

Proiectarea betonului armat conform SR E N 1992-1-1:2024

Proiectarea Grinzilor

Dr. Ing. Gábor - Álmos Sándor

Dr. Ing. Traian - Nicu Toader

Proiectarea bazată pe SR EN 1992-1-1:2024

Standardul SR EN 1992-1-1:2024 face parte din cea de-a doua generație de Eurocoduri și a fost adoptat ca Standard român la 31.01.2024. Prezenta lucrare este o filadă menită a fi asemenea unui ghid de proiectare ce urmărește principiile fundamentale și prescripțiile prezentate în acest standard legate de proiectarea și dimensionarea grinzilor din beton armat.

Utilizarea standardelor de referință

Având în vedere că acest ghid a fost realizat în timpul perioadei oficiale de tranziție la SR EN 1992-1-1:2024 și ținând cont de posibilitatea ca anumiți parametri determinați la nivel național (NDP) să fie supuși schimbării în viitorul apropiat, autorii recomandă ca în activitatea de proiectare cotidiană să se utilizeze cele mai recente ediții ale standardelor române de referință împreună cu anexele naționale, amendamentele și eratele publicate de către organismul național de standardizare, după caz. Mai multe informații despre acest subiect se găsesc pe www.asro.ro.

Utilizarea și declinarea responsabilității

Toate drepturile asupra prezentului ghid revin autorilor și AICPS. Reproducerea integrală sau parțială în scopul republicării impune aprobarea prealabilă de către aceștia.

Acest ghid oferă informații generale despre subiectul tratat, dar nu e conceput și nici destinat să furnizeze inginerilor proiectanți toate informațiile, regulile, reglementările, situațiile specifice amplasamentului și metodele necesare pentru a-și îndeplini sarcinile. Ghidul va fi utilizat împreună cu standardele SR EN 1992-1-1:2024 și SR EN 1992-1-2:2024. De asemenea, prezentul ghid nu poate înlocui judecata profesională și nici gândirea rațională independentă.

Autorii și AICPS nu își asumă responsabilitatea pentru pierderi sau daune provocate de o utilizare parțială sau incorectă a informațiilor conținute în acest ghid de proiectare.

Navigarea ghidului de proiectare

Acest ghid este adresat atât inginerilor proiectanți de structuri cu experiență cât și debutanților. Structura simplistă și conținutul cu caracter informativ, îi conferă o vedere de ansamblu asupra etapelor specifice în proiectarea grinzilor din beton armat, precum și asupra principalelor modificări aduse de către SR EN 1992-1-1:2024 (în continuare - noul standard).

În locul unui cuprins, **Tabelul 1** prezintă capitolele și standardele de referință specifice fiecărei etape de

dimensionare și face trimitere la pasajele aferente din reglementările tehnice.

Legendă

Referințele numerotate cu **litere îngroșate de culoare neagră** (cu excepția cazului în care se specifică diferit) fac trimitere la capitolele, articolele și/sau ecuațiile din SR EN 1992-1-1:2024, iar referințele cu **litere îngroșate de culoare roșie** trimit la ecuațiile și capitolele prezentului ghid.

Tabelul 1

Etapile de dimensionare a grinzilor din beton armat

Etapa de calcul	Standard de referință	Referințe din acest ghid
1 Determinarea încărcării de calcul și predimensionare	CR 0 - 2012; SR EN 1990+NA	Capitolul 1
2 Condiții de durabilitate	Capitolul 6 din SR EN 1992-1-2:2024	Capitolul 2
3 Alegerea materialelor și determinarea rezistențelor de calcul	Capitolul 5 din SR EN 1992-1-1:2024	Capitolul 3
4 Analiza structurală	Capitolul 7 din SR EN 1992-1-1:2024	Capitolul 4
5 Dimensionarea la încovoiere	Capitolul 8 din SR EN 1992-1-1:2024	Capitolul 5
6 Dimensionarea la forfecare	Capitolul 8 din SR EN 1992-1-1:2024	Capitolul 6
7 Dimensionarea la torsiune	Capitolul 8 din SR EN 1992-1-1:2024	Capitolul 7
8 Reguli de alcătuire la grinzi	Capitolul 12 din SR EN 1992-1-1:2024	Capitolul 8
9 Limitarea săgeții	Capitolul 9 din SR EN 1992-1-1:2024	Capitolul 9

Notă: NA denotă Anexa Națională

Definiție

Se consideră grindă un element structural liniar supus preponderent la încovoiere și forfecare, a cărui deschidere efectivă este egală cu cel puțin 3 ori înălțimea secțiunii transversale (**3.1.2**) și efortul axial normalizat e mai mic decât 0,1. Prezentul document tratează, mai ales, grinzile de beton armat cu secțiune transversală dreptunghiulară care sunt încărcate gravitațional cu forțe uniforme distribuite și forțe concentrate.

1. Determinarea încărcării de calcul și predimensionare

Proiectarea bazată pe *Eurocoduri* are la bază metoda coeficienților parțiali de siguranță. Metoda constă în verificarea tuturor situațiilor de proiectare, astfel încât stările limită să nu fie depășite pentru modelele de calcul în care se utilizează valorile de proiectare ale acțiunilor concomitent cu valorile de proiectare ale rezistențelor.

Încărcările de calcul (de proiectare), E_d , se vor stabili prin gruparea/combinarea valorilor provenite din acțiunile considerate că se pot produce simultan, atât pentru Starea Limită Ultimă (SLU), cât și pentru cea de

Exploatare sau Serviciu (SLS), pe baza prevederilor din codul de proiectare **CR 0 – 2012**, standardul **SR EN 1990** și anexa națională aferentă.

În **Tabelul 2** sunt date relații pentru predimensionarea înălțimii utilizând literatura de specialitate (vezi bibliografie), sub acțiunea unor încărcări cu valori uzuale.

Tabelul 2

Înălțimea orientativă a grinzilor în funcție de deschidere

Tipul de grindă	h
Grinzi principale și grinzi de cadru	$l/16 \dots l/12$
Grindă principală în consolă	$l/6$
Grinzi secundare și nervuri dese simplu rezemate	$l/20$
Grindă secundară în consolă	$l/7$
Nervuri dese încastrate elastic	$l/25$
Nervură în consolă	$l/8$

Notă: Pentru grinzi monolite înălțimea și lățimea se iau, de regulă, multiplu de 50 mm.

