

## 5. CALCULUL ELEMENTELOR DE CONSTRUCȚII DIN LEMN

Ing. Director Executiv Aprocor Licence  
Sorin Pătraș  
Membru de onoare  
Asociația Romwoodhouse

### 5.1 Generalitati

Codul românesc **NP005-03**, pentru calculul și alcătuirea elementelor de construcții din lemn și norma **EUROCODE 5** prevăd **calculul și dimensionarea elementelor structurale din lemn** pe baza **metodei stărilor limită** și iau în considerare două tipuri de stări limită:

- **stări limită ultime;**
- **stări limită de exploatare normală.**

**Stările limită ultime** corespund epuizării capacității portante sau alte pierderi ireversibile a calității necesare exploatării construcțiilor și au în vedere:

- atingerea limitei de rezistență (epuizarea capacității portante );
- pierderea stabilității formei sau a echilibrului static;
- ieșirea din lucru a elementelor prin deformații excesive sau datorită deformațiilor remanente excesive;
- fenomene de instabilitate și de transformare a structurii în mecanism.

**Stările limită de exploatare normală** au în vedere întreruperea capacității de asigurare a unei exploatări normale a elementelor și se referă la:

- deformații care afectează estetica sau exploatarea elementelor și construcției;
- vibrații care influențează asupra confortului persoanelor sau exploatării normale a structurii;
- alterarea materialului (incluzând și dezvoltarea fisurilor sau a crăpăturilor) care este susceptibilă de a avea efect defavorabil pentru durabilitatea structurii.

Parametrii principali de calcul sunt acțiunile, caracteristicile materialului și elementele geometrice ale secțiunilor.

Principiul general de calcul are la bază concepția că stările limită nu sunt atinse pentru toate situațiile pertinente de calcul, ceea ce presupune că acțiunile de calcul sau efectul lor nu depășește:

- capacitatea de rezistență a structurii la stările limită ultime;
- criteriile de performanță pentru stările limită de exploatare.

Calcul ia în considerare, de asemenea, categoria construcțiilor și elementelor de construcții determinată funcție de durata de exploatare. Astfel, construcțiile sunt clasificate conform NP005-03 în construcții permanente și provizorii (cofraje, eșafodaje și susțineri, construcții demontabile, cu durata de exploatare pe un amplasament sub doi ani).

Conform normelor europene, funcție de riscurile umane și economice, securitatea structurilor și aptitudinea lor de utilizare, construcțiile se clasifică în 4 clase (tabelul 4.1)

Pentru **dimensionarea elementelor de construcții din lemn**, după ce s-au determinat **eforturile interioare**, se poate proceda în una din manierele următoare:

- **se impune secțiunea și se verifică** dacă toate eforturile și deformațiile determinate sunt inferioare valorilor admisibile (**verificarea secțiunilor**);

- se determină dimensiunile minime necesare pe baza eforturilor și deformațiilor admisibile (**dimensionarea secțiunilor**).

 **Tabelul 4.1**
 **Clasificarea construcțiilor după durata de viață, conform CEB 1980**

Clasa	Durata de viață (ani)	Tipuri de construcții
1	1...5	Structuri temporare
2	25	Elemente structurale reamplasabile
3	50	Construcții și structuri curente
4	100	Poduri și alte construcții de artă

Pentru **stările limită de exploatare normală**, dimensionarea sau verificarea se face cu relația :

$$E_d \leq C_d \quad (4.1)$$

unde:

$E_d$  – este **efectul de calcul al acțiunilor**, determinat pe baza unei combinații de acțiuni;

$C_d$  - este o **valoare limită prescrisă** funcție de destinația elementului (de exemplu săgeată maximă admisibilă) sau o valoare de calcul a proprietăților materialelor relativ la efectele acțiunilor considerate.

Pentru **stările limită ultime** calculul se face pe baza unei relații, scrisă sub forma următoare:

$$S_d \leq R_d \quad (4.2)$$

unde:

$S_d$  - **valoarea de calcul a solicitării** (N, T, V, M, etc.) rezultată din combinația mai multor acțiuni;

$R_d$  – **capacitatea de rezistență de calcul** corespunzătoare a unui element, dependentă direct de rezistența materialului, modulul de deformare și caracteristicile geometrice ale secțiunii.

În situația când starea limită ultimă se consideră atinsă datorită unei deformații excesivă a secțiunii transversale solicitarea de calcul ( $S_d$ ) din relația 4.2 este înlocuită cu valoarea de calcul pentru efectul particular al acțiunilor luate în considerare ( $E_d$ ).

**Norma EUROCODE 5** exprimă condiția din relația 4.2. cu o relație de forma:

$$\gamma_F \cdot S_K / C \leq \gamma_c \cdot k_{mod} \cdot R_k / \gamma_M \quad (4.2.a)$$

unde:

$\gamma_F S_K = \gamma_{F1} S_{K1} + \gamma_{F2} S_{K2} + \dots + \gamma_{Fn} S_{Kn}$  - suma solicitărilor de calcul din toate acțiunile (coeficienții acțiunilor  $\gamma_F$  fiind determinați conform punctului 4.2.2);

$C$  – caracteristica geometrică a secțiunii transversale a elementului funcție de solicitarea la care este supus (**arie, modul de rezistență**, etc.);

$R_k$  - rezistența caracteristică a lemnului pentru o anumită solicitare (**v. tabelul 4.9 și 4.10**);

$\gamma_M$  - coeficientul parțial de siguranță pentru material, determinat conform precizărilor de la punctul 4.3.2.

$\gamma_c$  - coeficientul de siguranță a condițiilor de lucru luând în considerare abaterile privind calculul, execuția, asamblarea și montarea construcțiilor precum și neuniformitatea eforturilor unitare în dreptul găurilor și chertărilor (**EUROCODE 5** consideră **în general coeficientul  $\gamma_c = 1$**  dar la unele solicitări combinate poate avea și valoare diferită de 1,0);

$k_{mod}$  - factor de modificare a capacității portante, funcție de tipul încărcării și clasa de serviciu a construcției (determinat conform capitalului 4.3.2.)

În norma de calcul românească NP005-03 capacitatea de rezistență de calcul (capacitatea portantă) la solicitarea „i” este notată, în general cu  $F_i$ , iar în particular are notații în funcție de tipul de solicitare ( $T_r$  – la întindere axială paralelă cu fibrele;  $C_r$  – la compresiune paralelă cu fibrele;  $Q_r$  – la compresiune perpendiculară pe fibre;  $V_r$  – la forfecare perpendiculară pe fibre;  $F_r$  – la forfecare paralelă cu fibrele;  $M_r$  – la încovoiere,  $L_r$  – la lunecare pentru grinzile încovoiate).

Capacitatea de rezistență de calcul ( $F_i$ ), la diferite solicitări (întindere, compresiune, încovoiere, forfecare, etc.) se determină cu o relație generală de forma:

$$F_i = R_i^c \cdot S_i \cdot m_{T,i} \quad (4.3)$$

unde:

$R_i^c$  – rezistența de calcul la solicitarea „i”, stabilită funcție de specia de material lemnos, clasa de calitate a lemnului și condițiile de exploatare (conform cap.4.3.1);

$S_i$  - caracteristica secțională (arie, modul de rezistență);

$m_{T,i}$  - coeficient care ia în considerare efectul tratării lemnului.

Coeficienții de tratare,  $m_{T,i}$ , introduc în calcule influența tratării lemnului asupra caracteristicilor materialului funcție de dimensiunile elementelor și clasa de exploatare a construcțiilor (tabelul 4.2) și au ca bază recomandările din normele canadiene.

**Tabelul. 4.2**

**Valorile coeficientului de tratare,  $m_{T,i}$  /40/**

Nr. crt.	Procedeele de tratare	Clasa de exploatare a construcției	
		1 și 2	3
1	Lemn netratat	1.0	1.0
2	Lemn tratat pe suprafață	1.0	1.0
3	Lemn tratat în masă, având maximum 100mm grosime, pentru: - modulul de elasticitate - alte caracteristici	0.9	0.95
		0.7	0.85
4	Lemn ignifugat	0.9	0.9

Încadrarea în clasele de exploatare se face conform precizările de la capitolul 3.1

În norma EUROCODE 5 nu sunt prevăzute recomandări în ceea ce privește reducerea caracteristicilor lemnului datorită tratamentelor.

**Capacitatea portantă de calcul** mai poate fi influențată și de alte fenomene sau moduri de alcătuire cum ar fi:

- **stabilitatea laterală** la elemente încovoiate, atunci când **raportul** dintre dimensiunile elementelor în secțiune transversală (**înălțime h și lățime b**) depășește o valoare optimă;

- relația dintre dimensiunile elementului comprimat și cele ale elementului de reazem, la elemente solicitate la compresiune perpendiculară pe fibre (v. cap. 4.5.3. și 4.5.4)

- **modul de producere a forfecării** (unilaterală sau bilaterală – conform explicațiilor de la punctul 3.7.4) precum și raportul dintre lungimea pragului de forfecare și excentricitatea de aplicare a forței față de direcția pragului;

- posibilitatea repartiției neuniforme a încărcărilor pe elementele componente ale secțiunilor compuse formate din două sau mai multe elemente;

- **intervenția flambajului barelor.**

Modul de luare în considerare a acestor fenomene în calculul capacității portante este prezentat în paragrafele referitoare la calcul pentru anumite solicitări.

La dimensionarea elementelor din lemn o serie de decizii cum sunt cele legate de calitatea materialului, dimensiunile minime ale secțiunii și ariei trebuie să fie avute în vedere în prealabil.

