

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 concavitatea 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, deasemenea, 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 $(3...6) \times 10^{-6}$ are importanță practică în comparație cu valoarea perpendiculară pe fibre care este de $(10...15) \times 10^{-6}$. 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 căldurii specifice, pentru o umiditate ω și o temperatură Θ_w , cu relația :

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

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

unde:

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

$c_{ap\grave{a}} = 4200 \text{ J/kg K}$ – 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:

σ_{12} , τ_{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 normale 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 rezistența 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).

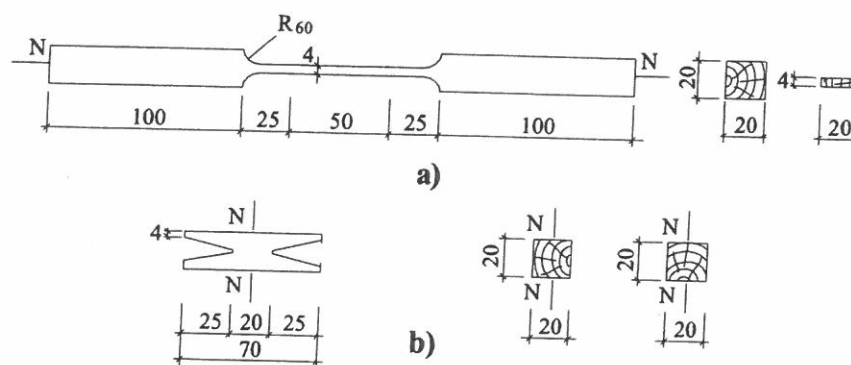


Fig. 2.7 – Epruvete pentru determinarea rezistenței la întindere
a) – pentru întindere paralelă cu fibrele;
b) – pentru întindere perpendiculară pe fibre

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 mărirea 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 repartiția 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.

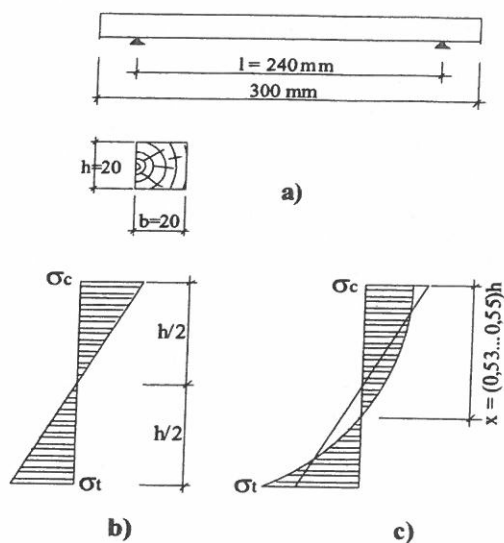


Fig. 2.8 – Determinarea rezistenței la încovoiere
 a) – epruvete și mod de încercare; b) – diagrama de eforturi în stadiul elastic; c) – diagrama de eforturi la rupere

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).

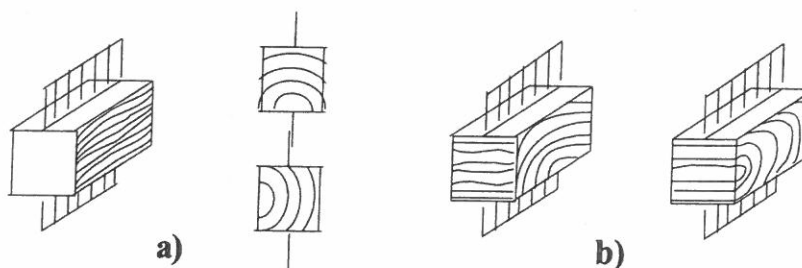


Fig. 2.9 – Determinarea rezistenței la forfecare
 a) – forfecare paralelă cu fibrele (radial sau tangențial la inelele anuale);
 b) – forfecare perpendiculară pe fibre

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 perpendiculară 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.....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 (τ_{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 încovoiator ($M = F.e$) 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).

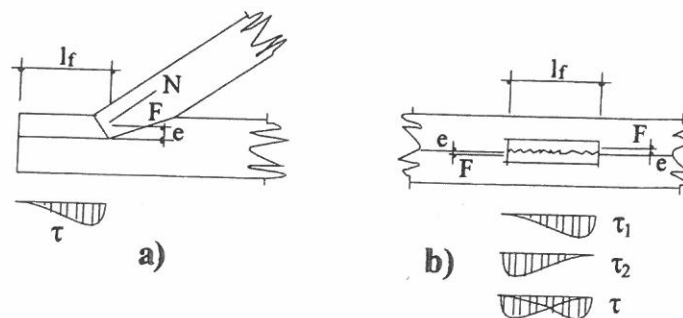


Fig. 2.10 – Solicitare de forfecare la îmbinări
a) – îmbinare prin chertare frontală (forfecare unilaterală);
b) – îmbinare cu pene prismatice (forfecare bilaterală);

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 $\pi^3/2$ la elemente cu secțiune circulară (r este raza secțiunii) și $\alpha h^3/b^2$ 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/.

