



Universitatea
Ștefan cel Mare
Suceava

**UNIVERSITATEA ȘTEFAN CEL MARE SUCEAVA
FACULTATEA DE SILVICULTURĂ**

Rezumat

**Cercetări dendrometrice privind variabilitatea formei
fusului și implicații asupra volumului în arborete de molid
(*Picea abies*) din județul Suceava**

Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. Radu Leontie CENUSA

Doctorand: Muscă Ciprian Dumitru



MINISTERUL
EDUCAȚIEI ȘI
CERCETĂRII
ȘTIINȚIFICE



Investește în oameni !

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Axa prioritară 1 “Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice în dezvoltarea societății bazate pe cunoaștere”

Domeniu major de intervenție 1.5 “Programe doctorale și post-doctorale în sprijinul cercetării”

Titlul proiectului: „Doctorat European de Calitate - EURODOC”

Nr. identificare contract: POSDRU/187/1.5/S/155450

Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul „Doctorat European de Calitate – EURODOC”, Contract nr. POSDRU/187/1.5/S/155450, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

Cuprins

Cuprins	2
1. Introducere	4
2. Scopul și obiectivele cercetărilor	5
3. Cercetări privind forma fusului	7
3.1 Cercetări privind forma fusului în străinătate	7
3.2 Cercetări privind variabilitatea formei fusului în România	8
4. Variabilitatea formei fusului	9
5. Forma fusului modelare matematică	10
5.1 Modelare matematică	11
5.2 Clasificare.....	11
5.3 Coeficienți de formă, puncte de inflexiune.	12
6. Ecuații privind forma fusului la molid	13
7. Implicații ale formei fusului în calculul volumului.....	17
8. Localizarea cercetărilor	19
7.1. Zona studiată	20
7.2. Metodologia de culegere a datelor din teren	20
7.3. Mărimea eșantionului.....	24
8. Ecuații regresie privind forma fusului.....	25
8.1. Calculul coeficientului de formă r (exponentul formei).....	25
8.2 Ecuații privind forma fusului	33
9. Ecuații de regresie pentru calculul înălțimilor	40
10. Calculul volumului manual și rezultatele obținute.....	41
11. Ecuații de regresie pentru calculul volumului.....	42
12. Simulare calcul volum utilizând modele matematice pentru calculul înălțimilor și modele matematice pentru calculul volumului	50
13. Concluzii	55
Bibliografie.....	57

1. Introducere

Forma arborilor variază distinct între arbori potrivit specificului lor natural fiind influențată de numeroși factori, dintre care menționăm: specia, modul de cultură, consistența, proveniența, structura arboretelor, poziția arborelui în arboret, regimul și tratamentul aplicat arboretului influențează forma arborilor, lucrările de îngrijire aplicate în cultura pădurii. Factorii ecologici, reprezentați de climă (căldura, vântul, umiditatea, zăpada, lumina etc.), factorii edafici (profundimea solului, proprietățile lui fizice și chimice, pătura vie și litiera), factorii orografici (relief, altitudine, expoziție, pantă), factorii biotici (animalele și vegetația) și factorul antropice (omul), pot induce tipare de creștere ale formei fusului la arbori.

Forma fusului și profilul fusului sunt subiecte adesea regăsite în literatura de specialitate actuală din străinătate, indicând astfel un interes crescut asupra temei studiate. Până în prezent nici o abordare nu a reușit să explice satisfăcător modul de variație a formei fusului atât la arborii izolați cât și la arbori care cresc în masiv. În ceea ce privește funcțiile matematice care redau profilul fusului au un avantaj deoarece permit calculul diametrului la diferite lungimi pe fus și implicit se poate genera obținerea volumului sau a înălțimii pe anumite porțiuni din fus.

Utilizarea modelelor matematice pentru calculul profilului fusului având folosind diametre și lungimea fusului, sunt deosebit de utile în procesul de producție forestieră pentru a estima volumul și numărul de piese ce urmează a fi recoltate. Studiul modelelor matematice compatibile a încercat implementarea de metode ce presupun identificarea unor puncte de inflexiune. Observațiile actuale indică faptul că de cele mai multe ori modelele construite se bazează, sau se încearcă a fi fundamentate pe informații de mediu sau biologice.

Fiabilitatea creșterii, respectiv acumularea de biomasă și randamentul unui arboret se estimează folosind trei caracteristici, respectiv consistența, eficiența și suficiența. Modelele matematice folosite sunt multiple, cel mai adesea fiind dezvoltate pentru nevoi locale. Astfel, cei mai mulți autori folosesc regresia celor mai mici pătrate (Biging, 1984; Newnham, 1992; Sharma și Zang, 2004; Teshome, 2005; Lichun, 2007). Geometria analitică (denumită generic și geometria carteziană) reprezintă o modalitate de abordare a formei fusului la arbori prin intermediul algebrei. Figurile geometrice sunt definite cu ajutorul ecuațiilor sau inecuațiilor, acestea aproximând porțiuni din fusul arborelui.

Ecuațiile de regresie privind forma fusului folosite pentru investigarea arborilor individuali, cu scopul de a cuantifica volumul, diametrul sau înălțimea totală a arborilor pe picior, au un rol bine determinat nu doar și studiile de cercetare, ele având aplicabilitate practică în managementul și producția forestieră. Forma fusului reprezintă succesiunea anuală de rate de creștere în diametru și înălțime pe fus (Gray, 1956). Forma și ratele de creștere în diametru raportate la creșterea în înălțime a reprezentat subiect de studiu pentru mai bine de 100 de ani, rezultatele fiind materializate prin studii dar și aplicații practice adesea utilizate în activitățile de management și economie forestieră (Jiang și al., 2007).

Formulele de bază de calcul a volumului, adoptate din geometria clasică stau la baza implementării ecuațiilor de regresie privind forma fusului și folosirea funcțiilor diferențiale în calculul volumului arborilor. O provocare a fost reprezentată de studierea legității conform căreia volumul se găsește în formă. Asocierea a urmărit folosirea corpului de rotație generat prin rotirea profilului estimat cu ajutorul ecuațiilor de regresie în jurul axei centrale care poate fi asociat cu un corp a cărui volum se identifică cu volumul arborelui analizat.

Neconcordanțele în asocierea geometriei cu formele naturale au apărut atunci când s-au folosit forme geometrice clasice conul sau paraboloidul, dar care au fost în parte rezolvate prin abordarea tradițională a geometriei analitice. Aceasta, dezvoltă ecuații de formă, prin care se aproximează conturul geometric cu ajutorul ecuațiilor matematice, chiar și atunci când

variabilitatea formrmei fusului este foarte mare. Deosebit de precisă este asocierea solidelor geometrice, care sunt generate de rotația în jurul unei axe verticale sau orizontale pentru estimarea unei jumătăți de formă. Spre exemplu, atunci când o jumătate de parabolă se rotește în jurul axei sale, rezultatul este un paraboloid. În vederea cunoașterii procesului de evoluție a studiului forme fusului la arbori, precum și a necesităților ce trebuiesc atinse prin viitoare demersuri științifice, prin această lucrare s-a urmărit realizarea unui inventar al metodelor utilizate în practica silvică, detaliate în literatura de specialitate din România și străinătate.

Formulele care furnizează informații asupra modului în care se produce acumularea de biomasă pe fusul arborilor sunt complexe. Aceasta reprezintă o consecință a variabilității biologice a acumulării de biomasă pe trunchiul arborilor ca urmare a interacțiunii dintre diverși factori ca de exemplu: poziția pe fus sau mediul local în care crește arborele, factorii genetici și ai de mediu. Contribuția originală a prezentului studiu se materializează prin oferirea de răspunsuri documentate științific privind variabilitatea forme fusului la molid în Nord Estul României, Județul Suceava. Actualele condiții de piață impun noi limite la care silvicultorii trebuie să răspundă prompt cu soluții concrete pentru calculul volumului. Astfel, utilizarea ecuațiilor complexe ce redau forma fusului la orice diametru sau înălțime, folosind ecuații cu aplicabilitate locală, devine una dintre abordările cele mai precise pentru estimarea volumului.

2. Scopul și obiectivele cercetărilor

Cercetările efectuate prin prezenta teză de doctorat cu titlul *"Cercetări dendrometrice privind variabilitatea forme fusului și implicații asupra volumului în arborete de molid (Picea Abies) din Județul Suceava"* au drept scop aducerea în atenție a modului în care arborii pot fi analizați prin forma trunchiului și modul în se poate determina volumul masei lemnoase care se regăsește în forma generată de profilul fusului.

Este cunoscut faptul că, forma fusului la arbori poate fi asimilată cu a unui corp de rotație, fiind permisă astfel evaluarea corectă a volumului piesei de lemn analizate. Determinarea modului în care diametrele descresc de-a lungul fusului și dacă această descreștere urmează o legitate matematică ce poate fi descrisă printr-o ecuație de regresie are o însemnătate deosebită.

Necesitatea studiului derivă din faptul că ne permite să înțelegem modul în care speciile se dezvoltă și asimilează materia prin procesele fiziologice, care interacționează cu mediul local biotic sau abiotric dar în egală măsură ne ajută să creăm acele unelte necesare determinării volumelor de masă lemnoasă pe porțiuni de fus sau pe întreg fusul, urmărind aspecte de natură economică. Economia mondială bazată pe valorificarea resurselor naturale, în special masa lemnoasă, devine din ce în ce mai pregnant afectată de actualele schimbări climatice, care reduc veniturile prin pierderi cauzate de fenomene de uscare. Pierderile deosebit de importante au determinat adoptarea de strategii economice mondiale, dar care nu pot rezolva problema, cel mult pot fi observate rezultate în vederea diminuării riscurilor. Bazat pe aceste raționamente ca de altminteri și pe cunoștințele existente referitoare la modul de evoluție a proceselor climatice actuale care diferă în spații geografice restrânse considerăm oportună tema adoptată având un caracter aplicativ pe plan local.

Obiectivele cercetărilor.

În vederea îndeplinirii scopului propus s-au identificat o serie de obiective prin care se vor demonstra practic ipotezele prezentului studiu care constau în testarea metodelor existente, folosite în străinătate și la nivelul României pentru a decela gradul de reprezentativitate pentru

condiții locale diferite. Acestea s-au testat pe o suprafață relativ restrânsă, dar care oferă o variabilitate ridicată de modele practice ale formei fusului. Obiectivele, în număr de cinci constau în:

Obiectivul 1. Identificarea, testarea și interpretarea rezultatelor privind ecuațiile de regresie care generează forma fusului.

Obiectivul 2. Analiza corpurilor geometrice de bază și a modului în care acestea aproximează forma fusului și pot fi utilizate în calculul volumului.

Obiectivul 3. Analiza ecuațiilor de regresie folosite pentru a genera curba înălțimilor

Obiectivul 4. Analiza ecuațiilor privind calculul volumului.

Obiectivul 5. Generarea unui tabel de cubaj local pentru specia molid în Județul Suceava.

3. Cercetări privind forma fusului

3.1 Cercetări privind forma fusului în străinătate

Primele studii privind volumul arborilor au început în secolul XIX. În jurul anului 1804 Heinrich Cotta introduce pentru prima dată noțiunea de tabelă de cubaj ([Clark, 1902](#)). Un studiu amplu pentru realizarea tabelelor de cubaj a fost realizat în Norvegia pentru specia molid, la începutul secolului XX, materializând necesitatea fundamentării studiilor de matematică aplicată în domeniul forestier. Prin urmare, *forma fusului a fost studiată ulterior calculului volumului* și a constatat în introducerea modelelor matematice care să poată descrie descreșterea diametrului de-a lungul fusului arborelui. Mai târziu, aceste ecuații au fost folosite pentru calculul volumului, unii autori considerând că ecuațiile ce descriu forma fusului sunt mai precise decât ecuațiile pentru volum.

În străinătate în ultimii 100 de ani s-au dezvoltat numeroase ecuații ce redau forma fusului, pentru o variabilitate mare de ecuații. Astfel s-a pornit de la funcțiile conice simple ([Behre, 1923](#); [Kozak și al., 1969](#); [Demaerschalk, 1972](#); [Ormerod, 1973](#); [Hilt, 1980](#)) apoi cele complexe calculate pe segmentate ([Max și Burkhart, 1976](#); [Demaerschalk și Kozak, 1977](#); [Cao și al., 1980](#); [Clark și al., 1991](#); [Fang și al., 2000](#)). Cele mai multe dintre aceste ecuații sunt aplicate pe o singură specie sau de grup de specii. Mai multe modele au fost dezvoltate, ca de exemplu, *modelul Max și Burkhart (1976)* pentru speciile de pin; *Modelul Hilt* pentru speciile de stejari (*Quercus spp.*), etc. Deși interesul a fost deosebit de accentuat cu privire la această temă, existând numeroase studii pentru ambele tipuri de ecuații, de volum sau privind forma fusului, nu s-a creat încă un model unic care să poată fi folosit cu rezultate foarte bune pentru toate speciile ([Clutter și al., 1983](#); [Muhairwe, 1999](#)). Mitscherlich (1970), a notat că variabilitatea formei fusului este un rezultat al diferențelor ratei de creștere în diametru la diferite înălțimi ale fusului, fapt care a adus noi provocări în folosirea de modele complexe de estimare fundamentate matematic.

De asemenea, cercetările efectuate de Muhairwe (1994), scot în evidență faptul că variabilitatea formei fusului este determinată de mai mulți factori, variația speciilor, factorii climatici, calitatea stațiunii, vârsta arborilor și a arboretului, defolierea, densitatea, etc. Pe tot parcursul secolului trecut forma fusului arborilor a fost atent studiată, dezvoltându-se mai multe modele de ecuații de regresie, care redau fidel forma fusului arborilor.

Clutter (1963) a fundamentat un model de calcul al volumului pornind de la suprafața de bază, vârsta arboretului, respectiv clasa de producție. Biologic modelul are un fundament real volumul unui arboret este influențat de vârstă și clasa de producție. Acest concept poate fi implementat cu baze realiste doar dacă se utilizează modelul strict matematic al calcului volumului unui arboret bazat pe aceleași considerente clasice de diametrul de bază, înălțime și forma fusului. Având în vedere cele menționate vârsta și clasa de producție devin irelevante în calculul volumului.

Sistemul de ecuații dezvoltat este adecvat pentru toți arborii atunci când variațiile și variabilitatea formei sunt reținute prin modificarea parametrilor. Astfel, după cum a concluzionat și Lappi (1987), modelele matematice pentru calcului profilului fusului pot înlocui cu succes tabele de cubaj obișnuite. În ceea ce privește forma fusului dacă pornim de la modelul fusului propus de Avery și Burkhart (2002), atunci pot fi identificate trei secțiuni ce vor fi modelate matematic, pentru partea inferioară, mijlocie și superioară a fusului. Evaluarea corectă a volumelor de biomasă este un factor esențial pentru monitorizarea în prezent a fluxurilor de energie și nutrienți din ecosisteme, respectiv pentru gestionarea și protejarea resurselor forestiere, deoarece acumularea de biomasă a arborilor reflectă, de asemenea, impactul activității umane și schimbările de mediu, privind creșterea arborilor.

3.2 Cercetări privind variabilitatea formei fusului în România

Giurgiu (1968), în lucrarea de referință „*Bazele statistico-matematice ale unei metode analitice de întocmire a tabelelor de descreștere a diametrului fusului și a celor de sortare și cubaj cu ajutorul calculatoarelor electronice*”, pornește de la faptul că diametrul fusului d_i la o înălțime oarecare relativă l_{ri} poate fi redat de expresia matematică:

$$d_i = K_i d_{0,i} \quad (3.1)$$

unde: $d_{0,1}$ reprezintă diametrul fusului măsurat la 0,1 din înălțimea totală h ;
 k_i - reprezintă indicii de formă naturali corespunzători înălțimilor relative l_{ri} (după schema propusă de Hohenadl, folosită și de Krenn-Prodan în 1944 sau Altherr și al., 1953)

Au fost urmărite caracteristicile: diametrul de bază, înălțimea totală, diametrele (cu și fără coajă) la înălțimile relative de 0,1 h , 0,2 h ... 0,9 h . Pe baza acestor date au fost calculați indicii de formă naturali (coeficienții de descreștere). Prin această lucrare sunt propuse trei ecuații de regresie în funcție de variabilele luate în considerare:

1. în funcție de diametrele măsurate la 0,1 h și 0,5 h :

$$d_i = d_{0,1} \left(a_i + b_i \frac{d_{0,5}}{d_{0,1}} \right) \quad (3.2)$$

unde: a_i și b_i reprezintă coeficienții din ecuațiile de regresie privind legătura dintre $k_{0,5}$ și k_i .

2. în funcție de diametrul $d_{0,1}$ și de valorile medii (sau calculate prin ecuații de regresie) ale indicelui de formă $k_{0,5}$:

$$d_i = d_{0,1} (a_i + b_i k_{0,5}) \quad (3.3)$$

unde: $k_{0,5}$ poate fi exprimat în funcție de d , fie în funcție de h , fie în funcție atât de d cât și de h .

3. în raport cu diametrul de bază d și cu indicele de formă k_i determinat mai sus:

$$d_i = dQ(a_i + b_i k_{0,5}) \quad (3.4)$$

unde: Q reprezintă raportul dintre $d_{0,1}$ și d , dat de ecuații de regresie corespunzătoare.

De menționat că la nivel național forma fusului a fost studiată însă sub aspectul volumului în vederea stabilirii preciziei metodelor de cubaj. În acest sens primele cercetări, pentru molid, sunt efectuate de către Toma (1940), acesta realizând o comparație între tabelele bavareze de cubaj (Grundner-Schwappach) și tabelele locale. Pentru estimarea formei fusului și calculul volumului acesta folosește formula lui Huber. Pentru realizarea studiului Toma utilizează date de la 1240 de arbori provenind din parchete parcurse cu tăieri rase în Munții Călimani. Sub aspectul formei fusului Toma ajunge la concluzia că în Călimani trunchiul arborilor groși și scunzi are o formă mai trasă mai conică decât în Germania.

Între anii 1955 - 1957 s-au realizat o serie de cercetări în trei arborete de molid, tăiate ras, urmărind precizia metodelor de cubaj cu arbori de probă: Urich II, Draudt, metoda arborelui mediu, precum și metoda tabelelor generale de cubaj românești (Decei, 1955; 1957). Iacovlev (1961) realizează un studiu asupra preciziei tabelelor de cubaj, pentru pinul din Carpații Orientali, folosind un lot de 818 arbori. Iar ulterior Ichim (1968) tratează problema formei arborilor din arboretele de molid din județul Suceava, prin lucrarea de doctorat „*Cercetări asupra preciziei metodelor de cubaj în raport cu variabilitatea formei arborilor în arboretele de molid*”. În acest sens acesta a realizat măsurători în parchete parcurse cu tăieri rase măsurând un număr de 4600 de arbori.

4. Variabilitatea formeii fusului

Variabilitatea foarte mare a condițiilor de mediu impune diversitate în analiza modului de dezvoltare al speciilor forestiere precum și modul de estimare al creșterii, conicității formeii fusului și a volumului fusului la speciile forestiere. Coeficientul de variație a caracteristicilor formeii fusului diferă în raport cu: temperamentul speciei, vârsta arboretului, compoziția, condițiile staționale, natura intervențiilor gospodărești, coroană, etc. și variază de la un arboret la altul. În general la speciile de lumină coeficientul de variație este mai mic decât la speciile de umbră.

La arboretele pluriene coeficientul de variație este mai mare în comparație cu cel al arboretelor echene. În condiții staționale precare variabilitatea formeii este mai mare în comparație cu arborete dezvoltate în condiții staționale de bonitate superioară. La aceeași vârstă medie, variabilitatea formeii poate să difere de la un arboret la altul. Se constată o tendință de majorare a coeficientului de variație pe măsură ce arboretele înaintează în vârstă. Tăierile de îngrijire contribuie la restrângerea amplitudinii de variație a caracteristicilor formeii arborilor. Cea mai scăzută variabilitate se înregistrează în cazul indicilor de formă naturali (5-8%). Stabilitatea relativă a acestui indicator prezintă o deosebită importanță pentru dendrometrie.

O altă concluzie precizată în literatură este și aceea conform căreia variabilitatea coeficientului de formă este mai mare decât cea a indicelui de formă cu aproximativ 30-40%.(Giurgiu, 1955; Ichim, 1968). O mențiune specială trebuie făcută în legătură cu variabilitatea mai redusă a coeficienților și indicilor de formă naturali în comparație cu cei artificiali. Cunoașterea variabilității formeii arborilor în cadrul categoriilor de diametre este foarte importantă. Cercetările efectuate de Ichim (1968) în arborete echene de molid au scos în evidență scăderea variabilității de la categoriile inferioare spre cele superioare. Este de reținut faptul că forma arborilor groși este mai stabilă decât forma arborilor subțiri din cadrul aceluiași arboret.

Diferențele se reduc atunci când se studiază colectivități mari formate din arbori ai aceluiași arboret având diametre și înălțimi apropiate. Variabilitatea coeficienților de formă se restrânge foarte mult dacă se formează categorii de indici de formă. În cadrul unei asemenea clase (s) este de numai 4-7%. În ceea ce privește înălțimea redusă, cercetările arată că aceasta, în cazul arboretului prezintă o variabilitate accentuată ($s\% = 12-15\%$). Pe categorii de diametre variabilitatea este mai redusă ($s\% = 10 - 18\%$) în special la categoriile de diametre superioare.

Valorile medii ale indicilor și coeficienților de formă prezintă, de asemenea, fluctuații de la un arboret la altul, coeficientul de variație este însă de numai 3 – 5% pentru indicii de formă naturali și de 4 – 6% pentru coeficienții de formă artificiali. S-a demonstrat că mediile indicilor de formă ai arboretelor urmează aceeași lege a distribuției normale.

Larson (1963) afirma că forma fusului este puternic influențată de dimensiunea coroanei și poziția acesteia. Din acest motiv analizând doi arbori cu aceeași înălțime totală dar cu lungimi diferite ale coroanei vom observa că la arborele ce prezintă o coroană mai mare are și un diametru de bază mai mare, iar în cazul arborelui ce prezintă o coroană de dimensiuni mai reduse acesta va dezvolta un diametru de bază mai mic (Gray, 1956; Muhairwe, 1994). Această teorie fundamentează influența factorilor complexi de mediu și interni asupra formeii fusului la arbori, determinând variabilitate ridicată, chiar și la nivel local. Cu toate acestea, introducerea coroanei ca variabilă în ecuațiile privind forma fusului în studii anterioare au demonstrat rezultate antagoniste. Forma fusului la arbori poate fi influențată de factori dintre cei mai diverși, spre exemplu vântul (West, 2004).

5. Forma fusului modelare matematică

Elemente necesare

Ecuatii ce redau forma fusului sunt în general bazate pe diametrul de bază al arborilor (D), înălțimea totală (H) și înălțimea deasupra solului (h) (punctul în care este măsurat diametrul de bază) ca variabile independente, (Oderwald, 1993).

Definiție

Forma fusului se referă la caracteristica trunchiului arborelui de la nivelul solului la vârful în ceea ce privește relația dintre diametru și înălțime (Burkhart și Tome, 2012). Forma fusului unui arbore se mai poate defini și ca fiind modul în care diametrul își modifică valoarea în raport cu înălțimea, de-a lungul trunchiului.

Descriere

Sunt mai multe moduri de a descrie forma fusului. Forma fusului poate fi exprimată ca o *curbă* a fusului, ca *profil* al trunchiului, sub forma unui *raport (indici, coeficienți)*. Forma fusului determină volumul arborelui și are importanță în determinarea calității lemnului, (Vaisanen și al., 1989). Forma fusului variază în limite relativ largi de la un arbore la altul. Astfel, putem întâlni o formă a fusului plină, diametrul descrește relativ încet spre vârful arborelui. De asemenea, putem întâlni o formă a fusului conică, diametrele înregistrând o descreștere accentuată. Cilindricitatea. Este forma unor trunchiuri apropiată de aceea a unui cilindru. Aceasta se determină prin descreșterea diametrului exprimată în cm pe unitatea de lungime. Astfel, se zice că un trunchi este cilindric, dacă descreșterea lui este de 1 cm/m. Cilindricitatea diferă de la o specie la alta, în funcție de condițiile de vegetație locale. Tulpini pline, cilindrice, se întâlnesc de obicei la brad, molid, fag și plop.

Conicitatea. Este definită ca fiind rata de îngustare (descreștere) în diametru raportat la creșterea în înălțime de la nivelul solului la vârful arborelui (Gray, 1956; Burkhart și Tome, 2012). Din motive practice, aceasta este exprimată în centimetrii pe metru lungime a fusului. Prin conicitate se înțelege descreșterea continuă a diametrului trunchiului de la capătul gros către cel subțire. Conicitatea fusului este strâns legată de spațiul pe care îl are la dispoziție arborele pentru a se dezvolta. În mod normal toți arborii au o descreștere a diametrului de la bază spre vârf. Se consideră ca defect numai atunci când această descreștere este prea pronunțată. La rășinoase descreșterea normală este de 1 cm/m, iar la foioase de 1,5 cm/m. Dacă descreșterea depășește aceste limite se poate considera că există un defect. Conicitatea se poate calcula expeditiv prin diferența dintre diametrul gros (D) și cel subțire (d), în cm, raportată la lungimea totală (l) în m, iar rezultatul se exprimă în centimetrii pe metru (cm/m) sau în procente (%).

