



UNIVERSITATEA  
"POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII  
DEPARTAMENTUL DE CONSTRUCȚII METALICE ȘI  
MECANICA CONSTRUCȚIILOR  
Centrul de Excelență pentru Mecanica Materialelor  
și Siguranța Structurilor CEMSIG  
Ioan Curea 1, 300224 Timișoara, ROMÂNIA

**CEMSIG**

Centrul de cercetări pentru mecanica  
materialelor și siguranța structurilor

Telefon

Departament: ++40.256.403911

CEMSIG: ++40.256.403932

e-mail: [dan.dubina@ct.upt.ro](mailto:dan.dubina@ct.upt.ro)

Fax

++40.256.403917

++40.256.403932

<http://cemsig.ct.upt.ro>

# Contract nr. 426/08.12.2009

## CALCULUL ȘI PROIECTAREA ÎMBINĂRILOR STRUCTURALE DIN OȚEL ÎN CONFORMITATE CU SR-EN 1993-1-8

Recomandări, comentarii și exemple de aplicare

*Redactarea I*

Timișoara, august 2010

## COLECTIV DE ELABORARE

**Şef Proiect**

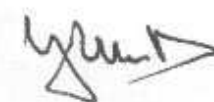
**Prof. Dr. Ing. Dan DUBINĂ**



---

***Membri:***

**Prof. Dr. Ing. Daniel GRECEA**



---

**Conf. Dr. Ing. Adrian CIUTINA**

---

**Drd. Ing. Gelu DANKU**

---

**Drd. Ing. Cristian VULCU**

---

CAPITOLUL I PREFAȚĂ I.5

CAPITOLUL II SCOP ȘI DOMENIU DE APLICAȚIE II.1

CAPITOLUL III MODELAREA NODURILOR PENTRU ANALIZĂ ȘI CERINȚE DE PROIECTARE III.1

- 3.1. GENERALITĂȚI ȘI DEFINIȚII III.2
- 3.2. CLASIFICAREA ÎMBINĂRILOR ÎN CONFORMITATE CU SR EN 1993-1-8 III.4
  - 3.2.1 INTRODUCERE III.4
  - 3.2.2 CLASIFICAREA NODURILOR DUPĂ RIGIDITATE III.6
  - 3.2.3 CLASIFICAREA NODURILOR DUPĂ REZISTENȚĂ III.7
  - 3.2.4 CLASIFICAREA NODURILOR DUPĂ REZISTENȚĂ ȘI RIGIDITATE III.8
- 3.3. MODELAREA ÎMBINĂRILOR ÎN CONFORMITATE CU SR EN 1993-1-8 III.9
  - 3.3.1 INTRODUCERE III.9
  - 3.3.2 METODE DE ANALIZĂ PENTRU NODURI III.11
  - 3.3.3 MODELARE ȘI SURSE ALE DEFORMABILITĂȚII ÎN NODURI – MODELAREA SIMPLIFICATĂ ÎN CONCORDANȚĂ CU EN 1993-1-8, 5.3 III.13
  - 3.3.4 CONCENTRAREA DEFORMABILITĂȚILOR ÎN NODURI III.13

CAPITOLUL IV ÎMBINĂRI SIMPLE IV.1

- 4.1. INTRODUCERE IV.2
- 4.2. SCOP, DOMENIU DE APLICARE ȘI SOLUȚII CONSTRUCTIVE IV.3
  - 4.2.1 TIPURI DE STRUCTURI IV.3
  - 4.2.2 TIPURI DE ELEMENTE ÎMBINATE IV.3
  - 4.2.3 TIPURI DE ÎMBINARE IV.3
  - 4.2.4 MĂRCI DE OȚEL IV.3
  - 4.2.5 CONFIGURAȚII DE NOD POSIBILE (ECCS 126, 2009) IV.4
  - 4.2.6 TIPURI DE DISPOZITIVE DE ÎMBINARE (ECCS 126, 2009) IV.6
  - 4.2.7 TIPURI DE ÎMBINĂRI IV.6
  - 4.2.8 GEOMETRIA ȘI ALCĂȚUIREA ÎMBINĂRILOR SIMPLE IV.11
  - 4.2.9 CALCULUL ÎMBINĂRILOR CU ȘURUBURI IV.16
  - 4.2.10 CALCULUL ÎMBINĂRILOR SUDATE IV.21
  - 4.2.11 MODELAREA NODURILOR PENTRU ANALIZA GLOBALĂ IV.26
- 4.3. TABELE DE PROIECTARE (PROCEDURI DE CALCUL) (ECCS 126, 2009) IV.26
  - 4.3.1 TABELE DE PROIECTARE PENTRU ÎMBINĂRI CU PLACĂ DE CAPĂT REDUSĂ IV.27
  - 4.3.2 TABELE DE PROIECTARE PENTRU ÎMBINĂRI CU ECLISĂ IV.33
  - 4.3.3 TABELE DE PROIECTARE PENTRU ÎMBINĂRI CU CORNIERE IV.41
- 4.4. EXEMPLE DE CALCUL IV.42
  - 4.4.1 ÎMBINĂRI SIMPLE CU ȘURUBURI IV.42
  - 4.4.2 ÎMBINĂRI SUDATE SIMPLE IV.51
  - 4.4.3 ÎMBINARE CU PLACĂ DE CAPĂT REDUSĂ (ECCS 126, 2009) IV.62
  - 4.4.4 ÎMBINARE PE INIMĂ CU ECLISE (ECCS 126, 2009) IV.70
  - 4.4.5 ÎMBINARE PE INIMĂ CU CORNIERE IV.79
  - 4.4.6 ÎMBINĂRI CU BOLȚURI IV.92
  - 4.4.7 ÎMBINARE ARTICULATĂ ÎNTRE STÂLP ȘI FUNDAȚIE (CESTRUCO, 2003) IV.96

CAPITOLUL V ÎMBINĂRI LA ELEMENTE CU SECȚIUNE TUBULARĂ V.1

- 5.1. INTRODUCERE V.2
- 5.2. CALCULUL ÎMBINĂRILOR CU SECȚIUNI TUBULARE (EN1993-1-8, 7.2) V.3
  - 5.2.1 GENERALITĂȚI V.3
  - 5.2.2 MODURI DE CEDARE ALE ÎMBINĂRILOR CU SECȚIUNI TUBULARE V.3
- 5.3. ÎMBINĂRI SUDATE (CIDECT L13, 2009) V.8
  - 5.3.1 ÎMBINĂRI PENTRU ELEMENTE CU SECȚIUNE TUBULARĂ CIRCULARĂ (CHS) V.8
  - 5.3.2 ÎMBINĂRI PENTRU ELEMENTE CU SECȚIUNE TUBULARĂ RECTANGULARĂ (RHS) V.12
  - 5.3.3 ÎMBINĂRI PENTRU ELEMENTE CU SECȚIUNE TUBULARĂ (CHS SAU RHS) ȘI DESCHISE V.19
- 5.4. ÎMBINĂRI CU ȘURUBURI (CIDECT L14, 2009) V.20
  - 5.4.1 INTRODUCERE ÎN CALCULUL ÎMBINĂRILOR CU ȘURUBURI V.20
  - 5.4.2 TIPURI DE ÎMBINĂRI CU ȘURUBURI V.22

5.5. EXEMPLE DE CALCUL	V.26
5.5.1 ÎMBINARE SUDATĂ ÎNTRE DOUĂ PROFILE TUBULARE CIRCULARE	V.26
5.5.2 ÎMBINARE SUDATĂ ÎNTRE DOUĂ PROFILE TUBULARE RECTANGULARE	V.29
5.5.3 ÎMBINARE SUDATĂ ÎNTRE UN PROFIL TUBULAR CIRCULAR ȘI UN PROFIL DESCHIS	V.33
5.5.4 ÎMBINARE CU ȘURUBURI ÎNTRE UN PROFIL TUBULAR ȘI UN PROFIL DESCHIS (CIDECT, 2005)	V.36

## CAPITOLUL VI ÎMBINĂRI CARE PREIAU MOMENT ÎNCOVOIETOR VI.1

6.1. SOLUȚII CONSTRUCTIVE	VI.2
6.1.1 ÎMBINĂRI CU PLACĂ DE CAPĂT ȘI ȘURUBURI	VI.2
6.1.2 ÎMBINĂRI SUDATE	VI.3
6.1.3 ÎMBINĂRI CU CORNIERE	VI.5
6.1.4 MODALITĂȚI DE ÎNTĂRIRE A PANOULUI DE INIMĂ AL STĂLPULUI	VI.5
6.1.5 NODURILE LA BAZA STĂLPILOR	VI.7
6.2. METODA COMPONENTELOR	VI.8
6.2.1 PREZENTAREA METODEI	VI.8
6.2.2 CARACTERISTICILE COMPONENTELOR	VI.10
6.2.3 GRUPAREA COMPONENTELOR	VI.11
6.2.4 APLICAREA METODEI COMPONENTELOR ÎN SR-EN 1993-1-8	VI.16
6.2.5 CURBA DE CALCUL MOMENT-ROTIRE A UNEI ÎMBINĂRI (6.1.2 DIN SR-EN 1993-1-8)	VI.19
6.3. TABELE DE PROIECTARE	VI.20
6.3.1 IDENTIFICAREA COMPONENTELOR ACTIVE	VI.20
6.3.2 PROCEDURI DE CALCUL A COMPONENTELOR	VI.21
6.3.3 CALCULUL ELEMENTELOR T ECHIVALENTE	VI.26
6.4. EXEMPLE DE CALCUL	VI.33
6.4.1 ÎMBINARE GRINDĂ-STĂLP CU ȘURUBURI	VI.33
6.4.2 INFLUENȚA VARIAȚIEI DIFERITELOR COMPONENTE ALE UNUI NOD GRINDĂ-STĂLP CU ȘURUBURI ȘI PLACĂ DE CAPĂT EXTINSĂ	VI.56
6.4.3 ÎMBINARE SUDATĂ GRINDĂ-STĂLP	VI.61
6.4.4 PRINDEREA LA BAZĂ STĂLPULUI	VI.72

## CAPITOLUL VII RECOMANDĂRI DE CALCUL ȘI PROIECTARE PENTRU ÎMBINĂRI STRUCTURALE ÎN CAZUL SOLICITĂRIILOR SEISMICE VII.1

7.1. CERINȚE DE REZISTENȚĂ ȘI DUCTILITATE CONFORM P100-1/2006 ȘI EN1998-1	VII.2
7.2. CAPACITATEA DE ROTIRE A ÎMBINĂRIILOR GRINDĂ-STĂLP	VII.3
7.2.1 CLASIFICAREA DUPĂ DUCTILITATE	VII.3
7.2.2 EVALUAREA CAPACITĂȚII DE ROTIRE	VII.4
7.2.3 COMPORTAREA CICLICĂ A ÎMBINĂRIILOR	VII.6
7.3. SOLUȚII CONSTRUCTIVE	VII.9
7.3.1 ÎMBINARE CU ȘURUBURI CU PLACĂ DE CAPĂT EXTINSĂ RIGIDIZATĂ	VII.10
7.3.2 ÎMBINARE SUDATĂ CU RIGIDIZĂRI ALE TĂLPILOR GRINZII	VII.10
7.3.3 ÎMBINARE CU TĂLPILE GRINZII SUDATE DE PLĂCI DE CONTINUITATE SUDATE DE TALPA STĂLPULUI ȘI CU ECLISĂ SUDATĂ PRINSĂ CU ȘURUBURI DE INIMA GRINZII	VII.11
7.3.4 ÎMBINARE SUDATĂ CU GRINDĂ CU SECȚIUNE REDUSĂ (DOG BONE)	VII.11
7.3.5 ÎMBINARE CU ȘURUBURI CU PLACĂ DE CAPĂT ȘI VUTĂ	VII.12
7.4. CRITERII DE PRECALIFICARE (AISC 2002 ȘI FEMA 350)	VII.13
7.4.1 ÎMBINĂRILE PREDEFINITE INTRODUSE ÎN NORMA DE CALCUL AISC 2002	VII.13
7.4.2 DETERMINAREA POZIȚIEI ARTICULAȚIILOR PLASTICE	VII.14
7.4.3 DETERMINAREA MOMENTULUI PLASTIC ÎN ARTICULAȚIILE PLASTICE	VII.14
7.4.4 DETERMINAREA REZISTENȚEI NECESARE ÎN SECȚIUNILE CRITICE	VII.15
7.4.5 CONDIȚII GENERALE	VII.15
7.4.6 CALCULUL ÎMBINĂRIILOR PREDEFINITE	VII.17
7.5. PROIECTARE DUPĂ CRITERII DE PERFORMANȚĂ	VII.23

## CAPITOLUL VIII MODELAREA STRUCTURILOR ȚINÂND SEAMA DE COMPORTAREA ÎMBINĂRIILOR VIII.1

8.1. INTRODUCERE	VIII.2
8.2. MODELAREA NODURILOR PENTRU ANALIZA STRUCTURALĂ	VIII.4

## BIBLIOGRAFIE

**CAPITOLUL I**  
**PREFAȚĂ**

Norma de proiectare europeană referitoare la îmbinări EN 1993-1-8 este una din cele mai consistente părți ale EN 1993. Pe plan european, practic în fiecare țară a Uniunii Europene, care este obligată să introducă această normă începând cu martie 2010, se manifestă un interes deosebit pentru elaborarea de astfel de recomandări, deoarece calculul și proiectarea îmbinărilor în conformitate cu EN 1993-1-8 este destul de complicată, greu de aplicat și în practica curentă de proiectare pot să apară erori de proiectare sau de interpretare a normei.

Există manuale sau ghiduri de aplicare pentru această parte a Eurocode-ului 3 publicate încă pe baza versiunilor ENV în majoritatea țărilor cu activitate semnificativă în domeniul construcțiilor metalice (Germania, UK, Olanda, Italia, etc.); la nivelul Convenției Europene de construcții metalice - ECCS s-a elaborat de curând un manual pentru calculul îmbinărilor simple în conformitate cu EN 1993-1-8.

Tratarea de o manieră comprehensivă a calculului și proiectării îmbinărilor este prea amplă pentru a face parte dintr-un volum general dedicat proiectării structurilor în conformitate cu EN 1993.

Pe plan național nu există nimic în domeniu, cu excepția normativului GP082-03 „Ghid privind proiectarea îmbinărilor ductile la structuri metalice în zone seismice”, și care are mai mult un caracter calitativ.

Recomandările de proiectare și calcul, comentariile și aplicațiile vin tocmai în sprijinul clarificării și explicitării metodelor de calcul ale îmbinărilor structurale, pentru norma SREN 1993-1-8 „Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor”, adoptată de România după EN 1993-1-8 „Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints”.

Lucrarea are o bază documentară care a fost validată la nivelul Uniunii Europene, și anume:

- SR EN 1993-1-8:2006, Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor
- EN 1998-1: 2003, Eurocode 8 : Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings
- P100-1:2006, Cod de proiectare seismică. Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri, 2006
- ECCS No. 126, TC10: Structural Connections, European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures, Eurocode 3, Part 1-8, 2009
- Leonardo Project: CESTRUCO, Questions and Answers to design of Structural Connections according to Eurocode 3, 2003
- CIDECT Report: 5BP-4/05, Development of a full consistent design approach for bolted and welded joints in building frames and trusses between steel members made of hollow and/or open sections, Application of the component method, Volume 1: Practical guidelines, 2005
- CIDECT, Design of Tubular Steel Structures, Lecture 12: Generalities on joint design, 2009
- CIDECT, Design of Tubular Steel Structures, Lecture 13: Welded connections, 2009
- CIDECT, Design of Tubular Steel Structures, Lecture 14: Bolted connections, 2009
- COST C1 Project: Composite steel-concrete joints in frames for buildings: Design provisions, European Commission, 1999

De asemenea, s-a ținut cont și de experiența americană în domeniu, prin:

- ANSI/AISC 341-05, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 2005
- FEMA-350:2000, Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings, 2000

Nu în ultimul rând, autorii au contribuit prin experiența lor, utilizând documentație proprie la care sunt autori sau co-autori:

- Stratan A., 2007, Dinamica structurilor și inginerie seismică, Editura Orizonturi Universitare, 2007
- Grecea D. M., 2001, Calculul static și dinamic al structurilor în cadre multietajate necontravântuite, Editura Orizonturi Universitare, 2001
- Ciutina A., 2007, Comportarea structurilor în cadre compuse din oțel-beton și a îmbinărilor acestora, Imprimeria Orizonturi Universitare, 2007



**CAPITOLUL II**  
**SCOP ȘI DOMENIU DE APLICAȚIE**

Norma de proiectare europeană referitoare la îmbinări EN 1993-1-8 este una din cele mai consistente părți ale EN 1993. Pe plan european, practic în fiecare țară a Uniunii Europene, care este obligată să introducă această normă începând cu martie 2010, se manifestă un interes deosebit pentru elaborarea de astfel de recomandări, deoarece calculul și proiectarea îmbinărilor în conformitate cu EN 1993-1-8 este destul de complicată, greu de aplicat și în practica curentă de proiectare pot să apară erori de proiectare sau de interpretare a normei.

Exista manuale sau ghiduri de aplicare pentru această parte a Eurocode-ului 3 publicate încă pe baza versiunilor ENV în majoritatea țărilor cu activitate semnificativă în domeniul construcțiilor metalice (Germania, UK, Olanda, Italia, etc.); la nivelul Convenției Europene de construcții metalice - ECCS s-a elaborat de curând un manual pentru calculul îmbinărilor simple în conformitate cu EN 1993-1-8.

Tratarea de o manieră comprehensivă a calculului și proiectării îmbinărilor este prea amplă pentru a face parte dintr-un volum general dedicat proiectării structurilor în conformitate cu EN 1993.

Pe plan național nu există nimic în domeniu, cu excepția normativului GP082-03 „Ghid privind proiectarea îmbinărilor ductile la structuri metalice în zone seismice”, și care are mai mult un caracter calitativ.

Recomandările de proiectare și calcul, comentariile și aplicațiile vin tocmai în sprijinul clarificării și explicitării metodelor de calcul ale îmbinărilor structurale, pentru norma SREN 1993-1-8 „Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor”, adoptată de România după EN 1993-1-8 „Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints”.

Conceptul de semi-rigiditate și metoda componentelor sunt concepte complet noi pentru inginerii români, făcând ca proiectarea și calculul îmbinărilor în conformitate cu cerințele actuale să fie una din problemele cele mai dificile cu care se confruntă inginerul proiectant.

În proiectare se folosesc programe de calcul care implementează metoda componentelor (CoP, SteelCon) fără a fi cunoscute bazele teoretice pe baza cărora s-au realizat aceste programe, cu riscuri foarte mari pentru proiectarea și utilizarea corectă a acestor programe de calcul.

Aplicarea P100-1/2006 impune caracterizarea și verificarea îmbinărilor în termeni de rigiditate, rezistență și ductilitate, ceea ce nu este posibil decât prin aplicarea metodei componentelor

Elaborarea lucrării se face pornind de la prevederile EN 1993-1-8, EN 1990, EN 1991 și EN 1998-1 cu eratele/amendamentele și anexele naționale la acestea.

Se face o prezentare a stadiului actual al reglementarilor tehnice și standardelor române și internaționale privind calculul, verificarea și proiectarea îmbinărilor pentru structuri metalice solicitate la acțiuni statice și dinamice, inclusiv la acțiunea seismică. De asemenea, se vor face comentarii privind metodele curente de calcul al îmbinărilor în conformitate cu STAS 10108/0-78, standarde de produs naționale și europene, EN 1090

si reglementari tehnice (C 133-82, GP 016-97, GP 082-2003, NP 042-2000, C 150-99 - dupa caz si P 100-1/2006).

In lucrare, se descrie domeniul de utilizare a lucrarii, tendintele actuale privind proiectarea imbinarilor (conceptul de semi-rigiditate, conceptul de componente ce alcatuiesc nodurile structurale etc.), principiile si cerintele de proiectare care stau la baza selectarii modului de alcatuire a imbinarilor structurale din otel pentru diferite solicitari.

Pe baza sistemului de evaluare si clasificare consacrat la nivel european (capacitate de rezistenta, rigiditate si rotire), se vor prezenta variante de modelare a nodurilor pentru analiza structurala a diferite tipuri de imbinari (simple; care preiau moment incovoietor; care preiau solicitari complexe din actiunea cutremurului).

De asemenea, se prezintă capitole distincte privind tipuri de imbinari curente, principii, cerinte de proiectare si reguli de calcul insotite de exemple de aplicare, dupa cum urmeaza:

- imbinari simple (noduri articulate de tip rigla-stalp pe axa de minima inertie sau rigla secundara-rigla principala) realizate cu suruburi si cu placa de capat redusa/cu suruburi sau sudura cu eclisa sau cu corniera pe inima: solutii constructive, mecanisme de cedare, modele de calcul pentru analiza structurala, cerinte de proiectare (rezistenta, rigiditate), mijloace de realizare a cerintelor de ductilitate si capacitate de rotire, relatii de calcul si tabele de proiectare pentru diferite geometrii;
- imbinari care preiau moment incovoietor (noduri de cadru) realizate cu placa de capat extinsa: solutii constructive, modele de calcul pentru analiza structurala, componente ale nodurilor, evaluarea capacitatilor de rezistenta, rigiditate si rotire, criterii de identificare a componentelor slabe, relatii intre proprietatile componentelor de baza si proprietatile structurale ale nodului, relatii de calcul si tabele de proiectare pentru diferite geometrii;
- se fac comentarii si recomandari de calcul si proiectare pentru imbinari structurale supuse solicitarilor seismice: cerinte de rezistenta si ductilitate, capacitati de rotire pentru imbinari de tip grinda-stalp, solutii constructive pentru realizarea de noduri cu comportare elastica si rezistenta totala sau noduri cu deformatii/capacitati de rotire controlate, criterii de precalificare pentru imbinari, proiectare pe baza nivelurilor de performanta;
- se prezintă aspecte privind modelarea si comportarea structurilor in functie de modul de alcatuire a nodurilor si de comportare a imbinarilor (structuri disipative/slab disipative);
- se prezintă scheme logice privind proiectarea imbinarilor structurale din otel pentru constructii metalice uzuale/deosebite supuse la diferite solicitari statice/dinamice, cu evidentierea modului de relationare a reglementarilor tehnice/standardelor de proiectare in domeniu pentru fiecare dintre acestea
- se utilizează notiunile de baza, terminologia, definitiile si simbolurile din EN 1993-1-8, cu celelalte parti ale EN 1993 si EN 1998-1
- se introduce un subcapitol privind referintele normative
- se introduc comentarii si recomandari de proiectare, care facilitează intelegerea si utilizarea prevederilor EN 1993-1-8 si EN 1998-1 pentru calculul imbinarilor supuse solicitarilor din actiuni statice si din actiunea seismica (criterii de clasificare si

evaluare, solutii constructive, situatii de proiectare, reguli de modelare structurala pentru componente/ansamblu de nod, relatii/tabele de calcul/proiectare, programe de calcul specifice)

- exemplele de aplicare pun la dispozitia proiectantilor scheme de aplicare si procedee de analiza a imbinarilor pentru cazuri curente/deosebite de proiectare pentru structuri metalice solicitate la actiuni statice/actiunea seismica
- pentru toate tipurile de imbinari structurale din otel analizate se fac analize comparative privind modul in care influenteaza acestea comportarea structurala, se vor prezenta rezultatele obtinute si se vor face consideratii privind avantajele/dezavantajele utilizarii acestor tipuri de imbinari pentru diferite configuratii structurale/amplasamente ale constructiilor
- se fac propuneri de completare/revizuire/abrogare a reglementarilor tehnice sau standardelor nationale, inclusiv anexele nationale la Eurocodurile specifice.

**CAPITOLUL III**  
**MODELAREA NODURILOR PENTRU ANALIZĂ ȘI CERINȚE DE**  
**PROIECTARE**

## 4.1. GENERALITĂȚI ȘI DEFINIȚII

Pentru cazul general al cadrelor metalice, elementele structurale liniare (grinzi și stâlpi) sunt solidarizate prin îmbinări. Poziționările posibile ale îmbinărilor sunt prezentate în Figura 1.

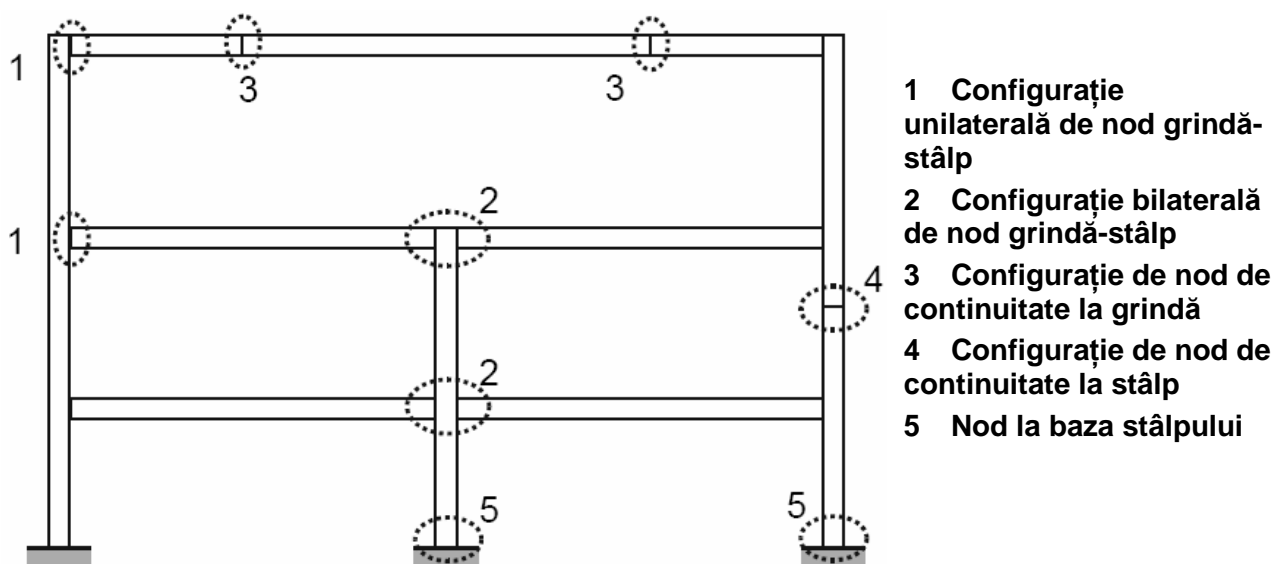


Figura 1: Tipuri de îmbinare pentru o structură metalică în cadre (SR-EN 1993-1-8, 2006).

Tipul 1 de îmbinare (în T) se întâlnește în cazul îmbinării unei grinzi cu un stâlp, continuu sau nu pe nivelul respectiv. Atunci când există o intersecție între două grinzi și un singur stâlp (tipul 2), se formează un nod cruciform sau de interior, cu două îmbinări, câte una de fiecare parte a stâlpului. În cazul structurilor cu deschideri mari (mai mari de 12-15 m), se pot întâlni și îmbinări de tip grindă-grindă sau de continuitate (tip 3). Tipul 4 de îmbinare reprezintă o îmbinare similară dar pentru continuitatea stâlpilor. Tipul 5 de îmbinare este caracteristică bazei stâlpilor și are particularitatea că reazemă pe cuzinetul din beton fundației.

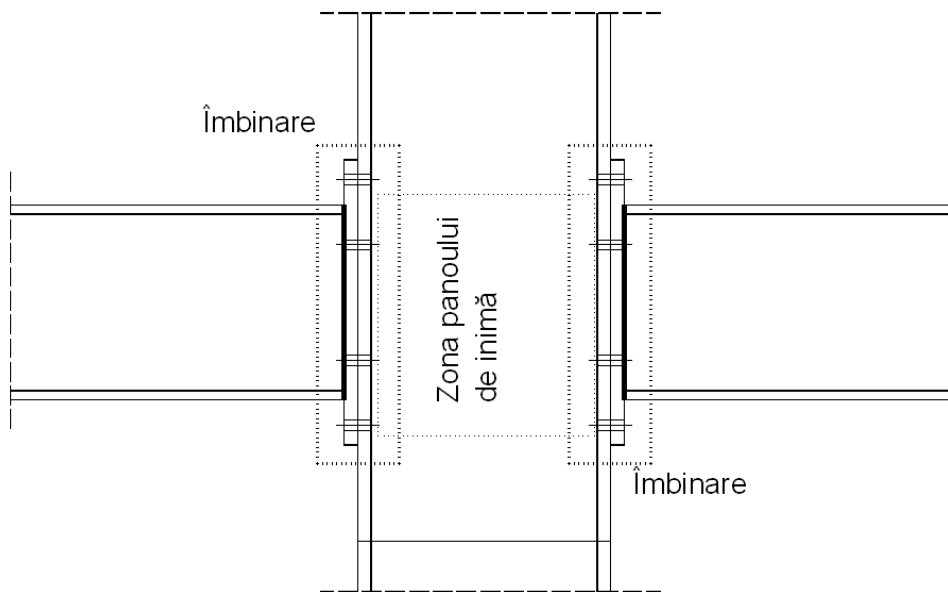
Din punct de vedere formal se poate face distincția între nod și îmbinare, după cum urmează:

- Îmbinarea este reprezentată de componentele fizice care leagă grinda și stâlpul și este concentrată în locația în care se efectuează prinderea propriu-zisă. Este compusă din diverse componente care formează îmbinarea și sunt caracteristice acestei tipologii (spre exemplu în cazul unei îmbinări cu placă de capăt prinsă cu șuruburi, componentele sunt placa de capăt, șuruburile etc.);

- Nodul este reprezentat de îmbinare, la care se adaugă zona de interacțiune corespondentă, situată între elementele îmbinate, cum ar fi panoul de inimă al stâlpului. Într-o îmbinare acesta lucrează preponderent la forfecare, dar pot exista și efecte locale de întindere sau compresiune.

Figura 2 ilustrează global această distincție.

**NOTĂ:** De multe ori în practică, cei doi termeni sunt folosiți fără să se facă o diferențiere între ei. Situația este întâlnită chiar și în unele texte normative.



Nod = îmbinări + zona panoului de inimă

Figura 2: Definiția nodului și a îmbinării.

Există două funcțiuni principale pe care îmbinările dintre grinzi și stâlpii structurali trebuie să le îndeplinească: în primul rând, ele trebuie să fie capabile să transfere încărcările gravitaționale de la grinda structurală la stâlp, asigurând o bună funcționalitate structurală. În al doilea rând, ele trebuie să confere rigiditate și un transfer bun al eforturilor către stâlpi în cazul încărcărilor laterale provenite din seisme. O îmbinare trebuie să poată realiza ambele funcțiuni, pentru nivele credibile de încărcare și de combinare a încărcărilor, cum ar fi combinarea efectelor gravitaționale cu cele provenite din acțiunea seismică.

Trei caracteristici principale sunt recunoscute ca fiind esențiale pentru a atinge performanțele cerute în cazul îmbinărilor rezistente la moment, și anume rigiditatea (notată cu  $S_{j,ini}$  în Eurocode 3), rezistența la momente încovoietoare ( $M_{j,Rd}$ ), și capacitatea de deformare plastică ( $F_u$ ), sau ductilitatea. Toate aceste caracteristici definesc principial performanțele unei îmbinări, și pot fi ușor determinate de pe curba caracteristică de răspuns Moment ( $M$ ) – Rotire ( $\Phi$ ) (vezi Figura 3). În cazul acțiunilor seismice, unde momentele din îmbinare își pot schimba semnul, aceste caracteristici pot fi diferite pentru momentele pozitive, respectiv negative.

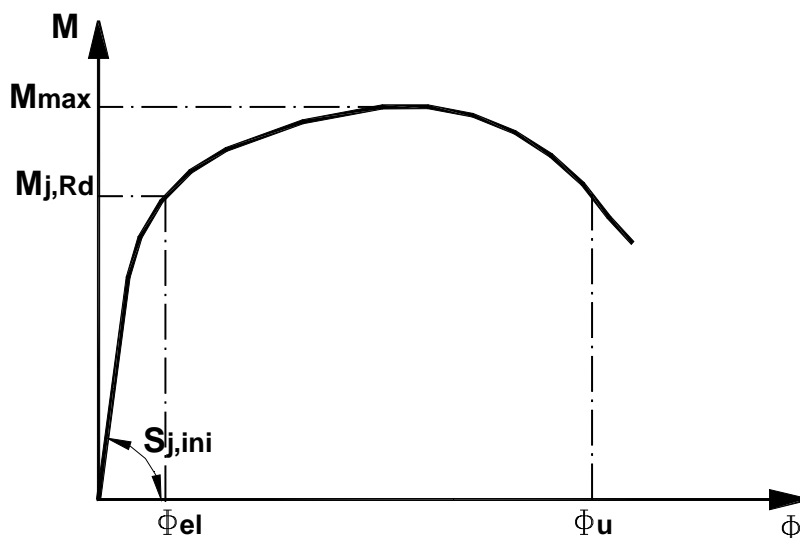


Figura 3: Curba caracteristică de răspuns a unei îmbinări rezistente la moment.

Rigiditatea unei îmbinări reprezintă caracteristica acesteia de a se deforma elastic. Ea poate juca un rol aparte în comportarea structurii și poate influența deformabilitatea acesteia, perioada proprie de vibrație și mecanismul structural de cedare. Rezistența unei îmbinări metalice reprezintă momentul capabil de calcul ( $M_{j,Rd}$ ) pe care îl poate dezvolta o îmbinare, ținând cont de toate componentele acesteia. Capacitatea de rotire cel de-al treilea parametru care poate influența semnificativ comportamentul structural și reprezintă rotirea ultimă înregistrată în cazul unei îmbinări. Există mai multe definiții ale rotirii ultime, cea mai utilizată fiind cea reprezentată de rotirea înregistrată în cazul unei scăderi maxime a momentului cu 20%, înregistrată pe panta descendentă a curbei caracteristice  $M-F$ .

## 4.2. CLASIFICAREA ÎMBINĂRILOR ÎN CONFORMITATE CU SR EN 1993-1-8

### 4.2.1 Introducere

În modul tradițional de proiectare, nodurile grindă-stâlp au fost considerate ca fiind rigide sau articulate. Termenul de „articulat” se referea în principal la îmbinări care nu pot prelua momente încovoietoare. Așa cum a fost demonstrat de testele experimentale efectuate în anii `90, multe din îmbinările proiectate ca total rezistente și rigide s-au dovedit a avea un comportament parțial rezistent și/sau semirigid. Pe de altă parte, nodurile clasificate ca articulate din punct de vedere al rezistenței, au dovedit o anumită capacitate de transfer a momentului încovoietor între elementele îmbinate.

În general comportamentul la rotire al îmbinărilor are un comportament intermediar între cele două cazuri limită: rigid / articulat. Considerând răspunsul  $M-F$  al unei îmbinări, putem distinge mai multe cazuri:

- atunci când toate componentele unui nod sunt suficient de rigide (ideal rigide), îmbinarea este *rigidă* și nu există diferențe între rotirile de la capetele elementelor îmbinate (vezi Figura 4a). În acest caz nodul se rotește ca un corp rigid;
- dacă nodul nu are rigiditate la rotire, atunci elementul îmbinat este considerat articulat în acel capăt (vezi Figura 4b);
- pentru cazurile intermediare, în care rigiditatea nodurilor nu este infinită dar nici nulă, rezultă o diferență  $F$  între rotirile absolute ale elementelor îmbinate (Figura 4c). În acest caz nodul este semi-rigid.

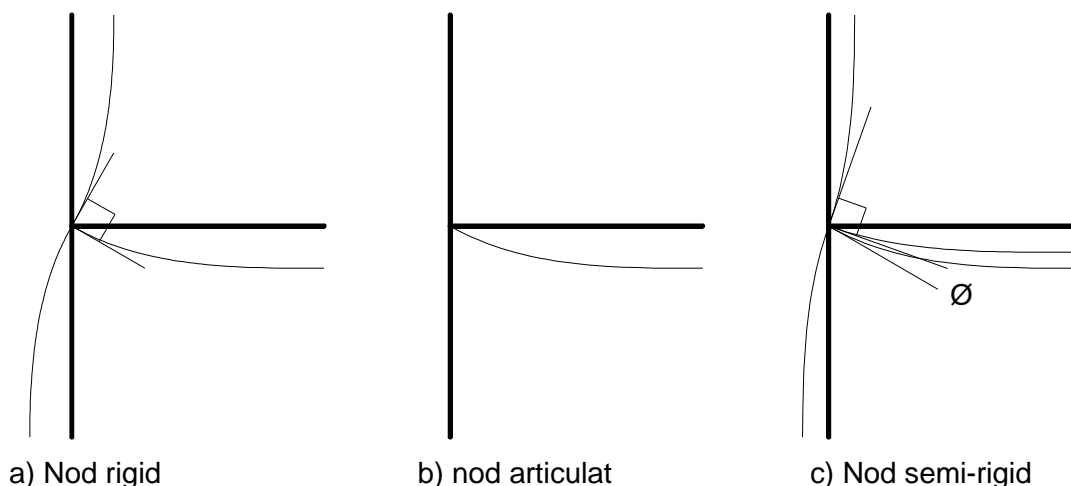


Figura 4:

Tipuri de noduri în funcție de rigiditatea acestora

Pentru modelele de analiză structurală, în cazurile în care nodurile nu sunt rigide sau articulate, cea mai bună reprezentare este prin intermediul unui resort poziționat între capetele elementelor îmbinate (spre exemplu între capătul grinzii și stâlp) în care rigiditatea la rotire  $S$  este parametrul care asociază momentului  $M_j$  din îmbinare unei rotiri  $F$  a nodului (rotirea absolută dintre elementele îmbinate). Dacă rigiditatea  $S$  este zero, nodul devine articulat. Dacă rigiditatea este infinită, nodul este perfect rigid. Pentru cazurile intermediare devine semi-rigid. Reprezentarea acestor cazuri este făcută în Figura 5, pentru cazul analizei liniar-elastice.

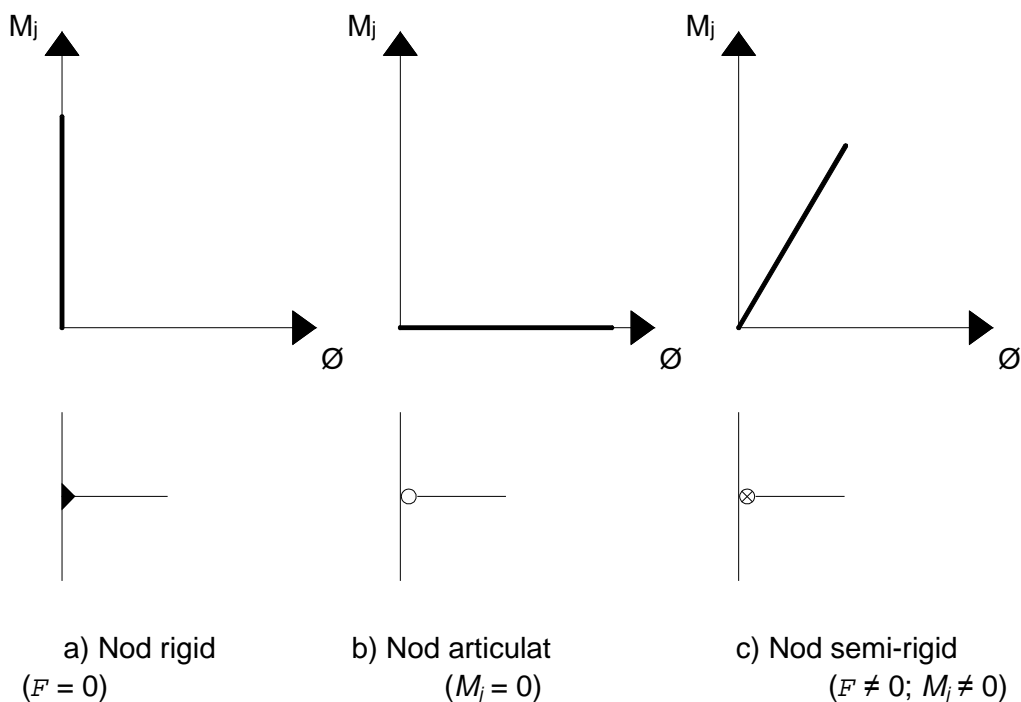


Figura 5: Modelarea nodurilor pentru analiza elastică

**NOTĂ:** Prin această procedură este eliminat conceptul de „noduri articulate / noduri rigide” iar proiectantul este încurajat să considere beneficiile pe care le poate avea o îmbinare semi-rigidă.

Deși în sine reprezintă cazuri ideale, Eurocode 3 acceptă ca nodurile cu caracteristici apropiate de cele articulate sau rigide să fie catalogate de drept articulate respectiv rigide. Clasificarea acestora se face practic prin comparația obținută pentru nod, cu rigiditatea la încovoiere a grinzii (vezi paragraful următor).

Dacă structura este analizată printr-o analiză elastic-plastică sau rigid-plastică, atunci trebuie să existe informații și despre rezistența la încovoiere a îmbinării. În principal contează dacă aceasta este mai mare sau nu decât cea a elementelor îmbinate. Prin aceasta se poate preciza care va fi ordinea de apariție a articulațiilor plastice la încărcări extreme și formarea mecanismului de cedare. În funcție de aceste elemente se va face dimensionarea îmbinărilor în mod disipativ sau nedisipativ (spre exemplu prin cerințele speciale impuse de Eurocode 8). Din acest punct de vedere putem avea îmbinări total rezistente sau parțial rezistente.

Termenul de total rezistent se referă la rezistența îmbinării, în comparație cu cea a elementului îmbinat. Dacă rezistența la încovoiere a îmbinării este mai mare decât cea a grinzii îmbinate, atunci îmbinarea este încadrată în categoria îmbinărilor total rezistente.

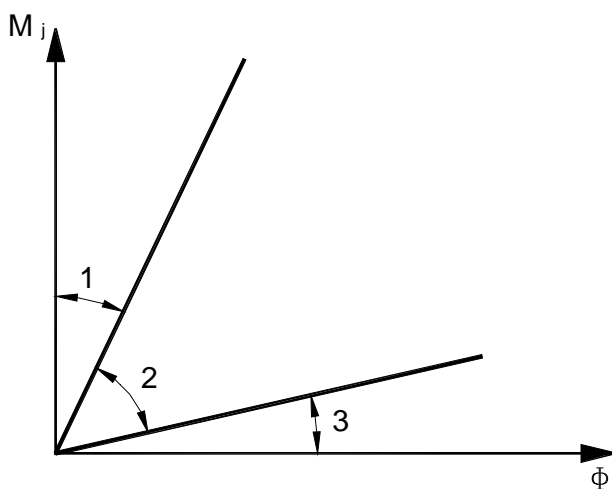
În mod normal modul de comportare al îmbinărilor trebuie luat în considerare în analiza structurală prin influențele pe care le pot avea asupra eforturilor interne, ale deformațiilor structurale și asupra mecanismului de cedare. Atunci când aceste efecte sunt suficient de mici,

acestea pot fi neglijate (nodurile „cvasi-articulate” sau „cvasi-rigide”). Pentru identificarea diferitelor tipuri de noduri, Eurocode 3-1.8 conține criteriile de clasificare, în funcție de rigiditate și rezistență.

**NOTĂ: Eurocode 3-1.8 permite calcularea caracteristicilor de rigiditate și rezistență a nodurilor în funcție de tipologia și componentele acestora. Clasificarea după rigiditate și rezistență poate fi făcută doar după calcularea acestor valori.**

#### 4.2.2 Clasificarea nodurilor după rigiditate

În funcție de rigiditatea la rotire a nodului, acesta poate fi clasificat ca rigid, nominal articulat sau semi-rigid, prin comparația rigidității inițiale la rotire  $S_{j,ini}$  cu anumite valori limită care depind de rigiditatea grinzii care este îmbinată și de tipul cadrului din care face parte. Modalitățile de determinare a rigidității nodului sunt oferite în Eurocode 3-1.8, 6.3 și explicate în capitolul 6 al lucrării. Clasificarea nodurilor după rigiditate și valorile limită ale clasificărilor sunt reprezentate în Figura 6.



- $k_b = 8$  pentru cadre unde sistemul de contravânturi reduce deplasările orizontale cu cel puțin 80%,
- $k_b = 25$  pentru alte cadre cu condiția ca la fiecare etaj  $K_b/K_c \geq 0,1^*)$

\*) Pentru cadre la care  $K_b/K_c < 0,1$  îmbinările se clasifică ca semirigide.

zona 1 - Rigid, dacă  $S_{j,ini} > k_b E I_b / L_b$

zona 2 - Semi-Rigid, dacă  $0.5 E I_b / L_b < S_{j,ini} < k_b E I_b / L_b$

zona 3 - Articulat, dacă  $S_{j,ini} < 0.5 E I_b / L_b$

$K_b$  este valoarea medie a  $I_b/L_b$  pentru toate grinzile de la partea superioară a acestui etaj

$K_c$  este valoarea medie a  $I_c/L_c$  pentru toți stâlpii din acest etaj

$I_b$  este momentul de inerție al ariei unei grinzi

$I_c$  este momentul de inerție al ariei unui stâlp

$L_b$  este deschiderea grinzii (din ax în axul stâlpului)

$L_c$  este înălțimea de etaj a stâlpului.

Figura 6: Clasificarea nodurilor după rigiditate

**Nodurile articulate** trebuie să fie capabile să transmită eforturile interne fără o dezvoltare semnificativă a momentelor încovoietoare care să afecteze elementele structurale îmbinate sau întreaga structură. Un nod articulat trebuie să preia rotațiile rezultate din aplicarea eforturilor calculate.

**Nodurile rigide** trebuie să posede suficientă rigiditate la rotire pentru a putea justifica analiza bazată pe noduri continue.

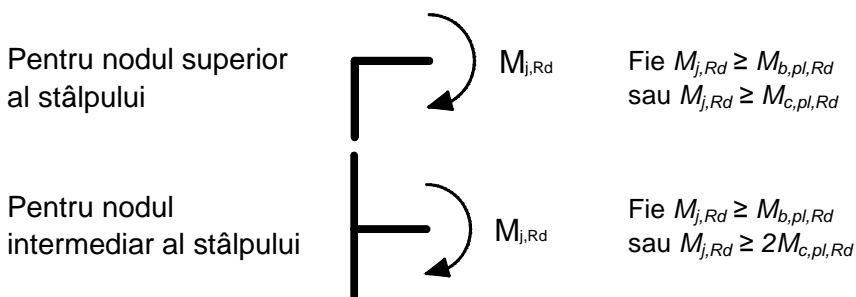
**Nodurile semi-rigide** sunt nodurile care nu îndeplinesc criteriile pentru noduri rigide sau cele articulate. Nodurile semi-rigide oferă un anumit grad de interacțiune al elementelor îmbinate, în funcție de caracteristicile componentelor. Nodurile semi-rigide trebuie să fie capabile să transmită eforturile interne și momentele rezultate din analizele statice.

### 4.2.3 Clasificarea nodurilor după rezistență

În funcție de rezistența pe care un nod o poate dezvolta la momente încovoietoare, acesta poate fi clasificat ca *articulat*, *total rezistent* sau *parțial rezistent*.

Practic, rezistența unei îmbinări metalice reprezintă momentul capabil de calcul ( $M_{j,Rd}$ ) pe care îl poate dezvolta o îmbinare, ținând cont de toate componentele acesteia. Componentele caracteristice joacă un rol esențial în proiectarea structurală, iar o dimensionare deficientă a nodurilor poate duce la cedări structurale premature.

Încadrarea într-una din categorii rezultă prin compararea simplă a momentului capabil cu cel al elementelor îmbinate. Conform Eurocode 3 partea 1-8 5.2.3.3, un nod este clasificat ca fiind cu **rezistență totală** dacă îndeplinește criteriile din Figura 7.



Cu:  $M_{b,pl,Rd}$  - momentul capabil de calcul rezistent plastic al grinzii;  
 $M_{c,pl,Rd}$  - momentul capabil de calcul rezistent plastic al stâlpului.

Figura 7: Clasificarea nodurilor după rezistență

Practic aceste condiții conduc la plastificarea celui mai slab element îmbinat înaintea nodului. Momentul capabil al stâlpului este dublat în cazul nodului intermediar datorită prezenței a două elemente de stâlp în nod (ramura superioară respectiv cea inferioară) care doar plastificându-se împreună pot conduce la un mecanism de nod.

Conform Eurocode 3 partea 1-8 5.2.3.2, un nod reprezintă o **articulație formală** dacă momentul său de calcul rezistent  $M_{j,Rd}$  nu este mai mare decât 0,25 ori momentul de calcul rezistent pentru o îmbinare de totală rezistență. În plus, el trebuie să posede o capacitate de rotire suficientă pentru a prelua rotirile rezultate din efectul acțiunilor.

Un nod care nu îndeplinește criteriile pentru un nod de rezistență totală dar nici pe cele de articulație formală reprezintă un nod cu **rezistență parțială** (clauza 5.2.3.4 din Eurocode 3 partea 1-8).

Acest sistem de clasificare este prezentat în Figura 8 pe diagrama caracteristică  $M - F$ .

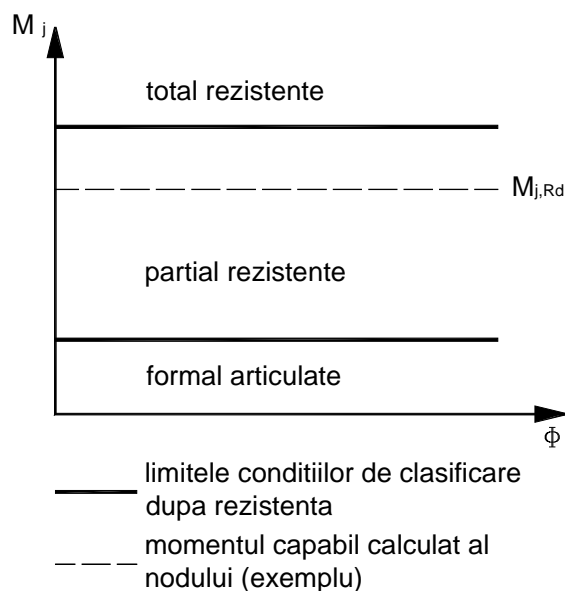


Figura 8: Condițiile de clasificare în funcție de rezistență

#### 4.2.4 Clasificarea nodurilor după rezistență și rigiditate

În mod normal o caracterizare a nodurilor doar după rezistență sau doar după rigiditate este incompletă. O caracterizare completă trebuie să conțină informații despre ambii parametri. Figurile de mai jos prezintă ca exemplu curbele caracteristice moment-rotire pentru diferite noduri (aceleași în ambele figuri) dar caracterizate în funcție de cei doi parametri.

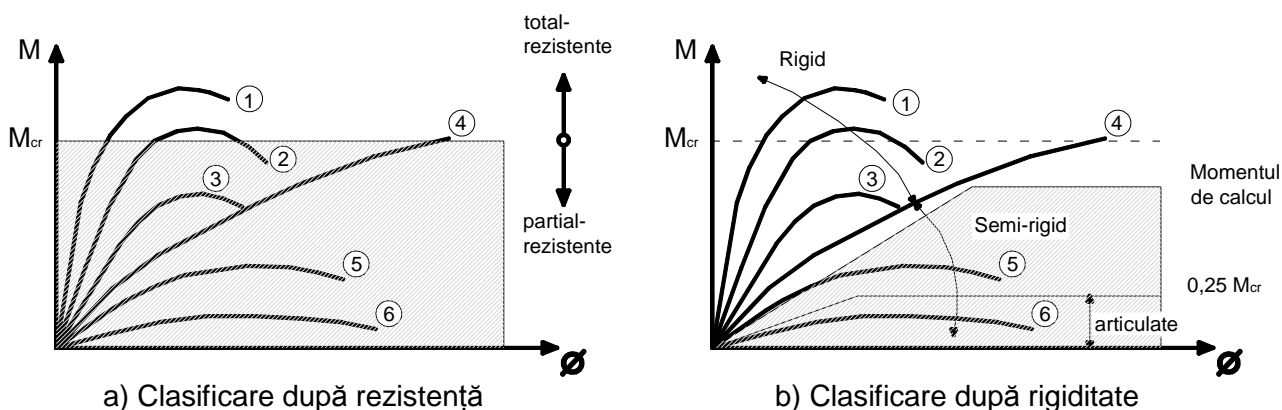


Figura 9: Exemple de curbe caracteristice pentru noduri

- În mod evident, nodurile 1,2 și 4 sunt clasificate ca total rezistente, datorită faptului că momentul capabil este mai mare decât cel al grinzii. Toate sunt rigide, cu mențiunea că nodul 4 se apropie de o îmbinare semi-rigidă.
- Momentul capabil al nodurilor 3 și 5 este mai mic decât cel al grinzii îmbinate, iar acestea pot fi clasificate ca noduri parțial rezistente. Totuși, dintre acestea nodul 3 este rigid, iar nodul 5 semi-rigid.
- Nodul 6 reprezintă în mod net unul articulat atât din punctul de vedere al rezistenței cât și din al rigidității.

Figura 10 prezintă tipologia aproximativă a nodurilor care conduc la comportamentele  $M-\Phi$  din Figura 9:

- îmbinarea sudată 1 are de obicei un comportament foarte rigid (rigiditatea panoului de inimă a stâlpului este cel care dictează în acest caz rigiditatea nodului) și dacă există plăcuțe pe tălpile grinzilor o rezistență superioară grinzii;
- îmbinările de tip 2, cu profile T pe tălpile grinzii reprezintă o alternativă bună celor sudate, cu rigidități considerabile și de cele mai multe ori sunt total rezistente;

- îmbinările cu placă de capăt și șuruburi de tip 3 pot avea diferite caracteristici, în funcție de jocul parametrilor interni: grosimea plăcii de capăt, diametrul șuruburilor, prezența diferitelor tipuri de rigidizări, rezistența componentelor etc.;

- pentru îmbinările de tip 4, cu corniere pe tălpile grinzii, este caracteristică o rigiditate relativ mică, datorită alunecării șuruburilor în corniere, deși în final ele pot avea un moment capabil mai mare decât cel al grinzii (noduri total-rezistente);

- îmbinările cu placă de capăt exactă (de tip 5), sunt aproape întotdeauna de tip semi-rigid și parțial rezistent. Datorită faptului că primul șurub întins se găsește sub talpa întinsă a grinzii, momentul dezvoltat de acest tip de îmbinare nu este mai mare decât cel al grinzii;

- îmbinările pe inima grinzii cu corniere sau plăcuțe sudate reprezintă soluții clasice pentru nodurile articulate (atât pentru momente cât și pentru rigiditate)

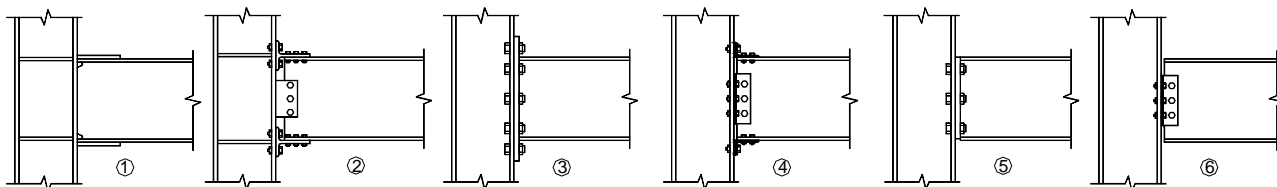


Figura 10: Exemple de curbe caracteristice pentru noduri

\* Notă: Nodurile din figură sunt cu titlu informativ. Comportamentul real al unui nod depinde de caracteristicile determinate conform prevederilor din SR-EN 1993-1.8.

**NOTĂ:** Deși teoretic pot exista noduri total rezistente și articulate (după rigiditate) sau articulate (după rezistență) și rigide, în practică acest lucru este foarte greu de realizat. Tipologiile curente ale nodurilor pot conduce în mod uzual la următoarele tipuri de caracterizări (prima clasificare este a rezistenței, a doua a rigidității):

- noduri total rezistente și rigide;
- noduri total rezistente și semi-rigide;
- noduri parțial rezistente și rigide;
- noduri parțial rezistente și semi-rigide;
- noduri articulate și semi-rigide;
- noduri articulate.

## 4.3. MODELAREA ÎMBINĂRILOR ÎN CONFORMITATE CU SR EN 1993-1-8

### 4.3.1 Introducere

Pentru a putea caracteriza îmbinările prin prisma ambelor sisteme de clasificare pentru modelarea structurală, Eurocode 3 introduce trei concepte noi, și anume noduri de tip **continue**, **semi-continue** respectiv **simple** (vezi Tabelul 1):

- Tipul **continuu** acoperă doar cazul nodurilor total rezistente și rigide. În cazul nodurilor continue, rotirea relativă dintre elementele îmbinate este relativ mică, dacă momentul încovoietor aplicat este mai mic decât momentul rezistent al nodului;
- Tipul de **noduri semi-continuu** se referă la cazurile nodurilor rigide / parțial rezistente, semi-rigide / total rezistente și semi-rigide / parțial rezistente. În acest caz rigiditatea nodurilor poate influența răspunsul structural (distribuția eforturilor interne și a deformațiilor) și există posibilitatea ca nodul să cedeze înaintea elementelor îmbinate. În acest caz este de preferat ca ductilitatea nodului să fie suficientă pentru a permite redistribuirea eforturilor în structură;

- Nodurile **simple** acoperă cazul nodurilor articulate atât în privința rigidității cât și a momentului transmis. Acest tip de noduri nu pot prelua momente încovoietoare și pot asigura doar transferul forțelor tăietoare între elementele îmbinate.

Tabelul 1 Tipuri de modelare a nodurilor.

Rigiditate	Rezistență		
	Total rezistente	Parțial rezistente	Articulate
Rigid	Continue	Semi-continue	*
Semi-rigid	Semi-continue	Semi-continue	*
Articulat	*	*	
*: Fără semnificație			

Interpretarea care trebuie dată acestor trei concepte depinde primordial de tipul de analiză care este efectuată:

- în cazul unei analize elastice globale doar proprietatea de rigiditate este semnificativă pentru modelarea nodurilor structurale;
- în cazul unei analize de tip rigid-plastic, principala caracteristică a nodului este rezistența;
- în toate celelalte cazuri, maniera în care nodurile sunt modelate depinde atât de rezistență cât și de rigiditate.

Posibilitățile de modelare a nodurilor sunt ilustrate în Tabelul 2.

Tabelul 2 Modelarea nodurilor și tipurile de analiză.

Modelare	Tip de analiză		
	Analiză elastică	Analiză rigid-plastică	Elastic-perfect plastic sau elasto-plastică
Continuă	Rigide	Total rezistente	Rigide/Total rezistente
Semi-continuă	Semi-rigide	Parțial rezistente	Rigide/Parțial rezistente Semi-rigide/Total rezistente Semi-rigide/Parțial rezistente
Simplă	Articulate	Articulate	Articulate

Prin urmare, **calculul articulat** se bazează pe ipoteza că grinzile sunt simplu rezemate și implică o prindere suficient de flexibilă pentru a nu dezvolta momente în noduri. Dacă este folosit acest concept, nodurile sunt clasificate ca nominal articulate, indiferent de metoda de analiză globală.

Dacă este adoptat **conceptul continuu**, tipurile de noduri folosite depind de metoda de analiză globală. Dacă este folosită analiza elastică, îmbinarea trebuie clasificată în funcție de rigiditate și se vor utiliza îmbinări rigide. Dacă este folosită o metodă plastică, nodurile vor fi clasificate în funcție de rezistență și vor fi folosite îmbinări total rezistente. Dacă metoda globală de analiză folosită este de tip elastic-plastic, atunci nodurile trebuie clasificate atât după rigiditate cât și după rezistență. Se vor folosi noduri rigide și total rezistente. Acestea trebuie să fie capabile să preia momentul încovoietor de calcul, forța de forfecare și forța axială, cu menținerea rigidității globale a nodului.

**Metoda semi-continuă** acceptă faptul că cele mai multe din nodurile reale dezvoltă o valoare intermediară a rigidității, iar momentul capabil al nodului este limitat. În cazul în care este folosită analiza elastică, vor fi folosite nodurile semi-rigide. Dacă este folosită analiza globală de tip rigid-plastic, nodurile sunt clasificate numai în funcție de rezistență.

### 4.3.2 Metode de analiză pentru noduri

#### Analiza elastică

Pentru o analiză globală elastică nodurile trebuie clasificate numai în funcție de rigiditatea acestora (vezi Eurocode 3 – 1993-1-8, 5.2.2). Se consideră că într-o analiză de tip elastic nu se ajunge la plastificarea componentelor îmbinării sau a panoului de inimă, prin urmare nodul trebuie să aibă suficientă rezistență pentru a transmite eforturile care acționează în nod.

Pentru nodurile semi-rigide, în analiza globală este folosită rigiditatea la rotire  $S_j$ , corespunzătoare momentelor  $M_{j,Ed}$  încovoietoare rezultate din analiza elastică. Dacă valoarea momentului încovoietor  $M_{j,Ed}$  nu este mai mare de  $2/3 M_{j,Rd}$ , atunci în analiză se poate folosi valoarea întreagă a rigidității nodului, notată cu  $S_{j,ini}$  (vezi Figura 11 a). O valoare a momentului  $M_{j,Ed}$  mai mare de  $2/3 M_{j,Rd}$  implică o degradare a rigidității nodului (vezi curba caracteristică moment-rotire a unui nod - Figura 3) și de aceea, în secțiunea 5.1.2. a Eurocode 3 1-8 este propusă folosirea unei valori a rigidității inițiale amendată cu coeficientul  $\eta$  (vezi Figura 11 b). Valoarea coeficientului de modificare a rigidității  $\eta$  a fost determinat pe bază experimentală și este dat în Tabelul 3 în funcție de tipul îmbinărilor.

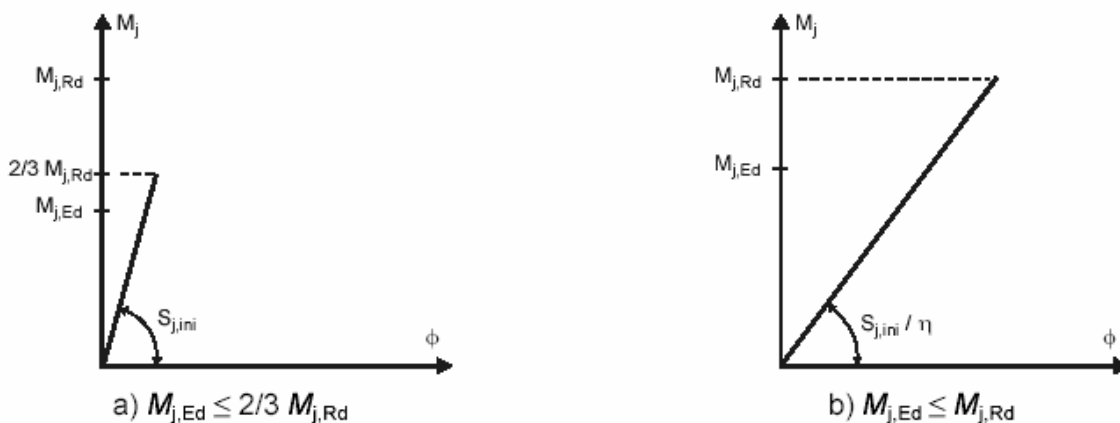


Figura 11: Rigiditatea la rotire folosită în analiza globală elastică (SR-EN 1993-1-8, 2006)

Tabelul 3 Coeficientul  $\eta$  de modificare a rigidității.

Tip de îmbinare	Noduri grindă-stâlp	Alte tipuri de noduri (grindă-grindă, grindă-eclise, bazele stâlpilor)
Sudată	2	3
Placă de capăt cu șuruburi	2	3
Corniere pe tălpi și șuruburi	2	3,5
Placă de bază	-	3

#### Analiza rigid-plastică

În acest caz, clauza 5.2.3. a Eurocode 3-1-8 prevede ca nodurile să fie clasificate numai după rezistență. Prin urmare rigiditatea nodurilor este considerată infinită iar singura caracteristică importantă este rezistența la momente încovoietoare  $M_{j,Rd}$ :

- Pentru noduri care îmbină profile de tip I sau H, valoarea rezistenței îmbinării se calculează conform secțiunii 6.2.
- Pentru noduri care îmbină elemente tubulare, rezistența îmbinării se calculează conform secțiunii 7 din partea 1-8 a Eurocode 3.

În plus față de aceste prevederi, trebuie verificată ductilitatea la rotire a nodului, rotirea acestuia trebuind să fie suficientă pentru a putea prelua rotirile rezultate din analiza structurală.

Pentru aceasta, nodurile care îmbină profile de tip I sau H trebuie verificate la cerințele 6.4 din Eurocode 3-1-8.

### **Analiza elastic-plastică**

Analiza elastic-plastică implică clasificarea comportării nodului atât după rigiditate (pentru definirea caracteristicilor elastice) cât și a rezistenței (pentru definirea ordinii de apariție a articulațiilor plastice). Pentru calculul elementelor caracteristice sunt folosite următoarele secțiuni din Eurocode 3 Partea 1-8:

- Pentru nodurile care îmbină profile de tip I sau H, valoarea rezistenței îmbinării  $M_{j,Rd}$  se calculează conform secțiunii 6.2, rigiditatea este calculată conform 6.3, iar indicii despre valoarea ultimă a rotirii nodului este dată în secțiunea 6.4.

- Pentru noduri care îmbină elemente tubulare, elementele caracteristice sunt calculate conform metodei oferite de secțiunea 7 din partea 1-8 a Eurocode 3.

În cazul analizei globale de tip elastic-plastic, pentru determinarea eforturilor interne ale elementelor trebuie folosită curba completă de răspuns caracteristică a nodului. Ca simplificare, se poate adopta o curbă de răspuns moment-rotire biliniară, de genul celei prezentate în Figura 12. Coeficientul de modificare a rigidității  $\eta$  rămâne identic cu cel folosit pentru analiza elastică.

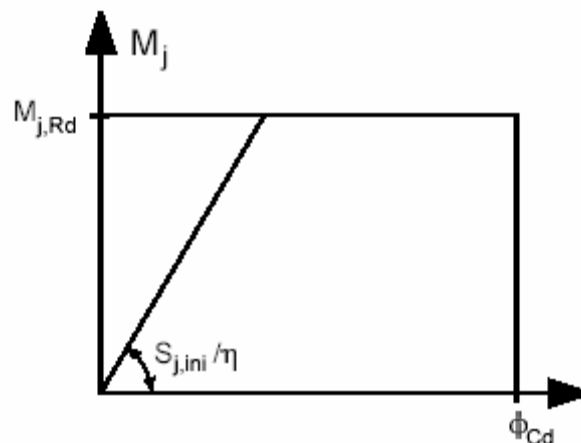


Figura 12: Curba caracteristică biliniară de modelare a caracteristicilor nodurilor

### **Analiza globală a grinzilor cu zăbrele**

Prevederile secțiunii 5.1.5 ale Eurocode 3 1-8 referitoare la analiza globală a grinzilor cu zăbrele sunt valide numai dacă nodurile structurale verifică prevederile secțiunii 7.

În cazul grinzilor cu zăbrele, se consideră faptul că nodurile de prindere ale elementelor sunt articulate iar distribuția forțelor axiale din grinzile cu zăbrele este făcută în această ipoteză. Problema principală care se pune în cazul grinzilor cu zăbrele este axialitatea forțelor normale. În cazul în care există excentricități, acestea introduc momente secundare în noduri și elemente. Preocuparea majoră în acest caz este de a identifica dacă momentele secundare au efect major asupra eforturilor rezultate din analiza structurală sau pot fi ignorate în analiză.

În cazul în care există excentricități care introduc momente secundare în noduri, acestea pot fi neglijate atât pentru calculul nodurilor cât și pentru cel al elementelor dacă sunt satisfăcute următoarele două condiții:

- geometria nodurilor este în limitele de aplicabilitate (specificate în tabelele 7.1, 7.8, 7.9 sau 7.20 ale Eurocode 3 1-8;
- raportul dintre lungimea teoretică și grosimea elementului în planul zăbrelelor nu este mai mic decât valoarea minimă corespunzătoare (pentru structurile clădirilor, valoarea minimă

corespunzătoare poate fi acceptată 6 iar valori mai mari se pot aplica pentru alte părți ale EN 1993).

În schimb, momentele rezultate din încărcările transversale (din plan sau din afara planului) care sunt aplicate între punctele teoretice ale panourilor, se iau în considerare la calculul barelor pe care ele sunt aplicate. Cu condiția satisfacerii condițiilor prevăzute în 5.1.5(3):

- zăbrelele pot fi considerate ca articulate în tălpi și deci momentele rezultate din încărcările transversale aplicate pe barele tălpii nu este necesar să fie distribuite în zăbrele și invers;
- tălpile pot fi considerate ca grinzii continue simplu rezemate în noduri.

#### 4.3.3 Modelare și surse ale deformabilității în noduri – modelarea simplificată în concordanță cu EN 1993-1-8, 5.3

Atunci când se proiectează un nod grindă-stâlp, diferențierea dintre deformația îmbinării și cea a panoului de inimă al stâlpului conduce la evaluarea teoretică a ambelor deformații. În practică acest lucru este posibil numai prin utilizarea unor programe de analiză sofisticate care să fie capabile să modeleze în mod diferit ambele surse de deformabilitate.

Pentru cele mai multe programe de analiză, modelarea nodurilor trebuie să fie simplificată prin concentrarea surselor de deformabilitate printr-un resort rotațional dispus la intersecția axelor elementelor îmbinate.

Ca alternativă simplificată, un nod de fațadă poate fi modelat ca o îmbinare unică, în timp ce un nod intern poate fi modelat ca două noduri separate dar care interacționează, câte una de fiecare parte a axului de stâlp. Ca o consecință, un nod grindă-stâlp intern are două curbe caracteristice moment-rotire, câte una în fiecare parte a stâlpului (vezi Figura 13).

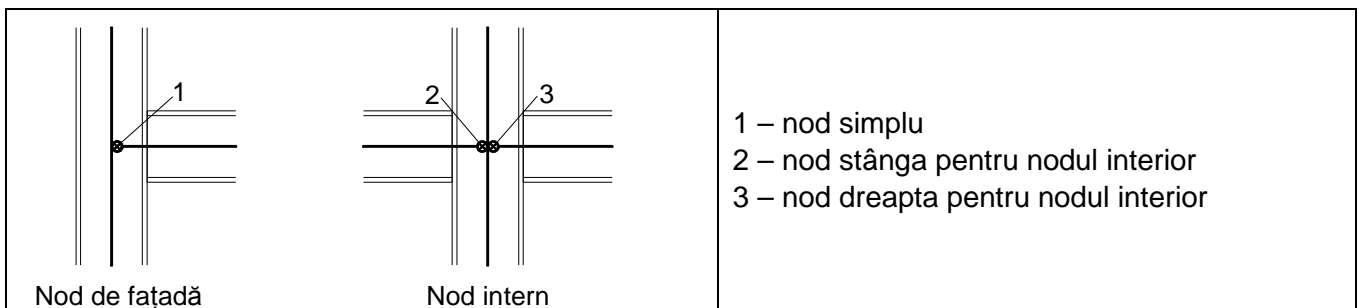


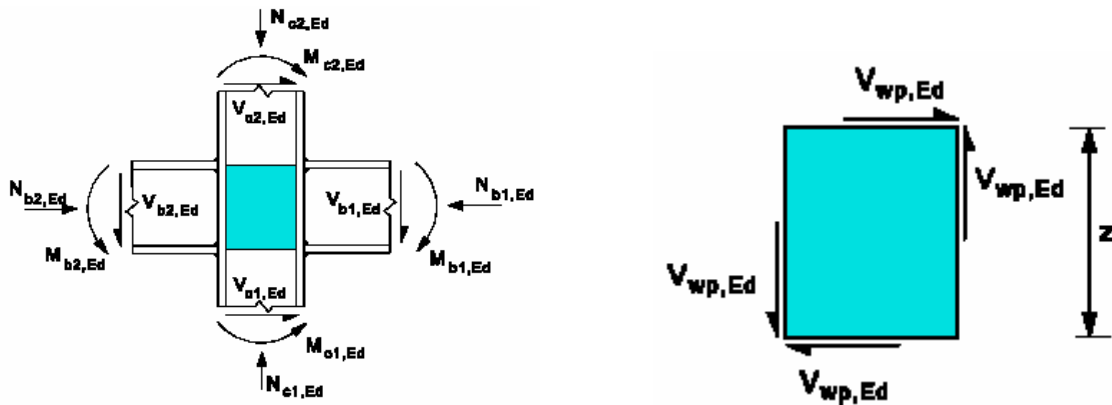
Figura 13: Simplificarea modelării nodurilor (SR-EN 1993-1-8, 2006)

#### 4.3.4 Concentrarea deformabilităților în noduri

Pentru a modela un nod astfel încât el să reproducă corect comportarea sa reală, panoul de inimă solicitat la forfecare și fiecare din prinderi, trebuie modelate separat, ținând seama de momentele și forțele axiale din fiecare element, care acționează la marginea panoului de inimă. Figura 14 prezintă valorile eforturilor interne care acționează la marginea panoului și forțele tăietoare echivalente rezultate din acestea, care se calculează cu formula următoare:

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}}{z} - \frac{V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}}{2} \quad (1)$$

unde z este brațul de pârghie al panoului de inimă.



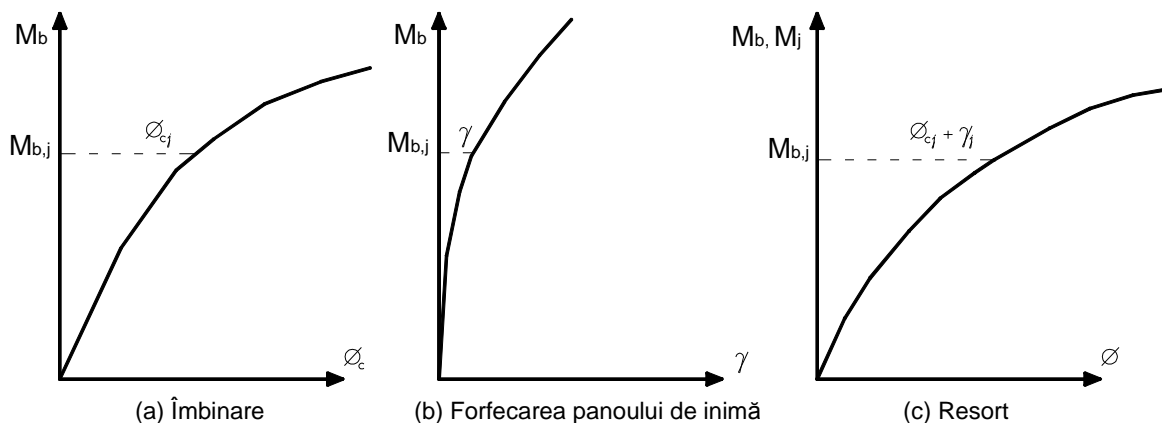
a) Valorile eforturilor la marginea panoului de inimă      b) Forțele tăietoare echivalente pe panou  
 Figura 14: Eforturi interne care acționează pe panoul de inimă și forțele tăietoare echivalente (SR-EN 1993-1-8, 2006).

**NOTĂ:** Brațul de pârghie  $z$  al îmbinărilor reprezintă distanța dintre centrul zonei comprimate și centrul zonei întinse. Valorile brațului de pârghie  $z$  sunt date în Figura 6.15 din Eurocode 3 1-8. Valoarea exactă a lui  $z$  pentru nodurile cu placă de capăt și șuruburi se calculează conform secțiunii 6.3 a Eurocode 3 1-8.

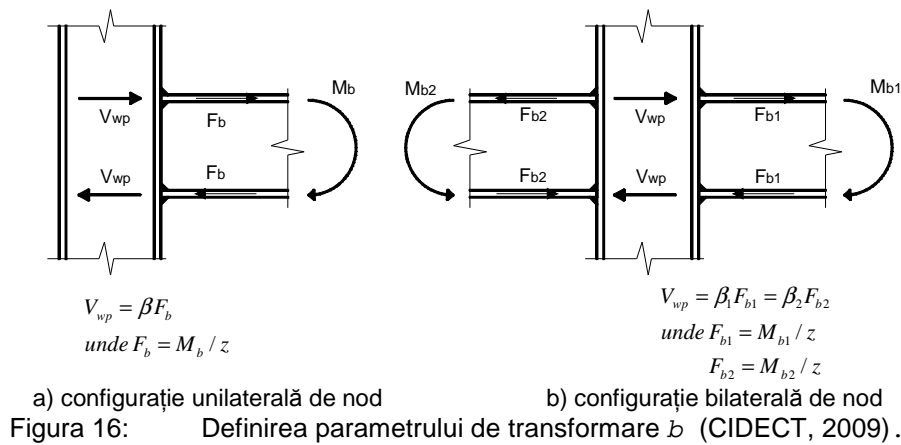
În practica uzuală de modelare a nodurilor nu se poate face o distincție între comportamentul la încovoiere al îmbinărilor și forfecarea panoului de inimă al stâlpului. Din contră, pentru o modelare simplificată ambele deformații trebuie concentrate într-un singur resort, poziționat la intersecția axelor elementelor îmbinate.

Pentru nodurile de fațadă modelarea se face printr-un singur resort. Primul pas este transformarea curbei de deformabilitate prin forfecare a panoului de inimă a stâlpului într-o curbă de tip  $M_b-\varphi$ , prin intermediul parametrului de transformare  $b$  (vezi Figura 15 – b). Acest parametru (definit în Figura 15 - a) consideră forfecarea panoului de inimă al stâlpului prin intermediul forțelor de compresiune și de întindere localizate în tălpile elementelor îmbinate.

Curba generală caracteristică  $M_j-F$  a resortului (care reprezintă comportamentul nodului) este prezentată în Figura 15 – c. Aceasta este obținută prin însumarea simplă a rotirilor din îmbinare ( $F_c$ ) și din panoul stâlpului ( $\varphi$ ).



(a) Îmbinare      (b) Forfecarea panoului de inimă      (c) Resort  
 Figura 15: Caracteristicile modelului tip resort la încovoiere (CIDECT, 2009).



Nodurile interne implică existența a două grinzi și în consecință a două îmbinări, denumite generic *stânga* respectiv *dreapta*. Derivarea curbelor de deformabilitate corespodente este efectuată într-o manieră similară cu derivarea curbei caracteristice pentru îmbinarea de fațadă, dar în cazul de față sunt folosiți doi parametri de transformare  $b_1$  respectiv  $b_2$ , câte unul pentru fiecare îmbinare (Figura 16 – b).

**NOTĂ: Soluțiile structurale americane se bazează pe grinzi cu înălțime înaltă și stâlpi compacți, cu tălpi groase și secțiuni mică. Grinzile înalte au un efect benefic asupra forfecării panoului de inimă al stâlpului datorită faptului că forțele induse de tălpile grinzilor sunt mai mici în cazul grinzilor mai înalte. Prin urmare, pentru nodurile rigide și total rezistente este de preferat să se aleagă soluția cu grinzi înalte sau vute în zona de îmbinare.**

Datorită faptului că valorile parametrilor  $b$  pot fi determinate doar după ce sunt cunoscute eforturile interne, determinarea corectă a acestora nu poate fi făcută decât printr-un proces iterativ cu eforturile interne rezultate din analiza globală. În aplicațiile practice, în care un asemenea proces iterativ nu este acceptabil, sunt stabilite valori conservative ale parametrului  $b$ . Aceste valori trebuie folosite pentru modelarea nodurilor și pe baza acestei modelări, poate fi efectuată analiza globală în domeniul de siguranță în mod neiterativ.

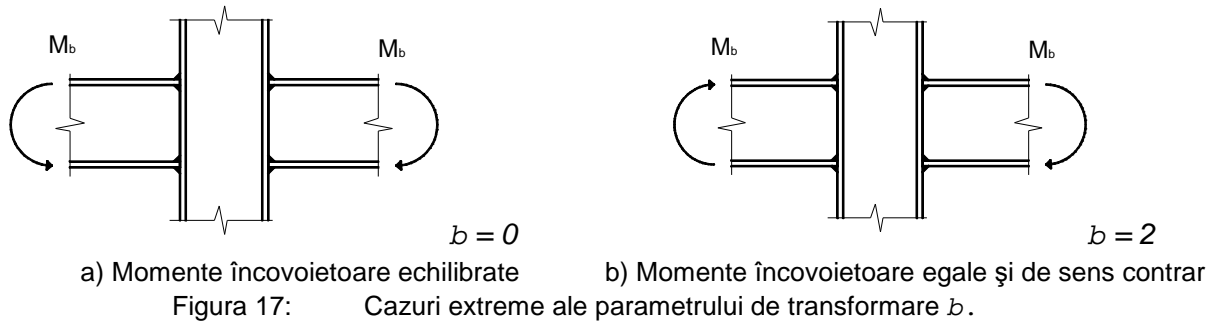
Valorile recomandate (aproximative) ale parametrului  $b$  (pentru nodurile interne  $b_1$  este considerat egal cu  $b_2$ ) sunt date în Eurocode 3-1-8 tabelul 5.4. (Tabelul 4 aici).

Tabelul 4 Valori aproximative ale parametrului de transformare  $\beta$  (Tabelul 5.4 cf. SR-EN 1993-1-8).

Tipul configurației de nod	Acțiune	Valoarea lui $\beta$
	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0$ *)
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta = 2$

\*) În acest caz valoarea lui  $\beta$  este valoarea exactă și nu reprezintă o aproximație

Valorile parametrilor  $b$  variază de la 0 pentru momente egale pe grinzi care rotesc nodul în sensuri diferite (care anulează practic efectul de forfecare al panoului – vezi Figura 17- a) la  $b = 2$ , în cazul momentelor egale care rotesc nodul în același sens (Figura 17- b).



Eurocode 3-1-8 oferă de asemenea posibilitatea găsirii unor valori mai exacte pentru parametri de transformare  $b_1$  și  $b_2$ , pe baza valorilor momentelor grinzilor  $M_{j,b1,Ed}$  și  $M_{j,b2,Ed}$  de la intersecția liniilor centrelor de greutate ale elementelor îmbinate (în cazul în care acestea sunt cunoscute):

$$\beta_1 = \left| 1 - \frac{M_{j,b2,Ed}}{M_{j,b1,Ed}} \right| \leq 2 \tag{2}$$

$$\beta_2 = \left| 1 - \frac{M_{j,b1,Ed}}{M_{j,b2,Ed}} \right| \leq 2 \tag{3}$$

Cu:  $M_{j,b1,Ed}$  – momentul încovoietor de la extremitatea grinzii din dreapta  
 $M_{j,b2,Ed}$  – momentul încovoietor de la extremitatea grinzii din stânga

**CAPITOLUL IV**  
**ÎMBINĂRI SIMPLE**

## 4.1. INTRODUCERE

Soluțiile constructive alese pentru îmbinări și proiectarea acestora depinde, în bună măsură, de opțiunea inginerului proiectant de metodologia pe care acesta intenționează să o aplice la proiectarea structurii. În Eurocode 3 (EN 1993-1-8:2006) se acceptă trei modele pentru considerarea comportării, cât mai aproape de realitate, în analiza globală a structurilor. Potrivit acestor modele îmbinările pot fi simple, semi-continue sau continue. Calificarea îmbinărilor într-unul din aceste modele se poate face prin calcul și/sau prin încercări experimentale. Metodele de analiza structurală premise de normă, în domeniul elastic sau plastic, de ordinal I sau II pot opera, în funcție de situația specifică, cu oricare din cele trei modele.

În cadrul acestui capitol se vor trata îmbinările modelate ca fiind "simple". O îmbinare simplă poate transfera numai forțe, având o capacitate neglijabilă pentru transferul momentelor încovoietoare; altfel spus, o asemenea îmbinare nu are rigiditate la rotire. În conformitate cu această definiție, într-o structură în care elementele structurale sunt conectate între ele prin îmbinări simple, grinziile vor fi simplu rezemate, iar stâlpii se consideră solicitați numai la forțe axiale, eventual și la mici momente încovoietoare datorită excentricității îmbinărilor cu grinziile. În realitate, însă, și îmbinările considerate "simple" posedă o oarecare rigiditate la rotire, ceea ce în practică face posibilă montarea structurilor fără a se lua, în general, măsuri de contravântuire temporară.

Îmbinările simple trebuie să permită rotirea capetelor grinziilor atunci când acestea sunt considerate simplu rezemate. Libertatea de rotire nu trebuie însă să afecteze capacitatea de preluare și transmitere a forțelor tăietoare și, respective, forțelor axiale. Teoretic, o grindă cu înălțimea secțiunii de 475 mm, având o deschidere de 6 m, se rotește la capete cu 0,22 radiani (1,260) sub acțiunea forței uniform distribuite capabile. În realitate, însă, unghiul de rotire este mai mic deoarece soluția constructivă pentru rezemări, chiar simplă, limitează capacitatea de rotire. În cazul îmbinării grindă-stâlp, se recomandă evitarea rezemării forțate a tălpii inferioare a grinzii pe talpa stâlpului, ceea ce este posibil atunci când rezemarea permite rotirea capătului grinzii, întrucât aceasta ar putea introduce solicitări excesive în îmbinare. Pentru a evita o asemenea situație se va lăsa un spațiu de minimum 10 mm între capătul grinzii și fața stâlpului.

În unele țări din Comunitatea Europeană, există deja reglementări de calcul pentru noduri structurale simple. Din păcate, aceste recomandări nu acoperă toate tipurile de cedare și dau uneori reguli de proiectare semnificativ diferite pentru un mod de cedare caracteristic.

În acest capitol, se face referință la diferite acte normative sau recomandări de proiectare cum ar fi:

- EN1993-1-8:2006, Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor;
- ECCS No. 126, TC10: Structural Connections, European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures, Eurocode 3, Part 1-8, 2009
- BS5950, Partea 1 și recomandările BCSA-SCI.

Fiecare din aceste documente posedă propriul domeniu de aplicare care favorizează diferite moduri de cedare, așa că o comparație între ele este destul de dificilă.

În scopul stabilirii unei metode de calcul în acord cu principiile generale de calcul stabilite în EN1993-1-8, au fost stabilite unele tabele de calcul pentru îmbinări cu placă de capăt redusă și eclisă, la Universitatea din Liege și discutate la mai multe reuniuni ale Comitetului Tehnic 10 "Îmbinări structurale", al ECCS. Acest capitol conține toate aceste reguli de proiectare.

Se așteaptă ca în câțiva ani, recomandările de calcul prezentate în acest capitol vor înlocui, în fiecare țară, recomandările și documentele normative naționale.

## 4.2. SCOP, DOMENIU DE APLICARE ȘI SOLUȚII CONSTRUCTIVE

### 4.2.1 Tipuri de structuri

Nodurile structurale simple sunt întâlnite de obicei la clădiri în cadre din oțel, dar pot fi folosite și la alte tipuri de structuri pentru a îmbina elemente din oțel (de exemplu: structuri de poduri).

### 4.2.2 Tipuri de elemente îmbinate

Elementele structurale considerate în acest capitol pot fi de următoarele tipuri:

- grinzi cu secțiune I sau H;
- stâlpi cu secțiune I sau H (cu posibilă extindere la secțiuni tubulare RHS și CHS).

### 4.2.3 Tipuri de îmbinare

Metodele de calcul sunt stabilite pentru noduri solicitate la încărcări predominant statice sau quasi-statice. Influența efectelor din oboseală este neglijată.

Rezistența îmbinării este verificată la solicitări de forfecare și axiale. Forțele de forfecare corespund condițiilor uzuale de încărcare în timpul vieții structurii; forțele axiale se pot dezvolta atunci când cadrul este supus la o explozie sau când cedează un stâlp de rezemare (Figura 4.1).

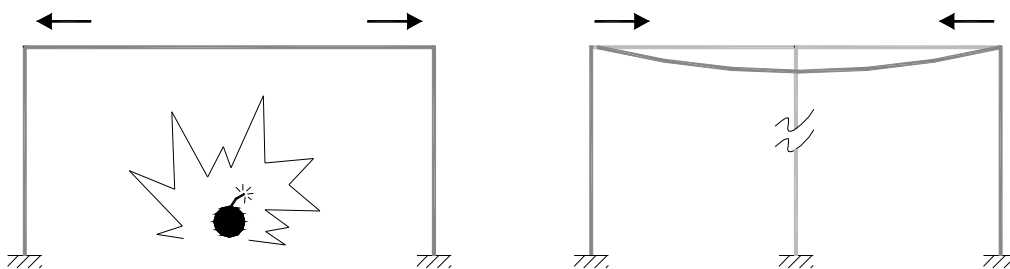


Figura 4.1: Forțe axiale (ECCS 126, 2009)

### 4.2.4 Mărci de oțel

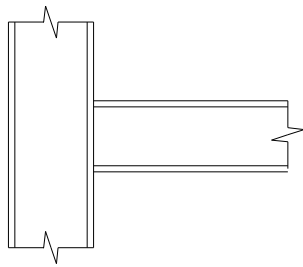
Acest capitol se aplică mărcilor de oțel S 235, S 275, S 355, S 420 și S 460.