## 5.2 ACȚIUNI ȘI CALCULUL SOLICITĂRILOR

### 5.2.1 Acțiuni și gruparea acțiunilor conform normelor românești

Conform codului NP 005-03 , /40/ acțiunile normate luate în considerare și coeficienții parțiali de siguranță (coeficienții acțiunilor) se stabilesc pe baza standardelor de acțiuni în vigoare. Datorită valorii reduse a variațiilor dimensionale ale lemnului în lungul fibrelor, efectul variațiilor de temperatură nu se ia în considerare la calculul construcțiilor de lemn și se elimină necesitatea prevederii de rosturi de dilatație

Funcție de durata de acțiune încărcările se clasifică în:

- **încărcări permanente**, care se aplică în mod continuu, cu o intensitate practic constantă și cu o durată de acționare de 10...50 ani;
- **încărcări de lungă durată**, cu durata cumulată de acționare asupra elementelor de construcții de 7 zile...10 ani (încărcare din zăpadă, vânt, încărcări utile);
- **încărcări de scurtă durată**, ce acționează asupra elementelor de construcții mai puțin de 7 zile consecutive sau cumulate (încărcări din vânt sau zăpadă cu intensități de vârf, seism, șocuri, etc.)

Grupările de încărcări care se iau în considerare sunt cele stabilite de STAS 10101/0A-77 cu excepția elementelor șarpantei pentru care se consideră ipoteze specifice de încărcare și anume:

**Ipoteza a I-a:** încărcare permanentă + încărcare din zăpadă;

**Ipoteza a II-a:** încărcare permanentă + încărcare exterioară vânt (la care se adaugă efectul sucțiunii interioare) + jumătate din încărcarea cu zăpadă;

**Ipoteza a III-a :** încărcare permanentă + o forță concentrată (aplicată în poziția în care produce cea mai defavorabilă stare de solicitare) având valoare de 1000N, majorată cu un coeficient al încărcării  $n = 1,2$ .

**Ipoteza a IV-a** ( specifică acoperișurilor foarte ușoare): încărcare permanentă + încărcarea exterioară din vânt ( la care se adaugă efectul presiuni interioare).

Gruparea din ipoteza III nu se aplică șipcilor iar la calculul asterealei dacă distanța între axele scândurilor este mai mică de 15 cm forța concentrată se distribuie la două scânduri; la două straturi de scânduri suprapuse sau la straturi de scânduri solidarizate cu rigle transversale forța concentrată se distribuie pe lățime de 50 cm.

### 5.2.2 Acțiuni și gruparea acțiunilor conform normelor EUROCODE 1 și EUROCODE 5

Normele **EUROCODE 1 și 5** clasifică acțiunile din punctul de vedere al duratei în 5 clase și anume:

- **încărcări permanente**, cu durata de acțiune mai mare de 10 ani (greutatea proprie a elementelor de construcții);

- **încărcări de lungă durată**, care acționează 6 luni...10 ani (încărcări din depozitare);
- **încărcări de durată medie**, cu acțiune de 1 săptămână...6 luni (încărcări din exploatare, zăpadă în unele zone, etc.)
- **încărcări de scurtă durată**, cu acțiune pe o perioadă mai mică de 1 săptămână (zăpadă, vânt);
- **încărcări instantanee** ( acțiuni accidentale).

Valorile reprezentative ale **acțiunilor permanente sau variabile** ( $G_k$  ,  $Q_k$  ), luate în considerare în norma **EUROCODE 1** sunt **valorile caracteristice** care constituie și valorile de bază iar acțiunea lor poate fi directă sau indirectă. Pentru acțiunile permanente în general valorile caracteristice sunt valorile medii ( $G_{med}$  ). Există însă două situații când se lucrează cu valori caracteristice maxime ( $G_{k,sup}$ ) și minime ( $G_{k,inf}$ ) și anume: când structura este sensibilă la variația lui  $G$  și când coeficientul de variație a lui  $G$  este mai mare decât 10%.

Pentru acțiunile variabile valorile caracteristice depind de perioada de revenire considerată ( $N$  în ani). **EUROCODE 1** calculează, în general, valorile caracteristice pentru acțiunile variabile ( $Q_k$ ) pentru  $N = 50$  ani, corespunzător unei probabilități  $p = 1/N = 0,02$ . Pentru alte probabilități sunt date relații de calcul ale valorilor caracteristice funcție de probabilitate și de coeficientul de variație a încărcării variabile.

În calcule acțiunile variabile sunt introduse ținând cont și de:

- valoarea de combinație  $\Psi_0 Q_k$  ;
- valoarea frecvenței  $\Psi_1 Q_k$  care depășește durata de 5% din timpul de acțiune;
- valorile cvasi – permanente  $\Psi_2 Q_k$ , corespunzătoare unei valori medii în timp.

Valorile coeficienților  $\Psi_0$ ,  $\Psi_1$ ,  $\Psi_2$  sunt date în tabelul 4.3

Valorile de calcul a diferitelor acțiuni ( $F_d$ ) se determină funcție de stările limită la care se face calculul luând în considerare valorile caracteristice ale acțiunilor ( $F_k$ ) și coeficienții parțiali de siguranță pentru acțiunile permanente ( $\gamma_G$ ) respectiv pentru acțiunile variabile ( $\gamma_Q$ ) dați în tabelul 4.4. Coeficienții  $\gamma_G$  și  $\gamma_Q$  țin seama de posibilitatea variațiilor defavorabile a încărcării, de modelarea imprecisă a acțiunii și de incertitudinea evoluției efectelor acțiunilor.

**Tabelul 4.3**
**Valorile coeficienților,  $\Psi$  /42/**

Nr. crt.	Acțiunea	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
1	Încărcări din exploatare în:			
	- locuințe, hoteluri, birouri, săli de clasă, spitale	0.7	0.5	0.3
	- construcții pentru comerț și mari magazine, teatre, restaurante, săli de conferințe, parcaje	0,7	0.7	0.6
	- depozite, arhive	1.0	0.9	0.8
2	Încărcarea din zăpadă	0.7	0.2	0.0
3	Încărcarea din vânt	0.6	0.5	0.0

**Tabelul 4.4**
**Coeficienții parțiali de siguranță pentru acțiuni,  $\gamma$  /42/**

Modul de cedare / Tipul acțiunii	Coeficient	Valoarea coeficientului	
		Normală	Redusă
Cedare prin pierderea echilibrului static			
- acțiuni permanente defavorabile	$\gamma_{G,sup}$	1.10	1.10
- acțiuni permanente favorabile	$\gamma_{G,inf}$	0.90	0.90
- acțiuni variabile defavorabile	$\gamma_Q$	1.50	1.35
Cedare prin atingerea rezistenței materialului			
- acțiuni permanente defavorabile	$\gamma_{G,sup}$	1.35	1.20
- acțiuni permanente favorabile	$\gamma_{G,inf}$	1.00	1.00
- acțiuni variabile defavorabile	$\gamma_Q$	1.50	1.35

Valorile reduse ale coeficienților parțiali de siguranță se pot folosi pentru construcții cu un singur nivel ocupate doar ocazional (construcții de depozitare, hangare, construcții agricole, etc.)

La stările limită ale capacității portante combinația de bază a acțiunilor este:

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.4a)$$

unde:

$Q_{k,1}$  - valoarea caracteristică a acțiunii variabile de bază (predominantă);

$Q_{k,i}$  - valorile caracteristice pentru celelalte acțiuni variabile;

$G_{k,j}$  - valorile caracteristice pentru acțiunile permanente.

Combinația de bază poate fi realizată în general și cu expresia:

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + 1,5 Q_{k,1} + \sum 1,5 \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.4b)$$

Pentru construcții de lemn de importanță mai redusă (construcții de locuit cu un nivel ocupate ocazional, construcții agricole, închideri ușoare, etc.) se poate folosi cea mai defavorabilă combinație din următoarele:

- combinația cu o singură acțiune variabilă

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + 1,5 Q_{k,1} \quad (4.5a)$$

- combinația cu celelalte acțiuni variabile

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + 1,35 \sum Q_{k,i} \quad (4.5b)$$

Pentru situații accidentale combinația de acțiuni este:

$$\sum \gamma_{G,A} G_{k,j} + A_d + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4.6)$$

unde:

$A_d$  - acțiunea accidentală;

$\gamma_{G,A} = 1,0$ .

Calculul la stările limită de exploatare normală se folosesc următoarele combinații posibile:

- combinația de bază

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \Psi_{1,i} Q_{k,i} \quad (4.7)$$

- combinația cvasi – permanentă

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4.8)$$

Relația 4.7 poate fi înlocuită pentru construcții de importanță redusă cu două relații de combinații și anume:

- combinația cu o singură acțiune variabilă care este cea mai defavorabilă  
$$\Sigma G_{k,j} + Q_{k,1} \quad (4.7a)$$

- combinația cu celelalte acțiuni variabile  
$$\Sigma G_{k,j} + 0.9 \Sigma Q_{k,i} \quad (4.7b)$$

Experiența din proiectare, pe plan european, arată că cele mai defavorabile combinații de acțiuni sunt :

- acțiunile permanente + acțiunile din exploatare, pentru calculul elementelor planșelor;
- acțiunile permanente + acțiunea zăpezii, pentru calculul elementelor șarpantei;
- acțiunile permanente + vânt + ½ zăpadă , pentru calculul structurii.

### 5.2.3 Stabilirea deschiderilor de calcul

Pentru grinzi simplu rezemate pe zidărie sau centuri din beton lungimea de rezemare se ia minimum 200mm și minimum valoarea rezultată din condiția de strivire perpendicular pe fibre. Deschiderea de calcul, în aceste condiții se consideră lumina majorată cu 5%.

