

Prof. dr. ing. FURDUI CORNEL
S.l. dr. ing. FEKETE-NAGY LUMINITA

STRUCTURI DIN LEMN

Curs pentru studentii anului III CCIA

CUPRINS

CAP. I LEMNUL IN CONSTRUCTII	5
1. CALITATEA LEMNULUI	6
2. PRODUSE DE MATERIAL LEMNOS FOLOSITE ÎN CONSTRUCȚII.....	7
CAP. II CARACTERISTICILE FIZICE ȘI MECANICE ALE LEMNULUI...	26
1. CARACTERISTICI FIZICE.....	26
2. PROPRIETĂȚI TERMICE.....	33
3. PROPRIETĂȚI MECANICE ȘI DE DEFORMAȚIE.....	34
CAP. III DIMENSIONAREA ELEMENTELOR STRUCTURALE DIN LEMN	46
1. REZISTENȚELE CARACTERISTICE ȘI DE CALCUL ALE LEMNULUI.....	46
2. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ	48
SOLICITATE LA ÎNTINDERE CENTRICĂ	48
3. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ	49
SOLICITATE LA COMPRESIUNE	49
4. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ	56
SOLICITATE LA FORFECARE	56
5. CALCULUL ELEMENTE DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ	57
SOLICITATE LA TORSIUNE.....	57
6. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ	58
SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE	58
7. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ SOLICITATE LA FORȚE AXIALE ȘI ÎNCOVOIERE (COMPRESIUNE SAU ÎNTINDERE EXCENTRICĂ)	66
CAP. IV. ÎMBINĂRI LA CONSTRUCȚIILE DIN LEMN	69
1. CLASIFICAREA ÎMBINĂRILOR	69
2. CALCULUL ȘI ALCĂTUIREA ÎMBINĂRILOR EXECUTATE PRIN	71
CAP.V PROTECȚIA ȘI CONSOLIDAREA ELEMENTELOR DIN LEMN .	79
1. AGENȚI DE DEGRADARE A LEMNULUI	79
2. PROTECȚIA LEMNULUI.....	84
BIBLIOGRAFIE	93

CAP. I LEMNUL IN CONSTRUCTII

a) Avantajele construcțiilor de lemn

1. Densitatea aparentă redusă față de rezistența relativ mare.

Comparativ cu densitatea celorlalte materiale principale de construcție (zidărie, beton armat, oțel, etc.) se poate constata că **lemnul este de 3,5 ... 16 ori mai ușor iar raportul dintre rezistență și densitate** are valoarea comparabilă pentru lemn și oțel, atât la compresiune cât și la întindere.

2. Greutatea redusă a lemnului face ca toate construcțiile realizate din acest material să prezinte o **comportare favorabilă la acțiunea seismică**, să poată fi amplasate cu mai multă ușurință pe terenuri dificile de fundare și să necesite consumuri mai reduse de materiale în structurile de fundații.

3. Prelucrarea și fasonarea ușoară a lemnului atât în uzină cât și pe șantier, datorită rezistențelor reduse la prelucrare, cu posibilitatea executării construcțiilor în orice anotimp, fără ca să necesite măsuri speciale de execuție. Viteza de execuție este mare, prin eliminarea lucrărilor umede specifice construcțiilor din beton armat sau zidărie, iar darea în exploatare a construcțiilor de lemn este posibilă imediat după terminarea lucrărilor.

4. Existența mai multor sisteme de asamblare, cu posibilitatea demontării și a refacerii parțiale sau totale a elementelor și construcțiilor.

5. Posibilitatea realizării unor forme și gabarite deosebite care sunt dificil sau chiar imposibil de realizat cu alte materiale de construcție. Există construcții din lemn sub formă de arce sau cupole cu deschideri ce ating 100 m.

6. Proprietățile termice sunt favorabile pentru construcții.

În comparație cu oțelul, betonul și chiar cărămida, lemnul are :

- **coeficientul de conductibilitate termică (λ) mult mai redus**, ceea ce justifică folosirea lui ca material pentru **izolație termică** cu bună eficacitate. Lemnul opune o rezistență termică, la trecerea unui flux de căldură prin el, de 300 – 400 ori mai mare decât oțelul și de 7 – 10 ori mai mare decât betonul.

- **coeficientul de dilatare termică liniară în lungul fibrelor (α) redus** face să nu fie necesare rosturi de dilatație termică la construcțiile din lemn și să prezinte o **comportare bună din punct de vedere a rezistenței la foc**. Pentru lemnul de rășinoase, de exemplu, coeficientul α este de $4 \cdot 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-6}$, adică aproximativ de 2-3 ori mai mic decât coeficientul de dilatare termică a oțelului și al betonului armat.

7. Durabilitatea mare a construcțiilor din lemn, aflate într-un regim optim de exploatare, din punct de vedere a condițiilor mediului ambiant

Cheltuielile de întreținere sunt cele de tip curent cu excepția finisajului exterior care necesită întreținere periodică (vopsea la 7...8 ani).

Intervențiile asupra elementelor de lemn, pentru consolidare sau refacere, se fac ușor și la fața locului.

8. Comportarea relativ bună din punct de vedere a rezistenței la foc.

Lemnul, deși este un material combustibil, se comportă bine din punct de vedere a rezistenței structurale la foc deoarece elementele masive se consumă relativ lent, cu o viteză de 0,5 ... 0,7 mm / minut, ceea ce presupune o scădere a secțiunii transversale de 1 cm pe fiecare față într-un sfert de oră timp în care temperatura incendiului poate să ajungă la 700 – 800°C. Pe de altă parte, rezistența și rigiditatea lemnului în interiorul secțiunii carbonizate rămân practic neschimbate.

9. Posibilitatea refolosirii lemnului, după o perioadă de utilizare, la realizarea altor elemente de construcții și utilizarea lui pentru producția de energie face ca deșeurile să fie reduse.

10. Caracteristicile arhitecturale deosebite și senzația de căldură pe care o dă lemnul făcând să fie folosit nu numai ca și material structural dar și ca material de finisaj sau aparent, cu efecte estetice deosebite.

11. Posibilitatea asocierii lemnului cu oțelul sau cu betonul și formarea unor structuri mixte eficiente.

b) Dezavantajele construcțiilor de lemn

Lemnul, ca și produs natural, de natură organică, având structura neomogenă și anizotropă pe lângă calități are și o serie de inconveniente și dezavantaje cum ar fi:

1. Variabilitatea foarte mare a caracteristicilor atât între specii cât și în cadrul aceleiași specii datorită unor surse de variabilitate foarte diverse

2. Variația caracteristicilor mecanice și fizice pe diferite direcții față de direcția fibrelor. Datorită neomogenității structurii lemnului rezistențele sunt diferite în lungul trunchiului lemnului și pe secțiune transversală, variația acestora fiind cuprinsă între 10 ... 40 %.

3. Influența mare a umidității asupra caracteristicilor fizico-mecanice, a dimensiunilor și durabilității lemnului. Spre exemplu variația umidității de la 5 până la 15% duce, la unele specii de lemn, la scăderea cu aproape de 2 ori a rezistenței la compresiune. Creșterea umidității favorizează, de asemenea, degradarea biologică a lemnului, în special datorită acțiunii ciupercilor și crează probleme de sănătate pentru ocupanții construcțiilor.

4. Sortimentul limitat de material lemnos atât în ceea ce privește dimensiunile secțiunii transversale cât și în privința lungimilor. Folosirea unor elemente, sub formă de grinzi sau stâlpi, cu dimensiuni transversale mari (de obicei peste 20 cm) sau cu lungime mare (peste 5-6 m) duce, de multe ori, la prețuri ridicate. Această deficiență se poate elimina prin folosirea unor elemente compuse sau a unor elemente realizate din scânduri înțeleate.

5. Defectele naturale ale lemnului (defecte de formă și structură, crăpături etc.), defectele cauzate de ciuperci, insecte sau de unele substanțe chimice precum și efectele fenomenelor de contracție și de umflare reprezintă inconveniente importante ale materialului lemnos de construcție.

6. Degradări produse de ciuperci și insecte atunci când nu există un tratament corespunzător împotriva acestora.

1. CALITATEA LEMNULUI

1.1 Deficiente ale lemnului

Calitatea lemnului variază atât între specii cât și în cadrul aceleiași specii. Sursele de variabilitate în cadrul unei specii sunt diverse, iar o sinteză a lor și a consecințelor acestora se prezintă în fig.1.1.

Pot exista, o serie de defecte cum ar fi crăpăturile sau defectele produse de insecte și de ciuperci, defecte ce influențează calitatea materialului și duce la împartirea acestuia în clase de calitate.

1.2 Procedee de clasificare a lemnului pe clase de calitate

La ora actuala se utilizeaza doua procedee de clasificarea lemnului:

- **Clasificarea tradițională** se realizează în urma unui examen vizual și are în vedere factorii de reducere a rezistenței care pot fi examinați (în principal nodurile și lățimea inelelor anuale).
- **Clasificarea mecanică** se realizează pe baza unor încercări mecanice (procedeul mecanic sau cu mașina)

Normele europene EN 388-1994 **sortează lemnul pentru construcții** în 9 clase pentru rasinoase și 6 clase pentru foioase.

Tabelul 1.1

Specia	Clase de calitate				
	Clase de rezistență				
	C 10	C 18	C 24	C 30	C 40
Molid, brad, larice, pin	x	x	x	-	-
Stejar, gorun, cer, salcâm	-	x	x	x	-
Fag, mestecăn, paltin, frasin, carpen	-	x	-	x	x
Plop, anin, tei	x	x	-	-	-

Clasa de rezistență a lemnului, conform tabelului 1.1, se definește prin valoarea rezistenței caracteristice la întindere din încovoiere, exprimată în N/mm^2 .

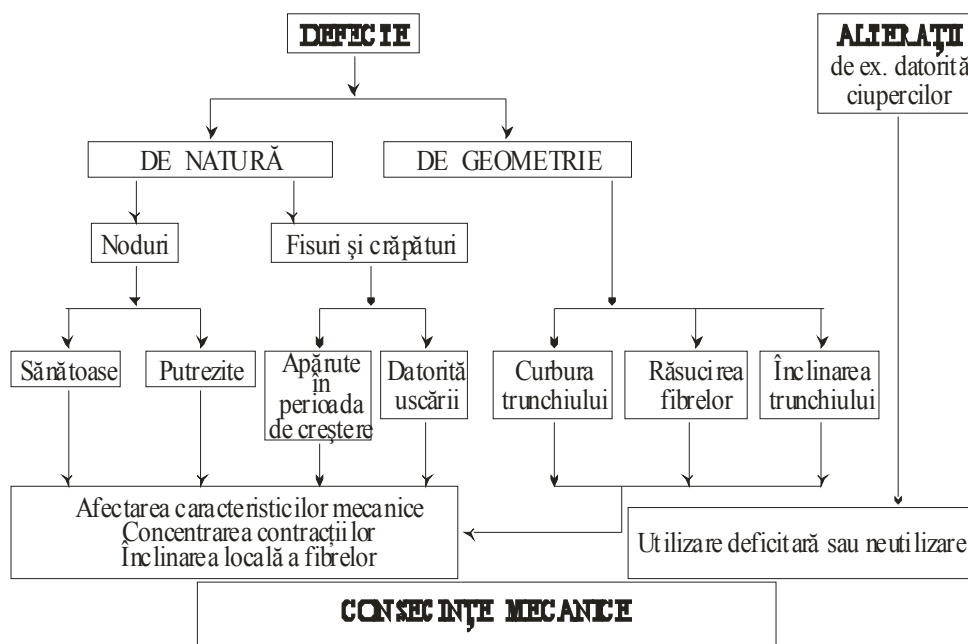


Fig. 1.1 – Surse de variabilitate la lemn și consecințele lor

2. PRODUSE DE MATERIAL LEMNOS FOLOSITE ÎN CONSTRUCȚII

Funcție de **modul cum păstrează sau nu structura lemnului** din care provin produsele de lemn utilizate ca materiale de construcții, se împart în două categorii:

- **Produse care păstrează structura materialului lemnos din care provin** (produse brute din lemn rotund, lemn rotund pentru piloți, traverse de cale ferată, cherestea, lemn înțeliat, furnir, etc.);

- **Produse care**, datorită unor operații tehnologice (așchiere, defibrare, impregnare, presare, înțeliere, etc.), **nu mai păstrează structura materialului lemnos** sau o **păstrează în proporție redusă** (PAL, PFL) și care pot fi considerate produse moderne din lemn sau produse din lemn reconstituit.

Din categoria **produselor care păstrează structura lemnului** fac parte și produsele din lemn compozit (lemn înțeliat, placaje, lemn stratificat, panel) care se obțin prin înțelierea unor produse lemnoase (cherestea, furnir).

Produsele care păstrează structura lemnului, după gradul de prelucrare pot fi: produse brute (STAS 453-83); produse de lemn ecarisat (scânduri, dulapi, șipci, rigle și grinzi); produse semifinite (lemn înțeliat, panouri) și finite.

Produsele care nu păstrează structura lemnului au apărut din necesitatea de a înlătura inconvenientele lemnului legate de dimensiunile naturale și de anizotropie și completează produsele din lemn compozit care păstrează structura lemnului (lemn înțeliat, placaje, lemn stratificat).

Panourile din lemn compozit sau din lemn reconstituit prezintă, în raport cu lemnul masiv, o serie de avantaje și anume:

- nivelul de dispersie a caracteristicilor mult redus;
- anizotropie redusă;
- stabilitate a dimensiunilor în plan ;
- o varietate mai mare a dimensiunilor.

Panourile pe bază de lemn au o gamă largă de aplicare în numeroase industrii dar peste 50% se folosesc în construcții pentru planșee, acoperișuri, șarpante, cofraje, scări, uși, etc.

2.1 Produse brute din lemn

Produsele brute din lemn sunt obținute din trunchiuri curățate și decojite, tratate sau nu și sunt folosite direct la eșafodaje, schele și piloți (STAS 1040-85, STAS 3416-75), stâlpi pentru linii aeriene (STAS 257-78, STAS 7498-66), lemn de mină (STAS 256-79), elemente de rezistență (STAS 4342-85, STAS 1040-85) la diferite structuri (popi, pane, grinzi, etc.).

2.2 Traverse de lemn pentru cale ferată

Traversele se obțin prin cioplirea sau fierăstruirea și cioplirea lemnului brut de foioase cu realizarea diferitelor forme ale secțiunii transversale (tipul A₁, A₂, B, C – conform STAS 330/1-72). Funcție de dimensiunile secțiunii transversale traversele pot fi: normale, înguste, pentru poduri și traverse speciale.

2.3. Produse din lemn ecarisat (cheresteaua)

Cheresteaua (STAS 942-86, STAS 8689-86) este lemnul ecarisat care se obține din lemnul brut debitat în sens longitudinal obținându-se produse de diferite dimensiuni (scânduri, dulapi, șipci, rigle, grinzi, margini) având cel puțin două suprafețe plane și paralele (fig. 1.2).

Din produsele de cherestea fac parte:

Scândurile, produse cu fețele plane și paralele având grosime de maximum 24 mm la rășinoase și 40 mm la foioase și lățimea de cel puțin 80 mm;

Dulapi, produse cu fețele plane și paralele având grosime între 28 ... 75 mm la rășinoase și 50 ... 90 mm la foioase și lățimi mai mari decât dublul grosimi dar cel puțin 100 mm;

Grinzile, produse cu două, trei sau patru fețe plane, având secțiune pătrată sau dreptunghiulară și latura de minimum 100 mm, la rășinoase și 120 mm la foioase.

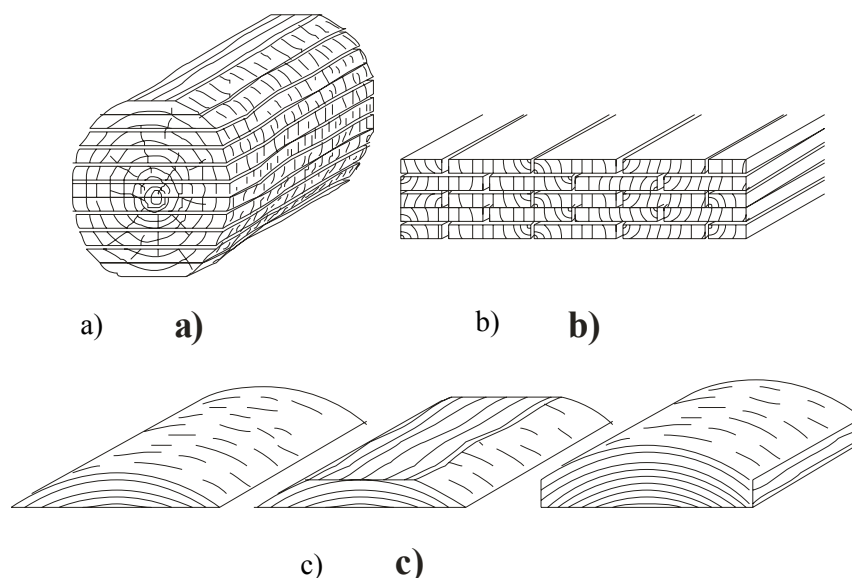


Fig. 1.2 - Tipuri de cherestea
a) – scânduri (dulapi) netivite; b) – scânduri (dulapi) tivite;
c) – margini (lăturoaie)

-Riglele (grinzisoarele) au b- latura minima de cel putin 100 mm pt.rasinoase si 120 pt. foioase;

-**Șipcile**, produse cu fețele și canturile plane și paralele cu grosimi de 12...24 mm și lățimi de maximum 48 mm la rășinoase respectiv grosimi de 19 .. 40 mm și lățimi de maximum 40 mm la foioase.

-**Cheresteaua** (Fig. 1.2) poate fi clasificată:

- după modul de prelucrare a canturilor (tivită, cu ambele canturi plane sau parțial plane; netivită, cu canturi care păstrează forma bușteanului; semitivită, cu un cant tivit);
- după conținutul de umiditate (verde, cu umiditate mai mare de 30%; zvântată, cu umiditate de 24% ... 30%; semiuscată, cu umiditate de 18% ... 24%; uscată, cu umiditate sub 18%);
- după modul de prelucrare (neprelucrată ; semifabricată; prefabricată);

după modul de aranjare a inelelor anuale pe secțiunea transversală (cherestea radială, la care unghiul între tangenta la inelele anuale și muchia feței este de 61° ... 90° ; cherestea semiradială, la care unghiul este de 45° ... 60° și cherestea tangențială, cu unghiul <45°);

- după modul de tratare (aburită, antiseptizată);
- după calitatea lemnului din bușteni (cherestea obișnuită; cherestea de rezonanță; cherestea de claviatură);
- după dimensiuni (îngustă, lată, lungă, scurtă, subscurtă).

Sortimentele de cherestea se livrează, la noi în țară, conform prevederilor STAS 942-86 pentru rășinoase și conform STAS 8689-86 pentru foioase.

2.4. Furnir

Furnirul este un produs obținut prin tăierea, longitudinală sau tangențială, a trunchiului arborelui în foi subțiri (0,08 ... 7 mm).

După modul lor de utilizare furnirele sunt: furnire estetice, pentru mobilier (STAS 5513-87) și furnire tehnice (STAS 9406-84) de față sau miez.

Furnirele tehnice, destinate fabricării placajelor, paneelelor, lemnului stratificat, produselor mulate din lemn, etc. se obțin din lemn de foioase și rășinoase prin derulare centrică în foi subțiri cu ajutorul unor mașini speciale.

Dimensiunile nominale conform STAS 9406-84, măsurate la umiditatea lemnului de $(10 \pm 2)\%$ sunt:

- grosimi (mm): 0,5; 0,8; 1,1; 1,5; 2,1; 3,1; 4,2; 5,2; 6,0;
- lățimi (mm): de la 100 la 1000 (din 50 în 50 mm); 1300; 1330; 1610; 1910; 2080; 2280; 2520;
- lungimi (mm): 980; 1300; 1330; 1610; 1910; 2080; 2280; 2520.

După defectele naturale și de prelucrare admisibile, conform STAS 9406-84, furnirele se sortează în patru calități (A, B, C, D).

2.5 Lemn încleiat

Lemnul încleiat este un material de construcție de înaltă tehnologie, având numeroase avantaje comparativ cu lemnul masiv.

Produsele de lemn încleiat sunt realizate din mai multe piese de lemn ecarisat (în mod curent scânduri sau dulapi) așezate, de obicei, orizontal, unele peste altele și îmbinate prin intermediul unor pelicule de încleiere, prin presare.

Elementele componente cu lățime de maximum 20 cm sunt suprapuse și încleiate cu concavitatea inelelor anuale orientată în sus (fig. 1.3a) cu excepția primului element care este plasat invers.

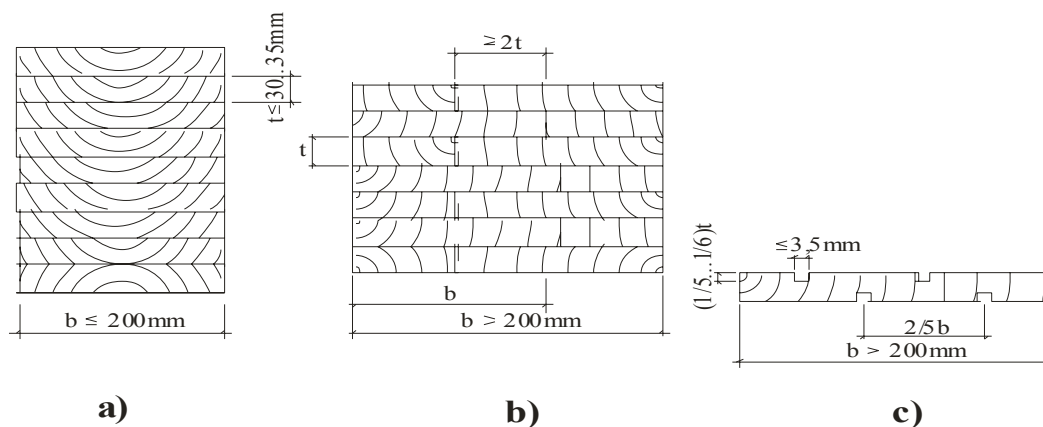


Fig. 1.3 – Modul de realizare în secțiune transversală a elementelor din lemn înleiat
a) – din cherestea cu lățime de maxim 20cm; b) – din cherestea cu lățime mai mare de 20cm;
c) – detaliu șanț pentru elemente de cherestea cu lățime mai mare de 20cm

Dispunerea astfel a elementelor reduce la minimum contracția transversală și eforturile de întindere transversală din variații climaterice care acționează asupra lemnului și în îmbinările înleiate.

Dacă lățimea produsului depășește 20 cm este recomandabil să se plaseze două elemente unul lângă altul cu **decalarea rostului de îmbinare pe o distanță de minimum de 2 ori grosimea elementelor** (fig. 1.3b.).

De asemenea la folosirea unor elemente cu lățime mai mare de 20 cm se recomandă practicarea a două șanțuri longitudinale pe toată lungimea elementelor componente (fig. 1.3c.).

Elementele înleiate pot fi realizate de lungimi și înălțimi foarte mari, dimensiunile fiind limitate în general de posibilitățile de transport. În mod curent se pot realiza elemente de 30 ... 35 m lungime și până la 2,2 m înălțime.

Pentru realizarea elementelor structurale de lungime mare, elementele componente (scândurile, dulapii) se prelungesc prin înleiere pe o suprafață dreaptă (fig. 1.4 a), înclinată cu lungime de minimum 10 ori grosimea elementului (fig. 1.4b), sau prin joante de înleiere sub formă de dinți (fig.1.4c). Îmbinările se decalază la distanță de minimum 50 cm de la o scândură la alta pe înălțimea elementului (fig. 1.4d).

Îmbinarea pe o suprafață dreaptă (fig. 1.4a) se folosește la elemente comprimate iar cea pe suprafață teșită (fig. 1.4b) la toate tipurile de elemente (îtinse, comprimate și încovoiate).

Joantele, pentru îmbinările din fig. 1.4c, se caracterizează prin lungimea „dinților” (l), pasul (p), grosimea extremității dinților (b_t) și jocul de îmbinare (l_t).

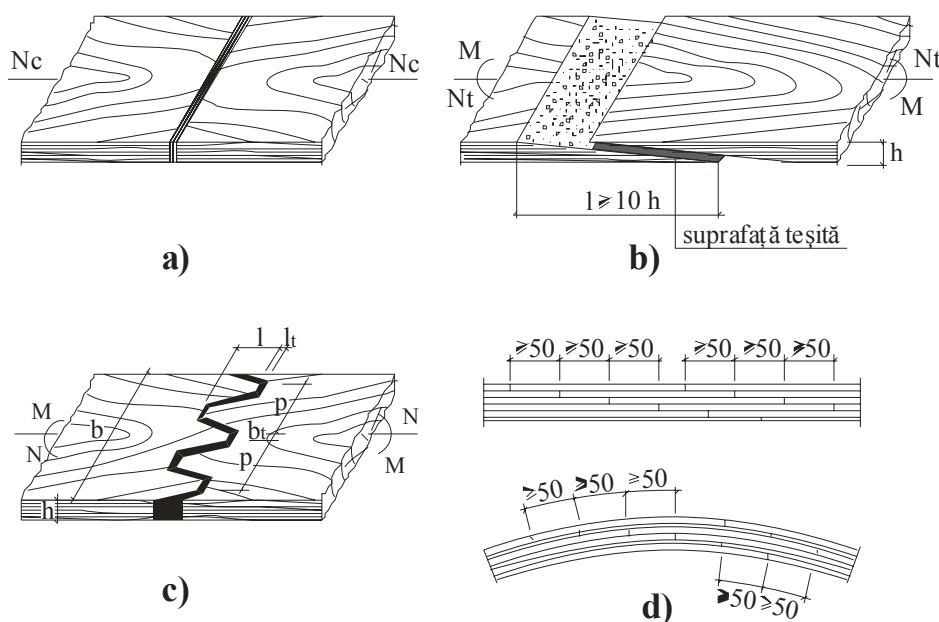


Fig. 1.4 – Îmbinarea longitudinală de prelungire a elementelor încleiate
a) – cap la cap; b) – pe suprafață teșită; c) – cu dinți; d) – decalarea îmbinărilor

Dimensiunile de realizare a dinților conform fig.1.4 sunt recomandate de diferite norme.

Produsele de încleiere sunt rășini sintetice, aplicate pe ambele fețe ale pieselor și se aleg funcție de condițiile climaterice la care urmează să fie supuse elementele și funcție de mărimea solicitărilor mecanice.

Procesul de priză a cleiurilor și rezultatul încleierii depinde de o serie de factori, dintre cei mai importanți sunt: caracteristicile materialului de încleiere (natură, concentrație, vâscozitate, temperatură, etc.); caracteristicile materialului lemnos (specia, forma și aspectul suprafeței, umiditatea, temperatura, etc.); caracteristicile mediului ambiant (umiditate, temperatură, presiunea vaporilor, etc.); tehnologia de execuție și altele.

Avantajele deosebite ale utilizării elementelor de lemn încleiat constau în:

- dimensiunile teoretic nelimitate ale elementelor, în practică producându-se în mod curent piese cu înălțime de max.2 m și lungime de 30...40 m dimensiunile fiind limitate din condiții arhitecturale, de capacitatea de prelucrare a mașinilor, de dimensiunile atelierelor de fabricație și de condițiile de transport;

- forma elementelor, care poate fi dreaptă sau curbă, cu secțiunea transversală constantă sau variabilă;

- ameliorarea rezistenței și a rigidității prin reducerea influenței nodurilor și realizarea unui material cu omogenitate mai mare;

- folosirea rațională a lemnului disponibil pe secțiune transversală prin plasarea unor elemente componente de clasă mai mare de rezistență în zonele mai puternic solicitate și de clasă mai redusă în zonele slab solicitate; de exemplu la elementele încovoiate spre exterior se folosește lemn de bună calitate iar la interior, spre axa neutră, lemn de calitate mai redusă.

- eliminarea, în exploatare, a deformațiilor datorate uscării deoarece la realizarea elementelor structurale părțile componente sunt uscate la o umiditate de 12%, valoare aproximativ egală cu umiditatea de exploatare din interior fapt ce realizează o umiditate de echilibru a lemnului care variază între 9 și 12%;

- precizia dimensională a elementelor datorită uscării în prealabil și datorită procedurii industriale de fabricare.

Execuția acestor elemente presupune și folosirea unui personal calificat și existența unor sectoare cu instalațiile necesare (sector de pregătirea pieselor; atelier unde temperatura și umiditatea

pot fi menținute între anumite limite și controlate; sector de ambalare a pieselor; sector cu instalații de încheiere a pieselor între ele, cu posibilități de realizare a elementelor drepte sau curbe, etc.).

Elementele încheiate care se folosesc la realizarea grinzilor sau a stâlpilor au, în mod curent, secțiune rectangulară. Se pot realiza și elemente ca secțiuni transversale I și sub formă de cheson, cu unele dificultăți în procesul de fabricație care însă sunt compensate prin avantajele în planul stabilității și al flambajului elementelor.

Grinzile din elemente de lemn încheiate pot fi drepte sau curbe, cu moment de inerție constant sau variabil. Geometria cea mai des folosită pentru grinzi este cea cu o singură pantă, curbe cu secțiune constantă cu două pante și cu intrados curb (fig. 1.5).

Aceste grinzi sunt realizate cu extrados din elemente tăiate și un extrados din elemente continue drepte sau curbe.

La elementele solicitate la înconvoiere raportul înălțime /deschidere este în general $1/3 \dots 1/8$ și nu este mai mic de $1/10$.

La realizarea elementelor, pentru a evita apariția tensiunilor suplimentare din curbare, se recomandă ca raza de curbura r_{in} a elementelor componente să nu fie mai mică decât $200 t_i$, dacă elementele au grosime $t_i < 30$ mm; această rază poate să ajungă la $150 t_i$ cu condiția ca $t_i = 625 + 0,4 r_{in} - 25$ mm./17/

Se urmărește:

- limitarea razei medii de curbura r ;
- stabilirea unei corelații între grosimea elementelor componente (t_i) și raza minimă de curbura (r_{in});
- reducerea eforturilor maxime admisibile longitudinale și transversale funcție de raportul între înălțimea secțiunii (h_{ap}) și raza de curbura medie (r).

Norma DIN 1052 impune corelarea raportului de curbura ($\alpha_i = r_{in} / t_i$) cu grosimea elementelor (t_i). Astfel pentru $150 < \alpha_i < 200$ se recomandă ca grosimea elementelor să se reducă la valoarea maximă $t_i = 10 + 0,4 (r_{in} - 150)$.

Alte norme internaționale recomandă $t_i \leq 0,01 r_{in}$ pentru $r_{in} < 1000$ mm și $t_i \leq 0,006 r_{in} + 4$ mm pentru $r_{in} > 1000$ mm.

Modul de calcul a grinzilor este prezentat în capitolul 4.8.6

Caracteristicile elementelor din lemn încheiat, pentru elemente omogene realizate din același tip de elemente componente, se pot determina pe baza caracteristicilor lemnului din elementele componente /36 / conform relațiilor date în tabelul 1.2.

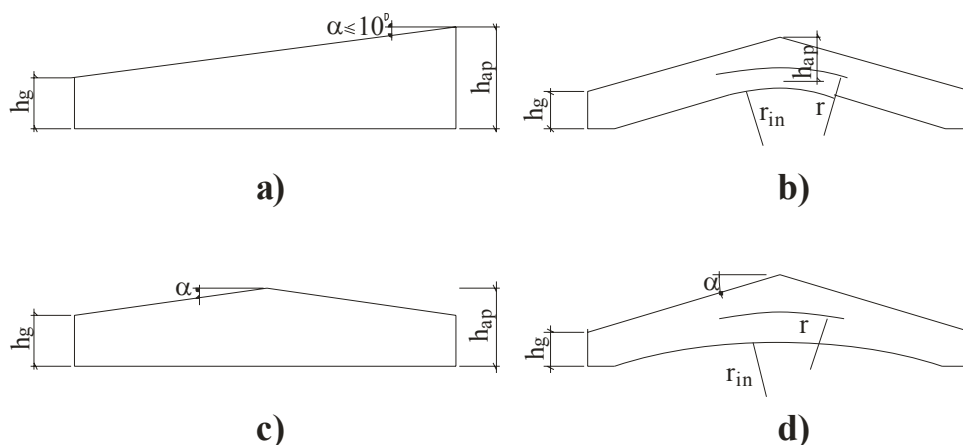


Fig. 1.5 – Geometrii curente ale grinzilor din elemente de lemn încheiat
a) – cu pantă; b) – curbe cu moment de inerție constant; c) – cu două pante;
d) – în două pante cu intrados curb și cu moment de inerție variabil

Tabelul 1.2**Caracteristicile mecanice ale lemnului din elemente încleiate**

Caracteristica	Notăție	Valoare (conf. EN11949)
Rezistența la încovoiere (N/mm ²)	$f_{m,g,k}$	$1,2 + f_{t,0,l,k}$
Rezistența la întindere (N/mm ²)		
- paralelă cu fibrele	$f_{t,0,g,k}$	$9 + 0,5 f_{t,0,l,k}$
- perpendiculară pe fibre	$f_{t,90,g,k}$	$1,15 f_{t,90,l,k}$
Rezistența la compresiune paralelă cu fibrele (N/mm ²)	$f_{c,0,g,k}$	$(1,5 - 0,01 f_{c,0,l,k}) f_{t,0,l,k}$
Densitate (kg/m ³)	$\rho_{g,k}$	$0,95 \rho_{l,med}$

Se constată că majoritatea caracteristicilor mecanice ale elementelor din lemn încleiat sunt superioare celor ale lemnului din elementele componente, lucru explicat prin:

- reducerea efectelor defavorabile datorate defectelor excentrice, cum sunt nodurile, care la piesele individuale introduc eforturi din încovoiere;
- reducerea efectului slăbirii secțiunii datorită nodurilor, prin consolidarea produsă de elementele adiacente;
- asigurarea unui element mai omogen cu efect pozitiv asupra rezistențelor și asupra densității generale, care se apropie mult de densitatea medie a elementelor componente.

Tabelul 1.3**Clase de rezistență a lemnului din elemente încleiate**

Caracteristica	Notăție	Clase de rezistență				
		GL20	GL24	GL28	GL32	GL36
Rezistența la încovoiere (N/mm ²)	$f_{m,g,k}$	20	24	28	32	36
Rezistența la întindere (N/mm ²)						
- paralelă cu fibrele	$f_{t,0,g,k}$	15	18	21	24	27
- perpendiculară pe fibre	$f_{t,90,g,k}$	0.35	0.35	0.45	0.45	0.45
Rezistența la compresiune (N/mm ²)						
- paralelă cu fibrele	$f_{c,0,g,k}$	21	24	27	29	31
- perpendiculară pe fibre	$f_{c,90,g,k}$	5.0	5.5	6.0	6.0	6.3
Rezistența la forfecare (N/mm ²)	$f_{v,g,k}$	2.8	2.8	3.0	3.5	3.5
Modulul de elasticitate (N/mm ²)						
- mediu x 10 ³	$E_{0,me,k}$	10	11	12	13.5	14.5
- minim x 10 ³	$E_{0,05,k}$	8	8.8	9.6	10.8	11.6
Densitatea (kg/m ³)	$\rho_{g,k}$	360	380	410	440	480

Norma EUROCODE 5 iau în considerare valorile din tabelul 2.2 aplicate la elemente cu:

- o înălțime și lățime egală cu 600 mm pentru încovoiere și întindere paralelă cu fibrele;
- + propun 5 clase conform tabelului 2.18 / 36 /

Pentru realizarea claselor date în tabelul 1.3, elementele componente trebuie să satisfacă clasele de rezistență date în tabelul 1.4

Tabelul 1.4**Condiții pentru compoziția lemnului din elemente încleiate**

Tipuri de elemente	Condiții pentru:	Clase de rezistență a elementului				
		GL20	GL24	GL28	GL32	GL36
Elemente omogene	Toate scândurile	C18	C22	C27	C35	C40
Elemente neomogene	-Scânduri externe (1/6 din înălțimea elementului la fața superioară și inferioară)	C22	C24	C30	C35	C40
	-Scânduri interne	C16	C18	C22	C27	C35

2.6 Placaje

Placajele (STAS 1245-90) sunt panouri de diferite dimensiuni, realizate dintr-un număr impar (minimum trei) de straturi de furnir, încleiate prin presare la cald la o temperatură de 90°C ... 150°C cu diverse tipuri de adezivi. Foile de furnir folosite la placaje se obțin prin derulare longitudinală a trunchiului și au grosime de 1...4 mm.

Fibrele foilor exterioare sunt dispuse în același sens, iar fibrele foilor intermediare în sensuri alternative simetric față de axa mediană (fig 1.6). În mod obișnuit fibrele sunt dispuse perpendicular unele pe altele la două foi alăturate.

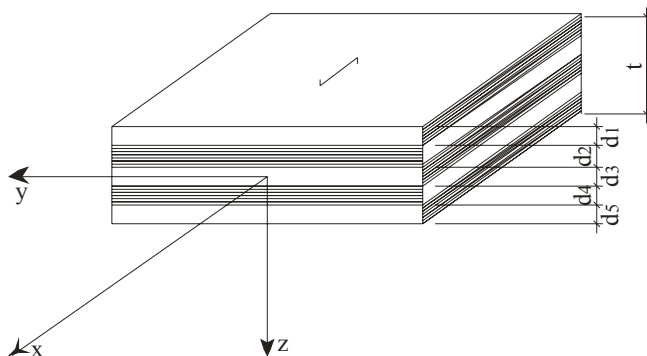


Fig. 1.6 – Alcătuirea placajelor direcția fibrelor elementelor exterioare

Compoziția placajelor limitează variațiile dimensionale și umflarea și asigură proprietăți egale după diferite direcții în planul produselor.

Placajele se caracterizează prin câteva particularități față de lemnul din care sunt realizate foile de furnir și anume: densitate superioară, variație mai redusă a umidității cu variația umidității mediului ambiant, variații dimensionale reduse (0,02% pentru 1% variație de umiditate), deformare de curgere lentă mai mare, variație mai redusă a durabilității funcție de specia de lemn.

Umiditatea placajelor variază mai puțin decât cea a lemnului masiv de rășinoase cu umiditatea mediului ambiant (tabelul 1.5 /30/).

Tabelul 1.5

Umiditatea de echilibru a placajelor/30/

Mediul ambiant cu temperatură de 20 ⁰ C și umiditate relativă de:	30%	65%	85%
Umiditatea de echilibru a placajelor	5%	10%	15%
Umiditatea de echilibru a lemnului de rășinoase	6%	12%	17%

Comportarea elastomecanică este condiționată de direcția fibrelor și depinde de unghiul față de orientarea fibrelor foilor exterioare.

Durabilitatea placajelor este influențată de grosimea foilor, compoziția panoului (atunci când se folosesc foi provenite de la diferite specii de lemn), cantitatea și calitățile adezivului.

