



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere

Ing. Radu POPESCU

Evaluări fenologice și fenotipice în populații gradientale de fag

(*Fagus sylvatica* L.) din Munții Poiana Ruscă

Phenological and phenotypic evaluations in gradient beech

(*Fagus sylvatica* L.) populations from the Poiana Ruscă

Mountains

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Neculae ȘOFLETEA

BRAȘOV, 2021



D-lui (D-nei)

COMPONENŢA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universităţii Transilvania din Braşov

Nr. din

PREŞEDINTE:

Prof.dr.ing. Vorovencii Iosif

Universitatea Transilvania din Braşov, Prodecan
Facultatea de Silvicultură şi Exploatare Forestiere

CONDUCĂTOR ŞTIINŢIFIC:

Prof.dr.ing. Şofletea Neculae

Universitatea Transilvania din Braşov

REFERENŢI:

Prof.dr.ing. Borlea Gheorghe Florian

Universitatea de Ştiinţe Agricole şi Medicină Veterinară a
Banatului (USAMVB) Timişoara

CS I dr.ing. Popescu Flaviu

INCDS *Marin Drăcea*, Bucureşti

Prof.dr.ing. Alexandru-Lucian Curtu

Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora şi locul susţinerii publice a tezei de doctorat:, ora, sala

Eventualele aprecieri sau observaţii asupra conţinutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa popescu.radu@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luaţi parte la şedinţa publică de susţinere a tezei de doctorat.

Vă mulţumim.



Mulțumiri

Prezenta lucrare nu ar fi fost posibilă fără sprijinul și îndrumarea continuă a conducătorului științific *Prof.dr.ing. Neculae ȘOFLETEA*, căruia doresc să îi prezint mulțumiri pentru munca depusă, susținerea, răbdarea și efortul depus în ghidarea mea, fără de care realizarea tezei de doctorat nu ar fi avut loc.

Mulțumiri doresc să aduc și domnului *Prof.dr.ing. Lucian CURTU*, decanul Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Braşov pentru disponibilitatea domniei sale de a face parte din comisia de îndrumare și analiză a tezei de doctorat, precum și pentru sfaturile, sugestiile și sprijinul primit din partea facultății pe care o reprezintă.

Gândurile mele de apreciere și recunoștință se îndreaptă și către *Prof.dr.ing. Victor PĂCURAR*, *Conf.dr.ing. Dan Marian GUREAN*, *Conf.dr.ing. Florin DINULICĂ* pentru recomandările făcute, pentru îndrumarea efectivă în procesul de analiză, precum și pentru amabilitatea avută în a accepta să facă parte din comisia de îndrumare și analiză a tezei de doctorat.

De asemenea aprecierea mea se îndreaptă către întreg colectivul profesoral al Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Braşov, care prin înalta pregătire profesională și dedicație a reușit să îmi insuflă dorința de cunoaștere și înțelegere a mecanismelor care condiționează și guvernează funcționarea pădurilor în ansamblul lor.

Îmi exprim gratitudinea și un gând de mare prețuire către domnul rector *Prof.dr.ing. Ioan Vasile ABRUDAN* căruia doresc să îi mulțumesc pentru întreg sprijinul avut din partea Universității Transilvania din Braşov, pe care o reprezintă cu mare onoare.

Aduc mulțumiri Regiei Naționale a Pădurilor – RNP Romsilva, Direcției Silvice Hunedoara și colectivului de colegi de la Ocolul Silvic Dobra, colegului și bunului prieten *Ing. Adrian Constantin JURJ*, care m-au sprijinit efectiv în desfășurarea lucrărilor de teren.

Sincere mulțumiri doresc să aduc și domnului *CSI dr.ing. Flaviu POPESCU*, pentru sprijinul tehnic oferit.

Recunoștință incomensurabilă *familiei, părinților Ing. Călin și Onița POPESCU*, care mi-au insuflat de la început dragostea către silvicultură și fără a căror ajutor această lucrare personală nu ar fi fost posibilă, *surorii și cumnatului meu, prietenei Andreea*, pentru susținerea morală, înțelegerea, sprijinul și răbdarea avută pe întreaga perioadă a desfășurării studiilor doctorale și nu numai.



CUPRINS

	Pg.	
	rezumat	teză
INTRODUCERE.....	9.....	10
CAPITOLUL 1 : STADIUL ACTUAL AL CUNOȘȚINȚELOR.....	11.....	12
1.1. Conспект corologic, ecologic și ecofizilogic al cunoștințelor despre fag	11.....	12
1.2. Fenologia ca știință și metode de cercetare specifice	14.....	17
1.3. Rezultate ale cercetărilor fenologice în România și pe plan internațional	16.....	22
1.4. Caractere morfo-anatomice care relevă adaptarea fagului față de condiții climatice și/sau edafice particulare	18.....	26
CAPITOLUL 2: SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR. MATERIAL ȘI METODE.....	21.....	31
2.1. Scopul cercetărilor	21.....	31
2.2. Obiectivele cercetărilor.....	21.....	32
2.3. Material și metode de cercetare.....	22.....	32
2.3.1. Localizarea cercetărilor	22.....	32
2.3.2. Cadrul general fizico-geografic și fitogeografic al zonei de studiu	23.....	34
2.3.3. Materialul și metoda de cercetare pentru analizele fenologice.....	26.....	39
2.3.4. Materialul și metoda de cercetare pentru analizele morfologice.....	29.....	43
CAPITOLUL 3: REZULTATE ȘI DISCUȚII	35.....	49
3.1. Rezultate ale determinărilor fenologice	35.....	49
3.1.1. Fenologia de primăvară	35.....	49
3.1.1.1. Deschiderea mugurilor și înfrunzirea.....	35.....	49
3.1.1.2. Înflorirea	39.....	56
3.1.2. Fenologia de toamnă.....	42.....	59
3.1.2.1. Colorarea și căderea frunzelor.....	42.....	59



3.1.2.2. Maturarea fructelor și diseminarea	44.....61
3.1.3. Circumscrierea și caracterizarea sezonului de vegetație.....	46.....64
3.2. Rezultate ale analizelor morfologice	48.....67
3.2.1. Verificarea normalității distribuției caracterelor analizate.....	48.....67
3.2.2. Analiza descriptorilor morfologici de caracterizare a dimensiunilor și formei frunzelor	49.....71
3.2.3. Analize anatomice privind caractere ale stomatelor	56.....82
3.3. Analiza creșterilor radiale și densității convenționale a lemnului. Reliefarea influențelor determinate asupra acestora de categoria fenologică și lungimea sezonului de vegetație	63.....94
3.3.1. Creșterile radiale.....	63.....94
3.3.2. Densitatea convențională a lemnului	65.....96
3.3.3. Analiza influenței altitudinii, dimensiunilor frunzelor și caracterelor stomatelor asupra creșterilor radiale și densității convenționale a lemnului	68.....100
CAPITOLUL 4: CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	70.....103
4.1. Concluzii finale.....	70.....103
4.1.1. Concluzii pentru obiectivul nr. 1.A: Analiza gradientală, pe trei nivele altitudinale, a fenologiei înfrunzirii, înfloririi și respectiv senescentei frunzelor și identificarea condițiilor climatice implicate în producerea acestor fenofaze ale fagului în Munții Poiana Ruscă.	70.....103
4.1.2. Concluzii pentru obiectivul nr. 2: Analiza intra și interpopulațională a variabilității descriptorilor morfologici ai frunzelor (dimensiunile frunzelor și valorile diferiților descriptori ai acestora; densitatea și dimensiunile stomatelor). Evaluarea posibilelor corelații între aceste caractere și categoria fenologică, respectiv poziția altitudinală a populației.....	72.....106



4.1.3. Concluzii pentru obiectivul nr. 3: Analiza creşterilor radiale şi a densităţii convenţionale a lemnului în funcţie de categoria fenologică şi în raport de poziţia altitudinală a arborilor	73.....	107
4.2. Contribuţii originale	74.....	108
4.3. Diseminarea rezultatelor	75.....	109
4.4. Direcţii viitoare de cercetare	75.....	110
Bibliografie.....	76.....	111
Scurt rezumat	84.....	126



CONTENT

	Pg.
	thesis abstract
INTRODUCTION	9.....10
CHAPTER 1 : STATE-OF-THE-ART	11.....12
1.1. Natural distribution range and ecology of beech.....	11....12
1.2. Phenology as a science and specific research methods.....	14....17
1.3. Results of phenological studies.....	16....22
1.4. Morpho-anatomical traits that reveal the adaptation of the beech to particular climatic and/or edaphic conditions.....	18....26
CHAPTER 2 : AIM AND OBJECTIVES. MATERIAL AND METHODS	21.....31
2.1. Research aim.....	21....31
2.2. Specific objectives.....	21....32
2.3. Material and methods.....	22....32
2.3.1. Study site.....	22.....32
2.3.2. Description of the study area	23.....34
2.3.3. Material and method for phenological analyses	26.....39
2.3.4. Material and method for morphological analyses	29.....43
CHATPER 3 : RESULTS AND DISCUSSION.....	35.....49
3.1. Results of phenological observations.....	35....49
3.1.1. Spring phenology.....	35....49
3.1.1.1. Bud burst and foliage.....	35....49
3.1.1.2. The flowering phenophase.....	39....56
3.1.2. Autumn phenology	42....59
3.1.2.1. Leaf coloring and falling.....	42....59
3.1.2.2. Fruit ripening and dissemination.....	44....61
3.1.3. Growing season	46....64



3.2. Results of leaf morphological analyses.....	48.....67
3.2.1. Checking the normality of trait distributions.....	48.....67
3.2.2. Analysis of leaf morphological descriptors.....	49.....71
3.2.3. Micromorphological analyses regarding stomatal characters	56.....82
3.3. Analysis of radial growths and conventional wood density. The linkage to the phenological category and the length of thegrowing season	63.....94
3.3.1. Radial growths.....	63.....94
3.3.2. Conventional wood density.....	65.....96
3.3.3. Effect of elevation, leaf size and stomata characters on the radial growth and the conventional wood density	68... 100
CHAPTER 4 : CONCLUSIONS. ORIGINAL CONTRIBUTIONS. DISSEMINATION OF RESULTS. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS	70..... 103
4.1. Final conclusions.....	70..... 103
4.1.1. Conclusions for objective no. 1.A.	70..... 103
4.1.2. Conclusions for objective no. 2.....	72..... 106
4.1.3. Conclusions for objective no. 3.....	73..... 107
4.2. Original contributions	74..... 108
4.3. Dissemination of results.....	75..... 109
4.4. Future research directions.....	75..... 110
BIBLIOGRAPHY.....	76.....111
Short summary.....	83..... 126

INTRODUCERE

În contextul actual al modificărilor climatice, cu accente din ce în ce mai vizibile și pregnante pe perioadele de încălzire anormală a vremii, mecanismele de reglare, adaptare și răspunsul speciilor forestiere în noile condiții de mediu vor fi împinse către limitele lor de rezistență.

Una dintre metodele silviculturale de contracarare a activităților antropice nocive, este reprezentată de reintroducerea speciilor naturale în detrimentul culturilor mixte și monoculturilor formate în principal din specii de conifere extinse în afara arealului natural. Prin arealul vast de distribuție, precum și prin particularitățile speciei, fagul (*Fagus sylvatica* L.) reprezintă una dintre cele mai viabile soluții în contextul celor amintite. Pe lângă arealul vast, fagul este considerat o specie valoroasă din punct de vedere economic. Capacitatea de acumulare relativ mare, elasticitatea în adaptare la condiții noi, multiplele utilizări ale lemnului, precum și numărul relativ redus de dăunători propulsează specia în topul intereselor oamenilor de știință și silvicultorilor, deopotrivă.

Fenologia, definită ca „sincronizarea activităților sezonale ale plantelor și animalelor” (Walther *et al.* 2002) se va bucura, datorită contextului amintit mai sus, de un interes din ce în ce mai mare. Îmbinând noțiunile matematice cu observațiile directe, fenologia va avea particularitatea de a putea explica și prevedea modul în care vor reacționa organismele vii, în particular arborii, supuși unor condiții noi, atipice. Totodată această ramură a științelor are capacitatea de a ne releva nivelul de adaptare al diferitelor specii, adaptare dobândită tocmai prin intermediul acestor modificări de-a lungul evoluției.

În ceea ce privește silvicultura, văzută ca știința care „studiază legile și procesele de viață din pădure și, pe această bază, stabilește măsurile tehnice capabile să-i sporească stabilitatea și productivitatea și să-i intensifice funcțiile protectoare” (Florescu *et al.* 1997), va depinde fundamental de datele ce îi pot fi oferite de către fenologie, și în principal de simularea modului în care vor reacționa ecosistemele silvice pe viitor. Astfel vor putea fi cunoscute momentele și mecanismele de producere ale fenofazelor, precum și speciile ce prezintă capacități superioare de adaptabilitate – este unanim recunoscut faptul că în eventualitatea producerii schimbărilor climatice, și deci a modului de distribuție al principalilor factori determinanți (temperatură, precipitații) se va modifica și scara de valori pe care în momentul de față sunt distribuite diferitele specii de plante, unele vor întâlni condiții mai bune, în timp ce altele, neputându-se adapta schimbărilor, vor dispărea.

Această lucrare a pornit de la ipoteza conform căreia fagul reprezintă o specie robustă în contextul actual al modificărilor climatice, specie ce reprezintă una dintre cele mai importante, dacă nu cea



mai importantă specie pentru silvicultura din țara noastră în viitor. Deși specie a cărei importanță nu poate fi contestată, nivelul actual al cunoștințelor legate de comportamentul fenologic al acesteia, cel puțin în zona vizată, sunt aproape inexistente. Prin urmare lucrarea și-a propus determinarea și modul de influență a diferiților factori asupra fenologiei speciei, iar prin determinările morfologice efectuate s-a avut în vedere identificarea eventualelor relații între expresia fenotipică a unor caractere și statutul fenologic al arborilor. Prin extrapolare cu ajutorul gradientilor altitudinali, rezultatele vor putea fi folosite pentru o mai bună adaptare a practicilor silvice asupra cerințelor naturale ale speciei precum și în încercarea de a anticipa modul de reacție al fagului în relație cu schimbările climatice, atât pe termen scurt dar și mai important, pe termen lung.

CAPITOLUL 1 : STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTIINȚELOR

1.1. Conспект corologic, ecologic și ecofizilogic al cunoștințelor despre fag

AREALUL SPECIEI

Fagul (*Fagus sylvatica* L.) este o specie ce face parte din ordinul *Fagales*, familia *Fagaceae*. Familia cunoaște o vastă răspândire la nivel global, regăsindu-se de pe coasta vestică a Statelor Unite ale Americii, până în zona Oceaniei, în nord-estul Australiei și din zona paralelei de 10° latitudine sudică, până în sudul Peninsulei Scandinave. Până în prezent se cunosc un număr de aproximativ 1000 de specii ale familiei *Fagaceae*, majoritatea regăsindu-se în zona temperată a emisferei nordice.

Taxonii *Fagus sylvatica*, *Fagus orientalis* și *Fagus x taurica* sunt reprezentanții genului în România, ultimul rezultând din hibridarea naturală între primii doi, în urma contactelor repetate avute de-a lungul timpului (Șofletea și Curtu, 2007).

În pădurile României, fagul (*Fagus sylvatica* L.), este specia cu ponderea cea mai mare (31%; Figura 1.1.1.) dar și cu un potențial de bioacumulare peste media tuturor speciilor. Astfel, conform datelor din ciclul II al Inventarului Forestier Național, volumul mediu la hectar în pădurile de fag este de circa 417 m, fiind mai mare cu circa 22% față de media tuturor speciilor/grupelor de specii din România (<https://roifn.ro/site/rezultate-ifn-2/>).

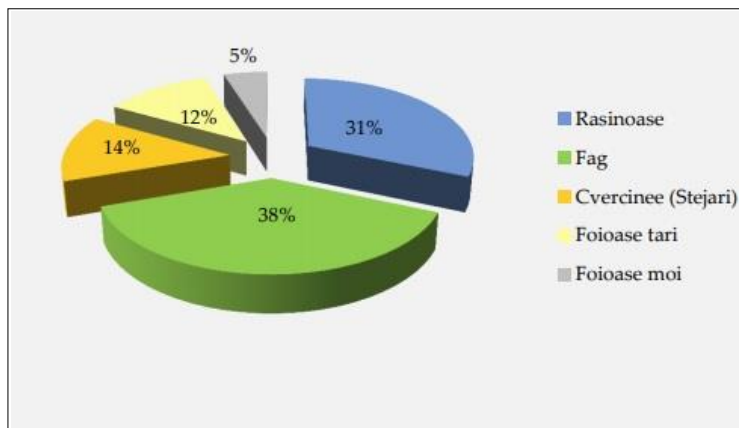


Figura 1.1.1. Ponderea fagului din volumul total de masă lemnoasă pe picior din România;
(sursa:http://www.mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/2016-06-08_Rezultate_IFN.pdf)

În România, arealul fagului se confundă practic cu întregul lanț carpatic (Figura 1.1.2.), limita inferioară a făgetelor compacte înregistrându-se în jurul altitudinii de 300 m, de unde avansează până la 1200 – 1400 m, ca mai apoi, spre ținuturile montane superioare, să fie observate doar exemplare izolate. Cu toate acestea, în condiții particulare arealul speciei poate suferi abateri de

la regula generală. Aşa este cazul văilor umede și a versanților nordici, acolo unde pâlcuri de făgete se găsesc și la altitudini atipice de 150 – 200 m, iar în Banat și pe Valea Dunării arboretele de fag vegetează și la circa 100 m (Stănescu *et al.*, 1997). La cealaltă extremă, altitudinile maxime atinse de fag se înregistrează în Carpații Occidentali, dar și în Meridionali (Parâng, Munții Sebeșului), acolo unde făgetele pot urca în altitudine cu peste 100-200 m față de normalul speciei pentru țara noastră (Șofletea și Curtu, 2007).

Importanța mare a speciei în țara noastră precum și întrebuițările nenumărate găsite lemnului de fag stau ca și dovadă și în toponomia locurilor ce își are originile în denumirea de origine slavă a fagului (bucov): Bucovăț, Bucovina, etc., există corespondență și cu limba germană (*buche* = fag).



Figura 1.1.2. Arealul de răspândire al fagului (*Fagus sylvatica* L.) în România; (Sursa: ICAS, în Biriș, 2014)

ECOLOGIA FAGULUI

Arealul vast al fagului se traduce în același timp și printr-o mare capacitate de adaptare a speciei la condiții diferite de mediu. Așa se explică amplitudinea mare pe verticală și variația altitudinii la care specia vegetează de-a lungul arealului ce o caracterizează. Faptul că în unele situații poate fi descrisă ca o specie de câmpie (nordul arealului), în timp ce alteori poate fi întâlnită la altitudini caracteristice zonelor montane înalte (1800 – 2000 m), se datorează migrării speciei către acele zone în care cerințele sale față de precipitații, în special, se regăsesc în intervalul sub-optim – optim.

Deși specia are nevoie de un interval al precipitațiilor înregistrate de-a lungul unui an calendaristic între 700 – 1200 mm și o temperatură medie anuală cu valori cuprinse în intervalul 6 – 9 °C, nivelul de suportanță se extinde până în zone cu temperatura medie anuală de 3°C și cantități de precipitații medii anuale de 500 mm (Șofletea și Curtu, 2007).

Indiferent de climatul caracteristic zonei în care se regăseşte (montan, continental, etc.) cerinţele cele mai mari ale speciei sunt legate de umiditate, cerinţă ce creşte pe măsură ce staţiunile forestiere devin din ce în ce mai calde. Deşi mai exigent faţă de căldură decât molidul, în unele situaţii, ca urmare a intervenţiei factorului antropic, îl devansează pe acesta din punct de vedere altitudinal, în timp ce la altitudini mai mici (la dealuri) arboretelor de fag sau a amestecurilor cu alte specii de foioase mezoterme, mai jos decât bradul, este o situaţie relevantă pentru deosebirea faţă de acesta. Deşi specia, după depăşirea stadiului de seminţiş, suportă relativ bine îngheţurile, totuşi, incidenţa gelivurilor este mare, reliefând un nivel de sensibilitate ridicată a speciei faţă de gerurile mari din iarnă. Nu în ultimul rând, incidenţa crescută a îngheţurilor târzii poate reprezenta un factor limitativ, conducând de multe ori la apariţia înfurcilor (fenomen ce însă este de asemenea condiţionat şi de ordin genetic) (Stănescu *et al.*, 1997).

Faţă de sol, cerinţele fagului sunt medii, putând fiind catalogată ca o specie comună din aceste punct de vedere. Deşi vegetează satisfăcător şi pe soluri scheletice, uneori chiar şi pe cele cu conţinut de argilă mai ridicat, preferă totuşi solurile profunde, uşoare, cu conţinut bogat de humus şi aport satisfăcător de umiditate, evitând practic turbăriile, solurile pseudogleizate, cu apă stagnantă, precum şi pe cele uscate. De altfel apariţia lui în condiţii edafice atât de diferite a condus şi la împărţirea speciei pe ecotipuri edafice bine individualizate între ele (Stănescu *et al.*, 1997).

ECOFIZIOLOGIA FAGULUI

Capacitatea speciei de a-şi modifica funcţiile fiziologice prin intermediul modificărilor de structură şi funcţionare a organelor anatomice reprezintă o altă explicaţie a comportamentului ecologic atât de variat şi se traduce, într-un final, în vasta răspândire a fagului.

Studiile recente prezintă fagul ca o specie cu o capacitate mare de adaptare în eventualitatea tot mai mare a modificărilor condiţiilor climatice în sensul creşterii temperaturilor şi a scăderii cantităţii de precipitaţii. În acest sens, studiile efectuate asupra exemplarelor tinere de fag au demonstrat faptul că, condiţiile de stres cauzate de perioade de secetă afectează, în primul rând, schimburile de gaze dintre plantă şi mediul exterior (Cocozza *et al.*, 2016).

Temperamentul pronunţat de umbră, precum şi capacitatea de adaptare la un grad mai mare de insolaţie atunci când specia este pusă în lumină se explică prin intermediul capacităţii acesteia de a varia concentraţia nivelului de clorofilă la nivelul cloroplastelor din frunze. Aşa se explică capacitatea destul de rară a fagului de a vegeta în condiţii normale după ce lungi perioade de timp a vegetat în condiţii de lumină foarte scăzute (Tognetti *et al.*, 1997). Mai mult, fagul are capacitatea de a-şi modifica şi concentraţiile de substanţe fenolice şi de tanin la nivel foliar, tot în sensul adaptării la condiţii oscilante de lumină (Johnson *et al.*, 1997).

Ecotipurile diverse ale fagului sunt o altă explicație a condițiilor diferite în care specia vegetează și, ca atare, a manifestării unui anumit nivel de plasticitate ecofiziologică. Un studiu realizat în Grecia în perioada 2003 – 2005 cu privire la modul în care sunt afectate funcțiile fiziologice în condiții de stres hidric, a demonstrat faptul că ecotipuri diferite reacționează diferit atunci când sunt supuse la factori de stres. Astfel Fotelli *et al.* (2009) au arătat că arborii de proveniență sud-estică nu sunt la fel de afectați de secetă precum cei din zona centrală a arealului de răspândire a speciei. Același lucru este evidențiat și de Knutzen *et al.* (2015), care notează faptul că proveniențe diferite de fag care au fost expuse de-a lungul timpului la regime de precipitații diferite au dezvoltat genotipuri diferite care se traduc prin mecanisme de reglare diferite în ceea ce privește conținutul de apă al frunzei.

1.2. Fenologia ca știință și metode de cercetare specifice

Fenologia este ramura biologiei care studiază interacțiunea dintre factorii de mediu și organismele vii (plante, animale, etc.), cunoașterea fenologiei presupunând descifrarea și înțelegerea conexiunilor dintre mediu și organisme și a modului în care primele influențează viața celor din urmă.

Diversele fenofaze precum și diferitele specii sunt influențate mai mult sau mai puțin de către aceiași factori (temperaturi diurne, temperaturi nocturne, precipitații, competiție, factori genetici) (Orr, 2005; Brandon, 2014), uneori fiind posibilă repetarea unor fenofaze după vătămări produse de dăunători biotici sau factori climatici. Ca atare, metodele de cercetare în ceea ce privește o analiză fenologică trebuie alese și adaptate în funcție de specia vizată.

Deși odată cu avansul cunoscut de fenologie ca știință a început să fie cunoscută din ce în ce mai bine complexitatea mecanismelor, precum și numărul mare de factori care determină și influențează declanșarea și desfășurarea diferitelor etape fenofazice, aproape în unanimitate cercetătorii din domeniu sunt de acord că cea mai mare influență în desfășurarea acestora o au temperatura și umiditatea (Estrella *et al.*, 2007). În consecință, dependența gradelor – zi acumulate în perioadele de producere a fenofazelor nu poate fi neglijată, ci, dimpotrivă, reprezintă cheia de înțelegere și evaluare a acestui fenomen atât de complex.

Metodologiile de cercetare sunt destul de diferite de la o rețea națională la alta, precum chiar și în cadrul aceleiași rețele, odată cu trecerea timpului și dezvoltarea tehnologiei. Acest fapt conduce de multe ori și la un grad ridicat de dificultate în ceea ce privește comparațiile între rezultatele obținute la momente și locuri diferite. Una dintre cele mai cunoscute și renumite metodologii de cercetare, este cea utilizată în rețeaua germană – Deutscher Wetterdienst (DWD), fiind însoțită și de un ghid detaliat (Teodosiu și Mateescu, 2004).