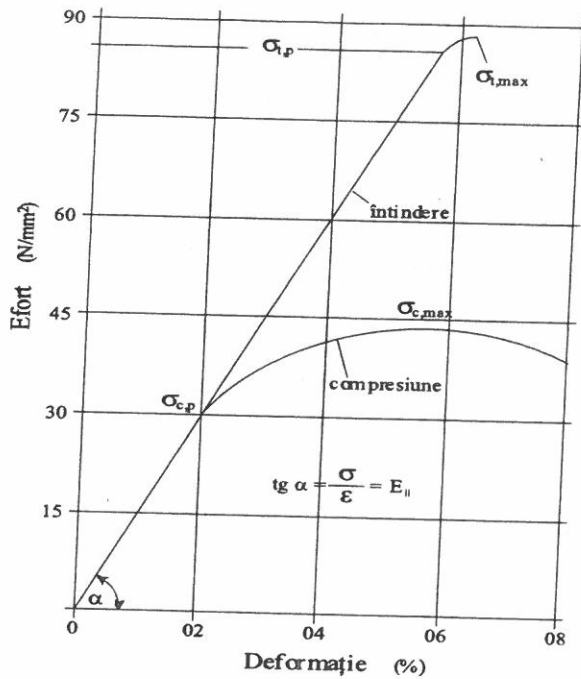


Fig. 2.11 – Curbele efort-deformație pentru întindere și compresiune

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:

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

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.

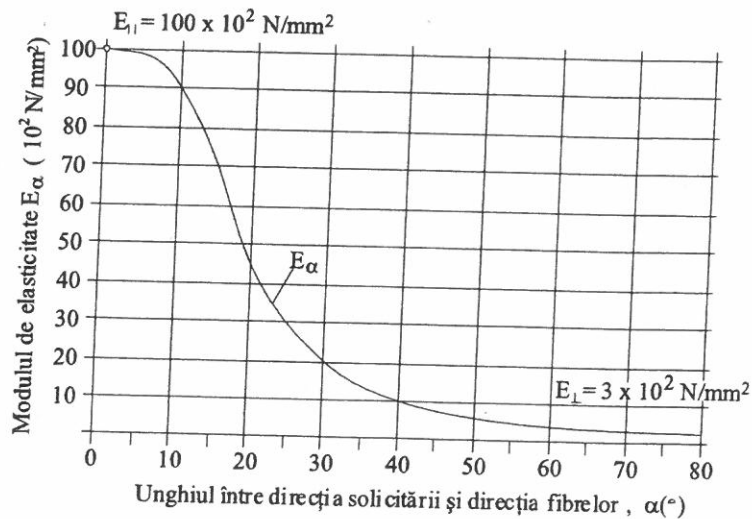


Fig. 2.12 – Variația modulului de elasticitate funcție de unghiul dintre direcția solicitării și direcția fibrelor, /17/

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 solicitare 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

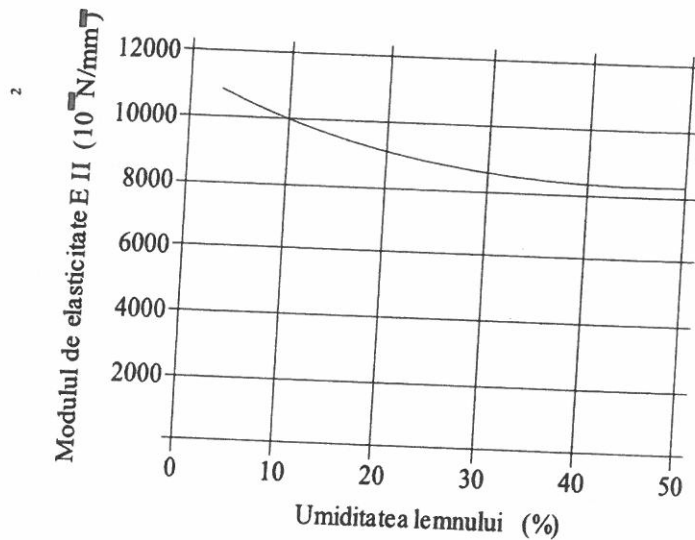


Fig. 2.13 – Variația modulului de elasticitate în funcție de umiditate lemnului, /17/

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

Specia	Valorile caracteristice ale modulului de elasticitate /40/			
	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	8000	10 000
Stejar, gorun, cer, salcâm	9 500	11 500		
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 structură 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.

