

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Design de Mobilier şi Inginerie a Lemnului

Iulia-Teodora DEACONU

**Cercetări privind comportamentul la
uscare al cherestelei din lemn de cer
(*Quercus cerris* L.)**

**Researches regarding the drying
behaviour of Turkey oak (*Quercus
cerris* L.) lumber**

REZUMAT

Conducător ştiinţific

Prof.dr.ing. Mihaela CÂMPEAN

BRAŞOV, 2025

CUPRINS

	Pag.
INTRODUCERE	4
CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND PARTICULARITĂȚILE DE STRUCTURĂ, PROPRIETĂȚILE ȘI COMPORTAMENTUL LA USCARE AL LEMNULUI DE CVERCINEE	5
1.1 Lemnul de cvercinee –areal de răspândire	5
1.2 Cercetări privind structura, compoziția chimică și proprietățile lemnului de cvercinee	5
1.2.1 Structura anatomică	6
1.2.2 Compoziția chimică	6
1.2.3 Proprietățile fizico-mecanice	7
1.3 Stadiul actual al cercetărilor privind uscarea lemnului de cvercinee	7
CAPITOLUL 2 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	11
CAPITOLUL 3 SONDAJ PRIVIND USCAREA INDUSTRIALĂ A CHERESTEII DE CVERCINEE	12
3.1 Motivație și obiective	12
3.2 Metoda	12
3.3 Rezultate și discuții	12
3.4 Concluzii	14
CAPITOLUL 4 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PARTICULARITĂȚILE ANATOMICE ȘI O SELECȚIE DE PROPRIETĂȚI FIZICE ȘI CHIMICE ALE LEMNULUI DE CER RELEVANTE ÎN PROCESUL DE USCARE	15
4.1 Motivație și obiective	15
4.2 Caracteristici de structură	15
4.2.1 Material, metodă, aparatură	15
4.2.2 Rezultate și discuții	17

4.3 Compoziția chimică	19
4.3.1 Material, metodă, aparatură	19
4.3.2 Rezultate și discuții	20
4.4 Proprietăți fizice	22
4.4.1 Material, metodă, aparatură	22
4.4.2 Rezultate și discuții	22
4.5 Concluzii	23
CAPITOLUL 5 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAMENTUL LA USCARE AL CHERESTELEI DE CER COMPARATIV CU ALTE SPECII DE CVERCINEE	23
5.1 Cercetări exploratorii privind uscarea cherestelei de cvercinee	23
5.2 Cercetări experimentale privind comportamentul la uscare al lemnului de cer	27
5.2.1 Material, metodă, aparatură	27
5.2.2 Rezultate experimentale privind uscarea naturală a lemnului de cer	29
5.2.3 Rezultate experimentale privind uscarea artificială a lemnului de cer	33
5.2.4 Interpretarea rezultatelor și formularea regimurilor optime de uscare	38
5.3 Uscarea industrială a unei șarje de cherestea de cer și stejar pentru validarea regimului propus	41
5.3.1 Material, metodă, aparatură	41
5.3.2 Rezultate și discuții	42
5.3.3 Concluzii	45
CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	47
6.1 Concluzii generale	47
6.2 Contribuții originale	48
6.3 Diseminarea rezultatelor	49
6.4 Direcții viitoare de cercetare	50
BIBLIOGRAFIE (selecție)	50

INTRODUCERE

Uscarea lemnului din specii de cvercinee a reprezentat mereu o provocare pentru industrie deoarece acestea sunt specii lemnoase cu densitate mare şi structură neomogenă, cu pori aşezaţi tipic inelar, care dezvoltă tensiuni interne mari în timpul uscării, fiind predispuse la crăpare. Chiar şi atunci când se aplică condiţii blânde de uscare, crăpăturile sunt frecvente, în special la sortimentele cu grosimi mari.

Noutatea şi actualitatea prezentei teze de doctorat vizează investigarea unei specii de cvercinee mai puţin studiate, respectiv lemnul de cer (*Quercus cerris* L.) în vederea găsirii unor soluţii de valorificare superioară, având în vedere că, în prezent, lemnul de cer este folosit preponderent ca lemn de foc, deşi este un lemn cu densitate şi durabilitate mare şi are un aspect deosebit. Pornind de la aceste premise, prezenta cercetare s-a orientat către optimizarea procesului de uscare al acestei specii, respectiv către stabilirea unor regimuri de uscare care să permită atât minimizarea defectelor de uscare, cât şi reducerea duratei de uscare.

În România, cvercineele ocupă circa 18% din totalul suprafeţei împădurite (<https://www.qdidactic.com/bani-cariera/agricultura/silvicultura/specii-foioase-autohtone-fagul-cvercineele-castanul-557.php>). Speciile prezente în pădurile din România sunt Stejarul pedunculat (*Quercus robur* L.); Gorunul (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.); cerul (*Quercus cerris* L.); gârniţa (*Quercus frainetto* Ten.); stejarul pufos (*Quercus pubescens* Willd); stejarul roşu (*Quercus rubra* L.); stejarul brumăriu (*Quercus pedunculiflora* (K.Koch) Menitski).

Dintre acestea, primele trei constituie specii de importanţă industrială: gorunul ocupă o proporţie de cca. 10,8% din totalul suprafeţei împădurite a României, cerul 2,9%, iar stejarul pedunculat 2,2%, (<https://silvanews.ro/silvicultura/silvotehnica/cata-padure-mai-avem-romania/>). Volumul de masă lemnoasă recoltat anual este de cca. 2,2 milioane m³ (https://insse.ro/cms/sites/default/files/field/publicatii/statistica_activitatilor_din_silvicultura_in_anul_2022.pdf).

Din lemnul acestor specii se obţine cherestea de calitate ridicată, care, atunci când este uscată corespunzător, este o materie primă valoroasă destinată fabricării mobilei şi mobilei de artă, iahturilor, traverselor de cale ferată, precum şi în construcţii şi amenajări interioare.

Aceasta evidenţiază oportunitatea şi importanţa economică a temei abordate, care se încadrează în Planul Naţional de Cercetare, Dezvoltare şi Inovare 2022-2027, la prioritatea tematică „Domenii naţionale de specializare inteligentă” – prioritate menită dezvoltării punctelor forte ale cercetării şi inovării în direcţia adaptării la nevoile mediului de afaceri (<https://www.mcid.gov.ro/wp-content/uploads/2022/12/hg-aprobare-pncdi-iv.pdf>).

CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND PARTICULARITĂȚILE DE STRUCTURĂ, PROPRIETĂȚILE ȘI COMPORTAMENTUL LA USCARE AL LEMNULUI DE CVERCINEE

1.1 Lemnul de cvercinee –areal de răspândire

Genul *Quercus* este cel mai important gen de arbori din emisfera nordică. Există aproximativ 600 de specii care aparțin acestui gen (Mabberley 2008), dintre care doar patru specii sunt native în Europa Centrală: stejarul pedunculat, gorunul, cerul și stejarul pufos (Leuschner și Ellenberg 2017).

Stejarul și gorunul au o largă arie de răspândire în Europa de la țările sudice și până în Scandinavia. Aria de răspândire a cerului este mai restrânsă, fiind concentrată în Europa de Sud și Asia Mică (De Rigo *et al*/ 2016), dar include și țări precum Anglia, Italia, Turcia, Țările Balcanice și Liban (Stafasani și Toromani 2015; Najib *et al*/ 2021).

În România, pentru stejar și gorun nu se poate delimita un areal exact. Cele două specii sunt răspândite pe întreaga suprafață a țării, în pădurile de foioase, la deal și la munte. Cerul este răspândit în zona de silvostepă, la câmpie în zona Munteniei și Olteniei. În Transilvania și Banat întâlnim această specie în zona de deal. Pe lângă aceste zone cerul se întâlnește și în Munții Apuseni și sudul Dobrogei.

1.2 Cercetări privind structura, compoziția chimică și proprietățile lemnului de cvercinee

1.2.1 Structura anatomică

Conform clasificării realizate de Richter și Dalwitz (2000), cerul face parte din grupa stejarilor roșii, având duramenul de culoare brun-cenușiu-roșiatică, în timp ce stejarul și gorunul fac parte din grupa stejarilor albi, având duramenul de culoare mai deschisă, maro-gălbui.

Conform cheii de identificare macroscopică a speciilor lemnoase (Ghelmeziu 1959), atât cerul cât și stejarul, sunt specii de foioase tari, cu structură complexă și neuniformă, cu pori așezați tipic inelar, cu trecere bruscă de la mărimea porilor din lemnul timpuriu spre cea a porilor din lemnul târziu.

Inelele anuale sunt distinct delimitate, cu contur în general regulat, cu diferență între lemnul timpuriu și lemnul târziu.

Razele (razele medulare) sunt clar vizibile cu ochiul liber, de două mărimi: late, bine vizibile cu ochiul liber și înguste, foarte fine, abia vizibile cu lupa; pe secțiunea radială, apar sub forma unor benzi late, continue sau întrerupte, lucioase ("oglinzi"), așezate transversal pe inelele anuale, iar pe secțiunea tangențială se prezintă sub forma unor linii longitudinale groase, dese, cu lungimea de până la 25mm, frecvent de cca.10mm (la cer), și respectiv depășind uneori 30mm la stejar.

Prezintă parenchim lemnos apotraheal, fin, dispus în rânduri tangențiale subțiri, vizibile cu lupa.

Pentru lemnul de cer, Manetti (2002) a determinat lățimea inelelor pentru 46 de arbori din 5 regiuni diferite din centrul și sudul Italiei, obținând valori de 2,2-2,9 mm pentru primii 15 ani de creștere, ca apoi lățimea să scadă la 1,5-1,7 mm în următorii 10 ani. Pentru lemnul de cer provenit din patru locații diferite din Ungaria, Govina *et al* (2023) indică valori mai mici, cuprinse între 1,1-1,6mm în alburn și 1,6-2,3 mm în duramen. Valori și mai mici au fost indicate de Nunes (2017) care a studiat elementele anatomice ale lemnului de cer din două regiuni diferite din Kosovo. Ea a obținut valori de 1,21-1,76 mm pentru lățimea inelelor anuale.

De asemenea, Nunes (2017) a măsurat diametrul porilor în lemnul târziu (72-73 μm) și în lemnul timpuriu (274-279 μm), obținând o valoare medie de 134-135 μm , puțin mai mici decât cele obținute de Carvalho (1997): 150-210 μm , pentru aceeași specie. Govina *et al* (2023) a determinat diametrul vaselor pentru lemn de cer provenit din plantații situate în regiunea Vas din vestul Ungariei. El a înregistrat valori mai mari decât cele indicate în ambele surse amintite anterior, și anume: 111,44-236,87 μm în lemnul târziu, respectiv 307,31-448,74 μm în lemnul timpuriu.

Imaginile microscopice publicate de Merela și Cufar (2013) pentru lemnul de duramen de gorun și cer evidențiază o diferență anatomică importantă între cele două specii și anume faptul că pereții vaselor sunt mai groși la lemnul de cer.

1.2.2 Compoziția chimică

Conform Holzatlas (2008), lemnul de stejar/gorun este alcătuit din celuloză (37,6...42,8%), lignină (24,9...34,3%) și hemiceluloze, conținutul total de polizaharide (holoceluloză) fiind de 73,2...78,7%. Pe lângă acestea, în lemnul de stejar se mai găsesc și substanțe extractibile, preponderant taninuri (3...13%) și cenușă (0,3...0,6). Pentru lemnul de cer, Fodor și Hofmann (2024) au obținut compoziția chimică prezentată în Tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Compoziția chimică a lemnului de cer (valoarea medie și abaterea medie pătratică)
(Fodor și Hofmann 2024)

	Holoceluloză	Hemiceluloze	Alfa-celuloză	Lignina	Substanțele extractibile
Alburn	77,87 (0,08)	29,66 (0,95)	48,21 (0,87)	16,27 (0,23)	4,89 (0,09)
Duramen	75,96 (1,91)	31,73 (4,65)	44,23 (2,74)	16,20 (1,60)	5,09 (0,11)

Pentru duramenul de cer, Bajraktari (2018) a raportat un conţinut total de substanţe extractibile de 6,7%. Stefasani *et al* (2018) a determinat conţinutul de substanţe extractibile pentru lemnul de cer, în apă caldă, pe mostre de rumeguş (50% alburn, 50% duramen), obţinând o valoare medie de $7,03 \pm 1,83\%$.

1.2.3 Proprietăţile fizico-mecanice

Sintetizând valorile indicate de literature de specialitate în ceea ce priveşte proprietăţile fizico-mecanice se poate concluziona că:

- Densitatea lemnului din duramenul de cer este mai mare decât cea a lemnului din duramenul de stejar/gorun, situându-se în intervalul $720 - 870 \text{ kg/m}^3$, cu o medie de 802 kg/m^3 comparativ cu lemnul de stejar care are densitatea în stare anhidră de $390 \dots 650 \dots 930 \text{ kg/m}^3$ (Holzatlas 2008);
- Contragerea lemnului de cer este mai mare decât cea a lemnului de stejar/gorun, contragerea volumică situându-se în intervalul $16,0 - 19,2\%$, cu o medie de $17,9\%$ faţă de lemnul de stejar caracterizat de un coeficient de contragere volumică $12,6 - 15,6\%$;
- Umiditatea de saturaţie a fibrei pentru duramenul de stejar se situează în jurul valorii de 22% (Trendelenburg şi Mayer-Wegelin 1955). Pentru lemnul de cer nu s-au găsit date în literatura de specialitate;
- În cazul coeficientului de anizotropie, singura sursă care oferă date pentru lemnul de cer este Wood Database cu valoarea de $\beta_t/\beta_{r, \text{cer}} = 1,7$, mai mică decât cea indicată de literatura de specialitate (Holzatlas 2008) pentru lemnul de stejar ($\beta_t/\beta_{r, \text{stejar}} = 1,95 \dots 2,17$);

Având în vedere densitatea mai mare este de aşteptat ca uscarea lemnului de cer să decurgă mai lent decât cea a lemnului de stejar. Coeficienţii mai mari de contragere anunţă un risc mai mare de producere a crăpăturilor în timpul uscării. Având în vedere anizotropia contragerii mai redusă la lemnul de cer, este posibil ca această specie să aibă o defomabilitate mai mică decât lemnul de stejar.

1.3 Stadiul actual al cercetărilor privind uscarea lemnului de cvercinee

Uscarea lemnului are ca scop eliminarea apei din lemn în vederea reducerii umidităţii lemnului până la o valoare corespunzătoare condiţiilor practice de utilizare (de exemplu: $10 \pm 2\%$ pentru mobilă şi alte produse de interior).

Lemnul de cvercinee este recunoscut ca fiind printre speciile europene cu cea mai mare dificultate la uscare (*e.g.* Cividini 2001, Denig *et al* 2000, Ferrari *et al* 2013, Hildebrand 1979, Janic 1965, Joyet şi Meunier 1996, Marinescu 1979, Trübswetter 2006). Acest lucru este datorat structurii neomogene şi diferenţei mari de densitate caracteristică speciilor de foioase cu pori aşezaţi tipic inelar, la care vasele din lemnul timpuriu sunt mai mari şi mai

numeroase şi care conţin foarte puţine fibre. Drept urmare lemnul dezvoltă tensiuni interne mari în timpul uscării, facilitând astfel apariţia crăpăturilor (Câmpean şi Lăzărescu 2016).

Principalele defecte care pot apărea în urma uscării lemnului, cauzele, precum şi metodele de prevenire şi remediere, sunt: neuniformitatea umidităţii finale, cementarea suprafeţei, crăpăturile de suprafaţă (Fig.1.12, a), crăpăturile interioare (Fig.1.12, b), crăpăturile de capăt (Fig.1.12, c), deformaţiile (Fig.1.12, d), petele de şipcă (Fig.1.12, e), petele de condens (Fig. 1.12, f), alte coloraţii anormale (Fig. 1.12, g).



a.



b.



c.



d.



e.



f.



g.



h.

Fig. 1.12 Defecte de uscare. a- crăpături de suprafaţă; b- crăpături interioare; c- crăpături de capăt; d- deformaţii; e- pete de şipcă; f- pete condens (Trübswetter 2006); g- coloraţii la reacţia cu metalul (Trübswetter 2006); h- coloraţii enzimatice

Uscarea în aer liber, numită şi uscare naturală, este cel mai vechi procedeu de uscare, cunoscut şi aplicat încă din antichitate. Acest procedeu constă în expunerea cherestelei, stivuite corespunzător în aer liber sau sub şoproane deschise, acţiunii vântului.

Valoarea umidităţii finale la care lemnul poate ajunge prin uscare naturală depinde de anotimp şi factorii climatici specifici zonei, care determină umiditatea de echilibru. În condiţiile ţării noastre, având în vedere mediile anuale, umiditatea de echilibru este de 12-15%.