Metodele de analiză și stabilire a diverselor etape fenologice în care se află vegetația sunt numeroase, fiecare propunând un mod diferit de stabilire a momentului exact de producere și de încheiere a acestor etape.

Una dintre metodele cele mai des utilizate modalităţi de analiză/interpretare este *metoda gradelor- zi*, valoarea acestora putând fi interpretată ca o măsură a căldurii acumulate peste nivelul unei temperaturi considerată ca temperatură de bază. Regimul termic al sezonului de vegetaţie poate fi determinat prin însumarea acestor grade-zi.

Dacă lungimea sezoanelor de vegetaţie diferă de la o specie la alta, precum şi în cadrul aceleiaşi specii, este recunoscut faptul că începutul, respectiv sfârşitul sezoanelor de vegetaţie se petrece în momente ce pot fi identificate cu exactitate în timp. Aceste momente sunt cunoscute sub abrevierea DOY, din englezescul date-of-year (Fisher *et al.*, 2006).

Fenofazele pe parcursul unui sezon de vegetaţie se împart în două mari categorii: *fenofazele de primăvară* şi *fenofazele de toamnă*. Fenofazele de primăvară cuprind înfrunzirea şi înflorirea, în timp ce fenofazele de toamnă sunt compuse din maturarea fructelor şi, respectiv, colorarea şi căderea frunzelor.

Odată cu evoluţia fenologiei ca ştiinţă a fost elaborate o serie de metodologii de urmărire şi identificare a diferitelor fenofaze. Una dintre cele mai utilizate la ora actuală este elaborată în Germania, fiind cunoscută în limba germană ca scara Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (BBCH) (Hess *et al.*, 1997), metodologia cuprinzând, codificat, etapele de creştere pentru plantele mono şi dicotiledonate. Conform acestei metodologii de analiză, în cazul arborilor bătrâni, unde observaţiile fenologice au loc la o înălţime mai mare de 2 metri, datorită imposibilităţii de analiză a fiecărui element urmărit în parte, se consideră că un anumit stagiul al fenofazei este atins atunci când 50% din coroană prezintă caracteristica specifică.

În ceea ce priveşte *înmugurirea* la fag, metoda propune o scară cu 3 elemente: 1 - *mugurii în stare de dormanţă*, 2 - *înmugurire (primele frunze sunt vizibile)* şi 3 - *momentul în care frunzele au atins dimensiunea maximă*. În funcţie de momentul temporal al producerii unei fenofaze în raport cu ceilalţi arbori, exemplarele sunt încadrate din punct de vedere fenologic în: precoci, intermediari şi respectiv tardivi.

Cea de-a doua fenofază de primăvară, *înflorirea*, se împarte de asemenea în trei etape: 1 - absentă, 2 - flori vizibile, imature din punct de vedere sexual şi 3 - flori vizibile, mature (cele masculine eliberând polenul). Fenologia de toamnă a fagului începe prin *maturarea fructelor*, împărţită în: 1 - *absenţa fructelor*, 2 - *fructe mature în cupe* şi 3 - *desfacerea cupelor şi diseminarea*. Sfârşitul sezonului de vegetaţie este marcat de ultima fenofază şi anume *colorarea şi căderea frunzelor*. Aceasta se împarte în trei categorii: 1 - absentă, 2 - peste 50% din frunze prezintă coloraţii, 3 - peste 50% din frunze sunt căzute din coroană (Hess *et al.*, 1997).

Utilizarea *teledetejeciei* reprezintă una dintre tehnologiile noi, promiţătoare, de analiză fenologică, ceea ce presupune utilizarea şi analiza imaginilor satelitare în identificarea etapelor fenologice în cazul diverselor specii.

Între metodele de cercetare, cele mai utilizate şi răspândite în fenologie sunt amintite *calendarele şi hărţile fenologice*. Calendarul fenologic este definit ca descriind începutul, durata şi relaţiile dintre fenomenele naturale cu caracter sezonier, fiind considerat drept o metodă integrativă

pentru studiul acestora și reprezentarea în mod grafic a sezonalityi (Ahas și Aasa, 2003). Hărțile fenologice, pe de altă parte, reprezintă una dintre cele mai comune metode de prezentare în cazul observațiilor fenologice distribuite la o scară largă.

Apariția și dezvoltarea sistemelor GIS (engl. – Geographic Information System) și-a găsit numeroase metode de utilizare și în fenologie, permițând cu ușurință prelucrarea datelor spațiale. Literatura de specialitate amintește printre primele sisteme informatice utilizate în domeniu, *sistemul SYMAP* (engl.- Synteny Mapping and Analysis Program), utilizat cu succes la întocmirea hărților legate de înflorire la *Cornus florida* și *Cercis canadensis*, la nivelul statului Carolina de Nord (Lieth și Radford, 1971).

Majoritatea autorilor se pun de acord în privința faptului că, modelele pot fi împărțite în trei mari categorii: teoretice, statistice și mecanice, când în producerea fenofazelor sunt luate în calcul și diferite variabile ce pot fi măsurate în mod direct (Chuine *et al.*, 2003).

Ca în mai toate domeniile de cercetare, matematica și-a găsit loc și în fenologie. Regresia parțială a celor mai mici pătrate sau regresia PLS (engl. – Partial Least Squares), dezvoltată în țările nordice, este din ce în ce mai utilizată pentru determinarea cerințelor de răcire și forțare, deoarece ea poate fi aplicată și atunci când nu există un număr foarte mare de observații propriu-zise (Teodosiu, 2015).

1.3. Rezultate ale cercetărilor fenologice în România și pe plan internațional

Cele mai vechi date în care se fac referiri legate de fenologie, așa cum este ea definită ca știință în zilele noastre, provin de pe continentul asiatic (Chen, 2002, în Teodosiu și Mateescu, 2004). În cazul țării noastre, prima serie de date fenologie (1887 – 1895) la arie extinsă a vizat Moldova și Țara Românească, pentru un număr de 31 de stațiuni fenologice și 5 specii de arbori (Tițu, 1895). În perioada 1932-1940 Casa Autonomă a Pădurilor Statului (C.A.P.S.) realizează observații fenologice pentru un număr de 34 de specii de arbori, arbuști și subarbuști, corespunzătoare pentru un număr de cinci faze ale fenofazelor (în mugurire, înfrunzire, înflorire, coacerea fructelor și căderea frunzelor) (Teodosiu & Mateescu, 2004). În ceea ce privește speciile forestiere care au făcut obiectul unor studii fenologice mai amănunțite enumerăm: molidul, zâmbrul, scorușul, afinul, castanul comestibil și laricele (Teodosiu & Mateescu, 2004).

Schimbările climatice, care au început să își facă simțită prezența începând cu prima jumătate a secolului trecut, au aruncat asupra fenologiei o importanță din ce în ce mai mare, întrucât ea reprezintă modalitatea ideală de a demonstra efectele încălzirii globale asupra lumii vii (Sparks & Menzel, 2002). Prin prelungirea sezonului de vegetație cauzată de către încălzirea globală s-a ajuns la o producere mai timpurie a fenofazelor de primăvară și o întârziere a celor de toamnă (Robeson, 2002).

Momentul de producere al diverselor fenofaze este determinat atât de un cumul de factori climatici și genetici, precum și influențat în mod direct de către momentul de producere a fenofazelor anterioare. Un arbore care înfrunzește precoce va și înflori mai devreme, dar niciodată la sfârșitul perioadei de înflorire, lucru evidențiat în cazul unor cercetări efectuate asupra stejarilor, într-un arboret din zona Fundeanu, Direcția Silvică Galați (Cheșnoiu *et al.*, 2009).

În ceea ce privește **fenologia fagului**, autorii unui studiu condus în Slovenia, la nivelul a 47 de locații amplasate pe un ecart altitudinal ce se întindea între 55 și 1050 m, luând în considerare desfacerea completă a primei frunze (LU - engl. leaf unfolding), respectiv colorarea generală a coronamentului (LC – engl. leaf colouring), au observat că principalul factor determinant pentru înfrunzirea fagului îl reprezintă temperaturile lunii martie, la altitudini mici, respectiv ale lunii aprilie, odată cu creșterea în altitudine. Colorarea frunzișului, și deci începutul intrării în repaus vegetativ, este condiționat de temperaturile înregistrate în lunile august și septembrie, declanșându-se mai târziu odată cu creșterea valorilor acestor temperaturi (Čufar *et al.*, 2012).

Relația intrinsecă existentă între diversele fenofaze de-a lungul sezoanelor de vegetație, precum și dintre producerea acestora și diferitele procese fiziologice la nivel de arbore, nu poate fi contestată. Studiul efectuat în Slovenia, cu date legate de creșterile anuale ale fagului pe o perioadă întinsă pe mai bine de 100 de ani și serii fenologice ce cuprind o perioadă de 46 de ani, publicat în anul 2008, este elocvent. Autorii arată că lățimea inelelor de creștere este în mod negativ afectată de temperaturile minime, respectiv maxime ale lunilor martie, respectiv, august și favorizate în sensul unor creșteri mai active, de cantitățile de precipitații din mai și iulie. De asemenea, este subliniată și relația strânsă dintre aceste creșteri și fenofazele observate (Čufar *et al.*, 2008). Aceași autori atrag atenția asupra faptului că productivitatea arboretelor de fag poate fi afectată de către schimbările climatice. Productivitate scăzută, competitivitate, precum și șanse de supraviețuire scăzute, pe stațiuni extreme fagului, de la Marea Mediterană și din Nord-Vestul Europei Centrale au fost deja observate (Penuelas *et al.*, 2006; Jump *et al.*, 2006).

Un studiu realizat în Germania arată că, deși în ceea ce privește fenofazele de primăvară ale fagului există o dependență clară între altitudine și momentul de producere al acesteia, dependență explicabilă prin influența căldurii și radiației solare mai puternice la altitudini mai mici, în ceea ce privește sfârșitul perioadei de vegetație, marcat aici prin decolorări ale frunzelor, acesta nu este influențat de către altitudine, ceea ce se explică prin interacțiuni între factorul genetic și factorii exogeni (Dittmar & Elling, 2006).

O adaptare valoroasă în contextul modificărilor climatice viitoare a fost sesizată asupra unor populații de fag din nordul Spaniei; se pare că anumite proveniențe din sud-estul Europei, precum și câteva populații din zona central-europeană, sunt capabile să combine intrarea precoce în

vegetație cu adaptarea fiziologică asupra lipsei de precipitații, permițând acestor populații de fag să păstreze o activitate fiziologică normală de-a lungul unui sezon de vegetație prelungit (Robson *et al.*, 2013).

1.4. Caractere morfo-anatomice care relevă adaptarea fagului față de condiții climatice și/sau edafice particulare

Dovada caracterelor morfo-anatomice dintre cele mai variate pe care fagul, *Fagus sylvatica*, prin diversele forme și varietăți ale sale le-a dezvoltat de-a lungul timpului, o reprezintă vitalitatea de care specia dă dovadă în diverse condiții climatice și edafice. În unele cazuri, dominanța fagului este atât de puternică, încât acesta realizează arborete în care nicio altă specie nu este capabilă de concurența sa, cazul făgetelor nude.

O cercetare realizată în 1999, la *Fagus lucida*, în munții Fanjingshan, în provincia Guizhou din sud-vestul Chinei, arată că grosimea laminei scade odată cu temperatura medie, mărimea stomatelor scade odată cu creșterea temperaturii medii a celei mai reci luni, iar pe măsură ce cantitatea de precipitații anuale crește, scade densitatea stomatelor la nivelul laminei (Song-lin *et al.*, 1999).

Dimensiunea frunzelor este determinată de cantitatea de precipitații, printr-o relație de invers proporționalitate. Totodată numărul de frunze ale unui arbore este influențat în mod direct de către cantitatea de precipitații ale lunilor de vară din anii trecuți (Meier și Leuschener, 2008). Pe lângă acești 2 factori, suprafața frunzei fagului este influențată de asemenea și de cantitatea de ozon din atmosferă, aceasta scade pe măsură ce concentrație ozonului crește (Bussotti *et al.*, 2007).

O altă adaptare, de ordin anatomic, la nivelul frunzelor, este condiționată de cantitatea de lumină disponibilă. Frunzele expuse la insolație puternică prezintă epidermă și cuticulă mai groasă, precum și mai multe straturi ale mezofilului (Lichtentaler *et al.*, 1981 în Lang și Lichtentaler, 1991). Toate aceste modificări anatomice apar din nevoia fagului de a controla fotosinteza (Begon *et al.*, 1997 în Barna, 2004).

O altă adaptare interesantă a fagului apare în arboretele în care concurează cu alte specii pentru resursele necesare desfășurării normale a proceselor fiziologice. Sistemul radicular al fagului este mai bine dezvoltat, atât pe verticală, cât și în ceea ce privește lungimea rădăcinilor, cât mai ales suprafața specifică a acestora, în arboretele de amestec cu molidul, față de arboretele în care nu are concurență interspecifică. Acest lucru indică o strategie de adaptare a fagului, în încercarea acestuia de a „exploata” mai bine straturile de sol ocupate de competitori (Bolte *et al.*, 2006).

Proveniențele analizate din nordul Europei sunt relativ imune la creșterea conținutului de apă din sol, pe când cele din sudul arealului natural al speciei, au răspuns mult mai pozitiv la creșterea cantității de apă disponibile. Prin urmare proveniența sud Europeană, manifestă o capacitate de adaptare mai mare la schimbarea condițiilor de vegetație. Acest rezultat indică o posibilitate de creștere substanțială a evoluției adaptabilității pentru arboretele nordice de fag, prin alegerea materialului de reproducere genetic din centrul sau sudul Europei, sau prin amestecarea materialului genetic autohton cu cel provenit din regiuni mai sudice (Nielsen *et al.*, 2003).

Peter Hajek avansează ipoteza conform căreia capacitatea mare de adaptare a funcțiilor xilemului, percepută ca un mecanism de răspuns al fagului, este predominant o consecință a acestuia de adaptare a numărului vaselor circulatoare dar nu și a dimensiunii acestora (Hajek *et al.*, 2016).

Cercetările efectuate asupra fagului relevă importanța deosebită a caracteristicilor stomatelor (densitatea stomatelor, gradul de deschidere al acestora, suprafața relativă a porilor) asupra adaptărilor speciei la condiții diferite de vegetație. Stomatele prin funcția lor de reglare a

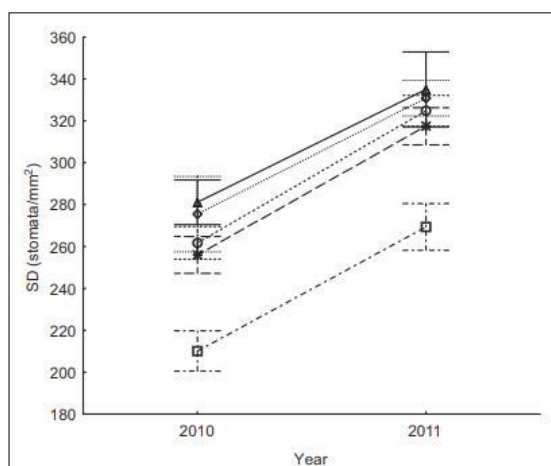


Figura 1.4.1. Variația densității stomatale la nivelul frunzei de fag în perioada 2010 – 2011 (Stojnic *et al.*, 2015)

schimbului de apă și gaze între plantă și exterior au capacitatea de a influența procesele fiziologice din interiorul plantei. Unul dintre cei mai secetoși ani din ultima perioadă (2011) a reprezentat o bună oportunitate de a observa creșterea densității stomatelor la nivelul frunzei (Figura 1.4.1.), cu aproximativ 16,1 % pentru arbori de fag de proveniențe diferite (Austria, Bosnia și Herțegovina, Germania, România și Serbia) - (Stojnic *et al.*, 2015).

Caracteristicile stomatelor sunt influențate și de etapa fenologică în care se află frunza. Densitatea acestora scade pe măsura dezvoltării laminei, începând cu înmugurirea (Canova *et al.*, 2008).



Cercetările realizate în populația de fag leucodermic din zona Certej (Munții Metaliferi), prin comparație cu o populație de fag din Munții Poiana Ruscă, aflată în condiții staționale echivalente cu cea de fag leucomermic (Popescu și Șofletea, 2016), arată modul în care prima populație a evoluat, ajungând să fie caracterizată prin prisma descriptorilor calitativi (rectitudinea și felul tulpinii, ponderea pe clase de sănătate a arborilor) net superiori formei tipice de fag.

Studii efectuate în România pe populații de fag din Dobrogea și sudul Moldovei vin să susțină cele cunoscute deja, conform cărora densitatea stomatelor este mai mică în zonele în care se un deficit de precipitații (Ciocîrlan E. 2014).

Episoadele de secetă înregistrate în perioada 1976, 1989-1991 și mai recent în 2003, trag importante semnale de alarmă cu privire la posibilele condiții cărora vor trebui să le facă față arborii în perioadele ce foarte probabil vor urma. Deși oamenii de știință sunt abia la începutul explicării mecanismelor de apărare împotriva acestor fenomene excepționale, un lucru este sigur, deficitul de apă, cu precădere din sezonul de vegetație, produce dezechilibre majore în interiorul plantelor, de la sinteza deficitară a xilemului până la afectarea vaselor conducătoare, la pierderea frunzelor și chiar moartea plantei. Fenologia este instrumentul cel mai util de identificare a răspunsului plantelor la diversele condiții de mediu, precum și de stabilire a proveniențelor care au cele mai mari șanse de reușită în contracararea acestor efecte negative.



CAPITOLUL 2: SCOPUL ŞI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR. MATERIAL ŞI METODE

2.1. Scopul cercetărilor

Fagul (*Fagus sylvatica* L.) este una dintre cele mai importante specii din pădurile din Europa Centrală și de Vest (von Wuehlisch, 2008), iar populațiile din Carpați și Balcani se află la limita estică și sud-estică de răspândire a sa.

Populațiile de fag din România, în general, și din zona prezentului studiu, în mod particular, au fost foarte puțin analizate din punct de vedere al comportamentului fenologic și din perspectiva unor caractere fenotipice. De aceea, lucrarea își propune să elucideze cu privire la condițiile de mediu (temperatură și umiditate) care provoacă și influențează diversele fenofaze din viața arborilor. Totodată se urmărește identificarea unor eventuale diferențe gradientale, fenologice și fenotipice, datorate avansului altitudinal al speciei în masivul muntos Poiana Ruscă, precum și relațiile de cauzalitate care se stabilesc între comportamentul fenologic și trăsăturile morfologice ale arborilor.

Circumscrierea cercetărilor în Munții Poiana Ruscă, unde arealul natural al fagului începe de la un nivel altitudinal de circa 200 m, caracterizat prin condiții climatice care încadrează arboretele în condiții submezotermice (diferite de cele predominant mezotermice din marea majoritate a arealului general al speciei), oferă posibilitatea modelului fenologic de așteptat în viitor în făgetele mezoterme, prin translatarea așteptată în acestea ca urmare a modificărilor climatice preconizate prin scenariile enunțate în prezent.

În consecință, această introspecție va servi pentru plierea practicilor silvice pe cerințele naturale a speciei, din perspectiva comportamentului fenologic al acesteia, ori a eventualelor implicații în capacitatea de bioacumulare ale modelului fenologic de așteptat în viitor.

2.2. Obiectivele cercetărilor

Având în vedere stadiul actual al cunoștințelor, pe baza ipotezelor de lucru și în vederea atingerii scopului propus, s-au stabilit următoarele obiective:

1.A) Analiza gradientală, pe trei nivele altitudinale, a fenologiei înfrunzirii, înfloririi și respectiv senescenței frunzelor și Identificarea condițiilor climatice implicate în producerea acestor fenofaze ale fagului în Munții Poiana Ruscă.

- 1.B) Elaborarea hărţilor fenologice pentru principalele fenofaze ale fagului pentru zona vizată.
- 2.) Analiza intra și interpopulațională a variabilității descriptorilor morfologici ai frunzelor (dimensiunile frunzelor și valorile diferiților descriptori ai acestora; densitatea și dimensiunile stomatelor. Evaluarea posibilelor corelații între aceste caractere și categoria fenologică, respectiv poziția altitudinală a populației.
- 3.) Analiza creșterilor radiale și a densității convenționale a lemnului în funcție de categoria fenologică și în raport de poziția altitudinală a arborilor.

2.3. Material și metode de cercetare

2.3.1. Localizarea cercetărilor

Cercetările au fost realizate de-a lungul unui transect din Munții Poiana Ruscă, la trei nivele altitudinale (200, 700 și respectiv 1200 m altitudine) (tabelul 2.3.1.). La fiecare nivel altitudinal s-au efectuat evaluări specifice în câte două suprafețe de cercetare: una pe versantul cu expoziție însoțită – sudic, alta pe cel cu expoziție umbrită – nordic.

Tabelul 2.3.1. Localizarea suprafețelor de cercetare

Suprafața fenologică	Exp.	Lat.	Long.	Altitudinea (m)	T.m.a (°C)	P.m.a (mm)	la
Colțul Pietrei	N	45°55'25,19"	22°40'51,51"	200	9,9	775	38,9
	S	45°55'23,90"	22°40'55,08"	200			
Fața Roșie	N	45°49'17,0"	22°36'12,1"	700	8,7	578	53,1
	S	45°49'11,3"	22°36'12,8"	700			
Prisloape	N	45°41'10,8"	22°29'25,9"	1200	6,7	886	30,9
	S	45°41'09,1"	22°29'23,5"	1200			

Exp. – expoziția; T.m.a. – temperatura medie anuală ; P.m.a. – precipitațiile medii anuale; la – indicele anual de ariditate de Martonne (*)

Masivul reprezintă o grupă montană aparținând Carpaților Occidentali ai României, făcând tranziția între zona nordică a acestora, Munții Apuseni, și grupa majoră sudică, Munții Banatului (figura 2.3.1.).

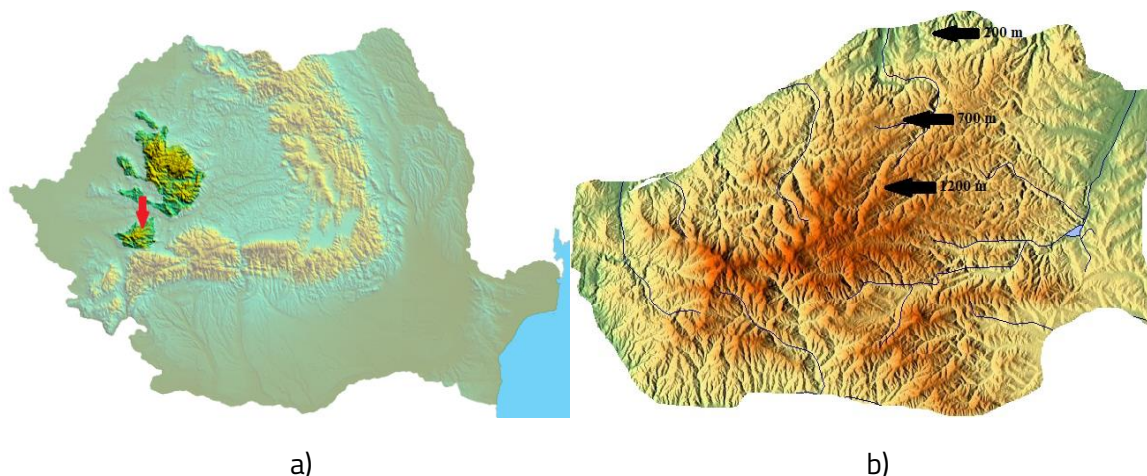


Fig 2.3.1. Localizarea zonei de studiu:

a) Munții Poiana Ruscă, subramură a Carpaților Occidentali; (sursa pentru hartă sub licența:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Carpatii_apuseni.png)

b) transectul și localizarea celor trei nivele altitudinale pentru suprafețele fenologice de cercetare; (sursa pentru harta Munților Poiana Ruscă:
https://ro.wikipedia.org/wiki/Mun%C8%9Bii_Poiana_Rusc%C4%83#/media/Fi%C8%99ier:Harta_Poiana_Rusca.png)

Se întind pe o suprafață de cca 2.640 km², având altitudini medii în jur de 700 – 1000 m, cea mai mare altitudine fiind atinsă în vârful Padeș, 1382 m (Pop, 2006). Pe lângă poziția geografică generală apropiată de limita răsăriteană a arealului general al fagului, alegerea zonei de cercetat se justifică prin ecartul altitudinal de peste 1000 m al arboretelor de fag (180 m în zona Colțul Pietrei, respectiv 1250 m în zona Prisloape, la altitudinea maximă a speciei în zona de studiu.

2.3.2. Cadrul general fizico-geografic și fitogeografic al zonei de studiu

Din punct de vedere sistematic, geografic, încadrarea Munților Poiana Ruscă este diferită de la autor la autor, în timp ce unii consideră ca reprezintă partea de nord-vest a Carpaților Meridionali, alții îi încadrează ca o grupă montană extinsă, aparținând Carpaților Occidentali. Indiferent de punctul de vedere un lucru este cert, masivul muntos poate fi considerat foarte ușor o punte de legătură între cele două mari grupe muntoase ale Carpaților (Figura 2.3.2.). Limitele Munților Poiana Ruscă sunt reprezentate în linii mari de Carpații Metaliferi și Dealurile de Vest, în partea

nordică, Depresiunea Haţegului şi Streiului, la est, Depresiunea Caransebeşului, la vest, în timp ce limita lor sudică este de cele mai multe ori considerată a fi Valea Bistra.