Pentru secțiuni dreptunghiulare se recomandă ca raportul h/b să fie în intervalul $[1,5; 5,0]$, pentru

secțiuni „T” în intervalul [2,0; 4,0], respectiv în situațiile în care valoarea momentului de torsiune depășește 1/3 din valoarea momentului încovoiator h/b se recomandă a fi considerat $\leq 2,0$.

2. Condiții de durabilitate

Una dintre schimbările aduse prin noul standard este introducerea unei noi metode de specificare a rezistenței la coroziune a armăturii cauzată de carbonatare, respectiv de cloruri. Este vorba de clase de rezistență la expunere (ERC) ce pot fi îndeplinite prin testare sau pot fi utilizate anumite valori limită tabelate (acoperirea minimă pentru durabilitate, $c_{min,dur}$), la carbonatare (XRC – **Tabelul 6.3 (NDP)** și la cloruri (XRDS – **Tabelul 6.4 (NDP)**). De asemenea, au fost introduse și clase de rezistență la deteriorarea cauzată de cicluri repetate de îngheț/dezghet (XRF). Aceste prevederi sunt în acord cu **NE 012/1-2022**, implicit și cu **SR EN 206+A2:2021**, și însoțesc clasele de expunere (ex. XC1, XD1, XS3, XF2 etc.) din vechiul standard.

Relația pentru stabilirea distanței de la fața elementului la centrul de greutate al armăturilor de rezistență rămâne neschimbată:

$$a \geq c_{nom} + \varnothing_{sw} + \varnothing_{st}/2 \quad (1)$$

Satisfacerea condițiilor de rezistență la foc

Pentru asigurarea rezistenței standard la foc fără un calcul explicit, la grinzii trebuie respectate valorile minime ale grosimii și ale distanței a , de la centrul de greutate al armăturii la cea mai apropiată față a grinzii expusă la foc (**Tabelul 3**).

Tabelul 3

Lățimea minimă și distanța a , pentru grinzii simplu rezemate

REI	30	60	90	120	180	240
b_{min} [mm]	80	120	150	200	240	280
a [mm]	25	40	55	65	80	90

Notă: Pentru alte combinații posibile între lățimea minimă a grinzii, b_w , și distanța medie la axa armăturilor, a , consultați **Tabelul 6.6 din SR EN 1992-1-2:2024**.

Notă 2: În cazul grinzilor cu lățime minimă și armate pe un singur rând, distanța până la axa armăturii longitudinale de colț trebuie majorată cu 10 mm.

Informații suplimentare asupra grinzilor și regulilor aplicabile unui calcul detaliat la foc, respectiv reguli adiționale pentru diferitele tipuri de rezemări, se regăsesc în **SR EN 1992-1-2:2024**.

3. Alegerea materialelor și determinarea rezistențelor de calcul

Capitolul 5 al SR EN 1992-1-1:2024 formulează principiile și regulile aplicabile betonului de rezistență normală și betonului de înaltă rezistență, respectiv regulile aplicabile armăturilor de oțel (**Tabelul 4**).

Tabelul 4

Proprietățile armăturilor din oțel conforme cu SR EN 1992-1-1:2024

Clasa de rezistență	f_{yk} [N/mm ²]	μ_{lim}
B400	400	0.392
B450	450	0.381
B500	500	0.372
B550	550	0.362
B600	600	0.353
B700	700	0.336

Notă: Anexa Națională poate să excludă utilizarea anumitor clase de oțel sau poate defini clase de rezistență intermediare

Metodele de alegere a materialelor și de stabilire a rezistențelor de calcul sunt prezentate mai detaliat în **Capitolul 3 al Ghidului AICPS pentru Proiectarea betonului armat conform SR EN 1992-1-1:2024. Proiectarea Plăcilor**.

4. Analiza structurală

Calculul static se poate efectua utilizând cel puțin una dintre metodele de analiză structurală acceptabile:

- analiză liniar elastică (**7.3.1**);
- analiză liniar elastică cu redistribuire (**7.3.2**);
- analiză plastică (**7.3.3**), inclusiv modele bielă-tirant și câmpuri de tensiune (**7.3.3.3**);
- analiză neliniară utilizând metode numerice ce iau în considerare proprietățile neliniare ale materialelor (**7.3.4**).

Pentru verificări la SLU se poate/pot utiliza oricare dintre metodele de analiză structurală menționate anterior, cu excepția grinzilor proiectate să preia acțiuni seismice pentru care nu se acceptă o analiză liniar elastică cu ipotezele de: secțiuni transversale nefisurate, relație tensiuni-deformații liniară și valoare medie a modului de elasticitate (**7.3.1(2)**). Pentru verificări la SLS se pot utiliza doar analiza liniar elastică (considerând efectul fisurării betonului), analiza plastică (utilizând modelul bielă-tirant sau modelul câmpuri de tensiune) sau analiza neliniară.

Analiza liniar elastică cu redistribuire

Momentele încovoietoare calculate folosind analiza liniar elastică pot fi redistribuite cu condiția ca eforturile și reacțiunile rezultate să rămână în echilibru cu încărcările aplicate (Figura 1). Determinarea valorii momentului încovoietor redistribuit se poate face în două moduri: fără verificarea explicită a capacității de rotire (7.3.2(3)) sau cu verificare explicită (7.3.2(5)).

Dacă grinda e continuă și raportul oricăror două deschideri adiacente este cuprins între 0,5 și 2, atunci se pot calcula momentele încovoietoare fără verificarea explicită a capacității de rotire. În acest caz, raportul dintre valoarea momentului încovoietor pe reazem după redistribuire și valoarea momentului încovoietor elastic se notează cu δ_M și are expresia:

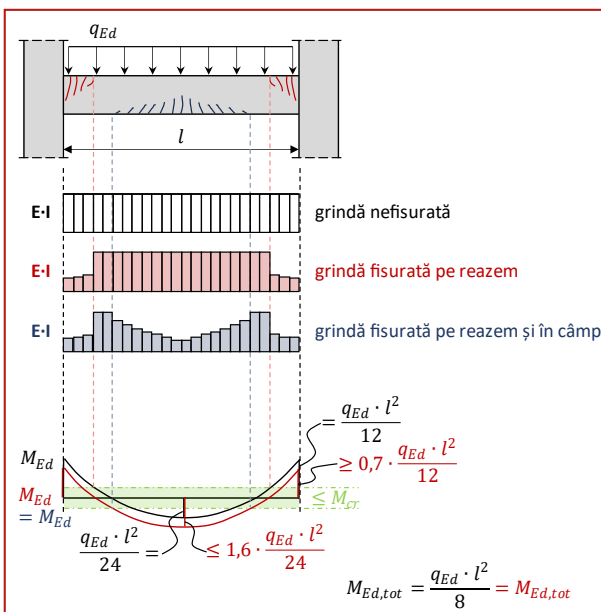
$$\delta_M \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{1 + 0,7 \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s / f_{yd}} + \frac{x_u}{d} \\ \delta_{M,lim} \end{array} \right. \quad (7.16)$$

unde:

$\delta_{M,lim} = 0,7$ pentru armături de oțel de clasă B ($\varepsilon_{uk} = 5,0\%$) sau C ($\varepsilon_{uk} = 7,5\%$), respectiv $\delta_{M,lim} = 0,8$ pentru clasă A ($\varepsilon_{uk} = 2,5\%$).

x_u/d exprimă înălțimea zonei de compresiune la SLU raportată la înălțimea utilă a secțiunii.

Figura 1
Distribuția rigidității echivalente la încovoiere și influența fisurării asupra diagramei de moment încovoietor pentru o grindă de beton armat



Analiza plastică

În general, analiza plastică va fi bazată pe metoda statică (limita inferioară de plasticitate). Atunci când se utilizează metoda cinematică (limita superioară de plasticitate) se va examina o varietate de mecanisme posibile considerând valorile de calcul ale proprietăților materialelor asociate SLU. Capacitatea de deformare plastică în secțiunile critice trebuie să fie suficientă pentru a permite formarea mecanismului dorit (7.3.3.1(3)).

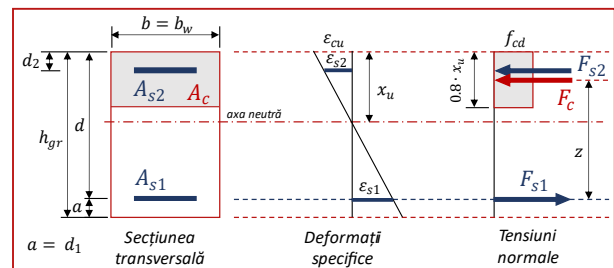
Analiza plastică se poate utiliza dacă în zonele critice (acolo unde pot apărea articulații plastice) armătura utilizată este de clasă B sau C, cu mențiunea că armătura pretensionată poate fi considerată de clasă B (7.3.3.1(5)). În calculul capacității portante în secțiuni normale, pentru armături se consideră o diagramă efort unitar – deformație specifică de tip bilinear fără consolidare (7.3.3.1(6)).

Atunci când se utilizează analiza plastică fără verificarea directă a capacității de rotire, este obligatoriu ca în orice secțiune transversală unde se pot dezvolta articulații plastice să fie verificată relația $x_u/d \leq 0,25$ și raportul oricăror două deschideri adiacente să fie cuprins între 0,5 și 2 (7.3.3.2). În caz contrar, este obligatorie verificarea directă a capacității de rotire în SLU.

5. Dimensionarea la încovoiere

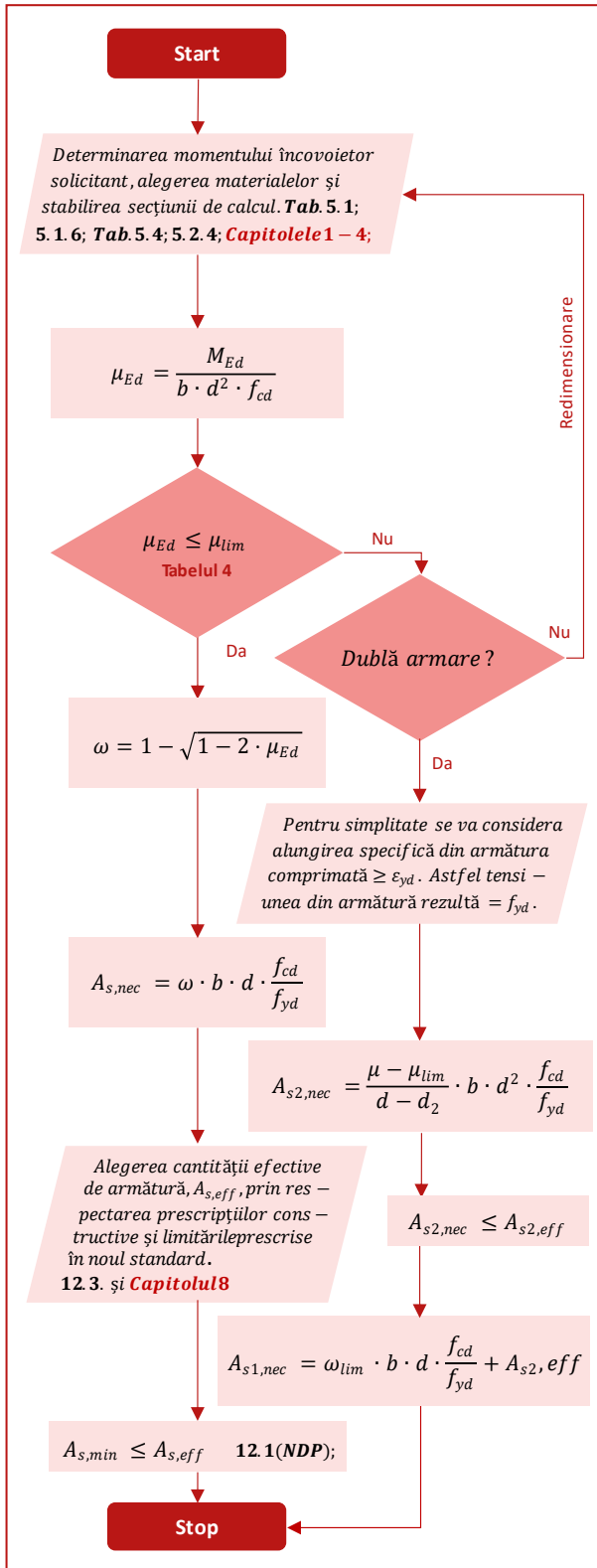
Conform 8.1.2, la proiectarea în secțiuni normale în zona comprimată distribuția deformațiilor specifice este considerată de formă triunghiulară (variație liniară între axa neutră și fibra extremă comprimată), iar distribuția eforturilor unitare de compresiune este considerată parabolă – dreptunghi sau, în mod simplificat, distribuție dreptunghi (asemenea celei din Figura 2).

