

# MODELAREA UNOR PARAMETRII STRUCTURALI ÎN ECOSISTEME ARTIFICIALE DE MOLID SUB INCIDENȚA LUCRĂRILOR DE ÎNGRIJIRE EFECTUATE

**RADU VLAD**

Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Stațiunea Câmpulung Moldovenesc

## **Abstract**

### **MODELLING OF THE STRUCTURAL PARAMETERS IN ARTIFICIAL NORWAY SPRUCE FOREST ECOSYSTEMS IN RELATION WITH THE THINNING METHODS**

The paper presents the result of the research carried out in two long term spruce stands with three experimental variant (testifier, moderately, forte) regarding the effect of the thinning methods.

The main studied topics are: the assignation of the regression equations witch represent relation between the Charlier distribution parameters (standard deviation, asymmetry, kurtosis) and the DBH; the elaboration of the structural model for the distribution of the trees number on the diameter classes correlated with DBH and stand development based on the Charlier distribution; the validation of the elaborated structural model.

Using an original method it was possible to establish a model predicting the distribution of the trees number on the diameter classes based on the relationship between DBH and thinning variant (testifier, moderately, forte) in artificial even-aged spruce forests based on the Charlier distribution.

**Keywords:** modelling, spruce, structural parameters

## **Rezumat**

Lucrarea științifică prezintă rezultatele cercetărilor efectuate în două blocuri experimentale de lungă durată unde au fost instalate trei variante de lucru (martor, moderat, forte) pentru a surprinde influența metodelor de îngrijire (rărituri) în arborete pure de molid.

Obiectivele avute în vedere prin actualele cercetări au fost următoarele: stabilirea ecuațiilor de regresie ce reprezintă legătura dintre parametrii distribuției teoretice Charlier (abaterea standard, asimetria, excesul) și diametrul central al suprafeței de bază specific variantelor experimentale; determinarea expresiilor modelelor statistico-matematice care indică distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre; validarea modelelor structurale elaborate.

Folosind o metoda originală, a fost posibilă elaborarea de modele structurale referitoare la distribuția pe categorii de diametre a numărului de arbori pe categorii de diametre, bazate pe distribuția teoretică Charlier tip A în corelație cu diametrul central al suprafeței de bază și cu varianta lucrărilor silvotecnice efectuate în arborete artificiale de molid.

**Cuvinte cheie:** modelare, molid, parametri structurali

## 1. INTRODUCERE

Modelele referitoare la creșterea pădurii, de la simple diagrame la modele complexe elaborate prin utilizarea calculatorului, au fost și sunt în continuare instrumente importante în gestionarea arboretelor. În ceea ce privește estimările empirice și mecaniciste, primele modele au avut drept punct de plecare tabelele de sortare ale arboretelor (Almi, Barrett, 1977). Modelele empirice ale creșterii elaborate recent sunt bazate pe creșterea în diametru concretizată la nivelul arborilor (Biging, Dobbertin, 1995). Principalul neajuns al modelelor empirice, unde creșterea arborilor și a arboretelor era estimată folosind relații descriptive, este aria restrânsă de aplicabilitate dată de limitele relațiilor folosite, chiar dacă folosirea computerelor a dus la creșterea rezoluției modelelor stabilite.

Unul din primele modele ce simulau creșterea pădurilor a fost delimitat prin stabilirea așa numitor "modele ale generațiilor - modele deschise" (Botkin et al., 1972). Acestea pot fi clasificate ca o categorie specială a modelelor la nivel de arbore, care definesc și urmăresc competiția individuală a arborilor în corelație cu creșterea acestora într-o anumită arie (Botkin et al., 1972; Kienast și Kuhn, 1989; Leemans, 1992; Fischlin et al., 1995). "Modelele deschise" și modelele la nivel de arbori sunt mult mai flexibile decât cele la nivel de arboret, dar în general se bazează pe relații descriptive dintre componentele arboretelor. Pe de altă parte apropierea mecaniciste dintre creștere și condițiile de creștere sunt prea teoretice sau necesită foarte multe date pentru managerii forestieri (Porté și Bartelink, 2001).

Posibilitățile de modelare a structurii în arborete artificiale de molid în corelație cu lucrările silvotecnice efectuate trebuie să țină cont de problema capitală a gestionării pădurilor din anumite zone forestiere. Aceasta este de natură ecologică și privește conducerea ecosistemelor forestiere montane în direcția refacerii echilibrului specific care, în decursul timpului, a fost grav perturbat prin acțiuni antropice nechibzuite, în special ca urmare a gestionării neadecvate a arboretelor obținute prin substituirea pădurilor dotate cu structuri naturale, stabile (Giurgiu, 1978; Ichim, 1990).

Ca urmare, modelarea parametrilor structurali în ecosisteme artificiale de molid, sub incidența lucrărilor silvotecnice efectuate, a avut ca obiectiv modelarea distribuției numărului de arbori pe categorii de diametre, folosind în acest scop două distribuții teoretice care se pretează la interpretarea corespunzătoare a rezultatelor specifice obiectivului specific urmărit și anume distribuția teoretică Charlier tip A, respectiv distribuția teoretică Pearson tip beta.

## 2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE

Cercetările întreprinse în vederea fundamentării modelelor structurale, sub incidența lucrărilor silvotecnice efectuate, s-au desfășurat în zone reprezentative din punct de vedere al impactului economic și ecologic generat de factorii abiotici în eco-

sistemele artificiale de molid din nordul țării și anume în raza Ocolului silvic Coșna (Direcția silvică Suceava).

Datele de identificare la nivelul anului 2004 a unităților amenajistice unde au fost instalate blocurile experimentale de lungă durată sunt prezentate în tabelul 1.

Au fost amplasate, în anul 1967, trei variante de lucru (martor, moderat, forte) pentru a surprinde influența metodelor de îngrijire (rărituri) în arborete pure de molid. S-au executat lucrări silvotehnice și reevaluări cu o periodicitate de 5 ani în intervalul 1967 - 1988. În anul 2004 s-a revenit cu inventarieri în acest bloc experimental pentru a studia dinamica parametrilor biometrici în arborete de molid corelat cu intensitatea lucrărilor de îngrijire aplicate și cu acțiunea factorilor perturbatori din zonă (zăpadă, vânt, cervide).