Durata de uscare în aer liber la speciile de foioase tari poate ajunge la peste trei ani (ex.: în cazul stejarului), având în vedere ca pe durata iernii (noiembrie-martie), uscarea practic stagnează. Din acest motiv, uscarea naturală nu poate fi utilizată ca metodă exclusivă de uscare (până la umiditatea finală) decât în zonele cu climă caldă.

În Europa şi la noi în ţară ea se practică preponderent ca metodă de preuscare (zvântare), în special în cazul sortimentelor de foioase tari.

După reducerea umidităţii până la o valoare apropiată de punctul de saturaţie al fibrei, stivele sunt introduse în instalaţii şi uscate artificial până la valoarea finală dorită.

Uscarea artificială. Pentru reducerea duratei de stocare a materialului şi a duratei de uscare, în prezent se practică pe scară largă, chiar şi la speciile de cvercinee, uscarea artificială a cherestelei, de la stare verde. Principalele procee de uscare artificială sunt: uscarea convenţională, uscarea cu desumificarea aerului prin condensare, uscarea la temperaturi înalte, uscarea în vid uscarea în CIF şi uscarea cu microunde (Câmpean 2002).

Pentru uscarea diferitelor specii de cvercinee cel mai potrivit procedeu de uscare este cel în vid şi vapori supraîncălziţi (care asigură o durată scurtă şi calitate foarte bună).

Tendinţa de crăpare a lemnului de cer a dus la reticenţa industriei de a valorifica industrial această specie lemnoasă (Todaro *et al*/2012, Tolvaj *et al*/2006, Ferrari *et al*/2013). Au existat încercări de reducere a tensiunilor interne specifice prin aburire (Todaro *et al*/2012). Acest tratament termic reduce higroscopicitatea lemnului şi atenuează diferenţa de culoare în cuprinsul aceleiaşi scânduri de cherestea (care conţine atât duramen cât şi alburn). Cele mai bune rezultate pentru reducerea umidităţii de echilibru şi uniformizarea culorii au fost obţinute atunci când aburirea s-a făcut la 120°C timp de 18h. Este de asemenea cunoscut faptul că aburirea are un efect favorabil asupra uscării, în special la foioase datorită desfundării porilor. Acest lucru se întâmplă datorită plastifierii temporare a lemnului şi facilitează eliminarea apei într-un timp mai scurt şi reducerea riscului de producere a crăpăturilor.

Ferrari *et.al.* (2013) a aplicat asupra lemnului de cer un tratament combinat, de aburire şi uscare în vid. Materialul lemnos utilizat a provenit din buşteni proaspăt tăiaţi. Aceştia au fost

aburiți la o temperatură de 110°C și o presiune de 140 kPa timp de 24h, apoi răciți timp de 5 zile și tăiați în cherestea. Scândurile au fost zvântate timp de 5 luni, până a fost atinsă umiditatea de 20-25%. Jumătate dintre acestea au fost uscate în vid prin presare (Press Vacuum Plant), iar cealaltă jumătate de piese au fost termotratate în vid și vapori supraîncălziți (prin procedeul Termovuoto®). Scândurile uscate prin presare nu s-au deformat. Cele termotratate s-au închis la culoare. Aburirea de la început a avut un efect decisiv asupra reducerii umidității de echilibru. S-a constatat că atât uscarea, cât și tratarea s-au realizat fără defecte. Doar scândurile care au conținut noduri au avut crăpături severe pe toată lungimea.

Întrucât în România uscarea în vid a cherestelei este încă foarte puțin răspândită, prezenta teză de doctorat s-a orientat prioritar spre optimizarea uscării convenționale (cu aer cald) și investigarea unor regimuri optime pentru acest procedeu.

Uscarea convențională este un procedeu de uscare prin convecție cu aer cald la temperaturi sub 100°C și presiune atmosferică. Conducerea uscării se face în funcție de umiditatea lemnului. Parametrii de regim sunt: temperatura umiditatea aerului și viteza aerului.

Pentru lemnul de cer literatura de specialitate nu oferă date cu privire la regimuri de uscare ce ar putea fi aplicate. Majoritatea firmelor care usucă cherestea de cer apelează la similitudinea genului (*Quercus*) și aleg un regim recomandat de softul respectiv pentru cherestea de stejar. Din acest motiv documentarea din prezenta teză a fost concentrată asupra regimurilor de uscare recomandate pentru această specie.

Literatura mai veche (Dumitrescu *et al*/ 1969, Hildebrand 1979, Janik 1965, Marinescu 1979, Sergovski 1968, STAS 10349/1-87) recomandă încălzirea inițială cu temperaturi ridicate de 50-60°C și umiditate relativă $\varphi=100\%$. Condiția din urmă era posibil de realizat în cazul umezirii cu vapori nu însă și la umezirea cu apă rece. Având în vedere că umezirea cu apă rece este folosită aproape exclusiv în prezent, regimurile mai noi (Cividini 2001, Trübswetter 2009) recomandă valori mai mici ale umidității relative a aerului, în jur de 85% și temperaturi mai mici (30-35°C). Și în cazul uscării propriu-zise, literatura mai veche recomandă temperaturi mari, atât în domeniul eliminării apei libere, cât și al apei legate și un gradient de uscare $GU \geq 2$. Literatura mai recentă recomandă limitarea temperaturii la cca. 30-35°C până la atingerea umidității critice, menținând în același timp umiditatea de echilibru la valoare 18% ($\varphi=85\%$). Abia în domeniul eliminării apei legate i se permite temperaturii să urce la valoarea de 60°C (eventual 70°C la piesele cu grsoimi sub 40mm), cu condiția menținerii gradientului de uscare la valoarea $GU=1,5$.

Hildebrand (1979) este singura sursă bibliografică în care se prezintă regimuri diferențiate pentru stejar și gorun. Se observă că regimul recomandat pentru stejar este mai blând. El utilizează o temperatură de început de 51°C față de 60°C la gorun, iar temperatura maximă la finalul procesului este de 67°C față de 72°C propusă la gorun.

Durata reprezintă un parametru de regim doar în fazele de încălzire, condiționare (echilibrare) și răcire, în timp ce durata uscării propriu-zise este dictată de ritmul de scădere a umidității lemnului specifică fiecărei șarje individuale. Durata perioadei de încălzire depinde de suprafața instalației de încălzire și de parametrii agentului termic. Pentru cherestea de foioase tari, această durată se poate considera 1,5h/cm grosime. Durata perioadei de condiționare se recomandă a fi o zecime din durata uscării propriu-zise. Durata perioadei de răcire se va considera egală cu durata încălzirii inițiale.

Durata de uscare determină decisiv consumul energetic. Joly (1980) și Hess (1987) indică un consum specific de energie termică de 375 kWh/m³, 170 kWh/m³ la energia electrică și un consum specific total de 545 kWh/m³ la uscarea convențională a cherestelei de foioase tari. Pentru stejar cu o grosime de 25mm uscat de la stare verde la o umiditate finală de 8%, literatura indică un consum specific total de 560-700 kWh/m³ (Câmpean și Lăzărescu 2016) sau 2,5kWh/kg_{apă} (Joyet 1996).

Informațiile din literatura de specialitate au fost utilizate ca referință și punct de pornire în elaborarea regimurilor de uscare a lemnului de cer abordate în cadrul capitolului 5 al prezentei teze de doctorat.

CAPITOLUL 2. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivul general al prezentei cercetări l-a constituit investigarea comportamentului la uscare a lemnului de cer comparativ cu alte specii de cvercinee. Obiectivele specifice propuse sunt prezentate schematic în Fig .2.1.

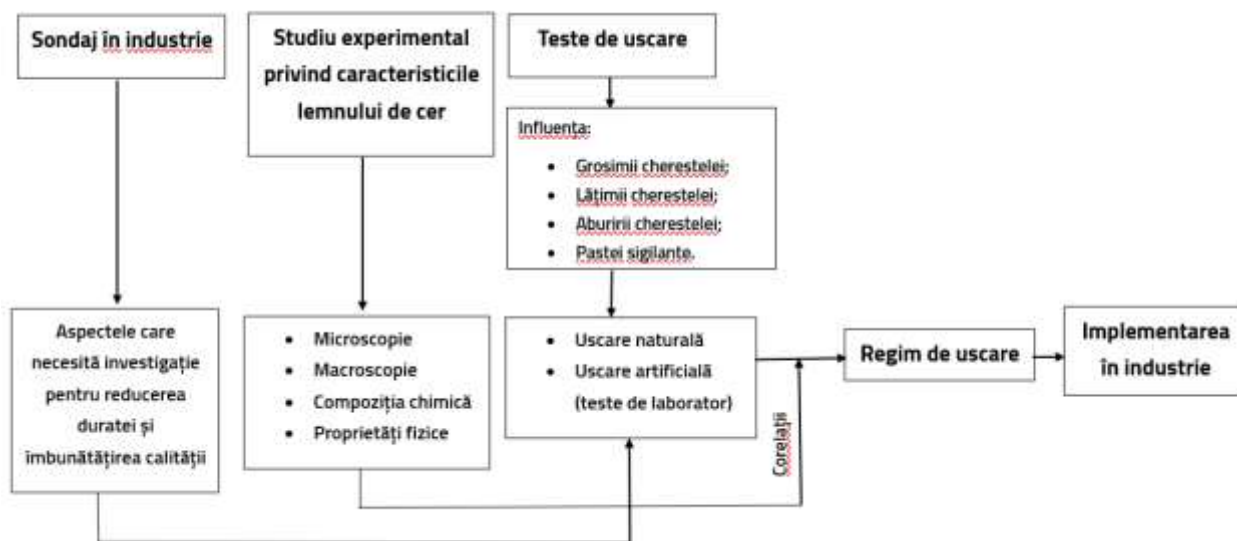


Fig. 2.1 Obiectivele tezei de doctorat

Capitolul 3. SONDAJ PRIVIND USCAREA INDUSTRIALĂ A CHERESTELEI DE CVERCINEE

3.1 Motivație și obiective

Acest capitol prezintă rezultatele unui sondaj realizat asupra a zece firme din România care usucă cherestea de cvercinee (în principal gorun și stejar, dar și cer). Scopul acestui sondaj a fost de a stabili condițiile efectiv aplicate în industrie la uscarea acestor specii, dar și de a stabili aspectele care ar putea fi îmbunătățite conform opiniilor din industrie.

3.2 Metoda

Pentru a stabili nivelul actual de cunoștințe aplicate în ceea ce privește uscarea acestor specii, după consultarea literaturii de specialitate (*e.g.* Brace 2018; Kasunic 2005) a fost realizat un chestionar care a fost distribuit la 10 firme de prelucrare a lemnului din România care usucă cherestea de cvercinee, situate în diferite regiuni ale țării.

Chestionarul cuprinde un număr de 10 întrebări, majoritatea de tip grilă (cu opțiuni de răspuns), pentru a fi cât mai sugestiv, prietenos și rapid de completat.

Întrebările au urmărit:

- speciile de cvercinee care se usucă;
- cantitatea de cherestea uscată anual, în m^3/an ;
- experiența în uscare a întreprinderilor, în ani;
- procedeul de uscare aplicat (cu aer sau în vid);
- în cazul uscării cu aer dacă este vorba despre o uscare artificială exclusivă sau zvântare urmată de uscare artificială; pentru zvântare a fost solicitat și intervalul de scădere a umidității lemnului;
- sistemul de conducere a procesului utilizat (manual sau automat);
- detalii privind regimul de uscare (temperatură, umiditate, gradient de uscare, durată);
- defectele de uscare constatate;
- procentul de piese conforme dintr-un lot;
- aspectele care pot fi optimizate.

3.3 Rezultate și discuții

Analiza chestionarelor completate a arătat următoarele:

- 70% dintre firme usucă doar gorun și stejar, în timp ce doar 30% usucă cherestea din lemn de cer;
- 50% dintre respondenți usucă o cantitate de cherestea mai mare de $1500 m^3/an$;

- 80% dintre companii au peste 10 ani de experiență în uscare, 10% între 5-10 ani și 10% mai puțin de 5 ani;
- niciuna dintre întreprinderile intervievate nu usucă în vid.

În ceea ce privește aplicarea sau nu a zvântării în aer liber a cherestelei înaintea uscării artificiale: 30% dintre respondenți aplică uscarea artificială de la stare verde, iar 60% practică mai întâi zvântarea înaintea introducerii cherestelei în uscător. O singură companie cumpără cherestea preuscată (cu o umiditate de 38%), pe care o usucă artificial.

Durata medie a zvântării de la stare verde la $U=30-40\%$ variază între două luni pentru cherestea mai subțire (25mm) și patru luni pentru cea mai groasă (50mm).

În cazul cherestelei de stejar/gorun, valorile vitezei de uscare au variat între 0,16%/zi pentru grosimea de 50mm și 0,5%/zi pentru cea de 25mm. Numărul scăzut de răspunsuri pentru cherestea de cer nu a permis nicio afirmație legată de această specie, dar valoarea obținută de la singurul respondent care usucă natural această specie indică un timp mult mai lung decât pentru stejar/gorun.

Jumătate dintre firmele intervievate folosesc instalații cu o capacitate de 50-80 m³/șarjă, 20% cu o capacitate mai mică de 50 m³/șarjă, iar 30% cu o capacitate mai mare de 100 m³/șarjă.

În ceea ce privește condițiile aplicate la uscarea artificială, au fost formulate următoarele observații:

- 100% dintre respondenți folosesc o temperatură inițială de 30...35°C; această temperatură este corelată, în 80% din cazuri, cu o umiditate de echilibru de 15...17%, în timp ce 20% aleg $U_e < 14\%$;
- 30% dintre respondenți folosesc o temperatură maximă de 50°C după atingerea punctului de saturație a fibrei; majoritatea (50%) utilizează $t_{max}=60^\circ\text{C}$ și doar 20% merg până la o temperatură de 70°C;
- gradientul de uscare (GU) variază între 1,5 și 2,5: 40% dintre companii aplică un regim de uscare blând, unde $GU=1,5$; 30% usucă cu un gradient de uscare de 2 și 30% practică un regim dur de uscare cu $GU=2,5$ sau chiar 3.

Comparând durata uscării artificiale de la stare verde (60...8-10%) cu durata uscării de la stare zvântată (40...8-10%) s-a constatat că în prima variantă se înregistrează durate cu 33% mai mari (10 zile) la cherestea de 25mm și respectiv cu 40% mai mari (40 zile) la cherestea de 50mm.

Comparând durata totală obținută în varianta uscării de la stare verde față de varianta zvântării urmate de uscare artificială s-a constatat că în al doilea caz durata este cu 167% mai mare (80 zile față de 30 zile) la cherestea de 25mm și cu 89% mai mare (170 zile față de

90zile) la cheresteaua de 50mm . Astfel, din punct de vedere strict al duratei reiese că, zvântarea înainte de uscarea artificială nu se justifică la niciuna dintre grosimi. În ceea ce priveşte defectele de uscare raportate de respondenţi, cele mai multe răspunsuri au indicat crăpăturile de capăt ca cel mai întâlnit defect, urmat de deformăţii. Doar 10% dintre aceştia au indicat crăpături interioare ca fiind cel mai frecvent defect întâlnit la uscarea cherestelei de cer. Este vorba în acest caz de o întreprindere care usucă doar lemn de cer. Întreprinderile care usucă cherestea de stejar nu au raportat probleme cu acest defect de uscare.

Rezultatul obţinut indică un grad de satisfacţie ridicat al respondenţilor referitor la calitatea obţinută. Acest rezultat neaşteptat se datorează şi faptului că majoritatea respondenţilor sunt producători de mobilă, care valorifică şi piesele cu crăpături. În cele mai multe cazuri (în special la cer), produsul final este reprezentat de mese rustice, la care crăpăturile creează impresia de "patină a vremii".

În ceea ce priveşte direcţiile de optimizare, 70% dintre respondenţi au solicitat soluţii pentru reducerea duratei de uscare şi a proporţiei de crăpăturil de capăt; 60% dintre respondenţi ar dori o uniformitate mai bună a umidităţii finale şi 50% dintre respondenţi au solicitat soluţii pentru evitarea coloraţiilor de uscare.

Reducerea duratei de uscare a fost solicitată atât de companiile care aplică zvântare, urmată de uscare artificială, cât şi de cele care aplică uscare artificială de la stare verde. Aceeaşi solicitare a fost raportată atât de firmele care aplică un regim blând de uscare (durată mare de uscare), cât şi de cele care aplică un regim de uscare mai dur. Trebuie menţionat că aceste două companii usucă cherestea de cer şi reiese în mod clar, că pentru această specie regimul aplicat trebuie să fie mai blând decât cel pentru gorun/stejar.