Caracteristicile placajelor sunt influențate de:

- parametrii geometrici (compoziție, numărul și grosimea elementelor componente);
- caracteristicile materialului (esența, utilizarea diferitelor tipuri de materiale într-un panou, conținut de umiditate);
- cantitatea și proprietățile adezivilor;

- condițiile de solicitare (direcția eforturilor față de direcția fibrelor elementelor de față, durata încărcării, etc.).

La solicitarea de încovoiere trebuie să se aibă în vedere încovoierea după fața perpendiculară pe planul panoului (fig.1.7) și cea după cant, paralelă cu planul panourilor.(fig.1.8)

Placajele se împart în:

- placaje obișnuite sau de uz general, folosite în industria mobilei;
- placaje de exterior sau cu utilizări speciale, folosite în construcții, aviație, construcții de nave etc.(STAS 1245-90, STAS 7004-86).

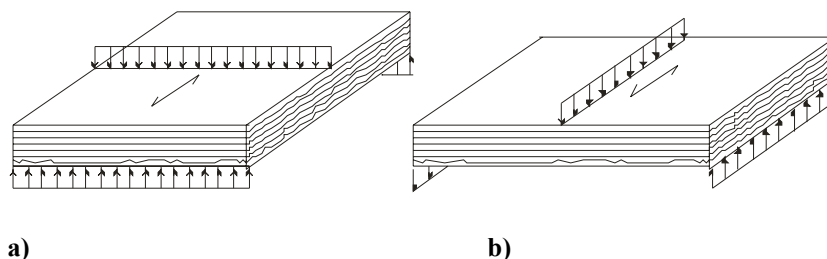


Fig. 1.7 – Încovoiere perpendiculară pe planul panourilor
a) – paralel cu fibrele plăcilor exterioare; b) – perpendicular la fibrele plăcilor exterioare

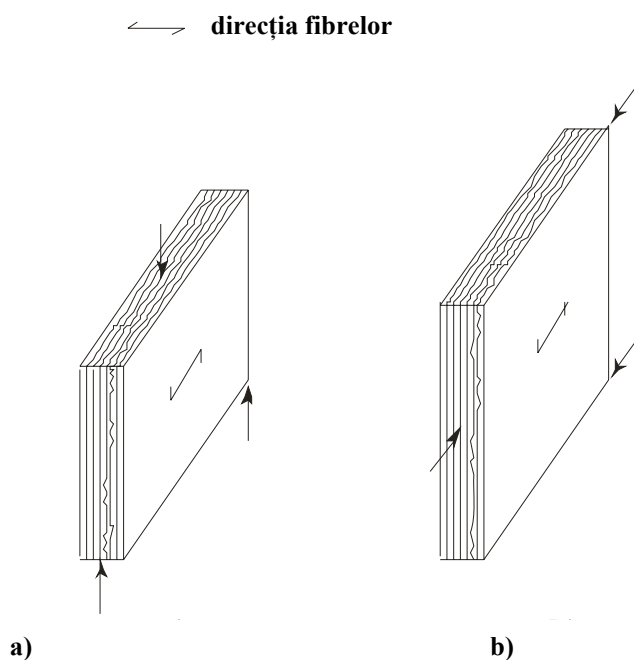


Fig. 1.8 – Încovoiere după cant
a) – paralel cu fibrele plăcilor exterioare; b) – perpendicular pe fibrele plăcilor exterioare

↔ direcția fibrelor

Din categoria placajelor de exterior sau cu utilizări speciale fac parte:

- placajul melaminat, acoperit cu unul sau mai multe straturi de hârtie impregnată cu rășină melaminică;
- placajul emailat, pe fața căruia se aplică prin turnare sau pulverizare unul sau mai multe straturi de email sau lac de rășini sintetice;
- azoplacajul, acoperit cu azbociment pe una sau pe ambele fețe;
- placajul acoperit cu hârtie decorativă, în scopul înlocuirii acoperirii cu fumir estetic;

- placaj armat cu țesătură din fire de sticlă, acoperit pe una sau ambele fețe cu țesătură din fire de sticlă, imersată în soluție de rășină fenolică sau folosind ca adeziv rășină fenolică sub formă de fibre;

- placaj acoperit cu rășină fenolică sub formă de fibre, pe una sau ambele fețe, în scopul creșterii rezistenței la umiditate;

- placaj decorativ, având pe o față furnir estetic, iar pe dos furnir tehnic, folosit în industria mobilei și în construcții.

Placajele au grosimi de 2 ... 20 mm și sunt împărțite, după anomaliiile și defectele furnirului tehnic al stratului exterior, în 5 categorii (A, B, C, D, E) și, după categoria straturilor exterioare, în 5 clase de calitate (A/B, B/C, C/D, D/D, E/E).

Grosimile placajelor folosite la exterior, la noi în țară, sunt de 6, 8, 10, 12, 15 mm fiind formate din 3, 5, 7, 9 straturi iar formatele uzuale sunt de 1000x1220 mm, 1220x2220mm, 1220 x 1525 mm, 2000 x 1250 mm.

Caracteristicile mai importante ale placajelor de exterior din furnir de fag, realizate în țară sunt date în tabelul 1.6, /22 /

Tabelul 1.6

**Caracteristicile fizico-mecanice ale placajelor de exterior
din furnir de fag /22/**

Nr. crt.	Caracteristica	Tipul de placaj	
		F(încleiat cu filme de rășină fenolformaldehidică)	S(încleiat cu soluție de rășină formaldehidică)
1	Densitatea aparentă ρ_a (kg/ m ³)	min. 680	650 – 740
2	Conductibilitatea termică (W / m. grd)	0.20	0.20
3	Modulul de elasticitate la încovoiere la încărcare perpendiculară pe straturi, axa longitudinală a epruvetei fiind paralelă cu direcția fibrelor straturilor exterioare (N / mm ²) : - în stare uscată (U =7%) - în stare umedă (după 24 h imersie în apă)	7 700 4 600	8 370 5 000
4	Modulul de elasticitate la încovoiere la încărcare paralelă cu straturile, axa longitudinală a epruvetei fiind paralelă cu direcția fibrelor straturilor exterioare (N / mm ²) : - în stare uscată (U =7%) - în stare umedă (după 24 h imersie în apă)	11 100 2 897	
5	Rezistența la compresiune paralelă cu straturile, axa longitudinală a epruvetei fiind paralelă cu direcția fibrelor straturilor exterioare (N / mm ²) : - în stare uscată (U =7%) - în stare umedă (după 24 h imersie în apă)	40.0 12.0	43.5 15.5
6	Rezistența la încovoiere la încărcare perpendiculară pe straturi, axa longitudinală a epruvetei fiind paralelă cu direcția fibrelor straturilor exterioare (N / mm ²) : - în stare uscată (U =7%) - în stare umedă (după 24 h imersie în apă)	73.0 39.5	78.0 43.0

7	Rezistența la încovoiere la încărcare paralelă cu straturile, axa longitudinală a epruvetei fiind paralelă sau perpendiculară cu direcția fibrelor straturilor exterioare (N / mm ²) : - în stare uscată (U =7%) - în stare umedă (după 24 h imersie în apă)	- -	56.0 32.5 - 36.0
8	Rezistența la întindere paralelă cu straturile (N / mm ²), axa longitudinală a epruvetei fiind: -paralelă cu direcția straturilor exterioare (U =7%); -perpendiculară pe direcția straturilor exterioare (U =7%)	43.5 38.5	57.0 45.0
9	Rezistența la forfecare perpendicular pe straturi (N / mm ²), cu direcția forței: - paralelă cu direcția fibrelor straturilor exterioare, în stare umedă; - pendiculară pe direcția fibrelor straturilor exterioare, în stare umedă.	- -	11.5 14.0

Valorile caracteristice ale rezistențelor și densităților produselor de placaj realizate în diferite țări, date în /30/ după documentul CEN / TC 112406 „Panouri pe bază de lemn - Valori caracteristice pentru produse reformatate” sunt prezentate în tabelul 1.7 iar cele ale modului de elasticitate în tabelul 1.8.

Valorile din tabelele 1.7 și 1.8 sunt date pentru placaje de clasa I și II clasificate după EN 635 „Placaje – Clasificare după aspectul suprafeței” partea 2 pentru foioase și partea 3 pentru rășinoase. Coeficienții k_1 , k_2 , k_3 , recomandați în tabelele 1.7 și 1.8 pentru placajele fabricate în Germania și Franța se determină cu relațiile 1.1...1.3 , conform figurii 1.9:

$$k_1 = (d_m^3 - d_{m-2}^3 + d_{m-4}^3 - \dots \pm d_1^3) / d_m^3 \quad (1.1)$$

$$k_2 = (d_m - d_{m-2} + d_{m-4} - \dots \pm d_1) / d_m \quad (1.2)$$

$$k_3 = d_{m-2} / d_m \quad (1.3)$$

Tabelul 1.7

Rezistența caracteristică la:	Tip de placaj				
	S	FIN	US	CAN	D
Încovoiere cu încărcare perpendicu-lar pe planul panoului cu axa longitudinală paralelă cu fibrele plăcilor exterioare, fig.1.7 a ($f_{m,0,k}$)	23.0 21.6	37.2 34.8	23.5 14.8	19.0 15.8	77 k_1
Încovoiere cu încărcare perpendicular pe planul panoului cu axa longitudinală perpendiculară la fibrele plăcilor exterioare, fig.1.7 b ($f_{m,90,k}$)	11.4 12.4	27.6 29.0	12.2 10.1	7.3 8.7	77(1- k_1)/ k_3
Întindere paralelă cu fibrele plăcilor exterioare ($f_{t,0,k}$)	15.0 15.4	38.9 37.2	13.6 10.5	9.9 10.6	77 k_2
Întindere perpendiculară pe fibrele plăcilor exterioare ($f_{t,90,k}$)	12.0 11.4	32.9 34.1	7.2 6.9	6.3 6.6	77(1- k_2)
Compresiune paralelă cu fibrele plăcilor exterioare ($f_{c,0,k}$)	15.0 15.4	19.9 19.3	13.9 10.6	12.6 14.1	58 k_2
Compresiune perpendiculară pe fibrele plăcilor exterioare ($f_{c,90,k}$)	12.0 11.4	17.5 18.1	8.1 7.7	9.0 9.7	58 (1- k_2)

Forfecare din încovoiere după paralel cu fibrele plăcilor exterioare, fig.1.8a ($f_{v,k}$)	2.9	9.8	3.2	3.2	8.0
Forfecare din încovoiere cu încărcare perpendicular pe planul panoului, fig.1.7 a ($f_{r,k}$)	0.9	2.5	0.9	0.9	3.0
NOTĂ: f_k – rezistența caracteristică, N/mm ² S – placaje suedeze P30; grosime 12.0mm respectiv 24.0 mm FIN – placaje finlandeze; grosime 12.0mm respectiv 24.0 mm US – placaje americane din minimum 5 foi ; grosime 12.5mm respectiv 21.0 mm CAN – placaje canadiene; grosime 12.5mm respectiv 25.5 mm D – placaje germane; grosime 12.5mm respectiv 21.0 mm					

Pentru calculul deformațiilor, rigiditatea EI, respectiv EA, a panourilor se determină folosind momentul de inerție I și aria A a secțiunii totale și modulul de elasticitate E determinat conform /30/ având valorile:

- pentru încovoierea perpendiculară pe planul panoului
 $E_{II} = 0,80 E_0$ pentru încovoiere paralelă la fibrele plăcilor exterioare (fig. 1.7a);
 $E_L = 0,24E_0$ pentru încovoiere perpendiculară la fibrele plăcilor exterioare (fig.1.8b)
- pentru încovoiere după cant:
 $E_{II} = 0,61E_0$ pentru încovoiere paralelă la fibrele plăcilor exterioare (fig.1.8a);

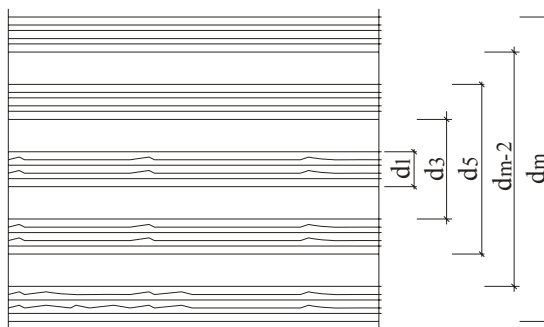


Fig. 1.9 – Determinarea coeficienților k_1 , k_2 , k_3 pentru placaje cu structuri multiple (m foi)

Tabelul 1.8

Valori caracteristice pentru modulul de elasticitate /36/					
Caracteristica	Tip de placaj				
	S	FIN	US	CAN	D
Modulul de elasticitate la încovoiere cu încărcare perpendicular pe planul panoului, cu axa longitudinală paralelă cu fibrele plăcilor exterioare, fig.1.7 a ($E_{m,0,mediu}$)	9200	9800	10300	9200	11000 k_1
	8700	8900	7800	6700	
Modulul de elasticitate la încovoiere cu încărcare perpendiculară pe planul panoului cu axa longitudinală perpendiculară la fibrele plăcilor exterioare, fig.1.7 b ($E_{m,90,mediu}$)	4600	6200	2500	2000	11000 (1- k_1)
	5000	7100	2500	3300	
Modulul de elasticitate la întindere și compresiune paralelă cu fibrele plăcilor exterioare ($E_{t(c),0,mediu}$)	7200	8500	6800	6000	11000 k_2
	7400	8300	5200	6300	

Modulul de elasticitate la întindere și compresiune perpendiculară pe fibrele plăcilor exterioare ($E_{t(c),90,mediu}$)	4800	7500	4600	4400	11000 (1- k_2)
Densitatea caracteristică, ρ_k (kg/ m ³)	410	550	410	410	550
NOTĂ : Modulul de elasticitate caracteristic ($E_{i,k}$) are valoarea 0.8 $E_{i,mediu}$, (N/mm ²)					

$E_L = 0,41E_0$ pentru încovoiere perpendiculară la fibrele plăcilor exterioare (fig.1.8b);
- pentru întindere și compresiune în planul panourilor:
 $E_{II} = 0,60E_0$ pentru eforturi paralele la fibrele plăcilor exterioare;
 $E_L = 0,40E_0$ pentru eforturi perpendiculare la fibrele plăcilor exterioare.
Valorile medii ale modulului deformațiilor transversale G_v , variază de la 500 N/mm² pentru rășinoase la 700 N/mm² la foioase.

2. 7 Lemnul stratificat

Lemnul stratificat sau lamelat, făcând parte din produsele de lemn reconstituit, a apărut în anii 1960 și s-a dezvoltat mult în anii 1980. El a fost realizat din necesitatea reducerii efectelor negative a defectelor asupra rezistențelor produsului final. Producția unor astfel de produse era în anul 1993 de circa 440 000 mc în America, 51 000 mc în Europa și 40 000 mc în restul țărilor. El poartă marca de Micro - Lam LVL în America și Kerto LVL în Europa.

În tabelul 1.9 se dau, pentru exemplu, caracteristicile geometrice ale lemnului lamelat Kreto-LVL produs în Finlanda; lungimea produselor poate depăși 20m.

Tabelul 1.9

Produse din lemn lamelat Kreto / 36/

Lățime (mm)	Grosime (mm)						
	27	33	39	45	51	63	75
200	x	x	x	x	x	x	x
260		x	x	x	x	x	x
300			x	x	x	x	x
360				x	x	x	x
400					x	x	x
450						x	x
500						x	x
600							x
900							x

Lemnul lamelat se caracterizează, față de lemnul natural, prin: durabilitate comparabilă, umiditate de echilibru în serviciu cu 2% mai mică, caracteristici mecanice superioare, variații dimensionale în funcție de umiditate mai mici. Densitatea caracteristică este $\rho_k = 500$ kg/m³ iar densitatea medie are valoarea $\rho_m = 520$ kg/m³.

Având în vedere că un lemn fără defecte are rezistențe de 2...4 ori mai mari decât cel cu defecte s-a căutat eliminarea neajunsurilor datorate defectelor prin desfacerea lemnului în lamele fine, de tipul furnirului, care apoi sunt lipite între ele pentru a se realiza un nou material. Realizarea lemnului stratificat a pornit și de la constatarea că un produs realizat din lemn încheiat are o rezistență mai mare decât lemnul component. Acest avantaj este mai mare dacă lemnul și, implicit, defectele mari ale acestuia se împart în defecte mici prin divizarea lemnului în foi de 1...5mm grosime. Foile astfel realizate sunt lipite cu adezivi și presate la o temperatură de 150° C.

Lemnul lamelat se diferențiază de placaj prin aceea că orientarea fibrelor tuturor foilor, sau a majorității lor este paralelă, astfel încât se pot obține dimensiuni cu mult mai mari.

Valorile caracteristicilor de calcul pentru lemnul laminat Kreto-LVL sunt date în tabelul 1.10

Tabelul 1.10

Valorile caracteristicilor pentru lemn laminat Kreto – LVL / 36/

Caracteristica	Notatie	Valoare (N/ mm ²)
Încovoiere	$f_{m,k}$	
- pe cant		51
- pe suprafață		48
Întindere		
- paralelă cu fibrele	$f_{t,0,k}$	42
- perpendicular pe fibre	$f_{t,90,k}$	0.6
Compresiune paralelă cu fibrele	$f_{c,0,k}$	42
Compresiune perpendiculară pe fibre	$f_{c,90,k}$	
- paralelă la planul de încheiere		9
- perpendiculară la planul de încheiere		6
Forfecare		
- pe cant	$f_{v,0,k}$	5.1
- pe suprafață	$f_{v,90,k}$	3.0
- între plăci din încovoiere cu încărcare perpendiculară pe suprafață	$f_{r,k}$	1.5
Modulul de elasticitate		
- minim	$E_{0.05}$	12400
- mediu	$E_{0,mediu}$	14000
Modulul de forfecare		
- minim	$G_{0.05}$	820
- mediu	$G_{0,mediu}$	960

În fig 1.10 se prezintă o comparație a caracteristicilor de rezistență pentru lemnul masiv, lemnul încheiat și lemnul laminat iar în figura 1.11 sunt prezentate trei secțiuni transversale realizate cu cele trei materiale pentru aceeași capacitate portantă la încovoiere.

În România lemnul laminat, denumit lemn stratificat, se obține prin încheierea furnirelor tehnice de fag. Acest produs, după gradul de presare, poate fi:

- lemn stratificat nedensificat (LSN), cu densitate de 800 kg/m³;
- lemn stratificat densificat (LSD), cu densitate de 1200kg/m³.

După modul de orientare a fibrelor straturilor de furnire tehnice lemnul stratificat se împarte în trei tipuri:

- tipul A având straturile cu fibrele orientate paralel cu una din laturi;
- tipul B cu grupe de zece straturi respectiv cinci până la zece, la cel durificat, orientate paralel cu una din laturi, alternând cu un strat cu fibrele orientate perpendicular pe aceeași latură;
- tipul C cu straturile alăturate orientate perpendicular

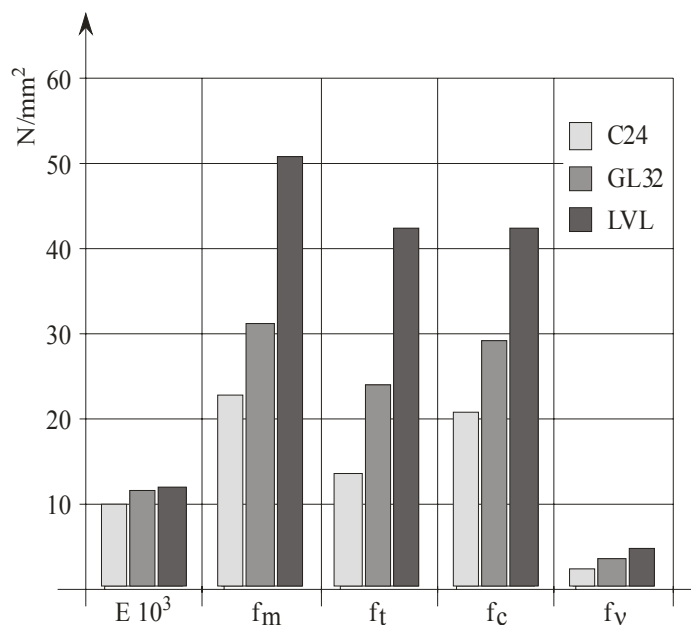
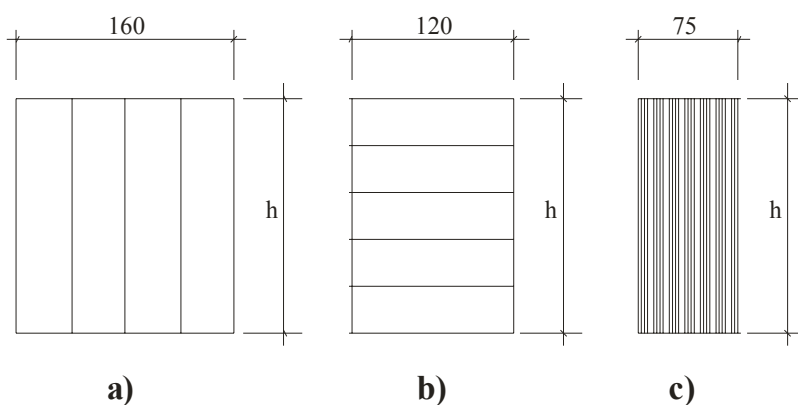


Fig. 1.10 – Valorile caracteristicilor lemnului masiv (C24), lemnului înleiat (GL32) și ale lemnului laminat (LVL)

E- modul de elasticitate, f_m , f_t , f_c , f_v – rezistențele caracteristice la încovoiere, întindere, compresiune respectiv forfecare



**Fig. 1.11 – Secțiuni cu aceeași capacitate de rezistență la încovoiere
a) – lemn masiv (C24); b) – lemn înleiat (GL32); c) - lemn laminat (LVL)**

Lemnul stratificat nedensificat (STAS 10031-80) se produce cu grosimi de 10...40 mm din 5 în 5 mm și cu formate de 1250 x 920 mm și 2000 x 920 mm, iar lemnul densificat (STAS 10032-80) se produce cu grosimi de 10...50 mm din 5 în 5 mm și cu formate de 1250 x 920 mm, 1250 x 2000 mm și 1250 x 2220 mm.

Principalele caracteristici ale celor două categorii de lemn stratificat sunt date în tabelul 1.11

Caracteristicile lemnului stratificat produs în România

Caracteristica	Lemn nedensificat			Lemn densificat		
	Tip A	Tip B	Tip C	Tip A	Tip B	Tip C
Umiditatea la livrare (%)	8			8		
Densitatea aparentă (g/cm ³)	8			1,2		
Absorția de apă după 24 de ore de imersie (%)	-			14		
Rezistența la compresiune paralelă cu fibrele straturilor exterioare (N/mm ²)	70	80	55	140	130	100
Rezistența la încovoiere statică perpendiculară pe straturi (N/mm ²)	100	100	80	180	130	100
Rezistența la tracțiune paralelă cu fibrele straturilor exterioare (N/mm ²)	-	-	-	220	200	100

2.8. Panel

Panelul (STAS 1575-88) este un produs alcătuit dintr-un miez de șipci de lemn masiv lipite sau nu între ele și acoperite pe ambele fețe cu foi de furnir sau placaj. Fibrele foilor de furnir sunt perpendiculare pe direcția fibrelor șipcilor (fig.1.12). Orientarea fibrelor șipcilor de lemn este considerată ca fiind sensul de rezistență principal.

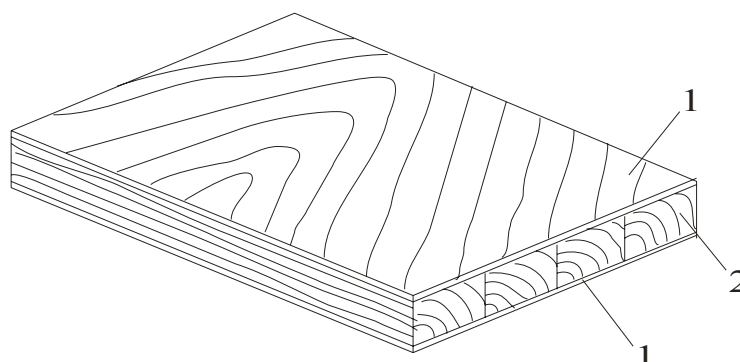


Fig. 1.12 – Panel
1 – furnir (placaj); 2 – șipci de lemn

În România panelul se fabrică cu șipci lipite între ele și are:

- grosime de 16; 18; 19; 22 și 25 mm;
- formate (lungime x lățime) de 1220x2200 mm; 1220x2440 mm; 1250x2000 mm.

2.9 Produse finite din lemn

Produsele finite din lemn păstrează structura lemnului și se pun în operă fără nici o modificare a dimensiunilor sau cu modificări minime.

Din categoria acestora fac parte elementele folosite la pardosea (parchetele, frizurile, pervazurile, pavelele, etc.), elementele pentru compartimentări și elementele de uși (panouri celulare).

Parchetele se confecționează din lemn de rășinoase (STAS 228/5-84), stejar (STAS 228/3-77), fag (STAS 228/4-77).

Pavelele sunt elemente de lemn masiv, cilindrice sau prismatice, folosite pentru pavaje și pardoseli (STAS 3344/1-75).

Panourile celulare sunt formate dintr-un cadru rigid de lemn masiv, având în interior o serie de celule formate din fâșii de PFL, acoperit pe ambele fețe cu plăci PFL sau placaj (STAS 1624-86).

2.10 Panouri din particule din lemn

Pentru a înlătura inconvenientele lemnului legate de dimensiuni și anizotropie în timp au fost căutate noi soluții de utilizare a lemnului. O primă cale de rezolvare în acest sens o constituie placajele și lemnul stratificat care au la bază furnirele și adezivi de legătură. O a doua rezolvare o constituie elementele tip realizate din particule din lemn (fibre, lamele, așchi, etc.) aglomerate cu aditivi, asigurând astfel punerea în valoare a tuturor rezervelor forestiere, inclusiv a deșeurilor și a elementelor mici de lemn elemente în care particulele reprezintă aproximativ 85% din volumul panoului și au la bază în principal lemnul de rășinoase.

a) Panouri din așchii de lemn (PAL)

Plăcile din așchii de lemn sunt produse semifabricate care se obțin prin prepararea la cald a particulelor mici, fine sau a lamelilor de lemn amestecate cu un liant.

Normele Europene CEN disting panourile propriu-zise din particule de lemn și panourile din lamele de lemn (OSB – Oriented Strand Board).

La panourile propriu-zise alcătuite din particule de lemn, sunt folosite elemente de lemn (așchii) care pot fi fine, normale (lungime maximă 20 mm) și mari (lungime minimum 32 mm). În masa panoului pot exista un singur tip de particule sau tipuri diferite; structura plăcilor poate fi omogenă sau stratificată cu trei sau cinci straturi. În cazul folosirii tipurilor diferite la suprafață se folosesc particule foarte fine, sub acestea se folosesc particule fine (max. 30 mm) iar particulele mari formează zona centrală; orientarea particulelor fiind aleatorie.

Ca și liant se folosesc rășini sintetice conținutul fiind de aprox. 11% din masa totală, pentru straturile exterioare și 5% pentru zona centrală. Presarea se realizează perpendicular pe fețe sau paralel cu fețele (extrudare).

În produs pot fi introduse diferite substanțe pentru îmbunătățirea unor caracteristici iar suprafața exterioară poate fi prelucrată (șlefuită) sau acoperită cu alte substanțe (cașerată, furniruită, armată, melaminată, emailată etc.). Pe plan mondial se produc panouri cu grosimi de 6 mm...40 mm, densități de 450 kg/m³ ...700 kg/m³ și dimensiuni de până la 5m lungime și până la 2,5m lățime; elementele sunt debitate la dimensiuni de 2,4m x 1,2m pentru pereți și 2,4m x 0,6m pentru planșee.

În România, în funcție de densitate, plăcile din PAL (STAS 6769-87) sunt clasificate în:

- ușoare, cu densitatea sub 400 kg/m³;
- semigrele, cu densitatea de 400 kg/m³ ...800 kg/m³;
- grele, cu densitatea peste 800 kg/m³.

Plăcile din așchii de lemn se pot folosi în interior sau exterior pentru mobilier, înnobilare sau pentru construcții.

Plăcile din interior antiseptizate și ignifugate PAL-AI (STAS 10146-80), se fabrică în 3 clase de calitate (A, B, C) având grosimea de 8; 10; 12; 16; 18; 22 mm și dimensiuni de 3660x1830 mm și 1830 x 1830 mm.

Principalele caracteristici fizico-mecanice ale plăcilor de interior sunt date în tabelul 1.12

Tabelul 1.12

Caracteristicile fizico-mecanice ale plăcilor de interior

Caracteristica	PAL cu fețe normale		PAL cu fețe fine		
	Cal. A,B	Cal. C	Cal. B	Cal. B	Cal. C
Densitatea (kg/m ³)	550 –800		680-850		
Umiditate la livrare (%)	8±2		8±2		
Umflarea în grosime după 2h imersie în apă (%)	max 14	max 16			

Rezistența la încovoiere statică (N/mm ²) pentru :					
- plăci de 8-12 mm	20.0	18.0	20.5	20.5	19.0
- plăci de 16-18 mm	18.0	16.0	18.5	18.5	17.0
- plăci de 22 mm	16.0	14.0	16.5	16.5	15.0

Plăcile de exterior PAL – CON (STAS 10371-86), încheiate cu rășini fenolice, au grosimi de 8; 12; 16; 18; 22; 25 mm și dimensiuni de 2500x1220 mm și 3000x1220 mm. Plăcile de exterior se produc în două tipuri:

- I.100, cu încheiere rezistentă la fierbere în apă;
- I.100, cu încheiere rezistentă la fiertul în apă, la atacul ciupercilor și al insectelor.

b) Panouri OSB (Oriented Strand Board)

Panourile OSB se realizează din lamele de lemn legate cu rășini sintetice, care reprezintă 2 ...4 % din masa totală.

În America se folosesc lamele de dimensiuni mari având secțiune pătrată cu latura de 75 mm și grosime de 0.4 mm ... 0.6mm iar în Europa lamelele folosite sunt cu secțiune rectangulară de lungime 50mm ...70mm și lățime de 20mm ...30mm.

Panourile se realizează din trei straturi. Straturile exterioare, egale ca grosime, au lamelele orientate paralel cu lungimea panoului iar stratul interior, care reprezintă aproximativ 50% din volum, are lamelele orientate perpendicular pe lungimea panoului.

Grosimea panoului este de 6..40 mm (uzual de maximum 25 mm) iar densitatea este de 550...750 kg/mc.

În Europa, panourile OSB sunt realizate de grupul elvețian KRONO iar în România se folosesc produsele KRONOPOL (Polonia) care au caracteristicile din tabelul 1.13a.

Conform standardului european produsele OSB se fabrică în următoarele sortimente: OSB2 , de uz general utilizate în mediu uscat, la interior ; OSB 3 , utilizate la interior și exterior în mediu cu umiditate moderată; OSB4, utilizate ca elemente structurale în medii cu umiditate ridicată.

Plăcile se pot folosi la realizarea pereților structurali, la realizarea elementelor planșelor (plăci, grinzi cu inimă plină sau cu goluri, etc.) sau ca și astereală la șarpante.

Tabelul 1.13a

Caracteristicile panourilor KRONOPOL

Caracteristica	Tipul produsului								
	OSB2			OSB3			OSB4		
Grosime (mm)	6...10	>10...<18	18...25	6...10	>10...<18	18...25	6...10	>10...<18	18...25
Densitate (kg/m ³)	620	600	580	680	660	640	700	690	680
Rezistența la încovoiere (N/mm ²)									
- longitudinal	22	20	18	22	20	18	30	28	26
- transversal	11	10	9	11	10	9	16	15	14
Rezistența la întindere (N/mm ²)	0.34	0.32	0.30	0.34	0.32	0.30	0.50	0.45	0.40
Modulul de elasticitate (N/mm ²)									
- longitudinal	3500			3500			4800		
- transversal	1400			1400			1900		
Umflarea în grosime după 24h (%)	20			15			12		

c) Panouri lemn – ciment

Aceste tipuri de panouri s-au dezvoltat între anii 1950 și 1960 și se obțin din aşchii fine de lemn sau particule de lemn legate cu ciment. Particulele, care au o orientare aleatorie, se amestecă cu ciment și apă în raport 3:1:1 și cu eventuale substanțe acceleratoare de priză.

Amestecul se pune în operă de obicei în 3 straturi presate, după care panourile se usucă la 70..80 °C timp de 6...8 ore iar apoi se taie la dimensiuni și se lasă 12..18 zile pentru întărirea cimentului.

Grosimea panourilor este de 6...40 mm și au densitate de aproximativ 1200 Kg/mc

d) Panouri din fibre de lemn (P.F.L)

Panourile sunt fabricate din fibre lignocelulozice, a căror coeziune se realizează fie prin presare la cald sau uscare, fie datorită proprietății adezive proprii, fie prin adăugare de lianți. În acest produs pot fi încorporați diferiți adjuvanți (adezivi, hidrofuganți, antiseptizanți, ignifuganți, etc) în scopul modificării uneia sau a mai multor proprietăți.

Pe plan internațional se fabrică, prin procedeul umed sau uscat, 7 tipuri de panouri, diferențiate în funcție de densitatea și proprietățile lor (tabelul 1.13b).

Tabelul 1.13b

Tipuri de panouri din fibre de lemn /36/

Procedeul de obținere	Densitatea		
	Scăzută <400 kg/m ³	medie 400...900 kg/m ³	mare ≥900 kg/m ³
Umed	Izolant SB	mediu densitate scăzută MLB	dur HB
	Impregnat SBI	mediu densitate mare MBH	extra – dur MBI
Uscat	MDF		

Prin procedeul umed, fără a folosi presarea, se pot realiza:

- panouri izolante cu grosime de 9...25 mm și densitatea de 200...400 kg / mc;
- panouri semidure, cu grosimi de 6...13 mm și densitate de 400...900kg/ mc;
- panouri dure, cu grosime de 3...8 mm și densitate de 900...1100 kg / mc.

Panourile semidure și dure se obțin prin presare la temperatură de 160...180 C.

Se pot obține și panouri extra - dure din panourile dure prin tratare într-o baie de ulei caldă cu amelioratori de rezistență sub formă de rășini.

Procedeul uscat folosește ca și lianți rășini sintetice, în proporție de 10% din masă și tehnologia presării. Produsul obținut are grosimi de până la 40 mm și densitate de 600...1100 kg / mc.

În România plăcile din fibre de lemn PFL (STAS 6986-88) pot fi realizate cu structură omogenă, dintr-un singur strat sau cu structură stratificată (STAS 8561-80) compusă dintr-un miez și două straturi exterioare. Pentru fabricare se folosesc trei procedee (STAS 6964-88): umed, uscat și semiuscat.

Caracteristicile fizico-mecanice mai importante pentru plăcile fibrolemnoase dure și extradure sunt date în tabelul 1.14.

Plăcile fibrolemnoase realizate în țară se împart în următoarele sortimente:

- plăci moi, nepresate (STAS 7840/78) cu densitate mai mică de 350 kg/m³ realizate în trei tipuri (standard – S, bitumate – B, bitumate și antiseptizate – BA);
- plăci semidure, presate, cu densitate de 350 Kg/m³...800 kg/m³;
- plăci dure, presate, cu densitate mai mare de 800 kg/m³.

Tabelul 1.14

Rezistențele minime la rupere a îmbinărilor încheiate solicitate la forfecare (STAS 857/83).

Felul încercării	Rezistența minimă la rupere la forfecare (N /mm ²)	
	Rășinoase	Foioase tari
Încercare pe probe în stare uscată (15% umiditate)	6.0	8.0
Încercare pe probe după 24 h de imersie în apă	4.0	5.5

CAP. II CARACTERISTICILE FIZICE ȘI MECANICE ALE LEMNULUI

Dintre caracteristicile fizice și mecanice ale lemnului, în cele ce urmează sunt tratate cele care au o importanță deosebită în evaluarea calității lemnului și a capacității sale portante.

1. CARACTERISTICI FIZICE

1.1 Umiditatea

Umiditatea lemnului reprezintă o caracteristică deosebit de importantă care influențează toate proprietățile fizice, mecanice, de deformare și tehnologice ale lemnului și ale produselor derivate din lemn. Variația umidității duce, de asemenea, la modificarea în anumite limite a dimensiunilor elementelor.

În tabelul 2.1 sunt date valorile cuantificate ale efectului umidității asupra principalelor proprietăți mecanice ale lemnului fără defecte, în domeniul umidității 8%...20%. Practic se poate considera o variație lineară între umiditate și caracteristicile mecanice.

Tabelul 2.1

Variația caracteristicilor lemnului pentru variația umidității cu 1% /30/

Caracteristica	Variația caracteristici (%)
Compresiune paralelă cu fibrele	5
Compresiune perpendicular pe fibre	5
Încovoiere	4
Întindere paralelă cu fibrele	2,5
Întindere perpendicular pe fibre	2
Forfecare perpendicular pe fibre	2,5
Modul de elasticitate paralel cu fibrele	1,5

Datorită variației caracteristicilor lemnului cu umiditatea valorile lor sunt date pentru un conținut standard de umiditate (în mod curent 12%) urmând ca în practică să fie corectate în funcție de condițiile efective de lucru ale lemnului și umiditate. Coeficienți de corecție a rezistențelor sunt m_{ui} după norma românească /40/ respectiv k_{mod} după norma europeană /30/, /38/. Coeficientul k_{mod} ia în considerare efectul cumulat al umidității și duratei de încărcare.

Umiditatea relativă (u_r) sau absolută (u_a) a lemnului se determină prin metoda uscării epruvetelor și se exprimă prin raportul între cantitatea de apă și masa lemnului în stare naturală respectiv uscată (masă constantă după o uscare la o temperatură de $103 \pm 2^\circ\text{C}$) folosind-se relațiile:

$$u_r = [(m_1 - m_2) / m_1] \times 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$

$$u_a = [(m_1 - m_2) / m_2] \times 100 \quad [\%] \quad (2.2)$$

unde:

m_1 – masa epruvetei în stare naturală, înainte de uscare, g ;

m_2 – masa epruvetei după uscare, g .

Determinarea umidității se poate face și cu metoda extracției de apă (STAS 83-89) sau cu ajutorul unor instrumente de măsurătoare electrice care au la bază următoarele procedee:

- măsurarea rezistenței între doi electrozi introduși în lemn și alimentați cu un curent continuu;
 - măsurarea proprietăților dielectrice ale lemnului plasat într-un câmp electric produs de doi electrozi amplasați pe suprafața lemnului, sub un curent alternativ.
- Apa din interiorul masei lemnoase poate avea una din următoarele forme:
- apa liberă (capilară) care umple vasele lemnului și golurile intercelulare;
 - apa legată (hidroscopică sau coloidală) care se fixează pe pereții celulelor, între micellele ce compun acești pereți;
 - apa de constituție, care face parte din substanțele chimice ce alcătuiesc masa lemnoasă.

