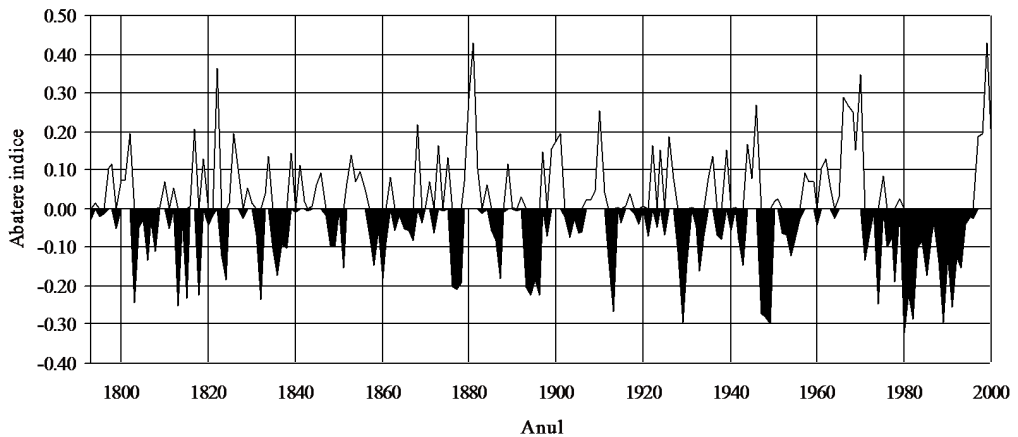


Fig. 5.8. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru molid - PUTA
The deviation growth index series for Norway spruce - PUTA

cipală, fiind de 39%. Raportul semnal-zgomot este de 7,59 (STD), respectiv 8,32 (RES), determinând un procent al semnalului comun de 88%.

Seria dendrocronologică Putredu B - PUTB. Suprafața de dendrocronologie PUTB este situată pe versantul stâng al pârâului Putredu, la 47°33' latitudine N și 24°49' longitudine E și la o altitudine de 1450-1500 m. Arboretul este relativ plurien, constatându-se prezența a două elemente de arboret, diferențiate după vârstă. Din această suprafață de probă s-au recoltat un număr de 46 de carote, de la 23 de arbori (fig. 5.9.). Seria dendrocronologică de indici de creștere a fost calculată în baza a 15 arbori (30 carote), datorită procentului ridicat al arborilor cu

putregai și anomalii de creștere. Curba de creștere medie are o dinamică relativ uniformă, lipsită de fluctuații mari a creșterii, indicând un regim redus al perturbațiilor externe, în special al doborăturilor produse de vânt (fig. 5.10.). Lungimea seriei dendrocronologice este de 253 de ani, mergând până în anul 1748 (tabel 5.3, fig. 5.11., 5.12.).

Din analiza curbei medii de creștere se observă influența structurii pluriene a arboretului din care au fost prelevate probele de creștere, înregistrându-se în primii 80 de ani o descreștere continuă a intensității proceselor de bioacumulare lemnoasă,

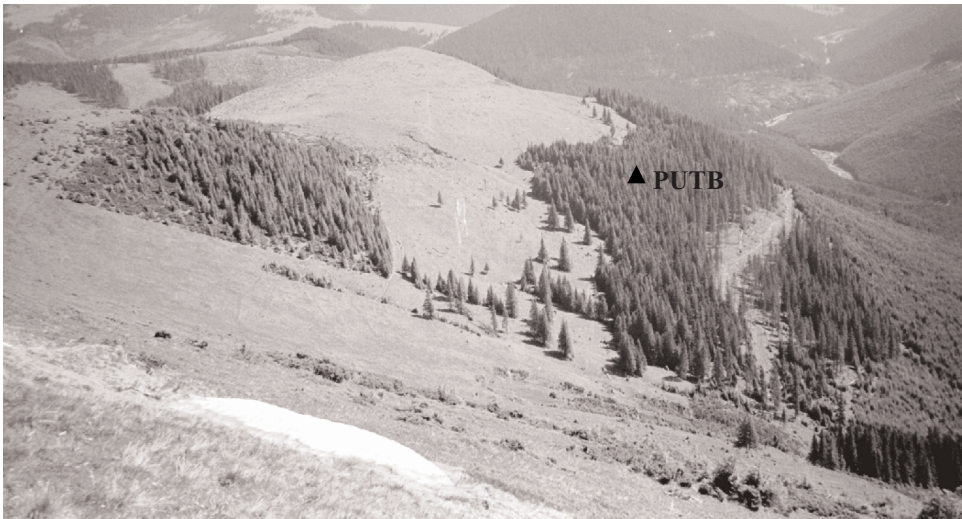


Fig. 5.9. Vedere generală a suprafeței dendrocronologice Putredu B-PUTB
General view of dendrochronological site Putredu B -PUTB

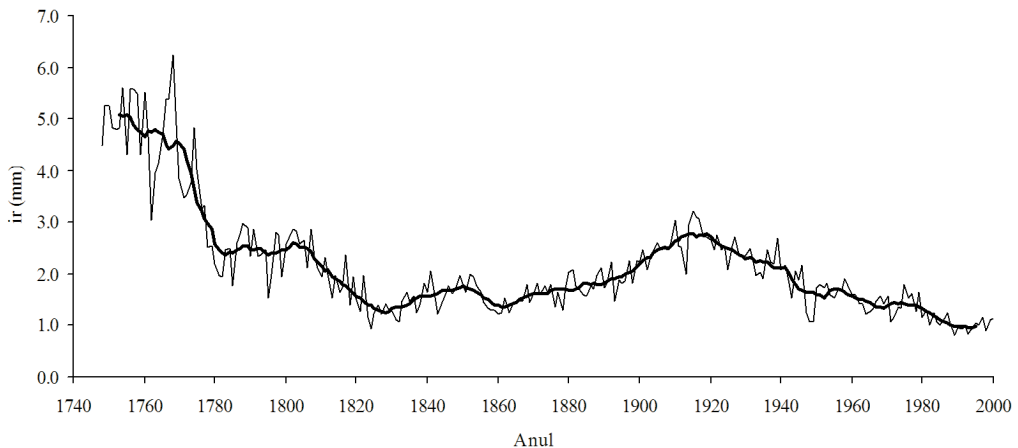


Fig. 5.10. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Putredu B - PUTB
Average growth curve from dendrochronological site Putredu B - PUTB

Tabel. 5.3. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice PUTB
The statistical parameters of dendrochronological series PUTB

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	13	13	Intervalul comun analizat	1872-2000	
Număr carote	26	26	Număr de arbori (carote) analizate	13(25)	
Anul minim	1822	1822	Între toate carotele	0.396	0.450
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.385	0.441
Lungime serie	179	179	Între carotele din același arbore	0.645	0.644
Sensibilitate medie	0.14	0.16	Carote vs. Medic	0.645	0.684
Abaterea standard	0.15	0.14	Raportul semnal - zgomot	8.148	10.27
Autocorelația de ord. I	0.32	-0.05	Varianța în prima componentă principală	42.93	47.81

datorită concurenței interspecifice foarte accentuate. Lipsa unor perturbări externe de tipul doborâturilor produse de vânt, ca urmare a poziției adăpostite a versantului față de vânturile periculoase, este clar evidențiată de curba de creștere. Dacă în cazul seriilor de creștere individuale se pot observa în unele cazuri perioade de accelerare a proceselor auxologice ca urmare a eliminării unor arbori din plafonul dominant, aceste perturbări se reduc la minim în curba medie. Sensibilitatea curbelor de creștere individuale variază între 0,14 și 0,28 cu o medie de 0,19.

În cazul seriei dendrocronologice din Putredu B se observă o creștere a sensibilității medii (0,14 - STD, 0,15 - RES), variabilitatea comună explicată de prima componentă principală, echivalentă cu semnalul climatic comun al arborilor din sondaj, fiind de 45,7%. Raportul semnal-zgomot este de 11,1 (RES), respectiv 10,1 (STD), inducând un procent comun al semnalului de 0,92. Anii caracteristici identificați în seria de pe versantul opus (PUTA) se mențin, remarcându-se anii 1947 și 1913. Perioada de regres auxologic din deceniul 1980-1990, urmată de o revigorare

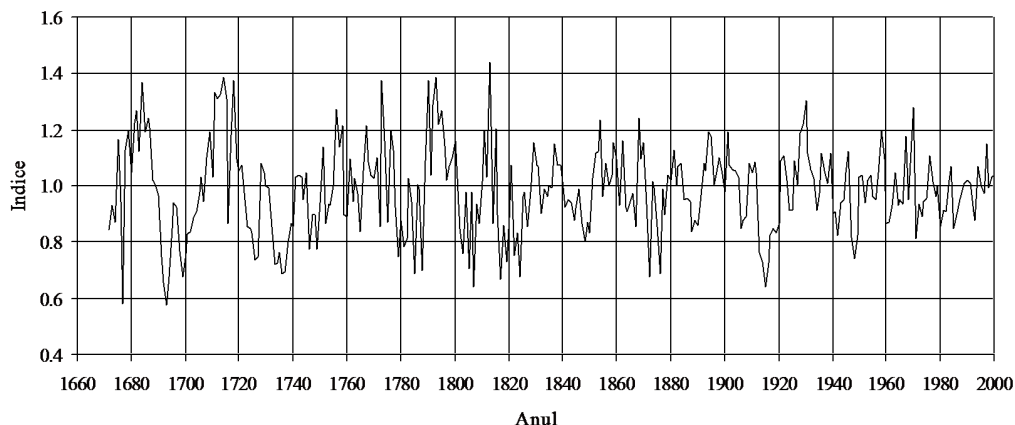


Fig. 5.11. Seria dendrocronologică (STD) pentru molid - PUTB
Dendrochronological series (STD) for Norway spruce - PUTB

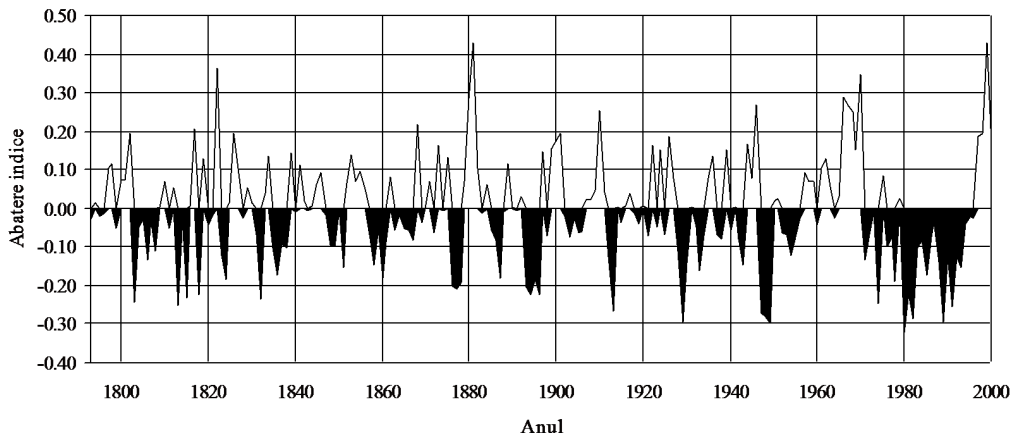


Fig. 5.12. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru molid - PUTB
The deviation growth index series for Norway spruce - PUTB

a creșterii, este prezentă și în acest caz. Corelația dintre carotele individuale și seria dendrocronologică este de 0,65, indicând o omogenitate relativ ridicată a sondajului.

Seria dendrocronologică Putredu C - PUTC. Suprafața experimentală de dendrocronologie Putredu este situată în bazinul superior al Bistriței Auri, la 47°31' latitudine N și 24°47' longitudine E, la o altitudine de 1500 m, panta medie fiind de 35-45 grade (fig. 5.13.). Suprafața de cercetare a fost amplasată într-o zonă cu arbori multisecolari, situați pe pante mari, deci cu un potențial dendrocronologic foarte ridicat, capabil a surprinde semnalul climatic general. Din această suprafață au fost recoltate probe de creștere de la un număr de 25 de arbori, eliminându-se în urma prelucrărilor primare 14 carote, respectiv 7 arbori. Lungimea seriei dendrocronologice este de 267 de ani, respectiv până în anul 1734 (tabel 5.4., fig. 5.14., 5.15., 5.16.).

Curba medie de creștere prezintă o perioadă inițială de creștere radială susținută urmată de un regres auxologic, cu determinare concurențială, până în jurul anului 1835-1840, când survine o modificare importantă a structurii arboretului sub impactul, cel mai probabil, al unei doborâturi produse de vânt. Rădăria arboretului din suprafața Putredu C are drept efect o accelerarea a proceselor auxologice a etajului inferior pe parcursul următoarelor două decenii, după care, ca urmare a creșterii densității și a intensificării proceselor concurențiale, curba de creștere medie prezintă o formă generală de tip exponențial negativ. Sensibilitatea individuală a seriilor de creștere este cuprinsă între 0,14 și 0,28, cu o medie de 0,21, mai crescută față de celelalte serii dendrocronologice din masivul Putredu, datorită condițiilor staționale particulare.



Fig. 5.13. Arbore de probă cu potențial dendrocronologic ridicat în suprafața Putredu C - PUTC
Selected tree with high dendrochronologic potential in site Putredu C - PUTC

Solul superficial, panta foarte mare, coroborată cu un procent ridicat de rocă la suprafață, determină o capacitate de înmagazinare a apei foarte redusă, inducând o sensibilitate ridicată la regimul precipitațiilor. Acest fapt este evidențiat de anii caracteristici, foarte marcanți, cum sunt 1946-1947, 1913 și 1877, care determină o reducere bruscă și foarte accentuată a creșterii. Și în acest caz perioada 1980-1990

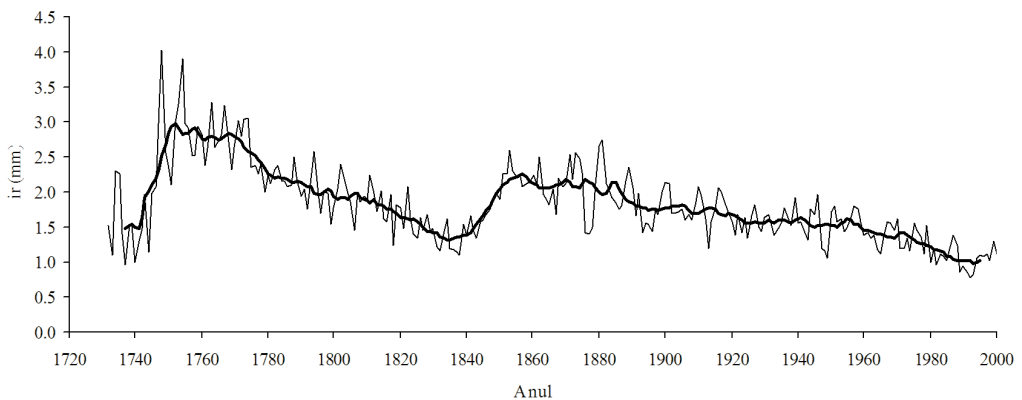


Fig. 5.14. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Putredu B - PUTC
Average growth curve from dendrochronological site Putredu B - PUTC

Tabel. 5.4. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice PUTC
The statistical parameters of dendrochronological series PUTC

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	13	13	Intervalul comun analizat	1872-2000	
Număr carote	26	26	Număr de arbori (carote) analizate	13(25)	
Anul minim	1822	1822	Între toate carotele	0.396	0.450
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.385	0.441
Lungime serie	179	179	Între carotele din același arbore	0.645	0.644
Sensibilitate medie	0.14	0.16	Carote vs. Medic	0.645	0.684
Abaterea standard	0.15	0.14	Raportul semnal - zgomot	8.148	10.27
Autocorelația de ord. I	0.32	-0.05	Varianța în prima componentă principală	42.93	47.81

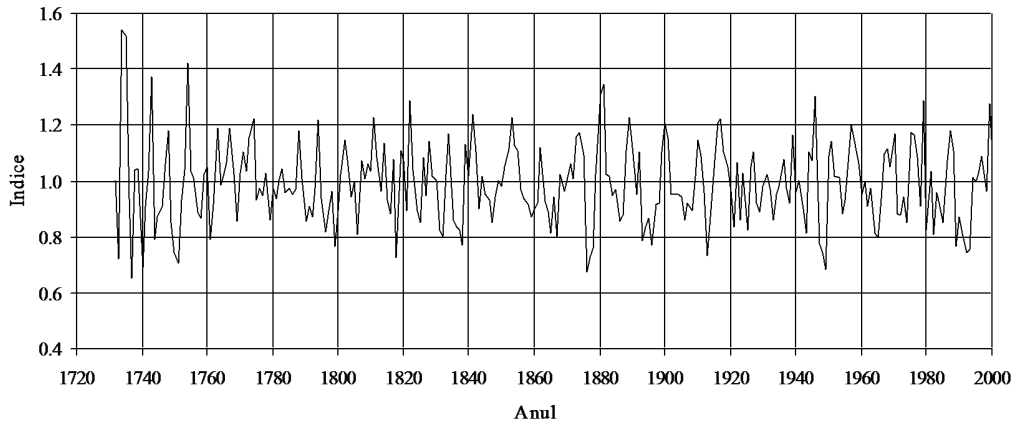


Fig. 5.15. Seria dendrocronologică (STD) pentru molid - PUTC
Dendrochronological series (STD) for Norway spruce - PUTC

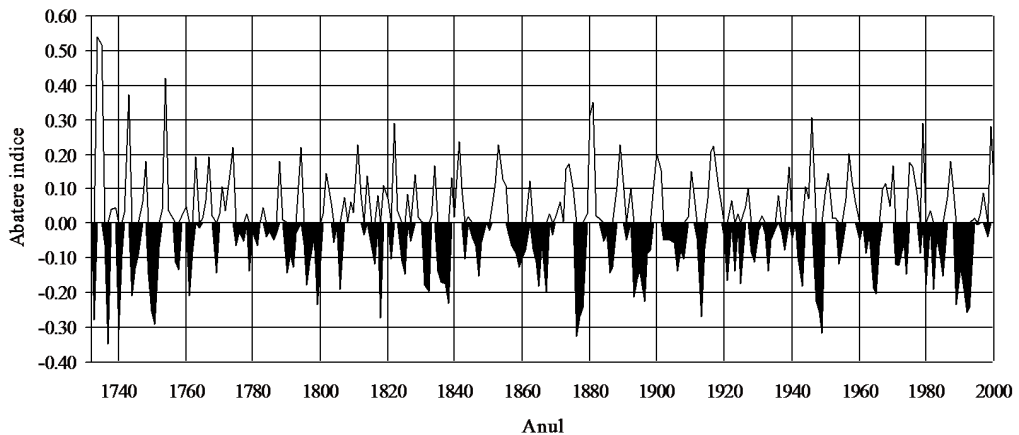


Fig. 5.16. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru molid - PUTC
The deviation growth index series for Norway spruce - PUTC

este marcată de un regres auxologic. Variația cuprinsă în prima componentă principală este de 33-35%, iar procentul semnalului comun, derivat din raportul semnal-zgomot, este de 88%.

Seria dendrocronologică Tomnatic A - TOMA. Pentru a se surprinde trecerea de la seriile dendrocronologice din Putredu la cele din bazinul Bila s-a ales amplasarea unei suprafețe în masivul Tomnatic, intermediar între cele două zone (fig. 5.17.). Arboretul ales este situat spre limita altitudinală a pădurii într-un arboret cu elemente de vârstă ridicată. Lungimea seriei este de 179 de ani, acoperind perioada până în anul 1822 (fig. 5.18, 5.19, 5.20, tabel 5.5).

Curba de creștere medie este tipică unui arboret de limită, omogen din punct de vedere structural, cu o creștere activă în primele 3 decenii, urmată de o reducere progresivă și continuă a proceselor auxologice ca urmare a intensificării proceselor concurențiale. Nu se remarcă prezența unor perturbări majore în arboret, fiind situat pe un versant adăpostit.

Foarte evident este anul 1946-1947, an foarte secetos conform înregistrărilor meteorologice, an care, alături de 1913, constituie principalii ani caracteristici ai acestei serii dendrocronologice. Sensibilitatea seriei dendrocronologice reziduale (RES) este ridicată (0,16), variabilitatea explicată de prima componentă principală fiind de 47%. Raportul semnal-zgomot este de 10,27 determinând un procent al semnalului comun de 91%, corelația medie dintre probele de creștere individuale și seria dendrocronologică fiind de 0,68. De remarcat este perioada 1980-1990 care, în această situație, este mai puțin pronunțată, atât în seria dendrocronologică, cât și

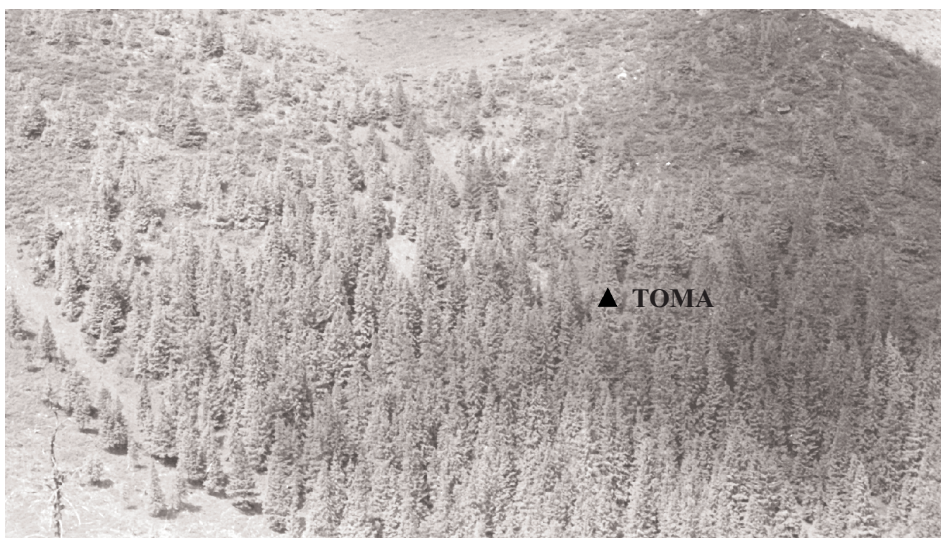


Fig. 5.17. Vedere generală a suprafeței dendrocronologice Tomnatic A -TOMA
General view of dendrochronological site Tomnatic A -TOMA

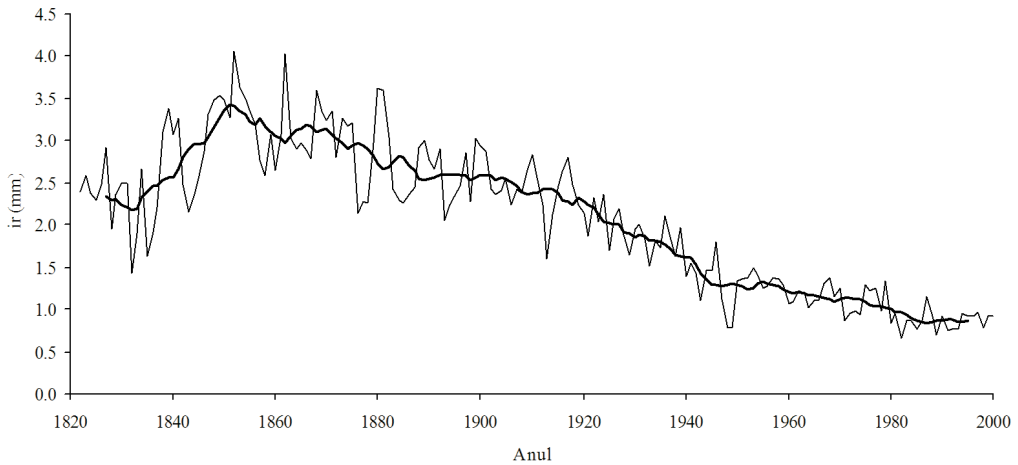


Fig. 5.18. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Tomnatic A - TOMA
Average growth curve from dendrochronological site Tomnatic A - TOMA

Tabel. 5.5. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice TOMA
The statistical parameters of dendrochronological series TOMA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	13	13	Intervalul comun analizat	1872-2000	
Număr carote	26	26	Număr de arbori (carote) analizate	13(25)	
Anul minim	1822	1822	Între toate carotele	0.396	0.450
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.385	0.441
Lungime serie	179	179	Între carotele din același arbore	0.645	0.644
Sensibilitate medie	0.14	0.16	Carote vs. Medie	0.645	0.684
Abaterea standard	0.15	0.14	Raportul semnal - zgomot	8.148	10.27
Autocorelația de ord. I	0.32	-0.05	Varianța în prima componentă principală	42.93	47.81

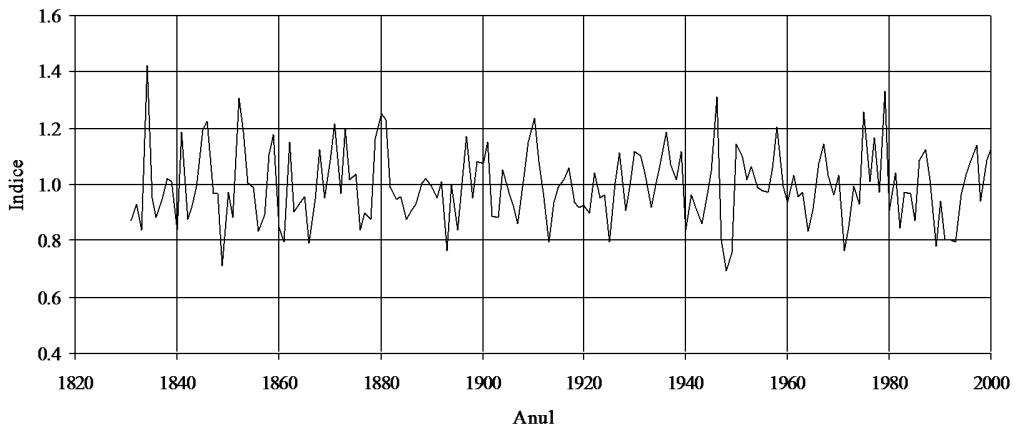


Fig. 5.19. Seria dendrocronologică (STD) pentru molid - TOMA
Dendrochronological series (STD) for Norway spruce - TOMA

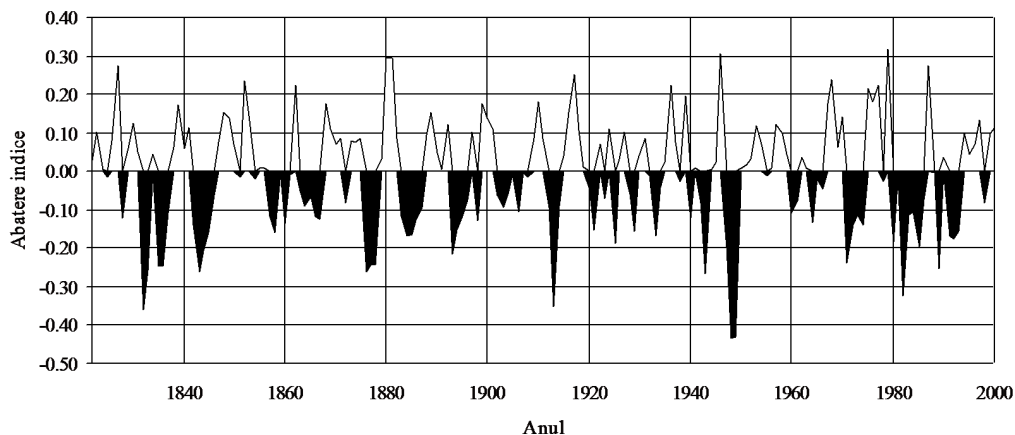


Fig. 5.20. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru molid - TOMA
The deviation growth index series for Norway spruce - TOMA

în curba de creștere medie. Omogenitatea ridicată a curbei de creștere și a seriei medii de indici de creștere se datorează în mare parte și perioadei relativ mici acoperite de probele de creștere.

Seria dendrocronologică Bila A - BILA. Suprafața de dendrocronologie BILA este amplasată într-un arboret pur de molid, cu structură plurienă, din bazi-nul superior a Bistriței Aurii, bazinetul Bila, la o altitudine de 1500 m, panta vari-
ind între 25-30 grade (fig. 5.21.).

Au fost prelevate probe de la un număr de 24 de arbori, elaborarea seriei den-drocronologice efectuându-se în conformitate cu metodologia clasică. În urma măsurătorilor și a interdatării au fost incluse în seria dendrocronologică numai 32 de probe de creștere de la 16 arbori. Lungimea seriei dendrocronologice este de 232 de ani, mergând până în anul 1769 (tabel 5.6., fig. 5.22., 5.23., 5.24.).

Atât curbele de creștere individuale, cât și curba medie, reflectă un proces con-curențial foarte activ în primele 5-6 decenii, urmate de o rărire a arboretului în jurul anului 1820, ca efect a unei doborâturi produse de vânt care a afectat întreg arbore-tul. O altă perturbare surprinsă în curba de creștere este în jurul anului 1880, care a determinat o accelerare a creșterii în deceniile următoare.

Sensibilitatea seriei dendrocronologice este de 0,15 (RES), în prima componen-tă principală fiind integrată 41% din varianța seriilor individuale. Corelația medie dintre carote și seria dendrocronologică este de 0,63, semnalul comun fiind de 90%. Ies în evidență anii caracteristici 1947 și 1913, precum și perioada de creș-tere accelerată din ultimul deceniu.

Seria dendrocronologică Bila B - BILB. Această serie dendrocronolo-gică a fost elaborată în baza a unui număr de 24 probe de creștere provenind de la 12 arbori (dintr-un total de 20 arbori incluși în sondaj) dintr-un arboret de limită alti-



Fig. 5.21. Aspecte din suprafața dendrocronologică Bila A - BILA
Aspects from dendrochronological site Bila A - BILA

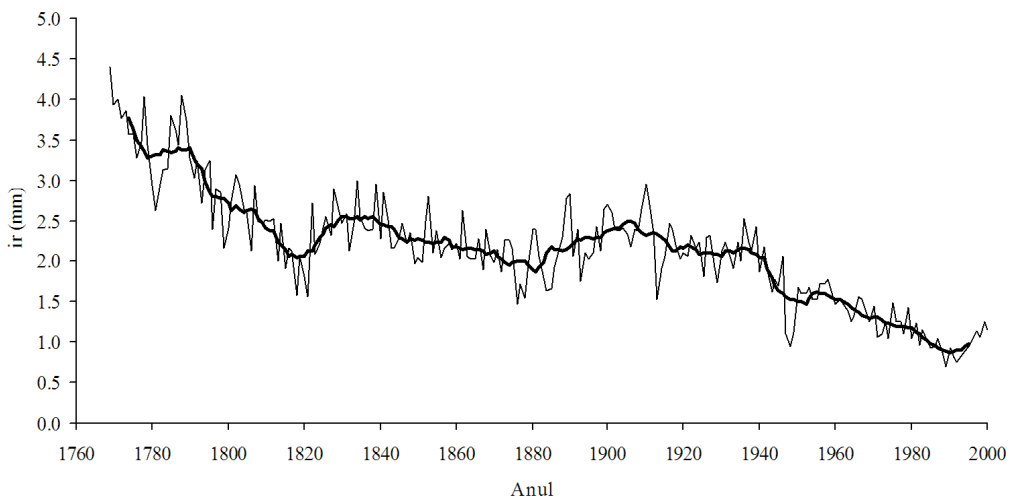


Fig. 5.22. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Bila A - BILA
Average growth curve from dendrochronological site Bila A - BILA

Tabel. 5.6. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice BILA
The statistical parameters of dendrochronological series BILA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medie	0.523	0.535
Abaterea standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

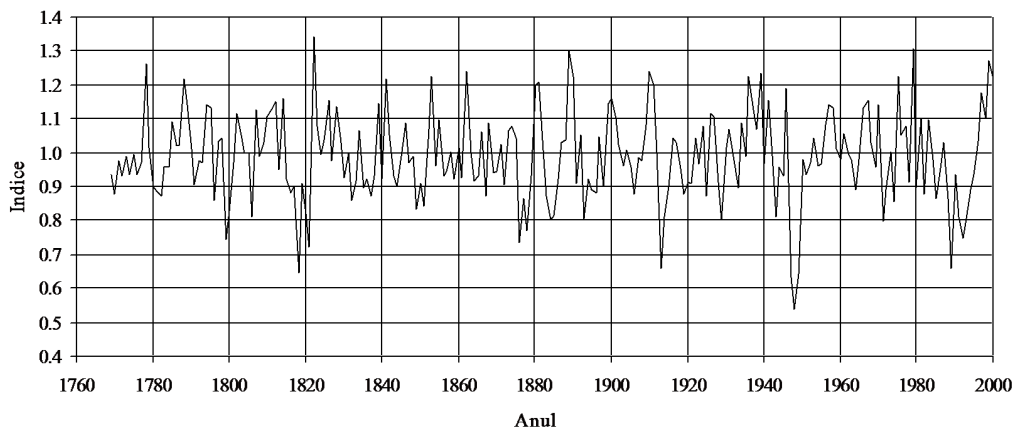


Fig. 5.23. Seria dendrocronologică (STD) pentru molid - BILA
Dendrochronological series (STD) for Norway spruce - BILA

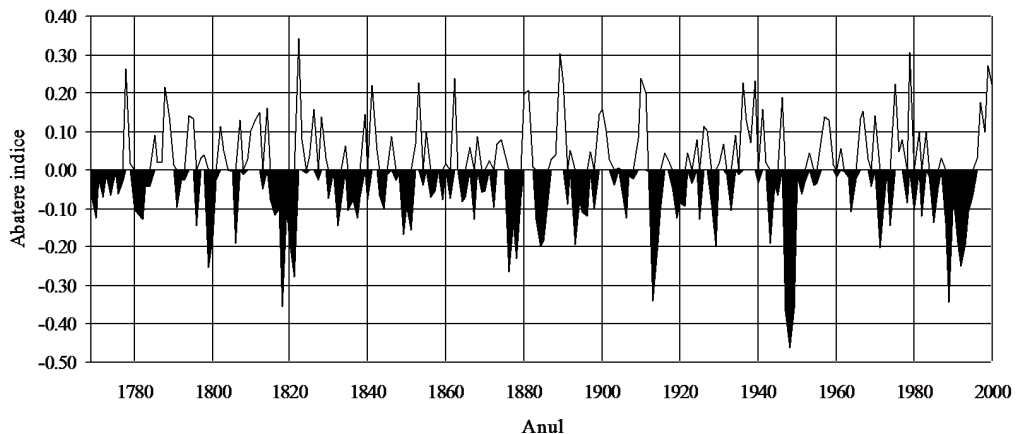


Fig. 5.24. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru molid - BILA
The deviation growth index series for Norway spruce - BILA

tudinală pe același versant cu BILA. Alitudinea medie este de 1600 m, iar panta cuprinsă între 30 și 35 grade. Lungimea maximă a seriei dendrocronologice este de 170 de ani (tabel 5.7., fig. 5.25., 5.26., 5.27.). Arborii din sondaj au o vârstă maximă de 170 de ani, la 1,30 m, originea prezentului arboret fiind în jurul anului 1820. Aceasta coincide cu perturbarea majoră, identificată în seria dendrocronologică din arboretul vecin, de pe același versant, ceea ce ne conduce la ipoteza originii prezentului arboret în urma unei doborâturi produse de vânt în masă, urmată de regenerare naturală sau de activare a proceselor de creștere a regenerării existente la momentul respectiv. O altă perturbare se observă în jurul anului 1880, urmată de cea din anul 1922-1925.

Fiind situate pe același versant și în condiții staționale similare, parametrii statisticii și anii caracteristici din cadrul seriei dendrocronologice din suprafața Bila B (BILB) sunt foarte apropiați de cei ai seriei Bila A (BILA). Corelația medie dintre

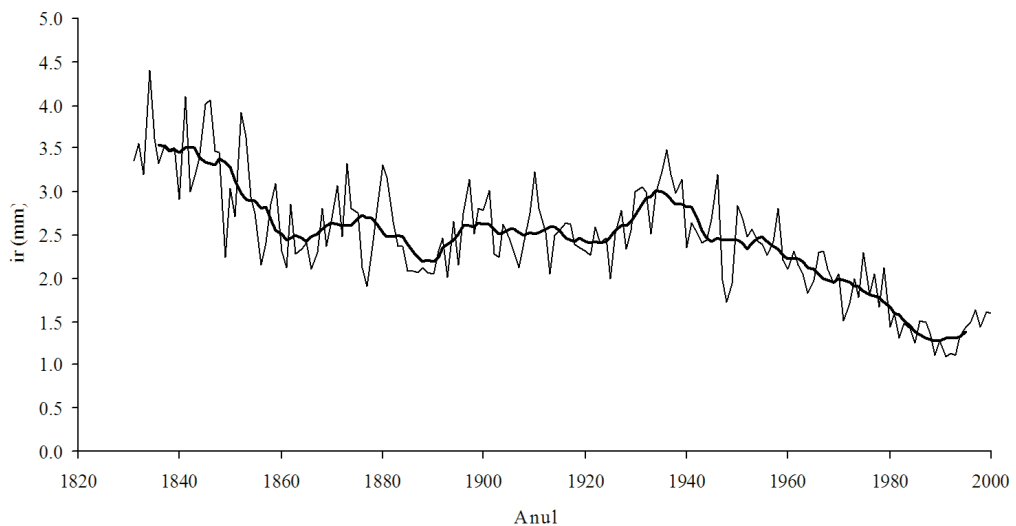


Fig. 5.25. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Bila B - BILB
Average growth curve from dendrochronological site Bila B - BILB

Tabel. 5.7. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice BILB
The statistical parameters of dendrochronological series BILB

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medie	0.523	0.535
Abaterca standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

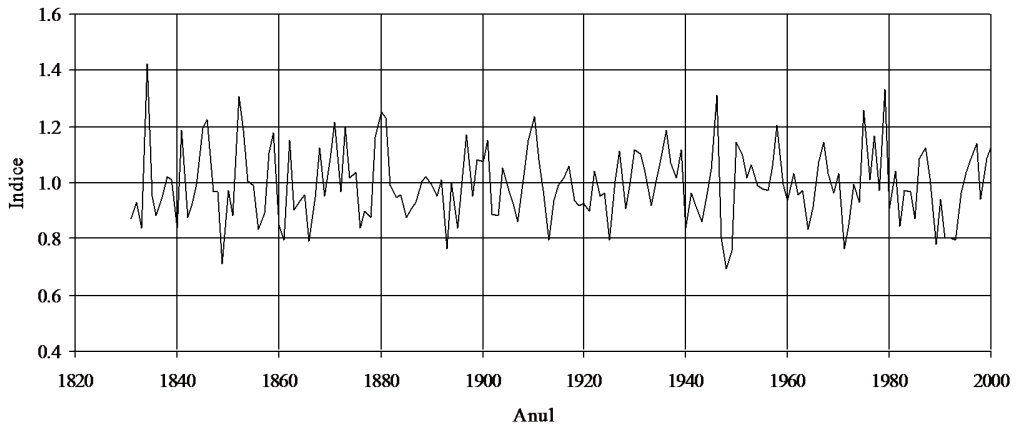


Fig. 5.26. Seria dendrocronologică (STD) pentru molid - BILB
Dendrochronological series (STD) for Norway spruce - BILB

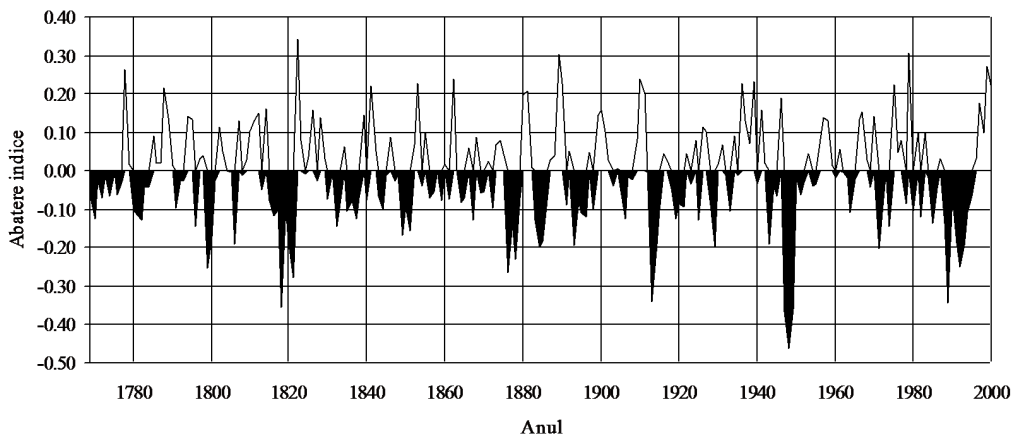


Fig. 5.27. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru molid - BILB
The deviation growth index series for Norway spruce - BILB

probe individuale de creștere și seria dendrocronologică este de 0,68, iar varianța cuprinsă în prima componentă principală este de 48%.

Seria dendrocronologică Bila C - BILC. Suprafața experimentală Bila C este situată pe versantul estic al munților Rodnei, în masivul Ineu, la 47°31' latitudine N și 24°52' longitudine E, la o altitudine de 1600 m, panta variind între 30-40 grade (fig. 5.28.).

Suprafața experimentală Bila C a fost amplasată într-o pădure seculară de limită altitudinală, cu un potențial dendrocronologic foarte ridicat ca urmare a lipsei influențelor perturbatoare datorate concurenței interspecifice. Au fost selecționați un număr de 20 de arbori, dar în urma prelucrărilor primare și analizelor statistice efectuate au fost validate numai 28 de probe de creștere, prelevate de la 14 arbori,



Fig. 5.28. Aspecte din suprafața experimentală Bila C -BILC
Aspects from dendrochronological site Bila C - BILC

numărul de arbori analizați încadrându-se în limitele impuse de standardele ITRDB. Seria dendrocronologică acoperă o perioadă de 183 de ani, fiind similară ca lungime și dinamică cu cea din suprafața Bila B (tabel 5.8., fig. 5.29., 5.30., 5.31.)

Curba creșterilor radiale medii are o tendință exponențială negativă, continuu descrescătoare, tipică pentru un arboret de limită altitudinală, lipsit de procese concurențiale. Se pot observa o serie de perioade de accentuare relativă a procesului de bioacumulare lemnoasă, datorate, probabil, unor doborâturi produse de vânt. Apa-

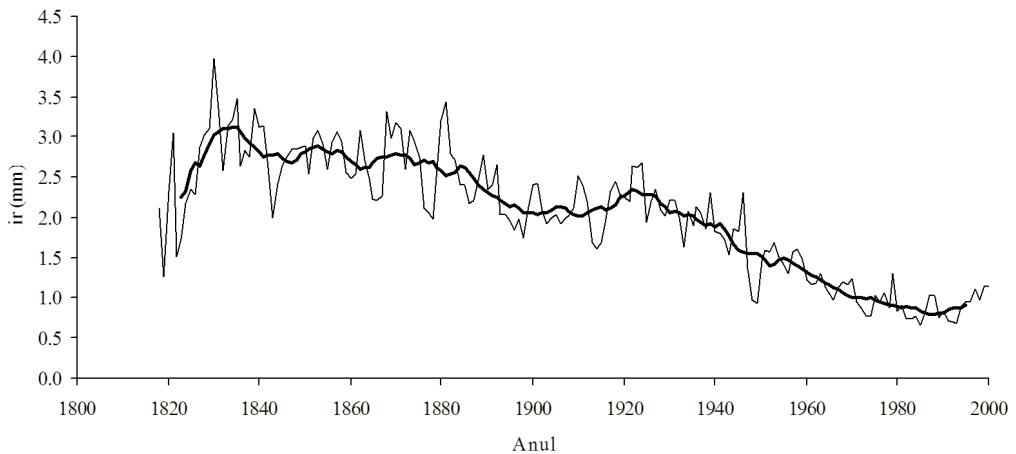


Fig. 5.29. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Bila C - BILC
Average growth curve from dendrochronological site Bila C - BILC

Tabel. 5.8. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice BILC
The statistical parameters of dendrochronological series BILC

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medie	0.523	0.535
Abaterea standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

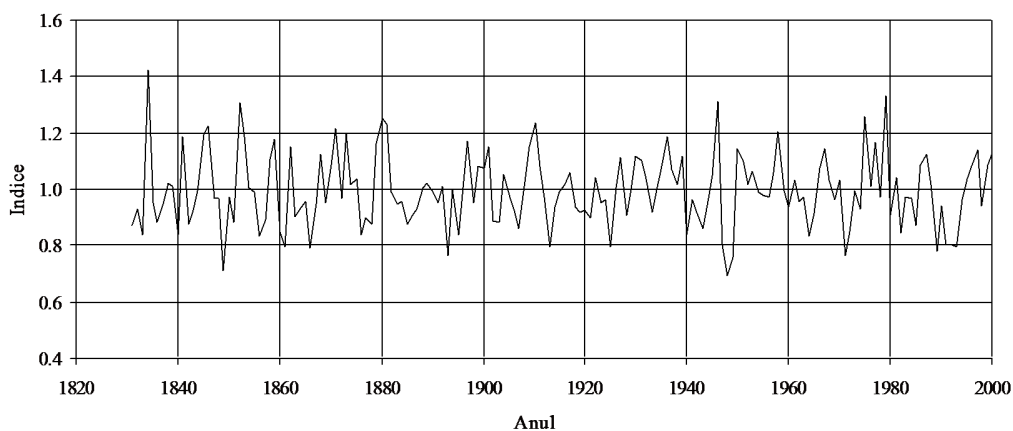


Fig. 5.30. Seria dendrocronologică (STD) pentru molid - BILC
Dendrochronological series (STD) for Norway spruce - BILC

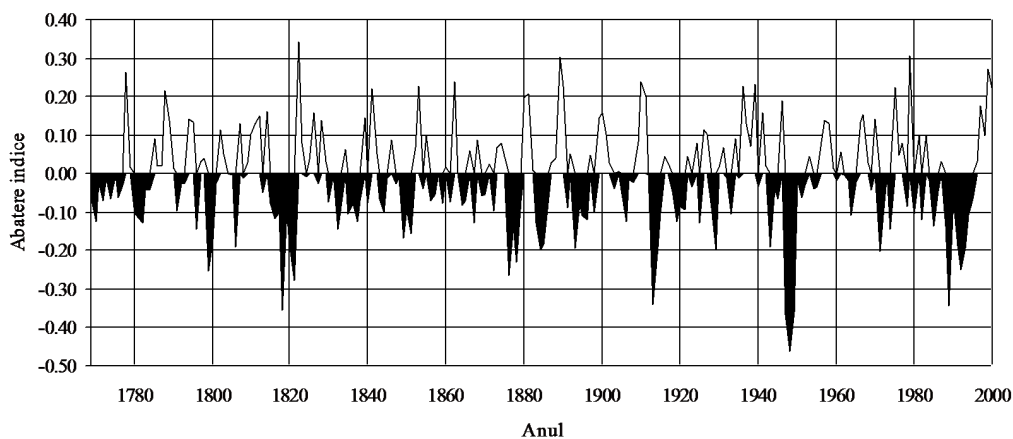


Fig. 5.31. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru molid - BILC
The deviation growth index series for Norway spruce - BILC

riția acestui arboret este legată de doborâtura produse de vânt din jurul anului 1820.

Seria dendrocronologică Slătioara - SLAA. Suprafața dendrocronologică este localizată în Codrul Secular Slătioara, zonă neperturbată de intervenția antropică, sit de conservare a structurii naturale a ecosistemelor forestiere din zona de amestecuri dintre rășinoase și fag (fig. 5.33.). Alegerea acestei suprafețe experimentale a fost determinantă de existența unui potențial dendrocronologic ridicat, respectiv prezența unor exemplare de molid multisekulare. Suprafața este situată la 47°27' latitudine N, 25°38' longitudine E, la o altitudine de 1300 m, expoziția SE, panta 25-30 grade. (fig. 5.32.).

Alegerea arborilor de probă s-a realizat conform principiilor dendrocronologiei, urmărindu-se surprinderea semnalului climatic major. În acest scop au fost aleși arborii din plafonul superior, fără defecte, cu o stare de sănătate bună. Au fost extrase câte două probe de creștere de la un număr de 25 de arbori. În urma prelucrării primare au fost eliminați un număr de 7 arbori (fig. 5.34., 5.35., 5.36., tabel 5.9.).

Analiza seriei de creștere radială medie permite evidențierea mai multor serii de perturbări, identificate prin perioade de accelerare a proceselor auxologice, semnificative fiind cele din anii 1820, 1890 și 1964. Și în cazul acestei serii dendrocronologice se remarcă regresul auxologic din perioada 1980-1990, urmat de o revigorare a creșterii după 1990, similar cu cel întâlnit la molidul din munții Rodnei.

