

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII PRIVIND INFLUENȚA FACTORILOR
CLIMATICI TEMPERATURĂ ȘI UMIDITATE ASUPRA
STRUCTURILOR DIN LEMN**

Doctorand

Ing. Ioana TEODORESCU

Conducător științific

Prof. univ.emerit dr. ing. Mihai VOICULESCU

Mulțumiri

Doresc să aduc mulțumiri coordonatorului meu științific, domnului profesor Mihai Voiculescu, pentru că m-a îndrumat permanent, sprijinit și încurajat de-a lungul perioadei de pregătire a doctoratului și de elaborare a tezei. Îi mulțumesc domnului profesor pentru că mi-a oferit libertatea de a exploata și aborda această temă de doctorat într-un mod personal și pentru toate observațiile făcute pe parcursul tezei.

De asemenea, vreau să le mulțumesc profesorilor care m-au coordonat în acest proiect de mare amploare cu mulțumiri speciale doamnei profesor Țăpuși care mi-a dăruit pasiunea pentru acest domeniu și m-a ajutat să îmi dezvolt cunoștințele, chiar dacă calea aleasă nu a fost cea obișnuită sau cea ușoară. Precum și domnului profesor Jorge Branco care m-a îndrumat și sprijinit în experimentele realizate în laboratorul de inginerie civilă la universitatea Minho din Portugalia.

Le mulțumesc părinților mei care m-au susținut mereu în ideile mele și au încercat să-mi facă drumul mai ușor în acest lung proces de permanent studiu și cercetare. Au avut grijă de mine să mai fac câte o pauză din când în când și au avut încredere în mine că pot să duc acest proiect până la sfârșit, precum și bunicilor mei pentru că au fost acolo pentru mine.

Îi mulțumesc Veronicăi cu care m-am sfătuit în orice privință cu toate că suntem pe domenii de studii diferite iar dacă nu am fi făcut împreună acest drum sunt sigură că ar fi fost mult mai greu.

Și nu în ultimul rând vreau le mulțumesc și noilor mei prieteni fără de care ultimii doi ani din viața mea nu ar fi fost la fel, care m-au învățat nenumărate lucruri despre prietenie atunci când aveam mai mare nevoie și mi-au deschis noi orizonturi la care nici nu mă gândisem încă: Elesban, Leslie, Maxime, Meera, Rafael, Rafael, Santiago, Xinyu.

Cuprins

Prefață	3
Rezumatul proiectului	4
Structura tezei	6
1. Introducere	7
2. Influența umidității asupra lemnului.....	7
3. Sinteză bibliografică asupra îmbinărilor.....	8
4. Modele de calcul pentru diferite elemente din lemn	9
5. Partea experimentală privind articulațiile duble cu dornuri din lemn	11
6. Calcul numeric al diverselor caracteristici ale lemnului	17
7. Studii de caz aplicarea modelului de pierdere de masă pentru structuri plane din lemn.....	22
7.1. Calcul grindă cu zăbrele.....	22
a) Calcul pentru solicitarea la întindere (15x15 cm)	23
b) Calcul pentru solicitarea la compresiune (15x19 cm).....	23
7.2. Calcul grindă simplă.....	24
a) Calcul pentru secțiunea 15x15 cm	24
b) Calcul pentru secțiunea 15x19 cm	25
7.3. Calcul perete din lemn.....	26
Concluzii, contribuții personale și valorificarea rezultatelor	27
Bibliografie selectivă	30

Prefață

Ideea de bază a acestei cercetări prezentate în studiul de față este de a contribui la o mai bună înțelegere a influenței pe care schimbările climatice le au asupra structurilor din lemn și mai mult în buna dezvoltare a articulațiilor din lemn. Scopul este de a analiza proiectarea și calcularea îmbinărilor cu dornuri din lemn pentru a găsi condiții adecvate pentru aplicații viitoare într-o bună capacitate de rezistență dar și de a verifica aplicabilitatea modelelor de degradare asupra unor elemente din lemn calculate după norme naționale și internaționale.

Studiul de față pornește de la ideea de bază a tezei de disertație „*Etude de l'influence des variations climatiques sur la capacité de service et fiabilité de structures en bois*, București 2015” în care s-a realizat calculul pentru un model de degradare a elementelor din lemn afectate din cauza influențelor climatice: temperatură și umiditate. Acestea au o mare influență asupra comportamentului materialelor de construcție și mai ales asupra elementelor din lemn. Climatul folosit pentru acest studiu a fost generat automat de un program care se bazează pe date reale de temperatură și umiditate din două regiuni din Franța. În acest model de degradare sunt introduse date ale climatului: temperatură și umiditate relativă pentru a vedea cum acestea influențează materialul lemnos.

Modelul propus și experimentele realizate doresc să introducă noi puncte de vedere și soluții pentru articulațiile din lemn cu lemn. Totodată, modelul poate fi folosit pentru prezicerea rezistenței în timp a elementelor unei structuri. Studiul este limitat de alte proprietăți ale lemnului care nu sunt luate în considerare, precum și de defectele pe care elementele le-ar putea avea din fabricație dar și care sunt create de factorii externi: ciuperci, insecte și elemente degradante.

Cercetarea a fost realizată la Universitatea Tehnică de Construcții București sub îndrumarea prof.univ.emerit dr.ing. Mihai Voiculescu și șef.lucr.dr.ing Daniela Tăpuși. S-a insistat pe proprietățile materialului lemnos, în special pe prezența diferitelor tipuri de apă care se găsesc în lemn și care pot modifica sau nu volumul și caracteristicile acestuia și pe influența pe care umiditatea o are asupra proprietăților fizice și mecanice ale lemnului.

Campania experimentală a fost realizată la Universitatea Minho, Guimarães, Portugalia în Laboratorul de Inginerie Civilă sub supravegherea prof.dr. Jorge Branco. Mobilitatea a putut fi îndeplinită cu ajutorul programului Erasmus+ pe o perioadă de un an. În acest timp, s-au realizat experimente pe îmbinări duble lemn cu lemn cu dornuri din lemn a căror conținut de umiditate a fost modificat într-o cameră climatică. S-a analizat rezistența elementelor și s-a demonstrat buna funcționare a acestor tip de îmbinări.

Rezumatul proiectului

Proprietățile fizice și mecanice ale materialului lemnos în forma sa naturală sau care face parte dintr-o structură pot fi modificate (afectate negativ) dacă există o combinație a factorilor climatici (umiditate și temperatură) care îl pot influența. Acest lucru are loc deoarece lemnul este un material organic care este în continuă creștere. Principala problemă a structurilor din lemn este influența climatului care poate deteriora aspectul și comportamentul elementelor din lemn. Variațiile temperaturii, în combinație cu umiditatea reprezintă principalii factori de deteriorare deoarece pot facilita formarea ciupercilor și mușcăiurilor care atacă lemnul și îi reduc capacitatea de rezistență iar la final pot duce până la distrugerea acestuia.

Studiul este bazat pe utilizarea optimă a elementelor din lemn care au fost supuse la schimbări climatice și asupra cărora pierderea de masă a intervenit. Cercetarea se dorește a fi experimentală și numerică, cu accent pus pe diferite elemente realizate din lemn sau care fac parte din structuri din lemn și evoluția lor în timp. Scopul principal este demonstrarea momentului în care piesa din lemn este distrusă, după ce perioadă de timp și cum este influențată de condițiile climatice. Astfel teza este împărțită în două mari capitole generale: experimental și teoretic care includ folosirea unui model dezvoltat deja și aplicații.

Partea teoretică este exemplificată prin calcule prezentate în studiile de caz și are la bază un model de degradare creat de cercetători care folosește schimbări de temperatură și umiditate relativă pentru a crea un model de pierdere de masă care este aplicat ulterior pe elemente din lemn calculate după standarde naționale și internaționale și verificate la rezistență pentru o perioadă de timp determinată.

Partea experimentală este reprezentată prin teste de forfecare dublă pe articulații cu dornuri din lemn. Mostrele din lemn folosite în teste au conținutul de umiditate modificat într-o cameră climatică la o anumită temperatură și umiditate relativă.

Studii de literatură au fost realizate pentru a urmări alte cercetări efectuate dar chiar dacă există exemple ale testelor de forfecare dublă efectuate asupra articulațiilor, noutatea studiului de față este introducerea dornurilor din lemn pentru realizarea conexiunilor, acesta fiind un domeniu puțin studiat și chiar în standarde nu se ia în cont această posibilitate pentru un calcul separat. De aceea, este necesară o creștere sporită în ceea ce privește cunoștințele asupra rezistenței, modelării și proiectării îmbinărilor precum și a parametrilor care intervin în studiu. Testarea și verificarea modelului de degradare a fost realizată prin comparații a rezultatelor din calculul numeric și din testele experimentale realizate în această cercetare. Rezultatele testelor experimentale au fost comparate cu valori numerice, calculate după standardul internațional dar și după alte studii efectuate pe acest subiect pentru a evalua utilitatea și capacitățile de predicție.

Limitările studiului sunt date de dimensiunile mostrelor folosite pentru articulațiile din calcul, precum și de tipul de dorn folosit pentru calcul. Numărul specimenelor folosite este limitat de timpul necesar pentru realizarea experimentelor deoarece schimbarea conținutului de umiditate presupune un anumit număr de zile. Unele elemente folosite în calcul prezintă defecte precum noduri sau crăpături care influențează capacitatea de rezistență a articulației. Limitările

apar și din cauza noutății studiului prin folosirea articulațiilor cu dornuri din lemn deoarece standardele și cercetările făcute pe acest tip de dornuri sunt foarte puține iar calculele efectuate pentru comparație nu sunt relevante, diferențele între valorile de calcul și din experimente fiind foarte mari. De asemenea, disponibilitatea modelelor de degradare create pentru simularea pierderii de masă pentru condiții de mediu și de calcul a căror factori sunt disponibili cercetătorilor sunt reduse.

Structura tezei

Partea I

Începe cu o prezentare generală asupra materialului lemnos cu un accent pus pe proprietățile mecanice ale lemnului, pe structura internă cu diferitele tipuri de apă care se găsesc la nivelul materialului și a capacității lemnului de a reține apă urmată de o prezentare a tipurilor de îmbinări folosite pentru realizarea structurilor din lemn și cu exemple ale diferitelor cercetări în domeniu. Se analizează și umiditatea interioară a lemnului împreună cu factorii care influențează creșterea sau scăderea acesteia.

Partea II

Se axează pe tipuri de solicitări care apar la nivelul elementelor din lemn și care sunt influențate în timp de variații de temperatură și umiditate care duc la pierderea de masă a elementelor. Studiul arată cât timp ar rezista elementele din lemn supuse la acest proces de pierdere de masă. Unul dintre factorii principali care influențează buna dezvoltare a elementelor din lemn și rezistența acestora este creșterea umidității care favorizează degradarea biologică din cauza apariției ciupercilor și a mușcăiului.