Metodologia de identificare a unor modele de prognoză, în ecosistemele artificiale de molid din nordul țării din zone aflate sub incidența acțiunii factorilor perturbatori abiotici și biotici (zăpadă, vânt, cervide), sub incidența lucrărilor silvotehnice efectuate s-a bazat pe facilitățile de calcul statistico-matematic oferite de distribuția teoretică Charlier tip A.

După cum se cunoaște repartiția arborilor pe categorii de diametre, caracterizată grafic printr-o anumită asimetrie și aplatizare, este mult mai complexă decât curba repartiției normale. Curba frecvențelor distribuției arborilor pe categorii de diametre poate fi caracterizată prin repartiții teoretice care iau în considerare atât asimetria ( $a$ ) cât și excesul ( $e$ ) acestora. O astfel de distribuție teoretică este distribuția Charlier (tip A) a cărei funcție de frecvență este de forma următoare (Giurgiu, 1979, Leahu, 1994):

$$\hat{n} = \frac{N \cdot h}{s} \cdot \left[ f(u) - \frac{a}{6} \cdot f^{III}(u) + \frac{a}{24} \cdot f^{IV}(u) \right] \quad (1)$$

în care:

$f(u)$  reprezintă funcția de frecvență a repartiției normale reduse;

$f^{III}(u)$  – derivata a treia a funcției  $f(u)$ ;

$f^{IV}(u)$  – derivata a patra a funcției  $f(u)$ ;

$u$  – abaterea normată;

$a$  – indicele asimetriei;

$e$  – indicele excesului;

$N$  – numărul total al arborilor din arboretul luat în considerare;

$h$  – mărimea intervalului dintre categoriile de diametre;

$s$  – abaterea standard;

$\hat{n}$  – frecvențele absolute ajustate.

Abaterea normată ( $u$ ) folosită în determinarea valorii funcției de frecvență a repartiției normale reduse ( $f(u)$ ), a derivatei a treia a funcției  $f(u)$  și respectiv a derivatei a patra a funcției  $f(u)$  s-a calculat folosind formula:

$$u = \frac{d - \bar{d}}{s} \quad (2)$$

în care:

$d$  reprezintă categoria de diametre;

$\bar{d}$  - media aritmetică a categoriilor de diametre ( $d$ )

$s$  – abaterea standard.

Media aritmetică ( $\bar{d}$ ) a categoriilor de diametre ( $d$ ) a fost determinată în baza corelației dintre aceasta cu diametrul central al suprafeței de bază ( $d_{gM}$ ).

Abaterea standard -  $s$ , indicele asimetriei -  $a$  și indicele excesului -  $e$  au fost stabiliți de asemenea, în baza corelației cu diametrul central al suprafeței de bază ( $d_{gM}$ ), diferențiat funcție de varianta lucrărilor de îngrijire aplicată în blocul experimental cercetat.

### 3. REZULTATE

#### 3.1. Blocul experimental Bancu

Funcția de frecvență a repartiției normale reduse -  $f_{(u)}$ , derivata a treia a funcției  $f_{(u)} - f_{(u)}^{III}$ , respectiv derivata a patra a funcției  $f_{(u)} - f_{(u)}^{IV}$ , au fost determinate funcție de indicatorii specifici ce intervin în modulul de calcul statistico-matematic al distribuției teoretice Charlier pentru cazul particular considerat în actualele cercetări.

Având în vedere caracteristicile și specificitatea relațiilor corelative dintre parametrii distribuției Charlier și diametrul central al suprafeței de bază ( $d_{gM}$ ), în tabelul 2, se prezintă ecuațiile de regresie ce reprezintă legătura dintre parametrii specificați, pentru variantele de lucru (martor, moderat, forte) din cadrul blocului experimental "Bancu".

**Tabelul 1.** Datele de identificare ale unității amenajistice

Identification data of the stand

u.a.	Suprafața (ha)	Vârsta (ani)	Consistența	Clasa de producție	Tip de stațiune	Tip de pădure	Expoziția	Panta (°)	Altitudine (m)
219 D	8	80	0,8	2	2333	1111	SV	25	1090
20 A	30,3	70	0,8	2	3333	1213	NE	15	920

**Tablelul 2.** Ecuatiile de regresie ce reprezintă corelația dintre parametrii distribuției Charlier (abaterea standard - s, asimetria - a, excesul - e) și diametrul central al suprafeței de baza (d<sub>gM</sub>)

Regression equations which represent correlation between parameters of the Charlier distribution (standard deviation - s, asymmetry - a, kurtosis - e) and DBH

Varianta	Parametrii distribuției Charlier	Ecuatia de regresie
Martor	Abaterea standard (s)	$s = -0,0011 d_{gM}^2 + 0,2023 d_{gM} + 2,5902$ (3)
	Asimetria (á)	$\acute{a} = 0,0019 d_{gM}^2 - 0,1122 d_{gM} + 2,1983$ (4)
	Excesul (í)	$\acute{I} = 0,0032 d_{gM}^2 - 0,2068 d_{gM} + 3,3635$ (5)
Moderat	Abaterea standard (s)	$s = 0,0309 d_{gM}^2 - 1,8442 d_{gM} + 33,753$ (6)
	Asimetria (á)	$\acute{a} = -0,0022 d_{gM}^2 + 0,1249 d_{gM} - 1,3618$ (7)
	Excesul (í)	$\acute{I} = -0,0224 d_{gM}^2 + 1,4028 d_{gM} - 21,295$ (8)
Forte	Abaterea standard (s)	$s = -0,0005 d_{gM}^2 + 0,0755 d_{gM} + 5,154$ (9)
	Asimetria (á)	$\acute{a} = -0,0046 d_{gM}^2 + 0,2237 d_{gM} - 2,2243$ (10)
	Excesul (í)	$\acute{I} = 0,0026 d_{gM}^2 - 0,1116 d_{gM} + 0,9305$ (11)

Arboretul cercetat se încadrează pe parcursul evoluției, din punct de vedere al valorii diametrul central al suprafeței de bază, în stadiul de dezvoltare pârș și codrișor (varianta martor), respectiv codrișor și codru mijlociu (variantele moderat și forte).