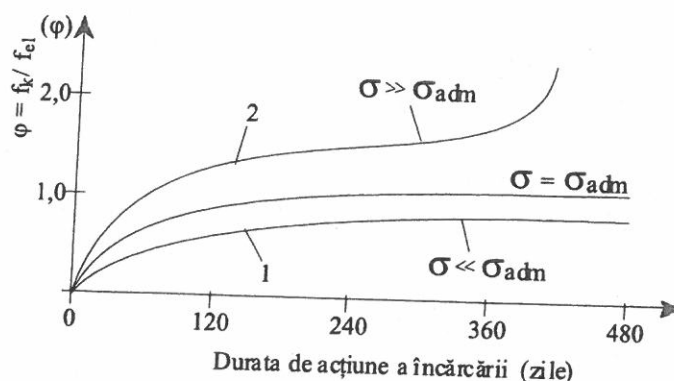


Fig. 2.14 – Curbele de deformare în timp a elementelor încovoiate

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:

$$\epsilon_{tot} = \epsilon_{el} + \epsilon_{\phi} = \sigma/E (1 + \phi) \quad (2.17)$$

unde:

$\phi = \epsilon_{\phi} / \epsilon_{el}$ - 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:

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

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

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

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 visco-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 duc 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 solicitări.

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 înleiat. 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 înleiate.

Tabelul 3.1
Rezistențele caracteristice (N/mm^2) pentru lemn masiv de rășinoase / 38/

Solicitarea	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 ne paralelă cu fibrele	$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
Compre- siune perpendicu- 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/mm^2) 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
Compre- siune paralelă cu fibrele	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Compre- siune 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 ... 6 luni	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 încleiat 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 încleiat

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

Pentru elemente din lemn încleiat 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 $0,01 \text{ m}^3$.

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 încleiat cu secțiune variabile și supuse la încovoire 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 încleiate 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 modulului 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:

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

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

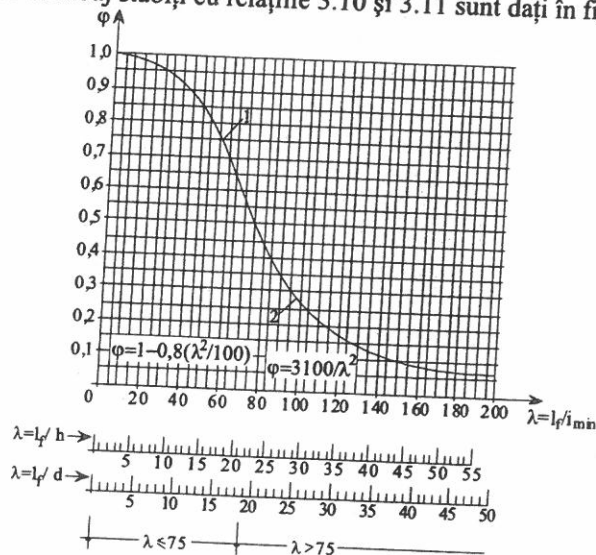


Fig.3.1 – Variația coeficientului de flambaj în funcție de zveltețe

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

Tabelul 3.4

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	0.080	0.079
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 articulată. 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 deformație 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:

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

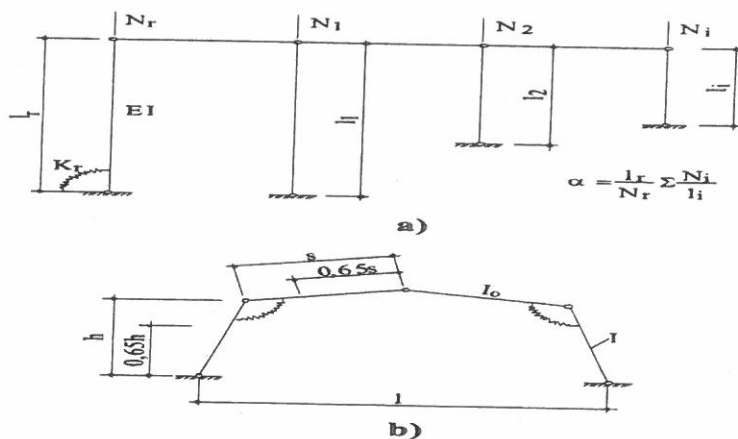
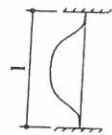
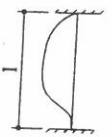

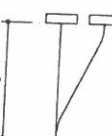
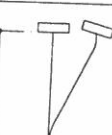
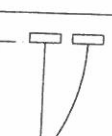
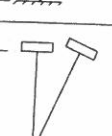