Analiza seriilor individuale, cât și a seriei medii de indici de creștere, permite identificarea anilor caracteristici negativi și pozitivi. Se observă existența unor



Fig. 5.32. Localizarea geografică a suprafeței dendrocronologice Codrul Secular Slătioara
Geographic location of dendrochronological site Codrul Secular Slătioara



Fig. 5.33. Aspecte din suprafața dendrocronologică Codrul Secular Slătioara A - SLAA
Aspects from dendrochronological site Codrul Secular Slătioara A - SLAA

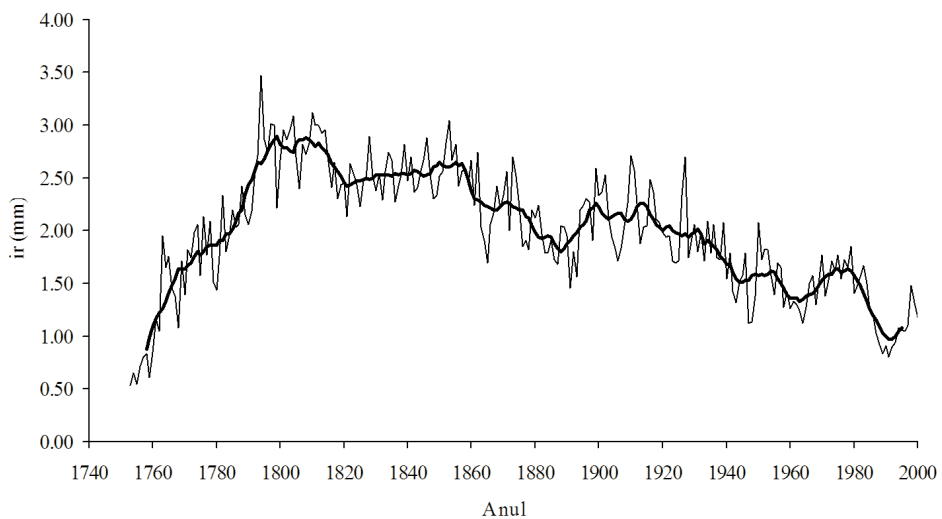


Fig. 5.34. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Slătioara A - SLAA
Average growth curve from dendrochronological site Slătioara A - SLAA

Tabel. 5.9. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice SLAA
The statistical parameters of dendrochronological series SLAA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medic	0.523	0.535
Abaterea standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

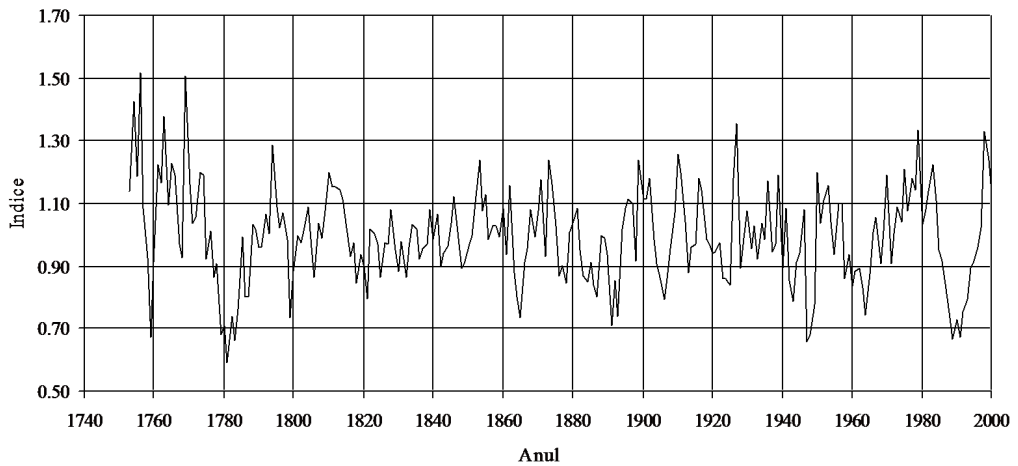


Fig. 5.35. Seria dendrocronologică (STD) pentru molid - SLAA
Dendrochronological series (STD) for Norway spruce - SLAA

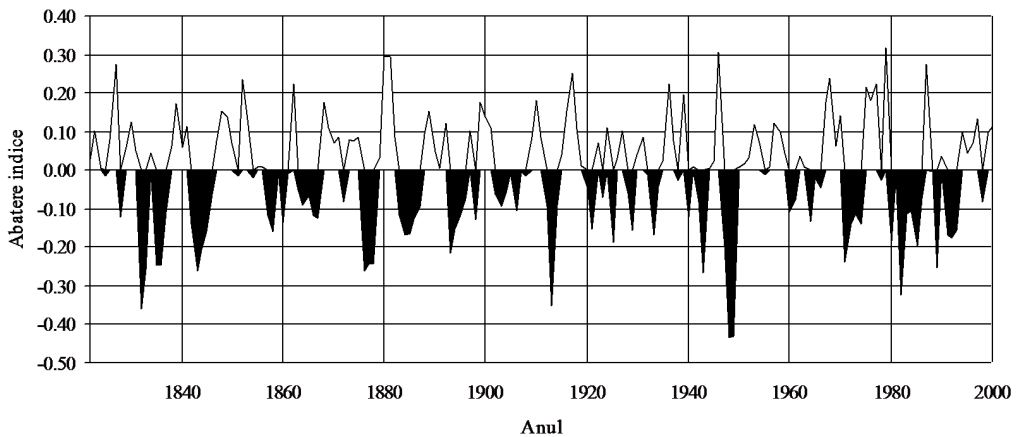


Fig. 5.36. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru molid - SLAA
The deviation growth index series for Norway spruce - SLAA

perioade de reducere accentuată a creșterii între anii: 1777-1783, 1798-1801, 1817-1826, 1863-1866, 1883-1892, 1905-1907, 1946-1949, 1960-1965, 1987-1992. Aceste perioade de reducere accentuată creșterii, exprimată prin indici de creștere, coincid cu perioadele de secetă (Topor, 1964): 1882-1891, 1894-1899, 1902-1907, 1913-1918, 1928-1930, 1934-1938, 1942-1946, 1948-1953, 1959-1961. Perioadele de creștere accentuată, pozitivă, sunt în general după o perioadă de creștere redusă, remarcându-se perioadele dintre anii: 1894-1900, 1907-1911, 1965-1979, și cea de după 1995. Anii caracteristici negativi identificați pe seria dendrocronologică din Codrul Secular Slătioara sunt: 1990, 1965, 1961, 1948, 1907, 1894, 1887, 1866, 1822, 1800, 1782. Corelația medie dintre probele de creștere individuale și seria dendrocronologică medie este de 0,56, variabilitatea explicată de prima componență principală este de 32%, semnalul comun fiind de 88%.

Seria dendrocronologică Giumalău - GIUA. Suprafața experimentală Codrul Secular Giumalău este situată în masivul Giumalău-Rarău, pe versantul nordic al muntelui Giumalău, la 46°26' latitudine N și 25°26' longitudine E, având o altitudine medie de 1300 m și panta cuprinsă între 25-30 grade (fig. 5.37.). În această suprafață de dendrocronologie, formată dintr-un arboret pur de molid, cu structură relativ pluriennă, au fost prelevate probe de la un număr de 20 de arbori (fig. 5.38.). În urma prelucrării și analizei statistice s-a procedat la eliminarea unui număr de 8 probe de creștere, respectiv 4 arbori (fig. 5.39., 5.40., 5.41., tabel 5.10.).

Dinamica structurii arboretului din Codrul Secular Giumalău este legată de regimul perturbațiilor externe reprezentate de doborâturi produse de vânt. Impactul

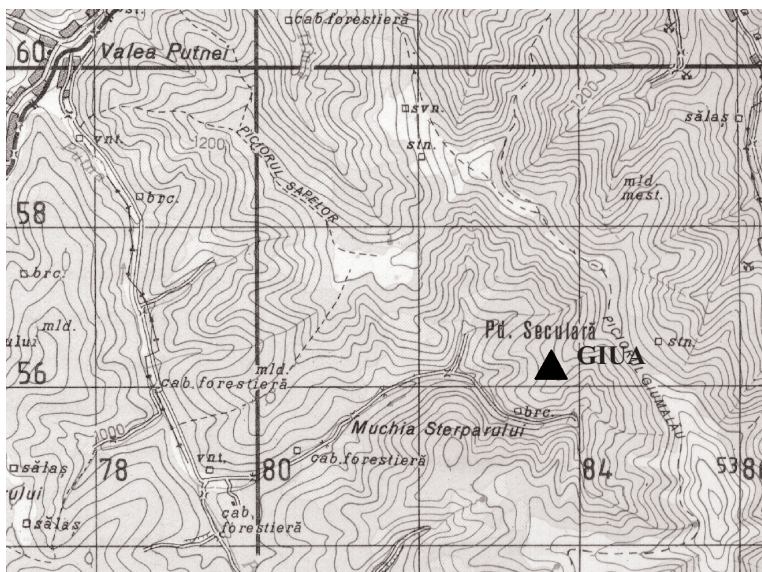


Fig. 5.37. Localizarea geografică a suprafeței dendrocronologice Codrul Secular Giumalău
Geographic location of dendrochronological site Codrul Secular Giumalău

acestora asupra proceselor auxologice este sugestiv surprins de către curba de creștere medie. Se remarcă mai multe astfel de perioade de creștere accentuată bruscă, cea mai evidentă fiind în jurul anilor 1760 când o doborâtură a pus în lumină brusc semînțișul de 20-30 de ani existent.



Fig. 5.38. Aspecte din suprafața dendrocronologică Codrul Secular Giumalău A - GIUA
Aspects from dendrochronological site Codrul Secular Giumalău A - GIUA

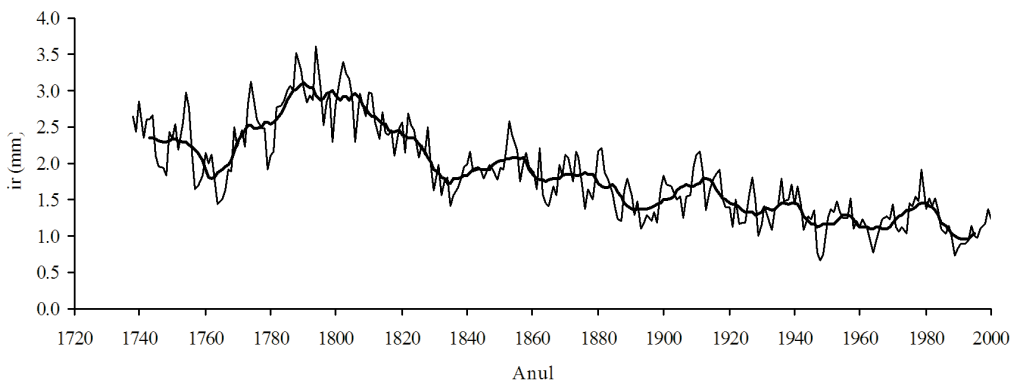


Fig. 5.39. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Giumalău A - GIUA
Average growth curve from dendrochronological site Giumalău A - GIUA

Tabel. 5.10. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice GIUA
The statistical parameters of dendrochronological series GIUA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medie	0.523	0.535
Abaterea standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

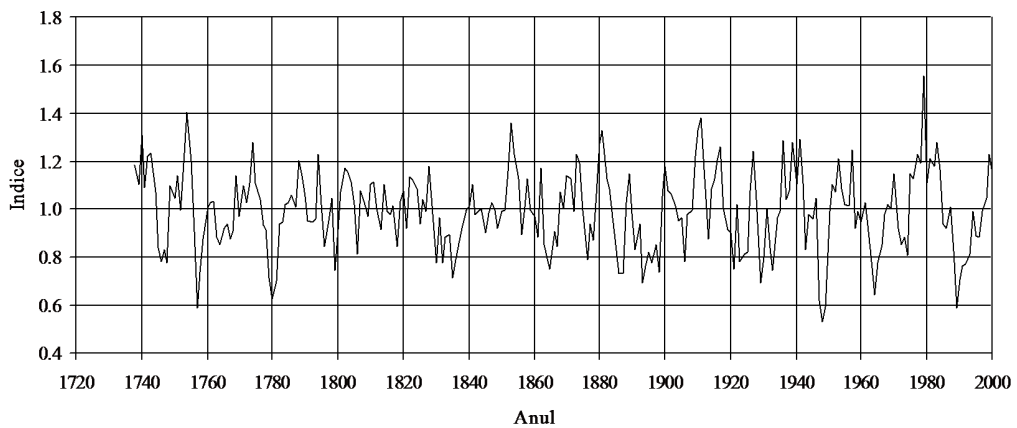


Fig. 5.40. Seria dendrocronologică (STD) pentru molid - GIUA
Dendrochronological series (STD) for Norway spruce - GIUA

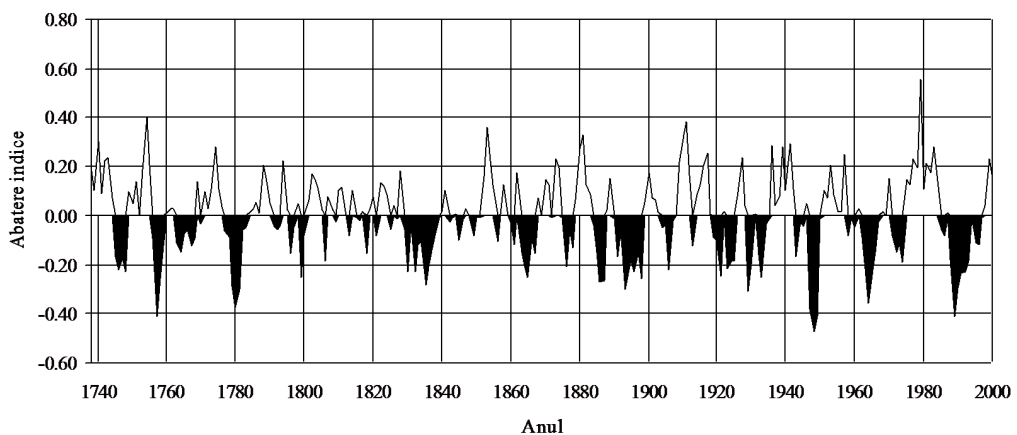


Fig. 5.41. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru molid - GIUA
The deviation growth index series for Norway spruce - GIUA

Analiza dinamicii indicilor de creștere permite identificare perioadelor și anilor caracteristici. Astfel sunt confirmate o serie din perioadele de regres auxologic accentuat, identificate în suprafața experimentală Codrul Secular Slătioara, respectiv între anii: 1987-1989, 1963-1964, 1946-1948, 1931-1933, 1919-1921, 1890-1894, 1884-1887, 1863-1865, 1830-1835, 1778-1781, 1756-1764. Anii caracteristici negativi sunt: 1764, 1781, 1835, 1865, 1887, 1893, 1921, 1934, 1948, 1964, 1989.

Varianța cuprinsă în prima componentă principală este de 43%, iar corelația medie dintre seriile de indici de creștere individuali și seria dendrocronologică este de 0,66. Acest arboret a mai fost obiectul unui studiu de dendrocronologie, fiind elaborată o serie dendrocronologică cu lungimea de 146 de ani (1836-1981) atât pentru lățimea inelului anual cât și sub raport densitometric (Schweingruber, 1985; Schweingruber et al., 1987).

5.2. Serii dendrocronologice pentru brad (*Abies alba* Mill.)

Seria dendrocronologică Țibleș A - TIBA. Suprafața dendrocronologică Țibleș este situată în O.s. Groșii Țibleșului, U.P. VI Țibleș, u.a. 113 A, într-un ecosistem natural de amestec de fag cu brad, la poalele munților Țibleș. Altitudinea medie este de 1250-1300 m, panta medie 30-50° (fig.5.42.).

Prezența exemplarelor de brad multisekulare, de dimensiuni impresionante (unele depășind 2 m în diametru la 1,30 m) a permis amplasarea acestui punct de dendrocronologie în zona munților Țibleș (fig. 5.43.).

Existența unui număr foarte mare de arbori cu putregai, datorat în special rănilor provocate de căderile de pietre, datorită pantei foarte mare a terenului, nu a fost posibilă extragerea a câte două carote pe arbore. În total au fost prelevate probe de la un număr de 22 de arbori, fiind incluse în calcule numai 20 de serii de creștere, lungimea seriei dendrocronologice fiind de 335 de ani, acoperind perioada 1667-2001 (fig. 5.44., 5.45., 5.46., tabel 5.11.).

Din curba de creștere medie se remarcă existența unei perioade inițiale de aproape un secol, dominată de procese concurențiale foarte intense, determinând o menținere a proceselor auxologice la un nivel redus, explicată prin temperamentul de umbră al speciei. Prin rădirea semnificativă a arboretului și eliminarea majorității arborilor din plafonul superior, cel mai probabil datorită unei doborâturi produse de vânt, dată fiind inaccesibilitatea stațiunii, în jurul anului 1800 se înregistrează o accentuare bruscă a creșterii radiale care se menține pe parcursul a patru decenii. Astfel de perioade de accentuare a proceselor de bioacumulare se pot observa și în jurul anilor 1870, 1890, 1950. Sensibilitatea curbilor de creștere individuale variază între 0,17 și 0,27, cu o medie de 0,23. Și în cazul acestei serii dendrocronologice se remarcă prezența unei perioade de regres auxologic în perioada 1980 - 1990,

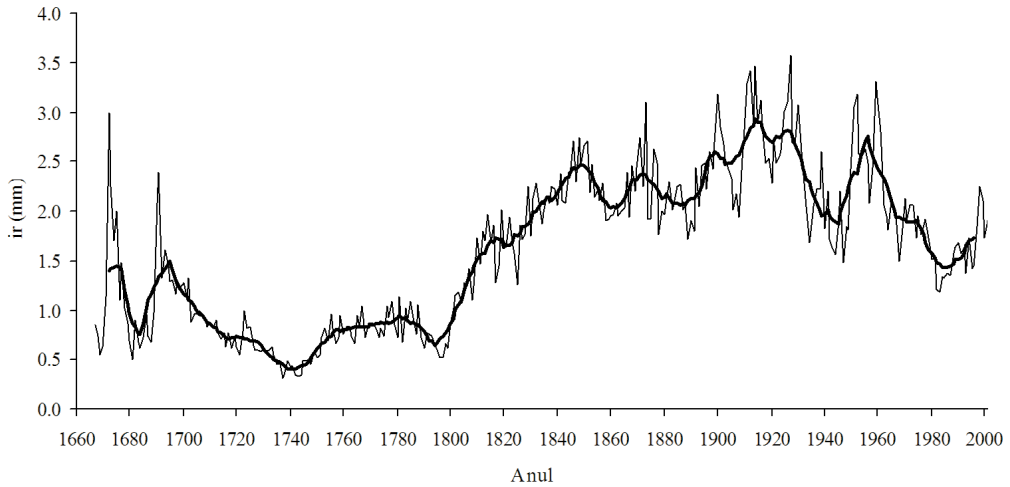


Fig. 5.44. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Țibleș A - TIBA
Average growth curve from dendrochronological site Țibleș A - TIBA

Tabel. 5.11. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice TIBA
The statistical parameters of dendrochronological series TIBA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medie	0.523	0.535
Abaterea standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

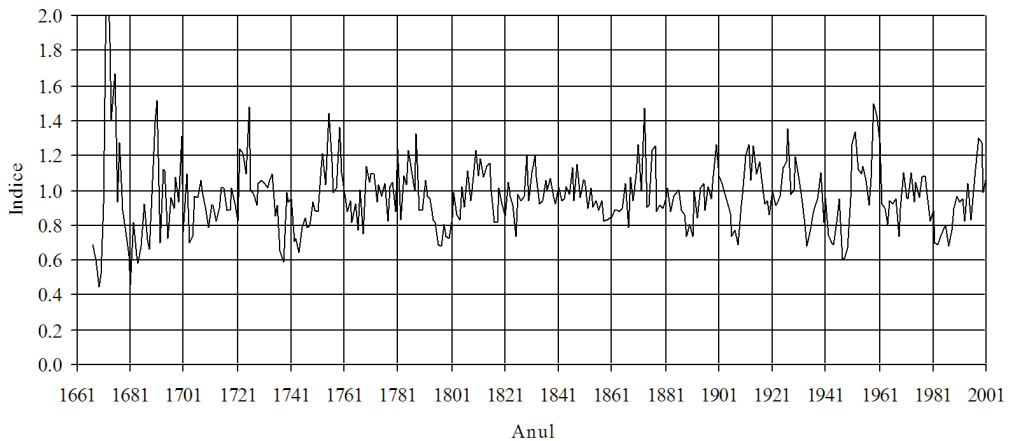


Fig. 5.45. Seria dendrocronologică (STD) pentru brad - TIBA
Dendrochronological series (STD) for Silver fir - TIBA

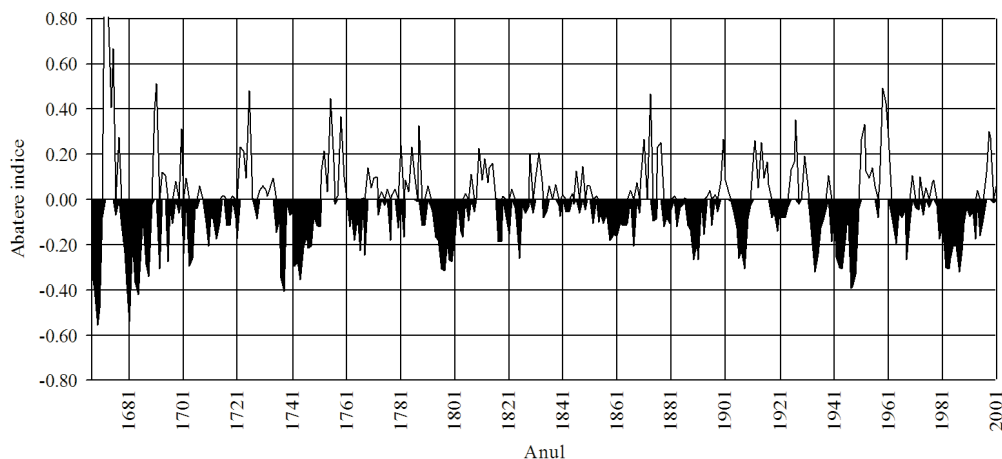


Fig. 5.46. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru brad - TIBA
The deviation growth index series for Silver fir - TIBA

urmată de o reactivare a creșterii radiale.

Seria dendrocronologică Slătioara B - SLAB. Suprafața experimentală este localizată în Codrul Secular Slătioara la 47°27' latitudine N și 25°38' longitudine E. Altitudinea medie este de 1300 m, expoziția SE, panta 25-30 grade (fig. 5.32.). Aici au fost extrase câte două probe de creștere de la un număr de 20 de arbori, în urma prelucrării primare fiind eliminați un număr de 4 arbori (fig. 5.47., 5.48., 5.49., tabel 5.13.).

Modificările structurale survenite în ecosistemul din Codrul Secular Slătioara sunt fidel reliefate de curbei medii de creștere. Debutând inițial cu o perioadă de concurență intensă, corelată cu creșteri radiale reduse, prin răirirea etajului dominant se înregistrează o relansare a proceselor auxologice. Un prim episod de accelerare a creșterii este în jurul anului 1740, de o intensitate medie, urmată de o perioadă de creștere brusc intensificată cu originea în jurul anului 1780. Cea mai semnificativă modificare a ritmului de creștere radială are loc în jurul anului 1820, asociată cu o doborâtură puternică. Această perturbare a fost identificată și în seriile dendrocronologice pentru molid din Codrul Secular Giupalău și munții Rodnei, fiind la originea arboretelor din BILB și BILC. Această perioadă de intensificare a creșterii se menține până în jurul anului 1860, respectiv patru decenii, confirmând intensitatea ridicată a doborâturii produse de vânt. Se remarcă, de asemenea, revenirea auxologică de după anul 1920, care poate fi explicată atât climatic, cunoscut fiind faptul că anul 1913 a fost foarte deficitar în precipitații, sau ca urmare a unei doborâturi produse de vânt care a determinat o modificare a structurii.

Analizând seria abaterilor medii a indicilor de creștere se pot identifica o serie de perioade de regres auxologic cu determinare climatică cum sunt cele din anii:

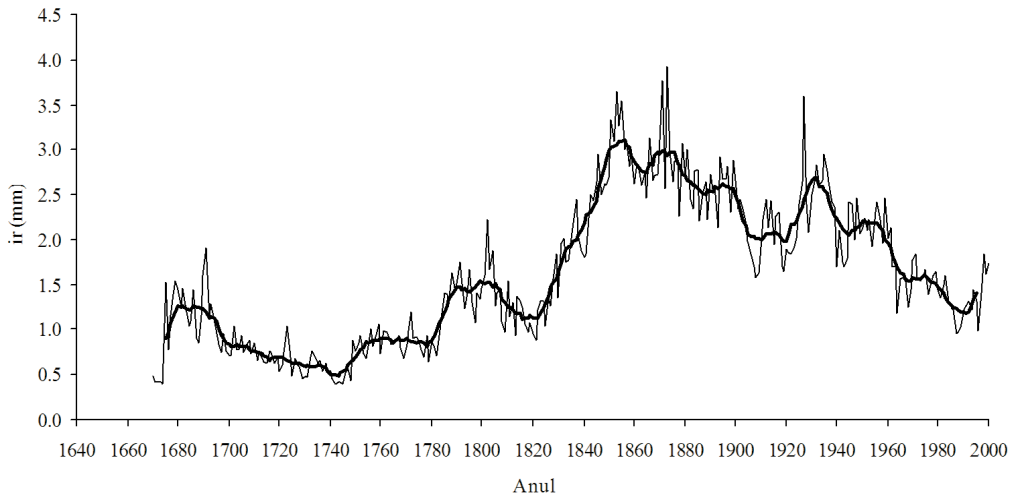


Fig. 5.47. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Codrul Secular Slătioara B SLAB
Average growth curve from dendrochronological site Codrul Secular Slătioara B SLAB

Tabel. 5.12. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice SLAB
The statistical parameters of dendrochronological series SLAB

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medie	0.523	0.535
Abaterca standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

1982-1987, 1960-1968, 1941-1943, 1916-1919, 1814-1820, 1773-1783, 1738-1744, 1693-1697 (fig. 5.48., 5.49.). Aceste perioade de minim și maxim auxologic, cu determinare climatică, sunt relativ aceleași cu cele identificate în cazul seriei dendrocronologice pentru molid din Codrul Secular Slătioara - SLAA. Arboretul din Codrul Secular Slătioara a mai făcut obiectul unor cercetări de dendrocronologie, fiind elaborate serii dendrocronologice pentru brad pe perioada 1878-1994, respectiv 1817-1994 (Alexandrescu, 1995). De asemenea, au fost inițiate cercetări complexe de dendroecologie aplicată privind impactul poluării asupra ecosistemelor forestiere cu brad (Ianculescu și Tisescu, 1989).

Seria dendrocronologică Demacușa - DEMA. Suprafața de dendrocronologie DEMA este amplasată într-un arboret de amestec de molid și brad cu ele-

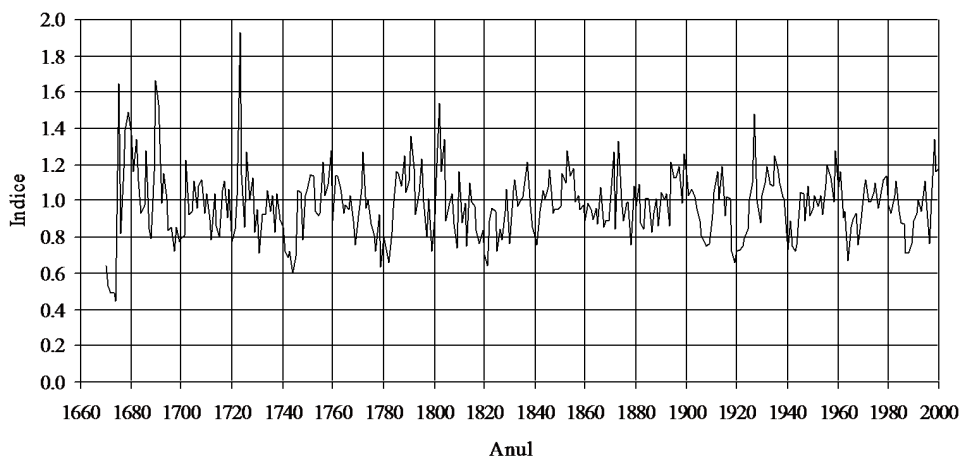


Fig. 5.48. Seria dendrocronologică (STD) pentru brad - SLAB
Dendrochronological series (STD) for Silver fir - SLAB

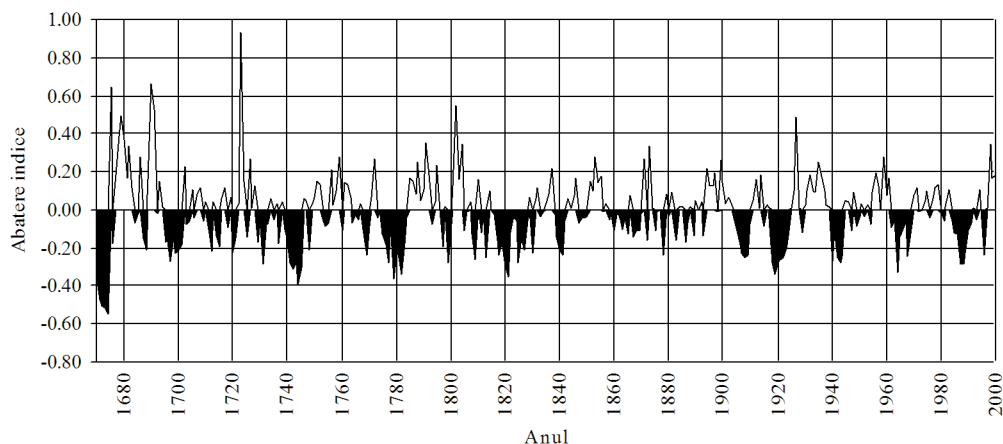


Fig. 5.49. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru brad - SLAB
The deviation growth index series for Silver fir - SLAB

mente de fag, cu structură pluriennă, din bazinul Demacușa, la o altitudine de 1000 - 1200 m, panta variind între 35-40 grade (fig. 5.50., 5.51.).

Au fost prelevate probe de la un număr de 20 de arbori, elaborarea seriei dendrocronologice efectuându-se în conformitate cu metodologia clasică. Lungimea seriei dendrocronologice este de 332 de ani, mergând până în anul 1670 (fig. 5.52., 5.53, 5.54, tabel 5.13).

În cazul seriei medii de creștere radială din suprafața dendrocronologică Demacușa (DEMA), spre deosebire de ecosistemele forestiere din bazinul Bistriței Aurii se remarcă o frecvență mai mare a modificărilor structurale cu efecte auxo-

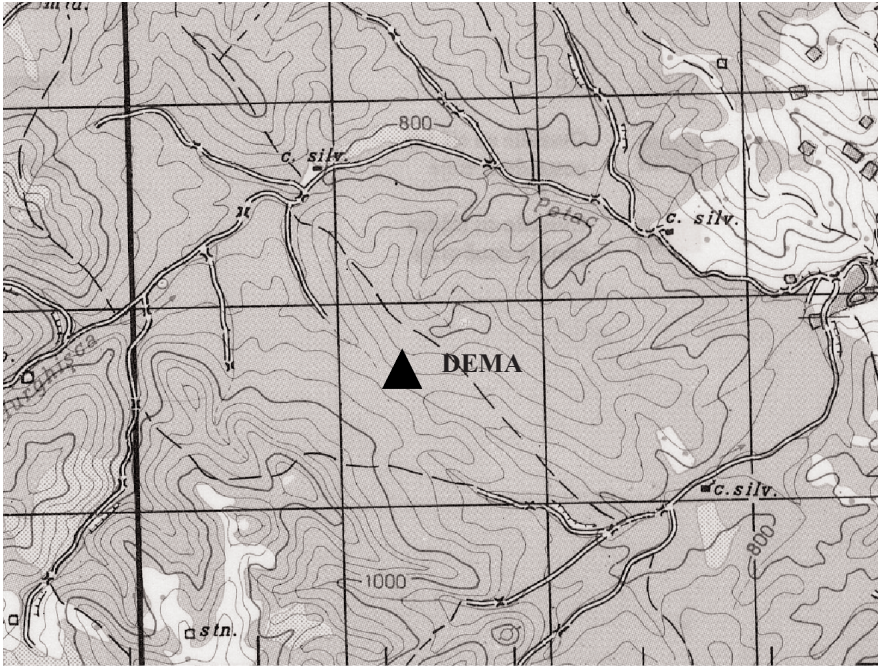


Fig. 5.50. Localizarea suprafeței dendrocronologice Demacușa A - DEMA
Geographic location of dendrochronological site Demacușa A - DEMA

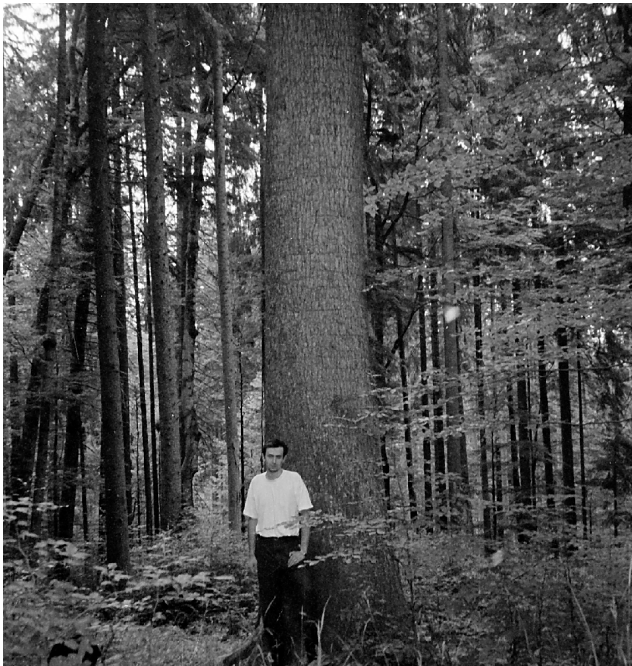


Fig. 5.51. Aspecte din suprafața dendrocronologică Demacușa A - DEMA (arbore selecționat)
Aspects from dendrochronological site Demacușa A - DEMA (selected tree)

logice semnificative determinate de factori perturbatori. Astfel, se identifică aproximativ opt reprize de doborâturi majore în decurs de trei secole produse la intervale aproximativ egale de 35-40 de ani, evidențiindu-se o dinamică a creșterilor în trepte, caracteristică unui arboret supus unor modificări structurale semnificative periodice. Se remarcă ca intensitate și durată perioadele de creștere accelerată din anii 1745-1772, 1794-1814, 1825-1831, 1867-1881, 1913-1927, 1940-1951, 1964-1970. Sensibilitatea probelor de creștere individuale variază între 0,15 și 0,28, cu o medie de 0,20, adeseori efectele climatului fiind estompate de modificarea semnificativă a structurii ca efect a doborâturilor produse de vânt.

Semnalul macroclimatic este relativ puțin surprins în seria dendrocronologică pentru brad din Demacușa, lucru evidențiat de sensibilitatea medie scăzută (0,11), un procent scăzut al variabilității comune surprinse de prima componentă principală (30%) și un coeficient de corelație a seriilor de indici individuali cu serie dendrocronologică de 0,51. Explicația este dată de frecvența ridicată a doborâturilor produse de vânt cu efecte majore asupra structurii arboretului. Totuși, anii caracteristici-

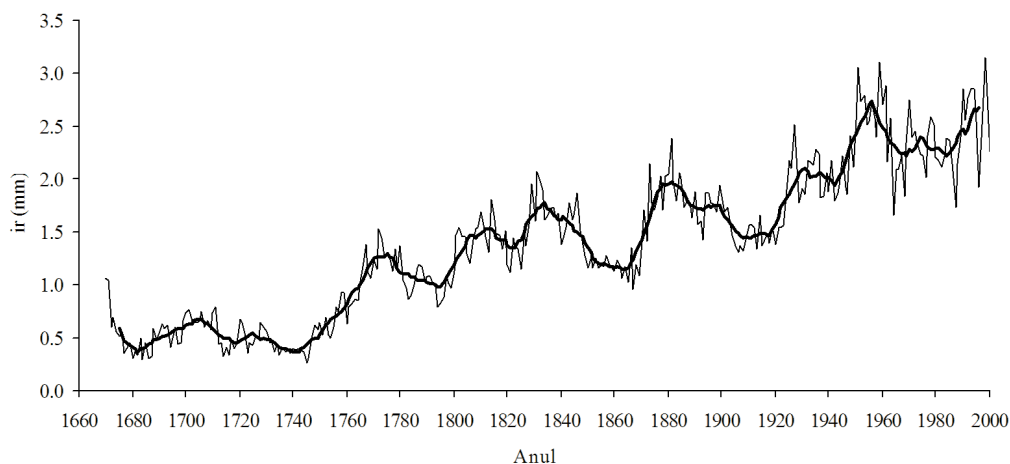


Fig. 5.52. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Demacușa A - DEMA
Average growth curve from dendrochronological site Demacușa A - DEMA

Tabel. 5.13. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice DEMA
The statistical parameters of dendrochronological series DEMA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medie	0.523	0.535
Abaterea standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

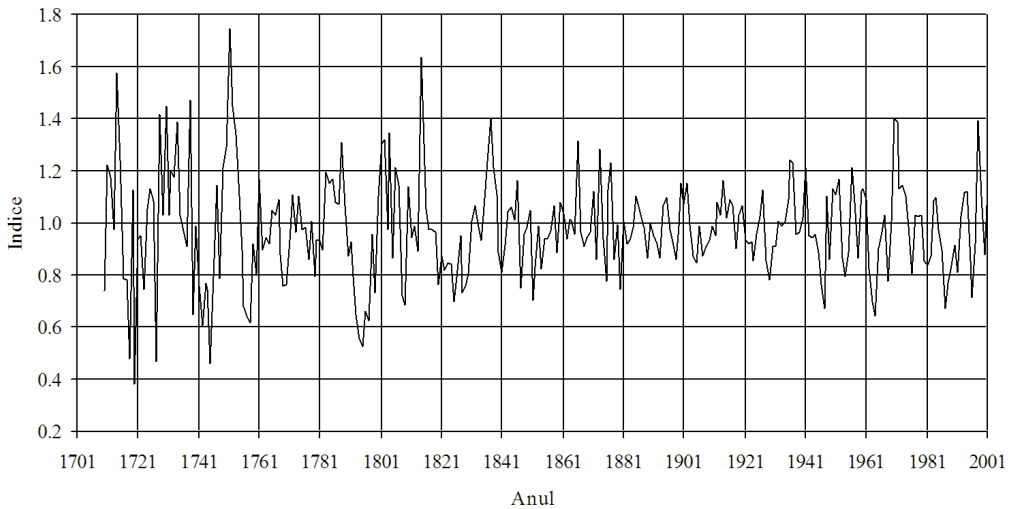


Fig. 5.53. Seria dendrocronologică (STD) pentru brad - DEMA
Dendrochronological series (STD) for Silver fir - DEMA

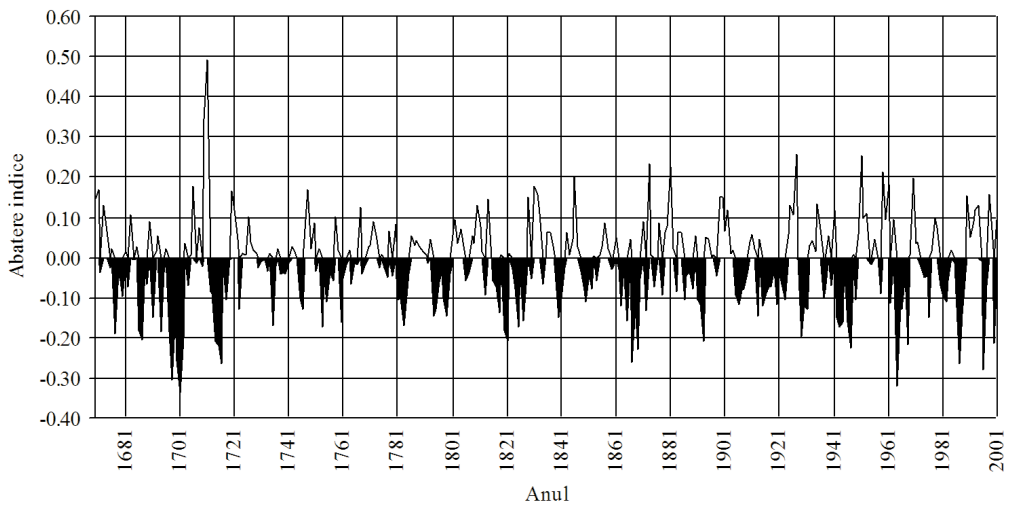


Fig. 5.54. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru brad - DEMA
The deviation growth index series for Silver fir - DEMA

ci majori (1913, 1947) sunt surprinși de cronologia medie.

Seria dendrocronologică Soveja A - SOVA. Această serie dendrocronologică a fost elaborată în baza a unui număr de 34 probe de creștere provenind de la 17 arbori dintr-un ecosistem de amestec de molid, brad și fag (fig. 5.56.). Altitudinea medie este de 800 m, iar panta cuprinsă între 30 și 35 grade, coordonatele geografice fiind N 45°58', E 26°37' (fig. 5.55.). Lungimea maximă a seriei dendrocronologice este de 292 de ani, mergând până în anul 1710 (fig. 5.57., 5.58.,

5.59., tabel 5.14.).

Suprafața dendrocronologică Soveja este localizată în zona Carpaților de Curbură, regiune mai puțin afectată de doborâturi produse de vânt. Această stare de fapt este confirmată de curba de creștere medie, care prezintă o perioadă inițială de aproximativ 100 de ani, dominată de procese concurențiale intense, cu efecte pe

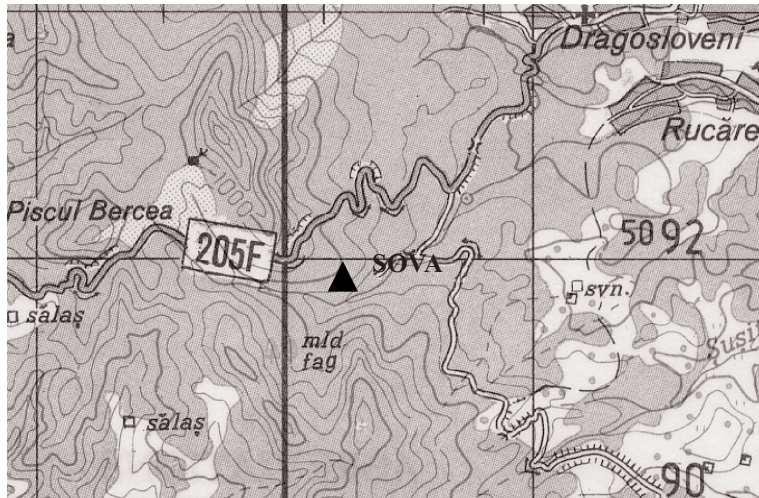


Fig. 5.55. Amplasarea geografică a seriei dendrocronologice Soveja A - SOVA
Geographic location of dendrochronological site Soveja A - SOVA

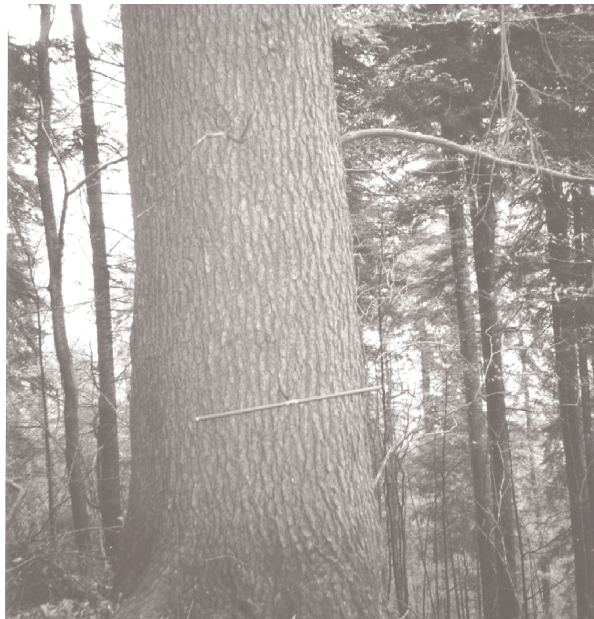


Fig. 5.56. Aspecte din suprafața dendrocronologică Soveja A - SOVA (arbore selectat)
Aspect from dendrochronological site Soveja A - SOVA (selected tree)

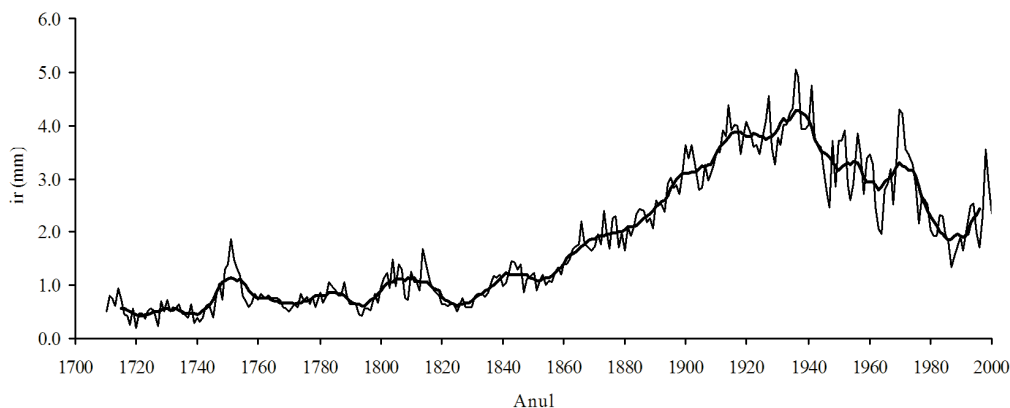


Fig. 5.57. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Soveja A - SOVA
Average growth curve from dendrochronological site Soveja A - SOVA

Tabel. 5.14. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice SOVA
The statistical parameters of dendrochronological series SOVA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medic	0.523	0.535
Abaterea standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

plan auxologic. După anul 1820, se înregistrează o accelerare a creșterii radiale, până în jurul anului 1930, ca urmare a modificării structurii arboretului, respectiv a răririi etajului dominant. Semnificativă este și perioada de revenire auxologică începând cu anul 1990.

Sensibilitatea medie a seriei dendrocronologice este de 0,14, coeficientul de corelație dintre seriile individuale de indici de creștere și seria dendrocronologică este egal cu 0,58, iar procentul semnalului comun fiind de 88%.

Seria dendrocronologică Sinaia A - SINA. Seria dendrocronologică SINA este constituită în baza a unui număr de 32 probe de creștere (16 arbori) (fig. 5.62.). Suprafața de dendrocronologie este amplasată într-un arboret de amestec (brad cu molid), la altitudinea de 1050 m, panta variind între 25 și 30 grade, coordonatele geografice fiind 45°21' N, 25°32' E. (fig. 5.60., 5.61.).

Analiza seriei de creștere medie evidențiază o singură modificare majoră a ritmului de creștere, din jurul anului 1880. Cauza accelerării bruște și semnificative a proceselor auxologice este reprezentată de o modificare importantă a structurii

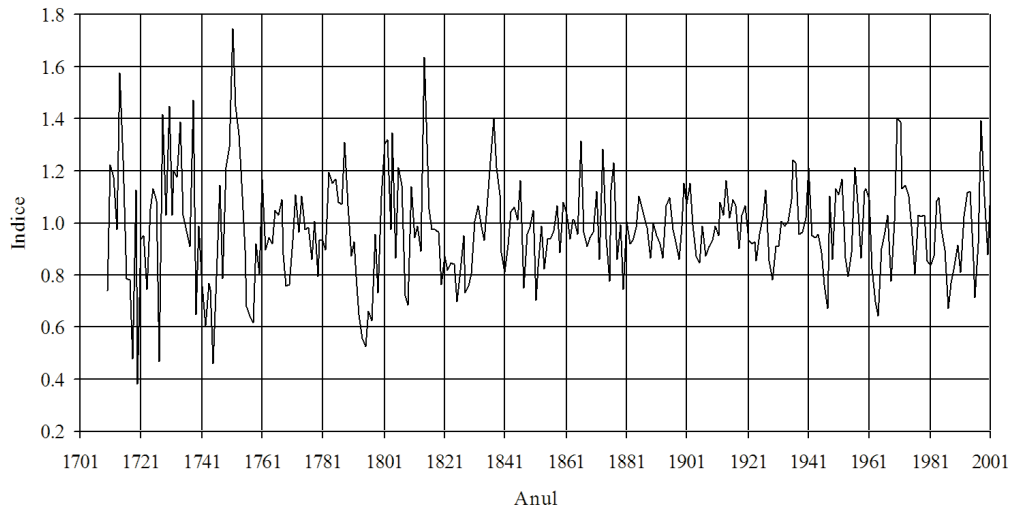


Fig. 5.58. Seria dendrocronologică (STD) pentru brad - SOVA
Dendrochronological series (STD) for Silver fir - SOVA

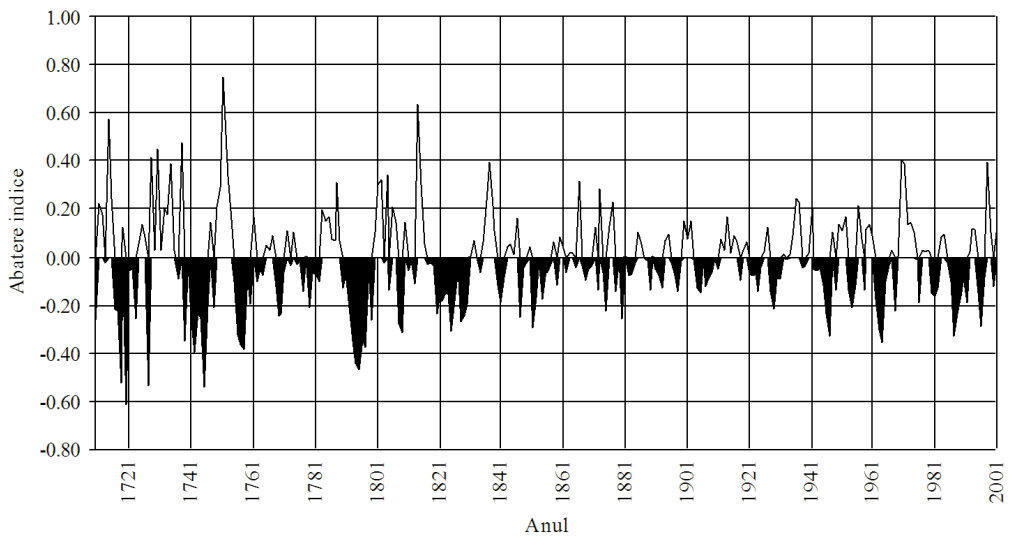


Fig. 5.59. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru brad - SOVA
The deviation growth index series for Silver fir - SOVA

arboretului, având drept cauză fie o doborâtură produsă de vânt, fie o intervenție antropică, dată fiind accesibilitatea ridicată a zonei investigate. Sensibilitatea curbelor de creștere individuale variază între 0,18 și 0,29, cu o medie de 0,22. Seria dendrocronologică de indici de creștere acoperă o perioadă de 287 de ani, mergând până în anul 1715 (fig. 5.63., 5.64., tabel 5.15.).

Seria dendrocronologică pune în evidență două perioade majore de regres auxo-

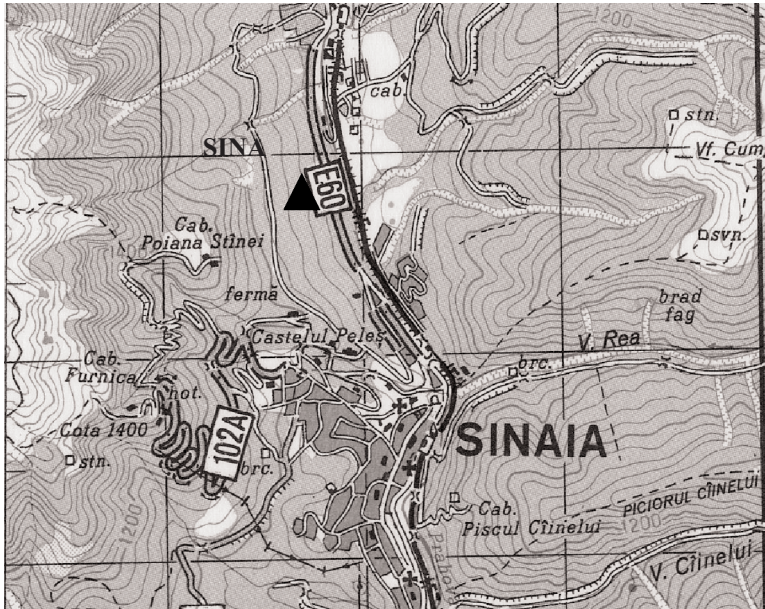


Fig. 5.60. Amplasarea geografică a seriei dendrocronologice Sinaia A - SINA
Geographic location of dendrochronological site Sinaia A - SINA



Fig. 5.61. Aspecte din suprafața dendrocronologică Sinaia A - SINA (arbore selecționat)
Aspects from dendrochronological site Sinaia A - SINA (selected tree)

logic 1753-1759 și 1941-1947, asimilate cu evenimente climatice de tipul secetelor prelungite. Sensibilitatea seriei dendrocronologice este de 0,15, iar varianța explicată de prima componentă principală este de 30%. Arborele de brad din zona Sinaia au mai fost investigate dendrocronologic elaborându-se serii de indici de creștere cu lungimi de 200 - 250 de ani, mergând până în anul 1739 (Alexandrescu, 1995).

