



ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Silvicultură și Exploatare Forestiere

Ing. Avram CICŞA

Specificul ecologic și potențialul productiv al stațiunilor forestiere montane de amestecuri din Munții Gurghiului în scopul fundamentării Țelurilor de gospodărire în amenajarea pădurilor

The ecological specificity and the productive potential of the mountain forest sites of mixtures in the Gurghiului Mountains in order to substantiate the management goals in forest management planning

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Gheorghe Spârchez

BRAȘOV, 2022



D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. din

PREȘEDINTE: Prof.dr.ing. Iosif VOROVENCII
Universitatea Transilvania din Braşov

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: Prof.dr.ing. Gheorghe SPÂRCHEZ
Universitatea Transilvania din Braşov

REFERENȚI: CS II dr.ing. Cristinel CONSTANDACHE
Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare în Silvicultură
„Marin Drăcea” Focșani
CS II dr.ing. Ștefan LECA
Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare în Silvicultură
„Marin Drăcea” București
Conf.dr.ing Dan GUREAN
Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:, ora, sala

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa avram.cicsa@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS:	Pg. teza	Pg. rezumat
Lista de abrevieri	6	6
1. Introducere	7	7
2. Stadiul actual al cunoştinţelor privind specificul ecologic şi potenţialul productiv al staţiunilor forestiere	9	8
2.1 SCURT ISTORIC ASUPRA CERCETĂRILOR STAŢIONALE PE PLAN INTERNAŢIONAL	9	8
2.2. CERCETAREA STAŢIUNILOR FORESTIERE ÎN ŢARA NOASTRĂ	10	8
2.3 METODE DE EVALUAREA BONITĂŢII STAŢIUNILOR FORESTIERE	12	8
2.3.1 Metodă directă de evaluare a bonităţii staţiunilor forestiere	12	8
2.3.2 Metodă indirectă de determinare a bonităţii staţiunilor forestiere	14	9
2.4 CONSIDERAŢII PRIVIND APLICAREA METODEI DE CARTARE STAŢIONALĂ INDIRECTĂ	17	10
2.4.1 Particularităţi ale aplicării metodei în raport cu structura arboretelor	17	10
2.4.2. Amestecul de specii, element determinant în conservarea şi ameliorarea potenţialului productiv al staţiunilor	19	11
2.5 FUNDAMENTE STAŢIONALE PENTRU STABILIREA ŢELURILOR DE GOSPODĂRIRE	21	12
2.5.1 Ţeluri de gospodărire	21	12
2.5.2 Staţiunea – element determinant în stabilirea ţelurilor de gospodărire	24	12
2.5.3 Funcţiile arboretelor şi ţelurile de gospodărire	25	13
3. SCOPUL ŞI OBIECTIVELE CERCETĂRII	28	14
4. METODA DE CERCETARE	29	14
4.1 LOCALIZAREA STUDIULUI	29	14
4.2 DETERMINAREA BONITĂŢII PE CALE DIRECTĂ	30	15
4.3 DETERMINAREA BONITĂŢII PE CALE INDIRECTĂ	32	15
4.4 PRELUCRAREA DATELOR ŞI ANALIZA REZULTATELOR	36	17
5. REZULTATE ŞI DISCUŢII	38	18
5.1 STUDIUL CONDIŢIILOR STAŢIONALE	38	18
5.1.1 Caracteristicile generale ale staţiunilor forestiere. Condiţii geologice, geomorfologice şi climatice	38	18
5.1.2 Elemente edafice	44	19
5.1.3 Analiza principalelor însuşiri ale solurilor forestiere ca indicatori specifici	47	19
5.1.4 Analiza principalilor indicatori ai solurilor forestiere în raport cu profunzimea solurilor	56	23
5.1.5 Tipuri de staţiune din amestecurile de răşinoase cu fag	60	25
5.1.6 Principalii factori ecologici determinanţi pentru stabilirea potenţialului superior al staţiunii	65	26
5.2 INFLUENŢA CONDIŢIILOR STAŢIONALE ASUPRA STRUCTURII ŞI PRODUCTIVITĂŢII ARBORETELOR	66	27
5.2.1 Caracteristicile dendrometrice ale arboretelor – indicatori ai bonităţii staţiunilor	66	27



<i>forestiere</i>		
5.2.1.1 Modele ale indicatorilor de caracterizare a potenţialului productiv al staţiunilor din etajul amestecurilor de răşinoase cu fag	76	34
5.2.1.2 Aplicabilitatea practică a modelelor	78	35
<i>5.2.2 Influenţa troficităţii asupra productivităţii arboretelor</i>	81	37
5.5.2.1 Efectul troficităţii solurilor asupra productivităţii arboretelor	81	37
5.2.2.2 Precizia modelelor indicatorilor dendrometrici în diferite condiţii de troficitate (T2: 80–120)	86	41
5.3 ŢELURI DE GOSPODĂRIRE PENTRU AMESTECURI DE RĂŞINOASE CU FAG SITUATE ÎN STAŢIUNI DE BONITATE SUPERIOARĂ	88	41
<i>5.3.1 Diametrul ţel</i>	88	41
<i>5.3.2 Condiţiile staţionale şi compoziţia-ţel a arboretelor</i>	90	42
<i>5.3.3 Structura arboretelor din etajul amestecurilor de fag cu răşinoase</i>	94	43
5.3.3.1 Fundamente staţionale şi structurale ale arboretelor amestecate pentru realizarea ţelurilor de gospodărire	94	44
5.3.3.2 Testarea distribuţiilor experimentale şi teoretice	97	45
5.3.3.3 Modele structurale pentru amestecuri situate în staţiuni de bonitate superioară	101	46
6. CONCLUZII	107	47
6.1. CONCLUZII FINALE	107	47
6.2 CONTRIBUŢII PERSONALE	110	49
6.3 DISEMINAREA REZULTATELOR	110	49
<i>6.3.1 Rezultate produse în cadrul tezei de doctorat</i>	110	49
<i>6.3.2 Rezultate produse prin participarea în echipe de cercetare externe sferei de doctorat</i>	111	50
6.4 DIRECŢII VIITOARE DE CERCETARE	112	51
7. BIBLIOGRAFIE:	113	51
8 ANEXE	121	55
8.1 ANEXA 1 –BULETIN DE ANALIZĂ A PROBELOR (EXTRAS)	121	55
8.2 ANEXA 2– ANALIZA CARACTERISTICILOR BIOMETRICE ALE ARBORETELOR	122	55
8.3 Anexa 3– Analiza structurii arboretelor	123	55
8.4 ANEXA 4 – REZUMAT	124	55

	Page thesis	Page Abstract
Contains		
ABREVIATIONS LIST	6	6
1. INTRODUCTION	7	7
2. CURRENT STATE OF ECOLOGICAL SPECIFICITY AND PRODUCTIVE POTENTIAL KNOWLEDGE OF FOREST SITES	9	8
2.1 BRIEF HISTORY OF INTERNATIONAL RESEARCH OF FOREST SITES	9	8
2.2 FOREST SITES RESEARCH IN OUR COUNTRY	10	8
2.3 METHODS FOR ASSESSING THE VIABILITY OF FOREST SITES	12	8
2.3.1 Direct assessment method of forest sites quality	12	8
2.3.2 Indirect method for determining the forest sites quality	14	9
2.4 CONSIDERATIONS REGARDING THE APPLICATION OF THE INDIRECT SITE-MAPPING METHOD	17	10
2.4.1 Particularities of the method application in relation to the structure of the stand	17	10
2.4.2 Mixture of species, a key element in the conservation and improvement of the productive potential of sites	19	11
2.5 ENVIRONMENTAL FUNDAMENTALS FOR SETTING MANAGEMENT TARGETS	21	12
2.5.1 Management targets	21	12
2.5.2 Forest site – a key element in setting management targets	24	12
2.5.3 Stands functions and management targets	25	13
3. AIM AND OBJECTIVES OF RESEARCH	28	14
4. RESEARCH METHOD	29	14
4.1. LOCATION OF RESEARCH	29	14
4.2. DIRECT DETERMINATION OF FOREST SITES QUALITY	30	15
4.3. INDIRECT DETERMINATION OF FOREST SITES QUALITY	32	15
4.4. DATA PROCESSING AND RESULT ANALYSIS	36	17
5. RESULTS AND DISCUSSIONS	38	18
5.1 STUDY OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS	38	18
5.1.1 General characteristics of forest sites. Geological, geomorphological and climatic conditions	38	18
5.1.2 Edaphic elements	44	19
5.1.3 Analysis of the main properties of forest soils as specific indicators	47	19
5.1.4 Analysis of the main indicators of forest soils in relation to soil depth	56	23
5.1.5 Types of forest sites from mixed beech-coniferous forests	60	25
5.1.6 The main ecological factors determining the superior potential of the forest site	65	26
5.2 THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON THE STRUCTURE AND PRODUCTIVITY OF STANDS	66	27
5.2.1 Dendrometric characteristics of stands - indicators of forest site quality	66	27



5.2.1.1 Models of indicators for characterizing the productive potential of forest sites in the layer of mixed beech-coniferous forests	76	34
5.2.1.2 Practical applicability of models	78	35
5.2.2 The influence of trophicity on stands productivity	81	37
5.5.2.1 The effect of soil trophicity on stands productivity	81	37
5.2.2.2 Accuracy of dendrometric indicator models under different trophic conditions (T2: 80–120)	86	41
5.3 MANAGEMENT TARGETS FOR MIXED BEECH-CONIFEROUS STANDS LOCATED IN HIGH QUALITY SITES	88	41
5.3.1 Target diameter	88	41
5.3.2 Environmental conditions and target composition of the stands	90	42
5.3.3 Stand structure from the layer of mixed beech-coniferous stands	94	43
5.3.3.1 Environmental and structural foundations of mixed stands for achieving management targets	94	44
5.3.3.2 Testing experimental and theoretical distributions	97	45
5.3.3.3 Structural models for mixtures located in high quality sites	101	46
6. CONCLUSIONS	107	47
6.1. Final conclusions	107	47
6.2 Personal contributions	110	49
6.3 Dissemination of results	110	49
6.3.1 Results produced within Ph.D thesis	110	49
6.3.2 Results produced by participating in research teams outside the Ph.D field	111	50
6.4 Future research directions	112	51
7. REFERENCES:	113	51
8 ANNEXES	121	55
8.1 Anex 1 – Sample analysis bulletin (excerpt)	121	55
8.2 Anexa 2– Analysis of the biometric characteristics of the stands	122	55
8.2 Anexa 3– Stand structure analysis	123	55
8.4 Anexa 4 – Abstract	124	55

Lista de abrevieri

Abreviere	Unitate de măsură	Descriere
Arboret		
h_g	m	Înălțimea arborelui mediu al suprafeței de bază
h_{g50}	m	Înălțime medie indicatoare, respectiv înălțimea medie a arborilor din categoria de diametre de 50 cm.
h_{dom}	m	Înălțime dominantă
g_g	m^2	Suprafață de bază medie ($\bar{g} = \frac{G}{N}$)
d_g	cm	Diametrul mediu al suprafeței de bază (d_g , dedus din suprafața de bază medie)
d_{gM}	cm	Diametrul central al suprafeței de bază
v	m^3	Volumul arborelui
Rhd_g	–	Raportul dintre înălțimea medie (h_g) și diametrul mediu (d_g) (h_g/d_g)
Rhg_g	–	Raportul dintre înălțimea medie (h_g) și suprafața de bază a arborelui mediu al arboretului (h_g/g_g)
V	m^3ha^{-1}	Producție principală
G	m^2ha^{-1}	Suprafața de bază a arboretului
lv	$m^3an^{-1}ha^{-1}$	<i>Creșterea medie anuală în volum a producției principale</i>
N	ha	Număr de arbori
U.P.	–	Unitate de producție
Stațiune		
TP_1	–	Troficitate potențială exprimată prin $T_{p1} = H*d*V*0.1*r_v$
TP_2	–	Troficitate potențială exprimată prin $T_{p2} = 6.978H + 3.147V - 127.49$
TP_3	–	Troficitate potențială exprimată prin $T_{p3} = 7.779x - 11.06$
P	mm	Precipitații medii multianuale
R^2	–	Coeficient de determinare
RMSE	–	Eroare medie pătratică
MAE	–	Eroare medie (absolută)
MAPE	–	Eroare medie (absolută) procentuală
T: 80-100	–	Indice de troficitate de nivel inferior, care caracterizează soluri eutrofice
T: 101-120	–	Indice de troficitate de nivel superior, care caracterizează soluri eutrofice
N	(%)	Azot
H	(%)	Humus
SB	me/100g sol	Capacitatea de schimb pentru baze
SH	me/100g sol	Capacitatea de schimb pentru hidrogen
T	me/100g sol	Capacitatea totală de schimb cationic
V	me/100g sol	Gradul de saturație în baze
le	–	Indice edafic
T_{med}	°C	Temperatură medie multianuală (sinonimă cu T)
T_{min}	°C	Temperatură minimă multianuală
T_{max}	°C	Temperatura maximă multianuală
P_{med}	mm	Precipitații medii multianuale (sinonimă cu P)
P_{min}	mm	Precipitații minimă multianuale
P_{max}	mm	Precipitații maximă multianuale



1. Introducere

Regiunea montană din România oferă condiții favorabile pentru formarea și dezvoltarea arboretelor amestecate de rășinoase cu fag cu structuri complexe, multietajate. Amestecurile de rășinoase cu fag realizează cea mare răspândire (22.38%), (Inventarul Forestier Național, 2018), ele fiind strâns legate de relieful muntos. Importanța studierii etajului fitoclimatic de amestecuri este necesară, pe de o parte, datorită suprafeței mari ocupate de aceste arborete, iar pe de altă parte datorită productivității lor specifice. Acest etaj cuprinde arealul natural zonal al celor trei principale formații forestiere molideto-brădeto, brădeto-făgete și amestecuri de molid, brad și fag.

În funcție de condițiile ecologice, etajul montan al amestecurilor se împarte în două subetaje: unul superior (FM'2), mai puțin favorabil fagului caracterizat prin predominarea rășinoaselor, acestea realizând productivitate superioară și unul inferior (FM''2) în care predomină fagul, acesta realizând productivitate superioară. Capacitatea stațiunii de a întreține o anumită vegetație forestieră se reflectă în vigoarea de creștere a speciilor forestiere care exprimă potențialul productiv al stațiunii (Chiriță *et al.*, 1977). Astfel că, indiferent de funcția pădurii sau de țelurile urmărite în gospodărirea ei, 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.

Capacitatea stațiunii de a întreține o anumită biocenoză forestieră se reflectă în caracteristicile dendrometrice ale arborilor. Astfel că, valorile acestora devin indicatori care pot exprima și măsura indirect bonitatea stațiunilor. Dintre aceștia cei mai cunoscuți sunt *înălțimea* medie și *înălțimea* dominantă în raport cu vârsta arboretelor sau la o vârsta reper, cum ar fi 100 ani. Amestecul de specii ar putea influența înălțimile arborilor datorită concurenței interspecifice. Aceasta se adaugă competiției care apare în cadrul arborilor care aparțin aceleiași specii.

În general, amestecurile montane formează structuri complexe și ele sunt rezultate în urma tratamentelor cu perioadă lungă de regenerare. În arborete, între arbori apar relații de competiție și de favorizare, astfel că condițiile de structură promovate prin măsurile de management pot influența creșterea și dezvoltarea fiecărei specii din arboret. În cazul amestecurilor, speciile forestiere din compoziția arboretelor se comportă diferit ca urmare a complexului de condiții pe care stațiunea le oferă, dar și a cerințelor lor ecologice. Așa că, potențialul productiv al stațiunii este valorificat în mod diferit de speciile care participă în amestec. În diferite structuri ale arboretelor, stațiunea poate fi mai favorabilă pentru unele specii în detrimentul altora. Între specii se stabilesc raporturi interpopulaționale, relații de competiție și de favorizare care conduc la definirea de structuri funcționale.

Cunoașterea potențialului stațional face astfel posibilă înțelegerea legăturilor dintre biotop și biocenoză. Stațiunea, la rândul ei, prin caracteristicile sale naturalistice, determină vitalitatea și variabilitatea vegetației forestiere, vigoarea de creștere, reflectată prin anumiți factori ecologici, ce acționează direct sau indirect asupra vegetației forestiere.



2. Stadiul actual al cunoştinţelor privind specificul ecologic şi potenţialul productiv al staţiunilor forestiere

2.1 Scurt istoric asupra cercetărilor staţionale pe plan internaţional

Importanţa staţiunilor în dezvoltarea biocenozelor forestiere a fost evidenţiată pentru prima oară în cercetările efectuate de G.F. Morozov în Rusia, la începutul sec. al XX-lea, cu privire la tipologia forestieră. Astfel, el pune în evidenţă rolul esenţial al staţiunii forestiere şi, în general, a condiţiilor de mediu în dezvoltarea biocenozelor. Preocupat de cercetarea staţiunilor forestiere, el a reuşit să elaboreze sistematica tipurilor de arborete, luând în considerare principalele componente ale acestora, condiţiile edafice şi condiţiile climatice (Chiriţă *et al.*, 1964).

În cercetările staţionale mai recente (Bohn *et al.*, 2018; Seynave *et al.*, 2005; Jensen *et al.*, 2008; Kobal *et al.*, 2015 s.a.) se evidenţiază, de asemenea, importanţa componentelor staţionale asupra bonităţii staţiunilor. Se insistă pe ideea că în analiza acestora este necesar să se ia în calcul toţi factorii de natură climatică şi edafică. La determinarea productivităţii arboretelor este imperios necesar să se ia în calcul şi cerinţele ecologice ale speciilor, pe etaje fitoclimatice.

2.2 Cercetarea staţiunilor forestiere în ţara noastră

Începutul cercetării staţionale forestiere în România este marcat în secolul al XX-lea, la scurt timp după ce a început amenajarea unitară a fondului forestier. Primele cercetări în amenajarea pădurilor referitoare la cartarea staţională s-au executat în bazinul Suha, de către un colectiv de ingineri silvici (Chiriţă *et al.*, 1958; 1964). Aceste cercetări prezintă pentru prima dată o formă de analiză sistematică clară a principiilor şi metodologia tipologiei şi cartării staţionale. Ele au evidenţiat legături clare între tipul de pădure şi tipul de staţiune.

Capacitatea staţiunii de a întreţine o anumită biocenoză constituie ceea ce se numeşte *specific ecologic* al staţiunii. Altfel spus, specificul ecologic asigură staţiunii o anumită suportanţă, o aptitudine pentru un anumit tip de vegetaţie şi un anumit *potenţial productiv*, care este reflectat în vigoarea de creştere a vegetaţiei forestiere (Chiriţă *et al.*, 1977).

O metodă de bonitare a terenurilor agricole după anumiţi indici de favorabilitate în terenuri cu sau fără vegetaţie forestieră este descrisă de profesorul Spârchez în 2008. Toţi factorii staţionali prezintă o anumită importanţă, dar cei mai importanţi factori de competiţie între specii sunt lumina, urmată de apă şi de substanţele minerale.

2.3 Metode de evaluarea bonităţii staţiunilor forestiere

2.3.1 Metodă directă de evaluare a bonităţii staţiunilor forestiere

Pentru determinarea potenţialului productiv (bonităţii) s-au testat mai multe metode de analiză, pentru a se stabili care metodă exprimă cel mai fidel productivitatea. O metodă de determinare a potenţialului productiv este *metoda directă* care ia în considerare condiţiile geomorfologice, climatice şi



edafice. Caracteristicile intrinseci folosite în caracterizarea staţiunilor forestiere prin metoda directă, trebuie să fie într-un anumit echilibru sub raport climatic, trofic și hidric.

Climatul este un component ecologic complex al staţiunii, elementele climatice fiind accentuat diferenţiate pe verticală și pe orizontală ceea ce imprimă staţiunilor un caracteristic geografic zonal (Tânziu & Spârchez, 2013). Sub raportul echivalenţei climatice, staţiunile se localizează pe un anumit etaj sau o anumită zonă/subzonă bioclimatică, district sau regiune. În cazul climatului zonal, echivalenţa staţională poate fi stabilită ținând seama de relief și de structura ambientală care determină climatul local respectiv.

Sub raport *trofic*, staţiunile se diferenţiază în funcţie de troficitatea potenţială sau globală, de volumul edafic util, de conţinutul de humus și de gradul de saturaţie în baze. Temperatura, precipitaţiile și compoziţia arboretului sunt trei factori importanţi care contribuie la formarea humusului (Zanella *et al.*, 2011; Bayranvand *et al.*, 2021). În multe situaţii, caracteristicile locale, inclusiv în cazul proprietăţilor solului, s-a presupus că sunt omogene în spaţiu (Fajardo & McIntire 2007). Însă, unele studii axate mai mult pe variaţia solului la scări spaţiale foarte detaliate (Phillips & Marion 2005; Scharenbroch & Bockheim, 2007), au scos în evidenţă că solul poate avea o variabilitatea mare, chiar și pe distanţe scurte și pe mici zone.

În cadrul echivalenţei hidrice, gruparea, în anumite areale elementare, se face ținând seama de regimul de umiditate a solului și de apa care poate fi accesibilă plantelor. Astfel, pătura vie exprimă un indicator satisfăcător, atât al regimului de umiditate din sol, cât și al troficităţii. Este foarte important de subliniat că în cadrul echivalenţelor climatice și hidrice, există compensări ale factorilor ecologici datorită condiţiilor de relief, climă, expoziţie, înclinare etc. (Chiriţă *et al.*, 1977).

În concluzie, metoda directă este o metodă laborioasă. Ea reuşeşte să exprime fidel specificul ecologic al staţiunilor care este o rezultată a factorilor staţionali care alcătuiesc complexul ecologic al staţiunii. Întrucât specificul ecologic asigură staţiunii un anumit potenţial productiv care se manifestă prin productivitatea arboretelor este de dorit ca în toate situaţiile în care vegetaţia forestieră este prezentă să se valorifice și indicaţiile acesteia. Se ajunge astfel la metode de determinare indirectă. Cele două metode se completează reciproc și conduc împreună la o exprimare fidelă a bonităţii staţiunilor. Fiecare factor este indispensabil plantelor și nu poate fi înlocuit de vreunul dintre ei (Chiriţă *et al.*, 1977; Tânziu & Spârchez, 2013).

2.3.2 Metodă indirectă de determinare a bonităţii staţiunilor forestiere

Metoda indirectă presupune cunoaşterea informaţiilor pe care le oferă flora indicatoare, mai exact asociaţiile de *plante ierboase*, cât și *flora lemnoasă*, respectiv etajul arborilor. Această metodă a dat rezultate mai bune comparativ cu metoda directă. Flora indicatoare, reprezintă expresia vegetaţiei, determinată de climat, microclimat și de caracteristicile edafice, îndeosebi de stratul superior al solului (Beldie & Chiriţă 1960). S-a demonstrat că în anumite condiţii, flora indicatoare reprezintă un indicator fidel al troficităţii solului și umidităţii solului, astfel că se poate determina cu aproximaţie nivelul potenţialului productiv. Pătura vie devine astfel un indicator "sensibil și permanent" al condiţiilor staţionale (Giurgiu, 1979). Cu toate plusurile care sunt atribuite florei indicatoare, aceasta nu exprimă corect în unele situaţii



potențialul productiv al stațiunilor (mai ales în cazul solurilor cu volum edafic mic), dar totuși, în unele stațiuni rămâne un criteriu bun de diferențiere.

Pentru estimarea bonității stațiunilor pe baza unor caracteristici ale arboretelor se pot determina mai mulți indicatori ai productivității arboretelor. Un indicator care exprimă potențialul productiv al stațiunilor este creșterea curentă (l_v). Creșterea curentă a arboretelor nu a dat rezultate foarte bune deoarece este influențată de variațiile climatice și de vârsta arboretelor. O altă caracteristică structurală analizată este producția totală a arboretului (V). Acest criteriu a dat rezultate mai bune, numai atunci când structura arboretelor a rămas apropiată de cea naturală, sau atunci când intervențiile silviculturale au avut o intensitate redusă. O altă caracteristică biometrică s-a dovedit a fi înălțimea medie (h_g) a arboretului la o anumită vârstă. Înălțimea dominantă (h_{dom}) (înălțimea medie a celor mai mari 100 de diametre ale arborilor la hectar la o vârstă dată) (Kobal *et al.*, 2015) raportată la vârsta arboretului nu este influențată de densitatea arboretului și de măsurile de gospodărire aplicate. De aceea este considerată un indicator al bonității stațiunilor (Scharenbroch & Bockheim, 2007; Berrill & O'Hara, 2014; Jiang *et al.*, 2015; Del Río *et al.*, 2016). În practica gestionării pădurilor sunt cunoscute modelele bazate pe înălțime, ca o măsură a bonității stațiunilor (Socha & Tymińska-Czabańska, 2020), considerate la o anumită vârstă (Skovsgaard & Vanclay, 2008).