Figura 2
Distribuția deformațiilor specifice și a tensiunilor normale din beton pe înălțimea secțiunii transversale



În continuare, este schematizată dimensionarea grinzii de beton armat supuse la încovoiere dreaptă sub forma unei schemei logice (Figura 3).

Figura 3
 Schema logică pentru dimensionarea grinzilor la încovoiere



Determinarea capacității ultime la încovoiere ale unei secțiuni (calculul momentului capabil) se poate efectua folosind una dintre metodele prezentate în **Capitolul 5** al

Ghidului AICPS pentru Proiectarea betonului armat conform SR EN 1992-1-1:2024. Proiectarea Plăcilor.

6. Dimensionarea la forfecare

Principala schimbare adusă de noul standard la verificarea capacității la forfecare este trecerea de la forțe la eforturi unitare tangențiale în relațiile de calcul:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot z} \quad (8.18)$$

sau

$$\tau_{Ed} = \frac{v_{Ed}}{z} \quad (8.19)$$

unde:

v_{Ed} este forța tăietoare de calcul exprimată pe unitate de lățime, iar b_w este lățimea minimă a secțiunii transversale a elementului.

Calculul bazat pe metoda grinzii cu zăbrele la elemente de beton armat cu armături transversale poziționate perpendicular față de axa elementului este prezentat în **Figura 4**, respectiv în **Figura 8.9**. Unghiul de înclinare al bielor comprimate e obținut din inecuația:

$$1 \leq \cot \theta \leq \cot \theta_{min} \quad (8.41)$$

Dacă $\cot \theta_{min}$ respectă prescripțiile de la punctul **8.2.3 (4)** atunci pentru v se poate adopta valoarea de 0,5. Noul standard prescrie pentru armăturile de clasă B și C valoarea minimă a cotangentei unghiului bielor comprimate făcut cu axa longitudinală a elementului ca fiind egală cu 2,5 pentru elemente uzuale. Aspecte particulare legate de $\cot \theta_{min}$ se regăsesc în **8.2.3 (4)**.

În continuare, este schematizată dimensionarea grinzilor de beton armat la forță tăietoare sub forma unei schemei logice, **Figura 5**. În relațiile **8.20** și **8.27**, γ_V este coeficient parțial de siguranță la forfecare definit în **Tabelul 4.3 (NDP)**, d_{dg} este un parametru care descrie rugozitatea zonei de cedare, iar ρ_l este procentul de armare longitudinală.

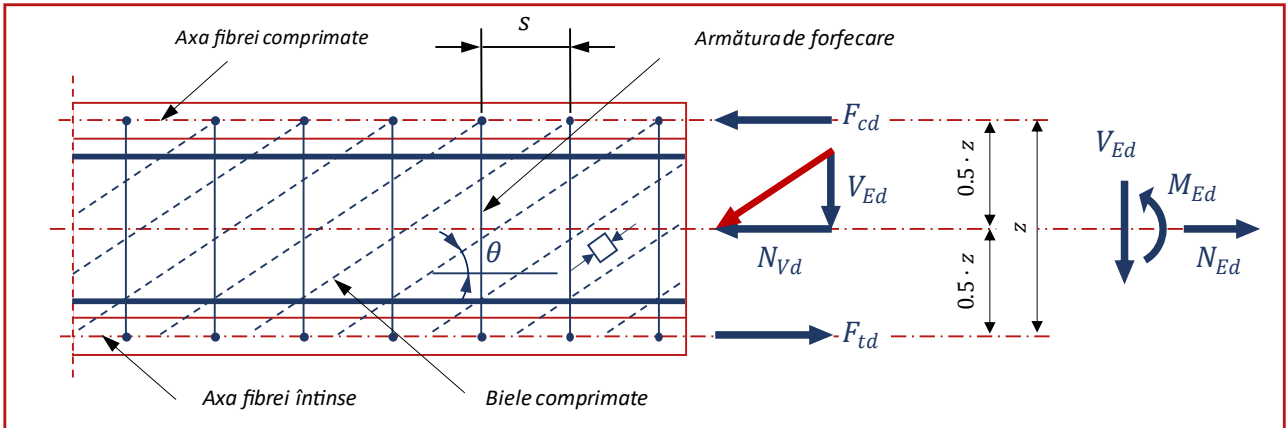
Pentru betoanele cu $f_{ck} \leq 60 \text{MPa}$, d_{dg} se calculează cu următoarea relație:

$$d_{dg} = 16 \text{ mm} + D_{lower} \leq 40 \text{ mm} \quad (11)$$

unde:

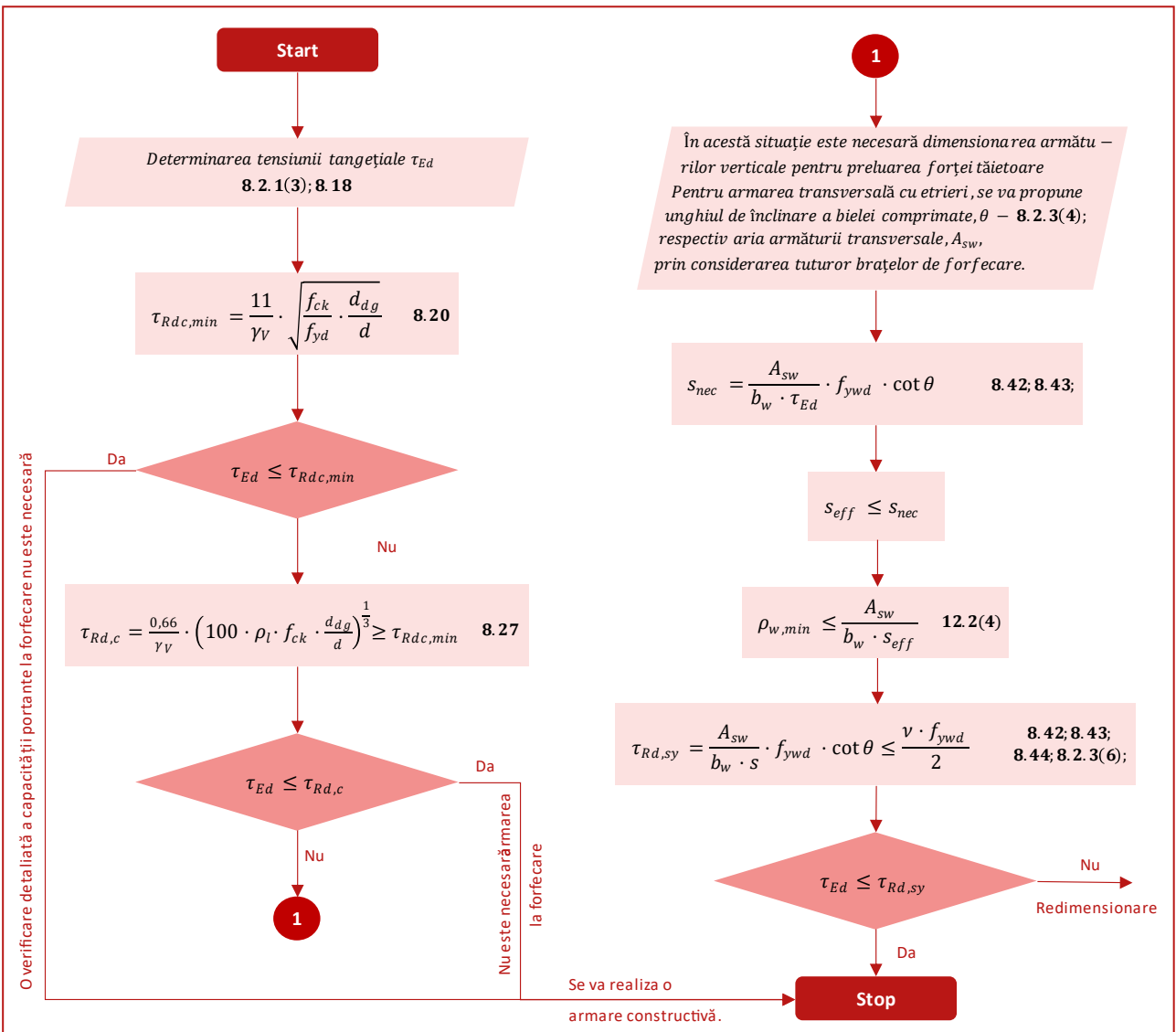
D_{lower} reprezintă diametrul minim al ochiului sitei de cernere de la nivelul superior, conform **8.2.1(4) Nota 2** și **SR EN 206+A2:2021**. În cazul în care se cunoaște diametrul maxim al granulei de agregat (D_{max}), D_{lower} poate fi înlocuit cu D_{max} .

Figura 4
Modelul grinzii cu zăbrele și notații pentru elemente armate la forță tăietoare



Dacă cot θ_{min} respectă prescripțiile de la punctul 8.2.3 (4) atunci pentru v se poate adopta valoarea de 0.5.

Figura 5
Schema logică pentru dimensionarea grinzilor la forfecare



Efortul axial de întindere suplimentar, N_{Vd} , datorat forței tăietoare, V_{Ed} , se poate calcula cu:

$$N_{Vd} = |V_{Ed}| \cdot \cot \theta_{min} \quad (8.50)$$

Pe baza **Figurii 4**, această forță se poate adăuga atât la coarda întinsă cât și la cea comprimată. Drept urmare, forțele din corzi, F_{td} și F_{cd} , rezultă:

$$F_{td} = \frac{M_{Ed}}{z} + \frac{N_{Vd} + N_{Ed}}{2} \quad (8.51)$$

și

$$F_{cd} = \frac{M_{Ed}}{z} - \frac{N_{Vd} + N_{Ed}}{2} \quad (8.52)$$

7. Dimensionarea la torsiune

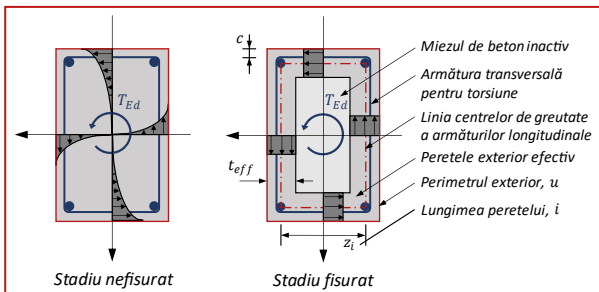
Dimensionarea grinzilor la torsiune cât și verificarea la efectul combinat al diferitelor tipuri de acțiuni se efectuează în acord cu **Capitolul 8.3** al noului standard.

Dimensionarea secțiunilor rectangulare pline

Calculul la torsiune a secțiunilor pline de beton armat se efectuează reducând secțiunea plină la una cu pereți subțiri cu grosimea pereților t_{eff} (**Figura 6**).

Figura 6

Reducerea secțiunilor dreptunghiulare la torsiune



Grosimea efectivă a pereților secțiunii transversale reduce, t_{eff} , poate fi considerată ca fiind egală cu aria totală a secțiunii de beton împărțită la perimetru.

$$t_{eff} = \frac{A_c}{u} \quad (7)$$

În același timp, t_{eff} nu trebuie considerat mai mic decât dublul distanței măsurate de la suprafața betonului la centrul de greutate al armăturii longitudinale. Observăm că se păstrează relația de calcul din vechiul standard.

Aria de beton delimitată de liniile centrelor de greutate ale pereților subțiri este notată cu A_k . Perimetrul acestei arii se notează cu u_k . O reprezentare grafică ale acestor valori se regăsește în **Figura 7**.

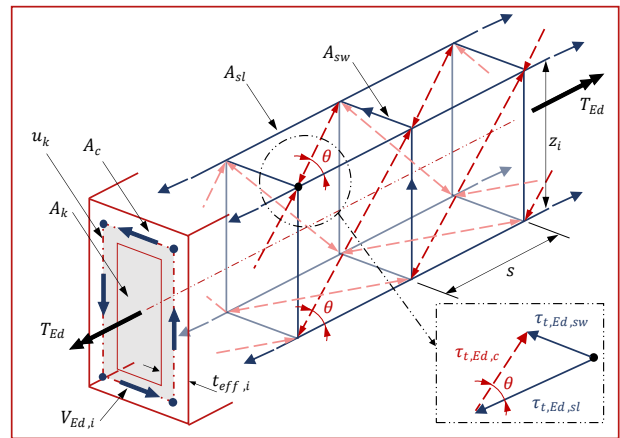
Dacă grosimea efectivă a pereților, t_{eff} , este constantă pe tot conturul, atunci ec. **8.79** se poate scrie sub forma:

$$\tau_{t,Ed} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k \cdot t_{eff}} \quad (8)$$

Unde $\tau_{t,Ed}$ este tensiunea de forfecare din torsiune în peretele secțiunii transversale al unui element supus la răsucire.