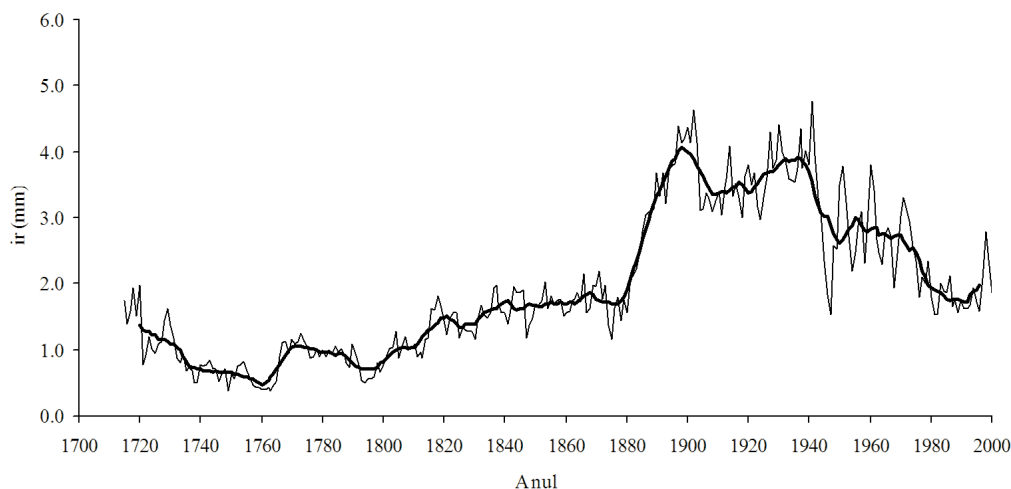


Fig. 5.62. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Sinaia A - SINA
Average growth curve from dendrochronological site Sinaia A - SINA

Tabel. 5.15. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice SINA
The statistical parameters of dendrochronological series SINA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medie	0.523	0.535
Abaterea standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

5.3. Serii dendrocronologice pentru alte specii de rășinoase

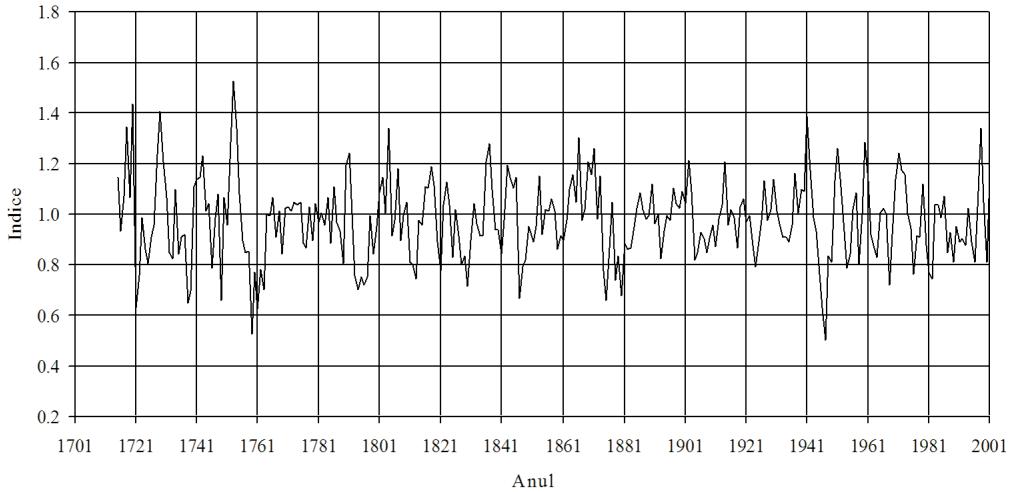


Fig. 5.63. Seria dendrocronologică (STD) pentru brad - SINA
Dendrochronological series (STD) for Silver fir - SINA

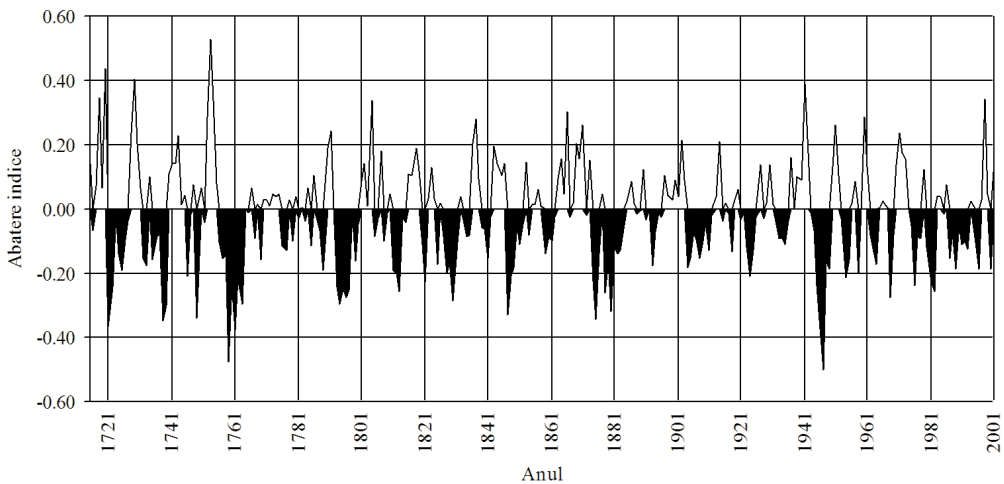


Fig. 5.64. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru brad - SINA
The deviation growth index series for Silver fir - SINA

Seria dendrocronologică Bila D - BILD. Suprafața de dendrocronologie este amplasată într-o pădure de limită altitudinală, la altitudinea de 1650 m, panta variind între 35 și 40 grade (fig. 5.4.), în aceeași zonă cu seria dendrocronologică pentru molid Bila C (BILC) (fig. 5.65.). Seria dendrocronologică BILD este pentru *Pinus cembra*, constituită în baza unui număr de 38 probe de creștere (19 arbori), un număr de trei arbori nefiind incluși în analiză datorită prezenței putre-



Fig. 5.65. Aspecte din suprafața dendrocronologică pentru *Pinus cembra* Bila D - BILD
Aspects from dendrochronological site for stone pine Bila D - BILD

gaiului sau a lungimii reduse a seriei (fig. 5.66., 5.67., 5.68., tabel 5.16.). Seria dendrocronologică de indici de creștere acoperă o perioadă de 329 de ani, mergând până în anul 1672.

Primii 150 de ani din curba de creștere medie sunt puternic influențați de mai

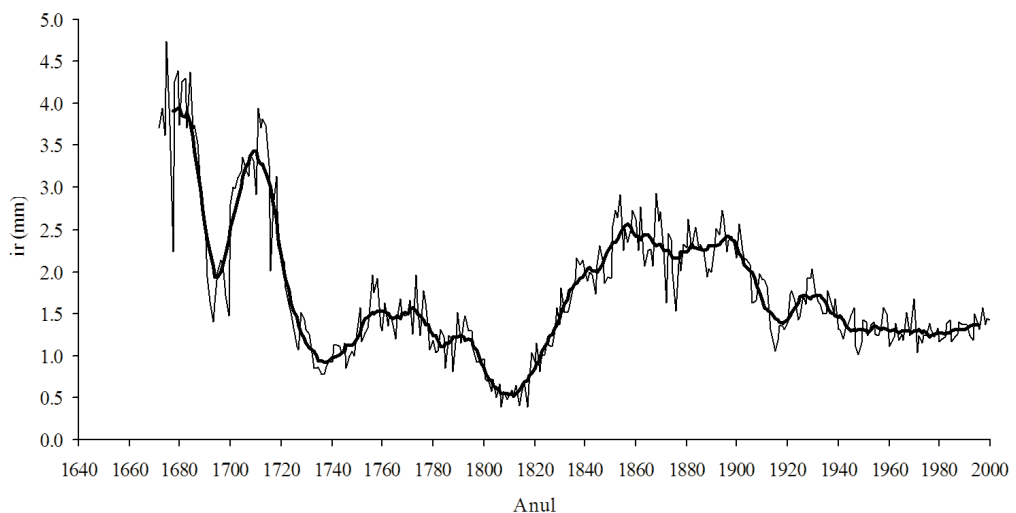


Fig. 5.66. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Bila D - BILD
Average growth curve from dendrochronological site Bila D - BILD

Tabel. 5.16. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice BILD
The statistical parameters of dendrochronological series BILD

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medic	0.523	0.535
Abaterea standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

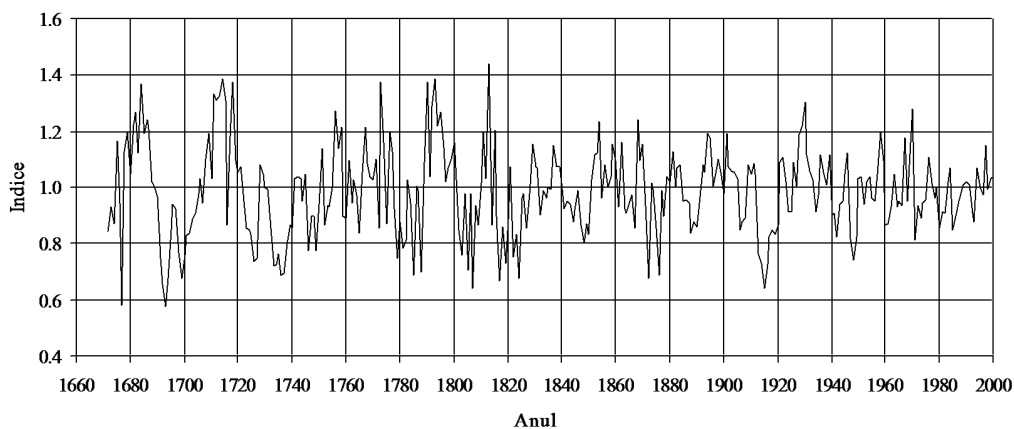


Fig. 5.67. Seria dendrocronologică (STD) pentru zâmbru - BILD
Dendrochronological series (STD) for stone pine - BILD

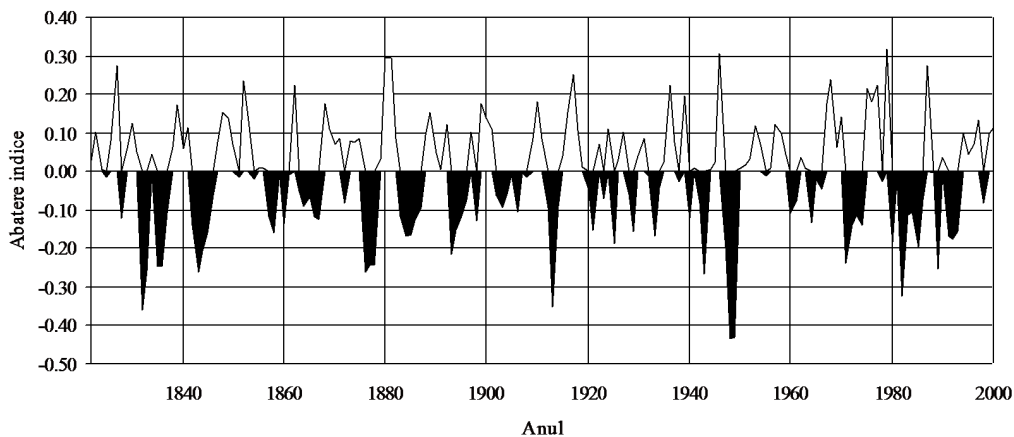


Fig. 5.68. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru zâmbru - BILD
The deviation growth index series for stone pine - BILD

multe reprize de modificări ale structurii, cu influențe în plan auxologic. Se remarcă perturbările auxologice din jurul anilor 1700, 1730 și 1820. Cea din anul 1820 este confirmată ca fiind o doborâtură produsă de vânt cu efecte catastrofale, fiind la originea arboretului din suprafețele dendrocronologice BILC și BILB.

5.4. Serii dendrocronologice pentru speciile de cvercinee

Seria dendrocronologică Borlești A - BORA. Seria dendrocronologică Borlești este prelevată dintr-un arboret de gorun în amestec cu stejar, din u.a. 30 A, U.P. 4 Poiana Codrului, O.s. Borlești, de la o altitudine de 220 m. Coordonatele geografice ale punctului de dendrocronologie sunt 47°37' N, 23°15' E, terenul fiind plan (fig. 5.69.). Arboretul a fost parcurs cu tăieri de regenerare, urmând a se efectua în deceniul actual tăierea definitivă (fig. 5.70.).

Curba de creștere medie surprinde principalele intervenții din arboret, care au determinat modificări ale structurii, cu efecte pe plan auxologic, cum sunt cele din jurul anului 1870, 1900, 1963, 1984 și 1995 (fig. 5.71.). Ultimele perioade de accelerare a creșterii radiale reprezintă intervenții silvotehnice de aplicare a tratamentului tăierilor progresive, fiind consemnate în amenajamente. Au fost prelevate probe de la un număr de 12 arbori, câte o carotă per arbore (fig. 5.72., 5.73., tabel 5.17.).

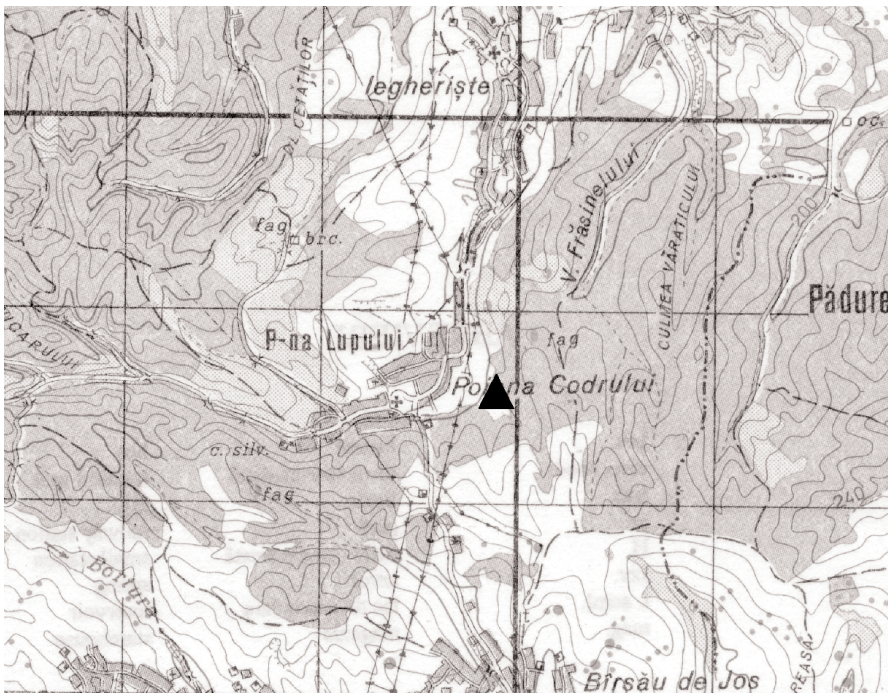


Fig. 5.69. Localizarea geografică a seriei dendrocronologice Borlești A - BORA
Geographic location of dendrochronological site Borlești A - BORA



Fig. 5.70. Aspecte din suprafața dendrocronologică Borlești A -BORA (arbore selectat)
Aspects from dendrochronological site Borlești A - BORA (selected tree)

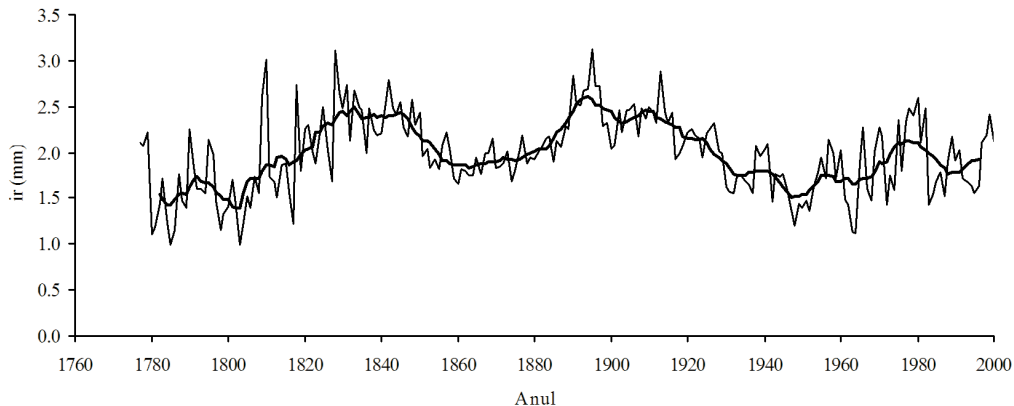


Fig. 5.71. Serie de creștere medie în suprafața dendrocronologică Borlești A - BORA
Average growth curve from dendrochronological site Borlești A - BORA

Sensibilitatea seriilor individuale de creștere este cuprinsă între 0,20-0,25, iar a seriilor de indici de creștere între 0,14-0,15. Lungimea totală a seriei este de 225 de ani acoperind perioada 1777-2001. Analiza seriei abaterilor indicilor de creștere permite punerea în evidență a perioadelor de regres auxologic semnificativ determinate de deficitul de apă din sol. Astfel se remarcă perioada 1963-1964, 1946-1949, 1929-1932, 1828-836.

Tabel. 5.17. Parametrii statistici ai seriei dendrocronologice BORA
The statistical parameters of dendrochronological series BORA

Parametrii statistici	STD	RES	Corelații medii	STD	RES
Număr arbori	19	19	Intervalul comun analizat	1892-2000	
Număr carote	38	38	Număr de arbori (carote) analizate	19(37)	
Anul minim	1672	1672	Între toate carotele	0.256	0.269
Anul maxim	2000	2000	Între arbori	0.252	0.266
Lungime serie	329	329	Între carotele din același arbore	0.374	0.381
Sensibilitate medie	0.12	0.15	Carote vs. Medic	0.523	0.535
Abaterca standard	0.16	0.13	Raportul semnal - zgomot	6.410	6.887
Autocorelația de ord. I	0.49	-0.05	Varianța în prima componentă principală	29.04	29.76

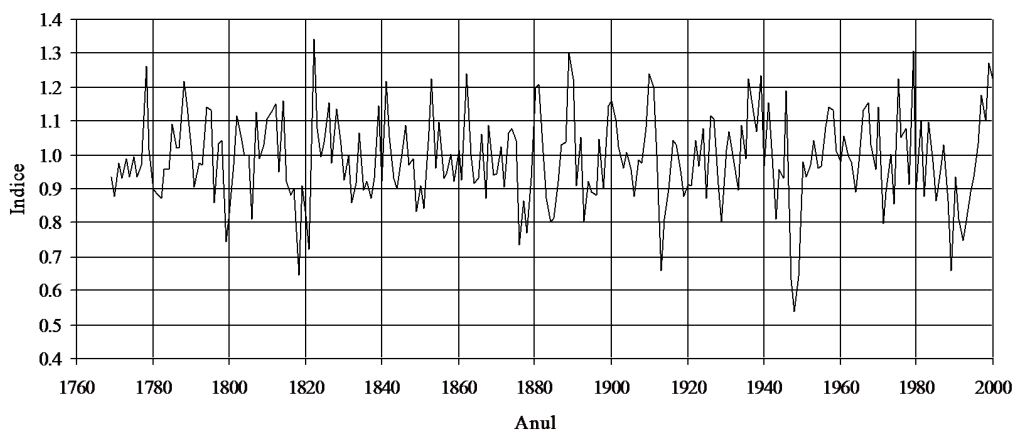


Fig. 5.72. Seria dendrocronologică (STD) pentru gorun - BORA
Dendrochronological series (STD) for oak - BORA

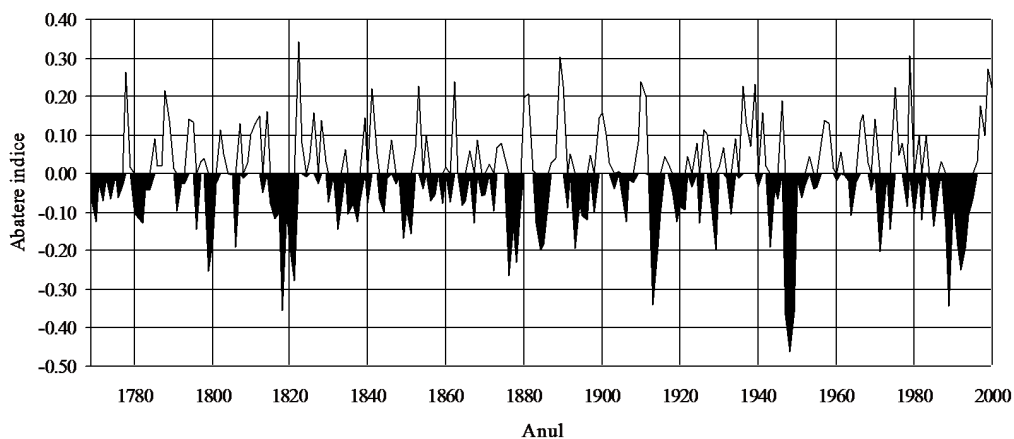


Fig. 5.73. Seria abaterilor indicilor de creștere (STD) pentru gorun - BORA
The deviation growth index series for oak - BORA

Aceste serii dendrocronologice au constituit materialul de bază într-o serie de aplicații de dendroecologie și dendroclimatologie. Prin aceste aplicații de dendrocronologie s-a urmărit a se căuta răspunsuri la următoarele întrebări:

Cum variază spațial seriile dendrocronologice și care este aria de valabilitate a unei serii dendrocronologice?

Cum se reflectă influența perturbațiilor exogene în seriile de creștere și în seriile de indici de creștere?

Care este relația climat-arbore și cum se poate cuantifica această relație prin tehnici de dendrocronologie?

6. Aplicații de dendrocronologie

6.1. Variabilitatea spațială a seriilor dendrocronologice

6.1.1. Analiza variabilității spațiale a seriilor dendrocronologice prin intermediul parametrilor statistici

Reacția arborilor la factorii de mediu, cu referire specială la cei climatici, variază în raport cu condițiile micro- și macrostaționale, cu particularitățile speciei și provenienței, cu natura și intensitatea factorului de mediu analizat etc. Prin intermediul parametrilor statistici clasici și specifici analizelor dendrocronologice se pot evidenția similitățile dintre serii dendrocronologice din zone geografice diferite. Este cunoscut faptul că la factori de stress puternici (secetă prelungită), reacția arborilor din zona afectată este similară, dar de intensitate diferită.

În vederea analizei comparative a reacției arborilor la factorii de mediu, la nivel micro și macrozonal s-au analizat principalii parametri statistici atât ai seriilor medii de creștere, cât și ai seriilor de indici de creștere pentru unele serii dendrocronologice din rețeaua RODENDRONET (tabelul 6.1.).

Perioada acoperită de seriile dendrocronologice analizate, în cazul molidului, variază de la 170 de ani în suprafața BILB la 269 de ani în cazul seriei PUTC. Seria dendrocronologică pentru *Pinus cembra* - BILD - merge până în anul 1672, respectiv pe o perioadă de 329 de ani. La brad seriile dendrocronologice acoperă o perioadă mai mare variind de la 287 de ani în cazul suprafeței SINA, la 335 de ani în cazul seriei TIBA.

Creșterea radială medie este redusă în suprafețele instalate în arborete de la limita altitudinală a pădurii sau în condiții staționale dificile (generate în special de panta foarte mare), cum sunt seriile PUTC și BILD. În general creșterea radială medie este în jurul de 2 mm/an, variind între 0,39 mm/an (pentru zâmbru - BILD), respectiv 0,53 mm/an (SLAA) și 6,24 mm/an pentru seria PUTB. La brad, creșterea medie variază de la 1,39 mm (DEMA) la 1,95 mm (SINA), valorile extreme fiind cuprinse între 0,19 (SOVA) și 0,40 mm (SLAB) în cazul creșterii radiale minime, respectiv 3,18 (DEMA) și 5,06 mm (SOVA) pentru maxime.

Senzitivitatea medie, indicator al reacției arborilor la variația factorilor climatici este cuprinsă între 0,12 și 0,14 pentru molid, variind la brad între 0,13 și 0,17, pentru seriile de creștere, respectiv 0,10 și 0,17 în cazul seriilor de indici de creștere.

Tabel. 6.1. Parametrii statistici ai seriilor dendrocronologice
Statistical parameters of dendrochronological series

Specia	Serie dendrocronologică	Lungime serie (ani)	An minim	Serie medie de creștere						Serie indici	
				Medie	Minimă	Maximă	Abatere standard	Senzitivitatea medie	Autocorelația de ordinul I	Senzitivitatea medie	Autocorelația de ordinul I
Molid	PUTA	208	1793	2.29	0.87	4.20	0.72	0.12	0.87	0.13	0.31
	PUTB	253	1748	2.17	0.80	6.24	1.08	0.14	0.93	0.14	0.32
	PUTC	269	1732	1.82	0.79	4.02	0.55	0.14	0.81	0.14	0.25
	TOMA	179	1822	2.09	0.66	4.05	0.86	0.14	0.91	0.14	0.32
	BILA	232	1769	2.16	0.70	4.41	0.72	0.12	0.91	0.13	0.27
	BILB	170	1831	2.46	1.10	4.41	0.65	0.13	0.80	0.13	0.15
	BILC	183	1818	2.03	0.65	3.97	0.76	0.12	0.89	0.13	0.37
	GIUA	263	1738	1.86	0.66	3.61	0.63	0.12	0.90	0.13	0.57
	SLAA	248	1753	1.99	0.53	3.47	0.59	0.12	0.89	0.12	0.52
Brad	TIBA	335	1666	1,61	0,32	3,57	0,78	0,15	0,92	0,15	0,49
	SLAB	331	1670	1,61	0,40	3,92	0,80	0,15	0,93	0,15	0,41
	DEMA	332	1670	1,39	0,27	3,18	0,70	0,13	0,94	0,10	0,31
	SOVA	292	1710	1,82	0,19	5,06	1,22	0,17	0,96	0,17	0,34
	SINA	287	1715	1,95	0,38	4,78	1,10	0,14	0,95	0,14	0,42
Zâmbru	BILD	329	1672	1.76	0.39	4.73	0.82	0.13	0.93	0.12	0.49

Autocorelația de ordinul I este foarte ridicată pentru toate seriile de creștere medie, menținându-se la valori de 0,4-0,5 în cazul seriilor de indici de creștere din punctele SLAA, GIUA și BILD, indicând o interdependență ridicată a inelelor anuale din anii t și $t-1$.

Cuantificarea gradului de similaritate dintre seriile dendrocronologice s-a realizat prin intermediul coeficientului de corelație neparametrică Spearman, și al coeficientului de concordanță. Acești indicatori au fost calculați atât pentru seriile de creșteri medii, cât și pentru seriile de indici de creștere. Analiza similarității modului de reacție la factorii climatici a fost analizat prin intermediul coeficientului de concordanță (Gleichlaufigkeit) (tabelul 6.2.), calculat cu relația:

$$\Delta_i = (x_{i+1} - x_i)$$

$$\text{când: } \Delta_i > 0 \rightarrow G_{ix} = +\frac{1}{2}; \Delta_i = 0 \rightarrow G_{ix} = 0; \Delta_i < 0 \rightarrow G_{ix} = -\frac{1}{2} \quad (6.1.)$$

$$G_{(x,y)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |G_{ix} + G_{iy}|$$

unde: xi reprezintă lățimea inelului anual i;

$G(ix)$ - coeficientul de concordanță parțial pentru seria x;

$G(x,y)$ - coeficientul de concordanță între seria x și y.

Coeficientul de concordanță, similar cu testul statistic al semnelor, indică o reacție similară la variații ale factorilor climatici, valorile fiind apropiate, atât pentru seria de creștere medie, cât și pentru seria de indici de creștere. Ca și în cazul coeficienților de corelație, concordanța cea mai ridicată se înregistrează între seriile din același masiv, indicând în general o reacție identică a seriilor dendrocronologice pentru evenimentele climatice majore.

Corelațiile puternice se identifică între seriile dendrocronologice pentru aceeași specie, interspecific legătura corelativă fiind nesemnificativă. Totuși, reacția la modificarea mediului este în general aceeași sub raportul direcției de reacție, variind însă intensitatea răspunsului, fapt confirmat de coeficienții de concordanță relativ ridicați dintre seriile de indici de creștere intra- și interspecifici. În cazul molidului, cele mai mari corelații sunt între seriile din cadrul aceluiași masiv, cu valori de 0,3-0,4 între seriile din munții Rodnei și bazinul Moldovei. Seriile din Codrul Secular Slătioara pentru molid și brad prezintă un coeficient de corelație de 0,444, respectiv un coeficient de similaritate de 0,653.

Corelația relativ ridicată și semnificativă pusă în evidență anterior impune o analiză mai detaliată, la nivel de serii dendrocronologice, utilizându-se în acest scop metoda comparației grafice a seriilor dendrocronologice, exprimate prin seriile abaterilor indicilor de creștere (fig. 6.1., 6.2., 6.3.). Analiza comparativă a seriilor dendrocronologice prin metoda comparației grafice a seriilor de indici de creștere oferă

Tabel. 6.2. Coeficienții de corelație și concordanță între seriile dendrocronologice
Coefficients of correlations and concordance between dendrochronological series

	FUTA	FUTB	FUTC	TOMA	BILA	BILB	BILC	GIUA	SLAA	TIBA	SLAB	DEMA	SOVA	SINA	BILD
FUTA		0,755	0,755	0,771	0,760	0,759	0,697	0,726	0,687	0,595	0,606	0,616	0,590	0,613	0,576
FUTB	0,629		0,763	0,816	0,772	0,789	0,797	0,720	0,669	0,560	0,541	0,542	0,496	0,540	0,537
FUTC	0,667	0,633		0,782	0,798	0,694	0,730	0,749	0,693	0,609	0,576	0,595	0,556	0,574	0,545
TOMA	0,648	0,713	0,754		0,794	0,800	0,786	0,749	0,715	0,590	0,558	0,581	0,511	0,522	0,619
BILA	0,620	0,574	0,668	0,696		0,789	0,731	0,781	0,759	0,629	0,621	0,604	0,572	0,602	0,547
BILB	0,616	0,652	0,689	0,707	0,716		0,733	0,735	0,735	0,604	0,605	0,582	0,527	0,550	0,652
BILC	0,570	0,626	0,658	0,730	0,535	0,599		0,703	0,642	0,543	0,516	0,533	0,503	0,481	0,647
GIUA	0,417	0,528	0,557	0,564	0,615	0,552	0,460		0,730	0,604	0,616	0,635	0,569	0,580	0,554
SLAA	0,351	0,358	0,479	0,463	0,561	0,596	0,350	0,630		0,628	0,633	0,678	0,620	0,579	0,527
TIBA	0,154	0,189	0,215	0,201	0,222	0,217	0,184	0,202	0,293		0,691	0,601	0,658	0,620	0,503
SLAB	0,102	0,068	0,120	0,067	0,275	0,269	0,028	0,230	0,414	0,318		0,689	0,745	0,653	0,540
DEMA	0,136	0,114	0,103	-0,022	0,184	0,069	-0,027	0,158	0,257	0,265	0,368		0,632	0,628	0,553
SOVA	0,000	0,003	0,007	-0,154	0,045	-0,053	-0,157	0,154	0,181	0,312	0,405	0,364		0,673	0,489
SINA	0,091	0,050	0,066	-0,088	0,078	0,046	-0,155	0,150	0,132	0,213	0,168	0,235	0,444		0,547
BILD	0,178	0,091	0,101	0,289	0,181	0,392	0,390	0,068	0,313	-0,062	0,154	0,100	-0,106	-0,008	

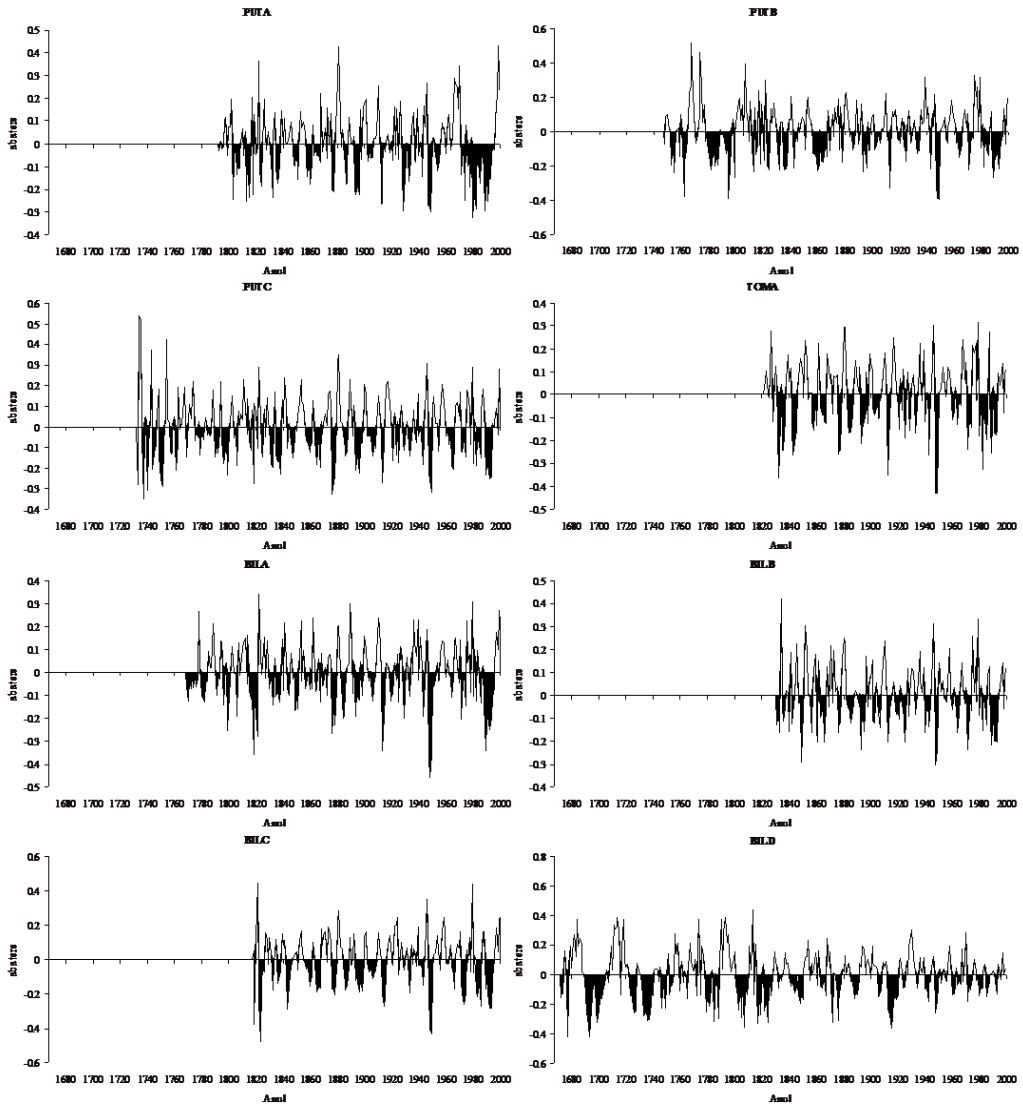


Fig. 6.1. Seriile dendrocronologice din Munții Rodnei
Dendrochronological series from Rodna Mountains

noi informații asupra gradului de uniformitate a reacției la evenimente climatice extreme.

Analiza grafică comparativă a seriilor dendrocronologice permite punerea în evidență a perioadelor cu reacție similară sau diferită. Astfel, marile evenimente climatice (în special cele determinate de secete puternice) sunt perfect surprinse în toate seriile de indici. Se remarcă seceta din 1946-1947, care determină o scădere

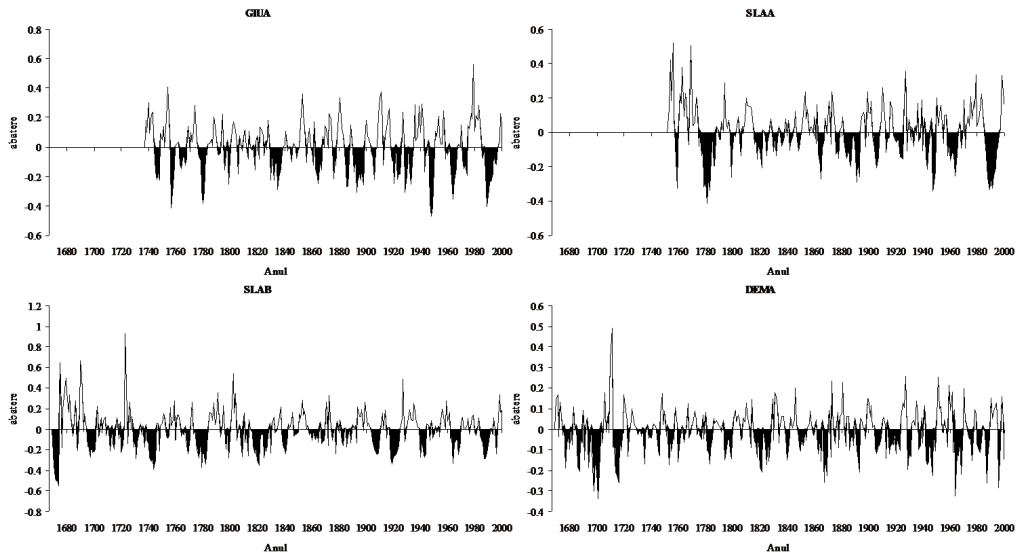


Fig. 6.2. Seriile dendrocronologice din bazinul Moldovei
Dendrochronological series from Moldova basin

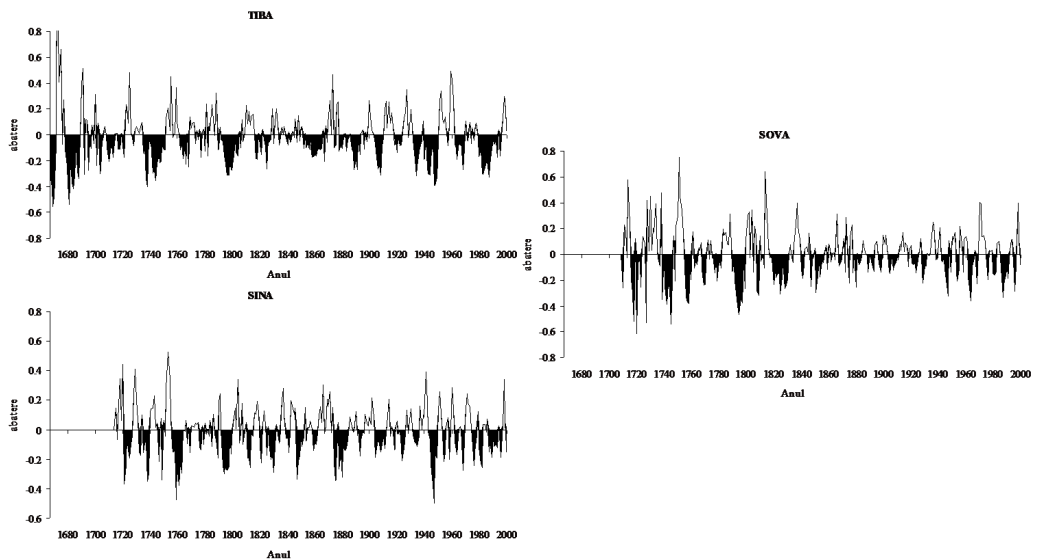


Fig. 6.3. Seriile dendrocronologice pentru brad din Țibleș, Soveja și Sinaia
Silver fir dendrochronological series from Țibleș, Soveja and Sinaia

bruscă a creșterii radiale pentru toate punctele dendrocronologice, elementul care variază fiind intensitatea reacției. Molidul, în comparație cu zâmbrul, prezintă o reacție mult mai evidentă la acest eveniment climatic negativ, situația fiind opusă

dacă se consideră perioada 1912-1915.

De asemenea, scăderea potențialului auxologic după anul 1985 și revenirea evidentă după anul 1995 este prezentă la toate seriile dendrocronologice. Se confirmă încă odată similaritatea ridicată a seriilor dendrocronologice analizate, referitor la evenimentele climatice majore o serie dendrocronologică medie fiind suficientă pentru întreaga zonă analizată, care poate fi în suprafață de 50-100 km². Această serie medie nu surprinde reacția la variațiile climatice de intensitate medie sau redusă cu manifestări microzonale, cuprinzând numai semnalul climatic de joasă frecvență.

6.1.2. Analiza variabilității spațiale a seriilor dendrocronologice prin metoda componentelor principale

În vederea evidențierii diferențelor privind semnalul climatic de înaltă și medie frecvență, datorat variației condițiilor de mediu mezo- și microzonale, s-a apelat la un instrument statistic mai complex, respectiv la analiza componentelor principale. Analiza componentelor principale este o metodă statistică de reducere a variabilelor la un număr de factori (2-5 factori principali), care explică majoritatea variabilității. Prin analiza comparativă a componentelor principale se poate pune în evidență modul de stratificare a observațiilor (Statsoft, 2003). Aplicând această metodă la analiza seriilor dendrocronologice este posibilă o analiză statistică mai detaliată, de evidențiere a eventualelor diferențe între punctele dendrocronologice (McKenzie et al., 2001; Lara et al., 2001; Villalba și Veblen, 1997; Rehfeldt et al., 1999; Hofgaard et al., 1999). S-a apelat în acest scop la o abordare de tip ierarhic, de la simplu la complex, efectuându-se o analiză a componentelor principale pornind de la zone mici la macrozone, de la nivel intraspecific (molid și brad) la nivel interspecific (luând în calcul atât molidul, cât și bradul și zâmburu). Pentru a se obține o imagine a modificărilor în timp a distribuției spațiale a seriilor de indici de creștere analiza s-a realizat atât pentru întreaga perioadă comună, cât și pentru subperioade de 50 de ani, cu segmente comune de 25 ani.

6.1.2.1. Analiza variabilității spațiale la nivel interspecific

O primă analiză a vizat studiul segregării spațiale a tuturor seriilor dendrocronologice, având drept obiectiv elucidarea influenței speciei asupra semnalului de înaltă frecvență surprins în seria dendrocronologică, considerând seria de indici de creștere o sinteză a macroclimatului (fig. 6.4.).

Analiza distribuției seriilor dendrocronologice în planul primelor trei componente principale permite punerea în evidență a segregării speciilor în raport cu reacția la modificările parametrilor climatici. Prima componentă principală repre-

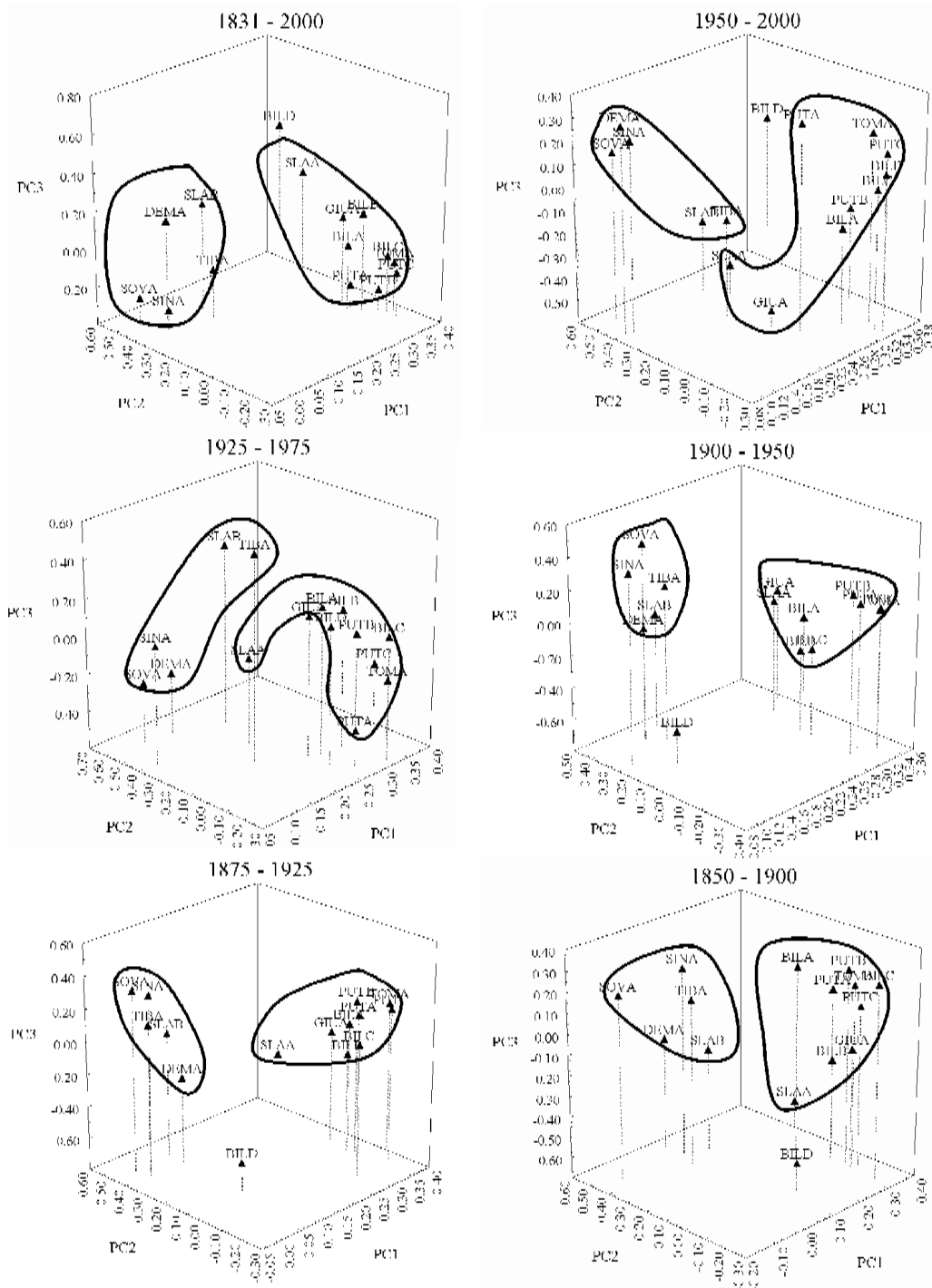


Fig. 6.4. Distribuția spațială a seriilor dendrocronologice în planul componentelor principale
 Spatial distribution of dendrochronological series in the plane of principal factors

zintă semnalul climatic comun tuturor seriilor de indici de creștere, cea de-a doua componentă principală realizând diferențierea interspecifică, iar cea de-a treia influența condițiilor staționale locale. Zâmburul se menține intermediar între molid și brad din punctul de vedere al reacției la variația macroclimatului. Această organizare spațială a seriilor de indici își menține structura relativ stabilă în timp.

6.1.2.2. Analiza variabilității spațiale la nivel intraspecific

În vederea identificării influenței condițiilor ecologice la nivel macrozonal s-a procedat la analiza componentelor principale pentru fiecare specie separat, o primă analiză referindu-se la brad (fig. 6.5.).

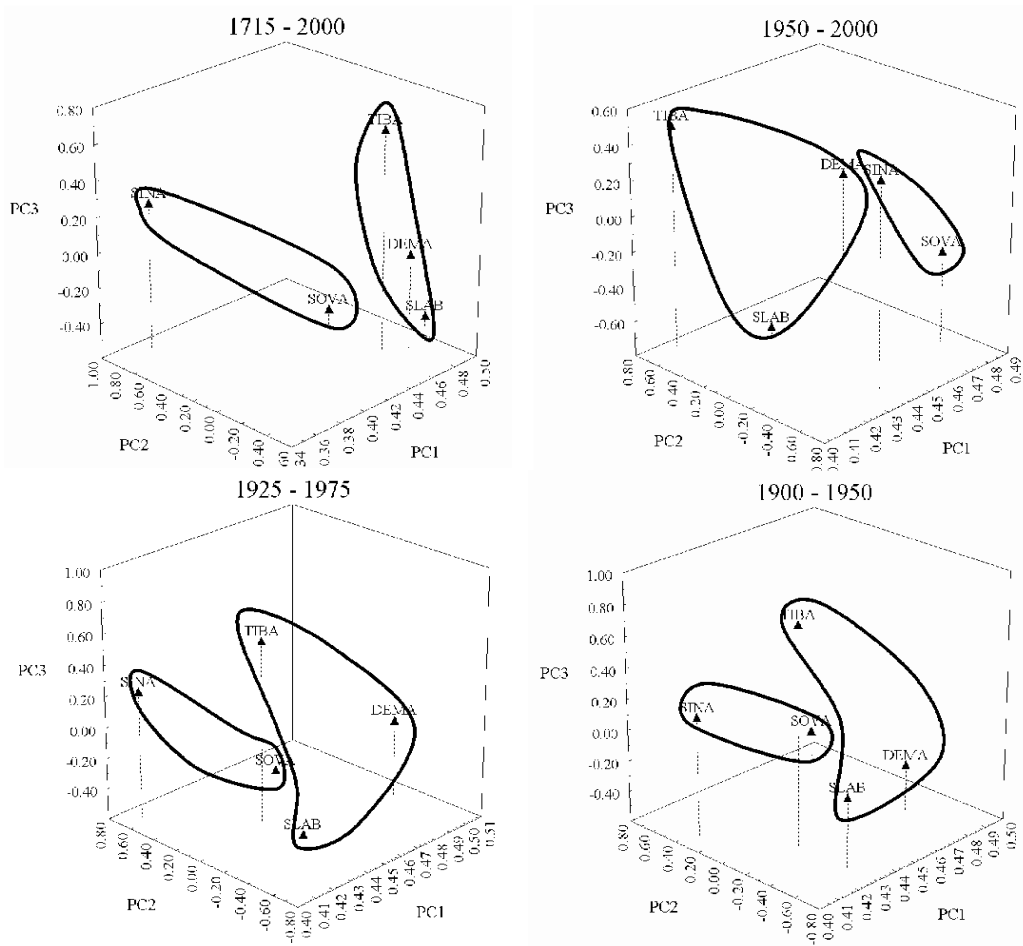


Fig. 6.5. Distribuția spațială a seriilor dendrocronologice pentru brad în planul componentelor principale
Spatial distribution of Silver fir dendrochronological series in the plane of principal components

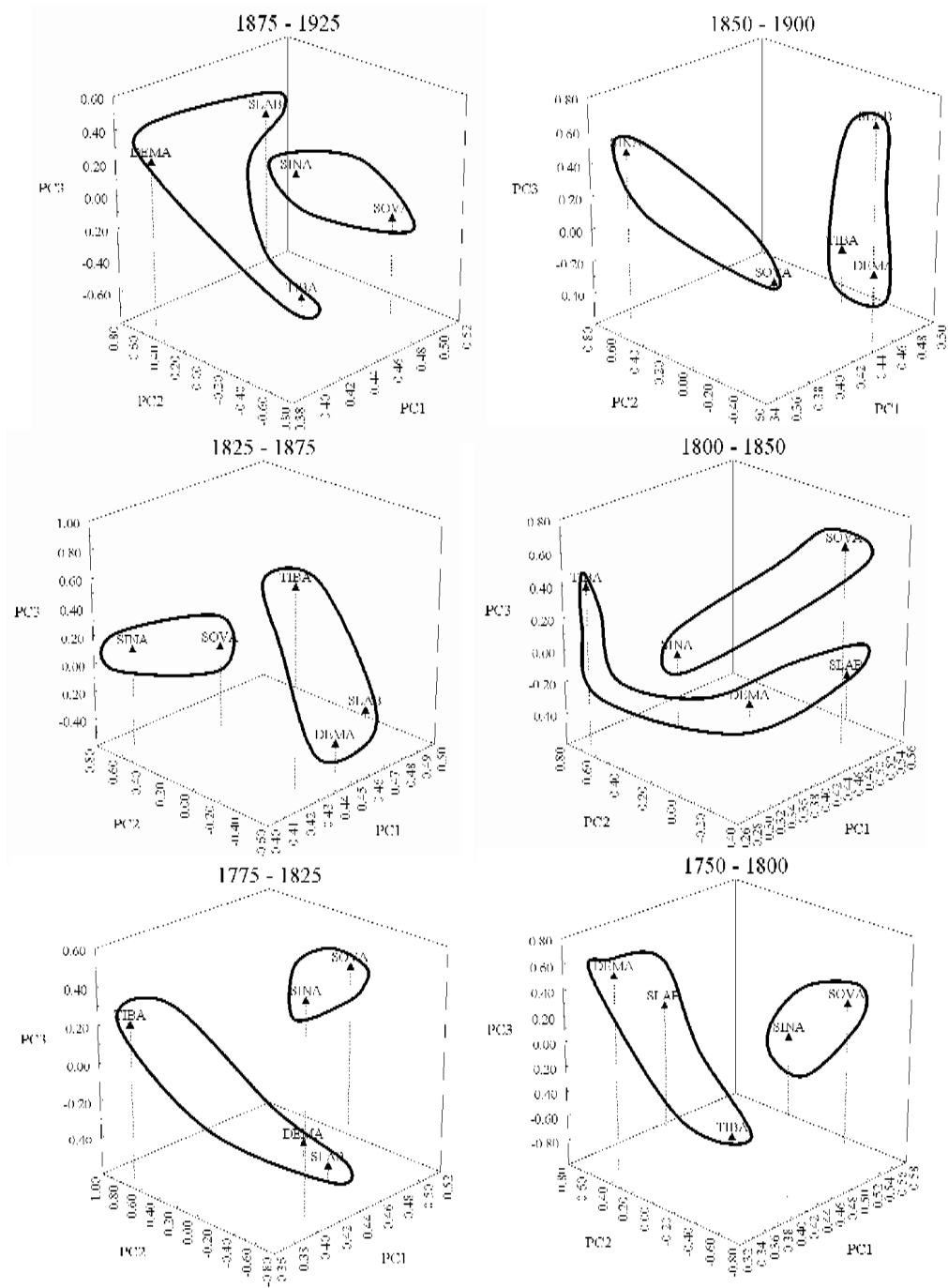


Fig. 6.5. (continuare) Distribuția spațială a seriilor dendrocronologice pentru brad în planul componentelor principale
 Spatial distribution of Silver fir dendrochronological series in the plane of principal components

Analizând modul grafic de organizare a punctelor dendrocronologice în funcție de primii trei factori principali se remarcă o grupare a seriilor dendrocronologice astfel: pentru perioada comună analizată (1715-2000) primul factor principal surprinde semnalul climatic comun, iar al doilea factor influența condițiilor geografice mezozonale. Se remarcă, atât pe ansamblul perioadei, cât și în cazul subperioadelor de 50 de ani, o segregare spațială între seriile dendrocronologice din nordul țării (TIBA, SLAB, DEMA) și cele din zona de sud a Carpaților (SOVA, SINA), iar în cazul perioadei 1950-2000 o organizare spațială a seriilor dendrocronologice similară desfășurării spațiale a lanțului carpatic, unde sunt amplasate suprafețele de probă. Modul de grupare spațială se menține pentru toate perioadele analizate, variind însă poziția relativă a celor două grupuri de serii dendrocronologice în planul reprezentat de primele două componente principale, analiza detaliată a modului de organizare în planul celei de-a doua componente principale permițând observarea unei distribuții identice cu repartiția latitudinală a seriilor de indici de creștere. Cea de-a treia componentă principală reprezintă, probabil, influența condițiilor locale, a modului de gospodărire, în unele perioade putând fi asimilată cu distribuția altitudinală a seriilor de indici de creștere.