Pentru grinzi simplu rezemate pe alte grinzi din lemn sau stâlpi și pentru grinzi continui lungimea de calcul este distanța dintre axele reazemelor. **La elementele de șarpantă se poate considera ca deschidere de calcul lumina majorată cu 10% dar maximum distanța dintre axele reazemelor.**

La grinzi sau cadre cu contrafișe deschiderea de calcul se consideră lumina dintre capetele contrafișelor majorată cu deschiderea pe orizontală a contrafișei, în câmpurile intermediare și cu 1,5 ori deschiderea contrafișei în câmpurile de capăt.

### 5.3 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.

### 5.3.1 Rezistențele lemnului conform normei NP 005-03

Rezistențele de calcul ( $R_i^c$ ) pentru o anumită solicitare „i” determinată funcție de:

- rezistența caracteristică ( $R_i$ ) la solicitarea „i”;
- coeficienții condițiilor de lucru care iau în considerare durata de acțiunii ( $m_{d,i}$ );
- coeficienții condițiilor de lucru care introduc în calcul clasa de exploatare a elementelor de construcții și implicit umiditatea de echilibru a materialului și influența ei asupra caracteristicii ( $m_{u,i}$ );

- coeficienții parțiali de siguranță ( $\gamma_i$ ).

Relația de calcul are forma :

$$R_i^c = m_{u,i} \cdot m_{d,i} \cdot R_i / \gamma_i \quad (4.9)$$

Rezistențele caracteristice ale lemnului natural masiv pentru umiditatea de echilibru de 12% sunt date în tabelul 4.5. Pentru lemnul rotund rezistențele caracteristice sunt mai mari cu 15%, la toate speciile, față de valorile din tabelul 4.5.

**Tabelul 4.5**

**Rezistențele caracteristice ale lemnului natural, ( N/mm<sup>2</sup> ) /40/**

Nr.crt.	Rezistența la:	Molid, brad, larice, pin			Plop			Stejar, gorun, cer, salcâm			Fag, frasin, mesteacăn, carpen		
		Clase de calitate											
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	Încovoiere statică ( $R_i$ )	24.0	16.8	9.6	20.0	14.0	8.0	40.0	28.0	16.0	45.0	31.5	18.
2	Întindere în lungul fibrelor ( $R_t$ )	14.4	8.6	4.3	21.0	12.6	6.3	22.5	13.5	6.8	27.9	16.7	8.4
3	Compresiune în lungul fibrelor ( $R_{c  }$ )	15.0	12.0	4.5	13.8	11.0	4.1	19.8	15.8	5.9	24.0	19.2	7.2
4	Compresiune normal pe direcția fibrelor ( $R_{c\perp}$ )	3.3	3.0	-	3.2	2.9	-	10.4	9.4	-	11.2	10.0	-
5	Forfecare în lungul fibrelor ( $R_{fl}$ )	3.0	2.7	-	2.7	2.5	-	6.4	5.7	-	5.0	4.5	-
6	Forfecare în plan normal ( $R_{f\perp}$ )	12.0	10.8	-	10.4	9.4	-	24.0	21.6	-	16.0	14.4	-



Valorile coeficienților care introduc în calcul durata acțiunii (permanente, lungă durată, scurtă durată) și care reprezintă raportul între rezistența de durată și rezistența la solicitare instantanee sunt dați în tabelul 4.6. Valoarea coeficientului folosită în calcul se stabilește luând în considerare ponderea procentuală pe care o au diferite acțiuni din valoarea totală a acțiunilor.

Coeficienții condițiilor de lucru  $m_{u,i}$  iau în considerare clasele de exploatare ale construcției și a elementelor de construcție, definite în capitolul 3.1. și au valorile din tabelul 4.7.

**Tabelul 4.6**
**Valorile coeficienților de lucru,  $m_{di} / 40/$** 

Solicitarea	Clasa de durată a Acțiunilor	Simbol	Valorile pentru esențele:	
			Rășinoase, foioase moi	Foioase tari
Încovoiere statică, Forfecare	Permanente	$m_{di}$	0.55	0.60
	Lungă durată		0.65	0.70
	Scurtă durată		1.00	
Compresiune	Permanente	$m_{dc}$	0.80	0.85
	Lungă durată		0.85	0.90
	Scurtă durată		1.00	
Întindere	Permanente	$m_{dt}$	0.90	0.95
	Lungă durată		0.95	1.00
	Scurtă durată		1.00	
Modul de Elasticitate	Toate clasele	$m_{dE}$	1.00	

**Notă :** - rășinoase : molid, brad, larice, pin ;  
 - foioase moi : plop;  
 - foioase tari: stejarul, gorunul, cerul, salcâmul, fagul, mestecănul, frasinul, carpenul.

**Tabelul 4.7**
**Valorile coeficienților de lucru,  $m_{ui} / 40/$** 

Nr. crt.	Solicitarea	Simbol	Esența Lemnului	Valorile pentru clasa de exploatare:			
				1	2	3	
1	Încovoiere statică	$m_{ui}$	Rășinoase	1.00	0.90	0.75	
			Foioase				
2	Întindere în lungul fibrelor	$m_{ut}$	Rășinoase				0.90
			Foioase				
3	Compresiune în lungul fibrelor	$m_{ucII}$	Rășinoase				0.75
			Foioase				0.70
4	Compresiune în plan normal pe direcția fibrelor	$m_{uc\perp}$	Rășinoase				0.70
			Foioase				
5	Forfecare în lungul fibrelor	$m_{uII}$	Rășinoase				0.80
			Foioase				
6	Forfecare în plan normal pe direcția fibrelor	$m_{u\perp}$	Rășinoase				0.80
			Foioase				
7	Modul de elasticitate la Încovoiere statică	$m_{uE}$	Rășinoase				0.90
			Foioase				

Coeficienții parțiali de siguranță ( $\gamma_i$ ) au fost introduși în norma românească în concordanță cu normele internaționale EUROCODE 5 și au valorile din tabelul 4.8.

**Tabelul 4.8**
**Valorile coeficienților de lucru,  $\gamma_i$  /40/**

Nr. crt.	Solicitarea	Simbolul	Valorile coeficienților
1	Încovoiere	$\gamma_I$	1.10
2	Întindere:	$\gamma_t$	1.20
	- în secțiuni fără slăbiri		
	- în secțiuni cu slăbiri		1.40
3	Compresiune în lungul fibrelor și perpendicular pe direcția fibrelor	$\gamma_c$	1.25
4	Forfecare în lungul fibrelor	$\gamma_{II}$	1.25
	- unilaterală		
	- bilaterală		1.10
5	Forfecare în plan normal pe direcția fibrelor	$\gamma_{I\perp}$	1.10

### 5.3.2 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 ( $\gamma_M$ ).

Relația de calcul are forma :

$$X_d = k_{mod} X_k / \gamma_M \quad (4.10)$$

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 4.9 respectiv 4.10. Pentru alte produse din lemn rezistențele caracteristice sunt date în capitolul 2.

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 4.11 atât pentru lemnul masiv cât și pentru lemnul din scânduri înleiate.

**Tabelul 4.9**
**Rezistențele caracteristice ( N/mm<sup>2</sup> ) 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
Compresiune paralelă cu fibrele	$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
Compresiune perpendiculară 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

**Tabelul 4.10**
**Rezistențele caracteristice ( N/mm<sup>2</sup> ) 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
Compresiune paralelă cu fibrele	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Compresiune 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

Clasele de exploatare sunt cele definite în capitolul 3.1 după **EUROCODE 5**.

**Coefficientul parțial de siguranță privind materialul ( $\gamma_M$ )** 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 4.11**
**Valorile coeficienților  $k_{mod}$  / 38/**

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

Coeficienții  $k_{mod}$  și  $\gamma_M$  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:

$$R_d = k_{mod} \cdot R_k / \gamma_M \quad (4.11)$$

## 5.4 CALCULUL ELEMENTELOR CU SECȚIUNE SIMPLA DIN LEMN LA ÎNTINDERE CENTRICA

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.

### 5.4.1 Calculul elementelor din lemn, solicitate la întindere, conform normei NP005-03

Solicitarea de calcul axială ( $N$ ) trebuie să nu depășească capacitatea portantă a elementului ( $T_r$ ), determinată cu relația:

$$T_r = R_t^c \cdot A_{net} \cdot m_{T,t} \quad (4.12)$$

unde:

$R_t^c$  - rezistența de calcul a lemnului la întindere axială ( $N/mm^2$ ) determinată cu relația 4.9;

$A_{net}$  - aria netă a secțiunii transversale, determinată scăzând din aria brută aria slăbirilor cumulate pe maximum 200 mm;

$m_{T,t}$  - coeficientul care ia în considerare efectul tratării lemnului (conf.tab.4.2).

Se impune ca aria netă să fie minimum 4000 mm<sup>2</sup> și minimum 2/3 din aria brută. La elementele la care eforturile depășesc 70% din rezistența de calcul grosimea minimă a secțiunii brute se recomandă să fie 58 mm iar a secțiunii slăbite 38 mm.

Intinderea perpendiculara pe fibre se verifica cu o relatie 4.12 in care  $R_t^c$  se inlocuieste cu  $R_t^c \perp$

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

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

$$\sigma_{t,o,d} \leq f_{t,o,d} \quad (4.13)$$

unde:

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

$$\sigma_{t,o,d} = (\gamma_G F_G + \gamma_Q F_Q) / A_n \quad (4.14)$$

$f_{t,o,d}$  - rezistența de calcul a lemnului la întindere paralelă cu fibrele, determinată cu relația 4.10, funcție de rezistența caracteristică ( $f_{t,o,k}$ );

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

$\gamma_G, \gamma_Q$  - coeficienții parțiali de siguranță pentru acțiuni ( tab. 4.4 );

$A_n$  - secțiunea netă a barei.

