



Institutul de Cercetări  
și Amenajări Silvice

Seria I

Vol. 45, 2002

# ANALE

EDITURA  
TEHNICĂ  
SILVICĂ

# ELABORAREA DE SERII DENDROCRONOLOGICE PENTRU MOLID, BRAD ȘI GORUN CU APLICABILITATE ÎN DENDROCLIMATOLOGIE ȘI DENDROECOLOGIE

**IONEL POPA**

Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Stațiunea Experimentală de Cultura Molidului,  
Câmpulung Moldovenesc

## REZUMAT

În cadrul prezentei cercetări au fost elaborate și validate 16 serii dendrocronologice pentru molid, brad și gorun, acoperind peste 300 de ani și condiții ecologice diverse. Aplicând metoda componentelor principale a fost posibil studiul variabilității spațiale a acestor serii de indici de creștere. Prima componentă care explică între 35% (în cazul tuturor speciilor) și 60% (pentru aceeași specie), respectiv 90% în cazul aceluiași masiv muntos, reprezintă semnalul climatic comun. Semnificația ecologică a componentei secundare variază de la specie la intervenții antropice în cazul seriilor din Rodna.

Analiza grafică a indicilor de creștere primari permite identificarea frecvenței și intensității marilor perturbări. Interesantă este perturbarea din 1815 - 1820 din Rodna care este foarte evidentă în cazul cronologiei pentru *Pinus cembra* coîncizând cu instalarea arboretului din BIL.C și BIL.B. Aplicațiile de dendroclimatologie au fost realizate în baza seriilor dendrocronologice pentru molid și brad, respectiv parametrii meteorologic de la stația Câmpulung Moldovenesc. Creșterea molidului este negativ corelată cu temperatura de la sfârșitul sezonului de vegetație anterior și pozitiv cu precipitațiile din aceeași perioadă. Precipitațiile de la începutul sezonului de vegetație au o influență pozitivă pentru ambele specii. Reacția la temperatura din iulie - august este antagonistă, relația fiind negativă pentru molid și pozitivă pentru brad. Prin intermediul funcțiilor de transfer s-a reconstituit dinamica istorică a temperaturii lunii martie și a regimului pluviometric din septembrie pe o perioadă de 300 de ani pentru Câmpulung Moldovenesc.

**Cuvinte cheie:** dendrocronologie, dendroclimatologie, dendroecologie, serii dendrocronologice, variabilitate spațială

## 1. INTRODUCERE

Creșterea arborilor într-un areal cu variații sezoniere ale climatului (alternanță iarnă

– vară sau sezon umed – sezon secetos) se caracterizează prin formarea unei singure creșteri pe perioadă 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 sezoniere a climatului cu un ciclu mai mare sau mic de un an) atât în ceea ce privește lățimea sa cât și 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, 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.

## 2. SCOP ȘI OBIECTIVE

Prin metodica de cercetare s-a urmărit clarificarea unor probleme de ordin metodologic privind elaborarea seriilor dendrocronologice de referință referitoare la adaptarea metodelor clasice de măsurare a lățimii inelului anual la noile tehnologii informatice, elaborarea și implementarea algoritmilor informatici de prelucrare primară a seriilor de creștere și a interfeței de comunicare cu programele oficializate de ITRDB (International Tree Ring Database), stabilirea complexului de indicatori statistici de analiză și testare a relevanței seriilor de indici de creștere și implementarea informatică a acestora.

Seriile dendrocronologice de referință validate au constituit fundamentul științific în analiza unor probleme de dendroecologie și dendroclimatologie aplicată urmărindu-se răspunsul la următoarele întrebări: care este variabilitatea spațială a seriilor dendrocronologice și care sunt criteriile de delimitare a zonelor dendroecologice omogene, cum se reflectă influența factorilor perturbatori în dinamica creșterilor radiale, cum poate fi cuantificată relația climat-arbore.

## 3. METODA DE CERCETARE

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 date, reconstituirea climatului.

Alegerea zonelor de amplasare a suprafețelor experimentale de dendrocronologie s-a realizat conform principiilor dendrocronologice (principiul factorilor limitativi, amplitudinii ecologice și alegerii stațiunii). Pentru elaborarea seriilor dendrocronologice de

referință din fiecare suprafață experimentală au fost extrase, conform principiului repetabilității (Fritts 1976), de la un număr de 20-25 de arbori câte 2 probe de creștere. Carotele, după uscare în aer liber, au fost montate pe suporturi de lemn, special realizați, fiind șlefuite cu bandă abrazivă cu granulație fină (200 – 400) în vederea evidențierii inelelor anuale. Măsurarea lățimii inelelor anuale s-a realizat prin metoda analizei de imagine cu ajutorul programului CAROTA 2.1 (Popa 1999).