### 4.2.5 Configurații de nod posibile (ECCS 126, 2009)

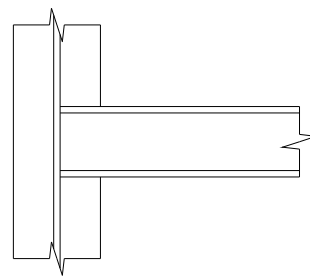
Toate configurațiile de nod posibile, sunt după cum urmează (vezi EN 1993-1-8, paragraph 1.3, Fig. 1.2):

- Configurație de nod grindă-stâlp (Figura 4.2):

a) Configurație unilaterală de nod

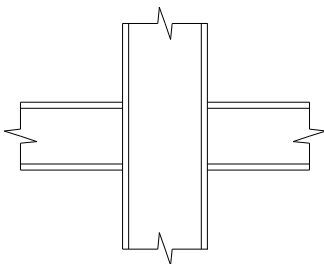


După axa principală

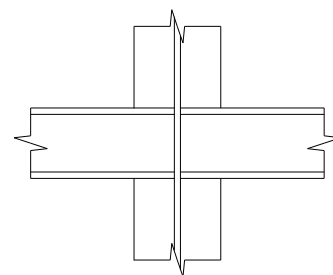


După axa secundară

b) Configurație bilaterală de nod



După axa principală

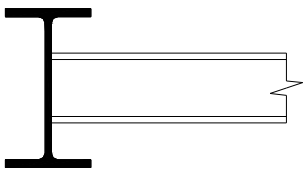


După axa secundară

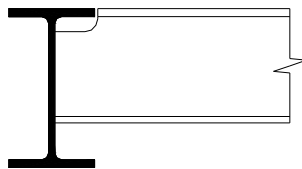
Figura 4.2: Configurație de nod grindă-stâlp

- Configurație de nod grindă-grindă (Figura 4.3):

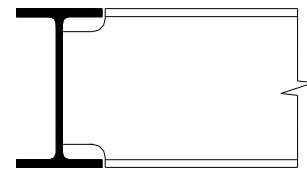
a) Configurație unilaterală de nod



Grindă fără creștătură  
rezemată pe inima grinzii

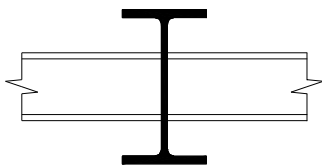


Grindă cu o creștătură  
rezemată pe inima grinzii

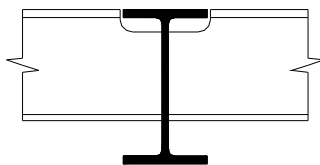


Grindă cu două creștături  
rezemată pe inima grinzii

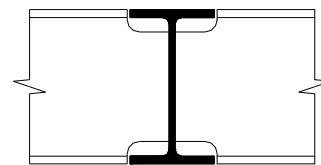
b) Configurație bilaterală de nod



Grindă fără creștătură  
rezemată pe inima grinzii



Grindă cu o creștătură  
rezemată pe inima grinzii



Grindă cu două creștături  
rezemată pe inima grinzii

Figura 4.3: Configurație de nod grindă-grindă

- Configurație de nod de continuitate la grindă (Figura 4.4):

Locațiile posibile pentru astfel de configurații de noduri sunt în zonele de moment încovoietor nul sau apropiat.

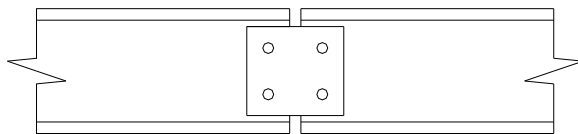


Figura 4.4: Configurație de nod de continuitate la grindă

- Configurație de nod de continuitate la stâlp (Figura 4.5):

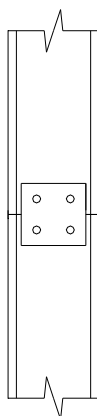


Figura 4.5: Configurație de nod de continuitate la stâlp

- Configurație de nod cu zăbrea (contravântuire) (Figura 4.6):

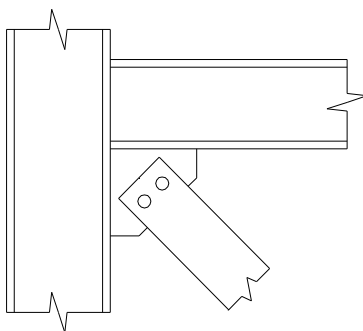


Figura 4.6: Configurație de nod cu zăbrea (contravântuire)

- Configurație de nod la baza stâlpului (Figura 4.7):

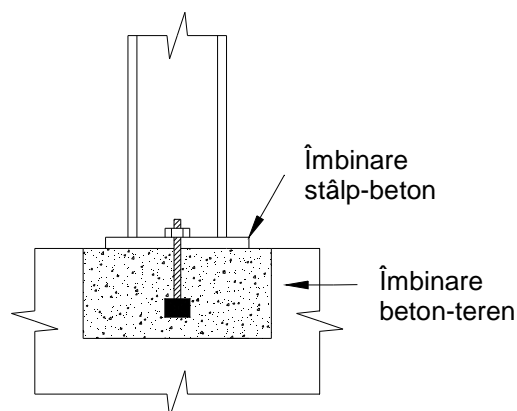


Figura 4.7: Configurație de nod la baza stâlpului

#### 4.2.6 Tipuri de dispozitive de îmbinare (ECCS 126, 2009)

##### 4.2.6.1 Șuruburi

Există două categorii de șuruburi: șuruburi normale și de înaltă rezistență. Cea de-a doua categorie poate fi utilizată pentru șuruburi pretensionate care sunt caracterizate de o rezistență de tip alunecare la forfecare.

Caracteristicile de calcul, geometrice și mecanice ale șuruburilor sunt date în Tabelul 4.5 și respectiv Tabelul 4.6 (conform EN1993-1-8, Paragraf 3.1.1, Tabel 3.1).

Tabelul 4.5 Aree de șuruburi

d (mm)	12	(14)	16	18	20	22	24	27	30	36
A (mm <sup>2</sup> )	113	154	201	254	314	380	452	573	707	1018
A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	84	115	157	192	245	303	353	459	561	817

Unde  $d$  este diametrul nominal al șurubului,  
 $A$  este aria nominală (brută) a șurubului,  
 $A_s$  este aria netă a șurubului.

Tabelul 4.6 Valori nominale pentru limita de curgere  $f_{yb}$  și rezistența la rupere  $f_{ub}$  a șuruburilor

Clasa șurubului	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	300	480	640	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	500	600	800	1000

##### 4.2.6.2 Suduri (EN1993-1-8, Cap.4)

EN1993-1-8, Cap. 4 prezintă numeroase tipuri de suduri cum ar fi suduri de colț, suduri de colț în creștături, suduri în adâncime, suduri în găuri umplute și suduri între fețe rotunjite. La aceste tipuri de îmbinări sunt folosite în special sudurile de colț.

#### 4.2.7 Tipuri de îmbinări

Trei tipuri de îmbinări grindă-stâlp sau grindă-grindă sunt utilizate în prezent pentru categoria îmbinărilor simple. Acestea sunt:

#### 4.2.7.1 Îmbinări cu placă de capăt redusă (flexibilă)

Soluția de principiu pentru o îmbinare cu placă de capăt flexibilă, cu prindere pe talpă și, respectiv, inima stâlpului se arată în Figura 4.8: Îmbinare cu placă de capăt redusă (flexibilă). Placa se prinde în fabrică sau atelier, prin sudare cu cordoane de sudură de colț de capătul grinzii; îmbinarea de montaj, pe șantier, se realizează cu una sau două rânduri verticale duble de șuruburi. Înălțimea sa nu depășește înălțimea grinzii. Este o soluție ieftină, simplu de executat la fabricație, dar ridică dificultăți la montaj datorită toleranțelor mici dintre gabaritul grinzii și distanța dintre stâlpi. Dacă aceste toleranțe sunt mari este obligatorie introducerea unor plăci de adaus pentru compensare. Deși se practică utilizarea unor plăci de capăt extinse pe întreaga înălțime a grinzii, nu este însă necesar ca placa să fie sudată de tălpile grinzii.

Există însă situații în care soluția cu placă extinsă pe întreaga înălțime a grinzii și sudată de tălpile acesteia se practică pentru a stabili cadrele în timpul montajului, fără a se mai utiliza contravânturi temporare. Pentru a se asigura flexibilitatea îmbinării în acest caz, se contează pe flexibilitatea plăcii de capăt, care trebuie să fie cât mai subțire, precum și pe mărirea la maximum a distanței dintre șuruburi. Spre exemplu, o placă de 8 mm și șuruburi situate la o distanță interax de 90 mm asigură capacitatea de rotire necesară pentru o grindă cu înălțimea de 450 mm; pentru grinda de 533 mm înălțime, va fi necesară o placă de capăt de 10 mm și șuruburi distanțate la 140 mm. Verificarea nodului include verificarea inimii grinzii la forfecare și, respectiv, a sudurii plăcii de capăt de grindă, care fiind neductilă, trebuie să dispună de suparezistența necesară.

Criteriile de proiectare pentru aceste tipuri de îmbinări sunt următoarele:

##### 1. Capacitatea portantă la forfecare a grupului de șuruburi

Capacitatea portantă a grupului de șuruburi, solicitat la forfecare (presiune pe gaură și forfecare în tijă) trebuie să fie mai mare decât reacțiunea de la capătul grinzii. Se verifică capacitatea la forfecare atât a porțiunii filetate, cât și a celei nefiletate a tije șuruburilor.

##### 2. Rezistența la forfecare și compresiune a plăcii de capăt

Rezistența la forfecare de o parte a plăcii de capăt, trebuie să fie mai mare decât jumătate din valoarea reacțiunii transmise de grindă; la fel și în cazul rezistenței la compresiune locală.

##### 3. Rezistența la forfecare a inimii grinzii

Capacitatea portantă la forfecare a inimii grinzii trebuie să fie mai mare decât reacțiunea de la capătul grinzii.

##### 4. Rezistența cordoanelor de sudură care prind placa de inima grinzii

Capacitatea portantă a acestor cordoane de sudură trebuie să fie mai mare decât reacțiunea de la capătul grinzii.

##### 5. Rezistența la forfecare și compresiune locală a inimii stâlpului

Rezistența la forfecare locală a inimii stâlpului, în cazul prinderii pe inima stâlpului, trebuie să fie mai mare decât jumătate din suma reacțiunilor grinzilor, dintr-o parte și alta a stâlpului. Rezistența la compresiune locală în inima stâlpului trebuie să fie mai mare decât jumătate din suma reacțiunilor grinzilor, dintr-o parte și alta a stâlpului, împărțită la numărul rândurilor de șuruburi cu care se realizează prinderea.

##### 6. Condiții pentru asigurarea integrității structurale

Capacitatea portantă la întindere a plăcii de capăt, a inimii grinzii și a grupului de șuruburi trebuie să fie mai mare decât forța de pretensionare din tiranți (daca se prevăd).

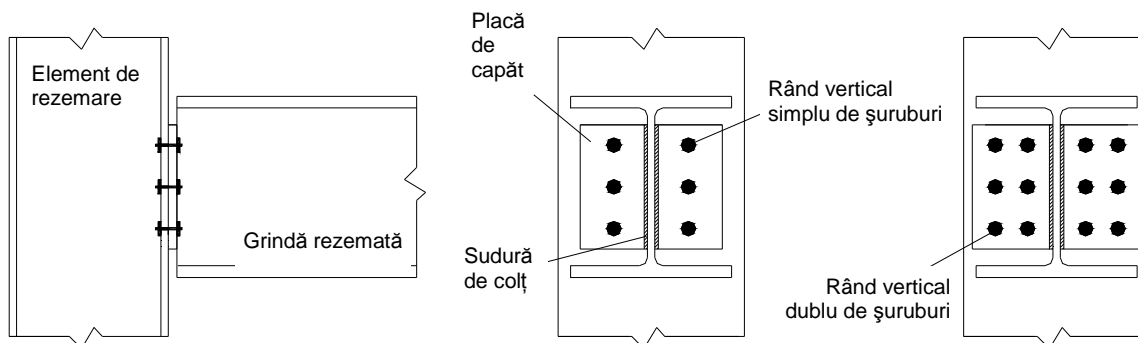


Figura 4.8: Îmbinare cu placă de capăt redusă (flexibilă)

#### 4.2.7.2 Îmbinări cu placă (eclisă) de inimă

Această soluție constructivă, aplicată în Australia și SUA s-a introdus mai recent în practica europeană. Funcția principală a acestui sistem de prindere, prin care inima grinzii se prinde cu unul sau două rânduri duble de șuruburi de o eclisă dreptunghiulară, prevăzută cu găuri pentru șuruburi, sudată pe talpa sau inima stâlpului (Figura 4.9: Îmbinare cu placă (eclisă) de inimă), este de a transfera stâlpului reacțiunea de la capătul grinzii. Este o soluție simplă, economică și eficientă. Se poate aplica și la prinderea grinzilor secundare de grinda principală. Toleranța largă existentă între capetele grinzii care se prinde, față de stâlpii sau grinzile de care se prinde, permite un montaj foarte ușor. Debitarea și găurirea eclisei cu burghiul sau prin ștanțare, respectiv sudarea de elementul suport sunt operațiuni care se execută în atelier sau în fabrică.

O problemă a cărei rezolvare a necesitat investigații aprofundate a fost aceea de a determina corect linia de acțiune a forței tăietoare la joncțiunea dintre grindă și stâlp. Există două modele posibile și anume, forța tăietoare acționează la fața stâlpului sau după axa verticală a grupului de șuruburi care prind eclisa de inimă grinzii. Din acest motiv, momentul încovoietor, care apare datorită excentricității dintre cele două axe, după care poate fi considerată acțiunea forței tăietoare, trebuie considerat împreună cu forța tăietoare, la verificarea acestei prinderi. Această metodologie de calcul a fost validată prin încercări experimentale. Totodată, încercările experimentale au pus în evidență faptul că dacă se folosesc eclise lungi acestea au tendința de instabilitate prin răsucire și încovoiere în afara planului. Sursele flexibilității la rotire a îmbinării sunt deformarea din forfecare a șuruburilor și găurilor, respectiv încovoierea laterală a eclisei.

Criteriile de proiectare pentru aceste tipuri de îmbinări sunt următoarele:

1. Capacitatea portantă a șuruburilor

Forța capabilă la presiune pe gaură a șurubului trebuie să fie mai mare decât forța rezultantă maximă care acționează, ca efect cumulativ al forței tăietoare și momentului încovoietor, asupra șurubului situat la distanța maximă de axa grinzii.

2. Rezistența guseului la rupere în secțiunea netă

Capacitatea portantă la forfecare a guseului trebuie să fie mai mare decât reacțiunea de la capătul grinzii. Momentul capabil al guseului în secțiunea netă trebuie să fie mai mare decât momentul încovoiator produs de reacțiune.

### 3. Rezistența grinzii în secțiunea netă

Se verifică capacitatea portantă la forfecare a grinzii în secțiunea netă, care trebuie să fie mai mică decât reacțiunea de la capătul grinzii. Pentru gusee lungi se verifică și capacitatea de preluare a momentului încovoiator produs datorită excentricității.

### 4. Rezistența cordoanelor de sudură

Cordoanele de sudură cu care se prinde guseul de stâlp se prelungesc, în afara guseului, cu cel puțin  $0.8t$ , unde  $t$  este grosimea guseului.

### 5. Verificarea inimii stâlpului la forfecare locală

Rezistența la forfecare locală a inimii stâlpului trebuie să fie mai mare decât jumătate din valoarea sumei dintre reacțiunile grinzilor, dintr-o parte și cealaltă a inimii stâlpului.

### 6. Rezistența la flambaj a guseului

Momentul critic al guseului, care își poate pierde stabilitatea prin încovoiere laterală cu răsucire, trebuie să fie mai mare decât momentul încovoiator produs de reacțiune datorită excentricității prinderii.

### 7. Robustețea și integritatea structurii

Rezistențele la întindere, ale guseului și a inimii grinzii, vor fi mai mari decât forța de pretensionare din tiranții orizontali (atunci când aceștia se dispun pentru asigurarea structurii la colaps progresiv ca urmare a unor degradări locale produse de acțiuni accidentale). Rezistența la compresiune locală (presiune pe gaură), a inimii grinzii sau guseului va fi mai mare decât forța de pretensionare din tiranți; inima stâlpului se verifică la întinderea introdusă de tirant (atunci când e cazul).

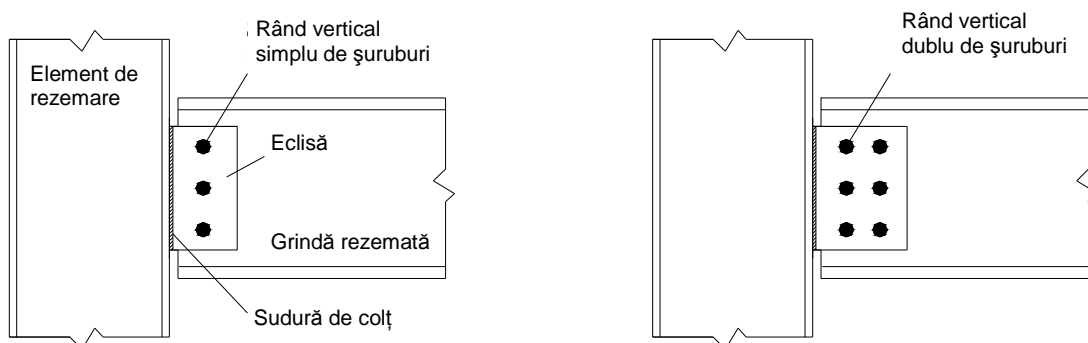


Figura 4.9: Îmbinare cu placă (eclisă) de inimă

#### 4.2.7.3 Îmbinări cu corniere de inimă

În Figura 4.10 se arată, în principiu, soluția de prindere cu șuruburi a grinzii de stâlpul unui cadru prin intermediul a doua corniere, dispuse de o parte și de alta a inimii grinzii, asemenea unor eclise și trei rânduri verticale simple sau duble de șuruburi (două pe elementul de rezemare și unul pe elementul rezemat). Aceasta soluție constructivă are avantajul că, atunci când există toleranțe de 2 mm între diametrul șuruburilor și al găurilor, montajul structurii poate fi realizat cu ușurință. De regulă, se folosesc câte două corniere, dar, pentru îmbinările mai slab solicitate poate fi folosită și una singură. Un calcul simplu bazat pe asigurarea condiției de echilibru static, poate furniza forțele de calcul ale unei asemenea îmbinări. Linia de acțiune, în raport cu care se realizează transferul forței tăietoare în îmbinare, se consideră conținută în planul feței stâlpului. Prin urmare, șuruburile care se folosesc la prinderea cornierelor de inima grinzii se vor calcula nu numai la acțiunea forței tăietoare, ci și la aceea a momentului încovoietor produs de aceasta ca urmare a excentricității. Șuruburile care fixează cornierele de talpa stâlpului, în schimb, se verifică numai la forța tăietoare. În practică, dimensiunile cornierelor se aleg în așa fel încât acestea să nu constituie componenta critică a îmbinării; de aceea, criteriul de dimensionare este dat de capacitatea portantă la presiune pe gaură a inimii grinzii – se presupune că șuruburile se aleg astfel încât forfecarea tijei să fie evitată întotdeauna, acest tip de cedare fiind neductil. În consecință, capacitatea de rotire a acestei îmbinări este guvernată, în cea mai mare parte, de deformabilitatea cornierelor și, într-o mai mică măsură, de alunecările dintre piesele interconectate. Pentru a mări flexibilitatea îmbinării, cornierele vor avea grosimea minim admisă, iar distanțele dintre șuruburi vor fi cât mai mari posibil.

În cazul prinderii cornierelor de inima stâlpului (îmbinare pe direcția de inerție minimă) poate fi necesar să se decupeze tălpile grinzii pentru a permite montajul; această operație însă nu afectează semnificativ, rezistența grinzii la tăiere. La montajul grinzilor, cornierele pot fi deja asamblate cu acestea.

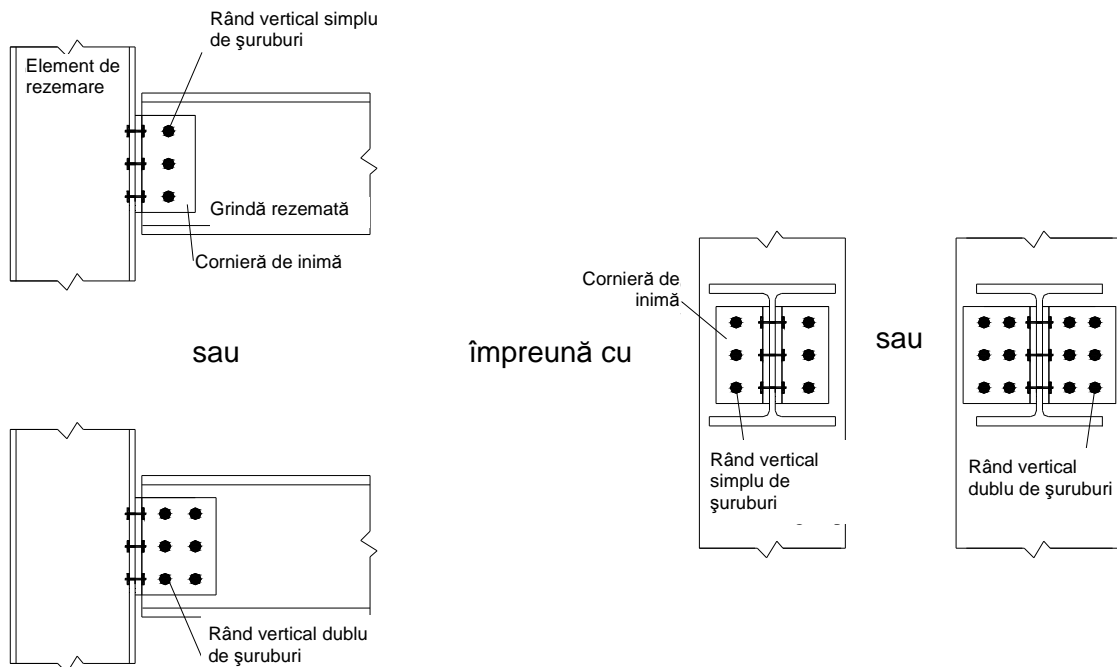


Figura 4.10: Îmbinare cu corniere de inimă (ECCS 126, 2009)

## 4.2.8 Geometria și alcătuirea îmbinărilor simple

### 4.2.8.1 Simboluri (EN1993-1-8, Paragraf 1.4)

#### a. Notații generale

- Pentru șuruburi:

$n$	Număr total de șuruburi
$A$	Aria nominală brută a șurubului
$A_s$	Aria netă a șurubului
$d$	Diametrul nominal al șurubului
$d_0$	Diametrul găurii pentru un șurub
$f_{u,b}$	Rezistența ultimă a șurubului
$f_{y,b}$	Rezistența de curgere a șurubului

- Pentru suduri:

$a$	Grosimea cordonului de sudură
$\beta_w$	Coeficient de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii (cf. EN1993-1-8, 4.5.3.2(6), Tab. 4.1)

- Pentru elementele de rezemare și cele rezemate:

$t$	Grosimea plăcii de rezemare ( $t_{cf}$ și $t_{cw}$ pentru talpa respectiv inima stâlpului, $t_{bw}$ pentru inima grinzii)
$t_w$	Grosimea inimii grinzii rezemate
$A_{b,v}$	Aria brută forfecată a grinzii rezemate
$A_{b,v,net}$	Aria netă forfecată a grinzii rezemate
$f_u$	Rezistența la rupere a unui element din oțel (index $bw$ pentru inima stâlpului, $cf$ și $cw$ pentru talpa respectiv inima stâlpului)
$f_y$	Limita de curgere a unui element din oțel (index $bw$ pentru inima stâlpului, $cf$ și $cw$ pentru talpa respectiv inima stâlpului)

- Coeficienți de siguranță:

$\gamma_{M0}$	Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; este egal cu 1,0
$\gamma_{M2}$	Coeficient parțial de siguranță pentru secțiune netă la nivelul găurilor de șuruburi, șuruburilor, sudurilor și plăcilor supuse la presiune pe gaură; este egal cu 1,25

- Încărcare:

$V_{Sd}$	Forță tăietoare aplicată pe nod
----------	---------------------------------

- Rezistență:

$V_{Rd}$	Rezistența la forfecare a nodului
$F_{v,Rd}$	Rezistența de calcul la forfecare

#### b. Notații particulare pentru îmbinări cu placă de capăt redusă

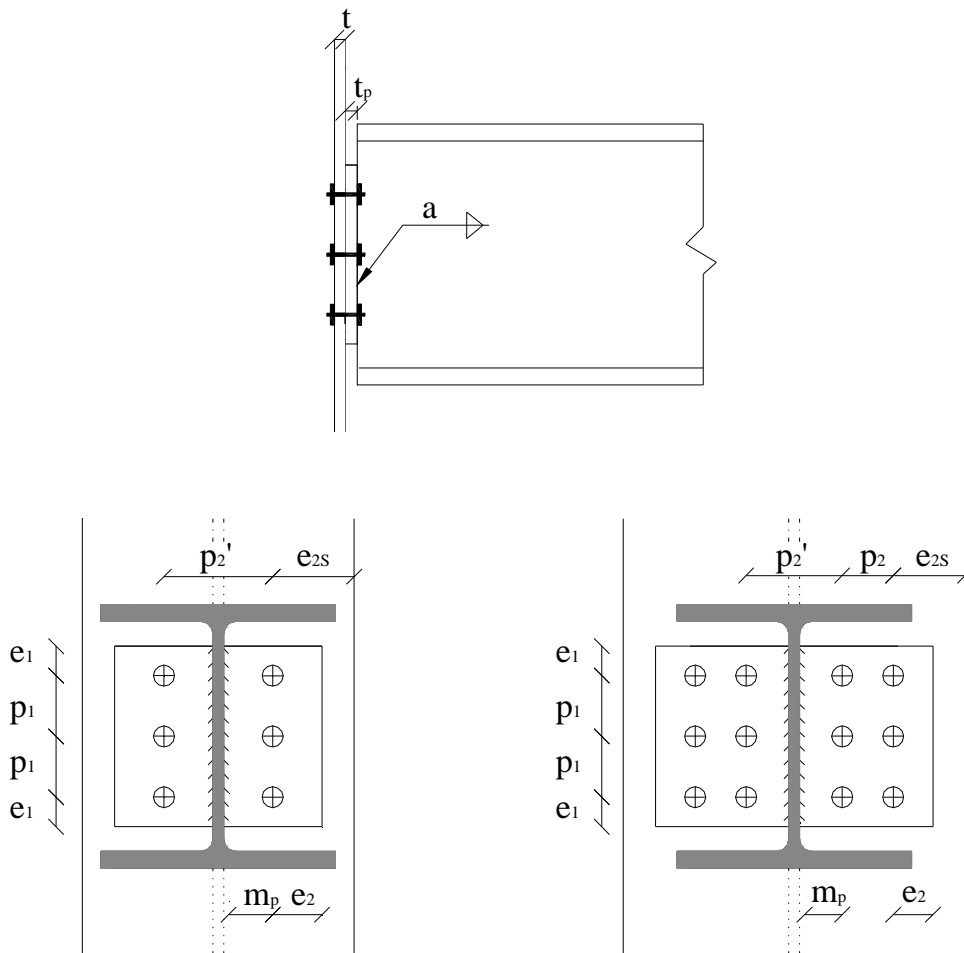


Figura 4.11: Notații pentru placa de capăt redusă

$h_p$	Înălțimea plăcii de capăt
$t_p$	Grosimea plăcii de capăt
$A_v$	Aria brută forfecată a plăcii de capăt
$A_{vnet}$	Aria netă forfecată a plăcii de capăt
$f_{yp}$	Limita de curgere a plăcii de capăt
$n_1$	Număr de rânduri orizontale
$n_2$	Număr de rânduri verticale
$e_1$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția longitudinală
$e_2$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția transversală
$p_1$	Distanța dintre centrele dispozitivelor de fixare de pe un rând, pe direcția longitudinală
$p_2$	Distanța dintre centrele dispozitivelor de fixare de pe un rând, pe direcția transversală
$m_p$	Distanța dintre coloanele de șuruburi și piciorul sudurii care leagă placa de capăt de inima grinzii (după EN 1993-1-8)

c. Notații particulare pentru îmbinări cu eclisă

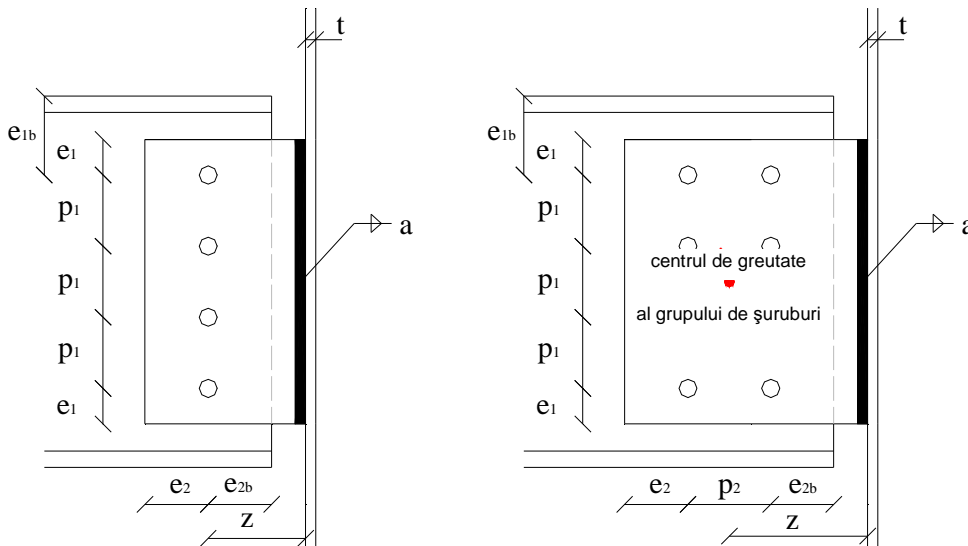


Figura 4.12: Notații pentru eclisă

$h_p$	Înălțimea eclisei
$t_p$	Grosimea eclisei
$A_v$	Aria brută forfecată a eclisei
$A_{vnet}$	Aria netă forfecată a eclisei
$f_{yp}$	Limita de curgere a eclisei
$n_1$	Număr de rânduri orizontale
$n_2$	Număr de rânduri verticale
$e_1$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția longitudinală (eclisă)
$e_2$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția transversală (eclisă)
$e_{1b}$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția longitudinală (inima grinzii)
$e_{2b}$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția transversală (inima grinzii)
$p_1$	Distanța dintre centrele dispozitivelor de fixare de pe un rând, pe direcția longitudinală
$p_2$	Distanța dintre centrele dispozitivelor de fixare de pe un rând, pe direcția transversală
$I$	Momentul de inerție al grupului de șuruburi

d. Notații particulare pentru îmbinări cu corniere

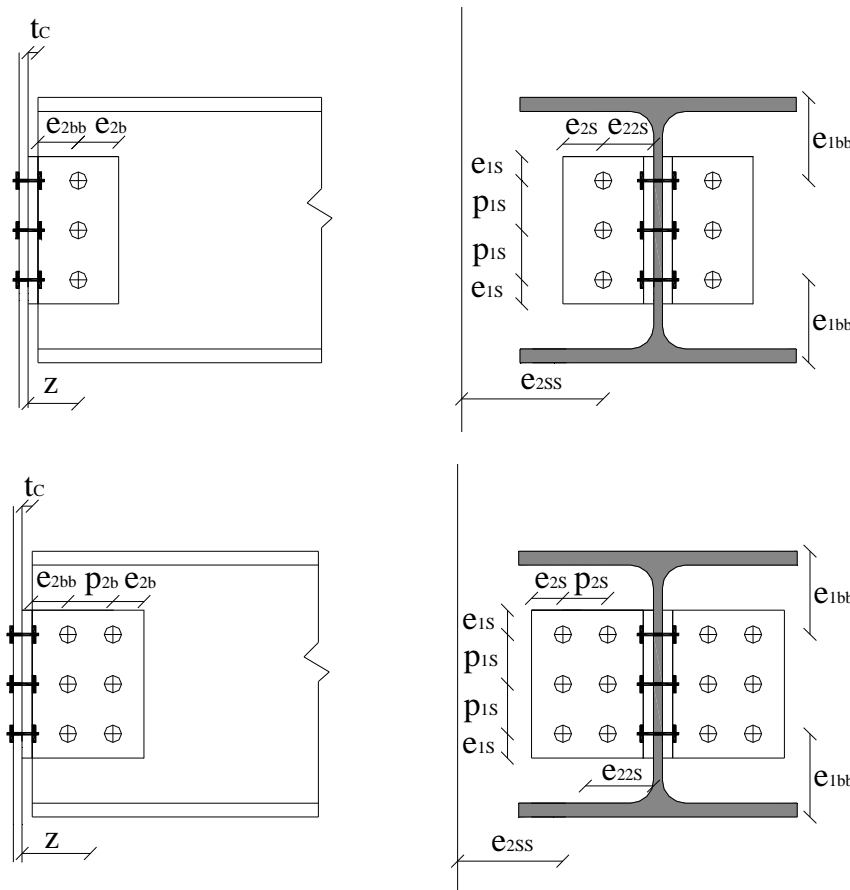


Figura 4.13: Notații pentru corniere

*Pentru grinda rezemată:*

$d_{sb}$	Diametrul nominal al șurubului
$d_{0sb}$	Diametrul găurii unui șurub
$n_b$	Număr total de șuruburi
$n_{1b}$	Număr de rânduri orizontale
$n_{2b}$	Număr de rânduri verticale
$e_{1b}$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția longitudinală (cornieră)
$e_{2b}$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția transversală (cornieră)
$p_{1b}$	Distanța dintre centrele dispozitivelor de fixare de pe un rând, pe direcția longitudinală
$p_{2b}$	Distanța dintre centrele dispozitivelor de fixare de pe un rând, pe direcția transversală
$e_{2bb}$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția transversală (inima grinzii)
$e_{1bb}$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția longitudinală (talpa grinzii)
$z$	Brațul de pârghie
$I$	Momentul de inerție al grupului de șuruburi

*Pentru elementele de rezemare:*

$d_s$	Diametrul nominal al șurubului
$d_{0s}$	Diametrul găurii unui șurub
$n_s$	Număr total de șuruburi
$n_{1s}$	Număr de rânduri orizontale
$n_{2s}$	Număr de rânduri verticale

$e_{1s}$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția longitudinală (cornieră)
$e_{2s}$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția transversală (cornieră)
$p_{1s}$	Distanța dintre centrele dispozitivelor de fixare de pe un rând, pe direcția longitudinală
$p_{2s}$	Distanța dintre centrele dispozitivelor de fixare de pe un rând, pe direcția transversală
$e_{2ss}$	Distanța de la centrul găurii la marginea piesei de prindere pe direcția transversală (element de rezemare)
$e_{22s}$	Distanța longitudinală dintre coloana interioară de șuruburi și inima grinzii

#### 4.2.8.2 Cerințe geometrice

Procedeele de calcul pot fi aplicate doar dacă poziționarea găurilor șuruburilor respectă regulile de spațiere dintre găuri sau dintre găuri și marginile elementelor, conform EN1993-1-8, 3.5, Tab. 3.3 și Fig. 3.1 (Tabelul 4.7, Figura 4.14).

Tabelul 4.7 Distanțele minime și maxime între găuri și distanțele de la centrul găurii până la marginea piesei pe direcția efortului și perpendicular pe direcția efortului

Distanțe conform Figurii 3.1	Minime	Maxime <sup>1) 2) 3)</sup>		
		Structuri executate din oțeluri conforme EN 10025, cu excepția oțeluri conforme EN 10025-5		Structuri executate din oțeluri conforme EN 10025-5
		Oțeluri care sunt supuse condițiilor atmosferice sau altor influențe corosive	Oțeluri care nu sunt supuse condițiilor atmosferice sau altor influențe corosive	Oțel neprotejat
Distanța la centrul găurii până la marginea piesei pe direcția efortului $e_1$	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Valoarea maximă dintre $8t$ și 125 mm
Distanța la centrul găurii până la marginea piesei perpendicular pe direcția efortului $e_2$	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Valoarea maximă dintre $8t$ și 125 mm
Distanța între găuri $p_1$	$2,2d_0$	Valoarea minimă dintre $14t$ și 200 mm	Valoarea minimă dintre $14t$ și 200 mm	Valoarea minimă dintre $14t_{min}$ și 175 mm
Distanța între găuri $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	Valoarea minimă dintre $14t$ și 200 mm	Valoarea minimă dintre $14t$ și 200 mm	Valoarea minimă dintre $14t_{min}$ și 175 mm

<sup>1)</sup> Valorile maxime ale distanțelor între dispozitivele de fixare, precum și ale distanțelor de la dispozitivele de fixare la marginea pieselor pe direcția sau perpendicular pe direcția de transmitere a eforturilor nu se limitează, cu excepția următoarelor cazuri:

- la elemente comprimate, pentru a evita voalarea și a preveni coroziunea elementelor expuse și;
- la elementele întinse pentru a preveni coroziunea

<sup>2)</sup> Rezistența la voalare a plăcilor comprimate între dispozitivele de prindere se va calcula conform EN 1993-1-1 folosind o lungime de flambaj de  $0,6p_1$ . Nu este necesară verificarea voalării între dispozitivele de fixare dacă  $p_1/t$  este mai mică decât  $9\varepsilon$ . Distanța până la capătul piesei nu va depăși cerințele de prevenire a voalării impuse elementelor comprimate în consolă, vezi EN 1993-1-1. Distanța până la marginea piesei nu este afectată de această cerință.

<sup>3)</sup>  $t$  este grosimea cea mai mică a elementelor exterioare îmbinate.

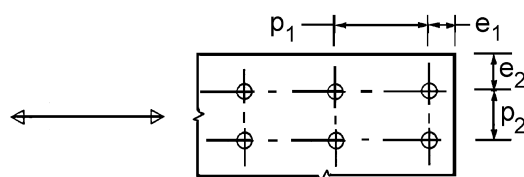


Figura 4.14: Simboluri pentru distanțe între dispozitive de fixare

## 4.2.9 Calculul îmbinărilor cu șuruburi

### 4.2.9.1 Introducere

Îmbinările structurale au rolul de a sigura transferul, total sau parțial, al forțelor de legătură între elementele pe care le conectează. În acest scop se pot folosi atât îmbinări sudate cât și cele realizate cu șuruburi. Îmbinările cu șuruburi au avantajul că se realizează mai ușor, iar atunci când se folosesc ca îmbinări de montaj, pe șantier, permit mici adaptări dimensionale, în limita toleranțelor admise. La realizarea unei îmbinări cu șuruburi se pot utiliza pentru prinderea pieselor de îmbinat, pe lângă șuruburi, elemente adiționale cum ar fi eclise, flanșe sau plăci de capăt, corniere de talpă, etc. În toate cazurile șuruburile au rolul de a fixa mecanic piesele interconectate.

Comportarea unei îmbinări cu șuruburi este complexă, starea de tensiune în piesele care se îmbină, precum și eforturile ce acționează în șuruburi, fiind dependente de rigiditatea șuruburilor și, respectiv de rigiditățile elementelor adiționale care participă la transferul forțelor de legătură. Din acest motiv, comportarea acestor îmbinări nu poate fi reprezentată în mod exact prin modele teoretice. Modelele de calcul utilizate pentru calculul îmbinărilor cu șuruburi au în general un caracter semi-empiric, la baza lor stând deopotrivă, încercări experimentale, experiența acumulată în decursul timpului și cunoștințele teoretice. Un exemplu pentru o asemenea regulă semi-empirică este dat în clauza 3.6.1(4) din SR-EN1993-1-8: 2006, care precizează că rezistența la forfecare a șuruburilor M12 și M14 trebuie calculată multiplicând forța capabilă la forfecare cu coeficientul 0,85.

### 4.2.9.2 Caracteristicile șuruburilor

Caracteristicile mecanice ale șuruburilor folosite în mod curent în construcții metalice se prezintă în Tabelul 4.8. Toate grupele de șuruburi pot fi utilizate pentru realizarea îmbinărilor solicitate preponderent la acțiuni statice. Pentru îmbinările care lucrează în regim de oboseală se recomandă șuruburi din grupele 8.8 și 10.9, întrucât prezintă rezistență ridicată la oboseală și se caracterizează printr-o deformabilitate redusă.

Tabelul 4.8. Caracteristicile mecanice ale șuruburilor

Grupă șurub	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}, MPa$	240	300	480	640	900
$f_{ub}, MPa$	400	500	600	800	1000
materialul de bază	oțeluri carbon, recoapte			oțeluri carbon slab aliate, călit și revenite	

Cea mai slabă secțiune a unui șurub este porțiunea filetată. Rezistența unui șurub este de obicei calculată folosind secțiunea care lucrează la întindere (se mai numește secțiune activă), definită ca medie între diametrul mediu măsurat la fundul filetelui,  $d_n$  și diametrul mediu  $d_m$ , așa cum se arată în Figura 4.15.

$$(1) \quad d_{res} = \frac{d_n + d_m}{2}$$

Mărimea șuruburilor se definește în funcție de diametrul lor nominal  $d$ , lungimea totală a tije și lungimea filetelui.

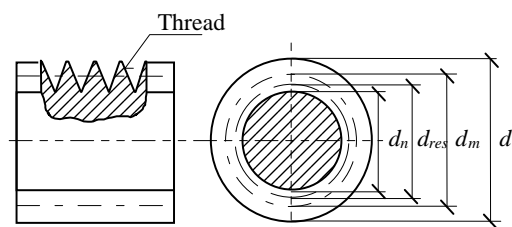


Figura 4.15: Secțiunea transversală a șurubului și secțiunea activă [Ballio, Mazzolani, 1983]

#### 4.2.9.3 Comportarea șuruburilor în îmbinare

Capacitatea portantă a îmbinărilor cu șuruburi se determină considerând o distribuție simplificată a tensiunilor în zona îmbinării, stabilită pe baza observațiilor experimentale. În funcție de modul în care se transferă forțele de legătură între piesele îmbinate, se disting următoarele tipuri de îmbinări cu șuruburi (Figura 4.16):

- 1) îmbinări care lucrează la forfecare, la care deplasarea relativă a pieselor îmbinate este împiedecată de tija șurubului;
- 2) îmbinări cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate, care lucrează prin frecare; piesele care se îmbină sunt strânse între ele ca urmare a forței de întindere introdusă în șurub printr-o strângere controlată. Transferul forțelor de legătură se realizează prin efectul de frecare ce ia naștere între fețele pieselor în contact;
- 3) îmbinări la care șuruburile lucrează la întindere în tijă.

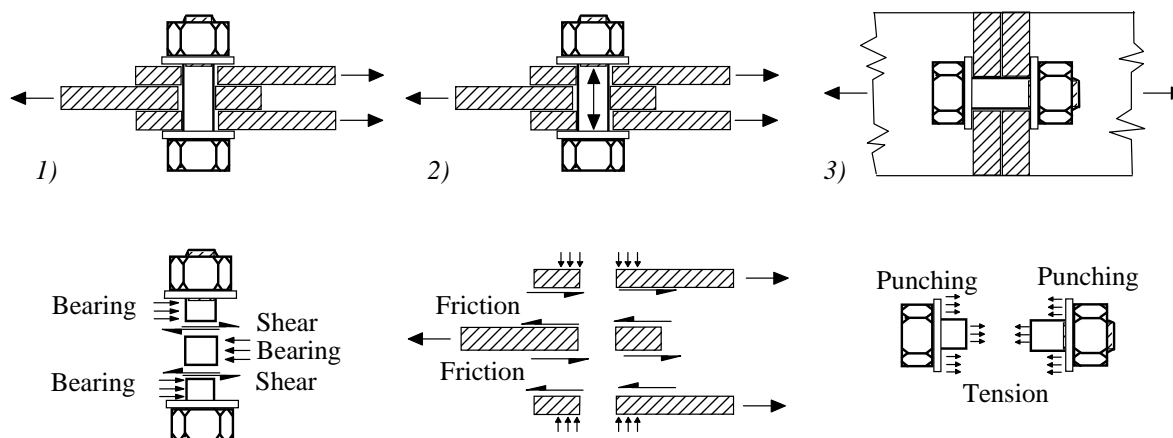


Figura 4.16: Modul de lucru al îmbinărilor cu șuruburi [Trahair et al, 2001]

În practică există situații în care șuruburile sunt solicitate la acțiunea combinată a forțelor de forfecare și întindere în tijă.

#### 4.2.9.4 Șuruburi solicitate la forfecare

Șuruburile solicitate predominant în regim static sunt cu strângere normală (la cheie). Strângerea pieselor în îmbinare este suficientă pentru a produce o forță mică de frecare între fețele în contact, astfel încât să se asigure capacitatea necesară pentru transferul unor forțe de intensitate reduse, fără alunecări în îmbinare. Creșterea intensității forțelor care solicită îmbinarea conduce la depășirea forțelor de frecare și va antrena alunecarea pieselor până la limita toleranței dintre tija șurubului și gaură. Odată consumată alunecarea pieselor, dacă forța continuă să crească, îmbinarea va lucra în domeniul elastic, până în momentul în care se inițiază deformații plastice, fie în tija șurubului, fie în peretele găurii, în zona de contact dintre acestea. Este posibil ca deformațiile plastice să se inițieze simultan în tijă și în peretele găurii. Sunt posibile următoarele moduri de cedare ale îmbinării:

- Forfecarea tijei șurubului
- Cedare prin presiune pe gaură (plasticizare locală asociată cu ovalizarea găurii)

- Ruperea piesei în secțiunea netă

**NOTĂ:** - Modul de calcul al forței capabile la presiune pe gaură a șurubului este influențat în primul rând de cerința de limitare a deformației găurii piesei îmbinate (ovalizare) și mai puțin de condiția de evitare a cedării îmbinării.

- în cazul rezistenței la presiune pe gaură dispuse în găuri ovalizate, perpendicular pe direcția solicitării, se aplică o reducere de 40% față de cazul găurilor rotunde cu o toleranță normală față de diametrul șurubului.

Pentru șuruburi pretensionate forța de pretensionare de calcul,  $F_{p,Cd}$ , folosită în calcule, se determină conform:

$$(2) \quad F_{p,Cd} = 0,7 f_{ub} A_s / \gamma_{M7}$$

Pentru îmbinările cu un singur plan de forfecare și un singur rând de șuruburi, șuruburile sunt prevăzute cu șaibe atât sub piuliță, cât și sub capul șurubului. Forța capabilă la presiune pe gaură pentru fiecare șurub este limitată la:

$$(3) \quad F_{b,Rd} \leq 1,5 f_u d t / \gamma_{M2}$$

Alte valori de calcul ale rezistenței la forfecare în tijă și presiune pe gaură sunt date în SR-EN1993-1-8: 2006, Tabelul 3.4, respectiv în Clauza 3.10.2 pentru ruperea piesei în secțiunea netă și reluate în tabelele de proiectare ale prezentei lucrări. Pentru determinarea capacității portante la rupere în secțiunea netă a piesei se pot lua în considerare două mecanisme de cedare combinând efectul de presiune pe gaură cu efectul de întindere în piesă, diferențierea făcându-se în funcție de efectul dominant. Modul de cedare depinde de dimensiunile îmbinării și de raportul rezistențelor dintre materialul șuruburilor și cel al pieselor conectate.

**NOTĂ:** În general pentru o îmbinare sunt folosite mai multe șuruburi (grupuri de șuruburi) care preiau eforturile de forfecare. Forța capabilă a grupurilor de șuruburi poate fi determinată și ca suma forțelor capabile la presiune pe gaură  $F_{b,Rd}$  a șuruburilor de fixare individuale, dacă forța capabilă la forfecare  $F_{v,Rd}$  a unui șurub individual este mai mare sau egală cu forța capabilă la presiune pe gaură  $F_{v,Rd}$ . În caz contrar, forța capabilă a unui grup de șuruburi trebuie luată egală cu numărul de șuruburi înmulțită cu cea mai mică forță capabilă a șuruburilor din grup.

În cazul **îmbinărilor lungi** la care distanța  $L_j$  dintre centrele șuruburilor de capăt, măsurată pe direcția de transmitere a forței (vezi Figura 4.17), este mai mare de  $15d$ , forța capabilă la forfecare  $F_{v,Rd}$  a tuturor dispozitivelor de fixare se reduce prin multiplicare cu un factor de reducere  $\beta_{Lf}$ , determinat prin:

$$(4) \quad \beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (\beta_{Lf} \leq 1,0 \text{ și } \beta_{Lf} \geq 0,75)$$

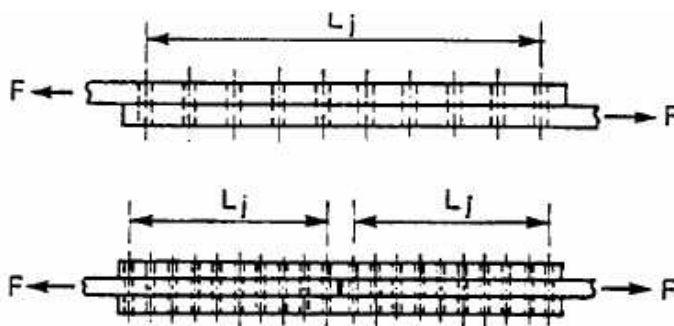


Figura 4.17: Îmbinări lungi [SR-EN 1993-1-8]

#### 4.2.9.5 Îmbinări cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate

În cazul unor încărcări alternante, șuruburile de înaltă rezistență trebuie strânse la cel puțin 70% din rezistența lor la rupere. Conform acestei metode, forța de legătură între piesele îmbinate se transferă prin frecarea dintre fețele în contact ale acestora. Clauza 3.4.1 din SR-EN1993-1-8: 2006, prevede trei categorii de îmbinări cu șuruburi pretensionate, și anume B, C și E. Forța capabilă a unui șurub depinde de coeficientul de frecare dintre suprafețele în contact  $\mu$ , și de forța de strângere indusă în șurub  $F_{p,C}$ . În Clauza 3.5 din normă se dau valori ale factorului  $\mu$ , pentru diferite categorii de suprafețe în contact, variind între 0,2 și 0,5. Pentru alte tipuri de suprafețe decât cele specificate în normă, coeficientul de frecare poate fi obținut prin încercări experimentale. Se folosesc șaibe speciale pentru a împiedeca detensionarea șuruburilor: o singură șaibă în cazul șuruburilor din grupa 8.8, dispusă fie sub capul șurubului fie sub piuliță, respectiv 2 șaibe pentru șuruburile din grupa 10.9, dispuse sub cap și sub piuliță.

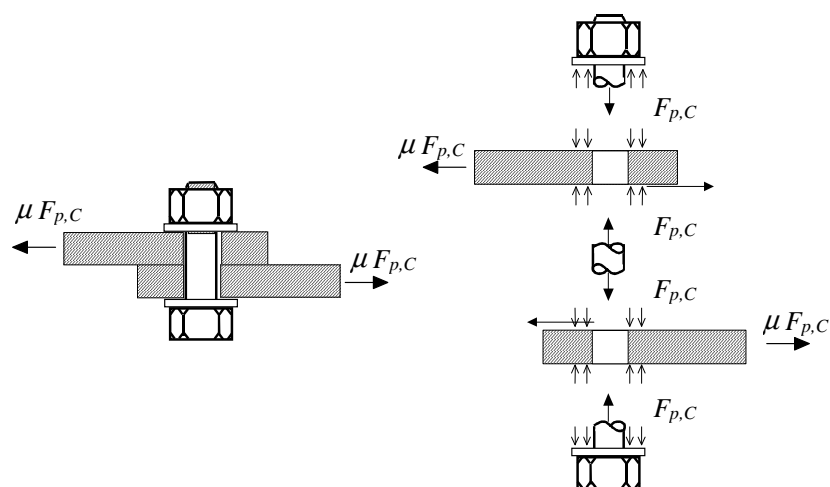


Figura 4.18: Șurub de înaltă rezistență pretensionat într-o îmbinare care lucrează prin frecare, [Kuzmanovic, Willems, 1983]

Forța de întindere introdusă în șurub în timpul montajului poate fi controlată folosind una din următoarele metode:

- 1) Controlul momentului de strângere aplicat șurubului prin intermediul unei chei dinamometrice
- 2) Controlul strângerii prin intermediul unghiului de rotire aplicat piuliței după strângerea normală a acesteia; unghiul de rotire depinde de grosimea pachetului de strâns
- 3) Măsurarea directă a efortului de întindere din șurub
- 4) Metoda combinată (se combină primele două metode)

Rezistența de calcul la lunecare a unui șurub pretensionat din grupa 8.8 sau 10.9 se determină prin formula:

$$(5) \quad F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

$k_s$  este un coeficient dat în funcție de tipul găurilor în care sunt introduse șuruburile (vezi tabelul 3.6 din SR-EN 1993-1-8).

$n$  este numărul suprafețelor de frecare

$\mu$  este coeficientul de frecare obținut fie prin încercări specifice pentru suprafața de frecare sau conform tabelului 3.7 din SR-EN 1993-1-8.  $\mu$  depinde de clasa suprafeței de frecare (A, B, C sau D).

**NOTĂ: Protecția prin vopsire nu trebuie aplicată pe fețele în contact ale unei îmbinări care lucrează prin frecare, întrucât reduce coeficientul de frecare, ceea ce are ca efect diminuarea capacității portante a îmbinării.**

În conformitate cu prevederea 3.9.2 din SR-EN1993-1-8, forța de pretensionare din șurub  $F_{p,Cd}$  nu se reduce atunci când asupra șurubului, ca efect al solicitării îmbinării se aplică o forță de întindere  $F_t$  concomitent cu forța de forfecare.

Explicația acestui fenomen este următoarea (Leonardo - Cestruco, 2003): Datorită forței de pretensionare introdusă în șurub la montaj, piesele în contact și șurubul se deformează (Figura 4.38 prezintă în mod simplificat schema de lucru a îmbinării). Alungirea șurubului  $\delta_b$  depinde de forța de pretensionare din șurub  $F_p$  și de contracția piesei  $\delta_p$ . Dacă se aplică o forță de întindere asupra șurubului  $F_t$ , aceasta se transmite îmbinării după cum urmează: forța  $\Delta F_b$  se adaugă forței  $F_p$ , iar forța  $\Delta F_j$  reduce forța de strângere a plăcilor. Corespunzător relaxării forței, se reduce deformația  $\delta_p$  cu  $\delta_{p,ext}$  (vezi Figura 4.38). Presupunând că raportul de rigiditate dintre secțiunea șurubului și secțiunea comprimată a pieselor comprimate este  $1/8$ , rezultă că efortul maxim pe care îl poate suporta un șurub, înainte de depărtarea pieselor în contact este:

$$(6) \quad F_b = F_p \left( 1 + \frac{l_p}{8l_b} \right)$$

în care  $l_p$  este lungimea pachetului de strâns, iar  $l_b$  este lungimea șurubului.

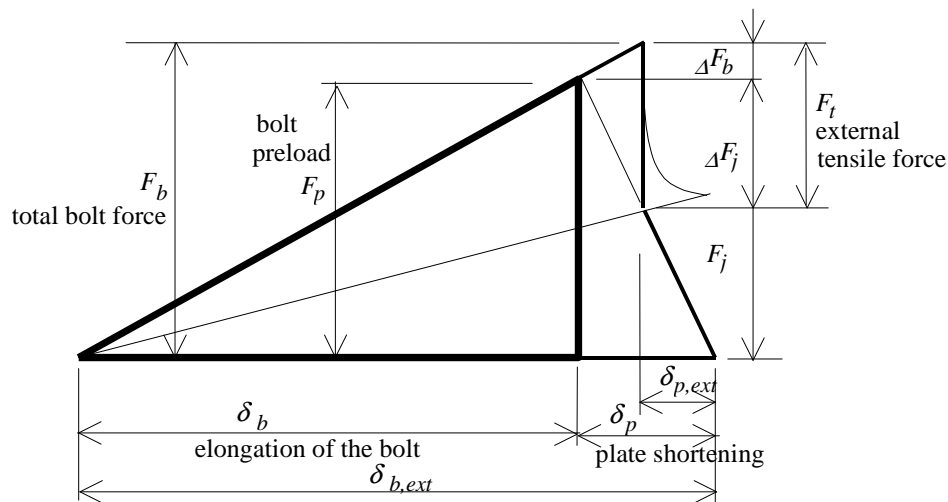


Figura 4.19: Modul de comportare al unui șurub pretensionat supus la eforturi de întindere [Leonardo, Cestruco, 2003]

În general se constată că creșterea pretensionării într-un șurub supus la un efort suplimentar de întindere nu depășește cu mai mult de 10% forța inițială de pretensionare.

#### 4.2.9.6 Îmbinări cu bolțuri

Bolțurile sunt șuruburi speciale care preiau forfecarea dintre două sau mai multe plăci, iar lungimea elementului de conectare (bolțul) este relativ mare (conform SR-EN 1993-1-8 dacă lungimea bolțului este mai mică de 3 ori diametrul său, îmbinarea se poate calcula c pentru șuruburi obișnuite).

Îmbinările cu bolțuri induc în elementul de îmbinare nu doar eforturi de forfecare ci și momente încovoietoare. Momentele dintr-un bolț se calculează pe baza principiului că părțile îmbinate formează reazeme simple. În general trebuie considerate că reacțiunile sunt distribuite egal între bolț și elementele îmbinate de-a lungul lungimii în contact pe fiecare parte, așa cum este indicat în Figura 4.20.

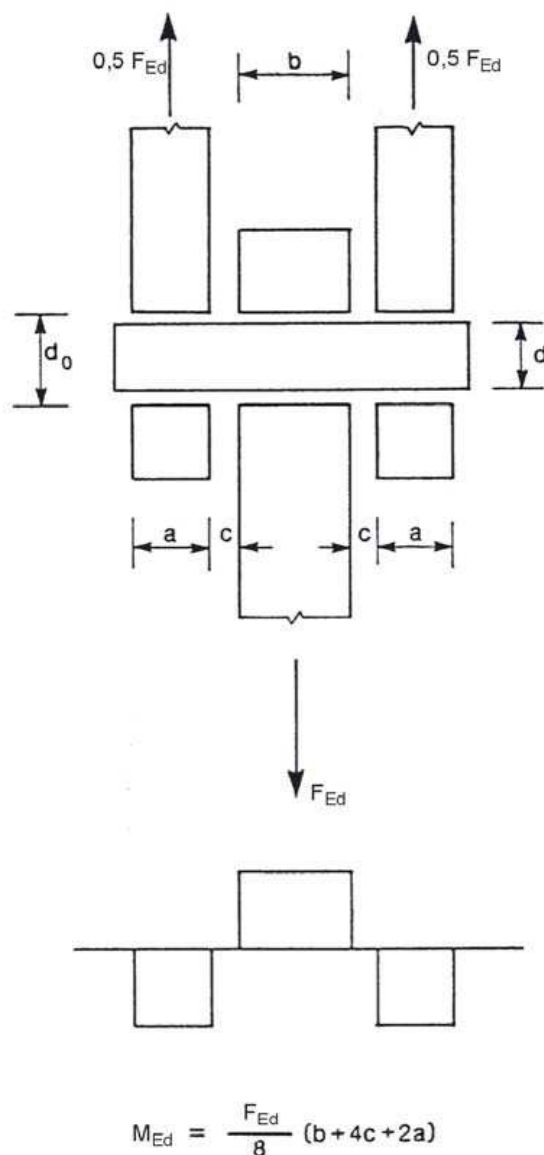


Figura 4.20: Diagrama de moment încovoietor într-un bolț (SR-EN 1993-1-8).

Modul de calcul al bolțurilor este sintetizat în tabelul 3.13 al SR-EN 1993-1-8.

#### 4.2.10 Calculul îmbinărilor sudate

Majoritatea îmbinărilor sudate sunt produse în ateliere. Prin proiectare trebuie asigurată ductilitatea sudurilor. Această cerință se poate rezolva prin respectarea unui set de reguli de proiectare. Pentru îmbinări structurale se folosește sudarea cu arc și adaos de metal, cu mici excepții când se folosește sudarea prin contact. Când se folosește sudarea cu adaos, metalul de adaos trebuie să fie compatibil cu metalul de bază din punct de vedere al proprietăților mecanice. Grosimea cordonului de sudură va fi de cel puțin 4 mm (reguli speciale trebuie respectate la sudarea elementelor din oțel cu pereți subțiri). Sudurile pot fi suduri de colț, suduri în creștături și găuri ovale, suduri cap la cap, suduri prin puncte și suduri în creștături și găuri evazate. EN 1993-1-8 prevede cerințe pentru lungimea efectivă a unui cordon de sudură de colț de grosime  $a$ , vezi Figura 4.21.

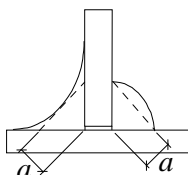


Figura 4.21: Definirea grosimii sudurii a.

#### 4.2.10.1 Suduri de colț

Sudurile de colț se folosesc la asamblarea pieselor a căror fețe supuse îmbinării formează între ele unghiuri cuprinse între 60° și 120°. Sunt admise și unghiuri mai mici de 60° dar în astfel de cazuri însă sudura se consideră sudură cap la cap cu pătrundere parțială. Conform SR-EN 1993-1-8 sunt acceptate și sudurile de colț întrerupte dar ele nu se folosesc în medii corosive.

În calcul, tensiunile interne din sudura de colț sunt descompuse în componente paralele și normale la planul critic al secțiunii cordonului de sudură, vezi Figura 4.22. Se presupune o distribuție uniformă a tensiunilor pe secțiunea critică a cordonului de sudură, conducând la următoarele tensiuni normale și tangențiale:

- $\sigma_{\perp}$  tensiune normală perpendiculară pe secțiunea critică a cordonului de sudură,
- $\sigma_{//}$  tensiune normală paralelă cu axa cordonului de sudură, poate fi neglijată pentru rezistența de calcul a sudurii de colț,
- $\tau_{\perp}$  tensiune tangențială (în planul critic al cordonului) perpendicular pe axa sudurii,
- $\tau_{//}$  tensiune tangențială (în planul critic al cordonului) paralel cu axa sudurii.

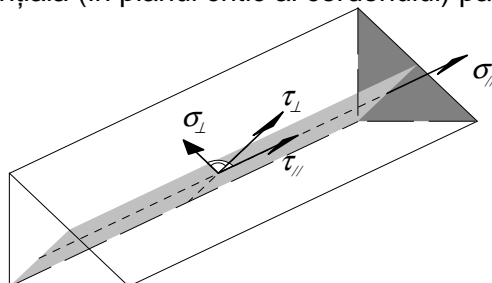


Figura 4.22: Tensiuni în planul critic al sudurii de colț.

Rezistența sudurii de colț va fi suficientă dacă următoarele două condiții sunt satisfăcute:

$$(7) \quad F_b = F_p \left( 1 + \frac{l_p}{8l_b} \right) \text{ și}$$

$$(8) \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$

Factorul de corelare  $\beta_w$  este prezentat în Tabelul 4.1 din SR-EN 1993-1-8.

$$(9) \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$

SR-EN 1993-1-8 include un procedeu simplificat pentru evaluarea rezistenței de calcul la forfecare a sudurii de colț pe unitatea de lungime indiferent de direcția de încărcare, vezi Figura 4.23.

$$(10) \quad f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{Mw}}$$

iar rezistența sudurii pe unitate de lungime este

$$(11) \quad F_{w,Rd} = a f_{vw,d}$$

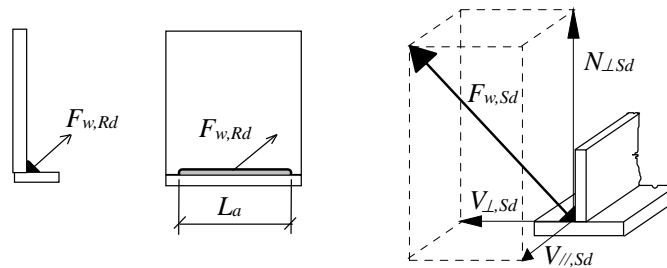


Figura 4.23: Calculul sudurii de colț independent de direcția de încărcare.

**NOTĂ:** Pentru rezistența sudurilor de colț SR-EN 1993-1-8 oferă două metode pentru calculul sudurilor de colț, una exactă și alta simplificată:

- diferența dintre cele două metode este nulă în cazul cordoanelor de sudură paralele

cu forța, pentru care formula de calcul este  $f_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{Mw}}$ ;

- pentru o îmbinare sudată cu cordoane de colț dispuse perpendicular față de direcția de acțiune a forței, diferențele dintre metoda exactă și cea simplificată sunt semnificative. Tensiunile din cordonul de sudură se calculează cu relațiile  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}}$  și  $\tau_{\parallel} = 0$ . Pentru modelul plan se

obține  $\sqrt{\left(\frac{\sigma_w}{\sqrt{2}}\right)^2 + 3\left(\frac{\sigma_w}{\sqrt{2}}\right)^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}}$  și  $\sigma_w \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw} \sqrt{2}} = f_{w,end,Rd}$ . Diferența între cele două modele este  $f_{w,end,Rd} / f_{w,Rd} = \sqrt{3} / \sqrt{2} = 1,22$ .

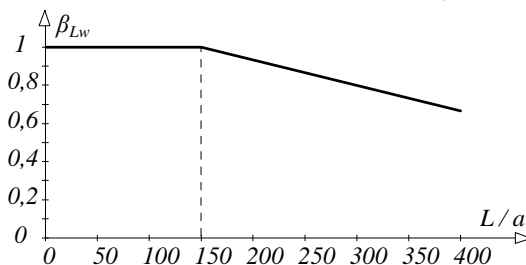
Atunci când suduri foarte lungi sunt supuse pe direcția sudurii, tensiunile din sudură trebuie să fie mai mici decât cele de la capete, vezi Figura 4.24 a. Aceasta rezultă din deformarea plăcilor îmbinate. Dacă plăcile sunt bine concepute, tensiunile din suduri sunt constante, vezi Figura 4.24 b. Supraîncărcarea poate conduce la cedarea capetelor îmbinării sudate (efect de fermoar). Rezistența sudurilor mai lungi de 150 a va fi redusă cu factorul  $\beta_{Lw}$ , vezi Figura 4.24 c:

$$(12) \quad \beta_{Lw} = 1,2 - 0,2 \left( \frac{L}{150 a} \right)$$



a) distribuție neuniformă a tensiunilor interne

b) distribuție uniformă a tensiunilor interne



c) factorul de reducere  $\beta_{Lw}$

Figura 4.24: Suduri lungi.

#### 4.2.10.2 Suduri în creștătură

Sudurile în creștătură cuprind sudurile de colț executate în găuri circulare sau alungite care se folosesc pentru a transmite forțe tăietoare sau pentru a preveni flambarea sau depărtarea

pieselor suprapuse. Diametrul găurii circulare sau lățimea găurii alungite, la sudurile în creștătură, nu trebuie să fie mai mici decât de patru ori grosimea piesei în care este efectuată creștătura.

Capetele găurilor alungite sunt semicirculare, cu excepția celor care se extind până la marginea pieselor îmbinate.

Rezistența de calcul a sudurilor în creștătură se determină identic cu cea a sudurilor de colț.

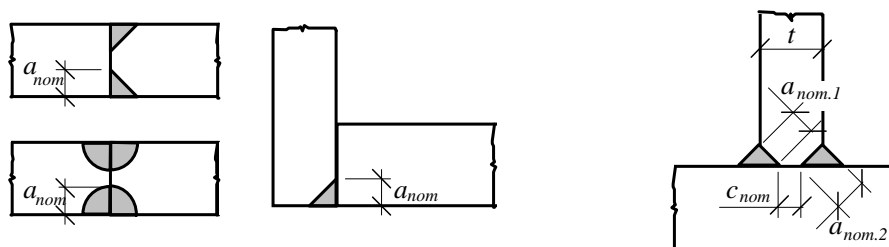
#### 4.2.10.3 Suduri cap la cap

O sudură cap la cap cu pătrundere totală este definită ca o sudură care asigură pătrunderea și topirea completă a materialelor de bază și de adaus, pe toată grosimea îmbinării. O sudură cap la cap, cu pătrundere parțială, este definită ca o sudură care asigură o pătrundere în îmbinare mai mică decât grosimea totală a materialului de bază.

Rezistența unei suduri cap la cap cu penetrare parțială va fi determinată într-un mod similar cu cel al sudurii de colț cu penetrare totală. Adâncimea de penetrare va fi determinată prin încercări. Detalii de noduri care generează tensiuni în cordoanele de sudură datorită sudurii, din condițiile de rezemare vor fi evitate pe cât posibil, pentru a reduce posibilitatea de destrămare lamelară. Acolo unde astfel de detalii nu pot fi evitate, trebuie luate măsuri de protecție. Distribuția eforturilor într-o îmbinare sudată poate fi calculată folosind o metodă elastică sau plastică.

Rezistența de calcul a unei a unei îmbinări cap la cap în T, constând dintr-o pereche de suduri cap la cap bilaterale, cu pătrundere parțială, completate cu suduri în colț suprapuse, poate fi determinată ca la o sudură cap la cap cu pătrundere completă, dacă grosimea nominală totală a ariei de sudură, exclusiv porțiunea nesudată, nu este mai mică decât grosimea  $t$  a inimii ansamblului îmbinării în T, cu condiția ca porțiunea nesudată să nu fie mai mare decât  $t/5$  sau  $3mm$ .

Rezistența de calcul a îmbinărilor cap la cap în T care nu îndeplinesc condițiile de mai sus trebuie determinată folosind metoda pentru sudurile în colț sau pentru sudurile în colț cu pătrundere adâncă, în funcție de adâncimea pătrunderii. Grosimea sudurii se determină conform prevederilor pentru sudurile de colț și pentru sudurile cap la cap cu pătrundere parțială (vezi paragraful 4.7.2 din SR-EN 1993-1-8).



a) suduri de adâncime cu penetrare parțială

b) îmbinare T

Figura 4.25: Pătrundere completă efectivă a sudurilor cap la cap în T.

Sudurile de adâncime cu penetrare parțială pot fi calculate ca suduri de colț cu o grosime efectivă a egală cu  $a = a_{nom} - 2 mm$ , , vezi Figura 4.44.

Pentru îmbinările în T (vezi Figura 4.44 a) realizate cu suduri de adâncime, rezistența totală este asigurată dacă:

$$(13) \quad a_{nom.1} + a_{nom.2} \geq t ; \quad c_{nom} \leq \frac{t}{5} \text{ și } c_{nom} \leq 3 mm$$

În cazul penetrării parțiale, vezi Figura 4.44 b, capacitatea portantă a îmbinării se determină ca pentru o îmbinare cu cordoane de colț folosind grosimea efectivă a acestora, după cum urmează:

$$(14) \quad a_{nom.1} + a_{nom.2} < t ; \quad a_1 = a_{nom.1} - 2 \text{ mm} \text{ și } a_2 = a_{nom.2} - 2 \text{ mm}$$

#### 4.2.10.4 Suduri în gaură

Sudurile în gaură pot fi folosite pentru:

- transmiterea forțelor tăietoare;
- prevenirea flambajului sau depărtarea pieselor suprapuse și
- pentru a asigura asamblarea părților componente ale unor bare cu secțiuni compuse, dar nu pot fi folosite pentru a rezista la forțe de tracțiune exterioare.

Diametrele găurilor circulare sau lățimile găurilor alungite, la sudurile în gaură, sunt cu cel puțin 8 mm mai mari decât grosimile pieselor în care sunt efectuate. Capetele găurilor alungite sunt semicirculare sau au colțuri rotunjite cu o rază cel puțin egală cu grosimea piesei în care sunt efectuate, exceptând acele capete care se extind până la marginea piesei respective.

Forța capabilă  $F_{w,Rd}$  a sudurilor în gaură, se calculează cu:

$$(15) \quad F_{w,Rd} = f_{vw,d} A_w$$

$f_{vw,d}$  este rezistența de calcul la forfecare a sudurilor;  
 $A_w$  este aria de calcul a sudurii și (egală cu aria găurii).

#### 4.2.10.5 Suduri între fețe rotunjite

Pentru barele cu secțiune circulară plină, grosimea de calcul a sudurilor din lungul marginilor rotunjite și suprafețe plane cu care acestea sunt în contact, este definită în Figura 4.26. Grosimea cordonului de sudură în acest caz se calculează identic cu grosimea cordonului de sudură a sudurilor cu margini răsfrânte în cazul profilelor tubulare dreptunghiulare.

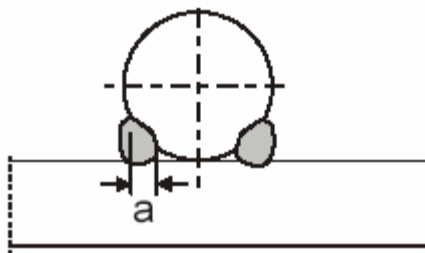


Figura 4.26 Grosimea de calcul a sudurilor realizate în concavitatea dintre fețele rotunjite pentru secțiuni circulare pline.

#### 4.2.10.6 Lățimea efectivă a tălpii stâlpului în cazul unei îmbinări sudate grindă stâlp

În cazul unei îmbinări sudate grindă-stâlp în care grinda este solicitată la încovoiere, este necesar să se verifice sudurile dintre tălpile grinzii și talpa stâlpului. Datorită faptului că distribuția tensiunilor normale induse de momentul încovoiător în tălpile grinzii este neuniformă, în calculul forței capabile la întindere a cordonului de sudură dintre talpa grinzii și talpa stâlpului se folosește lățimea efectivă a tălpii grinzii.

În conformitate cu Clauza 6.2.4.4 din SR-EN1993-1-8 care se referă la talpa nerigidizată (fără plăci de continuitate) a stâlpului solicitată la încovoiere în cadrul nodului riglă-stâlp, capacitatea portantă la întindere se calculează cu formula:

$$(16) \quad F_{t.fc.Rd} = (t_{wc} + 2s + 7k t_{fc}) \frac{t_{fb} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{unde } k = \min \left( \frac{f_{yc} t_{fc}}{f_{yb} t_{fb}}; 1 \right),$$

$t_{wc}$  este grosimea inimii stâlpului,  $t_{fc}$  grosimea tăpii stâlpului,  $t_{fb}$  grosimea tăpii grinzii iar  $s$  este raza de racordare dintre talpă și inimă,  $r_c$  pentru secțiunea stâlpului;

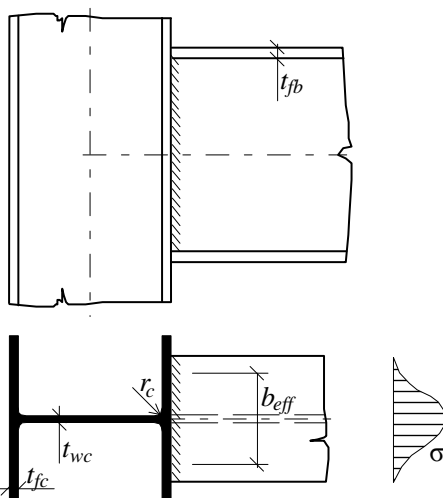


Figura 4.27 Lățimea efectivă a tăpii grinzii pentru o îmbinare grindă-stâlp sudată și diagrama de tensiuni normale în talpa grinzii.

În conformitate cu SR-EN 1993-1-8 Capitolul 4.10 lățimea efectivă  $b_{eff}$  a cordonului de sudură cu care se realizează prinderea tăpii grinzii de stâlp este:

$$(17) \quad b_{eff} = t_{wc} + 2s + 7t_{fc} \quad \text{dar limitată la } b_{eff} = t_{wc} + 2s + 7 \left( \frac{t_{fc}^2}{t_{fb}} \right) \left( \frac{f_{yc}}{f_{yb}} \right).$$

Substituind relația lui  $k$  în formula (16) a capacității portante a tăpii întinse a grinzii se observă că lățimea efectivă este identică cu lățimea efectivă a cordonului de sudură.

#### 4.2.11 Modelarea nodurilor pentru analiza globală

Metodologia de calcul și proiectare a îmbinărilor simple, prezentată pe scurt în continuare, are la bază prevederile din Eurocode 3, Secțiunea 1.8 (EN-1993-1-8). Deși, în practică, în țări diferite din Europa se aplică, pentru același tip de îmbinare, soluții constructive diferite, tradiționale, principiile din normă și metodele de calcul sunt general aplicabile.

### 4.3. TABELE DE PROIECTARE (PROCEDURI DE CALCUL) (ECCS 126, 2009)

Eforturile din noduri la starea limită ultimă (SLU) vor fi determinate conform principiilor din EN 1993-1-1. Pentru calculul nodurilor se folosește analiza liniar-elastică.

Rezistența nodului este determinată pe baza rezistențelor elementelor de strângere individuale, sudurilor și altor componente ale nodului.

### 4.3.1 Tabele de proiectare pentru îmbinări cu placă de capăt redusă

#### 4.3.1.1 Cerințe pentru a asigura aplicarea procedurii

Următoarele condiții trebuie îndeplinite pentru a putea aplica regulile de calcul din paragraful următor 4.3.1.2.

$$(18) \quad h_p \leq d_b$$

$$(19) \quad \frac{t_p}{h_e} > \phi_{\text{required}}$$

(3) Dacă elementul de rezemare este o inimă de grindă sau stâlp:

$$\frac{d}{t_p} \geq 2,8 \sqrt{\frac{f_{yp}}{f_{ub}}} \quad \text{sau} \quad \frac{d}{t_w} \geq 2,8 \sqrt{\frac{f_{yw}}{f_{ub}}}$$

Dacă elementul de rezemare este o talpă de stâlp:

$$\frac{d}{t_p} \geq 2,8 \sqrt{\frac{f_{yp}}{f_{ub}}} \quad \text{sau} \quad \frac{d}{t_{cf}} \geq 2,8 \sqrt{\frac{f_{ycf}}{f_{ub}}}$$

$$(4) \quad a > 0,4 t_{bw} \beta_w \sqrt{3} \frac{f_{ybw}}{f_{ubw}} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}$$

( $\beta_w$  este dat în Tabelul 4.1, EN1993-1-8, 4.5.3.2(6))

#### 4.3.1.2 Rezistența la forțe tăietoare

MOD DE CEDARE	VERIFICARE
Șuruburi solicitate la forfecare	$V_{Rd1} = 0,8 n F_{v,Rd}$ $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>unde planul de forfecare trece prin porțiunea filetată a șurubului: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>A = A_s</math> (aria netă la întindere a șurubului)</li> <li>- pentru clase de șuruburi 4.6, 5.6 și 8.8: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\alpha_v = 0,6</math></li> </ul> </li> <li>- pentru clase de șuruburi 4.8, 5.8, 6.8 și 10.9:</li> </ul> </li> </ul>

	$\alpha_v = 0,5$ <ul style="list-style-type: none"> <li>unde planul de forfecare trece prin porțiunea nefiletată a șurubului:</li> </ul> $A \text{ (aria brută a șurubului)}$ $\alpha_v = 0,6$ <p>(conform Tabel 3.4 din EN1993-1-8)</p>
Placă de capăt solicitată la presiune pe gaură	$V_{Rd2} = n F_{b,Rd}$ $F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{up} d t_p}{\gamma_{M2}}$ <p>Unde <math>\alpha_b = \min \left( \frac{e_1}{3 d_0} ; \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_{up}} \text{ sau } 1,0 \right)</math></p> $k_1 = \min \left( 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 ; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 ; 2,5 \right)$ <p>(conform Tabel 3.4 din EN1993-1-8)</p>

Element de rezemare solicitat la presiune pe gaură	$V_{Rd3} = n F_{b,Rd}$ $F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>unde elementul de rezemare este talpa unui stâlp: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>t = t_{cf}</math></li> <li><math>f_u = f_{ucf}</math></li> </ul> <math display="block">\alpha_b = \min \left( \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} \text{ sau } 1,0 \right)</math> <math display="block">k_1 = \min \left( 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 ; 2,8 \frac{e_{2s}}{d_0} - 1,7 ; 2,5 \right)</math> </li> <li>unde elementul de rezemare este inima unui stâlp: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>t = t_{cw}</math></li> <li><math>f_u = f_{ucw}</math></li> </ul> </li> </ul>
--	---

	$\alpha_b = \min \left( \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u} \text{ sau } 1,0 \right)$ $k_1 = \min \left( 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>unde elementul de rezemare este inima unei grinzi:</li> </ul> $t = t_{bw}$ $f_u = f_{ubw}$ $\alpha_b = \min \left( \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u} \text{ sau } 1,0 \right)$ $k_1 = \min \left( 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$ <p>Formulele de mai sus se aplică la nodurile grindă-stâlp îmbinate după axa principală (îmbinare pe talpa stâlpului), la nodurile unilaterale îmbinate după axa minimă și la configurații unilaterale de nod grindă-grindă. În celelalte cazuri, solicitările de presiune pe gaură rezultă din ambele elemente îmbinate, din stânga și din dreapta, cu atenția că numărul de șuruburi din îmbinările din dreapta și stânga poate fi diferit. Procedura de calcul acoperă astfel de cazuri fără nici o dificultate particulară.</p>
--	---

Placă de capăt solicitată la forfecare: Secțiune brută	$V_{Rd4} = \frac{2 h_p t_p f_{yp}}{1,27 \sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad (2 \text{ secțiuni})$
Placă de capăt solicitată la forfecare: Secțiune netă	$V_{Rd5} = 2 A_{v,net} \frac{f_{up}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}} \quad (2 \text{ secțiuni})$ <p>cu <math>A_{v,net} = t_p (h_p - n_1 d_0)</math></p>
Placă de capăt solicitată la forfecare: Bloc forfecat	$V_{Rd6} = 2 F_{eff,Rd} \quad (2 \text{ secțiuni})$ <ul style="list-style-type: none"> <li>dacă <math>h_p &lt; 1,36 p_{22}</math> și <math>n_1 &gt; 1</math> :</li> </ul> $F_{eff,Rd} = F_{eff,2,Rd} = 0,5 \frac{f_{up} A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} f_{yp} \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>altfel:</li> </ul>

	$F_{\text{eff,Rd}} = F_{\text{eff,1,Rd}} = \frac{f_{\text{up}} A_{\text{nt}}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} f_{\text{yp}} \frac{A_{\text{nv}}}{\gamma_{M0}}$ <p>cu</p> $p_{22} = p_2' \quad \text{pentru } n_2 = 2$ $= p_2' + p_2 \quad \text{pentru } n_2 = 4$ <p><math>A_{\text{nt}}</math> = aria netă supusă la întindere</p> <p>- pentru un rând vertical de șuruburi (<math>n_2 = 2</math>):</p> $A_{\text{nt}} = t_p \left( e_2 - \frac{d_0}{2} \right)$ <p>- pentru două rânduri verticale de șuruburi (<math>n_2 = 4</math>):</p> $A_{\text{nt}} = t_p \left( p_2 + e_2 - 3 \frac{d_0}{2} \right)$ <p><math>A_{\text{nv}}</math> = aria netă supusă la forfecare</p> $= t_p \left( h_p - e_1 - (n_1 - 0,5) d_0 \right)$ <p>(vezi paragraf 3.10.2 din EN1993-1-8)</p>
--	---

<p>Placă de capăt solicitată la încovoiere</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dacă <math>h_p \geq 1,36 p_{22}</math>: <math display="block">V_{\text{Rd7}} = \infty</math> </li> <li>• altfel: <math display="block">V_{\text{Rd7}} = \frac{2 W_{\text{el}}}{(p_{22} - t_w)} \frac{f_{\text{yp}}}{\gamma_{M0}}</math> </li> </ul> <p>cu</p> $p_{22} = p_2' \quad \text{pentru } n_2 = 2$ $= p_2' + p_2 \quad \text{pentru } n_2 = 4$ $W_{\text{el}} = \frac{t_p h_p^2}{6}$
--	---

<p>Inima stâlpului solicitată la forfecare</p>	$V_{Rd8} = t_{bw} h_p \frac{f_{ybw}}{\gamma_{M_0} \sqrt{3}}$ <p>(paragraf 5.4.6 din EN1993-1-8)</p>
<p><b>Rezistența la forfecare a nodului</b></p>	$V_{Rd} = \min_{i=1}^8 V_{Rdi}$

NOTĂ:

Rezistența la forfecare a nodului poate fi considerată doar dacă cerințele de calcul din paragraful precedent (4.3.1.1) sunt îndeplinite.

### 4.3.1.3 Rezistența la forțe de întindere

MOD DE CEDARE	VERIFICARE
Șuruburi solicitate la întindere	$N_{u1} = n B_{t,u}$ <p>cu: <math>B_{t,u} = f_{ub} A_s / \gamma_{Mu}</math></p>
Placă de capăt solicitată la încovoiere	$N_{u2} = \min ( F_{hp,u,1} ; F_{hp,u,2} )$ $F_{hp,u,1} = \frac{(8 n_p - 2 e_w) l_{eff.p.t,1} m_{u,p}}{2 m_p n_p - e_w (m_p + n_p)}$ $F_{hp,u,2} = \frac{2 l_{eff.p.t,2} m_{u,p} + n B_{t,u} n_p}{m_p + n_p}$ <p>unde <math>n_p = \min ( e_2 ; 1,25 m_p )</math></p> $m_{u,p} = \frac{t_p^2 f_{up}}{4}$ $l_{eff.p1} = l_{eff.p2} = h_p$ <p>(valoare în siguranță; vezi EN1993-1-8, 6.2.6.5, Tabel 6.6 – Lungimi efective pentru o placă de capăt, cazul “Rând de șuruburi în afara tălpii întinse a grinzii” – pentru valori mai precise; lungimile efective date în Tabel trebuie oricum multiplicare cu 2, înainte de a fi introduse în cele două expresii date mai sus)</p>
Element de reazem solicitat la încovoiere	$N_{u3} =$ <p>Vezi EN 1993-1-8, 6.2.6.4, pentru tălpile stâlpului (cu înlocuirea <math>B_{t,Rd}</math> cu <math>B_{t,u}</math> și <math>\gamma_{M0}</math> cu <math>\gamma_{Mu}</math>).</p>
Inima grinzii solicitată la întindere	$N_{u4} = t_w h_p f_{ubw} / \gamma_{Mu}$
Suduri	<p>Caracterul supra-rezistent al sudurilor este asigurat de recomandările pentru calculul sudurilor date în Tabelul de proiectare pentru rezistența la forfecare.</p>
Rezistența la întindere a nodului	$N_u = \min_{i=1}^4 N_{u,i}$

### 4.3.2 Tabele de proiectare pentru îmbinări cu eclisă

#### 4.3.2.1 Cerințe pentru a asigura capacitate de rotire suficientă

Următoarele două relații trebuie îndeplinite.

$$(1) \quad h_p \leq d_b$$

$$(2) \quad \phi_{\text{available}} > \phi_{\text{required}}$$

where :

- dacă  $z > \sqrt{(z - g_h)^2 + \left(\frac{h_p}{2} + h_e\right)^2}$  :

$$\phi_{\text{available}} = " \infty "$$

- altfel:

$$\phi_{\text{available}} = \arcsin \left( \frac{z}{\sqrt{(z - g_h)^2 + \left(\frac{h_p}{2} + h_e\right)^2}} \right) - \arctg \left( \frac{z - g_h}{\frac{h_p}{2} + h_e} \right)$$

#### 4.3.2.2 Cerințe pentru a evita cedarea prematură a sudurii

Următoarea relație trebuie îndeplinită.

$$a \geq \frac{\beta_w}{\sqrt{2}} \frac{f_{yp}}{f_{up}} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} t_p$$

( $\beta_w$  este dat în Tabelul 4.1, EN1993-1-8, 4.5.3.2(6))

#### 4.3.2.3 Rezistența la forțe tăietoare

MODUL DE CEDARE	VERIFICĂRI
<p>Șuruburi solicitate la forfecare</p>	<p><b>Pentru <math>n_2 = 1</math>:</b></p> $V_{Rd1} = \frac{n F_{v,Rd}}{\sqrt{1 + \left(\frac{6z}{(n+1)p_1}\right)^2}}$ <p><b>Pentru <math>n_2 = 2</math>:</b></p> $V_{Rd1} = \frac{F_{v,Rd}}{\sqrt{\left(\frac{z p_2}{2I} + \frac{1}{n}\right)^2 + \left(\frac{z p_1}{2I} (n_1 - 1)\right)^2}}$ <p>unde:</p> $I = \frac{n_1}{2} p_2^2 + \frac{1}{6} n_1 (n_1^2 - 1) p_1^2$ $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>unde planul de forfecare trece prin porțiunea filetată a șurubului: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>A = A_s</math> (aria netă la întindere a șurubului) <ul style="list-style-type: none"> <li>- pentru clase de șuruburi 4.6, 5.6 și 8.8: <math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>- pentru clase de șuruburi 4.8, 5.8, 6.8 și 10.9: <math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul> </li> </ul> </li> <li>unde planul de forfecare trece prin porțiunea nefiletată a șurubului: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>A</math> (aria brută a șurubului) <math>\alpha_v = 0,6</math></li> </ul> </li> </ul> <p>Conform Tabel 3.4 din EN1993-1-8.</p>

<p>Eclisă solicitată la presiune pe gaură</p>	$V_{Rd2} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\frac{1}{n} + \alpha}{F_{b,ver,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta}{F_{b,hor,Rd}}\right)^2}}$ <p><b>pentru <math>n_2 = 1</math>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\alpha = 0</math>;</li> <li>- <math>\beta = \frac{6z}{p_1 n (n+1)}</math>.</li> </ul> <p><b>pentru <math>n_2 = 2</math>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\alpha = \frac{z p_2}{I 2}</math>;</li> <li>- <math>\beta = \frac{z}{I} \frac{n_1 - 1}{2} p_1</math>.</li> </ul> <p>cu <math>I = \frac{n_1}{2} p_2^2 + \frac{1}{6} n_1 (n_1^2 - 1) p_1^2</math></p>	
	$F_{b,ver,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{up} d t_p}{\gamma_{M2}}$ <p>unde:</p> $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}} \text{ sau } 1,0\right)$ $k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$	$F_{b,hor,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{up} d t_p}{\gamma_{M2}}$ <p>unde:</p> $\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}} \text{ sau } 1,0\right)$ $k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_1}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_1}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$
<p>(vezi Tabel 3.4 în EN1993-1-8)</p>		
<p>Eclisă solicitată la forfecare: Secțiune brută</p>	$V_{Rd3} = \frac{h_p t_p}{1,27} \frac{f_{yp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$	
<p>Eclisă solicitată la forfecare: Secțiune netă</p>	$V_{Rd4} = A_{v,net} \frac{f_{up}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}$ <p>cu <math>A_{v,net} = t_p (h_p - n_1 d_0)</math></p>	

<p>Eclisă solicitată la forfecare: Bloc forfecat</p>	<p><math>V_{Rd5} = F_{eff,2,Rd}</math></p> $F_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 f_{up} A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} f_{yp} \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$ <p>cu <math>A_{nt}</math> = aria netă solicitată la întindere</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pentru un șir vertical de șuruburi (<math>n_2 = 1</math>):  <math display="block">A_{nt} = t_p \left( e_2 - \frac{d_0}{2} \right)</math></li> <li>- pentru două șiruri verticale de șuruburi (<math>n_2 = 2</math>):  <math display="block">A_{nt} = t_p \left( p_2 + e_2 - 3 \frac{d_0}{2} \right)</math></li> </ul> <p><math>A_{vt}</math> = aria netă solicitată la forfecare  <math>= t_p ( h_p - e_1 - (n_1 - 0,5) d_0 )</math></p> <p>(vezi paragraf 3.10.2 în EN1993-1-8)</p>
<p>Eclisă solicitată la încovoiere</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dacă <math>h_p \geq 2,73 z</math>:  <math display="block">V_{Rd6} = \infty</math></li> <li>• altfel:  <math display="block">V_{Rd6} = \frac{W_{el}}{z} \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}}</math></li> </ul> <p>cu <math>W_{el} = \frac{t_p h_p^2}{6}</math></p>
<p>Voalarea eclisei (formulă derivată din BCSA-SCI, Publicația P212, 2002)</p>	$V_{Rd7} = \frac{W_{el}}{z} \frac{f_{pLT}}{0,6\gamma_{M1}} \leq \frac{W_{el}}{z_p} \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \quad \text{dacă } z_p > t_p / 0,15$ $= V_{Rd6} \quad \text{dacă } z_p \leq t_p / 0,15$ <p>unde <math>W_{el} = \frac{t_p h_p^2}{6}</math></p> <p><math>f_{pLT}</math> = rezistența eclisei la voalare laterală cu torsiune obținută din BS5950-1, Tabel 17 în funcție de <math>\lambda_{LT}</math> după cum urmează:</p> $\lambda_{LT} = 2,8 \left( \frac{z_p h_p}{1,5 t_p^2} \right)^{1/2}$ <p>BS5950-1 Tabel 17 este reprodus în .....</p>

<p>Inima grinzii solicitată la presiune pe gaură</p>	$V_{Rd8} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\frac{1}{n} + \alpha}{F_{b,ver,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta}{F_{b,hor,Rd}}\right)^2}}$ <p><b>pentru <math>n_2 = 1</math>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\alpha = 0</math> ;</li> <li>- <math>\beta = \frac{6z}{p_1 n (n+1)}</math> .</li> </ul> <p><b>pentru <math>n_2 = 2</math>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\alpha = \frac{z}{I} \frac{p_2}{2}</math> ;</li> <li>- <math>\beta = \frac{z}{I} \frac{n_1 - 1}{2} p_1</math> .</li> </ul> <p>cu <math>I = \frac{n_1}{2} p_2^2 + \frac{1}{6} n_1 (n_1^2 - 1) p_1^2</math></p>	
	$F_{b,ver,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{ubw} d t_{bw}}{\gamma_{M2}}$ <p>unde:</p> $\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_{ubw}} \text{ ou } 1,0\right)$ $k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2b}}{d_0} - 1,7 ; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 ; 2,5\right)$	$F_{b,hor,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{ubw} d t_{bw}}{\gamma_{M2}}$ <p>unde:</p> $\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2b}}{3d_0} ; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_{ubw}} \text{ ou } 1,0\right)$ $k_1 = \min\left(1,4 \frac{p_1}{d_0} - 1,7 ; 2,5\right)$
<p>Inima grinzii solicitată la forfecare: Secțiune brută</p>	$V_{Rd9} = A_{b,v} \frac{f_{ybw}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad (\text{paragraf 5.4.6 în EN1993-1-8})$	
<p>Inima grinzii solicitată la forfecare: Secțiune netă</p>	$V_{Rd10} = A_{b,v,net} \frac{f_{ubw}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}$ <p>cu <math>A_{b,v,net} = A_{b,v} - n_1 d_0 t_{bw}</math></p>	

<p>Inima grinzii solicitată la forfecare: Bloc forfecat</p>	$V_{Rd\ 11} = F_{eff,2,Rd}$ $F_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 f_{ubw} A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} f_{ybw} \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$ <p>Cu <math>A_{nt}</math> = aria netă solicitată la întindere</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pentru un șir vertical de șuruburi (<math>n_2 = 1</math>):</li> </ul> $A_{nt} = t_{bw} \left( e_{2b} - \frac{d_0}{2} \right)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- pentru două șiruri verticale de șuruburi (<math>n_2 = 2</math>):</li> </ul> $A_{nt} = t_{bw} \left( p_2 + e_{2b} - 3 \frac{d_0}{2} \right)$ <p><math>A_{nv}</math> = aria netă solicitată la forfecare  <math>= t_{bw} ( e_{1b} + (n_1 - 1) p_1 - (n_1 - 0,5) d_0 )</math></p> <p>(vezi paragraf 3.10.2 în EN 1993-1-8)</p>
<p>Rezistența la forfecare a nodului</p>	$V_{Rd} = \min_{i=1}^{11} V_{Rdi}$

**NOTĂ:**

Rezistența de calcul la forfecare a nodului poate fi luată în considerare doar dacă toate cerințele de calcul din secțiunile 4.3.2.1, 4.3.2.2 și 4.3.2.4 sunt îndeplinite.

