

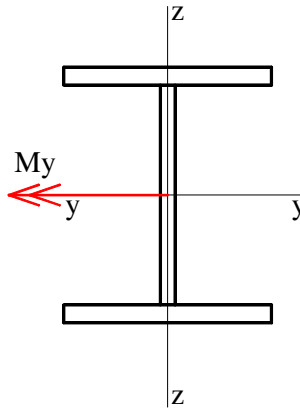
Curs 4

ELEMENTE STRUCTURALE SOLICITATE LA INCOVOIERE (Elements in bending)

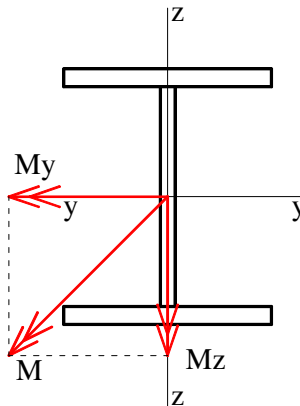
Calculul de rezistență a barelor (grinzilor) cu inimă plină ()

Solicitarea

- incovoiere plană (monoaxială)



- incovoiere oblică (biaxială)



Tipuri de secțiuni recomandate pentru bare solicate la incovoiere:

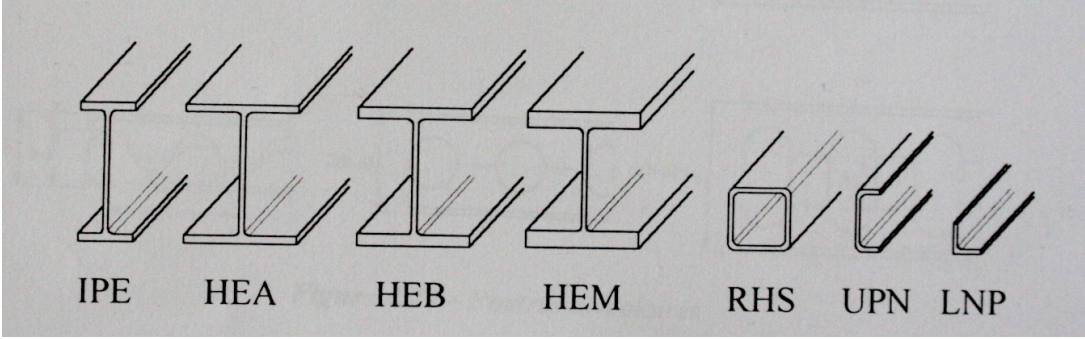


Fig.1 Profile laminate la cald; sectiuni simple

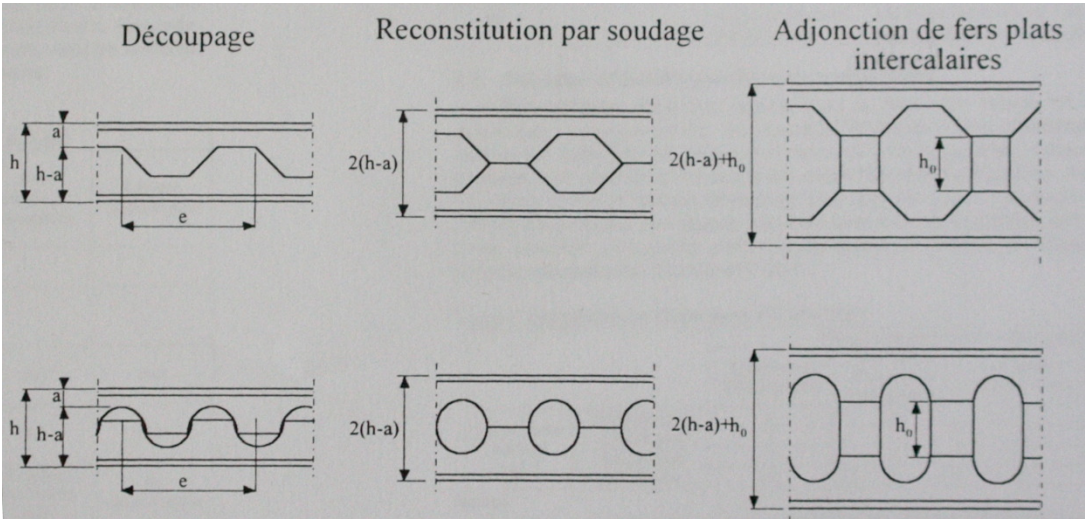


Fig. 2. Profile ajurate

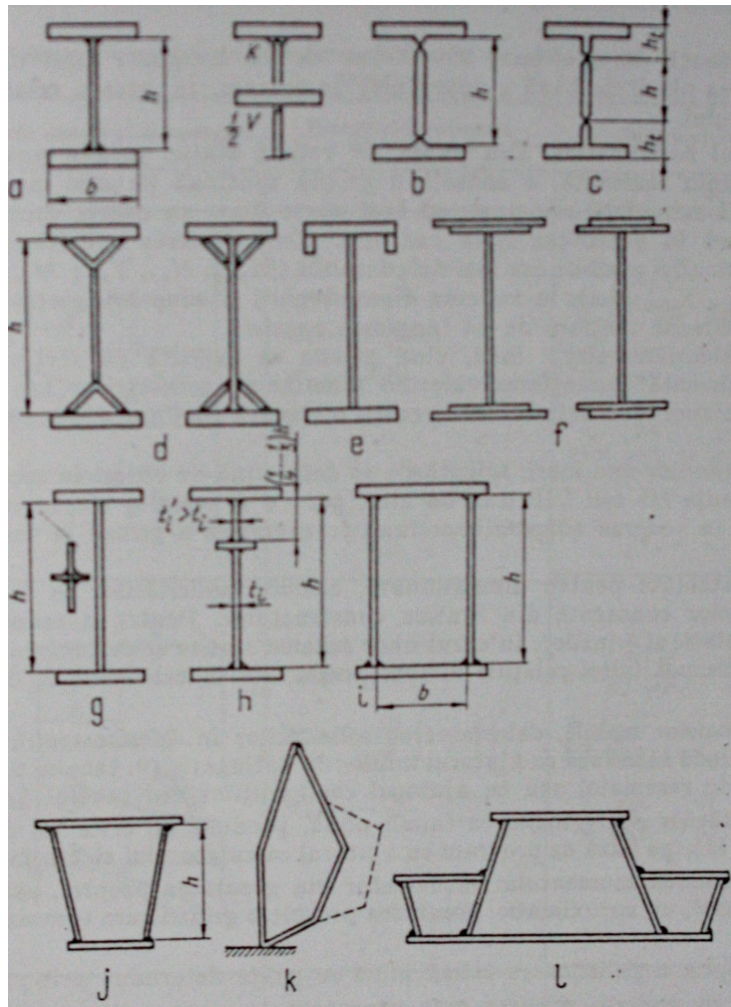


Fig.3 Profile obtinute din placi sudate; sectiuni simple deschise si chesonate

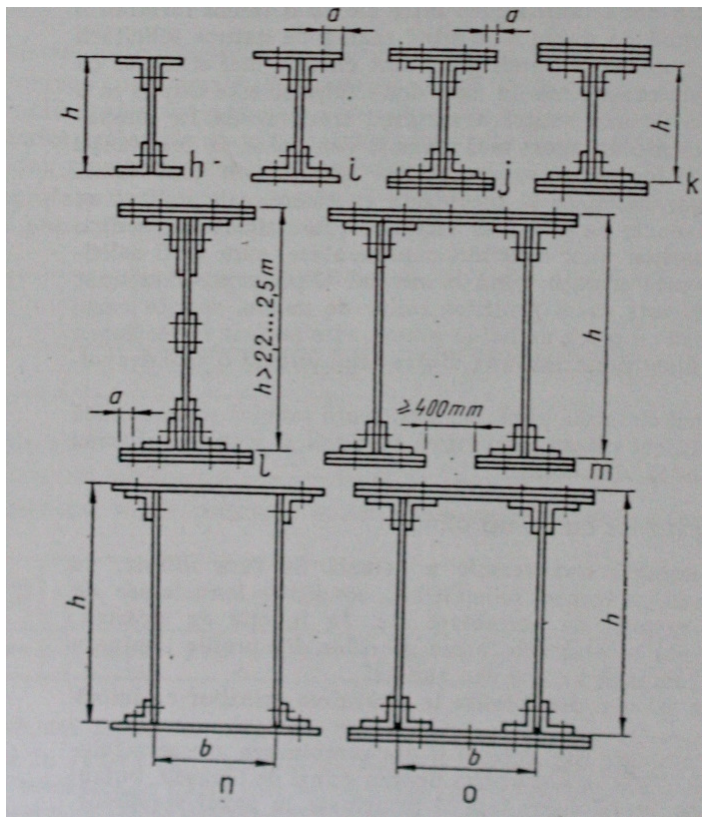


Fig.4 Profile obtinute prin nituire din tabla si cornier (c-tii metalice vechi)