Expresia diametrului mediu aritmetic (cm) funcție de valoarea diametrul central al suprafeței de baza (cm), pe variante de lucru, este următoarea:

- o Varianta martor

$$\bar{d} = 21,108 \ln(d_{gM}) - 44,06 \quad (12)$$

- o Varianta moderat

$$\bar{d} = 30,079 \ln(d_{gM}) - 73,264 \quad (13)$$

- o Varianta forte

$$\bar{d} = 25,888 \ln(d_{gM}) - 59,021 \quad (14)$$

Având la îndemână parametrii specifici distribuției Charlier, determinați funcție de valoarea diametrului central al suprafeței de bază (d<sub>gM</sub>), exprimând frecvențele absolute ajustate în procente, ținând seama de ecuațiile de regresie (3) - (11) și considerând intervalul de clasă h = 4 cm se obțin modele matematice ale distribuției arborilor pe categorii de diametre, funcție de varianta lucrărilor de îngrijire considerată. Acestea sunt date de următoarele expresii:

- o Varianta martor

$$\hat{n}\% = \frac{400}{-0,0011(d_{gM})^2 + 0,2023(d_{gM}) + 2,5902} \left[ f_{(w)} - \frac{0,0019(d_{gM})^2 - 0,1122(d_{gM}) + 2,1983}{6} \cdot f_{(w)}^{III} + \frac{0,0032(d_{gM})^2 - 0,2068(d_{gM}) + 3,3635}{24} \cdot f_{(w)}^{IV} \right] \quad (15)$$

- o Varianta moderat

$$\hat{n}\% = \frac{400}{0,0309(d_{gM})^2 - 1,8442(d_{gM}) + 33,753} \left[ f_{(w)} - \frac{-0,0022(d_{gM})^2 + 0,1249(d_{gM}) - 1,3618}{6} \cdot f_{(w)}^{III} + \frac{-0,0224(d_{gM})^2 + 1,4028(d_{gM}) - 21,295}{24} \cdot f_{(w)}^{IV} \right] \quad (16)$$

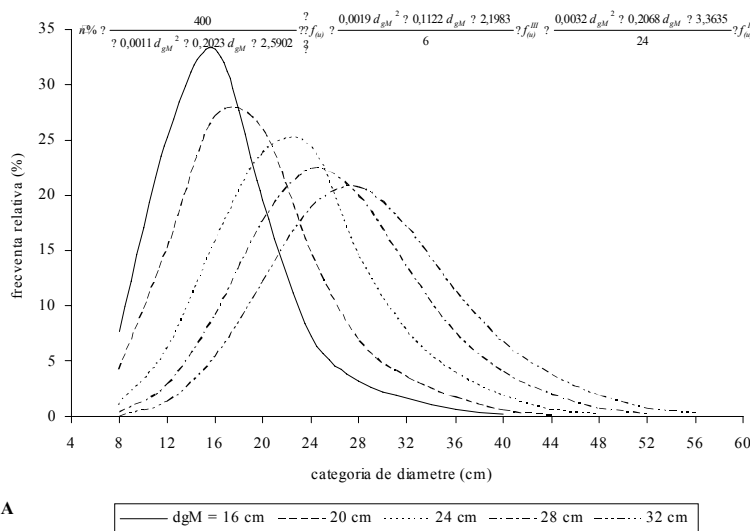
o Varianta forte

$$\hat{n}\% = \frac{400}{-0,0005 d_{gM}^2 + 0,0755 d_{gM} + 5,154} \left[ f_{(w)} \cdot \frac{-0,0046 d_{gM}^2 + 0,2237 d_{gM} - 2,2243}{6} \cdot f_{(w)}^{III} + \frac{0,0026 d_{gM}^2 - 0,1116 d_{gM} + 0,9305}{24} \cdot f_{(w)}^{IV} \right] \quad (17)$$

Prin tabelarea formulelor (15) - (17) se obțin frecvențele teoretice ale numărului de arbori pe categorii de diametre, care reflectă unul dintre elementele caracteristice structurii arboretelor de molid în raport cu diametrul central al suprafeței de bază și cu intensitatea lucrărilor de îngrijire aplicate (fig. 1).

Pentru a valida statistico-matematic modelele teoretice elaborate, s-au aplicat teste specifice pentru stabilirea semnificației diferenței dintre distribuțiile (frecvențele) experimentale și cele teoretice. S-a folosit testul Hi pătrat datorită faptului că reprezintă un instrument de examinare statistică a semnificației, des folosit în cazul comparării unor distribuții empirice cu distribuții teoretice. Examinarea semnificației diferenței dintre distribuțiile experimentale considerate și valorile specifice modelelor teoretice elaborate, pentru punerea în evidență a distribuției numărului de arbori pe categorii de diametre se prezintă în tabelul 3.