Modelul de calcul pentru pierderea de masă este realizat în teza de masterat și pornind de la model se realizează calculul pentru diferite elemente din lemn. Acesta urmărește cele două norme: NP 005 și Eurocode 5 ulterior fiind realizată o comparație între valorile de calcul și rezultatele din experimente care sunt prezentate în capitolul studiilor de caz.

Partea III

Partea experimentală are la bază efectuarea de teste de forfecare dublă pentru articulații realizate în totalitate din lemn. Mostrele din lemn sunt modificate în prealabil într-o camera climatică în care temperatura și umiditatea sunt controlate pentru a modifica conținutul de umiditate din interiorul pieselor din lemn. De asemenea sunt efectuate teste asupra dornurilor din lemn pentru a le demonstra rezistența. Concluziile experimentelor sunt comparate cu rezultatele calculului după standardul internațional și după alte studii efectuate în acest domeniu.

1. Introducere

În ultimii ani, construcțiile din lemn au început să ia amploare iar structurile cu forme mai speciale sunt din ce în ce mai utilizate pentru a arăta inovațiile acestui material. De aceea, datele despre materialul în sine nu mai sunt suficiente, ci se dorește o cunoaștere mai detaliată a durabilității și a rezistenței împotriva agenților externi: mușegaiuri, degradări, radiații solare sau eroziuni la nivelul suprafeței lemnului. Toate acestea duc la extinderea duratei de viață în condiții de siguranță.

Principalii factori care influențează buna desfășurare a elementului lemnos în timp sunt factorii de mediu: temperatură, umiditate, ploaie, vânt deci condițiile de expunere dar și modul de construcție a structurilor și orientarea lor în spațiu (de exemplu pe câmp deschis sunt mai supuse la condiții de vânt, ploaie etc. iar dacă se găsesc înconjurare de clădiri, sunt mai protejate), designul lor (corect după modul în care au fost calculate) și execuția lor (după planurile structurii). [1]

Una dintre principalele diferențe între lemn și celelalte materiale utilizate în mod obișnuit în construcții: metal, zidărie și beton este faptul că lemnul este produs al unui copac viu care se dezvoltă în timp. Anatomia lemnului nu este atât de importantă pentru ingineri și constructori dar o înțelegere a proprietăților fizice (densitate, conținut de umiditate) și mecanice este necesară pentru a pune în practică și a folosi materialul pentru construcții.

Pentru studiul de față, în campania experimentală sunt folosite trei tipuri de lemn: Castan (*Castanea sativa*), Molid (*Picea abies*) și Massaranduba (*Manilkara spp*).

Subcapitolul prezintă unele proprietăți ale lemnului: compresiune, întindere, încovoiere și forfecare cu anumite caracteristici dar și proprietatea acestuia de a reține apă care se găsește în mai multe forme: apă liberă și legată.

2. Influența umidității asupra lemnului

În capitolul de față se insistă pe conținutul de umiditate care se găsește în lemn și care este influențat de condițiile de mediu în care se găsește materialul.

Schimbările la nivelul conținutului de umiditate a lemnului pot produce crăpături din cauza schimbării repetate a volumului dar pot crea și un mediu bun pentru dezvoltarea mușegaiurilor, insectelor și ciupercilor care influențează capacitatea de rezistență a materialului lemnos. De aceea, în calcul trebuie să se țină cont de aceste schimbări în structura lemnului.

Conținutul de umiditate este un important factor în evoluția materialelor lemnoase de-a lungul timpului deoarece poate afecta proprietățile de rezistență și rigiditatea lemnului și este luată în considerare în calculul pentru rezistența mecanică și starea de serviciu (cum este subliniat în Eurocod). Acesta este motivul pentru care efectele conținutului de umiditate și schimbările pe care le pot avea asupra elementelor din lemn trebuie luate în considerare. [7]

Mai departe sunt prezentate cateva metode prin care se poate determina conținutul de umiditate din lemn:

- Uscarea într-un cuptor la o temperatură de 101 până la 105 °C;
- Folosirea unui contor de umiditate care măsoară proprietățile electrice ale lemnului care sunt afectate de conținutul de umiditate;
- Metode chimice (exemplu titrarea Karl Fisher);
- Distilarea apei și măsurarea volumului acesteia;
- Metode higrometrice.

De asemenea, se descriu și factorii care influențează creșterea sau scăderea conținutului de umiditate: timpul, temperatura, umiditatea dar și mărimea specimenelor care intră în contact cu climatul respectiv.

Majoritatea problemelor legate de degradare sunt cauzate de umiditate, iar modul de prevenire este simplu: trebuie eliminată sursa de umiditate, nu doar tratat mucegaiul sau alte probleme asemănătoare. Acest lucru este foarte important pentru membrele din lemn care sunt supuse la încărcări. Partea degradată trebuie tăiată până la partea sănătoasă iar dacă membrul distrus nu poate fi înlocuit, acesta poate fi consolidat cu lemn tratat. Trebuie luat în considerare faptul că lemnul degradat absoarbe și păstrează apa mai ușor decât lemnul sănătos, așa că părțile degradate trebuie să nu fie îndepărtate până ce reparațiile sunt făcute.

3. Sinteza bibliografică asupra îmbinărilor

Pentru structurile din lemn, îmbinările sunt partea cea mai importantă deoarece reprezintă locul în care se adună cea mai mare cantitate de umiditate, iar dacă se ține cont de protecția lor, durata de viață a structurii este mărită. Selectarea tipurilor de îmbinări depinde de încărcarea care va fi atribuită dar și de anumite detalii ale construcției printre care estetica, costurile și procesul de realizare dar și de fiecare arhitect și constructor în parte. [22]

Chiar dacă articulațiile sunt considerate a fi partea cea mai fragilă a unei structuri deoarece acumulează umiditate și facilitează deteriorarea prin descompunere, ele reprezintă calea cea mai bună pentru a crea legături între diferitele părți ale unei structuri. Dacă ele sunt calculate și proiectate într-o manieră corectă, articulațiile sub forma conexiunilor de tip diblu (de care suntem interesați în acest studiu) vor avea o ductilitate mare care este legată de un bun comportament non-liniar.

Mai departe în capitol sunt prezentate diferite tipuri de îmbinări: prin chertare, cu pene, cu tije cilindrice, încleiate.

În cazul studiului de față se folosesc îmbinări cu dibluri din lemn. Acestea au fost calculate și introduse de Johansen și au fost reluate de asemenea și în Eurocodul 5. Teoria se bazează pe distribuția uniformă a forțelor și prezintă câteva moduri de rupere în care compresiunea (datorată penetrării) și încovoierea până la rupere a dornului sunt luate în

considerare și sunt folosite pentru determinarea rezistenței articulațiilor (lemn cu lemn sau lemn cu oțel) dar nu sunt luate în considerare pentru determinarea rigidității acestora. [28]

Cu toate acestea, în zilele noastre articulațiile de acest tip se realizează cu dornuri/buloane din metal. În studiul de față însă, îmbinările sunt realizate cu dornuri din lemn (puține studii abordează acest tip de articulație și chiar standardele nu pun accent pe acest tip de îmbinare).

4. Modele de calcul pentru diferite elemente din lemn

Datele folosite pentru acest tip de studiu care arată durabilitatea unei structuri din lemn depind de tipul de mecanism folosit pentru degradare. În proces intervin condițiile de mediu exterior umiditate și temperatură și de aceea sunt necesare date legate de climat și de condițiile de expunere pentru structura folosită.

Datele de început trebuie să țină cont de temperatură, umiditate relativă, radiații solare, ploaie, intensitatea vântului. Apoi este necesară definirea mesoclimatului (condițiile climatice din zona clădirii neafectate de proprietățile materialului și forma structurii). [37]

Variațiile periodice ale temperaturii și umidității au o foarte mare influență asupra materialului lemnos deoarece pot crea cantități de apă suplimentare sau le pot reduce. Acestea realizează schimbări în compoziția internă a lemnului modificând proprietățile sale fizice și mecanice, slăbindu-le rezistența dar și creând medii propice pentru dezvoltarea factorilor biologici: insecte, ciuperci, mușegaiuri care duc la deteriorarea elementelor din lemn.

Efectul temperaturii asupra lemnului sau asupra materialelor derivate din lemn a fost studiat intens. La temperaturi foarte ridicate, proprietățile fizice și mecanice ale materialului lemnos sunt strâns legate de degradarea termică a celulelor din lemn și de variația conținutului de apă din material.

Strategia utilizării temperaturii și umidității în studii are doi pași importanți:

- a) realizarea unui model pentru variația temperaturii în funcție de timp;
- b) realizarea unui model pentru variația umidității, folosind relația sa cu temperatura. [40]

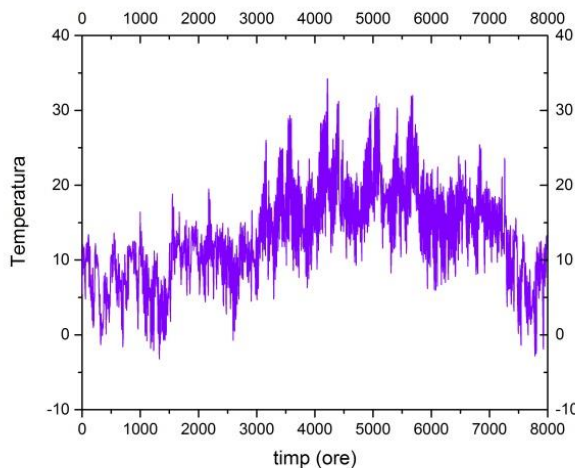


Figura 4.1 Reprezentarea temperaturii pentru studiul pierderii de masă (sursa:[40])

Graficul este realizat pentru a caracteriza temperatura într-un an, reprezentată în °C unde timpul este măsurat în ore. Valorile pentru temperatură sunt generate aleatoriu de un program care are la bază înregistrări reale ale unui climatic specific pentru o zonă din nordul Franței.

În realizarea modelului pentru temperatură se vor considera mai multe înregistrări pe zi, în diferite momente ale zilei, pe o perioadă mai lungă de timp și în funcție de anotimpuri.

Umiditatea care intervine în procesul de pierdere de masă a lemnului este de două tipuri: interioară care se găsește în structura lemnului și cea care se găsește în clima care influențează rezistența acestuia.

Umiditatea relativă a aerului reprezintă raportul dintre presiunea parțială a vaporilor de apă care se găsesc în aer și presiunea vaporilor saturați la aceeași temperatură. Acest raport se poate schimba dacă temperatura sau presiunea aerului se modifică.

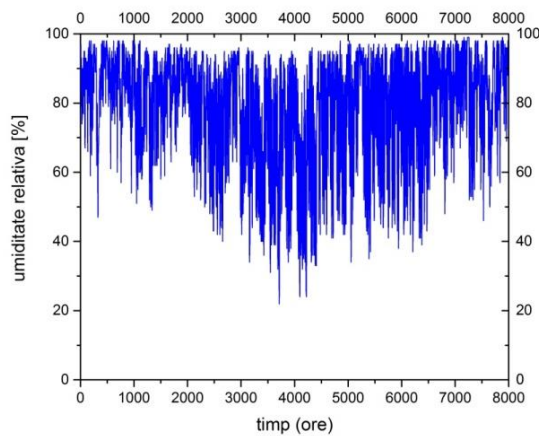


Figura 4.2 Reprezentarea umidității pentru studiul pierderii de masă (sursa:[40])

Graficul este realizat pentru a caracteriza umiditatea relativă într-un an, reprezentată în % cu timpul măsurat în ore. Valorile pentru umiditate sunt generate aleatoriu de un program care are la bază înregistrări reale ale unui climatic specific pentru o zonă din nordul Franței.