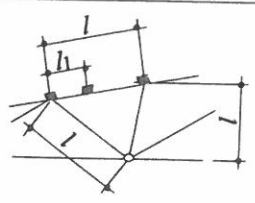
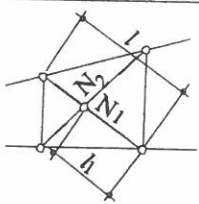
Fig. 3.2 – Determinarea lungimii de flambaj la cadre obișnuite
a) – cadru cu stâlpi dublu articulați stabilizați cu un stâlp încastrat;
b) – cadru cu trei articulații

Tab. 3.5

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

Lungimi de flambaj la barele grinzilor cu zăbrele

Tab. 3.6

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 în 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:

$$l_f = 2 s_1 + 0,7 s_0 \quad (3.16)$$

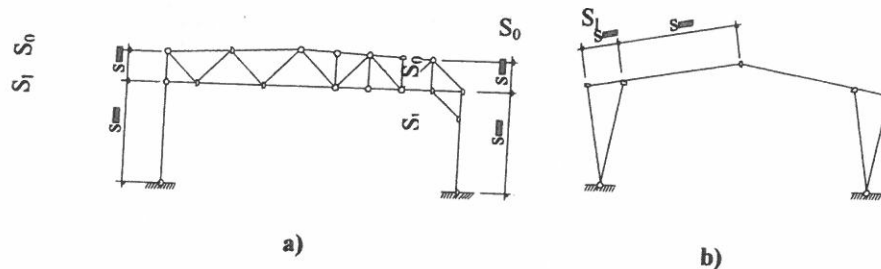


Fig. 3.3 - Cadre cu rigla grindă cu zăbrele (a) și cadre cu stâlpi în V (b)

Pentru arce cu două sau trei articulații cu secțiune constantă și raportul dintre înălțimea la cheie și deschiderea arcului (h/l) de $0,15 \dots 0,5$, 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

Nr. crt.	Denumirea elementelor	Coeficienții de zveltețe maximi admiși /40/	
		Coeficienți de zveltețe maximi admiși	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:

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

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

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

Efortul critic ($\sigma_{c,crit}$) 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.

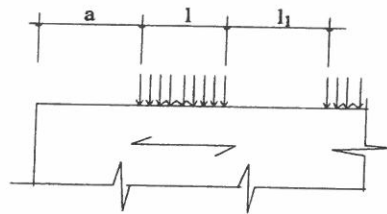


Fig. 3.4 – Compresiune perpendiculară pe fibre

Tabelul 3.9

Valorile coeficientului $k_{c,90}$ / 41 /			
$l_1 \leq 150$ mm		$l_1 > 150$ mm	
		$a \geq 100$ mm	$a < 100$ mm
$l \geq 150$ mm	1	1	1
$150 \text{ mm} > l > 15$ 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:

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

unde:

$\sigma_{c,a,d}$ - 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.

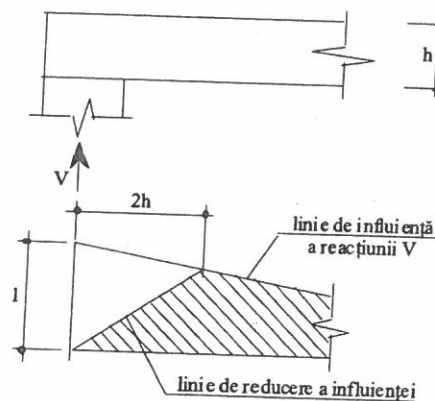


Fig. 3.5 – Reducerea influenței reacțiunii în funcție de punctul de încărcare

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.

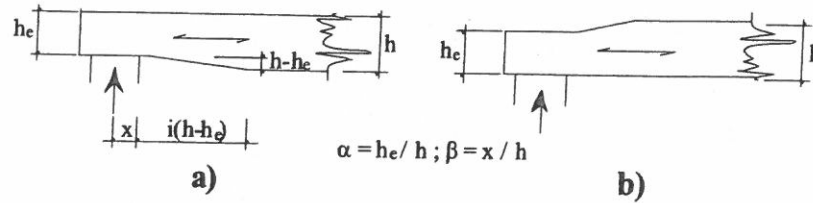


Fig. 3.6 – Caracteristicile grinzilor prelucrate la capete
a) – prelucrate la intrados; b) – prelucrate la extradados
 direcția fibrelor

Coeficientul de reducere k_v are valoarea 1.0 când slăbirea este la extradados 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 încleiat;
 i - panta prelucrării;
 α, β – coeficienți, cu notațiile din fig.3.6.

