CZU: 582.632.2:581.4 **https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_08**

EVALUAREA DISTRIBUȚIEI ÎNĂLȚIMEA-DIAMETRUL COROANELOR LA STEJARUL PEDUNCULAT (QUERCUS ROBUR) ȘI A PERFORMANȚEI MODELELOR DE REGRESIE

Petru CUZA,
Universitatea de Stat din Moldova

În arboretele de stejar pedunculat (*Quercus robur*) situate în nordul, centrul și sudul Republicii Moldova, s-a desfășurat un studiu axat pe relația dintre înălțimea și diametrul coroanei. Analiza distribuției înălțimea-diametrul arborilor a evidențiat o sporire a complexității structurii arboretelor de-a lungul gradientului ecologic nord-sud. Totodată, în cadrul distribuțiilor, s-a remarcat variabilitatea fenotipică în caracteristica înălțimea-diametrul coroanelor arborilor. A fost evaluată potrivirea statistică în relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor, analizând 25 de modele de regresie și selectând acelea care au demonstrat o performanță bună pentru datele ce descriu relația respectivă. O ajustare mai precisă a datelor s-a identificat în funcție de creșterea complexității în distribuția caracteristicii investigate. Cele mai bune rezultate în acest context au fost obținute pentru datele experimentale privind relația înălțimea și diametrul coroanei arborilor din zona de sud, în Ocolul Silvic Baimaclia, comparativ cu celelalte zone.

Cuvinte-cheie: *Quercus robur*, înălţimea coroanei, diametrul coroanei, distribuție, modele de regresie.

ASSESSMENT OF CROWN HEIGHT-DIAMETER DISTRIBUTION IN PEDUNCULATE OAK (QUERCUS ROBUR) AND THE PERFORMANCE OF REGRESSION MODELS

In the stands of pedunculate oak (*Quercus robur*) located in the north, center, and south of the Republic of Moldova, a study focusing on the relationship between crown height and diameter was conducted. The analysis of the trees height-diameter crown distribution revealed an increase in the complexity of the stand structure along the north-south ecological gradient. Simultaneously, within these distributions, phenotypic variability in the height-diameter characteristic of tree crowns was observed. The statistical fit of the relationship between tree crown height and diameter was assessed by analyzing 25 regression models and selecting those that demonstrated good performance for the data describing the relationship. A more precise adjustment of the data was identified as a function of increasing complexity in the distribution of the investigated feature. The best results in this context were obtained for the experimental data regarding the relationship between the height and crown diameter of the trees in the southern area, in the Baimaclia Forest District, compared to the other areas.

Keywords: *Quercus robur, crown height, crown diameter, distribution, regression models.*

Introducere

Procesele de încălzire a climei, manifestate prin temperaturi caniculare şi secete prelungite, exercită un impact semnificativ asupra stării şi productivităţii pădurilor [1]. Deşi aceste fenomene afectează întregul ecosistem forestier, stratul arborilor care constituie 90% din biomasa lui și, având un rol esențial în structura și funcțiile acestora, reprezintă o componentă deosebit de vulnerabilă.

Caracteristicile esenţiale ale arborilor, cum ar fi diametrul de bază (măsurat la înălţimea de 1,3 metri), înălţimea şi diametrul coroanei, sunt relevante, deoarece definesc productivitatea arboretelor în condiţii de mediu specifice [2, 3]. Modificările semnificative ale mediului, cauzate de intensificarea factorilor climatici, au un impact negativ asupra productivităţii arboretelor.

Diametrul de bază este o caracteristică care poate fi măsurată cu instrumente dendrometrice simple, utilizate pe larg în inventarele forestiere. Cu toate acestea, cercetările au evidenţiat că există și alte variabile relevante ale arborilor, care, deşi nu sunt la fel de uşor de obținut, pot servi ca predictori importanţi pentru dinamica pădurilor și pot îmbunătăţi precizia unor studii precum modelele de creștere și randament. Un

exemplu notabil este diametrul coroanei, care a atras atenția cercetătorilor, fiind considerat un mijloc eficient de estimare a creșterii arborilor [4].

Coroana arborelui, în care se găsește frunzișul, servește activității fiziologice, în special schimbul de gaze, care stimulează creșterea și dezvoltarea. De asemenea, frunzișul coroanei îndeplinește funcția de fotosinteză, prin procesele fiziologice și biochimice ale cărora se sintetizează carbohidrații necesari pentru creșterea și dezvoltarea arborelui [5]. Diametrul coroanei poate fi, de asemenea, folosit pentru a calcula gradul de închidere al arboretului, aspect important în evaluarea habitatului faunei sălbatice, riscului de incendiu și competiției arborilor pentru regenerare [6]. Atunci când stresurile abiotice sau antropice afectează o pădure, primele semne de deteriorare pot fi observate în coroanele arborilor care interacționează mai intens cu factorii stresanți.

