



**Universitatea
Transilvania
din Braşov**

TEZĂ DE ABILITARE

**Implicații ale modului de măsurare a caracteristicilor
dendrometrice asupra preciziei volumului arborilor și
arboretelor estimat prin metode matematice**

Domeniul: SILVCULTURĂ

dr. ing. Maria Magdalena VASILESCU

Universitatea Transilvania din Braşov

BRAȘOV, 2020

CUPRINS

(A) Summary	3
(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	6
(B-i) Realizări științifice și profesionale	6
1. Introducere.....	6
1.1. Aspecte generale.....	6
1.2. Lucrări științifice pe baza cărora a fost elaborată teza de abilitare	8
2. Precizia măsurării caracteristicilor dendrometrice, factor determinant al mărimii erorilor de estimare a volumului arborilor.....	10
2.1. Aspecte privind măsurarea diametrelor	10
2.1.1. Provocări tehnologice în măsurarea diametrelor.....	10
2.1.1. Implicații ale utilizării dendrometrului Criterion RD 1000 în estimarea volumului părții inferioare a fusului arborilor pe picior	11
2.1.2. Clupa laser, opțiune preferată în măsurarea diametrelor de-a lungul fusului arborilor pe picior	20
2.2. Aspecte privind măsurarea înălțimii arborilor.....	22
2.2.1. Precizia de măsurare a înălțimii arborilor și importanța acesteia	22
2.2.2. Eroarea standard de măsurare a înălțimii cu instrumentul Vertex, estimată prin metode nedistructive	23
2.2.3. Abateri absolute la măsurarea înălțimii cu instrumentul Vertex, estimate prin metode distructive.....	26
3. Particularități privind forma fusului.....	30
3.1. Coeficientul de formă – indicator al formei arborilor.....	30
3.1.1. Indicatori statistici ai coeficientului de formă	30
3.1.2. Variația coeficientului de formă la exemplare de molid	31
3.2. Profilul și curba de contur a fusului, variante de succes în estimarea volumului arborilor	34
3.2.1. Profilul longitudinal al fusului arborilor, informație înmagazinată și importanță .	34
3.2.2. Fundamente metodologice ale curbei de contur a fusului	38

3.3. Diametrul median al ariei secțiunii longitudinale a fusului arborelui, semnificații și metode de estimare	43
4. Influențe metodologice asupra preciziei de estimare a volumului lemnului rotund.....	52
4.1. Analiza critică a legislației referitoare la cubajul pieselor de lemn rotund, în context științific	52
4.1.1. Estimarea volumului pieselor de lemn rotund	52
4.1.2. Analiza reglementărilor legislative privind cubajul pieselor de lemn rotund.....	55
4.1.3. Influența lungimii tronsoanelor în estimarea volumului pieselor de lemn rotund .	61
4.2. Impactul lungimii tronsoanelor asupra volumului fusului întreg	63
4.3. Modele matematice pentru estimarea volumului arborilor pe picior.....	71
4.3.1 Estimarea volumului în funcție de diametrul de bază și înălțimea arborilor.....	71
4.3.2 Modele matematice pentru estimarea volumului arborilor în funcție de diametrul median al profilului fusului	75
5. Influențe metodologice asupra preciziei de estimare a volumului arboretului.....	89
5.1. Impactul erorii de măsurare a înălțimii arborelui asupra volumului arboretului estimat cu metoda seriilor de volume relative.....	89
5.2. Pierderile de volum și consumurile tehnologice, argumente științifice ale reducerii volumului rezultat din exploatare.....	98
(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	106
1. Introducere	106
2. Experiența profesională	106
3. Dezvoltarea carierei universitare	112
(B-iii) Bibliografie	116

(A) Summary

The habilitation thesis, entitled “Implications of the measurement of tree size characteristics on the accuracy of trees and stand volume estimated by mathematical methods”, gives a synthesis of the academic achievements of the author in the forest sciences during the post-doctoral stage.

The first chapter describes the author’s main research directions placed in the context of new developments in the forestry-related measuring tools and of the recent requirements related to tree volume estimation. Errors in the measurement of the tree diameter and height are the most important inaccuracy sources when developing tree and forest stand volume estimates. In addition, mathematical models which are used to estimate different variables of the tree size are incurring errors which are brought by the variability in shape of the trees. As such, the chapter describes the author’s achievements on this topic based on the latest published papers and unpublished results of ongoing studies.

The second chapter takes a closer look at the measurement accuracy of the tree size variables and describes these topics in two subchapters. Since the capabilities of measuring diameters in the upper stem tree parts have been recently enhanced, two of the state-of-art instruments able to measure the trees’ diameters along the stem (laser dendrometer and caliper with laser pointers) are analyzed in the view of measured variables and produced errors (subchapter 2.1). Based on the outcomes of these studies, a careful use of the Criterion ® RD 1000 ® is recommended when measuring diameters in the upper tree parts as a measure to overcome inaccuracy in the volume estimates. The results also emphasize the usefulness of the Mantax Black ® calipers equipped with Gator Eyes ® which should be preferred if combined with an additional instrument to support height measurements. To evaluate the accuracy of height measurement based on ultrasound technology, non-destructive and destructive methods were used based on two separate studies (subchapter 2.2). The aim of the first study was to estimate the standard error of tree height measurement using a Vertex III ® instrument in optimal conditions. This approach enabled the separation of the error caused by the accuracy of the line-of-sight. The results are based on a number of 104 independent measurements taken on a sample of 3 trees and they revealed that the line-of-sight error due to the inter-user variability was in range of 0.2-0.3 m when aiming by measurement at the top of the tree. The second study estimated the height measurement errors brought by the use of a Vertex IV ® instrument and it was based on control data which was collected on 145 Silver fir (*Abies alba* Mill.) and 138 Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst)

felled trees. The results showed that 71.03% of the silver fir trees and 59.42% of the Norway spruce trees were measured with height errors less than 1 m, while for 23.45% of the silver fir trees and for 32.61% of the Norway spruce trees, respectively, the height was either underestimated or overestimated by 1-2 m.

The third chapter introduces the median diameter of the stem profile as a way of describing the shape of the tree stem and as a particular stem diameter to be used in taper and volume equations. A novel, more rapid method to get the median diameter using the area of the stem profile was proposed. A total of 218 height/diameter classes from 5,403 spruce trees were used to compute the median diameter using the classical method. In parallel, a regression model to estimate the median diameter was developed. The strongest predictor of the median diameter of the stem profile was the diameter at the breast height ($R^2 = 0.9985$). Statistical analysis revealed that the location of the median diameter on the stem profile was at $0.3 \cdot h$ (tree height). The model was validated on standing and felled trees, revealing that differences between classical estimations and the proposed model were less than 2% in most cases (86.24% of trees). The median diameter of the stem profile provides valuable information on the architecture of forest stands that could help in advancing our understanding on the mechanical stability of Norway spruce trees (*i.e.*, delineating breakage point), growth model predictions, and competition among trees.

In the fourth chapter, the author has provided arguments for the need of harmonizing the regulations that include details for the volume estimation of the round wood in Romania. Disagreement between some regulations regarding the standardized information flow in the SUMAL system, the flow and marketing of wood, and methods used to estimate the volume of wood before harvesting, is highlighted in order to improve the law accuracy. The author recommended some addendums to the laws on the round wood inventory based on references from the forestry literature, and also on the development of studies to estimate the standard error of round wood measuring and volume estimation. The chapter provides evidence of the influence of the section length in estimating the volume of samples of round wood and tree stems, respectively, by using the Huber's formula. Introducing terms and limitations for the round wood volume estimation provides both economic operators and control staff, the possibility of reducing forestry contentious situations. Moreover, a new equation for volume estimation of tree stems was developed using median diameter of stem profile. This work is based on the volume equation for solids of revolution defined originally by Mathiesen in 1925. The study is based on previously published data for more than 5000 Norway spruce

trees from Romania grouped in 218 height/diameter categories. For each of these categories, median diameter and area of stem profile, as well as volumes by Mathiesen's formula and Huber's formula were computed. The volume equation was obtained using quick methods for determining the median diameter and the area of stem profile. The proposed model provides more accurate results than the original equation developed by Mathiesen. Furthermore, it allowed the development of an easy-to-use equation aiming to predict the over-bark stem volume, based on the median diameter of stem profile.

The effects of the method and tree height errors on the stand volume are presented in fifth chapter. The method of relative volumes was applied for 20 samples of trees including a total number of 341 silver fir trees and 348 Norway spruce trees. In this study, the influence of the mean height error on the mean volume, which is the key of the forest stand's volume accuracy, was simulated for both species. In order to explain the differences between the wood volume estimates of standing and felled (extracted) trees, the losses related to harvesting technology were emphasized.

The last part of the thesis presents the author's academic evolution and the academic development plan which are supported by a brief presentation of the professional evolution from the graduation of the faculty to the present and, also, of the expected evolution directions of the professional activities in research and teaching.

(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei**(B-i) Realizări științifice și profesionale****1. Introducere****1.1. Aspecte generale**

În ultimele două decenii piața instrumentelor forestiere s-a dezvoltat continuu, aproape anual înregistrându-se modele sau versiuni noi de instrumente utile pentru măsurarea caracteristicilor dendrometrice. Cele mai multe dintre acestea operează cu tehnologia laser sau se bazează pe ultrasunete, iar unele au încorporate sisteme de înregistrare electronică a datelor. Treptat, instrumente considerate astăzi clasice (de exemplu dendrometrul românesc cu pendul) au fost înlocuite cu produse care, în general, oferă posibilități mai bune de vizare și de citire. Creșterea continuă a ofertei privind instrumentele forestiere a provocat specialiștii din domeniu pentru o mai bună cunoaștere a modelelor noi recomandate pentru măsurarea diametrelor (Rodriguez et al., 2014; McCaffery et al., 2015), respectiv pentru măsurarea înălțimii arborilor (Wang et al., 2019). În acest context, autoarea tezei de abilitare a studiat erorile care se produc în practică la măsurarea înălțimii arborilor prin utilizarea instrumentelor Vertex III și Vertex IV (Haglöf Inc., Langsele, Sweden) bazate pe tehnologia ultrasunetelor. La început, erorile au fost estimate prin metode nedistructive (Vasilescu, 2013a), iar recent au fost publicate rezultatele parțiale ale unui studiu în care analiza s-a realizat prin metode distructive (Vasilescu, 2020). Precizia de măsurare a diametrelor cu ajutorul clupeii forestiere obișnuite este considerată astăzi un subiect cunoscut. De aceea, autoarea a urmat tendințele actuale de studiu al erorilor care se înregistrează la măsurarea diametrelor de-a lungul fusului la arbori pe picior cu instrumente care au astfel de funcții. Într-un studiu deja publicat (Vasilescu și Tereșneu, 2019) au fost analizate erorile de măsurare a diametrelor de-a lungul fusului cu instrumentul Criterion RD 1000 (Laser Technology Inc., Colorado, S.U.A.) și efectul acestora în estimarea volumului lemnului gros la exemplare de fag. În plus, autoarea analizează posibilitățile de utilizare a clupeii cu facicule laser pentru măsurarea diametrelor de-a lungul fusului la arbori pe picior, iar rezultate parțiale au fost publicate în anul 2020 în cartea de specialitate „Fundamente dendrometrice. Teorie și aplicații practice“.

Având în vedere faptul că precizia de estimare a volumului arborilor depinde de acuratețea măsurării caracteristicilor dendrometrice cu care operează modelele matematice, dar și de variația formei arborilor, autoarea a abordat în activitățile de cercetare problematica formei fusului. Pornind de la o noțiune introdusă de Mathiesen (1925), Vasilescu et al.

(2017a) au elaborat o metodă rapidă de estimare a diametrului median al ariei secțiunii longitudinale a fusului la specia molid. Rezultatele au fost publicate în revista *iForest-Biogeosciences and Forestry*, indexată în baza de date Web of Science (Q2). Autorii consideră ca diametrul median al profilului fusului și modelul de estimare elaborat pentru specia molid pot schimba perspectiva asupra structurii arboretelor, competiției între arbori, rezistenței arborilor la rupturi și doborâturi de vânt, respectiv asupra modelelor de creștere. Totodată, Vasilescu et al. (2017b) au elaborat o ecuație nouă pentru estimarea volumului arborilor de molid, care utilizează ca variabilă diametrul median al profilului fusului. Studiul a fost publicat în revista *Baltic Forestry*, indexată în baza de date Web of Science (Q4).

În contextul discuțiilor apărute la nivel național pe tema introducerii unor toleranțe la estimarea volumului pieselor de lemn rotund și a volumului arborilor pe picior, autoarea tezei de abilitare s-a implicat în formularea unor răspunsuri argumentate științific către Ministerul Apelor și Pădurilor și către Asociația Forestierilor din România (ASFOR). Aceste solicitări au fost punctul de plecare pentru studiul privind influența lungimii tronsoanelor în estimarea volumului pieselor de lemn rotund (Vasilescu, 2017). Mai mult, autoarea tezei de abilitare a analizat reglementările legislative privind cubajul pieselor de lemn rotund, subliniind necesitatea armonizării și completării acestora. De exemplu, autoarea a menționat că dimensiunile și volumele indicate în avizele de însoțire reprezintă valorile estimate \pm eroarea standard de determinare a acestora, iar pentru implementarea în cadrul unor acte normative a toleranțelor admisibile la măsurarea și cubarea lemnului rotund este necesară elaborarea unor studii în acest sens.

În perioada octombrie 2018 - martie 2020 autoarea tezei de abilitare împreună cu conf. dr. ing. Florin Dinulică și prof. dr. ing. Stelian Alexandru Borz a coordonat un proiect de cercetare cu tema „Estimarea abaterilor volumetrice rezultate din evaluarea masei lemnoase pe picior și evaluarea masei lemnoase după recoltarea arborilor la speciile molid și brad cu evidențierea consumurilor tehnologice pe operații specifice“ care răspunde cerințelor actuale din domeniul forestier. Estimarea abaterilor volumetrice a avut la bază, pe de o parte, documente oficiale constând în acte de punere în valoare și rezultatul exploatării ca sinteză a avizelor de însoțire întocmite la transportul masei lemnoase aferente fiecărui parchet, supuse restricțiilor SUMAL (sistemul informațional integrat de urmărire a masei lemnoase). Pe de altă parte, au fost efectuate inventarieri în 20 de șantiere de exploatare, în vederea estimării abaterilor volumetrice la nivel total și la nivelul sortimentelor lemn de lucru și lemn de foc, produse de metoda seriilor de volume relative aprobată pentru evaluarea volumului arborilor

pe picior la întocmirea actului de punere în valoare a masei lemnoase (APV) și de metoda de evaluare a volumului lemnului rotund aplicată după doborârea arborilor și după fasonarea sortimentelor, în conformitate cu precizările impuse la întocmirea avizelor de însoțire.

1.2. Lucrări științifice pe baza cărora a fost elaborată teza de abilitare

Teza de abilitare are la bază 2 articole științifice publicate în reviste indexate Web of Science, 4 articole științifice publicate în reviste de specialitate și volume ale conferințelor internaționale indexate în baze de date internaționale, o carte științifică publicată la o editură națională, recunoscută CNCS și un raport de cercetare științifică rezultat prin derularea unui proiect de cercetare, după cum urmează:

1. **Vasilescu MM** (2020). Fundamente teoretice. Teorie și aplicații practice. Editura Universității Transilvania din Brașov, Brașov, 203 p.
2. **Vasilescu MM**, Dinulică F & Borz SA (2020). Estimarea abaterilor volumetrice rezultate din evaluarea masei lemnoase pe picior și evaluarea masei lemnoase după recoltarea arborilor la speciile molid și brad cu evidențierea consumurilor tehnologice pe operații specifice. Raport aferent contractului de cercetare științifică nr. 9168/20.07.2018
3. **Vasilescu MM & Tereșneu CC** (2019). Estimating the volume of lower stem-wood on standing beech trees using telemetry and dendrometric tables: a comparison. In: Proceedings of the Biennial International Symposium "Forest and sustainable development", Brașov, Romania, 25-27 October 2018, Transilvania University Press, pp. 83-92.
4. **Vasilescu MM** (2017). Harmonization of the regulations for the volume estimation of the round wood-a priority of the forestry sector. Revista Pădurilor 132(2):11-21.
5. **Vasilescu MM**, Tereșneu CC & Dinulică F (2017a). A rapid method for estimating the median diameter of the stem profile of Norway spruce (*Picea abies* Karst) trees. iForest 10(1): 328.
6. **Vasilescu MM**, Tereșneu CC, Dinulică F, Borz SA & Popa B (2017b). A new stem volume equation for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) trees in Romania. Baltic For. 23(3): 626-635.
7. **Vasilescu MM** (2013a). Standard error of tree height using Vertex III. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II, 6(2):75-80.

8. **Vasilescu MM** (2013b). The relative level of median diameter on the longitudinal section of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) stem. In: Proceedings of the Biennial International Symposium, "Forest and Sustainable Development", Braşov, Romania, 19-20th October 2012. Transilvania University Press, Braşov, pp.129-132.

2. Precizia măsurării caracteristicilor dendrometrice, factor determinant al mărimii erorilor de estimare a volumului arborilor

2.1. Aspecte privind măsurarea diametrelor

2.1.1. Provocări tehnologice în măsurarea diametrelor

Uneori, în studii de cercetare, în cazul arborilor pe picior este necesară măsurarea unor diametre de-a lungul fusului pentru care clupa clasică poate fi utilizată numai în condițiile existenței unui personal specializat cu echipament pentru cățărare. Pentru evitarea pericolelor de accidentare care pot să apară în astfel de situații, au fost concepute instrumente care permit măsurarea indirectă a diametrelor.

Printre cele mai recente instrumente care pot fi utilizate pentru măsurarea de la sol a diametrelor secțiunilor situate la înălțimi mai mari față de baza arborelui, pot fi amintite clupa cu fascicule laser Mantax Black echipată cu Gator Eyes (Haglöf Inc., Langsele, Sweden) (figura 1 a) și dendrometrul Criterion RD 1000 (Laser Technology Inc., Colorado, S.U.A.) (figura 1 b) bazat pe tehnologia laser.



a)



b)

Figura 1. Măsurarea indirectă a diametrelor - a) cu ajutorul clupei Mantax Black echipată cu Gator Eyes, produsă în Suedia; b) cu ajutorul dendrometrului Criterion RD 1000 produs în S.U.A.

În cazul în care pentru măsurarea diametrelor de-a lungul fusului se utilizează clupa cu fascicule laser, este nevoie și de utilizarea unui instrument pentru măsurarea înălțimii. Fasciculele laser se observă cu greu în situația în care fusul este expus razelor solare, iar obstacolele întâlnite de fascicule împiedică măsurarea diametrelor din unele poziții ale operatorului, precum și măsurarea diametrelor pe porțiunea din fus unde coroana este bine dezvoltată.

Pentru măsurarea diametrelor la înălțimi superioare cu ajutorul dendrometrului Criterion RD 1000 este necesar și un al doilea instrument pentru determinarea distanței reduse la orizont între operator și arborele supus măsurării.

În ambele situații, fusul arborelui trebuie să fie vizibil de la locul de măsurare, iar operatorul trebuie să se poziționeze la o distanță cel puțin egală cu înălțimea locului de măsurare.

Metode de măsurare de acest tip permit aplicarea unor soluții nedistructive de estimare a formei și volumului arborilor pe picior. De exemplu, forma arborelui poate fi reprodusă detaliat utilizând date bazate pe tehnica LiDAR, după cum au arătat Heinzl și Huber (2017), iar volumul poate fi estimat cu ajutorul mărimii caracteristicilor dendrometrice astfel determinate. În plus, datele de rezoluție scăzută colectate cu ajutorul echipamentelor de scanare laser terestră pot fi efectiv utilizate pentru reconstituirea fusului arborilor (Kelbe et al., 2015) și prelucrate în sensul estimării volumului fusului. Alte metode de măsurare a caracteristicilor arborilor pe picior necesare estimării volumului se bazează pe fotografiile de înaltă rezoluție (Brownlie et al., 2007; Câmpu și Ciubotaru, 2009) sau pe imagini stereoscopice, așa acum au arătat recent Rodríguez-García et al. (2014). În același timp, a crescut utilizarea dendrometrelor laser pentru a colecta datele dendrometrice necesare estimării volumului arborilor pe picior, ca metodă nedistructivă. De exemplu, Criterion RD 1000 (Laser Technology Inc.) este folosit în mod curent pentru diverse scopuri precum producerea de ecuații ale curbei de contur pentru arborii cu labărățare (Cushman et al. 2014), evaluarea calității lemnului și studiul profilului longitudinal al arborilor pe picior (Hevia et al., 2016), elaborarea de ecuații alometrice care permit estimarea volumului suprateran al arborilor pe picior (Yoon et al., 2013; Kim și Lee, 2016). Aceste metode sunt uneori combinate sau utilizate împreună pentru estimarea volumului arborilor pe picior și validarea rezultatelor. Mai mult, metode nedistructive de tipul celor care utilizează dendrometrul laser sunt folosite, de asemenea, în combinație cu imagini terestre fotogrametrice pentru a modela neregularitatea formei fusului arborilor și pentru a estima biomasa în funcție de diametrul măsurat la înălțimea de 13 m (Bauwens et al., 2017).

2.1.1. Implicații ale utilizării dendrometrului Criterion RD 1000 în estimarea volumului părții inferioare a fusului arborilor pe picior

2.1.1.1. Erori determinate de subiectivismul operatorului la construirea vizei la baza arborelui și de imperfecțiunea realizării tangenței în cazul utilizării dendrometrului Criterion RD 1000

- **Material și metodă de cercetare**

În cazul în care s-a determinat cu precizie distanța de la operator la arbore, erorile la măsurarea diametrelor de-a lungul fusului cu ajutorul instrumentului Criterion RD 1000 sunt

date de modul în care s-a construit viza la baza arborelui și de modul în care s-a realizat tangența între reperatele instrumentului și trunchiul arborelui. Pentru cuantificarea acestor erori s-a realizat un experiment (Vasilescu, 2020) prin care operatorul a măsurat de la distanța de 13 m față de arbore diametrele de la înălțimile de 1 m, 3 m, 5 m și 7 m față de sol (figura 2).



Figura 2. Înălțimile de măsurare pe arborele studiat

Au fost realizate 10 măsurători independente pentru fiecare diametru. Totodată, la aceleași nivele stabilite independent și marcate prin semne vizibile (figura 2), diametrele au fost măsurate și în mod direct cu o clupă clasică având gradații milimetrice. Pentru determinarea acestor valori, considerate reale, au fost utilizate echipamente de cățărare.

- **Rezultate și discuții**

Se observă că media diametrelor măsurate (figura 3) cu instrumentul bazat pe tehnologia laser Criterion RD 1000 este apropiată de valoarea reală în cazul nivelului de 1m (diferența înregistrată a fost de -0,54 cm). La toate celelalte înălțimi la care diametrul a fost măsurat, media valorilor citite diferă cu 4,22 cm la 3 m înălțime, 3,45 cm la 5 m și 4,28 cm la înălțimea de 7 m. Rezultă, așadar, că în situații care cer măsurarea diametrului la înălțimi mai mari față de sol, instrumentul Criterion RD 1000 poate fi utilizat numai dacă se urmărește cunoașterea cu aproximație a diametrului. Pentru măsurători de precizie, pentru elaborarea

bazelor de date necesare la modelarea matematică a formei fusului, instrumentul nu oferă cele mai bune rezultate.

Instrumentul Criterion RD 1000 afișează, pe lângă diametrele la înălțimi superioare, și nivelul de măsurare. Rezultatele prezentate mai sus au avut la bază identificarea nivelului de măsurare cu funcția de stabilire a înălțimii, încorporată în instrument. Experiența de lucru cu acest instrument a arătat că nivelul indicat de instrument diferă mult de cel real, în special la înălțimi mai mari față de sol.

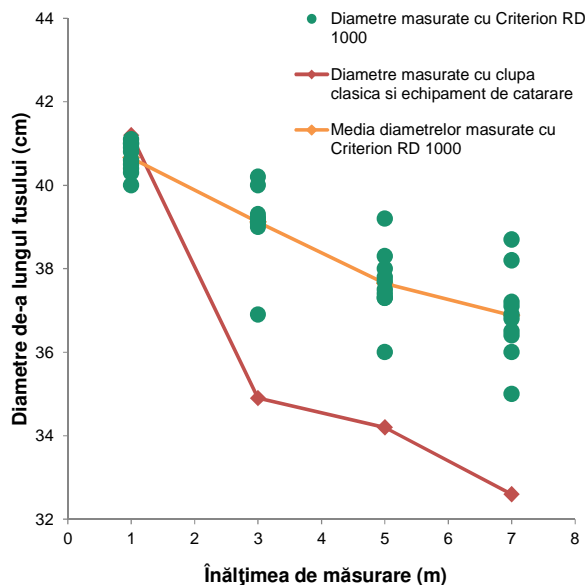


Figura 3. Prezentare comparativă a 10 valori ale diametrelor măsurate cu dendrometrul Criterion RD 1000 la înălțimile față de sol de 1 m, 3 m, 5 m și 7 m și a diametrului măsurat la aceleași nivele cu clupa clasică, folosind echipament pentru cățărare

Prin ignorarea înălțimii indicate de instrument și construirea vizelor direct la semnele de pe arbore care marchează înălțimile reale de 1 m, 3 m, 5 m și 7 m, au rezultat valori ale diametrelor măsurate pentru aceleași secțiuni (figura 4). Și în acest caz, media diametrelor măsurate cu instrumentul Criterion RD 1000 este apropiată de valoarea reală la nivelul de 1m (diferența înregistrată a fost de 0,15 cm). La toate celelalte înălțimi la care diametrul a fost măsurat, media valorilor citite diferă cu 3,71 cm la 3 m înălțime, 3,57 cm la 5 m și 5,21 cm la înălțimea de 7 m. În ciuda corecției aduse la stabilirea nivelului de măsurare, rămân erori semnificative la măsurarea diametrelor la înălțimi superioare pe fusul arborelui.

În cazul măsurării unei singure valori pentru un diametru la un nivel superior pe fusul arborelui, eroarea realizată poate fi mai mare decât abaterea indicată mai sus. Până în acest moment nu se cunosc modalități de corectare sau eliminare a erorilor generate de utilizarea

instrumentului Criterion RD 1000 la măsurarea diametrelor la înălțimi superioare de-a lungul fusului. Totuși, unii autori (Nicoletti et al., 2015; Westfall et al., 2016) restrâng utilizarea instrumentului până un nivel limită la care se produc erori acceptate pentru scopul urmărit.

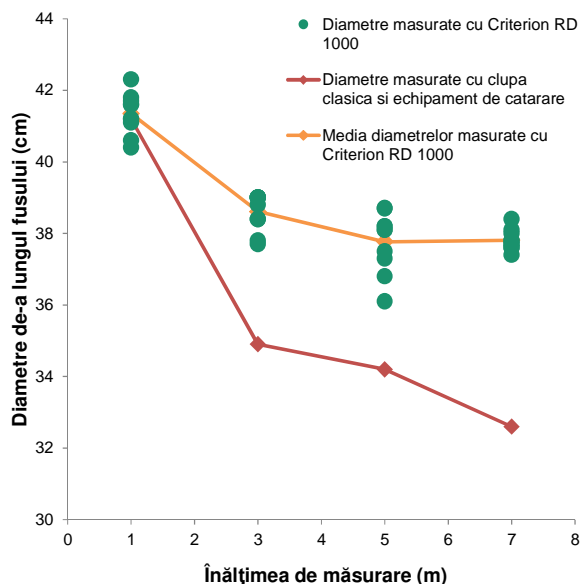


Figura 4. Prezentare comparativă a 10 valori ale diametrelor măsurate cu dendrometrul Criterion RD 1000 la înălțimile față de sol de 1 m, 3 m, 5 m și 7 m determinate independent, ignorând funcția pentru înălțime a instrumentului, și a diametrului măsurat la aceleași nivele cu clupa clasică, folosind echipament pentru cățărare

Nicoletti et al. (2015) au arătat că instrumentul Criterion RD 1000 a produs erori medii de aproximativ 1 cm la măsurarea diametrelor de-a lungul fusului până la înălțimea de 8 m. De asemenea, Cushman et al. (2014) au menționat precizia de aproximativ 1 cm la utilizarea aceluiași instrument pentru colectarea diametrelor necesare producerii ecuațiilor curbei de contur. Comparând cu alte instrumente, McCaffery et al. (2015) au arătat că Impulse Laser Rangefinder echipat cu reper fix conduce la rezultate mult mai bune decât Impulse Laser Rangefinder și Criterion RD 1000 echipate cu repere ajustabile.

Nu este de neglijat faptul că erorile la măsurarea diametrelor de-a lungul fusului cu ajutorul instrumentelor bazate pe tehnologia laser afectează precizia de estimare a volumului (Vasilescu și Tereșneu, 2019). Pe baza diametrelor secțiunilor situate la înălțimile de 0,8, 1,3 și 1,8 m deasupra solului, Vasilescu și Tereșneu (2019) au arătat că eroarea medie pătratică la măsurarea diametrelor a fost de 1,27 cm, dacă se compară valorile cu cele rezultate prin măsurarea cu ajutorul clupei, păstrând direcția de măsurare. Eroarea medie pătratică la măsurarea diametrelor a fost de 1,79 cm la compararea valorilor cu cele rezultate din media a

două diametre măsurate cu clupa pe direcții perpendiculare. În ultimul caz, eroarea a fost mai mare pentru că aceasta include și abaterea formei secțiunii transversale față de forma circulară, prin măsurarea unui singur diametru. La înălțimile de 0,8, 1,3 și 1,8 m față de sol, prin măsurarea în mod tradițional și cu ajutorul tehnologiei laser, abaterea medie la determinarea diametrului fusului cu instrumentul Criterion RD 1000 a fost de 0,95, 0,91, respectiv 1,03 cm (Vasilescu și Tereșneu, 2019).

2.1.1.2. Erori determinate de înălțimea de măsurare și de distanța între operator și arbore în cazul utilizării dendrometrului Criterion RD 1000

- **Material și metodă de cercetare**

În cadrul aceluiași experiment descris la punctul 2.1.1.1, a fost monitorizată înălțimea (Vasilescu, 2020) indicată de instrumentul Criterion RD 1000 atunci când este utilizat la măsurarea diametrelor la înălțimile de 1 m, 3 m, 5 m și 7 m, marcate prin semne vizibile pe fusul arborelui.

- **Rezultate și discuții**

Astfel, s-a constatat că instrumentul supraestimează nivelul de măsurare (figura 5) (Vasilescu, 2020).

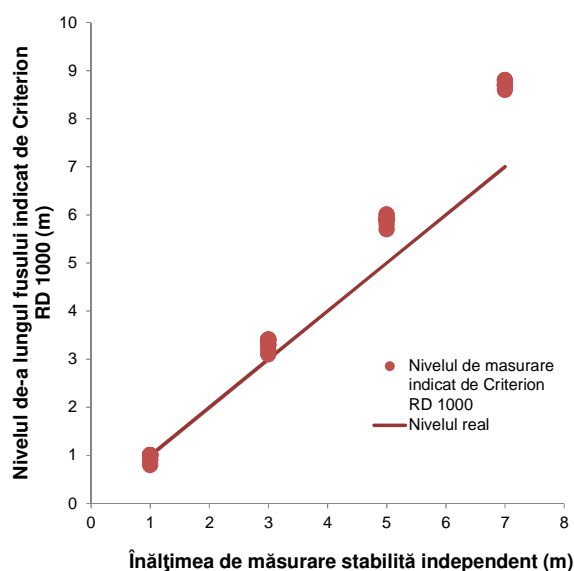


Figura 5. Supraestimarea nivelului de măsurare cu dendrometrul Criterion RD 1000 la măsurarea diametrelor prin vizarea la repere marcate la înălțimile față de sol de 1 m, 3 m, 5 m și 7 m

De exemplu, din media a 10 citiri a rezultat că nivelul de 1 m a fost subestimat cu 0,04 m, iar nivelul de 3 m a fost supraestimat cu 0,32 cm. Înălțimile indicate de instrument prin vizarea la reperul marcat la 5 m au condus la o supraestimare a nivelului cu 0,89 m, iar la 7 m nivelul a fost supraestimat cu 1,71 m.

Așa cum s-a arătat, utilizarea instrumentului Criterion RD 1000 pentru măsurarea diametrelor corespunzătoare unor secțiuni situate la înălțimi mari față de sol, atrage producerea unor erori considerabile, direct proporționale cu nivelul de măsurare. Westfall et al. (2016) au cercetat incertitudinea estimării diametrelor prin măsurarea cu instrumentul Criterion RD 1000 și au demonstrat că erorile de măsurare sunt mai mari odată cu creșterea înălțimii de măsurare.

Studiind un model anterior, Williams et al. (1999) au găsit că instrumentul Criterion 400 a produs erori de ambele părți, pozitive și negative, la măsurarea diametrelor, în timp ce la măsurarea înălțimii erorile sunt de același fel. Rezultatele sunt confirmate și de McCaffery et al. (2015), care au arătat că în cazul măsurării înălțimii, precizia scade pentru nivelul secțiunilor superioare, dacă se utilizează instrumentul Criterion RD 1000.

Rodrigues et al. (2009) au argumentat că distanța este cel mai important factor care controlează precizia de măsurare a diametrelor cu instrumentul Criterion RD 1000. Din acest punct de vedere, precizia a fost evaluată de Rodriguez et al. (2014). Măsurători efectuate prin poziționarea operatorului la distanțe apropiate de arbore (aproximativ egale cu jumătate din înălțimea arborelui) au condus la abateri importante și o varianță similară cu cea obținută prin poziționarea operatorului la o distanță mai mare față de arbore (aproximativ egală cu înălțimea arborelui). Rodriguez et al. (2014) au considerat distanța față de arbore egală cu înălțimea arborelui ca fiind poziția potrivită pentru măsurarea cu precizie a diametrelor în vederea estimării volumului arborilor pe picior, dar și utilă pentru elaborarea unor ecuații ale curbei de contur mai precise.

2.1.1.3. Impactul erorilor de măsurare a diametrului cu instrumente bazate pe tehnologia laser asupra volumului arborilor pe picior

- **Material și metodă de cercetare**

Instrumentele bazate pe tehnologia laser sunt utilizate nu doar ca metodă nedistructivă pentru estimarea volumului arborilor pe picior, dar și ca instrument pentru verificarea preciziei datelor furnizate de sateliți, scanare terestră laser sau imagini de rezoluție ridicată. Ca urmare, Vasilescu și Tereșneu (2019) au urmărit testarea preciziei datelor colectate cu

Criterion RD 1000 din porțiunea inferioară a fusului în scopul estimării volumului lemnului gros. În acest sens, volumul porțiunii inferioare a fusului a fost estimat prin 3 metode: pe baza tehnologiei laser (LT), pe baza tabelelor elaborate de Giurgiu et al. în 2004 (T2004) și pe baza tabelelor elaborate de Popescu-Zeletin et al. în 1957 (T1957). O astfel de abordare poate oferi soluții practice la unele probleme specifice urmării masei lemnoase, în special acelorora constând în diferențele de volum care apar între volumele estimate pentru arborii pe picior și volumele estimate pentru arborii doborâți.

Pentru că fagul ocupă o suprafață importantă în pădurile din România (Șofletea și Curtu, 2007) în acest exemplu au fost analizate exemplare de fag cu diametre de bază mari, fără defecte vizibile de-a lungul fusului (figura 6).

Au fost selectați arbori cuprinși în arborete localizate între 600 și 1000 m altitudine, în județul Brașov. Un criteriu important de alegere a fiecărui arbore a constat în evaluarea clasei de calitate pe baza sistemului de încadrare calitativă a arborilor din România (Giurgiu et al., 2004). Astfel, au fost incluși arbori încadrați în clasa I de calitate, ceea ce înseamnă pentru foioase că cel puțin 50% din înălțimea fusului poate fi utilizată ca lemn de lucru. Eșantionul astfel constituit include 32 exemplare de fag cu diametrul de bază variind între 40,8 și 69,7 cm și înălțimea totală cuprinsă între 25 și 34 m.



Figura 6. Exemplu de arbore selectat pentru estimarea volumului lemnului gros cu instrumentul Criterion RD 1000

Volumul lemnului gros (V_{LSW}) a fost definit ca volumul fără coajă conținut în fusul arborelui de la nivelul solului și până la înălțimea la care diametrul cu coajă descrește la mărimea de 41 cm.

Pentru a estima volumul în porțiunea inferioară a fusului a fost măsurat diametrul cu coajă la arborii pe picior la intervale de 2 m cu instrumentul Criterion RD 1000. Diametrele au fost măsurate până la atingerea mărimii de 41 cm și volumul cu coajă a fost estimat cu formula lui Huber. Volumul fără coajă al fiecărui tronson a fost estimat reducând cu 5% volumul cu coajă, pe baza tabelelor pentru estimarea proporției de coajă (Giurgiu et al., 2004). Estimarea volumului a fost îmbunătățită prin minimizarea efectului cauzat de neregularitățile formei secțiunii transversale. Astfel, primii doi metri de la baza arborelui au fost împărțiți în două tronsoane cu lungimea de 1 m.

Arborii studiați au înmagazinat lemnul gros până la înălțimi deasupra solului cuprinse între 1,8 m și 26,6 m, în medie 14,04 m. Distanțele necesare măsurării diametrelor de-a lungul fusului și înălțimea totală a arborilor au fost măsurate cu un instrument bazat pe ultrasunete (Vertex IV, Haglöf Inc., Langsele, Sweden). Aceste distanțe au variat între 8 și 18,2 m (13,1 m în medie), fiind adaptate condițiilor locale de vizibilitate. În multe cazuri, crăcile și arborii de dimensiuni mai mici au restricționat poziția de măsurare.

Volumul lemnului gros al arborilor studiați a fost estimat cu ajutorul tabelelor elaborate de Giurgiu et al. (2004), precum și cu tabelele de descreștere a diametrului fusului elaborate de Popescu-Zeletin et al. (1957).

• Rezultate și discuții

Volumul fusului până la diametrul fără coajă de 40 cm a fost estimat pentru întregul eșantion la 79,236 m³, utilizând instrumentul bazat pe tehnologia laser (Vasilescu și Tereșneu, 2019). Aceeași variabilă însumează 51,466 m³, prin utilizarea tabelelor publicate de Giurgiu et al. (2004), și 44,177 m³ prin utilizarea tabelelor elaborate de Popescu-Zeletin et al. (1957). Înseamnă că, prin utilizarea instrumentului Criterion RD 1000, s-a produs o supraestimare a volumului lemnului gros cu 53,95% față de utilizarea tabelelor elaborate de Giurgiu et al. (2004). Tabelele elaborate de Popescu-Zeletin et al. (1957) au condus la o subestimare a volumului lemnului gros cu 14,16% pentru întregul eșantion față de tabelele descrise de Giurgiu et al. (2004).

Este cunoscut că astfel de diferențe sunt de așteptat în cazul estimării volumului lemnului gros la nivelul arborilor individuali (figura 7), luând în considerare scopul tabelelor care au fost elaborate pentru estimări la nivelul eșantioanelor de arbori.

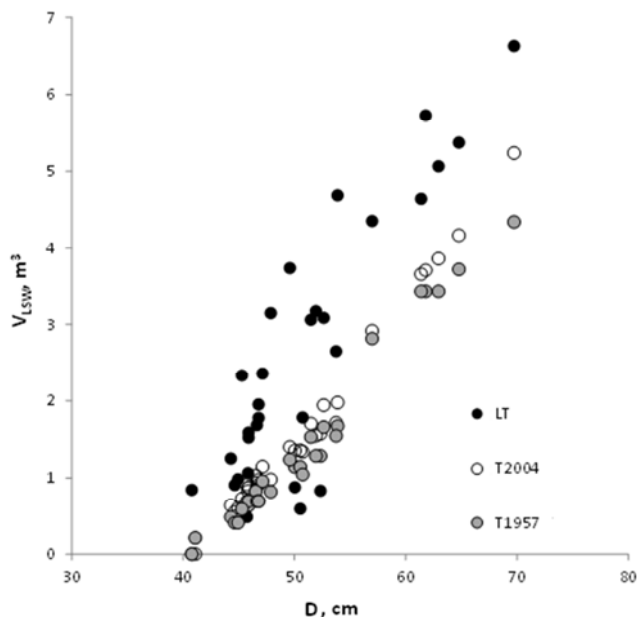


Figura 7. Variația volumului lemnului gros (V_{LSW}) la arborii pe picior în funcție de diametrul de bază (D)

Pot fi explicate pe deplin diferențele între mărimile volumului total al lemnului gros estimat prin cele trei metode? Pe de o parte, diametrele de-a lungul fusului măsurate cu instrumentul Criterion RD 1000 sunt afectate de erori care se transmit direct la estimarea volumului. Pe baza diametrelor pentru control de la înălțimile 0,8, 1,3 și 1,8 m față de sol, eroarea medie pătratică de măsurare a diametrelor a fost de 1,27 cm, comparând cu valorile diametrelor măsurate cu clupa forestieră, pe aceeași direcție de măsurare. Erorile de măsurare a diametrelor (figura 8) de-a lungul fusului afectează în mod direct estimarea volumului lemnului gros (Vasilescu și Tereșneu, 2019).

Ca urmare, V_{LSW} estimat la arborii pe picior cu instrumentul Criterion RD 1000 ar putea să fie imprecis. Un argument care ar putea explica gradul crescut de supraestimare a volumului total al lemnului gros constă în măsurarea eronată a înălțimii până la care masa lemnoasă se încadrează în sortimentul lemn gros. Aceste înălțimi au fost mai mari în aproape toate cazurile comparativ cu înălțimile estimate cu tabele.

Pe de altă parte, metodele bazate pe utilizarea tabelelor T1957 și T2004 au produs estimări ale volumului lemnului gros mult mai mici comparativ cu metoda LT. Aceste tabele au fost elaborate pe bază de măsurători ale arborilor doborâți, desfășurate cu mai mult de 6-7 decenii în urmă, ceea ce ridică problema actualității acestora.