Pentru grinzile din lemn încleiat 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 ($G I_{\text{tor}}$);
- 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:

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

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:

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

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:

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

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

Schemă 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

flambajului atât în zona comprimată cât și în zona întinsă

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 $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$;

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

(3.32)

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:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_{crit} \cdot k_{1s} \cdot k_h \cdot f_{m,k} / \gamma_M \quad (3.35)$$

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_{1s} – 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 întâlnește 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_{1s} 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 înleiat. Experimental s-a constatat că pentru înălțimi mai reduse rezistențele cresc datorită efectului eforturilor de compresiune.

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	-	-

	Dură 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

Material	Clasa de serviciu		
	Valorile coeficientului $k_{def} / 38 /$		
	1	2	3
Lemn masiv, Lemn încleiat	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

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

Tipul structurii	Tipul săgeții	
	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**

$$u_{2,inst} \leq 1/300 \text{ la grinzi și } 1/150 \text{ la console.}$$

- pentru **deformații finale**

$$u_{2,fin} \leq 1/200 \text{ la grinzi și } 1/100 \text{ la console;}$$

$$u_{net, fin} \leq 1/200 \text{ la grinzi și } 1/100 \text{ la console.}$$

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 încleiate 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 $1/20$ și înălțimea la capăt mai mică de $1/30$ iar grinzile cu două pante au înălțimea maximă la mijloc $1/20$

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 extradrosul 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:

$$y = 1 / (1 + h_s / h) \quad (3.42)$$

unde:

l ; $h_{a,p}$; h_s - caracteristicile grinzi

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 neliniară și hiperbolică cu valori maxime în fibra inferioară. Pe zonele de curbură se dezvoltă și eforturi de întindere perpendiculare pe fibre.

Pentru o sarcină uniform distribuită (q), în secțiune critică ($x = 0.5 l h_s / h_{ap}$) 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 curbură 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:

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

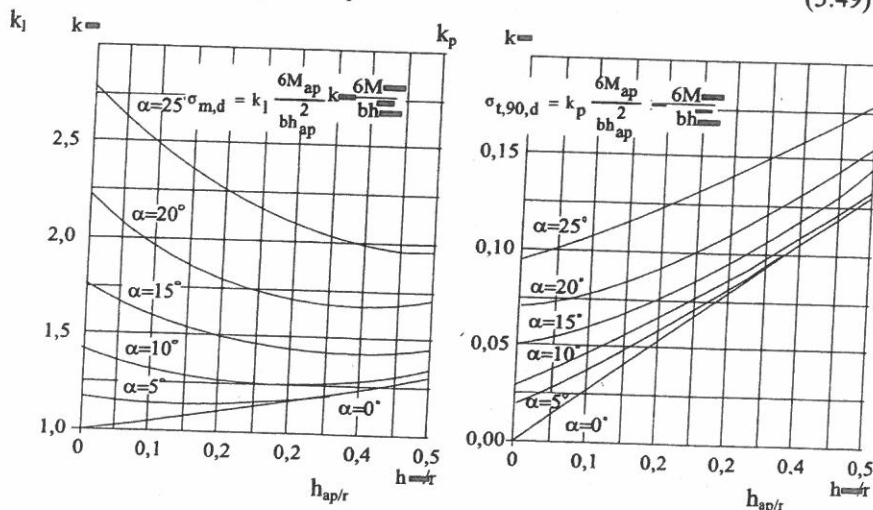


Fig. 3.11a – Factorii k_1 și k_p pentru diferite raze de curbură r și diferite unghiuri α

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 încovoire trebuie să se ia în considerare încovoirea scândurilor în timpul fabricării elementelor. Aceste eforturi trebuiesc luate în considerare prin reducerea rezistenței de calcul a elementului cu un coeficient de curbură k_r .

Coeficientul de curbură 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 încovoire, determinat cu relația 4.67;

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

k_r - coeficient de curbură (rel. 3.51);

$f_{m,d}$ - rezistența de calcul la încovoire 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

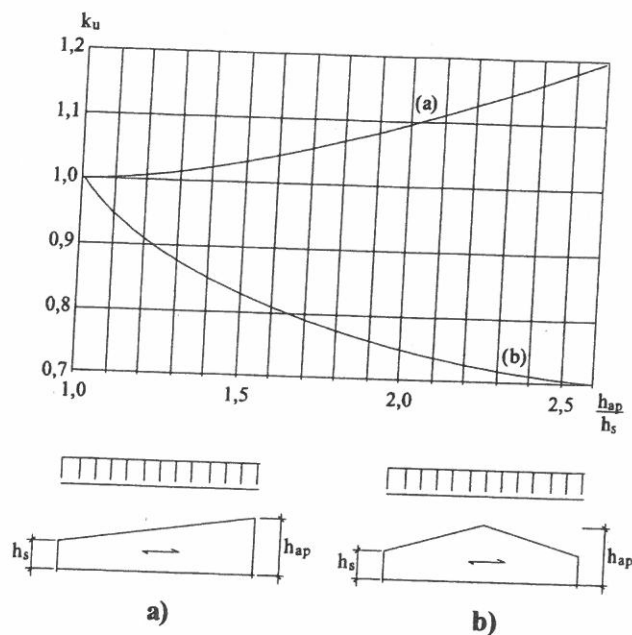


Fig. 3.11b – Valoarea coeficientului k_u pentru determinarea săgeții maxime pentru grinzi cu o pantă (a), respectiv cu două pante (b)

6.4. Calculul elementelor din lemn solificate 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 solificate axial dar având slăbiri nesimetrice.