#### 4.3.2.4 Cerințe pentru a permite o redistribuție plastică a eforturilor

Toate relațiile de mai jos trebuie îndeplinite.

$$(1) \quad V_{Rd} < \min( V_{Rd1} ; V_{Rd7} )$$

(2) **Pentru  $n_2 = 1$  :**

$$F_{b,hor,Rd} \leq \min( F_{v,Rd} ; V_{Rd7} \beta ) \quad \text{pentru inima grinzii}$$

SAU

$$F_{b,hor,Rd} \leq \min( F_{v,Rd} ; V_{Rd7} \beta ) \quad \text{pentru eclisă}$$

**Pentru  $n_2 = 2$  :**

$$\max\left( \frac{1}{F_{v,Rd}^2} (\alpha^2 + \beta^2) ; \frac{1}{V_{Rd7}^2} \right) \leq \left( \frac{\alpha}{F_{b,ver,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{\beta}{F_{b,hor,Rd}} \right)^2 \quad \text{pentru inima grinzii}$$

SAU

$$\max\left( \frac{1}{F_{v,Rd}^2} (\alpha^2 + \beta^2) ; \frac{1}{V_{Rd7}^2} \right) \leq \left( \frac{\alpha}{F_{b,ver,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{\beta}{F_{b,hor,Rd}} \right)^2 \quad \text{pentru eclisă}$$

SAU

$$V_{Rd6} \leq \min\left( \frac{2}{3\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} F_{v,Rd} ; \frac{2}{3} V_{Rd7} \right)$$

(3) În plus, dacă  $V_{Rd} = V_{Rd3}, V_{Rd4}, V_{Rd5}, V_{Rd6}, V_{Rd9}, V_{Rd10}$  sau  $V_{Rd11}$ , relația de mai jos trebuie verificată:

$$V_{Rd1} > \min( V_{Rd2} ; V_{Rd8} )$$

#### 4.3.2.5 Rezistența la forțe de întindere

MOD DE CEDARE	VERIFICARE
<p>Șuruburi solicitate la forfecare</p>	<p><math>N_{u1} = n F_{v,u}</math></p> <p>cu:</p> $F_{v,u} = \alpha_v f_{ub} A / \gamma_{Mu}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>unde planul de forfecare trece prin porțiunea filetată a șurubului:           <p><math>A = A_s</math> (aria netă la întindere a șurubului)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pentru clase de șuruburi 4.6, 5.6 și 8.8: <math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>pentru clase de șuruburi 4.8, 5.8, 6.8 și 10.9: <math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul> </li> <li>unde planul de forfecare trece prin porțiunea nefiletată a șurubului:           <p><math>A</math> (aria brută a șurubului)      <math>\alpha_v = 0,6</math></p> </li> </ul>
<p>Eclisă solicitată la presiune pe gaură</p>	<p><math>N_{u2} = n F_{b,u, hor}</math></p> <p>cu:</p> $F_{b,u, hor} = k_1 \alpha_b f_{up} d t_p$ <p>unde:</p> $\alpha_b = \min \left( \frac{e_2}{3d_0} ; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_{up}} \text{ sau } 1,0 \right)$ $k_1 = \min \left( 2,8 \frac{e_1}{d_0} - 1,7 ; 1,4 \frac{p_1}{d_0} - 1,7 ; 2,5 \right)$
<p>Eclisă solicitată la întindere: Secțiune netă</p>	<p><math>N_{u3} = 0,9 A_{net,p} f_{up} / \gamma_{Mu}</math></p> <p>cu: <math>A_{net,p} = t_p h_p - d_0 n_1 t_p</math></p>
<p>Inima grinzii solicitată la presiune pe gaură</p>	<p><math>N_{u4} = n F_{b,u, hor}</math></p> <p>cu: <math>F_{b,u, hor} = k_1 \alpha_b f_{ubw} d t_{bw}</math></p> <p>unde:</p>

	$\alpha_b = \min \left( \frac{e_{2b}}{3d_0} ; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_{ubw}} \text{ sau } 1,0 \right)$ $k_1 = \min (1,4 \frac{p_1}{d_0} - 1,7 ; 2,5)$
Inima grinzii solicitată la întindere: Secțiune netă	$N_{u5} = 0,9 A_{net,bw} f_{ubw} / \gamma_{Mu}$ <p>cu: <math>A_{net,bw} = t_{bw} h_{bw} - d_0 n_1 t_{bw}</math></p>
Element de reazem solicitat la încovoiere	$N_{u6} =$ <p>Vezi EN 1993-1-8, 6.2.6.4, pentru tălpile stâlpului (cu înlocuirea <math>B_{t,Rd}</math> cu <math>B_{t,u}</math>, <math>f_y</math> cu <math>f_u</math> și <math>\gamma_{M0}</math> cu <math>\gamma_{Mu}</math>).</p>
Suduri	<p>Caracterul supra-rezistent al sudurilor este asigurat de recomandările pentru calculul sudurilor date în Tabelul de proiectare pentru rezistența la forfecare.</p>
Rezistența la întindere a nodului	$N_u = \min_{i=1}^8 N_{u i}$

#### 4.3.3 Tabele de proiectare pentru îmbinări cu corniere

Pentru proiectarea îmbinărilor cu corniere se folosesc tabelele de proiectare prezentate explicit mai sus pentru îmbinările cu placă de capăt și pentru cele cu eclisă.

## 4.4. EXEMPLE DE CALCUL

### 4.4.1 Îmbinări simple cu șuruburi

#### 4.4.1.1 Îmbinare scurtă cu șuruburi nepretensionate

#### Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notații generale

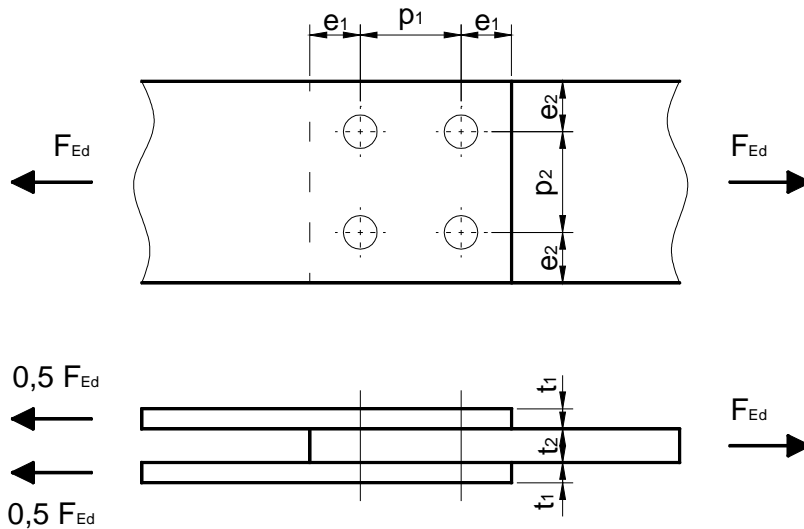


Figura 4.28 Îmbinare scurtă cu șuruburi nepretensionate

- Șuruburi:

- $n$  Numărul total de șuruburi
- $A$  Aria nominală a unui șurub
- $A_s$  Aria rezistentă a unui șurub
- $d_0$  Diametrul unei găuri pentru șurub
- $f_{u,b}$  Rezistența ultimă a unui șurub
- $f_{y,b}$  Limita de curgere a unui șurub

- Elementele îmbinate:

- $t_i$  Grosimea platbenzilor
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel

- Coeficienți de siguranță:

- $\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0
- $\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solicitate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

- Încărcarea:

- $F_{Ed}$  Forța axială transmisă de îmbinare

- Rezistența:

- $F_{Rd}$  Rezistența capabilă a îmbinării

## Notații specifice îmbinării cu șuruburi

$n_1$	Numărul rândurilor orizontale de șuruburi
$n_2$	Numărul rândurilor verticale de șuruburi
$e_1$	Distanța longitudinală până la margine
$e_2$	Distanța transversală până la margine
$p_1$	Distanța între șuruburi pe direcție longitudinală
$p_2$	Distanța între șuruburi pe direcție transversală

## Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare cu șuruburi
Platbandă 1	PI 120 x 12 S235
Platbandă 2	PI 120 x 20 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare scurtă cu șuruburi nepretensionate
Șuruburi	M20 Gr 8.8

## Caracteristici detaliate

<b>Platbandă 1</b>	<b>PI 120 x 12 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 12 \text{ mm}$
Lățimea	$b_1 = 120 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

<b>Platbandă 2</b>	<b>PI 120 x 20 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 20 \text{ mm}$
Lățimea	$b_1 = 120 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

### *Direcția încărcării (1)*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_1 = 2$
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{11} = 30 \text{ mm}$
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_1 = 60 \text{ mm}$
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{1n} = 30 \text{ mm}$

### *Perpendicular pe direcția încărcării (2)*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_2 = 2$
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{21} = 30 \text{ mm}$
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_2 = 60 \text{ mm}$
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{2n} = 30 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

## Șuruburi

	<b>M20 Gr 8.8</b>
Aria rezistentă a unui șurub	$A_s = 245 \text{ mm}^2$
Diametrul tijei șurubului	$d = 20 \text{ mm}$
Diametrul găurii	$d_0 = 22 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$

## Coeficienți de siguranță

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

## Forța transmisă de îmbinare

$$F_{Ed} = 350 \text{ kN}$$

## Rezistența capabilă a îmbinării

Poziționarea găurilor pentru șuruburi

$$1,2 \cdot d_0 \leq e_1$$

$$1,2 \cdot 22 = 26,4\text{mm} \leq e_1 = 30\text{mm}$$

$$1,2 \cdot d_0 \leq e_2$$

$$1,2 \cdot 22 = 26,4\text{mm} \leq e_2 = 30\text{mm}$$

$$2,2 \cdot d_0 \leq p_1$$

$$2,2 \cdot 22 = 48,4\text{mm} \leq p_1 = 60\text{mm}$$

$$2,4 \cdot d_0 \leq p_2$$

$$2,4 \cdot 22 = 52,8\text{mm} \leq p_2 = 60\text{mm}$$

Tab 3.3  
SR EN  
1993-1-8

**Forța ce revine unui șurub este:**

$$F_{1,Ed} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{350}{4} = 87,5\text{kN}$$

**Rezistența la forfecare a unui șurub M20 cu doua planuri de forfecare este:**

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 245 \cdot 800}{1,25} = 188,16\text{kN} > F_{1,Ed} = 87,5\text{kN}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

**Rezistența la presiune pe gaură a unui șurub M20 pe placa de 20 mm grosime este:**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_2 \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,45 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 360}{1,25} = 109,9\text{kN} > F_{1,Ed} = 87,5\text{kN}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,45; 0,659; 2,22; 1,0) = 0,45$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,118; 2,5) = 2,12$$

**Forța capabilă a platbenzii în aria netă este:**

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1520 \cdot 360}{1,25} = 394\text{kN} > F_{Ed} = 350\text{kN}$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

$$A_{net} = A_{brut} - 2 \cdot d_0 \cdot t_2 = 20 \cdot 120 - 2 \cdot 22 \cdot 20 = 1520\text{mm}^2$$

#### 4.4.1.2 Îmbinare scurtă cu șuruburi pretensionate

##### Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale

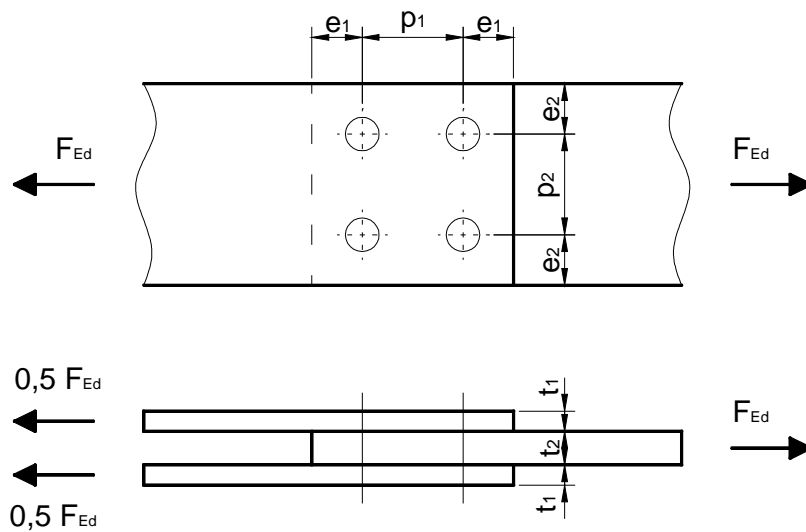


Figura 4.29 Îmbinare scurtă cu șuruburi pretensionate

##### • Șuruburi

- $n$  Numărul total de șuruburi
- $A$  Aria nominală a unui șurub
- $A_s$  Aria rezistentă a unui șurub
- $d_0$  Diametrul unei găuri pentru șurub
- $f_{u,b}$  Rezistența ultimă a unui șurub
- $f_{y,b}$  Limita de curgere a unui șurub

##### • Elementele îmbinate:

- $t_i$  Grosimea platbenzilor
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel

##### • Coeficienți de siguranță:

- $\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0
- $\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solicitate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

##### • Încărcarea:

- $F_{Ed}$  Forța axială transmisă de îmbinare

##### • Rezistența:

- $F_{Rd}$  Rezistența capabilă a îmbinării

##### Notății specifice îmbinării cu șuruburi

- $n_1$  Numărul rândurilor orizontale de șuruburi
- $n_2$  Numărul rândurilor verticale de șuruburi
- $e_1$  Distanța longitudinală până la margine
- $e_2$  Distanța transversală până la margine
- $p_1$  Distanța între șuruburi pe direcție longitudinală
- $p_2$  Distanța între șuruburi pe direcție transversală

## Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare cu șuruburi
Platbandă 1	PI 120 x 12 S235
Platbandă 2	PI 120 x 20 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare scurtă cu șuruburi pretensionate
Șuruburi	M20 Gr 10.9

## Caracteristici detaliate

<b>Platbandă 1</b>	<b>PI 120 x 12 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 12 \text{ mm}$
Lățimea	$b_1 = 120 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

<b>Platbandă 2</b>	<b>PI 120 x 20 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 20 \text{ mm}$
Lățimea	$b_1 = 120 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

### *Direcția încărcării (1)*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_1 = 2$
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{11} = 30 \text{ mm}$
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_1 = 60 \text{ mm}$
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{1n} = 30 \text{ mm}$

### *Perpendicular pe direcția încărcării (2)*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_2 = 2$
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{21} = 30 \text{ mm}$
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_2 = 60 \text{ mm}$
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{2n} = 30 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

## Șuruburi

	<b>M20 Gr 10.9</b>
Aria rezistentă a unui șurub	$A_s = 245 \text{ mm}^2$
Diametrul tijei șurubului	$d = 20 \text{ mm}$
Diametrul găurii	$d_0 = 22 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$

## Coeficienți de siguranță

$\gamma_{M2}$	$= 1,25$
$\gamma_{M3}$	$= 1,25$

## Forța transmisă de îmbinare

$$F_{Ed} = 350 \text{ kN}$$

## Rezistența capabilă a îmbinării

### Poziționarea găurilor pentru șuruburi

$$1,2 \cdot d_0 \leq e_1$$

$$1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \leq e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$1,2 \cdot d_0 \leq e_2$$

$$1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \leq e_2 = 30 \text{ mm}$$

Tab 3.3  
SR EN  
1993-1-8

$$2,2 \cdot d_0 \leq p_1$$

$$2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \leq p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$2,4 \cdot d_0 \leq p_2$$

$$2,4 \cdot 22 = 52,8 \text{ mm} \leq p_2 = 60 \text{ mm}$$

**Forța ce revine unui șurub este:**

$$F_{1,Ed} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{350}{4} = 87,5 \text{ kN}$$

**Forța de pretensionare de calcul:**

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 1000 \cdot 245 = 171,5 \text{ kN}$$

§3.9.1 SR  
EN 1993-  
1-8

Rezistența de calcul la lunecare a unui șurub pretensionat din grupa 10.9 se determină astfel:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} = \frac{1,0 \cdot 2 \cdot 0,5}{1,25} \cdot 171,5 = 137,2 \text{ kN} > F_{1,Ed} = 87,5 \text{ kN}$$

§3.9.1 SR  
EN 1993-  
1-8

$$k_s = 1,0$$

$n = 2$  (numărul suprafețelor de frecare)

$\mu = 0,5$  (corespunzător unei suprafețe de frecare de clasă A)

**Rezistența la presiune pe gaură a unui șurub M20 pe placa de 20 mm grosime este:**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_2 \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,45 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 360}{1,25} = 109,9 \text{ kN} > F_{1,Ed} = 87,5 \text{ kN}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,45; 0,659; 2,22; 1,0) = 0,45$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,118; 2,5) = 2,12$$

**Forța capabilă a platbenzii în aria netă este:**

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1520 \cdot 360}{1,25} = 394 \text{ kN} > F_{Ed} = 350 \text{ kN}$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

$$A_{net} = A_{brut} - 2 \cdot d_0 \cdot t_2 = 20 \cdot 120 - 2 \cdot 22 \cdot 20 = 1520 \text{ mm}^2$$

#### 4.4.1.3 Îmbinare lungă cu șuruburi pretensionate

##### Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notații generale

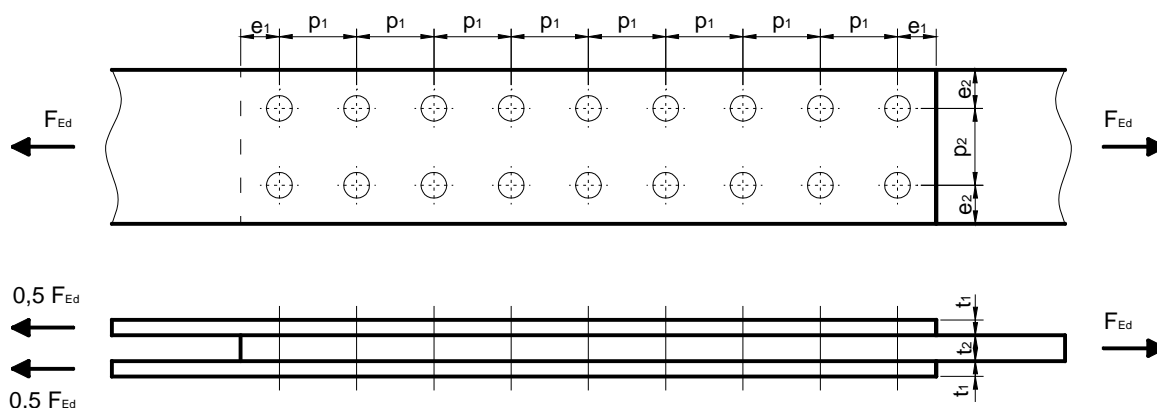


Figura 4.30 Îmbinare lungă cu șuruburi pretensionate

##### • Șuruburi:

- $n$  Numărul total de șuruburi
- $A$  Aria nominală a unui șurub
- $A_s$  Aria rezistentă a unui șurub
- $d_0$  Diametrul unei găuri pentru șurub
- $f_{u,b}$  Rezistența ultimă a unui șurub
- $f_{y,b}$  Limita de curgere a unui șurub

##### • Elementele îmbinate:

- $t_i$  Grosimea platbenzilor
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel

##### • Coeficienți de siguranță:

- $\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0
- $\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solicitate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

##### • Încărcarea:

- $F_{Ed}$  Forța axială transmisă de îmbinare

##### • Rezistența:

- $F_{Rd}$  Rezistența capabilă a îmbinării

##### Notații specifice îmbinării cu șuruburi

- $n_1$  Numărul rândurilor orizontale de șuruburi
- $n_2$  Numărul rândurilor verticale de șuruburi
- $e_1$  Distanța longitudinală până la margine
- $e_2$  Distanța transversală până la margine
- $p_1$  Distanța între șuruburi pe direcție longitudinală
- $p_2$  Distanța între șuruburi pe direcție transversală

##### Principalele componente ale nodului

- Configurația Îmbinare cu șuruburi
- Platbandă 1 PI 200 x 16 S235
- Platbandă 2 PI 200 x 30 S235
- Tipul de îmbinare Îmbinare lungă cu șuruburi pretensionate

Șuruburi M20 Gr 10.9

### Caracteristici detaliate

<b>Platbandă 1</b>	<b>PI 200 x 16 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 16 \text{ mm}$
Lățimea	$b_1 = 200 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

<b>Platbandă 2</b>	<b>PI 200 x 30 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 30 \text{ mm}$
Lățimea	$b_1 = 200 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

#### *Direcția încărcării (1)*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_1 = 2$
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{11} = 70 \text{ mm}$
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_1 = 60 \text{ mm}$
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{1n} = 70 \text{ mm}$

#### *Perpendicular pe direcția încărcării (2)*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_2 = 2$
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{21} = 70 \text{ mm}$
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_2 = 60 \text{ mm}$
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{2n} = 70 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

<b>Șuruburi</b>	<b>M20 Gr 10.9</b>
Aria rezistentă a unui șurub	$A_s = 245 \text{ mm}^2$
Diametrul tijei șurubului	$d = 20 \text{ mm}$
Diametrul găurii	$d_0 = 22 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$

### Coefficienți de siguranță

$\gamma_{M2}$	$= 1,25$
$\gamma_{M3}$	$= 1,25$

### Forța transmisă de îmbinare

$F_{Ed} = 1200 \text{ kN}$

### Rezistența capabilă a îmbinării

#### Poziționarea găurilor pentru șuruburi

$$1,2 \cdot d_0 \leq e_1$$
$$1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \leq e_1 = 70 \text{ mm}$$
$$1,2 \cdot d_0 \leq e_2$$
$$1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \leq e_2 = 70 \text{ mm}$$
$$2,2 \cdot d_0 \leq p_1$$
$$2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \leq p_1 = 60 \text{ mm}$$
$$2,4 \cdot d_0 \leq p_2$$

Tab 3.3  
SR EN  
1993-1-8

$$2,4 \cdot 22 = 52,8\text{mm} \leq p_2 = 60\text{mm}$$

### Factorul de reducere a forței capabile în cazul îmbinărilor lungi

La îmbinările la care distanța  $L_j$  dintre centrele dispozitivelor de fixare de capăt, măsurată pe direcția de transmitere a forței este mai mare de  $15d$ , forța capabilă la forfecare  $F_{v,Rd}$  a tuturor dispozitivelor de fixare se reduce prin multiplicare cu un factor de reducere  $\beta_{Lf}$ , determinat de:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \cdot d}{200 \cdot d} = 1 - \frac{480 - 15 \cdot 20}{200 \cdot 20} = 0,955$$

$$L_j = 8 \cdot p_1 = 480\text{mm} > 15 \cdot d = 300\text{mm}$$

§3.8 SR  
EN 1993-  
1-8

### Forța ce revine unui șurub este:

$$F_{1,Ed} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{1200}{18} = 66,66\text{kN}$$

### Forța de pretensionare de calcul:

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 1000 \cdot 245 = 171,5\text{kN}$$

§3.9.1 SR  
EN 1993-  
1-8

Rezistența de calcul la lunecare a unui șurub pretensionat din grupa 10.9 se determină astfel:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} \cdot \beta_{Lf} = \frac{1,0 \cdot 2 \cdot 0,5}{1,25} \cdot 171,5 \cdot 0,955 = 131\text{kN} > F_{1,Ed} = 66,66\text{kN}$$

$$k_s = 1,0$$

$$n = 2 \text{ (numărul suprafețelor de frecare)}$$

$$\mu = 0,5 \text{ (corespunzător unei suprafețe de frecare de clasă A)}$$

§3.9.1 SR  
EN 1993-  
1-8

### Rezistența la presiune pe gaură a unui șurub M20 pe placa de 20 mm grosime este:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_2 \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} \cdot \beta_{Lf}$$

$$= \frac{2,12 \cdot 0,45 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 360}{1,25} \cdot 0,955 = 104,95\text{kN} > F_{1,Ed} = 66,66\text{kN}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,45; 0,659; 2,22; 1,0) = 0,45$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,118; 2,5) = 2,12$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

### Forța capabilă a platbenzii în aria netă este:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4680 \cdot 360}{1,25} = 1213\text{kN} > F_{Ed} = 1200\text{kN}$$

$$A_{net} = A_{brut} - 2 \cdot d_0 \cdot t_2 = 30 \cdot 200 - 2 \cdot 22 \cdot 20 = 4680\text{mm}^2$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

## 4.4.2 Îmbinări sudate simple

### 4.4.2.1 Îmbinare sudată paralelă cu forța de tracțiune

#### Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale

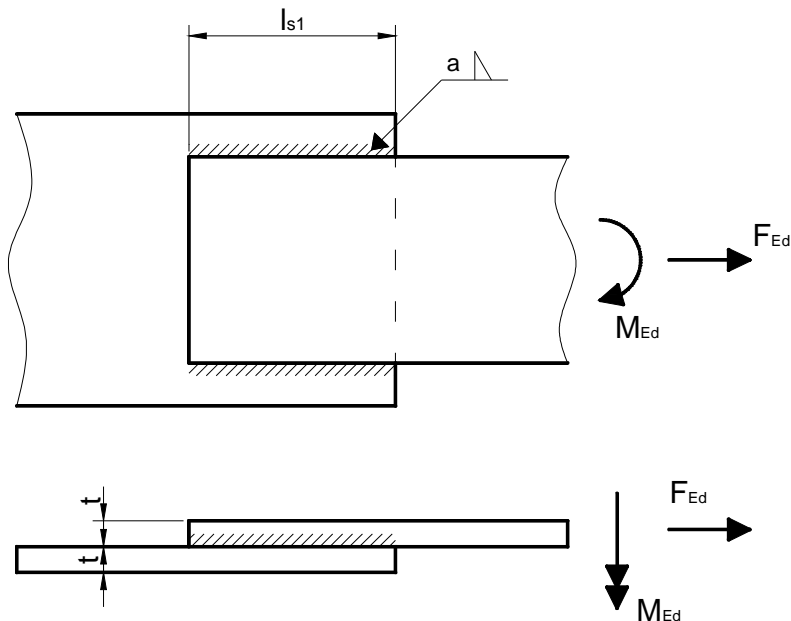


Figura 4.31 Îmbinare cu sudură de colț paralelă cu direcția forței

#### • Sudura:

- a Grosimea cordonului de sudură
- $l_s$  Lungimea cordonului de sudură
- $\beta_w$  Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii

#### • Elementele îmbinate:

- t Grosimea platbenzilor
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel

#### • Coeficienți de siguranță:

- $\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0
- $\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solicitate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

#### • Încărcarea:

- $F_{Ed}$  Forța axială transmisă de îmbinare
- $M_{Ed}$  Momentul încovoietor ce acționează asupra îmbinării

#### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare sudată
Platbandă 1	PI 170 x 15 S235
Platbandă 2	PI 120 x 15 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare cu sudură de colț paralelă cu direcția forței

#### Caracteristici detaliate

<b>Platbandă 1</b>	<b>PI 170 x 15 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 15 \text{ mm}$
Lățimea	$b_1 = 170 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yc} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{uc} = 360 \text{ N/mm}^2$

**Platbandă 2**

Grosimea  
Lățimea  
Limita de curgere  
Rezistența ultimă

**PI 120 x 15 S235**

$t_2 = 15$  mm  
 $b_2 = 120$  mm  
 $f_{yc} = 235$  N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{uc} = 360$  N/mm<sup>2</sup>

**Coeficienți de siguranță**

$\gamma_{M2} = 1,25$

**Sudura**

Grosimea cordonului de sudură  
Lungimea cordonului de sudură

**Sudură de colț**

$a = 7$  mm  
 $l_{s1} = 120$  mm

**Forța și momentul transmis de îmbinare**

$F_{Ed} = 100$  kN

$M_{Ed} = 20$  kNm

**Rezistența capabilă a îmbinării**

Conform 4.5.3 SR EN 1993-1-8, rezistența de calcul a unei suduri de colț trebuie să satisfacă următoarele două condiții:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

§4.5.3 SR  
EN 1993-  
1-8

**Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii**

Conform Tabelului 4.1 SR EN 1993-1-8, pentru oțel S235 coeficientul de corelare este:

$$\beta_w = 0,8$$

Tab 4.1  
SR EN  
1993-1-8

**Tensiunile de pe aria secțiunii sudurii de colț date de forța  $F_{Ed}$  sunt:**

$$\sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\perp} = 0$$

$$\tau_{II, F_{Ed}} = \frac{F_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{s1}} = \frac{100000}{2 \cdot 7 \cdot 120} = 59,5 \frac{N}{mm^2}$$

**Tensiunile de pe aria secțiunii sudurii de colț date de momentul încovoietor  $M_{Ed}$  sunt:**

$$\sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\perp} = 0$$

$$\tau_{II, M_{Ed}} = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{s1} \cdot b_1} = \frac{20 \cdot 10^6}{2 \cdot 7 \cdot 120 \cdot 120} = 99,2 \frac{N}{mm^2}$$

**Tensiunea dată de forță și moment este:**

$$\tau_{II} = \tau_{II, F_{Ed}} + \tau_{II, M_{Ed}} = 59,5 + 99,2 = 158,7 \frac{N}{mm^2}$$

### Verificare

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 158,7^2)} = 274 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \frac{N}{mm^2}$$

**Verifică**

§4.5.3 SR  
EN 1993-  
1-8

#### 4.4.2.2 Îmbinare sudată perpendiculară pe forța de tracțiune

##### 4.4.2.2.1 Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notații generale

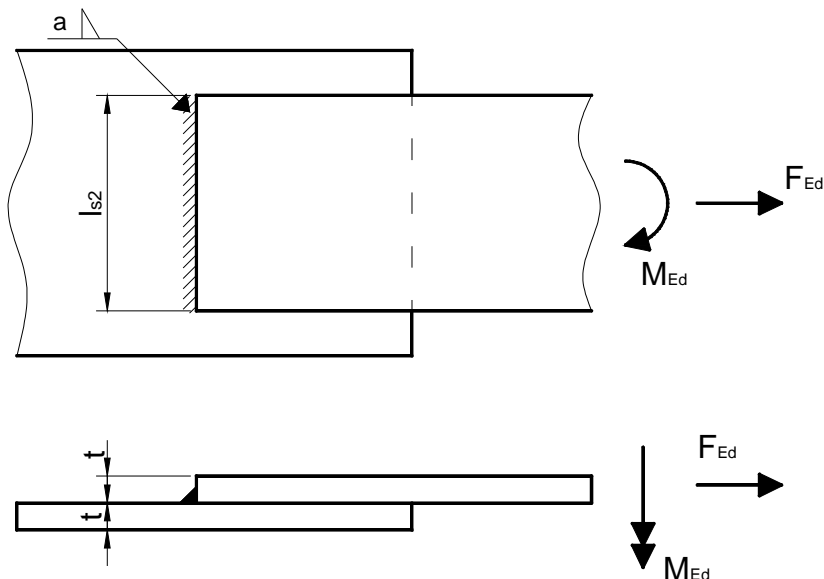


Figura 4.32 Îmbinare cu sudură de colț perpendiculară forței

- Sudura:

- $a$  Grosimea cordonului de sudură
- $l_s$  Lungimea cordonului de sudură
- $\beta_w$  Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii

- Elementele îmbinate:

- $t$  Grosimea platbenzilor
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel

- Coeficienți de siguranță:

- $\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0
- $\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solicitate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

- Încărcarea:

- $F_{Ed}$  Forța axială transmisă de îmbinare
- $M_{Ed}$  Momentul încovoietor ce acționează asupra îmbinării

#### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare sudată
Platbandă 1	PI 170 x 15 S235
Platbandă 2	PI 120 x 15 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare cu sudură de colț perpendiculară forței

#### Caracteristici detaliate

<b>Platbandă 1</b>	<b>PI 170 x 15 S235</b>
Grosimea	$t_2 = 15 \text{ mm}$
Lățimea	$b_2 = 170 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

<b>Platbandă 2</b>	<b>PI 120 x 15 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 15 \text{ mm}$

Lățimea	$b_1$	= 120 mm
Limita de curgere	$f_{yp}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{up}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>

### Coeficienți de siguranță

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### Sudura

Grosimea cordonului de sudură  
Lungimea cordonului de sudură

### Sudură de colț

$a$  = 7 mm  
 $l_{s2}$  = 120 mm

### Forța și momentul transmis de îmbinare

$$F_{Ed} = 100 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 20 \text{ kNm}$$

### Rezistența capabilă a îmbinării

Conform 4.5.3 SR EN 1993-1-8, rezistența de calcul a unei suduri de colț trebuie să satisfacă următoarele două condiții:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

§4.5.3 SR  
EN 1993-  
1-8

### Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii

Conform Tabelului 4.1 SR EN 1993-1-8, pentru oțel S235 coeficientul de corelare este:

$$\beta_w = 0,8$$

Tab 4.1  
SR EN  
1993-1-8

### Tensiunile de pe aria secțiunii sudurii de colț date de forța $F_{Ed}$ sunt:

$$\sigma_{\perp, F_{Ed}} = \frac{F_{Ed}}{a \cdot l_{s2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{100000}{7 \cdot 120 \cdot \sqrt{2}} = 84 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp, F_{Ed}} = \frac{F_{Ed}}{a \cdot l_{s2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{200000}{7 \cdot 120 \cdot \sqrt{2}} = 84 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

### Tensiunile de pe aria secțiunii sudurii de colț date de momentul încovoiător $M_{Ed}$ sunt:

$$\sigma_{\perp, M_{Ed}} = \frac{M_{Ed}}{I} \cdot z \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{20 \cdot 10^6}{1008000} \cdot \frac{120}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 841 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp, M_{Ed}} = \frac{M_{Ed}}{I} \cdot z \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{25 \cdot 10^6}{1008000} \cdot \frac{120}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 841 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\parallel, M_{Ed}} = 0$$

$$I = \frac{a \cdot l_{s2}^3}{12} = \frac{7 \cdot 120^3}{12} = 1008000 mm^4$$

**Tensiunea dată de forță și moment este:**

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp, F_{Ed}} + \sigma_{\perp, M_{Ed}} = 84 + 841 = 925 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp} = \tau_{\perp, F_{Ed}} + \tau_{\perp, M_{Ed}} = 84 + 841 = 925 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

**Verificare**

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{925^2 + 3 \cdot (925^2 + 0^2)} = 1850 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \frac{N}{mm^2}$$

**!!! Verificare nesatisfăcută**

§4.5.3 SR  
EN 1993-  
1-8

#### 4.4.2.3 Îmbinare sudată pe contur

##### Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notații generale

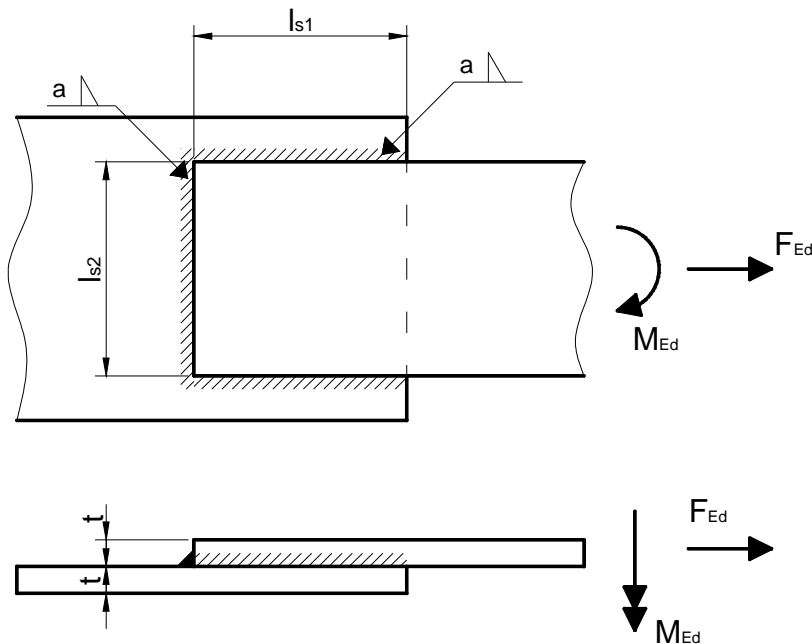


Figura 4.33 Îmbinare cu sudură de colț pe contur

- Sudura:

- $a$  Grosimea cordonului de sudură
- $l_s$  Lungimea cordonului de sudură
- $\beta_w$  Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii

- Elementele îmbinate:

- $t$  Grosimea platbenzilor
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel

- Coeficienți de siguranță:

- $\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0
- $\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solificate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

- Încărcarea:

- $F_{Ed}$  Forța axială transmisă de îmbinare
- $M_{Ed}$  Momentul încovoietor ce acționează asupra îmbinării

##### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare sudată
Platbandă 1	PI 170 x 15 S235
Platbandă 2	PI 120 x 15 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare cu sudură de colț pe contur

##### Caracteristici detaliate

<b>Platbandă 1</b>	<b>PI 170 x 15 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 15 \text{ mm}$
Lățimea	$b_1 = 170 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

**Platbandă 2**

Grosimea  
Lățimea  
Limita de curgere  
Rezistența ultimă

**PI 120 x 15 S235**

$t_2 = 15$  mm  
 $b_2 = 120$  mm  
 $f_{yp} = 235$  N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{up} = 360$  N/mm<sup>2</sup>

**Coeficienți de siguranță**

$\gamma_{M2} = 1,25$

**Sudura**

Grosimea cordonului de sudură  
Lungimea cordonului de sudură  
Lungimea cordonului de sudură

**Sudură de colț**

$a = 7$  mm  
 $l_{s1} = 120$  mm  
 $l_{s2} = 120$  mm

**Forța și momentul transmis de îmbinare**

$F_{Ed} = 100$  kN

$M_{Ed} = 20$  kNm

**Rezistența capabilă a îmbinării**

Conform 4.5.3 SR EN 1993-1-8, rezistența de calcul a unei suduri de colț trebuie să satisfacă următoarele două condiții:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

§4.5.3 SR  
EN 1993-  
1-8

**Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii**

Conform Tabelului 4.1 SR EN 1993-1-8, pentru oțel S235 coeficientul de corelare este:

$$\beta_w = 0,8$$

Tab 4.1  
SR EN  
1993-1-8

**Sudura paralelă cu direcția forței**

**Tensiunile de pe aria secțiunii sudurii de colț date de forța  $F_{Ed}$  sunt:**

$$\sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\perp} = 0$$

$$\tau_{II, F_{Ed}} = \frac{F_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{s1}} = \frac{100000}{2 \cdot 7 \cdot 120} = 59,5 \frac{N}{mm^2}$$

**Tensiunile de pe aria secțiunii sudurii de colț date de momentul încovoietor  $M_{Ed}$  sunt:**

$$\sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\perp} = 0$$

$$\tau_{II, M_{Ed}} = \frac{M_{Ed}}{I_x + I_y} \cdot d_{max} \cdot \sin \theta = \frac{20 \cdot 10^6}{11088000} \cdot 100 \cdot \sin 36,86 = 108 \frac{N}{mm^2}$$

**Tensiunea dată de forță și moment este:**

$$\tau_{II} = \tau_{II, F_{Ed}} + \tau_{II, M_{Ed}} = 59,5 + 108 = 167,5 \frac{N}{mm^2}$$

### Verificare

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 167,5^2)} = 290 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Verifică}$$

§4.5.3 SR  
EN 1993-  
1-8

### Sudura perpendiculară pe direcția forței

**Tensiunile de pe aria secțiunii sudurii de colț date de forța  $F_{Ed}$  sunt:**

$$\sigma_{\perp, F_{Ed}} = \frac{F_{Ed}}{a \cdot l_{s2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{100000}{7 \cdot 120 \cdot \sqrt{2}} = 84 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp, F_{Ed}} = \frac{F_{Ed}}{a \cdot l_{s2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{100000}{7 \cdot 120 \cdot \sqrt{2}} = 84 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{II} = 0$$

**Tensiunile de pe aria secțiunii sudurii de colț date de momentul încovoiator  $M_{Ed}$  sunt:**

$$\sigma_{\perp, M_{Ed}} = \frac{M_{Ed}}{I_x + I_y} \cdot \frac{d_{\min}}{\sqrt{2}} \cdot \sin \gamma = \frac{20 \cdot 10^6}{11088000} \cdot \frac{72}{\sqrt{2}} \cdot \sin 56 = 76 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp, M_{Ed}} = \frac{M_{Ed}}{I_x + I_y} \cdot \frac{d_{\min}}{\sqrt{2}} \cdot \sin \gamma = \frac{20 \cdot 10^6}{11088000} \cdot \frac{72}{\sqrt{2}} \cdot \sin 56 = 76 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{II, M_{Ed}} = \frac{M_{Ed}}{I_x + I_y} \cdot d_{\min} \cdot \cos \gamma = \frac{20 \cdot 10^6}{11088000} \cdot 72 \cdot \cos 56 = 72,6 \frac{N}{mm^2}$$

**Tensiunea dată de forță și moment este:**

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp, F_{Ed}} + \sigma_{\perp, M_{Ed}} = 84 + 76 = 160 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp} = \tau_{\perp, F_{Ed}} + \tau_{\perp, M_{Ed}} = 84 + 76 = 160 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{II} = \tau_{II, M_{Ed}} = 72,6 \frac{N}{mm^2}$$

### Verificare

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{160^2 + 3 \cdot (160^2 + 72,6^2)} = 343 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Verifică}$$

§4.5.3 SR  
EN 1993-  
1-8

#### 4.4.2.4 Îmbinare sudată cap la cap înclinată fața de direcția forței

##### Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale

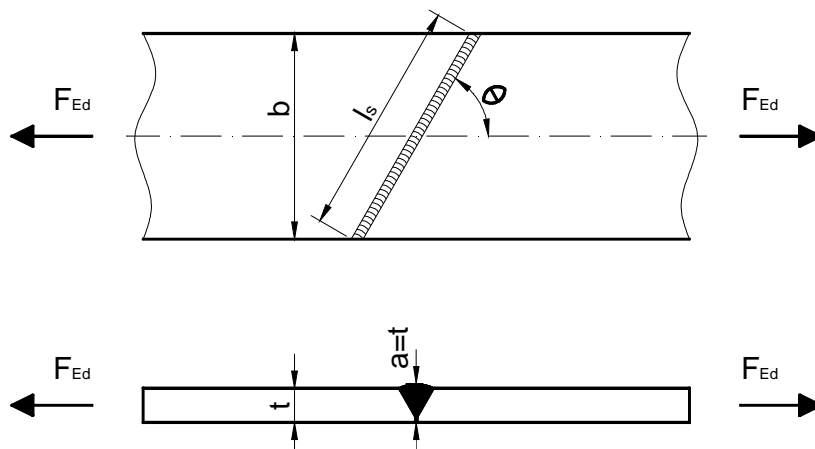


Figura 7.1 Îmbinare cu sudură cap la cap înclinată față de direcția forței

- Sudura:

- a Grosimea cordonului de sudură
- $l_s$  Lungimea cordonului de sudură
- $\beta_w$  Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii

- Elementele îmbinate:

- t Grosimea platbenzilor
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel

- Coeficienți de siguranță:

- $\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0
- $\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solicitate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

- Încărcarea:

- $F_{Ed}$  Forța axială transmisă de îmbinare

##### Principalele componente ale îmbinării

Configurația	Îmbinare sudată
Platbandă 1	PI 120 x 20 S235
Platbandă 2	PI 120 x 20 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare cu sudură cap la cap înclinată

##### Caracteristici detaliate

<b>Platbandă 1</b>	<b>PI 120 x 20 S235</b>
Grosimea	$t_1 = 20 \text{ mm}$
Lățimea	$b_1 = 120 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

<b>Platbandă 2</b>	<b>PI 120 x 20 S235</b>
Grosimea	$t_2 = 20 \text{ mm}$
Lățimea	$b_2 = 120 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

### Coefficienți de siguranță

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### Sudura

Grosimea cordonului de sudură

Lungimea cordonului de sudură

Unghiul

### Sudură cap la cap înclinată

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$l_s = 140 \text{ mm}$$

$$\theta = 60^\circ$$

### Forța și momentul transmis de îmbinare

$$F_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

### Rezistența capabilă a îmbinării sudate

Conform 4.7.1 SR EN 1993-1-8, rezistența de calcul a sudurilor cap la cap cu pătrundere completă se ia egală cu rezistența de calcul a celei mai slabe piese îmbinate.

§4.7.1 SR  
EN 1993-  
1-8

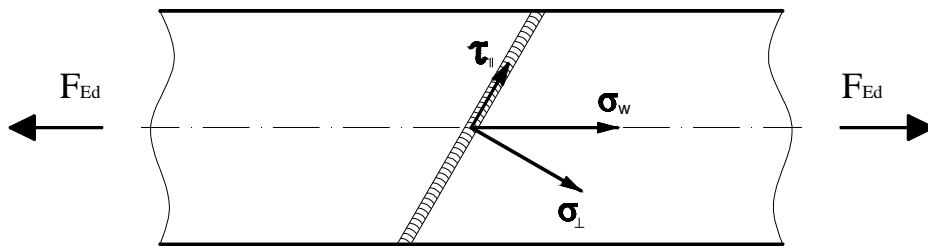


Figura 7.2 Tensiunile normale și tangențiale ce iau naștere în sudură

### Tensiunea normală:

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{Ed} \cdot \sin \theta}{a \cdot l_s} = \frac{500000 \cdot \sin 60}{20 \cdot 140} = 154,6 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

### Tensiunea tangențială:

$$\tau_{||} = \frac{F_{Ed} \cdot \cos \theta}{a \cdot l_s} = \frac{500000 \cdot \cos 60}{20 \cdot 140} = 89,3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

### Tensiunea rezultantă este:

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{||}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_w = \sqrt{154,6^2 + 3 \cdot 89,3^2} = 218,7 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

§4.5.3 SR  
EN 1993-  
1-8

### Verificare în secțiunea brută

$$F_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20 \cdot 120 \cdot 235}{1,0} = 564 \text{ kN} > F_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

#### 4.4.3 Îmbinare cu placă de capăt redusă (ECSS 126, 2009)

Principalele elemente componente ale unei îmbinări cu placă de capăt redusă, prezentate în Figura 4.34, sunt: placa de capăt, sudura de colț realizată pe ambele laturi ale inimii grinzii și două rânduri verticale simple sau duble de șuruburi. Placa este sudată pe elementul rezemat (grindă) și înșurubată pe elementul de reazem (grindă sau stâlp).

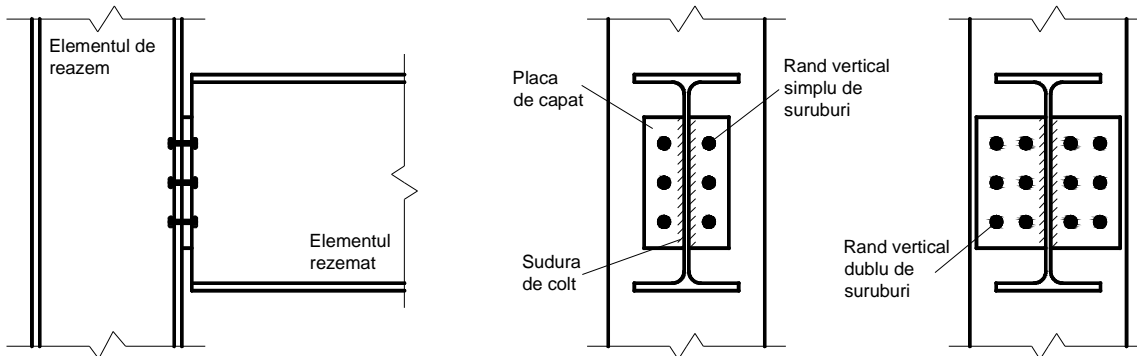


Figura 4.34: Îmbinare cu placă de capăt redusă

##### 4.4.3.1 Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale

- Șuruburi:

- $n$  Numărul total de șuruburi
- $A$  Aria nominală a unui șurub
- $A_s$  Aria rezistentă a unui șurub
- $d_0$  Diametrul unei găuri pentru șurub
- $f_{u,b}$  Rezistența ultimă a unui șurub
- $f_{y,b}$  Limita de curgere a unui șurub

- Sudura:

- $a$  Grosimea cordonului de sudură
- $\beta_w$  Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii

- Elementul rezemat și de reazem:

- $t$  Grosimea plăcii suport ( $t_{cf}$  și  $t_{cw}$  pentru talpa și inima stâlpului, respectiv  $t_{bw}$  pentru inima grinzii rezemate)
- $A_{b,v}$  Aria brută de forfecare a grinzii rezemate
- $A_{b,v,net}$  Aria de forfecare netă a grinzii rezemate
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel

- Coeficienți de siguranță:

- $\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0
- $\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solicitate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

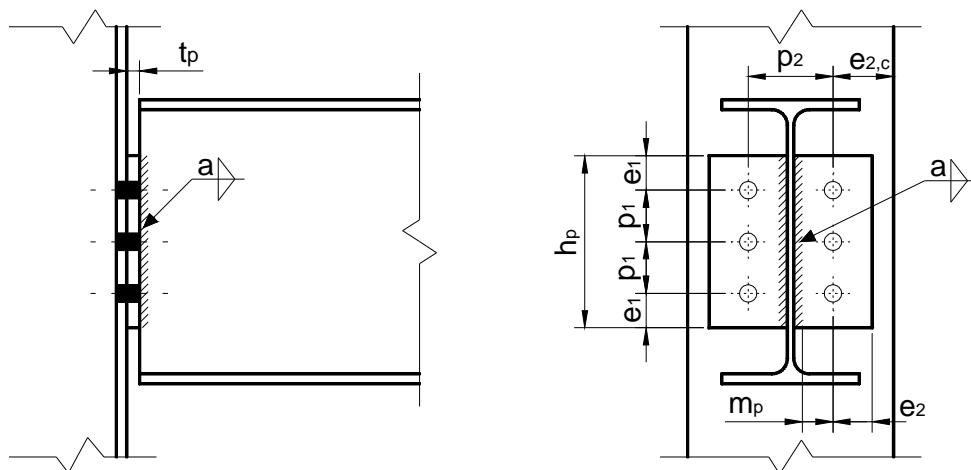
- Încărcarea:

- $V_{Ed}$  Forța tăietoare aplicată în nod

- Rezistența:

- $V_{Rd}$  Rezistența capabilă la tăiere a nodului
- $F_{v,Rd}$  Rezistența capabilă de calcul la tăiere

## Notații specifice îmbinării cu placă de capăt redusă



$$n_2 = 2$$

Figura 4.35: Notații specifice îmbinării cu placă de capăt redusă

$h_p$	Înălțimea plăcii de capăt
$t_p$	Grosimea plăcii de capăt
$A_v$	Aria brută de forfecare a plăcii de capăt
$A_{v,net}$	Aria netă de forfecare a plăcii de capăt
$f_{yp}$	Limita de curgere pentru placa de capăt
$n_1$	Numărul rândurilor orizontale de șuruburi
$n_2$	Numărul rândurilor verticale de șuruburi
$e_1$	Distanța longitudinală până la margine
$e_2$	Distanța transversală până la margine
$p_1$	Distanța între șuruburi pe direcție longitudinală
$p_2$	Distanța între șuruburi pe direcție transversală
$m_p$	Distanța între șuruburi și mrginea cordonului de sudură dintre placa de capăt și inima grinzii (conform EN 1993 – Partea 1.8)

### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare între capătul grinzii și talpa stâlpului
Stâlpul	HEA 240 S235
Grinda	IPE 330 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare cu placă de capăt
Placa de capăt	PI 210 x 190 x 15 S235

### Caracteristici detaliate

#### Stâlpul

#### HEA 240 S235

Înălțimea secțiunii	$h$	= 230 mm
Grosimea inimii	$t_{cw}$	= 7,5 mm
Lățimea tălpii	$b_c$	= 240 mm
Grosimea tălpii	$t_{cf}$	= 12 mm
Raza de curbură	$r$	= 21 mm
Aria secțiunii	$A$	= 7680 mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	$I$	= 77630000 mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	$f_{yc}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{uc}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>

#### Grinda

#### IPE 330 S235

Înălțimea secțiunii	$h$	= 330 mm
Grosimea inimii	$t_{bw}$	= 7,5 mm
Lățimea tălpii	$b_b$	= 160 mm

Grosimea tălpii	$t_{bf}$	= 11,5 mm
Raza de curbură	$r$	= 18 mm
Aria secțiunii	$A$	= 6260 mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	$I$	= 83560000 mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	$f_{yb}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{ub}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>

<b>Placa de capăt</b>	<b>PI 210 x 190 x 15 S235</b>
Înălțimea	$h_p$ = 210 mm
Lățimea	$b_p$ = 190 mm
Grosimea	$t_p$ = 15 mm
Decalajul vertical	$g_v$ = 65 mm

#### *Direcția încărcării (1)*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_1$	= 3
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{11}$	= 45 mm
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_{1[1]}$	= 60 mm
Distanța între rândul 2 și 3 de șuruburi	$p_{1[2]}$	= 60 mm
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{1n}$	= 45 mm

#### *Perpendicular pe direcția încărcării (2)*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_2$	= 2
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{21}$	= 45 mm
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_2$	= 100 mm
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{2n}$	= 45 mm
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine (corespunzător tălpii stâlpului)	$e_{2c}$	= 70 mm
Limita de curgere	$f_{yp}$	= 235.00 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{up}$	= 360.00 N/mm <sup>2</sup>

#### **Șuruburi**

<b>M20 Gr 8.8</b>	
Aria rezistentă a unui șurub	$A_s$ = 245 mm
Diametrul tijei șurubului	$d$ = 20 mm
Diametrul găurii	$d_0$ = 22 mm
Limita de curgere	$f_{yb}$ = 640 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{ub}$ = 800 N/mm <sup>2</sup>

#### **Sudura**

Grosimea cordonului de sudură	$a_w$	= 5 mm
Lungimea sudurii	$l_w$	= 210 mm

#### **Coefficienți de siguranță**

$\gamma_{M0}$	= 1.00
$\gamma_{M2}$	= 1.25
$\gamma_{Mu}$	= 1.10

#### **Forța tăietoare aplicată**

$$V_{Ed} = 175 \text{ kN}$$

#### 4.4.3.2 Cerințe de ductilitate și rotire

#### **Cerințe de rotire**

(1)  $h_p \leq d_b$

$$h_p = 210 \text{ mm}$$

$$d_b = h - 2 t_{bf} - 2 r = 330 - 2 \cdot 11,5 - 2 \cdot 18 = 271 \text{ mm}$$

→ verifică

(2)  $\Phi_{\text{disponibil}} > \Phi_{\text{necesar}}$  presupunem că cerința este îndeplinită

### Cerințe de ductilitate

$$(1) \quad \frac{d}{t_p} \geq 2,8 \sqrt{\frac{f_{yp}}{f_{ub}}}$$

$d/t_p = 1,333$   
 $f_{yp}/f_{ub} = 0,293$   
 $1,333 > 0,82 \quad \rightarrow \text{verifică}$

$$(2) \quad a \geq 0,4 \cdot t_{bw} \cdot \beta_w \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{f_{ybw}}{f_{ubw}} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} = 3,39 \text{ mm}$$

$t_{bw} = 7,5 \text{ mm}$   
 $f_{ybw} = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{ubw} = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\beta_w = 0,8$   
 $a = 5 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{verifică}$

#### 4.4.3.3 Rezistența nodului la forfecare

### Forfecarea tijei șuruburilor

$$V_{Rd1} = 0,8 n F_{v,Rd} = 451,58 \text{ kN}$$

$n = 6$  (numărul total de șuruburi)

Rezistența de forfecare a unui șurub,  $F_{v,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca fiind:

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot A \cdot f_{ub} / \gamma_{M2} = 94,08 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \alpha_v &= 0,6 \\ A &= 245 \text{ mm}^2 \\ f_{ub} &= 800 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

unde A poate fi luată ca și aria rezistentă a unui șurub  $A_s$ , iar factorul de reducere de 0,8 ia în considerare apariția eforturilor de întindere în șuruburi.

### Presiune pe gaură în placa de capăt

§3.7 (1)  
SR EN  
1993-1-8

În mod conservativ (din §3.7 (1) EN1993-1-8)

$$V_{Rd2} = n \cdot F_{b,Rd} = 842,4 \text{ kN}$$

Dar în cazul cand  $F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$ , atunci:

$$V_{Rd2} = \sum F_{b,Rd}$$

$$n = 6$$

Rezistența la presiune pe gaură a unui șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca fiind:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_p \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 20 \cdot 15 \cdot 360}{1,25} = 140,4 \text{ kN}$$

$d = 20 \text{ mm}$   
 $t_p = 15 \text{ mm}$   
 $f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,68; 0,65; 2,2; 1,0) = 0,65$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,6; 2,5) = 2,5$$

### Presiune pe gaură în talpa stâlpului

$$V_{Rd3} = n F_{b,Rd} = 684,3 \text{ kN}$$

$$n = 6$$

Rezistența la presiune pe gaură a unui șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca fiind:

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b dt_{cf} f_{ucf}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,66 \cdot 20 \cdot 12 \cdot 360}{1,25} = 114,05 \text{ kN}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$t_p = 12 \text{ mm}$$

$$f_{up} = 360,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{uc}}; 1,0\right) = \min(0,66; 2,22; 1,0) = 0,66$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2c}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(7,2; 2,5) = 2,5$$

### Forfecarea plăcii de capăt în secțiunea brută

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

$$V_{Rd4} = \frac{2h_p t_p f_{yp}}{1,27 \sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 15 \cdot 235}{1,27 \sqrt{3} \cdot 1,0} = 640,995 \text{ kN}$$

Notă: Coeficientul 1,27 ia în considerare reducerea rezistenței la forfecare, datorită prezenței momentului încovoietor.

### Forfecarea plăcii de capăt în secțiunea netă

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

$$V_{Rd5} = 2A_{v,net} \frac{f_{up}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}} = 2 \cdot 2160 \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 1,25} = 718,3 \text{ kN}$$

$$A_{v,net} = t_p (h_p - n_1 d_0) = 15 \cdot (210 - 3 \cdot 22) = 2160 \text{ mm}^2$$

### Forfecarea plăcii de capăt în bloc

$$V_{Rd6} = 2V_{eff,Rd} = 654 \text{ kN}$$

Din §3.10.2 EN1993-1-8:

$$1,36 \cdot p_2 = 136 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad h_p > 1,36 p_2$$

$$n_1 = 3 \quad \rightarrow \quad n_1 > 1$$

$$V_{eff,Rd} = V_{eff,1,Rd} = \frac{f_{up} A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_{yp} A_{nv}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 345}{1,25} + \frac{235 \cdot 1650}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 327 \text{ kN}$$

§3.10.2  
SR EN  
1993-1-8

$A_{nt}$  reprezintă aria netă supusă la întindere și este dată de

$$A_{nt} = t_p \left( e_2 - \frac{d_0}{2} \right) = 15 \left( 45 - \frac{22}{2} \right) = 345 \text{ mm}^2$$

$A_{nv}$  reprezintă aria netă supusă la forfecare și este dată de

$$\begin{aligned} A_{nv} &= t_p (h_p - e_1 - (n_1 - 0,5)d_0) \\ &= 15 \cdot (210 - 45 - (3 - 0,5) \cdot 22) = 1650 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### Încovoierea plăcii de capăt

$$\begin{aligned} V_{Rd7} &= \infty \\ h_p &= 210 \text{ mm} \\ 1,36 \cdot p_2 &= 136 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad h_p > 1,36 \cdot p_2 \end{aligned}$$

### Forfecarea inimii grinzii

Din §6.2.6 (2) EN1993-1-1:

$$V_{Rd8} = A_v \frac{f_{yb1}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Pentru aria de forfecare  $A_v$ , paragraful §6.2.6 (3) nu tratează în mod particular cazul unei plăci rectangulare. Însă, conform cazului (c) din §6.2.6 (3), este rezonabil să se aplice factorul 0,9 ariei inimii grinzii conectate la placa de capăt. Prin urmare:

$$A_v = 0,9 h_p t_{wb1} = 0,9 \cdot 210 \cdot 7,5 = 1417,5 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd8} = 0,9 h_p t_{wb1} \frac{f_{yb1}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 1417,5 \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 192 \text{ kN}$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

### Rezistența nodului la forfecare

Rezistența nodului la forfecare	$V_{Rd} = 192 \text{ kN}$
Modul de cedare:	Forfecarea inimii grinzii

#### 4.4.3.4 Verificarea

Forța tăietoare de calcul:	$V_{Sd} = 175 \text{ kN}$	
Forța tăietoare capabilă:	$V_{Rd} = 192 \text{ kN}$	$\rightarrow$ verifică

#### 4.4.3.5 Rezistența nodului la întindere

### Întinderea șuruburilor

$$N_{Rd,u1} = n F_{t,Rd,u} = 6 \cdot 160 = 960 \text{ kN}$$

Conform Tabelului 3.4 din EN1993-1-8:

$$F_{t,Rd,u} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M,u}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 245}{1,1} = 160 \text{ kN}$$

$n$	$= 6$ (numărul total de șuruburi)
$k_2$	$= 0,9$
$\gamma_{M,u}$	$= 1,1$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

## Încovoierea plăcii de capăt

$$N_{Rd,u,2} = \min(F_{Rd,u,ep1}; F_{Rd,u,ep2}) = 594 \text{ kN}$$

Conform §6.2 din EN 1993-1-8

$$\text{Pentru modul 1: } F_{Rd,u,ep1} = F_{T,1,Rd} = \frac{(8n_p - 2e_w)M_{pl,1,Rd,u}}{2m_p n_p - e_w(m_p + n_p)} = 2271 \text{ kN}$$

$$\text{Pentru modul 2: } F_{Rd,u,ep2} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd,u} + n_p \sum F_{t,Rd,u}}{m_p + n_p} = 594 \text{ kN}$$

Tab 6.3  
SR EN  
1993-1-8

$$n_p = \min(e_2; e_{2,c}; 1,25m_p) = \min(45; 70; 50,74) = 45$$

$$m_p = \frac{(p_2 - t_{w,b1} - 2 \cdot 0,8a\sqrt{2})}{2} = \frac{(100 - 7,5 - 2 \cdot 0,8 \cdot 5 \cdot \sqrt{2})}{2} = 40,6$$

$$e_w = \frac{d_w}{4} = 37 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd,u} = M_{pl,2,Rd,u} = \frac{1}{4} \frac{h_p t_p^2 f_{u,p}}{\gamma_{M,u}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{210 \cdot 15^2 \cdot 360}{1,1} = 3,866 \text{ kNm}$$

$$\sum F_{t,Rd,u} = N_{Rd,u,1} = n F_{t,Rd,u} = 960 \text{ kN}$$

## Încovoierea tălpii stâlpului

Dacă talpa stâlpului este mai subțire decât placa de capăt, aceasta trebuie verificată în același mod ca și placa de capăt.

$$N_{Rd,u,3} = \min(F_{Rd,u,ep1}; F_{Rd,u,ep2}) = 591 \text{ kN}$$

Conform §6.2 din EN 1993-1-8

$$\text{Pentru modul 1: } F_{Rd,u,ep1} = F_{T,1,Rd} = \frac{(8n_p - 2e_w)M_{pl,1,Rd,u}}{2m_p n_p - e_w(m_p + n_p)} = 2687 \text{ kN}$$

$$\text{Pentru modul 2: } F_{Rd,u,ep2} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd,u} + n_p \sum F_{t,Rd,u}}{m_p + n_p} = 591 \text{ kN}$$

Tab 6.3  
SR EN  
1993-1-8

$$n_p = \min(e_2; e_{2,c}; 1,25m_p) = \min(45; 70; 45,5) = 45$$

$$m_p = \frac{(p_2 - t_{w,b1} - 2 \cdot 0,8a\sqrt{2})}{2} = \frac{(100 - 7,5 - 2 \cdot 0,8 \cdot 8,7 \cdot \sqrt{2})}{2} = 36,4$$

$$e_w = \frac{d_w}{4} = 37 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd,u} = M_{pl,2,Rd,u} = \frac{1}{4} \frac{h_p t_p^2 f_{u,p}}{\gamma_{M,u}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{210 \cdot 15^2 \cdot 360}{1,1} = 2,4742 \text{ kNm}$$

$$\sum F_{t,Rd,u} = N_{Rd,u,1} = n F_{t,Rd,u} = 960 \text{ kN}$$

## Întinderea inimii grinzii

$$N_{Rd,u,4} = \frac{t_w h_p f_{u,bw}}{\gamma_{M,u}} = \frac{7,5 \cdot 210 \cdot 360}{1,1} = 515 \text{ kN}$$
$$\gamma_{M,u} = 1,1$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

## Rezistența nodului la întindere

Rezistența nodului la întindere  
Modul de cedare:

$N_u = 515 \text{ kN}$   
Întindere în inima grinzii

#### 4.4.4 Îmbinare pe inimă cu eclise (ECCS 126, 2009)

Principalele elemente componente ale unei îmbinări pe inimă cu eclise, prezentate în Figura 4.36, sunt: eclisa, sudura de colț pe ambele părți ale eclisei și un rând vertical simplu sau dublu de șuruburi. Eclisa este sudată pe un element de reazem care poate fi o grindă de oțel sau un stâlp, și înșurubată de inima grinzii rezemate.

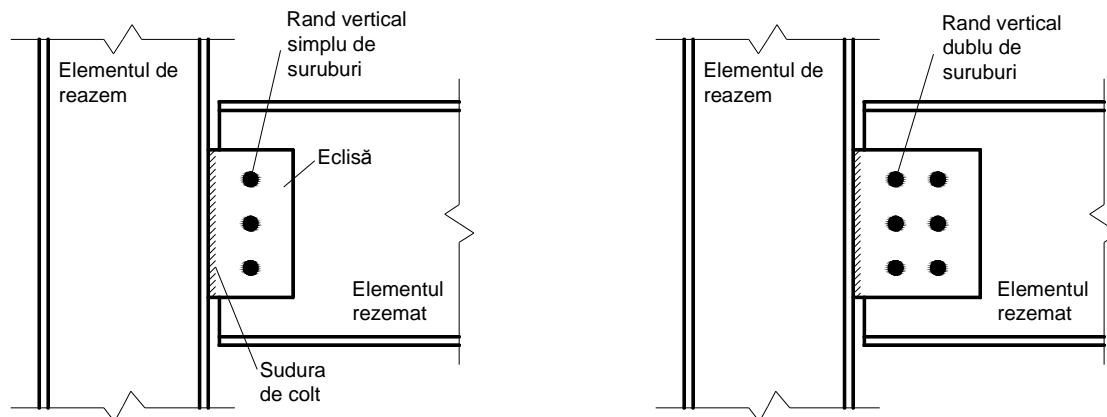


Figura 4.36: Îmbinare pe inimă cu eclise

##### 4.4.4.1 Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale.

###### • Șuruburi:

- $n$  Numărul total de șuruburi
- $A$  Aria nominală a unui șurub
- $A_s$  Aria rezistentă a unui șurub
- $d_0$  Diametrul unei găuri pentru șurub
- $f_{u,b}$  Rezistența ultimă a unui șurub
- $f_{y,b}$  Limita de curgere a unui șurub

###### • Sudura:

- $a$  Grosimea cordonului de sudură
- $\beta_w$  Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii

###### • Elementul rezemat și de reazem:

- $t$  Grosimea plăcii suport ( $t_{cf}$  și  $t_{cw}$  pentru talpa și inima stâlpului, respectiv  $t_{bw}$  pentru inima grinzii rezemate)
- $A_{b,v}$  Aria brută de forfecare a grinzii rezemate
- $A_{b,v,net}$  Aria netă de forfecare a grinzii rezemate
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel

###### • Coeficienți de siguranță:

- $\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0
- $\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solicitate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

###### • Încărcarea:

- $V_{Ed}$  Forța tăietoare aplicată în nod

###### • Rezistența:

- $V_{Rd}$  Rezistența capabilă la tăiere a nodului
- $F_{v,Rd}$  Rezistența capabilă de calcul la tăiere

## Notații specifice îmbinării pe inimă cu eclise

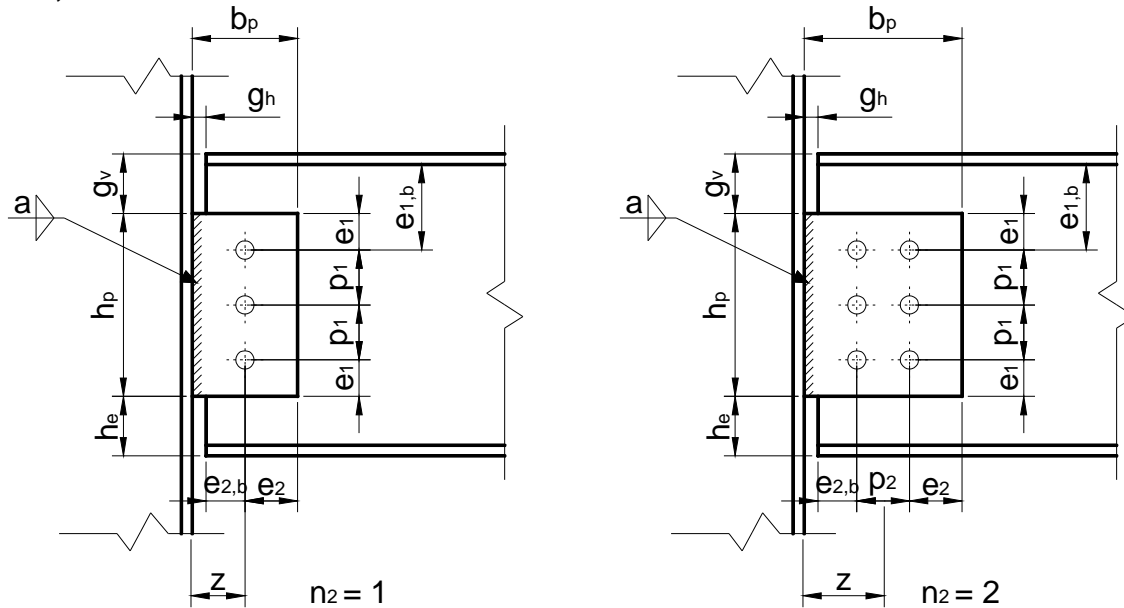


Figura 4.37: Notații specifice îmbinării pe inimă cu eclise

$h_p$	Înălțimea eclisei
$t_p$	Grosimea eclisei
$A_v$	Aria brută de forfecare a eclisei
$A_{vnet}$	Aria netă de forfecare a eclisei
$f_{yp}$	Limita de curgere pentru eclisă
$n_1$	Numărul rândurilor orizontale
$n_2$	Numărul rândurilor verticale
$e_1$	Distanța longitudinală până la margine
$e_2$	Distanța transversală până la margine
$e_{1b}$	Distanța longitudinală până la margine (corespunzător tălpii grinzii)
$e_{2b}$	Distanța transversală până la margine (corespunzător inimii grinzii)
$p_1$	Distanța între șuruburi pe direcție longitudinală
$p_2$	Distanța între șuruburi pe direcție transversală
$I$	Momentul de inerție al grupului de șuruburi

### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare între capătul grinzii și talpa stâlpului
Stâlpul	HEA 240 S235
Grinda	IPE 330 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare pe inimă cu eclise
Eclisa	210 x 190 x 15 S235

### Caracteristici detaliate

#### Stâlpul

#### HEA 240 S235

Înălțimea secțiunii	$h$	= 230 mm
Grosimea inimii	$t_{cw}$	= 7,5 mm
Lățimea tălpii	$b_c$	= 240 mm
Grosimea tălpii	$t_{cf}$	= 12 mm
Raza de curbură	$r$	= 21 mm
Aria secțiunii	$A$	= 7680 mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	$I$	= 77630000 mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	$f_{yc}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{uc}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>

**Grinda**

Înălțimea secțiunii

Grosimea inimii

Lățimea tălpii

Grosimea tălpii

Raza de curbură

Aria secțiunii

Momentul de inerție

Limita de curgere

Rezistența ultimă

**IPE 330 S235** $h = 330 \text{ mm}$  $t_{bw} = 7,5 \text{ mm}$  $b_b = 160 \text{ mm}$  $t_{bf} = 11,5 \text{ mm}$  $r = 18 \text{ mm}$  $A = 6260 \text{ mm}^2$  $I = 83560000 \text{ mm}^4$  $f_{yb} = 235 \text{ N/mm}^2$  $f_{ub} = 360 \text{ N/mm}^2$ **Eclisa**

Înălțimea

Lățimea

Grosime

Decalajul vertical

Decalajul orizontal

**PI 230 x 110 x 10 S 235** $h_p = 200 \text{ mm}$  $b_p = 115 \text{ mm}$  $t_p = 15 \text{ mm}$  $g_v = 65 \text{ mm}$  $g_h = 15 \text{ mm}$ *Transferul încărcării pe direcția (1)*

Numărul rândurilor de șuruburi

Distanța de la margine la primul rând de șuruburi

Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi

Distanța între rândul 2 și 3 de șuruburi

Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine

 $n_1 = 3$  $e_{11} = 40 \text{ mm}$  $p_{1[1]} = 60 \text{ mm}$  $p_{1[2]} = 60 \text{ mm}$  $e_{1n} = 40 \text{ mm}$ *Transferul încărcării pe direcția (2)*

Numărul rândurilor de șuruburi

Distanța de la margine la primul rând de șuruburi

Distanța de la rândul de șuruburi la capătul grinzii

Brațul de pârghie

Limita de curgere

Rezistența ultimă

 $n_2 = 1$  $e_{21} = 50 \text{ mm}$  $e_{2b} = 50 \text{ mm}$  $z = 65 \text{ mm}$  $f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$  $f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$ **Șuruburi**

Aria rezistentă a unui șurub

Diametrul tijei șurubului

Diametrul găurii

Limita de curgere

Rezistența ultimă

**M20, 8.8** $A_s = 245 \text{ mm}^2$  $d = 20 \text{ mm}$  $d_0 = 22 \text{ mm}$  $f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$  $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ **Sudura**

Grosimea cordonului de sudură

Lungimea sudurii

 $a_w = 7 \text{ mm}$  $l_w = 200 \text{ mm}$ **Coeficienți de siguranță** $Y_{M0} = 1.00$  $Y_{M2} = 1.25$  $Y_{Mu} = 1.10$ **Forța tăietoare aplicată** $V_{Ed} = 100 \text{ kN}$

#### 4.4.4.2 Cerințe de ductilitate și rotire

##### Cerințe de rotire

$$(1) \quad h_p \leq d_b$$

$$h_p = 200 \text{ mm}$$

$$d_b = h - 2 t_{bf} - 2 r = 330 - 2 \cdot 11,5 - 2 \cdot 18 = 271 \text{ mm}$$

→ verifică

$$(2) \quad \Phi_{\text{disponibil}} > \Phi_{\text{necesar}} \quad \text{presupunem că cerința este îndeplinită}$$

##### Cerințe pentru evitarea cedării premature a sudurii

$$a \geq 0,4 \cdot t_p \cdot \beta_w \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{f_{yp}}{f_{up}} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} = 0,4 \cdot 15 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{235}{360} \cdot \frac{1,25}{1,0} = 6,78$$

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

$$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_w = 0,8$$

$$a = 7 \text{ mm}$$

→ verifică

#### 4.4.4.3 Rezistența nodului la forfecare

##### Forfecarea tijei șuruburilor

$$V_{Rd1} = \frac{n \cdot F_{v,Rd}}{\sqrt{1 + \left( \frac{6 \cdot z}{(n+1) \cdot p_1} \right)^2}} = \frac{3 \cdot 94,08}{\sqrt{1 + \left( \frac{6 \cdot 65}{(3+1) \cdot 60} \right)^2}} = 147,92 \text{ kN}$$

$$n = 3$$

Rezistența de forfecare a unui șurub,  $F_{v,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca fiind:

$$F_{v,Rd} = \alpha_v A f_{ub} / \gamma_{M2} = 94,08 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$A = 245 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

unde A poate fi luată ca și aria rezistentă a unui șurub  $A_s$ , iar factorul de reducere de 0,8 permite apariția eforturilor de întindere în șuruburi.

##### Presiune pe gaură în eclisă

$$V_{Rd,2} = \frac{n}{\sqrt{\left( \frac{1 + \alpha n}{F_{b,Rd,ver}} \right)^2 + \left( \frac{\beta n}{F_{b,Rd,hor}} \right)^2}} = \frac{3}{\sqrt{\left( \frac{1 + 0 \cdot 3}{129,6} \right)^2 + \left( \frac{0,54 \cdot 3}{221,7} \right)^2}} = 282,3 \text{ kN}$$

$$n = 3$$

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{6 \cdot z}{p_1 \cdot n \cdot (n+1)} = \frac{6 \cdot 65}{60 \cdot 3 \cdot (3+1)} = 0.54$$

Rezistența la presiune pe gaura a unui șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

Prin urmare, rezistența verticală la presiune pe gaura a unui șurub asupra eclisei,  $F_{b,Rd,ver}$  este:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,6 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 15}{1,25} = 129,6kN$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,6; 0,659; 2,22; 1,0) = 0,6$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,66; -; 2,5) = 2,5$$

În mod similar, rezistența orizontală la presiune pe gaura a unui șurub asupra eclisei,  $F_{b,Rd,hor}$  este:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,757 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 15}{1,25} = 138,6kN$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,75; -; 2,22; 1,0) = 0,757$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_1}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_1}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(3,39; 2,12; 2,5) = 2,12$$

### Forfecarea eclisei în secțiunea brută

$$V_{Rd3} = \frac{A_v \cdot f_{yp}}{1,27 \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3000 \cdot 235}{1,27 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,0} = 320kN$$

$$A_v = h_p t_p = 200 \cdot 15 = 3000 \text{ mm}^2$$

$$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

Notă: Coeficientul 1,27 ia în considerare reducerea rezistenței la forfecare, datorită prezenței momentului încovoietor.

### Forfecarea eclisei în secțiunea netă

$$V_{Rd4} = \frac{A_{v,net} \cdot f_{up}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = \frac{2010 \cdot 360}{\sqrt{3} \cdot 1,25} = 334,2kN$$

$$A_{v,net} = (h_p - n_1 d_0) t_p = (200 - 3 \cdot 22) \cdot 15 = 2010 \text{ mm}^2$$

$$h_p = 200 \text{ mm}$$

$$n_1 = 3$$

$$d_0 = 22,00 \text{ mm}$$

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

$$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

### Forfecarea eclisei în bloc

$$V_{Rd,5} = V_{eff,2,Rd}$$

Conform § 3.10.2 (3) din EN1993-1-8

§3.10.2  
SR EN  
1993-1-8

$$\begin{aligned} V_{eff,2,Rd} &= \frac{0,5 \cdot f_{up} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_{y,p} \cdot \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}} \\ &= \frac{0,5 \cdot 360 \cdot 585}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 235 \cdot \frac{1575}{1,0} = 297,9kN \end{aligned}$$

unde:

$A_{nt}$  reprezintă aria netă supusă la întindere și este dată de:

$$A_{nt} = t_p \left( e_2 - \frac{d_0}{2} \right) = 585 \text{ mm}^2 \text{ pentru un singur rând vertical de șuruburi } (n_2 = 1)$$

$$A_{nt} = t_p \left( p_2 + e_2 - 3 \frac{d_0}{2} \right) \text{ pentru doua rânduri verticale de șuruburi } (n_2 = 2)$$

$A_{nv}$  reprezintă aria netă supusă la forfecare și este dată de:

$$A_{nv} = t_p \cdot (h_p - e_1 - (n_1 - 0,5) \cdot d_0) = 1575 \text{ mm}^2$$

### Încovoierea eclisei

Dacă  $h_p \geq 2,73z$  atunci:

$$V_{Rd,6} = \infty$$

$$h_p = 200 \text{ mm}$$

$$2,73z = 177,45 \text{ mm}$$

→ verifică

### Voalarea eclisei

$$V_{Rd,7} = \frac{W_{el}}{z} \cdot \frac{\sigma}{\gamma_{M0}} = \frac{100000}{65} \cdot \frac{1013,7}{1,0} = 1559,5kN$$

$$W_{el} = \frac{t_p h_p^2}{6} = \frac{15 \cdot 200^2}{6} = 100000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = 81 \cdot \left( \frac{t_p}{z} \right)^2 \cdot 235 = 81 \cdot \left( \frac{15}{65} \right)^2 \cdot 235 = 1013,7 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

### Presiune pe gaura în inima grinzii

$$V_{Rd,8} = \frac{n}{\sqrt{\left( \frac{1 + \alpha n}{F_{b,Rd,ver}} \right)^2 + \left( \frac{\beta n}{F_{b,Rd,hor}} \right)^2}} = \frac{3}{\sqrt{\left( \frac{1 + 0 \cdot 3}{99,6} \right)^2 + \left( \frac{0,54 \cdot 3}{69,3} \right)^2}} = 117,9kN$$

$$n = 3$$

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{6 \cdot z}{p_1 \cdot n \cdot (n+1)} = \frac{6 \cdot 65}{60 \cdot 3 \cdot (3+1)} = 0,54$$

Rezistența la presiune pe gaură a unui șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

Prin urmare, rezistența verticală la presiune pe gaură a unui singur șurub pe inima grinzii,

$F_{b,Rd,ver}$  este:

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u,b1} \cdot d \cdot t_{w,b1}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,659 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7,5}{1,25} = 99,6kN$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0\right) = \min(0,659; 2,22; 1,0) = 0,659$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2,b}}{d_0} - 1,7; \frac{1,4p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,66; -; 2,5) = 2,5$$

In mod similar, rezistenta verticală la presiune pe gaură a unui singur șurub pe inima grinzii,  $F_{b,Rd,hor}$  este:

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u,b1} \cdot d \cdot t_{w,b1}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,757 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7,5}{1,25} = 69,3kN$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2,b}}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0\right) = \min(0,76; -; 2,22; 1,0) = 0,757$$

$$k_1 = \min\left(1,4 \frac{p_1}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,12; 2,5) = 2,12$$

### Forfecare inimii grinzii (secțiune brută)

Conform § 6.2.6 (2) din EN1993-1-1

$$V_{Rd9} = V_{pl,Rd} = A_{v,b} \cdot \frac{f_{y,bw}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2620 \cdot \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 355kN$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

### Forfecare inimii grinzii (secțiune netă)

$$V_{Rd10} = A_{v,b,net} \cdot \frac{f_{u,b1}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 2125 \cdot \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 1,25} = 353kN$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

$$A_{v,b,net} = A_{v,b} - n_1 \cdot d_0 \cdot t_{w,b1} = 2620 - 3 \cdot 22 \cdot 7,5 = 2125mm^2$$

### Forfecarea inimii grinzii în bloc

$$V_{Rd11} = V_{eff,2,Rd}$$

Conform § 3.10.2 (3) din EN1993-1-8

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{u,b1} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_{y,b1} \cdot \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{0,5 \cdot 360 \cdot 292}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 235 \cdot \frac{2088}{1,0} = 325kN$$

§3.10.2  
SR EN  
1993-1-8

$A_{nt}$  este aria netă supusă la întindere, si este dată de

$$A_{nt} = t_{w,b1} \cdot \left(e_{2,b} - \frac{d_0}{2}\right) = 292 \quad \text{pentru un singur rând vertical de șuruburi (} n_2 = 1 \text{)}$$

$$A_{nt} = t_{w,b2} \cdot \left(p_2 + e_{2,b} - 3 \cdot \frac{d_0}{2}\right) \quad \text{pentru două rânduri verticale de șuruburi (} n_2 = 2 \text{)}$$

$A_{nv}$  este aria supusă la forfecare

$$A_{nv} = t_{w,b1} \cdot \left(e_{1,b} + (n_1 - 1) \cdot p_1 - (n_1 - 0,5) \cdot d_0\right)$$

$$= 7,5 \cdot (93,5 + (3 - 1) \cdot 60 - (3 - 0,5) \cdot 22) = 2088 \text{ mm}^2$$

### Rezistența la forfecare nodului

Rezistența la forfecare nodului  $V_{Rd} = 117,9 \text{ kN}$   
 Modul de cedare: Presiune pe gaura în inima grinzii.

#### 4.4.4.4 Verificarea

Forța tăietoare de calcul:  $V_{Sd} = 100 \text{ kN}$   
 Forța tăietoare capabilă:  $V_{Rd} = 117,9 \text{ kN} \rightarrow$  verifică

#### 4.4.4.5 Rezistența nodului la întindere

### Forfecare in tija șuruburilor

Conform Tabelului 3.4 din EN1993-1-8

$$N_{Rd,u,1} = n \cdot F_{v,Rd,u} = 3 \cdot 106,9 = 320,7 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,u,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M,u}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 245}{1,1} = 106,9 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,u} = 1,1$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ pentru șuruburi grupa 8.8}$$

$$= 0,5 \text{ pentru șuruburi grupa 10.9}$$

Tab 3.4  
 SR EN  
 1993-1-8

### Presiune pe gaură în eclisă

$$N_{Rd,u,2} = n \cdot F_{b,Rd,u,hor} = 3 \cdot 157,5 = 472,5 \text{ kN}$$

Rezistența la presiune pe gaură a unui singur șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mu}}$$

Tab 3.4  
 SR EN  
 1993-1-8

Prin urmare, rezistența orizontală la presiune pe gaură a unui singur șurub asupra eclisei,  $F_{b,Rd,u,hor}$  este:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u,p} \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{Mu}} = \frac{2,12 \cdot 0,757 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 15}{1,1} = 157,5 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,757; -; 2,22; 1,0) = 0,757$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_1}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_1}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(3,4; 2,12; 2,5) = 2,1$$

$$\gamma_{M,u} = 1,1$$

### Întinderea eclisei (secțiunea brută)

$$N_{u3} = \frac{t_p \cdot h_p \cdot f_{up}}{\gamma_{Mu}} = \frac{15 \cdot 200 \cdot 360}{1,1} = 981,8 \text{ kN}$$

§6.2.3 SR  
 EN 1993-  
 1-1

### Întinderea eclisei (secțiunea netă)

Conform § 6.2.3 (2) din EN1993-1-1

$$N_{u4} = \frac{0,9 \cdot A_{net,p} \cdot f_{up}}{\gamma_{Mu}} = \frac{0,9 \cdot 2010 \cdot 360}{1,1} = 592kN$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

$$A_{net,p} = t_p \cdot h_p - d_0 \cdot n_1 \cdot t_p = 15 \cdot 200 - 22 \cdot 3 \cdot 15 = 2010mm^2$$

### Presiune pe gaură în inima grinzii

$$N_{u5} = n \cdot F_{b,u,hor} = 3 \cdot 78 = 236 \text{ kN}$$

$$F_{b,u,hor} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{ubw} \cdot d \cdot t_{bw}}{\gamma_{Mu}} = \frac{2,12 \cdot 0,757 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7,5}{1,1} = 78kN$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2,b}}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{ub1}}; 1,0\right) = \min(0,757; -; 2,22; 1,0) = 0,757$$

$$k_1 = \min\left(1,4 \frac{p_1}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,12; 2,5) = 2,12$$

$$\gamma_{M,u} = 1,1$$

### Întinderea inimii grinzii (secțiunea brută)

$$N_{u6} = \frac{t_{bw} \cdot h_{bw} \cdot f_{ubw}}{\gamma_{Mu}} = \frac{7,5 \cdot 271 \cdot 360}{1,1} = 665kN$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

### Întinderea inimii grinzii (secțiunea netă)

$$N_{u7} = \frac{0,9 \cdot A_{net,bw} \cdot f_{ubw}}{\gamma_{Mu}} = \frac{0,9 \cdot 1537 \cdot 360}{1,1} = 452kN$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

$$A_{net,p} = t_{bw} \cdot h_{bw} - d_0 \cdot n_1 \cdot t_{bw} = 7,5 \cdot 271 - 22 \cdot 3 \cdot 7,5 = 1537mm^2$$

### Rezistența la întindere a nodului

Rezistența la întindere a nodului  
Modul de cedare:

$N_u = 236 \text{ kN}$   
Presiune pe gaură în eclisă

#### 4.4.5 Îmbinare pe inimă cu corniere

O îmbinare pe inimă cu corniere (vezi Figura 4.38) este alcătuită din două corniere și trei rânduri verticale simple sau duble de șuruburi (două rânduri amplasate pe elementul de reazem, și unul pe elementul rezemat). Cornierele sunt înșurubate pe elementul de reazem și pe elementul rezemat.