Dată fiind importanța diametrului coroanei, care servește în calitate de structură a arborelui în care au loc diverse procese fiziologice, evaluarea acestei însuşiri rămâne o sarcină dificilă în domeniul silviculturii. Utilitatea de a face predicții privind diametrul coroanei în baza înălțimii coroanei reprezintă, de asemenea, o sarcină care se confruntă cu dificultăți metodologice în contextul științific.

Este important din perspectivă practică să dezvoltăm modele utilizând diametrul coroanei în corelație cu alte caracteristici ale acesteia. Dezvoltarea unor astfel de modele, având la bază diametrul coroanei arborilor, ar asigura predicții cu implicații extinse, inclusiv în ceea ce privește evaluarea suprafeței și volumului coroanei pentru determinarea stării de sănătate a pădurilor [7], aprofundarea în profilurile orizontale ale coroanei arborilor și a arhitecturii acestora (Marshall și colaboratorii, 2003), precum și determinarea gradului de acoperire a arboretului [8].

În cadrul prezentului studiu, ne-am propus să evaluăm specificul distribuției arborilor de stejar pedunculat în funcție de înălțimea-diametrul coroanei și să estimăm adecvarea statistică a modelelor de regresie în relație cu caracteristicile înălțimea și diametrul arborilor.

Material şi metode

În cadrul fiecărui dintre Ocoalele silvice Briceni (zona de nord), Selişte (zona de centru) și Baimaclia, s-a amenajat câte o suprafaţă experimentală sub formă de pătrat, cu o suprafață de 0,25 hectare, în care se dezvoltă arbori de stejar pedunculat (*Quercus robur*) în vârstă de 90 de ani. În interiorul acestor suprafețe, toți arborii au fost inventariați, măsurându-li-se parametrii dendrometrici ai trunchiurilor și coroanelor de stejar. În cadrul studiului nostru, am utilizat următorii parametri: înălțimea și diametrul coroanei.

Înălțimea coroanei a fost măsurată cu un dendrometru, cu o precizie de ±10 mm. Diametrul coroanei a fost măsurat după suprafața de proiecție a coroanei arborilor la suprafaţa solului. Inițial, măsurătorile proiecției coroanei au fost realizate în direcția nord-sud și apoi est-vest, urmând să se calculeze valoarea medie.

Analiza distribuției valorii înălțimea-diametrul coroanei arborilor a fost efectuată folosind procedura statistică de comparare a perechilor de valori (*Paired-sample comparison*). Într-un prim pas, s-au obținut valorile diferenței dintre înălțimea și diametrul coroanei arborilor de stejar pedunculat, urmând să se calculeze frecvențele absolute și relative ale distribuției acestor diferențe.

Au fost calculate indicii statistici ai distribuției experimentale, incluzând valoarea medie, abaterea standard, coeficientul de variație, valorile minimă și maximă, precum și indicii de asimetrie și exces. În vederea evaluării semnificației diferențelor dintre arbori în funcție de relația înălțimea-diametrul coroanelor, s-a utilizat testul *t* statistic.

Pentru a asigura modele de regresie cu o potrivire statistică mai bună, datele privind înălțimea și diametrul coroanei arborilor au fost supuse unei transformări logaritmice, având ca scop stabilizarea varianței. Transformarea logaritmică a permis reducerea impactului datelor extreme și, în același timp, a ridicat valorile mai mici. Această abordare este susținută de proprietatea logaritmului, conform căreia creșterea valorii datelor determină o creștere graduală a logaritmului lor. Prin urmare, transformarea logaritmică a contribuit la o distribuție mai echilibrată a datelor, facilitând astfel obținerea unor modele de regresie mai robuste și mai reprezentative pentru relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat.

Apoi, am utilizat 25 de modele de regresie pentru a selecta două care prezintă ajustări semnificative la datele privind înălțimea și diametrul coroanei arborilor de stejar pedunculat localizați în Ocoalele Briceni, Selişte și Baimaclia.

Cele mai potrivite modele pentru datele referitoare la înălțimea și diametrul coroanei arborilor din Ocolul Silvic Briceni au fost următoarele:

Dublu reciproc: $Y = \frac{1}{a + \frac{b}{x}}$, Multiplicativ: $Y = a * X^b$.

În ce privește înălțimea și diametrul coroanei arborilor din Ocolul Silvic Selişte, modelele de potrivire sunt prezentate astfel:

Logaritmic Y pătrat X: $\log(Y) = a + b * X^2$, Rădăcină pătrată Y pătrat X: $Y = (a + b) * X^2)^2$.

În mod similar, pentru înălțimea și diametrul coroanei arborilor din Ocolul Silvic Baimaclia, modelele care s-au potrivit cel mai bine au fost:

Logaritmic X: $Y = a + b * \ln(X)$, Y pătrat logaritmic X: $Y = \sqrt{a + b * \ln(X)}$

Pentru a verifica adecvarea modelelor față de setul de date observate, au fost utilizați indicatori statistici:

Coeficientul de determinare (R^2): Indică proporția din variația variabilelor dependente care poate fi explicată de modelul utilizat.

Eroarea medie absolută (MAE): Este o măsură a deviației medii dintre valorile observate și valorile prevăzute de model.