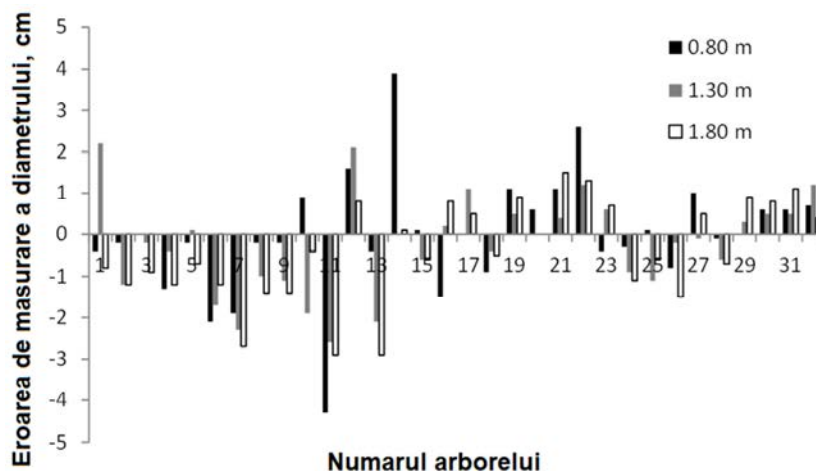


Figura 8. Variația erorilor de măsurare a diametrelor cu instrumentul Criterion RD 1000 la înălțimile de 0,80 m, 1,30 m și 1,80 m

Nu în ultimul rând, toate aceste metode sunt mai puțin precise față de metodele bazate pe doborârea arborilor, dar sunt extrem de utile pentru estimarea volumului lemnului gros la arborii pe picior și pentru întregul volum, pe sortimente, atunci când sunt restricții pentru doborârea arborilor.

Astfel, s-a demonstrat că în cazul în care arborii nu pot fi doborâți, estimarea precisă a volumului lemnului gros al arborilor pe picior rămâne un subiect care necesită încă cercetări (Vasilescu și Tereșneu, 2019). Pe baza acestor rezultate, se recomandă utilizarea cu atenție a instrumentului Criterion RD 1000 pentru a măsura diametre de-a lungul fusului la înălțimi mari, pentru a evita imprecizia volumelor. În vederea rezolvării problemelor sesizate de operatorii care exploatează masa lemnoasă când volumul arborilor estimat pe picior diferă de volumul estimat după doborâre, metoda prezentată încă necesită îmbunătățiri.

2.1.2. Clupa laser, opțiune preferată în măsurarea diametrelor de-a lungul fusului arborilor pe picior

2.1.2.1. Erori determinate de imperfecțiunea realizării tangenței la trunchiul arborelui în locul de măsurare, în cazul utilizării clupei laser

- **Material și metodă de cercetare**

Considerând că înălțimea de măsurare a fost determinată cu precizie, iar locul de măsurare a diametrelor de-a lungul fusul arborelui a fost marcat prin semne vizibile, se pot cuantifica erorile care se înregistrează la măsurarea diametrelor cu ajutorul clupei laser. În principal, aceste erori sunt determinate de subiectivismul operatorului la realizarea tangenței

între fasciculele luminoase și trunchiul arborelui și sunt mai mici în cazul operatorilor cu acuitate vizuală ridicată.

Vasilescu (2020) a analizat comparativ valorile a 10 diametre măsurate cu ajutorul clupei Mantax Black echipată cu Gator Eyes (Haglöf Inc., Langsele, Sweden) de la distanța de 13 m față de arbore, prin vizarea la semne marcate pe trunchi la înălțimile de 1 m, 3 m, 5 m și 7 m. Utilizând echipamente de cățărare la aceleași nivele, diametrele au fost măsurate în mod direct cu o clupă clasică având gradații milimetrice.

• Rezultate și discuții

Media celor 10 diametre măsurate de la sol este apropiată de mărimea reală a diametrelor, considerate valorile citite direct cu ajutorul clupei clasice (figura 9). Prin realizarea a 10 măsurători ale aceluiași diametru cu ajutorul clupei laser s-au înregistrat diferențe de -0,84 cm la nivelul de 1 m, -0,1 cm la 3 m, -0,06 cm la 5 m și -0,45 cm la înălțimea de 7 m. Rezultă, așadar, că în situații care cer măsurarea diametrului la înălțimi mai mari față de sol, clupa laser poate fi utilizată cu succes (Vasilescu, 2020).

Este important ca la utilizarea clupei laser să se dispună de un instrument de precizie pentru identificarea înălțimii locului de măsurare. În cazul în care nu se pot realiza semne vizibile pe trunchiul arborelui pentru marcarea nivelului de măsurare, se poate utiliza în mod independent un al treilea fascicul laser cu o culoare diferită.

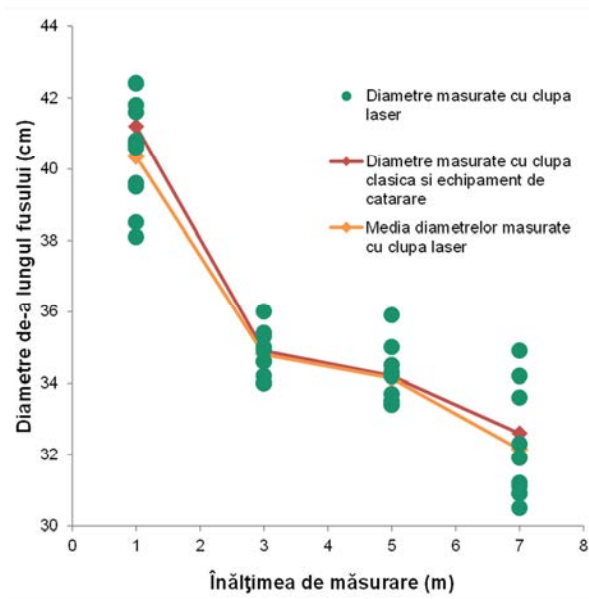


Figura 9. Prezentare comparativă a 10 valori ale diametrelor măsurate cu clupa laser la înălțimile față de sol de 1 m, 3 m, 5 m și 7 m și a diametrului măsurat la aceleași nivele cu clupa clasică, folosind echipament pentru cățărare

În funcție de acuitatea vizuală a operatorului, rezultatele pot fi diferite. Rezultatele diferă chiar și atunci când același operator măsoară consecutiv un diametru, așa cum se poate observa din figura 9. Intervalul în care s-au grupat valorile citite cu ajutorul clupeii laser a fost [38,1; 42,4] cm pentru diametrul real 41,2 cm de la nivelul de 1 m față de sol, [34,0; 36,0] cm pentru diametrul real 34,9 cm de la nivelul de 3 m față de sol, [33,4; 35,9] cm pentru diametrul real 34,2 cm de la nivelul de 5 m față de sol și [30,5; 34,9] cm pentru diametrul real 32,6 cm de la nivelul de 7 m față de sol. Aceste rezultate susțin ideea că, prin citirea unei singure valori, diametrul măsurat se poate abate cu 2 cm, uneori 3 cm față de valoarea reală a diametrului (Vasilescu, 2020). Astfel de diferențe ar putea fi evitate prin citirea unui număr mai mare de valori pentru același diametru, eliminarea valorilor extreme și înscrierea în carnetul de inventariere a mediei valorilor rămase.

2.2. Aspecte privind măsurarea înălțimii arborilor

2.2.1. Precizia de măsurare a înălțimii arborilor și importanța acesteia

În contextul în care înălțimea arborelui este considerată variabilă independentă în modelele matematice de estimare a volumului arborelui, volumului arboretului (Giurgiu et al., 1972; Steinhilb și Winsauer, 1976; Giurgiu, 1979; Forslund, 1982; Avery și Burkhart, 1983; Hamilton, 1988; Leahu, 1994; Philip, 1994; van Laar și Akça, 1997; Yavuz, 1999; Wiant et al., 2002; Husch et al., 2003; Parent și Moore, 2003; Giurgiu et al., 2004; Ozelik et al., 2006; Tomusiak și Zarzynski, 2007; Soares et al., 2010; Yosefpour et al., 2012), în modelele de estimare a biomasei și a carbonului sechestrat (Zianis et al., 2005; Feldpausch et al., 2012) sau în modelele de estimare a înălțimii pe fus până la care arborele prezintă stabilitate mecanică (Peltola, 2006; Urata et al., 2011), cercetările privind estimarea preciziei de măsurare a înălțimii arborilor devin o necesitate. Având în vedere aceste aspecte, rezultă că estimarea înălțimii arborelui necesită precizie.

În cazul utilizării instrumentului Vertex III (Haglöf Inc., Langsele, Sweden), câteva erori de funcționare la măsurarea înălțimii arborilor, precum și posibilitățile de rezolvare a acestora, sunt indicate chiar de firma producătoare în ghidul de utilizare a instrumentului. Cele mai frecvente greșeli în activitatea practică de măsurare a înălțimii arborilor cu instrumentul Vertex bazat pe ultrasunete sunt semnalate de faptul că instrumentul nu indică distanța pe ecran, valoarea distanței este instabilă, valoarea distanței este incorectă, firele reticulare în formă de cruce nu dispar, transmițătorul nu pornește, valorile măsurate nu sunt indicate pe ecran, valorile indicate sunt exagerate. Problemele pot fi rezolvate în funcție de

cauzele care le determină. De exemplu, transmițătorul oprit, baterie slabă a transmițătorului, zgomote perturbante în zona de măsurare, calibrare realizată cu mult timp în urmă, un unghi prea mare la construirea vizei la vârful arborelui, baterii poziționate incorect, pot fi cauze ale erorilor. În astfel de cazuri trebuie să pornim transmițătorul sau să schimbăm bateriile, să măsurăm din alt loc, să calibrăm instrumentul, să mărim distanța față de arbore, să poziționăm bateriile în poziție corectă pentru elimina astfel de greșeli.

Pentru stabilirea în practică a erorilor care se înregistrează la măsurarea înălțimii arborilor, indiferent de instrumentul utilizat, apare o cerință greu de realizat în toate situațiile, și anume posibilitatea doborârii arborilor în vederea măsurării lungimii arborilor cu ajutorul unei rulete. Această metodă, deși permite estimarea cu precizie a abaterii înălțimii măsurate față de lungimea arborelui, considerată înălțime reală, este una distructivă și se poate aplica limitat (Vasilescu, 2020). Pe de altă parte, prin măsurători repetate efectuate pentru același exemplar, se poate estima eroarea standard de măsurare a înălțimii (Vasilescu, 2013a). Această metodă este considerată nedistructivă și înlocuiește cu succes metodele distructive atunci când există restricții legate de doborârea arborilor.

2.2.2. Eroarea standard de măsurare a înălțimii cu instrumentul Vertex, estimată prin metode nedistructive

- **Material și metodă de cercetare**

În condițiile utilizării unui instrument calibrat și în acord cu ghidul de utilizare, se poate identifica eroarea realizată de operator prin construirea vizei la vârful arborelui. Vasilescu (2013a) a realizat un astfel de studiu, analizând eroarea standard la măsurarea înălțimii dată de subiectivismul operatorului în construirea vizei la vârful arborelui, prin măsurarea înălțimii, cu ajutorul instrumentului Vertex III (Haglöf Inc., Langsele, Sweden), a 3 arbori din specia *Picea pungens* Engelm. de un număr mare de operatori (104). Operatorii au fost incluși în mod aleatoriu în 5 eșantioane.

Prin măsurători repetate la același arbore, eroarea medie pătratică (s_h) a fost calculată cu relația 1.

$$s_h = \pm \sqrt{\frac{\sum (h_i - \bar{h})^2}{N - 1}} \quad (1)$$

în care:

h_i sunt înălțimi măsurate la același arbore;

\bar{h} este media aritmetică a înălțimilor măsurate;

N este numărul de măsurători.

• Rezultate și discuții

Pentru arborele 1, înălțimea medie a fost de $12,35 \pm 0,05$ m, pentru arborele 2 înălțimea medie a fost de $17,56 \pm 0,04$ m, iar pentru cel de-al treilea de $22,47 \pm 0,03$ m (figura 10, figura 12 a-c) (Vasilescu, 2013a).

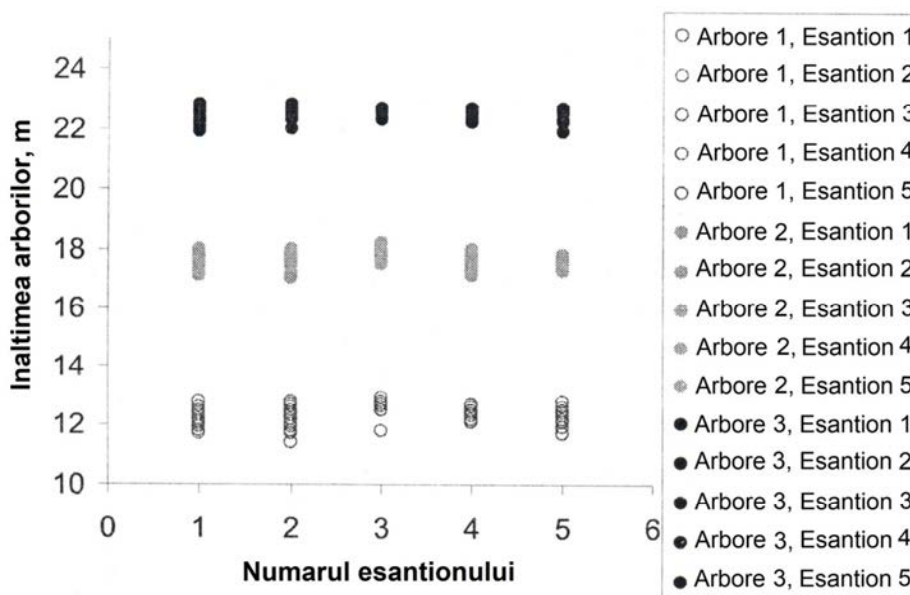


Figura 10. Valori rezultate prin măsurarea înălțimii a 3 arbori cu instrumentul Vertex III de către 5 eșantioane de operatori

Studiul a evidențiat că intervalul definit de abaterile individuale a fost $[-0,95; 0,55]$ m pentru arborele 1, $[-0,56; 0,64]$ m pentru arborele 2 și $[-0,57; 0,33]$ m pentru arborele 3 (figura 11). Ca rezultat, abaterea medie a fost 0,23 m pentru arborele 1, 0,17 m pentru arborele 2 și 0,14 m pentru arborele 3.

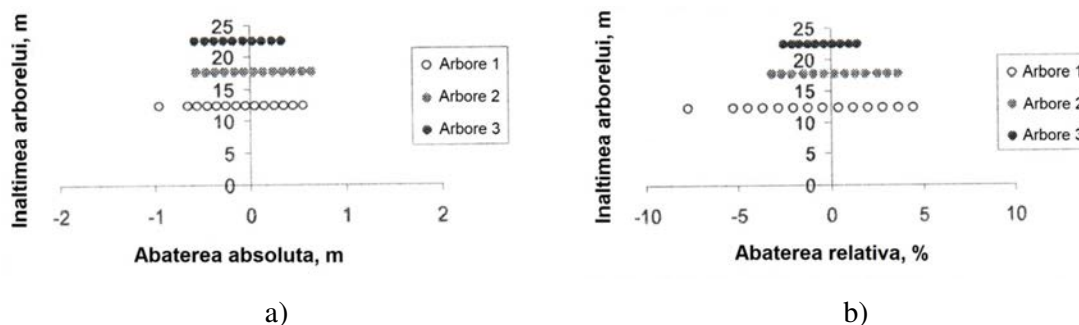


Figura 11. Abaterea absolută și abaterea relativă la măsurarea înălțimii cu instrumentul Vertex III de către 104 operatori

Diferențele între media înălțimilor calculată pentru fiecare eșantion (figura 12 a-c) față de media tuturor măsurătorilor, considerată valoare de referință, au fost cuprinse între -0,13 și 0,25 m pentru arborele 1 și între -0,08 și 0,18 m pentru cel de-al doilea arbore. Gruparea mai bună a valorilor individuale în cazul arborilor înalți a condus la diferențe foarte mici, ne semnificative din punct de vedere statistic, între mediile calculate pentru arborele 3 (între -0,04 și 0,06 m).

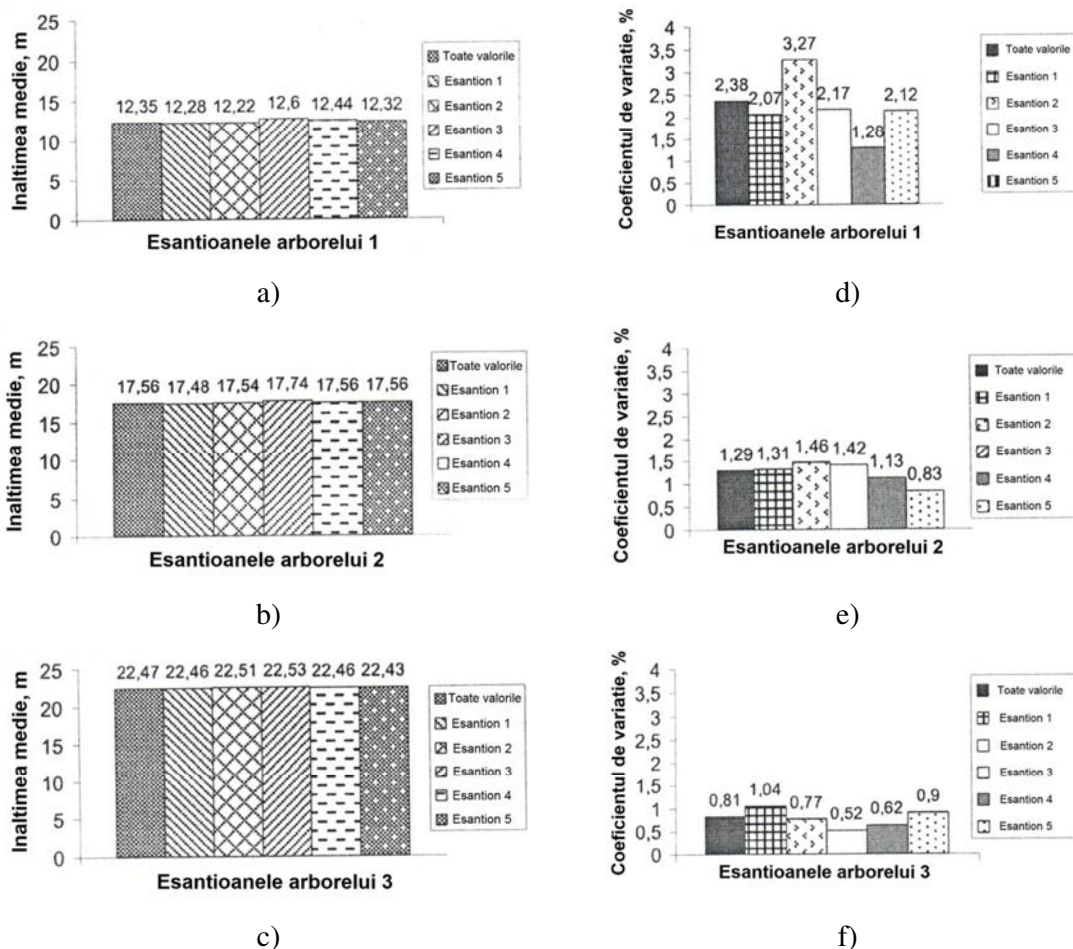


Figura 12. Media și coeficientul de variație a înălțimilor măsurate cu instrumentul Vertex III de către 5 eșantioane de operatori

Coeficientul de variație a fost calculat pentru a verifica reprezentativitatea mediei pentru fiecare set de date din eșantioanele studiate (figura 12 d-f). Este evident că toate eșantioanele analizate sunt omogene. Mărimea coeficientului de variație a valorilor înălțimii a fost de 2,30% în cazul arborelui 1 și mai puțin, 1,29 %, respectiv 0,81% pentru arborii nr. 2 și

3. Aceste rezultate completează rezultatele anterioare privind variația în cazul unui număr mare de măsurători pentru înălțimea aceluiași arbore.

Totodată, Vasilescu (2013a) a arătat că eroarea medie a unei singure măsurători a fost de 0,29 m în cazul arborelui 1, 0,22 m în cazul celui de-al doilea arbore și 0,18 m pentru cel de-al treilea.

Concluzia acestui studiu este că, la măsurarea arborilor cu instrumentul Vertex III, în condițiile impuse de ghidul de utilizare, pot să apară erori determinate de subiectivismul operatorului la construirea vizei la vârful arborelui, având mărimea 0,3 m pentru arborii mici (cu înălțimea în jur de 10 m) și mai puțin de 0,2 m în cazul arborilor înalți (> 20 m).

2.2.3. Abateri absolute la măsurarea înălțimii cu instrumentul Vertex, estimate prin metode distructive

- **Material și metodă de cercetare**

În condițiile în care este posibilă doborârea unui lot de arbori la care anterior s-a măsurat înălțimea, în vederea valorificării masei lemnoase, se poate măsura și lungimea fiecărui exemplar, ca expresie a înălțimii reale a arborelui (figura 13). În felul acesta se înlătură discuția referitoare la faptul că și media aritmetică a unui număr mare de valori citite pentru înălțimea aceluiași exemplar poate fi afectată de erori și să difere astfel de mărimea înălțimii adevărate a arborelui.

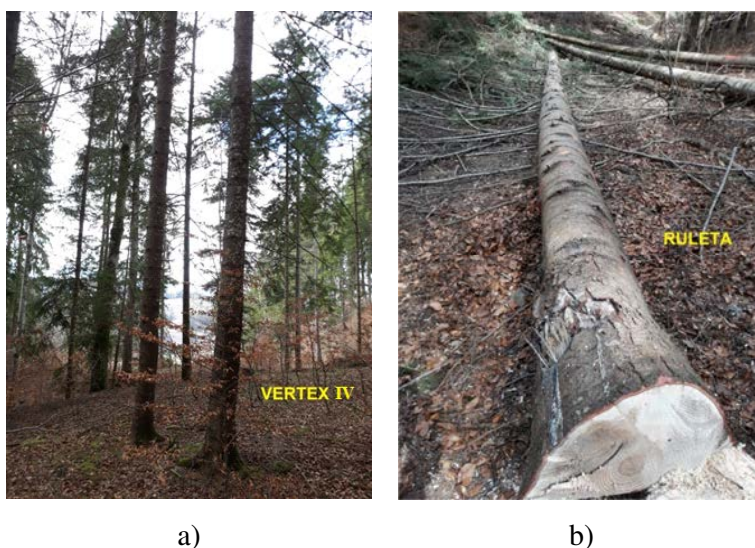


Figura 13. Materiale necesare pentru stabilirea în practică a erorilor care se înregistrează la măsurarea înălțimii arborilor cu Vertex IV – a) arbori pe picior și Vertex IV; b) același lot de arbori doborâți și ruletă

Vasilescu (2020) a prezentat comparativ valorile înălțimii măsurate cu instrumentul Vertex IV (Haglöf Inc., Langsele, Sweden) la 145 exemplare de brad, respectiv 138 exemplare de molid, față de lungime măsurată cu ruleta, după doborârea arborilor în vederea comercializării masei lemnoase.

- **Rezultate și discuții**

Cele mai multe dintre valorile citite cu ajutorul instrumentului Vertex IV sunt pe sau aproape de linia care indică locul geometric al punctelor cu eroarea zero, atât în cazul măsurării înălțimii la specia brad, cât și la molid (figura 14). Coniferele oferă în general posibilități mai clare de construire a vizei la vârful arborelui (Vasilescu, 2020).

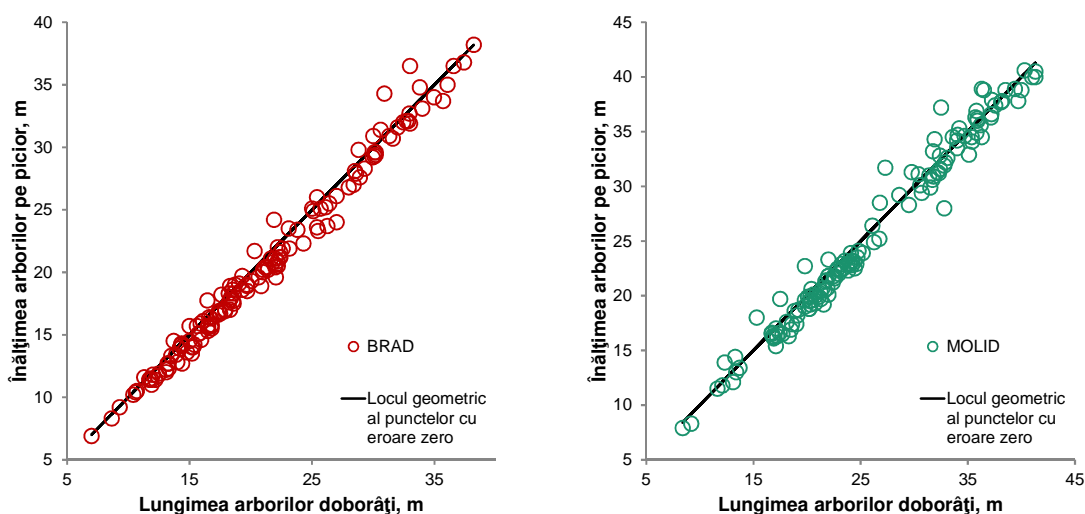


Figura 14. Prezentarea comparativă a înălțimii măsurate cu Vertex IV față de lungime măsurată după doborâre la exemplare de brad și molid

Totuși, există și exemplare la care, din diferite motive, viza la vârful arborelui a fost construită incorect. În mod surprinzător, erorile cu valori mai mari au fost înregistrate la măsurarea înălțimii la molid.

Pentru o analiză detaliată a erorilor produse la măsurarea înălțimii cu instrumentul Vertex IV, au fost calculate abaterile individuale ca diferență între înălțimea măsurată cu instrumentul bazat pe ultrasunete și lungimea arborelui stabilită după doborâre prin măsurare cu ruleta (figura 15) (Vasilescu, 2020).

Abateră medie determinată prin luarea în calcul a erorilor pozitive și negative este de -0,57 m în cazul bradului și de -0,43 m în cazul molidului. Acest calcul demonstrează că, în practică, la măsurarea înălțimii cu ajutorul instrumentului Vertex IV se produce o

subestimare de circa 0,5 m a înălțimii. Tendința de subestimare a înălțimii la utilizarea acestui instrument poate fi generată și de poziționarea butonului pentru validarea vizei la vârful arborelui, pe partea de sus a carcasei, obligând astfel operatorul ca la vizare să apese de sus în jos butonul ON.

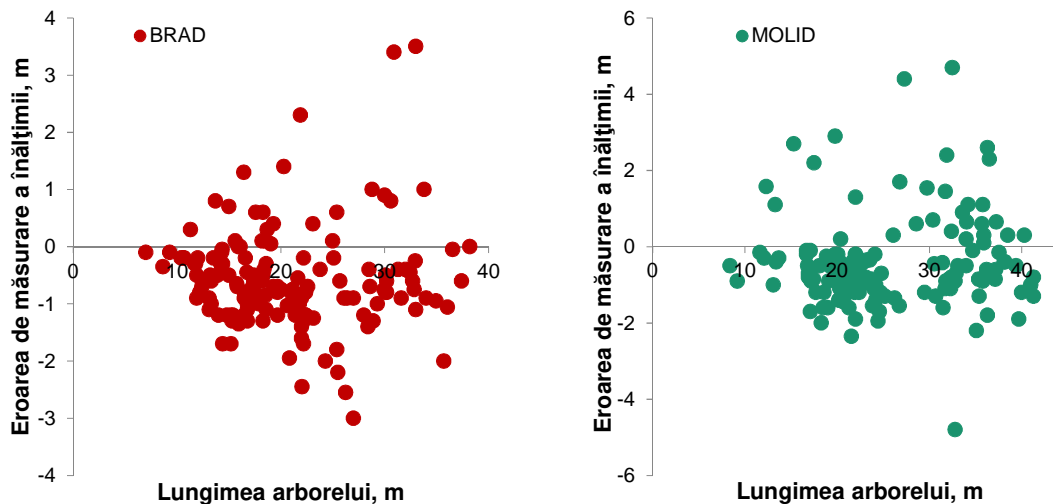


Figura 15. Variația erorilor înregistrate la măsurarea înălțimii cu Vertex IV față de lungimea măsurată după doborâre la exemplare de brad și molid

Totuși, calculul abaterii medii prin luarea în considerare a semnului abaterii, conduce la o reducere a abaterii medii, prin scăderea abaterilor individuale negative din cele pozitive. Tocmai de aceea, determinarea abaterii medii liniare prin considerarea modulului matematic al fiecărei abateri individuale creează o imagine mai bună în privința erorilor ce se realizează la măsurarea în practică a înălțimilor. Abaterea medie liniară astfel calculată este 0,86 m la specia brad și 1,03 m la specia molid (Vasilescu, 2020). De fapt, un număr relativ mic de măsurători prezintă abateri mai mici de 0,5 m față de înălțimea reală și anume 31,72% la brad și 29,71% la molid (figura 16), ceea ce justifică eroarea medie de circa 1 m la măsurarea înălțimii. În cazul de față, concluzia se referă la utilizarea instrumentului Vertex IV de către același operator experimentat. Desigur că repetarea studiului prin considerarea unui alt operator poate conduce la rezultate sensibil diferite.

Ceea ce trebuie să se rețină, în fapt, este că orice măsurătoare este afectată de eroare, indiferent de instrument sau operator. De multe ori, erori mici de 0,5-1,0 m sunt greu de sesizat în cazul arborilor cu înălțimi mari (> 20 m) și de către operatorii cu experiență, în lipsa lungimii arborelui după doborâre pentru a realiza controlul.

Studiul comparativ al bradului și molidului în privința erorilor care se înregistrează în practică la măsurarea înălțimii indică o diferențiere a celor două specii. Abaterile individuale < 1 m au frecvența 71,03% la brad și 59,42% la molid, iar cele cuprinse între 1 m și 2 m au frecvența 23,45% la brad și 32,61% la molid (figura 16).

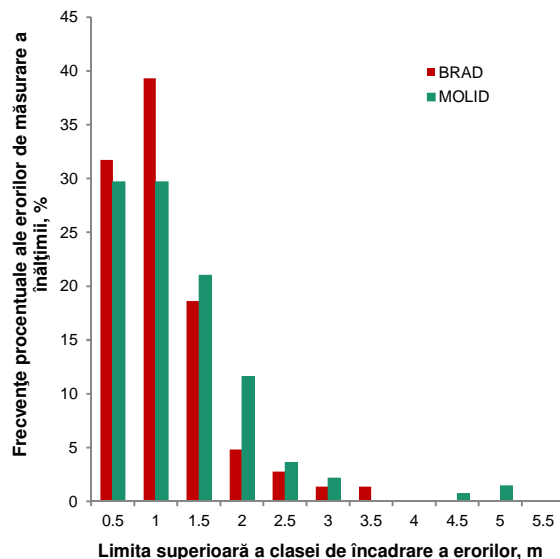


Figura 16. Distribuția numărului de arbori în raport cu abaterile individuale înregistrate la măsurarea înălțimii cu Vertex IV la speciile brad și molid

Există, însă, erori accidentale cu mărimi mai mari de 2 m care pot să apară la arbori de toate dimensiunile (Vasilescu, 2020). Acestea sunt în general provocate de lipsa vizibilității la vârful arborelui și construirea vizei după alte considerente, de exemplu urmărirea mișcării vârfului arborelui, produse de lovirea arborelui în porțiunea de la bază. În cazul bradului, 5,52% din numărul de măsurători au abateri > 2 m față de înălțimea reală, respectiv 7,97% în cazul molidului.

Probabil că o analiză de acest tip, prin stratificarea datelor în funcție de consistența arboretului în care măsurătorile au fost efectuate sau în funcție de tipul de lucrări aplicate, poate releva noi concluzii și recomandări pentru personalul care desfășoară activități practice în domeniul silvic. Este de așteptat ca măsurătorile efectuate în arborete închise, parcurse cu rărituri sau tăieri rase, să fie afectate de erori într-o măsură mai mare decât măsurătorile întreprinse în arborete cu consistență scăzută, parcurse cu tăieri progresive.

3. Particularități privind forma fusului

3.1. Coeficientul de formă – indicator al formei arborilor

3.1.1. Indicatori statistici ai coeficientului de formă

Valoarea coeficientului de formă artificial variază în funcție de diametru la brad, în funcție de înălțime la stejar, cer, fag, tei etc și în funcție de ambele caracteristici dimensionale la molid, mesteacăn, plop, salcâm etc (Leahu, 1994). Legătura dintre coeficientul de formă artificial și înălțimea arborelui este relativ slabă, iar legătura dintre coeficientul de formă artificial și diametrul de bază este mai strânsă (Giurgiu, 1979). Coeficientul de corelație multiplă relevă influența comună a ambelor caracteristici dimensionale (Leahu, 1994).

Pentru aceeași specie, în limitele unui anumit spațiu geografic, supuși aceluiași regim și tratament, arborii au o formă medie tipică (Leahu, 1994) în raport cu diametrul și înălțimea. La molid, în raport de diametrul de bază și înălțimea arborelui, coeficientul de formă artificial variază în intervalul 0,325-0,580, iar la fag, coeficientul de formă artificial al arborelui întreg variază în intervalul 0,481-0,637. Cel mai adesea, valorile coeficientului de formă artificial urmează curbe continue descrescătoare în raport cu diametrul.

În general, repartiția procentuală a arborilor pe categorii de coeficienți de formă urmează o distribuție normală în cazul arboretelor echiene ($s_f\% = 8-13\%$). În cazul arboretelor pluriene se înregistrează o variație mai mare, coeficientul de variație al coeficientului de formă artificial se încadrează în intervalul 12-20%. Cercetările au arătat că există o influență a condițiilor staționale, dar și a operațiunilor culturale (Leahu, 1994).

Pentru fiecare specie dintr-un anumit spațiu ecologic, arborii cu aceeași înălțime și același diametru de bază au o formă medie exprimată prin ecuațiile 2-4 (Prodan, 1965; Giurgiu, 1979; Leahu, 1994)

$$f = \frac{b_0}{b_1 + b_2 \cdot d} \quad (2)$$

$$f = \frac{a}{a_1 + a_2 \cdot h} \quad (3)$$

$$\log f = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \log^2 d + b_3 \cdot \log h + b_4 \cdot \log^2 h \quad (4)$$

în care:

d este diametrul de bază al arborelui;

h este înălțimea arborelui;

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ etc sunt coeficienți ai ecuațiilor de regresie determinați prin metode ale statisticii matematice.

Avantajul utilizării coeficientului de formă artificial constă în modul comod de a determina valoarea acestuia în cazul arborilor pe picior, mod care implică identificarea speciei, măsurarea diametrului de bază și a înălțimii. Valorile medii ale coeficientului de formă artificial au fost calculate pentru un număr de 23 specii forestiere și publicate în lucrarea *Biometria arborilor și arboretelor din România* (Giurgiu et al., 1972).

Coeficientul de formă natural prezintă mare independență față de dimensiunile arborelui și de condițiile de vegetație (coeficienții de corelație au valori mici și ne semnificative). Și în cazul coeficientului de formă natural, arboretele echine sunt structurate potrivit legii distribuției normale. Coeficientul de variație al coeficientului de formă natural variază în limite mai restrânse (Leahu, 1994), situându-se în intervalul 6-9%. Valorile medii pe specii, de la forme pline spre forme trase, sunt 0,544 la molid, 0,536 la brad, 0,508 la gorun, 0,491 la fag și 0,430 la salcie (Leahu, 1994).

3.1.2. Variația coeficientului de formă la exemplare de molid

- **Material și metodă de cercetare**

Coeficientul de formă artificial și coeficientul de formă natural au fost calculați pentru 131 exemplare de molid (Vasilescu, 2020), incluse în 4 suprafețe de probă.

Au fost amplasate 4 suprafețe de probă constituite din arbori marcați pentru a fi extrași în molidșuri parcurse cu tăieri rase în benzi (SP 1 cu vârsta 100 ani și SP 2 cu vârsta 120 ani), respectiv în păduri de amestec de fag cu rășinoase parcurse cu rărituri (SP 3 și SP 4, cu vârsta 45 ani). Diametrul de bază a fost măsurat pentru arborii pe picior pe două direcții perpendiculare, iar după doborârea arborilor au fost măsurate lungimea fusului (considerată înălțimea reală a arborelui) și diametrul secțiunii de la mijlocul lungimii tronsoanelor delimitate, de asemenea pe două direcții perpendiculare (figura 17).

Coeficientul de formă artificial (f sau $f_{1,30}$) a fost calculat cu ecuația 5 în funcție de volumul (v), suprafața de bază ($g_{1,30}$) și înălțimea arborelui (h).

$$f_{1,30} = \frac{v}{g_{1,30} \cdot h} \quad (5)$$

Coeficientul de formă natural ($f_{0,10h}$) a fost calculat cu ecuația 6 în funcție de volumul (v), suprafața secțiunii transversale $g_{0,10h}$ și înălțimea arborelui (h).

$$f_{0,10h} = \frac{v}{g_{0,10h} \cdot h} \quad (6)$$



Figura 17. Colectarea datelor de teren în vederea calculării coeficientului de formă

Elementele de calcul pentru volum necesită măsurarea diametrelor de-a lungul fusului, aspect posibil de realizat numai în parchete de exploatare, prin măsurarea arborilor doborâți (figura 17).

- **Rezultate și discuții**

În figura 18 este prezentată variația coeficientului de formă artificial pentru 131 exemplare de molid, în raport cu diametrul de bază și înălțimea arborelui (Vasilescu, 2020). Coeficientul de variație al coeficientului de formă artificial calculat pentru cele patru suprafețe de probă se încadrează în intervalul 7,9-13,2%.

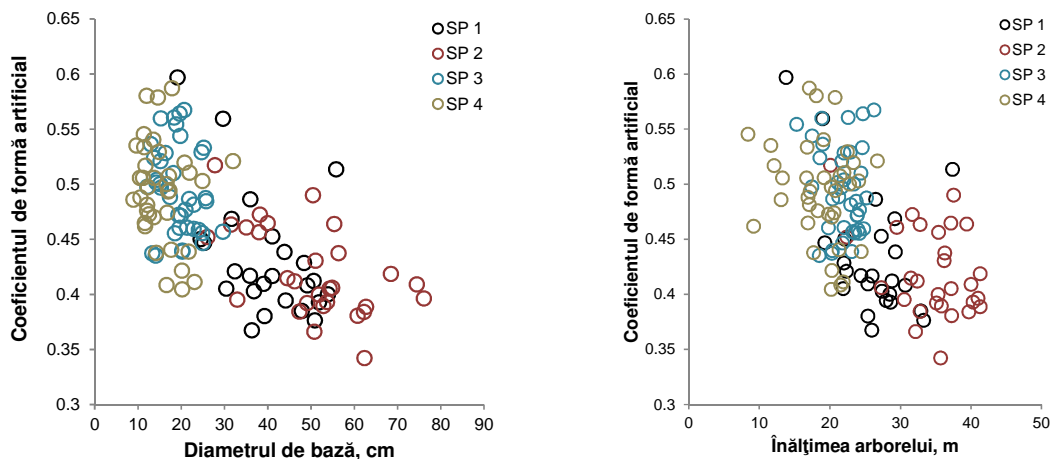


Figura 18. Variația coeficientului de formă artificial, calculat pentru exemplare de molid, față de diametrul de bază și înălțimea arborelui

Înălțimea de 1,30 m la care se determină aria secțiunii are, în mărimi relative, valori diferite, și împiedică astfel o corectă comparație a arborilor din punct de vedere al formei lor.

Uneori, forma fusului poate fi modificată prin creșteri anormale ale porțiunii de la baza arborelui (figura 19 a). Îngroșarea exagerată a porțiunii inferioare a fusului ca urmare a reacției arborelui la apariția unor răni sau a putregaiului conduce, implicit, la înregistrarea unui diametru de bază cu o valoare mult mai mare comparativ cu cazul în care același arbore s-ar fi menținut sănătos. Astfel de situații, generează valori extreme atât în cazul calculării coeficienților de descreștere artificiali, cât și în cazul determinării coeficientului de formă artificial.

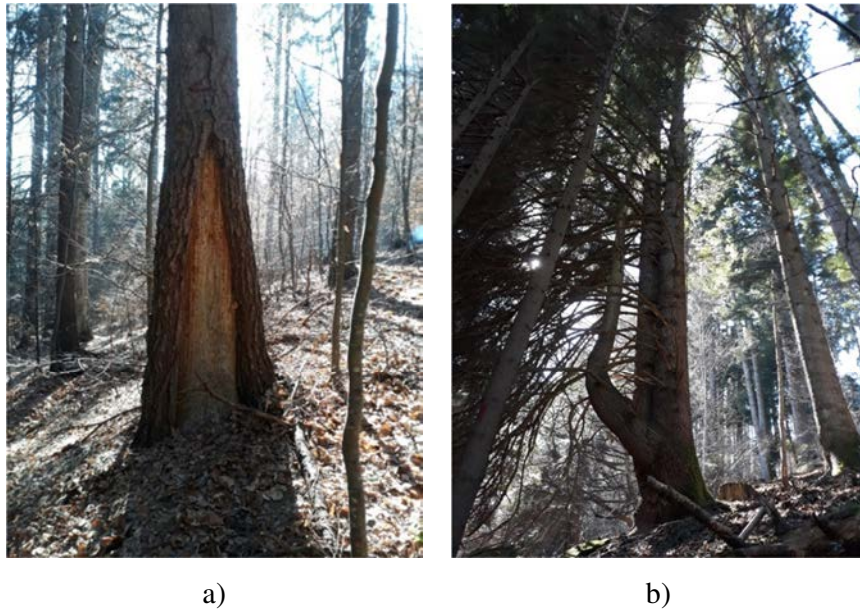


Figura 19. Forme excepționale ale fusului arborelui – a) exemplar cu creșteri anormale ale porțiunii de la baza arborelui, b) exemplar cu 3 furci

Totuși, tabela elaborată de Giurgiu et al., 1972 se referă la valori medii rezultate din măsurători efectuate în suprafețe de probă amplasate în arealul speciei asupra unor exemplare care nu prezintă defecte de formă: înfurcire, vârf rupt, etc. Pentru arborii cu înfurcări multiple (figura 19 b), de exemplu, nu este recomandată aplicarea tablei în sensul estimării coeficientului de formă artificial.

În ceea ce privește coeficientul de formă natural, calculat pentru setul de date constituit din 131 arbori de molid din cadrul celor patru suprafețe de probă descrise anterior, rezultatele sunt prezentate în figura 20 ca variație după diametrul de bază și înălțimea arborelui (Vasilescu, 2020). Se confirmă variația mai restrânsă comparativ cu cea a

coeficientului de formă artificial, fapt care permite și valori medii pe specii. Coeficientul de variație calculat pentru valorile coeficientului de formă natural al molidului din suprafețele de probă SP 1 – SP 4 are valori în intervalul 5,3-8,5%.

Valorile medii ale coeficientului de formă natural, la specia molid, determinat pentru spații restrânse caracteristice suprafețelor de probă amplasate, sunt 0,522 în SP 1, 0,538 în SP 2, 0,534 în SP 3 și 0,531 în SP 4 (Vasilescu, 2020).