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

- pentru elemente din lemn masiv

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad (4.15)$$

- pentru elemente din lemn încheiat

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} (V/V_0)^{0,2} \quad (4.16.a)$$

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

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dist} f_{t,90,d} (V/V_0)^{0,2} \quad (4.16.b)$$

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, determinată cu relația 4.10 funcție de rezistența caracteristică ( $f_{t,90,k}$ );

$V_0$  - volumul de referință pentru determinarea rezistențelor egal cu 0,01 m<sup>3</sup>.

$V$  - volumul real solicitat la întindere.

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

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

## 5.5 CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLA 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 (  $\sigma_{cr}$ ) 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:

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I / l_f^2 \quad (4.17)$$

$$\sigma_{cr} = \pi^2 \cdot E_{0,05} / \lambda^2 \quad (4.18)$$

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 4.5.2.

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

### A) Coeficienți de flambaj

Raportul între efortul critic (  $\sigma_{cr}$  ) și efortul de rupere a lemnului dă coeficientul de flambaj (  $\varphi_c$  ) :

$$\varphi_c = \sigma_{cr} / \sigma_r = \pi^2 \cdot E / \lambda^2 \sigma_r \quad (4.19)$$

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

$$\varphi_c = 3100 / \lambda^2 \quad (4.20)$$

Relația 4.20 reprezintă hiperbola lui EULER fiind aplicabilă în domeniul elastic și valabilă pentru  $\lambda > 75$ .

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

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

$$\varphi_c = 1 - 0,8 (\lambda/100)^2 \quad (4.21)$$

Coeficienții de flambaj stabiliți cu relațiile 4.20 și 4.21 sunt dați în figura 4.1 și tabelul 4.12.

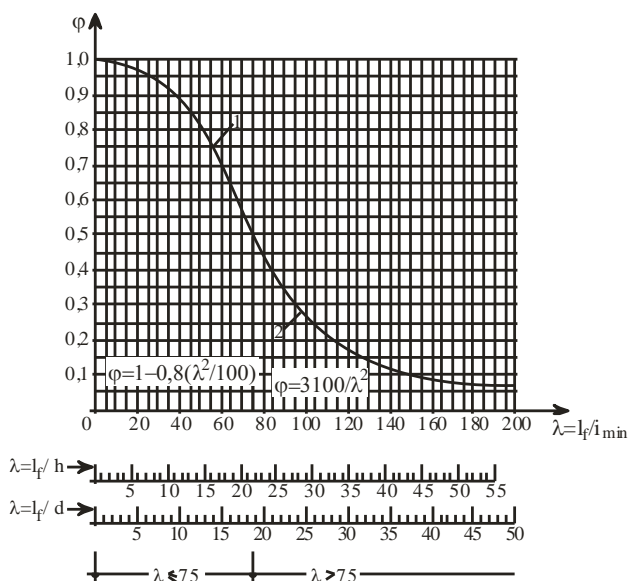


Fig. 4.1 - Variația coeficientului de flambaj în funcție de zveltețe

Tabelul 4.12

Valorile coeficientului de flambaj ( $\varphi_c$ ) în funcție de coeficientul de zveltețe

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993
10	0.992	0.990	0.988	0.986	0.984	0.982	0.979	0.977	0.974	0.971
20	0.968	0.965	0.961	0.958	0.954	0.950	0.946	0.942	0.937	0.933
30	0.928	0.922	0.918	0.913	0.908	0.902	0.896	0.891	0.885	0.878
40	0.872	0.866	0.859	0.852	0.845	0.838	0.831	0.823	0.816	0.808
50	0.800	0.792	0.784	0.775	0.767	0.758	0.749	0.740	0.731	0.722
60	0.712	0.702	0.693	0.682	0.672	0.662	0.651	0.641	0.630	0.619
70	0.608	0.597	0.585	0.574	0.562	0.550	0.537	0.523	0.509	0.496
80	0.484	0.472	0.461	0.450	0.439	0.429	0.419	0.409	0.400	0.391
90	0.383	0.374	0.366	0.358	0.351	0.343	0.336	0.329	0.323	0.316
100	0.310	0.304	0.298	0.292	0.287	0.281	0.276	0.271	0.266	0.261
110	0.256	0.252	0.248	0.243	0.239	0.234	0.230	0.226	0.223	0.219
120	0.215	0.212	0.208	0.205	0.201	0.198	0.196	0.193	0.189	0.186

130	0.193	0.181	0.178	0.175	0.172	0.170	0.167	0.165	0.163	0.160
140	0.158	0.156	0.154	0.152	0.149	0.147	0.145	0.143	0.141	0.140
150	0.138	0.136	0.134	0.132	0.131	0.129	0.127	0.126	0.125	0.123
160	0.121	0.120	0.118	0.117	0.115	0.114	0.112	0.111	0.110	0.109
170	0.107	0.106	0.105	0.104	0.102	0.101	0.100	0.099	0.098	0.097
180	0.096	0.095	0.094	0.093	0.092	0.091	0.090	0.089	0.088	0.087
190	0.086	0.085	0.084	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080	0.079	0.078
200	0.077	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Conform normelor EUROCODE 5 coeficientul care ține seama de flambaj ( $k_c$ ) se determină cu relația 4.33 dată în capitolul 4.5.4.

## B) 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 articulată având aceeași forță critică de flambaj ca și în domeniul elastic.

În practică calculele se efectuează luând în considerare raportul ( $\beta$ ), 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 4.13 iar pentru barele grinzilor cu zăbrele cu valorile din tabelul 4.14.

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 (4.17) pentru o bară articulată la extremități, ci se folosește o relație de forma:

$$N_{cr} = 1 / (4l^2 / \pi^2 E_{0,05} I + 1 / K_r) \quad (4.22)$$

unde:

$$K_r = \sum K_u r_i^2 - \text{rigiditatea de rotire a îmbinării};$$

$K_u$  – modulul de deformație a îmbinării determinat conform precizărilor din

capitolul 5.10;

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

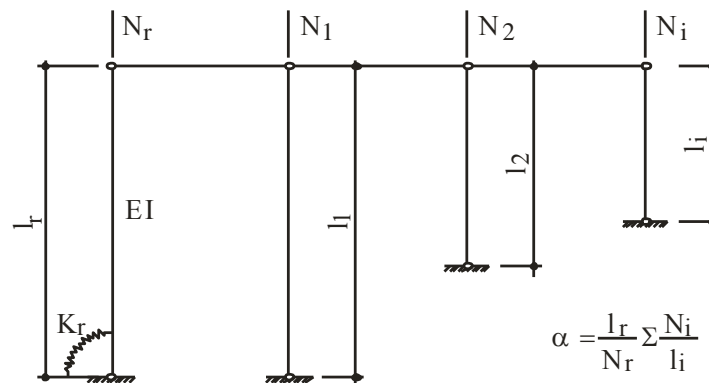
Raportul  $\beta$  între lungimea de flambaj și lungimea reală a barei se poate determina cu relația:

$$\beta = l_f / l = \sqrt{4 + \pi^2 E_{0,05} I / l K_r} \quad (4.23)$$

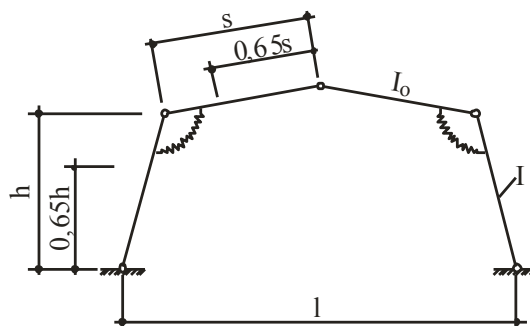
Pentru o structură în cadre realizată cu stâlpi dublu articulați stabiliți printr-un stâlp încastrat (fig.4.2a) lungimea de flambaj a stâlpilor dublu articulați este egală cu înălțimea lor iar lungimea de flambaj în planul cadrului a stâlpului de stabilizare (încastrat la bază) se determină cu relația:

$$\beta = l_f / l_r = \pi \sqrt{(5+4\alpha)/12 + (1+\alpha)E_{0,05} I / l_r K_r} \quad (4.24)$$





a)

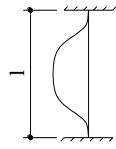
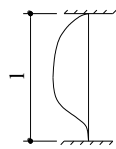
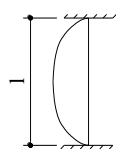
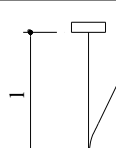
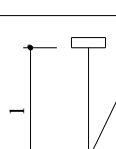
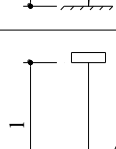
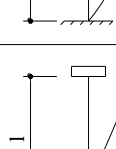


b)

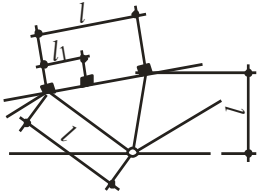
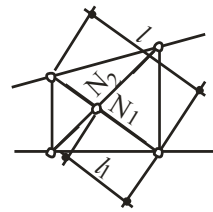
**Fig. 4.2 - Determinare a lungimii de flambaj la cadre obișnuite**

- a) - cadru cu stâlpi dublu articulați stabilizați cu un stâlp înc astrat ;  
 b) - cadru cu trei articulații.