Din punct de vedere al umidității masei lemnoase, respectiv a cantității de apă din interiorul lemnului se disting două domenii:

- **domeniul higroscopic**, când conținutul de umiditate a lemnului este inferior punctului de saturație a fibrelor, care variază la majoritate esențelor între 25%...35% (stabilit practic la aprox. 28%); în acest domeniu umiditatea lemnului variază funcție de umiditatea relativă a aerului și de temperatura mediului ambiant;

- **domeniul capilar**, când umiditatea este superioară punctului de saturație a fibrelor.

Există de asemenea situația în care lemnul este complet umed (umiditatea este mai mare de 40%, caracteristic lemnului aflat total în contact cu apa).

Punctul de saturație are o mare importanță practică deoarece variația umidității sub această valoare duce la schimbări importante ale proprietăților lemnului, la schimbarea dimensiunilor acestuia și dă naștere fenomenelor de contracție și de umflare.

Funcție de umiditate există în general trei domenii și anume:

- **domeniul lemnului uscat, cu umiditate $\leq 20\%$;**
- **domeniul lemnului semiuscat, cu umiditate $\leq 30\%$ sau maximum 35% pentru secțiuni transversale de peste 200 cm²;**
- **domeniul lemnului umed.**

În construcții, pentru evitarea unor fenomene negative cauzate de deformații de contracție mari trebuie ca lemnul și produsele de lemn să fie puse în operă cu o umiditate cât mai redusă posibil.

Valoarea normală a umidității lemnului la punerea în operă se corelează cu domeniul de utilizare. Normele germane DIN 1052 recomandă următoarele valori pentru umiditatea lemnului la punerea în operă:

- 9%±3%, la construcții închise, încălzite;
- 12%±3%, la construcții închise, neîncălzite ;
- 15%±3%, la construcții deschise dar acoperite ;
- $\geq 18\%$, la construcții supuse intemperiilor .

Normele românești de calcul și alcătuire /40/ nu dau recomandări speciale privind umiditatea lemnului pus în operă, în diferite elemente și spații, dar recomandă o valoare maximă de 18% și adoptarea unor soluții constructive, măsuri de protecție și detalii de alcătuire care să permită ventilarea elementelor, fără a induce în structura de rezistență deformații periculoase sau creșterea eforturilor secționale. Caracteristicile lemnului sunt date însă pentru o umiditate de referință de 12%.

Uscarea lemnului se poate face natural (uscare în aer) dar aceasta durează mult timp chiar pentru elemente de dimensiuni transversale mici (scânduri, șipci, etc.). Pentru a reduce durata de uscare se recurge la uscarea artificială, lemnul fiind expus în camere de uscare la un curent de aer dirijat cu o umiditate și temperatură prescrisă. În acest mod se poate obține, într-un timp relativ scurt, un lemn cu o umiditate de 6%...25%.

Din punct de vedere al condițiilor în care funcționează elementele de construcții din lemn sunt incluse în **clase de exploatare** care, conform normelor românești /40/ și EUROCOD 5 / 38/, sunt următoarele :

- **clasa 1 de exploatare**, caracterizată prin umiditatea conținută de materialul lemnos corespunzătoare unei temperaturi $\theta = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ și unei umidități relative a aerului $\leq 65\%$;
- **clasa 2 de exploatare**, caracterizată prin umiditatea conținută de materialul lemnos corespunzătoare unei temperaturi $\theta = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ și unei umidități relative a aerului $\leq 80\%$;
- **clasa 3 de exploatare**, caracterizată prin umiditatea conținută de materialul lemnos superioară celui din clasa 2 de exploatare.

Conform claselor de exploatare menționate, la elementele de construcții umiditatea de echilibru este aprox. 12% pentru clasa 1 de exploatare și aprox. 18% pentru clasa 2 de exploatare.

Datorită caracterului său higroscopic, lemnul își schimbă permanent umiditatea funcție de umiditatea mediului înconjurător, tinzând spre o valoare de echilibru. În figura 2.1 sunt prezentate după /30/, cu titlu exemplificativ, curbele de echilibru între conținutul de umiditate a lemnului (ω %) și umiditatea relativă a mediului înconjurător (ψ %) pentru o temperatură de 20°C. Izoterma A reprezintă realizarea echilibrului prin absorbție, izoterma B prin pierderea apei iar izoterma O prin variația ciclică a umidității mediului. Experiențele au arătat că raportul dintre realizarea echilibrului prin absorbție și prin pierderea apei (A/B) este de 0,8...0,9.

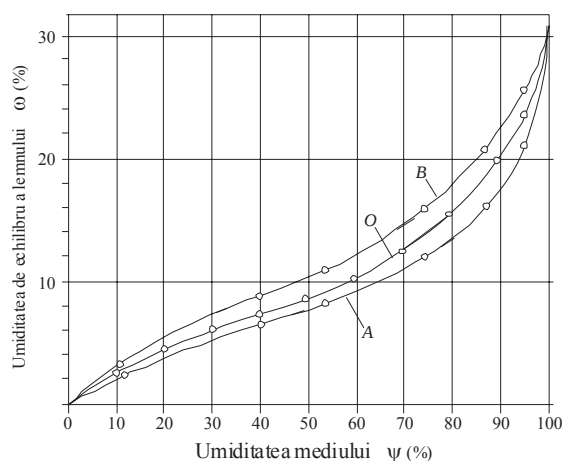


Fig. 2.1 – Realizarea echilibrului higrometric între umiditatea lemnului și umiditatea mediului înconjurător

În condiții climaterice constante realizarea echilibrului se produce într-o perioadă relativ lungă (de câteva săptămâni) în funcție de dimensiunile elementelor, rezultând că acest fenomen nu este afectat de variațiile de umiditate de scurtă durată.

Pentru cazurile practice au fost propuse curbe de echilibru higroscopic a lemnului în funcție de factorii de mediu (umiditatea relativă și temperatura aerului interior), din spațiul în care funcționează elementele de construcție (fig. 2.2).

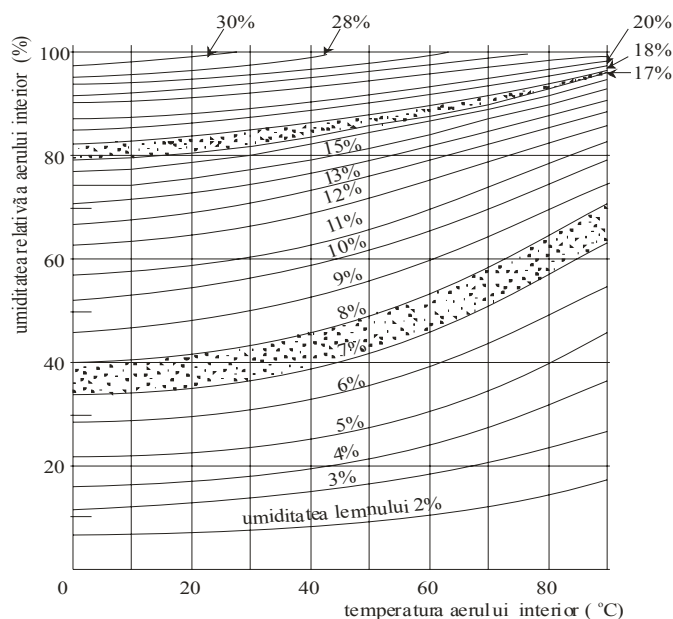


Fig. 2.2 – Curbele de echilibru higroscopic a lemnului în funcție de condițiile de mediu, /38/.

1.2. Densitatea

Lemnul, prin structura sa, este un material mai mult sau mai puțin poros dar densitatea reală a substanței lemnoase este de $1,55 \text{ g/cm}^3$ și este aceeași pentru toate esențele.

Densitatea aparentă reprezintă una din caracteristicile foarte importante ale lemnului deoarece proprietățile fizice, mecanice și tehnologice ale lemnului sunt condiționate de valoarea de acesteia.

Variația densității lemnului influențează caracteristicile mecanice ale acestuia. Astfel s-a constatat, de exemplu pentru rășinoase că variația densității caracteristice de la 500 kg/m³ la 400 kg/m³ duce la scăderea rezistenței la compresiune cu până la 30%; din acest motiv nu se folosește la elemente de rezistență lemn de rășinoase cu densitate sub 400 kg/m³.

Densitatea aparentă depinde de specia lemnului, de conținutul de umiditate (tabelul 2.2), de poziția lemnului și de zona din trunchi de unde este prelevată proba.

Tabelul 2.2

Densitatea aparentă a diferitelor specii de lemn

Densitatea aparentă a lemnului (kg/mc) pentru lemn:			
Specie	Verde	Umiditate de 15%	Uscat
Brad	1000	450	410
Molid	740	480	430
Pin	700	520	490
Stejar	1110	740	650
Fag	1010	750	690
Frasin	920	760	680
Salcâm	880	750	730
Tei	740	460	490

În practică se utilizează densitatea aparentă a lemnului verde, densitatea în condiții climaterice normale (+20°C și 65% umiditate), densitatea lemnului uscat (ρ_o), și densitatea convențională (ρ_u) corespunzătoare unei anumite umidități, u%.

Densitatea aparentă (ρ_u), influențată de esența și umiditatea lemnului, se exprimă ca fiind raportul dintre masa epruvetei, m_u și volumul ei, V_u , la umiditatea u%.

$$\rho_u = m_u / V_u = m_o (1 + 0,01 u) / V_o (1 + 0,01 u \cdot \beta_v) = \rho_o (1 + 0,01 u) / (1 + 0,01 u \cdot \beta_v) \quad (2.3)$$

unde:

ρ_o – densitatea lemnului după uscare artificială;

m_o și V_o - masa și volumul lemnului uscat;

β_v – coeficientul volumetric de umflare, cu semnificația de la paragraful 3.

Practic densitatea lemnului uscat (ρ_o) se consideră, în mod curent, pentru un conținut de umiditate de 12% și este notată cu ρ_{12}

Pentru a determina densitatea la umiditatea de 12% funcție de densitatea la o anumită umiditate u % = 7.....17% se poate folosi relația:

$$\rho_{12} = \rho_u [1 - (1 - \beta) (u - 12) / 100] \quad (2.4 a)$$

unde:

β - coeficient de umflare în volum pentru variația umidității de 1% (STAS 85/1-91 și anexa STAS 84-87).

Valoarea ρ_{12} este considerată ca valoare medie ($\rho_{12,m}$). Valorile caracteristice ale densităților ($\rho_{12,k}$) se determină, aplicând funcția de distribuție normală și luând coeficientul de variație maxim admis de 10% (conf. STAS 2682-83), cu relația:

$$\rho_{12,k} = \rho_{12,m} \pm 1,65 \times (0,1 \rho_{12,m}) \quad (2.4.b)$$

La stabilirea celor mai defavorabile condiții de solicitare luate în considerare în calcul pentru greutatea proprie a elementelor de lemn se adoptă după /30/ valori caracteristice maxime ale densității ($\rho_{0,95} = 1,16 \rho_{12,m}$) și valori minime ($\rho_{0,05} = 0,84 \rho_{12,m}$) funcție de efectul greutății în acțiunea totală.

Valorile maxime ($\rho_{0,95}$) și minime ($\rho_{0,05}$) ale densității diferitelor specii de lemn care pot fi considerate la stabilirea greutății proprii a elementelor de construcții sunt date în tabelul 2.3 după /40/ iar valorile caracteristice (ρ_k), după EN338, sunt date în tabelele 2.9 și 2.10.

În anumite situații densitatea se poate exprima și ca raport între masa lemnului uscat și volumul lemnului verde (numită densitate bazală). Această exprimare asigură aprecierea masei lemnoase uscate conținută într-un volum de lemn pe picioare (lemn netăiat).

$$\rho_{o,g} = m_o / V_g \quad (2.5)$$

Densitățile ρ_o și ρ_{12} pot fi exprimate funcție de densitatea bazală cu expresiile /30/:

$$\rho_o = \rho_{og} / (1 - 28 \cdot 10^{-5} \rho_{o,g}) \quad (2.6)$$

$$\rho_{12} = \rho_{og} / (1 - 16 \cdot 10^{-5} \rho_{o,g}) \quad (2.7)$$

Tabelul 2.3

Valorile densității lemnului pentru stabilirea greutateii elementelor de construcții

Specia	Densitatea (kg/m ³)		Specia	Densitatea (kg/m ³)	
	$\rho_{0,05}$	$\rho_{0,95}$		$\rho_{0,05}$	$\rho_{0,95}$
Brad	400	480	Fag	630	750
Larice	500	600	Mesteacăn	600	700
Molid	375	440	Paltin	510	600
Pin negru	520	750	Plop	310	550
Pin silvestru	430	560	Salcâm	710	840
Carpen	775	900	Cer, gorun, stejar	640	780

1.3. Contractia si umflarea

Prin contracție și umflare se înțelege schimbarea dimensiunilor lemnului sub influența variațiilor de umiditate.

Deoarece din punct de vedere higroscopic pereții celulelor cuprind o cantitate de apă corespunzătoare umidității mediului înconjurător această cantitate variază cu umiditatea exterioară și provoacă contracția sau umflarea lemnului.

Deformațiile datorită variației umidității sunt influențate de specia lemnului, de structura și densitatea lui precum și de prezența în volumul elementelor din lemn a unei cantități mari de lemn de alburn, care determină deformații mai mari.

Între variația umidității lemnului și modificarea dimensiunilor există, în domeniul higroscopic, o relație practic lineară, care permite trasarea unor curbe de contracție sau umflare și arată că peste punctul de saturație a fibrelor (aprox.30%) nu se mai produc schimbări de dimensiuni (fig. 2.3).

Contracția și umflarea sunt în mare majoritate reversibile și au valori mult diferite pe cele trei direcții ale lemnului (longitudinal, radial sau tangențial – fig.2.3). Schimbările dimensiunilor sunt minime (practic neglijabile) pe direcție paralelă cu fibrele, maxime în direcție tangențială la fibre și au valori medii în direcție radială (fig. 2.3).

Deși deformațiile longitudinale paralele cu fibrele sunt practic neglijabile la lemnul masiv, există unele elemente de înălțimi mari (cum sunt grinzile încleiate) la care, datorită diferențelor de umiditate din fibrele extreme, pot apărea deplasări verticale importante de care trebuie să se țină seama. Acest fenomen este accentuat iarna în situația elementelor cu izolație termică pe o anumită înălțime când partea inferioară a grinzilor, situată la interior, este încălzită iar partea superioară este amplasată în zonă rece și cu umiditate mai mare.

Contracția și umflarea sînt caracterizate prin valorile coeficienților de deformație în sens longitudinal (α_l), radial (α_r) și tangențial (α_t), calculați în % pentru 1% modificare de umiditate (tabelul 2.4).

Tabelul 2.4

Coeficienții deformațiilor de contracție și umflare

Specia de lemn	Densitatea ρ_o (g/cm ³)	Coeficienții deformațiilor		
		α_t	α_r	α_l
Rășinoase	0,40	0,24	0,12	0,01
Foioase	0,65	0,40	0,20	0,01

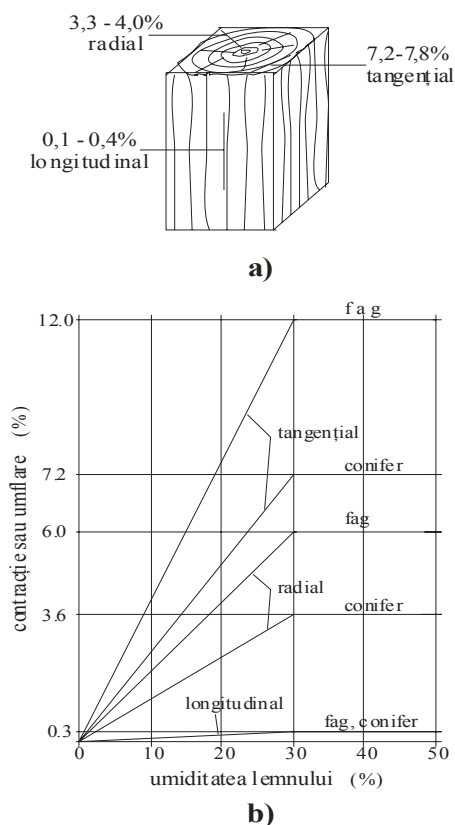


Fig. 2.3 – Mărimile deformațiilor de contracție
a) – valorile contracțiilor la rășinoase; b) – variația contracției cu umiditatea

Dacă deformațiile produse de variațiile de umiditate nu sînt reduse de alte elemente de construcții, de adezivi, etc., se pot calcula variațiile dimensionale ($\Delta\%$) pentru o variație de umiditate ($\Delta u\%$) ținînd cont de valorile coeficienților de deformație (fig. 2.4).

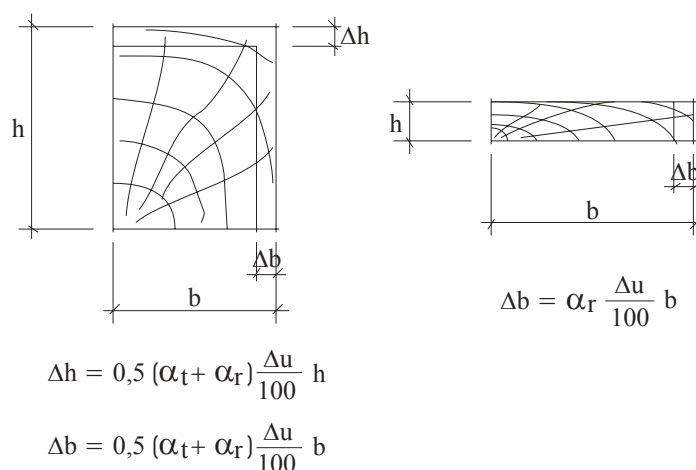


Fig. 2.4 – Calculul deformațiilor

După normele europene /30/ fenomenele de contracție și umflare sunt grupate sub denumirea de retractoritate iar pentru schimbările dimensionale în intervalul de umiditate 5% și 20% se poate folosi formula :

$$h_2 = h_1 [1 + \beta (\omega_2 - \omega_1) / 100] \quad (2.8)$$

unde:

h_1 și h_2 - dimensiunile corespunzătoare umidității ω_1 respectiv ω_2 ;

β - coeficientul de retractibilitate (în procente pentru o variație de umiditate de 1%).

Pentru majoritatea tipurilor de lemn coeficientul de retractibilitate pe direcția paralelă cu fibrele (β_0) este practic neglijabil și considerat 0,01 iar pentru direcție perpendiculară pe fibre (β_{90}) se consideră 0,2 ; pentru unele foioase (ca de exemplu fagul) se pot considera și valori $\beta_{90} = 0,3$.

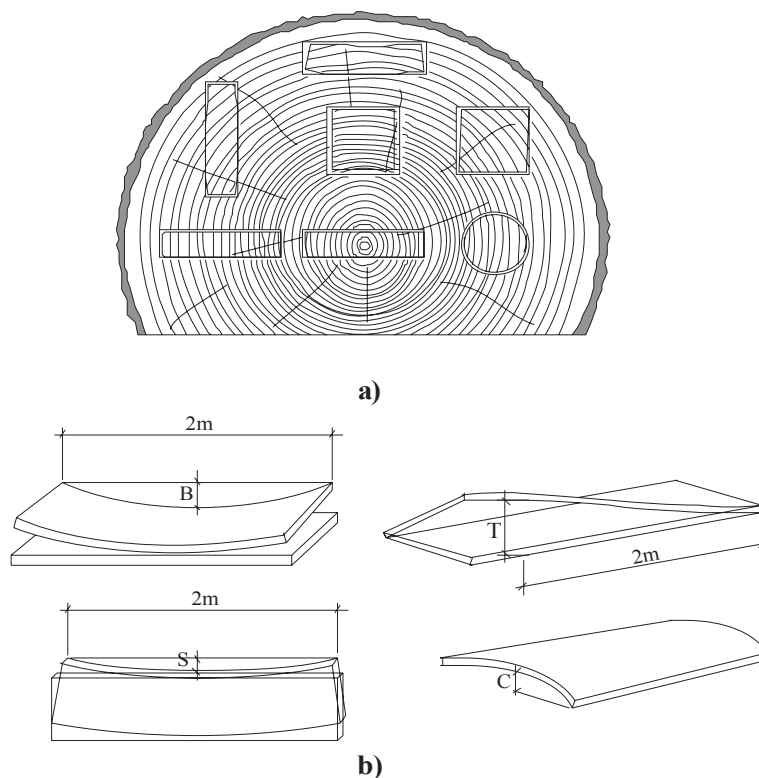


Fig. 2.5 – Deformația elementelor de lemn datorită contracției
a) - deformații funcție de modul de debitare; b) – deformații la elemente subțiri
(B – încovoiere după față; S – încovoiere după cant; T – răsucire; C – bombare).

În practică se poate folosi și coeficientul deformației volumetrice (β_v) cu o valoare egală de 10^{-3} din valoarea numerică a masei volumetrice a lemnului; deoarece β_0 este practic neglijabil rezultă o valoare a coeficientului deformației transversale (β_{90}) practic egală cu valoarea coeficientului deformației volumetrice (β_v).

Variațiile de contracție în raport cu umiditatea pot cauza, în timpul uscării, pe lângă variația dimensiunilor și fenomene de torsiune, deformare și fisurare a lemnului a produselor din lemn, fenomene care pot afecta calitatea produselor și rezistența (fig.2.5).

Fenomenele de contracție și umflare pot crea de asemenea dificultăți pentru îmbinările elementelor de lemn ducând la jocuri și la pierderea unei părți a rezistenței mecanice a ansamblului. În astfel de situații este recomandabil ca îmbinările să fie realizate în așa fel încât să permită asigurarea unei eventuale reglări periodice a îmbinării.

Deformațiile pronunțate din contracție și umflare, mai ales în cazul elementelor subțiri (scânduri), pot fi contracarate, în afară de măsurile de uscare și de evitare a variațiilor de umiditate și printr-o serie de reguli de utilizare.

Pentru elementele la care deformația de contracție nu este de dorit să apară se recomandă folosirea unor scânduri radiale iar pentru așezarea și prinderea scândurilor tangențiale trebuie respectate o serie de reguli constructive (fig.2.6) atunci când acestea se folosesc /30/.

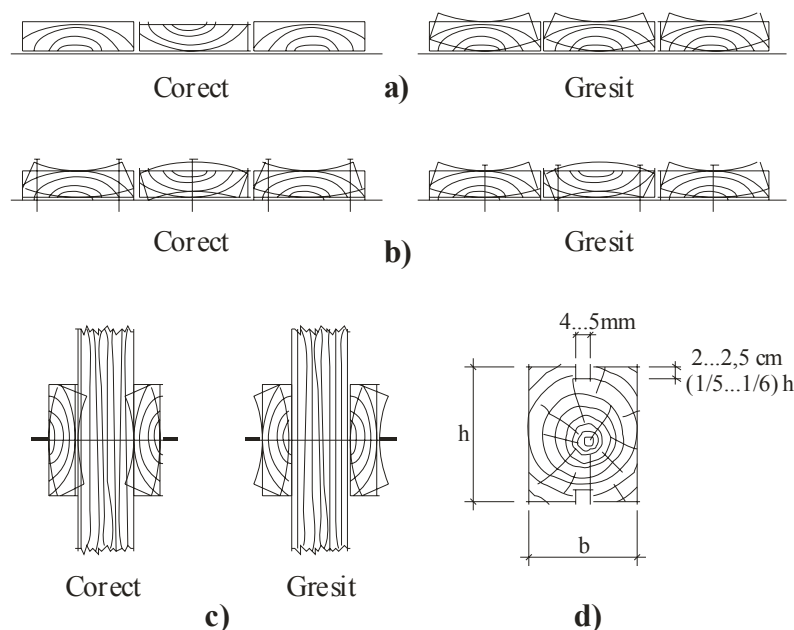


Fig. 2.6 – Reguli constructive pentru reducerea deformațiilor de contracție
a) – așezarea scândurilor tangențiale; b) – prinderea scândurilor;
c) – așezarea și prinderea cleștilor; d) – soluții pentru grinzi

Astfel, la scândurile tangențiale așezate pe un rând, dispunerea lor cu inelele anuale așezate alternativ cu concavitățile în sus și în jos (fig. 2.6a) este cea corectă pentru contracararea deformației.

De asemenea dispunerea cuielor sau a buloanelor de fixare trebuie să țină seamă de tendința de deformare a elementelor asamblate. Spre exemplu în figura 2.6b se arată dispunerea incorectă și corectă a cuielor de prindere a scândurilor pentru a împiedica tendința de deformare iar în fig. 2.6c dispunerea corectă și incorectă a cleștilor la un pop de sarpanță și modul de prindere a lor.

La grinzi, deoarece crăpăturile verticale exercită o influență mai mică decât crăpăturile orizontale asupra capacității portante, se recomandă ca atunci când există posibilitatea apariției unor contracții mari să se execute în axa grinzii creștături verticale, având adâncimi de 2...2,5 cm și lățimi de 4...5 mm (fig. 2.6d).

Este bine, de asemenea, ca găurile pentru buloane de strângere să fie ovale, pentru a nu împiedica deformația liberă și pentru a evita despicarea pieselor.

2. PROPRIETĂȚI TERMICE

Folosirea lemnului și a derivatelor sale în construcții și în special pentru izolații și finisaje depinde în mare măsură de proprietățile termice favorabile pe o plajă foarte mare de temperaturi.

Din punct de vedere al conductibilității termice, exprimată prin coeficientul de conductibilitate termică λ a lemnului uscat (sub 20% umiditate), acesta se poate considera un material bun izolator termic ($\lambda = 0,14...0,21$ W/mk). Perpendicular pe fibre, λ este cu mult mai mic decât paralel cu acestea.

Conductibilitatea termică depinde de densitatea lemnului și de umiditatea lui. Pentru densități de 300...800 kg/m³ și umiditate care nu depășește 40% coeficientul de conductibilitate, pentru un flux perpendicular pe fibre, poate fi determinat cu relația /41/:

$$\lambda_0 = [237 + 0.02 \rho_0 (1 + 2 \omega)] 10^{-4} \quad (2.9a)$$

unde:

λ_0 – coeficient de conductibilitate termică (W/mk);

ρ_0 - densitatea lemnului (kg/m^3);

ω – umiditatea (%).

Încercările experimentale au arătat că în intervalul de temperatură de la $+20^\circ\text{C}$ la $+100^\circ\text{C}$, coeficientul de conductibilitate termică se poate determina cu relația:

$$\lambda = \lambda_0 [1 + (1,1 - 9,8 \cdot 10^{-4} \rho) (\Theta_w - 20) / 100] \quad (2.9b)$$

unde:

λ – coeficient de conductibilitate termică la temperatura Θ_w (W/mk);

λ_0 – coeficient de conductibilitate termică determinat cu relația 2.9a ;

ρ - densitatea lemnului determinată la temperatura de $+20^\circ$.

Asemănător tuturor materialelor și lemnul își schimbă dimensiunile proporțional cu variația de temperatură, în limitele normale de temperatură. Această modificare caracterizată prin coeficientul de dilatație termică α_T este diferită pe cele trei direcții principale (longitudinală, tangențială și radială), dar valoarea acestuia pe direcție longitudinală de $(3 \dots 6) \times 10^{-6}$ are importanță practică în comparație cu valoarea perpendiculară pe fibre care este de $(10 \dots 15) \times 10^{-6}$. Comparativ cu oțelul și betonul, coeficientul de dilatație termică longitudinală a lemnului este mult mai redus ceea ce face ca pentru construcțiile din lemn să nu fie necesare rosturi de dilatație termică. Acest lucru este favorizat și de faptul că schimbarea de temperatură duce la schimbări de umiditate care provoacă contracții și umflări în sens invers deformațiilor din temperatură.

Căldura specifică (c), pentru o umiditate a lemnului sub 20% are o valoare de aproximativ $5,07 \text{ W/kg.K}$

Căldura specifică este foarte mult influențată de umiditatea lemnului, fiind cu aceasta într-o relație de următoarea formă:

$$c = 1,16 (0,324 + u) / (1 + u) \quad [\text{w/kg.K}] \quad (2.9c)$$

În partea 1.2 a normei EUROCOD 5 se propune calculul călduri specifice, pentru o umiditate ω și o temperatură Θ_w , cu relația :

$$c = (c_0 + \omega c_{\text{apă}}) / (1 + \omega) \quad \text{pentru } \Theta_w \leq 100^\circ\text{C} \quad (2.9d)$$

$$c = c_0 \quad \text{pentru } \Theta_w > 100^\circ\text{C} \quad (2.9e)$$

unde:

$c_0 = 1110 + 4,2 \Theta_w$ – căldura specifică funcție de temperatură;

$c_{\text{apă}} = 4200 \text{ J/kg K}$ – căldura specifică a apei.

3. PROPRIETĂȚI MECANICE ȘI DE DEFORMAȚIE

Proprietățile mecanice ale lemnului depind de o serie de factori, dintre care cei mai importanți sunt: caracterul și natura solicitării, direcția solicitării față de fibre, viteza de încărcare și durata de menținere a încărcării, structura și defectele lemnului, specia, umiditatea, etc.

Caracteristicile mecanice și de deformații se determină în laborator pe epruvete de dimensiuni mici executate dintr-un lemn fără defecte, obținându-se astfel rezistențele normate ale lemnului ideal sub încărcări de scurtă durată.

La încercări trebuie să se aibă în vedere prevederile STAS 2682-83 privind luarea probelor și debitarea epruvetelor, STAS 6300-81 privind atmosfera de condiționare și încercare și STAS 83-89 privind determinarea umidității.

Caracteristicile lemnului sunt influențate de umiditatea lemnului și, din acest motiv, toate sunt determinate pentru o umiditate de 12%.

Limitele în care variază principalele caracteristici mecanice ale lemnului de construcție din Europa /17/, pentru o umiditate de 12%, sunt date în tabelul 2.5, luând în considerare direcția solicitării (paralelă cu fibrele, II și perpendiculară pe fibre, $\perp$); valorile marcate în tabel sunt cele folosite în mod curent.

Tabelul 2.5.

**Caracteristicile mecanice și de deformare a principalelor
esențe de lemn, la umiditate de 12% /17/**

Specia	Modul de elasticitate (N/mm ²)	Rezistența la compresiune (N/mm ²)	Rezistența la întindere (N/mm ²)	Rezistența la încovoiere (N/mm ²)	Rezistența la forfecare (N/mm ²)
Brad II ⊥	6000- 11000 -21000 150- 300 -500	30- 40 -79 2,0- 5,8 -9,5	21- 90 -245 1,5- 2,7 -4,0	49- 66 -136 -	4,0- 6,7 -12 -
Pin II ⊥	7000- 12000 -20000 -	30- 47 -94 3,7- 7,7 -14	35- 104 -196 1,0- 3,0 -4,4	35- 87 -206 -	6,0- 10 -15 -
Zad II ⊥	6300- 13800 -20000 -	35-55-81 - 7,5 -	- 107 - - 2,3 -	52- 99 -132 -	4,5- 9,0 -10 -
Fag II ⊥	10000- 16000 -22000 -	41- 62 -99 - 9,0 -	57- 135 -180 - 7,0 -	63- 105 -180 -	6,5- 10 -19 -
Stejar II ⊥	9200- 13000 -13500 -	42- 54 -87 8,0- 11 -19	50- 90 -180 2,0- 4,0 -9,6	46- 91 -154 -	6,0- 11 -13 -

Recalcularea caracteristicilor de la umiditatea din momentul încercării la umiditatea de 12% se face cu relațiile:

$$\sigma_{12} = \sigma [1 + C(u - 12)] \quad (2.10a)$$

$$\tau_{12} = \tau [1 + C(u - 12)] \quad (2.10b)$$

$$E_{12} = E [1 + C(u - 12)] \quad (2.10c)$$

unde:

$\sigma_{12}, \tau_{12}, E_{12}$ - caracteristicile mecanice și de deformare corespunzătoare umidității de 12% ;

σ, τ, E - caracteristica mecanice și de deformare corespunzătoare umidității din momentul încercării;

u - umiditatea lemnului în momentul încercării (%);

C - coeficient de corecție, cu valori date în funcție de felul solicitării, pentru:

- compresiune paralel cu fibrele 0,040
- compresiune perpendicular pe fibre 0,035
- întindere paralel cu fibrele 0,015
- întindere perpendicular pe fibre:
 - în direcție radială 0,010
 - în direcție tangențială 0,025
- încovoiere statică 0,040
- încovoiere prin șoc (reziliență) 0,020
- forfecare 0,030
- modul de elasticitate la compresiune și întindere 0,015

Cu ajutorul rezistențelor normate ale lemnului ideal se determină rezistențele caracteristice ale lemnului ideal și rezistențele caracteristice ale lemnului natural ținând cont și de defecte. De asemenea în calculele practice se are în vedere și efectul duratei de încărcare asupra caracteristicilor de rezistență.

3.1 Rezistența la compresiune

În funcție de unghiul format de direcția solicitării cu fibrele, se disting rezistența la compresiune longitudinală (paralelă cu fibrele) și rezistența la compresiune transversală (perpendicular pe fibre). În calcule, pentru anumite situații, în special la îmbinări, un rol important revine și rezistenței la compresiune sub un anumit unghi față de fibre.

Rezistența la compresiune paralelă cu fibrele se determină conform STAS 86/1-87, pe epruvete prismatice cu latura de 20 cm și cu lungimea de 30...60mm . Funcție de esența lemnului, rezistența la compresiune paralelă cu fibrele este de 30.....90 N/mm², pentru rășinoase valorile curente sunt de 40...50 N/mm².

La epruvete cu lungimi mari (cu lungime mai mare de șase ori decât cea mai mică latură a secțiunii transversale) ruperea la compresiune longitudinală se produce prin flambaj lateral, fenomen care trebuie luat în considerare la aprecierea rezistenței.

La lemnul folosit în structuri, rezistența la compresiune paralelă cu fibrele este influențată de umiditate, zveltețea barelor și de prezența defectelor, ajungând la valori de 25...40 N/mm²/30/.

Rezistența la compresiune transversală, perpendicular pe fibre (STAS 1348/87) se determină cu epruvete prismatice ca și rezistența paralelă la fibre, forța fiind aplicată tangențial sau radial la inelele anuale. Rezistența la compresiune perpendiculară pe fibre este de circa 5...10 ori mai mică decât rezistența paralelă cu fibrele și are valori curente de 2...4 N/mm². Influența defectelor asupra acestei rezistențe este mai redusă.

Solicitarea la compresiune transversală se poate întâlni atât sub forma compresiunii și strivirii pe întreaga suprafață a elementului cât și sub forma solicitării pe o parte din lungime și lățime. Rezistența la solicitarea pe întreaga suprafață este mai mică decât în celelalte cazuri, când poate ajunge la valori de 6...8 N/mm². Pentru elementele structurale, la calculele de proiectare se ține cont de efectul creșterii rezistenței la compresiune locală funcție de suprafața comprimată, prin afectarea rezistențelor cu un coeficient supraunitar. Acest lucru se explică prin faptul că fibrele care nu sunt supuse la compresiune împiedică deformația fibrelor comprimate, fapt care mărește rezistența în ansamblu.

În situații practice în special la îmbinări apar cazuri de compresiune și sub un anumit unghi față de fibre (în mod curent de 20° ...70°)

Conform /30/ în cazurile când forța de compresiune face un anumit unghi (α) cu direcția fibrelor, rezistența la compresiune ($f_{c,\alpha}$) se calculează funcție de acest unghi, de rezistență la compresiune paralelă cu fibrele ($f_{c,0}$) și de rezistența la compresiune perpendicular pe fibre ($f_{c,90}$), cu relația dată în /30/:

$$f_{c,\alpha} = f_{c,0} f_{c,90} / (f_{c,0} \sin^2 \alpha + f_{c,90} \cos^2 \alpha) \quad (2.11)$$

Valoarea rezistenței crește o dată cu micșorarea unghiului α dintre direcția fibrelor și direcția de solicitare.

3.2 Rezistența la întindere

Rezistența la întindere se determină pe direcție paralelă cu fibrele (STAS 336/1-88) și perpendiculară pe fibre, radial sau tangențial (STAS 6291-89).

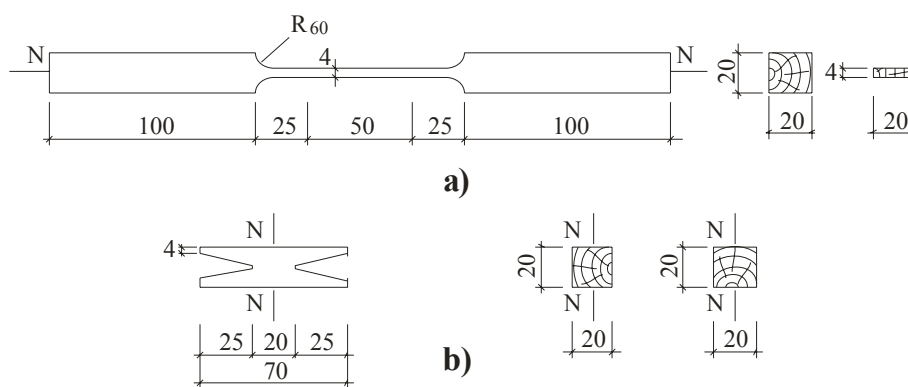


Fig. 2.7 – Epruvete pentru determinarea rezistenței la întindere
a) – pentru întindere paralelă cu fibrele;
b) – pentru întindere perpendiculară pe fibre

Determinarea se face pe epruvete de forma din fig.2.7a, pentru încercarea paralelă cu fibrele și de forma din fig.2.7b, pentru încercarea perpendiculară pe fibre.

Rezistența la întindere paralelă cu fibrele este superioară de 2 până la 2,5 ori rezistenței la compresiune și are valori de 60..150 N/mm² pentru rășinoase (valorile curente fiind de 80...100 N/mm²).

Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre este cu mult mai mică decât cea paralelă cu fibrele fiind aproximativ de 2...2,5% din rezistența la întindere paralelă cu fibrele fiind 1,5...4,0 N/mm² (în mod curent ea este de 1..2 N/mm²). Valorile rezistenței sunt foarte mult dependente de volumul de lemn solicitat.

Valoarea rezistenței la întindere sub un anumit unghi față de direcția fibrelor se poate determina cu o relație similară cu relația 2.9. Încercările experimentale au arătat însă că rezistența la întindere sub un anumit unghi față de fibre este cu mult mai sensibilă la variația unghiului decât rezistența la compresiune.

Rezistența la întindere este influențată mai puțin de umiditate decât rezistența la compresiune.

Slăbirile secțiunii, neomogenitățile și defectele lemnului (noduri, fibre înclinate, fisuri, etc.) duc la micșorarea simțitoare a rezistenței la întindere ceea ce face ca mărimea defectelor admise să fie limitată mult iar dimensiunile secțiunii transversale ale elementelor întinse să nu coboare sub anumite valori minime.