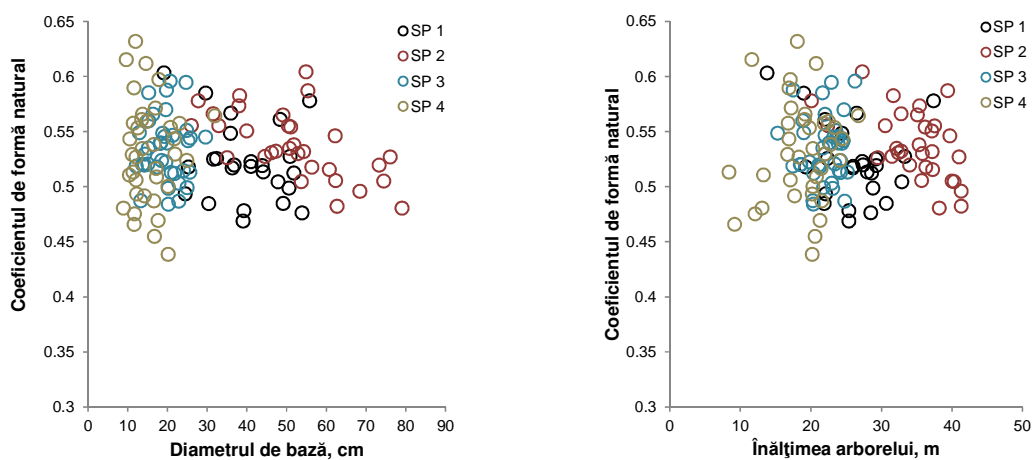


Figura 20. Variația coeficientului de formă natural, calculat pentru exemplare de molid, față de diametrul de bază și înălțimea arborelui

Prodan (1965) a stabilit că se poate aprecia că au formă plină arborii cu o valoare a coeficientului de formă natural mai mare de 0,520. Valorile mai mici de 0,520 ale aceluiași coeficient indică arbori cu formă trasă.

Dezavantajul utilizării coeficientului de formă natural este dat de înălțimea diametrului de referință, care poate să conducă la un nivel prea sus sau prea jos față de sol, și ca urmare la erori la măsurarea diametrului.

3.2. Profilul și curba de contur a fusului, variante de succes în estimarea volumului arborilor

3.2.1. Profilul longitudinal al fusului arborilor, informație înmagazinată și importanță

Cunoașterea formei fusului reprezintă o condiție de bază pentru modelarea matematică a curbei de contur a fusului.

În general, forma secțiunii transversale prin trunchi depinde de modul cum se depune la periferia ei învelișul de biomasă asimilată în fiecare an (Leahu, 1994). Factorii care influențează forma secțiunii transversale a arborilor sunt: poziția cenotică a arborelui,

structura arboretului, direcția și intensitatea vânturilor dominante, expoziția, panta terenului etc. Fie că sunt factori endogeni sau exogeni, aceștia nu acționează în mod independent.

Forma secțiunii longitudinale a fusului variază în funcție de specie, dar și de la arbore la arbore în cadrul aceleiași specii. Astfel, în partea inferioară a trunchiului, curba de contur a fusului este concavă până la un anumit punct de inflexiune, pentru ca în partea superioară curba să devină convexă. Ca urmare, curba de contur a unor părți din trunchi s-a asimilat cu diferite curbe generatoare ale unor corpuri geometrice de rotație cunoscute: cilindru, con, paraboloid apolonic, trunchi de neiloid etc.

Elaborarea profilului longitudinal al fusului necesită cunoașterea diametrelor de-a lungul fusului, de la bază până la vârful arborelui. Datele de teren sunt similare cu cele cerute de calculul coeficienților de descreștere și presupun măsurarea diametrelor după doborârea arborilor (Vasilescu, 2020).

Acțiunea comună a factorilor care influențează forma fusului conduce la situații diverse (Vasilescu, 2020). În figura 21 a este prezentat profilul longitudinal pentru 3 exemplare de molid de vârste diferite dintr-un arboret parcurs cu rărituri: exemplarul 1 cu vârsta 27 ani, diametrul de bază 22,9 cm și înălțimea 23,7 m, exemplarul 2 cu vârsta 46 ani, diametrul de bază 49,5 cm și înălțimea 28,3 m, și exemplarul 3 cu vârsta 59 ani, diametrul de bază 34,6 cm și înălțimea 32,3 m (Vasilescu, 2020). Deși este arbore dominant în arboretul analizat, volumul concentrat în exemplarul 3 este de 1,248 m³, mai puțin comparativ cu exemplarul 2 care cumulează un volum de 2,034 m³ la o vârstă și înălțime mai mici.

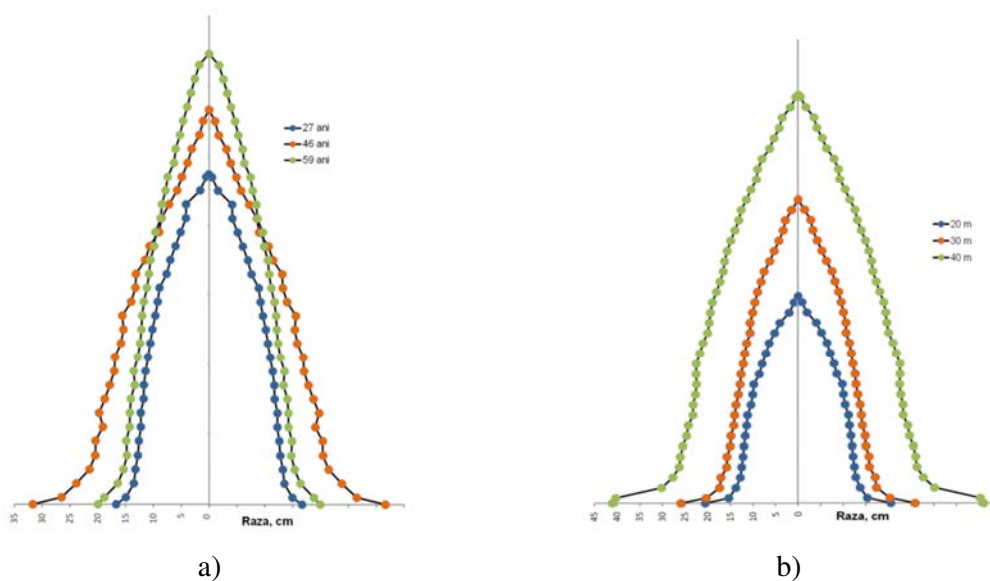


Figura 21. Profilul longitudinal al fusului – a) pentru exemplare de molid de vârste diferite; b) pentru exemplare de molid cu vârsta de 120 ani

În arboretele ajunse la vârsta exploatabilității diferențierile privind creșterea arborilor sunt mai evidente, ceea ce generează profile diferite pentru arbori de vârste egale (Vasilescu, 2020).

Figura 21 b prezintă profilul longitudinal pentru 3 exemplare de molid cu vârsta de 120 ani (Vasilescu, 2020) dintr-un arboret ajuns la vârsta exploatabilității. Acțiunea mai mult de un secol a factorilor care influențează forma fusului, incluzând și dinamica unor factori, conduce la construirea formei fusului specifice stațiunii analizate. La vârsta de 120 ani, exemplarul 1 cu diametrul de bază 27,8 cm și înălțimea 20,1 m a acumulat un volum de 0,631 m³, exemplarul 2 cu diametrul de bază 35 cm și înălțimea 29,5 m a acumulat un volum de 1,311 m³, iar exemplarul 3 cu diametrul de bază 62,2 cm și înălțimea 39,7 m a acumulat un volum de 4,639 m³. Se constată că, la aceeași vârstă, forma și mărimea arborilor individuali pot varia în limite destul de largi și, ca urmare, variația se transmite și la volumul acumulat.

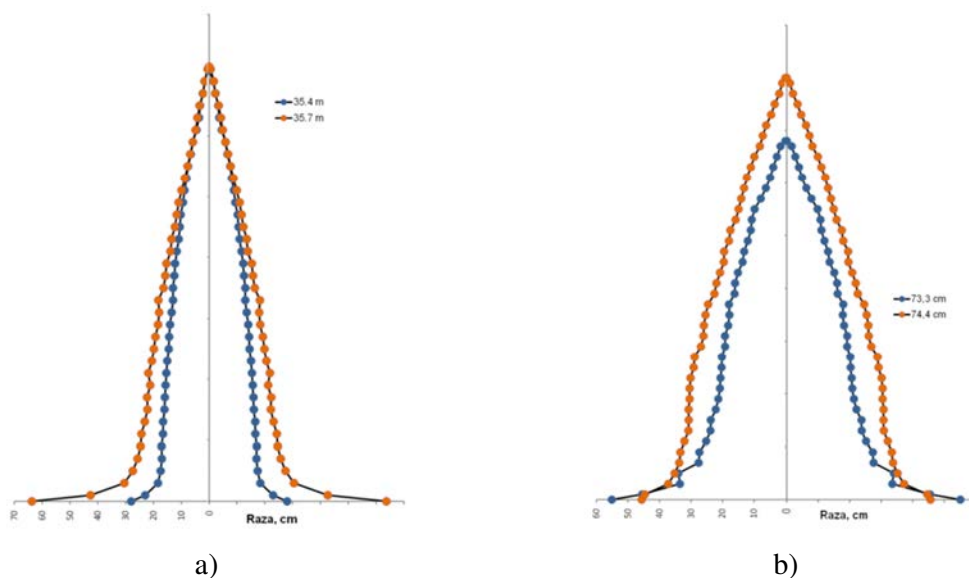


Figura 22. Profilul longitudinal al fusului – a) pentru exemplare de molid cu vârstă și înălțime egale; b) pentru exemplare de molid cu vârstă și clasă de diametre de bază egale

La aceeași vârstă și înălțime, arbori din arborete exploatabile cu structură echienă, ca urmare a variației formei fusului, pot acumula volume cu diferențe chiar și de 100% (Vasilescu, 2020). În figura 22 a este prezentat profilul longitudinal al fusului pentru 2 arbori de molid dintr-un arboret echien cu vârsta de 120 ani: exemplarul 1 cu diametrul de bază 38 cm și înălțimea de 35,4 m, care a acumulat un volum de 1,831 m³, și exemplarul 2 cu diametrul de bază 62,3 cm și înălțimea de 35,7 m, care a acumulat un volum de 3,730 m³

(Vasilescu, 2020). Volumul dublu în cazul exemplarului al doilea se explică prin îngroșarea fusului probabil ca urmare a modului de aplicare a lucrărilor anterioare de conducere a arboretului.

Tocmai această variație largă care se înregistrează la arborii cu aceeași înălțime sau cu același diametru de bază precum și variația formei în cazul exemplarelor din aceeași specie care au diametre de bază și înălțimi egale, generează diferențe între estimarea formei cu un model matematic al curbei de contur și forma reală a unui arbore individual.

În figura 22 b este ilustrat profilul longitudinal pentru 2 exemplare de molid cu vârsta de 120 ani, având diametrul de bază în aceeași clasă (Vasilescu, 2020).

Deși sunt prezentate exemplare din același arboret (figura 22 b), profilul longitudinal al exemplarului 1 cu diametrul de bază de 73,3 cm, înălțimea de 34 m și volum acumulat de 4,288 m³ indică o formă mai trasă a acestuia comparativ cu exemplarul 2 cu diametrul de bază de 74,4 cm, înălțimea de 40 m și volum acumulat de 7,122 m³ caracterizat ca având o formă mai plină (Vasilescu, 2020).

Foarte interesant este studiul profilului arborilor medii descriși de diametrul mediu al suprafeței de bază și înălțimea arborelui mediu al suprafeței de bază, precum și de diametrul median al suprafeței de bază și înălțimea arborelui median al suprafeței de bază, din punct de vedere al variației formei profilului longitudinal (Vasilescu, 2020), ca fundamentare a metodelor de cubaj pentru arborete echiene și relativ echiene, bazate pe arborele mediu.

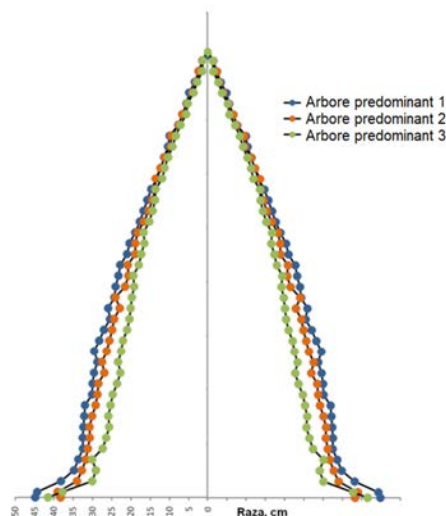


Figura 23. Profilul longitudinal al fusului pentru arbori predominanți de molid cu vârsta de 120 ani

De asemenea, studiul formei celor mai mari arbori dintr-un arboret, considerați a fi cei mai înalți sau cei mai groși arbori din arboret, permite observarea profilului longitudinal al fusului, în condițiile atenuării influenței unor factori care acționează asupra formei fusului (Vasilescu, 2020). În figura 23 este prezentat profilul longitudinal pentru 3 exemplare de molid cu vârsta de 120 ani și înălțimea de 41 m (Vasilescu, 2020), arborii cei mai înalți dintr-un arboret echien.

Diametrul de bază și volumul exemplarelor analizate sunt de 76,1 cm și 7,390 m³ în cazul arborelui predominant 1, 68,4 cm și 6,362 m³ în cazul arborelui predominant 2, respectiv de 62,7 cm și 4,957 m³ în cazul arborelui predominant 3 (Vasilescu, 2020). Analizând profilul longitudinal al arborilor din figura 23 se constată că arborii cei mai înalți din arboret au înregistrat și diametre de bază similare, ceea ce a condus la o diminuare a diferențelor de volum între arborii cei mai înalți, comparativ cu exemplul indicat în figura 22 a.

Aplicațiile recente ale TLS (Terrestrial Laser Scanner) în domeniul forestier au indicat posibilitatea studierii profilului arborilor prin intermediul tehnologiei laser inclusiv în cazul arborilor dintr-un arboret de amestec din specii de foioase Disney et al. (2017).

Utilizarea tehnologiei laser de tip LiDAR (Light Detection And Ranging) pentru realizarea de la nivelul solului de măsurători ale arborilor face posibilă estimarea mărimii fusului și a altor părți supraterane. West (2009) a arătat că diametrele de-a lungul fusului pot fi estimate cu o acuratețe adecvată scopurilor urmărite în lucrări obișnuite în domeniul forestier, dar înălțimile sunt subestimate în medie cu 1,5 m. Totodată, pentru prelucrarea informațiilor din teren și obținerea rezultatelor sunt necesare programe capabile să analizeze șiruri considerabile de date.

3.2.2. Fundamente metodologice ale curbei de contur a fusului

Așa cum s-a arătat, studiul arborelui prin profilul longitudinal al fusului oferă informații utile privind forma și dimensiunile în valori absolute pentru fiecare individ, dar nu permite generalizarea formei fusului prin funcții matematice. Impedimentul constă în amplitudinea mare de variație a diametrului de bază și înălțimii arborilor chiar și pe o suprafață restrânsă. Curba de contur a fusului unui arbore, materializată grafic ca variație a diametrului relativ față de înălțimea relativă a fusului de la bază până la vârf, oferă posibilitatea comparării arborilor de mărimi și specii diferite sau în cadrul aceleiași specii sub aspectul formei (Vasilescu, 2020). Astfel, se înlătură dezavantajul pe care îl are prelucrarea

datelor în valori absolute. Pentru exemplificare, mai jos este ilustrată transformarea setului de date reprezentând diametrele de-a lungul fusului în valori relative (figura 24) pentru 3 exemplare de molid cu vârsta de 120 ani (Vasilescu, 2020), indicate anterior în figura 21 b în valori absolute ca variație a razei față de înălțime. Se observă că trecerea de la valori absolute la valori relative modifică poziția vârfului arborelui, pentru cei trei arbori de înălțimi diferite în același punct (Vasilescu, 2020), corespunzător perechii de valori (1, 0).

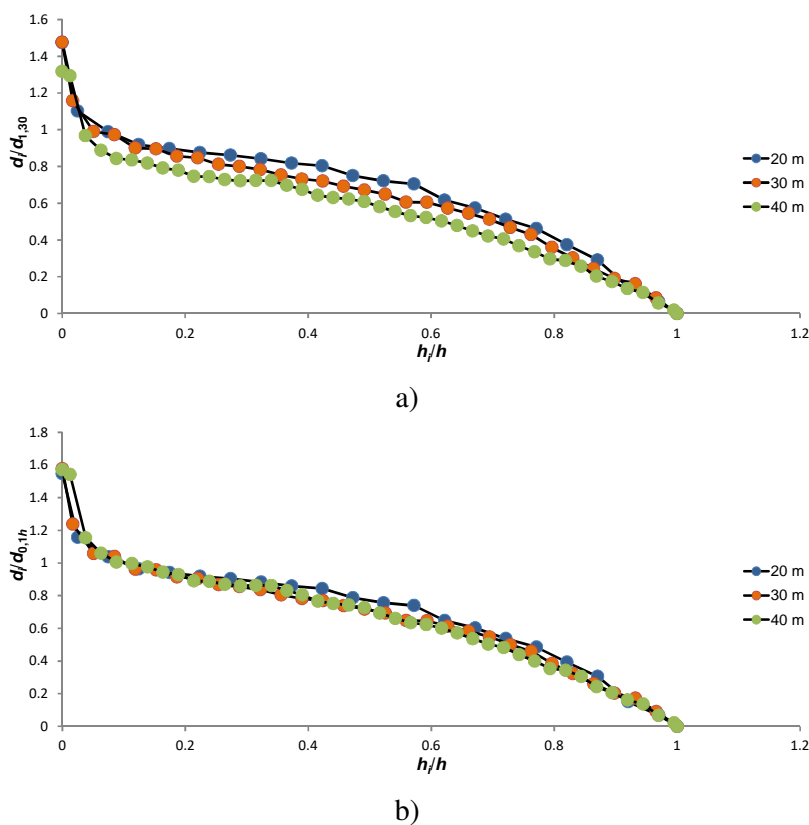


Figura 24. Curba de contur a fusului obținută din date experimentale pentru 3 exemplare de molid – a) prin calcularea diametrelor relative în raport cu diametrul de bază; b) prin calcularea diametrelor relative în raport cu diametrul măsurat la nivelul $0,1 \cdot h$

Diametrele relative se pot calcula ca raport între diametrele măsurate de-a lungul fusului și diametrul de bază (figura 24 a) sau ca raport față de diametrul măsurat la nivelul $0,1 \cdot h$ (figura 24 b), considerând h înălțimea totală a arborelui. În plus, se constată că trecerea la diametre și înălțimi relative reduce gradul de împrăștiere a punctelor, ceea ce facilitează analizarea formei fusului prin modelarea matematică a curbei de contur. Totodată, se poate preciza că diametrele relative caracterizează mai bine curba de contur atunci când sunt calculate în funcție de valoarea diametrului măsurat la nivelul $0,1 \cdot h$ (Vasilescu, 2020).

Această concluzie este argumentată de faptul că diametrul de bază se măsoară la nivelul arbitrar 1,30 m (Snyder, 2006) care, în valori relative, reprezintă mărimi diferite, în funcție de înălțimea totală a arborelui.

Totuși, pentru modelarea matematică a curbei de contur trebuie să se pornească de la baze largi de date, conținând diametrele măsurate de-a lungul fusului pentru sute, chiar mii de arbori (Vasilescu, 2020). Metoda de colectare a datelor de teren presupune doborârea arborilor și măsurarea diametrelor de-a lungul fusului, lucru posibil numai în parchete autorizate pentru exploatare. Metoda de elaborare a ecuațiilor curbelor de contur necesită parcurgerea următoarelor etape de lucru (figura 25) (Vasilescu, 2020):

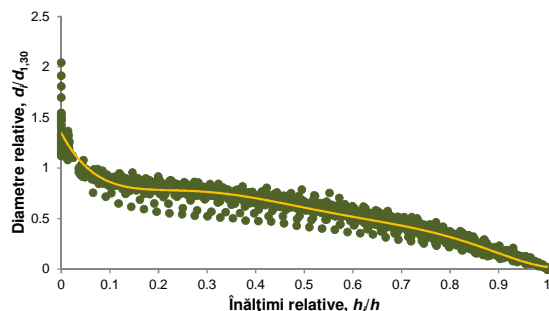
- ✓ descrierea arboretelor studiate și inventarierea arborilor pe picior (1);
- ✓ doborârea arborilor analizați (2);
- ✓ măsurarea lungimii fusului și a diametrelor de-a lungul fusului (3);
- ✓ realizarea bazei de date și prelucrarea datelor de teren (4);
- ✓ aplicarea unui număr cât mai mare de funcții ale curbei de contur, alegerea celei mai potrivite funcții și verificarea rezultatelor (5).



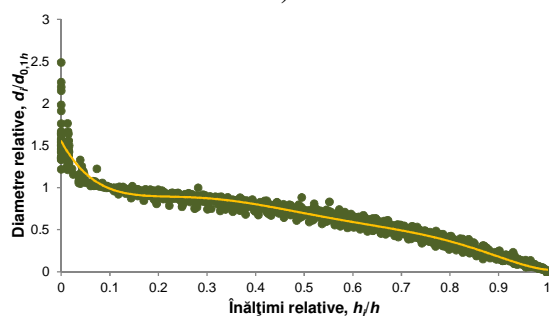
Figura 25. Etape de lucru în elaborarea funcțiilor curbei de contur

Pentru exemplificare, mai jos sunt redată grafic (figura 26) rezultatele studiului formei fusului la specia molid pentru 30 de exemplare dintr-un arboret cu vârsta de 120 ani, prin măsurarea pe teren a diametrelor de-a lungul fusului la distanțele 0,00 m, 0,50 m, 1,50 m, 2,50 m, 3,50 m, 4,50 m etc față de baza arborelui doborât și până la vârf. Arborii luați în studiu au diametrul de bază în intervalul 26,1-79,1 cm și înălțimea totală în intervalul 20,1-

41,3 m (Vasilescu, 2020). În figura 26 a, diametrele relative sunt exprimate ca raport față de diametrul de bază al arborelui, iar în figura 26 b sunt expresia împărțirii diametrului măsurat la distanța i față de baza arborelui la diametrul măsurat la distanța $0,1 \cdot h$ față de baza arborelui.



a)



b)

Figura 26. Nor de puncte care descriu curba de contur pentru 30 exemplare de molid – a) prin calcularea diametrelor relative în raport cu diametrul de bază; b) prin calcularea diametrelor relative în raport cu diametrul măsurat la nivelul $0,1 \cdot h$

Ideea desprinsă din analiza figurii 24 b este mai bine conturată în figura 26, unde este evidentă reducerea variației diametrului relativ pentru o înălțime relativă dată atunci când se lucrează cu valorile relative calculate cu $d_{0,1h}$ comparativ cu cele calculate în funcție de diametrul de bază. Această observație este extrem de importantă pentru definirea variabilelor din funcțiile care permit modelarea matematică a curbei de contur a fusului (Vasilescu, 2020).

Ecuțiile de regresie ale curbei de contur au o importanță științifică și practică deosebită, deoarece permit determinarea pe cale analitică a principalelor caracteristici biometrice ale fusului. De-a lungul timpului au fost propuse diferite funcții (tabelul 1) pentru modelarea matematică a curbei de contur a fusului (Kozak et al., 1969; Max și Burkhart, 1976; Newberry et al., 1986; Malimbwi și Philip, 1989; Bi, 2000; Sharma și Oderwald, 2001;

Kozak, 2004; Arias-Rodil et al., 2014; etc), verificate pentru un număr limitat de specii pentru care s-a dispus de diametre măsurate de-a lungul fusului.

Tabelul 1. Ecuații ale curbei de contur a fusului – selecție

Autori	Ecuații ale curbei de contur
Polinomul de gradul 5	$d_i = d \left[b_0 + b_1 \frac{h_i}{h} + b_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + b_3 \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + b_4 \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 + b_5 \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 \right]$
Kozak et al. (1969)	$\frac{d_i^2}{d^2} = b_1 \left(\frac{h_i}{h} - 1 \right) + b_2 \left(\frac{h_i^2}{h^2} - 1 \right)$
Cervera (1973)	$d_i = d \left[b_1 + b_2 \frac{h - h_i}{h - 1,3} + b_3 \left(\frac{h - h_i}{h - 1,3} \right)^2 + b_4 \left(\frac{h - h_i}{h - 1,3} \right)^3 + b_5 \left(\frac{h - h_i}{h - 1,3} \right)^4 \right]$
Demaerschalk (1973)	$d_i = b_1 d b_2 \frac{(h - h_i)^{b_3}}{h^{b_4}}$
Max și Burkhardt (1976) ¹⁾	$d_i = d \left[b_1 \left(\frac{h_i}{h} - 1 \right) + b_2 \left(\left(\frac{h_i}{h} \right)^2 - 1 \right) + b_3 \left(b_5 - \frac{h_i}{h} \right)^2 I_1 + b_4 \left(b_6 - \frac{h_i}{h} \right)^2 I_2 \right]^{0,5}$
Giurgiu, 1979	$d_i = \left[\sum_{j=0}^{10} A_j \left(\frac{h_i}{h} \right)^j + \sum_{j=0}^{10} B_j \left(\frac{h_i}{h} \right)^j \cdot \frac{d_{0,5}}{d_{0,1}} \right] d_{0,1}$
Biging (1984)	$d_i = d \left[b_1 + b_2 \ln \left(1 - \frac{h_i}{h} \right) \right]^{\frac{1}{m}} \left(1 - e^{-\frac{b_1}{b_2}} \right)$
Newberry et al. (1986)	$d_i = b_0 d \left(\frac{h - h_i}{h - 1,3} \right)^{b_1}$
Kozak (1988) ²⁾	$d_i = d \left(\frac{1 - \sqrt{\frac{h_i}{h}}}{1 - \sqrt{100 \frac{h_i}{h}}} \right)^c$ $c = b_0 + b_1 \frac{h_i}{h} + b_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + \frac{b_3}{h_i/h} + b_4 \ln \left(\frac{h_i}{h} + 0,001 \right) + b_5 \sqrt{\frac{h_i}{h}} + b_6 e^{h_i/h} + b_7 \frac{d}{h}$
Malimbwi și Philip (1989) ³⁾	$d_i = 0,774 d^{0,932} \frac{(h - h_i)^{0,610}}{h^{0,448}}$
Perez et al. (1990)	$d_i = b_0 d^{b_1} b_2^d \left(\frac{h_i}{h} \right)^c$
Bi (2000)	$d_i = d \left[\frac{\log \sin \left(\frac{\pi h_i}{2 h} \right)}{\log \sin \left(\frac{\pi 1,3}{2 h} \right)} \right]^{b_1 + b_2 \sin \left(\frac{\pi h_i}{2 h} \right) + b_3 \cos \left(\frac{3 \pi h_i}{2 h} \right) + b_4 \sin \left(\frac{\pi h_i}{2 h} \right) / \frac{h_i}{h} + b_5 d + b_6 \frac{h_i}{h} \sqrt{d} + b_7 \frac{h_i}{h} \sqrt{h}}$
Sharma și Oderwald (2001) ⁴⁾	$d_i = d \sqrt{\left(\frac{h_i}{1,37} \right)^{-0,185} \cdot \frac{h - h_i}{h - 1,37}}$
Kozak (2004)	$d_i = a_0 d^{a_1} h^{a_2} x^{b_1 \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 + b_2 \frac{1}{e^{d/h}} + b_3 x^{0,1} + b_4 \frac{1}{d} + b_5 h^{1 - \sqrt{h_i/h}} + b_6 x}$ $x = \frac{1 - \sqrt[3]{h_i/h}}{1 - \sqrt[3]{1,3/h}}$
Arias-Rodil et al. (2014)	$d_i = 2 \left[\frac{b_1 d}{1 - e^{b_3(1,3-h)}} + \left(\frac{d}{2} - b_1 d \right) \left(1 - \frac{1}{1 - e^{b_2(1,3-h)}} \right) + e^{-b_2 h} \left(\frac{\left(\frac{d}{2} - b_1 d \right) e^{1,3 b_2}}{1 - e^{b_2(1,3-h)}} \right) - e^{b_3 h} \left(\frac{b_1 d e^{-b_3 h}}{1 - e^{b_3(1,3-h)}} \right) \right]$

¹⁾ $I_1 = 1$ dacă $h_i/h \leq b_5$; $I_1 = 0$ dacă $h_i/h > b_5$; $I_2 = 1$ dacă $h_i/h \leq b_6$; $I_2 = 0$ dacă $h_i/h > b_6$;

²⁾ d_i este diametrul la punctul de inflexiune al curbei, iar h_i este înălțimea corespunzătoare deasupra solului;

³⁾ diametrul d_i este estimat ca diametru fără coajă;

⁴⁾ diametrul de bază d este măsurat la 1,37 m față de sol;

Unele funcții exprimă diametrul d_i la o înălțime h_i pe fusul arborelui în funcție de diametrul de bază (d), de înălțimea arborelui (h), de înălțimea h_i corespunzătoare diametrului d_i și diferiți coeficienți, iar alte funcții introduc și variabile noi, cum ar fi proporția coroanei (Valenti, 1986). Totodată, în funcție de autor și de țara în care au fost testate, diametrul de bază a fost măsurat la 1,30 m sau 1,37 m ori au fost considerate diametrele cu coajă sau diametrele fără coajă.

Indiferent de forma pe care o îmbracă ecuațiile curbei de contur (funcții polinomiale, funcții exponențiale, funcții trigonometrice sau combinații ale acestora), s-a dovedit că rezultatele sunt mai bune atunci când o funcție se aplică pentru segmente ale fusului bine delimitate, caz în care identificarea punctelor de inflexiune ale curbei de contur a fusului capătă noi semnificații (Vasilescu, 2020). Desigur că aplicarea unei funcții pentru segmente situate între punctele de inflexiune ale curbei conduce la obținerea de coeficienți specifici fiecărei porțiuni a fusului. Modelul matematic al curbei de contur a fusului întreg reunește curbele teoretice ale segmentelor delimitate și impune aplicarea unor condiții suplimentare pentru unirea cu continuitate a acestora.

În tabelul 1 sunt prezentate ecuații, unele devenite clasice (Kozak et al., 1969; Demaershalk, 1973; Max și Burkhart, 1976; Biging, 1984; Kozak, 1988; Sharma și Oderwald, 2001) prin utilizarea ca modele comparative pentru modelarea matematică a curbei de contur a fusului în studiile din ultimele două decenii.

Astăzi, valoare superioară au funcțiile curbei de contur care sunt flexibile sau care permit calibrarea în funcție de indicatori suplimentari ai arboretului. Totodată, posibilitatea de a transforma funcțiile curbei de contur în funcții care permit estimarea volumului reprezintă un argument solid pentru care ecuațiile compatibile cu ecuații ale volumului sunt aplicate în continuare pentru diferite specii (Vasilescu, 2020).

3.3. Diametrul median al ariei secțiunii longitudinale a fusului arborelui, semnificații și metode de estimare

- **Diametrul median al ariei secțiunii longitudinale a fusului – caracteristică distinctă a profilului**

Importanța cunoașterii diametrului median al ariei secțiunii longitudinale a fusului derivă din posibilitatea pe care o oferă în privința estimării volumului cu ajutorul formulei matematice (ecuația 7) descrise de Mathiesen (1925)

$$v = \frac{3}{4} \cdot dm \cdot S \quad (7)$$

în care:

dm este diametrul median al ariei secțiunii longitudinale a fusului;

S este aria secțiunii longitudinale a fusului (ΣS_i);

v este volumul fusului.

Aria fiecărui tronson, $S_i (l \cdot d_i)$ se bazează pe l , lungimea tronsoanelor, iar d_i reprezintă diametrul de la mijlocul lungimii tronsoanelor i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$). Această metodă a fost propusă în anul 1925 și are la bază principiul conform căruia centrul de greutate al fusului este localizat la nivelul diametrului median al ariei secțiunii longitudinale a fusului. Diametrul median este definit ca diametrul care împarte profilul longitudinal al fusului în două părți de arie egală. Având în vedere că determinarea diametrului median necesită calcule laborioase, formula lui Mathiesen de estimare a volumului a fost evitată în practică, fiind astfel preferată formula lui Huber pentru estimarea precisă a volumului fusului (Ichim, 1954; Leahu, 2007). Mărimea diametrului median poate fi estimată cu ajutorul ariei secțiunii longitudinale dacă se cunoaște forma profilului, cu ajutorul programelor de grafică așa cum sunt cele utilizate în geodezie (Tereșneșu și Ionescu, 2011; Tereșneșu, 2012). Cu toate acestea, în practică este dificilă cuantificarea formei profilului, făcând această metodă ineficientă.

Vasilescu et al. (2017a) au elaborat o metodă mai rapidă de estimare a diametrului median al ariei secțiunii longitudinale a fusului pentru specia molid (*Picea abies* Karst.). O astfel de metodă face posibilă utilizarea formulei lui Mathiesen în practică. În plus, pentru că rezistența arborelui este în relație cu masa fusului (Peltola, 2006; Urata et al., 2011), diametrul median calculat în funcție de aria secțiunii longitudinale a fusului poate fi utilizat în studiile de rezistență a arborilor față de vânt. Având în vedere importanța și procentul (22%) ocupat de pădurile de molid în România (Șofletea și Curtu, 2007), studiul întreprins de Vasilescu et al. (2017a) s-a concentrat pe această specie.

- **Material și metodă de cercetare**

Baza de date specifică acestui studiu a fost elaborată în anul 2012 (Vasilescu, 2013b) și include diametre de-a lungul fusului pentru 5403 exemplare de molid din România, grupate în 218 clase de mărimi stabilite în funcție de diametrul de bază și înălțimea arborelui. Măsurătorile au fost efectuate de Institutul de Cercetări și Experimentație Forestieră înainte de anul 1950 în suprafețe de probă localizate în arealul molidului din România. Baza de date constă din arbori de molid cu diametrul de bază (dbh) cuprins între 12 și 60 cm, și înălțimea (h) variind între 10 și 42 m. Aceste date au fost publicate în anul 1957 sub forma Tabelor

generale de descreștere a diametrului fusului (Popescu-Zeletin et al., 1957). Pentru toate cele 218 clase de mărimi, Vasilescu (2013b) a calculat diametrul median (ecuația 8) al ariei secțiunii longitudinale a fusului (figura 27) utilizând tronsoane cu lungimea de 2 m, înălțimea absolută (h_{dm}) față de capătul gros al trunchiului la care diametrul median este localizat (ecuația 9), precum și înălțimea relativă (h_{dmrel}) față de capătul gros al trunchiului la care acest diametru apare (ecuația 10).

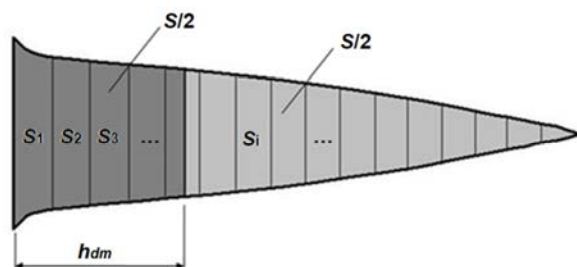


Figura 27. Poziția diametrului median al ariei secțiunii longitudinale a fusului

Diametrul median al profilului fusului poate fi estimat cu ajutorul ecuației 8

$$dm = d_{m1} - (d_{m1} - d_{m2}) \cdot \frac{\frac{S}{2} - S_{m1}}{S_{m2} - S_{m1}} \quad (8)$$

în care:

S_{m1} și S_{m2} sunt ariile cu valoarea inferioară și superioară lui $S/2$ în șirul ariilor cumulate ale tronsoanelor;

d_{m1} și d_{m2} sunt diametrele corespunzătoare ariilor S_{m1} și S_{m2} .

Caracteristica h_{dm} poate fi estimată cu ecuația 9

$$h_{dm} = h_{dm1} + (h_{dm2} - h_{dm1}) \cdot \frac{d_{m1} - dm}{d_{m1} - d_{m2}} \quad (9)$$

în care:

h_{dm1} și h_{dm2} sunt distanțele între capătul gros al trunchiului și secțiunile specifice diametrelor d_{m1} și d_{m2} .

Ca urmare, înălțimea relativă h_{dmrel} poate fi estimată cu ecuația 10.

$$h_{dmrel} = \frac{h_{dm}}{h} \quad (10)$$

În studiul elaborat de Vasilescu (2013b), diametrele de bază au fost grupate în 25 de clase cu amplitudinea de 2 cm, iar înălțimile arborilor au fost încadrate în clase cu amplitudinea egală cu 2 m.

Analiza corelației a fost aplicată de Vasilescu et al. (2017a) pentru a testa asocierea dintre dm , h_{dm} și h_{dmrel} cu dbh , respectiv cu h . Totodată, dbh și h au fost utilizate ca variabile independente în analiza regresiei în vederea identificării unei metode rapide de estimare a diametrului median. Cele mai potrivite modele pentru a exprima relația între diametrul median sau înălțimea secțiunii specifice acestuia și mărimea arborelui au fost examinate de Vasilescu et al. (2017a) prin aplicarea testului F (Fisher). Precizia modelelor pentru diametrul median al profilului fusului a fost estimată prin calcularea diferențelor între valorile estimate și valorile observate (ecuația 11).

$$Bias_{dm} = \frac{dm_{est} - dm_{obs}}{dm_{obs}} \cdot 100 \quad (11)$$

Coeficientul de variație în cadrul claselor dbh a fost calculat pentru înălțimea arborelui, diametrul median al profilului fusului, precum și pentru înălțimea absolută și relativă în vederea evaluării omogenității datelor.

- **Rezultate și discuții**

Pentru molidul din România, variația diametrului median al profilului fusului în funcție de diametrul de bază este prezentată în figura 28 a (Vasilescu et al. 2017a). Analiza regresiei a condus la o legătură pozitivă, semnificativă ($R^2 = 0,9985$; $F = 143871,1$; $df = 1, 216$; $P < 0,0001$) și la modelul de regresie pentru dm (ecuația 12).

$$dm = 0,7061 \cdot dbh + 3,235 \quad (12)$$

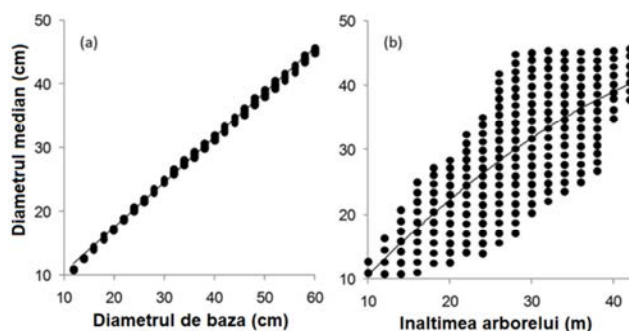


Figura 28. Variația diametrului median al profilului fusului la arbori de molid în funcție de –
a) diametrul de bază; b) înălțimea arborelui

Aceleași valori ale diametrului median grupate după înălțimea totală a arborilor a indicat o variație mai largă pentru fiecare clasă de înălțimi (figura 28 b) (Vasilescu et al. 2017a). Utilizând perechi de valori definite de diametrul median și înălțimea totală a arborelui, coeficientul de determinare R^2 a fost de doar 0,5523. Cel mai potrivit model de

predicție este în acest caz un polinom de gradul 2 (ecuația 13) pentru care precizia este mai scăzută comparativ cu modelul anterior ($R^2 = 0,5523$; $F = 132,6324$; $df = 2, 215$; $P < 0,0001$).

$$dm = -0,0111 \cdot h^2 + 1,5076 \cdot h - 3,4374 \quad (13)$$

Legătura între înălțimea absolută a diametrului median și diametrul de bază, respectiv înălțimea arborelui este prezentată în figura 29 (Vasilescu et al. 2017a).

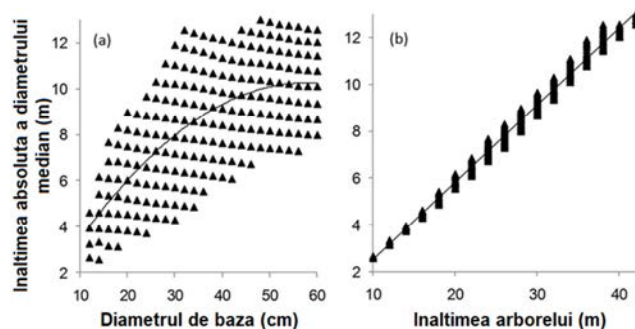


Figura 29. Variația înălțimii absolute a diametrului median al profilului fusului la arbori de molid în funcție de – a) diametrul de bază; b) înălțimea arborelui

Ecuația de regresie polinomială, aplicată în figura 29 a, a indicat o legătură mai slabă ($R^2 = 0,4573$; $F = 90,5741$; $df = 2, 215$; $P < 0,0001$) comparativ cu modelul aplicat în figura 29 b ($R^2 = 0,9876$; $F = 17234,41$; $df = 1, 216$; $P < 0,0001$). Cele mai potrivite modele (Vasilescu et al. 2017a) care utilizează dbh și h ca predictorii sunt ecuațiile 14 și 15.

$$h_{dm} = -0,0030 \cdot dbh^2 + 0,3421 \cdot dbh + 0,3698 \quad (14)$$

$$h_{dm} = 0,3288 \cdot h - 0,7621 \quad (15)$$

Precizia mai slabă a ecuației 14 a fost confirmată de gradul de dispersie mai mare al valorilor h_{dm} , așa cum se observă în figura 29 a.

O corelație pozitivă a fost identificată între înălțimea absolută a diametrului median și înălțimea totală a arborelui ($r = 0,9937$).

Esența studiului întreprins de Vasilescu et al. (2017 a) constă în analiza legăturii între înălțimea relativă a diametrului median și caracteristicile dbh și h ale arborilor din specia molid. Rezultatele au arătat că înălțimea relativă a diametrului median este slab corelată cu diametrul de bază (figura 30 a). Valorile h_{dmrel} sunt în principal distribuite în jurul unei asimptote orizontale (termenul liber este 0,2961, $t_{[216]} = 103,0696$, $P < 0,0001$), corespunzător ecuației 16.

$$h_{dmrel} \approx 0,3 \quad (16)$$

Valoarea medie pentru h_{dmrel} , calculată pentru toate cele 218 clase de mărimi, a fost de $0,298695 \pm 0,001936$ (probabilitatea de acoperire 95%), cu un coeficient scăzut de variație

(4,88%) care indică omogenitatea colectivității. Rezultatele (Vasilescu et al. 2017a) au evidențiat că diametrul median al profilului fusului poate fi estimat ca fiind diametrul măsurat la distanța $0,3 \cdot h$ în cazul molidului din România.