**Lungimi de flambaj la bare comprimate axial**
**Tab. 4.13**

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

**Tab. 4.14**
**Lungimi de flambaj la barele grinzilor cu zăbrele**

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

Pentru cadre cu două sau trei articulații (fig.4.2.b) și cu înclinarea stâlpilor față de verticală, mai mică de  $15^\circ$  lungimea de flambaj a stâlpilor în planul cadrului se stabilește folosind relația:

$$l_f = h \sqrt{4 + 3,2 I_s / I_o h + 10 E_{0,05} I / h K_r} \quad (4.25a)$$

Lungimea de flambaj a riglei codului se determină cu relația :

$$l_f = h \sqrt{4 + 3,2 I_s / I_o h + 10 E_{0,05} I / h K_r \sqrt{I_o N / I N_o}} \quad (4.25b)$$

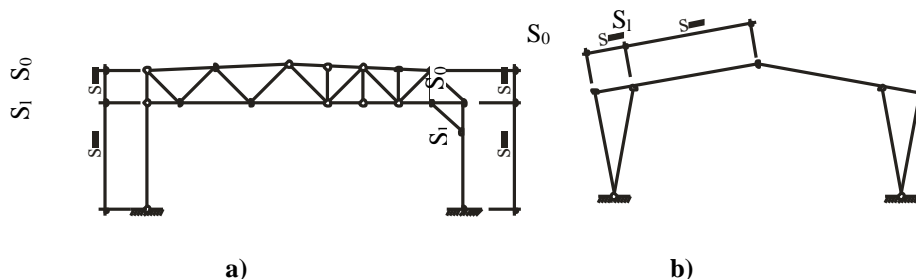
unde:

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

La cadre cu stâlpi și rigle cu moment de inerție variabil relația 4.25 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.4.2.b)

La cadre cu rigla realizată cu grindă cu zăbrele sau cu stâlpi în V ( fig.4.3) lungimea de flambaj a stâlpilor poate fi considerată:

$$l_f = 2 s_1 + 0,7 s_0 \quad (4.26)$$



**Fig. 4.3 - Cadre cu rigla grindă cu zăbrele (a) și cadre cu stâlpi în V (b)**

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

Conform normelor românești coeficienții de zveltețe (  $\lambda$  ) au valorile maxime admisibile date în tabelul 4.15.

**Tabelul 4.15**

**Coeficienții de zveltețe maximi admiși /40/**

Nr. crt.	Denumirea elementelor	Coeficienți de zveltețe maximi admiși	
		Construcții definitive	Construcții provizorii
1	Grinzi cu zăbrele și arce:		
	- tâlpi, 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

### 5.5.1 Calculul elementelor din lemn, solicitate la compresiune, conform normei NP 005-03.

#### a ) Compresiune paralelă cu fibrele

Solicitarea de calcul la compresiune paralelă cu fibrele (N) se compară cu valoarea capacității portante a elementului ( $C_r$ ) stabilită cu relația :

$$C_r = R_{clI}^c \cdot A_{calc} \cdot \varphi_c \cdot m_{T,c} \quad (4.27)$$

unde.

$R_{clI}^c$  – rezistența de calcul a lemnului la compresiune axială, paralel cu fibrele, stabilită cu relația 4.9;

$\varphi_c$  – coeficient de flambaj stabilit funcție de zveltețea barelor cu relațiile 4.20 și 4.21 și dat în tabelul 4.12;

$m_{T,c}$  – coeficient care ia în considerare efectul tratării lemnului ( tab.4.2.);

$A_{calc}$  – aria de calcul a barei ținând cont de slăbiri și poziția lor pe secțiune.

Aria de calcul a barei ( $A_{calc}$ ) se consideră:

-  $A_{brut}$ , pentru secțiuni fără slăbiri sau cu slăbiri ce nu depășesc 25% din secțiunea brută și nu sunt pe fețele paralele cu direcția de flambaj (fig.4.4a,b) ;

-  $4 A_{net} / 3 \leq A_{brut}$ , pentru slăbiri ce depășesc 25% din secțiunea brută și nu sunt pe fețele paralele cu direcția de flambaj (fig.4.4b);

-  $A_{net}$ , pentru secțiuni cu slăbiri simetrice și pe fețele paralele cu direcția de flambaj (fig.4.4c).

Barele cu slăbiri nesimetrice pe fețele paralele cu direcția de flambaj (fig.4.4d) se calculează la compresiune excentrică iar la elementele la care  $\lambda \leq 10$  capacitatea portantă se calculează cu relația 4.27 considerând  $\varphi_c = 1$ .

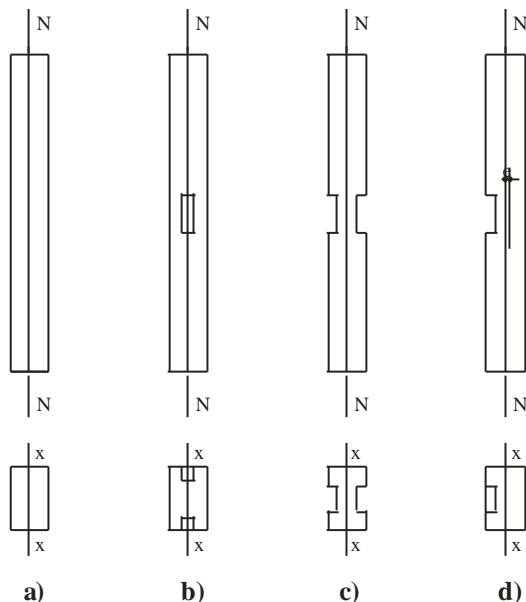


Fig. 4.4 - Variante de apariție a slăbirilor la barele comprimate (x - x direcția de calcul la flambaj)



**c. Compresiunea oblică (strivire oblică).**

Solicitarea la compresiune, când forța face un unghi  $\alpha$  cu direcția fibrelor (fig.4.5f), se compară cu valoarea capacității portante ( $N_r$ ) determinată cu una din relațiile:

$$N_r = C_r Q_r / (C_r \sin^2 \alpha + Q_r \cos^2 \alpha) \quad (4.29a)$$

$$N_r = R_{ca}^c A_s m_T \quad (4.29b)$$

unde:

$C_r$  – capacitatea portantă la compresiune paralelă cu fibrele stabilită cu relația 4.27 în care  $A_{calc} = A_{strivire}$ ;

$Q_r$  - capacitatea portantă la compresiune perpendicular pe fibre stabilită cu relația 4.28 în care  $A_c$  este aria de contact dintre elemente;

$\alpha$  - unghiul dintre direcția forței de compresiune și direcția fibrelor;

$R_{ca}^c$  – rezistența de calcul la compresiune sub un unghi  $\alpha$ ;

$A_s$  – aria de strivire;

$m_T$  – coeficient de tratare a lemnului ( tab.4.2).

Rezistența de calcul la compresiune sub un unghi se determină cu relația:

$$R_{ca}^c = R_{c\parallel}^c / [1 + (R_{c\parallel}^c / R_{c\perp}^c - 1) \sin \alpha] \quad (4.29c)$$

unde:

$R_{c\parallel}^c$  ;  $R_{c\perp}^c$  - rezistențele de calcul la compresiune paralelă respectiv perpendicular pe fibre.

## 5.5.2 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 ( $\lambda_{rel} \leq 0,5$ )

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (4.30)$$

- când intervine flambajul

$$\sigma_{c,0,d} / k_c \cdot f_{c,0,d} \leq 1,0 \quad (4.31)$$

unde:

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

$$\sigma_{c,0,d} = (\gamma_G F_G + \gamma_Q F_Q) / A_n \quad (4.32)$$

$f_{c,0,d}$  – rezistența de calcul a lemnului la compresiune paralelă cu fibrele determinată cu relația 4.10, funcție de rezistența caracteristică ( $f_{c,0,k}$ );

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

$\gamma_G, \gamma_Q$  – coeficienți de siguranță a încărcărilor;

$A_n$  – aria netă a barei;

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

$$k_c = 1 / (k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}) \quad (4.33)$$

în care:

$$k = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,5) + \lambda_{rel}^2] \quad (4.34)$$

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

$\lambda_{rel}$  – zveltețea relativă calculată cu relația:

$$\lambda_{rel} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crt}} \quad (4.35)$$

Efortul critic ( $\sigma_{c,crt}$ ) se determină cu relația 4.18.

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

Efortul critic ( $\sigma_{c,crt}$ ) se determină cu relația 4.18.

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:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (4.36)$$

unde:

$k_{c,90}$  – coeficient care ia în considerare modul de realizare a compresiunii (fig.4.6) și are valorile din tabelul 4.16.

$f_{c,90,d}$  – rezistența de calcul la compresiune perpendiculară pe fibre determinată cu relația 4.10.

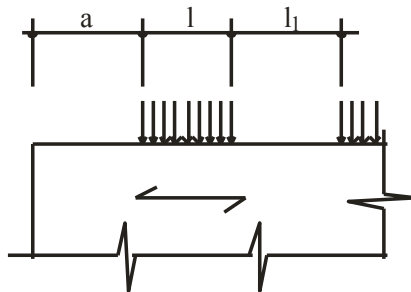


Fig. 4.6 – Compresiune perpendiculară pe pe fibre

e

Tabelul 4.16

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

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

### c) Compresiune oblică.

Relația de verificare la compresiune oblică este:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,0,d} / (f_{c,0,d} / f_{c,90,d} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) \quad (4.37)$$

unde:

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



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

## 5.6 CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLA 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.

### 5.6.1 Calculul elementelor din lemn, solicitate la forfecare, conform normei NP 005-03

#### a) Elemente solicitate la forfecare perpendiculară pe direcția fibrelor.

Verificarea la forță tăietoare perpendiculară pe fibre se face la elementele supuse la tăiere pură și în mod obligatoriu la grinzile scurte încovoiate acționate la încărcări mari sau cu forțe concentrate în apropierea reazemelor.