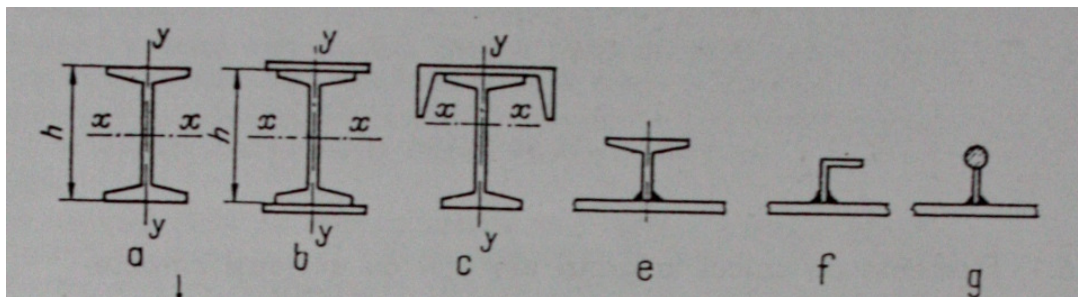
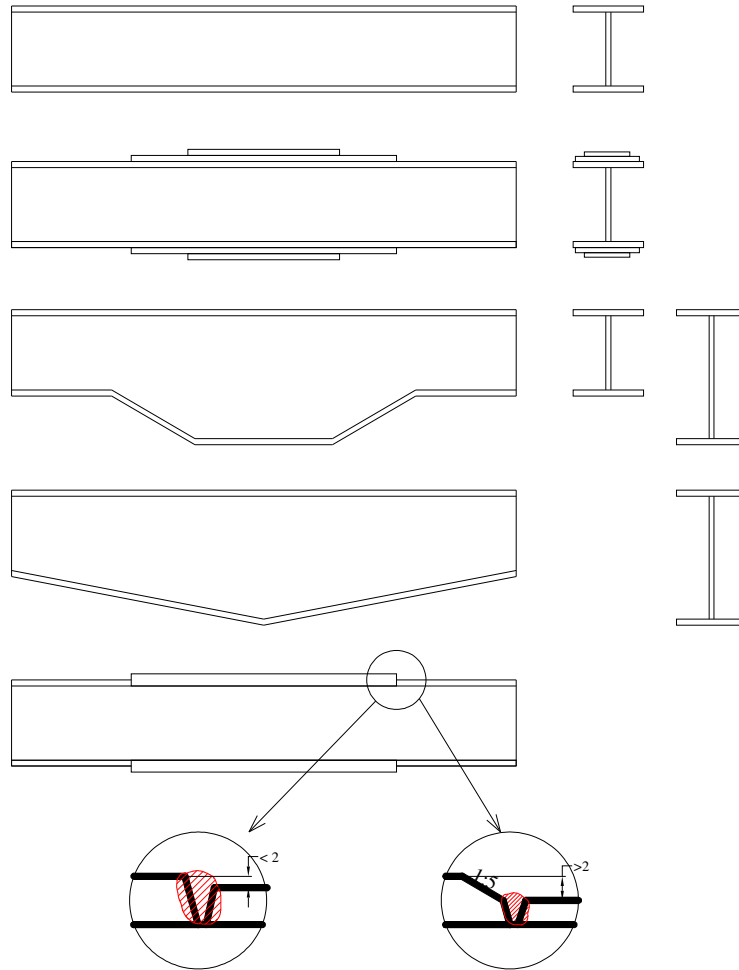


Fig.5 Sectiuni compuse prin sudarea profilelor



Fig.6 Profile din tabla de otel obtinute prin indoire la rece → pot fi utilizate simplu sau se pot compune imbinandu-se prin sudare sau cu suruburi autofiletante

- grinziile pot fi cu sectiuni constante sau variabila pentru a se adapta variatiei momentului incovoietor