Eroarea standard de estimaţie (ESE): Este o măsură a dispersiei reziduurilor, adică a diferențelor dintre valorile observate și cele prezise de model.

Testul Durbin-Watson (DW): Este un test statistic utilizat pentru a detecta prezența autocorelației în reziduurile unui model de regresie.

Autocorelația reziduală Lag 1 (AZL): Se referă la dependența dintre reziduurile consecutive într-un model de regresie.

Rezultate şi discuţii

1. Asocierea înălţimii şi diametrului la arborii de stejar pedunculat redată cu procedura statistică de comparare a perechilor de valori

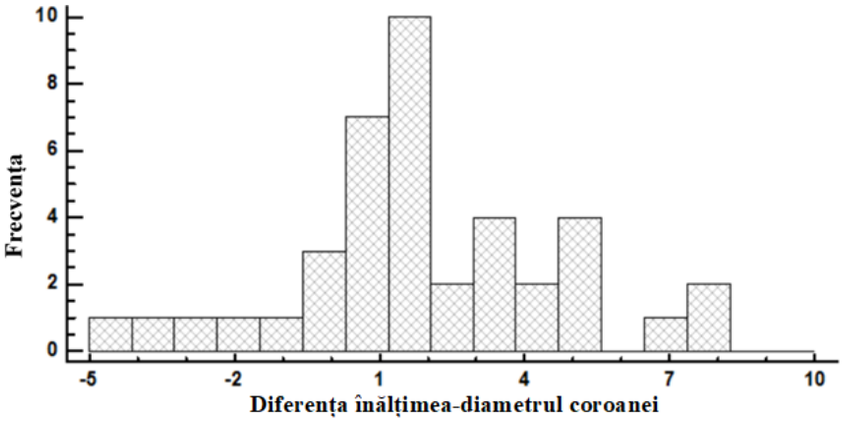
Studiul a prevăzut evaluarea relaţiei dintre înălţimea şi diametrul coroanelor la arborii de stejar pedunculat, prin aplicarea procedurii statistice de comparare a perechilor de valori, aceştia crescând în zone ecologice diferite ale Republicii Moldova. Datele statistice generalizatoare a acestor arborele se prezintă în tabelul 1.

Tabelul 1. Indicii statistici ai distribuţiei experimentale a valorilor înălţim**ea-diametrul coroanei arborilor de stejar pedunculat obţinute prin procedura de comparare a perechilor de date.**

Specificaţia	Ocolul Silvic		
	Briceni	Selişte	Baimaclia
Valoarea medie	1,97	3,33	4,91
Abaterea standard	2,68	2,50	2,40
Coeficientul de variaţie	136,1	75,2	48,8
Valoarea minimă	-4,2	-3,0	0,5
Valoarea maximă	8,0	8,5	9,5
Indice de asimetrie	0,14	-0,43	0,29
Indice de exces	0,47	-0,18	-1,05

Analizând datele incluse în histograma din figura 1 și statisticele sumare (tab. 1) din Ocolul Silvic Briceni, observăm că majoritatea observațiilor au o repartizare în jurul mediei înălțimea-diametrul coroanelor de stejar pedunculat, care are valoarea $\overline{X}$ = 1,97 metri. Valorile prezentate pe histogramă au o deviație standard de σ = 2,68 metri față de valoarea medie.

Fig. 1. Histograma privind distribuţia experimentală a valorilor înălţimea-diametrul coroanei a arborilor de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Briceni.



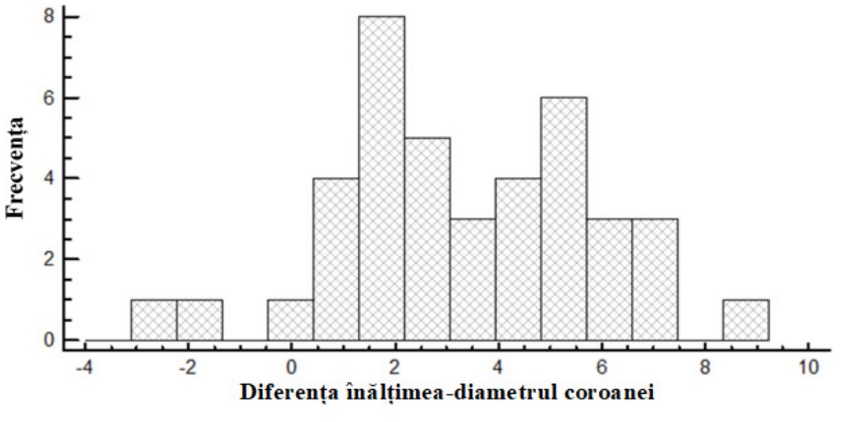
Împrăștierea variației față de media datelor este semnificativă, confirmată de coeficientul de variație de CV=136,1%, sugerând diferențe semnificative între mărimea coroanelor arborilor de stejar pedunculat. Indicele de asimetrie (A = 0,14) indică o distribuție relativ simetrică a datelor în jurul valorii medii. În același timp, indicele de exces (E = 0,47) sugerează o formă leptokurtică, indicând o ușoară deviere de la distribuția normală.

