



Universitatea
Transilvania
din Brașov

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului

Markus Johannes BRANDSTETTER

Optimizarea tehnologiei de debitare a lemnului rotund de rășinoase în vederea creșterii randamentului de debitare

Optimization of the sawmilling technology of resinous roundwood with a view to increasing the cutting yield

REZUMAT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Mihaela CÂMPEAN

Domeniul de doctorat: Inginerie forestieră

BRAȘOV, 2022



Dlui (Dnei):

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin Ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov
Nr. 11784 / 24.02.2022

PREȘEDIINTE:	Prof.dr.ing. Camelia COȘEREANU, Director Departament, Universitatea Transilvania din Braşov
CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:	Prof.dr.ing. Mihaela CÂMPEAN, Universitatea Transilvania din Braşov
REFERENȚI OFICIALI:	Prof.dr.ing. Florin IORAȘ, Buckinghamshire New University (Marea Britanie) Cercet.șt.l.dr.ing. Dănuț CHIRA, INCDS „Marin Drăcea”, Braşov Conf.dr.ing. Octavia ZELENIIUC, Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: 04.04.2022 ora 12:00, online

Link de acces: <https://conf.bbb.unitbv.ro/mih-Ovz-mpr-7bv>

Eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vă rugăm să le transmiteți în timp util, pe adresa: campean@unitbv.ro

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

Vă mulțumim.



CUPRINS

	Pg. teza	Pg. rezu mat
LISTA DE NOTAȚII ȘI ABREVIERI	1	-
INTRODUCERE	2	5
Capitolul 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND TEHNOLOGII DE DEBITARE A LEMNULUI ROTUND DE RĂȘINOASE	5	6
1.1 Evoluția istorică a debitării cherestelei	5	6
1.2 Tehnologii moderne de ferăstruire	9	6
1.2.1 Gatere	9	6
1.2.2 Ferăstraie panglică	16	7
1.2.3 Ferăstraie mobile.....	24	7
1.2.4 Ferăstraie circulare.....	28	7
1.2.5 Linii de debitare	31	8
1.3 Stadiul actual al cercetărilor privind optimizarea randamentului de transformare a lemnului rotund de rășinoase în cherestea.....	37	8
1.4 Concluzii	51	12
Capitolul 2. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	53	12
Capitolul 3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND RANDAMENTUL CANTITATIV ȘI CALITATIV DE CHERESTEA REZULTATĂ DIN LEMN ROTUND DE RĂȘINOASE	55	14
3.1 Obiectiv	55	14
3.2 Material, metodă și aparatură.....	55	14
3.3 Rezultate experimentale privind randamentul de debitare al lemnului rotund în bușteni de cherestea.....	67	17
3.4 Rezultate experimentale privind randamentul de debitare al buștenilor în cherestea.....	81	21
3.5 Concluzii	90	26
Capitolul 4. EVALUAREA UNEI SOLUȚII DE OPTIMIZARE VIZÂND CREȘTEREA RANDAMENTULUI DE DEBITARE ÎN CHERESTEA AL BUȘTENILOR DE RĂȘINOASE CU CONICITATE.....	92	28
4.1 Formularea soluției de optimizare	92	28



4.2 Material, metodă şi aparatură	96	29
4.2.1 Pregătirea materialului	96	29
4.2.2. Debitarea epruvetelor	100	32
4.2.3 Determinarea rezistenţei la încovoiere statică şi a modulului de elasticitate	102	32
4.2.4 Determinarea rezistenţei la forfecare	104	34
4.2.5 Analiză statistică	106	35
4.3 Rezultate experimentale şi discuţii	106	35
4.3.1 Densitate, rezistenţa la încovoiere şi modulul de elasticitate.....	106	35
4.3.2 Rezistenţa la forfecare.....	119	39
4.3.3 Concluzii	124	40
4.4 Recomandări pentru practica industrială	125	41
Capitolul 5. CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. CERCETĂRI VIITOARE	128	43
5.1. Concluzii	128	43
5.2. Contribuții originale	130	46
5.3. Diseminarea rezultatelor	131	46
5.4. Direcții viitoare de cercetare	132	47
BIBLIOGRAFIE	133	48
INDEX DE FIGURI	137	-
INDEX DE TABELE.....	142	-
SCURT REZUMAT	146	51

INTRODUCERE

Tehnologiile care economisesc resurse devin din ce în ce mai importante. Creşterea populaţiei pământului şi schimbările climatice duc la necesitatea regândirii strategiilor pentru viitor în toate domeniile industriale. Materiile prime regenerabile şi construcţiile durabile sunt esenţiale pentru produse şi clădiri. Pe de altă parte, din punct de vedere economic şi din punct de vedere al competitivităţii, este necesar să se ruleze costuri de producţie optimizate pentru produsele finite, pentru a obţine eficienţă şi venituri mai mari.

Fabricile de cherestea oferă o gamă largă de produse din lemn de calitate şi soluţii pentru sectorul construcţiilor şi pentru amenajări interioare. La început, fabricile de cherestea produceau numai cherestea pentru construcţii. Procesul de uscare se făcea numai prin uscare sezonieră în aer liber, iar produsele secundare erau folosite ca lemn de foc. În vremurile noastre, majoritatea fabricilor de cherestea au integrate procese de uscare artificială, rindeluire şi chiar producţii ulterioare, de exemplu, de glulam sau panouri. Produsele secundare sunt folosite pentru peleţi, PAL, industria hârtiei, astfel încât cantităţi mai mici sunt clasificate ca lemn de foc.

Prin cercetare, sunt investigate posibilităţile de optimizare a randamentului de valorificare a materiei prime pe orice linie de prelucrare a lemnului. Pentru calculul randamentului la debitarea cherestelei, se ia în considerare volumul final de cherestea care este produs dintr-un buştean, în timp ce produsele secundare, cum ar fi coaja, rumeguşul sau aşchiile, reduc randamentul final.

În trecut doar piesele centrale de cherestea erau luate în considerare la evaluarea randamentului de debitare, dar în prezent, pentru a mări eficienţa conversiei buştenilor, trebuie acordată mai multă atenţie pieselor laterale, printr-o sortare adecvată.

Dintre speciile de răşinoase, lemnul de brad (*Abies alba*) va deveni în viitor mai important în Europa Centrală din cauza marilor probleme ale arborilor de molid (*Picea abies*) privind infestarea cu gândacul de scoarţă (Scolytidae, Ipsidae). Acesta este motivul pentru care bradul este specia lemnoasă selectată pentru cercetarea de faţă.

Teza a fost demarată în anul 2017, tema sa fiind aleasă în funcţie de priorităţile Planului Naţional de Cercetare, Dezvoltare şi Inovare 2015 - 2020 (PNIII) / Programul 2: Creşterea competitivităţii economiei româneşti prin cercetare, dezvoltare şi inovare / Domeniul prioritar: Tehnologii noi, emergente. Faptul că cercetările ştiinţifice efectuate în cadrul acestei teze au condus la unele rezultate care pot fi implementate în industrie arată că priorităţile programului au fost respectate. Soluţia găsită şi propusă permite o mai bună valorificare a biomasei lemnoase, ceea ce pune în evidenţă caracterul ecologic al cercetărilor efectuate, dar şi grija de a promova tehnologii ecologice.

Capitolul 1

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND TEHNOLOGII DE DEBITARE A LEMNULUI ROTUND DE RĂŞINOASE

1.1 Evoluţia istorică a debitării cherestelei

Înainte de inventarea ferăstraielelor, lemnul era tăiat cu secura. Primele ferăstraie din bronz au fost folosite în Europa în jurul anului 2000 î.Hr. Încă în Imperiul Roman, ferăstraiele cu lame lungi erau folosite pentru a debita buştenii în scânduri. Prima menţiune înregistrată despre prelucrarea lemnului cu un ferăstrău datează din anul 1322. În acel moment, era în funcţiune moara Haurey, un ferăstrău veneţian alimentat cu hidroenergie. În sec. 15 a fost inventat ferăstrăul multi-lamă. Ferăstrăul circular a fost inventat şi brevetat în Anglia în 1777 de Samuel Miller, Southampton (Powis Bale 1880), iar în 1803 a fost inventat primul ferăstrău cu bandă de către englezul William Newberry. Odată cu apariţia liniilor de debitare, care a avut loc concomitent în Germania (zona Pădurea Neagră), Suedia şi America de Nord, buştenii de diametru mic au devenit mult mai interesaţi pentru fabricile de cherestea.

1.2 Tehnologii moderne de ferăstruire

1.2.1 Gater

Gaterul, cea mai veche maşină de debitat buşteni, se găseşte în principal în Europa de Nord, Centrală şi de Est, în zonele de conifere din Siberia, precum şi în Africa de Sud şi Chile. El este folosit şi pentru tăierea lemnului de esenţă tare, în principal a scândurilor pentru construcţii.

În continuare sunt prezentate principalele avantaje şi dezavantaje ale gaterelor:

Avantaje	Dezavantaje
■ Întreţinerea sculelor este mai ieftină şi mai uşoară decât la alte maşini de debitare, ceea ce nu necesită personal foarte calificat; ■ Operatorul nu trebuie să cunoască în profunzime proprietăţile lemnului şi cum să facă faţă posibilelor defecte ale lemnului, deoarece are o influenţă mică asupra procesului de tăiere comparativ cu un operator de ferăstrău cu bandă; ■ Distanţa dintre scule este definită foarte precis de rama gaterului; ■ Viteza de avans este reglabilă liniar; ■ Pentru a creşte randamentul, buştenii curbaţi pot fi tăiaţi cu o repoziţionare pe axa orizontală în timpul tăierii.	■ Comparativ cu ferăstraiele circulare şi cu bandă, viteza medie de tăiere de 8m/s este foarte mică şi limitată; ■ Nu se poate obţine o suprafaţă netedă de tăiere; ■ Gaterul are foarte puţină flexibilitate şi viteza de reglare a sculei este, de asemenea, foarte mică în comparaţie cu maşinile moderne de debitat buşteni; ■ În cazul în care vitezele de avans sunt prea mari, zona golului dintre dinţi nu poate fi golită complet, ceea ce duce la o presare a aşchiilor şi la o scădere a calităţii suprafeţei; ■ Nu este posibilă tăierea unor scânduri subţiri.

1.2.2 Ferăstraie cu bandă

Ferăstraiele cu bandă sunt maşini cu o construcţie simplă. Datorită performanţei de tăiere continuă, ferăstraiele cu bandă pot atinge performanţa gaterelor, deoarece viteza pânzei de ferăstrău este de aproximativ 30m/s până la 50m/s. Ferăstrăul cu bandă este utilizat în principal în fabricile de cherestea din lemn de esenţă tare şi din lemn tropical.

În continuare sunt prezentate principalele avantaje si dezavantaje ale ferăstriailor cu bandă:

Avantaje	Dezavantaje
■ Ele permit un randament mai mare datorită lăţimii mici a tăieturii; ■ Datorită intervenţiei mai bune în timpul procesului de tăiere, se poate ţine cont de eventualele defecte ale lemnului şi se poate îmbunătăţi calitatea produselor tăiate; ■ Ferăstrăul cu bandă permite o tăiere individuală; ■ Nu este necesară sortarea prealabilă a buştenilor şi este nevoie de mai puţin spaţiu de depozitare. Se reduce forţa de muncă prin eliminarea sortării separate a buştenilor în depozitul de buşteni; ■ Sunt posibile modele speciale de tăiere; ■ Procesul de tăiere este permis în ambele direcţii; ■ Producţia de scânduri subţiri este foarte uşoară în comparaţie cu tăierea cu gater.	■ Operatorul de ferăstrău trebuie să aibă un nivel ridicat de calificare profesională şi conştientizare a calităţii; ■ Ferăstrăul cu bandă poate fi utilizat economic doar la buşteni de diametru mare sau doar ca maşină de pretăiat în combinaţie cu o maşină de post-tăiere de înaltă performanţă; ■ Întreţinerea pânzei de ferăstrău cu bandă este foarte complexă; ■ În special în cazul speciilor bogate în răşini, pânza ferăstrăului trebuie umezită cu o emulsie de dizolvare a răşinii pentru a evita încălzirea suplimentară şi, de asemenea, pentru a curăţa depunerile de răşină care adună praf, rumeguş; ■ Prelucrarea lemnului îngheţat este dificilă, deoarece la temperaturi sub -10°C rumeguşul îngheaţă pe suprafeţele tăiate şi provoacă grave inexactităţi dimensionale.

1.2.3 Ferăstraie mobile

Ferăstraiele mobile sunt utilaje de debitare a buştenilor care pot fi implementate cu puţin efort şi transportate oricând într-o nouă locaţie în timp scurt. Cele mai multe dintre ele sunt montate pe şasiuri care sunt trase de maşini, camioane sau tractoare.

Ferăstraiele mobile pot fi cu lanţ, pânză circulară sau pânză panglică.

1.2.4 Ferăstraie circulare

Ferăstraiele circulare sunt folosite în toată lumea, atât în companii mari , cât şi mici, atât pentru buşteni de diametru mic, cât şi mare. Dinţii pânzei de ferăstrău circular sunt în mare parte cu vârf stelitat sau acoperit cu plăcuţe metalice, dar există şi ferăstraie din oţel pur.

În continuare sunt prezentate avantajele și dezavantajele ferăstraielelor circulare comparativ cu alte utilaje de debitare a buştenilor:

Avantaje	Dezavantaje
■ Uşor de întreţinut; ■ Precizie mare de tăiere; ■ Schimbarea setului de scule durează puţin timp; ■ În loc de una, două pânze de ferăstrău pot fi dispuse pe doi arbori unul deasupra celuilalt; aceasta duce la o reducere a diametrului pânzei de ferăstrău şi astfel la o creştere a randamentului; ■ Mai multe scânduri centrale, mai puţine scânduri laterale; ■ Fără vibraţii.	■ Pentru a creşte stabilitatea pânzei de ferăstrău, aceasta trebuie să fie relativ groasă, ceea ce reduce randamentul; ■ La ferăstraiele circulare cu ax dublu, poate apărea o decalare a tăieturii; ■ Datorită pasului mic al dinţilor, există riscul ca zona îngustă a golului dintre dinţi să se înfunde rapid, în special la viteze mari de avans şi la înălţimi de tăiere mari.

1.2.5. Linii de debitare

Liniile de debitare reprezintă o combinaţie de unităţi de mărunţire şi ferăstruire cu pânze circulare. Ele sunt utilizate în principal pentru lemn de esenţă moale şi pentru buşteni cu diametre mici şi medii. Diametrul variază de la 10 cm la 65 cm pentru o linie de profilare în combinaţie cu un ferăstrău circular (Möhlinger 2020). În combinaţie cu un ferăstrău cu bandă reductor, diametrul maxim este de până la 80 cm (www.ewd.de).

La aceste linii sunt conectate de cele mai multe ori echipamente de sortare a lemnului complet automatizate şi unităţi de ambalare de înaltă performanţă. Investiţia este mare, întrucât au nevoie de mult spaţiu, fundaţii şi sisteme mecanizate pentru manipularea produselor secundare care rezultă.

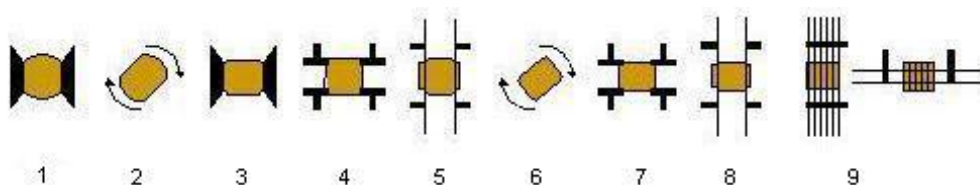


Fig. 1.5: Schema unei linii de debitare a buştenilor (www.sab-aue.de)

1.3 Stadiul actual al cercetărilor privind optimizarea randamentului de transformare a lemnului rotund de răşinoase în cherestea

Randamentul de debitare a buştenilor este raportul între volumul buştenilor (ca intrare) şi volumul de cherestea rezultată (ca ieşire). Lăturoaiele, aşchiile şi rumeguşul sunt vândute ca produse secundare pentru a deveni din nou materii prime pentru alte produse.

După Steele (1984), principalii factori care determină eficienţa conversiei buştenilor în cherestea sunt:

- Diametrul, lungimea, conicitatea şi calitatea buşteanului;
- Lăţimea tăieturii şi metoda de tăiere;
- Mix-ul de produse.

Influenţa diametrului, lungimii, conicităţii şi calităţii buşteanului

Eficienţa conversiei buştenilor scade odată cu lungimea buşteanului, deoarece din buştenii mai lungi se obţin mai multe produse secundare. Acest lucru se corelează şi cu conicitatea. Poziţia de origine a buşteanului înainte de secţionare are, de asemenea, o influenţă asupra valorii conicităţii. Diametrul interior (fără coajă) scade rapid pe înălţimea tulpinii (Chao et al. 2013).

De asemenea, cherestea este vândută în clase de lungimi tăiate. Deoarece buştenii au o supralungime mai mare înainte de debitare, eficienţa conversiei buştenilor este în scădere. Supralungimea ar trebui optimizată pentru pierderile de tăiere necesare (Steele 1984). Această responsabilitate de economisire a resurselor apare deja în timpul tăierii transversale a lemnului rotund în pădure.