Solicitarea de tăiere de calcul se compară cu valoarea capacității portante la forfecare ( $V_r$ ), stabilită cu relația:

$$V_r = R_{f\perp} \cdot A_f \cdot m_{Tf} \quad (4.38)$$

unde:

$R_{f\perp}$  - rezistența de calcul a lemnului la forfecare perpendiculară pe fibre, stabilită cu relația 4.9, ( $N/mm^2$ );

$A_f$  - aria secțiunii care se foarfecă ( aria secțiunii grinzii sau a penelor );

$m_{Tf}$  – coeficient de tratare a lemnului (conf. tab.4.2).

#### b) Elemente solicitate la forfecare în lungul fibrelor

Verificarea la forfecare în lungul fibrelor ia în considerare capacitatea portantă la forfecare ( $F_r$ ) determinată cu relația:

$$F_r = R_{f\parallel} \cdot A_f \cdot m_{Tf} / m_f \quad (4.39)$$

unde:

$R_{f\parallel}$  - rezistența de calcul a lemnului la forfecare paralelă cu fibrele, stabilită cu relația 4.9 ( $N/mm^2$ );

$m_{Tf}$  ,  $A_f$  – coeficient de tratare a lemnului, respectiv aria de forfecare;

$m_f$  – coeficient de forfecare care ia în considerare fenomenele prezentate în paragraful 3.7.4.

Coeficientul de forfecare se calculează cu relația:

$$m_f = 1 + \beta \cdot l_f / e \quad (4.40)$$

unde:

$\beta$  – coeficient care ține cont de tipul forfecării și are valoarea 0,25 pentru forfecare unilaterală și 0,125 pentru forfecare bilaterală (fig.3.10);

$l_f$  – lungimea pragului de forfecare limitată superior la  $10 h_c$  și  $2h$  ( $h_c$  – adâncimea de chertare);

$e$  – excentricitatea de aplicare a forței de forfecare față de planul de forfecare (mm).

În zona din apropierea reazemelor elementelor încovoiate, capacitatea portantă la forfecare ( lunecare ) în planul axei neutre se determină cu relația:

$$L_r = R_{fII}^c \cdot b \cdot I \cdot m_{T,f} / S \quad (4.41)$$

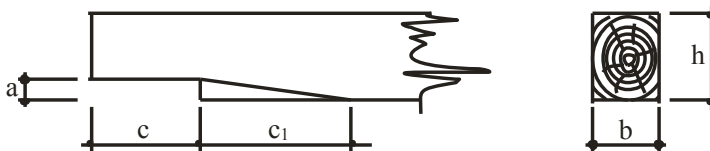
unde:

$R_{fII}^c$  și  $m_{T,f}$  au semnificația de la relația 4.39;

$S, I$  – momentul static, respectiv momentul de inerție a secțiunii transversale în raport cu axa neutră;

$b$  – lățimea secțiunii în planul în care se calculează efortul.

În zonele de capăt ale grinzilor încovoiate se recomandă evitarea slăbirilor de forma celor prezentate în fig.4.7 și se interzic atunci când acționează forțe concentrate mari. Aceste slăbiri sunt deosebit de periculoase nu atât din cauza reducerii modulului de rezistență cât din cauza fenomenului de despicare a fibrelor lemnoase care însoțește întotdeauna o astfel de slăbire.



**Fig. 4.7 - Prelucrarea grinzilor încovoiate la reazem**

Când se execută totuși chertări trebuie îndeplinite următoarele condiții:

- lungimea chertării trebuie să fie mai mare decât înălțimea grinzii ( $c \geq h$ );

- limitarea adâncimii chertării ( $a$ ) la o valoare maximă funcție de reacțiunea din reazem

( $R$ ) și înălțimea secțiunii transversale ( $h$ ) după cum urmează:

$a = 0,1 h$	pentru	$R / bh \geq 0,5 \text{ N/mm}^2$
$a = 0,25 h$	pentru	$R / bh = 0,3 \text{ N/mm}^2$
$a = 0,5 h$	pentru	$R / bh \leq 0,2 \text{ N/mm}^2$
$a = 0,3 h$	pentru	$h \geq 180 \text{ mm}$
$a = 0,4 h$	pentru	$120 \text{ mm} < h < 180 \text{ mm}$
$a = 0,5 h$	pentru	$h \leq 120 \text{ mm}$

Este recomandabil ca tăierea grinzii să se facă oblic pe o lungime  $c_1 \geq 4a$  iar când în apropierea reazemului acționează forțe concentrate mari se interzice executarea chertărilor.

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

Efortul tangențial de calcul ( $\tau_d$ ) trebuie să îndeplinească condiția :

$$\tau_d = (\gamma_G T_G + \gamma_Q T_Q) \cdot S_x / b I_x \leq f_{v,d} \quad (4.42)$$

unde:

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

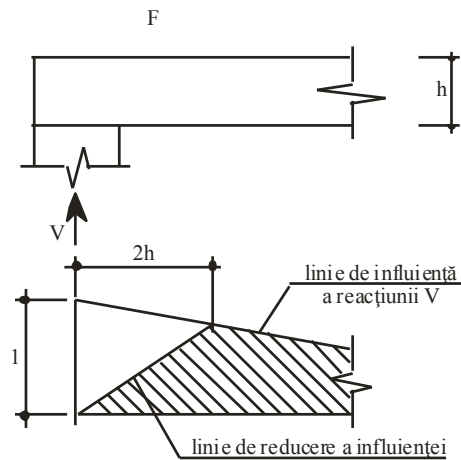
$S_x, I_x$  – momentul static, respectiv momentul de inerție al secțiunii transversale în raport cu axa neutră;

$b$  - lățimea secțiunii transversale;

$f_{v,d}$  – rezistența de calcul a lemnului la forfecare, determinată cu relația 4.10, funcție de rezistența caracteristică.

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

Norma **EUROCOD** 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.4.8.



**Fig. 4.8 - Reducerea influenței reacțiunii în funcție de punctul de încărcare**

Atunci când grinzile încovoiate au slăbiri la intrados sau extrados, în zonele de reazem (fig. 4.9) relația de calcul 4.42 se înlocuiește cu o relație de forma:

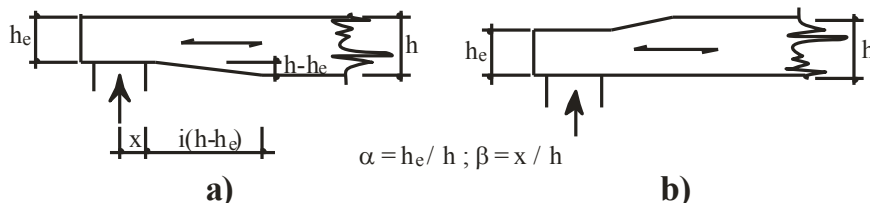
$$\tau_d = 1,5 \cdot V / b h_e \leq k_v \cdot f_{v,d} \quad (4.43 a)$$

unde:

$V$  - forța tăietoare din reazem;

$h_e$  - înălțimea redusă a secțiunii transversale în zona reazemului ( $\alpha h$ );

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


**Fig. 4.9 - Caracteristicile grinzilor prelucrate la capete**

a)- prelucrate la intrados ; b)- prelucrate la extrados

← direcția fibrelor

Coeficientul de reducere  $k_v$  are valoarea 1.0 când slăbirea este la extrados iar când slăbirea este intrados are valoarea minimă dintre 1.0 și cea rezultată cu relația (4.43 b):

$$k_v = [k_n ( 1 + 1,1 i^{1,5} / \sqrt{h})] / \sqrt{h} [ \sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8\beta\sqrt{1/\alpha-\alpha^2} ] \quad (4.43 \text{ b})$$

unde:

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

$i$  - panta prelucrării ;

$\alpha, \beta$  – coeficienți, cu notațiile din fig.4.9.

Pentru grinzile din lemn încleiat care prezintă o slăbire în inimă, de formă circulară sau rectangulară, relația 4.43a se exprimă sub forma:

$$\tau_d = 1,5 \cdot V / b \alpha h \leq k_{hol} \cdot f_{v,d} \quad (4.44)$$

unde:

$\alpha h$  – 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.

## 5.7 Calculul elementelor din lemn 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:

$$\tau_{tor,d} \leq f_{v,d} \quad (4.45)$$

unde:

$\tau_{tor,d}$  - efortul de torsiune de calcul determinat conform precizărilor de la capitolul 3.7.5.

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 :

$$\tau_{tor,d} / f_{tor,d} + (\tau_{v,d} / f_{v,d})^2 \leq 1 \quad (4.46)$$

unde:

$f_{tor,d}$  - 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 4.46 cu  $f_{v,d}$  rezultând o verificare mult mai severă.

## 5.8 CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLA 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.

### A) 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 ( $G I_{tor}$ );
- 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:

$$M_{crit} = \pi \left[ \sqrt{E \cdot I_x \cdot I_{tor} \cdot G / (1 - I_x / J_y)} \right] / l_{ef} \quad (4.47)$$

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:

$$\sigma_{crit} = (E \pi b^2 / I_f h) \sqrt{G / E} \sqrt{(1 - 0,63b/h) / (1 - b^2 / h^2)} \quad (4.48a)$$

Valoarea radicalului din ecuația 4.48b variază de la 0,94...1,5 pentru  $b/h = 0,1...0,7$ .





