



Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag

Avram CICȘA^{a,b}, Gheorghe Marian TUDORAN^{b*}, Maria BOROEANU^b,
Alexandru Claudiu DOBRE^{a,b}, Gheorghe SPÂRCHEZ^c

^a Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Silvicultură "Marin Drăcea", B-dul Eroilor 128, 077190, Voluntari, România, cicsa_avram@yahoo.co.uk (A.C.), dobre.alexandruclaudiu@gmail.com (A.C.D.)

^b Universitatea "Transilvania" din Brașov, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Departamentul de Exploatare Forestiere, Amenajarea Pădurilor și Măsurători Terestre, Șirul Beethoven 1, 500123, Brașov, România, tudoran.george@unitbv.ro (G.M.T.), maria_boroeanu@yahoo.com (M.B.).

^c Universitatea "Transilvania" din Brașov, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Departamentul de Silvicultură, Șirul Beethoven 1, 500123, Brașov, România, sparchez@unitbv.ro (G.S.)

REPERE

- În amestecuri, maximul creșterii medii a producției principale se realizează la 65 ani.
- Creșterea și producția amestecurilor sporesc pe măsură ce crește proporția rășinoaselor.
- Amestecurile sunt mai favorabile fagului sub raportul creșterii și producției.

INFORMAȚII ARTICOL

Istoricul articolului:

Manuscris primit la: 24 iulie 2021

Primit în forma revizuită: 06 septembrie 2021

Acceptat: 07 septembrie 2021

Număr de pagini: 16 pagini.

Tipul articolului:

Cercetare

Editor: Stelian Alexandru Borz

Cuvinte cheie:

Amestecuri de rășinoase cu fag

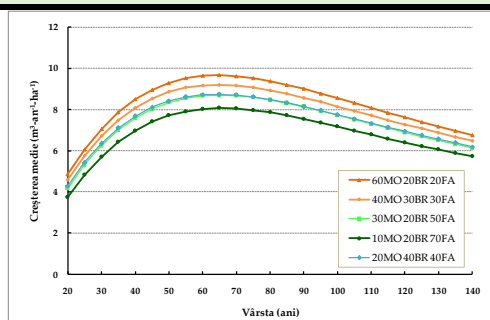
Producție principală

Productivitatea arboretului

Înălțimea arboretului

Creștere medie în volum

REZUMAT GRAFIC



REZUMAT

Arboretele amestecate au legi proprii de dezvoltare, astfel că structura lor și dinamica principalelor caracteristici biometrice conduc la indici de producție diferiți de cei ai arboretelor pure. Prin aceste cercetări s-a urmărit stabilirea relațiilor dintre aceste caracteristici și dezvoltarea de modele pentru principalii indicatori care pot estima productivitatea arboretelor amestecate de fag cu rășinoase. Cercetările s-au efectuat în păduri de amestec de fag cu rășinoase multietajate din Munții Gurghiu din România. S-au inclus în studiu 115 arborete reprezentative în care s-au amplasat suprafețe de probă de 0.25 – 1.0 ha, în care s-au inventariat integral 15,75 ha. Bonitatea stațiilor forestiere s-a determinat pe cale directă, pe baza cercetării elementelor edafice ale stațiilor și indirect prin tipul de pătură erbacee și prin indicatori precum înălțimea medie (h_g) și înălțimea superioară (h_{dom}), producția principală (V) și creșterea medie a producției principale (I_M). Pentru caracterizarea productivității arboretelor s-au generat 60 de modele care exprimă relația dintre acești indicatori și vârsta (T), diametrul (d_g) sau înălțimea medie a arboretelor. Modelele explică 80 – 98% din variația valorilor indicatorilor respectivi.

* Autor corespondent. Tel.: +40-727-201-608.

Adresa de e-mail: tudoran.george@unitbv.ro

1. INTRODUCERE

Modul în care biocenozele forestiere reușesc să utilizeze resursele energetice, trofice și hidrice ale stațiunii este o consecință a stabilității lor ca urmare a relației dintre structura arboretelor și condițiile staționale. Capacitatea stațiunii de a întreține o anumită vegetație forestieră se reflectă în vigoarea de creștere și în comportamentul speciilor și exprimă potențialul ei productiv [1] astfel că, indiferent de funcția pădurii sau de țelurile urmărite prin gospodărire, stațiunea forestieră devine o condiție pentru asigurarea stabilității pădurii, întrucât ea influențează starea de sănătate și vitalitatea arborilor și arboretelor.

Producția și productivitatea arboretelor este determinată de structura propriu-zisă a stațiunii. Toate elementele componente care contribuie la constituirea stațiunilor cum sunt cele geomorfologice, edafice și climatice determină gradul de favorabilitate al stațiunilor pentru vegetația forestieră. Elementele edafice și climatice exprimă măsura în care stațiunea satisface cerințele ecologice ale arborilor și, ca urmare, prezintă o importanță mai mare în determinarea gradului de favorabilitate al stațiunilor [2]. Potențialul productiv al stațiunilor poate fi determinat indirect pe baza unor caracteristici dendrometrice ale arboretelor. Întrucât înălțimea medie a arboretelor prezintă o corelație strânsă în raport cu volumul lor, ea poate fi un indicator reprezentativ al bonității staționale, recunoscut pentru managementul arboretelor echine [3, 4]. Înălțimea medie dominantă (înălțimea medie a celor mai mari 100 de arbori la hectar la o vârstă dată) [5] raportată la vârsta arboretului nu este influențată de densitatea arboretului și de măsurile de gospodărire aplicate. De aceea este considerată un indicator relevant al productivității stațiunilor [6-9]. În practica gestionării pădurilor sunt cunoscute modelele bazate pe înălțimea arboretului la o anumită vârstă [3, 10], ca o măsură a productivității potențiale a stațiunilor. Studii recente evidențiază și creșterea în suprafața de bază ca fiind un indicator pentru cuantificarea productivității stațiunilor din arborete amestecate de vârste diferite [11].

În România, dintre pădurile amestecate, amestecurile de rășinoase cu fag montane realizează cea mare răspândire (22.38%) [12], ele fiind strâns legate de relieful muntos. Datorită condițiilor naturale, etajul amestecurilor de fag cu rășinoase prezintă o neuniformitate destul de accentuată. Arboretele sunt alcătuite din specii (molid, brad, fag) care, în mod natural, tind spre structuri complexe, de tip pluriene și îndeplinesc multiple funcții de protecție și producție [13-18]. Relația strânsă ce există între stațiune și structura arboretelor conduce la necesitatea dezvoltării cunoștințelor privind potențialul stațiunilor specifice unor astfel de structuri. Înălțimea este recunoscută ca un criteriu relevant pentru estimarea productivității stațiunilor, precum și creșterea medie a producției totale la vârsta exploatabilității absolute sau la o vârstă reper. De asemenea, este cunoscut faptul că în cazul în care structurile arboretelor amestecate tind spre cele pluriene, înălțimea arborilor cu diametrul de 50 cm (h_{50}) este un criteriu după care se diferențiază productivitatea acestor arborete [19-21]. Cercetările recente efectuate în arboretele amestecate și cu structuri apropiate de cele pluriene din nordul Carpaților Orientali [22] au evidențiat că alături de diametrul de 50 cm este foarte important să fie luat în considerare și diametrul de 25 cm, considerat diametru de referință în cazul acestor structuri. Structura arboretelor amestecate este însă mult mai dinamică [23-25]. Se impune a fi modelați indicatori cu capacitate predictivă care să

Cicșa et al.: Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag

fie folosiți pentru estimarea bonității stațiunilor în diferite condiții de structură ale arboretelor. Dacă modelele predictive sunt dezvoltate pentru specii individuale care provin din arborete amestecate, atunci valorile prognozate de modelele pentru fiecare specie din compoziția arboretelor ar trebui să reflecte amestecul de specii. Dintre indicatori, creșterea medie în volum a arboretelor ar putea fi modelată pentru diferite tipuri de amestec întrucât ea însumează complexul tuturor factorilor staționali [26-28]. De asemenea, producția principală a arboretelor ar putea fi diferențiată pe tipuri de amestec și ar putea estima bonitatea stațiunilor caracteristice amestecurilor. Se impune a fi analizată însă și posibilitatea exprimării indicatorilor respectivi și în raport cu înălțimea sau cu diametrul arboretului, pentru anumite valori de referință ale acestora.

Prin acest studiu ne-am propus dezvoltarea de modele pentru principalele caracteristici biometrice ale arboretelor, care pot estima potențialul productiv al stațiunilor forestiere din etajul montan de amestecuri. Modelele care prognozează indicatorii se bazează pe măsurători directe în arborete amestecate parcurse cu intervenții și sunt exprimate prin ecuații simple și ușor de aplicat.