Deşi masivul nu impresionează prin înălţimile mari, cele mai mari altitudini fiind reprezentate de către Vârful Rusca (1260 m) şi Vârful Padeş (1380 m); (Coldea *et al.*, 2015), caracteristica de bază care creează particularitatea acestei zone este dată de varietatea deosebită atât din punct de vedere al formelor de relief (terase înguste, culmi domoale şi lungi, despărţite de văi largi), a rocilor (de la cele metamorfice, vulcanice până la cele sedimentare), influenţelor climatice diverse (climate montane, cu influenţe continentale dar şi submediteraneene în partea sud-vestică), precum şi a diversităţii faunistice şi de floră.

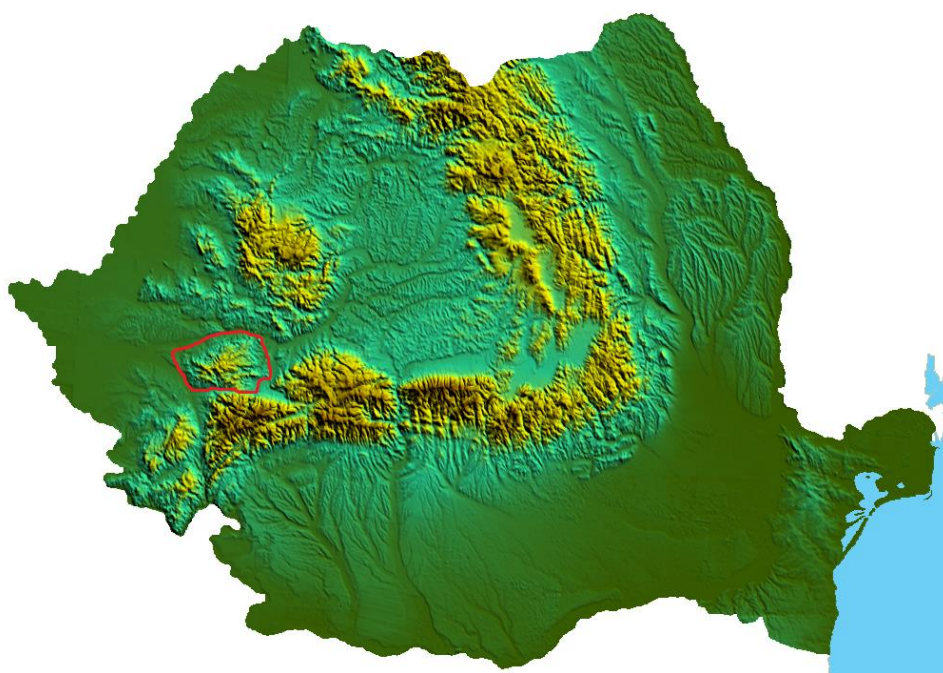


Figura 2.3.2. Munţii Poiana Ruscă (sursa: https://ro.wikipedia.org/wiki/Fi%C8%99ier:Romania_relief.png)

Din punct de vedere **geologic**, în zona masivului (centrală şi nordică) ce vizează prezentul studiu rocile cele mai des întâlnite sunt şisturile cristaline, şisturi cristaline epimetamorfice, şisturile grafitoase, micaşisturile calcarele, dolomitele şi într-un procent mai mic pietrişuri şi gresii (Amenajamentul Ocolului Silvic Dobra, Studiul general - 2017).

Teritoriul analizat face parte din **zona climatică temperat continentală**, sectorul de provincie climatică cu influenţe oceanice, ținutul climatic de munţi şi dealuri joase. Subţinuturile climatice Carpaţii Meridionali şi Dealurile Banato-Crişene, districtul de pădure, topoclimatul complex al Dealurilor Mureşene şi al Munţilor Poiana Ruscă. După Koppen, zona face parte din provincia climatică Cfbx. Datele climatice (Tabelul 2.3.2.) înregistrate la staţia meteorologică Deva, zona se caracterizează printr-o temperatură medie anuală de 10°C în zonele inferioare din punct de

vedere altitudinal, corespunzătoare zonei inferioare a transectului în care s-au derulat cercetările din teza de față, iar temperatura ce scade, în general, spre zona montană până la aproximativ 7°C (Amenajamentul Ocolului Silvic Dobra, Studiul general - 2017).

Tabelul 2.3.2. Regimul termic și precipitațiile în zona studiată (Amenajamentul Ocolului Silvic Dobra, Studiul general - 2017)

Temperatura medie (°C) în luna:											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-1(-4)	0(-2)	5(1)	10(7)	15(13)	18(16)	20(16)	20(17)	16(14)	10(8)	5(3)	0(-1)
Precipitații medii (mm) în luna:											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
45-60	40-55	50-75	60-85	75-120	100-130	70-120	80-110	50-70	50-90	40-25	55-65

Valorile factorilor climatici caracterizează zona ca fiind una cu potențial mediu spre ridicat pentru fag (Amenajamentul Ocolului Silvic Dobra, Studiul general - 2017)

Cele mai răspândite soluri în zona vizată de prezenta lucrare sunt din clasa cambisoluri, cu un procent mai mare în favoarea eutricambosolului tipic (51%).

Principalele arborete din Munții Poiana Ruscă se compun din făgete pure sau amestecuri ale fagului, condițiile fiind prielnice speciei datorită precipitațiilor bogate, inclusiv sub formă de zăpadă, iarna, în zona montană, în timp ce zonele inferioare din punct de vedere altitudinal se află sub influențele climatului submediteranean (bănățean) (Posea G., 2006).

Principalele tipuri de stațiuni caracteristice Masivului Poiana Ruscă sunt: 3.3.3.2 - Montan de amestecuri Bm, cambisol edafic mijlociu, cu *Asperula Dentaria* FM2. Bm. TII. HIII. Ue₃₋₂, 3.3.3.3 - Montan de amestecuri Bs, cambisol edafic mare cu *Asperula-Dentaria*. FM2.Bs.TIV-V.HIV-V.Ue₄₋₃, 4.2.1.0 - Montan-premontan de făgete Bi, rendzinic, edafic mic FM1+ FD4.Bi. TIII-IV.HI.Ue₂₋₁, 4.4.3.0 - Montan-premontan de făgete Bs, cambisol edafic mare, cu *Asperula-Dentaria* FM1+FD4.Bs.TIV-V.HIV.Ue₃₋₂, 5.1.3.2 - Deluros de gorunete Bm, podzolit edafic mijlociu, cu graminee mezoxerofite FD3.Bm.TII.HIII.Ue₂₋₁, 5.2.4.1 - Deluros de făgete Bi, cambisol edafic mic FD3.Bi.TII.HIII.Ue₂, 5.2.4.2 - Deluros de făgete Bm, cambisol edafic mijlociu, cu *Asperula-Asarum* FD3.Bm.TIII-IV.HIII.Ue₂, 5.2.4.3 - Deluros de făgete Bs, cambisol edafic mare, cu *Asperula-Asarum*. FD3.Bs.TIV-V.HIV.Ue₃₋₂, 6.2.3.1 - Deluros de făgete de limită inferioară Bi, podzolit edafic mic, cu *Vaccinium* și *Luzula* FD2.Bi. TI-II.HIII.Ue₁, 6.2.5.2 - Deluros de cvercete, cu făgete de limită inferioară Bm, brun edafic mijlociu, cu *Asperula Asarum* FD2.Bm.TIII-IV.HIII.Ue₂, 6.2.5.3 - Deluros

de cvercete, cu făgete de limită inferioară Bs, brun edafic mare, cu Asperula-Asarum FD2.Bs.TIV-V.HIV.Ue₃₋₂.

2.3.3. Materialul și metoda de cercetare pentru analizele fenologice

Evaluarea fenologică s-a efectuat pe trei nivele altitudinale, la 200, 700 și 1200 m, context în care s-a preconizat ca informațiile obținute să fie utile pentru obiectivizarea managementului arboretelor de fag departajate pe nivele altitudinale de câte 500 m. La fiecare nivel altitudinal s-au evaluat câte 100 arbori, câte 50 pe expoziția însorită (sudică), respectiv pe cea umbrită (nordică). Suprafețele fenologice de cercetare includ arborete pure sau aproape pure de fag, cu o normă de participare a speciei de cel puțin 90%. Au fost incluși în eșantionul de cercetare numai arbori din clasele I și II Kraft, principalii producători de biomasă la nivel de arboret, dar și ca urmare a faptului că aceștia sunt foarte importanți pentru procesul de regenerare, în vederea creării generației viitoare. Totodată, fiind în plafonul superior al arboretului, aceștia s-au aflat în condiții microclimatice relativ unitare, ceea ce a condus la un nivel corespunzător de obiectivizare a determinărilor, mai întâi fenologice, apoi morfologice și anatomice pentru frunze, respectiv, în final, a celor referitoare la creșterile radiale și densitatea convențională a lemnului.

În fiecare din cele 6 suprafețe fenologice s-a amplasat câte un senzor HOBO U23 Pro v2, care a înregistrat temperatura și umiditatea relativă pe perioada a 3 sezoane de vegetație pentru analiza fenofazelor de toamnă, respectiv 2 sezoane de vegetație în cazul fenofazelor de primăvară. Observațiile fenologice au fost realizate la nivelul fiecărui arbore cu ajutorul unui telescop, fiind efectuate următoarele evaluări:

➤ *Deschiderea mugurilor și înfrunzirea.* Pentru această fenofază s-a utilizat scara de cuantificare: 1-mugurii nedeschiși; 2-declanșarea deschiderii mugurilor și apariția frunzelor; 3-finalizarea înfrunzirii (frunze complet dezvoltate în toată coroana); (foto 2.3.3.1.).

În funcție de dinamica înfrunzirii, arborii din fiecare suprafață fenologică au fost încadrați în una din categoriile: precoci, intermediari sau tardivi. Pentru repartizarea arborilor pe categorii fenologice s-a calculat valoarea medie DOY pentru stadiul 2 din scara de cuantificare, precum și abaterea standard. Arborii care se abat de la această valoare cu 5 unități de abatere standard față de medie au constituit grupul arborilor precoci, respectiv tardivi. Pe baza datelor obținute și prin utilizarea programului software QGIS au fost realizate hărți fenologice gradientale în plan 2D, precum și 3D pentru zona analizată, hărți ce prezintă fenofaza declanșării deschiderii mugurilor și apariția frunzelor.



1)



2)



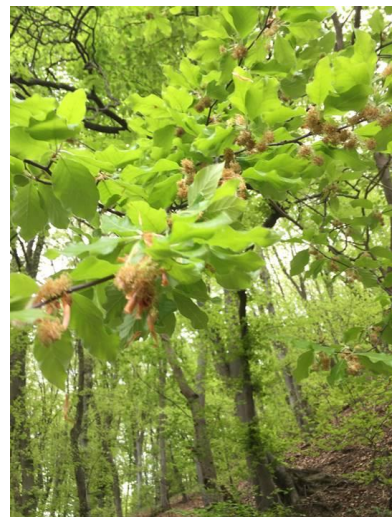
3)

Foto 2.3.3.1. Etapele fenofazei deschiderii mugurilor și înfrunzirii la fag (foto: Popescu Radu)

➤ *Înflorirea.* Din motive de acuratețe, această fenofază s-a analizat pentru florile masculine, acestea fiind mai ușor de observat și de evaluat. În cadrul acesteia au fost departajate trei stadii și anume: 1- *flori absente*; 2- *flori formate, dar imature din punct de vedere sexual*; 3- *flori formate, mature, aflate în etapa de eliberare a polenului* (foto 2.3.3.2.). Imaturitatea și respectiv maturitatea sexuală s-au evaluat prin identificarea momentului în care florile au devenit apte pentru eliberarea polenului. Deoarece fenofaza înfloririi este precedată în cazul fagului întotdeauna de fenofaza înfrunzirii, circumscrierea acesteia și analiza factorilor ce o influențează s-au raportat la momentul în care frunzele au atins dimensiunea maximă. Ca și în cazul înfrunzirii, datelor obținute au condus și pentru fenofaza înfloririi la generarea unor hărți fenologice pentru transectul altitudinal aflat în studiu.



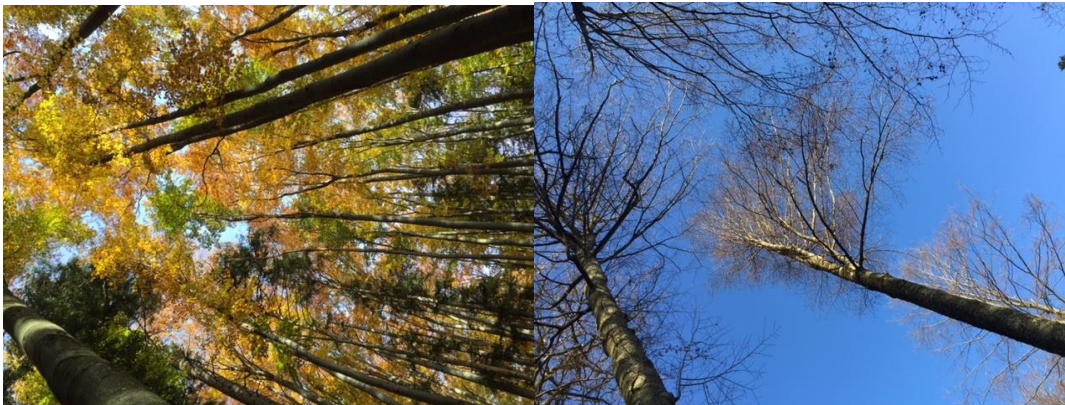
2)



3)

Foto 2.3.3.2. Etapele fenofazei înfloririi (foto: Popescu Radu)

➤ *Colorarea și căderea frunzelor.* Încadrarea fenologică a arborilor în raport cu această fenofază s-a realizat astfel: 1 - *absența colorației specifice de senescență*; 2 - *peste 50% din frunze prezintă colorații specifice intrării în repausul vegetativ*; 3 - *peste 50% din frunze sunt căzute din coroană* (foto 2.3.3.3.). Similar modului de lucru în cazul fenofazelor de primăvară, cu ajutorul programului QGIS au fost realizate hărți fenologice gradientale ce prezintă momentul intrării arborilor în repaus vegetativ.



2)

3)

Foto 2.3.3.3. Etapele fenofazei colorării și căderii frunzelor la fag (foto: Popescu Radu)

➤ *Maturarea fructelor și diseminarea.* La fel ca și în cazul fenofazei de toamnă a senescenței frunzelor, și de această dată, în vederea analizei și interpretării a fost folosită o scară cu 3 valori: 1 – *fructe imature, diseminare absentă* (foto 2.3.3.4.) ; 2 – *peste 50% din fructe sunt diseminate din coroană*; 3 – *diseminarea fructelor s-a încheiat*.



Foto 2.3.3.4. Etapa 1 din fenofaza formării fructelor (foto: Popescu Radu)

Similar celorlalte fenofaze, și această etapă de analiză s-a încheiat prin concretizarea rezultatelor obținute în elaborarea hărților fenologice pentru transectul analizat.

2.3.4. Materialul și metoda de cercetare pentru analizele morfologice

În cadrul acestei etape au fost analizate următoarele trăsături:

➤ *Descriptori ai frunzelor.* Pentru realizarea acestor analize au fost recoltate câte 5 frunze/arbore de la câte 10 arbori precoci, respectiv tărdivi din punct de vedere al comportamentului fenologic, din fiecare suprafață de probă, din partea mijlocie a coroanei, orientată către nord. Frunzele au fost presate și apoi analizate cu ajutorul programului WinFOLIA, în vederea determinării următorilor *descriptori morfologici* (foto 2.3.4.1.):

- lungimea laminei (engl. *lamina length*, abv. LL);
- lungimea pețiolului (engl. *petiole length*, abv. PL);
- lungimea laminei de la bază până în zona de lățime maximă (engl. *distance between the lower point of the lamina and the maximum width point on the axis*, abv. LMW);
- lățimea maximă a laminei (engl. *lamina width*, abv. LW);
- distanța dintre nervuri (engl. *distance between veins*, abv. DBV);
- numărul perechilor de nervuri (engl. *number of veins*, abv. NV).
- suprafața laminei (engl. *leaf area*, abv LA)

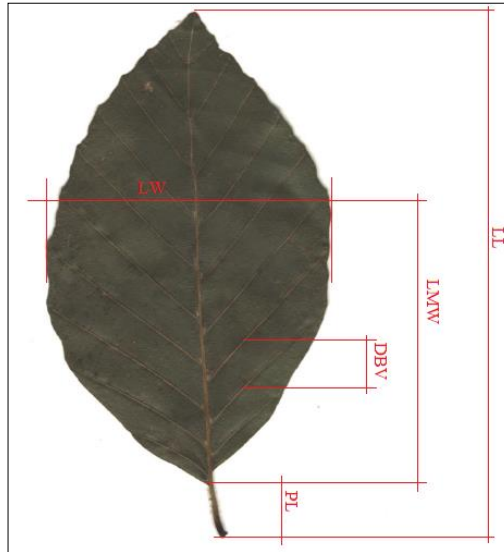


Foto 2.3.4.1. Descriptorii morfologici analizați ai frunzei

S-a ținut astfel cont de metodologiile propuse de Denk (2003), Bayramzadeh *et al.* (2011) și Papageorgiou *et al.* (2008).

Pe lângă descriptorii laminei deja amintiți au fost realizate și măsurători în ceea ce privește **descriptorii micromorfologici** ai frunzei. Astfel în cadrul acestei etape au fost analizate 300 de frunze recoltate de la un număr de 60 de arbori (câte 10 tardivi, respectiv precoci de la fiecare nivel altitudinal, pe fiecare expoziție în parte), fiind efectuate măsurători/determinări pentru:

- densitatea stomatelor (engl. *stomatal density*, abv. **S**);
- lățimea (**l**) și respectiv lungimea stomatelor (**L**).

Pentru analiza acestor descriptori, pe fiecare frunză în parte, pe fața inferiară, în zona mediană a frunzei, s-a aplicat un strat subțire de nitrolac. După uscarea peliculei respective, au fost realizate preparate microscopice. Acestea au fost analizate cu ajutorul unui microscop IOR ml – 4m, prin calibrarea cu ajutorul unei lamele gradate și a unui micrometru ocular, cu obiectivul cu o putere de mărire de 10x. Astfel, s-a determinat faptul că suprafața analizată la o putere a obiectivului de 40x este de $22686 \mu\text{m}^2$, fiecare gradație de pe micrometrul ocular reprezentând o distanță de $1,7 \mu$ (foto 2.3.4.2.). Numărul de stomate astfel determinat a fost extrapolat apoi pe mm^2 . Datele referitoare la descriptorii laminei au fost apoi transcrise în vederea analizei într-un fișier *Microsoft Excel*.



Foto 2.3.4.2. Imagine a stomatelor prin obiectivul de 40x (foto: Popescu Radu)

Cu ajutorul programului software IBM SPSS® au fost realizate analize statistice pentru descriptorii laminei. În primul rând, cu ajutorul testului Shapiro – Wilk s-a testat normalitatea distribuției șirurilor de valori. Șirul permite analiza distribuției normale cu ajutorul coeficienților de corelație și regresie, prin compararea valorilor distribuțiilor investigate cu o distribuție normală și utilizarea unei probabilități de transgresiune $p = 0,05$.

După testarea normalității distribuției șirurilor de valori s-a trecut la analiza neparametrică a varianței și la aplicarea testului Kruskal – Wallis care permite identificarea diferențelor semnificative și distinct semnificative dintre populații.

Totodată, au fost efectuate *analize de tip cluster* prin utilizarea aplicației PAST , analize ce permit identificarea grupării arborilor cu trăsături comune a variabilelor analizate. S-au realizat analize cluster separat pentru descriptorii macromorfologici și micromorfologici ai laminei, cele mai concludente rezultate fiind obținute prin utilizarea metodei varianței minime a lui Ward (engl. Ward's method) prin intermediul distanțelor euclidiene.

Un ultim pas în analiza statistică a fost reprezentat de determinarea componentelor principale (engl. Principal Components Analysis, abv. PCA). Analiza determină variabilele care creează diversitate în interiorul populațiilor. În cadrul acestei etape au fost realizate grafice diferite pentru descriptorii analizați, la fel ca și în cazul analizei cluster.

➤ *Densitatea convențională a lemnului.* A fost analizată la un număr de 5 arbori precoci, respectiv tardivi din fiecare suprafață de probă. Carotele de creștere au fost extrase cu ajutorul burghiului Pressler (foto 2.3.4.3.) de la înălțimea de 1,30 m, de pe partea nordică a fiecărui arbore.



Foto 2.3.4.3. Extragerea carotelor de creştere cu ajutorul burghiului Pressler (original)

Pentru determinarea densităţii convenţionale, conţinutul de apă a fost determinat uscând în termobalanţă carotele, el exprimând procentul dintre masa de apă din carotă şi masa carotei complet uscate (Kollman şi Cote, 1968). Metoda conţinutului maxim de apă (Keylwerth, 1954) a fost folosită pentru a determina densitatea convenţională, adoptând în relaţia de calcul valoarea medie de $1,53 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Stamm, 1929; Wilfong, 1966), valoare ce reprezintă greutatea specifică substanţei lemnoase. Carotele de lemn au fost aduse la punctul de saturaţie, prin fierberea acestora complet scufundate în apă distilată (Polge, 1963), timp de 12 ore. Apa a fost înlocuită din când în când pentru a îndepărta părţile hidrosolubile ce ar fi putut conduce la erori în determinare (Taras şi Saucier, 1967). Probele analizate au fost cântărite atât înainte cât şi după răcirea ulterioară uscării acestora la 0% conţinut de apă, uscare obţinută prin expunerea la o temperatură de $104 \text{ }^\circ\text{C}$ în interiorul termobalanţei (foto 2.3.4.4.). Fiecare carotă a fost împărţită în 3 părţi egale pentru identificarea eventualelor variaţii ale densităţii arborilor dinspre partea interioară către cea exterioară.



Foto 2.3.4.4. Uscarea carotelor de creştere cu ajutorul termobalanţei (foto: Popescu Radu)

După determinarea valorilor amintite, densitatea convenţională (ρ_c) a lemnului a fost calculată utilizând programul Microsoft Office Excel cu ajutorul relaţiei următoare:

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{1}{\rho_{si}} + \frac{m_{max}}{m_0} - 1} \quad \text{unde:}$$

ρ_c - densitatea convenţională

ρ_{si} - densitatea substanţei lemnoase (constantă egală cu 1.53 g/cm³)

m_{max} - masa probei saturate

m_0 - masa probei uscate

➤ *Creşterea radială anuală.* A fost determinată prin analiza a câte 10 carote de creştere atât de la arborii precoci, cât şi tardivi din fiecare suprafaţă de probă. Probele au fost obţinute cu ajutorul burghiului Pressler de la o înălţime de 1,30 m de pe partea nordică a arborilor. Pentru determinarea numărului de inele anuale, a lăţimii acestora şi deci implicit a creşterilor arborilor, carotele au fost montate prin lipire pe suporturi şi şlefuite în vederea identificării cu o cât mai bună precizie a structurilor lemnului (foto 2.3.4.5.). Apoi, cu ajutorul unui scanner, imaginile obţinute au fost prelucrate prin intermediul programului winDENDRO (foto 2.3.4.6.). De asemenea, a fost determinată umiditatea lemnului în momentul realizării măsurătorilor, pentru a conduce într-un final la obţinerea unor date de o mare precizie.

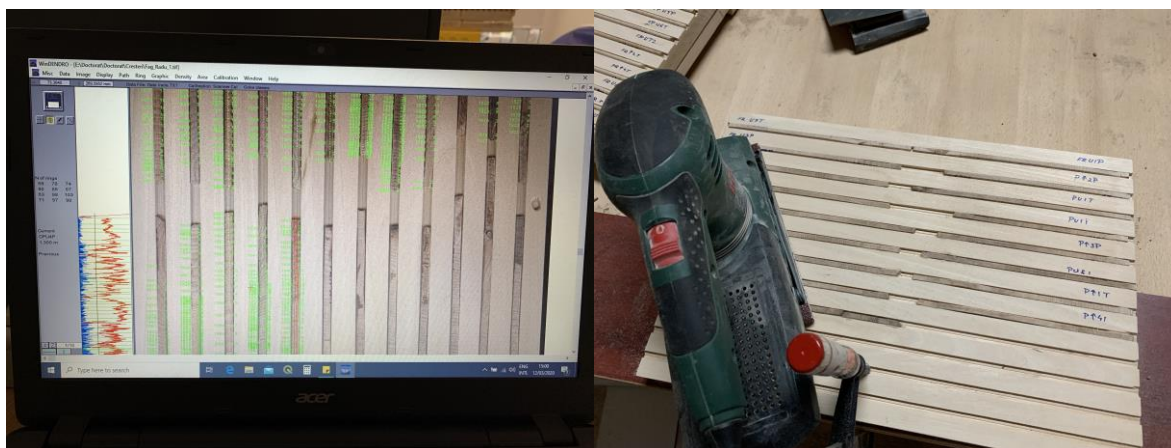


Foto 2.3.4.5.; Foto 2.3.4.6. Şlefuirea şi analiza software a carotelor de creştere (foto: Popescu Radu)



Valorile astfel obținute au fost analizate și calculate cu ajutorul programului Microsoft Office Excel. Pentru a elimina comportamentul atipic al arborilor din perioadele de tinerețe, precum și influența vârstelor diferite ale arborilor, analiza creșterilor a vizat doar primele 60 de inele pornind de la coajă spre interior.