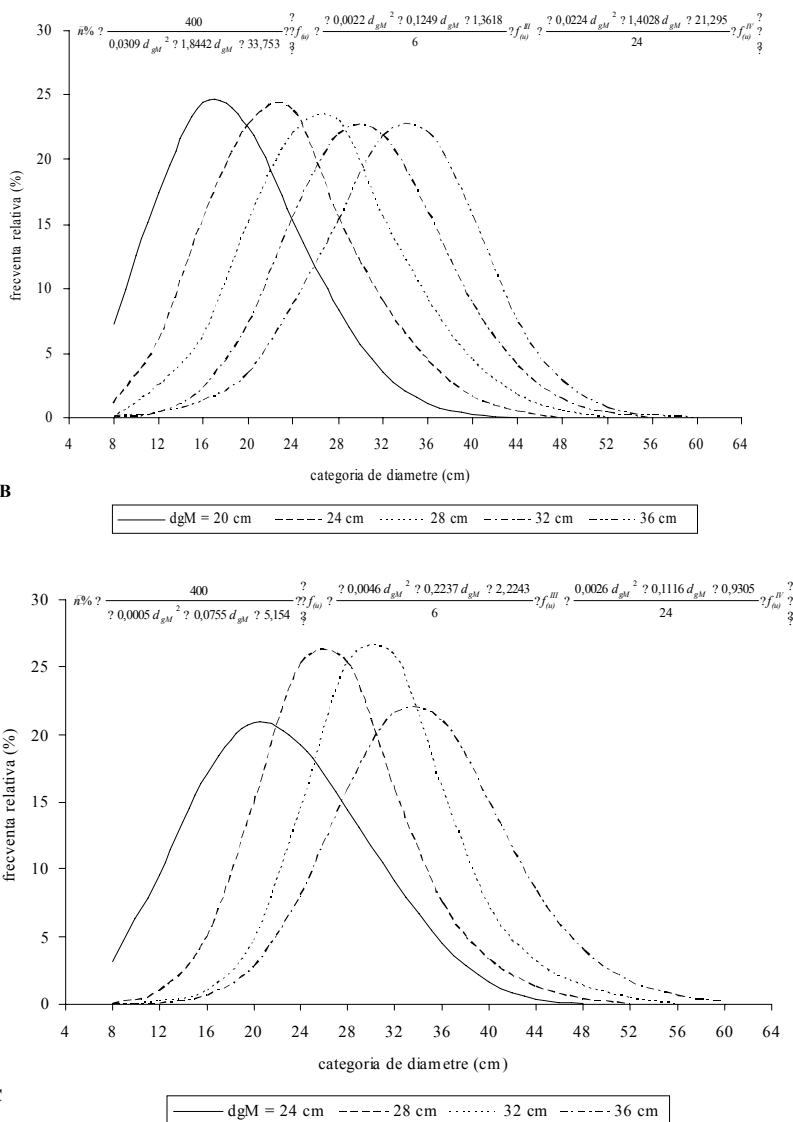
În vederea validării modelelor structurale, care exprima distribuția arborilor pe categorii de diametre în corelație cu diametrul central al suprafeței de bază, s-a procedat la calculul ajustării distribuției empirice diferențiat funcție de varianta lucrărilor silvotehnice efectuate, folosind modelele matematice prezentate în relațiile (16) - (18), ținând cont de dinamica temporală a caracteristicilor structurale specifice fiecărei variante de lucru considerate (fig. 2).



**Fig. 1.** Modele structurale care exprimă distribuția numărului de arborilor pe categorii de diametre în corelație cu diametrul central al suprafeței de bază și funcție de varianta lucrărilor de îngrijire (A - mator; B - moderat; C - forte)

Structural model about distribution of the trees number on the diameter classes, correlated with DBH and thinning variance (A - testifier; B - moderately; C -forte)

Fig. 1 (continuare)

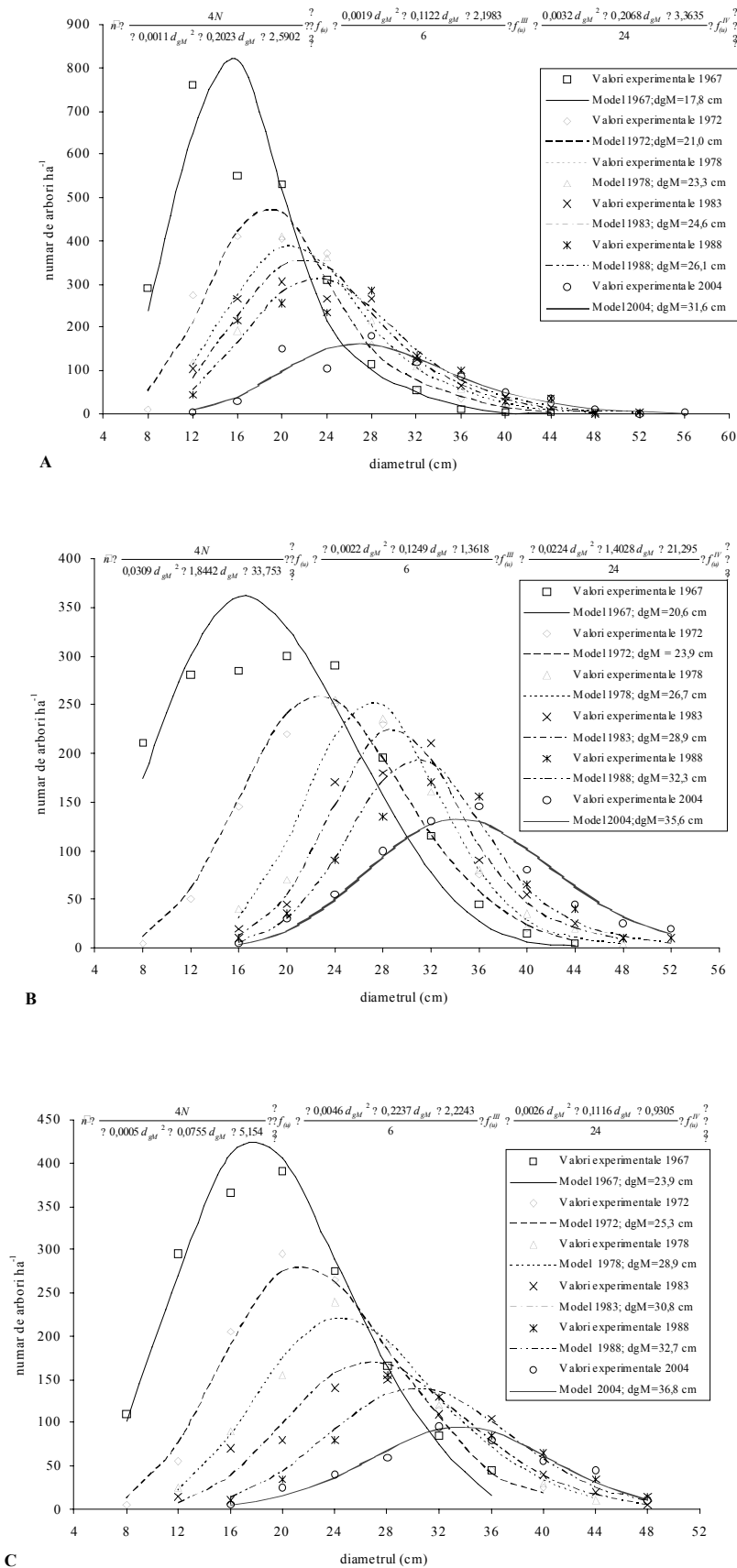


### 3.2 Blocul experimental Teșna

În tabelul 4, se prezintă ecuațiile de regresie ce reprezintă legătura dintre parametrii specificați, pentru variantele de lucru (martor, moderat, forte) din cadrul blocului experimental "Teșna".