2. MATERIALE ȘI METODE

Cercetările s-au efectuat în păduri de amestec de fag cu rășinoase din unitatea de producție IV Fâncel din Ocolul silvic Fâncel. Pădurile cercetate sunt situate în Carpații Orientali la altitudini cuprinse între 700 și 1600 m, pe roci vulcanice (46°47'59" N, 25°09'22" E). În cuprinsul arboretelor se întâlnește o mare varietate a factorilor geomorfologici (**Tabelul 1**). În studiu s-au inclus arborete amestecate reprezentative (115 arborete) de pe raza unității de producție IV Fâncel. Această unitate de producție cuprinde în mare parte diversitatea de condiții staționale care se întâlnesc în pădurile montane de amestec de rășinoase cu fag din zona cercetată și tipurile de amestecuri cele mai întâlnite (**Tabelul 1**).

Tabelul 1. Distribuția speciilor și a expoziției versanților în funcție de altitudine

Altitudine (m)	Specia (%)				Expoziția (%)			Total (%)
	Fag	Brad	Molid	Alte specii	Umbrită	Însorită	Parțial-însorită	
600 – 800	10	5	1	14	2	4	7	6
801 – 1000	42	39	10	38	53	22	21	27
1001 – 1200	36	37	24	18	19	25	40	30
1201 – 1400	12	18	42	20	25	32	22	26
1401 – 1600	-	1	23	10	1	17	10	11
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Total proporție (%)	43	6	45	6	19	39	42	100
Înclinare (grade)	<5	6 – 15	16 – 25	26 – 30	31 – 35	36 – 40	41 – 45	Total
Suprafață (%)	-	1	13	32	37	17	-	100

Pentru simplificarea lucrărilor s-a avut în vedere organizarea pădurii pe unități amenajistice. Acestea au fost asimilate cu unitățile staționale elementare. Toate unitățile amenajistice existente au fost parcurse și verificate, urmărindu-se ca în cuprinsul lor să se mențină aceleași condiții staționale. Unitățile amenajistice s-au grupat în unități omogene sub raport climatic, trofic și hidric.

Acestea au alcătuit unitățile staționale elementare la nivelul cărora s-a amplasat rețeaua de profile principale de sol. În funcție de factorii de solificare și de proprietățile fizice și chimice ale solurilor (determinate prin analizele de laborator și de teren) în teritoriul cercetat s-au identificat eutricambosoluri și districambisoluri andice precum și andosoluri tipice și districe. Bonitatea stațiunilor forestiere s-a determinat pe cale directă, pe baza cercetării elementelor edafice ale stațiunilor [1, 2, 29] din cuprinsul unității de producție și indirect, în funcție caracteristicile dendrometrice ale arboretelor (înălțimea medie și înălțimea dominantă, producția și creșterea medie a producției principale) și tipul de pătură erbacee [24].

În cadrul suprafeței experimentale s-a parcurs integral fiecare arboret pentru a se obține o imagine de ansamblu asupra structurii lui. În fiecare arboret s-au amplasat suprafețe de probă de 0,05 ha pentru cercetarea structurii sub raportul compoziției, densității, vârstei, etajării, originii, dimensiunilor arborilor medii pe specii și capacității de regenerare (compoziția și vitalitatea semințșului) [14, 27]. La nivelul arborilor s-au măsurat dimensiunile, s-a evaluat poziția lor cenotică și starea de sănătate. În cadrul fiecărui arboret, pentru fiecare specie, arborii s-au grupat pe clase dimensionale (așa încât să se surprindă generațiile de arbori). La nivelul acestora s-a stabilit arborele mediu al suprafeței de bază și s-a determinat diametrul și înălțimea lui. Diametrul și înălțimea arborelui mediu dominant s-au determinat ca medie a diametrelor, respectiv înălțimilor a celor mai înalți 15 - 20 de arbori aleși de pe întreaga suprafață a arboretului. Atunci când în cadrul speciei s-au identificat două generații, vârsta s-a determinat pentru fiecare generație în parte pe carote de creștere extrase din arbori medii care caracterizează fiecare generație. La nivelul arboretului, vârsta s-a determinat în raport cu specia preponderentă, urmărită ca țel prin gospodărirea arboretului. În cazul arboretelor pentru care vârsta actuală era concludentă, ea s-a preluat din amenajament. În prelucrările de date s-au inclus generații de arbori, cu vârstele și caracteristicile lor dendrometrice. În suprafața experimentală au fost incluse arborete provenite din regenerare naturală, cu vârste de cel puțin 10 ani. În 40 de arborete, cu vârste și structuri diferite, s-au amplasat suprafețe de probă cuprinse între 0,25 și 1,0 ha, acestea însumând în total 15,75 ha. În aceste suprafețe s-au inventariat 7976 de arbori pentru caracterizarea structurii amestecurilor. La fiecare arbore s-a măsurat diametrul și înălțimea.

Relațiile dintre parametrii biometrici ai arboretelor și vârsta, diametrul sau înălțimea au fost exprimate prin modele de tip polinomial, simple și ușor de aplicat, care au estimat productivitatea arboretelor. Pentru evaluarea calității modelelor s-au analizat valorile indicatorilor statistici: eroarea medie pătratică (RMSE), eroarea absolută medie (MAE), eroarea absolută medie (MAPE) și coeficientul de determinare (R^2).

3. REZULTATE

3.1. Indicatori ai bonității stațiunilor și productivității arboretelor

3.1.1. Înălțimea medie (h_g) și înălțimea dominantă (h_{dom})

La vârsta de referință de 100 de ani, în stațiuni de bonitate superioară, în arborete în care speciile de amestec au proporții variabile cuprinse între 30 și 70%, molidul realizează înălțimi medii de 30,7 m, bradul de 28,5 m, iar fagul de 26,9 m. Aceste valori sunt caracteristice arboretelor din zona cercetată parcurse sistematic cu intervenții (**Figura 1**). Înălțimea dominantă, comparativ

Cicșa et al.: Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag

cu înălțimea medie, la vârsta de referință de 100 de ani, prezintă valori cu 2 - 4 m mai mari, la molid de 33,3 m, la brad 32,6 m, iar la fag 30,2 m (Figura 1).

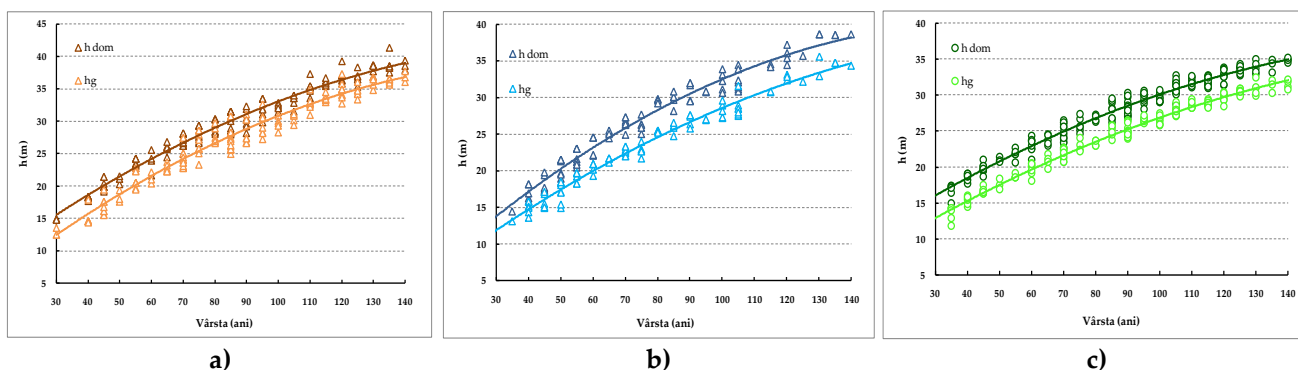


Figura 1. Relația dintre înălțimea medie și înălțimea dominantă a arborilor de molid (a), brad (b) și fag (c) din arborete amestecate și vârsta lor medie. Vârsta medie corespunde speciei sau generației de arbori din cadrul arboretului, reprezentată prin h_g sau h_{dom}