Prelucrarea primară a seriilor individuale de creștere a vizat calculul indicatorilor statistici (creșteri medii, maxime și minime, indici de variabilitate, sensibilitatea dendrocronologică, autocorelația de ordinul I, lungimea seriei de creștere etc.), reprezentarea și analiza grafică, finalizându-se cu interdatarea și verificarea seriilor cronologice cu programele CAROTA 2.1 și COFECHA (Holmes-1983). Pentru separarea semnalului climatic, în conformitate cu modelul agregat al inelului anual (Cook și Kairiukstis 1990), respectiv eliminarea influenței vârstei, a perturbațiilor endo și exogene, s-a aplicat metoda dublei standardizări cu ajutorul unei funcții exponențiale sau liniare în prima fază și a funcției spline cubice în faza a doua. Seria de indici de creștere de referință pentru zona studiată s-a obținut prin intermediul mediei robuste bponderate (Cook și Kairiukstis 1990).

În cadrul aplicațiilor de dendroecologie și dendroclimatologie s-au utilizat metode statistice moderne de analiză a datelor specifice obiectivelor urmărite, respectiv analiza componentelor principale, metode regresive multiple în trepte, metode iterative de estimare a erorii coeficienților de regresie – metoda bootstrap.

#### 4. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Aplicând metodologia propusă s-au elaborat un număr de 16 serii dendrocronologice de referință pentru molid, brad și gorun acoperind zone dendroecologice diverse (tabelul 1). Seriile dendrocronologice elaborate reprezintă serii de indici de creștere de referință pentru zonele cercetate, urmând a fi incluse în baza de date internațională - ITRDB. Aceste serii de indici de creștere evidențiază clar, indiferent de specie sau zonă geografică, marile perioade de regres auxologic accentuat cum este cel dintre ani 1945 – 1947 (fig. 1). Se remarcă de asemenea perioade cu creștere radială redusă specifice pentru fiecare zonă ecologică (Rodna, anii 1913-1915, 1875-1880).

Reacția arborilor la factorii de mediu, cu referire specială la cei climatici, variază în raport cu condițiile microstaționale și macrostaționale, particularitățile speciei și provenienței, natura și intensitatea factorului de mediu analizat. Prin intermediul parametrilor statistici clasici și specifici analizelor dendrocronologice se pot evidenția similaritățile dintre seriile dendrocronologice din zone geografice diferite. Este cunoscut faptul că la stresori puternici (secetă prelungită) reacția arborilor, din zona afectată, este similară, dar de intensitate diferită. Pentru analiza variabilității spațiale a seriilor dendrocronologice se pot utiliza metode grafice de comparare vizuală a seriilor de indici de creștere, analiza parametrilor statistici ai seriilor sau metoda coeficienților de corelație și concordanță

**Tabel 1.** Parametrii statistici ai seriilor dendrocronologice  
 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
Brad	SLAA	47°27'	25°38'	1300	1753-2000 (248)	0.15	7.41
	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
Zâmbru	SINA	45°21'	25°32'	1050	1715-2001 (287)	0.16	5.25
	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

(Schweingruber 1985). În vederea unei decelări mai fine a variațiilor mezononale s-a făcut apel la un instrument statistic complex - analiza componentelor principale. Această metodă statistică constă în reducerea variabilelor la un număr de factori (2-5 factori principali) care explică majoritatea variabilității, permițând evidențierea modului de stratificare a observațiilor. Aplicând o abordare de tip ierarhic, de la simplu la complex, s-a realizat 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 zâmbru). În vederea obținerii unei imagini temporale 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. Analiza variabilității comune explicată de fiecare factor principal precum și distribuția seriilor dendrocronologice în planul primelor trei componente principale a permis stabilirea