Grinzi cu vuta

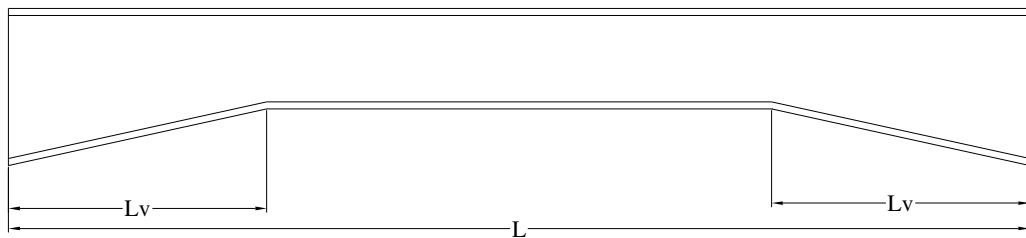


Fig.7 Grinzi cu sectiune variabila

Lungimea vutei : $L_v = (0.1 \div 0.12 L)$

- grinzi cu zabrele si macaz se folosesc pentru a prelua sollicitari la incovoiere!

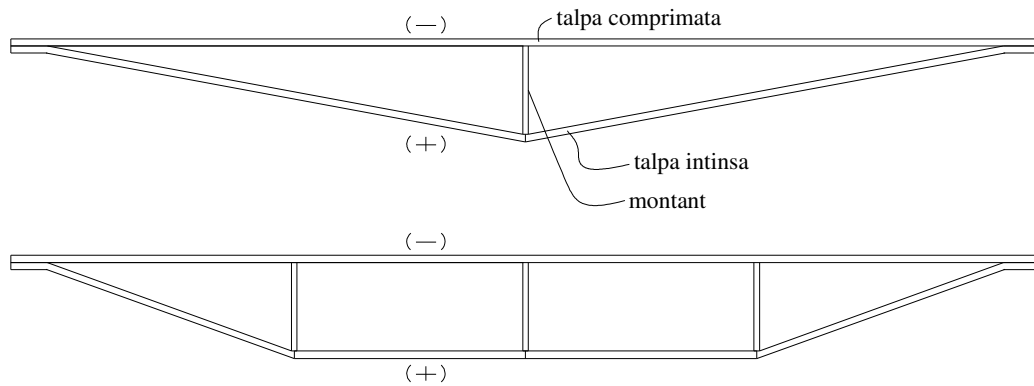


Fig.8 Grinzi cu macaz

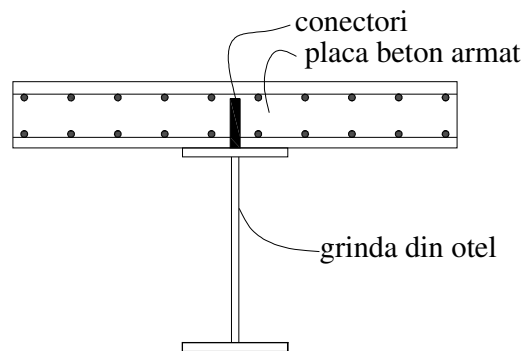
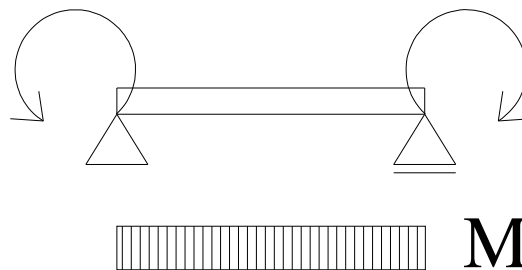


Fig.9. Grinzi cu sectiunea compusa din otel-beton

- In principiu, grinzi = bare solicitate preponderent la incovoiere se pot realiza cu orice forma din profile simple sau combinand profil si tabla solidarizate pentru a lucra impreuna.
 - Grinda ideala, solicitata la incovoiere pura ar putea fi “realizata numai din talpi” → talpile vor asigura “in principala” preluarea eforturilor din incovoiere. Inima are rolul de a asigura conlucrarea talpilor.
 - Solicitarea de incovoiere pura este foarte rar intalnita in practica.

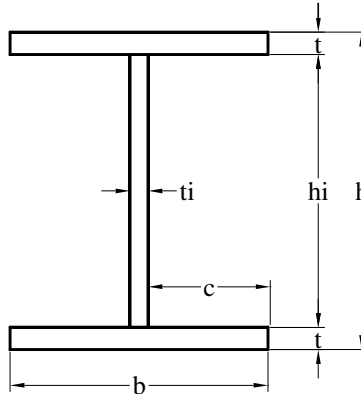


- Incovoierea, in mod uzual este acompaniata de taiere. Inima va prelua cea mai mare parte a eforturilor de taiere(forfecare).