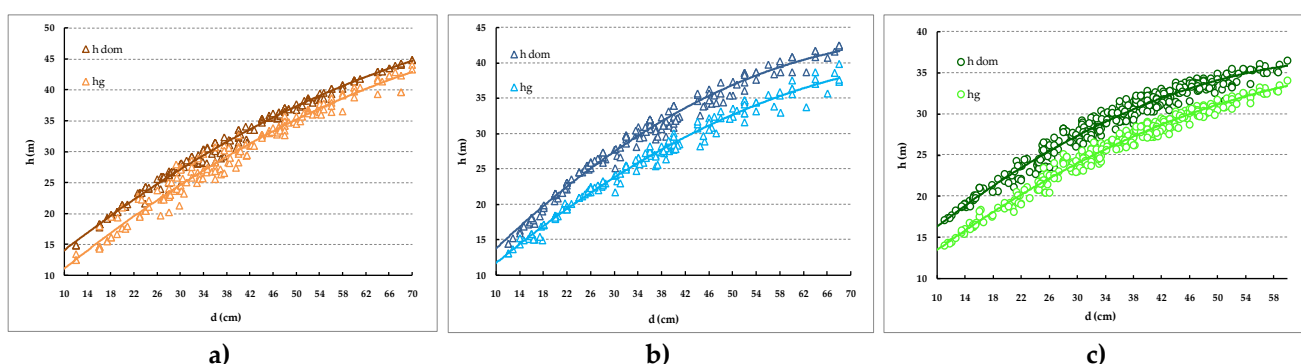


Figura 2. Relația dintre înălțimea medie și înălțimea dominantă a arborilor de molid (a), brad (b) și fag (c) din arborete amestecate și diametrul mediu corespunzător. Diametrul mediu (d) este diametrul speciei/generației de arbori din cadrul arboretului care are înălțimea h_g sau h_{dom}

Relațiile dintre înălțimea medie și vârstă, respectiv dintre înălțimea dominantă și vârstă s-au exprimat prin ecuații de tip polinomial. Acestea explică 97 - 98 % din variația înălțimilor în condițiile staționale caracteristice zonei studiate. De asemenea, la un diametru de referință de 50 cm, înălțimea medie la brad prezintă valori de 32,9 m, la molid de 35,2 și la fag de 31,1 m, iar înălțimea dominantă prezintă valori de 37,1 m la brad, de 37,8 la molid, iar la fag de 34,2 m (Figura 2). Pentru vârstă sau diametru pot fi alese diferite valori de referință, în raport cu diferite stadii de dezvoltare ale arboretelor.

3.1.2. Creșterea medie a producției principale

Creșterea medie în volum a producției principale reflectă influența condițiilor staționale și a măsurilor de gospodărire aplicate asupra structurii arboretelor. Maximul creșterii medii în arboretele amestecate cercetate se realizează la vârste cuprinse între 65 și 70 de ani și în condițiile unui arboret cu densitate normală este de $10,6 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ la molid, $9,2$ la brad și de $7,4$ la fag (Figura 3a-c).

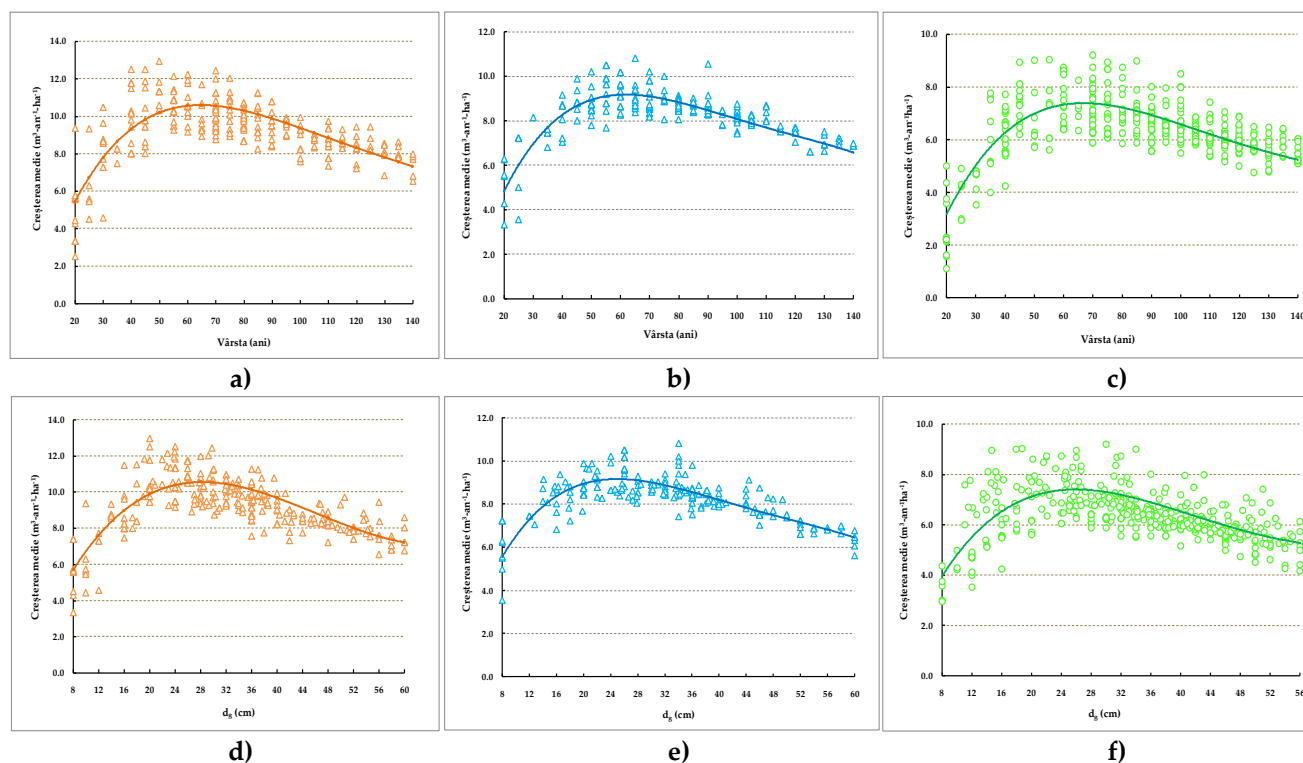


Figura 3. Variația creșterii medii a producției principale în raport cu vârsta, pentru speciile molid (a), brad (b) și fag (c), și în raport cu diametrul mediu pentru molid (d), brad (e) și fag (f) din arborete amestecate situate în stațiuni de bonitate superioară. Diametrul mediu (d_g) este diametrul speciei/generației de arbori din cadrul arboretului care are înălțimea h_g

Maximului creșterii medii îi corespunde un diametru mediu de 28 cm la molid și de 26 cm la brad și fag (Figura 3d-f). La vârsta de 100 ani, creșterea medie a producției principale este de 9,4 m³an⁻¹ha⁻¹ la molid, 8,1 la brad și de 6,6 la fag.

3.1.3. Producția principală a arboretelor amestecate

Producția principală a arboretelor amestecate este influențată de structura arboretelor și de productivitatea speciilor. La vârsta de referință de 100 de ani, molidul din arboretele amestecate, în condițiile de structură ale arboretelor surprinse în tabelele de producție (arborete pure, echine și de densitate normală) realizează la hectar 936 m³, bradul 808 m³ și fagul 660 m³ (Figura 4). La diametrul de 26 cm la care se realizează maximum creșterii medii în volum, considerat diametru de referință, molidul realizează 616 m³, bradul 590 m³ și fagul 472 m³. Volumul la hectar este strâns corelat cu înălțimea (Figura 5). Modelele generate redau volumul mediu la hectar și explică 89 - 95% din variația volumelor arboretelor. La o înălțime medie de 30 m, volumul la hectar din arborete amestecate, în condițiile unui arboret pur, echien și cu densitate normală, este de 869 m³ la molid, 829 m³ la brad și 686 m³ la fag. La înălțimi dominante în jur de 33 m, modelele producției principale redau aceleași volume.