3.3 Rezistența la încovoiere

Rezistența la încovoiere statică (STAS 337/1-88) se determină pe epruvete prismatice cu secțiune transversală pătrată de latură 20 mm și lungime (în direcție paralelă cu fibrele lemnului) de 300 mm; inelele anuale trebuie să fie paralele cu două fețe longitudinale și perpendiculare pe celelalte două fețe (fig. 2.8a).

În faza inițială, când solicitările sunt mici, variația eforturilor pe secțiunea transversală este lineară (fig. 2.8 b) .

La momente încovoietoare mari repartitia eforturilor pe secțiunea transversală nu mai este lineară (fig. 2.8.c); în zona comprimată se trece în domeniul plastic și se atinge rezistența limită la compresiune iar în zona întinsă rezistența limită la întindere care este sensibil mai mare decât cea la compresiune, face ca diagrama să-și păstreze mai mult timp variația lineară, în final ajungându-se și aici în zona plastică. Atât timp cât materialul rămâne în întregime în domeniul elastic axa neutră trece prin centrul de greutate al secțiunii transversale dar ea începe să se deplaseze spre fibrele întinse îndată ce fibrele extreme din zona comprimată au trecut în domeniul plastic.

Ruperea barelor încovoiate se produce în urma ruperii fibrelor întinse, cu formarea în prealabil pe fața comprimată a unor cute, la început mici și puțin remarcate, care se extind apoi treptat de-a lungul fețelor zonei comprimate și a secțiunii.

Rezistența la încovoiere se poate determina cu relația 2.12, care admite ipoteza secțiunilor plane și a comportării elastice, cu toate că în stadiul de rupere tensiunile marginale reale de compresiune sunt mai mici iar tensiunile marginale reale de întindere sunt mai mari decât cele calculate.

$$\sigma_i = \pm \max M/W \quad (2.12)$$

unde:

σ_i - rezistența la încovoiere;

M- momentul încovoietor de rupere;

W- modulul de rezistență a secțiunii.

Rezistența la încovoiere este influențată de umiditate , de prezența nodurilor , de direcția fibrelor, de raportul dintre înălțimea și lungime grinzii precum și de forma secțiunii transversale.

La elementele structurale rezistența la încovoiere poate fi influențată de fenomenul de instabilitate laterală a grinzii, care duce la scăderea capacității portante.

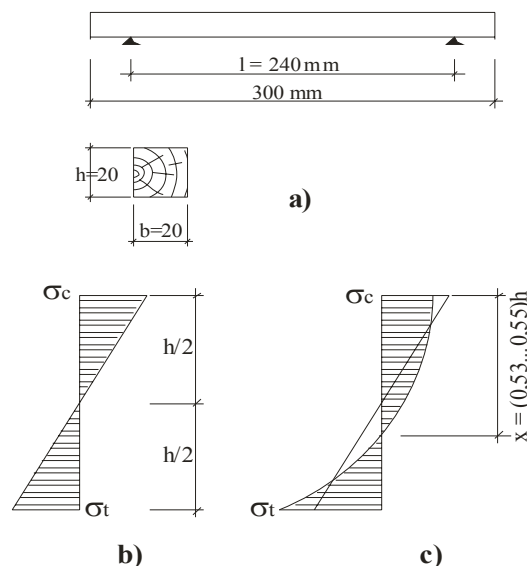


Fig. 2.8 – Determinarea rezistenței la încovoiere
a) – epruvete și mod de încercare; b) – diagrama de eforturi în stadiul elastic; c) – diagrama de eforturi la rupere

3.4 Rezistența la forfecare

Rezistența la forfecare se determină conform STAS 1651-83.

În funcție de planul de forfecare și de direcția fibrelor, se determină:

- rezistența la forfecare longitudinală paralelă cu fibrele, cu planul forțelor aplicat radial sau tangențial la inelele anuale (fig.2.9a);
- rezistența la forfecare transversală la fibre, cu planul forțelor aplicat radial sau tangențial la inelele anuale (fig.2.9b).

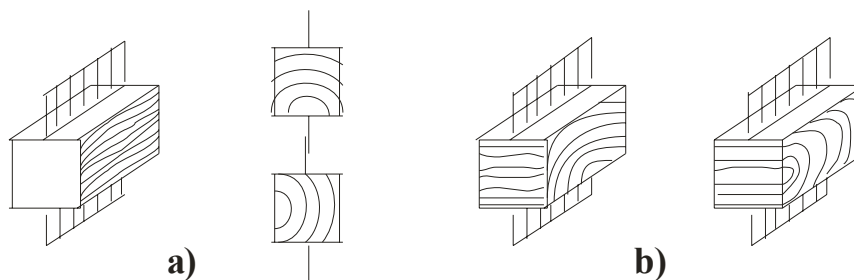


Fig. 2.9 – Determinarea rezistenței la forfecare
a) – forfecare paralelă cu fibrele (radial sau tangențial la inelele anuale);
b) – forfecare perpendicular pe fibre

Epruvetele utilizate pentru încercarea lemnului la forfecare au forme și dimensiuni diferite, în funcție de rezistența care se determină.

Forfecarea paralelă cu fibrele apare în practică la elementele încovoiate în lungul axei neutre sau la diferite tipuri de îmbinări (îmbinări prin chertare frontală cu piesele așezate sub un anumit unghi, îmbinări cu pene prismatice și circulare).

Forfecarea perpendicular pe fibre poate apărea la reazeme și în zonele de aplicare a unor forțe concentrate.

Paralel cu fibrele, rezistența la forfecare este de $1/8 \dots 1/10$ din rezistența la compresiune. Rezistența la forfecare perpendicular pe fibre (transversală) este de aproximativ 3 ori mai mare decât rezistența longitudinală paralelă cu fibrele dar ea are importanță practică mai redusă.

Diferențele dintre rezistențele la forfecare în plan radial și tangențial sunt, în toate cazurile, neînsemnate.

În practică are importanță mare rezistența la forfecare în plan longitudinal, care apare la elementele încovoiate. Efortul tangențial maxim ($\tau_{\max}$) la nivelul axei neutre se determină cu relația :

$$\tau = Q_{\max} S_x / b I_x \quad (2.13 a)$$

unde:

$Q_{\max}$ - este valoarea maximă a forței tăietoare;

S_x - momentul static al secțiunii care alunecă;

I_x - momentul de inerție față de axa x;

b - lățimea secțiunii la nivelul axei neutre.

Eforturi de tăiere longitudinale se produc, de asemenea, la nivelul îmbinărilor dintre piesele de lemn, eforturile fiind paralele cu fibrele .

Efortul tangențial maxim în astfel de situații se determină cu relația:

$$\tau_{\max} = T_f / A_f \quad (2.13b)$$

unde:

T_f - forța de forfecare;

A_f - aria de forfecare.

Eforturile determinate cu relația 2.13b dau valori mai mici decât eforturile reale determinate experimental care cresc o dată cu creșterea lungimii de forfecare l_f și depind de raportul dintre lungimea de forfecare și excentricitatea (e) de aplicare a forței de forfecare. Acest fenomen se datorează faptului că repartitia reală a eforturilor tangențiale în lungul suprafeței de forfecare este neuniformă (fig.2.10); neuniformitatea este mai mare în cazul forfecării unilaterale (fig.2.10a) și mai mică la forfecare bilaterală (fig.2.10b).

În cazul unei forțe de forfecare excentrice, cedarea se poate produce și prin acțiunea momentului încovoiător ($M = F \cdot e$) care duce la o smulgere perpendiculară pe fibre (fig.2.10). Pentru a evita această cedare, acțiunea forței care produce componenta de forfecare trebuie să creeze și o apăsare pe suprafața de forfecare .

În calculele practice a elementelor structurale solicitate la forfecare (unilaterală sau bilaterală), se ține seama de lungimea de forfecare (l_f) și de excentricitatea de aplicare a forței de forfecare (e) prin afectarea capacității portante cu un coeficient de forfecare (m_f).

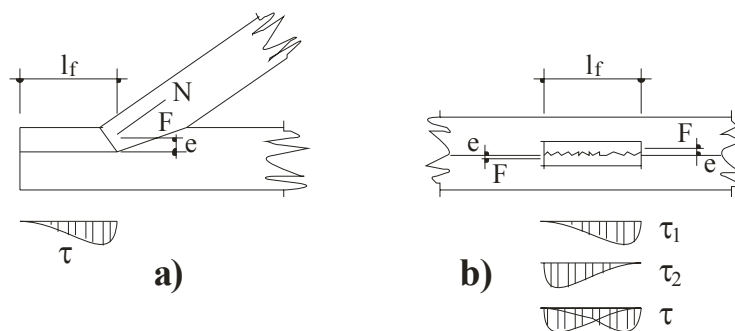


Fig. 2.10 – Solicitare de forfecare la îmbinări
a) – îmbinare prin chertare frontală (forfecare unilaterală);
b) – îmbinare cu pene prismatice (forfecare bilaterală);

3.5 Rezistența la torsiune

Dacă un element din lemn este solicitat la torsiune, rezistența se poate calcula cu o relație, valabilă la materiale izotrope, de forma:

$$\tau_T = M_T / W_T \quad (2.14)$$

unde:

τ_T - efortul de torsiune;

M_T - momentul de torsiune;

W_T - modulul de rigiditate la torsiune;

Modulul de rigiditate la torsiune are valoarea $\pi r^3/2$ la elemente cu secțiune circulară (r este raza secțiunii) și $\alpha h b^2$ la elemente cu secțiune rectangulară ($h \geq b$). Coeficientul α depinde de raportul h/b și are valorile din tabelul 2.6.

Tabelul 2.6

Valorile coeficientului α pentru calculul rigidității la torsiune a secțiunilor rectangulare.

h/b	1,0	1,5	1,75	2,00	2,50	3,00	4,00	6,00	8,00	10,0	∞
α	0,208	0,231	0,239	0,246	0,258	0,267	0,282	0,299	0,307	0,313	0,333

Practic rezistența la torsiune se poate considera de același ordin de mărime cu rezistența de forfecare, fiind de 3,0...5,0 N/mm² pentru rășinoase și 4,0...7,0 N/mm² la elementele de lemn înleiat.

3.6 Deformațiile lemnului sub încărcări de scurtă durată

Sub încărcări continue de scurtă durată, aplicate longitudinal paralel cu fibrele lemnul are o deformație elastică până la o anumită limită a încărcării. Dacă se depășește limita de elasticitate, deformațiile plastice devin importante și cresc progresiv până la rupere.

Limita de proporționalitate la întindere se extinde practic până la rupere (ruperea fiind de tip fragil) pe când la compresiune ea reprezintă 65%...85% din rezistența limită (fig.2.11), la compresiune ruperea fiind ductilă.

Sub limita de proporționalitate lemnul se comportă practic elastic putându-se aplica legea lui Hooke pentru relația dintre efort și deformație.

Modulul de elasticitate la întindere și cel la compresiune a lemnului au practic aceleași valori ca și modulul la încovoiere dacă efortul de compresiune nu depășește limita de proporționalitate la compresiune.

În practică este important modulul de elasticitate paralel cu fibrele $E_{||}$ dar pot fi întâlnite și situații când se folosește modulul de elasticitate perpendicular pe fibre $E_{\perp}$.

Modulul de elasticitate la compresiune paralelă cu fibrele se determină, conform STAS 86/2 – 87, pe același tip de epruvete prismatice, cu lungime de 60 mm, pe care se determină și rezistența la compresiune, deformațiile epruvetelor fiind măsurate pe intervalul cuprins între o sarcină cu valoare minimă de 800...900 N și o valoare maximă de 4000 N.

Modulul de elasticitate la tracțiune paralelă cu fibrele (STAS 336/2 –88) se determină pe același tip de epruvete pe care se determină rezistența la întindere (fig.2.7a) paralelă cu fibrele. Deformațiile se măsoară pe intervalul cuprins între o încărcare minimă de 400 N și una cu valoare maximă de 1500 N.

Modulul de elasticitate la încovoiere statică se determină, conform STAS 337/2-89, pe același tip de epruvete pe care se determină rezistența la încovoiere. Săgețile epruvetelor se determină pentru o încărcare aplicată prin două cuțite la distanță de 80 sau 120 mm între ele, perpendicular pe suprafața radială a epruvetei, cu valoarea minimă de 300 N și valoarea maximă de 800 N (valoarea maximă poate să crească dar nu va depăși 50% din sarcina de rupere a epruvetei).

În mod curent modulul de elasticitate paralel cu fibrele ($E_{||}$) are valori de 11000...15000 N/mm² iar modulul de elasticitate perpendicular pe fibre ($E_{\perp}$) are valori de 400...500 N/mm²/30/.

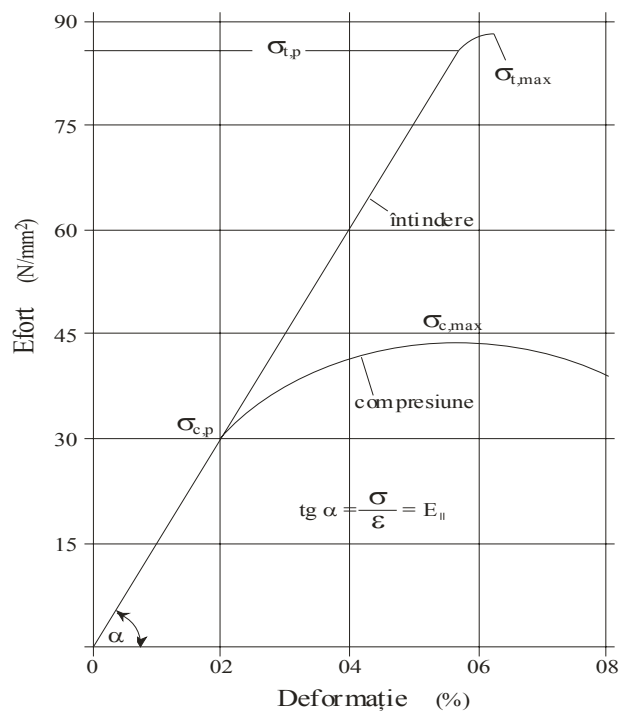


Fig. 2.11 – Curbele efort-deformație pentru întindere și compresiune

Dacă sarcina este aplicată cu un unghi α față de direcția fibrelor modulul de elasticitate scade cu creșterea unghiului α (fig.2.12). Pentru determinarea modulului de elasticitate E_α se poate folosi relația:

$$E_\alpha = (E_{||} E_{\perp}) / (E_{||} \cos^3 \alpha + E_{\perp} \sin^3 \alpha) \quad (2.15)$$

Modulul de elasticitate a lemnului variază funcție de esența lemnului și de conținutul de umiditate (fig.2.13).

Pentru determinarea modulului de elasticitate corespunzător umidității de 12% ($E_{u,12}$) funcție de modulul de elasticitate corespunzător umidității lemnului la încercare (E) se folosește relația 2.10.

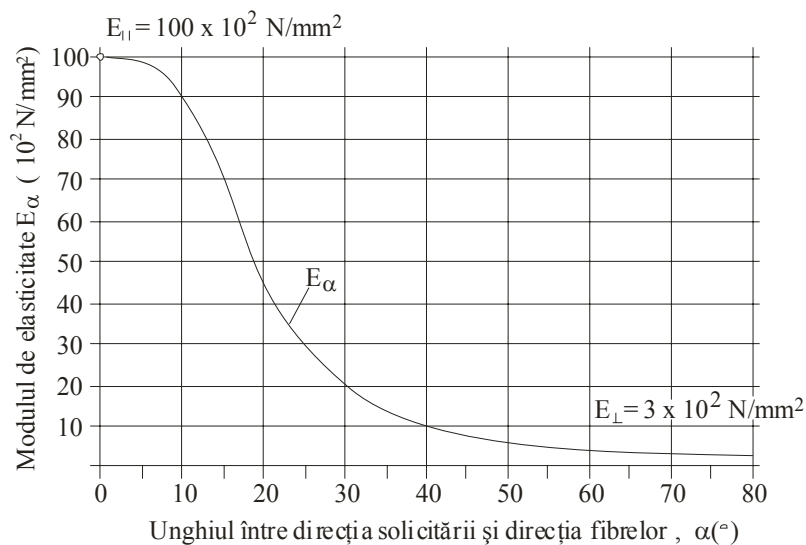


Fig. 2.12 – Variația modulului de elasticitate funcție de unghiul dintre direcția solicitării și direcția fibrelor, /17/

Unele încercări experimentale /30/ au pus în evidență faptul ca modulul de elasticitate mediu perpendicular pe fibre ($E_{90,med}$) poate fi determinat ca fiind 1/30 din modul de elasticitate mediu paralel cu fibrele ($E_{0,med}$). Modulul de elasticitate longitudinal caracteristic ($E_{0,05}$) are valoarea $0,67E_{0,med}$.

Valorile medii ale modulului de elasticitate pentru o sollicitare paralelă cu fibrele (E_{II}) și valorile caracteristice ale modulului de elasticitate paralel cu fibrele ($E_{0,05}$) sînt date, pentru lemnul de la noi din țară /40/, în tabelul 2.7

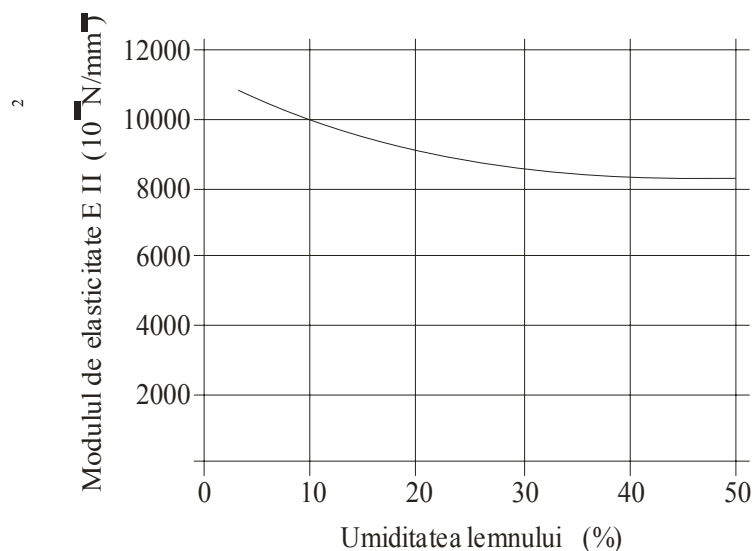


Fig. 2.13 – Variația modulului de elasticitate în funcție de umiditate lemnului, /17/

Valorile caracteristice ale modulului de elasticitate ($E_{0,05}$) au fost determinate, considerând o distribuție normală a valorilor și un coeficient de variație de 8...13%, folosind relația:

$$E_{0,05} = E_{II} (1 - 1,645 V_E) \quad (2.16)$$

Tabelul 2.7

Valorile caracteristice ale modulului de elasticitate /40/

Specia	Modulul de elasticitate paralel cu direcția fibrelor la limita de proporționalitate (N/mm ²)		Modulul de elasticitate transversal (N/mm ²)	
	$E_{0,05}$	E	$G_{0,05}$	G
Molid, brad, larice, pin	9000	11 300	4000	5 000
Plop	8000	10 000		
Stejar, gorun, cer, salcâm	9 500	11 500	8000	10 000
Fag, mesteacăn, frasin, carpen	12 000	14 300		

Valorile medii și cele caracteristice ale modulului de elasticitate și a modulului deformațiilor transversale, pentru clasele de rezistență ale lemnului din EN 338 sunt date în tabelul 2.8 (pentru rășinoase) și în tabelul 2.9 (pentru foioase).

Tabelul 2.8**Valorile modului de elasticitate pentru rășinoase /30/**

Clasa	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
Modulul de elasticitate (kN/mm ²)									
E _{0,med}	7	8	9	10	11	12	12	13	14
E _{0,05}	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4
E _{90,med}	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47
G _{med}	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88
Densitatea aparentă (kg /m ³)									
ρ _k	290	310	320	340	350	370	380	400	420

Tabelul 2.9**Valorile modului de elasticitate pentru foioase /30/**

Clasa	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Modulul de elasticitate (kN/mm ²)						
E _{0,med}	10	10	11	14	17	20
E _{0,05}	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
E _{90,med}	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
G _{med}	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Densitatea aparentă (kg /m ³)						
ρ _k	530	560	590	650	700	900

La elementele de lemn, modulul deformației tangențiale (G) și modulul de torsiune (G_T) se consideră de același ordin de mărime. În ceea ce privește relația dintre G și E nu există o corelație fixă dar încercările experimentale arată că raportul E/G ia valori de 12...25.

Normele din unele țări din Europa indică pentru G valori de 500 N/mm² (E/G = 20) pentru rășinoase și 1000 N/mm² pentru foioase (E/G=12,5) iar în /30/ se recomandă raportul G_{med} = E_{0,med}/ 10.

Valorile medii (G) și caracteristice (G_{0,05}) propuse la noi în țară pentru modulul deformației tangențiale la diferite specii de lemn sunt date în tabelul 2.7, valorile caracteristice fiind determinate printr-o prelucrare statistică folosind relația 2.16.

3.7 Deformațiile lemnului sub încărcări de lungă durată

Lemnul, considerat în general ca fiind un material vâsco-elastic, are în timp deformații de fluaj sub efectul unei încărcări constante. Deformațiile de fluaj apar după deformațiile instantanee și se caracterizează printr-o zonă cu creștere rapidă a deformației în prima perioadă de timp și printr-un domeniu de stabilizare, în care creșterea deformațiilor se realizează cu o viteză constantă.

Deformațiile plastice sub încărcări constante (fluaj) variază în funcție de mărimea și durata încărcării, de umiditate și de temperatură. Deformațiile includ atât deformațiile propriu-zise ale lemnului cât și deformațiile din elementele de asamblare, atunci când elementele fac parte dintr-o structura compusă.

În realitate există o interacțiune între factorii menționați anterior și influența lor asupra fluajului, dar normele de calcul iau în considerare doar combinația între modul de aplicare a încărcării și conținutul de umiditate.

În fig 2.14. se prezintă curbele de deformație în funcție de timp constatându-se că atâta timp cât efortul nu depășește un efort admisibil (limita de fluaj) raportul între deformația de fluaj și deformația elastică este aproximativ 1,0 (curba 1). Dacă efortul depășește limita de fluaj (curba 2) deformația, după o perioadă de creștere constantă, crește repede ducând la ruperea elementului, fenomen asemănător cu cel întâlnit și la alte materiale. Cu cât efortul este mai mare, cu atât viteza de deformație este mai mare și timpul până la rupere este mai scurt.

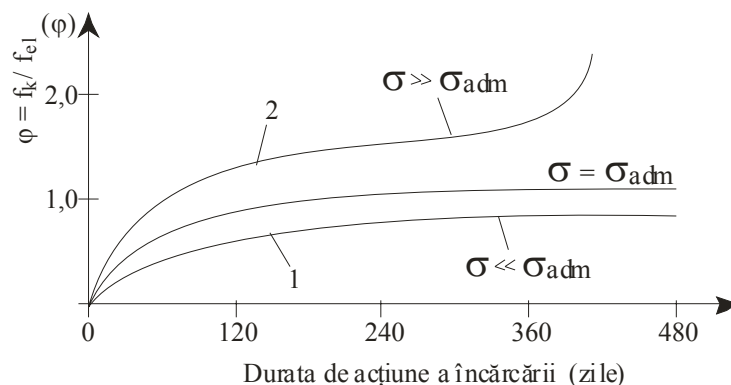


Fig. 2.14 – Curbele de deformare în timp a elementelor încovoiate

La concepția elementelor structurale trebuie să se aibă în vedere atingerea unor eforturi maxime pentru ca fluajul să rămână limitat în domeniul de stabilitate, caracterizat printr-o viteză de deformare mică și stabilă pe durata de viață a construcției.

Pentru majoritatea esențelor, limita de fluaj poate fi considerată 50% - 60% din rezistența de rupere sub încărcări de scurtă durată, iar pentru a realiza stabilitatea fluajului se recomandă o mărime a eforturilor sub 35% din rezistența instantanee /30/. Încercările experimentale au arătat o legătură aproape lineară între deformarea de fluaj și efort pentru valori ale efortului care nu depășesc 35% - 40% din efortul de rupere.

Deformația totală pentru un element (ε_{tot}) luând în considerare atât deformația elastică (ε_{el}) cât și deformația de fluaj (ε_{φ}) se poate determina cu relația:

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_{\text{el}} + \varepsilon_{\varphi} = \sigma/E (1 + \varphi) \quad (2.17)$$

unde:

$\varphi = \varepsilon_{\varphi} / \varepsilon_{\text{el}}$ - coeficientul de fluaj, cu valori de 0,6...1,0;

σ - efortul unitar normal;

E - modulul de elasticitate.

Modulul de deformație corespunzător unei deformații de lungă durată (E_{φ}) este:

$$E_{\varphi} = E / (1 + \varphi) = \eta E \quad (2.18a)$$

Coeficientul η de scădere a modulului de elasticitate pentru obținerea modulului de deformație sub încărcări de lungă durată poate fi determinat cu relația:

$$\eta = 1,5 - \sigma_g / \sigma_{\text{adm}} \leq 1,0 \quad (2.18b)$$

unde:

σ_g - efortul unitar normal produs de încărcarea permanentă;

σ_{adm} - efortul limită de fluaj.

Încercările experimentale / 30 / efectuate pentru studierea fenomenului de fluaj a lemnului au arătat efectul important al mărimii încărcării precum și efectul altor factori (duritatea lemnului, esența lemnoasă, tipologia structurală, durata de încărcare, temperatura, umiditatea etc.) asupra deformațiilor de fluaj.

S-a constatat, de exemplu, o creștere a fluajului sub o încărcare dată ce poate varia între 2 ... 4 pentru o durată de încărcare între 6 luni și 20 de ani /30/.

În normele de calcul sunt definite mai multe **clase de durată a încărcării**, funcție de care se iau în considerare și deformațiile, astfel:

- în normele românești /40/ sunt introduse trei clase de durată a încărcărilor (încărcări permanente, încărcări de lungă durată, încărcări de scurtă durată);

- în normele EUROCOD 5 /38/ sunt definite cinci clase de durată a încărcărilor (permanente, de lungă durată, de durată medie, de scurtă durată, instantanee).

O atenție deosebită în cadrul încercărilor experimentale s-a dat influenței umidității și a temperaturii care pot modifica substanțial deformațiile de fluaj, și care arată o comportare foarte complexă a lemnului în funcție de acești factori.

Încercările efectuate în ultimul timp privind influența umidității asupra comportării vâsco-elastice a lemnului au avut în vedere două aspecte și anume:

- comportarea lemnului la alte umidități decât umiditatea de referință de 12%, cu menținerea constantă în timp a temperaturii aerului;

- comportarea în regim de umiditate variabilă în timp.

S-a constatat, de exemplu, că la utilizarea în interior a lemnului sub sarcini permanente deformația de fluaj este de aproximativ de două ori deformația instantanee la umiditate de peste 20% a lemnului, fluajul ajungând la de 3...4 ori deformația instantanee.

O situație specifică apare în cazul în care la punerea în operă lemnul masiv are o umiditate apropiată de cea de saturație (25...30%) când variația umidității poate să ducă la o accelerare foarte importantă a fluajului.

Din punct de vedere a temperaturilor se poate constata că atât creșterea temperaturii cât și variația acesteia duce la creșterea fluajului și accelerează fenomenul. Din punct de vedere practic însă se consideră că până la temperaturi ce nu depășesc 50°C influența acestora asupra fluajului este practic neglijabilă.

Plecând de la aceste constatări, în normele din diferite țări se propune majorarea deformațiilor elastice instantanee cu unii coeficienți care țin cont de durata încărcării și umiditatea relativă a aerului înconjurător. Astfel în norma românească de calcul /40/ se folosește coeficientul k_{def} care majorează săgețile instantanee ale elementelor încovoiate.

CAP. III DIMENSIONAREA ELEMENTELOR STRUCTURALE DIN LEMN

1. REZISTENȚELE CARACTERISTICE ȘI DE CALCUL ALE LEMNULUI

Valorile caracteristice ale rezistențelor se determină aplicând funcția de distribuție normală și luând în considerare o valoare minimă ($R_{0,05}$) care exclude 5% din valorile inferioare dintr-o mulțime determinată experimental.

Valorile experimentale sunt determinate pentru lemnul ideal, la o umiditate de 12%, sub încărcare de scurtă durată.

Determinarea rezistențelor caracteristice ale lemnului natural se face în următoarele etape:

- determinarea rezistențelor caracteristice ale lemnului ideal, fără defecte, pentru umiditate de echilibru de 12% și durata de acțiune a încărcărilor de cel mult 3 minute;
- corectarea rezistențelor lemnului ideal cu influența eventualelor defecte admise și gradul de influență a lor asupra comportării la diferite sollicitări.

Pe baza rezistențelor caracteristice ale lemnului natural se determină rezistențele de calcul luând în considerare:

- coeficienții parțiali de siguranță pentru diferite proprietăți mecanice ale materialului;
- influența umidității și a duratei de acțiune a încărcării asupra caracteristicilor mecanice.

1.1 Rezistențele lemnului conform normei EUROCODE 5

Rezistența de calcul pentru un parametru mecanic (X_d) se determină plecând de la valoarea caracteristică (X_k) modificată cu un coeficient care ține seama de variația rezistenței cu durata de încărcare și cu umiditatea elementului (k_{mod}) și un coeficient parțial de siguranță pentru material (γ_M).

Relația de calcul are forma :

$$X_d = k_{mod} X_k / \gamma_M \quad (3.1)$$

Rezistențele caracteristice pentru lemn masiv de rășinoase (clasat în nouă clase de rezistență) și lemn masiv de foioase (clasat în șase clase de rezistență) sunt date în tabelul 3.1 respectiv 3.2. Pentru alte produse din lemn rezistențele caracteristice sunt date în capitolul 1.

Valorile caracteristice ale rezistențelor la încovoiere și ale rezistențelor la întindere perpendiculară pe fibre sunt determinate pentru înălțimi de referință a epruvetelor de 150mm la lemn masiv și 600mm la lemn încheiat. Pentru înălțimi mai mici decât valorile de referință rezistențele se multiplică cu un coeficient de înălțime cu valoarea dată în cap.4.8.3

Efectul duratei de încărcare și a conținutului de umiditate este cuprins în norma europeană, spre deosebire de norma românească, printr-un singur coeficient (k_{mod}) cu valorile date în tabelul 3.3 atât pentru lemnul masiv cât și pentru lemnul din scânduri încheiate.

Tabelul 3.1

Rezistențele caracteristice (N/mm²) pentru lemn masiv de rășinoase / 38/

Solicitatea	Simbol	Clase de calitate								
		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
Încovoiere	$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40
Întindere paralelă cu fibrele	$f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24
Întindere perpendiculară pe fibre	$f_{t,90,k}$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

Compre- siune paralelă cu fibrele	$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
Compre- siune perpen- dicu- lară pe fibre	$f_{c,90,k}$	4.3	4.6	4.8	5.1	5.3	5.6	5.7	6.0	6.3
Forfecare	$f_{v,k}$	1.7	1.8	2.0	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8

Clasele de exploatare sunt cele definite în capitolul 2.1 după **EUROCODE 5**.

Tabelul 3.2

Rezistențele caracteristice (N/mm²) pentru lemn masiv de foioase / 38/

Solicitarea	Simbol	Clase de calitate					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Încovoiere	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Întindere paralelă cu fibrele	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Întindere perpendiculară pe fibre	$f_{t,90,k}$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9
Compreziune paralelă cu fibrele	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Compreziune perpendiculară pe fibre	$f_{c,90,k}$	8.0	8.4	8.8	9.7	10.5	13.5
Forfecare	$f_{v,k}$	3.0	3.4	3.8	4.6	5.3	6.0

Coefficientul parțial de siguranță privind materialul (γ_M) are valorile funcție de stările limită la care se face calculul și anume:

- 1,3 la stările limită ultime pentru combinația fundamentală, pentru lemn și materiale derivate din lemn;
- 1,1 la stările limită ultime pentru combinația fundamentală, pentru elementele metalice folosite la îmbinări;
- 1,0 la stările limită ultime în combinația accidentală;
- 1,0 la stările limită de exploatare normală .

Tabelul 3.3

Valorile coeficienților k_{mod} / 38/

Clasa de durată a încărcării	Durată încărcării	Valorile coeficientului pentru clasa de exploatare	
		1 și 2	3
Permanente	Peste 10 ani	0.60	0.50
Lungă durată	6 luni ... 10 ani	0.70	0.55
Durată medie	1 săptămână 6luni	0.80	0.65
Scurtă durată	Sub 1 săptămână	0.90	0.70
Instantanee		1.10	0.90

Coefficienții k_{mod} și γ_M pot fi folosiți atât pentru determinarea rezistențelor de calcul la o anumită solicitare cu relația 4.10 cât și la determinarea capacității de calcul (R_d) la o solicitare când se pleacă de la o valoare caracteristică a capacității portante (R_k) determinată cu rezistențele caracteristice. În această situație relația de calcul este:

$$R_d = k_{mod} \cdot R_k / \gamma_M \quad (3.2)$$

2. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ SOLICITATE LA ÎNTINDERE CENTRICĂ

Întindere centrică apare în mod curent paralel cu fibrele dar pot exista și situații de întindere perpendiculară pe fibre.

Calculul se efectuează considerând că eforturile unitare normale sunt distribuite uniform pe secțiunea transversală și ținând cont de slăbirile de secțiune luând în considerare aria din secțiunea cea mai slăbită. Slăbirile se consideră cumulate în aceeași secțiune de pe o lungime de maximum 200 mm.

Alcătuirea elementelor trebuie realizată astfel încât eforturile să se transmită centric evitându-se momentele încovoietoare datorită excentricității.

2.1. Calculul elementelor din lemn, solicitate la întindere, conform normei EUROCODE 5

Pentru elementele din lemn masiv și din lemn încheiat solicitate la întindere paralel cu fibrele se impune satisfacerea condiției:

$$\sigma_{t, o, d} \leq f_{t, o, d} \quad (3.3)$$

unde:

$\sigma_{t, o, d}$ - efortul normal de calcul la întindere paralel cu fibrele egal cu:

$$\sigma_{t, o, d} = (\gamma_G F_G + \gamma_Q F_Q) / A_n \quad (3.4)$$

$f_{t, o, d}$ - rezistența de calcul a lemnului la întindere paralelă cu fibrele, funcție de rezistența caracteristică ($f_{t, o, k}$);

F_G, F_Q - forțele axiale din acțiuni permanente (G) respectiv variabile (Q);

γ_G, γ_Q - coeficienții parțiali de siguranță pentru acțiuni;

A_n - secțiunea netă a barei.

Pentru elementele supuse la întindere perpendicular pe fibre relația de verificare este:

- pentru elemente din lemn masiv

$$\sigma_{t, 90, d} \leq f_{t, 90, d} \quad (3.5)$$

- pentru elemente din lemn încheiat

$$\sigma_{t, 90, d} \leq f_{t, 90, d} (V/V_o)^{0,2} \quad (3.6.a)$$

Pentru elemente din lemn încheiat curbe, cu intrados curb și cu moment de inerție variabil condiția de verificare este:

$$\sigma_{t, 90, d} \leq k_{dist} f_{t, 90, d} (V/V_o)^{0,2} \quad (3.6.b)$$

unde:

$\sigma_{t, 90, d}$ - efortul unitar de calcul perpendicular pe fibre determinat cu o relație identică cu relația 4.14;

$f_{t, 90, d}$ - rezistența de calcul a lemnului perpendiculară pe fibre, funcție de rezistența caracteristică ($f_{t, 90, k}$);

V_o - volumul de referință pentru determinarea rezistențelor egal cu 0,01 m³.

V - volumul real solicitat la întindere.

k_{dist} - coeficientul de distribuție a eforturilor având valoarea 1,4 pentru grinzi curbe sau cu dublă curbă și 1,7 pentru grinzi cu moment de inerție variabil și grinzi cu intrados curb.

Pentru elementele din lemn încheiat cu secțiune variabile și supuse la încovoiere volumul din zona centrală solicitată la întindere (V) se determină conform fig. 4.10

3. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ SOLICITATE LA COMPRESIUNE

Solicitarea de compresiune poate fi paralelă cu fibrele, perpendiculară pe fibre (strivire) sau oblică la fibre (strivire oblică).

Capacitatea de rezistență a unei bare comprimate este influențată de mai mulți factori care pot fi grupați în două grupe și anume :

- factori legați de geometria inițială a elementului (secțiune transversală și lungime), de condițiile de rezemare și de proprietățile materialului, legate de clasa de rezistență, de clasa de serviciu și de durata de încărcare;

- factori legați de imperfecțiunile geometrice ale elementului și ale materialului precum și de variația lor.

Prima grupă de factori se ia în considerare prin respectarea exigențelor de calcul și de concepție a elementelor.

Cea de-a doua grupă poate fi eliminată prin regulile de concepție și prin respectarea limitelor de toleranțe impuse de norme. Spre exemplu imperfecțiunea geometrică cea mai importantă a elementelor comprimate este curbura inițială care conform normelor EUROCODE 5 se limitează la 1/500 pentru elemente din scânduri încheiate și 1/300 pentru lemn masiv (l este lungimea elementelor).

Calculul elementelor din lemn la compresiune centrică se face asemănător ca și în cazul întinderii centrice, ținând seama de slăbirile existente și în ipoteza distribuției uniforme a tensiunilor normale pe secțiunea transversală.

În practică se întâlnesc des bare comprimate a căror lungime depășește de câteva ori dimensiunea minimă a secțiunii transversale și la care deformarea axei medii în sens transversal nu este împiedicată. O astfel de bară își pierde stabilitatea în urma fenomenului de flambaj când forța care realizează comprimarea depășește o anumită valoare limită, numită sarcină critică de flambaj (N_{cr}), respectiv când efortul de compresiune atinge valoarea critică (σ_{cr}) chiar dacă eforturile normale rămân mai mici decât rezistența de rupere la compresiune a lemnului.

Forța critică de flambaj respectiv efortul de compresiune critic se determină pentru bare perfect elastice, cu relațiile:

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I / l_f^2 \quad (3.7)$$

$$\sigma_{cr} = \pi^2 \cdot E_{0,05} / \lambda^2 \quad (3.8)$$

unde:

$E_{0,05}$ – modul de elasticitate minim, conform tabelului 3.8;

I – momentul de inerție al secțiunii;

l_f – lungimea de flambaj, determinată conform punctului 3.1.

λ - coeficientul de zveltețe maxim egal cu raportul dintre lungimea de flambaj a barei (l_f) și raza minimă de garanție ($i = \sqrt{I / A}$).