În prezent, fabricile de cherestea nu au grijă de valoarea conicităţii buştenilor presortaţi. Aceasta înseamnă că buştenii sunt sortaţi într-o cutie în funcţie doar de calitatea, lungimea, speciile şi diametrul la capătire.

Prin sortarea buştenilor pe grupe în funcţie de diametrul la capătul subţire, informaţiile despre conicitate ar fi foarte utile. Fig. 1.42. prezintă două modele de tăiere diferite, în timp ce diametrul superior din mijloc şi conicitatea buşteanului au fost similare.

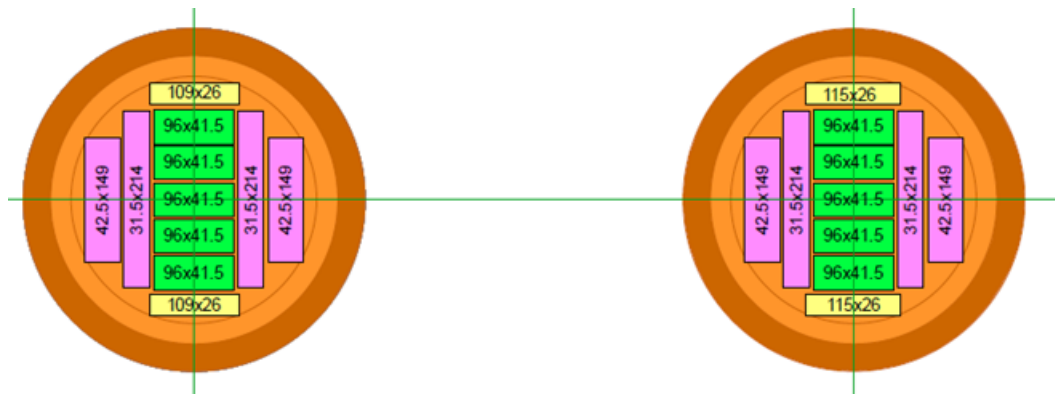


Fig. 1.42: Modificarea randamentului de debitare prin schimbarea dimensiunilor scândurilor laterale, din 109x26 în 115x26

În acest caz, lungimea scândurilor cu lungime mai mică (2 buc. 26x115) ar fi mai scurtă cu 76,4 mm (206,7 mm – 130,3 mm). Chiar dacă scândurile sunt mai scurte, volumul de lemn rezultat este cu 2,45% mai mare decât în cazul modelului inițial de tăiere (Tabelul 1.10).

Tabelul 1.10: creșterea randamentului de debitare prin modificarea dimensiunilor pieselor laterale

Diametrul subțire [mm]	Lungime [mm]	Lungime la intersecție [mm]	Conicitate [mm/m]	Dimensiuni laterale [mm]	Număr piese	Volum de lemn din laterale [m ³]	Creștere volum, [%]
297	3000	2869.7	34	109x26	2	0.0163	-
297	3000	2793.3	34	115x26	2	0.0167	2.45

Acest exemplu arată posibilitatea de a crește eficiența conversiei jurnalelor luând în considerare și informațiile conicității. În practică, ar însemna că buștenii cu conicitate mai mare ar trebui să aibă halde de depozitare separate și ar trebui tăiați cu un model de tăiere adaptat care să aibă și conicitatea ca variabilă de intrare.

Influența lățimii tăieturii

O atenție deosebită trebuie acordată lățimii tăieturii. În industrie se dorește obținerea celei mai înguste tăieturi posibile, deoarece aceasta are o influență mare asupra producției finale de cherestea, dar lățimea redusă a tăieturii crește uneori variația totală a tăierii și crește cantitatea de lemn care trebuie să fie rindeluită pentru a produce cherestea de dimensiuni adecvate (Steele et al. 1992)

O analiză comparativă între performanțele care pot fi realizate strict în funcție de lățimea tăieturii a fost realizată prin utilizarea software-ului Timbertec și este prezentată în Tabelul 1.11 (Brandsteter și Câmpean 2022).

Ca intrare avem un buștean de 3m, cu diametrul la capătul subțire 29,0-30,9 mm. Pe modelul de debitare (Fig. 1.45) sunt evidențiate scândurile centrale (culoare albastră) și cele laterale (culoare verde). Conicitatea medie este de 8mm/m.

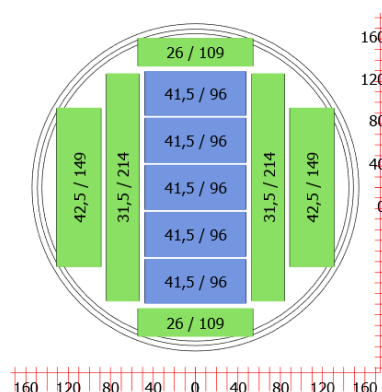


Fig. 1.45: Modelul de debitare

Analizând rezultatele prezentate în Tabelul 1.11, se poate observa că cel mai slab rezultat este generat cu ferăstrăul mobil echipat cu pânză circulară. Randamentul gaterului este mai mic decât cel al ferăstrăului cu bandă și al liniei de debitare. Acesta este unul din motivele pentru care acest tip de utilaj pierde cote de piață.

Tabelul 1.11: Randamentul de debitare a buștenilor, simulat cu șase tipuri de echipamente de debitare

Echipa- ment	Diametru subțire [mm]	Lungime [mm]	Piese centrale	Piese laterale	Randament total [%]	Randament piese centrale [%]	Randament piese laterale [%]	Rumeguș [%]	Așchii [%]
Fer mobil cu lanț	290-309	3000	5	6	67.86	26.13	41.73	10.24	21.9
Fer mobil cu pânză circulară	290-309	3000	5	6	62.62	26.13	36.49	15.2	22.18
Fer panglică	290-309	3000	5	6	67.86	26.13	41.73	9.67	22.46
Fer panglică de reduc	290-309	3000	5	6	67.86	26.13	41.73	10.8	21.34
Gater	290-309	3000	5	6	65.24	26.13	39.11	13.52	21.23
Linie de debitare	290-309	3000	5	6	66.37	26.13	40.24	14.16	19.47

O dimensiune mai mică a tăieturii poate crește producția de cherestea, pe de altă parte poate permite planificarea producției să scadă diametrul superior necesar, ceea ce înseamnă de obicei un diametru mediu mai mic și un volum mai mic, crescând din nou eficiența conversiei buștenilor.

Furnizorii de scule de tăiere nu prea investighează în această direcție pentru a obține cea mai mică tăietură posibilă, parametri care influențează rigiditatea pânzei de ferăstrău și oscilația pânzei. Durata de viață a pânzelor de ferăstrău ar crește, iar timpii de nefuncționare prin schimbarea sculei pot fi reduse (Jauk 2019).

De aceea, fabricile de cherestea au început să implementeze senzori acustici lângă unitățile de aşchiere pentru a semnaliza interferența acustică și pentru a adapta viteza de avans.

Influența mix-ului de produse

Modelele de debitare sunt de obicei proiectate în corelație cu comenzile și cu sortimentele de bușteni disponibile. Culoarea, rezistențele, aspectul nodurilor și desenul lemnului limitează poziționarea în modelul de tăiere a pieselor preconizate a fi tăiate. Piața de vânzări și în special prețul de vânzare sunt determinante pentru stabilirea modelului de tăiere.

1.4 Concluzii

Cercetările bibliografice efectuate au condus la concluzia că eficiența de conversie a buștenilor este în strânsă corelație cu conicitatea, în funcție și de metoda de tăiere utilizată. Având în vedere aceste rezultate, buștenilor cu conicitate mare ar trebui să li se acorde mai multă atenție în timpul sortării. O modalitate diferită de separare, ajustarea modelului de debitare, cu intervale mai înguste de lungimi, pot crește randamentul de conversie.

Echipamentele pentru poziționarea optimizată a buștenului, cum ar fi unitățile de rotire și cele de tăiere curbă, sunt obligatorii pentru a obține cea mai bună eficiență de conversie a bușteanului. Prin măsurători electronice și cu ajutorul unui software de optimizare se poate atinge următorul nivel de performanță.

Alte îmbunătățiri pot fi realizate prin optimizarea tăieturii, susținută de senzori acustici care direcționează viteza de avans în funcție de starea lemnului și de starea pânzei de ferăstrău. În acest fel pot fi efectuate teste pentru scăderea corpului ferăstrăului și a feței dintelui și poate fi stabilită configurația optimă pentru speciile de lemn tăiat, sezon și înălțimi de tăiere. O atenție deosebită trebuie acordată scândurilor laterale. Unitățile de frezat flexibile conectate la măsurători online și software-ul pot crește semnificativ randamentul.

Capitolul 2

OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivul principal al prezentei teze este de a crește eficiența lanțului de prelucrare a lemnului rotund de rășinoase (brad) în cherestea, prin găsirea unor modalități de reducere a pierderilor de lemn care apar în timpul principalelor patru operațiuni primare de-a lungul acestui lanț și anume:

- secționarea lemnului rotund în bușteni;
- selectarea buștenilor de cherestea;
- cojirea buștenilor;
- debitarea în cherestea.

Dimensiunile inițiale ale lemnului rotund (lungime și diametru), precum și prezența abaterilor de formă (de exemplu, conicitatea) au fost principalii factori de influență luați în considerare în această cercetare. Fig. 2.1 prezintă abordarea pentru atingerea obiectivelor propuse.

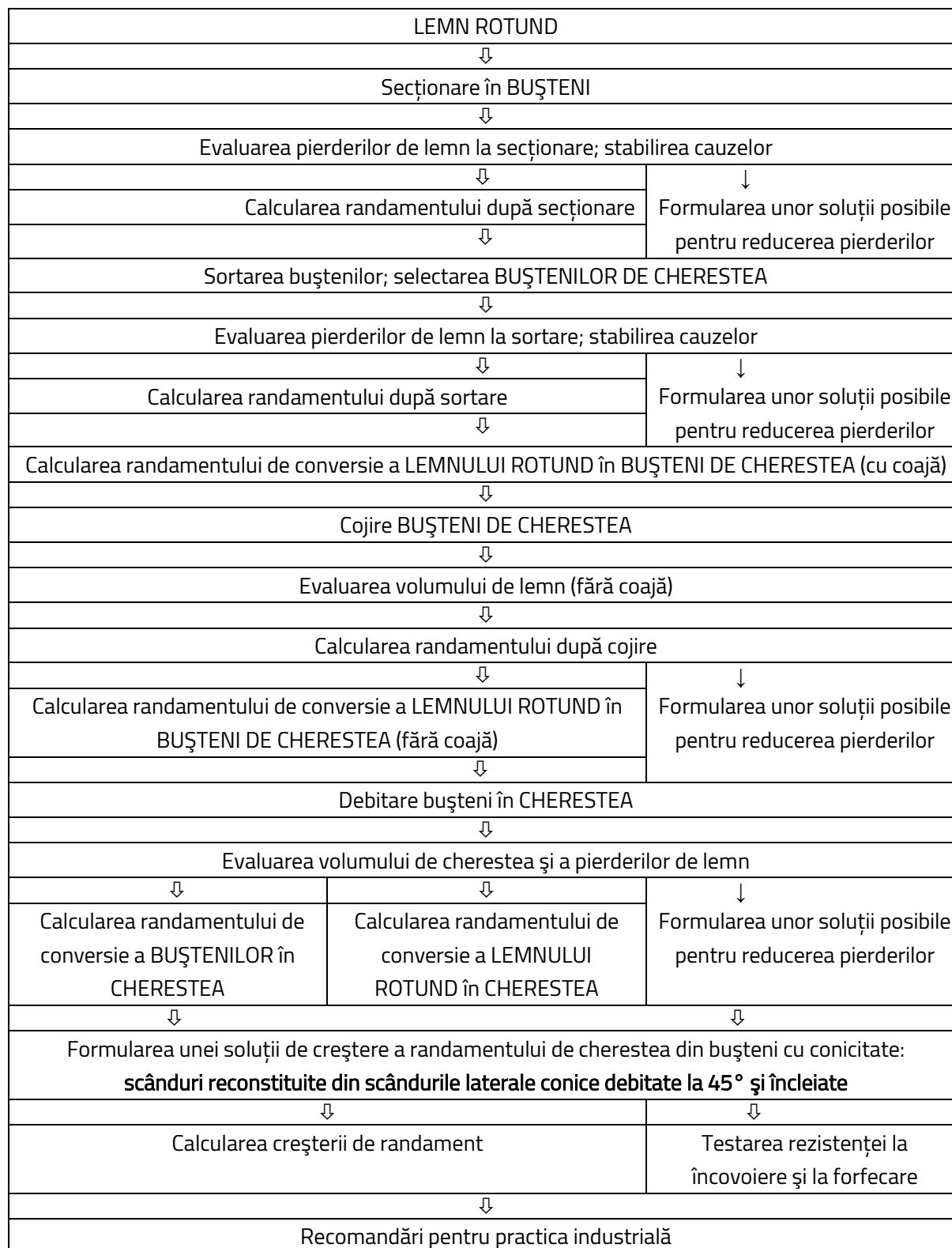


Fig. 2.1: Reprezentare schematică a obiectivelor cercetării

Capitolul 3

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND RANDAMENTUL CANTITATIV ŞI CALITATIV DE CHERESTEA REZULTATĂ DIN LEMN ROTUND DE RĂŞINOASE

3.1 Obiectiv

Cercetarea de faţă a avut în vedere determinarea experimentală a pierderilor de lemn după fiecare etapă a lanţului tehnologic în timpul conversiei lemnului rotund în cherestea. Prin această abordare, a fost posibil să se stabilească în mod distinct randamentul de conversie a lemnului rotund în buşteni, apoi a lemnului rotund în cherestea şi, în final, luând în considerare întregul lanţ, eficienţa conversiei lemnului rotund în cherestea. Metoda aplicată a permis şi analizarea la faţa locului (în condiţii reale de producţie) a principalelor cauze care duc la pierderi de lemn în timpul fiecărei operaţii de prelucrare, pentru a formula soluţii de optimizare, acolo unde este posibil.

3.2. Material, metodă şi aparatură

Materialul lemnos utilizat în cadrul experimentelor a constat în lemn rotund de răşinoase *Abies alba* Mill.), recoltat din zona geografică Bicăz, judeţul Piatra Neamţ (Fig. 3.1).



Fig. 3.1: Harta României cu localizarea regiunii Bicăz, Piatra Neamţ în Carpaţii Orientali

(<https://harta-romaniei.org/harta-geografica-a-romaniei.html>)

De pe această parcelă au fost selectaţi 13 arbori cu vârste cuprinse între 150 şi 160 de ani, cu diverse valori ale conicităţii şi alte defecte de formă care ar putea avea efect asupra randamentului de conversie în cherestea. Arborii au fost achiziţionaţi prin licitaţie.

După recoltare, cele 13 piese de lemn rotund de au fost toaletate şi li s-au măsurat dimensiunile (lungimea, diametrul la capă ul, gros, diametrul la mijlocul lungimii şi diametrul la capătul subţire).

În timpul evaluării calitative, au fost înregistrate în câte o fişă de caracterizare toate defectele vizibile (defecte de formă, noduri, lovitură etc.) pentru fiecare piesă de lemn rotund.

S-a calculat volumul fiecărei piese în funcţie de lungime şi diametrul la mijlocul lungimii.

Apoi piesele de lemn rotund au fost secţionate în buşteni (Fig. 3.5), cu lungimi de aprox. 3m, pe cât posibil, înând cont şi de defectele vizibile.



Fig. 3.5: Evaluarea calitativă şi secţionarea lemnului rotund

Fiecare buştean rezultat a fost numerotat, l s-a calculat volumul, după care s-a efectuat sortarea conform SR 13569:1993 în următoarele categorii:

- ♦ primul grup a cuprins buştenii de cherestea, cu diametre între 10cm şi to 60cm, fără defecte vizibile sau putregai;

- ♦ al doilea grup a cuprins **buştenii supradimensionaţi**, cu un diametru la capătul gros >60cm. Deoarece aceştia nu pot fi debitaţi în cherestea cu ajutorul liniei disponibile, echipată cu pânze circulare, ei trebuie excluşi la acest triaj şi sunt redirectionaţi (vânduţi) altor întreprinderi care dispun de gater sau ferăstraie-panglică;
- ♦ al treilea grup a cuprins asa-numitul **lemn industrial**, adică buşteni subţiri (cu <10cm) şi buşteni cu defecte; aceştia nu reprezintă rebut, întrucât pot fi valorificaţi (în industria PAL, OSB), dar nu pentru cherestea;
- ♦ al patrulea grup, **lemn de foc**, a cuprins toate vârfurile, buştenii foarte scurţi şi pe cei cu defecte inadmisibile în categoria lemnului industrial (de exemplu putregaiul).

Un exemplu de numerotare şi sortare a buştenilor rezultaţi dintr-o piesă de lemn rotund este prezentat în Fig. 3.6.