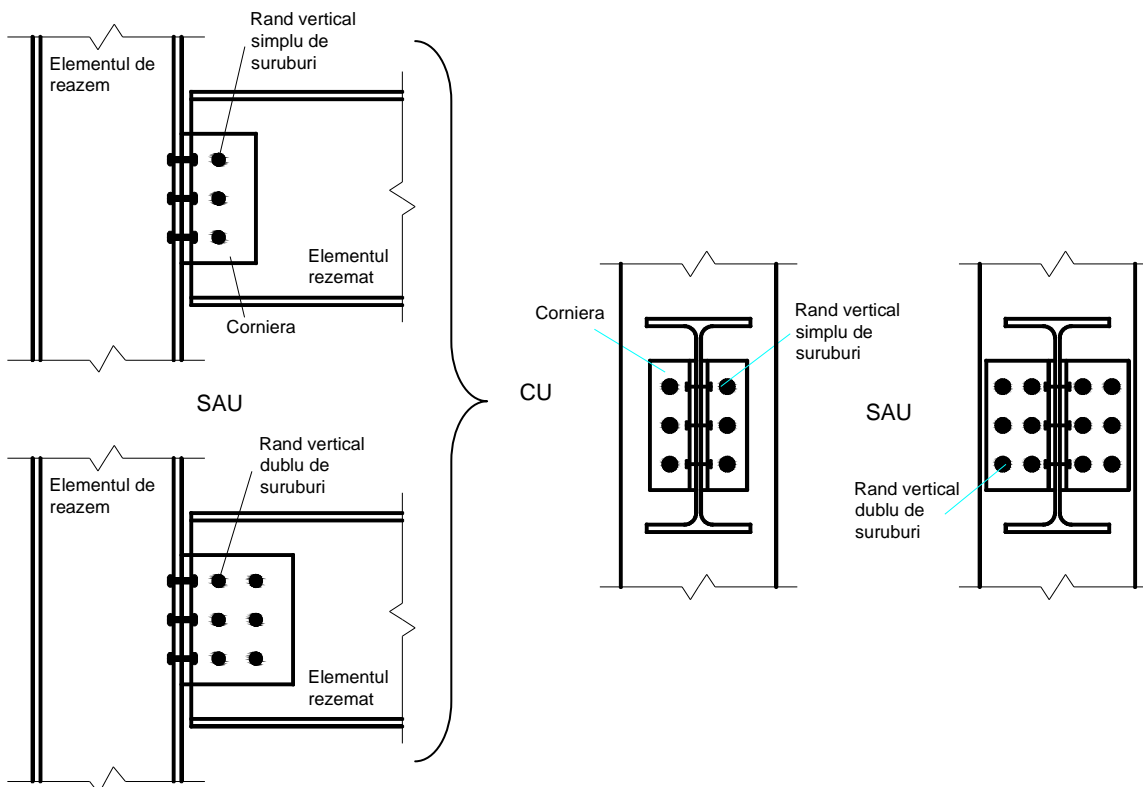


Figura 4.38: Îmbinare pe inimă cu corniere

##### 4.4.5.1 Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale.

###### • Șuruburi:

- $n$  Numărul total de șuruburi
- $A$  Aria nominală a unui șurub
- $A_s$  Aria rezistentă a unui șurub
- $d_0$  Diametrul unei găuri pentru șurub
- $f_{u,b}$  Rezistența ultimă a unui șurub
- $f_{y,b}$  Limita de curgere a unui șurub

###### • Sudura:

- $a$  Grosimea cordonului de sudură
- $\beta_w$  Factorul de corelare pentru evaluarea rezistenței sudurii

###### • Elementul rezemat și de reazem:

- $t$  Grosimea plăcii suport ( $t_{cf}$  și  $t_{cw}$  pentru talpa și inima stâlpului, respectiv  $t_{bw}$  pentru inima grinzii)
- $A_{b,v}$  Aria brută de forfecare a grinzii rezemate
- $A_{b,v,net}$  Aria de forfecare netă a grinzii rezemate
- $f_u$  Rezistența ultimă a elementului din oțel
- $f_y$  Limita de curgere a elementului din oțel

• Coeficienți de siguranță:

$\gamma_{M0}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiuni din oțel; egal cu 1,0

$\gamma_{M2}$  Coeficient parțial de siguranță pentru secțiunea netă, șuruburi, suduri și plăci solicitate la presiune pe gaură; egal cu 1,25

• Încărcarea:

$V_{Ed}$  Forța tăietoare aplicată în nod

• Rezistența:

$V_{Rd}$  Rezistența capabilă la tăiere a nodului

$F_{v,Rd}$  Rezistența capabilă de calcul la tăiere

**Notații specifice îmbinării pe inimă cu corniere**

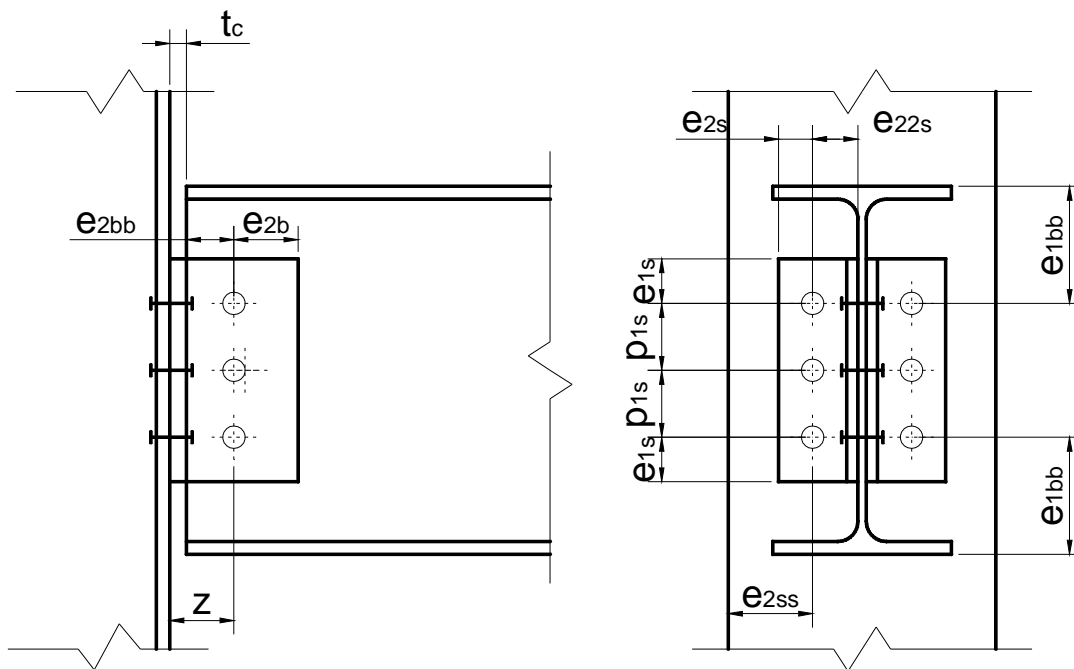


Figura 4.39: Notații specifice îmbinării pe inimă cu corniere cu un rând de șuruburi

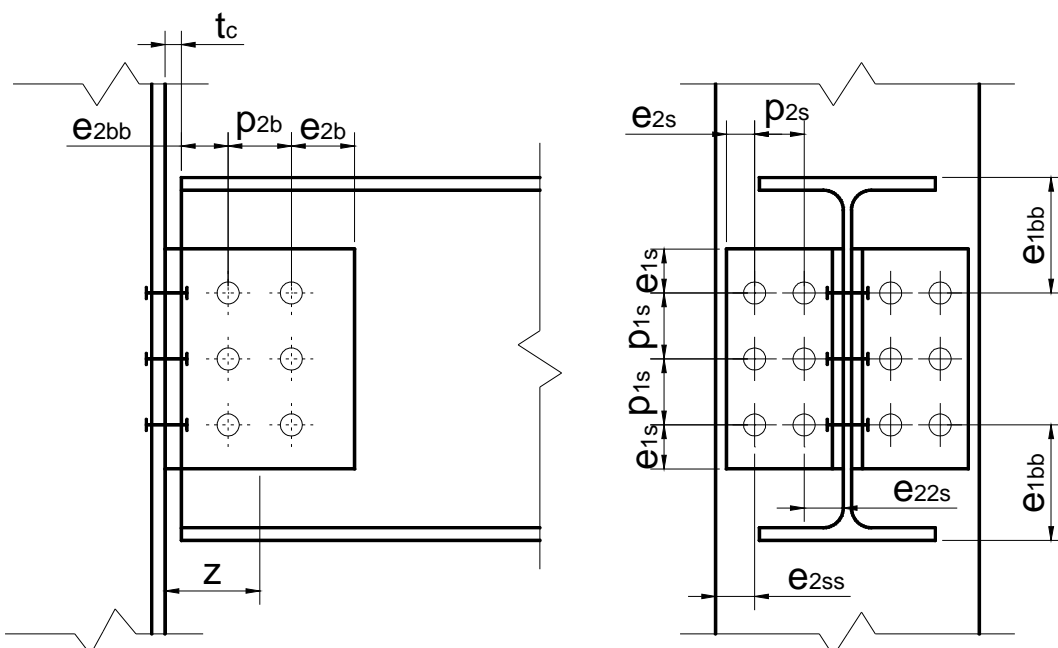


Figura 4.40: Notații specifice îmbinării pe inimă cu corniere cu două rânduri de șuruburi

$h_c$	Înălțimea cornierei
$t_c$	Grosimea cornierei
$A_v$	Aria brută de forfecare a cornierei
$A_{vnet}$	Aria netă de forfecare a cornierei

Zona de îmbinare cu elementul rezemat:

$d_{sb}$	Diametrul nominal al tijeii șurubului
$d_{osb}$	Diametrul găurii șurubului
$n_b$	Numărul total de șuruburi
$n_{1b}$	Numărul rândurilor orizontale de șuruburi
$n_{2b}$	Numărul rândurilor verticale de șuruburi
$e_{1b}$	Distanța longitudinală între ultimul rând de șuruburi și marginea cornierei
$e_{2b}$	Distanța transversală între ultimul rând de șuruburi și marginea cornierei
$p_{1b}$	Distanța longitudinală între două rânduri de șuruburi
$p_{2b}$	Distanța transversală între două rânduri de șuruburi
$e_{2bb}$	Distanța transversală între ultimul rând de șuruburi și marginea inimii grinzii
$e_{1bb}$	Distanța longitudinală între ultimul rând de șuruburi și talpa grinzii
$z$	Brațul de pârghie
$I$	Momentul de inerție al grupului de șuruburi

Zona de îmbinare cu elementul de reazem:

$d_s$	Diametrul nominal al tijeii șurubului
$d_{os}$	Diametrul găurii șurubului
$n_s$	Numărul total de șuruburi
$n_{1s}$	Numărul rândurilor orizontale de șuruburi
$n_{2s}$	Numărul rândurilor verticale de șuruburi
$e_{1s}$	Distanța longitudinală între ultimul rând de șuruburi și marginea cornierei
$e_{2s}$	Distanța transversală între ultimul rând de șuruburi și marginea cornierei
$p_{1s}$	Distanța longitudinală între două rânduri de șuruburi
$p_{2s}$	Distanța transversală între două rânduri de șuruburi
$e_{2ss}$	Distanța transversală între ultimul rând de șuruburi și marginea stâlpului
$e_{22s}$	Distanța transversală între rândul interior de șuruburi și inima grinzii

### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare între capătul grinzii și talpa stâlpului
Stâlpul	HEA 240 S235
Grinda	IPE 330 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare pe inimă cu corniere
Cornieră	L100x100x8 S235

### Caracteristici detaliate

<b>Stâlpul</b>		<b>HEA 240 S235</b>	
Înălțimea secțiunii	$h$	=	230 mm
Grosimea inimii	$t_{cw}$	=	7,5 mm
Lățimea tălpii	$b_c$	=	240 mm
Grosimea tălpii	$t_{cf}$	=	12 mm
Raza de curbură	$r$	=	21 mm
Aria secțiunii	$A$	=	7680 mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	$I$	=	77630000 mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	$f_{yc}$	=	235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{uc}$	=	360 N/mm <sup>2</sup>

<b>Grinda</b>		<b>IPE 330 S235</b>	
Înălțimea secțiunii	$h$	=	330 mm
Grosimea inimii	$t_{bw}$	=	7,5 mm
Lățimea tălpii	$b_b$	=	160 mm
Grosimea tălpii	$t_{bf}$	=	11,5 mm

Raza de curbură	$r$	= 18 mm
Aria secțiunii	$A$	= 6260 mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	$I$	= 83560000 mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	$f_{yb}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{ub}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>

**Corniera L100x100x8 S235**

Înălțimea	$h_p$	= 200 mm
Lățimea	$b_p$	= 100 mm
Grosimea	$t_p$	= 8 mm
Decalajul vertical	$g_v$	= 65 mm

*Direcția încărcării (1) - prinderea pe grindă*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_1$	= 3
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{1s}$	= 45 mm
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_{1s}$	= 60 mm
Distanța între rândul 2 și 3 de șuruburi	$p_{1s}$	= 60 mm
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{1s}$	= 45 mm

*Perpendicular pe direcția încărcării (2) - prinderea pe grindă*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_2$	= 2
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{2bb}$	= 45 mm
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{2b}$	= 45 mm
Brațul de pârghie	$z$	= 55 mm

*Direcția încărcării (1) - prinderea pe stâlp*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_1$	= 3
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	$e_{1s}$	= 40 mm
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	$p_{1s}$	= 60 mm
Distanța între rândul 2 și 3 de șuruburi	$p_{1s}$	= 60 mm
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	$e_{1s}$	= 40 mm
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la talpa grinzii	$e_{1bb}$	= 40 mm

*Perpendicular pe direcția încărcării (2) - prinderea pe stâlp*

Numărul rândurilor de șuruburi	$n_2$	= 2
Distanța de la marginea exterioară la rândul de șuruburi	$e_{2s}$	= 45 mm
Distanța de la rândul de șuruburi la margine (corespunzător tălpii stâlpului)	$e_{2ss}$	= 75 mm
Distanța de la rândul de șuruburi la marginea interioară	$e_{2ss}$	= 75 mm

Limita de curgere	$f_{yp}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{up}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>

**Șuruburi M20, 8.8**

Aria rezistentă a unui șurub	$A_s$	= 245 mm <sup>2</sup>
Diametrul tijei șurubului	$d$	= 20 mm
Diametrul găurii	$d_0$	= 22 mm
Limita de curgere	$f_{yb}$	= 640 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{ub}$	= 800 N/mm <sup>2</sup>

**Coeficienți de siguranță**

$\gamma_{M0}$	= 1.00
$\gamma_{M2}$	= 1.25
$\gamma_{Mu}$	= 1.10

**Forța tăietoare aplicată**

$$V_{Ed} = 100 \text{ kN}$$

#### 4.4.5.2 Cerințe de ductilitate și rotire

##### Cerințe de rotire

- (1)  $h_p \leq d_b$   
 $h_p = 200 \text{ mm}$   
 $d_b = h - 2 t_{bf} - 2 r = 330 - 2 \cdot 11,5 - 2 \cdot 18 = 271 \text{ mm}$   
→ verifică
- (2)  $\Phi_{\text{disponibil}} > \Phi_{\text{necesar}}$  presupunem că cerința este îndeplinită

##### Cerința de ductilitate

- (1)  $\frac{d}{t_p} \geq 2,8 \sqrt{\frac{f_{yp}}{f_{ub}}}$   
 $d/t_p = 20/8 = 2,5$   
 $f_{yp}/f_{ub} = 0,293$   
 $2,5 > 1,51$   
→ verifică
- (2)  $a \geq 0,4 \cdot t_{bw} \cdot \beta_w \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{f_{ybw}}{f_{ubw}} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}$  presupunem că cerința este îndeplinită

datorită modului de realizare a cornierei și a racordului dintre aripile cornierei.

#### 4.4.5.3 Rezistența nodului la forfecare

##### 4.4.3.3.1 Prinderea pe stâlp

##### Forfecarea tijei șuruburilor

$$V_{Rd1} = 0,8 n F_{v,Rd} = 451,58 \text{ kN}$$

$$n = 6$$

Rezistența de forfecare a unui șurub,  $F_{v,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca fiind:

$$F_{v,Rd} = \alpha_v A f_{ub} / \gamma_{M2} = 94,08 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \alpha_v &= 0,6 \\ A &= 245 \text{ mm}^2 \\ f_{ub} &= 800 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

unde A poate fi luată ca și aria rezistentă a unui șurub  $A_s$ , iar factorul de reducere de 0,8 permite apariția eforturilor de întindere în șuruburi.

##### Presiune pe gaură în aripa cornierei

În mod conservativ (din §3.7 (1) EN1993-1-8)

$$V_{Rd2} = n \cdot F_{b,Rd} = 6 \cdot 69,8 = 418,8 \text{ kN}$$

§3.7 (1)  
SR EN  
1993-1-8

Dar în cazul când  $F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$ , atunci:

$$V_{Rd2} = \sum F_{b,Rd} = 418,8 \text{ kN}$$

$$n = 6$$

Rezistența la presiune pe gaură a unui șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca fiind:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_p \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,606 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 360}{1,25} = 69,8kN$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

$$f_{up} = 360,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{1s}}{3d_0}; \frac{p_{1s}}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,6; 0,66; 2,22; 1,0) = 0,6$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2s}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,03; 2,5) = 2,5$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

### Presiune pe gaură în talpa stâlpului

$$V_{Rd3} = n F_{b,Rd} = 683,3 \text{ kN}$$

$$n = 6$$

Rezistența la presiune pe gaură a unui șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca fiind:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_{cf} \cdot f_{ucf}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,659 \cdot 20 \cdot 12 \cdot 360}{1,25} = 113,8kN$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_{1s}}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{uc}}; 1,0\right) = \min(0,659; 2,22; 1,0) = 0,659$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2ss}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(7,845; 2,5) = 2,5$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

### Forfecarea cornierei în secțiunea brută

$$V_{Rd4} = \frac{2 \cdot h_p \cdot t_p \cdot f_{yp}}{1,27 \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 8 \cdot 235}{1,27 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,0} = 341,8 \text{ kN}$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

Notă: Coeficientul 1,27 ia în considerare reducerea rezistenței la forfecare, datorită prezenței momentului încovoietor.

### Forfecarea cornierei în secțiunea netă

$$V_{Rd5} = 2 \cdot A_{v,net} \cdot \frac{f_{up}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 2 \cdot 1072 \cdot \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 1,25} = 356,5 \text{ kN}$$

$$A_{v,net} = t_p \cdot (h_p - n_1 \cdot d_0) = 8 \cdot (200 - 3 \cdot 22) = 1072 \text{ mm}^2$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

### Forfecarea cornierei în bloc

$$V_{Rd6} = 2 \cdot V_{eff,Rd} = 654 \text{ kN}$$

Din §3.10.2 EN1993-1-8:

$$1,36 p_{2s} = 156 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad h_p > 1,36 p_2$$

$$n_1 = 3 \quad \rightarrow \quad n_1 > 1$$

$$V_{eff,Rd} = V_{eff,1,Rd} = \frac{f_{up} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_{yp} \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 272}{1,25} + \frac{235 \cdot 840}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 195kN$$

$A_{nt}$  reprezintă aria netă supusă la întindere și este dată de:

$$A_{nt} = t_p \cdot \left( e_{2s} - \frac{d_0}{2} \right) = 8 \cdot \left( 45 - \frac{22}{2} \right) = 272mm^2$$

$A_{nv}$  reprezintă aria netă supusă la forfecare și este dată de:

$$A_{nv} = t_p \cdot (h_p - e_{1s} - (n_1 - 0,5) \cdot d_0) = 8 \cdot (200 - 40 - (3 - 0,5) \cdot 22) = 840mm^2$$

### Încovoierea cornierei

În general  $h_p \geq 1,36 p_3$  (i.e.  $p_3 \leq h_p/1,36$ ) prin urmare:

$$V_{Rd,7} = \infty$$

#### 4.4.3.3.2.Prinderea pe grindă

### Forfecarea tijei șuruburilor

$$V_{Rd1} = \frac{n \cdot F_{v,Rd}}{\sqrt{1 + \left( \frac{6 \cdot z}{(n+1) \cdot p_{1s}} \right)^2}} = \frac{6 \cdot 94,08}{\sqrt{1 + \left( \frac{6 \cdot 55}{(6+1) \cdot 60} \right)^2}} = 443,86kN$$

$n = 6$  (3 șuruburi și 6 secțiuni de forfecare)

Rezistența de forfecare a unui șurub,  $F_{v,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca fiind:

$$F_{v,Rd} = \alpha_v A f_{ub} / \gamma_{M2} = 94,08 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$A = 245 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

### Presiune pe gaură în aripa cornierei

$$V_{Rd,2} = 2 \cdot \frac{n}{\sqrt{\left( \frac{1 + \alpha n}{F_{b,Rd,ver}} \right)^2 + \left( \frac{\beta n}{F_{b,Rd,hor}} \right)^2}} = 2 \cdot \frac{3}{\sqrt{\left( \frac{1 + 0 \cdot 3}{69,12} \right)^2 + \left( \frac{0,54 \cdot 3}{66,6} \right)^2}} = 212kN$$

$n = 3$   
 $\alpha = 0$

$$\beta = \frac{6 \cdot z}{p_{1s} \cdot n \cdot (n+1)} = \frac{6 \cdot 55}{60 \cdot 3 \cdot (3+1)} = 0,458$$

Rezistența la presiune pe gaura a unui șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

Prin urmare, rezistența verticală la presiune pe gaură a unui șurub asupra aripii cornierei,  $F_{b,Rd,ver}$  este:

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u,p} \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,6 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 8}{1,25} = 69,12kN$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{1s}}{3d_0}; \frac{p_{1s}}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,6; 0,659; 2,22; 1,0) = 0,6$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2b}}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,03; -; 2,5) = 2,5$$

În mod similar, rezistența orizontală la presiune pe gaură a unui șurub asupra aripii cornierei,  $F_{b,Rd,hor}$  este:

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u,p} \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,682 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 8}{1,25} = 66,6kN$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2b}}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,68; -; 2,22; 1,0) = 0,68$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{1s}}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_{1s}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(5,93; 2,12; 2,5) = 2,12$$

### Forfecarea aripii cornierelor în secțiunea brută

$$V_{Rd3} = 2 \cdot \frac{A_v \cdot f_{yp}}{1,27 \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{1600 \cdot 235}{1,27 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,0} = 341,8kN$$

$$A_v = h_p t_p = 200 \cdot 8 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$f_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

Notă: Coeficientul 1,27 ia în considerare reducerea rezistenței la forfecare, datorită prezenței momentului încovoiator.

### Forfecarea aripii cornierelor în secțiunea netă

$$V_{Rd4} = 2 \cdot \frac{A_{v,net} \cdot f_{up}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{1072 \cdot 360}{\sqrt{3} \cdot 1,25} = 356,5kN$$

$$A_{v,net} = (h_p - n_1 d_0) t_p = (200 - 3 \cdot 22) \cdot 8 = 1072 \text{ mm}^2$$

$$h_p = 200 \text{ mm}$$

$$n_1 = 3$$

$$d_0 = 22,00 \text{ mm}$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

$$f_{up} = 360 \text{ N/mm}^2$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

### Forfecarea aripii cornierelor în bloc

Conform § 3.10.2 (3) din EN1993-1-8

$$V_{Rd,5} = 2 \cdot V_{eff,2,Rd} = 306 \text{ kN}$$

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{up} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_{y,p} \cdot \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{0,5 \cdot 360 \cdot 272}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 235 \cdot \frac{840}{1,0} = 153kN$$

§3.10.2  
SR EN  
1993-1-8

unde:

$A_{nt}$  reprezintă aria netă supusă la întindere și este dată de

$$A_{nt} = t_p \left( e_{2b} - \frac{d_0}{2} \right) = 272 \text{ mm}^2 \text{ pentru un singur rând vertical de șuruburi } (n_2 = 1)$$

$$A_{nt} = t_p \left( p_2 + e_2 - 3 \frac{d_0}{2} \right) \text{ pentru doua rânduri verticale de șuruburi } (n_2 = 2)$$

$A_{nv}$  reprezintă aria netă supusă la forfecare și este dată de

$$A_{nv} = t_p (h_p - e_{1s} - (n_1 - 0,5)d_0) = 8 \cdot (200 - 40 - (3 - 0,5)22) = 840 \text{ mm}^2$$

### Încovoierea aripii cornierei

Dacă  $h_p \geq 2,73z$  atunci:

$$V_{Rd,6} = \infty$$

$$h_p = 200 \text{ mm}$$

$$2,73z = 150 \text{ mm}$$

→ verifică

### Voalarea aripii cornierei

$$V_{Rd,7} = 2 \cdot \frac{W_{el}}{z} \cdot \frac{\sigma}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{53333 \cdot 402,7}{55 \cdot 1,0} = 781 \text{ kN}$$

$$W_{el} = \frac{t_p \cdot h_p^2}{6} = \frac{8 \cdot 200^2}{6} = 53333 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = 81 \cdot \left( \frac{t_p}{z} \right)^2 \cdot 235 = 81 \cdot \left( \frac{8}{55} \right)^2 \cdot 235 = 402,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Presiune pe gaură în inima grinzii

$$V_{Rd,8} = \frac{n}{\sqrt{\left( \frac{1 + \alpha \cdot n}{F_{b,Rd,ver}} \right)^2 + \left( \frac{\beta \cdot n}{F_{b,Rd,hor}} \right)^2}} = \frac{3}{\sqrt{\left( \frac{1 + 0 \cdot 3}{99,6} \right)^2 + \left( \frac{0,458 \cdot 3}{62,46} \right)^2}} = 124 \text{ kN}$$

$$n = 3$$

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{6 \cdot z}{p_{1s} \cdot n \cdot (n+1)} = \frac{6 \cdot 55}{60 \cdot 3 \cdot (3+1)} = 0,458$$

Rezistența la presiune pe gaură a unui șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

Prin urmare, rezistența verticală la presiune pe gaură a unui singur șurub pe inima grinzii,  $F_{b,Rd,ver}$  este:

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u,b1} \cdot d \cdot t_{w,b1}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,659 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7,5}{1,25} = 99,6 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left( \frac{p_{1s}}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0 \right) = \min(0,659; 2,22; 1,0) = 0,659$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{2bb}}{d_0} - 1,7; \frac{1,4 p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,03; -; 2,5) = 2,5$$

În mod similar, rezistența verticală la presiune pe gaură a unui singur șurub pe inima grinzii,  $F_{b,Rd,hor}$  este:

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u,b1} \cdot d \cdot t_{w,b1}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,682 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7,5}{1,25} = 62,46 kN$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2bb}}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1,0\right) = \min(0,68; -; 2,22; 1,0) = 0,68$$

$$k_1 = \min\left(1,4 \frac{p_{1s}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,12; 2,5) = 2,12$$

### Forfecare în secțiunea brută a inimii grinzii

Conform § 6.2.6 (2) din EN1993-1-1

$$V_{Rd9} = V_{pl,Rd} = A_{v,b} \cdot \frac{f_{y,bw}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2620 \cdot \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 355 kN$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

### Forfecare în secțiunea netă a inimii grinzii

$$V_{Rd10} = A_{v,b,net} \cdot \frac{f_{u,b1}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 2125 \cdot \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 1,25} = 353 kN$$

§6.2.6 SR  
EN 1993-  
1-1

$$A_{v,b,net} = A_{v,b} - n_1 \cdot d_0 \cdot t_{w,b1} = 2620 - 3 \cdot 22 \cdot 7,5 = 2125 mm^2$$

### Forfecarea inimii grinzii în bloc

$$V_{Rd11} = V_{eff,2,Rd}$$

Conform § 3.10.2 (3) din EN1993-1-8

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{u,b1} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_{y,b1} \cdot \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 360 \cdot 255}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 235 \cdot \frac{2175}{1,0} = 331,8 kN$$

§3.10.2  
SR EN  
1993-1-8

unde:

$A_{nt}$  este aria netă supusă la întindere, si este dată de

$$A_{nt} = t_{w,b1} \left( e_{2bb} - \frac{d_0}{2} \right) = 255 \quad \text{pentru un singur rând vertical de șuruburi (} n_2 = 1 \text{)}$$

$$A_{nt} = t_{w,b2} \left( p_2 + e_{2,b} - 3 \frac{d_0}{2} \right) \quad \text{pentru două rânduri verticale de șuruburi (} n_2 = 2 \text{)}$$

$A_{nv}$  este aria supusă la forfecare

$$A_{nv} = t_{w,b1} (e_{1bb} + (n_1 - 1)p_{1s} - (n_1 - 0,5)d_0) \\ = 7,5 \cdot (105 + (3 - 1) \cdot 60 - (3 - 0,5) \cdot 22) = 2175 mm^2$$

### Rezistența nodului la forfecare

Rezistența nodului la forfecare  
Modul de cedare:

$V_{Rd} = 124 kN$   
Presiune pe gaură în inima grinzii

#### 4.4.5.4 Verificarea

Forța tăietoare de calcul:	$V_{Sd}$	=	100 kN		
Forța tăietoare capabilă:	$V_{Rd}$	=	124 kN	→	verifică

#### 4.4.5.5 Rezistența nodului la întindere

##### 4.4.3.5.1 Prinderea pe stâlp

#### Întinderea șuruburilor

$$N_{Rd,u1} = n \cdot F_{t,Rd,u} = 6 \cdot 160 = 960 \text{ kN}$$

Conform Tabelului 3.4 din EN1993-1-8:

$$F_{t,Rd,u} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M,u}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 245}{1,1} = 160 \text{ kN}$$

$n = 6$  (numărul total de șuruburi)

$k_2 = 0,9$

$\gamma_{M,u} = 1,1$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

#### Încovoierea aripii cornierelor

$$N_{Rd,u,2} = \min(F_{Rd,u,ep1}; F_{Rd,u,ep2}) = 538 \text{ kN}$$

Conform §6.2 din EN 1993-1-8

Pentru modul 1:

$$F_{Rd,u,ep1} = F_{T,1,Rd} = \frac{(8 \cdot n_p - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd,u}}{2 \cdot m_p \cdot n_p - e_w \cdot (m_p + n_p)} = 735 \text{ kN}$$

Pentru modul 2:

$$F_{Rd,u,ep2} = F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd,u} + n_p \cdot \sum F_{t,Rd,u}}{m_p + n_p} = 538 \text{ kN}$$

Tab 6.3  
SR EN  
1993-1-8

unde:

$$n_p = \min(e_{2s}; e_{2ss}; 1,25m_p) = \min(45; 75; 48,8) = 45$$

$$m_p = \frac{(p_2 - 2 \cdot t_p - t_{w,b1} - 2 \cdot 0,8 \cdot a \cdot \sqrt{2})}{2} = \frac{(110 - 2 \cdot 8 - 7,5 - 2 \cdot 0,8 \cdot 3 \cdot \sqrt{2})}{2} = 39,1$$

$$e_w = \frac{d_w}{4} = 37 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd,u} = M_{pl,2,Rd,u} = \frac{1}{4} \cdot \frac{h_p \cdot t_p^2 \cdot f_{u,p}}{\gamma_{M,u}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{200 \cdot 8^2 \cdot 360}{1,1} = 1,047272 \text{ kNm}$$

$$\sum F_{t,Rd,u} = N_{Rd,u,1} = n \cdot F_{t,Rd,u} = 960 \text{ kN}$$

#### Încovoierea tălpii stâlpului

Se verifică încovoierea tălpii stâlpului în situația în care talpa stâlpului este mai subțire decât aripa cornierei.

#### Întindere în inima grinzii

$$N_{Rd,u,3} = \frac{t_w \cdot h_p \cdot f_{u,bw}}{\gamma_{M,u}} = \frac{7,5 \cdot 200 \cdot 360}{1,1} = 490,9kN$$

$\gamma_{M,u} = 1,1$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

#### 4.4.3.5.2 Prinderea pe grindă

#### Forfecare în tija șuruburilor

Conform Tabelului 3.4 din EN1993-1-8

$$N_{Rd,u,1} = n \cdot F_{v,Rd,u} = 6 \cdot 106,9 = 641,4kN$$

$$F_{v,Rd,u,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M,u}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 245}{1,1} = 106,9kN$$

$$\gamma_{M,u} = 1,1$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ pentru șuruburi grupa 8.8}$$

$$= 0,5 \text{ pentru șuruburi grupa 10.9}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

#### Presiune pe gaură în aripa cornierei

$$N_{Rd,u,2} = n F_{b,Rd,u,hor} = 6 \cdot 75,7 = 454 \text{ kN}$$

Rezistența la presiune pe gaură a unui singur șurub,  $F_{b,Rd}$  este dată în Tabelul 3.4 din EN1993-1-8 ca:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mu}}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

Prin urmare, rezistența orizontală la presiune pe gaură a unui singur șurub asupra aripii cornierei,  $F_{b,Rd,u,hor}$  este:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u,p} \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{Mu}} = \frac{2,12 \cdot 0,682 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 8}{1,1} = 75,7kN$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2b}}{3d_0}; \frac{P_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1,0\right) = \min(0,68; -; 2,22; 1,0) = 0,68$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_{1s}}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{P_{1s}}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

$$= \min(3,39; 2,12; 2,5) = 2,12$$

$$\gamma_{M,u} = 1,1$$

#### Întindere în secțiunea brută a aripii cornierei

$$N_{u3} = \frac{t_p \cdot h_p \cdot f_{up}}{\gamma_{Mu}} = \frac{8 \cdot 200 \cdot 360}{1,1} = 523,6kN$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

#### Întindere în secțiunea netă a aripii cornierei

Conform § 6.2.3 (2) din EN1993-1-1

$$N_{u4} = \frac{0,9 \cdot A_{net,p} \cdot f_{up}}{\gamma_{Mu}} = \frac{0,9 \cdot 2144 \cdot 360}{1,1} = 631kN$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

$$A_{net,p} = 2 \cdot (t_p \cdot h_p - d_0 \cdot n_1 \cdot t_p) = 2 \cdot (8 \cdot 200 - 22 \cdot 3 \cdot 8) = 2144mm^2$$

### Presiune pe gaură în inima grinzii

$$N_{u5} = n \cdot F_{b,u,hor} = 3 \cdot 70,9 = 212,7 \text{ kN}$$

$$F_{b,u,hor} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{ubw} \cdot d \cdot t_{bw}}{\gamma_{Mu}} = \frac{2,12 \cdot 0,682 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7,5}{1,1} = 70,9 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2bb}}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{ub1}}; 1,0\right) = \min(0,68; -; 2,22; 1,0) = 0,68$$

$$k_1 = \min\left(1,4 \frac{p_{1s}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,12; 2,5) = 2,12$$

$$\gamma_{M,u} = 1,1$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

### Întindere în secțiunea brută a inimii grinzii

$$N_{u6} = \frac{t_{bw} \cdot h_{bw} \cdot f_{ubw}}{\gamma_{Mu}} = \frac{7,5 \cdot 271 \cdot 360}{1,1} = 665 \text{ kN}$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

### Întindere în secțiunea netă a inimii grinzii

$$N_{u7} = \frac{0,9 \cdot A_{net,bw} \cdot f_{ubw}}{\gamma_{Mu}} = \frac{0,9 \cdot 1537 \cdot 360}{1,1} = 452 \text{ kN}$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

$$A_{net,p} = t_{bw} \cdot h_{bw} - d_0 \cdot n_1 \cdot t_{bw} = 7,5 \cdot 271 - 22 \cdot 3 \cdot 7,5 = 1537 \text{ mm}^2$$

### Rezistența nodului la întindere

Rezistența nodului la întindere  
Modul de cedare:

$N_u = 212,7 \text{ kN}$   
Presiune pe gaură în inima grinzii

## 4.4.6 Îmbinări cu bolțuri

### 4.4.6.1 Condiții geometrice pentru elemente îmbinate cu bolțuri



Figura 4.41: Exemplu de îmbinare cu bolț

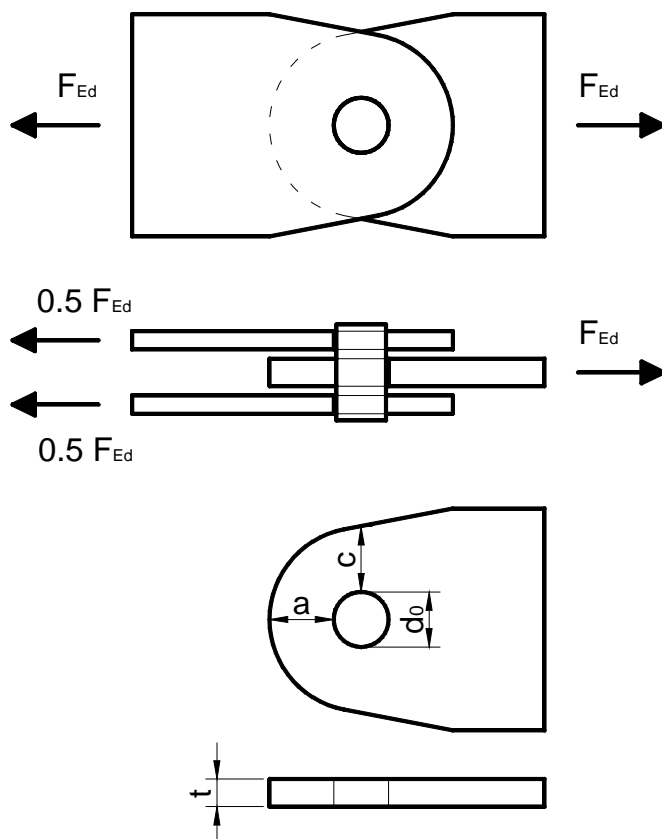


Figura 4.42: Geometria îmbinării cu bolț

Tab. 3.9  
SR EN  
1993-1-8

Conform Tabelului 3.9 (SR EN 1993-1-8), condițiile geometrice ale unei îmbinări cu bolț se aplică considerând una din următoarele două situații:

### Situația când se cunoaște grosimea t

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3}$$

Tab. 3.9  
SR EN  
1993-1-8

### Situația când se cunoaște geometria elementelor

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}}$$

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t$$

Tab. 3.9  
SR EN  
1993-1-8

Pentru cazul în care se cunoaște grosimea t, dimensiunile a și c se obțin astfel:

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{100000 \cdot 1,0}{2 \cdot 15 \cdot 235} + \frac{2 \cdot 30}{3} = 34,18 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{100000 \cdot 1,0}{2 \cdot 15 \cdot 235} + \frac{30}{3} = 24,18 \text{ mm}$$

Tab. 3.9  
SR EN  
1993-1-8

a	= 35 mm
c	= 35 mm
d <sub>0</sub>	= 30 mm
t	= 15 mm
F <sub>Ed</sub>	= 100 kN
F <sub>Ed,ser</sub>	= 60 kN
f <sub>y</sub>	= 235 N/mm <sup>2</sup>

- d diametrul bolțului;
- d<sub>0</sub> diametrul găurii bolțului;
- f<sub>y</sub> cea mai mică rezistență de calcul dintre cea a bolțului și a elementului îmbinat;
- f<sub>up</sub> rezistența de rupere la tracțiune a materialului bolțului;
- f<sub>yp</sub> limita de curgere bolțului;
- t grosimea elementului îmbinat;
- A aria secțiunii transversale a bolțului.
- a grosimea eclisei subțiri
- b grosimea eclisei groase
- c distanța dintre cele două eclise
- F<sub>Ed,ser</sub> valoarea de calcul a forței transferate în reazem, sub acțiunea combinației de încărcări la starea limită de exploatare normală.

#### 4.4.6.2 Rezistența îmbinării cu bolț

#### Momentul încovoietor în tija bolțului

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{100000}{8} \cdot (15 + 4 \cdot 2,5 + 2 \cdot 10) = 562500 \text{ Nmm}$$

$$M_{Ed,ser} = \frac{F_{Ed,ser}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{60000}{8} \cdot (15 + 4 \cdot 2,5 + 2 \cdot 10) = 337500 \text{ Nmm}$$

§3.13.2  
SR EN  
1993-1-8

$$\begin{aligned}
F_{Ed} &= 100 \text{ kN} \\
F_{Ed,ser} &= 60 \text{ kN} \\
a &= 10 \text{ mm} \\
b &= 15 \text{ mm} \\
c &= 2,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

§3.13.2  
Fig. 3.11  
SR EN  
1993-1-8

### Forfecarea tijei bolțului

$$\begin{aligned}
F_{v,Rd} &= \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 1413 \cdot 800}{1,25} = 542,592 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 100 \text{ kN} \\
A &= 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 1413 \text{ mm}^2 \\
f_{ub} &= 800 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

Tab 3.10  
SR EN  
1993-1-8

### Presiune pe gaură în placă

$$\begin{aligned}
F_{b,Rd} &= \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 15 \cdot 30 \cdot 235}{1,0} = 158,625 \text{ kN} \geq F_{b,Ed} = 100 \text{ kN} \\
t &= 15 \text{ mm} \\
d &= 30 \text{ mm} \\
f_{yp} &= 235 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

Tab 3.10  
SR EN  
1993-1-8

Dacă se intenționează ca bolțul să fie interschimbabil, trebuie să satisfacă și următoarea relație:

$$F_{b,Rd} = \frac{0,6 \cdot t \cdot d \cdot f_{yp}}{\gamma_{M6,ser}} = \frac{0,6 \cdot 15 \cdot 30 \cdot 235}{1,0} = 63,4 \text{ kN} \geq F_{b,Ed,ser} = 60 \text{ kN}$$

Tab 3.10  
SR EN  
1993-1-8

### Încovoiere în tija bolțului

$$\begin{aligned}
M_{Rd} &= \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 2650 \cdot 640}{1,0} = 2544000 \text{ Nmm} \geq M_{Ed} = 562500 \text{ Nmm} \\
W_{el} &= \frac{\pi \cdot r^3}{4} = 2650 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

Tab 3.10  
SR EN  
1993-1-8

Dacă se intenționează ca bolțul să fie interschimbabil, trebuie să satisfacă și următoarea relație:

$$M_{Rd,ser} = \frac{0,8 \cdot W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M6,ser}} = \frac{0,8 \cdot 2650 \cdot 640}{1,0} = 1356800 \text{ Nmm} \geq M_{Ed,ser} = 337500 \text{ Nmm}$$

Tab 3.10  
SR EN  
1993-1-8

### Rezistența combinată la forfecare și încovoiere a bolțului

$$\begin{aligned}
\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 &\leq 1 \\
\left[ \frac{562500}{2544000} \right]^2 + \left[ \frac{100000}{542592} \right]^2 &= 0,082 \leq 1
\end{aligned}$$

Tab 3.10  
SR EN  
1993-1-8

#### 4.4.6.3 Verificare tensiunii de contact pentru cazul bolțurilor interschimbabile

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd}$$

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_{Ed,ser} \cdot (d_0 - d)}{d^2 \cdot t}}$$

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 60000 \cdot (31 - 30)}{30^2 \cdot 15}} = 570 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,Ed} = \frac{2,5 \cdot f_{yp}}{\gamma_{M6,ser}}$$

$$f_{h,Ed} = \frac{2,5 \cdot 235}{1,0} = 587,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{h,Ed} = 570 \text{ N/mm}^2 < f_{h,Rd} = 587,5 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.4.7 Îmbinare articulată între stâlp și fundație (Cestruco, 2003)

##### 4.4.7.1 Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale

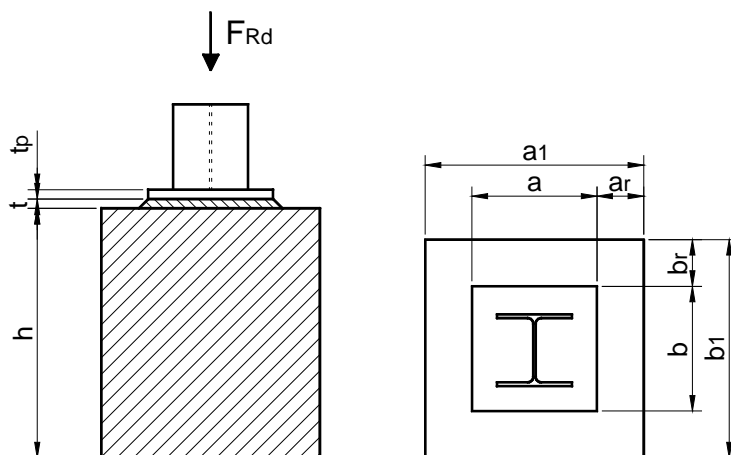


Figura 4.43: Îmbinare simplă între stâlp și fundație

#### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare articulată între stâlp și fundație
Stâlpul	HEA 240 S235
Placa de bază	P30 x 400 x 400 S235
Blocul fundației	800 x 700 x 700 C30/37

#### Stâlpul

Înălțimea secțiunii	$h_c = 230 \text{ mm}$
Grosimea inimii	$t_{cw} = 7,5 \text{ mm}$
Lățimea tălpii	$b_c = 240 \text{ mm}$
Grosimea tălpii	$t_{cf} = 12 \text{ mm}$
Raza de curbură	$r = 21 \text{ mm}$
Aria secțiunii	$A = 7680 \text{ mm}^2$
Momentul de inerție	$I = 77630000 \text{ mm}^4$
Limita de curgere	$f_{yc} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{uc} = 360 \text{ N/mm}^2$

#### HEA 240 S235

#### Placa de bază

Grosimea plăcii	$t_p = 30 \text{ mm}$
Lățimea plăcii	$a = 400 \text{ mm}$
Lungimea plăcii	$b = 400 \text{ mm}$
Grosimea stratului de poză	$t = 30 \text{ mm}$
Distanța până la marginea blocului	$a_r = 150 \text{ mm}$
Distanța până la marginea blocului	$b_r = 150 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yc} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{uc} = 360 \text{ N/mm}^2$

#### P30 x 400 x 400 S235

#### Blocul fundației

Lățimea blocului	$a_1 = 700 \text{ mm}$
Lungimea blocului	$b_1 = 700 \text{ mm}$
Înălțimea blocului	$h = 800 \text{ mm}$
Rezistența caracteristică	$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

#### 800 x 700 x 700 C30/37

#### Coeficienți de siguranță

$$\begin{aligned} \gamma_{M0} &= 1,15 \\ \gamma_c &= 1,25 \end{aligned}$$

#### 4.4.7.2 Calculul bazei stâlpului

Secțiunea efectivă a blocului fundației este dată de:

$$a_1 = \min \left( \begin{array}{l} a + 2 \cdot a_r = 400 + 2 \cdot 150 = 700 \text{ mm} \\ 5 \cdot a = 5 \cdot 400 = 2000 \text{ mm} \\ a + h = 400 + 800 = 1200 \text{ mm} \\ 5 \cdot b_1 = 5 \cdot 700 = 3500 \text{ mm} \end{array} \right) = 700 \text{ mm}$$

iar, din condiții de simetrie  $b_1 = a_1$ . Prin urmare, factorul de concentrare a eforturilor este:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{700 \cdot 700}{400 \cdot 400}} = 1,75$$

Rezistența la presiune a betonului de sub placa de bază se poate calcula astfel:

$$f_j = \frac{0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \cdot 1,75 \cdot 30}{1,5} = 23,45 \frac{N}{mm^2}$$

§6.2.5  
SR EN  
1993-1-8

O placă rigidă cu o lățime efectivă  $c$ , situată împrejurul secțiunii stâlpului, înlocuiește placa de bază flexibilă:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 23,45 \cdot 1,15}} = 51,1 \text{ mm}$$

§6.2.5  
SR EN  
1993-1-8

Aria efectivă (vezi Figura 4.44) este:

$$A_{eff} = (b_c + 2 \cdot c) \cdot (h_c + 2 \cdot c) - (b_c + 2 \cdot c - t_w - 2 \cdot c) \cdot (h_c - 2 \cdot t_f - 2 \cdot c)$$

$$A_{eff} = (230 + 2 \cdot 51,1) \cdot (240 + 2 \cdot 51,1) - (230 + 2 \cdot 51,1 - 7,5 - 2 \cdot 51,1) \cdot (240 - 2 \cdot 12 - 2 \cdot 51,1) = 77678 \text{ mm}^2$$

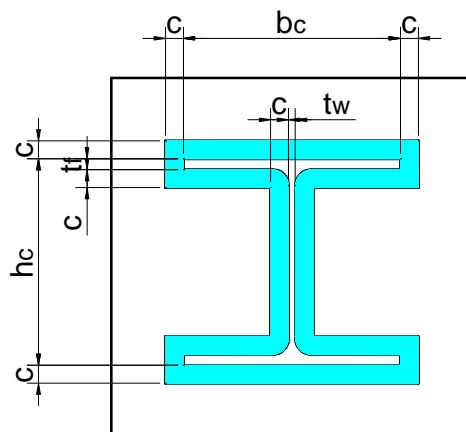


Figura 4.44: Aria efectivă

Rezistența de calcul a betonului de sub placa de bază este:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_j = 77678 \cdot 23,45 = 1821 \cdot 10^3 \text{ N}$$

§6.2.5  
SR EN  
1993-1-8

Buloanele de ancoraj sunt dimensionate din condiții constructive.

§6.2.6.12  
SR EN  
1993-1-8

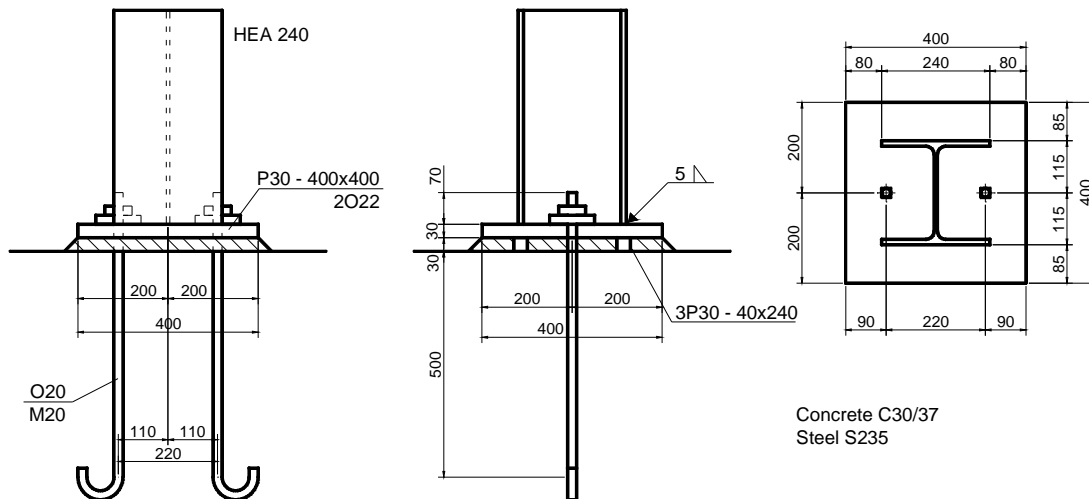


Figura 4.45: Ancorarea stâlpului în fundație

Notă:

- Rezistența de calcul a stâlpului este mai mică decât cea a bazei stâlpului:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 7680 \cdot 235 / 1,15 = 1569,4 \cdot 10^3 N$$

unde A este aria secțiunii transversale a stâlpului.

- Plăcuțe adiționale sunt folosite în timpul execuției pentru a asigura nivelul plăcii de bază (vezi Figura 4.45).

**CAPITOLUL V**  
**ÎMBINĂRI LA ELEMENTE CU SECȚIUNE TUBULARĂ**

## 4.5. INTRODUCERE

Tehnologia de îmbinare joacă un rol important asupra performanțelor structurilor cu secțiuni tubulare. Trebuie făcută o distincție între elementele cu secțiune tubulară circulară (CHS) și rectangulară (RHS), deoarece comportarea nodurilor, de exemplu comportarea locală a elementelor, este diferită. Un caz particular este reprezentat de nodurile grindă-stâlp ale clădirilor cu stâlpi din secțiuni tubulare umplute cu beton (CFHS). În acest caz se pot folosi atât îmbinări sudate cât și bulonate. Pentru noduri grindă-stâlp cu elemente cu secțiuni tubulare, cum ar fi grinzi și stâlpi din RHS sau stâlp din RHS și grindă din profile I sau H, este posibilă folosirea tehnologiei cu șuruburi oarbe. Acest capitol prezintă principalele aspecte ale comportării și calculului îmbinărilor de elemente cu secțiuni tubulare, solicitate preponderent static. Aceste îmbinări pot fi utilizate și la clădiri din zone seismice, atunci când acțiunile seismice nu sunt considerate generatoare de fenomene de oboseală. Norma europeană [EN 1993-1-8: 2006] Capitolul 7 furnizează reguli detaliate de aplicare pentru a determina rezistențele statice ale nodurilor uniplanare și multiplanare, la grinzi cu zăbrele realizate din elemente cu secțiuni tubulare circulare, pătrate sau rectangulare, și ale nodurilor uniplanare, la grinzi cu zăbrele compuse din combinații de secțiuni tubulare și secțiuni deschise.

Rezistențele statice ale nodurilor sunt exprimate ca rezistențe de calcul maxime axiale și/sau momente pentru zăbrele. Regulile de aplicare sunt valabile atât pentru secțiuni laminate tubulare din EN 10210, cât și pentru secțiuni tubulare formate la rece din EN 10219, dacă dimensiunile secțiunilor tubulare respectă cerințele necesare. Grosimea nominală de perete a secțiunii tubulare este limitată la minimum 2,5 mm și nu va fi mai mare decât 25 mm, dacă nu se iau măsuri speciale care să asigure că proprietățile grosimii materialului vor fi adecvate. Tipurile de noduri acoperite de standardul EN 1993-1-8 sunt indicate în Figura 5.18. regulile de aplicare date în paragraful 7.1.2 al EN 1993-1-8 pot fi utilizate numai în cazul în care toate condițiile date în paragraf sunt respectate.

Referințele bibliografice utilizate sunt:

- SR EN 1993-1-8:2006, Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor
- Leonardo Project: CESTRUCO, Questions and Answers to design of Structural Connections according to Eurocode 3, 2003
- CIDECT Report: 5BP-4/05, Development of a full consistent design approach for bolted and welded joints in building frames and trusses between steel members made of hollow and/or open sections, Application of the component method, Volume 1: Practical guidelines, 2005
- CIDECT, Design of Tubular Steel Structures, Lecture 12: Generalities on joint design, 2009
- CIDECT, Design of Tubular Steel Structures, Lecture 13: Welded connections, 2009
- CIDECT, Design of Tubular Steel Structures, Lecture 14: Bolted connections, 2009

## 4.6. CALCULUL ÎMBINĂRILOR CU SECȚIUNI TUBULARE (EN1993-1-8, 7.2)

### 4.6.1 Generalități

Eforturile de calcul axiale, atât zăbrele cât și în tălpi la starea limită ultimă, nu trebuie să depășească rezistențele de calcul ale elementelor componente determinate în conformitate cu EN1993-1-1.

Eforturile de calcul axiale în zăbrele, la starea limită ultimă trebuie de asemenea să nu depășească rezistența de calcul a nodului dată în 7.4, 7.5 sau 7.6.

Tensiunile normale  $\sigma_{0,Ed}$  sau  $\sigma_{p,Ed}$  din tălpa unui nod trebuie determinate din:

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{e,0}} \quad (5.1)$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{e,0}} \quad (5.2)$$

unde:

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cos \theta_i \quad (5.3)$$

### 4.6.2 Moduri de cedare ale îmbinărilor cu secțiuni tubulare

Rezistența de calcul a nodurilor realizate între elemente cu secțiune tubulară și a nodurilor realizate între elemente cu secțiune tubulară și deschisă, trebuie să se bazeze pe unul din următoarele moduri de cedare:

1. **Cedare la fața tălpii** (cedare plastică a feței tălpii) sau plastificarea tălpii (cedare plastică a secțiunii tălpii);
2. **Cedare a pereților laterali ai tălpii (sau cedarea inimii tălpii)** prin curgere, străpungere sau instabilitate (strivire sau voalare a pereților laterali ai tălpii) sub efectul de compresiune al zăbrelei;
3. **Cedare prin forfecarea tălpii;**
4. **Cedare la forfecare prin străpungere** a peretelui tălpii (inițierea fisurii conducând la desprinderea zăbrelei de talpă);
5. **Cedare a zăbrelei** cu o lățime efectivă redusă (fisuri în suduri sau în zăbrele);
6. **Cedare prin voalare locală** a unei zăbrele, sau a unei tălpi, realizate din elemente cu secțiuni tubulare, în nod.

Expresiile tipărite îngroșat în lista de mai sus reprezintă diferitele moduri de cedare ale nodurilor structurilor cu zăbrele pentru rezistențele de calcul date în Tabele 7.4 până la 7.6 din EN1993-1-8.

Figurile Figura 5.19, Figura 5.20 și Figura 5.21 ilustrează modurile de cedare (a)-(f) pentru noduri între zăbrele și elemente de talpă, cu secțiuni circulare tubulare CHS, rectangulare RHS, respectiv între zăbrele CHS sau RHS și secțiuni I sau H pentru tălpi.

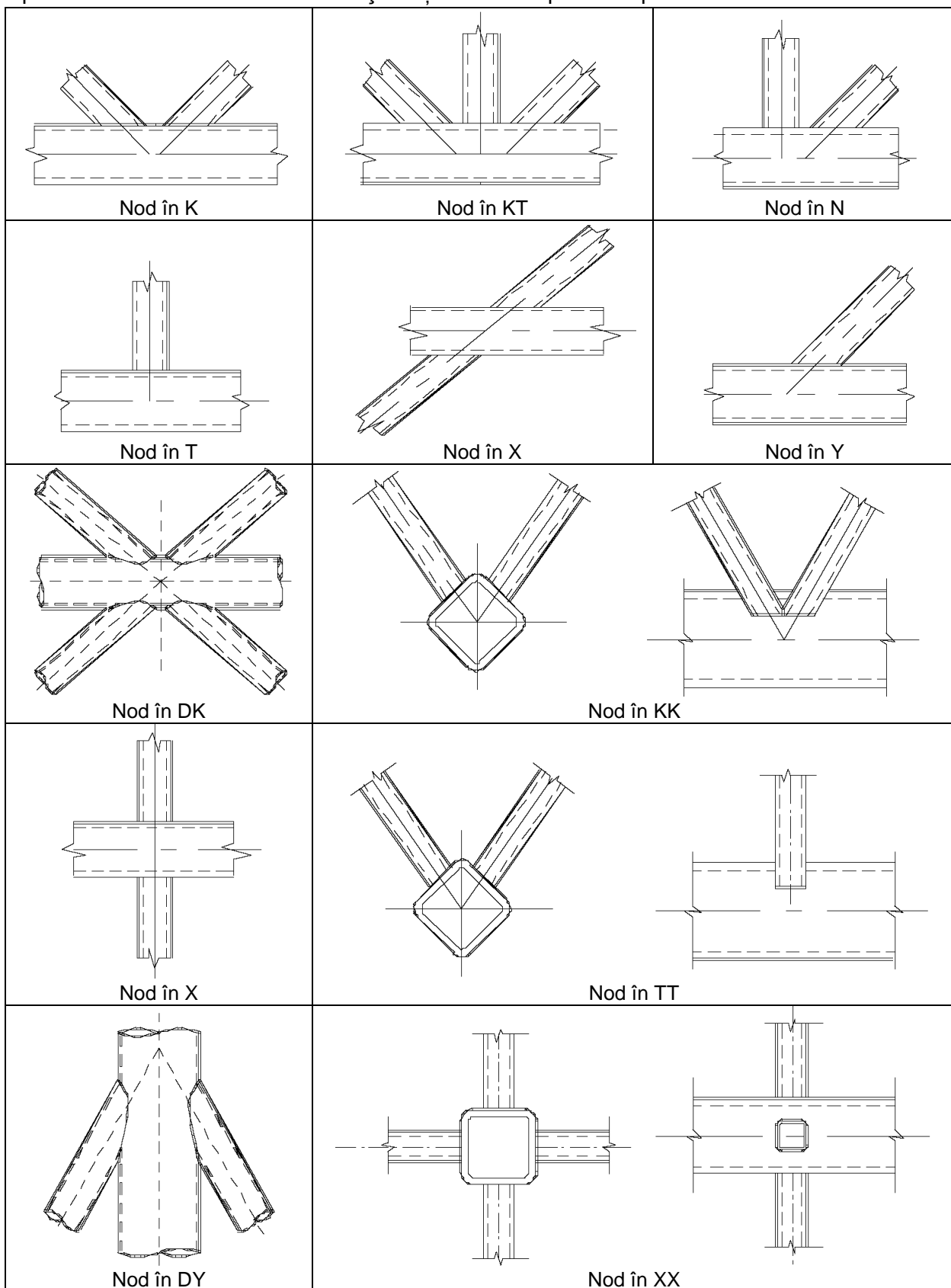


Figura 5.18: Configurații de noduri între elemente cu secțiuni tubulare ale grinzilor cu zăbrele

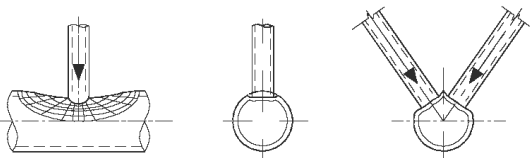
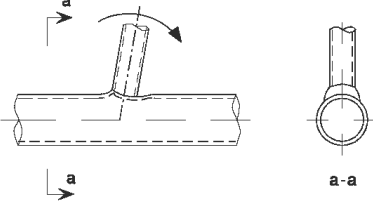
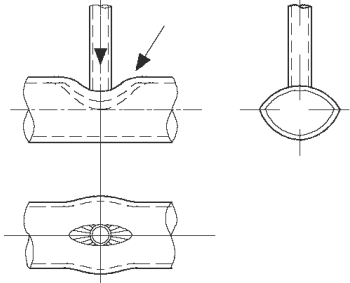
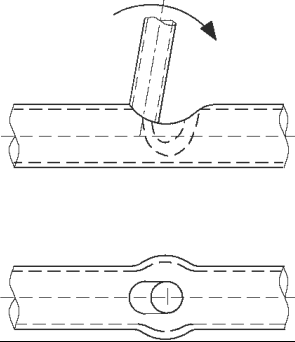
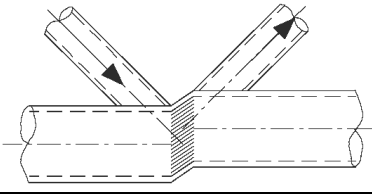
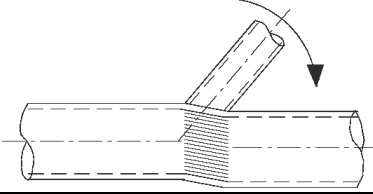
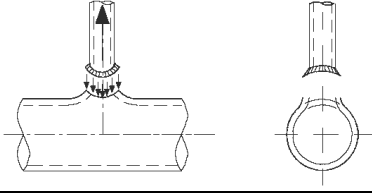
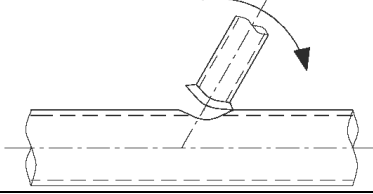
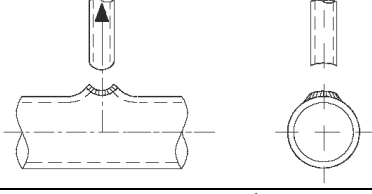
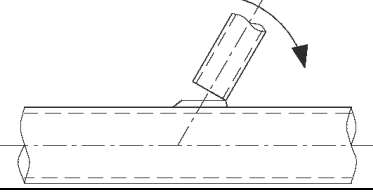
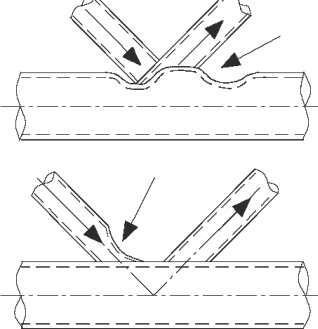
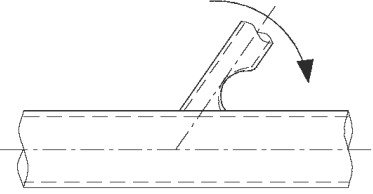
Mod de cedare	Forță axială	Moment încovoietor
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figura 5.19: Moduri de cedare la nodurile elementelor cu secțiuni circulare tubulare (CHS)

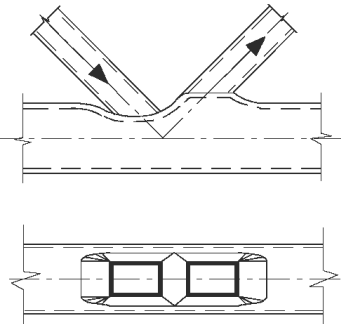
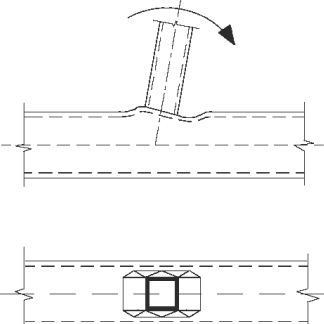
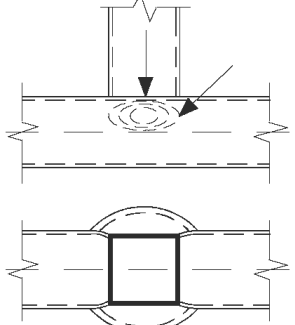
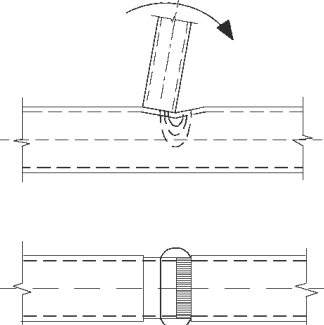
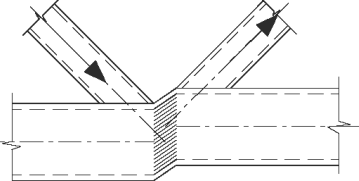
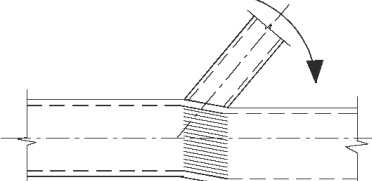
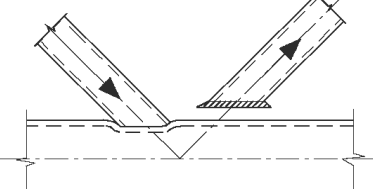
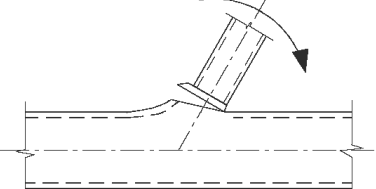
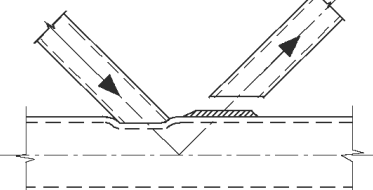
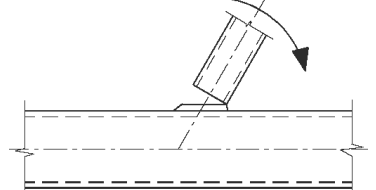
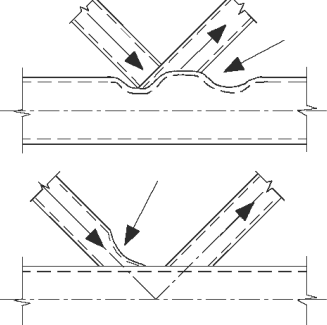
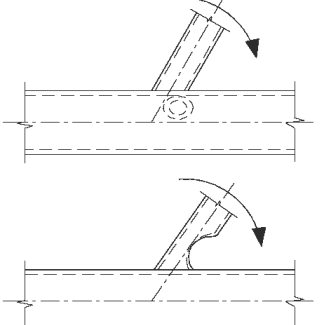
Mod de cedare	Forță axială	Moment încovoiator
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figura 5.20: Moduri de cedare la nodurile elementelor cu secțiuni rectangulare tubulare (RHS)

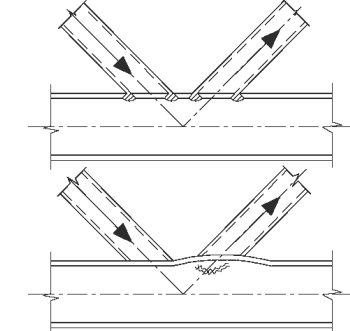
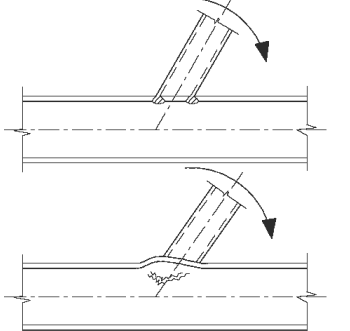
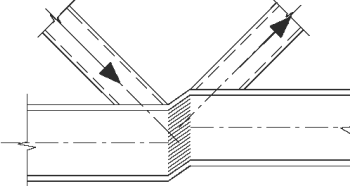
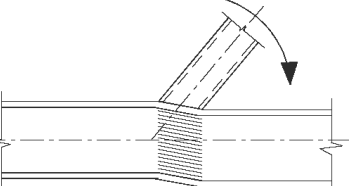
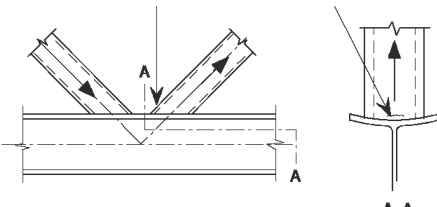
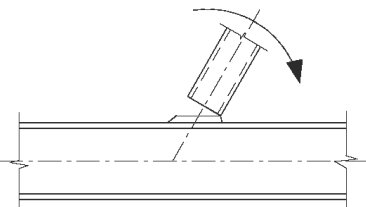
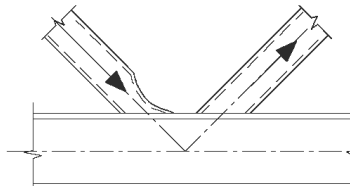
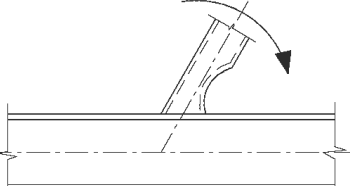
Mod de cedare	Forță axială	Moment încovoiator
a	-	-
b		
c		
d	-	-
e		
f		

Figura 5.21: Moduri de cedare la nodurile elementelor realizate între secțiuni circulare sau rectangulare tubulare (CHS sau RHS) ale zăbrelelor și secțiuni I sau H ale tălpilor

## 4.7. ÎMBINĂRI SUDATE (CIDECT L13, 2009)

Chiar dacă îmbinările cu șuruburi la secțiuni tubulare sunt utilizate pentru asamblarea elementelor prefabricate sau a structurilor spațiale, cea mai utilizată metodă pentru a asambla elemente tubulare este sudarea, mai ales pentru grinzi cu zăbrele (Figura 5.22: Diferite tipuri de grinzi cu zăbrele).

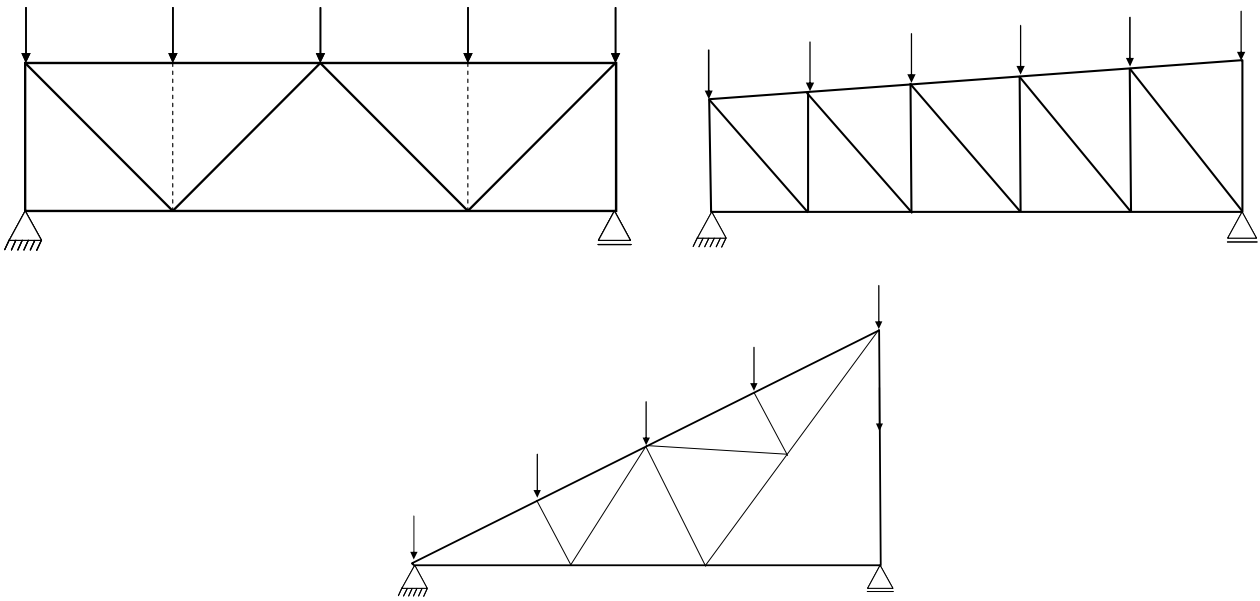


Figura 5.22: Diferite tipuri de grinzi cu zăbrele

### 4.7.1 Îmbinări pentru elemente cu secțiune tubulară circulară (CHS)

Secțiunile circulare pot fi îmbinate în moduri diferite:

- Cu conectori speciali prefabricați (de ex. Mero);
- Cu piese de capăt care permit îmbinări cu șuruburi;
- Sudate de o placă;
- Sudate direct de elementul continuu (talpă).

Cea mai simplă soluție este să se taie corespunzător capătul elementelor care trebuie îmbinate cu talpa și să se sudeze elementele direct între ele.

#### 4.7.1.1 Modele analitice pentru îmbinări cu secțiuni CHS solicitate axial

Pentru determinarea parametrilor care influențează comportarea nodurilor, se folosesc trei modele analitice pentru noduri cu secțiuni tubulare realizate din CHS:

- Model circular;
- Model la forfecare prin străpungere;
- Model de forfecare a tălpii.

### 5.3.1.1.1 Model circular

Nodul este modelat de un tub de lungime efectivă  $B_e$ , având o geometrie și caracteristici mecanice identice cu talpa CHS (Figura 5.23: Model circular pentru solicitări axiale).

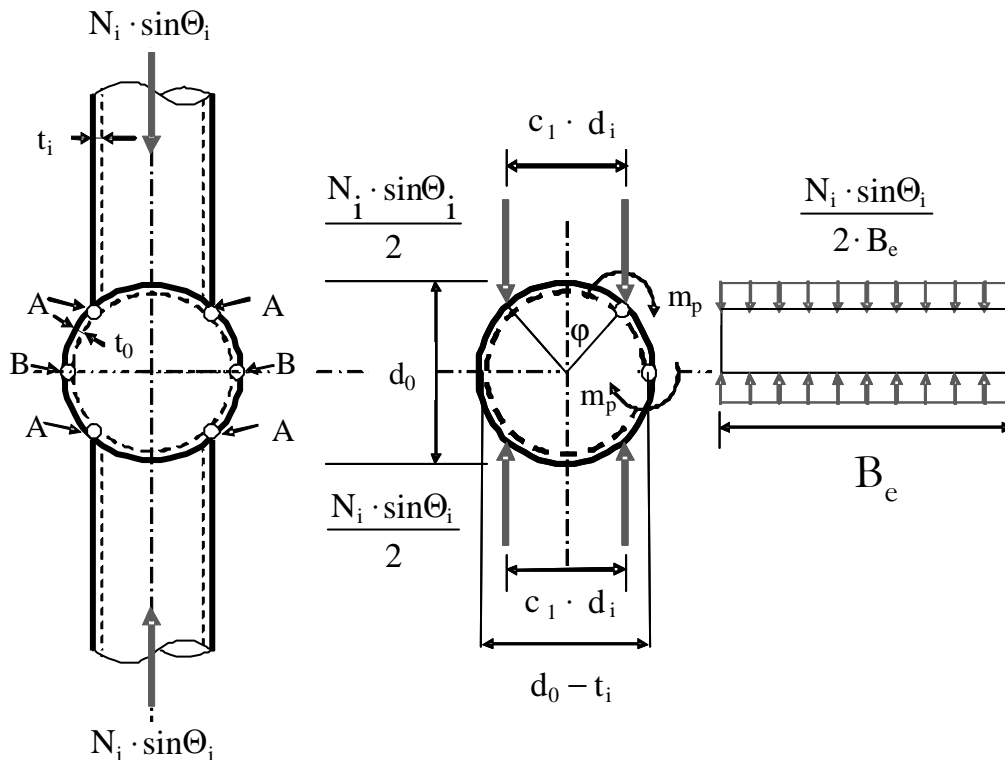


Figura 5.23: Model circular pentru solicitări axiale

Efortul  $N_i$  din zăbreă poate fi împărțit în două încărcări de  $0,5 N_i \sin \theta_i$  perpendicular pe talpă pe o distanță  $(d_i - t) = c_1 d_i$  pe generatoare. Aceste încărcări vor fi transmise tălpii pe o lungime efectivă  $B_e$ . Încărcarea  $0,5 N_i \sin \theta_i$  este acum considerată ca o încărcare uniform distribuită liniară pe lungimea efectivă  $B_e$ . La cedare, capacitatea plastică  $m_p$  va fi atinsă în punctele A și B.

Neglijând influența eforturilor axiale și de forfecare asupra momentului plastic  $m_p$  pe unitate de lungime,  $m_p$  rezultă:

$$m_p = 0,25 t_0^2 f_{y0} \quad (5.4)$$

Cu  $d_0 - t_0 \approx d_0$  (neglijând  $t$ ).

$$2 m_p B_e = 0,5 N_i \sin \theta_i (0,5 d_0 - 0,5 c_1 d_i)$$

$$N_i = \frac{2 B_e}{d_0} \cdot \frac{t_0^2 f_{y0}}{1 - c_1 \beta \sin \theta_i} \quad (5.5)$$

Lungimea efectivă  $B_e$  a fost determinată experimental și depinde de raportul  $\beta$ . O valoare medie este:  $B_e = 2,5 d_0 - 3,0 d_0$ .

Acest model furnizează rezultate bune pentru noduri T, Y și X. Pentru noduri mai complexe cum ar fi K și N, trebuie luați în considerare alți parametri cum ar fi distanța dintre diagonale și eforturile axiale.

### 5.3.1.1.2 Model la forfecare prin străpungere

Pentru cedarea prin forfecare cu străpungere, zăbreaua trage în afară secțiunea tălpii. Cedarea este produsă de componenta din zăbrea perpendiculară pe secțiunea tălpii  $N_i \sin \theta_i$ .

Rezistența la forfecare prin străpungere pentru îmbinări cu un unghi de zăbrea de  $\theta_i = 90^\circ$  poate fi calculat folosind aria efectivă de forfecare prin străpungere  $\pi d_1 t_0$  (simplificată ca perimetrul zăbrelei multiplicat cu grosimea tălpii) și rezistența la forfecare prin străpungere  $f_y / \sqrt{3}$ . Astfel:

$$N_i = 0,58 \pi d_i t_0 f_{y0} \quad (5.6)$$

Pentru unghiuri de zăbrele diferite de  $\theta_i = 90^\circ$ , perimetrul îmbinării poate fi idealizat cu o elipsă.

Deoarece perimetrul unei elipse nu poate fi calculat analitic, raportul dintre perimetrul elipsei (pentru  $\theta_i < 90^\circ$ ) și cerc (pentru  $\theta_i = 90^\circ$ ) este dat simplificat de  $(1 + \sin \theta_i) / (2 \sin \theta_i)$ . Astfel, criteriul de forfecare prin străpungere este:

$$N_i = 0,58 \pi d_i t_0 f_{y0} \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \cdot \sin^2 \theta_i} \quad (5.7)$$

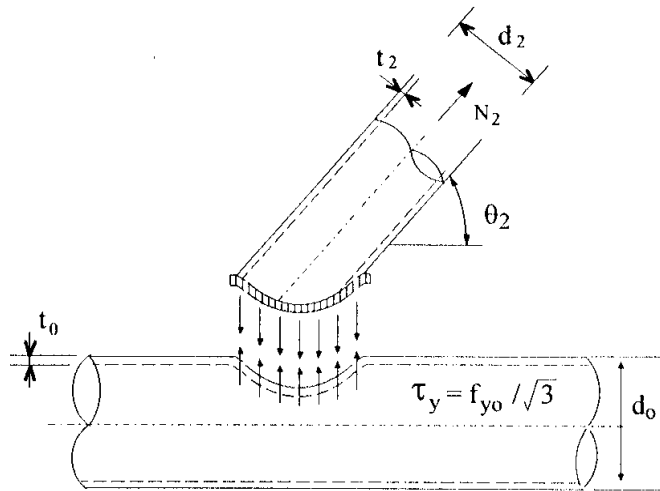


Figura 5.24: Model la forfecare prin străpungere

### 5.3.1.1.3 Model de forfecare al tălpii

La nodurile în T, cedarea este guvernată de o combinație de cedare locală a secțiunii transversale datorită eforturilor din zăbrea perpendiculară pe talpă și cedarea tălpii datorită forfecării, încovoierii și dacă e prezentă, încărcarea axială a tălpii.

Nodurile în K cu un raport mare  $\beta$  pot ceda prin forfecare în porțiunea liberă dintre zăbrele. Modul de cedare este o plasticizare a secțiunii transversale a tălpii datorită forfecării, forței axiale și încovoierii dacă este prezentă.

Pentru tălpi compacte, cu o analiză plastică se poate arăta că capacitatea tălpii la forfecare este dată de:

$$V_{pl} = A_v \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} = \frac{2}{\pi} A_0 \cdot 0,58 f_{y0} \quad (5.8)$$

Capacitatea axială a secțiunii tălpii este dată de:

$$N_{pl} = A_0 f_{y0} = \pi (d_0 - t_0) t_0 f_{y0} \quad (5.9)$$

Dacă momentele încovoietoare sunt mici, trebuie considerată doar interacțiunea dintre forțele axiale și de forfecare:

$$N_{0,gap} \leq A_0 \cdot f_{y0} - A_0 \cdot f_{y0} \sqrt{1 - \left( \frac{N_i \cdot \sin \Theta_i}{0,58 \cdot f_{y0} \cdot A_v} \right)^2} \quad (5.10)$$

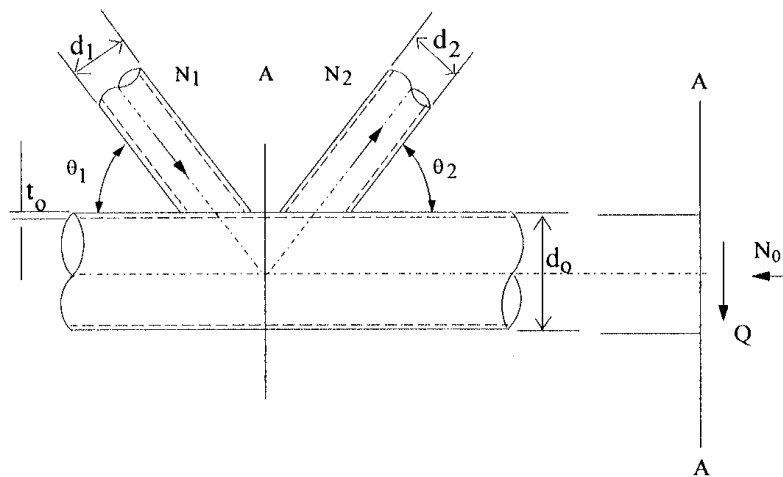


Figura 5.25: Model de forfecare a tălpii

#### 4.7.1.2 Evaluarea rezistențelor pentru îmbinări cu secțiuni CHS

Cu condiția ca geometria nodului să fie în conformitate cu cea dată în Tabel 5.1, rezistența de calcul a nodurilor realizate prin sudură între elemente cu secțiuni circulare tubulare poate fi determinată folosind 7.4.2 (Noduri plane) și 7.4.3 (Noduri spațiale) din EN1993-1-8.

În cazul nodurilor aflate în domeniul de validitate dat în Tabel 5.1, doar cedarea feței tălpii și forfecarea prin străpungere trebuie considerate. Rezistența de calcul a unei îmbinări va fi valoarea minimă pentru aceste două criterii.

Tabel 5.1 Domeniu de validitate pentru noduri realizate prin sudură între elemente cu secțiuni circulare tubulare (CHS)

0,2	≤	$d_i/d_0$	≤	1,0	
Clasa 2 și		10	≤	$d_0/t_0$	≤ 50
dar		10	≤	$d_0/t_0$	≤ 40
					în general pentru îmbinări în X
Clasa 2 și		10	≤	$d_i/t_i$	≤ 50
$\lambda_{ov}$	≥	25%			
$g$	≥	$t_1 + t_2$			

#### 4.7.2 Îmbinări pentru elemente cu secțiune tubulară rectangulară (RHS)

Cea mai economică și comună cale pentru a îmbina secțiuni tubulare rectangulare este prin îmbinare directă fără nici o placă sau guseu; această soluție furnizează de asemenea cea mai eficientă cale pentru protecție și mentenanță.

Îmbinările dintre secțiuni tubulare rectangulare pot fi ușor realizate, deoarece elementele îmbinate trebuie prevăzute doar cu tăieturi de capăt drepte.

Îmbinări sudate RHS:

- Noduri T;
- Noduri Y;
- Noduri X;
- Nod K (cu spațiu și suprapunere);
- Nod N (cu spațiu și suprapunere);
- Nod KT (cu spațiu și suprapunere).

##### 4.7.2.1 Modele analitice pentru îmbinări cu secțiuni RHS solicitate axial

Pentru determinarea parametrilor care influențează comportarea nodurilor, se folosesc cinci modele analitice pentru noduri cu secțiuni tubulare realizate din RHS:

- Modelul liniilor de plasticizare;
- Modelul de forfecare prin străpungere;
- Modelul lărimii efective a zăbrelei;
- Modelul voalării peretelui de talpă;
- Modelul de forfecare al tălpii.

##### 5.3.2.1.1 Modelul liniilor de plasticizare

Principiul metodei liniilor de plasticizare este bazat pe egalitatea dintre energia externă a efortului  $N_1$  pe o deplasare  $d$  și energia internă prin sistemul de articulații plastice cu lungimi de linii plastice  $l_i$  și unghiuri de rotire  $\varphi_i$ .

$$N_1 \sin \theta_i \delta = \sum l_i \varphi_i m_p \quad (5.11)$$

$$m_p = 0,25 t_0^2 f_{y0} \quad (\text{pe unitate de lungime})$$

Egalând suma cu lucrul mecanic extern se obține:

$$N_1 \sin \theta_i = \frac{2 f_{y0} t_0^2}{1 - \beta} \left( \tan \alpha + \frac{1 - \beta}{\tan \alpha} + \frac{\eta}{\sin \theta_i} \right) \quad (5.12)$$

Acesta e un minim pentru:

$$\frac{dN_1}{d\alpha} = 0$$

$$\tan \alpha = \sqrt{1 - \beta}$$

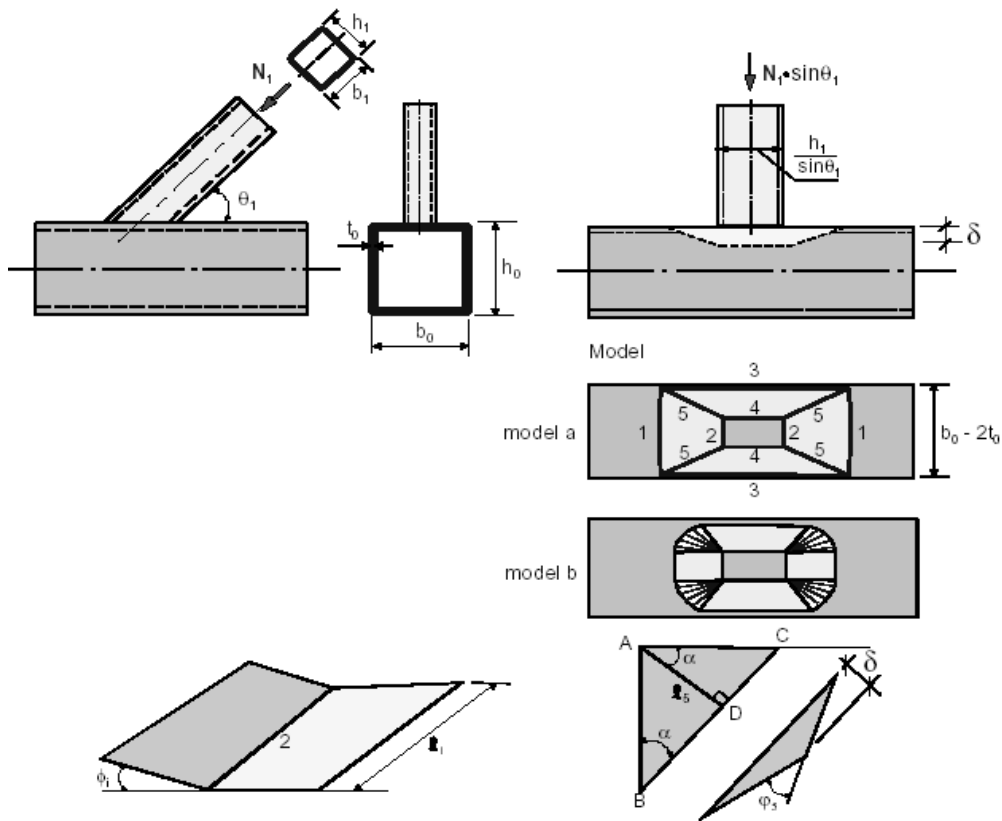
Substituția oferă capacitatea (noduri T, Y și X):

$$N_1 = \frac{f_{y0} t_0^2}{1-\beta} \left( \frac{2 \cdot \eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) \frac{1}{\sin \theta_1} \quad (5.13)$$

La acest model, unele simplificări au fost încorporate, de ex. grosimea secțiunii a fost neglijată ( $b - 2 t b$ ).