Același tip de analiză s-a efectuat și în cazul molidului, însă având în vedere o arie mai restrânsă comparativ cu bradul. Seriile dendrocronologice pentru molid provin din două masive muntoase diferite, respectiv din munții Rodnei (bazinul Bistriței Aurii) și din masivul Rarău-Giumalău din bazinul Moldovei (fig. 6.6.).

Influența diferită a culoarului Bistriței Aurii, respectiv a văii Moldovei, asupra condițiilor climatice generale este reflectată foarte clar de segregarea seriilor dendrocronologice în planul primelor trei componente principale. Dacă primul factor principal reprezintă semnalul climatic comun, influența condițiilor microclimatice generate de curenții celor două văi principale este surprins de componenta a doua. Cea de-a treia componentă principală determină modificări de structură numai în cazul seriilor din munții Rodnei, poziția relativă a seriei din Giumalău față de cea din Slătioara menținându-se constantă pentru majoritatea subperioadelor analizate.

În vederea evidențierii influenței condițiilor staționale locale și a intervențiilor antropice asupra creșterilor radiale s-a procedat la analiza componentelor principale pentru seriile de molid din cadrul aceluiași masiv muntos, respectiv munții Rodnei, versantul estic (fig. 6.7.). Seriile dendrocronologice din masivul Putredu se caracterizează prin particula-rități microzonale cum sunt panta foarte mare în cazul PUTC, condiții de limită altitudinală cu influențe antropice evidente - PUTA sau arboret normal apărut în urma unei doborâturi puternice - PUTB. Sintetic, din analiza modului de distribuție spațială a seriilor dendrocronologice în planul primelor trei componente principale se desprind următoarele aspecte: pentru perioada comună analizată (1831-2000) primul factor principal surprinde semnalul climatic comun, iar al doilea factor influența antropică și condițiile specifice limitei altitudi-

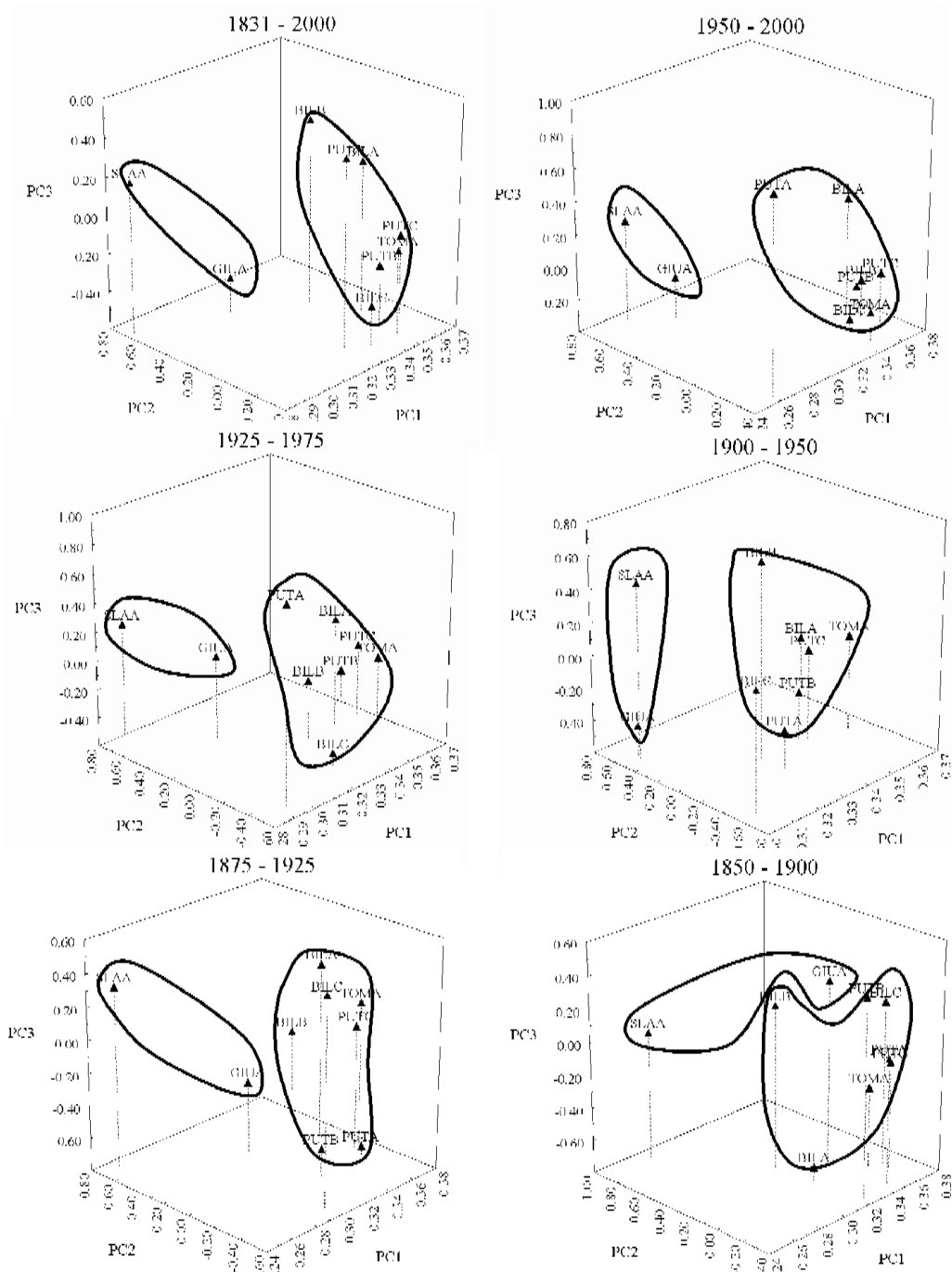


Fig. 6.6. Distribuția spațială a seriilor dendrocronologice pentru molid în planul componentelor principale
 Spatial distribution of Norway spruce dendrochronological series in the plane of principal components

nale a pădurii. Seria dendrocronologică PUTA se diferențiază clar de PUTB și PUTC, atât pentru toată perioada comună, cât și pe perioade de 50 de ani, excepție făcând perioada 1875-1925 când se constată o separare a suprafeței PUTB, iar a treia componentă principală explică o parte foarte mică din variabilitate (în medie 5%) și nu poate fi asimilată cu o influență particulară. Se observă, de asemenea, o

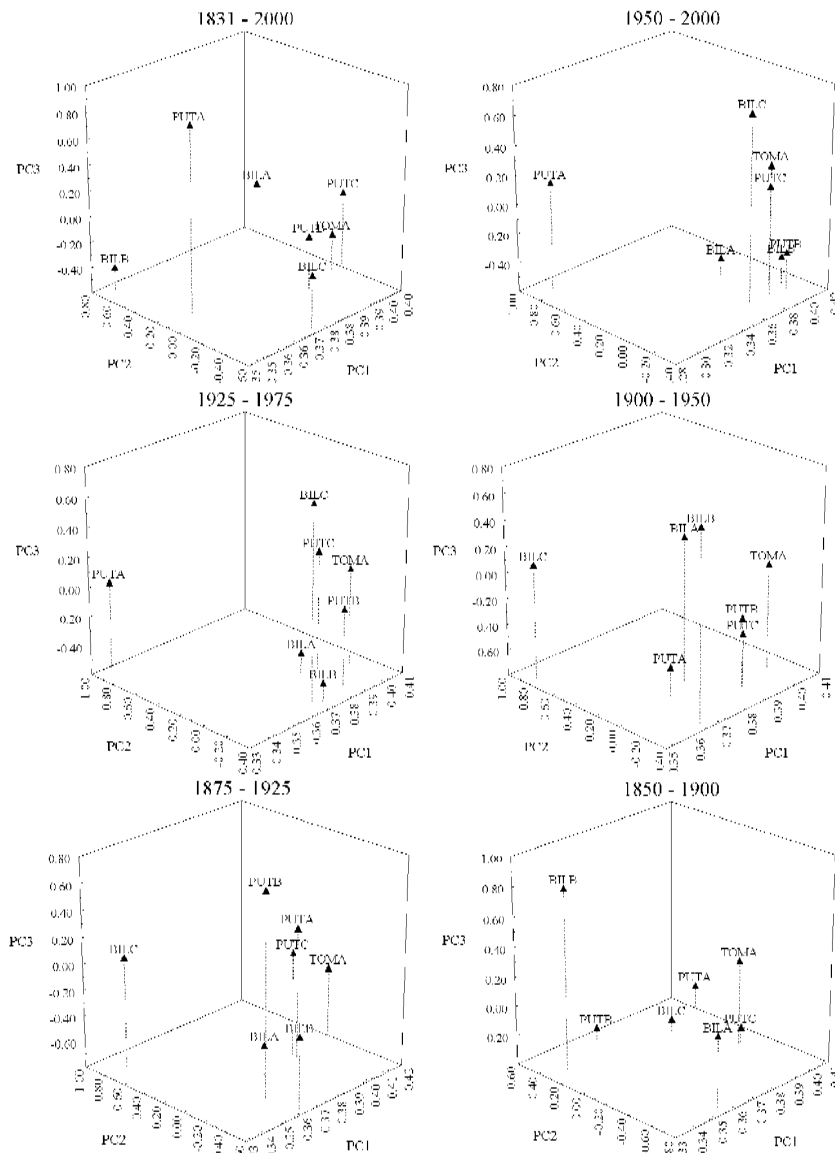


Fig. 6.7. Distribuția spațială a seriilor dendrocronologice pentru molidul din munții Rodnei în planul componentelor principale
Spatial distribution of Norway spruce dendrochronological series from Rodna Mountains in the plane of principal components)

stratificare a seriilor pentru molid, demarcându-se seria BILC - punct dendrocronologic situat la limita altitudinală a pădurii. La nivel microzonal, s-a pus în evidență existența unui mod de reacție particular în funcție de dinamica și tipul factorilor perturbatori (antropici, condiții extreme etc.). La nivel mezozonal aplicând analiza componentelor principale pentru seriile de molid din munții Rodnei, introducând pe lângă seriile din masivul Bila și Putredu o serie intermediară - TOMA, din masivul Tomnatic, a fost posibilă o nouă stratificare a serilor de indici de creștere.

Analiza grafică a componentelor principale evidențiază o apropiere foarte mare între seriile PUTB, PUTC și TOMA, puncte dendrocronologice situate în condiții similare privind expoziția, tipul de arboret etc. Seriile dendrocronologice PUTA și BILC se separă ca fiind diferite de celelalte puncte, variind de la perioadă la perioadă, ca urmare a condițiilor extreme de mediu.

Variația explicată de componentele principale variază în raport cu subperioada analizată, extinderea zonei analizate și speciile incluse în studiu (fig. 6.8.). Astfel în cazul în care analiza a vizat toate seriile dendrocronologice, semnalul climatic comun reprezentat de prima componentă principală explică numai 30-38% din variația, influența speciei explicând 15-18% din variabilitate. În cadrul aceiași

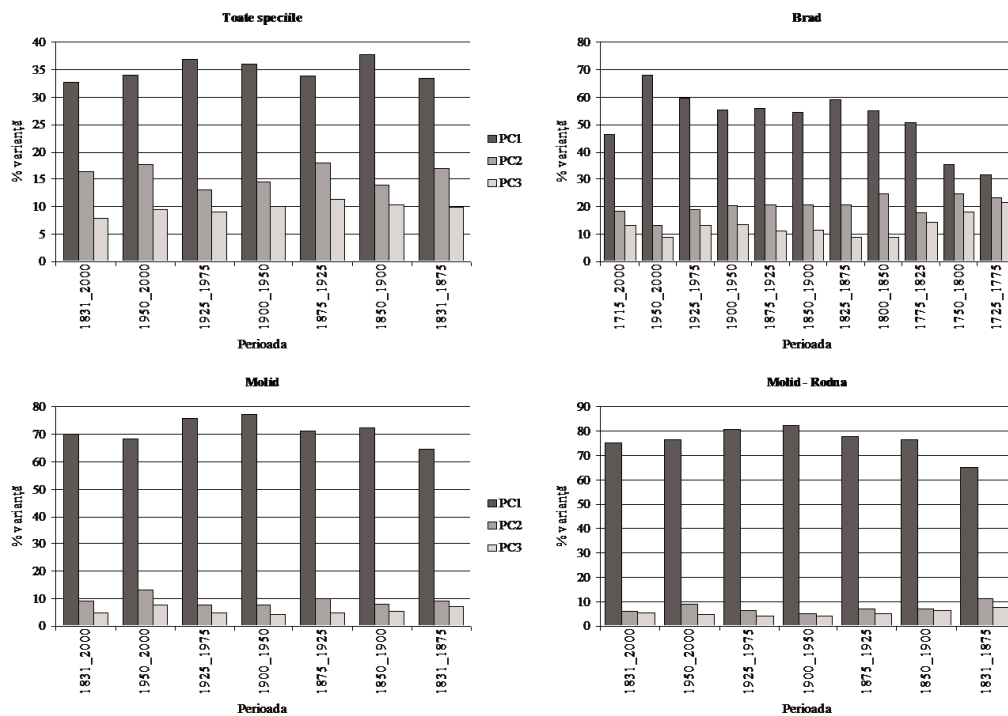


Fig. 6.8. Dinamica variabilității explicate de componentele principale în raport cu perioada de timp analizată

Dynamics of explained variability by the principal components in rapport with the time period

specii varianța comună din primul factor principal este de 50-65% în cazul bradului (datorită ariei extinse investigate) și 70-75% pentru molid. Dacă se reduce zona investigată la un singur masiv muntos variabilitatea surprinsă în primul factor crește la 75-80%. Ținând cont de variabilitatea comună explicată de prima componentă principală se pot elabora, la diferite nivele de generalizare, serii dendrocronologice de referință pentru o anumită specie.

Aplicarea metodei de clasificare ierarhice a datelor a confirmat modul de grupare spațială a seriilor dendrocronologice pus în evidență prin metoda analizei componentelor principale (StatSoft, 2003)(fig. 6.9.). Din analiza grafică a diagramei de clasificare ierarhică se observă o separare clară a seriilor dendrocronologice pentru fiecare specie, iar în cadrul acesteia o diferențiere pe zone geografice. Se remarcă de asemenea includerea zâmburului și a molidului într-o clasă ierarhică independentă de brad, indicând o reacție dendrocronologică similară.

Aplicarea metodelor de clasificare a datelor multivariabile, respectiv analiza componentelor principale și analiza cluster, la testarea similarității dintre seriile dendrocronologice a permis evidențierea diferențelor la nivel micro-, mezo- și macrozonal. Răspunsul la întrebarea “Care este aria de valabilitate a unei serii dendrocronologice?” este în funcție de nivelul semnalului analizat (de joasă, medie sau înaltă frecvență) și de gradul de omogenitate al factorilor climatici limitativi, diferențierea dintre specii fiind clară. Dendrocronologia, atât prin seriile dendrocronologice, cât mai ales prin distribuția spațială a funcțiilor de răspuns la factorii climatici, oferă instrumente concludente în zona ecologică a vegetației forestiere (Schweingruber, 1996).

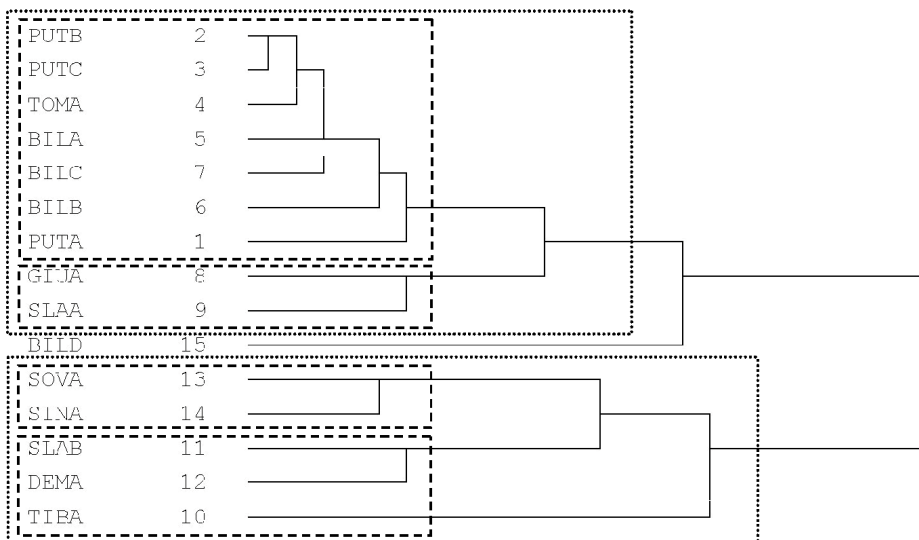


Fig. 6.9. Clasificarea ierarhică a seriilor dendrocronologice
Hierarchic classification of dendrochronological series

6.2. Analiza dinamicii regimului perturbărilor prin tehnici de dendroecologie

Structura actuală a pădurii montane naturale, respectiv heterogenitatea acesteia, este o consecință a regimului perturbărilor produse în decursul timpului. Perturbarea este definită drept un eveniment relativ discret în timp care modifică structura ecosistemului forestier schimbând disponibilitatea resurselor, a substratului sau a mediului fizic (Pickett și White, 1985). Analiza inelelor anuale și a structurii pe clase de vârstă reprezintă aspecte cheie în studiul dinamicii ecosistemelor forestiere (Fritts și Swetnam, 1989; Abrams et al., 2001). Pornind de la această abordare a fost posibilă reconstituirea dezvoltării istorice a pădurilor sub aspectul periodicității și intensității perturbațiilor, al impactului variațiilor anuale și multianuale ale factorilor climatici extremi (Foster, 1988; Abrams et al., 1995; Abrams și Orwing, 1996; Cherubini et al., 1996; Abrams et al., 2001).

Dendroecologia, prin utilizarea seriilor dendrocronologice de indici de creștere, reprezintă o abordare modernă în evaluarea structurii trecute și prezente a arboretelor (Fritts și Swetnam, 1989). Variația parametrilor inelului anual este utilizată drept indicator sintetic în reconstituirea dinamicii istorice a regimului perturbațiilor în ecosistemul forestier, având ca fundament reacția arborelui - cuantificată în cazul nostru prin lățimea inelului anual - la orice modificare a mediului de viață (Giurgiu, 1967, 1974; Fritts și Swetnam, 1989; Abrams et al., 1995). Modificarea structurii ecosistemului forestier sub impactul unui factor de stress (doborâturi produse de vânt, intervenții silvotehnice, atacuri de insecte etc.) este reliefată fidel de arbore prin modificarea creșterii radiale. De exemplu, o modificare a creșterii radiale cu 100% sau mai mult, pentru o perioadă de cel puțin 15 ani, este interpretată ca fiind un răspuns la o perturbare majoră a structurii ecosistemului forestier (Lorimer, 1985; Lorimer și Frelich, 1989). Interpretarea perioadelor cu creștere radială accelerată trebuie făcută însă cu precauție deoarece ele pot avea și o cauză climatică, de exemplu o secetă puternică. Se consideră, în general, că efectele climatice asupra creșterii arborilor sunt de scurtă durată în regiunile temperate. De asemenea, factorii perturbatori determină modificări evidente ale structurii arboretului, care nu pot fi asociate cu schimbările pe termen scurt ale parametrilor meteorologici (Payette et al., 1990; Abrams și Nowacki, 1992; Abrams et al., 1995). Inelul anual constituie o arhivă, o adevărată bază de date, privind variația seculară și multiseculară a factorilor perturbatori atât la nivel global, cât și mezo- și microzonal.

Interesul asupra producerii perturbărilor naturale în ecosistemelor forestier, asupra dinamicii spațiale și temporale, precum și a efectelor acestora, a suscitat interesul lumii științifice forestiere de mult timp. Au fost propuse diverse metode de

investigare a perturbărilor istorice, de la analize simple, bazate pe înregistrările cronologice, până la sisteme complexe de cercetare, bazate pe datări cu izotopi.

6.2.1. Analiza regimului perturbațiilor prin metoda separării semnalelor

Metoda clasică de evidențiere a regimului perturbațiilor este analiza grafică a curbelor de creștere radială (Payette et al., 1990; Abrams et al., 1995; Popa, 2002, 2003a, 2003e). Pornind de la teoretizarea inelului anual (Graybill, 1982; Cook, 1990) prin aplicarea tehnicilor de standardizare este posibilă descompunerea seriei de creștere într-un semnal deterministic, ca urmare a influenței pure a vârstei (A_t), două semnale stocastice comune (C_t și D_{2t}) și două semnal de asemenea stocastice singulare (D_{1t} și E_t). Separarea diferitelor semnale cuprinse în inelul anual se realizează prin standardizare, adică prin transformarea seriei de creștere exprimată în funcție de lățimea inelului anul sau alt parametru în serie de indici relativi. Precizia și valabilitatea rezultatelor, aplicând modelul agregat al creșterii arborilor în separarea diferitelor influențe ale factorilor de mediu, depinde foarte mult de strategia de alegere și amplasare a suprafețelor de probă, a arborilor de sondaj.

Doborâturile produse de vânt reprezintă principalul factor perturbator al ecosistemelor forestiere din zona montană (Barbu și Cenușă, 1987; Ichim, 1990; Popa, 2001), cu efecte semnificative pe plan economic și ecologic (Geambașu, 1979; Barbu, 1985; Popa, 2001). Impactul acestui factor de stres este evidențiat mai ales prin modificarea majoră a structurii arboretului, având drept consecință imediată creșterea bruscă a spațiului fotosintetic al arborilor rămași. Modificarea structurii ecosistemului forestier are consecințe directe asupra proceselor auxologice și, în principal, a creșterii radiale. În general, o accentuare bruscă a creșterii în înălțime sau în diametru apare în cazul unei expuneri la o lumină mai intensă, după ce inițial a fost într-un sistem concurențial puternic (Lorimer, 1980). De asemenea, există o corelație directă între intensitatea perturbării și ritmul de accelerare a creșterii radiale.

Metoda separării semnalelor a fost aplicată în vederea detectării, pe seriile de creștere medie elaborate, a ritmului perturbațiilor externe. Analiza grafică a dinamicii creșterilor radiale la nivel de arbore permite identificarea atât a modificărilor structurale determinate de factori perturbatori cu acțiune locală, cât și a perturbațiilor majore care afectează întreg ecosistemul. Analiza dinamicii istorice a structurii locale a arboretului necesită cercetări complexe de analiză dendroecologică (Payette et al., 1990; Cherubini et al., 1996), corelate cu distribuția pe clase de vârste a arborilor, dinamica în timp a regenerărilor. Însă prin alegerea arborilor de sondaj din zone afectate în mod repetat de modificări ale structurii arboretului, este posibilă surprinderea perturbațiilor majore reliefate în seria de creștere radială medie prin perioade de accentuare bruscă a proceselor auxologice.

O primă analiză a vizat seriile de creștere radială medii care permit, prin intermediul analizei grafice, identificarea perioadelor de creștere foarte activă în comparație cu cele de creștere normală (fig. 6.10., 6.11., 6.12.).

Literatura de specialitate (Lorimer, 1980) consideră că o creștere radială accentuată pe o perioadă de 5-10 ani are drept cauză principală o modificare importantă a structurii ecosistemului, respectiv o mărire bruscă a spațiului util la nivelul coro-

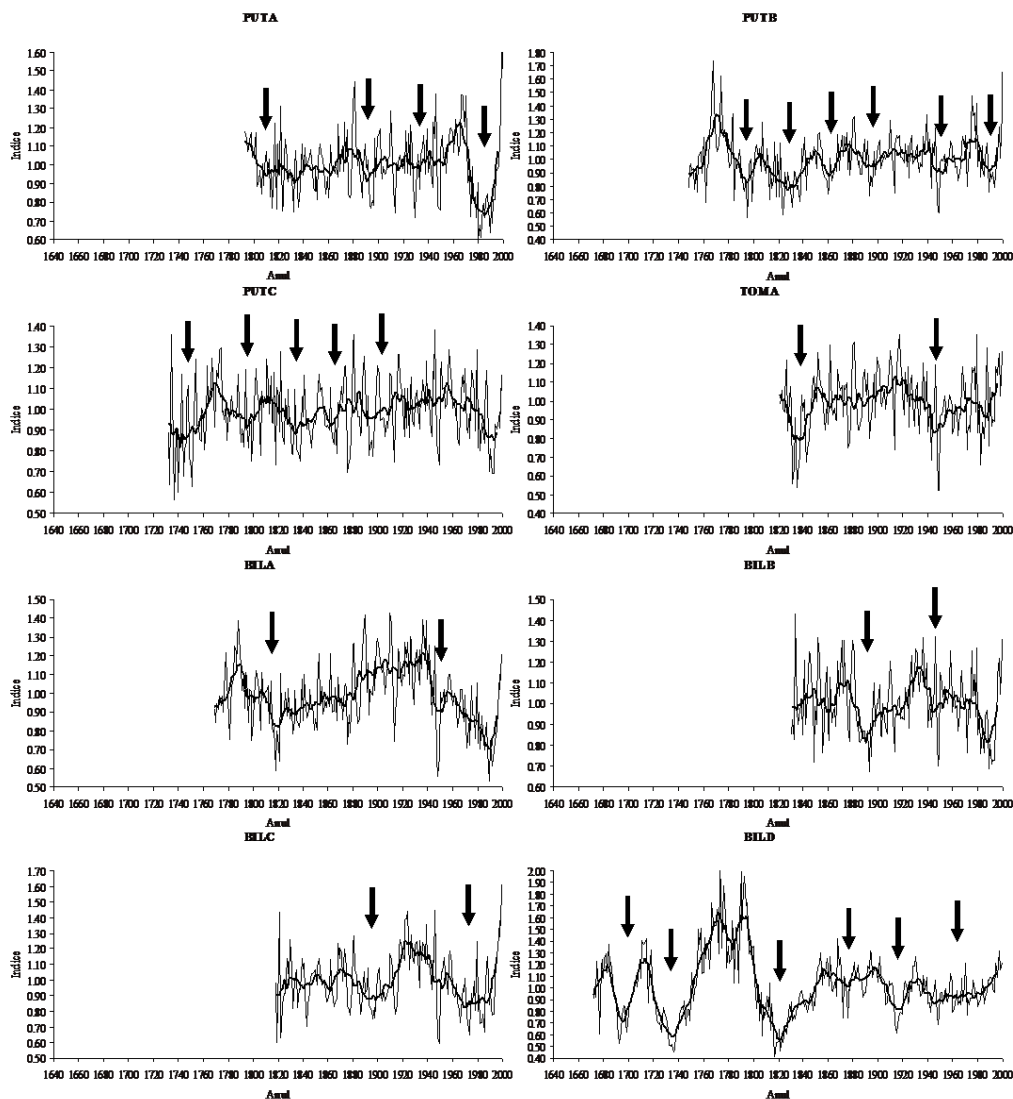


Fig. 6.10. Dinamica creșterilor radiale sub impactul factorilor perturbatori pentru seriile dendrocronologice din Munții Rodnei
Dynamics of radial growth under the impact of the disturbance factors for dendrochronological series from Rodna Mountains

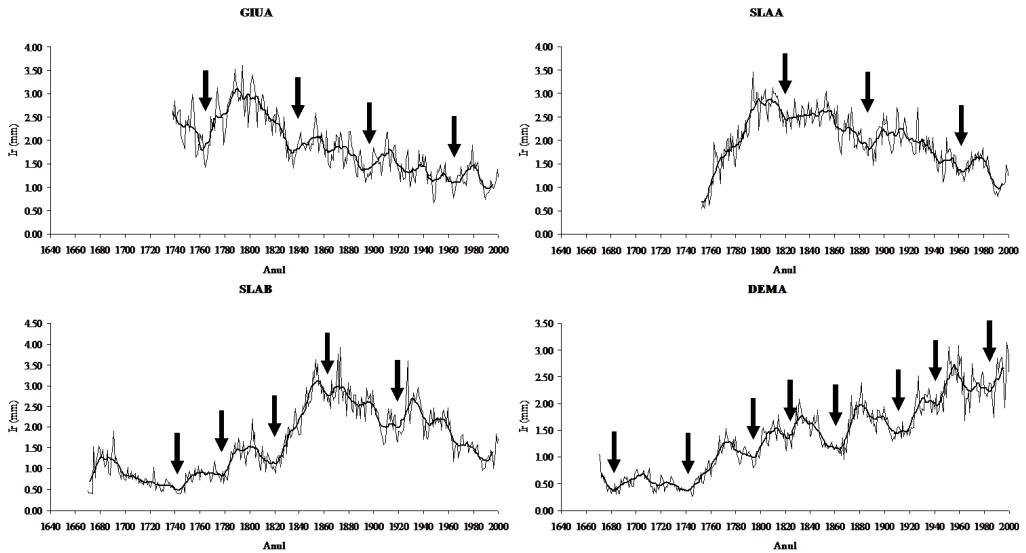


Fig. 6.11. Dinamica creșterilor radiale sub impactul factorilor perturbatori pentru seriile dendrocronologice din bazinul Moldovei
Dynamics of radial growth under the impact of the disturbance factors for dendrochronological series from Moldova basin

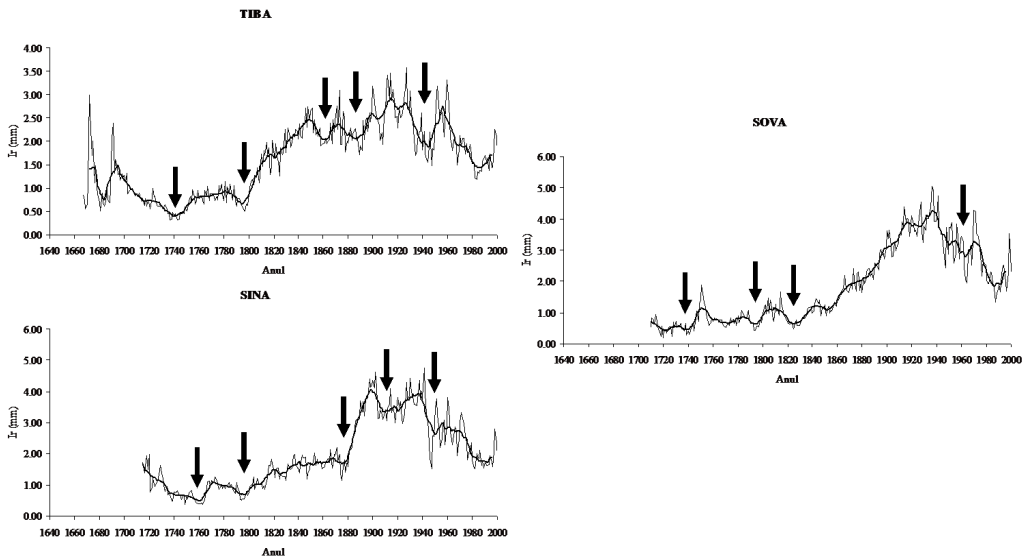


Fig. 6.12. Dinamica creșterilor radiale sub impactul factorilor perturbatori pentru seriile dendrocronologice de brad din Tîbleș, Soveja și Sinaia
Dynamics of radial growth under the impact of the disturbance factors for Silver fir dendrochronological series from Tîbleș, Soveja and Sinaia

nementului. Pentru datarea exactă a acțiunii factorului perturbator trebuie să se țină cont de faptul că reacția arborelui are loc pe parcursul a 1-3 ani. Seriile dendrocronologice analizate prezintă numeroase astfel de perioade de accelerare bruscă a creșterii radiale, frecvența acestor perioade variind în raport cu zona geografică, cu vulnerabilitatea stațiunii la doborâturi produse de vânt, etc.

În cazul seriilor de creștere din munții Rodnei se identifică numai câteva astfel de episoade cu perturbări ale structurii arboretului semnificative. Interesantă este perturbarea din jurul anului 1815-1820, prezentă la toate seriile, cu o intensitate mai mică sau mai mare. Suprafața experimentală din masivul Putredu A face parte dintr-un ecosistem tipic de limită supus acțiunii antropice prin pășunat intensiv. Atât curbele de creștere radială individuale, cât și curba medie, au o alură tipică arborilor dezvoltați în condiții de concurență redusă, cu un trend general exponențial negativ, distorsionat de un semnal de înaltă frecvență cu determinare climatică. Totuși se identifică o perioadă de accentuare bruscă a proceselor auxologice la nivelul anului 1893, perturbare prezentă la majoritatea arborilor din sondaj. Rărirea puternică a arboretului ca urmare a intervențiilor antropice în perioada 1989-1993 susținută prin vechimea și numărul cioatelor din arboret este confirmată prin puseul auxologic din deceniul următor. În cazul seriei dendrocronologice din suprafața Putredu B se observă două episoade de modificare semnificativă a structurii arboretului, cu efecte auxologice majore: unul în jurul anului 1824, iar cel de-al doilea cu originea în anul 1860, perioada cu accelerare a creșterii în diametru prelungindu-se până în anul 1910. Ecosistemul forestier actual din Putredu C este caracterizat prin prezența unui etaj superior (10-15% din numărul total de arbori), format din arbori dominanți, cu vârste de peste 250 de ani și un etaj inferior majoritar, reprezentat de arborii cu vârste de 150-160 de ani. Apariția acestui etaj este confirmată de curba de creștere medie, ca fiind datorită unei doborâturi produse de vânt din jurul anului 1838-1843. Peste 80% din arborii din sondaj au anul minim la 1,30 m în jur de 1850-1853 confirmând ipoteza rării puternice a arboretului la jumătatea secolului al XIX-lea ca urmare a unei catastrofe eoliene. Posibilitatea intervenției antropice este exclusă datorită inaccesibilității terenului, panta depășind 50-60°, arboretul fiind și în prezent neafectat de măsurile silvotehnice. Poziționarea pe versanți cu expunere diferită a arboretelor cercetate din masivul Putredu nu a permis evidențierea unei corelații între perioadele de acțiune a factorilor perturbatori.

Suprafața din masivul Tomnatic realizează o trecere între seriile dendrocronologice din Putredu și Bila, fiind situată pe un versant adăpostit, cu risc redus la doborâturi produse de vânt, lucru sesizabil și din forma curbei medii de creștere radială. În cadrul masivului Bila modul de amplasare a sondajelor prin distribuirea lor pe ambii versanți ai bazinului superior al pârâului Bila a permis o analiză complexă a dinamicii istorice a acțiunii factorilor perturbatori asupra structurii ecosistemelor forestiere. Se remarcă în cadrul seriilor BILA, BILB și BILC, perturbările

din anii 1820, 1880 și 1920. Seria medie a creșterilor radiale pentru zâmbru (BILD) constituie imaginea fidelă și completă a istoriei regimului acțiunii factorilor de risc, în cazul de față reprezentați de doborâturile produse de vânt, din bazinul Bila interesante sub aspectul efectelor fiind episoadele din anii 1699, 1736-1746, 1814-1817 și 1915. Foarte evidentă este, în cazul seriei de zâmbru (BILD), perturbarea din jurul anului 1820, arborii reacționând foarte puternic printr-o creștere radială accelerată pe o durată de 40 de ani. Factorul perturbator cel mai probabil este o doborâtură produsă de vânt cu efecte catastrofale, anul producerii coincizând cu anul instalării arboretului din seria BILC și BILB din același masiv. Această perturbare majoră poate fi identificată clar și în cazul seriilor din bazinul Moldovei.

Spre deosebire de ecosistemele forestiere din bazinul Bistriței Aurii, în cele din bazinul Moldovei se remarcă o frecvență mai mare a modificărilor structurale, cu efecte auxologice semnificative determinate de factori perturbatori. Astfel, în cazul arboretului din bazinul Demacușa, la brad, se identifică aproximativ opt doborâturi majore în decurs de trei secole, produse la intervale aproximativ egale, de 35-40 de ani, evidențiindu-se o dinamică a creșterilor în trepte, caracteristică unui arboret supus unor modificări structurale semnificative periodice. Se remarcă, ca intensitate și durată, perioadele de creștere accelerată din anii 1745-1772, 1794-1814, 1825-1831, 1867-1881, 1913-1927, 1940-1951, 1964-1970. În cazul seriei de creștere din Codrul Secular Giumalău (GIUA) se identifică mai multe astfel de perioade de creștere accentuată brusc, cea mai evidentă fiind în jurul anilor 1760, când o doborâtură a pus în lumină brusc semințișul de 20-30 de ani existent. În Codrul Secular Slătioara se observă un regim identic al perturbațiilor la molid și brad, remarcându-se cele din anii 1740, 1777, 1820, 1865, 1890, 1964. Interesantă este perioada de reactivare bruscă a creșterii după 1945-1947, foarte evidentă la molid, având determinare climatică.

În masivul Țibleș (TIBA), se remarcă doborâtura din jurul anului 1790, care determină o accelerare semnificativă a creșterii radiale pe o perioadă de 60 de ani, fiind echivalentă cu o deschidere puternică a arboretului. Alte perturbari semnificative sunt cele din 1890 și 1947-1948, ultima având drept cauză posibilă o revigorare a creșterii radiale, ca urmare a secetei din perioada anterioară.

Seriile de creștere din parte de sud a țării - Sinaia (SINA) și Soveja (SOVA) - au un ritm de variație mult mai uniform, fără oscilații bruște semnificative, identificându-se clar numai perioadele de eliminare a arboretului matern și punere în lumină a arboretului tânăr, fie prin aplicarea unor lucrări silvotehnice, fie ca urmare a unor doborâturi produse de vânt. În cazul seriei din Soveja se remarcă o singură perturbare majoră în jurul anului 1820-1830, care a modificat semnificativ structura ecosistemului, determinând o creștere accelerată până la nivelul anului 1900. La Sinaia evidentă este perturbarea din anul 1875 care determină o modificare a ratelor de creștere radială cu peste 300%.

Eliminând semnalul A_t prin aplicarea unei funcții exponențiale sau liniare a rezultat o serie de indici de creștere primari care înglobează semnalele $D1_t$ și $D2_t$ (fig. 6.13., 6.14., 6.15.).

Eliminarea influenței vârstei prin standardizare primară determină o accentuare a alternanței perioadelor cu creștere accelerată cu perioade de reducere a acesteia. Perturbările identificate în cazul seriilor de creștere sunt evidențiate mult mai bine

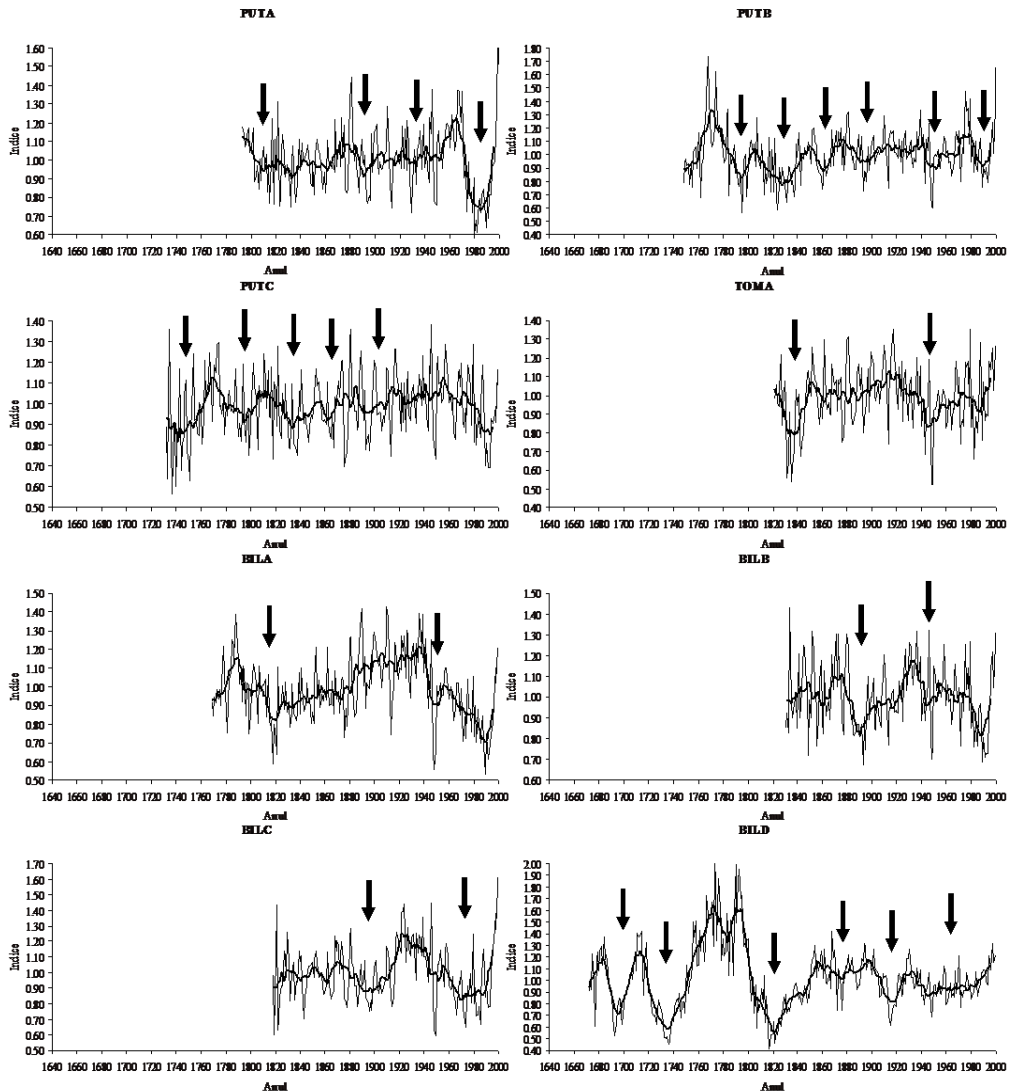


Fig. 6.13. Dinamica seriilor de indici primari sub impactul factorilor perturbatori pentru seriile dendrocronologice din munții Rodnei
Dynamics of primary growth index under the impact of the disturbance factors for dendrochronological series from Rodna Mountains

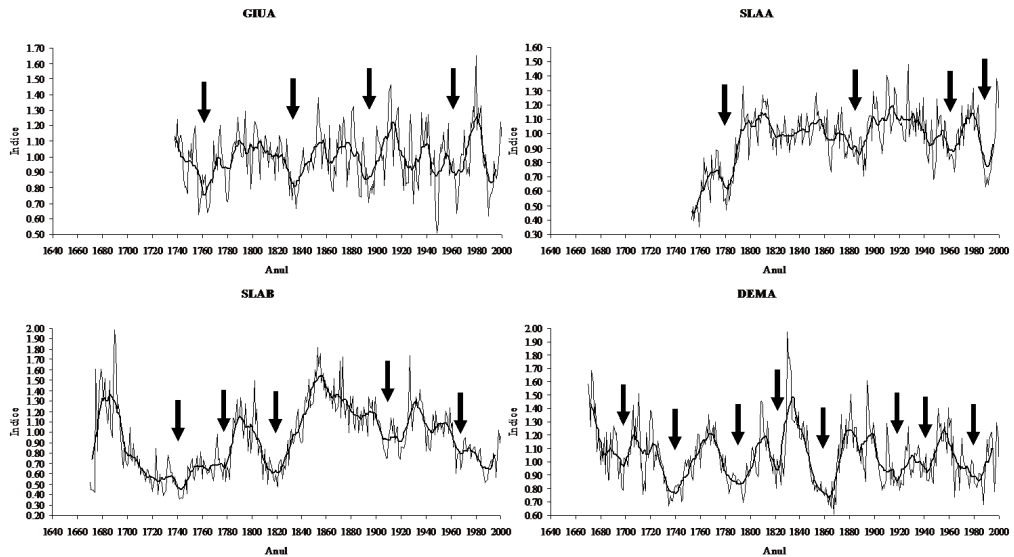


Fig. 6.14. Dinamica seriilor de indici primari sub impactul factorilor perturbatori pentru seriile dendrocronologice din bazinul Moldovei
Dynamics of primary growth index under the impact of the disturbance factors for dendrochronological series from Moldova basin

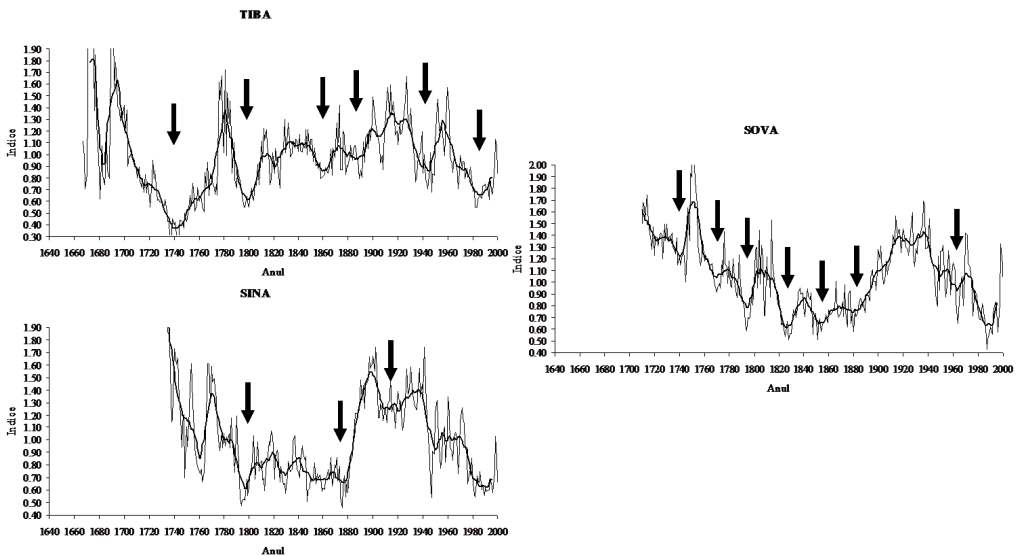


Fig. 6.15. Dinamica seriilor de indici primari sub impactul factorilor perturbatori pentru seriile dendrocronologice de brad din Țibleș, Soveja și Sinaia
Dynamics of primary growth index under the impact of the disturbance factors for Silver fir dendrochronological series from Țibleș, Soveja and Sinaia

în cazul indicilor primari. Analiza comparativă a semnalelor extrase permite stabilirea prin interdatare a unor evenimente eoliene cu efecte catastrofale, ele afectând toate seriile dendrocronologice. O astfel de perturbare este cea din anii 1815-1820, prezentând cu o intensitate mai mare sau mai mică la toate seriile dendrocronologice din Bucovina, având în unele cazuri efecte majore asupra landşaftului forestier (BILB, BILC). În masivul Putredu, prin aplicarea metodei separării semnalelor, sunt evidențiate pe de o parte perturbările observate în cazul seriilor de creștere radială, fiind reliefate în același timp o suită de perturbări minore, cu efecte auxologice pe perioade limitate la 5-10 ani (1795, 1820, 1860, 1893). În cazul arboretului din masivul Tomnatic, prin eliminarea semnalului deterministic reprezentat de vârstă (A_r), este pusă în evidență revitalizarea proceselor auxologice după seceta din anii 1945-1948. Seriile de indici de creștere primari permit analiza detaliată, în dinamică, a efectelor doborâturilor produse de vânt în bazinul superior al Bilei. Pornind de la seria dendrocronologică pentru zâmburu, cea mai veche perturbare majoră este identificată în anul 1699, fiind cel mai vechi eveniment eolian identificat în Bucovina. Acesta, prin modificarea structurii ecosistemului forestier, determină prin punerea în lumină o accelerare a dezvoltării semințișului de zâmburu până în anul 1715-1720. Ca urmare a accentuării concurenței specifice, urmează un deceniu de reducere progresivă și continuă a ritmului de creștere radială. În jurul anului 1737, o doborâtură foarte puternică determină o modificare semnificativă a structurii arboretului, având drept efect o relansare bruscă a proceselor auxologice, care se menține o perioadă de peste 20 de ani. Este posibil ca această doborâtură să fi determinat și apariția arboretului de pe versantul opus BILA, lungimea maximă a seriilor de creștere individuale identificate în zonă fiind în jurul anului 1769. Evenimentul eolian care a determinat modificări majore ale landşaftului forestier din zonă este cel din anul 1817-1820 având drept consecință o accelerare a creșterii etajului de zâmburu din BILD, apariția arboretului de molid de pe același versant (BILC) și a celui de pe versantul opus (BILB). Amprenta auxologică a acestei doborâturi este observată și în seriile dendrocronologice din bazinul Moldovei (GIUA, SLAA și DEMA), fiind foarte evidentă în cazul bradului din Codrul Secular Slătioara (SLAB). O altă perioadă cu activitate eoliană foarte activă este cea din anii 1880-1890 identificabilă în semnalul din seria GIUA, SLAA, BILB, PUTB. Această doborâtură este menționată și în analele vremii fiind datată în 26 iunie 1885 în Moldova de Nord (Fischer, 1899; Ichim, 1988).