Curba de contur a fusului reprezintă forma trunchiului exprimată printr-o funcție continuă (Fabrika și Pretsch, 2011). Acesta definește modul cel mai frecvent utilizat pentru a exprima forma fusului. Practic așa numitele modele matematice se exprimă cel mai frecvent sub forma unei curbe a fusului. Forma trunchiului arborelui rezultă ca urmare a rotirii în jurul axei centrale a curbei de contur a fusului (Korf et al., 1972). Definirea formei trunchiului cu ajutorul curbei de contur a fusului poate fi asimilată unui corp de revoluție. Corpurile de revoluție se pot modela tridimensional prin mai multe metode, însă, cea mai simplă este prin rotirea completă (cu un unghi de 360°) a profilului considerat, în jurul unei axe de simetrie.

Profilul trunchiului exprimă forma trunchiului ca un set de puncte discrete de pe curba trunchiului. Acesta poate fi exprimat și ca un set de coordonate perechi, în cazul în care abscisele sunt înălțimi de la nivelul solului și coordonatele sunt diametrele corespunzătoare de pe trunchi, (Fabrika și Pretsch, 2011). Curba de contur a fusului poate fi derivată din profilul

trunchiului prin utilizarea unui model matematic sau prin utilizarea tehnicilor de interpolare. Fusul arborelui este privit ca un raport (coeficientul de formă, indicele de formă).

Coeficientul de formă – reprezintă raportul a două volume: al fusului (arborelui întreg) și al cilindrului, ambele corpuri având aceeași înălțime și aceeași secțiune de referință. După poziția secțiunii luată în considerare ca suprafață de bază a cilindrului se disting:

Indicele de formă se obține prin raportul dintre două diametre situate la înălțimi diferite pe fusul arborelui.

5.1 Modelare matematică

Modele matematice sunt construite pentru a genera forma fusului, a determina diametrul la diferite înălțimi pe fus și pentru a calcula volumul fusului, pentru care se folosesc ca date de intrare diametrul de bază și înălțimea arborelui. Pentru a dezvolta un model matematic, sunt necesare perechile de date: diametru și înălțime de-a lungul trunchiului. În cele mai multe cazuri, ecuațiile ce redau forma fusului sunt raportate la diametrul de bază (D) și au capacitatea de a determina diametrul fără coaja (Garber și Maguire, 2003; Sharma și Zhang, 2004; Calama și Montero, 2006), rareori acestea estimează diametrul cu coajă (Rojo și al., 2005; Trincado și Burkhart 2006; Crecente-Campo și al., 2009; Sevillano-Marco și al., 2009) și grosimea scoarței (Laasasenaho și al., 2005).

Funcția generală ce descrie modelul matematic al formei fusului este:

$$d_i = f(D, H, h_i) \quad (5.1)$$

unde: d_i este diametrul pe fus la înălțimea h_i , D este diametrul de bază ($d_{1,3}$), iar H înălțimea totală.

5.2 Clasificare

Ecuațiile privind forma fusului pot fi împărțite în mai multe categorii în funcție de forma acestora. Dezvoltarea modelelor matematice care să redea forma fusului au la bază aceeași împărțire a fusului în corpuri geometrice care să surprindă cât mai realist forma naturală. Pornind de la conicitatea fusului, modelele matematice sunt alcătuite din sub-funcții care să redea cât mai fidel fiecare formă geometrică (Petersson, 1999). Aceste sub-funcții ale modelului matematic se alătură la anumite puncte de pe fusul arborelui cum ar fi baza coroanei sau o înălțime relativă predeterminată (Max și Burkhart, 1976; Valentine și Gregoire, 2001).

O primă clasificare este realizată de Methol (2001), care grupează ecuațiile privind forma fusului în patru categorii și anume ecuații simple; ecuații polinomiale pe segmente; ecuații exponențiale respectiv ecuații mixte. Cea mai recentă clasificare aparține cercetătorilor Dieguez-Aranda și al. (2006), respectiv, Burkhart și al. (2012), care împart modelele matematice ce descriu forma fusului în trei grupe:

Modelele matematice simple (ecuații simple) - care descriu întregul profilul al fusului folosind o singură ecuație.

Modele matematice calculate pe segmente - presupun că fusul este format din două sau mai multe segmente. Astfel, sunt dezvoltate sub-modele matematice pentru a descrie diferite porțiuni ale trunchiului. Aceste sub-modele matematice sunt alăturate pentru o descriere întreaga formă a fusului.

Modelul matematic variabil - (ecuație exponențială variabilă) se caracterizează prin faptul că descriu forma fusului cu un exponent a cărui valoare se schimbă de la sol spre vârful arborelui pentru a putea descrie formele geometrice de neiloid, paraboloid și con, precum și

formele intermediare care fac trecerea între cele trei corpuri.

5.3 Coeficienți de formă, puncte de inflexiune.

Pornind de la asimilarea formei fusului cu cele trei corpuri de rotație modelul matematic va lua forma dorită în funcție de valoarea puterii exponențiale, care variază între 0,5 și 1,5. West (2004), a determinat valorile constantei r ca fiind - 1,5 pentru baza fusului asimilată formei de neiloid, 0,5 pentru segmentul de mijloc al fusului asimilat formei de paraboloid și 1 pentru partea superioară a formei fusului (care are descreșterea spre capătul superior cea mai accentuată) asimilată geometric conului.

$$y^2=Cx^r \quad (5.2)$$

în cazul în care parametrul r era cunoscut ca formă exponent.

Parametrul r poate fi asimilat și unui punct de inflexiune, prin care se face trecerea între cele trei forme de neiloid, paraboloid și con.

Din observațiile în situ putem afirma că secțiunea conică este în general caracteristică coroanei, secțiunea de paraboloid este caracteristică porțiunii principale a fusului, iar secțiunea neiloidală este caracteristică bazei fusului, fiind situată până la înălțimea de 1,3 m de la sol.

Formula generală care descrie profilul acestor secțiuni este:

$$d^r = b_0 + b_1(H - h) \quad (5.3)$$

Dacă considerăm $X=H-h$ atunci, și $Y=d$; atunci

$$Y^r = b_0 + b_1X \quad (5.4)$$

Pentru $r = 1$ forma generată este con, pentru $r = 2$ forma generată este de paraboloid, pentru $r = 3$ forma generată este de paraboloid iar pentru $r = 2/3$ forma generată este de neiloid.

6. Ecuații privind forma fusului la molid

Una dintre cele mai simple funcții conice, recomandate de Kozak, Munro, Smith în Canada, este o regresie a formei

$$\frac{d^2}{D^2} = b_1 + b_2 \frac{h}{H} + b_3 \frac{h^2}{H^2} \quad (6.1)$$

Această funcție este condiționată prin $h = H$ (în partea superioară a fusului), $d = \text{zero}$. Precum și $b_1 + b_2 + b_3 = 0$. În British Columbia pentru specii precum molid, cedru s-a propus o ecuație de forma:

$$\frac{d^2}{D^2} = b_i(1 - 2Z + Z^2) \quad (6.2)$$

Forest Service Alberta, 1987, propune ecuația lui Kozak și al. (1969):

$$\frac{d^2}{D^2} = b_2 \left(\frac{h}{H} - 1 \right) + b_3 \left(\frac{h^2}{H^2} - 1 \right) \quad (6.3)$$

sau,

$$\frac{\frac{d^2}{D^2}}{\frac{h}{H-1}} = b_2 + b_3 \left(\frac{h^2}{H^2} + 1 \right) \quad (6.4)$$

Demaerschalk și Kozak (1977) dezvoltă un sistem de calcul a formei fusului estimând că trunchiul arborelui este împărțit în două secțiuni. Trecerea între cele două secțiuni se realizează prin intermediul punctelor de inflexiune. Punctele de inflexiune se determină fie prin analiza vizuală a graficului format din diametrul relativ și înălțimea relativă. Cercetările indică faptul că punctul de inflexiune se situează la o înălțime ce reprezintă 20 % din înălțimea arborelui. Modelul matematic propus elimină segmentarea fusului în forme geometrice prin tratarea conicității ca o funcție continuă, (West, 2004). Acest model a fost ulterior dezvoltat pentru a surprinde mai bine forma fusului printr-o ecuație de forma:

$$y = \frac{x}{a+bx}, \quad (6.5)$$

unde: a și b sunt coeficienții de regresie. x reprezintă distanța de la vârful trunchiului la secțiunea de referință ca proporție a lungimii de la vârful trunchiului la înălțimea la care este măsurat diametrul de bază, iar y reprezintă diametrul corespunzător calculat ca procent raportat la diametrul de bază. Ca și aplicație practică a modelului matematic de mai sus a fost dezvoltată ecuația care să redea forma fusului pentru rășinoase de forma:

$$x = \frac{H - h}{H - h_D} \quad (6.6)$$

unde: x reprezintă raportul dintre lungimea segmentului de la vârful trunchiului la locul de măsurare și înălțimea la locul de măsurare al diametrului de bază.

Coeficienții a , b și c sunt calculați cu ajutorul ecuației de regresie. Modelul matematic

prezentat mai sus ar trebui să fie potrivit pentru a descrie forma fusului pentru orice specie de rășinoase (Matte, 1949).

Bruce și al. (1968) propun în un model matematic bazat pe ecuație de gradul doi de mai sus unde variabila x se definește conform relației de mai jos:

$$x = \frac{H - h}{H - D_{1,3}} \quad (6.7)$$

Polinoamele de grad mic au dezavantajul că nu descriu corect porțiunea inferioară a trunchiului unde avem o lăbărțare. Kozak și al. (1969) propun o funcție parabolică care să permită calculul formei fusului într-un mod simplu:

$$\frac{d_i^2}{d^2} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left(\frac{h_i^2}{h^2} \right) \quad (6.8)$$

unde: d_i este diametrul la orice înălțime h_i deasupra solului, iar B_0 , B_1 și B_2 sunt coeficienții de regresie.

Calcul diametrului în orice punct de pe fus se face cu relația de mai jos:

$$d_i = d \sqrt{b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left(\frac{h_i^2}{h^2} \right)} \quad (6.9)$$

unde: d_i , d , h_i și h sunt exprimate în aceleași unități de măsură, iar b_0 , b_1 , b_2 sunt coeficienți de regresie.

Această ecuație de gradul doi dă rezultate bune pentru partea de mijloc a fusului însă nu reușește să descrie corespunzător vârful fusului și lăbărțarea din partea bazală a trunchiului.

$$\frac{d_i^2}{d^2} = b_1 \left(\left(\frac{h_i}{h} \right) - 1 \right) + b_2 \left(\left(\frac{h_i^2}{h^2} \right) - 1 \right) \quad (6.10)$$

Alte exemple de funcții simple conice includ cel al Ormerod, 1973:

$$d_i = d \left(\frac{h - h_i}{h - h_d} \right)^b \quad (6.11)$$

Sharma și Oderwald, 2001, propun următorul model matematic:

$$d_i^2 = a d^{b_1} \left(1 - \frac{h_i}{h} \right) h_i^{b_2} \quad (6.12)$$

unde: b_1 și b_2 constante, $1 - h_i/h$ reprezintă condiția care garantează că atunci când $d_i = 0$ atunci $h_i = h$.

Ecuația poate fi echilibrată numai dacă $b_1 + b_2 = 2$, având în vedere că valorile b_1 , b_2 nu sunt determinate, însă suma lor trebuie să fie egală cu 2 parametrul b_2 poate fi eliminat din ecuația de mai sus rezultând modelul matematic:

$$d_i^2 = ad^{b_1} \left(1 - \frac{h_i}{h}\right) h_i^{2-b_1} \quad (6.13)$$

ținând cont că $h_i = h_d$ când $d_i = d$ atunci constanta a poate fi calculată cu relația:

$$a = \frac{(d/h_d)^{2-b_1}}{1 - h_d/h} \quad (6.14)$$

prin înlocuirea valorii a se obține forma finală a ecuației Sharma și Oderwald (2001),

$$d_i^2 = d^2 \left(\frac{h}{h_d}\right)^{2-b_1} \left(\frac{h - h_i}{h - h_d}\right) \quad (6.15)$$

Thomas și Parresol (1991) utilizează funcții trigonometrice pentru a modela forma fusului, conform modelului de mai jos:

$$d_i^2/d^2 = b_1(x - 1) + b_2 \sin(b_3 \pi x) + b_3 \cos(\pi x/2) \quad (6.16)$$

unde: b_1 - b_4 parametri ce trebuie determinați.

Ormerod (1973) a început cu un model simplu pornind de la modelul utilizat de către Bruce et al. (1968). Folosind acest model a generalizat că diametrele pe fus pot fi estimată prin ecuația:

$$d = D \left[\frac{H - h}{H - k} \right]^p, p > 0, \quad (6.17)$$

unde: D este diametrul măsurat la înălțimea k iar p este exponent.

Ormerod, își bazează modelul matematic pe ipoteza conform căreia toți arborii au un singur punct de inflexiune la 30% din înălțimea totală.

$$d = (D_i - C_i) \left[\frac{H - h}{H - k} \right]^{p_i} + C_i, p_i > 0, \quad (6.18)$$

unde: C_i este diametrul secțiunii analizate.

Polinom de gradul VI

$$d = D \left(a_0 + a_1 \left(\frac{h}{H} \right) + a_2 \left(\frac{h}{H} \right)^2 + \dots + a_n \left(\frac{h}{H} \right)^n \right) \quad (6.19)$$

Ecuație selectate pentru a testa forma fusului:

$$d^2 = D^2 \left(b_1 \left(\frac{h}{H} - 1 \right) + b_2 \left(\frac{h^2}{H^2} - 1 \right) \right)$$

$$d^2 = D^2 \left(\left(\frac{h}{1,3} \right)^{2-a_1} \left(\frac{H - h}{H - 1,3} \right) \right)$$

$$d = D \left(\frac{H - h}{H - h_D} \right)^{b_1}, \beta_1 \neq 0$$

Model

Kozak (1969)

Sharma și
Oderwald
(2001)

Ormerod
(1973)

$$d = D \left(b_0 + b_1 \left(\frac{h}{H} \right) + b_2 \left(\frac{h}{H} \right)^2 + \dots + b_n \left(\frac{h}{H} \right)^n \right)$$

$$\left(\frac{d}{D} \right)^2 = b_1 - b_2 \left(\frac{h}{H - 1.3} \right)$$

Polinomul de
grad VI
Munro ([1966](#))

7. Implicații ale formei fusului în calculul volumului

Modelarea matematică a formei fusului la molid pornește de la analiza tiparului regăsit în natură. În acest sens pentru a putea surprinde cu exactitate modificările de formă de-a lungul fusului este necesar să stabilim o metodă de culegere a datelor (punctelor de pe fusul arborelui) care să ne asigure o precizie ridicată. Forma fusului arborilor poate fi aproximată prin intermediul formelor geometrice clasice. De asemenea, prin această aproximare reușim să calculăm și volumul fusului. Calculul volumului pentru arbori are la bază metode de evaluare teoretice susținute de aplicarea unor elemente de geometrie clasică cum ar fi cea a corpurilor de rotație. Un corp de rotație este definit ca fiind rotirea unei suprafețe în jurul unei drepte numită axă de rotație. Cele mai cunoscute metode de calcul a volumului care au la bază aplicații geometrice ale corpurilor de rotație sunt cele propuse de Huber, Newton, Smalian sau metoda Centroidului.

Corpuri geometrice forma și volumul acestora. Forma și volumul fusului arborilor – modelare matematică.

Volumul corpurilor de rotație este determinat cu ajutorul funcției f . Volumul mai poate fi definit ca și corpul obținut prin rotirea subgraficului funcției f în jurul axei.

Utilizarea volumului corpurilor de rotație în generarea formei fusului și în calcul volumului.

În ceea ce privește fusul arborilor aceștia pot fi modelați prin împărțirea în secțiuni longitudinale și substituirea acestora prin intermediul corpurilor de rotație. Ecuația generală are forma:

$$D^2 = kx^b \quad (7.1)$$

unde b este o constantă, $b \geq 0$, Graves (1906).

Pentru cazurile în care $b=0, 1, 2$ respectiv 3 sunt generate corpurile de rotație de tipul cilindru, paraboloid respectiv neiloid.

Volumul se obține prin integrarea ecuației (7.1):

$$V = \int_0^H \pi D^2 dx = \pi k_m \frac{H^{m+1}}{m+1} \quad (7.2)$$

Pentru cilindru $V = \pi r^2 h$, pentru con, care este $1/3$ din volumul cilindrului, $V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$, pentru trunchiul de con $V = \frac{1}{3} \pi (R^2 + r^2 + Rr)h$,

Volumele de trunchiuri de corp rotativ generate de ecuația [7.2], pentru $n = 0, 1, 2$, și 3 , ca funcție de aria secțiunii transversale de capăt și lungime, sunt:

Pornind de la relația $V = SL$ volumul pentru corpurile de rotație D^b , unde V este volumul, S suprafața secțiunii, L lungimea secțiunii, iar b , cum am arătat, are valorile $0, 1, 2, 3$ având ca elemente de intrare suprafața de bază și lungimea piesei este conform Graves (1906):

$$V_0 = SL, \text{ volumul cilindrului} \quad (7.3)$$

$$V_1 = \left(\frac{S+s}{2} \right) L, \text{ volumul trunchiului de paraboloid, relație folosită de Smalian,} \quad (7.4)$$

$$V_2 = \left(\frac{S + \sqrt{Ss} + s}{3} \right) L, \text{ volumul trunchiului de con,} \quad (7.5)$$

$$V_3 = \left(\frac{S + \sqrt[3]{S^2s} + \sqrt[3]{Ss^2} + s}{4} \right) L, \text{ volumul trunchiului de neiloid, formulă folosită de} \quad (7.6)$$

Newton și cunoscută și sub denumirea de Prismoidul lui Newton.

Principalele formule folosite în calculul volumului

În vederea determinării volumului pentru un corp rotativ considerăm l ca fiind înălțimea(lungimea) corpului de revoluție pe care o împărțim în secțiuni de lungime i . Corpurile astfel formate pot fi asimilate unor cilindri care au același volum. Volumul total este calculat ca suma volumelor cilindrilor.

Considerând S , $S_{1/2}$ și s ca fiind aria suprafeței la capătul gros, la mijloc respectiv subțire și pornind de la relația:

$$V=SL: \quad (7.7)$$

Smalian asimilează forma fusului cu cea a unui paraboloid și propune următoarea relație de calcul a volumului

$$V=\frac{1}{2}l(S+s). \quad (7.8)$$

Huber pornește de la ipoteza conform căreia suprafața medie a secțiunii transversale se găsește la punctul de mijloc al piesei măsurate. Formula propusă de Huber:

$$V=\frac{1}{2}l(S_{1/2}). \quad (7.9)$$

Newton pentru a asigura un plus de exactitate elaborează o formulă ce se bazează pe măsurători la ambele capete ale bușteanului cât și la mijlocul acestuia. Formula propusă de Newton are forma:

$$V=\frac{1}{6}l(S+4S_{1/2}+s) \quad (7.10)$$

Metoda centroidului

$$V=SL + (1/2)b_1L^2 + (1/3)b_2L^3, \quad (7.11)$$

8. Localizarea cercetărilor

Teritoriul studiat este parte integrantă a Munților Bucovinei, din Carpații Orientali fiind cuprins în totalitate în Obcinele Bucovinei (Fig. 8.1). Patru zone de referință s-au ales urmărind surprinderea unei variabilități cât mai mari a formelor fusului la arbori. Prima este bazinul Dornelor caracterizat prin relief vălurit cu o altitudine medie de aproximativ 800 m. Relieful are un profil asimetric accentuat de dezvoltarea teraselor din apropierea râului Bistrița. Zona este puternic fragmentată de râuri precum Dorna, Neagra Șarului și afluenții acestora. Formele de relief determină crearea de microhabitate cu particularități specifice determinate de pantă, expoziție și poziția pe versant. Substratul geologic este specific sistemului depresionar subvulcanic intern, cu aspect de groapă internă cu geomorfologie specifică șisturilor cristaline și a rocilor eruptive. Climatul este specific montan cu temperaturi medii anuale care rareori depășesc valoarea de 5°C, aferent unui număr mediu anual de zile în care se produc inversiuni termice de aproximativ 100 zile. Stratul de zăpadă poate depăși numărul mediu de 107 zile în special pe versanții nordici.

A doua zonă de studiu s-a ales în regiunea Rarău-Giumalău caracterizată din punct de vedere geologic prin prezența calcarului și a dolomitelor. Altitudinea este de aproximativ 790 m. Următoarele două suprafețe experimentale s-au instalat în partea Nordică a Obcinei Feredeului, respectiv în apropierea localităților Rădăuți și Moldovița. Substratul este predominant silicios care a determinat apariția solurilor podzolice acide. Climatul este boreal montan care favorizează dezvoltarea și regenerarea naturală a molidului în condiții optime.

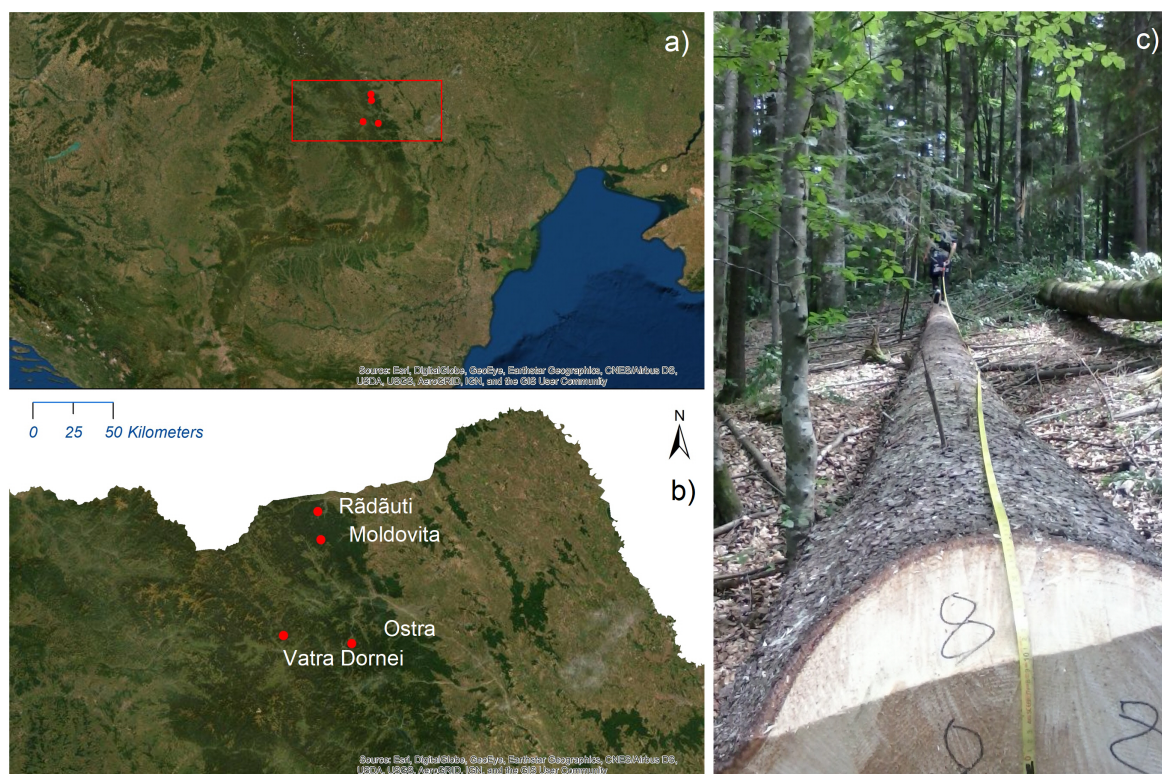


Fig. 8.1. Localizarea geografică a zonei de studiu în raport cu arealul molidului; a) poziționarea în zona Sud-Estică a Europei a arealului studiat; b) detaliu privind zona de studiu; c) imagine reprezentativă a unui arboret inventariat.

8.1. Zona studiată

Lot. 1 Sadova. Studiul a fost efectuat într-o pășune împădurită situată în localitatea Sadova județul Suceava. Eșantionul este format din arbori doborâți aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului, 1,3 m apoi din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid. Au fost măsurate 446 de diametre de-a lungul fusului a 28 de arbori doborâți.

Lot. 2. Rădăuți Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 65 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Rădăuți, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 780 m, expoziție V, panta 23 grade. Eșantionul este format din arbori doborâți aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 3. Rădăuți Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 50 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Rădăuți, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 560 m, expoziție N, panta 23 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 4. Rădăuți. Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 55 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Rădăuți, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 625 m, expoziție SV, panta 16 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 5. Rădăuți. Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 55 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Rădăuți, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 625 m, expoziție SV, panta 16 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 6. Rădăuți. Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 50 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Rădăuți, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 720 m, expoziție V, panta 25 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 7. Rădăuți. Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 50 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Rădăuți, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 720 m, expoziție V, panta 20 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 8. Rădăuți. Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 40 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Rădăuți, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 600 m, expoziție NE, panta 20

grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 9. Vatra Dornei. 1 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 40 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Rădăuți, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 950 m, expoziție SV, panta 20 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 10. Vatra Dornei. 2 Studiul a fost efectuat într-un arboret de molid natural în vârstă de 40 de ani, având clasa a treia de producție. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Vatra Dornei, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 1250 m, expoziție SV. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 11. Vatra Dornei. 3 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 115 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Vatra Dornei, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 1070 m, expoziție E, panta 24 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 12. Vatra Dornei. 4 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 85 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Vatra Dornei, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 1190 m, expoziție SV, panta 15 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 13. Moldovița 1 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 115 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Moldovița, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 900 m, expoziție N, panta 15 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 14. Moldovița 2 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 110 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Moldovița, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 800 m, expoziție SE, panta 25 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 15. Moldovița 3 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 110 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Moldovița, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 960 m, expoziție E, panta 22 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 16. Moldovița 4 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 120 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Moldovița, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 1130 m, expoziție E, panta 15 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 17. Moldovița 5 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 110 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Moldovița, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 920 m, expoziție NV, panta 20 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 18. Ostra 1 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 115 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Ostra, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 800 m, expoziție NE, panta 18 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 19. Ostra 2 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 120 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Ostra, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 1000 m, expoziție SV, panta 26 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 20. Ostra 3 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 120 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Ostra, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 1130 m, expoziție NV, panta 20 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 21. Ostra 4 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 85 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Ostra, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 1130 m, expoziție N, panta 25 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

Lot. 22. Ostra 5 Studiul a fost efectuat într-un arboret natural de molid în vârstă de 75 ani de ani. Acest arboret este situat în Nordul Carpaților Orientali, în zona Ostra, Județul Suceava, fiind situat la altitudinea de 985 m, expoziție S, panta 24 grade. Eșantionul este format din arbori aleși aleatoriu la care au fost măsurate diametre la nivelul solului din m în m, și lungimea totală a fusului. În eșantion au fost mășurați doar arbori din specia molid.