Figura 7

Modelul grinzii cu zăbrele și notații pentru un element de beton armat de secțiune dreptunghiulară sollicitat la răsucire



unde:

$\tau_{t,Ed,c}$ este efortul unitar tangențial datorat torsiunii în biela comprimată de beton;

$\tau_{t,Ed,sw}$ este efortul unitar tangențial datorat torsiunii în armătura transversală;

$\tau_{t,Ed,sl}$ este efortul unitar tangențial datorat torsiunii în armătura longitudinală.

Conform relației **8.80**, forța tăietoare datorată torsiunii dintr-un perete i al secțiunii este:

$$V_{Ed,i} = \tau_{t,i} \cdot t_{eff,i} \cdot z_i \quad (8.80)$$

Capacitatea portantă maxim posibilă a unei secțiuni cu armare transversală ce preia tensiuni de forfecare se poate determina cu ecuația de mai jos. În acest caz cedarea are loc prin zdrobirea bielei comprimate de beton.

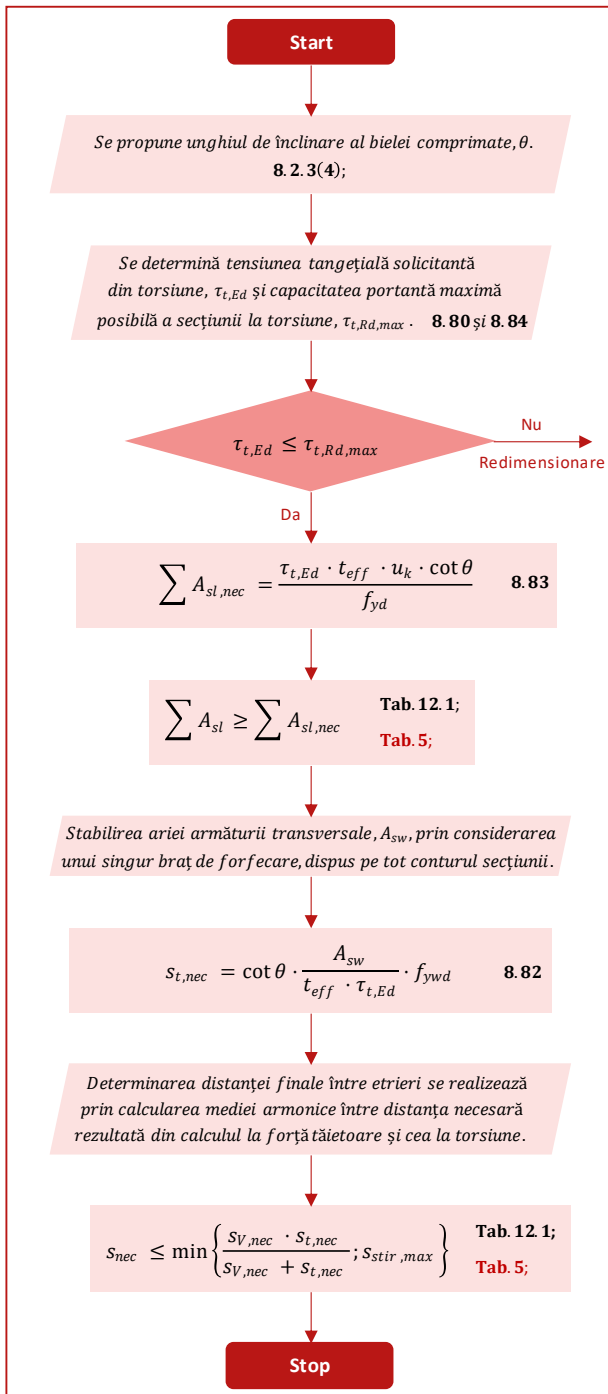
$$\tau_{t,Rd,max} = \frac{v \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (8.84)$$

Pentru cazurile în care unghiul de înclinare al bielei comprimate, θ , e considerat 45° ($\cot \theta = 1$), valoarea

lui v se poate lua 0,6. Pentru alte unghiuri de înclinare se vor considera prescripțiile de la punctul **8.3.4 (4)**.

Pașii necesari pentru verificarea capacității portante la torsiune a unei secțiuni, cât și procedul de determinare a cantităților de armătură necesare (atât longitudinale cât și transversale) sunt sintetizate în schema logică din **Figura 8**.

Figura 8
Schema logică pentru dimensionarea grinzilor la torsiune



Armătura longitudinală necesară pentru torsiune se dispune uniform pe perimetrul interior etrierilor și la colțuri, respectând distanța maxim permisă (**12.3.3(9)** și **Tabel 5**). În consecință, cantitatea de armătură aferentă unei laturi se poate calcula cu **Ecuația 8**.

$$A_{sl,i} = \frac{z_i}{u_k} \cdot \sum A_{sl} \quad (8)$$

Verificarea în cazul acțiunilor combinate

Noul standard prezintă o metodă de verificare simplificată și acoperitoare a rezistenței secțiunilor transversale supuse la o combinație de eforturi interne (încovoiere cu forfecare și efort axial, respectiv forfecare cu torsiune și efort axial) care poate fi efectuată prin respectarea criteriului următor:

$$\sum \left(\frac{S_{Ed}}{S_{Rd}} \right)_i \leq 1,0 \quad (8.86)$$

unde, i , este solicitarea considerată, iar S_{Ed} și S_{Rd} reprezintă solicitarea de proiectare, respectiv, rezistența de proiectare aferentă (ex. momentul de torsiune solicitant și capacitatea portantă la torsiune pură).

Raportul S_{Ed}/S_{Rd} pentru solicitările de forfecare și încovoiere nu trebuie introdus simultan în formula (8.86), cu mențiunea că în calculul capacității portante la încovoiere nu se consideră aria de armătură necesară pentru a prelua N_{Vd} (**8.2.3(8)**). În astfel de cazuri se pot efectua două verificări separate considerând următoarele combinații:

- încovoiere, torsiune și efort axial;
- forfecare, torsiune și efort axial.