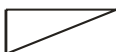
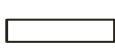


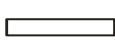
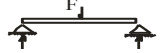

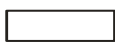


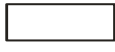
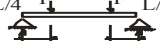
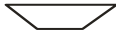

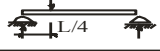




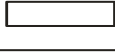


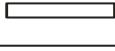
Considerând valoarea 0,94 și modulul deformației transversale  $G = E / 18$  se obține efortul critic:

$$\sigma_{crit} = 0,75 E b^2 / h l_{ef} \quad (4.48b)$$

Pentru alte situații de încărcare, diferite de cea cu un moment constant pe lungimea grinzi, pentru diferite situații de rezemare la capetele grinzii, momentul critic se poate determina cu relația 4.47 prin folosirea unui factor "m" dat în tabelul 4.17 care asigură transformarea variației momentului încovoietor într-un moment uniform echivalent și înlocuiește în formula 4.47 valoarea lui  $\pi$ .

Normele românești nu precizează metoda de verificare a stabilității laterale dar impun condiții constructive pentru evitarea pierderii stabilității laterale (tabelul 4.18). Pentru rapoarte inferioare celor date în tabelul 4.18 nu este necesar a se lua în calcul pierderea stabilității laterale.

**Tab. 4.17**  
**Factorul m de transformare a momentului real în moment echivalent**

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

**Tabelul 4.18**
**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 flambajului atât în zona comprimată cât și în zona întinsă	9/1

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

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (4.49)$$

unde:

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

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

$k_{crit}$  – 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  $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$ ; (4.50)

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

Zveltețea relativă din relațiile 4.50 se determină cu formula:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} \quad (4.51)$$

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 4.17.

## 5.8.1 CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECȚIUNE SIMPLA LA ÎNCOVOIERE DREAPTA

### 5.8.1.1 Calculul elementelor din lemn, solicitate la încovoiere dreapta, conform normei NP 005-03

Calculul grinzilor încovoiate cuprinde calcul la starea limită de rezistență la acțiunea momentului încovoietor și la forță tăietoare și un calcul la starea limită de deformații.

#### a) Calculul la stările limită de rezistență.

Calculul la acțiunea momentului încovoietor constă în compararea solicitării maxime (M) cu valoarea capacității portante a elementelor ( $M_r$ ), determinată cu relația:

$$M_r = R_i^c \cdot W_{calc} \cdot m_{T,i} \quad (4.52)$$

unde:

$R_i^c$  – rezistența de calcul a lemnului la încovoiere, determinată cu relația 4.9;

$W_{calc}$  – modulul de rezistență axial în secțiunea în care se face calculul fiind egal cu  $W_{brut}$ , când elementul nu prezintă slăbiri în secțiune și cu  $W_{net}$  dacă elementul are slăbiri;

$m_{T,i}$  – coeficient de influență a tratării lemnului (tabelul 4.2.).

Calculul folosind formula 4.52, nu ia în considerare posibilitatea apariției flambajului lateral considerând asigurarea la acest fenomen prin satisfacerea condițiilor din tabelul 4.18.

Verificarea la forță tăietoare se face considerând solicitările perpendicular pe fibre, cu relația 4.38 și în lungul fibrelor, cu relația 4.41, și ținând cont de precizările din capitolul 4.6.1.

### b) Calculul la starea limită de deformație.

Deoarece lemnul are un modul de elasticitate redus, grinzile încovoiate au deformații mari și cu creștere în timp sub încărcări de durată .

Condiția de verificare este :

$$f_{max,final} \leq f_{adm} \quad (4.53)$$

unde:

$f_{max,final}$  - deformația maximă finală la încovoiere;

$f_{adm}$  – valoarea săgeții admisibile ( tabelul 4.19).

Săgețile maxime admisibile se determină funcție de tipul elementului, deschiderea de calcul ( $l_c$ ) și caracterul construcțiilor ( definitive sau provizorii) și au valorile din tabelul 4.19.

**Tabelul 4.19**

#### Săgeți maxime admise la solicitarea de încovoiere /40/

Nr. crt.	Elementul de construcție	Valorile deformațiilor maxime admise ( $f_a$ ) pentru elemente de construcții cu caracter:	
		Definitiv	Provizoriu
1	Grinzile planșelor dintre etaje:		
	-cu finisaj din lemn	$l_c/250$	$l_c/200$
	-cu finisaj din tencuială	$l_c/300$	$l_c/250$
2	Elemente de șarpantă :		
	-astereală și sipci;	$l_c/150$	
	-pane și căpriori;	$l_c/200$	$l_c/150$
	-pane la dolii	$l_c/400$	$l_c/300$
3	Rigle și stâlpi la pereți:		
	-cu finisaj din lemn;	$l_c/250$	$l_c/200$
	-cu finisaj din tencuială	$l_c/300$	$l_c/250$
4	Sprosurile ferestrelor	$l_c/200$	$l_c/200$
5	Ferme din lemn , cu grinzi cu inima plină:		
	-cu îmbinări cu tije;	$l_c/400$	$l_c/350$
	-cu alte tipuri de îmbinări	$l_c/500$	$l_c/400$
6	Grinzi realizate prin înclieiere	$l_c/500$	$l_c/500$

Săgeata maximă finală se determină, cu relația :

$$f_{max,final} = f_1 + f_2 + f_i - f_c \quad (4.54)$$

unde :



$f_1$  – săgeata datorită încărcările permanente;  
 $f_2$  – săgeata datorită încărcărilor temporare;  
 $f_i$  – săgeata provenită din curgerea lentă a îmbinărilor ( tabelul 4.20), determinată funcție de tipul îmbinării;  
 $f_c$  – contrasăgeata inițială a grinzii neîncărcate .

**Tabelul 4.20**
**Valorile săgeților maxime a îmbinărilor,  $f_i$  /40/**

Nr.crt.	Tipul îmbinării	Deformația maximă (mm)
1	Îmbinări prin chertare	1,5
2	Îmbinări cu tije cilindrice:	
	-cuie;	$0.5 d (L/L_{cap}) \geq 2.0 \text{ mm}$
	-buloane;	$0.1 d + 1 \text{ mm} \geq 2.0 \text{ mm}$
	-șuruburi	$0.1 d \geq 2.0 \text{ mm}$
3	Îmbinări cu pene	3.0

În tabelul 4.20 deformațiile îmbinărilor, cu tije sunt date funcție de diametrul tije (  $d$  ), efortul care revine tije (  $L$  ) și capacitatea portantă minimă a tije (  $L_{cap}$  ).

Deformațiile  $f_1$  și  $f_2$  se determină considerând încărcările normate și luând în considerare săgeata elastică instantanee (  $f_{inst.}$  ) și săgeata dezvoltată în timp datorită fenomenului de fluaj și a modului de exploatare (umiditatea de echilibru) cu relația:

$$f = f_{inst.} (1 + k_{def}) \quad (4.55)$$

Coefficientul  $k_{def}$  are valorile date în tabelul 4.21

**Tabelul 4.21**
**Valorile coeficientului  $k_{def}$  /40/**

Nr. crt.	Clasa de durată a încărcării	Valorile coeficientului pentru clasa de exploatare	
		1 și 2	3
1	Permanente	0.50	1.00
2	Lungă durată	0.25	0.50
3	Scurtă durată	0.00	0.00

Contrasăgețile inițiale se folosesc de obicei la grinzile cu secțiune compusă sau la grinzi cu zăbrele și au valoarea egală cu săgețile care ar proveni din încărcările permanente și jumătate din încărcările cvasi permanente. La grinzile cu zăbrele fără tavan suspendat contrasăgeata va fi minimum 1/200 din deschiderea de calcul a grinzii.

### 5.8.1.2 Calculul elementelor din lemn cu secțiune simpla solicitate la încovoiere dreapta, 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 4.49 și are forma :

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (4.56)$$

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 4.10 poate fi corectată determinând rezistența de calcul la încovoiere cu o relație de forma:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_{crit} \cdot k_{1s} \cdot k_h \cdot f_{m,k} / \gamma_M \quad (4.57)$$

unde:

$k_{mod}, \gamma_M$  - semnificațiile din relația 4.10;

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

$k_{crit}$  – coeficient care ia în considerare fenomenul de instabilitate ( rel. 4.50);

$k_{1s}$  – 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 încheiat. 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 **EUROCOD 5** propune următoarele valori pentru  $k_h$  :

-pentru elemente din lemn masiv

$$k_h = \min. \begin{cases} (150 / h)^{0,2} \\ 1,3 \end{cases} \quad (4.58)$$

- pentru elemente din lemn încheiat

$$k_h = \min \begin{cases} (600 / h)^{0,2} \\ 1,15 \end{cases} \quad (4.59)$$

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 4.6.2.

### b) Calculul la starea limită de deformație.

Calculul la starea limită de deformație are în vedere combinația de încărcări dată de relația 4.7 și calculul săgeții finale ( $u_{fin}$ ) cu relația:

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) \quad (4.60)$$

unde:

$u_{inst}$  – deformația instantanee calculată cu gruparea de acțiuni dată de relația 4.7 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 4.22 ).

**Tabelul 4.22**

#### Valorile coeficientului $k_{def}$ / 38 /

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

Este recomandabil ca atunci când combinația de încărcare este compusă din acțiuni cu durată diferită să se calculeze separat contribuția fiecărei acțiuni la deformația totală utilizând coeficienții din tabelul 4.22.

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

$$u_{fin} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) + u_{inst,Q1}(1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum u_{inst,Qi} (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,i} \cdot k_{def}) \quad (4.61)$$

unde:

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

$\Psi_{2,1}$ ,  $\Psi_{0,1}$  – coeficienți cu semnificația dată la paragraful 4.2.1;

$k_{def}$  - coeficient cu valorile din tabelul 4.23.

**Tabelul 4.23**
**Valorile coeficientului  $k_{def}$  / 38 /**

Material	Clasa de serviciu		
	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 4.24 iar valori limită ale deplasărilor laterale la elemente verticale în tabelul 2.25.