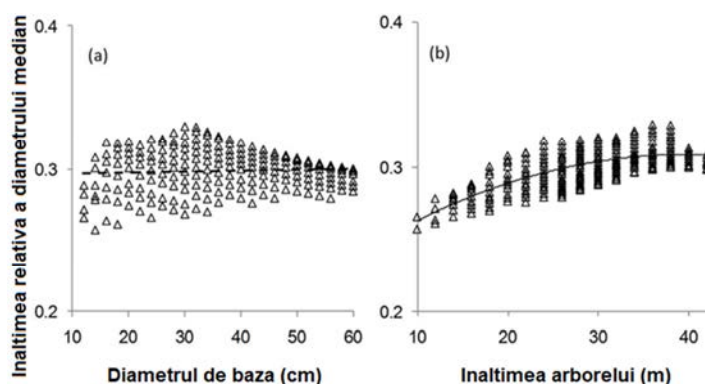


Figura 30. Variația înălțimii relative a diametrului median al profilului fusului la arbori de molid în funcție de – a) diametrul de bază; b) înălțimea arborelui

Legătura între diametrul median al ariei secțiunii longitudinale a fusului și înălțimea totală a arborelui (figura 30 b) a fost modelată cu ajutorul funcției polinomiale (ecuația 17) pentru care $R^2 = 0,5344$; $F = 123,4187$; $df = 2, 215$; $P < 0,0001$.

$$h_{dmrel} = 0,22738 + 0,004132 \cdot h - 0,000052 \cdot h^2 \quad (17)$$

Varibilitatea datelor a fost analizată prin intermediul coeficientului de variație calculat la nivel de clasă de diametre de bază pentru fiecare variabilă studiată: înălțimea arborelui, diametrul median al secțiunii longitudinale a fusului, precum și înălțimea absolută și relativă a diametrului median.

Clasele de diametre de bază au fost omogene pentru toate variabilele studiate (Vasilescu et al. 2017a). Coeficientul de variație a fost sub 30% în cele mai multe cazuri, variind între 13,99% și 25,78% pentru înălțimea totală, și între 15,73% și 31,64% pentru înălțimea absolută a diametrului median al fusului. Comparativ, intervalul coeficientului de variație pentru valorile diametrului median, de la 0,60% la 1,64%, respectiv pentru valorile înălțimii relative a diametrului median, de la 2,04% la 6,74%, a fost semnificativ mai mic. Având în vedere omogenitatea datelor, mediile aritmetice corespunzătoare claselor *dbh* au putut fi utilizate. În acest caz, media aritmetică a valorilor h_{dmrel} a fost 0,2978. Variația observată a valorilor medii pentru h_{dmrel} la nivelul celor 25 clase de diametre de bază a fost extrem de scăzută (coeficientul de variație = 1,99%).

Diametrul median al profilului fusului estimat cu ecuația 12 în funcție de *dbh* a fost comparat cu valoarea reală a diametrului median (Vasilescu et al. 2017a) estimat cu metoda

clasică (ecuația 8), iar eroarea maximă absolută a fost de 0,88 cm. Pentru 57,34% din arborii analizați a fost observată o diferență chiar mai scăzută (între -3 și 3 mm).

Vasilescu et al. (2017a) au calculat, de asemenea, abaterea relativă a diametrului median estimat cu cele două metode, anterior menționate (figura 31). Rezultatele au arătat că abaterile au fost mai mici de 2% în 86,24% din arborii analizați. Diferențele relative ajung la 7,60% pentru arborii cu dbh în intervalul 12-14 cm, respectiv cu h în intervalul 10-14 m. Diferențe similare au fost obținute dacă se compară diametrele măsurate la distanța $0,3 \cdot h$ cu diametrul median al profilului longitudinal calculat cu ecuația 8.

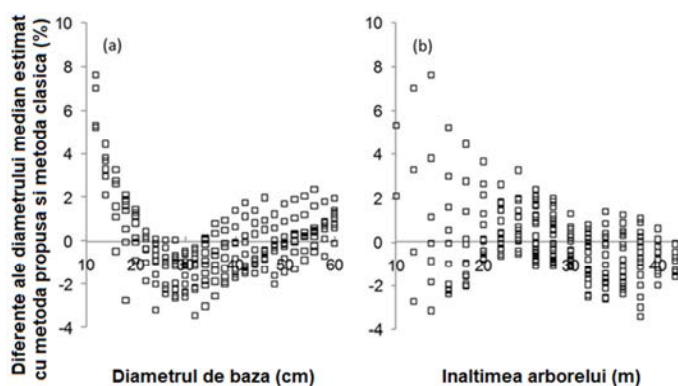


Figura 31. Variația abaterilor relative (%) ale diametrului median al profilului fusului la arbori de molid față de – a) diametrul de bază; b) înălțimea arborelui

Tabelul 2 indică cele mai potrivite modele matematice pentru estimarea diametrului median al profilului fusului și a înălțimii absolute și relative a secțiunii specifice diametrului median. Cele trei caracteristici ale profilului fusului pot fi estimate cel mai bine utilizând ca variabile ambele caracteristici dendrometrice, dbh și h (Vasilescu et al. 2017a).

Rezultatele obținute de Vasilescu et al. (2017a) au indicat două metode, anterior precizate, care ar putea fi utilizate pentru estimarea rapidă a diametrului median al profilului fusului arborilor de molid din România: (i) utilizând ecuația 12, bazată pe dbh , sau varianta simplificată (ecuația 18) cu o precizie mai scăzută; (ii) măsurând diametrul fusului la distanța de $0,3 \cdot h$ față de capătul gros al trunchiului.

$$dm = 0,7 \cdot dbh + 3 \quad (18)$$

Prima metodă implică numai măsurarea diametrului de bază și un calcul simplu și se poate aplica atât pentru arborii pe picior, cât și pentru arborii doborâți. Cea de-a doua metodă necesită măsurarea lungimii fusului (considerată egală cu înălțimea arborelui), urmată de măsurarea diametrului median la $0,3 \cdot h$ față de capătul gros al fusului. Aceste rezultate sunt în acord cu cercetările lui Forslund (1982) care a atătat ca la plop, excluzând crăcile, centrul de

greutate al trunchiului este poziționat la 3/10 din înălțime, față de bază. Wood et al. (1990) a subliniat, de asemenea, importanța secțiunii fusului de la $0,3 \cdot h$, prin rezultatele pe care le produce în estimarea volumului arborelui atunci când este luată în considerare.

Tabelul 2. Modele de regresie multiplă pentru diametrul median și înălțimea absolută și relativă a secțiunii specifice diametrului median

Ecuția de regresie	R^2	df	F	P
$dm = 2,716099 + 0,688689 \cdot dbh + 0,041612 \cdot h$	0,999055	2, 215	113689,80	< 0,0001
$h_{dm} = -0,703391 + 0,029121 \cdot dbh + 0,365176 \cdot h$	0,998636	2, 215	78681,77	< 0,0001
$h_{dmrel} = 0,244829 - 0,000983 \cdot dbh + 0,002511 \cdot h$	0,873587	2, 215	742,88	< 0,0001

Implicațiile practice ale celor două metode propuse sunt relevante, mai ales că înălțimea relativă a diametrului median este corelată cu distribuția volumului de-a lungul fusului arborelui. Metodele descrise pot fi aplicate și pentru alte specii pentru a valida eficiența acestora, în special în cazul coniferelor. Totodată, formula lui Mathiesen pentru estimarea volumului poate fi modificată și îmbunătățită prin utilizarea metodelor propuse. Rezultatele obținute de Vasilescu et al. (2017a) demonstrează utilitatea estimării volumului arboretelor cu ajutorul diametrului median al profilului fusului. În mod similar, Coble și Wiant (2000) au ilustrat precizia metodei centrului de greutate la estimarea volumului arborilor pe picior pentru două specii de pin, prin măsurarea unui diametru superior de-a lungul fusului.

Diametrul median al profilului fusului ar putea fi utilizat pentru a studia arhitectura arboretelor și competiția între arbori (figura 32) (Vasilescu et al., 2017a). Într-adevăr, distribuția numărului de arbori în funcție de diametrul median, pe baza datelor din inventarieri, conduce la un mod mult mai precis de caracterizare a structurii arboretelor și a relațiilor între arbori. Mai mult, diametrul median permite elaborarea unor modele de creștere a arborilor, similare celor utilizate în Elveția, pentru a estima creșterea arborilor individuali în funcție de dbh , h și un diametru superior de-a lungul fusului (van Laar și Akça, 2007). Totodată, posibilitatea utilizării secțiunii de la nivelul $0,3 \cdot h$ poate fi explorată ca indice de competiție între arbori (Vasilescu et al., 2017a).

Comparând cu dbh , dm asigură o precizie mai mare de estimare a formei fusului (Vasilescu et al., 2017a). De asemenea, oferă un mod mai bun pentru indicarea răspunsului formei arborilor la variațiile factorilor de mediu (Vasilescu et al., 2017a). De exemplu, Pollanschütz (1965) a elaborat un model cu 3 variabile (dbh , h și $d_{0,3 \cdot h}$) pentru a estima

coeficientul de formă. Secțiunea localizată la $0,3 \cdot h$ de-a lungul fusului caracterizează mai bine abilitatea arborilor de a răspunde la factorii ecologici (Vasilescu et al., 2017a). Jumătate din aria secțiunii longitudinale a fusului și aproximativ 50% din volumul fusului se concentrează sub secțiunea specifică diametrului median al profilului arborelui, $0,3 \cdot h$, conform studiului întreprins de Vasilescu et al. (2017a). În plus, proiecția orizontală a ariei secțiunii transversale corespunzătoare lui dm poate reprezenta o nouă abordare pentru evaluarea stabilității arborilor. Raportul dm/h este util pentru estimarea modulului de rupere al fusului și a rezistenței arborilor la doborâturi și rupturi de vânt (Vasilescu et al., 2017a).

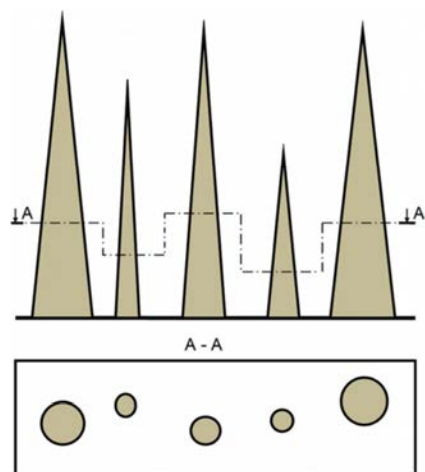


Figura 32. Reprezentarea schematică a structurii arboretelor utilizând diametrul median al profilului fusului

În concluzie, studiul desfășurat de Vasilescu et al. (2017a) propune două metode de estimare a diametrului median al profilului fusului, fără măsurarea unui număr mare de diametre de-a lungul fusului. Diametrul median poate fi estimat fără a aplica formula clasică ce necesită aria secțiunii longitudinale a fusului. Vasilescu et al. (2017a) au demonstrat că diametrul măsurat la distanța $0,3 \cdot h$ reprezintă o bună aproximare a diametrului median. Analiza preciziei modelelor propuse a indicat diferențe mai mici de 2% în cele mai multe dintre cazuri. Distribuția arborilor în funcție de diametrul median al profilului fusului reprezintă o nouă direcție pentru studiul dinamicii pădurilor. Raportul între diametrul median al profilului fusului și înălțimea arborelui ar putea fi aplicat pentru măsurarea altor factori importanți din punct de vedere economic, cum ar fi modulul de rupere a fusului și rezistența arborelui la deșădăcinare.

4. Influențe metodologice asupra preciziei de estimare a volumului lemnului rotund

4.1. Analiza critică a legislației referitoare la cubajul pieselor de lemn rotund, în context științific

4.1.1. Estimarea volumului pieselor de lemn rotund

Vasilescu (2017) a analizat factorii care influențează precizia de estimare a volumului pieselor de lemn rotund cu scopul de a formula propuneri, argumentate științific, de modificare a unor acte normative în vigoare.

Este cunoscut faptul că personalul silvic nu poate stabili cu ușurință volumul pieselor de lemn rotund de lungimi mari din cauza neregularităților pieselor atât în secțiunea transversală, cât și longitudinală (Philip, 1994). Totodată, există diferențe în utilizarea formulelor de cubaj în diferite zone geografice (Akossou et al., 2013). Formula lui Huber este mai utilizată în Europa, având în vedere acuratețea acesteia, în timp ce formula lui Smalian este preferată în S.U.A., dată fiind practicabilitatea acesteia (impune măsurarea diametrelor de la capetele piesei). West (2009) a evidențiat că mai importantă decât alegerea formulei de cubaj este decizia asupra cât ar trebui să fie lungimea tronsoanelor pentru care se aplică.

Referindu-se la diametru, West (2009) a evidențiat că această noțiune implică acceptarea formei circulare a secțiunii transversale. Prima problemă la măsurarea diametrului este că secțiunile transversale ale fusului arborelui nu sunt niciodată exact circulare (West, 2009). Pentru că determinarea exactă a ariei secțiunii transversale a pieselor este de obicei impracticabilă, aceasta se determină prin estimări realizate prin standardizarea procedurilor de măsurare (Philip, 1994).

În literatura de specialitate sunt precizate unele mărimi privind eroarea standard a metodei de cubaj în funcție de lungimea și diametrul de la mijlocul lungimii piesei, precum și valori ale erorilor ce se pot înregistra la măsurarea diametrelor și lungimilor, în funcție de sursa de eroare.

În scopuri practice, curba de contur a unor părți din trunchi s-a asimilat cu diferite curbe generatoare ale unor corpuri geometrice de rotație cunoscute: cilindru, con, paraboloid apolonian, trunchi de neiloid etc (Giurgiu, 1979; Leahu, 1994). Formula lui Huber (ecuația 19), fundamentală pentru dendrometrie, arată că volumul reprezintă produsul dintre lungimea (L) și suprafața secțiunii la mijlocul piesei (Antonescu, 1904). Formula cubează exact cilindrul și paraboloidul întreg sau trunchiat (Giurgiu, 1979; Leahu, 1994), dar pentru corpuri conice sau neiloidice, rezultatele sunt afectate de erori negative (Leahu, 1994).

$$v = \frac{\pi}{4} \cdot d_{0,5}^2 \cdot L \quad (19)$$

în care $d_{0,5}$ reprezintă diametrul măsurat la mijlocul lungimii piesei.

În dendrometrie această formulă se folosește destul de frecvent, precizia fiind cu atât mai mare cu cât lungimea pieselor cubate este mai mică (Giurgiu, 1979). Deși are cea mai mare aplicabilitate în economia forestieră, acest procedeu nu este aplicabil pentru piese de lemn rotund mai lungi de 7 m, cu atât mai mult pentru cele provenite din partea inferioară sau superioară a fusului (figura 33), erorile sistematice negative putând ajunge la 4%, la care se adaugă eroarea medie pătratică de $\pm 9-10\%$, la o probabilitate de acoperire de 68% (Giurgiu, 1979; Giurgiu et al., 2004).



Figura 33. Piese de lemn rotund pentru care are aplicabilitate formula lui Huber – a) în varianta simplă; b) în varianta compusă

Eroarea medie pătratică poate fi redusă considerabil dacă procedeu se aplică la un număr mare de piese (Giurgiu et al., 2004). De exemplu, dacă în 68% din cazuri erorile se încadrează în limitele $\pm 10\%$, iar în 95% din cazuri erorile sunt cuprinse în intervalul $\pm 20\%$, în 5% din cazuri aceste erori pot depăși limitele $\pm 20\%$ (Giurgiu, 1979). Pentru un lot de 100 de piese, eroarea standard fiind invers proporțională cu rădăcina pătrată din numărul de măsurători, scade de la $\pm 10\%$ la $\pm 1\%$, iar pentru o probabilitate de acoperire de 95%, intervalul de încredere va fi de $\pm 2\%$ (Giurgiu, 1979).

Erorile maxime pot ajunge până la $\pm 20-25\%$ în cazul stabilirii volumului unei piese, concluzie deosebit de importantă pentru practică, deoarece arată că volumul unui număr redus de piese se determină cu erori foarte mari (Giurgiu, 1979). Formula lui Huber asigură rezultate satisfăcătoare numai în cazul cubării unui număr mare de piese.

Giurgiu (1979) a subliniat că precizia volumului crește dacă se folosește formula compusă a lui Huber (formula lui Huber aplicată repetat pe tronsoane mai scurte) și a

recomandat ca lungimea tronsoanelor să nu depășească 2-3 m, îndeosebi pentru piesele provenite din zona inferioară a fusului (figura 33). Rezultatele sunt satisfăcătoare dacă formula lui Huber se aplică pentru tronsoane cu lungimea de 2 m, caz în care se constată erori sistematice în minus de 1-2%, erori standard de $\pm 1,5-2\%$ și erori individuale maxime de până la $\pm 3-4\%$ (Giurgiu, 1979). Aplicarea formulei pe secțiuni (tronsoane) cu lungimi mai mici reduce atât erorile sistematice, cât și eroarea medie pătratică, fără a le elimina.

Pe lângă erorile menționate anterior, la estimarea volumului se înregistrează și erori întâmplătoare care se produc la măsurarea diametrului și lungimii piesei. Eroarea standard la măsurarea diametrului nu este mai mare de $\pm 3-4\%$, chiar dacă diametrele se grupează în clase, când intervin erorile de rotunjire (Giurgiu, 1979). La măsurarea lungimii, eroarea standard este și mai mică, de cel mult $\pm 0,5\%$ (Giurgiu, 1979).

Se constată că eroarea specifică a procedurii deține cea mai mare pondere, fiind cauzată de variația formei pieselor cubate. Erorile înregistrate la măsurarea diametrelor și a lungimilor au o influență mai mică.

Popescu și Băcilă (1978) au menționat că la măsurarea lungimilor se pot produce erori sistematice și erori accidentale. Cei doi autori au identificat următoarele cauze care generează erori sistematice: măsurarea generatoarei în locul axei trunchiului, defectele de construcție ale instrumentului, uzanțele comerciale.

Deoarece unghiul format de generatoare și axa trunchiului este mic (în general sub 3°) eroarea procentuală înregistrată la măsurarea generatoarei în locul axei trunchiului nu depășește 0,1%. Ca urmare, această eroare nu prezintă importanță din punct de vedere practic. În cazul pieselor cu lungimi de circa 10 m și conicitate mare, eroarea la măsurarea lungimii prin așezarea ruletei de-a lungul generatoarei este egală cu 1-2 cm, ceea ce conduce la o eroare procentuală de 0,1%.

Erorile provenite din imperfecțiunea instrumentelor ar trebui evitate deoarece se cumulează. Aceste erori se pot elimina prin verificarea instrumentului înaintea începerii activității și în timpul lucrului.

Uzanțele comerciale implică anumite supralungimi sau unele rotunjiri ale rezultatelor măsurătorilor, care ar trebui considerate tolerabile.

Erorile accidentale sau întâmplătoare înregistrate la măsurarea lungimilor pot fi generate de următoarele cauze (Popescu și Băcilă, 1978): neparalelismul secțiunilor transversale extreme, forma curbă a trunchiului, neatenția operatorului. În cazul în care secțiunile transversale extreme ale piesei nu sunt paralele, se recomandă măsurarea lungimii

minime. Dacă operatorul nu poate măsura lungimea minimă din cauza poziției piesei în momentul măsurării, atunci eroarea procentuală care se produce poate atinge valoarea 2% în cazul pieselor de lungimi mici. Această eroare întâmplătoare, corelată cu eroarea sistematică ce se înregistrează prin măsurarea lungimii piesei de-a lungul generatoarei, poate conduce la situații în care lungimea piesei se determină cu o eroare de circa 6 cm în cazul pieselor cu lungimi mai mari de 8 m. Exemplul menționat argumentează necesitatea menținerii unei supralungimi de 1 cm/m, indiferent de lungimea piesei.

În cazul prezenței curburii, se recomandă măsurarea lungimii piesei pe tronsoane. Erorile provocate de neîntinderea în aceeași măsură a panglicii, înregistrarea de date eronate în carnetul de teren, așezarea după o linie sinuoasă a metrului de-a lungul axei, pot fi eliminate în mare parte dacă se lucrează atent.

În general, orice eroare înregistrată la măsurarea lungimii se transmite asupra volumului.

Sursele de erori la măsurarea diametrelor și a secțiunilor transversale ale pieselor de lemn rotund sunt cele posibile la utilizarea clupei forestiere și pot fi, în mare parte, eliminate.

4.1.2. Analiza reglementărilor legislative privind cubajul pieselor de lemn rotund

Tot mai frecvent modificările actelor normative în diferite domenii din România provoacă dezbateri aprinse în care sunt implicați reprezentanți ai structurilor emitente, specialiști, membri ai organizațiilor neguvernamentale și reprezentanți ai sectorului economic. Astfel de dezbateri evidențiază în multe cazuri soluțiile optime care respectă principiile fundamentale tehnice și morale (Marinescu, 2011; Marinescu, 2015; Tudoran, 2013; Tudoran, 2016). De exemplu, unele propuneri privind codul silvic recent modificat au fost subliniate în scopul asigurării integrității fondului forestier național și gestionării durabile a pădurilor (Tudoran, 2016).

Intrarea în vigoare a Ordonanței de urgență nr. 51/2016 *pentru modificarea și completarea Legii nr. 171/2010 privind stabilirea și sancționarea contravențiilor silvice* a generat numeroase discuții la sfârșitul anului 2016 (Vasilescu, 2017). Creșterea nivelului sancțiunilor a reprezentat subiectul discuțiilor numai pentru exemple extreme ale aplicării legislației, însă au fost dezbateri intense privind metodologia de evaluare a lemnului rotund destinat comercializării și efectele aplicării în practica silvică a legislației actuale. Astfel, s-a conturat necesitatea includerii în normative a unor toleranțe admisibile la măsurarea și

cubajul lemnului rotund și altor materiale lemnoase pentru care se transmit informații standardizate în sistemul informațional integrat de urmărire a masei lemnoase (SUMAL).

În urma analizei Ordinului nr. 837/2014 *pentru aprobarea Metodologiei privind organizarea și funcționarea SUMAL, obligațiile utilizatorilor SUMAL, precum și structura și modalitatea de transmitere a informațiilor standardizate*, Hotărârii nr. 470 din 4 iunie 2014 *pentru aprobarea Normelor referitoare la proveniența, circulația și comercializarea materialelor lemnoase, la regimul spațiilor de depozitare a materialelor lemnoase și al instalațiilor de prelucrat lemn rotund*, Ordinului nr. 1323/2015 *privind aprobarea metodelor dendrometrice pentru evaluarea volumului de lemn destinat valorificării și valorile necesare calculului volumului de lemn destinat valorificării și lucrărilor științifice care abordează problematica măsurării și cubării lemnului rotund*, se constată că sunt necesare unele completări ale reglementărilor privind inventarierea lemnului rotund (Vasilescu, 2017).

De exemplu, este necesară completarea metodei de evaluare a volumului de lemn după recoltare cu restricții/condiții pentru măsurarea lungimii pieselor și a diametrului de la mijlocul lungimii pieselor (Vasilescu, 2017).

Ciubotaru (1998) a menționat următoarele prevederi cu caracter de restricții și condiții privind fasonarea lemnului rotund:

- secționarea lemnului rotund printr-o tăietură perpendiculară pe axa longitudinală a piesei în punctul de secționare, abaterea maximă admisă, măsurată pe generatoare, fiind de 10% din diametrul piesei la locul de secționare;
- secționarea lemnului rotund la lungimi corespunzătoare unui sortiment sau unor multipli de sortimente cu o supralungime de 1 cm/m, dar nu mai mult de 4 cm pentru sortimentele de lemn rotund și de 1 cm/m pentru multipli de sortimente.

O corectă fasonare a lemnului rotund asigură din punct de vedere teoretic, în mod implicit, posibilitatea stabilirii mai exacte a volumului piesei. Pentru măsurarea diametrului și a lungimii fiecărei piese în vederea cubării lemnului rotund, Ciubotaru (1998) a recomandat respectarea următoarelor condiții:

- măsurarea diametrului fără coajă, la jumătatea lungimii piesei, pentru piesele cu lungimi mai mici de 8 m, sau prin stabilirea valorii medii a diametrelor măsurate la capete și la jumătatea lungimii, pentru piese mai lungi de 8 m;
- asigurarea unei precizii de 1 cm la măsurarea diametrelor;

- determinarea diametrului fără coajă în cazul lemnului necojit din diametrul măsurat cu coajă prin scăderea unui centimetru pentru piesele cu diametrul < 40 cm, respectiv a doi centimetri pentru piesele cu diametrul > 40 cm;
- măsurarea a două diametre perpendiculare și înregistrarea mediei acestora dacă la locul de măsurare secțiunea are o formă ovală, sau măsurarea diametrelor la capetele defectului și înregistrarea mediei acestora dacă în zona de măsurare apare un alt defect al lemnului (gâlmă, nod etc);
- utilizarea ruletei dacă diametrul piesei este mai mare decât deschiderea maximă a clupei, caz în care panglica trebuie așezată astfel încât planul determinat să fie perpendicular pe axa piesei în punctul de măsurare;
- măsurarea lungimii cu ruleta între capetele piesei, pe porțiunea cea mai scurtă;
- rotunjirea valorilor măsurate pentru lungime din 10 în 10 cm;
- măsurarea lungimii de la jumătatea teșiturii în cazul pieselor provenite de la baza arborelui ce au o teșitură rezultată din efectuarea tapei.

Aceste precizări ar putea constitui punctul de plecare pentru completarea anexei nr. 8 a Ordinului nr. 1323/2015, însă și acestea sunt perfectibile (Vasilescu, 2017). De exemplu, volumul pieselor cu lungimi mari de 5 m se determină secționând ipotetic piesa în tronsoane conform anexei nr. 8 din Ordinul nr. 1323/2015, iar Ciubotaru (1988) menționează condițiile de stabilire a volumului pentru piesele cu lungimi mai mari de 8 m.

Având în vedere că Ordinul nr. 837/2014 răspunde cerințelor unor articole din Hotărârea nr. 470/2014, este rațional ca unele modificări să fie efectuate la art. 8 și 11 din anexa la Hotărârea nr. 470/2014, respectiv la formularul avizului de însoțire a masei lemnoase transportate (Vasilescu, 2017). Totodată, pentru a asigura corespondența cu precizările diferitelor acte normative în vigoare, unele modificări sunt necesare și la anexa nr. 8 a Ordinului nr. 1323/2015 (Vasilescu, 2017).

Art. 4, alin. (4) din Hotărârea nr. 470/2014 precizează că volumul masei lemnoase se determină în conformitate cu prevederile art. 8, alin. (2) din norme. Acest articol indică, însă, numai elementele de calcul pentru stabilirea volumului, prin aceasta definind formula de cubaj, dar nu și condițiile/restricțiile de măsurare și de calcul ale metodei (Vasilescu, 2017). Din păcate, astfel de precizări foarte importante pentru asigurarea corectitudinii de determinare a volumului atât pentru completarea avizului de însoțire, cât și pentru verificarea dimensiunilor pieselor și a volumului acestora de către personalul cu atribuții de control din cadrul autorității publice centrale care răspunde de silvicultură și al structurilor teritoriale de

specialitate, nu sunt incluse nici în anexa nr. 8 a Ordinului nr. 1323/2015 (Vasilescu, 2017).

Ca urmare, Vasilescu (2017) a considerat a fi utile două acțiuni:

-modificarea art. 8, alin. (1) din anexa la Hotărârea nr. 470/2014 cu mențiunea „conform metodelor dendrometrice în vigoare pentru evaluarea volumului de lemn destinat valorificării”;

-completarea anexei nr. 8 din Ordinul nr. 1323/2015 cu precizări privind condițiile și restricțiile de măsurare și de calculare a volumului pentru lemnul rotund.

Art. 11, alin. (1), lit. c) din anexa la Hotărârea nr. 470/2014 precizează că specificația (dimensiunile și volumul pieselor), în rubrica nr. 10 din avizul de însoțire, se completează pe baza măsurătorilor efectuate în momentul încărcării în mijlocul de transport. Această condiție trebuie reținută în vederea completării anexei nr. 8 din Ordinul nr. 1323/2015 (Vasilescu, 2017).

Detaliile precizate la art. 11, alin (4), lit a), b) și d) privind completarea specificației din rubrica nr. 10 a avizului de însoțire nu sunt în concordanță cu precizările privind evaluarea volumului de lemn după recoltare, din anexa nr. 8 a Ordinului nr. 1323/2015. Art. 11, alin. (4) impune completarea avizului de însoțire cu valori ale volumului exprimat în m^3 , cu două zecimale, atât pentru piesele de lemn rotund cu diametrul la capătul subțire ≥ 20 cm, cât și pentru volumul total al pieselor de lemn cu diametrul la capătul subțire < 20 cm și aceleași caracteristici dimensionale. Acest mod de înregistrare a volumelor nu asigură acuratețe datelor (Vasilescu, 2017). O evidență a volumelor exprimate în m^3 cu trei zecimale ar fi în acord cu recomandările lui Ciubotaru (1998) privind cubajul lemnului rotund. În plus, nu se fac referiri la situațiile în care lungimea pieselor este mai mare, caz în care eroarea standard de determinare a volumului crește. Nu există concordanță între precizările art. 11, alin. (4), lit d) privind stabilirea volumului în cazul în care lemnul este cu coajă și precizările anexei nr. 8 din Ordinul nr. 1323/2015 (Vasilescu, 2017).

Dimensiunile și volumele indicate în avizele de însoțire reprezintă: lungimea reală a piesei \pm eroarea standard de determinare a lungimii; diametrul real la mijlocul lungimii piesei \pm eroarea standard de determinare a diametrului de la mijlocul piesei; volumul real al piesei \pm eroarea standard de determinare a volumului piesei; volumul real al lotului de piese (volumul real total) \pm eroarea standard de determinare a volumului total (Vasilescu, 2017).

Vasilescu (2017) e evidențiat că mărimea erorii standard ar trebui precizată în formularul pentru avizul de însoțire la rubrica nr. 10 deoarece ceea ce se determină prin

efectuarea unei singure măsurători a dimensiunilor piesei și calculării volumului, reprezintă o estimatie a volumului piesei și nu volumul real al acesteia.

Anexa nr. 8 a Ordinului nr. 1323/2015 are un conținut similar cu precizările privind evaluarea volumului de lemn după recoltare (subcapitolul 5.1.6) din *Norme tehnice pentru evaluarea volumului de lemn destinat comercializării (4)* aprobate prin Ordinul 1651/2000. Informațiile precizate în anexa nr. 8 a Ordinului nr. 1323/2015 sunt insuficiente pentru a răspunde cerințelor actuale privind controlul circulației și comercializării materialelor lemnoase (Vasilescu, 2017). Actualizarea anexei nr. 8 a Ordinului nr. 1323/2015 reprezintă punctul de plecare în asigurarea condițiilor pentru corectitudinea activității operatorilor de masă lemnoasă și a acțiunilor de control realizate de autoritatea publică centrală care răspunde de silvicultură prin structurile teritoriale de specialitate.

Având în vedere sancțiunile prevăzute de art. 19, alin. (2), lit. c) din Ordonanța de urgență nr. 51/2016, care se aplică emitenților avizelor de însoțire, Vasilescu (2017) a menționat că este necesară detalierea/ completarea metodei de evaluare a volumului de lemn după recoltare cu:

- restricții/condiții pentru măsurarea lungimii pieselor și a diametrului de la mijlocul lungimii pieselor;
- modul de calcul al volumului în cazul pieselor cu lungimi mari și al pieselor de lemn cu coajă;
- toleranțe admisibile (eroarea standard la măsurarea diametrului și lungimii pieselor, eroarea standard de determinare a volumului piesei și volumului total).

Problemele ridicate au fost rezolvate parțial prin emiterea Ordinului nr. 2526/2016 de către Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor în vederea completării Ordinului 837/2014. Astfel, printr-un articol nou în vigoare de la 9 ianuarie 2017 sunt precizate următoarele toleranțe pentru volumul total al lemnului rotund: $\pm 2\%$ când numărul de piese este mai mare de 100, $\pm 3\%$ când numărul de piese este cuprins între 50 și 100, $\pm 4\%$ când numărul de piese este mai mic de 50. Inițial s-a propus aplicarea acestor prevederi până la data de 21 aprilie 2017, termenul fiind prorogat până la data de 21 octombrie 2017 și ulterior până la data de 31 decembrie 2018.

Relativ recent a fost abrogată Hotărârea nr. 470/2014, intrând în vigoare la data de 21 octombrie 2017 Hotărârea nr. 1004/2016 emisă de Guvernul României. Din perspectiva aspectelor menționate se constată îmbunătățiri ale normelor privind circulația și comercializarea materialelor lemnoase evidențiate în art. 14 și art. 17.

Astfel, prin art. 14 din Hotărârea nr. 1004/2016 a fost reformulat art. 11 alin. (4) din Hotărârea nr. 470/2014. În plus, art. 14 conține valori pentru toleranțele admise la calculul volumului lemnului rotund corelate cu cele din Ordinul nr. 2526/2016. Art. 17 din Hotărârea nr. 1004/2016 descrie informațiile necesare completării rubricilor din avizele de însoțire a materialelor lemnoase într-o manieră clară comparativ cu art. 11 alin. (1), (2) și (3) din Hotărârea nr. 470/2014.

Trebuie precizat faptul că formularele pentru avizul de însoțire primar și secundar au fost simplificate, eliminându-se coloanele corespunzătoare lungimii și diametrului la mijloc de la rubrica nr. 10 impuse prin Hotărârea nr. 470/2014. Emitentul avizului de însoțire are obligația de a înscrie cele două caracteristici dendrometrice în aplicația care va genera automat volumul.

Totuși, în vederea implementării în cadrul unor acte normative a toleranțelor admisibile la măsurarea și cubarea lemnului rotund este necesară elaborarea unor studii în acest sens (Vasilescu, 2017). Metodologia de cercetare impune realizarea unui număr mare de măsurători (număr mare de echipe care întocmesc avizul de însoțire) pentru același transport și luarea în calcul a unor situații diverse privind caracteristicile masei lemnoase transportate (Vasilescu, 2017).

Pentru a asigura transparența acestor studii, echipele de evaluare trebuie să reunească atât operatori economici de masă lemnoasă cât și reprezentanți ai structurilor teritoriale de control (Vasilescu, 2017). Astfel, este posibilă determinarea prin metode ale statisticii matematice a erorii standard la măsurarea lungimii pieselor, la măsurarea diametrului și a volumului pieselor cu luarea în considerare a cumulării și a compensării diferitelor erori de măsurare.

Dificultățile desfășurării studiului descris anterior constau în (Vasilescu, 2017): asigurarea unui cadru legal pentru derularea cercetărilor, solicitarea unui număr mare de echipe de evaluatori de masă lemnoasă pentru același transport (cel puțin 10, preferabil peste 30); asigurarea reprezentativității la nivelul țării prin includerea în studiu a unor aspecte diverse privind speciile și dimensiunile pieselor; îngreunarea activității pentru transportatorii de masă lemnoasă incluși în studiu; prelucrarea unui volum mare de date; cheltuieli și timp pentru desfășurarea studiului, identificarea surselor de finanțare etc.

Ar fi util ca reprezentanții structurilor care elaborează și emit acte normative în domeniul forestier să rețină necesitatea completării cu toleranțe admisibile la măsurarea și cubarea lemnului rotund, rezultate în urma derulării unor studii științifice (Vasilescu, 2017).

Astfel, legislația referitoare la valorificarea lemnului rotund destinat comercializării va asigura susținerea operatorilor economici care desfășoară activități în mod corect și a personalului cu atribuții de control, evitând exagerările de orice natură.

4.1.3. Influența lungimii tronsoanelor în estimarea volumului pieselor de lemn rotund

- **Material și metodă de cercetare**

Pentru a arăta implicațiile aspectelor teoretice anterior menționate în practica silvică, în continuare sunt prezentate rezultatele unei aplicații simple de măsurare și cubare a lemnului rotund pentru un lot format din 42 piese de gorun (Vasilescu, 2017). Lungimea pieselor este 12,5 m, diametrul la capătul gros este cuprins în intervalul 37-74 cm, iar diametrul la capătul subțire este cuprins în intervalul 13-44 cm. Volumul pentru fiecare piesă și pentru întregul lot a fost estimat utilizând formula lui Huber, secționând ipotetic piesa în tronsoane de diferite lungimi (l).

Au fost aplicate 8 variante pentru estimarea volumului (tabelul 3): V1 ($l = 1$ m), V2 ($l = 2$ m), V3 ($l = 3$ m), V4 ($l = 4$ m), V5 ($l = 5$ m), V6 ($l = 6$ m), V7 ($l = 7$ m) și V8 ($l = 8$ m).

- **Rezultate și discuții**

Se observă că, în cazul estimării volumului celor 42 de piese de lemn rotund cu ajutorul formulei compuse a secțiunii la mijloc, s-a obținut valoarea maximă 44,822 m³ când $l = 1$ m, respectiv valoarea minimă 43,050 m³ când piesa inițială a fost împărțită ipotetic într-un tronson având $l = 8$ m și restul piesei pentru care s-a aplicat formula lui Huber (tabelul 3) (Vasilescu, 2017). Diferența de volum între cele două estimări este de -1,771 m³ (-3,95%). Eroarea standard la determinarea volumului unei piese este de 6,69% în cazul utilizării tronsoanelor cu lungimea egală cu 8 m și de 2-3% în situația reducerii tronsoanelor la lungimea de 2 m sau 3 m (Vasilescu, 2017).

La nivel individual, rezultatele arată că volumul estimat se încadrează în intervalul volumul estimat prin varianta V1 $\pm 5\%$ pentru 97,6% din piese în cazul utilizării lungimilor $l = 2$ m sau $l = 3$ m și pentru 76,2% din piese în cazul utilizării lungimii $l = 4$ m (figura 34) (Vasilescu, 2017). În varianta V4, numai 50% din numărul de piese au volumul estimat în intervalul volumul estimat prin varianta V1 $\pm 3\%$ (Vasilescu, 2017). Diferențele maxime față de varianta V1 au fost înregistrate la piesa nr. 33 în cazul variantei V2 (+8,05%), la piesa nr. 16 în cazul variantei V3 (-6,59%) și la piesa nr. 27 în cazul variantei V4 (-16,21%).

Tabelul 3. Volumul total și diferențele de volum obținute prin aplicarea formulei lui Huber în diferite variante pentru un lot de piese de lemn rotund

Specificații	Volumul total (m ³)	Diferența volumului total față de varianta 1		Eroarea standard la determinarea volumului unei piese (%)	Frecvența pieselor (%) cu diferențe de volum în intervalul	
		(m ³)	(%)		± 3%	± 5%
Varianta 1 (l = 1 m)	44,822	-	-	-	-	-
Varianta 2 (l = 2 m)	44,428	-0,393	-0,87	2,37	73,80	97,61
Varianta 3 (l = 3 m)	44,091	-0,730	-1,63	2,94	83,33	97,61
Varianta 4 (l = 4 m)	43,572	-1,249	-2,78	5,20	50,00	76,19
Varianta 5 (l = 5 m)	43,213	-1,608	-3,58	5,51	45,23	69,04
Varianta 6 (l = 6 m)	43,849	-0,972	-2,16	4,57	50,00	71,42
Varianta 7 (l = 7 m)	43,335	-1,487	-3,31	6,10	30,95	61,90
Varianta 8 (l = 8 m)	43,050	-1,771	-3,95	6,69	30,95	54,76

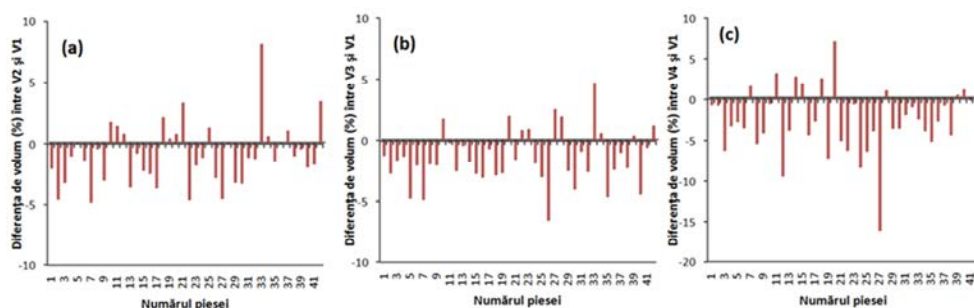


Figura 34. Diferențe de volum (%) între estimările cu variantele V2 (a), V3 (b) și V4 (c) față de varianta V1

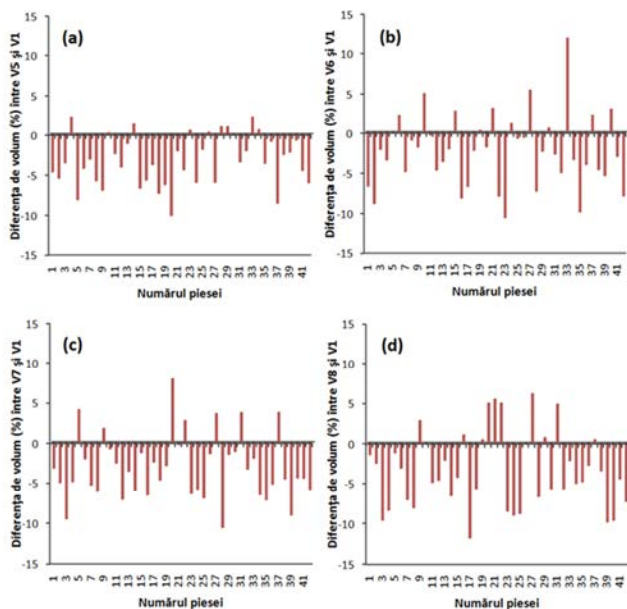


Figura 35. Diferențe de volum (%) între estimările cu variantele V5 (a), V6 (b), V7 (c) și V8 (d) față de varianta V1

În cazul utilizării tronsoanelor de lungimi mai mari, rezultatele arată că precizia de determinare a volumului scade semnificativ (figura 35) (Vasilescu, 2017).

La nivel individual, volumul estimat se încadrează în intervalul $V1 \pm 3\%$ pentru 30,9% din piese în cazul utilizării lungimilor $l = 7$ m sau $l = 8$ m (Vasilescu, 2017). În varianta V7, numai 62% din numărul de piese au volumul estimat în intervalul $V1 \pm 5\%$, respectiv 54,7% în cazul variantei V8 (Vasilescu, 2017). Diferențele maxime față de varianta V1 au fost înregistrate la piesa nr. 20 în cazul variantei V5 (-10,15%), la piesa nr. 33 în cazul variantei V6 (11,89%), la piesa nr. 28 în cazul variantei V7 (-10,69%) și la piesa nr. 17 în cazul variantei V8 (-11,91%).