Alegerea solutiei constructive in functie de regimul de solicitare si de deschidere

Nr.	Solutia constructiva	Deschidere maxima [m]	Observatii
1.	Corniere simple	5	Se pot folosi ca rigle de sustinere a inchiderilor, pentru sarcini reduse
2.	Profile simple formate la rece	6-7	- pane de acoperis - rigle de perete ptr inchideri - rigle de plansee usoare -sarcini reduse si moderate
3.	Sectiuni U laminate la cald	6-8	- grinzi secundare ptr plansee -rigle pentru sustinerea inchiderilor - sarcini moderate
4.	Sectiuni laminate la cald I – IPE - H	12-35	- rigle si grinzi principale Secundare la constructii grele (ex antetroaze si longeroane la poduri)
5.	Grinzi din profile ajurate	5-35	- pentru deschideri mai mari cu sarcini moderate, in principal pentru a obtine solutii economice atunci cand conditia de rigiditate este diminuata.
6.	Grinzi cu inima lata, cu rigidizari, obtinute prin sudarea tablelor. - cu inertie constanta - cu inertie variabila	<100	Pentru acoperirea deschiderilor mari > hale industriale – - pentru deschideri moderate cu sarcini mari (poduri)
7.	Grinzi cu sectiuni chesonate	<200	<ul style="list-style-type: none"> • Deschideri mari • Incarcari mari • Atunci cand exista si efecte sau solicitari de torsiune • Se obtin prin sudarea tablelor si profilelor • Exemplu –grinzi pentru poduri rulante grele • - grinzi pentru poduri.

Predimensionarea grinzilor din table sudate



Relatie aproximativa pentru predimensionare:

$$h \cong k \sqrt{\frac{W}{t}} \quad (1)$$

W – modul de rezistenta fata de axa de incovoiere

$$W_{necesar} = \frac{M_{max}}{R} \quad (2)$$

R = rezistenta de calcul a otelului

$$R = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} \quad (3)$$

$$\gamma_{M_0} = 1 - 1.10$$

k = 1,15 grinzi sudate cu sectiune constanta

k = 1.10 grinzi sudate cu inaltime variabila

Ponderea arie talpilor fata de aria totala

$$A_{talpii} = (0.5 - 0.6) A_{totala}$$

Valori recomandate

h(m)	<1	1	1.5	2	3	4	5
t _i (mm)	6-8	8-10	10-12	12-14	16-18	20-22	22-24
h _i /t _i	80-125	100-125	125-150	145-165	165-185	185-200	210-230

Pentru h=0.8 – 2mm se poate lua in faza de predimensionare.

$$t_i \geq (7 + 3h)mm \quad ; h[m]$$

Atentie! Valorile din table pentru h_i/t_i sunt corespunzatoare sectiunilor de clasa 3 si mai ales 4. Pentru aceasta se poate aplica numai calculul elastic si pentru a limita sau elimina efectul voalarii se dispun rigidizari.

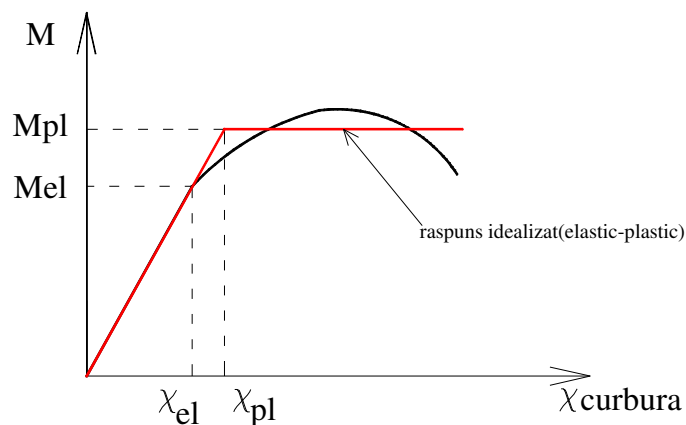
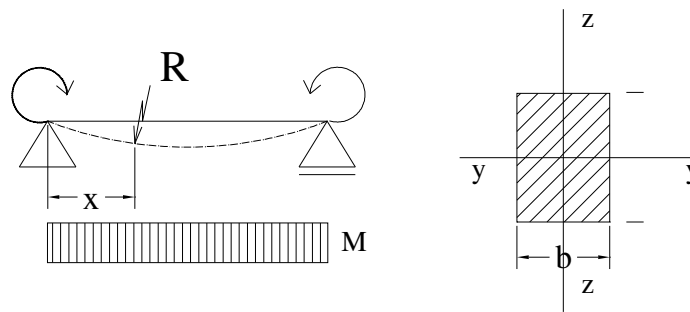
- latimea talpilor, b, se ia de regula 1/5 – 1/3 din inaltimea grinzii.
- Raportul b/t , respective c/t se limiteaza pentru a se evita pierderea locala a stabilitatii (voalare).
- In general nu se accepta talpi de clasa 4.