3.1 Coeficienți de flambaj

Raportul între efortul critic (σ_{cr}) și efortul de rupere a lemnului dă coeficientul de flambaj (φ_c):

$$\varphi_c = \sigma_{cr} / \sigma_r = \pi^2 \cdot E / \lambda^2 \sigma_r \quad (3.9)$$

Experimental s-a constatat că raportul E/σ_r are valoarea 312 astfel obținându-se valoarea coeficientului de flambaj, din relația 4.19 ca fiind :

$$\varphi_c = 3100 / \lambda^2 \quad (3.10)$$

Relația 3.10 reprezintă hiperbola lui EULER fiind aplicabilă în domeniul elastic și valabilă pentru $\lambda > 75$.

Pentru valori ale coeficientului de zveltețe sub 75, dincolo de limita de elasticitate, coeficientul de flambaj se determina folosind în locul modului constant din domeniul elastic (E) un modul de elasticitate variabil (E_K).

În practică valorile coeficientului de flambaj pentru $\lambda \leq 75$ se pot stabili cu o formulă determinată pe cale experimentală, de forma:

$$\varphi_c = 1 - 0,8 (\lambda/100)^2 \quad (3.11)$$

Coeficienții de flambaj stabiliți cu relațiile 3.10 și 3.11 sunt dați în figura 3.1 și tabelul 3.4.

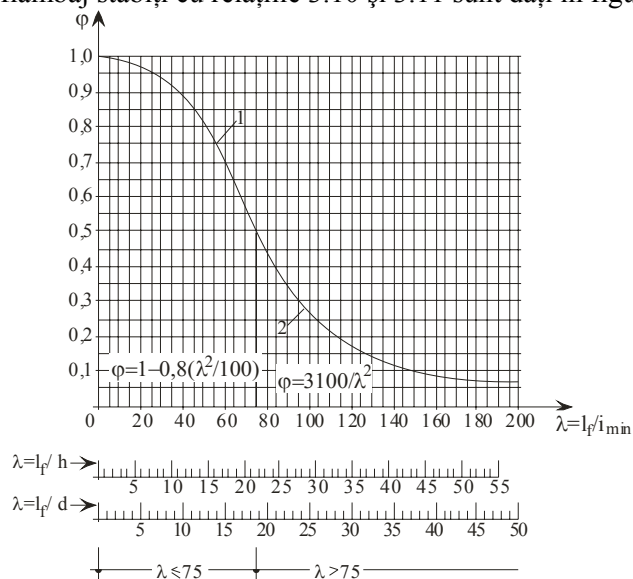


Fig.3.1 – Variația coeficientului de flambaj în funcție de zveltețe

Tabelul 3.4

Valorile coeficientului de flambaj (φ_c) în funcție de coeficientul de zveltețe

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993
10	0.992	0.990	0.988	0.986	0.984	0.982	0.979	0.977	0.974	0.971
20	0.968	0.965	0.961	0.958	0.954	0.950	0.946	0.942	0.937	0.933
30	0.928	0.922	0.918	0.913	0.908	0.902	0.896	0.891	0.885	0.878
40	0.872	0.866	0.859	0.852	0.845	0.838	0.831	0.823	0.816	0.808
50	0.800	0.792	0.784	0.775	0.767	0.758	0.749	0.740	0.731	0.722
60	0.712	0.702	0.693	0.682	0.672	0.662	0.651	0.641	0.630	0.619
70	0.608	0.597	0.585	0.574	0.562	0.550	0.537	0.523	0.509	0.496
80	0.484	0.472	0.461	0.450	0.439	0.429	0.419	0.409	0.400	0.391
90	0.383	0.374	0.366	0.358	0.351	0.343	0.336	0.329	0.323	0.316
100	0.310	0.304	0.298	0.292	0.287	0.281	0.276	0.271	0.266	0.261
110	0.256	0.252	0.248	0.243	0.239	0.234	0.230	0.226	0.223	0.219
120	0.215	0.212	0.208	0.205	0.201	0.198	0.196	0.193	0.189	0.186
130	0.193	0.181	0.178	0.175	0.172	0.170	0.167	0.165	0.163	0.160
140	0.158	0.156	0.154	0.152	0.149	0.147	0.145	0.143	0.141	0.140
150	0.138	0.136	0.134	0.132	0.131	0.129	0.127	0.126	0.125	0.123
160	0.121	0.120	0.118	0.117	0.115	0.114	0.112	0.111	0.110	0.109
170	0.107	0.106	0.105	0.104	0.102	0.101	0.100	0.099	0.098	0.097
180	0.096	0.095	0.094	0.093	0.092	0.091	0.090	0.089	0.088	0.087
190	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.078
200	0.077	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Conform normelor EUROCODE 5 coeficientul care ține seama de flambaj (k_c) se determină cu relația 4.33 dată în capitolul 3.3.

3.2 Lungimi de flambaj și coeficienți de zveltețe

Diagramele de flambaj utilizate la calculul și concepția barelor comprimate sunt bazate pe capacitatea de rezistență și modulul de deformație a unui element dublu articulat. În realitate legăturile

la capete diferă de multe ori de cele corespunzătoare unei bare dublu articulate și din acest motiv se introduce noțiunea de lungime fictivă sau lungime de flambaj. Lungimea de flambaj a unei bare comprimate se definește ca fiind egală cu lungimea fictivă a unui element dublu articulat având aceeași forță critică de flambaj ca și în domeniul elastic.

În practică calculele se efectuează luând în considerare raportul (β), între lungimea de flambaj și lungimea reală a elementului.

Conform normei românești NP 005-96 lungimile de flambaj ale barelor comprimate se iau cu valorile din tabelul 3.5 iar pentru barele grinzilor cu zăbrele cu valorile din tabelul 3.6.

La structurile în cadre din lemn, lungimile de flambaj în planul cadrului se stabilesc în funcție de condițiile de rezemare la extremități iar în plan normal pe planul cadrului se iau egale cu distanța dintre legăturile care împiedică deplasarea pe această direcție.

În practică îmbinările la elementele din lemn nu sunt perfect rigide permițând rotații și deplasări care modifică lungimile de flambaj.

În aceste condiții forța critică de flambaj nu mai poate fi determinată cu relația (3.7) pentru o bară articulată la extremități, ci se folosește o relație de forma:

$$N_{cr} = 1 / (4l^2 / \pi^2 E_{0,05} I + 1 / K_r) \quad (3.12)$$

unde:

$K_r = \sum K_u r_i^2$ – rigiditatea de rotire a îmbinării;

K_u – modulul de deformare a îmbinării;

r_i – distanța între elementul de îmbinare și centrul de rotație a legăturii.

Raportul β între lungimea de flambaj și lungimea reală a barei se poate determina cu relația:

$$\beta = l_f / l = \sqrt{4 + \pi^2 E_{0,05} I / l K_r} \quad (3.13)$$

Pentru o structură în cadre realizată cu stâlpi dublu articulați stabilizați printr-un stâlp încastrat (fig.3.2a) lungimea de flambaj a stâlpilor dublu articulați este egală cu înălțimea lor iar lungimea de flambaj în planul cadrului a stâlpului de stabilizare (încastrat la bază) se determină cu relația:

$$\beta = l_f / l_r = \pi \sqrt{(5+4\alpha)/12 + (1+\alpha)E_{0,05} I / l_r K_r} \quad (3.14)$$

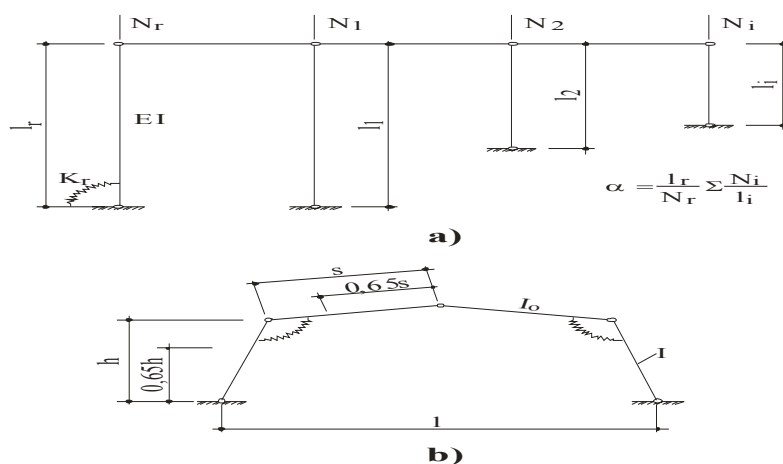
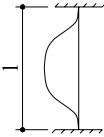
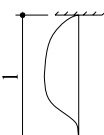
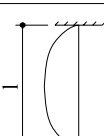
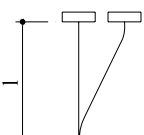
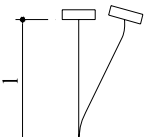
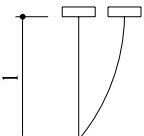
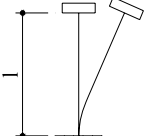


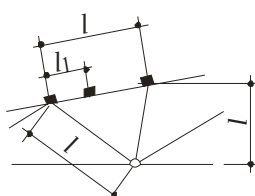
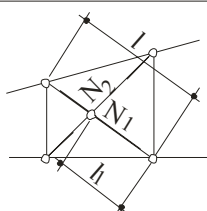
Fig. 3.2 – Determinarea lungimii de flambaj la cadre obișnuite
a) – cadru cu stâlpi dublu articulați stabilizați cu un stâlp încastrat;
b) – cadru cu trei articulații

Tab. 3.5

NR.CRT	TIPUL DE REZEMARE	SIMBOL REZEMARE	LUNGIMI DE FLAMBAJ
1.	Translatie si rotire impiedicate la ambele extremitati.		$l_f = 0,65 l$
2.	Translatie impiedicata la ambele extremitati, rotire impiedicata la o extremitate.		$l_f = 0,80 l$
3.	Translatie impiedicata si rotire libera la ambele extremitati.		$l_f = 1,00 l$
4.	Translatie si rotire impiedicata la o extremitate, translatie libera si rotire impiedicata la cealalta extremitate.		$l_f = 1,20 l$
5.	Translatie si rotire impiedicata la o extremitate, translatie libera si rotire partiala la cealalta extremitate.		$l_f = 1,50 l$
6.	Translatie impiedicata si rotire libera la o extremitate, translatie libera si rotire impiedicata la cealalta extremitate.		$l_f = 2,00 l$
7.	Translatie si rotire impiedicata la o extremitate, translatie si rotire libera la cealalta extremitate.		$l_f = 2,00 l$

Tab. 3.6

Lungimi de flambaj la barele grinzilor cu zăbrele

Grinzi cu zăbrele simple			
Schema grinzii	Direcția de flambaj	Lungimi de flambaj (l_f) a elementelor	
		Talpă	Diagonale și montanți
	în planul grinzii	l	l
	transversal planului grinzii	l_1	l
în care : l - lungimea elementului între nodurile teoretice de la capete ; l_1 - distanța între nodurile fixate împotriva deplasării elementului transversal planului grinzii cu zăbrele			
Grinzi cu zăbrele încrucișate prinse între ele în punctul de intersecție			
Schema grinzii	Direcția de flambaj	Relații între N_1 și N_2	Lungimea de flambaj (l_f) a diagonalelor
	în planul grinzii	-	l_1
	în planul normal pe planul grinzii în cazul în care:	$N_2 < 0$	l
		$N_2 = 0$	$0,8 l$
		$N_2 > 0; N_1 \leq N_2 $	l_1
		$N_2 > 0; N_1 > N_2 $	$0,8 l$
în care : N_1 - efortul la compresiune în bara ce se calculează la flambaj ; N_2 - efortul în contradiagonală, valorile pozitive reprezintă întindere , cele negative compresiune ; $ N_1 $ și $ N_2 $ - valorile absolute ale eforturilor N_1 și N_2			

Pentru cadre cu două sau trei articulații (fig.3.2.b) și cu înclinarea stâlpilor ,față de verticală, mai mică de 15° lungimea de flambaj a stâlpilor în planul cadrului se stabilește folosind relația:

$$l_f = h \sqrt{4 + 3,2 I_s / I_o h + 10 E_{0,05} I / h K_r} \quad (3.15a)$$

Lungimea de flambaj a riglei codului se determină cu relația :

$$l_f = h \sqrt{4 + 3,2 I_s / I_o h + 10 E_{0,05} I / h K_r} \sqrt{I_o N / I N_o} \quad (3.15b)$$

unde:

N, N_o – efortul de compresiune în stâlp respectiv în riglă.

La cadre cu stâlpi și rigle cu moment de inerție variabil relația 3.15 poate fi aplicată luând în considerare momentul de inerție a stâlpului în secțiunea situată la $0,65 h$ de bază iar pentru riglă momentul de inerție în secțiunea situată la $0,65 s$ de articulație (fig.3.2.b)

La cadre cu rigla realizată cu grindă cu zăbrele sau cu stâlpi în V (fig.3.3) lungimea de flambaj a stâlpilor poate fi considerată:

$$l_f = 2 s_l + 0,7 s_0 \quad (3.16)$$

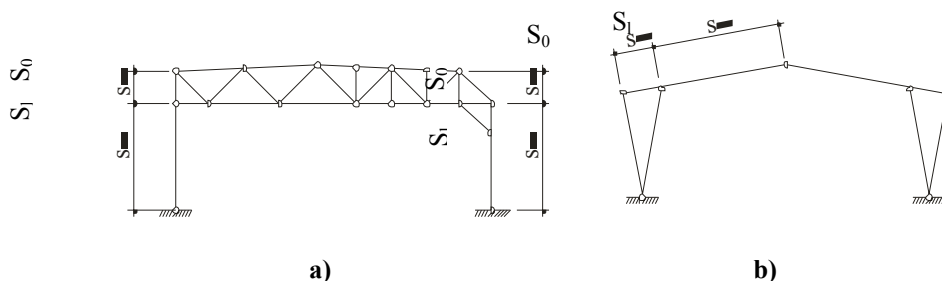


Fig. 3.3 - Cadre cu rigla grindă cu zăbrele (a) și cadre cu stâlpi în V (b)

Pentru arce cu două sau trei articulații cu secțiune constantă și raportul dintre înălțimea la cheie și deschiderea arcului (h/l) de 0,15...0,5, lungimea de flambaj în planul lor poate fi considerată $l_f = 1,25 s$ (s fiind jumătate din lungimea arcului).

Conform normelor românești coeficienții de zveltețe (λ) au valorile maxime admisibile date în tabelul 3.7.

Tabelul 3.7

Coeficienții de zveltețe maximi admiși /40/

Nr. crt.	Denumirea elementelor	Coeficienți de zveltețe maximi admiși	
		Construcții definitive	Construcții provizorii
1	Grinzi cu zăbrele și arce: - tălpi, diagonale și montanți de reazem; - celelalte elemente	150	175
		175	200
2	Stâlpi principali	120	150
3	Stâlpi secundari (la pereți, luminatoare, etc.) și zăbrelele stâlpilor cu secțiune compusă	150	175
4	Contravântuiri	200	200

3.3 Calculul elementelor din lemn , solicitate la compresiune, conform normei EUROCODE 5

a) Compresiune paralelă cu fibrele.

Pentru barele comprimate solicitate la compresiune centrică paralelă cu fibrele verificarea se face cu relațiile:

-când nu intervine flambajul ($\lambda_{rel} \leq 0,5$)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (3.17)$$

- când intervine flambajul

$$\sigma_{c,0,d} / k_c \cdot f_{c,0,d} \leq 1,0 \quad (3.18)$$

unde:

$\sigma_{c,0,d}$ este efortul normal de calcul la compresiune paralelă cu fibrele egal cu

$$\sigma_{c,0,d} = (\gamma_G F_G + \gamma_Q F_Q) / A_n \quad (3.19)$$

$f_{c,0,d}$ – rezistența de calcul a lemnului la compresiune paralelă cu fibrele, funcție de rezistența caracteristică ($f_{c,0,k}$);

F_G, F_Q – forțele axiale din încărcări permanente (G) respectiv variabile (Q);

γ_G, γ_Q – coeficienți de siguranță a încărcărilor;

A_n – aria netă a barei;

k_c – coeficient care ține seama de flambaj calculat cu relația:

$$k_c = 1 / (k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}) \quad (3.20)$$

în care:

$$k = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,5) + \lambda_{rel}^2] \quad (3.21)$$

β_c – coeficient care ține seama de imperfecțiunile barei și are valoarea 0,2 la lemn masiv și 0,1 la elemente din scânduri încheiate;

λ_{rel} – zveltețea relativă calculată cu relația:

$$\lambda_{rel} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crt}} \quad (3.22)$$

Efortul critic ($\sigma_{c,crt}$) se determină cu relația 3.8.

Valorile k_c, k, λ_{rel} se calculează separat după cele două axe ale secțiunii.

Efortul critic ($\sigma_{c,crt}$) se determină cu relația 3.8.

Când $\lambda_{rel} \leq 0,5$ se consideră că nu intervine flambajul.

b) Compresiune perpendiculară pe fibre .

Pentru compresiune perpendiculară pe fibre verificarea se face cu relația:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (3.23)$$

unde:

$k_{c,90}$ – coeficient care ia în considerare modul de realizare a compresiunii (fig. 3.4) și are valorile din tabelul 3.9.

$f_{c,90,d}$ – rezistența de calcul la compresiune perpendiculară pe fibre.

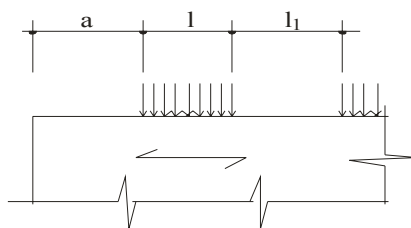


Fig. 3.4 – Compresiune perpendiculară pe fibre

Tabelul 3.9

Valorile coeficientului $k_{c,90}$ / 41 /

$l_1 \leq 150 \text{ mm}$		$l_1 > 150 \text{ mm}$	
		$a \geq 100 \text{ mm}$	$a < 100 \text{ mm}$
$l \geq 150 \text{ mm}$	1	1	1
$150 \text{ mm} > l > 15 \text{ mm}$	1	$1 + (150 - l) / 170$	$1 + a (150 - l) / 17000$
$15 \text{ mm} > l$	1	1.8	$1 + a / 125$

c) Compresiune oblică.

Relația de verificare la compresiune oblică este:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,0,d} / (f_{c,0,d} / f_{c,90,d} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) \quad (3.24)$$

unde:

$\sigma_{c,\alpha,d}$ - este efortul normal de calcul la compresiune oblică ;

$f_{c,0,d}, f_{c,90,d}$ - rezistențele de calcul ale lemnului la compresiune paralelă cu fibrele respectiv perpendicular la fibre.

4. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECTIUNE SIMPLĂ **SOLICITATE LA FORFECARE**

Solicitarea de forfecare poate să apară sub forma de:

- forfecare perpendiculară pe fibre, la elemente încovoiate cu forțe concentrate mari și la penele prismatice de îmbinare transversale (cu fibrele dispuse perpendicular pe fibrele elementelor îmbinate);

- forfecare în lungul fibrelor, la elemente încovoiate, elemente îmbinate prin chertare cu praguri și la penele prismatice longitudinale (cu fibrele paralele cu elementele îmbinate).

La elementele încovoiate forfecarea perpendiculară pe fibre este întotdeauna asociată cu forfecarea echivalentă paralelă cu fibrele. Deoarece rezistența la forfecare paralelă cu fibrele este cu mult inferioară rezistenței perpendiculară pe fibre înseamnă că primul caz este mai defavorabil în calculul grinzilor.

O problemă deosebită legată de fenomenul de tăiere apare la grinzile prelucrate la capăt sau cu goluri favorizându-se apariția fisurilor și dezvoltarea lor.

4.1 Calculul elementelor din lemn, solicitate la forfecare, conform normei EUROCODE 5

Efortul tangențial de calcul (τ_d) trebuie să îndeplinească condiția :

$$\tau_d = (\gamma_G T_G + \gamma_Q T_Q) \cdot S_x / b I_x \leq f_{v,d} \quad (3.25)$$

unde:

T_G, T_Q sunt forțele tăietoare din încărcări permanente respectiv variabile;

S_x, I_x – momentul static, respectiv momentul de inerție al secțiunii transversale în raport cu axa neutră;

b - lățimea secțiunii transversale;

$f_{v,d}$ – rezistența de calcul a lemnului la forfecare, funcție de rezistența caracteristică.

Efortul de tăiere maxim τ_{dm} are valoarea 1,5V/A la secțiuni dreptunghiulare și 4V/3A la secțiuni circulare.

Norma **EUROCODE 5** propune reducerea contribuției forțelor concentrate la efortul de tăiere, atunci când aceste forțe se situează la o distanță de reazem mai mică de 2h, conform fig. 3.5.

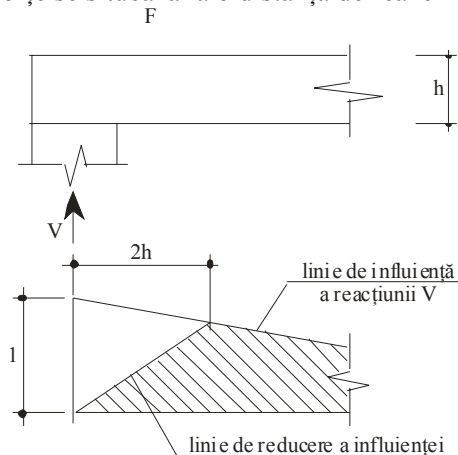


Fig. 3.5 – Reducerea influenței reacțiunii în funcție de punctul de încărcare

Atunci când grinzile încovoiate au slăbiri la intrados sau extrados, în zonele de reazem (fig. 3.6) relația de calcul 4.42 se înlocuiește cu o relație de forma:

$$\tau_d = 1,5 \cdot V / b h_e \leq k_v \cdot f_{v,d} \quad (3.26 a)$$

unde:

V - forța tăietoare din reazem;

h_e - înălțimea redusă a secțiunii transversale în zona reazemului (αh);

$k_v \leq 1$ coeficient de influență a slăbirii asupra rezistenței la forfecare.

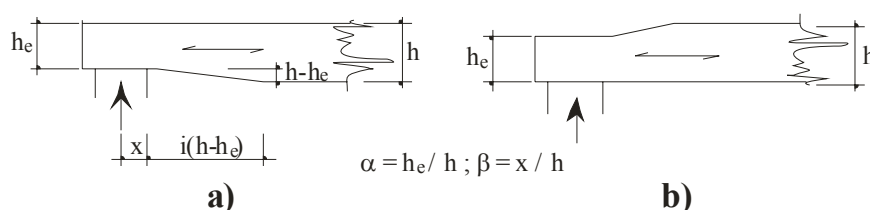


Fig. 3.6 – Caracteristicile grinzilor prelucrate la capete
a) – prelucrate la intrados; b) – prelucrate la extrados
 direcția fibrelor

Coeficientul de reducere k_v are valoarea 1.0 când slăbirea este la extrados iar când slăbirea este intrados are valoarea minimă dintre 1.0 și cea rezultată cu relația (3.26 b):

$$k_v = [k_n (1 + 1,1 i^{1,5} / \sqrt{h})] / \sqrt{h} [\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8\beta\sqrt{1/\alpha-\alpha^2}] \quad (3.26 b)$$

unde:

k_n – coeficient având valoarea 5 pentru lemn masiv și 6,5 pentru lemn încheiat;

i - panta prelucrării;

α, β – coeficienți, cu notațiile din fig.3.6.

Pentru grinzile din lemn încheiat care prezintă o slăbire în inimă, de formă circulară sau rectangulară, relația 3.26a se exprimă sub forma:

$$\tau_d = 1,5 \cdot V / b \alpha h \leq k_{hol} \cdot f_{v,d} \quad (3.27)$$

unde:

αh – înălțimea redusă a secțiunii transversale scăzând diametru slăbiri și respectând recomandarea ca $\alpha > 0,5$;

k_{hol} – factor de reducere, cu valorile :

$$1 - 555 (D/h)^3, \text{ pentru } D/h \leq 0,1;$$

$$1,62 / (1,8 + D/h)^3, \text{ pentru } D/h > 0,1;$$

D -diametrul golului sau lungimea diagonalei, când slăbirea are formă rectangulară.

Pentru a evita fenomenul negativ de dezvoltare a fisurilor se recomandă ca zonele cu slăbiri de la capetele grinzilor să fie consolidate.

5. CALCULUL ELEMENTE DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ **SOLICITATE LA TORSIUNE**

Torsiunea pură intervine rar în practică și din acest motiv în norma românească /40/ nu sunt făcute precizări privind calculul în astfel de situații și nici în situațiile de torsiune cu forfecare.

Norma **EUROCODE 5** impune satisfacerea următoarei condiții:

$$\tau_{tor,d} \leq f_{v,d} \quad (3.28)$$

unde:

$\tau_{tor,d}$ - efortul de torsiune de calcul determinat conform precizărilor de la capitolul 2.5.5.

Pentru situațiile unor solicitări compuse de torsiune cu forfecare nu sunt făcute nici un fel de precizări în norma EUROCODE 5. Pentru astfel de situații poate fi folosită relația dată de Möhler și Hemmer sub forma :

$$\tau_{\text{tor,d}} / f_{\text{tor,d}} + (\tau_{\text{v,d}} / f_{\text{v,d}})^2 \leq 1 \quad (3.28)$$

unde:

$f_{\text{tor,d}}$ - rezistența de calcul la torsiune.

Încercările experimentale au arătat că rezistența la torsiune a lemnului este mult mai mare decât rezistența la forfecare paralelă cu fibrele și din aceste motive atunci când nu se cunoaște această rezistență ea poate fi înlocuită în relația 3.28 cu $f_{\text{v,d}}$ rezultând o verificare mult mai severă.

6. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE

Calculul elementelor încovoiate din lemn are ca scop satisfacerea următoarelor condiții:

- capacitatea portantă la încovoiere să nu fie mai mare decât solicitarea iar compresiunea produsă prin încovoiere să nu provoace ruperea prematură datorită instabilității laterale;
- capacitatea portantă la forfecare perpendiculară pe fibre sau paralelă cu fibrele să fie mai mare decât solicitarea de forfecare;
- capacitatea portantă la compresiunea perpendiculară pe fibre să fie mai mare decât forțele concentrate sau reacțiunile din reazeme;
- săgeata grinzii trebuie să fie mai mică decât valoarea maximă admisibilă funcție de domeniul de folosire a elementului;
- să nu se producă în timpul utilizării fenomenul de vibrații

Verificarea de rezistență pentru satisfacerea primei condiții se face în secțiunea în care valoarea momentului încovoietor este maximă. Dacă grinda prezintă slăbiri este necesară o verificare și în secțiunea cu slăbiri maxime la momentul încovoietor din această secțiune.

6.1 Stabilitatea laterală a grinzilor

Grinzile încovoiate au, în general, secțiunea transversală caracterizată printr-o rigiditate mult mai mare în plan vertical decât în plan orizontal. Această alcătuire face ca uneori sub acțiunea încovoierii grinda să cedeze printr-o pierdere de stabilitate în plan orizontal (flambaj lateral), asemănător cu cedarea stâlpilor prin pierderea stabilității.

Principalii factori care influențează stabilitatea laterale sunt:

- distanța între punctele de blocaj lateral;
- rigiditatea la încovoiere a grinzii (EI);
- rigiditatea la torsiune (GI_{tor});
- condițiile de rezemare la capete ale grinzii;
- locul de aplicare a încărcării (la partea superioară sau inferioară a grinzii).

Momentul de încovoiere care produce flambajul lateral poartă denumirea de moment critic. Pentru o grindă încovoiată cu moment încovoietor constant pe lungimea ei și având capetele blocate împotriva torsiunii momentul critic se calculează cu relația:

$$M_{\text{crit}} = \pi [\sqrt{E \cdot I_x \cdot I_{\text{tor}} \cdot G / (1 - I_x / J_y)}] / l_{\text{ef}} \quad (3.29)$$

unde:

I_x, I_y - momentele de inerție după axele x respectiv y;

I_{tor} - momentul de torsiune a grinzii;

E - modulul de elasticitate longitudinal;

G - modulul transversal;

l_{ef} - lungimea liberă a grinzii.

Efortul critic pentru o secțiune dreptunghiulară ($b \times h$) se determină cu relația:

$$\sigma_{\text{crit}} = (E \pi b^2 / I_f h) \sqrt{G / E} \sqrt{(1 - 0,63b/h) / (1 - b^2 / h^2)} \quad (3.30a)$$

Valoarea radicalului din ecuația 3.30b variază de la 0,94...1,5 pentru $b/h = 0,1...0,7$.
 Considerând valoarea 0,94 și modulul deformației transversale $G = E / 18$ se obține efortul critic:

$$\sigma_{\text{crt}} = 0,75 E b^2 / h l_{\text{ef}} \quad (3.30b)$$

Pentru alte situații de încărcare, diferite de cea cu un moment constant pe lungimea grinzii, pentru diferite situații de rezemare la capetele grinzii, momentul critic se poate determina cu relația 3.29 prin folosirea unui factor "m" dat în tabelul 3.7 care asigură transformarea variației momentului încovoietor într-un moment uniform echivalent și înlocuiește în formula 3.29 valoarea lui π .

Normele românești nu precizează metoda de verificare a stabilității laterale dar impun condiții constructive pentru evitarea pierderii stabilității laterale (tabelul 3.8). Pentru rapoarte inferioare celor date în tabelul 3.7 nu este necesar a se lua în calcul pierderea stabilității laterale.

Tab. 4.17

Factorul m de transformare a momentului real în moment echivalent

Schema statică	Diagrama de moment încovoietor	m	Moment uniform echivalent
		1,00	
		0,57	
		0,43	
		0,74	
		0,88	
		0,96	
		0,69	
		0,59	
		0,39	

Tabelul 3.8

Condiții de asigurare la flambaj lateral /40/

Nr.crt.	Condiții de asigurare la flambaj lateral	Raportul maxim h/b
1	Când nu există reazeme intermediare pe latura comprimată	4/1
2	Când se asigură rigidizarea laturii comprimate cu pene sau tiranți	5/1
3	Când se asigură rigidizarea laturii comprimate prin platelajul elementului de planșeu	6/1
4	Când se asigură rigidizarea elementului în planul	9/1

Norma **EUROCODE 5** impune verificarea la încovoiere, în condițiile de instabilitate laterală, cu relația:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (3.31)$$

unde:

$\sigma_{m,d}$ – efortul unitar din momentul de calcul;

$f_{m,d}$ – rezistența de calcul la încovoiere;

k_{crit} – coeficient care ia în considerare reducerea rezistenței datorită fenomenului de instabilitate laterală.

Coeficientul k_{crit} are valorile:

- 1.0 , pentru $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$;

- $1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m}$, pentru $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$; (3.32)

- $1 / \lambda_{rel,m}^2$, pentru $\lambda_{rel,m} > 1,4$.

Zveltețea relativă din relațiile 4.50 se determină cu formula:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} \quad (3.33)$$

unde:

$f_{m,k}$ – rezistența caracteristică la încovoiere;

$\sigma_{m,crit}$ – efortul critic determinat pentru $E = E_{0,05}$ și ținând cont de factorul "m" de transformare dat în tabelul 3.7.

6.2 Calculul elementelor din lemn cu secțiune constantă, solicitate la încovoiere, conform normei EUROCODE 5

a) Calculul la starea limită de rezistență.

Când dimensiunile grinzilor și condițiile de rezemare sunt corespunzătoare pentru a preveni fenomenul de instabilitate laterală, verificarea la încovoiere simplă se face cu o relație dedusă din relația 3.31 și are forma :

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (3.34)$$

unde:

$\sigma_{m,d}$ - efortul unitar din momentul de calcul;

$f_{m,d}$ – rezistența de calcul la încovoiere determinată cu relația 4.10.

În anumite situații pentru elementele încovoiate, relația 3.1 poate fi corectată determinând rezistența de calcul la încovoiere cu o relație de forma:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_{crit} \cdot k_{ls} \cdot k_h \cdot f_{m,k} / \gamma_M \quad (3.35)$$

unde:

k_{mod} , γ_M - semnificațiile din relația 3.1;

$f_{m,k}$ – rezistența caracteristică la încovoiere;

k_{crit} – coeficient care ia în considerare fenomenul de instabilitate (rel. 3.35);

k_{ls} – coeficient care ia în considerare efectul sistemului asupra capacității portante;

k_h – coeficient de înălțime.

Efectul sistemului are în vedere că în multe cazuri elementele încovoiate nu lucrează individual ci sunt legate cu alte elemente astfel încât se produce o redistribuire de solicitare. Un astfel de caz se întâlnesc la planșeele unde grinzile sunt solidarizate între ele cu panouri. În aceste condiții are loc o îmbunătățire a comportării elementelor în cadrul sistemelor. Acest efect favorabil este luat în considerare printr-un coeficient K_{ls} supraunitar cu o valoare curentă de 1,1.

Coeficientul de înălțime (k_h) pleacă de la faptul că rezistențele caracteristice la încovoiere sunt stabilite pentru înălțimi de referință a grinzilor de 150 mm pentru lemn masiv și 600 mm pentru elemente de lemn înclaiat. Experimental s-a constatat că pentru înălțimi mai reduse rezistențele cresc datorită efectului eforturilor de compresie.

În aceste condiții, luând în considerare înălțimea h a grinzii, norma **EUROCODE 5** propune următoarele valori pentru k_h :

-pentru elemente din lemn masiv

$$k_h = \min. \begin{cases} (150 / h)^{0.2} \\ 1,3 \end{cases} \quad (3.36)$$

- pentru elemente din lemn încleiat

$$k_h = \min \begin{cases} (600 / h)^{0.2} \\ 1,15 \end{cases} \quad (3.37)$$

În situațiile când intervine instabilitatea laterală a grinzilor verificarea la încovoiere se face cu relația 4.49.

Verificarea la forță tăietoare se face conform precizărilor de la capitolul 4.1.

b) Calculul la starea limită de deformație.

Calculul la starea limită de deformație are în vedere combinația de încărcări și calculul săgeții finale (u_{fin}) cu relația:

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) \quad (3.38)$$

unde:

u_{inst} – deformația instantanee calculată cu gruparea de acțiuni și cu un modul de elasticitate mediu;

k_{def} – coeficient care ia în considerare deformația în funcție de timp sub efectul fluajului și umidității (tabelul 3.9).

Tabelul 3.9

Valorile coeficientului k_{def} / 38 /

Material	Durata de încărcare	Clasa de serviciu		
		1	2	3
Lemn masiv, Lemn încleiat	Permanentă	0.60	0.80	2.00
	Lungă durată	0.50	0.50	1.50
	Durată medie	0.20	0.25	0.75
	Scurtă durată	0	0	0.30
Placaj	Permanentă	0.80	1.00	2.50
	Lungă durată	0.50	0.60	1.80
	Durată medie	0.25	0.30	0.90
	Scurtă durată	0	0	0.40
Panouri din particole; Panouri OSB	Permanentă	1.50	2.25	-
	Lungă durată	1.00	1.50	-
	Durată medie	0.50	0.75	-
	Scurtă durată	0	0.30	-
Panouri din fibre (panouri dure)	Permanentă	2.25	3.00	-
	Lungă durată	1.50	2.00	-
	Durată medie	0.75	1.00	-
	Scurtă durată	0	0.40	-
Panouri din fibre (panouri medii)	Permanentă	1.50	-	-
	Lungă durată	1.00	-	-

	Durată medie	0.50	-	-
	Scurtă durată	0	-	-

Este recomandabil ca atunci când combinația de încărcare este compusă din acțiuni cu durată diferită să se calculeze separat contribuția fiecărei acțiuni la deformația totală utilizând coeficienții din tabelul 3.9.

Există posibilitatea calculului deformației finale, atunci se consideră o relație lineară între efectul acțiunilor și deformații, cu o relație de forma:

$$u_{fin} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) + u_{inst,Q1}(1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum u_{inst,Qi} (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,i} \cdot k_{def}) \quad (3.39)$$

unde:

$u_{inst,G}$, $u_{inst,Q}$ – sunt deformațiile instantanee sub acțiunea încărcărilor permanente respectiv variabile;

Tabelul 3.10

Valorile coeficientului k_{def} / 38 /

Material	Clasa de serviciu		
	1	2	3
Lemn masiv, Lemn înleiat	0.60	0.80	2.00
Placaj	0.80	1.00	2.50
Panouri din particole; Panouri OSB	1.50	2.25	-
Panouri dure din fibre	2.25	3.00	-
Panouri semidure din fibre	1.5	-	-

În cazurile când o structură este alcătuită din elemente având caracteristici de deformație în timp diferite se poate calcula săgeata finală utilizând un modul de deformație modificat care se obțin prin împărțirea modului fiecărui element cu valorile $1 + k_{def}$.

Valorile deformațiilor nete finale u_{net} luând în considerare contrasăgețile (u_0), dacă este cazul, deformația datorită acțiunilor permanente (u_1) și datorită acțiunilor variabile (u_2) se limitează la valori admisibile funcție de destinație.

Valorile limită ale săgeților, funcție de tipul structurii, date în NP-005/03, sunt date în tabelul 3.11 iar valori limită ale deplasărilor laterale la elemente verticale în tabelul 1.10.

Tabelul 3.11

Valorile limită ale săgeților pentru deformații verticale /38 /

Tipul structurii	Tipul săgeții		
	$u_{net,fin}$	$U_{2,inst}$	$u_{0,max}$
Terase necirculabile	1 / 200	1 / 250	1 / 300
Terase accesibile pentru public	1 / 250	1 / 300	1 / 300
Planșee curente	1 / 250	1 / 300	1 / 400
Planșee și terase cu pereți fragili sau rigizi	1 / 250	1 / 350	1 / 500
Situații când $u_{net,fin}$ poate influența negativ aspectul construcției	1 / 250	-	-

Tabelul 3.12

Valorile limită ale săgeților pentru deformații orizontale /38 /

Tipul structurii	Acțiunea vântului $u_{2,inst}$	Alte acțiuni $u_{net,fin}$
Cadre fără pod rulant	h / 150	h / 150
Alte construcții cu un nivel	h / 250	h / 300
Construcții cu mai multe nivele : - între etaje		
construcții pentru locuințe	h / 420	h / 300
alte construcții	h / 250	h / 300

- pentru toată structura	h /420	h /500
--------------------------	--------	--------

Norma **EUROCODE 5** recomandă valori maxime admisibile pentru deformații instantanee din încărcările variabile ($u_{2,inst}$), pentru deformațiile finale datorită încărcărilor variabile ($u_{2,fin}$) și pentru deformațiile nete finale, luând în considerare și contrasăgeata ($u_{net} = u_1 + u_2 - u_0$).