4.2. Impactul lungimii tronsoanelor asupra volumului fusului întreg

- **Estimarea volumului arborilor doborâți**

Există mai multe metode pentru estimarea volumului arborilor doborâți. Cel mai adesea, pentru a estima volumul întregului fus după doborârea arborilor sau al diferitelor tronsoane se utilizează formula lui Huber, formula lui Smalian și formula lui Newton. Aceste formule se aplică prin asimilarea formei tronsoanelor cu un trunchi de paraboloid sau cilindru (Philip 1994, Giurgiu et al. 2004, Leahu 2007, Tomusiak și Zarzynski 2007, van Laar și Akça 2007, Cruz de Leon 2010, Soares et al. 2010).

În lucrările de cercetare recente (West, 2009), tendința este de utilizare a tronsoanelor cu lungimi scurte (0,5-1 m) pentru stabilirea volumului fusului întreg al arborilor mari. Soares et al. (2010) au cercetat influența lungimii tronsoanelor asupra volumului și au găsit o diferență de 1,23% între volumul determinat prin stabilirea tronsoanelor de 1 m lungime față de 2 m lungime. Dacă lungimea tronsoanelor se consideră egală cu 3 m, atunci diferența de volum este 3,5%. Altherr, citat de Akossou et al. (2013), a stabilit influența lungimii tronsoanelor asupra volumului la un număr de 15000 de arbori. El a găsit o eroare sistematică de 1% la utilizarea tronsoanelor de 2 m lungime pentru cubajul fusului întreg, față de volumul obținut prin utilizarea tronsoanelor de 1 m lungime. Totodată, a demonstrat că eroarea se concentrează pe piesele provenite din primii 5 metri de la baza arborelui, în timp ce eroarea este aproape zero pentru piesele provenite din zona centrală a fusului și foarte scăzută pentru piesele provenite din ultimii 5 metri.

Una dintre cele mai vechi abordări pentru estimarea volumului arborelui se bazează pe utilizarea secțiunii care reprezintă centrul de rezistență la vânt al arborelui, localizat în

centrul de greutate al coroanei. Distanța relativă a acestei secțiuni față de baza arborelui a fost pentru prima dată utilizată de Jonson în 1928 (van Laar și Akça, 1997). Mai târziu a fost înlocuită cu variabile de estimare a volumului fusului mult mai eficiente.

Unele formule de calcul utilizează alte secțiuni decât aria secțiunii transversale de la mijlocul lungimii tronsoanelor, sau ariile secțiunilor transversale de la capătul subțire și capătul gros al tronsoanelor delimitate de-a lungul fusului arborelui (tabelul 4). Una dintre aceste metode a fost descrisă ca fiind metoda centrului de greutate (Forsslund, 1982; Wiant et al., 1991; Yavuz, 1999; Coble și Wiant, 2000; Wiant et al., 2002; Coble și Lee, 2003; Ozcelik et al., 2006). Importanța utilizării ariei secțiunii transversale de la o distanță egală cu 1/3 din lungimea fusului a fost descrisă de Hossfeld (Giurgiu, 1979; Husch et al., 2003; van Laar și Akça, 2007; Leahu, 2007; West, 2009; Ducey și Williams, 2011; Durkaya și Durkaya, 2011). O teorie similară implică utilizarea coeficientului de formă natural calculat în funcție de diametrele măsurate la distanțele $0,1 \cdot h$ și $0,3 \cdot h$, în care h este înălțimea arborelui (Pollanschütz, 1965; Giurgiu et al., 2004).

Tabelul 4. Formule recomandate pentru estimarea volumului fusului sau volumului de lemn rotund supus comercializării

Autorul formulei	Formule de calcul al volumului aplicabile tronsoanelor sau fusului întreg	Elemente de calcul
Huber	$v = g_{0,5l} \cdot l$	$l, g_{0,5l}$
Smalian	$v = \frac{g_0 + g_1}{2} \cdot l$	l, g_0, g_1
Newton	$v = \frac{l}{6} (g_0 + 4g_{0,5l} + g_1)$	$l, g_0, g_{0,5l}, g_1$
Hossfeld	$v = \frac{L}{4} (3g_{l/3} + g_1)$	$L, g_{l/3}, g_1$
Simony	$v = \frac{L}{4} (2g_{l/4} - g_{0,5l} + 2g_{3l/4})$	$L, g_{l/4}, g_{0,5l}, g_{3l/4}$
Mathiesen	$v = \frac{3}{4} \cdot dm \cdot S$	dm, S
Hohenadl	$v = \frac{g_{0,1l} + g_{0,3l} + g_{0,5l} + g_{0,7l} + g_{0,9l}}{5} \cdot L$	$L, g_{0,1l}, g_{0,3l}, g_{0,5l}, g_{0,7l}, g_{0,9l}$

$g_{0,5l}$ – aria secțiunii transversale de la mijlocul lungimii tronsonului;

g_0, g_1 – aria secțiunilor transversale de la capătul gros și capătul subțire al tronsonului;

$g_{l/4}, g_{l/3}, g_{3l/4}$ – aria secțiunilor transversale la distanța 1/4, 1/3 și 3/4 din lungimea fusului;

$g_{0,1l}, g_{0,3l}, g_{0,5l}, g_{0,7l}, g_{0,9l}$ – aria secțiunilor transversale la distanța 1/10, 3/10, 5/10, 7/10 și 9/10 din lungimea fusului;

dm – diametrul median al secțiunii longitudinale a fusului;

S – aria secțiunii longitudinale a fusului;

l, L – lungimea tronsonului, respectiv lungimea fusului;

Formula lui Mathiesen (1925) pentru estimarea volumului fusului este mai puțin cunoscută și nu se utilizează pe scară largă. Aceasta a fost elaborată în anul 1925 și se bazează pe diametrul median al secțiunii longitudinale și aria secțiunii longitudinale a fusului. Mai precis, diametrul median al secțiunii longitudinale este diametrul care împarte profilul fusului în două părți de arie egală. În principiu, metoda presupune că centrul de greutate al fusului este localizat la nivelul diametrului median. Calculul ariei profilului fusului este bazat pe teoria lui Guldin a volumelor și ariilor corpurilor de rotație și a centrelor de greutate a acestor corpuri (Ichim, 1954; Leahu, 2007).

Sunt multe argumente pro și contra atunci când se compară formula lui Huber cu celelalte două formule utilizate curent pentru estimarea volumului fusului și a porțiunilor provenite din fus. De exemplu, West (2009) a argumentat că formula lui Newton oferă estimări mai precise ale volumului comparativ cu formulele lui Huber și Smalian pentru că utilizează mai multe date pentru a calcula volumul. Cu toate acestea, formula lui Smalian este mai ușor de utilizat, dat fiind că este mai practică. Precizia volumelor estimate este afectată atât de lungimea tronsoanelor adoptate, cât și de poziția tronsonului între baza și vârful arborelui. Akossou et al. (2013) au arătat că formula lui Huber estimează mai bine volumul întregului fus al arborelui când se utilizează tronsoane cu lungimea de 0,5 m, precum și volumul porțiunii de la baza arborelui când se utilizează tronsoane cu lungimea de 1, 2 și 3 m. De asemenea, ei au propus utilizarea formulei lui Smalian și a formulei lui Newton pentru restul fusului, cu excepția primului tronson de la baza arborelui. Totuși, formula lui Newton este rar utilizată în practică (Philip, 1994).

- **Material și metodă de cercetare**

Vasilescu et al. (2020) au stabilit pe teren 20 de colectivități statistice alcătuite din 15-52 exemplare de molid, respectiv brad, câte 10 eșantioane pentru fiecare specie, dintre care 5 parcurse cu tăieri de produse principale și 5 parcurse cu tăieri de produse secundare (tabelul 5). Inventarierea s-a realizat în șantiere de exploatare aflate în lucru, aprobate pentru recoltarea masei lemnoase. Cele 20 de colectivități statistice sunt răspândite în cadrul a 8 județe (Brașov, Covasna, Harghita, Buzău, Bacău, Neamț, Caraș-Severin și Cluj), în arborete parcurse cu tăieri progresive, tăieri succesive și tăieri rase, respectiv în arborete parcurse cu rărituri, având în compoziție molidul, respectiv bradul, reprezentative pentru arealul celor două specii. Au fost inventariate 348 exemplare de molid dintre care 149 cuprinse în arborete parcurse cu tăieri de produse principale și 199 exemplare în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare, respectiv 341 exemplare de brad dintre care 138 cuprinse în arborete

parcurse cu tăieri de produse principale și 203 exemplare în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare (tabelul 5).

Tabelul 5. Numărul de arbori inventariați în arborete parcurse cu tăieri de produse principale și secundare

Eșantioane amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse principale			Eșantioane amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare		
Simbol	Număr de arbori		Simbol	Număr de arbori	
	MO	BR		MO	BR
P1	29	30	S1	40	37
P2	30	28	S2	40	35
P3	25	34	S3	41	36
P4	34	31	S4	37	43
P5	31	15	S5	41	52
Total	149	138	Total	199	203

După doborâre, la fiecare arbore Vasilescu et al. (2020) au măsurat diametrele de-a lungul fusului, la distanțele 0,5 m, 1,5 m, 2,5 m, 3,5 m, 4,5 m etc. față de capătul gros, reprezentând diametrele de la mijlocul tronsoanelor cu lungimea egală cu 1 m, precum și lungimea fusului, considerată valoarea reală a înălțimii arborelui. În fiecare secțiune au fost inventariate 2 diametre măsurate pe două direcții perpendiculare, iar în cazul secțiunilor eliptice direcțiile de măsurare au coincis cu axa mare și axa mică a elipsei.

Datele colectate după doborârea arborilor au fost utilizate pentru a estima în mod precis volumul fusului fiecărui arbore și al eșantioanelor, în mod implicit. În acest sens, Vasilescu et al. (2020) au estimat:

v_{Fus_1} – volumul fusului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat după doborârea arborelui cu formula lui Huber aplicată pentru întregul fus pe tronsoane cu lungimea egală cu 1 m, iar diametrele exprimate în cm cu o zecimală;

V_{Brut_1} – volumul brut al eșantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat după doborârea arborilor cu formula lui Huber aplicată pentru întregul fus pe tronsoane cu lungimea egală cu 1 m, iar diametrele exprimate în cm cu o zecimală, considerat în multe situații V_{real} – volumul real al eșantionului;

v_{Fus_3} – volumul fusului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat după doborârea arborelui cu formula lui Huber aplicată pentru întregul fus pe tronsoane cu lungimea egală cu 3 m, iar diametrele exprimate în cm cu o zecimală;

$V_{Brut,3}$ – volumul brut al eșantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat după doborârea arborilor cu formula lui Huber aplicată pentru întregul fus pe tronsoane cu lungimea egală cu 3 m, iar diametrele exprimate în cm cu o zecimală.

În final, Vasilescu et al. (2020) au determinat abaterile de volum procentuale (la nivel de eșantion) și abaterile medii (pentru volumul total analizat).

- **Rezultate și discuții**

Pentru exemplificarea diferențelor înregistrate la nivel de arbore, în continuare sunt prezentate rezultate ale măsurării și cubării unui număr de 31 arbori doborâți din specia molid aplicând formula lui Huber pe tronsoane cu lungimea egală cu 1 m, respectiv cu 3 m (figura 36 a) (Vasilescu, 2020).

Se observă că, în general, prin adoptarea lungimii de 3 m a tronsoanelor, formula lui Huber produce o subestimare a volumului fusului arborilor comparativ cu aplicarea aceleiași formule de calcul pe tronsoane de 1 m (Vasilescu, 2020).

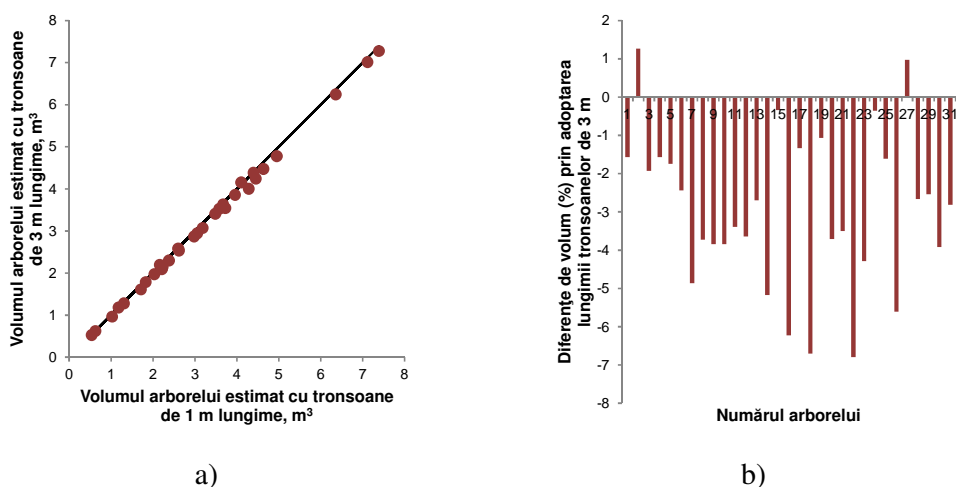


Figura 36. Aplicarea formulei lui Huber pentru 31 exemplare de molid pe tronsoane cu lungimea de 1 m și 3 m – a) prezentare comparativă; b) diferențe procentuale de volum

La nivel individual, abaterile procentuale calculate între cele două variante, considerând volumul estimat cu formula lui Huber și lungimea tronsoanelor egală cu 1 m drept volum de referință, variază considerabil (figura 36 b) (Vasilescu, 2020). În cazul a 77,4% din eșantionul considerat, abaterile procentuale ale volumului nu depășesc 4% (Vasilescu, 2020). Diferența de volum prin adoptarea lungimii tronsoanelor de 3 m lungime este în medie 2,93%, comparativ cu aplicarea formulei lui Huber pe tronsoane de 1 m lungime (Vasilescu, 2020).

Dintre arborii studiați, în figura 37 a (Vasilescu, 2020) este indicat volumul cumulat pe tronsoane pentru exemplarele 1 și 6. Arborele 1 este caracterizat de un diametru de bază egal cu 76,1 cm, înălțimea egală cu 41 m, iar prin estimarea volumului cu formula lui Huber și tronsoane de 1 m lungime a rezultat un volum de 7,390 m³. Pentru același exemplar, volumul a fost estimat la 7,275 m³ prin adoptarea lungimii de 3 m a tronsoanelor, abaterea de volum astfel produsă fiind de -1,56%. Arborele 6 este caracterizat de un diametru de bază egal cu 54,3 cm, înălțimea egală cu 37,2 m, iar prin estimarea volumului cu formula lui Huber și tronsoane de 1 m lungime a rezultat un volum de 3,490 m³. Adoptarea lungimii de 3 m a tronsoanelor în acest caz a condus la volumul de 3,405 m³, producându-se astfel o abatere de volum de -2,44%. Curba care reprezintă volumul cumulat pe tronsoane de la baza arborelui doborât și până la vârf are o poziție superioară pe toată lungimea fusului atunci când se adoptă lungimea de 1 m a tronsoanelor, comparativ cu adoptarea tronsoanelor de lungimi mai mari.

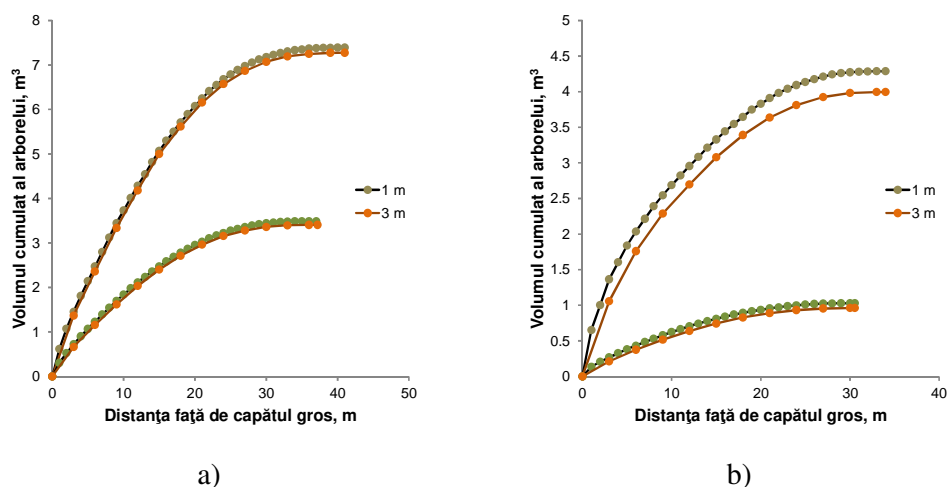


Figura 37. Volumul cumulat al fusului prin aplicarea formulei lui Huber pe tronsoane cu lungimea de 1 m și 3 m – a) în cazul arborilor 1 și 6; b) în cazul arborilor 18 și 22

Mult mai elocvente sunt diferențele în cazul volumului cumulat, pe tronsoane, pentru exemplarele 18 și 22 (figura 37 b) (Vasilescu, 2020). Arborele 18 este caracterizat de un diametru de bază egal cu 32,9 cm, înălțimea egală cu 30,55 m și un volum de 1,030 m³ prin estimarea cu formula lui Huber și tronsoane de 1 m lungime. Pentru același exemplar, volumul a fost estimat la 0,961 m³ prin adoptarea lungimii de 3 m a tronsoanelor, abaterea de volum astfel produsă fiind de -6,70%. Arborele 22 este caracterizat de un diametru de bază egal cu 73,3 cm, înălțimea egală cu 34 m, iar prin estimarea volumului cu formula lui Huber și tronsoane de 1 m lungime a rezultat un volum de 4,288 m³. Adoptarea lungimii de 3 m a

tronsoanelor în acest caz a condus la volumul de $3,997 \text{ m}^3$, producându-se astfel o abatere de volum de $-6,79\%$.

Prin aceste exemple se arată că adoptarea în practică a tronsoanelor cu lungimea de 3 m produce în cazul fusului întreg o subestimare de circa 3% comparativ cu situația în care formula lui Huber s-ar aplica pe tronsoane cu lungimea de 1 m (Vasilescu, 2020). Totodată, trebuie menționat că timpul necesar pentru colectarea datelor de teren și prelucrarea acestora crește semnificativ în cazul adoptării tronsoanelor de lungimi mici (0,5 m, 1 m). Din acest considerent, deși se dovedește a fi mult mai precisă utilizarea tronsoanelor de lungimi scurte, aceasta rămâne utilă numai în activitatea de cercetare științifică.

Pentru a obține imaginea volumului real al eșantioanelor, volumul brut a fost estimat după doborârea arborilor cu formula lui Huber aplicată pentru întregul fus pe tronsoane cu lungimea egală cu 1 m (tabelul 6) (Vasilescu et al., 2020).

Tabelul 6. Volumul brut al eșantioanelor estimat prin metode precise, specifice arborilor doborâți, la speciile molid și brad

Simbol eșantion	Volumul eșantionului (m^3)	
	$V_{Brut,1}$	$V_{Brut,3}$
MO_P1	69,607	68,421
MO_P2	63,191	62,297
MO_P3	38,974	38,167
MO_P4	30,378	29,666
MO_P5	99,902	97,103
Volum total pentru tăieri de produse principale la MO	302,052	295,654
MO_S1	17,529	17,384
MO_S2	13,650	13,402
MO_S3	10,644	10,484
MO_S4	7,806	7,691
MO_S5	21,912	21,666
Volum total pentru tăieri de produse secundare la MO	71,541	70,627
BR_P1	123,129	121,359
BR_P2	128,913	127,782
BR_P3	28,472	28,239
BR_P4	79,429	77,125
BR_P5	46,205	46,182
Volum total pentru tăieri de produse principale la BR	406,148	400,687
BR_S1	3,797	3,774
BR_S2	11,826	11,686
BR_S3	6,024	5,988
BR_S4	8,265	8,177
BR_S5	4,676	4,653
Volum total pentru tăieri de produse secundare la BR	34,588	34,278

Luând în considerare faptul că piesele de lemn rotund corespunzătoare sortimentelor de lemn de lucru și de lemn de foc sunt, în general, fasonate la lungimea de 3 m, apare cerința estimării volumului pentru întregul fus prin aplicarea formulei lui Huber și prin adoptarea tronsoanelor cu lungimea egală cu 3 m (tabelul 6) (Vasilescu et al., 2020).

Din analiza rezultatelor prezentate în tabelul 6 se observă că volumul brut estimat după doborârea arborilor cu formula lui Huber și lungimea tronsoanelor egală cu 1 metru pentru eșantioanele incluse în studiu, parcurse cu tăieri de produse principale este de 302,052 m³ la molid și 406,148 m³ la brad, respectiv 71,541 m³ la molid și 34,588 m³ la brad pentru eșantioanele parcurse cu tăieri de produse secundare.

Dacă formula lui Huber se aplică pe tronsoane având lungimea egală cu 3 metri, volumul brut estimat după doborârea arborilor pentru eșantioanele incluse în studiu, parcurse cu tăieri de produse principale este de 295,654 m³ la molid și 400,687 m³ la brad, respectiv 70,627 m³ la molid și 34,278 m³ la brad pentru eșantioanele parcurse cu tăieri de produse secundare. Aceste volume sunt în mod sistematic mai mici comparativ cu volumul brut stabilit cu tronsoane având lungimea egală cu 1 m, atât la nivelul eșantioanelor cât și la nivelul volumului total grupat după tipul de tăieri aplicate (Vasilescu et al., 2020).

Calculul diferențelor procentuale de volum înregistrate la nivelul eșantionului a fost efectuat prin considerarea volumului obținut prin utilizarea tronsoanelor de 1 m lungime (V_{Brut_1}) drept mărime a volumului real. Vasilescu et al. (2020) au calculat diferențele procentuale de volum produse prin adoptarea lungimii tronsoanelor de 3 m la cubarea arborilor doborâți la nivel de eșantion (figura 38).

Vasilescu et al. (2020) au constatat că prin adoptarea lungimii de 3 m a tronsoanelor, la nivelul eșantioanelor s-au produs diferențe negative de volum care variază între -1,42% și -2,80% pentru arboretele parcurse cu tăieri de produse principale la molid, respectiv între -0,05% și -2,90% la brad comparativ cu adoptarea lungimii de 1m. La nivelul întregului volum analizat pentru arboretele parcurse cu tăieri de produse principale, subestimarea medie a volumului brut a fost, în aceleași condiții, de -2,12% la molid și de -1,34% la brad.

Pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare, diferențele procentuale de volum calculate între V_{Brut_3} și V_{Brut_1} au valori cuprinse între -0,83% și -1,82% la molid, respectiv între -0,50 % și -1,19% la brad. Volumul total brut al eșantioanelor stabilite în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare a fost subestimat în medie, în aceleași condiții, cu -1,28% la molid și -0,90% la brad (Vasilescu et al., 2020).

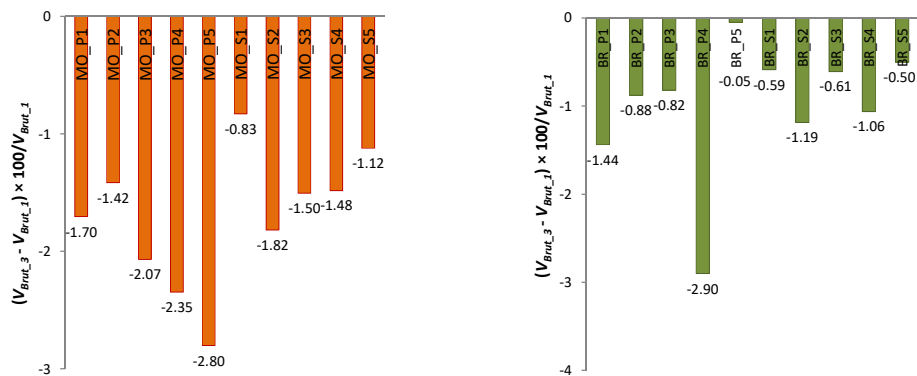


Figura 38. Diferențe procentuale de volum înregistrate la nivelul eșantionului prin adoptarea lungimii tronsoanelor de 3 m față de 1m la cubarea arborilor doborâți din speciile molid și brad

Diferențele procentuale de volum evidențiate anterior confirmă rezultatele din literatura de specialitate. În plus, V_{Brut_1} are valoare științifică, fiind mai apropiat de volumul real al eșantionului comparativ cu V_{Brut_3} , care, deși este rezultatul unei metode de cubaj considerată precisă, are valoare practică. Prin urmare V_{Brut_1} este reperul pentru o expertiză de cercetare biometrică, iar V_{Brut_3} este indicatorul pentru o expertiză tehnică ce respectă prevederile legale și care are un caracter practic mai pronunțat (Vasilescu et al., 2020).

Vasilescu et al. (2020) susțin ideea că volumul unui lot de arbori nu poate fi valorificat în totalitate, iar eliminarea din volumul total doar a vârfurilor și crăcilor neutilizabile (cu diametrul la capătul subțire mai mic de 5 cm) rămâne un deziderat aproape imposibil de atins în practică pentru că în timpul doborârii o parte din masa lemnoasă se constituie în pierderi de volum și consumuri tehnologice de exploatare. În plus, materialul lemnos afectat de putregai sau alte defecte poate reduce volumul destinat valorificării atunci când după doborârea arborilor se constată că se extinde pe lungimi mai mari ale fusului.

4.3. Modele matematice pentru estimarea volumului arborilor pe picior

4.3.1 Estimarea volumului în funcție de diametrul de bază și înălțimea arborilor

- **Baze științifice ale estimării volumului arborilor pe picior în funcție de diametrul de bază și înălțimea arborilor**

În general au fost elaborate ecuații pentru estimarea volumului total al arborilor pe picior în care se consideră diametrul de bază (D) și înălțimea arborelui (H) drept variabile

independente (Perez, 2008; VanderSchaaf, 2008; Petrauskas și Rupsys, 2010; Rupsys și Petrauskas, 2010; Burkhart și Tomé, 2012; Yousefpour et al., 2012).

Ecuțiile prezentate în tabelul 7 îmbracă diferite forme și permit estimarea volumului arborilor pe picior în funcție de cele două caracteristici dendrometrice uzuale considerate ca atare sau de combinații ale acestora (DH , D^2 , H^2 , D^2H , HD^2 etc).

Tabelul 7. Ecuții utilizate pentru estimarea volumului arborilor pe picior în unele țări europene (Zianis et al., 2005)

Țara	Ecuții ale volumului arborilor pe picior
Austria	$v = \frac{\pi}{4}(aD^2H + bD^2H \ln(D)^2 + cD^2 + dDH + eH + fD)$
	$v = \frac{\pi}{4}(aD^2H + bD^2H \ln(D)^2 + cD^2 + dH)$
	$v = \frac{\pi}{4}(aD^2H + bD^2H \ln(D)^2 + cD^2 + dD)$
Belgia	$v = a + bD + cD^2 + dD^3 + eH + fD^2H$
	$v = aD^b$
Cehia	$v = aD^b$
	$v = a(HD^2)^b$
Finlanda	$v = a + b \ln D$
	$v = a + b \ln(c + dD) + eD$
	$v = aD^b c^D H^d (H - 1,3)^e$
	$v = a + b \ln D + c \ln H + d \ln(H - 1,3) + eD$
	$v = aD^b H^c$
	$v = a + b \ln D + cD^2$
Germania	$v = aHD^2$
	$v = aD^b H^c$
Italia	$v = aD^b H^c$
Olanda	$v = aD^{(b+c)} H^d$
	$v = D^a H^b e^c$
	$v = aD^b H^c$
Norvegia	$v = aH^b D^c (H - 1,3)^d (D + 40)^e$
	$v = aH^b D^c (H - 1,3)^d (D + 100)^e$
	$v = a + bD^2H + cDH^2 + dH^2 + eDH$
	$v = a + bDH^2 + cH^2 + dDH + eH + fD$
	$v = a + bD^2H + cDH^2 + dD^2$
	$v = a + bD^2 + cD^2H$
	$v = a + bD^2H$
Polonia	$v = \frac{\pi}{40000} HD(a + bD)$
România	$v = a10^{b \log D + c \log^2 D + d \log H + e \log^2 H}$
Suedia	$v = aD^2 + bD^2H + cDH^2 + dH^2$
	$v = aD^2 + bD^2H + cDH^2$
	$v = 10^a D^b (D + 20)^c H^d (H - 1,3)^e$

D – diametrul de bază al arborilor;

H – înălțimea arborilor;

a, b, c, d, e, f – coeficienți care variază în raport cu specia.

Totodată, trebuie menționat că aceste ecuații nu sunt stabilite pe baza unui sistem unitar de valori (Vasilescu, 2020). De pildă, în Finlanda, Norvegia și Suedia ecuațiile

prezentate estimează volumul în dm^3 în funcție de diametrul de bază în cm și înălțimea arborelui în m, iar în Belgia, Cehia, Polonia și România ecuațiile estimează volumul în m^3 în funcție de diametrul de bază în cm și înălțimea arborelui în m. În plus, unele se referă la volumul arborelui cu coajă, altele la volumul arborelui fără coajă sau la volumul destinat comercializării cu diametrul la capătul subțire $> 3\text{-}4$ cm sau > 7 cm.

Oricare ar fi ecuația care stă la baza estimării volumului arborilor, acestea oferă rezultate mulțumitoare pentru un număr mai mare de arbori.

În cazul aplicării pentru un exemplar, erorile de estimare sunt de 7-8% la o probabilitate de acoperire de 68% (Giurgiu et al., 2004). Avantajul acestora este dat de faptul că, măsurând numai diametrul de bază și înălțimea arborelui, se poate estima volumul arborelui fără a-l doborî.

- **Material și metodă de cercetare**

În continuare este prezentată o aplicație (Vasilescu, 2020) de estimare a volumului pentru 31 exemplare de molid cu vârsta de 120 ani la care s-au măsurat diametrul de bază (D) și înălțimea (H).

În vederea estimării volumului fusului arborilor pe picior s-a aplicat ecuația specifică pentru România, pe baza coeficienților recomandați de Giurgiu et al. (2004).

Pentru eliminarea erorilor care se produc la măsurarea înălțimii arborilor, după doborârea arborilor a fost măsurată și lungimea fusului (L), considerată valoarea reală a înălțimii arborelui. În felul acesta se pot urmări, într-un caz dat, diferențele de volum produse de modelul matematic implementat pentru țara noastră față de volumul rezultat prin estimare după doborârea arborilor și aplicarea formulei lui Huber pe tronsoane cu lungimea de 1 m (Vasilescu, 2020). Acesta din urmă poate fi considerat volum de referință, foarte apropiat de volumul real al arborelui.

- **Rezultate și discuții**

În figura 39 este prezentat comparativ volumul fusului estimat pentru arborii pe picior cu ecuația volumului aplicată în două variante, cu variabilele (D, H), respectiv (D, L) precum și volumul fusului estimat după doborâre (Vasilescu, 2020). Se constată că, în arboretul studiat, volumul exemplarelor de molid estimat cu ecuația volumului pentru arborii pe picior este în general mai mic decât volumul estimat după doborârea arborilor și aplicarea formulei lui Huber pe tronsoane scurte. Acest lucru este valabil chiar și în cazul în care eroarea la măsurarea înălțimii arborilor este zero. Desigur, această observație este strict legată de condițiile staționale ale arboretului în care s-au realizat măsurătorile.

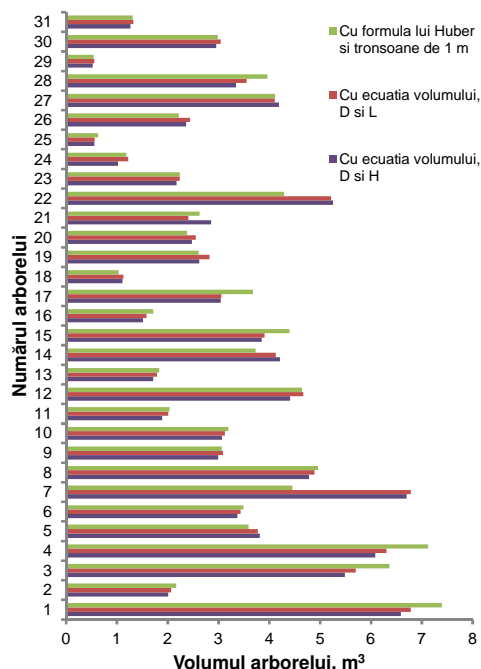


Figura 39. Volumul fusului estimat la arbori pe picior cu ecuația volumului și după doborâre prin aplicarea formulei lui Huber la specia molid

Diferențele de volum produse prin aplicarea ecuației volumului la arbori pe picior din specia molid se înscriu în intervalul $\pm 20\%$ (figura 40).

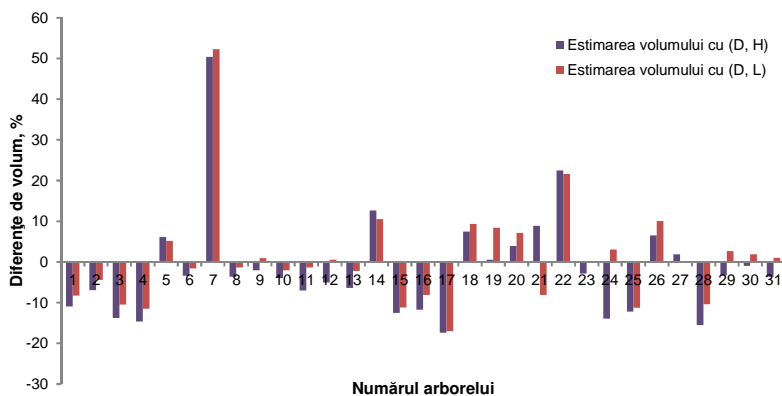


Figura 40. Diferențe procentuale între volumul fusului estimat la arbori pe picior cu ecuația volumului și după doborâre prin aplicarea formulei lui Huber la specia molid

Valoarea extremă înregistrată în cazul arborelui 7, la care diferențele procentuale de volum sunt de 50,37%, respectiv 52,23%, pentru cele două variante de aplicare a ecuației volumului, se explică prin descreșterea pronunțată a diametrului în primii 4 metri de la baza fusului (Vasilescu, 2020).

O formă mai simplă de estimare a volumului arborelui pe picior este cea bazată pe o singură caracteristică dendrometrică. Utilizarea în special a diametrului de bază pentru estimarea volumului arborilor pe picior generează, însă, rezultate mai puțin precise.

4.3.2 Modele matematice pentru estimarea volumului arborilor în funcție de diametrul median al profilului fusului

- **Originea utilizării diametrului median în ecuații ale volumului**

Formula lui Mathiesen (1925) (ecuația 7) pentru estimarea volumului fusului (v) nu este utilizată în mod curent la nivel mondial. Expresia matematică a fost propusă în anul 1925 și se bazează pe diametrul median (dm) și aria (S) profilului longitudinal al fusului. S este definit ca fiind aria secțiunii longitudinale a fusului iar dm este diametrul care împarte aria secțiunii longitudinale a fusului în două părți egale (figura 41) (Vasilescu et al., 2017b).

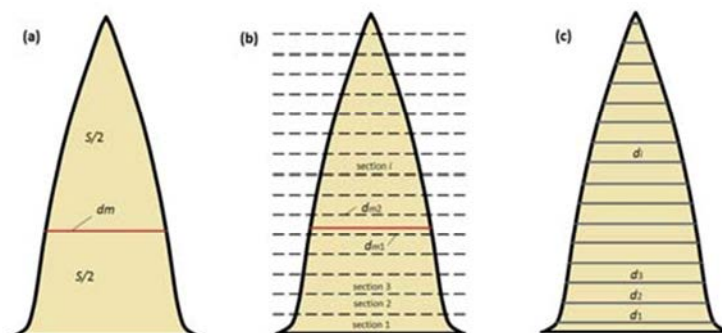


Figura 41. Diametrul median al profilului fusului – a) poziția pe profilul fusului; b) fusul împărțit în tronsoane și diametrele de la capetele tronsoanelor între care diametrul median este poziționat; c) diametre de-a lungul fusului utilizate pentru calculul ariei secțiunii longitudinale a fusului

Principiul acestei metode consideră că centrul de greutate al fusului este localizat în secțiunea corespunzătoare diametrului median al profilului (figura 41). Aria profilului fusului se bazează pe teoria lui Guldin care descrie volumele și ariile corpurilor de rotație, precum și centrul de greutate al acestor corpuri (Ichim 1954, Leahu 2007). Inițial, Mathiesen a propus ecuația 20 ca formulă de calcul pentru volumul fusului, în care l este lungimea tronsoanelor și d_i sunt diametrele de la mijlocul lungimii tronsoanelor (Mathiesen 1925, Leahu 2007). În acest caz, aria profilului fusului este expresia însumării ariei ($l \times d_i$) secțiunii longitudinale a fiecărui tronson.

$$v = \frac{\pi}{4} \cdot dm \cdot l \cdot \sum_{i=1}^n d_i \quad (20)$$

Având în vedere că această formulă supraestimează volumul fusului, valoarea raportului $\pi/4$ (0,7854) a fost redusă la $3/4$ (0,75) ca în ecuația 7. Cu toate acestea, formula lui Mathiesen nu a fost aplicată în practică din cauza elementelor de calcul laborioase. Metoda presupune măsurarea diametrelor de-a lungul fusului, la mijlocul tronsoanelor, calculul ariei secțiunii longitudinale a fusului și a diametrului median, care nu este expresia matematică a medianei pentru diametrele de-a lungul fusului. O astfel de abordare de estimare a volumului este încă necunoscută în multe țări. Istoria Estoniei oferă o explicație pentru care cercetările lui Mathiesen de la universitatea din Tartu (Estonia) sunt cunoscute, în special, în Țările Baltice, Germania și, în statele foste componente ale Uniunii Sovietice. Din aceste motive formula lui Huber (ecuația 21) a fost preferată pentru cuantificarea mai precisă a volumului fusului arborilor.

$$v = \frac{\pi}{4} \cdot l \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (21)$$

Ideea ce a elabora un model matematic care utilizează diametrul de bază, diametrul median al ariei secțiunii longitudinale a fusului și înălțimea totală a arborilor ca variabile, are la bază studiile anterioare asupra diametrului median al profilului fusului (Vasilescu, 2013b; Vasilescu et al., 2017b). Vasilescu et al. (2017a) au arătat că în cazul arborilor de molid (*Picea abies* (L.) Karst) diametrul median al profilului fusului (dm) poate fi estimat prin metode rapide. În cazul arborilor doborâți, acesta reprezintă diametrul măsurat la distanța $0.3 \cdot h$ față de capătul gros al fusului ($d_{0,3h}$). În cazul arborilor pe picior, diametrul median al profilului fusului poate fi estimat cu o ecuație de regresie multiplă în funcție de diametrul de bază și înălțimea totală a arborelui.

Aceste rezultate ar putea crea posibilitatea utilizării în practică a formulei lui Mathiesen pentru estimarea volumului fusului la arborii pe picior și arborii doborâți, fără a mai măsura diametrele de-a lungul fusului. În plus, sunt necesare modele matematice care estimează cu acuratețe aria secțiunii longitudinale a fusului. Utilizând posibilitățile actuale de calcul și baza de date elaborată pentru specia molid, Vasilescu et al. (2017b) și-au propus următoarele obiective:

1. analiza valorilor volumului fusului estimat cu formula lui Mathiesen;
2. îmbunătățirea formulei lui Mathiesen pentru creșterea aplicabilității și preciziei de estimare a volumului fusului.

- **Material și metodă de cercetare**

Baza de date a fost generată pe baza studiului fusului la 5403 arbori de molid din diferite stațiuni forestiere din România (Popescu-Zeletin et al. 1957, Vasilescu 2013b). Diametrul de bază al arborilor a variat între 12 și 60 cm iar înălțimea totală între 10 și 42 m. Arborii studiați s-au extins pe 218 categorii de mărimi stabilite în funcție de diametrul de bază și înălțime, iar pentru fiecare categorie au fost calculate valorile medii ale diametrului fusului pentru secțiuni din 2 în 2 m față de diametrul de bază. Baza de date include 3044 perechi de valori definite de diametrul fusului cu coajă și înălțimea secțiunii. Pe baza acestor valori, Vasilescu et al. (2017b) au descris patru etape de desfășurare a studiului:

- I. calcularea ariei secțiunii longitudinale a fusului (S) și a diametrului median (dm) al profilului fusului pentru fiecare din cele 218 categorii de arbori;
- II. estimarea volumului fusului la exemplare de molid utilizând formulele lui Huber și Mathiesen;
- III. calcularea raportului între volumul arborelui estimat cu formula lui Huber și volumul obținut prin multiplicarea diametrului median cu aria secțiunii longitudinale a fusului;
- IV. elaborarea unei ecuații noi de estimare a volumului fusului, aplicarea și analiza preciziei modelului.

Aria profilului longitudinal al fusului a fost calculată cu ecuația 22, în care l este lungimea tronsoanelor fusului ($l = 2$ m) iar d_i sunt diametrele de la mijlocul tronsoanelor i ($i = 1, 2, \dots, n$). Ecuația 22 este expresia însumării ariei secțiunii longitudinale ($l \times d_i$) a fiecărui tronson (figura 41).

$$S = l \cdot \sum_{i=1}^n d_i \quad (22)$$

Aceste rezultate au fost utile la calcularea diametrului median al profilului fusului cu ecuația 8 (Vasilescu, 2013b; Vasilescu et al., 2017a).

Cel mai potrivit model pentru estimarea diametrului median, care utilizează două variabile independente, diametrul de bază (dbh) și înălțimea arborelui (h), este ecuația 23 (Vasilescu et al., 2017b).

$$dm = a_0 + a_1 \cdot dbh + a_2 \cdot dbh^2 + a_3 \cdot h + a_4 \cdot h^2 \quad (23)$$

în care coeficienții calculați pentru specia molid sunt: $a_0 = 1,2792$, $a_1 = 0,7533$, $a_2 = -0,0012$, $a_3 = -0,0050$ și $a_4 = 0,0014$.

Coeficienții modelului de estimare a diametrului median au fost determinați pentru o probabilitate de acoperire de 95%, $R^2 = 0.9996$, iar eroarea standard de estimare a diametrului cu ecuația 23 este de 1,8 mm.