3.4 Concluzii

Conform rezultatelor sondajului realizat în zece întreprinderi de industria lemnului din România care usucă cherestea din lemn de cvercinee, se pot formula următoarele concluzii:

- 60% dintre respondenţi aplică zvântarea înaintea uscării artificiale;
- durata medie pentru zvântare în cazul gorunului/stejarului de la stare verde până la o umiditate de 30-40% variază între două luni pentru cheresteaua subţire (25mm) şi patru luni pentru cheresteaua mai groasă (50mm);
- în cazul uscării artificiale de la stare verde rezultă o durată cu 63% mai mică, comparativ cu cazul zvântării până la 30-40% urmată de uscare artificială;
- uscarea artificială începe, în toate cazurile, cu o temperatură iniţială de 30...35°C. În 80% dintre cazuri, este prezentă o umezire, ducând astfel la $U_e=15...17\%$; în celelalte cazuri este menţinută o valoare $U_e<14\%$ în timpul încălzirii iniţiale- în aceste cazuri companiile au indicat o neuniformitate a umidităţii finale şi crăpături ca defecte principale;

- temperatura maximă aplicată în timpul uscării artificiale pentru gorun/stejar variază între 50°C și 70°C, dar răspunsul majoritar (60%) a indicat $t_{\max}=60^{\circ}\text{C}$;
- pentru cherestea de cer sunt necesare cercetări suplimentare în ceea ce privește temperatura maximă suportată de această specie; aplicând temperatura de 60°C sau 70°C sunt generate mai multe defecte de uscare;
- viteza medie pentru uscarea artificială de la 30% la 8% (domeniul apei legate) este de 1,3%/zi pentru grosimea de 25mm și de 0,5%/zi pentru cea de 50mm în cazul cherestelei de gorun/stejar. Pentru cer nu s-au obținut suficiente date pentru a formula o ipoteză clară;
- principalele solicitări de optimizare din partea mediului industrial sunt îndreptate spre reducerea duratei de uscare și a proporției de crăpături de capăt, precum și o uniformitate mai bună a umidității finale.

CAPITOLUL 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PARTICULARITĂȚILE ANATOMICE ȘI O SELECȚIE DE PROPRIETĂȚI FIZICE ȘI CHIMICE ALE LEMNULUI DE CER RELEVANTE ÎN PROCESUL DE USCARE

4.1 Motivație și obiective

Pe lângă durata de uscare foarte îndelungată, uscarea cherestelei de cvercinee este o provocare și din punct de vedere calitativ.

Adaptarea regimurilor de uscare la particularitățile de structură și proprietățile fiecărei specii în parte este cheia realizării unei uscări calitative, cu pierderi minime de masă lemnoasă, într-un ritm cât mai scurt. De aceea, cercetări aprofundate privind structura și proprietățile lemnului sunt binevenite în cazul oricărei specii pentru a înțelege mai bine comportamentul la uscare al acesteia.

4.2 Caracteristici de structură

4.2.1 Material, metodă, aparatură

Zona de proveniență a materialului. Epruvetele necesare în cadrul cercetării experimentale au fost obținute dintr-un arbore de cer și un arbore de gorun proaspăt doborâți, provenind din zona Subcarpaților Getici (45°N 24°E).

Debitarea epruvetelor. Buștenii au fost debițați conform standardului în vigoare (SR ISO 4471-93) în trei bușteni de probă, cu lungimea de 2m fiecare: primul s-a tăiat la o distanță de 1,3m de la bază, al doilea la o distanță de 1/3 din lungimea trunchiului pornind de la bază spre coroană și al treilea la un metru sub coroană. De la baza fiecărui buștean de probă, s-a tăiat mai întâi câte o rondea de 15cm grosime pentru macroscopie, iar apoi încă o rondea de 10cm grosime pentru determinarea componentelor chimici secundari, a proprietăților fizice și de pe care au fost prelevate și probele pentru microscopie.

Determinarea caracteristicilor macroscopice

Caracteristicile inelelor anuale au fost determinate urmând prescripțiile STAS 2557-88. Pe direcția diametrului principal, s-au măsurat, cu ajutorul unei rigle gradate, următoarele caracteristici:

- lățimea inelelor anuale, b ;
- lățimea zonei de lemn târziu din fiecare inel de creștere, bl_{tz} ;

și apoi s-au determinat prin calcul:

- lățimea medie a inelelor anuale, b_m ;
- indicele de regularitate, r ;
- proporția de lemn târziu și lemn timpuriu, Pl_{tz} și Pl_{tp} .

Proporția de duramen a fost evaluată în funcție de numărul de inele anuale cuprinse în zona de duramen/alburn, raportat la numărul total de inele și în funcție de suprafața ocupată de zona de duramen din suprafața totală (fără coajă) pe secțiunea transversală a rondelii.

Pentru verificarea rezultatului obținut, s-a aplicat și o metodă grafică de determinare a ariei, cu ajutorul programului ImageJ. Imaginile obținute au fost mai întâi convertite în alb-negru (Fig.4.4), apoi calibrate pe baza unei cote cunoscute: mărimea în cm a diametrului principal marcat pe secțiunea transversală.

Apoi a fost realizat conturul zonelor de interes (Gurău *et al* 2013), iar software-ul a calculat aria zonei respective, datele putând fi salvate într-un fișier Excel.

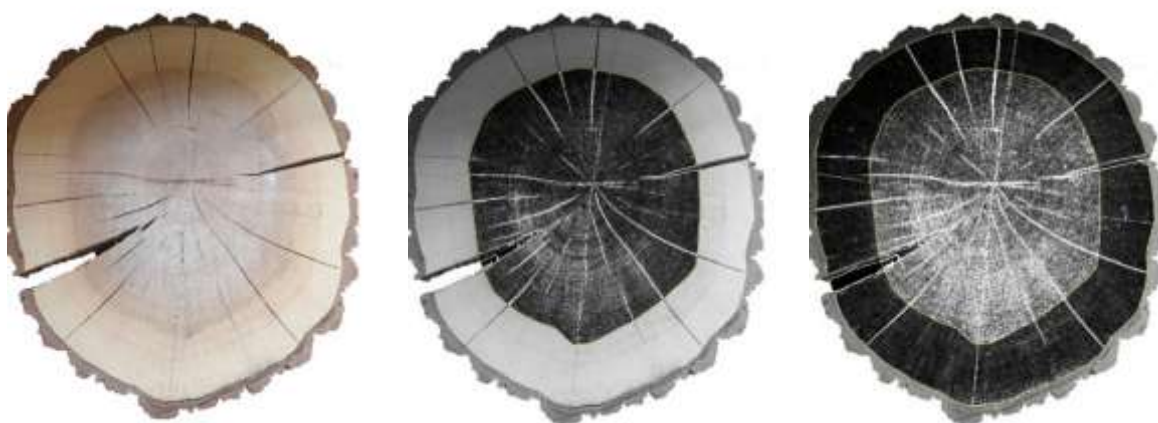


Fig. 4.4 *Convertirea imaginii secțiunii transversale a rondelii în alb-negru pentru evaluarea ariei alburnului/duramenului în ImageJ*

Diferența de culoare între alburn și duramen a fost evaluată în sistemul de coordonate CIELab, cu ajutorul spectrofotometrului AvaSpec-USB2 (de la Avantes Apeldoorn, Olanda),

echipat cu o sferă AVA cu diametrul de 80mm şi cu software AVA Soft Versiunea 7.7 pentru preluarea şi prelucrarea datelor. Măsurătorile au fost efectuate pe secţiunea transversală a unor epruvete cu dimensiunile de 180 x 20 x 18mm, cu o umiditate de 8%.

Caracteristici microscopice. Imaginile microscopice au fost obţinute pe secţiunea transversală a lemnului de cer şi gorun cu ajutorul stereomicroscopului NIKON SMZ18 (Tokyo, Japonia). A fost folosit un ordin de mărime de 22,5x pentru a stabili diametrul porilor în lemnul timpuriu, în alburn şi duramen. A fost efectuat un număr de 15 măsurători în duramenul lemnului de gorun, 6 măsurători în alburnul lemnului de gorun, 16 măsurători în duramenul lemnului de cer şi 18 măsurători în alburnul lemnului de cer.

4.2.2 Rezultate şi discuţii

Caracteristicile inelelor anuale. Valorile obţinute sunt sintetizate în Tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

Caracteristicile inelelor anuale la lemnul de cer şi lemnul de gorun

Nr. Epruvetă	Caracteristicile inelelor anuale				
	b_{max} [mm]	b_m [mm]	r [%]	P_{ltz} [%]	P_{ltp} [%]
CER	4	1,98	120,91	56,36	43,63
GORUN	6	3,64	228,08	58,17	41,82

Proporţia de duramen şi alburn. Din Fig. 4.8 se poate observa cu ochiul liber că proporţia de duramen este mai mică în cazul lemnului de cer decât la gorun. Valorile exacte calculate condus la o valoare de cca. 50% la arborele de cer, prin ambele metode aplicate.



a.



b.

Fig. 4.8 Proporţia de duramen şi alburn la: a- lemnul de cer; b- lemnul de gorun

Caracterizarea cromatică. În Tabelul 4.5 sunt prezentate valorile coordonatelor de culoare obținute pe zona de alburn și respectiv duramen a lemnului de cer și de gorun, apoi a fost determinată apoi diferența de culoare (ΔE) între alburn și duramen, pentru ambele specii.

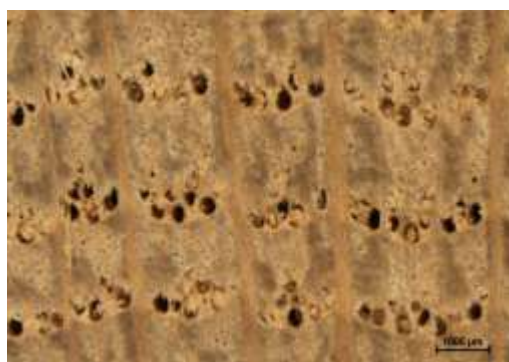
Tabelul 4.5

Coordonatele de culoare (valori medii și abatere medie pătratică) și diferența de culoare între alburn și duramen ale lemnului de cer și gorun

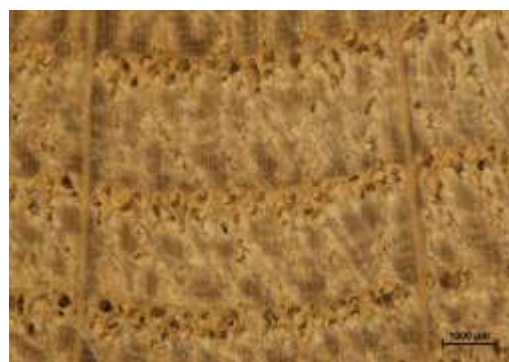
Tipul de lemn	L*		a*		b*		ΔE^*
	alburn	duramen	alburn	duramen	alburn	duramen	
Cer	73,67 (0,90)	61,55 (0,99)	4,05 (0,16)	6,34 (0,28)	15,77 (1,26)	16,07 (0,31)	12,33
Gorun	76,5 (3,15)	60,35 (2,80)	3,05 (0,58)	5,94 (0,75)	16,48 (1,32)	18,72 (1,52)	16,55

Măsurătorile de culoare în sistem CIELab au indicat o nuanță roșiatică pentru lemnul de cer și un contrast mai puțin pronunțat între alburn și duramen, comparativ cu lemnul de gorun.

Caracteristici microscopice. Imaginile obținute pe secțiunea transversală a lemnul de cer și de gorun sunt prezentate în Fig.4.9.



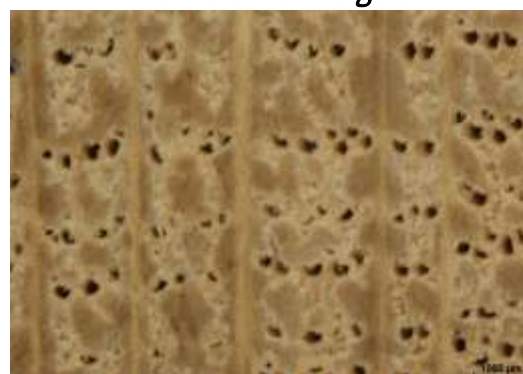
a. duramen de cer



b. duramen de gorun



c. alburn de cer



d. alburn de gorun

Fig. 4.9. Imagini ale secțiunii transversale a lemnului de cer și gorun , alburn și duramen (mărire 22.5x)

Diferența față de gorun, la nivel microscopic, o constituie diametrul mult mai mare al porilor din lemnul timpuriu la cer, atât în duramen, cât și în alburn, dar și dispunerea lor diferită. În alburn, ambele specii au pori complet goi, dar în duramen ei sunt parțial umpluți cu tile.

4.3 Compoziția chimică

4.3.1 Material, metodă, aparatură

Aspecte comparative ale compoziției chimice pentru specile cer și gorun, respectiv diferențieri între alburnul și duramenul acestor specii, s-au determinat pe probe de rumeguș colectate diferențiat, la prelucrarea mecanică a materialului lemnos.

Pregătirea probelor pentru analiză a constat în sitarea probelor de rumeguș în instalația existentă în cadrul Laboratorului de Chimie al Facultății de Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului. În cadrul prezentei cercetări s-a utilizat fracțiunea de rumeguș care a trecut prin sita cu ochiuri de 0,5mm, dar a fost reținută pe sita cu ochiuri de 0,25mm.

Apoi s-a determinat umiditatea rumegușului, prin metoda uscării la stare anhidră (STAS 83-89), probele fiind uscate până la masa constantă, într-o etuvă electrică cu termostat, la temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$. Pentru fiecare determinare s-au utilizat patru probe, câte două probe de rumeguș din duramen și respectiv două probe de rumeguș din alburn.

Compuși chimici principali - investigații FTIR. Pentru a evalua și compara compoziția chimică a lemnului celor două specii precum și pentru a face o comparație între lemnul de alburn și cel de duramen s-a utilizat metoda FTIR (Fourier Transformed InfraRed Spectroscopy). Măsurătorile s-au efectuat cu ajutorul unui spectrometru Alpha-Bruker (Germania) echipat cu un modul ATR (Attenuated Total Reflectance).

Conținutul de substanțe extractibile. În afara compușilor chimici principali (celuloză, hemiceluloze și lignină), compușii chimici secundari, în special cei extractibili, sunt importanți atunci când se caracterizează o specie lemnoasă. Substanțele extractibile reprezintă un amestec de compuși cu masă moleculară diferită, care pot fi extrași din lemn cu apă rece/apă caldă și/sau solvenți organici.

Substanțele extractibile afectează proprietățile și de asemenea comportamentul la uscare al lemnului (colorațiile de uscare). Drept urmare, în cadrul prezentei cercetări, s-a considerat oportună determinarea conținutului de substanțe extractibile. S-au realizat extracții în diferite medii (apă rece, apă caldă și NaOH 1%) pe probe din cele patru sortimente.

Extractul obținut în urma metodei cu apă rece conține partea solubilă a cenușii (compuși anorganici solubili în apă), zaharide, amidon, pectine, anumite hemiceluloze (galactan), diferite substanțe gumifere etc. Dacă nu s-a făcut o extracție precedentă cu alcool, atunci extractul va conține și o parte din aminele și pigmentii existenți în lemn (Petrovici și Popa 1997).

Extractul obținut prin metoda cu apă caldă, conține aceleași substanțe, dar într-o cantitate mai mare, datorită solubilității mărite de temperatura apei. În extract se regăsesc în acest caz și zaharuri și taninuri.

Extractul obținut în mediu apos alcalin (soluție NaOH 1%) conține în plus rășini vegetale, ceruri, grăsimi, substanțe de colorare, glicozide, proteine, alcaloizi, fitosteroli (Petrovici și Popa 1997).

Prezența substanțelor tanante. Pentru a evidenția prezența substanțelor tanante s-a recurs la o metodă originală bazată pe reacția de culoare între substanțele tanante și cationii de fer (Fe^{+2} , Fe^{+3}). Aprecierea din punct de vedere semi-cantitativ a concentrației substanțelor tanante s-a făcut în corelație cu intensitatea colorației, respectiv evaluarea diferențelor de culoare asociate reacției substanțelor tanante din probe cu cationii de Fe^{+3} din (soluție clorură ferică FeCl_3).

Au fost analizate câte trei mostre de lemn masiv, cu dimensiuni de 180 x 20 x 18mm pe direcție radială, tangențială, respectiv longitudinală, conținând atât zona de alburn, cât și de duramen. Determinările s-au realizat comparativ pentru cer și gorun cu ajutorul spectrofotometrului AvaSpec-USB2 (Fig. 4.6), s-au determinat coordonatele de culoare în sistemul CIELab în stare inițială (L_1^* , a_1^* , b_1^*). Măsurătorile de culoare au fost efectuate în mai multe puncte precise (zone circulare cu un diametru de 8mm) pe fiecare probă, începând de la zona exterioară de alburn spre zona interioară de duramen. Pozițiile de măsurare au fost situate la intervale de 20mm. Datorită diferenței de lățime a alburnului celor două specii, s-au efectuat 2 măsurători pe alburn și 5 pe duramen la cer și 1, respectiv 7 măsurători în cazul gorunului. Apoi a fost aplicat un strat de FeCl_3 (concentrație 5%) pe fiecare probă. După 24 de ore culoarea a fost măsurată din nou în aceleași puncte.

4.3.2 Rezultate și discuții

Compușii chimici principali- investigații FTIR. O primă analiză a spectrelor indică o compoziție chimică similară din punct de vedere calitativ (benzi de absorbție similare) pentru ambele specii, atât în alburn, cât și în duramen.