8.2. Metodologia de culegere a datelor din teren

Un număr de 723 de arbori doborâți au fost inventariați, prin măsurarea a două diametre perpendiculare pe fusul arborelui. Distanța dintre două măsurători succesive a fost de 1 metru. Primii 2 metri de la sol au fost mășurați după următorul algoritm: prima măsurătoare la sol, urmată de măsurători la 0,3 / 0,5 / 1,0 / 1,3 / 1,5, respectiv 2 metri. Suprafețele de probă s-au ales aleator în arboretele aflate în exploatare pe raza Ocnoalelor Silvice Silva Bucovina și Ilișești, urmărind un gradient altitudinal, pentru a surprinde o gamă cât mai mare de factori de mediu care interferează cu variabilitatea formei fusului la arborii de molid. Poziția exactă a punctului de măsurare s-a identificat cu ajutorul unei rulete metalice de 50 m aplicată pe lungimea fusului arborelui doborât.

Referitor la efectele metodei de eșantionare utilizate în cercetarea formei fusului la arbori am ales varinta distructivă, care implică doborârea arborilor. Această metodă este ușor de implementat și deosebit de precisă.

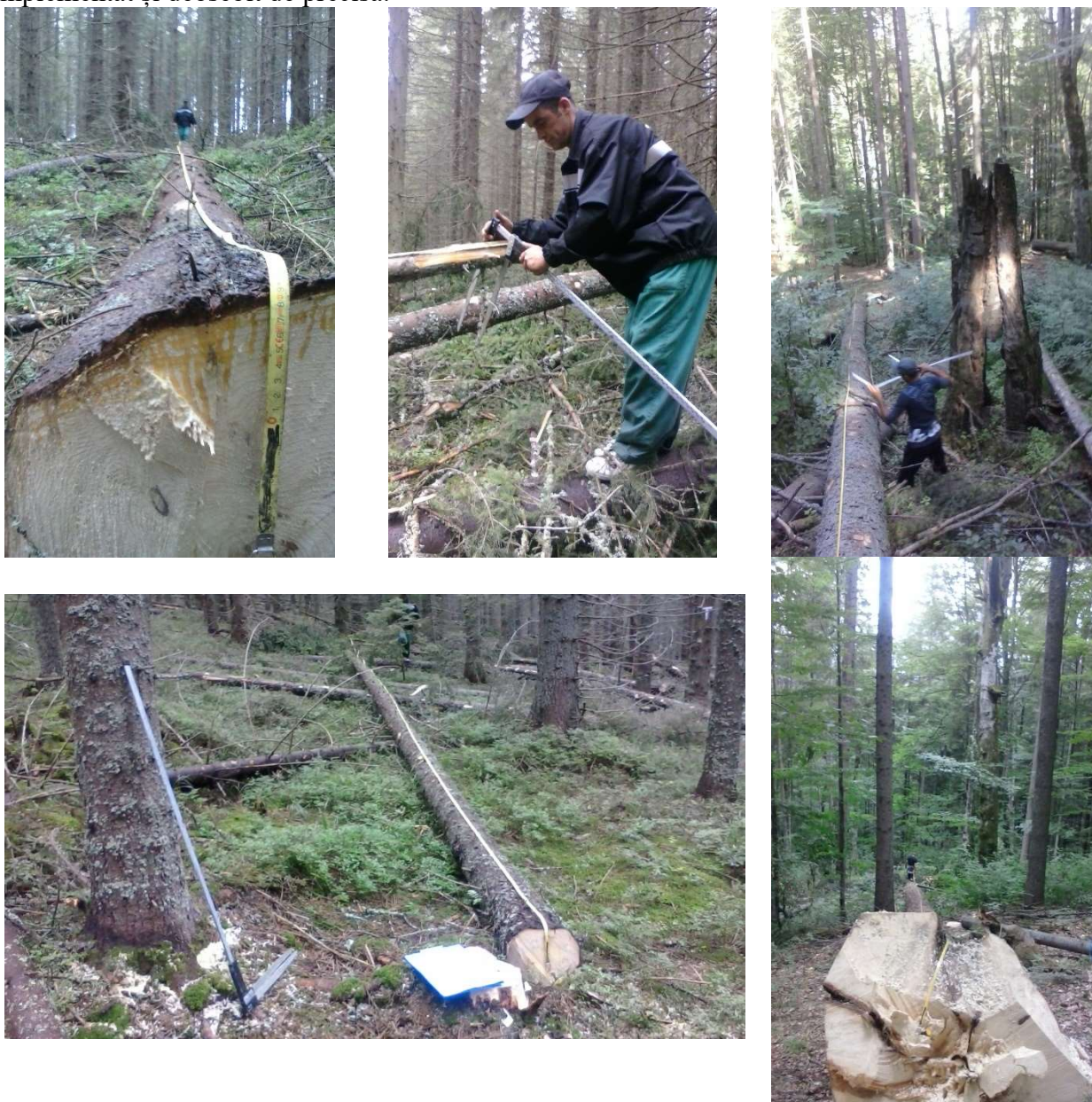


Fig. 8.2 Colectare date teren, măsurare diametre, prelevare carote burghiu presler

8.3. Mărimea eşantionului

În România cercetătorii au folosit eşantioane de dimensiuni diferite pentru a calcula, s-au verifica ecuații de volum. Pentru realizarea studiului, legat de forma fusului și calculul volumului Giurgiu, a măsurat, în România, 10.000 de arbori dintre care 1008 arbori de molid și 1429 de arbori de brad. Estimarea formei fusului și calculul volumului s-a realizat folosind formula lui Huber. Pentru realizarea studiului său, Toma folosește date de la 1240 de arbori provenind din parchete parcurse cu tăieri rase în Munții Călimani. În anul 1968 problema formei arborilor din arboretele de molid din județul Suceava este tratată și de Ichim, acesta a realizat măsurători în parchete parcurse cu tăieri rase măsurând un număr de 4600 de arbori.

În anul Iacovlev (1961) realizează un studiu asupra preciziei tabelor de cubaj, pentru pinul din Carpații Orientali, folosind un lot de 818 arbori, Goulding și Murray (1975), care au realizat măsurători pe un eşantion de 1.267 de arbori, Max și Burkhart (1976), care au utilizat un eşantion de 652 de arbori, Perez și colab. (1990), care a folosit un eşantion de 405 arbori, și Kozak și Smith (1993), care a folosit un eşantion de 603 arbori, K. Kitikidou, G. Chatzilazarou (2008). Una din metodele folosite și acceptate pentru a determina mărimea eşantionului este și cea propusă de Demaerschalk și Kozak (1974) bazată pe metoda regresiei simple liniare.

Metoda folosită

Studiul s-a axat pe stabilirea legăturii corelative între diametrul de bază și diametrul măsurat la o înălțime de 0,5 m față de sol. În acest caz variabila independentă este stabilită ca fiind diametrul de bază, iar variabila dependentă ca fiind diametrul la $h_{0,5}$. Astfel, s-au prelucrat elemente $D_{1,3}$ respectiv $D_{h_{0,5}}$ de la 23 de arbori din fiecare suprafață de probă. Pentru realizarea acestui lucru aplicăm regresia liniară simplă după formula:

$$y = b_0 + b_1x \quad (8.1)$$

unde y = variabila dependentă, x = variabila independentă, b_0 – termenul liber al ecuației de regresie (intercept), b_1 – coeficientul de regresie (slope).

Intervalul de încredere pentru valoarea lui $\hat{y}$ în condiția în care $\bar{x} = x_0$.

$$\hat{y} \pm t_{\alpha/2, DF} s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (8.2)$$

$$w_i = 2t_{n-2, \alpha/2} s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (8.3)$$

$t_{n-2, \alpha/2}$ - valoarea testului t pentru $(n-2)$ grade de libertate și pentru gradul de încredere stabilit - α ,

s – eroarea standard,

n – dimensiunea eşantionului,

x_0 – media distribuției variabilei independente.

$\sum (x_i - \bar{x})^2 = \text{Var}X$ – varianța distribuției variabilei independente.

În cazul regresiei simple (dreapta de regresie), ultimul interval de încredere are forma

$$\hat{y} - t_{\alpha/2} s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_P - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \leq y \leq \hat{y} + t_{\alpha/2} s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_P - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (8.4)$$

de unde se obține concluzia că valorile prognozate au intervale de încredere, la același prag de încredere, mai mari pe măsură ce valoarea x_0 este mai depărtată de media $\bar{x}$

Pentru realizarea acestui lucru aplicăm regresia liniară simplă după formula:

$$y = b_0 + b_1x,$$

Prin calculul ecuației de mai sus se obțin coeficienții: $b_0 = 1,0954$, respectiv $b_1 = -0,9602$.

$$y = -0,9602x + 1,0954$$

Eroarea standard calculată este foarte mică de doar 0,1004 (s), iar coeficientul de determinare (R^2) este de 0,90162. Ceea ce înseamnă că 90,1% din variația diametrului este determinată de variația înălțimii și numai 9,9% din variația diametrului este determinată de alte variabile.

Pornind de la relația de mai sus, pentru o eroare acceptată de 10%, $w_i = 0,10X = 0,10 \times 0,450 = 0,0450$, valoarea lui X_i este de 0,6223 iar mărimea intervalului este de 768 de arbori.

9. Rezultate, forma fusului, determinarea profilului fusului cu ajutorul modelelor matematice

9.1. Calculul coeficientului de formă r (exponentul formei)

Pentru a calcula exponentul formei r se pot folosi mai multe metode. În prezenta lucrare pentru a calcula coeficientul r s-au folosit ecuații de regresie. Modelul matematic general se bazează pe legătura corelativă care există între înălțime și diametru, cu accept pe diametrul de bază conform relației nr. (106).

Coeficientul r are valori medii cuprinse între 1 și 4 așa cum reiese și din tabelul 11.

$$r = \frac{\ln(X)}{\ln(Y)} = \frac{\ln\left[\frac{H-h}{H-1,3}\right]}{\ln\left(\frac{d}{D}\right)} \quad (9.1)$$

unde – X este înălțimea relativă, Y este diametru relativ, H înălțimea totală a arborelui, h înălțimea la o anumită distanță de sol, D diametrul de bază, d diametrul măsurat la o anumită înălțime (h) față de sol.

Pornind de la modelul general că forma fusului arborelui poate fi asimilată cel puțin prin intermediu a trei corpuri geometrice – con pentru vârf, paraboloid pentru zona principală a fusului și neiloid pentru baza tulpinii. Astfel, pornind de la forma generală sunt calculate valorile exponentului formei pentru fiecare secțiune în parte dar și pentru întreg fusul arborelui de aici și avantajul folosirii acestei metode de determinare a formei fusului pentru arbori.

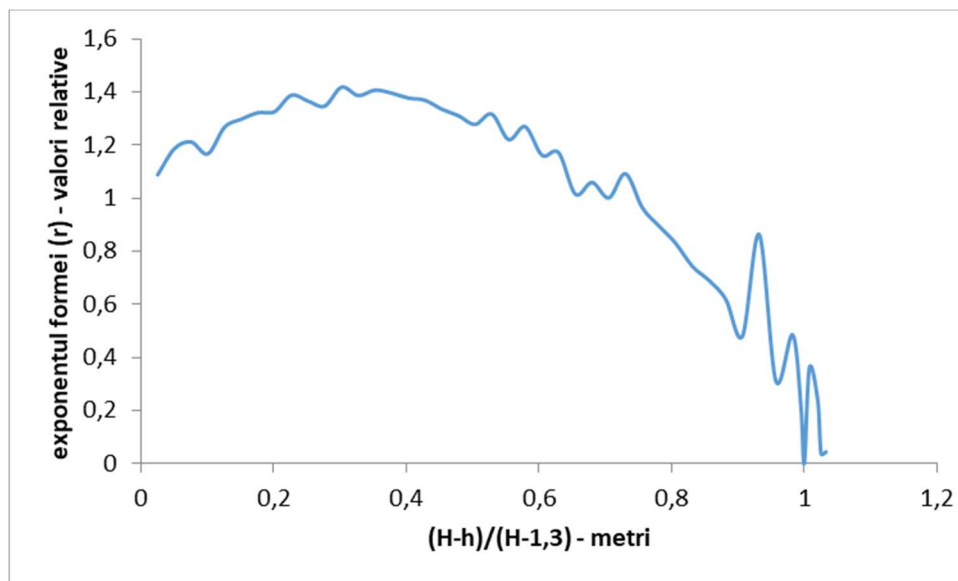


Fig. 9.1. Reprezentarea grafică a relației dintre exponentul formei(r) și înălțimea relativă pentru arborele 1 din Lotul Moldovița 1

După cum se observă în Fig. 9.1 valorile exponentului formei cresc treptat de la baza tulpinii spre vârful acesteia.

Modelul 1.

$$r = a_0 + a_1X + a_2X^5 + a_3X^6 \quad (9.2)$$

unde $X\left(\frac{H-h}{H-1,3}\right)$

Modelul 2

$$r = a_0 + a_1X^6 + a_2\left(\frac{D}{H}\right) + a_3X^2\left(\frac{D}{H}\right) \quad (9.3)$$

unde $X\left(\frac{H-h}{H-1,3}\right)$

Modelul 3

$$r = a_0 + a_1\left(\frac{D}{H}\right) + a_2X\left(\frac{D}{H}\right)^2 + a_3X^2\left(\frac{1}{h}\right) \quad (9.4)$$

Modelul matematic trei propus pentru a estima valorile coeficientului r se caracterizează printr-o simplificare și reducere a numărului de grade la un polinom de gradul 2.

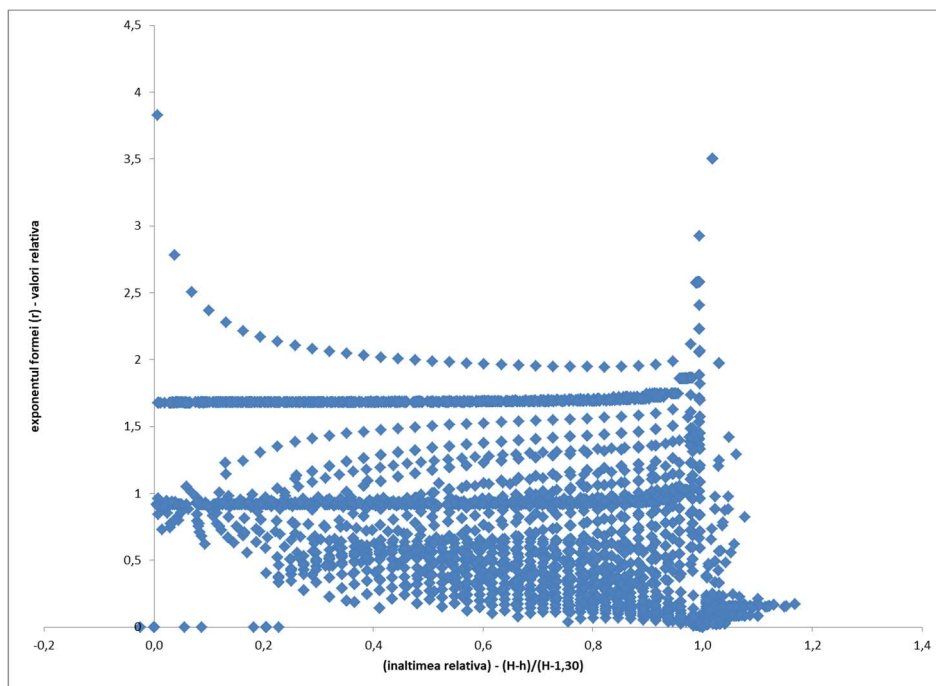


Fig. 9.2. Relația dintre exponentul formei (r) și înălțimea relativă pentru arborii evaluați în lotul Rădăuți

Din analiza datelor din Fig. 9.2 se poate observa o împrăștiere destul de mare a valorilor exponentului forme raportat la înălțimea relativă. Au fost reprezentate grafic valorile celor 343 de arbori de la care au fost preluate observații privind diametrele pe fus și lungimea totală a fusului. După cum se poate observa din grafic valorile exponentului forme (r) sunt distribuite între valori medii de 0,7 până la valori medii de 2,2 cu maxime cuprinse între 3,5 și 4.

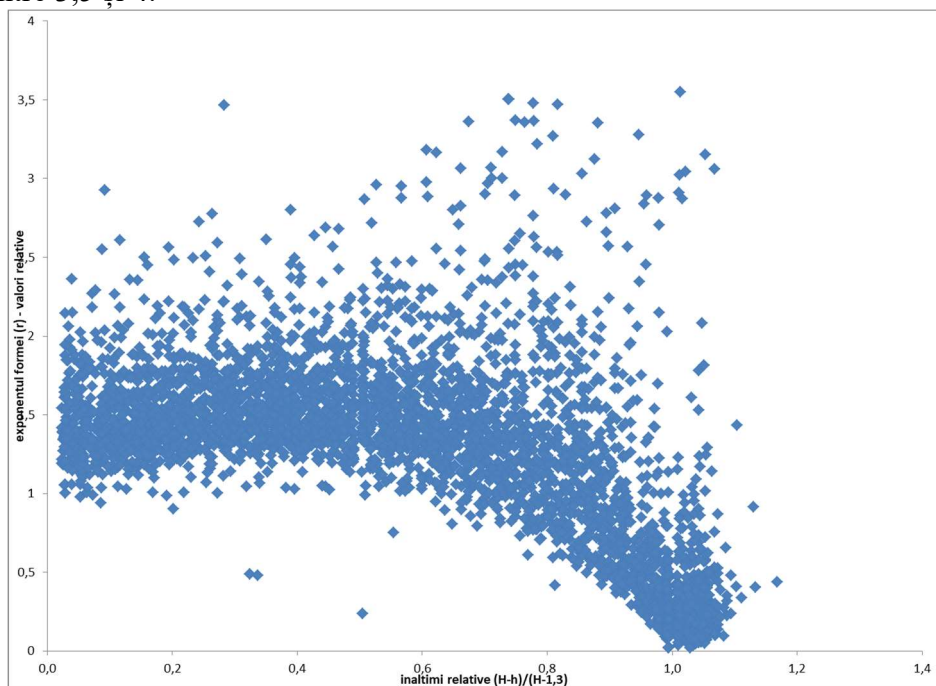


Fig. 9.3. Relația dintre exponentul formei (r) și înălțimea relativă pentru arborii evaluați în lotul Vatra Dornei

Din analiza datelor din Fig. 9.3 se poate observa o dispunere a valorilor exponentului formei între valori medii cuprinse în intervalul 1,2 – 3,9. Grafic au fost prezentate valorile rezultate urmare a prelucrării observațiilor realizate pe 131 de arbori din zona Vatra Dornei. Din grafic se poate totuși observa o grupare a valorilor în jurul intervalului 1 – 2,5

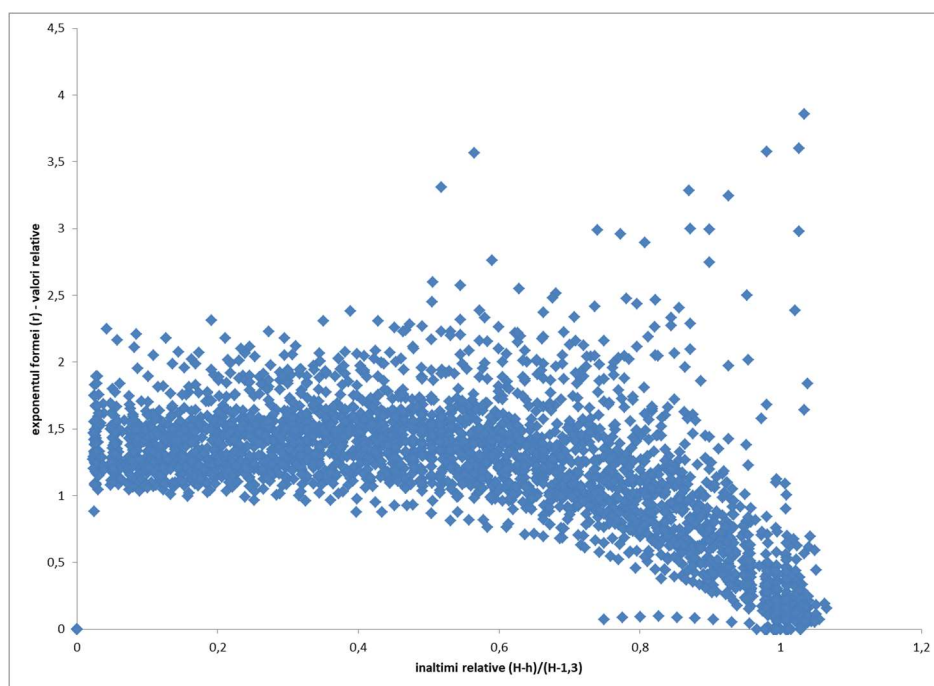


Fig. 9.4. Relația dintre exponentul formei (r) și înălțimea relativă pentru arborii evaluați în lotul Moldovița

Din analiza datelor din Fig. 9.4 se observă dispunere valorilor exponentului formei între valori medii cuprinse în intervalul 1,2 – 2 cu maxime ce ajung la 3,8. Grafic au fost prezentate valorile rezultate urmare a prelucrării observațiilor realizate pe 128 de arbori din zona Moldovița. Din grafic se observă o grupare a valorilor în jurul intervalului 1 – 2,5.

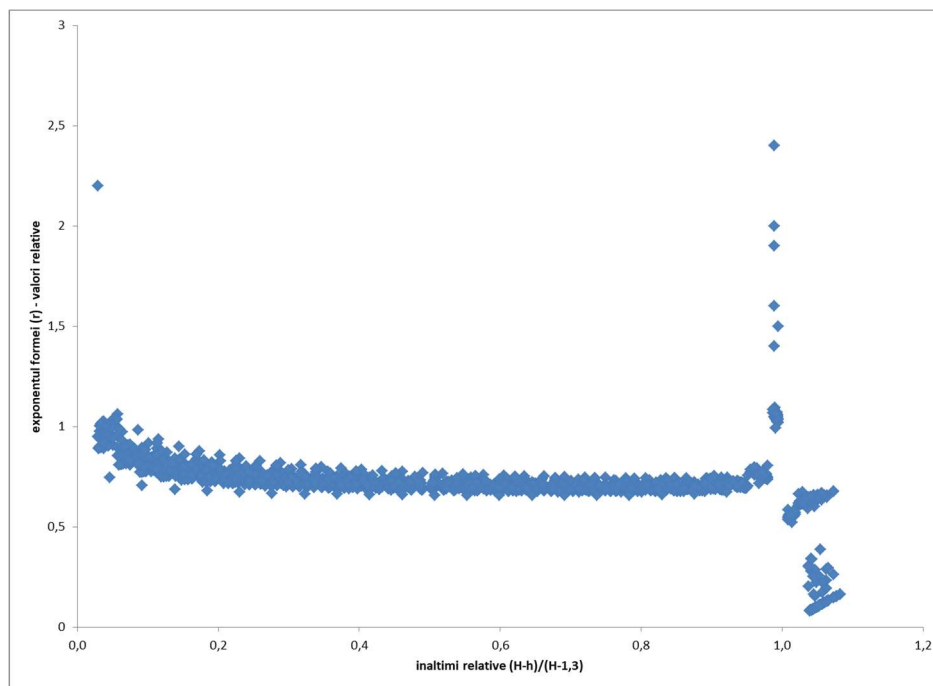


Fig. 9.5. Relația dintre exponentul formei (r) și înălțimea relativă pentru arborii evaluați în lotul Ostra

Din analiza datelor din Fig. 9.5 se poate observa o grupare destul de mare a valorilor exponentului forme raportat la înălțimea relativă. Astfel, valorile se grupează în intervalul 0,6 – 1,2. Ce se poate observa că valorile maxime se opresc la 1,6 ceea ce se caracterizează printr-un arboret în care arborii nu au dezvoltat coroane foarte mari.

Din analiza datelor din Fig. 9.6 se poate observa o dispersie destul de mare a valorilor exponentului forme. Graficul a fost realizat prin prelucrarea observațiilor arborilor situați în pășunea împădurită din regiunea Sadova. De asemenea, se poate observa și un număr mare de valori mai mari de 3,5, acestea sunt caracteristice arborilor crescuți izolați la care coroana s-a putut dezvolta în voie și ocupă o lungime semnificativă din înălțimea fusului.