Calculul barelor solificate 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 încovoierei pe două direcții. Astfel pentru elemente la care zvelteța după cele două direcții (determinată cu relația 3.22). este mai mică sau egală cu 0,5 trebuie satisfăcute condițiile:

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

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

unde :

$\sigma_{c,o,d}$ - 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;

$f_{c,o,d}$ - 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:

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

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

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 încovoierei 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:

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

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

unde:

$\sigma_{t,o,d}$ - 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;

$f_{t,o,d}$ - 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 ține 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 solicitate 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.

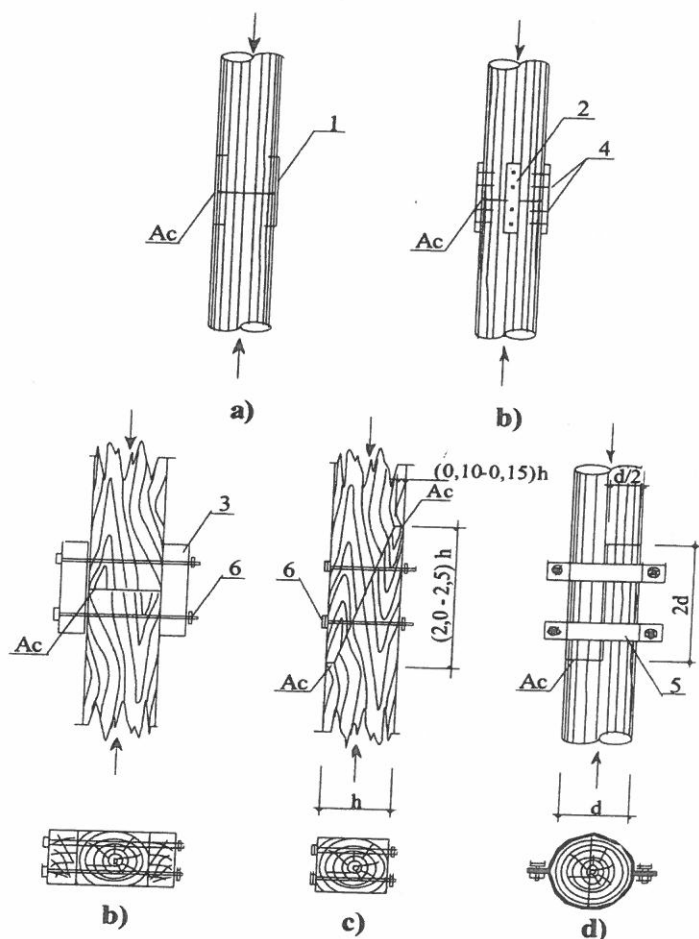


Fig. 4.1 – Îmbinări de prelungire realizate prin chertare
a) – solidarizate cu scoabe; b) – solidarizate cu eclise; c) – solidarizate cu buloane;
d) – solidarizate cu zbanțuri.
1 – scoabe; 2 – eclise metalice; 3 – eclise de lemn; 4 – cuie; 5 – zbanțuri; 6 - buloane