Diametrul median multiplicat cu aria secțiunii longitudinale a fusului este expresia volumului unui corp, o idee general acceptată. În ciuda reducerii valorii lui π (din ecuația 20) la 3,0 (ca în ecuația 7), formula lui Mathiesen a fost în continuare criticată pentru supraestimarea, în general, a volumului fusului. Pentru a putea îmbunătăți această formulă, Vasilescu et al. (2017b) au calculat raportul (pv) între volumul estimat cu formula lui Huber și volumul obținut prin înmulțirea diametrului median cu aria profilului fusului (ecuația 24).

$$pv = \frac{v_{Huber}}{dm \cdot S} \quad (24)$$

Formula lui Huber reprezintă o alegere bună pentru că generează erori mici dacă se iau în calcul erorile de măsurare pentru d_i și l (Biging 1988). De asemenea, oferă rezultate mai precise pentru volumul tronsoanelor de la baza fusului, comparând cu formulele lui Newton și Smalian (West 2009, Akossou et al. 2013). Primul tronson de la baza fusului include un volum care variază între 11% și 38% din volumul total al fusului în cazul arborilor studiați (Vasilescu et al., 2017b). În plus, utilizând tronsoane cu lungimea de 2 m la estimarea volumului fusului se acceptă o eroare de 1% după cum a evidențiat Altherr prin compararea cu volumul obținut pe tronsoane de 1 m lungime (Akossou et al., 2013). Totodată, eroarea este aproape zero pentru părțile din zona centrală a fusului și foarte scăzută pentru ultimele două tronsoane de la vârful fusului.

Pentru elaborarea unui model matematic mai precis, derivat din formula lui Mathiesen pentru estimarea volumului fusului, Vasilescu et al. (2017b) au recomandat cele mai potrivite modele pentru S și pv cu două (diametrul de bază și înălțimea arborelui) sau trei (diametrul de bază, diametrul median al profilului fusului și înălțimea totală a arborelui) variabile. Aceste modele oferă, pentru arborii de molid, o metodă modernă și mult mai eficientă pentru a estima volumul arborilor pe teren.

Programele Microsoft Excel și Statistica au fost utilizate pentru analiza datelor. Metoda celor mai mici pătrate a stat la baza determinării coeficienților ecuațiilor de regresie. Coeficientul de determinare (R^2) a fost calculat pentru a măsura cât de bine estimează modelul propus caracteristicile analizate. În final, analiza diferențelor între valorile observate și valorile estimate de model a fost aplicată pentru a evalua precizia modelelor propuse. De asemenea, suma pătratelor abaterilor și eroarea medie pătratică au fost calculate pentru a

selecta modelul care estimează cel mai bine volumul fusului pentru arborii doborâți și arborii pe picior.

Diametrul median al ariei secțiunii longitudinale descrie mai bine decât diametrul de bază forma fusului arborilor și, din acest motiv, a fost utilizat ca cea de-a treia variabilă pentru a estima aria profilului și volumul fusului (Vasilescu et al., 2017b). Această ipoteză este demonstrată de figura 42 (Vasilescu et al., 2017b) în care variația diametrelor relative (cu coajă) față de înălțimea relativă este indicată pentru toate cele 3044 perechi de valori.

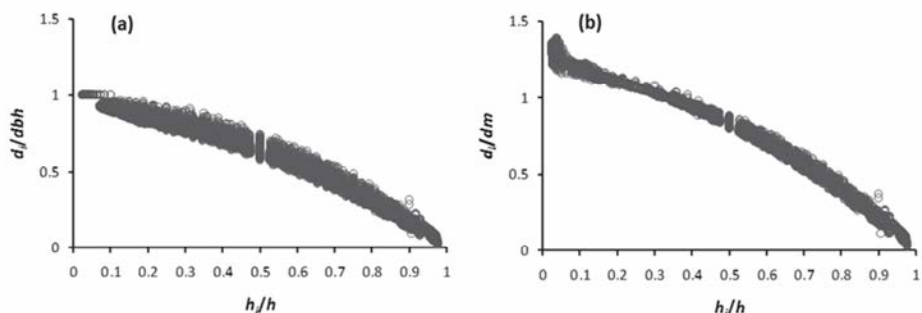


Figura 42. Variația diametrelor relative de-a lungul fusului pentru specia molid față de înălțimea relativă, calculate cu – a) diametrul de bază; b) diametrul median al profilului fusului

În primul caz (figura 42 a), valorile relative au fost calculate în funcție de diametrul de bază și înălțimea arborelui. În al doilea caz (figura 42 b), valorile relative au rezultat prin împărțirea diametrelor de-a lungul fusului la diametrul median al profilului fusului. Dispersia punctelor este mai mare atunci când diametrul de bază este utilizat pentru a reprezenta forma fusului. În plus, forma este mult mai apropiată de cea generată de valorile absolute în cel de-al doilea caz.

• Rezultate și discuții

Legătura între caracteristicile arborelui și aria secțiunii longitudinale a fusului a fost analizată de Vasilescu et al. (2017b). Figura 43 prezintă variația ariei secțiunii longitudinale a fusului în funcție de diametrul de bază (dbh), diametrul median al profilului fusului (dm) și înălțimea totală a arborelui (h).

Conform figurii 43, cel mai potrivit model pentru a estima aria profilului fusului este reprezentat de funcția de tip putere cu diametrul median ca variabilă (Vasilescu et al., 2017b). Coeficientul de determinare între aceste variabile este, de asemenea, mare (i.e. 0,903). În cazul în care se utilizează regresia multiplă (ecuațiile 25-28), aceasta produce o relație mult mai precisă și mai ușor de aplicat în teren.

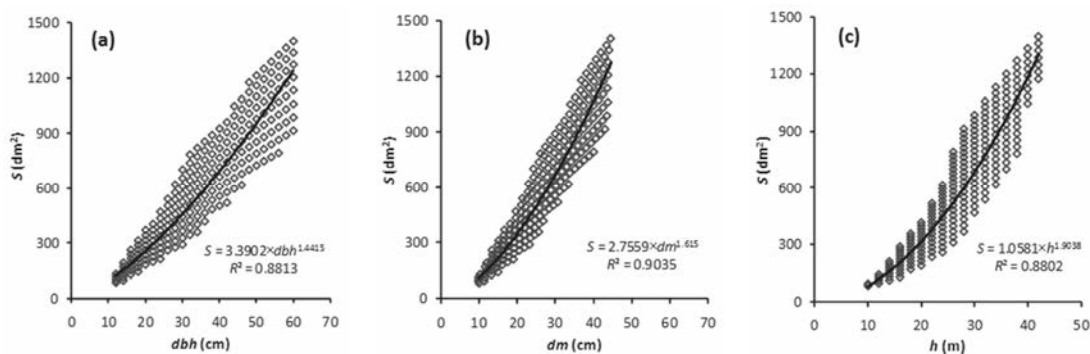


Figura 43. Variația ariei secțiunii longitudinale a fusului la arbori de molid față de – a) diametrul de bază; b) diametrul median al profilului fusului; c) înălțimea arborelui

$$S = b_0 + b_1 \cdot dbh + b_2 \cdot dbh^2 + b_3 \cdot h + b_4 \cdot h^2 + b_5 \cdot dm + b_6 \cdot dm^2 \quad (25)$$

$$S = b_0 + b_1 \cdot dbh + b_2 \cdot dbh^2 + b_3 \cdot h + b_4 \cdot h^2 \quad (26)$$

$$\log S = b_0 + b_1 \cdot \log dbh + b_2 \cdot \log^2 dbh + b_3 \cdot \log h + b_4 \cdot \log^2 h + b_5 \cdot \log dm + b_6 \cdot \log^2 dm \quad (27)$$

$$\log S = b_0 + b_1 \cdot \log dbh + b_2 \cdot \log^2 dbh + b_3 \cdot \log h + b_4 \cdot \log^2 h \quad (28)$$

Pentru ecuațiile indicate coeficienții sunt prezentați în tabelul 7 (Vasilescu et al., 2017b).

Tabelul 7. Coeficienții și indicatorii de evaluare ai preciziei pentru modelele matematice care estimează aria profilului fusului la specia molid

Indicatori statistici ai modelelor	Simboluri	Ecuatii de estimare a ariei profilului fusului (dm ²)			
		cu trei variabile, dbh (cm), h (m) și dm (cm)		cu două variabile, dbh (cm) și h (m)	
		S (ecuația 25)	log S (ecuația 27)	S (ecuația 26)	log S (ecuația 28)
Coeficienți	b_0	92,5073	-0,014832	5,26648	-0,008853
	b_1	45,0517	0,667928	6,50545	1,135432
	b_2	-0,7007	-0,066232	0,09418	-0,105263
	b_3	1,4335	0,74292	-7,2897	0,67486
	b_4	0,3461	0,11049	0,55221	0,144376
	b_5	-66,8896	0,441799		
	b_6	1,7316	-0,013115		
Coeficientul de determinare	R^2	0,9989	0,9999	0,9977	0,9998
Suma pătratelor abaterilor	SS	27215,24	0,001666	56416,42	0,001985
Eroarea medie pătratică	MS	128,98	0,000007	264,88	0,000009

Aplicând oricare dintre aceste expresii în formula lui Mathiesen, se poate substitui aria profilului fusului (S) care, este mai greu de calculat. Combinat cu utilizarea unei metode

rapide de estimare a diametrului median (i.e. o metodă care nu folosește aria profilului sau măsurători numeroase ale diametrelor de-a lungul fusului), această metodă oferă un mod mult mai eficient de estimare a volumului (Vasilescu et al., 2017b).

Abaterile procentuale ale ariei profilului fusului estimată cu ecuațiile 25-28 sunt prezentate în figura 44 (Vasilescu et al., 2017b). Se observă că cele cele mai bune rezultate se obțin prin estimarea ariei fusului cu ajutorul funcției logaritmice (ecuațiile 27 și 28). Aplicarea ecuației 27 presupune măsurarea diametrului de bază și înălțimii arborelui, precum și a diametrului median. Diametrul median se poate măsura la distanța $0.3 \cdot h$ față de baza arborelui întotdeauna în cazul arborilor doborâți. În cazul arborilor nedoborâți, diametrul median se poate măsura numai când se dispune de instrumente sau se poate estima cu ecuația 23. Rezultate similare, dar mai puțin precise, se obțin când aria fusului este estimată cu ecuația 28. Aplicarea acestei ecuații presupune măsurarea întotdeauna a diametrului de bază și a înălțimii arborelui.

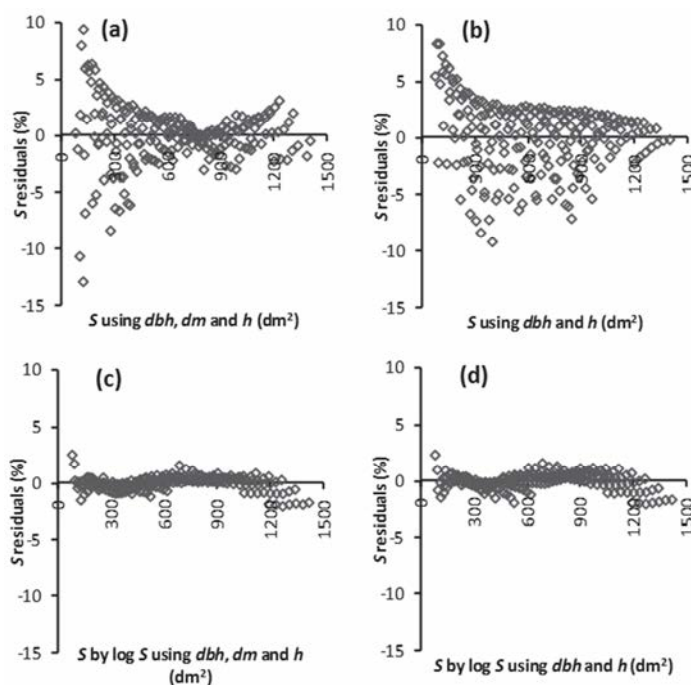


Figura 44. Abaterile procentuale individuale ale ariei profilului fusului estimate cu – a) trei variabile aplicând ecuația 25; b) două variabile aplicând ecuația 26; c) trei variabile aplicând funcția logaritmică, ecuația 27; d) două variabile aplicând funcția logaritmică, ecuația 28

În continuare, proporția volumului (p_v) calculată cu ecuația 24 a fost analizată de Vasilescu et al. (2017b) în scopul stabilirii mărimii coeficientului din formula lui Mathiesen.

Rezultatele obținute sunt prezentate grafic (figura 45) în raport cu diametrul de bază, diametrul median și înălțimea arborelui. Se observă că variația valorilor pv este scăzută și acestea nu pot fi estimate fidel numai cu o variabilă. Valorile proporției de volum sunt mai grupate pentru arborii foarte înalți comparativ cu cei de dimensiuni mici (Vasilescu et al., 2017b).

Vasilescu et al. (2017b) au recomandat două ecuații pentru estimarea proporției de volum în funcție de caracteristicile dimensionale ale arborelui, ecuația 29 cu trei variabile (dbh , h și dm) și ecuația 30 cu două variabile (dbh și h).

$$pv = c_0 + c_1 \cdot dbh + c_2 \cdot dbh^2 + c_3 \cdot h + c_4 \cdot h^2 + c_5 \cdot dm + c_6 \cdot dm^2 \quad (29)$$

$$pv = c_0 + c_1 \cdot dbh + c_2 \cdot dbh^2 + c_3 \cdot h + c_4 \cdot h^2 \quad (30)$$

Pentru ecuațiile indicate coeficienții sunt prezentați în tabelul 8 (Vasilescu et al., 2017b).

Tabelul 8. Coeficienții și indicatorii de evaluare ai preciziei pentru modelele matematice care estimează proporția de volum la specia molid

Indicatori statistici ai modelelor	Simboluri	Ecuații de estimare a proporției de volum	
		cu trei variabile, dbh (cm), h (m) și dm (cm) (ecuația 29)	cu două variabile, dbh (cm) și h (m) (ecuația 30)
Coeficienți	c_0	0,771234	0,744029
	c_1	0,015318	0,000209
	c_2	-0,000073	0,00000319
	c_3	-0,000104	-0,000644
	c_4	0,000007	-0,0000018
	c_5	-0,021174	
	c_6	0,000123	
Coeficientul de determinare	R^2	0,7013	0,5104
Suma pătratelor abaterior	SS	0,002645	0,04336
Eroarea medie pătratică	MS	0,000012	0,000203

Abaterile procentuale al proporției de volum generate prin aplicarea ecuației 29 sunt prezentate în figura 45 d.

Pentru a obține o valoare unică a proporției de volum, volumul calculat cu formula lui Huber a fost estimat de Vasilescu et al. (2017b) în funcție de diametrul median și aria profilului fusului cu ecuația 31.

$$v = \alpha_0 \cdot dm \cdot S \quad (31)$$

Coeficientul acestei ecuații, rezultat prin exprimarea volumului fusului în dm^3 , a diametrului median în dm și a ariei fusului în dm^2 , este $\alpha_0 = 0,73819$. Coeficientul de

determinare este de 0,9998, suma pătratelor abaterilor este de 37301,14 și eroarea medie pătratică este de 171,89. Această analiză permite ajustarea formulei lui Mathiesen conform ecuației 32 (Vasilescu et al., 2017b).

$$v = 0.7382 \cdot dm \cdot S \quad (32)$$

Aplicând noua expresie pentru toate cele 218 categorii de mărimi ale arborilor de molid studiați, rezultatele prezintă o dispersie similară cu cea obținută prin aplicarea formulei lui Mathiesen.

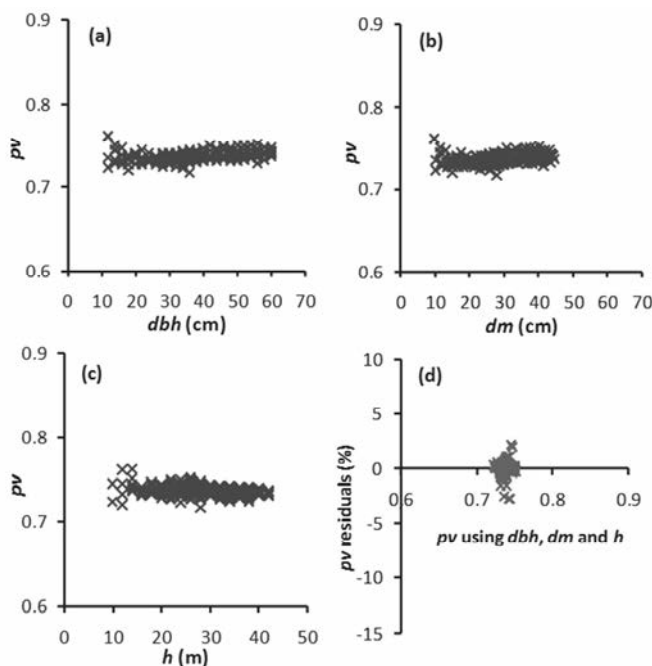


Figura 45. Variația proporției de volum pv față de – a) diametrul de bază; b) diametrul median al profilului fusului; c) înălțimea arborelui; d) abaterile procentuale ale proporției de volum estimate cu trei variabile aplicând ecuația 29

Vasilescu et al. (2017b) au evidențiat că diferențele între volumele estimate cu formula lui Mathiesen și formula lui Huber sunt < 5%. Figura 46 a (Vasilescu et al., 2017b) arată că aproape întotdeauna formula lui Mathiesen conduce la volume supraestimate, producând erori negative.

Reducând valoarea coeficientului din formula lui Mathiesen de 0,75 la 0,738, rezultatele sunt apropiate de cele obținute cu formula lui Huber (Vasilescu et al., 2017 b). Acest aspect poate fi observat în figura 46 b în care diferențele de volum sunt grupate în jurul axei Ox. În plus, utilizarea ecuației 32 în practică generează erori de ambele părți, pozitive și negative, iar rezultatele sunt mai precise comparativ cu formula originală (Vasilescu et

al., 2017b). Totodată, Vasilescu et al. (2017b) au menționat că precizia metodei este bună pentru estimarea volumului arborilor de dimensiuni mari.

Diferențele procentuale ale volumului sunt mai eficiente (Giurgiu, 1972) pentru a cuantifica efectul aplicării formulei lui Mathiesen și, de asemenea, al expresiilor modificate (figura 46) (Vasilescu et al., 2017b). Volumul estimat cu formula lui Huber a fost considerat volum de referință (Biging, 1988) în toate situațiile.

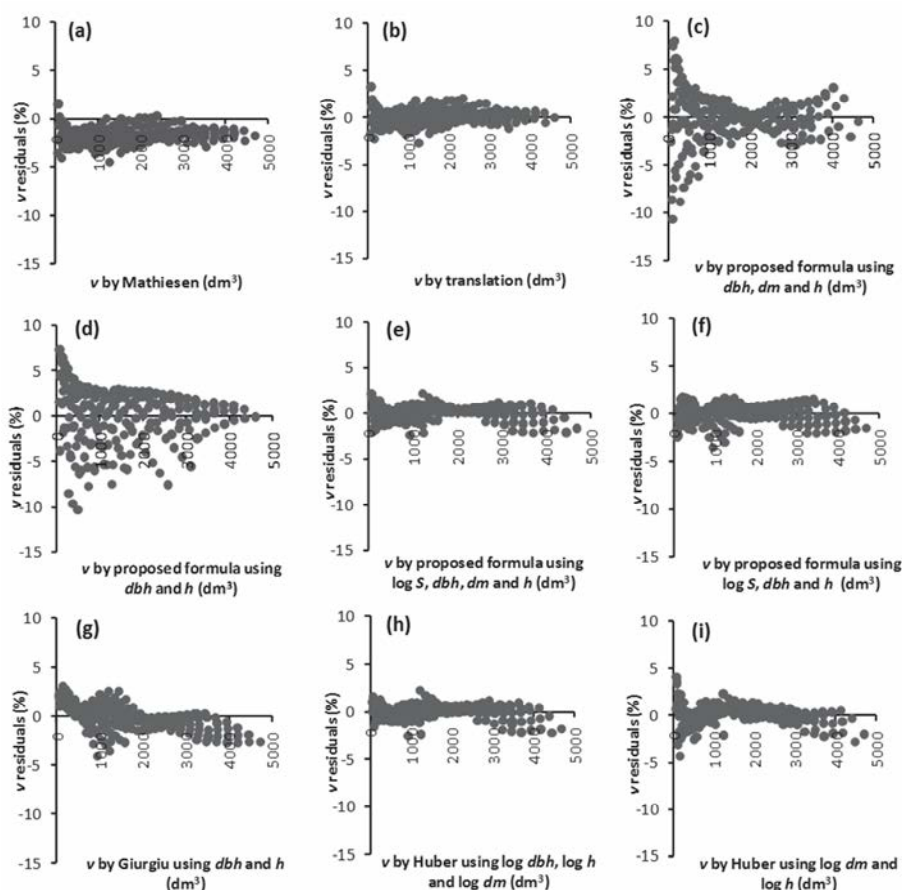


Figura 46. Diferențele procentuale ale volumului fusului estimat pentru specia molid cu – a) formula lui Mathiesen (ecuația 7); b) formula modificată a lui Mathiesen (ecuația 32); c) formula propusă cu trei variabile (ecuațiile 23, 25 și 29); d) formula propusă cu două variabile (ecuațiile 23, 26 și 30); e) formula propusă și funcția logaritmică cu trei variabile (ecuațiile 27 și 29); f) formula propusă și funcția logaritmică cu două variabile (ecuațiile 23, 28 și 30); g) ecuația lui Giurgiu cu două variabile (ecuația 34); h) volumul estimat cu trei variabile și funcția logaritmică (ecuația 35); i) volumul estimat cu două variabile și funcția logaritmică (ecuația 36)

Formula lui Mathiesen poate fi generalizată conform ecuației 33 (Vasilescu et al., 2017b).

$$v = pv \cdot dm \cdot S \quad (33)$$

Această ecuație poate fi particularizată pentru fiecare specie. Aplicând ecuația 33 pentru exemplare de molid din România, abaterile procentuale ale volumului fusului variază în funcție de ecuațiile de estimare utilizate (Vasilescu et al., 2017b). În figura 46 c este arătat efectul utilizării ecuațiilor 23, 25 și 29 pentru a estima variabilele din ecuația 33. În cazul în care se aplică ecuațiile 23, 26 și 30 pentru a estima variabilele din ecuația 33, abaterile procentuale ale volumului au o împrăștiere mai mare, aspect vizibil în figura 46 d.

Utilizarea ecuației logaritmice pentru a exprima aria profilului fusului conduce la rezultate mai bune în ambele variante testate, așa cum se poate observa din figura 46 e, f. Figura 46 e arată efectul utilizării ecuațiilor 27 și 29, când diametrul median poate fi măsurat pe fusul arborelui. În figura 46 f este evidențiat efectul cumulat al înlocuirii variabilelor din ecuația 33 cu estimări produse de utilizarea ecuațiilor 23, 28 și 30, și de măsurarea numai a diametrului de bază și a înălțimii arborelui.

Prin urmare, calculul clasic al diametrului median și al ariei fusului din formula lui Mathiesen se poate înlocui cu bune rezultate cu estimări (Vasilescu et al., 2017b) numai în funcție de caracteristicile dimensionale ale arborelui (dbh și h). Volumul fusului arborelui calculat astfel conduce la rezultate mai precise față de aplicarea tabelor de cubaj pe specii. În România, tabelele de cubaj sunt întocmite pentru 43 specii forestiere (Giurgiu et al., 2004) și au la bază funcția logaritmică sub forma ecuației 34.

$$\log v = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \log dbh + \alpha_2 \cdot \log^2 dbh + \alpha_3 \cdot \log h + \alpha_4 \cdot \log^2 h \quad (34)$$

Coeficienții ecuației 34 de estimare a volumului (m^3) pentru specia molid au fost stabiliți de Giurgiu et al. (2004) cu valorile $\alpha_0 = -4,18161$, $\alpha_1 = 2,08131$, $\alpha_2 = -0,11819$, $\alpha_3 = 0,70119$ și $\alpha_4 = 0,148181$. Aplicând această ecuație, abaterile procentuale ale volumului fusului sunt prezentate în figura 46 g. Se observă că utilizarea în practică a acestei ecuații conduce la erori pozitive în cazul arborilor mici, cu volum mai mic de $0,5 m^3$ (subestimare până la 3%) și pentru arborii cu volumul mai mare de $2 m^3$ (supraestimare până la 3%). Pentru restul arborilor cu volumul între $0,5$ și $2 m^3$, aplicarea ecuației 34 conduce la erori de ambele părți, pozitive și negative. Astfel, se poate preciza că modelele indicate anterior în figura 46 e, f produc efecte mai bune decât modelul actual al tabelor de cubaj din România (Vasilescu et al., 2017b). Numărul mai mare de coeficienți și alegerea potrivită a ecuațiilor explică rezultatele mai precise ale modelelor indicate în figura 46 e, f.

Având în vedere rolul funcției logaritmice de a oferi mai fidel modelul de estimare pentru aria și volumul fusului, Vasilescu et al. (2017b) au propus ecuațiile 35 și 36.

$$\log v = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \log dbh + \alpha_2 \cdot \log^2 dbh + \alpha_3 \cdot \log h + \alpha_4 \cdot \log^2 h + \alpha_5 \cdot \log dm + \alpha_6 \cdot \log^2 dm \quad (35)$$

$$\log v = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \log dm + \alpha_2 \cdot \log^2 dm + \alpha_3 \cdot \log h + \alpha_4 \cdot \log^2 h \quad (36)$$

Cu aceste ecuații a fost posibilă evidențierea rezultatelor prin utilizarea diametrului median al profilului fusului în modelul de estimare a volumului arborilor de molid. Diametrul median a fost adăugat (ecuația 35) ca variabilă față de ecuația care stă la baza tabelelor de cubaj pe specii, iar în ecuația 36 diametrul median a înlocuit diametrul de bază ca variabilă. Coeficienții acestor ecuații sunt prezentați în tabelul 9.

Ecuația 35 funcționează cu trei variabile, diametrul de bază, înălțimea și un diametru superior al fusului (diametrul median), în timp ce ecuația 36 permite estimarea volumului fusului în funcție de un diametru superior (diametrul median) și înălțimea arborelui. Abaterile procentuale ale volumului fusului obținute prin utilizarea ecuațiilor 35 și 36 sunt prezentate în figura 46 h, i. Aplicarea acestor două modele conduce la înregistrarea de erori nepărtinitoare și la diferențe foarte mici față de formula lui Huber utilizată prin divizarea fusului în tronsoane cu lungimea de 2 m (Vasilescu et al., 2017b).

Tabelul 9. Coeficienții și indicatorii de evaluare ai preciziei pentru modelele matematice care estimează volumul fusului la specia molid

Indicatori statistici ai modelelor	Simboluri	Ecuații de estimare a volumului fusului (dm ³)	
		cu trei variabile, <i>dbh</i> (cm), <i>h</i> (m) și <i>dm</i> (cm) (ecuația 35)	cu două variabile, <i>dm</i> (cm) și <i>h</i> (m) (ecuația 36)
Coeficienți	α_0	-1,13078	-1,13714
	α_1	1,79407	1,93209
	α_2	-0,29094	0,01357
	α_3	0,81328	0,95721
	α_4	0,08757	0,01181
	α_5	0,14159	
	α_6	0,27444	
Coeficientul de determinare	R^2	0,9999	0,9998
Suma pătratelor abaterior	<i>SS</i>	0,002409	0,004904
Eroarea medie pătratică	<i>MS</i>	0,000011	0,000023

Ca urmare, expresiile matematice propuse pentru estimarea volumului (ecuațiile 35 și 36) oferă un model mai bun pentru estimarea volumului fusului arborilor de molid din România.

Pentru arborii pe picior, utilizarea ecuațiilor care necesită suplimentar un diametru superior al fusului pentru estimarea volumului nu este specifică în România. Rezultatele (Vasilescu et al., 2017b) arată că introducerea diametrului median ca diametru suplimentar îmbunătățește semnificativ volumul estimat al arborilor individuali. Diametrul median poate fi asociat cu $d_{0.3h}$, iar pentru măsurare pot fi folosite diferite instrumente. McCaffery et al. (2015) au recomandat utilizarea instrumentului TruPulse atât de utilizatorii experimentați, cât și de cei neexperimentați. Aceeași autori au recomandat instrumentul Impulse ca fiind cel mai bun în cazul utilizatorilor experimentați, luând în considerare timpul necesar măsurării și costul instrumentului. Shimizu et al. (2014) au propus o metodă nouă de măsurare a diametrelor de-a lungul fusului pentru arborii pe picior, utilizând un sistem modern bazat pe imagini fotografice. Acest sistem mai trebuie încă testat pe terenuri plane și pe terenuri înclinate pentru îmbunătățirea rezultatelor, dar are șanse pentru a fi implementat mai ușor având în vedere costurile mai mici. Totodată, clupa cu fascicule laser se dovedește a fi o soluție rezonabilă pentru măsurarea diametrului median al profilului fusului (Vasilescu, 2020).

În final, se poate menționa că formula lui Mathiesen poate fi îmbunătățită cel puțin pentru molidul din România. Noua expresie (ecuația 32) permite estimarea volumului fusului cu precizie mai bună (Vasilescu et al., 2017b).

În plus, modelele matematice propuse pentru estimarea ariei secțiunii longitudinale a fusului (ecuațiile 27 și 28) permit transformarea ecuației 33 într-o expresie cu trei (dbh , h și dm) (ecuația 37).

$$v = (c_0 + c_1 \cdot dbh + c_2 \cdot dbh^2 + c_3 \cdot h + c_4 \cdot h^2 + c_5 \cdot dm + c_6 \cdot dm^2) \cdot dm \quad (37)$$

$$\cdot 10^{b_0 + b_1 \cdot \log dbh + b_2 \cdot \log^2 dbh + b_3 \cdot \log h + b_4 \cdot \log^2 h + b_5 \cdot \log dm + b_6 \cdot \log^2 dm}$$

Noul model, bazat pe formula modificată a lui Mathiesen, crește precizia de estimare a volumului comparativ cu formula lui Huber. Ecuația 37 face posibilă estimarea rapidă a volumului fusului (dm^3) prin măsurarea diametrului de bază, a înălțimii și a diametrului median al profilului fusului la $0.3 \cdot h$.

Aplicând această ecuație, abaterile volumului nu sunt semnificative. În plus, estimând volumul fusului cu ecuația propusă, rezultatele sunt mai bune decât prin aplicarea tabelii de cubaj pe specii. Ultima produce erori individuale considerabile ($\pm 16\%$) (Giurgiu et al. 2004).

În cazul arborilor pe picior ecuația 23 permite estimarea diametrului median, soluție pentru situațiile în care diametrele de-a lungul fusului nu pot fi măsurate.

Elaborarea unui model mai precis pentru estimarea volumului arborilor la specia molid a fost facilitat de rezultatele recente (Vasilescu, 2013b; Vasilescu et al., 2017a) privind

estimarea rapidă a diametrului median al profilului fusului pentru această specie. Un astfel de model este util, luând în considerare răspândirea speciei în Europa.

Rezultatele studiului desfășurat de Vasilescu et al. (2017b) confirmă cercetările lui Pollanschütz (1965) care a exprimat volumul fusului și coeficientul de formă cu ecuații având trei variabile (dbh , h și $d_{0,3h}$). Modelul elaborat de Pollanschütz (1965) a fost adaptat de Vasilescu et al. (2017b) pentru estimarea volumului fusului la molid substituind $d_{0,3h}$ cu dm (ecuația 38).

$$v = \alpha_0 \cdot dbh^2 \cdot h + \alpha_1 \cdot dbh \cdot dm \cdot h + \alpha_2 \cdot h^2 \quad (38)$$

în care coeficienții ecuației sunt $\alpha_0 = -0,012115$, $\alpha_1 = 0,056199$ și $\alpha_2 = 0,116926$; $R^2 = 0,9997$; $SS = 82639,75$ și $RMSE = 19,69721$. Modelul adaptat (ecuația 38) produce cele mai bune rezultate pentru arborii cu volumul $> 0,5 \text{ m}^3$ (Vasilescu et al., 2017b).

Pentru a obține cele mai bune modele de estimare a volumului, în cadrul studiului au fost testate și alte ecuații. Diametrul median a îmbunătățit valorile estimate ale volumului. Această observație este, de asemenea, valabilă și în cazul în care a fost utilizat raportul dm/dbh (Vasilescu et al., 2017b). Ecuația 39 a fost adaptată după modelul cu trei variabile ($d_{0,1h}$, $d_{0,5h}$ și h) elaborat de Giurgiu et al. (2004).

$$v = dbh^2 \cdot h \cdot \left[\alpha_0 + \alpha_1 \cdot \frac{dm}{dbh} + \alpha_2 \cdot \left(\frac{dm}{dbh} \right)^2 \right] \quad (39)$$

în care coeficienții ecuației sunt $\alpha_0 = 0,147673$, $\alpha_1 = -0,394517$ și $\alpha_2 = 0,319674$; $R^2 = 0,9996$; $SS = 98328,93$ și $RMSE = 21,38$. Comparând cu ecuațiile 35 și 36, modelul propus produce erori mici, pozitive și negative, și are avantajul utilizării a numai trei coeficienți.

Având în vedere numărul mare de coeficienți din ecuația 37, aceasta nu este ușor de aplicat în practică. Considerând acuratețea și posibilitatea de a aplica în practică ecuații ale volumului care utilizează diametrul median ca variabilă suplimentară față de modelele obișnuite, cu 2 variabile, Vasilescu et al. (2017b) au recomandat ecuațiile 38 și 39. Pe de altă parte, ecuația 35 are mai mulți coeficienți, dar estimează volumul cu acuratețe.

Noul model poate fi comparat, de asemenea, cu ecuații ale curbei de contur compatibile pentru estimarea volumului (Biging, 1988; Özçelik și Göçeri, 2015), elaborate pentru molidul din România.

Astfel de cercetări pot fi aplicate și la alte specii pentru a elabora un model general de estimare a volumului, ușor de aplicat pentru rășinoase.

5. Influențe metodologice asupra preciziei de estimare a volumului arboretului

5.1. Impactul erorii de măsurare a înălțimii arborelui asupra volumului arboretului estimat cu metoda seriilor de volume relative

- **Importanța metodei seriilor de volume relative în economia forestieră**

Metoda seriilor de volume relative are la bază ecuația de regresie a volumelor relative și este metoda recomandată pentru a fi utilizată în practică pentru generarea volumului la elaborarea actelor de punere în valoare a masei lemnoase (APV) prin aplicația SUMAL. Deși este mai puțin precisă comparativ cu metoda descrisă anterior, aplicarea ecuației de regresie a volumelor relative sau a tabelii conținând seriile de volume relative se dovedește a fi mai practică. Metoda, așa cum este descrisă în Ordinul nr. 1323/2015 *privind aprobarea metodelor dendrometrice pentru evaluarea volumului de lemn destinat valorificării și valorile necesare calculului volumului de lemn destinat valorificării*, presupune măsurarea pe teren a diametrului de bază al arborilor inventariați, precum și a înălțimii unui număr de 10-15 arbori la care diametrul nu diferă cu mai mult de $\pm 10\%$ din diametrul mediu al suprafeței de bază.

Metoda are gradul de preferință 3 pentru aplicarea la tăieri rase și în crâng, în arborete echiene pure, și gradul de preferință 2 pentru aplicarea la tăieri rase și în crâng, în arborete echiene de amestec și în arborete relativ echiene pure și de amestec. Totodată, metoda are gradul de preferință 2-3 în cazul tăierilor selective și repetate, tăierilor de îngrijire și conducere a arboretelor (rărituri și tăieri de igienă) și tăierilor de produse accidentale pentru specii slab reprezentate.

În cazul aplicării pentru arborete echiene și arborete pluriene cu structură echilibrată, metoda are o eroare standard de $\pm 5-6\%$ pentru probabilitatea de acoperire de 68%. Pentru 95% din cazuri, eroarea standard este de $\pm 10-12\%$ în cazul aplicării pentru arborete echiene (Giurgiu et al., 2004).

În contextul măsurării precise a diametrelor de bază, pe lângă eroarea metodei, se identifică alte două surse importante de erori. Acestea constau în erorile înregistrate la măsurarea celor 10-15 înălțimi și erorile de reprezentativitate ale arborilor selectați în vederea măsurării înălțimilor (Vasilescu, 2020).

- **Material și metodă de cercetare**

Pentru fiecare arbore pe picior inclus în cele 20 de eșantioane descrise la punctul 4.2, Vasilescu et al. (2020) au măsurat pe teren diametrul de bază și înălțimea și au apreciat clasa de calitate.

Volumul eşantioanelor a fost estimat de Vasilescu et al. (2020) pentru arborii pe picior aplicând ecuația de regresie a volumelor relative urmată de aplicarea tabelii de sortare pentru arbori. Astfel, au fost estimate, similar întocmirii APV-ului:

$V_{Brut_ec.volum_rel.}$ – volumul brut al eşantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat pe baza măsurării arborilor pe picior, prin aplicarea metodei volumelor relative, conform întocmirii APV-ului;

V_{Brut_APV} – volumul brut al eşantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat pe baza măsurării arborilor pe picior, prin aplicarea metodei volumelor relative și a metodei de sortare pentru arbori, conform întocmirii APV-ului (include volumul lemnului de lucru cu coajă și al lemnului de foc cu coajă);

$V_{L.lucru-coajă_APV}$ – volumul lemnului de lucru fără coajă din cadrul eşantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat pe baza măsurării arborilor pe picior, prin aplicarea metodei volumelor relative și a metodei de sortare pentru arbori, conform întocmirii APV-ului;

$V_{Coajă_APV}$ – volumul cojii lemnului de lucru din cadrul eşantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat pe baza măsurării arborilor pe picior, prin aplicarea metodei volumelor relative și a metodei de sortare pentru arbori, conform întocmirii APV-ului;

$V_{L.lucru+coajă_APV}$ – volumul lemnului de lucru cu coajă din cadrul eşantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat pe baza măsurării arborilor pe picior, prin aplicarea metodei volumelor relative și a metodei de sortare pentru arbori, conform întocmirii APV-ului;

$V_{L.foc_APV}$ – volumul lemnului de foc cu coajă din cadrul eşantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat pe baza măsurării arborilor pe picior, prin aplicarea metodei volumelor relative și a metodei de sortare pentru arbori, conform întocmirii APV-ului;

d_g – diametrul mediu al suprafeței de bază (exprimat în cm cu două zecimale) determinat la nivel de eşantion;

h_g – înălțimea arborelui mediu al suprafeței de bază (exprimată în m cu două zecimale) determinată la nivel de eşantion;

v_g – volumul arborelui mediu al suprafeței de bază (exprimat în m^3 cu trei zecimale) determinat la nivel de eşantion în funcție de mărimile d_g și h_g prin aplicarea ecuației de regresie a volumelor.

- **Rezultate privind aplicarea metodei de cubaj bazate pe seriile de volume relative la speciile molid și brad**

În baza celor 20 de eşantioane constituite și a măsurătorilor pe teren realizate în cadrul a 8 județe precizate la materialul de cercetare, în continuare sunt prezentate elementele de

calcul necesare estimării volumului prin metoda de cubaj bazată pe seriile de volume relative, indicată a se aplica pentru generarea volumului brut din APV, precum și volumele estimate la nivelul eşantioanelor, grupate după categoria de tăieri aplicate la speciile molid și brad (tabelul 10) (Vasilescu et al., 2020).

Metoda seriilor de volume relative a fost aplicată pentru cazul ideal când înălțimea măsurată a celor 10-15 arbori care au diametrul de bază egal cu diametrul mediu al suprafeței de bază $\pm 10\%$, este identică cu lungimea arborelui doborât, considerată mărimea reală a înălțimii. Așadar, rezultatele prezentate în tabelul 10 sunt obținute în ipoteza în care eroarea produsă la măsurarea înălțimii arborilor tinde către zero și, ca urmare, și eroarea la determinarea înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază tinde către zero. Acest fapt permite analizarea preciziei metodei fără a adăuga erorile care se comit la măsurarea caracteristicilor dendrometrice, aspect foarte important pentru formularea concluziilor (Vasilescu et al., 2020).

Tabelul 10. Elemente de calcul necesare estimării volumului prin metoda de cubaj bazată pe seriile de volume relative pentru eşantioanele de molid și brad

Simbol eşantion	Elemente de calcul determinate pe baza măsurării arborilor pe picior			Volumul eşantionului (m ³)
	d_g (cm)	h_{g_real} (m)	v_{g_real} (m ³)	$V_{Brut\ ec.\ volume\ rel.}$
MO_P1	44,8	35,06	2,343	66,317
MO_P2	42,4	33,27	2,009	58,522
MO_P3	41	27,28	1,513	36,986
MO_P4	33,4	22,68	0,868	28,689
MO_P5	53,6	36,64	3,334	99,795
Volum total pentru tăieri de produse principale la MO				290,309
MO_S1	22,4	23,02	0,440	17,599
MO_S2	19,8	22,89	0,351	14,211
MO_S3	18	21,57	0,278	11,609
MO_S4	16,2	20,48	0,217	8,296
MO_S5	23,8	22,93	0,487	19,776
Volum total pentru tăieri de produse secundare la MO				71,491
BR_P1	61	34,18	4,181	120,893
BR_P2	57,8	36,97	4,114	110,852
BR_P3	29,6	24,98	0,840	28,311
BR_P4	48,6	31,09	2,550	76,229
BR_P5	53,8	30,20	2,965	42,935
Volum total pentru tăieri de produse principale la BR				379,220
BR_S1	12,4	14,76	0,097	3,752
BR_S2	18,8	22,62	0,328	11,523
BR_S3	14,8	17,15	0,158	5,865
BR_S4	15,6	19,06	0,194	8,649
BR_S5	12,4	15,23	0,100	5,411
Volum total pentru tăieri de produse secundare la BR				35,200

La volumul eşantionului stabilit cu ecuația de regresie a volumelor relative a fost aplicată metoda de sortare pentru arbori în scopul generării volumelor prevăzute de APV (volum brut, volumul lemnului de lucru fără coajă, volumul cojii, volumul lemnului de foc), iar rezultatele obținute sunt indicate în tabelul 11 (Vasilescu et al., 2020).

Având în vedere rezultatele din tabelul 11, Vasilescu et al. (2020) au constatat că volumul brut estimat pe picior prin simularea APV-ului pentru eşantioanele incluse în studiu, parcurse cu tăieri de produse principale este de 290,309 m³ la molid și 379,192 m³ la brad, respectiv 71,399 m³ la molid și 34,790 m³ la brad pentru eşantioanele parcurse cu tăieri de produse secundare.