O analiză atentă a histogramei relevă o scădere bruscă a numărului de observații în clasa imediat următoare pe dreapta față de cea mai apropiată de medie, menținându-se la același nivel în următoarele clase. Aceasta indică o diminuare a arborilor cu coroane de dimensiuni mari. Totodată, clasele inferioare față de valoarea medie au o scădere mai lentă în numărul de observații, sugestiv pentru un număr ridicat de arbori cu coroane mai mici, dar apropiate de media datelor.

Se poate presupune că un număr mai mic de arbori cu coroane mai mari, situați în plafonul superior al arboretului, influențează un număr mai mare de arbori cu înălțimi și coroane mai mici, sugerând posibile interacțiuni ecologice. Acest rezultat este important pentru înțelegerea dinamicii arboretului și relațiilor dintre arbori în funcție de dimensiunile coroanelor lor.

În urma analizei histogramei arboretului situat în Ocolul Silvic Selişte (fig. 2), privind înălțimea-diametrul coroanelor de stejar pedunculat, rezultatele indică o distribuție neuniformă a datelor, evidențiind două vârfuri distincte în această repartizare. Arborii examinați pot fi grupați în două subcategorii distincte, conform procedurii de comparare a perechilor de valori, pentru înălțimea-diametrul coroanelor la stejar.

Fig. 2. Histograma privind distribuţia experimentală a valorilor înălţimea-diametrul coroanei a arborilor de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Selişte.



Primul vârf, cu opt observații, se află la stânga valorii medii $\overline{X}$ = 3,33 metri și reprezintă arbori la care diferența dintre înălțimea și diametrul coroanei este mai mică faţă de aceasta. Al doilea vârf, cu șase observații, este poziționat mai spre dreapta decât valoarea medie și caracterizează arbori la care diferența dintre înălțime și diametrul coroanei este mai mare comparativ cu valoarea medie.

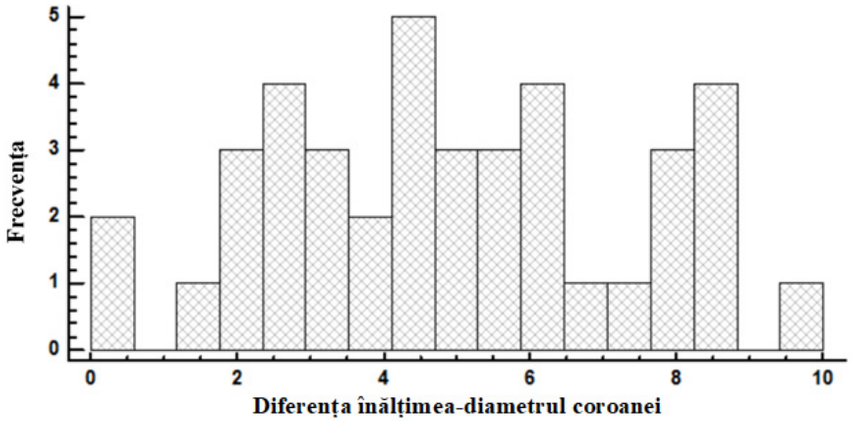
Indicele de asimetrie negativ (A = -0,43) indică direcția cozii distribuției spre stânga, semnificând că în partea stângă a distribuției se regăsesc valori ale diferenței dintre înălțimea și diametrul coroanei cu semn negativ. Aceasta înseamnă că un anumit număr de arbori au înălțimi mai mici decât diametrele coroanelor lor. Acești arbori sunt repartizați în extrema stângă a distribuției, contribuind la valoarea negativă a indicelui de asimetrie. Indicele de exces (E = -0,18), având o valoare negativă, indică o distribuție platikurtică în comparație cu distribuția normală (tab. 1).

Analiza datelor relevă existența a două grupuri distincte de arbori, caracterizate prin diferențe semnificative în distribuția raportului înălțimea-diametrul coroanei. Grupul plasat mai spre dreapta pe histogramă prezintă arbori cu înălțimea coroanei semnificativ mai mare decât diametrul acesteia, în special stejarii, ale căror coroane adoptă forma unei schele. Cel de-al doilea grup, situat mai spre stânga pe histogramă, evidențiază valori ale diametrului coroanei apropiate de cele ale înălțimii corespunzătoare, rezultând coroane cu forma rămuros împrăştiată. Prin urmare, în funcție de densitatea creşterii diferitelor grupuri de arbori, aceștia pot manifesta diverse forme morfologice în structura arboretului.

Datele privind distribuția valorilor înălțimea-diametrul coroanei arborilor în Ocolul Silvic Baimaclia, incluse în figura 3, arată că în eșantionul format din 40 de arbori de stejar pedunculat, înălțimea coroanei este mai mare decât diametrul său. Distribuția este eterogenă și include patru vârfuri, ceea ce înseamnă că există patru inter-valuri distincte sau grupuri în care observațiile ating valori maxime locale.