CAPITOLUL 3: REZULTATE ŞI DISUCŢII

3.1. Rezultate ale determinărilor fenologice

3.1.1. Fenologia de primăvară

3.1.1.1. Deschiderea mugurilor şi înfrunzirea

Din analiza declanşării procesului de înfrunzire (deschiderii mugurilor) la cele trei nivele altitudinale a rezultat o diferenţiere fenologică a populaţiilor dispuse gradiental, prin întârzierea înfrunzirii pe măsură ce creşte altitudinea (figura 3.1.1.1.). Valorile medii pentru cei 100 arbori evaluaţi la fiecare nivel altitudinal sunt însă foarte apropiate între primele două nivele altitudinale (D.O.Y.=98 la altitudinea de 200 m şi respectiv 106 la altitudinea de 700 m). Între populaţiile situate la punctele extreme ale transectului (respectiv la limitele altitudinale de areal al fagului în zona de studiu) se înregistrează, în medie, un decalaj de 30 zile. Pe versantul nordic întârzierea fenofazei nu este mai mare de 6 zile, în niciuna dintre situaţii.

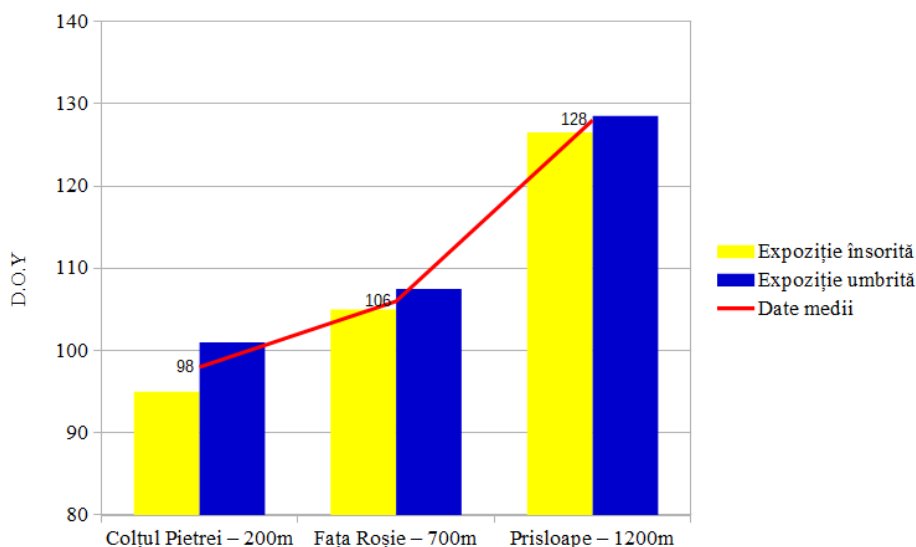


Figura 3.1.1.1. Valori gradiente pentru ziua din an (engl. *day of the year*, abv. D.O.Y.) în raport cu înfrunzirea şi nivelul altitudinal al populaţiilor analizate

Analizând dinamica individuală a deschiderii mugurilor şi definitivării formării frunzelor a rezultat că, în medie, procesul se produce la nivel de arbore într-un interval de circa 6-10 zile, însă mai lent în populaţia de mică altitudine. Media temperaturilor zilnice din perioada înfrunzirii se situează în arealul cercetat în jurul valorii de 10°C, fiind puţin mai mare în populaţia de mică altitudine (10,8 °C).

În tabelul 3.1.1.1.1. se prezintă datele pentru temperaturile medii zilnice rezultate din înregistrările efectuate de senzori pe parcursul celor doi ani de măsurători, în funcție de expoziția populației analizate. În prima situație de analiză (tabelul 3.1.1.1.1. - a), referitor la temperaturile medii zilnice însumate din intervalul cuprins între căderea frunzelor (engl. *end of vegetation season*, abv. EVS) și deschiderea mugurilor în primăvara anului următor (engl. *buds burst*, abv. BB), deși există o diferențiere cu altitudinea (valori cumulate crescătoare spre altitudine mai mare), totuși diferența este extrem de mică între populațiile de la 200 și respectiv 700 m). Populația de la altitudinea maximă a speciei în zona cercetată a necesitat însă un spor de 15,8% pentru temperaturile medii zilnice cumulate în intervalul de timp menționat, prin comparație cu populația de la altitudinea cea mai mică. Pe de altă parte, analizând intervalul de timp circumscris de D.O.Y. în anul curent (tabelul 3.1.1.1.1. - b), a rezultat o valoare mai mică în populația de la altitudine intermediară (mai puțin cu 8,2% comparativ cu populația de la 200 m altitudine, respectiv cu 20,5% față de nivelul altitudinal de 1200 m). Diferența mai mică între versantul umbrat și cel însorit de la altitudinea de 1200 m se explică prin panta mai mică a versanților la acest nivel altitudinal.

Tabelul 3.1.1.1.1. – Indicatori statistici ai sumei temperaturilor medii zilnice: a) în intervalul cuprins între intrarea în repausul vegetativ în anul precedent (EVS) și deschiderea mugurilor în anul curent (BB); b) în intervalul circumscris de D.O.Y. anul curent.

Suprafața fenologică	Nivelul altitudinal (m)	Suma temperaturilor medii zilnice(°C)			Coeficientul de variație (%)
		Expoziția		Medie	
		Sudică	Nordică		
a) Valori din intervalul EVS-BB					
Colțul Pietrei	200	417,4	472,2	444,8	34
Fața Roșie	700	417,7	479,7	448,7	24
Prisloape	1200	496,7	533,3	515,0	7
b) Valori din intervalul circumscris de D.O.Y. în anul curent					
Colțul Pietrei	200	245,1	294,9	270,0	19
Fața Roșie	700	226,8	268,6	247,7	10
Prisloape	1200	356,5	359,1	357,8	8

Întrucât în lucrările de specialitate momentul de referință pentru producerea fenofazei de înfrunzire este de multe ori considerat a fi prima zi a anului, în lucrarea de față s-a avut în vedere nu numai valoarea DOY astfel determinată, ci și pentru intervalul total de repaus vegetativ. Cercetările de față pentru fenofaza de înfrunzire au cuantificat valorile termice de influență pentru zona de studiu, rezultând, pe de o parte, un necesar mai mare de temperaturi medii zilnice cumulate pentru arboretele de pe versanții umbriți, comparativ cu cei însoriți. Pe de altă parte, valoarea gradientală medie pentru acest parametru climatic din repausul vegetativ se modifică tranșant, crescând cu altitudinea de la numai $0,8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ între primele două nivele altitudinale, la $13,3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ între populațiile la 700 și respectiv 1200 m.

După cum se evidențiază și în figura 3.1.1.1., gradientul momentului de producere al înfrunzirii nu este uniform odată cu avansul altitudinal. Până la altitudinea de 700 m, unde intrarea în vegetație a arborilor are loc în ziua 104, acest moment se decalează cu 1,2 zile/100 m altitudine. Între 700 m și 1200 m gradientul crește, ajungându-se astfel la o întârziere a înfrunzirii 4,8 zile/100 m în jumătatea altitudinală superioară.

Prin comparație, într-un studiu extins pe 16 ani, lângă Brno (Cehia), la altitudinea de 625 m (Bednarova și Melkova, 2007), a rezultat că, în medie, deshiderea a 10% din muguri s-a produs în a 104-a zi din an, valoare identică cu cea determinată în studiul de față pentru declanșarea deschiderii mugurilor la altitudinea de 700 m. Diferența între cele două cazuri se înregistrează în raport cu suma temperaturilor medii zilnice din intervalul circumscris de D.O.Y., mai mare cu 16% în populația evaluată de noi în Munții Poiana Ruscă. Trebuie însă avut în vedere faptul că, în cazul nostru, au fost înregistrate valori climatice numai pentru mai puțini ani. Dealtfel, Bednarova și Melkova (2007) consemnează importanța deosebită pe care o exercită condițiile climatice particulare din diverși ani asupra declanșării și derulării fenofazelor de primăvară, fapt confirmat și de Schieber (2006).

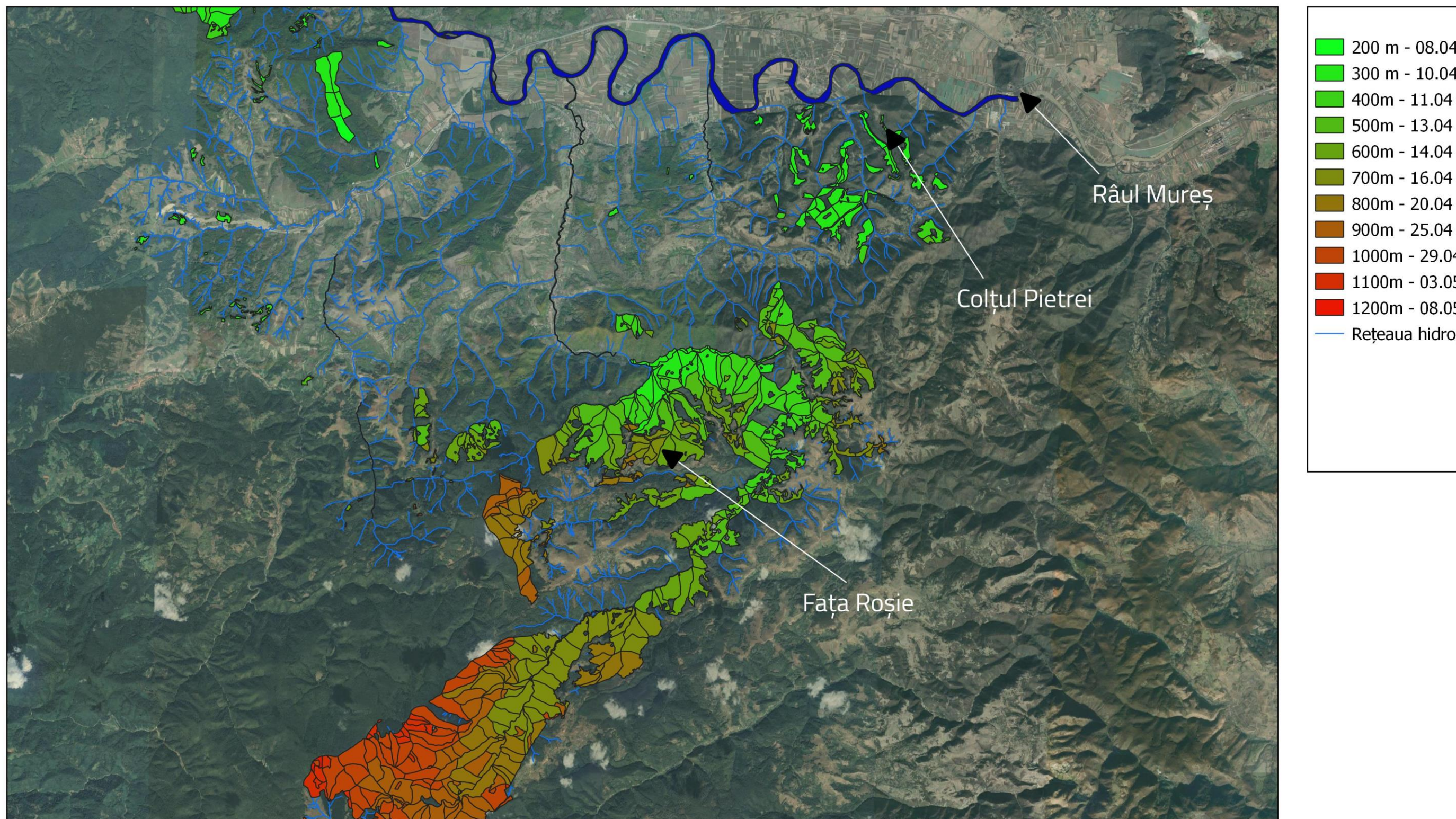
Referitor la influența expoziției asupra fenologiei înfrunzirii, în studiul de față a rezultat, în medie, o întârziere a înfrunzirii pe versanții nordici, umbriți, de 4,8 de zile, cu precizarea faptului că în arboretele situate la limita altitudinală inferioară a fagului acest moment se poate prelungi până la 6 zile, față de doar 2,6 zile în cazul arboretelor situate în zona de altitudine mijlocie.

Pe baza datelor obținute, prezentate și analizate mai sus au fost elaborate hărți fenologice gradientale ale fenofazei de înfrunzire pentru transectul altitudinal din zona ce vizează prezenta
teză (figura 3.1.1.2., Anexa 1).



Figura 3.1.1.2. Harta fenologică a înfrunzirii

FENOLOGIA GRADIENTALĂ A ÎNFRUNZIRII LA FAG ÎN MUNȚII POIANA RUSCĂ (IMAGINE 2D)



3.1.1.2. Înflorirea

Pentru această fenofază, referința pentru analiza momentului producerii este data de încheiere a fenofazei înfrunzirii fiecărui arbore. Așa cum se constată din tabelul 3.1.1.2., în medie, la altitudinea de 200 m înflorirea și maturarea florilor femele se produce la circa 6 zile după data medie de finalizare a înfrunzirii, respectiv la circa 8 zile la altitudinea de 1200 m. Temperatura medie din intervalul de înflorire se situează între circa 9-11°C, crescând ușor cu altitudinea. Pe de altă parte, suma temperaturilor mai mari de 5°C din intervalul ND (numărul de zile între data medie de producere a înfrunzirii și fenofaza înfloririi) este mai mică cu circa 50% comparativ cu nivelul altitudinal superior.

Tabelul 3.1.1.2. Valori caracteristice intervalului dintre dezvoltarea completă a frunzelor și fenofaza de înflorire

Altitudinea (m)	Nr. zile (ND*)	Media temperaturilor intervalului de înflorire (°C)	$\sum T > 5^\circ\text{C}$
200	5,9	9,3	55,2
700	7,1	10,3	82,6
1200	7,9	10,8	84,8

ND*-numărul de zile între data medie de producere a înfrunzirii și fenofaza înfloririi

Totodată, raportat la debutul anului calendaristic, pentru momentului D.O.Y. de producere a înfloririi, în jumătatea inferioară a transectului a rezultat o întârziere de 1 zi/100 m, respectiv de 5 zile/100 m în partea superioară a acestuia (figura 3.1.1.2.).

Referitor la fenologia înfloririi, axarea studiului de față pe arborii din plafonul superior oferă posibilitatea obținerii de informații pentru aceștia, care sunt cei mai importanți pentru procesul de regenerare și de transmitere a informației genetice generației viitoare. Dacă în cazul înfrunzirii valoarea D.O.Y. se modifică mai puțin între nivelele altitudinale de 200 m și 700 m, dar accentuat între 700 m și 1200 m, în cazul înfloririi pare a fi o tendință ușor inversată. Astfel, în jumătatea inferioară a transectului gradientul decalajului între dezvoltarea completă a frunzelor și înflorire este de 0,23 zile/100 m, dar în jumătatea superioară a transectului altitudinal scade la 0,16 zile/100m. Per ansamblu, pe sectoare altitudinale decalajele fenologice sunt suficient de mari pentru a genera panmixie doar pe un ecart altitudinal relativ restrâns, chiar dacă fluxul de gene și genotipuri de-a lungul acestui areal de continuitate a speciei ar sugera o tendință de uniformizare.

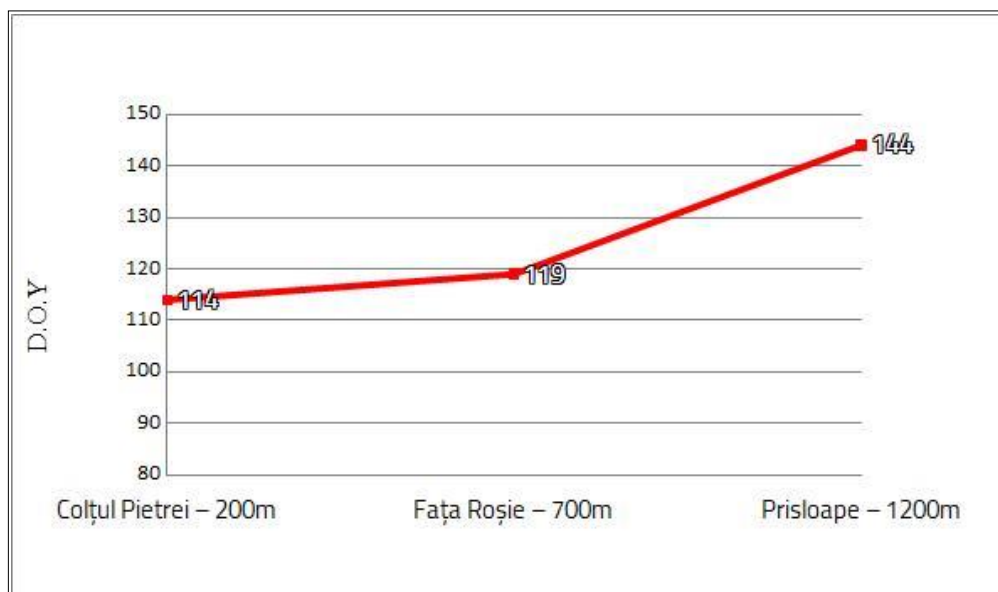


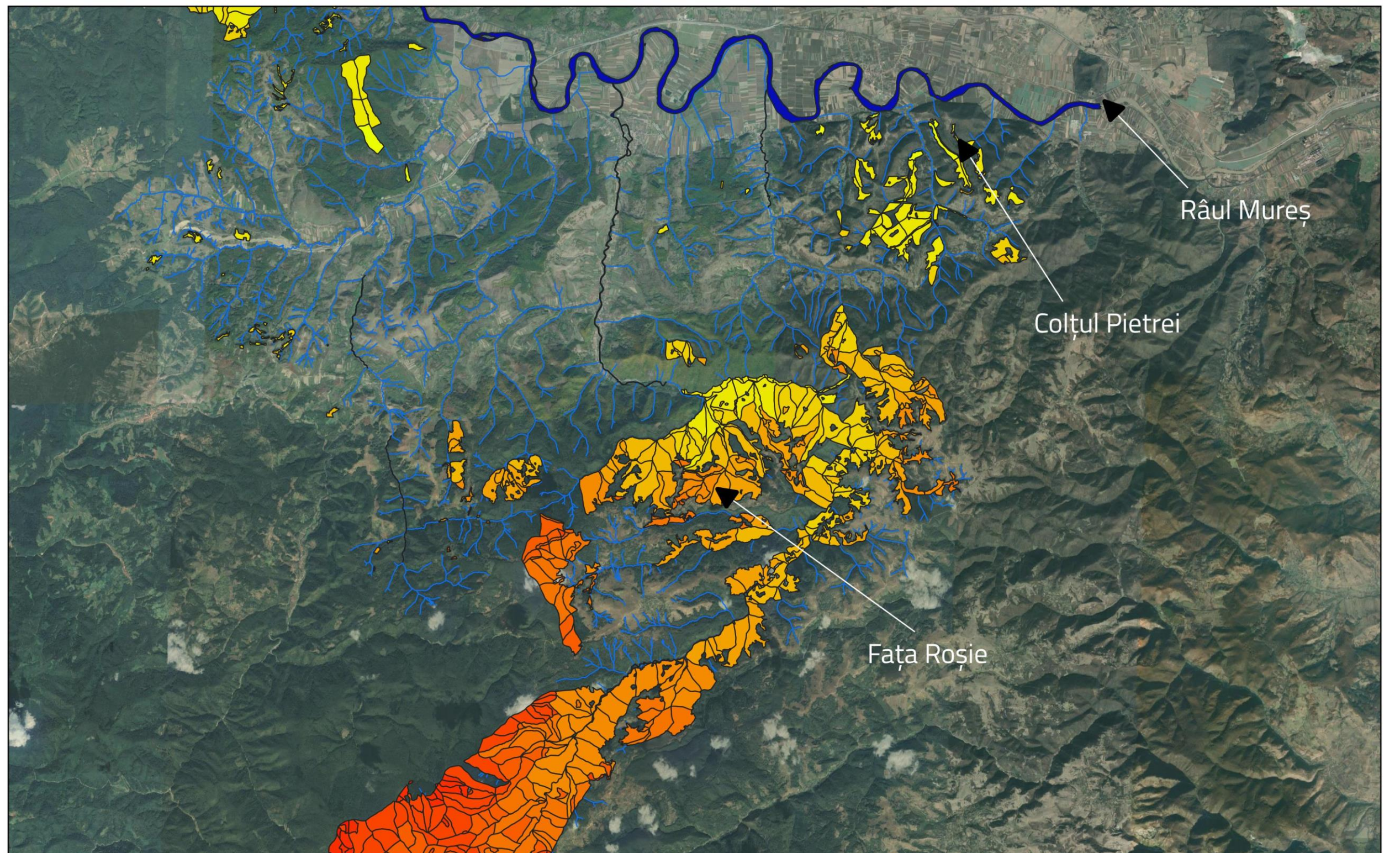
Figura 3.1.1.2. Momentul de producere al înfloririi (D.O.Y.) în funcție de nivelul altitudinal

De fapt, așa cum se știe, perioada de maximă receptivitate a florilor este destul de mică la nivelul populațiilor locale. În același timp, trebuie consemnat faptul că înflorirea se produce atunci când temperatura medie a intervalului de derulare a fenofazei este de circa 10°C . Pe de altă parte, suma temperaturilor medii zilnice superioare pragului de 5°C este mai mare în jumătatea superioară a transectului (circa 85°C), comparativ cu jumătatea inferioară (circa 55°C), diferența fiind determinată de numărul diferit de zile în care se derulează înflorirea, caracteristici aflate, probabil sub un anumit determinism genético-ecologic.

Ca și în cazul anterioarei fenofaze de primăvară analizate și pentru fenofaza înfloririi (momentul de apariție al florilor) având în vedere eșalonarea gradientală a arboretelor analizate, au fost realizate hărți fenologice aferente transectului altitudinal (200 – 1200 m) pentru versantul nordic al Munților Poiana Ruscă (figura 3.1.1.3., Anexa 2).

Figura 3.1.1.3. Harta fenologică a înfloririi

FENOLOGIA GRADIENTALĂ A ÎNFLORIRII LA FAG ÎN MUNȚII POIANA RUSCĂ (IMAGINE 2D)



3.1.2. Fenologia de toamnă

3.1.2.1. Colorarea și căderea frunzelor

Din punct de vedere fenologic, fenofazele de toamnă sunt deosebit de importante deoarece ele marchează sfârșitul sezonului de vegetație și intrarea arborilor în starea de repaus vegetativ, circumscriind astfel lungimea perioadei bioactive. Datarea producerii senescentei s-a făcut în raport cu momentul în care 50% din frunze au manifestat colorația specifică intrării în repausul vegetativ. Datele medii pentru senescenta frunzelor și caracterizarea sezonului de vegetație sunt prezentate în tabelul 3.1.3.

Valorile calculate pentru D.O.Y. au înregistrat o descreștere de la ziua 297 în populația de la 200 m altitudine, la ziua 276 la altitudinea de 1200 m. În medie, valoarea D.O.Y. s-a diminuat cu 4,2% în prima jumătate a transectului, respectiv cu 3,3% în jumătatea sa superioară. În medie, au fost necesare circa 12-14 zile pe nivel altitudinal pentru atingerea stadiului în care 50% din frunze s-au îngălbenit, iar temperatura medie din intervalul respectiv a fost de circa 10°C pentru primele două niveluri altitudinale, dar cu circa 4°C mai scăzută la altitudinea de 1200 m.