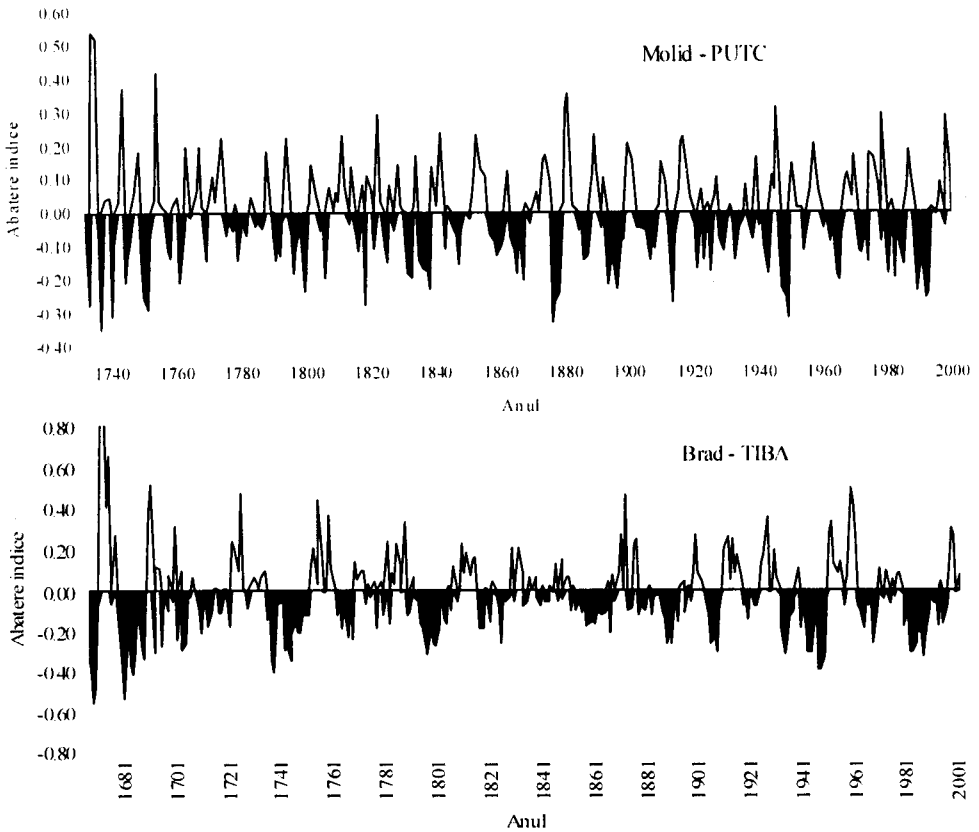


Fig. 1. Serii dendrocronologice pentru molid și brad  
Dendrochronological series for norway spruce and silver fir

semnificației ecologice pentru fiecare factor. Explicând între 35 și 90% din varianță (în raport cu specia, aria studiată etc.) primul factor sintetizează semnalul climatic comun, fiind redus în cazul analizei intraspecifice și maxim în cadrul molidului din același masiv muntos (fig. 2).

Proiecția în planul primelor trei componente principale evidențiază foarte clar variabilitatea spațială a seriilor dendrocronologice, semnificația celui de-al doilea factor fiind specia (15-20% din variabilitate) în cazul analizei intrespecifice determinând o separație clară a molidului de brad și zâmburu.

În cazul analizei intraspecifice variabilitatea explicată de componenta a doua rămâne în jurul valorii de 20% în cazul bradului și de 10% la molid explicația fiind dată de amplitudinea geografică a seriilor analizate. Se realizează astfel o separație pe criterii geografice evidentă atât în cazul bradului (grupa nordică de cea sudică) cât și a molidului (bazinul Bistriței Aurii de cel al Moldovei). La nivel microzonal componenta principală secundară induce o segregare a seriilor în raport cu intensitatea intervențiilor antropice, variabilitatea explicată fiind redusă sub 10%, remarcându-se gradul de omogenitate a reacției la variația factorilor climatici (PC1 - 75-80% din varianță).