Această distribuție specifică evidenţiază o varietate semnificativă în dimensiunile coroanelor arborilor din această zonă. Prezența a patru vârfuri indică absența unei tendințe uniforme în relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor. În schimb, observăm variații privind alcătuirea morfologică a coroanelor între diferite subgrupuri, sugestive pentru influențele genetice asupra acestei variabilități. Identificarea a patru grupuri distincte de arbori poate fi corelată cu structura specifică a arboretului și pare să fie în concordanță cu condițiile ecologice aride din sudul țării.

Fig. 3. Histograma privind distribuţia experimentală a valorilor înălţimea-diametrul coroanei a arborilor de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Baimaclia.



Grupurile de arbori nu formează un polog continuu, ci alternează cu poiene mici de vegetație de stepă, ceea ce determină forma specifică a coroanelor arborilor în această zonă de silvostepă. Analiza efectuată, completată cu examinarea altor indici ai arborilor în aceste subgrupuri, ar putea furniza informații relevante despre adaptarea speciilor de arbori la condițiile specifice de mediu, evidențiind astfel influențele ecologice asupra caracteristicilor morfologice ale coroanelor arborilor de stejar pedunculat.

Distribuția înălțime-diametru a coroanei la arbori este caracterizată de un indice de asimetrie A = 0,29 (tab. 1), indicând o asimetrie pozitivă, de stânga a datelor incluse în histograma prezentată în figura 3. Aceasta relevă o concentrare sporită a arborilor cu valori mai mari ale indicelui înălțimea-diametrul co-

roanei în comparație cu cei cu valori mai mici ale acestei caracteristici. Indicele de exces, cu valoarea E = -1,05, indică că distribuția este mai platikurtică decât o distribuție normală, cu menţiunea că această diferență este semnificativă.

Prin urmare, analiza acestor indici arată că distribuția înălțimii-diametrului coroanei la stejarul pedunculat manifestă o repartizare semnificativă spre dreapta, iar vârfurile distribuției apropiate de valoarea medie sunt ușor mai aplatizate decât cele așteptate în cazul unei distribuții normale, dar fără a devia în mod excesiv de la aceasta. Aceste rezultate contribuie la o mai bună înțelegere a caracteristicilor morfologice ale coroanelor arborilor în contextul specific al acestei populații.

Pentru a evalua dacă există diferenţe semnificative între arborii de stejar pedunculat după însuşirea înălțimea-diametrul coroanei, am utilizat testul *t* (tab. 2). Rezultatele acestui test indică că au fost identificate diferențe semnificative între arborii de stejar pedunculat pe fiecare suprafață experimentală, localizată în Briceni, Selişte și Baimaclia. Aceste diferențe au fost confirmate statistic la un nivel de semnificație de $p < 0,05$ pentru fiecare dintre aceste suprafețe experimentale. Constatarea denotă prezenţa unei variabilităţi semnificative în ceea ce privește însuşirea înălțimea-diametrul coroanelor în rândul arborilor din fiecare eșantion examinat.

Tabelul 2. Rezultatele analizei testului *t* privind deosebirile între arborii de stejar pedunculat după însuşirea înălţimea-diametrul coroanei

Specificaţie	Ocoale silvice		
	Briceni	**Selişte**	**Baimaclia**
Statistica *t* calculată	4,645	8,414	12,96
Valoarea P	0,000038	2,67588E-10	0
Concluzie	Respinge HO	Respinge HO	Respinge HO

Cele expuse anterior indică o tendință crescândă a complexității structurale a arboretelor de stejar pedunculat de-a lungul gradientului ecologic nord-sud. Arboretul localizat în zona de nord, Ocolul silvic Briceni, se remarcă printr-o distribuție simetrică cu un vârf, având o dispunere apropiată de distribuția normală a coroanelor arborilor. Structura stejăretului din zona de centru conform caracteristicilor distribuției arborilor, prezintă două vârfuri de aglomerare, indicând aparent prezența a două subgrupuri distincte în funcție de variația dimensiunilor înălţimea-diametrul coroanelor. În zona de sud, se observă o creștere a structurii arboretului, probabil asociată cu mozaicul de micro-habitaturi care disting patru vârfuri în distribuția înălțime-diametru a coroanelor arborilor. Acest aspect sugerează o complexitate sporită în variația structurală a arboretului în ceea ce privește forma şi însuşirile coroanei la stejari.

În plus, diferenţele semnificative identificate între arborii de stejar pedunculat subliniază o varietate fenotipică semnificativă în ceea ce privește însuşirea înălțimea-diametrul coroanelor. Această diversitate fenotipică se manifestă într-o manieră complexă în structura arboretelor investigate, indicând o adaptabilitate și variabilitate semnificativă în cadrul populațiilor de arbori de stejar pedunculat din Ocoalele silvice analizate.