Astfel sunt recomandate valorile:

- pentru **deformații instantanee**

$$u_{2,inst} \leq l/300 \text{ la grinzi și } l/150 \text{ la console.}$$

- pentru **deformații finale**

$$u_{2,fin} \leq l/200 \text{ la grinzi și } l/100 \text{ la console;}$$

$$u_{net, fin} \leq l/200 \text{ la grinzi și } l/100 \text{ la console.}$$

6.3. Calculul elementelor din lemn curbe și a elementelor cu moment de inerție variabil, solicitate la încovoiere, conform normei EUROCODE 5

Elementele din lemn din scânduri încheiate pot fi realizate longitudinal cu secțiune constantă dar în cele mai multe cazuri ele sunt realizate curbe și /sau cu moment de inerție variabil. Această realizare este determinată de multe ori din condiții arhitecturale dar ea poate fi impusă și din condiții structurale. Formele cele mai des întâlnite sunt cele prezentate în figura 1.5. Grinzile cu o singură pantă se realizează cu o pantă de $1/40 \dots 1/10$ ($\alpha \approx 5^\circ$), cu înălțimea maximă mai mică de $l/20$ și înălțimea la capăt mai mică de $l/30$ iar grinzile cu două pante au înălțimea maximă la mijloc $l/20$

Modul de realizare a acestor grinzi face ca la solicitarea de încovoiere să apară câteva aspecte specifice, cum ar fi cele prezentate în continuare.

La grinzile cu moment de inerție variabil distribuția eforturilor pe înălțimea secțiunii nu este lineară și de aceea la calculul lor nu se mai poate aplica teoria grinzilor ci trebuie avută în vedere teoria plăcilor anizotrope.

Eforturile în fibrele extreme la grinzi cu extradados drept și partea superioară variabilă, sub un unghi mai mic de 10° (fig.3.10.a), se pot determina prin teoria grinzilor, cu modificarea funcției de panta fibrelor superioare, cu relațiile:

$$\sigma_{m,o,d} = (1 + 4 \operatorname{tg}^2 \alpha) 6M_d / bh^2 \quad (3.40)$$

$$\sigma_{m,a,d} = (1 - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha) 6M_d / bh^2 \quad (3.41)$$

unde:

$\sigma_{m,o,d}$ - efortul de întindere în fibra inferioară;

$\sigma_{m,a,d}$ - efortul de compresiune în fibra superioară;

M_d - momentul încovoiator din secțiunea considerată.

Pentru o grindă încărcată cu o sarcină uniform distribuită (q) efortul maxim de calcul din încovoiere are valoarea :

$$\sigma_{m,d} = 0.75 q l^2 / b h_{ap} h_s \quad (3.41b)$$

Secțiunea critică de calcul este la o distanță x de reazem, distanță care pentru o sarcină uniform distribuită, la o grindă cu o singură pantă, se poate determina cu relația:

$$x = l / (1 + h_s / h_{ap}) \quad (3.42)$$

unde:

l ; h_{ap} ; h_s - caracteristicile grinzii lățimea maximă și înălțimea minimă - fig. 3.10).

Pentru grinzi cu două pante simetrice secțiunea critică este la distanța:

$$x = 0.5 l h_s / h_{ap} \quad (3.43)$$

În fibrele extreme eforturile trebuie să îndeplinească condiția :

$$\sigma_{m,a,d} \leq f_{m,a,d} \quad (3.44)$$

Valorile rezistențelor de calcul ($f_{m,\alpha,d}$) se determină :

- pentru eforturile de compresiune paralelă cu fibrele

$$f_{m,\alpha,d} = f_{m,d} / [(f_{m,d} / f_{c,90,d}) \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha] \quad (3.45a)$$

- pentru eforturile de întindere paralelă cu fibrele

$$f_{m,\alpha,d} = f_{m,d} / [(f_{m,d} / f_{t,90,d}) \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha] \quad (3.45b)$$

La grinzile cu dublă pantă și grinzile curbe distribuția eforturilor pe secțiune este de asemenea nelineară și hiperbolică cu valori maxime în fibra inferioară. Pe zonele de curbura se dezvoltă și eforturi de întindere perpendiculare pe fibre.

Pentru o sarcină uniform distribuită (q), în secțiune critică ($x = 0.5 l$ sau h_s / h_{ap}) efortul maxim din încovoiere se determină cu relația:

$$\sigma_{m,d} = 0.75 q l^2 / [b h_s (2h_{ap} - h_s)] \quad (3.46a)$$

Eforturile maxime din încovoiere pot fi calculate aproximativ prin modelarea raportului M/W printr-un factor de formă $k_1 > 1$, cu relația:

$$\sigma_{m,d} = k_1 (6 M_{ap,d} / b h_{ap}^2) \quad (3.46b)$$

Factorul de formă (k_1) depinde de înălțimea maximă a secțiunii transversale (h_{ap}) și de raza de curbura a fibrei medii (fig.3.10.c) și are valoarea:

$$k_1 = k_1 + k_2 (h_{ap}/r) + k_3 (h_{ap}/r)^2 + k_4 (h_{ap}/r)^3 \quad (3.47)$$

cu:

$$k_1 = 1 + 1,4 \operatorname{tg} \alpha + 5,4 \operatorname{tg}^2 \alpha \quad (3.48a)$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \operatorname{tg} \alpha \quad (3.48b)$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \operatorname{tg} \alpha - 7,8 \operatorname{tg}^2 \alpha \quad (3.48c)$$

$$k_4 = 6 \operatorname{tg}^2 \alpha \quad (3.48d)$$

La grinzile curbe cu secțiune constantă $\alpha = 0$.

Valorile lui k_1 din relația 3.47 pot fi obținute și cu ajutorul graficilor din fig. 3.11a.

Eforturile de întindere perpendiculare pe fibre se pot calcula, în zona centrală, prin modificarea raportului M/W printr-un factor de forma k_p ($k_p < 0$), folosind relația:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p 6 M_{ap,d} / b h_{ap}^2 \quad (3.49)$$

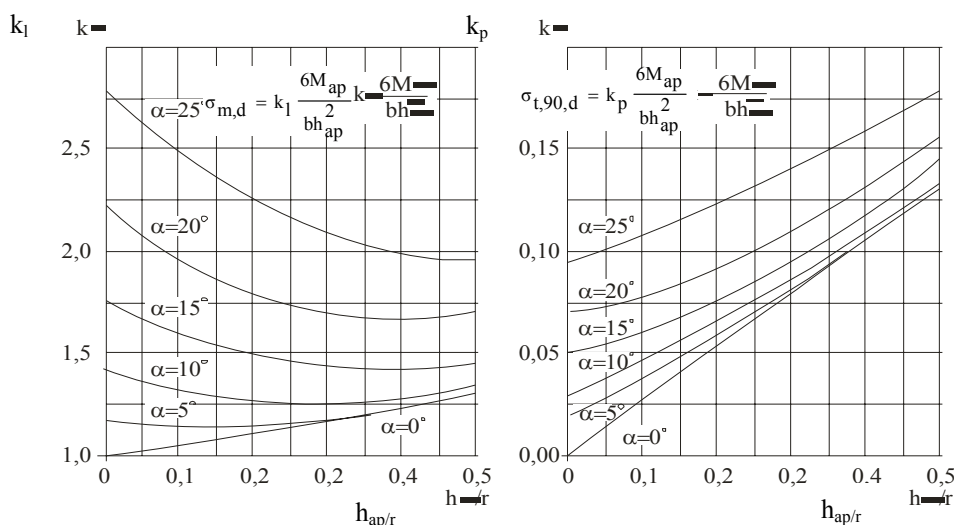


Fig. 3.11a – Factorii k_1 și k_p pentru diferite raze de curbura r și diferite unghiuri α

Factorul de forma k_p depinde de aceeași parametri ca și factorul k_1 și se determina cu relația:

$$k_p = k_5 + k_6 (h_{ap}/r) + k_7 (h_{ap}/r)^2 \quad (3.50a)$$

cu:

$$k_5 = 0,2 \operatorname{tg} \alpha \quad (3.50b)$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \operatorname{tg} \alpha + 2,6 \operatorname{tg}^2 \alpha \quad (3.50c)$$

$$k_7 = 2,1 \operatorname{tg} \alpha - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha \quad (3.50d)$$

Valorile coeficientului k_p pot fi determinate și folosind graficele din fig.3.11. a.

La grinzile din scânduri încheiate pe lângă eforturile provenite din încovoiere trebuie să se ia în considerare încovoierea scândurilor în timpul fabricării elementelor. Aceste eforturi trebuiesc luate în considerare prin reducerea rezistenței de calcul a elementului cu un coeficient de curbura k_r .

Coeficientul de curbura k_r are valorile:

$$- 1.0, \text{ pentru } r_{in}/t \geq 240 \quad (3.51a)$$

$$- 0,76 + 0,001 r_{in}/t, \text{ pentru } r_{in}/t < 240 \quad (3.51b)$$

unde:

t - grosimea scândurilor;

r_{in} - raza interioară a grinzii.

Pentru grinzile cu dublă pantă, curbe și cu intradosul curb condițiile de verificare sunt:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d} \quad (3.52a)$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} (V_0/V)^{0,2} \cdot f_{t,90,d} \quad (3.52b)$$

unde:

$\sigma_{m,d}$ - efortul din încovoiere, determinat cu relația 4.67;

$\sigma_{t,90,d}$ - efortul de întindere perpendicular pe fibre, determinat cu relația 3.39;

k_r - coeficient de curbura (rel. 3.51) ;

$f_{m,d}$ - rezistența de calcul la încovoiere determinată cu relația (3.1);

$f_{t,90,d}$ - rezistența de calcul la întindere perpendiculară pe fibre;

k_{dis} - coeficient de distribuție a eforturilor pe secțiune funcție de tipul grinzii (tab. 3.10) ;

V_0/V - raportul dintre valorile de referință ($V_0 = 0,01m^3$) și volumul zonei solicitate real, care introduce efectul volumului solicitat asupra rezistenței la întindere perpendiculară pe fibre.

Valoarea maximă a lui V este 2/3 din volumul total a grinzii (V_b).

Valorile coeficientului K_{dis} și a volumului V pentru diferite tipuri de grinzi sunt date în tabelul

3.10

Tabelul 3.10

Valorile factorului k_{dis} și a volumului V / 38 /

Tipul grinzii	k_{dis}	Volumul V
Grinzi curbe cu secțiune constantă	1.4	$\beta \pi b (h_{ap}^2 + 2 r_{in} h_{ap}) / 180 \leq 2 V_b / 3$
Grinzi cu dublă pantă	1.4	$b h_{ap}^2 [1 - (\operatorname{tg} \alpha) / 4] \leq 2 V_b / 3$
Grinzi cu intrados curb	1.7	$b[(r_{in} + h_{ap})^2 \sin \alpha \cos \alpha - r_{in}^2 \pi \alpha / 180] \leq 2 V_b / 3$

Săgeata maximă (u_m) se poate calcula, pentru grinzi cu o pantă și două pante, pornind de la săgeata maximă (u_0) pentru o grindă cu înălțime constantă ($h_s + h_{ap}$) / 2, cu relația:

$$u_m = k_u u_0 \quad (3.53)$$

unde:

k_u - coeficient care depinde de raportul h_{ap} / h_s și se determină din fig. 3.11 b

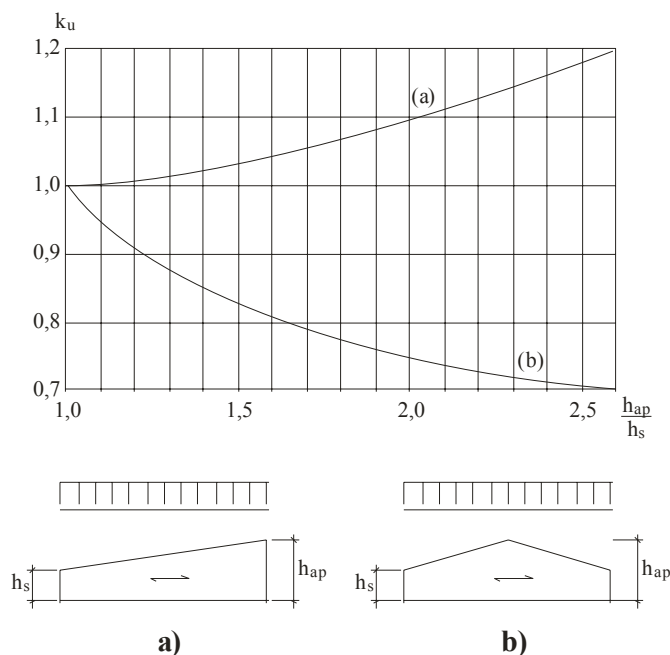


Fig. 3.11b – Valoarea coeficientului k_u pentru determinarea săgeții maxime pentru grinzi cu o pantă (a), respectiv cu două pante (b)

6.4. Calculul elementelor din lemn solicitate la încovoiere oblică, conform EUROCODE 5

Verificarea secțiunii supuse la încovoiere oblică se face prin satisfacerea următoarelor condiții :

$$k_m (\sigma_{m,x,d} / f_{m,d}) + \sigma_{m,y,d} / f_{m,d} \leq 1,0 \quad (3.54)$$

$$\sigma_{m,x,d} / f_{m,d} + k_m (\sigma_{m,y,d} / f_{m,d}) \leq 1,0 \quad (3.55)$$

unde:

$\sigma_{m,x,d}$; $\sigma_{m,y,d}$ - eforturi unitare de calcul din momentele M_x și M_y pentru W_x și W_y ;

$f_{m,d}$ - rezistența de clacul la încovoiere determinată cu relația 3.1;

k_m – factor de combinare a rezistențelor la încovoiere care ia în considerare efectul încovoierii biaxiale.

Coeficientul k_m are valorile 0,7 pentru secțiuni rectangulare și 1,0 pentru alte secțiuni transversale.

7. CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLĂ SOLICITATE LA FORȚE AXIALE ȘI ÎNCOVOIERE (COMPRESIUNE SAU ÎNTINDERE EXCENTRICĂ)

Solicitarea de întindere excentrică sau compresiune excentrică apare în următoarele situații:

- la bare încărcate cu forțe axiale combinate cu forțe transversale (barele tălpilor grinzilor cu zăbrele încărcate cu forțe între noduri, stâlpi care preiau încărcări din vânt, tiranți cu elemente suspendate, etc.)
- la încărcări axiale excentrice, pondere datorită îmbinărilor ;
- la bare având curburi inițiale;
- la bare solicitate axial dar având slăbiri nesimetrice.

Calculul barelor solicitate excentric se face în secțiunea cu moment maxim (M_{max} , W_{ef}) și în secțiunea cu rigiditatea minimă (M_{ef} , W_{min}).

7.1. Calculul elementelor din lemn solicitate la compresiune cu încovoiere, conform normei EUROCODE 5

Norma EUROCOD 5 dă condițiile generale de verificare funcție de coeficienții de zveltețe și pentru cazul încovoierii pe două direcții. Astfel pentru elemente la care zveltețea după cele două direcții (determinată cu relația 3.22). este mai mică sau egală cu 0,5 trebuie satisfăcute condițiile:

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (3.56.a)$$

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (3.56.b)$$

unde :

$\sigma_{c,0,d}$ - este efortul unitar de compresiune determinat cu relația 3.19;

$\sigma_{m,x,d}$; $\sigma_{m,y,d}$ – efortul unitar de calcul la încovoiere după axa x respectiv y;

$f_{c,0,d}$ – rezistența de calcul la compresiune paralelă cu fibrele determinată cu relația 4.10;

$f_{m,x,d} = f_{m,y,d}$ – rezistențele de calcul la încovoiere paralelă cu fibrele determinate cu relația 3.1;

k_m – coeficient care ține cont de forma secțiunii cu valoarea 0,7 pentru secțiunii rectangulare și 1,0 pentru alte secțiuni.

Pentru cazurile când nu este respectată condițiile anterioare cu privire la zveltețe în calcul trebuie luat în considerare fenomenul de flambaj iar relațiile de verificare sunt:

$$\sigma_{c,0,d} / k_{c,x} f_{c,0,d} + \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (3.57a)$$

$$\sigma_{c,0,d} / k_{c,y} f_{c,0,d} + k_m \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (3.47b)$$

unde:

$k_{c,x}$; $k_{c,y}$ – coeficienți care țin cont de flambajul după axa x respectiv y, determinați cu relația 3.20, luând în considerare zveltețile relative (λ_{rel}) determinate cu relația 3.22, după cele două axe.

În cazul încovoierii pe o singură direcție calculul se face cu relațiile 3.56 în care al treilea termen este 0.

7.2. Calculul elementelor din lemn, solicitate la întindere cu încovoiere, conform normei EUROCODE 5

Norma EUROCOD impune satisfacerea următoarelor condiții la întindere cu încovoiere după două axe:

$$\sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} + \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (3.58a)$$

$$\sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} + k_m \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (3.58b)$$

unde:

$\sigma_{t,0,d}$ – efortul unitar de întindere determinat cu relația 3.4;

$\sigma_{m,x,d}$, $\sigma_{m,y,d}$ – eforturi unitare din încovoiere după axa x respectiv y;

$f_{t,0,d}$ – rezistența de calcul la întindere paralelă cu fibrele determinată cu relația 3.1;

$f_{m,x,d} = f_{m,y,d}$ – rezistențele de calcul la încovoiere după axa x și y.

k_m – coeficient care ține cont de forma secțiunii și are valoarea 0.7 la secțiuni rectangulare și 1,0 la celelalte secțiuni.

7.3. Calculul elementelor din lemn solicitate la forfecare și întindere sau compresiune perpendicular pe fibre

Normele românești nu fac nici o precizare privind calculul elementelor la solicitarea combinată între forfecare și întindere sau compresiune perpendicular pe fibre.

EUROCODE 5 impune satisfacerea următoarelor condiții:

- pentru forfecare combinată cu întindere

$$(\tau_d / f_{v,d})^2 + (k_{vol} \sigma_{t,90,d} / f_{t,90,d})^2 \leq 1 \quad (3.59a)$$

- pentru forfecare combinată cu compresiune

$$\tau_d / f_{v,d} - 0,25 (\tau_{c,90,d} / f_{c,90,d}) \leq 1 \quad (3.59b)$$

$$\tau_{c,90,d} / f_{c,90,d} \leq 1 \quad (3.59c)$$

unde:

τ_d ; $\sigma_{t,90,d}$, $\sigma_{c,90,d}$ – eforturile unitare de tăiere, întindere perpendiculară respectiv compresiune pe fibre provenite din acțiunile exterioare;

$f_{v,d}$; $f_{t,90,d}$, $f_{c,90,d}$ – rezistențele de calcul la forfecare, întindere respectiv compresiune perpendicular pe fibre;

k_{vol} – coeficient cu valoarea 1, la lemn masiv și $(V/V_0)^{0,2}$, pentru elemente din lemn încleiat .

CAP. IV. ÎMBINĂRI LA CONSTRUCȚIILE DIN LEMN

În realizarea construcțiilor în general și a construcțiilor din lemn în special există o mulțime de factori care condiționează concepția lucrării dintre care se pot aminti: configurația structurii, alegerea sistemului de rezistență, dimensiunile elementelor componente și ușurința de punere în operă. În cazul structurilor de rezistență din lemn conceperea și realizarea îmbinărilor dintre elemente constituie un element deosebit de important pentru comportarea în exploatare și durabilitatea construcției.

Îmbinările elementelor din lemn apar necesare, în primul rând, datorită formelor și dimensiunilor în care se livrează în mod obișnuit materialul lemnos cu ajutorul căruia nu se pot realiza întotdeauna deschiderile necesare sau secțiunile impuse de solicitările din elemente. Pe de altă parte la execuția construcțiilor din lemn se ivește în mod curent necesitatea de a îmbina între ele două sau mai multe pese care converg în același punct formând noduri.

Există la ora actuală multiple sisteme de îmbinări, adoptate la particularitățile lemnului realizate de către constructori și proiectanți în decursul timpurilor având în următoarele roluri:

- realizarea unor secțiuni compuse, când sortimentul de lemn este insuficient pentru ca secțiunea simplă să preia solicitările (îmbinări de solidarizare);
- prelungirea elementelor de lemn, pentru realizarea lungimilor necesare (îmbinări de prelungire);
- realizarea transmiterii eforturilor între elementele de lemn când acestea fac un unghi între ele (îmbinări în noduri sau la intersecții).

Îmbinările sunt realizate în principal pentru a asigura transferul solicitărilor produse de acțiunile exterioare între elemente.

Pentru o structură dată, selectarea unui anumit tip de îmbinare nu rezultă numai din condițiile de solicitare și de rezistență ci și din alte condiții cum ar fi: aspectele arhitecturale, procedeele de fabricație și execuție preferate, costul structurii, etc.

Este astfel practic imposibil de a se specifica un ansamblu de reguli care să permită stabilirea celui mai bun sistem pentru un anumit tip de îmbinare.

Totuși la alegerea tipului de îmbinare trebuie să se țină cont de câteva condiții dintre care cele mai importante sunt :

- slăbirea minimă posibilă a pieselor îmbinate și în consecință păstrarea capacității portante a acestora;
- menținerea axialității eforturilor din bare și evitarea excentricităților care să ducă la schimbarea stării de solicitare și la necesitatea măririi secțiunii barelor îmbinate;
- asigurarea repartizării uniforme a eforturilor pe barele componente ale elementelor compuse și evitarea suprasolicitării unor elemente ;
- uniformizarea eforturilor între legături și evitarea distrugerii succesive a lor prin folosirea la îmbinare a unui singur tip de legături și având aceleași caracteristici;
- fracționarea elementelor de transmitere a eforturilor , asigurându-se un număr mai mare de secțiuni de lucru și prin urmare evitarea efectelor negative a unor eventuale defecte ale lemnului;
- evitarea efectelor defavorabile ale contracției și umflării precum și a fenomenelor de biodegradare (prin stagnarea apei, aerisire insuficientă, etc.);
- corelarea tipului de îmbinare cu produsul și materialul lemnos folosit (lemn rotund, lemn ecarisat sub formă de grinzi, dulapi sau scândură, etc.) și a mediului de folosire (interior, exterior, etc.);
- alegerea tipurilor de îmbinare care se pretează la o execuție mecanizată, ușor de montat și întreținut, care permit controlul tehnic pe parcursul execuției și în exploatare.

1. CLASIFICAREA ÎMBINĂRILOR

Posibilitățile multiple de realizare a îmbinărilor impun o gamă mare de parametri care pot fi luați în considerare la clasificarea lor. Totuși o grupare a acestor parametri arată ca principale criterii de clasificare următoarele:

- rolul pe care îl au în construcție;
- mijloacele de îmbinare și natura solicitărilor la care sunt supuse;
- deformațiile inițiale și în timp care se produc în îmbinare;
- modul de execuție.

După rolul pe care îl au, îmbinările se pot clasifica în:

- **îmbinări de prelungire**, folosite în zone cu eforturi de compresiune sau întindere și care pot transmite eforturi de care trebuie să se țină seama (îmbinări în zone întinse) sau pot avea rolul de asigurare a stabilității relative a elementelor (îmbinări de prelungire a barelor comprimate), eforturile pe care le transmit fiind mici și în general nu se țin seama de ele în calcul;

- **îmbinări de solidarizare** (de rezistență), dimensionate pe bază de calcul la eforturile pe care le transmit, care au ca principal scop mărirea dimensiunilor secțiunilor transversale ale elementelor;

- **îmbinări în noduri**, între elemente care fac un unghi α între ele, asigurând transmiterea eforturilor între elemente.

După mijloacele de îmbinare și natura solicitărilor la care sunt supuse, atât îmbinările cât și elementele îmbinate, există:

- **îmbinări prin chertare**, frontală sau laterală, solicitate la strivire și forfecare, și care asigură transmiterea eforturilor de la o piesă la alta, direct pe suprafața de contact dintre cele două elemente;

- **îmbinări cu pene rigide** (prismatice, inelare netede, inelare cu dinți sau cu gheare) solicitate la strivire și forfecare;

- **îmbinări cu pene lamelare flexibile** (din oțel, mase plastice, lemn,) solicitate în principal la încovoiere iar piesele îmbinate la strivire;

- **îmbinări cu tije cilindrice** (dornuri, cuie, buloane, șuruburi, etc.) solicitate la încovoiere iar piesele îmbinate la strivire;

- **îmbinări cu piese metalice** (tiranți, juguri, elemente de reazem, articulații, etc.) care preiau diferite solicitări sau asigură legăturile de siguranță;

- **îmbinări folosind cuie sau șuruburi pentru lemn**, solicitate la smulgere;

- **îmbinări încleiate**, care lucrează, în principal la forfecare.

După deformațiile inițiale și în timp îmbinările pot fi:

- **îmbinări prin păsuire**, fără piese de legătură, cu deformații inițiale mari (până la realizarea unui contact direct între suprafețele pieselor) și creștere mică în timp, care transmit eforturile direct prin suprafața de contact între elemente;

- **îmbinări nepăsuite** (cuie, buloane, plăcuțe metalice, etc.), cu deformații inițiale mici dar care cresc mult în timp.

După modul de execuție îmbinările pot fi demontabile sau nedemontabile, cu execuție pe șantier sau în unități specializate.

Norma EUROCODE 5 definește următoarele tipuri de îmbinări:

Tipul A - îmbinări prin contact lemn pe lemn, îmbinări numite „tradiționale”;

Tipul B - îmbinări cu elemente de legătură sub formă de tije (cuie, șuruburi, buloane, dornuri), elemente de asamblare (inele, crampoane) și conectori cu dinți, denumite de multe ori îmbinări „mecanice”;

Tipul C - îmbinări încleiate.

În practică pot fi folosite și îmbinări combinate de tipul A și B.

Îmbinările „tradiționale” cuprind o multitudine de forme dintre care cele mai des întâlnite sunt cele prin chertare, cu piesele de îmbinare așezate în prelungire, dispuse perpendicular sau sub un anumit unghi α .

Îmbinările „mecanice” sunt realizate sub un număr mare de tipuri funcție de elementele de îmbinare folosite sau de sistemul de îmbinare. Funcție de modul cum transmit eforturile între piesele îmbinate elementele de îmbinare pot fi împărțite în două grupe și anume:

- elemente sub formă de tije cilindrice (cuie, dornuri, buloane, șuruburi, etc) la care comportarea la încovoiere condiționează transmiterea eforturilor iar cedarea îmbinării se poate realiza prin strivire locală, forfecarea lemnului sau formarea unor articulații plastice;

- elemente metalice (pene inelare, crampoane, conectori metalici, etc) care transferă transferă eforturile de la o piesă la alta prin antrenarea capacității portante a lemnului de pe o zonă situată, în general, la suprafața elementelor.

În ultimul timp s-a dezvoltat un nou tip de îmbinare mecanică folosind tije încleiate.

2. CALCULUL ȘI ALCĂTUIREA ÎMBINĂRILOR EXECUTATE PRIN CHERTARE (ÎMBINĂRI TRADIȚIONALE)

La îmbinările prin chertare transferul eforturilor de la o piesă la alta se produce prin contactul direct pe suprafața de asamblare.

Piesele îmbinate prin chertare sunt menținute în poziția corectă de îmbinare prin elemente de prindere (buloane, cuie, scoabe, eclise laterale, etc.). În calculul îmbinării nu se ține seama de eforturile care ar putea fi preluate de elementele de prindere dar trebuie să se țină seama de slăbirile de secțiune produse de aceste elemente.

2.1 Îmbinări prin chertare la piese dispuse în prelungire

Aceste îmbinări se realizează între două piese din lemn situate în același plan, chertate simetric și se folosesc la elemente sollicitate la compresiune (fig. 4.1).

Eforturile de compresiune sunt transferate prin suprafața de contact (A_c). Elementele suplimentare folosite la îmbinare (eclise, buloane, scoabe, zbanțuri, etc.) nu preiau eforturi sau preiau eforturile reduse de întindere, atunci când îmbinarea este supusă și la momente încovoietoare situație în care elementele se dimensionează la aceste eforturi.

Verificarea îmbinării constă într-un calcul asemănător cu verificarea elementelor comprimate paralel cu fibrele dar în mod curent capacitatea portantă este satisfăcută deoarece $R_{str}^c = R_c^c$.

2.2 Îmbinări prin chertare la piese dispuse perpendicular

Îmbinările prin chertare la piese dispuse perpendicular se folosesc la rezemarea grinzilor pe stâlpi (fig.4.2. a,b,c), a stâlpilor și popilor pe tălpi de reazem sau grinzi (fig.4.2.e,g,h), a grinzilor pe alte grinzi (fig.4.2.j) precum și la rezemarea subgrinzilor de la nodurile fermelor cu zăbrele pe cosoroabe (fig.4.2.f). Stabilitatea îmbinării la deplasări laterale se asigură cu cepuri (fig.4.2.a,c,i), scoabe (fig.4.2.b), piese metalice (fig.4.2.g,h) sau prin modul de realizare a chertării (fig.4.2.i).

La grinzile rotunde care se reazemă pe stâlpi chertarea de rezemare trebuie să fie realizată cu teșitură (fig.4.2c).

Transmiterea eforturilor pe suprafața de contact dintre cele două elemente se face prin compresiune perpendiculară pe fibre (strivire) la grindă, talpă, subgrindă, etc. și în lungul fibrelor la stâlpi și popi.

Capacitatea portantă a îmbinărilor la elementele amplasate perpendicular este dată de relația:

$$Q_{ri} = R_{cL}^c \cdot A_c \cdot m_{T,c} \cdot m_r \quad (4.1)$$

unde:

R_{cL}^c – rezistența de calcul la compresiune perpendiculară pe fibre;

A_c - aria de contact între cele două elemente (aria reazemului); în cazul îmbinărilor cu cep la calculul ariei de contact se va scădea aria cepului;

$m_{T,c}$ – coeficient care ține seama de tratarea lemnului;

m_r - coeficient de reazem, cu valoarea curentă de 1,6.

Dacă $Q_{ri} < Q_{ef}$, pentru a nu mări dimensiunile elementului vertical se pot adopta următoarele soluții:

- elementul de descărcare (talpa) se poate realiza din lemn de rezistență mare (lemn de foioase);

- mărirea ariei de contact prin dispunerea unor saboți sau a unor cutii metalice.

Saboții se fixează împotriva deplasărilor laterale, prin buloane dispuse în găuri realizate cu secțiune ovală astfel încât transmiterea efortului să se facă pe suprafața de strivire și nu prin buloane.

În anumite cazuri pot apărea în practică îmbinări, având piesele dispuse perpendicular (îmbinări între grinzi și pereți, între grinzi și stâlpi și între grinzi) care se realizează prin chertarea unei piese la capăt sub formă de lambă și cu un uluc la cealaltă piesă.

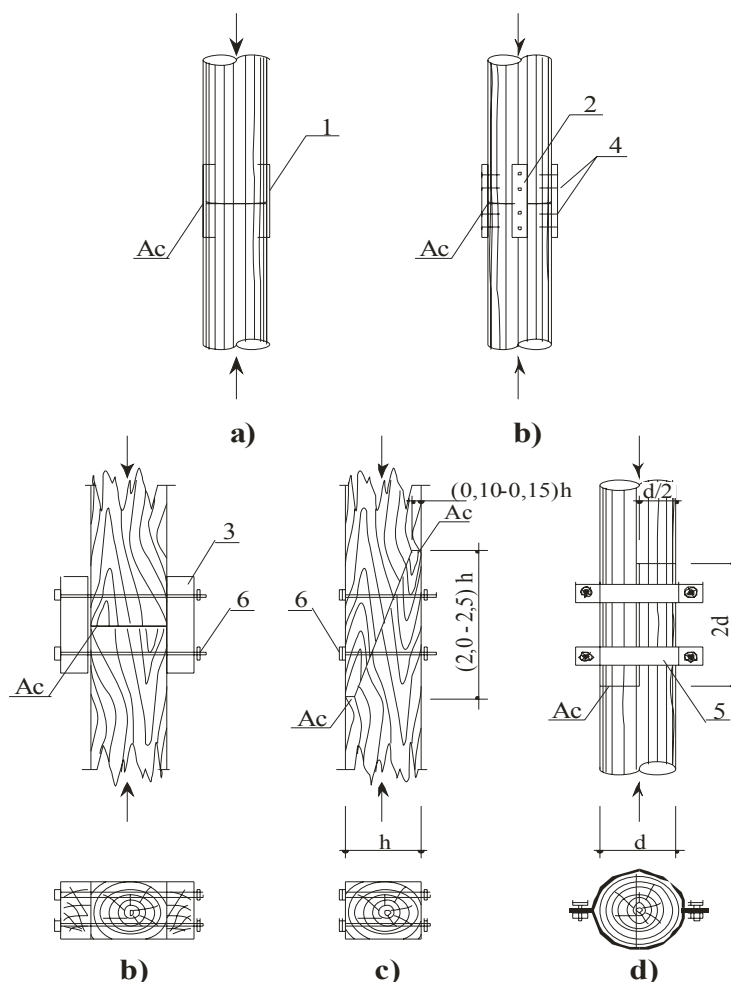


Fig. 4.1 – Îmbinări de prelungire realizate prin chertare

a) – solidarizate cu scoabe; b) – solidarizate cu eclise; c) – solidarizate cu buloane;
d) – solidarizate cu zbanțuri.

1 – scoabe; 2 – eclise metalice; 3 – eclise de lemn; 4 – cuie; 5 – zbanțuri; 6 - buloane

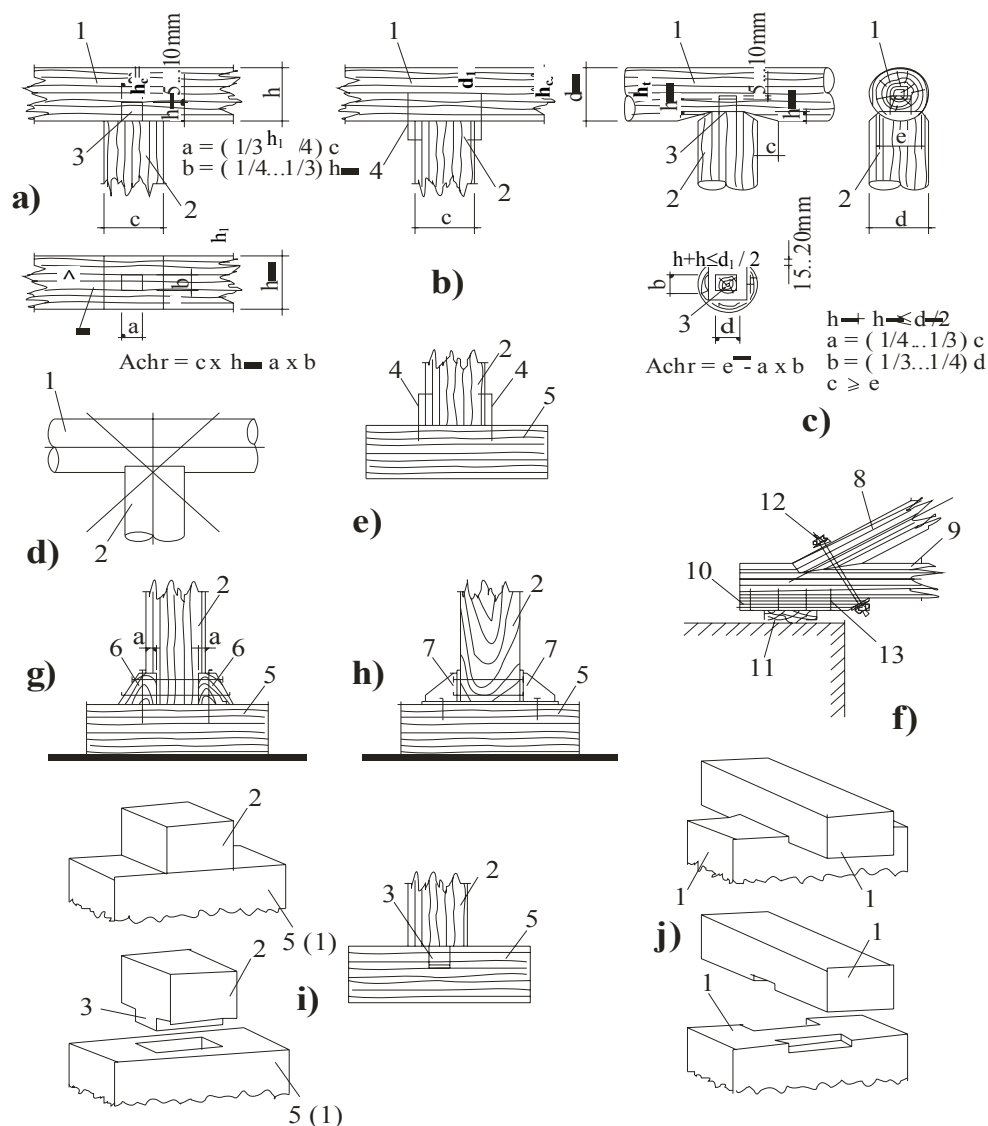


Fig. 4.2 – Îmbinări prin chertare la piese dispuse perpendicular
a) – stâlp-grindă cu cep; b) – stâlp-grindă cu scoabe; c) – stâlp-grindă cu cep lemn rotund; d) – stâlp-grindă lemn rotund chertat; e) – stâlp-talpă cu scoabe; f) – nod reazem fermă cu zăbrele; g) – stâlp-talpă cu saboți; h) – stâlp-talpă cu cutie; i) – stâlp-talpă cu cep; j) – grindă-grindă.
1 – grindă; 2 – stâlp; 3 – cep; 4 – scoabe; 5 – talpă; 6 – saboți; 7 – cutie; 8 – talpă superioară fermă; 9 – talpă inferioară fermă; 10 – subgrindă; 11 – cosoroabă; 12 – bulon; 13 – cuie

Tradițional există îmbinări cu lambă centrală, atunci când piesele care se îmbină au înălțime egală sau lambă așezată la partea de jos a piesei, la îmbinarea pieselor de înălțimi diferite (fig.4.3). La grinzi ulucul se realizează în axa elementului sau în zona comprimată iar la calcul se ține seama de slăbirea secțiunii.

Lamba are o lungime de 40...60 mm iar înălțimea h_e poate fi egală cu înălțimea elementului.

Pentru această situație normele EUROCODE 5 impun verificarea capacității portante la compresiune perpendiculară pe fibre și a capacității portante la forfecare perpendiculară pe fibre.

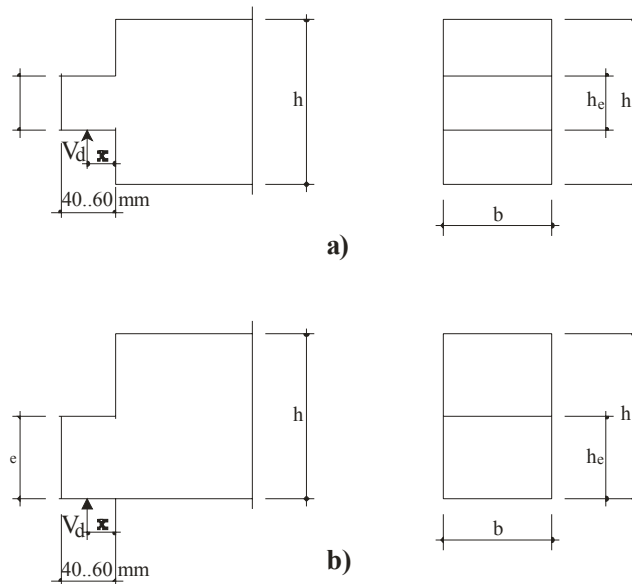


Fig. 4.3 – Modul de realizare a chertării la îmbinări cu lambă și uluc
a) – lambă centrală; b) – lambă inferioară

Verificarea la compresiune perpendiculară pe fibre se face cu relația:

$$\sigma_{c,90,d} = V_d / b l \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (4.2)$$

unde:

$\sigma_{c,90,d}$ - efortul de compresiune perpendicular pe fibre;

V_d - forța tăietoare ;

$b l$ - aria de strivire;

$f_{c,90,d}$ - rezistența de calcul la compresiune perpendicular pe fibre,

$k_{c,90}$ - coeficient care ține cont de modul de rezemare; în mod curent se poate adopta valoarea

1,0.