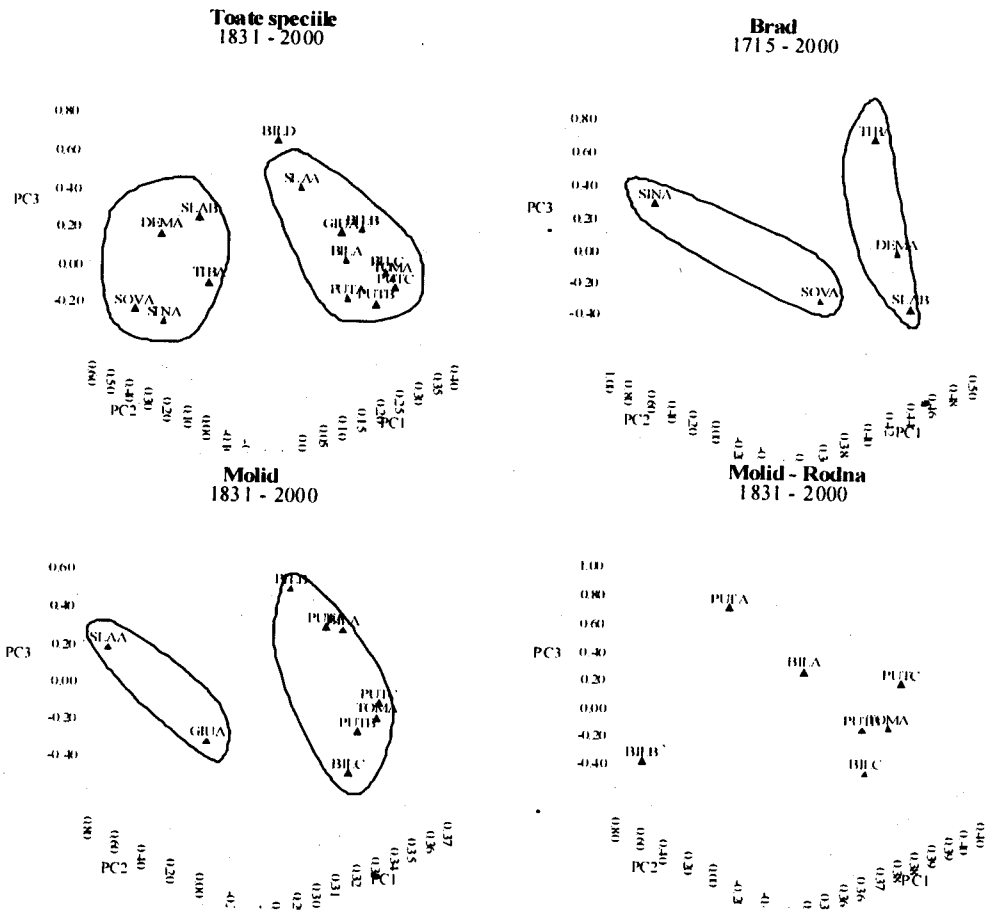


Fig. 2. Variabilitatea spațială a seriilor dendrocronologice  
Spatial variability of dendrochronological series

Perturbarea este definită drept un eveniment relativ discret în timp care modifică structura ecosistemului forestier schimbând disponibilitatea resurselor, substratului sau a mediului fizic (White și Pickett, 1985). Interesul asupra producerii perturbărilor naturale în ecosistemele forestiere, asupra dinamicii spațiale și temporale precum și a efectelor acestora a suscitat lumea științifică forestieră de mult timp, fiind propuse diverse metode de investigare a perturbărilor istorice de la analize simple în baza înregistrărilor cronologice, analize polinice, până la sisteme complexe de cercetare bazate pe datări cu izotopi. Structura actuală a pădurii montane naturale, respectiv eterogenitatea acesteia, este o consecință a regimului perturbărilor produse în decursul timpului. Utilizarea metodelor de dendroecologie în reconstrucția regimului perturbărilor are drept fundament reacția arborelui - cantificată în acest caz prin parametrii inelului anual - la orice modificare a mediului de viață. Modificarea structurii ecosistemului forestier sub impactul unui factor de stres (doborâturi produse de vânt, intervenții silvotehnice, atacuri de

insecte etc.) este reliefată fidel de arbore prin modificarea creșterii radiale cuantificată prin lățimea inelului anual. Eliminând prin standardizare influența vârstei se obține o serie de indici de creștere primari la care semnalul de joasă frecvență este direct corelat cu dinamica perturbațiilor (fig. 3).

În cazul seriilor de creștere din munții Rodnei se identifică numai câteva astfel de episoade cu perturbări ale structurii arboretului, interesantă fiind perturbarea din jurul anului 1815 - 1820, prezentă la toate seriile cu o intensitate mai mică sau mai mare. Aceasta este 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 coincide 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,