Studii relativ recente evidențiază și creșterea în suprafața de bază ca fiind un indicator pentru cuantificarea bonității stațiunilor din arboretele amestecate multietajate (Fu *et al.*, 2017). Un alt criteriu de apreciere a potențialului productiv al stațiunilor îl constituie creșterea medie a producției principale și raportul dintre volumul arborelui mediu al arboretului și suprafața lui de bază (Cicșa *et al.*, 2021(a), (b)).

În determinarea bonității staționale se pot folosi și anumiți indici auxologici biometrici cum ar fi raportul între înălțimea medie și suprafața de bază a arboretului, raportat la vârstă sau la diametrul mediu al arboretului (Leahu, 1994). Acest indice exprimă legătura clară între creșterea arboretelor și bonitatea stațională. Raportul h/g , care variază în raport cu vârsta, crește odată ce se înrăutățesc condițiile staționale (Cicșa *et al.*, 2021 (a)). Dacă se folosește raportul h/d , acesta crește cu îmbunătățirea condițiilor staționale. Indicele h/g nu numai că exprimă creșterea arboretului, ci, mai mult decât atât, exprimă și fertilitatea solului. Acești indici auxologici, biometrici, pot fi folosiți pentru diferențierea potențialului stațional în cazul arboretelor amestecate.

Concluzia este că nu toate arboretele exprimă corect bonitatea stațională, astfel că în anumite cazuri *este necesar să luăm în calcul doar caracteristicile intrinseci ale stațiunii*, fără a judeca potențialul stațional prin arboretul instalat.

2.4 Considerații privind aplicarea metodei de cartare stațională indirectă

2.4.1 Particularități ale aplicării metodei în raport cu structura arboretelor

Arborete cu structuri regulate. Primul care a inițiat determinarea bonității staționale a fost Oettelt în anul 1765. El a propus ca indicator folosirea *înălțimii medii*. Metoda a fost dezvoltată în continuare de Baur în 1876 (Decei & Armășescu, 1977). Acest criteriu indicator este folosit și astăzi, atât pe plan internațional, cât și la noi în țară.



Eichhorn în 1902 stabileşte o legătură între volumul arboretului şi înălţimea medie. Astfel, cu ajutorul relaţiei determinate pe specii, la o anumită înălţime medie, volumul arboretului este acelaşi, indiferent de vârstă şi de condiţiile staţionale. Cercetările au mai evidenţiat că particularităţile staţionale pot totuşi influenţa productivitatea chiar şi în cazul în care arboretele au aceeaşi vârstă şi înălţime medie (Skovsgaard & Vanclay, 2008; Skovsgaard & Vanclay, 2013). Această idee conduce la particularizarea relaţiei pe regiuni geografice.

Arborete cu structuri de tip plurien. O particularitate foarte importantă în determinarea bonităţii staţionale este aceea că înălţimile medii ale arborilor pe categorii de diametre din plafonul superior rămân neschimbate. Prodan, în 1949 a stabilit un sistem de clasificare a bonităţii staţionale luând ca indicator *înălţimea medie a categoriei de diametre de 50 cm*. Sistemul este aşa conceput că poate oferi posibilitatea de determinare a bonităţii staţionale şi la alte categorii de diametre superioare (Giurgiu, 1979).

2.4.2. Amestecul de specii, element determinant în conservarea şi ameliorarea potenţialului productiv al staţiunilor

Arboretele amestecate *acelerează procesul de humificare, calitatea litierei, şi mai mult decât atât, modifică proprietăţile fizice şi chimice ale solului, prin sistemul radicular*. Rata de mineralizare a materiei organice şi nitrificarea sunt dependente de speciile arborilor (Augusto et al., 2002).

Cercetările asupra diversităţii structurale a arboretelor amestecate pentru a evidenţia relaţiile dintre structura arboretului şi productivitatea lor este indicat a se face pe stadii de dezvoltare a arboretelor (Zeller & Pretzsch, 2019).

Cercetări realizate în arborete amestecate au evidenţiat că amestecurile de răşinoase cu fag, în aceleaşi condiţii staţionale, sunt mai productive cu 20% comparativ cu arboretele pure (Pretzsch et al., 2015) sau că se pot înregistra pierderi de volum la o specie, dar ele se pot compensa prin majorarea volumului celorlalte specii (Rucăreanu & Leahu 1982; Leahu, 2001; Seceleanu, 2012), astfel că bradul şi molidul pot avea o productivitate mai mare în amestecuri (Forester et al., 2013, Hilmers et al., 2019).

Obţinerea unei eficacităţi funcţionale cât mai mari este datorată arborilor de diferite specii prin capacitatea lor de a suporta modelarea şi modificarea în timp a structurii (Tudoran, 2013; Tudoran, 2016). Modelarea arboretelor şi conducerea lor structurală spre structuri ţel funcţionale este posibilă doar dacă se ia în calcul starea reală a arboretelor (Cicşa et al., 2018; Tudoran et al., 2021(b)).

În raport cu productivitatea, *arboretele amestecate realizează o productivitate superioară comparativ cu arboretele pure* (Dănescu et al., 2016 şi Liang et al., 2016). Alţi cercetători susţin opusul, precum că, arboretele pure sunt mai productive decât arboretele amestecate (Jacob et al., 2011) sau, dimpotrivă, structura arboretelor nu influenţează productivitatea, adică sunt neutre (Pretzsch, 2013).

În amestecuri, *biodiversitatea este mai ridicată comparativ cu arboretele pure*. Speciile se susţin reciproc, creându-şi condiţii favorabile şi acestea conduc la stabilirea unui echilibru ecologic (Torresan et al., 2020). Mai multe cercetări evidenţiază importanţa diversităţii ecologice pentru creşterea stabilităţii arboretelor şi a productivităţii lor (Carcea & Tudoran, 2012, Abrudan, 1998). Astfel, s-a demonstrat că *bogăţia mare de specii duce la o productivitate mai mare pe termen lung* (Liang et al., 2016). Diversitatea structurală a speciilor forestiere şi modul de amestec conduc la o creştere a productivităţii. Acest lucru este



datorat, pe de o parte, atât *proceselor de complementaritate, cât și modului de utilizare a resurselor*. Arboretele amestecate influențează și modul de distribuire a nutrienților în sol (Schmidt *et al.*, 2014).

Promovarea pădurilor amestecate din ce în ce mai mult poate fi privită ca o măsură de conservare a fondului forestier, a adaptării structurilor arboretelor la schimbări climatice și la gestionarea durabilă a fondului forestier (Ammer, 2017).

Favorizarea instalării diferitelor specii de foioase în arboretele amestecate de rășinoase trebuie avută în vedere prin măsurile de gospodărire a pădurilor (Tudoran *et al.*, 2021(c)). *Foioasele descompun mai repede decât rășinoasele și accelerează procesul de humificare a solului*. Se poate spune că promovarea unei structuri cât mai complexe, atât în plan vertical, cât și orizontal, ajută la menținerea și chiar îmbunătățirea potențialului productiv al stațiunilor și, mai mult de atât, la creșterea eficacității funcționale a arboretelor (Tudoran *et al.*, 2021(a)).

2.5 Fundamente staționale pentru stabilirea țelurilor de gospodărire

2.5.1 Țeluri de gospodărire

Țelurile de gospodărire sunt definite ca un ansamblu al caracteristicilor structurale ale arboretelor, o imagine bine definită, un model structural care este posibil de realizat prin proiectul de amenajare (Leahu, 2001). În mod practic, ele rezultă în urma stabilirii unor obiective clare care au un scop bine definit și pot fi realizabile. Se pot aminti în acest sens: tipul de structură, compoziția-țel, dimensiunea arborilor la exploatabilitate etc. Aceste țeluri urmează a se realiza la nivel de arboret și pădure prin mijloace specifice amenajamentului, denumite în proiectul de amenajare baze de amenajare: exploatabilitatea, regimul, tratamentul, compoziția țel și ciclul. Astfel, realizarea unui țel de gospodărire, cum ar fi un anumit diametru, o anumită compoziție țel și o structură pe verticală constituie un obiectiv.

2.5.2 Stațiunea – element determinant în stabilirea țelurilor de gospodărire

Stațiunea are o influență hotărâtoare asupra modului de gospodărire a arboretelor. Ea prezintă un rol important în fixarea țelurilor de gospodărire întrucât:

- 🌲 Realizează selecția asupra speciilor forestiere. Speciile sunt răspândite și se dezvoltă diferit, în raport cu condițiile staționale. Astfel, stațiunea exercită o selecție pe specii și pe etaje fitoclimatice, poziționându-le în funcție de altitudine.
- 🌲 Se reflectă asupra caracteristicilor structurale ale arboretelor. Pe o anumită stațiune unele specii pot să realizeze productivități net superioare aceleiași stațiuni dacă se alege bine compoziția lor.
- 🌲 Oferă un indiciu clar pentru stabilirea sortimentelor țel.
- 🌲 Indică limita maximă de suportanță ecologică a unei specii, de la care devin vulnerabile.
- 🌲 Reflectă diametrele limită pe care le pot realiza speciile, în cazul arboretelor conduse în codru grădinarit.
- 🌲 Realizează o selecție asupra speciilor astfel că cele proprii stațiunii sunt favorizate, iar cele care sunt la limita arealului lor ecologic sunt într-o continuă concurență.
- 🌲 Elementele componente ale stațiunii devin criterii pentru delimitarea arboretelor și încadrarea lor funcțională.



Pornind de la ideea potrivit căreia potențialul productiv al stațiunii, nu este folosit niciodată la capacitatea sa maximă indiferent de forma structurală adoptată, un prim pas ar fi acela de a optimiza structura arboretelor. Arboretul, privit ca ecosistem, este așa organizat încât să își poată asigura funcționarea lui (Leahu, 2001). Stabilitatea arboretelor devine criteriu esențial la fundamentarea deciziei privind compoziția actuală și cea de viitor a pădurilor (Giurgiu, 1979).

Valorificarea bonității staționale se consideră completă atunci *când arboretul este alcătuit din speciile cele mai valoroase, proprii stațiunii*, iar amestecul lor conduce la satisfacerea unor țeluri economice. Raportul între specii nu este constant, ci variază sensibil de la o stațiune la alta (Rucăreanu, 1962).

2.5.3 Funcțiile arboretelor și țelurile de gospodărire

Gradul de aprovizionare a stațiunii cu elemente nutritive, accesibile plantelor în procesul de producție exprimă potențialul ei productiv. Mărirea bonității staționale, sau cel puțin păstrarea potențialului ei productiv, este o problemă care trebuie rezolvată în cadrul proiectului de amenajare a pădurilor. Ea este o cerință economică generală, care în amenajarea pădurilor devine un principiu, *principiul productivității*.

În ceea ce privește alegerea speciilor, sunt hotărâtoare concluziile ce reies din studiul tipurilor de stațiuni și tipurilor fundamentale de păduri. Importantă este promovarea provenienței locale și a regenerării naturale pe cale generativă care conduc la o stabilitate mai mare a ecosistemului.

Pentru ridicarea productivității arboretelor în etajul montan de amestecuri se impune, în primul rând, ridicarea fertilității solului. Introducerea de specii de amestec nu numai că ajută la ridicarea productivității, dar, mai mult decât atât, realizează o structură mult mai stabilă.

Îndrumarea pădurilor spre starea cea mai corespunzătoare funcțiilor atribuite reprezintă un proces de natură tehnică. Arboretele îndeplinesc multiple funcții precum: hidrologice, pedologice, climatice, sociale, ocrotirea genofondului și ecofondului forestier și a altor ecosisteme, funcții pentru conservarea și ocrotirea biodiversității precum și funcții de producție. Un arboret poate îndeplini în același timp mai multe funcții.

Stabilirea țelurilor de gospodărire, în raport cu funcțiile atribuite arboretelor este una din sarcinile importante ce trebuie rezolvate prin proiectul de amenajare. Proiectantul poate aprecia capacitatea de producție și de protecție a unui arboret doar dacă are în vedere starea reală a arboretului, care se dezvoltă în anumite condiții staționale. El trebuie să cunoască foarte bine pădurea, funcționarea ei ca ecosistem complex și condițiile specifice fiecărui arboret în parte pentru a ști dacă arboretul respectiv poate sau nu să suporte unele modificări structurale în condițiile staționale date.

De asemenea, este cunoscut faptul că, cu cât avem o structură mai complexă, cu atât arboretul își exercită funcția sau funcțiile atribuite mai bine, este mai stabil funcțional și nu este afectat de factori biotici și abiotici etc. Prin urmare, la alegerea speciilor trebuie să avem în vedere și exercitarea funcțiilor de producție și protecție atribuite, asigurarea stabilității ecosistemului și a modului de gospodărire, ridicarea productivității prin promovarea speciilor de valoare economică ridicată din etajul fitoclimatic caracteristic, ridicarea productivității staționale sau cel puțin păstrarea la nivelul actual (Cicșa *et al.*, 2018; Mihai *et al.*, 2016; Tudoran *et al.*, 2020; Tudoran *et al.*, 2021(b)).



3. Scopul și obiectivele cercetării

Amestecurile de rășinoase cu fag îndeplinesc multiple funcții de protecție și producție și, în mod natural, tind spre structuri complexe, de tip relativ plurien sau plurien. Relația strânsă ce există între stațiune și structura arboretelor conduce la necesitatea dezvoltării cunoștințelor privind potențialul productiv al stațiunilor specifice unor astfel de structuri. Alături de caracteristicile solului se impune a fi analizați mai mulți alți indicatori cu capacitate predictivă care să fie folosiți pentru estimarea bonității stațiunilor în diferite condiții de structură ale arboretelor precum și stabilirea unor țeluri de gospodărire.

Scopul cercetării este analiza condițiilor staționale, din care să rezulte influența exercitată asupra caracteristicilor structurale și productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag.

Scopul urmărit a condus la o serie de activități de cercetare care au vizat **obiective specifice** dintre care cele mai importante sunt:

- 🌲 Determinarea bonității stațiunilor forestiere montane de amestecuri prin metoda *directă*;
- 🌲 Stabilirea corelațiilor dintre caracteristicile solurilor și principalii factori geomorfologici (altitudine, expoziție și înclinare) care caracterizează stațiunile montane specifice amestecurilor;
- 🌲 Stabilirea indicatorilor biometrici ai arboretelor care pot estima *indirect* potențialul productiv al stațiunilor forestiere din etajul montan de amestecuri;
- 🌲 Influența indicelui de troficitate asupra principalilor indicatori biometrici ai arboretelor amestecate de rășinoase cu fag;
- 🌲 Influența bonității stațiunilor forestiere montane de amestecuri asupra țelurilor de gospodărire, precum diametrul-țel, compoziția-țel și structura arboretelor.

4. Metoda de cercetare

4.1 Localizarea studiului

Cercetările s-au efectuat în Munții Gurghiu, din Carpații Orientali din România, în unitatea de producție IV Fâncel (46° 47' 59" N, 25° 9' 22" E) din ocolul silvic Fâncel. Pădurile sunt situate la altitudini cuprinse între 650 – 1600 m, pe roci vulcanice. Observațiile de teren s-au realizat prin metoda cartării într-o suprafață experimentală de 4647,36 ha, reprezentând unitatea de producție IV Fâncel (**Tabelul 2**).

Tabelul 2. Distribuția speciilor și a expoziției versanților în funcție de altitudine

Altitudine (m)	Specia (%)				Expoziție (%)			Total (%)
	Fag	Brad	Molid	Alte specii	umbrită (N, NE)	însorită (S, SV)	parțial-însorită (E, SE, V, NV)	
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

Suprafaţa (ha)	2054.29	309.42	2162.00	286.66	890.69	1863.40	2032.62	4647.36
Total proporţie %	43	6	45	6	19	39	42	100
Înclinare, grade	<5	6 – 15	16 – 25	26 – 30	31 – 35	36 – 40	41 – 45	Total
Suprafaţă, %	-	1	13	32	37	17	-	100

4.2 Determinarea bonităţii pe cale directă

Lucrările de teren au constat în recunoaşterea şi caracterizarea unităţilor staţionale elementare. Pentru simplificarea lucrărilor s-a avut în vedere organizarea pădurii pe unităţi amenajistice. Acestea au fost asimilate cu unităţile staţionale elementare. Toate unităţile amenajistice existente au fost parcurse şi verificate, urmărindu-se ca în cuprinsul lor să se menţină aceleaşi condiţii staţionale (Cicşa *et al.*, 2021 (b)). Unităţile amenajistice s-au grupat în unităţi omogene sub raport climatic, trofic şi hidric (Cicşa *et al.*, 2021 (c)).

După realizarea echivalenţei lor ecologice, zona de studiu a fost împărţită în unităţi omogene sub raportul condiţiilor geomorfologice (forma de relief, altitudinea, poziţia pe versant, expoziţia şi înclinarea lor) şi edafice la nivelul cărora s-au amplasat 81 de profile de sol, 35 profile principale de sol şi 46 de profile de control. Numărul de profile s-a determinat statistic, în funcţie de coeficientul de variaţie al proprietăţilor solurilor, acesta având o valoare medie de 30, astfel încât să asigure o eroare de cel mult 10%. Tipurile de sol au fost stabilite pe teren şi pe baza rezultatelor analizei de laborator.

Realizarea bazei de date. Probele de sol au fost analizate în Laboratoarele de Pedologie şi Staţiuni forestiere din cadrul Filialei Braşov a I.N.C.D.S. „Marin Drăcea” şi din cadrul Facultăţii de Silvicultură şi Exploatare Forestiere din Braşov. Analizele efectuate în laboratoare au propriul sistem de asigurare şi control a calităţii prin participarea colectivelor de lucru la exerciţii europene. Pregătirea probelor de sol s-a bazat pe metodele descrise în standardul ISO 11464. Probele au fost fie uscate la aer, fie uscate la cuptor la o temperatură de 40°C şi depozitate până când au putut fi analizate chimic (Spârchez *et al.*, 2017). Prin analiza de laborator s-au determinat următoarele elemente: pH (în H₂O), procentul de humus (H), azot total (N), suma bazelor schimbabile (SB), suma hidrogenilor schimbabili (SH), capacitatea totală de schimb cationic (T = SB+SH), gradul de saturaţie în baze (V) şi umiditatea (U). pH-ul solului a fost determinat electro-chimic în apă, iar citirea a fost făcută cu un pH-metru Thermo Orion 3.

Determinarea condiţiilor climatice s-a realizat prin prelucrarea unor imagini (DEM), având o rezoluţie de $\approx 1\text{Km}^2$ (www.worldclim.org). Pentru a acoperi cât mai bine zona cercetată, s-a amplasat o reţea de 500 x 500 m pe toată suprafaţa unităţii de producţie, rezultând un număr de 182 de puncte.

4.3 Determinarea bonităţii pe cale indirectă

Lucrări de teren. În cadrul suprafeţei experimentale, în 40 de arborete reprezentative, cu vârste şi structuri diferite, s-au amplasat suprafeţe de probă cuprinse între 0,25 şi 1,0 ha, acestea însumând în total 15,75 ha. În aceste suprafeţe s-au inventariat 7976 de arbori. La fiecare arbore s-a măsurat diametrul (în mm) şi înălţimea.

Realizarea bazei de date. În cadrul fiecărui arboret, pentru fiecare specie, arborii s-au grupat pe clase dimensionale (aşa încât să se surprindă generaţiile de arbori la nivelul speciilor). La nivelul acestora s-a

stabilit d_g , h_g , înălţimea elagată şi diametrul la capătul subţire. Pentru arborii din etajul dominant s-a stabilit arborele mediu caracteristic fiecărei specii pentru care s-a determinat diametrul şi înălţimea lui. Atunci când în cadrul speciei s-au identificat două generaţii, vârsta s-a determinat pentru fiecare generaţie în parte pe carote de creştere extrase din arbori medii care caracterizează fiecare generaţie. La nivelul arboretului, vârsta s-a determinat în raport cu specia preponderentă, urmărită ca ţel prin gospodărirea arboretului. În prelucrările de date s-au inclus generaţii de arbori, cu vârstele lor şi caracteristicile lor dendrometrice. În suprafaţa experimentală am inclus arborete provenite din regenerare naturală cu vârste de cel puţin 10 ani. Suprafaţa de bază pe specii noi s-a determinat cu Criterion Laser, iar înălţimile arborilor cu Vertex Laser.

Relaţiile dintre indicatorii dendrometrici (h_g , h_{dom} , V şi l_v) şi vîrstă/diametru au fost exprimate prin modele simple şi uşor de aplicat, de tip polinomial. Modelele s-au elaborat pentru speciile individuale molid, brad şi fag. Valorile indicatorilor dendrometrici s-au determinat pentru fiecare specie, dar şi pentru fiecare din cele două niveluri ale troficităţii solurilor eutrofice întîlnite în arboretele amestecate ($T=81-100$ şi $T=101-120$).

Determinarea caracteristicilor şi estimarea bonităţii staţiunilor forestiere s-a realizat pe cale directă, pe baza cercetării elementelor componente ale staţiunilor şi indirect, prin intermediul florei ierboase indicatoare şi a vegetaţiei forestiere. Schema metodei de lucru este redată în **Figura 6** (Cicşa *et al.*, 2021(a)).

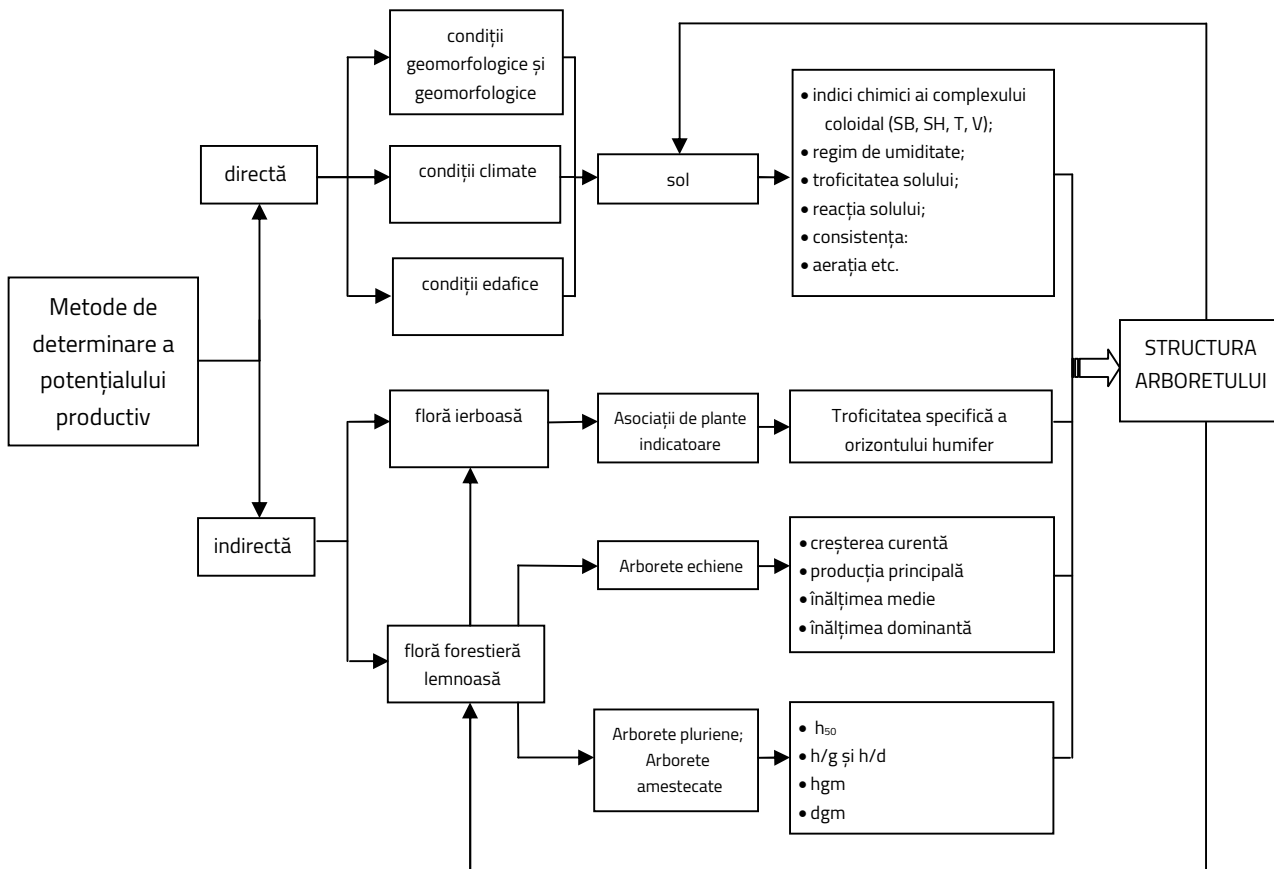


Figura 6. Schema metodei de cercetare.