După studiile și cercetările efectuate de Viitanen et al [61] au fost dezvoltate ecuații care duc la realizarea modelului empiric pentru pierderea masei lemnului. Următoarea ecuație a fost creată pentru a arăta creșterea degradării din cauza apariției rădăcinii brune în alburnul de pin, în condiții constante.

$$ML(RH, T, t) = -42,9 * t - 2,3 * T - 0,035 * RH + 0,14 * t + 0,024 * T * RH + 0,45 * RH * t \quad (4)$$

unde:

ML- reprezintă pierderea de masă în % din masa inițială a piesei de lemn;

t- reprezintă timpul exprimat în luni;

T- reprezintă temperatura exprimată în °C;

RH- reprezintă umiditatea relativă a aerului în %.

Acest model exprimat ca pierdere de masă se aplică numai dacă $T \geq 0$ °C și $RH \geq 95\%$. Modelul arată creșteri ale degradării pentru o temperatură constantă de 15°C. [34]

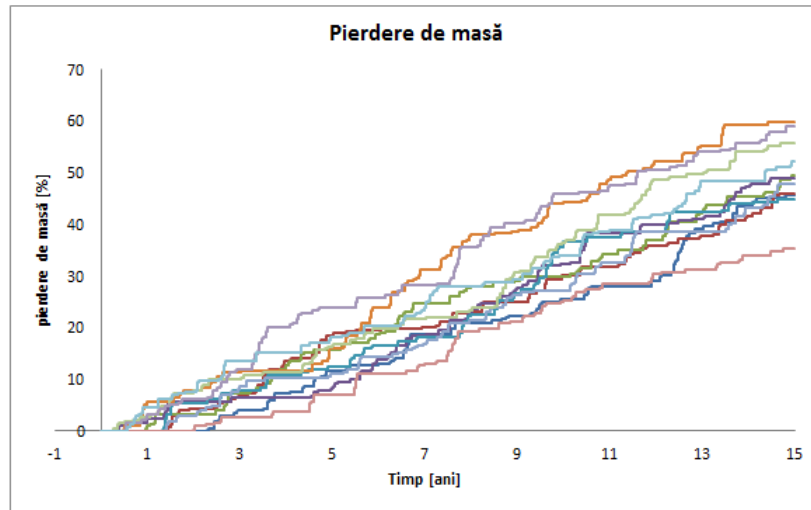


Figura 4.5 Modelul de pierdere de masă a lemnului pentru 15 ani, pentru tipuri de climat aleatorii pornind de la date reale de temperatură și umiditate (sursa: [40])

În figură se observă că în primii doi ani masa pierdută a lemnului este 0% deoarece condiția $\alpha=1$ nu este îndeplinită. Parametrul α este definit ca o măsură relativă a intervenției ciupercilor asupra piesei din lemn și ține cont de pierderea de masă. Valoarea parametrului este inițial 0 și crește gradual până la 1, valoarea limită când are loc inițierea pierderii de masă. Dezvoltarea parametrului α în timp este modelată astfel încât are posibilitatea de a descrește într-un climat uscat. Pe măsură ce înaintăm în studiu, odată cu trecerea timpului, materialul lemnos începe să se degradeze și se instalează pierderea de masă.

Graficul prezintă pierderea de masă (notată ML) în % exprimată în timp pentru situații de climat aleatoriu cu diferite condiții de temperatură și umiditate, urmând modelul de pierdere de masă prezentat anterior. Se observă că se poate ajunge la o pierdere de masă de 60% pentru o perioadă de 15 ani.

5. Partea experimentală privind articulațiile duble cu dornuri din lemn

Fiecare subcapitol este împărțit într-o parte teoretică în care se prezintă modul în care trebuie realizate experimentele după standardele sau cercetările în vigoare. Apoi urmează o parte experimentală în care se descriu experimentele realizate împreună cu imagini din timpul testelor efectuate în laborator. În final sunt prezentate rezultatele care sunt analizate.

Pentru a determina rezistența la încovoiere a 21 de dornuri din lemn de Massaranduba cu un diametru de 12 mm și o lungime de 230 mm, acestea sunt supuse încovoierii până la punctul de cedare. Experimentul este realizat pe baza unui test standard cu un mecanism de încovoiere.

Pentru fiecare dorn, au fost determinate forța maximă de încovoiere, deformația și momentul de curgere. Deplasarea a fost determinată și monitorizată pentru fiecare procedură prin intermediul LVDT-urilor (Transformator diferențial variabil liniar) care înregistrează deplasarea

mecanică și o transmite electric calculatorului care citește valorile deplasării, a forțelor și a timpului în care se desfășoară experimentul iar astfel, concluziile au putut fi trase.



Figura 5.4 Experimentele realizate pe încovoierea dornurilor înainte și după aplicarea forței

Tabel 5.1 Valorile minime și maxime după experimentele realizate și calcularea momentului M_y

	d(mm)	Force (kN)	Displ (mm)	M_y (kNmm)
min	11,5	1,48	2,594	29,582
max	12,3	2,754	5,757	55,084
mean	11,93	2,21	4,175	44,17
CoV	1,86%	16,50%	18,2%	16,5%

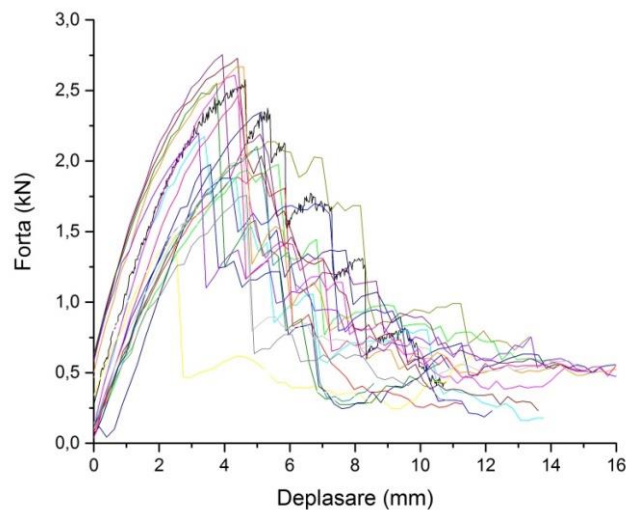


Figura 5.7 Grafic reprezentând experimentele efectuate asupra dornurilor din lemn pentru rezistența la încovoiere

Partea experimentală are la bază efectuarea de teste în forfecare dublă pentru îmbinări realizate în totalitate din lemn. Mostrele din lemn sunt modificate în prealabil într-o camera climatică (FITOCLIMA 1000EC45) în care temperatura și umiditatea sunt controlate pentru a se modifica conținutul de umiditate din interiorul pieselor din lemn.

Principiul de bază al campaniei experimentale în determinarea conținutului de umiditate este cântărirea piesei din lemn înainte și după uscarea ei în cuptor atunci când masa sa ajunge la o valoare constantă. Balanța utilizată trebuie să aibă o acuratețe de $\pm 0.1\text{g}$ și este folosită pentru cântărirea specimenelor din lemn înainte și după uscarea în cuptor. Aceasta trebuie să se găsească într-un mediu bun, într-un loc fără curenți și în apropierea locului în care se găsește cuptorul. Atunci când se calculează conținutul de umiditate, interesul este dat de pierderea de masă ca un procentaj al masei piesei testate după ce este uscată. [45]

Pentru acest experiment, mostrele din lemn folosite sunt făcute din lemn de castan și molid iar dimensiunile lor sunt: $16,8 \times 8,9 \times 7$ (cm) și $16,8 \times 5,9 \times 7$ (cm). Piesele din lemn au un conținut de umiditate standard de 12%. Pentru a ajunge la un conținut de umiditate $mc=8\%$ condițiile din camera climatică sunt: temperatură $T=20^\circ\text{C}$ și umiditate relativă $RH=29\%$ iar pentru a ajunge la un conținut de umiditate $mc=16\%$ condițiile din camera climatică sunt: temperatură $T=20^\circ\text{C}$ și umiditate relativă $RH=80\%$.

Formulele folosite pentru determinarea conținutului de umiditate într-o piesă de lemn sunt date în standardul (ISO/DIS 13061-1 Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests) [45]:

$$mc = \frac{m_1 - m_2}{m_2} * 100 \quad (23)$$

unde:

mc = conținut de umiditate în %;

m_1 = masa inițială a piesei înainte de a fi uscată [g];

m_2 = masa piesei uscată în cuptor [g].

Totuși, în studiul de față, scopul este de a folosi piese din lemn la diferite conținuturi de umiditate pentru a vedea cum proprietățile mecanice diferă în acest context. În experimentele inițiale, piesele din lemn trebuie să aibă un conținut de umiditate de 8%. Pentru acest lucru au fost introduse într-o cameră climatică în care temperatura este de 20°C iar umiditatea relativă a aerului este $RH=29\%$ valori luate din standarde (NP005 și [24]) după grafice reprezentând curbe de echilibru higroscopic a lemnului în funcție de mediul înconjurător.



Figura 5.15 Balanța folosită pentru cântărirea specimenelor din lemn înainte și după uscarea în cuptor și aranjamentul pieselor din lemn în camera climatică în care au fost introduse

Atunci când mostrele din lemn au ajuns la cantitatea de umiditate dorită de 8%, acestea pot fi folosite pentru experimentele următoare de forfecare dublă. Pentru a verifica valorile corecte ale conținutului de umiditate, o piesă din lemn este introdusă într-un cuptor la temperatura de 105°C. Greutatea sa este măsurată înainte de a fi introdusă în cuptor și după 48 de ore, conținutul de umiditate este calculat.