Același lucru se aplică și mărimii sudurilor, care nu au fost încorporate.

Pentru nodurile K transferul încărcării este mai complicat.



The total energy dissipated in the yield lines 1 to 5 is as follows:

$$\begin{aligned} \text{yield lines 1} &: 2b_0 \frac{2\delta}{(b_0 - b_1) \cot \alpha} \cdot m_p = \frac{4 \tan \alpha}{1-\beta} \cdot \delta \cdot m_p \\ \text{yield lines 2} &: 2b_1 \frac{2\delta}{(b_0 - b_1) \cot \alpha} \cdot m_p = \frac{4 \tan \alpha}{1-\beta} \cdot \delta \cdot m_p \\ \text{yield lines 3} &: 2 \left( \frac{h_1}{\sin \theta_1} + 2 \frac{b_0 - b_1}{2} \cot \alpha \right) \frac{2\delta}{b_0 - b_1} \cdot m_p = \left( \frac{4\eta}{(1-\beta) \sin \theta_1} + 4 \cot \alpha \right) \cdot \delta \cdot m_p \\ \text{yield lines 4} &: 2 \frac{h_1}{\sin \theta_1} \cdot \frac{2\delta}{b_0 - b_1} \cdot m_p = \frac{4\eta}{(1-\beta) \sin \theta_1} \cdot \delta \cdot m_p \\ \text{yield lines 5} &: 4 \frac{\delta}{l_5} \left( \frac{\delta}{l_5} \tan \alpha + \frac{\delta}{l_5} \cot \alpha \right) \cdot m_p = 4 (\tan \alpha + \cot \alpha) \cdot \delta \cdot m_p \\ \text{with } m_p &= \frac{f_{y0} \cdot t_0^2}{4} \\ \text{Total energy } E_d &= \frac{8 \cdot m_p \cdot \delta}{(1-\beta)} \left\{ \tan \alpha + \frac{(1-\beta)}{\tan \alpha} + \frac{\eta}{\sin \theta_1} \right\} \end{aligned}$$

Figura 5.26: Model al liniilor de plasticizare pentru noduri T, Y și X

### 5.3.2.1.2 Modelul de forfecare prin străpungere

Forfecarea prin străpungere este produsă de componenta perpendiculară pe fața tălpii a efortului din zăbreă, astfel criteriul de forfecare prin străpungere este dat de:

$$N_1 = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \left( \frac{2 \cdot h_1}{\sin \theta_1} + 2b_{ep} \right) \frac{1}{\sin \theta_1} \quad (5.14)$$

Pentru noduri în K cu spațiu între diagonale, mărimea spațiului este extrem de importantă pentru lungimea forfecării prin străpungere efectivă.

Dacă mărimea spațiului este aproape de zero și valoarea lui  $\beta$  este mică către mediu, porțiunea cu spațiu este relativ prea rigidizată în comparație cu celelalte părți perimetrice.

Lungimea efectivă redusă pentru forfecare cu străpungere.

$$N_2 \sin \theta_2 = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \left( b_2 + 2c \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right) \quad (5.15)$$

Pentru un spațiu mare între diagonale, apare o situație similară ca și pentru nodurile T, Y și X, astfel:

$$N_2 \sin \theta_2 = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \left( \frac{2 h_2}{\sin \theta_2} + 2 b_{ep} \right) \quad (5.16)$$

Pentru un spațiu unde rigiditatea este aproximativ egală cu cea de partea zăbrelelor, criteriul de forfecare prin străpungere devine:

$$N_2 \sin \theta_2 = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \left( \frac{2 h_2}{\sin \theta_2} + b_2 + b_{ep} \right) \quad (5.17)$$

Neglijând grosimea și dimensiunile sudurilor, spațiul trebuie să satisfacă:

$$0.5 g \approx 0.5(b_0 - b_i) \text{ sau } g/b_0 \approx 1 - \beta$$

Datorită capacității de deformare a materialului, care a fost dovedit experimental, limita poate fi extinsă la:

$$0.5(1 - \beta) \leq g/b_0 \leq 1.5(1 - \beta) \quad (5.18)$$

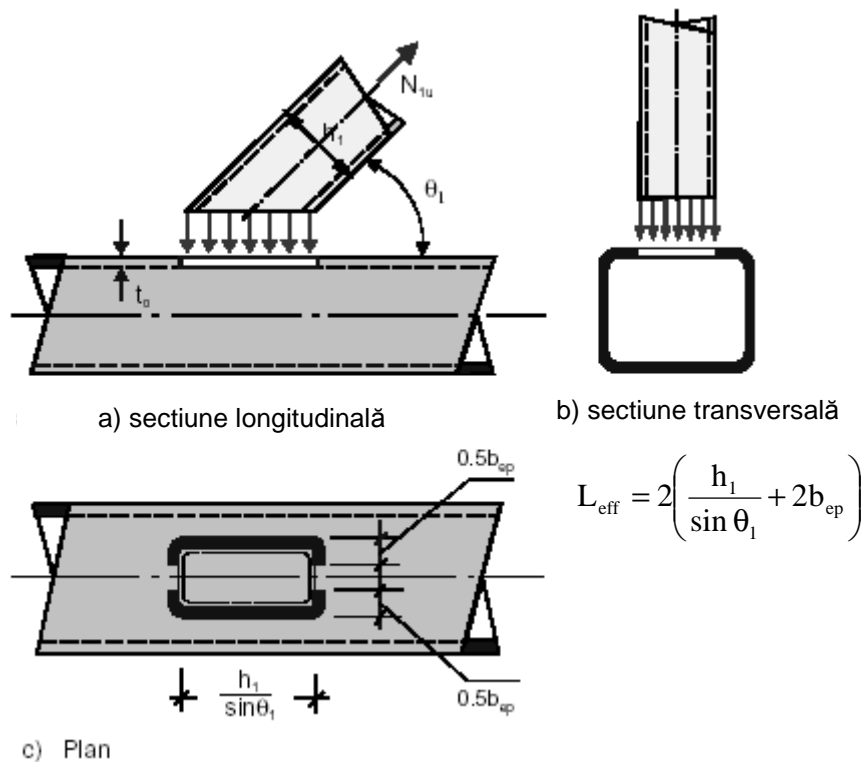


Figura 5.27: Model de forfecare prin străpungere a tălpii pentru noduri T, Y și X

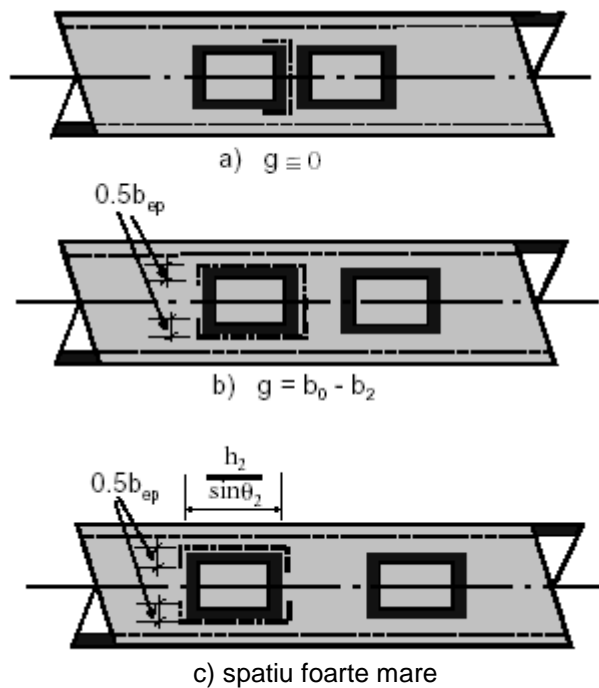


Figura 5.28: Model de forfecare prin străpungere a tălpii pentru nod K cu spațiu între zăbrele

### 5.3.2.1.3 Modelul lățimii efective a zăbrelei

Pentru noduri T, Y și X, criteriul lățimii efective poate fi dat de (Figura 5.29):

$$N_1 = f_{y1} t_1 (2 h_1 + 2 b_e - 4 t_1) \quad (5.19)$$

Pentru noduri în K având un perete transversal efectiv întreg a zăbrelei la un spațiu (Figura 5.30), de exemplu:

$$N_2 = f_{y2} t_2 (2 h_2 + b_2 + b_e - 4 t_2) \quad (5.20)$$

Noduri T, Y și X cu un raport mare  $\beta$ , cedează în general prin plasticizarea sau voalarea peretelui tălpii.

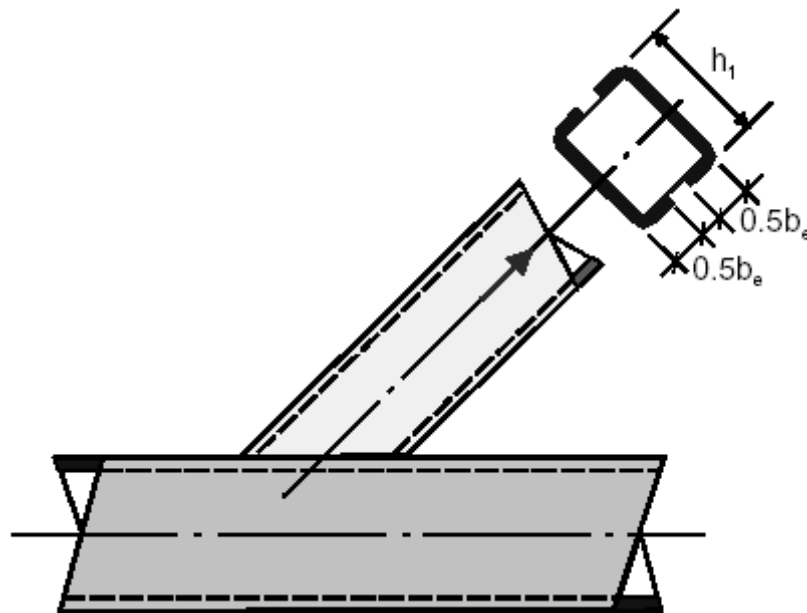


Figura 5.29: Modelul lății efective a zăbrelei pentru noduri T, Y și X

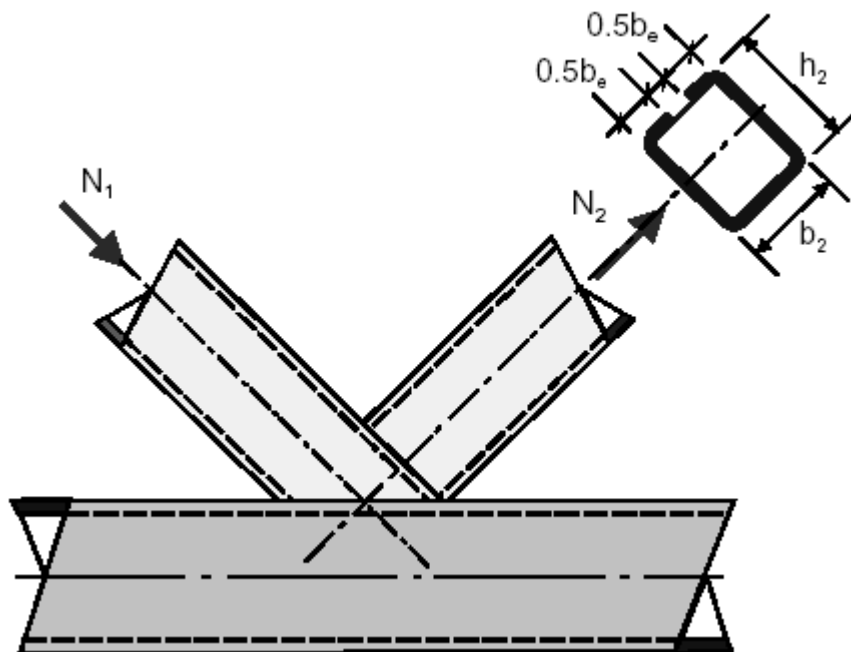


Figura 5.30: Modelul lății efective a zăbrelei pentru noduri cu zăbrele suprapuse

#### 5.3.2.1.4 Modelul voalării peretelui de talpă

Nodurile T, Y și X cu un raport  $\beta$  ridicat, cedează în general prin plasticizarea sau voalarea pereților tălpii, după cum se arată în Figura 5.31. Modelul utilizat este similar cu acela utilizat

pentru îmbinări grindă-stâlp între secțiuni I. Pentru noduri cu  $\beta = 1.0$  capacitatea poate fi ușor determinată cu:

$$N_1 = 2 f_{y0} t_0 \left( \frac{h_1}{\sin \theta_1} + 5 t_0 \right) \frac{1}{\sin \theta_1} \quad (5.21)$$

Pentru pereți zvelți efortul de curgere  $f_{y0}$  este înlocuit de un efort de voalare  $f_k$  care depinde de zveltețea inimii tălpii  $h_0 / t_0$ .

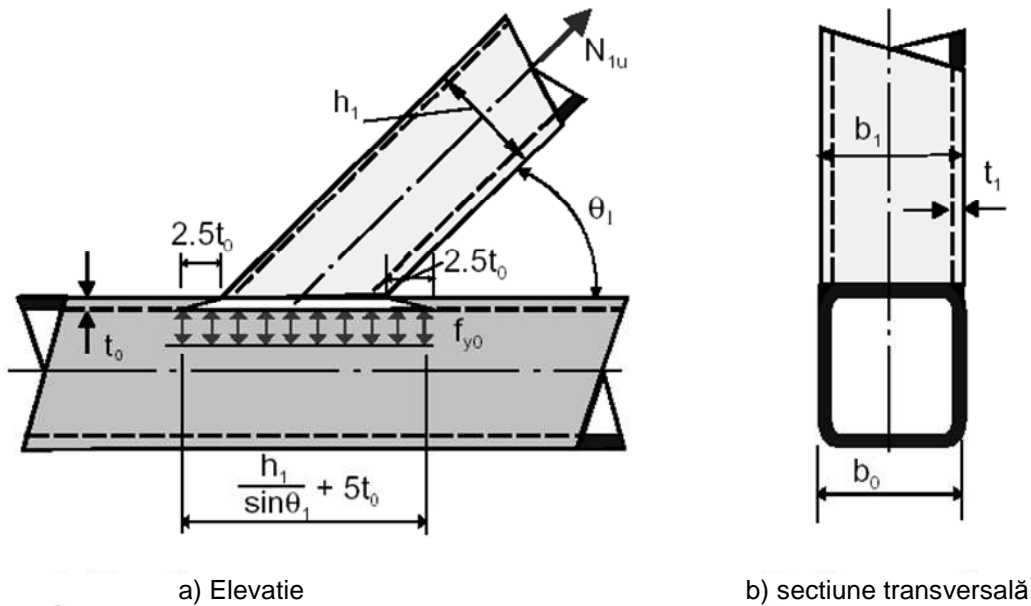


Figura 5.31: Modelul voalării peretelui de talpă

### 5.3.2.1.5 Modelul de forfecare a tăpii

Acest model este bazat pe formulele de bază pentru calculul plastic.

Efortul de forfecare plastic este dat de:

$$V_{pl} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} A_v \quad (5.22)$$

cu  $A_v = (2 h_0 + \alpha b_0) t_0$

Bazat pe criteriul Huber Hencky-Von Mises, următoarea formulă de interacțiune poate fi determinată:

$$N_{0,gap} \leq (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \quad (5.23)$$

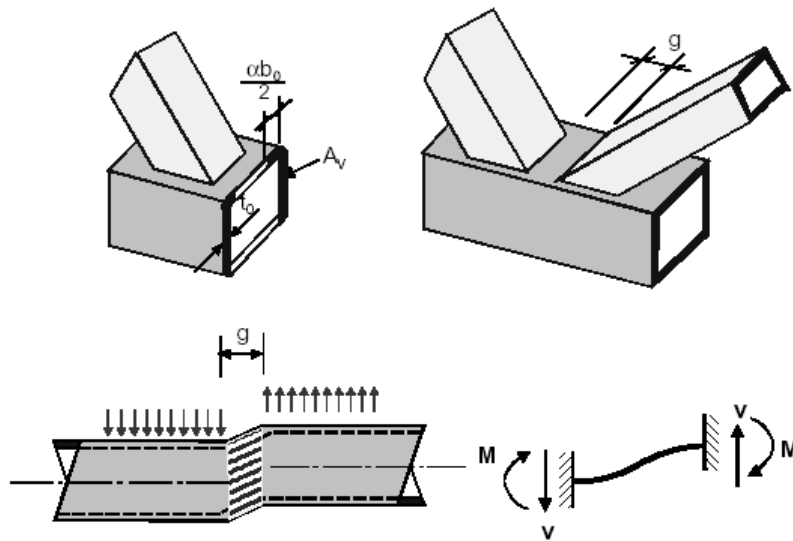


Figura 5.32: Modelul de forfecare a tălpii

#### 4.7.2.2 Evaluarea rezistențelor pentru îmbinări cu secțiuni RHS

Respectând condiția ca geometria nodului să fie în limitele prezentate în Tabel 5.2 Domeniu de validitate pentru noduri realizate prin sudură între elemente cu secțiuni tubulare CHS, efortul capabil al nodurilor sudate între diagonale cu secțiune tubulară și tălpi realizate din țevi pătrate sau rectangulare se determină conform paragrafelor 7.5.2 (Noduri plane) și 7.5.3 (Noduri spațiale) din EN1993-1-8.

Pentru nodurile care se încadrează în limitele specificate în Tabel 5.1, trebuie considerate doar criteriile de proiectate cuprinse în tabelul corespunzător. Efortul capabil al unei îmbinări este considerat valoarea minimă a tuturor criteriilor aplicabile.

Tabel 5.2 Domeniu de validitate pentru noduri realizate prin sudură între elemente cu secțiuni tubulare CHS sau RHS și tălpi cu secțiuni RHS

Tipul nodului	Parametrii nodului [ $i = 1$ sau $2$ , $j =$ diagonala pe care are loc suprapunerea ]					
	$b_i/b_0$ sau $d_i/b_0$	$b_i/t_i$ și $h_i/t_i$ sau $d_i/t_i$		$h_0/b_0$ și $h_i/b_i$	$b_0/t_0$ și $h_0/t_0$	Spațiu liber sau suprapunere $b_i/b_j$
		Compresiune	Întindere			
T, Y sau X	$b_i/b_0 \geq 0,25$	$b_i/t_i \leq 35$ și $h_i/t_i \leq 35$	$b_i/t_i \leq 35$ și $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ dar $\leq 2,0$	$\leq 35$ și Clasa 2	–
Spațiu liber în K Spațiu liber în N	$b_i/b_0 \geq 0,35$ și $\geq 0,1 + 0,01 b_0/t_0$	și Clasă 2			$\leq 35$ și Clasa 2	$g/b_0 \geq 0,5(1 - \beta)$ dar $\leq 1,5(1 - \beta)^{1)}$ și ca valoare minimă $g \geq t_1 + t_2$

Suprapunere în K	$b_1/b_0 \geq 0,25$	Clasă 1			Clasa 2	$\lambda_{ov} \geq 25\%$ dar $\lambda_{ov} \leq 100\%$ <sup>2)</sup>
Suprapunere în N						și $b_1/b_j \geq 0,75$
Diagonală cu secțiune circulară	$d_i/b_0 \geq 0,4$ dar $\leq 0,8$	Clasă 1	$d_i/t_i \leq 50$	Precum în cazul precedent dar folosind $d_i$ în loc de $b_i$ și $d_j$ în loc de $b_j$ .		
<sup>1)</sup> Dacă $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$ și $g/b_0 > t_1 + t_2$ , nodul va fi luat în considerare ca două noduri separate în T sau Y. <sup>2)</sup> Este posibilă creșterea suprapunerii pentru a permite sudarea diagonalei suprapuse de talpa.						

#### 4.7.3 Îmbinări pentru elemente cu secțiune tubulară (CHS sau RHS) și deschise

##### 4.7.3.1 Noduri sudate între diagonale cu secțiune CHS sau RHS și tălpi cu secțiune I sau H

Cu condiția ca geometria nodului să fie în domeniul de validitate specificat în Tabel 5.3, efortul capabil al nodului se va determina utilizând relațiile corespunzătoare din Tabelul 7.21 sau 7.22 din EN1993-1-8, paragraf 7.6.

Tabel 5.3 Domeniu de validitate pentru noduri sudate între diagonale cu secțiune CHS sau RHS și tălpi cu secțiune I sau H

Tipul nodului	Parametru nodului [ $i = 1$ sau $2$ , $j =$ diagonala pe care are loc suprapunerea ]					
	$d_w/t_w$	$b_i/t_i$ și $h_i/t_i$ or $d_i/t_i$		$h_i/b_i$	$b_0/t_i$	$b_i/b_j$
		Compresiune	Întindere			
X	Clasa 1 și $d_w \leq 400$ mm	Clasa 1 și	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\geq 0,5$ dar $\leq 2,0$	Clasa 2	–
T sau Y	Clasa 2 și $d_w \leq 400$ mm	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$	1,0		–
Nod în K cu spațiu liber		$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$			–
Nod în N cu spațiu liber		$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$				
Nod în K cu suprapunere				$\geq 0,5$ dar $\leq 2,0$	$\geq 0,75$	
Nod în N cu suprapunere						

#### 4.7.3.2 Noduri sudate între diagonale cu secțiune CHS sau RHS și tălpi cu secțiune U

Cu condiția ca geometria nodului să fie în domeniul de validitate specificat în Tabel 5.4, efortul capabil al nodurilor dintre diagonalele cu secțiune tubulară și tălpi cu secțiune U se va determina conform Tabelului 7.24 din EN1993-1-8, paragraf 7.7.

Tabel 5.4 Domeniu de validitate pentru noduri sudate între diagonale cu secțiune CHS sau RHS și tălpi cu secțiune U

Tipul nodului	Parametrul nodului [ $i = 1$ sau $2$ , $j =$ diagonala pe care are loc suprapunerea ]					
	$b_1/b_0$	$b_i/t_i$ și $h_i/t_i$ or $d_i/t_i$		$h_i/b_1$	$b_0/t_0$	Spațiu liber sau suprapunere $b_i/b_j$
		Compresiune	Întindere			
Nod în K cu spațiu liber	$\geq 0,4$	Clasa 1		$\geq 0,5$ dar $\leq 2,0$	Clasa 2	$0,5(1-\beta^*) \leq g/b_0^* \leq 1,5(1-\beta^*)$ <sup>1)</sup>
Nod în N cu spațiu liber	și $b_0 \leq 400$ mm	și $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$			
Nod în K cu suprapunere	$\geq 0,25$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$			$25\% \leq \lambda_{ov} < 100\%$
Nod în N cu suprapunere	și $b_0 \leq 400$ mm	$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$b_i/b_j \geq 0,75$		

$\beta^* = b_1/b_0^*$   
 $b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$   
<sup>1)</sup> Această condiție se aplică doar când  $\beta \leq 0,85$ .

## 4.8. ÎMBINĂRI CU ȘURUBURI (CIDECT L14, 2009)

### 4.8.1 Introducere în calculul îmbinărilor cu șuruburi

Îmbinând două secțiuni tubulare sau o secțiune tubulară și un profil deschis sau o placă direct pe fiecare parte cu șuruburi poate fi dificil, doar dacă îmbinarea nu e situată aproape de capătul deschis al unui element cu secțiune tubulară. Altfel este necesar să se ia măsuri, cum ar fi tăierea unei găuri de acces a mâinii în elementul structural cu secțiune tubulară, care să permită strângerea șuruburilor din interior sau folosind șuruburi perforante sau oarbe. Motivul pentru această situație specială este evident, deoarece secțiunile tubulare oferă acces doar din exterior, orice acces din interior fiind restricționat.

Îmbinările cu șuruburi rămân cu toate acestea de dorit în multe cazuri, în ciuda unicei condiții de ne-accesibilitate în interiorul secțiunii tubulare. Totuși, în aceste cazuri, secțiunile tubulare pot fi îmbinate indirect utilizând talpa sau plăci sudate pe subansamble, metodele descrise mai sus pot fi utilizate, ceea ce face posibil să se efectueze astfel de îmbinări cu șuruburi într-o manieră simplă și economică. Principalele metode de îmbinare cu șuruburi sunt descrise mai jos.

Îmbinările cu șuruburi sunt în general demontabile. Ele sunt preferate pentru îmbinările pe șantier pentru a evita sudurile pe șantier, care pot produce erori de sudură datorită condițiilor ambientale. Sudurile de șantier sunt de asemenea mai scumpe decât îmbinările cu șuruburi. Totuși, îmbinările cu șuruburi nu sunt îmbinări speciale cu șuruburi între secțiuni tubulare, deoarece secțiunile tubulare nu sunt îmbinate direct de șuruburi. De fapt, aceste îmbinări sunt realizate folosind elemente intermediare din oțel pentru îmbinare, care sunt sudate de elementele tubulare, îmbinările cu șuruburi fiind proiectate ca unele normale conform EN1993-1-8, Capitol 3. Pentru acest motiv, calculul îmbinărilor cu secțiuni tubulare nu implică cerințe specifice.

Următoarele figuri (Figura 5.33, Figura 5.34 și Figura 5.35) arată diferite exemple de îmbinări cu șuruburi.

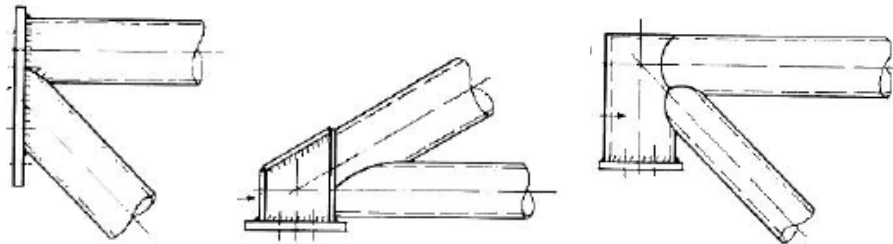


Figura 5.33: Îmbinare de reazem bulonată pentru grindă cu zăbrele

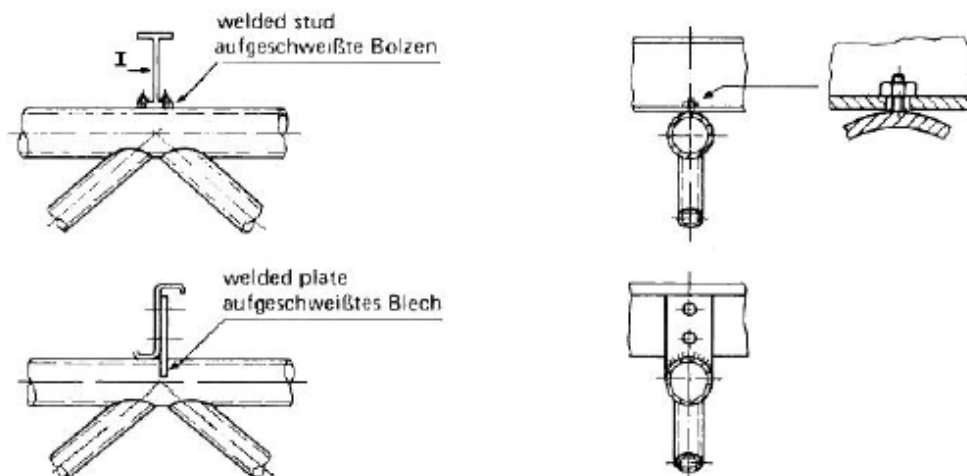


Figura 5.34: Îmbinare bulonată de pană

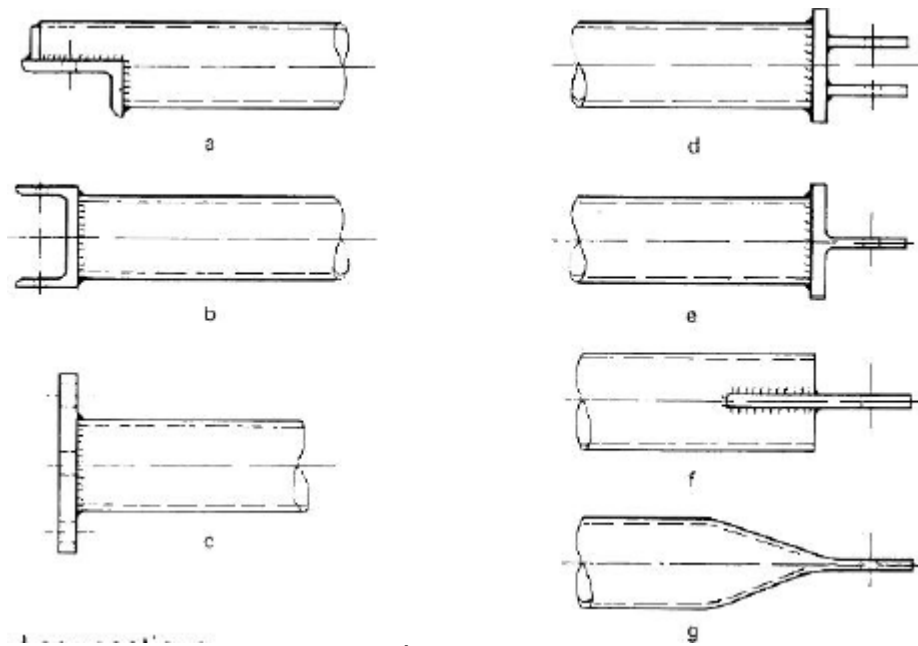


Figura 5.35: Îmbinare bulonată de capăt

#### 4.8.2 Tipuri de îmbinări cu șuruburi

Îmbinările caracteristice cu șuruburi sunt următoarele și ele se regăesc în EN1993-1-8 sau în Manualele CIDECT:

##### 4.8.2.1 Îmbinări cu flanșe

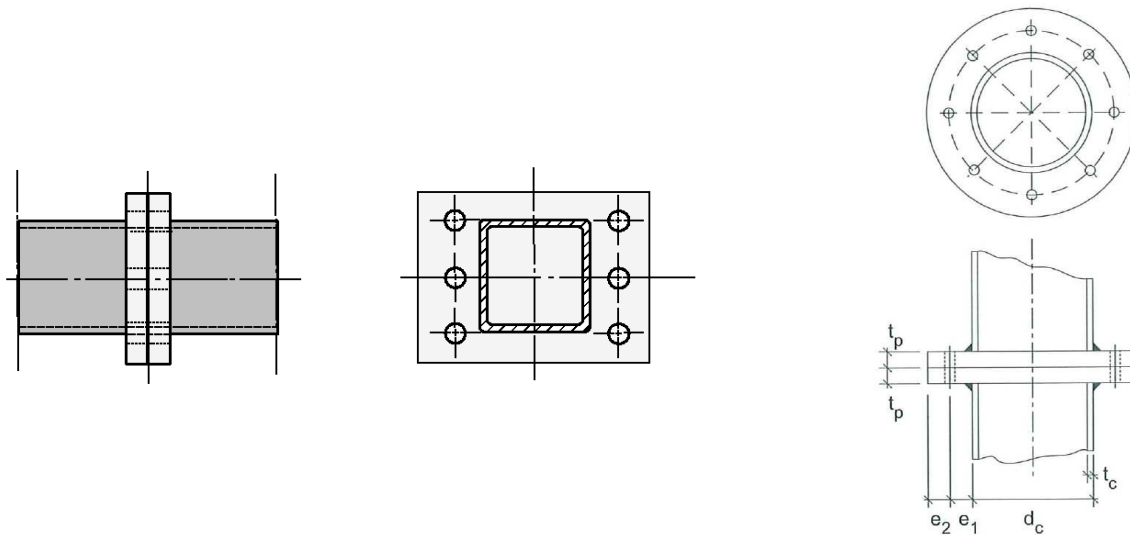


Figura 5.36: Îmbinări cu flanșe

#### 4.8.2.2 Îmbinări cu guseu

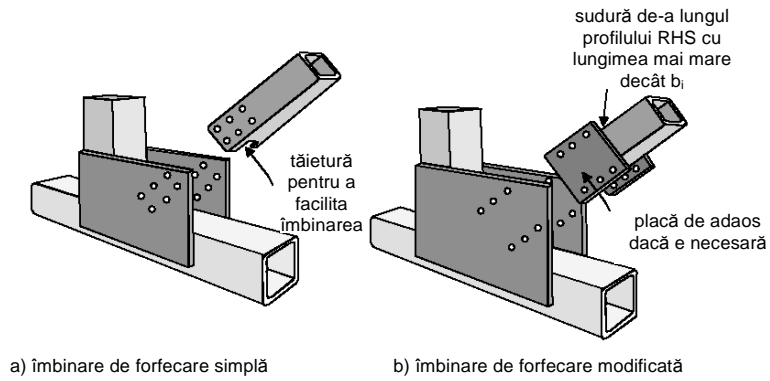


Figura 5.37: Îmbinări cu guseu

#### 4.8.2.3 Îmbinări semi-rigide (îmbinări grindă-stâlp)

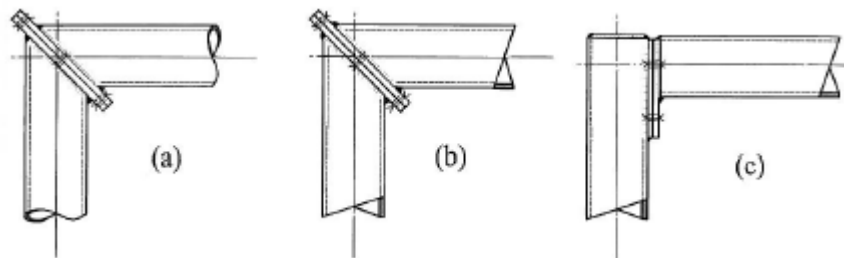


Figura 5.38: Îmbinări de colț din elemente CHS sau RHS pentru cadre portal (CIDECT Design Guide 9, 2004)

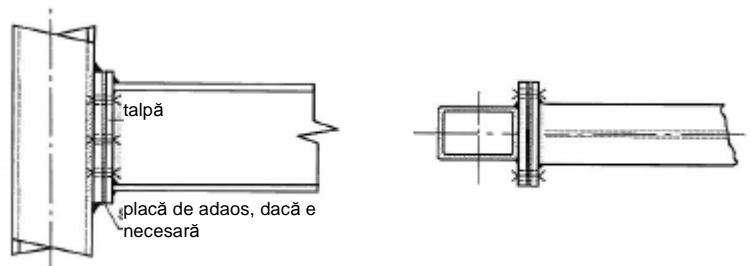


Figura 5.39: Îmbinări cu plăci cu șuruburi între elemente RHS (CIDECT Design Guide 9)

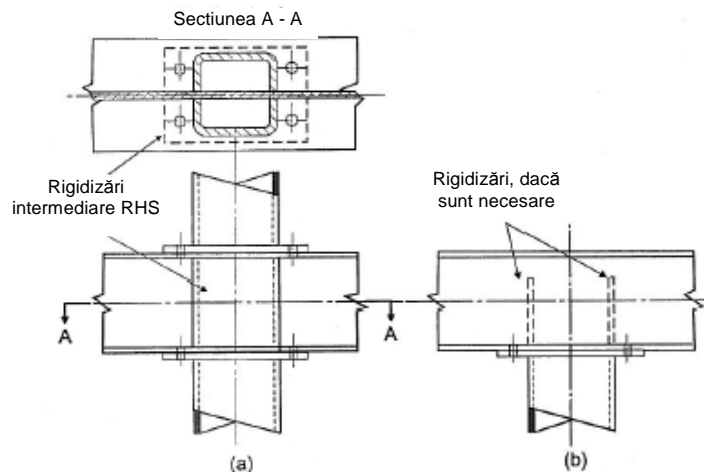


Figura 5.40: Îmbinări continue grindă-stâlp cu șuruburi (CIDECT Design Guide 9)

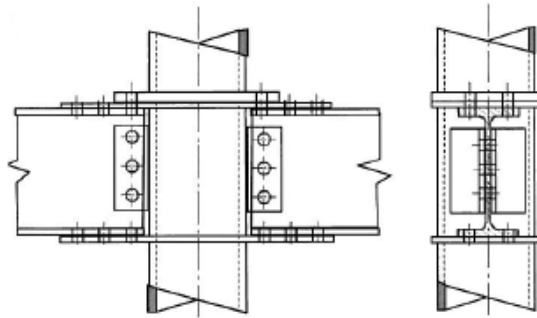


Figura 5.41: Îmbinări cu placă de trecere grindă-stâlp cu șuruburi (CIDECT Design Guide 9)

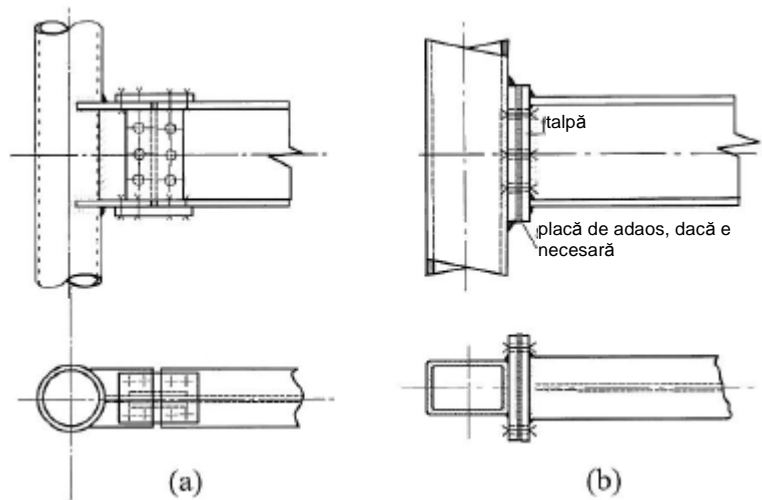


Figura 5.42: Îmbinări cu stâlp continuu grindă-stâlp cu șuruburi (CIDECT Design Guide 9)

#### 4.8.2.4 Îmbinări cu diafragmă transversală

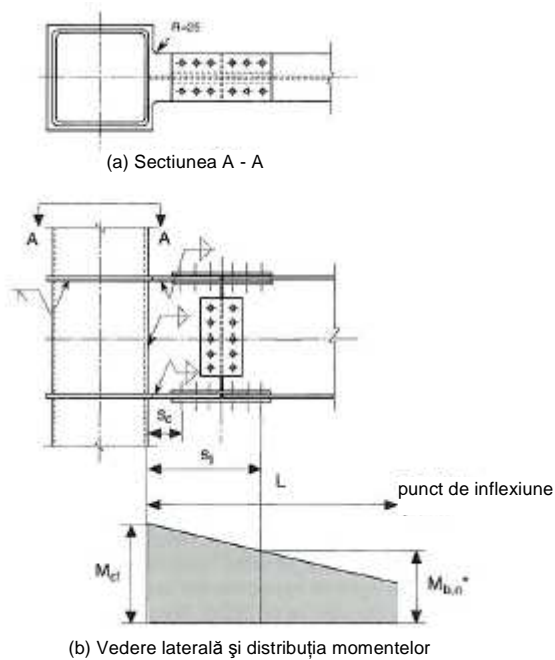


Figura 5.43: Îmbinări cu diafragmă continuă cu șuruburi (CIDECT Design Guide 9)

#### 4.8.2.5 Îmbinări cu șuruburi oarbe

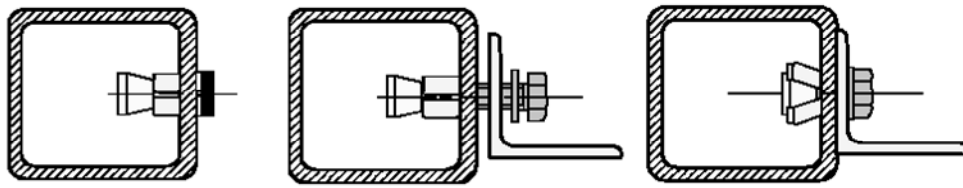


Figura 5.44: Îmbinări cu Lindapter "HolloFast" (Wardenier 2002)

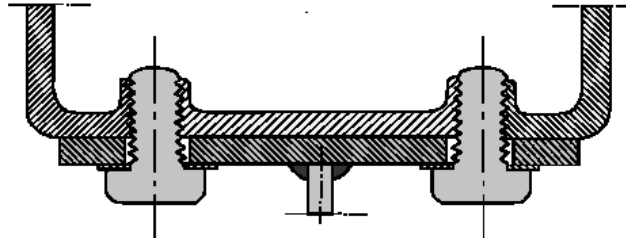


Figura 5.45: Îmbinări cu șuruburi autofiletante pentru corniere sau plăci de capăt flexibile și RHS (Wardenier 2002)

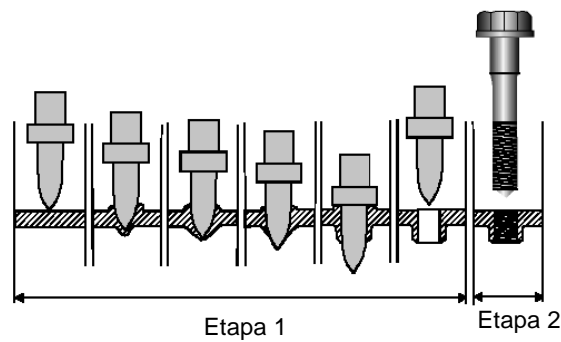


Figura 5.46: Procedul de autofiletare (Wardenier 2002)

#### 4.8.2.6 Îmbinări cu conectori deși tip bolțuri.

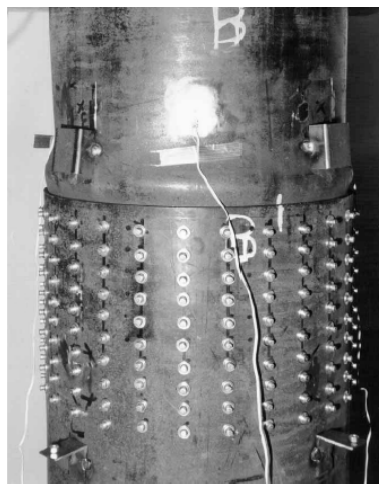


Figura 5.47: Îmbinare cu conectori deși tip bolțuri

## 4.9. EXEMPLE DE CALCUL

### 4.9.1 Îmbinare sudată între două profile tubulare circulare

#### 4.9.1.1 Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale

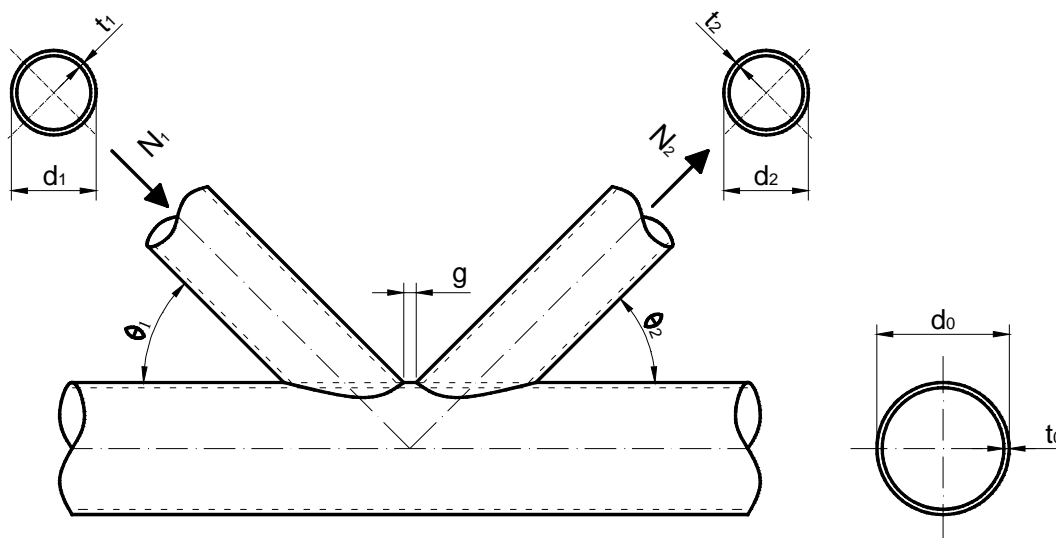


Figura 5.48: Îmbinare sudată între două profile tubulare circulare

#### Principalele componente ale nodului

Configurația	Nod grindă cu zăbrele în K cu spațiu liber
Talpa grinzii	CHS 244,5x10 S235
Zăbrelele	CHS 159x7,1 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare sudată între două profile tubulare circulare

#### Notății

$N_i$	forța axială transmisă de diagonală
$d_0$	diametrul secțiunii tubulare a talpii grinzii cu zăbrele
$t_0$	grosimea secțiunii tubulare a talpii grinzii cu zăbrele
$d_i$	diametrul secțiunii tubulare a diagonalei grinzii cu zăbrele
$t_i$	grosimea secțiunii tubulare a diagonalei grinzii cu zăbrele
$g$	decalajul orizontal dintre diagonalele grinzii cu zăbrele
$\theta_i$	unghiul dintre diagonale și talpă

#### Caracteristici detaliate

##### Talpa grinzii

##### CHS 244,5 x 10 S235

Diametrul	$d_0$	= 244,5 mm
Grosimea tubului	$t_0$	= 10 mm
Aria secțiunii	$A$	= 7357,69 mm <sup>2</sup>
Limita de curgere	$f_{yc}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{uc}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>

##### Diagonala

##### CHS 159 x 7,1 S235

Diametrul	$d_0$	= 159 mm
Grosimea tubului	$t_0$	= 7,1 mm
Aria secțiunii	$A$	= 3383,88 mm <sup>2</sup>

Limita de curgere	$f_{yc}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{uc}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>
Unghiul	$\varnothing_i$	= 45°

### Coefficienți de siguranță

$$\gamma_{M5} = 1,00$$

#### 4.9.1.2 Domeniu de validitate pentru noduri realizate prin sudură între zăbrele cu secțiune CHS și tălpi cu secțiune CHS

Dacă geometria nodului este în intervalul de valabilitate dat în Tabelul 7.1 din SR EN 1993-1-8, rezistența de calcul a nodurilor realizate prin sudură între elemente cu secțiuni circulare tubulare poate fi determinată conform paragrafelor 7.4.2 și 7.4.3 din același standard.

De asemenea, în cazul nodurilor aflate în domeniul de validitate din Tabelul 7.1 din SR EN 1993-1-8, numai cedarea feței tălpii și forfecarea prin străpungere trebuie considerate. Rezistența de calcul a îmbinării se ia ca valoarea cea mai mică dintre aceste două criterii.

$$0,2 \leq \frac{d_i}{d_0} = \frac{159}{244,5} = 0,65 \leq 1,0$$

$$\text{Clasă 2} \quad 10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{244,5}{10} = 24,45 \leq 50$$

$$\text{Clasă 2} \quad 10 \leq \frac{d_i}{t_i} = \frac{159}{7,1} = 22,39 \leq 50$$

$$g = 23,7 \text{ mm} \geq t_1 + t_2 = 7,1 + 7,1 = 14,2 \text{ mm}$$

→ verifică

Tab 7.1  
§7.4.1 SR  
EN 1993-  
1-8

#### 4.9.1.3 Rezistența axială capabilă a nodurilor sudate realizate între zăbrele CHS și tălpi CHS (elemente cu secțiuni circulare tubulare)

### Cedere la fața tălpii

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left( 1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0} \right) \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

$$= \frac{1,7 \cdot 0,6 \cdot 235 \cdot 10^2}{\sin 45} \cdot \left( 1,8 + 10,2 \cdot \frac{159}{244,5} \right) \cdot \frac{1}{1,0} = 285,8 \text{ kN}$$

Tab 7.2  
§7.4.2 SR  
EN 1993-  
1-8

Factorii  $k_g$  și  $k_p$ :

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left( 1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(0,5 \cdot \frac{g}{t_0} + 1,33\right)} \right) = 12,225^{0,2} \cdot \left( 1 + \frac{0,024 \cdot 12,225^{1,2}}{1 + \exp\left(0,5 \cdot \frac{23,7}{10} + 1,33\right)} \right) = 1,7$$

Tab 7.2  
§7.4.2 SR  
EN 1993-  
1-8

$$n_p > 0 \text{ (compresiune):} \quad k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) \quad \text{dar} \quad k_p \leq 1,0$$

$$n_p = 0,75 \quad k_p = 1 - 0,3 \cdot 0,75 \cdot (1 + 0,75) = 0,6$$

$$n_p \leq 0 \quad (\text{\textit{întindere}}): \quad k_p = 1,0$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{244,5}{2 \cdot 10} = 12,225$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \cdot N_{1,Rd} = \frac{\sin 45}{\sin 45} \cdot 285,8 = 285,8 \text{ kN}$$

Tab 7.2  
§7.4.2 SR  
EN 1993-  
1-8

### Cedare la forfecare prin străpungere

dacă  $d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0$ :

$$d_i = 159 \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 244,5 - 2 \cdot 10 = 224,5:$$

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \cdot \sin^2 \theta_i} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

$$= \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 159 \cdot \frac{1 + \sin 45}{2 \cdot \sin^2 45} \cdot \frac{1}{1,0} = 1156,95 \text{ kN}$$

Tab 7.2  
§7.4.2 SR  
EN 1993-  
1-8

### Rezistența nodului

Rezistența nodului  
Modul de cedare:

$N_{i,Rd} = 285,8 \text{ kN}$   
Cedare la fața tălpii

## 4.9.2 Îmbinare sudată între două profile tubulare rectangulare

### 4.9.2.1 Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale

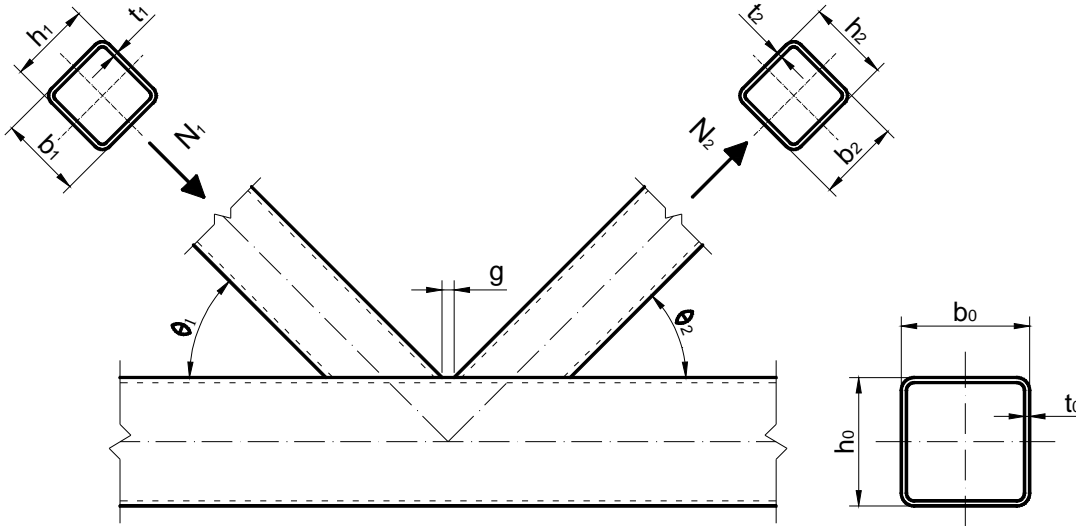


Figura 5.49: Îmbinare sudată între două profile tubulare rectangulare

### Principalele componente ale nodului

Configurația	Nod grindă cu zăbrele în K cu spațiu liber
Talpa grinzii	RHS 250x250x10 S235
Zăbrelele	RHS 160x160x8 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare sudată a două profile tubulare rectangulare

### Notății

$N_i$	forța axială transmisă de diagonala
$b_0$	lățimea secțiunii tubulare a tălpii grinzii cu zăbrele
$h_0$	înălțimea secțiunii tubulare a tălpii grinzii cu zăbrele
$t_0$	grosimea secțiunii tubulare a tălpii grinzii cu zăbrele
$b_i$	lățimea secțiunii tubulare a diagonalei grinzii cu zăbrele
$h_i$	înălțimea secțiunii tubulare a diagonalei grinzii cu zăbrele
$t_i$	grosimea secțiunii tubulare a diagonalei grinzii cu zăbrele
$g$	decalajul orizontal dintre diagonalele grinzii cu zăbrele
$\varnothing_i$	unghiul dintre diagonale și talpă

### Caracteristici detaliate

#### Talpa grinzii

#### RHS 250 x 250 x 10 S235

Înălțimea	$h_0$	= 250 mm
Lățimea	$b_0$	= 250 mm
Grosimea tubului	$t_0$	= 10 mm
Raza de curbură	$r$	= 15 mm
Aria secțiunii	$A$	= 9257 mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	$I$	= 92320000 mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	$f_{yc}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{uc}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>

#### Diagonala

#### RHS 160 x 160 x 8 S235

Înălțimea	$h_c$	= 160 mm
Lățimea	$b_c$	= 160 mm

Grosimea tubului	$t_c$	= 8 mm
Raza de curbură	$r$	= 10 mm
Aria secțiunii	$A$	= 4698 mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	$I$	= 28198228 mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	$f_{yc}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{uc}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>
Unghiul	$\varnothing_i$	= 45°

### Coeficienți de siguranță

$$Y_{M5} = 1,00$$

#### 4.9.2.2 Domeniu de validitate pentru noduri realizate prin sudură între zăbrele cu secțiune RHS și tălpi cu secțiune RHS

Dacă geometria nodului se încadrează în domeniul de validitate dat în Tabelul 7.8 din SR EN 1993-1-8, rezistența de calcul a nodurilor sudate între diagonale cu secțiune tubulară și tălpi realizate din țevi pătrate sau dreptunghiulare se determină conform paragrafelor 7.5.2 și 7.5.3 din același standard.

Pentru noduri care se încadrează în domeniul de validitate dat în Tabelul 7.8 din SR EN 1993-1-8, se vor considera doar criteriile de proiectare tratate în tabelul corespunzător (Tabelul 7.12 în cazul acestui exemplu).

(conform tabelului 7.8 EN 1993 1-8)

$$\frac{b_i}{b_0} = \frac{160}{250} = 0,64 \geq 0,35 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

$$\frac{b_i}{b_0} = \frac{160}{250} = 0,64 \geq 0,1 + 0,01 \cdot \frac{b_0}{t_0} = 0,1 + 0,01 \cdot \frac{250}{10} = 0,35$$

→ verifică

Tab 7.8  
§7.5.1 SR  
EN 1993-  
1-8

Diagonala comprimată

$$\frac{b_i}{t_i} = \frac{160}{8} = 20 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

$$\frac{h_i}{t_i} = \frac{160}{8} = 20 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

Clasă 1 → verifică

Diagonala întinsă

$$\frac{b_i}{t_i} = \frac{160}{8} = 20 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

$$\frac{h_i}{t_i} = \frac{160}{8} = 20 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

$$0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} = \frac{250}{250} = 1,0 \leq 2,0 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

$$0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} = \frac{160}{160} = 1,0 \leq 2,0 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{250}{10} = 25 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

$$\frac{h_0}{t_0} = \frac{250}{10} = 25 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

Clasă 1  $\rightarrow$  verifică

$$0,5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1,5 \cdot (1 - \beta)$$

$$0,5 \cdot (1 - 0,64) = 0,18 \leq \frac{g}{b_0} = \frac{23,7}{250} = 0,09 \leq 1,5 \cdot (1 - 0,64) = 0,54$$

**NOK** dar se acceptă în această situație

$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} = \frac{160 + 160 + 160 + 160}{4 \cdot 250} = 0,64$$

$$g = 23,7 \text{ mm} \geq t_1 + t_2 = 8 + 8 = 16 \text{ mm}$$

(conform tabelului 7.9 EN 1993 1-8)

$$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} = \frac{160 + 160}{2 \cdot 160} = 1,0 \leq 1,3 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{250}{10} = 25 \geq 15 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

Tab 7.9  
§7.5.2 SR  
EN 1993-  
1-8

#### 4.9.2.3 Forța axială capabilă a nodului sudat în K între zăbrelele și talpa RHS

##### Cedarea locală a tălpii

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_i} \cdot \left( \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right) \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

$$= \frac{8,9 \cdot 235 \cdot 10^2 \cdot \sqrt{12,5}}{\sin 45} \cdot \left( \frac{160 + 160 + 160 + 160}{4 \cdot 250} \right) \cdot \frac{1}{1,0} = 669,28 \text{ kN}$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_f} = \frac{250}{2 \cdot 10} = 12,5$$

Tab 7.12  
§7.5.2 SR  
EN 1993-  
1-8

##### Forfecarea tălpii

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_i} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = \frac{235 \cdot 5850}{\sqrt{3} \cdot \sin 45} \cdot \frac{1}{1,0} = 1122,4 \text{ kN}$$

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = (2 \cdot 250 + 0,34 \cdot 250) \cdot 10 = 5850 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot g^2}{3 \cdot t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 23,7^2}{3 \cdot 10^2}}} = 0,34$$

$$N_{0,Rd} = \frac{(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \right)^2}}{\gamma_{M5}}$$

Tab 7.12  
§7.5.2 SR  
EN 1993-  
1-8

$$N_{0,Rd} = \frac{(9258 - 58,5) \cdot 235 + 58,5 \cdot 235 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}}\right)^2}}{1,0}$$

### Cedarea diagonalei

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{yi} \cdot t_i \cdot (2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i + b_i + b_{eff})}{\gamma_{M5}}$$

$$= \frac{235 \cdot 8 \cdot (2 \cdot 160 - 4 \cdot 8 + 160 + 80)}{1,0} = 992,64 \text{ kN}$$

$$b_{eff} = \frac{10}{b_0} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot b_i = \frac{10}{250} \cdot \frac{235 \cdot 10}{235 \cdot 8} \cdot 160 = 80 \text{ mm}$$

Tab 7.12  
§7.5.2 SR  
EN 1993-  
1-8

### Străpungerea tăpii

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2 \cdot h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

$$= \frac{235 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot \sin 45} \cdot \left( \frac{2 \cdot 160}{\sin 45} + 160 + 0,64 \right) \cdot \frac{1}{1,0} = 1176 \text{ kN}$$

$$b_{e,p} = \frac{10}{b_0 \cdot t_0} \cdot b_i = \frac{10}{250 \cdot 10} \cdot 160 = 0,64$$

Tab 7.12  
§7.5.2 SR  
EN 1993-  
1-8

### Rezistența nodului

Rezistența nodului  
Modul de cedare:

$N_{i,Rd} = 669 \text{ kN}$   
Cedare la fața tăpii

### 4.9.3 Îmbinare sudată între un profil tubular circular și un profil deschis

#### 4.9.3.1 Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notații generale.

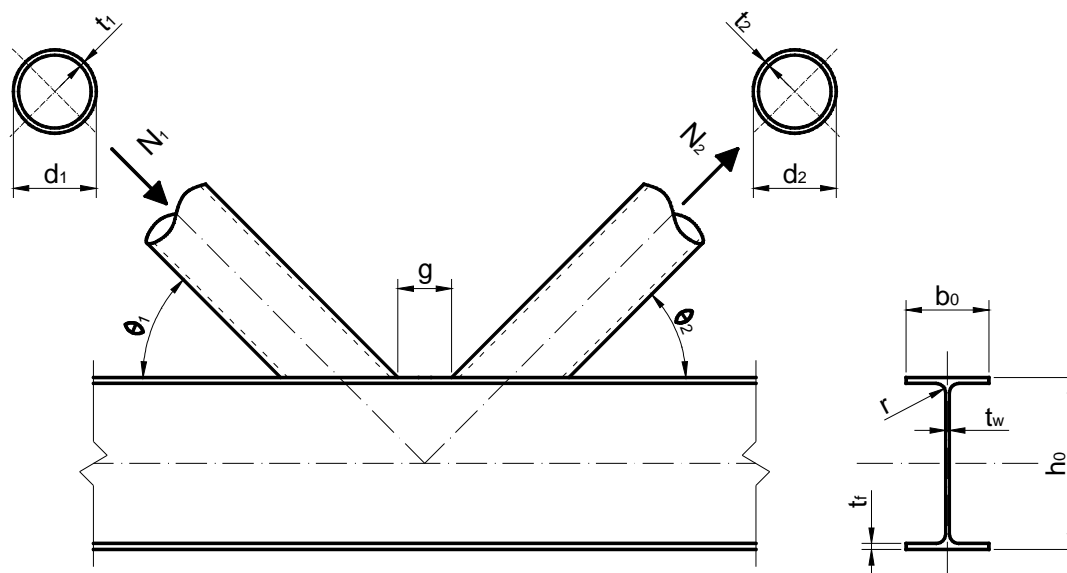


Figura 5.50: Îmbinare sudată între un profil tubular circular și un profil deschis

#### Principalele componente ale nodului

Configurația	Nod grindă cu zăbrele în K cu spațiu liber
Talpa grinzii	IPE 330 S235
Zăbrelele	CHS 159x7,1 S235
Tipul de îmbinare	Îmbinare sudată între un profil circular și un profil I

#### Notații

$N_i$	forța axială transmisă de diagonala
$h_0$	înălțimea secțiunii
$t_w$	grosimea inimii
$b_0$	lățimea tălpii
$t_f$	grosimea tălpii
$r$	raza de curbură
$d_i$	diametrul secțiunii tubulare a diagonalei grinzii cu zăbrele
$t_i$	grosimea secțiunii tubulare a diagonalei grinzii cu zăbrele
$g$	decalajul orizontal dintre diagonalele grinzii cu zăbrele
$\varnothing_i$	unghiul dintre diagonale și talpă

#### Caracteristici detaliate

##### Talpa grinzii

##### IPE 330 S235

Înălțimea secțiunii	$h_0$	= 330 mm
Grosimea inimii	$t_w$	= 7,5 mm
Lățimea tălpii	$b_0$	= 160 mm
Grosimea tălpii	$t_f$	= 11,5 mm
Raza de curbură	$r$	= 18 mm
Aria secțiunii	$A$	= 6260 mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	$I$	= 83560000 mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	$f_{yb}$	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{ub}$	= 360 N/mm <sup>2</sup>

<b>Diagonala</b>	<b>CHS 159 x 7,1 S235</b>
Diametrul	$d_0 = 159 \text{ mm}$
Grosimea tubului	$t_0 = 7,1 \text{ mm}$
Aria secțiunii	$A = 3383,88 \text{ mm}^2$
Limita de curgere	$f_{yc} = 235 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{uc} = 360 \text{ N/mm}^2$
Unghiul	$\varnothing_i = 45^\circ$

### Coeficienți de siguranță

$$\gamma_{M5} = 1.10$$

#### 4.9.3.2 Domeniu de valabilitate pentru noduri sudate între zăbrele CHS și tălpi cu secțiune I

Cu condiția ca geometria nodului să fie în domeniul de validitate specificat în Tabelul 7.20 din SR EN 1993-1-8, forța de calcul a nodului se determină utilizând relațiile corespunzătoare din tabelul 7.21 sau tabelul 7.22.

$$\frac{d_w}{t_w} = \frac{271}{7,5} = 36,133 \rightarrow \text{clasă 1} \rightarrow \text{verifică}$$

$$d_w = 271 \text{ mm} \leq 400 \text{ mm} \rightarrow \text{verifică}$$

Diagonală comprimată

Clasă 1  $\rightarrow$  verifică

$$\frac{d_i}{t_i} = \frac{159}{7,1} = 22,39 \leq 50 \rightarrow \text{verifică}$$

Diagonală întinsă

$$\frac{d_i}{t_i} = \frac{159}{7,1} = 22,39 \leq 50 \rightarrow \text{verifică}$$

Tab 7.20  
§7.6 SR  
EN 1993-  
1-8

#### 4.9.3.3 Forța capabilă a nodurilor sudate între zăbrele CHS și tălpi cu secțiune I

### Stabilitatea inimii tălpii

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_w \cdot b_w}{\sin \theta_i} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = \frac{235 \cdot 7,5 \cdot 309,2}{\sin 45} \cdot \frac{1}{1,0} = 770,7 \text{ kN}$$

$$b_w = \frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5 \cdot (t_f + r) = \frac{159}{\sin 45} + 5 \cdot (11,5 + 18) = 372 \text{ mm} \quad \text{dar}$$

$$b_w \leq 2 \cdot t_i + 10 \cdot (t_f + r) = 2 \cdot 7,1 + 10 \cdot (11,5 + 18) = 309,2 \text{ mm}$$

Tab 7.21  
§7.6 SR  
EN 1993-  
1-8

### Cedarea diagonalei

Cedarea zăbrelei nu se verifică dacă:

$$\frac{g}{t_f} \leq 20 - 28 \cdot \beta$$

$$\beta = 1,0 \leq 1,0 - 0,03 \cdot \gamma = 0,79 \rightarrow \text{nu verifică}$$

Tab 7.21  
§7.6 SR  
EN 1993-  
1-8

$$\beta = \frac{d_1 + d_2}{2 \cdot b_0} = \frac{159 + 159}{2 \cdot 160} = 0,993$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_f} = \frac{160}{2 \cdot 11,5} = 6,95$$

$$0,75 \leq \frac{d_1}{d_2} = 1,0 \leq 1,33 \quad \rightarrow \quad \text{verifică}$$

Prin urmare:

$$N_{i,Rd} = \frac{2 \cdot f_{yi} \cdot t_i \cdot p_{eff}}{\gamma_{M5}} = \frac{2 \cdot 235 \cdot 7,1 \cdot 124}{1,0} = 413,7 \text{ kN}$$

$$p_{eff} = t_w + 2 \cdot r + 7 \cdot t_f \cdot \frac{f_{y0}}{f_{yi}} = 7,5 + 2 \cdot 18 + 7 \cdot 11,5 \cdot \frac{235}{235} = 124 \text{ mm}$$

Tab 7.21  
§7.6 SR  
EN 1993-  
1-8

### Forfecarea secțiunii tălpii

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_i} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = \frac{235 \cdot 3080}{\sqrt{3} \cdot \sin 45} \cdot \frac{1}{1,0} = 591 \text{ kN}$$

$$N_{0,Rd} = \frac{(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \right)^2}}{\gamma_{M5}}$$

$$= \frac{(6260 - 3080) \cdot 235 + 3080 \cdot 235 \cdot \sqrt{1 - 0,9^2}}{1,0} = 1062 \text{ kN}$$

Tab 7.21  
§7.6 SR  
EN 1993-  
1-8

$$A_v = A_0 - (2 - \alpha) \cdot b_0 \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$= 6260 - (2 - 0) \cdot 160 \cdot 11,5 + (7,5 + 2 \cdot 18) \cdot 11,5 = 3080 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = 0$$

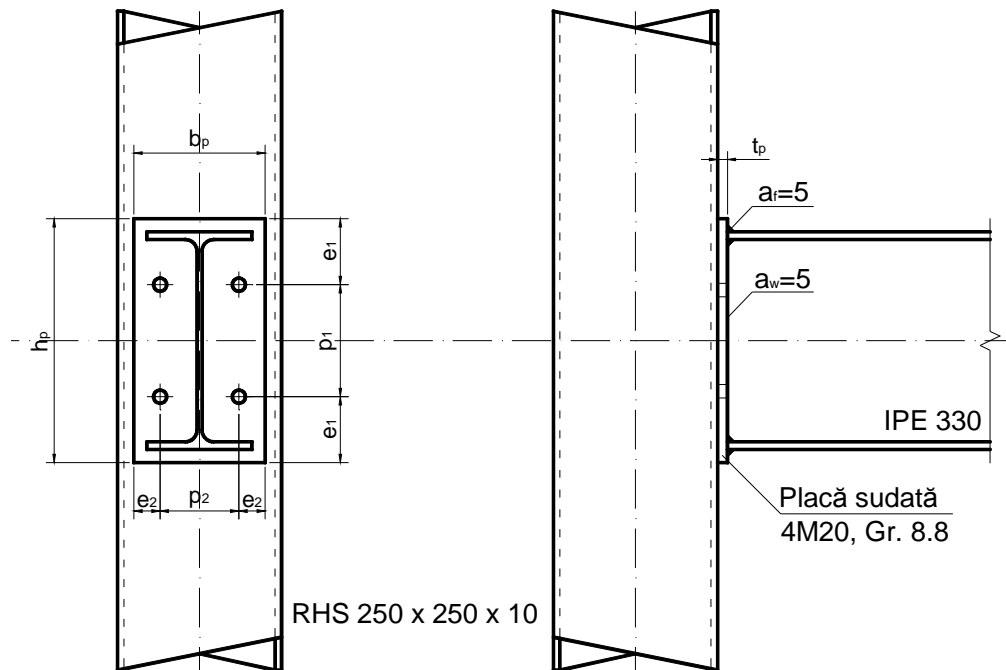
### Rezistența nodului

Rezistența nodului  
Modul de cedare:

$N_{i,Rd} = 413,7 \text{ kN}$   
Cedare diagonalei

#### 4.9.4 Îmbinare cu șuruburi între un profil tubular și un profil deschis (CIDECT, 2005)

##### 4.9.4.1 Geometria tipului de îmbinare. Simboluri. Notății generale



5.51: Îmbinare cu șuruburi între un profil tubular și un profil deschis

#### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare între un profil tubular și un profil deschis
Stâlpul	RHS 250x250x10 S235
Grinda	IPE 330 S235
Tipul îmbinării	Îmbinare cu placă de capăt și 4 șuruburi
Placa de capăt	370 x 200 x 15 S235
Șuruburi	M20, 8.8

#### Caracteristici detaliate

##### Stâlpul

##### RHS 250 x 250 x 10 S235

Înălțimea	$h_c = 250$ mm
Lățimea	$b_c = 250$ mm
Grosimea tubului	$t_c = 10$ mm
Raza de curbură	$r = 15$ mm
Aria secțiunii	$A = 9257$ mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	$I = 92320000$ mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	$f_{yc} = 235$ N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	$f_{uc} = 360$ N/mm <sup>2</sup>

##### Grinda

##### IPE 330 S235

Înălțimea secțiunii	$h = 330$ mm
Grosimea inimii	$t_{bw} = 7,5$ mm
Lățimea tălpii	$b_b = 160$ mm
Grosimea tălpii	$t_{bf} = 11,5$ mm
Raza de curbură	$r = 18$ mm

Aria secțiunii	A	= 6260 mm <sup>2</sup>
Momentul de inerție	I	= 83560000 mm <sup>4</sup>
Limita de curgere	f <sub>yb</sub>	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	f <sub>ub</sub>	= 360 N/mm <sup>2</sup>

<b>Placa de capăt</b>	370 x 200 x 15 S235	
Înălțimea	h <sub>p</sub>	= 370 mm
Lățimea	b <sub>p</sub>	= 200 mm
Grosimea	t <sub>p</sub>	= 15 mm

#### *Direcția încărcării (1)*

Numărul rândurilor de șuruburi	n <sub>1</sub>	= 2
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	e <sub>11</sub>	= 100 mm
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	p <sub>1[1]</sub>	= 170 mm
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	e <sub>1n</sub>	= 100 mm

#### *Perpendicular pe direcția încărcării (2)*

Numărul rândurilor de șuruburi	n <sub>2</sub>	= 2
Distanța de la margine la primul rând de șuruburi	e <sub>21</sub>	= 40 mm
Distanța între rândul 1 și 2 de șuruburi	p <sub>2</sub>	= 120 mm
Distanța de la ultimul rând de șuruburi la margine	e <sub>2n</sub>	= 40 mm
Limita de curgere	f <sub>yp</sub>	= 235 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	f <sub>up</sub>	= 360 N/mm <sup>2</sup>

#### **Șuruburi**

#### **M20, Gr. 8.8**

Aria rezistentă	A <sub>s</sub>	= 245 mm <sup>2</sup>
Diametrul teije șurubului	d	= 20 mm
Diametrul găurii	d <sub>0</sub>	= 22 mm
Lățimea maximă (capul șurubului)	d <sub>1</sub>	= 32,95 mm
Lățimea minimă (capul șurubului)	d <sub>2</sub>	= 30 mm
Înălțimea (capul șurubului)	h <sub>nut</sub>	= 13 mm
Limita de curgere	f <sub>yb</sub>	= 640 N/mm <sup>2</sup>
Rezistența ultimă	f <sub>ub</sub>	= 800 N/mm <sup>2</sup>

#### **Sudura**

Grosimea cordonului de sudură	a <sub>w</sub> = a <sub>f</sub>	= 5 mm
-------------------------------	---------------------------------	--------

#### **Coefficienți de siguranță**

γ <sub>M0</sub>	= 1,00
γ <sub>M2</sub>	= 1,25

#### *4.9.4.2 Rezistența elementelor componente ale îmbinării*

#### **Talpa grinzii în compresiune**

$$F_{Rd,1} = \frac{M_{b,Rd}}{(h_b - t_{fb})} = \frac{119009697}{(330 - 11,5)} = 373,6kN$$

$$M_{b,Rd} = \frac{W_{pl,y,b} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{83560000 \cdot 235}{1,0} = 119kNm$$

## Întindere în tija șuruburilor

$$F_{Rd,2} = n \cdot \min[F_{t,Rd}; B_{p,Rd}] = 4 \cdot \min[141,12; 320,37] = 564,5 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 245}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 31,475 \cdot 15 \cdot 360}{1,25} = 320,37 \text{ kN}$$

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{32,95 + 30}{2} = 31,475 \text{ mm}$$

Tab 3.4  
SR EN  
1993-1-8

## Încovoierea plăcii de capăt

$$F_{Rd,3} = \min[F_{T,Rd,1}; F_{T,Rd,2}] = \min[368,5; 214,6] = 214,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd,1} = \frac{(8 \cdot n - 2e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}}{2m \cdot n - e_w(m+n)}$$

$$= \frac{(8 \cdot 39,3 - 2 \cdot 8,24) \cdot 4003425}{2 \cdot 50,6 \cdot 39,3 - 8,24 \cdot (50,6 + 39,3)} = 368,5 \text{ kN}$$

$$m_p = \frac{(p_2 - t_{b,w} - 2 \cdot 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2})}{2}$$

$$= \frac{(120 - 7,5 - 2 \cdot 0,8 \cdot 5 \cdot \sqrt{2})}{2} = 50,6 \text{ mm}$$

$$n_p = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot d_m) = \min(40; 1,25 \cdot 31,475) = 39,3 \text{ mm}$$

$$e_w = \frac{d_1}{4} = \frac{32,95}{4} = 8,24 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \frac{l_{eff,1} t_p^2 f_{u,p}}{\gamma_{M,0}}$$

$$= 0,25 \cdot \frac{197,7 \cdot 15^2 \cdot 360}{1,0} = 4003425 \text{ Nmm}$$

$$F_{T,Rd,2} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}$$

$$= \frac{2 \cdot 4003425 + 40 \cdot 282240}{50,6 + 39,3} = 214,6 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \frac{l_{eff,2} t_p^2 f_{u,p}}{\gamma_{M,0}}$$

$$= 0,25 \cdot \frac{197,7 \cdot 15^2 \cdot 360}{1,0} = 4003425 \text{ Nmm}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

Tab 6.3  
SR EN  
1993-1-8

Tab 6.3  
SR EN  
1993-1-8

## Întindere în inima grinzii

$$F_{Rd,4} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{197,7 \cdot 7,5 \cdot 235}{1,0} = 348,4 \text{ kN}$$

$$b_{eff,t,wb} = l_{eff,1} = 197,7 \text{ mm}$$

§6.2.3 SR  
EN 1993-  
1-1

## Întinderea tubului pe direcție transversală: Cedare la fața tălpii

$$F_{Rd,5} = \min[F_{pl,loc}; F_{pl,glob}] = \min[135,8; 134,24] = 134,24 \text{ kN}$$

Caracteristici geometrice:

$$c = 0,9 \cdot d_m = 18 \text{ mm}$$

$$d_m = d = 20 \text{ mm}$$

$$b = p_2 + 0,9 \cdot d_m = 120 + 18 = 138 \text{ mm}$$

$$h = h_p - \frac{h_p - h_b + t_{fb}}{2} - e_{11} = 370 - \frac{370 - 330 + 11,5}{2} - 100 = 244,25 \text{ mm}$$

$$L = b_c - 1,5 \cdot r - 2 \cdot t_c = 250 - 1,5 \cdot 15 - 2 \cdot 10 = 207,5 \text{ mm}$$

Mecanism local

$$b_m = L \left[ 1 - 0,82 \frac{t_c^2}{c^2} \left( 1 + \sqrt{1 + 2,8 \frac{c^2}{t_c \cdot L}} \right)^2 \right]$$

$$= 207,5 \cdot \left[ 1 - 0,82 \cdot \frac{10^2}{18^2} \left( 1 + \sqrt{1 + 2,8 \cdot \frac{18^2}{10 \cdot 207,5}} \right)^2 \right] = -46,4 \text{ mm}$$

$$b = 138 \text{ mm} > b_m = -46,4 \text{ mm}$$

$$F_{pl,loc} = \beta \cdot 4 \cdot m_{pl,Rd} \cdot \left[ \frac{\pi \sqrt{L \cdot (a+x)} + 2 \cdot c}{a+x} + \frac{1,5 \cdot c \cdot x + x^2}{\sqrt{3} \cdot t_c \cdot (a+x)} \right]$$

$$= 1 \cdot 4 \cdot 5875 \cdot \left[ \frac{\pi \sqrt{207,5 \cdot (69,5+16)} + 2 \cdot 18}{69,5+16} + \frac{1,5 \cdot 18 \cdot 16 + 16^2}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot (69,5+16)} \right] = 135,8 \text{ kN}$$

$$\frac{b+c}{L} = \frac{138+18}{207,5} = 0,75 > 0,5 \quad \rightarrow \quad \beta=1$$

$$m_{pl,Rd} = 0,25 \cdot \frac{t_c^2 \cdot f_{yc}}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot \frac{10^2 \cdot 235}{1,0} = 5875 \text{ Nmm/mm}$$

$$a = L - b = 207,5 - 138 = 69,5 \text{ mm}$$

$$x = -a + \sqrt{a^2 - 1,5 \cdot a \cdot c + \frac{\sqrt{3} \cdot t_c}{2} \cdot \left[ \pi \cdot \sqrt{L \cdot (a+x_0)} + 4 \cdot c \right]}$$

$$= -69,5 + \sqrt{69,5^2 - 1,5 \cdot 69,5 \cdot 18 + \frac{\sqrt{3} \cdot 10}{2} \left[ \pi \sqrt{207,5 \cdot (69,5+21)} + 4 \cdot 18 \right]} = 16 \text{ mm}$$

$$x_0 = L \cdot \left[ \left( \frac{t_w}{L} \right)^{\frac{2}{3}} + 0,23 \cdot \frac{c}{L} \cdot \left( \frac{t_c}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot \left( \frac{b-b_m}{L-b_m} \right)$$

$$= 207,5 \left[ \left( \frac{10}{207,5} \right)^{\frac{2}{3}} + 0,23 \cdot \frac{18}{207,5} \cdot \left( \frac{10}{207,5} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \left( \frac{138 + 46,4}{207,5 + 46,4} \right) = 21 \text{ mm}$$

Mecanism global

Condiții de aplicabilitate

$$0,7 < \frac{h}{L-b} = \frac{244,25}{207,5-138} = 3,51 < 10: \text{ ok}$$

$$\rho = \frac{h}{L-b} = \frac{244,25}{207,5-138} = 3,51$$

Forța maximă

$$\begin{aligned} F_{pl, glob} &= \frac{F_{pl, loc}}{2} + m_{pl, Rd} \cdot \left( \frac{2 \cdot b}{h} + \pi + 2 \cdot \rho \right) \\ &= \frac{135800}{2} + 5875 \cdot \left( \frac{2 \cdot 138}{244,25} + \pi + 2 \cdot 3,51 \right) = 134,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Compresiunea tubului pe direcție transversală: Cedare la fața tălpii**

$$F_{Rd, 6} = \min[F_{pl, loc}; F_{pl, glob}] = \min[347; 582] = 347 \text{ kN}$$

Caracteristici geometrice:

$$c = t_{fb} + \sqrt{2} \cdot a_w + t_p + \frac{h_p - h_b}{2} = 11,5 + \sqrt{2} \cdot 5 + 15 + \frac{370 - 330}{2} = 53,5 \text{ mm}$$

$$b = b_p = 200 \text{ mm}$$

$$h = h_p - \frac{(h_p - h_b + t_{fb})}{2} - e_{11} = 370 - \frac{(370 - 330 + 11,5)}{2} - 100 = 244,25 \text{ mm}$$

$$L = b_c - 1,5 \cdot r - 2 \cdot t_c = 250 - 1,5 \cdot 15 - 2 \cdot 10 = 207,5 \text{ mm}$$

Mecanism local

$$\begin{aligned} b_m &= L \cdot \left[ 1 - 0,82 \cdot \frac{t_c^2}{c^2} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 + 2,8 \cdot \frac{c^2}{t_c \cdot L}} \right)^2 \right] \\ &= 207,5 \cdot \left[ 1 - 0,82 \cdot \frac{10^2}{53,5^2} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 + 2,8 \cdot \frac{53,5^2}{10 \cdot 207,5}} \right)^2 \right] = 146,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 200 \text{ mm} > b_m = 146,4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} F_{pl, loc} &= \beta \cdot 4 \cdot m_{pl, Rd} \cdot \left[ \frac{\pi \sqrt{L \cdot (a+x)} + 2 \cdot c}{a+x} + \frac{1,5 \cdot c \cdot x + x^2}{\sqrt{3} \cdot t_c \cdot (a+x)} \right] \\ &= 1 \cdot 4 \cdot 5875 \cdot \left[ \frac{\pi \sqrt{207,5 \cdot (7,5 + 37,7)} + 2 \cdot 53,5}{7,5 + 37,7} + \frac{1,5 \cdot 53,5 \cdot 37,7 + 37,7^2}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot (7,5 + 37,7)} \right] = 347 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\frac{b+c}{L} = \frac{200+53,5}{207,5} = 1,22 > 0,5 \quad \rightarrow \quad \beta=1$$

$$m_{pl,Rd} = 0,25 \cdot \frac{10^2 \cdot 235}{1,0} = 5875 \text{ Nmm/mm}$$

$$a = L - b = 207,5 - 200 = 7,5 \text{ mm}$$

$$x = -a + \sqrt{a^2 - 1,5 \cdot a \cdot c + \frac{\sqrt{3} \cdot t_c}{2} \cdot \left[ \pi \cdot \sqrt{L \cdot (a + x_0)} + 4 \cdot c \right]}$$

$$= -7,5 + \sqrt{7,5^2 - 1,5 \cdot 7,5 \cdot 53,5 + \frac{\sqrt{3} \cdot 10}{2} \cdot \left[ \pi \cdot \sqrt{207,5 \cdot (7,5 + 28)} + 4 \cdot 7,5 \right]} = 37,76$$

$$x_0 = L \cdot \left[ \left( \frac{t_w}{L} \right)^{\frac{2}{3}} + 0,23 \cdot \frac{c}{L} \cdot \left( \frac{t_c}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot \left( \frac{b - b_m}{L - b_m} \right)$$

$$= 207,5 \cdot \left[ \left( \frac{10}{207,5} \right)^{\frac{2}{3}} + 0,23 \cdot \frac{53,5}{207,5} \cdot \left( \frac{10}{207,5} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot \left( \frac{200 - 146,4}{207,5 - 146,4} \right) = 28 \text{ mm}$$

Mecanism global

Condiții de aplicabilitate

$$0,7 < \frac{h}{L-b} = \frac{244,25}{207,5 - 200} = 32,5 < 10 : \text{NOK} \quad \text{dar se acceptă în această situație}$$

$$\rho = \frac{h}{L-b} = \frac{244,25}{207,5 - 200} = 32,5$$

Forța maximă

$$F_{pl, glob} = \frac{F_{pl, loc}}{2} + m_{pl, Rd} \cdot \left( \frac{2 \cdot b}{h} + \pi + 2 \cdot \rho \right)$$

$$= \frac{347000}{2} + 5857 \cdot \left( \frac{2 \cdot 200}{244,25} + \pi + 2 \cdot 32,5 \right) = 582 \text{ kN}$$

**Întinderea tubului pe direcție transversală: Cedare la forfecare prin străpungerea peretelui tălpii**

$$F_{Rd,7} = \min[F_{punch,nc}; F_{punch,cp}] = \min[423; 170,4] = 170,4 \text{ kN}$$

$$F_{punch,nc} = 2 \cdot (b+c) \cdot v_{pl,Rd} = 2 \cdot (138+18) \cdot 1356 = 423 \text{ kN}$$

$$v_{pl,Rd} = \frac{t_c \cdot f_{yc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{10 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1356 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$F_{punch,cp} = n \cdot \pi \cdot d_m \cdot v_{pl,Rd} = 2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 1356 = 170,4 \text{ kN}$$

**Compresiunea tubului pe direcție transversală: Cedare la forfecare prin străpungerea peretelui tălpii**

$$F_{Rd,8} = F_{punch,nc} = 687,5 \text{ kN}$$

$$F_{punch,nc} = 2 \cdot (b+c) \cdot v_{pl,Rd} = 2 \cdot (200+53,5) \cdot 1356 = 687,5 \text{ kN}$$

$$v_{pl,Rd} = \frac{t_c \cdot f_{yc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{10 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1356 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

## Rezistența nodului

Rezistența nodului  $N_{i,Rd} = 134,24 \text{ kN}$   
Modul de cedare: Întinderea tubului pe direcție transversală: Cedare la fața tălpii

### 4.9.4.3 Rigiditatea elementelor componente

#### Compresiunea tălpii grinzii

$$k_1 = \infty$$

#### Întinderea șuruburilor

$$k_2 = 1,6 \cdot \frac{A_s}{L_b} = 1,6 \cdot \frac{245}{26,5} = 14,8 \text{ mm}$$

$$L_b = 0,5 \cdot t_c + t_p + 0,5 \cdot h_{nut} = 0,5 \cdot 10 + 15 + 0,5 \cdot 13 = 26,5 \text{ mm}$$

#### Încovoierea plăcii de capăt

$$k_3 = \frac{0,9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3}{d_m^3} = \frac{0,9 \cdot 197,7 \cdot 15^3}{31,24^3} = 19,7 \text{ mm}$$

#### Întinderea inimii grinzii

$$k_4 = \infty$$

#### Întindere tubului pe direcție transversală: Cedare la fața tălpii

Condiții de aplicabilitate

$$10 \leq \frac{L_{stiff}}{t_c} = \frac{259,25}{10} = 25,9 \leq 50$$

$$L_{stiff} = d + r = 244,25 + 15 = 259,25 \text{ mm}$$

$$0,08 \leq \frac{b}{L_{stiff}} = \frac{138}{259,25} = 0,53 \leq 0,75$$

$$0,05 \leq \frac{c}{L_{stiff}} = \frac{18}{259,25} = 0,069 \leq 0,2$$

Rigiditatea

$$k_5 = \frac{t_c^3}{14,4 \cdot \beta \cdot L_{stiff}^2} \cdot \left( \frac{L_{stiff}^2}{b \cdot t_c} \right)^{1,25} \cdot \frac{\frac{c}{L_{stiff}} + \left( 1 - \frac{b}{L_{stiff}} \right) \cdot \tan \theta}{\left( 1 - \frac{b}{L_{stiff}} \right)^3 + \frac{10,4 \cdot \left( k_1 - k_2 \cdot \frac{b}{L_{stiff}} \right)}{\left( \frac{L_{stiff}}{t_c} \right)^2}}$$

$$= \frac{10^3}{14,4 \cdot 1 \cdot 259,25^2} \left( \frac{259,25^2}{138 \cdot 10} \right)^{1,25} \frac{\frac{18}{259,25} + \left( 1 - \frac{138}{259,25} \right) \cdot \tan 29,67}{\left( 1 - \frac{138}{259,2} \right)^3 + \frac{10,4 \cdot \left( 1,5 - 1,6 \cdot \frac{138}{259,25} \right)}{\left( \frac{259,25}{10} \right)^2}} = 0,4$$

$$\frac{b}{L_{stiff}} = 0,53 \leq 0,75$$

$$\theta = 35 - 10 \cdot \frac{b}{L_{stiff}} = 29,67$$

$$k_1 = 1,5$$

$$k_2 = 1,6$$

### Compresiunea tubului pe direcție transversală: Cedare la fața tălpii

Condiții de aplicabilitate

$$10 \leq \frac{L_{stiff}}{t_c} = \frac{259,25}{10} = 25,9 \leq 50$$

$$L_{stiff} = 244,25 + 15 = 259,25 \text{ mm}$$

$$0,08 \leq \frac{b}{L_{stiff}} = \frac{200}{259,25} = 0,77 \leq 0,75$$

NOK dar se acceptă în această situație

$$0,05 \leq \frac{c}{L_{stiff}} = \frac{53,5}{259,25} = 0,206 \leq 0,2$$

NOK dar se acceptă în această situație

Rigiditatea

$$k_6 = \frac{t_c^3}{14,4 \cdot \beta \cdot L_{stiff}^2} \left( \frac{L_{stiff}^2}{b \cdot t_c} \right)^{1,25} \frac{\frac{c}{L_{stiff}} + \left( 1 - \frac{b}{L_{stiff}} \right) \tan \theta}{\left( 1 - \frac{b}{L_{stiff}} \right)^3 + \frac{10,4 \left( k_1 - k_2 \frac{b}{L_{stiff}} \right)}{\left( \frac{L_{stiff}}{t_c} \right)^2}}$$

$$= \frac{10^3}{14,4 \cdot 1 \cdot 259,2^2} \left( \frac{259,2^2}{200 \cdot 10} \right)^{1,25} \frac{\frac{53,5}{259,2} + \left( 1 - \frac{200}{259,2} \right) \tan 25,9}{\left( 1 - \frac{200}{259,2} \right)^3 + \frac{10,4 \left( 1,5 - 1,6 \cdot \frac{200}{259,2} \right)}{\left( \frac{259,2}{10} \right)^2}} = 1,65 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{L_{stiff}} = 0,77 \geq 0,7$$

$$\theta = 49 - 30 \cdot \frac{b}{L_{stiff}} = 49 - 30 \cdot 0,77 = 25,9$$

$$k_1 = 1,5$$

$$k_2 = 1,6$$

**Întindere tubului pe direcție transversală: Cedare la forfecare prin străpungerea peretelui tăpii**

$$k_7 = \infty$$

**Compresiunea tubului pe direcție transversală: Cedare la forfecare prin străpungerea peretelui tăpii**

$$k_8 = \infty$$

#### 4.9.4.4 Rigiditatea inițială a nodului

Rigiditatea inițială

$$S_{\text{joint,init}} = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^8 \frac{1}{k_i}} = \frac{210000 \cdot 244,25^2}{\frac{1}{\infty} + \frac{1}{14,8} + \frac{1}{19,7} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,4} + \frac{1}{1,65} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{\infty}} = 3890 \text{ kNm}$$

**CAPITOLUL VI**  
**ÎMBINĂRI CARE PREIAU MOMENT ÎNCOVOIETOR**

## 4.4. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

În general nodurile grindă-stâlp care preiau momente încovoietoare sunt proiectate pe principiul formării articulației plastice în grindă sau îmbinare, evitându-se plastificarea îmbinării. Pentru acest scop există mai multe abordări de concepere a unei îmbinări, prin varierea diverselor componente ale acesteia. Deși există numeroase soluții tehnice de îmbinări rezistente la momente încovoietoare, sunt folosite cu precădere următoarele tipologii care îmbină grinzile de stâlpi, ambele elemente structurale având secțiuni din profile I sau H:

- îmbinări cu placă de capăt și șuruburi;
- îmbinări cu prindere sudată a grinzii de stâlp;
- îmbinări cu corniere.