Fig. 3.6: Simulare 3-D a secţionării lemnului rotund N° 11 în 5 buşteni, dintre care 4 au fost clasificaţi ca buşteni de cherestea (11A ... 11D) şi unul (vârful) ca lemn de foc

Având în vedere că pentru procesul de debitare contează doar buştenii de cherestea, devine evident că eficienţa de conversie a lemnului rotund lung este puternic afectată atât de pierderile de lemn care apar prin secţionare, precum şi de pierderile de lemn datorate sortării (în mare parte în funcţie de dimensiunile şi calitatea lemnului rotund). Prin urmare, ambele tipuri de pierderi de lemn au fost calculate pentru fiecare piesă de lemn rotund.

Pierdere de lemn datorată tăierii lemnului rotund în buşteni a fost calculată ca diferenţă între volumul piesei de lemn rotund şi suma volumelor tuturor buştenilor rezultaţi din aceasta, iar pierdere de lemn datorată sortării a fost calculată ca diferenţă între volumul piesei de lemn rotund şi suma volumelor tuturor buştenilor de cherestea rezultaţi din aceasta.

Valoarea medie determinată din cele 13 piese de lemn rotund, reprezintă randamentul de debitare a lemnului rotund în buşteni şi respectiv în buşteni de cherestea.

În continuarea cercetării, au fost investigaţi numai buştenii de cherestea. Aceştia au fost cojiţi şi s-a determinat cu ajutorul unui prin scanar 3D de la Microtec volumul fiecărui buştean.

S-a calculat pierderea de lemn în urma cojirii, ca diferenţă între buşteanuui cu coajă şi respectiv al celui fără coajă.

Din acest punct în continuare, buştenii au fost divizaţi în două categorii:

- un grup cuprinzând buştenii cu diametrul la capătul subţire între 270 mm şi 330 mm (Fig. 3.11), eligibili pentru debitarea în cherestea pe linia VM50 (Linck, Germania);



Fig. 3.11: Grup de buşteni având diametrul la capătul subţire între 270 mm şi 330 mm

- ceilalţi buşteni de cherestea, cu diametru mai mic decât 270mm sau mai mare decât 330mm , a căror convertire în cherestea a fost simulat cu ajutorul unui program de simulare 3D de la TimberTec AG, Germania.

După aceasta, s-a calculat randamentul de debitare al buştenilor în cherestea pentru fiecare buştean şi s-au evaluat mediile pentru fiecare categorie.

3.3. Rezultate experimentale privind randamentul de debitare al lemnului rotund în buşteni de cherestea

Dimensiunile celor 13 piese de lemn rotund care au fost obiectul prezentei cercetări, precum si defectele constatate la evaluarea calitativă a acestora sunt prezentate în Tabelul 3.3.

După transformarea celor 13 piese de lemn rotund în buşteni, s-a obţinut un randament de conversie de 93.41% (Fig 3.15).

Tabelul 3.3: Dimensiunile și volumul pieselor de lemn rotund investigate

Nr.	Lungime (m)	Diametru gros (m)	Diametru mediu (m)	Diametru subțire (m)	Conicitate (cm/m)	Volum (m ³)	Observații defecte
2	30.34	0.45	0.24	0.05	1.3	1.372	-
3	32.00	0.60	0.38	0.15	1.4	3.627	curbură
4	37.25	0.72	0.38	0.11	1.3	4.222	crăpătură de ger, curbură
5	26.70	0.44	0.31	0.18	1.6	2.014	lovitură la 0.2m și 0.6m
6	22.89	0.48	0.30	0.18	1.3	1.617	lovitură la 6m
7	29.49	0.53	0.32	0.8	1.5	2.371	coroană intercrescută cu arbore vecin
8	27.06	0.54	0.31	0.10	1.6	2.041	lovitură la 0.5m
9	30.28	0.62	0.39	0.25	1.2	3.615	lovitură la 0.2m
10	29.27	0.52	0.37	0.10	1.6	3.146	crăpătură de ger
11	20.56	0.50	0.33	0.17	1.6	1.758	curbură
12	23.37	0.49	0.30	0.16	1.3	1.651	înfurcire la 6.5m
13	27.88	0.40	0.25	0.11	1.0	1.368	creștere excentrică
14	25.21	0.47	0.28	0.10	1.5	1.551	-
Total						30.352	

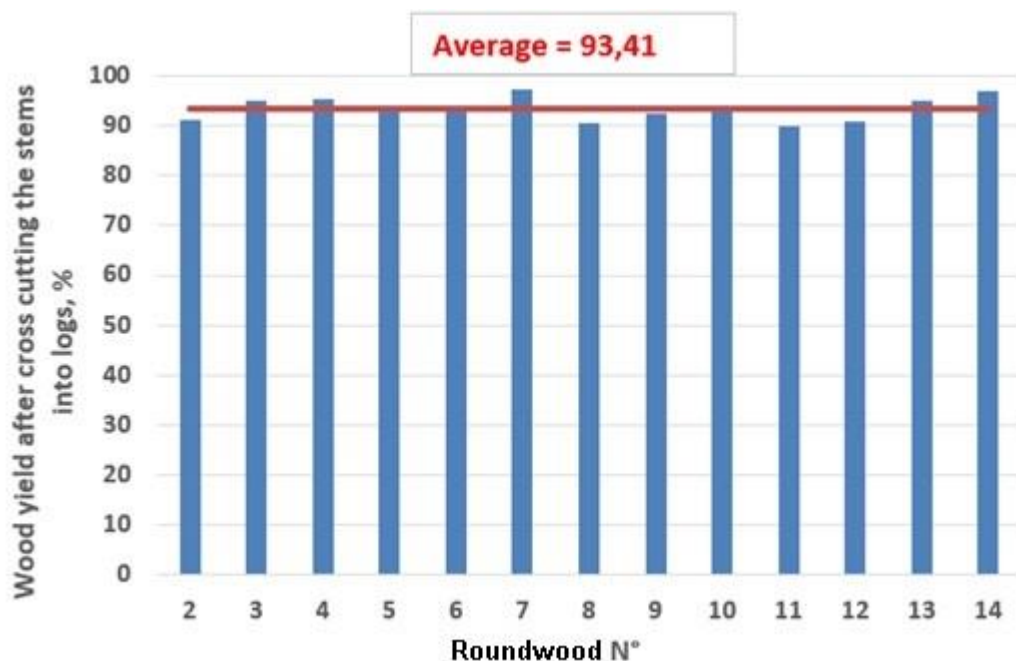


Fig. 3.15: Randamentul de debitare a lemnului rotund în buşteni

În urma sortării buştenilor, 76.14% (21.64m³) s-au calificat ca buşteni de cherestea, ceea ce este un rezultat de excepţie. Numai 15.84% (4.5 m³) au fost supradimensionaţi, 0.75% (0.21 m³) au fost clasificaţi ca lemn industrial, iar 7.26% (2.06m³) au fost clasificaţi ca lemn de foc (Fig. 3.16).

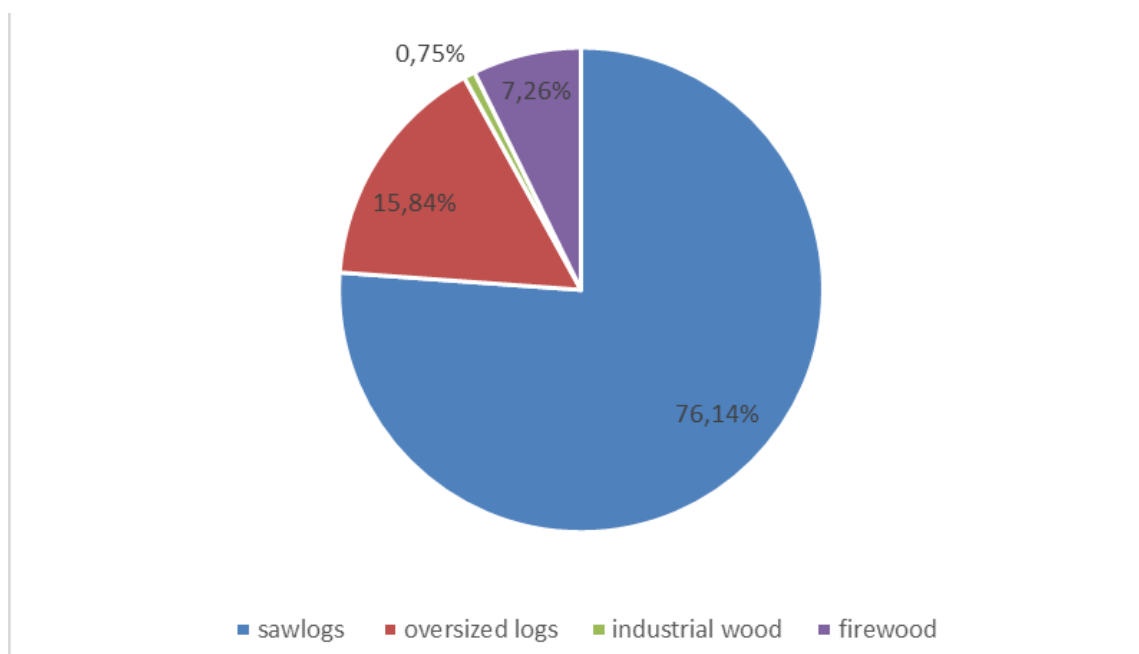


Fig. 3.16: Distribuţia procentuală a volumului de lemn, pe categorii de buşteni în urma sortării acestora

Randamentul mediu după secţionarea lemnului rotund şi sortarea buştenilor rezultaţi este prezentat în Fig. 3.17.

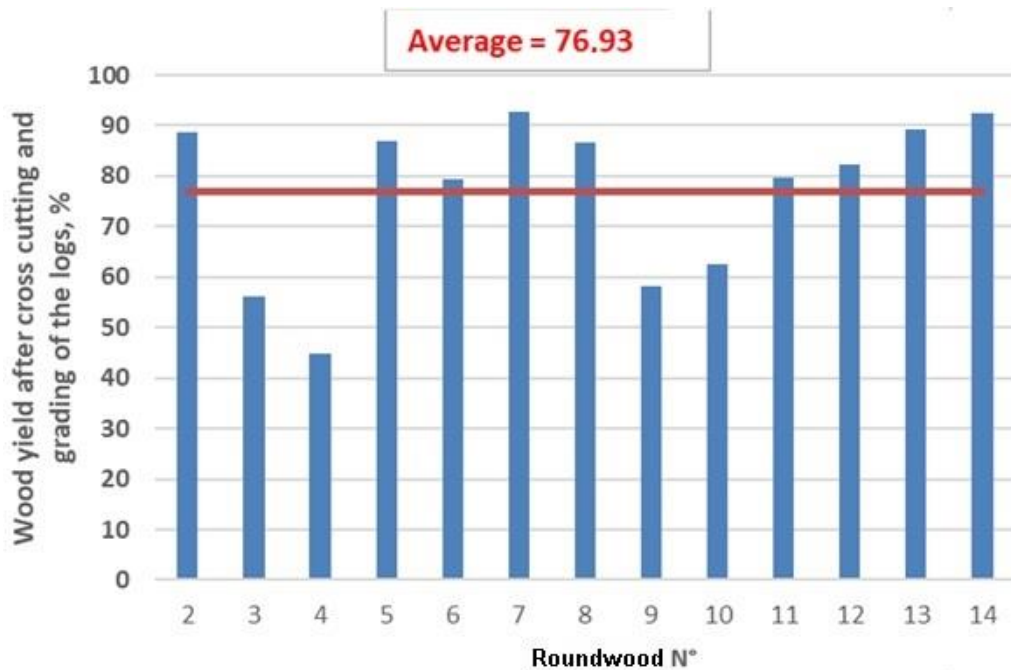


Fig. 3.17: Randamentul de lemn după secţionarea lemnului rotund şi sortarea buştenilor rezultaţi (cu coajă)

Randamentul mediu după cojirea buştenilor rezultaţi este prezentat în Fig. 3.18.

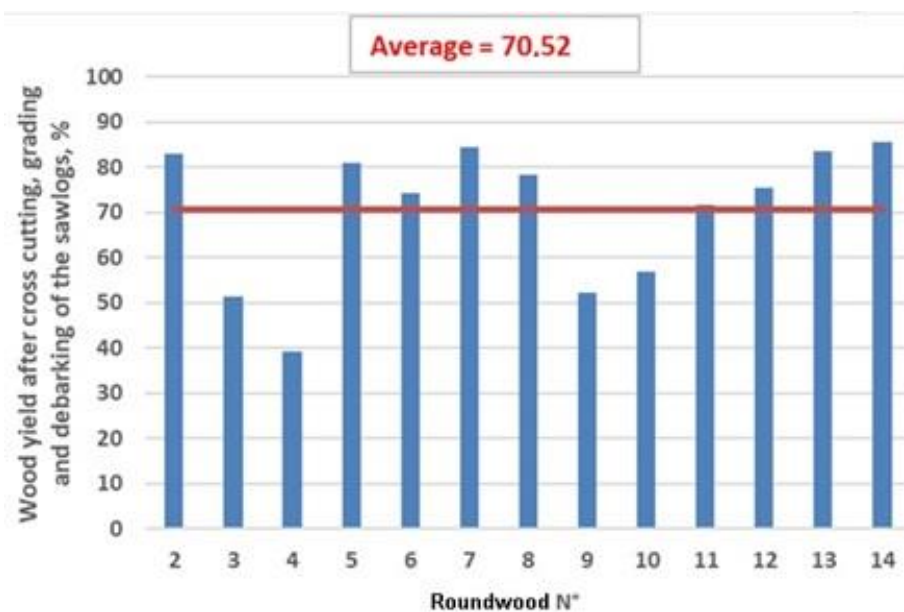


Fig. 3.18: Randamentul de lemn după cojirea buştenilor rezultaţi

Fig. 3.19 prezintă evoluția volumului fiecărei piese de lemn rotund, de la stadiul inițial și apoi în urma fiecăreia dintre cele trei operații ale lanțului tehnologic de conversie în bușteni de cherestea (secționare, sortare și cojire).

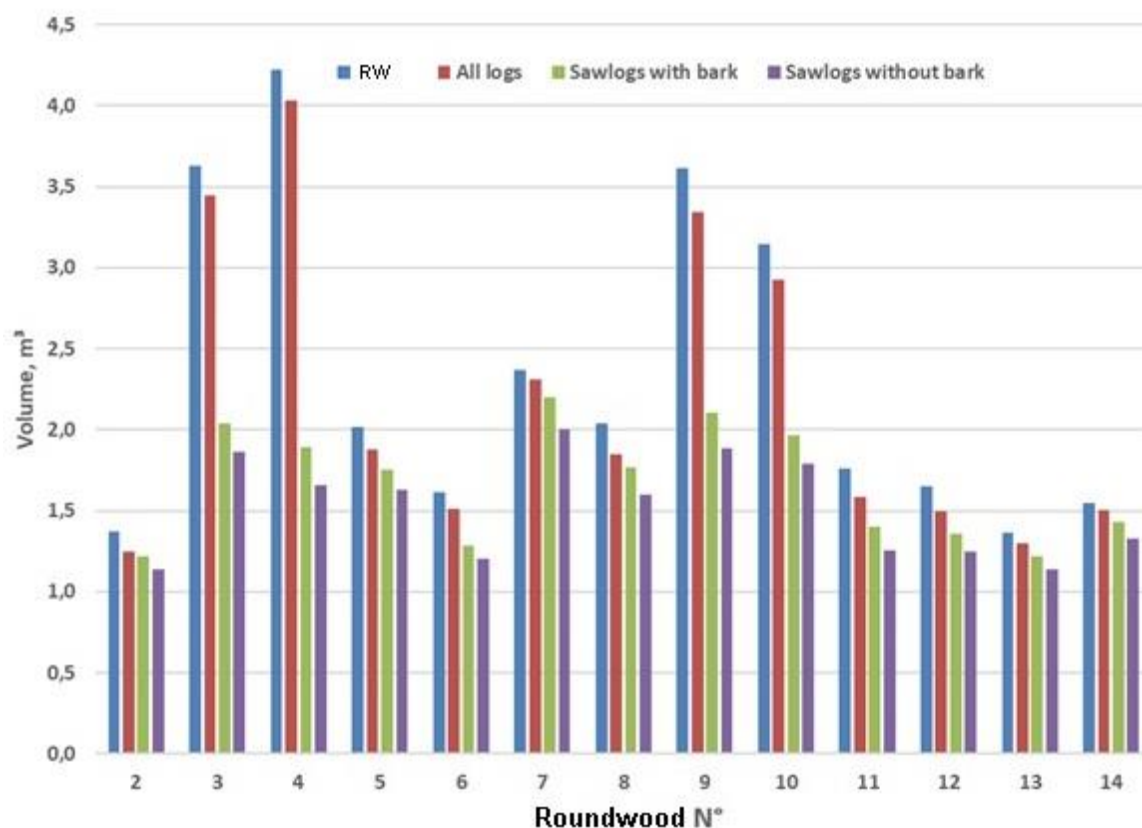


Fig. 3.19: Reducerea volumului fiecărei piese de lemn rotund pe parcursul lanțului tehnologic de conversie de la stadiul de lemn rotund până la bușteni de cherestea (fără coajă)

3.4. Rezultate experimentale privind randamentul de debitare al buștenilor în cherestea

a) Buștenii debitați pe linia VM50

Nouă dintre buștenii de cherestea rezultați s-au încadrat în clasa diametrelor între 270mm și 330mm și aceștia au fost debitați în piese de cherestea pe o linie Linck VM50.