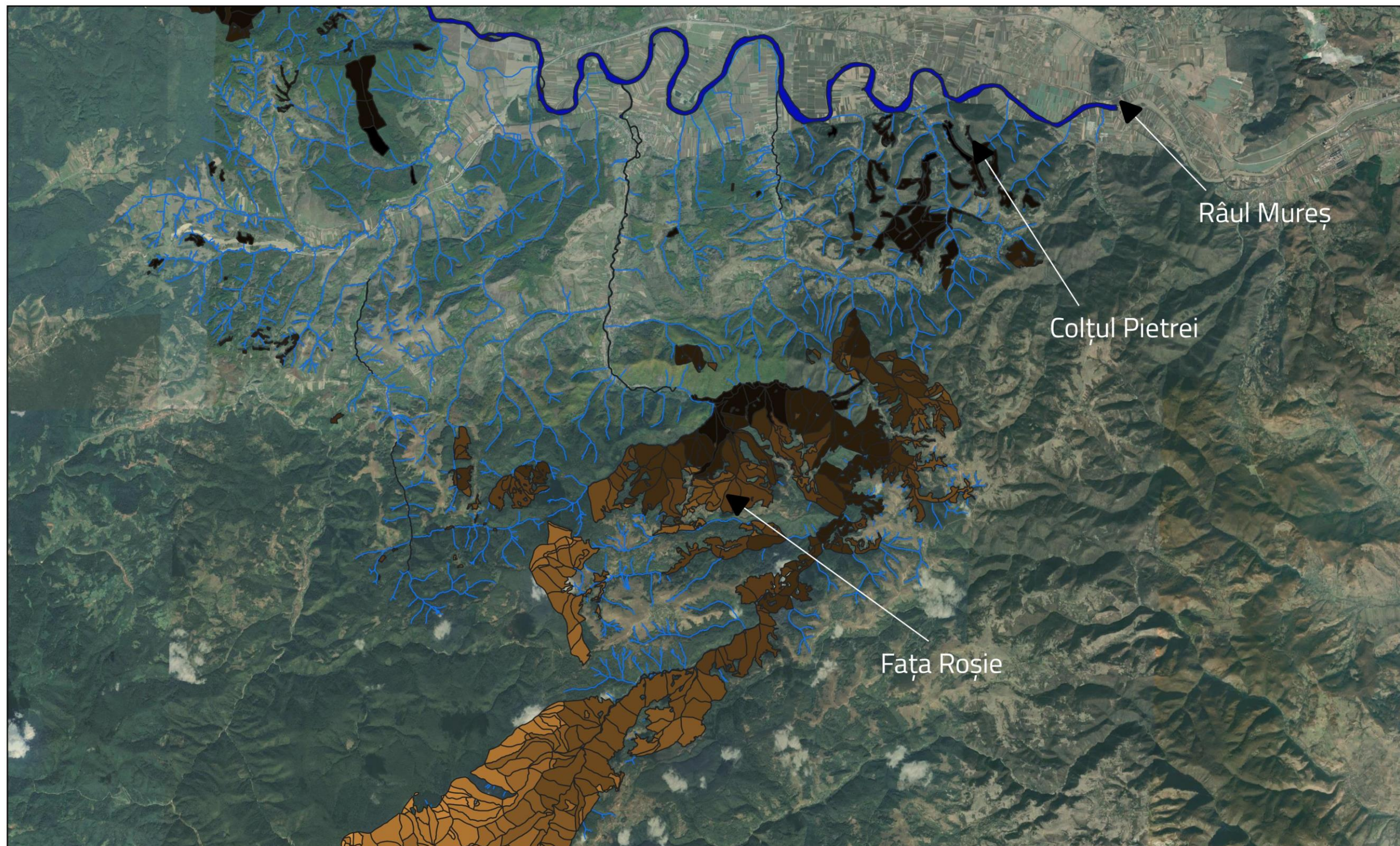
Fenologia fagului în sudul Germaniei a fost evaluată și de Gressler *et al.* (2015), prin comparații între arborii departajați în trei straturi: plafonul superior, cel mijlociu și respectiv cel inferior. A rezultat că arborii din stratul superior declanșază fenologia de toamnă mai târziu decât în celelalte două straturi. Colorarea specifică senescentei frunzelor începe în jurul datei de 18 octombrie, ceea ce prezintă similitudine, dar numai pentru altitudinea de 1200, cu arborii din același strat analizat.

În figura 3.1.2.1. și Anexa 3 se prezintă harta fenologică specifică Munților Poiana Ruscă pentru senescenta frunzelor (colorarea și căderea acestora).



Figura 3.1.2.1. Harta fenologică a senescentei frunzelor

FENOLOGIA GRADIENTALĂ A SENESCENTEI FRUNZELOR LA FAG ÎN MUNȚII POIANA RUSCĂ (IMAGINE 2)



3.1.2.2. Maturarea fructelor și diseminarea

La fel ca și în cazul celorlalte fenofaze analizate în prezentul studiu, încadrarea într-o anumită etapă a acestei fenofaze de toamnă intervine atunci când cel puțin 50% din elementele analizate îndeplinesc criteriul urmărit. Datele medii climatice ce caracterizează declanșarea și producerea fenofazei, precum și momentele de producere (D.O.Y.) se regăsesc în tabelul 3.1.2.2.

Tabelul 3.1.2.2. Datele medii referitoare la momentul producerii și caracterizarea perioadei de desfășurare a fenofazei – maturarea fructelor și diseminarea

Altitudinea (m)	D.O.Y. ^a	Diseminarea ^b			Durata diseminării ^d		
		Durata medie ^c (zile)	Temp. medie (°C)	$\sum T_m$ (°C)	Durata medie (zile)	Temp. medie (°C)	$\sum T_m$ (°C)
200	287	189	15,8	2987,9	18,7	11,2	207,1
700	276	170	15,4	2618,6	17,3	10,2	171,6
1200	268	140	12,4	1736	10,3	7,6	81,5

a- raportat la debutul anului calendaristic;

b- considerată ca momentul în care cel puțin 50% din fructe sunt diseminate din coroană;

c- raportată la debutul sezonului de vegetație;

d- raportată la momentul de debut până la încheierea fenofazei;

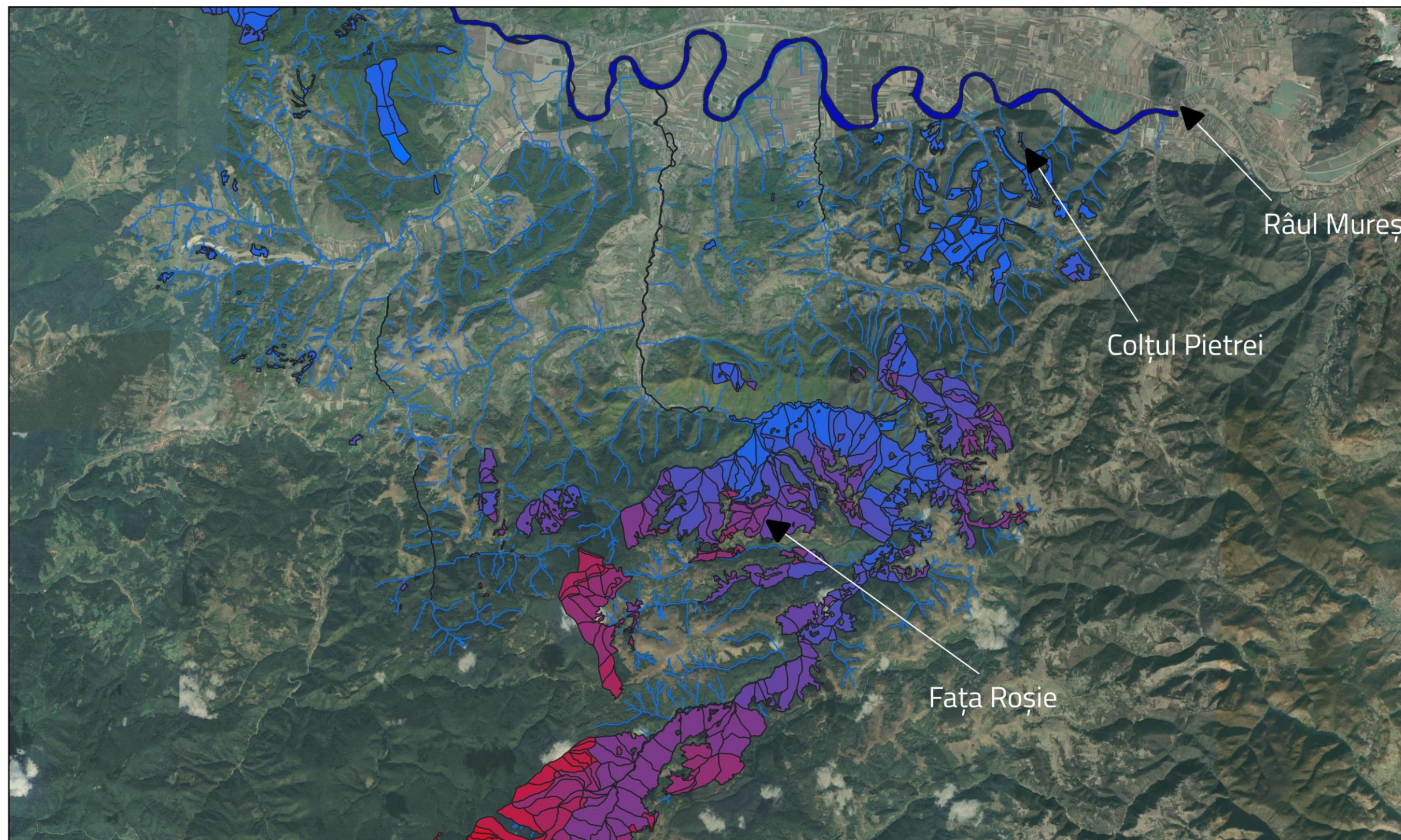
Valorile calculate pentru D.O.Y. înregistrează o descreștere relativ uniformă de-a lungul transectului altitudinal pentru fenofaza analizată. Diseminarea având loc cu 19 zile mai devreme în populațiile aflate mai sus altitudinal cu 1000 de metri, ceea ce reprezintă, în medie, un decalaj de 1,9 zile la fiecare avans altitudinal cu 100 de metri. Cu toate acestea, valoarea gradientală nu se modifică uniform în raport cu altitudinea. Astfel dacă în jumătatea inferioară a transectului decalajul este de 2,2 zile/ 100 m, începând cu altitudinea de 700 de metri valoarea acestuia scade la doar 1,6 zile/ 100 m.

În ceea ce privește durata desfășurării fenofazei, de la desfacerea cupelor și până la mometul diseminării complete, și în acest caz numărul de zile necesare scade odată cu avansul speciei pe altitudine. Totuși, se diferențiază evident arboretele de mare altitudine, unde durata diseminării este mult mai mică, în medie de doar circa 10 zile, față de 17-18 zile în zonele de altitudini mici și medii.



Figura 3.1.2.2. Harta fenologică a diseminării

FENOLOGIA GRADIENTALĂ A DISEMINĂRII LA FAG ÎN MUNȚII POIANA RUSCĂ (IMAGINE 2D)



În linii mari, fenofaza de maturare și diseminare a fructelor începe înaintea debutului senescentei frunzelor și se încheie până la momentul în care frunzele sunt căzute din coroana arborilor, acest lucru fiind observat în toate suprafețele de probă și pe toată perioada analizată.

Analiza fenofazei de coacere și diseminare a fructelor s-a concretizat în elaborarea hărților fenologice în zona vizată pentru această fenofază de toamnă (Figura 3.1.2.2. și Anexa 4).

3.1.3. Circumscrierea și caracterizarea sezonului de vegetație

Coroborând datele pentru valorile D.O.Y. la înfrunzire cu cele pentru senescenta frunzelor a rezultat descreșterea pe altitudine a lungimii sezonului de vegetație de la 199 zile la altitudinea inferioară a transectului, la 148 zile la altitudinea superioară (tabelul 3.1.3.). În medie, descreșterea lungimii sezonului de vegetație este de circa 4 zile/100 m altitudine, dar se accentuează substanțial la altitudinea maximă a speciei în zina de studiu. Gradientul decreșterii temperaturii medii zilnice din sezonul de vegetație este dublu în jumătatea superioară față de cea inferioară a transectului cercetat (0,46 °C/100 m comparativ cu 0,20 °C/100 m).

În prezentul studiu surprinde faptul că sezonul de vegetație din anul 2018 a fost puțin mai scurt decât în ceilalți ani, deși temperatura medie din acest interval a fost mai mare la fiecare nivel altitudinal (tabelul 3.1.3.). Acest aspect ar putea fi explicat prin faptul că, sub impactul acestui factor ecologic, s-a cumulat o valoare de prag care a grăbit senescenta frunzelor, aspect care trebuie confirmat prin cercetări viitoare direcționate în acest sens.

Așa cum a rezultat în numeroase studii referitoare la fenologia arborilor, inclusiv a fagului, cel mai important parametru climatic de influență este cel al cuantumului și regimului temperaturilor.

Tabelul 3.1.3. Date medii pentru senescenta frunzelor și sezonul de vegetație

Altitudinea	D.O.Y. ^a (zile)	Senescenta frunzelor		Sezon de vegetație		
		Durata medie ^b (zile)	Temperatura medie ^c (°C)	Număr zile ^d	Condiții climatice	
					T _m (°C)	ΣT _m ^e (°C)
200 m	297	14,1	9,1	199	15,7	3124,5
700 m	285	12,3	10,5	179	14,7	2632,4



1200 m	276	12,4	5,9	148	12,4	1835,2
--------	-----	------	-----	-----	------	--------

a-raportat la debutul anului calendaristic;

b-durata intervalului de îngălbenire a 50% din frunze;

c-temperatura medie a intervalului b;

d-diferența dintre D.O.Y. înfrunzire și D.O.Y. senescenta frunzelor;

Tm-temperatura medie din sezonul de vegetație;

e-suma temperaturilor medii zilnice din sezonul de vegetație

În studiul nostru a rezultat că deschiderea mugurilor se produce într-un interval de timp în care temperatura medie zilnică s-a situat circa 10°C, fără a fi diferențe marcante între cele trei nivele altitudinale. Totuși, este important de consemnat faptul că diferențierea între nivelele altitudinale este evidentă atunci când se au în vedere valorile gradientale pentru întregul sezon de vegetație. Astfel, în arealul arboretelor din cele două jumătăți ale transectului altitudinal au rezultat neuniformități atât pentru temperatura medie (valoare dublă de descreștere a gradientului calculat pentru nivelul altitudinal superior), cât și pentru suma temperaturilor medii zilnice (descreștere cu circa 100°C/100 m între nivele altitudinale de 200 m și 700 m, respectiv cu circa 155°C/100 m între 700 m și 1200 m). Asemenea diferențieri climatice influențează și diferențiază, desigur, capacitatea de bioacumulare a speciei, aspect în curs de evaluare, dar care a fost demonstrat în alte studii asupra fagului (Jump *et al.*, 2007; Piovesan *et al.*, 2005; Di Fillippo *et al.*, 2007).

Lungimea sezonului de vegetație nu a manifestat diferențe tranșante per ansamblul eşantioanelor cercetate pe expoziția umbrită și cea însorită, la același nivel altitudinal. Acest aspect este în concordanță cu valorile apropiate înregistrate pe cele două expoziții pentru suma temperaturilor medii zilnice din sezonul de vegetație. În schimb, diferențele sunt mari între nivelele altitudinale, dar cu diminuare accentuată în arealul montan. Pentru o populație de fag din Cehia, Slovikova și Bednarova (2014) evidențiază o lungime a sezonului de vegetație cuprinsă între 128 și 181 zile, așa încât, extrema superioară este apropiată de valoarea medie identificată și în prezenta cercetare la altitudinea de 700 m. Concluzia ar fi că lungimea mai mare a sezonului de vegetație în populația prezentului studiu ar trebui să fie pusă pe seama temperaturii medii anuale de 8,7°C, față de numai 6,6°C în populația din Cehia.

Schieber *et al.* (2013) a analizat fenologia fagului în zona centrală a Carpaților Occidentali, în Slovacia, de-a lungul unui gradient altitudinal și au determinat că fenologia de toamnă a îngălbenirii frunzelor se manifestă cu o întârziere de 1.0-1,78 zile/100 m. Prin comparație, în cazul de față au rezultat valori mai mari, de 2,0-2,4 zile/100 m, valoarea mai mare fiind caracteristică arboretelor submontane aflate sub influența climatului submezotermic. În esență, există o corelație între fenofazele de primăvară și cele de toamnă.

3.2. Rezultate ale analizelor morfologice

3.2.1. Verificarea normalităţii distribuţiei caracterelor analizate

Analizele morfologice au fost direcţionate şi efectuate pentru două categorii de descriptori: cei de caracterizare a dimensiunilor şi formei frunzelor, respectiv cei de evidenţiere a unor caractere ale stomatelor.

Mai întâi, a fost necesară o analiză a normalităţii distribuţiei acestor caractere în eşantioanele studiate, analiză care s-a efectuat cu ajutorul testului Shapiro – Wilk.

Rezultatele acestui test arată că din cei 12 descriptori analizaţi 8 respectă distribuţia normală ($p > 0,05$), cu toate acestea s-a considerat efectuarea unor teste care să evidenţieze elementele ce generează variabilitate şi diferenţierea populaţiilor.

Tabelul 3.2.1. Rezultatele testului de normalitate Shapiro - Wilk

Descriptorul morfologic analizat	Shapiro – Wilk (p)
LA (cm ²)	0,150
LL (cm)	0,773
LP (cm)	0,898
LW (cm)	0,190
LMW (cm)	0,336
DBV (cm)	0,831
NV	0,005
S (mm ⁻²)	0,006
Lăţime stomată (µ)	0,001
Lungime stomată (µ)	0,063
Creşteri radiale (mm/an)	0,089
Densitate convenţională (g/cm ³)	0,000

După aplicarea testului s-a trecut la analiza descriptorilor pe baza testului Kruskal – Wallis (Tabelul 3.2.2.). Acest test permite identificarea caracterelor care determină diferențe distinct semnificative ($p < 0,01$), respectiv semnificative ($p < 0,05$).

Tabelul 3.2.2. Rezultatele testului Kruskal - Wallis

Descriptorul morfologic analizat	Kruskal – Wallis (p)
LA (cm ²)	0,001***
LL (cm)	0,058
LP (cm)	0,496
LW (cm)	0,836
LMW (cm)	0,000243**
DBV (cm)	0,112
NV	0,030*
S (mm ⁻²)	0,041
Lățime stomată (μ)	0,672
Lungime stomată (μ)	0,809
Creșteri radiale (mm/an)	0,0000**
Densitate convențională (g/cm ³)	0,094

*- diferențe semnificative; ** - diferențe distinct semnificative

Din analiza testului Kruskal – Wallis se observă că în cadrul populației diferențele sunt date de către suprafața laminei (LA), distanța de la baza laminei până la lățimea maximă a acesteia (LMW), numărul de nervuri (NV), respectiv creșterile radiale, în ceea ce privește caracteristicile lemnului.

3.2.2. Analiza descriptorilor morfologici de caracterizare a dimensiunilor și formei frunzelor

În vederea analizei variabilității morfologice frunzelor au fost efectuate evaluări intrapopulaționale și interpopulaționale, acestea din urmă fiind considerate relevante pentru a deduce eventualele influențe și

modificări fenotipice în funcție de altitudine. De asemenea, s-a efectuat stratificarea și analiza datelor pe cele două categorii fenologice extreme de înfrunzire, respectiv arbori precoci și tardivi (Tabelul 3.2.2.1.).

Se poate observa că dintre cei 6 indicatori analizați, jumătate scad odată cu avansul altitudinal al speciei (lungimea laminei, lățimea acesteia, numărul de nervuri, precum și distanța dintre nervuri). Lungimea pețiolului se poziționează diferit din acest punct de vedere, dimensiunea maximă (în medie) de 0,87 cm se înregistrează la 1200 de metri altitudine, în celelalte două cazuri înregistrând valori aproape egale (0,83 cm la altitudinea de 200 m, și respectiv 0,82 cm la 700 de metri altitudine). În ceea ce privește forma frunzei, în suprafața fenologică Colțul Pietrei (200 m) predomină forma ovată, cu un raport de 2,33 între lungimea laminei și distanța de la baza acesteia până în zona de lățime maximă, în timp ce în celelalte două cazuri frunzele prezintă o formă predominant obovată, cu un raport de 1,89 între cele două caracteristici dimensionale amintite anterior.

Din punct de vedere al valorilor fenotipice ale descriptorilor frunzei în raport cu categoriile fenologice de precoci sau tardivi, situația nu este uniformă de-a lungul transectului altitudinal urmărit. Principalii descriptori ai frunzei și anume: lungimea laminei, lungimea pețiolului, lățimea laminei și numărul de nervuri înregistrează valori mai mari la arborii precoci, în detrimentul celor tardivi, în suprafața fenologică Colțul Pietrei (200 m), în timp ce în celelalte situații frunzele mai lungi și cu un număr mai mare de nervuri sunt caracteristica arborilor tardivi din punct de vedere fenologic. Caracterul care rămâne însă relativ uniform pentru toate cele 6 suprafețe analizate este reprezentat de forma frunzei, unde se observă faptul că arborii tardivi au tendința de a forma frunze cu o formă mai obovată decât cei precoci din punct de vedere al comportamentului fenologic.

Tabelul 3.2.2.1. Valorile medii ale descriptorilor morfologici analizați

Descriptori morfologici	Suprafața de cercetare	Categoria fenologică	Valoarea medie pe categorie fenologică (cm)	Amplitudinea de variație	Valoarea medie (cm)	Coeficientul de variație (%)
LA (cm ²)	Colțul Pietrei ¹	Precoci	42,44	27,08	35,58	26,02
		Tardivi	28,72	14,5		
	Fața Roșie ²	Precoci	26,89	18,26	27,74	17,92
		Tardivi	28,59	16,12		
	Prisloape ³	Precoci	27,45	24,06	27,63	18,06
		Tardivi	27,81	11,86		



LL (cm)	Colţul Pietrei ¹	Precoci	8,44	2,64	8,08	10,88
		Tardivi	7,71	2,04		
	Faţa Roşie ²	Precoci	7,46	2,82	7,69	9,54
		Tardivi	7,92	2,25		
	Prisloape ³	Precoci	7,33	3,19	7,46	8,98
		Tardivi	7,59	1,18		
LP (cm)	Colţul Pietrei ¹	Precoci	0,88	0,34	0,83	11,6
		Tardivi	0,77	0,12		
	Faţa Roşie ²	Precoci	0,82	0,4	0,82	16,24
		Tardivi	0,81	0,61		
	Prisloape ³	Precoci	0,96	0,54	0,87	15,83
		Tardivi	0,78	0,35		
LMW (cm)	Colţul Pietrei ¹	Precoci	3,64	2,02	3,46	14,15
		Tardivi	3,28	0,7		
	Faţa Roşie ²	Precoci	4,05	2,25	4,06	14,71
		Tardivi	4,06	1,45		
	Prisloape ³	Precoci	3,83	1,64	3,93	8,68
		Tardivi	4,03	0,71		
LW (cm)	Colţul Pietrei ¹	Precoci	4,99	1,74	4,96	8,83
		Tardivi	4,93	1,17		
	Faţa Roşie ²	Precoci	4,78	2,33	4,95	13,26
		Tardivi	5,12	1,7		
	Prisloape ³	Precoci	4,96	2,08	4,92	9,83
		Tardivi	4,87	1,32		
DBV (cm)	Colţul Pietrei ¹	Precoci	0,57	0,13	0,58	10,62

		Tardivi	0,59	0,28		
	Faţa Roşie ²	Precoci	0,53	0,22	0,54	14,61
		Tardivi	0,54	0,26		
	Prisloape ³	Precoci	0,53	0,27	0,54	12,29
		Tardivi	0,54	0,22		
NV	Colţul Pietrei ¹	Precoci	9,02	1,60	8,84	4,58
		Tardivi	8,65	0,80		
	Faţa Roşie ²	Precoci	8,31	2	8,66	10,42
		Tardivi	9	3,2		
	Prisloape ³	Precoci	8,06	1,6	8,28	4,85
		Tardivi	8,49	1,2		

¹-200 m altitudine; ²-700 m altitudine; ³-1200 m altitudine

Din punctul de vedere al indicatorilor statistici se relevă faptul că toate populațiile sunt uniforme sub aspectul descriptorilor analizați, cu variații mai mari în ceea ce privește dimensiunile frunzelor.

Un descriptor informativ pentru diferențierea taxonomică între *Fagus sylvatica* și *Fagus orientalis*, ori pentru caracterizarea hibridului *F. x taurica* între cele două specii este numărul perechilor de nervuri secundare (NV): în medie, 6-8 la fag, respectiv de 9-12 (14) la fagul de Caucaz. Valorile diferite ale acestui descriptor se corelează cu diferențele dintre cele două specii în privința lungimii lamei (LL). Din analiza datelor noastre din Munții Poiana Ruscă, rezultă că valorile medii pentru NV sunt ușor superioare celor pentru *Fagus sylvatica* ssp. *sylvatica*, mai ales în arboretele submezoterme Colţul Petrei-200 m altitudine (NV=8,84) și Faţa Roşie-700 m altitudine (NV=8,66), acestea corelându-se și cu existența unor valori maxime pentru LL peste profilul fenotipic mediu al ssp. *sylvatica* (de exemplu, pentru arborii precoci din zona Colţul Pietrei, în medie, LL=9,56). Ori, în cadrul speciei este menționată existența infrataxonului *F. sylvatica* ssp. *moesiaca*, la care frunzele sunt mai mari (9-12 cm) și cu număr sporit de perechi de nervuri secundare (9-12). Pe de altă parte, faptul că s-a identificat în zona de studiu un arbore la care una din frunzele analizate avea 13 perechi de nervuri (foto 3.2.2.), nu poate fi asociat cu încadrarea a exemplarului respectiv la specia *Fagus orientalis*, deoarece nu s-au regăsit în morfologia sa caracterele specifice acesteia, îndeosebi cele referitoare la apendiculi frunzoși ai cupei. În acest context, valorile identificate în cercetările de față pentru cei doi descriptori par a indica existența în Munții Poiana Ruscă a unei populații cu caractere de tranziție între *Fagus sylvatica* ssp. *sylvatica* și *F. sylvatica* ssp.

moesiaca. Referitor la *ssp. moesiaca*, Denk (1999) consideră că este un morfotip ce trebuie inclus la *Fagus sylvatica* sensu stricto, deşi Czechtz (1933) l-a considerat specie de sine stătătoare (*Fagus moesiaca*). Sunt autori care consideră încă neclar statutul sau taxonomic, așa cum precizează Marinšek *et al.*, (2013). Notabil este însă faptul că acest taxon deține areal și, ca atare, adaptabilitate în climate mai calde și cu mai puține precipitații, fiind, deci, submezotermic și submezofit. Ori, în acest context, populațiile de mică și medie altitudine analizate prin cercetarile de față ar putea să fie rezultatul interfecundării în zona de contact dintre *Fagus sylvatica ssp. sylvatica* și *F.s. ssp. meosiaca*, moștenind astfel caractere intermediare morfologic, dar și adaptativ, între cei doi taxoni.