4.4 Prelucrarea datelor și analiza rezultatelor

Bonitatea stațiunilor forestiere s-a determinat pe cale directă, pe baza cercetării elementelor edafice ale stațiunilor (Chiriță *et al.*, 1977; Spârchez *et al.*, 2011; Târziu & Spârchez, 2013) din cuprinsul unității de producție și indirect, în funcție de caracteristicile dendrometrice ale arboretelor (înălțimea medie și înălțimea dominantă, producția și creșterea medie a producției principale) și tipul de pătură ierbacee (Cicșa *et al.*, 2021 (c), (d), (e)).

SPSS Statistics Data Editor a fost folosit pentru analiza datelor. Relația dintre proprietățile solului și factorii geomorfologici a fost studiată cu ajutorul testului ANOVA. Prin regresie multiplă, proprietățile chimice determinate au fost introduse într-o ecuație care estimează humusul din fiecare orizont al solului.

S-a analizat posibilitatea diferențierii nivelului de troficitate a solului ca urmare a variației principalelor caracteristici fizico-chimice ale solurilor determinate prin analiza de laborator și prin observațiile din teren. Aceste caracteristici s-au analizat în corelație cu celelalte caracteristici ale stațiunilor (altitudine, înclinare, expoziție) prin intermediul regresiei multiple. Ele au fost încorporate într-o ecuație de regresie care caracterizează procentul de humus în raport cu altitudinea. Hărțile pentru analiza distribuției principalelor însușiri ale solurilor din cuprinsul unității de producție au fost realizate pe baza ecuațiilor obținute în raport cu altitudinea.

Pe baza analizelor de laborator s-a luat în considerare posibilitatea diferențierii troficității și în acest sens s-a determinat troficitatea potențială prin intermediul indicelui de troficitate potențială T_p (Chiriță *et al.*, 1977). În relații și reprezentări grafice, acest indice a fost notat cu simbolic T_{p1} . Caracteristicile de laborator ale solurilor au permis stabilirea și a unui indice de troficitate potențială T_{p2} în raport cu care s-a diferențiat nivelul de troficitate al solului. Influența troficității solului asupra structurii și productivității arboretelor a fost evidențiată prin relația dintre acest indice (T_{p2}) și indicatorii biometrici ai arboretelor: înălțimea medie, producția principală și creșterea medie.

Influența troficității solului asupra indicatorilor dendrometrici a fost analizată prin testele F și χ^2 . Testul F a fost aplicat pentru analiza semnificației diferenței dintre varianțele distribuțiilor (experimentale și teoretice). S-a comparat variabilitatea distribuțiilor indicatorilor productivității în condițiile variației indicelui de troficitate al solurilor (T: 81–100 și 101–120). Omogenitatea distribuțiilor indicatorilor pentru cele două niveluri ale troficității a fost verificată prin intermediul testului de omogenitate χ^2 .

Modelele elaborate la nivelul arboretelor din suprafața experimentală estimează potențialul stațiunilor de bonitate superioară și diferențiază productivitatea arboretelor în raport cu diferite valori ale indicelui de troficitate potențială. Pentru caracterizarea structurii amestecurilor s-a reprezentat grafic numărul total de arbori al speciilor inventariate în suprafețele de probă. În cadrul modelării structurale s-au aplicat testele statistice de conformitate Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling și Criteriul χ^2 pentru modelarea structurii arboretelor amestecate.

5. Rezultate și discuții

5.1 Studiul condițiilor staționale

5.1.1 Caracteristicile generale ale stațiilor forestiere. Condiții geologice, geomorfologice și climatice

Pădurile cercetate sunt localizate în Carpații Orientali, în grupa centrală a Munților Gurghiuului, în bazinul hidrografic al pârâului Fâncel, afluent al râului Gurghiu. Substratul litologic este alcătuit din andezite și materiale rezultate din dezagregarea acestora, care au avut un rol important în procesul de solificare. Astfel, pe andezite s-au format în general soluri caracteristice clasei cambisoluri și andisoluri.

Influența *reliefului* se manifestă prin variabilitatea factorilor geomorfologici, precum: *altitudine*, *expoziție* și *înclinarea terenului* (**Figura 8**). Aceștia condiționează răspândirea naturală a speciilor care participă în alcătuirea arboretelor. În zona cercetată amestecurile de rășinoase cu fag se situează în general între 800 și 1300 m pe versanți cu diferite expoziții și înclinări (**Tabelul 2**). În raport cu altitudinea, 65% din păduri sunt situate între 1000 – 1400 m, 42% din păduri sunt situate pe versanți parțial însoriți, 40% păduri pe versanți însoriți și 18% pe versanți umbriți.

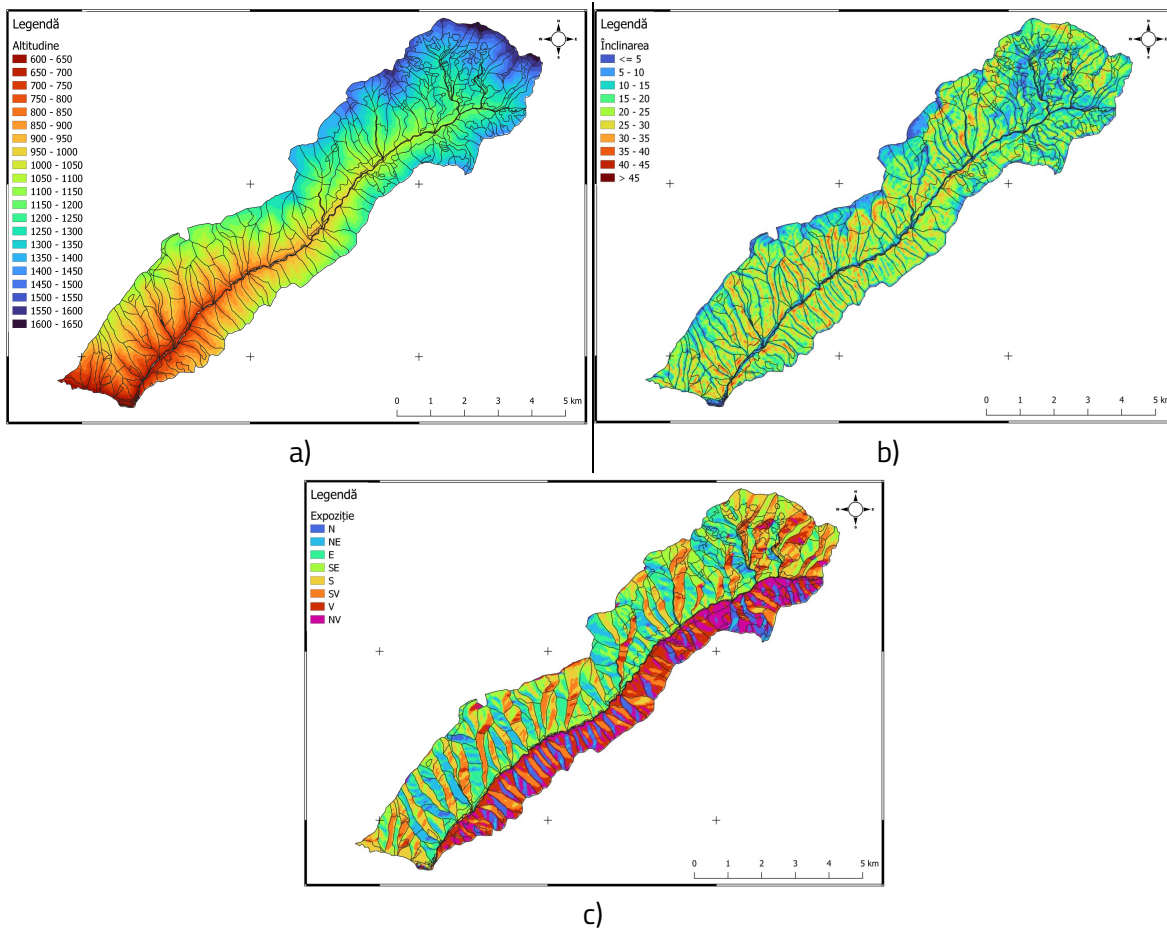


Figura 8. Distribuția suprafeței pe categorii altitudinale (a) în raport cu înclinarea terenului (b) și în raport cu expoziția versanților (c)



Regimul termic al pădurilor din U.P. Fâncel este caracterizat printr-o temperatură medie anuală de 4.8 °C (6.4°C la 600 m și 3.5 °C la 1400 m). Cantitatea medie anuală de precipitații este de 700 mm, acestea fiind mai abundente la sfârșitul primăverii și vara și mai scăzute toamna și iarna (www.worldclim.org).

Evapotranspirația potențială anuală variază în raport cu altitudinea, de la 575 mm. Durata sezonului de vegetație variază, de asemenea, de la 217 zile. Indicele de ariditate de Martonne anual ($I_a = P/(T+10)$) are valoarea 54, ceea ce denotă faptul că există suficiente precipitații pe tot parcursul anului.

5.1.2 Elemente edafice

Condițiile edafice condiționează mediul de viață al arborilor, asigurând acestora spațiu de înrădăcinare, precum și aprovizionarea cu apă și elemente nutritive necesare desfășurării proceselor fiziologice. Toate însușirile solului și procesele din sol formează complexul ecologic al solului. Împreună cu condițiile climatice însușirile solurilor influențează direct și indirect viața plantelor și sunt considerate determinanți ecologici. Prin analiza profilelor de sol din etajul amestecurilor (3171,37) s-au identificat soluri din clasele cambisoluri și andosoluri (**Tabelul 3**). Distribuția profilelor de sol în cuprinsul unității amenajistice este redată în.

Tabelul 3. Tipuri și subtipuri de sol identificate în unitatea de producție cercetată

Clasa de soluri	Tipul de sol	Subtipul de sol	Codul	Suceesiunea orizonturilor	Suprafața	
					ha	%
Andisoluri	Andosol	Distric	6101	Aodi-ACdi-C	401.20	8
		Eutric	6102	Aoeu-ACeu-C	339.28	7
		Subscheletic	6108	Ausq-ARsq-R	634.64	14
Cambisoluri	Eutricambosol	Tipic	3101	Ao-Bv-C	199.72	4
		Andic	3106	Aou-Bv-R	1291.91	28
		Subscheletic	3112	Ao-Bvsq-R	687.14	15
	Districambosol	Tipic	3201	Ao-Bv-R	196.48	4
		Andic	3204	Aou-Bv-R	360.48	8
		Subscheletic	3208	Ao-Bvsq-R	174.28	4
Spodisoluri	Prepodzol	Tipic	4101	Aou-Bs-R	262.62	6
	Podzol	Tipic	4201	Au-Ea-Bhs-R	95.50	2
Protisoluri	Aluviosol	Eutric	0402	Ao.eu-Ceu	4.11	-
TOTAL					4647.36	100

În amestecurile de rășinoase cu fag s-au identificat următoarele tipuri și subtipuri de sol: eutricambosol tipic, andic și subscheletic; districambosol tipic, andic și subscheletic; andosol eutric, distric și subscheletic.

5.1.3 Analiza principalelor însușiri ale solurilor forestiere ca indicatori specifici

Solul, prin caracteristicile sale și prin relațiile pe care le are cu factorii de mediu constituie un element principal al stațiunii forestiere și are calitatea de a fi mediu ecologic al biocenozelor. Însușirile solurilor sunt condiționate de caracteristicile lor morfogenetice.



Humusul (H) este de tip mull andic și mull-moder andic și conține frecvent o cantitate de substanță organică în jur de 10% (2-30%). Cele mai mari valori prezintă orizontul A (8-30%). Acestea scad pe profil, în orizontul B fiind cuprinse între 2 și 10%. Humusul, la nivel de orizont prezintă, de asemenea, o tendință descrescătoare pe măsură ce crește altitudinea (Cicșa *et al.*, 2021 (c)). Valoarea humusului poate fi determinată la nivelul fiecărui orizont și indirect prin intermediul celorlalte însușiri ale solului, determinate prin analiza de laborator (N, pH, S_B , S_H , T, V), cu ajutorul relației (Cicșa *et al.*, 2021 (c)):

$$H = 10.122N - 1.112pH - 0.811S_B + 0.057S_H + 0.628T + 0.255V - 9.937 \quad (3)$$

Azotul (N), la nivelul orizontului A₀ prezintă valori cuprinse între 0.4 și 1.1%. Acestea scad pe profil, astfel în orizontul B ajungând la valori cuprinse între 0.05 și 0.8. *Valorile indicatorilor chimici: (S_B , pH-ul, T) și (V)* se corelează statistic (p value < 0.05) și scad, de asemenea, în raport cu creșterea altitudinii.

Troficitate potențială. Fondul nutritiv de substanțe al solurilor, accesibil plantelor variază în raport cu tipul de humus, cu conținutul de humus și însușirile complexului absorbtiv al solurilor. Valorile acestuia exprimate prin V_d și r_v se diferențiază pe profilul solului și sunt caracteristice fiecărui orizont.

Fondul nutritiv de substanțe al solurilor accesibil plantelor variază în raport cu tipul de humus, cu conținutul de humus și însușirile complexului absorbtiv al solurilor. Valorile acestora se diferențiază pe profilul solului și sunt caracteristice fiecărui orizont. Pentru solurile analizate, T_{p1} prezintă valori cuprinse între 12 – 238, care indică un nivel al troficității specific solurilor de la oligotrofile până la megatrofile, frecvent însă prezentând valori peste 80. Pe profil acesta scade în paralel cu scăderea procentului de humus. De asemenea, valorile T_p sunt din ce în ce mai reduse pe măsură ce crește altitudinea.

Analiza statistică între elementele troficității potențiale (H și V) indică o corelație semnificativă între valorile acestora (**Tabelul 5**):

Tabelul 5. Semnificația parametrilor din relația troficității potențiale.

T_p ecuație	Intercept	H, %	V, %	R	R_ajust
<i>P-value</i>	1.42E-14	3.94E-31	5.02E-31	0.426	0.422

Prin aplicarea regresiei multiple, troficitatea potențială poate fi scrisă sub forma:

$$T_{p2} = 6.978H + 3.147V - 127.49 \quad (5)$$

în care: H – este procentul de humus al orizontului (%)

V – gradul de saturație în baze la pH = 8.3

În raport cu altitudinea, valorile indicelui de troficitate potențială obținut prin aplicarea relației (5) prezintă aceeași tendință ca și cele obținute prin relația (4) (**Figura 17**). Eroarea medie pătratică (RMSE) a valorilor obținute prin cele două relații este de 43,75. Pe măsură ce crește altitudinea indicele de troficitate potențială prezintă valori din ce în ce mai reduse.

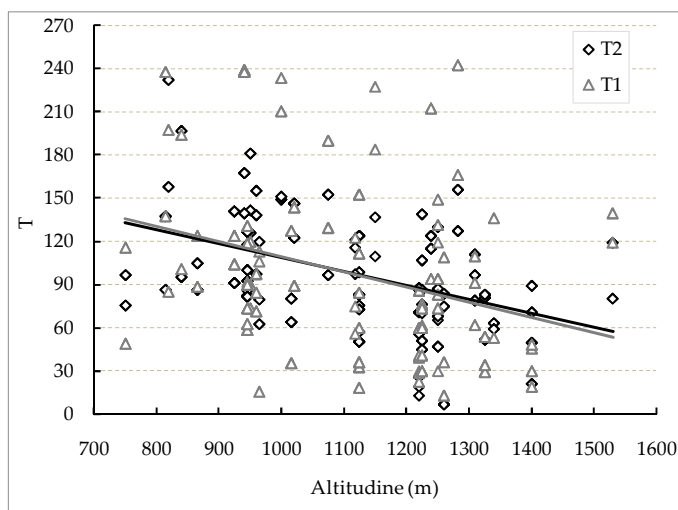


Figura 17. Valori ale indicelui de troficitate potențială în raport cu altitudinea

Indicii asupra troficității potențiale se pot deduce și doar din valorile procentului de humus din orizontul Ao. Valorile troficității potențiale din relația (4) pot fi exprimate în raport cu procentul de humus din orizontul Ao prin ecuația de regresie:

$$T_{p3} = 7.779x - 11.06 \quad (6)$$

în care T_{p3} este indicele de troficitate potențială și x este procentul de humus din orizontul Ao.

Pentru valori ale procentului de humus cuprinse între 5 și 30 % indicele de troficitate potențială determinat prin relația (5) are valori cuprinse între 27-222 (**Figura 18**). Indicele troficității potențiale poate fi estimat prin regresie liniară doar prin intermediul procentului de humus (T_3). Astfel determinat, el poate fi utilizat în calcule expeditive.

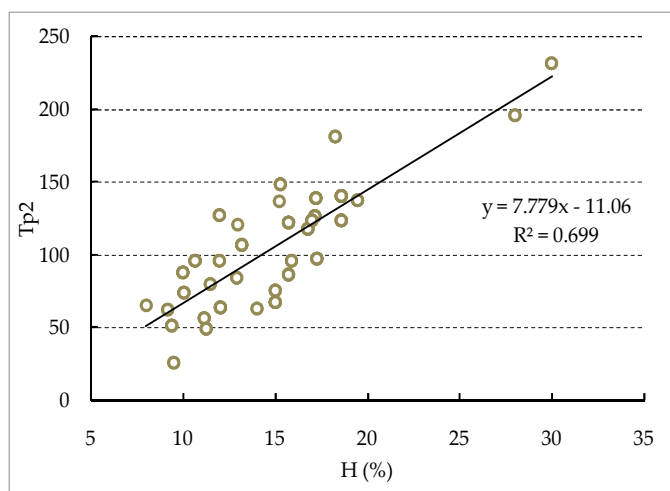


Figura 18. Relația dintre indicele de troficitate potențială T_{p3} (6) și procentul de humus din orizontul Ao.

În raport cu principalii factori geomorfologici (altitudine, expoziție și înclinare), însușirile fizico-chimice ale solurilor (procentul de humus (H), pH-ul, azot-ul (N), capacitatea de schimb pentru baze (S_B), capacitatea de schimb pentru hidrogen (S_H), capacitatea totală de schimb cationic (T), gradul de saturație în

baze (V) și umiditatea solului), prezintă niveluri diferite de semnificație (Cicșa *et al.*, 2021 (d)) sau unele din ele chiar nu se corelează (Tabelul 6).

Tabelul 6. Semnificația corelației dintre factorii geomorfologici și însușirile solurilor

Variabile	Altitudinea	Expoziție	Înclinare
	Corelația Pearson	Pearson Correlation	Pearson Correlation
H, %	-.291**	-.079	.056
N, %	-.277**	.013	.020
pH	-.545**	.187**	.399**
S _B , me/100g sol	-.576**	.108	.189**
S _H , me/100g sol	.321**	-.102	-.151**
T, me/100g sol	-.446**	.037	.186**
V, %	-.150**	.070	.036
U, %	-.075	.305**	-.242**

** . Corelația este semnificativă la nivelul 0.01.
* . Corelația este semnificativă la nivelul 0.05.

Valorile însușirilor solurilor pentru care corelația este semnificativă (*) și distinct semnificativă (**) au fost multiplicată într-un indice al productivității solului, potrivit relației:

Prin regresie multiplă a fost analizată relația dintre caracteristicile solurilor H, N, pH, SB și SH în raport cu altitudinea. Relația este asigurată statistic (p value < 0.05), iar în calcul nu s-a luat în considerare V și T deoarece acești indicatori sunt incluși în celelalte însușiri ale solurilor ($T=SB+SH$; $V=(SB/T)*100$). Însușirile solurilor analizate au fost introduse și într-o relație de calcul a unui **indice edafic** care poate caracteriza nivelul de troficitate a solului acesta având expresia (Cicșa *et al.*, 2021 (d)):

$$I_e = \sqrt[3]{H * N * pH * SB * SH} \quad (7)$$

I_e variază în raport cu altitudinea, de la o valoare de 42 la 700 de metri, la o valoare de 17 la 1550 de metri. În raport cu valorile indicelui edafic (I_e) asociate cu valorile troficității potențiale (T_p), solurile din zona de studiu analizate se pot clasifica astfel:

I_e	Troficitatea solului
13-17	oligomezotrofice
17.1-26	mezotrofice
26.1-42	eutrofice
>42.1	megatrofice

În arborete amestecate, I_e prezintă frecvent valori cuprinse între 26 și 42 caracteristice solurilor eutrofice. Valori mai mici de 17 caracterizează solurile din molidișuri situate la altitudini mai mari de 1500 m. Variația troficității potențiale precum și a indicelui de troficitate a solului sunt redatăe în **Figura 19**.

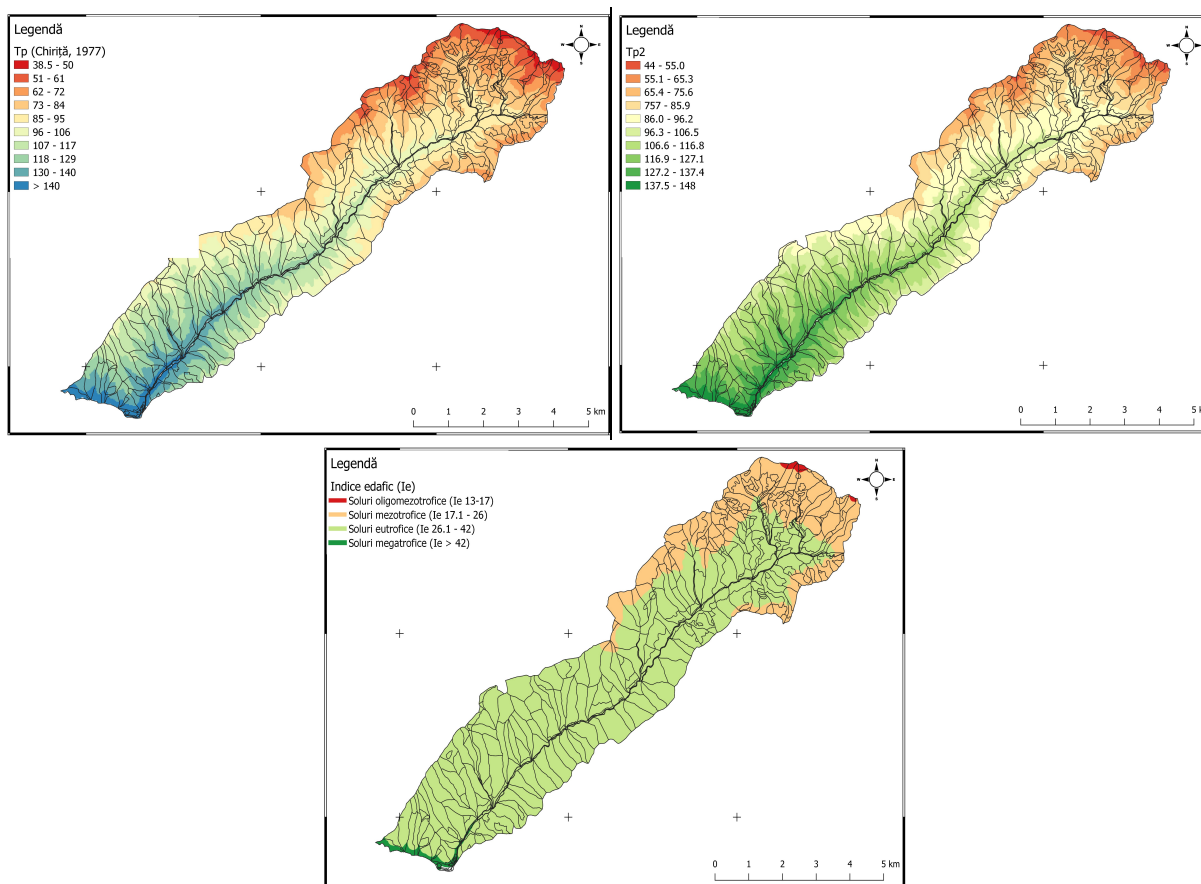


Figura 19. Distribuția suprafeței în raport cu indicii de troficitate potențială

5.1.4 Analiza principalilor indicatori ai solurilor forestiere în raport cu profunzimea solurilor

Condițiile edafice influențiază mediul de viață al arborilor, asigurând acestora spațiu de înrădăcinare, precum și aprovizionarea cu apă și elemente nutritive necesare desfășurării proceselor fiziologice. Împreună cu condițiile climatice, însușirile solurilor influențează direct și indirect viața plantelor și sunt considerate determinanți ecologici. Humusul (H) este de tip mull și mull-moder andic și prezintă valori cuprinse între 2 și 30%. Acestea scad pe profil, de la valori medii de 15% în orizontul A, până la valori medii în jur de 2% în orizontul B (Figura 20 a). Azotul (N) la nivelul orizontului A prezintă valori cuprinse între 0.40 și 1.1% și scad, de asemenea, pe profil, cele mai mici valori înregistrându-se la nivelul orizontului B. Aceeași tendință manifestă și alte caracteristici precum: capacitatea de schimb pentru baze (SB), capacitatea de schimb pentru hidrogen (SH) și capacitatea totală de schimb cationic (T). Valorile lui T scad pe profil, de la 38 me/100g sol în orizontul A (primii 10 cm), la 20 me/100 g sol în B (la 90 cm adâncime) (Figura 20 b). Suma bazelor de schimb (SB) prezintă valori cuprinse între 30 me/100g sol și 50me/100g sol la nivelul orizontului A și 51 – 75 me/100g sol la nivelul orizontului B. Valorile gradului de saturație în baze (V) cresc pe profil (Figura 20 c). Valorile medii SH scad pe profil de la 20 me/100g sol în orizontul A (primii 10 cm), la 9 me/100g sol în orizontul B (la 90 cm adâncime) (Cicșa *et al.*, 2021 (d)). Pentru cambisolurile eutrice din Carpații Orientali valorile SH ajung la 14.834me/100 g sol (Spârchez *et al.* 2018).