Considerând că o clasă de diametre cuprinde în general diametre cu o marjă de variație de $\pm 10\text{mm}$, am optat pentru divizarea acestui grup de bușteni în două subgrupe, și anume:

- o subgrupă cu diametre între 291mm și 299mm;
- o subgrupă cu diametre între 311mm și 322mm.

Apoi s-a calculat randamentul de debitare, ca raport între suma volumelor pieselor de cherestea rezultate şi volumul buşteanului respective, fără coajă. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 3.13.

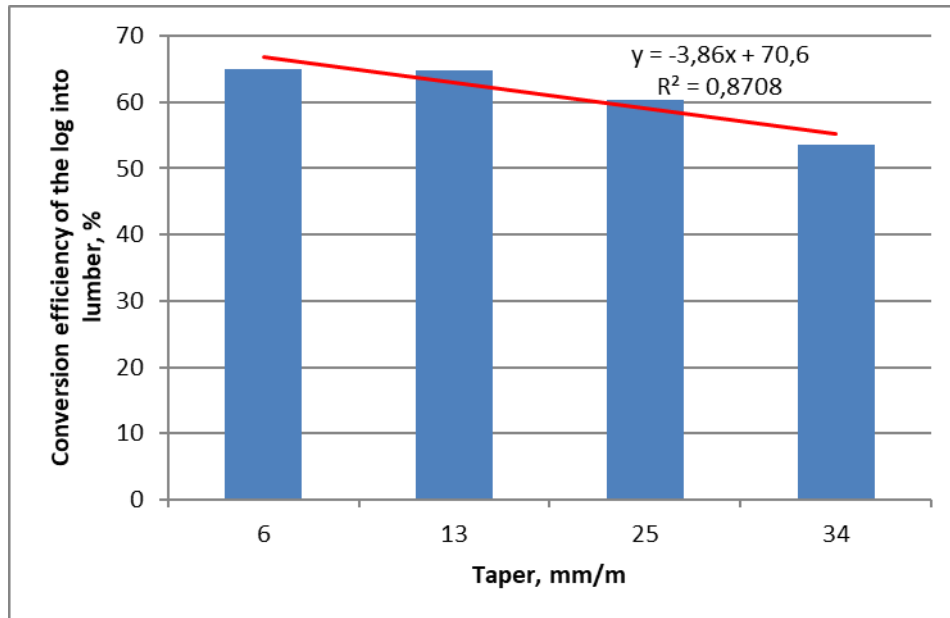
Table 3.13: Randamentul de debitare a buştenilor cu diametre cuprinse între 270mm şi 330mm în cherestea

Buştean Nr.	Diametru subţire, mm	Volumul buşteanului fără coajă, m ³	Conicitate, mm/m	Volumul de cherestea, m ³	Randamentul de debitare, %
Grupul de diametre 291-299mm					
10E	297	0.272	34	0.146	53.6
4E	291	0.241	25	0.146	60.4
13B	299	0.226	13	0.146	64.8
13C	295	0.212	6	0.138	65.0
Average	295.5	0.238	19.5	0.144	60.95
Grupul de diametre 311-322mm					
3E	318	0.289	23	0.154	53.3
6B	312	0.257	18	0.151	58.7
11C	315	0.257	16	0.153	59.6
12C	311	0.257	13	0.155	60.4
5C	322	0.257	12	0.154	60.0
Media	315	0.257	14.75	0.153	59.7

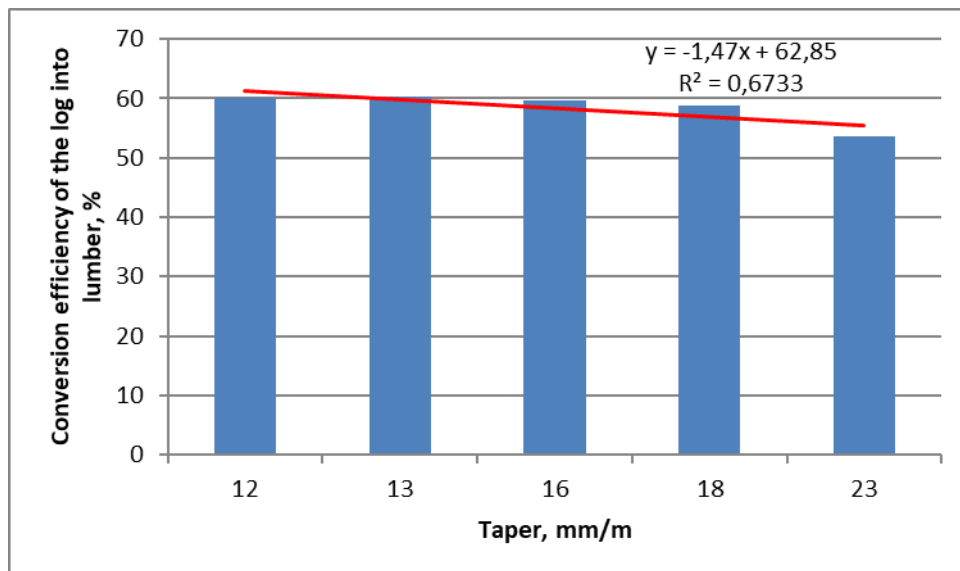
S-a constatat că eficienţa medie de conversie pentru buştenii cu diametrul la capătul subţire cuprins între 291-299 mm, lungimea medie de 2,9 m şi conicitate medie de 19,5 mm/m este de 60,95% şi pentru buştenii cu diametrul la capătul gros cuprins între 311-322 mm. , lungime medie de 3,1 m şi conicitate medie de 14,74 mm/m este de 59,70%. Se poate observa că cele mai mici valori ale randamentului de conversie (care afectează/scad valoarea medie) s-au obţinut pentru buştenii cei mai conici. Pentru buştenii cu conicitate sub 15mm/m, eficienţa de conversie are valori de 60-65%.

Corelaţia dintre randamentul de conversie şi conicitatea în cazul buştenilor analizaţi este prezentată în Fig. 3.20, a pentru primul grup de diametre şi în Fig. 3.20, b pentru al doilea grup de diametre.

Funcțiile descendente liniare caracterizează corelațiile în ambele cazuri. Coeficientul de determinare este $R^2=0,87$ și respectiv $0,67$, ceea ce arată o corelație bună, mai ales pentru prima gamă de diametre.



a.



b.

Fig. 3.20: Funcția de corelație între randamentul de conversie și conicitate pentru bușteni cu diametrul la capătul subțire cuprins în intervalul:

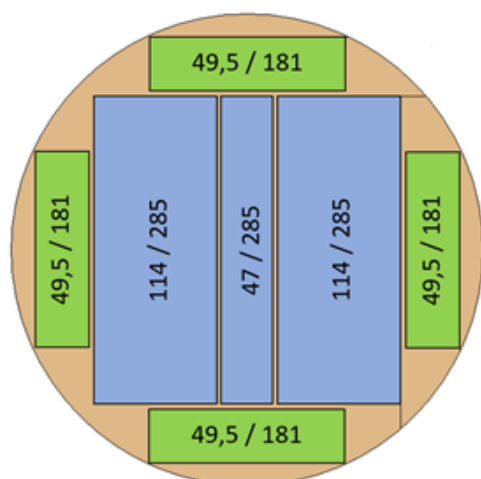
a – 291-299mm; b – 311-322mm.

b) Buştenii evaluaţi prin simulare 3D

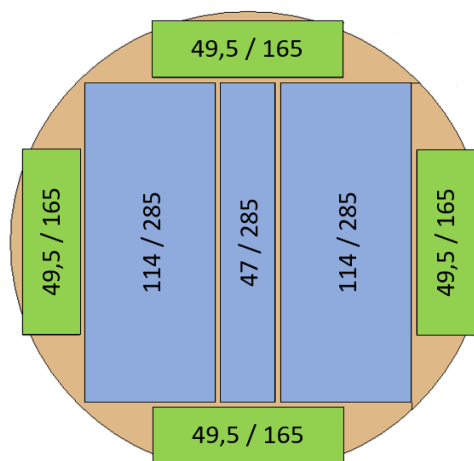
Pentru a evalua eficienţa de conversie a buştenilor rămaşi, cu diametrul la capătul subţire sub 270 mm sau peste 330 mm, a fost folosită simularea 3D prin intermediul unui program de simulare Timbertec.

Modelele de debitare utilizate în simulare pentru fiecare buştean sunt prezentate în Fig. 3.21. Alegeera modelului de debitare a vizat:

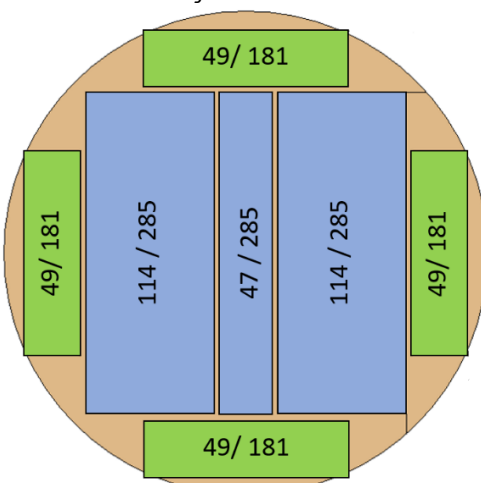
- valorificarea maximă a volumului de lemn;
- obţinerea unor piese de cherestea cu dimensiuni similare cu cel obţinute pe linia VM50.



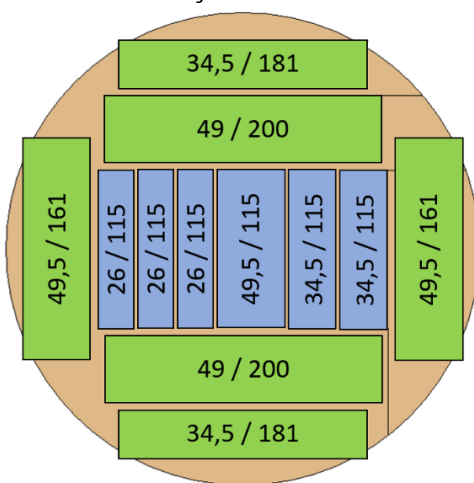
Buşteanul 9B



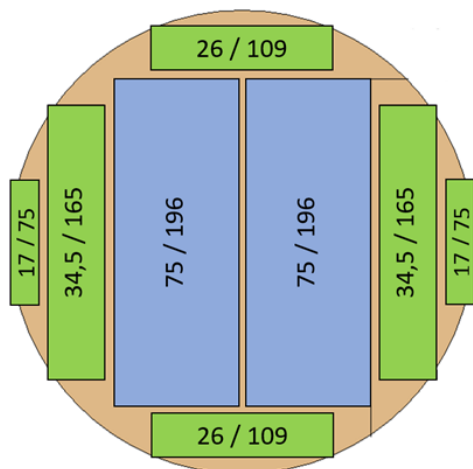
Buşteanul 9C



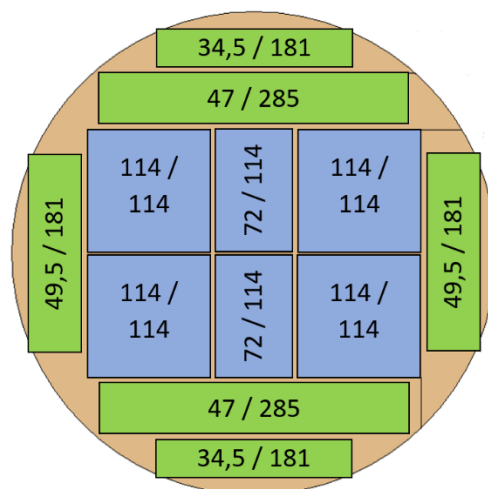
Buşteanul 9D



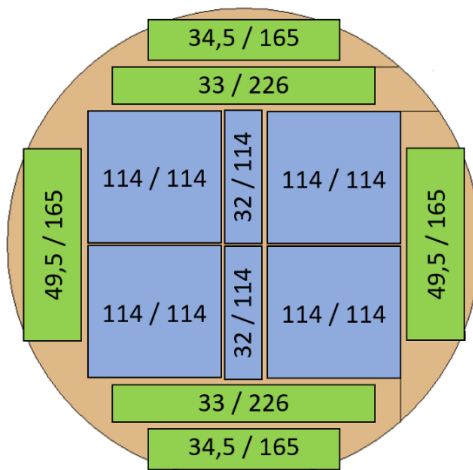
Buşteanul 9E



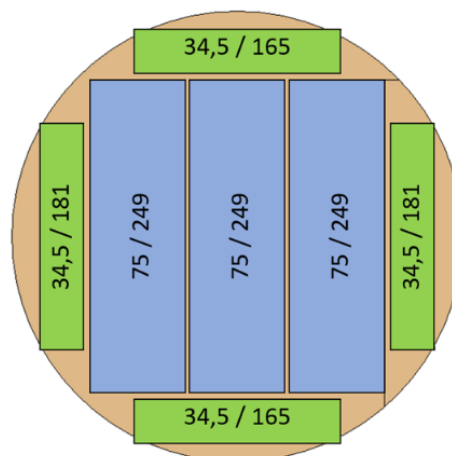
Buşteanul 9F



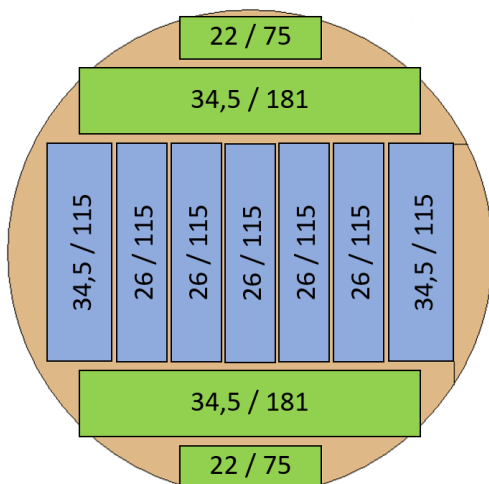
Buşteanul 10B



Buşteanul 10C



Buşteanul 10D



Buşteanul 10F

Fig. 3.21: Modele de debitare utilizate în cadrul simulării 3D a debitării buştenilor cu diametre subţiri sub 270mm şi peste 330mm

Eficiența de conversie a variat în acest caz între 53% și 66%, cu o medie de 55% pentru buștenii mai subțiri și 62% pentru cei mai groși (Tabelul 3.15).

Table 3.15: Randamentul de debitare a buștenilor cu diametru la capătul subțire sub 270mm sau mai mare de 330mm

Buștean Nr.	Diametrul subțire, mm	Volumul bușteanului fără coajă, m ³	Conicitate, mm/m	Volum cherestea, m ³	Randament debitare, %
Bușteni cu diametrul la capătul subțire ≤ 270mm					
10F	250	0.202	11	0.113	56
9F	270	0.218	17	0.118	54
Average:	260	0.21	14	0.1155	55
Bușteni cu diametrul la capătul subțire > 330mm					
9B	430	0.515	12	0.335	65
9C	410	0.449	7	0.275	61
9D	370	0.384	16	0.203	53
9E	340	0.324	9	0.197	61
10B	440	0.538	7	0.337	63
10C	400	0.435	9	0.288	66
10D	350	0.349	13	0.231	66
Media:	391	0.428	10.4	0.266	62

3.4. Concluzii

În funcție de dimensiunile și volumul evaluat de lemn rotund de rășinoase și a buștenilor fără scoarță rezultați din fiecare piesă de lemn rotund, randamentul de conversie are o medie de 70,5%. Această valoare depinde foarte mult de metoda de recoltare, de defecte și abateri de formă. O mare parte (15,84%) s-a pierdut din cauza diametrelor prea mari, deoarece nu au putut fi procesate cu o linie de debitare standard. Această parte a buștenilor este de obicei transformată în cherestea cu ajutorul gaterelor sau a ferăstriailor cu bandă, cu o productivitate tehnică, de obicei, mai mică. Produsele sunt utilizate în principal pentru cherestea de construcții, adesea cu lungimi mai mari de 4m și diametre deja eligibile pentru linia de tăiere în lungimea necesară. Acest lucru permite unităților de producție să facă afaceri într-o nișă în care acești bușteni pot fi utilizați. Mașina de cojit, transportoarele și liniile de debitareau limitări în ceea ce privește diametrele care pot fi prelucrate.

Un procentaj de 7,26% din volumul inițial de lemn rotund a fost clasificat drept lemn de foc, constând în principal din vârfurile copacilor. Diametrul superior minim pentru buștenii prelucrați pe liniile moderne de conversie este de aproximativ 10 cm diametrul superior. Forțele mecanice, productivitatea mai mică din cauza volumelor mici și posibilitățile lipsă de a obține dimensiunile necesare pe modelul de tăiere limitează această valoare. Degradările lemnului, abaterile puternice de formă, cum ar fi tulpinile duble, sunt sortate de obicei și în acest grup pentru a evita problemele în procesele de producție pentru panouri din lemn fabricate industrial, cum ar fi OSB sau PAL.