$$c/t \leq 14\varepsilon$$

- Pentru clasa 3 $\rightarrow \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

- Pentru calculul plastic (analiza globala) sectiunea grinzi trebuie sa fie in intregime din elemente de clasa 1.
- Pentru dimensionarea grinzii(calculul de rezistenta pe sectiune) in domeniul plastic se poate folosi si o sectiune de clasa 2.

REZISTENTA (IN SECTIUNE) A UNEI BARE SOLICITATE LA INCOVOIERE



$$\chi = \frac{1}{R}$$

Fig. 10 Relatia curbura-moment incovoietor la o bara sollicitata la incovoiere pura

Vezi deducerea formulei lui Navier la rezistenta materialelor. !!!!

Deformatia longitudinala unitara unei fibre situata la distanta \$z\$ de axa neutra:

$$\varepsilon = z/R \quad (7)$$

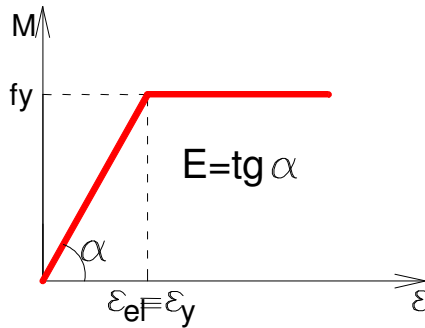
$$\sigma = \frac{M_{yz}}{I_y} \quad (\text{Navier}) \quad (8)$$

$$\sigma = \varepsilon E \quad (\text{Hook}) \Rightarrow \chi = \frac{1}{R} = \frac{M_y}{EI_y} \quad (9)$$

Relatia $M-\chi$ este lineara in domeniu elastic, pentru $\varepsilon < \varepsilon_p$

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_p}{E} \quad (10)$$

Unde σ_p este limita de proportionalitate a otelului pentru un model de comportare a otelului de tip elastic-perfect plastic ($\sigma_p = f_y$) si $\varepsilon_y = \varepsilon_p$



$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E} \quad (11)$$

In momentul in care intr-o fibra se atinge deformatia limita elastica, ε_y , efortul corespunzator va fi f_y si nu poate sa mai creasca peste aceasta valoare in domeniul inelastic, fibrele se vor plastifica succesiv, dinspre exterior spre axa neutral pana cand intreaga sectiune se va plastifica.

Vezi figurile !!!!

(se vor pune in cursul ce va fi atasat pe internet)

Pentru sectiune dreptunghiulara

$$\frac{W_{pl}}{W_{el}} = 1.5$$

=> capacitatea portanta a sectiunii in domeniul postelastice se dubleaza.

Randamentul sectiunilor la incovoiere

Tip sectiune Proprietati	Rectangulara plina (bxh) b=5.2cm h=10.4cm	HE HEA200	IPE IPE300	Tub rectangular 200x100x10mm
A(cm ²)	53.8	53.8	53.8	51.7
W _{el}	93.7	388.6	557.1	235.5
W _{pl}	140.6	429.5	628.4	309.3
W _{pl} /W _{el}	1.5	1.11	1.13	1.31