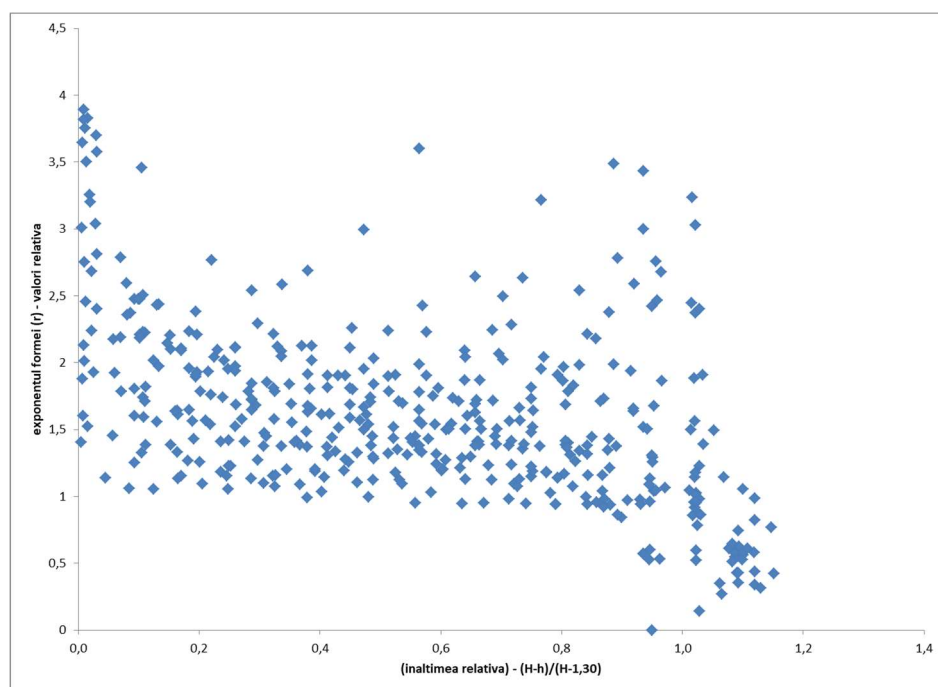


Fig. 9.6. Relația dintre exponentul formei (r) și înălțimea relativă pentru arborii evaluați în lotul situat în afara arealului pe o pășune împădurită în localitatea Sadova.

În [tabelul 9.1](#) sunt prezentate valorile variabilelor precum și valoarea coeficientului de determinare pentru toți arborii observați pe fiecare zonă în parte.

Tabelul 9.1. Coeficienții ecuațiilor de regresie folosite pentru a testa forma fusului la molid.

	a₀	a₁	a₂	a₃	R²
Model 1/Lot	$r = a_0 + a_1X + a_2X^5 + a_3X^6$				
L1. Sadova	2,327	-1,882	7,319	-6,411	0,3046
Lot Rădăuți	1,258	-0,892	4,271	-4,172	0,2279
Lot Moldovița	1,091	1,102	-6,423	4,489	0,3704
Lot Vatra Dornei	1,043	1,704	-8,244	5,866	0,2563
Lot Ostra	0,676	0,080	0,735	-0,931	0,1418
Model 2/ Lot	$r = a_0 + a_1X^6 + a_2\left(\frac{D}{H}\right) + a_3X^2\left(\frac{D}{H}\right)$				
L1. Sadova	1,724	-0,402	0,046	-0,103	0,1889
Lot Rădăuți	0,737	-0,496	0,306	-0,061	0,2252
Lot Moldovița	1,841	-1,244	-0,348	0,113	0,3755
Lot Vatra Dornei	2,008	-1,425	-0,529	0,401	0,2329
Lot Ostra	0,804	-0,301	-0,078	0,115	0,1312
Model 3/lot	$r = a_0 + a_1\left(\frac{D}{H}\right) + a_2X\left(\frac{D}{H}\right)^2 + a_3X^2\left(\frac{1}{h}\right)$				
L1. Sadova	1,365	0,223	-0,070	-0,001	0,2044

	a0	a1	a2	a3	R²
Lot Rădăuți	0,2057	0,9859	-0,4856	-0,0004	0,1771
Lot Moldovița	1,129	0,227	-0,292	-0,001	0,1727
Lot Vatra Dornei	1,060	0,495	-0,567	-0,001	0,10
Lot Ostra	0,669	0,041	-0,038	0,000	0,127

Prelucrarea datelor arată o legătură corelativă destul de slabă între elementele analizate, totuși dacă ar fi să analizăm valorile coeficientului de determinare R^2 cele mai bune rezultate sunt obținute de către modelul 1. Cu ajutorul acestuia vom genera valori relative pe care le vom compara cu valorile determinate pe baza datelor observate în teren. Din analiza datelor prezentate se poate observa ca o regulă generală existența unei scăderi bruște a valorilor factorului r la nivelul unui interval cuprins între 0,8 – 2 m deasupra solului.

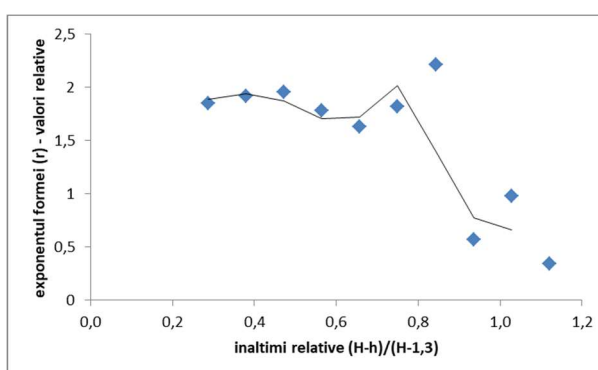


Fig. 9.7 Relația dintre exponentul formei r și înălțimea relativă pentru arborele 10 din lotul situat în afara arealului pe o pășune împădurită în zona Sadova

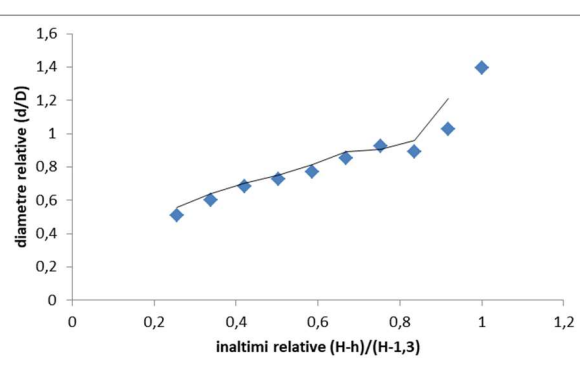


Fig. 9.8 Relația dintre diametrul relativ și înălțimea relativă pentru arborele 10 din lotul situat în afara arealului pe o pășune împădurită în zona Sadova

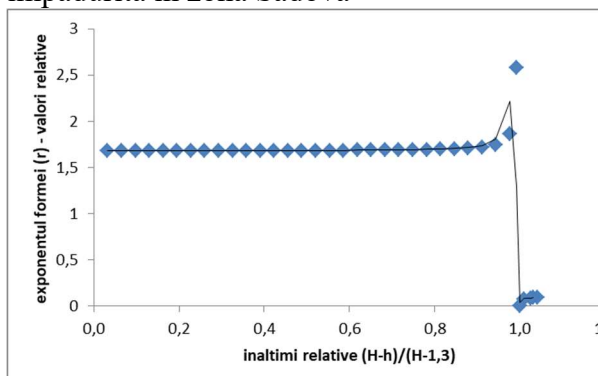


Fig. 9.9 Relația dintre exponentul formei r și înălțimea relativă pentru arborele 10 din lotul Rădăuți

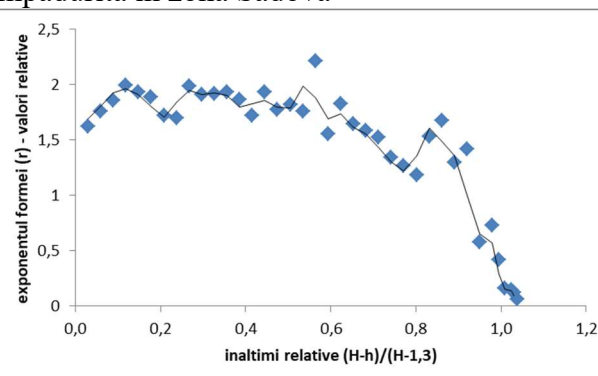


Fig. 9.10 Relația dintre exponentul formei r și înălțimea relativă pentru arborele 10 din lotul Vatra Dornei

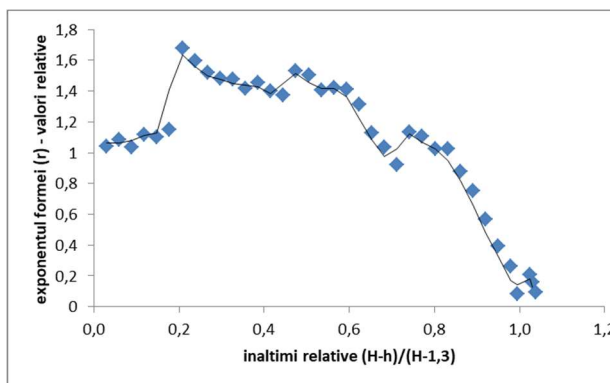


Fig. 9.11 Relația dintre exponentul formei r și înălțimea relativă pentru arborele 10 din lotul Moldovița

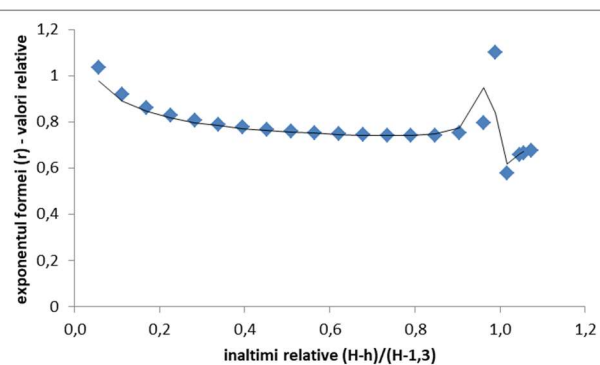


Fig. 9.12 Relația dintre exponentul formei r și înălțimea relativă pentru arborele 10 din lotul Ostra

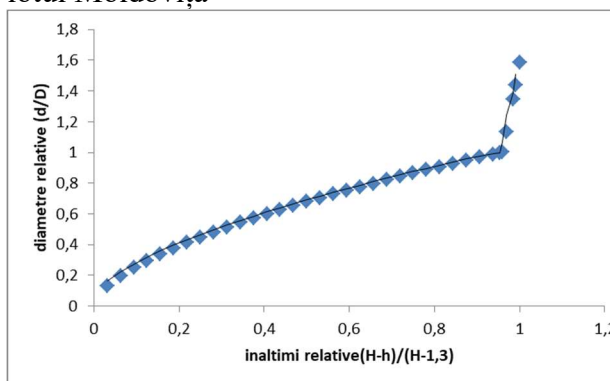


Fig. 9.13 Relația dintre diametrul relativ și înălțimea relativă pentru arborele 10 din lotul Rădăuți

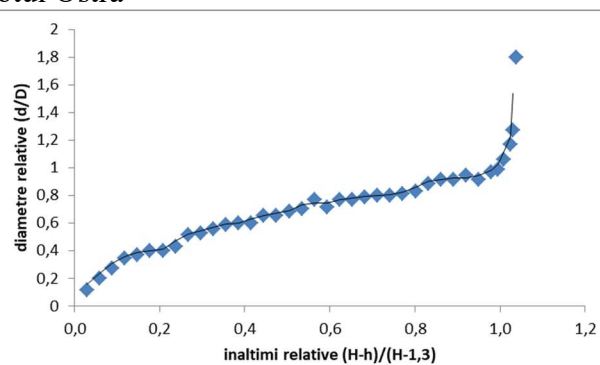


Fig. 9.14 Relația dintre diametrul relativ și înălțimea relativă pentru arborele 10 din lotul Vatra Dornei

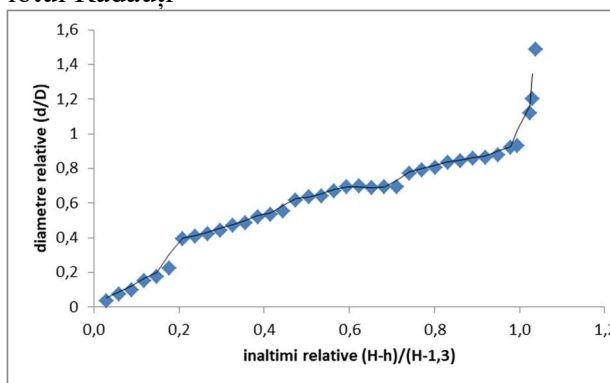


Fig. 9.15 Relația dintre diametrul relativ și înălțimea relativă pentru arborele 10 din lotul Moldovița

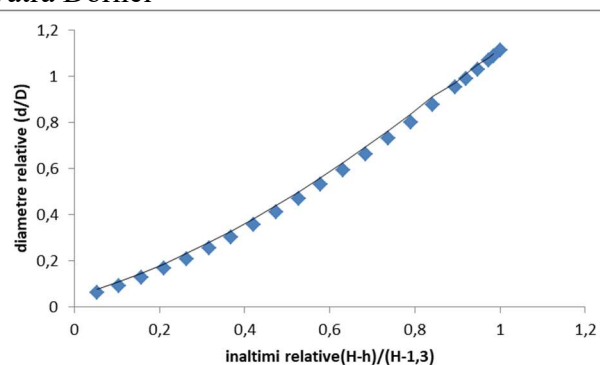


Fig. 9.16 Dispunerea valorilor coeficientului de formă, r , pentru arborele nr. 1 Lotul Ostra

Analizând graficele generate cu ajutorul observațiilor din teren dar și a curbelor generate cu ajutorul modelului matematic nr. 1 se poate observa modul în care valorile coeficientului r variază în funcție de înălțimea relativă. Astfel, se poate observa o creștere în general lină de la vârful arborelui spre treimea inferioară a acestuia urmând apoi o scădere bruscă în treimea inferioară surprinsă de graficele de mai sus.

Astfel, pentru lotul Rădăuți se poate observa o variație lină a valorilor exponentului formei în raport cu înălțimea relativă și o scădere a valorii acestuia în jurul înălțimii de 2 m de la sol.

În cazul observațiilor efectuate la Vatra Dornei se poate observa o variație a valorilor exponentului forme raportat la înălțimea relativă în jurul valorilor 1 și 2, iar începând cu înălțimea de 3 m de la sol se constată o înjumătățire a valorii acestuia pentru ca la înălțimea de 1 m de la sol să înregistreze o scădere bruscă până la 10% din valoare.

Pentru lotul Moldovița se constată o oscilație mai amplă a valorilor exponentului forme în raport cu înălțimea relativă, această variație se întrerupe la înălțimea de 7 metri urmată de o înjumătățire a valorii acestuia între înălțimea de 1,5 m și 7 metri pentru a înregistra o scădere a valorii până la 10% pentru zona cuprinsă între sol și înălțimea de 1,5 m.

În cazul observațiilor analizate pentru Lotul Ostra se observă o variație mult mai redusă a valorilor exponentului forme raportat la înălțimea relativă și o scădere bruscă a valorii acestuia la înălțimea de 1,5 metri.

Din analiza acestor date se poate distinge faptul că pentru fiecare zonă există variabilitate în ceea ce privește modul în care sunt distribuite valorile exponentului forme în raport cu înălțimea arborelui. Aceste schimbări de valori caracterizează punctele de inflexiune care există în lungul fusului.

9.2 Ecuații privind forma fusului

În vederea identificării ecuațiilor care descriu cât mai corect forma fusului au fost alese cinci modele matematice propuse de către Kozak (1969), Sharma și Oderwald (2001), Ormerod (1973), Polinom de gradul VI și Munro (1966). Prin numărul de variabile dar și prin modul în care reușesc să construiască curba de contur a fusului aceste ecuații testate au rolul de a arăta pe de o parte posibilitatea modelelor matematice de a genera curba de contur a fusului dar în același timp au rolul de a arăta dacă există variabilitate în ceea ce privește forma fusului în funcție de zona geografică în care se găsește arborele care a făcut obiectul studiului.

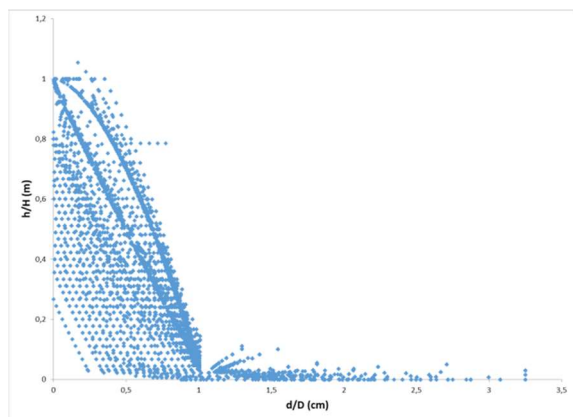


Fig. 9.17 Distribuția diametrelor relative în raport cu înălțimile relative pentru arborii studiați din lotul Rădăuți

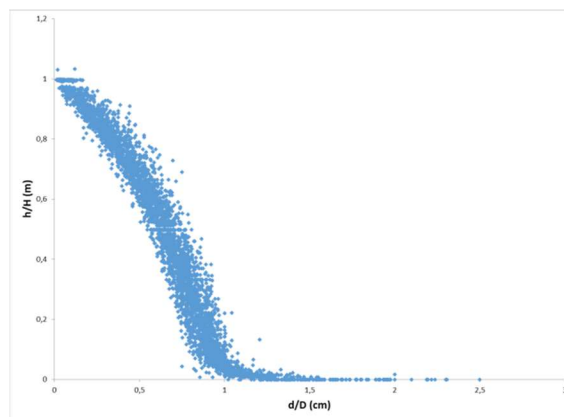


Fig. 9.18 Distribuția diametrelor relative în raport cu înălțimile relative pentru arborii studiați din lotul Vatra dornei

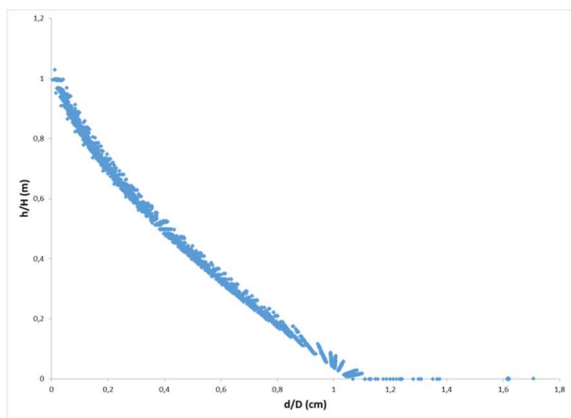


Fig. 9.19 Distribuția diametrelor relative în raport cu înălțimile relative pentru arborii studiați din lotul Ostra

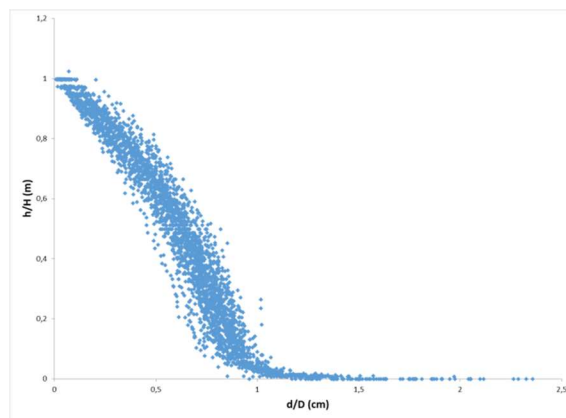


Fig. 9.20 Distribuția diametrelor relative în raport cu înălțimile relative pentru arborii studiați din lotul Moldovita

Reprezentarea grafică a distribuției valorilor diametrelor relative față de înălțimile relative mne permite să observăm dacă există anomalii în ceea ce privește culegerea datelor. Din analiza grafică a distribuției valorilor relative au fost corectate datele asupra cărora existau erori, în special erori de transcriere. Din analiza grafică se poate observa că în general datele folosite urmăresc forma tipică a fusului cu valori mai mari la bază datorate lăbărțării existente la baza trunchiului și valori care scad către vârf. Puncte extreme care să fie în afara concentrării de puncte au reprezentat date anormale care au fost verificate și corectate.

Nr.	Ecuatie selectate pentru a testa forma fusului	Model
ecuației		
9.5	$d^2 = D^2 \left(b_1 \left(\frac{h}{H} - 1 \right) + b_2 \left(\frac{h^2}{H^2} - 1 \right) \right)$	Kozak, 1969
9.6	$d^2 = D^2 \left(\left(\frac{h}{1,3} \right)^{2-b_1} \left(\frac{H-h}{H-1,3} \right) \right)$	Sharma și Oderwald (2001)
9.7	$d = D \left(\frac{H-h}{H-h_D} \right)^{b_1}, \beta_1 0$	Ormerod (1973)
9.8	$d = D \left(b_0 + b_1 \left(\frac{h}{H} \right) + b_2 \left(\frac{h}{H} \right)^2 + \dots + b_n \left(\frac{h}{H} \right)^n \right)$	Polinomul de grad VI
9.9	$\left(\frac{d}{D} \right)^2 = b_1 - b_2 \left(\frac{h}{H-1,3} \right)$	Munro (1966)

Analiza termenului liber (b_0)

Între cele 5 modele de ecuații propuse a fi analizate ecuațiile propuse de Munro (1966)

și **Polinom de gradul VI** conțin termenul liber a_0 .

Analiza coeficientului de determinare R^2 .

Prin analiza pătratului raportului de corelație se determină influența elementelor ce formează modelul matematic în varianța totală a rezultatelor obținute.

Modelul matematic propus de către Sharma și Oderwald (2001) este cel care a furnizat cele mai bune rezultate.

$$d^2 = D^2 \left(\left(\frac{h}{1,3} \right)^{2-b_1} \left(\frac{H-h}{H-1,3} \right) \right) \quad (9.10)$$

Din analiza valorilor R^2 se observă că ecuația propusă de **Sharma și Oderwald (2001)** prezintă cea mai mare putere de asociere, ceea ce înseamnă că cca. 98% din variația totală a formei fusului poate fi explicată prin relația liniară dintre înălțime și diametru și doar 2% din cazuri rămân inexplicabile.

Analiza coeficientului b_1 – din ecuația propusă de Sharma și Oderwald (2001)

Valorile coeficientului b_1 sunt cuprinse între un minim de 1,9 și un maxim de 2,8. Pentru a putea observa modul în care această ecuație redă profilul fusului și generează forma trunchiului vom genera modele de arbori pornind de la valori medii ale d , h , iar $a_1(r)$ va avea valorile calculate pentru loturile evaluate.