Blocul experimental studiat cercetat parcurge stadiile de dezvoltare pârîș, codrișor și codru mijlociu (variantele martor, moderat și forte), din punct de vedere al valorii diametrul central al suprafeței de bază, pe parcursul evoluției temporale în intervalul 1966-2004.

Expresia diametrului mediu aritmetic (cm) funcție de valoarea diametrului central al suprafeței de bază (cm), pe variante de lucru, este următoarea:



**Fig. 2** Validarea modelor structurale care exprimă distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre (A - mator; B - moderat; C - forte)

Validation the structural models concerning the distribution of trees number on the diameter classes (A - testifier; B - moderately; C - forte)



**Tabelul 3 :** Semnificației diferenței dintre distribuțiile experimentale și distribuțiile teoretice modelelor elaborate prin intermediul testului  $\chi^2$ 

Significance analysis between the experimental distribution and the theoretical distribution through the elaborated model using  $\chi^2$  test

Varianta de lucru	Anul	Grade de libertate	$\chi^2$ experimental	$\chi^2$ teoretic (5%)	Semnificația
Martor	1967	8	9,528	15,507	-
	1973	8	3,630	15,507	-
	1978	8	1,281	15,507	-
	1983	7	2,785	14,067	-
	1988	9	5,151	16,919	-
	2004	10	6,713	18,307	-
Moderat	1967	8	3,479	15,507	-
	1973	8	1,117	15,507	-
	1978	7	8,291	14,067	-
	1983	7	5,628	14,067	-
	1988	8	2,413	15,507	-
	2004	8	3,367	15,507	-
Forte	1967	6	2,559	12,592	-
	1973	7	6,292	14,067	-
	1978	7	2,588	14,067	-
	1983	8	2,018	15,507	-
	1988	7	3,910	14,067	-
	2004	7	1,152	14,067	-

**Tabelul 4:** Ecuațiile de regresie ce reprezintă corelația dintre parametrii distribuției Charlier (abaterea standard - s, asimetria - a, excesul - e) și diametrul central al suprafeței de baza ( $d_{gM}$ )

Regression equations which represent correlation between parameters of the Charlier distribution (standard deviation - s, asymmetry - a, kurtosis - e) and DBH

Varianta	Parametrii distribuției Charlier	Ecuația de regresie
Martor	Abaterea standard (s)	$s = -0,0049 \ln^2(d_{gM}) + 0,3599 \ln(d_{gM}) + 1,5918$ (18)
	Asimetria ( $\hat{a}$ )	$\hat{a} = 0,0006 \ln^2(d_{gM}) - 0,0592 \ln(d_{gM}) + 1,3245$ (19)
	Excesul ( $\hat{e}$ )	$\hat{e} = 0,0025 \ln^2(d_{gM}) - 0,1558 \ln(d_{gM}) + 1,7111$ (20)
Moderat	Abaterea standard (s)	$s = 0,0043 \ln^2(d_{gM}) - 0,0978 \ln(d_{gM}) + 5,7918$ (21)
	Asimetria ( $\hat{a}$ )	$\hat{a} = -0,0014 \ln^2(d_{gM}) + 0,043 \ln(d_{gM}) + 0,0162$ (22)
	Excesul ( $\hat{e}$ )	$\hat{e} = 0,0008 \ln^2(d_{gM}) - 0,0258 \ln(d_{gM}) - 0,3137$ (23)
Forte	Abaterea standard (s)	$s = 0,008 \ln^2(d_{gM}) - 0,353 \ln(d_{gM}) + 9,9242$ (24)
	Asimetria ( $\hat{a}$ )	$\hat{a} = -0,0008 \ln^2(d_{gM}) + 0,0389 \ln(d_{gM}) + 0,0759$ (25)
	Excesul ( $\hat{e}$ )	$\hat{e} = -0,0042 \ln^2(d_{gM}) + 0,2351 \ln(d_{gM}) - 2,966$ (26)