### 4.4.1 Îmbinări cu placă de capăt și șuruburi

Caracteristicile îmbinării (momentul capabil și rigiditatea) depind în acest caz de componente și de variația acestora. O listă cu principalele componente care pot schimba comportamentul și caracteristicile acestui tip de îmbinare este dată mai jos:

- tipul plăcii de capăt folosite: de tip exact, extinsă sau extinsă cu rigidizări. Aceste tipuri de îmbinare sunt figurate în Figura 52 respectiv Figura 53;
- grosimea plăcii de capăt;
- diametrul șuruburilor;
- rigidizările de compresiune/întindere pe panoul de inimă al stâlpului;
- rigidizarea la forfecare a panoului de inimă al stâlpului.

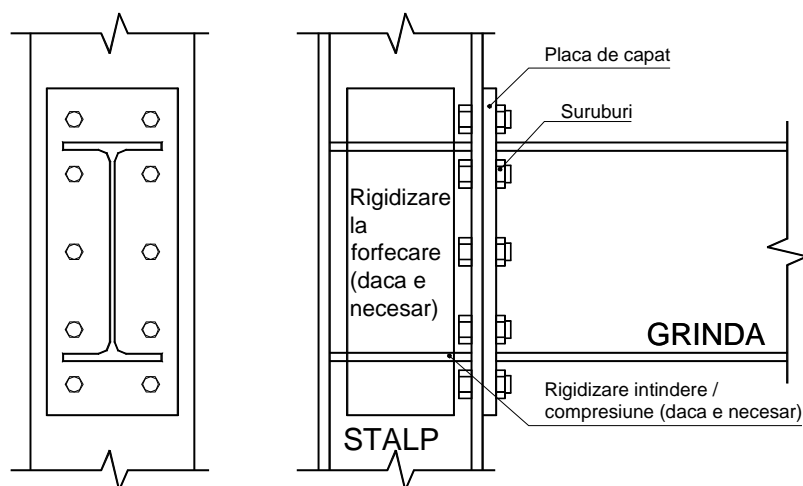


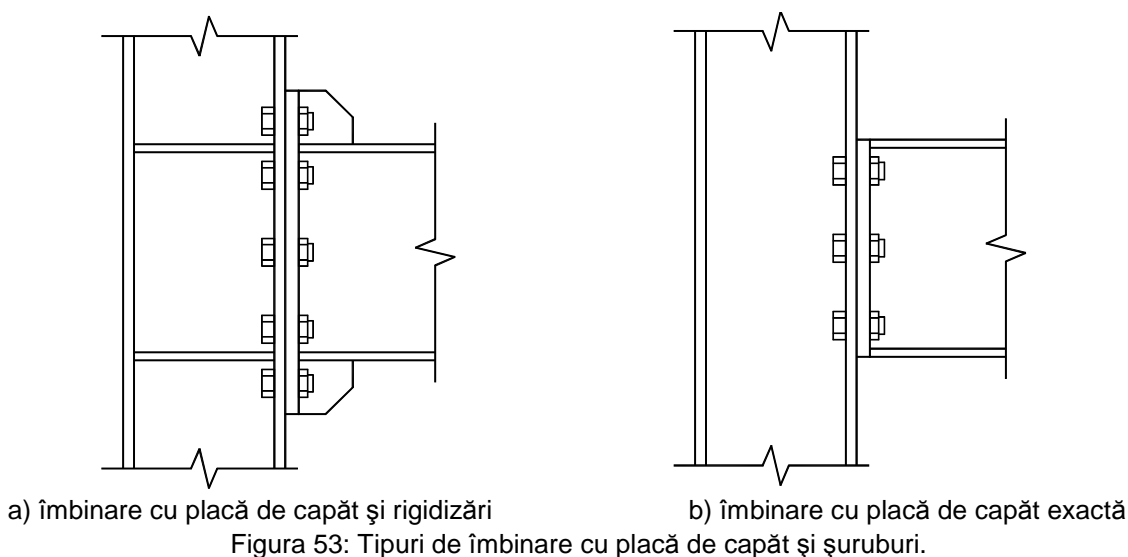
Figura 52: Componentele principale ale unei îmbinări cu placă de capăt și șuruburi.

Figura 52 prezintă principalele elemente care compun îmbinarea cu placă de capăt. Placa de capăt extinsă este folosită de obicei atunci când se dorește o rezistență sporită la momente încovoietoare, iar rezistența nodului să fie apropiată de cea a grinzii metalice. Pentru a ajunge însă la o rezistență a nodului comparabilă cu cea a grinzii, placa de capăt și șuruburile trebuie să aibă grosimi respectiv diametre corespunzătoare.

Pentru sporirea rezistenței se pot folosi rigidizări orizontale pe panoul de inimă al stâlpului, în dreptul tălpilor grinzii. Acestea preiau eforturile din zonele întinse induse de rândurile de șuruburi din partea superioară a îmbinării, respectiv eforturile de compresiune provenite din talpa inferioară a grinzii.

Plăcile de dublare a inimii stâlpului se dispun atunci când nodul are rezistența limitată de forfecarea panoului de inimă al stâlpului. De multe ori aceste plăci conduc la o creștere mai eficientă a rezistenței și rigidității nodului decât creșterea grosimii plăcii de capăt sau a grosimii șuruburilor.

O soluție de asemenea eficace de creștere a rezistenței este prin intervenția în partea extinsă a plăcii de capăt prin dispunerea unor rigidizări sudate pe placa de capăt și talpa grinzii (vezi Figura 53 a). În mod normal rezistența la tracțiune a rândului de șuruburi din partea extinsă este limitată datorită faptului că șuruburile nu sunt rigidizate decât pe o singură direcție (de către talpa grinzii), în timp ce șuruburile din rândul imediat inferior sunt dublu rigidizate (de talpa și inima grinzii) prin urmare ultimele pot prelua forțe de tracțiune superioare. Prin dispunerea rigidizărilor în partea extinsă, rezistența primului rând de șuruburi va putea fi calculată ca pentru șuruburile dublu rigidizate.



O soluție foarte simplă de îmbinare este prin placă de capăt exactă (vezi Figura 53 b). Deși din această tipologie pot rezulta foarte greu îmbinări total rezistente și rigide, în multe cazuri acest tip de îmbinare conduce la rezistențe suficiente pentru eforturile structurale rezultate. Modul de îmbinare cu placă de capăt exactă este o alternativă bună nodurilor simple pentru echilibrarea momentelor și a deformațiilor din mijlocul grinzilor.

#### 4.4.2 Îmbinări sudate

Îmbinările sudate pe șantier (vezi Figura 54) conferă un grad ridicat de rezistență și rigiditate. Prin asigurarea unei suduri cu o rezistență cel puțin egală cu cea a materialului de bază, acest tip de îmbinare poate fi considerată de rezistență egală cu cea a grinzii îmbinate (cedarea grinzii devine componenta minimă). Rigiditatea însă este dictată de flexibilitatea panoului de inimă a stâlpului și implicit de grosimea acestuia. Și în acest caz se poate obține o rigiditate mai mare prin dispunerea unor plăcuțe de rigidizare a panoului stâlpului la forfecare.

Totuși, pe lângă aceste avantaje, diverse cutremure (printre care cutremurul de la Northridge, USA – 1994 și cel de la Kobe, Japonia, 1995) și mai apoi numeroasele studii experimentale efectuate pe acest tip de îmbinări au demonstrat vulnerabilitatea îmbinărilor sudate, care se manifestă prin cedarea fragilă și lipsa ductilității. Prin urmare, au fost recomandate diverse tipologii de îmbinare care să îndepărteze articulația plastică de sudură. Astfel, tipologiile schițate în Figura 55 au ca principal scop formarea articulației plastice în grinda îmbinată și nu în îmbinare.

Figura 55 a) reprezintă o îmbinare vutată simetric care conduce la avantajul unei îmbinări simetrice. Probleme pot apărea datorită prezenței planșeului din beton armat la partea superioară.

Îmbinarea din Figura 55 b) este o îmbinare cu o singură vută, în care evazarea grinzii se produce doar la partea inferioară. În cazul în care se dorește o întărire a îmbinării fără creșterea secțiunii grinzii se poate apela la soluția din Figura 55 c) în care îmbinarea este întărită de eclisele orizontale prevăzute deasupra tălpilor grinzii și sudate pe șantier de acestea.

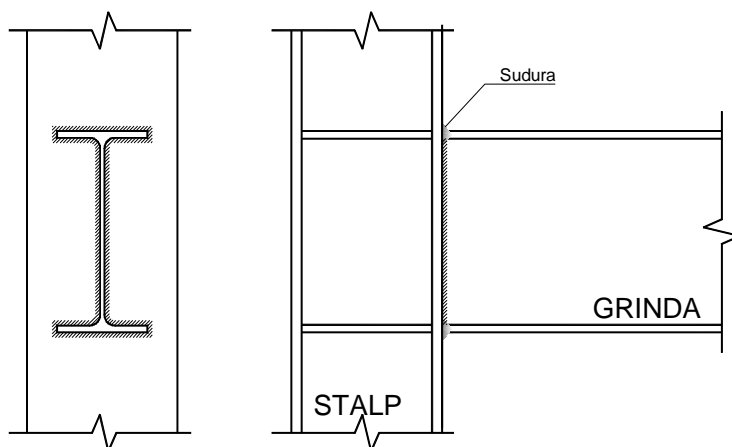
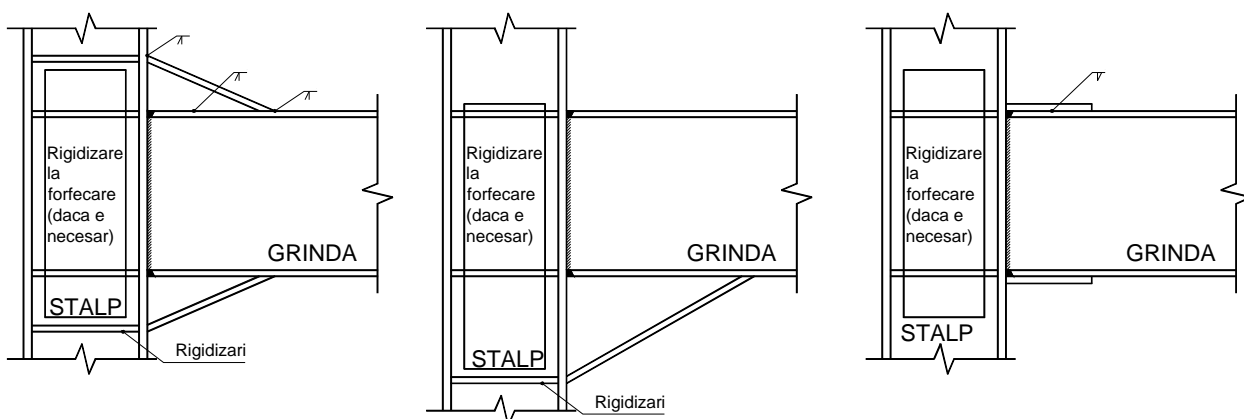


Figura 54: Îmbinare sudată clasică.



a) îmbinare cu vute simetrice

b) îmbinare cu vută asimetrică

c) îmbinare cu eclise pe tălpile grinzii

Figura 55: Tipologii de îmbinări sudate întărite la prindere.

O altă soluție de îndepărtare a concentrării deformațiilor plastice în grindă se poate realiza prin **reducerea secțiunii grinzii** ca în Figura 56. Reducerea secțiunii grinzii se face prin înlăturarea unei porțiuni a tăpii grinzii. În acest mod se forțează apariția articulației plastice într-o locație specificată, care posedă ductilitate înaltă. Geometria grinzii și a secțiunii reduse trebuie să fie proiectată astfel încât capacitatea de rezistență la moment încovoietor să fie depășită mai întâi în secțiunea redusă și apoi în secțiunea de la fața stâlpului.

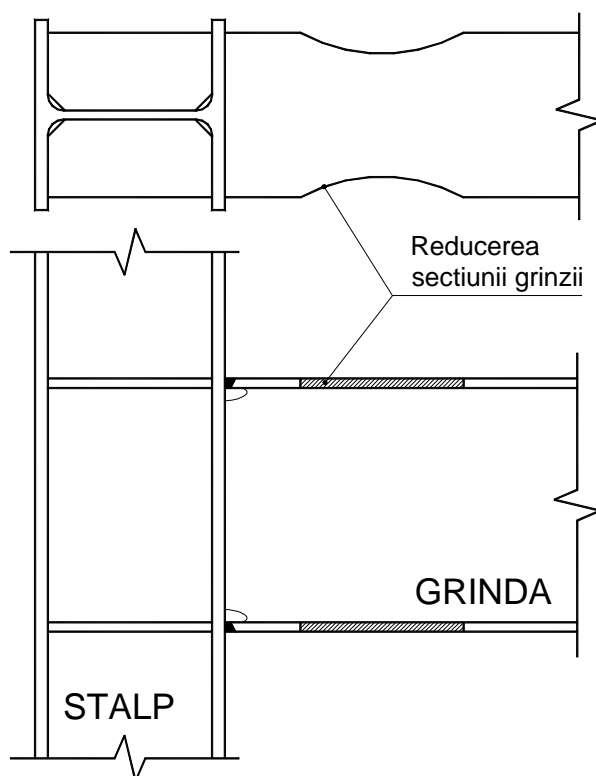


Figura 56: Îmbinare sudată cu reducerea secțiunii grinzii.

#### 4.4.3 Îmbinări cu corniere

Îmbinările cu corniere pe tălpile grinzii și cea a stâlpului preiau eforturile de întindere și cele de compresiune prin intermediul cornierelor prinse cu șuruburi pe talpa grinzii și cea a stâlpului (vezi Figura 57). În plus, eforturile de forfecare din grindă pot fi și ele transmise tot prin intermediul cornierelor prinse între inima grinzii și talpa stâlpului. Principalele probleme înregistrate în folosirea acestor tipuri de îmbinări sunt legate de alunecarea șuruburilor în găurile din tălpi și corniere și solicitarea la încovoiere a profilului de cornier.

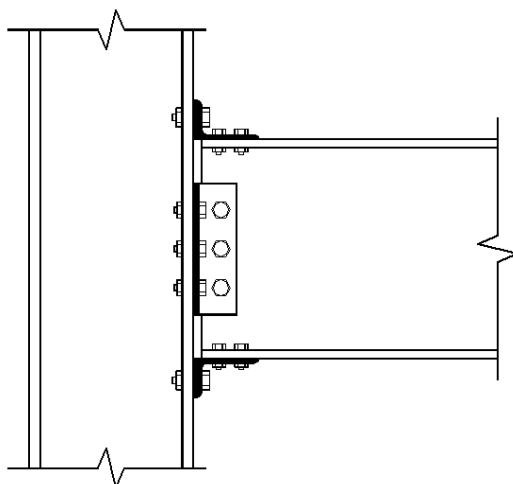


Figura 57: Îmbinare cu corniere între tălpile grinzii și talpa stâlpului.

#### 4.4.4 Modalități de întărire a panoului de inimă al stâlpului.

Indiferent de tipologia de îmbinare aleasă (cu șuruburi, sudate sau cu corniere), panoul de inimă al stâlpului poate fi componenta de rezistență minimă și poate induce deformații premature sau exagerate ale nodului. Deși este o componentă cu ductilitate sporită, în calculul seismic

deformația panoului de inimă este limitată la 30% din deformabilitatea nodului (vezi SR-EN 1998, cap. 6).

În proiectarea curentă există două posibilități de îmbunătățire a capacității panoului la forfecare:

- prin alegerea unei secțiuni de stâlp superioare cu grosime de inimă mai mare sau
- prin sudarea unor plăcuțe suplimentare pe inima stâlpului în regiunea nodului.

Referitor la ultima alternativă, SR-EN 1993-1.8 permite dispunerea unei plăcuțe sau a două plăcuțe (simetric) pe inima stâlpului (Ref. Secțiunea 6.2.6.1 din SR-EN 1993-1.8 - vezi Figura 58), astfel încât placa suplimentară pe inimă să se extindă cel puțin până la baza razei de racordare iar înălțimea acesteia astfel ca placa suplimentară pe inimă să se extindă pe întreaga lățime efectivă a inimii din zona întinsă și comprimată. Aceste valori rezultă din calculul componentelor respective.

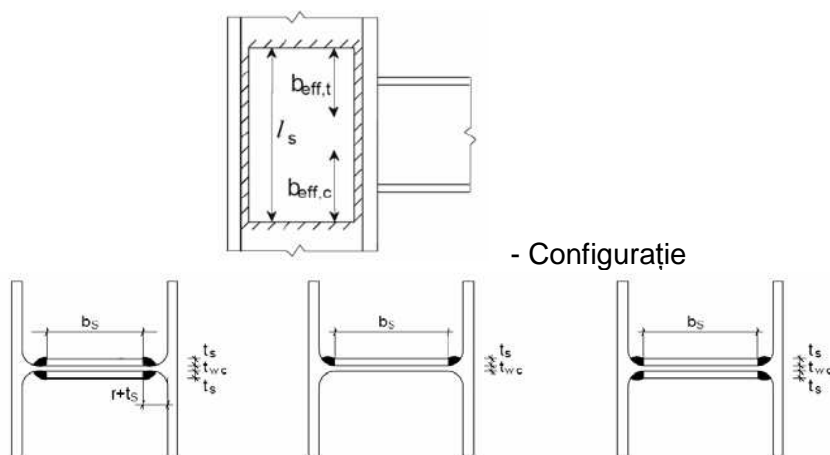


Figura 58: Modalitatea de dispunere a plăcilor suplimentare pe inima stâlpilor (SR-EN 1993-1.8, 2006).

Cu toate că nu există o limitare în alegerea grosimii plăcuțelor suplimentare de inimă, în calculul componentei, aria inimii stâlpului este  $A_{vc}$  poate fi majorată doar cu aria unei singure plăcuțe suplimentare cu grosimea egală cu cea a inimii stâlpului  $b_s t_{wc}$ .

Studii efectuate la Universitatea „Politehnica” din Timișoara (Ciutina et al, 2008) au demonstrat faptul că sporirea rezistenței este direct proporțională cu aria plăcuțelor suplimentare, în timp ce ductilitatea nodului rămâne ridicată (atât la încărcări monotone cât și la încărcări oligociclice). Figura 59 prezintă sintetic rezultatele obținute pe noduri pentru diverse modalități de întărire a panoului de inimă a stâlpului.



Figura 60 arată un exemplu de deformație ultimă pentru panoul stâlpului (încărcare monotonă)

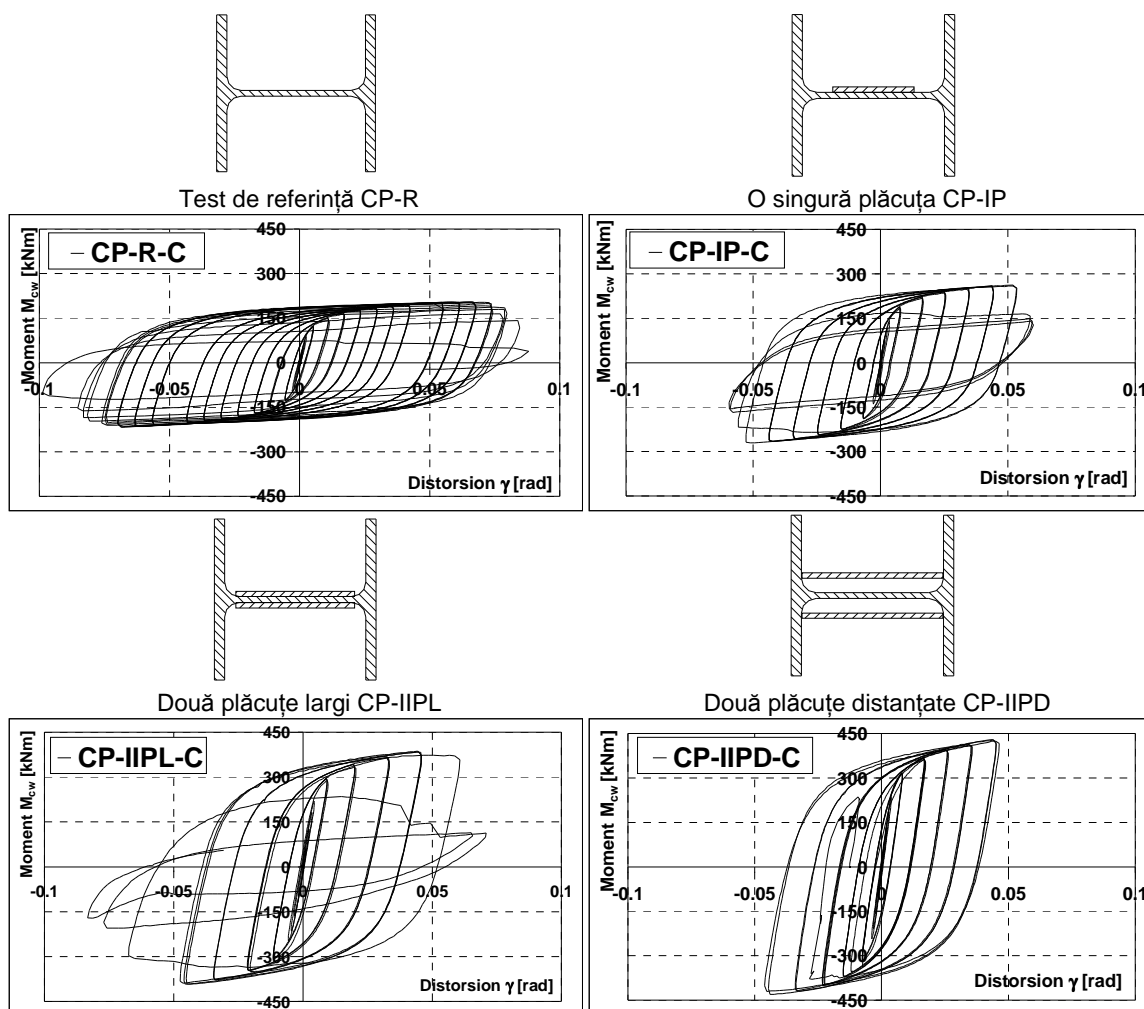


Figura 59: Teste și rezultate (curbe  $M-\gamma$ ) pentru panoul de inimă al stâlpului (Ciutina, 2008).



Figura 60: Modul de deformare al panoului de inimă al stâlpului (Ciutina, 2008).

#### 4.4.5 Nodurile la baza stâlpilor

Nodurile de la baza stâlpilor sunt compuse dintr-un element vertical (stâlpul), o placă de bază și un ansamblu de ancorare. Bazele stâlpilor pot fi calculate ca plăci de bază nerigidizate sau rigidizate, dacă se presupune că baza stâlpului trebuie să transmită momente încovoietoare importante. Baza stâlpului este rezemată de obicei pe un bloc de beton.

SR-EN 1993-1-8 include reguli pentru calculul rezistenței și rigidității bazei stâlpului. Metoda de calcul este aplicabilă atât pentru stâlpi cu secțiuni deschise, cât și pentru stâlpi cu secțiuni închise. Alte detalii de baze de stâlpi pot fi adoptate, incluzând plăci de bază întărite prin adăugarea unor elemente metalice și prin înglobarea părții inferioare a stâlpului în fundația de

beton. Influența suportului de beton, care ar putea fi considerabilă în anumite condiții de teren, nu este acoperită de SR-EN 1993, însă face referire la regulile specifice în SR-EN 1992.

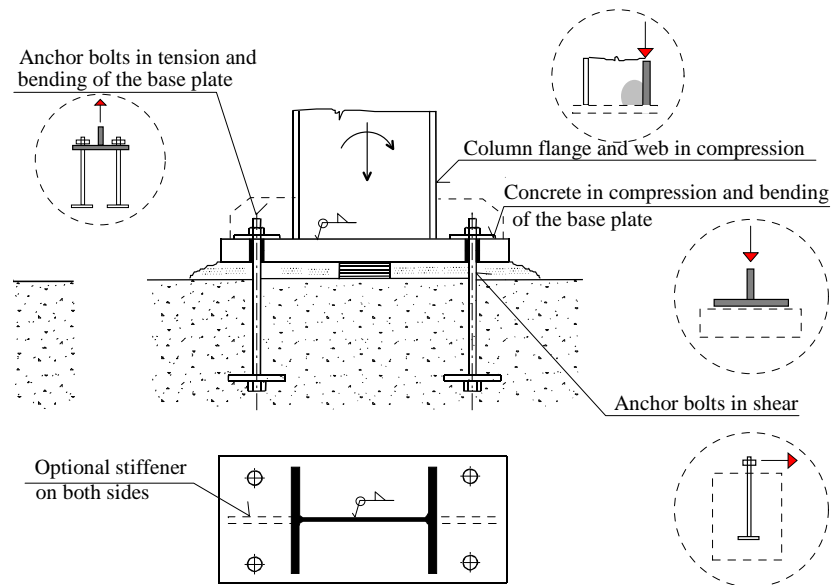
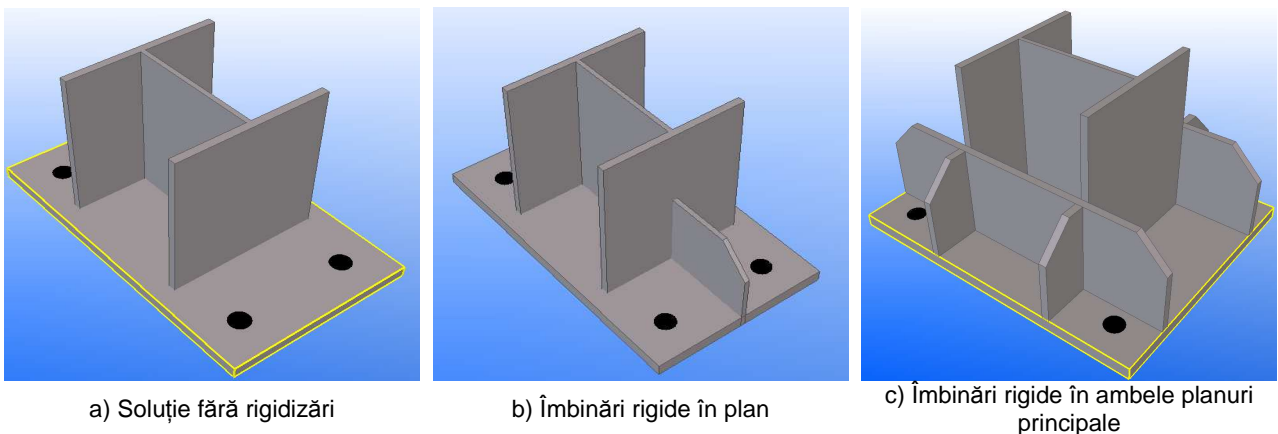


Figura 61: Îmbinare la baza stâlpului care preia moment încovoietor (CESTRUÇO, 2003).

În multe situații soluția prezentată în Figura 61 fără rigidizări poate asigura transferul momentelor încovoietoare de calcul fundației, deși tipologia conduce în aproape toate cazurile la noduri semi-rigide și parțial rezistente. Pentru a asigura însă o îmbinare rigidă este nevoie de rigidizarea plăcii de bază ca în Figura 62 b). Rigidizarea plăcii va conduce la preluarea unui efort mai mare la tracțiune a buloanelor de ancoraj (calculul plăcii de bază la încovoiere se va face ca pentru un rând de șuruburi situate lângă rigidizări), iar la compresiune placa va avea deformabilitate mai mică. Totuși, soluția b) nu poate fi aplicată pentru preluarea momentelor în direcția perpendiculară pe plan. Pentru realizarea unor îmbinări la baza stâlpului care să preia momentele încovoietoare în ambele planuri se va considera soluția c) din Figura 62 care este rigidă pe ambele direcții principale ale stâlpului.



a) Soluție fără rigidizări

b) Îmbinări rigide în plan

c) Îmbinări rigide în ambele planuri principale

Figura 62: Modalități de rigidizare a bazei stâlpului

## 4.5. METODA COMPONENTELOR

### 4.5.1 Prezentarea metodei

Calculul caracteristicilor nodurilor grindă-stâlp prezentat în Eurocode 3 se face pe baza metodei componentelor. Conform acestui model, fiecare nod este împărțit în trei zone care sunt solificate diferit (vezi Figura 63):

- zona solicitată la întindere;
- zona solicitată la compresiune;
- zona solicitată la forfecare.

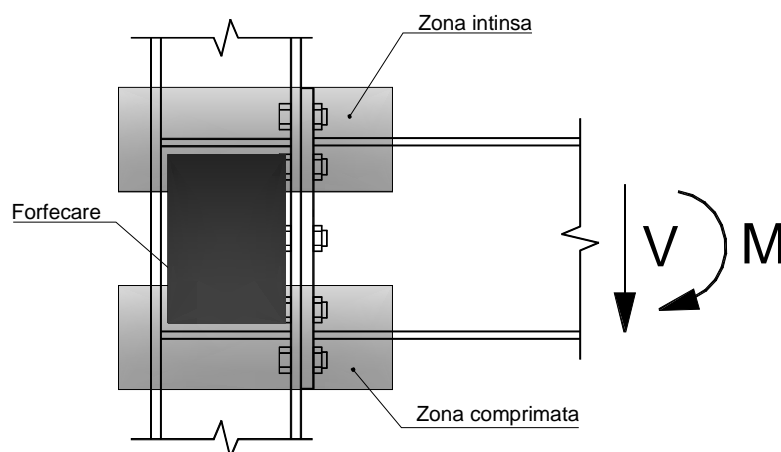


Figura 63: Delimitarea zonelor de solicitare într-un nod.

În fiecare zonă de solicitare pot fi identificate câteva surse de deformabilitate care reprezintă elemente simple (sau „componente”) care contribuie la răspunsul global al nodului. Din punct de vedere teoretic, această metodologie poate fi aplicată oricărei configurații de nod și tip de încărcare, cu condiția ca să existe o caracterizare exactă a fiecărei componente de bază.

În principiu, pentru a putea aplica metoda componentelor la noduri trebuie urmăriți următorii trei pași pentru o anumită tipologie de îmbinare:

- identificarea componentelor active;
- caracterizarea răspunsului fiecărei componente printr-un model de tip resort  $F-\Delta$  (rezistență-deformație);
- asamblarea elementelor active într-un model mecanic realizat din resorturi liniare și elemente rigide. Prin asamblarea componentelor rezultă un singur element echivalent, în care caracteristicile  $F-\Delta$  sunt folosite pentru generarea unei curbe globale  $M-\Phi$  a nodului.

Metoda componentelor este ilustrată în Figura 64 pentru cazul particular al unei îmbinări cu placă de capăt și șuruburi, cu trei rânduri de șuruburi întinse. Pentru calculul rezistenței și a rigidității sunt considerate următoarele componente:

- panoul de inimă al stâlpului la forfecare –  $cws$ ;
- inima stâlpului la compresiune –  $cwc$ ;
- elementele de întindere pentru fiecare rând de șuruburi:
  - o talpa stâlpului la încovoiere –  $cfb$ ;
  - o placa de capăt la încovoiere –  $epb$ ;
  - o șuruburile la întindere –  $bt$ ;
  - o inima stâlpului la întindere –  $cwt$ ;
  - o inima grinzii la întindere –  $bwt$  – pentru șuruburile nerigidizate.

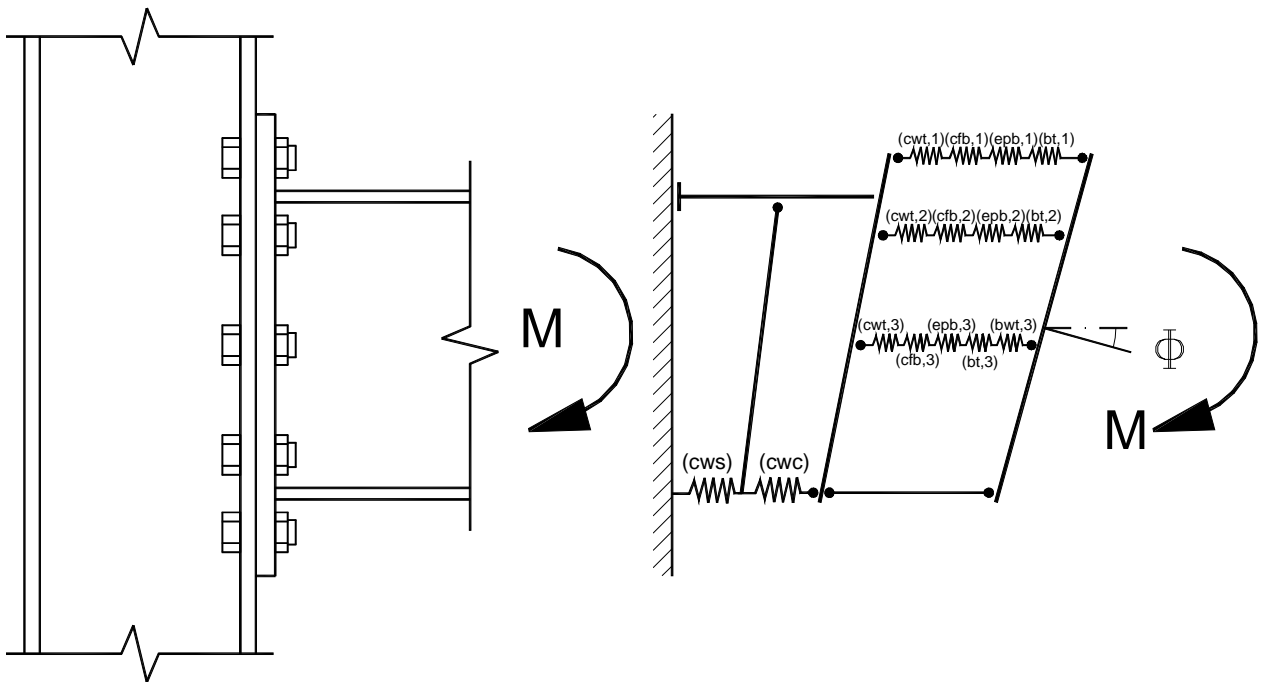


Figura 64: Metoda componentelor: componentele active și modelul mecanic adoptat după Eurocode 3 pentru caracterizarea rigidității (adaptare după Girao A.M., 2004).

Fiecare componentă este caracterizată de un răspuns neliniar  $F-D$ , care este obținut în mod analitic sau experimental. Componentele individuale sunt apoi asamblate (prin legare în serie sau în paralel) pentru a rezulta o singură componentă cu o lege de răspuns  $M-F$ .

#### 4.5.2 Caracteristicile componentelor

Componentele de bază ale îmbinărilor sunt modelate prin intermediul unui resort liniar, cu caracteristici elastic-plastice. Practic, răspunsul complex al unui resort este simplificat printr-o relație biliniară elastică-perfect plastică, ca în Figura 65. Cele două caracteristici care permit modelarea comportamentului resortului sunt *rigiditatea axială* –  $K$  respectiv *rezistența plastică* (vezi Figura 66).

În cazul modelării, caracteristicile componentelor sunt:

- rigiditatea secantă la întindere/compresiune  $k_e/h$ ;
- rezistența plastică la întindere/compresiune  $F_{Rd}$ ;

unde  $k_e$  reprezintă rigiditatea inițială a componentei iar  $h$  este un coeficient de modificare a rigidității.

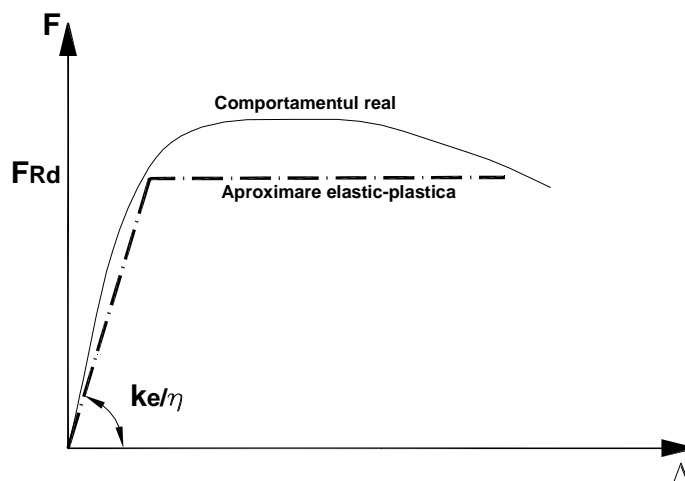


Figura 65: Comportamentul real și comportamentul aproximativ biliniar al unei componente.

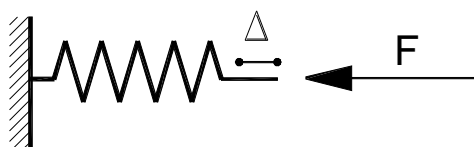


Figura 66: Modelarea unei componente supuse la efort axial.

În concordanță cu modelul adoptat de Eurocode 3 1-8, ecrusarea și efectele de neliniaritate geometrică sunt neglijate. În ceea ce privește ductilitatea componente (extinderea platoului plastic), normativul prezintă doar principii cantitative, în care se pot regăsi doar principii de bază pentru majoritatea componentelor. Spre exemplu panoul stâlpului la forfecare este considerat foarte ductil, prin urmare ductilitatea poate fi considerată ca infinită; pe de altă parte șuruburile la întindere sunt considerate elemente fragile, deci nu prezintă un platou plastic.

#### 4.5.3 Gruparea componentelor

Primul pas în găsirea unor componente unice ale unui nod este identificarea grupurilor de elemente care sunt legate în serie/paralel. Rigiditatea la translație, rezistența și capacitatea de deformare sunt considerate separat. Pentru fiecare componentă, rigiditatea la translație  $c_i$  este definită de raportul dintre forța de deformare și deformația componente:

$$C_i = F_i / w_i \quad (4)$$

Coeficienții de rigiditate  $k$  folosiți în SR-EN 1993-1-8 sunt definiți în funcție de prin:

$$k_i = c_i / E \quad (5)$$

unde:  $E$  este modulul de elasticitate al materialului considerat.

Dacă nodul este exclusiv metalic, atunci în calculul rigidității componentelor, modulul de elasticitate poate interveni numai în formula finală a rigidității. În cazul în care într-o îmbinare sunt prezente mai multe materiale cu module de elasticitate diferite (spre exemplu în cazul îmbinărilor compuse oțel-beton), devine mai convenabilă folosirea rigidității  $c_i$ . Totuși, și în aceste situații se preferă folosirea unor coeficienți de echivalență, pentru folosirea coeficienților de rigiditate.

##### 4.5.3.1 Gruparea liniară

Pentru componentele care acționează în paralel, rezistențele și rigiditățile trebuie adunate. Cu toate acestea, capacitatea de deformație cea mai mică va determina ductilitatea întregului ansamblu. Acest lucru este ilustrat în diagrama inferioară din Figura 67, urmărind partea verticală a figurii.

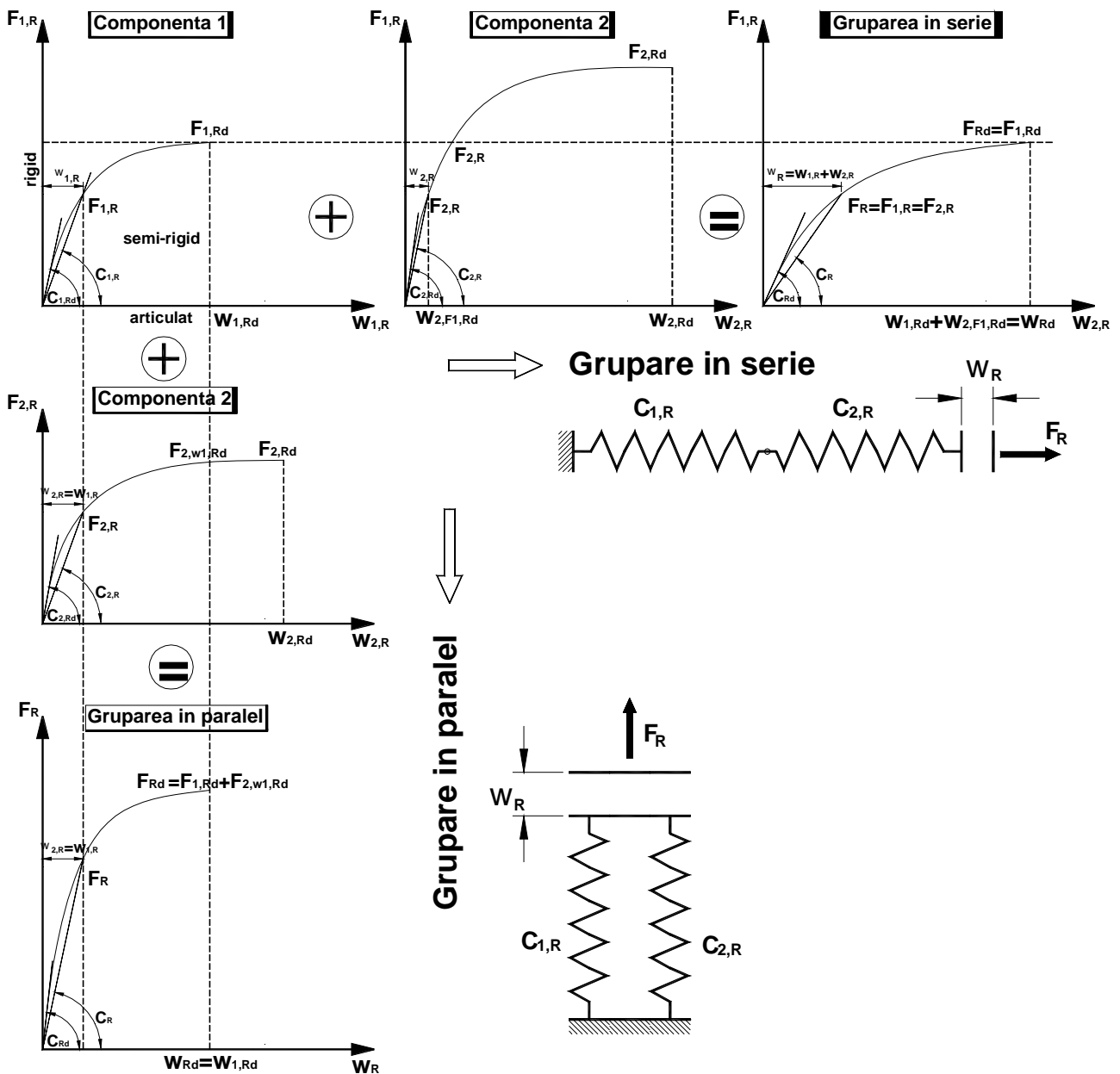


Figura 67: Gruparea liniară a componentelor (figură adaptată după Anderson et al., 1999).

Pentru componentele care sunt legate în serie, spre exemplu un rând de șuruburi (cu componentele placa de capăt la încovoiere, șuruburile întinse și talpa stâlpului la încovoiere), rigiditatea inițială se obține printr-o ecuație de reciprocitate, iar rezistența este cea a componentei minime. Capacitatea de deformație este cea a componentei minime la care se adună deformațiile celorlalte componente corespunzătoare nivelului respectiv de încărcare. Acest comportament este ilustrat în partea orizontală din Figura 67.

Prin gruparea liniară a regiunilor comprimate sau forfecate rezultă un singur resort translațional pentru fiecare grup cu rigiditate, rezistență și capacitate de deformație proprie. Tabelul 1 oferă principal rezultatele obținute prin gruparea în serie și paralel a componentelor.

Tabelul 9 Rezultatele grupării componentelor în serie și paralel.

Caracteristică	Grupare	
	În paralel	În serie
Rigiditatea inițială $C_{Rd}$	$C_{1,Rd} + C_{2,Rd}$	$1/(1/C_{1,Rd} + 1/C_{2,Rd})$
Rezistența $F_{Rd}$	$F_{1,Rd} + F_{2,w1,Rd}$	$F_{1,Rd}$

Capacitatea de deformare $W_{Rd}$	$W_{1,Rd}$	$W_{1,Rd} + W_{2,F1,Rd}$
-----------------------------------	------------	--------------------------

În general tensiunile întinse constau din mai multe rânduri de șuruburi. Acestea vor fi grupate într-un singur resort translațional prin considerarea comportamentului rotațional al nodului.

#### 4.5.3.2 Gruparea rotațională

Pentru gruparea rotațională a componentelor se consideră în mod simplificat faptul că centrul de rotire pentru toate rândurile întinse se găsește în centrul tălpii inferioare a grinzii, deși acest lucru este valabil numai pentru îmbinările cu o rigiditate mare a componentelor comprimate. În acest caz, rigiditatea la rotire  $S_{eff,i}$  este determinată pe baza rigidității liniare prin:

$$S_{eff,i} = C_{eff,i} z_i^2 \quad (6)$$

unde:  $z_i$  este distanța de la centrul de rotire la resortul  $i$ .

Cerința care de rotire uniformă care trebuie satisfăcută impune ca relația moment-rotire a sistemului real și a celui echivalent (vezi Figura 68) să fie egale. O condiție adițională este ca echilibrul forțelor să fie menținut. Având îndeplinite aceste condiții, rigiditățile rândurilor întinse pot fi înlocuite printr-o rigiditate liniară echivalentă  $c_{eq}$  situată la distanța  $z$  (brațul de levier echivalent) deasupra centrului de compresiune.

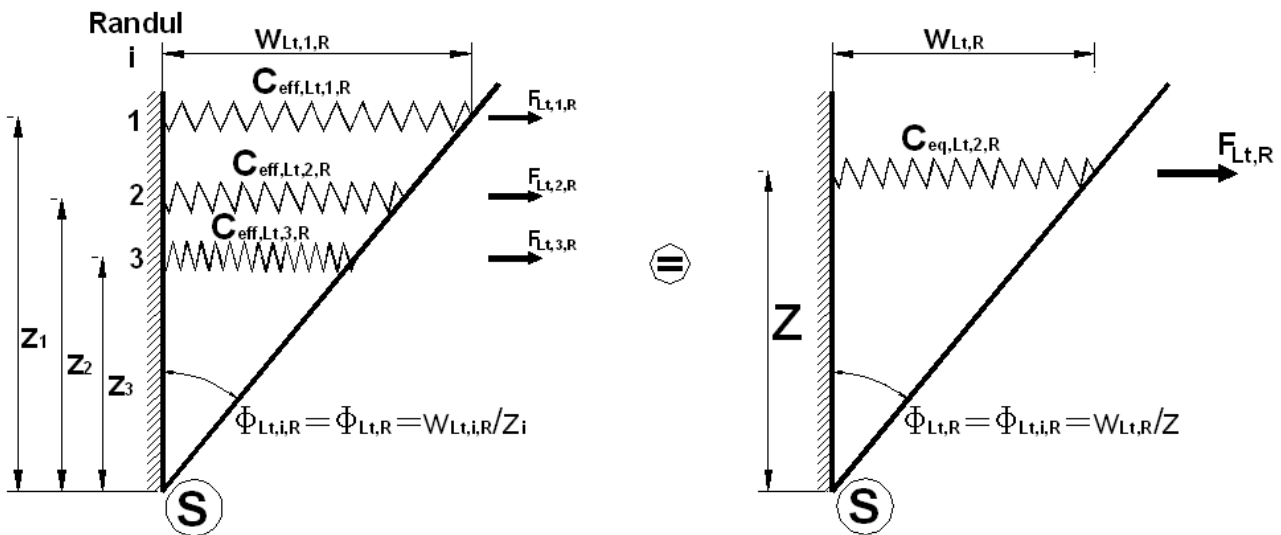


Figura 68: Gruparea rotațională a componentelor (figură adaptată după Anderson et al., 1999).

Tabelul 10, Tabelul 11 și Tabelul 12 arată modul în care se obțin rezistența și capacitatea de deformare a regiunii întinse, în ipoteza în care al doilea rând de șuruburi limitează capacitatea de deformare.

Tabelul 10 Caracteristicile grupării rotaționale ale rândurilor întinse.

Caracteristică	Rânduri $i=1,2,3$
Rigiditatea inițială	$S_{eff,Lt,iRd} = C_{eff,Lt,i,Rd} z_i^2$
Rezistența	$M_{Lt,i,Rd} = F_{Lt,i,R} z_i$
Capacitatea de deformare	$F_{Lt,i,R} = W_{Lt,i,R} / z_i$

Tabelul 11 Condițiile de echilibru ale nodului.

1. CONDIȚIA $\Sigma M = 0$ $\sum_i M_{Lt,i,R} = M_{Lt,R}$	2. CONDIȚIA $\Sigma H = 0$ $\sum_i F_{Lt,i,R} = F_{Lt,R}$
--	--

$$\sum_i \underbrace{\underbrace{\underbrace{M_{L,i,R}}_{F_{L,i,R}}}_{w_{L,i,R}}}_{\phi_{L,i,R} z_i} c_{eff,Lt,i,R} z_i = \underbrace{\underbrace{\underbrace{M_{L,R}}_{F_{L,R}}}_{w_{L,R}}}_{\phi_{L,R} z} c_{eq,Lt,R} z \quad (7)$$

$$\sum_i \underbrace{\underbrace{\underbrace{F_{L,i,R}}_{w_{L,i,R}}}_{\phi_{L,i,R} z_i}}_{\phi_{L,i,R} z_i} c_{eff,Lt,i,R} = \underbrace{\underbrace{\underbrace{F_{L,R}}_{w_{L,R}}}_{\phi_{L,R} z}}_{\phi_{L,R} z} c_{eq,Lt,R} \quad (8)$$

Din ecuațiile 4 și 5 se obține:

$$z = \frac{\sum_i c_{eff,Lt,i,R} z_i^2}{\sum_i c_{eff,Lt,i,R} z_i} \quad \text{respectiv} \quad c_{eq,Lt,R} = \frac{\sum_i c_{eff,Lt,i,R} z_i^2}{z^2}$$

Tabelul 12 Rezultatele grupării rotaționale a componentelor.

Caracteristică	Rânduri i=1,2,3
Rigiditatea inițială	$c_{eq,Lt,Rd} = \sum_i c_{eff,Lt,i,R} z_i^2 \cdot \frac{1}{z^2}$
Rezistența	$F_{Lt,Rd} = \left( F_{Lt,2,Rd} z_2 + \sum_{i=1,3} F_{Lt,i,w_{L,2,Rd},R} z_i \right) \cdot \frac{1}{z}$
Capacitatea de deformare	$w_{Lt,Rd} = w_{Lt,2,Rd} \cdot \frac{1}{z_2} \cdot z$

#### 4.5.3.3 Transformarea caracteristicilor

Procedurile descrise anterior de grupare a caracteristicilor redau relațiile moment-rotire în punctele S și L după cum schematizate în Figura 69 a. În aceste modele resoartele îmbinărilor sunt modelate la frontiera nodului (Figura 69 b). Pentru modelul simplificat din Figura 69 c, modelul echivalent de resorturi pentru forfecare (în panou) și cele ale îmbinărilor laterale este localizat în intersecția C a axelor grinzii și a stâlpului.

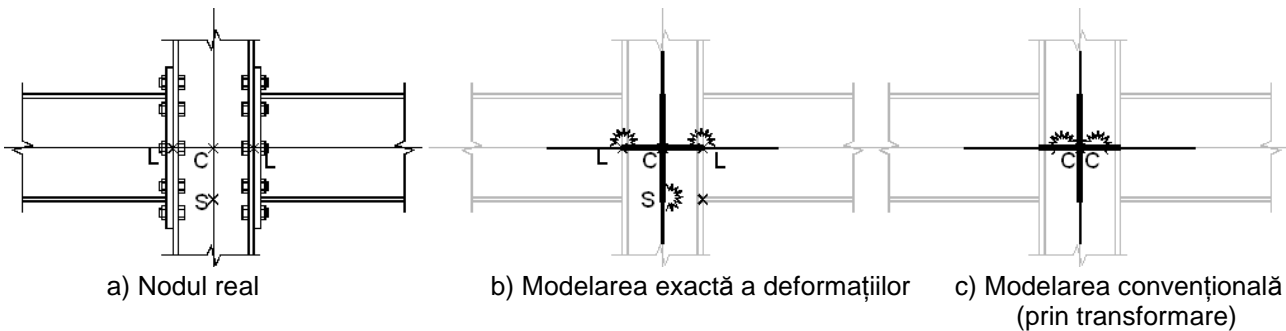
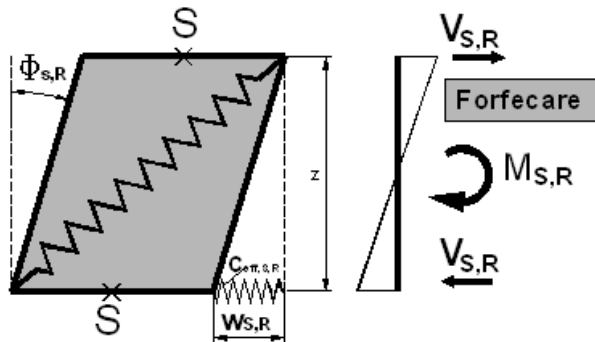


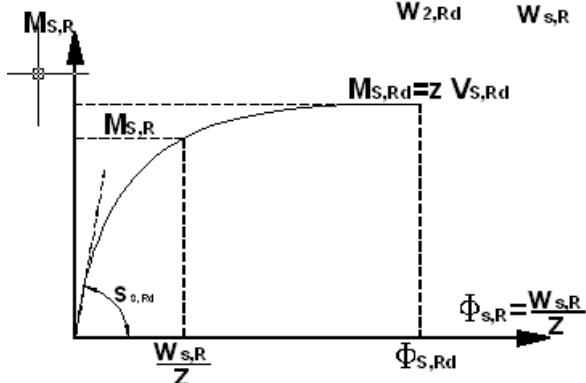
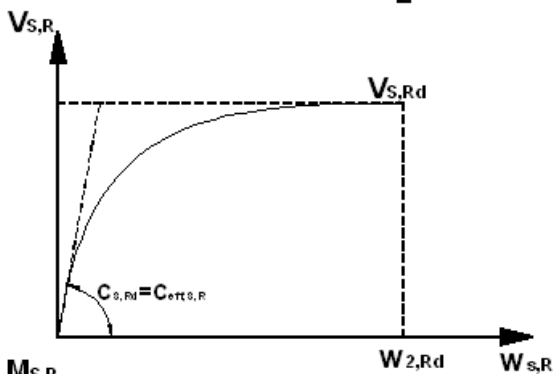
Figura 69: Modelarea nodurilor.

Modul de conversie este ilustrat în Figura 74, iar formulele de transformare în Tabelul 13. Rigiditatea efectivă a regiunii forfecate este transformată într-un resort de încovoiere prin multiplicarea cu  $z^2$ . Rigiditatea efectivă liniară pentru zona comprimată și rigiditatea echivalentă pentru zona întinsă sunt grupate în paralel. Rigiditatea resortului liniar obținut este transformată apoi într-un resort de încovoiere prin multiplicarea cu brațul echivalent  $z^2$ .

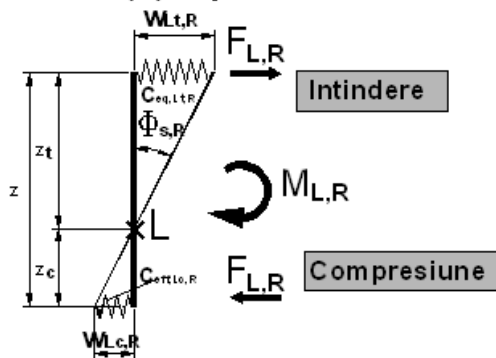
**Grupare rotationala  
Forfecare (S) in punctul S**



$$M_{S,R} = z V_{S,R} \quad \Phi_{S,R} = \frac{W_{S,R}}{z}$$



**Grupare rotationala  
Compresiune (C) si  
intindere (T) in punctul L**



$$M_{L,R} = (z_c + z_t) F_{L,R} = z F_{L,R} \quad \Phi_{L,R} = \frac{W_{Lt,R} + W_{Lc,R}}{z}$$

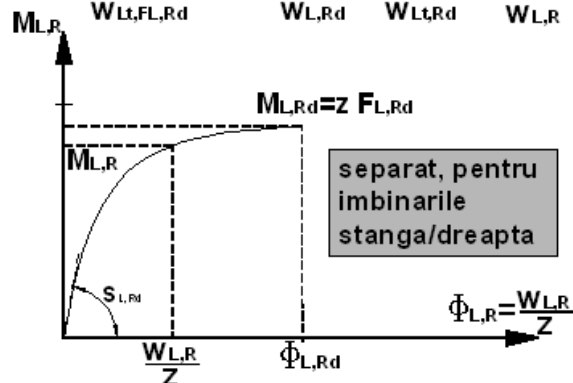
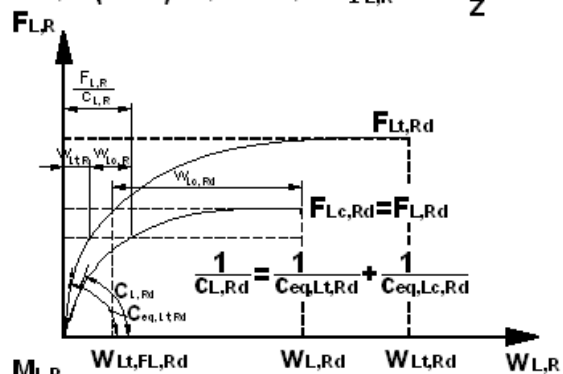


Figura 70: Transformarea caracteristicilor componentelor (figură adaptată după Anderson et al., 1999).

Tabelul 13 Formule de calcul pentru transformarea caracteristicilor componentelor.

	Netransformată în S	Netransformată în L	Transformată din S în C	Transformată din L în C
<b>RIGIDITATEA</b>	$S_{S,Rd} = \frac{z^2}{C_{eff,S,Rd}}$	$S_{L,Rd} = \frac{z^2}{\frac{1}{C_{eff,Lc,Rd}} + \frac{1}{C_{eff,Lt,Rd}}}$	$S_{SC,Rd} = S_{S,Rd} \frac{1/\beta}{1 - \frac{S_{S,Rd}}{S_{stalp}}}$	$S_{LC,Rd} = S_{L,Rd} \frac{1}{1 - \frac{S_{L,Rd}}{S_{grinda}}}$
	$S_{j,ini} = \frac{z^2}{\frac{1}{C_{eff,S,Rd}} + \frac{1}{C_{eff,Lc,Rd}} + \frac{1}{C_{eff,Lt,Rd}}} = \frac{z^2}{\sum \frac{1}{C_i}}$		Transformată în C	$S_{j,ini} = \frac{1}{\frac{1}{S_{SC,Rd}} + \frac{1}{S_{LC,Rd}}}$
<b>REZISTENȚA DE CALCUL</b>	$M_{j,Rd} = \sum_{r=1-i} z_r F_{Lr,Rd} = \sum_{r=1-i} h_r F_{Lr,Rd}$			

**NOTĂ:** Este evident că valoarea momentului încovoietor crește de la fața stâlpului în axa acestuia, însă acest lucru conduce la o proiectare mai conservativă. Pe de altă parte,

mutarea centrului de rotire de la fața în axul stâlpului va conduce la o extra-rotire a nodului, conducând la o supraestimare a deformației globale a cadrului.

#### 4.5.3.4 Rezistența la momente încovoietoare a nodului

Considerând o distribuție plastică a forțelor de întindere (permisă de Eurocode 3), rezistența la momente încovoietoare este determinată ca suma momentelor individuale ale rândurilor întinse:

$$M_{Rd} = \sum F_{Lt,i,Rd} h_i \quad (9)$$

Pentru echilibrul nodului, suma forțelor de întindere  $\sum F_{Lt,i,Rd}$  trebuie să fie mai mică decât rezistența grupului comprimat  $F_{Lc,Rd}$  și decât cea a rezistenței la forfecare  $V_{S,Rd}/b$ . Dacă această condiție este îndeplinită pentru rândul  $i$  întins, atunci contribuția tuturor rândurilor inferioare acestuia la momentul încovoietor se neglijează.

#### 4.5.3.5 Rigiditatea la rotire

În modul normal de modelare a rigidității, deformabilitatea panoului de inimă a stâlpului este reprezentată separat de alte surse de deformație. Pentru o configurație unilaterală de nod grindă-stâlp, rigiditatea rotațională totală poate fi exprimată direct, prin intermediul rigidităților liniare de forfecare, compresiune și a rigidității echivalente de întindere:

$$S_{j,ini} = z^2 \sum \frac{1}{c_i} \quad (10)$$

unde:  $c_i$  sunt rigiditățile efective sau echivalente ale regiunii  $i$ .

Pentru o configurație bilaterală de nod grindă-stâlp, gradul de forfecare al panoului de inimă al stâlpului este influențat de raportul momentelor încovoietoare înregistrate în cele două îmbinări (prin intermediul parametrului  $b$ ).

### 4.5.4 Aplicarea metodei componentelor în SR-EN 1993-1-8

#### 4.5.4.1 Rezistența la momente încovoietoare

Rezistența la încovoiere a nodurilor (sau momentul încovoietor capabil) este derivată din rezistența la tracțiune a componentelor întinse și este evaluată prin intermediul formulei (vezi paragraful 6.2.7.2 din SR-EN 1993-1-8):

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{tr,Rd} \quad (11)$$

unde:  $F_{tr,Rd}$  este forța capabilă de întindere a șurubului pentru rândul  $r$  de șuruburi;

$h_r$  este distanța de la centrul de compresiune la rândul  $r$  de șuruburi;

$r$  este numărul rândului de șuruburi. Rândul 1 se consideră ca fiind rândul cel mai îndepărtat de centrul de compresiune.

**NOTĂ:** Formula de mai sus reprezintă cazul general al unei îmbinări cu placă de capăt și mai multe rânduri de șuruburi întinse. Pentru o îmbinare sudată formula se simplifică, prin considerarea la tracțiune doar a tălpii superioare a grinzii.

Figura 71 ilustrează modul de considerare a rândurilor de șuruburi întinse și brațele de pârgie ( $h_r$ ) aferente.

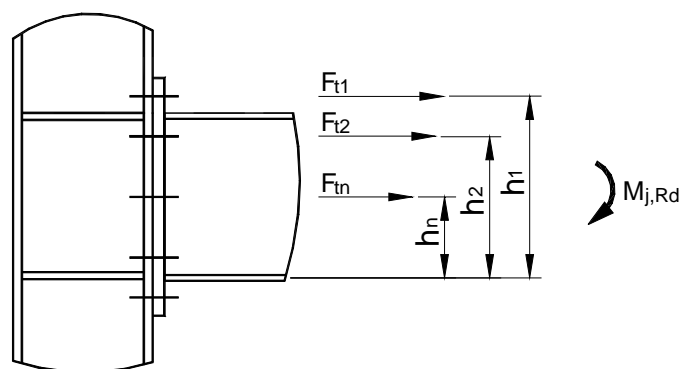


Figura 71: Modul de calcul al momentului capabil pentru un nod cu mai multe rânduri de șuruburi întinse.

Pentru fiecare rând de șuruburi întinse, rezistența la tracțiune a rândului de șuruburi reprezintă rezistența minimă a componentelor legate în serie, pe principiul verigii slabe dintr-un lanț. Practic, forța capabilă de întindere  $F_{tr,Rd}$  a rândului  $r$ , luată ca pentru un rând de șuruburi individual, se ia egală cu valoarea cea mai mică a forței capabile de întindere pentru un rând de șuruburi individual a următoarelor componente de bază (vezi secțiunea 6.2.7.2 din SR-EN 1993-1-8):

- inima stâlpului supusă la întindere  $F_{t,wc,Rd}$  (6.2.6.3 din SR-EN 1993-1-8);
- talpa stâlpului supusă la încovoiere  $F_{t,fc,Rd}$  (6.2.6.4 din SR-EN 1993-1-8);
- placa de capăt supusă la încovoiere  $F_{t,ep,Rd}$  (6.2.6.5 din SR-EN 1993-1-8);
- inima grinzii supusă la întindere  $F_{t,wb,Rd}$  (6.2.6.8 din SR-EN 1993-1-8)

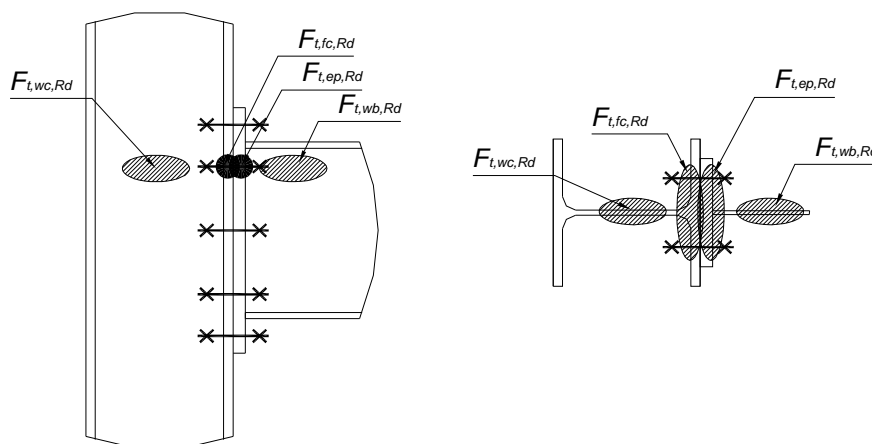


Figura 72: Componentele întinse de un rând de șuruburi.

Figura 72 prezintă locația celor patru componente (vedere laterală și secțiune) pentru un rând intermediar de șuruburi în cazul unei îmbinări cu placă de capăt.

Dacă se adoptă soluția de îmbinare cu corniere prinse cu șuruburi pe talpa grinzii și a stâlpului, atunci în locul componentei *placa de capăt la încovoiere* se consideră componenta *corniere de îmbinare a tălpilor solicitate la încovoiere* (6.2.6.6 din SR-EN 1993-1-8).

În cazul forței axiale nule, suma eforturilor de tracțiune trebuie echilibrată de eforturile de compresiune. Prin urmare, suma rezistențelor de întindere  $\sum F_{t,rd}$  trebuie să fie inferioară sau cel mult egală cu rezistența minimă la compresiune a următoarelor componente (vezi paragraful 6.2.7.2 din SR-EN 1993-1-8):

- forța capabilă de compresiune a inimii stâlpului (nerigidizate)  $F_{c,wc,Rd}$  (6.2.6.2 din SR-EN 1993-1-8);
- forța capabilă de compresiune a tălpilor și inimii grinzii  $F_{c,fb,Rd}$  (6.2.6.7 din SR-EN 1993-1-8)

O altă limitare a sumei forțelor de întindere se face față de rezistența la forfecare a panoului de inimă al stâlpului:

$$\sum F_{t,Rd} \leq V_{wp,Rd} / \beta \quad (12)$$

unde:  $V_{wp,Rd}$  forța plastică capabilă la forfecare a panoului de inimă nerigidizat la forfecare (6.2.6.1 din SR-EN 1993-1-8);

$\beta$  este parametrul de transformare;

**NOTĂ:** În cazul în care suma forțelor de tracțiune este mai mare decât rezistența la compresiune, echilibrarea forțelor interne ale nodului se face prin reducerea forței capabile a rândurilor inferioare de șuruburi până la egalarea rezistenței minime a nodului la compresiune sau forfecare a panoului de stâlp.

#### 4.5.4.2 Determinarea rigidității la rotire a nodurilor (6.3 din SR-EN 1993-1-8)

Pentru o îmbinare metalică, rigiditatea inițială, se determină combinând rigiditățile individuale ale fiecărei componente. Cu condiția ca efortul axial să nu depășească 10% din rezistența plastică a secțiunii transversale, rigiditatea inițială  $S_{j,ini}$  a curbei caracteristice moment-rotire a unui nod este găsită prin formula:

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (13)$$

unde:  $E$  este modulul de elasticitate al oțelului;

$k_i$  este coeficientul de rigiditate asociat componentei de bază „i” a îmbinării (Tabelul 6.11 din SR-EN 1993-1-8); iar

$z$  este brațul de levier calculat în funcție de caracteristicile componentelor supuse la tracțiune, considerând centrul de compresiune la nivelul tălpii inferioare a grinzii.

Pentru panoul de inimă al stâlpului nerigidizat la forfecare, în cazul unei îmbinări cu configurație unilaterală sau bilaterală cu înălțimi egale ale grinzilor de o parte și de alta a panoului de inimă, coeficientul rigidității  $k_i$  este egal cu:

$$k_1 = \frac{0,38A_{vc}}{\beta z} \quad (14)$$

Pentru fiecare rând de șuruburi care lucrează la tracțiune, coeficienții de rigiditate ai diverselor componente care constituie acest rând pot fi regrupați (prin considerarea în serie a acțiunii lor) astfel încât să se facă uz de un singur coeficient de rigiditate, denumit „efectiv”, pentru fiecare rând:

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}} \quad (15)$$

unde:  $k_{i,r}$  sunt coeficienții de rigiditate ale componentelor rândului  $r$  în tracțiune.

Pentru fiecare rând de șuruburi solicitate la tracțiune, într-o îmbinare compusă cu rigidizări, avem următorii coeficienți de rigiditate care se combină conform formulei 12:

- coeficientul de rigiditate al inimii stâlpului la tracțiune:

$$k_3 = \frac{0,7b_{eff,c,wc}t_{wc}}{d_c} \quad (16)$$

lățimea eficace  $b_{eff,c,wc}$  în acest caz trebuie luată ca valoarea cea mai mică între lățimile eficace  $l_{eff,cp}$  ale tălpii stâlpului în tracțiune, considerate individual sau ca făcând parte din grupuri de rânduri de șuruburi;

- coeficientul de rigiditate al tălpii stâlpului la încovoiere:

$$k_4 = \frac{0,85l_{eff,t,wc}t_{fc}^3}{m^3} \quad (17)$$

- coeficientul de rigiditate al plăcii de capăt la încovoiere:

$$k_5 = \frac{0,85l_{eff,ep}t_p^3}{m^3} \quad (18)$$

unde:  $t_p$  este grosimea plăcii de capăt;

- coeficientul de rigiditate al șuruburilor la tracțiune:

$$k_{11} = 1,6A_s / L_s \quad (19)$$

unde:  $A_s$  este aria nominală a secțiunii unui șurub iar  $L_s$  este lungimea tijei șurubului.

Valoarea lățimii eficace  $l_{eff,ep}$  pentru placa de capăt este calculată în mod similar cu cea pentru  $l_{eff,t,cp}$  a tălpii stâlpului, dar cu considerarea dimensiunilor omologe ale plăcii de capăt.

În cazul în care într-o îmbinare mai multe rânduri de șuruburi sunt întinse simultan, rigiditățile efective pentru toate rândurile întinse sunt grupate în paralel astfel încât, în formula rigidității inițiale, este introdus un singur coeficient de rigiditate echivalent,  $k_{eq}$ :

$$k_{eq} = \frac{\sum k_r h_r}{z_{eq}} \quad (20)$$

unde:  $k_r$  este rigiditatea eficace a rândului de șuruburi întins  $r$ ;

$h_r$  este distanța dintre centrul de compresiune și rândul de șuruburi întins  $r$ .

Brațul de levier echivalent  $z_{eq}$ , folosit de altfel și în formula 14 în locul lui  $z$ , este calculat în funcție de brațul de levier al componentelor întinse  $z_i$  prin formula:

$$z_{eq} = \frac{\sum k_i z_i^2}{\sum k_i z_i} \quad (21)$$

#### 4.5.5 Curba de calcul moment-rotire a unei îmbinări (6.1.2 din SR-EN 1993-1-8)

Pornind de la valorile momentului capabil  $M_{j,Rd}$  și a rigidității inițiale  $S_{j,ini}$  calculate conform relațiilor prezentate anterior, se poate deduce curba moment-rotire a îmbinării, după modelul din Figura 73.

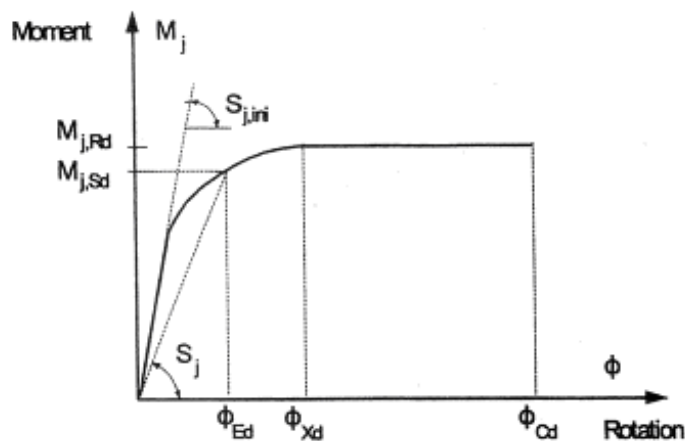


Figura 73: Determinarea curbei Moment – Rotire a unei îmbinări (SR-EN 1993-1-8, 2006).

Pentru o valoare fixată a momentului  $M_{j,Sd}$  aplicată îmbinării, inferioară sau egală cu momentul capabil de calcul  $M_{j,Rd}$ , rigiditatea este oferită de:

$$S_j = S_{j,ini} \text{ pentru } M_{j,Sd} \leq \frac{2}{3} M_{j,Rd} \quad (22)$$

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \text{ pentru } \frac{2}{3} M_{j,Rd} < M_{j,Sd} \leq M_{j,Rd} \quad (23)$$

Cu  $\mu = \left(1,5 \frac{M_{j,Sd}}{M_{j,Rd}}\right)^\Psi$  și  $\Psi = 2,7$  pentru îmbinări cu șuruburi.

**NOTĂ:** Pentru calculul nodurilor cu ajutorul metodei componentelor se pot evidenția următoarele aspecte:

- rezistența îmbinării este dictată de componenta cea mai slabă. Este de preferat ca această componentă să posede un comportament ductile, pentru a permite redistribuția eforturilor în îmbinare. De obicei conectorii (șuruburi sau suduri) au un comportament casant la cedare și este de preferat să nu fie componenta de rezistență minimă și să posede o anumită suprezistență pentru a permite plastificarea componentelor ductile;

- rigiditatea îmbinării reprezintă o sumă ponderată a tuturor componentelor, unele având o influență mai mare (cum ar fi panoul de inimă al stâlpului la forfecare sau compresiune), altele mai mică;

- capacitatea de rotire a nodului este direct dependentă de ductilitatea componentelor mai slabe din nod. Pe de altă parte, jocul de deformabilități al diferitelor componente poate genera diferite concentrări de eforturi care în mod normal trebuie evitate (spre exemplu, o deformabilitate mare a panoului de inimă al stâlpului la forfecare conduce la o concentrare a tensiunilor în zona cordoanelor de sudură și la cedări a acestor zone).

## 4.6. TABELE DE PROIECTARE

### 4.6.1 Identificarea componentelor active

Avantajul metodei componentelor așa cum este prezentată în SR-EN 1993-1-8 este că oferă inginerilor proiectanți posibilitatea de a calcula proprietățile nodurilor, prin descompunerea acestora în diferite componente. Secțiunea 1-8 oferă formule de calcul pentru noduri grindă-stâlp sudate, cu placă de capăt și șuruburi și noduri cu corniere.

Tabelul 14 prezintă componentele active care trebuie considerate pentru calculul caracteristicilor nodurilor.

Tabelul 14 Componentele active ale diferitelor tipuri de noduri.

Tip nod Componenta	Placă de capăt		Sudat		Cu corniere		Baza stâlpului	
	Rezist.	Rigid.	Rezist.	Rigid.	Rezist.	Rigid.	Rezist.	Rigid.
1. Panoul inimii stâlpului solicitat la forfecare	X	X	X	X	X	X		
2. Inima stâlpului solicitată la compresiune transversală	X	X	X	X	X	X		
3. Inima stâlpului solicitată la întindere transversală	X	X	X	X	X	X		
4. Talpa stâlpului solicitată la încovoiere	X	X			X	X		
5. Placa de capăt solicitată la încovoiere	X	X						
6. Talpă de cornier solicitată la încovoiere					X	X		
7. Talpa și inima grinzii sau stâlpului solicitată la compresiune	X	**	X	**	X	**	X	**
8. Inima profilului I solicitată la întindere	X	**				**		**
9. Placa solicitată la întindere sau compresiune					X	**		
10. Șuruburi solicitate la întindere	*	X			*	X		
11. Șuruburi solicitate la forfecare					X	X		
12. Șuruburi solicitate la presiune pe gaură (pe tălpile grinzii, tălpile stâlpului, placa de capăt sau cornier)					X	X		
13. Betonul solicitat la compresiune inclusiv mortarul							X	X
14. Placa de bază solicitată la încovoiere datorită compresiunii							X	
15. Placa de bază solicitată la încovoiere datorită tracțiunii							X	X
16. Șurub de ancoraj solicitat la întindere							X	X
17. Șurub de ancoraj solicitat la forfecare							X	

Note: \* Componenta este considerată în cadrul calculului pe element T echivalent  
 \*\* Componenta este considerată în deformația grinzii sau a stâlpului

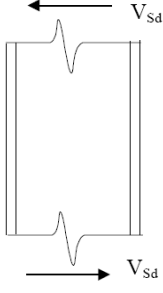
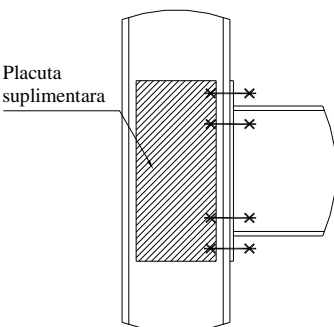
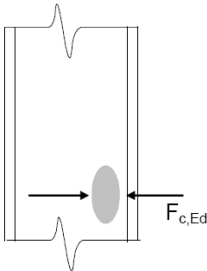
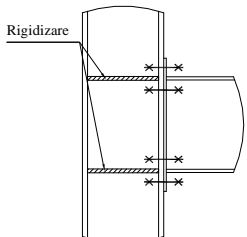
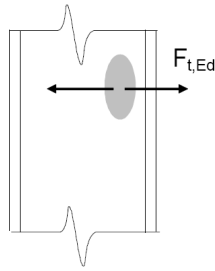
#### 4.6.2 Proceduri de calcul a componentelor

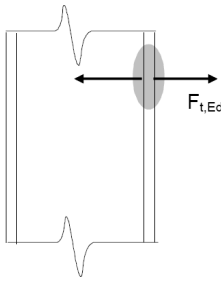
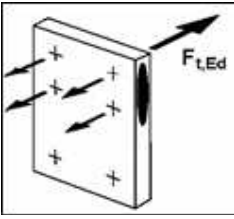
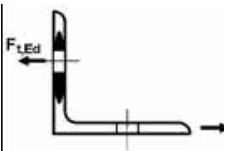
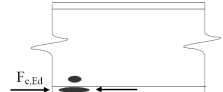
Cu excepția notațiilor care vor fi definite în acest paragraf, principalele simboluri și notații folosite sunt cele din paragraful 4.2.8 „Geometria și alcătuirea îmbinărilor simple”. Procedurile de calcul pentru componentele listate în Tabelul 14 pentru rezistență și rigiditate sunt detaliate în

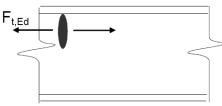
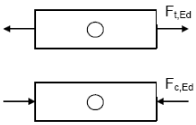
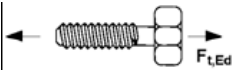
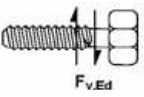
Tabelul 15.

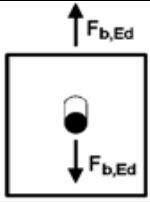
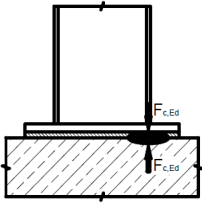
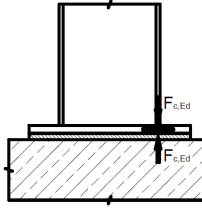
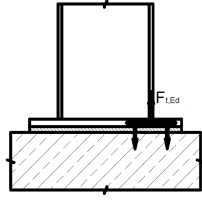
Tabelul 15 Formule de calcul pentru rezistență și rigiditate.