Pentru verificarea forfecării perpendicular pe fibre se folosește relația:

$$\tau_d = 1,5 V_d / b h_e \leq k_v f_{v,d} \quad (4.3)$$

unde:

V_d - forța tăietoare ;

$b h_e$ - aria de forfecare;

$f_{v,d}$ - rezistența de calcul la forfecare perpendiculară pe fibre;

k_v - coeficient care depinde de geometria îmbinării și se determină funcție de înălțimea grinzi (h), înălțimea lambei (h_e) și de distanța x.

Pentru lambă situată la partea inferioară a grinzi $k_v = 1,0$ iar în cazul cu lambă centrală central EUROCODE 5 impune valoarea:

$$k_v = \min \begin{cases} 1 \\ 5 / [\sqrt{h} (\sqrt{h_e (1 - h_e/h)} / h) + 0.8 x \sqrt{h/h_e - (h_e/h)^2} / h] \end{cases} \quad (4.4)$$

2.3 Îmbinări prin chertare la piese dispuse sub un unghi α

Îmbinarea prin chertare a două piese amplasate sub un anumit unghi α asigură transmiterea eforturilor de compresiune prin contactul pe suprafața frontală a îmbinării. La această îmbinare apar de

asemenea eforturi de tăiere. Acest tip de îmbinare se realizează între talpa inferioară a grinzilor cu zăbrele și diagonale sau talpa superioară precum și între arbaretieri și grinzi.

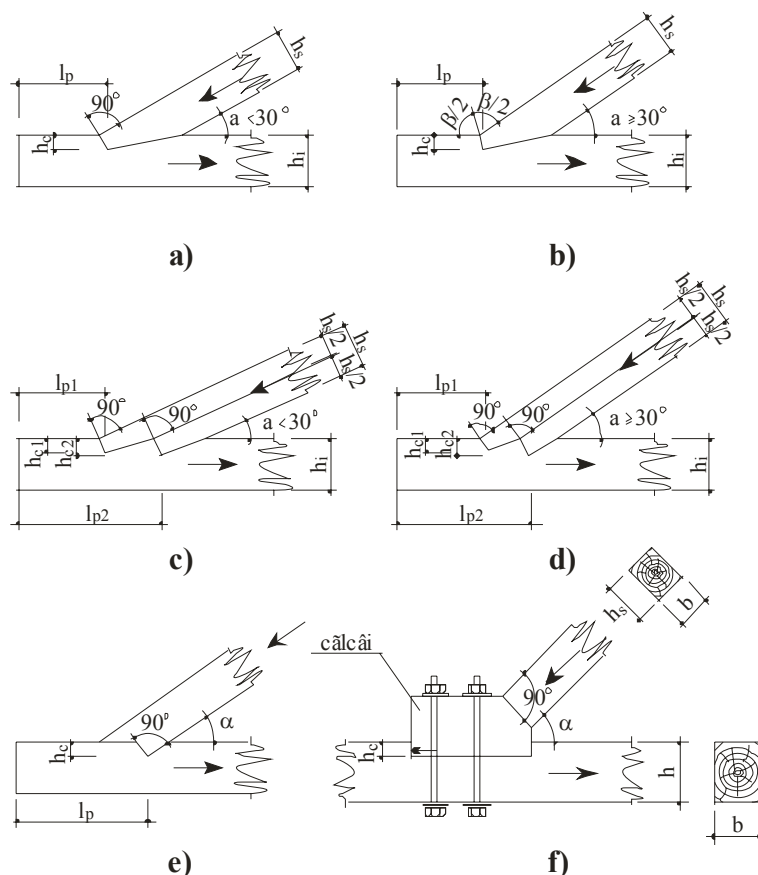


Fig. 4.4 Îmbinări prin chertare la piese amplasate sub un unghi α
a) și b) – chertare frontală cu prag simplu; c) și d) – chertare frontală
b) cu prag dublu; e) – chertare cu prag în spate; f) – îmbinări cu călcâi

În funcție de mărimea solicitărilor și de dimensiunile pieselor componente îmbinările se pot realiza cu chertare frontală având un prag (fig. 4.4.a,b) sau două praguri (fig. 4.4.c,d) sau sub formă de îmbinare cu chertare cu prag în spate (fig. 4.4.e).

Este recomandată folosirea îmbinării cu prag frontal simplu deoarece folosirea îmbinărilor cu prag dublu și cu prag în spate necesită o realizare foarte precisă.

La grinzile cu zăbrele se mai pot realiza și alte variante de îmbinări prin chertare, între elementele care se întâlnesc sub un anumit unghi și anume:

- îmbinări folosind un călcâi, la nodurile intermediare (fig. 4.4.f);
- îmbinări duble consolidate cu eclise la fermele având talpa superioară realizată din două elemente și talpa inferioară dintr-un element.

Pentru optimizarea lucrului îmbinării, tăierea pragurilor se realizează funcție de unghiul α dintre cele două elemente și anume:

- pentru $\alpha < 30^\circ$ tăierea se face perpendicular pe elementul comprimat;
- pentru $\alpha \geq 30^\circ$ tăierea se realizează după bisectoarea unghiului exterior β dintre cele două piese (fig. 4.4.b,d).

Pentru îmbinarea cu prag în spate tăierea se realizează perpendicular pe axa longitudinală a elementului comprimat.

Înălțimea pragului (adâncimea chertării) h_c , la îmbinări cu prag simplu și h_{c1} la îmbinări cu prag dublu trebuie să fie :

- minim 2 cm la grinzile ecarisate, respectiv minim 3 cm la grinzile din lemn rotund;

- maxim $h_i / 3$ la nodurile de reazem ale grinzilor cu zăbrele;
- maxim $h_i / 4$ la nodurile intermediare ale grinzilor cu zăbrele și la elemente cu grosime mai mică de 8 cm.

Înălțimea celui de al doilea prag h_{c2} trebuie să fie cel puțin $h_{c1} + 2$ cm dar maxim $h_i/3$, respectiv $h_i/4$ în condițiile de la chertarea cu prag simplu.

Lungimea reală a pragurilor de forfecare (l_{p1} respectiv l_{p2}) trebuie să fie $\geq 10 h_{c1}$ respectiv $10 h_{c2}$; $\geq 2h$; ≥ 20 cm.

Normele EUROCODE 5 impun, în cazul chertării cu prag dublu, condiția ca adâncimea de chertare a primului prag (h_{c1}) să fie mai mică decât $h_{c2} - 10$ mm și mai mică decât $0,8 h_{c2}$.

La nodurile intermediare ale grinzilor cu zăbrele se poate adopta și soluția transmiterii eforturilor din diagonalele comprimate prin intermediul unei îmbinări cu călcâi (fig. 4.4.f)

Îmbinările prin chertare sunt menținute în poziție cu ajutorul buloanelor de prindere (fig. 4.5) sau cu ajutorul ecliselor laterale. În trecut acest lucru se realiza și cu ajutorul unui cep central.

Buloanele de solidarizare se amplasează perpendicular pe talpa superioară, atunci când $\alpha < 30^\circ$ și perpendicular pe teșitură, când $\alpha \geq 30^\circ$. Diametrul buloanelor rezultă din calcul și va fi minimum 12mm și minimum 1/25 din lungimea lor.

La nodurile de capăt a grinzilor cu zăbrele se pot folosi subgrinzi care reazemă pe centuri sau pe cosoroabe. Centrarea nodului se recomandă să fie făcută după axa secțiunii nete a tălpi inferioare (fig. 4.5.b).

Capacitatea portantă a îmbinării depinde de unghiul α , de adâncimea de chertare h_c și de lungimea pragului de forfecare l_p iar calculul trebuie să ia în considerare:

- capacitatea portantă la strivire pe suprafața de contact;
- capacitatea portantă a pragului la forfecare;
- capacitatea portantă a elementului întins în secțiunea slăbită prin chertare;
- verificarea buloanelor de solidarizare.

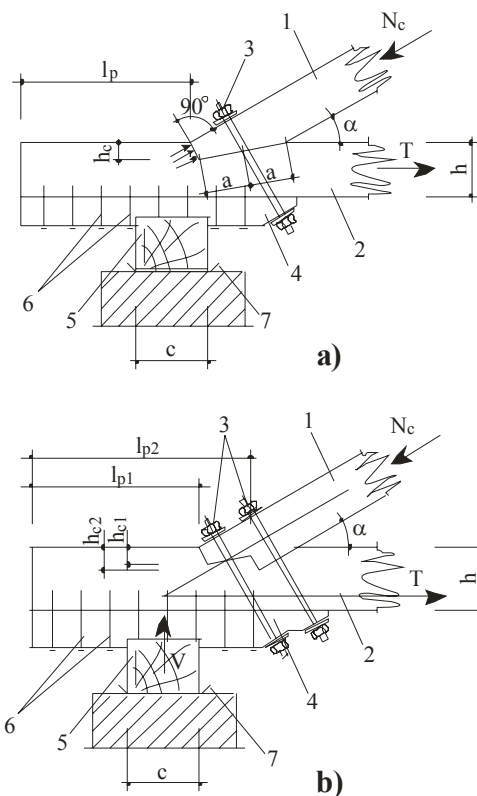


Fig. 5.5 – Alcătuirea nodurilor de capăt a grinzilor cu zăbrele
a) – îmbinare cu prag simplu; b) – îmbinare cu prag dublu.
1 – talpă superioară; 2 – talpă inferioară, 3 – bulon; 4 – subgrindă;
5 – cosoroabă; 6 – cuie; 7 – carton bitumat

a. Capacitatea portantă la strivire pe suprafața de contact

Norma EUROCODE 5 impune verificarea la strivire cu relația :

$$\sigma_{c,\alpha,d} < f_{c,0,d} / (f_{c,0,d} \sin^2 \alpha / f_{c,90,d} + \cos^2 \alpha) \quad (4.5b)$$

unde:

$f_{c,0,d}$; $f_{c,90,d}$ – rezistențele de calcul la compresiune paralelă cu fibrele respectiv perpendicular pe fibre;

α – unghi cu semnificația unghiului γ din relația 4.5.a;

$\sigma_{c,\alpha,d}$ – efortul de compresiune pe suprafața de contact.

Când taierease face după bisectoarea unghiului β efortul de compresiune pe suprafața de contact ($\sigma_{c,\alpha,d}$) se determină:

- pentru chertare după bisectoarea unghiului exterior dintre cele două elemente:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = F_d \cos^2(\beta/2) / b_{ef} t_r \quad (4.5.c)$$

- pentru chertare perpendiculară pe axa elementului înclinat

$$\sigma_{c,\alpha,d} = F_d \cos \beta / b_{ef} t_r \quad (4.5.d)$$

unde:

β – unghiul dintre cele două elemente (unghiul α din fig. 4.4) ;

F_d – forța axială de compresiune;

b_{ef} , t_r - lățimea respectiv adâncimea pragului de forfecare.

b. Capacitatea portantă la forfecare

Conform EUROCODE 5 verificarea la forfecare se face luând în considerare condiția:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (4.7.b)$$

unde:

$\tau_d = F_d \cos \beta / b_{ef} l_v$ – efortul de forfecare dat de forța de compresiune;

$f_{v,d}$ – rezistența de calcul la forfecare a lemnului;

l_v - lungimea pragului de forfecare.

La îmbinarea frontală cu prag dublu, capacitatea portantă a pragurilor la forfecare se stabilește pentru fiecare prag în parte astfel:

$$F_{r,1} = 0,7 R_{f,II}^c \cdot A_{f,1} \cdot m_{T,f} / m_{f,1} \quad (4.8)$$

$$F_{r,2} = R_{f,II}^c \cdot A_{f,2} \cdot m_{T,f} / m_{f,2} \quad (4.9)$$

unde:

$A_{f,1} = b l_{p,1}$; $A_{f,2} = b l_{p,2}$ – ariile de forfecare ale celor două praguri;

$m_{T,f}$; m_f ; $R_{f,II}^c$ - au semnificațiile din relația 4.7a.

Forțele efective de forfecare care acționează asupra pragurilor, cu care se compară capacitatea portantă, se stabilesc ca fiind proiecții ale forțelor de strivire pe direcția pragurilor de forfecare și au valorile:

- la îmbinarea frontală cu prag simplu

$$F_{ef} = N_{c,ef} \cdot \cos \alpha \quad (4.10)$$

- la îmbinarea frontală cu prag dublu

$$F_{ef1} = N_{c,ef1} \cdot \cos \alpha \quad (4.11.a)$$

$$F_{ef2} = N_{c,ef2} \cdot \cos \alpha \quad (4.11.b)$$

unde:

$N_{c,ef}$ – solicitarea de calcul care acționează perpendicular pe prag;

$N_{c,ef1} = N_{c,ef} \cdot A_{s1} / (A_{s1} + A_{s2})$ - solicitarea de calcul aferentă primului prag;

α - unghiul dintre cele două elemente îmbinate;

A_{s1} , A_{s2} – aria de strivire a primului, respectiv al celui de-al doilea prag.

c. Verificarea buloanelor de solidarizare se face cu relația:

$$N_{\text{ef bulon}} \leq n_b N_{\text{cap bulon}} \quad (4.12)$$

unde :

$N_{\text{ef bulon}} = N_c \cdot \text{tg}(60^\circ - \alpha)$ – este efortul axial din bulonul de solidarizare;

$N_{\text{cap bulon}} = A_{\text{net}} \cdot R_{o,t} \cdot m_0$ - este capacitatea portantă a bulonului de solidarizare;

A_{net} – aria netă a bulonului în secțiunea filetată;

$R_{o,t}$ – rezistența de calcul a oțelului la întindere (STAS 10108 – 94);

$m_0 = 0,6$ – coeficient de lucru a bulonului în îmbinare;

n_b – numărul de buloane.

În situația unui nod marginal (fig.4.2f), când descărcarea tălpii se face pe o piesă de reazem din lemn (cosoroabă) prin intermediul unei subgrinzi, se determină:

- rezistența la strivire pe suprafața de contact ;
- numărul de cuie necesare prinderii subgrinzi de talpă..

Verificarea la strivire se face cu relația:

$$V_{\text{ef}} \leq Q_r \quad (4.13)$$

unde:

V_{ef} – reacțiunea verticală în îmbinare;

Q_r – capacitatea la strivire perpendicular pe fibre.

Numărul de cuie se determină cu relația:

$$n = L / 1,2 L_a \quad (4.14)$$

unde:

$L = N_{\text{ef bulon}} \sin \alpha$ - componenta orizontală a efortului din bulonul de solidarizare;

L_a – capacitatea portantă minimă a unei tije.

CAP.V PROTECȚIA ȘI CONSOLIDAREA ELEMENTELOR DIN LEMN

1. AGENȚI DE DEGRADARE A LEMNULUI

Existența construcțiilor din lemn, uneori cu vechimi de sute de ani, arată că deși lemnul este un produs natural în condiții optime de exploatare poate dura o perioadă foarte lungă de timp fără degradări notabile.

Pentru a identifica măsurile preventive și curative în vederea înlăturării riscurilor în activitatea de proiectare inițială sau pentru reabilitarea structurilor din lemn un rol important revine evaluării factorilor care pot produce respectiv au produs degradări (totale sau parțiale) cu efecte asupra structurii. Există o gamă largă de acțiuni și factori, legați în principal de condițiile de exploatare dar și apăruiți suplimentar în viața construcțiilor, care influențează durabilitatea lemnului și degradarea sa.

Viteza de producere a degradărilor și implicit durabilitatea lemnului pot fi controlate prin concepția elementelor și modul de folosire a lemnului, existând în acest sens mai multe direcții principale în care trebuie să se acționeze și anume:

- conceperea și studiul detaliilor astfel încât să se evite pe cât posibil umezirea lemnului , situațiile de umiditate ridicată sau sursele punctuale de umiditate;
- evitarea staționării apei în anumite zone (îmbinări, reazeme, etc.);
- asigurarea unei ventilații corespunzătoare a lemnului pentru evacuarea rapidă a apei atunci când este imposibil de a se evita o umezire temporară;
- selectarea tipului de lemn cu o durabilitate naturală în concordanță cu mediul de utilizare;
- realizarea unui tratament inițial și în timp adecvat pentru conservarea a lemnului.

Din ansamblul de factori care duc la degradare rolul cel mai important revine agenților legați de condițiile de serviciu. peste care se pot suprapune factori suplimentari apăruiți în viața construcțiilor (cutremure, temperaturi înalte și foc, modificări de funcțiuni, încărcări suplimentare etc.) .

Lemnul este expus, deasemenea acțiunii agenților biologici xilofagi (ciuperci, insecte) și a agenților termici (foc).

1.1 Acțiunea umidității

Umiditatea reprezintă principalul factor care influențează asupra tuturor caracteristicilor fizico - mecanice ale lemnului și implicit asupra durabilității sale în timp prin favorizarea dezvoltării agenților de degradare biologică. În cazul structurilor umiditatea are un efect important și asupra elementelor metalice folosite la îmbinări.

Este foarte important ca lemnul pus în operă să aibă o umiditate apropiată de umiditatea de echilibru estimată iar variațiile de umiditate în timp să fie cât mai limitate. Ne satisfacerea acestor condiții duce în timp la apariția unor crăpături sau fisuri provenite din contracție care crează condiții pentru penetrația de apei, a sporilor de ciuperci, a larvelor de insecte și favorizează în final degradările.

Concepția structurilor din lemn trebuie să aibă în vedere pe lângă efectul condițiilor mediului ambiant de exploatare asupra umidității lemnului și alte situații care pot provoca o creștere importantă a umidității lemnului cum ar fi:

- contactul dintre lemn și sol sau între lemn și alte părți ale construcției (zidărie, elemente din beton, etc.);
- prezența lemnului într-o atmosferă caldă și umedă cum ar fi de exemplu zonele slab ventilate în care deșeuzează conductele de evacuare de la ventilațiile mecanice controlate;
- condensarea vaporilor în interiorul elementelor (pereți, planșee);
- acumularea importantă a zăpezii în anumite zone și infiltrațiile de apă de la zonele umede (dușuri, săli de baie, bucătării);
- pătrunderea apei în lemn, în timpul depozitării pe șantier sau în timpul montării elementelor, înainte de a se realiza acoperirea construcției.

Întrucât penetrația mare a apei în lemn se face după direcția fibrelor este foarte important să se asigure o protecție a extremităților prin menținerea acestora la o anumită distanță de zona umedă, astfel încât să se evite o absorbție prin capilaritate sau tratarea lor cu diferite substanțe și protecții care opresc ascensiunea umidității.

În ceea ce privește nivelul de expunere la umiditate normele EUROCOD 5 și normele naționale diferențiază 3 clase de serviciu și 5 clase de risc.

Normele Europene EN 335-1 referitoare la „Durabilitatea lemnului și a materialelor din derivate din lemn. Definiția claselor de riscuri la atacurile biologice - Generalități” și norma națională SR EN 335-1 definesc următoarele clase de risc:

Clasa de risc 1 – Situații în care lemnul sau produsele din lemn sunt la adăpost, acoperite, protejate în totalitate de intemperii și ferite de toate posibilitățile de umezire;

Clasa de risc 2 - Situații în care lemnul sau produsele de lemn sunt la adăpost, acoperite, protejate în totalitate de intemperii dar unde umiditatea ridicată a mediului poate duce la o umezire ocazională dar nepersistentă ;

Clasa de risc 3 - Situații în care lemnul sau produsele pe bază de lemn sunt la exterior, neadăpostite dar nu sunt în contact cu solul dar ele pot fi continuu expuse la intemperii sau pot fi protejate de intemperii dar expuse unei umeziri frecvente;

Clasa de risc 4 – Situații în care lemnul sau produsele pe bază de lemn sunt în contact cu solul sau apa dulce fiind expuse în permanență la umezeală;

Clasa de risc 5 – Situații în care lemnul sau produsele pe bază de lemn sunt expuse în permanență la apă sărată.

Clasa 1 și 2 necesită un nivel de durabilitate naturală redus și tratamente relativ simple. Clasele 3, 4, 5 corespund riscului cel mai mare cu privire la atacul biologic și necesită măsuri care să mențină piesele, pe cât posibil, în clasa de risc cea mai redusă.

Conform normei /45 / lemnul este supus la patru grade de risc de biodegradare și anume:

Gradul 1 – lemnul utilizat în interiorul construcțiilor, unde nu există pericolul de umezire care să favorizeze instalarea și dezvoltarea ciupercilor xilofage (lemn utilizat la amenajări interioare, scări interioare, grinzi și stâlpi aparenti, parchet);

Gradul 2 - lemn utilizat la construcții acolo unde sunt condiții minime de degradare sub atacul ciupercilor xilofage (lemn utilizat la elemente sub acoperiș: căpriori, grinzi, stâlpi, așternut, șipci, pereți interioari);

Gradul 3 - lemn utilizat în construcții cu risc de biodegradare de către ciupercile xilofage, în situații în care umiditatea acestuia poate atinge valoarea de 30% și alternarea umezirii cu uscarea (lemn utilizat la elemente de construcții exterioare: lambriuri exterioare, rame, traverse și montanți pentru panourile de pereți exteriori, pereți din lemn rotund sau ecarisat, scări exterioare, balcoane, balustrade, etc.);

Gradul 4 - lemn utilizat în construcții în condiții favorabile de biodegradare care este în permanent contact cu solul (piloți pentru fundații, tălpi inferioare pe pământ sau pe socluri de zidărie, grinzi, traverse și rame de panouri de pardoseală) sau care este permanent expus intemperiilor fără a fi finisat pelicologen (șite și șindrile de acoperiș).

Posibilitatea apariției agenților biologici de degradare, funcție de situația lemnului este dată în tabelul 1.1 (conform SR EN 335-1) și în tabelul 7.1 (conform /45/)

Tabelul 7.1

Condițiile apariției agenților biologici (/45/)

Clasa de risc	Domeni de utilizare a lemnului	Condiții de expunere la umezire	Apariția agenților biologici	
			Ciuperci	Insecte
1	Fără contact cu solul, sub adăpost	Nu	-	Da
2	Fără contact cu solul, sub adăpost, cu risc de umezire	Ocazional	Da	Da
3	Fără contact cu solul, neacoperit	Frecvent	Da	Da
4	În contact cu solul sau cu apa dulce	Permanent	Da	Da
5	În apă sărată	Permanent	Da	Da

1.2 Acțiunea agenților biologici

Lemnul este susceptibil de a fi atacat în principal de două tipuri de agenți biologici (insecte și ciuperci) dar în situații particulare poate fi atacat și de organisme maritime. Atacul ciupercilor este condiționat de prezența umidității pe când toate tipurile de lemn pot fi atacate de insecte.

Pentru fiecare situație de folosire și amplasare a lemnului este necesar de a se evalua riscul în funcție de esența lemnului și de locul de lucru a lemnului în cadrul construcției (tabelul 7.1). În funcție de clasa de risc evaluată se iau măsurile preventive și de protecție adecvate.

a) Acțiunea ciupercilor.

Există o gamă mare de ciuperci capabile să atace lemnul, atunci când există condiții favorabile legate în principal de prezența apei și a oxigenului. Dezvoltarea ciupercilor se produce atunci când umiditatea lemnului depășește 20% și uneori în cazul absenței luminii, slabei ventilații și în mediu alcalin.

Există ciuperci care provoacă putrezirea lemnului din pădure sau din depozit denumite ciuperci de depozit și ciuperci de casă cum sunt: *Stereum*, *Leuzites* și *Paniophora*. Cea mai periculoasă grupă de ciuperci este cea care provoacă putrezirea lemnului de construcție din care fac parte: *Merulius lacrymans*, *Polyporus vaporarius*, *Coniophora cerebella*, *Panillus aqueruntius*, *Leutinus aquamosus*.

Se prezintă în continuare câteva aspecte referitoare atacul principalelor ciuperci.

Stereum atacă în principal rășinoasele dar și unele foioase după tăiere sau pe șantier când sunt supuse intemperiei. Ea este semnalizată în secțiune transversală printr-o pată de culoare de mărime variabilă și situată aproximativ în centrul secțiunii („înimă roșie” la fag). Proprietățile mecanice se diminuează rapid și lemnul atacat nu se folosește la structuri.

Merulius lacrymans (buretele de casă) atacă în principal rășinoasele și se dezvoltă la o temperatură de 15...30°C când umiditatea lemnului depășește 20%. În prima fază apare sub formă de fășii albe și gri la suprafața iar apoi pătrunde în adâncime producând crăpături numeroase în sensul fibrelor și perpendicular pe acestea. Lemnul se descompune în mici paralelipiede și prinde o culoare ușor galbene. În stare înaintată de putrezire lemnul se taie ușor, iar când este uscat devine casant putând fi ușor strivit între degete și transformat într-un praf cărămiziu.

Polyporus vaporarius (buretele alb de casă) se întâlnește sub diferite forme și atacă mai ales foioasele provocând o putrezire uscată și fibroasă. În prima fază atacul apare sub formă de pată albicioasă iar după ce ciuperca îmbătrânește capătă un aspect castaniu. Atacul este asemănător cu cel produs de *merulius* dar este mai puțin virulent deoarece ciuperca necesită o mare cantitate de apă. Datorită locului unde se manifestă ciuperca mai poartă denumirea de buretele de beci.

Coniophora cerebella este o ciupercă care se întâlnește sub forme de pojghițe, țesuturi pufoase sau gelatinoase. Această ciupercă denumită și „ciuperca beciurilor” acționează asemănător cu *merulius* atacând lemnul cu umiditate foarte mare (de obicei peste 40%). Lemnul distrus se prezintă ca perforat și în comparație cu lemnul atacat de *merulius* sau *polyporus* este mult mai închis la culoare și cu mai puține crăpături longitudinale și transversale. Evoluția să se poată stopa prin reducerea umidității.

b) Acțiunea insectelor.

Acțiunea și riscul atacului insectelor asupra lemnului variază foarte mult în funcție de condițiile de temperatură. Activitatea insectelor este favorizată de temperatura ridicată care permite dezvoltarea și reproducția lor iar atacul se produce, în mod obișnuit asupra lemnului uscat dar există și insecte care pot tolera un anumit procentaj de umiditate.

Pentru a se realiza un tratament preventiv sau curativ adecvat împotriva fiecărei specii de insecte este necesar să se cunoască condițiile de viață și de dezvoltare a lor și dauna care o pot cauza.

Principalele insecte care atacă lemnul de rășinoase sunt: *xiloterus lineatus*, *sirex gigas*, *anobium domesticum*, *camponotus herculeanus*, *camponotus ligniperda*, *hylecoetes dermestoides*, *hylotrupes bajulus*.

Xiloterus lineatus (cariul de pădure al lemnului de rășinoase), este o insectă care atacă toate speciile rășinoase. Femela sapă inițial o galerie în trunchiul arborelui, urmărind aproape direcția razelor iar din această galerie o serie de ramificații dispuse în același plan și având același diametru, în care

depune ouăle. Larvele prelungesc cavitățile galeriilor se hrănesc cu seva lemnului din pereții acestor galerii și cu miceliile unei ciuperci (Ambrosia) ai căror spori sunt aduși de insectă. Vătămările pricinuite lemnului constau în galeriile caracteristice de culoare neagră (datorită ciupercii Ambrosia), care străbat lemnul în diverse direcții. Insecta evită lemnul complet uscat și atacă trunchiurile proaspăt tăiate și decojite dar poate ataca și arborii în picioare. Degradarea se produce la interiorul trunchiului, deprecierea fiind abia perceptibilă la suprafață. Pentru a evita atacurile acestei insecte se recomandă ca doborârea arborilor să se facă în perioada repausului vegetativ (iarna) iar trunchiurile să fie imediat decojite, în vederea grăbirii uscării materialului.

Sirex gigas (viespea lemnului de rășinoase) este una dintre cele mai mari insecte xilofage europene. Femela depune ouăle pe trunchiurile arborilor aflați în picioare sau doborâți, cu sau fără scoarță. Larvele ieșite din ouă sapă galerii sinuoase în tot interiorul lemnului. Viespea caută adeseori lemnul șarpantelor din construcții, perfect sănătoase, uscate sau cu sevă. Nu atacă niciodată lemnul putred.

Anobium domesticum (cariul lemnului de rășinoase) atacă de preferință lemnul absolut uscat și caută inele exterioare de alburn, mai bogate în amidon. Este remarcat în lemnul din diferite construcții și mobile. Larva sapă galerii în toate sensurile, fără a ieși la suprafața lemnului unde se observă doar orificiul de ieșire a insectei mature. Lemnul atacat de aceste larve poate fi transformat, în decursul timpului, aproape integral în „făină de lemn”.

Camponotus herculeanus și **Camponotus ligniperda** sunt două specii de furnici care trăiesc în tulpinile de rășinoase preferând arborii care la bază sunt atinși de putregai. Ele sapă în lemn galerii sinuoase cu diametrul de 1-5 cm, care se întind până pe la 10 m din înălțimea arborilor.

Hylecoetes dermestoides atacă cu predilecție lemnul de brad făcând găuri asemănătoare cu cele de Sirex, dar orificiile sunt puțin mai mici. Larvele pătrund în interiorul lemnului (cca. 25 cm) prin galerii curbe, a căror suprafață se înnegrește datorită ciupercii Ambrosia, care însoțește insecta.

Hylotrupes bajulus se localizează cu predilecție în lemnul de brad utilizat în construcții, în aer liber. Caută mai ales inelele de alburn, bogate în amidon și pricinuieste pagube dintre cele mai mari, datorită faptului că larvele sale au dimensiuni foarte mari (20 - 22 mm).

Foioasele, refăcându-și anual aparatul foliaceu, suferă mai puțin din cauza atacurilor de insecte. Un număr apreciabil de insecte xiloface atacă totuși și speciile foioase (mai ales stejarul și gorunul) cărora le pricinuiesc mari defecte.

Principalele insecte care atacă de preferință lemnul de foioase sunt: *cerambyx cerdo*, *lymexylon navale*, *xyleborus monographus*, *platypus cylindriciformis*, *ptilinus pectinicornis*, *zeuzera pyrina*, *cossus cossus*.

Cerambyx cerdo (croitorul mare al stejarului) poate fi întâlnit în lemnul mai multor specii de stejar și în special la arborii de la marginile pădurilor, expuși la soare. La început atacul este greu de identificat deoarece larva este mică și se dezvoltă în scoarță, mai târziu însă, când ea ajunge în zona cambială, atacul este de natură fiziologică și se soldează cu uscarea parțială a coronamentului. Din scoarță larva pătrunde în lemnul sănătos, săpând o galerie ovală, cu diametre de 15 - 45 mm. Pagubele cauzate de croitori sunt de temut deoarece afectează puternic rezistența lemnului. Cheresteaua rezultată prin debitarea lemnului de stejar care a suferit atacuri din partea croitorilor este de obicei inutilizabilă.

Lymexylon navale este o insectă care depune ouă pe trunchiurile de stejar sau de castan comestibil aflate în picioare sau doborâte, precum și pe lemnul ecarisat, preferând lemnul de construcție cu mult alburn, bogat în amidon. Larvele sapă galerii transversale și oblice, atacul fiind recunoscut după rumegușul de culoare brună-gălbui, care iese din orificiile galeriilor.

Xyleborus monographus este o insectă la care femela sapă o galerie de intrare de 2-8 cm lungime din care se ramifică mai multe galerii orizontale. Larvele rod suprafața galeriilor fără a săpa altele și se hrănesc cu sucurile din interiorul camerei lor. Galeriele săpate de Xyleborus sunt însoțite de ciuperca Ambrosia, din care cauză pereții lor sunt înnegriți.

Platypus cylindriciformis sapă galerii sinuoase în lemnul sănătos de stejar, fag și alte foioase, provocând deprecierea materialului lemnos.

Ptilinus pectinicornis (cariul lemnului de stejar) atacă în general lemnul de stejar și de fag, mai rar pe cel al altor foioase și sapă galerii în toate direcțiile.

Zeuzera pyrina (sfredelitorul punctat al ramurilor de frasin) este cel mai polifag lepidopter, atacând deopotrivă lemnul de frasin, salcie, paltin, ulm, nuc, tei, stejar, fag, castan, cireș, mesteacăn și

chiar lemnul pomilor fructiferi. Larva roade lemnul în regiunile unde are loc circulația sevei iar pagubele sunt în general mici și se produc mai mult izolat.

Cossus cossus (sfredelitorul roșu al tulpinilor) este unul dintre cel mai frecvenți fluturi ai pădurilor și larva sa este cea mai mare dintre distrugătorii ce se pot întâlni în pădurile Europei. Atacă aproape toate speciile foioase și evită în general coniferele. Larvele găuresc întâi scoarța, apoi lemnul sănătos sau cu un început de putrezire, urcând în trunchi prin galerii sinuoase.

1.3 Acțiunea mediilor agresive

Compoziția anatomică și chimică a lemnului îl face să prezinte o foarte bună rezistență în medii agresive în comparație cu oțelul sau betonul, amplasate în aceleași condiții. În timp ce structurile metalice au nevoie de aplicarea periodică a unor materiale de protecție iar structurile din beton necesită o verificare permanentă a stării lor, pentru evitarea fisurilor care pot duce la coroziunea armăturii, structurile din lemn folosite în mediu agresiv au nevoie de o întreținere foarte redusă, localizată în principal la elementele de asamblare.

Rezistența naturală a lemnului este suficientă pentru a evita atacul chimic și nu sunt necesare măsuri particulare de conservare fiind uneori chiar recomandabil ca suprafața prelucrată a lemnului folosit în medii agresive să nu fie acoperită cu produse de protecție care prin fisurare pot crea condiții de depozit pentru agenți chimici agresivi.

În situația când se produce un atac chimic de la suprafață (coroziune) reducerea de rezistență a lemnului se localizează pe adâncime în primii 10...20 mm în timp ce restul de secțiune rămâne intactă.

Agenții corozivi atacă în principal lignina și hemicelulozele și niciodată celuloza motiv pentru care lemnul de rășinoase, care are o cantitate mai mare de lignină prezintă în general o rezistență mai mică la coroziune decât lemnul de foioase.

Efectul diferitelor substanțe chimice asupra lemnului depinde de esența lemnului, agresivitatea produsului și timpul de expunere și temperatură.

Astfel s-a constatat că mediile cu valori ale pH = 3...10 precum și soluțiile de sare nu au nici un efect asupra lemnului iar mediul bazic duce la distrugerea lemnului mai ales în prezența unor temperaturi ridicate. Gazele corozive cum sunt amoniacul și formaldehidele nu au efect asupra lemnului dar bioxidul de sulf poate ataca lemnul când acțiunea sa este combinată cu umiditate și temperatură înaltă.

Un aspect deosebit îl prezintă elementele compuse realizate prin încleiere la care rezistența în medii agresive este influențată de tipul de aditiv folosit.

O acțiune particulară de atac chimic și cu efect asupra comportării mecanice a lemnului poate să intervină în zonele unde există un contact nemijlocit între lemn și piese metalice (elemente de îmbinare) pe suprafață mai mare. În aceste cazuri se recomandă ca piesele metalice să fie galvanizate, acoperite cu substanțe de protecție sau să se realizeze din oțel inoxidabil.

1.4 Acțiunea temperaturilor înalte

Datorită structurii interne și a caracteristicilor termice se poate spune că temperaturile ridicate nu afectează în mod deosebit proprietățile lemnului și comportarea sa.

Pentru temperaturii sub 60°C efectul asupra rezistenței lemnului poate fi ignorat iar temperaturile în jur de 100° C, deși conduc la o schimbare de colorație spre brun nu afectează rezistența lemnului. Schimbarea rezistenței începe de la temperaturi de peste 150°C iar accelerarea procesului se produce la 250°C, diminuarea progresează relativ lent de la exterior spre interior datorită conductibilității termice reduse a lemnului.

Acțiunea simultană a temperaturilor înalte și a umidității favorizează diminuarea rezistențelor și rigidității.

1.5 Acțiunea radiațiilor

Lemnul expus radiațiilor solare și în general sub acțiunea razelor ultraviolete își modifică structura într-o zonă superficială de la suprafață (max.1 mm grosime) printr-o colorație de suprafață în gri, realizându-se astfel o pseudo - carbonizare.

Efectul radiațiilor solare se poate manifesta însă prin încălzirea lemnului și variații de umiditate care au ca efect apariția deformațiilor.

Alte tipuri de radiații ca și radiațiile Gama, X sau micro-unde pot să ducă la modificări în structura internă a lemnului dar numai la nivele superioare de radiații care nu se întâlnesc în mod normal.

2. PROTECTIA LEMNULUI

Măsurile de protecție a lemnului și a derivatelor din lemn urmăresc conservarea lui și protecția împotriva distrugerilor provocate de ciuperci (putreziri) și insecte.

Se poate spune ca în condiții optime de exploatare lemnul poate să dureze perioade îndelungate fără deteriorări notabile și fără măsuri speciale de protecție. Dacă însă condițiile de lucru nu sunt corespunzătoare lemnul necesită tratamente de protecție în special împotriva agenților biologici. Trebuie realizate protecții și împotriva altor agenți destructivi cum ar fi de exemplu focul.

Aceste măsuri pot fi conceptuale sau sub formă de tratamente chimice de protecție.

Planificarea măsurilor de protecție și punerea lor în operă în special în cazul tratamentelor chimice trebuie să aibă în vedere următoarele:

- natura și gravitatea riscului (influența umidității, risc de incendiu, etc) ;
- tipul de lemn și corelația lui cu destinația;
- tipul tratamentelor realizate anterior;
- efectele secundare pe care le pot avea produsele chimice utilizate, funcție de destinația de folosire a lemnului;
- locul și timpul de execuție a tratamentelor (înainte sau după punerea în operă a lemnului);
- accesibilitatea elementelor pentru un eventual tratament ulterior;
- posibilitățile și experiența executanților;
- condițiile de verificare a măsurilor de protecție realizate

2.1 Durabilitatea naturală

Alegerea corespunzătoare a lemnului prin prisma durabilității naturale proprii, fără tratamente de protecție, reprezintă una din măsurile preventive de bază. Durabilitatea naturală trebuie corelată cu agentul de degradare și variază de la specie la specie dar și în cadrul aceleiași specii funcție de o serie de defecte.