Tabel 5.4 Rezultatele diferitelor densități (inițială, după uscare în cuptor la 105°C și după ce conținutul de umiditate de 8% și 16% este atins în camera climatică), cantitățile mostrelor considerate și dimensiunile lor

Specie	Cantități	Dimensiuni	$\rho_{initial}$	ρ_{uscat}	$\rho_{mc=8\%}$	$\rho_{mc=16\%}$
		[cm]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
Castan	19	16,8x8,9x7	642,23	-	647,85	644,47
	38	16,8x5,9x7	495,25	438,5	406,88	438,55
Molid	19	16,7x8,9x7	408,16	-	533,69	588,55
	38	16,7x5,9x7	455,95	395,0	391,94	400,35

Tabelul prezintă pentru fiecare specie de lemn în parte cantitățile utilizate pentru realizarea îmbinărilor pieselor cu fiecare dimensiune: 19 piese mari (168x89x70 mm) și 38 de piese mici (168x59x70). Pentru fiecare piesă din lemn se determină densitatea inițială înainte de a fi introduse în camera climatică ($\rho_{initial}$), apoi se măsoară pentru două piese din fiecare specie densitatea după ce sunt introduse într-un cuptor la 105°C (ρ_{uscat} –numai pentru piesele de mici dimensiuni). După ce piesele au ajuns la conținutul de umiditate dorit (au ajuns la o masă constantă fără să mai piardă sau să absoarbă apă), fiecare este cântărită înainte de experimente (este luată cu grijă din camera climatică pentru o scurtă perioadă de timp pentru ca mediul înconjurător să nu intervină și să îi schimbe conținutul de umiditate) și în final densitatea este calculată în [kg/m³] ($\rho_{mc=8\%}$ -densitatea pentru conținutul de umiditate mc=8%, $\rho_{mc=16\%}$ - densitatea pentru conținutul de umiditate mc=16%).

Campania experimentală a fost efectuată la Universitatea din Minho, Portugalia, pe articulații supuse la forfecare dublă cu dornuri din lemn. Lemnul folosit a fost de două esențe: Castan și Molid iar dornurile au fost din Massaranduba.

Testele au fost realizate în concordanță cu EN 26891 iar procedura a fost complexă și a trebuit să urmeze anumiți pași. [46]

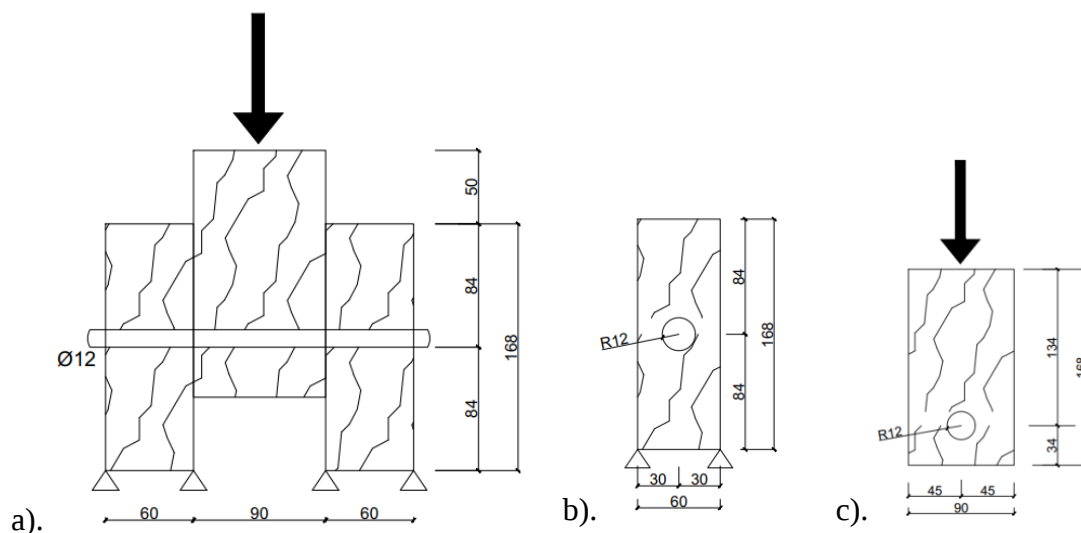


Figura 5.22 Configurația articulației pentru un caz general cu secțiuni prin elementul general, împreună cu dimensiunile pieselor care o compun și locul în care acționează forța

În prima fază, un test monotonic trebuie să fie realizat pentru a ajunge la forța maximă suportată de articulație. Aceasta reprezintă forța maximă estimată și va fi utilizată mai târziu în teste. Pentru molid forța maximă estimată F_{est} este 9,5 kN iar pentru castan F_{est} este 14,5 kN.

Următoarea fază începe cu o forță controlată de 0,022 kN/s care crește până ajunge la 40% din F_{est} și rămâne la această valoare pentru 30 de secunde. Apoi, încărcarea descrește cu 10% din F_{est} la aceeași rată și rămâne la această valoare pentru încă 30 de secunde. Următorul pas presupune încărcarea îmbinării până ce forța maximă este atinsă la o viteză constantă de 0,017 mm/s cu cedarea dornului și descreșterea forței. Experimentul se oprește atunci când o deplasare de 15 mm este atinsă sau atunci când piesa din lemn cedează prin ruperea completă a dornului.

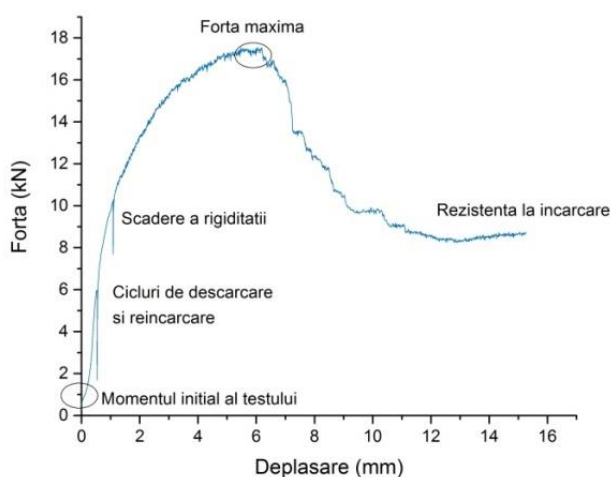


Figura 5.27 Fazele de încărcare a îmbinării cu dornuri din lemn (sursa: [27])

Curba forță-deplasare urmează standardul de încărcări după care sunt realizate experimentele. Procedul începe prin momentul inițial al testului când se aplică forța pe structură. Apoi au loc cele două cicluri de încărcare și descărcare. Urmează încărcarea asamblajului până la atingerea forței maxime după care dornul din lemn începe să cedeze, împreună cu articulația până se ajunge la o deplasare de 15 mm cerută de standard după care testul de oprește.



Figura 5.28 Evoluția îmbinărilor din lemn cu $mc=8\%$ după aplicarea forței pentru cele două esențe folosite: castan (a, b) și molid (c)



Figura 5.29 Prezentare a modurilor de rupere a dornurilor din îmbinări după aplicarea forței

Prin comparația celor trei tipuri de umiditate se observă că pentru 12%, valoarea standard a conținutului de umiditate folosit în calcul și de referință atunci când se calculează structuri din lemn capacitatea de rezistență este cea mai potrivită în raportul forță-deplasare. Se poate observa că evoluția îmbinărilor este constantă iar ruperea dornului se realizează treptat.

În ceea ce privește celelalte conținuturi de umiditate modificate folosite pentru studiu, cea mai rezistentă îmbinare este cea pentru conținutul de umiditate $mc=8\%$ pentru esența de castan ceea ce arată că prezența unei cantități mai mici de apă în lemn este mai potrivită în acest caz.

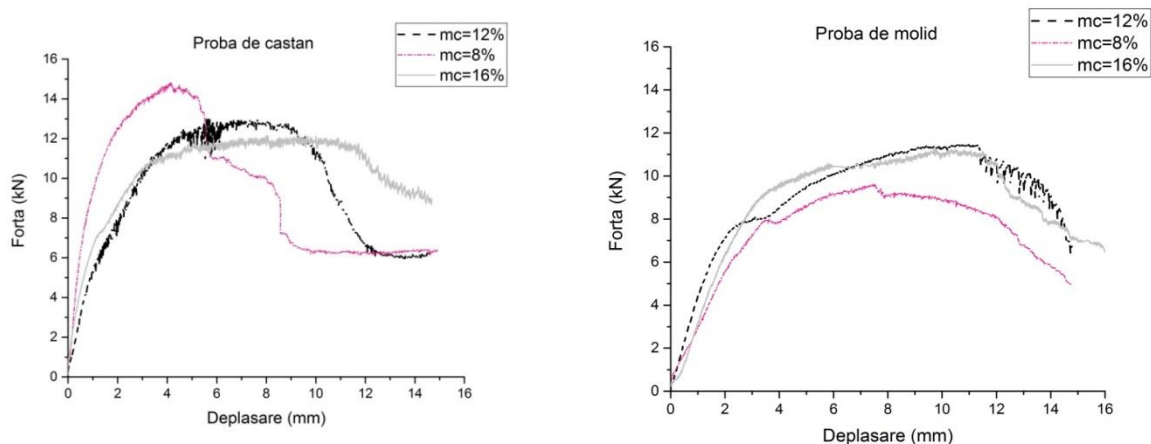


Figura 5.43 Comparație între graficele testelor monotonic aplicate pe îmbinările cu conținutul de umiditate modificat în camera climatică $mc=8\%$ și $mc=16\%$ dar și pentru mostrele cu $mc=12\%$

Din graficele de mai sus, pentru mostrele de castan în toate conținuturile de umiditate se observă ca cele mai rezistente articulații sunt cele pentru $mc=12\%$, urmate de cele pentru $mc=8\%$ iar pentru $mc=16\%$ rezistențele sunt mai scăzute. În cazul elementelor din molid, cele mai rezistente sunt cele pentru un conținut de umiditate $mc=16\%$ urmate de cele pentru $mc=12\%$. Diferențele de rezistență pentru cele două mostre de lemn depind de esența elementelor.

La nivelul probei de castan se observă că cea mai mare valoare a forței este întâlnită pentru conținutul de umiditate $mc=8\%$ dar care scade brusc de la 15 kN la 10 kN și apoi la 7 kN într-un timp scurt. Următoarea evoluție a forței este pentru un conținut de umiditate $mc=12\%$ și apoi $mc=16\%$. Pentru acestea, forța merge constant în raport cu deplasarea.

6. Calcul numeric al diverselor caracteristici ale lemnului

Punctele care se ating în acest capitol sunt legate de anumite caracteristici ale lemnului care sunt calculate după standardele în vigoare: determinarea densității pentru teste fizice și mecanice, calculul durității statice, calculul contracției liniare, calculul echilibrului de umiditate (exemplificate în tabelele de mai jos).

Tabelul de mai jos prezintă valorile minime, maxime și media între ele pentru masă, lungime, lățime și înălțime care dau volumul piesei și densitatea pentru toate piesele din lemn de castan care au ajuns la un conținut de umiditate $mc=8\%$. În final este calculată și media măsurată în % a produșilor termenilor analogi a tuturor variabilelor corelate. Tabelul prezintă aici date despre piesele din lemn de castan care au conținutul de umiditate $mc=8\%$, celelalte valori de calcul pentru conținuturile de umiditate folosite pentru studiu, precum și a celorlalte esențe sunt prezentate în studiul complet.