Un procent de 6 % din volumul inițial de lemn s-a pierdut în timpul procesului de cojire. Această cifră poate fi considerată la fel de acceptabilă întrucât cojirea s-a făcut cu un echipament de ultimă generație. Important este ca parametrii de funcționare și sculele să fie verificate frecvent și, dacă este necesar, modificate.

Alinierea produselor necesare la modelul de tăiere influențează mult eficiența finală a conversiei buștenilor. Mai multe piese duc la mai multe tăieturi necesare, dimensiunile mai mari au nevoie de o lățime mai mare pe tăiere pentru a evita abaterile de tăiere. Poziționarea scândurilor laterale pe marginea sau în afara diametrului minim superior generează scăderi pe margine și trebuie tăiate la lungime mică.

Produsele finale nu trebuie să fie pentru toate scopurile propuse de dimensiunea maximă pe toate cele patru laturi, ceea ce înseamnă că pot accepta margini netivite, cel puțin pe o parte a piesei de cherestea. Acest lucru trebuie definit clar cu clientul la contractare. Pentru a evita erorile finale de sortare și tăiere, se recomandă să existe reguli clare de sortare pentru angajați. O combinație de produse disponibilă sprijină și optimizarea modelului de tăiere, deoarece poziționarea pieselor de cherestea poate fi gândită astfel încât să se obțină un randament maxim de cherestea.

În timpul debitării buștenilor selectați, s-a observat că unul dintre cei mai importanți factori de influență asupra randamentului de conversie este conicitatea buștenilor, care a variat în cadrul lotului de bușteni selectat de la 2 la 34 mm/m. În prezent, fabricile de cherestea nu țin cont de conicitatea buștenilor. Aceasta înseamnă că buștenii sunt împărțiți pe boxe în funcție doar de calitate, lungimea, speciile și diametrul la capatul subțire. Aceasta duce la o valorificare incompletă a volumului de lemn de bușteni cu conicitate însemnată, din care partea conică este complet pierdută pentru cherestea, fiind dirijată spre mărunțire, în vederea transformării în aşchii și rumeguș.

O posibilitate pentru mai buna utilizare a volumului de lemn din buștenii cu conicitate, prin valorificarea pieselor laterale conice, este prezențată în cadrul capitolului următor.

Capitolul 4

EVALUAREA UNEI SOLUȚII DE OPTIMIZARE VIZÂND CREȘTEREA RANDAMENTULUI DE DEBITARE ÎN CHERESTEA AL BUȘTENILOR DE RĂȘINOASE CU CONICITATE

4.1 Formularea unei soluții de optimizare

Conversia buștenilor în cherestea înseamnă a produce cherestea prismatică din forma unui buștean, care ar trebui să fie cilindric, dar are de cele mai multe ori abateri de a această formă. Principalele abateri de formă sunt: curbura, ovalitatea și conicitatea.

Aspectul și dimensiunile pieselor de cherestea care rezultă în final depind în mare măsură de valoarea diametrului la capătul subțire, în timp ce conicitatea nu este încă luată în considerare în procesele de producție. Acesta este motivul pentru care piesele laterale conice rezultate din transformarea buștenilor conici devin de obicei deșeuri (lemn de foc sau așchii pentru industria de panouri).

Soluția propusă de autor salvează aceste piese și le oferă posibilitatea de a face parte dintr-un produs (ex.: miezuri de produse stratificate, precum CLT și GL în scopuri de construcție – în acest scop, acestea trebuie să respecte cerințele CEN EN 338), privind rezistențele lor mecanice).

În același timp, volumul de lemn economisit prin metoda propusă poate crește considerabil eficiența conversiei aceluși buștean.

În principiu, soluția constă în:

- debitarea buștenilor într-o prismă netivită, cu ajutorul unui ferăstrău cu bandă (Fig. 4.4, a);
- debitarea prisme în piese centrale (H2, H3, H4) și piese laterale (S1, S2, 1, 2,...9, 10) (Fig. 4.4, b), cu ajutorul unui ferăstrău circular;
- uscarea artificială a scândurilor obținute până la o umiditate de $12 \pm 3\%$;
- tivirea pieselor laterale sub un anumit unghi (între 0° - pentru piesele 5 și 6 - și 45° - pentru piesele 1 și 2);
- rotirea unei piese laterale la 180° deasupra perechii sale în oglindă (ex.: 2 cu 1, 4 cu 3, 8 cu 7, 9 cu 10 în Fig. 4.4, c) și încheierea celor două (Fig. 4.5).

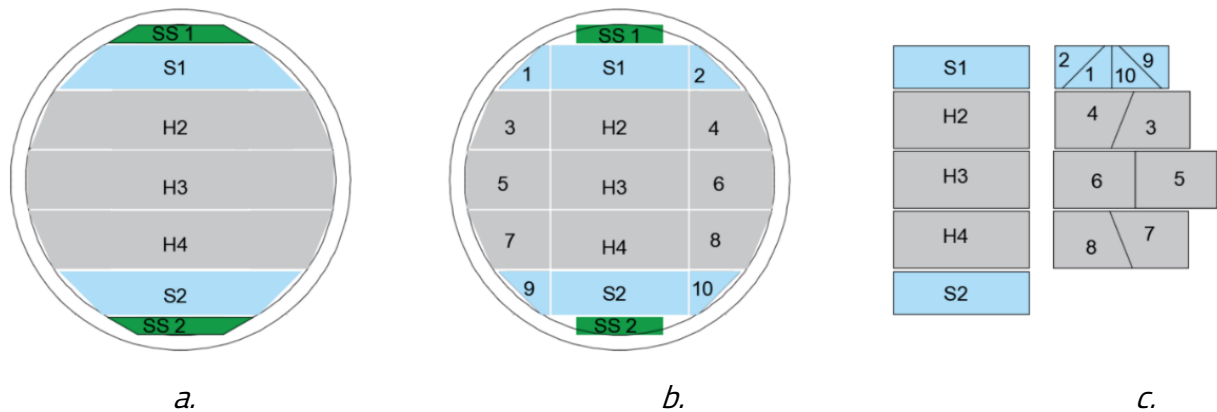


Fig. 4.4: Debitarea în cherestea a unui buştean cu conicitate: a – tăiere cu ferăstrăul panglică; b – secţionare şi tivire; c – împerecherea scândurilor laterale, în oglindă

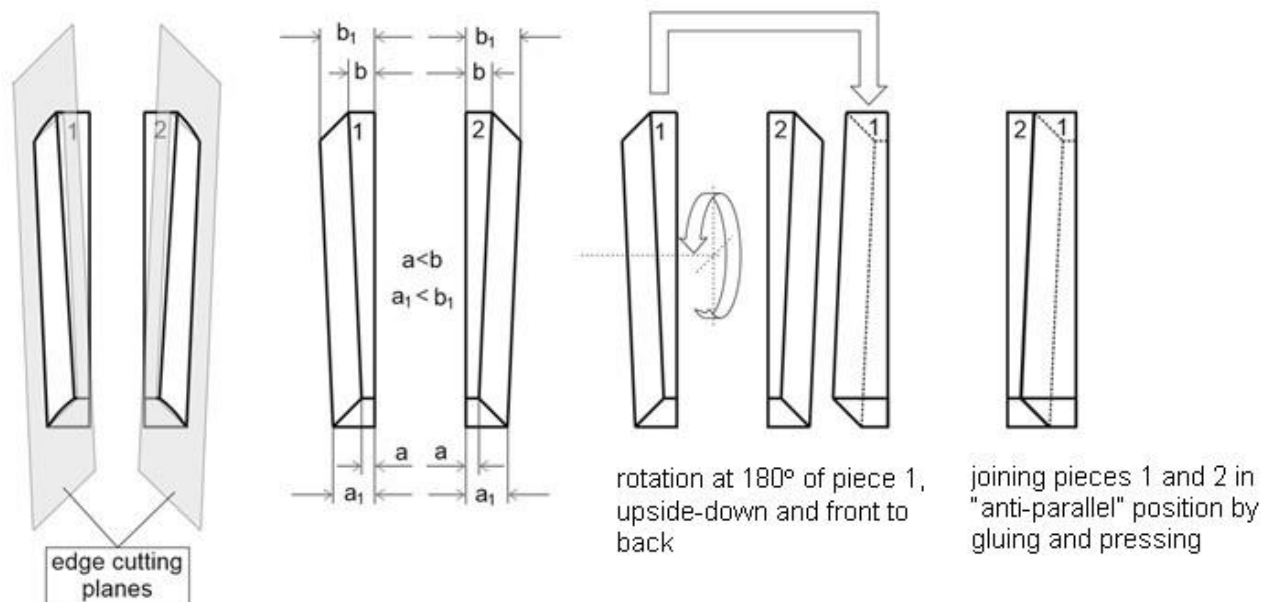


Fig. 1.5: Obţinerea scândurilor reconstituite

4.2 Material, metodă şi aparatură

4.2.1. Pregătirea materialului

Doi buşteni de molid (*Picea abies* L.) (Fig. 4.7) având dimensiunile date în Tabelul 4.2 au fost transformaţi în cherestea, din care s-au obţinut scânduri reconstituite prin încleierea a câte două scânduri laterale conice, conform soluţiei prezentată mai sus, după care s-au determinat rezistenţele la încovoiere, forfecare şi modulul de elasticitate al acestora comparative cu lemnul masiv al aceleiaşi specii.



Fig. 4.7: Buştenii de molid utilizaţi în cercetare

Tabelul 4.3: Dimensiunile buştenilor (cu coajă)

	Top-end diameter, mm	Diameter at mid length, mm	Butt-end diameter, mm	Length, m	Taper, mm/m	Wood volume, m ³
Log Nr. 1	243	250	274	3.1	8	0.15
Log Nr. 2	220	230	256	3.1	3	0.13

Dupa cojire, buştenii au fost debitaţi pe un ferăstrău-panglică ZMM Stomana AG, tip HBB 550.

Linia optimă de margine, paralelă cu conicitatea scândurilor, a fost marcată cu ajutorul unei crete (Fig. 4.11), iar ulterior buştenii au fost secţionăţi la jumătatea lungimii (Fig. 4.12), pentru o manipulare mai uşoară.



Fig. 4.11: Trasarea liniei optime d emargine Fig. 4.12: Secționarea la jumătatea lungimii

Apoi, scândurile netivite au fost transformate cu ajutorul unui ferăstrău circular în piese centrale (H2, H3, H4) cu grosimea de 40mm, și laterale (S1, S2, 1, 2, ...9, 10) cu grosimea de 30mm. Linia optimă de margine a fost ajustată astfel încât să se obțină randamentul maxim posibil (Fig. 4.13 și 4.14).



Fig. 4.13: Scândură cu linia de margine optima Fig. 4.14: Separarea piesei laterale de cea centrală

Scândurile au fost până la un conținut de umiditate de 12% într-un uscător convențional Mühlböck (Austria). După uscare, umiditatea a fost verificată cu ajutorul unui umidometru capacitiv tip DM4A (Doser, Germania), pentru a ne asigura că toate scândurile au un conținut de umiditate de $12 \pm 3\%$ înainte de a fi înțeleate.

Lateralele în oglidă au fost încleiate cu ajutorul unui adeziv poliuretanic tip Loctite HB S049 şi presate (Fig. 4.15), conform fişei tehnice a adezivului Rata de aplicare a adezivului a fost de 180 g/m^2 .



Fig. 4.15: Încleierea şi presarea pieselor reconstituite din laterale conice

Toate scândurile au fost rindeluite cu ajutorul unei maşini de rindeluit tip Holzmann HOB 260 NL, iar apoi expediate la Laboratorul de ÎNCERCĂRI de la Facultatea de Design de Mobilier şi Inginerie a Lemnului din Braşov, unde au fost condiţionate timp de 2 săptămâni într-un mediu cu $20 \pm 2^\circ \text{C}$ şi $65 \pm 5\%$ umiditate relativă a aerului, conform ISO 3129: 2012.

4.2.2 Debitarea epruvetelor

După condiţionare, epruvetele pentru rezistenţa la încovoiere statică şi la forfecare au fost tăiate conform cerinţelor standardului (ISO 3129: 2012), atât din lemn încleiat, cât şi din lemn masiv.

Probele de lemn masiv au fost notate astfel încât să recunoască exact fiecare probă din ce buştean şi din ce parte a buşteanului (în lungime şi în secţiune) provine. Epruvetele prelevate din scândurile reconstituite au provenit numai din scândurile laterale tăiate la 45° (1+2 şi 9+10 în Fig 4.4, c).

4.2.3 Determinarea rezistenţei la încovoiere statică şi a modului de elasticitate

Rezistenţa la încovoiere (MOR) şi modulul de elasticitate în încovoiere (MOE) au fost determinate conform ISO 13061-3: 2016 şi ISO 13061-4: 2016. Încercarea a fost efectuată cu ajutorul unui echipament ZWICK / ROELL tip BT1FB050TN.D30 / 2007 (Fig. 4.18, a), dotat cu un dispozitiv (suport) pentru poziţionarea epruvetei (cele două reazeme fiind situate la o distanţă de 280mm), un dispozitiv de aplicare a sarcinii şi un dispozitiv de măsurare a deformaţiei. Determinarea MOE (Fig. 4.18, b) constă în măsurarea deformaţiei la mijlocul lungimii epruvetei, în timpul aplicării forţei în creştere progresivă în regiunea de

proporţionalitate dintre sarcină şi deformare, în timp ce determinarea MOR (Fig. 4.18, c) constă în măsurarea sarcinii maxime necesare ruperii epruvetei sub o sarcină statică aplicată transversal în mijlocul epruvetei pur şi simplu sprijinite.

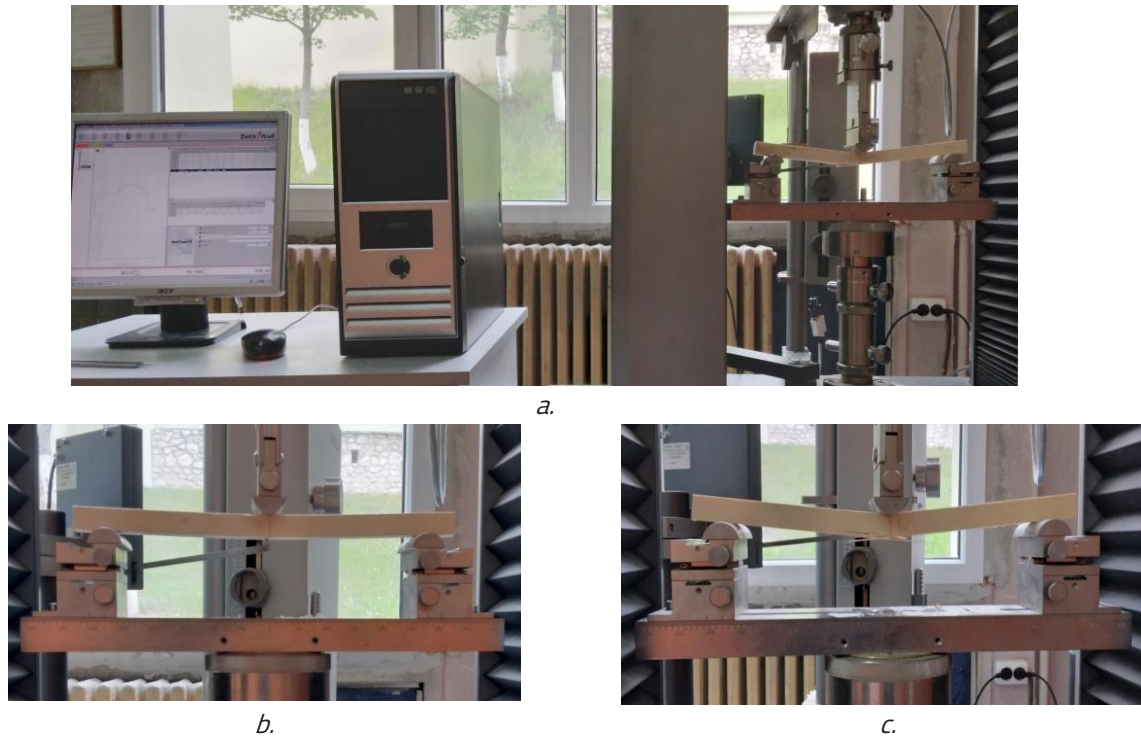


Fig. 4.18: Echipament ZWICK/ROELL tip BT1FB050TN.D30/2007 utilizat pentru testul la încovoiere

Forţa a fost aplicată radial pe jumătate din probele provenite din plăcile din lemn masiv (Fig. 4.19, a) şi tangenţial (Fig. 4.19, b) pe cealaltă jumătate, în vederea comparării valorilor obţinute pentru scândurile reconstituite cu ambele cazuri, având în vedere că în cazul scândurilor încheiate direcţia forţei faţă de inelele anuale nu putea fi nici radială, nici tangenţială (Fig. 4.19, c). Un total de 48 de probe încheiate (12 din fiecare jumătate de buştean) şi un total de 120 de epruvete de lemn masiv (15 încărcate radial + 15 încărcate tangenţial, din fiecare jumătate de buştean) au fost utilizate în experiment.