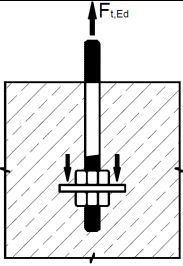
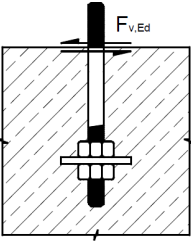
Componenta	Rezistența	Rigiditatea
1. Panoul inimii stâlpului solicitat la forfecare	<p>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.1</p> $V_{wp,Rd} = \frac{0.9f_{y,wc}A_{vc}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$ <p><math>A_{vc}</math> este aria de forfecare a secțiunii stâlpului (cf. SR-EN 1993-1-1)            Dacă se folosesc rigidizări transversale pe panoul de inimă al stâlpului, atunci</p> $V_{wp,Rd} = \frac{0.9f_{y,wc}A_{vc}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd}, \text{ cu}$ $V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl.fc,Rd}}{d_s} \leq \frac{2M_{pl.fc,Rd} + 2M_{pl.st,Rd}}{d_s}$ <p><math>d_s</math> este distanța dintre axele mediane ale rigidizărilor</p>	<p>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</p> <p>Pentru un panou nerigidizat la forfecare:</p> $k_1 = \frac{0.38A_{vc}}{\beta_z}$ <p>Pentru un panou rigidizat la forfecare:</p> $k_1 = \infty$ <p>b - parametrul de transformare conform 5.3(7)            z este brațul de pârghie în funcție de tipologia nodului, (vezi figura 6.15 din SR-EN 1993-1-8)</p>

	<p><math>M_{pl,fc,Rd}</math> este momentul plastic capabil al tălpii stâlpului față de propria axă mediană  <math>M_{pl,st,Rd}</math> este momentul plastic capabil al unei rigidizări față de propria axă mediană.</p> <p>Sporirea rezistenței panoului de inimă al stâlpului se poate face prin plăcuțe suplimentare sudate pe inima stâlpului. În acest mod, aria de forfecare va fi sporită cu aria plăcuței, vezi 6.2.6.1 (6)</p> 	
<p>2. Inima stâlpului solicitată la compresiune transversală</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.2</b></p> $F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \text{ dar } F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}$ <p><math>\omega</math> este un factor de reducere care ține seama de interacțiunea cu forfecarea din panoul inimii stâlpului (vezi Tabelul 6.4 din SR-EN 1993-1-8). Valoarea factorului <math>\omega</math> depinde în mod direct de gradul de forfecare al panoului, prin intermediul parametrului de transformare <math>b</math> și de raportul dintre aria antrenată în rezistența la compresiune (<math>b_{eff,c,wc} t_{wc}</math>) și aria de forfecare a stâlpului <math>A_{vc}</math>;  <math>b_{eff,c,wc}</math> lățimea efectivă a inimii stâlpului solicitat la compresiune care se calculează cu formulele 6.10-6.12 din SR-EN 1993-1-8. <math>b_{eff,c,wc}</math> reprezintă lățimea de inimă a stâlpului antrenată de componenta comprimată (talpa grinzii);  <math>\rho</math> este un factor de reducere care ia în considerare flambajul plăcii:  Dacă este necesară sporirea rezistenței la compresiune a inimii stâlpului există două posibilități (pot fi prezente și simultan):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dispunerea plăcuțelor suplimentare pe panoul de inimă al stâlpului (ca pentru panoul stâlpului solicitat la forfecare), prin sudare pe contur. În acest mod este mărită grosimea inimii stâlpului.</li> <li>- dispunerea rigidizărilor transversale pe stâlp (vezi figura alăturată). Acestea se dispun în dreptul tălpii grinzii pentru îmbinările sudate, respectiv între șuruburi pentru cazul îmbinărilor bulonate;</li> </ul> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b>  Pentru un panou nerigidizat la compresiune:</p> $k_2 = \frac{0.7 b_{eff,c,wc} t_{wc}}{d_c}$ <p>Pentru un panou rigidizat la compresiune:</p> $k_2 = \infty$ <p><math>d_c</math> este înălțimea liberă a inimii stâlpului.</p>
<p>3. Inima stâlpului solicitată la întindere transversală</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.3</b></p> $F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ <p><math>\omega</math> este un factor de reducere care ține seama de interacțiunea cu forfecarea din panoul inimii stâlpului pe baza valorii <math>b_{eff,t,wc}</math> (vezi Tabelul 6.4 din SR-EN 1993-1-8).  <math>b_{eff,t,wc}</math> lățimea efectivă a inimii stâlpului solicitat la întindere care se calculează cu formulele 6.16 din SR-EN 1993-1-8 pentru îmbinările sudate, respectiv calculate conform elementului T echivalent (secțiunea 6.2.6.4 din SR-EN 1993-1-8) pentru îmbinările cu șuruburi. <math>b_{eff,t,wc}</math> reprezintă lățimea de inimă a stâlpului antrenată de componenta întinsă (talpa grinzii pentru îmbinările sudate respectiv șuruburile întinse);</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> $k_3 = \frac{0.7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{d_c}$ <p>Pentru o îmbinare sudată cu panoul de inimă al stâlpului rigidizat la întindere:</p> $k_3 = \infty$ <p><b>Notă:</b> pentru îmbinările cu mai multe rânduri de șuruburi întinse se va considera câte un coeficient <math>k_3</math> pentru fiecare rând de șuruburi întinse.</p>

	Sporirea rezistenței la întindere a inimii stâlpului se face prin aceleași metode ca în cazul compresiunii transversale a inimii stâlpului.	
<p>4. Talpa stâlpului solicitată la încovoiere</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.4</b></p> <p>Pentru <b>îmbinările sudate</b>, forța capabilă <math>F_{fc,Rd}</math> a tălpii stâlpului nerigidizată supusă la încovoiere, produsă de întinderea sau compresiunea din talpa grinzii, se determină cu:</p> $F_{fc,Rd} = \frac{b_{eff,b,fc} t_{fb} f_{y,fb}}{\gamma_{M0}}$ <p><math>b_{eff,b,fc}</math> este lățimea efectivă caracteristică tălpii sudate și calculată conform paragrafului 4.10.</p> <p>Pentru <b>îmbinările cu placă de capăt și șuruburi, și cele cu corniere</b>, rezistența de calcul și modul de cedare al tălpii stâlpului supusă la încovoiere transversală, împreună cu șuruburile asociate supuse la întindere, se determină identic cu cea pentru talpa elementului T echivalent.</p> <p><b>Notă:</b> pentru îmbinările cu mai multe rânduri de șuruburi întinse calculul pe elementul de tip T echivalent se va face pentru:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fiecare rând individual de șuruburi necesar să reziste la întindere;</li> <li>- fiecare grup de rânduri de șuruburi necesar să reziste la întindere (fără rigidizări intermediare).</li> </ul>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> <p>Nu se consideră în calculul rigidității</p> $k_4 = \frac{0.9 l_{eff} t_{fc}^3}{m^3}$ <p><math>l_{eff}</math> este minimul dintre lungimile efective (individual sau parte a unui grup de rânduri de șuruburi).  <math>m</math> distanța liberă dintre axul șurubului și inima profilului (conform Tabelelor 6.4 și 6.5 a SR-EN 1993-1-8).</p> <p><b>Notă:</b> pentru îmbinările cu mai multe rânduri de șuruburi întinse se va considera câte un coeficient <math>k_4</math> pentru fiecare rând de șuruburi întinse.</p>
<p>5. Placa de capăt solicitată la încovoiere</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.5</b></p> <p>Rezistența de calcul și modul de cedare al unei plăci de capăt solicitată la încovoiere, împreună cu șuruburile asociate supuse la întindere, se iau identice cu cele pentru talpa elementului T echivalent.</p> <p><b>Notă:</b> pentru îmbinările cu mai multe rânduri de șuruburi întinse calculul pe elementul de tip T echivalent se va face pentru:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fiecare rând individual de șuruburi necesar să reziste la întindere;</li> <li>- fiecare grup de rânduri de șuruburi necesar să reziste la întindere (fără rigidizări intermediare).</li> </ul> <p><b>Notă:</b> notațiile pentru rândul de șuruburi întins extern grinzii, pentru calculul elementului de tip T echivalent se regăsesc în Figura 6.10 a SR-EN 1993-1-8.</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> $k_5 = \frac{0.9 l_{eff} t_p^3}{m^3}$ <p><math>l_{eff}</math> este minimul dintre lungimile efective (individual sau parte a unui grup de rânduri de șuruburi).  <math>m</math> distanța liberă dintre axul șurubului și inima profilului (conform Figurii 6.10 și 6.11 a SR-EN 1993-1-8).</p> <p><b>Notă:</b> pentru îmbinările cu mai multe rânduri de șuruburi întinse se va considera câte un coeficient <math>k_5</math> pentru fiecare rând de șuruburi întinse.</p>
<p>6. Talpă de cornier solicitată la încovoiere</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.6</b></p> <p>Rezistența de calcul și modul de cedare al unei corniere solicitate la încovoiere, împreună cu șuruburile asociate supuse la întindere, se iau identice cu cele pentru talpa elementului T echivalent.</p> <p><b>Notă:</b> notațiile caracteristice pentru rândul de șuruburi întinse pentru calculul elementului de tip T echivalent se regăsesc în Figurile 6.12 și 6.13 din SR-EN 1993-1-8.</p> <p><b>Notă:</b> numărul rândurilor de șuruburi care prind cornierul de talpa stâlpului este limitat la 1.</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> $k_6 = \frac{0.9 l_{eff} t_a^3}{m^3}$ <p><math>l_{eff}</math> este lungimea efectivă a cornierei din talpa verticală.  <math>m</math> distanța liberă dintre axul șurubului și talpa orizontală, conform Figurii 6.13 a SR-EN 1993-1-8.</p>
<p>7. Talpa și inima grinzii sau stâlpului solicitată la compresiune</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.7</b></p> $F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_{fb}}$ <p><math>M_{c,Rd}</math> este momentul încovoietor capabil al secțiunii considerate.  <math>h - t_{fb}</math> este distanța dintre axele mediane ale tălpii profilului (considerând momentul capabil egal cu un cuplu de forțe ce acționează în axele mediane ale tălpii)</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> <p>Nu se consideră în calculul rigidității</p> $k_7 = \infty$
<p>8. Inima profilului I solicitată la întindere</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.8</b></p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p>

	$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}}$ <p><math>b_{eff,t,wb}</math> este lățimea efectivă a inimii grinzii solicitate la întindere. Fiind caracteristică numai îmbinărilor cu șuruburi, se ia egală cu lungimea efectivă a unui tronson T echivalent, reprezentând încovoierea plăcii de capăt, pentru un rând de șuruburi individual sau a unui grup de șuruburi.</p>	<p>Nu se consideră în calculul rigidității</p> $k_8 = \infty$
<p>9. Placa solicitată la întindere sau compresiune</p> 	<p>Pentru plăcile întinse <b>Ref. SR-EN1993-1-1 6.2.3</b>  Rezistența la întindere <math>N_{t,Rd}</math> este minimul dintre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rezistența plastică a secțiunii brute <math>N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M1}}</math></li> <li>- Rezistența ultimă a secțiunii nete <math>N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}</math></li> </ul> <p>Pentru îmbinări categoria C:</p> $N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M1}}$ <p>Pentru plăcile comprimate <b>Ref. SR-EN1993-1-1 6.2.9.3</b></p> $N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M1}} \text{ pentru clasele 1,2 și 3 de secțiune}$ $N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \text{ pentru clasa 4 de secțiune}$ <p><math>A</math> (<math>A_{eff}</math>) este aria (eficace) a secțiunii nete a plăcii.</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> <p>Nu se consideră în calculul rigidității</p> $k_9 = \infty$
<p>10. Șuruburi solicitate la întindere</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 3.6.1</b>  Forța capabilă de întindere este dată de:</p> $F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p><math>k_2 = 0,63</math> pentru șuruburi cu cap înecat  <math>k_2 = 0,9</math> pentru celelalte cazuri</p> <p>Forța capabilă de întindere este dată de:</p> <p>Rezistența de calcul la forfecare prin străpungere:</p> $B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$ <p><b>Notă:</b> pentru îmbinările cu șuruburi și placă de capăt sau cu corniere, rezistența la întindere a șuruburilor este integrată în calculul pe elementul T echivalent</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> $k_{10} = \frac{1.6 A_s}{L_b}$ <p><math>L_b</math> este lungimea șurubului, egală cu lungimea de strângere (grosimea totală a materialului și a șaibelor), plus jumătate din suma dintre înălțimea capului șurubului și înălțimea piuliței</p> <p><b>Notă:</b> formula este valabilă atât pentru șuruburile pretensionate cât și cele nepretensionate.</p>
<p>11. Șuruburi solicitate la forfecare</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 3.6</b></p> <p>Vezi paragraful 4.3.1.2 al prezentei lucrări</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b>  Pentru șuruburile nepretensionate:</p> $k_{11} (\text{sau } k_{17}) = \frac{16 n_b d^2 f_{ub}}{E d_{M16}}$ <p><math>d_{M16}</math> diametrul nominal pentru un șurub M16  <math>n_b</math> numărul de rânduri de șuruburi la forfecare</p> <p>Pentru șuruburile pretensionate:</p> $k_{11} = \infty$
<p>12 Șuruburi solicitate la presiune pe gaură (pe tălpile grinzii, tălpile stâlpului, placa de capăt sau cornier)</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 3.6</b></p> <p>Vezi paragraful 4.3.1.2 al prezentei lucrări</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b>  Pentru șuruburile nepretensionate:</p> $k_{12} (\text{sau } k_{18}) = \frac{24 n_b k_b k_t d f_{ub}}{E}$

		$k_b = k_{b1} \text{ dar } \leq k_{b2}$ $k_{b1} = 0.25e_b / d + 0.5 \text{ dar } k_{b1} \leq 1.25$ $k_{b2} = 0.25p_b / d + 0.375 \text{ dar } k_{b2} \leq 1.25$ $k_t = 1.5t_j / d_{M16} \text{ dar } k_t \leq 2.5$ $e_b$ distanța de la rândul de șuruburi de la marginea liberă a plăcii pe direcția încărcării $p_b$ distanța dintre rândurile de șuruburi pe direcția încărcării $t_j$ grosimea componentei respective Pentru șuruburile pretensionate: $k_{12} = \infty$
<p>13. Betonul solicitat la compresiune inclusiv mortarul</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.9</b></p> <p>Rezistența de calcul a îmbinării între placa de bază și betonul suport, se determină ținând seama de proprietățile materialelor și dimensiunile atât a betonului cât și a mortarului. Betonul suport trebuie dimensionat în concordanță cu prevederile din EN 1992.</p> <p>Rezistența la compresiune se determină pe baza elementului T echivalent solicitat la compresiune (<b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.5</b>)</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> $k_{13} = \frac{E_c \sqrt{b_{eff} l_{eff}}}{1.275 E}$ $b_{eff}$ lățimea efectivă a tălpii elementului T, cf. 6.2.5(3); $l_{eff}$ lungimea efectivă a tălpii elementului T, cf. 6.2.5(3).
<p>14. Placa de bază solicitată la încovoiere datorită compresiunii</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.10</b></p> <p>Rezistența la compresiune se determină pe baza elementului T echivalent solicitat la compresiune (<b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.5</b>)</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> <p>Nu se consideră în calculul rigidității</p> $k_{14} = \infty$ <p><b>Notă:</b> acest coeficient este deja luat în considerare prin coeficientul <math>k_{13}</math>.</p>
<p>15. Placa de bază solicitată la încovoiere datorită tracțiunii</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.11</b></p> <p>Rezistența de calcul și modul de cedare a plăcii de bază la încovoiere sub întindere, împreună cu șuruburile de ancoraj asociate solicitate la întindere <math>F_{t,pl,Rd}</math> se calculează similar cu placa de capăt la încovoiere (<b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.5</b>).</p> <p>Practic, rezistența de calcul și modul de cedare al unei plăci de bază solicitată la încovoiere, se iau identice cu cele pentru talpa elementului T echivalent.</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> <p>Cu forțe de pârghie</p> $k_{15} = \frac{0.85 l_{eff} t_p^3}{m^3}$ <p>Fără forțe de pârghie</p> $k_{15} = \frac{0.425 l_{eff} t_p^3}{m^3}$ $l_{eff}$ lungimea efectivă a tălpii elementului T, cf. 6.2.5(3); $m$ distanța liberă dintre axul șurubului și talpa orizontală, conform Figurii 6.8 a SR-EN 1993-1-8. <b>Notă:</b> forțele de pârghie se pot dezvolta, dacă $L_b \leq \frac{8.8 m^3 A_s}{m_{eff} t^3}$
<p>16. Șurub de ancoraj solicitat la întindere</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.6.12</b></p> <p>Rezistența de calcul a tijelor de ancoraj se ia ca valoarea cea</p>	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.3.2</b></p> <p>Cu forțe de pârghie</p>

	<p>mai mică dintre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rezistența de calcul la întindere a tije de ancoraj (<b>Ref. SR-EN1993-1-8 3.6 și paragraful 4.3.1.3</b> al prezentei lucrări) și</li> <li>- rezistența de calcul la smulgere a tije din blocul de beton, (<b>Ref. SR-EN1992-1-1</b>).</li> </ul>	$k_{10} = \frac{1.6A_s}{L_b}$ <p>Fără forțe de pârghie</p> $k_{10} = \frac{2.0A_s}{L_b}$ <p><math>L_b</math> alungirea tije de ancorare, care este egală cu suma a 8 diametre nominale de șurub, stratul de mortar de poză, grosimea plăcii de bază, șaiba și jumătate din înălțimea piuliței</p>
<p>17. Șurub de ancoraj solicitat la forfecare</p> 	<p><b>Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.2</b></p> <p>Forța capabilă de forfecare <math>F_{v,Rd}</math> a plăcii de bază a stâlpului:</p> $F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + nF_{vb,Rd}$ <p><math>n</math> este numărul total de tije de ancoraj</p> <p>Rezistența de calcul la frecare, <math>F_{f,Rd}</math>, între placa de bază și mortar se determină prin:</p> $F_{f,Rd} = C_{f,d} N_{c,Ed}$ <p><math>C_{f,d}</math> coeficientul de frecare între placa de bază și stratul de mortar (<math>=0,20</math> pentru mortar uzual)</p> <p><math>N_{c,Ed}</math> rezistența de calcul la compresiune normală a stâlpului.</p> <p>Rezistența de calcul la forfecare <math>F_{vb,Rd}</math> se ia ca cea mai mică dintre <math>F_{vb,Rd1}</math> și <math>F_{vb,Rd2}</math>:</p> <p><math>F_{vb,Rd1}</math> este presiunea de calcul pe peretele găurii a prezonului de ancorare (<b>Ref. SR-EN1993-1-8 3.6 și paragraful 4.3.1.2 al prezentei lucrări</b>)</p> $F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_b f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}}$ <p>cu <math>\alpha_b = 0.44 - 0.0003 f_{yb}</math></p>	<p>Nu se consideră în calculul rigidității</p>

### 4.6.3 Calculul elementelor T echivalente

#### 4.6.3.1 Element T echivalent solicitat la întindere (Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.4.1)

Un element T echivalent solicitat la întindere poate fi folosit pentru modelarea rezistenței de calcul a următoarelor componente de bază prinse prin intermediul șuruburilor:

- talpa stâlpului solicitată la încovoiere;
- placa de capăt solicitată la încovoiere;
- talpă de cornier solicitată la încovoiere;
- placă de bază solicitată la încovoiere datorită efectului de tracțiune.

Rezistența componentelor enumerate mai sus pot fi deduse prin intermediul elementului T echivalent (vezi Figura 74). Elementul echivalent T poate avea trei moduri posibile de cedare a tălpii (caracteristice unui singur rând de șuruburi sau unui grup de rânduri de șuruburi), după cum este arătat în Figura 75.

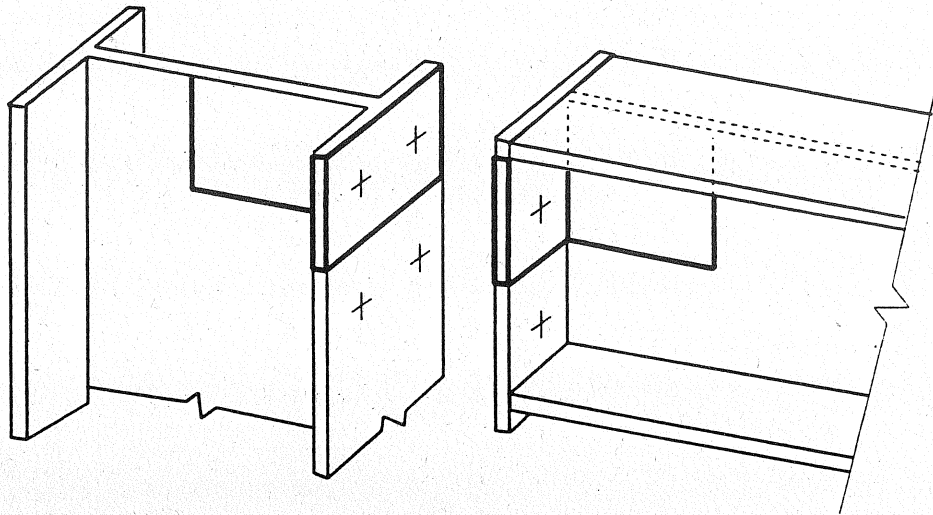


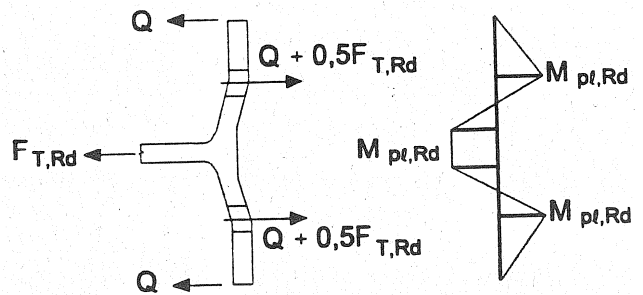
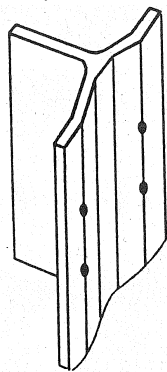
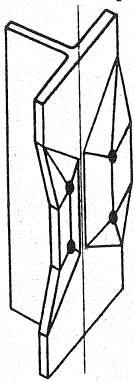
Figura 74: Modelarea tăpii stâlpului și a plăcii de capăt prin intermediul elementelor T echivalente (Anderson et al., 1999).

Modul real de cedare al  
componentei

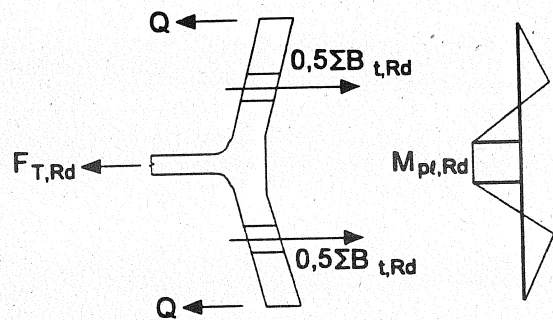
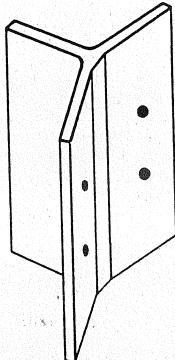
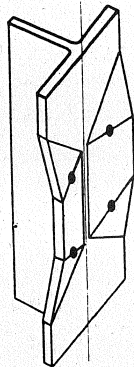
Modul de cedare pe  
elementul T echivalent

Diagrama de eforturi

Diagrama de momente



b) Modul 2: Ruperea șurubului însoțită de plastificarea tăpii



c) Modul 3: Ruperea șuruburilor în tracțiune

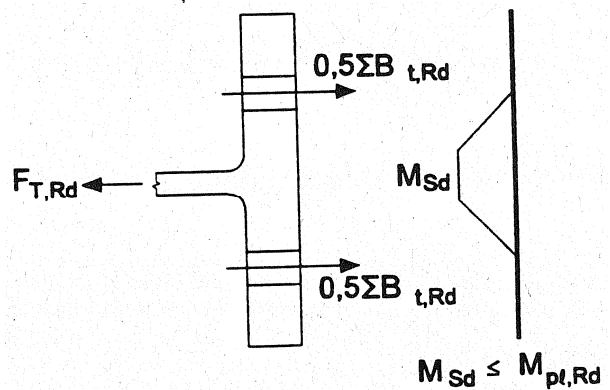
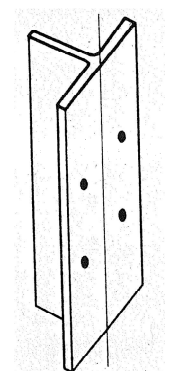
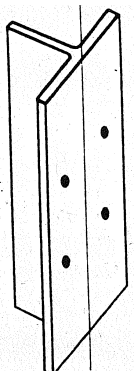


Figura 75: Modul de cedare real al componentelor și elementul T echivalent (Anderson et al., 1999).

Lungimea efectivă totală  $\Sigma l_{eff}$  a unui element T echivalent din Figura 76, se alege astfel încât rezistența de calcul a tălpii elementului T echivalent să fie egală cu cea a componentei de bază pe care o reprezintă.

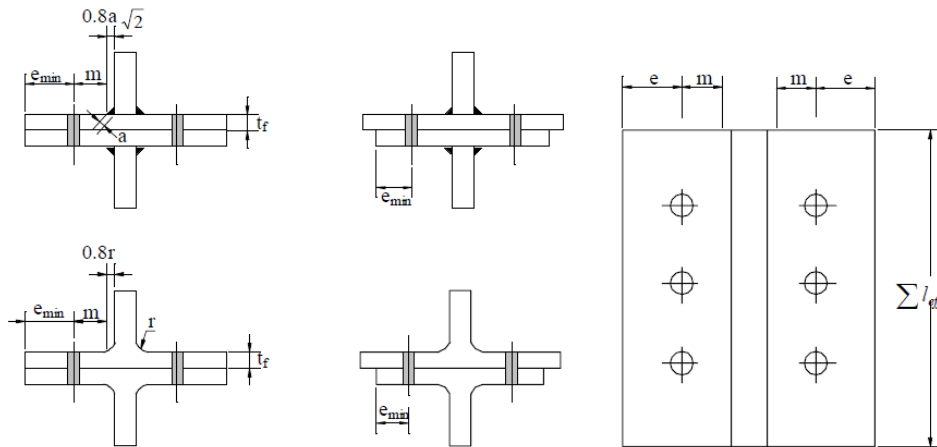


Figura 76: Modul de cedare real al componentelor și elementul T echivalent (SR-EN 1993-1-8, 2006).

SR-EN 1993-1-8 propune o metodă simplă de calcul a forței capabile din șuruburi, prin metoda momentelor de plasticizare a plăcii de capăt respectiv a forței capabile a șuruburilor la tracțiune.

Astfel, pentru talpa stâlpului sau placa de capăt la încovoiere, rezistența unui anumit rând de șuruburi la întindere este calculată ca fiind cea mai mică valoare dintre trei tipuri de cedări posibile:

- **modul 1 de cedare**, (cedarea prin linii de articulații plastice ale tălpii stâlpului sau ale plăcii de capăt):

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl1,Rd}}{m} \quad (24)$$

Dacă elementul T echivalent are și plăci de capăt suplimentare, atunci valoarea  $F_{T,1,Rd}$  devine:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m} \quad (25)$$

SR-EN 1993-1-8 oferă și posibilitatea unui calcul mai exact, prin intermediul formulelor (metoda este denumită și Metoda 2 - alternativă):

$$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)} \quad \text{dacă nu există plăci suplimentare de capăt sau} \quad (26)$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)} \quad \text{dacă există plăci suplimentare de capăt} \quad (27)$$

- **modul 2 de cedare**, (cedarea plastică combinată a tălpii stâlpului sau plăcii de capăt la încovoiere, împreună cu cedarea la tracțiune a șuruburilor):

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n} \quad (28)$$

- **modul 3 de cedare**, care corespunde cedării șuruburilor la tracțiune prin ruperea:

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad (29)$$

Formulele de mai sus pentru modulul 1 și modulul 2 de cedare sunt specifice cazului în care este posibilă dezvoltarea efectului de pârghie a elementului T echivalent (verificarea se face prin limitarea lungimii șurubului sau a tije de ancorare  $L_b$  la o valoare inferioară raportului

$\frac{8.8m^3 A_s}{\sum l_{eff,1} t_f^3}$ ). În cazul în care este posibilă dezvoltarea efectului de pârghie, atunci valoarea rezistenței la tracțiune a rândului respectiv de șuruburi se calculează cu relația:

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl1,Rd}}{m} \quad (30)$$

În formulele de mai sus:

$F_{T,Rd}$  este forța capabilă de întindere a tălpii elementului T

Q este forța de pârghie

$M_{pl1,Rd}$  momentul plastic de calcul pentru placa de capăt sau talpa stâlpului, relativ la primul mod de cedare:  $M_{pl1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$

$M_{pl2,Rd}$  momentul plastic de calcul pentru placa de capăt sau talpa stâlpului, relativ la cel de-al doilea mod de cedare:  $M_{pl2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$

$M_{bp,Rd}$  momentul plastic de calcul pentru placa de capăt suplimentară relativ la primul mod de cedare:  $M_{bp,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0}$

$n = e_{min}$  dar  $n \leq 1,25m$  (vezi Figura 77)

$F_{t,Rd}$  este forța capabilă de întindere a unui șurub, a se vedea tabelul 3.4;

$\sum F_{t,Rd}$  este suma forțelor capabile  $F_{t,Rd}$  pentru toate șuruburile din elementul T echivalent;

$\sum l_{eff,1}$  este valoarea  $\sum l_{eff}$  pentru modul 1 de cedare;

$\sum l_{eff,2}$  este valoarea  $\sum l_{eff}$  pentru modul 2 de cedare;

$f_{y,bp}$  este limita de curgere a plăcii suplimentare de capăt;

$t_{bp}$  este grosimea plăcii suplimentare de capăt;

$e_w = d_w / 4$ ;

$d_w$  este diametrul șaibe sau lățimea capului sau piuliței, după caz.

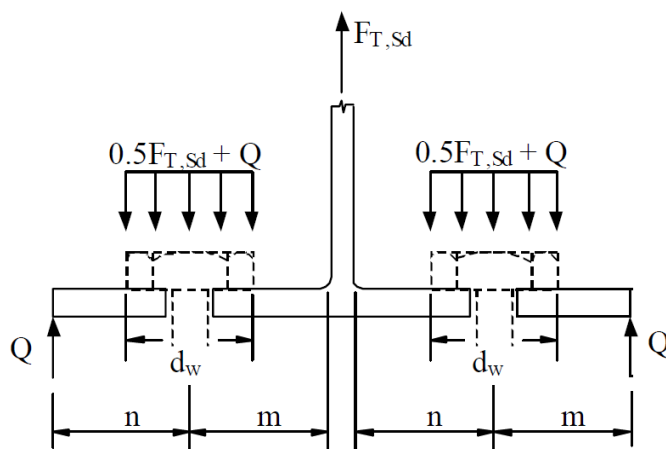


Figura 77: Definiții geometrice pentru șuruburi în element echivalent T (SR-EN 1993-1-8, 2006).

Figura 78 ilustrează modurile 1, 2 și 3 de cedare ale elementului T echivalent pentru îmbinări cu placă de capăt și șuruburi. Testele experimentale au fost executate în Laboratorul CEMSIG al Universității „Politehnica” din Timișoara cu scopul folosirii oțelurilor cu rezistență înaltă în construcții.

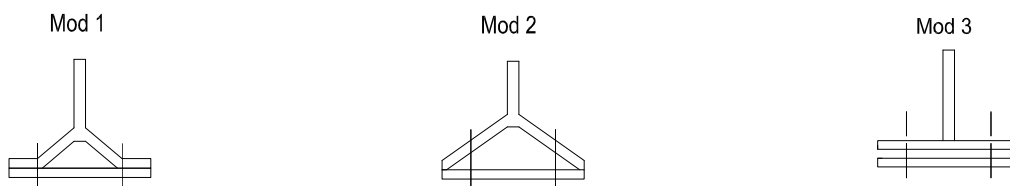




Figura 78: Moduri de cedare pentru elementul T echivalent înregistrate experimental.

Atunci când se folosește metoda elementului T echivalent pentru modelarea unui grup de rânduri de șuruburi, poate fi necesară divizarea grupului în rânduri de șuruburi și folosirea unui element echivalent T pentru a modela separat fiecare rând de șuruburi.

Rândurile de șuruburi se consideră că lucrează singure sau în cadrul unui grup de șuruburi. Rezistența finală a unui rând de șuruburi este cea care conduce la rezistența minimă în tracțiune pentru cazul combinației cele mai defavorabile. Figura 79 ilustrează diferența în mecanismul de cedare pentru un rând individual de șuruburi și un grup de șuruburi.

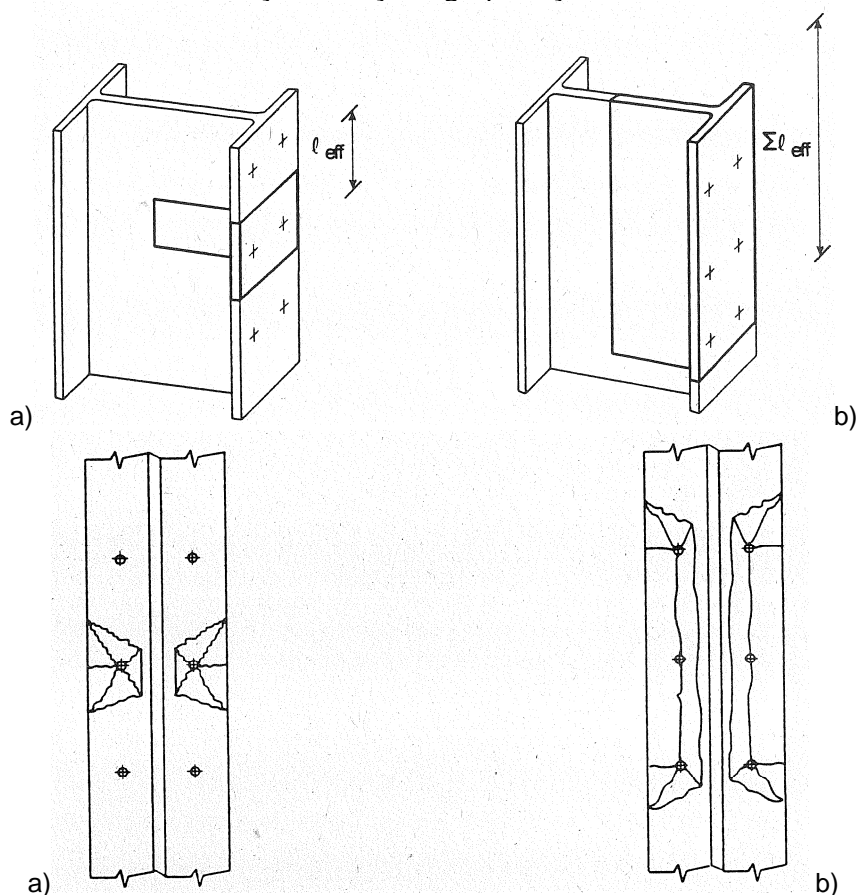


Figura 79: Mecanismul de cedare pentru un rând individual de șuruburi – a) respectiv un grup de rânduri de șuruburi – b) (Anderson et al., 1999).

Rândurile de șuruburi care pot fi considerate ca acționând simultan în cadrul unui grup de șuruburi nu sunt despărțite de rigidizări sau alte elemente transversale. Spre exemplu, pentru nodul din Figura 80, tabelul din partea dreaptă oferă modul de considerare a elementelor echivalente de tip T (pe rânduri individuale de șuruburi respectiv grupuri de rânduri de șuruburi) pentru talpa stâlpului respectiv placa de capăt solicitate la încovoiere.

Talpa stâlpului	Rând individual de șuruburi	Grup de rânduri de șuruburi	Placa de capăt	Rând individual de șuruburi	Grup de rânduri de șuruburi
R1	X		R1	X	
R2	X		R2	X	
R3	X		R3	X	
R4	X		R4	X	
R3+R4		X	R2+R3		X

R2+R3		X	R3+R4		X
R1+R2		X	R2+R3+R4		X
R2+R3+R4		X			
R1+R2+R3		X			
R1+R2+R3+R4		X			

Figura 80: Îmbinare cu placă de capăt și șuruburi. Modul de considerare a elementelor echivalente de tip T pentru rânduri individuale de șuruburi respectiv grupuri de rânduri de șuruburi (exemplu).

**NOTĂ:** În general identificarea modului de cedare pentru un element T echivalent poate aduce informații importante despre comportamentul nodului:

- dacă pentru rândul 1 de șuruburi este caracteristic modul 1 de cedare pentru placa de capăt, cornierele sau talpa stâlpului, atunci este puțin probabil ca nodul să fie rigid și total rezistent. În schimb, capacitatea de deformare bună pe care o dezvoltă aceste componente poate asigura o capacitate de rotire bună a nodului;
- modul 3 de cedare prin ruperea șuruburilor în tracțiune reprezintă un mod fragil de cedare și prin urmare este de preferat ca acest tip de îmbinare să posede o suparezistență corespunzătoare față de elementele îmbinate (grindă, stâlp);
- modul 2 de cedare reprezintă un compromis destul de bun pentru a avea o capacitate de rotire bună a nodului și rezistență totală sau apropiată de aceasta.

#### 4.6.3.2 Element T echivalent solicitat la compresiune (Ref. SR-EN1993-1-8 6.2.5)

Elementul T echivalent solicitat la compresiune este folosit pentru modelarea nodurilor dintre elementele metalice și beton:

- placa de bază metalică solicitată la încovoiere datorită presiunii asupra fundației,
- betonul și/sau mortarul de egalizare.

Forța capabilă la compresiune a tălpii elementului T echivalent,  $F_{C,Rd}$  este dată de:

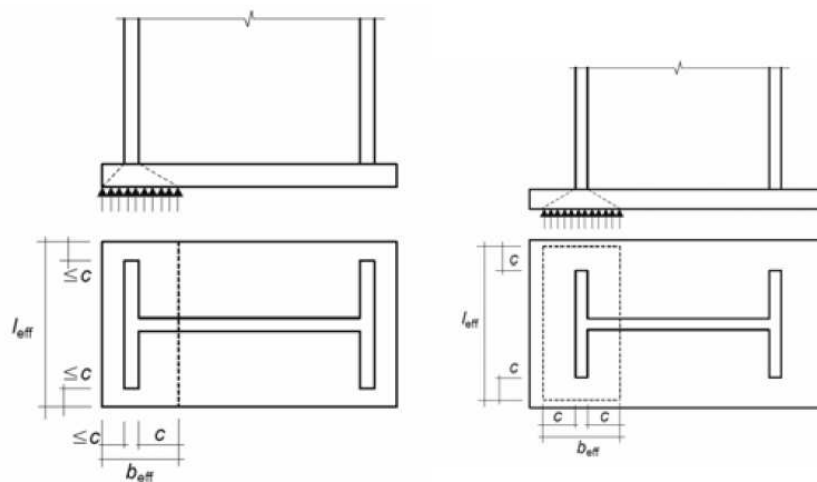
$$F_{C,Rd} = f_{jd} b_{eff} l_{eff} \quad (31)$$

$b_{eff}$  este lățimea efectivă a tălpii elementului T

$l_{eff}$  este lungimea efectivă a tălpii elementului T

$f_{jd}$  este rezistența de calcul la presiune a nodului

Lățimea și lungimea efectivă a tălpii elementului T echivalent solicitat la compresiune depinde de tipul proiecției lungimii fizice a componentei de bază a nodului. Dacă proiecția lungimii fizice a componentei de bază a nodului, reprezentată de elementul T, depășește valoarea  $c$  pe fiecare parte, porțiunea proiecției suplimentare peste lățimea  $c$  se neglijează (vezi Figura 81)



(a) Proiecție scurtă

(b) Proiecție largă

Figura 81: Aria elementului T echivalent solicitat la compresiune (SR-EN 1993-1-8, 2006).

Lățimea de rezemare adițională,  $c$ , este calculată cu formula:

$$c = t \sqrt{\frac{f_y}{3f_{jd}\gamma_{M0}}} \quad (32)$$

$t$  este grosimea tălpii elementului T

$f_y$  este limita de curgere a materialului tălpii elementului T

Rezistența materialului de rezemare a nodului (beton sau mortar)  $f_{jd}$  se determină cu ajutorul relației:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j F_{Rdu}}{b_{eff} l_{eff}} \quad (33)$$

$\beta_j$  este coeficientul materialului nodului din fundație.  $\beta_j=0,67$  dacă rezistența caracteristică a mortarului este mai mare de 20% din rezistența caracteristică a fundației din beton iar grosimea mortarului este mai mică de 20% din lățimea minimă a plăcii de bază.

$F_{Rdu}$  este forța rezistentă concentrată de calcul menționată în EN 1992.  $A_{c0}$  este egal cu produsul  $b_{eff} l_{eff}$ .

## 4.7. EXEMPLE DE CALCUL

În mod uzual, calculul îmbinărilor în conformitate cu SR EN1993-1-8 este foarte laborios. Calculul manual necesită foarte mult timp, însă pentru înțelegerea tuturor fenomenelor este recomandată parcurgerea unor exemple simple.

### 4.7.1 Îmbinare grindă-stâlp cu șuruburi

#### 4.7.1.1 DATE INIȚIALE ÎMBINARE GRINDĂ-STÂLP:

Stâlp: HEB300 S355  
 Grindă: IPE360 S235  
 Tipul îmbinării: cu placă de capăt extinsă  
 Placă de capăt: 500x220x15, S235  
 Șuruburi: M22, grupa10.9

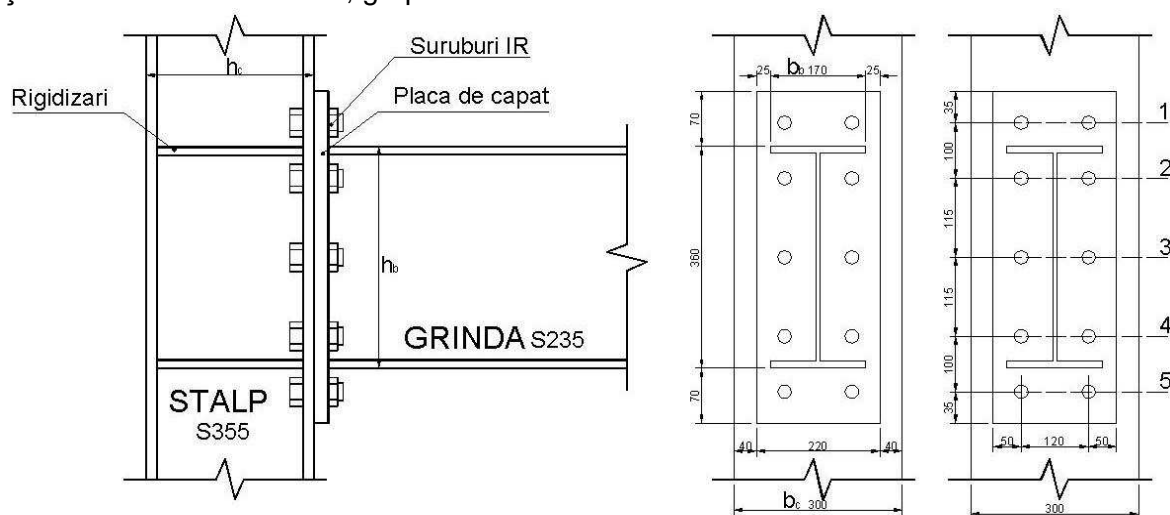


Figura 82: Geometria nodului grindă-stâlp

#### STÂLP HEB300, S355 - valori nominale

Înălțimea secțiunii:  $h_c := 300 \text{ mm}$

Lățimea secțiunii:  $b_c := 300 \text{ mm}$

Grosimea inimii:  $t_{wc} := 11 \text{ mm}$

Grosimea tălpii:  $t_{fc} := 19 \text{ mm}$

Raza de racord:  $r_c := 27 \text{ mm}$

Aria secțiunii:  $A_c := 14910 \text{ mm}^2$

Moment de inerție:  $I_{yc} := 251700000 \text{ mm}^4$

Distanța între razele de racord:  $d_c := 208 \text{ mm}$

Limita de curgere a oțelului:  $f_{yc} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Rezistența ultimă a oțelului:  $f_{uc} := 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

**GRINDA IPE360, S235 - valori nominale**

Înălțimea secțiunii:	$h_b := 360 \text{ mm}$
Lățimea secțiunii:	$b_b := 170 \text{ mm}$
Grosimea inimii:	$t_{wb} := 8 \text{ mm}$
Grosimea tălpii:	$t_{fb} := 12.7 \text{ mm}$
Raza de racord:	$r_b := 18 \text{ mm}$
Aria secțiunii:	$A_b := 7270 \text{ mm}^2$
Moment de inerție:	$I_{yb} := 162700000 \text{ mm}^4$
Distanța între razele de racord:	$d_b := 298.6 \text{ mm}$
Limita de curgere a oțelului:	$f_{yb} := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Rezistența ultimă a oțelului:	$f_{ub} := 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

**PLACA DE CAPĂT 500x220x15, S235**

Lungime:	$h_p := 500 \text{ mm}$
Lățime:	$b_p := 220 \text{ mm}$
Grosime:	$t_p := 15 \text{ mm}$
Limita de curgere a oțelului:	$f_{yp} := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Rezistența ultimă a oțelului:	$f_{up} := 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

*Pe direcția aplicării încărcărilor (1)*

Numărul de rânduri orizontale de șuruburi:	$n_1 := 5$
Distanța de la marginea plăcii până la primul rând de șuruburi:	$e_1 := 35 \text{ mm}$
Distanța între rândurile de șuruburi:	$p_{11} := 100 \text{ mm}$ $p_{12} := 115 \text{ mm}$

*Pe direcția perpendiculară aplicării încărcărilor (2)*

Numărul de rânduri verticale de șuruburi:	$n_2 := 2$
Distanța de la marginea plăcii până la primul rând de șuruburi:	$e_2 := 60 \text{ mm}$
Distanța între rândurile de șuruburi:	$p_2 := 100 \text{ mm}$

**ȘURUBURI M22, 10.9**

Numărul total de șuruburi:	$n := 10$
Aria șurubului:	$A_s := 380 \text{ mm}^2$
Diametrul tije:	$d := 22 \text{ mm}$
Diametrul găurii:	$d_0 := 24 \text{ mm}$
Diametrul șaibei:	$d_w := 37 \text{ mm}$

Limita de curgere:  $f_{ybt} := 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Rezistența ultimă:  $f_{ubt} := 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

### SUDURA ÎNTRE GRINDĂ ȘI PLACA DE CAPĂT

Sudura tălpii:  $a_f := 8 \text{ mm}$

Sudura inimii:  $a_w := 6 \text{ mm}$

### FACTORI PARȚIALI DE SIGURANȚĂ

$\gamma_{M0} := 1.0$

$\gamma_{M2} := 1.25$

$\gamma_{Mu} := 1.1$

#### 4.7.1.2 CALCULUL MOMENTULUI CAPABIL

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.4.2

Se vor calcula mai întâi rezistențele pentru fiecare rând de șuruburi.

- rândul 1 de șuruburi - adiacent unei rigidizări, din partea extinsă a plăcii de capăt:*  
Având în vedere că rândul 1 de șuruburi este adiacent rigidizării de pe stâlp și situat în partea extinsă a plăcii de capăt, rezistența va fi determinată ignorând primele două componente:

- rezistența inimii stâlpului la întindere
- rezistența inimii grinzii la întindere.
- rezistența tălpii stâlpului la încovoiere:*

Se vor defini mărimile:

$e_{\min} := 60 \text{ mm}$

$e := 100 \text{ mm}$

$m := \left[ \frac{(100 - 11)}{2} \right] - 0.8 \cdot 27 = 22.9 \text{ mm}$

$n := 1.25 \cdot m = 28.625 \text{ mm}$

$r_c = 27 \text{ mm}$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.5

calculate conform EN1993-1-8, par.6.2.6.4.1, figura 6.8

$l_{\text{eff.cp1}} := 2 \cdot \pi \cdot m = 143.885 \text{ mm}$

$l_{\text{eff.cp2}} := \pi \cdot m + 2 \cdot e_1 = 141.942 \text{ mm}$

$l_{\text{eff.cp}} := \min(l_{\text{eff.cp1}}, l_{\text{eff.cp2}}) = 141.942 \text{ mm}$

factorul  $\alpha$  rezultă din figura 6.11, în funcție de  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$

$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.186$

$m_2 := \left[ \frac{(100 - 11)}{2} \right] - 0.8 \cdot 10 = 36.5 \text{ mm}$

$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.297$  rezulta  $\alpha := 8$  (val. aproximativa)

$l_{\text{eff.nc}} := e_1 + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 109.9 \text{ mm}$

$l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 109.9 \text{ mm}$

$$l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 109.9 \text{ mm}$$

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a tălpii:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{\text{eff.1}} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yc}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 3.521 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{\text{T1.1.Rd}} := \frac{(4 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}})}{m} = 6.15 \times 10^5 \text{ N}$$

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea tălpii :

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{\text{eff.2}} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yc}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 3.521 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$A_{\text{s.b}} := A_{\text{s}}$$

$$F_{\text{t.Rd}} := \frac{(0.9 \cdot f_{\text{ubt}} \cdot A_{\text{s.b}})}{\gamma_{\text{M2}}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{\text{T1.2.Rd}} := \frac{[2 \cdot M_{\text{pl.2.Rd}} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{\text{t.Rd}})]}{m + n} = 4.407 \times 10^5 \text{ N}$$

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{\text{T1.3.Rd}} := \Sigma \cdot F_{\text{t.Rd}} = 5.472 \times 10^5 \text{ N}$$

Pentru talpa stâlpului la primul rând de șuruburi, rezistența minimă este:

$$F_{\text{t1.cf.Rd}} := \min(F_{\text{T1.1.Rd}}, F_{\text{T1.2.Rd}}, F_{\text{T1.3.Rd}}) = 4.407 \times 10^5 \text{ N}$$

(modul 2 de cedare)

#### 4. rezistența plăcii de capăt la încovoiere

Se definesc mărimile:

$$e_x := e_{\text{min}} = 60 \text{ mm}$$

$$w := 100 \text{ mm}$$

$$m_x := 40 - 0.8 \cdot a_f = 33.6 \text{ mm}$$

calculate conform EN1993-1-8: par.6.2.6.5

$$l_{\text{eff.cp1.p}} := 2 \cdot \pi \cdot m_x = 211.115 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp2.p}} := \pi \cdot m_x + w = 205.558 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp3.p}} := \pi \cdot m_x + 2 \cdot e = 305.558 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp}} := \min(l_{\text{eff.cp1.p}}, l_{\text{eff.cp2.p}}, l_{\text{eff.cp3.p}}) = 205.558 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc1.p}} := 4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x = 209.4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc2.p}} := e + 2 \cdot m_x + 0.625 e_x = 204.7 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc3.p}} := 0.5 \cdot b_p = 110 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc4.p}} := 0.5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0.625 e_x = 154.7 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc}} := \min(l_{\text{eff.nc1.p}}, l_{\text{eff.nc2.p}}, l_{\text{eff.nc3.p}}, l_{\text{eff.nc4.p}}) = 110 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 110 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 110 \text{ mm}$$

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a plăcii de capăt:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( l_{\text{eff.1}} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{\text{yp}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 1.454 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.6

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.6

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.6

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{T1.1.Rd} := \frac{(4 \cdot M_{pl.1.Rd})}{m_x} = 1.731 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plasticizarea plăcii :

$$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot \left( l_{eff.2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 1.454 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{t.Rd} := \frac{(0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_{s.b})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{T1.2.Rd} := \frac{[2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{t.Rd})]}{m_x + n} = 2.985 \times 10^5 \text{ N}$$

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{T1.3.Rd} := \Sigma \cdot F_{t.Rd} = 5.472 \times 10^5 \text{ N}$$

Pentru placa de capăt la primul rând de șuruburi, rezistența minimă este:

$$F_{t1.ep.Rd} := \min(F_{T1.1.Rd}, F_{T1.2.Rd}, F_{T1.3.Rd}) = 1.731 \times 10^5 \text{ N}$$

**Pentru primul rând de șuruburi rezultă:**

$$F_{t1.Rd} := \min(F_{t1.cf.Rd}, F_{t1.ep.Rd}) = 1.731 \times 10^5 \text{ N}$$

• *Rândul 2 de șuruburi - este adiacent unei rigidizări de pe stâlp și tălpii superioare a grinzii, prin urmare rezistența se va determina ignorând primele două componente:*

1. rezistența inimii stâlpului la întindere
2. rezistența inimii grinzii la întindere
3. rezistența tălpii stâlpului la încovoiere:

se vor defini mărimile:

$$\begin{aligned} e_{\min} &:= 60 \text{ mm} \\ e &:= 100 \text{ mm} \\ m &:= 22.9 \text{ mm} \\ n &:= 1.25 \cdot m = 28.625 \text{ mm} \\ r_c &= 27 \text{ mm} \end{aligned}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.5

calculate conform EN1993-1-8: par.6.2.6.4.1, figura 6.8

$$l_{eff.cp} := 2 \cdot \pi \cdot m = 143.885 \text{ mm}$$

factorul  $\alpha$  rezultă din EN1993-1-8, figura 6.11, în funcție de  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$

$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.186$$

$$m_2 := \left[ \frac{(100 - 11)}{2} \right] - 0.8 \cdot 10 = 36.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.297 \text{ rezulta } \alpha := 8 \text{ (valoare aproximativă)}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.5

$$l_{eff.nc} := \alpha \cdot m = 183.2 \text{ mm}$$

$$l_{eff.1} := \min(l_{eff.cp}, l_{eff.nc}) = 143.885 \text{ mm}$$

$$l_{eff.2} := l_{eff.nc} = 183.2 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Modul 1 de cedare: plasticizarea completă a tălpii:

$$M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{eff.1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}} \right) = 4.61 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{T2.1.Rd} := \frac{(4 \cdot M_{pl.1.Rd})}{m} = 8.052 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

<p>Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea tălpii :</p> $M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{eff.2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}} \right) = 5.869 \times 10^6 \text{ Nmm}$ $A_{s.b} := A_s$ $F_{t.Rd} := \frac{(0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_{s.b})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$ $F_{T2.2.Rd} := \frac{[2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{t.Rd})]}{m + n} = 5.318 \times 10^5 \text{ N}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.3</p>
<p>Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:</p> $F_{T2.3.Rd} := \Sigma \cdot F_{t.Rd} = 5.472 \times 10^5 \text{ N}$ <p>Pentru talpa stâlpului la al doilea rând de șuruburi, rezistența minimă este:</p> $F_{t2.cf.Rd} := \min(F_{T2.1.Rd}, F_{T2.2.Rd}, F_{T2.3.Rd}) = 5.318 \times 10^5 \text{ N}$	
<p><b>4.rezistența plăcii de capăt la încovoiere</b></p> $l_{eff.cp} := 2 \cdot \pi \cdot m = 143.885 \text{ mm}$ $l_{eff.nc} := \alpha \cdot m = 183.2 \text{ mm}$ $l_{eff.1} := \min(l_{eff.cp}, l_{eff.nc}) = 143.885 \text{ mm}$ $l_{eff.2} := l_{eff.nc} = 183.2 \text{ mm}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.6</p>
<p>Modul 1 de cedare: plastificarea completă a plăcii de capăt:</p> $M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot \left( l_{eff.1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 1.902 \times 10^6 \text{ Nmm}$ $F_{T2.1.Rd} := \frac{(4 \cdot M_{pl.1.Rd})}{m} = 3.322 \times 10^5 \text{ N}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.3</p>
<p>Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea plăcii :</p> $M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{eff.2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 4.843 \times 10^6 \text{ Nmm}$ $F_{t.Rd} := \frac{(0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_{s.b})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$ $F_{T2.2.Rd} := \frac{[2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{t.Rd})]}{m + n} = 4.92 \times 10^5 \text{ N}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tabel 6.3</p>
<p>Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:</p> $F_{T2.3.Rd} := \Sigma \cdot F_{t.Rd} = 5.472 \times 10^5 \text{ N}$ <p>Pentru placa de capăt la al doilea rând de șuruburi, rezistența minimă este:</p> $F_{t2.ep.Rd} := \min(F_{T2.1.Rd}, F_{T2.2.Rd}, F_{T2.3.Rd}) = 3.322 \times 10^5 \text{ N}$	
<p><b>Pentru al doilea rând de șuruburi rezultă:</b></p> $F_{t2.Rd} := \min(F_{t2.cf.Rd}, F_{t2.ep.Rd}) = 3.322 \times 10^5 \text{ N}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Randul 3 de șuruburi - este rand intermediar de șuruburi (fara rigidizari pe grinda sau pe stalp), prin urmare rezistența randului de șuruburi va fi minimul dintre următoarele componente:</i></li> </ul> <p>1. rezistența inimii stâlpului la întindere</p>	<p>EN1993 - 1 - 8 par. 6.2.6.3</p>

$$F_{t.wc.Rd} := \frac{(\omega \cdot b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc})}{\gamma_{M0}}$$

$$l_{eff.cp} := 2\pi \cdot m = 143.885 \text{ mm}$$

$$l_{eff.nc} := 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 216.6 \text{ mm}$$

$$b_{eff.t.wc} := \min(l_{eff.cp}, l_{eff.nc}) = 143.885 \text{ mm}$$

$$A_{vc} := 4743 \text{ mm}^2$$

Factorul de reducere  $\omega$  rezultă conform tabelului 6.3 din EN1993-1-8:

$$\omega_1 := \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \cdot \left( \frac{b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}} = 0.935$$

$$\omega := \omega_1 = 0.935$$

$$f_{y.wc} := f_{yc}$$

$$F_{t.wc.Rd} := \frac{(\omega \cdot b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc})}{\gamma_{M0}} = 5.251 \times 10^5 \text{ N}$$

## 2. rezistența tălpii stâlpului la încovoiere

Se vor defini mărimile:

$$e_{min} := 60 \text{ mm}$$

$$e := 100 \text{ mm}$$

$$m := 22.9 \text{ mm}$$

$$n := 1.25 \cdot m = 28.625 \text{ mm}$$

$$r_c = 27 \text{ mm}$$

calculate conform par.6.2.6.4.1, figura 6.8.

$$l_{eff.cp} := 2 \cdot \pi \cdot m = 143.885 \text{ mm}$$

$$l_{eff.nc} := 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 216.6 \text{ mm}$$

$$l_{eff.1} := \min(l_{eff.cp}, l_{eff.nc}) = 143.885 \text{ mm}$$

$$l_{eff.2} := l_{eff.nc} = 216.6 \text{ mm}$$

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a tălpii:

$$M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{eff.1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}} \right) = 4.61 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{T3.1.Rd} := \frac{(4 \cdot M_{pl.1.Rd})}{m} = 8.052 \times 10^5 \text{ N}$$

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea tălpii :

$$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{eff.2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}} \right) = 6.94 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{t.Rd} := \frac{(0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_{s.b})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{T3.2.Rd} := \frac{[2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{t.Rd})]}{m + n} = 5.734 \times 10^5 \text{ N}$$

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{T3.3.Rd} := \Sigma \cdot F_{t.Rd} = 5.472 \times 10^5 \text{ N}$$

Pentru talpa stâlpului la încovoiere, la al treilea rând de șuruburi, rezistența minimă este:

$$F_{t3.cf.Rd} := \min(F_{T3.1.Rd}, F_{T3.2.Rd}, F_{T3.3.Rd}) = 5.472 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.4

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.4

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

### 3. rezistența plăcii de capăt la încovoiere

$$l_{\text{eff.cp}} := 2 \cdot \pi \cdot m = 143.885 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc}} := 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 216.6 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 143.885 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 216.6 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.6

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a plăcii de capăt:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( l_{\text{eff.1}} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 1.902 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{\text{T3.1.Rd}} := \frac{(4 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}})}{m} = 3.322 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea plăcii :

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := 0.25 \cdot \left( l_{\text{eff.2}} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 2.863 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{\text{t.Rd}} := \frac{(0.9 \cdot f_{\text{ubt}} \cdot A_{\text{s.b}})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{\text{T3.2.Rd}} := \frac{[2 \cdot M_{\text{pl.2.Rd}} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{\text{t.Rd}})]}{m + n} = 4.151 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{\text{T3.3.Rd}} := \Sigma \cdot F_{\text{t.Rd}} = 5.472 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Pentru placa de capăt la al treilea rând de șuruburi, rezistența minimă este:

$$F_{\text{t3.ep.Rd}} := \min(F_{\text{T3.1.Rd}}, F_{\text{T3.2.Rd}}, F_{\text{T3.3.Rd}}) = 3.322 \times 10^5 \text{ N}$$

### 4. rezistența inimii grinzii solicitată la întindere

$$b_{\text{eff.t.wb}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 143.885 \text{ mm}$$

$$f_{\text{y.wb}} := f_{\text{yb}}$$

$$F_{\text{t3.wb.Rd}} := b_{\text{eff.t.wb}} \cdot t_{\text{wb}} \cdot \frac{f_{\text{y.wb}}}{\gamma_{M0}} = 2.705 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.8

**Pentru al treilea rând de șuruburi rezultă:**

$$F_{\text{t3.Rd}} := \min(F_{\text{t.wc.Rd}}, F_{\text{t3.cf.Rd}}, F_{\text{t3.ep.Rd}}, F_{\text{t3.wb.Rd}}) = 2.705 \times 10^5 \text{ N}$$

• Rândul 4 de șuruburi - având în vedere că acest rând de șuruburi este adiacent rigidizării de pe stâlp și a tălpii grinzii, rezistența se va determina ignorând primele două componente:

1. rezistența inimii stâlpului la întindere

2. rezistența inimii grinzii la întindere

3. rezistența tălpii stâlpului la încovoiere:

Se vor defini mărimile:

$$e_{\text{min}} := 60 \text{ mm}$$

$$e := 100 \text{ mm}$$

$$m := 22.9 \text{ mm}$$

$$n := 1.25 \cdot m = 28.625 \text{ mm}$$

$$r_c = 27 \text{ mm}$$

calculate conform EN1993-1-8, par.6.2.6.4.1, figura 6.8.

$$l_{\text{eff.cp}} := 2 \cdot \pi \cdot m = 143.885 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.5

$$l_{\text{eff.nc}} := \alpha \cdot m = 183.2 \text{ mm}$$

factorul  $\alpha$  rezultă din EN1993-1-8, figura 6.11, în funcție de  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$

$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.186$$

$$m_2 = 36.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.297 \text{ rezultă } \alpha := 8 \text{ (valoare aproximativă)}$$

$$l_{\text{eff.nc}} := \alpha \cdot m = 183.2 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 143.885 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 183.2 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.5

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a tălpii:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{\text{eff.1}} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yc}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 4.61 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{\text{T4.1.Rd}} := \frac{(4 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}})}{m} = 8.052 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea tălpii :

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{\text{eff.2}} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yc}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 5.869 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$A_{\text{s.b}} := A_{\text{s}}$$

$$F_{\text{t.Rd}} := \frac{(0.9 \cdot f_{\text{ubt}} \cdot A_{\text{s.b}})}{\gamma_{\text{M2}}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{\text{T4.2.Rd}} := \frac{[2 \cdot M_{\text{pl.2.Rd}} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{\text{t.Rd}})]}{m + n} = 5.318 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{\text{T4.3.Rd}} := \Sigma \cdot F_{\text{t.Rd}} = 5.472 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Pentru talpa stâlpului la al patrulea rând de șuruburi, rezistența minimă este:

$$F_{\text{t4.cf.Rd}} := \min(F_{\text{T4.1.Rd}}, F_{\text{T4.2.Rd}}, F_{\text{T4.3.Rd}}) = 5.318 \times 10^5 \text{ N}$$

#### 4. rezistența plăcii de capăt la încovoiere

$$l_{\text{eff.cp}} := 2 \cdot \pi \cdot m = 143.885 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.6

$$l_{\text{eff.nc}} := 4 \cdot m + 1.25 \cdot e = 216.6 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 143.885 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 216.6 \text{ mm}$$

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a plăcii de capăt:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( l_{\text{eff.1}} \cdot t_{\text{p}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yp}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 1.902 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{\text{T4.1.Rd}} := \frac{(4 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}})}{m} = 3.322 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea plăcii :

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{\text{eff.2}} \cdot t_{\text{p}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yp}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 5.726 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{t.Rd} := \frac{(0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_{s,b})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

$$F_{T4.2.Rd} := \frac{[2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{t.Rd})]}{m + n} = 5.263 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tabel 6.3

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{T4.3.Rd} := \Sigma \cdot F_{t.Rd} = 5.472 \times 10^5 \text{ N}$$

Pentru placa de capăt la al patrulea rând de șuruburi, rezistența minimă este:

$$F_{t4.ep.Rd} := \min(F_{T4.1.Rd}, F_{T4.2.Rd}, F_{T4.3.Rd}) = 3.322 \times 10^5 \text{ N}$$

**Pentru al patrulea rând de șuruburi rezultă:**

$$F_{t4.Rd} := \min(F_{t4.cf.Rd}, F_{t4.ep.Rd}) = 3.322 \times 10^5 \text{ N}$$

• Datorită faptului că rândul 1 de șuruburi este în partea extinsă a plăcii de capăt și lângă o rigidizare a stâlpului, acesta nu participă în grupările de șuruburi. Grupările care se vor considera (în funcție de geometria particulară a îmbinării) vor fi:

- R2+R3
- R2+R3+R4
- R3+R4

**Gruparea rândurilor de șuruburi 2+3:**

1. rezistența inimii stâlpului la întindere:

$$F_{t.wc.Rd} := \frac{(\omega \cdot b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc})}{\gamma_{M0}}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.3

$$p := 115 \text{ mm}$$

$$l_{eff.cp2} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$l_{eff.cp3} := 2 \cdot p = 230 \text{ mm}$$

$$l_{eff.nc2} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$l_{eff.nc3} := p = 115 \text{ mm}$$

$$b_{eff.t.wc} := \min(l_{eff.cp2} + l_{eff.cp3}, l_{eff.nc2} + l_{eff.nc3}) = 247.4 \text{ mm}$$

$$A_{vc} := 4743 \text{ mm}^2$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.5

Factorul de reducere  $\omega$  rezultă conform EN1993-1-8, tabelul 6.3:

$$\omega_1 := \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \cdot \left( \frac{b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}} = 0.837$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.3

$$\omega := \omega_1 = 0.837$$

$$f_{y.wc} := f_{yc}$$

$$F_{t23.wc.Rd} := \frac{(\omega \cdot \Sigma \cdot b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc})}{\gamma_{M0}} = 8.085 \times 10^5 \text{ N}$$

2. rezistența tălpii stâlpului la încovoiere:

Se vor defini mărimile:

$$e_{min} := 60 \text{ mm}$$

$$e := 100 \text{ mm}$$

$$m := 22.9 \text{ mm}$$

$$n := 1.25 \cdot m = 28.625 \text{ mm}$$

$$r_c = 27 \text{ mm}$$

calculate conform EN1993-1-8, par.6.2.6.4.1, figura 6.8

Distanța între cele 2 rânduri de șuruburi este:  $p := 115 \text{ mm}$

$$l_{\text{eff.cp2}} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp3}} := 2 \cdot p = 230 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.cp}} := l_{\text{eff.cp2}} + l_{\text{eff.cp3}} = 416.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc2}} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc3}} := p = 115 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.nc}} := l_{\text{eff.nc2}} + l_{\text{eff.nc3}} = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 247.4 \text{ mm}$$

factorul  $\alpha$  rezultă din figura 6.11, în funcție de  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$

$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.186$$

$$m_2 = 36.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.297 \text{ rezultă } \alpha := 8 \text{ (valoare aproximativă)}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.5

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a tălpii:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma l_{\text{eff.1}} \cdot t_{\text{fc}} \cdot 2 \cdot \frac{f_{\text{yc}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 7.926 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

$$F_{\text{T23.1.Rd}} := \frac{(4 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}})}{m} = 1.385 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea tălpii :

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma l_{\text{eff.2}} \cdot t_{\text{fc}} \cdot 2 \cdot \frac{f_{\text{yc}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 7.926 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

$$A_{\text{s.b}} := A_s$$

$$F_{\text{t.Rd}} := \frac{(0.9 \cdot f_{\text{ubt}} \cdot A_{\text{s.b}})}{\gamma_{\text{M2}}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

$$F_{\text{T23.2.Rd}} := \frac{[2 \cdot M_{\text{pl.2.Rd}} + n \cdot (\Sigma F_{\text{t.Rd}})]}{m + n} = 9.157 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{\text{T23.3.Rd}} := \Sigma F_{\text{t.Rd}} = 1.094 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Pentru talpa stâlpului la rândurile de șuruburi 2+3, rezistența minimă este:

$$F_{\text{T23.cf.Rd}} := \min(F_{\text{T23.1.Rd}}, F_{\text{T23.2.Rd}}, F_{\text{T23.3.Rd}}) = 9.157 \times 10^5 \text{ N}$$

3. rezistența plăcii de capăt la încovoiere:

$$l_{\text{eff.cp2}} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp3}} := 2 \cdot p = 230 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.cp}} := l_{\text{eff.cp2}} + l_{\text{eff.cp3}} = 416.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc2}} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc3}} := p = 115 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.6

$$\Sigma l_{\text{eff.nc}} := l_{\text{eff.nc2}} + l_{\text{eff.nc3}} = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 247.4 \text{ mm}$$

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a plăcii de capăt:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{\text{eff.1}} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 3.27 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{\text{T23.1.Rd}} := \frac{(4 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}})}{m} = 5.712 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea plăcii :

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{\text{eff.2}} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 3.27 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{\text{t.Rd}} := \frac{(0.9 \cdot f_{\text{ubt}} \cdot A_{\text{s.b}})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{\text{T23.2.Rd}} := \frac{[2 \cdot M_{\text{pl.2.Rd}} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{\text{t.Rd}})]}{m + n} = 7.349 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{\text{T23.3.Rd}} := \Sigma \cdot F_{\text{t.Rd}} = 1.094 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Pentru placa de capăt la gruparea de șuruburi 2+3, rezistența minimă este:

$$F_{\text{t23.ep.Rd}} := \min(F_{\text{T23.1.Rd}}, F_{\text{T23.2.Rd}}, F_{\text{T23.3.Rd}}) = 5.712 \times 10^5 \text{ N}$$

#### 4. rezistența inimii grinzii solicitată la întindere

$$b_{\text{eff.t.wb}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 247.4 \text{ mm}$$

$$f_{\text{y.wb}} := f_{\text{yb}}$$

$$F_{\text{t23.wb.Rd}} := b_{\text{eff.t.wb}} \cdot t_{\text{wb}} \cdot \frac{f_{\text{y.wb}}}{\gamma_{M0}} = 4.651 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.8

#### Pentru gruparea de șuruburi 2+3 rezultă:

$$F_{\text{t23.Rd}} := \min(F_{\text{t23.wc.Rd}}, F_{\text{t23.cf.Rd}}, F_{\text{t23.ep.Rd}}, F_{\text{t23.wb.Rd}}) = 4.651 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{\text{t23.Rd}} < F_{\text{t2.Rd}} + F_{\text{t3.Rd}} \quad (\text{verifică})$$

- Gruparea rândurilor de șuruburi 2+3+4:

#### 1. rezistența inimii stâlpului la întindere:

$$F_{\text{t.wc.Rd}} := \frac{(\omega \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{\text{wc}} \cdot f_{\text{y.wc}})}{\gamma_{M0}}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.3

distanța între 2 rânduri de șuruburi este: p := 115 mm

$$l_{\text{eff.cp2}} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp3}} := 2 \cdot p = 230 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp4}} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.cp}} := l_{\text{eff.cp2}} + l_{\text{eff.cp3}} + l_{\text{eff.cp4}} = 603.885 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc2}} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc3}} := p = 115 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc4}} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.nc}} := l_{\text{eff.nc2}} + l_{\text{eff.nc3}} + l_{\text{eff.nc4}} = 379.8 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 379.8 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 379.8 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff.t.wc}} := \min(l_{\text{eff.cp2}} + l_{\text{eff.cp3}} + l_{\text{eff.cp4}}, l_{\text{eff.nc2}} + l_{\text{eff.nc3}} + l_{\text{eff.nc4}}) = 379.8 \text{ mm}$$

$$A_{\text{vc}} := 4743 \text{ mm}^2$$

Factorul de reducere  $\omega$  rezultă conform tabelului 6.3, din EN1993-1-8:

$$\omega_1 := \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \cdot \left( \frac{b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{\text{wc}}}{A_{\text{vc}}} \right)^2}} = 0.706$$

$$\omega := \omega_1 = 0.706$$

$$f_{\text{y.wc}} := f_{\text{yc}}$$

$$F_{\text{T234.wc.Rd}} := \frac{(\omega \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{\text{wc}} \cdot f_{\text{y.wc}})}{\gamma_{\text{M0}}} = 1.046 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.3

**2. rezistența tălpii stâlpului la încovoiere:**

Se vor defini mărimile:

$$e_{\text{min}} := 60 \text{ mm}$$

$$e := 100 \text{ mm}$$

$$m := 22.9 \text{ mm}$$

$$n := 1.25 \cdot m = 28.625 \text{ mm}$$

$$r_{\text{c}} = 27 \text{ mm}$$

calculate conform EN1993-1-8, par.6.2.6.4.1, figura 6.8

Distanța între cele 3 rânduri de șuruburi este:  $p := 115 \text{ mm}$

$$l_{\text{eff.cp2}} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp3}} := 2 \cdot p = 230 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp4}} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.cp}} := l_{\text{eff.cp2}} + l_{\text{eff.cp3}} + l_{\text{eff.cp4}} = 603.885 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc2}} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc3}} := p = 115 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc4}} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.nc}} := l_{\text{eff.nc2}} + l_{\text{eff.nc3}} + l_{\text{eff.nc4}} = 379.8 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 379.8 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 379.8 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.5

factorul  $\alpha$  rezultă din figura 6.11, în funcție de  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$

$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.186$$

$$m_2 = 36.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.297 \text{ rezultă } \alpha := 8 \text{ (valoare aproximativă)}$$

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a tălpii:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma l_{\text{eff.1}} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yc}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 1.217 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$F_{\text{T234.1.Rd}} := \frac{(4 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}})}{m} = 2.125 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

<p>Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea tălpii :</p> $M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{eff.2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}} \right) = 1.217 \times 10^7 \text{ Nmm}$ $A_{s.b} := A_s$ $F_{t.Rd} := \frac{(0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_{s.b})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$ $F_{T234.2.Rd} := \frac{[2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{t.Rd})]}{m + n} = 1.384 \times 10^6 \text{ N}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p>
<p>Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:</p> $F_{T234.3.Rd} := \Sigma \cdot F_{t.Rd} = 1.642 \times 10^6 \text{ N}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p>
<p>Pentru talpa stâlpului la gruparea de șuruburi 2+3+4, rezistența minimă este:</p> $F_{t234.cf.Rd} := \min(F_{T234.1.Rd}, F_{T234.2.Rd}, F_{T234.3.Rd}) = 1.384 \times 10^6 \text{ N}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p>
<p>3. rezistența plăcii de capăt la încovoiere:</p> $l_{eff.cp2} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$ $l_{eff.cp3} := 2 \cdot p = 230 \text{ mm}$ $l_{eff.cp4} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$ $\Sigma l_{eff.cp} := l_{eff.cp2} + l_{eff.cp4} + l_{eff.cp3} = 603.885 \text{ mm}$ $l_{eff.nc2} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$ $l_{eff.nc3} := p = 115 \text{ mm}$ $l_{eff.nc4} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$ $\Sigma l_{eff.nc} := l_{eff.nc2} + l_{eff.nc4} + l_{eff.nc3} = 379.8 \text{ mm}$ $\Sigma l_{eff.1} := \min(l_{eff.cp}, l_{eff.nc}) = 379.8 \text{ mm}$ $\Sigma l_{eff.2} := l_{eff.nc} = 379.8 \text{ mm}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.6</p>
<p>Modul 1 de cedare: plastificarea completă a plăcii de capăt:</p> $M_{pl.1.Rd} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{eff.1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 5.02 \times 10^6 \text{ Nmm}$ $F_{T234.1.Rd} := \frac{(4 \cdot M_{pl.1.Rd})}{m} = 8.769 \times 10^5 \text{ N}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p>
<p>Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea plăcii :</p> $M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{eff.2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 5.02 \times 10^6 \text{ Nmm}$ $F_{t.Rd} := \frac{(0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_{s.b})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$ $F_{T234.2.Rd} := \frac{[2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{t.Rd})]}{m + n} = 1.107 \times 10^6 \text{ N}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p> <p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p>
<p>Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:</p> $F_{T234.3.Rd} := \Sigma \cdot F_{t.Rd} = 1.642 \times 10^6 \text{ N}$	<p>EN1993 - 1 - 8 tab. 6.3</p>
<p>Pentru placa de capăt la gruparea de șuruburi 2+3+4, rezistența minimă este:</p> $F_{t234.ep.Rd} := \min(F_{T234.1.Rd}, F_{T234.2.Rd}, F_{T234.3.Rd}) = 8.769 \times 10^5 \text{ N}$	

#### 4. rezistența inimii grinzii solicitată la întindere

$$b_{\text{eff.t.wb}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 379.8 \text{ mm}$$

$$f_{y.wb} := f_{yb}$$

$$F_{t234.wb.Rd} := b_{\text{eff.t.wb}} \cdot t_{wb} \cdot \frac{f_{y.wb}}{\gamma_{M0}} = 7.14 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.8

#### Pentru gruparea de șuruburi 2+3+4 rezultă:

$$F_{t234.Rd} := \min(F_{t234.wc.Rd}, F_{t234.cf.Rd}, F_{t234.ep.Rd}, F_{t234.wb.Rd}) = 7.14 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{t234.Rd} < F_{t2.Rd} + F_{t3.Rd} + F_{t4.Rd} \quad (\text{verifică})$$

- Gruparea rândurilor de șuruburi 3+4:

#### 1. rezistența inimii stâlpului la întindere:

$$F_{t.wc.Rd} := \frac{(\omega \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc})}{\gamma_{M0}}$$

$$l_{\text{eff.cp3}} := 2 \cdot p = 230 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp4}} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.cp}} := l_{\text{eff.cp3}} + l_{\text{eff.cp4}} = 416.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc3}} := p = 115 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc4}} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.nc}} := l_{\text{eff.nc3}} + l_{\text{eff.nc4}} = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 247.4 \text{ mm}$$

$$A_{vc} := 4743 \text{ mm}^2$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.3

Factorul  $\omega$  rezulta conform tabelului 6.3, din EN1993-1-8:

$$\omega_1 := \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \cdot \left( \frac{b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}} = 0.706$$

$$\omega := \omega_1 = 0.706$$

$$f_{y.wc} := f_{yc}$$

$$F_{t34.wc.Rd} := \frac{(\omega \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc})}{\gamma_{M0}} = 1.046 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.3

#### 2. rezistența tălpii stâlpului la încovoiere:

Se vor defini mărimile:

$$e_{\text{min}} := 60 \text{ mm}$$

$$e := 100 \text{ mm}$$

$$m := 22.9 \text{ mm}$$

$$n := 1.25 \cdot m = 28.625 \text{ mm}$$

$$r_c = 27 \text{ mm}$$

calculate conform EN1993-1-8, par.6.2.6.4.1, figura 6.8.

distanța între cele 2 rânduri de șuruburi este:  $p := 115 \text{ mm}$

$$l_{\text{eff.cp4}} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp3}} := 2 \cdot p = 230 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.cp}} := l_{\text{eff.cp3}} + l_{\text{eff.cp4}} = 416.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc4}} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc3}} := p = 115 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.nc}} := l_{\text{eff.nc3}} + l_{\text{eff.nc4}} = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 247.4 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.5

factorul  $\alpha$  rezultă din figura 6.11, în funcție de  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$

$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e} = 0.186$$

$$m_2 = 36.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e} = 0.297 \text{ rezultă } \alpha := 8 \text{ (valoare aproximativă)}$$

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a tălpii:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma l_{\text{eff.1}} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yc}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 7.926 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{\text{T34.1.Rd}} := \frac{(4 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}})}{m} = 1.385 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea tălpii :

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma l_{\text{eff.2}} \cdot t_{\text{fc}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yc}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 7.926 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$A_{\text{s.b}} := A_{\text{s}}$$

$$F_{\text{t.Rd}} := \frac{(0.9 \cdot f_{\text{ubt}} \cdot A_{\text{s.b}})}{\gamma_{\text{M2}}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{\text{T34.2.Rd}} := \frac{[2 \cdot M_{\text{pl.2.Rd}} + n \cdot (\Sigma F_{\text{t.Rd}})]}{m + n} = 9.157 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{\text{T34.3.Rd}} := \Sigma F_{\text{t.Rd}} = 1.094 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Pentru talpa stâlpului la rândurile de șuruburi 3+4, rezistența minimă este:

$$F_{\text{T34.cf.Rd}} := \min(F_{\text{T34.1.Rd}}, F_{\text{T34.2.Rd}}, F_{\text{T34.3.Rd}}) = 9.157 \times 10^5 \text{ N}$$

**3. rezistența plăcii de capăt la încovoiere:**

$$l_{\text{eff.cp4}} := \pi \cdot m + p = 186.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp3}} := 2 \cdot p = 230 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.cp}} := l_{\text{eff.cp4}} + l_{\text{eff.cp3}} = 416.942 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc4}} := 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e) = 132.4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc3}} := p = 115 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.nc}} := l_{\text{eff.nc4}} + l_{\text{eff.nc3}} = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.1}} := \min(l_{\text{eff.cp}}, l_{\text{eff.nc}}) = 247.4 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{\text{eff.2}} := l_{\text{eff.nc}} = 247.4 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.6

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a plăcii de capăt:

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot \left( \Sigma l_{\text{eff.1}} \cdot t_{\text{p}}^2 \cdot \frac{f_{\text{yp}}}{\gamma_{\text{M0}}} \right) = 3.27 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

$$F_{T34.1.Rd} := \frac{(4 \cdot M_{pl.1.Rd})}{m} = 5.712 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea plăcii :

$$M_{pl.2.Rd} := 0.25 \cdot \left( \Sigma \cdot l_{eff.2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \right) = 3.27 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

$$F_{t.Rd} := \frac{(0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_{s.b})}{\gamma_{M2}} = 2.736 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

$$F_{T34.2.Rd} := \frac{[2 \cdot M_{pl.2.Rd} + n \cdot (\Sigma \cdot F_{t.Rd})]}{m + n} = 7.349 \times 10^5 \text{ N}$$

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor:

$$F_{T34.3.Rd} := \Sigma \cdot F_{t.Rd} = 1.094 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

Pentru placa de capăt la gruparea de șuruburi 3+4, rezistența minimă este:

$$F_{t34.ep.Rd} := \min(F_{T34.1.Rd}, F_{T34.2.Rd}, F_{T34.3.Rd}) = 5.712 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.3

**Pentru grupul de șuruburi 3+4, rezultă:**

$$F_{t34.Rd} := \min(F_{t34.wc.Rd}, F_{t34.cf.Rd}, F_{t34.ep.Rd}) = 5.712 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{t34.Rd} < F_{t3.Rd} + F_{t4.Rd} \quad (\text{verifică})$$

- *Rezistența panoului de inimă a stâlpului la forfecare:*

$$A_{vc} := 4743 \text{ mm}^2$$

$$V_{wp.Rd} := \frac{0.9 \cdot f_{yc} \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 8.749 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{pt. stâlp nerigidizat}$$

Atunci când dispunem rigidizări în zona întinsă și în zona comprimată avem majorarea lui  $V_{wp,Rd}$  cu  $V_{wp,add,Rd}$ :

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.1

$$V_{wp,add,Rd} := \frac{(4 \cdot M_{pl.fc.Rd})}{d_s} \quad \text{dar} \quad V_{wp,add,Rd} \leq \frac{(2 \cdot M_{pl.fc.Rd} + 2 \cdot M_{pl.st.Rd})}{d_s}$$

Dimensiunile rigidizării: 262x144x15, S355

$$a_{st} := 262 \text{ mm}$$

$$b_{st} := 144 \text{ mm}$$

$$t_{st} := 15 \text{ mm}$$

$$d_s := h_b - t_{st} = 345 \text{ mm} \quad \text{distanța între axele mediane ale rigidizărilor}$$

$$W_{st} := \frac{(b_{st} \cdot t_{st}^2)}{6} = 5.4 \times 10^3 \text{ mm}^3 \quad \text{modulul plastic de rezistență al unei rigidizări față de axa proprie mediană.}$$

$$M_{pl.st.Rd} := \frac{(f_{yc} \cdot W_{st})}{\gamma_{M0}} = 1.917 \times 10^6 \text{ Nmm} \quad \text{momentul plastic al unei rigidizări}$$

$$W_{fc} := \frac{(b_c \cdot t_{fc}^2)}{6} = 1.805 \times 10^4 \text{ mm}^3 \quad \text{modulul plastic de rezistență al tălpii stâlpului față de axa proprie mediană.}$$

$$M_{pl.fc.Rd} := \frac{(f_{yc} \cdot W_{fc})}{\gamma_{M0}} = 6.408 \times 10^6 \text{ Nmm} \quad \text{momentul plastic al tăpii stâlpului}$$

$$V_{wp.add.Rd1} := \frac{(4 \cdot M_{pl.fc.Rd})}{d_s} = 7.429 \times 10^4 \text{ N}$$

$$V_{wp.add.Rd2} := \frac{(2 \cdot M_{pl.fc.Rd} + 2 \cdot M_{pl.st.Rd})}{d_s} = 4.826 \times 10^4 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.1

așadar  $V_{wp.Rd.tot} := V_{wp.Rd} + V_{wp.add.Rd2} = 9.232 \times 10^5 \text{ N}$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.1

$\beta := 1$  stâlp marginal, configurație unilaterală a nodului

- *Rezistența inimii și tăpii grinzii solicitate la compresiune:*

$$W_{pl.b} := 1019000 \text{ mm}^3$$

$$z := \frac{h_b}{2}$$

$$M_{c.Rd} := W_{pl.b} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = 2.395 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$F_{c.fb.Rd} := \frac{M_{c.Rd}}{z} = 1.33 \times 10^6 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
par.5.3-  
tab.5.4

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.7

**Distribuția finală de eforturi în îmbinare este:**

$$F_{t1.Rd} = 1.731 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{t2.Rd} = 3.322 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{t3.Rd} = 2.705 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{t4.Rd} = 3.322 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{se reduce la} \quad F_{t4.Rd} := 1.583 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$F_{T.Rd} := F_{t1.Rd} + F_{t2.Rd} + F_{t3.Rd} + F_{t4.Rd} = 9.341 \times 10^5 \text{ N}$$

Trebuie verificate următoarele condiții:

$$F_{T.Rd} \leq V_{wp.Rd.tot} \quad \text{verifică}$$

$$F_{T.Rd} \leq F_{c.wc.Rd} \quad \text{nu se ia în calcul datorită prezenței rigidizărilor}$$

$$F_{T.Rd} \leq F_{c.fb.Rd} \quad \text{verifică}$$

$$h_1 := 380 \text{ mm}$$

$$h_2 := 280 \text{ mm}$$

$$h_3 := 165 \text{ mm}$$

$$h_4 := 50 \text{ mm}$$

**Momentul plastic al îmbinării se calculează cu relația:**

$$M_{pl.Rd} := F_{t1.Rd} \cdot h_1 + F_{t2.Rd} \cdot h_2 + F_{t3.Rd} \cdot h_3 + F_{t4.Rd} \cdot h_4 = 2.113 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl.Rd} := \frac{M_{pl.Rd}}{10^6} = 211.35 \text{ kNm}$$

#### 4.7.1.3 RIGIDITATEA LA ROTIRE

Se determină conform EN1993 - 1 - 8, capitolul 6.3.

$$S_j := \frac{(E \cdot z^2)}{\mu \cdot \Sigma \cdot \frac{1}{k_i}}, \text{ unde } \mu := \frac{S_{j.ini}}{S_j} \text{ conform EN1993-1-8, par. 6.3.1(6)}$$

$$S_{j.ini} := \frac{(E \cdot z^2)}{\mu \cdot \Sigma \cdot \frac{1}{k_i}}, \text{ unde } \mu := 1$$

Având în vedere conformația îmbinării (cu placă de capăt și șuruburi), conform tabelului 6.10 din EN1993-1-8, se vor considera următoarele componente active pentru calculul rigidității:

$k_1$  - coeficient de rigiditate pentru panoul de inimă al stâlpului supus la forfecare

$k_2$  - coeficient de rigiditate pentru inima stâlpului solicitată la compresiune

$k_{eq}$  - coeficient de rigiditate echivalent pentru rândurile de șuruburi întinse

$$k_1 := \frac{(0.38 \cdot A_{vc})}{\beta \cdot z_{eq}}, \text{ având } z_{eq} := 273.591 \text{ mm}$$

$$\text{deci, } k_1 := \frac{(0.38 \cdot A_{vc})}{\beta \cdot z_{eq}} = 6.588 \text{ mm}$$

Pentru panoul de inima al stalpului rigidizat la compresiune:

$$k_2 := \text{inf}$$

$$k_{eq} := \frac{(\Sigma \cdot k_{eff.r} \cdot h_r)}{z_{eq}}$$

$k_{eff.r}$  se determina conform EN1993-1-8, par.6.3.3.1(4), 6.3.3.1(5)

$$k_{eff.r} := \frac{1}{\Sigma \cdot \frac{1}{k_{i,r}}} \quad \text{și} \quad z_{eq} := \frac{(\Sigma \cdot k_{eff.r} \cdot h_r^2)}{(\Sigma k_{eff.r} \cdot h_r)}$$

Pentru o îmbinare grindă-stâlp cu placă de capăt și șuruburi, se vor considera următorii coeficienți de rigiditate:

$k_3$  inima stalpului solicitata la intindere

$k_4$  talpa stalpului solicitata la incovoiere

$k_5$  placa de capat solicitata la incovoiere

$k_{10}$  suruburi solicitate la intindere

**Pentru rândul 1 de șuruburi:**

$h_{r1} := 380 \text{ mm}$  înălțimea de la centrul de compresiune până la rândul de șuruburi

$$k_{eff.r1} := \frac{1}{\left(\frac{1}{k_{3,r1}}\right) + \left(\frac{1}{k_{4,r1}}\right) + \left(\frac{1}{k_{5,r1}}\right) + \left(\frac{1}{k_{10,r1}}\right)}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.3.3.1(1)

$$k_{3.r1} := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{\text{wc}})}{d_c}$$

$$b_{\text{eff.t.wc}} := 143.885 \text{ mm (calcul conform cu rezistența inimii stâlpului la întindere)}$$

$$k_{3.r1} := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{\text{wc}})}{d_c} = 5.327 \text{ mm}$$

$$k_{4.r1} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_{\text{fc}}^3)}{m^3}$$

$$l_{\text{eff}} := 109.9 \text{ mm (calcul conform cu rezistența tălpii stâlpului la încovoiere)}$$

$$k_{4.r1} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_{\text{fc}}^3)}{m^3} = 56.493 \text{ mm}$$

$$k_{5.r1} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3)}{m^3}$$

$$l_{\text{eff}} := 110 \text{ mm (calcul conform cu rezistența plăcii de capăt la încovoiere)}$$

$$k_{5.r1} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3)}{m_x^3} = 8.808 \text{ cu } m_x = 33.6 \text{ mm}$$

$$k_{10.r1} := 1.6 \cdot \left( \frac{A_s}{L_b} \right)$$

$L_b$  este lungimea de elongație a șurubului care poate fi luată egală cu grosimea de strângere, plus jumătate din suma înălțimii capului șurubului și înălțimea piuliței.

$$L_b := t_p + t_{\text{fc}} + 0.5 \cdot (13 + 16) = 48.5 \text{ mm}$$

$$A_s = 380 \text{ mm}^2$$

$$k_{10.r1} := 1.6 \cdot \left( \frac{A_s}{L_b} \right) = 12.536 \text{ mm}$$

$$k_{\text{eff.r1}} := \frac{1}{\left( \frac{1}{k_{3.r1}} \right) + \left( \frac{1}{k_{4.r1}} \right) + \left( \frac{1}{k_{5.r1}} \right) + \left( \frac{1}{k_{10.r1}} \right)} = 2.508 \text{ mm}$$

#### Pentru rândul 2 de șuruburi:

$$h_{r2} := 280 \text{ mm înălțimea de la centrul de compresiune până la rândul de șuruburi}$$

$$k_{\text{eff.r2}} := \frac{1}{\left( \frac{1}{k_{3.r2}} \right) + \left( \frac{1}{k_{4.r2}} \right) + \left( \frac{1}{k_{5.r2}} \right) + \left( \frac{1}{k_{10.r2}} \right)}$$

$$k_{3.r2} := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{\text{wc}})}{d_c}$$

$$b_{\text{eff.t.wc}} := 143.885 \text{ mm (calcul conform cu rezistența inimii stâlpului la întindere)}$$

$$k_{3.r2} := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{\text{wc}})}{d_c} = 5.327 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

$$k_{4.r2} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_{fc}^3)}{m^3}$$

$$l_{\text{eff}} := 143.885 \text{ mm} \quad (\text{calcul conform cu rezistența tălpii stâlpului la încovoiere})$$

$$k_{4.r2} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_{fc}^3)}{m^3} = 73.963 \text{ mm}$$

$$k_{5.r2} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3)}{m^3}$$

$$l_{\text{eff}} := 143.885 \text{ mm} \quad (\text{calcul conform cu rezistența plăcii de capăt la încovoiere})$$

$$k_{5.r2} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3)}{m^3} = 36.394 \text{ mm}$$

$$k_{10.r2} := 1.6 \cdot \left( \frac{A_s}{L_b} \right)$$

$$L_b := t_p + t_{fc} + 0.5 \cdot (13 + 16) = 48.5 \text{ mm}$$

$$A_s = 380 \text{ mm}^2$$

$$k_{10.r2} := 1.6 \cdot \left( \frac{A_s}{L_b} \right) = 12.536 \text{ mm}$$

$$k_{\text{eff}.r2} := \frac{1}{\left( \frac{1}{k_{3.r2}} \right) + \left( \frac{1}{k_{4.r2}} \right) + \left( \frac{1}{k_{5.r2}} \right) + \left( \frac{1}{k_{10.r2}} \right)} = 3.241 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

### Pentru rândul 3 de șuruburi:

$$h_{r3} := 165 \text{ mm} \quad \text{înălțimea de la centrul de compresiune până la rândul de șuruburi}$$

$$k_{\text{eff}.r3} := \frac{1}{\left( \frac{1}{k_{3.r3}} \right) + \left( \frac{1}{k_{4.r3}} \right) + \left( \frac{1}{k_{5.r3}} \right) + \left( \frac{1}{k_{10.r3}} \right)}$$

$$k_{3.r3} := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff}.t.wc} \cdot t_{wc})}{d_c}$$

$$b_{\text{eff}.t.wc} := 143.885 \text{ mm} \quad (\text{calcul conform cu rezistența inimii stâlpului la întindere})$$

$$k_{3.r3} := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff}.t.wc} \cdot t_{wc})}{d_c} = 5.327 \text{ mm}$$

$$k_{4.r3} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_{fc}^3)}{m^3}$$

$$l_{\text{eff}} := 143.885 \text{ mm} \quad (\text{calcul conform cu rezistența tălpii stâlpului la încovoiere})$$

$$k_{4.r3} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_{fc}^3)}{m^3} = 73.963 \text{ mm}$$

$$k_{5.r3} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3)}{m^3}$$

$l_{\text{eff}} := 143.885 \text{ mm}$  (calcul conform cu rezistența plăcii de capăt la încovoiere)

$$k_{5.r3} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3)}{m^3} = 36.394 \text{ mm}$$

$$k_{10.r3} := 1.6 \cdot \left( \frac{A_s}{L_b} \right)$$

$$L_b := t_p + t_{fc} + 0.5 \cdot (13 + 16) = 48.5 \text{ mm}$$

$$A_s = 380 \text{ mm}^2$$

$$k_{10.r3} := 1.6 \cdot \left( \frac{A_s}{L_b} \right) = 12.536 \text{ mm}$$

$$k_{\text{eff}.r3} := \frac{1}{\left( \frac{1}{k_{3.r3}} \right) + \left( \frac{1}{k_{4.r3}} \right) + \left( \frac{1}{k_{5.r3}} \right) + \left( \frac{1}{k_{10.r3}} \right)} = 3.241 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

**Pentru rândul 4 de șuruburi:**

$h_{r4} := 50 \text{ mm}$  înălțimea de la centrul de compresiune până la rândul de șuruburi

$$k_{\text{eff}.r4} := \frac{1}{\left( \frac{1}{k_{3.r4}} \right) + \left( \frac{1}{k_{4.r4}} \right) + \left( \frac{1}{k_{5.r4}} \right) + \left( \frac{1}{k_{10.r4}} \right)}$$

$$k_{3.r4} := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff}.t.wc} \cdot t_{wc})}{d_c}$$

$b_{\text{eff}.t.wc} := 143.885 \text{ mm}$  (calcul conform cu rezistența inimii stâlpului la întindere)

$$k_{3.r4} := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff}.t.wc} \cdot t_{wc})}{d_c} = 5.327 \text{ mm}$$

$$k_{4.r4} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_{fc}^3)}{m^3}$$

$l_{\text{eff}} := 143.885 \text{ mm}$  (calcul conform cu rezistența tălpii stâlpului la încovoiere)

$$k_{4.r4} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_{fc}^3)}{m^3} = 73.963 \text{ mm}$$

$$k_{5.r4} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3)}{m^3}$$

$l_{\text{eff}} := 143.885 \text{ mm}$  (calcul conform cu rezistența plăcii de capăt la încovoiere)

$$k_{5.r4} := \frac{(0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3)}{m^3} = 36.394 \text{ mm}$$

$$k_{10.r4} := 1.6 \cdot \left( \frac{A_s}{L_b} \right)$$

$$L_b := t_p + t_{fc} + 0.5 \cdot (13 + 16) = 48.5 \text{ mm}$$

$$A_s = 380 \text{ mm}^2$$

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

EN1993 - 1 - 8  
tab. 6.11

$$k_{10.r4} := 1.6 \cdot \left( \frac{A_s}{L_b} \right) = 12.536 \text{ mm}$$

$$k_{\text{eff}.r4} := \frac{1}{\left( \frac{1}{k_{3.r4}} \right) + \left( \frac{1}{k_{4.r4}} \right) + \left( \frac{1}{k_{5.r4}} \right) + \left( \frac{1}{k_{10.r4}} \right)} = 3.241 \text{ mm}$$

$$z_{\text{eq}} := \frac{\left( k_{\text{eff}.r1} \cdot h_{r1}^2 + k_{\text{eff}.r2} \cdot h_{r2}^2 + k_{\text{eff}.r3} \cdot h_{r3}^2 + k_{\text{eff}.r4} \cdot h_{r4}^2 \right)}{\left( k_{\text{eff}.r1} \cdot h_{r1} + k_{\text{eff}.r2} \cdot h_{r2} + k_{\text{eff}.r3} \cdot h_{r3} + k_{\text{eff}.r4} \cdot h_{r4} \right)} = 278.639 \text{ mm}$$

$$k_{\text{eq}} := \frac{\left( k_{\text{eff}.r1} \cdot h_{r1} + k_{\text{eff}.r2} \cdot h_{r2} + k_{\text{eff}.r3} \cdot h_{r3} + k_{\text{eff}.r4} \cdot h_{r4} \right)}{z_{\text{eq}}} = 9.179 \text{ mm}$$

$$E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{j.\text{ini}} := \frac{\left( E \cdot z_{\text{eq}}^2 \right)}{\mu \cdot \left[ \left( \frac{1}{k_1} \right) + \left( \frac{1}{k_{\text{eq}}} \right) \right]} = 6.253 \times 10^{10} \frac{\text{Nmm}}{\text{rad}}$$