**Tabelul 4.24**
**Valorile limită ale săgeților pentru deformații verticale /38 /**

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

**Tabelul 4.25**
**Valorile limită ale săgeților pentru deformații orizontale /38 /**

Tipul structurii	Acțiunea vântului $u_{2,inst}$	Alte acțiuni $u_{net,fin}$
Cadre fără pod rulant	$h / 150$	$h / 150$
Alte construcții cu un nivel	$h / 250$	$h / 300$
Construcții cu mai multe nivele :		
- între etaje		
construcții pentru locuințe	$h / 420$	$h / 300$
alte construcții	$h / 250$	$h / 300$
- pentru toată structura	$h / 420$	$h / 500$

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

Astfel sunt recomandate valorile:

- pentru **deformații instantanee**

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

- pentru **deformații finale**

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

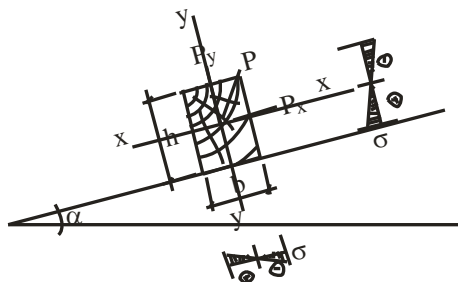
$$u_{net, fin} \leq l/200 \text{ la grinzi și } l/100 \text{ la console.}$$

## 5.8.2 CALCULUL ELEMENTELOR DIN LEMN CU SECTIUNE SIMPLA LA ÎNCOVOIERE OBLICĂ

### 5.8.2.1 Calculul elementelor din lemn, solicitate la încovoiere oblică, conform normei NP005-03

În mod curent grinzile sunt solicitate la încovoiere cu planul forțelor acționând după una din axele secțiunii transversale. Există însă situații când planul forțelor nu corespunde cu axele secțiunii realizându-se o încovoiere oblică.

La solicitarea de încovoiere oblică eforturile finale rezultă din însumarea algebrică a eforturilor unitare, stabilite în raport cu cele două axe de inerție principale ale elementului și considerând proiecțiile încărcărilor pe aceste axe ( fig.4.12)


**Fig. 4.12 - Bară solicitată la încovoiere oblică**

În aceste condiții se verifică relația:

$$\pm M_{ef}^x / M_r^x \pm M_{ef}^y / M_r^y \leq 1,0 \quad (4.75)$$

unde:

$M_{ef}^x, M_{ef}^y$  – momentele încovoietoare de calcul după axa x-x, respectiv după axa y-y provenite din acțiunile exterioare;

$M_r^x, M_r^y$  – capacitățile portante, determinate cu relația 4.52, pe direcția axelor centrale principale de inerție luând în considerare  $W_{x,calc}$  respectiv  $W_{y,calc}$ .

Verificarea la starea limită de deformație se face cu relația :

$$f_{max,finală} = \sqrt{(f_{max,finală}^x)^2 + (f_{max,finală}^y)^2} \leq f_{adm} \quad (4.76)$$

unde:

$f_{max,final}^x; f_{max,final}^y$  - săgețile maxime finale stabilite, după axa x-x respectiv y-y, cu relația 4.54;

$f_{adm}$  – săgeata admisibilă ( tabelul 4.19 ).

#### 4.8.2.2 Calculul elementelor din lemn, solicitate la încovoiere oblică, conform normei EUROCODE 5

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

$$k_m (\sigma_{m,x,d} / f_{m,d}) + \sigma_{m,y,d} / f_{m,d} \leq 1,0 \quad (4.77)$$

$$\sigma_{m,x,d} / f_{m,d} + k_m (\sigma_{m,y,d} / f_{m,d}) \leq 1,0 \quad (4.78)$$

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 4.10;

$k_m$  – 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.

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

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

- la bare încărcate cu forțe axiale combinate cu forțe transversale (barele tălpilor grinzilor cu zăbrele încărcate cu forțe între noduri, stâlpi care preiau încărcări din vânt, tiranți cu elemente suspendate, etc.)

- la încărcări axiale excentrice, pondere datorită îmbinărilor ;

- la bare având curburi inițiale;

- la bare solicitate axial dar având slăbiri nesimetrice.

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

### 5.9.1 Calculul elementelor din lemn, solicitate la compresiune cu încovoiere, conform normei NP005-03

Calculul barelor în planul încovoieri se face ținând cont atât de momentul încovoierii efectiv din încărcările externe cât și de momentul încovoierii suplimentar dat de forța axială de compresiune folosind relația :

$$- C_{ef} / C_r \pm M_{ef}^f / M_r \leq 1,0 \quad (4.79)$$

unde:

$C_r, M_r$  - capacitățile portante ale barei la compresiune respectiv la încovoiere stabilite cu relația 4.27 respectiv 4.52;

$C_{ef}$  – efortul axial din bară;

$M_{ef}^f$  – momentul încovoierii maxim final.

Momentul încovoierii maxim final se determină ținând cont de efectul de încovoiere al forței axiale cu relația:

$$M_{ef}^f = M_{ef} / (1 - C_{ef} / C_E) \quad (4.80)$$

unde:

$M_{ef}$  – momentul încovoierii din încărcările externe;

$C_E$  – forța critică de flambaj pe direcția de aplicare a momentului încovoierii determinată cu o relație asemănătoare cu relația 4.17 și anume:

$$C_E = \pi^2 E_{0,05} \cdot m_{u,E} \cdot m_{T,E} \cdot I / l_f^2 \quad (4.81)$$

unde:

$E_{0,05}, I, l_f$  - caracteristici cu semnificațiile din relația 4.17;

$m_{u,E}, m_{T,E}$  – coeficienții care iau în considerare condițiile de lucru respectiv modul de tratare a lemnului ( tab. 4.7 și 4.6).

În situațiile când încovoierile sunt mici ( $M_{ef}^f / W_{brut} < 0,1 C_{ef} / A_{brut}$ ) verificarea barelor comprimate excentric se face la compresiune cu flambaj (conform cap. 4.5.3) cu neglijarea influenței momentului încovoierii.

Verificarea barelor comprimate excentric în planul normal pe planul încovoierii se face la compresiune centrică (v.cap. 4.5.3)

Elementele comprimate excentric se verifică la lunecare luând în considerare capacitatea portantă la forfecare ( $L_r$ ) determinată cu relația 4.41 și forța de lunecare maximă efectivă ( $L_{ef}^f$ ) determinată în funcție de schema de încărcare și momentul încovoierii efectiv final ( $M_{ef}^f$ ).

### 5.9.2 Calculul elementelor din lemn solicitate la compresiune cu încovoiere, conform normei EUROCODE 5

Norma EUROCOD 5 dă condițiile generale de verificare funcție de coeficienții de zveltețe și pentru cazul încovoierii pe două direcții. Astfel pentru elemente la care zveltețea după cele două direcții (determinată cu relația 4.35). este mai mică sau egală cu 0,5 trebuie satisfăcute condițiile:

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (4.82.a)$$

$$(\sigma_{c,o,d} / f_{c,o,d})^2 + k_m \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (4.82.b)$$

unde :

$\sigma_{c,o,d}$  - este efortul unitar de compresiune determinat cu relația 4.32;

$\sigma_{m,x,d}$  ;  $\sigma_{m,y,d}$  – 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 4.10;

$k_m$  – 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:

$$\sigma_{c,o,d} / k_{c,x} f_{c,o,d} + \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (4.83a)$$

$$\sigma_{c,o,d} / k_{c,y} f_{c,o,d} + k_m \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (4.83b)$$

unde:

$k_{c,x}$  ;  $k_{c,y}$  – coeficienți care țin cont de flambajul după axa x respectiv y, determinați cu relația 4.33, luând în considerare zveltețile relative ( $\lambda_{rel}$ ) determinate cu relația 4.35, după cele două axe.

În cazul încovoierii pe o singură direcție calculul se face cu relațiile 4.81 și 4.83 în care al treilea termen este 0.

### 5.9.3 Calculul elementelor din lemn, solicitate la întindere cu încovoiere, conform normei NP 005-03.

Calculul barelor solicitate la întindere excentrică se face în mod asemănător cu cel al barelor solicitate la compresiune centrică, cu deosebirea că nu se ia în considerare efectul forței de întindere asupra săgeții. Calculul se face în secțiunea cu moment încovoiator maxim și modul de rigiditate aferent precum și în secțiunea cu modul de rigiditate minim și moment încovoiator aferent.

Pentru calcul se folosește relația:

$$\pm T_{ef} / T_r \pm M_{ef} / M_r \leq 1,0 \quad (4.84)$$

unde:

$T_r$ ,  $M_r$  - capacitățile portante ale barei la întindere centrică și încovoiere determinate cu relațiile 4.12 respectiv 4.52.

$T_{ef}$  ,  $M_{ef}$  – forța de întindere respectiv momentul încovoiator provenite din încărcările exterioare.

### 5.9.4 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:

$$\sigma_{t,o,d} / f_{t,o,d} + \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (4.85a)$$





## ROMWOODHOUSE

Asociația Constructorilor de Case pe Structură din Lemn

Tel. 0040 730 030 380, <http://www.romwoodhouse.ro>,

[contact@romwoodhouse.ro](mailto:contact@romwoodhouse.ro), [office@romwoodhouse.ro](mailto:office@romwoodhouse.ro)

B-dul Splaiul Unirii, nr. 8, bl. B4, sc. 1, et. 1, ap. 1, Bucuresti, România

$$\sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} + k_m \sigma_{m,x,d} / f_{m,x,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (4.85b)$$

unde:

$\sigma_{t,0,d}$  – efortul unitar de întindere determinat cu relația 4.14;

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

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

$f_{m,x,d} = f_{m,y,d}$  – 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.