Valorile medii ale azotului (N) scad pe profil de la 0.63% în orizontul A (primii 10 cm), la 0.18% în orizontul B (la 90 cm adâncime). În schimb, solurile sunt puternic – foarte puternic acide (pH 4,0 – 5,0) în orizontul A și slab – moderat acide (pH 5,1 – 6,2) în orizontul B. În orizontul B al cambisolurilor din etajul montan al amestecurilor, din Carpații Orientali, au fost găsite valori medii ale pH-ului de 4.88 și valori ale lui V de 70.78% (Spârchez *et al.*, 2018). Reducerea pH-ului a fost observată, de asemenea, în raport cu altitudinea (Dincă *et al.*, 2012; Charan *et al.*, 2013, Wu *et al.*, 2011).

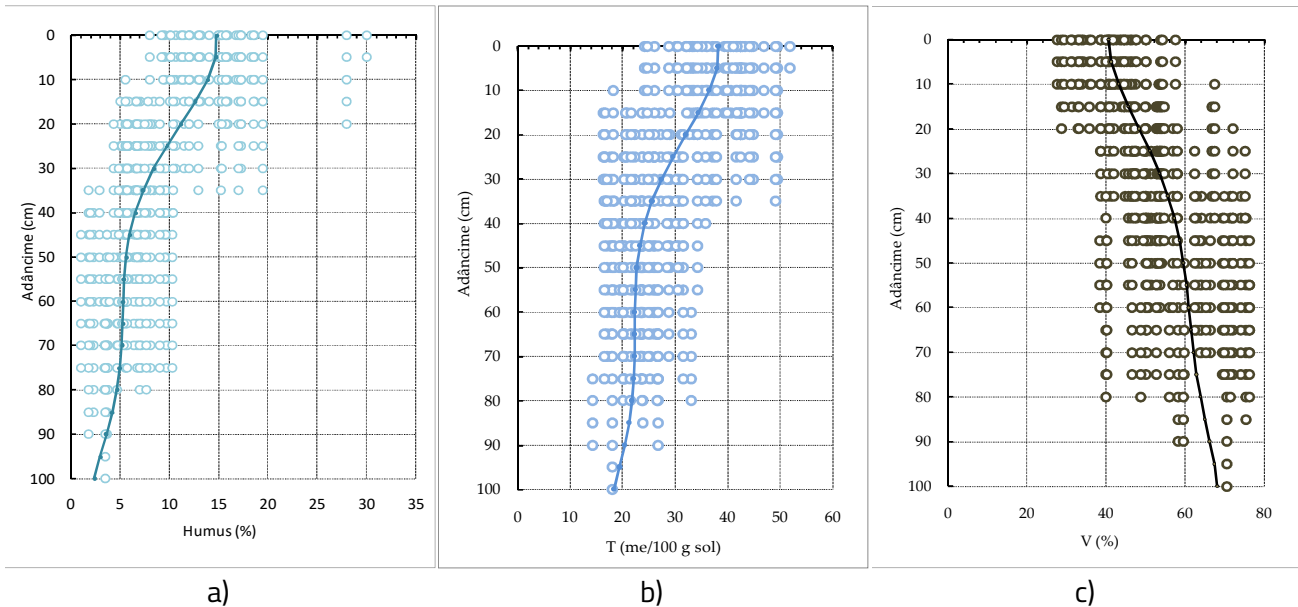
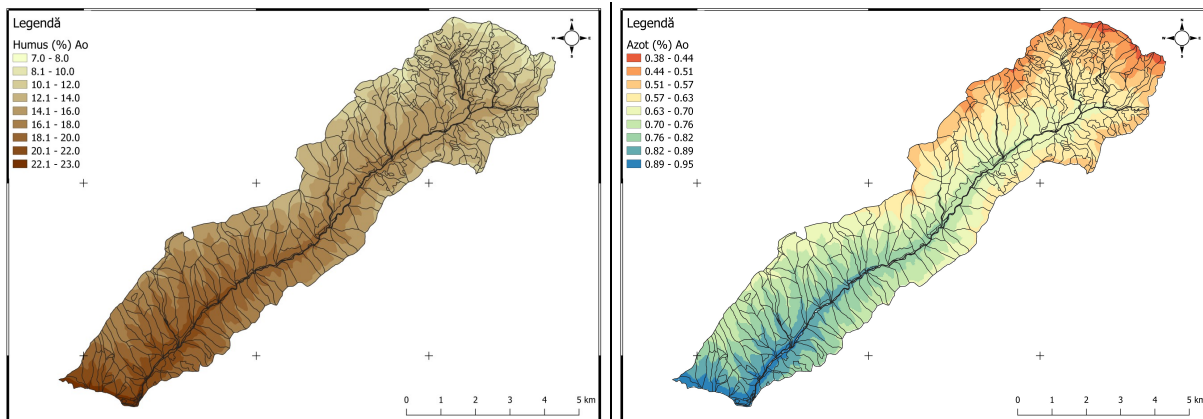


Figura 20. Variația pe profil a unor proprietăți ale solurilor: a humusului (a), capacității totale de schimb cationic (b) și gradului de saturație în baze (c).

Valorile caracteristicilor determinate (H, N, pH, SB, V) prezintă aceeași tendință descrescătoare pe măsură ce altitudinea prezintă valori din ce în ce mai mari, iar SH crește cu altitudinea. În **Figura 21** se prezintă doar variația H, N, pH și SH în orizontul A.



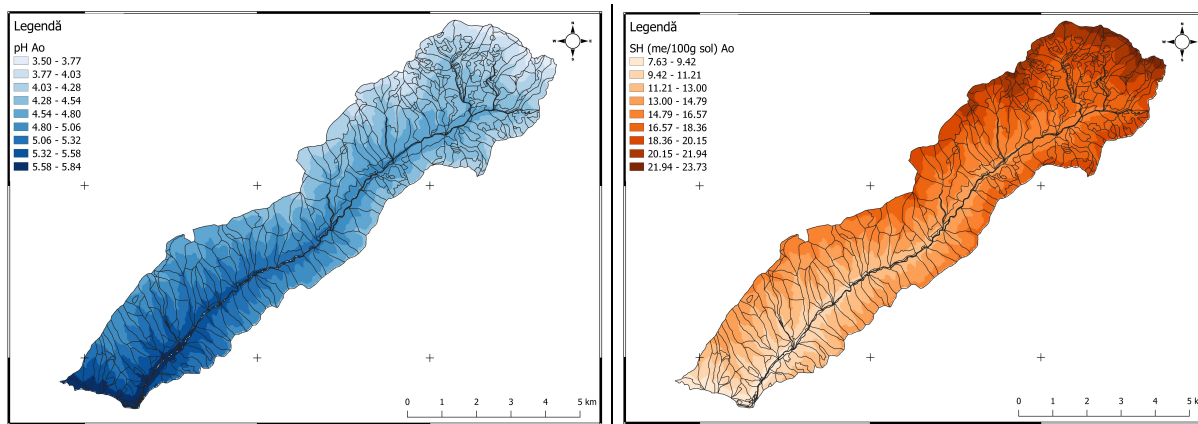


Figura 21. Variația valorilor principalilor parametri fizico-chimici ai solului în cuprinsul unității de producție

Altitudinea este un factor determinant în distribuția humusului și în variația celorlalte proprietăți ale solului. În orizontul A, altitudinea explică 39% din variația humusului, 36% din variația azotului, 50% din variația capacității totale de schimb cationic, 26% din variația sumei bazelor de schimb, 35% din variația gradului de saturație în baze și 62% din variația pH -lui. Proprietățile chimice ale solului, cu excepția sumei hidrogenilor schimbabili, sunt influențate negativ de către altitudine. Relația dintre proprietățile chimice ale solurilor și altitudine a fost evidențiată printr-un model, determinat prin regresie multiplă, care explică 79% din variația valorilor proprietăților în raport cu altitudinea (Cicșa *et al.*, 2021 (d)).

5.1.5 Tipuri de stațiuni din amestecurile de rășinoase cu fag

În cuprinsul Unității de Producție IV Fâncel se regăsesc patru etaje fitoclimatice: etajul montan de molidișuri (FM3) – 18 %; etajul montan de amestecuri (FM2) – 69%; etajul montan – premontan de făgete (FM1 + FD4) – 10 % și etajul deluros de gorunete, făgete și goruneto – făgete (FD3) – 4 %. În cuprinsul acestora s-au identificat 10 tipuri de stațiuni (Figura 23 și Figura 24).

Cel mai răspândit tip de stațiune este: 3.3.3.3 Montan de amestecuri Bs, eutricambosol și andosol edafic mare și mijlociu cu *Asperula – Dentaria*, care reprezintă 63% din suprafața unității, urmat de tipul 2.3.3.2 Montan de molidișuri Bm, districambosol și andosol edafic mijlociu și submijlociu, cu *Oxalis – Dentaria* ± acidofile, care reprezintă 10 %. (Figura 24).

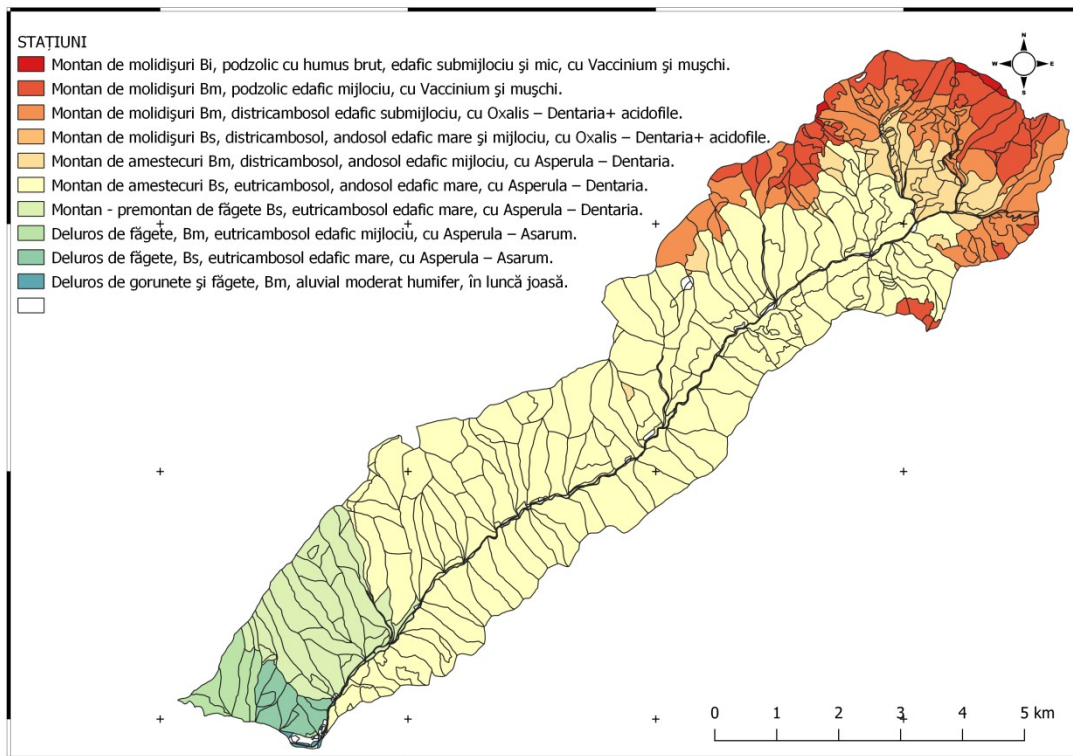


Figura 24. Distribuția tipurilor de stațiuni în cuprinsul unității de producție

5.1.6 Principalii factori ecologici determinanți pentru stabilirea potențialului superior al stațiunii

Elementele materialului parental, ale reliefului, solului și climei se află într-o strânsă interdependență, astfel că rezultanta acțiunii lor combinate determină un *potențial productiv superior* pentru întreaga suprafață a unității experimentale studiate. Acesta se justifică prin aceea că:

1. Materialul parental provine din dezagregarea și alterarea rocilor vulcanice de tipul andezitelor, prezente pe întreaga suprafață a unității. După cum roca a avut un rol important în formarea reliefului și acesta, la rândul lui a influențat materialul parental prin natura depozitelor de suprafață.
2. În zona studiată relieful prezintă o fragmentare asemănătoare. Prin orientarea versanților relieful modifică gradul de insolație. Văile principale au, în general, aceeași orientare. La rândul lor văile secundare determină expoziții, înclinări și energii de relief ale versanților asemănătoare de la un bazinet la altul.
3. Altitudinea este, însă, principalul factor geomorfologic care determină zonalitatea verticală a condițiilor climatice și a solurilor, apoi răspândirea speciilor și a biocenozelor forestiere. Totuși în condițiile studiate, elementele climatice precum căldura și umiditatea sunt puternic influențate și de expoziție. Expozițiile predominant însorite (39%) și parțial-însorite (42%) în cuprinsul unității studiate compensează efectele altitudinii mai ridicate în ceea ce privește plusul de umiditate, iar cele umbrite compensează umiditatea mai redusă pe măsura coborârii în altitudine. Astfel, prin *compensarea factorilor ecologici* este redusă



amplitudinea lor de variație încât suprafața experimentală studiată prezintă, în ansamblul său, același grad de favorabilitate pentru amestecurile existente.

4. Solurile, deși în unele cazuri au un conținut ridicat de schelet sunt mijlociu profunde și cel mai adesea profunde și prezintă un volum edafic mare pe întreaga suprafața experimentală. Datorită conținutului în schelet acest volum se realizează frecvent pe grosimi de 60 – 100 cm., și conferă solurilor și o mare capacitate de aprovizionare cu apă și cu substanțe nutritive necesare dezvoltării sistemului radicular al arborilor. Solurile sunt bogate în azot, acesta prezentând în valori medii pe profil cuprinse între 0,59 și 1,83%. Complexele humico-alofanice cu procent ridicat de humus al solurilor explică, de asemenea, valorile ridicate ale troficității solurilor. Astfel, conținutul în humus al solurilor și gradul de saturație în baze indică valori ale indicelui de troficitate potențial ridicate, predominant peste 80, specifice solurilor eutrofe, iar produsul $H \cdot V \cdot 0.01$ prezintă valori medii pe profil cuprinse între 6.2 și 11.2.

5.2 Influența condițiilor staționale asupra structurii și productivității arboretelor

5.2.1 Caracteristicile dendrometrice ale arboretelor – indicatori ai bonității stațiilor forestiere

Calitatea unei stațiuni forestiere de a fi mai mult sau mai puțin favorabilă dezvoltării arboretelor a fost evidențiată prin principalele caracteristici dendrometrice cum sunt: h_g , h_{dom} , Rhd_g , Rhg_g , lv și V . În cazul amestecurilor cercetate, 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 zona cercetată pentru amestecurile de rășinoase cu fag stațiunile forestiere sunt de bonitate și superioară, aceasta fiind indicată de condițiile edafice exprimate prin indicii de troficitate. Acest nivel al bonității se reflectă și în caracteristicile biometrice ale arboretelor.

Înălțimea medie (h_g) în amestecuri, se diferențiază atât pe specii, cât și în raport cu proporția de participare a acestora în arborete. 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 – 70%, molidul realizează înălțimi medii de 30,7 m, bradul de 28,5 m, iar fagul de 26,9 m (**Figura 26**). Aceste valori sunt caracteristice arboretelor din zona cercetată în condiții reale de gospodărire.

Înălțimea dominantă (h_{dom}) este un indicator mult mai expresiv, ea fiind independentă de efectul măsurilor de gospodărire aplicate. Comparativ cu înălțimea medie, înălțimea dominantă, 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 26**).

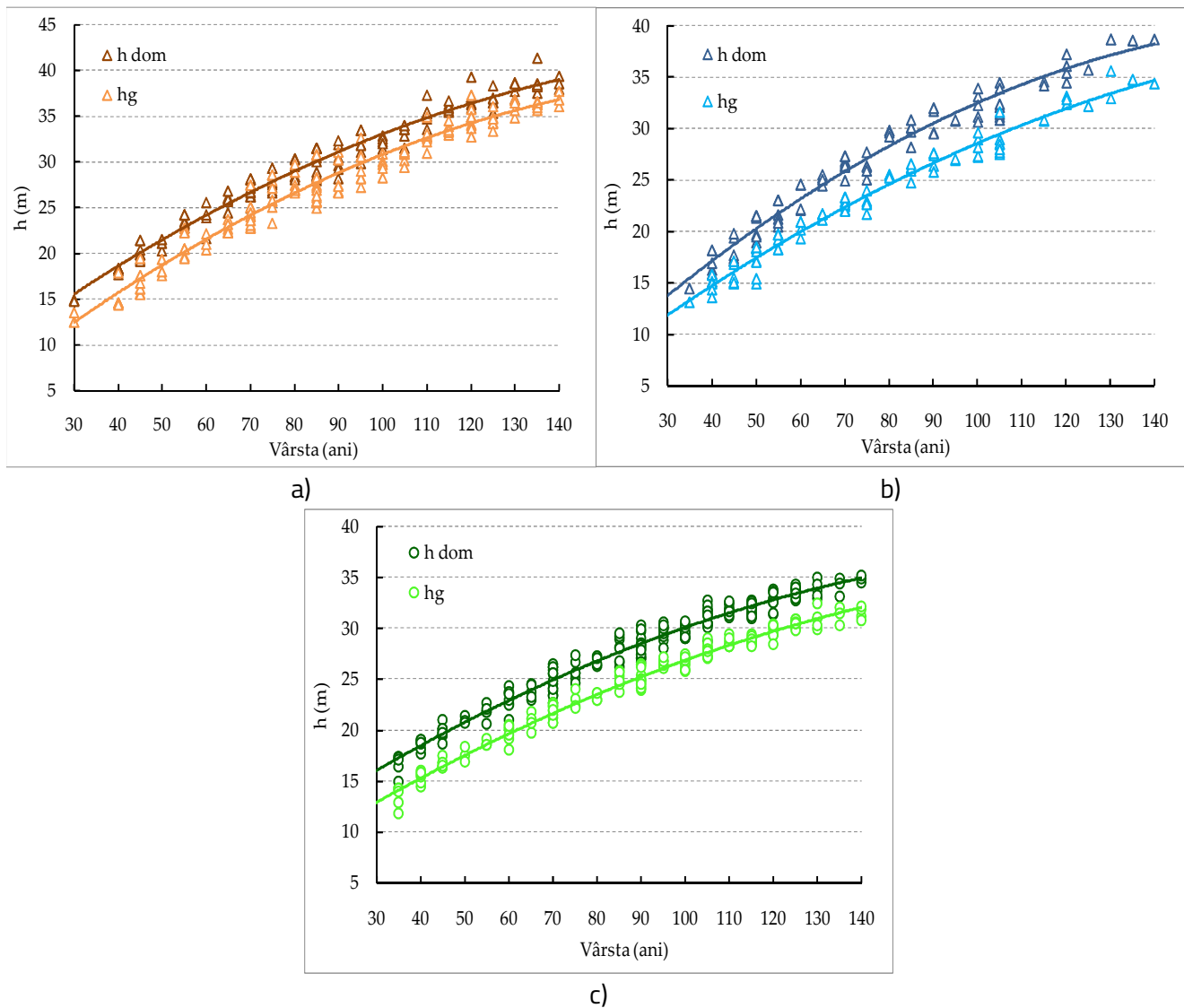


Figura 26. Relația dintre înălțimea medie și înălțimea dominantă a arborilor de molid (a), brad (b) și fag (c) din arborete amestecate și vârsta lor medie. Vârsta medie corespunde speciei sau generației de arbori din cadrul arboretului, reprezentată prin h_g sau h_{dom}

Relațiile dintre înălțimea medie – vârstă, respectiv înălțimea dominantă – vârstă s-a exprimat prin ecuații de tip polinomial. Acestea explică 94 – 98 % din variația înălțimilor ($R^2 = 0.94 - 0.98$) în condițiile staționale caracteristice zonei studiate.

La vârsta de referință de 100 de ani (când arboretete prezintă înălțimile menționate) molidul și bradul din amestecuri prezintă diametre de 40 cm, iar fagul de 38 cm. În arbore pure molidul prezintă un diametru de 40 cm, bradul de 39, iar fagul de 34 cm. 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 iar la fag de 31.1 m. Înălțimea dominantă prezintă valori de 37.1 m la brad, la molid de 37,8 iar la fag de 34.2 m. Diametrul respectiv poate fi ales în raport cu diferite stadii de dezvoltare ale arboretelor (Cicșa *et al.*, 2021 (b)).

Raportul dintre înălțimea și diametrul mediu a arborelui mediu al arboretului (Rh_g). În vederea determinării clasificării staționale se pot folosi și indici biometrici dinamici ai intensității creșterii arboretului care pot fi utilizați cu bune rezultate în determinarea potențialului productiv. Prin aplicarea acestor indici se diminuează efectul specificului structural al arboretelor. În vederea determinării relațiilor dintre Rh_g/d_g în raport cu vârsta sau diametrul de bază ($d_{1,3}$) s-au aplicat ecuații simple de tip polinomial. Acestea prezintă un coeficient de determinare cuprins între 75–87% în raport cu vârsta și 78–91% în raport cu diametrul, în condițiile staționale caracteristice zonei studiate. (Figura 28).