Ciçaș et al.: Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag

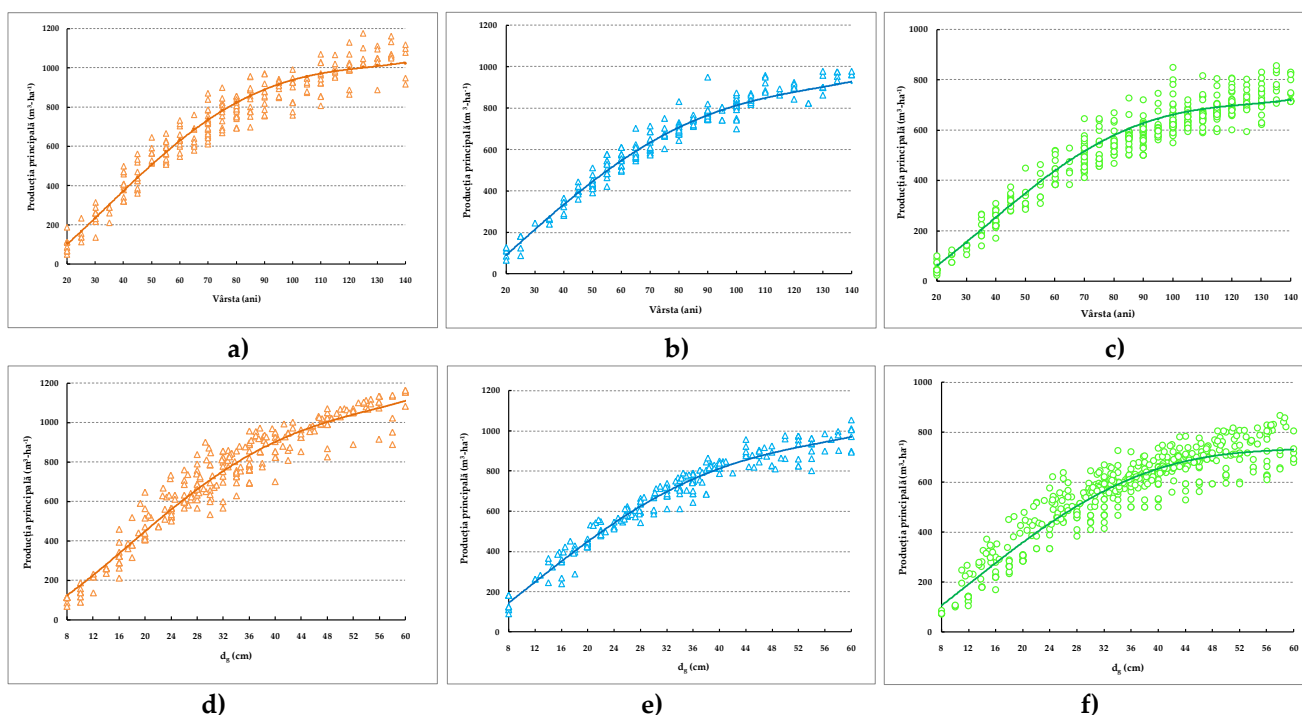


Figura 4. Variația producției principale în raport cu vârsta, pentru speciile molid (a), brad (b) și fag (c), și în raport cu diametrul pentru molid (d), brad (e) și fag (f) în arborete amestecate, situate în stațiuni de bonitate superioară

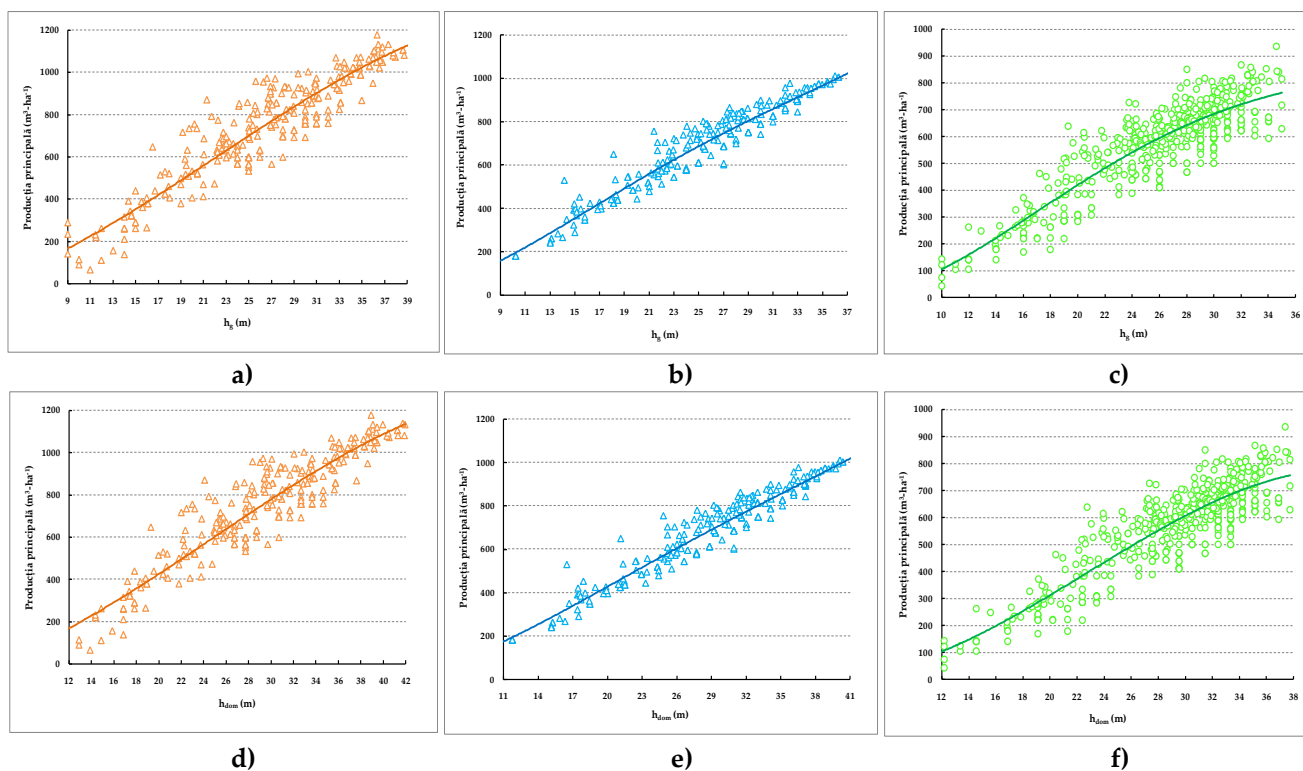


Figura 5. Variația producției principale în raport cu înălțimea medie, pentru speciile molid (a), brad (b) și fag (c), și în raport cu înălțimea dominantă pentru molid (d), brad (e) și fag (f) în arborete amestecate.

3.2. Creșterea medie și producția principală a arboretelor amestecate în raport cu proporția de participare a speciilor de amestec

Creșterea medie a producției principale și producția principală a amestecurilor se diferențiază în raport cu proporția de participare a speciilor în compoziția arboretelor. Modelele generate pentru arborete amestecate permit determinarea valorilor creșterii medii și producției principale în raport cu vârsta, diametrul sau înălțimea arboretelor. Astfel de modele se exemplifică pentru cinci tipuri de amestec (Figura 6).