O caracteristică de diferențiere vizibilă este absorbția mică de la 1644 la 1647 cm^{-1} atribuită grupărilor carbonil conjugate. Această absorbție este prezentă ca un umăr la 1647 cm^{-1} în spectrele lemnului de cer, puțin mai distinct în alburn comparativ cu duramenul, în timp ce în cazul gorunului o absorbție mică la 1644 cm^{-1} se regăsește doar în alburn 1644 cm^{-1} . De asemenea, în cazul lemnului de gorun absorbția la 1368 cm^{-1} (C-H în Cel, Hcel) a apărut ca un vârf distinct pentru alburn, fiind redusă la doar un umăr pentru duramen. În același timp, absorbția la 1323 cm^{-1} (L cu o contribuție de Cel) a apărut ca fiind cea mai mare la duramenul de gorun, în timp ce la 1233 cm^{-1} s-a înregistrat cea mai mică dintre valori, la duramenul de gorun. O intensitate relativă mare la banda de absorbție 1323 cm^{-1} comparativ cu banda de

absorbție de la 1732 la 1738 cm^{-1} marchează o diferență a alburnului de gorun față de duramenul aceleiași specii, ceea ce este în conformitate cu baza de date FTIR creată de Traore *et al*/ (2018).

Cea mai evidentă diferență se remarcă în cazul spectrelor de alburn și duramen de cer, care reflectă o absorbție a ligninei în jurul valorilor 1504, 1456, 1420 și 1323 cm^{-1} , pentru care au fost calculate rapoartele duramen/alburn: 1,18, 1,17, 1,63 și 1,36, toate sugerând o lignificare mare a duramenului comparativ cu alburnul. În același timp, raportul 0,39 calculat pentru banda de absorbție 1368 cm^{-1} (Cel+Hcel) pentru duramen/alburn de cer reflectă un conținut scăzut de holoceluloze în duramen comparativ cu alburnul, în timp ce valoarea de 0,99 (duramen/alburn de cer) pentru absorbția la 1368 cm^{-1} (Hcel) sugerează un conținut similar de hemiceluloze în duramen și alburn. Aceasta arată un conținut mai scăzut de celuloză în duramenul mai lignificat de cer în comparație cu alburnul.

Prin comparație, în cazul gorunului, raportul duramen/alburn pentru cea mai caracteristică bandă de absorbție a ligninei 1504 cm^{-1} a fost 1,10 (posibil un conținut puțin mai mare de lignină în duramen), în timp ce rapoartele cele mai diferite de 1 ($\pm 0,1$) au fost cele calculate pentru benzile 1456 cm^{-1} (2,36), 1323 cm^{-1} (1,52), cu cele mai mari valori și la 1233 cm^{-1} (0,38) cu cea mai mică valoare.

Conținutul de substanțe extractibile. Așa cum era de așteptat dintre cele trei metode de extracție cele mai mici valori s-au obținut la extracția cu apă rece și cele mai mari la extracția cu NaOH 1% pentru toate cele patru sortimente de lemn. Referitor la rezultatele comparative între lemnul de cer și gorun, valorile sunt în general mai mari la lemnul de gorun cu o singură excepție, în cazul extracției cu NaOH la lemnul de alburn.

Prezența substanțelor tanante. În Fig. 4.15 este prezentată modificarea de culoare după aplicarea soluției de FeCl_3 a celor patru sortimente de lemn.



Fig. 4.15 Modificarea de culoare a lemnului de cer (a) și gorun(b) după aplicarea FeCl_3

Cea mai puternică închidere a culorii a fost înregistrată pentru duramenul de gorun ($-39,42 \pm 3,56$) şi cea mai mică pentru duramenul de cer ($-26,58 \pm 0,68$). Cea mai mare scădere a coordonatei b^* ($\Delta b^* = -20,96 \pm 0,89$) a fost obţinută pentru duramenul de gorun, iar cea mai mică ($\Delta b^* = -4,36 \pm 1,88$) a fost cea a alburnului de cer. Modificarea totală de culoare ΔE^* este cu 14,5% mai mare pentru alburnul de cer comparativ cu duramenul.

4.4 Proprietăţi fizice

4.4.1 Material, metodă, aparatură

Pentru determinarea proprietăţilor fizice, au fost prelevate epruvete de la trei înălţimi diferite ale arborelui pentru a evalua variaţia fiecărei proprietăţi pe lungimea buşteanului. Din aceste rondele au fost debitate baghete de 20mm grosime după diametrul principal, conţinând atât duramen, cât şi alburn. Din aceste baghete au fost debitate epruvete cu dimensiuni de 20 x 20 x 20mm, conţinând doar lemn de alburn, respectiv de duramen.

Au fost obţinute un număr total de 102 epruvete (83 din duramen şi 19 din alburn) din lemnul de cer şi 134 din lemnul de gorun (118 din duramen şi 16 din alburn).

4.4.2 Rezultate şi discuţii

O sinteză a rezultatelor obţinute cu privire la principalele proprietăţi fizice ale lemnului de cer şi gorun este prezentată în Tabelul 4.27.

Tabelul 4.27

**Proprietăţile fizice ale lemnului de cer prezentate comparativ cu lemnul de gorun
(valoarea medie şi abaterea medie pătratică)**

Proprietatea	Cer			Gorun		
	Alburn	Duramen	Arbore	Alburn	Duramen	Arbore
Densitatea la stare anhidră ρ_0 (kg/m ³)	666,04...732,99...783,53 (34,45)	638,95...723,75...886,81 (51,25)	728,44	616,09...652,49...714,33 (24,63)	570,69...667,87...779,07 (46,24)	666,56
Densitatea convenţională ρ_c (kg/m ³)	576,07...624,37...667,49 (29,71)	554,95...619,02...743,01 (38,24)	621,66	532,30...562,40...622,72 (20,10)	463,56...563,31...636,83 (30,71)	563,19
Contragerea radială β_r (%)	3,81...5,08...6,79 (0,86)	3,55...4,83...6,89 (0,65)	4,96	3,36...4,51...6,64 (0,75)	3,91...5,26...7,76 (0,69)	5,24
Contragerea tangenţială β_t (%)	8,36...9,54...10,65 (0,68)	7,25...9,37...15,72 (1,25)	9,45	7,50...9,19...10,26 (0,70)	7,40...10,26...12,73 (1,36)	10,16
Contragerea volumică β_v (%)	13,44...14,81...17,77 (1,10)	11,69...14,40...20,42 (1,58)	14,60	12,31...13,79...16,16 (1,47)	11,69...15,56...19,02 (1,69)	15,54
Coeficientul de anizotropie (β_r/β_t)	1,34...1,94...2,74 (0,39)	1,06...1,96...2,84 (0,31)	1,948	1,45...2,083...2,78 (0,32)	1,276...1,967...2,981 (0,28)	1,997
Punctul de saturaţie al fibrei (%)	20,64...23,79...27,87 (2,27)	19,67...23,30...32,31 (2,44)	23,54	20,59...24,55...28,55 (2,16)	22,15...27,59...32,66 (2,28)	27,57
Coeficientul de instabilitate dimensională (β_v/U_{60})	0,58...0,62...0,67 (0,03)	0,56...0,62...0,74 (0,04)	0,62	0,53...0,56...0,62 (0,02)	0,50...0,56...0,64 (0,03)	0,56

4.5 Concluzii

În urma studiilor efectuate asupra structurii, compoziţiei chimice şi proprietăţilor fizice ale lemnului de cer comparative cu lemnul de gorun se pot formula următoarele concluzii:

- porii din lemnul timpuriu al lemnului de cer sunt mai mari decât cei din lemnul de gorun; în duramen ei sunt parţial umpluţi cu tile la ambele specii;
- cerul are o proporţie de duramen mai mică decât gorunul, acoperind doar jumătate din aria suprafeţei transversale (ca. 50%); la ambele specii, duramenul are o culoare distinctă, mai închisă decât alburnul. Diferenţa de culoare este mai mare în cazul gorunului decât la cer;
- la ambele specii, lăţimea inelelor anuale este mai mare în zona centrală, scade spre periferie şi creşte din nou în zona de alburn;
- alburnul lemnului de cer are un conţinut mai mare de substanţe extractibile decât duramenul acestei specii, aproape de valoarea obţinută pentru duramenul lemnului de gorun;
- umiditatea în stare verde a cherestelei de cer se situează în jurul valorii de 60-70%, similară umidităţii cherestelei de stejar/gorun în stare verde;
- densitatea lemnului de cer este semnificativ mai mare decât cea a lemnului de gorun. Valorile obţinute pentru alburnul şi duramenul acestei specii sunt foarte apropiate, uşor mai crescute în alburn;
- coeficienţii de contragere totală liniari şi volumici ai lemnului de cer au rezultat mai mici decât ai lemnului de gorun;
- coeficientul de anizotropie are valori apropiate în cazul ambelor specii, atât în alburn, cât şi în duramen, fără diferenţe semnificative între grupuri.

Capitolul 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAMENTUL LA USCARE AL CHERESTEILEI DE CER COMPARATIV CU ALTE SPECII DE CVERCINEE

5.1 Cercetări exploratorii privind uscarea cherestelei de cvercinee

Testul din laborator a fost realizat în instalaţia convenţională de uscare tip SEBA. Într-o stivă falsă au fost uscate 8 scânduri de cherestea de cvercinee, câte două din fiecare specie: stejar, gorun, cer, gârniţă, având următoarele dimensiuni: lungime 150 cm, lăţime 12 cm, grosime 25 cm. Regimul aplicat a fost cel al softului original al instalaţiei SEBA pentru cherestea de stejar.

Pentru măsurarea umidităţii în lemn pe parcursul uscării, în fiecare scândură de probă s-a introdus câte un traductor rezistiv tip V2A până la jumătatea grosimii.

Procesul de uscare a fost monitorizat prin completarea a fişei de evidenţă a uscării, respectiv prin înregistrarea zilnică a parametrilor uscării: umiditatea indicată de cei opt traductori (corespunzători celor opt scânduri de probă), temperatura aerului, umiditatea de echilibru.

În urma completării fişei de evidenţă a uscării se observă în primul rând că umiditatea iniţială a scândurilor a fost mai variată decât s-a dorit. Astfel, cele două scânduri de gârniţă au avut umiditatea iniţială mai mică (32...48%) faţă de celelalte specii (54...76%). Chiar şi scândurile din cadrul aceleiaşi specii au avut variaţie mare, de exemplu la cer 54% şi 76%, iar la gorun 58% şi 74%. Această neuniformitate a umidităţii iniţiale a condus la o dinamică diferită a uscării, dar până la final s-a reuşit convergenţa umidităţilor finale către valoarea ţintită de 10%.

Durata uscării a fost de 20 zile. Valorile obţinute pentru viteza de uscare indică o viteză mai mare de uscare pentru stejar şi gorun (0,115 %/h) faţă de cer (0,11%/h) şi gârniţă (0,065%/h).

Controlul calitativ al uscării a constat în: determinarea umidităţii finale medii pe fiecare scândură de probă, determinarea gradului de cementare şi analiza vizuală a pieselor pentru identificarea crăpăturilor, deformaţiilor şi coloraţiilor.

Măsurătorile pentru determinarea umidităţii finale s-au efectuat conform SR EN 13183-3:2005 cu ajutorul unui umidometru capacitiv BROOKHUIS (Olanda). Măsurătoarea s-a efectuat în trei puncte pe lungimea fiecărei scânduri: în câte un punct situat la 0,25m faţă de fiecare capăt şi într-un punct în centrul piesei. După aceea s-a calculat media celor trei valori, obţinându-se astfel umiditatea medie pe scândura respectivă.

Evaluarea cementării (ca indicator al prezenţei tensiunilor în lemn) s-a efectuat conform SR ENV 14464:2004, cu ajutorul unei epruvete debitate de la mijlocul fiecărei scânduri, având lăţimea de 2cm şi lungimea egală cu lăţimea pieselor de chereştea. Fiecare epruvetă a fost spintecată în două la jumătatea grosimii (Fig. 5.7).

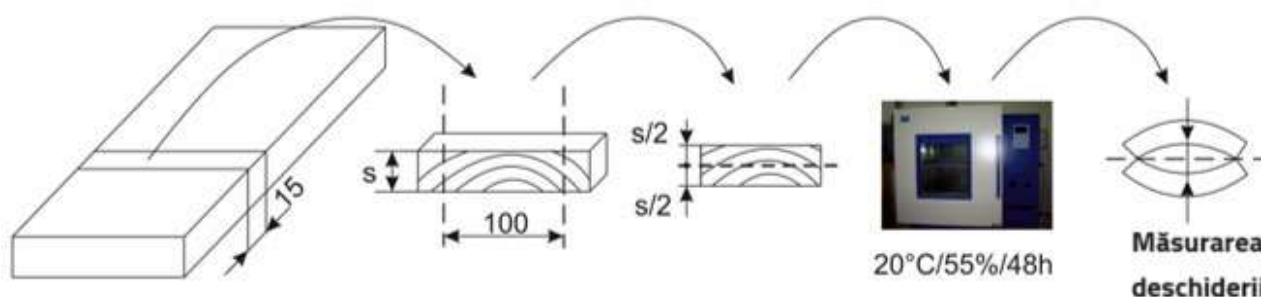


Fig. 5.7 Testul de cementare

Cele două jumătăţi au fost condiţionate în camera climatică la $t=20^{\circ}\text{C}$ şi umiditate relativă $\varphi=55\%$ timp de 48h, după care s-a măsurat săgeata deformării. Cu cât aceasta este mai mare, cu atât gradul de cementare este mai sever. Depăşirea valorii de 3mm înseamnă că lemnul este cementat.

În urma uscării acestei şarje s-au formulat următoarele concluzii:

- Lemnul de stejar s-a uscat corect, având o umiditate finală de 8,61%. Procesul s-a desfășurat fără acumulare de tensiuni, gradul de cementare fiind sub 3mm;
- Lemnul de gorun s-a uscat corect atingând o umiditate finală de 8,36%, dar a acumulat tensiuni pe parcursul procesului de uscare (mărima deschiderii >3mm);
- Dintre cele patru specii lemnul de cer s-a uscat cel mai lent, având o umiditate finală la sfârșitul procesului de 10,25%. Acest lucru indică faptul că această specie are nevoie de o durată mai mare de uscare. Gradul de cementare mare (4,5mm) a arătat că această specie a acumulat tensiuni mari în timpul uscării în urma cărora lemnul a și crăpat;
- Lemnul de gârnița s-a uscat cel mai rapid, atingând la sfârșitul procesului de uscare o umiditate finală de 8,17%. Gradul de cementare este, la fel ca în cazul lemnului de cer, mare, ceea ce indică o acumulare mare de tensiuni interne, dar în cazul acestei specii nu s-au înregistrat crăpături.;
- Se evidențiază necesitatea aplicării unui regim mai blând la lemnul de cer; prin testarea a diferite combinații de temperatură și umiditate a aerului, la diferite umidități ale lemnului trebuie să se stabilească dacă regimul de uscare trebuie să fie mai blând în prima etapă a uscării propriu-zise, în a doua, sau în ambele.

Şarja industrială. Pentru a evalua experiența actuală din producție a uscării în condiții industriale a cherestei de cer s-a efectuat analiza unei şarje uscate la o companie de prelucrare a lemnului din România. Uscarea s-a efectuat într-o instalație de tip NARDI (Italia). Materialul lemnos a constat în cherestea netivită de cer, cu lungime mai mare de 2,0m, lățime mai mare de 10cm, grosime 40mm . Aceasta a fost stivuită orizontal cu ajutorul unor șipci de tei cu grosime de 20mm. Uscarea a fost condusă automat cu ajutorul softului SIRIO 9000.

Procesul de uscare a început de la o umiditate inițială a lemnului de 60-65%. Temperatura inițială a fost de 36-38°C și umiditatea de echilibru de 15-18%. Acești parametri au fost menținuți până când umiditatea lemnului a atins valoarea de 30%. Temperatura maximă atinsă în faza de uscare propriu-zisă a fost de 65°C. Condiționarea s-a realizat timp de 24-36h. Durata totală a procesului a fost de 102 zile, iar umiditatea finală atinsă a fost de 8%.

Ca și în cazul uscării şarjei din laborator, pentru urmărirea umidității din camera de uscare în timpul procesului au fost folosiți opt senzori. Temperatura a fost măsurată de un sensor rezistiv, iar umiditatea de echilibru cu ajutorul unui senzor cu plăcuță de celuloză.

Evaluarea calității uscării s-a efectuat ca și în cazul testului de laborator conform standardelor SR EN 14298:2005 și SR ENV 14464:2004. Numărul de piese măsurate a fost de 200, alese aleator din 4 stive (din numărul total de 48 de stive).

Umiditatea finală s-a măsurat în trei puncte cu ajutorul unui umidometru tip HM9 de la firma Merlin Superior Humidification Technologies (Germania) şi a fost calculată umiditatea finală medie pentru fiecare piesă.