Tabelul.9.2. Rezultate obținute prin testarea ecuației propuse de Sharma și Oderwald (2001) pentru a genera forma fusului pentru întreg lotul de arbori pe fiecare zonă în parte

Lot	$b_1(r)$	R^2
Rădăuți	2,425079	0,95654
Ostra	2,591842	0,97958
Vatra Dornei	2,161175	0,993307
Moldovita	2,199703	0,992501

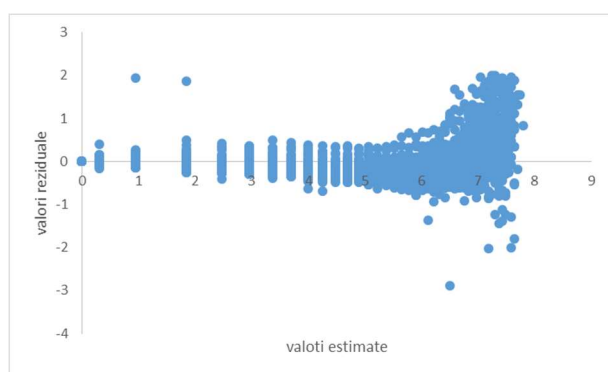


Fig.. 9.21 Dispunerea valorilor estimate în raport cu valorile reziduale pentru zona Moldovița, au fost luați în calcul toți arborii din toate eşantioanele

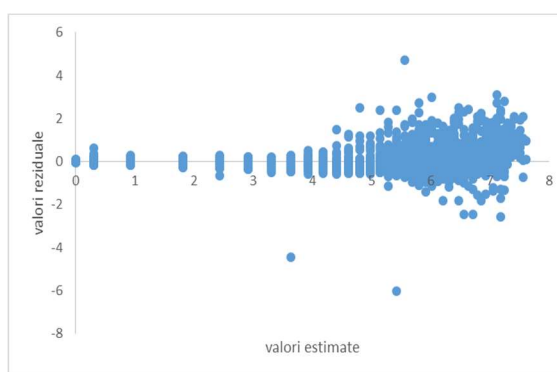


Fig.. 9.22 Dispunerea valorilor estimate în raport cu valorile reziduale pentru zona Vatra Dornei, au fost luați în calcul toți arborii din toate eşantioanele

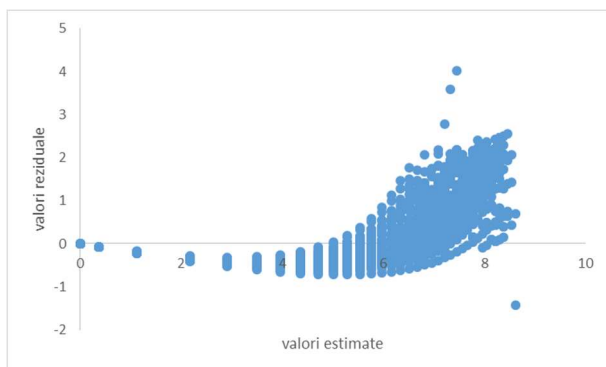


Fig.. 9.23 Dispunerea valorilor estimate în raport cu valorile reziduale pentru zona Ostra, au fost luați în calcul toți arborii din toate eşantioanele

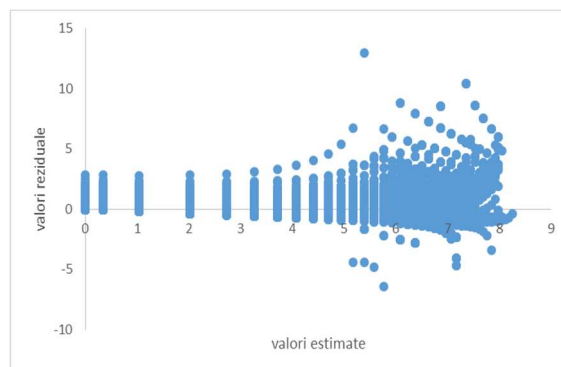


Fig.. 9.24 Dispunerea valorilor estimate în raport cu valorile reziduale pentru zona Rădăuți-Rădăuți, au fost luați în calcul toți arborii din toate eşantioanele

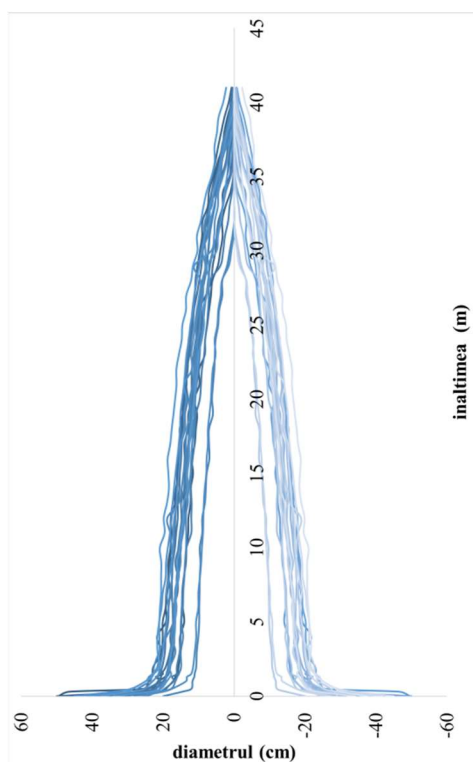


Fig. 9.25 Reprezentare grafică a profilului fusului arborilor pentru zona Moldovița în baza datelor observate în teren

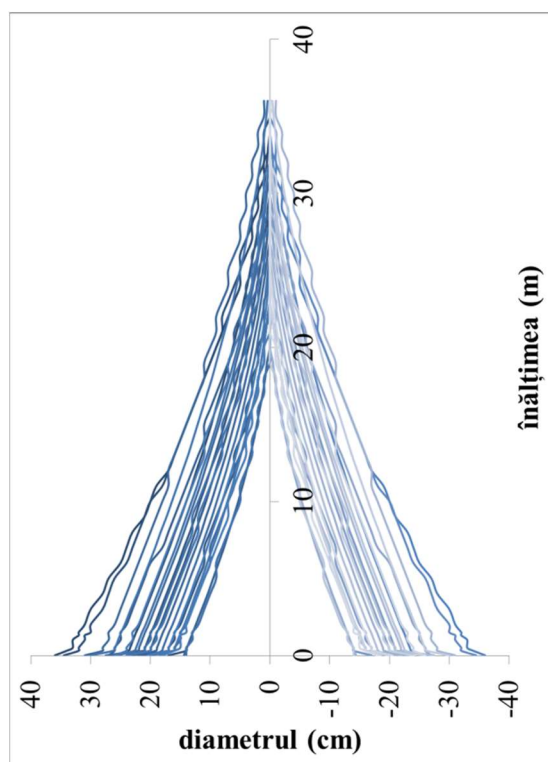


Fig. 9.26 Reprezentare grafică a profilului fusului arborilor pentru zona Ostra în baza datelor observate în teren

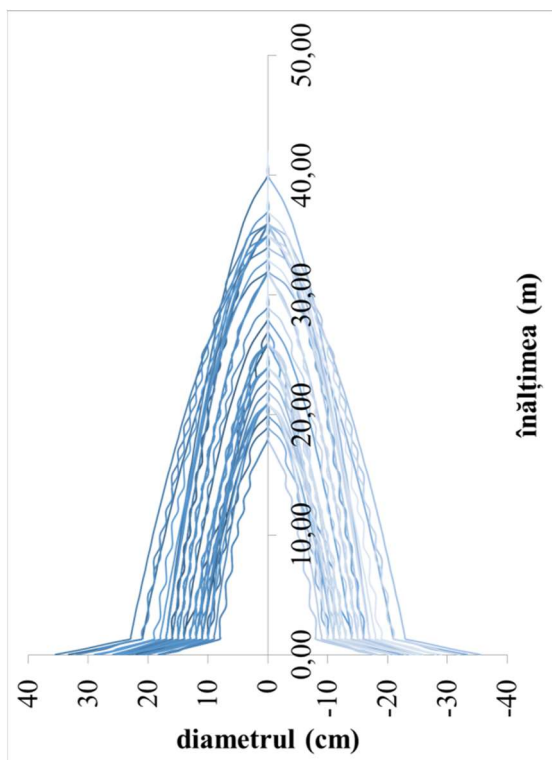


Fig. 9.27 Reprezentare grafică a profilului fusului arborilor pentru zona Rădăuți în baza datelor observate în teren

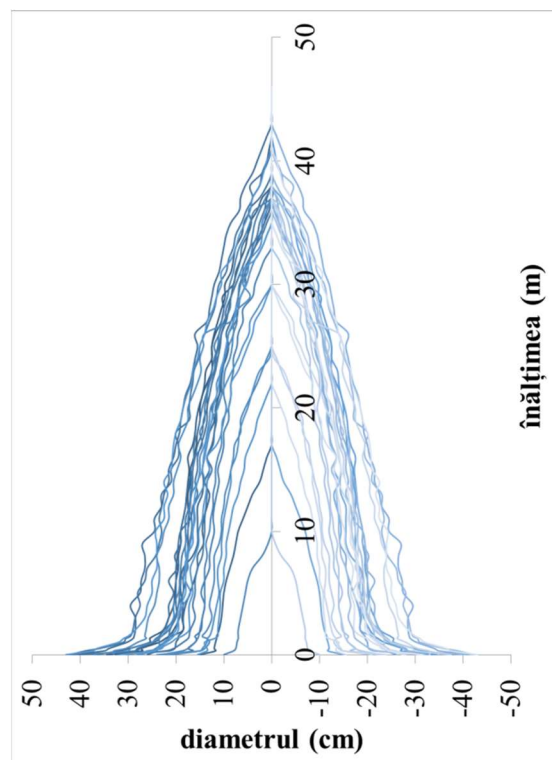


Fig. 9.28 Reprezentare grafică a profilului fusului arborilor pentru zona Vatra Dornei în baza datelor observate în teren

Pentru a testa modul în care este redată forma fusului a fost aleasă o înălțime aleatorie $H = 30$ m, $D = 52$ cm și r calculat pentru întreg setul de date pentru fiecare lot în parte forma fusului este redată în Fig.:

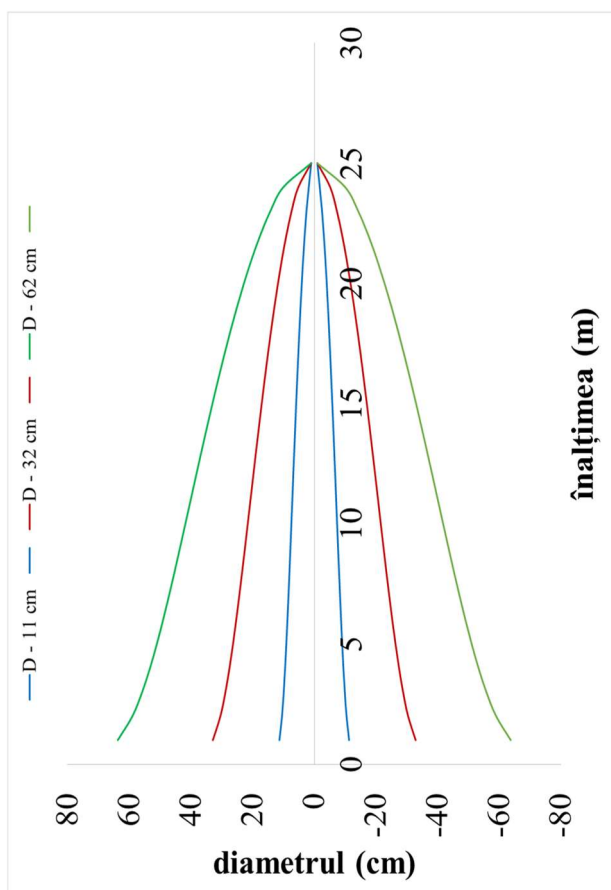


Fig. 9.29 Profilul arborelui generat de ecuația (9.6), unde $H=25$, $D= 11, 32, 62$, $r = 2,162153$

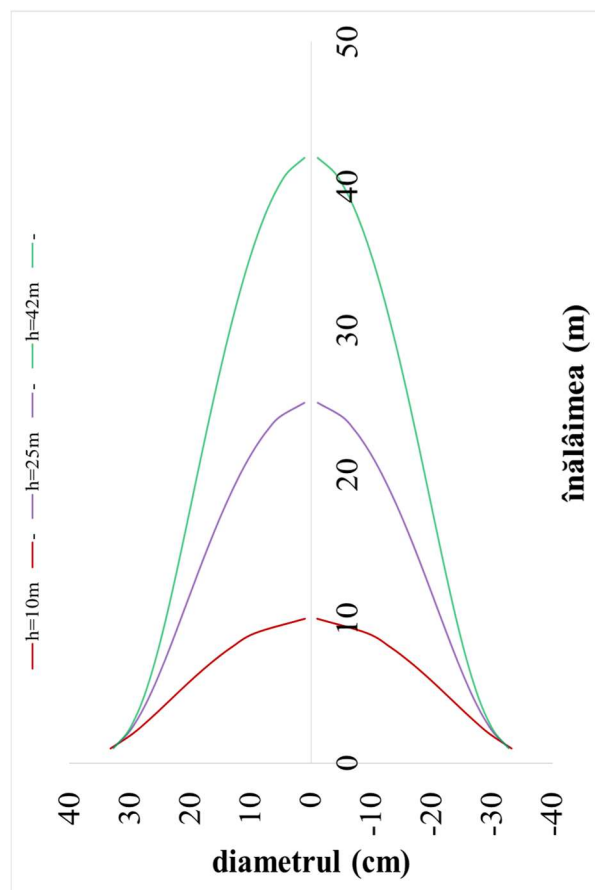


Fig.9.30 Profilul arborelui generat de ecuația (9.6), unde $H=10, 25, 42$, $D=32$, $r = 2,162153$

Se poate observa că profilul este același pentru cele trei modele. În ceea ce privește forma, analizând conicitatea putem observa că aceasta crește odată cu diametrul, astfel modelul cu diametrul mai mic este mai puțin conic decât modelul cu diametrul cel mai mare.

Astfel, putem afirma că în condițiile în care avem doi arbori cu aceeași înălțime și aceeași valoarea a coeficientului r diametrul variază în funcție de diametrul de bază.

Cu cât diametrul de bază are valori mai mari cu atât rata de îngustare spre vârf este mai mare.

În cazul în care considerăm $D = 32$ cm, iar $H = 10$ m, 25 m, 42 m iar pentru r s-a ales valoarea obținută prin analiza tuturor datelor, reprezentarea grafică este:

În cazul reprezentării din Fig. 40 până la $h = 1,3$ profilul fusului este același pentru toți cei trei arbori, pentru ca mai apoi profilul să se diferențieze în funcție de înălțime.

În cazul în care considerăm $D = 32$ cm, iar $H = 25$ m iar pentru r s-a ales valorile obținute prin prelucrarea datelor culese în analiza celor trei loturi, reprezentarea grafică este de forma:

$$d^2 = D^2 \left(\left(\frac{h}{1,3} \right)^{2-b_1} \left(\frac{H-h}{H-1,3} \right) \right) \quad (9.6)$$

devine:

$$d^2 = D^2 \left(\left(\frac{h}{1,3} \right)^{(2-b_1+b_2)} \left(\frac{H-h}{H-1,3} \right) \right) \quad (9.11)$$

Tabelul.9.3. Rezultate obținute prin testarea ecuației propuse de Sharma și Oderwald (2001) pentru a genera forma fusului pentru întreg lotul de arbori pe fiecare zonă în parte

Lot	A ₁ (r)	R ²	A ₁ (r)	A ₂ (reg)	R ²
Rădăuți	2,425079	0,95654	2,3700	0,24453	0,937527
Ostra	2,591842	0,97958	2,4635	0,05110	0,968876
Vatra Dornei	2,161175	0,993307	2,15608	0,02879	0,989006
Moldovita	2,199703	0,992501	2,1877	0,054254	0,984843

10. Ecuații de regresie pentru calculul înălțimilor

Modele pentru înălțimi

Înălțimile arborilor sunt absolut necesare deoarece sunt folosite în calculul volumului. Atunci când înălțimile nu sunt măsurate pentru fiecare arbore în parte pentru a calcula volumul folosim ecuații pentru înălțimi pe baza legăturii corelative care există între diametrul măsurat la diferite distanțe față de sol și înălțimea totală a arborelui. Pe baza acestor relații cunoscând diametrul de bază, sau un alt diametru pe fusul arborelui pot fi calculate înălțimi ale arborelui.

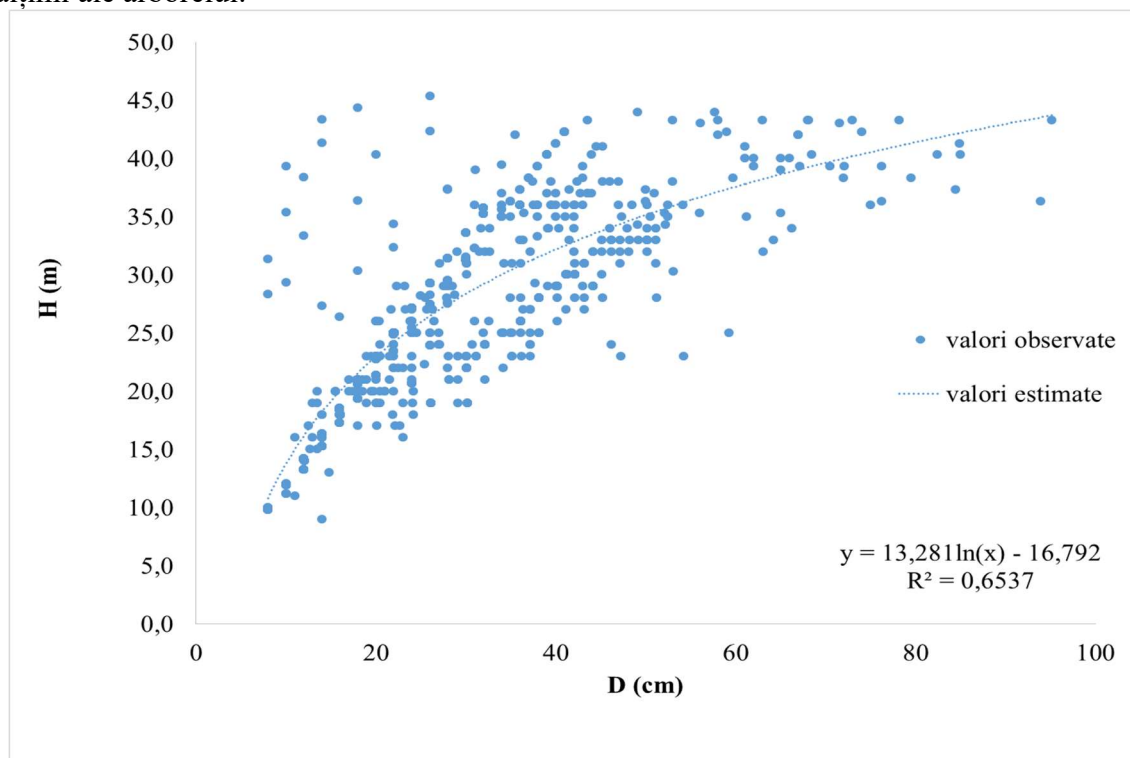


Fig. 10.1. Relația dintre diametrul de bază și înălțimea fusului

Pentru calcul curbei înălțimilor au fost selectate din literatura de specialitate cinci modele matematice care au fost testate folosind datele observate în teren.

$$\text{Parabola} - H = a + bD + cD^2 \quad (10.1)$$

$$\text{Parabola condiționată} H = 1,3 + bD + cD^2 \quad (10.2)$$

$$\text{Hiperbolă} H = a + b/D + cD \quad (10.3)$$

$$\text{Hiperbolă condiționată} - H = 1,3 - bD/(D+1) + cD \quad (10.4)$$

$$\log H = a + b \log d + c \log^2 d \quad (10.5)$$

Dacă este să ne referim la R^2 , coeficientul de determinare, acesta arată cât din varianța variabilei dependente este explicată de ecuația estimată. Astfel acest termen ne arată că regresia estimată va fi mai bună cu cât variația valorilor estimate va fi mai apropiată de variația valorilor observate. După cum se poate observa în Fig. 10.2 punctele se concentrează într-o regiune (regiunea reziduurilor cuprinsă între valorile -0,0003 și 0,0003) de tip bandă orizontală ceea ce nu contrazice ipotezele de normalitate a erorilor. Această formă de bandă uniformă se caracterizează printr-o constanță de dispersie a reziduurilor pe tot domeniul variabilei independente h.

11. Implicații ale formei fusului în calculul volumului

11.1 Calculul volumului manual și rezultatele obținute

Pentru a stabili un volum de referință față de care să se raporteze valorile obținute prin modelare matematică au fost analizate formulele clasice de calcul a volumului Smalian, Huber și Newton. Au fost alese aceste formule având în vedere că s-a calculat volumul pe segmente mici de fus cu lungime maximă de 1 m.

Pentru a vedea modul în care cele trei formule au reușit să estimeze volumul am aplicat relațiile matematice pentru fiecare arbor, lot în parte dar și pentru pe valori medii ale acestor măsurători surprinzându-se modul în care este determinat volumul subiecților analizați prin fiecare metodă în parte.

Volumul a fost calculat pe fiecare segment în parte, arborii doborâți fiind mășurați la lungimi de 1 m. De asemenea, am adăugat și volumul preluat din tabele de cubaj cu două intrări d și înălțime.

La nivelul arborele mediu format din diametrele medii ale arborilor care au constituit obiectul studiului am calculat volumului folosind cele trei modele de calcul pentru secțiuni de 4 respectiv 8 m. Ca volum de referință, estimat, se va considera volumul calculat prin procedeul Newton.

Cele mai bune rezultate în calculul volumului au fost obținute cu ajutorul formulei lui Newton, de asemenea și formulele propuse de Smalian și Huber au oferit rezultate bune.

Pornind de la această constatare trebuie avut în vedere faptul că cele două formule asimilează forma corpului cu cea a unui paraboloid pătratic.

Tabelul 11.1 Calcul volum pe secțiuni de 4 m

L (m)	ΣV_n	V_s	V_h	V_n
4	0,565	0,772	0,457	0,562
8	0,925	1,140	0,827	0,931
12	1,229	1,455	1,125	1,235
16	1,482	1,717	1,382	1,494
20	1,686	1,923	1,597	1,705
24	1,838	2,076	1,761	1,866
28	1,950	2,183	1,885	1,984
32	2,013	2,249	1,960	2,056
36	2,036	2,278	1,983	2,081
40	2,043	2,286	1,992	2,090
42	2,044	2,287	1,992	2,091
Total		-0,243	0,051	-0,047

Tabelul 11.2 Calcul volum pe secțiuni de 8 m

L m	ΣV_n	V_s	V_h	V_n
8	0,925	1,480	0,800	1,027
16	1,482	2,047	1,388	1,608
24	1,838	2,403	1,748	1,966

32	2,013	2,573	1,925	2,141
40	2,043	2,620	1,953	2,175
42	2,044	2,621	1,954	2,176
Total		-0,577	0,090	-0,132

Calculul erorilor

Tabelul 11.3 Calculul erorilor pentru volumul obținut prin utilizarea formulelor Smalian, Huber

Formul	Bias	SD	SSRR	SR	e
Smalian	-0,0019	0,1374	2,21E-06	-0,1252	0,0445
Huber	0,0009	0,0006	1,27E-05	0,0626	0,0222
Tabel cubaj	-0,048	-6,4347E-05	0,312	-2,577	
Newton	referință				

11.2 Ecuatii de regresie pentru calculul volumului

Prin această lucrare s-au testat 14 modele matematice pentru calculul volumului.

Ecuatiile de volum pot fi definite, în funcție de variabilele luate în calcul, după forma generală: $V = V(h)$; $V = V(d)$; $V = V(dh)$; unde V este volumul exprimat în mc, h este înălțimea fusului exprimată în m, d este diametrul de bază, diametrul măsurat la 1,3 m de la sol. În tabelul 7 am propus 14 modele matematice (Giurgiu V, 1979, Avery T., 2002, Plilip M., 1994, Clutter J., 1983, și alții).

Coeficienții de regresie a , b , c , d , e au fost calculați folosind metoda celor mai mici pătrate. Valorile acestor coeficienți sunt prezentate în Anexa 7.

Tabelul 11.4 Modele matematice testate pentru calculul volumului

Număr Ecuatie	Ecuatia	R ²
Ecuatii de regresie în funcție de diametrul de bază		
7.28	$V=a+bD^2$	0,728
7.29	$V=a+bD+cD^2$	0,71
7.30	$V=aD+bD^2$	0,725
7.31	$\text{Log}V=a+b\text{Log}D$	0,776
Ecuatii de regresie în funcție de înălțime		
7.32	$V=a+bh^2$	0,681
7.33	$V=a+bh+ch^2$	0,798
7.34	$V=ah+bh^2$	0,504
7.35	$V=a+b\text{log}h$	0,553
Ecuatii de regresie în funcție de diametrul de bază și înălțime		
7.36	$V=aD^2h$	0,996
7.37	$V=a+bD^2h$	0,801

7.38	$V=D^2(a+bh)$	0,840
7.39	$\ln V=a+b\ln D+c\ln(h^2/(h-1.3))$	0,829
7.40	$\log v=a+b\log D+c\log h$	0,576
7.41	$\log v=a+b\log D+c\log^2 D+d\log h+e\log^2 h$	0,621

Analizând datele din tabelul 11.4 se observă că ecuația (7.36) $V=aD^2h$ înregistrează cele mai mici abateri față de volumele măsurate fizic în teren pentru datele analizate pe întreg eșantionul de arbori. Volumul considerat de referință a fost calculat cu ajutorul formulei lui Newton pe baza măsurătorilor efectuate în teren pe fusul arborelui, pe segmente de 1 m. În ceea ce privește R^2 , coeficientul de determinare, se observă că ecuația $V=aD^2h$ prezintă cea mai mare putere de asociere. În cazul ecuației $V= aD^2h$ se poate afirma că 99,6% din variația totală a volumului poate fi explicată prin ecuația de regresie funcție de înălțime și diametrul de bază.

Ținând cont de datele din tabelul de mai sus se poate observa că modelele matematice care se bazează pe două variabile, respectiv diametrul de bază și înălțimea arborelui sunt mult mai fiabile și oferă informații mult mai precise decât modelele matematice care au la bază o singură variabilă. În cazul acestor modele după cum reiese din tabelul 11.4 modelele matematice care folosesc diametrul de bază ca variabilă sunt mult mai precise decât modelele matematice bazate pe variabila înălțime.

De asemenea, rezultate foarte bune a oferit și ecuația (7.41), ecuația dublu logaritmică de calcul a volumului folosită și în România pentru estimarea volumului. Tabelul 11.5 Calculul volumului folosind ecuația privind forma fusului (9.6), tabelele de cubaj și formula Newton pentru un arbore ales aleatoriu.

Lot	D	H	(a1)r	a1 (reg)	a2 (reg)	V (mc)	V (reg) (mc)	Volum (tabele) (mc)	Volum (Newton) (mc)
Vatra Dornei	34,3	31	2,163	2,156	0,029	1,228	1,283	1,290	1,181
Rădăuți	28	27,7	2,423	2,370	0,245	0,651	0,753	0,802	0,655
Ostra	32	32	2,597	2,464	0,051	1,056	0,922	1,194	0,777
Moldovita	47,2	41,1	2,202	2,188	0,054	2,722	3,014	3,073	2,919

Pentru arborii pentru care s-a generat forma fusului utilizând ecuația (9.6) descrisă la capitolul 9.2 a fost calculat și volumul pentru a fi comparat cu volumul calculat prin metoda Newton. După cum se poate observa există diferențe între volumele obținute cu modelele matematice propuse. Cel mai bine se apropie de volumul calculat prin metoda Newton volumul obținut prin ecuația (9.6).