Foto 3.2.2.1. Frunză de fag cu 13 perechi de nervuri

În vederea realizării unei analize statistice și mai profunde s-a trecut la analiza coeficientului de corelație Pearson, pentru stabilirea gradului de corelație dintre factori și identificarea acelor componente care generează variabilitatea.

Tabelul 3.2.2.2. Analiza corelației Pearson între descriptorii macromorfologici ai frunzelor

	Alt	Exp	LA	LL	LP	LW	LMW	DBV	NV
Alt	-	-0.001	-.379**	-.228*	-0.107	0.039	.362**	-0.159	-.207*
Exp		-	-.447**	-.348**	-.377**	-.250*	-0.173	-.215*	-0.066
LA			-	.885**	.572**	.711**	.367**	.595**	0.184
LL				-	.572**	.708**	.562**	.579**	.241*
LP					-	.571**	.474**	.487**	-0.061
LW						-	.585**	.722**	-0.121

LMW							-	.258*	-0.035
DBV								-	-.337**

** Corelație semnificativă pentru o valoare de 0.01

Din tabelul 3.2.2.2. reiese faptul că cele mai puternice corelații se stabilesc între lungimea laminei, lățimea acesteia și aria frunzei. Acest lucru era de așteptat deoarece cele două dimensiuni fizice influențează primul caracter. O altă corelație puternică există între distanța dintre nervuri și lățimea laminei. În timp ce altitudinea influențează într-un sens invers aria frunzei, între expoziție și numărul nervurilor se poate afirma că nu există aproape nicio corelație (-0,066).

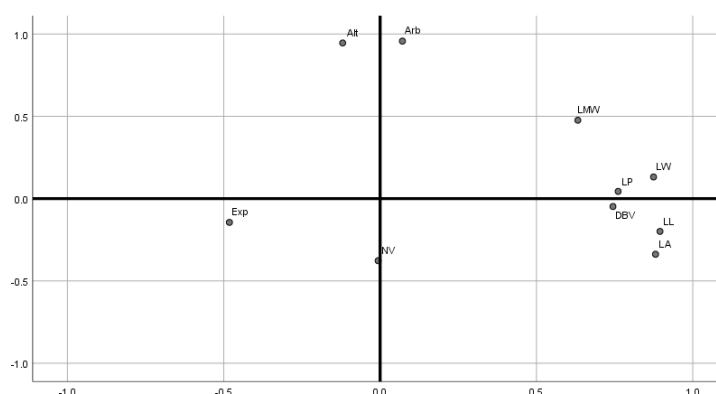


Figura 3.2.2.1. Analiza PCA pentru descriptorii macromorfologici ai frunzelor

Pentru evidențierea caracterelor care dau variabilitatea populațiilor, creând diversitate în cadrul exemplarelor de fag analizate s-a trecut la analiza pe componente principale (PCA)–engl. Principal Component Analysis (Figura 3.2.2.1.). Astfel, se observă faptul că există practic o singură variabilă care generează diversitate în cadrul arborilor a căror frunze au făcut obiectul studiului. Acea componentă este dată de către numărul de nervuri a frunzelor (NV).

În vederea identificării similarităților dintre arbori situați la etaje altitudinale diferite au fost realizate analize de tip cluster atât pentru descriptorii macromorfologici. Au fost testate o serie de procedee, dintre care cele mai bune rezultate au fost obținute cu ajutorul metodei Ward prin intermediul distanței euclidiene. Astfel în prima dendrogramă (figura 3.2.2.2.) se observă faptul că atunci când sunt luați în considerare descriptorii macromorfologici pentru mediile populațiilor de la cele 3 nivele altitudinale se evidențiază formarea a 3 filotipuri distincte, ale căror caracteristici sunt redată în tabelul 3.2.2.3.

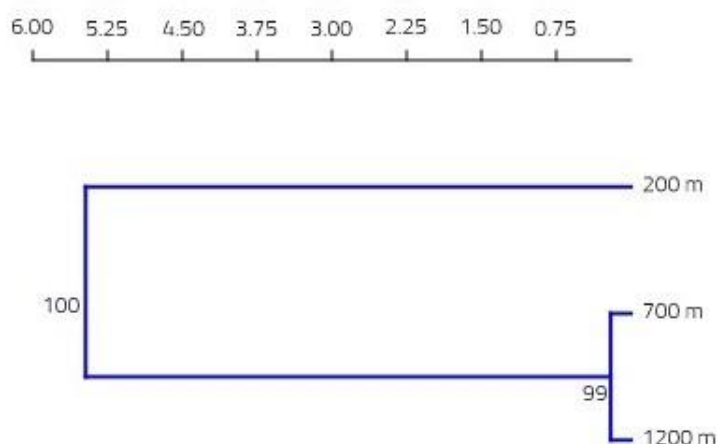


Figura 3.2.2.2. Analiza cluster prin Metoda Ward pe baza distenței euclidiene pentru descriptorii macromorfologici ai frunzelor

Astfel, se constată că populațiile de la jumătatea superioară a transectului în sus, deși prezintă caractere asemănătoare, sunt totuși diferite între ele și cu atât mai mult față de populația de la altitudinea minimă (200 m), care formează un filotip total distinct. Acest lucru vine să sublinieze concluzia afirmată deja, conform căreia populațiile inferioare din punct de vedere altitudinal se diferențiază de restul făgetelor din Poiana Ruscă din punctul de vedere al descriptorilor analizați.

Tabelul 3.2.2.3. Valorile medii ale filotipurilor (cluster) constituite pe baza distanței euclidiene și a metodei Ward

Filotipul	LA (cm ²)	LL (cm)	LP (cm)	LW (cm)	LMW (cm)	DBV (cm)	NV
1 (200)	35,582	8,076	0,823	4,958	3,463	0,582	8,833
2 (700)	29,041	7,754	0,819	4,967	4,086	0,545	8,647
3 (1200)	28,822	7,644	0,793	4,992	4,044	0,547	8,502

În continuare s-a trecut la analiza cluster (figura 3.2.2.3.) luând în considerare mediile caracterelor separate în funcție de expoziție la fiecare nivel altitudinal.

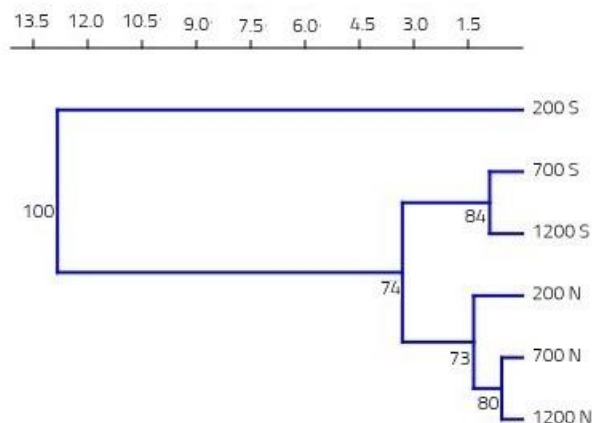


Figura 3.2.2.3. Analiza cluster prin Metoda Ward pe baza distenței euclidiene pentru descriptorii macromorfologici ai frunzelor pe expoziții (S – expoziție însorită, N – expoziție umbră)

Așa cum se poate observa din dendrogramă, precum și din tabelul 3.2.2.4. analiza cluster a condus la formarea a 4 filotipuri. Așa cum era de așteptat se observă o tendință de grupare a populațiilor de pe aceeași expoziție, indiferent de altitudine. Ca și în prima situație și de această dată valorile caracteristice descriptorilor macromorfologici ai arborilor situați la altitudinea inferioară conduc la formarea a 2 filotipuri distincte (dictate de expoziție), fapt ce subliniază diferențele macromorfologice a acestor arbori.

Tabelul 3.2.2.4. Valorile medii ale filotipurilor (cluster) constituite pe baza distanței Euclidiene și a metodei Ward

Filotipul	LA (cm ²)	LL (cm)	LP (cm)	LW (cm)	LMW (cm)	DBV (cm)	NV
1	28.724	7.713	0.769	4.928	3.282	0.590	8.650
2	42.440	8.439	0.877	4.988	3.644	0.574	9.015
3	27.810	7.588	0.783	4.868	4.029	0.545	8.489
4	29.833	7.701	0.803	5.115	4.058	0.549	8.514

3.2.3. Analize micromorfologice privind caractere ale stomatelor

Caracteristicile stomatelor (densitatea, lungimea și lățimea stomatelor) reprezintă indicatori importanți de diferențiere între specii precum și în interiorul aceleiași specii, indicând un anumit nivel de adaptabilitate față de condițiile abiotice. Analiza și interpretarea datelor s-a realizat, mai întâi, la nivel intrapopulațional (pe categorii fenologice și expoziții) și, ulterior, interpopulațional (pe populații situate la etaje altitudinale diferite). De asemenea, în ambele situații s-au efectuat analize în funcție de expoziție și categoria fenologică (arbori precoci, respectiv tardivi).

➤ *Analiza intrapopulațională*

Valorile medii, minime și maxime, caracteristice acestei variante de analiză se regăsesc în tabelul 3.2.3.1.

Tabelul 3.2.3.1. Variații intrapopulaționale ale caracterelor micromorfologice

Descriptorul analizat	Suprafața fenologică	Expoziția	Categoria fenologică	Min.	Max.	Valoarea medie	Coefficient de variație (%)
Densitate (nr. stomate/ mm ²)	Colțul Pietrei – 200 m	S	Precoci	133	221	186	19,9
			Tardivi	177	265	195	25,9
		N	Precoci	133	221	195	20,3
			Tardivi	177	354	230	34,4
Lățimea stomatei (μ)		S	Precoci	17	20,4	18,9	6,7
			Tardivi	14,5	17	17,6	6,8
		N	Precoci	14,5	21,3	18,4	14,9
			Tardivi	17	22,8	19,9	10,9
Lungimea stomatei (μ)	S	Precoci	21,3	25,5	23,3	8,8	
		Tardivi	17	22,1	19,7	9,8	
	N	Precoci	18,7	27,2	22,1	15,4	
		Tardivi	23,8	28,9	25,3	8,4	
Densitate (nr. stomate/ mm ²)	Fața Roșie – 700 m	S	Precoci	88	221	159	31,7
			Tardivi	133	310	226	30,9
		N	Precoci	88	177	159	24,8
			Tardivi	177	310	238,9	28,1
Lățimea stomatei (μ)		S	Precoci	13,6	17	15,9	11,7
			Tardivi	13,6	22,1	18,4	22,7
		N	Precoci	17	18,7	17,7	4
			Tardivi	18,7	19,6	18,9	2

Lungimea stomatei (μ)		S	Precoci	17	21,3	22,3	9,2
			Tardivi	20,4	27,2	24,7	12,4
		N	Precoci	23,8	27,2	25,2	5,7
			Tardivi	23	28,9	25,3	9
Densitate (nr. stomate/ mm ²)		S	Precoci	221	354	239	23
			Tardivi	221	354	274	23,6
		N	Precoci	177	265	186	26
			Tardivi	177	354	283	23,7
Lăţimea stomatei (μ)	Prisloape – 1200 m	S	Precoci	13,6	24,7	18,2	26,1
			Tardivi	15,3	22,1	18,6	16,5
		N	Precoci	18,7	20,4	19	4
			Tardivi	17	20,4	19,4	7,8
Lungimea stomatei (μ)		S	Precoci	18,7	27,2	23,5	15,1
			Tardivi	18,7	28,9	23	17,6
		N	Precoci	23,8	28,9	25	8,9
			Tardivi	20,4	25,5	23,8	8,7

În cadrul aceleiaşi populaţii (nivel altitudinal) se observă faptul că, din punct de vedere al densităţii stomatiale, arborii de pe expoziţiile umbrite prezintă un număr mai mare de stomate, cu diferenţe de până la 10% în cazul populaţiei situate la 200 m altitudine. Dacă acest lucru este normal din punct de vedere ştiinţific, deoarece un număr mai mic de stomate se traduce printr-o adaptare a speciei la condiţii de umiditate mai scăzută, pe expoziţiile nordice situaţia fiind inversă (Woodward şi Kelly, 1995; Parascan şi Danciu, 2001), în cazul populaţiei Prisloape densitatea mai mare de stomate se înregistrează pe expoziţia însorită 279 , faţă de doar 235 stomate/ mm², la arborii de pe expoziţia umbrită. Această situaţie ar putea fi generată de faptul că la altitudinea de 1200 m umiditatea atmosferică este mare.

Dintre toţi indicatorii morfologici analizaţi variaţia densităţii stomatiale este cea mai uniformă variabilă, când vine vorba de analiza arborilor în funcţie de categoria fenologică din care fac parte. Astfel în toate cele 6 suprafeţe analizate, indiferent de expoziţie şi altitudine, arborii tardivi din punct de vedere

fenologic prezintă densităţi stomatale mai mari faţă de arborii precoci. Aceste diferenţe pot să ajungă la valori care să difere chiar şi cu valori de 40%. Este cunoscut faptul că descreşterea densităţii stomatelor este un lucru normal ce se produce odată cu înaintarea în vârstă a frunzei de-a lungul sezonului de vegetaţie (Canova *et al.*, 2008), dar cu toate acestea diferenţele mari înregistrate în toate suprafeţele de probă exprimă o diferenţiere micromorfologică ce se datorează categoriei fenologice şi nu poate fi pusă pe seama faptului că frunzele arborilor tardivi sunt mai tinere decât a celor precoci (diferenţa fiind în fapt de doar câteva zile). În acest context, emitem ipoteza că densitatea mai mare a stomatelor la arborii tardivi este consecinţa statutului fenologic al acestora, spre a le asigura un echipament mai amplu şi mai eficient de derulare a proceselor fiziologice de fotosinteză, respiraţie şi transpiraţie. Aceasta ar putea fi o direcţie viitoare de derulare a cercetărilor.

➤ *Analiza interpopulaţională*

Valorile indicatorilor micromorfologici variază atât în cadrul populaţiilor, aşa cum s-a arătat mai sus, dar şi între populaţiile analizate (Tabelul 3.2.3.2.), eşantionate în funcţie de poziţia lor altitudinală.

Similar modului de variaţie a caracteristicilor întâlnit la analizele fenologice, şi densitatea stomatală are un anumit trend (negativ) pornind de la altitudinea de 200 m, ca mai apoi acest trend să se inverseze, numărul de stomate pe mm² crescând de la 193 la 257, de la 700 la 1200 m altitudine. Acest lucru se datorează cel mai probabil nivelului diferit al umidităţii atmosferice de-a lungul transectului analizat, suprafaţa fenologică Colţul Pietrei fiind în proximitatea râului Mureş, iar suprafaţa de cercetare Prisloape, situată la altitudinea de 1200 m, se bucură de umidităţi relative mari datorită climatului montan.

În ceea ce priveşte dimensiunile stomatelor, situaţia se prezintă diferit. Lăţimea acestora urmăreşte trendul stabilit de densitate, în timp ce lungimea stomatelor creşte pornind de la altitudinea de 200 m şi se stabilizează în jurul valorii de 23,5 µ, pentru celelalte suprafeţe fenologice.

Tabelul 3.2.3.2. Variaţii interpopulaţionale ale caracterelor micromorfologice

Variaţii ale descriptorilor micromorfologici în funcţie de etajul altitudinal şi expoziţie									
Descriptorul analizat	Suprafaţa fenologică	Sudică			Nordică			Media pe populaţie	Coeficient de variaţie
		Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Media		
Densitatea stomatală (stomate/	Colţul Pietrei -	133	265	190	133	354	212	201	26,2

mm ²)	200m								
	Fața Roșie - 700m	88,5	310	186	88,5	310	199	193	32,7
	Prisloape – 1200 m	221	354	279	177	354	235	257	27,7
Lațimea stomatelor (μ)	Colțul Pietrei - 200m	14,5	20,4	17	14,5	22,8	19,1	18	13,7
	Fața Roșie - 700m	12,8	22,1	21,8	17	19,6	18,3	17,2	16,2
	Prisloape – 1200 m	13,6	24,7	17,6	17	20,4	19,2	18,4	14,9
Lungimea stomatelor (μ)	Colțul Pietrei - 200m	17	22,1	21,5	14,5	28,9	23,7	22,6	13,5
	Fața Roșie - 700m	17	27,2	21,8	17	28,9	25,2	23,5	13,3
	Prisloape – 1200 m	18,7	28,9	22,1	20,4	28,9	24,4	23,3	13
Variații ale descriptorilor micromorfologici în funcție de etajul altitudinal și categoria fenologică									
Descriptorul analizat	Suprafața fenologică	Sudică			Nordică			Media pe populație	Coeficient de variație
		Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Media		
Densitatea stomatală (stomate/ mm ²)	Colțul Pietrei - 200m	132	221	190	133	354	212	201	26,2
	Fața Roșie - 700m	88	221	159	133	310	226	193	32,7
	Prisloape – 1200 m	133	354	239	177	354	274	257	27,7
Lațimea stomatelor (μ)	Colțul Pietrei - 200m	14,5	21,2	18,6	14,5	23	17,6	18	13,7
	Fața Roșie - 700m	12,8	18,7	15,9	13,6	22,1	18,4	17,2	16,2
	Prisloape – 1200 m	13,6	24,7	18,2	15,3	22,1	18,6	18,4	14,9
Lungimea stomatelor (μ)	Colțul Pietrei - 200m	18,7	27,2	22,7	17	28,9	22,5	22,6	13,5

	Fața Rosșie - 700m	17	27,2	22,4	21,2	28,9	24,7	23,5	13,3
	Prisloape – 1200 m	18,7	28,9	23,5	18,7	28,9	23	23,3	13

La fel ca și în cazul descriptorilor macromorfologici și în cazul caracterelor stomatelor s-a trecut la analiza statistică pentru evidențierea variabilelor ce generează diversitate și conduc la diferențierea populațiilor de-a lungul transectului analizat.

Tabelul 3.2.3.3. Analiza corelației Pearson între descriptorii micromorfologici ai frunzelor

	Alt.	Exp.	LA	S (mm ⁻²)	Lățime stomată (μ)	Lungime stomată (μ)
Altitudine	-	0.000	-0.379**	.335**	0.047	0.087
Expoziție		-	-0.447**	-0.044	.399**	.507**
LA (cm ²)			-	-0.286	.397	-0.195
S (mm ⁻²)				-	.255	0.104
Lățime stomată (μ)					-	.745**

** Corelație semnificativă pentru o valoare de 0.01

Așa cum era de așteptat coeficientul de corelație Pearson (tabelul 3.2.3.3.) arată faptul că există o corelație puternică între lățimea stomatelor (l) și lungimea acestora (L). De asemenea expoziția influențează puternic dimensiunile stomatelor și într-o măsură mai mică densitatea acestora (S). În schimb o influență mai puternică asupra numărului de stomate pe unitatea de suprafață o are altitudinea, așa cum rezultatele de mai sus au arătat deja.

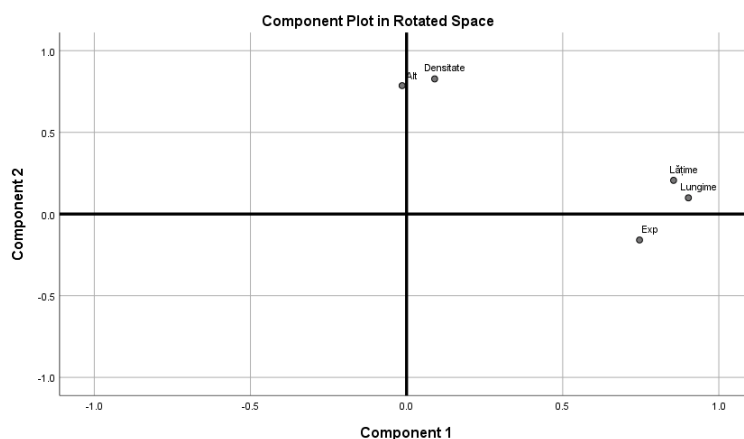


Figura 3.2.3.1. Analiza PCA pentru descriptorii micromorfologici ai frunzelor

În ceea ce privește suprafața laminei (LA), se observă că aceasta este influențată de expoziție și altitudine, în timp ce în ceea ce privește caracteristicile stomatelor, lățimea lor este trăsătura cea mai puternic corelată cu suprafața frunzei (+0.397).

Din punctul de vedere al analizei pe componente principale (figura 3.2.3.1.) se poate afirma că dintre descriptorii micromorfologici ai frunzelor, singurul element care generează diversitate în rândul populațiilor dispuse gradiental este densitatea stomatală, dimensiunile stomatelor neavând vreo contribuție în acest sens.

Analiza cluster pe descriptorii micromorfologici (figura 3.2.3.2.) conduce la formarea a 3 filotipuri distincte. Din dendrogramă și din valorile caracteristice filotipurilor prezentate în tabelul 3.2.3.4., se observă faptul că deși datele caracteristice descriptorilor micromorfologici ai frunzelor din cele 3 populații conduc la o separare distinctă a acestora, între populațiile situate până la altitudinea de 700 m existând o oarecare similaritate, similaritate ce provine în principal din valorile densităților stomatale.

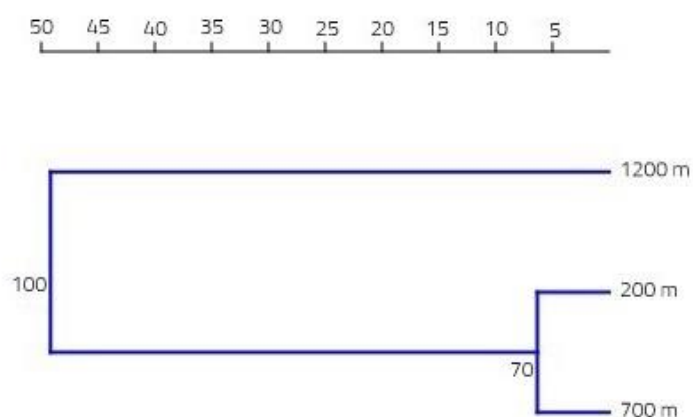


Figura 3.2.3.2. Analiza cluster prin Metoda Ward pe baza pătratului distanței euclidiene pentru descriptorii micromorfologici ai frunzelor

Tabelul 3.2.3.4. Valorile medii ale filotipurilor (cluster) constituite pe baza distanței Euclidiene și a metodei Ward

Filotipul	Densitate stomatală (stomata/mm ²)	Lățime medie stomata (μ)	Lungime medie stomata (μ)
1 (200 m)	201.327	18.097	22.602
2 (700 m)	192.478	17.170	23.503
3 (1200 m)	256.637	18.403	23.248

Pentru o cât mai bună evidențiere a caracterelor care conduc la similarități între populații s-a trecut la analiza cluster prin Metoda Ward și pentru medii ale caracterelor grupate pe expoziții (Figura 3.2.3.3., Tabelul 3.2.3.5.)

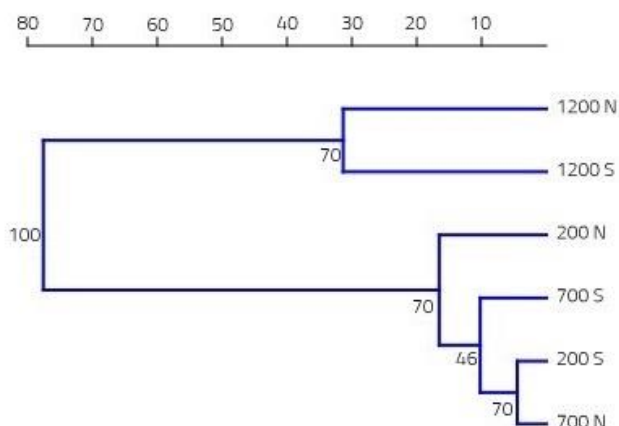


Figura 3.2.3.3. Analiza cluster prin Metoda Ward pe baza pătratului distanței euclidiene pentru descriptorii micromorfologici ai frunzelor pe expoziții (S – expoziție însorită, N – expoziție umbrită)

În acest context analiza pe caractere micromorfologice a frunzelor din populațiile analizate conduce la formarea a 2 filotipuri distincte. Dacă în cazul descriptorilor macromorfologici ai frunzelor populația care conducea la deosebiri în cadrul speciei era populația de limită altitudinală inferioară, în acest caz, populația de limită altitudinală superioară conduce la formarea unui filotip distinct.

Tabelul 3.2.3.5. Valorile medii ale filotipurilor (cluster) constituite pe baza distanței Euclidiene și a metodei Ward

Filotipul	Densitate stomatală (stomata/mm ²)	Lățime medie stomata (μ)	Lungime medie stomata (μ)
1 (200 N)	207.965	19.363	24.293
2 (200 S)	194.690	16.830	20.910
3 (1200 S)	278.761	17.595	22.100

3.3. Analiza creșterilor radiale și densității convenționale a lemnului. Reliefaea influențelor determinate asupra acestora de categoria fenologică și lungimea sezonului de vegetație

3.3.1. Creșterile radiale

Analiza valorilor creșterilor lemnului de fag (tabelul 3.3.1.) arată o descreștere relativ uniformă a valorii acumulării de biomasă odată cu avansul altitudinal al speciei, deși scăderea nu este una perfect liniară, la

altitudinea de 1200 de metri valoarea acesteia nu este nici pe jumătate ca la altitudinea minimă din zona de studiu (1,08 cm/an față de 2,43 cm/an). Totodată se relevă faptul că expoziția influențează valorile creșterilor într-un mod invers proporțional. De asemenea din analiza datelor reiese faptul că nici categoria fenologică nu își manifestă influența uniform pe tot transectul altitudinal. Dacă la altitudini joase arborii precoci înregistrează valori mai mari ale creșterilor cu 0,36 cm/an față de cei tardivi, la altitudinea de 700 de metri, situația aproape se egalizează inversându-se însă în sensul în care arborii tardivi cresc cu 0,07 cm/an mai mult decât cei precoci, ca mai apoi la altitudinea de 1200 de metri să se ajungă din nou în prima situație cu un decalaj însă mai mic, de 0,21 cm/an.