8. Reguli de alcătuire la grinzi

Armarea grinzilor se realizează în acord cu specificațiile din **Tabelul 12.1 (NDP)**, exceptând cazul în care alte valori sunt furnizate prin anexa națională. Forma armăturilor transversale și ancorajul acestora sunt identice în noul standard cu cele din vechiul standard, însă apar două completări. Prima, la grinzi supuse la torsiune, atunci când armătura transversală nu e continuă și e necesară suprapunerea de bare pentru asigurarea continuității sau ancorajului ramurii de forfecare, se menționează explicit că înnădirea prin suprapunere trebuie să respecte lungimea de suprapunere calculată (**Figura 12.3 b** și **d**). Iar a doua, este permisă armarea transversală cu armături de tip bară cu capăt ambutisat sau cu placă sudată (ancoraj scurt), geometria fiind cea de la gujoane și dornuri

(Figura 12.2 e)). În **Tabelele 5 și 6** sunt sintetizate regulile privind armarea longitudinală, respectiv transversală atunci când se utilizează armături din oțel, uzuale.

Tabelul 5

Prevederi pentru armarea longitudinală

Prevedere	Mărime, valoare
Aria minimă de armătură longitudinală, în fibra întinsă, în elemente solícitate la încovoiere cu compresiune ($N_{Ed,min} \leq 0,5 \cdot A_c \cdot f_{ctm}$). Se notează cu $M_{R,min}(N_{Ed,min})$ momentul încovoietor capabil al secțiunii transversale armate cu $A_{s,min}$ pentru o tensiune f_{yk} în prezența efortului axial $N_{Ed,min}$. $N_{Ed,min}$ este efort axial de compresiune la SLU cu valoare minimă, iar $M_{cr}(N_{Ed,min})$ este momentul încovoietor de fisurare al secțiunii transversale în prezența efortului axial $N_{Ed,min}$, pentru o rezistență la întindere a betonului egală cu f_{ctm} (se acceptă considerarea unei distribuții liniare a tensiunilor pe secțiune și neglijarea aportului armăturii). 12.2(2); 12.2(3) și 12.2(6)	$A_{s,min}$ se calculează din condiția $M_{R,min}(N_{Ed,min}) \geq M_{cr}(N_{Ed,min})$
Aria minimă de armătură longitudinală în elemente solícitate la întindere pură. 12.2(2); 12.2(3) și 12.2(6)	$A_{s,min} = A_c \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$
Aria minimă de armătură longitudinală la partea inferioară a grinzii în zona reazemelor (intermediare și marginale) din încărcări neprevăzute (ex. tasări de reazem neprevăzute, încărcări din reversul exploziei). Se notează cu $A_{s,req span}$ aria de armătură din câmpul adiacent necesară pentru preluarea momentului încovoietor de semn pozitiv. Tabel 2.1 (NDP) – 3 și 4	$0,25 \cdot A_{s,req span}$
Distanța maximă dintre barele longitudinale de pe fața laterală a grinzii solícitate la răsucire, atunci când înălțimea liberă a secțiunii transversale e peste 600 mm. 9.2.2(4)	300 mm
<i>Notă: Barele de armătură rezultate din aria minimă trebuie ancorate la capacitate. 12.2(6)</i>	

Tabelul 6

Prevederi pentru armarea transversală

Prevedere	Mărime, valoare
Aria minimă de armătură transversală, atunci când se impune armare transversală. Aria minimă de armătură transversală ce preia torsiune trebuie dispusă pe întreg perimetrul grinzii. Ecuația e identică cu cea din vechiul standard, dar se permite reducerea ariei minime cu 10% dacă se folosesc armături cu clasă de ductilitate B, respectiv reducerea ariei minime cu 20% în cazul armăturilor ce aparțin clasei de ductilitate C. Tabel 12.1 (NDP) – 2 și 12.2(4)	$A_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot \frac{1}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha}$

Aria minimă de armătură transversală prevăzută sub formă de etrieri (pentru preluarea unor solícități neprevăzute, ex. răsucire). Unde $A_{sw,req}$ reprezintă aria de armătură transversală necesară rezultată din calculul de dimensionare la forță tăietoare. Tabel 12.1 (NDP) – 8	$0,5 \cdot A_{sw,req}$
Aria minimă de armătură transversală pentru preluarea torsiunii prevăzută sub formă de etrieri închiși este dată de relația din dreapta, în care, $A_{sw,req}$, reprezintă aria de armătură transversală necesară rezultată din calculul de dimensionare la forță tăietoare și torsiune. Tabel 12.1 (NDP) – 9	$0,2 \cdot A_{sw,req}$
Distanța longitudinală maximă dintre etrieri. Tabel 12.1 (NDP) – 5	$0,75 \cdot d \cdot (1 + ctg \alpha)$
Distanța longitudinală maximă dintre armăturile înclinate. Tabel 12.1 (NDP) – 6	$0,6 \cdot d \cdot (1 + ctg \alpha)$
Distanța transversală maximă dintre ramurile de forfecare. Tabel 2.1 (NDP) – 7	$max(0,75 \cdot d; 600 mm)$
Distanța longitudinală maximă dintre armăturile transversale dispuse la torsiune, $s_{stir,max}$. Tabel 12.1 (NDP) – 10	$min(u/8; b; h)$