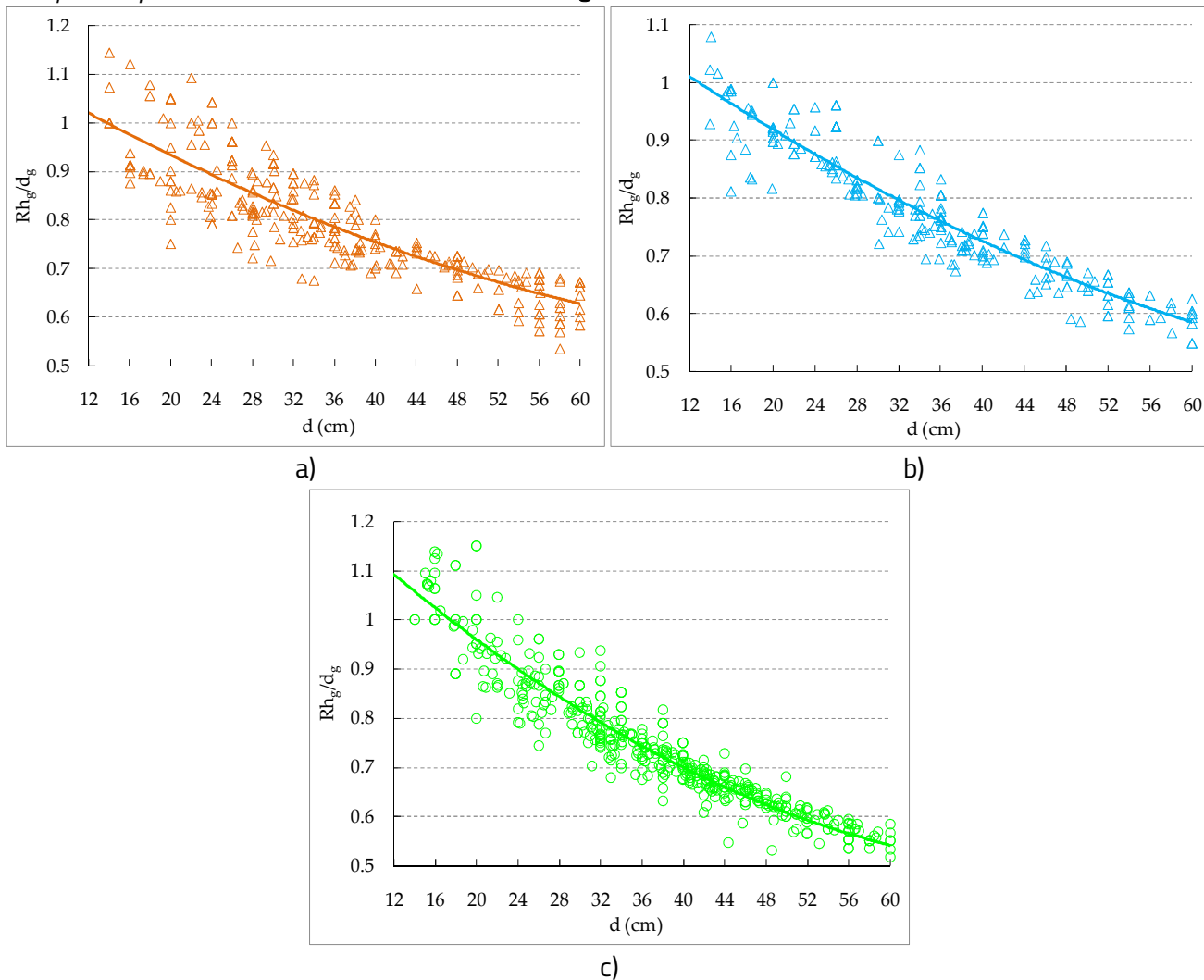


Figura 28. Relația dintre Rh_g/d_g în raport cu vârsta pentru molid (a), brad (b) și fag (c), și relația dintre Rh_g/d_g și diametrul mediu pentru molid (d), brad (e) și fag (f).

Raportul dintre înălțimea și suprafața de bază a arborelui mediu al arboretului (Rh_g) exprimă o legătură fidelă între intensitatea creșterii arboretelor și condițiile staționale. Acest indicator oferă rezultate satisfăcătoare, când arboretele au ajuns la vârste de cel puțin 30 de ani. Indicii rezultați din raport urmează o tendință exponențială. Rh_g descrește în raport cu diametrul mediu al arboretelor și cu vârsta arboretelor. La aceeași vârstă și la același diametru valorile lui diferă cu productivitatea stațiunii. În vederea corelațiilor



acestor parametri s-au aplicat ecuaţii de tip exponenţial. Acestea explică 91–94% în raport cu vârsta şi 96–97% în raport cu diametrul în condiţii staţionale caracteristice zonei de studiu (Figura 29).

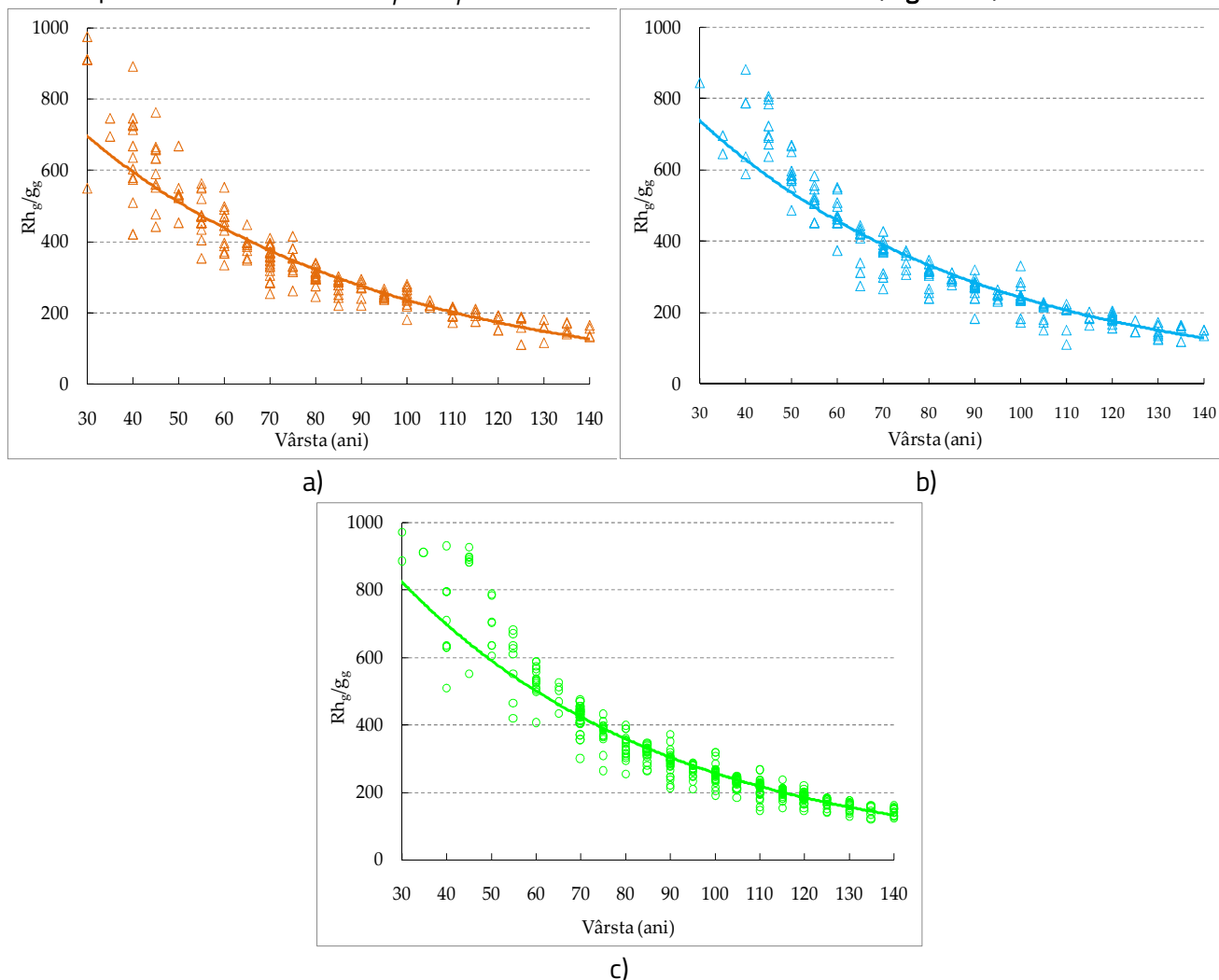


Figura 29. Relaţia dintre Rh_g/d_g şi vîrstă pentru molid (a), brad (b) şi fag (c).

Producţia principală a arboretelor amestecate (volum pe picior), (V) este superioară în comparaţie cu cea a arboretelor pure. Ea este influenţată de condiţiile de structură, respectiv de proporţia speciei, ştiut fiind faptul că, molidul şi bradul sunt mai productive decât fagul. Astfel că, arboretele amestecate în care proporţia răşinoaselor este mai mare sunt mai productive. În amestecuri, la vîrsta de referinţă de 100 de ani diferenţele nu sunt mari şi sunt de 3.1% (936 m^3 comparativ cu 907 m^3) la molid, 7.4% (660 m^3 comparativ cu 611 m^3) la fag şi de 3.1% (808 m^3 comparativ cu 783 m^3) la brad. La diametrul de 26 cm la care se realizează maximul creşterii medii în volum, considerat diametru de referinţă, molidul realizează 616 m^3 , bradul 590 m^3 şi fagul 472 m^3 . Volumul la hectar este strîns corelat cu înălţimea. Modelele generate redau volumul mediu la hectar şi explică 89 – 95% din variaţia volumelor arboretelor. La o înălţime medie de 30 m, volumul la hectar din arborete amestecate, în condiţiile unui arboret pur, echien şi cu densitate normală, este de 869 m^3 la molid, 829 la brad şi 686 la fag. La înălţimi dominante în jur de 33 m, modelele producţiei principale redau aceleaşi volume (Cicşa *et al.*, 2021 (b)).

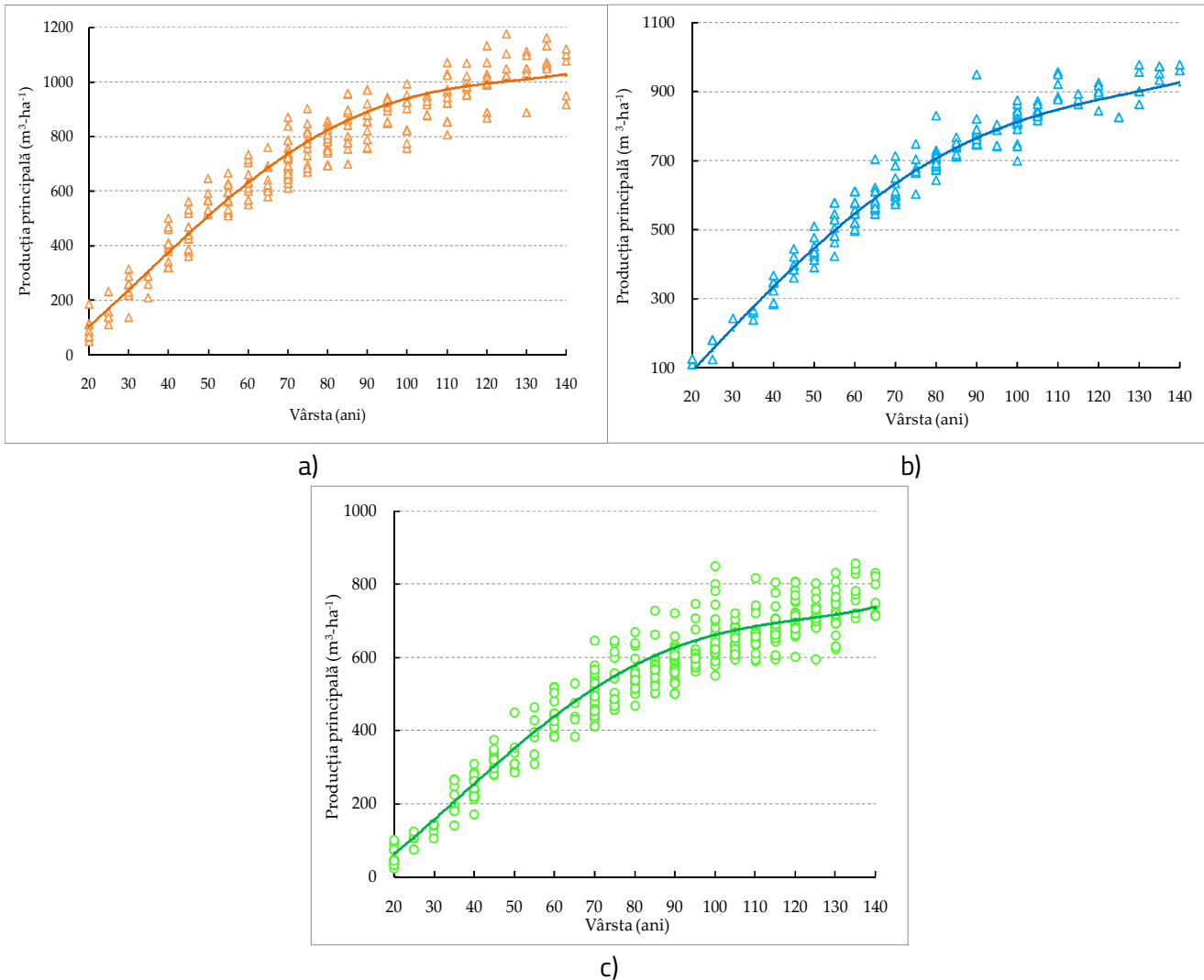
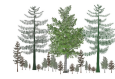


Figura 30. Variația producției principale în raport cu vârsta, pentru speciile molid (a), brad (b) și fag (c), și în raport cu diametrul pentru molid (d), brad (e) și fag (f) în arborete amestecate, situate în stațiuni de bonitate superioară

Creșterea medie anuală în volum a producției principale (l_v) reflectă influența condițiilor staționale și a măsurilor de gospodărire aplicate, atât asupra diametrului, cât și a înălțimii, și caracterizază bonitatea stațiilor. Maximul creșterii medii în arboretele amestecate cercetate se realizează la vârste în jur de 65–70 de ani și prezintă valori de $10.6 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ la molid, 9.2 la brad și 7.4 la fag. După tabelele de producție (Giurgiu și Draghiciu 2004), maximul creșterii medii în arborete pure de molid situate în stațiuni de bonitate superioară (clasa a doua de producție) este de $10.3 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (la 55 – 60 de ani), de 8.3 (la 65 – 70 de ani) în arborete pure de brad și de 6.4 în arborete pure de fag (la 60 – 70 de ani).

Maximului creșterii medii îi corespunde un diametru mediu de 28 cm la molid și de 26 cm la brad și fag (Figura 31 a–c). La vârsta de 100 ani, creșterea medie a producției principale este la molid este de $9,4 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, la brad $8,1$ și la fag de $6,6$ (Cicșa *et al.*, 2021 (b)).

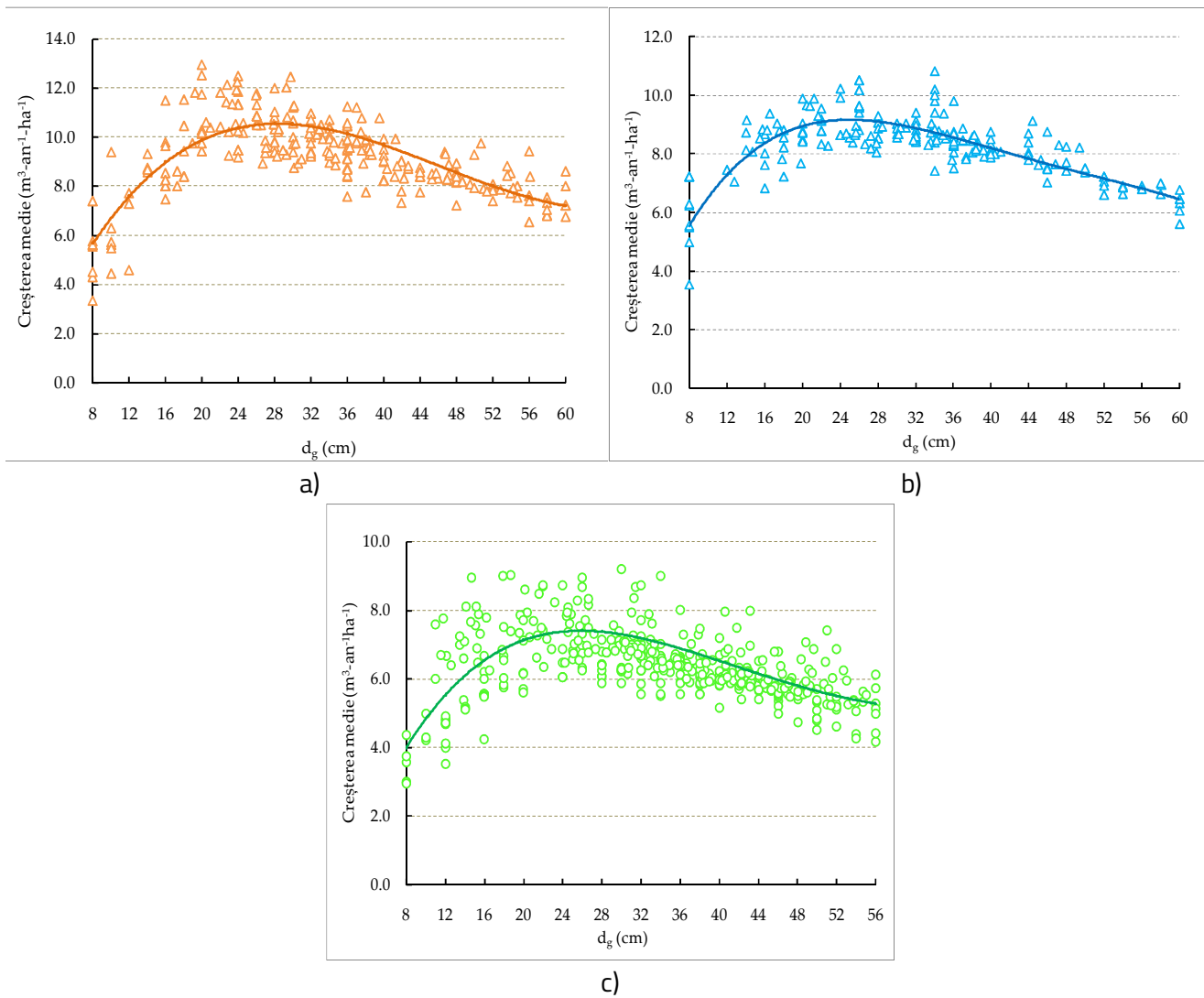


Figura 31. Variația creșterii medii a producției principale în raport cu diametrul mediu pentru molid (d), brad (e) și fag (f) din arborete amestecate situate în stațiuni de bonitate superioară.

Și alți indicatori pentru exprimarea potențialului productiv al stațiunilor, precum producția principală, pot fi stabiliți nu numai în raport cu vârsta sau diametrul de bază, ci și cu alte caracteristici dendrometrice, precum înălțimea medie (h_g) și înălțimea dominantă (h_{dom}) (Figura 32).

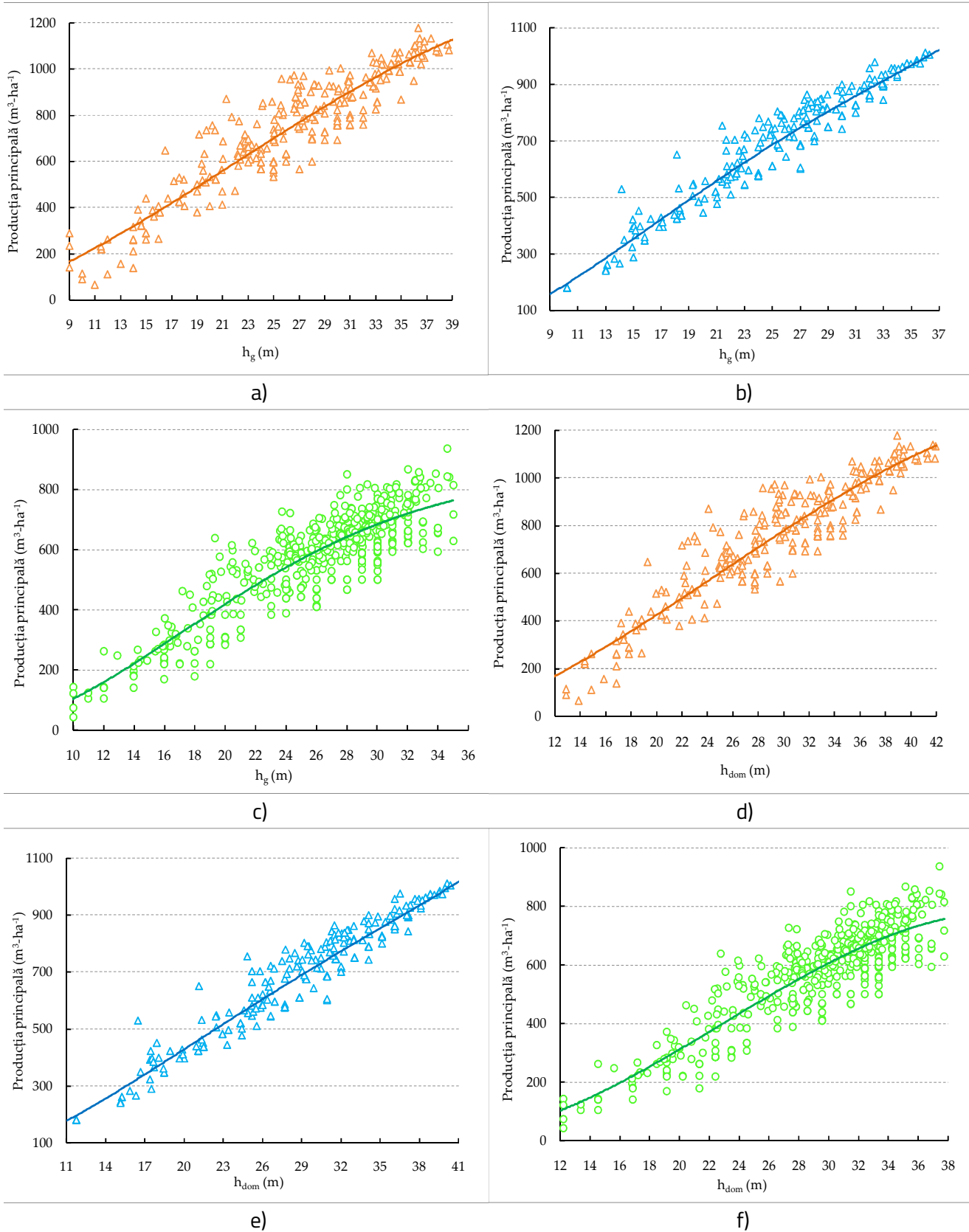


Figura 32. Variația producției principale în raport cu înălțimea medie, pentru speciile molid (a), brad (b) și fag (c), și în raport cu înălțimea dominantă pentru molid (d), brad (e) și fag (f) în arborete amestecate.



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.

5.2.1.1 Modele ale indicatorilor de caracterizare a potențialului productiv al stațiunilor din etajul amestecurilor de rășinoase cu fag

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 procentuală medie absolută (MAPE) și coeficientul de determinare (R^2). Modelele au fost selectate cu ajutorul valorilor parametrilor statistici. Ele estimează în jur de 95% din varianța variabilelor și sunt semnificative ($p < 0.05$).

În **Tabelul 10** se prezintă valori ale acestor indicatori estimate de modele în diferite momente considerate de referință în dezvoltarea arboretelor. Comparativ cu tabelele de producție elaborate pentru arborete pure (Giurgiu & Draghiciu, 2004) aceste cercetări au evidențiat următoarele diferențe (Cicșa *et al.*, 2021(b)):

- la vârsta de 100 ani valorile înălțimii medii sunt mai mici cu 4,9% la molid, 3,5% la brad și 11,5% la fag și mai mici cu 3,9% la molid, 0,6% la brad și 8,6% la fag la înălțimea dominantă;
- la vârsta de 100 ani valorile producției principale sunt mai mari cu 3,1% la molid și brad și cu 7,4% la fag;
- maximul creșterii medii a producției principale este mai mare cu 2,8% la molid, 9,8% la brad și cu 13,5% la fag.

Tabelul 10. Indici de producție pentru speciile molid, brad și fag din arborete amestecate

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

Specie	Molid	Brad	Fag
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

Indicii din **tabelul 10** prezintă valori ale înălțimii medii, înălțimii dominante și producției principale, pe specii, la valori de referință ale vârstei, diametrului mediu și înălțimii medii ale speciilor care alcătuiesc amestecul. Valorile indicilor respectivi sunt specifice condițiilor de structură specifice arboretelor exprimate în tabelele de producție (arborete pure, echiene și de densitate normală)

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.

5.2.1.2 Aplicabilitatea practică a modelelor

Modelele 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 potențialului productiv al 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 (Cicșa *et al.*, 2021 (b)).

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 (Cicșa *et al.*, 2021 (b)).

Pe baza modelelor stabilite pentru speciile individuale s-au generat modelele creșterii medii și ale producției pentru diferite tipuri de amestec care pot estima potențialul stațiunilor de bonitate superioară din etajul amestecurilor de fag cu rășinoase. Astfel de modele se exemplifică pentru cinci tipuri de amestec (**Figura 33**). 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 cu înălțimea (medie și dominantă) arboretelor (Cicșa *et al.*, 2021 (b)).