Tabelul 3.3.1. Valorile medii ale creșterilor radiale

Suprafața de probă	Alt. (m)	Exp.	Categoria fenologică	Media creșterii pe categorie fenologica (cm/an)	Media creșterii pe expoziție (cm/an)	Media creșterii pe altitudine (cm/an)	Coefficient de variație (s%)
Colțul Pietrei	200	Însorită	Precoci	3,33	2,8	2,43	33,1
			Tardivi	2,27			
		Umbrită	Precoci	1,89	2,07		
			Tardivi	2,24			
Fața Roșie	700	Însorită	Precoci	1,52	1,68	1,66	16,4
			Tardivi	1,84			
		Umbrită	Precoci	1,74	1,65		
			Tardivi	1,56			
Prisloape	1200	Însorită	Precoci	1,01	0,85	1,08	33,9
			Tardivi	0,7			
		Umbrită	Precoci	1,36	1,3		
			Tardivi	1,25			

Analiza statistică a coeficientului de variație prezintă pentru fiecare etaj altitudinal populații relativ omogene din punct de vedere al indicatorului analizat.

Scăderea lăţimii medii pe carotă a inelelor anuale are loc considerabil cu altitudinea (figura 3.3.1.), diferenţele fiind bine asigurate statistic (testul Kruskal-Wallis: $H = 26.16$, $p < 0.001$).

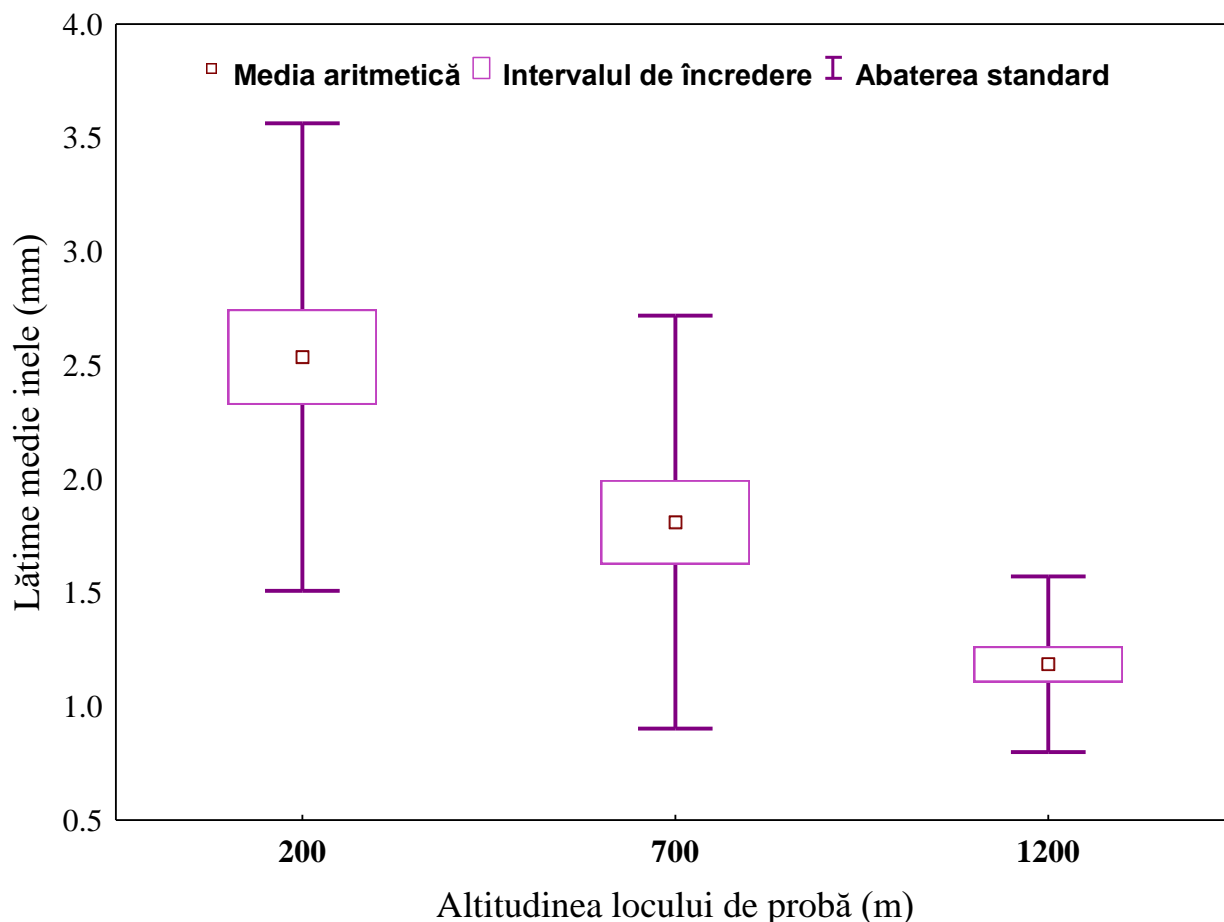


Figura 3.3.1. Variaţia lăţimii medii a inelelor de creştere cu altitudinea

3.3.2. Densitatea convenţională a lemnului

Din analiza datelor referitoare la valorile densităţilor convenţionale ale carotelor analizate (tabelul 3.3.2.) rezultă faptul că densitatea lemnului scade în mod relativ uniform odată cu avansul altitudinal al speciei, ajungându-se astfel la o diferenţă a densităţii de aproximativ 9% la 1200 de metri faţă de densitatea lemnului la limita altitudinală minimă de 200 metri altitudine. Valorile calculate relevă faptul că lemnul fagului este mai puţin dens pe măsura apropierea de scoarţă, dinspre interior, fapt prezent la 73% din arborii analizaţi. În ceea ce priveşte expoziţia, aceasta manifestă o clară influenţă asupra caracterului analizat, deşi nu prin diferenţe mari de valori conduce la obţinerea unor densităţi ale lemnului mai mari pe expoziţiile însorite.

Tabelul 3.3.2 Valorile densităţilor convenţionale a lemnului

Supr. de probă	Alt. (m)	Exp.	C.F.	Densitatea (ρ_c ; g/cm ³)				ρ_c pe exp. (g/cm ³)	ρ_c pe alt. (g/cm ³)	s%
				1/3 ext	1/3 mij	1/3 int	Medie			
CP	200	Însorită	Precoci	0.529	0.552	0.574	0.552	0.5820	0.5821	4.65
			Tardivi	0.617	0.619	0.599	0.612			
		Umbrită	Precoci	0.547	0.572	0.625	0.581	0.5821		
			Tardivi	0.551	0.585	0.610	0.582			
FR	700	Însorită	Precoci	0.577	0.557	0.558	0.564	0.5677	0.5599	2.50
			Tardivi	0.579	0.567	0.566	0.571			
		Umbrită	Precoci	0.542	0.531	0.574	0.549	0.5520		
			Tardivi	0.547	0.555	0.560	0.554			
P	1200	Însorită	Precoci	0.507	0.529	0.522	0.520	0.5352	0.5306	5.07
			Tardivi	0.547	0.548	0.554	0.550			
		Umbrită	Precoci	0.50	0.533	0.471	0.501	0.5260		
			Tardivi	0.544	0.547	0.558	0.550			

C.F. - categoria fenologică; ρ_c - densitatea convenţională; s% - coeficient de variaţie

Împreună cu altitudinea categoria fenologică are și ea capacitatea de a influența într-o destul de mare măsură densitatea lemnului, întrucât se poate observa că lemnul arborilor tardivi este în medie cu 5% mai dens decât al celor precoci.

Valoarea medie a densității convenționale pentru lemnul de fag obținută, de 0.557 g/cm³ (figura 3.3.2.) este apropiată de valorile menționate în literatura de specialitate, care menționează valorile de referință pentru lemnul de trunchi de fag: 0.569 g/cm³ (Giurgiu și Decei, 1997), 0.543 g/cm³ (Beldeanu, 1999), 0.53 g/cm³ (Paucă – Comănescu, 1989), micile diferențe putând fi puse pe influența zonei geografice.

Poziția altitudinală are și ea capacitatea de a conduce la densități diferite în cadrul aceleași specii, printr-o influență directă a factorilor climatici și edafici. Într-un mod similar celui explicat mai sus odată cu descreșterea altitudinii se înregistrează pante cu energii de relief mai reduse și deci cu o cantitate mai mare de radiație luminoasă ce ajunge la arboret, lucru ce se traduce prin densități mai mari a lemnului, așa cum valorile prezentate în tabelul 4.2.2. o arată.

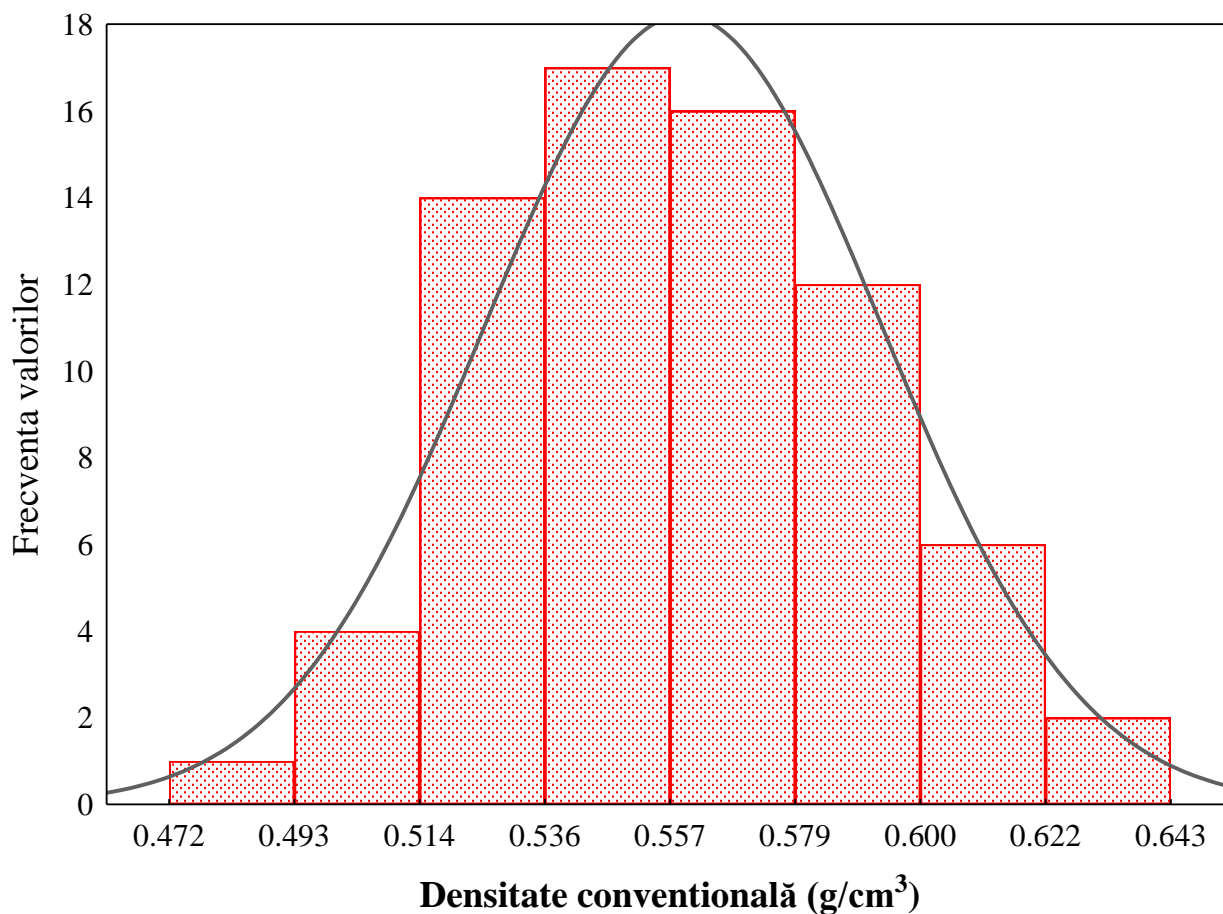


Figura 3.3.2. Densitatea convențională a lemnului de fag

Analizele au relevat faptul că și categoria fenologică are o puternică capacitate de influență atunci când vine vorba despre densitate, arborii considerați cu un comportament tardiv manifestat față de fenofaza de înfrunzire, au o densitate a lemnului mai mare față de cei precoci, cu diferențe ce pot fi chiar similare celor înregistrate în cazul influenței altitudinii pentru arbori situați la 1000 de metri diferență, așa cum este cazul suprafeței de probă situată pe expoziție umbrită de la Prisloape.

Dacă în cazul densității influența factorilor analizați (altitudine, expoziție și categorie fenologică) era mai ușor de observat pe tot arealul de răspândire a speciei, cu valori foarte omogene, în cazul analizei creșterilor situația se prezintă diferit. În afară de altitudine care conduce la o scădere relativ uniformă a valorilor odată cu avansul speciei, atât categoria fenologică precum și expoziția influențează diferit în funcție de poziționarea speciei de-a lungul transectului analizat. Acest lucru se datorează probabil printr-o condiționare mai mare a fenomenului de ordin genetic decât de influență a factorilor externi, spre deosebire de densitatea lemnului, la care situația este inversă.

În cazul influenţei comportamentului fenologic al arborilor asupra acumulărilor de masă lemnoasă o posibilă explicaţie poate fi aceea că arborii precoci pornesc în vegetaţie mai repede şi deci acumulările lor sunt mai mari întrucât au loc în perioada de maxim a precipitaţiilor din primăvară, influenţa aportului de precipitaţii asupra creşterilor fiind amintită şi de alte studii (Biondi, 1993).

3.3.3. Analiza influenţei altitudinii, dimensiunilor frunzelor şi caracterelor stomatelor asupra creşterilor radiale şi densităţii convenţionale a lemnului

Analiza coeficientului de corelaţie Pearson (Tabelul 3.3.3.) arată faptul că cea mai mare influenţă asupra creşterii radiale medii şi densităţii convenţionale a lemnului o are altitudinea. În ambele cazuri odată cu creşterea acesteia, scad valorile celor doi descriptori analizaţi. De asemenea o corelaţie destul de puternică se evidenţiază şi între categoria fenologică şi densitatea lemnului, corelaţie similară cu cea dintre densitate şi creştere. O corelaţie interseantă se observă şi între creşterea radială şi suprafaţa laminei, respectiv densitatea stomatală. Dacă în primul caz legătura este cumva explicabilă, se pare însă că arborii cu o densitate mai mică a stomatelor prezintă creşteri radiale mai active.

Tabelul 3.3.3. Analiza corelaţiei Pearson pentru caracteristicile lemnului

	Alt.	Categoria fenologică	LA	S	L	I	Densit.	Creşterea radială
Altitudinea	-	-	-0.595	0.622	0.341	0.132	-0.820	-0.976
Categoria fenologică		-	-0.356	0.569	0.360	0.335	0.494	-0.171
Suprafaţa laminei (LA)			-	0.286	-0.195	0.397	0.227	0.725
Densitatea stomatală (S)				-	0.439	0.718	-0.322	-0.653
Lungimea stomatei (L)					-	0.515	-0.297	-0.322
Lăţimea stomatei (I)						-	-0.147	-0.066
Densitatea convenţională a lemnului							-	0.686

Analizele de tip cluster au fost realizate pentru evidenţierea similarităţilor dintre populaţii pe baza caracterelor lemnului. Prin gruparea pe filotipuri a arborilor utilizându-se metoda Ward se poate observa că atunci când analiza se desfăşoară pe baza mediilor pe altitudini (Figura 3.3.3.1.) rezultă o grupare pe filotipuri identică cu cea care se formează pe baza analizei descriptorilor macromorfologici ai frunzelor. Acest lucru poate însemna că există o corelaţie şi între macromorfologia frunzelor şi proprietăţile lemnului.

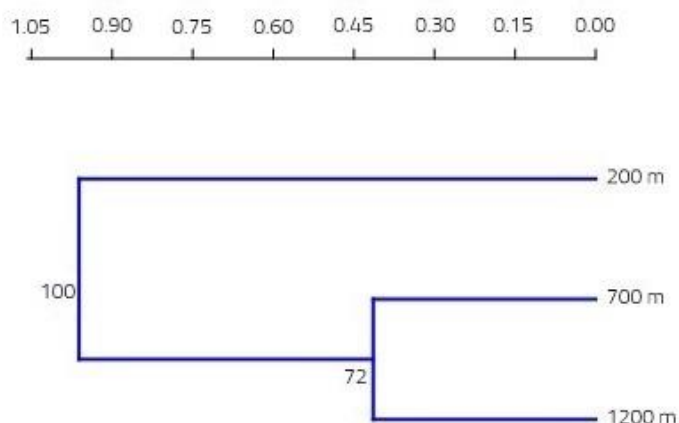


Figura 3.3.3.1. Analiza cluster prin Metoda Ward pe baza distenței euclidiene pentru densitatea convențională a lemnului și valorile creșterilor radiale

Cea de-a doua dendrogramă realizată (Figura 3.3.3.2.) a urmărit gruparea arborilor pe baza categoriei fenologice din care fac parte. Și de această dată se conturează ideea conform căreia populația de la altitudinea de 200 de metri este diferită din punctul de vedere al proprietăților lemnului și a valorii creșterilor radiale față de celelalte două populații (700, respectiv 1200 m). Spre deosebire de dendrogramele realizate pentru caractere ale frunzelor, deși și în acest caz între populațiile situate la 700, respectiv 1200 de metri altitudine există unele similarități, diferențierea distinctă pe etaje altitudinale în funcție de descriptorii analizați ai lemnului este mult mai clară decât în primul caz.

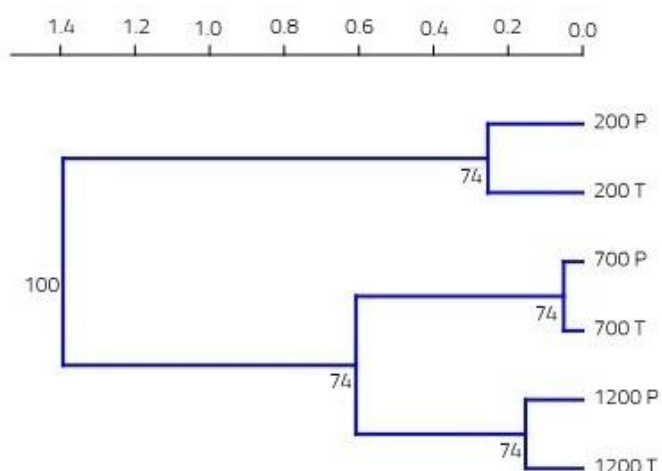


Figura 3.3.3.2. Analiza cluster prin Metoda Ward pe baza distenței euclidiene pentru densitatea convențională a lemnului și valorile creșterilor radiale pe categorii fenologice (P – arbori precoci, T – arbori tardivi)

CAPITOLUL 4: CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

4.1. Concluzii finale

4.1.1. Concluzii pentru obiectivul nr. 1: Analiza gradientală, pe trei nivele altitudinale, a fenologiei înfrunzirii, înfloririi și respectiv senescentei frunzelor și identificarea condițiilor climatice implicate în producerea acestor fenofaze ale fagului în Munții Poiana Ruscă.

► Caracterul submezoterm al fagului în jumătatea inferioară a transectului altitudinal analizat diferențiază aceste populații față de ansamblul arealului carpatic, dar și de cele dintr-o mare parte a arealului său general, unde specia este mezotermă. În acest context, rezultatele cercetărilor de față furnizează date fenologice de așteptat a se produce în populațiile actualmente mezoterme, sub impactul modificărilor climatice aflate în derulare.

► Rezultatele obținute au condus la concluzia că deschiderea mugurilor și înfrunzirea prezintă și unele similitudini, ca moment de derulare, cu alte studii, dar și unele diferențieri, constând în declanșarea relativ timpurie a înfrunzirii chiar față de populații situate în alte zone geografice extracarpatiche aflate la același nivel altitudinal și cu temperatură medie anuală similară.

► În determinismul fenofazelor de primăvară un rol important îl are cumulul temperaturilor medii zilnice din anul calendaristic până în momentul înfrunzirii dar și regimul termic din întregul sezon de repaus vegetativ, în timp ce în datarea momentului înfrunzirii, la același nivel altitudinal, influența expoziției versantului nu este foarte puternică, contând mai mult cumulul temperaturilor medii zilnice din intervalul circumscris de D.O.Y

► Pentru a porni în vegetație fagul are nevoie de o sumă a temperaturilor pornind din momentul de intrare în repaus vegetativ de 444 - 448 °C, sumă ce poate ajunge în jurul valorii de 515 – 520 °C pentru populațiile de la altitudini maxime.

► Dimensiunile maxime ale frunzelor se ating după perioade în care media temperaturilor se situează în jurul valorii de 10 °C.

► Decalajul de producere al înfrunzirii datorat expoziției este maxim la altitudinea minimă (6 zile), în medie el conduce la o producere mai târzie a fenofazei cu 4 zile de-a lungul transectului.



- ▶ Similar modului de influență a expoziției arborii precoci, respectiv tardivi, decalează momentul de producere al unei fenofaze.
- ▶ Durata fenofazelor nu este identică, ea variază odată cu altitudinea. În general fenofazele se derulează mai rapid la altitudini mai mari, probabil ca un efect al comprimării sezonelor de vegetație, datorate temperaturilor mai scăzute.
- ▶ Sub aspectul sumei temperaturilor medii zilnice din repausul vegetativ precum și a variabilității acestora populațiile de la altitudine mică și mijlocie se diferențiază față de cele de mare altitudine.
- ▶ Transectul altitudinal analizat prezintă o neliniaritate atât în ceea ce privește gradientul înfrunzirii, lungimea sezonului de vegetație, precum și pentru fenofaza înfloririi, deși pentru această ultimă fenofază variațiile determinate pe sectoare altitudinale sunt mai mici, probabil ca urmare a unui control genetic mai strict conturat prin acțiunea îndelungată a selecției stabilizatoare.
- ▶ Gradientul în funcție de care are loc decalajul producerii fenofazelor de înfrunzire, respectiv înflorire este relativ uniform până la altitudinea de 700 m, după care crește accelerat putând să ajungă la valori de până la 4 ori mai mari (cazul înfrunzirii).
- ▶ Populațiile de la punctele extreme ale transectului sunt izolate reproductiv ca urmare a decalajului altitudinal al momentului de producere al înfloririi. Această izolare reproductivă, utilă pentru stabilirea limitelor de transfer a materialelor forestiere de reproducere se pare că are loc și pentru populațiile situate la o diferență de altitudine probabil mai mare de 400-500m, ceea ce însă ar trebui să fie dovedit prin cercetări viitoare.
- ▶ Înflorirea se produce atunci când temperatura medie a intervalului de derulare a fenofazei este de circa 10 °C, cu deosebirea că suma temperaturilor medii zilnice superioare pragului de 5 °C s-a dovedit a fi mai mare în jumătatea superioară a transectului, comparativ cu jumătatea inferioară a acestuia.
- ▶ Înflorirea are loc în medie la 6 – 8 zile după ce frunzele ating dimensiunea maximă.
- ▶ Temperaturile atipice unei anumite fenofaze nu au capacitatea de a o stopa, odată declanșată, ele pot cel mult să o afecteze (exemplul înghețurilor târzii cu efecte negative asupra fenofazei de înflorire).
- ▶ Sezonul de vegetație scade de la 199 de zile la altitudinea minimă până la valoarea de 148 de zile la 1200 m. Gradientul diminuării acestuia are în medie o valoare de reducere de 4 zile/100 m.
- ▶ Deși alte studii prezintă date mai mari pentru lungimea sezonului de vegetație, date puse pe sume ale temperaturilor mai mari decât în prezenta teză, în sezonul de vegetație 2018, care a fost mai cald s-a constatat o scădere a perioadei de bioacumulare. Acest lucru se poate datora grăbirii senescentei frunzelor sub efectul temperaturii, acest lucru va trebui însă să fie comparat de studii viitoare.

- ▶ Lungimea mare a sezonului de vegetație în arboretele premontane submezoterme cercetate poate fi luată în considerare pentru prognoza acestui parametru în arborete actualmente mezoterme, sub influența modificărilor climatice din viitorul nu prea îndepărtat.
- ▶ Fenofazele de toamnă odată declanșate depind într-o mai mare măsură de fenomenele meteorologice decât cele de primăvară. Practic căderea frunzelor, respectiv perioada de timp în care diseminarea se încheie pot fi puternic influențate spre exemplu de precipitații abundente, înghețuri timpurii, vânturi puternice, etc., deci factorul termic își desfășoară puternica influență doar până în momentul în care frunzele nu își mai îndeplinesc funcțiile fiziologice, respectiv cupele fructelor se deschid.