Fată de atacul ciupercilor xilofage există /45/ : specii de clasa I- foarte durabile (cireș, stejar); specii de clasa II – durabile (frasin, salcâm); specii de clasa III- mijlociu durabile (pin, larice, cer); specii de clasa IV- puțin durabile (molid, brad, carpen, paltin, ulm); specii de clasa V- nedurabile (fag, mesteacăn, tei, anin, plop, salcie).

Fată de atacul insectelor xilofage există: specii de clasa D – durabil; specii de clasa M- durabilitate medie; specii de clasa S – sensibile.

La ora actuală există pe plan internațional normele EN 350-1, și EN 350-2 care unesc toate informațiile și rezultate cercetărilor din lume privind durabilitatea lemnului.

2.2 Măsuri preventive structurale

Măsurile preventive structurale au ca scop limitarea conținutului de umiditate din lemn prin reducerea riscului de umezire și prin crearea condițiilor de evacuare rapidă a umidității (în cazul umezirilor temporare) astfel încât să se evită depășirea limitei de umiditate de 20% sau să se limiteze zonele umezite.

Măsurile structurale trebuie precedate de măsuri inițiale cum ar fi:

- uscarea lemnului până la o umiditate optimă înainte de punerea lui în lucru;
- realizarea unor condiții optime de transport, stocare și montaj care să nu permită o creștere mare a conținutului de umiditate în aceste faze.

Având în vedere că umiditatea lemnului rezultă dintr-un bilanț între apa absorbită și cea evacuată este deosebit de important ca măsurile luate să evite sau să întârzie penetrația iar pe de altă parte să favorizeze evacuarea.

Dacă în anumite situații este imposibil de a opri penetrația apei este necesar de a prevedea un sistem de evacuare rapidă a apei pentru a evita depășirea umidității de 20%. Acest lucru poate fi realizat de exemplu prin adoptarea unor îmbinări cu decompresiune care să îmbunătățească ventilația (fig. 5.1).

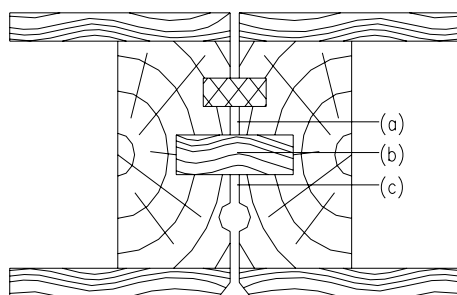


Fig.5.1. Realizarea îmbinărilor între panourile pentru pereți de lemn
a - îmbinarea etanșă la aer; b- element de îmbinare mecanică;
c - îmbinare de decompresiune.

Măsurile structurale trebuie să aibă în vedere în mod deosebit locul de amplasare a elementelor (exterior, interior, în contact cu solul, în contact cu alte elemente de construcție, etc.) din care rezultă majoritatea surselor care produc umezirea.

a) Măsurile preventive structurale a lemnului folosit la exterior.

Când lemnul este folosit la exterior în zone de influență a precipitațiilor nu este suficient să se realizeze numai măsuri de protecție chimică și trebuie luate măsuri pentru eliminarea umezirii, cum ar fi:

- realizarea unor streșine suficient de largi;
- evacuarea corespunzătoare a apelor de pe acoperiș cu prevederea de jgheaburi și burlane;
- realizarea unei distanțe de minimum 30 cm dintre partea superioară a solului și partea inferioară a peretelui din lemn, pentru evitarea stropirii;
- executarea elementelor și realizarea îmbinărilor între elemente expuse precipitațiilor astfel încât apa să se scurgă fără a atinge elementele situate în vecinătate sau sub acestea;
- evitarea sau acoperirea colțurilor, canturilor și îmbinărilor unde se poate acumula apa;
- alegerea profilelor corespunzătoare pentru construcții și placaje;
- asigurarea condițiilor ca umezite să se usuce rapid;
- acoperirea suprafețelor orizontale și oblice;
- protejarea tuturor extremităților lemnului care ies spre exterior;
- utilizarea de elemente metalice zincate sau din metal inoxidabil pentru fixare;
- realizarea unor îmbinări de elemente care să permită lucrul și deformarea fără consecințe dăunătoare.

În cazul lemnului folosit la exterior o atenție deosebită trebuie acordată îmbinărilor dintre elemente pentru a evita pătrunderea apei în aceste zone precum și pentru asigurarea condițiilor de ventilare a lor.

În toate cazurile de placaj exterior este recomandabil să fie asigurată aerisirea acestuia pe toată suprafața interioară prin crearea unui strat de aer interior. În fig. 5.2 și 5.4 sunt prezentate soluțiile de placări exterioare care asigură un strat de aer continuu vertical pe fața interioară atât în situația scândurilor așezate vertical cât și a celor așezate orizontal.

Depărtarea placajului de la suprafața elementului și realizarea unor orificii de intrare și evacuare asigură circulația de jos în sus a aerului din stratul interior favorizând evacuarea umezelii. Este recomandabil ca orificiile de intrare a aerului, plasate la partea inferioară și cele de evacuare de la partea superioară să aibă o suprafață de minimum 1/500 din suprafața peretelui.

Amplasarea verticală a scândurilor de placare este mai avantajoasă și este preferată deoarece dă o posibilitate de ventilație și prin circulația orizontală a aerului și asigură o evaporare mai rapidă a apei. Scândurile pot fi fixate simplu fără o prelucrare deosebită a îmbinărilor verticale (fig. 5.2a), prin folosirea diferitelor tipuri de îmbinări cu piese suplimentare (fig. 5.2b) sau prin prelucrarea canturilor (fig. 5.2b,c).

Se pot realiza îmbinări verticale și cu prelucrarea canturilor în lambă și uluc folosind fixări vizibile sau cu agrafe invizibile (fig. 5.2.c).

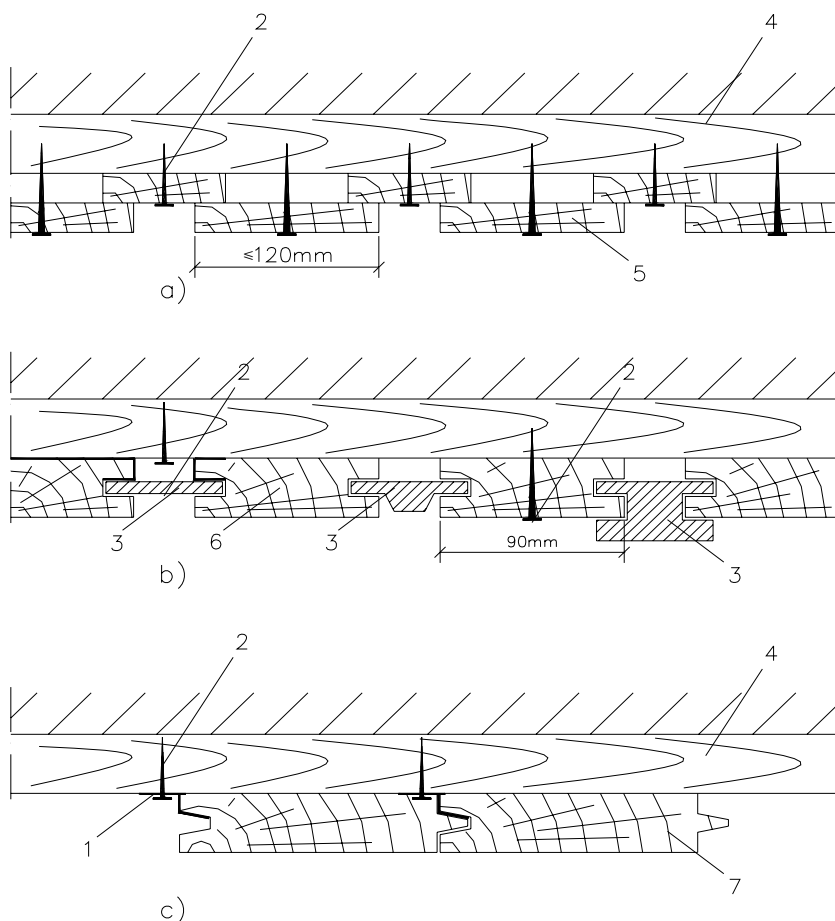


Fig.5.2 – Placări cu scânduri așezate vertical

a- îmbinare simplă cu scânduri așezate pe două rânduri și fără prelucrarea cantului;

b- îmbinarea scândurilor așezate pe un rând cu elemente de îmbinare și cu prinderea vizibilă sau cu agrafe invizibile;

c- îmbinare cu lambă și uluc.

1 - agrafă metalică; 2 - element de fixare (cui, horșurub, etc.); 3 - baghetă de îmbinare (din lemn, mare plastic, etc.); 4 - rigle orizontale; 5 – scânduri; 6 - scânduri verticale prelucrate pe cant; 7 - scânduri verticale cu lambă și uluc.

O atenție deosebită trebuie acordată, în cazul placărilor cu scânduri verticale, modului de realizare a îmbinărilor la colțuri. (fig. 5.3)

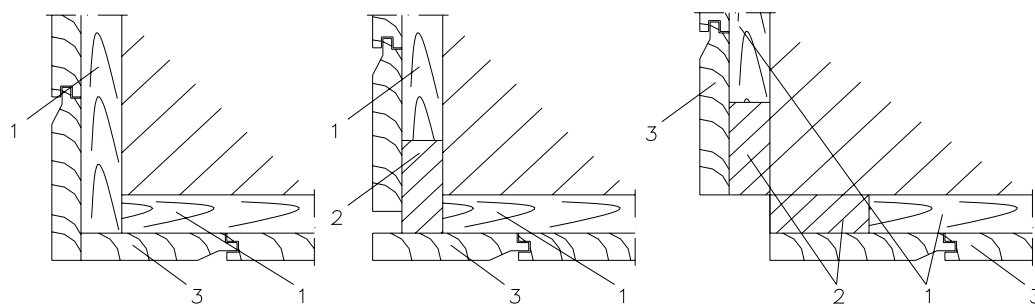


Fig.5.3 - Soluții de realizare a îmbinărilor la colțuri
1 - rigle orizontale; 2 - rigle verticale; 3 - scânduri verticale.

Folosirea scândurilor așezate orizontal este recomandabil să se facă prin suprapunerea lor pe o distanță de cel puțin 12% din lățime și minimum 10 mm (fig. 5.4).

Rosturile verticale formate între scândurile așezate orizontal reprezintă de asemenea, zone care impun o tratare specială. În principal este recomandabil ca extremitățile scândurilor să nu fie prelucrate și lăsate libere pentru a putea fi controlate în orice moment și eventual să poată fi tratate ulterior. Rosturile dintre scânduri se închid cu diferite materiale de etanșare care trebuie să permită și eventualele mici deplasări.(fig. 5.5).

Îmbinările la colțuri ale elementelor orizontale se realizează după aceleași principii ca și la scândurile montate vertical (fig. 5.6)

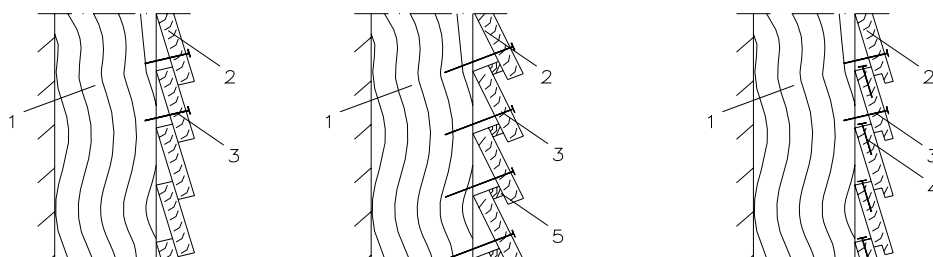


Fig. 5.4- Placări cu scânduri așezate orizontal

1 - riglă verticală; 2 - scânduri orizontale simple sau având un cant prelucrat; 3- elemnt de fizare (cui, horșurub); 4- elemnt de fixare la partea inferioară; 5- șipcă distanțer

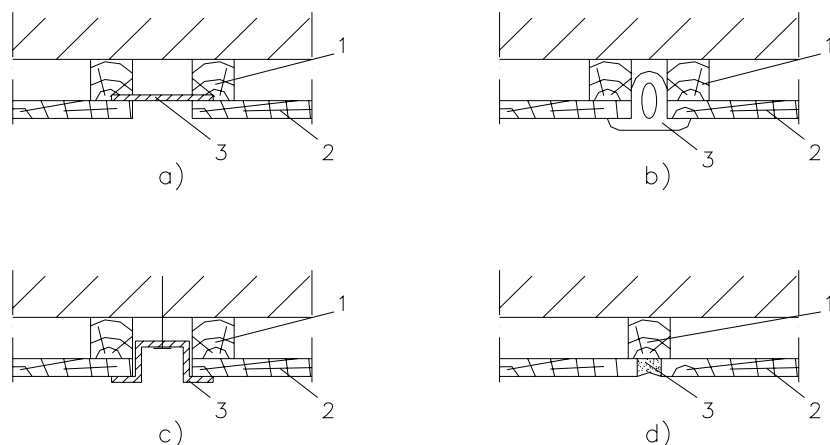


Fig. 5.5 Realizarea rosturilor verticale la scânduri așezate orizontal

a- cu fâșie de etanșare din lemn rezistent; b- cu profil cu gol interior; c- cu profil din metal sau mase plastice; d- cu material elastic de etanșare.
1 - rigle verticale; 2 - scânduri orizontale; 3 - material de etanșare a rostului.

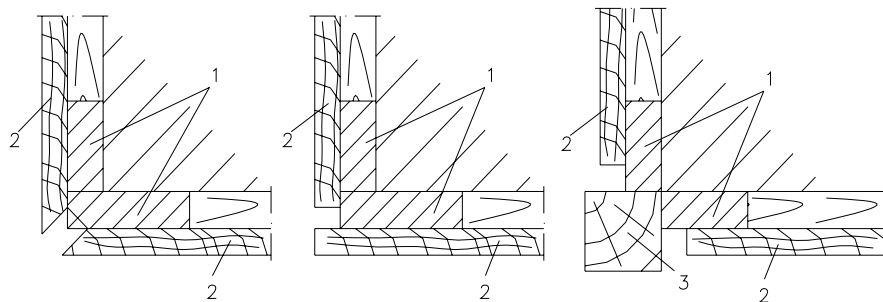


Fig. 5.6 Realizarea îmbinărilor la colțuri la scânduri așezate orizontal
1- riglă verticală; 2- scânduri orizontale ; 3 - riglă verticală de colț.

Din condiții de asigurare a contravântuirii și în anumite situații scândurile pot fi așezate și înclinat la 45%. În aceste condiții este preferabilă așezarea scândurilor în „V” creându-se astfel posibilitatea evacuării apei prin greutate și prin evaporare la capetele scândurilor (fig.5.7).

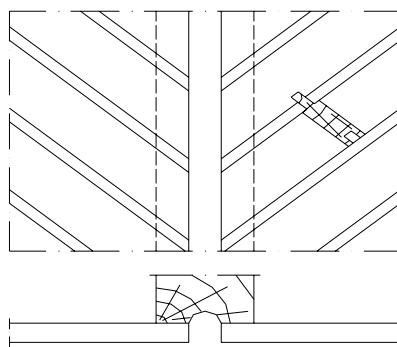


Fig. 5.7 Placări cu scânduri așezate în V

b) Măsuri preventive structurale la contactul lemnului cu alte materiale.

Pentru prevenirea infiltrațiilor de apă provenite de la alte materiale este necesară o izolare, hidrofugă a lemnului în zonele de contact (fig. 5.8, fig. 5.9) între:

- grinzi, stâlpi sau panourile de lemn și zidărie sau beton;
- părțile masive și elementele planșelor realizate din lemn.

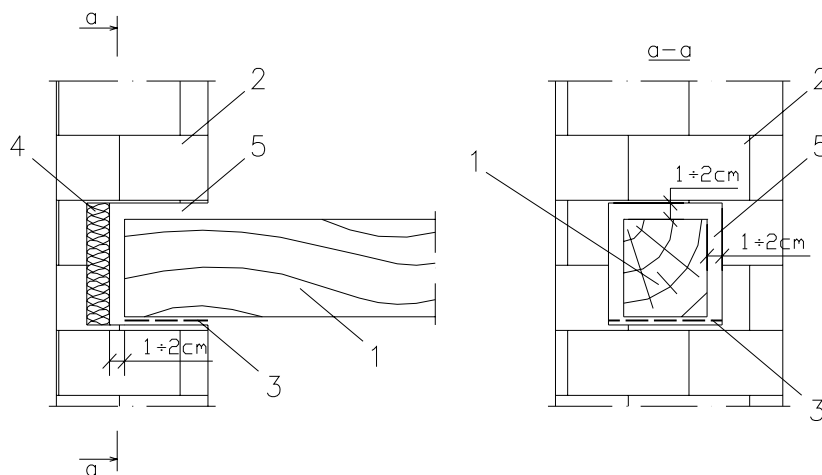


Fig.5.8. Realizarea rezemării grinzilor pe elemente masive (zidărie, beton)
1 - grindă; 2 - perete; 3 - hidroizolație; 4 - termoizolație; 5 - strat de aer.

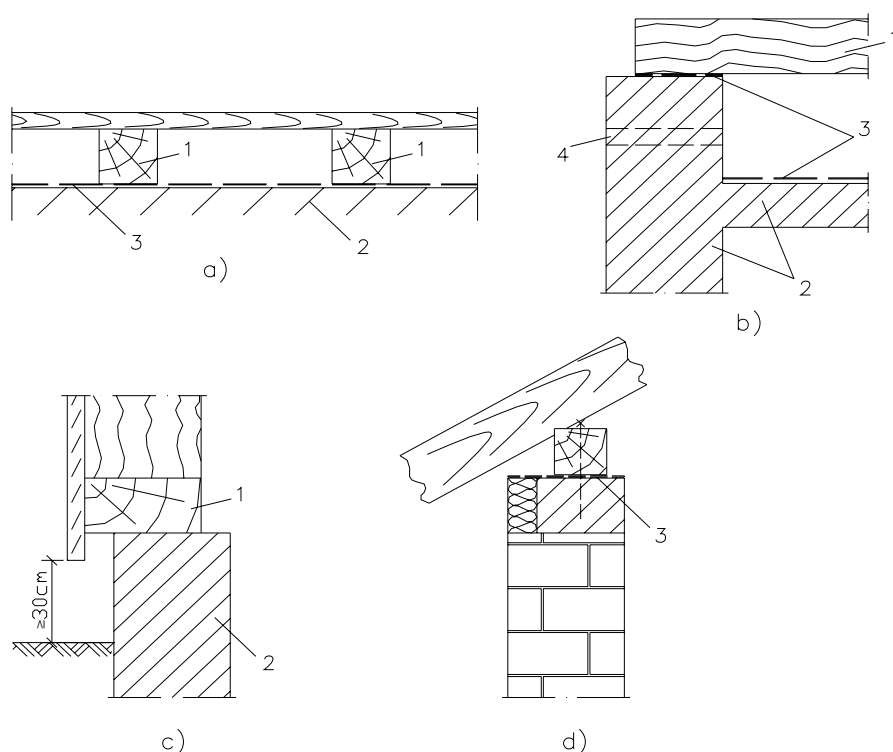


Fig.5.9 Protecția hidrofugă a lemnului la contactul cu elemente masive (ziduri, fundații)
a - planșeu pe un suport masiv; b - planșeu cu zonă de aer între elementul masiv (teren, beton) și elemente din lemn; c - panouri de pereți rezemate pe fundații; d - pane de streășină rezemate pe centurile zidurilor; 1 - elemente de lemn; 2 - element masiv (placă de beton, teren, fundații, zidării); 3 - izolație hidrofugă; 4 - orificii de ventilare (minimum 1/500 din suprafața zonei de sub planșeu); 5- zona de aer.

Pe lângă separarea propriu-zisă a zonelor de contact cu folii hidroizolatoare este recomandabil să se ia măsuri constructive ca aerul să poată circula la suprafața părților din lemn (capete de grinzi sau stâlpi). În acest sens la capetele grinzilor încastrate în elemente masive (zidărie, beton) se prevede un strat de aer ventilat de 1÷2 cm iar la capătul grinzii se va realiza o izolație termică (fig. 5.8).

La stâlpii care se reazemă pe fundații este recomandat ca să se realizeze o distanță între capătul lor și fundație iar când se folosesc piese metalice acestea nu trebuie să închidă complet baza stâlpului, pentru a asigura o ventilație corespunzătoare a lemnului (fig. 5.10).

c) Măsuri constructive de prevenire a umezirii din condens și a umezelii din încăperile umede.

În cazul elementelor de închideri exterioare sau la elementele care separă încăperi cu microclimat diferit în zonele de îmbinări sau în cele cu nervuri se pot produce fenomene de condens. Fenomenele de condens se evaluează în funcție de condițiile de exploatare rezultând dimensiunile necesare pentru materialele și soluțiile de izolare termică. Trebuie să se adopte însă și măsuri constructive cum ar fi:

- prevederea unui ecran împotriva vaporilor la fața interioară a elementelor și o barieră de vaporii la fața caldă a termoizolației;
- prevederea unei zone de aer bine ventilată între elementele de lemn sau în structura elementelor.

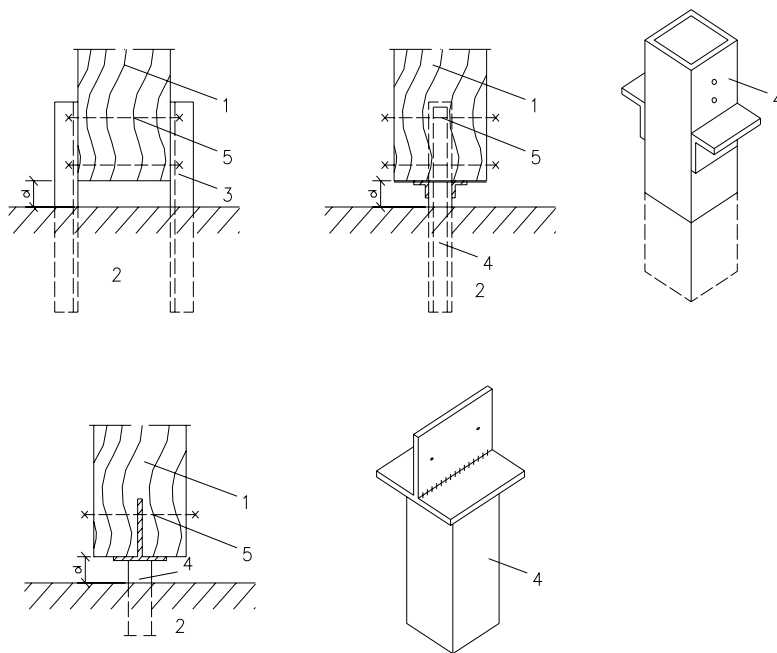


Fig.5.10 Soluții de realizare a rezemării stâlpilor pe fundații
1 - stâlpi de lemn; 2 - fundații; 3 – elemente metalice exterioare;
4 - elemente metalice de rezemare interioară; 5 - buloane.

În locurile cu umiditate ridicată (bucătării, băi) sau în cele unde lemnul poate să vină în contact direct cu apa măsurile constructive, care completează tratamentele chimice absolut necesare, constau în ventilația corespunzătoare a lemnului, alegerea esențelor de lemn sau a derivatelor din lemn corespunzătoare, realizarea unor îmbinări etanșe sau bine ventilate.

2.3 Protecția chimică

În afară de măsurile preventive legate de durabilitatea naturală și alcătuirea structurală corespunzătoare a elementelor de lemn modul de comportare în timp a lor depinde mult de măsurile de protecție chimice preventive. Aceste măsuri se aplică la elementele portante dar în anumite cazuri ele pot fi aplicate și la elementele neportante și se fac în mod normal înainte de punerea în operă a lemnului existând însă și situații când realizarea se face ulterior.

Eficacitatea tratamentelor chimice depinde de esența lemnului, tipul produsului, cantitatea de produs absorbită de lemn, repartitia produsului la suprafața lemnului și de adâncimea de impregnare.

În privința posibilităților impregnare se disting patru clase de lemn și anume:

Clasa 1- lemn ușor de tratat, când lemnul debitat poate fi penetrat cu un tratament sub presiune, fără dificultăți;

Clasa 2 – lemn destul de ușor de tratat, când o penetrare completă nu e posibilă dar după un interval de 2-3 ore cu un tratament sub presiune se atinge o adâncime de impregnare mai mare de 6 mm;

Clasa 3- lemn dificil de tratat, când cu un tratament sub presiune de 3-4 ore se obține o impregnare de 3..6mm;

Clasa 4- lemn imposibil de tratat, când o cantitate foarte mică din produsul de impregnare este absorbită după 3..4 ore de tratament sub presiune.

Produsele folosite la tratare se pot grupa în trei categorii și anume: produse pe bază de ulei; produse organice în fază de solvent; soluții de săruri solubile în apă.

Produsele pe bază de ulei sunt derivați organici insolubili în apă și se obțin în principal prin distilarea carbonului. Cele mai importante produse din această grupă sunt gudronul de ulei, uleiul de

creuzet, gudronul de lemn din șisturi bituminoase și de turbă, țițeiul. Produsele se folosesc la lemnul uscat sau semi uscat deoarece penetrarea se face prin capilaritate. Aceste produse au o serie de dezavantaje legate de miros, toxicitate, greutate de vopsire ulterioară și din acete cauze ele sunt limitate și folosite doar pentru lucrări exterioare (stâlpi de telecomunicații și transport energie, poduri, traverse de cale ferată, etc.).

Produsele organice solubile în apă (fungicide sau / și insecticide) sunt soluții cu solvent care poate fi volatil sau nu. Cele mai des folosite sunt produsele care utilizează ca solvent volatil white-spiritul. Caracteristicile principale ale acestor produse sunt posibilitatea de penetrare când sunt aplicate la suprafață și absența variațiilor dimensionale.

Soluțiile pe bază de săruri folosesc săruri metalice dizolvate în apă (clorură de zinc, sulfat de cupru, clorură de mercur, fluorura de sodiu, fluosilicat de sodiu, etc.). Produsele penetrează normal sub presiune în lemn și tratamentul necesită uscarea ulterioară a lemnului. Soluțiile de săruri sunt cele mai utilizate la structurile din lemn atât la exterior cât și la interior și dau rezultate foarte bune la clase de risc mare pentru lemn. Produsele folosite pot avea inclus în ele diferiți agenți impermeabilizanți și coloranți iar pelicula formată la suprafață poate fi opacă sau transparentă.

Există la ora actuală și alte tipuri de produse și anume:

- produse mixte care conțin săruri metalice (80-90%) și derivați organici solubili în apă;
- substanțe antiseptice gazoase (anhidridă sulfuroasă, aldehydă formică) folosite pentru dezinfecție la suprafața lemnului;
- paste pe bază de fluorură de sodiu sau fluosilicați, folosite la lemn care nu este direct sub acțiunea umidității.

Tratamentul cu substanțe chimice cuprinde un ansamblu de metode și tehnici și are ca scop penetrarea produsului în lemn și obținerea unei suficiente adâncimi de penetrare și a unei repartiții uniforme a cantității de produs de protecție. Tratamentul se execută inițial sau după ultima operație de finisare a elementelor și de montajul lor. Dacă, în mod excepțional, tratamentul se aplică după montaj suprafețele de contact între elemente și zonele inaccesibile trebuie tratate anterior.

Aplicarea tratamentului poate fi realizat fără presiune, (pensulare, pulverizare, scufundare, difuzie) sau cu presiune (impregnare cu vid, impregnare cu vid și presiune).

Procedeele fără presiune asigură o bună protecție și sunt suficiente pentru marea majoritate a elementelor de lemn. Aplicarea tratamentului prin pensulare sau pulverizare se face în două etape.

Tratamentul prin scufundare se face în mod curent într-o singură fază care durează de la câteva secunde la câteva minute (cantitatea de produs absorbit depinde de suprafața lemnului și este de aproximativ 200 ml/mp la lemnul brut și 80...120 ml/mp la lemnul prelucrat). Pentru a mări cantitatea de produs absorbită scufundarea se poate repeta după o uscare prealabilă.

Impregnarea prin difuzie se realizează prin imersarea lemnului, timp de câteva ore sau zile, în lichidul protector conținut într-o cuvă deschisă. Cantitatea de produs absorbit depinde de tipul lemnului, dimensiunile pieselor și concentrația produsului. Penetrarea poate fi accelerată prin impregnarea la cald - rece care constă în imersarea alternativă într-un lichid rece și apoi într-un lichid cald, cu temperatura de 60°C....80°C.

Procedeele sub presiune se aplică în cuve închise (autoclave) în mai multe etape și cu presiuni diferite. În metoda cu vid și presiune lemnul este introdus în autoclavă și supus unei subpresiuni (30 minute) pentru a elimina aerul din celule. Produsul de protecție este introdus sub forma lichidă și se aplică o presiune de 0,8...1,5 N/mm² timp de minimum 60 de minute. În faza finală se aplică o subpresiune care asigură îndepărtarea excesului de lichid de la suprafața lemnului. Procedul poate fi modificat prin renunțarea la subpresiunea inițială și umplerea autoclavei cu produsul de impregnare la presiunea atmosferică și aplicarea ulterioară a presiunii de impregnare timp de 2...12 ore.

Procedul cu dublu vid constă în supunerea inițială a lemnului la subpresiune timp de minimum 10 minute, apoi produsul de impregnare este introdus iar impregnarea se face sub presiune atmosferică sau la o presiune scăzută (maximum 0,2 N/mm²). Timpul de subpresiune finală este mai lung decât în procedul cu vid și presiune.

Impregnarea în cuvă sau sub presiune este necesară pentru: lemnul folosit la construcții închise și care poate atinge umiditate peste 18%, la lemnul folosit acolo unde poate să apară condensul și la elemente de lemn cu grosimi peste 4 cm supuse precipitațiilor.

În ultima perioadă de timp au apărut elemente noi referitoare la tehnologiile și substanțele de tratare a lemnului legate de prețul produselor și efectul produselor folosite asupra mediului și asupra omului. Astfel normele din diferite țări interzic unele produse sau limitează folosirea altora. De asemenea au apărut noi produse mai puțin dăunătoare.

Exigențele referitoare la mediu și sănătate impun ca:

- produsele de protecție să fie netoxice pentru om și mediu;
- tratarea trebuie să se realizeze la produse finite când dimensiunile sunt aproape de cele de punere în operă pentru a limita deșeurile de lemn tratat;
- operațiunile de tratare trebuie să excludă emisiunile tonice și nu trebuie să contamineze solul, aerul sau apele;
- excedentul lemnului tratat trebuie reciclat sau eliminat cu minimum de efect asupra mediului.

BIBLIOGRAFIE

- /1/ ANDRIAMITANTSOA L. - Analyse des modélisations des assemblages bois claués application panneaux de particules sur bois et bois sur bois. Annales L' I.T.B.T.P, m.484, 1990, Paris.
- /2/ ARGOUGES MM.,s.a - Les poutres bois profilées a âme contreplaqué. Conception, fabrication, mis en oeuvre. Annales L' I.T.B.T.P, nr.454 și nr.458, mai,octobre, 1987, Paris.
- /3/ AMENDOLA M., - La tecnologia del legno lamellare. Convegna " Risorsa legno: tecnologia, architettura, arte", vol.2, 26-27 att.1990, Trento.
- /4/ BIGER M., s.a - Recueil de contributions au calcul des éléments et structures en bois. Annales L' I.T.B.T.P., nr.46, Juillet-août, 1988, Paris.
- /5/ BIGER J.P., - Résistance au contreventement des murs en assature bois, Annales L' I.T.B.T.P, nr.476, août-septembre, 1989, Paris.
- /6/ CENCI G., - Strutture in legno. Calcolo e costruzione con riferimento alla DIN 1052. Paluton Editrice, 1980, Milano.
- /7/ COTTA N.L., CURTU I., SERBU A. – Elemente de construcții și case prefabricate din lemn. Ed. Tehnică, București, 1990.
- /8/ CURTU I., ROȘCA C., - Reologia lemnului. Repografia Universitatea TRANSILVANIA Brașov, 1993.
- /9/ DAGUZÈ M. - Les appareils d'oppui à base d'elestomère. Annales L' I.T.B.T.P., nr.497, octobre 1991, Paris.
- /10/ DESCLOS P. M. - Leggero, prefabbricato, antisismico. Rev. Specializzata Edilizia, Nr.2, marzo 1991.
- /11/ DESCLOS P : M. - Lamaison a assature bois en Italie. Annales L'I.T.B.T.P., nr.479, décembre 1989, Paris.
- /12/ FLEȘERIU I. P. - Construcții din lemn. Vol. I, Editura Didactică și Pedagogică, 1962, București.
- /13/ GIORDANO G. - La moderna tecnica delle costruzioni in legno. Editore Ulrico Noepi, 1976, Milano.
- /14/ GÖTZ K. H., HOOR D., MOHLER K., NATTERER J. - Construire en bois. Presses polytechniques romandes, Lausanne.
- /15/ GUITARD D. – Fluage et structure du bois. Annales L' I.T.B.T.P., nr. 469, décembre 1988, Paris.
- /16/ HAGSTEDT J. – Constructions en bois en Suède. Annales L' I.T.B.T.P., nr.479, décembre 1989, Paris.
- /17/ HUET C. - Le fluage du bois en flexion: rôles de la température et de l'humidité. Annales L'I.T.B.T.P., nr 469, décembre, 1988, Paris.
- /18 / IOVINO R. - La sigurezza antiincendio negli edifici con elementi costruttivi in legno. Convegno „Risorsa legno:tecnologia, architettura, arte”, vol.2, 26-27 att. 1990, Trento.
- /19/ LOBEL Y. - Performances des constructions à structures bois, soumises aux sollicitations seismiques. Annales L' I.T.B.T.P., nr.481, février 1990, Paris.
- /20/ LYOT M.G. – Déformations engendrées par le retrait dans les éléments courbes en bois lamellé – collé. Annales L' I.T.B.T.P., nr.497, octobre 1991, Paris.
- /21/ MANUSCIAC D. - Construcții moderne din lemn, Ed. Tehnică, București, 1997
- /22/ MENICALI U. - Legno olimpico. Rev. Construire, nr. 113, ottob.1992,
- /23/ MERCEA G. - Construcții din lemn. Centrul de multiplicare, Universitatea Politehnica Timișoara, 1998.
- /24/ MILLEREUX D. - La distribution des efforts horizontaux sur les refends et pignons des constructions a ossature bois. Annales L' I.T.B.T.P., nr.463, mars-avril 1988, Paris.
- /25/ MORLIER P., - Résistance a long terme du bois, Annales L' I.T.B.T.P., nr.469, décembre 1988, Paris.
- /26/ NATTERER J., HERZOG T., VOLZ M. – Holzbau Atlas Zwei. Institut fur internationale Architektur – Dokumentation, 1991, Munchen.

-
- /27/ PERCHAT M. – Calcul des éléments et structures en bois initiation aux états limites. Principes généraux. Annales L'I.T.B.T.P., nr.497, octobre, Paris.
- /28/ RACHER PATRICK s.a - Structures en bois aux états limites. Matériaux et Bases de calcul. Ed. Eyrolles, 1996, Paris.
- /29/ RACHER PATRICK s.a - Structures en bois aux états limites. Calcul de structure. Ed. Eyrolles, 1997, Paris.
- /30/ RACHER P.; VERGNE A: _ Recueil de contribution au calcul des éléments et structures en bois. Volume contraint et effet d'échelle. Annales L'I.T.B.T.P., nr.497, octobre 1991, Paris.
- /31/ RACHER P., GALIMARD P. – Les assemblages de structures bois. Annales L'I.T.B.T.P., nr.504, juin 1992, Paris.
- /32/ TRUONG M. ș.a - Charpentes en bois lamellé -collé . Guide pratique de conception et de mise en oeuvre. Ed. EYROLLES, 1976, Paris.
- /33/ TOWNSLEY W. – La maison a ossature bois en Grande – Bretagne. Annales L' I.T.B.T.P. nr. 479, décembre 1989, Paris.
- /34/ VIDON M., TETARD M. – Encostrement plateau-traverse par couronnes de boulores en locaux dos st chauffés. Annales L' I.T.B.T.P., nr.497, octobre 1991, Paris.
- /35/ ZELLER E., - Performances des constructions en bois et maintenance. Annales L' I.T.B.T.P. nr.492, mars – avril 1991, Paris.
- /36/ ● ● ● Structures en bois aux états limites. Introduction à l' Eurocode 5 – Matériaux et bases de calcul Ed. Eyrolles, 1996, Paris.
- /37/ ● ● ● Structures en bois aux états limites. Introduction à l'Eurocode 5 - Calcul de structure, Ed. Eyrolles, 1997, Paris.
- / 38 / ● ● ● Eurocode 5, Calcul des structures en bois, part 1.1,.Règles générales et règles pour les bâtiments. Norme P21- 711, Ed. Eyrolles, Paris.
- /39/ ● ● ● Manuel de calcul des charpentes en bois. Canadian Wood Council, 1991, Ottawa.
- /40/ ● ● ● Cod pentru calculul și alcătuirea elementelor de construcții din lemn. NP. 005-2003. Buletinul Construcțiilor. Vol.12, 2003, București.
- /41/ ● ● ● EUROCODE 5 – Design of timber structures. Part 1.2 – General rules supplementary rules for structural fire desing. ENV 1995 –1-2
- /42/ ● ● ● EUROCODE 1 – Basis of desing and actions on structures, 1995
- /43/ ● ● ● EUROCODE 1 – Basis of desing and actions on structures. Part 2.2 – Actions on structures exposed to fire.ENV 1991-2-2
- /44/ ● ● ● EUROCODE 1 – Plansee compuse lemn-beton. Faza 1.1 – Studiu de sinteză asupra cercetărilor efectuate până în prezent asupra planșeelor compuse lemn-beton. INCERC, Filiala Timișoara, Contract nr. 34484/2002
- /45/ ● ● ● - Normativ privind proiectarea construcțiilor din lemn NP. 018-2003 (revizuire NP 005-96)
- /46/ ● ● ● - Normativ privind calculul structurilor de rezistență din lemn amplasate în zone seismice NP 019-2003 (Completare P100)
- /47/ ● ● ● - Brandschutz im Holzbau. Schweizerischer Ingenieur – und Architekten-Verin, Zurich, 1997
- /48/ ● ● ● - Norme tehnice privind ignifugarea materialelor și produselor combustibile din lemn și textile utilizate în construcții, C58-96
- /49/ ● ● ● SR EN 518-1998 –“Lemn pentru construcții. Clasificare. Condiții pentru standardele de clasificare vizuală după rezistență”.
- /50/ ● ● ● SR EN 599/1,2-1998 –“Durabilitatea lemnului și a materialelor derivate din lemn”.
- /51/ ● ● ● SR EN 335/1,2-1997 –“Durabilitatea lemnului și a materialelor derivate din lemn. Definirea claselor de risc de atac biologic”
- /52/ ● ● ● SR EN 336 –“ Lemn de construcții. Rășinoase și plop. Dimensiuni și abateri admisibile”