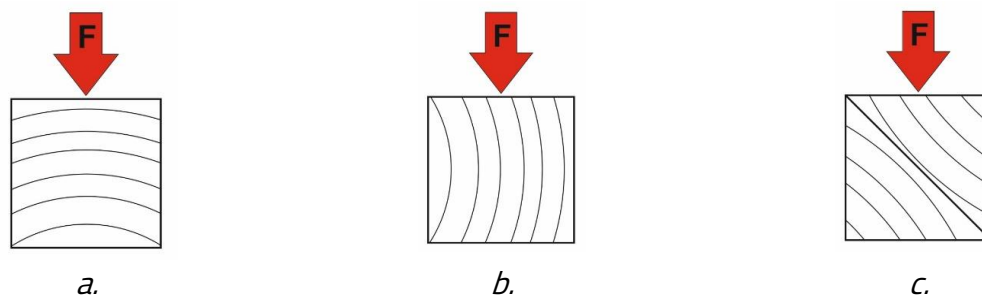


Fig. 4.19: Direcţia forţei de încovoiere faţă de inelele anuale: a – scândură lemn masiv, încărcată radial; b – scândură lemn masiv, încărcată tangenţial; c – scândură reconstituită

4.2.4 Determinarea rezistenţei la forfecare

Rezistenţa la forfecare a fost determinată conform ISO 3347:2008. Testul a fost efectuat cu ajutorul aceluiaşi echipament ZWICK / ROELL tip BT1FB050TN.D30 / 2007, dar de data aceasta dotat cu un alt dispozitiv (special) de poziţionare a probelor, un dispozitiv de aplicare a sarcinii şi un dispozitiv de măsurare a forţei de încărcare (Fig. 4.21).

Determinarea rezistenţei la forfecare constă în măsurarea sarcinii maxime necesare ruperii epruvetei sub o sarcină statică aplicată

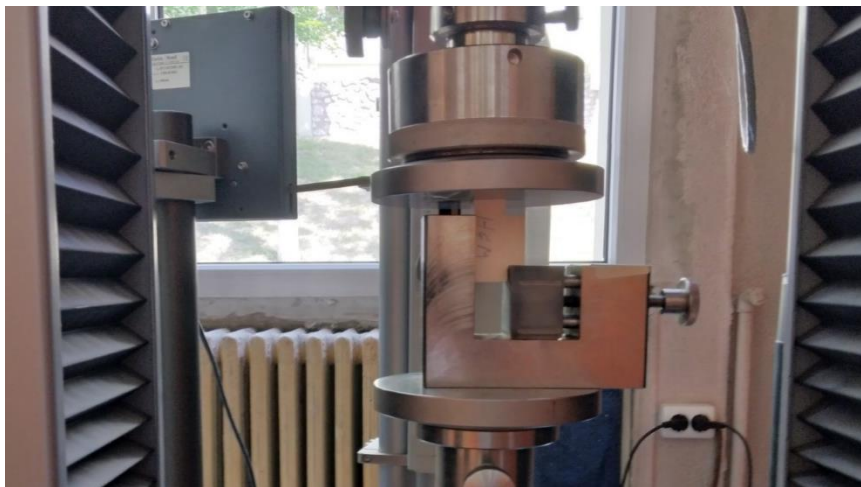


Fig. 4.21: Dispozitiv de încercare pentru determinarea rezistenţei la forfecare (ZWICK / ROELL)

Forţa a fost aplicată pe direcţie tangenţială (Fig. 4.22).

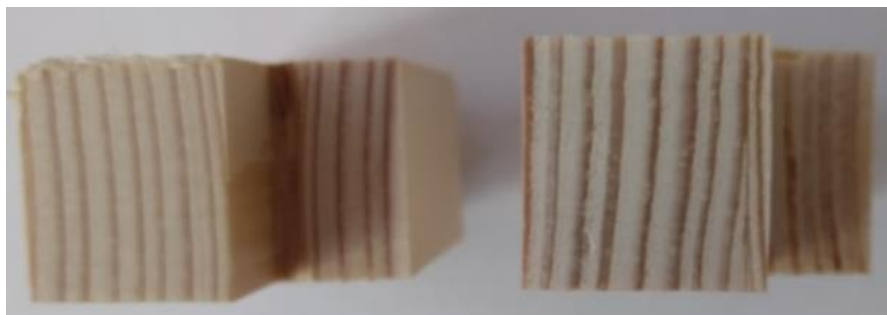


Fig. 4.22: Epruvete din lemn masiv pregătite pentru determinarea rezistenţei la forfecare, cu aplicare tangenţială a forţei

Ca şi în cazul încercării la încovoiere, soft-ul maşinii de încercări înregistrează şi afişează automat datele măsurate.

4.2.5 Analiza statistică

Datele colectate au fost analizate statistic prin intermediul testului ANOVA unidirecțional. Analiza statistică a fost realizată cu ajutorul programelor Microsoft Excel și Data Analysis Tool Pack. În primul rând, a fost întreprinsă o caracterizare a variației densității pe lungimea buștenilor și a secțiunii transversale.

Apoi, pentru fiecare buștean, valorile medii ale rezistenței la încovoiere, a modulului de elasticitate și a rezistenței la forfecare obținute pentru probele încleiate au fost comparate cu valorile medii obținute pentru probele de lemn masiv din același buștean și apoi din ambii bușteni împreună. Pentru a avea o comparație corectă, doar valorile de la epruvetele prelevate din zona exterioară a bușteanului au fost luate în considerare la lemnul masiv, ca urmare a faptului că scândurile reconstituite au fost toate realizate din material provenit din zona exterioară a bușteanului (din scânduri laterale).

Finalitatea cercetării a fost aceea de a evalua dacă există diferențe semnificative între proprietățile mecanice ale scândurilor reconstituite față de cele din lemn masiv.

4.3 Rezultate experimentale și discuții

4.3.1 Densitatea, rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate

Rezultatele privind densitatea (ρ), modulul de elasticitate în încovoiere statică (MOE) și rezistența la încovoiere (MOR) a probelor, prelevate atât din scândurile din lemn masiv, cât și din scândurile reconstituite sunt prezentate în Tabelele 4.16 – 4.18. Valorile obținute din probele de lemn din diferite părți ale bușteanului sunt identificate cu culori diferite.

Valorile obținute pentru probele de lemn masiv sunt în bună concordanță cu valorile din literatura de referință, situându-se în jurul valorii medii de 470 kg/m^3 indicată de Holzatlas (2008). Densitatea variază doar foarte puțin pe lungimea buștenului (de la capătul gros spre vârf), fiind de obicei cu 1-4% mai mică spre vârf. Acest rezultat este, de asemenea, în bună concordanță cu literatura de referință (Kollmann 1951). Referitor la distribuția densității pe secțiunea transversală a bușteanului, rezultatele arată că aceasta scade de la exterior spre centrul bușteanului cu până la 20%. Acest lucru se datorează măririi lățimii inelelor anuale din zona exterioară spre zona inimii, ceea ce implică și o scădere a proporției de lemn târziu, respectiv a traheidelor cu pereți groși (Olesen 1977, Petty et al. 1990).

Densitatea probelor încleiate este mai mare decât cea a lemnului masiv, ceea ce era de așteptat având în vedere prezența adezivului.

Tabelul 4.16: Valorile medii ale densităţii (ρ_{12} , în kg/m^3) probelor din lemn masiv şi din scânduri reconstituite

Buştean/ Tip epruvete	Poziția pe secțiunea transversală	Poziția pe lungimea buşteanului		Media cumulată și STDEV
		Capăt gros	Capăt subțire	
Buşteanul N° 1				
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare tangențială)	Zona de miez	420.33±1.15	436.67±22.01	428.50±11.58
	Zona mediană	449.67±19.83	442.67±22.78	446.17±22.64
	Zona exterioară	495.55±20.55	495.53±43.39	495.54±32.35
	Media și STDEV	462.50±34.79	462.57±41.37	462.53±38.08
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare radială)	Zona de miez	416.85±6.80	400.67±7.43	408.76±7.12
	Zona mediană	428.39±16.18	464.27±15.09	446.33±15.64
	Zona exterioară	501.24±18.58	488.95±27.72	495.09±23.40
	Media și STDEV	455.22±41.89	461.42±38.50	458.32±40.19
Scânduri încleiate	Zona exterioară	504.14±18.94	496.85±13.76	500.50±16.49
Buşteanul N° 2				
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare tangențială)	Zona de miez	411.33±13.01	407.33±33.50	409.33±23.26
	Zona mediană	433.83±12.32	427.00±35.22	430.42±23.77
	Zona exterioară	517.02±25.73	469.20±9.86	493.11±17.80
	Media și STDEV	462.62±50.01	439.85±36.13	451.24±43.07
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare radială)	Zona de miez	407.20±10.14	396.36±17.37	401.78±13.76
	Zona mediană	423.33±12.33	438.19±25.16	430.76±18.75
	Zona exterioară	492.31±41.10	472.58±12.02	482.45±26.56
	Media și STDEV	447.70±46.16	443.58±34.22	445.64±40.19
Scânduri încleiate	Zona exterioară	518.12±22.40	508.38±24.91	513.75±23.55

După cum se poate vedea în Tabelul 4.17, valorile modulul de elasticitate obţinute pentru probele de lemn masiv sunt în bună concordanţă cu valorile din literatura de referinţă, situându-se în jurul mediei de 11000N/mm² indicată de Holzatlas (2008).

Tabelul 4.17: Valorile medii ale modului de elasticitate la încoviere statică (MOE_{12} , în N/mm^2) la probele din lemn masiv și din scânduri reconstituite

Buştean/ Tip epruvete	Poziția pe secțiunea transversală	Poziția pe lungimea buşteanului		Media cumulată și STDEV
		Capătul gros	Capătul subțire	
Buşteanul N° 1				
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare tangențială)	Zona de miez	9490.00±933.92	11011.33±721.69	10250.67±827.81
	Zona mediană	11480.83±922.26	10787.67±1056.90	11134.25±989.58
	Zona exterioară	13211.55±1167.09	13021.41±1136.27	13116.48±1151.68
	Media și STDEV	11774.99±1719.06	11725.93±1463.01	11750.46±1591.04
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare radială)	Zona de miez	8612.17±728.33	8732.53±363.55	8672.35±518.98
	Zona mediană	9534.50±3721.91	10629.95±527.30	10082.23±953.13
	Zona exterioară	12414.60±974.53	12165.43±773.24	12290.02±848.76
	Media și STDEV	10502.07±1872.56	10864.66±1433.39	10683.37±1648.84
Scânduri încleiate	Zona exterioară	12773.58±757.49	12881.45±513.75	12827.52±635.36
Buşteanul N° 2				
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare tangențială)	Zona de miez	8521.33±656.18	8343.33±269.52	8432.33±462.85
	Zona mediană	9738.50±726.32	10337.00±1459.98	10037.75±1093.15
	Zona exterioară	13947.61±726.34	11554.44±916.20	12751.03±1477.61
	Media și STDEV	11178.71±2425.11	10425.20±1596.86	10801.96±2010.99
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare radială)	Zona de miez	8211.22±462.32	8897.74±640.04	8554.48±551.18
	Zona mediană	9722.33±931.89	10130.42±488.50	9926.38±710.20
	Zona exterioară	12620.16±1395.89	11424.44±812.06	12022.30±1103.96
	Media și STDEV	10579.24±2082.79	10401.49±1159.21	10490.37±1621.00
Scânduri încleiate	Zona exterioară	12258.38±844.76	12374.44±1232.62	12306.41±1004.02

Nu există nicio diferență semnificativă între valorile obținute la capătul gros față de cel subțire al buşteanului. Doar în zona exterioară a putut fi stabilită o tendință clară de scădere

a MOE de la cap la vârf. De asemenea, la fel ca şi în cazul densităţii, există o scădere clară a MOE pe secţiunea transversală a buşteanului, de la zona exterioară la miez.

Scândurile încleiate au prezentat în general un MOE mai mare decât lemnul masiv din aceeaşi zonă.

Tabelul 4.18: Valorile medii ale rezistenţei la încoviere statică (MOR_{12} , în N/mm^2) a probelor de lemn masiv şi din scânduri reconstituite

Buştean/ Tip epruvete	Poziția pe secțiunea transversală	Poziția pe lungimea buşteanului		Media cumulată și STDEV
		Capătul gros	Capătul subțire	
Buşteanul N° 1				
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare tangențială)	Zona de miez	65.27±3.00	70.47±9.22	67.87±6.11
	Zona mediană	80.82±4.56	72.73±6.67	76.78±5.62
	Zona exterioară	94.34±3.55	91.72±10.97	93.03±7.26
	Media și STDEV	83.1±11.73	81.21±12.25	82.16±11.99
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare radială)	Zona de miez	61.09±3.65	58.68±6.39	59.89±5.02
	Zona mediană	65.52±4.44	70.46±5.63	67.99±5.04
	Zona exterioară	88.49±6.78	79.82±4.62	84.16±5.70
	Media și STDEV	73.82±13.48	71.83±9.47	72.83±11.48
Scânduri încleiate	Zona exterioară	82.98±5.63	81.12±4.82	82.05±5.23
Buşteanul N° 2				
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare tangențială)	Zona de miez	61.28±2.67	61.14±0.73	61.21±1.70
	Zona mediană	65.34±6.89	71.14±8.87	68.24±7.88
	Zona exterioară	94.89±3.94	81.34±6.35	88.12±5.15
	Media și STDEV	76.35±16.44	73.27±10.12	74.81±13.28
Epruvete lemn masiv (pregătite pentru încărcare radială)	Zona de miez	61.01±0.96	61.94±3.68	61.48±2.32
	Zona mediană	66.63±4.01	69.38±5.67	60.97±4.84
	Zona exterioară	85.04±4.33	75.45±7.22	80.24±5.78
	Media și STDEV	72.87±11.08	70.32±7.66	71.59±18.74
Scânduri încleiate	Zona exterioară	85.85±9.22	77.76±4.68	81.81±6.95

După cum se poate observa din Tabelul 4.18, valorile MOR obţinute pentru probele de lemn masiv sunt în bună concordanţă cu valorile din literatura de referinţă, situându-se uşor sub media de $78N/mm^2$ indicată de Holzatlas (2008).

La fel ca şi în cazul MOE, doar în zona exterioră, s-a putut stabili o tendinţă clară de scădere a MOR de la capărul gros spre capatul subţire pe înălţimea buştenului şi, de asemenea, de la zona exterioră la miez, pe secţiunea transversală a acestuia.

Scândurile reconstituite au prezentat, în general, o rezistenţă la încovoiere mai mare sau similară în comparaţie cu lemnul masiv din aceeaşi zonă.

4.3.2 Rezistenţa la forfecare

Ruperea a avut loc atât la epruvetele din lemn masiv cât şi la cele din scândurile reconstituite în zona lemnului timpuriu sau la trecerea de la zona de lemn timpuriu la zona de lemn târziu. În nicio situaţie nu a fost observată localizarea rupturii de-a lungul liniei de încleiere.

Rezistenţa la forfecare a probelor încleiate fost puţin mai mică decât cea a probelor din lemn masiv din acelaşi buştean (Fig. 4.25).

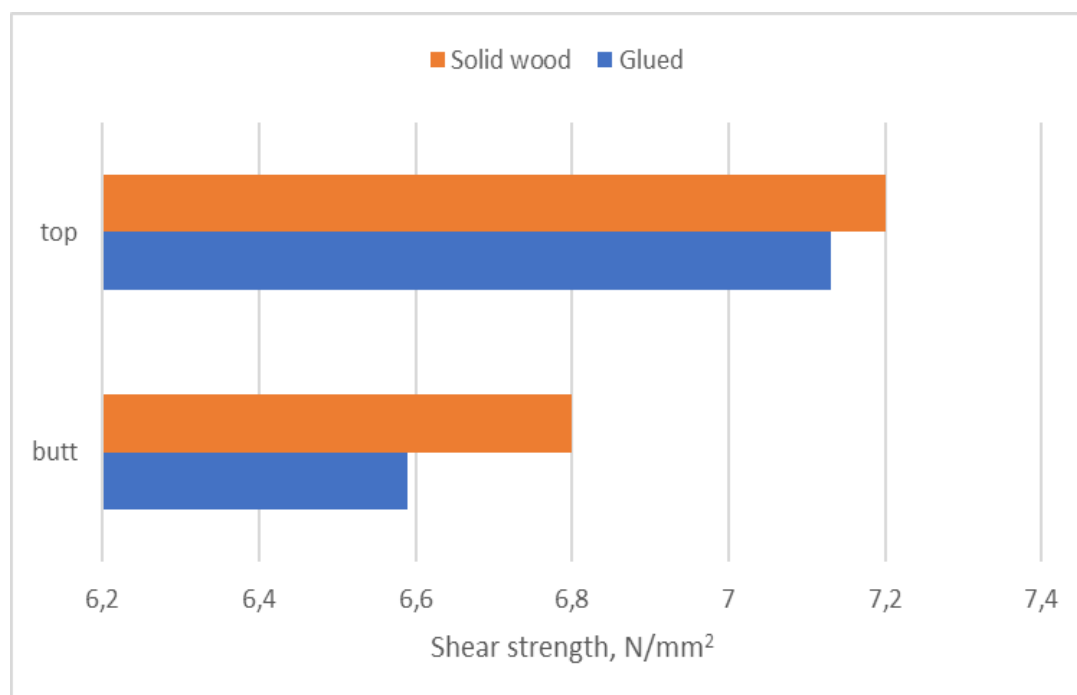


Fig. 4.25: Tendinţa de variaţie a rezistenţei la forfecare pe lungimea buşteanului pentru epruvete din scânduri diin lemn masiv şi scânduri reconstituite

Analiza statistică a rezultatelor (Tabelul 4.29) a arătat că nu există o diferenţă semnificativă între valorile rezistenţei la forfecare ale probelor de lemn încleiate şi cele masive.