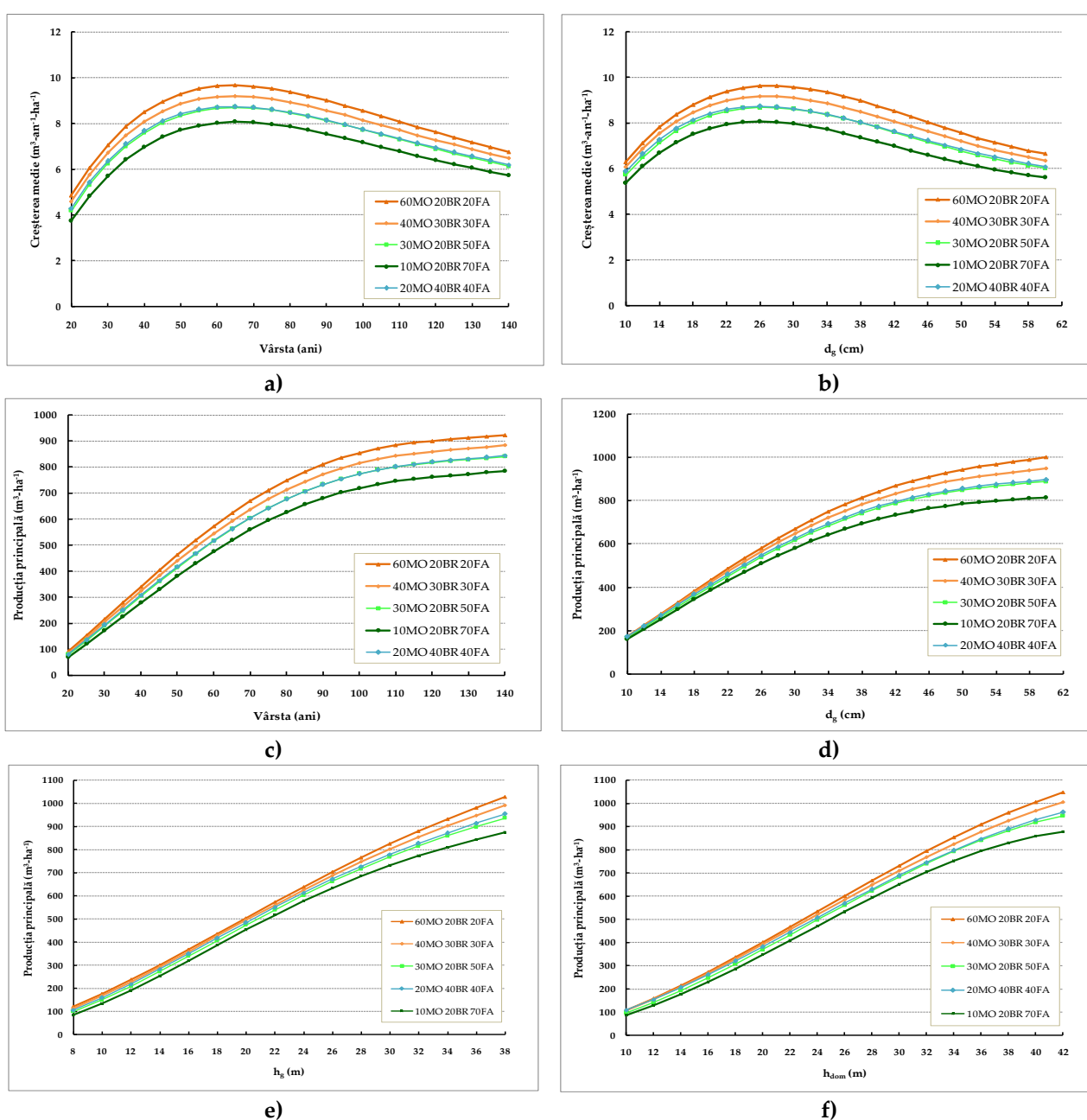


Figura 6. Variația creșterii medii în raport cu vârsta (a) și diametrul mediu (b) și a producției principale în raport cu vârsta (c), diametrul mediu (d), și înălțimea medie (e) și înălțimea dominantă (f) pentru arborete de amestec în care molidul, bradul și fagul participă în proporție de 10 - 70%. Modelele redau valori ale indicatorilor pentru arborete cu densitate normală.

Ciçaș et al.: Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag

Pentru determinarea creșterii medii și producției arboretelor amestecate, în care molidul, bradul și fagul participă în diferite proporții, valorile indicatorilor respectivi determinate prin modelele creșterii și producției principale pentru speciile individuale (paragrafele 3.1.2 și 3.1.3) se pot reduce cu proporția de participare a speciilor. De exemplu, pentru un arboret amestecat având compoziția 60%FA 20%MO 20%BR, maximul creșterii este de 8,4 m³an⁻¹ha⁻¹, iar pentru unul având compoziția 60%MO 20%BR 20%FA, maximul creșterii este de 9,7 m³an⁻¹ha⁻¹. Pentru aceleași amestecuri, la 100 de ani se obțin producții la hectar de 745 m³ și respectiv de 855 m³.

3.3. Precizia modelelor

Modelele au fost selectate cu ajutorul valorilor parametrilor statistici. Ele estimează în jur de 95% din varianța variabilelor și sunt semnificative (p < 0.05).

Tabelul 2. Parametrii statistici ai modelelor pentru specii individuale

Specie	Variabile		Nr.	Ecuatie					R ²	RMSE	MAE	MAPE (relativ)
	y	x		a	b	c	d	e				
Fag			(1)	5.062	0.282	-0.0006	-	-	0.974	0.678	0.517	0.021
Brad	h _g (m)		(2)	2.240	0.339	-0.0007	-	-	0.978	0.921	0.780	0.035
Molid		T	(3)	1.460	0.396	-0.0010	-	-	0.956	1.386	1.074	0.041
Fag		(ani)	(4)	7.784	0.294	-0.0007	-	-	0.984	3.229	2.850	0.095
Brad	h _{dom} (m)		(5)	2.306	0.416	-0.0011	-	-	0.978	1.147	1.030	0.041
Molid			(6)	5.190	0.371	-0.0009	-	-	0.971	1.079	0.869	0.030
Fag			(7)	6.946	0.694	-0.0042	-	-	0.965	3.316	3.245	0.129
Brad	h _g (m)		(8)	4.455	0.768	-0.0040	-	-	0.985	2.773	2.371	0.077
Molid		d	(9)	3.358	0.819	-0.0036	-	-	0.990	2.922	2.643	0.103
Fag		(cm)	(10)	6.570	0.794	-0.0034	-	-	0.979	3.281	3.163	0.110
Brad	h _{dom} (m)		(11)	5.235	0.902	-0.0053	-	-	0.984	3.622	3.466	0.121
Molid			(12)	6.570	0.794	-0.0034	-	-	0.972	2.508	2.390	0.082
Fag			(13)	-3.009	0.408	-0.00547	2.91x10 ⁻⁵	-55.96x10 ⁹	0.820	0.722	0.548	0.133
Brad	Creșterea medie în volum	T	(14)	-2.818	0.522	-0.00790	4.89x10 ⁻⁵	-1.12x10 ⁻⁷	0.865	0.626	0.469	0.069
Molid		(ani)	(15)	-2.567	0.530	-0.0073	4.00x10 ⁻⁵	-8.07x10 ⁻⁸	0.862	1.108	0.857	0.214
Fag			(16)	-1.123	0.838	-0.0275	-3.41x10 ⁻⁴	-1.44x10 ⁻⁶	0.807	0.763	0.611	0.123
Brad	m ³ ·an ⁻¹ ha ⁻¹	d _g	(17)	-2.818	0.522	-0.0079	-4.89x10 ⁻⁵	-1.12x10 ⁻⁷	0.854	0.620	0.445	0.059
Molid		(cm)	(18)	-0.088	0.900	-0.0240	-2.03x10 ⁻⁴	-3.20x10 ⁻⁷	0.894	0.966	0.743	0.128
Fag			(19)	45.67	16.42	0.433	-0.014	9.70x10 ⁻⁵	0.924	61.96	47.83	0.128
Brad		d _g	(20)	-47.87	21.77	0.404	-0.014	9.80x10 ⁻⁵	0.978	42.98	32.92	0.060
Molid	Producția principală m ³ ·ha ⁻¹	(cm)	(21)	-19.84	10.98	1.098	-0.027	1.81x10 ⁻⁴	0.971	81.70	60.39	0.095
Fag			(22)	-77.27	4.038	0.173	-0.002	6.08x10 ⁻⁶	0.948	55.91	44.35	0.107
Brad		T	(23)	-152.6	11.28	0.063	-11.94x10 ⁻⁴	3.90x10 ⁻⁶	0.973	48.01	36.16	0.068
Molid		(ani)	(24)	-109.9	7.596	0.199	-24.51x10 ⁻⁴	7.48x10 ⁻⁶	0.967	71.18	55.29	0.216
Fag			(25)	59.54	-25.03	4.003	-0.112	9.60x10 ⁻⁵	0.890	73.11	56.97	0.244
Brad	Producția principală m ³ ·ha ⁻¹	h _g	(26)	8.374	0.225	2.521	-0.077	77.06x10 ⁻⁵	0.958	50.98	39.32	0.075
Molid		(m)	(27)	-32.85	14.95	0.924	-0.014	-	0.949	80.93	58.99	0.379
Fag			(28)	39.75	-13.86	1.926	-0.027	2.00x10 ⁻⁵	0.889	73.40	56.61	0.211
Brad		h _{dom}	(29)	12.36	0.705	1.722	-0.043	3.71x10 ⁻⁴	0.958	50.97	39.096	0.072
Molid		(m)	(30)	72.91	9.086	1.072	-0.0144	-	0.949	81.001	59.01	0.410

Tabelul 3. Parametrii statistici ai modelelor pentru arborete amestecate (speciile de amestec au o proporție de participare de 10 - 70%)