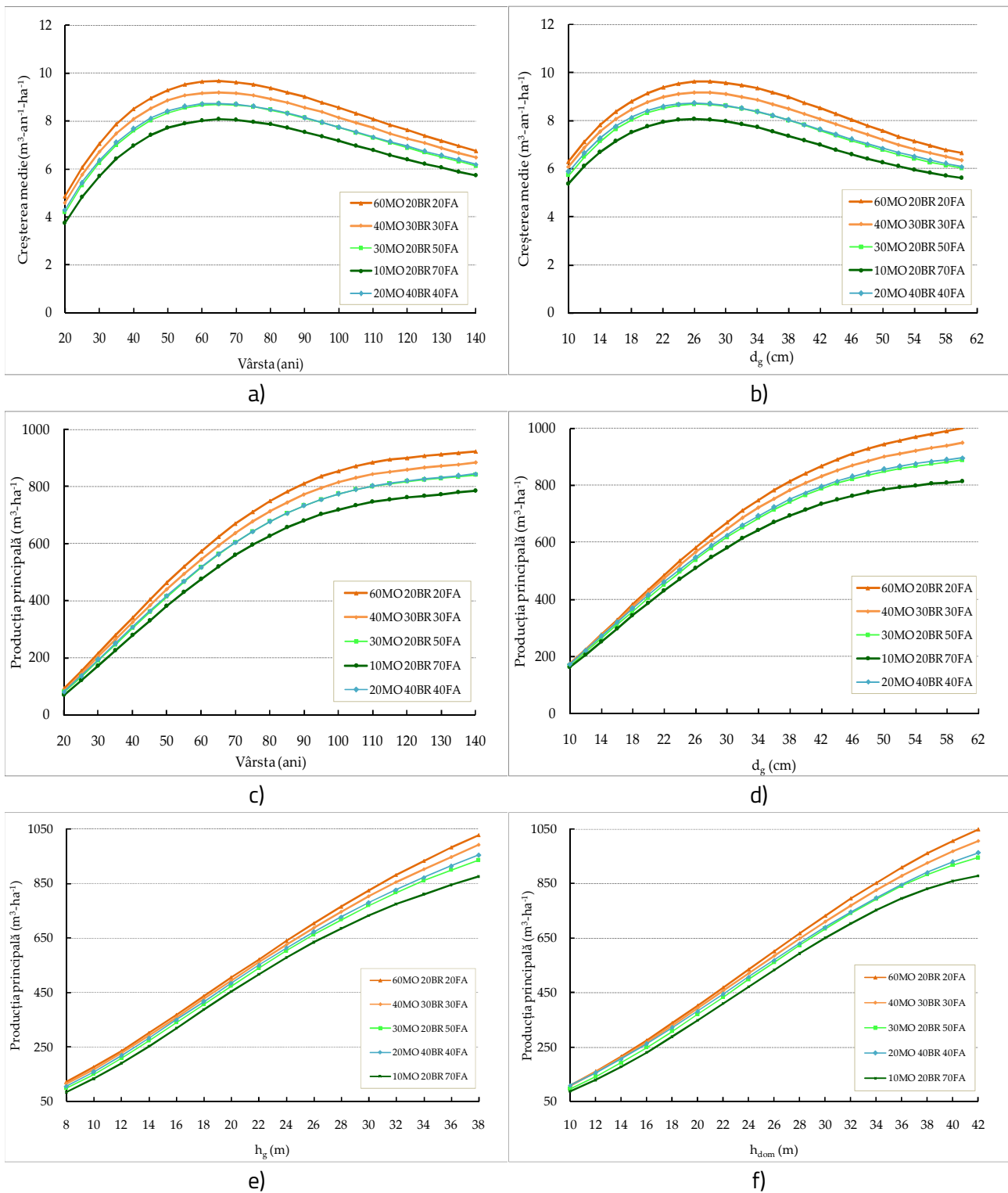


Figura 33. Variaţia creşterii medii în raport cu vârsta (a) şi diametrul mediu (b) şi a producţiei principale în raport cu vârsta (c), diametrul mediu (d), şi înălţimea medie (e) şi înălţimea dominantă (f) pentru arborete de amestec în care molidul, bradul şi fagul participă în proporţie de 10 – 70%. Modelele redau valori ale indicatorilor pentru arborete cu densitate normală.

Deşi în cazul creşterii medii s-au înregistrat valori mai mici ale lui R^2 (0,80 – 0,89), modelele au fost acceptate pe baza analizei valorilor celorlalţi indicatori statistici (Cicşa *et al.*, 2021 (b)).

Aceste modele (atât cele pentru speciile individuale, cât şi cele pentru cele cinci amestecuri de specii) prognozează valori ale indicatorilor în condiţiile unor arborete cu densitatea 1.0. În cazul în care se folosesc pentru arborete cu alte densităţi, valorile indicate de modele trebuie corectate cu densitatea reală a fiecărei specii. Se ştie că reducerea densităţii arboretelor determină creşteri în suprafaţa de bază şi implicit în volum. De aceea, în cazul arboretelor pure modelele ar putea fi folosite doar în cazul celor parcurse cu intervenţii (Cicşa *et al.*, 2021 (b)).

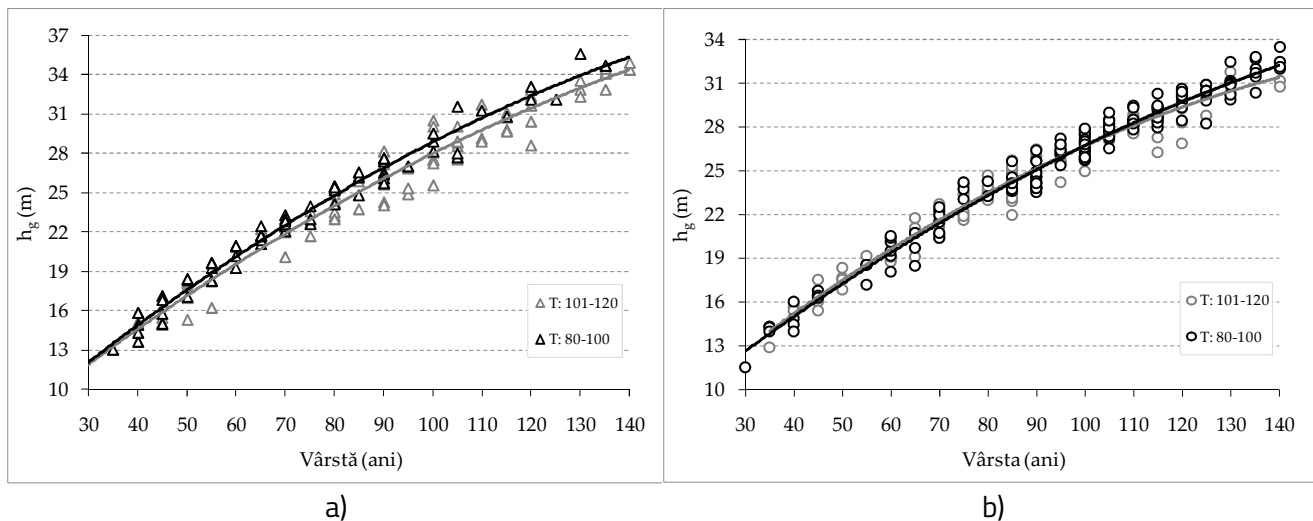
Limitele intervalului de variaţie al valorilor indicatorilor care estimează bonitatea superioară a staţiunilor sunt de $\pm 5\%$ din valorile prognozate de modele la valorile de referinţă analizate.

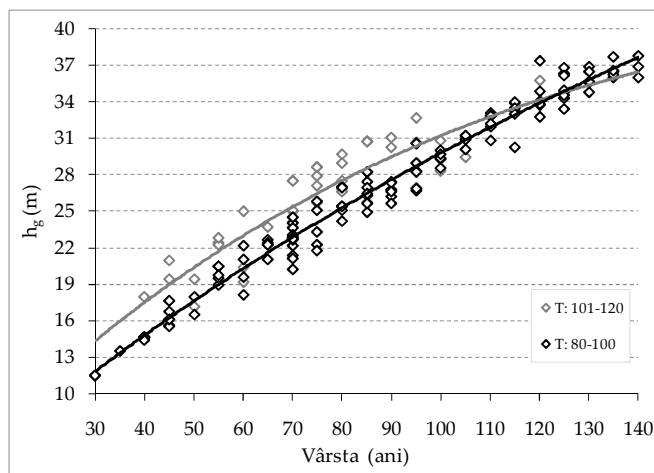
5.2.2 Influenţa troficităţii asupra productivităţii arboretelor

5.5.2.1 Efectul troficităţii solurilor asupra productivităţii arboretelor

Variaţia troficităţii solurilor eutrofice a fost evidenţiată prin indicele de troficitate T_2 , când acesta este cuprins între 81 şi 100 şi între 101 şi 120. În acest sens s-au analizat valorile indicatorilor care estimează potenţialul productiv (h_g , h_{dom} , l_v şi V), în condiţiile indicelui de troficitate cuprins între 81 şi 120.

Înălţimea medie în raport cu vârsta arboretelor şi nivelul de troficitate al solurilor (Tp_2). Pentru arborete situate pe soluri cu nivel al troficităţii (T_2) cuprins între 81–100 şi 101–120 modelele înălţimii medii prezic valori apropiate (Figura 34).



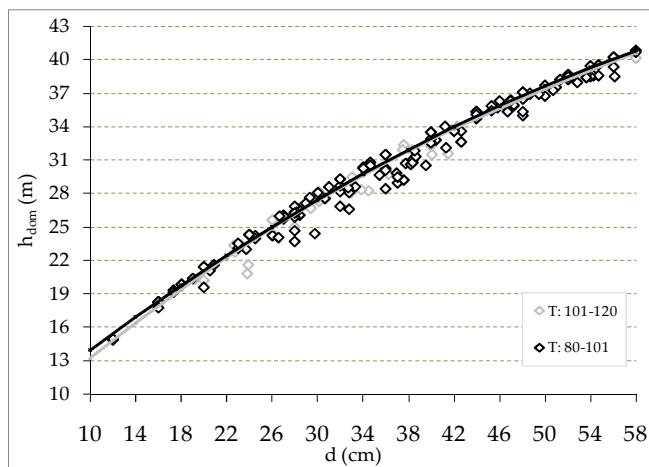


c)

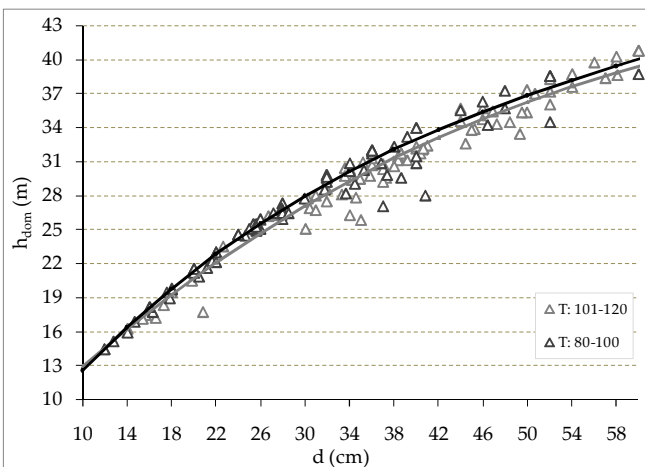
Figura 34. Variația înălțimii medii în arborete amestecate, în raport cu vârsta la brad (a), fag (b), molid (c) în arborete amestecate situate în stațiuni de bonitate superioară cu un nivel al troficității solurilor cuprins între 80 și 140.

Înălțimea dominantă în raport cu vârsta arboretelor și nivelul de troficitate al solurilor (Tp2).

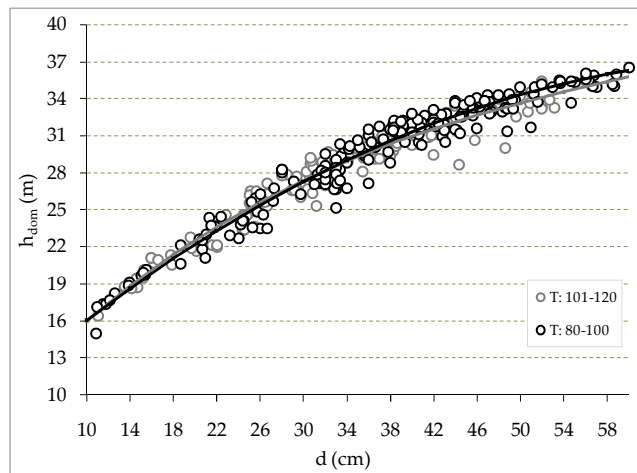
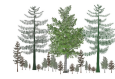
Pentru înălțimea dominantă (h_{dom}), la 100 ani, nu se remarcă diferențe la nicio specie. După vârsta de 100 ani, diferențele respective cresc ușor (Figura 35 a,b,c). S-au luat în considerare arborete amestecate situate în stațiuni de bonitate superioară cu un nivel al troficității solurilor (T_2) cuprins între 81–100 și 101–120.



a)



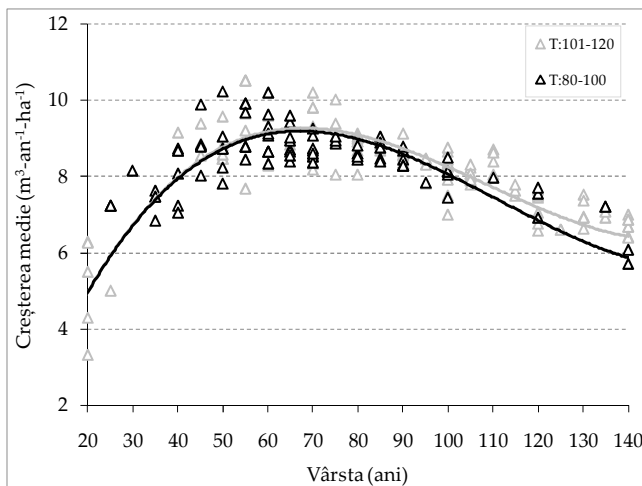
b)



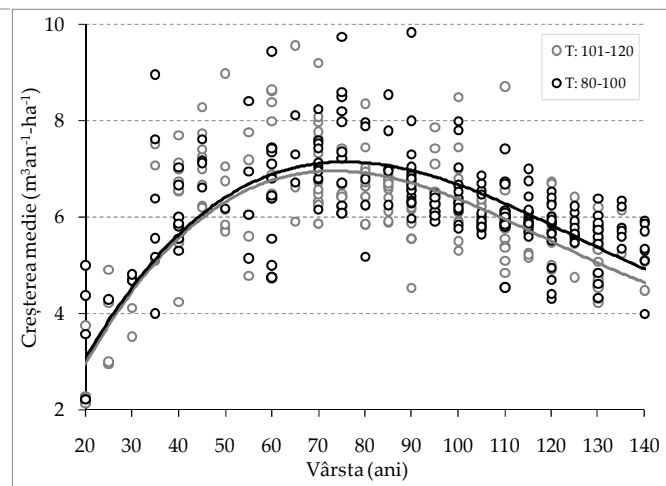
c)

Figura 35. Variația înălțimii dominante în raport cu diametrul la molid (d), brad (e), fag (f).

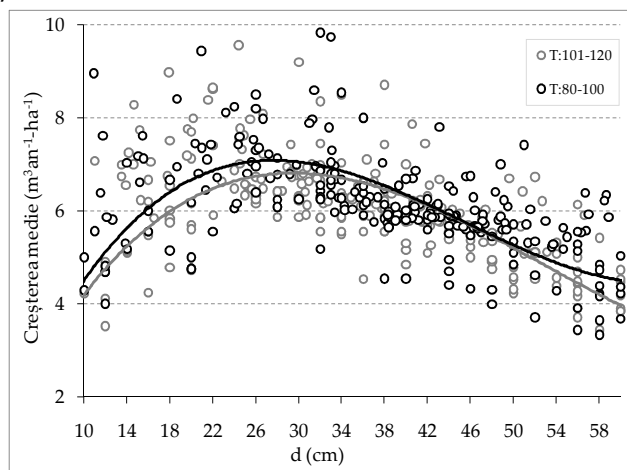
Creșterea medie a producției principale ale arboretelor în raport cu nivelul de troficitate al solurilor. Diferențele induse în mărirea creșterii medii, ca urmare a variației troficității solurilor, sunt, de asemenea, reduse (Figura 36).



a)



b)



c)

Figura 36. Variația creșterii medii a producției principale, în raport cu vârsta la brad (a), fag (b), molid (c) în arborete amestecate situate în stațiuni de bonitate superioară cu un nivel al troficității solurilor cuprins între 80 și 140.

Producția principală a arboretelor amestecate (volum pe picior), ca urmare a variației nivelului de troficitate al solurilor (T_{p2}) manifestă aceeași tendință ca și ceilalți indicatori. O îmbunătățire a acestuia contribuie la o ușoară majorare a volumului în cazul bradului și fagului (**Figura 37 a - c**). Pe solurile eutrofe cu nivel de troficitate cuprins între 101 – 120, prezintă la vârsta de 100 ani, pentru molid, o majorare de 56 m^3 (6,1%) și pentru fag o majorare de 34 m^3 (5,5%). Doar la brad, îmbunătățirea nivelului de troficitate al solurilor contribuie la îmbunătățirea producției cu 19 m^3 (+2,4%). După vârsta de 100 ani, o îmbunătățire a troficității solului contribuie la sporirea producției bradului. Astfel, la 140 ani (și la valori ale diametrului mediu de 54 cm) producția bradului înregistrează o majorare cu $+20 \text{ m}^3$ (2%).

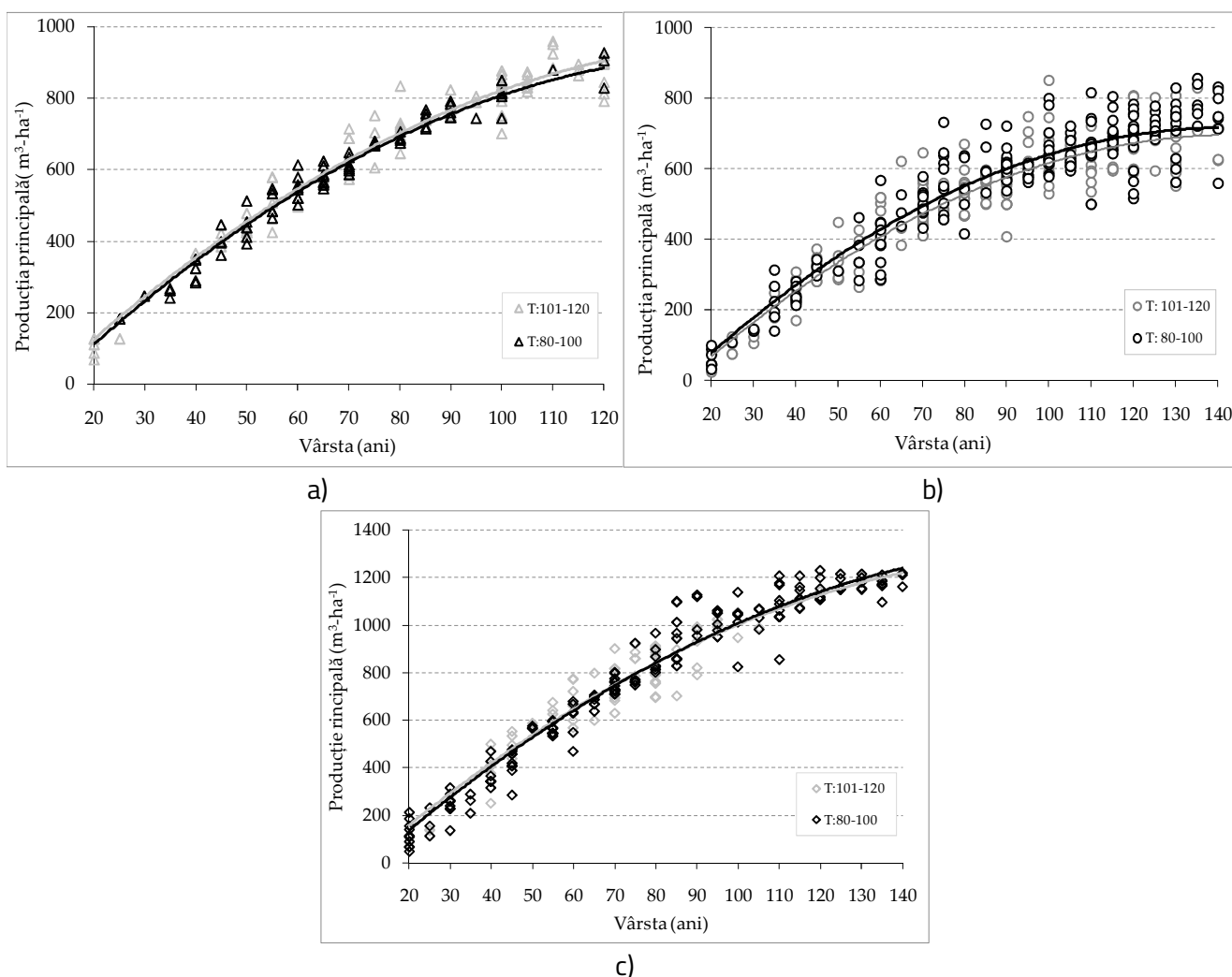


Figura 37. Variația producției principale a arboretelor amestecate în raport cu vârsta la brad (a), fag (b) și molid (c)

5.2.2.2 Precizia modelelor indicatorilor dendrometrici în diferite condiții de troficitate (T2: 80–120)

Troficitatea potențială a solurilor cuprinsă între 80 – 120 se reflectă asupra caracteristicilor dendrometrice (h_g , h_{dom} , V și lv) și implicit asupra modelelor pentru arboretele amestecate din zona cercetată. Modelele generate pentru indicatorii dendrometrici analizați explică între 72 și 98% din variația indicatorilor dendrometrici și sunt semnificative ($p < 0.05$). Valorile testului χ^2_{exp} arată că între valorile prezise de modele, în condiții diferite de troficitate (exprimate prin T cuprins între 81–100 și 101–120), nu sunt diferențe semnificative. De asemenea, testul F arată ca nivelul diferit al troficității solurilor (T) nu influențează valorile indicatorilor productivității analizați (h_g , h_{dom} , V și lv).

5.3 Țeluri de gospodărire pentru amestecuri de rășinoase cu fag situate în stațiuni de bonitate superioară

5.3.1 Diametrul țel

Diametrul țel este expresia capacității productive a speciei, care constituie un arboret căruia i s-a stabilit o anumită destinație, ca expresie a condițiilor staționale. El este un țel de gospodărire stabilit pe specii ținând seama de condițiile staționale și de funcțiile atribuite arboretelor.

În stațiuni de bonitate superioară din etajul amestecurilor de rășinoase cu fag, în amestecurile cercetate gospodărite în *codru regulat*, în vederea producerii de lemn pentru cherestea, molidul, bradul și fagul realizează în arborete exploatabile diametre cuprinse între 38–44 cm (**Figura 38**), iar pentru lemn de furnir diametre cuprinse între 42–52 cm. Sortimentele au diametre mai reduse pe măsură ce scade bonitatea stațiilor, de la 36 cm în stațiuni de bonitate mijlocie, la 20 cm pentru stațiuni de bonitate inferioară.

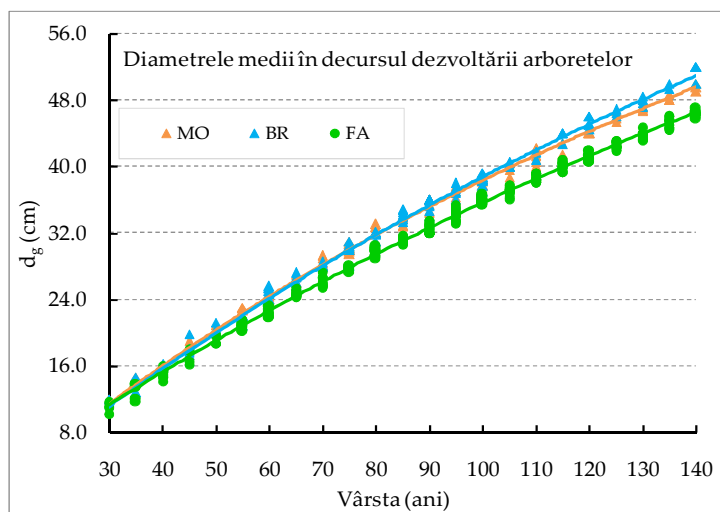


Figura 38. Raportul dintre diametrul mediu și vârsta arboretului. În decursul dezvoltării arboretelor amestecate, bradul și molidul realizează diametre superioare fagului

Vârstele la care se realizează aceste diametre sunt exprimate prin normele tehnice pentru amenajarea pădurilor ca vârste ale exploatabilității tehnice. Ele sunt diferențiate pe specii în raport cu condițiile staționale și exprimă momentul în care creșterea medie a sortimentelor stabilite ca țel este

maximă. După acest moment creşterea sortimentelor respective începe să scadă, existând riscul deteriorării lor după o anumită perioadă de timp. Aceasta depinde însă şi de speciile care alcătuiesc arboretele şi de condiţiile staţionale.

Ca bază de amenajare, exploatabilitatea unui arboret este condiţionată de staţiune. Exploatabilitatea se stabileşte în funcţie de ţelul de producţie şi indică vârsta la care creşterea sortimentului ţel este maximă. În cazul condiţiilor staţionale cercetate s-a determinat diametrul de bază şi diametrul la capătul subţire realizat de speciile care alcătuiesc amestecurile.