Tabel 6.1 a) valorile maxime și minime ale pieselor din lemn modificate în camera climatică pentru un conținut de umiditate $mc=8\%$ al pieselor din lemn de castan

Castan $mc=8\%$

	Masă (g)	L (cm)	R (cm)	T (cm)	V(mm ³)	$\rho(\text{kg/m}^3)$
min	294,78	16,7	5,8	7,0	689710	406,878
max	680,03	16,9	8,9	7,2	1076544	647,854
medie	487,405	16,8	7,35	7,1	883127	527,366
COV(%)	20,037	0,247	19,030	0,725	18,977	10,607

Tabel 6.3 Duritatea statică în kN pentru $k=4/3$ pentru o adâncime de penetrare de 2,82 mm

Specie	Hw (kN)			
	mc=8%		mc=16%	
	min	max	min	max
Castan	15,083	23,403	14,583	23,845
Molid	11,955	17,141	10,103	22,943

Tabel 6.5 Con tracția liniară calculată pentru piesele din lemn considerate în acest studiu (Castan și Molid) (radial 1 este pentru mostra mică din lemn, iar radial 2 este pentru mostra mare)

Specie	β_{max}					
	mc=8%			mc=16%		
	tangențial	radial 1	radial 2	tangențial	radial 1	radial 2
Castan	2,778	2,25	3,33	2,739	2,197	1,639
Molid	4,167	2,25	16,66	2,739	2,197	3,333

Tabel 6.7 Rezultatele echilibrului conținutului de umiditate pentru condițiile stabilite în studiu

T=20°C	RH=29%	$EMC_{8\%} = 6,029$
T=20°C	RH=80%	$EMC_{16\%} = 16,769$

În subcapitolul de față rezultatele experimentelor sunt comparate cu rezultatele calculelor după standarde sau după diferite cercetări care sunt făcute pe același tip de îmbinări: după ecuațiile lui Johansen, după ecuațiile din Eurocod 5 și după articolele: Blass et all. *Verbindungen*

mit Holzstifen. Bauen mit Holz 101 [33], CEN/TC 250/SC5 French contribution for traditional carpentry joints [53] și Fukuyama et all, *Proposal of analytical models of wooden dowel shear joint* [54]. Aceste articole folosesc îmbinările duble cu dornuri din lemn și prezintă ecuații care să susțină acest tip de articulații.

Obiectivul studiului este de a analiza comportamentul unui tip de îmbinare pentru două tipuri de lemn, legate printr-un dorn de lemn și ținute într-un mediu controlat până când conținutul de umiditate ajunge la 8% și la 16%. Rezultatele studiului sunt apoi comparate cu rezultatele date de ecuațiile prezentate în EC5 dar și cu studii făcute pe articulații de tip forfecare dublă ([33], [53], [54]) împreună cu același model de îmbinare dar pentru diferite tipuri de lemn ținute în medii controlate astfel încât să se mențină conținutul de umiditate la 12%. [56]

Scopul campaniei experimentale este de a înțelege comportamentul mecanic al elementelor din lemn în medii înconjurătoare cu diferite condiții climatice, de a analiza dezvoltarea lemnului și a rezistenței acestuia, dar și de a demonstra eficiența și aplicabilitatea materialelor tradiționale cum sunt lemnul sau oțelul dintr-un punct de vedere a reabilitării. [57]

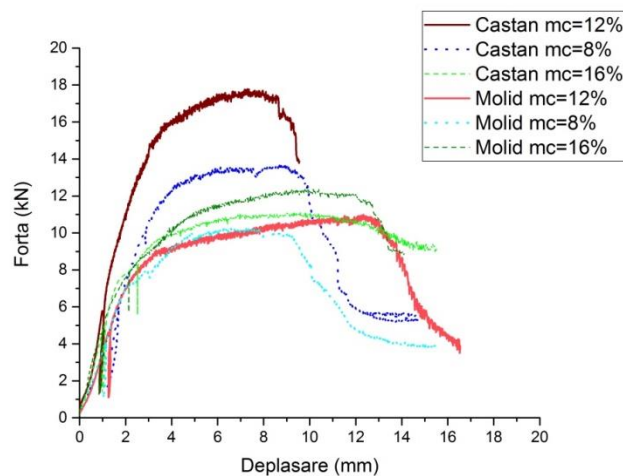


Figura 6.13 Curbe forță-deplasare pe mostre de Molid și Castan cu un conținut de umiditate $mc=12\%$, $mc=8\%$ și $mc=16\%$

Tabel 6.24 Rezultate experimentale pentru lemn cu $mc=8\%$, $mc=12\%$, $mc=16\%$ și rezultate analitice bazate pe EC5 și pe ecuațiile stabilite de alți cercetători [33], [53], [54].

Conținut de umiditate	Mostra de lemn	Experimente		EC5	[33]	[53]	[54]
		Fmax (kN)	Cov (%)	F,v,Rd (kN)	Rk (kN)	Rv,d (kN)	Py,EYM,cal (kN)
12%	Castan	14,72	11,38	6,076	3,853	2,126	13,496
	Molid	11,39	6,63	2,686	2,007	1,528	12,749
8%	Castan	17,55	10,84	5,272	2,18	1,728	0,746
	Molid	12,85	8,66	2,944	1,95	1,795	0,667
16%	Castan	17,89	15,37	5,345	4,06	1,728	0,786
	Molid	17,21	16,19	3,017	3,61	1,795	0,702

Din tabelul de mai sus se poate observa că forțele maxime pentru asamblajele considerate în studiu sunt întâlnite pentru mostrele din castan pentru conținutul de umiditate de 8% dar și pentru 16% . De asemenea, specia de lemn contează în studiu deoarece timpul necesar absorbției sau pierderii de apă diferă din cauza caracteristicilor pieselor, castanul prezentând o masă mai mare dar și o aglomerare mai mare de fibre.

Atunci când se vorbește despre calcul, rezultatele arată că, în cazul articulațiilor realizate cu dornuri din lemn, valorile sunt mult mai mici decât cele din experimente. Acest lucru este datorat și faptului că, în calcul se consideră că dornurile sunt realizate din metal iar densitatea și caracteristicile materialelor nu intră în discuție.

Pe lângă rezultatele care reies în urma testelor de rezistență asupra îmbinărilor din lemn și anume forțele maxime care sunt prezentate în secțiunea de mai sus, testele oferă și rezultate asupra deplasării membrilor îmbinării. Comportamentul de deformare al articulațiilor din lemn cu dornuri din lemn în cazul de față se calculează tot după standardul EN 26891:1991 [46], după care au fost realizate și testele anterioare și se bazează pe alunecarea la îmbinare pe fiecare plan de forfecare. Curbele încărcare-alunecare care rezultă din teste oferă pe lângă forțele maxime la care pot rezista articulațiile, și informații referitoare la rigiditatea conexiunii și ductilității acesteia.

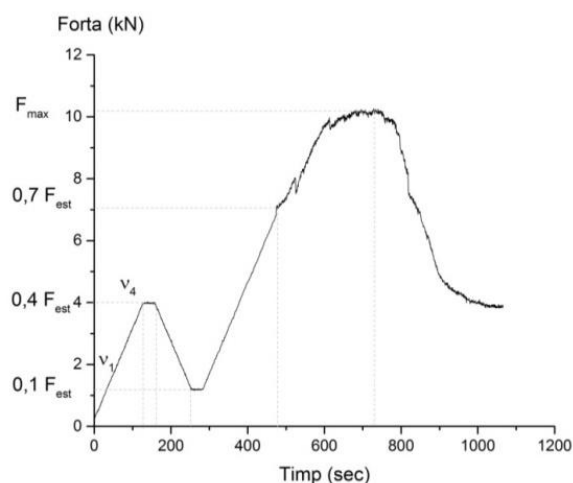


Figura 5.32 Curba timp-forță după standardul EN 26891:1991 [46]

Graficul face referire la F_{est} , forța estimată care rezultă din testul monotonic efectuat înainte de testele de forfecare dublă iar la ea se face referire în testele următoare, schimbându-se doar dacă forța maximă la care este supusă articulația depășește cu 20% valoarea F_{est} . Testele sunt efectuate cu controlul forței până la 70% din F_{est} iar din acest punct cu controlul deplasării. Testul se încheie atunci când forța maximă este atinsă sau atunci când alunecarea este egală cu 15 mm. În specificații se menționează că durata totală a testului este între 10 minute și maxim 15 minute. Bazat pe curbele încărcare-alunecare obținute din teste, diferite proprietăți pot fi

calculate: forța maximă și modulul de alunecare (K_s). Forța maximă este obținută direct de pe curba deplasare-încărcare.

Tabel 6.23 Valorile campaniei experimentale comparate cu rezultatele din calcul

Specia de lemn	Conținut de umiditate [%]	Fmax [kN]	Fest [kN]	Depl max [mm]	Depl medie [mm]	K_s [N/mm] exp	K_{ser} [N/mm] EC5	K_u [N/mm] exp
Castan	8	13,348	14,5	14,754	5,763	5832,480	5850,718	3900,479
Molid	8	10,801	9,5	14,291	5,152	3531,105	4584,813	3056,542
Castan	16	15,017	12,2	15,445	6,014	6344,002	6503,891	4335,927
Molid	16	10,680	11,2	14,046	5,481	3554,318	4932,633	3292,025

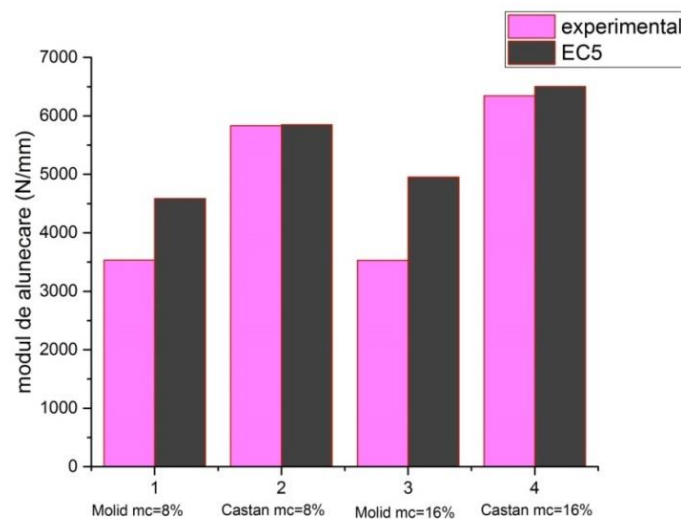


Figura 6.11 Comparații între valorile modulului de alunecare după rezultatele din experimente și după cele din Eurocod 5

Din grafic se pot observa diferențele dintre valorile din calcul și cele după standardul EC5. Rezultatele depind de densitate și de specia de lemn. Astfel se poate observa că molidul, fiind mai ușor și având densitatea mai mică în ambele cazuri de conținut de umiditate modificat are valorile din experimente mai mici decât cele din standardul EC folosit pentru calcul. În ceea ce privește castanul, valorile experimentelor și cele din calcul după EC sunt aproximativ asemănătoare.

7. Studii de caz aplicarea modelului de pierdere de masă pentru structuri plane din lemn

Studiile de caz presupun analiza unor elemente din lemn (grindă cu zăbrele, grindă simplă, perete) prin verificarea numerică a capacității de rezistență la care sunt supuse. Calculul se realizează după două standarde Eurocode 5 și NP005 pentru a vedea care sunt diferențele între ele și cantitățile de lemn folosite în fiecare caz. Asupra acestor elemente s-a aplicat un proces de pierdere de masă calculat în funcție de variațiile temperaturii și umidității unui climat pre-stabilit.