2. Modele de regresie care stabilesc relaţia între înălţimea şi diametrul coroanei la stejarul pedunculat

Au fost alese diverse modele de regresie pentru a realiza o evaluare a potrivirii optime a modelului cu setul de date care reflectă relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat în suprafața experimentală a Ocolului Silvic Baimaclia. Alegerea acestui Ocol a fost fundamentată de complexitatea înaltă a structurii arboretului, care a fost evidențiată printr-o distribuție distinctă a înălțimii în raport cu diametrul coroanei (analizată în paragraful anterior), distribuție particulară determinată în urma aplicării procedurii statistice de comparare a perechilor de valori. Rezultatele obținute pentru arborii de stejar pedunculat din Ocolul Silvic respectiv sunt prezentate în tabelul 3 pentru 8 cele mai bune modele, selectate dintre cele 25 analizate, în funcţie de potrivirea statistică.

Tabelul 3. Estimarea coeficienţilor de corelaţie şi de determinare (%) pentru evaluarea statistică a modelelor de regresie aplicate în analiza **înălţimii şi diametrului coroanelor arborilor de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Baimaclia.**

Modelul analizat	Coeficientul de corelaţie, R	Coeficientul de determinare, R^2
Reciproc X	-0,62	38,9
Logaritmic X	0,62	38,5
Rădăcină pătrată Y reciprocă X	-0,62	38,4
Rădăcină pătrată X	0,62	38,1
Rădăcină pătrată Y logaritmică X	0,62	37,9
Pătrat Y reciproc X	-0,62	37,8
Y pătrat logaritmic X	0,61	37,6
Liniar	0,61	37,6

Din cele opt modele analizate în tabelul 3, rezultă că, în urma evaluării bazate pe valorile coeficienților de corelație și de determinare, modelele de regresie „logaritmic X” și „Y pătrat logaritmic X” se evidențiază ca fiind cele mai performante în potrivirea cu setul de date analizate, privind înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat.

Pentru a obţine o înțelege mai profundă a relației datelor între înălțimea și diametrul coroanelor la arborii de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Baimaclia, în comparaţie cu datele colectate din Ocoalele Silvice Briceni şi Selişte (unde s-au observat complexităţi mai scăzute în distribuția datelor înălțimea-diametrul coroanelor la stejari, vezi figurile 1 şi 2), am calculat valorile parametrilor și statisticilor de potrivire pentru cele două modele matematice selectate în baza datelor din Ocolul Silvic Baimaclia. De asemenea, am determinat valorile parametrilor și statisticilor de potrivire pentru modelele matematice cu cele mai bune rezultate, selectate din cele 25 modele analizate, pentru datele colectate din Ocoalele Silvice Briceni şi Selişte (tab. 4).

Tabelul 4. Estimarea parametrilor și statisticile de potrivire a modelelor aplicate arborilor de stejar pedunculat.

Model	Parametrii de simulare		Coeficient de determinare, (R^2)	Eroarea medie absolută, (MAE)	Eroarea standard de estimare, (ESE)	Testul Durbin-Watson, (DW)	Autocorelația reziduală Lag 1, (AZL)
	a	b					
Ocolul Silvic Baimaclia							
Logaritmic X	0,708	0,795	38,5	0,105	0,134	1,934	0,021
Y pătrat logaritmic X	0,527	0,987	37,6	0,138	0,169	1,892	0,038
Ocolul Silvic Selişte							
Logaritmic Y pătrat X	-0,287	0,193	24,6	0,059	0,078	1,630	0,135
Rădăcină pătrată Y pătrat X	0,861	0,094	24,6	0,029	0,038	1,638	0,139
Ocolul Silvic Briceni							
Dublu reciproc	0,499	0,577	17,8	0,093	0,115	1,903	0,042
Multiplicativ	-0,067	0,487	15,5	0,086	0,107	1,962	0,014

Din datele incluse în tabelul 4, se poate observa că indicatorii furnizează informații relevante cu privire la potrivirea și performanța modelelor de regresie pentru înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de

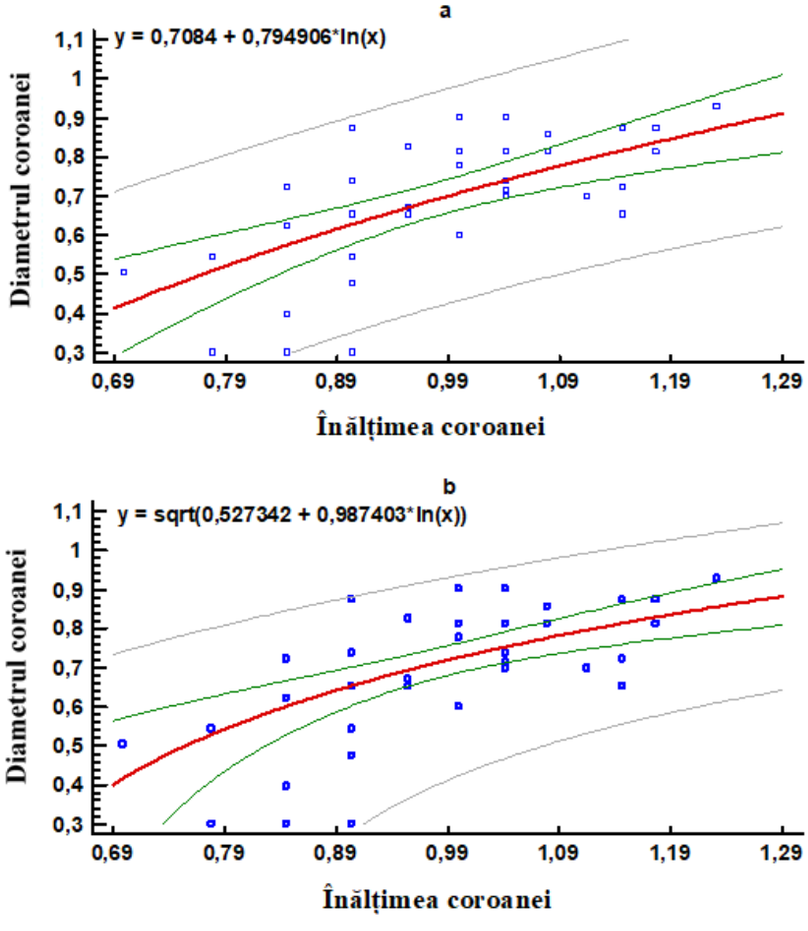
stejar pedunculat din suprafețele experimentale situate în Ocoalele Silvice Baimaclia, Selişte și Briceni și prezintă valori suficient de mici și apropiate pentru indicatorii: eroarea medie absolută, eroarea standard de estimare și autocorelația reziduală Lag. 1.