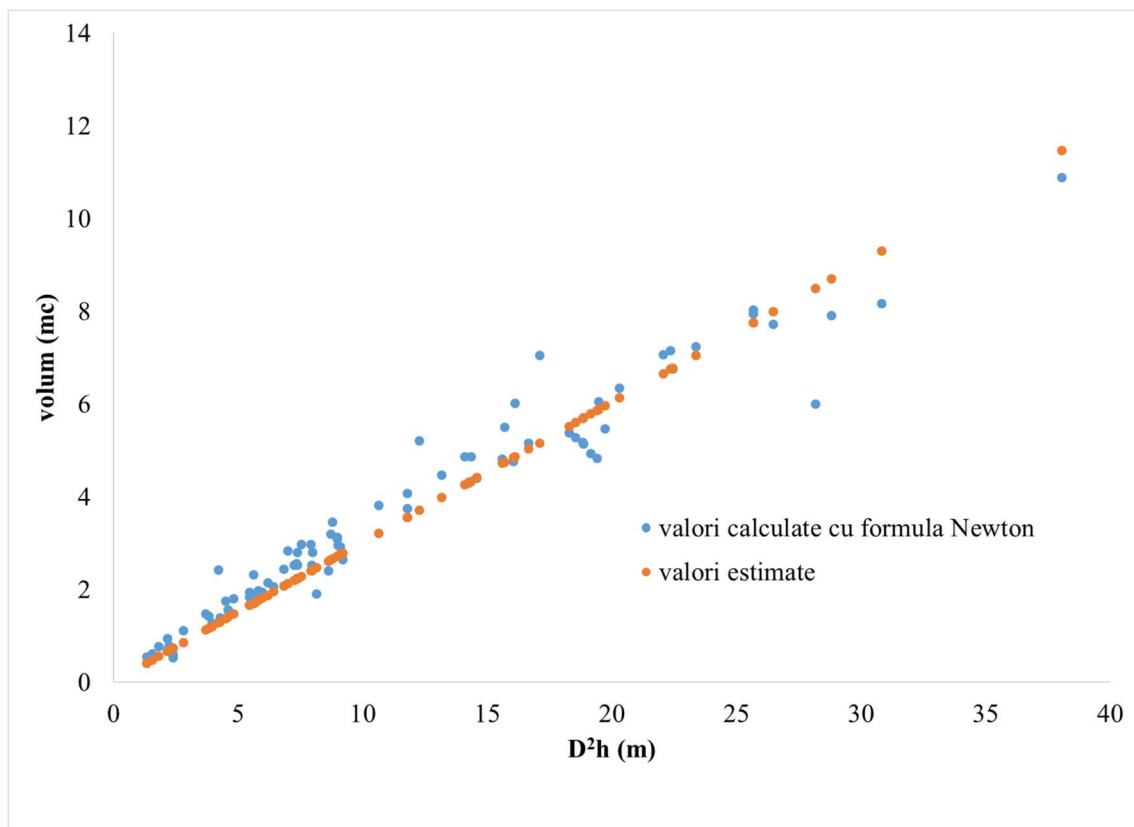


Fig. 11.1. Reprezentarea grafică a volumelor estimate cu ajutorul (7.36), a formulei lui Newton în raport cu variabila D^2h pentru zona Moldovița

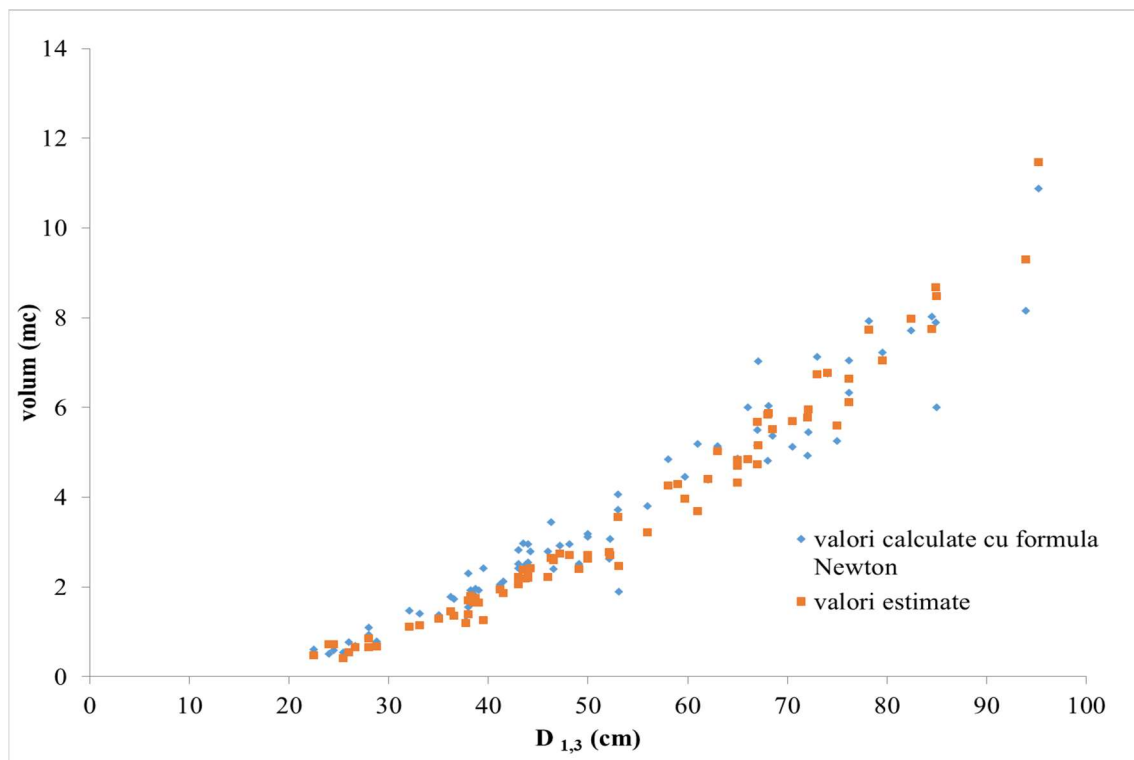


Fig. 11.2. Reprezentarea grafică a volumelor estimate cu ajutorul (7.36), a formulei lui Newton în raport cu diametrul de bază pentru zona Moldovița

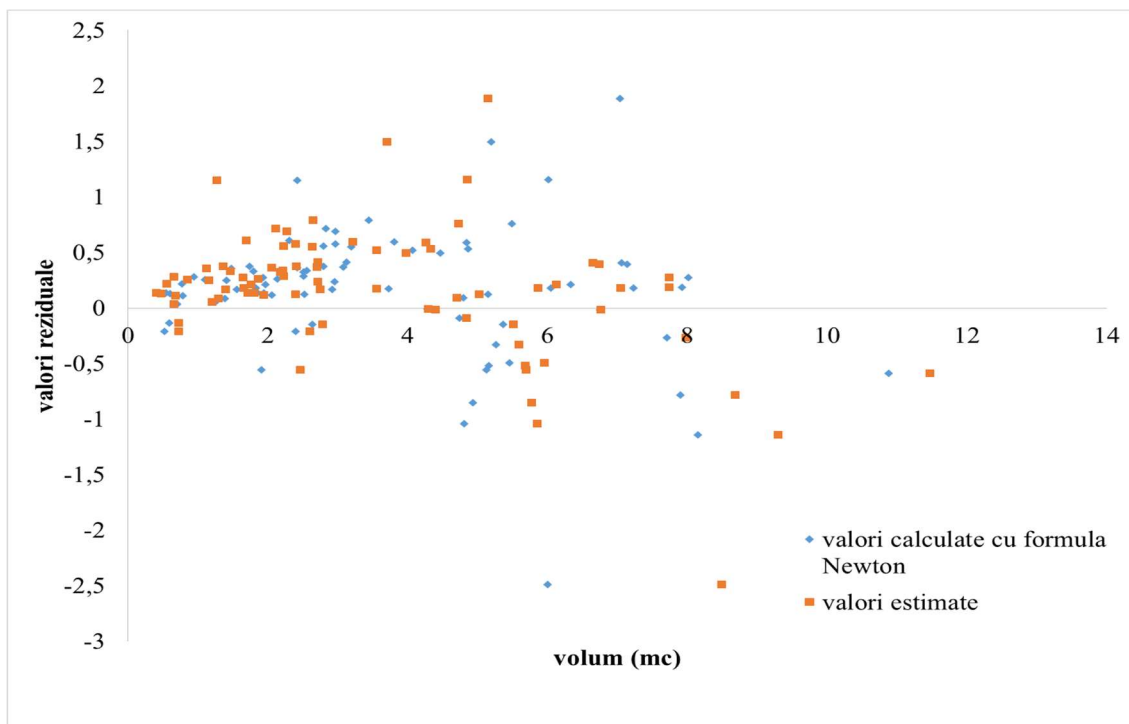


Fig. 11.3. Reprezentarea grafică a valorilor reziduale raportat la valorile estimate cu ajutorul (7.36), respectiv valorile calculate cu ajutorul formulei lui Newton pentru zona Moldovița

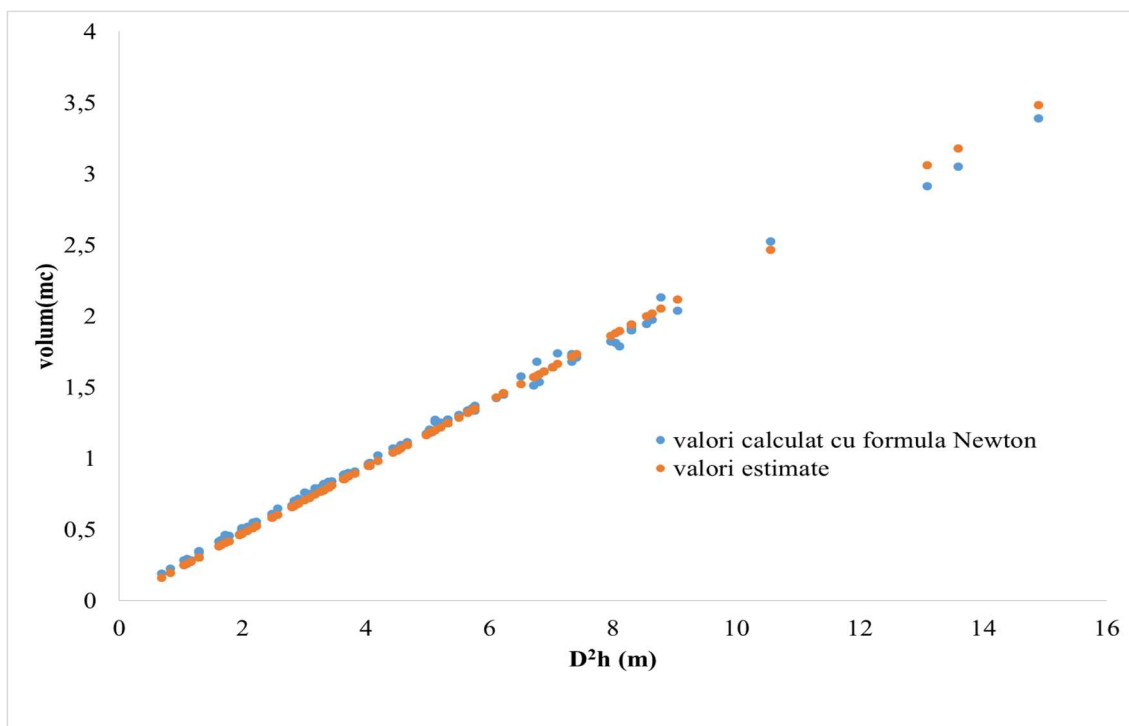


Fig. 11.4. Reprezentarea grafică a volumelor estimate cu ajutorul (7.36), a formulei lui Newton în raport cu D^2h pentru zona Ostra

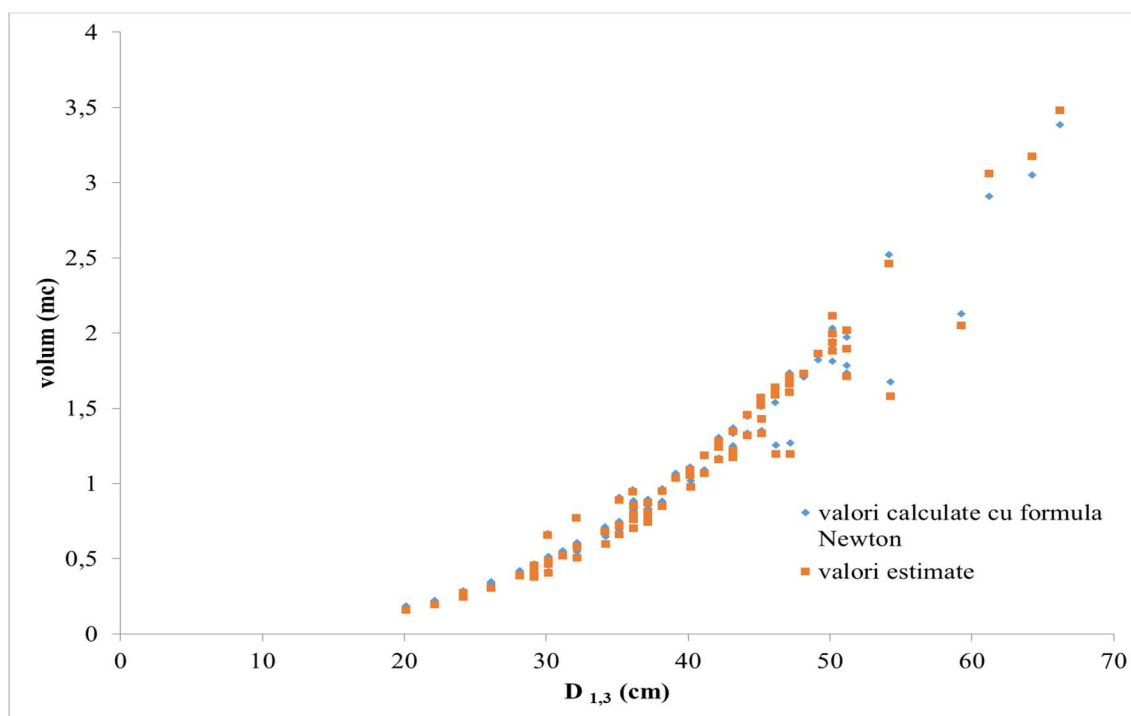


Fig. 11.5. Reprezentarea grafică a volumelor estimate cu ajutorul (7.36), a formulei lui Newton în raport cu diametrul de bază pentru zona Ostra

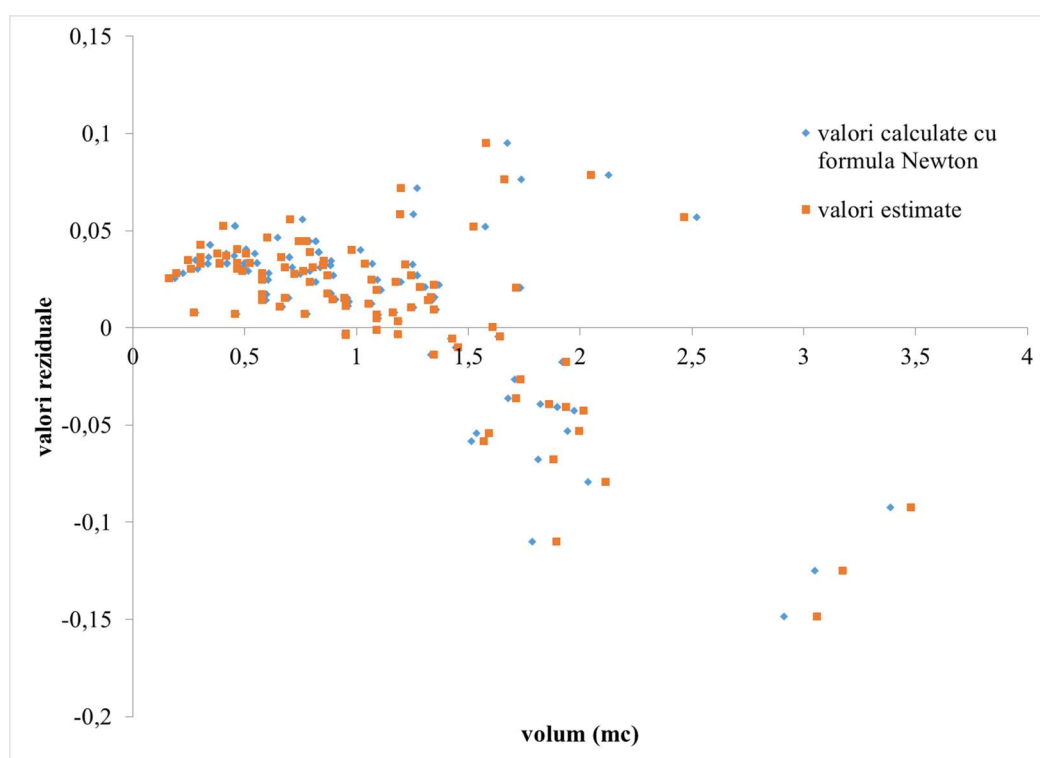


Fig. 11.6. Reprezentarea grafică a valorilor reziduale raportat la valorile estimate cu ajutorul (7.36), respectiv valorile calculate cu ajutorul formulei lui Newton pentru zona Ostra

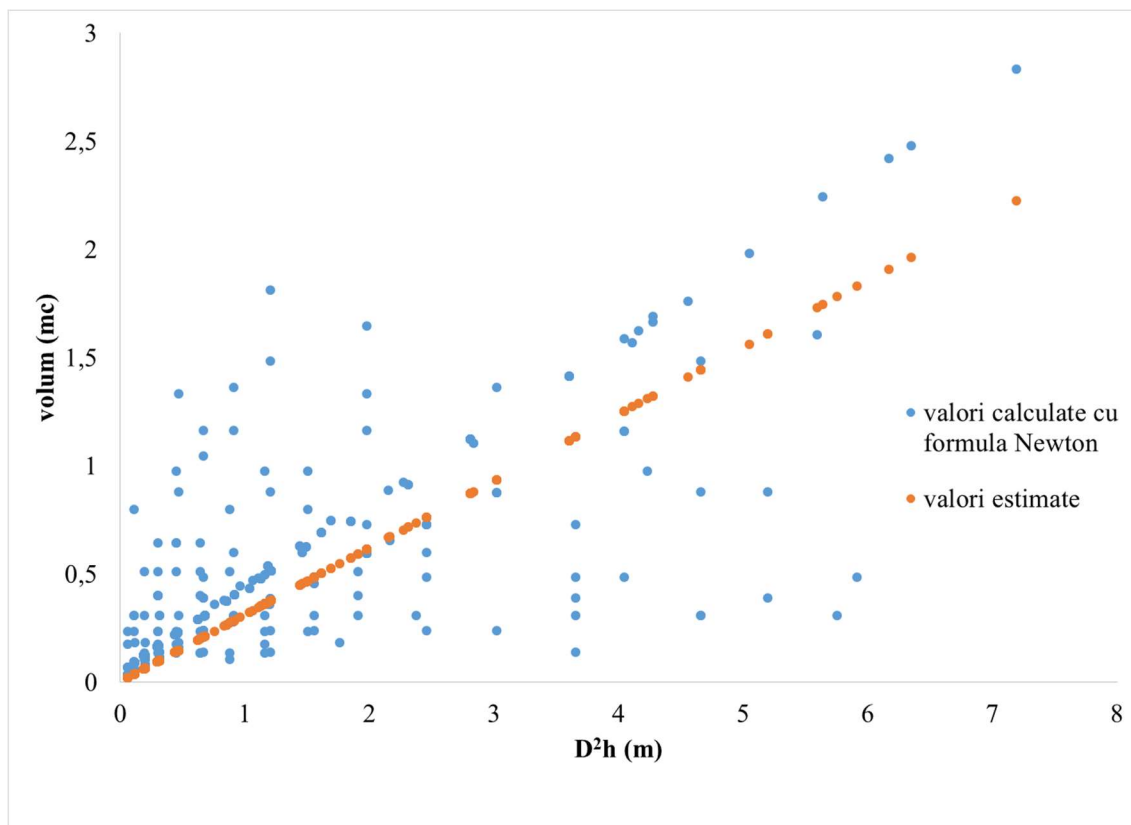


Fig. 11.7. Reprezentarea grafică a volumelor estimate cu ajutorul (7.36), a formulei lui Newton în raport cu D^2h pentru zona Rădăuți

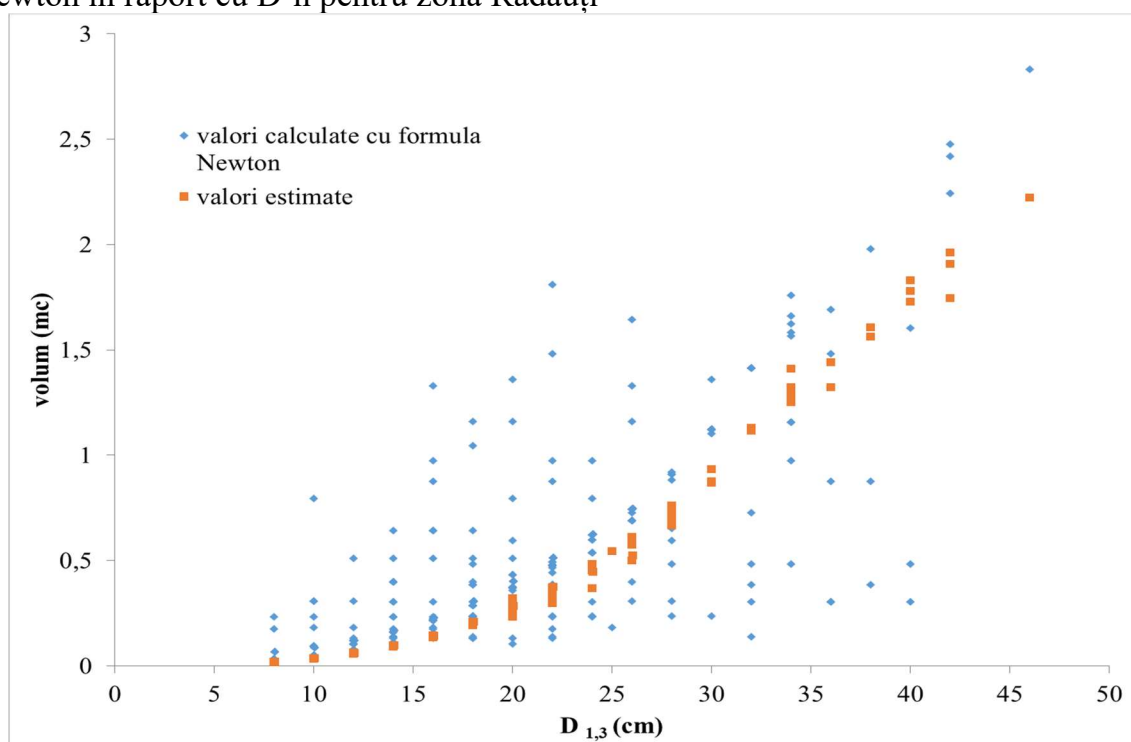


Fig. 11.8. Reprezentarea grafică a volumelor estimate cu ajutorul (7.36), a formulei lui Newton în raport cu diametrul de bază pentru zona Rădăuți

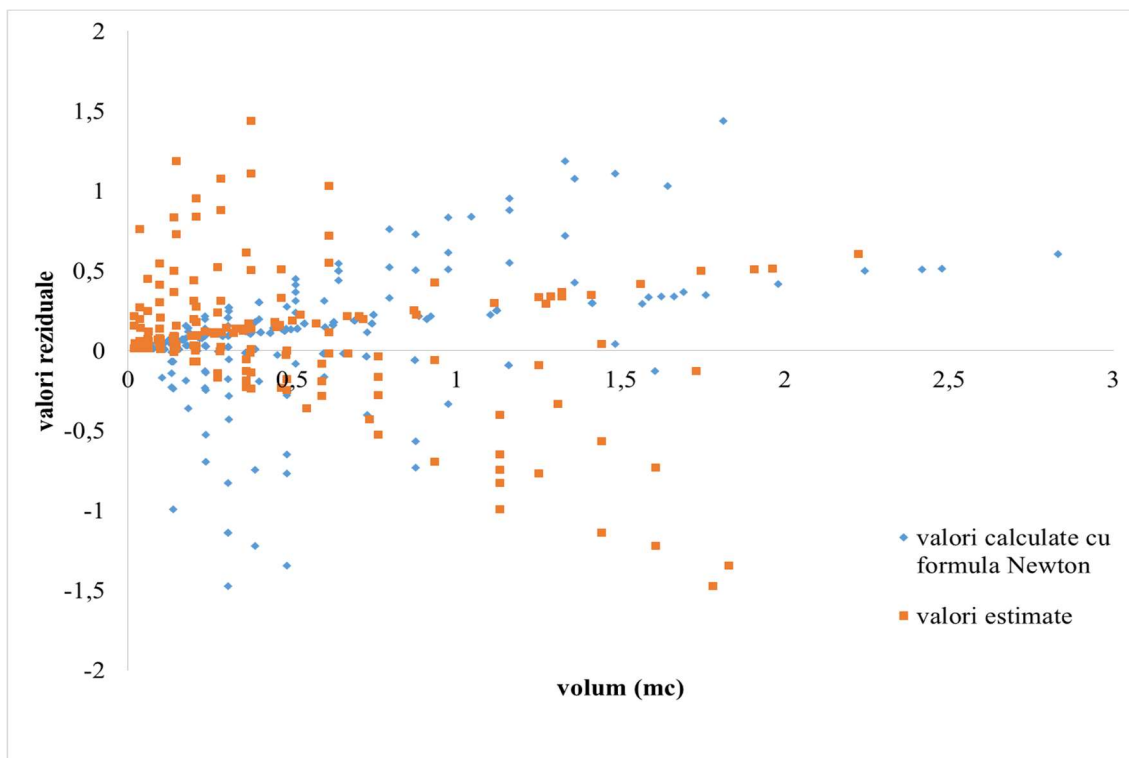


Fig. 11.9. Reprezentarea grafică a valorilor reziduale raportat la valorile estimate cu ajutorul (7.36), respectiv valorile calculate cu ajutorul formulei lui Newton pentru zona Rădăuți