Pentru demonstrarea pierderii de masă atunci când lemnul este expus la factori externi care modifică proprietățile fizice și mecanice, un model de grindă cu zăbrele a fost creat. Analiza a fost creată în Etabs (Structural Software for Building Analysis and Design). Valorile elementelor structurii pentru talpa de jos (verificată la întindere) și pentru talpa superioară (verificată la compresiune) sunt 15x15 și 15x19 cm pentru elementele realizate dintr-un lemn obișnuit, solid și netratat. De asemenea, o grindă cu o lungime $l=4\text{m}$ și cu dimensiunile 15x15 și 15x19 cm pe care o încărcare permanentă și o încărcare de zăpadă sunt aplicate, sunt verificate la încovoiere și la săgeată. În plus, un perete din lemn cu secțiunea de 20x20 cm, înălțimea de 3,0 m și lungimea de 9,35 m este calculat la compresiune perpendiculară pe fibre.

După construirea structurilor, un model de pierdere de masă creat anterior în [58] urmărește procesul pierderii de masă menționat mai sus care depinde de condițiile de mediu pentru cele două secțiuni iar evoluția materialului din lemn pentru o perioadă de 15 ani poate fi observat.

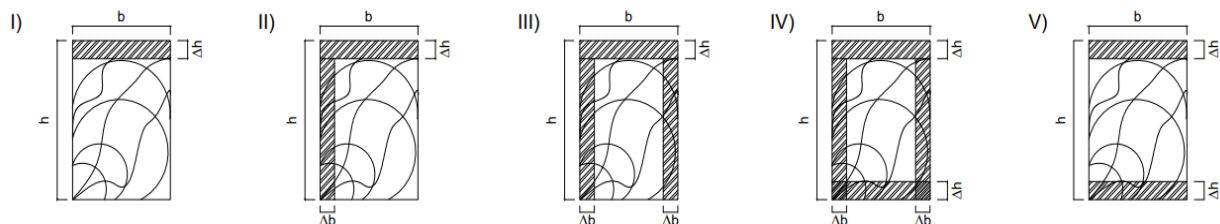


Figura 7.5 Cazurile de deteriorare folosite în studiul de față.

7.1. Calcul grindă cu zăbrele

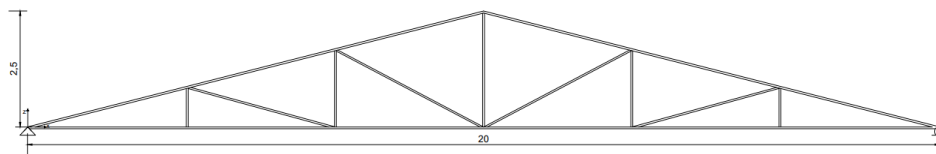


Figura 7.4 Reprezentarea grafică a grinzii cu zăbrele folosită în studiu

a) Calcul pentru solicitarea la întindere (15x15 cm)

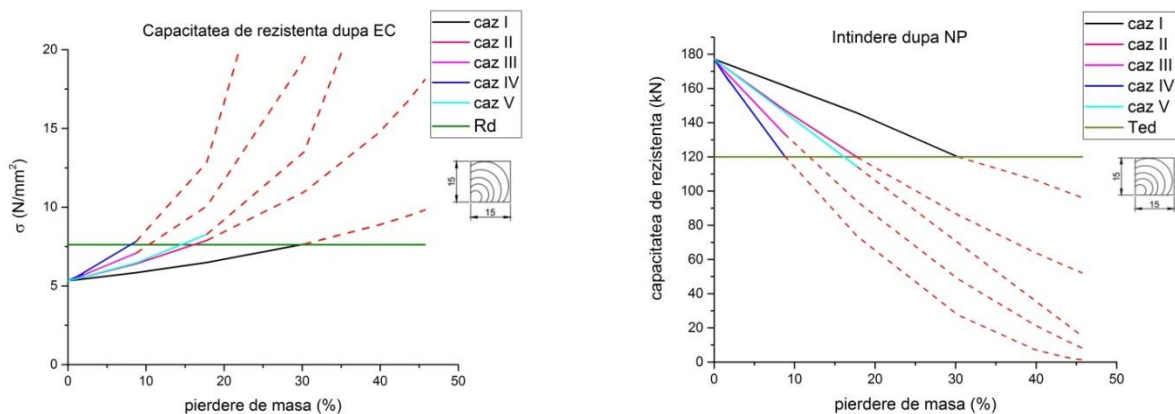


Figura 7.8 Reprezentarea calculului după cele două standarde folosite EC și NP pentru cele cinci cazuri de degradare pentru piesa de lemn cu dimensiunile 15x15 cm; capacitatea de rezistență la tensiune pentru EC, σ este în N/mm^2 iar pentru NP este în kN

Graficele reprezintă capacitatea de rezistență pentru solicitarea la întindere a unei piese din lemn cu dimensiunile 15x15 cm pentru toate cele cinci cazuri de degradare după EC și NP, R_d reprezentând rezistența de calcul în lungul fibrelor iar T_{ed} efortul generat de programul de calcul ETABS pentru structura de față. Pe grafic se poate observa momentul în care verificarea piesei din lemn nu mai poate fi realizată iar aceasta nu mai poate fi folosită la capacitatea maximă pentru care a fost calculată, putând să cedeze în orice moment. Cel mai favorabil caz este cazul I unde efortul maxim este întâlnit până se ajunge la o pierdere de masă de 30% într-o perioadă de 12 ani. Cel mai rău caz este cel IV unde efortul maxim poate fi întâlnit pentru o pierdere de masă de 8% într-o perioadă de 2 ani.

b) Calcul pentru solicitarea la compresiune (15x19 cm)

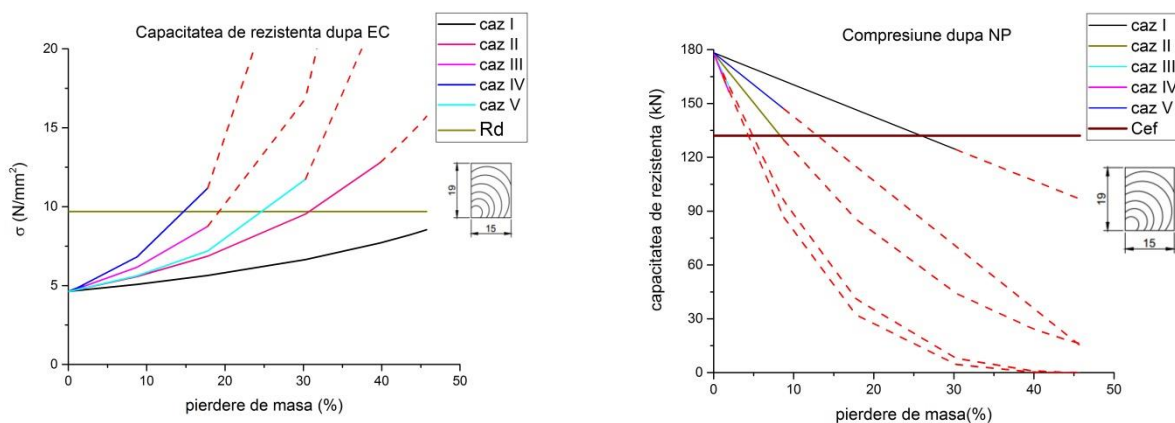


Figura 7.10 Reprezentarea valorilor calculului pentru capacitatea de rezistență după cele două standarde folosite EC și NP pentru cele cinci cazuri de degradare a piesei din lemn cu

dimensiunile 15x19 cm; capacitatea de rezistență la compresiune σ este în N/mm² iar capacitatea de rezistență după NP este măsurată în kN

Graficele reprezintă o comparație între capacitatea de rezistență la compresiune a secțiunilor din lemn cu dimensiunile 15x19 cm unde se poate vedea momentul în care verificarea secțiunii nu mai are loc, reprezentat de linia punctată roșie, iar piesa din lemn nu mai poate fi folosită la capacitatea maxima pentru care a fost calculată. Cazurile sunt analizate urmând cele două standarde, Eurocode 5 și NP 005. R_d reprezintă rezistența de calcul la compresiune în lungul fibrelor iar C_{ed} efortul generat de programul de calcul ETABS pentru structura curentă. Primul caz este cel mai favorabil deoarece piesa din lemn are o bună rezistență chiar dacă pierderea de masă poate ajunge la o valoare de 40% după standardul EC și la aproximativ 30% pentru standardul NP. Cazul IV este cel mai nefavorabil și arată că piesa din lemn ajunge la o pierdere de masă de aproximativ 20% în 7 ani după standardul EC comparat cu 4% într-un an după NP.

7.2. Calcul grindă simplă

a) Calcul pentru secțiunea 15x15 cm

Pentru calcul este considerată o grindă simplă asupra căreia acționează o încărcare permanentă și zăpada și care este verificată la încovoiere și la nivelul săgeții pentru două dimensiuni 15x15 cm și 15x19 cm.

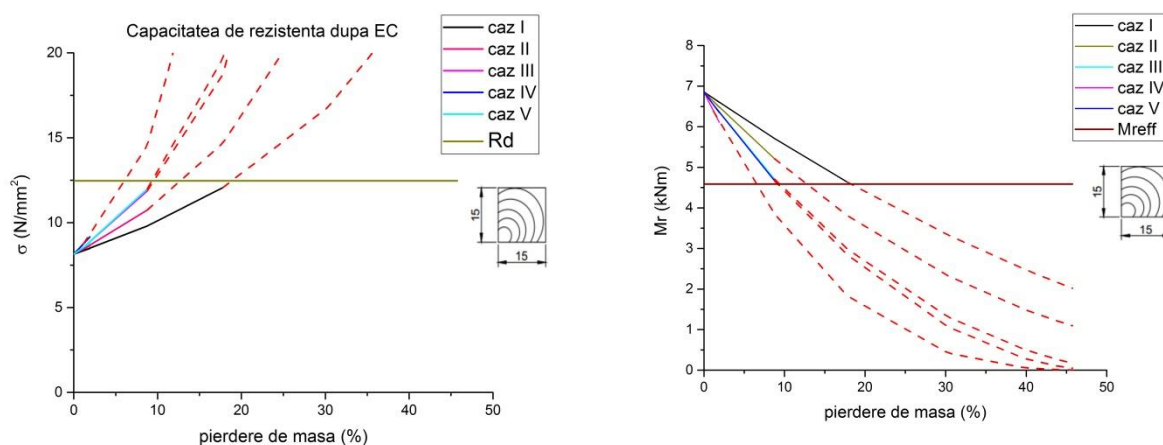


Figura 7.13 Reprezentarea valorilor capacității de rezistență σ după standardul EC și M_r capacitatea de rezistență la încovoiere pentru fiecare din cele cinci cazuri de degradare pentru secțiunea de dimensiuni 15x15 cm

Urmând graficele, se poate observa că valorile pentru σ și M_r pentru cazurile II, III și V merg într-o direcție paralelă după cele două standarde folosite: pierdere de masă de 17,8% în 6 ani comparată cu valorile de calcul pentru fiecare standard unde R_d reprezintă rezistența de

calcul la încovoiere în lungul fibrelor iar M_{reff} este bazat pe efortul generat de programul de calcul. Pentru cazul IV, cel mai improbabil, valorile sunt asemănătoare după cele două standarde iar piesele din lemn pot ajunge la o pierdere de masă de 6,5% în 1,5 ani.