Verificarea rezistentei la incovoiere

Sectiuni de clasa 1 si 2

$$M_{pl,Rd} \geq M_{Sd} \quad (14)$$

$$W_{pl,necesar} \geq M_{Sd} / (f_y / \gamma_{M_0}) \quad (15)$$

Sectiuni de clasa 3

$$M_{el,Rd} \geq M_{Sd} \quad (16)$$

$$W_{el,necesar} \geq M_{Sd} / (f_y / \gamma_{M_0}) \quad (17)$$

Sectiuni de clasa 4

$$M_{el,Rd} \geq M_{Sd} \quad (18)$$

$$W_{eff} \geq M_{Sd} / (f_y / \gamma_{M_0}) \quad (19)$$

Solicitarea la forta taietoare

Se bazeaza pe formula lui Juravski (vezi rezistenta materialelor) cu care se calculeaza tensiunea de taiere τ_{Rd}

$$\tau_{Rd} = \frac{V_z S_y}{t_i I_y} > \tau_{Sd} \quad (20)$$

V_z - forta taietoare dupa axa z

S_y momentul static in raport cu axa y, la nivelul sectiunii

I_y = momentul de inertie

t_i - grosimea inimii

In principiu pentru simplificare, se neglijeaza contributia talpilor.

Formula de verificare din EN 1993-1-1 este:

$$V_{sd} \leq V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M_0} \sqrt{3}} \quad (21)$$

V_{sd} – forta taietoare din calcul static in sectiunea in care se verifica

$V_{pl,Rd}$ – rezistenta la taiere

6.2.5 Moment încovoietor

(1) Valoarea de calcul M_{Ed} a momentului încovoietor în fiecare secțiune transversală trebuie să satisfacă condiția:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.12)$$

în care $M_{c,Rd}$ este determinat luând în considerare găurile de fixare, a se vedea (4) până la (6).

(2) Rezistența de calcul a unei secțiuni transversale supusă la încovoiere în raport cu una din axele principale de inerție se determină astfel:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pentru secțiunile Clasa 1 sau 2} \quad (6.13)$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pentru secțiunile Clasa 3} \quad (6.14)$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pentru secțiunile Clasa 4} \quad (6.15)$$

în care $W_{el,min}$ și $W_{eff,min}$ corespund fibrei în care se dezvoltă tensiunea elastică maximă.

(3) Pentru încovoierea biaxială trebuie utilizată metoda menționată la 6.2.9.

(4) Nu este necesar să se țină seama de găurile de prindere din talpa întinsă, cu condiția ca aceasta să satisfacă relația:

$$\frac{A_{f,net} 0,9 f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.16)$$

în care A_f este aria tălpii întinse.

NOTĂ Criteriul menționat la (4) asigură o dimensiune la efort capabil (a se vedea 1.5.8) în zona articulațiilor plastice.

(5) Nu este necesar să se țină seama de găurile de prindere din zona supusă la tracțiune a inimii, cu condiția satisfacerii criteriului indicat la 6.2.5 (4) pentru toată zona întinsă, adică talpa întinsă plus zona întinsă a inimii.

(6) Nu este necesar să se țină seama de reducerea secțiunii datorată găurilor de prindere situate în zona comprimată a secțiunii transversale cu excepția găurilor ovalizate sau găurilor de dimensiuni mari.

6.2.6 Forța tăietoare

(1) Valoarea de calcul V_{Ed} a forței tăietoare în fiecare secțiune transversală trebuie să satisfacă:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.17)$$

în care $V_{c,Rd}$ este valoarea de calcul a rezistenței la forfecare. Pentru calculul plastic, $V_{c,Rd}$ este valoarea de calcul $V_{pl,Rd}$ a rezistenței plastice la forfecare așa cum apare la (2). Pentru calculul elastic, $V_{c,Rd}$ este valoarea de calcul a rezistenței elastice la forfecare, calculată utilizând (4) și (5).

(2) Valoarea de calcul a rezistenței plastice la forfecare. În absența răsucirii, este dată de relația:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (6.18)$$

în care, A_v este aria de forfecare.

(3) Aria de forfecare A_v poate fi determinată astfel:

a) profile I și H laminate, efort paralel cu inima $A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$ dar nu mai puțin decât $\eta h_w t_w$

b) profil U laminat, efort paralel cu inima $A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$

c) profil T laminat, efort paralel cu inima $0,9(A - bt_f)$

d) secțiuni sudate I, H sau cheson, efort paralel cu inima $\eta \sum (h_w t_w)$

e) secțiuni sudate I, H, U sau cheson, efort paralel cu tălpile $A - \sum (h_w t_w)$

f) profile cave dreptunghiulare laminate cu grosime uniformă:

efort paralel cu înălțimea $Ah/(b+h)$

efort paralel cu lățimea $Ab/(b+h)$

g) profile tubulare și țevi circulare cu grosimea uniformă $2A/\pi$

în care A aria secțiunii transversale;

b lățimea de gabarit;

h înălțimea de gabarit;

h_w înălțimea inimii;

r raza de racordare dintre talpă și inimă;

t_f grosimea tălpii;

t_w grosimea inimii (dacă grosimea inimii nu este constantă, t_w trebuie luată egală cu grosimea minimă).