Umiditatea finală medie obţinută în cazul acestei şarje a fost de 7,06%, încadrându-se astfel la limită în intervalul de umiditate admis conform standardului SR EN 14298:2005, de 7,0-9,0%. Din totalul de 200 de piese, 113 piese (56,6%) au prezentat o umiditate în afara intervalului admis: 79 piese au avut umiditate sub 7% şi 34% au avut umiditate peste 9%. Intervalul larg de variaţie a umidităţii finale, între 4,67% şi 12,33% denotă o uscare neuniformă.

Pentru evaluarea cementării au fost alese 15 piese la întâmplare din cele 200 testate la umiditate. Aceste piese au fost şi secţionate pentru a observa dacă au prezentat crăpături interioare.

În urma testului de cementare s-a obţinut o valoare medie de $1,85 \pm 0,33$ mm.

În urma analizei vizuale a celor 200 de piese s-au observat următoarele: 57,5% au prezentat crăpături de capăt (Fig. 5.13), 57 de piese au prezentat crăpături de suprafaţă, 48 de piese au prezentat atât crăpături de capăt, cât şi de suprafaţă. Două piese (13,3%) din cele 15 secţionate au prezentat crăpături interne.



Fig.5.13 Piese cu crăpături de capăt

În urma rezultatelor obţinute la analiza şarjei industriale se poate concluziona că:

- Durata de uscare totală înregistrată de 102 zile (3,4 luni) de la umiditatea 60-65% până la 8% este mare;
- Temperatura aplicată în perioada de încălzire 36-38°C pare să fi fost prea mare întrucât proporţia de crăpături de suprafaţă a fost mare (28,5%);
- Temperatura maximă aplicată 65°C pare să imprime un regim prea dur de uscare, având în vedere numărul mare de crăpături înregistrate precum şi intervalul larg de împrăştiere al umidităţii finale (4,67%-12,33%);

- A existat un procent mare de crăpături de capăt (57,5%). Este posibil ca acesta să se datoreze lipsei protecţiei capetelor de cherestea, dar şi lăţimii mari a scândurilor uscate.

Concluziile obţinute în urma uscării celor două şarje au permis elaborarea unui plan experimental pentru continuarea cercetărilor de uscare a cherestelei de cer. Acesta cuprinde patru faze:

- I. Uscarea naturală – pentru a stabili dacă aceasta ar permite uscarea în condiţii calitative mai bune decât uscarea artificială; în cadrul acestor teste s-a verificat şi eficienţa a două tipuri de pastă utilizate pentru acoperirea capetelor în vederea evitării crăpăturilor de capăt;
- II. Uscarea artificială cu aer cald – pentru a testa (la scară de laborator) diferite combinaţii de temperatură şi umiditate a aerului în diferite etape ale uscării propriu-zise; testarea eficienţei aburirii prealabile a pieselor de cherestea;
- III. Propunerea unui regim optimizat de uscare pentru fiecare dintre cele două grosimi analizate, pe baza rezultatelor obţinute în primele două faze;
- IV. Uscarea la scară industrială a unei şarje – pentru verificarea şi validarea regimului de uscare propus.

5.2 Cercetări experimentale privind comportamentul la uscare al lemnului de cer

5.2.1 Material, metodă, aparatură

Materialul lemnos supus testelor experimentale a constat în scânduri tivite din lemn de cer (*Quercus cerris*, L) şi stejar (*Quercus robur* L). Pentru comparaţie, în fiecare şarjă au fost uscate şi câteva scânduri de stejar. Piese au avut lungime de 0,6m, lăţimi de 15-30cm şi au fost debitate din sortimente industriale de cherestea, având grosimi de 28 şi 50 mm.

Pentru ambele grosimi de cherestea au fost testate zvântarea în aer liber sub şopron timp de 7 luni şi uscare convenţională cu aer cald, de la stare verde până la o umiditate de cca. 10%.

Au fost construite mini-stive de cherestea, respectând regulile de stivuire aplicate în industrie. Piese supuse uscării naturale au fost legate cu chingi elastice pentru a evita deformarea.

Zvântarea în aer liber s-a realizat în perioada 30 noiembrie 2022 – 03 iulie 2023, perioadă în care temperatura mediului în care au fost amplasate stivele a variat de la -4°C la 24,9°C, având o valoare medie de 9,48°C, iar umiditatea relativă a variat de la 39% la 98% (max.), având o valoare medie de 73,43%.

La formarea stivei, piesele au fost numerotate şi au fost marcate cu cretă crăpăturile pre-existente. S-a măsurat umiditatea iniţială a fiecărei piese cu ajutorul unui umidometru rezistiv LG9 NG de la Holzmeister (Italia).

Uscarea artificială a pieselor s-a realizat în cadrul Laboratorului de Tratamente Termice al Facultăţii DMIL, într-o cameră climatică tip KPK 200 de la firma FEUTRON (Germania).

Monitorizarea umidităţii lemnului la uscarea de la stare verde până la cca. 30% s-a realizat prin scoaterea, pe rând, a pieselor din camera climatică şi măsurarea umidităţii acestora cu ajutorul unui umidometru rezistiv. Această măsură a fost adoptată având în vedere că în domeniul umidităţii peste 30% traductorii nu măsoară cu precizie.

Pentru monitorizarea umidităţii la uscarea sub 30% s-au folosit 8 traductori rezistivi tip V2A de la firma Gann (Germania). În cazul sortimentelor cu grosime de 50mm, au fost utilizaţi atât traductori mai scurţi (10mm) – pentru măsurarea umidităţii „de suprafaţă”, cât şi traductori mai lungi (25mm) – pentru măsurarea umidităţii „de miez”.

Pornind de la regimul de uscare recomandat de literatura de specialitate (Câmpean 1997, Trübswetter 2009) pentru cherestea de stejar, dar şi ținând cont de concluziile formulate în urma cercetărilor preliminare, s-au stabilit câteva linii directoare (Tabelul 5.7) privind regimul de uscare şi modul de conducere a procesului în cadrul testelor derulate în camera climatică.

Tabelul 5.7

Linii directoare privind regimul de uscare experimental pentru cherestea de cer

Faza	Recomandări
Încălzire iniţială	Având în vedere că la încălzirea cu $t=35^{\circ}\text{C}$ piesele de cer s-au cementat, s-a considerat optimă $t=30^{\circ}\text{C}$ pentru această fază, combinată cu o umiditate mare a aerului ($\varphi=85\%$, respectiv $U_e=18\%$). urata fazei de încălzire s-a considerat 1,5h per fiecare cm grosime, respectiv: $D_1 = 5\text{h}$ pentru cherestea cu grosimea de 28mm şi $D_1 = 8\text{h}$ pentru grosimea de 50mm.
Uscare propriu-zisă	După parcurgerea duratei de încălzire (D_1), pentru ca umiditatea lemnului să înceapă să scadă, s-a considerat oportună scăderea umidităţii aerului la $\varphi=83\%$, respectiv $U_e=17,5\%$, menţinând constantă temperatura $t=30^{\circ}\text{C}$. Această temperatură ar trebui nu numai să asigure condiţiile adaptării treptate a lemnului la mediul de uscare pentru a nu se produce tensiuni în lemn, dar şi să prevină coloraţiile de uscare specifice speciilor cu tanin. Pe măsura scăderii umidităţii lemnului în timpul uscării propriu-zise, parametrii de regim trebuie adaptaţi astfel încât uscarea să nu stagneze. Atunci când de la o zi la alta umiditatea lemnului rămâne constantă, trebuie luată o decizie în privinţa modificării acestora.

	Există două soluții: fie se ridică treptat temperatura (în trepte de max. 5°C), menținând constantă umiditatea aerului ($\varphi=83\%$, respectiv $U_e=17,5\%$), fie se reduce treptat umiditatea relativă a aerului (în trepte de 2- max. 5%), menținând temperatura la valoarea de $t=30^\circ\text{C}$. Această strategie de conducere a procesului se va aplica până când media valorilor umidității lemnului, măsurate în centrul pieselor de probă, atinge valoarea de 24%, corespunzătoare $U_{sf, cer}$. La finalul acestei etape, umiditatea de echilibru (U_e) ar trebui să fie $\geq 12\%$, astfel încât gradientul de uscare ($GU=U/U_e$) să nu depășească valoarea 2. Ideal ar fi $GU=1,5$ ($U_e=16\%$). Din acest moment, întrucât în lemn mai există doar apă legată, procesul de uscare trebuie impulsionat, altfel scăderea umidității va stagna din nou. În funcție de strategia adoptată în prima etapă a uscării propriu-zise, se recomandă fie scăderea umidității aerului (dacă temperatura a ajuns deja la $t=50^\circ\text{C}$), fie ridicarea treptată a temperaturii, până la maxim 60°C, având în vedere că temperatura de 65°C s-a dovedit a fi dăunătoare calității materialului în cazul șarjei industriale (vezi Fig. 5.12, 5.13). Din nou, modificarea se face treptat pentru a putea monitoriza efectul asupra calității și a stopa măsura, în cazul în care lemnul începe să crape.
Condiționare Răcire	Camera climatică fiind situată în hală nu s-a considerat necesar tratamentul de condiționare și nici cel de răcire. În momentul când umiditatea lemnului a atins umiditatea finală dorită, camera climatică a fost oprită, s-a deschis ușa și piesele au fost lăsate să se răcească treptat, controlul calitativ fiind efectuat după 1 săptămână.

La finalul fiecărei șarje s-a efectuat controlul calitativ, constând în determinarea uniformității umidității finale, a mărimii cementării și în analiza vizuală a pieselor pentru identificarea eventualelor crăpături, deformații și colorații. Toate observațiile au fost înregistrate în fișa de analiză a calității uscării.

5.2.2 Rezultate experimentale privind uscarea naturală a lemnului de cer

a) Uscarea naturală a cherestelei de cer cu grosime de 28mm

În urma evaluării inițiale a pieselor se observă că:

- scândurile de cer au prezentat o umiditate inițială medie (59%) mai mare comparativ cu cea a scândurilor de stejar (45%);

- jumătate din piesele de cer au avut o lăţime de 30cm (denumite piese "late") şi jumătate au avut o lăţime de 15cm (denumite piese "înguste");
- din cele 8 piese de cer 5 piese au prezentat o proporţie mare de duramen (peste 70% din suprafaţă pe ambele feţe), iar 3 piese au avut o proporţie mai mare de alburn;
- nicio piesă nu a prezentat crăpături înainte de uscare.

Pe jumătate dintre piese s-a aplicat pe capete o pastă pe bază de parafină.

Pe baza acestor valorilor umidităţii lemnului s-a întocmit diagrama de uscare prezentată în Fig. 5.23.

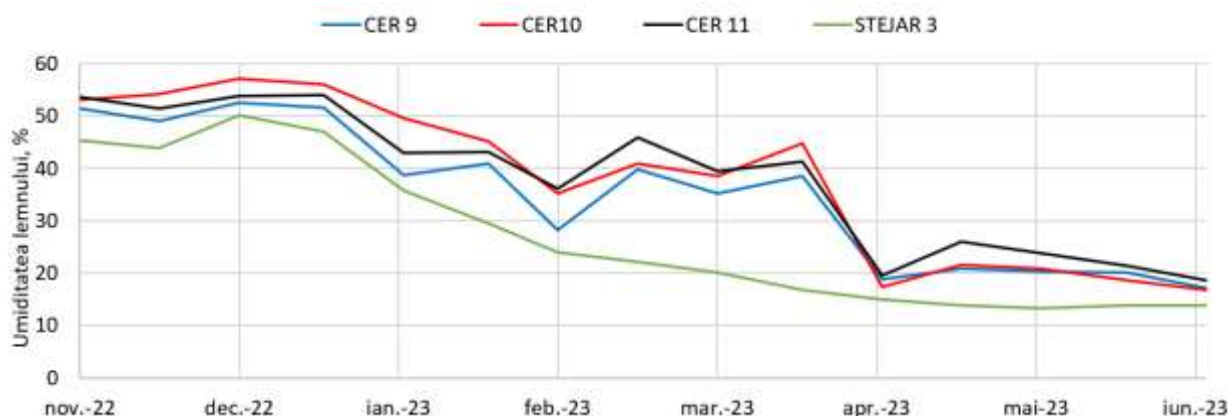


Fig. 5.23 Dinamica scăderii umidităţii în centrul pieselor de cer şi stejar cu grosime de 28mm expuse în aer liber în perioada noiembrie 2022 – iunie 2023

Se observă că atât piesa de stejar, cât şi cele de cer au avut o creştere a umidităţii la începutul expunerii (până la mijlocul lunii decembrie). De la această dată, umiditatea piesei de stejar a scăzut continuu şi accelerat, pe când cea a pieselor de cer a avut fluctuaţii şi a început să scadă mai consistent abia după jumătatea lunii aprilie.

După şase luni de expunere în aer liber, piesa de stejar a atins umiditatea de 13,2%, după care uscarea a stagnat. În acelaşi interval, piesele de cer au reuşit o reducere a umidităţii până la 20,3%-23,7% şi în luna următoare uscarea a continuat până la 16,7-18,6%. Valorile pentru viteza de uscare arată că în domeniul îndepărtării apei libere diferenţa între cele două specii este destul de mică, în schimb în domeniul apei legate viteza de uscare a cerului este de aproape două ori mai mică decât cea a lemnului de stejar de aceeaşi grosime, expus în exact acelaşi mediu de uscare.

În vederea evaluării calităţii uscării, piesele au fost examinate vizual la finalul celor şapte luni de expunere în aer liber. Se observă că niciuna dintre piesele de stejar nu a crăpat. În schimb cele 5 piese late de cer, toate având proporţie mare de duramen, au avut crăpături.

În cazul pieselor de cer, protecţia capetelor nu şi-a dovedit eficienţa. Factorul determinant care a influenţat crăparea s-a dovedit a fi lăţimea pieselor şi faptul că ele conţin o proporţie mare de duramen (peste 70%).

Absența crăpăturilor interioare și proporția relativ redusă de crăpături de suprafață arată că regimul de

Pentru evaluarea tensiunilor după uscare, au fost selectate patru piese tangențiale pentru a determina gradul de cementare. Se observă că valorile obținute în urma testului de cementare denotă o bună corelație între valoarea cementării și gradul de crăpare.

În urma testului de zvântare a cherestelei tivite de cer cu o grosime de 28mm se pot formula următoarele constatări:

- Lunile de iarnă (decembrie, ianuarie, februarie) nu au condiții favorabile pentru uscare;
- Începând cu luna februarie, scăderea umidității relative a aerului și creșterea temperaturii permit eliminarea apei libere și atingerea de către lemn a umidității de 30%. La lemnul de cer această valoare este atinsă cu o întârziere de cca.15 zile față de lemnul de stejar;
- Se observă că, spre deosebire de lemnul de stejar, la cer umiditatea continuă să fluctueze în perioada următoare, putând înregistra din nou creșteri;
- Umiditatea finală atinsă de lemnul de cer după șapte luni de expunere a fost de $17,5 \pm 1\%$, iar pentru lemnul de stejar $13,2 \pm 0,2\%$;
- 62,5% dintre piesele de cer (cele late) au prezentat crăpături de capăt;
- 37,5% dintre piesele de cer (cele late) au prezentat crăpături de suprafață;
- Nicio piesă nu a avut crăpături interioare;
- S-a constatat o bună corelare între valoarea gradului de cementare și cea a gradului de crăpare.

În concluzie se poate afirma că cheresteaua de cer de 28mm grosime se poate usca în aer liber chiar și până la umidități sub punctul de saturație a fibrei, dar acest proces necesită o durată de uscare mai mare de șase luni și prezintă riscul apariției unor defecte de uscare.

b) Uscarea naturală a cherestelei de cer cu grosime de 50mm

În urma evaluării inițiale a pieselor se observă că:

- scândurile de cer au avut o umiditate inițială de 58%, iar cele de stejar de 54%;
- 5 piese de cer au fost înguste (cu o lățime de 15cm) și 3 piese au fost late (cu o lățime de 30cm);
- toate piesele de cer au prezentat o proporție de duramen de peste 50%;
- jumătate dintre piesele de cer au prezentat crăpături încă înainte de a fi expuse la aer.

Pe jumătate dintre piese s-a aplicat pe capete pastă pe bază de parafină.

Pe baza acestor valorilor umidității s-a întocmit diagrama de uscare (Fig. 5.25).