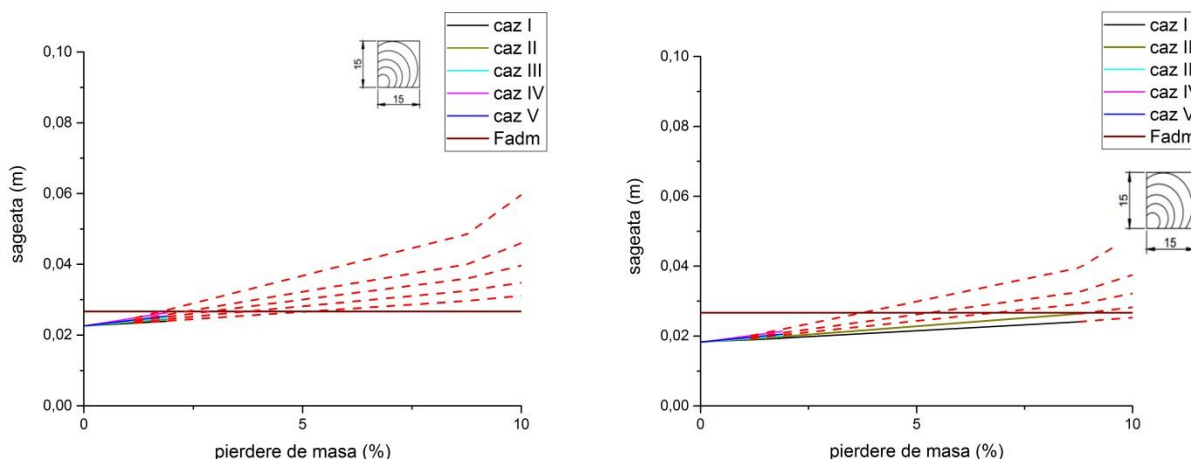


Figura 7.14 Reprezentarea săgeții pentru toate cazurile de degradare considerate în studiu după cele două standarde folosite EC (primul grafic) și NP (graficul doi) pentru secțiunea din lemn cu dimensiunile 15x15 cm

Urmând graficele se poate observa că săgețile în cazurile II, III și V merg de asemenea într-o direcție paralelă după cele două standarde folosite, cea mai mică valoare fiind pentru standardul EC pentru o pierdere de masă de 3,5 % într-un an (sau 0,5 ani în cazul V) comparat cu cei 2 ani pentru care săgeata rezistă după standardul NP. Pentru cazul IV, cel mai nefavorabil caz, valorile sunt de asemenea aproximativ la fel după cele două standarde iar piesa din lemn poate ajunge la o pierdere de masă de aproximativ 1,5% în 0,5 ani.

b) Calcul pentru secțiunea 15x19 cm

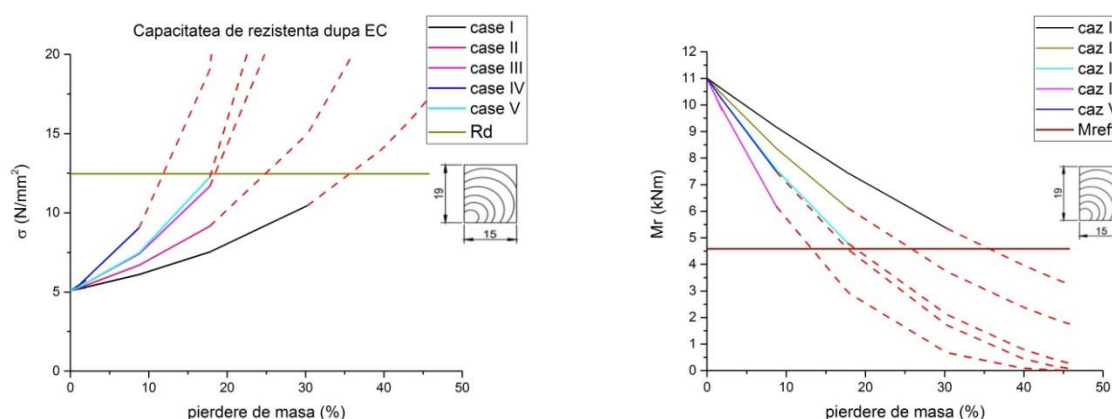


Figura 7.16 Reprezentarea capacității de rezistență σ după EC și M_r capacitatea de rezistență la încovoiere pentru toate cele cinci cazuri de degradare pentru secțiunea de 15x19 cm

Din grafice se poate observa că cel mai favorabil caz în ceea ce privește degradarea este cazul I. Pentru standardul EC, valorile pentru rezistență ajung la o pierdere de masă de 30% în 12 ani, comparată cu standardul NP unde valorile sunt aproximativ la fel. Pentru cazul IV după EC, valorile ajung în 8 ani la o pierdere de masă de aproximativ 9% iar pentru NP valorile ajung în 9 ani la o pierdere de masă de 13%.

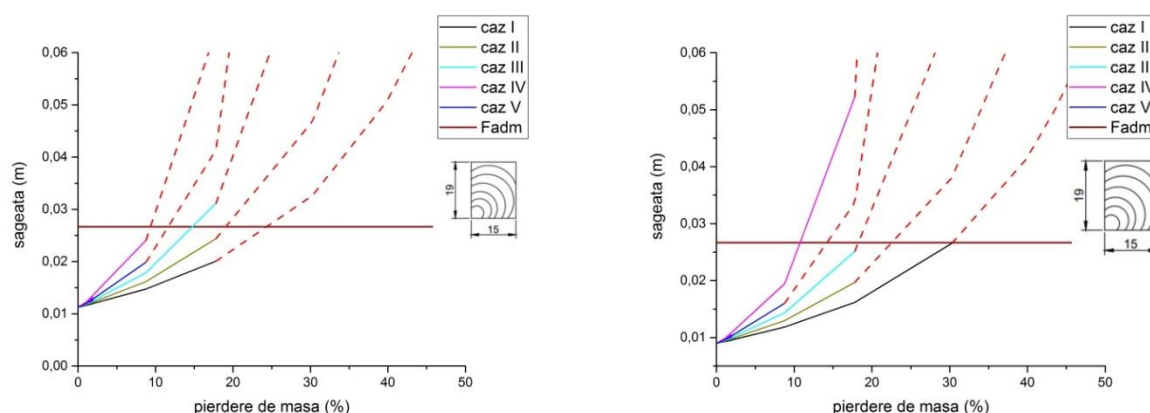


Figura 7.17 Reprezentarea săgeții pentru toate cele cinci cazuri de degradare urmând cele două standarde folosite EC (primul grafic) și NP (graficul doi) pentru secțiunea cu dimensiunile 15x19 cm

7.3. Calcul perete din lemn

Pentru cazul trei se analizează un perete din lemn cu secțiunea 20x20 cm cu înălțime de 3,0 m și o lungime de 9,35 m. Peretele din lemn este realizat prin suprapunerea elementelor de dimensiuni 20 cm x 9,35 m pe o înălțime de 3 m. Astfel, pierderea de masă este aplicată pe toată suprafața acestuia în două cazuri: I) pe lungime (când din cauza condițiilor de mediu: temperatură, umiditate, ploaie, vânt apare degradarea) și II) pe înălțime (când partea superioară sau inferioară a peretelui este supusă la umiditate ridicată).

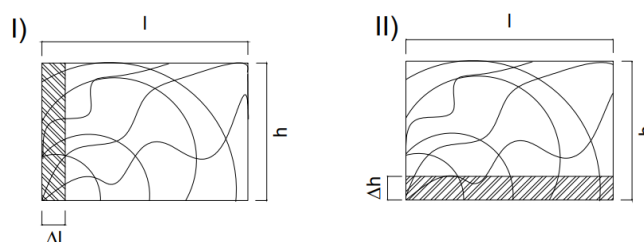


Figura 7.1 Cazurile de deteriorare folosite la nivelul peretelui din lemn

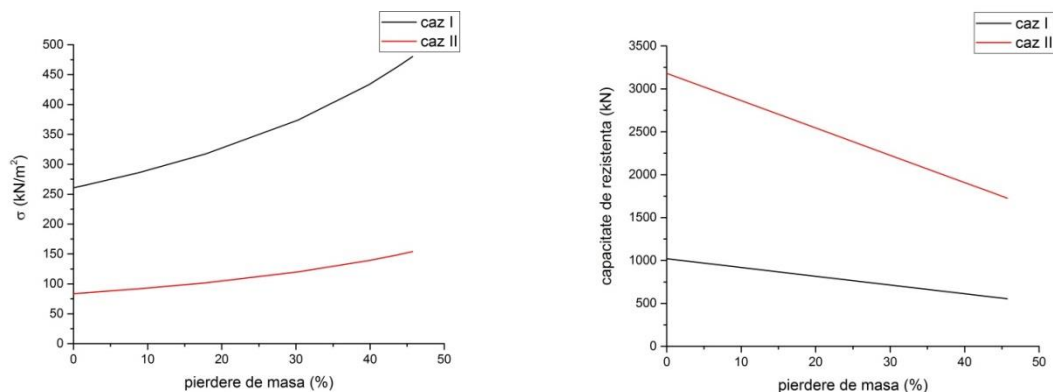


Figura 7.22 Reprezentarea calculului după cele două standarde folosite EC și NP pentru cele două cazuri de degradare aplicat peretelui de lemn; capacitatea de rezistență la tensiune pentru EC, σ este în N/mm^2 iar pentru NP este în kN

Din graficele prezentate mai sus după analiza pierderii de masă a peretelui, pe toată înălțimea și lungimea sa, se observă că elementul de dimensiune 20x20 cm care face parte din perete rezistă la o degradare de 50 % în timp, fără a fi afectat de pierderea de masă.

Față de celelalte cazuri de degradare analizate în studiul de caz, peretele rezistă cel mai bine deoarece este analizat pe toată lungimea și înălțimea sa.

După ce au fost realizate calculele și analizele, s-a demonstrat că după reducerea secțiunii transversale a piesei din lemn folosită în acest model verificarea secțiunii nu mai are loc iar piesa din lemn poate ceda în orice moment deoarece potențialul maxim din calcul nu mai este atins.

Diferențele pot fi observate în calcularea celor două secțiuni care urmăresc Eurocod 5 și standardul român NP 005 din cauza coeficienților care apar în calcul. Din cele două grafice se poate observa de asemenea momentul după care pierderea de masă începe să afecteze elementele din lemn iar secțiunile nu mai pot verifica condițiile de validare a calculului la întindere, compresiune și încovoiere. Piesa din lemn poate fi utilizată dar poate ceda în orice moment.