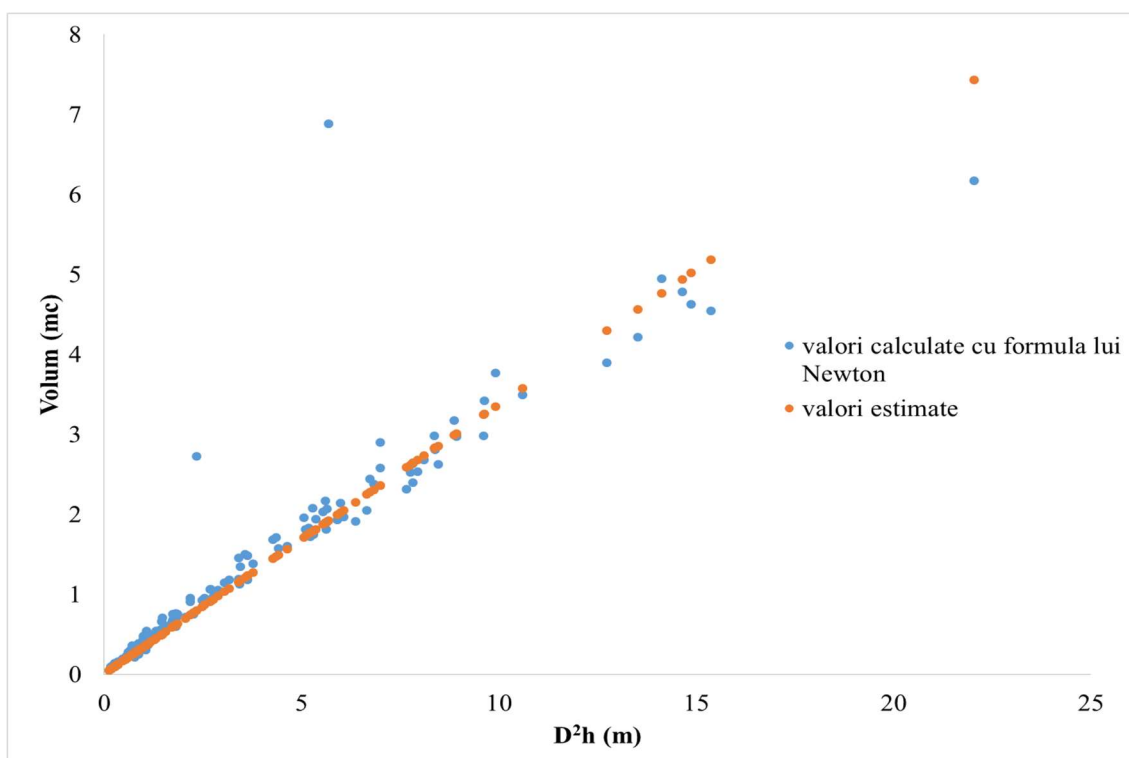


Fig. 11.10. Reprezentarea grafică a volumelor estimate cu ajutorul (7.36), a formulei lui Newton în raport cu D^2h pentru zona Vatra Dornei

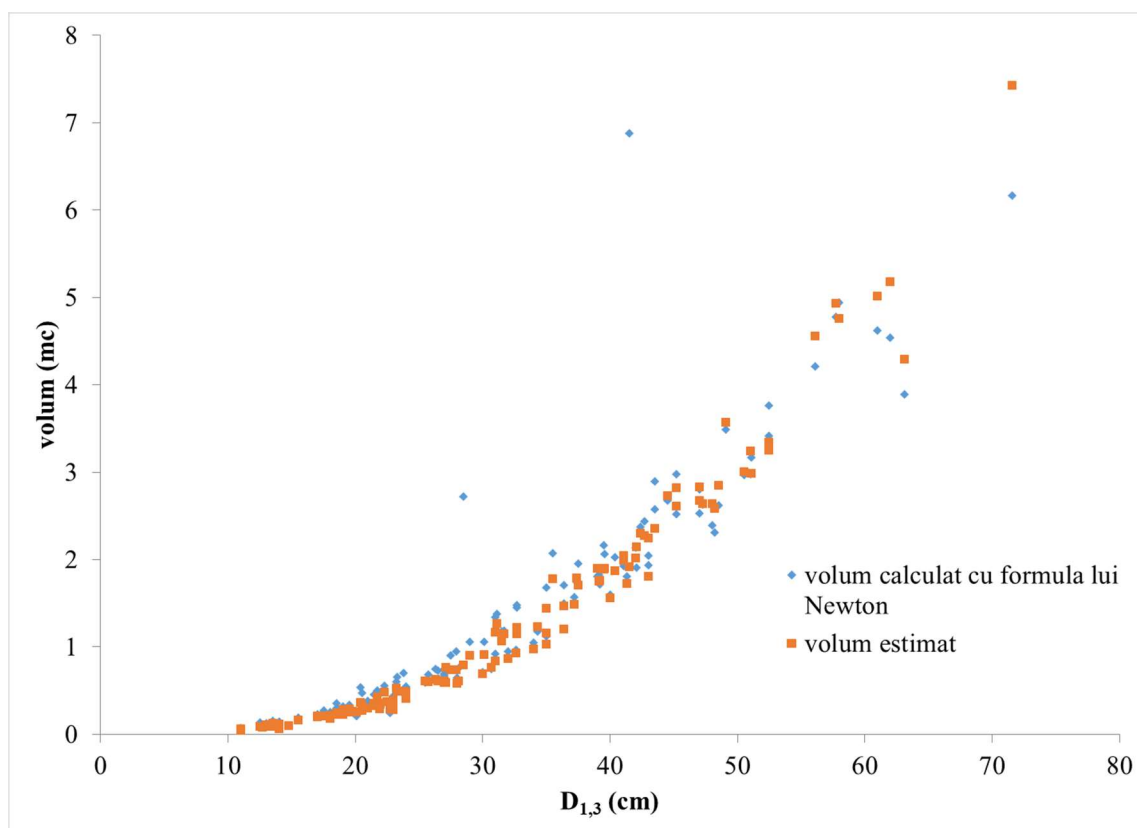


Fig. 11.11. Reprezentarea grafică a volumelor estimate cu ajutorul (7.36), a formulei lui Newton în raport cu diametrul de bază pentru zona Vatra Dornei

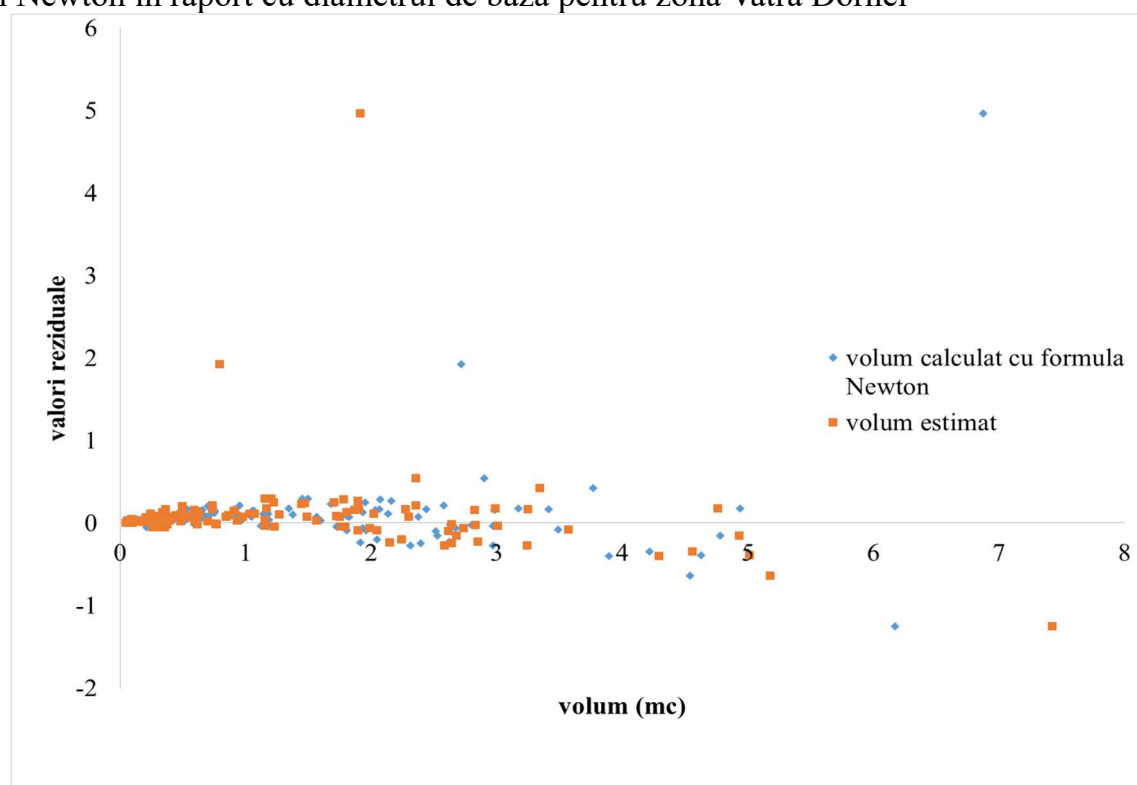


Fig. 11.12. Reprezentarea grafică a valorilor reziduale raportat la valorile estimate cu ajutorul (7.36), respectiv valorile calculate cu ajutorul formulei lui Newton pentru zona Vatra Dornei

12. Simulare calcul volum utilizând modele matematice pentru calculul înălțimilor și modele matematice pentru calculul volumului

Urmare a acestui studiu s-au ales ca model pentru determinarea curbei înălțimilor ecuația (10.5) - $\log H = a + b \log d + c \log^2 d$, iar pentru calculul volumului ecuația (7.36), $V = aD^2h$.

Cu ajutorul coeficienților de regresie calculați anterior atât pentru volum cât și pentru înălțime s-a calculat curba înălțimilor cu ajutorul ecuației (10.5), respectiv volumul cu ecuația (7.36). Cu ajutorul acestor modele matematice pe baza măsurătorilor din teren s-au calculat coeficienții de regresie, locali, și s-a generat un tabel de cubaj local, tabelul 3.

Putem observa că odată cu creșterea în înălțime se înregistrează o creștere în diametru ce se cuantifică în acumularea de masă lemnoasă.

De asemenea, volumul va fi determinat și prin intermediul ecuației privind forma fusului.

Pentru a putea utiliza o ecuație de regresie privind forma fusului pentru a estima volumul de-a lungul fusului pornim de la relația dintre diametru, suprafață de bază, înălțime și volumul arborelui.

$$A_h = \frac{\pi}{4} d_h^2, \quad (12.1)$$

Unde A_h – suprafața calculată la înălțimea h , iar d este diametrul măsurat la înălțimea h .

Ecuația care a furnizat cele mai bune rezultate în ceea ce privește forma fusului a fost (101) care are forma:

$$d^2 = D^2 \left(\left(\frac{h}{1,3} \right)^{2-a_1} \left(\frac{H-h}{H-1,3} \right) \right) \quad (12.2)$$

Pornind de la cele două relații se poate scrie ecuația care să permită calculul volumului cu ajutorul unei ecuații privind forma fusului.

$$A_h = \frac{\pi}{4} D^2 \left(\left(\frac{h}{1,3} \right)^{2-a_1} \left(\frac{H-h}{H-1,3} \right) \right), \quad (12.3)$$

Prin integrarea celor două relații de mai sus se obține formula pentru calcul a volumului,

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \int_{h_1}^{h_2} \left(\left(\frac{h}{1,3} \right)^{2-a_1} \left(\frac{H-h}{H-1,3} \right) \right) \quad (12.4)$$

Pentru a exemplifica modul în care este calculat volumul la diferite înălțimi pe fus precum și volumul total a arborelui folosind ecuații privind forma fusului a fost ales aleatoriu arborele nr. 8 din Lotul 1 Moldovița. Acesta are diametrul al 1,3 – 38,2 cm și o lungime totală a fusului de 41,1 m.

Folosind ecuația privind calculul diametrelor pe fusul arborelui au fost determinate diametrele experimentale.

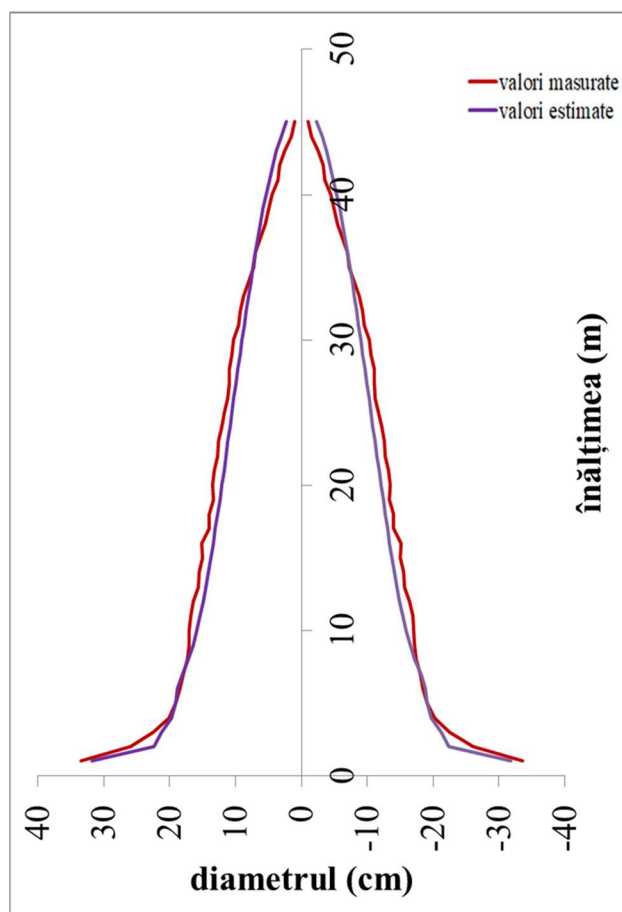


Fig. 12.1 Reprezentarea grafică a profilului fusului pentru arborele 8 din Lotul 1 Moldovița pentru valori observate în teren(diametre măsurate la intervale stabilite pe fus) respectiv valori estimate cu ecuația (9.6).

Tabelul 12.1 Tabelul 12.1 Calculul volumului arborelui 8 din Lotul 1 Moldovița cu formula Newton respectiv cu ecuația (9.6)

H (m)	D (cm)	r	r _{reg}	V (mc)	V _{reg} (mc)	V Newton (mc)	Newton cumulat (mc)	%
0,01	67	2,202	2,188	0,092	0,066	0,081	0,081	2,1
0,3	52	2,202	2,188	0,032	0,029	0,037	0,118	1
0,5	45,1	2,202	2,188	0,071	0,066	0,072	0,190	1,9
1	40,3	2,202	2,188	0,037	0,036	0,036	0,226	1
1,3	38,2	2,202	2,188	0,023	0,023	0,022	0,248	0,6
1,5	36,9	2,202	2,188	0,055	0,056	0,052	0,300	1,4
2	36	2,202	2,188	0,103	0,106	0,098	0,398	2,6
3	34,7	2,202	2,188	0,093	0,098	0,093	0,492	2,5
4	34,2	2,202	2,188	0,085	0,092	0,091	0,583	2,4
5	34	2,202	2,188	0,079	0,087	0,090	0,673	2,4
6	33,7	2,202	2,188	0,074	0,082	0,087	0,759	2,3

H (m)	D (cm)	r	r_{reg}	V (mc)	V_{reg} (mc)	V Newton (mc)	Newton cumulat (mc)	%
7	32,7	2,202	2,188	0,070	0,078	0,080	0,840	2,1
8	31,3	2,202	2,188	0,066	0,075	0,076	0,916	2
9	31	2,202	2,188	0,063	0,071	0,073	0,989	1,9
10	30	2,202	2,188	0,059	0,068	0,071	1,060	1,9
11	30,2	2,202	2,188	0,056	0,065	0,067	1,127	1,8
12	28	2,202	2,188	0,053	0,062	0,062	1,188	1,6
13	28	2,202	2,188	0,051	0,060	0,059	1,247	1,5
14	26,7	2,202	2,188	0,048	0,057	0,057	1,303	1,5
15	27	2,202	2,188	0,046	0,054	0,056	1,360	1,5
16	26,5	2,202	2,188	0,044	0,052	0,053	1,413	1,4
17	25,5	2,202	2,188	0,041	0,049	0,050	1,463	1,3
18	25,1	2,202	2,188	0,039	0,047	0,048	1,511	1,3
19	24,3	2,202	2,188	0,037	0,044	0,045	1,556	1,2
20	23,5	2,202	2,188	0,035	0,042	0,041	1,597	1,1
21	22,3	2,202	2,188	0,033	0,040	0,039	1,635	1
22	22	2,202	2,188	0,031	0,038	0,038	1,673	1
23	22	2,202	2,188	0,029	0,036	0,036	1,710	1
24	21	2,202	2,188	0,027	0,033	0,034	1,743	0,9
25	20,5	2,202	2,188	0,026	0,031	0,031	1,774	0,8
26	19	2,202	2,188	0,024	0,029	0,028	1,802	0,7
27	18,5	2,202	2,188	0,022	0,027	0,025	1,827	0,7
28	17,5	2,202	2,188	0,020	0,025	0,022	1,849	0,6
29	16	2,202	2,188	0,019	0,023	0,018	1,867	0,5
30	14,5	2,202	2,188	0,017	0,021	0,016	1,883	0,4
31	14	2,202	2,188	0,015	0,019	0,014	1,897	0,4
32	12,5	2,202	2,188	0,014	0,017	0,011	1,908	0,3
33	11	2,202	2,188	0,012	0,015	0,009	1,917	0,2
34	10	2,202	2,188	0,011	0,013	0,007	1,924	0,2
35	9	2,202	2,188	0,009	0,011	0,005	1,929	0,1
36	7,2	2,202	2,188	0,008	0,009	0,004	1,933	0,1
37	6,5	2,202	2,188	0,006	0,008	0,003	1,935	0,1
38	5	2,202	2,188	0,005	0,006	0,001	1,937	0
39	3	2,202	2,188	0,003	0,004	0,000	1,937	0
40	2	2,202	2,188	0,002	0,002	0,000	1,938	0
				1,783	1,974	1,938		
Volum tabele de cubaj				2,14601				

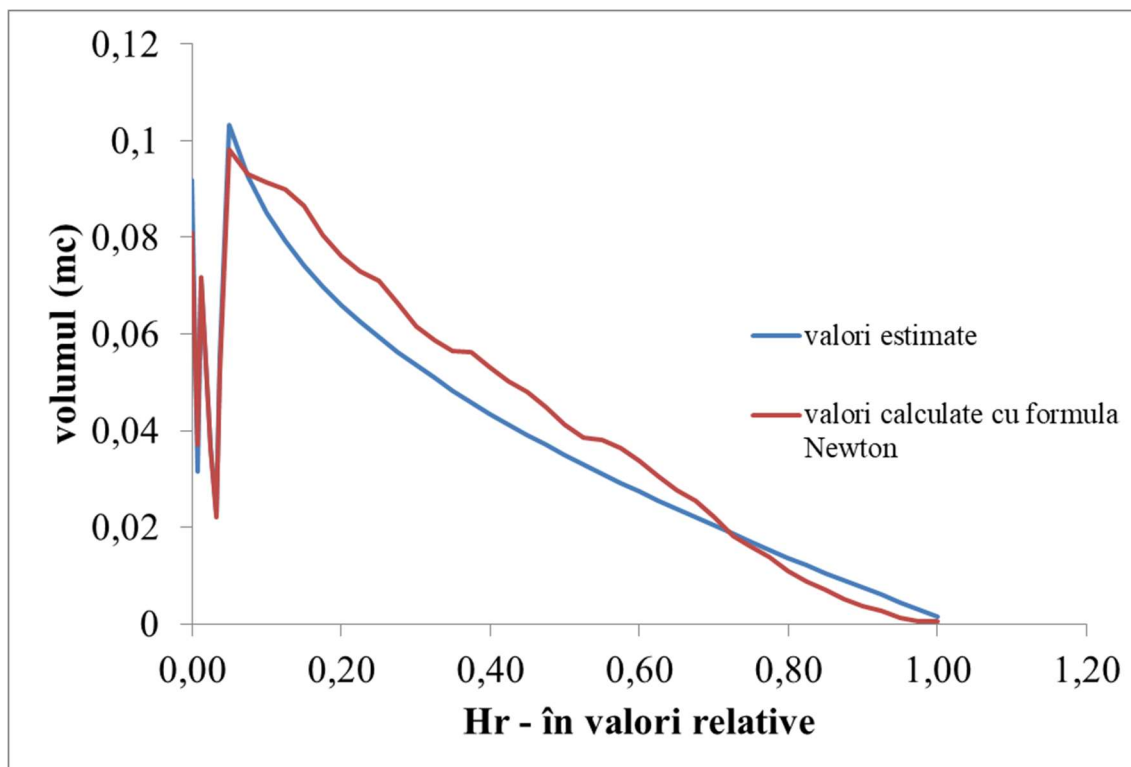


Fig. 12.2 Variația volumului în funcție de înălțimea relativă pe fusul arborelui în funcție de valorile obținute cu formula Newton și ecuația (9.6).

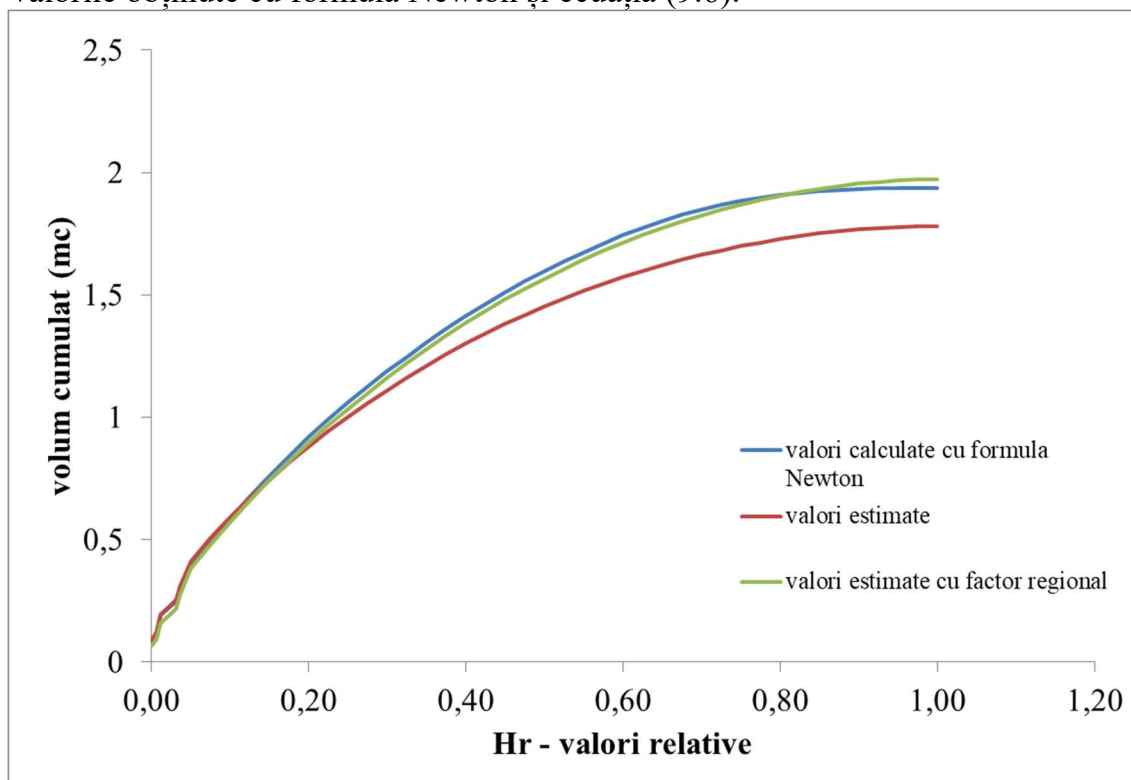


Fig. 12.3 Variația volumului cumulat, în metri cubi, în funcție de înălțimea relativă pe fusul arborelui în funcție de valorile obținute cu formula Newton, ecuația (9.6) și ecuația (9.11)

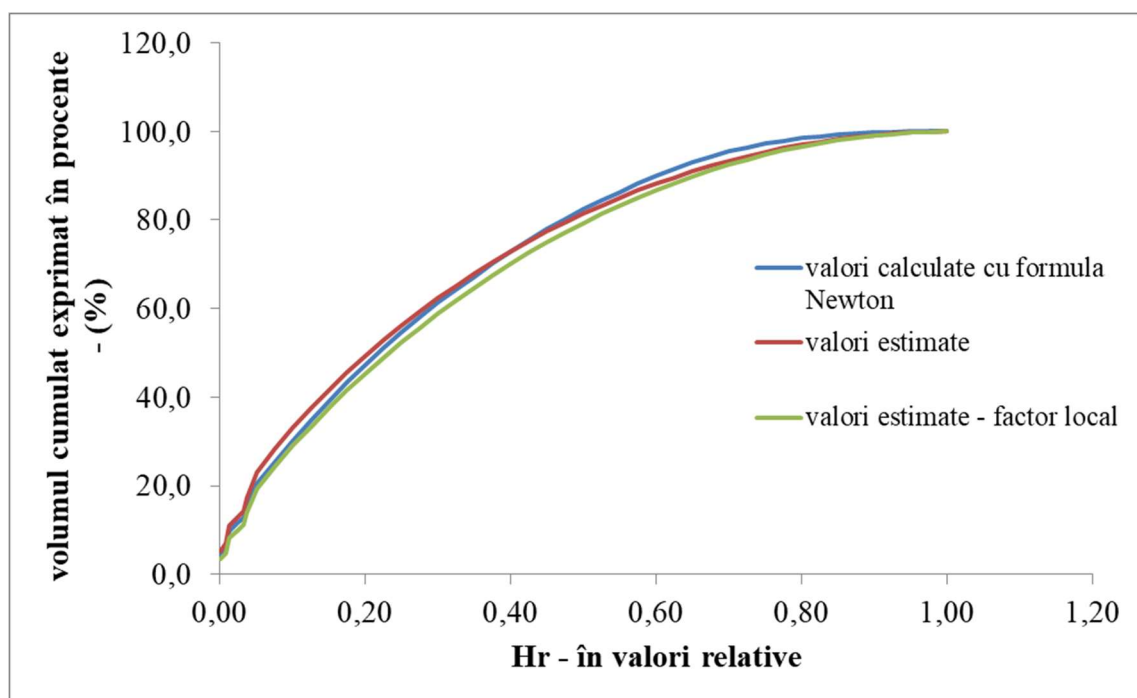


Fig. 12.4 Variația volumului cumulat, în procente, în funcție de înălțimea relativă pe fusul arborelui în funcție de valorile obținute cu formula Newton, ecuația (9.6) și ecuația (9.11)

Tabelul 12.2 Tabel local de cubaj calculat în baza coeficienților locali calculați pentru zona stuată.