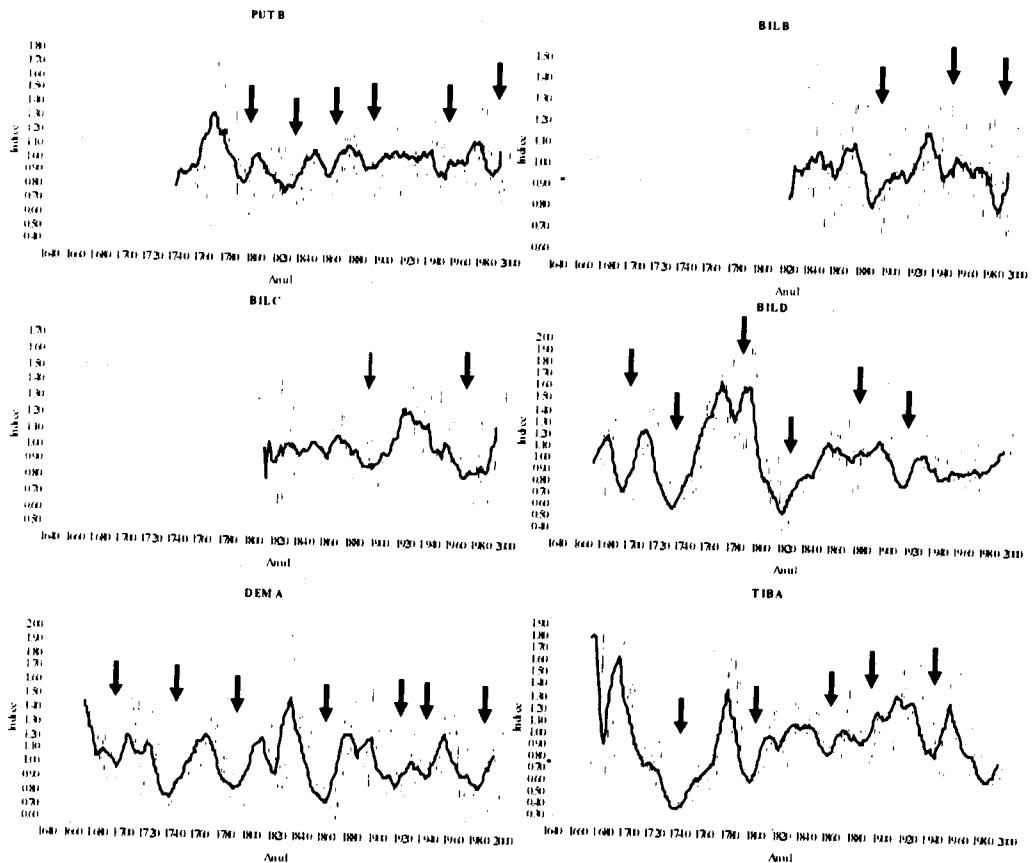


Fig. 3. Dinamica indicilor de creștere primari sub impactul factorilor perturbatori  
Dynamics of primary growth index over disturbance factors



Codrul Secular Slătioara, respectiv Demacușa (DEMA) la brad. Seriile dendrocronologice din bazinul Moldovei prezintă o frecvență mult mai mare a perturbărilor, fiind identificate aproximativ 8 doborâturi majore în decurs de 3 secole în cazul seriei din Demacușa, produse la intervale aproximativ egale de 35 - 40 de ani. Se remarcă ca intensitate și durată perioadele de creștere accelerată din anii 1745-1772, 1794 - 1814, 1825 - 1831, 1867 - 1881, 1913 - 1927, 1964 - 1970.

În cazul seriei de creștere din Codrul Secular Giurnalău (GIUA) se identifică mai multe astfel de perioade de creștere accentuată brusc, cea mai evidentă fiind în jurul anilor 1760 când o doborâtura a pus în lumină brusc semințișul de 20 - 30 de ani existent. 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 echivalent cu o deschidere puternică a arboretului. 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. 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 fiind menționată și în analele vremii, datată în 26 iunie 1885 în Moldova de nord (Fischer 1899). Cea mai veche perturbare clară, identificată, se remarcă în seria pentru zâmbrou - BILD datând din anul 1730 - 1735.

Climatul influențează creșterea arborilor! acest concept general acceptat reprezintă fundamentul cercetărilor de dendroclimatologie. 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. 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.

Gradul de relație dintre inelul anual și parametrii climatici depinde de amplitudinea ecologică a speciei, proximitatea de condiții climatice extreme, amplitudinea de variabilitate a factorilor care influențează creșterea etc. Variația caracteristicilor inelului anual poate fi corelată cu variația unuia sau mai multor factori de mediu cu influență asupra proceselor biologice care conduc 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 nonclimatici, fiind asimilate cu zgomotul asociat acestui semnal. 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.

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 cazul în care indicele de creștere este variabila independentă, iar parametrii climatici reprezintă variabilele dependente modelul statistic este cunoscut ca funcție de răspuns (coeficienții modelului descriu cum arborele răspunde la factorii climatici). În

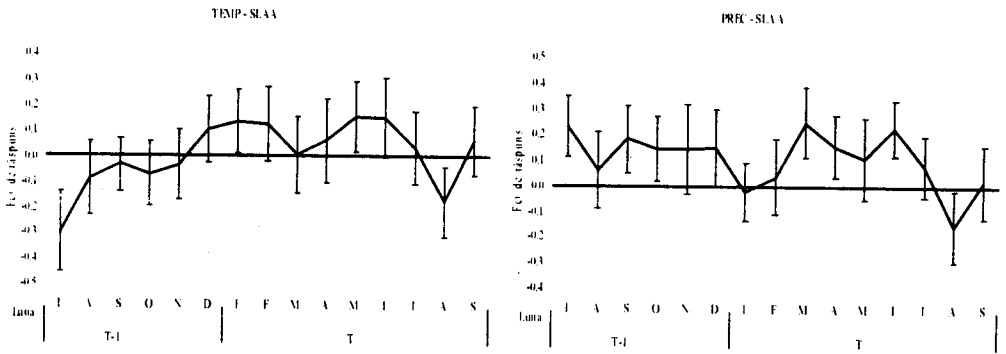
situația în care indici de creștere sunt variabile explicative, iar parametrii meteorologici constituie variabila explicată ecuațiile statistice sunt denumite funcții de transfer (variația creșterilor radiale anuale este transferată în reconstituirea climatului). În cazul funcțiilor de răspuns amplitudinea 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 indici de creștere pentru reconstituirea 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. Existența dependenței din variabile sau a autocorelației dintre observațiile succesive în timp și spațiu reduce semnificativ numărul gradelor de libertate.