η a se vedea EN 1993-1-5.

NOTĂ - η poate fi luat acoperitor 1,0.

(4) Pentru verificare în raport cu rezistența elastică la forfecare $V_{c,Rd}$ într-un punct critic al secțiunii se poate utiliza următorul criteriu, cu condiția ca verificarea la voalare precizată în articolul 5 din EN 1993-1-5 să se aplice:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} \leq 1,0 \quad (6.19)$$

în care τ_{Ed} poate fi calculat cu relația: $\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t}$ (6.20)

în care V_{Ed} este valoarea de calcul a forței de forfecare

S momentul static al secțiunii situate deasupra punctului considerat

I momentul de inerție la încovoiere al întregii secțiuni

t grosimea peretelui în punctul considerat

NOTĂ - Verificarea cu relația (6.19) este acoperitoare deoarece ea exclude orice distribuție plastică parțială a tensiunilor de forfecare, ceea ce este admis în calculul elastic, a se vedea (5). În consecință, ea trebuie folosită numai atunci când verificarea pe baza $V_{c,Rd}$ conform criteriului (6.17) nu poate fi îndeplinită.

(5) Pentru secțiunile I sau H, tensiunea de forfecare pe inimă poate fi luată egală cu:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ dacă } A_f / A_w \geq 0,6 \quad (6.21)$$

în care A_f este aria unei tălpi;

A_w este aria inimii: $A_w = h_w t_w$.

(6) Pentru inimile grinzilor, care nu sunt prevăzute cu rigidizări transversale, rezistența la voalare din forfecare trebuie verificată conform secțiunii 5 din EN 1993-1-5, dacă

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (6.22)$$

Pentru η a se vedea secțiunea 5 din EN 1993-1-5.

NOTĂ η poate fi luat acoperitor egal cu 1,0.

(7) la verificarea rezistenței la forfecare, nu este necesar să se ia în considerare găurile de prindere, cu excepția zonelor precizate în EN 1993-1-8.

(8) Atunci când forța tăietoare este combinată cu un moment de răsucire, rezistența plastică $V_{pl,Rd}$ la forfecare trebuie redusă conform 6.2.7(9).

6.2.8 Încovoiere și forfecare

(1) Când există o forță tăietoare, ea trebuie luată în considerare la calculul momentului de rezistență.

(2) Când forța tăietoare este mai mică decât jumătate din rezistența plastică la forfecare efectul ei asupra momentului de rezistență poate fi neglijat, cu excepția situației când voalarea din forfecare reduce rezistența secțiunii, a se vedea EN 1993-1-5.

(3) În caz contrar, trebuie să se considere un moment de rezistență redus, egal cu rezistența de calcul a secțiunii transversale determinată folosind o limită de curgere redusă,

$$(1 - \rho) f_y \quad (6.29)$$

pentru aria de forfecare

în care $\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$ și $V_{pl,Rd}$ este calculat conform 6.2.6(2).

NOTĂ - A se vedea și 6.2.10 (3).

(4) În prezența răsucirii, ρ se calculează pornind de la $\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2$, a se vedea 6.2.7,

dar se poate lua $\rho = 0$ dacă $V_{Ed} \leq 0,5V_{pl,T,Rd}$.

(5) Pentru secțiunile transversale I cu tălpi egale, supuse la încovoiere în raport cu axa tare, momentul de calcul rezistent plastic redus, luând în considerare efortul de forfecare poate fi calculat, alternativ după cum urmează:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right] f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{dar } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd} \quad (6.30)$$

în care $M_{y,c,Rd}$ este calculat conform 6.2.5(2)

și $A_w = h_w t_w$

(6) Pentru interacțiunea între încovoiere, forfecare și încărcări transversale, a se vedea secțiunea 7 din EN 1993-1-5.