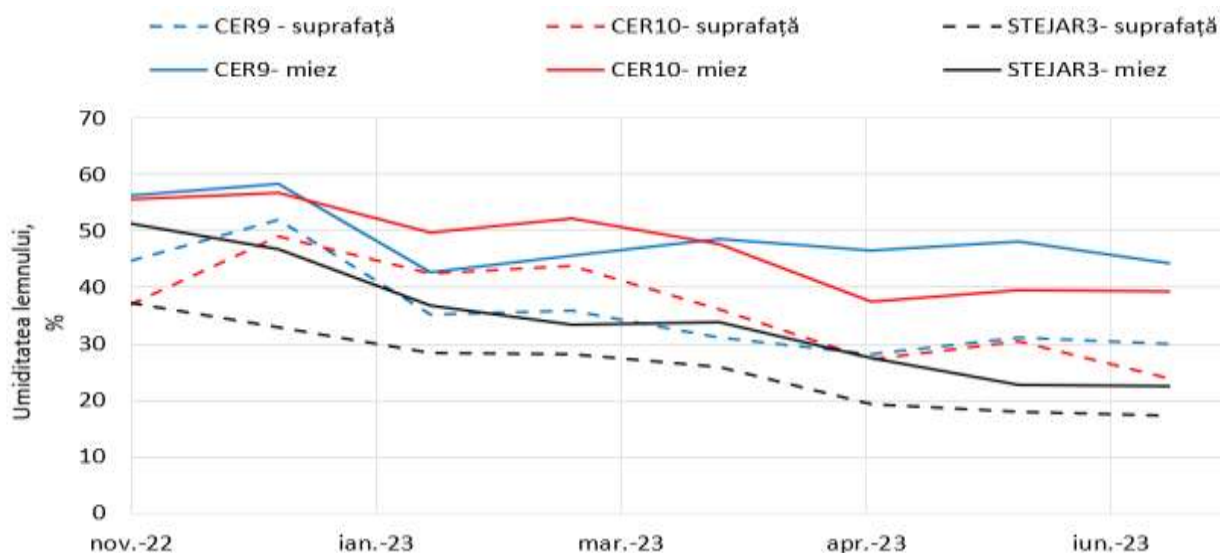


Fig. 5.25 Dinamica scăderii umidității pieselor de cer și stejar cu grosime de 50mm expuse în aer liber în perioada noiembrie 2022 – iunie 2023

Se observă că în cazul piesei de stejar umiditatea a scăzut continuu, încă de la începutul expunerii, în timp ce la piesele de cer ea a crescut (în special la suprafață) în perioada noiembrie-februarie și abia apoi a început să scadă cu fluctuații.

Diferența între umiditatea de miez și cea de suprafață a fost maximă (11-18%) la începutul procesului, pentru toate cele trei piese. Începând cu sfârșitul lunii decembrie aceasta s-a micșorat la 7-8%, valoare care s-a menținut și chiar a scăzut până la 5% în lunile mai- iunie la piesa de stejar, dar în schimb s-a mărit la mijlocul lunii martie la piesele de cer, ajungând din nou la 17-18%.

După cele șapte luni de expunere în aer liber, piesa de stejar a atins o umiditate de 22,6% în interior și 17,3% la suprafață, în timp ce ambele piese de cer au reușit o reducere a umidității în interior doar până la 39%, respectiv 42%, iar la suprafață până la 24%, respectiv 30%.

Valorile pentru viteza de uscare arată că intervalul de timp considerat (șapte luni) nu a fost suficient ca umiditatea pieselor de cer să scadă sub punctul de saturație a fibrei, în timp ce piesele de stejar s-au uscat până la cca. 20%. Viteza de uscare, în domeniul apei libere, este de aproape 2 ori mai mare în cazul lemnului de stejar decât al celui de cer.

În vederea evaluării calității uscării, piesele au fost examinate din nou vizual la finalul celor 7 luni de expunere în aer liber. Toate piesele late (inclusiv cele de stejar) au suferit crăpături de suprafață și de capăt. Nicio piesă îngustă nu a prezentat crăpături.

Nicio piesă nu a prezentat crăpături interioare. Acest rezultat era previzibil dat fiind că uscarea s-a realizat doar în domeniul apei libere, iar crăpăturile interioare sunt cauzate de condiții de uscare prea dure în etapa eliminării apei legate.

Piesele de cer testate la cementare au relevat mărimi ale deschiderii mai mari decât în cazul pieselor de 28mm de până la 2,5mm.

În urma testului de zvântare a cherestelei tivite de cer cu o grosime de 50mm se pot formula următoarele constatări:

- În urma expunerii la aer timp de 7 luni, piesele de cer au eliminat 14% din umiditate, nereuşind să atingă umiditatea de stauraţie a fibrei;
- Viteza de uscare a lemnului de cer în domeniul apei libere este de cca. 2 ori mai mică decât a celui de stejar cu aceeaşi grosime;
- Toate piesele late au prezentat atât crăpături de suprafaţă, cât şi de capăt. Piesele înguste nu au crăpat.
- Proporţia de duramen nu a fost un factor decisiv pentru apariţia crăpăturilor;
- În cazul pieselor cu 30 cm protejarea capetelor cu pastă pe bază de parafină nu a ajutat la evitarea crăpăturilor de capăt.

5.2.3 Rezultate experimentale privind uscarea artificială a lemnului de cer

a) Uscarea artificială a cherestelei de cer cu grosime de 28mm

În urma evaluării iniţiale a pieselor se observă că:

- scândurile de cer au prezentat o umiditate iniţială medie (62%) mai mare comparativ cu cele de stejar (44%);
- o singură piesă a prezentat crăpături înainte de uscare.

În Fig. 5.27 este redată diagrama de uscare pentru această şarjă.

Fig. 5.27 Diagrama de uscare a şarjei de cherestea de cer cu grosime de 28mm uscată artificial

Durata totală a uscării a fost de 67 zile, din care 66 de zile uscarea propriu-zisă. Valorile obținute pentru viteza de uscare indică în domeniul apei libere o viteză cu 17% mai mică la lemnul de cer (0,88%/zi) decât la stejar (1,06%/zi). În domeniul eliminării apei legate, viteza de uscare a rezultat cu valori apropiate pentru cele două specii (cer: 0,60%/zi; stejar: 0,62%/zi). De asemenea, pe întregul interval de scădere a umidității viteza de uscare a rezultat identică pentru ambele specii (0,8%/zi).

În vederea evaluării calității uscării, piesele au fost examinate vizual și au fost observate următoarele:

- nicio piesă de stejar nu a crăpat, ca și în cazul uscării naturale;
- jumătate dintre piesele de cer au suferit crăpături; toate piesele care au crăpat au avut lățime mare și proporție de duramen mai mare de 60%;
- două piese de cer au prezentat crăpături de suprafață; într-una dintre piese crăpăturile au fost observate și marcate înainte de uscare, dar în timpul procesului acestea s-au mărit;
- două piese de cer au prezentat crăpături de capăt; ambele piese au fost lipsite de defecte în stare inițială; una dintre piese a fost protejată pe capăt și cealaltă nu;
- nicio piesă nu a înregistrat crăpături interioare;
- toate piesele au prezentat bombare după uscare. Acest lucru arată că așezarea unei greutate deasupra stivei este absolut necesară la această grosime; în cazul uscării naturale bombarea a fost evitată prin legarea cu chingi a mini-stivelor.

Pentru evaluarea tensiunilor după uscare prin testul de cimentare au fost selectate patru piese. Se observă că mărimea deschiderii este cuprinsă între 1,0-2,0 pentru cer și este 1,0mm pentru piesa de stejar.

Rezultatele testelor de uscare artificială a chereștelei de cer de 28mm grosime au condus la următoarele constatări:

- cât timp $U_e \geq 18\%$ ($\varphi \geq 85\%$), umiditatea lemnului nu scade; abia în momentul în care s-a redus φ la 83% ($U_e = 17\%$), a început să scadă umiditatea lemnului (a început uscarea propriu-zisă);
- în aceste condiții ($t = 30^\circ\text{C}$, $U_e = 17\%$) uscarea a decurs fără crăpături, dar a fost foarte lentă (între 0,7-1,27%/zi, valorile mai mari fiind la începutul procesului);
- un regim mai dur (de exemplu 30°C , $\varphi = 74\%$, $U_e = 14\%$) știm sigur că nu funcționează în această etapă, pentru că 3 din 8 piese au crăpat când a scăzut accidental umiditatea aerului în camera climatică;

- în domeniul îndepărtării apei legate, uscarea a durat 22 de zile pentru reducerea umidităţii de la 20,6% (media) până la 11% (media), echivalent cu o viteză de uscare de 0,44%/zi. Pentru regimul folosit ($t=50^{\circ}\text{C}$ şi umiditate relativă redusă gradual de la 70% la 40%), nu s-au produs crăpături. Odată cu atingerea umidităţii de 12% procesul aproape a stagnat. Ridicarea temperaturii la 60°C a condus la crăparea a încă unei piese. Drept urmare temperatura maximă de 55°C poate fi considerată optimă în condiţiile aplicării unui gradient de uscare de 2,3;
- doar 50% dintre piesele uscate au rezultat fără crăpături; crăpăturile s-au produs în ultima fază a uscării propriu-zise în momentul în care s-a încercat ridicarea temperaturii la 60°C ;
- toate piesele s-au deformat (s-au bombat); se impune amplasarea de greutate deasupra stivei;
- testul de cementare a relevat că regimul aplicat este suficient de blând, piesele suferind doar o cementare uşoară ($\leq 2\text{mm}$); este de subliniat că acest rezultat s-a obţinut pentru cherestea uscată de la stare verde.

Aceste concluzii, împreună cu cele rezultate din testele de uscare anterioare, au permis formularea unor recomandări privind regimul optim de uscare în cazul cherestelei de cer cu grosime de 28mm.

b) Uscarea artificială a cherestelei de cer cu grosime de 50mm

În cazul acestei grosimi s-au uscat două şarje experimentale. La prima şarjă din cauza calităţii slabe a pieselor, cu numeroase noduri şi crăpături pre-existente (înainte de uscare) şi din cauza aplicării unui regim prea dur la un moment dat când uscarea părea că stăgna această şarjă a fost rebutată, toate piesele suferind crăpături severe. Principalele concluzii în urma acestei experienţe au fost:

- umiditatea relativă în faza de încălzire trebuie să fie de 87% ($U_e=18\%$) pentru a preveni cementarea;
- fiind vorba de o grosime mare ($>40\text{mm}$) trebuie monitorizată umiditatea atât în centrul piesei, cât şi la suprafaţă pentru că în special în domeniul peste U_{sf} diferenţa (ΔU) între cele două valori este foarte mare; conducerea şarjei s-a realizat după media celor două valori;
- având în vedere tendinţa accentuată de crăpare, chiar şi la regimuri blânde cu umiditate relativă mare şi temperatură mică s-a decis pentru testele la această grosime aburirea prealabilă a jumătate din piesele supuse uscării pentru a stabili dacă aceasta are o influenţă pozitivă asupra uscării.

Pe baza acestor constatări au fost stabilite condiţiile de testare pentru şarja a II-a, a cărei desfăşurare este prezentată în continuare.

În urma evaluării iniţiale s-au observat următoarele:

- scândurile de cer au avut o umiditate iniţială medie de 68%;
- au fost supuse uscării 2 piese înguste şi 6 late;
- 4 piese au prezentat o proporţie de duramen de peste 70%;
- trei din 8 piese au prezentat mici crăpături de suprafaţă încă din starea iniţială. La aburire au apărut crăpături de suprafaţă la toate cele 4 piese aburite; astfel în momentul începerii uscării 6 din 8 piese prezentau crăpături, dar fără a afecta iremediabil calitatea materialului.

Diagrama de uscare este prezentată în Fig.5.31.

Fig. 5.31 Diagrama de uscare a şarjei de cherestea de cer 50mm uscată artificial în camera climatică

Durata totală a uscării a fost de 116 zile. Valorile obţinute pentru viteza de uscare sunt prezente în Tabelul 5.24.

Tabelul 5.24

Viteza de uscare înregistrată la uscarea artificială (fără circulaţie forţată a aerului) a cherestelei de cer, 50mm grosime

Domeniul de scădere a umidităţii lemnului	U_i , %	U_f , %	Durata de uscare, zile	Viteza de uscare, %/zi
Îndepărtarea apei libere	76,1	24,1	87	0,60
Îndepărtarea apei legate	24,1	13,95	29	0,35
Pe întregul interval	76,1	13,95	116	0,54

Comparând rezultatele prezentate în Tabelul 5.24 cu cele obținute la uscarea naturală a cherestelei de cer 50mm grosime, s-a observat că în domeniul eliminării apei libere, viteza de uscare a lemnului de cer este de 8,6 ori mai mare la uscarea artificială decât la uscarea naturală. Pentru domeniul apei legate nu s-a putut face comparație din cauza absenței datelor la uscarea naturală.

Comparând rezultatele prezentate în Tabelul 5.24 pentru lemnul de cer cu o grosime de 50mm cu cele obținute pentru cherestea cu grosime de 28mm, în aceleași condiții (fără circulație forțată a aerului), s-a observat că viteza de uscare este cu 39% mai mică în domeniul eliminării apei libere și cu 24% mai mică în domeniul eliminării apei legate. Pe întregul interval de scădere a umidității viteza de uscare la 50mm este cu 30% mai mică față de cea la 28mm.

În urma examinării vizuale după uscare se observă următoarele:

- două piese au crăpat; o piesă a fost îngustă și una lată, ambele au avut proporție mare de duramen (peste 70%);
- două piese au prezentat crăpături de suprafață; la ambele piese crăpăturile au fost observate și marcate înainte de uscare, dar în timpul procesului acestea s-au mărit;
- nicio piesă nu a prezentat crăpături de capăt după uscare;
- o piesă a înregistrat crăpături interioare; este vorba despre o piesă care a prezentat crăpături de suprafață încă din starea inițială, deci nu se poate afirma clar dacă crăpăturile interioare au pre-existat în lemn sau au fost generate în timpul uscării;
- nicio piesă nu a suferit deformații (bombări);
- s-a constatat că, după uscare, crăpăturile generate în timpul aburirii s-au închis;

Pentru evaluarea tensiunilor după uscare prin testul de cementare au fost selectate șase piese. Se observă că mărimea deschiderii, determinată prin testul de cementare, este cuprinsă între 2,0-3,0. Acest lucru indică aplicarea unui regim corect de uscare. Piese aburite au prezentat o cementare puțin mai mică (2,5mm) decât piesele neaburite uscate artificial (2,66mm). Per ansamblu, calitatea uscării la piesele aburite a fost mai bună, complet lipsită de crăpături. Asupra duratei nu s-a constatat niciun efect al aburirii.

În urma testului de uscare artificială a cherestelei tivite de cer cu o grosime de 50mm se pot formula următoarele constatări:

- pe baza experienței practice dobândite la uscarea cherestelei de 28mm grosime, faza de încălzire inițială s-a realizat la o temperatură de 30°C și o umiditate relativă de 87% ($U_e=18\%$), dar a avut o durată mai lungă, de 8h;

- prin reducerea umidităţii relative a aerului la 85% s-a făcut trecerea către faza de uscare propriu-zisă şi într-adevăr, şi în acest caz, umiditatea lemnului a început să scadă;
- după ce umiditatea de suprafaţă a atins $U_{sf}=24\%$, s-a început creşterea treptată cu câte 5°C a temperaturii, alternată cu scăderea umidităţii relative cu câte 5%;
- în jurul valorii de 34% a umidităţii lemnului a fost necesară creşterea temperaturii până la $50\ldots 60^{\circ}\text{C}$ combinată cu o umiditate relativă de 60...50% pentru a evita stagnarea uscării; trebuie menţionat că absenţa circulaţiei forţate a aerului este cea care conduce la această stagnare;
- odată ce umiditatea medie pe grosimea pieselor de probă a atins valoarea $U_{sf}=24\%$, procesul a fost accelerat prin reducerea umidităţii aerului, impunând un gradient de uscare de 2,2; în domeniul eliminării apei legate, uscarea a durat 29 de zile pentru reducerea umidităţii de la 24,1% (media) la 13,95% (media), echivalent cu o viteză de uscare de 0,35%/zi;
- nicio piesă nu a prezentat crăpături datorate uscării; crăpăturile pre-existente s-au mărit; crăpăturile de suprafaţă apărute în timpul aburirii s-au închis după uscare;
- nicio piesă nu s-a deformat;
- testul de cementare a relevat că, la limită, regimul aplicat este unul corect, piesele suferind o cementare apropiată de limita maximă admisibilă la uscarea standard ($\leq 3\text{mm}$); piesele aburite au prezentat o cementare puţin mai mică decât piesele neaburite uscate artificial dar per ansamblu calitatea uscării la piesele aburite a fost mai bună, complet lipsită de crăpături.

Aceste concluzii, împreună cu cele rezultate din testele de uscare anterioare, au permis formularea unor recomandări privind regimul optim de uscare în cazul cherestelei de cer cu grosime de 50mm.

5.2.4 Interpretarea rezultatelor şi formularea regimurilor optime de uscare

Cherestea cu grosime de 28mm. Având în vedere rezultatele obţinute, se consideră că acesta necesită modificări minore în privinţa temperaturii maxime (limitarea acesteia la 55°C) şi reducerea gradientului de uscare în ultima etapă a uscării propriu-zise. Regimul optim propus se regăseşte în Tabelul 5.26.