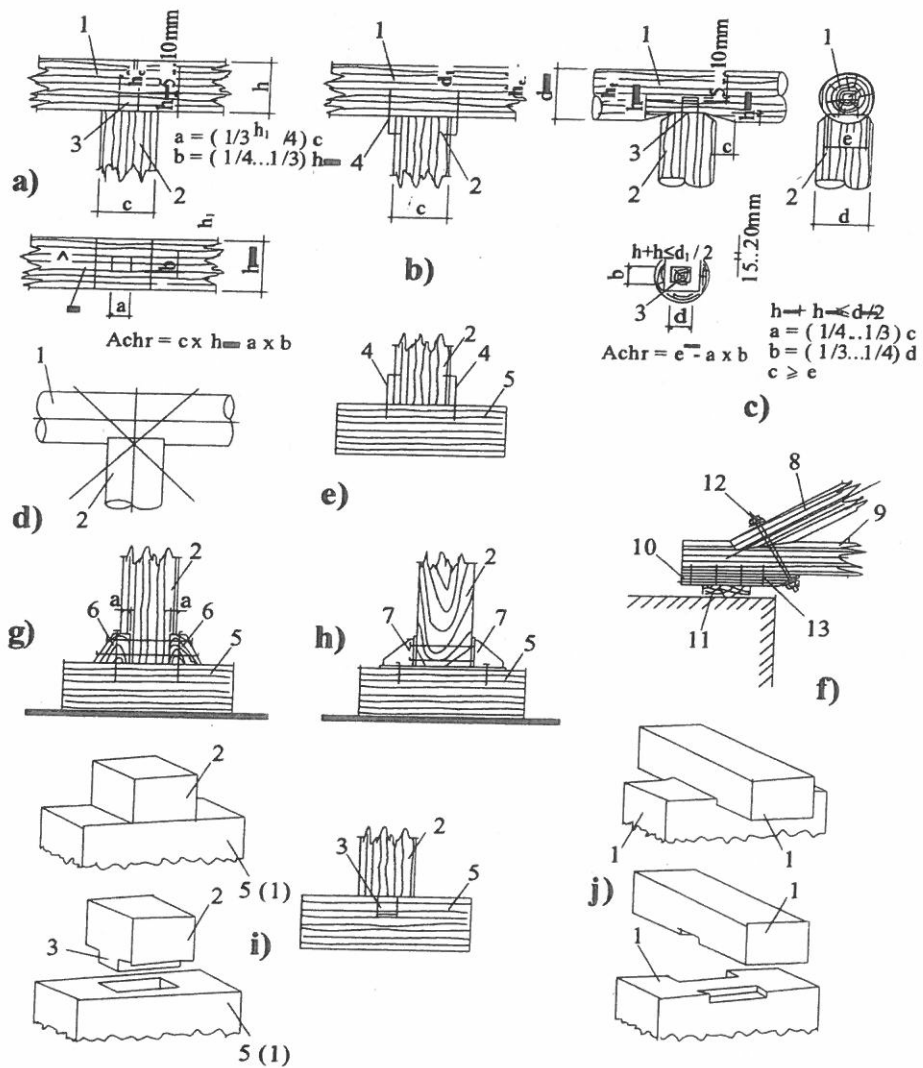


Fig. 4.2 – Îmbinări prin chertare la piese dispuse perpendicular
 a) – stâlp-grindă cu cep; b) – stâlp-grindă cu scoabe; c) – stâlp-grindă cu cep lemn rotund; d) – stâlp-grindă lemn rotund chertat; e) – stâlp-talpă cu scoabe; f) – nod reazem fermă cu zăbrele; g) – stâlp-talpă cu saboți; h) – stâlp-talpă 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_c 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.

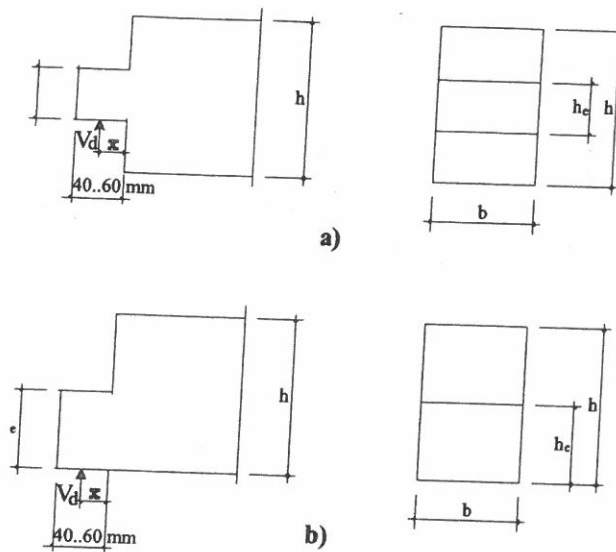


Fig. 4.3 – Modul de realizare a chertării la îmbinări cu lambă și uluc
a) – lambă centrală; b) – lambă inferioară

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 perpendiculare 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;

$f_{v,d}$ - rezistență 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:

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 5 / [\sqrt{h} (\sqrt{h_e (1 - h_e/h)} / h) + 0.8 x \sqrt{h/h_e - (h_e/h)^2 / h}] \end{array} \right. \quad (4.4)$$

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.