6.2.2. Analiza regimului perturbațiilor prin metoda ratelor de creștere

În vederea completării analizei grafice privind identificarea perturbațiilor endogene sau exogene intervenite în ecosistemul forestier, în literatura de specialitate sunt propuse diverse metode de cuantificare a frecvenței și intensității perturbațiilor.

Una dintre cele mai uzuale, bazate pe compararea creșterilor radiale ante- și post perturbare este metoda ratelor de creștere în două variante: metoda ratelor de creștere clasică (Lorimer, 1985; Lorimer și Frelich, 1989; Payette et al., 1990; Abrams și Nowacki, 1992; Abrams et al., 1995) și metoda ratelor de creștere modificată (Popa, 2002). Metoda ratelor de creștere propusă de Lorimer (1985) definește un eveniment de accentuare bruscă a creșterii radiale în cazul în care procentul de

$$GC\% = \frac{(I_{r2} - I_{r1})}{I_{r1}} * 100 \quad (6.2.)$$

creștere medie este peste 25%. Calculul ratelor de creștere se realizează cu relația: unde GC% reprezintă rata de creștere;

I_{r1} - creșterea radială medie pentru n ani înainte de anul de calcul;

I_{r2} - creșterea radială medie pentru n ani după anul de calcul inclusiv.

Perioada luată în calcul variază de la 5 la 15 ani funcție de regiunea geografică și este definită ca fiind perioada în care efectele unui eveniment climatic extrem, cum este de exemplu seceta, sunt eliminate. Pentru condițiile zonei de cercetare o perioadă de 5 ani este suficientă. Utilizând drept criteriu de clasificare amplitudinea ratelor de creștere se pot defini perturbări majore ($GC\% > 100$), perturbări moderate GC% cuprinse între 50 și 100 și perturbări minore, cuprinse între 25 și 50% (Tift și Fajvan, 1999) (fig. 6.16., 6.17., 6.18.). Nowacki și Abrams (1997) definesc o perturbare moderată ca având o accentuare a creșterii mai mare de 25% pentru o perioadă de minim 10 ani, iar o modificare a creșterii cu peste 50% pe o durată de cel puțin 15 ani este identificată ca fiind o perturbare majoră.

Aplicând această metodă la seriile dendrocronologice elaborate, sunt evidențiate în general perturbări minore, excepție făcând seria BILD, la care doborâtura din 1820 este prezentată ca o perturbare moderată, la fel ca și o serie de perturbații la seriile de brad.

Variabilitatea ridicată a creșterilor radiale estompează într-o oarecare măsură perioadele de creștere accentuată evidente de pe curba de creștere medie. De aceea, Popa (2002) propune o variantă modificată a metodei ratelor de creștere, utilizând drept reper creștere radială din anul de referință și nu creșterea medie anterioară,

$$GC\% = \frac{(I_{r2} - i_{r1})}{i_{r1}} * 100 \quad (6.3.)$$

după relația:

unde GC% reprezintă rata de creștere;

i_{r1} - creșterea radială pentru anul de calcul;

I_{r2} - creșterea radială medie pentru n ani după anul de calcul exclusiv.

Prin această metodă se evidențiază mult mai clar perturbările identificate prin metodele anterioare, doborâtura din 1820 (BILD) fiind catalogată ca o perturbare

majoră (fig. 6.19., 6.20., 6.21.).

Studiile referitoare la dinamica structurii ecosistemelor forestiere sub impactul factorilor perturbatori oferă informații relevante fundamentării strategiilor de management durabil al pădurilor montane. Utilizând tehnicile de dendroecologie s-a reușit, în baza unei rețele de serii dendrocronologice, evidențierea regimului perturbațiilor în pădurile montane din Carpați Orientali. Prin intermediul metodelor de analiză grafică și a ratelor de creștere aplicate s-a identificat un regim diferit al factorilor perturbatori, mult mai activ în bazinul Moldovei decât în cel al Bistriței Aurii. Acest ritm diferit de manifestare a doborâturilor produse de vânt, asimilate

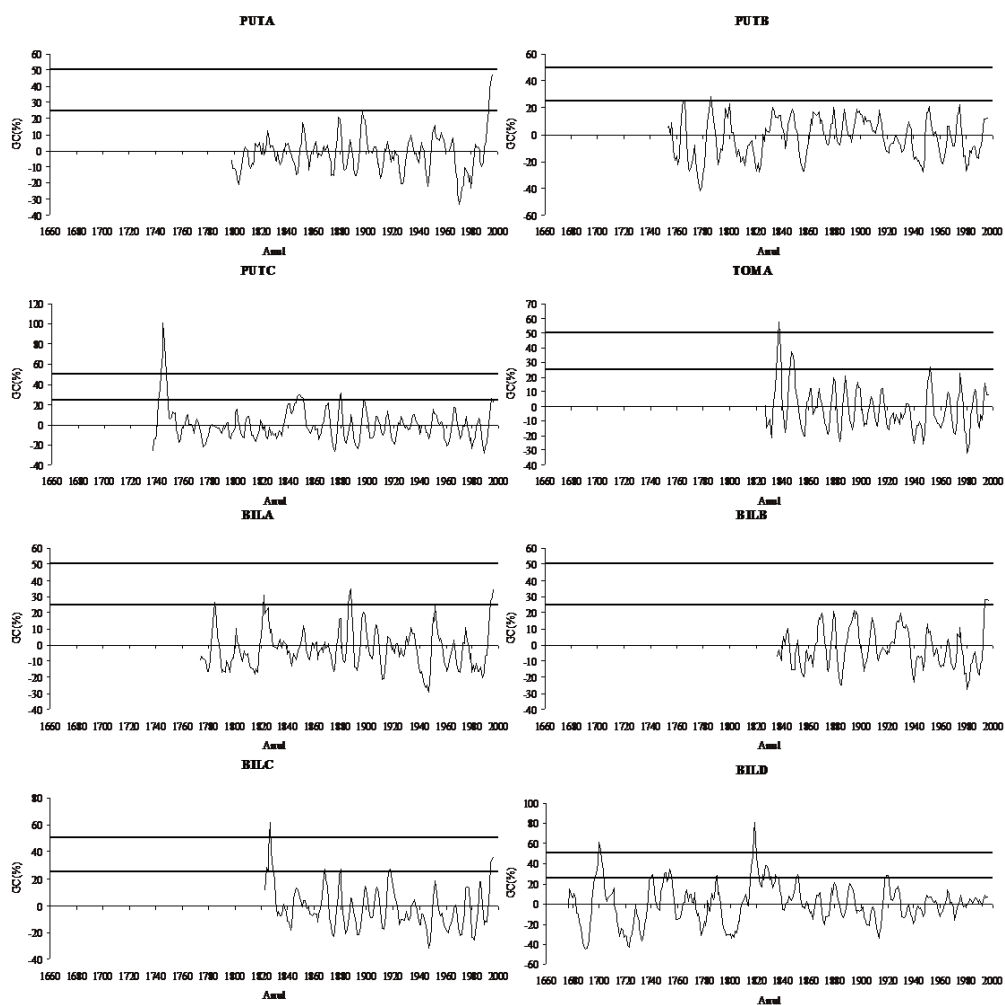


Fig. 6.16. Metoda ratelor de creștere clasică pentru seriile dendrocronologice din munții Rodnei
Classical growth rate method for dendrochronological series from Rodna Mountains

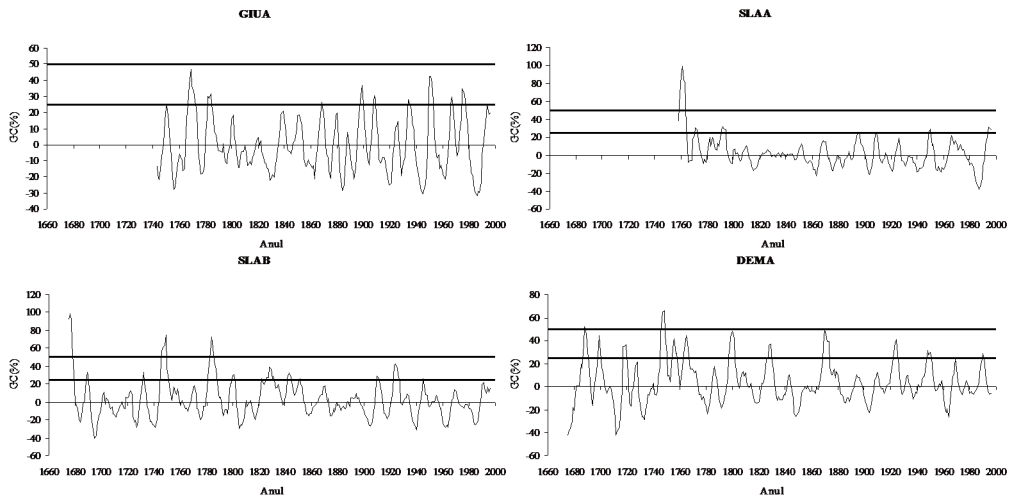


Fig. 6.17. Metoda ratelor de creștere clasică pentru seriile dendrocronologice din bazinul Moldovei
Classical growth rate method for dendrochronological series from Moldova basin

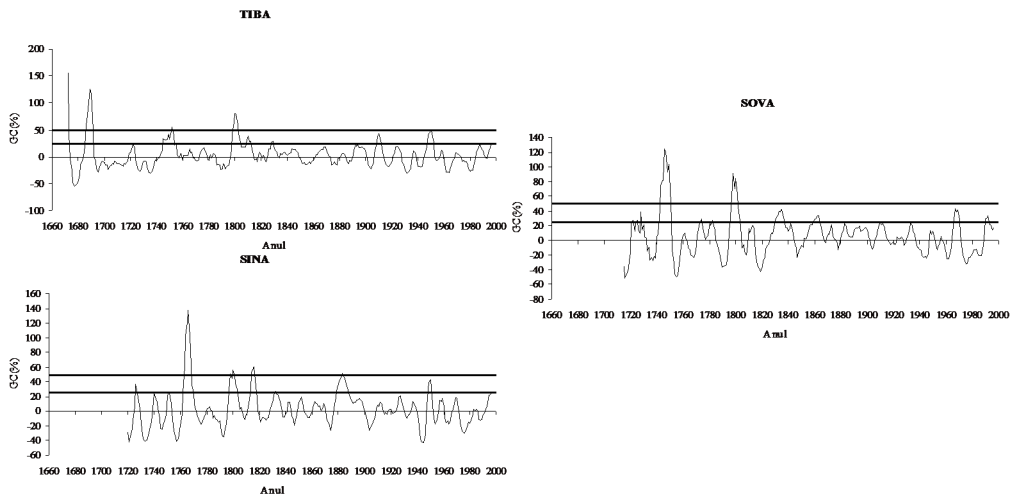


Fig. 6.18. Metoda ratelor de creștere clasică pentru seriile dendrocronologice din Țibleș, Soveja și Sinaia
Classical growth rate method for dendrochronological series from Țibleș, Soveja and Sinaia

ca fiind principalul factor perturbator al structurii arboretelor cu efecte auxologice evidente, poate fi explicat parțial și prin tipul ecosistemelor incluse în sondaj. În cazul seriilor din munții Rodnei este vorba în principal de ecosisteme de limită, cu vulnerabilitate medie sau scăzută la vânt, spre deosebire de cele din bazinul

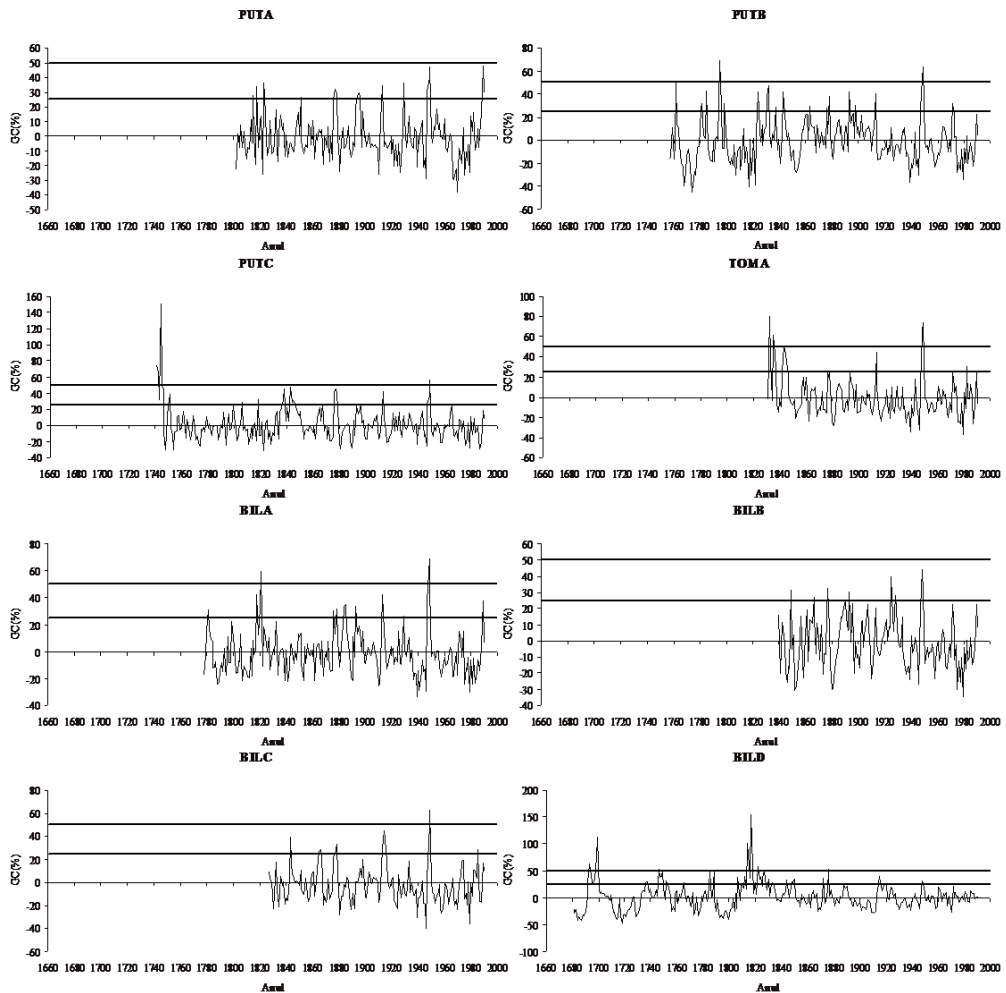


Fig. 6.19. Metoda ratelor de creștere modificată pentru seriile dendrocronologice din munții Rodnei
Modified growth rate method for dendrochronological series from Rodna Mountains

Moldovei care sunt afectate frecvent de doborâturi produse de vânt.

Interesantă este perturbarea din jurul anului 1815-1820, prezentă la toate seriile cu o intensitate mai mică sau mai mare. Aceasta este foarte evidentă în cazul seriei de zâmbru (BILD), arborii reacționând foarte puternic, printr-o creștere radială accelerată pe o durată de 40 de ani. Factorul perturbator cel mai probabil este o doborâtură produsă de vânt cu efecte catastrofale, anul producerii coincidând cu anul instalării arboretului din seria BILB din același masiv. Această perturbare majoră poate fi identificată clar și în cazul seriei din Codrul Secular Giumalău, Codrul Secular Slătioara (atât la molid cât și la brad), respectiv Demacușa (DEMA)

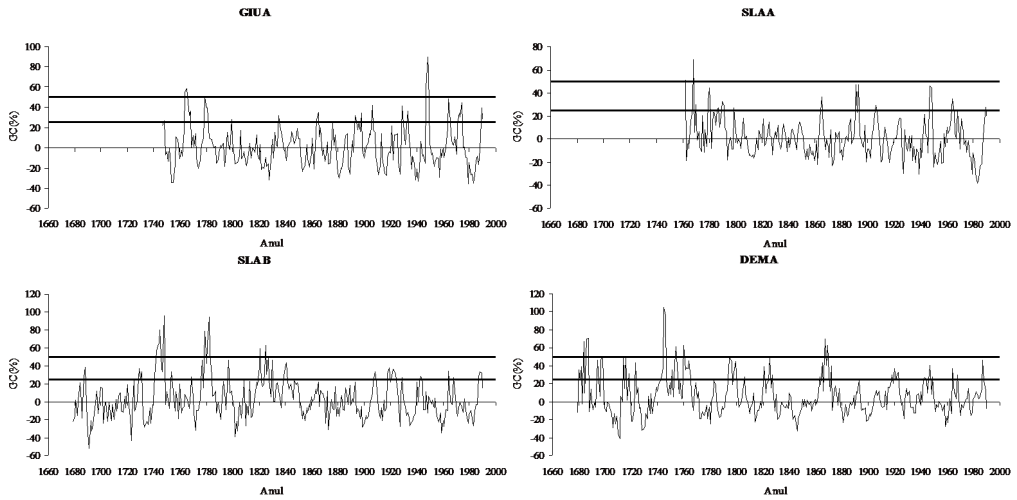


Fig. 6.20. Metoda ratelor de creștere modificată pentru seriile dendrocronologice din bazinul Moldovei
Modified growth rate method for dendrochronological series from Moldova basin

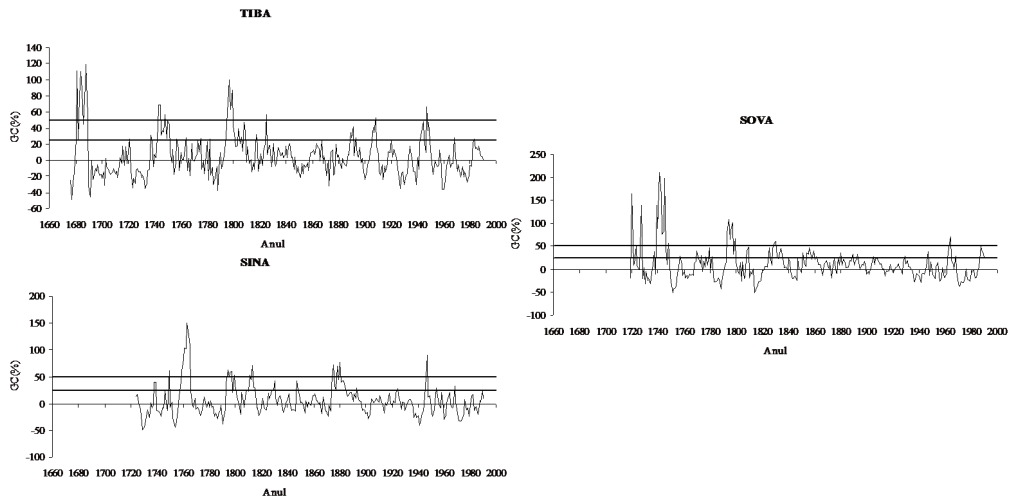


Fig. 6.21. Metoda ratelor de creștere modificată pentru seriile dendrocronologice din Țibleș, Soveja și Sinaia
Modified growth rate method for dendrochronological series from Țibleș, Soveja and Sinaia

la brad. Seriile dendrocronologice din bazinul Moldovei prezintă o frecvență mult mai mare a perturbărilor, fiind identificate aproximativ opt doborâturi majore în decurs de trei secole în cazul seriei din Demacușa, produse la intervale aproximativ egale de 35-40 de ani. În cazul seriei de creștere din Codrul Secular Giumalău

(GIUA) se identifică mai multe astfel de perioade de creștere accentuată bruscă, cea mai evidentă fiind în jurul anilor 1760, când o doborâtură a pus în lumină brusc semințișul de 20-30 de ani existent. Alte perturbări semnificative sunt cele din 1890 și 1947-1948, ultima având drept cauză posibilă o revigorare a creșterii radiale ca urmare a secetei din perioada anterioară. Cea mai veche perturbare clară identificată se remarcă în seria pentru zâmbru (BILD) datează din anul 1730-1735.

În cazul seriei din Soveja se remarcă o singură perturbare majoră în jurul anului 1820-1830, care a modificat semnificativ structura ecosistemului, determinând o creștere accelerată, până la nivelul anului 1900. La Sinaia, evidentă este perturbarea din anul 1875 care determină o modificare a ratelor de creștere radială cu peste 300%. Aceste perturbări sunt, cel mai probabil, de natură antropică.

Abordarea prin metode de dendrocronologie a dinamicii structurale a ecosistemelor forestiere oferă posibilități noi de analiză și interpretare relațiilor factor perturbator - structură - procese auxologice. Tehnicile dendroecologice privind dinamica auxologică, la nivel temporal și spațial, coroborate cu modificările structurale, reprezintă fundamentul metodologic al cercetărilor de reconstituire a evoluției istorice a ecosistemelor și landsaftului forestier.

6.3. Aplicații de dendroclimatologie

Inelul anual oferă informații importante pentru înțelegerea variabilității climatice și a dinamicii istorice a modificărilor climei la nivel mezozonal și general. "Climatul influențează creșterea arborilor!" acest concept general acceptat reprezintă fundamentul cercetărilor de dendroclimatologie (Schweingruber, 1996). Variația creșterii radiale a arborilor poate fi corelată cu variația unuia sau a mai multor parametri climatici, cunoscuți ca fiind determinanți ai proceselor de creștere. Astfel, este posibilă găsirea unei relații statistice între creștere și factorii de mediu, care poate fi utilizată la deducerea sau reconstrucția variațiilor trecute ale parametrilor climatici, în baza variațiilor parametrilor inelului anual. Lățimea inelului anual al arborelui variază de la an la an într-o manieră mai mult sau mai puțin regulată, o mare parte din această variabilitate fiind datorată condițiilor climatice particulare, anterioare și actuale, ale perioadei de creștere activă. Intensitatea relației dintre inelul anual și parametrii climatici depinde de amplitudinea ecologică a speciei, de proximitatea de condiții climatice extreme, de amplitudinea de variabilitate a factorilor care influențează creșterea. Variația caracteristicilor inelului anual poate fi corelată cu variația unuia sau mai multor factori de mediu, cu influență asupra proceselor biologice care contribuie la formarea inelului anual.

Din punct de vedere al dendroclimatologiei variația lățimii inelului anual sau a unui alt parametru al acestuia indusă de factorii climatici este similară cu semnalul dintr-un sistem de comunicație, iar variațiile datorate factorilor non-climatici sunt asimilate cu zgomotul asociat semnalului. Conform acestei similitudini, seriile de

indici de creștere din zonele cu optim climatic pentru specia respectivă au un raport semnal-zgomot redus, în comparație cu seriile dendrocronologice pentru arborii de la limita arealului, care prezintă un ridicat raport semnal-zgomot. Astfel, arborele reprezintă un adevărat fitoclimatograf de mare sensibilitate cu durată de funcționare de ordinul a sute de ani, capabil să înregistreze și să depoziteze informații privind acțiunea factorilor de mediu (Giurgiu, 1977). Analizele de dendroclimatologie au pus în evidență gradientii în raport cu altitudinea (Fritts, 1965; Lingg, 1986; Lara et al., 2001) și latitudinea (Hofgaard et al., 1999). Utilizarea seriilor dendrocronologice a permis reconstituirea variației istorice a climatului în ultimul mileniu pentru diferite regiuni (LaMarche, 1974; Briffa et al., 1991; Schweingruber et al., 1991; Till și Guiot, 1990; Serre-Bachet et al., 1992; Hughes et al., 1994). Rețelele de dendroclimatologie reprezintă suportul analizei variabilității spațio-temporale a climatului, oferind informații esențiale privind modificările climatice (Fritts, 1976, 1991; Schweingruber, 1985, 1988).

În unele situații, este posibilă stabilirea unor relații statistice între creștere și condițiile de mediu, relații care pot fi utilizate pentru deducerea sau reconstituirea variațiilor trecute ale factorilor de mediu, în baza dinamicii creșterilor radiale. Aceste metode statistice de cuantificare a relației climat-creștere se regăsesc sub denumirea de metode de calibrare. În cercetările de paleoclimatologie, calibrarea implică găsirea și cuantificarea unui model statistic care poate fi aplicat la unul sau mai mulți predictorii - variabile dependente - pentru estimarea sau reconstrucția unui predictant - variabila independentă. În cazul seriilor dendrocronologice, variabilele implicate în procesul de calibrare sunt indicii de creștere și parametrii climatici, în special temperaturile și precipitațiile medii lunare. Un set de date (variabile independente și dependente), denumit set de calibrare, este utilizat pentru estimarea coeficienților modelului statistic. Restul datelor, denumit set de verificare, este utilizat pentru estimarea gradului de fiabilitate al modelului.

În cazul în care indicele de creștere este variabila independentă, iar parametrii climatici reprezintă variabilele dependente, modelul statistic este cunoscut ca funcție de răspuns (Fritts, 1976; Guiot et al., 1982; Fritts și Guiot, 1990) (coeficienții modelului descriu modul cum arborele răspunde la factorii climatici). În situația în care indicii de creștere sunt variabile explicative, iar parametrii meteorologici constituie variabila explicată, ecuațiile statistice sunt denumite funcții de transfer (Fritts, 1976; Fritts și Guiot, 1990) (variația creșterilor radiale anuale este transferată în reconstituirea climatului).

În cazul funcțiilor de răspuns, amplitudinea și semnul coeficienților modelului statistic exprimă gradul de importanță și direcția de reacție (răspuns) a arborilor la variația parametrilor climatici utilizați pentru calibrare. În general, semnificația coeficienților funcțiilor de transfer nu este ușor de interpretat, aceștia fiind aplicați la indicii de creștere pentru reconstrucția variației trecute a climatului.

Modelele statistice (funcții de transfer sau de răspuns) nu vor putea include toți factorii determinanți ai creșterii, acestea trebuie să surprindă acele componente ale sistemului esențiale pentru obiectivele urmărite. Procesul de calibrare în dendroclimatologie este fundamentat pe o serie de ipoteze teoretice:

- relația climat-creștere care se modelează este considerată stabilă în timp, iar factorii și procesele care acționează în prezent au acționat și în trecut (Fritts, 1976);
- condițiile climatice din trecut pot fi reconstituite din variația creșterilor anuale numai dacă condițiile din perioada de calibrare sunt similare cu cele din trecut;
- relația din variabilele explicative și cele explicate trebuie să fie similară modelului statistic utilizat, de exemplu pentru o relație funcțională de tip liniar se va apela la un model statistic regresiv liniar;
- testarea semnificației parametrilor statistici ai modelului are la bază ipoteza normalității acestora;
- independența datelor utilizate este esențială pentru majoritatea procedurilor statistice de calibrare; existența dependenței dintre variabile sau a autocorelației dintre observații succesive în timp și spațiu reduce semnificativ numărul gradelor de libertate.

Astfel, seriile de indici de creștere rezultate în urma aplicării metodei dublei standardizări (modelul liniar sau exponențial și modelul funcției spline cubice) prezintă un grad de autocorelație ridicat. Seriile de indici de creștere produse de programul ASTRAN (Holmes et al., 1986; Grissino-Mayer et al., 1996) standard - STD - și seria ARS prezintă, în general, un coeficient de autocorelație de ordinul I superior valorii de 0,300. Seria de indici de creștere reziduală - RES - rezultă în urma aplicării la seria standard a unui model autoregresiv având drept efect eliminarea autocorelației (fig. 6.22.). Acest tip de serie de indici de creștere este fiabil pentru a fi utilizat în procesele de calibrare.

Se observă prezența unor diferențe semnificative dintre seriile cu procese autocorelative semnificative și seria reziduală. Aceste diferențe sunt atât la nivelul unor anumiți ani (GIUA) sau, cum este cazul seriilor din Codrul Secular Slătioara, se mențin pe perioade mai mari (1985-1996). În cazul seriilor de indici de creștere din bazinul Demacușa nu se evidențiază diferențe semnificative între cele trei tipuri de serii dendrocronologice.

Alegerea unor modele statistice fiabile pune probleme deosebite, fiind necesară cuantificarea matematică a relațiilor sistem biologic-factori de mediu. Identificarea parametrilor climatici determinanți ai procesului de creștere radială presupune cunoașterea proceselor fiziologice de creștere, verificarea acestor ipoteze realizându-se fie prin metode de analiză grafică comparativă, fie prin metode statistice de analiză a corelației.

În vederea exemplificării aplicabilității metodelor de cercetare dendroclimato-

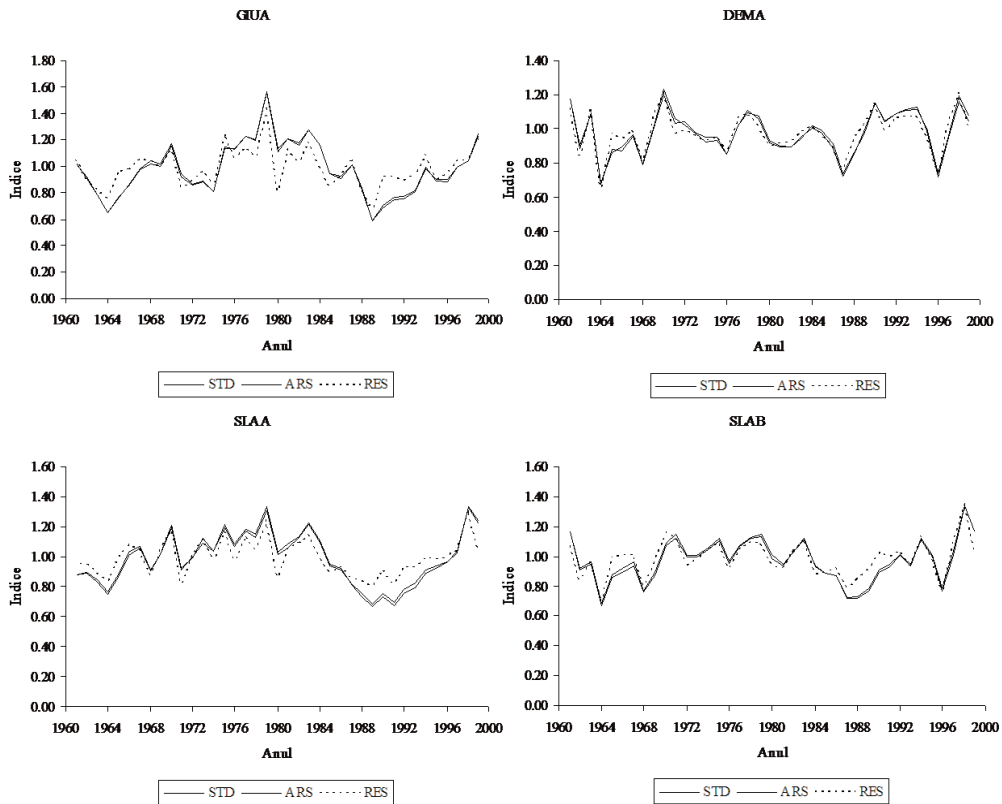


Fig. 6.22. Analiza comparativă a tipurilor de serii dendrocronologice generate de ASTRAN
Comparative analysis of dendrochronological type series generated by ASTRAN

logică în studiul ecosistemelor forestiere, s-au utilizat datele climatice de la stația meteorologică Câmpulung Moldovenesc situată în centrul zonei de studiu, din perioada 1961-2000, caracterizată de o temperatură medie multianuală de $6,6^{\circ}\text{C}$ și un nivel anual al precipitațiilor de 711 mm. Serii dendrocronologice utilizate pentru calibrare și verificare sunt cele din Codrul Secular Giumalău (GIUA - molid), Codrul Secular Slătioara (SLAA - molid, SLAB - brad) și bazinul Demacușa (DEMA - brad), situate în apropierea stației meteorologice.

6.3.1. Analiza relației climat-arbore prin intermediul funcțiilor de răspuns

Analiza grafică comparativă a dinamicii parametrilor climatici și a indicilor de creștere permite identificarea tipului de relație dintre creștere și climat, a intensității și a modului de reacție a arborilor la modificări ale macroclimatului. O astfel de analiză sintetică s-a realizat pentru molid și brad, în cazul seriilor din Codrul Secular Slătioara (fig. 6.23.).

Din diagramele prezentate se observă prezența unei similarități în dinamica în timp a parametrilor climatici și seriile de indici de creștere. Astfel, mersul anual al temperaturilor din lunile de repaus vegetativ și de la începutul sezonului de vegetație au același ritm de variație, sub raportul direcțiilor de variație, ca și indicii de

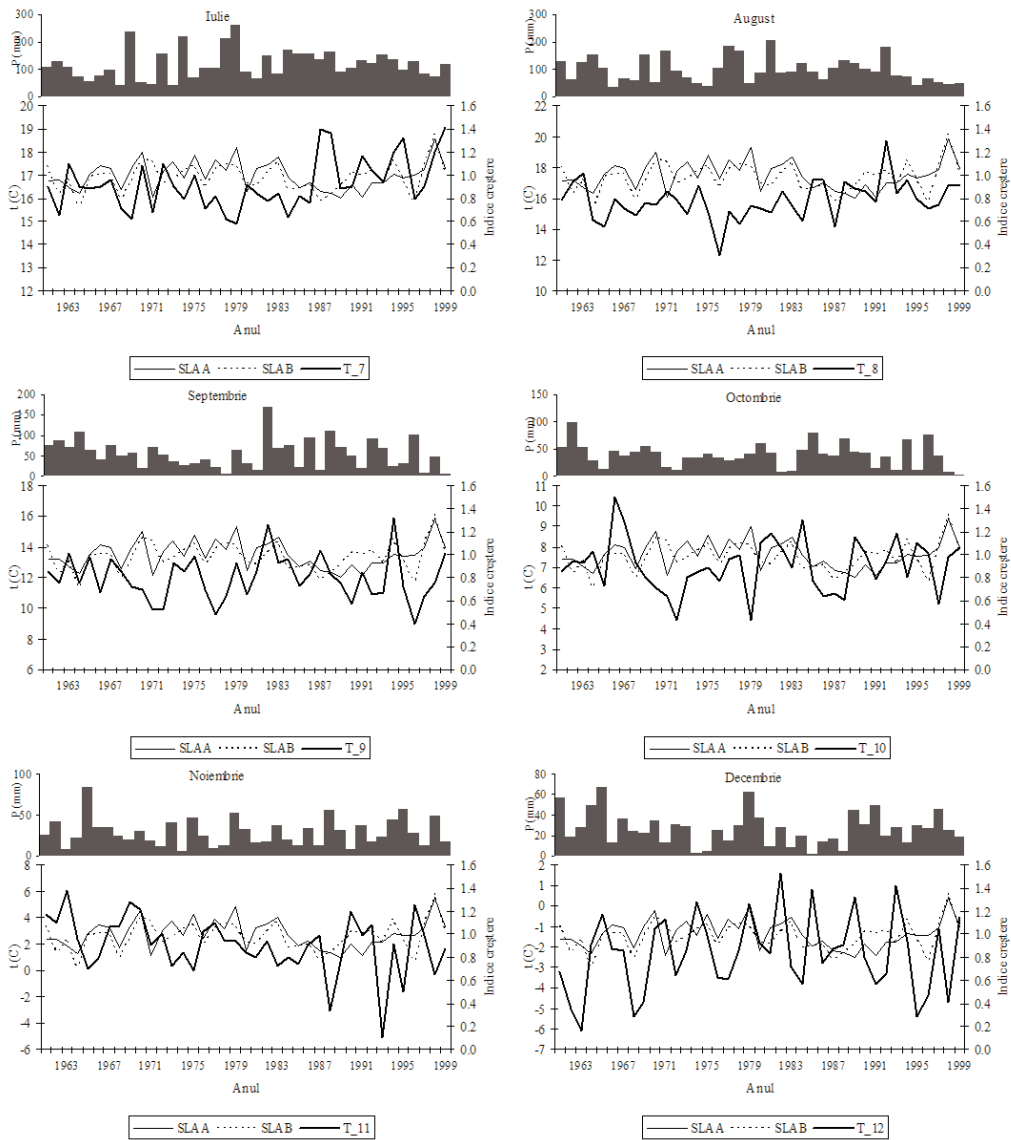


Fig. 6.23. Analiza grafică comparativă a seriilor dendrocronologice din Codrul Secular Slătioara și parametrii meteorologici de la stația meteo Câmpulung Moldovenesc
 Comparative graphic analysis of dendrochronological series from Codrul Secular Slătioara and meteorological parameters from weather station Câmpulung Moldovenesc

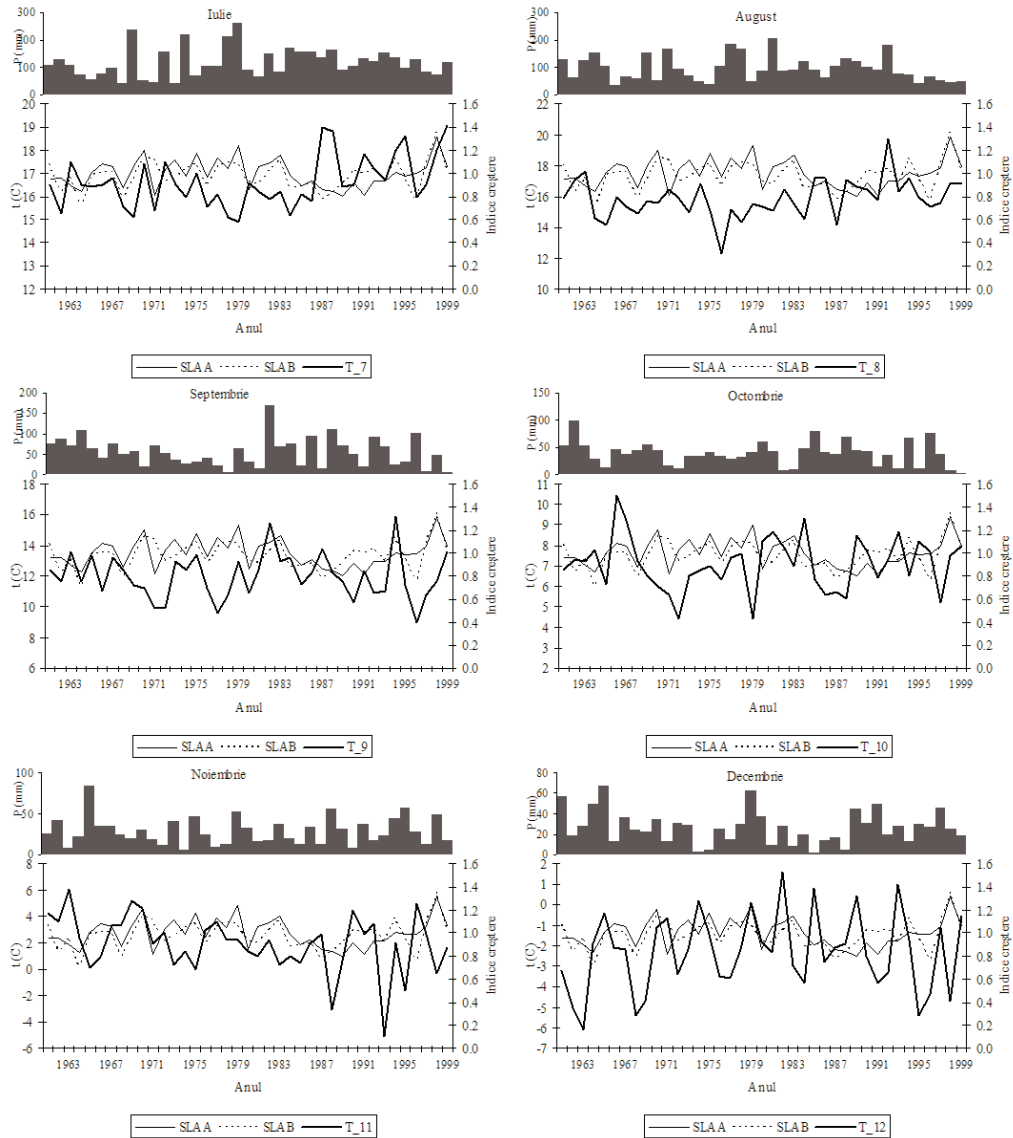


Fig. 6.23. (continuare) Analiza grafică comparativă a seriilor dendrocronologice din Codrul Secular Slătioara și parametrii meteorologici de la stația Câmpulung Moldovenesc
Comparative graphic analysis of dendrochronological series from Codrul Secular Slătioara and meteorological parameters from weather station Câmpulung Moldovenesc

creștere. Ceea ce diferă este însă amplitudinea modificărilor de la an la an, schimbări semnificative ale regimului temperaturilor sau precipitațiilor neavând întotdeauna un efect similar asupra ritmurilor de creștere radială. Dacă la începutul sezonului de vegetație corelația dintre temperaturi și indicii de creștere este pozitivă, în lunile de vară dinamica indicilor de creștere este invers proporțională cu

regimul termic.

Analiza statistică a gradului de asociere a indicilor de creștere și a parametrilor climatici oferă o cuantificare și fundamentare matematică a corelației. Unul dintre cele mai simple proceduri neparametrice de măsurare a gradului de similaritate dintre două serii de timp este testul semnelor (Fritts, 1976). Acesta presupune numărarea potrivirilor și nepotrivirilor dintre direcțiile de schimbare în lățimea inelului anual și factorul climatic analizat, prin această metodă nefiind luată în calcul amplitudinea modificărilor. Metoda analizei corelației, liniară sau neliniară, este cea mai uzitată tehnică de analiză statistică a gradului de asociere dintre creștere și factorii climatici (Fritts, 1976; Schweingruber, 1996). Coeficientul de corelație măsoară varianța relativă (covarianța) care este comună în cele două seturi de date. Acesta reflectă întreg spectrul de variație a seriilor de indici, incluzând atât semnalul de joasă frecvență cât și cel de înaltă frecvență.

Alegerea “a priori” a perioadei de timp precum și a factorilor meteorologici cu influență asupra proceselor de creștere radială depinde de particularitățile regiunii ecologice, a speciilor analizate, a datelor disponibile etc. În ceea ce privește perioada de analiză, majoritatea cercetătorilor au ajuns la concluzia că sezonul de vegetație actual și cel precedent oferă suficiente informații privind influența factorilor climatici asupra creșterii. Includerea în analiză a doua sau mai multe sezoane de vegetație anterioare (Becker et al., 1995) nu are, în general, o explicație biologică concludentă. Din punct de vedere al factorilor de mediu, pe lângă parametrii meteorologici clasici - temperaturi și precipitații lunare sau combinații ale acestora - pot fi utilizate date privind disponibilitatea resurselor de apă din sol, gradul de insolație, temperaturi minime, maxime, suma zilelor cu anumite temperaturi etc.

Analiza indicatorilor statistici clasici și specifici seriilor dendrocronologice permite obținerea unor informații privind gradul de omogenitate al reacției arborilor din cadrul seriilor dendrocronologice la variația climatului general și local (tabel

Tabelul 6.3. Parametrii statistici ai seriilor dendrocronologice
Statistical parameters of the dendrochronological series

Parametru	Molid		Brad	
	GIUA	SLAA	SLAB	DEMA
Cod serie dendrocronologică				
Sensibilitate medie	0.15	0.14	0.16	0.11
Abaterea standard	0.14	0.12	0.15	0.10
Autocorelația de ordinul I	0.06	0.01	-0.01	0.01
Intervalul comun analizat	1824-2000	1847-2000	1848-2000	1850-2001
Corelația medie între toate carotele	0.415	0.298	0.351	0.252
Corelația medie între arbori	0.410	0.292	0.344	0.243
Corelația medie între carotele din același arbore	0.561	0.508	0.561	0.508
Corelația medie carote vs. Serie	0.657	0.561	0.602	0.511
Raportul semnal/zgomot	11.13	7.41	7.86	5.14
Varianța în prima componentă principală	43.68	32.78	38.61	30.65
Procentul semnalul comun	0.92	0.88	0.89	0.83

6.3.).

Statisticile descriptive indică o variabilitate comună, expresie a semnalului climatic, cuprinsă în prima componentă principală, similară pentru toate seriile dendrocronologice variind între 30 și 43%. Toate seriile dendrocronologice prezintă o sensibilitate medie și abatere standard relativ redusă, cuprinsă între 0,11 (DEMA) și 0,16 (SLAB), neobservându-se o diferențiere între specii din acest punct de vedere. Ambele specii au un ansamblu similar al coeficienților de corelație, legătura corelativă dintre carote și seria dendrocronologică medie având valori între 0,511 (DEMA) și 0,657 (GIUA). Ipotezele formulate din analiza grafică a seriilor de timp privind indici de creștere și parametri climatici (temperaturi, precipitații) sunt confirmate și cuantificate prin analiza corelației și a semnificației coeficienților de corelație (fig. 6.24.).

În cazul molidului, respectiv pentru seriile dendrocronologice GIUA și SLAA, se remarcă o corelație negativă, semnificativă, cu temperaturile de la sfârșitul sezonului de vegetație anterior (iulie, august, septembrie) și pozitivă cu precipitațiile din această perioadă. Același tip de reacție privind sezonul de vegetație anterior este prezentă și în cazul bradului, dar de intensitate mai mică. Fiziologic explicația poate fi dată de procesele de formare a mugurilor și a acumulărilor de substanțe

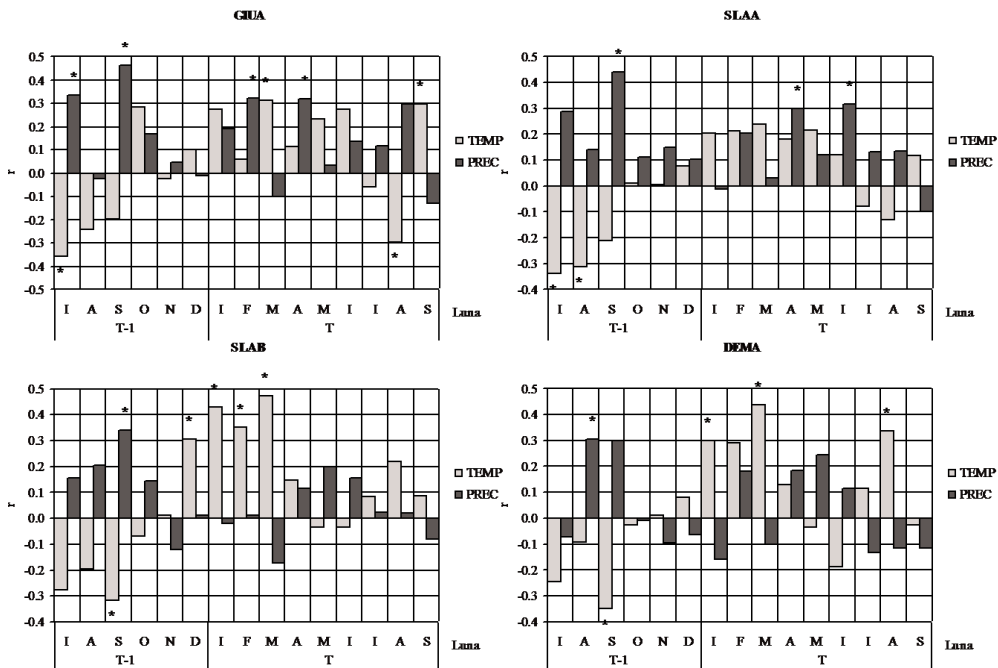


Fig. 6.24. Corelațiile dintre seriile dendrocronologice și parametrii meteorologici
Correlations between dendrochronological series and meteorological parameters

nutritive necesare declanșării proceselor fiziologice din sezonul următor. În ceea ce privește sezonul de vegetație actual, molidul prezintă o reacție pozitivă, semnificativă (GIUA - februarie, aprilie, SLAA - aprilie, iulie) la regimul precipitațiilor. Regimul termic de la sfârșitul sezonului de repaus vegetativ și de la începutul sezonului de vegetație, lunile ianuarie - iunie, induce un răspuns pozitiv din partea molidului. Răspunsul molidului la modificarea regimului termic din sezonul de vegetație (lunile iulie-august) este negativ, temperaturile ridicate determinând direct și indirect o reducere a ritmului de creștere în diametru. În cazul seriei dendrocronologice din Codrul Secular Giupalău (GIUA) temperatura din luna august este negativ și semnificativ corelată cu indicele de creștere. Sfârșitul sezonului de vegetație, respectiv luna septembrie, are o influență pozitivă asupra creșterii sub aspectul regimului termic, reacția fiind negativă la regimul pluviometric.

În cazul bradului se menține reacția pozitivă, chiar foarte puternică și semnificativă în cazul seriei de indici de creștere din Slătioara (SLAB), la temperaturile din sezonul rece (lunile decembrie-martie). Același răspuns pozitiv este sesizabil și în cazul temperaturilor din sezonul de vegetație (iulie-august), pentru seria de indici din bazinul Demacușa, corelația fiind semnificativă în cazul temperaturii din luna august. Precipitațiile de la începutul sezonului de vegetație (aprilie-iunie) determină o accelerare a ritmului de creștere radială, dar corelația este nesemnificativă din punct de vedere statistic.

Este posibil ca utilizarea unor indicatori compuși, respectiv sume sau medii ale temperaturilor, respectiv precipitațiilor, pe perioade de vegetație, început de sezon vegetativ, sfârșit de sezon etc., integrat cu alți factori de creștere să ofere explicații concludente privind dinamica creșterilor radiale. Cercetările complexe de fiziologie a creșterii au arătat că rareori procesul de formare a inelului anual este determinat de un singur factor limitativ, variația caracteristicilor inelului anual fiind rezultanta acțiunii conjugate și integrate a mai multor factori de mediu (Fritts, 1976). Bineînțeles, unul dintre factorii de mediu limitativi este predominant, dar și acțiunea acestuia variază în cursul anului, atât ca intensitate cât și ca importanță. Relația creștere-climat este, cel mai bine, reprezentată de un sistem complex cu diferite variabile incluse într-o relație funcțională. Abordarea logică a procesului de calibrare constă în includerea tuturor parametrilor climatici ca explicativi ai creșterii și utilizarea unor tehnici statistice specifice în stabilirea importanței fiecărei variabile.