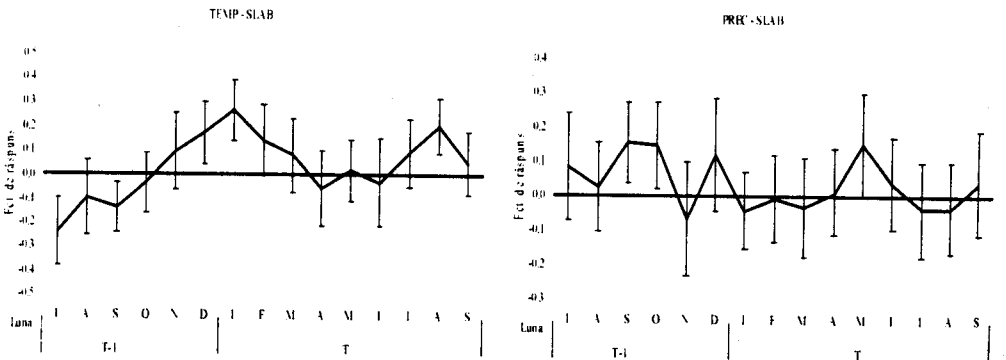
Cercetările complexe de fiziologie a creșterii au arătat că rareori procesul de formare a inelului anual este determinat de un singur factor limitativ, variația caracteristicilor inelului anual fiind rezultanta acțiunii conjugate și integrate a mai multor factori de mediu. Bineînțeles, unul dintre factorii de mediu limitativi este predominant, dar și acțiunea acestuia variază în cursul anului, atât ca intensitate cât și ca importanță. Cel mai bine relația creștere - climat este 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.

Calibrarea modelului statistic general de răspuns al arborelui la modificările factorilor climatici necesită utilizarea unor tehnici de analiză multivariabilă a datelor din domeniul metodelor regresive. Ipoteza de la care se pleacă în cazul regresiei multiple liniare este liniaritatea relației din 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, dar nu și între ele. Această formă a funcțiilor de răspuns oferă însă o măsură limitată a efectului climatului asupra creșterii arborilor. A considera că numai parametrii 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. Mulți mai mulți factori climatici concură la determinarea inelului anual inclusiv lungimea perioadei analizate, numărul de variabile incluse în model, coliniaritatea dintre variabilele independente, distanța față de stația meteorologică, variabilitatea răspunsului de la un arbore la altul, erorile de măsurare etc. În cazul în care variabilele explicative, respectiv parametrii 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 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. Aplicarea metodei bootstrap 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 (Fritts 1976) pentru seriile dendrocronologice de molid și brad din zona Câmpulung Moldovenesc (fig.4, 5). În cazul molidului, 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.



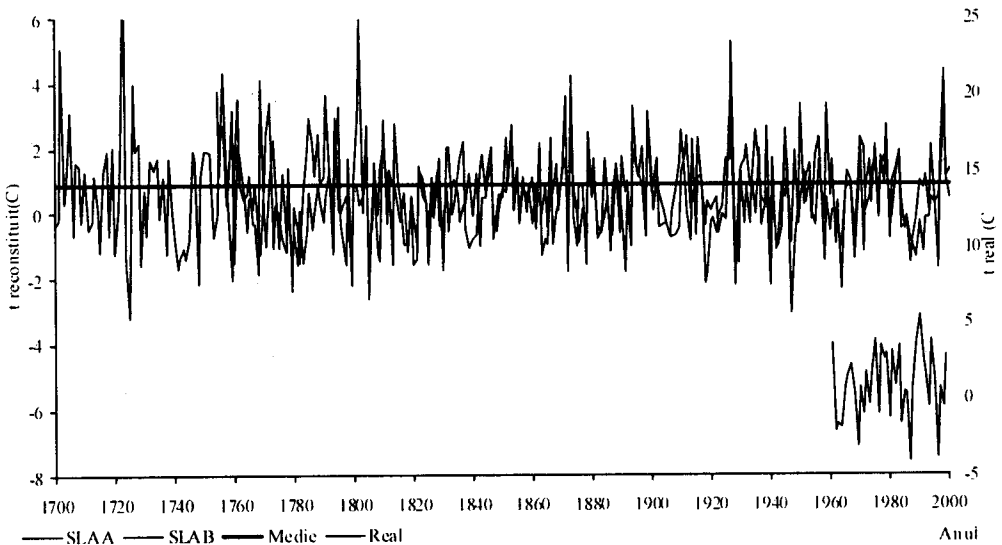
**Fig. 4.** Funcțiile de răspuns pentru molidul din Codrul Secular Slătioara  
 Response function for norway spruce of Codrul Secular Slătioara



**Fig. 5.** Funcțiile de răspuns pentru bradul din Codrul Secular Slătioara  
 Response function for silver fir of Codrul Secular Slătioara