9. Limitarea săgeții

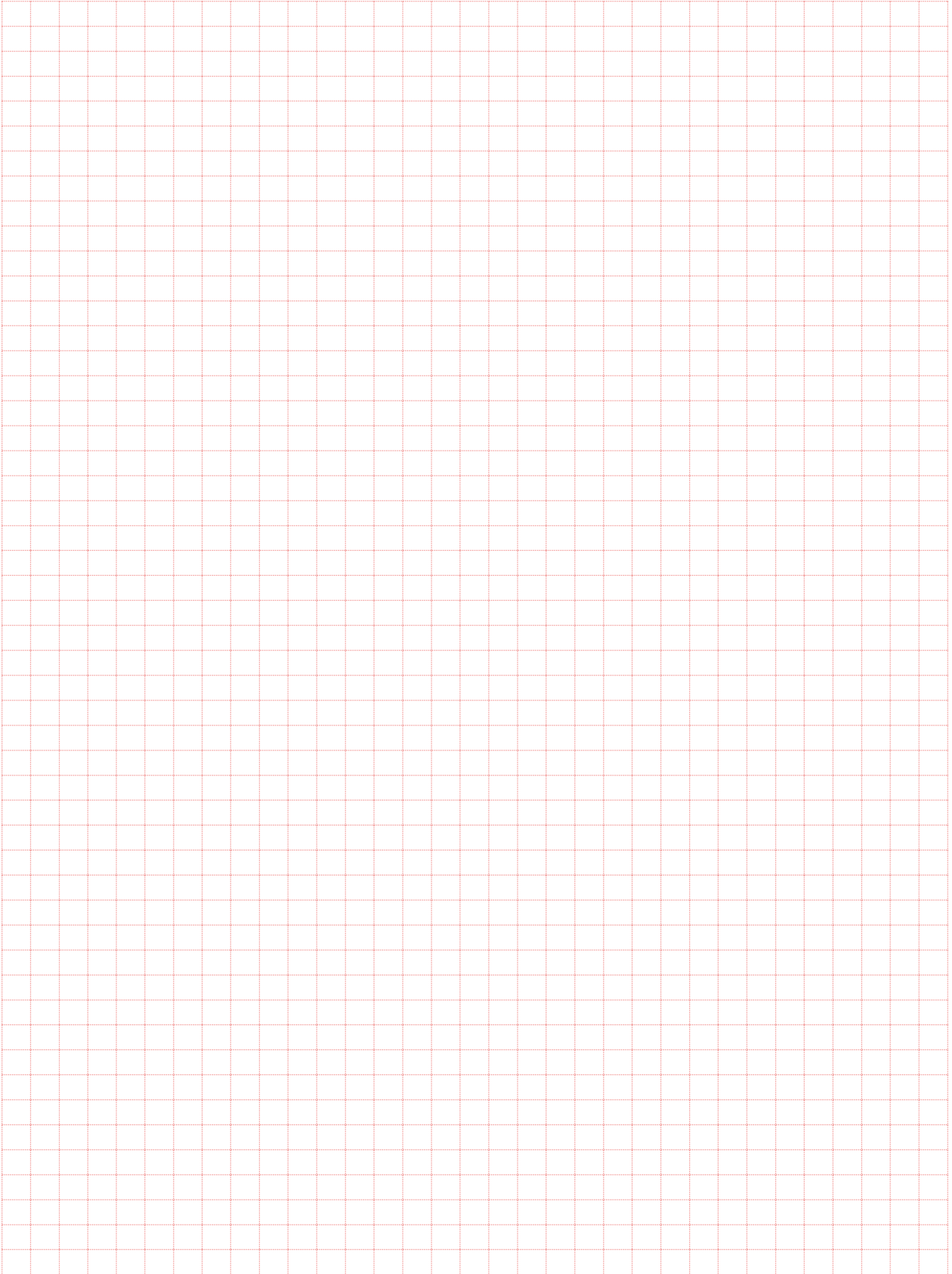
Deformațiile grinzilor trebuie să nu afecteze în mod negativ buna funcționare a structurii și nici aspectul ei vizual. Valorile limită ale săgeților se stabilesc considerând tipul și destinația structurii, finisajele, compartimentările și elementele fixate de grindă **(9.3.1(1))**. Dacă nu există cerințe speciale, se poate utiliza valoarea maximă a săgeții pentru lungă durată $l/250$.

Limitarea săgeții grinzilor poate fi realizată **(9.3.1(3))**:

- indirect prin limitarea raportului deschiderea grinzii și înălțimea efectivă a secțiunii transversale (l/d), respectând indicațiile din **Tabelul 9.3 și 9.3.2**;
- simplificat prin verificarea explicită a săgeților (pentru grinzi cu geometrii simple), utilizând **9.3.3**;
- prin calcul explicit (pentru orice tip de grinzi), utilizând **9.3.4**.

În SLS se vor verifica deschiderea fisurilor și frecvența de vibrație (când este cazul) astfel încât să respecte prevederile și valorile limită specificate în **Capitolul 9 și Anexa G**.

Notițe personale



Referințe și bibliografie

1. Asociația de Standardizare din România, SR EN 1992-1-1:2024, Eurocod 2 – Proiectarea Structurilor din Beton – Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri, poduri și structuri de inginerie civilă, ASRO 2024
 2. Asociația de Standardizare din România, SR EN 1992-1-1:2024, Eurocod 2 – Proiectarea Structurilor din Beton – Partea 1-2: Reguli generale – Calculul comportării la foc, ASRO 2024
 3. Asociația de Standardizare din România, SR EN 206+A2:2021 – Beton. Specificație, performanță, producție și conformitate, ASRO 2022
 4. NE 012/1-2022 – Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 1: Producerea betonului, 2023
 5. Kiss Zoltán I. și Oneț Traian - Proiectarea structurilor de beton după SR EN 1992-1 (ediție revizuită), ed. Abel, 2010
 6. Zilch Konrad și Zehetmaier Gerhard – Bemessung im konstruktiven Betonbau (ediția a 2a), ed. Springer, 2010
 7. Cadar Ioan, Tudor Clipii și Agneta Tudor – Beton Armat (ediția a 2-a), ed. Orizonturi Universitare, 2004
 8. Moss R. M. și Brooker O. – How to design concrete structures using Eurocode 2. The Concrete Centre, 2006
-

Mulțumiri:

Prezentul ghid de proiectare a fost elaborat în cadrul proiectului pilot “Ghiduri de Proiectare după noul Eurocod 2”, finanțat prin Ediția pilot 2023-2024 a Apelului pentru Proiecte create de membrii AICPS pentru membrii AICPS. Proiectul a fost realizat și coordonat de către membrii AICPS Gábor – Álmos Sándor și Traian – Nicu Toader, în parteneriat cu ASRO (Asociația de Standardizare din România) sub îndrumarea unui colectiv științific alcătuit din reprezentanți ai colectivelor de Beton Armat din cadrul următoarelor facultăți și universități: Universitatea Tehnică de Construcții București • Facultatea de Construcții din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, • Facultatea de Construcții din cadrul Universității Politehnica Timișoara • Facultatea de Construcții și Instalații din cadrul Universității Tehnice “Gheorghe Asachi” din Iași.

Pentru a accesa cea mai recentă versiune a ghidului și pentru a studia lista documentelor recomandate de către AICPS, accesați: <https://www.aicps.ro/documente> sau contactează-ne la adresa: office@aicps.ro

Asociația Inginerilor Constructori Proiectanți de Structuri

Adresa: Șos. Pandurilor nr.94, București, Sector 5,
incinta AEDIFICIA CARPAȚI, Corp B, Et.1
Tel./Fax: (021) 412.02.04 (Luni - Vineri, 09:30 - 16:30)
www.aicps.ro