Compoziția arboretului	Variabile		Nr.	Ecuatie					Variable	Variable	Ecuatie					
	y	x		a	b	c	d	e			y	x	Nr.	a	b	c
60MO 20BR 20FA			(31)	-111.7	7.621	0.166	-20.80x10 ⁻⁴	-6.30x10 ⁻⁶			(36)	-30.00	14.22	0.826	-0.02140	1.41x10 ⁻⁴
40MO 30BR 30FA	Producția principală	T	(32)	-112.6	7.633	0.150	-19.40x10 ⁻⁴	-6.00x10 ⁻⁶	Producția principală	d _g	(37)	-35.99	15.84	0.690	-0.01945	1.35x10 ⁻⁴
30MO 20BR 50FA	m ³ ·ha ⁻¹	(ani)	(33)	-101.6	6.553	0.158	-19.60x10 ⁻⁴	-6.00x10 ⁻⁶			(38)	-38.36	15.85	0.626	-0.01800	1.25x10 ⁻⁴
10MO 30BR 70FA			(34)	-94.89	5.842	0.153	-18.70x10 ⁻⁴	-5.70x10 ⁻⁶	m ³ ·ha ⁻¹	(cm)	(39)	-43.52	16.94	0.493	-0.0157	1.13x10 ⁻⁴
20MO 40BR 40FA			(35)	-113.5	7.646	0.134	-17.50x10 ⁻⁴	-5.37x10 ⁻⁶			(40)	-41.38	17.47	0.554	-0.0164	1.10x10 ⁻⁴
60MO 20BR 20FA	Creșterea producției principale	T	(41)	-2.705	0.504	-0.007	3.89x10 ⁻⁵	-8.00x10 ⁻⁸	Creșterea producției principale	d _g	(46)	-0.381	0.913	-0.0271	-2.91x10 ⁻⁴	1.00x10 ⁻⁶
40MO 30BR 30FA	m ³ ·an ⁻¹ ha ⁻¹	(ani)	(42)	-2.774	0.491	-0.007	4.09x10 ⁻⁵	-9.00x10 ⁻⁸			(47)	-0.528	0.919	-0.0291	-3.50x10 ⁻⁴	1.50x10 ⁻⁶
30MO 20BR 50FA			(43)	-2.838	0.467	-66.5x10 ⁻⁴	-3.90x10 ⁻⁵	-8.60x10 ⁻⁸	Creșterea producției principale	(cm)	(48)	-0.692	0.894	-0.0280	-3.30x10 ⁻⁴	1.34x10 ⁻⁶
10MO 30BR 70FA			(44)	-2.926	0.443	-62.0x10 ⁻⁴	3.51x10 ⁻⁶	-7.32x10 ⁻⁸	m ³ ·an ⁻¹ ha ⁻¹		(49)	-0.899	0.882	-0.0290	-3.65x10 ⁻⁴	1.61x10 ⁻⁶
20MO 40BR 40FA			(45)	-2.844	0.478	-68.5x10 ⁻⁵	4.00x10 ⁻⁵	-5.37x10 ⁻⁸			(50)	-0.675	0.926	-0.0310	-4.10x10 ⁻⁴	2.00x10 ⁻⁶
60MO 20BR 20FA			(51)	-75.68	19.30	0.731	-0.0125	-			(56)	-51.65	6.640	1.109	-0.0153	-
40MO 30BR 30FA	Producția principală	h _g	(52)	-97.09	21.48	0.635	-0.0117	-	Producția principală	h _{dom}	(57)	-41.03	5.416	1.128	-0.0158	-
30MO 20BR 50FA	m ³ ·ha ⁻¹	(m)	(53)	-106.4	20.18	0.706	-0.0135	-		(m)	(58)	-16.29	-0.570	1.388	-0.0198	-
10MO 30BR 70FA			(54)	-127.0	20.77	0.690	-0.0142	-	m ³ ·ha ⁻¹		(59)	7.283	-5.377	1.574	-0.0227	-
20MO 40BR 40FA			(55)	118.5	23.66	0.539	-0.0110	-			(60)	-30.4	4.193	1.147	-0.0162	-

Cicșa et al.: Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag

Deși în cazul creșterii medii s-au înregistrat valori mai mici ale lui R^2 (0,80 - 0,89), modelele au fost acceptate pe baza analizei valorilor celorlalți indicatori statistici. În **Tabelul 2** se prezintă modele ale indicatorilor (h_g , h_{dom} , I_M și V) la nivelul speciilor individuale, iar în **Tabelul 3** pentru cinci tipuri de amestec. Pentru toți indicatorii valorile predictive se înscriu în variația normală a creșterilor în raport cu vârsta și cu condițiile staționale și reflectă procesele de creștere și dezvoltare ale arboretelor.

4. DISCUȚII

Stabilitatea arboretelor este un obiectiv esențial urmărit în managementul gestionării pădurilor. Aceasta presupune cunoașterea în detaliu a componentelor stațiunii așa încât, prin deciziile de proiectare, să se stabilească cele mai bune măsuri de management. În acest studiu s-au analizat mai mulți parametri care pot oferi informații cu privire la favorabilitatea stațiunii pentru speciile care alcătuiesc arboretele amestecate din etajul amestecurilor de rășinoase cu fag, cu structuri echine, relativ echine și relativ relativ-pluriene. O particularitate a amestecurilor o reprezintă și faptul că, în amestec, speciile de molid, brad și fag se pot comporta diferit comparativ cu arboretele pure ca urmare a relațiilor care apar între arbori [30]. Relația specifică dintre stațiune și caracteristicile dendrometrice ale arboretelor depinde însă și de alți factori decât cei staționali și specie. În amestec se pot înregistra pierderi de volum la o specie, dar ele se pot compensa prin majorarea volumului celorlalte specii [31, 32].

Înălțimea medie raportată la o vârstă reper constituie un indicator frecvent utilizat pentru determinarea productivității arboretelor [3, 4]. Deși este un indicator aplicat îndeosebi în cazul arboretelor pure [20, 21], totuși, înălțimea medie s-a dovedit a fi relevantă și în cazul arboretelor amestecate și poate fi folosită pentru diferențierea productivității acestora, dar în condiții normale de densitate. În arborete neparcursă la timp cu intervenții, dense, poate conduce la o supraestimare a productivității, după cum în cele cu densități reduse poate conduce la o subestimare. Alte cercetări realizate în arborete amestecate au evidențiat că amestecurile de rășinoase cu fag, în aceleași condiții staționale, sunt mai productive cu 20% comparativ cu arboretele pure [33] sau au evidențiat o productivitate mai mare a molidului și bradului în amestecuri [34, 35].

Prin aceste cercetări s-au determinat valori ale producției fagului din arboretele amestecate cu până la 13,5% mai mari decât în cazul arboretelor pure de fag. Prin alte cercetări efectuate în arborete amestecate echine și pluriene naturale s-a ajuns la concluzia că producția molidului și bradului din arboretele amestecate echine este mai mică decât cea a arboretelor pure de molid sau de brad cu 17 respectiv 12%, iar producția fagului este mai mare decât a arboretelor pure de fag cu cca 30% [36]. Modelele elaborate permit determinarea valorilor înălțimii, creșterii medii și producției arboretelor la diferite vârste, diametre și înălțimi. În **Tabelul 4** se prezintă valori ale acestor indicatori în diferite momente considerate de referință în dezvoltarea arboretelor. Comparativ cu tabelele de producție elaborate pentru arborete pure [21] aceste cercetări au evidențiat următoarele diferențe:

- valori ale înălțimii medii la vârsta de 100 ani mai mici cu 4,9% la molid, 3,5% la brad și 11,5% la fag și ale înălțimii dominante mai mici cu 3,9% la molid, 0,6% la brad și 8,6% la fag;

Cicșa et al.: Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag

- valori ale producției principale la vârsta de 100 ani mai mari cu 3,1% la molid și brad și cu 7,4% la fag;
- maximul creșterii medii a producției principale mai mare cu 2,8% la molid, 9,8% la brad și cu 13,5% la fag iar la diametrul reper de 26 cm creșterea medie a producției principale prezintă valori mai mari cu de 4,8% la molid, la celelalte specii menținându-se aceleași diferențe ca și cele de la vârsta de 100 ani.

Tabelul 4. Indici de producție pentru speciile molid, brad și fag din arborete amestecate în condițiile de structură specifice arboretelor exprimate în tabelele de producție (arborete pure, echiene și de densitate normală)

Specie	Molid	Brad	Fag
Vârsta (ani)	65	65	65
Înălțimea medie (m)	22,8	21,1	20,7
Înălțimea dominantă (m)	25,5	24,6	23,9
Producția principală (m ³)	688	596	481
Vârsta (ani)	100	100	100
Înălțimea medie (m)	30,7	28,5	26,9
Înălțimea dominantă (m)	33,3	32,6	30,2
Producția principală (m ³)	936	808	660
Diam. mediu (cm)	26	26	26
Înălțimea medie (m)	22,2	21,7	22,2
Înălțimea dominantă (m)	24,9	25,1	25,5
Producția principală (m ³)	616	590	472
Diam. mediu (cm)	40	40	40
Producția principală (m ³)	912	824	656
Înălțimea medie (m)	25	25	25
Producția principală (m ³)	590	691	455
Înălțimea medie (m)	30	30	30
Producția principală (m ³)	869	829	686

Deși înălțimea surprinsă de modele este mai redusă decât cea a arboretelor pure prezentate în tabelele de producție românești, arboretele amestecate cercetate înregistrează un spor de creștere și implicit de producție. Aceasta se justifică prin introducerea în studiu a arboretelor parcurse cu intervenții silviculturale, care au stimulat creșterea în diametru și în volum a arboretelor. Rezultatele obținute arată că amestecurile sunt mai favorabile fagului sub raportul creșterii și producției, comparativ cu rășinoasele.