5.3.2 Condiţiile staţionale şi compoziţia-ţel a arboretelor

Compoziţia ţel a arboretelor este influenţată de condiţiile staţionale. Acestea sunt favorabile deopotrivă celor trei specii de amestec (molid, brad şi fag), dar proporţia lor este influenţată altitudinal (**Figura 40**). În cazul amestecurilor productivitatea lor creşte cu sporirea proporţiei răşinoaselor. Speciile existente favorizează realizarea unor structuri complexe şi se regenerează cu uşurinţă pe cale naturală.

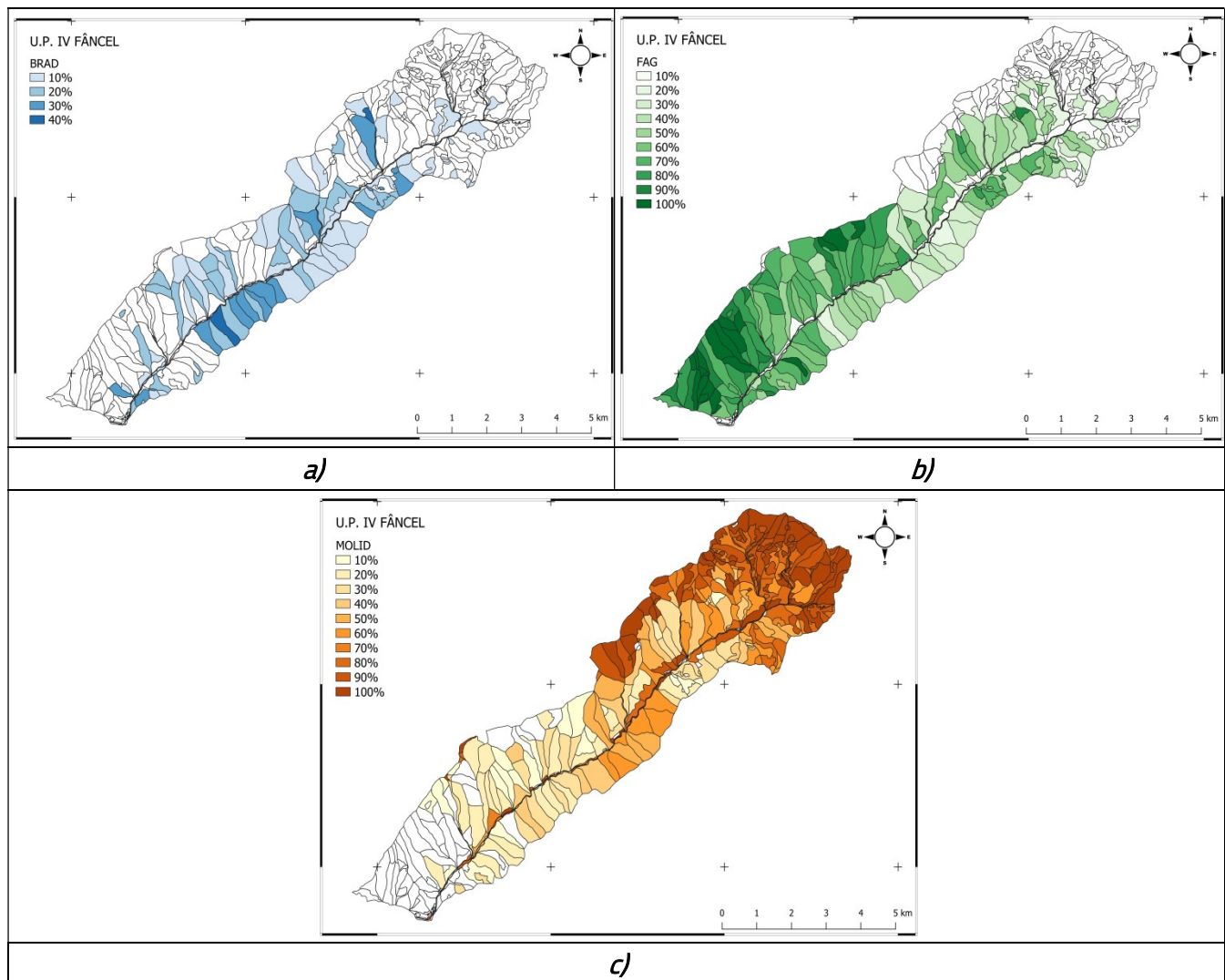


Figura 40. Răspândirea speciilor forestiere în cuprinsul unităţii de producţie (a) brad, (b) fag şi (c) molid şi variaţia compoziţiei în raport cu specia preponderentă la nivelul unităţilor amenajistice (d)



Compoziția arboretelor a fost analizată din punct de vedere al repartiției altitudinale, a repartiției speciei în suprafețele de probă amplasate, cât și la nivel de unitate de producție pe un anumit gradient altitudinal. În privința compoziției țel s-au analizat răspândirea naturală a speciilor din zona cercetată, caracteristicile dendrometrice ale speciilor în stațiunile identificate, precum și vitalitate speciilor și capacitatea lor de regenerare. La stabilirea ei trebuie avute în vedere următoarele:

- fagul își reduce proporția pe măsură ce crește altitudinea, de la 70-80% la altitudinea de 850 m, la 10-20% însoțit de alte foioase (PA, PAM, SR) la 1400 m;
- molidul poate fi introdus în amestec în proporție de 10-20 % începând de la altitudinea de 900 m, proporția lui urmând să crească treptat pe măsură ce crește altitudinea, ajungând la 1450 m la 90 - 100%; el poate fi însoțit de larice la altitudini în jur de 1400 m;
- bradul participă în amestecuri începând de la 850 m în proporție de 10-20%, atinge un maxim de 40-50% la 1100 m după care proporția lui scade treptat, ajungând la 10-20% la 1300 m altitudine.

Analiza compoziției la nivel de suprafață de probă, cât și asupra întregii unități de producție, în raport cu altitudinea, pentru speciile care alcătuiesc amestecurile a condus la compoziția țel cea mai favorabilă amestecurilor din zona cercetată. Astfel, în compoziția țel a amestecurilor, fagul deține cea mai mare pondere în arborete situate la altitudini de până la 1000 m (40-70%), molidul la peste 1300 m (55-90%), iar bradul la altitudini cuprinse între 1000 – 1300 m (**Tabelul 16**).

Tabelul 16. Compoziția arboretelor în raport cu troficitatea potențială, temperatura și precipitațiile pe gradient altitudinal

Altitudine (m)	Troficitatea	TP_1	TP_2	T (°C)	P (mm)	Compoziție suprafețe de probă (%)			Compoziție actuală (U.P.), (%)				Compoziție-țel (%)			
						FA	BR	MO	FA	BR	MO	DT	FA	BR	MO	DT
850	eutrofice	124.95	123.7	5.7	677	60.5	27.4	12.1	74.3	3.9	12.2	9.6	70	10	5	15
950		114.45	114.1	5.3	690	56.3	30.1	13.6	62.8	13.8	19.2	4.2	60	20	10	10
1050		103.95	104.5	4.9	701	52.6	30.0	17.4	51.9	8.5	35.5	4.1	40	35	15	10
1150		93.45	94.9	4.5	710	47.3	21.0	31.7	53.4	8.4	36.4	1.8	30	40	20	10
1250		82.95	85.3	4.1	718	39.1	16.7	44.2	39.3	6.1	52.8	1.8	25	35	30	10
1350	mezotrofice	72.45	75.7	3.7	724	26.0	7.4	66.6	13.6	5.5	76.9	4.0	15	20	55	10
1450		61.95	66.1	3.2	729	-	-	-	8.0	4.0	84.0	4.0	5	10	75	10
1550		51.45	56.5	2.9	733	-	-	-	1.0	2.0	92.0	5.0	-	-	90	10

*DT: ULM, FR, PA, PAM, ME, SR

Rezultă că, dintre condițiile staționale, altitudinea este factorul principal care condiționează distribuția speciilor. Astfel, speciile se pot asocia în amestecuri a căror productivitate diferă în raport cu proporția de participare a rășinoaselor. Productivitatea amestecurilor poate fi exprimată prin indicatori precum producția principală și creșterea medie a producției principale.

5.3.3 Structura arboretelor din etajul amestecurilor de fag cu rășinoase



5.3.3.1 Fundamente staţionale şi structurale ale arboretelor amestecate pentru realizarea ţelurilor de gospodărire

În condiţiile staţionale specifice amestecurilor din zona cercetată, parametrii biometrici care caracterizează structura arboretelor au evidenţiat diferenţe reduse între caracteristicile dendrometrice ale arborilor din arboretele amestecate comparativ cu cele din arboretele pure. Pentru optimizarea structurii amestecurilor trebuie avute în vedere următoarele:

- *Compoziţia ţel a arboretelor* este influenţată semnificativ de condiţiile staţionale. Acestea sunt favorabile deopotrivă celor trei specii de amestec (molid, brad şi fag). Proporţia speciilor influenţează cantitativ productivitatea arboretelor, ştiut fiind faptul că răşinoasele sunt cele mai productive. În acelaşi timp şi la nivelul fiecărei specii, productivitatea ei sporeşte pe măsură ce creşte proporţia speciei respective, cum este, de exemplu, fagul. Acesta contribuie şi la creşterea stabilităţii amestecurilor.
- *Dimensiunile arborilor la exploatabilitate* în cazul arboretelor gospodărite în codru regulat cercetate, pentru care se stabilesc ţeluri de producţie – lemn pentru cherestea – sunt apropiate de cele specifice arboretelor pure, pentru fag, molid şi brad fiind de 38, 42 şi 44 cm, respectiv lemn cu diametrul la capătul subţire mai mare de 24 cm. Pentru lemn pentru furnire se pot stabili diametre cuprinse între 42 – 52 cm.
- *Structura pe verticală* caracteristică amestecurilor este cea multietajată sau de tip pluriene. În structurile cercetate se remarcă totuşi tendinţa fagului de a forma un al doilea etaj şi capacitatea lui de regenerare mai mare comparativ cu al celorlalte specii din amestec. Astfel de structuri pot fi realizate prin tratamente cu perioade lungi de regenerare specifice tratamentului tăierilor cvasigrădinărite şi prin cel al codrului grădinărit. Aceste structuri se caracterizează prin prezenţa mai multor generaţii de arbori de diferite dimensiuni, în număr mai mare în categoriile mici de diametre (Paragraful 7.3.4).

Rezultă că, condiţiile staţionale din zona studiată sunt favorabile arboretelor amestecate sub raportul vârstei şi etajării pe verticală, cu structuri relativ-echiene şi relativ pluriene. Amestecurile relativ echiene provin în urma modului de gospodărire aplicat. În general, în amestecuri, tăierile de regenerare se aplică pe perioade de 30-40 de ani. Chiar şi în cazul în care tratamentele se aplică pe perioade de 20 de ani, în arborete există deja seminţiş instalat, astfel că la finele aplicării tratamentelor, în arborete se pot individualiza generaţii de arbori. Arboretele amestecate cercetate formează următoarele tipuri de structuri:

- 🌲 Structuri relativ pluriene cu arbori preexistenţi, provenite în urma aplicării de tratamente cu perioadă lungă de regenerare, care au favorizat mai mult regenerarea fagului. În general în amestecuri se manifestă tendinţa acestuia de a-şi mări proporţia prin tăierile de regenerare aplicate. De asemenea, în arboretele mature în golurile create fie prin intervenţiile aplicate sau prin doborâturile de vânt, fagul se regenerează abundent şi are tendinţa de a forma un al doilea etaj (**Figura 42, S_1 şi S_2**).
- 🌲 Structuri care prezintă o mare amplitudine de variaţie a diametrelor arborilor în cadrul speciilor de amestec, cuprinsă între 0.5 şi 1.8 d_g (**Figura 42, S_3 şi S_4**). În cadrul acestor structuri se pot individualiza două generaţii de arbori. În aceste amestecuri, în tinereţe, molidul este avantajat şi poate realiza înălţimi mai mari decât în arboretele pure, dar pe măsură ce se apropie de vârsta exploatabilităţii diferenţa de înălţime dintre cele două arborete (amestecat şi pur) dispare.

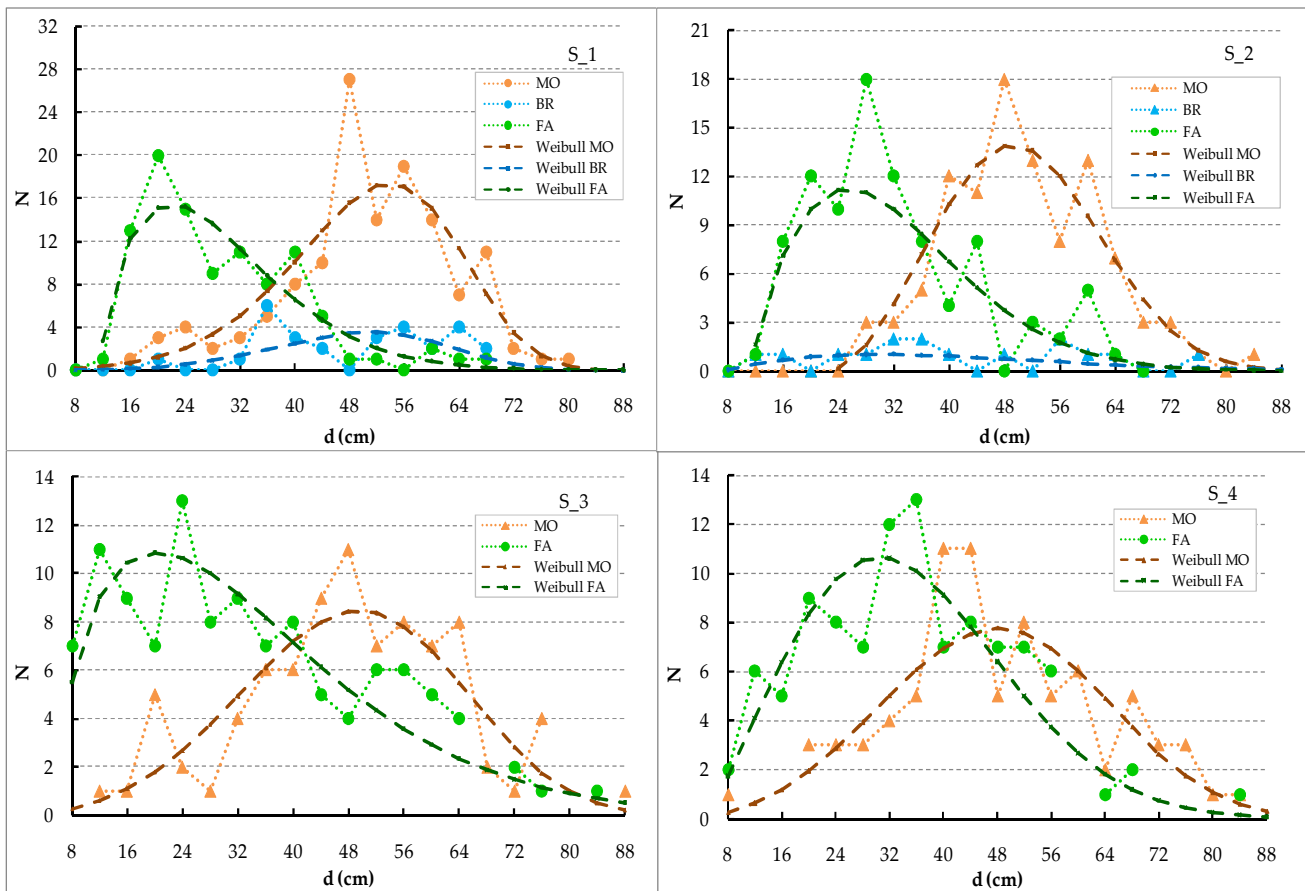


Figura 42. Tipuri de structură a arboretelor de amestec de răşinoase cu fag din zona studiată. Rezultatele provin din inventarierea unei suprafeţe cuprinsă între 1.0 și 1.5 ha în fiecare arboret. Arboretele respective au fost parcurse cu tăieri de regenerare și tăieri de produse accidentale. Pentru modelarea distribuțiilor experimentale, indicatorii statistici indică mai multe funcții. Dintre acestea s-a generalizat funcția Weibull întrucât a fost recomandată în majoritatea structurilor analizate.

5.3.3.2 Testarea distribuțiilor experimentale și teoretice

Testarea semnificației distribuțiilor experimentale și teoretice în arborete amestecate de molid, brad și fag s-a realizat la nivelul fiecărei specii. Pentru ajustarea distribuției experimentale caracteristice arboretelor amestecate s-au încercat mai multe funcții de frecvență (Beta, Gamma (3P) Lognormal (3P) și Weibull (3P)). În general funcția Weibull (3P) este cea mai flexibilă și cea mai potrivită pentru modelarea structurii arboretelor amestecate analizate. Aceasta au arătat și testele statistice de conformitate aplicate (Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling și Criteriul χ^2). Diferențele semnificative în cazul unor distribuții experimentale se explică prin frecvența redusă a numărului de arbori pe categorii de diametre în cadrul speciilor, ca urmare a intervențiilor silvotehnice aplicate.



5.3.3.3 Modele structurale pentru amestecuri situate în stațiuni de bonitate superioară

În cuprinsul unității de producție, în cadrul amestecurilor de rășinoase cu fag, arborele au diferite structuri ce se diferențiază în raport cu măsurile de gospodărire care au fost aplicate, dar și ca urmare a dezvoltării în timp a arboretelor. Sunt și arborete în care structurile se aseamănă cu cele regulate sau arborete în care, pe categorii de diametre, arborii sunt dispuși în proporții apropiate, fără a se delimita clar structurile respective ca fiind de tip regulat sau plurien, ci doar ca structuri neregulate.

Varietatea structurilor este dată și de participarea speciilor care alcătuiesc arboretele, acestea având temperament diferit și un mod de creștere și dezvoltare aparte. S-au modelat mai multe structuri reale și pentru fiecare s-au creat modele pe specii, pentru care s-au stabilit principalii parametrii structurali la hectarul de pădure (volumul producției principale (V), suprafața de bază (G), număr de arbori (N)). În **Figura 44** se prezintă doar modele pentru structura cel mai des întâlnită.

Model_3.

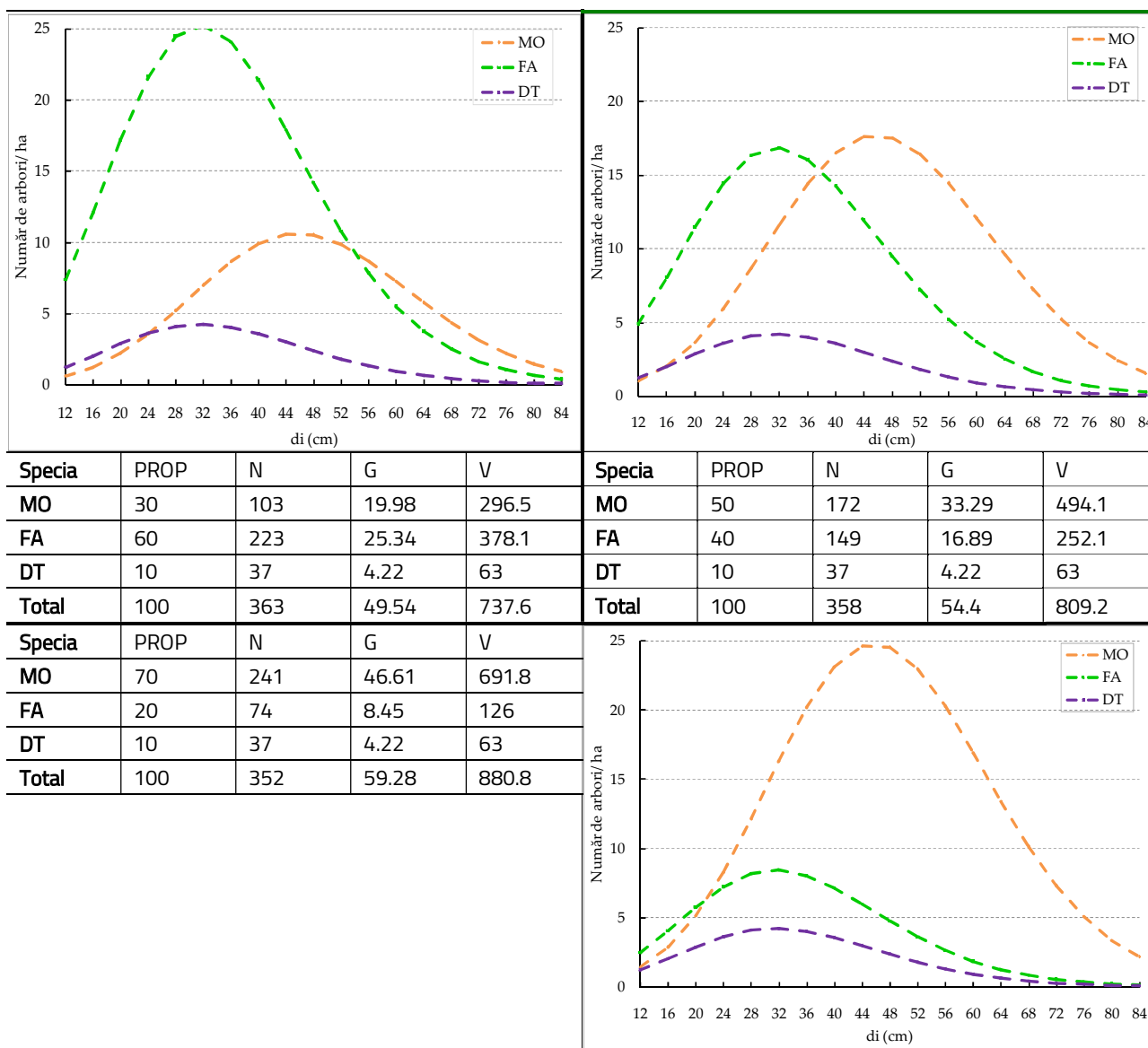




Figura 44. Modelarea structurii arboretelor amestecate în raport cu proporția de participare a speciilor. În tabel sunt indicați principalii parametri (N , G și V) în raport cu proporția de participare a speciilor pentru valori ale diametrului. În grafice este reprezentată distribuția normală a numărului de arbori din amestec, pe specii.

6. Concluzii

6.1. Concluzii finale

Obiectiv 1:

- ☛ Humusul este de tip mull andic și mull-moder andic și conține frecvent o cantitate de substanță organică în jur de 10% (2-30%). Cele mai mari valori prezintă orizontul A (8-30%). Acestea scad pe profil, în orizontul B fiind cuprinse între 2 și 10%.
- ☛ Valoarea humusului poate fi determinată la nivelul fiecărui orizont și indirect prin intermediul celorlalte însușiri ale solului, determinate prin analiza de laborator (N , pH , S_B , S_H , T , V), cu ajutorul relației: ($H = 10.122N - 1.112pH - 0.811S_B + 0.057S_H + 0.628T + 0.255V - 9.937$).
- ☛ Troficitatea potențială poate fi exprimată printr-un indice edafic (I_e) specific arboretelor amestecate de rășinoase cu fag din zona cercetată, potrivit relației ($I_e = \sqrt[3]{H * N * pH * S_B * S_H}$). Acesta caracterizează solurile din etajul fitoclimatic al amestecurilor ca fiind mezotrofice și eutrofice.
- ☛ Troficitatea potențială a solului a fost determinată la nivelul fiecărui orizont, potrivit regresiei multiple ($T_{p2} = 6.978H + 3.147V - 127.49$). Indicii asupra troficității potențiale se pot deduce și doar din valorile procentului de humus din orizontul Ao ($T_{p3} = 7.779x - 11.06$).

Obiectiv 2:

- ☛ La nivelul orizontului A, altitudinea explică 39% din variația humusului, 36% din variația azotului, 50% din variația capacității totale de schimb cationic, 26% din variația sumei bazelor de schimb, 35% din variația gradului de saturație în baze și 62% din variația pH -lui.
- ☛ Proprietățile chimice ale solului, cu excepția sumei hidrogenilor schimbabili, sunt influențate negativ de către altitudine. Relația dintre proprietățile chimice ale solurilor și altitudine a fost evidențiată printr-un model, determinat prin regresie multiplă, care explică 79% din variația valorilor proprietăților în raport cu altitudinea.
- ☛ Cele mai mici valori în raport cu altitudinea s-au determinat în cazul gradului de saturație în baze, acesta prezentând valori medii cuprinse între 47-55%. Aceasta se explică prin creșterea SH ca urmare a intensificării proceselor de acidificare pe măsură ce crește altitudinea. SH are valori de la 10 me/100g. sol (altitudine 750 m) la 22 me/100g. sol (altitudine 1500 m).