În diagrama din Fig. 5.35 este reprezentat regimul optim elaborat pentru cherestea de cer de 28mm (curbele cu linie plină), comparativ cu regimul de uscare recomandat de firma SECAL (Italia), pentru cherestea de stejar cu aceeaşi grosime (curbele cu linie întreruptă).

Tabelul 5.26

Regimul de uscare optim propus pentru cherestea de cer cu o grosime de 28mm

Faza	Umiditatea lemnului, %	Temperatura, °C	Umiditatea relativă, %	Umiditatea de echilibru, %	Gradientul de uscare
Încălzire inițială	U_i	30	87	18	-
Uscare propriu-zisă	$U_i \dots 36$	30	85...83	17,5...17,0	-
	36...24	50	83...75	15,5...12,6	-
	24...16	50	70...43	11,5... 7,0	2,3
	16... U_f	55	43...23	7,0...4,3	2,3
Răcire	U_f	30	-	-	-

Fig.5.35 Reprezentare grafică a regimului optim pentru cherestea de cer de 28mm comparativ cu regimul recomandat pentru cherestea de stejar 28mm

Se observă că durata de uscare în cazul cherestelei de cer este cu 15% (9 zile) mai lungă. Principalele particularități ale regimului dezvoltat în cadrul prezentei cercetări pentru lemnul de cer cu grosime de 28mm pot fi sintetizate după cum urmează:

- în prima etapă a uscării propriu-zise temperatura trebuie să fie mai mică 30°C față de 34°C, iar umiditatea de echilibru trebuie să fie mai mare (17,5% față de 16,5%);
- ridicarea temperaturii se poate face din momentul atingerii umidității de 40%, în timp ce la stejar se așteapta atingerea umidității de 30%;
- temperatura maximă suportată de lemnul de cer este de 55°C. Se recomandă însă ridicarea la această valoare numai după ce lemnul atinge umiditatea de saturație a fibrei de 24%.

Cherestea cu grosime de 50mm. Regimul optim propus pe baza rezultatelor cercetărilor din prezenta lucrare pentru cherestea de cer cu grosime de 50mm este prezentat în Tabelul 5.27.

Tabelul 5.27

Regimul de uscare optim propus pentru cherestea de cer cu o grosime de 50mm

Faza	Umiditatea lemnului, %	Temperatura, °C	Umiditatea relativă, %	Umiditatea de echilibru, %	Gradientul de uscare
Încălzire inițială	U_i	30	87	18	-
Uscare propriu-zisă	$U_i \dots 40$	30	85...80	17,5...16	
	40...24	35	80...70	16...12,5	
	24...16	40	60...50	10,2...8,7	2,2
	16... U_f	50	40...20	6,7...4,2	2,2
Condiționare	U_f	40	50	U_f	-
Răcire	U_f	30	-	-	-

Regimul propus pentru grosimea de 50mm este mai blând nu numai prin temperaturile mai mici în diferite etape ale procesului și prin valoarea mai mică a gradientului de uscare, ci și în privința umidității lemnului la care se recomandă ridicarea temperaturii ($U=36\%$ la cherestea cu grosime de 28mm și $U=24\%$ în cazul cherestei cu grosime 50mm).

Și față de regimul aplicat la șarja industrială prezentată în cercetările exploratorii, regimul propus este mai blând prin:

- temperatura inițială mai mică de 30°C față de $36-38^\circ\text{C}$;
- temperatura maximă cu 15°C mai mică;
- umiditatea lemnului la care s-a ridicat temperatura a fost 24% față de 30% în șarja experimentală;
- umiditatea de echilibru mai mare în ultima fază a uscării propriu zise: $4,2-6,7\%$ în regimul propus față de $2-3\%$ în șarja experimentală.

În diagrama din Fig. 5.36 este reprezentat regimul optim elaborat pentru cherestea de cer de 50mm (curbele cu linie plină) grosime comparativ cu regimul de uscare recomandat de firma SECAL (Italia) pentru cherestea de stejar cu aceeași grosime (curbele cu linie întreruptă).

Fig. 5.36 Reprezentare grafică a regimului optim pentru cherestea de cer de 50mm comparativ cu regimul recomandat pentru cherestea de stejar 50mm

Se observă că durata de uscare în cazul cherestelei de cer este cu 10,7% (11 zile) mai lungă. Principalele particularități ale regimului dezvoltat în cadrul tezei pentru lemnul de cer cu grosime de 50mm pot fi sintetizate după cum urmează:

- în prima etapă a uscării propriu-zise temperatura trebuie să fie mai mică 30°C față de 35°C, iar umiditatea de echilibru trebuie să fie mai mare (17,5% față de 15,8%);
- ridicarea temperaturii se poate face din momentul atingerii umidității de 24%, în timp ce la stejar se așteapta atingerea umidității de 30%;
- temperatura maximă suportată de lemnul de cer de 50mm este de 50°C. Se recomandă însă ridicarea la această valoare numai după ce lemnul atinge umiditatea de saturație a fibrei de 16%.

Pentru validarea regimului propus s-a efectuat uscarea unei șarje de cherestea de cer de 50mm într-o instalație industrială a firmei SECAL aplicând regimul din Tabelul 5.27.

5.3 Uscarea industrială a unei șarje de cherestea de cer și stejar pentru validarea regimului propus

5.3.1 Material, metodă, aparatură

Materialul folosit pentru prezenta cercetare a constat în scânduri de cherestea de cer și stejar, cu lungime de la 2m până la 3,5m, lățimi de 10-30cm și o grosime de 50mm.

Scândurile au fost introduse într-un uscător de tip SECAL (Italia) cu o capacitate de 100 m³: 32 de stive, din care 8 stive de cherestea de cer și 24 de stejar. Umiditatea inițială medie a fost de 66,2±7% pentru cherestea de cer și 66,9±2% pentru cea de stejar.

Umiditatea lemnului a fost monitorizată cu ajutorul a 8 senzori rezistivi, introduşi în scândurile de probă până la jumătatea grosimii. Patru dintre senzori au fost amplasaţi în scânduri de cer, iar cealaltă jumătate în scânduri de stejar.

La sfârşitul procesului a fost salvată fişa de evidenţă a uscării şi diagrama de uscare, înregistrate automat de către calculatorul de proces.

Controlul calitativ final s-a efectuat respectând standardul SR EN 14298:2005, conform căruia calitatea uscării este exprimată prin uniformitatea conţinutului final de umiditate dintr-un lot. Opţional (pentru cherestea cu grosime mai mare de 40mm) se recomandă şi evaluarea gradului de cementare conform standardului SR EN 14298:2005.

În funcţie de mărimea lotului, se stabileşte (conform standardului SR EN 12169:2000) câte pachete trebuie selectate şi deschise aleatoriu. În prezenta cercetare şarja a avut un număr total de 32 de pachete (stive), astfel că au fost desfăcute 4, câte 2 din fiecare specie.

În cazul şarjei industriale, lotul a cuprins un număr total de 1205 piese de cherestea, pentru care standardul prevede a fi măsurate 125 de piese. S-a adoptat un număr de 126 de piese, câte 63 pentru fiecare specie.

Conform standardului SR EN 14298:2005, pentru ca lotul să fie conform, trebuie îndeplinite două criterii:

- conţinutul mediu de umiditate al celor 63 de scânduri ar trebui să se încadreze în intervalul $\omega_{tar} \pm 1,5\%$ (când $\omega_{tar} = 10...12\%$) şi $\omega_{tar} \pm 1\%$ (când $\omega_{tar} = 7...9\%$), unde ω_{tar} este conţinutul de umiditate ţintit (în prezenta cercetare ω_{tar} pentru cer a fost 10%, iar pentru stejar 8%) (Tabelul 5.30);
- 93,5% din piese trebuie să aibă un conţinut de umiditate individual cuprins între $0,7\omega_{tar}$ şi $1,3\omega_{tar}$.

Dacă una dintre aceste cerinţe nu este îndeplinită, atunci lotul nu poate fi considerat conform în ceea ce priveşte uniformitatea conţinutului de umiditate.

Având în vedere grosimea cherestelei uscate (50mm), s-a considerat necesar şi testul de cementare pentru evaluarea calităţii uscării. Testul de cementare a fost efectuat pe 16 scânduri din fiecare specie..

Pentru a evalua numărul şi gravitatea crăpăturilor a fost efectuată analiza vizuală după uscare a celor 63 de piese selectate pentru fiecare specie.

5.3.2 Rezultate şi discuţii

Durata şi viteza de uscare. Diagrama de uscare a şarjei industriale este prezentată în Fig. 5.41. După cum se poate observa, procesul a început cu o fază de încălzire iniţială în care temperatura a ajuns la 30°C şi umiditatea de echilibru a crescut până la 18%.

În această fază, conţinutul de umiditate al lemnului de cer a crescut cu 3,5%, iar cel al lemnului de stejar cu 1,8%. Durata fazei de încălzire iniţială a fost de 24 de ore.

Ulterior, umiditatea de echilibru a fost redusă la 17,5%, pentru a începe uscarea propriu-zisă. În continuare, temperatura a fost menţinută constantă la 30°C, iar umiditatea de echilibru a scăzut treptat de la 17,5% la 16% în cele 51 de zile de uscare efectivă până când conţinutul mediu de umiditate măsurat de cei opt senzori a ajuns la 40%. În acest moment a început creşterea treptată a temperaturii până la o valoare maximă de 50°C spre finalul procesului. Simultan, umiditatea de echilibru a fost redusă continuu de la 16% la 4%.

Perioada de uscare propriu-zisă a durat 111 zile. În acest timp, scândurile de cer şi-au redus conţinutul de umiditate de la 66,2% la 10,8%, în timp ce scândurile de stejar s-au uscat de la 66,9% la 8%, ceea ce echivalează cu o viteză de uscare de 0,5%/zi pentru cer şi 0,53%/zi pentru stejar.

Fig. 5.41 Diagrama de uscare pentru cheresteaua de cer şi de stejar uscată într-o instalaţie industrială: S-Stejar; C-Cer

Comparând valorile vitezei de uscare obţinute la uscarea artificială cu şi fără circulaţie forţată a aerului (Fig. 5. 42), se observă că viteza aerului are o influenţă decisivă asupra uscării numai în domeniul apei libere.

Fig. 5.42 Viteza de uscare la cherestea de cer cu grosime de 50mm

Calitatea uscării - Uniformitatea umidităţii finale. Măsurarea conţinutului final de umiditate s-a realizat pe cele 63 de scânduri din fiecare specie, alese aleatoriu din cele 4 stive desfăcute. Rezultatele obţinute au fost grupate în patru intervale (Fig.5.43).

Fig.5.43 Umiditatea finală a cherestei de cer şi de stejar cu grosime de 50mm uscată într-o instalaţie industrială

Se observă că, în cazul cherestei de cer majoritatea pieselor (52,38%) s-au încadrat cu umiditatea finală în intervalul 10-12%, în timp ce majoritatea pieselor de stejar (74,60%) s-au încadrat în intervalul 7-9%, ceea ce subliniază încă o dată diferenţa de dinamică a uscării între cele două specii.

Ambele specii au avut valoarea medie a umidităţii finale situată în intervalul admis dat, în funcţie de conţinutul mediu de umiditate ţintit:

- pentru stejar: $\omega_{\text{final, mediu}} = 8,06\% \pm 1\% \in [\omega_{\text{tar}} \pm 1\%]$, adică 7...9%;
- pentru cer: $\omega_{\text{final, mediu}} = 10,17\% \pm 1,5\% \in [\omega_{\text{tar}} \pm 1,5\%]$, adică 8,5...11,5%.

În urma numărării s-a constatat că 59 de scânduri de cer (93,5%) şi 62 de stejar (98,41%) au avut un conţinut final de umiditate cuprins în intervalul $0,7\omega_{\text{tar}} - 1,3\omega_{\text{tar}}$. Conform SR EN 14298:2005, cheresteaua de cer s-a aflat astfel aproape de limita inferioară a îndeplinirii acestui criteriu de conformitate, în timp ce lemnul de stejar a îndeplinit fără probleme şi acest al doilea criteriu de conformitate.

Calitatea uscării - Testul de cimentare. Au fost testate un număr de 16 probe din fiecare specie, iar gradul lor de cimentare a fost evaluat prin măsurarea deschiderii după condiţionarea într-o cameră climatică. Valorile au fost grupate în trei intervale pentru a evidenţia frecvenţa diferitelor mărimi ale deschiderii (severitatea cimentării) (Fig.5.44). Se observă că scândurile de cer au avut o valoare mai mare a săgeţii (Fig.5.45).

Fig. 5.44 Mărimea deschiderii obținute în urma testului de cementare pentru cherestea de cer și de stejar cu o grosime de 50mm uscată industrial

a. b.
Fig. 5.45 Măsurarea cementării: a – Cer; b – Stejar

Calitatea uscării – Crăpături. Examinarea vizuală a scândurilor a arătat că:

- în cazul lemnului de cer: 6 (9,5%) din scândurile analizate au prezentat crăpături de suprafață severe, iar 14 (22,22%) au prezentat crăpături la capăt în ciuda protecției cu parafină. Doar 2 scânduri din cele analizate (3,17%) au prezentat și crăpături interioare;
- în cazul lemnului de stejar: 37 (58,7%) din scândurile analizate au prezentat crăpături de suprafață severe, iar 55 (87,3%) au prezentat capăt de capăt. 35 de piese (55,55%) au prezentat crăpături de suprafață și de capăt, dar niciuna nu a avut crăpături interne.

5.3.3 Concluzii

Prezenta cercetare a permis formularea următoarelor concluzii:

1. În domeniul eliminării apei libere uscarea se produce cu o viteză de uscare similară, cu o medie de 1%/zi.
2. În domeniul eliminării apei legate, viteza de uscare este mai mică la lemnul de cer decât la stejar. Acesta este motivul pentru care la uscarea ambelor specii în cadrul aceluiași lot, apare o diferență de cel puțin 2-3% la umiditatea finală (de exemplu, 10-11% pentru lemnul de cer, în timp ce lemnul de stejarul ajunge la 8%).

3. Lemnul de stejar se usucă mai uniform. Valorile umidităţii finale sunt mai puţin împrăştiate decât în cazul lemnului de cer.
4. Lemnul de cer dezvoltă în timpul uscării tensiuni interne mai mari decât lemnul de stejar.
5. Lemnul de stejar a dezvoltat o proporţie mai mare de crăpături de suprafaţă şi de capăt, dar crăpături interioare au apărut doar la lemnul de cer, în proporţie foarte redusă (3%).
6. Comparând şarja industrială, uscată cu regimul dezvoltat în cadrul prezentei cercetări, cu şarja de referinţă din cercetările preliminare, realizată la o altă întreprindere (cu regimul softului existent pe acea instalaţie), s-au constatat o serie de diferenţe. Acestea sunt sintetizate în Tabelul 5.35.

Tabelul 5. 35

Analiză comparativă a indicatorilor de uscare la şarja experimentale faţă de cea de referinţă

Criteriu	Şarja de referinţă	Şarja experimentală	Modificarea procentuală înregistrată la şarja experimentală
Durata, zile	102	113	Majorare cu 10,8%
Temperatura iniţială, °C	36-38	30	-
Temperatura maximă, °C	65	50	-
Umiditatea finală medie, %	8	10	-
Uniformitatea umidităţii finale în cuprinsul şarjei (procentajul pieselor conforme)	56,5	93,5	Majorare cu 65,5%
Mărimea cementării, mm	1,85±0,33	1,44±0,68	Reducere cu 22,16%
Crăpături de suprafaţă, %	28,5	22,22	Reducere cu 22,03%
Crăpături de capăt, %	57,5	9,5	Reducere cu 83,5%
Crăpături interioare, %	13,3	3,17	Reducere cu 76,17%
Coloraţii	da	Nu	

Comparativ cu şarja de referinţă, regimul propus a permis îmbunătăţirea calităţii uscării prin realizarea unei uscări mai uniforme, reducerea proporţiei de crăpături la toate categoriile şi a mărimii cementării. Este adevărat că durata s-a prelungit cu 10,8% (11 zile) ceea ce se datorează aplicării unui regim mai blând. Urmările acestei prelungiri a duratei sunt micşorarea proporţională a capacităţii anuale de uscare (cu cca. 30m³/an) şi majorarea consumului de energie (cu cca. 1,62euro/m³). În aceste condiţii, se consideră că avantajele obţinute din punct de vedere calitativ compensează dezavantajul duratei prelungite. În concluzie se poate afirma că regimul propus şi-a demonstrat eficienţa.