o Varianta martor

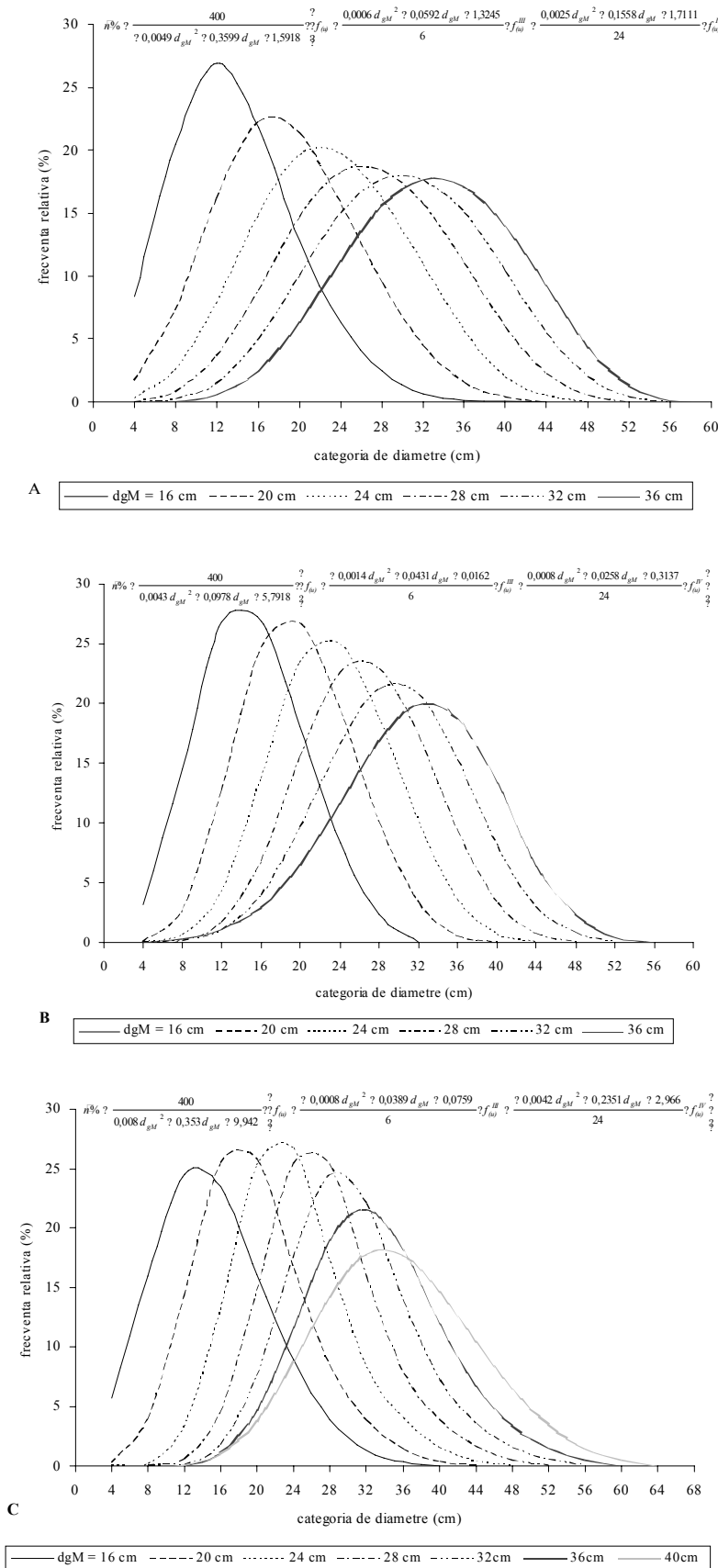
$$\bar{d} = 23,989 \ln(d_{gM}) - 52,9 \quad (27)$$

o Varianta moderat

$$\bar{d} = 20,711 \ln(d_{gM}) - 42,283 \quad (28)$$

o Varianta forte

$$\bar{d} = 23,176 \ln(d_{gM}) - 49,959 \quad (29)$$



**Fig. 3.** Modele structurale care exprimă distribuția numărului de arborilor pe categorii de diametre în corelație cu diametrul central al suprafeței de bază și funcție de variianța lucrărilor de îngrijire (A - martor; B - moderat; C - forte)

Structural model about distribution of the trees number on the diameter classes, correlated with DBH and thinning variant (A - testifier; B - moderately; C - forte)

Modele matematice ale distribuției numărului de arbori pe categorii de diametre, funcție de varianta lucrărilor de îngrijire considerată, pentru blocul experimental "Teșna", sunt date de următoarele expresii:

o Varianta martor

$$\bar{n}\% = \frac{400}{-0,0049 d_{gM}^2 + 0,3599 d_{gM} + 1,5918} \cdot \left[ f_{(u)} - \frac{0,0006 d_{gM}^2 - 0,0592 d_{gM} + 1,3245}{6} \cdot f_{(u)}^{III} + \frac{0,0025 d_{gM}^2 - 0,1558 d_{gM} + 1,7111}{24} \cdot f_{(u)}^{IV} \right] \quad (30)$$

o Varianta moderat

$$\bar{n}\% = \frac{400}{0,0043 d_{gM}^2 - 0,0978 d_{gM} + 5,7918} \cdot \left[ f_{(u)} - \frac{-0,0014 d_{gM}^2 + 0,0431 d_{gM} + 0,0162}{6} \cdot f_{(u)}^{III} + \frac{0,0008 d_{gM}^2 - 0,0258 d_{gM} - 0,3137}{24} \cdot f_{(u)}^{IV} \right] \quad (31)$$

o Varianta forte

$$\bar{n}\% = \frac{400}{0,008 d_{gM}^2 - 0,353 d_{gM} + 9,942} \cdot \left[ f_{(u)} - \frac{-0,0008 d_{gM}^2 + 0,0389 d_{gM} + 0,0759}{6} \cdot f_{(u)}^{III} + \frac{-0,0042 d_{gM}^2 + 0,2351 d_{gM} - 2,966}{24} \cdot f_{(u)}^{IV} \right] \quad (32)$$

Prin tabelarea formulelor (30) - (32) se obțin frecvențele teoretice ale numărului de arbori pe categorii de diametre, care reflectă unul dintre elementele caracteristice structurii arboretelor de molid în raport cu diametrul central al suprafeței de bază și cu intensitatea lucrărilor de îngrijire aplicate (fig. 3).

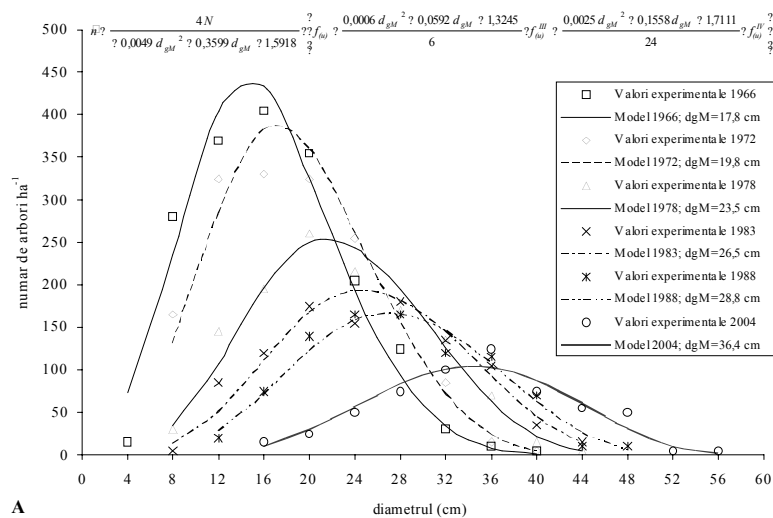
Examinarea semnificației diferenței dintre distribuțiile experimentale considerate și valorile specifice modelelor teoretice elaborate, pentru punerea în evidență a distribuției numărului de arbori pe categorii de diametre se prezintă în tabelul 5.