Fiziologic explicația poate fi dată de procesele de formare a mugurilor și a acumulărilor de substanțe nutritive necesare declanșării proceselor fiziologice din sezonul următor. În ceea ce privește sezonul de vegetație actual molidul prezintă o reacție pozitivă, semnificativă (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 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). Precipitațiile de la începutul sezonului de vegetație (aprilie - iunie) determină o accelerare a ritmului de creștere radicală, dar corelația este nesemnificativă din punct de vedere 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. Molidului își reduce creșterea, exprimată prin indici de creștere, pe când bradul înregistrează o accelerare a proceselor biologice de acumulare de biomasă în inelul anual. Reconstituirea variabilității parametrilor climatici în trecut 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. Funcțiile de transfer se obțin într-o manieră si-



**Fig. 6.** Reconstituirea temperaturii lunii martie la Câmpulung Moldovenesc  
Reconstruction of March temperature to Câmpulung Moldovenesc

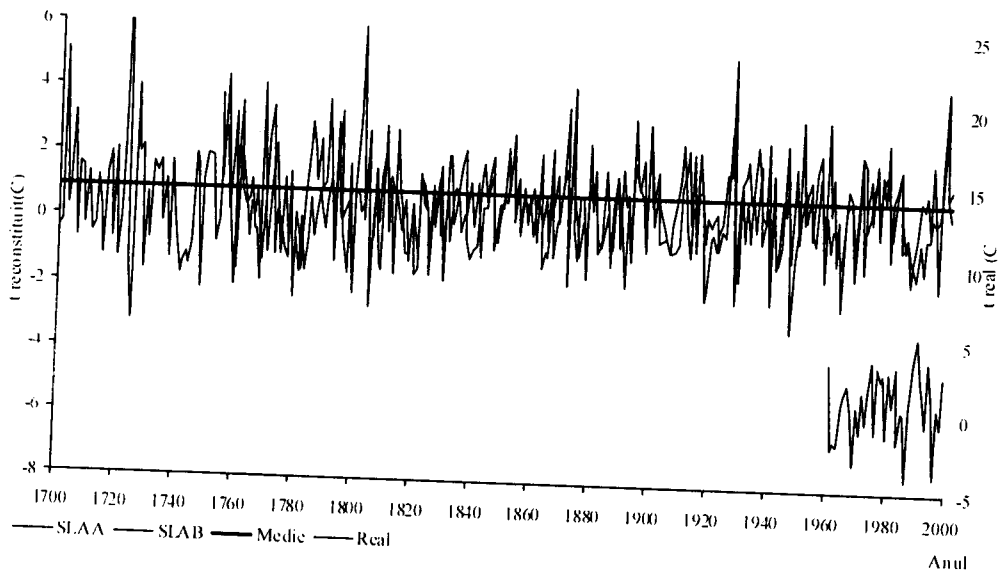


Fig. 7. Reconstituirea precipitațiilor din luna septembrie la Câmpulung Moldovenesc  
Reconstruction of September precipitation of Câmpulung Moldovenesc

milară funcțiilor de răspuns deosebirea 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 aleasă este între 1961 - 1980, iar cea de verificare 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 independente 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 (SLAA) și brad (SLAB).

Analiza corelației dintre indici de creștere și parametri meteorologici permite identificarea acelor factori a căror reconstituire este fiabilă. Pentru stația Câmpulung Moldovenesc s-au utilizat următoarele modele statistice pentru estimarea dinamicii trecute a temperaturii lunii martie, respectiv a precipitațiilor lunii septembrie. Analiza grafică a temperaturilor lunii martie reconstituite prin funcțiile de transfer 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 fiabile, coeficientul de corelație între temperaturile reale și cele estimate prin model, pentru perioada de verificare 1981-1999 este de 0,439 (fig. 6). 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 sau 1799 cu temperaturi în

jur de  $-2^{\circ}\text{C}$ , precum și anii cu primăveri foarte calde (1927) care induc un efect pozitiv. Regimul termic din perioada de verificare din anii 1980 - 1999 în cazul lunii martie este reconstituită fidel de toate funcțiile de transfer.

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 anii următori (fig. 7). Perioadele de secetă pronunțată de la începutul toamnei sunt prezente în toate funcțiile de transfer, mai pronunțate în cazul molidului. Astfel de perioade (1946, 1927, 1890, 1862) cu precipitații sub 10 mm sunt confirmate și de unele scripte istorice ca fiind toamne secetoase. Verificările efectuate prin compararea parametrilor climatici reconstituiți cu dinamica perioadelor de secetă (Topor, 1963) și a înregistrărilor istorice de la stația Câmpulung din perioada 1930 - 1960 confirmă fiabilitatea funcțiilor de transfer propuse.