Tabelul 11. Volumul brut al eşantioanelor și volumul pentru sortimentele de lemn de lucru și de lemn de foc la nivel de eşantion, estimate conform întocmirii APV-ului, în cazul măsurării precise a înălțimilor la speciile molid și brad

Simbol eşantion	Volumul eşantionului (m ³)				
	V_{Brut_APV}	$V_{L. \text{ lucru } -}$ <i>coajă APV</i>	$V_{Coajă_APV}$	$V_{L. \text{ lucru } +}$ <i>coajă APV</i>	$V_{L. \text{ foc_APV}}$
MO_P1	66,317	60,343	5,471	65,814	0,503
MO_P2	58,522	53,221	4,898	58,119	0,403
MO_P3	36,986	33,643	3,089	36,732	0,254
MO_P4	28,689	25,925	2,538	28,463	0,226
MO_P5	99,795	90,801	8,086	98,887	0,908
Volum total pentru tăieri de produse principale la MO	290,309	263,933	24,082	288,015	2,294
MO_S1	17,588	15,757	1,807	17,564	0,024
MO_S2	14,200	12,647	1,553	14,200	0,000
MO_S3	11,579	10,290	1,289	11,579	0,000
MO_S4	8,256	7,260	0,959	8,219	0,037
MO_S5	19,776	16,529	1,853	18,382	1,394
Volum total pentru tăieri de produse secundare la MO	71,399	62,483	7,461	69,944	1,455
BR_P1	120,893	108,804	12,089	120,893	0,000
BR_P2	110,842	99,755	11,087	110,842	0,000
BR_P3	28,298	25,467	2,831	28,298	0,000
BR_P4	76,224	68,601	7,623	76,224	0,000
BR_P5	42,935	38,641	4,294	42,935	0,000
Volum de tăieri de produse principale la BR	379,192	341,268	37,924	379,192	0,000
BR_S1	3,693	3,267	0,426	3,693	0,000
BR_S2	11,443	10,123	1,161	11,284	0,159
BR_S3	5,795	4,917	0,586	5,503	0,292
BR_S4	8,541	7,451	0,887	8,338	0,203
BR_S5	5,318	4,623	0,603	5,226	0,092
Volum total pentru tăieri de produse secundare la BR	34,790	30,381	3,663	34,044	0,746

Diferențele dintre volumele indicate în tabelul 10, rezultate prin aplicarea ecuației de regresie a volumelor relative pentru cele 20 de eşantioane ($V_{Brut_ec.volum_rel.}$) și volumele brute

indicate în tabelul 11 (V_{Brut_APV}) reprezintă volumul vârfurilor și crăcilor neutilizabile, estimat prin aplicarea tabelii de sortare pentru arbori și nu este inclus în APV care conține volumul lemnului de lucru cu coajă și al lemnului de foc cu coajă, considerat volum vandabil.

A compara volumul prevăzut de APV cu volumul din rezultatul exploatării nu reprezintă o analiză completă pentru că ambele metode sunt afectate de erori (Vasilescu et al., 2020). În plus, cele două volume au o însemnătate ușor diferită. Volumul estimat prin APV indică volumul vandabil apreciat pentru un lot de arbori pe picior prin aplicarea unui model matematic de estimare a volumului în funcție de diametrele de bază măsurate pe teren și înălțimea a 10-15 exemplare care au diametrul de bază aproximativ egal cu diametrul mediu al suprafeței de bază calculat. Ca orice model matematic, chiar și în cazul aplicării pentru un lot mare de arbori, conduce la erori specifice metodei. La acestea, se adaugă erorile de aplicare ale metodei pentru că, în realitate, înălțimile arborilor pe picior nu pot fi măsurate cu exactitate. Tocmai de aceea, în studiul întreprins, la aplicarea modelului matematic de estimare a volumului eșantionului s-a lucrat cu lungimea fusului, măsurată după doborârea arborilor. În felul acesta, au fost evitate erorile de măsurare a înălțimii, dar erorile de reprezentativitate a arborilor pentru care se consideră înălțimea la stabilirea înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază, nu pot fi înlăturate (Vasilescu et al., 2020). Prin urmare, Vasilescu et al. (2020) consideră că variația înălțimii în rândul arborilor situați în categoria de diametre a arborelui mediu al suprafeței de bază și în proximitatea acesteia va fi în permanență o sursă de erori la aplicarea metodei.

Totodată, pentru o corectă analiză a volumului estimat conform APV-ului este necesară cunoașterea valorii adevărate a volumului. Din acest motiv, pe teren au fost aplicate metode de estimare a volumului care au o acuratețe mai mare, dar care se pot aplica pentru arborii doborâți (Vasilescu et al., 2020).

În ipoteza măsurării fără eroare a înălțimii arborilor la aplicarea metodei bazate pe seriile de volume relative, prin generarea APV-ului s-au înregistrat abateri procentuale individuale față de volumul brut real în mare parte negative în cazul eșantioanelor amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse principale atât la molid, cât și la brad (figura 47) (Vasilescu et al., 2020). Diferențele procentuale la nivel total dintre volumul estimat conform APV-ului și volumul real estimat cu formula lui Huber și tronsoane cu lungimea de 1 m sunt de -3,89% la molid și -6,64% la brad în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv -0,20% la molid și 0,59% la brad în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare (Vasilescu et al., 2020). Aceste diferențe indică subestimarea volumului de

produse principale la elaborarea APV-ului comparativ cu volumul real pentru eşantioanele studiate (Vasilescu et al., 2020). În cazul eşantioanelor amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare abaterile individuale calculate în condițiile anterior precizate sunt de ambele părți, pozitive și negative, iar la nivel total se compensează (Vasilescu et al., 2020).

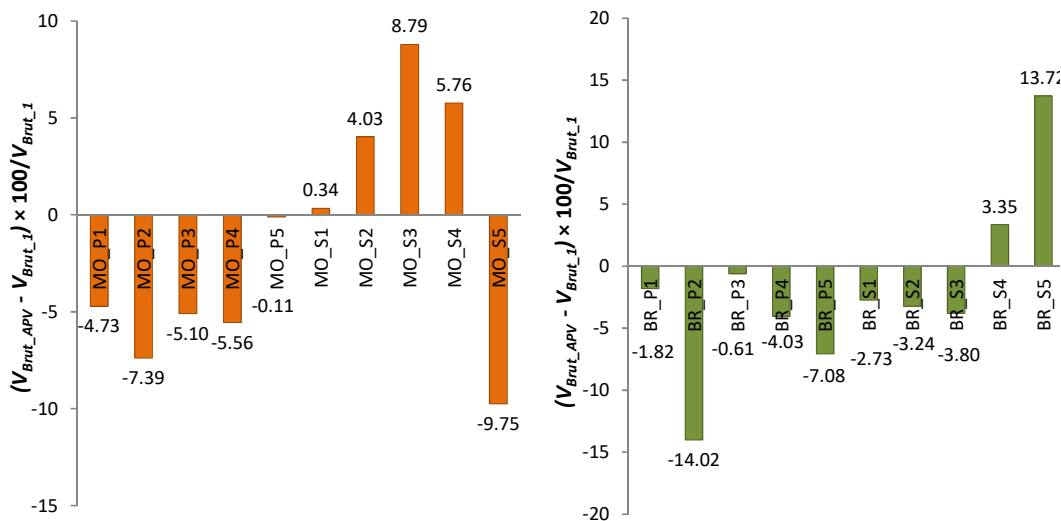


Figura 47. Diferențele procentuale de volum înregistrate la nivelul eşantionului între volumul brut estimat conform APV-ului și volumul brut real pentru speciile molid și brad

Astfel de abateri nu sunt cuantificate în sectorul de forestier deoarece estimarea volumului fusului arborilor după doborâre cu formula lui Huber și tronsoane de 1 m lungime este o activitate consumatoare de timp. De exemplu, măsurarea diametrelor de-a lungul fusului, pe două direcții perpendiculare, la mijlocul lungimii fiecărui tronson, necesită 5 până la 20 de minute în funcție de lungimea arborelui și de defectele de formă. Ca urmare, chiar dacă are o valoare superioară din punct de vedere științific, în practică rămâne greu de aplicat (Vasilescu et al., 2020).

În general, erorile care intervin la măsurarea diametrului de bază în cadrul inventarierii arborilor marcați pentru a fi extrași se compensează, astfel încât se poate conta pe o estimare destul de precisă a diametrului mediu al suprafeței de bază (Vasilescu et al., 2020).

Erorile care intervin semnificativ în stabilirea volumului eşantionului sunt cele care se produc la măsurarea înălțimii arborilor, ceea ce are ca efect estimarea imprecisă a înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază (Vasilescu et al., 2020).

Metoda de cubaj bazată pe seriile de volume relative a fost aplicată anterior în varianta ideală, când înălțimea măsurată celor 10-15 arbori care au diametrul de bază

egal cu diametrul mediu al suprafeței de bază $\pm 10\%$, este identică cu lungimea arborelui doborât, considerată mărimea reală a înălțimii. Dacă eroarea produsă la măsurarea înălțimii arborilor tinde către zero atunci și eroarea la estimarea înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază este minimă.

În continuare sunt prezentate rezultatele obținute de Vasilescu et al. (2020) la estimarea volumului arborelui mediu al suprafeței de bază în contextul măsurării eronate a înălțimii arborilor la speciile molid și brad (tabelele 12 și 13) pentru eșantioanele studiate.

Tabelul 12. Eroarea de estimare a volumului arborelui mediu al suprafeței de bază, e_v (%), produsă de erorile de măsurare a înălțimii arborilor la specia molid

Specificații	Eroarea de estimare a înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază, m								
	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
MO_P1; $d_g = 44,8$ cm; $h_{g_real} = 35,06$ m; $v_{g_real} = 2,343$ m ³									
v_g , m ³	2,189	2,227	2,266	2,304	2,343	2,382	2,421	2,460	2,499
e_v , %	-6,56	-4,93	-3,29	-1,65	0,00	1,66	3,32	4,99	6,66
MO_P2; $d_g = 42,4$ cm; $h_{g_real} = 33,27$ m; $v_{g_real} = 2,009$ m ³									
v_g , m ³	1,871	1,905	1,940	1,974	2,009	2,044	2,079	2,114	2,149
e_v , %	-6,87	-5,16	-3,45	-1,73	0,00	1,74	3,48	5,23	6,98
MO_P3; $d_g = 41,0$ cm; $h_{g_real} = 27,28$ m; $v_{g_real} = 1,513$ m ³									
v_g , m ³	1,390	1,420	1,451	1,482	1,513	1,545	1,576	1,608	1,640
e_v , %	-8,19	-6,15	-4,11	-2,06	0,00	2,07	4,15	6,24	8,33
MO_P4; $d_g = 33,4$ cm; $h_{g_real} = 22,68$ m; $v_{g_real} = 0,868$ m ³									
v_g , m ³	0,784	0,805	0,825	0,846	0,867	0,889	0,910	0,931	0,953
e_v , %	-9,63	-7,24	-4,84	-2,43	0,00	2,44	4,89	7,35	9,82
MO_P5; $d_g = 53,6$ cm; $h_{g_real} = 36,64$ m; $v_{g_real} = 3,334$ m ³									
v_g , m ³	3,124	3,176	3,229	3,281	3,334	3,387	3,441	3,494	3,548
e_v , %	-6,31	-4,74	-3,17	-1,59	0,00	1,59	3,19	4,79	6,40
MO_S1; $d_g = 22,4$ cm; $h_{g_real} = 23,02$ m; $v_{g_real} = 0,440$ m ³									
v_g , m ³	0,398	0,408	0,419	0,429	0,440	0,450	0,461	0,472	0,482
e_v , %	-9,51	-7,15	-4,78	-2,39	0,00	2,41	4,82	7,25	9,69
MO_S2; $d_g = 19,8$ cm; $h_{g_real} = 22,89$ m; $v_{g_real} = 0,351$ m ³									
v_g , m ³	0,318	0,326	0,334	0,343	0,351	0,360	0,368	0,377	0,386
e_v , %	-9,55	-7,18	-4,80	-2,41	0,00	2,42	4,85	7,29	9,74
MO_S3; $d_g = 18,0$ cm; $h_{g_real} = 21,57$ m; $v_{g_real} = 0,278$ m ³									
v_g , m ³	0,250	0,257	0,264	0,271	0,278	0,285	0,292	0,299	0,306
e_v , %	-10,07	-7,57	-5,06	-2,54	0,00	2,55	5,11	7,68	10,27
MO_S4; $d_g = 16,2$ cm; $h_{g_real} = 20,48$ m; $v_{g_real} = 0,217$ m ³									
v_g , m ³	0,194	0,200	0,206	0,212	0,217	0,223	0,229	0,235	0,241
e_v , %	-10,53	-7,92	-5,29	-2,65	0,00	2,67	5,35	8,04	10,75
MO_S5; $d_g = 23,8$ cm; $h_{g_real} = 22,93$ m; $v_{g_real} = 0,487$ m ³									
v_g , m ³	0,441	0,452	0,464	0,475	0,487	0,499	0,511	0,523	0,535
e_v , %	-9,54	-7,17	-4,79	-2,40	0,00	2,41	4,84	7,28	9,72

Având în vedere că erorile de estimare a volumului arborelui mediu al suprafeței de bază se transmit în mod direct la estimarea volumului eșantionului de arbori prin metoda

seriilor de volume relative, rezultă că în practică volumul estimat prin ecuația de regresie a volumelor relative poate să difere semnificativ față de volumul estimat în cazul cunoașterii valorilor reale ale înălțimii (Vasilescu et al., 2020).

Tabelul 13. Eroarea de estimare a volumului arborelui mediu al suprafeței de bază, e_v (%), produsă de erorile de măsurare a înălțimii arborilor la specia brad

Specificații	Eroarea de estimare a înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază, m								
	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
BR_P1; $d_g = 61,0$ cm; $h_{g_real} = 34,18$ m; $v_{g_real} = 4,181$ m ³									
v_g , m ³	3,938	3,999	4,060	4,120	4,181	4,242	4,303	4,364	4,424
e_v , %	-5,82	-4,37	-2,91	-1,46	0,00	1,45	2,91	4,36	5,82
BR_P2; $d_g = 57,8$ cm; $h_{g_real} = 36,97$ m; $v_{g_real} = 4,114$ m ³									
v_g , m ³	3,892	3,947	4,003	4,058	4,113	4,169	4,224	4,279	4,334
e_v , %	-5,38	-4,03	-2,69	-1,34	0,00	1,34	2,69	4,03	5,37
BR_P3; $d_g = 29,6$ cm; $h_{g_real} = 24,98$ m; $v_{g_real} = 0,840$ m ³									
v_g , m ³	0,772	0,789	0,806	0,823	0,840	0,856	0,873	0,890	0,907
e_v , %	-8,01	-6,00	-4,00	-2,00	0,00	2,00	4,00	6,00	8,00
BR_P4; $d_g = 48,6$ cm; $h_{g_real} = 31,09$ m; $v_{g_real} = 2,550$ m ³									
v_g , m ³	2,387	2,427	2,468	2,509	2,550	2,591	2,632	2,673	2,713
e_v , %	-6,41	-4,81	-3,21	-1,60	0,00	1,60	3,20	4,80	6,40
BR_P5; $d_g = 53,8$ cm; $h_{g_real} = 30,20$ m; $v_{g_real} = 2,965$ m ³									
v_g , m ³	2,769	2,818	2,867	2,916	2,965	3,014	3,063	3,112	3,161
e_v , %	-6,60	-4,95	-3,30	-1,65	0,00	1,65	3,30	4,95	6,60
BR_S1; $d_g = 12,4$ cm; $h_{g_real} = 14,76$ m; $v_{g_real} = 0,097$ m ³									
v_g , m ³	0,084	0,087	0,090	0,094	0,097	0,100	0,104	0,107	0,110
e_v , %	-13,65	-10,24	-6,82	-3,41	0,00	3,41	6,82	10,23	13,64
BR_S2; $d_g = 18,8$ cm; $h_{g_real} = 22,62$ m; $v_{g_real} = 0,328$ m ³									
v_g , m ³	0,299	0,306	0,314	0,321	0,328	0,335	0,343	0,350	0,357
e_v , %	-8,85	-6,64	-4,43	-2,21	0,00	2,21	4,42	6,63	8,84
BR_S3; $d_g = 14,8$ cm; $h_{g_real} = 17,15$ m; $v_{g_real} = 0,158$ m ³									
v_g , m ³	0,140	0,144	0,149	0,154	0,158	0,163	0,167	0,172	0,177
e_v , %	-11,72	-8,79	-5,86	-2,93	0,00	2,93	5,86	8,79	11,71
BR_S4; $d_g = 15,6$ cm; $h_{g_real} = 19,06$ m; $v_{g_real} = 0,194$ m ³									
v_g , m ³	0,174	0,179	0,184	0,189	0,194	0,199	0,205	0,210	0,215
e_v , %	-10,53	-7,90	-5,27	-2,63	0,00	2,63	5,26	7,89	10,52
BR_S5; $d_g = 12,4$ cm; $h_{g_real} = 15,23$ m; $v_{g_real} = 0,100$ m ³									
v_g , m ³	0,087	0,090	0,093	0,097	0,100	0,103	0,107	0,110	0,113
e_v , %	-13,23	-9,92	-6,61	-3,31	0,00	3,30	6,61	9,91	13,21

Rezultatele obținute de Vasilescu et al. (2020) evidențiază că în cazul eșantioanelor studiate, subestimarea cu un metru a înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază are ca efect subestimarea volumului eșantionului cu 3,17% - 4,84% la molid și 2,69% - 4,00% la brad în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv cu 4,78% - 5,29% la molid și 4,43% - 6,82% la brad în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare.

Dacă subestimarea înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază este de 2 m, atunci se produce subestimarea volumului eșantionului cu 6,31% - 9,63% la molid și 5,38% - 8,01% la brad în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv cu 9,51% - 10,53% la molid și 8,85% - 13,65% la brad în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare (Vasilescu et al. 2020).

Este foarte important faptul că, în cazul supraestimării înălțimii, efectul asupra estimării volumului este în sens invers față de cazul descris anterior, conducând la supraestimarea volumului brut și a volumelor pentru sortimentele lemn de lucru și lemn de foc prevăzut de APV. Procentele cu care se supraestimează volumul arborilor pe picior la aplicarea metodei seriilor de volume relative în contextul supraestimării înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază, au valori apropiate de cele produse în cazul subestimării, dar nu identice pentru că legătura între volume și înălțimi este descrisă de o relație curbilinie (Vasilescu et al. 2020). Aceste valori coincid cu erorile descrise în tabelele 12 și 13 pentru volumul arborelui mediu al suprafeței de bază.

În sectorul forestier actele de punere în valoare a masei lemnoase sunt verificate de către personalul silvic însărcinat cu atribuții de control, iar procedura permite aprobarea APV-ului în cazul în care înălțimea arborelui mediu al suprafeței de bază nu diferă cu mai mult de 1 m prin măsurarea înălțimii la aceiași arbori pe baza cărora s-a constituit actul. Acceptarea unei diferențe de ± 1 m pentru înălțimea arborelui mediu al suprafeței de bază conduce la diferențe maxime ale volumului eșantioanelor analizate de $\pm 4-5\%$ la molid și brad în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv $\pm 5-7\%$ la molid și brad în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare (Vasilescu et al., 2020).

Diferențele descrise anterior se asociază cu erorile de estimare a volumului cu modelul matematic pe care se bazează metoda seriilor de volume relative. Modul în care eroarea metodei se asociază cu eroarea de aplicare a metodei prin măsurarea imprecisă a înălțimii arborilor, este absolut întâmplător. Diferențele dintre volumul unui lot de arbori estimat pe picior și volumul estimat după doborârea arborilor cu formula lui Huber și tronsoane cu lungimea de 1 m se pot accentua, sau, din contră, se pot diminua. Se poate ajunge la situații paradoxale în care subestimarea înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază asociată cu o supraestimare a volumului produsă de modelul matematic, să conducă la înregistrarea unei erori mai mici de estimare a volumului arborilor pe picior, comparativ cu volumul real estimat după doborâre (Vasilescu et al., 2020).

Pe lângă erorile produse la măsurarea înălțimii arborilor, la estimarea înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază se produc și erori de reprezentativitate a arborilor aleși pentru măsurarea înălțimii. Identificarea arborilor care au diametrul egal cu diametrul mediu al suprafeței de bază $\pm 10\%$ este o operație simplă, însă realizarea condiției ca arborii selectați să fie reprezentativi la nivelul eșantionului ridică unele discuții mai ales în cazul unităților amenajistice cu suprafețe mari (Vasilescu et al., 2020). În cazul acestora, este posibil ca la nivelul clasei de diametre în care se încadrează diametrul mediu al suprafeței de bază și al claselor de diametre inferioare și superioare acesteia, să se înregistreze o variație mare a înălțimilor. Ca urmare, coeficientul de variație a înălțimilor pentru arborii care au diametrul mediu al suprafeței de bază este implicat în mod direct în eroarea de reprezentativitate. Având în vedere că nu se cunosc nici amplitudinea de variație și nici coeficientul de variație a înălțimii arborilor medii, rămâne subiectivismul operatorului în alegerea acestora (Vasilescu et al., 2020).

Referitor la estimarea volumului pentru sortimentele de lemn de lucru și de lemn de foc se poate menționa că imprecizia este și mai mare. Pe lângă erorile specifice estimării volumului brut care se transmit la nivelul sortimentelor, acționează un factor extrem de controversat, și anume subiectivismul operatorului la aprecierea clasei de calitate a arborilor.

5.2. Consumurile tehnologice, argumente științifice ale reducerii volumului rezultat din exploatare

- **Consumurile tehnologice în contextul interpretării abaterilor volumetrice în documentele oficiale**

Ce mai adesea, în sectorul forestier, sunt comparate volumele masei lemnoase puse în valoare, estimate pentru arborii pe picior prin întocmirea APV-ului cu volumele înregistrate după recoltarea masei lemnoase, prin estimarea volumului pieselor de lemn rotund (rezultatul exploatării). Din punct de vedere legal, atât actul de punere în valoare, cât și avizele de însoțire a masei lemnoase, care, cumulate, generează rezultatul exploatării prezintă documente oficiale. Teoretic, cele două variante de estimare a volumului sunt afectate de erori, iar semnificația științifică a volumului estimate prezintă diferențieri.

Volumul brut destinat comercializării, estimat prin APV pentru arborii pe picior, este rezultatul aplicării unui model matematic descris de eroarea standard de $\pm 10-12\%$ pentru probabilitatea de acoperire de 95% (Giurgiu et al., 2004). La aceasta, însă, se adaugă eroarea de aplicare a metodei, care are mai multe surse, care nu pot fi evitate în totalitate. În ceea ce

privește măsurarea diametrelor de bază, prin standardizarea modului de măsurare și înregistrare a valorilor în clase de diametre, verificarea carnetului de inventariere nu conduce, în general, la evidențierea unor erori care pot modifica semnificativ mărimea diametrului mediu al suprafeței de bază care stă la baza estimării volumului prin ecuația de regresie a volumelor relative, deci la baza volumului brut din APV (Vasilescu et al., 2020). În schimb, erorile de măsurare a celor 10-15 înălțimi pentru estimarea înălțimii arborelui mediu al suprafeței de bază, cerința a metodei de estimare a volumului, nu pot fi evidențiate cu valoarea lor reală prin măsurarea înălțimii acelorași arbori de către personalul cu atribuții de control pentru că orice valoare măsurată este afectată de erori (Vasilescu, 2020; Vasilescu et al., 2020). Tocmai de aceea, în sectorul forestier s-a impus o eroare maximă acceptată la măsurarea înălțimii arborilor pe picior. Mai mult, în practică nu poate fi evitată eroarea de reprezentativitate a arborilor selectați ca fiind reprezentanți ai arborilor medii ai suprafeței de bază, chiar dacă se respectă includerea arborilor care au diametrul de bază egal cu diametrul mediu al suprafeței de bază $\pm 10\%$, răspândiți pe întreaga suprafață inventariată.

În același timp, volumul brut estimat prin APV este un scenariu optimist de valorificare a masei lemnoase pe picior, pentru că, în realitate, după doborâre, intervin operații prin care masa lemnoasă este transformată în piese de lemn rotund specifice sortimentelor de lemn de lucru și lemn de foc, astfel încât o cantitate mai mică de masă lemnoasă este inventariată în platforma primară (Vasilescu et al., 2020). Pot justifica, însă, consumurile tehnologice/ pierderile de volum prin deprecierea calitativă a unei părți din masa lemnoasă la doborârea arborilor, consumurile tehnologice prin secționarea fusului la fasonarea sortimentelor, consumurile tehnologice generate de adoptarea supralungimilor legale la piesele de lemn rotund etc. diferențele procentuale de volum între cele două metode?

Consumurile tehnologice de masă lemnoasă sunt diminuări inerente ale masei lemnoase inițiale, pe picior, care se produc în procesul de exploatare a lemnului, ca urmare a modului specific de execuție a operațiilor, în vederea obținerii sortimentelor de lemn brut (Oprea și Borz, 2007). Deoarece se consideră a fi estimate obiectiv pentru un anumit stadiu tehnologic, acestea nu sunt socotite pierderi. Ultimele sunt reprezentate de depășirea indicilor de consum tehnologic cauzate de defecțiuni tehnico-organizatorice (mașini și unelte nereglate, forță de muncă cu calificare necorespunzătoare sau care nu respectă disciplina tehnologică etc.). Raportat la masa lemnoasă inițială, se consideră că indicele global de consum tehnologic este de circa 3% la rășinoase și de circa 2% la foioase (Oprea și Borz, 2007).

- **Material și metodă de cercetare**

Pe baza aprecierii calității masei lemnoase după doborârea arborilor, Vasilescu et al. (2020) au estimat volumul destinat valorificării pentru cele 20 de eșantioane descrise la punctul 4.2, iar după fasonarea sortimentelor au estimat volumele acestora conform înregistrării în avizele de însoțire:

$V_{Destinat\ valorificării}$ – volumul eșantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) determinat după doborârea arborilor cu formula lui Huber aplicată pentru porțiunea din fus destinată sortimentelor de lemn de lucru și de lemn de foc în funcție de calitatea materialului lemnos după doborâre, pe tronsoane cu lungimea variabilă, de regulă egală cu 3,05 m, iar diametrele exprimate în cm cu o zecimală;

$V_{L. lucru\ cf.\ aviz}$ – volumul lemnului de lucru din cadrul eșantionului (m^3 exprimat cu 2 zecimale) determinat după doborârea arborilor cu formula lui Huber aplicată pentru fiecare piesă de lemn rotund încadrată în sortimentul de lemn de lucru, pe tronsoane cu lungimea (exprimată în m cu o zecimală și valorile rotunjite la zecime) măsurată conform avizelor de însoțire (adoptând supralungimi) și diametrele exprimate în cm (valorile rotunjite la cm);

$V_{L. foc\ cf.\ aviz}$ – volumul lemnului de foc din cadrul eșantionului (m^3 exprimat cu 2 zecimale) determinat după doborârea arborilor cu formula lui Huber aplicată pentru fiecare piesă de lemn rotund încadrată în sortimentul de lemn de foc, pe tronsoane cu lungimea (exprimată în m cu o zecimală și valorile rotunjite la zecime) măsurată conform avizelor de însoțire (adoptând supralungimi) și diametrele exprimate în cm (valorile rotunjite la cm);

$V_{Valorificat\ cf.\ aviz}$ – volumul lemnului de lucru și al lemnului de foc din cadrul eșantionului (m^3 exprimat cu 2 zecimale) determinat conform avizelor de însoțire (corespunde cu raportările din rezultatul exploatării).

Pe baza măsurărilor realizate în șantierele de exploatare Vasilescu et al. (2020) au estimat consumurile tehnologice procentuale de volum prin secționarea fusului cu ocazia fasonării pieselor de lemn rotund, înregistrate la nivelul eșantionului față de volumul brut real, consumurile tehnologice/ pierderile de volum procentuale de volum care cumulează factorii - deprecierea calitativă a unei părți din masa lemnoasă la doborârea arborelui, secționarea fusului cu ocazia fasonării pieselor de lemn rotund, adoptarea lungimii de 3 m a tronsoanelor și a supralungimii acestora, înregistrate la nivelul eșantionului față de volumul brut real și consumurile tehnologice procentuale de volum care cumulează factorii - secționarea fusului cu ocazia fasonării pieselor de lemn rotund, rotunjirea diametrelor și adoptarea supralungimii pieselor, înregistrate la nivelul eșantionului față de volumul destinat

valorificării. În cazul consumurilor tehnologice produse prin secționarea fusului la fasonarea sortimentelor s-au utilizat următoarele simboluri:

$V_{CT. \text{secționare}_L. \text{lucru}}$ – volumul consumurilor tehnologice care se înregistrează la nivelul eșantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) prin secționarea transversală a materialului lemnos în vederea realizării pieselor de lemn de lucru;

$V_{CT. \text{secționare}_L. \text{foc}}$ – volumul consumurilor tehnologice care se înregistrează la nivelul eșantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) prin secționarea transversală a materialului lemnos în vederea realizării pieselor de lemn de foc;

$V_{CT. \text{secționare}}$ – volumul consumurilor tehnologice care se înregistrează la nivelul eșantionului (m^3 exprimat cu 3 zecimale) prin secționarea transversală a materialului lemnos în vederea realizării pieselor de lemn de lucru și lemn de foc;

- **Rezultate privind estimarea consumurilor tehnologice în funcție de factorii determinanți la speciile molid și brad**

Secționarea transversală a materialului lemnos destinat valorificării în vederea fasonării pieselor de lemn rotund ale sortimentelor de lemn de lucru și de lemn de foc generează la nivel de eșantion consumuri tehnologice care au valorile indicate în tabelul 14 (Vasilescu et al., 2020).

Se observă că volumul total al consumurilor tehnologice de material lemnos la fasonarea sortimentelor prin secționarea transversală a porțiunii din fus destinată valorificării este de $1,048 \text{ m}^3$ la molid și $1,351 \text{ m}^3$ la brad pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv $0,232 \text{ m}^3$ la molid și $0,110 \text{ m}^3$ la brad pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare. Din acest volum, $0,895 \text{ m}^3$ la molid și $1,230 \text{ m}^3$ la brad reprezintă volumul consumurilor tehnologice de material lemnos la fasonarea pieselor din sortimentul de lemn de lucru pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv $0,181 \text{ m}^3$ la molid și $0,085 \text{ m}^3$ la brad reprezintă volumul consumurilor tehnologice de material lemnos la fasonarea pieselor din sortimentul de lemn de lucru pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare. Restul, $0,153 \text{ m}^3$ la molid și $0,120 \text{ m}^3$ la brad reprezintă volumul consumurilor tehnologice de material lemnos la fasonarea pieselor din sortimentul de lemn de foc pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv $0,051 \text{ m}^3$ la molid și $0,025 \text{ m}^3$ la brad reprezintă volumul consumurilor tehnologice de material lemnos la fasonarea pieselor din sortimentul de lemn de foc pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare.

Tabelul 14. Consumurile tehnologice la nivel de eşantion produse prin secționare la fasonarea sortimentelor la speciile molid și brad

Simbol eşantion	Volumul consumurilor tehnologice prin secționare (m ³)		
	$V_{P. \text{secționare } L. \text{ lucru}}$	$V_{P. \text{secționare } L. \text{ foc}}$	$V_{P. \text{secționare}}$
MO_P1	0,211	0,046	0,257
MO_P2	0,195	0,030	0,225
MO_P3	0,121	0,011	0,132
MO_P4	0,093	0,009	0,102
MO_P5	0,275	0,057	0,333
Volum total pentru tăieri de produse principale la MO	0,895	0,153	1,048
MO_S1	0,049	0,012	0,061
MO_S2	0,035	0,009	0,044
MO_S3	0,028	0,006	0,034
MO_S4	0,021	0,003	0,024
MO_S5	0,048	0,020	0,068
Volum total pentru tăieri de produse secundare la MO	0,181	0,051	0,232
BR_P1	0,384	0,030	0,414
BR_P2	0,401	0,015	0,417
BR_P3	0,090	0,006	0,096
BR_P4	0,232	0,034	0,266
BR_P5	0,123	0,034	0,157
Volum total pentru tăieri de produse principale la BR	1,230	0,120	1,351
BR_S1	0,008	0,004	0,012
BR_S2	0,030	0,007	0,037
BR_S3	0,016	0,003	0,019
BR_S4	0,022	0,004	0,027
BR_S5	0,009	0,006	0,015
Volum total pentru tăieri de produse secundare la BR	0,085	0,025	0,110

Aceste valori sunt importante atunci când se cunosc volumele eşantioanelor din care provin și trebuie însoțite de mărimea acestora (Vasilescu et al., 2020). Pentru a evita neajunsul produs de exprimarea în m³ a consumurilor tehnologice de volum rezultate din secționare, în continuare au fost exprimate în procente calculate față de volumul real al eşantioanelor de arbori, stabilit cu formula lui Huber și tronsoane cu lungimea de 1 m (figura 48) (Vasilescu et al., 2020).

Analizând valorile indicate în figura 48 se observă că prin exprimarea în procente a consumurilor tehnologice de volum produse la secționarea materialului lemnos în scopul delimitării pieselor de lemn rotund corespunzătoare sortimentelor, valorile au o variație restrânsă. Ca urmare, valorile medii ale consumurilor tehnologice de acest tip prezintă stabilitate (Vasilescu et al., 2020).

Astfel, Vasilescu et al. (2020) au evidențiat că prin operația de secționare la fasonarea pieselor de lemn rotund cu lungimea de 3 m, volumul materialului lemnos se reduce în mod sistematic față de volumul real în medie cu 0,35% la molid și 0,33% la brad pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv cu 0,32% la molid și brad pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare.

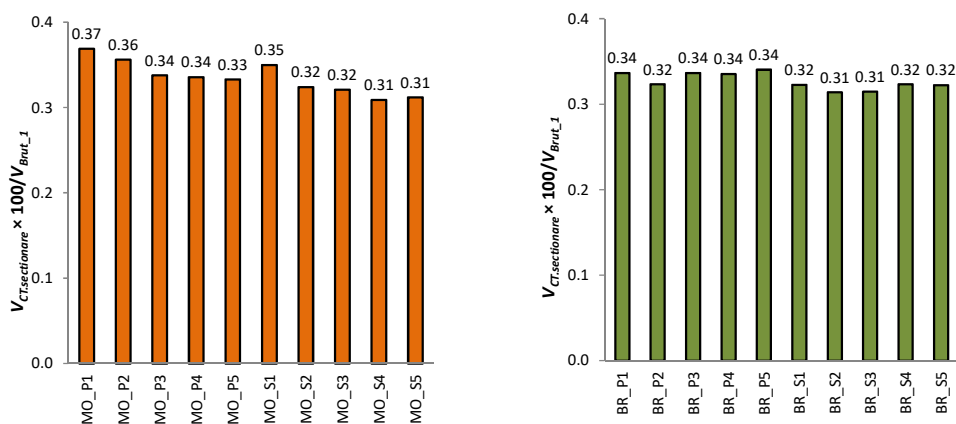


Figura 48. Consumurile tehnologice de volum (%) la nivel de eșantion produse prin secționare la fasonarea sortimentelor față de volumul brut real la speciile molid și brad

Estimarea individuală a consumurilor tehnologice de volum care se produc în diferite etape ale procesului de recoltare și valorificare a masei lemnoase, de la doborâre până la inventarierea pieselor de lemn rotund cu ocazia întocmirii avizelor de însoțire, se dovedește a fi o acțiune dificilă. De exemplu, orice eroare constând în omiterea la inventarierea din platforma primară a unei porțiuni din fusul unui arbore din lotul studiat sau, invers, introducerea în inventarul din platforma primară a unor piese de lemn rotund care nu aparțin eșantionului studiat, conduce la obținerea unor valori aberante.

Având în vedere că lucrările de teren s-au realizat în timpul procesului de exploatare, iar ritmul de desfășurare a activităților nu a putut fi perturbat radical sau impus pentru a satisface în totalitate nevoile de colectare a datelor din studiu, inventarierea pieselor de lemn rotund pentru sortimentele de lemn de lucru și de lemn de foc s-a desfășurat în parchet și nu în platforma primară. Au fost respectate condițiile specifice întocmirii avizelor de însoțire, dar prin această abordare nu au putut fi evidențiate consumurile tehnologice care pot surveni la colectarea masei lemnoase și care nu sunt de neglijat în cazul în care distanța de colectare, rugozitatea traseelor de colectare și înclinarea terenului au valori mari. Această opțiune a fost

considerată rațională pentru a nu compromite acuratețea la colectarea datelor de teren (Vasilescu et al., 2020).

Deprecierea calitativă a unei părți din masa lemnoasă la doborârea arborelui, secționarea fusului la fasonarea sortimentelor, adoptarea lungimii de 3 m a tronsoanelor și a supralungimii acestora, care sunt consumuri tehnologice de lemn, au ca efect cumulat reducerea volumului față de volumul brut real al eșantionului (figura 49) (Vasilescu et al., 2020).

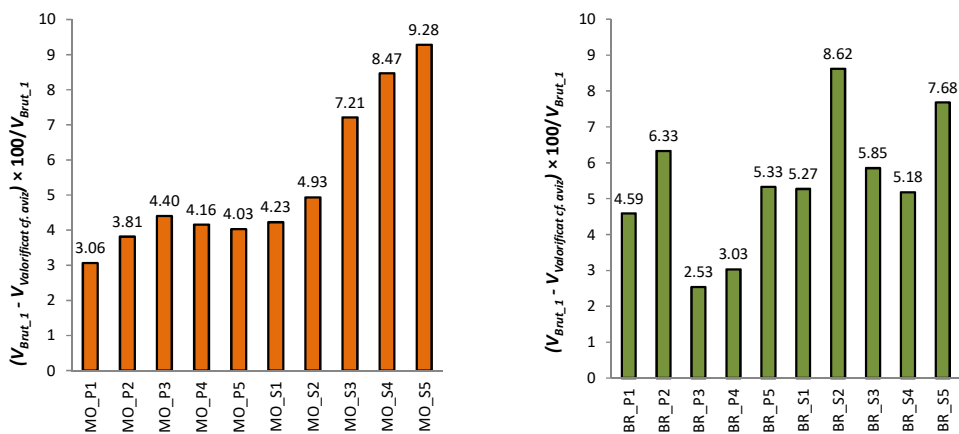


Figura 49. Volumul (%) corespunzător consumurilor tehnologice cumulate prin deprecierea calitativă a masei lemnoase la doborârea arborelui, secționarea lemnului rotund cu ocazia fasonării, adoptarea lungimii de 3 m a tronsoanelor și a supralungimii acestora, înregistrate la nivelul eșantionului față de volumul brut real la speciile molid și brad

Diferențele procentuale dintre volumul real la nivelul eșantionului și volumul specific rezultatului exploatării (conform avizelor de însoțire) reflectă consumurile tehnologice de volum cumulate prin factorii precizați anterior și sunt în medie de 3,82% la molid și 4,78% la brad pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv 6,82% la molid și brad pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare (Vasilescu et al., 2020).

Volumul consumurilor tehnologice prin secționarea lemnului rotund cu ocazia fasonării, rotunjirea diametrelor și adoptarea supralungimii pieselor, exprimat procentual față de volumul destinat valorificării este indicat pentru fiecare eșantion în figura 50 (Vasilescu et al., 2020).

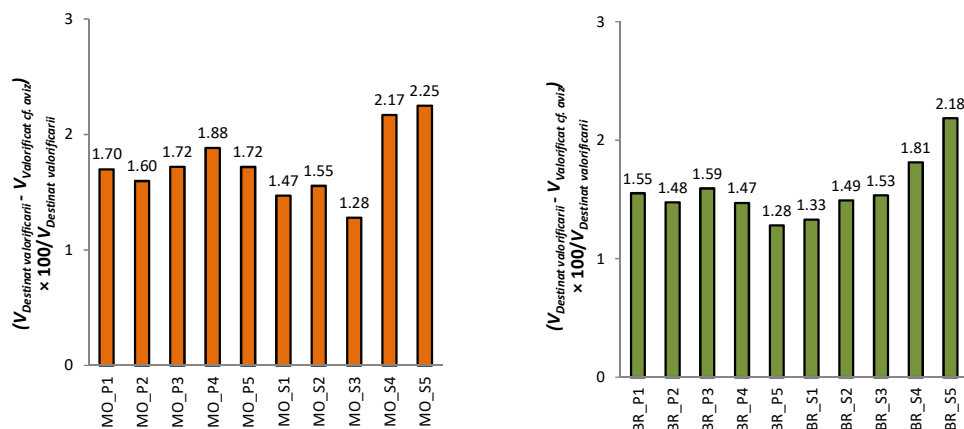


Figura 50. Volumul (%) corespunzător consumurilor tehnologice cumulate prin secționarea lemnului rotund cu ocazia fasonării, rotunjirea diametrelor și adoptarea supralungimii pieselor, înregistrate la nivelul eșantionului față de volumul destinat valorificării la speciile molid și brad

Diferențele procentuale la nivelul eșantionului dintre volumul destinat valorificării (estimat după doborârea arborilor cu formula lui Huber aplicată pentru porțiunea din fus destinată sortimentelor de lemn de lucru și de lemn de foc în funcție de calitatea materialului lemnos) și volumul specific rezultatului exploatării (conform avizelor de însoțire) reflectă consumurile tehnologice de volum cumulate prin factorii precizați anterior și sunt în medie de 1,71% la molid și 1,48% la brad pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse principale, respectiv 1,77% la molid și 1,65% la brad pentru eșantioanele amplasate în arborete parcurse cu tăieri de produse secundare (Vasilescu et al., 2020).

Valorile consumurilor tehnologice de volum cauzate de diferiți factori permit o corectă interpretare a diferențelor de volum la nivel de eșantion atunci când pentru estimarea volumului se utilizează atât metode specifice arborilor pe picior cât și metode specifice arborilor doborâți.

(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei**1. Introducere**

Grație dascălilor mei care, cu pasiune și profesionalism, mi-au insuflat bucuria de a învăța, activitatea profesională din cei aproape 19 ani am desfășurat-o în cadrul Universității Transilvania din Brașov. Îmi amintesc cu plăcere emoția primilor ani de activitate, mai întâi în cadrul catedrei de Amenajarea Pădurilor, ulterior redenumită catedra de Amenajarea Pădurilor și Măsurători Terestre, iar mai apoi în cadrul Departamentului Exploatare Forestiere, Amenajarea Pădurilor și Măsurători Terestre. În acest cadru, m-am implicat încă de la început în diverse activități de natură didactică și de cercetare științifică. Colectivul în care mi-am desfășurat activitatea s-a transformat continuu, devenind astăzi tânăr și competitiv. Prin studiile doctorale am dezvoltat relații de colaborare și cu colegii de la Departamentul Silvicultură, formând în timp preocupări multi și interdisciplinare. Prețuiesc munca bazată pe profesionalism, răbdare, tenacitate și respect, valori pe care le putem imprima studenților în speranța unei României mai frumoase!

În continuare este prezentată experiența profesională în activitatea didactică și cea de cercetare științifică, bază pentru elaborarea planului de dezvoltare a carierei universitare.