În ceea ce privește valorile testului Durbin-Watson, acestea sunt foarte asemănătoare. De exemplu, pentru modelul logaritmic X, valoarea este de 1,934, iar pentru Y pătrat logaritmic X, este de 1,892, apropiindu-se de valoarea 2, ceea ce indică lipsa de autocorelații ale datelor analizate.

De asemenea, coeficientul de determinare, care indică în ce măsură variația diametrului coroanei poate fi explicată de variația înălțimii coroanei, prezintă valori semnificativ mai mari pentru modelele aplicate pe datele arborilor din Ocolul Silvic Baimaclia (între 38,5 și 37,6), comparativ cu cele obținute pentru caracteristicile coroanei la arborii din Ocolul Silvic Briceni (între 17,8 și 15,5). Aceste date indică o performanță de potrivire mai adecvată a modelelor de regresie privind caracteristicile coroanei la arborii situați în Ocolul Silvic Baimaclia, oferind astfel o evaluare comprehensivă a calității ajustărilor în raport cu datele observate.

În figura 4, se prezintă curbele de regresie asociate modelelor logaritmic X și Y pătrat logaritmic X pentru înălțimea și diametrul coroanelor arborilor, care s-au evidențiat ca oferind cele mai bune rezultate în potrivirea la datele observate.

Fig. 4. Relaţia dintre înălţimea şi diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat redate conform modelelor: a – logaritmic X, b – Y pătrat logaritmic X în Ocolul Silvic Baimaclia.



Aceste modele au fost aplicate în contextul studiului nostru pentru a evalua și descrie relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat. Rezultatele obținute au evidențiat faptul că curbele de regresie asociate cu modelul logaritmic X și Y pătrat logaritmic X au prezentat o formă liniară, asemănătoare cu cea a unei linii puţin curbate, indicând astfel corespondența dintre modelele aplicate și datele observate în cadrul acestui studiu. Această constatare susține valabilitatea și relevanța acestor modele în contextul relației dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat în Ocolul Silvic Baimaclia.

Din analiza rezultatelor obținute, reiese că modelele de regresie univariate utilizate pentru evaluarea acurateței prognozei în ceea ce privește relația dintre înălțimea și diametrul coroanei la arborii de stejar pedunculat manifestă o performanță bună de ajustare a datelor experimentale la modelare în cazul când complexitatea structurii distribuției înălțimea-diametrul coroanei înregistrează o creștere. Deși estimările privind precizia și gradul de ajustare ale modelelor de regresie selectate, fundamentate pe eroarea medie absolută, eroarea standard de estimare și autocorelația reziduală, au indicat valori mici și similare, corespunzătoare modelelor aplicate, un indicator important este reprezentat de coeficientul de determinare. Acesta prezintă o tendință de creștere odată cu complexitatea structurii arboretului în ceea ce privește distribuția înălțimea-diametrul coroanei la arborii de stejar pedunculat. Se pare că coeficientul de determinare poate servi ca un indicator fiabil pentru evaluarea eficienței modelelor în contextul pădurilor de stejar pedunculat.

Mai multe studii au demonstrat legătura între diametrul coroanei arborilor și parametrii trunchiului, deoarece aplicarea modelelor pentru aceste caracteristici este importantă în contextul sporirii productivității pădurilor. Pentru diverse specii lemnoase s-au identificat dependențe semnificative între diametrul coroanei și diametrul de bază (la înălțimea de 1,3 metri), fiind caracterizate prin modele rectilinii [9, 10, 11]. Cercetările lui K. Kaźmierczak et al. [12] explorează relația dintre diametrul coroanei și diametrul de bază al arborilor de *Quercus robur*, furnizând ecuații de regresie pentru a estima diametrul coroanei în funcție de vârstă, înălțimea și diametrul trunchiului. Analizele bazate pe regresie au indicat o strânsă dependență între diametrul coroanei și înălțimea, precum și diametrul trunchiului. Autorii au identificat că înălțimea și diametrul trunchiului reprezintă cei mai buni predictori în modelarea acestei relații. Aceste rezultate, în concordanţă cu cele obţinute de noi, subliniază importanța înțelegerii corecte a relației dintre caracteristicile coroanei și cele ale trunchiului pentru o gestionare eficientă a pădurilor și optimizarea productivității acestora.