Tabelul 4.29: Comparație între rezistența la forfecare a epruvetelor debitate din scândurile de lemn masiv și respectiv din scânduri reconstituite – indicatori statistici

Indicatori statistici	Rezistența la forfecare, N/mm ²	
	Lemn masiv	Scânduri reconstituite
Media	7.05	6.65
Abaterea medie pătratică	0.79	1.06
t Statistic	1.51	
t Critic	2.04	
Nivel de semnificație (α)	0.05	
Valoare p	0.13	

4.3.3 Concluzii

Concluziile cercetării efectuate pot fi rezumate după cum urmează:

- valorile densității, modulului de elasticitate, rezistenței la încovoiere și rezistenței la forfecare obținute pentru probele de lemn masiv (utilizate ca referință pentru probele din scânduri reconstituite) sunt în bună concordanță cu datele din literatură;
- proprietățile de încovoiere ale probelor de lemn masiv sunt proporționale cu densitatea, având valori crescătoare de la centru spre zona exterioară a bușteanului și valori în ușoară scădere de la capătul gros spre capătul subțire al bușteanului;
- densitatea, modulul de elasticitate și rezistența la încovoiere a pieselor reconstituite sunt comparabile cu valorile obținute pentru epruvetele din lemn masiv din zona exterioară;
- prin compararea influenței poziției pe lungime buștenului s-a putut stabili că probele înclinate din zona superioară au avut proprietăți mecanice mai mari (MOR, MOE și τ) decât probele de lemn masiv provenite din aceeași zonă;
- valorile obținute pentru modulul de elasticitate și rezistența la încovoiere la piesele reconstituite au fost mai mici decât la probele de lemn masiv încărcate tangențial, dar ușor mai mari (sau comparabile) cu cele încărcate radial;
- rezistența la forfecare a pieselor reconstituite este comparabilă cu cea obținută pentru probele de lemn masiv.

Cu valori medii pentru MOR=82N/mm², MOE=12300...12800N/mm² și $\tau = 6,65\text{N/mm}^2$, piesele reconstituite pot fi considerate potrivite pentru produsele CLT, având în vedere că, conform CEN EN 338 (2016), valorile minime pentru proprietățile mecanice ale așa-numitelor produse C24 sunt: MOR>24N/mm², MOE>11.000 N/mm² și $\tau > 4\text{N/mm}^2$.

4.4 Recomandări pentru practica industrială

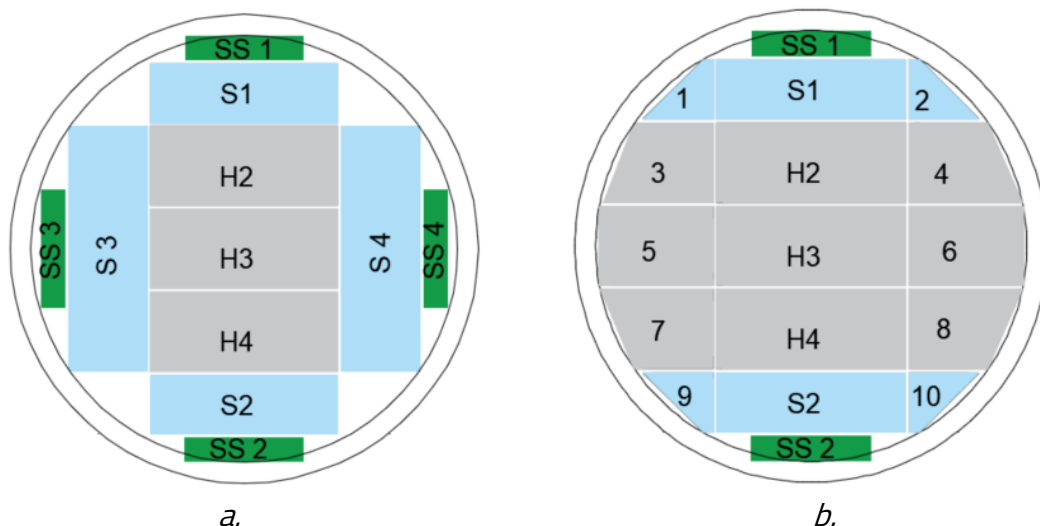
Modelele de debitare ar trebui să fie aliniate la clasele de diametre. În special scândurile laterale trebuie plasate cât mai aproape de marginea diametrului superior. Cu cât intervalul pentru clasele de diametru este mai mic, cu atât mai puține pierderi sunt generate de modelul de tăiere. Cea mai bună combinație de piese centrale și piese laterale de cherestea va susține o cantitate finală mare de cherestea. Dacă clienții vor accepta și piese netivite sau piața va accepta și lungimi mai scurte, acestea trebuie luate în considerare atunci când este proiectat modelul de tăiere.

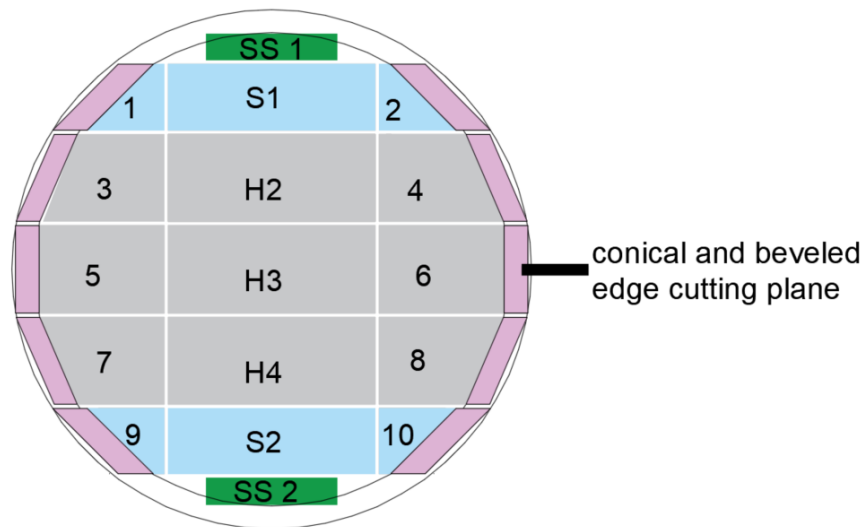
De obicei, în fabricile moderne buștenii se sortează pe diametre în trepte de 10 până la 20mm, ceea ce oferă o mulțime de clase diferite de sortimente. Pentru abaterile de formă, cum ar fi curbura sau conicitatea, este util să se reducă clasa de diametre pentru a obține dimensiunile necesare în timpul debitării.

Fig. 4.27, a prezintă un model de tăiere standard pentru materia primă utilizată pentru produse stratificate din lemn (cum ar fi Glulam sau CLT). Patru scânduri laterale sunt dimensiuni tipice pentru industria ambalajelor. Pentru tăierea cu piese netivite incluse în model (Fig. 4.27, b), se pot folosi un ferăstrău cu bandă și un ferăstrău circular.

Pentru a putea avea piesele (Fig. 4.27, c), linia centrală a scândurii trebuie ajustată în mod corespunzător cu pânza de ferăstrău circular, care trebuie să fie deja reglată cu unghiul corect. În locul unui ferăstrău circular poate fi folosită o unitate de tocat/frezare, care se poate deplasa în direcția x și y în timp ce scândura traversează unitatea.

Pentru a evalua avantajele variantelor prezentate în Fig. 4.27, b și c, în comparație cu modelul standard de tăiere (Fig. 4.27, a), a fost efectuat un calcul de volum. În acest scop au fost utilizate dimensiunile bușteanului N°1.





c.

Fig. 4.27: Modele de debitare pentru un buştean cu conicitate: a - standard, b – cu piese conice netivite; c – cu piese conice tivite sub un unghi de $0...45^\circ$

În acest calcul, a fost luată în considerare suprafaţa de la jumătatea lungii a piesei tăiate de margine conică şi tivită, aşa cum se arată în Fig. 4.28. Rezultatele calculului sunt prezentate în Tabelul 4.30.

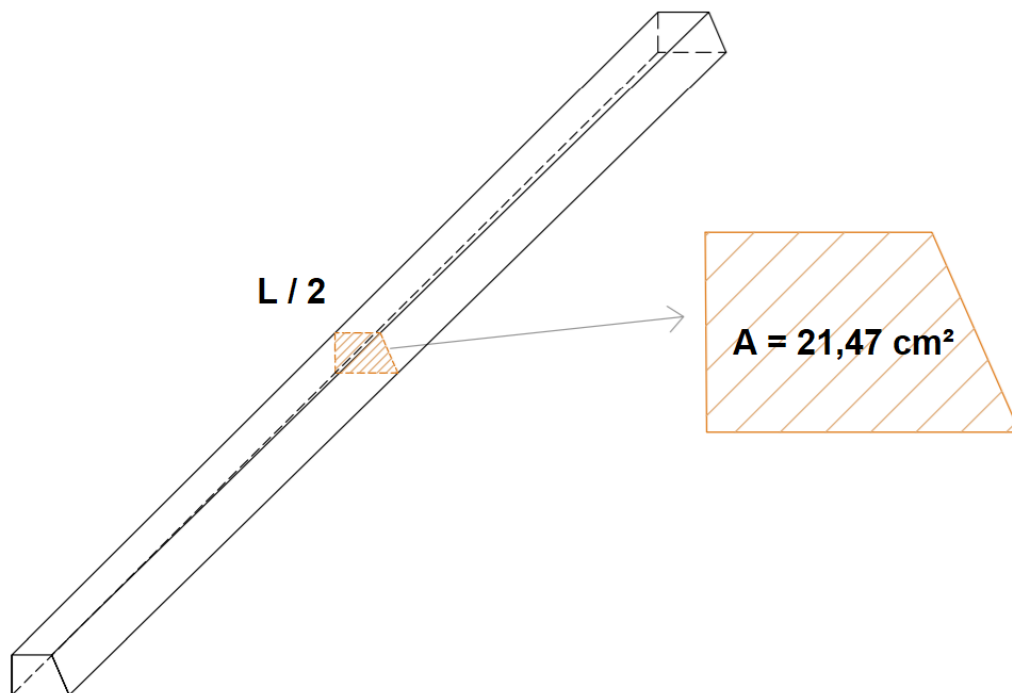


Fig.4.28: Scândură conică tivită sub un unghi

Table 4.30: Randamentul de cherestea dintr-un buştean cu conicitate, pentru cele trei variante ale modelului de debitare

Standard cutting pattern				Beveled edge cutting pattern				Conical and beveled edge cutting pattern			
part Nr.	A [cm ²]	length [cm]	V [cm ³]	part Nr.	A [cm ²]	length [cm]	V [cm ³]	part Nr.	A [cm ²]	length [cm]	V [cm ³]
S1	28,5	300	8.550	S1	28,50	300	8.550	S1	28,50	300	8.550
H2	38	300	11.400	H2	38,00	300	11.400	H2	38,00	300	11.400
H3	38	300	11.400	H3	38,00	300	11.400	H3	38,00	300	11.400
H4	38	300	11.400	H4	38,00	300	11.400	H4	38,00	300	11.400
S2	28,5	300	8.550	S2	28,50	300	8.550	S2	28,50	300	8.550
SS1	7,2	300	2.160	SS1	7,20	300	2.160	SS1	7,20	300	2.160
SS2	7,2	300	2.160	SS2	7,20	300	2.160	SS2	7,20	300	2.160
S3	49,6	300	14.880	1	6,00	300	1.800	1	8,40	300	2.520
S4	49,6	300	14.880	2	6,00	300	1.800	2	8,40	300	2.520
SS3	7,2	300	2.160	3	19,01	300	5.702	3	21,47	300	6.440
SS4	7,2	300	2.160	4	19,01	300	5.702	4	21,47	300	6.440
				5	22,92	300	6.876	5	25,05	300	7.516
				6	22,92	300	6.876	6	25,05	300	7.516
				7	19,01	300	5.702	7	21,47	300	6.440
				8	19,01	300	5.702	8	21,47	300	6.440
				9	6,00	300	1.800	9	8,40	300	2.520
				10	6,00	300	1.800	10	8,40	300	2.520
TOTAL:	299,00		89.700		331,27		99.380		354,98		106.495
		[%]	100				110,79				118,72

După cum se poate observa, randamentul creşte cu 11% atunci când lateralele sunt complet valorizate (cu margine netivă) şi respectiv cu 19% atunci când se valorifică şi conicitatea, prin tivirea teşită şi încheierea în pereche a scândurilor poziţionate în oglindă pe secţiunea transversală a buşteanului.

Capitolul 5

CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

5.1 Concluzii

Prin rezultatele obținute a fost îndeplinit obiectivul general al tezei, acela de a investiga cauzele care duc la pierderile de lemn pe lanțul de prelucrare a lemnului rotund de rășinoase în cherestea, și de a găsi modalități de creștere a eficienței prelucrării.

În primul rând, au fost evaluate pierderile de lemn care apar în urma secționării pieselor de lemn rotund în bușteni mai scurți, de aprox. 3m. S-a constatat că pierderile de lemn sunt date în principal de necesitatea curățării tăieturii (realizate în timpul tăierii arborelui) de la capătul gros. Defecte ale tulpinii sau abateri semnificative de formă duc la pierderi suplimentare de lemn..

Pierderile pot fi reduse prin manipularea precisă efectuată de lucrătorii forestieri, având grijă să se obțină dimensiuni minime ale tăieturii de doborâre (tip pană), împărțirea optimizată a lungimii piesei de lemn rotund și tăierea transversală (secționarea) exactă pe lungimea minimă necesară a bușteanului. Randamentul depinde și de numărul de tăieturi necesare.

Optimizarea poate fi realizată prin mecanizarea procesului de tăiere, deoarece nu va mai fi nevoie de tăietura de doborâre (tip pană). Gama mai flexibilă a lungimilor eligibile va evita generarea de piese prea scurte atunci când tulpina va fi măsurată. În special atunci când defectele sunt poziționate în mijlocul tulpinii, flexibilitatea mai mare a lungimilor eligibile susține o producție mai mare de bușteni.

Apoi, au fost evaluate efectele sortării. S-a constatat că un volum mare a fost distribuit în grupul de bușteni supradimensionați (diametru la capătul gros > 60cm). Deoarece acești bușteni sunt prelucrați cu alte tehnologii, nu au fost luați în considerare în grupul de bușteni de cherestea în calculele efectuate în prezenta cercetare. Acești bușteni sunt utilizați în principal pentru grinzi și stâlpi pentru ferme de acoperiș, necesitând deja lungimea finală necesară pentru proiectul în care sunt instalați.

Grupul de lemn de foc este alcătuit în principal din vârfuri de copac și defecte care nu permit furnizarea buștenului pentru prelucrări industriale. Un bun exemplu din acest motiv sunt tulpinile gemene sau prezența putregaiului.

Pentru a avea o clasificare perfectă a lemnului rotund, experiența și cunoștințele lucrătorilor din zona de sortare sunt esențiale. Gama flexibilă a lungimilor eligibile va sprijini rezultatul optim.

Apoi, s-au evaluat pierderile de lemn care apar ca urmare a cojirii buștenilor selectați. S-a constatat că pierderile de volum au fost acceptabile datorită tehnicii de cojire utilizate.

Pentru a obține rezultate optime, ajustarea presiunii la sculele de cojit este foarte importantă. Este necesar să existe o calitate perfectă a cojirii fără pierderi de fibre de lemn. Punctele de referință de închidere ale echipamentului asigură că buștenii nu sunt deteriorați la capăt și că nu rămâne coajă pe buștean. Viteza de rotație a unității de cojit și unghiurile diferite pentru cuțitele de cojit trebuie ajustate în funcție de perioada anului, deoarece există o diferență uriașă mai ales între anotimpurile de primăvară și iarnă.

În final, a fost evaluată eficiența conversiei buștenilor în cherestea. S-a constatat că randamentul depinde foarte mult de modelul de tăiere ales. Trebuie făcută o combinație perfectă cu contractele existente, în special a proporției de piese centrale și laterale. S-a văzut în mod evident funcția de corelație dintre eficiența conversiei și valoarea conicității pentru două grupuri de diametre care au fost tăiate pe linia industrială VM50 (Linck).