Expresia generală a funcțiilor de răspuns este de tipul (Fritts, 1976; Briffa și

$$W_i = \sum_{j=1}^J a_j T_{ij} + \sum_{k=1}^K b_k P_{ik} + \sum_{l=1}^T c_l C_{il} + \sum_{l=-m}^{-1} d_l W_l \quad (6.4.)$$

Cook, 1990):

unde: W_i reprezintă indicele de creștere al inelului anual din anul i , cu i de la 1

la N ani ai perioadei de calibrare;

- T_{ij} - temperatura lunară medie corespunzătoare anului i , j numărul de luni;
 P_{ik} - precipitațiile medii lunare corespunzătoare anului i , k numărul de luni;
 C_{it} - al parametrul climatic corespunzător anului i , t număr de luni;
 W_1 - indicele inelului anual din anul l precedent anului i ;
 a_j, b_k, c_t, d_l - coeficienții modelului statistic.

Calibrarea acestui model statistic general de răspuns al arborelui la modificările factorilor climatici necesită utilizarea unor tehnici de analiză multivariabilă a datelor din domeniul metodelor regresive. Regresia multiplă utilizează proceduri statistice specifice finalizând prin obținerea unei ecuații exprimând efectul relativ al fiecărei variabile din model asupra indicilor de creștere (StatSoft, 2003). Ipoteza de la care se pleacă în cazul regresiei multiple liniare este liniaritatea relației dintre variabila explicată și variabilele explicative, precum și distribuția normală a setului de date utilizate la calibrare. Numărul mare de variabile incluse în model fac dificilă decelarea influențelor diferiților factori climatici. Metoda regresiei multiple în trepte determină o reducere a numărului de variabile explicative, a intercorelației dintre acestea, selectând un subset de variabile puternic corelate cu variabila explicată, fără intercorelații. Procedura statistică de calcul a regresiei multiple în trepte începe cu calculul corelațiilor simple între variabila explicată și variabilele explicative, precum și a intercorelațiilor dintre acestea. Metoda, în mod progresiv, prin includerea sau excluderea unor variabile independente (conform unor criterii statistice clare), îmbunătățește ecuația de regresie în acord cu reducerea erorii medii pătratice. Variantele de analiză statistică în trepte, respectiv regresia multiplă în trepte înainte sau regresia multiplă în trepte înapoi, oferă instrumente eficiente de calibrare a relației creștere - climat, prin intermediul funcțiilor de răspuns.

Aplicând această metodă de calibrare la seriile dendrocronologice pentru molid și brad din jurul stației meteorologice Câmpulung Moldovenesc, incluzând inițial în model 30 de parametri climatici (15 temperaturi medii lunare, 15 precipitații lunare), din iulie anul anterior până în septembrie anul curent, s-au obținut funcțiile de răspuns de mai jos:

$$\begin{aligned} \text{GIUA} \quad W_t = & 1,7809 - 0,0821 \cdot T_{7-1} + 0,0305 \cdot T_1 + 0,0263 \cdot T_5 + 0,0357 \cdot T_6 - 0,0316 \cdot T_8 \\ & + 0,0090 \cdot P_{7-1} + 0,0090 \cdot P_{9-1} + 0,0017 \cdot P_{11-1} + 0,031 \cdot P_1 + 0,0011 \cdot P_9 \quad R^2=0,798 \end{aligned} \quad (6.5.)$$

$$\begin{aligned} \text{SLAA} \quad W_t = & 1,8482 - 0,0588 \cdot T_{7-1} + 0,0158 \cdot T_1 \\ & + 0,0006 \cdot P_{7-1} + 0,0011 \cdot P_{9-1} + 0,0023 \cdot P_{11-1} \quad R^2=0,477 \end{aligned}$$

Pentru molid:

$$\begin{aligned} \text{SLAB} \quad W_t = & 2,2660 - 0,0548 \cdot T_{7-1} - 0,0208 \cdot T_{9-1} + 0,0218 \cdot T_1 + 0,0115 \cdot T_2 \\ & \quad R^2=0,503 \end{aligned} \quad (6.6.)$$

$$\text{DEMA} \quad W_t = 0,2611 + 0,0205 \cdot T_3 + 0,0343 \cdot T_8 + 0,0008 \cdot P_{8-1} + 0,0009 \cdot P_5 \quad R^2=0,434$$

Pentru brad:

Modele statistice calibrate prin regresia liniară multiplă în trepte permit evidențierea factorilor climatici cu influență asupra creșterii radiale. Astfel, temperaturile din lunile ianuarie, mai și iunie determină un răspuns pozitiv din partea molidului din Giumalău, spre deosebire de cele din luna iulie anul anterior și august anul curent, care induc o reacție negativă. Precipitațiile au un efect pozitiv asupra proceselor de creștere atât la molid cât și la brad, lunile cu influență semnificativă statistic, fiind însă diferite. Utilizând aceste modele climatice ale funcțiilor de răspuns s-au estimat indicii de creștere pentru perioada 1961-1999 (fig. 6.25.)

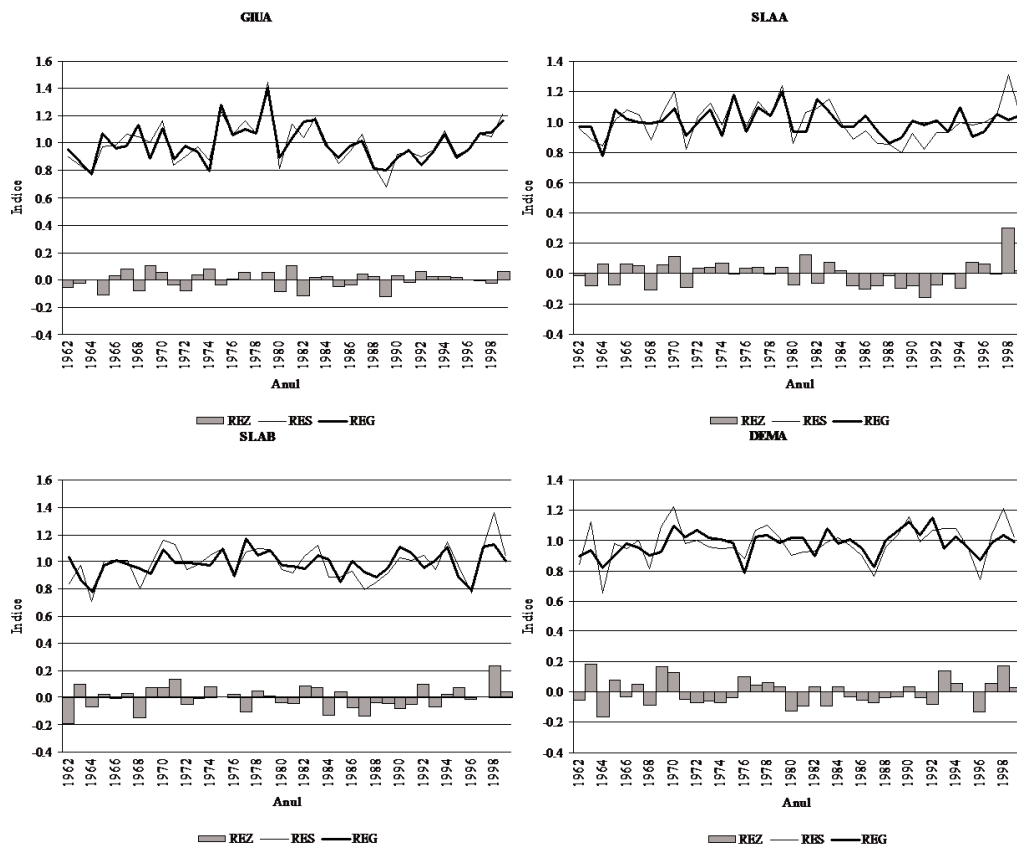


Fig. 6.25. Indici de creștere reali și estimați prin funcțiile de răspuns (REZ - erori reziduale, RES - indici reali, REG - indici estimați)

Real and estimated growth index by response function (REZ - residual errors, RES - real index, REG - estimated index)

Analiza comparativă a seriilor de indici de creștere reali și cei estimați prin modelele statistice indică o foarte bună fiabilitate a funcțiilor de răspuns. Distribuția erorilor reziduale este aleatoare, excepție făcând perioada 1985 - 1992 în cazul seriilor dendrocronologice din Slătioara (molid și brad) și Demacușa când modelul statistic supraestimează sistematic indicii de creștere. Explicația poate fi găsită în prezența unui semnal perturbator cu manifestare intensă în această perioadă, ipoteza care se emite fiind prezența unor fenomene de poluare intensă. Această manifestare este foarte evidentă mai ales în cazul molidului din Codrul Secular Slătioara - SLAA.

Această formă a funcțiilor de răspuns oferă o măsură limitată a efectului climatului asupra creșterii arborilor. A considera că numai parametri climatici testați drept semnificativi în cadrul modelului regresiv multiplu sunt determinanți ai indicelui de creștere, iar restul nu au o influență semnificativă, reprezintă o abordare simplistă. De asemenea, fiabilitatea modelului climatic estimat prin metoda regresiei multiple este afectată de lungimea perioadei analizate, de numărul de variabile incluse în model, de coliniaritatea dintre variabilele independente, de distanța față de stația meteorologică, de variabilitatea răspunsului de la un arbore la altul și de erorile de măsurare (Fritts, 1976; Guiot et al., 1982). În cazul în care variabilele explicative, respectiv parametri climatici, sunt corelați între ei, apar probleme de ordin procedural în cuantificarea coeficienților modelului statistic regresiv. Aceste neajunsuri metodologice pot fi eliminate prin transformarea variabilelor independente într-un set de variabile ortogonale, respectiv necorelate numite componente principale.

Modelul regresiv multiplu în trepte, model clasic de estimare a funcțiilor de răspuns a fost modificat (Fritts, 1976) aplicând analiza regresiei multiple după extragerea componentelor principale din matricea de corelații a variabilelor climatice și a indicilor de creștere din perioadele precedente. Variabilele normalizate sunt înmulțite cu ponderea componentelor principale obținându-se factorii principali care constituie un model ortogonal, cu autocorelații minime, ale factorilor climatici și creșterilor anterioare inițiale. Coeficienții regresiei obținute pentru setul de componente principale selectate în procesul regresiei multiple în trepte, sunt transformați matematic într-un set nou de coeficienți corespunzători variabilelor explicative inițiale.

O parte dintre componentele principale explică foarte puțin din varianța acestea fiind excluse din analiză utilizând criteriul PVP (Guiot, 1985, 1991). Coeficientul de determinare multiplu indică gradul în care variabilitatea cronologiei actuale este explicată prin parametri climatici din model. Semnificația coeficienților funcțiilor de transfer este adeseori supraestimată datorită corelației dintre factorii climatici și creșterile anterioare.

Metoda bootstrap este o tehnică recentă de estimare a erorii standard a estimatorilor statistici bazată pe repetiția calculelor de k ori pe seturi de n date extrase ran-

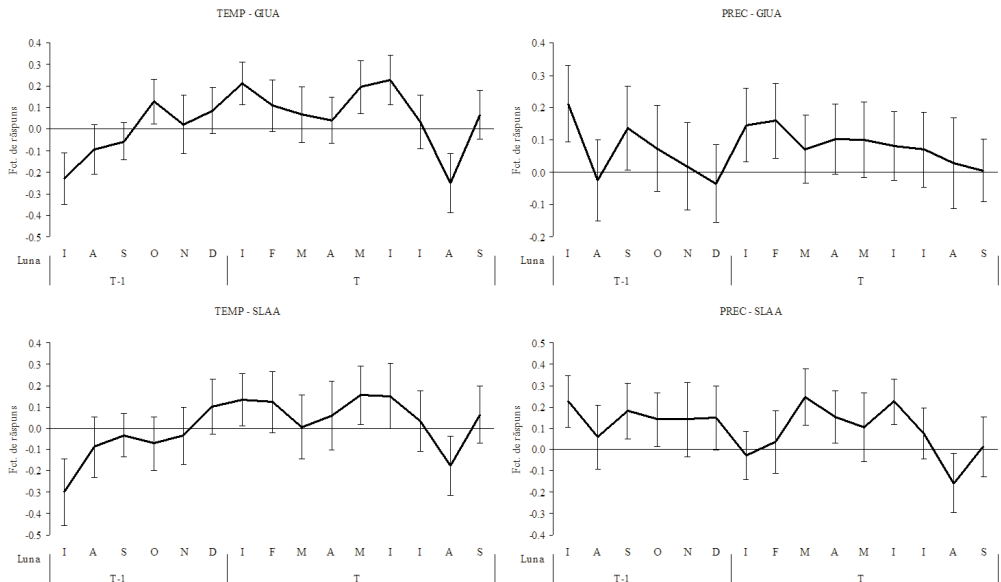


Fig. 6.26. Funcțiile de răspuns pentru molid calibrate prin metoda regresiei multiple și extragerea componentelor principale
 Response function for Norway spruce calibrated by multiple regression and principal component methods

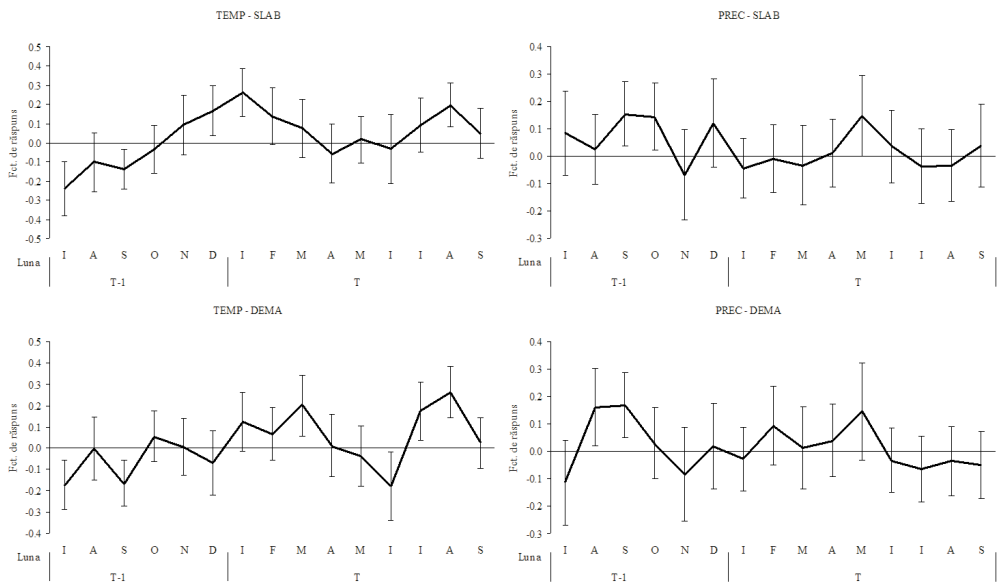


Fig. 6.27. Funcțiile de răspuns pentru brad calibrate prin metoda regresiei multiple și extragerea componentelor principale
 Response function for Silver fir calibrated by multiple regression and principal component methods

domizat din setul complet de date. Aplicarea acestei metode permite estimarea erorii standard pentru fiecare coeficient de regresie prin repetiția cuantificării modelului de un număr suficient de mare de ori, luând în calcul, în mod randomizat, un număr k de ani dintr-un total de $k+j$ ani, j reprezentând anii de verificare a modelului. Astfel de obțin k coeficienți de regresie pentru fiecare variabilă, media lor reprezentând valorile finale. Această tehnică de estimare a erorii standard a funcțiilor de răspuns a fost aplicată cu programul PRECON v.5.1 (Fritts, 2003) (fig. 6.26., 6.27.).

Metoda regresiei multiple combinată cu extragerea componentelor principale permite estimarea coeficienților modelului statistic al funcțiilor de transfer precum și eroarea standard a acestora. Structura generală a modelului statistic obținut prin analiza corelației și a regresiei multiple în trepte este confirmată. Reacția molidului și a bradului la regimul termic este în ansamblu similară. Influența negativă a temperaturilor din lunile iulie-septembrie anul anterior este evidentă la toate seriile dendrocronologice. Temperaturile medii lunare din sezonul rece induc o reacție pozitivă din partea arborilor, lucru evident mai ales la brad. La începutul sezonului de vegetație (lunile martie-mai) molidul reacționează favorabil la creșterea temperaturii, bradul având o reacție negativă sau indiferentă, nesemnificativă statistic.

Interesant este comportamentul antagonist al molidului și bradului în cazul regimului termic din lunile iulie-august. Ambele specii prezintă o reacție semnificativă statistic la acest factor climatic, dar de sens invers. Molidul își reduce creșterea, exprimată prin indici de creștere, pe când bradul înregistrează o accelerare a proceselor biologice de acumulare de biomasă în inelul anual. Utilizând modelul statistic reprezentat de funcțiile de răspuns s-a procedat la estimarea indicilor de creștere, pentru perioada 1961-1999, pentru fiecare dintre seriile dendrocronologice. Repartiția erorilor este aleatoare, acestea fiind nesemnificative statistic, excepție făcând perioada 1983-1990 în cazul seriei de molid, respectiv brad din Slătioara, pentru care scăderea ritmului de creștere nu poate fi explicată integral de către climat. (fig. 6.28.)

Creșterea radială sezonieră prezintă variații de ritm determinate de oscilațiile termice (în prima etapă a formării inelului anual), respectiv de variații ale regimului pluviometric care modifică rezerva de apă din sol (în a doua etapă a reactivării creșterii) (Popescu-Zeletin et al., 1962, citat de Parascan și Danciu, 2001). La începerea sezonului de vegetație (lunile martie-mai), molidul reacționează favorabil la creșterea temperaturii, bradul având o reacție negativă sau indiferentă, nesemnificativă statistic. Reacții similare, la regimul termic din primăvară, se înregistrează și în Alpi la brad și molid (Lingg, 1986). Studiile dendroclimatologice la molidul din Lituania indică o reacție pozitivă la temperatura din aprilie și negativă la regimul termic din iulie și august (Vitas, 1998). Regimul pluviometric din iunie are o influență pozitivă, semnificativă, spre deosebire de cel din ianuarie-martie,

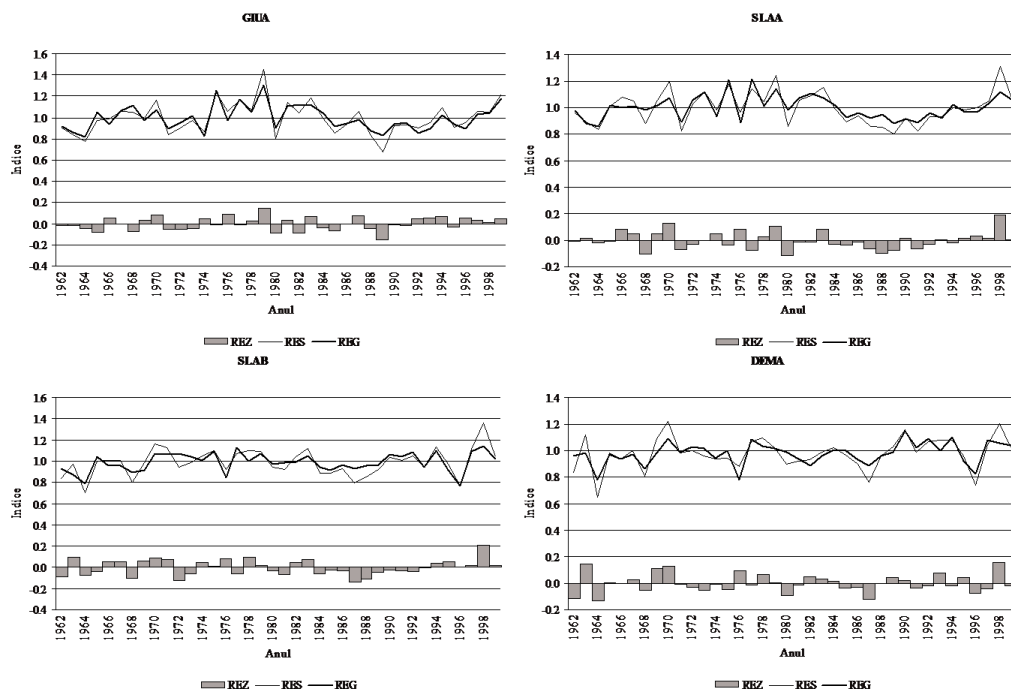


Fig. 6.28. Indici de creștere reali și estimați prin funcțiile de răspuns (REZ - erori reziduale, RES - indici reali, REG - indici estimați)
 Real and estimated growth index by response function (REZ -residual errors, RES - real index, REG - estimated index)

respectiv septembrie-decembrie care determină o reacție auxologică negativă din partea molidului (Vitas, 1998). Temperaturile din sezonul de vegetație (iunie-august) determină o reacție negativă la molidul din zona Hamburg, influență pozitivă având precipitațiile din această perioadă (Eckstein și Krause, 1989). În zona de la limita altitudinală a vegetației, temperatura reprezintă factorul cu influență dominantă asupra creșterii radiale, semnificativ fiind regimul termic din toamna precedentă formării inelului anual și din perioada mai-august a anul curent (Eckstein și Aniol, 1981). În cazul seriilor dendrocronologice analizate, răspunsul molidului la modificarea regimului termic din sezonul de vegetație (lunile iulie-august) este negativ, temperaturile ridicate determinând o reducere a ritmului de creștere în diametru. În cazul seriei dendrocronologice din Codrul Secular Giumalău (GIUA) temperatura din luna august este negativ și semnificativ corelată cu indicele de creștere. Interesant este comportamentul antagonist al molidului și bradului în cazul regimului termic din lunile iulie-august. Ambele specii prezintă o reacție semnificativă statistic la acest factor climatic, dar de sens invers. Molidul își reduce creșterea, exprimată prin indici de creștere, pe când bradul înregistrează o accelerare a proceselor biologice de acumulare de biomasă în inelul anual, demons-

trând caracterul termofil al bradului. În Alpii francezi se constată o reacție pozitivă a molidului la precipitațiile din mai-iulie, respectiv mai la brad, iar regimul termic din sezonul de vegetație anterior induce o reacție negativă, semnificativă atât pentru brad, cât și pentru molid (Desplanque et al., 1998). În cazul bradului se menține reacția pozitivă, chiar foarte puternică și semnificativă în cazul seriei de indici de creștere din Slătioara (SLAB), la temperaturile din sezonul rece (lunile decembrie-martie). Același răspuns pozitiv este vizibil și în cazul temperaturilor din sezonul de vegetație (iulie-august), pentru seria de indici din bazinul Demacuşa corelația fiind semnificativă în cazul temperaturii din luna august. Sfârșitul sezonului de vegetație, respectiv luna septembrie, are o influență pozitivă asupra creșterii, determinând o prelungire a perioadei de acumulare de biomasă, sub aspectul regimului termic, reacția fiind negativă la regimul pluviometric.

Sub raport pluviometric, sezonul de vegetație anterior are, în general, o influență pozitivă, semnificative statistic fiind precipitațiile din lunile iulie-septembrie anul precedent. În ceea ce privește sezonul de vegetație actual, molidul prezintă o reacție pozitivă, semnificativă (GIUA - februarie, aprilie, SLAA - aprilie, iulie) la regimul precipitațiilor. Precipitațiile de la începutul sezonului de vegetație (aprilie-iunie) determină o accelerare a ritmului de creștere radială, dar corelația este ne semnificativă din punct de vedere statistic. Corelații similare au fost identificate la serile dendrocronologice de brad din Bucegi (Iacob, 1998). Se remarcă un comportament diferit la precipitațiile din luna august la molidul din Codrul Secular Giumalău față de cel din Slătioara, bradul având o reacție auxologică la regimul pluviometric similară în cazul ambelor serii dendrocronologice.

Aplicarea tehnicilor de dendroclimatologie la analiza reacției molidului și bradului la oscilațiile regimului termic și pluviometric a permis evidențierea stabilirea unor modele auxologice cu suport climatic semnificative din punct de vedere statistic.

6.3.2. Analiza relației climat-arbore prin intermediul funcțiilor de transfer

Reconstituirea variabilității istorice a parametrilor climatici reprezintă una dintre provocările dendroclimatologiei actuale. O abordare tipică a dendroclimatologiei constă în identificarea parametrului climatic căruia îi corespunde variația lățimii inelului anual din trecut. Utilizarea funcțiilor de transfer în reconstituirea climatului pornește de la următoarele ipoteze: (1) relația climat-arbore modelată se consideră stabilă în timp; (2) reconstituirea condițiilor din trecut pornind de la seriile dendrocronologice se bazează pe considerarea existenței unei analogii între perioada de calibrare și cea de reconstituire; (3) relațiile dintre pedictori și predictanți sunt considerate stabile în timp.

Funcțiile de transfer se obțin într-o manieră similară funcțiilor de răspuns, deose-

birea fiind dată de utilizarea indicilor de creștere drept variabile independente și a parametrilor climatici drept variabile dependente. Pornind de la aceste considerente, s-a procedat la analiza și reconstituirea variației trecute a unor parametri climatici de la stația Câmpulung Moldovenesc. Perioada de calibrare este cuprinsă între 1961-1980, iar cea de verificare cuprinsă între 1981-1999. S-au ales aceste perioade datorită stabilității mai mari a perioadei anterioare anilor 1980 sub raportul influențelor antropice de tipul poluării atmosferice în zona cercetată.

Pentru calibrarea funcțiilor de transfer se pot utiliza atât serii dendrocronologice singulare, cât și componentele principale extrase din mai multe serii de indici de creștere. Se vor prezenta comparativ modelele statistice de reconstituire a unor parametri meteorologici din zona Câmpulung Moldovenesc cuantificate atât în baza seriilor dendrocronologice pentru molid (GIUA, SLAA), brad (SLAB și DEMA) cât și utilizând componentele principale extrase din combinația acestor serii.

Prin analiza corelației dintre temperaturile medii lunare și seriile de indici de creștere sau componente principale (fig. 6.29.) se pot deduce acele componente ale regimului termic anual posibil a fi reconstituite prin intermediul creșterii arborilor. Se observă o corelație puternică și semnificativă între temperatura lunii martie și creșterea din anul curent pentru toate seriile de indici de creștere. De asemenea,

$$\begin{aligned}
 T_{-3}(t) &= -7,50 + 8,07 \cdot GIUA(t) \quad R^2 = 0,394 \\
 T_{-3}(t) &= -8,81 + 9,31 \cdot SLAA(t) \quad R^2 = 0,293 \\
 T_{-3}(t) &= -9,70 + 10,40 \cdot SLAB(t) \quad R^2 = 0,322 \\
 T_{-3}(t) &= -4,96 + 5,72 \cdot DEMA(t) \quad R^2 = 0,124
 \end{aligned}
 \tag{6.7.}$$

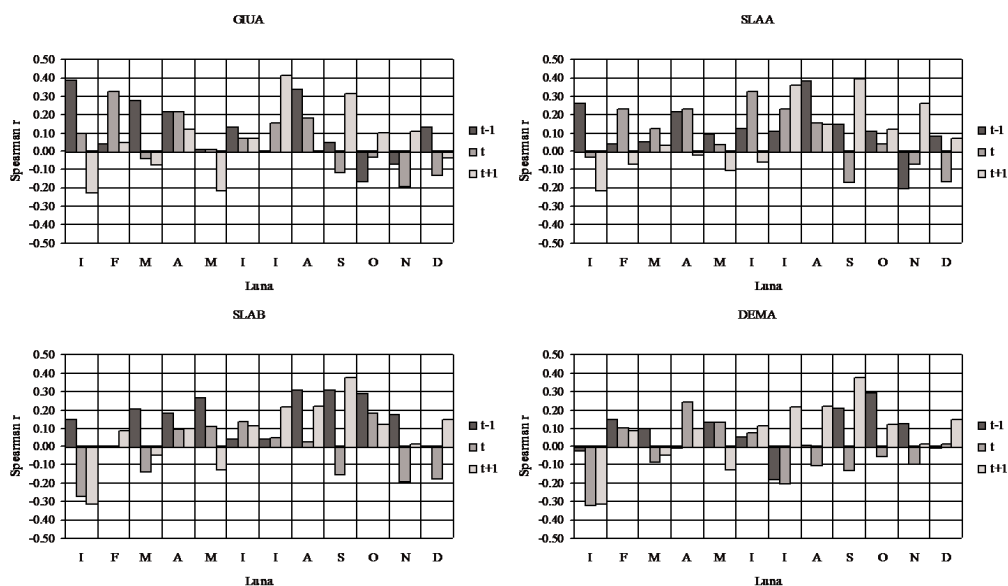


Fig. 6.29. Corelațiile neparametrice dintre temperaturile medii lunare și indici de creștere
Nonparametric correlations between average temperature and growth index

$$\begin{aligned}
 T_{-9}(t) &= 14,01 - 2,18 \cdot GIUA(t+1) \quad R^2 = 0,085 \\
 T_{-9}(t) &= 16,21 - 4,32 \cdot SLAA(t+1) \quad R^2 = 0,180 \\
 T_{-9}(t) &= 16,93 - 5,21 \cdot SLAB(t+1) \quad R^2 = 0,226 \\
 T_{-9}(t) &= 17,23 - 5,61 \cdot DEMA(t+1) \quad R^2 = 0,315
 \end{aligned}
 \tag{6.8.}$$

putem evidenția corelația semnificativă negativă dintre indicele de creștere din anul următor și temperatura lunii septembrie. Pentru acești doi parametri termici s-au calibrat funcțiile de transfer, în baza cărora s-a procedat la reconstituirea dinamicii istorice în ultimii 300 de ani. Modelele statistice de transfer a indicilor de creștere în variație a temperaturilor din lunile martie și septembrie sunt următoarele:

Analiza grafică indică o bună concordanță între temperaturile reale și cele estimate pentru perioada de calibrare și verificare. Funcțiile de transfer calibrate în baza indicilor de creștere de la brad sunt mult mai precise, coeficienții de corelație între temperaturile reale și cele estimate prin model, pentru perioada de verificare 1981-1999, sunt de 0,439 - SLAB și 0,568 pentru seria din Demacușa - DEMA (fig. 6.30., 6.31.).

Și în situația funcțiilor de transfer pentru regimul termic al lunii septembrie se remarcă concordanța bună dintre temperaturile estimate și cele reale pentru perioada de verificare, mai ales în cazul seriilor pentru brad. Începuturile de sezon cu temperaturi medii foarte scăzute sunt surprinse de către toate seriile de indici de creștere, datorită efectului negativ pe care îl au asupra proceselor fiziologice de creștere a arborilor. Astfel de perioade sunt cele din anii 1964 (-1,9°C), 1947, 1929 și 1799 cu temperaturi în jur de -2,0 °C, precum și anii cu primăveri foarte calde (1927).

Fiabilitatea acestor funcții de transfer se verifică prin compararea parametrilor climatici reconstituiți, cu valorile reale înregistrate la stația Câmpulung Moldovenesc în perioada 1930 -1960. Aceste date sunt discontinue datorită inexistenței unei stații meteorologice permanente, ele însă oferind un suport credibil pentru verificarea funcțiilor de transfer (fig. 6.32.).

Analiza corelațiilor dintre regimul pluviometric lunar și indicii de creștere din anul anterior, anul curent și cel următor a permis identificarea unei corelații puter-

$$\begin{aligned}
 P_{-9}(t) &= -96,23 + 150,1 \cdot GIUA(t+1) \quad R^2 = 0,342 \\
 P_{-9}(t) &= -130,8 + 182,7 \cdot SLAA(t+1) \quad R^2 = 0,273 \\
 P_{-9}(t) &= -69,2 + 126,7 \cdot SLAB(t+1) \quad R^2 = 0,114 \\
 P_{-9}(t) &= -43,4 + 102,3 \cdot DEMA(t+1) \quad R^2 = 0,089
 \end{aligned}
 \tag{6.9.}$$

nice și semnificative dintre precipitațiile din luna septembrie și creșterea radială din anul următor (fig. 6.33.).

Funcțiile de transfer obținute prin calibrare în baza datelor climatice din perioa-

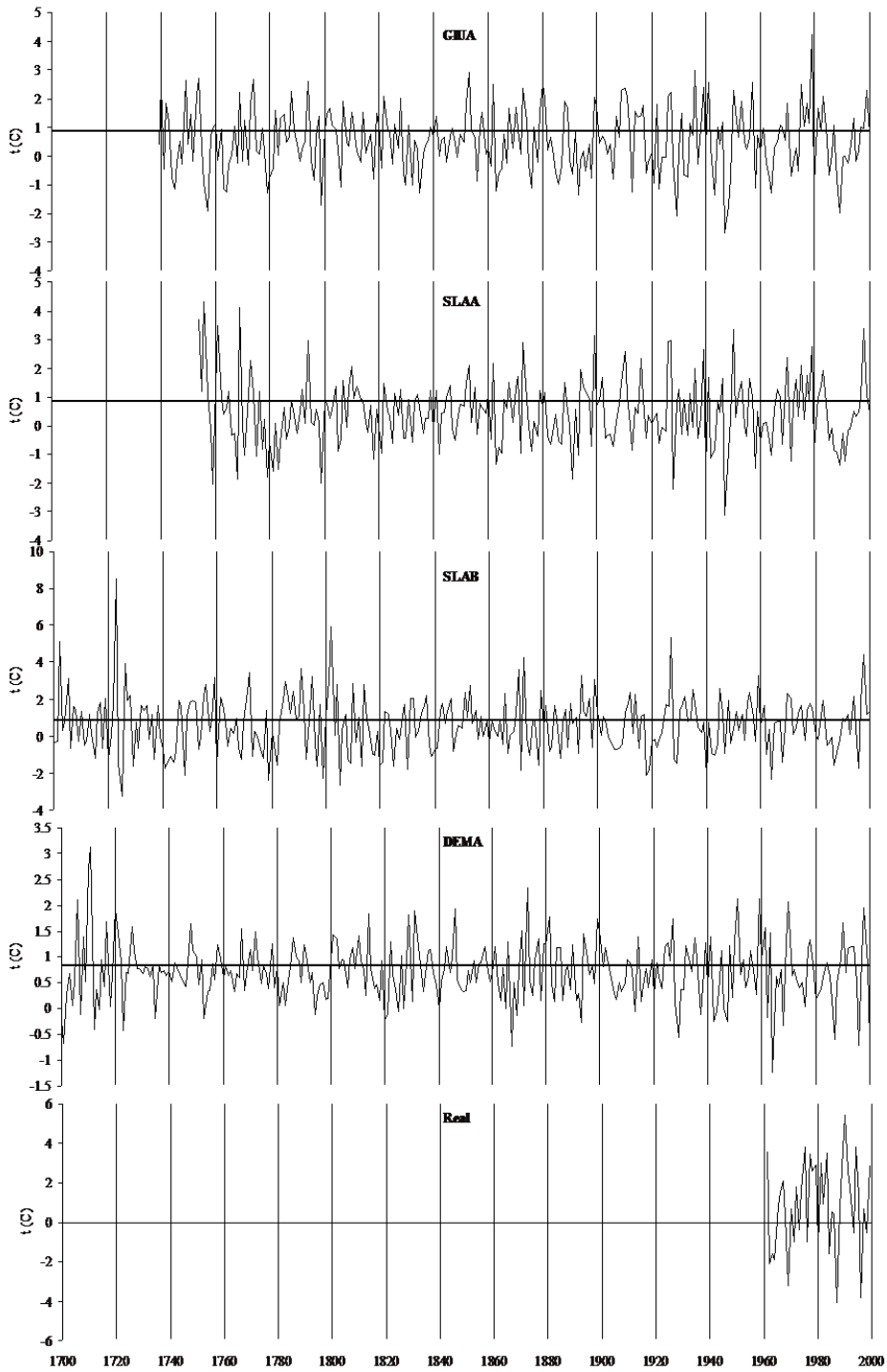


Fig. 6.30. Reconstituirea variației istorice a temperaturii medii din luna martie
 Reconstruction of historic variation of March average temperature

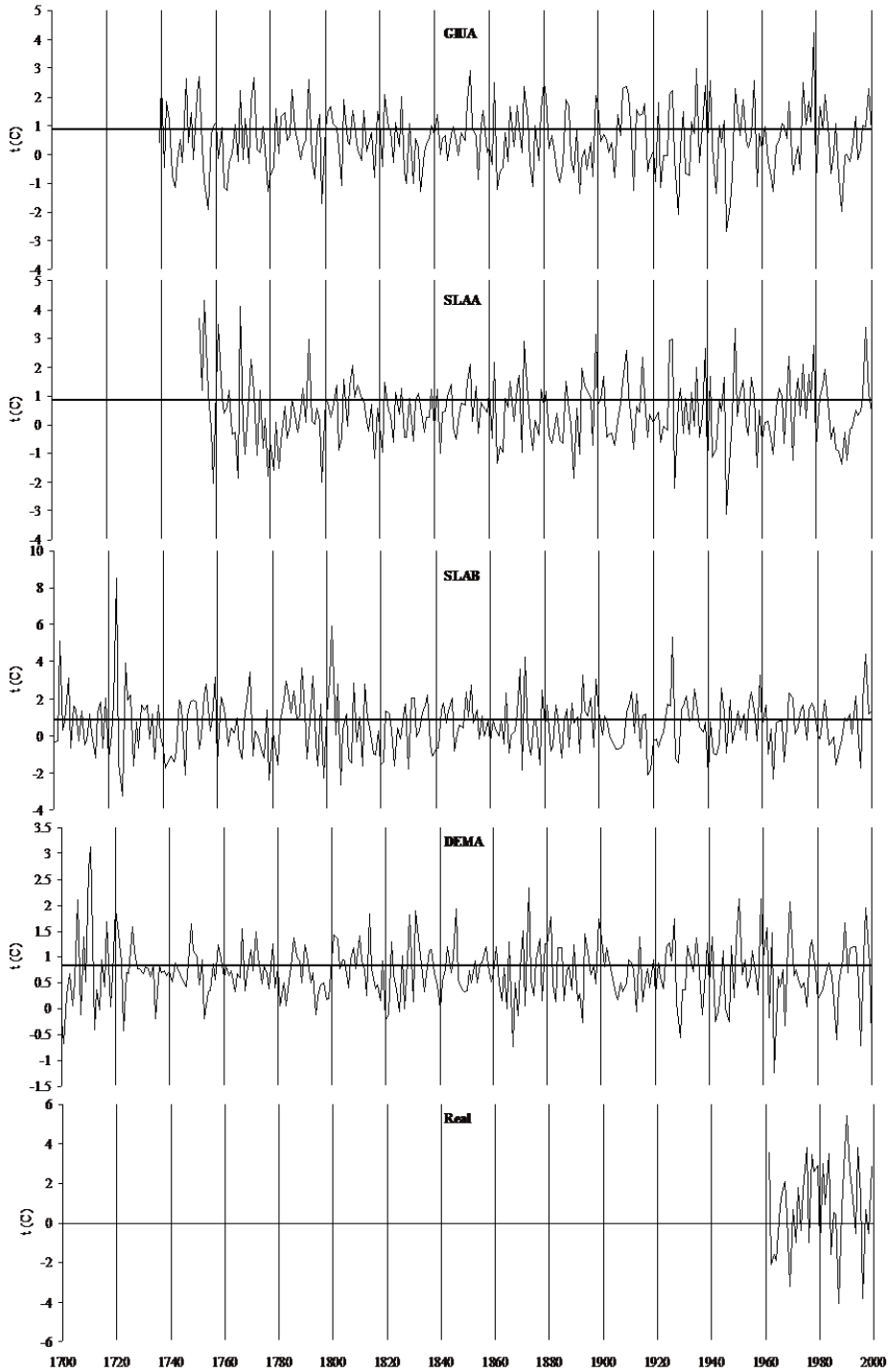


Fig. 6.31. Reconstituirea variației istorice a temperaturii medii din luna septembrie
 Reconstruction of historic variation of September average temperature

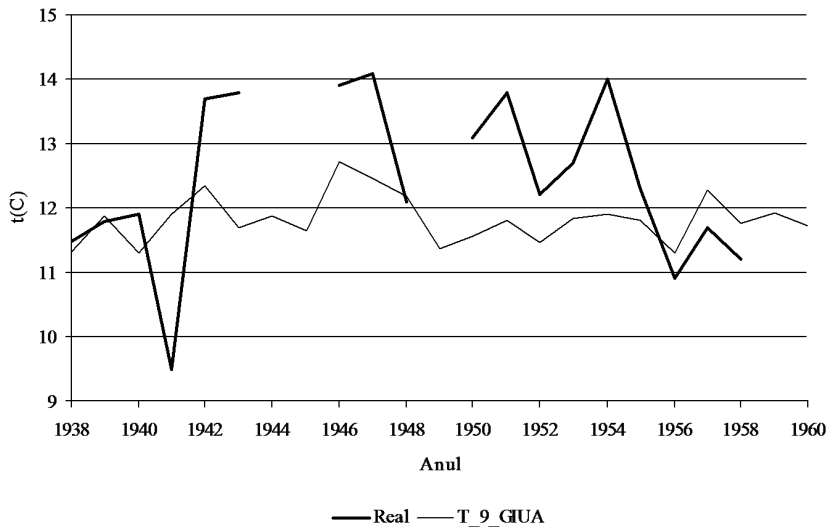


Fig. 6.32. Dinamica temperaturilor medii ale lunii septembrie real și reconstituit
The dynamics of real and reconstruction September average temperature

da 1961-1980 și indicii de creștere de la seriile dendrocronologice din zona Câmpulung Moldovenesc au următoarea expresie:

Deficitul de precipitații de la sfârșitul sezonului de vegetație din perioada 1982 -1989 (perioadă de verificare) este evidențiat de toate seriile dendrocronologice, în seria de indici de creștere fiind surprinsă și redresarea regimului pluviometric din

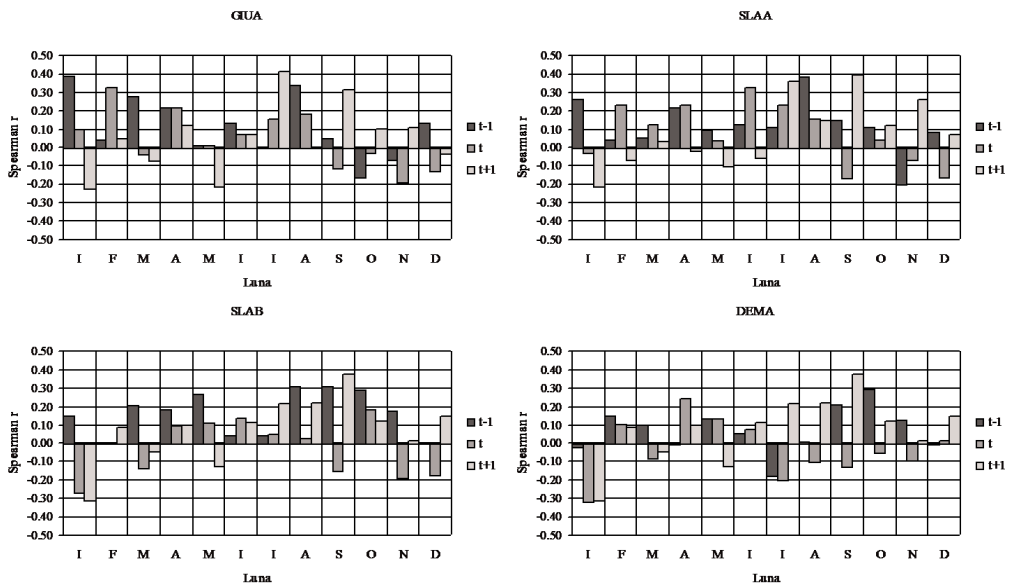


Fig. 6.33. Corelațiile dintre precipitațiile lunare și indici de creștere
Correlations between monthly precipitations and growth index

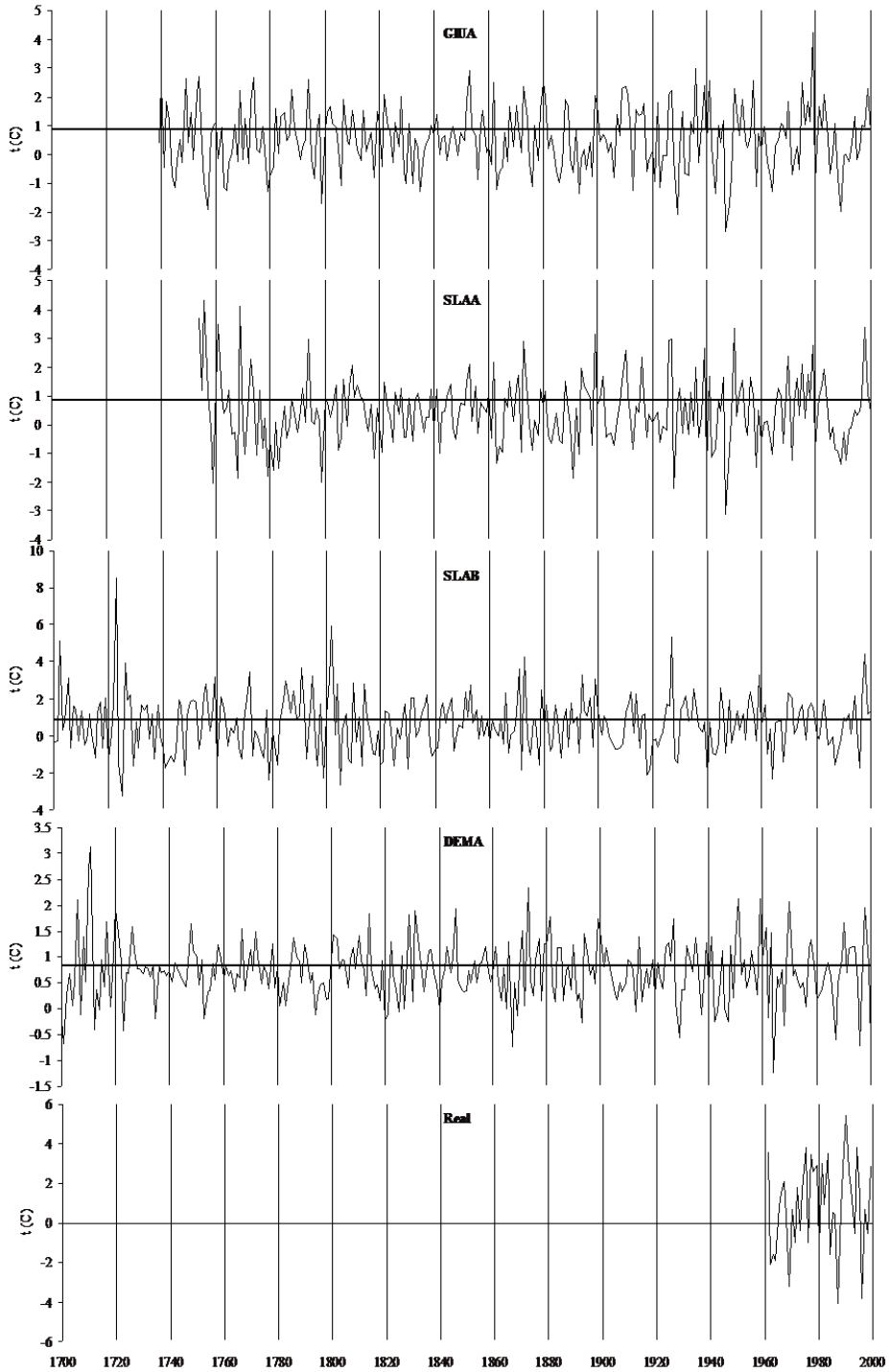


Fig. 6.34. Reconstituirea variației istorice a precipitațiilor din luna septembrie
 Reconstruction of historic variation of September precipitations

anii următori (fig. 6.34.). Seria dendrocronologică pentru bradul din Demacușa a generat o funcție de transfer mult mai omogenă sub raportul variabilității, dată fiind distanța mai mare față de stația meteorologică. Perioadele de secetă pronunțată de la începutul toamnei sunt prezente în toate funcțiile de transfer, apărând mai pronunțate în cazul molidului. Astfel de perioade (1946, 1927, 1890, 1862) cu precipitații sub 10 mm sub confirmate și de unele scripte istorice ca fiind toamne sece-toase (Topor, 1963).

Analiza dinamicii istorice a abaterilor de la medie a precipitațiilor din luna septembrie permite punerea în evidență a anilor cu deficit de precipitații, iar prin aplicarea unui filtru de joasă frecvență, cu perioadă de 11 ani, se evidențiază alternanța perioadelor de secetă cu cele cu exces de precipitații (fig. 6.35., 6.36.).

Aplicarea tehnicilor de dendroclimatologie la analiza reacției molidului și bradului la oscilațiile regimului termic și pluviometric a permis stabilirea unor modele auxologice cu suport climatic, semnificative statistic. Este posibil ca utilizarea unor indicatori complecși (sume sau medii ale temperaturilor, respectiv precipitațiilor, pe perioade de vegetație-început de sezon vegetativ, sfârșit de sezon etc.) integrată cu analiza altor factori de creștere să ofere informații suplimentare privind dinamica creșterilor radiale.

Aplicarea tehnicilor de dendroclimatologie la nivelul rețelelor de serii dendrocronologice va permite obținerea de informații relevante privind reacția arborilor la

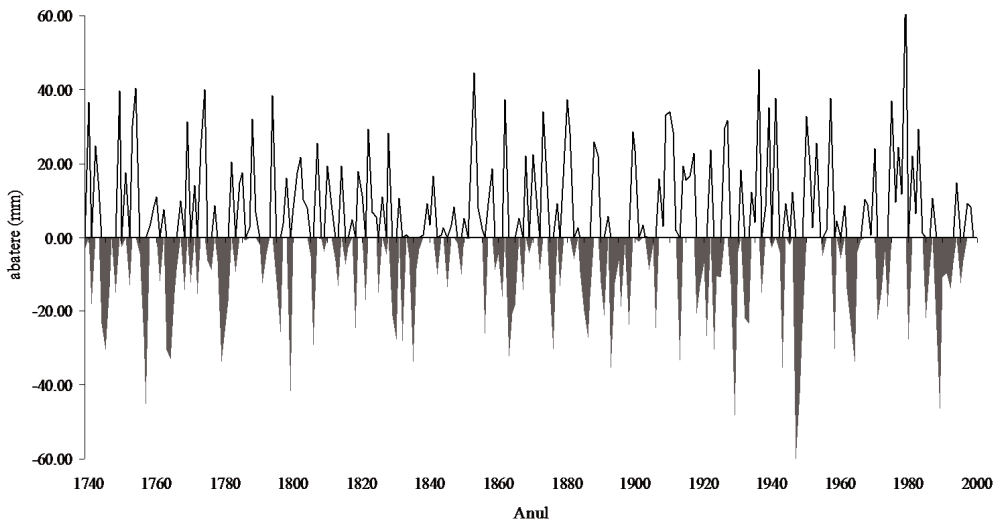


Fig. 6.35. Variația istorică a abaterilor de la medie a precipitațiilor din luna Septembrie

Historic variation of deviations from average of September precipitation
dinamica factorilor climatici, a variabilității la nivel de specie, spațial și temporal a relației climat-arbore. Reconstituirea variației istorice a climatului la nivelul între-

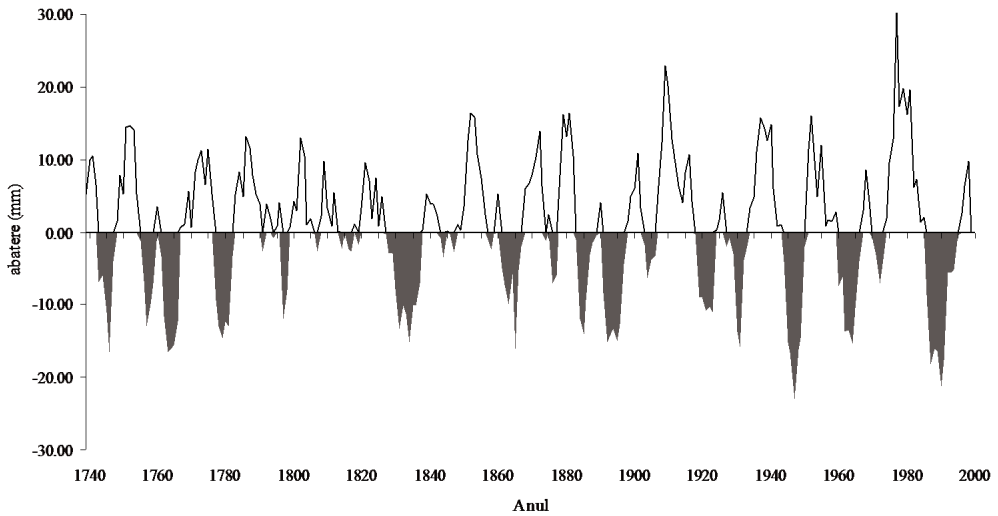


Fig. 6.36. Variația istorică a abaterilor de la medie a precipitațiilor din luna Septembrie ajustate cu un filtru de joasă frecvență

Historic variation of deviations from average of September precipitation smoothed with a low-pass filter

gului spațiu carpatin va oferi informații noi privind modificările climatice și impactul acestora asupra ecosistemelor forestiere.