Concluzii

Lucrarea prezintă rezultatele unui studiu referitor la relația dintre înălțimea și diametrul coroanei la arborii de stejar pedunculat care cresc în partea de nord, centru și sud a Republicii Moldova. În acest scop, a fost analizată relația înălțimea-diametrul coroanelor arborilor, utilizând o procedură statistică pentru compararea perechilor de valori. Rezultatele au demonstrat că pe gradientul ecologic nord-sud, complexitatea structurii arboretelor a crescut, reflectată prin distribuția înălțimea-diametrul coroanelor la stejari. Au fost identificate diferențe semnificative între arborii de stejar pedunculat în cadrul distribuțiilor analizate, indicând manifestarea variabilității fenotipice în însuşirea înălțimea-diametrul coroanelor. De asemenea, au fost dezvoltate modele de regresie pentru a estima relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor. În fiecare dintre cele trei zone ecologice, modele diferite au arătat o potrivire bună pentru relația dintre înălțime şi diametru a coroanelor, însă ajustarea performanţei acestora a depins de creșterea complexității în distribuția caracteristicii investigate. Astfel, în arboretul din zona de sud, situat în Ocolul Silvic Baimailia, s-au obținut cele mai bune rezultate de potrivire statistică a datelor experimentale, comparativ cu celelalte zone.

Referințe:

1. ROMAGNOLI M., MORONI S., RECANATESI F., SALVATI R., MUGNOZZA G. S. *Climate factors and oak decline based on tree-ring analysis. A case study of peri-urban forest in the Mediterranean area.* In: *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, vol.34, p.17-28.
2. SKOVSGAARD J. P., VANCLAY J. K. *Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands.* In: *Forestry*, 2008, vol.81, p.12-31.
3. JIANG H., RADTKE P. J., WEISKITTEL A. R., COULSTON J. W., GUERTIN P. J. *Climate- and soil-based models of site productivity in eastern US tree species*. In: *Can. J. For. Res*., 2015, vol.45, p.325-342.
4. BRAGG D. C. *A Local Basal Area Adjustment for Crown Width Prediction*. In: *Northern Journal of Applied Forestry*, 2001, vol. 18, p. 22-28.
5. LEITES L. P., ROBINSON A. P. *Improving Taper Equations of Loblolly Pine with Crown Dimensions in Mixed-effects Modelling Framework.* In: *Forest Science*, 2004, vol. 50, p. 204-212.
6. CROOKSTON N. L., STAGE A. R. *Percept Canopy Cover and Stand Structure Statistics from the Forest Vegetation Simulator. General Technical Report RMRS-GTR-24*, 1999, 34 p.

7. ZARNOCH S. J, BECHTOLD W. A., STOLKE K. W. *Using Crown Condition Variables as an Indicator of Forest Health.* In: *Canadian Journal of Forestry Resource*, 2004, vol. 34, p. 1057-1070.
8. GILL S. J., BIGING G. S., MURPHY E. C. *Modelling Conifer Tree Crown Radius and Estimating Canopy Cover.* In: *Forest Ecology and Management*, 2000, vol. 126, p. 405- 416.
9. CAÑADAS N. *Pinus pinea L. en el Sistema Central (Valles del Tiétar y del Albrechte): desarrollo de un modelo de crecimiento y producción de piña*. Ph. D. Thesis, E.T.S.I. de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, 2000, 69 p.
10. PAULO M. J., STEIN A., TOMÉ M. *A spatial statistical analysis of cork oak competition in two Portuguese silvopastoral systems*. In: *Can. J. For. Res*., 2002, vol. 32, p. 1893-1903.
11. BENÍTEZ J. Y., RIVERO M., VIDAL A., RODRÍGUEZ J., ÁLVAREZ R. C. *Estimatión del diámetro de copa a partir del diámetro normal (d1,3) en plantaciones de Casuarina equisetifilia.* In: *Forst. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For*., 2003, vol. 12(2), p. 37-41.
12. KAŹMIERCZAK K., PAZDROWSKI W., JĘDRASZAK A., SZYMAŃSKI M., NAWROT M. *Crown width of a tree and its relationships with age, height and diameter at breast height based on common oak* (*Quercus robur L.)*. In: *Colloquium Biometricum*, 2011, vol. 41, p. 221-228.

Date despre autor:
Petru CUZA, profesor universitar, Departamentul de Geoştiinţe şi Silvicultură, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0003-0192-4427
E-mail: petrucuza@mail.ru

Prezentat la 05.02.2024