Modelele elaborate în acest studiu permit evaluarea potențialului arboretelor de productivitate superioară în raport cu speciile prezente în amestec, molid, brad sau fag. Amestecurile din zona cercetată nu acoperă însă întreaga variație a productivității stațiunilor în care sunt prezente arboretele amestecate, de aceea aceste modele sunt caracteristice zonei studiate și trebuie folosite doar pentru condiții de structură similare arboretelor care au stat la baza cercetării. Pentru determinarea indicatorului creșterii medii a producției principale s-a considerat relevantă producția principală existentă la un anumit moment în dezvoltarea arboretului și nu producția totală, întrucât în cazul arboretelor amestecate structura este mult mai dinamică, astfel că pentru un arboret la o anumită vârstă, productivitatea arboretului trebuie evaluată pe baza compoziției arboretului principal stabilită ca țel prin gospodărirea arboretelor. Indicatorii

proгноzați de modele pentru specii individuale, se pot folosi pentru estimarea productivității arboretelor amestecate de diferite compoziții și densități, deoarece valorile indicate de modele pentru speciile individuale încorporează influența unui amestec de specii la nivelul unității de producție cu compoziția 40%MO 40%FA 20%BR(DT). De asemenea, studiul se bazează pe arborete cu densități cuprinse între 60 și 100% parcurse cu intervenții silviculturale. Prin urmare, modelele se pot aplica în arborete amestecate gospodărite, parcurse sistematic cu intervenții silviculturale, care prezintă densități în jur de 0.8. Modelele creșterii medii și ale producției pentru diferite tipuri de amestec s-au generat pe baza modelelor stabilite pentru speciile individuale. Aceste modele (atât cele pentru speciile individuale cât și cele pentru cele trei amestecuri de specii) prognozează valori ale indicatorilor în condițiile unor arborete cu densitatea 1.0. În cazul în care se folosesc pentru arborete cu alte densități, valorile indicate de modele trebuie corectate cu densitatea reală a fiecărei specii. Folosirea modelelor creșterii medii și producției în cazul arboretelor pure ar putea subestima productivitatea arboretelor după cum cele bazate pe înălțime ar putea conduce la supraestimarea acesteia. Se știe că reducerea densității arboretelor determină creșteri în suprafața de bază și implicit în volum. De aceea, în cazul arboretelor pure modelele ar putea fi folosite doar în cazul celor parcurse cu intervenții. Maximul creșterii medii, diametrul mediu de 26 cm corespunzător acesteia precum și vârsta de 100 ani sunt considerate repere la care se pot determina valorile indicatorilor pentru estimarea productivității arboretelor. Modelele permit însă stabilirea valorii indicatorilor la vârste cuprinse între 20 și 140 ani, la diametre cuprinse între 8 și 56 (60) cm sau înălțimi medii cuprinse între 8 și 36(40) m, respectiv înălțimi dominante cuprinse între 12 și 38 (42) m. În **Tabelul 4** se exemplifică și alte valori ale caracteristicilor arboretelor, considerate de referință, precum diametrul mediu de 40 cm sau înălțimi medii de 25 m și de 30 m. Indicatorii analizați estimează indirect bonitatea stațiunilor. Utilizarea lor nu exclude însă posibilitatea estimării bonității pe cale directă, prin analiza componentelor acestora de natură edafică.

5. CONCLUZII

Bonitatea stațiunilor se reflectă în caracteristicile dendrometrice ale arborilor și arboretelor. Calitatea unei stațiuni forestiere de a fi mai mult sau mai puțin favorabilă dezvoltării arboretelor poate fi evidențiată prin principalele caracteristici dendrometrice ale acestora cum sunt: înălțimea medie, înălțimea dominantă, creșterea medie a producției principale și producția principală a arboretelor. În cazul amestecurilor, speciile din compoziția arboretelor valorifică potențialul stațiunii și se comportă diferit ca urmare a complexului de condiții pe care stațiunea le oferă, dar și a cerințelor lor ecologice astfel că, în diferite structuri ale arboretelor, stațiunea poate fi mai favorabilă pentru unele specii în detrimentul altora. În timp ce înălțimea unei specii reflectă favorabilitatea stațiunii pentru specia respectivă, celelalte specii pot indica un nivel mai redus al productivității, deși pe ansamblu astfel de arborete au organizare superioară și prezintă o mare stabilitate astfel că, pentru exprimarea bonității stațiunilor arboretelor amestecate de rășinoase cu fag multietajate, trebuie avut în vedere întregul amestec de specii din arboret. Indicatorii pentru specii individuale încorporează însă efectul acestor relații, respectiv caracteristicile structurale ale amestecurilor. Dintre aceștia, înălțimea în raport cu vârsta sau la un diametru de referință rămâne indicatorul cel mai folosit pentru evaluarea productivității arboretelor. Creșterea medie a

producției principale și producția principală sunt de asemenea indicatori relevanți pentru estimarea productivității stațiunilor la o vârstă, diametru sau înălțime de referință.

MATERIALE SUPLIMENTARE

Nu este cazul.

FINANȚARE

Această lucrare nu a fost finanțată din exteriorul organizației.

MULȚUMIRI

Această lucrare nu ar fi fost posibilă fără sprijinul acordat de către Direcția silvică Mureș (Ocolul silvic Fâncel) în desfășurarea lucrărilor de teren cu prilejul amenajării pădurilor. Pe această cale îi aducem mulțumiri.

CONFLICT DE INTERESE

Autorii nu declară niciun conflict de interese.

ANEXE

Nu este cazul

REZUMAT EXTINS – EXTENDED ABSTRACT

Title in English: *Productivity indicators for mixed beech-coniferous stands*

Introduction: *In Romania, among the mixed forests, mixed beech–coniferous stands have the highest distribution (22.38%), which is closely related to the mountainous topography. The forests fulfill multiple functions of protection and production, and the stands are made up of species (i.e., Norway spruce, silver fir, European beech) that naturally tend toward complex structures. Through this study, we aimed to develop models for the indicators like average height and dominant height, mean volume increment of standing volume and standing volume with predictive capacity in different structural conditions of stands that can estimate their productivity in relation to different variables (age, diameter and height of stands).*

Materials and Methods: *The research was carried out in mixed beech-coniferous stands in the management unit IV Fâncel from the Fâncel Forest District. The forests are located in Eastern Carpathians at altitudes between 700–1600 m, on volcanic rocks (46°47′59″ N, 25°9′22″ E). In this study 115 representative stands were used. These formed the elementary site units at the level of which the network of main soil profiles was located. In the stands were placed sample plots of 0.25–1.0 ha, summing up 15.75 ha, in which their structure was researched in terms of composition, density, age, storey, origin, size of average trees by species and generations of trees. The relationships between the biometric parameters of the stands and age, diameter or height were expressed by polynomial models, which estimated the productivity of the stands. The models that forecast the indicators are based on direct measurements in mixed stands managed for production. To evaluate the quality of the models, the values of statistical indicators were analyzed: root mean squared error (RMSE), mean absolute error (MAE), mean absolute error (MAPE) and coefficient of determination (R^2).*

Results: *60 models were generated. They relate the values of the indicators such as the average height, dominant height, mean volume increment of standing volume and standing volume in relation to variables such as the age or diameter, for individual species and for five types of mixed beech-coniferous formations. The mean increment and*

Cicșa et al.: Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag

standing volume were expressed in relation to age, average diameter, average height and dominant height. The models were selected using the values of statistical parameters. They estimate around 95% of the variance of the variables and are significant ($p < 0.05$). In the case of the mean increment, the lower values of R^2 (0.80–0.89) were registered. For all indicators, the predictive values are part of the normal variation of increments in relation to age and sites conditions and reflect the growth and development processes of the stands.

Discussion: This research has determined standing volume values up to 13.5%, higher than in the case of pure beech stands. Other research carried out in mixed even-aged and uneven-aged natural stands concluded that the production of mixed even-aged stands is lower than that of pure spruce or fir stands by 17 and 12% respectively and higher than that of pure beech stands by about 30%. Compared to yield tables developed for pure stands in Romania, these researches highlighted the following differences: values of average height at the age of 100 years lower by 4.9% for spruce, 3.5% for fir and 11.5% for beech and dominant height lower by 3.9% for spruce, 0.6% for fir and 8.6% for beech; values of standing volume at the age of 100 years higher by 3.1% for spruce and fir and by 7.4% for beech; the maximum of the mean volume increment of standing volume higher by 2.8% for spruce, 9.8% for fir and by 13.5% for beech and at the reference diameter of 26 cm; mean volume increment of standing volume presents values higher by 4.8% in spruce, in the other species maintaining the same differences as those at the age of 100 years.