7. Potențialul dendrocronologic al pădurilor din România

Ecosistemele forestiere din România prezintă un potențial dendrocronologic foarte ridicat determinat de existența unor arborete cu vârste peste 200 de ani. În vederea realizării rețelei naționale de serii dendrocronologice multisekulare - RODENDRONET s-a procedat la o analiză a bazelor de date amenajistice de la majoritatea ocoalelor silvice din România. Selecționarea arboretelor potențiale a fi incluse în rețeaua RODENDRONET a avut la bază următoarea succesiune de criterii de interogare a bazelor de date amenajistice informatizate :

- un prim criteriu a fost existența în compoziția arboretului a elementelor cu vârstă peste 120 de ani. S-au selecționat înregistrările indiferent de specie, din cadrul a 360 de ocoale silvice pentru care există baze de date în sistem informatic, rezultând un set primar de date format din 103.600 unități amenajistice, distribuite în 1.785 de unități de producție;
- acestui set de date primare i s-a aplicat un al doilea criteriu format din combinația specie - limite de vârstă. Limitele de vârstă s-au aplicat gradual, în funcție de specie. De exemplu, la molid s-au constituit două clase de vârstă - una cu elemente de arboret de molid peste 180 de ani și alta cu elemente de arboret de molid cu vârsta cuprinsă între 160 și 180 de ani, în timp ce la larice au fost incluse toate arboretele cu elemente de vârstă peste 130 de ani;
- setul secundar de date a fost analizat din punct de vedere al suprafeței utile minime, omogene, care să asigure posibilitatea identificării și prelevării de probe de creștere de la minim 20-30 de arbori. Această suprafață a fost stabilită la 5 ha, putând fi redusă la 3 ha în situația inexistenței în zonă a unei alte suprafețe cu potențial dendrocronologic.

Rețeaua dendrocronologică primară este constituită, pentru speciile principale (molid, brad, fag și stejari), din arborete cu elemente de vârstă peste 180 de ani, fiind completată cu date din cea secundară, cu vârste între 160 și 180 de ani, în vederea uniformizării și optimizării densității rețelei RODENDRONET.

Rețeaua potențială RODENDRONET pentru molid. Din analiza distribuției spațiale a ocoalelor silvice cu elemente de arboret cu vârsta peste 180 de ani se remarcă o densitate ridicată în ramura nordică a Carpaților Orientali. Au fost identificate arborete într-un număr de 29 de ocoale silvice distribuite astfel (fig. 7.1.): D.S. Suceava (Brodina, Broșteni, Moldovița, Coșna, Dorna Candreni, Stulpicani și Tomnatic); D.S. Maramureș (Vișeu); D.S. Bistrița (Rodna, Sălăuța, Năsăud); D.S. Neamț (Borca, Brațeș, Ceahlău, Galu, Pipirig, Tazlău, Târgu-Neamț);

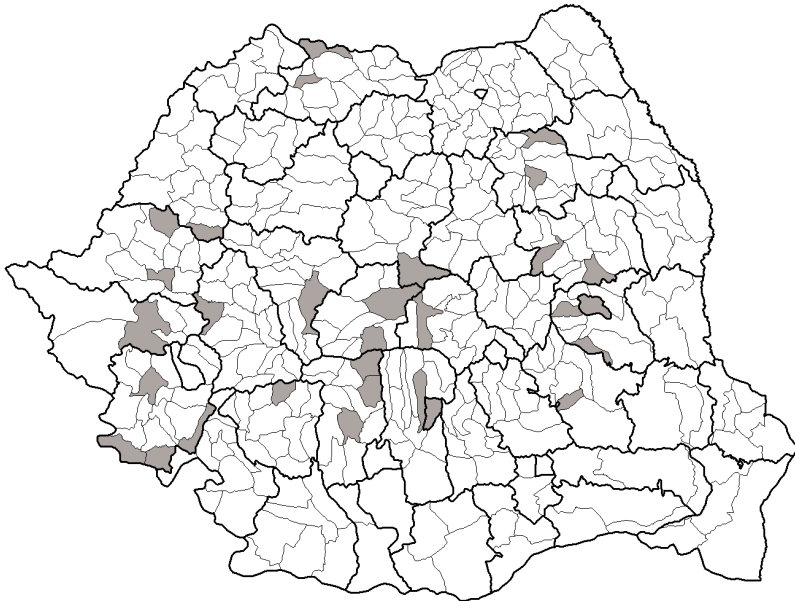


Fig. 7.1. Rețeaua RODENDRONET primară potențială de serii dendrocronologice pentru molid (vârsta medie peste 180 ani)
Potential primary RODENDRONET network of dendrochronological series for Norway spruce (average age over 180 years)

D.S. Mureș (Fincel, Sovata); D.S. Vrancea (Lepșa); D.S. Vâlcea (Brezoi, Călimănești); D.S. Gorj (Polovragi); D.S. Covasna (Întorsura Buzăului); D.S. Brașov (Brașov); D.S. Caraș Severin (Oțelul Roșu, Teregova); D.S. Alba (Petrești).

Această rețea primară va fi îndesită cu ocoalele silvice din rețeaua secundară în special în zona Carpaților de Curbură, Apuseni și Meridionali (fig. 7.2.).

Rețeaua potențială RODENDRONET pentru brad. În mod similar cu rețeaua națională pentru molid, și în cazul bradului se remarcă densitatea ridicată a zonelor potențiale din nordul Carpaților Orientali în 44 de ocoalele silvice. Majoritatea punctelor din rețeaua primară RODENDRONET pentru brad se suprapun peste cele de la molid. Distribuția spațială a ocoalelor cu zone potențiale a fi incluse în rețeaua RODENDRONET pentru brad este următoarea (fig. 7.3.): D.S. Alba (Gârda, Petrești); D.S. Argeș (Domnești, Suici); D.S. Bacău (M-rea Cașin); D.S. Maramureș (Groșii Țibleșului, Dragomirești); D.S. Brașov (Brașov, Zărnești); D.S. Buzău (Nehoiășu, Nehoiu); D.S. Caraș Severin (Oțelul Roșu, Teregova); D.S. Covasna (Întorsura Buzăului); D.S. Gorj (Novaci, Runcu); D.S. Mureș (Fincel); D.S. Neamț (Brateș, Ceahlău, Pipirig, Tazlău, Târgu Neamț, Vaduri); D.S. Prahova (Azuga, Câmpina, Mâneciu, Sinaia); D.S. Suceava (Brodina, Coșna, Frasin, Gura Humorului, Putna, Râșca, Stulpicani, Tomnatic); D.S. Vâlcea (Călimănești); D.S. Vrancea (Focșani, Lepșa, Năruja, Soveja, Tulnici).

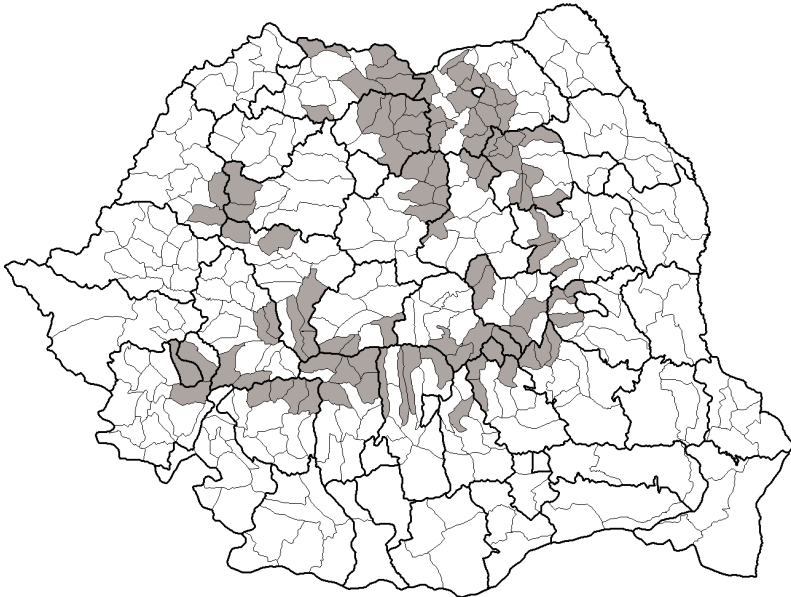


Fig. 7.2. Rețeaua RODENDRONET secundară potențială de serii dendrocronologice pentru molid (vârsta medie între 160 și 180 ani)
Potential secondary RODENDRONET network of dendrochronological series for Norway spruce (average age between 160 and 180 years)

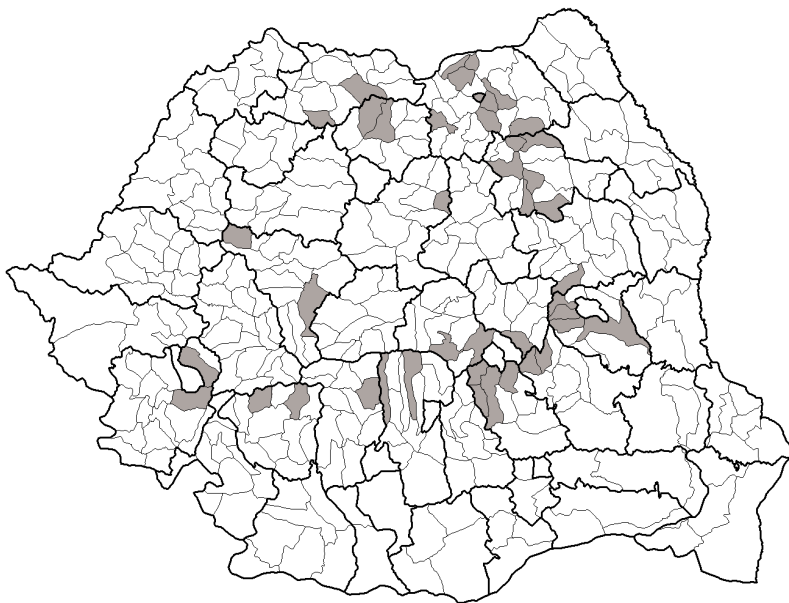


Fig. 7.3. Rețeaua RODENDRONET primară potențială de serii dendrocronologice pentru brad (vârsta medie peste 180 ani)
Potential primary RODENDRONET network of dendrochronological series for Silver fir (average age over 180 years)

Rețeaua primară RODENDRONET pentru brad necesită o îndesire cu puncte din rețeaua secundară în zona D.S. Bacău și în zona munților Apuseni (fig. 7.4.).

Rețeaua potențială RODENDRONET pentru zâmbru. În cazul zâmbrului criteriul de selecție secundar a fost numai specia incluzându-se toate arboretele cu elemente de zâmbru, dată fiind arealul redus al acestei specii în România. Rețeaua primară de serii dendrocronologice pentru zâmbru cuprinde zonele din munții Rodnei (bazinul Bila-Lala, Pietrosu), Călimani, Bucegi, Făgăraș, Godeanu, Țarcu și Retezat.

Rețeaua potențială RODENDRONET pentru pin silvestru și pin negru. Ca și în cazul zâmbrului, pentru rețeaua potențială RODENDRONET s-au inclus toate arboretele cu elemente de pin silvestru și pin negru cu vârste peste 120 de ani. Zonele potențiale sunt repartizate spațial astfel: pin silvestru (D.S. Argeș - Cotmeana și D.S. Caraș Severin - Văliug), iar pentru pin negru: D.S. Alba - Baia de Arieș, D.S. Argeș - Cotmeana, D.S. Brașov - Brașov, D.S. Caraș Severin - Anina, Băile Herculane, Reșița, D.S. Mehedinți - Orșova, D.S. Suceava - Marginea. Rețeaua dendrocronologică pentru pin silvestru se va completa cu zonele în care acesta apare natural, cu toate că, conform datelor amenajistice, nu sunt arborete cu vârste ridicate: bazinele Buzăului, Râmnicului, Putnei, Oituz (ocoalele silvice Nehoi, Nehoiși, Dumitrești, Vintilă Vodă, Năruja). O atenția deosebită se va acorda și pinetelor din turbării (Poiana Stampei, Șaru Dornei, Luci-Ciuc etc.) care conțin

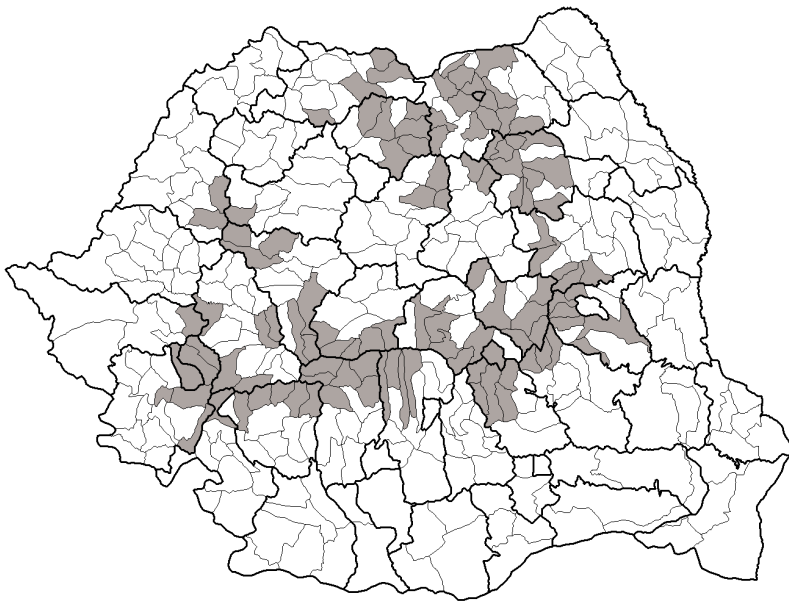


Fig. 7.4. Rețeaua RODENDRONET secundară potențială de serii dendrocronologice pentru brad (vârsta medie între 160 și 180 ani)
Potential secondary RODENDRONET network of dendrochronological series for Silver fir (average age between 160 and 180 years)

informații climatice privind dinamica nivelului apei freatică, atingând vârste de peste 200-300 de ani.

Rețeaua potențială RODENDRONET pentru larice. Zonele potențiale dendrocronologic pentru larice au fost selecționate având drept criteriu elemente de vârstă peste de 130 de ani. Acestea sunt localizate în următoarele ocoale silvice: D.S. Maramureș (Mara), D.S. Brașov (Codlea, Râșnov), D.S. Caraș Severin (Oravița, Oțelu Roșu), D.S. Prahova (Azuga, Mâneciu, Sinaia), D.S. Suceava (Gura Humorului, Marginea, Solca, Vama). În rețea se vor include și arboretele naturale din cele cinci centre în care laricele apare spontan (Stănescu, 1979): Ceahlău, Ciucaș, Bucegi, Lotru și Apuseni (Trascău-Vidolm).

Rețeaua potențială RODENDRONET pentru fag. Fagul reprezintă una dintre speciile cu cea mai mare pondere în fondul forestier românesc, fiind prezent în numeroase arborete cu vârste de peste 180 de ani (fig. 7.5.). Rețeaua primară de serii dendrocronologice pentru fag, conform datelor amenajistice disponibile în baza de date, cuprinde, în special, arborete din Banat și Carpații și Subcarpații de Curbură. Pentru obținerea unei rețele uniforme și reprezentative de serii dendrocronologice rețeaua primară se va completa cu serii dendrocronologice din rețeaua secundară (fig. 7.6.).

Rețeaua potențială RODENDRONET pentru cvercinee. Fondul forestier din România cuprinde numeroase arborete cu elemente de cvercinee cu

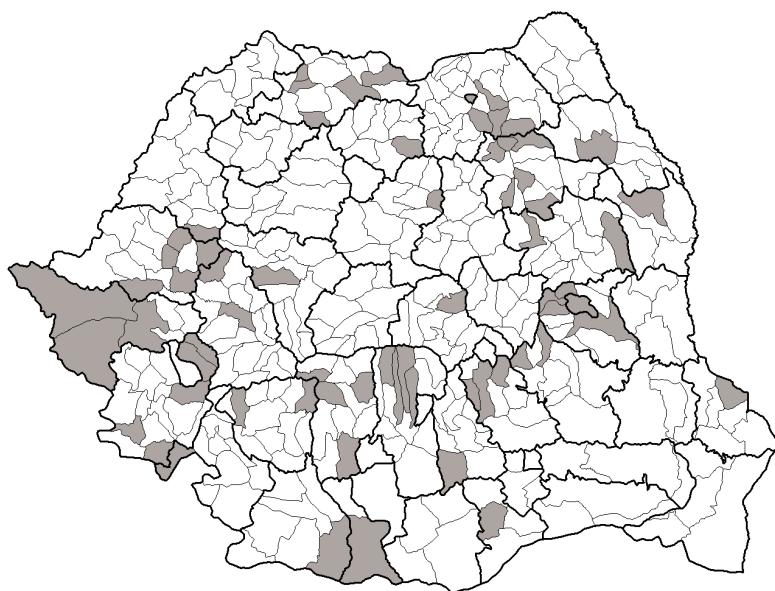


Fig. 7.5. Rețeaua RODENDRONET primară potențială de serii dendrocronologice pentru fag (vârsta medie peste 200 ani)
Potential primary RODENDRONET network of dendrochronological series for European beech (average age over 200 years)

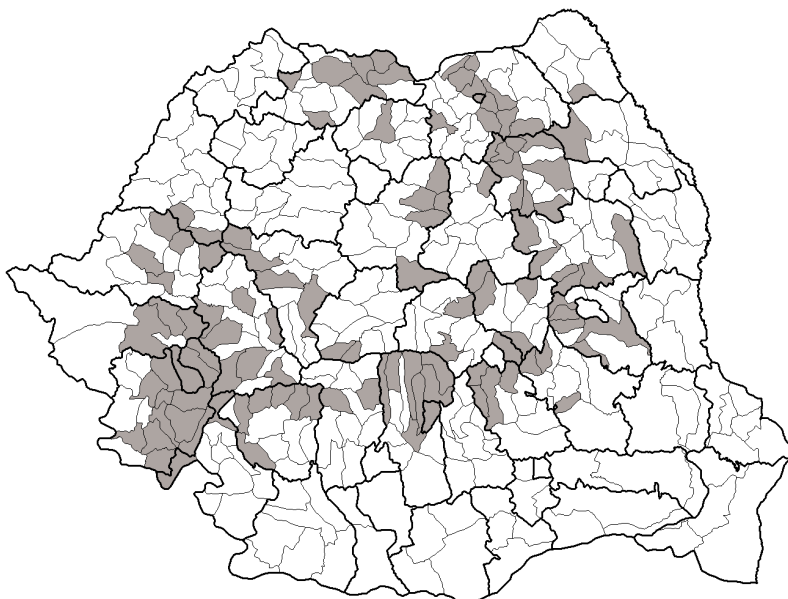


Fig. 7.6. Rețeaua RODENDRONET secundară potențială de serii dendrocronologice pentru fag (vârsta medie între 180 și 200 ani)
Potential secondary RODENDRONET network of dendrochronological series for European beech (average age between 180 and 200 years)

vârstă peste 200 de ani. Rețeaua primară de serii dendrocronologice pentru speciile de cvercinee asigură o acoperire bună a arealului, prin combinarea stejarului pedunculat cu gorunul (fig. 7.7., 7.8.).

De asemenea, și speciile de stejar xerofiti pot face obiectul cercetărilor de dendrocronologie, fiind foarte buni indicatori ai regimului precipitațiilor, ca urmare a sensibilității ridicate, sub raport auxologic, la perioadele cu deficit de precipitații. Arborete cu elemente de cer cu vârste pe 180 de ani se întâlnesc în ocoalele silvice Hălmagiu și Luduș, din partea de vest a țării și București și Găiești, în sudul României. Elemente de gărnită cu vârste depășind 180 de ani se găsesc în Ocolul silvic Lugoj, cele de stejar pufos în ocoalele Sighișoara și Dumbrăveni (vârsta peste 150 ani), iar cele de stejar brumăriu, cu vârstă peste 180 ani, în ocoalele Perișor și Poiana Mare din județul Dolj.

Rețeaua potențială RODENDRONET pentru alte specii de foioase. Și alte specii de foioase (paltin, cireș, carpen, tei etc.) conțin informații dendrocronologice semnificative. La nivelul fondului forestier din România se identifică numeroase arborete cu elemente de vârstă peste 160-180 de ani din speciile sus menționate. Astfel, carpen cu vârstă de peste 180 ani se întâlnește în ocoalele silvice Brodoc (Vaslui) și Sebeș Moneasa (Arad), frasin peste 180 ani în ocoalele Râșca (Suceava) și Lunca Timișului (Timiș), tei peste 170 ani în Ocolul silvic

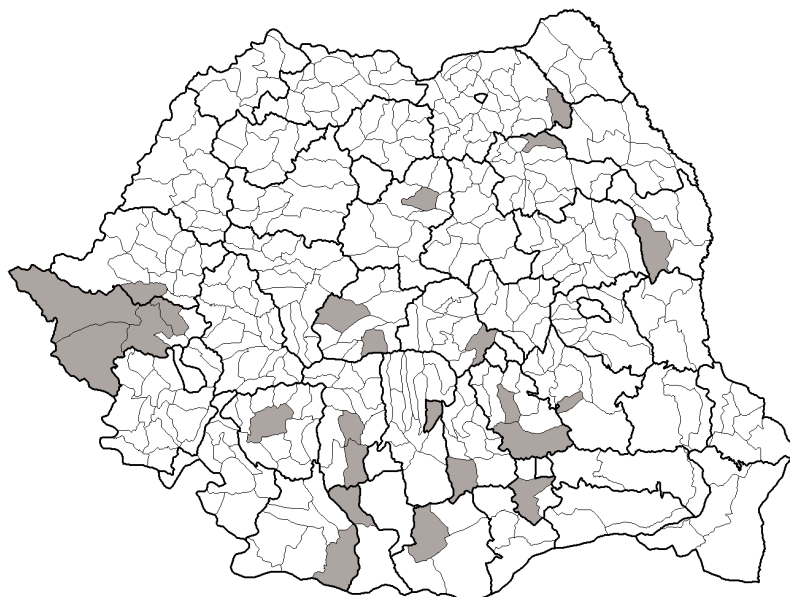


Fig. 7.7. Rețeaua RODENDRONET secundară potențială de serii dendrocronologice pentru stejar pedunculat (vârsta medie peste 180 ani)
Potential secondary RODENDRONET network of dendrochronological series for European oak (average age over 180 years)

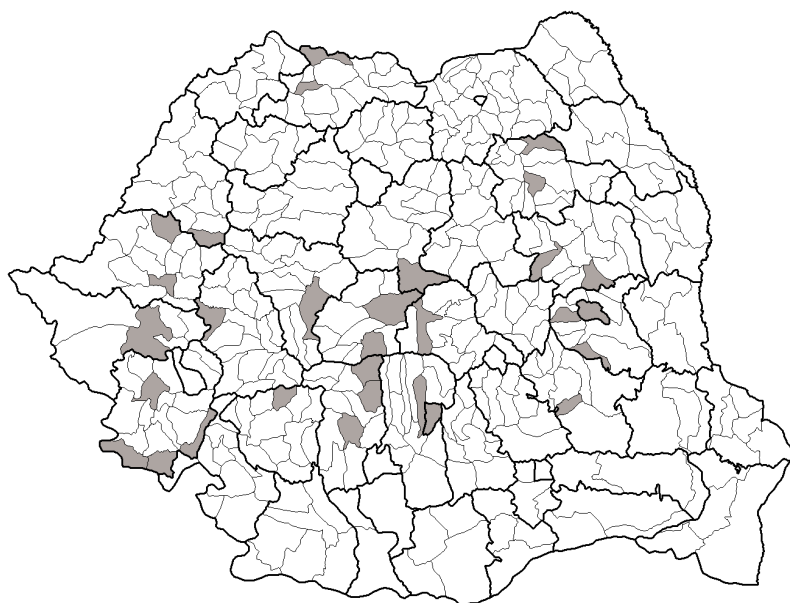


Fig. 7.8. Rețeaua RODENDRONET secundară potențială de serii dendrocronologice pentru gorun (vârsta medie peste 180 ani)
Potential secondary RODENDRONET network of dendrochronological series for durmast oak (average age over 180 years)

Zeletin (Bacău), paltin de munte cu vârstă mai mare de 180 ani în ocoalele silvice Râșca (Suceava), Oțelul Roșu și Teregova (Caraș-Severin), Fincel (Mureș) și Tazlău (Neamț), iar plop tremurător de 190 ani în Ocolul silvic Râșca (Suceava) (fig. 7.9.).

Implementarea acestei rețele primare de suprafețe dendrocronologice RODENDRONET pentru principalele specii forestiere din România constituie o primă etapă, absolut necesară, dezvoltării și extinderii cercetărilor de dendrocronologie. Ea oferă suportul inițierii unor cercetări de dendroecologie și dendroclimatologie privind reacția arborilor la variația factorilor climatici, respectiv reconstituirea dinamicii istorice a climatului la nivelul spațiului carpatico-danubiano-pontic. Serii dendrocronologice de referință, elaborate pe zone geografice, constituie suportul necesar cercetărilor de datare a vestigiilor istorice, de extindere a cronologiilor de referință prin integrarea informațiilor cuprinse în piesele de lemn fosile din turbării, albiile ale marilor râuri. Rețeaua de suprafețe dendrocronologice oferă, de asemenea, un instrument de analiză nou pentru elaborarea criteriilor de zonare ecologică a vegetației forestiere din România, surprinzând reacția auxologică a ecosistemului forestier la climatul general și local în ultimele trei secole. Existența unui număr mare de vestigii istorice (mănăstiri, castele, case vechi etc.) construite în totalitate sau parțial din lemn reprezintă de asemenea o sursă importantă de informații dendrocronologice, oferind posibilitatea extinderii în timp a seriilor de indici de creștere elaborați, pornind de la arborii vii.

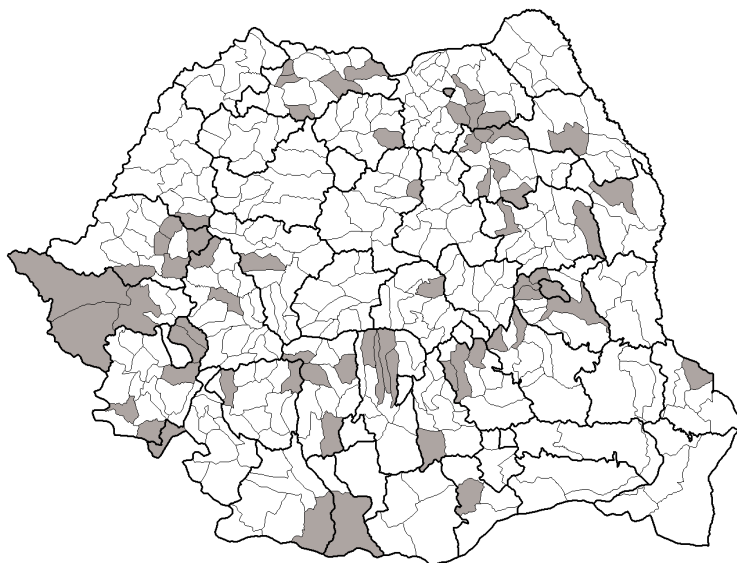


Fig. 7.9. Rețeaua RODENDRONET primară potențială de serii dendrocronologice pentru alte specii de foioase (vârsta medie peste 150 ani)
Potential primary RODENDRONET network of dendrochronological series for other broadleaves species (average age over 150 years)

8. Direcții de cercetare în dendrocronologie

Dendrocronologia a avut în ultimele decenii o dezvoltare extrem de rapidă, atât sub raportul perfecționării tehnicilor de lucru și a metodologiei de cercetare, cât mai ales a domeniilor de utilizare a informațiilor sintetizate în inelul anual. Cu toate acestea, se disting o serie de aspecte care impun o aprofundare și dezvoltare a cercetărilor (Schweingruber, 1996; Tessier et al., 1997; Vitas, 1998), în următoarele direcții:

Formarea inelului anual, a relațiilor dintre creștere și factorii de mediu la nivel celular. Sunt necesare cercetări aprofundate privind dinamica creșterii celulare, a peretelui celular, îngroșarea acestuia, în directă corelație cu factorii de mediu.

Influența arboretului asupra creșterii. Majoritatea cercetărilor de dendroclimatologie și dendrocronologie au neglijat efectul concurenței intra și interspecifice de la nivelul arboretului asupra creșterii radiale. Fiecare arbore este individual și are o reacție particulară la un anumit factor. Prin medie, aceste variații individuale sunt estomate, însă cunoașterea locului ierarhic în arboret și interpretarea modificărilor de creștere (reducere sau accelerare a creșterii) în raport cu această poate oferi informații esențiale. Influența intervențiilor silvotehnice, a efectelor vătămărilor mecanice, a direcției predominante a vântului reprezintă aspecte care necesită o aprofundare viitoare.

Integrarea tuturor speciilor lemnoase în cercetările dendrocronologice. Orice specie care prezintă o structură lemnoasă secundară are potențial dendrocronologic. Până în prezent majoritatea studiilor au fost axate pe speciile de rășinoase, iar dintre foioase, pentru cvercinee. Puține sunt cercetările de dendrocronologie care au în vedere alte specii de angiosperme. Direcții de dezvoltare a cercetărilor de dendroecologie și dendroclimatologie sunt reprezentate de speciile arbustive de la limita vegetației forestier (jneapăn, sălcii pitice etc.). De asemenea, sunt numeroase aspecte neclare privind potențialul dendrocronologic al speciilor tropicale.

Modificarea condițiilor de mediu și influența antropică prin poluare impune o perfecționare și adaptare a tehnicilor de analiză a datelor. Sunt necesare noi instrumente matematice și statistice de separare a acestor semnale de joasă frecvență.

Luarea în considerare a tuturor parametrilor inelului anual. Nu numai lățimea inelului anual și densitatea maximă conțin informații privind condițiile de mediu. Peste 90% din cercetările de dendrocronologie au la baza lățimea inelului anual. Alte caracteristici structurale cum sunt variația interanuală a densității, lemnul de reacție, dimensiunile și distribuția vaselor, țesuturile de calusare, numărul și distribuția canalelor rezinifere etc. conțin informații ecologice și climatologice. De asemenea, variația compoziției chimice a inelului anual, precum rata izotopilor de carbon, hidrogen și oxigen reprezintă domenii puțin abordate în dendrocronologie.

Extinderea cercetărilor de dendrocronologie și la alte părți lemnoase ale arborilor, respectiv rădăcină și ramuri.

Disponibilitatea datelor meteorologice, calitatea acestora reprezintă aspecte parțial clarificate de cercetările de dendrocronologie. Rețeaua de stații meteorologice, precum și lungimea perioadei de măsurători, este adeseori mult mai redusă comparativ cu rețeaua de suprafețe experimentale. Problema influenței distanței dintre stația meteorologică și arboretul cercetat este încă o necunoscută.

Rețele de serii dendrocronologice. Compararea rezultatelor este posibilă numai în cazul unui context ecologic similar. Realizarea unor rețele de serii dendrocronologice va permite reconstituirea dinamicii pe spații mari a climatului, a evenimentelor extreme.

La nivelul României cercetările de dendrocronologie sunt numai la început. Se impune o orientare a cercetărilor în direcția perfecționării tehnicilor de prelucrare a datelor, în elaborarea și implementarea unei rețele naționale de serii dendrocronologice care să asigure suportul studiilor și cercetărilor de reconstituire a dinamicii istorice a climatului în spațiul carpatic. De asemenea, o integrare a dendrocronologiei în domeniul arheologic reprezintă o provocare pentru cercetarea românească, permițând pe de o parte o datare exactă a vestigiilor istorice, iar pe de altă parte realizarea unor serii dendrocronologice milenare.

Bibliografie

- Abrams, M.D., și Nowacki, G.J., 1992. Historical variation in fire, oak recruitment, and post-logging accelerated succession in central Pennsylvania. *Bull. Torrey Bot. Club*, 119: 19-28.
- Abrams, M.D., Copenheaver, C.A., Black, B.A., Gevel van de, S., 2001. Dendroecology and climatic impacts for a relict, old-growth, bog forest in the Ridge and Valley Province of central Pennsylvania, USA. *Can. J. Bot.* 79: 58-69.
- Abrams, M.D., Orwing, D.A., 1996. A 300-year history of disturbance and canopy recruitment for co-occurring white pine and hemlock on the Allegheny Plateau, USA. *Journal of Ecology* 84: 353-363.
- Abrams, M.D., Orwing, D.A., Demeo, T.E., 1995. Dendroecological analysis of successional dynamics for a presettlement-origin white-pine-mixed-oak forest in the southern Appalachians, USA. *Journal of Ecology* 83: 123-133.
- Alexandrescu, A.F., 1995. Elaborarea de serii dendrocronologice pe termen lung la molid și brad. Referat științific final. I.C.A.S. București. 89 p.
- Alexe, A., 1984. Analiza sistemică a fenomenului de uscare a cvercineelor și cauzele acesteia. *Revista Pădurilor* 4.
- Aniol, R.W., 1983. Tree-ring analysis using CARTAS. *Dendrochronologia*. 1: 45-53.
- Babos, A., Eggertsson, O., 2002. The wooden Churches of Maramureș Northern Romania, www.geol.lu.se/personal/ore/maramures/. Accesat în 2003.
- Barbu I., R. Cenușă, 1987. Asigurarea protecției arboretelor de molid împotriva doborâturilor și rupturilor de vânt și zăpadă. ICAS Seria II, București. 72 p.
- Barbu, I., 1985. Doborâturile produse de vânt - o abordare ecosistemică. Manuscris ICAS. 20 p.
- Barbu, I., 1989. Stabilirea măsurilor de prevenire și combatere a fenomenului de uscare a bradului și molidului. Referat științific. ICAS. Câmpulung Moldovenesc.
- Barbu, I., 1991. Moartea bradului. Ed. Ceres. București, 276 p.
- Becker, M., Bert, G.D., Bouchon, J., Dupouey, J.L., Picard, J.F., Ulrich, E., 1995. Long-term changes in forest productivity in northeastern France: the dendroecological approach. În Landmann, G., Bonneau, M. (eds.). *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Springer, Berlin Heidelberg New York. 143-156.
- Becker, M., Bert, G.D., Landmann, G., Levy, G., Rameau, J.C., Ulrich, E., 1995. Growth and decline symptoms of Silver fir and Norway spruce: relation to climate, nutrition and silviculture. În Landmann, G., Bonneau, M. (eds.). *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Springer, Berlin Heidelberg New York. 120-142.
- Becker, M., 1987. Bilan de sante actuel et retrospectif du sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Voges. Etude ecologique et dendrochronologique. *Ann. For. Sci.* 44(4): 379-402.
- Bitvinskas, T.T., 1974. Dendroclimatic research. Gidrometeoizdat Publishing House. Leningrad. 172 p.
- Briffa, K., Cook, E., 1990. Methods of reponse function analysis. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.). *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 240 - 247.

- Briffa, K., Jones, P.D., 1990. Basic chronology statistics and assessment. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.). *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 137-152.
- Briffa, K.R., Jones, P.D., Schweingruber, F.H., 1991. Tree-ring density reconstructions of summer temperature patterns across western North America since 1600. *J. Clim.* 5: 735-754.
- Briffa, K.R., Bartholin, T.S., Eckstein, D., Jones, P.D., 1990. A 1400 year tree ring record of summer temperature in Fenoscandia. *Nature* 346(6283): 434-439.
- Carrara, P.E., 1979. The determination of snow avalanche frequency through tree-ring analysis and historical records at Ophir, Colorado. *Geological Society of America Bulletin* 90: 773-780.
- Cenușă, R., 1990. Gospodărirea molidișurilor de pe limita altitudinală de vegetație. Referat științific final. I.C.A.S. Câmpulung Moldovenesc.
- Cenușă, R., 1992. Cercetări asupra structurii, volumului ecologic și succesiunii ecosistemelor forestiere de limită altitudinală din Carpații nordici Călimani și Giumalău. Rezumatul tezei de doctorat. A.S.A.S., 45 p.
- Cenușă, R., 1993. Cercetări privind structura și funcționalitatea ecosistemelor naturale de molid. Referat științific final. I.C.A.S. Câmpulung Moldovenesc.
- Cenușă, R., 1996. Probleme de ecologie forestieră. Aplicații la molidișurile naturale din Bucovina. Universitatea Ștefan cel Mare. Suceava. 165 p.
- Cenușă, R., 1999. Cercetări asupra dinamicii structurale a ecosistemelor de pădure de la limita altitudinală de vegetație pentru menținerea echilibrului ecologic, Referat științific. I.C.A.S. Câmpulung Moldovenesc.
- Chambers, F.M., Lagueard, J.G.A., Boswijk, G., Thomas, P.A., 1997. Dating prehistoric bog-fires in northern England to calendar years by long-distance cross-matching of pine chronologies. *Journal of Quaternary Science* 12(3): 253-256.
- Cherubini, P., Piussi, P., Schweingruber, F.H., 1996. Spatiotemporal growth dynamics and disturbances in a subalpine spruce forest in the Alps: a dendroecological reconstruction. *Canadian Journal of Forestry Research* 26: 991-1001.
- Cook, E., 1990. A conceptual linear aggregate model for tree rings. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.). *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 98-104.
- Cook, E., Briffa, K., Shiyatov, S., Mazepa, V., 1990. Tree-ring standardization and growth-trend estimation. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.). *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 104-123.
- Cook, E., Shiyatov, S., Mazepa, V., 1990. Estimation of the mean chronology. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.). *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 123-132.
- Cook, E.R., Holmes, R.L., Bosch, O., Grissino, M.H.D., 1997. International tree-ring data bank program library. <http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/treering.html>. Accesat în 2003.
- Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.), 1990. *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 394 p.
- Corona, E., 1983. Dendrocronologia in Italia. *Dendrocronologia*. 1: 21-35.
- Corona, E., 1986. Dendrocronologia: Principi e applicazioni. Atti del seminario tenuto a Verona nei giorni 14 e 15 novembre 1984. Verona. Istituti italiano di dendrocronologia. 103 p.
- Cropper, J.P., 1979. Tree-ring skeleton plotting by computer. *Tree Ring Bulletin* 39: 47-54.
- Cybis Elektronik, 2003. CooRecorder. <http://www.cybis.se>. Accesat în 2003.

- Decei, I. et al., 1977. Cercetări privind determinarea cuantumului pierderilor de masă lemnoasă la arborii de gorun și stejar pedunculat afectați de uscare. Referat științific final. I.C.A.S. București.
- Desplanque, C., Rolland, C., Michalet, R., 1998. Dendroecologie comparee du sapin blanc (*Abies alba*) et de l'épicéa commun (*Picea abies*) dans une vallée alpine de France. *Can.J.For.Res.* 28 :737-748.
- Douglass, A.E., 1941. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry.* 39: 825-831.
- Dumitru-Tătaru, I., Popescu, M., 1988. Investigarea dendrocronologică a unui trunchi subfossil de stejar. Studii și cercetări de biologie. Seria Biologie vegetală. Tomul 40. Editura Academiei Române.
- Dupouey, J.L., Denis, J.B., Becker, M., 1992. A new methods of standardization for examining long term trends in tree-ring chronologies. În Bartholin, T.S., Berglund, B.E., Eckstein, D., Schweingruber, F.H., Tree rings and environment. *Lundqua Report* 34: 85-88.
- Eckstein, D., 1982. Europe. În Hughes, M.K., Kelly, P.M., Pilcher, J.R. (eds.) *Climate from tree rings.* Cambridge University Press. 142-148.
- Eckstein, D., 1986. Dendrochronology applied to the investigation of tree decline. *Dendrocronologia e moria del bosco in Europa.* 13-20.
- Eckstein, D., Pilcher, J.R., 1990. Dendrochronology in Western Europe. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.) *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 11-13.
- Eckstein, D., Wrobel, S., 1983. Dendrochronologie in Europe. *Dendrocronologia* 1: 9-20.
- Eckstein, D., 1983. Biological basis of dendrochronology. În Eckstein, D., Wrobel, S., Aniol, R.W. (eds.) *Dendrochronology and archaeology in Europe. Proceedings of a Workshop of the European Science Foundation (ESF).* Hamburg. 11-20.
- Eckstein, D., Aniol, R.W., 1981. Dendroclimatological reconstruction of the summer temperature for an alpine region. *Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt* 142: 391-398.
- Eckstein, D., Krause, C., 1989. Dendroecological studies on spruce trees to monitor environmental changes around Hamburg. *IAWA Bulletin* 10(2): 175-182.
- Eckstein, D., Krause, C., Bauch, J., 1989. Dendroecological investigation of Spruce trees (*Picea abies* L. Karst.) of different damage and canopy classes. *Holzforschung* 43(6): 411-417.
- Eckstein, D., Sass, U., 1988. Dendroecological assessment of decline and recovery of fir and spruce in the Bavarian forest. *Air Pollution and Forest Decline* (J.B. Bucher, I. Bucher Wallin eds.). 255-260.
- Eckstein, D., Wrobel, S., 1982. Dendrochronology in Europe - with special reference to Northern Germany and Southern Scandinavia. *PACT* 7 : 11-26.
- Fischer, E., 1899. *Die Bukowina.* Cernăuți.
- Flocea, M., 1992. Cercetări auxologice și dendrocronologice în arboretele de molid cu fenomene de uscare anormală, Referat științific final. I.C.A.S. Câmpulung Moldovenesc. 42 p.
- Flocea, M., 1996a. Arborii sau memoria timpului. Lucrările simpozionului "Molidul în contextul silviculturii durabile". I.C.A.S. Câmpulung Moldovenesc. 24-33.
- Flocea, M., 1996b. Aplicații ale dendrocronologiei în domeniul studiilor de impact. *Bucovina Forestieră.* 1-2: 31-43.
- Foster, D.R., 1988. Disturbance history, community organization and vegetation dynamics of the old-growth Pisgah Forest, south-western New Hampshire, USA. *Journal of Ecology* 76: 105-134.
- Fritts, H.C., 1963. Computer programs for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin* 25: 2-7.
- Fritts, H.C., 1976. *Tree rings and climate,* Academic Press. London. 567 p.

- Fritts, H.C., 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. Tucson, University of Arizona Press. 286 p.
- Fritts, H.C., 2003. Precon v. 5.17, <http://www.ltrr.arizona.edu/people/Hal/dlprecon.html>. Accesat în 2003.
- Fritts, H.C., Guiot, J., 1990. Methods of calibration, verification and reconstruction. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.). *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 163-217.
- Fritts, H.C., Swetnam, T.W., 1989. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Adv. Ecol. Res.* 19: 111-188.
- Fritts, H.C., Mosimann, J.E., Bottorff, C.P., 1969. A revised computer program for standardizing tree ring series. *Tree Ring Bulletin* 29(1-2): 15-20.
- Fritts, H.C., 1965. Tree-ring evidence for climatic changes in western North America. *Mon. Weather Rev.* 93: 421-443.
- Geambașu, N., 1979. Cu privire la influența doborâturilor de vânt din etajul moldișurilor asupra microreliefului. *Revista pădurilor.* 3: 147-149.
- Giurgiu, V., 1967. Studiul creșterilor la arborete. Ed. Agro-silvică. București. 322 p.
- Giurgiu, V., 1974. Cercetări privind variația ciclică a creșterilor la arbori. *Studii și cercetări. ICAS.* vol. XXX: 261-275.
- Giurgiu, V., 1977. Variația creșterilor la arbori, starea timpului și anii de secetă. *Academia de științe Agricole și Silvice. Buletin informativ* 5: 222-235.
- Giurgiu, V., 1979. Dendrometrie și auxologiei forestieră. Editura Ceres, București. 692 p.
- Giurgiu, V., 1987. Dendrocronologia ca metodă de cercetare a istoriei poporului român. Pădurea și poporul român. *Academia Română. Filiala Cluj.*
- Graslund, M., 1984. The history of dendrochronology in the Nordic Countries. *Dendrochronologia.* 2: 31-62.
- Graybill, D.A., 1982. Chronology development and analysis. În Hughes, M.K., Kelly, P.M., Pilcher, J.R. (eds.) *Climate from tree rings*. Cambridge University Press. 21-28.
- Grissino-Mayer, H.D., 2003. Principles of dendrochronology. <http://web.utk.edu/~grissino/principles.htm>. Accesat în 2003.
- Grissino-Mayer, H.D., 2003. Ultimate Tree-Ring Web Pages. <http://web.utk.edu/~grissino/>. Accesat în 2003.
- Grissino-Mayer, H.D., Holmes, R.L., Fritts, H.C., 1996. International Tree Ring Data Bank program library version 2.0 user's manual. Laboratory of Tree-ring Research, University of Arizona. Tucson. Arizona.
- Guay, R., Gagnon, R., Morin, H., 1992. MacDENDRO, a new automatic and interactive tree ring measurement system based on image processing. În Bartholin, T.S., Berglund, B.E., Eckstein, D., Schweingruber, F.H., *Tree rings and environment. Lundqua Report* 34: 128-131.
- Guiot, J., 1984. Deux methodes de l'utilisation de l'épaisseur des cernes ligneux pour la reconstruction de parametres climatiques anciens; l'exemples de leur application dans le domain Alpin. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology.* 45: 347-368.
- Guiot, J., 1985. The extrapolation of recent climatological series with spectral canonical regression. *Journal of Climatology* 5: 325-335.
- Guiot, J., 1986. ARMA techniques for modelling tree-ring response to climate and for reconstructing variations of paleoclimates. *Ecological modelling.* 33: 149-171.
- Guiot, J., 1991. The bootstrapped reponse function. *Tree Ring Bulletin* 51: 39-41.
- Guiot, J., Berger, A.L., Munaut, A.V., 1982. Response functions. În Hughes, M.K., Kelly, P.M.,

- Pilcher, J.R. (eds.) *Climate from tree rings*. Cambridge University Press. 38-45.
- Guiot, J., Goeury, C., 1996. PPPBase, a software for statistical analysis of paleoecological and paleoclimatological data. *Dendrochronologia*. 14: 295-300.
- Hofgaard, A., Tardif, J., Bergeron, Y., 1999. Dendroclimatic response of *Picea mariana* and *Pinus banksiana* along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest. *Canadian Journal of Forestry Research* 29: 1333-1346.
- Holmes, R.L., 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin* 43: 69-75.
- Hughes, M.K., Kelly, P.M., Pilcher, J.R. (eds.), 1982. *Climate from tree rings*. Cambridge University Press. 223 p.
- Hughes, M.K., Xiangding, W., Xuemei, S., Garfin, G.M., 1994. A preliminary reconstruction of rainfall in North-Central China since A.D. 1600 from tree-ring density and width. *Quat.res.* 42: 88-99.
- Iacob, I.C., 1998. Cercetări auxologice în arboreta naturale pluriene de fag cu rășinoase din Bucegi și Piatra Craiului. Rezumat teză de doctorat. Universitatea Ștefan cel Mare. Suceava. 60 p.
- Ianculescu, M, A. Tisescu, 1989. Cercetări auxologice și dendrocronologice în arboretele de brad afectate de fenomenul de uscăre. I.C.A.S. Seria II. București, 87 p.
- Ianculescu, M. 1978. Cercetări privind influența prafului de ciment și var asupra creșterii arboretelor de molid și brad. *Revista Pădurilor*. 2-3: 103-105.
- Ianculescu, M., 1977, Influența poluării aerului asupra creșterii pădurilor. Redacția de propagandă tehnică agricolă. Seria II. București.
- Ianculescu, M., 1987. Cercetări privind dinamica fenomenului de poluare industrială a pădurilor din zona Copșa Mică. Referat științific final. ICAS, București.
- Ianculescu, M., 1975. Aspecte metodologice privind determinarea pierderilor de creștere în diametru la arboretele poluate, M.E.F.M.C. Studii și Cercetări. Silvicultură. Seria I. vol. XXXIII. București.
- Ichim, R., 1988. *Istoria pădurilor și silviculturii din Bucovina*. Editura Ceres. București. 216 p.
- Ichim, R., 1990. *Gospodărirea rațională pe baze ecologice a pădurilor de molid*. Editura Ceres. București. 196 p.
- IEH-Elektronik, 2003. DendroLab470, <http://www.ess.ch/ieh/Dendro.html>. Accesat în 2003.
- ITRDB, 1998. The International Tree Ring Data Bank forum frequently asked question. <http://www.civag.unimelb.edu.au/~argent/treering/treefaq.html>. Accesat în 2003.
- Jacoby, G.C., D Arrigo, R.D., Davaajamts, T., 1996. Mongolian tree rings and 20th Century warming. *Science* 273: 771-773.
- Kairiukstis, L., Shiyatov, S., 1990. Dendrochronology in the USSR. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.). *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 13-17.
- Keller, R., 1991. *Structure - Composition - Formation du bois*. ENGREF, Nancy. 39 p.
- Krause, C., Morin, H., 1999. Tree ring patterns in stems and root systems of black spruce (*Picea mariana*) caused by spruce budworms. *Canadian Journal of Forestry Research* 29: 1583-1591.
- Kromer, B., Spurk, M., 1998. Revision and Tentative Extension of the Tree-ring based 14C Calibration, 9200-11855 CalBP. *Radiocarbon*. 40: 1117-1125.
- Kuniholm, P.I., 2003. Dendrochronology and Other Applications of Tree-ring Studies in Archaeology. În D. R. Brothwell and A. M. Pollard. *The Handbook of Archaeological Sciences*. (<http://www.arts.cornell.edu/dendro/>). Accesat 2003.