Capitolul 6. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

6.1 Concluzii generale

În urma cercetărilor efectuate se pot formula următoarele concluzii:

1. Deși uscarea convențională a lemnului de cvercinee este o provocare, firmele din industria din România dovedesc o bună expertiză pentru a controla procesul de uscare și a obține rezultate satisfăcătoare. Conform sondajului efectuat în 10 întreprinderi de profil din România, care usucă cherestea de cvercinee, principalele aspecte care necesită optimizare sunt: reducerea duratei, îmbunătățirea uniformității umidității finale, reducerea proporției crăpăturilor, în special a celor de capăt și evitarea colorațiilor.
2. Analiza macroscopică a lemnului de cer a arătat că acesta are o proporție de duramen mai mică decât cea caracteristică lemnului de stejar și gorun ($P_d=50\%$). Acest lucru face ca la debitare să se obțină fie piese foarte înguste (care să conțină doar alburn sau doar duramen), fie piese care cuprind atât zonă de alburn, cât și de duramen. Uscarea acestor piese late s-a dovedit dificilă, fiind însoțită de apariția a numeroase crăpături, atât de suprafață, cât și interne. Se recomandă uscarea sub formă de scânduri înguste.
3. Testele de culoare utilizate pentru a determina indirect conținutul de substanțe tanante au arătat că lemnul de cer are un conținut de tanin mai redus decât lemnul de gorun, atât în alburn, cât și în duramen. Astfel, riscul de producere a colorațiilor de uscare la uscarea lemnului de cer poate fi considerat mai redus decât la uscarea lemnului de gorun sau stejar. Testele de uscare au confirmat această concluzie: în niciunul dintre testele de uscare efectuate, piesele uscate nu au prezentat acest tip de defect.
4. Testele privind determinarea compușilor chimici secundari au relevat că alburnul de cer conține o cantitate apreciabilă de substanțe extractibile, procentajul obținut, de exemplu, prin metoda de extracție cu soluție de NaOH fiind cu 26,5% mai mare decât la duramenul de cer și cu doar 19,8% mai mic decât la duramenul de gorun. Acest rezultat se corelează foarte bine și cu rezultatul privind densitatea lemnului de cer, care s-a dovedit cu 1,27% mai mare în alburn decât în duramen - rezultat neașteptat, dar sesizat și de alți cercetători (*e.g.* Merela și Cufar 2012).
5. Cu o valoare de cca. 730 kg/m^3 , densitatea la stare anhidră a lemnului de cer este semnificativ mai mare decât cea a lemnului de stejar și gorun. Acest rezultat explică durata mai mare de uscare cu cca. 6% mai mare necesară în cazul acestei specii.
6. Literatura de specialitate nu indică valori pentru umiditatea de saturație a fibrei a lemnului de cer. Conform rezultatelor prezentei cercetări aceasta se situează la 24%, fiind mai mare decât cea a duramenului de stejar (22%).

7. Uscarea naturală s-a dovedit eficientă doar în cazul cherestei de cer cu o grosime de 28mm, unde, într-un interval de 7 luni, a fost posibilă atât eliminarea apei libere, cât şi a apei legate (până la 16%). Pentru cheresteaua de cer cu o grosime de 50mm, în acelaşi interval de timp reducerea umidităţii a avut loc doar în domeniul apei libere (până la 37%). Referitor la calitatea uscării, principala problemă a zvântării au reprezentat-o crăpăturile de capăt şi de suprafaţă la ambele grosimi de cherestea.

8. Atât din punct de vedere al duratei procesului, cât şi al calităţii uscării, rezultatele au fost mai bune în cazul uscării artificiale de la stare verde, decât în cazul precedării uscării artificiale de o zvântare în aer liber.

9. În urma testelor de uscare efectuate în laborator, s-au formulat următoarele concluzii privind condiţiile optime de uscare artificială:

- în prima etapă a uscării propriu-zise temperatura trebuie să fie de 30°C, iar umiditatea de echilibru trebuie să fie 17,5% . Această combinaţie prelungeşte durata necesară eliminării apei libere, dar asigură acomodarea treptată a lemnului cu mediul de uscare astfel încât acesta să nu acumuleze tensiuni;
- ridicarea temperaturii se poate face din momentul atingerii umidităţii de 24%;
- temperatura maximă suportată de lemnul de cer este de 55°C la cherestea de 28mm şi de 50°C pentru cherestea de 50mm grosime. Se recomandă însă ridicarea la această valoare numai după ce lemnul atinge valoarea de 40% la cherestea de 28mm şi de 24% pentru cherestea de 50mm grosime.

10. Pe baza observaţiilor din diferitele teste de uscare efectuate în laborator cu cherestea de cer s-au stabilit două regimuri considerate optime pentru cherestea de cer de 28mm (Tabelul 5.26) respectiv 50mm (Tabelul 5.27).

11. Implementarea la scară industrială a regimului pentru cherestea de cer cu o grosime de 50mm a arătat că este posibilă îmbunătăţirea calităţii uscării acestei specii fără ca durata să fie afectată semnificativ (Tabelul 5.35).

6.2 Contribuţii originale

Contribuţiile originale se regăsesc în toate etapele de elaborare a tezei şi pot fi sintetizate după cum urmează:

- Realizarea unei sinteze a informaţiilor referitoare la particularităţile, proprietăţile şi comportamentul la uscare al lemnului de cer;
- Stabilirea metodologiei de cercetare adoptată în cadrul prezentei teze de doctorat;
- Conceperea unui chestionar pentru efectuarea unui sondaj în zece firme din România care usucă cherestea de cvercinee;

- Analiza și interpretarea răspunsurilor din sondaj, realizarea unor corelații între condițiile de uscare aplicate de diferite întreprinderi și defecte uscare declarate (Tabelul 3.5). Aceste corelații au relevat aspectele ce pot fi îmbunătățite la uscarea industrială a lemnului de cer;
- Caracterizarea lemnului de cer, originar din zona Subcarpaților Getici, care dispune de o pondere importantă a resursei de lemn de cer din România, din punct de vedere al structurii, al componentelor chimici secundari și al unor proprietăți fizice relevante în procesul de uscare;
- Realizarea a două cercetări exploratorii asupra uscării cherestei de cer cu alte specii de cvercinee: una în condiții de laborator și una în condiții industriale;
- Elaborarea planului experimental de uscare în diferite condiții (uscare naturală vs. uscare artificială, fără și cu circulație forțată a aerului) pentru cherestea de 28mm și 50mm grosime;
- Realizarea standului experimental pentru monitorizarea continuă a umidității din lemn în timpul uscării în camera climatică;
- Elaborarea unei linii directe privind regimurile de uscare pentru cherestea de cer, utilă specialiștilor din producție;
- Elaborarea regimurilor optime de uscare pentru cherestea de cer cu grosime de 28mm și 50mm;
- Conducerea uscării unei șarje industriale de cherestea de cer și efectuarea controlului calitativ final conform metodologiei elaborate.

6.3 Diseminarea rezultatelor

Rezultatele cercetărilor efectuate au fost publicate în 6 articole indexate ISI și BDI, toate ca prim autor.

- 1. Deaconu, I., Câmpean, M. (2022). "Survey concerning the challenges of industrial drying of *Quercus cerris* wood," *PRO LIGNO* 18(4), 36-44, ONLINE ISSN 2069-7430, ISSN-L 1841-4737.
- 2. Deaconu, I., Georgescu, S.V., Câmpean, M. (2022). "Evaluating a drying schedule for oak lumber through drying rate calculation and quality assessment," *PRO LIGNO* 18(2), 42-47, ONLINE ISSN 2069-7430, ISSN-I 1841-4737.
- 3. Deaconu, I., Porojan, M., Timar, M. C., Bedeleian, B., Câmpean, M. (2023). "Comparative research on the structure, chemistry, and physical properties of Turkey oak and sessile oak wood," *BioResources* 18(3), 5724-5749. DOI: 10.15376/biores.18.3.5724-5749.
- 4. Deaconu, I.T., Georgescu, S.V., Câmpean, M. (2023). "Drying Behaviour of 50mm Thick Turkey Oak Lumber," *Appl. Sci* 13(9), 10676 <https://doi.org/10.3390/app131910676>.

- 5. Deaconu I., Timar, M.C., Bedeleian, B., Câmpean, M. (2023). "Comparative research regarding the hydrophilic extractives content in Turkey oak and sessile oak wood and their related staining susceptibility by reaction with iron," *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*, Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering, Vol. 16 (65), No.2, DOI: <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.3.4>.
- 6. Deaconu, I., Bedeleian, B., Georgescu, S.V., Zeleniuc, O., Câmpean, M. (2024). "Quantitative and qualitative aspects of industrial drying of Turkey oak lumber," *11th Hardwood Conference Proceedings*, 30-31 May 2024, Sopron, Hungary, pp.508-517, ISBN 978-963-334-518-4 (pdf) DOI <https://doi.org/10.35511/978-963-334-518-4>; ISSN 2631-004X.

6.4 Direcții viitoare de cercetare

Pe baza rezultatelor și concluziilor din teză pot fi formulate următoarele direcții viitoare de cercetare:

1. Realizarea unui sondaj mai larg la nivel național asupra aplicării diferitelor procedee de uscare și pentru alte specii.
2. Folosirea metodologiilor dezvoltate în cadrul prezentei cercetări pentru studiul uscării altor specii.
3. Realizarea unei cercetări asupra finisării lemnului de cer, în vederea valorificării la scară mai mare a lemnului de cer în producția de mobilier, produse finite din lemn și amenajări interioare și exterioare.

Bibliografie

- Bajraktari A (2018). Wood Quality of *Quercus cerris* from Kosovo. Teză de doctorat, Lisbon University, Lisbon, Portugal.
- Brace, I. (2018). Questionnaire design. How to plan, structure and write survey material for effective market research. 4th edition. British Library Cataloguing-in-Publication Data.
- Câmpean M (2002). Contribuții la studiul proceselor de uscare forțată a cherestelei din lemn de rășinoase sub efectul mișcării alternative a aerului. Teză de doctorat. Universitatea Transilvania din Braşov.
- Câmpean M, Lazarescu C (2016). Considerations upon the drying of oak lumber. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II. Vol. 9(58) No. 1, pp. 37-42. Online: http://webbut.unitbv.ro/Bulletin/Series%20II/2016/BULETIN%20I%20PDF/02_Campean.pdf
- Carvalho A (1997). Madeiras portuguesas (Vol. II). Lisboa: Direcção-Geral das Florestas.
- Cividini R (2000). Assessment of Drying Quality of Timber. Nardi Drying Kilns, Italy.
- Cividini R (2001). Conventional kiln-drying of lumber; NARDI S.p.A.: Chiampo, Italy.

- De Rigo D, Enescu CM, Caudullo, G (2016). *Quercus cerris* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. Chapter in book: *European Atlas of Forest Tree Species* Publisher: Publication Office of the European Union, Luxembourg, pp 148-149
- Denig J, Wengert EM, Simpson WT (2000). *Drying Hardwood Lumber*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory: Madison, WI, USA.
- EDG (1992). *Recommendation on Assessment of Drying Quality of Timber*, European Drying Group, Hamburg, Germany.
- EN 1534:2020 Wood flooring and parquet. Determination of resistance to indentation. Test method
- Ferrari S, Allegretti O, Cuccui I, Moretti N, Marra M, Todaro L (2013). A revaluation of Turkey oak wood (*Quercus cerris* L.) through combined steaming and thermo-vacuum treatments. *BioResources* 8(4): 5051-5166. DOI: 10.15376/biores.8.4.5051-5066
- Filipovici J (1965). *Studiul lemnului*. Vol. II. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti.
- Fodor F, Hofmann T (2024) Chemical Composition and FTIR Analysis of Acetylated Turkey Oak and Pannonia Poplar Wood. *Forests*, 15(1): 207. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15010207>.
- Ghelmeziu NG, Suci PN (1959). *Identificarea lemnului*. Editura Tehnică, Bucureşti.
- Govina JK, Nemeth R, Bak M, Bader M (2023). Effect of variable growth conditions of selected anatomical properties of Hungarian turkey oak wood. *Bulletin of Transilvania University of Braşov*. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.3>.
- Gurău L, Timar MC, Porojan M, Ioraş F (2013). Image Processing Method as a Supporting Tool for Wood Species Identification. *Wood and Fiber Science*. Vol.45, Nr.3, p.303-313.
- Hildebrand R (1979). *Die Schnittholztrocknung*; Robert Hildebrand Maschinenbau, Oberboihingen, Germany.
- Holzatlas (2008). Carl-Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Editor: Wagenführ, R., Munich, Germany.
- Janik W (1965). *Handbuch der Holztrocknung*; VEB Fachbuchverlag Leipzig: Leipzig, Germany.
- Joly P, Francois MC (1980). *Théorie, Pratique & Economie du Séchage des Bois*. Editions H. Vial, Dourdan.
- Joyet P., Meunier T. (1996). Drying green oak under vacuum with superheated steam without discoloration and drawback: industrial results. In: *Proceedings of the 5th International IUFRO Wood Drying Conference*, Quebec, pp. 169-176.
- Kasunic, M. (2005). *Designing an effective survey*. Carnegie Mellon Software Engineering Institute, Pittsburgh.
- Leuschner C, Ellenberg H (2017). *Ecology of Central European Forests, Vegetation Ecology of Central Europe*, Volume I, Springer International Publishing Switzerland, ISBN 978-3-319-43040-9.
- Mabberley DJ (2008). *Mabberley's Plant-Book: A Portable Dictionary of Plants, Their Classifications, and Uses*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Manetti MC (2002). Tree ring growth by core sampling at the CONECOFOR permanent monitoring plots. The deciduous oak (*Quercus cerris* L.) type. *Journal of Limnology*, 61(s1), pp. 55–61.
- Marinescu I (1979). *Uscarea lemnului*, Vol. I, Edit. Tehnică, Bucureşti.
- Merela M, Cufar K (2013). Mechanical properties of sapwood versus heartwood, in three different oak species. *DRVNA INDUSTRIJA* 64 (4) 323–334 (2013).
- Najib R, Houri T, Khairallah Y, Khalil M (2021). *Quercus cerris* L.: An Overview. – *Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused* 74: 1–9. <https://doi.org/10.2478/fsmu-2021-0001>.
- Nunes L (2017). *Caracterização da Madeira de Quercus cerris - Análise Anatômica, Análise Dendrocronológica e Ensaio de Dureza*, Master's Thesis, University of Lisbon, Lisbon, Portugal.
- Petrovici V, Agache C (1999). *Chimia şi prelucrarea chimică a lemnului. Lucrări practice de laborator*. Ediția a II-a. Reprografia Universității Transilvania din Braşov.
- Petrovici V Gh, Popa VI (1997). *Wood chemistry and chemical processing of wood*. Vol. 2 (in Romanian). Lux Libris Press, Brasov, Romania, 208 p.
- Richter HG, Dallwitz MJ (2000). Commercial timbers: Descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. DELTA database (<https://www.delta-intkey.com/wood/en/index.htm>), Accessed 15.10.2022.
- Sergovski PS (1968). *Tratarea termică a lemnului*. (în limba rusă) Editura "Lesnaia promAslennoti", Moskow, Rusia.
- SR EN 350-2-1997. Durabilitatea lemnului şi a materialelor derivate din lemn. Durabilitatea naturală a lemnului masiv. Partea 2: Ghid de durabilitate naturală a lemnului şi de impregnabilitate a esenţelor de lemn alese după importanţa lor europeană.
- SR EN 12169:2000. Criterii de verificare a conformităţii unui lot de cherestea.
- SR EN 13183-1:2005. Conţinutul de umiditate al unei piese de cherestea. Partea 1: Determinare prin metoda de uscare.
- SR EN 14298:2005. Cherestea. Estimarea calităţii uscării.
- SR ENV 14464:2004. Cherestea. Metodă de măsurare a cementării.
- SR ISO 4471-1993. Lemn. Prelevare de arbori de probă şi buşteni pentru determinarea proprietăţilor fizice şi mecanice ale lemnului din arborete omogene.
- STAS 83-89. Lemn. Determinarea umidităţii în vederea încercărilor fizice şi mecanice.
- STAS 2557-88. Lemn. Determinarea caracteristicilor inelelor de creştere.
- STAS 84-87: Lemn. Determinarea masei volumice.
- STAS 85/2-91: Lemn. Determinarea contragerii
- Stefasani M, Devolli A, Feta D, Shahinasi E (2018). The solubility of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) wood in water. In: *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, pp. 634-640.

Todaro L, Zanuttini R, Scopa A, Moretti N (2012). Influence of combined hydrothermal treatments on selected properties of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) wood. *Wood Science and Technology* 46 (1-3): 563-578

Tolvaj L, Molnar S (2006). Color homogenization of hardwood species by steaming. *Acta Silv. Lignaria Hung.* 105–112.

Trendelenburg R, Mayer-Wegelin H (1955). *Das Holz als Rohstoff*. 2 völlig überarbeitete Auflage. Karl Hauser Verlag-München.

Trübswetter T (2006). *Holztrocknung. Verfahren zur Trocknung von Schinittholz-Planung von Trocknungsanlagen*,. Carl Hanser Verlag, Leipzig.

***<https://silvanews.ro/silvicultura/silvotecnica/cata-padure-mai-avem-romania/>

***<https://www.mcid.gov.ro/wp-content/uploads/2022/12/hg-aprobare-pncdi-iv.pdf>

***<https://www.qdidactic.com/bani-cariera/agricultura /silvicultura/specii-foioase-autohtone-fagul-cvercinee-le-castanul-557.php>