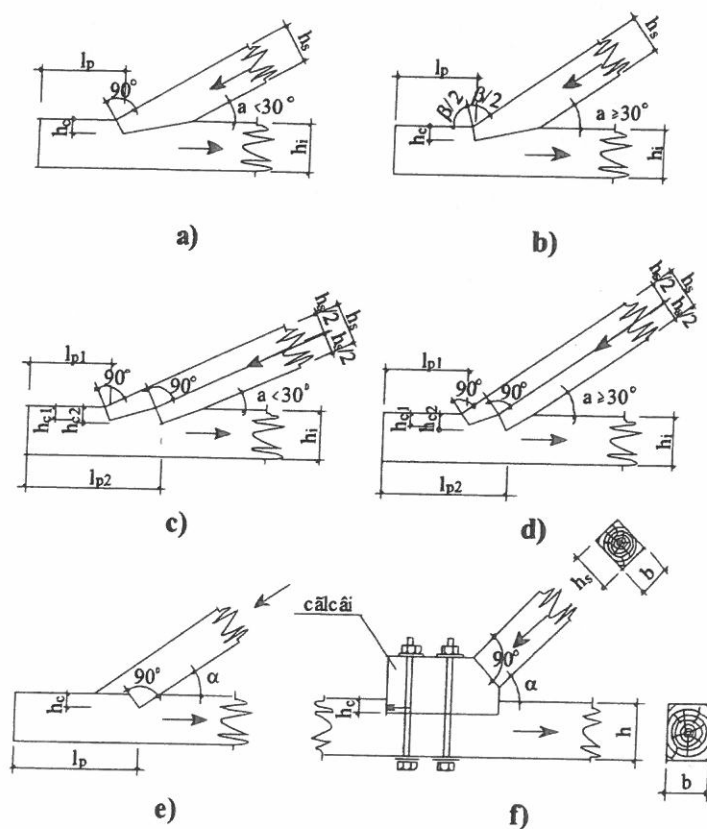


Fig. 4.4 Îmbinări prin chertare la piese amplasate sub un unghi α
a) și b) – chertare frontală cu prag simplu; c) și d) – chertare frontală
b) cu prag dublu; e) – chertare cu prag în spate; f) – îmbinări cu câlcâi

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 câlcâi, 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.

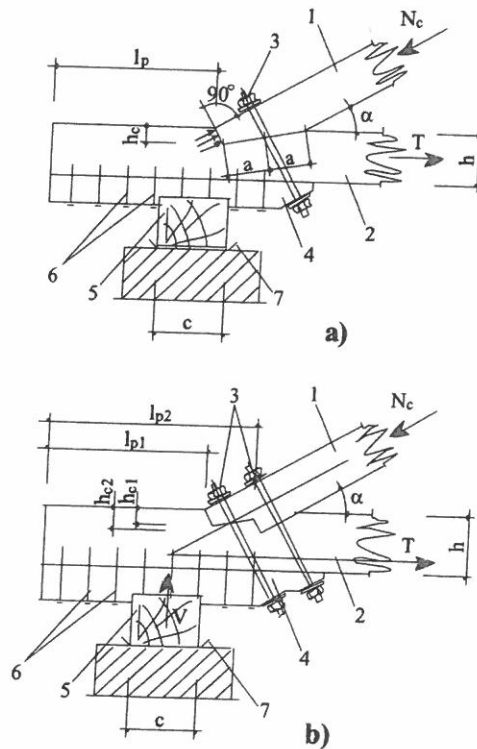


Fig. 5.5 – Alcătuirea nodurilor de capăt a grinzilor cu zăbrele
a) – îmbinare cu prag simplu; b) – îmbinare cu prag dublu.
1 – talpă superioară; 2 – talpă inferioară; 3 – bulon; 4 – subgrindă;
5 – cosoroabă; 6 – cuie; 7 – carton bitumat

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;

$N_{c,ef,1} = N_{c,ef} \cdot A_{s,1} / (A_{s,1} + A_{s,2})$ - solicitarea de calcul aferentă primului prag;

α - unghiul dintre cele două elemente îmbinate;

$A_{s,1}$, $A_{s,2}$ – aria de strivire a primului, respectiv al celui de-al doilea prag.

c. Verificarea buloanelor de solidarizare se face cu relația:

$$N_{ef\ bulon} \leq n_b N_{cap\ bulon} \quad (4.12)$$

unde :

$N_{ef\ bulon} = N_c \operatorname{tg}(60^\circ - \alpha)$ – este efortul axial din bulonul de solidarizare;

$N_{cap\ bulon} = A_{net} \cdot R_{o,t} \cdot m_0$ - 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:

$$V_{ef} \leq Q_r \quad (4.13)$$

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:

$L = N_{ef\ bulon} \sin \alpha$ - 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 apărui 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 suprapun factori suplimentari apărui 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 duc 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 debușează 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 exterioari, 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 intemperiiilor fără a fi finisat pelicologen (șițe și șindriile 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

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 apa 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 intemperiilor. Ea este semnalizată în secțiune transversală printr-o pată de culoare de mărime variabilă și situată aproximativ în centrul secțiunii („inimă 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 depășite 20%. În prima fază apare sub formă de fâșii 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 lemnul 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 „faină 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 xilofage 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-gălbuie, 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. Galerile 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