- LaMarche, V.C., 1974. Paleoclimatic inferences from long tree-ring record. *Science*.183:1043-1048.
- Lara, A. et al., 2001. Dendroclimatology of high-elevation *Nothofagus pumilo* forests at their northern distribution limit in the central Andes of Chile. *Can.J.For.Res.* 31: 925-936.
- Lingg, W., 1986. Dendroökologische Studien an Nadelbäumen im alpinen Trockental Wallis (Schweiz). *Ber. Eidgenoss.Forsch.anst.Wald Schnee Landsch.* 287:1-81.
- Lorimer, C.G., 1980. Age structure and disturbance history of a southern Appalachian virgin forest. *Ecology*. 61: 1169-1184.
- Lorimer, C.G., 1985. Methodological considerations in the analysis of forest disturbance history. *Canadian Journal of Forestry Research* 15: 200-213.
- Lorimer, C.G., și Frelich, L.E., 1989. A method for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests. *Canadian Journal of Forestry Research* 19: 651-663.
- Marocico, V., 1994. Produse forestiere. Studiul Lemnului. Universitatea Ștefan cel Mare, Suceava, 153 p.
- McKenzie, D., Hessel, A.E., Peterson, D.L., 2001. Recent growth of conifer species of western North America: assessing spatial patterns of radial growth trends. *Can.J.For.Res.* 31: 526-538.
- Morariu, I., 1965. Botanică generală și sistematică, Editura Agro-Silvică, București, 622 p.
- Muzika, R.M., Liebholt, A.M., 1999. Changes in radial increment of host and nonhost tree species with gypsy moth defoliation. *Canadian Journal of Forestry Research* 29: 1365-1373.
- Nowacki, G.J., și Abrams, M.D., 1997. Radial - growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecol. Monogr.* 67: 225-249.
- Pânzaru, G., Soran, V., 1983. Dendroecologia zâmbului (*Pinus cembra* L.) din Rezervația Biosferei Pietrosu Mare, Munții Rodnei. Rezervația naturală Pietrosul Rodnei la 50 ani. Baia Mare.
- Parascan, D., Danciu, M., 2001. Fiziologia plantelor lemnoase. Editura Pentru Viață, Brașov. 301 p.
- Payette, S., Filion, L., Delwaide, A., 1990. Disturbance regime of a cold temperate forest deduced from tree-ring patterns: the Tancro Ecological Reserve, Quebec. *Canadian Journal of Forestry Research* 20: 1228-1241.
- Pickett, S.T.A., White, P.S. (eds.), 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press. Orlando. 1-13.
- Popa, I., 1999. Aplicații informatice utile în cercetare silvică. Programul CAROTA și programul PROARB. *Revista Pădurilor* 2: 41-42.
- Popa, I., 2001. Modele de stabilitate pentru arbori și arborete. Teză de doctorat. Universitatea Ștefan cel Mare. Suceava. 309 p.
- Popa, I., 2002. Elaborarea de serii dendrocronologice pentru molid, brad și gorun cu aplicabilitate în dendroclimatologie și dendroecologie. Referat științific final. ICAS. Câmpulung Moldovenesc. 136 p.
- Popa, I., 2003a. Dendrocronologia în România. Realizări și perspective. În Giurgiu, V., Contribuții științifice în dendrometrie, auxologie forestieră și amenajarea pădurilor. Editura Academiei Române. București.
- Popa, I., 2003b. Analiza dendroecologică a regimului perturbărilor în pădurile din nordul Carpaților Orientali. *Bucovina Forestieră*. 1: 17-30.
- Popa, I., 2003c. Analiza comparativă a răspunsului dendroclimatologic la molid (*Picea abies*) și brad (Silver fir) - nordul Carpaților Orientali. *Bucovina Forestieră*. 2.
- Popa, I., 2003d. Norway spruce and silver fir dendroclimatological researches. Simpozionul "Cercetarea științifică pentru gestionarea durabilă a pădurilor". I.C.A.S. București.

- Popa, I., 2003e. Elaborarea de serii dendrocronologice pentru molid, brad și gorun cu aplicabilitate în dendroclimatologie și dendroecologie. *Analele I.C.A.S.*, București.
- Popa, I., Dragotă, C., Dumitrescu, A., 2003. Reconstituirea dinamicii istorice a regimului termic al lunii iunie în Munții Rodnei. Sesiune științifică. Suceava.
- Potter, N., 1967. Tree ring dating of snow avalanche tracks and the geomorphic activity of avalanches, Northern Absaroka Mountains, Wyoming. *Geological Society of America Special Paper* 123: 141-165.
- Regent Instruments, 2003. WinDendro, <http://www.regentinstruments.com>. Accesat în 2003.
- Rehfeldt, G.E., Tchebakova, N.M., Barnhardt, L.K., 1999. Efficacy of climate transfer functions: introduction of Eurasian population of *Larix* into Alberta. *Canadian Journal of Forestry Research* 29: 1660-1668.
- Robinson, W.J., 1990. Dendrochronology in Western North America: The Early Years. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.). *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 1-8.
- Schou, J., Rytter, E., 1992. Dendrochronological dating using scanning and imageprocessing. În Bartholin, T.S., Berglund, B.E., Eckstein, D., Schweingruber, F.H., *Tree rings and environment*. Lundqua Report 34: 286-287.
- Schulman, E., 1958. Bristlecone pine, oldest know living thing. *Nat. Geogr. Mag.* 113: 355-372.
- Schweingruber, F.H., 1985. Dendroecological zones in the coniferous forests of Europe. *Dendrochronologia* 3: 67-75.
- Schweingruber, F.H., 1988. A new dendroclimatological network for western North America. *Dendrochronologia* 6: 171-178.
- Schweingruber, F.H., 1996. *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. Birmensdorf. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 609 p.
- Schweingruber, F.H., Braker, O.U., Schar, E., 1987. Temperature information from a European dendroclimatological sampling network. *Dendrochronologia*. 5: 9-34.
- Schweingruber, F.H., Briffa, K.R., Jones, P.D., 1991. Yearly maps of summer temperature in Western Europe from A.D. 1750 to 1975 and Western North America from 1600 to 1972. *Vegetation* 92: 5-71.
- Schweingruber, F.H., D. Eckstein, 1990. Identification, presentation and interpretation of event years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 9-39.
- Schweingruber, F.H., Kairiukstis, L., Shiyatov, S., 1990. Sample selection. În Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds.). *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 23-40.
- Seghedin, T., 1977. Parcul Național al Munților Rodnei. Ocrotirea naturii și mediului înconjurător. Tomul 21(1).
- Serre-Bachet, F., 1985. La dendrochronologie dans le bassin mediterraneen. *Dendrochronologia*. 3 : 77-92.
- Serre-Bachet, F., Guiot, J., Tessier, L., 1992. Dendroclimatic evidence from southwestern Europe and northwestern Africa. În: Bradley, R.S., Jones, P.D. (eds.): *Climate since A.D. 1500*. London, Routledge. 349-365.
- Smith, D., 2000. Dendroglaciological investigations at Tzeetsaytsul Glacier Tweedsmuir Provincial Park. UVTRL Report 1. 17 p.
- Smith, D.J., Laroque, C.P., 1996. Dendroglaciological dating of a Little Ice Age glacial advance at Moving Glacier, Vancouver Island, British Columbia. *Geographie Physique et Quaternaire*. 50: 47-55.

- Smith, D.J., McCarthy, D.P., Colenutt, M.E., 1995. Little ice age glacial activity in Peter Lougheed and Elk Lakes provincial parks, Canadian Rocky Mountains. *Can. J. Earth Sci.* 32: 579-589.
- Soran, V., Gârlea, D., 1981. Cercetări asupra dendrocronologiei și dendroecologiei zămbrului din Munții Retezat. Ocrotirea naturii și mediului înconjurător.
- Speer, J.H., Swetnam, T.W., Wickman, B.E., Youngblood, A., 2001. Change in Pandora moth outbreak dynamics during the past 622 years. *Ecology* 82(3): 679-697.
- StatSoft, 2003. Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>. Accesat în 2003.
- Stănescu, V., 1979. Dendrologie. Editura Didactică și Pedagogică. București. 470 p.
- Swanson, F.J., Johnson, S.L., Gregory, S.V., Acker, S., 1998. Flood disturbance in a forested mountain landscape. *BioScience* 48(9): 681-689.
- Swetnam, T.W., Thompson, M.A., Sutherland, E.K., 1985. Spruce Budworms Handbook. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. Agriculture handbook USDA 639. 39 p.
- Tessier, L., Guibal, F., Schweingruber, F.H., 1997. Research strategies in dendrochronology and dendroclimatology in mountain environments. *Climatic Change* 36: 499-517.
- Tessier, L., Serre-Bachet, F., Guiot, J., 1990. Pollution fluoree et croissance radiale des coniferes en Maurienne (Savoie, France). *Ann. For. Sci.* 47: 309-323.
- Tift, B.D., Fajvan, M.A., 1999. Red maple dynamics in Appalachian hardwood stands in West Virginia. *Canadian Journal of Forestry Research* 29: 157-165.
- Till, C., Guiot, J., 1990. Reconstruction of precipitation in Morocco since 1000 A.D. base don *Cedrus atlantica* tree-ring width. *Quat. Res.* 33:337-351.
- Tissescu, A., 1988. Cercetări de auxologie și dendrocronologice în arboretele de gorun și stejar cu fenomene de uscare. Referat științific final. ICAS. București. 39 p.
- Tissescu, A., 1989. Aportul dendrocronologiei la relevarea echilibrului ecosistemelor forestiere. Lucrările conferinței de ecologie: Strategii pentru asigurarea echilibrelor ecologice. Iași.
- Tissescu, A., 1990. Cercetări privind elaborarea seriilor dendrocronologice la gorun - *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. și stejar penduculat - *Quercus robur* L.. *Revista pădurilor.* 105(1): 26-31.
- Topor, N., 1963. Ani ploioși, ani secetoși în R.P.R. Editura Institutului Meteorologic. București. 302 p.
- Villalba, R., 1990. Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1000 years as inferred from tree-ring records. *Quat. Res.* 34: 346-360.
- Villalba, R., Veblen, T.T., 1997. Spatial and temporal variation in *Austrocedrus* growth along the forest-steppe ecotone in northern Patagonia. *Can.J.For.Res.* 27: 580-597.
- Vitas, A., 1998. Dendroclimatological research of spruce forests in the west and central Lithuania. Mater Thesis. Vytautas Magnus University. Kaunas. 60 p.
- Weber, U., 1994. Computer-aided processing and graphical presentation of skeleton plots using commercial software packages. *Dendrochronologia.* 12: 147-158.
- Weber, U., 1995. Ring-width measurements versus skeleton plots. *Dendrochronologia.* 13: 147-148.
- Weber, U.M., 1997. Dendroecological reconstruction and interpretation of larch budmoth *Zeiraphera diniana* outbreaks in two central alpine valleys. *Trees* 11: 277-290.
- Wilson, J.W., 1964. Annual growth of *Salix arctica* in the high-arctic. *Annals of Botany.* 28: 71-76.
- Wrobel, S., Eckstein, D., 1997. Determining time and environment from tree rings. *Pact* 36-3: 33-49.

Methodological fundamentals and applications of dendrochronology

Tree growing in an area with seasonal variations of climate (winter-summer alternation or the humid season-dry season) is characterized by a single growth per vegetation period, namely the growth ring. The growth ring varies from one year to another (in the case of annual variation of the climate) or from one vegetation period (season) to another (in the case when the seasonal variation of climate is longer or shorter than a year), as far as both its width and its structure and density of wood are concerned. The annual tree ring constitute an archive, a real database, regarding the secular and multi-secular variation of the environment factors at both global and mezo- and microscale levels, being a real highly sensitive phytoclimatograph, with a functioning period of a few hundred years, capable of recording and storing information on the action of the environment factors. Dendrochronology, in its broad sense, is meant to solve the causes which determined the variability of the characteristics of a multi-annual sequence of growth rings, using specific material and methods, to retrospectively identify the changes and events occurred in the forests ecosystems.

The Romanian forest ecosystems have a very high dendrochronological potential, the building of dendrochronological series for the main forest species, by ecological areas, being a premise of a better knowledge on the dynamics of environment factors and implicitly of the complex biological systems, the forests. Taking into account of the dendrochronological potential of the forest ecosystems constitutes a “must” of the fundamental and applicative scientific research in the area of the environment sciences.

Dendrochronological research in Romania had a strong ecological character, a character of assessment through methods specific to the dendroecology of the environment degradation's impact on trees and stands growing, especially under the influence of pollution. The historic analysis of the dendrochronology studies allows the identification of three distinct stages. A first stage is represented by studies and research with an exploring character of the dendrochronological techniques, this being done especially within the forest auxology (Giurgiu, 1967, 1974, 1977, 1979), the cyclic variations of growth for Silver fir trees and other species being shown (Giurgiu, 1967, 1974), the building of the series of growth indexes for *Pinus cembra* from Rodna and Retezat massifs, based on a small number of trees (1-2 washers) (Pânzaru and Soran, 1983; Soran and Gârlea, 1981; Seghedin, 1977) or the

dendrochronological series for a fossil oak trunk from the Siret river's riverbed (Dumitriu-Tătăranu and Popescu, 1983) to which statistical methods of analyses of the seasonal variation and of the elimination of age influence has been applied.

The next stage is a better knowledge of the applied dendrochronological research (dendroecology), worth noticing being the research on the quantification of the pollution's impact on the forest ecosystems (Ianculescu, 1975, 1977, 1987; Ianculescu and Tisescu, 1989; Tisescu, 1988, 1989; Barbu, 1989, 1991; Flocea, 1992), as well as the research in the area of analyses of structural changes of forest ecosystems, being possible to set some criteria of classification of growth curves, in relation with the cenotic position and the structural changes (Cenușa, 1992, 1993, 1996, 1998; Iacob, 1998).

The building of the first dendrochronological series, according to the ITRDB requisites, has been done in the last years for Norway spruce (Schweingruber, 1985; Popa, 2002), Silver fir (Popa, 2002), Swiss stone pine (Popa, 2002), oak (Tisescu, 1991; Borlea, 1999; Popa, 2002). In the area of dendroarcheology worth noticing is the research on the dating of the wooden churches from Maramures area (Babos and Eggertsson, 2002).

The high dendrochronological potential of the Romanian forest ecosystems, together with the lack of the integration of the Romanian research in the field of dendrochronology in the international circuit are important elements for the decision-makers in the field of forest research to promote the dendrochronological researches. The result was the decision to include in the national research program ORIZONT 2000, as part of the fundamental objective "Substantiation of sustainable management of forests in order to increase their ecological, economical and social functions", a distinct sub-objective concerning the impelling of dendrochronological research "Dendrochronological, dendroclimatic and dendroecological foundations for sustainable management of forests". Within this program, between 2000 and 2002 two research projects have been performed, with subjects concerning the elaboration of dendrochronological series for Norway spruce, Silver fir and oak, which could be applied in dendroclimatology and dendroecology, namely research on climate changes. Within the research project "Elaboration of dendrochronological series for Norway spruce, Silver fir and oak with applicability in dendroecology and dendroclimatology", a number of 16 dendrochronological series have been elaborated and validated, covering various ecological conditions, other three being now analyzed. The dendrochronological series for Norway spruce came from two mountain massifs located in the Northern part of the country, namely the Rodnei Mountains and Rarău-Giumalău massif. These dendrochronological series capture the influences exerted by the two main valleys (Bistrita Aurie and Moldova) on the general climate. In order to capture the micro-zonal variability in the Rodna Mountains, on the Eastern mountainside, three dendrochronological sites have been established in Putredu massif (PUTA, PUTB and PUTC), three in Bila massif

(BILA, BILB, BILC), as well as an intermediate series between these two areas, in Tomnatic massif - TOMA. Also, for this hydrographic basin has been build a dendrochronological series for Swiss stone pine - BILD. For Silver fir were built five dendrochronological series, geographically covering the Eastern part of the Carpathians: the dendrochronological series in Tibles massif (TIBA), in Rarău-Giumalău massif (SLAB), Obcinile Bucovinei (DEMA), Soveja (SOVA) in the area of the curvature Carpathians and Sinaia (SINA) in Bucegi massif.

These dendrochronological series, by the methodology used, represent masters series of growth indexes for the researched areas, clearly showing, regardless of species or geographical area, the great periods of accentuated auxological regress, like the one between 1945 and 1947. Also, one can notice periods of reduced radial growth specific to each ecological area (Rodna years 1913-1915, 1875-1880). In the case of Norway spruce, the period covered by the analyzed dendrochronological series, vary from 170 years in BILB surface to 269 years in the case of PUTC series. The dendrochronological series for *Pinus cembra* (BILD) goes up to the year 1672, respectively on a period of 329 years. For Silver fir, the dendrochronological series cover a greater period, varying from 287 years in the case of SINA site to 335 years in the case of TIBA series. The average radial growth is reduced in the stands areas at the altitude limit of the forest or in the difficult conditions (especially generated by very steep slopes), like the PUTC and BILD series. In general, the radial average growth is of about 2 mm/year, varying between 0.39 mm/year (for Swiss stone pine - BILD), respectively 0.53 mm/year (SLAA) and 6.24 mm/year for the PUTB series for Norway spruce. For Silver fir the average growth varies from 1.39 mm (DEMA) to 1.95 mm (SINA), the extreme values being between 0.19 (SOVA) and 0.40 mm (SLAB) for the case of the minimum radial growth, respectively 3.18 (DEMA) and 5.06 mm (SOVA) for the maximum values. The average sensitivity, indicator of the trees reaction to the variation of the climatic factors, is between 0.12 and 0.14 for Norway spruce while in the case of the Silver fir varies between 0.13 and 0.17, for the growth series, respectively 0.10 and 0.17 in the case of the series of growth indexes. The first order autocorrelation is very high for all the average growth series, having values of 0.4-0.5 in case of the series of growth indexes from the SLAA, GIUA and BILD points, indicating a high interdependency of the annual rings from the t and $t-1$ years. High correlation can also be identified between the dendrochronological series for the same species, the correlation link between species being insignificant from statistic point of view. Still, the auxological response to environment changes is the same as far as the direction of reaction is concerned, the intensity varying and this fact is confirmed by the relatively high concordance coefficients between intra- and inter- specific growth indexes. In the case of the Norway spruce, the highest correlation are between the series from the same massif, being at the values of 0.3-0.4 between the series from the Rodnei mountains and Moldova Basin. The series from the Slatioara Secular Forest for

Norway spruce (SLAA) and Silver fir (SLAB) show a correlation coefficient of 0.444, respectively a concordance coefficient of 0.653.

The reaction of trees to environment factors, especially to climatic ones, varies in report to the microstational and macrostational conditions, to the particularities of the species, to the nature and intensity of the analyzed environment factor etc. Through the statistical classical parameters specific to the dendrochronological analysis, one can show the similarities between the dendrochronological series from different geographical areas. It is a well-known fact that under strong stress factors (long dry period) the reaction of the trees from the affected area is similar but of a different intensity. For a more thorough detection of the mesozonal variation, we use a complex statistical instrument - the analysis of principal components which allows rendering obvious the way the observations are stratified. For this end, we turned to an hierarchic-type of approach, from simple to complex, performing an analysis of principal components, starting from small areas to macro-zones, from intra-specific level (Norway spruce and Silver fir) to inter-specific level (considering both the Norway spruce and Silver fir and Swiss stone pine). In order to have an image of the changes in time of the spatial distribution of the series of growth indexes, the analysis has been performed for both the entire common period and for sub-periods of 50 years, with common segments of 25 years. The analysis of the common variability explained by each principal factor, as well as the distribution of the dendrochronological series in the plane of the first three principal components, allowed finding of the ecological significance for each factor. Explaining between 35 and 90% of the variation (in relation to the species, the analyzed area etc), the first factor synthesizes the common climatic signal, being reduced in the case of the intra-specific analysis and at maximum in the case of the Norway spruce from the same mountain massif. Thus, in the case when the analysis had all the dendrochronological series in view, the common climatic signal represented by the first principal component explains only 30-38% of the variation, the influence of the species explaining 15-18% of the variation (the second principal factors). Within the same species, the common variation from the first principal factor is of 50-65% in the case of the Silver fir (due to the extended area analyzed) and 70-75% for Norway spruce. If we reduce the investigated area to a single mountain massif, the variability observed at the first factor increases to 75-80%. The projection in the plane of the first three principal components clearly shows the spatial variability of the dendrochronological series, the significance of the second factor being the species (15-20% of the variability) in the case of the inter-specific analysis, determining a clear separation of Norway spruce from Silver fir and Swiss stone pine. In the case of intra-specific analysis, the variability explained by the second component stays at the value of 20% in the case of Silver fir and 10% in the case of Norway spruce, the explication being given by the geographical amplitude of the

analyzed series. Thus, an obvious separation by geographical criteria is made both in the case of Silver fir (the Northern group is separated by the Southern one) and of the Norway spruce (the Basin of the Bistrita Aurie river is separated by the one of Moldova river). At micro-zonal level, the secondary principal component induces a segregation of the series in relation to the intensity of the anthropic interventions, the explained variability being reduced below 10%, showing the homogeneousness of the reaction to variation of the climatic factors (PC1- 75-80% of the variation). The use of a network of dendrochronological series extended at the level of the entire Carpathian chain, the use of the response functions to the changing of climatic functions as variables, will allow a better substantiation of the significance of the principal components and of the influence factors in the spatial variability of dendrochronological series, detection of homogeneousness dendrochronological areas being possible.

The disturbance is defined as a relatively discreet event in time which modifies the structure of forest ecosystem, changing the availability of resources, sub-layer or physical environment (White and Pickett, 1985). The current structure of the natural mountain forest, respectively its heterogeneity, is a consequence of the regime of the disturbances occurred in time. The use of methods of dendroecology for reconstitution of the regime of disturbances has the reaction of the tree as fundament - in this case quantified through the parameters of the annual ring - to any change of the living environment. The changing of the structure of forests ecosystem under the impact of a stress factor (windthrow, forest technical interventions, insect attacks and so on) is clearly showed by the tree, through the changing of the quantified radial growth through the width of the annual ring. The graphical analysis of the individual and average growth series allows us to highlight some periods with very active radial growth alternating with periods of reduced growth. The influence of age determines a decrease of intensity and frequency of changing of growth rates. Starting from the aggregated model of the annual ring, through standardization (extraction of A_t signal) a series of primary growth indexes is obtained, for which the low frequency signal is directly correlated with the dynamics of disturbances. In the case of the growth series from Rodnei Mountains only a few episodes with significant perturbations of the structure of stands were identified. Interesting is the disturbance occurred in 1815-1820, that can be observed for all the series with a lower or higher intensity. The experimental surface from the Putredu A Massif is part of a typical timberline ecosystem subjected to anthropic action, through intensive grazing. Both the curves of individual radial growth and the average curve have a shape typical to the trees grown in conditions of reduced competition, with a general negative exponential trend twisted by a high frequency signal with a climatic determination. Though, a period of high release of auxological processes at the level of the year 1893 can be identified and this disturbance is present at most of the trees investigated. The high spacing out of the stands as a result

of the anthropical interventions between 1989-1993, supported by the number of stumps and their age is confirmed by the auxological outbreak in the next decade. In the case of the dendrochronological series from the Putredu B site, two episodes of a significant changing of the structure of stand can be observed, with major auxological effects: one around the year 1824, the second having its origin in the year 1860, the period with acceleration of growth in diameter being up to the year 1910. The current forests ecosystem from the Putredu C area is characterized by the presence of a superior layer (10-15% of the total number of trees) made out of dominant trees with ages of more than 250 years and also a lower layer made out of trees with ages between 150-160 years. The appearance of this layer is confirmed by the curve of average growth and it is due to some wind damage, an event which occurred around the years 1838-1843, more than 80% of the investigated trees have the minimum annual ring at 1.30 m around 1850-1853, confirming the hypothesis of a strong thinning of stand at the middle of the 19th century as a result of a catastrophic windthrow. The possibility of an anthropic intervention is excluded, because of the inaccessibility of the land, the slope being higher than 50-60°, the stand being even today not affected by the forest technical measures. The positioning on slopes with different exposure of the stands investigated in Putredu massif did not allow the highlighting of a correlation between the periods of action of disturbance factors. The site from the Tomnatic massif is a transition between the dendrochronological series from Putredu and Bila, being situated on a covered slope, with a low risk to be affected by wind and this fact is also shown by the shape of the average radial growth curve.

Within the Bila massif the way the investigated trees are positioned, by their distribution on both the mountainsides of the Higher Basin of Bila brook allowed a complex analysis of the historic dynamics of the actions of disturbance factors on the structure of forest ecosystems. Worth noticing in the BILA, BILB and BILC series are the perturbations from the years 1820, 1880 and 1920. The average series of radial growth for Swiss stone pine (BILD) constitutes the faithful and complete image of the history of the action of risk factors regime - in this case represented windthrow - from the Bila basin, interesting from the effects point of view being the episodes from the years 1699, 1736-1746, 1814-1817 and 1915. In the case of the Swiss stone pine series (BILD), the disturbance occurred around the year 1820, the trees strongly reacting, through an accelerated radial growth on a period of 40 years. The most likely perturbation factor is some wind damage, with catastrophic effects and the year when this happened coincides with the year when the stands from BILC and BILB series from the same massif appeared. This major disturbance can be clearly identified also for the series from the Moldova basin. Unlike the forest ecosystems from the Bistrita Aurie Basin, in the case of the ones from the Moldova Basin one can notice a higher frequency of structural changes, with significant au-

xological changes determined by the disturbance factors. Thus, in case of the stand from the Demacusa Basin, for Silver fir, approximately eight major windthrows during three centuries can be identified. These occurred at almost equal intervals of 35-40 years and a dynamics of growth in stages, characteristic to a forest ecosystem subjected to some periodic significant structural changes could be highlighted. Worth noticing, as far as the intensity and duration, are the accelerated growth periods from the years 1745-1772, 1794-1814, 1825-1831, 1867-1881, 1913-1927, 1940-1951, 1964-1970. In case of the growth series from the Giumalau Secular Forest (GIUA) several of such sudden accentuated growth periods can be identified, the most obvious one occurring around the year 1760 when the wind damage suddenly highlighted the existent 20-30 years old sapling-covered area. In the Slatioara Secular Forest one can notice a similar regime of disturbance in the case of Norway spruce and Silver fir, worth noticing being the ones from the years 1740, 1777, 1820, 1865, 1890, 1964. Very interesting is the period of reactivation of growth after 1945-1947, very obvious in the case of the Norway spruce, having climatic determination. In Tibles Massif (TIBA) worth noticing are the windthrow around the year 1790 which determines a significant acceleration of radial growth for a period of 60 years, being equivalent with a strong opening of the stand. Other significant perturbations are the ones from 1890 and 1947-1948, the last one having as possible cause a reviving of the radial growth as a result of the drought in the previous period. The growth series from the southern part of the country, from Sinaia (SINA) and even from Soveja (SOVA) have a much more uniform variation of rate of growth, without any sudden significant oscillations, only the periods of elimination of maternal stand and of highlighting of young trees, through performance of some technical forest works or as a result of some wind damage, being clearly identified. In case of the Soveja series one can notice a single major perturbation around the years 1820-1830 which significantly modified the structure of the ecosystem, determining an accelerated increase up to the level of the year 1900. In Sinaia, obvious is the disturbance from 1875 which determines a modification of radial growth rates with more than 300%. The elimination of age influence through primary standardization determines an accentuation of the alternation of periods with accelerated growth with periods of decrease of growth. The identified perturbations in the case of the growth series are much better highlighted in the case of the primary indexes. The comparative analysis of the extracted signals allows the establishment, through inter-dating, of some windthrows with catastrophic effects, those events affecting all the dendrochronological series. The major windthrow that determined major changes of the forest landscape in the area is the one occurred between 1815-1820, having as consequence an acceleration of the growth of the Swiss stone pine from BILD, the appearance of Norway spruce stand from the same mountainside (BILC) and of the one from the opposite mountainside (BILB). The auxological mark of this event can also be noticed in the case of the dendrochronological series

from Moldova river Basin (GIUA, SLAA and DEMA), being very obvious in the case of the Silver fir from Slatioara Secular Forest. (SLAB). Another period with very active wind damage activity is the one from the years 1880-1890 that can be identified in the signal from the series GIUA, SLAA, BILB, PUTB. This event is also mentioned in the yearbooks of that time, being dated on June the 26th 1885 in Northern Moldavia (Fischer, 1899; Ichim, 1988). Starting from the dendrochronological series for Swiss stone pine, the oldest major disturbance is identified in the year 1699, being the oldest windthrow identified in Bucovina, This, through modification of the structure of the forest ecosystem, determines, through highlighting, an acceleration of development of Swiss stone pine tree's sapling covered area up to the year 1715-1720. As a result of accentuation of specific competition, there comes a decade of progressive and continuous decrease of the rhythm of radial growth. This regime of perturbations is also confirmed by the analysis of the growth series, through the method of the growth rates and the method of the modified growth rates. By applying these methods of dendroecological analysis at micro level one can reconstruct the temporal and spatial dynamics of the structure of forest ecosystems, thus getting extremely useful information on the evolution directions of these structures under the impact of the environment factors.

The climate influences the growth of trees! This generally accepted principle represents the fundament for the dendroclimatological research. The variation of radial growth of trees can be correlated with the variation of one or more climatic parameters known as determining the growth processes. In this case it is possible to find a statistical relation between growth and environment factors, which can be used for deduction or reconstruction of past variations of climatic parameters based on the variations of the annual ring's parameters. The width of the tree's annual ring varies from one year to another in a manner more or less regular, most of this variability being due to the past and current particular climatic conditions of the growth period. The relation degree between the annual ring and the climatic parameters depends on the ecological amplitude of the species, the proximity of extreme climatic conditions, and the amplitude of variability of the factors which have an influence on the growth and so on. The variation of the characteristics of the annual ring can be correlated with the variation of one or more environment factors with influence on the biological processes which lead to formation of the annual ring. From the dendroclimatology's point of view, the variation of width of annual ring or of a parameter of this ring, induced by climatic factors, is similar to the signal from a communication system, the variations occurred due to non-climatic factors being similar to the noise associated with this signal. According to this similarity, the series of growth indexes in an area with an optimal climate for that species has a low signal-noise ratio, compared to the dendrochronological series for the trees situated at the limit of the area with a high signal-noise ratio. In the case when the

growth index is an independent variable and the climatic parameters represent dependant variables, the statistical model is known as response function (the model's coefficients describe the way the tree is responding to climatic factors). In case when the growth indexes are explicative variables and the meteorological parameters constitute the explained variable, the statistical equations are called transfer functions (the variation of annual radial growth is transferred to the reconstruction of climate). In the case of the response functions, the amplitude and the sign of the statistical model's coefficients express the importance degree and the direction of reaction (response) of trees to variation of the climatic parameters used for calibration. In general, the significance of the coefficients of the transfer functions is not easy to be interpreted, these being applied to growth indexes for reconstruction of climate's past variation.

In order to exemplify the applicability of dendroclimatological research methods in the study of forest ecosystems, the climatic data from the meteorological station of Campulung Moldovenesc, located in the center of the study area, from the period 1961-1999, have been used. That period was characterized by a multi-annual average temperature of 6.6 °C and an annual level of rainfalls of 711 mm. The dendrochronological series used for calibration and verification are the ones from Giumalau Secular Forest (GIUA - Norway spruce), Slatioara Secular Forest (SLAA - Norway spruce, SLAB - Silver fir) and Demacusa Basin (DEMA - Silver fir) located close to the meteorological station. The analysis of the climate-tree relation has been done through the graphical comparison of the series of growth indexes with the monthly variation of meteorological parameters, through the method of correlation coefficients, the method of response functions, growth models with climatic fundament being calibrated and verified, through the method of multiple stepwise regression, respectively the method of multiple regression with extraction of the principal components and estimation of the error of coefficients through the bootstrap method.

In the case of the Norway spruce, respectively the GIUA and SLAA dendrochronological series, one can notice a significant negative correlation with the temperatures from the end of the previous vegetation season (July, August, and September) and positive with the rainfalls from that period. The same type of reaction concerning the previous vegetation season is also present in the case of the Silver fir, but the intensity is lower. Physiologically, this can be explained by the processes of formation of buds and the processes of accumulation of nutritive substances necessary for starting of physiological processes from the next season. As far as the current vegetation season is concerned, the Norway spruce has a significant positive reaction (GIUA - February, March, SLAA - April, July) to the regime of rainfalls. The thermal regime at the end of the season of vegetative repose and at the beginning of the vegetation season, months January - June induces a positive response from the Norway spruce. The Norway spruce's response to modification

of the thermal regime in the vegetation season, months July-August, is negative, the high temperatures directly and indirectly determining a decrease of the growth in diameter rhythm. In case of the dendrochronological series from Giumalau Secular Forest - GIUA - the temperature in August is negative and significantly correlated with the growth index. The end of the vegetation season, namely September, has a positive influence on growth, as far as the thermal regime is concerned, the reaction being negative to pluviometric regime.

In the case of the Silver fir, there is a positive reaction, even very strong and significant in the case of Slatioara-s series of growth indexes - SLAB, to temperatures from the cold season (December-March). The same positive response can be noticed in the case of the temperatures from the vegetation season (July - August), for the series of indexes from Demacusa Basin, the correlation being significant in the case of the temperatures from August. The rainfalls at the beginning of vegetation season (April - June) determine an acceleration of radial growth rhythm, but the correlation is insignificant from the statistical point of view. The comparative analysis of the series of real and estimated by statistical models growth indexes indicates a very good reliability of the response functions. Distribution of residual errors is random, except for the period 1985-1992 in the case of dendrochronological series from Slatioara (Norway spruce and Silver fir) and Demacusa, when the statistic model systematically overestimates the growth indexes. The explanation can be found in the presence of a disturbance signal with intense manifestation in this period, the hypothesis issued being the presence of some phenomena of intense pollution. This manifestation is very obvious, especially in the case of the Norway spruce from Slatioara Secular Forest - SLAA.

The methods of multiple regression, combined with extraction of the principal components allowed estimation of coefficients of the statistical model of the response functions, as well as the standard error of these coefficients. The general structure of the statistical model obtained by analysis of correlation and of multiple stepwise regression is confirmed. The reaction of Norway spruce and Silver fir to the thermal regime is in general similar. The negative influence of temperatures from July-September of the previous year is obvious for all the dendrochronological series. The average monthly temperatures from the cold season induce a positive reaction from the trees and this is obvious especially in the case of the Silver fir. At the beginning of the vegetation season (March-May) the Norway spruce positively reacts to increase of temperature, the Silver fir having a negative or indifferent reaction, statistically insignificant. Interesting is the antagonistic behavior of Norway spruce and Silver fir in the case of the thermal regime from July-August. Both species present a statistically significant reaction to this factor, but of inverse direction. The Norway spruce reduces its growth, expressed by growth indexes, while in the case of the Silver fir we are dealing with an acceleration of the biolo-

gical processes of accumulation of biomass in the annual ring. Using the statistical model represented by the response functions, we proceeded to estimation of growth indexes for the period 1961-1999, for each of the dendrochronological series. The repartition of errors is aleatory, these errors being statistically insignificant, except for the period 1983-1990 in the case of the Norway spruce series, respectively Silver fir in Slatioara, for which the decrease of the growth rhythm can not be totally explained by the climate.

The reconstruction of the variability of climatic parameters in the past represents one of the challenges of current dendroclimatology. A typical approach of dendroclimatology consists in identification of the climatic parameter to which it corresponds the variation of width of the annual ring from the past. The transfer functions can be obtained in a manner similar to the response functions, the difference consisting in the use of the growth indexes as independent variables and the use of climatic parameters as dependant variables. Starting from these reasons, we proceeded to analysis and reconstruction of past variation of some climatic parameters from Campulung Moldovenesc weather station. The chosen calibration period is between 1961 and 1980 and the one for verification is between 1981 and 1999. We decided to choose these periods due to a higher stability of the period previous to the 80-s, as far as the anthropic influences, like the atmosphere pollution in the researched area, are concerned. For calibration of transfer functions, both independent dendrochronological series and principal components extracted from several series of growth indexes can be used. The statistical models of reconstruction of some meteorological parameters from the Campulung Moldovenesc area, quantified based on both the dendrochronological series for Norway spruce (GIUA, SLAA), Silver fir (SLAB and DEMA) and the principal components extracted from the combination of these series, will be shown. The analysis of the correlation between growth indexes and meteorological parameters allows identification of those factors whose reconstruction is reliable, proceeding to calibration of transfer functions for temperatures from March, respectively September, and of the rainfall regime for September. The graphical analysis of the temperatures of March, reconstructed through the transfer functions, indicates a good concordance between the real temperatures and the ones estimated for the calibration and verification period. The transfer functions, calibrated based on the growth indexes for Silver fir, are much more reliable, the coefficients of correlation between the real temperatures and the ones estimated through the model, for the verification period 1981-1999, are of 0.439 - SLAB and 0.568 for the Demacusa - DEMA series. The beginnings of season with very low average temperatures are caught by all the series of growth indexes, due to the negative effect they have on the physiological processes of tree growing. Such period are the ones from 1964 (-1.9°C), 1947, 1929 or 1799, with temperatures around -2°C , as well as years with very hot springs (1927) which induce a positive effect. The thermal regime from the verification period of the

years 1980-1999, in the case of March, is faithfully reconstituted by all the transfer functions. The lack of rainfalls at the end of vegetation season from the 1982-1989 period (verification period) is highlighted by all the dendrochronological series, in the series of growth indexes also being captured the recovery of the rainfall regime of the next years. Considering the fact that there was a greater distance to the weather station, the dendrochronological series for the Silver fir from Demacusa generated a much more uniform transfer function, as far as the variability is concerned. The periods of long drought at the beginning of autumn are present in all the transfer functions, perhaps a little stronger in the case of Norway spruce. Such periods (1946, 1927, 1890 and 1862) with rainfalls below 10 mm are also confirmed by some historical records as being dry autumns. The checks performed by making a comparison of the reconstituted climatic parameters with the dynamics of the drought periods (Topor, 1963) and with the historical records from Campulung Moldovenes weather station for the 1930-1960 periods confirm the reliability of the proposed transfer functions.

Lack of the Romanian dendrochronological research from the international circuit, corroborated with the high dendrochronological potential of forest ecosystems, demands an intensifying of research in this area. The main orientation directions of Romanian dendrochronology, in a first stage, must aim at the following aspects:

- implementation of the national dendrochronology network and integration of this network in the European and world networks. In the international system, Romania appears with only three dendrochronological series for Norway spruce, conceived in 1984 by Schweingruber (1985), not showing the real dendrochronological potential of the Carpathian ecosystems;
- establishment and proper endowment of a dendrochronology laboratory. The establishment of a dendrochronology laboratory, very good endowed, in order to follow the European standards, creates the premises for its integration and recognition within the European network of dendrochronology laboratories;
- the analysis of spatial variability of dendrochronological series for the entire Carpathian space, by both the growth indexes and by the functions of response to climatic factors. Applying of modern methods of multivariable statistical analysis - the method of principal components - for the entire dendrochronology network will allow performing of some delicate studies on the reaction of trees to changing of general and local climate in relation with the species, ecological area;
- reconstruction of dynamics of structure of natural forest ecosystems through dendrochronological techniques. The methods made available by dendrochronology constitute an effective tool for analysis of structural changes occurred in the forest ecosystems, providing the fundament for prognosis of the direction of evolution of these ecosystems. The settling, using dendro-

-
- ecological techniques, of the frequency and intensity of disturbance factors provides scientific support for the decision-makers in the field of forestry;
- reconstruction of dynamics of meteorological parameters and of climate in general, on the basis of the growth indexes. Knowing the Romanian climate's historical variation represent a basic component of the strategies for sustainable management of the forest ecosystems in the current conditions of major climatic changes happening nowadays. The annual ring of trees provides the information needed for quantification of paleoclimate, dendroclimatology possessing tools and techniques proper for this kind of researches and investigations;
 - dating of wooden historical vestiges now has new valences if we use the dendrochronological techniques. The recent researches on dating of the wooden churches from Maramures (Babos and Eggertsson, 2002) led to illustrating results.

Glosar de termeni

Accelerarea creșterii (growth release) - o intensificare evidentă a creșterii radiale sub efectul reducerii presiunii competiționale a arborilor vecini, ca urmare a eliminării acestora.

Amplitudine ecologică (ecological amplitude) - limitele habitatului în care o specie poate crește și se poate regenera.

An caracteristic (pointer year) - anul pentru care majoritatea arborilor dintr-un grup, prezintă un inel caracteristic de aceeași natură (pozitiv sau negativ).

An eveniment (event year) - anul în care creșterea radială este evident mai redusă sau mai ridicată decât valoarea medie a lățimii inelelor de creștere (asociat cu inelul caracteristic).

Autocorelația de ordinul I (first order autocorrelation) - statistică ce desemnează intensitatea legăturii corelative dintre o valoare a seriei de timp și cea anterioară.

Auxometru (auxometer) - aparat de măsurare discontinuă a variației dimensiunilor trunchiului arborilor.

Burghiu de creștere (increment borer) - instrument similar cu un burghiu, utilizat pentru extragerea unei probe cilindrice de lemn din trunchiul arborilor (burghiu Pressler).

Calibrare (calibration) - proces prin care, în dendroclimatologie, se cuantifică o funcție de transfer sau o funcție de răspuns, care sunt utilizate pentru estimarea uneia sau mai multor variabile dependente în baza unui set de variabile independente.

Cambiu (vascular cambium) - țesut meristematic situat între lemn și scoarță care

prin diviziune produce xylem spre interior și floem spre exterior.

Carotă (increment core) - probă de lemn de formă cilindrică extrasă din arbori cu ajutorul burghiului Pressler.

Climat (climate) - media unui ansamblu de fenomene meteorologice care se manifestă într-o perioadă lungă de timp.

Coefficient de autocorelație (autocorrelation coefficient) - statistică ce descrie intensitatea legăturii dintre valoarea actuală a unei serii de timp și valorile precedente.

Coefficient de corelație (correlation coefficient) - parametru statistic care exprimă intensitatea legăturii dintre două seturi de date, având valori cuprinse între -1 (corelație negativă perfectă) și 1 (corelație pozitivă perfectă).

Coefficientul de concordanță (concordance coefficient) - statistică neparametrică care măsoară similaritatea variației anuale a două serii de inele anuale, exprimată în mod uzual ca procent a cazurilor cu un comportament similar (gleichlaufigkeit).

Creștere anuală (annual growth) - strat de biomasă lemnoasă depusă într-un an de zile care în secțiune apare sub formă de inel de creștere.

Dendroarheologie (dendroarcheology) - domeniu al dendrocronologiei care utilizează seriile dendrocronologice pentru datarea lemnului arheologic.

Dendroclimatografia (dendroclimatology) - domeniu al dendrocronologiei care utilizează inelele anuale datate pentru reconstituirea și cartografierea spațială a variațiilor istorice ale climatului.

Dendroclimatologie (dendroclimatology) - domeniu al dendrocronologiei care utilizează inelul anual pentru studierea și reconstituirea climatului prezent și trecut.

Dendrocronologie (dendrochronology) - știința care utilizează inelul anual, datat la anul exact al formării sale, în analiza temporală și spațială a proceselor din științele fizice și culturale.

Dendroecologie (dendroecology) - domeniu al dendrocronologiei care utilizează inelul anual în studiul factorilor care influențează procesele ecosistemice.

Dendroentocronologie (dendroentochronology) - domeniu a dendrocronologiei care utilizează inelul anual pentru datarea și studiul dinamicii istorice a populațiilor de insecte.

Dendrogeomorfologia (dendrogeomorphology) - domeniu al dendrocronologiei care utilizează metodele dendrocronologice pentru datarea proceselor geomorfologice de suprafață care au creat, alterat și modificat peisajul.

Dendroglaciologia (dendroglaciology) - domeniu a dendrocronologiei care utilizează inelul anual pentru datarea și studiul dinamicii ghețarilor.

Dendrograf (dendrograph) - aparat de înregistrare continuă a variației dimensiunilor trunchiului arborilor.

Dendrohidrologia (dendrohydrology) - domeniu al dendrocronologiei care utilizează inelul anual pentru analiza dinamicii istorice a resurselor de apă și datarea unor evenimente hidrologice extreme.

Dendropirocronologia (dendropyrochronology) - domeniu a dendrocronologiei care utilizează inelul anual pentru studiul dinamicii prezente și trecute a incendiilor.

Elaborarea cronologiei (chronology building) - interdatarea și procesarea lățimii inelelor anuale sau a altor indici de la mai multe probe de creștere dintr-o anumită stațiune sau regiune pentru realizarea unei

succesiuni temporale de referință omogenă, utilizabilă la datare și reconstituirea istorică a climatului.

Factor limitativ (limiting factor) - factor care controlează creșterea radială.

Factori de mediu (environment factor) - fenomene specifice care intră în interacțiune cu un organism la un moment dat în timp și spațiu.

Filtru statistic (statistic filter) - ansamblu de ponderi aplicate unei serii de timp pentru reducerea varianței la anumite frecvențe. Când numai semnalul de joasă frecvență este reținut: filtru de joasă frecvență, iar când se extrage semnalul de înaltă frecvență: un filtru de înaltă frecvență.

Funcție de răspuns (response function) - ecuația statistică calibrată care exprimă, separat, efectul relativ a unor condiții climatice asupra creșterii radiale, cuantificată prin parametrii inelului anual.

Funcție de transfer (transfer function) - ecuație statistică calibrată care permite estimarea climatului pornind de la indici de creștere;

Indice de creștere (growth index) - valoare transformată a lățimii inelului anual sau a altui parametru prin standardizare, având media egală cu 1 (100) și o varianță relativ omogenă în timp.

Inel anual (annual tree-ring) - vedere în secțiune a unei creșteri anuale.

Inel caracteristic (pointer value) - inelul anual cu dimensiuni evident mai mari sau mai reduse decât valoare medie a seriei de creștere.

Inel fals (false ring) - o schimbare a structurii celulelor în interiorul inelului anual care se poate confunda cu limita reală dintre inelele anuale, determinând apariția a două sau mai multe "creșteri" în cadrul uneia singure.

Inel lipsă (missing ring) - inele de creștere cu structură discontinuă pe trunchi, lipsind pe anumite direcții radiale.

Interdatare (crossdating) - procedură dendrocronologică de sincronizare a inelelor anuale cu o serie datată, în vederea identificării exacte a anului de formare a acestuia.

Interval caracteristic (pointer interval) - succesiune de ani caracteristici.

Lățime inel anual (tree-ring width) - dimensiunea inelului anual măsurată perpendicular pe acesta.

Lemn de compresiune (compression wood) - denumire a lemnului de reacțiune la speciile de conifere, caracterizat prin celule cu pereții îngroșați, care se formează pe partea opusă compresiunii, în partea inferioară a trunchiurilor aplecate sau curbate și în zonele de inserție de la baza ramurilor.

Lemn de reacțiune (reaction wood) - celule anormale formate în lemn asociate cu o creștere excentrică, diferit mult de lemnul normal din punct de vedere al structurii și proprietăților fizico-mecanice.

Lemn de tracțiune (tension wood) - denumire a lemnului de reacțiune la speciile de foioase, localizat la partea superioară a trunchiurilor curbate sau a ramurilor.

Lemn târziu (latewood) - lemn produs în inelul anual în a doua parte a sezonului de creștere, caracterizat prin celule cu pereții îngroșați și lumen mai mic (lemn de toamnă).

Lemn timpuriu (earlywood) - lemn produs în inelul anual în prima parte a sezonului de creștere, caracterizat prin celule cu pereții subțiri și lumen mare (lemn de primăvară).

Macroclimat (macroclimate) - ansamblul condițiilor climatice dintr-o regiune (climat regional).

Măduvă (pith) - țesut format din celule cu pereții nelignificați situat în centru trunchiului arborilor.

Microclimat (microclimate) - ansamblul fenomenelor meteorologice observate în timp cu manifestare pe o suprafață restrânsă.

Model (model) - ecuație sau diagramă

care reprezintă un set de factori și relațiile dintre ei.

Model agregat (aggregate model) - definire a inelului anual ca combinație liniară de semnale.

Perioadă de creștere bruscă (abrupt growth change)- succesiune de inele caracteristice, cu valori semnificativ mai mari sau mai mici decât cele normale.

Raport semnal-zgomot (signal-noise ratio) - raportul dintre semnalul urmărit prin studiul dendrocronologic și informația reziduală.

Reconstituire (reconstruction) - proces de estimare sau deducere a condițiilor istorice sau a unui eveniment din trecut în baza unei serii cronologice date.

Reducerea creșterii (growth suppression) - o reducere marcantă a creșterii radiale a arborelui sub efectul competiției cu arborii vecini.

Regresie (regression) - termen statistic general reprezentat printr-o ecuație care descrie relația dintre o variabilă dependentă și una sau mai multe variabile independente.

Regresie multiplă (multiple regression) - ecuație care implică mai multe variabile independente pentru explicarea unei variabile dependente.

Regresie multiplă în trepte (multiple stepwise regression) - regresie multiplă în care includerea variabilelor independente în model se realizează treptat în funcție de anumite teste statistice.

Repetabilitate (replication) - eşanționarea și interdatarea mai multor serii individuale de creștere, mai mult de o probă pe arbore și mai mult de un arbore pe suprafață cercetată.

Rondelă (washer)- probă de lemn de formă circulară recoltată prin secționarea transversală a trunchiului arborelui.

Scoarță (bark) - toate țesuturile vegetale situate spre exteriorul cambiului.

Selecția stațiunii (site selection) - alegerea arborilor dintr-o suprafață limitată în vederea maximizării informației sau semnalului urmărit și minimizarea varianței nedorite.

Semnal (signal) - componentă a seriei cronologice a cărui variație în timp poate fi atribuită unui factor cunoscut sau urmărit: climat, perturbare, condiții biologice ale arborelui etc.

Sensibilitate (sensitivity) - termen dendrocronologic referitor la prezența unei variații a lățimii inelelor anuale în direcție radială în interiorul unui arbore indicând o creștere sensibilă la variația unui factor.

Serie de creștere (growth series) - serie de timp formată din parametri inelului anual (lățime, densitate etc.).

Serie de indici de creștere (growth index series)- serie de timp derivată din standardizarea seriei de creșteri anuale.

Serie de timp (time series) - un set de date reprezentând o secvență regulată de evenimente care sunt indexate în funcție de timp.

Serie dendrocronologică (dendrochronological series) - serie medie de indici de creștere provenind de la un număr de arbori dintr-o stațiune particulară care poate fi utilizată pentru interdatare și reconstituirea climatului.

Serie dendrocronologică de referință (master dendrochronological series) - serie medie de indici de creștere derivată din mai multe serii dendrocronologice dintr-o anumită regiune care poate fi utilizată pentru datare.

Specii cu distribuția porilor difuză (diffuse porous wood) - specii de angiosperme la care elementele de vase au un diametru relativ constant pe întreaga întindere a inelului anual, fiind repartizați relativ uniform.

Specii cu zonă inițial poroasă (initial

porous wood) - specii de angiosperme la care porii lemnului timpuriu au diametrul mult mai mare în raport cu cei din lemnul târziu.

Standardizare (standardization) - procedeu statistic prin care se elimină efectul vârste dintr-o serie de creștere prin aplicarea unei funcții matematice și transformarea acesteia într-o serie de indici de creștere.

Valori reziduale (residual value) - diferența dintre valorile observate și cele estimate prin aplicarea unei funcții matematice la un set de date.

Zgomot (noise) - variația de fond dintr-o serie cronologică care nu poate fi explicată de un anumit factor sau set de factori.