Validarea modelelor structurale, care exprimă distribuția arborilor pe categorii de diametre în corelație cu diametrul central al suprafeței de bază, s-a făcut calculându-se ajustarea distribuției empirice, funcție de varianta lucrărilor silvotehnice efectuate, folosind modelele matematice prezentate în relațiile (30) - (32) și sunt prezentate în figura 4.

**Tabelul 5:** Examinarea semnificației diferenței dintre distribuțiile experimentale și distribuțiile teoretice corespunzătoare modelelor elaborate prin intermediul testului  $\chi^2$

Significance analysis between the experimental distribution and the theoretical distribution Adequate through the elaborated model using  $\chi^2$  test

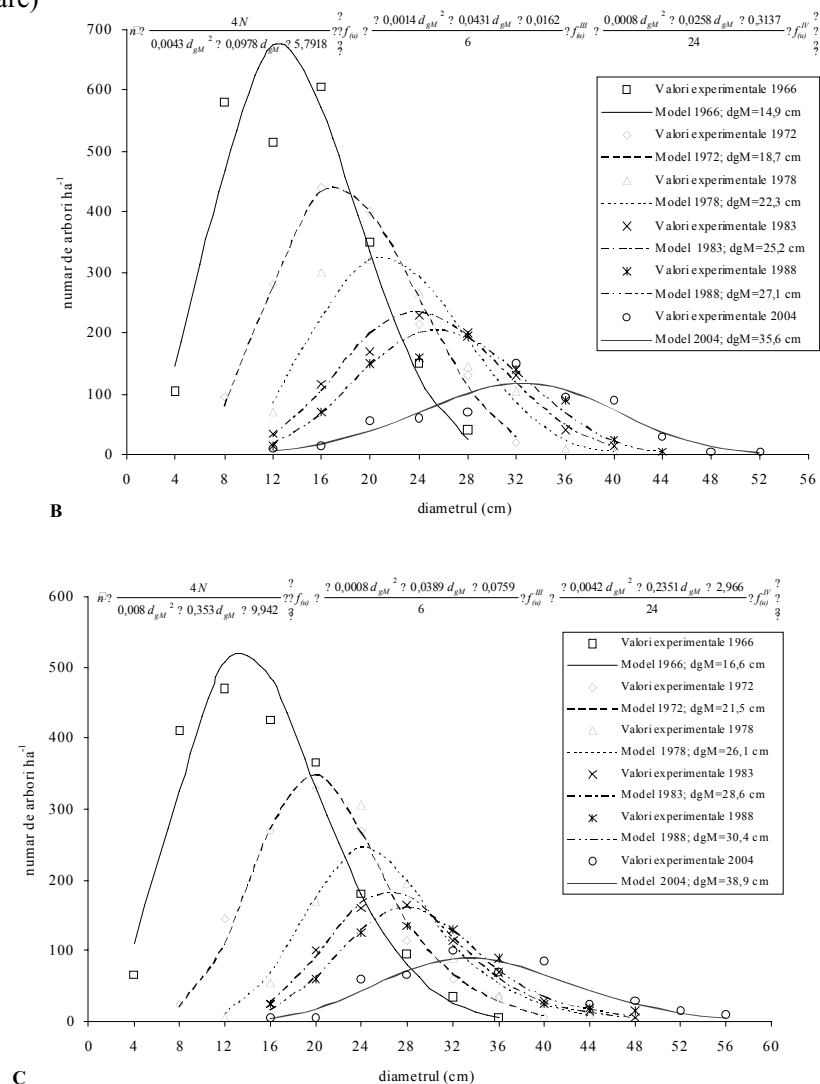
Varianta de lucru	Anul	Grade de libertate	$\chi^2$ experimental	$\chi^2$ teoretic (5%)	Semnificația
Martor	1966	8	2,351	15,507	-
	1972	7	0,714	14,067	-
	1978	8	1,046	15,507	-
	1983	8	1,457	15,507	-
	1988	8	1,124	15,507	-
	2004	9	2,558	16,919	-
Moderat	1966	5	1,354	11,070	-
	1972	5	2,733	11,070	-
	1978	6	2,487	12,592	-
	1983	6	1,241	12,592	-
	1988	7	1,015	14,067	-
	2004	9	6,442	16,919	-
Forte	1966	7	3,627	14,067	-
	1972	7	3,019	14,067	-
	1978	7	9,184	14,067	-
	1983	7	0,816	14,067	-
	1988	7	2,553	14,067	-
	2004	9	4,549	16,919	-



**Fig. 4.** Validarea modelor structurale care exprima și distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre (A - martor; B - moderat; C - forte)

Validation of the structural model about distribution of the trees number on the diameter classes (A - testifier; B - moderately; C - forte)

Fig. 4 (continuare)



#### 4. DISCUȚII

Analizând datele din tabelul 3 și tabelul 5 se constată că diferența dintre distribuțiile experimentale și distribuțiile teoretice corespunzătoare modelelor elaborate, stabilite prin intermediul testului  $\chi^2$ , sunt ne semnificative ( $\chi^2_{\text{experimental}} < \chi^2_{5\%}$ ).

Aceasta demonstrează faptul că modelele teoretice elaborate pot fi folosite cu succes în estimarea distribuției numărului de arbori pe categorii de diametre cunoscând numai valoarea diametrului central al suprafeței de bază.

Frecvențele teoretice din figura 2 și figura 4 arată că prin creșterea valorii diametrului central al suprafeței de bază, curbele de frecvență se deplasează spre dreapta și se aplatizează din ce în ce mai mult. Ele devin din ce în ce mai largi, prin majorarea amplitudinii de variație a diametrelor corespunzătoare arborilor vătămați de cervide, iar arboretul devine și el tot mai eterogen din punct de vedere al combinației arborilor de diferite mărimi.