Înălțimea (m)	diametrul de bază (cm)							
	6	8	10	12	14	16	18	20
	volumul (mc)							
6	0,007	0,012	0,018	0,026	0,035	0,046	0,059	0,072
7	0,008	0,013	0,021	0,030	0,041	0,054	0,068	0,084
8	0,009	0,015	0,024	0,035	0,047	0,062	0,078	0,096
9	0,010	0,017	0,027	0,039	0,053	0,069	0,088	0,108
10	0,011	0,019	0,030	0,043	0,059	0,077	0,098	0,121
11	0,012	0,021	0,033	0,048	0,065	0,085	0,107	0,133
12	0,013	0,023	0,036	0,052	0,071	0,093	0,117	0,145
13	0,014	0,025	0,039	0,056	0,077	0,100	0,127	0,157
14	0,015	0,027	0,042	0,061	0,083	0,108	0,137	0,169
15	0,016	0,029	0,045	0,065	0,089	0,116	0,146	0,181
16	0,017	0,031	0,048	0,069	0,094	0,123	0,156	0,193
17	0,018	0,033	0,051	0,074	0,100	0,131	0,166	0,205
18		0,035	0,054	0,078	0,106	0,139	0,176	0,217
19		0,037	0,057	0,082	0,112	0,147	0,185	0,229
20		0,039	0,060	0,087	0,118	0,154	0,195	0,241
21		0,040	0,063	0,091	0,124	0,162	0,205	0,253
22			0,066	0,095	0,130	0,170	0,215	0,265
23			0,069	0,100	0,136	0,177	0,225	0,277
24				0,104	0,142	0,185	0,234	0,289

25				0,108	0,148	0,193	0,244	0,301
26				0,113	0,154	0,201	0,254	0,313
27					0,159	0,208	0,264	0,325
28					0,165	0,216	0,273	0,337
29						0,224	0,283	0,349
30						0,231	0,293	0,362
31							0,303	0,374
32							0,312	0,386

13. Concluzii și contribuții personale

Aprofundarea și înțelegerea mult mai bună a teoriei clasice privind calculul volumului arborilor contribuie la îmbunătățirea înțelegerii teoriei formării formei fusului arborilor și implicit în identificarea de metode facile de estimare a volumului.

Formulele Huber, Smalian și Newton au dat rezultate bune pe probele analizate. Din analiza efectuată în această teză, pentru scopul și obiectivele stabilite a rezultat că formula propusă de Newton oferă calculul mai corect al volumului. Din rezultatele obținute în această teză a rezultat că formula lui Huber, care aseamănă fusul arborelui cu un trunchi de paraboloid poate fi considerată ca fiind cea mai ușor de aplicat în practică, având în vedere că necesită măsurarea unui singur diametru pe fusul secțiunii.

Din analiza efectuată a rezultat faptul că cu cât lungimea secțiunii măsurate este mai mare precizia de estimare a volumului scade, formulele prezentate nereușind să surprindă forma naturală al fusului.

Pentru a putea caracteriza variabilitatea formei fusului la molid a fost analizată examinată relația dintre exponentul formei (r), diametrul și înălțimea arborilor analizați. Astfel, s-au testat modele matematice obținându-se valori ale exponentului formei cuprinse între 1,9 și 2,5.

S-a constatat că există o variabilitate ridicată în cadrul fiecărei zone analizate. De asemenea, urmare a rezultatelor obținute s-a constatat că variabilitatea scade pe măsură ce numărul de arbori incluși în eșantion crește respectiv suprafața eșantionului crește. De asemenea, s-a constatat existența variabilității formei fusului între zonele studiate însă într-un interval de variație mult mai mic.

Din rezultatele obținute se poate constata faptul că modelele testate oferă rezultate satisfăcătoare în ceea ce privește descrierea profilului fusului cu excepția zonei bazale ($<1,3m$) unde erorile de estimare a profilului fusului sunt destul de mari.

Ecuatiile testate în acest studiu reușesc să surprindă destul de bine cele trei forme de bază care caracterizează forma fusului.

Modelul matematic analizat oferă o soluție simplă precisă de a studia și defini profilul și forma fusului.

Utilizarea ecuațiilor este foarte ușoară și permite aflarea diametrului în orice punct de pe lungimea fusului.

Ecuatii de regresie folosite pentru a genera forma fusului precum și pentru calcul volumului reprezintă evoluția de la modelele matematice simple utilizate prin procedeele Huber, Smalian și Newton la modele matematice complexe care pot fi implementate cu ajutorul aplicațiilor informatice și care permit atât o evaluare mult mai precisă a volumului dar și o generare a profilului fusului sau a bușteanului utilă în procesul de producție.

Contribuiții personale

Cercetările efectuate în prezenta teză de doctorat au adus următoarele contribuții originale:

- inițierea unei cercetări analitice privind folosirea ecuațiilor de regresie pentru a determina forma fusului pentru specia molid în județul Suceava.
- implementarea unei metodologii de culegere a datelor necesare pentru a studia forma fusului pentru specia molid în județul Suceava.
- testarea și analiza comparativă a modului în care evaluează volumul arborilor pentru specia molid ecuațiile clasice de calcul a volumului – Huber, Smalian, Newton, tabele de cubaj.
- testarea ecuațiilor privind curba înălțimilor pentru specia molid în județul Suceava.
- testarea ecuațiilor privind forma fusului pentru specia molid în județul Suceava.
- testarea ecuațiilor pentru calculul volumului pentru specia molid în județul Suceava.
- generarea unui tabel de cubaj local pentru specia molid în județul Suceava.
- am arătat faptul că există variabilitate în ceea ce privește forma fusului arborilor.
- am arătat că această variabilitate se transpune în forme diferite și volume diferite.
- am arătat că utilizarea unui singur set de coeficienți care să acopere suprafețe foarte mari sau unici la nivelul unei specii se transpun în erori în ceea ce privește calculul volumului.

Bibliografie

- Alder, D., 1978. Pymod: A forecasting model for conifer plantations in the tropical highlands of eastern Africa. In Fries, J., Burkhart, H. E. and Max, T. A., editors, Growth models for long term forecasting of timber yields, Blacksburg. Virginia Polytechnic Institute and State University
- Amidon, E.L., 1984. A general taper functional form to predict bole volume for five mixed-conifer species in California. *For. Sci.*, 30:166–171
- Anghelache S.C., Regresia liniară simplă, *Revista Română de Statistică* nr. 2/2006
- Avăcăriței, D., Sidor, C., 2007. Aspecte dendrometrice referitoare la forma trunchiului și volumul arborilor de gorun (*Quercus petraea* Matt. Liebl.). *RP*. 1:17-22
- Avery, T.E. and H.E. Burkhart, 2002. *Forest Measurements*. 5th ed. McGraw-Hill, New York, NY. 456 p. ISBN: 0073661767
- Barrio, M., Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez, J.G., Gadow, K., 2007. Merchantable volume system for pedunculate oak in northwestern Spain. *Ann. For. Sci.* 64: pp. 511-520
- Behre, C.E., 1923. Preliminary Notes on Studies of Tree Form. *Journal of Forestry*, 21: 507-511
- Bi, H., 2000. Trigonometric variable-form taper equations for australian eucalypts. *Forest Science*, 46(3):397-409
- Biging, G.S., 1984. Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *For. Sci.*, 30:1103–1117
- Brooks, J.R., Lichun J., Ramazan O., 2008, Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey, *For. Ecol. Mang.*, 256(1):147-151
- Bruce, D. and Max, T. A., (1990). Use of profile in tree volume estimation. In LaBau, V. J. and Cunia, T., editors, USDA Forest Service general technical report PNW-GTR, 213–227. Pacific Northwest Research Station
- Bruce, D., 1972. Notes: Some transformations of the Behre equation of tree form. *Forest Science*, 18(2):164–166
- Bruce, D., R.O. Curtis, and C. Vancoevering, 1968. Development of a System of Taper and Volume Tables for Red Alder. *Forest Science* 14:339-350
- Burkhart, H. and Tome, M., 2012. *Modeling Forest Trees and Stands*. Springer
- Calama R., Montero G., 2006. Stand and tree-level variability on stem form and tree volume in *Pinus pinea* L.: A multilevel random components approach. *Invest Agrar: Sist Recur For*, 15(1):24-41
- Cao Q., Wang J., 2011. Calibrating fixed- and mixed-effects taper equations. *Forest Ecology and Management*, 262:671–673
- Cao, Q.V., 2009, Calibrating a segmented taper equation with two diameter measurements, *Southern Journal of Applied Forestry*, 33(2):58-61
- Cao, Q.V., H.E. Burkhart, and T.A. Max. 1980. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *For. Sci.* 26:71-80
- Clark, A.III, R.A. Souter, and B.E. Schlaegel, 1991. Stem profile equations for southern tree species. USDA For. Serv. Res. Pap., SE-282
- Clark, J.F., 1902. Volume Tables and the bases on which they may be built. *Forestry Quarterly* 1:6-11
- Clutter, J.L., J.C. Fortson, L.V. Pienaar, G.H. Brister and R.L. Bailey, 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley & Sons, USA. 333 pp.

- Crecente-Campo, F., A. Rojo, and U. Dieguez-Aranda., 2009. A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. *Ann. For. Sci.*, 66:808-820
- Cruz de León, Gildardo, & Uranga-Valencia, Luisa P. (2013). Theoretical evaluation of Huber and Smalian methods applied to tree stem classical geometries. *Bosque (Valdivia)*, 34(3), 311-317.
- Decei, I., 1955. (și Armășescu, S.). RP 12
- Decei, I., 1957. Metode de cubaj și sortare pentru întocmirea actelor de punere în valoare. ICES. Editura Agro-Silvică, București
- Decei, I., Georgescu P., 1975. Cercetări privind determinarea volumului conținut în cioata și în rădăcini la molid, *Analele ICAS*, Volumul 33 (1): 105-110
- Demaerschalk JP, Kozak A., 1977. The whole-bole system: a conditioned dual equation system for precise prediction of tree profiles. *Can. J. For. Res.*, 7:488-497
- Demaerschalk, J.P., 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. *For. Sci.*, 18:241-245
- Demaerschalk, J.P., and A. Kozak, 1977. The whole-bole system: a conditioned dual- equation system for precise prediction of tree profiles. *Can. J. For. Res.*, 7:488-497
- Dieguez-Aranda U., Castedo-Dorado F., Álvarez-González J.G., and Rojo A., 2006. Compatible taper function for plantations in northwestern Spain. *Can. J. For. Res.* 36:1190-1205
- Eerikainen, K., 2001. Stem Volume Models with Random Coefficients for *Pinus Kesiya* in Tanzania, Zambia, and Zimbabwe. *Can. J. of For. Res.*, 31:879-888
- Fabrika, M. and Pretsch, H., (2011). Analiza a modelovanie lesnych ekosystemov. Technicka univerzita vo Zvolene, Zvolen
- Fang, Z., B.E. Borders, R.L. Bailey, 2000. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *Forest Science* 46(1):1-12
- Figueiredo-Filho, A., B.E. Borders, and K.L. Hitch, 1996. Number of Diameters Required to Represent Stem Profiles Using Interpolated Cubic Splines. *Can. J. of For. Res.*, 26:1113-1121
- Flewelling, J. W., Ernst, R. L. and Raynes, L. M., 2000. Use of three-point taper systems in timber cruising. In Hansen, M. and Burk, T., editors, *Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century*, pages 364–371. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station
- Forslundr, .R., 1982. A geometrical tree volume model based on the location of the centre of gravity of the bole. *Can. J. For. Res.*, 12:215-221
- Fuller, W.A., 1969. Grafted polynomials as approximating functions. *Aust J Agric Econ.*, 13:35-46
- Gallant, A. R. and W. A. Fuller, 1973. Fitting segmented polynomial regression models whose join points have to be estimated. *J. Am. Stat. Assoc.*, 68:144-147
- Garber, S.M., Maguire, D.A., 2003. Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures. *Forest Ecology and Management*, 179:507–522
- Giurgiu V., 1968. Bazele statistico-matematice ale unei metode analitice de întocmire a tabelelor de descreștere a diametrului fusului și a celor de sortare și cubaj cu ajutorul calculatoarelor electronice, *Analele ICAS*, Volumul 26 (1): 253-276
- Giurgiu V., 1975. Expresii matematice ale tabelelor dendrometrice românești, *Analele ICAS*, Volumul 33 (1):75-90
- Giurgiu, V., 1955. Metode grafice de cubaj. Editura Agro-Silvică. București, RP 6,7

- Giurgiu, V., 1968. Bazele statistico-matematice ale unei metode analitice de întocmire a tabelelor de descreștere a diametrului fusului și a celor de sortare și cubaj cu ajutorul calculatoarelor electronice. Editura silvica, Volumul 26 (1), 253-276
- Giurgiu, V., 1972. Curba de contur a fusului la principalele specii forestiere din R. S. România, Editura Ceres, București
- Giurgiu, V., 1979. Dendrometrie și auxologie forestieră, Editura Ceres, București
- Giurgiu, V., D. Drăghiciu, 2005. Modele matematico-auxologice și tabele de producție pentru arborete, Editura Ceres, București
- Giurgiu, V., I. Decei, 1997. Biometria arborilor din România – metode dendrometrice, Editura Snagov, București
- Giurgiu, V., I. Decei, D. Drăghiciu, 2004. Metode și tabele dendrometrice, Editura Ceres, București
- Giurgiu, V., I. Decei, S. Armășescu, 1972. Biometria arborilor și arboretelor din România, Editura Ceres, București
- Goodwin, A. N., 2009. A cubic tree taper model. Australian Forestry, 72(2):87-98
- Goulding, C. J. and Murray, J. C., (1976). Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. New Zealand Journal of Forest Science, 5:313– 322
- Gray H., 1956. The form and taper of forest tree stems. Oxford Imperial Forestry Institute, 32:79
- Grosenbaugh, L. R., 1966. Tree form: Definition, interpolation, extrapolation. The Forestry Chronicle, 424:444-457
- Heibel, I., 1928, Sven. Skogs-varvsfoeren. Tidskr. 3-4: 393 – 422. (A system of equation for determining stem form in pine)
- Hilt, D.E., 1980. Taper-based system for estimating stem volume of upland oaks. USDA For. Serv. Res. Pap., NE-458, 12 p.
- Horodnic, S., Zarojanu, D., 2002, Despre un model statistic al formei trunchiului arborilor de molid, în Lucrările sesiunii științifice “Pădurea și viitorul”, Universitatea „Transilvania” Brașov, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, 217-222
- Iacovlev, al., 1961. RP 2-3
- Ichim, R., 1968: Cercetări asupra preciziei metodelor de cubaj aplicate în arboretele de molid în raport cu variabilitatea formei arborilor. Teză de doctorat, I.P. Brașov
- Jiang L., Brooks J.R., and Hobbs G.R., 2007. Using crown ratio in yellow-poplar compatible taper and volume equations. North. J. Appl. For., 24:271-275
- Kitikidou, K. Chatzilazarou, G. , Estimating the sample size for fitting taper equations , Journal of Forest Science, 2008
- Korf, V., Hubac, K., Smelko, S. and Wolf, J., (1972). Dendrometrie. Statní Zemedelske Nakladatelství, Praha
- Koskela, L., T. Nummi, S. Wenzel, and V.P. Kivinen, 2006. On the analysis of cubic smoothing spline-based stem curve prediction for forest harvesters. Can. J. of For. Res. 36: 2909-2919
- Kozak A., 1998. Effects of upper stem measurements on the predictive ability of a variable-exponent taper equation. Can. J. For. Res., 28:1078–1083
- Kozak A., 2004. My last words on taper equations. For. Chron., 80:507– 514
- Kozak, A. 1997. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. Can. J. For. Res., 27:619-629
- Kozak, A., 1988. A variable-exponent taper equation. Can. J. For. Res., 18:1363-1368
- Kozak, A., D.O. Munro, and J.H.G. Smith, 1969. Taper functions and their application in forest inventory. For. Chron., 45:278-283
- Laasasenaho, J., 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Communications Instituti Forestalis Fenniae, 108:1–74

- Laasasenaho, J., T. Melkas, and S. Alden, 2005. Modeling bark thickness of *Picea abies* with taper curves. *For. Ecol. Manage.*, 206:35-47
- Lahtinen, A. and J. Laasasenaho, 1979. On the Construction of Taper Curves by Using Spline Functions. *Seloste: Runkokayran muodostaminen splini-funktiolla. Commun. Inst. For. Fenn.* 95(8):1-63
- Larson P.R., 1963. Stem form development of forest trees. *Forest Science Monographs*, 5:1–42
- Leahu, I., 1994. *Dendrometrie*, Editura Didactică și Pedagogică, București
- Lichun, J., 2007. An evaluation of modeling techniques for stem taper, volume and weight for yellow-poplar and red pine in West Virginia. Dissertation, Morgantown, West Virginia, pp. 111
- Liu, C.J., 1980. Log volume estimation with spline approximation. *For. Sci.*, 26(3): 361-369
- Loetsch, F., F. Zöhrer, and K.E. Haller, 1973. *Forest Inventory 2*. BLV. Verlagsgesellschaft, München. 469 p
- M.A.P.P.M., 2000. Norme tehnice pentru evaluarea volumului de lemn destinat comercializării
- Martin, A.J., 1981. Taper and Volume Equations for Selected Appalachian Hardwood Species. *Forest Service Research Paper NE-490*, 22 pages
- Martin, A.J., 1984. Testing volume equation accuracy with water displacement techniques. *For. Sci.*, 30(1):41-50
- Matte, L., 1949. The taper of coniferous species with special reference to loblolly pine. *The Forestry Chronicle*, 25(1):21–31
- McClure, J.P. and Czaplewski, R.L., 1986. Compatible taper equation for loblolly pine. *Can. J. For. Res.*, 16:1272-1277
- Methol, R.J., 2001. Comparisons of approaches to modelling tree taper, stand structure and stand dynamics in forest plantations. Ph.D.thesis. University of Canterbury. 298 pp.
- Mitscherlich, G., 1970. *Wald, Wachstum und Umwelt*. 1. Band: Form und Wachstum von Baum und Bestand. Frankfurt am Main, J. D. Sauerländer's Verlag: 144
- Muhairwe, C., 1993. Examinations and Modelling of Tree Form and Taper Over Time for Interior Max T.A. and Burkhart H.E., 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *For. Sci.*, 22:283–289
- Muhairwe, C.K., 1994. Tree form and taper variation over time for interior lodgepole pine. *Can. J. For. Res.*, 24: 1904-1913
- Muhairwe, C.K., 1999. Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the north coast in New South Wales, Australia. *For. Ecol. Manage.*, 113:251-269
- Musca, C. D., 2015, Regression equations for volume calculation at spruce, *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului Vol. XXV*, 2015
- Musca, C. D., 2017, Determining the size of the sample to collect the dendrometric elements required for generation the shape of spruce spindle, *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului Vol. XXIX*, 2017
- Musca, C. D., Nechita, C., 2016, A review of trend methods for calculating the tree volume. trends and new approaches, *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului Vol. XXVII*, 2016
- Musca, C. D., Nechita, C., 2016, Tree trunk shape analysis - classical geometry approach, *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului Vol. XXVII*, 2016
- Newnham, R.M., 1988. A variable-form taper function. *Can. For. Serv. Petawawa Natl. For. Inst. Inf. Rep.*, PI-X-83
- Newnham, R.M., 1992. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Can. J. For. Res.*, 22: 210-223. Rep.PI-X-83

- Oderwald, R. G., (1993). Individual tree taper equations fitted with laser measurements. In G. B. Wood, & H. V. Wiant (Eds.), *Modern methods of estimating tree and log volume*. Morgantown, WV: West Virginia University Publication Services
- Ormerod, D.W. A simple bole model. *Forestry Chronicle*, v.49, p.136-138, 1973.
- Ormerod, D.W., 1973. A simple bole model. *For. Chron.*, 49:136-138
- Ormerod, D.W., 1986. The Diameter-Point Method for Tree Taper Description. *Canadian Journal of Forest Res.* 16:484-490
- Peng, C., 2000. Growth and yield models for uneven-aged stand: Past, present and future. *Forest Ecology and management* 132 :259-279
- Perez, D. N., Burthart, H. E. and Stiff, C. T., 1990. Notes: A variable-form taper function for *Pinus oocarpa* Schiede in Central Honduras. *Forest Science*, 36(1):186–191
- Petersson, H., 1999. A segmented stem profile model for *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management* 124: 13-26. - doi: 10.1016/S0378-1127(99)00052-3
- Reed, D.D., and J.C. Byrne, 1985. A simple, variable form volume estimation system. *For Chron* 61:87-90
- Rodríguez, F., J. Peman , and A. Aunos, 2010. A reduced growth model based on stand basal area. A case for hybrid poplar plantations in northeast Spain. *For. Ecol. Manage.* 259: 2093–2102.
- Rojo, A., Perales, X., Sanchez-Rodriguez, F., Alvarez Gonzalez, J. and von Gadow, K., (2005). Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). *European Journal of Forest Research*, 124(3):177–186
- Rustagi, K. P. and Loveless Jr., R. S., (1991). Compatible variable-form volume and stem-profile equations for douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(2):143– 151
- Sevillano-Marco, E., A. Fernandez-Manso, and F. Castedodorado, 2009. Development and applications of a growth model for *Pinus radiata* D. Don plantations in El Bierzo (Spain). *Invest. Agr. Sist. Recur. For.* 18(1):64 – 80
- Sharma, M. and Oderwald, R. G., (2001). Dimensionally compatible volume and taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(5):797–803
- Sharma, M., and H.E. Burkhart, 2003. Selecting a level of conditioning for the segmented polynomial taper equation. *For. Sci.* 49(2):324 –330
- Sharma, M., and S.Y. Zhang, 2004. Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. *Can. J. For. Res.*, 198:39-53
- Teshome, T., 2005. A ratio method for predicting stem merchantable volume and associated taper equations for *cupressus lusitanica*, Ethiopia. *For. Ecol. Manage.*, 204:171-179
- Thomas, C. E., and Parkesol , B. R., 1991. Simple, flexible, trigonometric taper equations. *Can. J. For. Res.*, 21:1132-1137
- Toma, G. T., 1940. Tabele de cubaj și coeficienți de formă pentru molidul din munții Călimani. *Analele I.C.E.F.*, vol. VI
- Trincado, G. and Burkhart, H. E., (2006). A generalized approach for modeling and localizing stem profile curves. *Forest Science*, 52(6):670–682
- Vaisanen, H., Kellomaki, S., Oker-Blom, P. and Valtonen, E.,(1989). Structural development of *pinus sylvestris* stands with varying initial density: A preliminary model for quality of sawn timber as affected by silvicultural measures. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 4(1-4):223–238
- Valentine H.T. and Gregoire T.G., 2001. A switching model of bole taper. *Can. J. For. Res.*, 31: 1400–1409
- Walters, D.K. and D.W. Hann, 1986. Taper equations for six conifer species in southwest Oregon. Oregon State University, Forest Research Laboratory, Corvallis, Oregon. *Research Bulletin*, 36p.
- West, P.W., 2004. *Tree and Forest Measurement*. Springer–Verlag. Berlin

Westfall, J. A. and Scott, C.T., 2010. Taper models for commercial tree species in the Northeastern United States. *Forest Science*, 56(6):515-528

Articole publicate

- Musca, C. D., 2015, Regression equations for volume calculation at spruce, Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului Vol. XXV, 2015
- Musca, C. D., 2017, Determining the size of the sample to collect the dendrometric elements required for generation the shape of spruce spindle, Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului Vol. XXIX, 2017
- Musca, C. D., Nechita, C., 2016, A review of trend methods for calculating the tree volume. trends and new approaches, Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului Vol. XXVII, 2016
- Musca, C. D., Nechita, C., 2016, Tree trunk shape analysis - classical geometry approach, Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului Vol. XXVII, 2016