**4.1.2. Concluzii pentru obiectivul nr. 3: Analiza intra și interpopulațională a variabilității descriptorilor morfologici ai frunzelor (dimensiunile frunzelor și valorile diferiților descriptori ai acestora; densitatea și dimensiunile stomatelor).
Evaluarea posibilelor corelații între aceste caractere și categoria fenologică, respectiv poziția altitudinală a populației.**

- ▶ Principalii descriptori macromorfologici ai frunzei (lungimea laminei, lățimea acesteia, numărul de nervuri, distanța dintre nervuri) scad odată cu avansul altitudinal al fagului.
- ▶ În ceea ce privește variația descriptorilor macromorfologici ai frunzei sub influența comportamentului fenologic al arborilor nu se poate trasa o regulă întrucât variațiile de-a lungul transectului analizat nu sunt uniforme.
- ▶ Amplitudinile de variație între valorile minime și cele maxime a caracteristicilor analizate sunt mai mari în cazul arborilor precoci.
- ▶ Arborii tardivi din punct de vedere fenologic prezintă frunze cu formă mai obovată decât cei precoci, respectiv intermediari.
- ▶ Densitatea numărului de stomate este mai mare în cazul arborilor situați la limitele altitudinale extreme, precum și în cazul celor aflați pe expozițiile nordice.
- ▶ Arborii tardivi din punctul de vedere al comportamentului fenologic prezintă un număr de stomate raportat la suprafața laminei mai mare decât arborii precoci.

- ▶ Au fost identificate pentru populațiile de până la 700 m inclusiv, caractere morfologice de tranziție a frunzei către *Fagus sylvatica* ssp. *moesiaca*, acest lucru datorându-se probabil genotipului dezvoltat de aceștia într-o zonă cu influențe submediteranene.
- ▶ Din rezultatele cercetărilor desfășurate se poate afirma că atât caracterele macromorfologice ale frunzei, precum și descriptorii micromorfologici, respectiv capacitatea arborilor de bioacumulare se află sub influența concomitentă a altitudinii, condițiilor de mediu, precum și a comportamentului fenologic diferit al indivizilor.
- ▶ Dimensiunile și forma frunzei sunt influențate într-un mod similar atât de poziția altitudinală precum și de comportamentul de tip fenologic – precoce. Arborii din această categorie, amplasați la nivele altitudinale joase au tendința de a forma frunze mai mari și mai ovate, în timp ce arborii tardivi, situați la altitudini mai mari sunt caracterizați prin frunze mai obovate, cu dimensiuni ale lamei și pețiolului mai mici.
- ▶ Totodată se poate concluziona că există legături puternice între morfologia frunzei și stomate. Aceasta ar putea conduce la identificarea categoriei fenologice a arborilor indiferent de momentul fenologic în care acest lucru se dorește. Arborii tardivi sunt caracterizați în acest context prin densități a stomatelor mai mari decât arborii precoci din punct de vedere fenologic, densității ce pot fi în unele cazuri cu 40% mai mari.

4.1.3. Concluzii pentru obiectivul nr. 4: Analiza creșterilor radiale și a densității convenționale a lemnului în funcție de categoria fenologică și în raport de poziția altitudinală a arborilor.

- ▶ Valoarea creșterilor radiale scade odată cu altitudinea, ajungându-se ca la altitudini de 1200 m, valoarea creșterii să fie de 2 ori mai mică decât la altitudinea de 200 m (1,08 față de 2,43 mm/an)
- ▶ Influența expoziției nu se manifestă uniform de-a lungul transectului analizat, la altitudinea minimă creșterea radială este mai activă pe expoziția însorită, la altitudinea maximă situația este inversă, în timp ce la altitudinea medie (700 m) creșterile sunt relativ egale indiferent de expoziție.
- ▶ Categoria fenologică nu își manifestă uniform influența asupra creșterilor radiale de-a lungul etajelor altitudinale.

- ▶ Densitatea convenţională a lemnului este mai mică la altitudinea maximă cu 9% faţă de densitatea arborilor situaţi la 200 de metri altitudine, de altfel altitudinea staţiunii îşi manifestă influenţa, verificată statistic, prin faptul că înglobează concomitent influenţa directă atât a factorilor edafici cât şi climatici.
- ▶ Densitatea lemnului este mai mare la arborii tardivi faţă de cei precoci cu valori de până la 5% şi totodată înregistrează valori mai mari pe expoziţiile însorite faţă de cele umbrite.
- ▶ În urma analizelor efectuate se poate afirma că există o legătură strânsă între densitatea stomatală şi valoarea creşterilor radiale a lemnului de fag, în sensul în care o densitate mai mică a numărului de stomate conduce la obţinerea unor creşteri mai active.
- ▶ În ceea ce priveşte caracteristicile lemnului se poate afirma că valorile densităţii convenţionale, se înscriu în normalul speciei prin valoarea medie obţinută, $0,557 \text{ g/cm}^3$.
- ▶ Similar cu ideea propusă şi de alte studii, datele obţinute în prezenta lucrare arată faptul că fagul, contrar majorităţii speciilor, prezintă o descreştere a densităţii convenţionale a lemnului pornind din interior către scoarţă, fapt ce poate fi pus pe seama coloraţiilor anormale cu incidenţă destul de mare la fag.

4.2. Contribuţii originale

- S-a realizat pentru prima dată un studiu fenologic al speciei *Fagus sylvatica* L. în România, prin cercetări multianuale şi monitorizarea unui număr mare de arbori (300), în suprafeţe fenologice dispuse gradiental, sprijinite de date climatice înregistrate în zonele de localizare a eşantioanelor cercetate. Datele obţinute pot fi utilizate prin extrapolări cu ajutorul gradientelor altitudinali şi climatici la zone mai vaste şi pot contribui la adaptarea mult mai exactă a tratamentelor şi practicilor silvice pe cerinţele naturale ale speciei (stabilirea cu exactitate a perioadelor în care se pot realiza tăieri, respectiv a perioadelor de restricţie).
- Pentru zona cercetată, M-ţii Poiana Ruscă, au fost întocmite hărţi fenologice 2D şi 3D pentru fenofazele: înfrunzirii, înfloririi, maturării şi diseminării fructelor şi senescenţei frunzelor. Acestea sunt de mare utilitate pentru adaptarea managementului silvic al arboretelor în funcţie de derularea acestor fenofaze.
- S-au realizat analize corelative între categoriile fenologice extreme de înfrunzire (arbori precoci şi respectiv tardivi) şi descriptorii morfologici ai frunzelor, descriptorii micromorfologici ai stomatelor şi respectiv creşterile radiale şi densitatea convenţională a lemnului.

- S-au observat pentru prima dată în zona vizată caractere macromorfologice ale frunzelor, caractere ce indică existența în arealul cercetat a unei forme de tranziție între *Fagus sylvatica* ssp. *sylvatica* și *Fagus sylvatica* ssp. *moesiaca*, ceea ce vine în susținerea încadrării arboretelor de mică și medie altitudine din zona cercetată în categoria ecologică de submezoterme.

4.3. Diseminarea rezultatelor

A. Lucrări publicate în reviste ISI:

B. Lucrări publicate în reviste indexate în baze de date internaționale (BDI):

C. Lucrări prezentate la simpozioane și conferințe naționale sau internaționale:

4.4. Direcții viitoare de cercetare

Continuarea și aprofundarea cercetărilor la fag este de mare importanță economică și socială, ca urmare a faptului că această specie deține cele mai mari suprafețe în pădurile României; aceasta, cu atât mai mult în condițiile modificărilor climatice în derulare, care reclamă nu numai cunoașterea impactului acestora asupra acestei specii, ci și adaptarea managementului silvic la noile condiții climatice.

În acest context, considerăm că cercetările de față pot fi continuate în următoarele direcții:

- ▶ Analiza altor caractere ale micromorfologiei frunzei, cum ar fi cele de structură internă a acestora, grosimea epidermei etc., în raport cu categoriile fenologice de înfrunzire.
- ▶ Efectuarea de cercetări fiziologice diferențiate pe categoriile fenologice de înfrunzire și la diferite nivele altitudinale, în scopul reliefării particularităților acestora pentru subpopulațiile gradientale.
- ▶ Efectuarea unui studiu genetic, sprijinit de date oferite de markeri moleculari, pentru a reliefa:
 - posibile particularități genetice la arborii din categoriile fenologice extreme;
 - supoziția din teză referitoare la existența în M-ții Poiana Ruscă a unei forme de tranziție între *Fagus sylvatica* ssp. *sylvatica* și *Fagus sylvatica* ssp. *moesiaca*.

De asemenea comportamentul și modul de răspuns al arborilor din categorii fenologice diferite este necesar a fi aprofundat și pe viitor, în vederea posibilității de alegere a proveniențelor și biotipurilor cu cele mai mari șanse de adaptare în contextual actual al modificărilor climatice.

Bibliografie

1. Ahas, Rein, and Anto Aasa (2003). "Developing comparative phenological calendars." *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer, Dordrecht: 301-318.
2. Ahrends, Hella Ellen, *et al.* (2008). "Quantitative phenological observations of a mixed beech forest in northern Switzerland with digital photography." *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 113.G4.
3. Barna, Milan (2004). "Adaptation of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to different ecological conditions: leaf size variation." *Polish Journal of Ecology* 52.1: 35-45.
4. Bayramzadeh, Vilma, *et al.* (2011). "Variation of leaf morphological traits in natural populations of *Fagus orientalis* Lipsky in the Caspian forests of Northern Iran." *Annals of Forest Research* 55.1: 33-42.
5. Bednářová, E., & Merklová, L. (2007). Results of monitoring the vegetative phenological phases of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in 1991-2006. *Folia oecologica*, 34(2): 77.
6. Bednářová, Emilie, Jiří Kučera, and Lucie Merklová (2014). "The onset and duration of vegetative phenological stages in European beech (*Fagus sylvatica* L.) under changing conditions of the environment." *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 58.4: 23-30.
7. Beldeanu, Eugen C (1999). *Produse forestiere si studiul lemnului*. Editura Universitatii "Transilvania".
8. Biondi, Franco (1993). "Climatic signals in tree rings of *Fagus sylvatica* L. from the central Apennines, Italy." *Acta Oecologica* 14.1: 57-71.
9. Biriş, I. A. (2014). Făgetele primare din România, o contribuție la Patrimoniul Mondial UNESCO. *Bucovina Forestieră*, 14(1): 77-85.
10. Bolte, A., and I. Villanueva (2006). "Interspecific competition impacts on the morphology and distribution of fine roots in European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)." *European Journal of Forest Research* 125.1: 15-26.
11. Bud, N., (1973). Sinteza unui deceniu de observa ii fenologice la Castanea sativa Mill. *Revista Pădurilor*, 88 (4): 198-205.
12. Brandon, Robert N (2014). *Adaptation and environment*. Princeton University Press.
13. Čaňová, I., J. Ďurkovič, and D. Hladká (2008). "Stomatal and chlorophyll fluorescence characteristics in European beech cultivars during leaf development." *Biologia Plantarum* 52.3: 577.



14. Cheşnoiu, Ecaterina Nicoleta, *et al.* (2009). "Bud burst and flowering phenology in a mixed oak forest from Eastern Romania." *Annals of Forest Research* 52.1: 199-206.
15. Chuine, I., K. Kramer, and H. Hänninen (2003). "Plant development models, phenology: an integrative environmental science." Kluwer, the Netherlands. Corlett, RT & Lafrankie, JV (1998) Potential impacts of climate change on tropical Asian forests through an influence on phenology. *Climatic Change* 39: 439-453.
16. Ciocîrlan, Elena (2014). "Comparative morphological analyses in marginal beech populations." *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II* 7.1: 7.
17. Coccozza, Claudia, *et al.* (2016). "Variation in ecophysiological traits and drought tolerance of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings from different populations." *Frontiers in plant science* 7: 886.
18. COLDEA, Gheorghe, *et al.* (2015). "PHYTOSOCIOLOGICAL RESEARCH IN THE FORESTS OF POIANA RUSCĂI MOUNTAINS." *Contributii Botanice* 50.
19. Cook B.I., Wolkovich E.M., Parmesan C., (2012). Divergent responses to spring and winter warming drive community level flowering trends. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109: 9000–9005.
20. Čufar, Katarina, *et al.* (2008). "Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe." *Trees* 22.6: 749-758.
21. Čufar, Katarina, *et al.* (2012). "Temporal shifts in leaf phenology of beech (*Fagus sylvatica*) depend on elevation." *Trees* 26.4: 1091-1100.
22. Czezczott, H. (1933). A study on the variability of the leaves of beeches: *F. orientalis* Lipsky, *F. sylvatica* L. and intermediate forms. Part I.. *Rocznik Dendrologiczny* 5: 45–121.
23. De Beurs, Kirsten M., and Geoffrey M. Henebry (2010). "Spatio-temporal statistical methods for modelling land surface phenology." *Phenological research*. Springer, Dordrecht: 177-208.
24. Denk, T. (1999). The taxonomy of *Fagus* in western Eurasia. 2: *Fagus sylvatica* subsp. *sylvatica*. *Feddes Repertorium*, 110(5-6): 381-412.
25. Denk, T., (2003). Phylogeny of *Fagus* L. (Fagaceae) based on morphological data. *Plant Systematics and Evolution*, 240: 55–81.
26. Dittmar, C., & Elling, W. (2006). Phenological phases of common beech (*Fagus sylvatica* L.) and their dependence on region and altitude in Southern Germany. *European Journal of Forest Research*, 125 (2): 181-188.



27. Di Filippo, A., Biondi, F., Čufar, K., De Luis, M., Grabner, M., Maugeri, M., ... & Piovesan, G. (2007). Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring network. *Journal of Biogeography*, 34(11): 1873-1892.
28. Estrella N., Sparks T. H, Menzel A., (2007). Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany. *Global Change Biology*, 13(8): 1737-1747.
29. Ferretti, Marco, Marco Calderisi, and Filippo Bussotti (2007). "Ozone exposure, defoliation of beech (*Fagus sylvatica* L.) and visible foliar symptoms on native plants in selected plots of South-Western Europe." *Environmental Pollution* 145.3: 644-651.
30. Fisher, Jeremy Isaac, John F. Mustard, and Matthew A. Vadeboncoeur (2006). "Green leaf phenology at Landsat resolution: Scaling from the field to the satellite." *Remote sensing of environment* 100.2: 265-279.
31. Florian Knutzen, Ina Christin Meier, Christoph Leuschner (2015). Does reduced precipitation trigger physiological and morphological drought adaptations in European beech (*Fagus sylvatica* L.)? Comparing provenances across a precipitation gradient, *Tree Physiology*, Volume 35, Issue 9: 949–963
32. Fotelli, Mariangela N.,*et al.* (2009). "Seasonal and interannual ecophysiological responses of beech (*Fagus sylvatica*) at its south-eastern distribution limit in Europe." *Forest Ecology and Management* 257.3: 1157-1164.
33. Giurgiu, V., and I. Decei. "Biometria arborilor din România." *Editura Snagov, Bucureşti*(1997)
34. Gressler, E., Jochner, S., Capdevielle-Vargas, R. M., Morellato, L. P. C., & Menzel, A. (2015). Vertical variation in autumn leaf phenology of *Fagus sylvatica* L. in southern Germany. *Agricultural and forest meteorology*, 201: 176-186.
35. Hajek, Peter,*et al.* (2016). "Intraspecific variation in wood anatomical, hydraulic, and foliar traits in ten European beech provenances differing in growth yield." *Frontiers in plant science* 7: 791.
36. Hess, M.,*et al.* (1997). "Use of the extended BBCH scale—general for the descriptions of the growth stages of mono; and dicotyledonous weed species." *Weed Research* 37.6: 433-441.
37. Ide, Reiko, and Hiroyuki Oguma (2010). "Use of digital cameras for phenological observations." *Ecological Informatics* 5.5: 339-347.
38. Johnson, Jon D.,*et al.* (1997). "Ecophysiological responses of *Fagus sylvatica* seedlings to changing light conditions. II. The interaction of light environment and soil fertility on seedling physiology." *Physiologia Plantarum* 101: 124-134.



39. Jump, A. S., Hunt, J. M., & Penuelas, J. (2007). Climate relationships of growth and establishment across the altitudinal range of *Fagus sylvatica* in the Montseny Mountains, northeast Spain. *Ecoscience*, 14(4): 507-518.
40. Keylwerth, R. (1954). "Ein Beitrag zur qualitativen Zuwachsanalyse." *Holz als Roh- und Werkstoff* 12.3: 77-83.
41. KOLLMAN, F. Y. COTE, W. (1968). Principles of wood science and technology. Vol. I. Solid wood. ": 533 - 528.
42. Jump, Alistair S., Jenny M. Hunt, and Josep Penuelas (2006). "Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*." *Global Change Biology* 12.11: 2163-2174.
43. Jump, A. S., Hunt, J. M., & Penuelas, J. (2007). Climate relationships of growth and establishment across the altitudinal range of *Fagus sylvatica* in the Montseny Mountains, northeast Spain. *Ecoscience*, 14(4): 507-518.
44. Lang, Michael, and Hartmut K. Lichtenthaler (1991). "Changes in the blue-green and red fluorescence-emission spectra of beech leaves during the autumnal chlorophyll breakdown." *Journal of plant physiology* 138.5: 550-553.
45. Lieth, Helmut, and John S. Radford (1971). "Phenology, resource management, and synagraphic computer mapping." *BioScience* 21.2: 62-70.
46. Marinšek, A., U. Šilc, and A. Čarni (2013). "Geographical and ecological differentiation of *Fagus* forest vegetation in SE Europe." *Applied Vegetation Science* 16.1: 131-147.
47. Meier, Ina C., and Christoph Leuschner (2008). "Belowground drought response of European beech: fine root biomass and carbon partitioning in 14 mature stands across a precipitation gradient." *Global Change Biology* 14.9: 2081-2095.
48. Menzel, A., (2001). Spatial and temporal variability 65 Bucovina Forestieră XII, 1-2 Articole de cercetare of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. *Glob. Ch. Biol.*, 7: 657-666.
49. NIELSEN, Christian Nørgård; JØRGENSEN, Finn Vanman (2003). Phenology and diameter increment in seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.) as affected by different soil water contents: variation between and within provenances. *Forest Ecology and Management*, 174.1-3: 233-249.
50. Olenici, N., (1998). Cercetări privind insectele dăunătoare fructificaiei laricelui din România. Biologie și combatere. Teză de doctorat, Universitatea "Transilvania" Braşov: 238 p.
51. Orr, H. Allen (2005). "The genetic theory of adaptation: a brief history." *Nature Reviews Genetics* 6.2: 119-127.



52. Papageorgiou, AC., Vidalis, A., Gailing, O., Tsiripidis, I., Hatziskaki, S., Boutsios, S., Galatsidas, S., Finkeldey, R., (2008): Genetic variation of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Rodopi (N.E. Greece). *European Journal of Forest Research*, 127: 81–88. 76.
53. Parascan, Darie, and Marius Danciu (2001). *Fiziologia plantelor lemnoase: cu fundamente de fiziologie vegetală generală. Pentru Viaţă.*
54. Paucă-Comănescu, M., *et al.* (1989) "Făgetele din România-cercetări ecologice." *Acad. Bucureşti.*
55. Piovesan, G., Biondi, F., Bernabei, M., Di Filippo, A., & Schirone, B. (2005). Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus sylvatica* L.) tree-ring network. *Acta oecologica*, 27(3): 197- 210.
56. Polge, H (1963). "The quality of wood of the principal exotic conifers used in French plantations." *Annales des Eaux et Forêts* 20: 403-469.
- 57. Popescu, R., and N. Şofletea (2016). "Fagus sylvatica f. leucodermis Georg. et Tătăranu and F. sylvatica typica Schur: a phenotypic comparative analysis." *Revista de Silvicultură şi Cinegetică* 21.39: 34-40.**
58. Posea, Grigore (2006). *Geografia fizică a României.* Editura Fundaţiei" România de Măine".
59. Robeson, S. M., (2002). Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Clim. Change*, 52: 219-238.
60. Robson, T. Matthew, *et al.* (2013). "Flushing phenology and fitness of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances from a trial in La Rioja, Spain, segregate according to their climate of origin." *Agricultural and forest meteorology* 180: 76-85.
61. Rötzer, T., R. Grote, and H. Pretzsch (2004). "The timing of bud burst and its effect on tree growth." *International Journal of Biometeorology* 48.3: 109-118.
62. Schieber, B. (2006). Spring phenology of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a submountain beech stand with different stocking in 1995–2004. *Journal of Forest Science*, 52(5): 208-216.
63. Schieber, B., Janík, R., & Snopková, Z. (2013). Phenology of common beech (*Fagus sylvatica* L.) along the altitudinal gradient in Slovakia (Inner Western Carpathians). *Journal of Forest Science*, 59(4): 176-184.
64. Slovíková, K., & Bednářová, E. (2014). Monitoring of vegetative phenological stages in European beech (*Fagus sylvatica* L.) growing in a mixed stand. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 62(5): 1109- 1115.



65. Song-Lin, F. E. I., et al (1999). "Anatomical characteristics of leaves and woods of *Fagus lucida* and their relationship to ecological factors in Mountain Fanjingshan, Guizhou, China." *Journal of Integrative Plant Biology* 41.9.
66. Sparks, Tim H., and Annette Menzel (2002). "Observed changes in seasons: an overview." *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society* 22.14: 1715-1725.
67. Stamm, Alfred J (1929). "The fiber-saturation point of wood as obtained from electrical conductivity measurements." *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition* 1.2: 94-97.
68. Stănescu, Victor, Nicolae Şofletea, and Oana Cătălina Popescu (1997). *Flora forestiera lemnoasa a Romaniei*. Ceres.
69. Stojnic, Srdan, et al. (2015). "Phenotypic plasticity of European beech (*Fagus sylvatica* L.) stomatal features under water deficit assessed in provenance trial." *Dendrobiology* 73.
70. Şofletea, Nicolae, and Lucian Curtu (2007). *Dendrologie*. Editura Universităţii" Transilvania".
71. Taras, M. A., and J. R. Saucier (1967). "Influence of extractives on specific gravity of southern pine." *Forest Products Journal* 17.9: 97-99.
72. Teodosiu, Marius, and Elena Mateescu (2004). "Fenologia-dezvoltare și perspective. O sinteză." *Bucovina Forestieră* 12: 1-2.
73. Tognetti, Roberto, Jon D. Johnson, and Marco Michelozzi (1997). "Ecophysiological responses of *Fagus sylvatica* seedlings to changing light conditions. I. Interactions between photosynthetic acclimation and photoinhibition during simulated canopy gap formation." *Physiologia Plantarum* 101.1: 115-123.
74. Țițiu I., (1895). Dezvoltarea vegetațiunii în 1895 și prognosticul timpului. *Revista Pădurilor*, 9:163-165.
75. von Wuehlich G (2008). EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European beech (*Fagus sylvatica*). Biodiversity International, Rome, Italy. 6 pages
76. Wilfong, J. G (1966). "Specific gravity of wood substance." *For. Prod. J* 16.1: 55-61.
77. Woodward, F. I., and C. K. Kelly (1995). "The influence of CO₂ concentration on stomatal density." *Newphytologist* 131.3: 311-327.
78. Zhang, Xiaoyang, et al (2003). "Monitoring vegetation phenology using MODIS." *Remote sensing of environment* 84.3: 471-475.



79. <https://ro.wikipedia.org/wiki/Fi%C8%99ier:Romania-relief.png>
80. http://www.mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/2016-06-08_Rezultate_IFN.pdf
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Carpatii_apuseni.png
81. https://ro.wikipedia.org/wiki/Mun%C8%9Bii_Poiana_Rusc%C4%83#/media/Fi%C8%99ier:Harta_Poiana_Rusca.png
82. Amenajamentul Ocolului Silvic Dobra, Studiu General - 2017



Scurt rezumat – Short summary

Scopul studiului a fost identificarea variabilităţilor trăsăturilor morfologice ale speciei în funcţie de poziţia altitudinală a arborilor, precum şi evidenţierea condiţiilor de mediu care conduc şi influenţează fenologia fagului în zona analizată.

În cadrul tezei de doctorat s-au realizat analize morfologice ale descriptorilor foliari, ale anatomiei frunzei şi proprietăţilor lemnului, precum şi analize fenologice. Prin intermediul analizelor fenotipice s-au identificat variaţiile speciei datorate avansului altitudinal, trăsăturile diferite ale exemplarelor în funcţie de categoria fenologică din care fac parte, precum şi o eventuală prezenţă a speciei *Fagus sylvatica* ssp. *moesiaca* la altitudini de până la 700 m.

Analiza fenologiei a condus la identificarea factorilor care conduc la declanşarea principalelor fenofaze, a modului în care aceştia influenţează desfăşurarea lor, precum şi a existenţei unei bariere altitudinale care împiedică realizarea fecundării cauzată de momentele diferite de producere a înfloririi.

The goal of the present study was to identify the variability of the morphological features of the species depending on the altitudinal position of the trees, as well as highlighting the environmental conditions that lead and influence the beech phenology in the analyzed area.

Within the doctoral thesis, morphological analyzes of leaf descriptors, leaf anatomy and wood properties, as well as phenological analyzes were performed. Through phenotypic analyzes, the variations of the species due to the altitudinal advance were identified, the different features of the specimens depending on the phenological category they belong to, as well as a possible presence of the species *Fagus sylvatica* ssp. *Moesiaca* at altitudes up to 700 m.

The analysis of phenology has led to the identification of the factors that lead to the onset of the main phenophases, the way in which they influence their development, as well as the existence of an altitudinal barrier that prevents fertilization caused by different moments of flowering.