Prin tabelarea formulelor (15) - (17) și (30) - (32) se pot obține frecvențele teore-tice ale numărului de arbori pe categorii de diametre. Acest indicator reflectă unul dintre elementele caracteristice structurii arboretelor artificiale de molid în raport cu intensitatea lucrărilor de îngrijire efectuate.

Ecuațiile de regresie (3) - (11) respectiv (18) - (26) și funcțiile de frecvență (15) - (17) respectiv (30) - (32) prezintă importanța deosebită pentru elaborarea modelului matematic complex al structurii arboretelor de molid din zone de risc la acțiunea factorilor biotici și abiotici (vânt, zăpadă, cervide). Ele permit, de asemenea, prelucrarea automată a datelor în vederea elaborării modelelor de structură optimă în raport cu funcțiile ecologice, economice și sociale pe care le exercită arboretele și pădurea în ansamblul ei.

## 5. CONCLUZII

Studiul dinamicii, structurii și a productivității ecosistemelor forestiere montane, prin prisma suprafețelor experimentale cu caracter permanent, constituie principala sursă de completare a bazei de date necesară elaborării modelului matematic complex al structurii arboretelor de molid din zone de risc la acțiunea factorilor biotici și abiotici (vânt, zăpadă, cervide). Permite de asemenea, prelucrarea automată a datelor în vederea elaborării modelelor de structură optimă în raport cu funcțiile ecologice, economice și sociale pe care le exercită arboretele și pădurea în ansamblul ei.

Modelele structurale care exprimă distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre, în funcție de valoarea diametrului central al suprafeței de bază ( $d_{gM}$ ) și în corelație cu varianta de aplicare a lucrărilor de îngrijire în arborete artificiale de molid, având la bază distribuția teoretică Charlier, sunt date de expresia generală:

$$\hat{n}\% = \frac{400}{a_1 d_{gM}^2 + b_1 d_{gM} + c_1} \cdot \left[ f_{(u)} - \frac{a_2 d_{gM}^2 + b_2 d_{gM} + c_2}{6} \cdot f_{(u)}^{III} + \frac{a_3 d_{gM}^2 + b_3 d_{gM} + c_3}{24} \cdot f_{(u)}^{IV} \right] \quad (34)$$

în care:

- $\hat{n}\%$  reprezintă frecvențele absolute ajustate;
- $f_{(u)}$  - funcția de frecvență a repartiției normale reduse;
- $f_{(u)}^{III}$  - derivata a treia a funcției  $f_{(u)}$ ;
- $f_{(u)}^{IV}$  - derivata a patra a funcției  $f_{(u)}$ ;
- $d_{gM}$  - valoarea corespunzătoare diametrului central al suprafeței de bază;
- $a_1, a_2, a_3; b_1, b_2, b_3$  - coeficienți specifici ecuațiilor de regresie în funcție de valoarea corespunzătoare diametrului central al suprafeței de bază și a variantei lucrărilor de îngrijire aplicate (martor, moderat, forte).

Mai mult, cunoașterea dinamicii structurale a arboretelor artificiale de molid, prezintă importanță la stabilirea dinamicii volumului pe sortimente dimensionale în raport cu stadiul de dezvoltare și cu caracteristicile calitative ale acestora. De asemenea, în executarea lucrărilor silvotehnice specifice fiecărui stadiu de dezvoltare, se poate prevedea asupra căror categorii de diametre va trebui intervenit pentru realizarea dezideratelor specifice urmărite în gestionarea acestora și anume stabilitatea, calitatea și productivitatea.

Punând bazele unor modele de prognoză care să țină cont de starea actuală cât și de starea probabilă a acestei categorii de arborete, sub influența factorilor perturbatori abiotici din zonă (vânt, zăpadă) și biotici (cervidele), corelat cu probabilitatea, posibilitatea și cu necesitatea executării lucrărilor silvotehnice specifice, impuse de starea arboretelor într-un anumit moment al dezvoltării lor, vor putea fi adoptate decizii asistate de calculator cu privire la gestionarea optimă pe termen mediu și lung a ecosistemelor artificiale de molid instalate în zonele de risc la acțiunea factorilor perturbatori, în conformitate cu principiile gestionării durabile a ecosistemelor forestiere montane.

## BIBLIOGRAFIE

- ALMI, R. J., BARRETT, J. 1977: Computer and tabular growth simulation of mixed conifer-hardwood stands in the North-east. Research report 61, New Hampshire Agr. Exp. Stat., 56 p.
- BIGING, G., S., DOBBERTIN, M., 1995: Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science* 41, pp. 360-377.
- BOTKIN, D. B., JANAK, J. F., WALLIS, J. R., 1972: Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *Journal Ecological* 60 (3), pp. 849-872.
- FRANC, A., BESNARD, J., KLEIN, E., TACONLE, F., 1995: Simulating the dynamics of heterogeneous forest stands - some methods using simple models *Revue Forestiere Francaise* 48, pp. 183-191.
- GIURGIU, V., 1978: Conservarea padurilor. Editura Ceres, Bucuresti. 308 p.
- GIURGIU, V., 1979: Dendrometrie si auxologie forestiera. Editura Ceres, Bucuresti. 692 p.
- ICHIM, R., 1990: Gospodarirea rationala pe baze ecologice a padurilor de molid. Editura Ceres, Bucuresti. 186 p.
- KIENAST, F., KUHN, N., 1989: Simulating forest succession along ecological gradient in southern Central Europe. *Vegetatio* 79 (1), pp. 7-20.
- LEAHU, I., 1994: Dendrometrie. Editura didactica si pedagogica Bucuresti. 374 p.
- LEEMANS, R., 1992: Simulation and future projection of succession in a Swedish broad-leaved forest. *Forest Ecology and Management* 48 (3-4), pp. 305-319.
- PORTÉ, A., BARTELNIK, H. H., 2002: Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. *Ecological Modelling* 150, pp. 141-188.