Obiectiv 3:

🌲 Bonitatea staţiunilor a fost evidenţiată prin principalele caracteristici dendrometrice ale arboretelor amestecate de răşinoase cu fag, cum sunt: h_g , h_{dom} , Rhd_g , Rhg_g , V şi lv , în raport cu diametrul sau înălţimea.

🌲 Valorile înălţimii medii la vârsta de 100 ani în arborete amestecate sunt mai mici cu 4,9% la molid, 3,5% la brad şi 11,5% la fag şi ale înălţimii dominante mai mici cu 3,9% la molid, 0,6% la brad şi 8,6% la fag comparativ cu arboretele pure.

🌲 Producţia principală în amestecuri, la vârsta de referinţă de 100 de ani este mai mare cu 3.1% (936 m^3 comparativ cu 907 m^3) la molid, 7.4% (660 m^3 comparativ cu 611 m^3) la fag şi de 3.1% (808 m^3 comparativ cu 783 m^3) la brad, comparativ cu arboretele pure.

🌲 Maximul creşterii medii în arboretele amestecate cercetate se realizează la vârste în jur de 65–70 de ani şi prezintă valori de 10.6 $m^3an^{-1}ha^{-1}$ la molid, 9.2 la brad şi 7.4 la fag. În arborete pure de molid situate în staţiuni de bonitate superioară (clasa a doua de producţie) este de 10.3 $m^3an^{-1}ha^{-1}$ (la 55 – 60 de ani), de 8.3 (la 65 – 70 de ani) în arborete pure de brad şi de 6.4 în arborete pure de fag (la 60 – 70 de ani).

🌲 Producţia principală a fost stabilă în raport cu vârsta, diametrul, înălţimea medie şi înălţimea dominantă.

🌲 Indicatorii prognozaţi de modele pentru specii individuale se pot folosi pentru estimarea productivităţii arboretelor amestecate de diferite compoziţii şi densităţi, deoarece valorile indicate de modele pentru speciile individuale încorporează influenţa unui amestec de specii.

Obiectiv 4:

🌲 Producţia principală pe solurile eutrofe cu nivel de troficitate cuprins între 101 – 120 prezintă la vârsta de 100 ani, pentru molid, o majorare de (6,1%) şi pentru fag o majorare de (5,5%). Doar la brad, îmbunătăţirea nivelului de troficitate al solurilor contribuie la îmbunătăţirea producţiei cu (+2,4%).

🌲 Cu toate că mici diferenţe între valorile indicatorilor există, testele statistice aplicate (F şi χ^2), pentru $p < 0.05\%$, nu indică diferenţe semnificative între cele două niveluri de troficitate. În aceleaşi condiţii de troficitate a solurilor, diferenţele de productivitate se pot explica prin variaţia condiţiilor de structură a arboretelor, dar şi a climatului local.

🌲 Creşterea productivităţii arboretelor amestecate este determinată de efectul creşterii densităţii. Efectul densităţii poate fi influenţat de staţiune şi depinde în principal de complementaritatea structurală a speciilor.

Obiectiv 5:

🌲 În vederea producerii de lemn pentru cherestea gospodărit în *codru regulat*, molidul, bradul şi fagul realizează în arborete exploatabile diametre cuprinse între 38–44 cm, iar pentru lemn de furnir diametre cuprinse între 42–52 cm.

🌲 În cazul staţiunii analizate s-a determinat pe specii la vârsta exploatabilităţii tehnice diametrul la capătul subţire în raport cu vârsta. Astfel, speciile analizate în arborete amestecate realizează diametre la capătul subţire între 28 – 36 cm.



🌲 Pentru stabilirea compoziției arboretelor amestecate din zona cercetată trebuie avute în vedere următoarele:

- fagul își reduce proporția pe măsură ce crește altitudinea, de la 70-80% la altitudinea de 850 m, la 10-20% însoțit de alte foioase (PA, PAM, SR) la 1400 m;
- molidul poate fi introdus în amestec în proporție de 10-20 % începând de la altitudinea de 900 m, proporția lui urmând să crească treptat pe măsură ce crește altitudinea, ajungând la 1450 m la 90 -100%; el poate fi însoțit de larice la altitudini în jur de 1400 m;
- bradul participă în amestecuri începând de la 850 m în proporție de 10-20%, atinge un maxim de 40-50% la 1100 m, după care proporția lui scade treptat, ajungând la 10-20% la 1300 m altitudine.

🌲 S-au modelat mai multe structuri reale și pentru fiecare s-au creat modele pe specii, pentru care s-au stabilit principalii parametri structurali la hectarul de pădure (volumul producției principale (V), suprafața de bază (G), număr de arbori (N)).

🌲 Pornind de la starea reală a arboretelor și de la însușirile stațiunilor, se pot stabili modele de structuri care să răspundă exigențelor funcțiilor atribuite arboretelor și să le satisfacă cu continuitate.

6.2 Contribuții personale

Principalele contribuții personale și științifice sunt prezente în următoarele:

- 🌲 S-a determinat troficitatea potențială printr-un indice edafic. Troficitatea potențială s-a mai stabilit prin regresii liniare simple (prin intermediul humusului în orizontul A) sau multiple (prin folosirea humusului și a gradului de saturație în baze).
- 🌲 S-a fundamentat o ecuație prin intermediul căreia se poate determina valoarea humusului la nivelul fiecărui orizont și indirect prin intermediul celorlalte însușiri ale solului (N, pH, SB, SH, T, V).
- 🌲 S-au analizat principalele caracteristici dendrometrice (h_g , h_{dom} , Rh_d , Rh_g , V, I_v) în arborete amestecate în raport cu vârsta și diametrul. Pentru specii individuale, precum și pentru diferite amestecuri, s-au determinat principalii parametri statistici ai modelelor arboretelor amestecate;
- 🌲 S-au realizat diferite modele pentru arborete amestecate pe baza caracteristicilor structurale reale ale arboretelor amestecate pe specii, aceste modele putând fi utilizate în gospodărirea pădurilor în zona cercetată.

6.3 Diseminarea rezultatelor

6.3.1 Rezultate produse în cadrul tezei de doctorat

A. Lucrări publicate în reviste BDI

- **Cicșa, A.**, Tudoran, G.M., Boroeanu, M., Dobre, A.C., & Spârchez, G. (2021). Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag. *Revista pădurilor*. 136 (3) 25-40.

- **Cicşa, A.**, Tudoran, G.M., Boroeanu, M., Dobre, A.C., & Spârchez, G. (2021). Influenţa altitudinii asupra proprietăţilor fizico-chimice ale solurilor din amestecuri de fag cu răşinoase. *Revista pădurilor*. **136 (4) 1-14**.
- **Cicşa, A.**, Tudoran, G. M., Boroeanu, M., Dobre, A. C., & Sparchez, G. (2021). Influence of soil genesis factors on Gurghiu Mountain forest soils' physical and chemical properties. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 1-14.

B. Lucrări publicate în jurnale indexate de Clarivate Analytics (fostul ISI Web of Science)

- **Cicşa, 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**.

6.3.2 Rezultate produse prin participarea în echipe de cercetare externe sferei de doctorat

A. Lucrări publicate în reviste BDI

- **Cicşa, A.**, Comanici, R., Cătălin, C., Corâiu, F., Jitaru, P., Algasovschi, M., & Lazăr, G. (2019). Păduri virgine și arbori monumentali din Ocolul Silvic Făgăraş. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, **24(44), 60-67**.
- Comanici, R., **Cicşa, A.**, Vlad, G.; Miloş, D., Timofte, I., Babin, D., Chirca, D., Banu, B., Comanici, A., Cătălin, C., Corâiu, F., Neculoiu, C., Panaite., & M., Lazăr, G. (2020). Plante și habitate forestiere rare din Ocolul Silvic Crucea (Direcția silvică Suceava). *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, **25 (46), 61-69**.
- Vlad, G., Jitaru, P., Algasovschi, M., Fazakas, D., Comanici, R., **Cicşa, A.**, Banu, B., Miloş, D., & Lazăr, G. (2020). Câteva posibilități simple pentru obținerea unor date de teren îmbunătățite în cadrul lucrărilor de amenajarea pădurilor. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, **25(47) 61-66**.
- Banu, B., Jitaru, P., Algasovschi, M., Fazakas, D., Comanici, R., **Cicşa, A.**, Vlad, G., Miloş, D., & Lazăr, G. (2020). Specia *Myosotis discolor* pers. (*Boraginaceae*) identificată pentru prima oară în județul Braşov. *Revista pădurilor*. **136 (2) 23-30**.
- Dobre, A.C., Pascu, I, S., Tudoran, G.M., **Cicşa A.**, Colţoiu, A., Mihai, D., Leca, Ş., Apostol E., Chivulescu, Ş., Duro, J.G., & Badea, O.(2021). Aspecte metodologice cu privire la evaluarea serviciilor ecosistemice dintr-un Sit de Importanță Comunitară (SCI) - SIT Natura 2000. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*.**26 (48) 103-108**.
- Dobre, A.C., Pascu, I, S., Tudoran, G.M., **Cicşa A.**, Colţoiu, A., Mihai, D., Leca, Ş., Apostol E., Chivulescu, Ş., Duro, J.G., & Badea, O.(2021). Metode de evaluare a serviciilor ecosistemice din cadrul Parcului Natural Bucegi. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*.**26 (49) 56-64**.

B. Lucrări publicate în jurnale indexate de Clarivate Analytics (fostul ISI Web of Science)

- **Cicşa, A.**, Tudoran, G. M., Dobre, A. C., Mihăilă, V. V., Mihai, R.G., Margalinescu, A. M., Farcaş, C.Ş., Comăniță, I., & Boroeanu M. (2019). Structure models for beech-conifers stands with protective functions. *Forest and sustainable development*, **93**.



- Tudoran, G.M., Dobre, A.C., **Cicşa, 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.
- Tudoran, G.M., **Cicşa, A.**, Ciceu, A., & Dobre, A.-C. (2021). Growth relationships in silver fir stands at their lower-altitude limit in Romania. *Forests*, **12(4)**, 439.
- Tudoran, G.M., **Cicşa, A.**, Ciceu, 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.

6.4 Direcții viitoare de cercetare

- ❖ Determinarea și a altor indicatori biometrici care reflectă bonitatea stațională precum și modul în care aceste elemente staționale se reflectă în productivitatea arboretelor;
- ❖ Realizarea de modele structurale optime pentru arborete amestecate de rășinoase cu fag, în vederea exercitării funcțiilor atribuite pe baza amenajamentelor, precum și a altor țeluri de gospodărire;
- ❖ Stabilirea de diametre limită în funcție de structura arboretelor și de funcțiile pe care le exercită arboretele amestecate;
- ❖ Analiza comparativă a arboretelor amestecate pe stadii de dezvoltare în funcție de proporția de participare a speciei în amestec.

7. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ:

1. Abrudan I.V. (1998). Cercetări ecologice și silvoproductive privind amestecurile naturale de rășinoase cu fag din bazinul superior al Văii Drăganului (nord-vestul României). Rezumatul tezei de doctorat. Universitatea Transilvania, Braşov, RO.
2. Ammer, C. (2016). Unraveling the importance of inter-and intraspecific competition for the adaptation of forests to climate change. In *Progress in Botany Vol. 78*(pp. 345-367). Springer, Cham.
3. Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D., & Rothe, A. (2002). Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of forest science*, **59(3)**, 233-253.
4. Bayranvand M, Akbarinia M, Salehi Jouzani G, Gharechahi J, Alberti G (2021). Dynamics of humus forms and soil characteristics along a forest altitudinal gradient in Hyrcanian forest. *iForest*, **14**, 26-33.
5. Beldie, Al.; Chiriță, C. *Flora indicatoare din pădurile noastre*. Editura Agro-Silvică. București, 1960.
6. Berrill, J. P., & 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(1)**, 92-100.
7. Bohn, F. J., May, F., & Huth, A. (2018). Species composition and forest structure explain the temperature sensitivity patterns of productivity in temperate forests. *Biogeosciences*, **15(6)**, 1795-1813.
8. 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. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, (2).

9. Charan, G., Bharti, V. K., Jadhav, S. E., Kumar, S., Acharya, S., Kumar, P., & Srivastava, R. B. (2013). Altitudinal variations in soil physico-chemical properties at cold desert high altitude. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(2), 267-277.
10. Chiriță, C. D., Tufescu, V., Belide, Al., Ceuca, G., Haring, P., Stănescu, V., Toma, G., Tomescu A. & Vlad I. (1964). *Fundamentele naturalistice și metodologice ale tipologiei și cartării staționale forestiere*. București: Editura Academiei Republicii Populare Române.
11. Chiriță, C., Vlad, I., Păunescu, C., Pătrășcoiu, N., Roșu, C. & Iancu, I. (1977). *Stațiuni forestiere*. București: Editura Academiei Republicii Socialiste România.
12. **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, (a).
13. **Cicșa, A.**, Tudoran, G. M., Boroeanu, M., Dobre, A. C. & Spârchez, G., (2021). Indicatori ai productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag. *Revista Pădurilor*, 136(3), 25-40, (b).
14. **Cicșa, A.**, Tudoran, G. M., Boroeanu, M., Dobre, A. C. & Spârchez, G., (2021). Influența altitudinii asupra proprietăților fizico-chimice ale solurilor din amestecuri de fag cu rășinoase. *Revista Pădurilor*, 136(4), 1-14, (c).
15. **Cicșa, A.**, Tudoran, G. M., Boroeanu, M., Dobre, A. C., & Spârchez, G. (2021). Influence of Soil Genesis Factors on Gurghiu Mountain Forest Soils' Physical and Chemical Properties. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 1-14, (d).
16. Cicșa, A. (2021). Amenajamentul U.P. IV Fâncel – O.S. Fâncel I.N.C.D.S. „Marin Drăcea” (e).
17. **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. In *Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and Sustainable Development, 8th Edition*, Braşov, Romania, 25th - 27th of October.
18. Dănescu, A., Albrecht, A. T., & Bauhus, J. (2016). Structural diversity promotes productivity of mixed, uneven-aged forests in south western Germany. *Oecologia*, 182(2), 319-333.
19. Decei, I. & Armășescu, S. (1977). În legătură cu înălțimea superioară ca indicator al bonității stațiunii. *Revista Pădurilor*. Nr. 3, p.160 -162
20. Del Río, M., Pretzsch, H., Alberdi, I., Bielak, K., Bravo, F., Brunner, A., & Bravo-Oviedo, A. (2016). Characterization of the structure, dynamics, and productivity of mixed-species stands: review and perspectives. *European Journal of Forest Research*, 135(1), 23-49.
21. Dincă, L. C., Spârchez, G., Dincă, M., & Blujdea, V. N. (2012). Organic carbon concentrations and stocks in Romanian mineral forest soils. *Annals of Forest Research*, 55(2), 229-241.
22. Fajardo, A., & McIntire, E. J. (2007). Distinguishing microsite and competition processes in tree growth dynamics: an a priori spatial modeling approach. *The American Naturalist*, 169(5), 647-661.



23. 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.
24. Fu, L., Sharma, R. P., Zhu, G., Li, H., Hong, L., Guo, H., & Tang, S. (2017). A basal area increment-based approach of site productivity evaluation for multi-aged and mixed forests. *Forests*, 8(4), 119.
25. Giurgiu, V. (1979). *Dendrometrie și auxologie forestieră*. Editura Ceres București.
26. Hilmers, T., Avdagić, A., Bartkowicz, L., Bielak, K., Binder, F., Bončina, A., & Pretzsch, H. (2019). The productivity of mixed mountain forests comprised of *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, and *Abies alba* across Europe. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 92(5), 512-522.
27. 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).
28. Jakab, S., Fazakas, C., & Füleky, G. (2011). Andosols of the East Carpathian volcanic range. *Acta Univ Sapientiae Agric Environ*, 3, 110-21.
29. Jensen, J. K., Rasmussen, L. H., Raulund-Rasmussen, K., & Borggaard, O. K. (2008). Influence of soil properties on the growth of sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) in Denmark. *European Journal of Forest Research*, 127(4), 263-274.
30. 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(3), 325-342.
31. Kobal, M., Grčman, H., Zupan, M., Levanič, T., Simončič, 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.
32. Leahu, I. (2001). *Amenajarea pădurilor*. București: Editura Didactică și Pedagogică.
33. Liang, J., Crowther, T. W., Picard, N., Wiser, S., Zhou, M., Alberti, G., Reich, P. B. 2016. *Positive biodiversity- productivity relationship predominant in global forests*. *Science*, 354, 1-12.
34. Mihai, R. G., Mihăilă, V. V., Cicșa, A., Dobre, A. C., & Tudoran, G. M. (2017). Features of the structure of sessile oak stands located at the superior range border. In *Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Braşov, 7-8th October 2016* (pp. 79-86). Transilvania University Press.
35. Phillips, J. D., & Marion, D. A. (2005). Biomechanical effects, lithological variations, and local pedodiversity in some forest soils of Arkansas. *Geoderma*, 124(1-2), 73-89.
36. Pretzsch, H. (2013). Facilitation and competition in mixed-species forests analyzed along an ecological gradient. *Nova Acta Leopoldina*, 114(391), 159-174.
37. 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: An International Journal of Forest Research*, 88(4), 407-428.



38. Rucăreanu, N., (1962). *Amenajarea pădurilor*, Editura Agro-Silvică, Bucureşti.
39. Rucăreanu, N., & Leahu, I. (1982). *Amenajarea pădurilor*, Editura Ceres, Bucureşti.
40. 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(6), 1106-1117.
41. Schmidt, M., Veldkamp, E., & Corre, M. D. (2015). Tree species diversity effects on productivity, soil nutrient availability and nutrient response efficiency in a temperate deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 338, 114-123.
42. Seceleanu I., (2012). *Amenajarea pădurilor. Organizare și conducere structural*. Editura Ceres, Bucureşti, p. 96.
43. Seynave, I., Gégout, J. C., Hervé, J. C., Dhôte, J. F., Drapier, J., Bruno, É., & Dumé, G. (2005). Picea abies site index prediction by environmental factors and understorey vegetation: a two-scale approach based on survey databases. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(7), 1669-1678.
44. Skovsgaard, J. A., & Vanclay, J. K. (2008). Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 81(1), 13-31.
45. Skovsgaard, J. P., & Vanclay, J. K. (2013). Forest site productivity: a review of spatial and temporal variability in natural site conditions. *Forestry*, 86(3), 305-315.
46. Socha, J., & Tyimińska-Czabańska, L. (2019). A Method for the Development of Dynamic Site Index Models Using Height–Age Data from Temporal Sample Plots. *Forests*, 10(7), 542.
47. Spârchez, G. (2009). *Cartarea și bonitarea terenurilor agricole și silvice*. Tipografia Universității, Braşov.
48. Spârchez, Gh., Târziu, & D., Dincă, L., (2011). *Pedologie*. Editura Lux Libris, Braşov.
49. Spârchez, G., Dincă, L. C., Marin, G., Dincă, M., & Enescu, R. E. (2018). Variation of eutric cambisols' chemical properties based on altitudinal and geomorphologic zoning. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 16(12).
50. Târziu, D., & Spârchez Gh. (2013). *Soluri și Stațiuni Forestiere*. Braşov: Editura Universității Transilvania din Braşov 257 p.
51. Torresan, C., del Río, M., Hilmers, T., Notarangelo, M., Bielak, K., Binder, F., & Pretzsch, H. (2020). Importance of tree species size dominance and heterogeneity on the productivity of spruce-fir-beech mountain forest stands in Europe. *Forest Ecology and Management*, 457, 117716.
52. Tudoran, G. M. (2013). Regulations regarding the management of forests included in natural protected areas. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II*, 6(1), 33.
53. Tudoran, M. G. (2016). Implications of the new Romanian Forest Code in the forest management planning. *Revista Pădurilor*, 131(1/2), 29-35.
54. 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.



55. Tudoran, G.M., Dobre, A.C., **Cicşa, 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 (a).
56. Tudoran, G. M., **Cicşa, A.**, Boroeanu, M., Dobre, A. C., & Pascu, I. S. (2021). Forest Dynamics after Five Decades of Management in the Romanian Carpathians. *Forests*, **12(6)**, (b).
57. Tudoran, G. M., **Cicşa, A.**, Ciceu, A., & Dobre, A. C. (2021). Growth Relationships in Silver Fir Stands at Their Lower-Altitude Limit in Romania. *Forests*, **12(4)**, 439 (c).
58. Wu, W., Wang, Z., & Liu, H. (2011). Effect of resolution of digital elevation models on soil-landscape correlations in hilly areas. *Better Crops*, **1**, 25-27.
59. Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J.F., Sartori, G., De Waal, R., Van Delft, B., Graefe, U., Cools, N., Katzensteiner, K., Hager, H., & Englisch, M. (2011). A European morpho - functional classification of schelet humus forms. *Geoderma* 164: 138-14.
60. Zeller, L., & Pretzsch, H. (2019). Effect of forest structure on stand productivity in Central European forests depends on developmental stage and tree species diversity. *Forest Ecology and Management*, **434**, 193-204.
61. <https://www.worldclim.org/>

8 Anexe

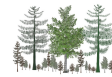
8.1 Anexa 1 –Buletin de analiză a probelor (extras)

8.2 Anexa 2– Analiza caracteristicilor biometrice ale arboretelor

8.2 Anexa 3– Analiza structurii arboretelor

8.4 Anexa 4 – Rezumat

Acest studiu evidențiază posibilitatea de a estima bonitatea stațiunilor montane de amestec, atât pe cale directă, cât și pe cale indirectă prin intermediul unor caracteristici dendrometrice ale arborilor și arboretelor, care la rândul lor se reflectă în modul de gospodărire. Regiunea montană analizată oferă condiții favorabile pentru formarea și dezvoltarea arboretelor amestecate de rășinoase cu fag cu structuri complexe. Scopul acestei cercetări a fost analiza condițiilor staționale, din care să rezulte influența exercitată asupra caracteristicilor structurale și productivității arboretelor amestecate de rășinoase cu fag. Pentru evaluarea potențialului productiv al stațiunilor s-a aplicat metoda combinată, utilizată în cartarea stațională. Analizele de laborator ale solurilor și informațiile oferite indirect de flora ierboasă și de etajul arborilor au condus la caracterizarea tipurilor de sol și la identificarea stațiunilor forestiere. Bonitatea stațiunilor a fost estimată prin indicatori cantitativi stabiliți pe baza caracteristicilor dendrometrice ale arborilor. Pe cale directă troficitatea potențială a fost exprimată printr-un indice edafic (Ie) specific arboretelor amestecate de rășinoase cu fag din zona cercetată. Pentru arboretele multietajate de tipul amestecurilor de rășinoase cu fag sunt relevanți indicatori bazați pe producția și creșterea arboretelor. Pentru zona analizată, arboretele



amestecate la vârsta de referință de 100 de ani sunt mai productive comparativ cu arboretele pure. Cunoașterea specificului ecologic al stațiunilor din etajul amestecurilor este o primă condiție pentru realizarea de arborete stabile, capabile să exercite cu continuitate funcții multiple. Favorabilitatea stațiunilor forestiere pentru un anumit sortiment de specii este un caracter fundamental al stațiunilor, esențial pentru managementul acestor formații forestiere.

Abstract

This study highlights the possibility of estimating the quality of mixed mountain site, both directly, but also indirectly by means of dendrometric characteristics of trees and stands, which in turn are reflected in the mode of management. The analyzed mountain region offers favorable conditions for the formation and development of mixed beech-coniferous stands with complex structures. The aim of this research was to analyze the environmental conditions, from which to result the influence exerted on the structural characteristics and productivity of mixed beech-coniferous stands. For evaluation of the productive potential of the sites, the combined method used in site-mapping was applied. Laboratory analyzes of soils and information provided indirectly by flora and tree layer led to the characterization of soil types and the identification of forest sites. Site quality was estimated by quantitative indicators established based on the dendrometric characteristics of the trees. By the direct method, the potential trophicity was expressed by a soil index (Ie), specific for mixed beech-coniferous stands in the researched area. For multi-aged stands, such as mixed beech-coniferous stands, indicators based on stand production and growth are relevant. For the analyzed area, mixed stands at the reference age of 100 years are more productive compared to pure stands. Knowing the ecological specificity of sites in the layer of mixtures is a first condition for the creation of stable stands, capable of continuously performing multiple functions. The favorability of forest sites for a certain assortment of species is a fundamental character of the sites, essential for the management of these forest formations.