Conclusions: The models allow the evaluation of the potential of higher productivity sites for individual species present in the mixture, spruce, fir or beech and for five types of mixtures. The models allow the evaluation of the potential of higher productivity sites in relation to the individual species present in the mixture, spruce, fir or beech and for five types of mixtures. When applying the models, the proportion of participation of the species in the composition of the stands must be taken into account. The models are characteristic to the study area and should only be used for similar stand structures. The maximum of the mean increment, the diameter of 26 cm corresponding to it as well as the age of 100 years are considered to be reference values at which the values of the indicators for estimating the productivity of the stands can be determined. However, the models allow determining the value of the indicators at ages between 20 and 140 years, at diameters between 8 and 56 (60) cm or average heights between 8 and 36 (40) m, respectively dominant heights between 12 and 38 (42) m.

Keywords: mixed beech-coniferous stands, standing volume, stand productivity, stand height, mean volume increment.

REFERINȚE

1. Chiriță C., Vlad I., Păunescu C., Pătrășcoiu N., Roșu C., Iancu I., 1977: Stațiuni forestiere, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, România, pp. 23-79.
2. Târziu D., Spârchez G., 2013: Soluri și stațiuni forestiere, Editura Universității Transilvania din Brașov, România, pp. 155-207.
3. Skovsgaard J.P., Vanclay J.K., 2008: Forest site productivity: A review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry*, 81, 13-31.
4. Skovsgaard J.P., Vanclay J.K., 2013: Forest site productivity: a review of spatial and temporal variability in natural site conditions. *Forestry*, 86, 305-315.
5. Kobal M., Grčman H., Zupan M., Levanic T., Simoncic P., Kadunc A., Hladnik D., 2015: Influence of soil properties on silver fir (*Abies alba* Mill.) growth in the Dinaric Mountains. *Forest Ecology and Management*, 337, 77-87.
6. Scharenbroch B.C., Bockheim J.G., 2007: Pedodiversity in an old-growth northern hardwood forest in the Huron Mountains, Upper Peninsula, Michigan. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 1106-1117.

7. Berrill J., O'Hara K.L., 2014: Estimating site productivity in irregular stand structures by indexing the basal area or volume increment of the dominant species. *Canadian Journal of Forest Research*, 44, 92-100.
8. Jiang H., Radtke P.J., Weiskittel A.R., Coulston J.W., Guertin P.J., 2015: Climate- and soil-based models of site productivity in eastern US tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 45, 325-342.
9. Del Río M., Pretzsch H., Alberdi I., Bielak K., Bravo F., Brunner A., Condés S., Ducey M.J., Fonseca T., Von Lüpke N., Pach M., Peric S., Perot T., Souidi Z., Spathelf P., Sterba H., Tijardovic M., Tomé M., Patrick V., Bravo-Oviedo A., 2016: Characterization of the structure, dynamics, and productivity of mixed-species stands: Review and perspectives. *European Journal of Forest Research*, 135, 23-49.
10. Socha J., Tyminska-Czabanska L., 2019: A method for the development of dynamic site index models using height-age data from temporal sample plots. *Forests*, 10(7), 542, doi.org/10.3390/f10070542.
11. Fu L., Sharma R.P., Zhu G., Li H., Hong L., Guo H., Duan G., Shen C., Lei Y., Li Y., Lei X., Tang S. A., 2017: Basal Area Increment-Based Approach of Site Productivity Evaluation for Multi-Aged and Mixed Forests. *Forests*, 8, 119, doi:10.3390/f8040119.
12. IFN, 2018: Informații rezultate din al doilea ciclu (2013 - 2018) al IFN. Disponibil online la: <http://roifn.ro/site/ifn-ciclul-ii/> (accesat în iulie 2021).
13. Tudoran G.M., 2013: Regulations regarding the management of forests included in natural protected areas. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II*, 6 (1) 33-38.
14. Tudoran G.M., Cicșa A., Boroeanu M., Dobre A.C., Pascu I.S., 2021: Forest Dynamics after Five Decades of Management in the Romanian Carpathians. *Forests*, 12(6), 783, <https://doi.org/10.3390/f12060783>.
15. Tudoran G.M., 2016: Implications of the new Romanian Forest Code in the forest management planning. *Revista Pădurilor*, 131 (1/2) 29-35.
16. Carcea F., Tudoran G.M., Florescu I.I., 2012: Aspecte noi privind amenajarea și gospodărirea pădurilor incluse în ariile naturale protejate. Editura Universității Transilvania, Braşov, România, 25-26.
17. Florescu I.I., Tudoran G.M., 2013: Considerations on special conservation works. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, 18 (32) 17-20.
18. Carcea F., Tudoran G.M., 2012: Functional zoning of the forests included in protected natural areas. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II*, 7-14.
19. Giurgiu V., 1979: Dendrometrie și auxologie forestieră, Editura Ceres, București, România, 175-196.
20. Leahu I., 1994: Dendrometrie, Editura Didactică și Pedagogică, București, România, 110-367.
21. Giurgiu V., Drăghiciu D., 2004: Modele matematico-auxologice și tabele de producție pentru arborete, Editura Ceres, București, România, 26-48, 103-142.
22. Vlad R., Sidor C.G., Ispravnic A., Pei G., 2018: Productivitatea în amestecuri de molid, brad și fag din nordul Carpaților Orientali. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, (42) 44-50.

23. Mihai R.G., Mihăilă V.V., Cicșa A., Dobre A.C., Tudoran G.M., 2016: Features of the structure of sessile oak stands located at the superior range border. Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and Sustainable Development, Brașov, Romania, 7-8th October, 79-86.
24. Cicșa A., Tudoran G.M., Boroeanu M., Dobre A.C., Spârchez G., 2021: Estimation of the Productivity Potential of Mountain Sites (Mixed Beech-Coniferous Stands) in the Romanian Carpathians. *Forests*, 12(5), 549, <https://doi.org/10.3390/f12050549>.
25. Cicșa A., Tudoran G.M., Dobre A.C., Mihăilă V.V., Mihai R.G., Mărgălinescu A.M., Farcaș C.Ș., Comaniță I., Boroeanu M., 2018: Structure models for beech-conifers stands with protective functions. Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and Sustainable Development, 8th Edition, Brașov, Romania, 25th - 27th of October, 93-106.
26. Tudoran G.M., Cicșa A., Ciceu A., Dobre A.C., 2021: Growth Relationships in Silver Fir Stands at Their Lower-Altitude Limit in Romania. *Forests*, 12(4), 439, <https://doi.org/10.3390/f12040439>.
27. Tudoran G.M., Zotta M., 2020: Adapting the planning and management of Norway spruce forests in mountain areas of Romania to environmental conditions including climate change. *Science of The Total Environment*, 698, 133761. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133761
28. Tudoran G.M., Dobre A.C., Cicșa A., Pascu I.S., 2021: Development of mathematical models for the estimation of dendrometric variables based on unmanned aerial vehicle optical data: A Romanian case study. *Forests*, 12(2), 200, <https://doi.org/10.3390/f12020200>.
29. Spârchez G., Târziu D.R., Dincă L., 2011: *Pedologie*, Editura Lux Libris, Brașov, România, pp. 134-135.
30. Seceleanu I., 2012: *Amenajarea pădurilor. Organizare și conducere structurală*, Editura Ceres, București, România, p. 96.
31. Rucăreanu N., Leahu I., 1982: *Amenajarea pădurilor*, Editura Ceres, București, România, pp. 60-98.
32. Leahu I., 2001: *Amenajarea pădurilor*, Editura Ceres, București, pp. 66-174.
33. Pretzsch H., Biber P., Uhl E., Dauber E., 2015: Long-term stand dynamics of managed spruce-fir-beech mountain forests in Central Europe: Structure, productivity and regeneration success. *Forestry*, 88, 407-428.
34. Forrester D.I., Kohnle U., Albrecht A.T., Bauhus J., 2013: Complementarity in mixed-species stands of *Abies alba* and *Picea abies* varies with climate, site quality and stand density. *Forest Ecology and Management*, 304, 233-242.
35. Hilmers T., Avdagić A., Bartkowicz L., Bielak K., Binder F., Bončina A., Dobor L., Forrester D.I., Hobi M.L., Ibrahimspahic A. et al., 2019: The productivity of mixed mountain forests comprised of *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, and *Abies alba* across Europe. *Forestry*, 92, 512-522.
36. Decei I., 1986: Cercetări privind determinarea indicilor de producție și productivitate a arboretelor amestecate de rășinoase cu fag în vederea stabilirii compozițiilor optime, Ministerul Silviculturii, ICAS, București, 8-50.