Modelul de tăiere ar trebui să fie realizat în funcție de diametrele disponibile ale buștenilor. Gama mare de produse diferite va susține flexibilitatea pentru a obține modelul optim de tăiere.

Cea mai inovatoare parte a tezei a fost concentrată pe formularea unei soluții pentru creșterea eficienței de conversie a buștenilor de cherestea, având în vedere că tehnologiile actuale sunt deja foarte performante. Chiar și așa, eficiența conversiei lemnului tăiat în cherestea este încă destul de scăzută, iar acest lucru se datorează în principal abaterilor de formă ale buștenului de la forma cilindrică ideală. Căutarea unei soluții de valorificare a scândurilor laterale din bușteni conici a condus la un nou concept și anume acela de a tivii scândurile laterale sub un anumit unghi și a le încheia cu scândurile în oglindă dintr-un astfel de buștean după o rotație anti-paralelă. Astfel, se pot obține piese reconstituite de lățime mai mare decât scândurile originale, care pot fi folosite cu succes ca miezuri pentru CLT sau Glulam.

Cercetările experimentale privind proprietățile mecanice (la încovoiere și forfecare) ale acestor piese reconstituite au arătat că acestea au atributele necesare. Cu o valoare medie de 82N/mm^2 pentru rezistența statică la încovoiere, $12300\text{...}12800\text{N/mm}^2$ pentru modulul de elasticitate și $6,65\text{N/mm}^2$ pentru rezistența la forfecare, piesele reconstituite îndeplinesc cerințele minime pentru C24 (conform CEN EN 338) : 2016), și astfel pot fi considerate potrivite pentru produsele CLT și GL.

Creșterea randamentului lemnului care se poate realiza prin implementarea acestei soluții se ridică până la 19% față de situația în care se aplică un model de tăiere standard.

Recomandări suplimentare care pot crește, de asemenea, eficiența conversiei buștenilor de ferăstrău în cherestea, se referă la următoarele aspecte:

- trebuie acordată mai multă atenție modului de separare a diferitelor clase de diametre. Un număr mai mare de boxe cu intervale de diametre mai mici ar asigura un model de tăiere mai potrivit. Pentru a genera o lățime mai mare pe scândură și acceptarea pentru intervale mai înguste de lungimi poate crește producția finală de cherestea;
- dispozitivele electronice de măsurare și software-ul de optimizare trebuie să fie de ultimă generație pentru o linie de conversie. Datele de bușteni măsurate sunt baza pentru poziția optimizată a buștenilor prin defalcare. Aceste date conectate la unități de frezat flexibile pot fi utilizate și pentru optimizarea numărului și dimensiunilor pieselor laterale;
- optimizarea corpului pânzei de ferăstrău și a feței dintelui, ținând cont de influența mare a grosimii tăieturii asupra randamentului final. Senzorii acustici pot fi instalați pentru a găsi setarea perfectă între viteza de avans, speciile de lemn tăiat, sezon și înălțimile de tăiere.

Prin aceasta, lăţimea optimă a pânzei de ferăstrău poate fi stabilită fără a avea probleme cu variaţiile de tăiere şi durata de viaţă a sculei;

■ dimensiuni suplimentare decât cele contractate ar trebui aranjate în cadrul unor contracte suplimentare mai mici, pentru a permite mai multă flexibilitate. Acest lucru ar duce la un mix bun de produse şi ar putea fi generat un model de tăiere optimizat referitor la diametrul superior al buşteanului. Exemple bune sunt dimensiunile pentru ambalaje, care au de obicei grosimea fixă, dar variază în lăţime;

■ pentru a evita respingerea din cauza unor erori de producţie trebuie asigurată o fixare mecanică perfectă a buştenilor în timpul defectiunii. Sunt esenţiale rolele de alimentare şi unităţile de centrare un număr mare şi bine echipate, prin aceasta se va evita ca viteza de alimentare să fie necontrolată la intrarea în maşinile de prelucrare. În special în perioadele de iarnă, buştenii nefixaţi tind să fie împinşi de către unităţile de frezat în agregatele de ferăstrău, ceea ce duce la distrugerea pânzelor de ferăstrău şi la respingerea cherestea;

■ personalul fabricii de cherestea trebuie să verifice dimensiunile pieselor de cherestea produse în timpul procesului de producţie pentru a vedea dacă toate sculele şi maşinile sunt în bune condiţii. Trebuie efectuate verificări frecvente ale măsurătorilor electronice, dispozitivului de rotire a buştenii, unităţilor de centrare şi de alimentare pentru a evita poziţionarea şi parametrii incorecţi ai programului.

5.2 Contribuţii originale

Contribuţiile originale ale autorului se regăsesc în fiecare parte a tezei. Cele mai importante pot fi rezumate astfel:

■ Sinteza datelor bibliografice privind tehnologiile de conversie a lemnului, din cele mai vechi timpuri până la cele mai recente linii de prelucrare complet automatizate, cu liste de avantaje şi dezavantaje pentru fiecare categorie de echipamente de debitare a buştenilor;

■ Evaluarea (calculul) randamentului cantitativ de lemn dintr-un buştean în funcţie de echipamentul de tăiere şi tipul de pânză;

■ Evaluarea pierderilor de lemn după fiecare etapă a lanţului de prelucrare, de la lemn rotund la cherestea;

■ Stabilirea unei funcţii de corelaţie între eficienţa de conversie a unui buştean în cherestea şi valoarea conicităţii, pentru două grupe de diametre de buşteni;

■ Formularea şi testarea unei soluţii pentru creşterea randamentului de conversie în cherestea a buştenilor cu conicitate;

■ Formularea de recomandări pentru practica industrială.

5.3 Diseminarea rezultatelor

Rezultatele cercetării realizate în cadrul acestei teze de doctorat au fost diseminate printr-un număr de 5 articole științifice, dintre care 4 ca prim autor, publicate în reviste indexate în baze de date internaționale sau prezentate la diferite conferințe internaționale (Tabelul 5.1).

Tabelul 5.1: Publicații din conținutul tezei

Nr.	Autori	Titlu	Publicația	Anul
1	Brandstetter, M. , Campean, M.	Considerations regarding the correlation between the log conversion efficiency and the taper for resinous (fir) logs	Proceedings of International Conference „Wood Science and Engineering in the Third Millennium” - ICWSE 2019, pp. 649-654	2019
2	Brandstetter, M. , Zeleniuc, O., Pei, Gh., Campean, M.	Conversion efficiency of fir roundwood into sawlogs	BioResources 15(3), 5653-5665. DOI: 10.15376/biores.15.3.5653-5665 Revsită indexată ISI	2020
3	Brandstetter, M. , Ispas, M. Campean, M.	Conversion efficiency of fir sawlogs into lumber	PRO LIGNO 16(4): 68-74 Revsită indexată CABI	2020
4	Porojan, M., Brandstetter, M. , Ispas, M., Bedelean, B.,	Research concerning the bending properties of reconstituted spruce lumber boards, obtained by edge-cutting at 45° and gluing	Appl. Sci. 2021, 11(21), 9937, Revsită indexată ISI	2021
5	Brandstetter, M. , Campean, M.	Evaluation of lumber yield as function of the sawing equipment	PRO LIGNO 18(1) Acceptată spre publicare Revsită indexată CABI	2022

5.4 Direcții viitoare de cercetare

Soluția de optimizare propusă ar putea fi testată și pentru lemn de esență tare. Randamentul final de cherestea pentru speciile scumpe de lemn ar putea fi mărit. Noi modele de mobilier ar putea fi generate prin aspectul conic. Sunt necesare cercetări suplimentare pentru înclieirea în stare verde.



BIBLIOGRAFIE (selectivă)

- Berglund, A. (2014). Efficient utilization of sawlogs using scanning techniques and computer modelling, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden
- Blackwell P., Walker J.C.F. (2006). Sawmilling. In: Primary Wood Processing, Principles and Practice, School of Forest and Ecosystem Science, University of Melbourne, Australia
- Brandstetter, M.,** Campean, M. (2019). Considerations regarding the correlation between the log conversion efficiency and the taper for resinous (fir) logs. In: Proceedings of ICWSE 2019, pp. 649-654
- Brandstetter, M.,** Zeleniuc, O., Pei, Gh., Campean, M. (2020). Conversion efficiency of fir roundwood into sawlogs. *BioResources* 15(3), 5653-5665. DOI: 10.15376/biores.15.3.5653-5665
- Brandstetter, M.,** Ispas, M., Campean, M. (2020). Conversion efficiency of fir sawlogs into lumber. *PRO LIGNO* 16(4):68-74
- Brandstetter, M.,** Campean, M. (2022). Evaluation of lumber yield as function of sawing equipment. *PRO LIGNO* 18(1). Accepted for publication in March 2022.
- Budau, G., Ispas, M. (2014). Maşini-unelte pentru prelucrarea lemnului. Editura Lux Libris, Braşov. ISBN 978-973-131-302-3
- CEN EN 338: 2016. Structural Timber - Strength Classes
- Chao, L., Hugh, B., Shongming, H., Harinder, H., Sirak, G. (2013). Sensitivity of predictions of merchantable tree height, log production, and lumber recovery to tree taper. *The forest chronicle*, Vol. 89(6),
- Dogaru, V. (1981). Aşchiera lemnului şi scule aşchietoare (Wood cutting and cutting tools, in Romanian language). EDP Publishing House, Bucharest
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020a). Forest products statistics. Facts and figures (<http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/en/>), Accessed 31 March 2020
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020b). Forest product conversion factors (<http://www.fao.org/3/ca7952en/CA7952EN.pdf>), Accessed 23 May 2020
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2018). The state of the world's forests 2018 - Forest pathways to sustainable development (<http://www.fao.org/3/i9535en/i9535en.pdf>), Accessed 25 Feb 2020
- Fronius, K. (1965). Die Arbeit am Gatter und an anderen Sägewerksmaschinen. Holz-Zentralblatt Verl. -Ges.; ISBN B0000BIA5P



- Fronius, K. (1989). Spaner, Kreissägen, Bandsägen, Arbeiten und Anlagen im Sägewerk. Band 2. DRW-Verlag Stuttgart; ISBN 3 – 87181 – 332 – X
- Fronius, K. (1991). Gatter, Nebenmaschinen, Schnitt- und Restholzbehandlung: Arbeiten und Anlagen im Sägewerk. Band 3. DRW-Verlag Stuttgart; ISBN 3 – 87181 – 333 – 8
- Grönlund, A., Flodin, J., Vikberg, T., Nytrom, J., Lundgren, N., (2009). Monitoring of lumber size, shape and mismatch in double arbour saws – Development and validation of a scanning equipment. In: Proceedings of the 19th International Wood Machining Seminar, Nanjing Forestry University
- Heinzmann, B., and Barbu, M.-C. (2017). Effect of mid-diameter and log parameters on the conversion factor of cubic measure to solid measure concerning industrial timber. *Pro Ligno* 13(1), 39-44.
- Holzatlas (2008) Fachbuchverlag Leipzig, Carl Hanser Verlag Munchen-Wien. Edited by: Wagenführ, R.
- ISO 3129: 2012. Wood – Sampling Methods and General Requirements for Physical and Mechanical Testing of Small Clear Wood Specimens.
- ISO 13061-3: 2016. Determination of Ultimate Strength in Static Bending.
- ISO 13061-4: 2016. Determination of Modulus of Elasticity in Static Bending.
- Jauk, G. (2019). Hörbare Verbesserung: Akustische Sägeblattüberwachung zahlt sich aus“ *Holzkurier* 44.19
- Jüttemann, H. (1984). Alte Bauernsägen im Schwarzwald und in den Alpenländern. Verlag G.Braun, Karlsruhe, ISBN: 3-7650-9020-4
- Kollmann, F. (1951) Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2. Auflage; Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg,
- Kumar, V.S.; Sharma, C.M.; Gupta, S. (2015) Compression and Flexural Properties of Finger Jointed Mango Wood Sections. *Maderas. Ciencia y tecnología* **2015**, 17(1):151-160
- Lundhal, C. G. (2009). Total Quality management in Sawmills. Luleå University of Technology Division fo Wood Science and Technology
- Möhringer, S. (2006). Innovative Lösungen zum Einschnitt von Starkholz. *Swiss Forestry Journal* 157 (12), 546 – 550
- Ojo A. R., Olayiwola, Y. B., Owoloja, A. O. (2019). Influence of log form on conversion efficiency of some sawmills in Oluyole local government of Oyo state, Nigeria. *International Journal of Agriculture and Plant Science* 1(4), 14-18
- Porojan, M. (2010). Anatomia lemnului (Wood Anatomy, in Romanian language). Transilvania University of Brasov



- Porojan, M., **Brandstetter, M.**, Ispas, M., Bedeleian, B., Campean, M. (2021). Research concerning the bending properties of reconstituted spruce lumber boards, obtained by edge-cutting at 45° and Gluing. Appl. Sci. 2021, 11(21), 9937, <https://doi.org/10.3390/app11219937>
- Rais, A., Ursella, E., Vicario, E., Giudiceandrea F. (2017). The use of the first industrial X-ray CT scanner increases the lumber recovery value: case study on visually strength-graded Douglas-fir timber. Ann. of Forest Science 74, 28 (2017). <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0630-5>
- SR 1294:1993 (1993). Resinous roundwood for industry (in Romanian language). Romanian Standardization Association, Bucuresti, Romania
- Stangle S.M., Bruchert F., Heikkila A., Usenius T., Sauter U. (2015). Potentially increased sawmill yield from hardwoods using X-ray computed tomography for knot detection. Annals of Forest Science (2015) 72, 57-65
- Steele, P.H. (1984). Factors Determining Lumber Recovery in Sawmilling. Gen. Tech. Rep. FPL 39. Madison, WI; US. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory
- Steele, P.H., Wade, M.W., Bullard, S.H., Araman, P.A. (1992). Relative kerf and sawing variation values for some hardwood sawing machines. Forest Products Journal 42(2):33-39
- Tulokas T., Tannous J. (2010). Research Method and Improvement of Log Rotation in Sawmills. Silva Fennica 44(1), 141-154
- Vuorilehto J. (2002). Quality yield capability of a breakdown sawing process. Forest products Journal Vol. 52(4), 77-81
- Witkowska, J., and Jodłowski, K. (2018). Determining the conversion factors for selected lengths of medium-sized pine and spruce wood in the S2 group. Forest Research Papers 79(1), 69-76. DOI: 10.2478/frp-2018-0008
- Zeleniuc, O. (2010) Cherestea (Timber, in Romanian language). Publishing House of Transilvania University, Brasov. ISBN 978-973-598-590-5

SCURT REZUMAT

Teza de doctorat intitulată „Optimizarea tehnologiei de debitare a lemnului rotund de răşinoase în vederea creşterii randamentului de debitare” arată posibile evoluţii în eficientizarea producţiei şi mai buna valorificare a materiei prime lemnoase.

Obiectivul principal al tezei de doctorat este găsirea unor posibilităţi de creştere a eficienţei lanţului de prelucrare a lemnului rotund răşinos în cherestea. Analiza a început la locul de recoltare, după doborârea a 13 bucăţi de lemn rotund de brad (*Abies alba*). A fost evaluat potenţialul de creştere a randamentului la secţionarea acestora în buşteni, apoi la sortarea buştenilor şi apoi la cojirea acestora, înainte de a fi continuată conversia în cherestea.

Randamentul mediu de lemn după secţionare, sortare şi cojire a fost de 70,5%. Eficienţa conversiei buştenilor în cherestea a variat între 53 % şi 66%. În procesul debitării buştenilor în cherestea s-a observat că unul dintre cei mai importanţi factori care influenţează negativ randamentul de debitare este conicitatea buştenilor.

Drept urmare, cea de-a doua parte a cercetării experimentale a fost îndreptată spre producţia şi testarea unei soluţii de creştere a randamentului de conversie al buştenilor cu conicitate, prin realizarea de scânduri reconstituite după încleierea a câte două scânduri laterale conice rezultate la debitare, rotite cu 180°. Pentru a afla dacă aceste produse ar îndeplini cerinţele standard pentru cherestea structurală conform CEN EN 338 (2016), au fost evaluate densitatea, rezistenţa la încovoiere statică (MOR) şi modulul de elasticitate (MOE), precum şi rezistenţa la forfecare (τ).

Cu valori medii pentru $MOR=82N/mm^2$, $MOE=12300...12800N/mm^2$ şi $\tau = 6,65N/mm^2$, elementele reconstituite pot fi considerate potrivite pentru produse de tip CLT şi Glulam, având în vedere că, conform CEN EN 338 (2016), valorile minime pentru proprietăţile mecanice ale aşa-numitelor produse C24 sunt: $MOR>24N/mm^2$, $MOE>11.000 N/mm^2$ şi $\tau > 4N/mm^2$.

Randamentul de valorificare a cherestelei creşte cu 11% atunci când scândurile laterale sunt valorificate în totalitate (cu canturi netivite), şi cu până la 19% atunci când se valorifică şi forma conică a buştenului, faţă de modelul de tăiere clasic.