2. Experiența profesională**• Educație**

Formarea profesională are la bază următoarele studii absolvite în ordine cronologică inversă:

2002-2007: Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Universitatea Transilvania din Brașov, doctorat în domeniul Silvicultură, sub conducerea prof. univ. dr. ing. Dumitru Romulus Târziu (diplomă de doctor);

2001-2002: Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Universitatea Transilvania din Brașov, studii aprofundate - Managementul Ecosistemelor Forestiere (diplomă de studii aprofundate);

1996-2001: Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Universitatea Transilvania din Brașov, studii universitare de 5 ani – Silvicultură (diplomă de inginer).

• Activitatea profesională

Încă de la absolvirea facultății, în anul 2001, am fost angajată în funcția de preparator universitar la Catedra de Amenajarea Pădurilor din cadrul Universității Transilvania din

Braşov. De-a lungul anilor de activitate am parcurs treptele de asistent universitar și șef lucrări, din 2016 ocupând funcția de conferențiar (tabelul 1). Din anul 2007 predau cursurile la disciplina Dendrometrie I studenților anului II de la programul Silvicultură, ciclul de licență și cursurile la disciplina Organizarea teritoriului și ecologie, denumită inițial Amenajarea teritoriului agricol și forestier, studenților anului III de la programul Măsurători Terestre și Cadastru, ciclul de licență, iar din anul 2014 cursurile la disciplina Managementul lucrărilor cadastrale, studenților anului IV de la același program.

Tabelul 1. Evoluția profesională în Universitatea Transilvania din Braşov

Funcția ocupată/ Perioada	Locul de muncă	Discipline predate	Programul de studii
Preparator universitar/ 01.10.2001 – 30.09.2004	Catedra de Amenajarea Pădurilor – norma de bază și activitate în regim plata cu ora	Geometrie descriptivă și desen tehnic (L)	SV+EF
	Catedra de Silvicultură - activitate în regim plata cu ora	Pedologie și stațiuni forestiere (L)	SV+EF
Asistent universitar/ 01.10.2004 – 30.09.2007	Catedra de Amenajarea Pădurilor – norma de bază și activitate în regim plata cu ora	Geometrie descriptivă și desen tehnic (L) Biostatistică forestieră (L) Dendrometrie (L)	SV+EF
	Catedra de Silvicultură - activitate în regim plata cu ora	Pedologie și stațiuni forestiere (L) Dendrologie (L)	SV+EF
Șef lucrări/1.10.2007 – 30.09.2016	Catedra de Amenajarea Pădurilor/ Departamentul Exploatare Forestiere, Amenajarea Pădurilor și Măsurători Terestre – norma de bază și activitate în regim plata cu ora	Dendrometrie I (C+L) Biostatistică forestieră (L) Geometrie descriptivă și desen tehnic (L)	SV+EF_CIN
		Amenajarea teritoriului agricol și forestier (C+L) Managementul lucrărilor cadastrale (C+L)	MTC
	Catedra de Silvicultură - activitate în regim plata cu ora	Pedologie și stațiuni forestiere (L)	SV+EF
Conferențiar/ 1.10.2016 – prezent	Departamentul Exploatare Forestiere, Amenajarea Pădurilor și Măsurători Terestre – norma de bază și activitate în regim plata cu ora	Dendrometrie I (C+L) Desen tehnic și cartografic (C)	SV+EF_CIN
		Geometrie descriptivă (C+L) Organizarea teritoriului și ecologie (C+L) Managementul lucrărilor cadastrale (C+L)	MTC
		Sisteme agrosilvice și perdele forestiere de protecție (C+L)	MEF
		Biometrie forestieră avansată (C+L)	SM

L – lucrări practice; C – curs.

Din anul 2016 predau și cursurile la disciplina Desen tehnic și cartografic studenților anului I de la programul Silvicultură, ciclul de licență și cursurile la disciplina Geometrie

descriptivă, studenților anului I de la programul Măsurători Terestre și Cadastru, ciclul de licență.

Începând cu anul 2018 desfășor activități didactice și la ciclul de master, prin predarea cursurilor la disciplina Biometrie forestieră avansată (Advanced forest biometry) la programul în limba engleză Silvicultură Multifuncțională (Multiple Purpose Forestry) (anul I de studii) și a cursurilor la disciplina Sisteme agrosilvice și perdele forestiere de protecție la programul Managementul Ecosistemelor Forestiere (anul II de studii).

Pe lângă desfășurarea de activități didactice, în paralel am participat anual prin coordonarea studenților în stagiile de practică de la disciplinele Dendrometrie și Pedologie și stațiuni forestiere, din anul 2007 fiind responsabil de practică la disciplina Dendrometrie, alături de dr. ing. Marian Tudoran.

În plus, sunt tutorele anului II la programul de studii Silvicultură, calitate în care îmi asum rolul de persoană care orientează studenții în probleme care țin de activitatea academică.

În cadrul Universității Transilvania din Brașov, am deținut sau dețin următoarele calități:

- 2012-2015: membru în Consiliul Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere;
- 2012-prezent: membru al Senatului Universității Transilvania din Brașov;
- 2012-2020: secretar al Comisiei Senatului Universității Transilvania din Brașov privind drepturile și obligațiile studenților;
- 2020-prezent: președinte al Comisiei Senatului Universității Transilvania din Brașov privind drepturile și obligațiile studenților;
- 2018-prezent: membru al Comisiei pentru pregătirea lucrărilor Senatului.
- 2002-2012: membru al Comisiei de admitere la nivel de facultate;
- 2018-prezent: membru al comisiei de evaluare a scrisorilor de intenție pentru admiterea la programele de master;
- 2012-prezent: membru al Centrului de Cercetare de profil în cadrul ICDD al Universității Transilvania din Brașov;
- 2014, 2016, 2019: membru în comisia examenului de finalizare a studiilor la programele de licență Silvicultură, Exploatare Forestiere și Cinegetică;
- 2011, 2012: secretar al comisiei examenului de finalizare a studiilor la programul de master Managementul Ecosistemelor Forestiere;

- 2020: membru în comisia examenului de finalizare a studiilor la programul de licență Măsurători Terestre și Cadastru.

Totodată, de-a lungul timpului am coordonat peste 20 de studenți în elaborarea proiectului de diplomă la disciplinele Dendrometrie și Organizarea teritoriului și ecologie, cu teme specifice, cele mai multe dintre proiecte abordând probleme de cercetare.

De asemenea, am îndrumat studenți din programele de studii menționate pentru prezentarea rezultatelor cercetărilor proprii la sesiunile științifice studentești, unele dintre acestea fiind premiate.

În ultimii ani am fost implicată în organizarea a două școli de vară (în anii 2013 și 2015) la care au participat studenți din întreaga lume pe baza unor schimburi între Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere și facultăți partenere. În plus, am participat la organizarea a trei concursuri în cadrul facultății (în anii 2014, 2016 și 2017) pentru acordarea de burse susținute de mediul socio-economic.

Pentru a oferi sprijin studenților, am participat atât cu activități remediale la disciplina Geometrie descriptivă, anul I, programul de studii MTC, cât și cu activități tutoriale la anul I, programul de studii Silvicultură în cadrul grantului Managementul riscului de abandon în primul an de studii de licență pentru studenții Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere (MARISA).

La evaluările realizate de către studenți mi s-au acordat calificative foarte bune. Odată cu preluarea cursurilor la disciplinele pe care le predau, s-a trecut la prezentarea tuturor cursurilor prin metode moderne cu utilizarea proiecteurului. Cu această ocazie au fost actualizate și/sau concepute toate cursurile predate.

- **Activitatea de cercetare**

Cercetarea științifică pe care am desfășurat-o în cei 19 ani de activitate este corelată cu direcțiile de cercetare pe care le-am urmărit. Astfel, se poate distinge o direcție de cercetare în problema perdelelor forestiere de protecție a câmpului, tematică studiată în cadrul tezei de doctorat, o direcție interdisciplinară cu tematici de silvotehnică, gospodărire durabilă a pădurilor, amenajare a bazinelor hidrografice torențiale precum și management al ariilor protejate și o a treia direcție de cercetare caracterizată de tematici care se înscriu în sfera biometriei.

Cele mai multe dintre cercetările științifice proprii au fost sintetizate și publicate în cărți și articole științifice. Lucrarea „Perdelele forestiere de protecție în contextul organizării teritoriului“, este definitorie pentru realizările științifice. Această carte sintetizează cercetările

proprii desfășurate mai mult de un deceniu în domeniul perdelelor forestiere de protecție a câmpului, integrate în contextul mai larg al organizării teritoriului. În ultimii ani am urmărit desfășurarea de cercetări în domeniul biometriei forestiere, iar cartea de specialitate intitulată „Fundamente dendrometrice. Teorie și aplicații practice“ reflectă orientarea pe această direcție de cercetare.

Până în prezent am desfășurat activități de cercetare științifică în cadrul a 12 proiecte naționale cu finanțare din fonduri publice și private, iar la 3 dintre acestea am avut funcția de responsabil de contract (tabelul 2).

Tabelul 2. Proiecte de cercetare științifică

Programul/ Proiectul	Funcția	Perioada
1. Estimarea abaterilor volumetrice rezultate din evaluarea masei lemnoase pe picior și evaluarea masei lemnoase după recoltarea arborilor la speciile molid și brad cu evidențierea consumurilor tehnologice pe operații specifice. Contract nr. 9168/20.07.2018 finanțat de HS Timber Productions.	Responsabil contract	2018-2020
2. Cercetări privind managementul ariilor protejate Lunca Mîrcești, Homița, Pădurea Tătărăuși din județul Iași. Elaborarea planurilor integrate de management a celor trei arii protejate. Contract nr. 10944/8.08.2013 finanțat de SC DECEM CONSULT SRL.	Responsabil contract	2013-2014
3. Recomandări practice pentru instalarea (așezarea, crearea și conducerea) perdelelor forestiere de protecție în câmpiile Boianului și Burnazului. Contract nr. 11632/4.10.2004 finanțat de Regia Națională a Pădurilor-ROMSILVA.	Responsabil contract	2004-2005
4. Elaborarea planului de management integrat pentru siturile Natura 2000 ROSCI0290 Coridorul Ialomiței, ROSPA0152 Coridorul Ialomiței și rezervația naturală Pădurea Alexeni (III.2.). Contract nr. 205/13.08.2018 finanțat de Administrația Parcului Natural Balta Mică a Brăilei R.A.	Membru	2019-2020
5. Dirijarea calității lemnului și a a desimii/densității arboretelor tinere Contract nr. 7585/08.07.2016 finanțat de SC TORNATOR SRL.	Membru	2016
6. Cercetare științifică cu privire la revenirea la tipul natural fundamental de pădure pentru o suprafață de 1000 hectare de molidișuri. Contract nr. 6866/16.06.2014 finanțat de Fundația Conservation Carpathia.	Membru	2014
7. Promovarea gospodăririi durabile a pădurilor prin modalități inovatoare în păduri model și demonstrative administrate de SC Cascade Empire SRL. Contract nr. 7980/09.07.2014 finanțat de SC Cascade Empire SRL Sebeș.	Membru	2014-2016
8. Stabilirea desimii/densității optime a arboretelor aflate în stadiile de prăjiniș și păriș. Contract nr. 5019/19.04.2013 finanțat de SC TORNATOR SRL.	Membru	2013-2015
9. Definierea, evaluarea și zonarea riscurilor pentru pădurile României (CLIDOIN). Contract CEEX 736/2006.	Membru	2006-2008
10. Fundamentarea tehnică și economică a silvotehnicii recomandate principalelor specii de foioase prețioase (cireș, frasin, sorb, paltin de câmp și paltin de munte) din România. Contract nr. 24/2005 finanțat de Regia Națională a Pădurilor-ROMSILVA.	Membru	2005-2007
11. Asistență tehnică pentru urmărirea și cuantificarea tehnică și economică a efectelor lucrărilor de îngrijire aplicate în stejărete, gorunete, făgete pure și amestecate din Direcțiile Silvice Brașov, Prahova și Dâmbovița. Contract nr. 24/2005 finanțat de Regia Națională a Pădurilor-ROMSILVA.	Membru	2004-2006
12. Valențele didactico-experimentale ale lucrărilor de amenajare a rețelei hidrografice torențiale din bazinul superior al Târlungului (amonte de acumulare Săcele). Contract CNC SIS 33459/2002 TEMA 3 COD 639.	Membru	2002-2004

Rezultatele cercetărilor pe care le-am desfășurat până în prezent s-au concretizat în 5 cărți de specialitate publicate în edituri recunoscute CNCS, 14 articole publicate în reviste și volume ale conferințelor indexate în baza de date Web of Science, 30 articole publicate în reviste și volume ale conferințelor indexate BDI, 5 rapoarte de cercetare (tabelul 3).

Tabelul 3. Performanța în cercetare

Rezultate ale cercetării	Unic autor	Autor principal/ autor corespondent	Coautor	Total
Articole indexate Web of Science	-	3	7	10
Articole în volume ale conferințelor indexate Web of Science	-	2	2	4
Articole în reviste și volume ale conferințelor indexate BDI	12	7	11	30
Cărți de specialitate	2	-	3	5
Rapoarte de cercetare	1	4	-	5

Revistele în care au fost publicate articolele indexate Web of Science sunt încadrate în proporție de 70% în prima parte a clasamentului (Q1 și Q2), iar 60% sunt în domeniul Forestry, 30% în domeniul Materials Science, Paper and Wood și 10% în domeniul Environmental Sciences & Ecology.

Recunoașterea academică și științifică este reflectată de:

- indicii Hirsch: Google Scholar (5), Scopus (4); Web of Science (3);
- participarea ca membru în Comitetul de Management al unei acțiuni COST, FP1106 - STReESS - Studying Tree Responses to extreme Events: a SynthesiS;
- premiarea cu Diploma de excelență acordată în 2007 de Regia Națională a Pădurilor și Societatea Progresul Silvic și cu Diploma de excelență, Premiul III, acordată în 2016 de Societatea Progresul Silvic;
- apartenența la Societatea Națională Română pentru Știința Solului.

Începând cu anul 2016 am acceptat calitatea de referent pentru 5 reviste de specialitate din domeniu, dintre care 3 indexate Web of Science, după cum urmează:

- Notulae Botanicae Horti Agrobotanici (Q3) – 2017;
- Agroforestry Systems (Q1) – 2019;
- Forests (Q1) – 2020;
- Revista Pădurilor – 2016, 2017, 2018, 2019;
- Bulletin of the Transilvania University of Brașov, Series II – 2017, 2018.

În anul 2019 am fost referent științific în cadrul comisiei de doctorat pentru susținerea publică a tezei de doctorat cu titlul „Cercetări dendrometrice privind variabilitatea formei

fusului asupra volumului în arborete de molid (*Picea abies*) din județul Suceava“, la Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava.

3. Dezvoltarea carierei universitare

- **Planul de dezvoltare a activității didactice**

Activitatea didactică va reprezenta în continuare o componentă principală a cărei dezvoltare se va axa pe mai multe direcții de acțiune după cum urmează:

- Elaborarea de suport de curs și laborator moderne, pentru disciplinele pe care le predau la programele de studii SV + EF + CIN și Măsurători Terestre și Cadastru, prin integrarea ultimelor cunoștințe și rezultate din știință specifice disciplinelor respective. Este în lucru cursul pentru disciplina Organizarea teritoriului și ecologie, curs care apreciez că va fi transmis spre publicare la sfârșitul anului 2021 la editura Universității Transilvania din Brașov;
- Dezvoltarea laturii de formare a competențelor și abilităților practice și aplicative, prin conținutul și modul de predare al cursurilor și activităților de laborator. Pentru disciplina Dendrometrie I intenționez ca în următorii 2-3 ani să elaborez o carte care să conțină informațiile delimitate în categorii piramidale: noțiuni teoretice de bază, aplicații practice, teorii și rezultate din cercetarea științifică. O astfel de abordare va imprima lucrării utilitate atât pentru studenți cât și pentru practicieni și cercetători;
- Creșterea calității în activitatea de predare, prin utilizarea unor metode și mijloace moderne care să crească atractivitatea activităților de curs, respectiv să pună accentul pe cooperarea și munca în echipă la activitățile practice;
- Dezvoltarea în continuare a unor teme pentru proiectele de diplomă care să conducă la extinderea cunoașterii, și ale căror rezultate să fie utile pentru practică;
- Dezvoltarea abilităților și competențelor studenților de a-și prezenta cercetările prin încurajarea acestora în vederea participării la manifestările științifice studentești;
- Adaptarea conținuturilor disciplinelor predate la realitățile și necesitățile pieții muncii;
- Susținerea unor prezentări invitate ale unor specialiști în disciplinele predate ce activează în țară sau în străinătate, în activitatea de producție sau în activitatea științifică. Susținerea unor prezentări invitate ale unor reprezentanți ai instituțiilor și organizațiilor profesionale de profil;

- Continuarea eforturilor legate de participarea în organizarea concursurilor pentru acordare de burse de către partenerii din mediul socio-economic;
- Participarea în schimburi de experiență pe latura didactică și în stagii de documentare în universități din străinătate în vederea dezvoltării experienței proprii și stabilirii unor noi relații cu colegi de profesie din exterior;
- Implicarea unor studenți doctoranzi ai facultății în desfășurarea de activități didactice de lucrări practice la una dintre disciplinele pe care la predau în vederea formării acestora și asigurării în cadrul instituției a potențialilor candidați pentru recrutarea unor noi colegi în cadrul departamentului;
- Participarea în continuare la școlile de vară specifice schimbului de studenți;
- Promovarea în rândul studenților din anii I și II a regulamentelor universității care reglementează modul de acordare a burselor și a locurilor de cazare în căminele studentești, activitatea cantinelor studentești, activitatea profesională a studenților precum și a codului privind drepturile și obligațiile studenților în vederea asigurării informării studenților;
- În eventualitatea obținerii calității de conducător de doctorat, mă voi implica în îndrumarea studenților-doctoranzi pentru elaborarea unor teze de doctorat pe tematicile prioritare conținute în strategia națională în domeniul cercetării, dezvoltării tehnologice și inovării, dar și pe direcțiile și tematicile prioritare europene și internaționale.

- **Planul de dezvoltare a activității de cercetare științifică**

Planul de dezvoltare a activității de cercetare științifică va continua efortul depus până în prezent prin creșterea vizibilității rezultatelor cercetării. Rezultatele pozitive recente reprezintă o dovadă bună pentru acest obiectiv. Totodată, strategia proprie privind dezvoltarea carierei științifice va fi canalizată în vederea atingerii obiectivelor strategice ale facultății și ale universității. În acest sens îmi propun dezvoltarea carierei proprii în cercetare în corelare cu indicatorii de performanță stabiliți la nivelul facultății. Rezultatele obținute vor fi valorificate astfel încât să asigure o eficiență maximă în ceea ce privește vizibilitatea științifică a facultății, în mod special prin publicarea lor în jurnale prestigioase din domeniul forestier și din domeniile conexe. De asemenea, îmi propun menținerea colaborării cu colegii din facultate în atingerea scopurilor științifice pe care mi le propun. În domeniul organizării teritoriului în regiunile afectate de secetă precum și în domeniul biometriei îmi propun următoarele:

- Publicarea într-un mod constant a unor articole în reviste indexate Web of Science, preponderent în cele cu factor și scor relativ de influență, specifice domeniului forestier sau domeniilor conexe;
- Participarea la conferințele naționale și internaționale de prestigiu arondate domeniului în care îmi desfășor activitatea de cercetare științifică;
- Menținerea și dezvoltarea relațiilor cu colegii români și străini care își desfășoară activitățile științifice în același domeniu, și participarea în proiecte comune cu aceștia;
- Dezvoltarea unor idei de proiecte și aplicarea în calitate de coordonator/director/responsabil în competițiile naționale și internaționale pentru obținerea de finanțare în concordanță cu prioritățile tematice naționale, europene și internaționale.
- Atragerea de fonduri prin proiecte de cercetare sau consultanță cu companii, instituții sau alte entități din România sau internaționale care își au profilul de activitate în domeniul care mă preocupă;
- Extinderea direcțiilor de cercetare pe care le-am abordat până acum prin luarea în considerare a unor direcții noi, inclusiv extinderea abordărilor interdisciplinare și transdisciplinare ale propriilor cercetări.

Direcțiile și tematicile de cercetare pe care le voi aborda în viitor vor avea la bază, inevitabil, experiența și rezultatele studiilor pe care le-am realizat până în prezent. În sens larg, acestea sunt legate de cadrul mai general al organizării teritoriului pentru toate categoriile de folosință, dar și de biometrie, având în vedere specificul disciplinelor predate. Cercetările de viitor vor fi îndreptate pe direcții particulare ale organizării teritoriului și biometriei forestiere, precum:

I. Efectul unor sisteme agro-forestiere pe terenuri din diferite categorii de folosință agricolă; Managementul specific fermelor model care integrează perdele forestiere de protecție; Impactul potențial al unui sistem național de perdele forestiere de protecție asupra agriculturii din România;

II. Metode alternative de stabilire a volumului arborelui pe picior.

În mod concret, direcțiile tematice enumerate mai sus se vor concretiza în:

- Elaborarea unei strategii de management pentru exploatațiile agricole care includ în agrotehnică sisteme agro-forestiere de tipul rețelelor de perdele forestiere de protecție a câmpului;

- Estimarea la nivel local a cantității ce carbon ce poate fi stocată în câmpurile împedeluite;
- Estimarea beneficiului economic potențial generat de un sistem național de perdele forestiere de protecție a câmpului prin creșterea producției agricole;
- Elaborarea unei strategii de management pentru un potențial sistem național de perdele forestiere de protecție;
- Conducerea de studii pentru constituirea unei baze de date pentru diametrul fusului arborilor la cele mai importante specii forestiere prin metode directe la arbori doborâți și indirect, prin utilizarea tehnologiei moderne la arborii pe picior;
- Stabilirea volumului fusului prin elaborarea ecuației curbei de contur la speciile molid și brad pe baza inventarierilor efectuate în perioada 2018-2019 în șantiere de exploatare și prin metode bazate pe 3 caracteristici dendrometrice (diametrul de bază, înălțimea și un diametru superior pe fusul arborelui);
- Analiza variabilității formei fusului la speciile molid și brad pentru care au fost colectate date din 20 de eșantioane (loturi de arbori) reprezentative;
- Extinderea analizei și publicarea rezultatelor finale privind erorile care se înregistrează la măsurarea înălțimilor, estimate prin metode de control distructive;
- Extinderea analizei și publicarea rezultatelor finale privind utilizarea clupeii cu fascicule laser la măsurarea diametrelor de-a lungul fusului în cazul arborilor pe picior;
- Diseminarea rezultatelor privind consumurile tehnologice și pierderile de volum care se înregistrează la recoltarea masei lemnoase la speciile molid și brad;
- Diseminarea rezultatelor privind abaterile volumetrice între volumul arborilor estimat pe picior și volumul arborilor doborâți.

- **Cadrul de dezvoltare a carierei**

Cadrul prin care îmi propun dezvoltarea carierei didactice și științifice se bazează pe valori precum profesionalism, perseverență, comunicare și lucru în echipă, valori ce sunt promovate de Departamentul de Exploatare Forestiere, Amenajarea Pădurilor și Măsurători Terestre în care îmi desfășor activitatea.

Planul de dezvoltare a carierei didactice și științifice, prin direcțiile enumerate mai sus, este corelat cu misiunea asumată a Universității Transilvania din Brașov și este în acord deplin cu planul strategic al Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere.

(B-iii) Bibliografie

1. Akossou A, Arzouma S, Attakpa E, Fonton N & Kokou K (2013). Scaling of teak (*Tectona grandis*) logs by the xylometer technique: accuracy of volume equations and influence of the log length. *Diversity* 5:99-113.
2. Antonescu P (1904). Curs de dendrometrie. Școala Forestieră din Brănești, Brănești, pp. 242.
3. Arias-Rodil M, Castedo-Dorado F, Cámara-Obregón A & Diéguez-Aranda U (2015). Fitting and Calibrating a Multilevel Mixed-Effects Stem Taper Model for Maritime Pine in NW Spain. *PLoS ONE* 10(12):e0143521.
4. Arias-Rodil M, Diéguez-Aranda U, Puerta FR, López-Sánchez CA, Líbano EL, Obregón AC & Castedo-Dorado F (2014). Modelling and localizing a stem taper function for *Pinus radiata* D. Don in Spain. *Can. J. For. Res.* 45:647-658.
5. Avery TE & Burkhart H (1983). Forest measurements. Third edition. McGraw-Hill, New York, USA, pp. 331.
6. Bauwens S, Fayolle A, Gourlet-Fleury S et al. (2017). Terrestrial photogrammetry: a non-destructive method for modelling irregularly shaped tropical tree trunks. *Methods Ecol. Evol.* 8(4):460-471.
7. Bi H (2000). Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalypts. *For. Sci.* 46(3):397-409.
8. Biging GS (1984). Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *For. Sci.* 30:1103-1117.
9. Biging G (1988). Estimating the accuracy of volume equations using taper equations of stem profile. *Can. J. For. Res.* 18:1002-1007.
10. Brownlie RK, Carson WW, Firth JG & Goulding CJ (2007). Image-based dendrometry system for standing trees. *New Zealand J. For. Sci.* 37(2):153-168.
11. Burkhart H & Tomé M (2012). Tree stem volume equation. In: Modeling forest trees and stands. Springer Netherlands, pp.43-64.
12. Câmpu R & Ciubotaru A (2009). Measuring the exterior characteristics of tree on high-resolution photos. In: Proceedings of the International Symposium Forest and Sustainable Development. Transilvania University of Brașov, pp. 621-626.
13. Cervera J (1973). El área basimétrica reducida, el volumen reducido y el perfil. *Montes* 174:415-418.
14. Ciubotaru A (1998). Exploatarea pădurilor. Editura Lux Libris, Brașov, pp. 351.

15. Coble DW & Lee YJ (2003). Use of the centroid method to estimate volumes of Japanese red cedar trees in southern Korea. *Korean J. Ecol.* 26(3):123-127.
16. Coble DW & Wiant HV (2000). Centroid method: Comparison of simple and complex proxy tree taper functions. *For. Sci.* 46(4):473-477.
17. Cruz de Leon G (2010). A general sectional volume equation for classical geometries of tree stem. *Madera y Bosques* 16(2):89-94.
18. Cushman KC, Muller-Landau HC, Condit RS & Hubbell SP (2014). Improving estimates of biomass change in buttressed trees using tree taper models. *Methods Ecol. Evol.* 5:573-582.
19. Demaerschalk JP (1973). Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Can. J. For. Res.* 3(1): 90-94.
20. Disney MI, Boni Vicari M, Burt A, Calders K, Lewis SL, Raunonen P & Wilkes P (2018). Weighing trees with lasers: advances, challenges and opportunities. *Interface Focus* 8:20170048.
21. Ducey M & Williams M (2011). Comparison of Hossfeld's method and two modern methods for volume estimation of standing trees. *Western J. Appl. For.* 26:19-23.
22. Durkaya B & Durkaya A (2011). Tomruk hacminin hesaplanmasında kullanılan çeşitli hacim formüllerinin karşılaştırılması [Comparing different formulas using log volume estimations]. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi* 13:18-22.
23. Feldpausch TR, Lloyd J, Lewis SL et al. (2012). Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, 9:3381-3403.
24. Forslund R (1982). A geometrical tree volume model based on the location of the centre of gravity of the bole. *Can. J. For. Res.* 12(2):215-221.
25. Giurgiu V (1969). Dendrometrie. Ed. Agro-silvică, București, pp. 482.
26. Giurgiu V (1972). Metode ale statisticii matematice aplicate în silvicultură. Editura Ceres, București, pp. 556.
27. Giurgiu V (1979). Dendrometrie și auxologie forestieră. Editura Ceres, București, pp. 692.
28. Giurgiu V, Decei I & Armășescu S (1972). Biometria arborilor și arboretelor din România. Editura Ceres, București, pp. 1155.
29. Giurgiu V, Decei I & Drăghiciu D (2004). Metode și tabele dendrometrice. Editura Ceres, București, pp. 575.

30. Hamilton GJ (1988). Forest mensuration handbook. Forestry Commission Booklet 39. HMSO, London, pp. 274.
31. Heinzl J, Huber MO (2017). Detecting tree stems from volumetric TLS data in forest environments with rich understory. *Remote Sensing* 9:9.
32. Hevia A, Álvarez-González JG & Majada J (2016). Effects of pruning on knotty core taper and form of *Pinus radiata* and *Pinus pinaster*. *Eur. J. Wood Prod.* 74:741-750.
33. Husch B, Beers Th & Kershaw J (2003). Forest mensuration. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, pp. 433.
34. Ichim, R (1954). Cubajul buștenilor și al arborilor fără vârf prin metoda centrului de greutate (Procedeul Guldin - Mathiesen II). *Revista Pădurilor* 11:25-31.
35. Kelbe D, van Aardt J, Romanczyk P et al. (2015). Single-scan stem reconstruction using low-resolution terrestrial laser scanner data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 8(7):3414-3427.
36. Kim HJ & Lee SH (2016). Developing the volume models for 5 majors species of street trees in Gwangju metropolitan city of Korea. *Urban Forestry & Urban Greening* 18:53-58.
37. Kozak A (1988). A variable – exponent taper equation. *Can. J. For. Res.* 18(11):1363-1368.
38. Kozak A (2004). My last words on taper equations. *For. Chron.* 80(4):507-515.
39. Kozak A, Munro DD & Smith HG (1969). Taper functions and their application in forest inventory. *For. Chron.* 45:278-283.
40. Leahu I (1994). Dendrometrie. Editura Didactică și Pedagogică, București, pp. 374.
41. Leahu I (2007). Dendrometrie. Editura Universității Transilvania, Brașov, pp. 130.
42. Malimbwi RE & Philip MS (1989). A compatible taper/volume estimation system for *Pinus patula* at Sao Hill forest project, Southern Tanzania. *For. Ecol. Manage.* 27:109-115.
43. Marinescu VG (2011). Considerations on the Romanian effective forest legislation. In: Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Brașov, Romania, 15-16th October 2010, pp. 767-770.
44. Marinescu VG (2015). Considerations on the contemporary Romanian forestry regulatory system. In: Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Brașov, Romania, 24-25th October 2014, pp. 177-182.

45. Mathiesen A (1925). Tüve pikuti läbilõike pind faktor tüve massi määramiseks. Ed. Bergmann, Tartu. pp.31.
46. Max TA & Burkhart HE (1976). Segmented polynomial regression applied to taper equations. *For. Sci.* 22(3):283–289.
47. McCaffery F, Hawkins M, Tarleton M, Harper C & Nieuwenhuis M (2015). Evaluation of mensuration equipment for upper-stem height and diameter measurements. *Irish For.* 72:8-20.
48. Newberry JD & Burkhart HE (1986). Variable-form stem profile models for loblolly pine. *Can. J. For. Res.* 16:109–114.
49. Nicoletti MF, Batista JLF, de Pádua Chaves Carvalho S, de Castro TN & Hess AF (2015). Accuracy of optical dendrometers for determining the volume of standing trees. *Ciência Florestal* 25(2): 395-404.
50. Oprea I & Borz SA (2007). Organizarea șantierului de exploatare a lemnului. Editura Universității Transilvania, Brașov, pp. 133.
51. Özçelik R, Wiant H & Brooks J (2006). Estimating log volumes of three tree species in Turkey by six formulae. *For. Prod. J.* 56(11/12):84-86.
52. Özçelik R & Göçeri MF (2015). Compatible merchantable stem volume and taper equations for eucalyptus plantations in the Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Turkish J. Agric. For.* 39:851-863.
53. Parent D & Moore J (2003). A stand volume equation for cruising small-diameter material. *J. For.* 101(5):5-6.
54. Peltola H (2006). Mechanical stability of trees under static loads. *Am. J. Bot.* 93(10):1501-1511.
55. Perez D (2008). Growth and volume equations developed from stem analysis for *Tectonagrandis* in Costa Rica. *J. Trop. For. Sci.* 20(1):66-75.
56. Perez DN, Burkhart HE & Stiff CT (1990). A variable-form taper function for *Pinus oocarpa* Sciede in Central Honduras. *For. Sci.* 36:186-191.
57. Petrauskas E & Rupsys P (2010). General q-exponential models for tree height, volume and stem profile. *Latest trends on systems* 2:555-560.
58. Philip M (1994). Measuring trees and forests. Second edition. Cab International, London, pp. 320.
59. Pollanschütz J (1965). Eine neue methode der formzahl und massenbestimmung stehender stämme. Österreichischer Agrarverlag, Vienna, pp. 186.

60. Popescu O & Băcilă L (1978). Îndrumar de lucrări practice la dendrometrie. Reprografia Universității din Brașov, Brașov, pp. 156.
61. Popescu-Zeletin I, Toma G, Armășescu S, Decei I, Dissescu R, Petrescu L, Dorin T, Stănescu M & Predescu Gh (1957). Tabele dendrometrice. Editura Agro-silvică de Stat, București, pp. 1319.
62. Prodan M (1965). Holzmesslehre. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, pp. 644.
63. Rodrigues F, Fernandez A, Lizarralde I & Condes S (2009). CriterionTM RD1000: Una oportunidad para calcular el volumen de árboles en pie. In: Montes y sociedad: Saber qué hacer (eds. de Castilla J, Ávila L). Sociedad Española de Ciencias Forestales, pp. 1-12.
64. Rodriguez F, Lizarralde I, Fernández-Landa A & Condés S (2014). Non-destructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the Spanish Northern Iberian range. *Eur. J. For. Res.* 133:213-223.
65. Rodríguez-García C, Montes F, Ruiz F, Cañellas I & Pita P (2014). Stem mapping and estimating standing volume from stereoscopic hemispherical images. *Eur. J. For. Res.* 133: 895-904.
66. Rupsys P & Petrauskas E (2010). Development of q-exponential models for tree height, volume and stem profile. *Int. J. Phys. Sci.* 5(15):2369-2378.
67. Schiffel A (1899). Form and inhalt der Fichte. Frick, Wien, pp. 139.
68. Sharma M & Oderwald RG. (2001). Dimensionally compatible volume and taper equations. *Can. J. For. Res.* 31:797-803.
69. Shimizu A, Yamada S & Arita Y (2014). Diameter measurements of the upper parts of trees using an ultra-telephoto digital photography system. *Open J. For.* 4:316-326.
70. Snyder M (2006). What is DBH? https://northernwoodlands.org/articles/article/what_is_dbh
71. Soares CPB, da Silva GF & Martins FB (2010). Influence on section lengths on volume determination in *Eucalyptus* tree. *Cerne. Lavras* 16(2):155-162.
72. Steinhilb HM & Winsauer S (1976). Sugar maple: Tree and bole weights, volumes, Centers of gravity, and logging residue. www.ncrs.fs.fed.us/pubs/rp/rp_nc132.pdf.
73. Stinghe VN & Toma GT (1955). Dendrometrie. In: Manualul inginerului forestier, vol. 81. Editura Tehnică, București, pp. 11-145.
74. Șofletea N & Curtu L (2007). Dendrologie. Editura Universității Transilvania, Brașov, pp. 540.

75. Tereşneu C & Ionescu M (2011). Infografică pentru topografie și cadastru. Editura Lux Libris, Braşov, pp. 404.
76. Tereşneu C (2012). Prelucrarea automată a datelor geodezice. Editura Universităţii Transilvania, Braşov, pp. 251.
77. Tomusiak R & Zarzynski P (2007). The old trees trunk's volume determination with use of theodolite. *Rocznik Dendrologiczny* 55:9-16.
78. Tudoran GM (2013). Regulations regarding the management of forests included in natural protected areas. Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering, vol. 6 (55), pp. 33-38.
79. Tudoran GM (2016). Implicaţii în amenajarea pădurilor ale unor prevederi din Codul silvic recent modificat. *Revista Pădurilor* 1-2:29-35.
80. Urata T, Shibuya M, Koizumi A, Torita H & Cha JY (2011). Both stem and crown mass affect tree resistance to uprooting. *J For Res.* 17:65-71.
81. Valenti MA & Cao QV (1986). Use of crown ratio to improve loblolly pine taper equations. *Can. J. For. Res.* 16:1141-1144.
82. van Laar A & Akça A (1997). Forest mensuration. Cuvillier Verlag, Göttingen, pp. 418.
83. van Laar A & Akça A (2007). Forest mensuration. Springer, Dordrecht, pp. 383.
84. VanderSchaaf C (2008). Compatible stem paper and total tree volume equations for loblolly pine plantations in Southeastern Arkansas. *J. Arkansas Acad. Sci.* 62:103-106.
85. Vasilescu MM (2013a). Standard error of tree height using Vertex III. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II, 6(2):75-80.
86. Vasilescu MM (2013b). The relative level of median diameter on the longitudinal section of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) stem. In: Forest and Sustainable Development. Transilvania University Press, Braşov, pp.129-132.
87. Vasilescu MM (2017). Harmonization of the regulations for the volume estimation of the round wood-a priority of the forestry sector. *Revista Pădurilor* 132(2):11-21.
88. Vasilescu MM (2020). Fundamente dendrometrice. Teorie și aplicații practice. Editura Universităţii Transilvania, Braşov, pp. 203.
89. Vasilescu MM & Tereşneu CC (2019). Estimating the volume of lower stem-wood on standing beech trees using telemetry and dendrometric tables: a comparison. In:

- Proceedings of the Biennial International Symposium "Forest and sustainable development", Braşov, Romania, 25-27 October 2018, Transilvania University Press, pp. 83-92.
90. Vasilescu MM, Dinulică F & Borz SA (2020). Estimarea abaterilor volumetrice rezultate din evaluarea masei lemnoase pe picior și evaluarea masei lemnoase după recoltarea arborilor la speciile molid și brad cu evidențierea consumurilor tehnologice pe operații specifice. Raport final proiect nr. 9168/2018, Universitatea Transilvania din Braşov, pp. 72.
91. Vasilescu MM, Tereşneu CC & Dinulică F (2017a). A rapid method for estimating the median diameter of the stem profile of Norway spruce (*Picea abies* Karst) trees. *iForest* 10(1): 328.
92. Vasilescu MM, Tereşneu CC, Dinulică F, Borz SA & Popa B (2017b). A new stem volume equation for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) trees in Romania. *Baltic For.* 23(3): 626-635.
93. Wang Y, Lehtomäki M, Liang X, Pyörälä J, Kukko A, Jaakkola A, Liu J, Feng Z, Chen R, Hyyppä J (2019). Is field-measured tree height as reliable as believed – A comparison study of tree height estimates from field measurement, airborne laser scanning and terrestrial laser scanning in a boreal forest. *ISPRS-J. Photogramm. Remote Sens.* 147: 132-145.
94. West PW (2009). Tree and forest measurement. Springer-Verlag, Berlin, pp. 191.
95. Westfall J, McRoberts RE, Radtke PJ & Weiskittel AR (2016). Effects of uncertainty in upper-stem diameter information on tree volume estimates. *Eur. J. For. Res.* 135: 937-947.
96. Wood G, Wiant Jr H, Loy R, Miles J (1990). Centroid sampling: a variant of importance sampling for estimating the volume of sample trees of radiata pine. *For. Ecol. Manage.* 36:233-243.
97. Wiant H, Spangler M & Baumgras J (2002). Comparison of estimates of hardwood bole volume using importance sampling, the centroid method, and some taper equations. *North. J. Appl. For.* 19(3):141-142.
98. Wiant H, Wood G & Forslund R (1991). Comparison of centroid and paracone estimates of tree volume. *Can. J. For. Res.* 21(5):714-717.

99. Williams MS, Cormier KL, Briggs RG et al. (1999). Evaluation of the Barr & Stroud FP15 and Criterion 400 laser dendrometers for measuring upper stem diameters and heights. *For. Sci.* 45(1):53-61.
100. Yavuz H (1999). Comparison of the Centroid method and four standard formulas for estimating log volumes. *Tr. J. Agric. For.* 23:597-602.
101. Yoon TK, Park CW, Lee SJ, Ko S, Kim KN, Son Y, Lee KH, Oh S, Lee WK & Son Y (2013). Allometric equations for estimating the aboveground volume of five common urban street tree species in Daegu, Korea. *Urban For. & Urban Greening* 12: 344-349.
102. Yousefpour M, Fadaie Khoshkebijary F, Fallah A & Naghavi F (2012). Volume equation and volume table of *Pinus pinaster* Ait. *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.* 3(5):1072-1076.
103. Zianis D, Muukkonen P, Mäkipää R & Mencuccini M (2005). Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4, Tampere, pp. 63.
104. *** Hotărârea nr. 1004 din 21 decembrie 2016 pentru aprobarea Normelor referitoare la proveniența, circulația și comercializarea materialelor lemnoase, la regimul spațiilor de depozitare a materialelor lemnoase și al instalațiilor de prelucrat lemn rotund, precum și a unor măsuri de aplicare a Regulamentului (UE) nr. 995/2010 al Parlamentului European și al Consiliului din 20 octombrie 2010 de stabilire a obligațiilor ce revin operatorilor care introduc pe piață lemn și produse din lemn.
105. *** Hotărârea nr. 470 din 4 iunie 2014 pentru aprobarea Normelor referitoare la proveniența, circulația și comercializarea materialelor lemnoase, la regimul spațiilor de depozitare a materialelor lemnoase și al instalațiilor de prelucrat lemn rotund, precum și a unor măsuri de aplicare a Regulamentului (UE) nr. 995/2010 al Parlamentului European și al Consiliului din 20 octombrie 2010 de stabilire a obligațiilor ce revin operatorilor care introduc pe piață lemn și produse din lemn.
106. *** Ordinul nr. 1323/2015 privind aprobarea metodelor dendrometrice pentru evaluarea volumului de lemn destinat valorificării și valorile necesare calculului volumului de lemn destinat valorificării.
107. *** Ordinul nr. 1651/2000 pentru aprobarea Normelor tehnice pentru evaluarea volumului de lemn destinat comercializării (4).

108. *** Ordinul nr. 2526/2016 pentru completarea Metodologiei privind organizarea și funcționarea SUMAL, obligațiile utilizatorilor SUMAL, precum și structura și modalitatea de transmitere a informațiilor standardizate, aprobată prin Ordinul ministrului delegat pentru ape, păduri și piscicultură nr. 837/2014.
109. *** Ordinul nr. 837/2014 pentru aprobarea Metodologiei privind organizarea și funcționarea SUMAL, obligațiile utilizatorilor SUMAL, precum și structura și modalitatea de transmitere a informațiilor standardizate.
110. *** Ordonanța de urgență nr. 51/2016 pentru modificarea și completarea Legii nr. 171/2010 privind stabilirea și sancționarea contravențiilor silvice.
111. *** Users guide Vertex III and transponder T3, September 2005.
http://www.forestry-suppliers.com/Documents/176_msds.pdf.
112. *** Users guide Vertex III V1.5 and transponder T3, April 2007.
113. http://www.haglofcg.com/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=93&Itemid=125&lang=en.
114. <https://g-nestle.de/en/products/detail/product/forestry-caliper-waldfix.html>