Concluzii, contribuții personale și valorificarea rezultatelor

Lemnul este un material din ce în ce mai utilizat în construcții iar pentru a avea o bună și o lungă viață de serviciu, anumite caracteristici ale materialului trebuie să fie înțelese. Acestea se referă în special la proprietatea lemnului de a absorbi apă din mediul înconjurător în care se află, ceea ce duce la schimbarea volumului său dar și a caracteristicilor proprietăților sale mecanice și de structură internă. În același timp, dacă asupra elementelor din lemn se aplică o protecție, atunci se mărește durata lor de viață.

Mediul înconjurător din jurul nostru se schimbă foarte mult iar oamenii au început să fie îngrijorați de relația dintre el și casele pe care le construiesc. Acesta este unul dintre motivele datorită cărora lemnul a devenit un înlocuitor al construcțiilor mari și grele făcute din beton sau

metal. Un alt motiv este bazat pe bunele proprietăți pe care lemnul le are și de ce nu aspectul exterior este și el un factor.

Concluziile studiului sunt un bun pas în demonstrarea faptului că pierderea de masă datorată schimbărilor climatice (temperatură și umiditate) influențează evoluția în timp a elementelor din lemn netratat. Ele arată momentul în care piesele din lemn pot ceda în orice moment și pentru acest motiv nu mai pot fi folosite în condiții de siguranță. Rezultatele studiului se pot schimba în funcție de mediul înconjurător din cauza schimbărilor bruște de temperatură și umiditate dar și din cauza speciei de lemn folosită, deoarece proprietățile materialelor sunt diferite pentru fiecare specie de lemn în parte.

Totuși, cele două standarde folosite în studiu nu dau multe informații despre influența temperaturii și umidității pe elementele din lemn iar acest lucru ar trebui să fie un detaliu important atunci când se calculează elementele pentru structură.

Concluzii

- modelele create pot prezice nivelul de deteriorare pe care elementele din lemn îl poate avea în condițiile cerute în funcție de mediul înconjurător;

- testele asupra dornurilor din lemn arată o bună rezistență a materialului folosit din lemn de esență de Massaranduba;

- rezistența lor bună face ca dornurile din această esență de lemn să fie folosite ulterior în testele de forfecare dublă ca element de conexiune între cele trei bucăți de lemn;

- studiul susține folosirea dornurilor din lemn pentru realizarea îmbinărilor în detrimentul dornurilor din metal datorită caracteristicilor pozitive pe care acestea le au: rezistențele sunt ridicate, elementele sunt în bună concordanță, ruperea dornului se realizează treptat și nu brusc iar îmbinarea poate avea o durată mai lungă de viață;

- specia de lemn contează în studiu deoarece timpul necesar absorbției sau pierderii de apă diferă din cauza caracteristicilor pieselor, castanul prezentând o masă mai mare dar și o aglomerare de fibre mai mare;

- modificarea cantității de apă interioară a elementelor din lemn depinde de specia de lemn folosită: mostrele de castan nu ajung în același timp la conținutul de umiditate dorit ca elementele din molid, diferența dintre ele fiind de 0,5% în cazul de față;

- pentru testele monotone efectuate pentru conținutul de umiditate $m_c=16\%$ se observă o asemănare între grafice, curbele urmând același model;

- prin comparația celor trei tipuri de umiditate se observă că pentru 12%, valoarea standard a conținutului de umiditate folosit în calcul și de referință atunci când se calculează structuri din lemn, capacitatea de rezistență este cea mai potrivită în raportul forță-deplasare;

- se observă că evoluția îmbinărilor este constantă iar ruperea dornului se realizează treptat;

- atunci când se vorbește despre calcul, rezultatele arată că, în cazul articulațiilor realizate cu dornuri din lemn, valorile sunt mult mai mici decât cele din experimente; acest lucru este

datorat și faptului că, în calcul se consideră că dornurile sunt realizate din metal iar densitatea și caracteristicile materialelor nu intră în discuție;

- piesele care se găsesc într-un mediu cu o umiditate mai scăzută (de 29% în cazul de față) prezintă o rezistență mai mare decât cele care se găsesc într-un mediu mai umed;

- s-a demonstrat că după reducerea secțiunii transversale a piesei din lemn folosită în acest model, verificarea secțiunii nu mai are loc iar piesa din lemn poate ceda în orice moment deoarece potențialul maxim din calcul nu mai este atins;

- din calcul se poate observa că după Eurocod 5 mai puțin material este folosit deoarece verificarea secțiunilor permite acest lucru și pentru că economic vorbind aceasta este o mai bună abordare;

- unele diferențe care apar pentru cele trei tipuri de încărcări la compresiune, întindere și încovoiere urmând cele două standarde folosite, apar din cauza coeficienților din calcul. După Eurocod 5, factorul de modificare k_{mod} include în valoarea sa efectul duratei încărcării și al umidității, pe când pentru standardul român NP005, în calcul, tratamentul lemnului este luat în considerare (de la lemn tratat până la cel ignifug) și condițiile de lucru care intervin în proces: cele care impun prezența umidității materialelor din lemn și durata acțiunii încărcărilor (m_T , m_{ui} , m_{di});

- dintre aceste diferențe a coeficienților care intervin în calcul după cele două standarde, valorile rezistenței după EC sunt mai mari decât cele după NP;

- calculele și experimentele au demonstrat că standardele nu oferă suficiente informații pentru calcularea exactă a elementelor din lemn în cazul de față cu îmbinările realizate în totalitate din lemn, accentul punându-se pe dornuri sau cuie din metal.

Contribuțiile personale sunt legate de studiul îmbinărilor cu dornuri din lemn și de compararea rezultatelor testelor cu cele din standarde și alte studii efectuate în domeniu. S-a arătat prin calcul că normele nu dau destule informații pentru acest tip de îmbinări deoarece nu se iau în considerare anumite caracteristici ale lemnului: densitate și tipul de lemn folosit atunci când se analizează dornurile.

În plus, s-au realizat studii de caz în care mai multe tipuri de elemente din lemn sunt calculate la nivelul rezistenței iar asupra lor se aplică un model de pierdere de masă. Se estimează astfel timpul necesar unei piese din lemn de a ajunge la o degradare după care nu mai poate fi folosită într-o structură de rezistență.

Pentru cercetarea viitoare se pot folosi modificări variate în camera climatică a temperaturii și umidității pentru a observa comportamentul lemnului la schimbări bruște de climat. Experimentele sunt bune pentru a demonstra capacitatea lemnului de a reține sau ceda apă în condiții de permanentă schimbare a climatului. Schimbările bruște ale condițiilor climatice pot afecta lemnul și pot prezenta umiditate indusă de solicitări care duc la schimbări de volum dar și la apariția de crăpături mari. Acest domeniu nu a fost studiat foarte mult în literatură.

De asemenea se pot încerca experimente cu modificări de temperatură, umiditate și conținut de umiditate pentru specimene mai mari din lemn pentru a arăta dacă dimensiunile elementelor influențează rezistența în raport cu modificarea conținutului de umiditate.

Toate aceste teste care ar putea fi realizate în laboratoare de specialitate pot fi refăcute prin metode ale elementului finit de modelare matematică iar elementele pot fi studiate și se poate găsi o variantă de îmbunătățire a rezultatelor care să fie implementată ulterior în cercetare pentru a avea rezultate reale care pot fi utilizate în construcții.

Bibliografie selectivă

1. Darie, M. *Curs construcții din lemn*
8. Peștișanu, C.(1979). *Construcții*. București, Editura didactică și pedagogică
9. Hans Jørgen Larsen, Properties affecting reliability design of timber structures from Alpo Ranta-Maunus: *Effects of climate and climate variations on strength*, COST E24 Seminar on Reliability of timber structures Coimbra, Portugal, 4-5 May 2001
10. NP 005-96-*Normativ privind proiectarea construcțiilor din lemn*- revizuire NP 005-96
11. EN 335-1 referitoare la "*Durabilitatea lemnului și a materialelor din derivate din lemn. Definiția claselor de riscuri la atacurile biologice - Generalități*
21. Pinto, J. (n.d.). *Aging Effect on the Integrity of Traditional Portuguese Timber Roof Structures*, 1–8. International conference on Durability of Building Materials and Components, aprilie 2011
22. Leonardo da Vinci Project (2008). *Handbook 2- Design of timber structures according to EC5*, Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures – TEMTIS
24. Stéphane Hameury, *Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study*, October 2004
27. Marco Ballerini, *Simplified design equations for the load-carrying capacity of dowel-type connections*, DIMS-Department of Mechanics & Structural Engineering, University of Trento, Italy
34. Emilio Bastidas-Arteaga, Younes Aoues, Alaa Chateauneuf, *Optimal design of deteriorating timber components under climate variations*, 12th International Conference on applications of statistics and probability in Civil Engineering, ICASP12, Vancouver, Canada, 2015
37. H.Viitanen, T. Toratti, L. Makkonen, R. Peuhkuri, T. Ojanen, et al. *Towards modelling of decay risk of wooden materials*, European Journal of Wood and Wood Products, Springer Verlag, 2010
38. Hannu Viitanen, Tomi Toratti, Lasse Makkonen, Sven Thelandersson, Tord Isaksson, Eva Frühwald, Jöran Jermer, Fin Englund, Ed Suttie, *Modelling of service life and durability of wooden structures*, 9th Nordic Symposium on Building Physics, 2011
40. Ioana Teodorescu, *Studiul influenței variațiilor climatice asupra capacității de serviciu și fiabilității structurilor din lemn*, 2015 –teză de masterat
42. Tord Isaksson, Christian Brischke, Sven Thelandersson, *Development of decay performance models for outdoor timber structures*, 2012

43. BS EN 409:2009, British standard, *Timber structures-Test methods- Determination of the yield moment of dowel type fasteners*
44. EN 409-1993 Timber structures-Test methods-Determination of the yield moment of dowel type fasteners, Nails
45. ISO 13061-1:2014 *Physical and mechanical properties of wood -- Test methods for small clear wood specimens -- Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests*, 2014
46. EN 26891: 1991 *Timber structures. Joints made with mechanical fasteners. General principles for the determination of strength and deformation characteristics*
47. Pereira, B.D., *Avaliação experimental de ligações madeira-madeira usando cavilhas de madeira*, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2016
52. M. Oudjene, V.-D. Tran, M. Khelifa, *Cyclic and monotonic response of double shear single dowelled timber connections made of hardwood species: Experimental investigations*, Construction and Building Materials, 2016
58. Teodorescu, I., D. Tăpuși, R. Erbașu, E. Bastidas-Arteaga, Y. Aoues, *Influence of the Climatic Changes on Wood Structures Behaviour*, Energy Procedia, March 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1112>, 2017
61. Viitanen, Toratti, Makkonen- *Development of service life model for wooden structures*, International Conference on Durability of Building Materials and Components, 2011
64. EN 338, *Structural timber - Strength classes*, European Committee for standardization, Brussels.