## 5. CONCLUZII

Lipsa cercetărilor dendrocronologice românești din circuitul informațiilor din domeniul coroborat cu potențialul dendrocronologic ridicat al ecosistemelor forestiere impune o intensificare a cercetărilor în acest domeniu. Principalele direcții de orientare a dendrocronologiei românești, într-o primă etapă, trebuie să vizeze următoarele aspecte:

- implementare rețelei naționale de dendrocronologie și integrarea acesteia în rețeaua europeană și mondială. În sistemul internațional România apare numai cu două serii dendrocronologice pentru molid elaborate în 1984 de Schweingruber (1990), neilustrând realul potențial dendrocronologic al ecosistemelor carpatine.

- realizarea și dotarea corespunzătoare a unui laborator de dendrocronologie. Realizarea unui laborator de dendrocronologie, dotat la standarde europene, creează premisa integrării și recunoașterii acestui în cadrul rețelei europene de laboratoare de dendrocronologie.

- analiza variabilității spațiale a seriilor dendrocronologice pentru întreg spațiul carpatin atât prin intermediul indicilor de creștere cât și a funcțiilor de răspuns la factorii climatici. Aplicarea metodelor moderne de analiză statistică multivariabilă - metoda componentelor principale - pentru întreaga rețea de dendrocronologie va permite efectuarea unor studii de finete privind reacția arborilor la modificarea climatului general și local în raport cu specia, zona ecologică:

- reconstituirea dinamicii structurii ecosistemelor forestiere naturale prin tehnici de dendroecologie. Metodele puse la dispoziție de dendrocronologie constituie un instrument eficient de analiză a modificărilor structurale care intervin în ecosistemele forestiere oferind fundamentul prognozei direcțiilor de evoluție a acestora. Stabilirea prin tehnici de dendroecologie a frecvenței și intensității factorilor perturbatori oferă suport științific factorilor decizionali din domeniul forestier;

- reconstituirea dinamicii parametrilor meteorologici și a climatului în ansamblu în

baza indicilor de creștere. Cunoașterea variației istorice a climatului României reprezintă o componentă de bază a strategiilor de gestionare durabilă a ecosistemelor forestiere în condițiile actuale ale schimbărilor climatice majore care au loc. Inelul anual al arborilor oferă informațiile necesare cuantificării paleoclimatului, dendroclimatologia dispunând de instrumente și tehnici adecvate acestor tip de cercetări și investigații.

#### BIBLIOGRAFIE

- COOK, E.R., KAIRIUKSTIS, L.A. (eds.), 1990, Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences, Kluwer Press, 394 p.
- FISCHER, E., 1899, Die Bukowina. Cernăuți.
- FRITTS, H.C., 1976 - Tree rings and climate. London, Academic Press, 567 p.
- HOLMES, R.L., 1983 - Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement, Tree Ring Bulletin, 43: 69-75.
- POPA, I., 1999 - Tehnici informatice utile în silvicultură. Programul CAROTA și programul PROARB. Revista pădurilor, 2: 41-42.
- SCHWEINGRUBER, F.H., 1985, Dendroecological zones in the coniferous forests of Europe. Dendrochronologia 3: 67-75.
- TOPOR, N. 1963, Ani ploioși, ani secetoși în R.P.R. Ed. Institutului Meteorologic. București. 302 p.

#### ABSTRACT

#### DEVELOPMENT OF DENDROCHRONOLOGICAL SERIES FOR NORWAY SPRUCE, SILVER FIR AND OAK WITH APPLICABILITY IN DENDROCLIMATOLOGY AND DENDROECOLOGY

In present work was elaborated 16 index series for Norway spruce, silver fir, stone pine and oak, covered more than 300 years and in variable ecological conditions. Applying the principal component method was possible to study the spatial variability of these dendrochronological series. The first principal component that explain between 35% (all species level) to 60% (same species level), respectively 90% in the case of same geographic zone, represent the common climatic signal. The ecological significance of the second component is changing from species factor to regional environmental factor, together with the human intervention in the case of series from Rodna Mountains.

Graphical analysis of primary growth index permits the identification of frequency and intensity of great disturbances. Interesting is the disturbance of 1815 - 1820 from Rodna mountain which is very evident in the Pinus cembra chronology, that coincide with the installation of the stands from BILC and BILB. The dendroclimatological application was developed in the base of spruce and fir chronology and with help of the meteorological parameter from Câmpulung Moldovenesc weather station. The growth of spruce is negative, high correlated, with temperature from the end of last vegetation period and positive correlated with the precipitation of the same period. In the case of silver fir, the reaction is similar but less significant. The precipitation regime from the beginning of vegetation season has a positive influence for both species growth. The reaction to temperature of July - August is antagonist, spruce having a reduction of growth and silver fir an acceleration of cambial activity. By the transfer function, for Câmpulung Moldovenesc region was reconstructed the historical dynamics of March temperature and September precipitation for last 300 years. The years with rainfall over 10 mm 1946, 1927, 1890, and 1862 are confirmed by historic notes like droughts autumn.

**Key words:** dendrochronological series, dendrochronology, dendroclimatology, spatial variability.