#### 4.7.1.4 CURBA MOMENT - ROTIRE

$$M_{j.\text{Rd}} := M_{\text{pl.Rd}} = 211.35 \text{ kNm}$$

$$S_{j.\text{ini}} = 6.253 \times 10^{10} \frac{\text{Nmm}}{\text{rad}}$$

Rigiditatea unei îmbinări rezultă din formula:  $S := \frac{S_{j.\text{ini}}}{\mu}$

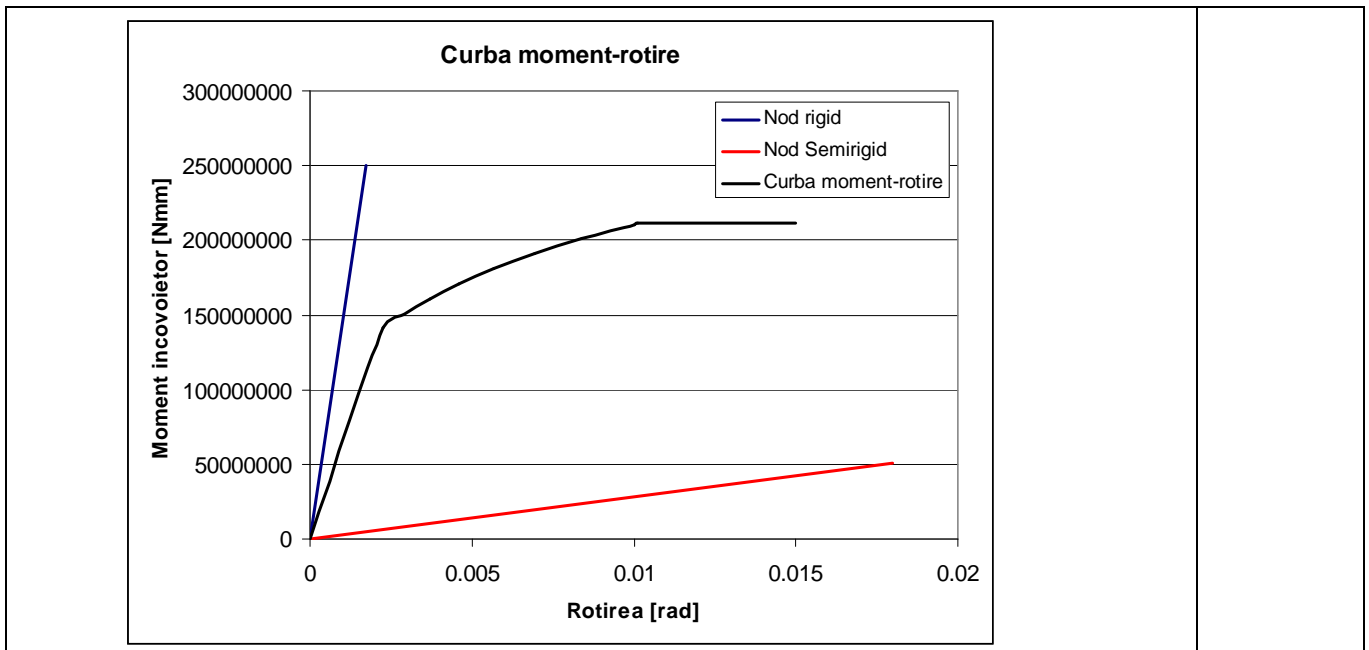
Unde  $\mu := \left( 1.5 \cdot \frac{M_{j.\text{Ed}}}{M_{j.\text{Rd}}} \right)^{2.7}$

Pentru un efort de calcul:  $M_{j.\text{Ed}} := 150 \text{ kNm}$

Avem  $\mu := \left( 1.5 \cdot \frac{M_{j.\text{Ed}}}{M_{j.\text{Rd}}} \right)^{2.7} = 1.184$

iar  $S := \frac{S_{j.\text{ini}}}{\mu} = 5.281 \times 10^{10}$

Rezultă următoarea curbă M-Φ:



#### 4.7.2 Influența variației diferitelor componente ale unui nod grindă-stâlp cu șuruburi și placă de capăt extinsă

În programul SteelCon s-au comparat caracteristicile de rezistență, rigiditatea și capacitatea de rotire a nodului descris în figurile de mai jos, variindu-se câțiva parametri, prin considerarea următoarelor tipologii:

- Nod 1: - baza de comparație
- Nod 2: - fără rigidizari pe inima stâlpului
- Nod 3: - cu placă de capăt cu grosimea redusă la 15 mm
- Nod 4: - cu placă de capăt cu grosimea mărită la 25 mm
- Nod 5: - îmbinare realizată folosind șuruburi M16
- Nod 6: - îmbinare realizată folosind șuruburi M24
- Nod 7: - s-a adăugat o placă adițională pe inima stâlpului
- Nod 8: - s-au adăugat două plăci adiționale pe inima stâlpului, câte una pe fiecare parte

Geometria nodului analizat:

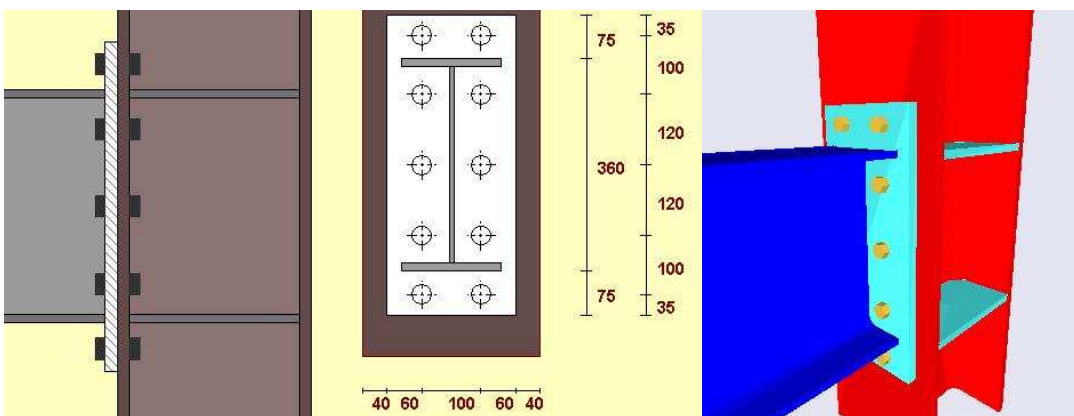


Figura 83: Configurația nodului analizat

Mod nr.	Grinda	Material	Lungime grinda [mm]	Stalp	Material	Grosimea placii de capat [mm]	Material	Rigidizari t=15 mm, S235	Suruburi gr.10.9	Placi supl. inima stalp	Vz,Rd [kN]	My,Rd [kNm]	Sj [kNm]	Phi (max) [rad]	Obs.
1	IPE 360	S235	6000	HEB 300	S235	20	S235	da	M20	nu	750.24	193.85	22143.26	8.75E-03	Baza de comparatie
2	IPE 360	S235	6000	HEB 300	S235	20	S235	nu	M20	nu	771	165.98	17024.87	9.75E-03	Rigidizarile sunt importante atat pentru capacitatea portanta la incovoiere cat si pentru rigiditate
3	IPE 360	S235	6000	HEB 300	S235	15	S235	da	M20	nu	750.24	167.02	20715.55	8.06E-03	Cresterea grosimii placii de capat influenteaza capacitatea portanta si rigiditatea pana la o anumita grosime, dupa care influenta este minorata.
4	IPE 360	S235	6000	HEB 300	S235	25	S235	da	M20	nu	750.24	199.88	22335.57	8.94E-03	
5	IPE 360	S235	6000	HEB 300	S235	20	S235	da	M16	nu	409.34	164.98	20349.66	8.10E-03	Diametrul suruburilor are o influenta pana la M20, dupa care cresterea acestuia nu mai este rentabila.
6	IPE 360	S235	6000	HEB 300	S235	20	S235	da	M24	nu	1182.24	200.39	23505.06	8.52E-03	
7	IPE 360	S235	6000	HEB 300	S235	20	S235	da	M20	da, t=10 mm	731.26	202.16	28529.07	7.08E-03	Adaugarea unor placi suplimentare pe inima stalpului nu duce la cresterea capacitatii portante la incovoiere, ci doar la cresterea rigiditatii.
8	IPE 360	S235	6000	HEB 300	S235	20	S235	da	M20	da, doua t=20 mm	731.26	202.16	28612.12	7.06E-03	

Mai departe se pot vedea câteva diagrame comparative, pentru tipologiile de noduri analizate:

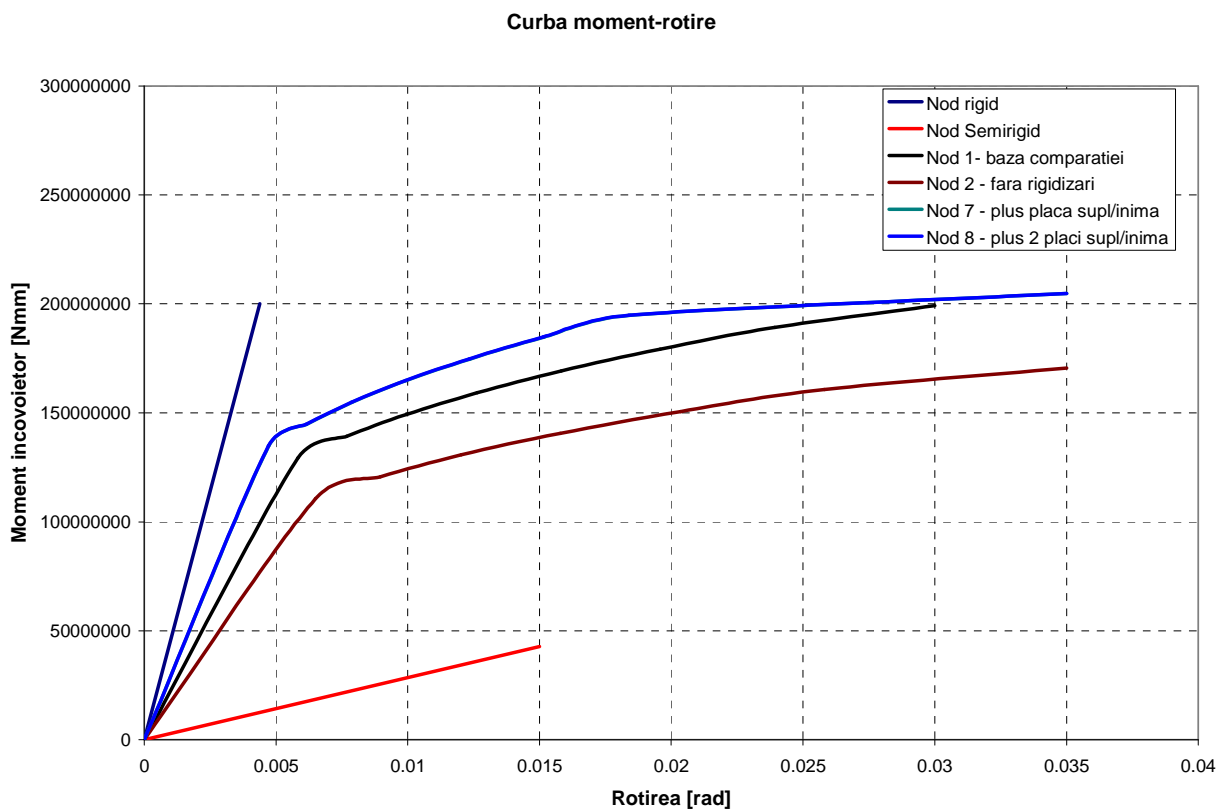


Figura 84: Variația rigidizărilor

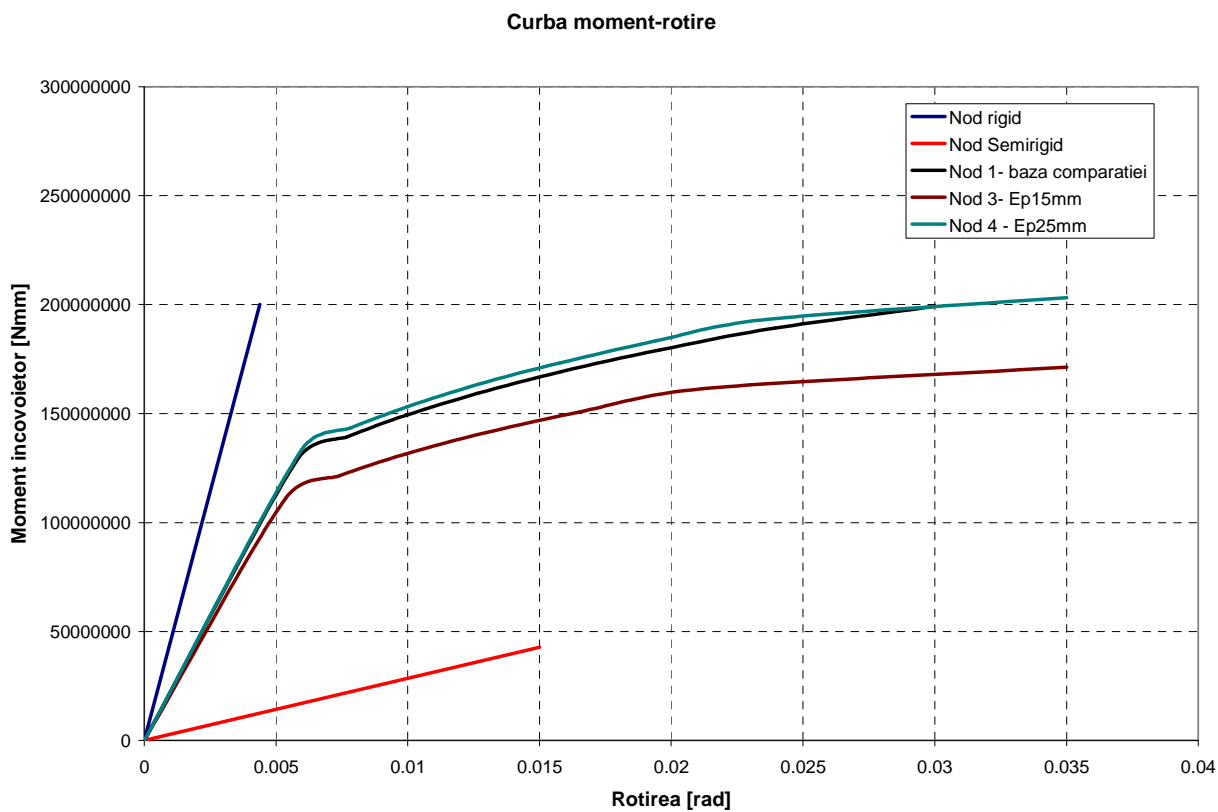


Figura 85: Variația grosimii plăcii de capăt

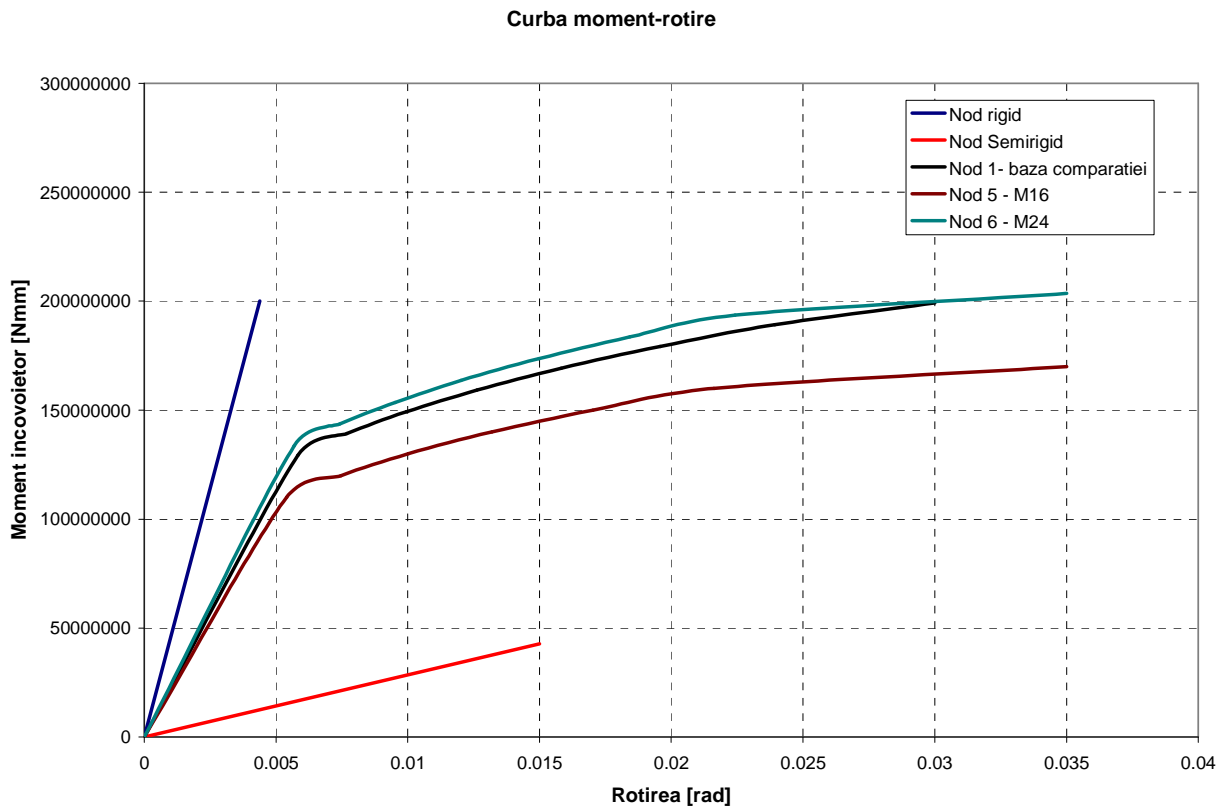


Figura 86: Variația diametrului șuruburilor

În final putem observa comparația între nodul de bază, cel mai slab și cel mai tare nod analizat:

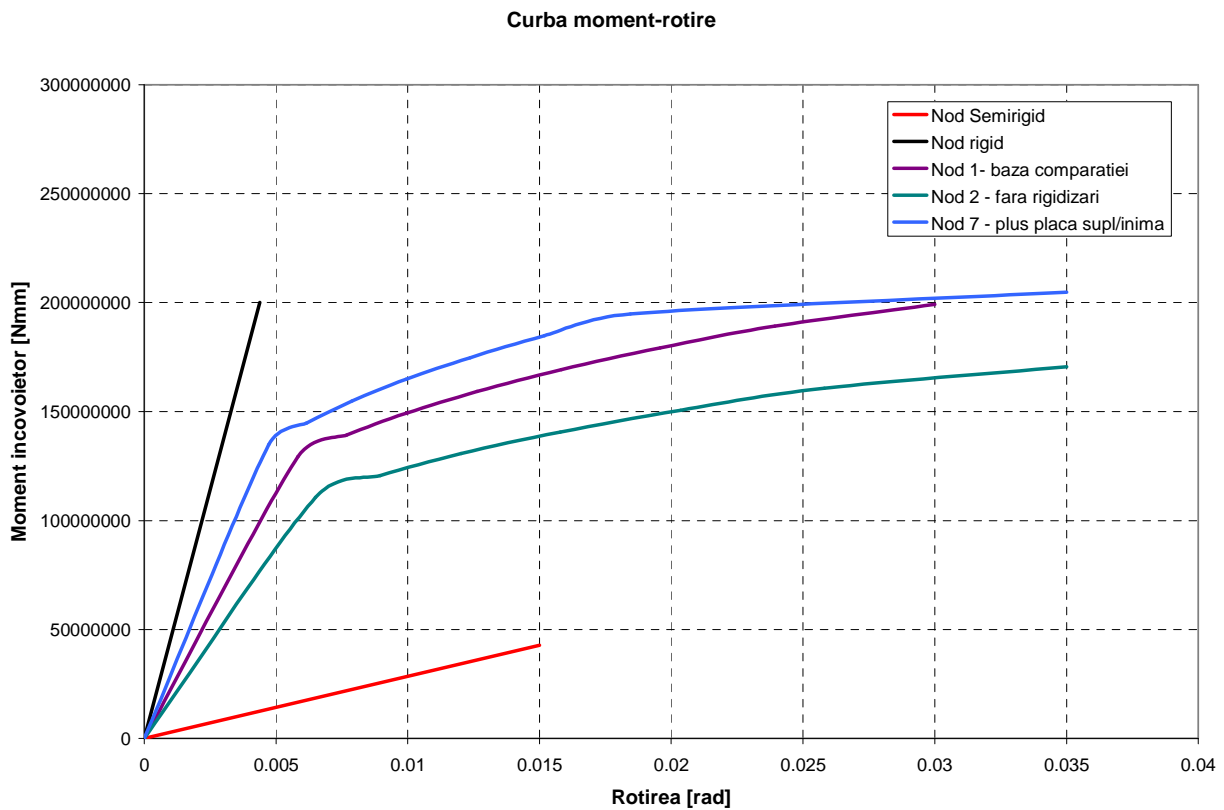


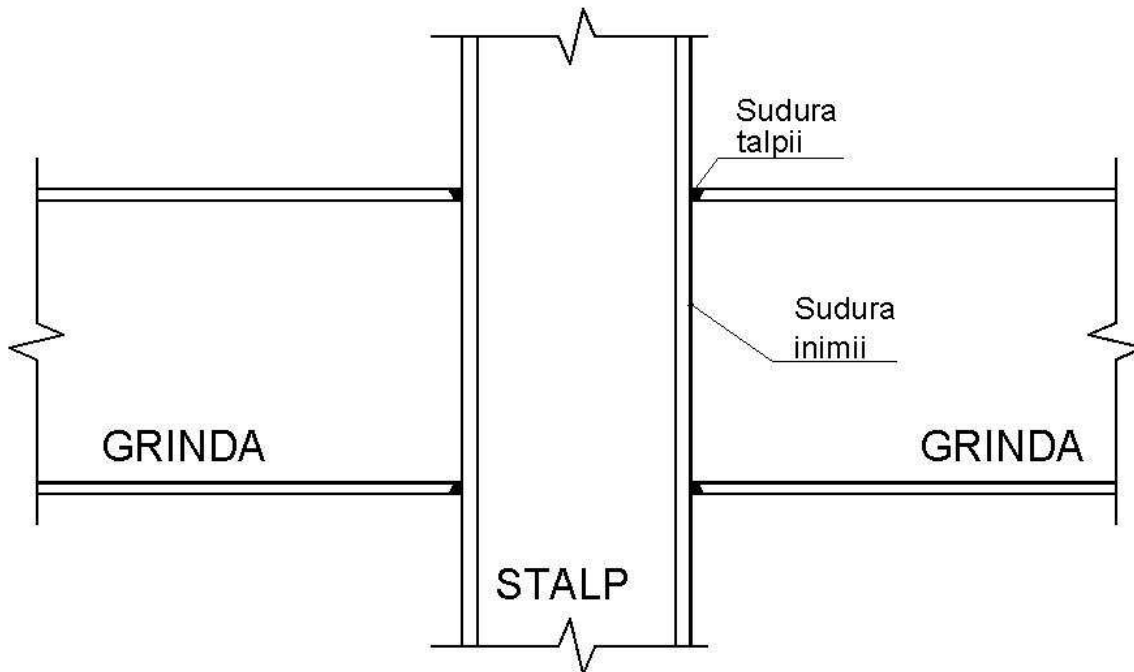
Figura 87: Comparație între cel mai tare și cel mai slab nod analizat



### 4.7.3 Îmbinare sudată grindă-stâlp

#### 4.7.3.1 DATE ÎNȚIALE ÎMBINARE GRINDĂ-STÂLP

Stâlp: HEA500 S235  
Grindă: IPE400 S235  
Tipul îmbinării: sudată



#### STÂLP HEA500, S235 - valori nominale

Înălțimea secțiunii:  $h_c := 490\text{mm}$   
Lățimea secțiunii:  $b_c := 300\text{mm}$   
Grosimea inimii:  $t_{wc} := 12\text{mm}$   
Grosimea tălpii:  $t_{fc} := 23\text{mm}$   
Raza de racord:  $r_c := 27\text{mm}$   
Aria secțiunii:  $A_c := 19750\text{mm}^2$   
Moment de inerție:  $I_{yc} := 869700000\text{mm}^4$   
Distanța între razele de racord:  $h_{wc} := 390\text{mm}$   
Limita de curgere a oțelului:  $f_{yc} := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$   
Rezistența ultimă a oțelului:  $f_{uc} := 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$   
 $\mu_c := 1970 \cdot 10^3 \text{mm}^3$

#### GRINDA IPE400, S235 - valori nominale

Înălțimea secțiunii:  $h_b := 400\text{mm}$   
Lățimea secțiunii:  $b_b := 180\text{mm}$   
Grosimea inimii:  $t_{wb} := 8.6\text{mm}$   
Grosimea tălpii:  $t_{fb} := 13.5\text{mm}$

Raza de racord:	$r_b := 21 \text{ mm}$
Aria secțiunii:	$A_b := 8450 \text{ mm}^2$
Moment de inerție:	$I_{yb} := 231300000 \text{ mm}^4$
Distanța între razele de racord:	$h_{wb} := 331 \text{ mm}$
Limita de curgere a oțelului:	$f_{yb} := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Rezistența ultimă a oțelului:	$f_{ub} := 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
	$\mu_b := 654 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

### FACTORI PARȚIALI DE SIGURANȚĂ

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$\gamma_{M1} := 1.1$$

$$\gamma_{Mu} := 1.1$$

$$\text{Modulul de elasticitate al oțelului: } E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

#### 4.7.3.2 CALCULUL MOMENTULUI CAPABIL (fără rigidizări)

- *Rezistența zonei întinse*

##### 1. Rezistența tălpii stâlpului la întindere

Pentru un stâlp din profil laminat I sau H:

$$b_{\text{eff}} := t_{wc} + 2 \cdot s + 7 \cdot k \cdot t_{fb} \quad \text{dar} \quad s := r_c = 27 \text{ mm}$$

$$\text{unde } k := \left( \frac{t_f}{t_p} \right) \cdot \left( \frac{f_{y.f}}{f_{y.p}} \right) \quad \text{și} \quad k \leq 1$$

$$t_f := t_{fc} = 23 \text{ mm}$$

$$t_p := t_{fb} = 13.5 \text{ mm}$$

$$f_{y.f} := f_{yc} = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{y.p} := f_{yb} = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_e := \left( \frac{t_f}{t_p} \right) \cdot \left( \frac{f_{y.f}}{f_{y.p}} \right) = 1.704$$

$$k := \min(k_e, 1) = 1$$

$$b_{\text{eff}1} := t_{wc} + 2 \cdot s + 7 \cdot k \cdot t_{fb} = 160.5 \text{ mm}$$

$$f_{y.p} = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{u.p} := f_{ub} = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$b_p := b_b = 180 \text{ mm}$$

EN 1993-1-8  
par. 4.10

$$b_{\text{eff}2} := \left( \frac{f_{y,p}}{f_{u,p}} \right) b_p = 117.5 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} := \max(b_{\text{eff}1}, b_{\text{eff}2}) = 160.5 \text{ mm}$$

$$F_{t1.Rd} := \frac{(\omega \cdot b_{\text{eff}.t.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc})}{\gamma_{M0}}$$

Dacă  $\beta := 0$  atunci factorul de reducere  $\omega := 1$

Factorul  $\beta$  se consideră 0, datorită configurației bilaterale a nodului și datorită faptului că nodul se consideră acționat de câte un moment încovoietor pe fiecare parte, ambele de aceeași valoare și același semn. (conform EN-1993-1-8, par.5.3-tab.5.4)

$$a_b := 8 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}.t.wc} := t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{fc} + s) = 286.127 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}.t.wc} := b_{\text{eff}} = 160.5 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}.b.fc} := b_{\text{eff}} = 160.5 \text{ mm}$$

$$f_{y.wc} := f_{yc} = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{y.fb} := f_{yb} = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{t1.Rd} := \frac{(\omega \cdot b_{\text{eff}.t.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc})}{\gamma_{M0}} = 4.526 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{fc.Rd} := b_{\text{eff}.b.fc} \cdot t_{fb} \cdot \frac{f_{y.fb}}{\gamma_{M0}} = 5.092 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{t2.Rd} := F_{fc.Rd} = 5.092 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{t.Rd} := \min(F_{t1.Rd}, F_{t2.Rd}) = 4.526 \times 10^5 \text{ N}$$

În cazul prezenței rigidizărilor:

$$F_{t.Rd} := \frac{(f_{yb} \cdot t_{fb} \cdot b_b)}{\gamma_{M0}} = 5.71 \times 10^5 \text{ N rezistența tăpii grinzii la întindere}$$

- Dimensionarea sudurii între talpa grinzii și stâlp:

- grosimea cordonului de sudură se va nota cu:  $a_b$

a) Prin metoda direcțională:

Se vor nota:  $\sigma_{\text{perpendicular}} := \sigma_1$  și  $\sigma_{\text{paralel}} := \sigma_2$  tensiuni normale

$\tau_{\text{perpendicular}} := \tau_1$  și  $\tau_{\text{paralel}} := \tau_2$  tensiuni tangențiale

$$\left[ \sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2) \right]^{\frac{1}{2}} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\text{si } \sigma_1 \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$f_u := 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$\beta_w$  este un factor de corelare, care pentru S235 este  $\beta_w := 0.8$

$$F_{fb} := f_{yb} \cdot b_b \cdot t_{fb} = 5.71 \times 10^5 \text{ N}$$

EN 1993-1-8  
par. 6.2.6.3

EN 1993-1-8  
par. 6.2.6.3

EN 1993-1-8  
par. 6.2.6.4.3

EN 1993-1-8  
par. 4.5.3.2

$$\tau_1 := \frac{F_{fb}}{\sqrt{2} \cdot a_{fb} \cdot (2 \cdot b_{eff})}$$

$$\tau_2 := 0$$

$$\sigma_1 := \tau_1$$

rezultă 
$$\left[ 4 \cdot \left[ \frac{F_{fb}}{\sqrt{2} \cdot a_{fb} \cdot (2 \cdot b_{eff})} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad (\text{prin înlocuire în EN1993-1-8:par.4.5.3.2})$$

și

$$a_{fb} := \frac{(F_{fb} \cdot \sqrt{2} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2})}{(2 \cdot b_{eff}) \cdot f_u}$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$b_{eff} := t_{wb} + 2 \cdot r_b + 7 \cdot t_{fb} = 145.1 \text{ mm}$$

$$l := 2 \cdot b_b - (t_{wb} + 2 \cdot r_b) = 309.4 \text{ mm}$$

$$a_{fb1} := \frac{(F_{fb} \cdot \sqrt{2} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2})}{(2 \cdot b_{eff}) \cdot f_u} = 7.73$$

deci

$$a_{fb} := 8 \text{ mm}$$

b) Alternativ se poate folosi metoda simplificată:

$$F_{wRd} := f_{w.d} \cdot a_{fb2}$$

unde 
$$f_{w.d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 207.846$$

$$F_{wRd} := \frac{F_{fb}}{\gamma_{M0} \cdot 1} = 5.71 \times 10^5 \text{ N}$$

$$a_{fb2} := \frac{F_{fb} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}{\gamma_{M0} \cdot 1 \cdot \left( \frac{f_u}{\sqrt{3}} \right)} = 8.88$$

$$\frac{a_{fb2}}{a_{fb1}} = 1.149$$

deci

$$a_{fb2} := 1.149 \cdot a_{fb1} = 8.882 \text{ mm}$$

rezultă

$$a_{fb2} := 9 \text{ mm}$$

• *Dimensionarea sudurii între inima grinzii și stâlp:*

- se calculează mai întâi aria de forfecare a porțiunii sudate,

$$A_v := A_b - 2 \cdot b_b \cdot t_{fb} + t_{fb} \cdot (t_{wb} + 2 \cdot r_b) = 4.273 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl.Rd} := A_v \cdot \frac{\left( \frac{f_{yb}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = 5.798 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\sigma_1 := 0$$

EN 1993-1-8  
par. 4.5.3.3

$$\tau_2 := \frac{V_{pl.Rd}}{2 \cdot a_{wb} \cdot h_{wb}}$$

$$\tau_1 := 0$$

$$\tau_2 \cdot \sqrt{3} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

Astfel

$$a_{wb} := \frac{(\sqrt{3} \cdot V_{pl.Rd} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2})}{2 \cdot h_{wb} \cdot f_u} = 4.214$$

$$a_{wb} := 5 \text{ mm}$$

• *Inima stâlpului solicitată la forfecare - se ignora datorită configurației bilaterale a nodului:*

$$A_{vc} := 7472 \text{ mm}^2$$

$$V_{wp.Rd} := \frac{(0.9 \cdot f_{yc} \cdot A_{vc})}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 9.124 \times 10^5 \text{ N}$$

EN 1993-1-8  
par. 6.2.6.1

• *Inima stâlpului solicitată la compresiune:*

$$F_{c.wc.Rd} := \frac{(\omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{yc})}{\gamma_{M0}} \text{ dar } F_{c.wc.Rd} \leq \frac{(\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{yc})}{\gamma_{M1}}$$

EN 1993-1-8  
par. 6.2.6.2

Lățimea efectivă a inimii stâlpului este:

$$b_{eff.c.wc} := t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{fb} + 5 \cdot (t_{fc} + r_c) = 286.127 \text{ mm}$$

Factorul de reducere  $\omega$  (din tabelul 6.3) este:  $\omega=1$

Factorul de reducere  $\rho$  este determinat în funcție de  $\lambda_p$  (zveltețea plăcii):

$$\lambda_p := 0.932 \cdot \sqrt{\frac{(b_{eff.c.wc} \cdot d_{wc} \cdot f_{yc})}{E \cdot t_{wc}^2}}$$

$$d_{wc} := h_c - 2 \cdot (t_{fc} + r_c) = 390 \text{ mm}$$

$$\lambda_p := 0.932 \cdot \sqrt{\frac{(b_{eff.c.wc} \cdot d_{wc} \cdot f_{yc})}{E \cdot t_{wc}^2}} = 0.868$$

Dacă  $\lambda_p \leq 0.72$  atunci  $\rho := 1$

Dacă  $\lambda_p > 0.72$  atunci  $\rho := \frac{(\lambda_p - 0.2)}{\lambda_p^2} = 0.887$

$k_{wc}$  este un factor de reducere, precizat în EN1993-1-8, cap.6.2.6.2(2).

$$k_{wc} := 1$$

$$F_{c.wc.Rd1} := \frac{(\omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{yc})}{\gamma_{M0}} = 8.069 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{c.wc.Rd2} := \frac{(\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{yc})}{\gamma_{M1}} = 6.504 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{c.wc.Rd} := \min(F_{c.wc.Rd1}, F_{c.wc.Rd2}) = 6.504 \times 10^5 \text{ N}$$

- **Inima stâlpului solicitată la întindere:**

$$F_{t.wc.Rd} := \frac{(\omega \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{wc} \cdot f_{yc})}{\gamma_{M0}}$$

$$b_{\text{eff.t.wc}} := t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{fb} + 5 \cdot (t_{fc} + r_c) = 286.127 \text{ mm}$$

Pentru  $\beta := 0$  factorul de reducere  $\omega := 1$

$$b_{\text{eff.c.wc}} := b_{\text{eff.t.wc}} = 286.127 \text{ mm}$$

$$A_{vc} := 7472 \text{ mm}^2$$

$$F_{t.wc.Rd} := \frac{(\omega \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{wc} \cdot f_{yc})}{\gamma_{M0}} = 8.069 \times 10^5 \text{ N}$$

EN 1993-1-8  
par. 6.2.6.3

- **Talpa stâlpului nerigidizată solicitată la încovoiere:**

$$F_{fc.Rd} := b_{\text{eff.b.fc}} \cdot t_{fb} \cdot \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}}$$

$$b_{\text{eff.b.fc}} := t_{wc} + 2 \cdot s + 7 \cdot k \cdot t_{fc}$$

$$k := \left( \frac{t_{fc}}{t_{fb}} \right) \cdot \left( \frac{f_{yc}}{f_{yb}} \right) = 1.704 \text{ dar } k \leq 1$$

$$s := r_c = 27 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff.b.fc}} := t_{wc} + 2 \cdot s + 7 \cdot k \cdot t_{fc} = 227 \text{ mm}$$

$$F_{fc.Rd} := b_{\text{eff.b.fc}} \cdot t_{fb} \cdot \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}} = 7.202 \times 10^5 \text{ N}$$

EN1993 - 1 - 8  
par. 6.2.6.4.3

- **Talpa și inima grinzii solicitată la compresiune:**

$$F_{c.fb.Rd} := \frac{M_{c.Rd}}{h_b - t_{fb}}$$

$M_{c.Rd}$  este momentul încovoiator capabil al grinzii

$$M_{c.Rd} := W_{pl.b} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$W_{pl.b} := 1307000 \text{ mm}^3$$

$$M_{c.Rd} := W_{pl.b} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = 3.071 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$F_{c.fb.Rd} := \frac{M_{c.Rd}}{h_b - t_{fb}} = 7.947 \times 10^5 \text{ N}$$

- **Momentul capabil al imbinării:**

$$M_{Rd} := F_{Rd} \cdot z$$

$$z := h_b - t_{fb} = 386.5 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} := \min(F_{c.wc.Rd}, F_{t.wc.Rd}, F_{fc.Rd}, F_{c.fb.Rd}) = 6.504 \times 10^5 \text{ N}$$

$$M_{Rd} := F_{Rd} \cdot z = 2.514 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

### 4.7.3.3 RIGIDITATEA LA ROTIRE

Se determină conform EN1993 - 1 - 8, capitolul 6.3.

$$S_j := \frac{(E \cdot z^2)}{\mu \cdot \Sigma \cdot \frac{1}{k_i}}$$

$$\mu := \frac{S_{j.ini}}{S_j} \quad \text{conform par. 6.3.1(6)}$$

$$S_{j.ini} := \frac{(E \cdot z^2)}{\mu \cdot \Sigma \cdot \frac{1}{k_i}} \quad \text{unde } \mu := 1$$

Pentru acest tip de îmbinare se vor folosi coeficienții  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  din tabelul 6.11.

1. Panoul inimii stâlpului solicitat la forfecare - coeficientul de rigiditate  $k_1$ :

- pentru panoul de inimă nerigidizat

$$k_1 := \frac{(0.38 \cdot A_{vc})}{\beta \cdot z}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab.6.11

$z$  este brațul de pârghie, determinat conform figurii 6.15

$$z := h_b - 2 \cdot \left( \frac{t_{fb}}{2} \right) = 386.5 \text{ mm}$$

$\beta$  este parametrul de transformare conform tabelului 5.4 din EN1993-1-8

$\beta := 0$  pentru acest tip de nod cu configurație bilaterală și momente egale

$$A_{vc} := 7472 \text{ mm}^2$$

$$k_1 := \frac{(0.38 \cdot A_{vc})}{\beta \cdot z}$$

rezultă  $k_1 := \infty$

2. Inima stâlpului solicitată la compresiune - coeficientul de rigiditate  $k_2$ :

- pentru panoul de inimă nerigidizat:

$$k_2 := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff.c.wc}} \cdot t_{wc})}{d_c}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab.6.11

$$b_{\text{eff.c.wc}} := t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{fb} + 5 \cdot (t_{fc} + r_c) = 286.127 \text{ mm}$$

$$d_c := 390 \text{ mm}$$

$$k_2 := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff.c.wc}} \cdot t_{wc})}{d_c} = 6.163 \text{ mm}$$

3. Inima stâlpului solicitată la întindere - coeficientul de rigiditate  $k_3$ :

- pentru panoul de inimă nerigidizat:

$$b_{\text{eff.t.wc}} := t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{fb} + 5 \cdot (t_{fc} + r_c) = 286.127 \text{ mm}$$

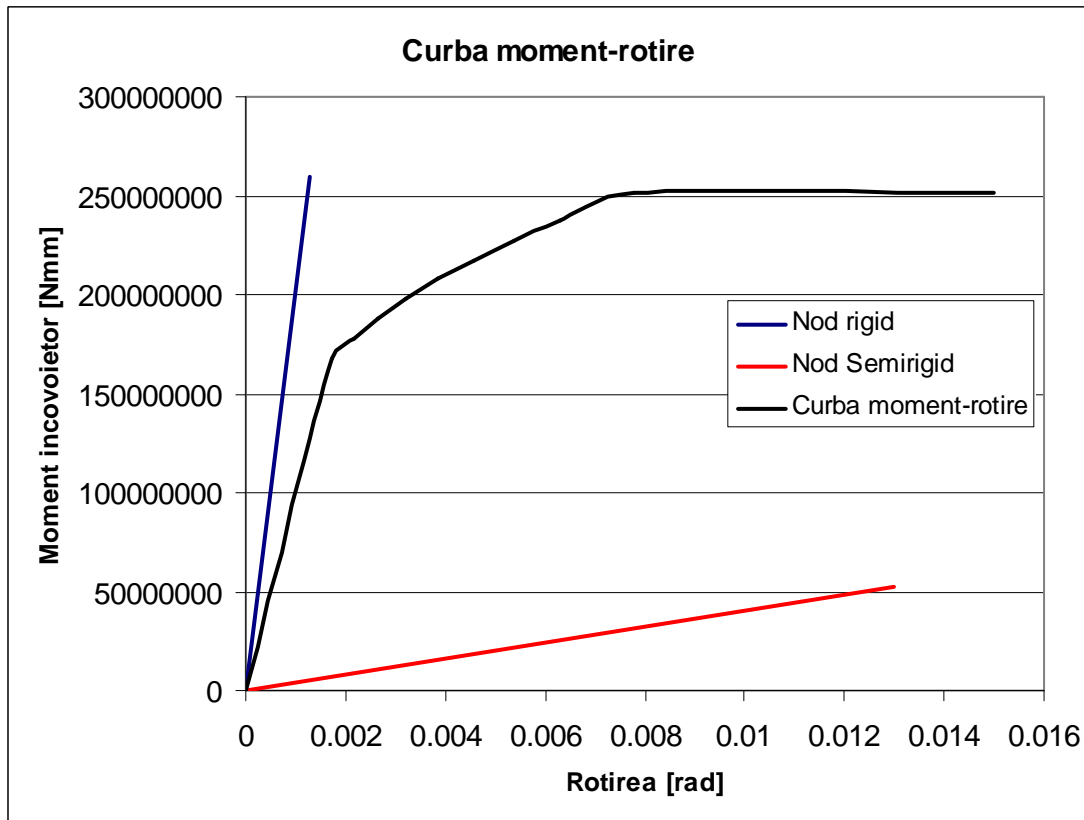
$$k_3 := \frac{(0.7 \cdot b_{\text{eff.t.wc}} \cdot t_{wc})}{d_c} = 6.163 \text{ mm}$$

EN1993 - 1 - 8  
tab.6.11

$$S_{j.ini} := \frac{(E \cdot z^2)}{\mu \cdot \sum \cdot \frac{1}{k_i}}$$

$$S_{j.ini} := \frac{(E \cdot z^2)}{\mu \cdot \left[ \left( \frac{1}{k_2} \right) + \left( \frac{1}{k_3} \right) \right]} = 9.666 \times 10^{10} \frac{\text{Nmm}}{\text{rad}}$$

Curba moment-rotire caracteristică îmbinării:



#### 4.7.3.4 MĂSURI DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A CARACTERISTICILOR NODULUI

Dacă se dispun rigidizări horizontale pe panoul de inimă al stâlpului, în dreptul tălpilor grinzii, ca în figura de mai jos:

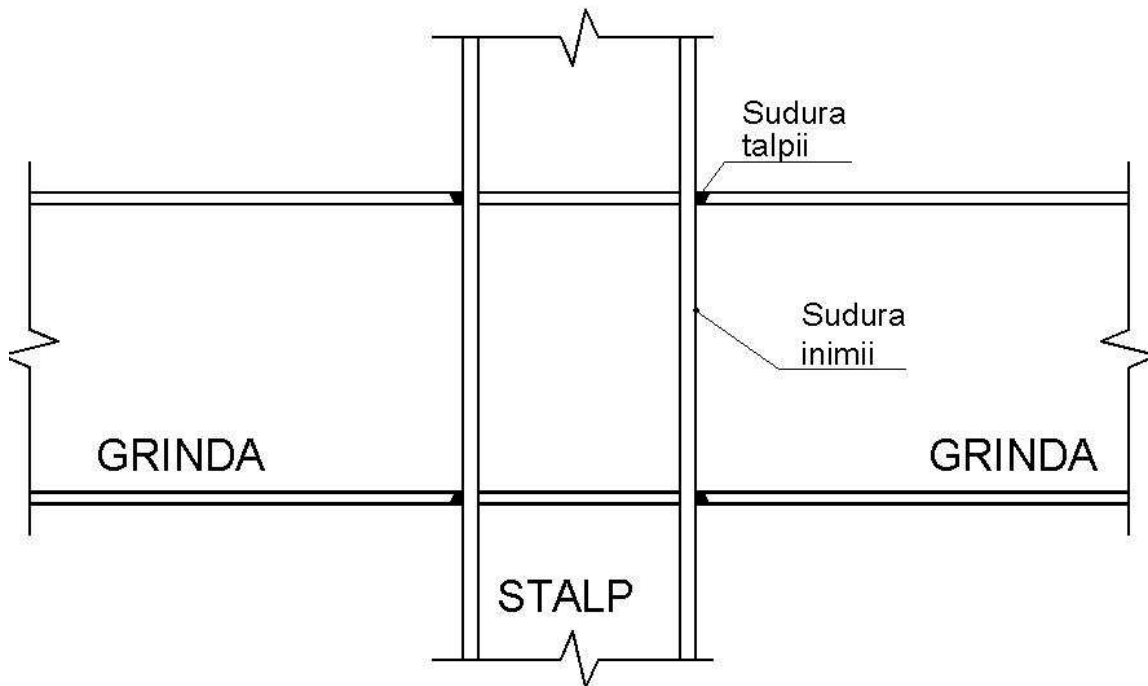


Figura 88: Nod sudat grindă-stâlp

Atunci momentul capabil al îmbinării va fi calculat după cum urmează:

$$M_{Rd} := F_{Rd} \cdot z$$

$$z := h_b - t_{fb} = 386.5 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} := \min(F_{fc.Rd}, F_{c.fb.Rd}) = 7.202 \times 10^5 \text{ N}$$

$$M_{Rd} := F_{Rd} \cdot z = 2.783 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

Rigiditatea în acest caz devine teoretic infinită.

#### 4.7.3.5 DIMENSIONAREA SECȚIUNII REDUSE A GRINZII (RBS)

În cazul îmbinărilor sudate, prin anumite măsuri constructive (rigidizarea panoului de inimă la forfecare, întindere, compresiune) caracteristicile nodului pot fi îmbunătățite. Limita superioară a rezistenței este dictată însă de capacitatea grinzii. Există situații (în special în proiectarea seismică în care trebuie asigurată o suprezistență a îmbinării în raport cu grinda:

- realizarea vutării secțiunii în zona de îmbinare
- adoptarea soluției de slăbire a secțiunii grinzii în proximitatea îmbinării (prin "dog-bone") cum se poate vedea în figura de mai jos:

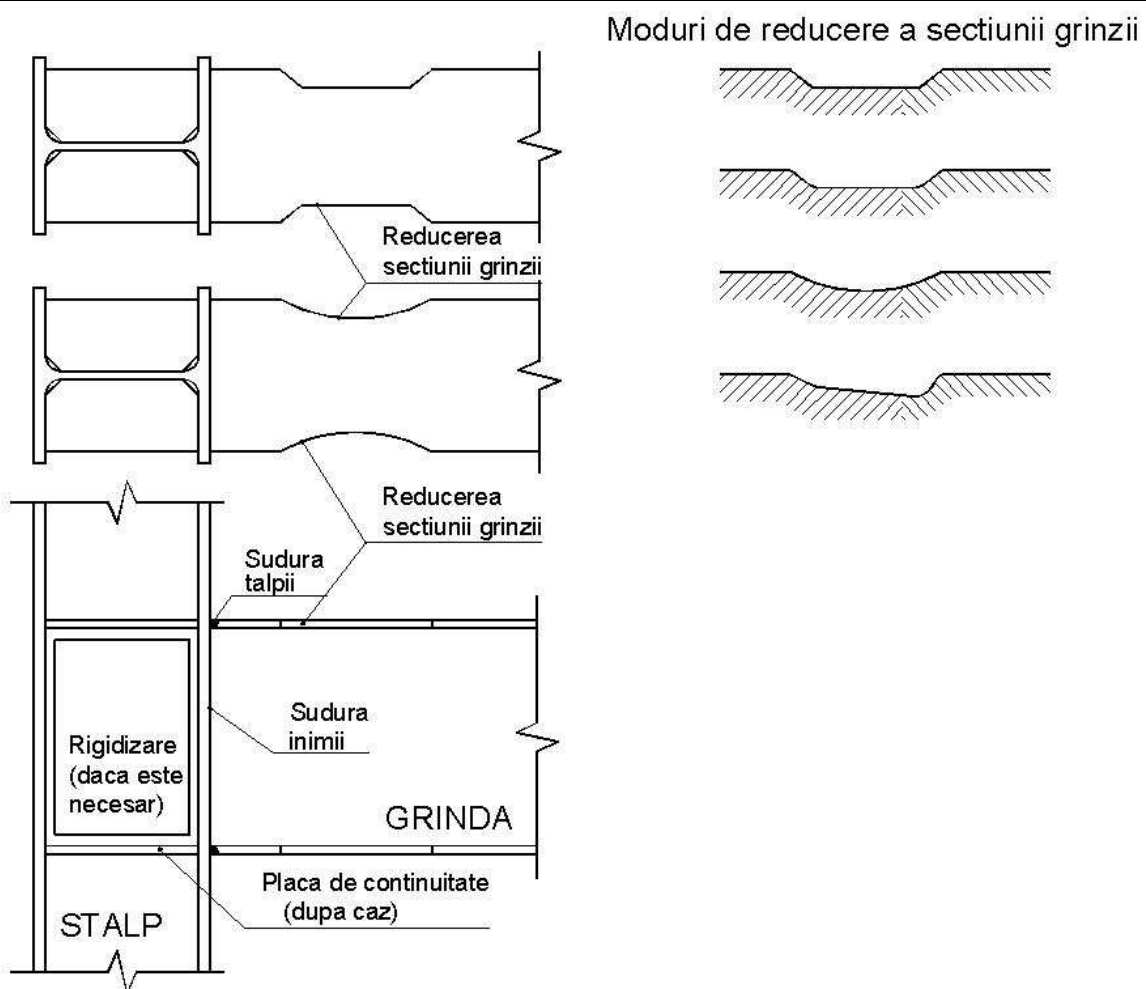


Figura 89: Modalități de reducere a secțiunii grinzii

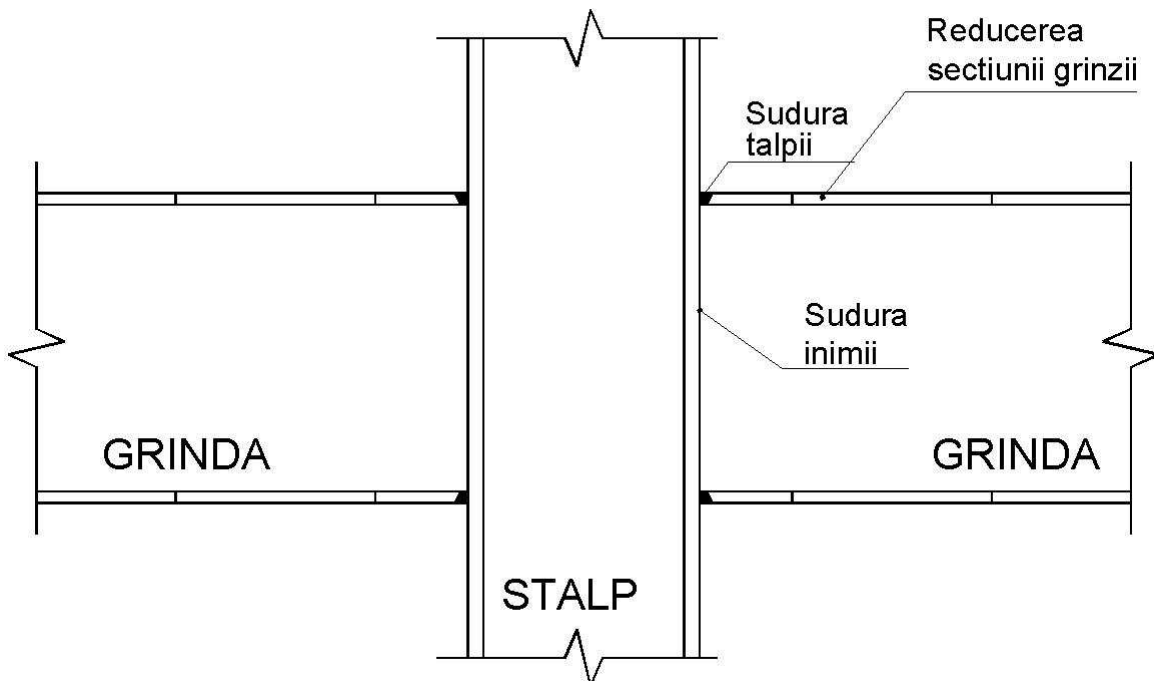


Figura 90: Nodul grindă-stâlp cu secțiunea grinzii redusă

Procedura a fost aplicată conform EN1998 - 3, Anexa B, Paragraful B.5.3.4, după următorii pași:

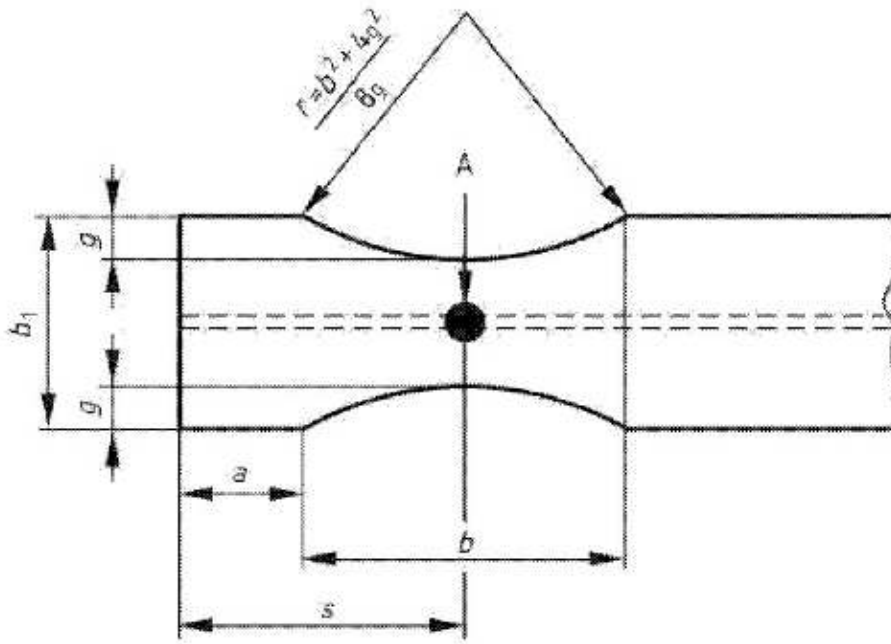


Figura 91: Geometria secțiunii reduse a grinzii

1.  $a := 0.6 \cdot b_f$   
 $b := 0.75 \cdot d_b$   
 $b_f := b_b$   
 $d_b := h_b$   
 $a := 0.6 \cdot b_f = 108 \text{ mm}$   
 se va lua  $a := 110 \text{ mm}$   
 $b := 0.75 \cdot d_b = 300 \text{ mm}$
2.  $s := a + \frac{b}{2} = 260 \text{ mm}$
3.  $g := 0.22 \cdot b_f = 39.6 \text{ mm}$   
 se va lua  $g := 40 \text{ mm}$   
 $g \leq 0.25 \cdot b_f$
4.  $Z_{RBS} := Z_b - 2 \cdot g \cdot t_{fb} \cdot (d_b - t_{fb})$   
 $Z_b := 1307000 \text{ mm}^3$  este modulul de rezistență plastic al grinzii  
 $Z_{RBS} := Z_b - 2 \cdot g \cdot t_{fb} \cdot (d_b - t_{fb}) = 8.896 \times 10^5 \text{ mm}^3$   
 $M_{pl.Rd.RBS} := Z_{RBS} \cdot f_{yb} = 2.091 \times 10^8 \text{ Nmm}$
5.  $V_{pl.RBS} := \left( 2 \cdot \frac{M_{pl.Rd.RBS}}{L_{prim}} \right) + \frac{(w \cdot L_{prim})}{2}$   
 $L_{prim}$  este distanța între cele 2 articulații plastice ale grinzii  
 $L_{prim} := 12000 - 2 \cdot s = 1.148 \times 10^4 \text{ mm}$   
 $w$  este încărcarea gravitațională uniformă care acționează pe grindă, în situația de proiectare seismică

$$w := 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$V_{\text{pl.RBS}} := \left( 2 \cdot \frac{M_{\text{pl.Rd.RBS}}}{L_{\text{prim}}} \right) + \frac{(w \cdot L_{\text{prim}})}{2} = 1.799 \times 10^5 \text{ N}$$

6.  $M_{\text{pl.Rd.b}} := Z_b \cdot f_{yb} = 3.071 \times 10^8 \text{ Nmm}$

7.  $M_{\text{cf.Ed}} := M_{\text{pl.Rd.RBS}} + V_{\text{pl.RBS}} \cdot s = 2.558 \times 10^8 \text{ Nmm}$

$$\frac{M_{\text{cf.Ed}}}{M_{\text{pl.Rd.b}}} = 0.833 \text{ în mod ideal se vor accepta valori între } 0.85-1$$

8.  $r := \frac{(b^2 + 4 \cdot g^2)}{8 \cdot g} = 301.25 \text{ raza de decupare a tălpii grinzii}$

Relația de verificare:  $\frac{M_{\text{cf.Ed}}}{M_{\text{Rd}}} = 0.919$  (verifică condiția  $\leq 1$ )

#### 4.7.4 Prinderea la bază stâlpului

Pentru un stâlp se va efectua calculul prinderii la bază pentru preluarea următoarelor acțiuni:

$$N_{\text{Ed}} = 650 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed}} = 240 \text{ kNm}$$

Stâlpul face parte dintr-o structură care pe direcția transversală preia moment, iar longitudinal este contravantuită.

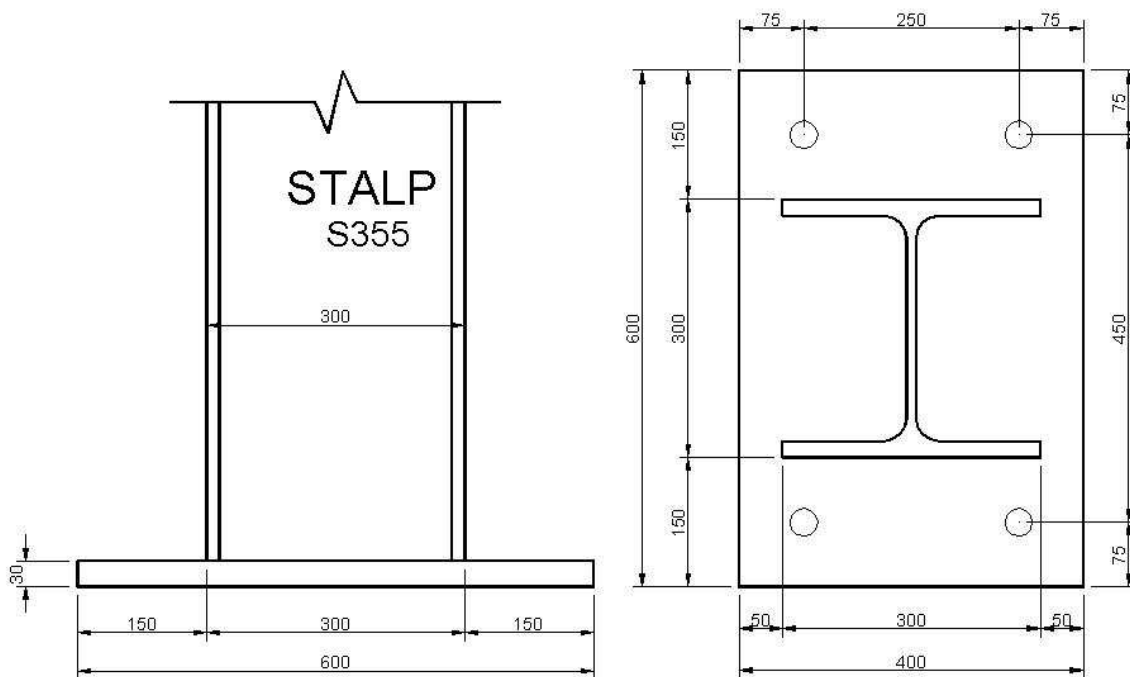


Figura 92: Îmbinare încastrată între stâlp și fundație

#### 4.7.4.1 GEOMETRIA TIPULUI DE ÎMBINARE. SIMBOLURI. NOTAȚII GENERALE

##### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare incastrata între stâlp și fundație
Stâlpul	HEB 300 S355
Placa de bază	P30 x 400 x 600 S355
Blocul fundației	1000 x 800 x 800 C30/37

##### Stâlpul

##### HEB 300 S355

Înălțimea secțiunii	$h_c = 300 \text{ mm}$
Grosimea inimii	$t_{cw} = 11 \text{ mm}$
Lățimea tălpii	$b_c = 300 \text{ mm}$
Grosimea tălpii	$t_{cf} = 19 \text{ mm}$
Raza de curbură	$r = 27 \text{ mm}$
Aria secțiunii	$A = 14910 \text{ mm}^2$
Momentul de inerție	$I = 251700000 \text{ mm}^4$
Limita de curgere	$f_{yc} = 355 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{uc} = 510 \text{ N/mm}^2$

##### Placa de bază

##### P30 x 400 x 600 S355

Grosimea plăcii	$t_p = 30 \text{ mm}$
Lățimea plăcii	$a = 400 \text{ mm}$
Lungimea plăcii	$b = 600 \text{ mm}$
Grosimea stratului de poză	$t = 30 \text{ mm}$
Distanța până la marginea blocului	$a_r = 200 \text{ mm}$
Distanța până la marginea blocului	$b_r = 200 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yc} = 355 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{uc} = 510 \text{ N/mm}^2$

##### Blocul fundației

##### 1200 x 800 x 1000 C30/37

Lățimea blocului	$a_1 = 800 \text{ mm}$
Lungimea blocului	$b_1 = 800 \text{ mm}$
Înălțimea blocului	$h = 1000 \text{ mm}$
Rezistența caracteristică	$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

##### Coeficienți de siguranță

$$Y_{M0} = 1,15$$

$$Y_C = 1,25$$

##### Forța axială aplicată

$$N_{Ed} = 650 \text{ kN}$$

##### Momentul incovoietor aplicat

$$M_{Ed} = 240 \text{ kNm}$$

##### Calculul bazei stâlpului

Secțiunea efectivă a blocului fundației este dată de:

$$a_1 = \min \left( \begin{array}{l} a + 2 \cdot a_r = 400 + 2 \cdot 200 = 800 \text{ mm} \\ 5 \cdot a = 5 \cdot 400 = 2000 \text{ mm} \\ a + h = 400 + 1200 = 1600 \text{ mm} \\ 5 \cdot b_1 = 5 \cdot 800 = 4000 \text{ mm} \end{array} \right) = 800 \text{ mm}$$

iar, din condiții de simetrie  $b_1 = a_1$ . Prin urmare, factorul de concentrare a eforturilor este:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{800 \cdot 800}{400 \cdot 600}} = 1,63$$

EN-1993-1-8:  
6.2.5

Rezistența la presiune a betonului de sub placa de bază se poate calcula astfel:

$$f_j = \frac{0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \cdot 1,63 \cdot 30}{1,5} = 21,84 \frac{N}{mm^2}$$

EN-1993-1-8:  
6.2.5

O placă rigidă cu o lățime efectivă  $c$ , situată împrejurul secțiunii stâlpului, înlocuiește placa de bază flexibilă:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 21,84 \cdot 1,15}} = 65,11 \text{ mm}$$

Aria efectivă (vezi Figura 93) este:

$$A_{eff} = (b_c + 2 \cdot c) \cdot (h_c + 2 \cdot c) - (b_c + 2 \cdot c - t_w - 2 \cdot c) \cdot (h_c - 2 \cdot t_f - 2 \cdot c)$$

$$A_{eff} = (300 + 2 \cdot 65,11) \cdot (300 + 2 \cdot 65,11) - (300 + 2 \cdot 65,11 - 11 - 2 \cdot 65,11) \cdot (300 - 2 \cdot 19 - 2 \cdot 65,11) = 147005 \text{ mm}^2$$

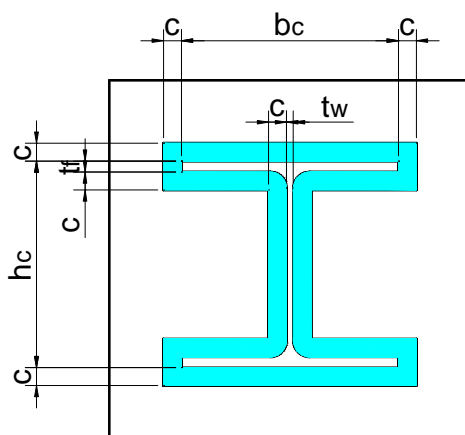


Figura 93: Aria efectivă

Rezistența de calcul a betonului de sub placa de bază este:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_j = 147005 \cdot 21,84 = 3210,6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- *Placa de bază la compresiune*

$$F_{C,Rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff} = 21,84 \cdot 149,22 \cdot 430,22 = 1402,07 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$l_{eff} = b_c + 2 \cdot c = 430,22 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = t_{fc} + 2 \cdot c = 149,22 \text{ mm}$$

EN-1993-1-8:  
6.2.5

*Rezistența plăcii de bază la încovoiere:*

Se definesc mărimile: -  $e_{\min} = e_x = 75 \text{ mm}$

-  $w = 250 \text{ mm}$

-  $m_x = 75 \text{ mm}$

EN-1993-1-8:  
6.2.6.5

$$l_{eff,cp1} = 2 \cdot \pi \cdot m_x = 471.239mm$$

$$l_{eff,cp2} = \pi \cdot m_x + w = 485.62mm$$

$$l_{eff,cp3} = \pi \cdot m_x + 2 \cdot e = 385.62mm$$

$$l_{eff,cp} = \min(l_{eff,cp1}, l_{eff,cp2}, l_{eff,cp3}) = 385.62mm$$

$$l_{eff,nc1} = 4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x = 393.75mm$$

$$l_{eff,nc2} = e + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x = 271.875mm$$

$$l_{eff,nc3} = 0.5 \cdot b_p = 300mm$$

$$l_{eff,nc4} = 0.5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x = 321.875mm$$

$$l_{eff,nc} = \min(l_{eff,nc1}, l_{eff,nc2}, l_{eff,nc3}, l_{eff,nc4}) = 271.875mm$$

$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$  dar  $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$

deci,  $l_{eff,1} = 271.875mm$

si  $l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 271.875mm$

EN-1993-1-8:  
6.2.6.5-  
tab.6.6

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a plăcii de bază

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 21.7 \cdot 10^6 Nmm$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = 1158.18 \cdot 10^3 N$$

EN-1993-1-8:  
6.2.4-tab.6.3

EN-1993-1-8:  
6.2.4-tab.6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea plăcii de bază

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_{bp}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 21.7 \cdot 10^6 Nmm$$

$$F_{T,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 508.94 \cdot 10^3 N$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{T,Rd}}{m + n} = 798.27 \cdot 10^3 N$$

EN-1993-1-8:  
6.2.4-tab.6.3

EN-1993-1-8:  
6.2.4-tab.6.3

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 1017.88 \cdot 10^3 N$$

Pentru placa de bază la încovoiere, rezistența minimă este:

$$F_{t,bp,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}), = 798.27 \cdot 10^3 N$$

- *Talpa și inima stâlpului solicitate la compresiune*

$$F_{c,fc,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_c - t_{fc}}, \text{ unde } M_{c,Rd} = W_{pl,c} \cdot \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}} = 1869 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1.0} = 663.5 \cdot 10^6 Nmm$$

$$\text{asadar, } F_{c,fc,Rd} = 2361.2 \cdot 10^3 N$$

EN-1993-1-8:  
6.2.6.7

- *Presiunea pe gaură în placă*

$$F_{bp,Rd} = \frac{1.5 \cdot t_{bp} \cdot d \cdot f_{ybp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1.5 \cdot 30 \cdot 30 \cdot 355}{1.0} = 479.25 kN$$

EN-1993-1-8:  
3.6.1-tab.3.4

$$\begin{aligned} t_{bp} &= 30 \text{ mm} \\ d &= 30 \text{ mm} \\ f_{yp} &= 355 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Notă:

• Rezistența de calcul (la efort axial) a stâlpului este mai mare decât cea a bazei stâlpului:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 14910 \cdot 355 / 1,15 = 4602,6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

unde A este aria secțiunii transversale a stâlpului.

• Plăcuțe adiționale sunt folosite în timpul execuției pentru a asigura nivelul plăcii de bază.

- *Rezistența de calcul la moment încovoietor:*

Pentru acest caz s-a considerat stâlpul acționat de forță axială și moment încovoietor, iar distribuția eforturilor pe placa de bază, conform tabelului 6.7 din EN1993-1-8, s-a considerat partea stângă supusă la întindere, partea dreaptă supusă la compresiune.

EN-1993-1-8:  
6.2.8

Brațul de pârghie pentru acest caz este:

$$z = z_{T,i} + z_{C,r}, \text{ iar conform paragrafului 6.2.8.1:}$$

$$z = 365,5 \text{ mm}$$

EN-1993-1-8:  
6.2.8-fig.6.18

Momentul încovoietor capabil al bazei stâlpului este:

$$M_{j,Rd} = \min \left( \frac{F_{T,1,Rd} \cdot z}{\frac{z_{C,r}}{e} + 1}, \frac{-F_{C,r,Rd} \cdot z}{\frac{z_{T,1}}{e} - 1} \right) = \min \left( \frac{798270 \cdot 365,5}{\frac{140,5}{369,23} + 1}, \frac{-1402070 \cdot 365,5}{\frac{225}{369,23} - 1} \right)$$

EN-1993-1-8:  
6.2.8.3-  
tab.6.7

$$M_{j,Rd} = \min(211,35 \cdot 10^6, 1311,9 \cdot 10^6) = 211,35 \cdot 10^6 \text{ Nmm (nu verifica)}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}} = \frac{240000}{650} = 369,23$$

$$z_{C,r} = h_c / 2 - t_{fc} / 2 = 140,5 \text{ mm}$$

$$z_{T,1} = h_c / 2 + m_x = 225 \text{ mm}$$

#### 4.7.4.2 CALCULUL RIGIDITĂȚII LA ROTIRE

Conform tabelului 6.10 din EN1993-1-8, rigiditatea la rotire pentru o îmbinare cu placă de bază (cu un singur rând de șuruburi întinse), se calculează ținând seama de următoarele componente:  $k_{13}$ ,  $k_{15}$ ,  $k_{16}$ .

EN-1993-1-8:  
6.3

$$\text{Așadar } S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot \sum \frac{1}{k_i}}, \text{ unde } \mu = 1,0 \text{ pt. rigiditatea initiala}$$

$$l_{eff} = b_c + 2 \cdot c = 430,22 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = t_{fc} + 2 \cdot c = 149,22 \text{ mm}$$

Conform tabelului 6.11, se calculează componentele rigidității:

$$k_{13} = \frac{E_c \cdot \sqrt{b_{eff} \cdot l_{eff}}}{1.275 \cdot E} = \frac{34500 \cdot \sqrt{149.22 \cdot 430.22}}{1.275 \cdot 210000} = 32.65 \text{ mm}$$

$$k_{15} = \frac{0.85 \cdot l_{eff} \cdot t_{bp}^3}{m^3} = \frac{0.85 \cdot 430.22 \cdot 30^3}{75^3} = 23.4 \text{ mm}$$

$$k_{16} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 1.6 \cdot 2827.43 / 304 = 14.88 \text{ mm}$$

$L_b$  este alungirea tijei de ancorare, care este egală cu suma a 8 diametre nominale de șurub, stratul mortar de poză, grosimea plăcii de bază, șaiba și jumătate din înălțimea piuliței.

$$L_b = 8 \cdot 30 + 10 + 30 + 4 + 20 = 304 \text{ mm}$$

$$S_{j,ini} = \frac{210000 \cdot 375^2}{1 \cdot \left( \frac{1}{k_{13}} + \frac{1}{k_{15}} + \frac{1}{k_{16}} \right)} = 21 \cdot 10^{10} \text{ Nmm/rad}$$

#### 4.7.4.3 CALCULUL BAZEI STÂLPULUI CU RIGIDIZĂRI

- Pentru același stâlp se va efectua calculul prinderii la bază, în soluție rigidizată, pentru preluarea următoarelor acțiuni:

$N_{Ed} = 650 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 240 \text{ kNm}$

Stâlpul face parte dintr-o structură care pe direcția transversală preia moment, iar longitudinal este contravântuită.

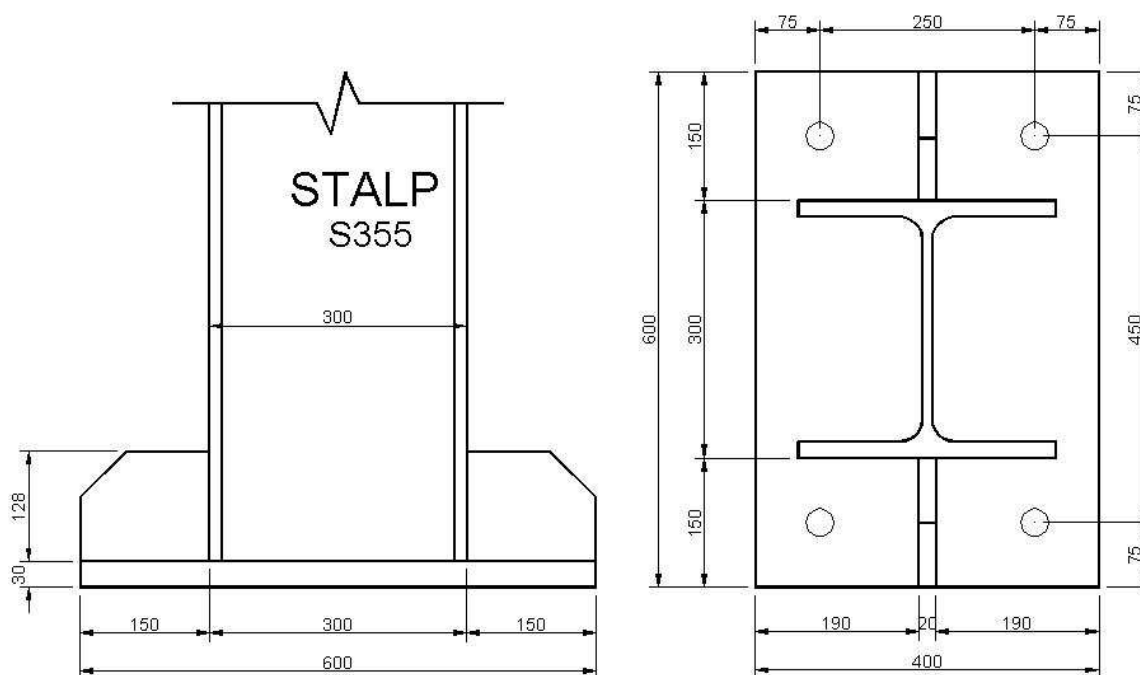


Figura 94: Îmbinare incastată între stâlp și fundație

#### 4.7.4.4 GEOMETRIA TIPULUI DE ÎMBINARE. SIMBOLURI. NOTAȚII GENERALE

##### Principalele componente ale nodului

Configurația	Îmbinare incastata între stâlp și fundație
Stâlpul	HEB 300 S355
Placa de bază	P30 x 400 x 600 S355

Blocul fundației	1000 x 800 x 800 C30/37
<b>Stâlpul</b>	<b>HEB 300 S355</b>
Înălțimea secțiunii	$h_c = 300 \text{ mm}$
Grosimea inimii	$t_{cw} = 11 \text{ mm}$
Lățimea tălpii	$b_c = 300 \text{ mm}$
Grosimea tălpii	$t_{cf} = 19 \text{ mm}$
Raza de curbură	$r = 27 \text{ mm}$
Aria secțiunii	$A = 14910 \text{ mm}^2$
Momentul de inerție	$I = 251700000 \text{ mm}^4$
Limita de curgere	$f_{yc} = 355 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{uc} = 510 \text{ N/mm}^2$
<b>Placa de bază (rigidizata)</b>	<b>P30 x 400 x 600 S355</b>
Grosimea plăcii	$t_p = 30 \text{ mm}$
Lățimea plăcii	$a = 400 \text{ mm}$
Lungimea plăcii	$b = 600 \text{ mm}$
Grosimea stratului de poză	$t = 30 \text{ mm}$
Distanța până la marginea blocului	$a_r = 200 \text{ mm}$
Distanța până la marginea blocului	$b_r = 200 \text{ mm}$
Limita de curgere	$f_{yc} = 355 \text{ N/mm}^2$
Rezistența ultimă	$f_{uc} = 510 \text{ N/mm}^2$
<b>Blocul fundației</b>	<b>1200 x 800 x 1000 C30/37</b>
Lățimea blocului	$a_1 = 800 \text{ mm}$
Lungimea blocului	$b_1 = 800 \text{ mm}$
Înălțimea blocului	$h = 1000 \text{ mm}$
Rezistența caracteristică	$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
<b>Coeficienți de siguranță</b>	
$\gamma_{M0}$	$= 1,15$
$\gamma_C$	$= 1,25$
<b>Forța axială aplicată</b>	
$N_{Ed}$	$= 650 \text{ kN}$
<b>Momentul incovoietor aplicat</b>	
$M_{Ed}$	$= 240 \text{ kNm}$
<b>Calculul bazei stâlpului</b>	
Secțiunea efectivă a blocului fundației este dată de:	
$a_1 = \min \left( \begin{array}{l} a + 2 \cdot a_r = 400 + 2 \cdot 200 = 800 \text{ mm} \\ 5 \cdot a = 5 \cdot 400 = 2000 \text{ mm} \\ a + h = 400 + 1200 = 1600 \text{ mm} \\ 5 \cdot b_1 = 5 \cdot 800 = 4000 \text{ mm} \end{array} \right) = 800 \text{ mm}$	
iar, din condiții de simetrie $b_1 = a_1$ . Prin urmare, factorul de concentrare a eforturilor este:	
$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{800 \cdot 800}{400 \cdot 600}} = 1,63$	
Rezistența la presiune a betonului de sub placa de bază se poate calcula astfel:	

EN-1993-1-8:  
6.2.5

$$f_j = \frac{0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \cdot 1,63 \cdot 30}{1,5} = 21,84 \frac{N}{mm^2}$$

O placă rigidă cu o lățime efectivă  $c$ , situată împrejurul secțiunii stâlpului, înlocuiește placa de bază flexibilă:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 21,84 \cdot 1,15}} = 65,11 \text{ mm}$$

Aria efectivă (vezi Figura 95) este:

$$A_{eff} = (b_c + 2 \cdot c) \cdot (h_c + 2 \cdot c) - (b_c + 2 \cdot c - t_w - 2 \cdot c) \cdot (h_c - 2 \cdot t_f - 2 \cdot c)$$

$$A_{eff} = (300 + 2 \cdot 65,11) \cdot (300 + 2 \cdot 65,11) - (300 + 2 \cdot 65,11 - 11 - 2 \cdot 65,11) \cdot (300 - 2 \cdot 19 - 2 \cdot 65,11) = 147005 \text{ mm}^2$$

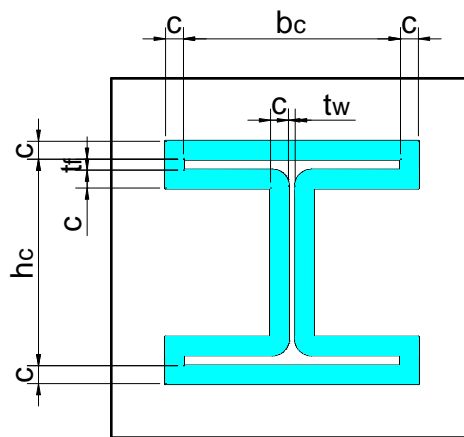


Figura 95: Aria efectivă

Rezistența de calcul a betonului de sub placa de bază este:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_j = 147005 \cdot 21,84 = 3210,6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- **Placa de bază la compresiune**

$$F_{C,Rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff} = 21,84 \cdot 149,22 \cdot 430,22 = 1402,07 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$l_{eff} = b_c + 2 \cdot c = 430,22 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = t_{fc} + 2 \cdot c = 149,22 \text{ mm}$$

- **Rezistența plăcii de bază la încovoiere:**

Pentru determinarea marimilor  $l_{eff,1}$  și  $l_{eff,2}$  se va considera cazul în care șuruburile fac parte din primul rând de șuruburi de sub talpa întinsă a unei grinzi.

Se definesc mărimile: -  $e=75 \text{ mm}$

-  $m=75 \text{ mm}$

-  $m_2=115 \text{ mm}$

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 471,239 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 393,75 \text{ mm}$$

Factorul  $\alpha$  se determină din EN1993-1-8, figura 6.11, prin aproximare.

$$\alpha=5,25$$

EN-1993-1-8:  
6.2.5

EN-1993-1-8:  
6.2.5

EN-1993-1-8:  
6.2.6.5-  
tab.6.6

EN-1993-1-8:  
6.2.6.5-  
tab.6.6  
fig.6.11

$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$  dar  $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$

deci,  $l_{eff,1} = 393.75 \text{ mm}$

și  $l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 393.75 \text{ mm}$

Modul 1 de cedare: plastificarea completă a plăcii de bază

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 31.4 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

EN-1993-1-8:  
6.2.4-tab.6.3

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = 1677.38 \cdot 10^3 \text{ N}$$

EN-1993-1-8:  
6.2.4-tab.6.3

Modul 2 de cedare: ruperea șurubului însoțită de plastificarea plăcii de bază

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_{bp}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 31.4 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

EN-1993-1-8:  
6.2.4-tab.6.3

$$F_{T,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ubt} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 508.94 \cdot 10^3 \text{ N}$$

EN-1993-1-8:  
6.2.4-tab.6.3

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{T,Rd}}{m+n} = 927.6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

EN-1993-1-8:  
6.2.4-tab.6.3

Modul 3 de cedare: ruperea șuruburilor

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot F_{T,Rd} = 1017.88 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pentru placa de bază la încovoiere, rezistența minimă este:

$$F_{t,bp,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}), = 927.6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

EN-1993-1-8:  
6.2.6.7

- *Talpa și inima stâlpului solicitată la compresiune*

$$F_{c,fc,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_c - t_{fc}}, \text{ unde } M_{c,Rd} = W_{pl,c} \cdot \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}} = 1869 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1.0} = 663.5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\text{asadar, } F_{c,fc,Rd} = 2361.2 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- *Presiunea pe gaură în placă*

EN-1993-1-8:  
3.6.1-tab.3.4

$$F_{bp,Rd} = \frac{1.5 \cdot t_{bp} \cdot d \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1.5 \cdot 30 \cdot 30 \cdot 355}{1.0} = 479.25 \text{ kN}$$

$$t_{bp} = 30 \text{ mm}$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$f_{yp} = 355 \text{ N/mm}^2$$

Notă:

- Rezistența de calcul (la efort axial) a stâlpului este mai mare decât cea a bazei stâlpului:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 14910 \cdot 355 / 1.15 = 4602.6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

unde A este aria secțiunii transversale a stâlpului.

- Plăcuțe adiționale sunt folosite în timpul execuției pentru a asigura nivelul plăcii de bază.

Resistența de calcul la moment încovoietor:  
 Pentru acest caz s-a considerat stâlpul acționat de forță axială și moment încovoietor, iar distribuția eforturilor pe placa de bază, conform tabelului 6.7 din EN1993-1-8, s-a considerat partea stângă supusă la întindere, partea dreaptă supusă la compresiune.

EN-1993-1-8:  
6.2.8

EN-1993-1-8:  
6.2.8-fig.6.18

Brațul de pârghie pentru acest caz este:

$$z = z_{T,i} + z_{C,r}, \text{ iar conform paragrafului 6.2.8.1:}$$

$$z = 365.5 \text{ mm}$$

Momentul încovoietor capabil al bazei stâlpului este:

$$M_{j,Rd} = \min \left( \frac{F_{T,1,Rd} \cdot z}{\frac{z_{C,r}}{e} + 1}, \frac{-F_{C,r,Rd} \cdot z}{\frac{z_{T,1}}{e} - 1} \right) = \min \left( \frac{927600 \cdot 365.5}{\frac{140.5}{369.23} + 1}, \frac{-1402070 \cdot 365.5}{\frac{225}{369.23} - 1} \right)$$

EN-1993-1-8:  
6.2.8.3-  
tab.6.7

$$M_{j,Rd} = \min(245.58 \cdot 10^6, 1311.9 \cdot 10^6) = 245.58 \cdot 10^6 \text{ Nmm (verifica)}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}} = \frac{240000}{650} = 369.23$$

$$z_{C,r} = h_c / 2 - t_{fc} / 2 = 140.5 \text{ mm}$$

$$z_{T,1} = h_c / 2 + m_x = 225 \text{ mm}$$

#### 4.7.4.5 CALCULUL RIGIDITĂȚII LA ROTIRE

Conform tabelului 6.10 din EN1993-1-8, rigiditatea la rotire pentru o îmbinare cu placă de bază (cu un singur rând de șuruburi întinse), se calculează ținând seama de următoarele componente:  $k_{13}$ ,  $k_{15}$ ,  $k_{16}$ .

EN-1993-1-8:  
6.3

$$\text{Așadar } S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot \sum \frac{1}{k_i}}, \text{ unde } \mu = 1.0 \text{ pt. rigiditatea initiala}$$

$$l_{eff} = b_c + 2 \cdot c = 430.22 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = t_{fc} + 2 \cdot c = 149.22 \text{ mm}$$

Conform tabelului 6.11, se calculează componentele rigidității:

$$k_{13} = \frac{E_c \cdot \sqrt{b_{eff} \cdot l_{eff}}}{1.275 \cdot E} = \frac{34500 \cdot \sqrt{149.22 \cdot 430.22}}{1.275 \cdot 210000} = 32.65 \text{ mm}$$

$$k_{15} = \frac{0.85 \cdot l_{eff}^3 \cdot t_{bp}^3}{m^3} = \frac{0.85 \cdot 430.22^3 \cdot 30^3}{75^3} = 23.4 \text{ mm}$$

$$k_{16} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 1.6 \cdot 2827.43 / 304 = 14.88 \text{ mm}$$

EN-1993-1-8:  
6.3.2-tab.6.11

$L_b$  este alungirea tijei de ancorare, care este egală cu suma a 8 diametre nominale de

șurub, stratul mortar de poză, grosimea plăcii de bază, șaiba și jumătate din înălțimea piuliței.

$$L_b = 8 \cdot 30 + 10 + 30 + 4 + 20 = 304 \text{ mm}$$

$$S_{j,ini} = \frac{210000 \cdot 375^2}{1 \cdot \left( \frac{1}{k_{13}} + \frac{1}{k_{15}} + \frac{1}{k_{16}} \right)} = 21 \cdot 10^{10} \text{ Nmm/rad}$$

**CAPITOLUL VII**

**RECOMANDĂRI DE CALCUL ȘI PROIECTARE PENTRU  
ÎMBINĂRI STRUCTURALE ÎN CAZUL SOLICITĂRILOR SEISMICE**

## 4.10. CERINȚE DE REZISTENȚĂ ȘI DUCTILITATE CONFORM P100-1/2006 ȘI EN1998-1

Îmbinările reprezintă un punct sensibil pentru rezistența seismică de ansamblu a unei construcții. Comportarea îmbinărilor este adesea mai complexă decât cea a elementelor îmbinate. O atenție deosebită trebuie acordată îmbinărilor elementelor care cuprind zone disipative. În general, îmbinările pot fi proiectate ca și îmbinări disipative (deformațiile plastice au loc în îmbinarea propriu-zisă) sau ca îmbinări nedisipative (deformațiile plastice au loc în elementele îmbinate). Datorită complexității comportării îmbinărilor în condiții seismice (solicitări ciclice în domeniul inelastic în îmbinări sau în elementele îmbinate), detaliile constructive și modul de calcul al îmbinărilor folosite trebuie să fie validate prin încercări experimentale. În general, derularea unor încercări experimentale pentru proiectarea unor construcții curente nu este economică. De aceea, în practică, detalierea și calculul îmbinărilor structurilor disipative se bazează pe informații disponibile în literatură sau prescripții de specialitate (de exemplu GP 082/2003 sau ANSI/AISC 358-05), elaborate pe baza unor programe de încercări experimentale.

Îmbinările disipative, pe lângă criteriile de rigiditate și rezistență trebuie să îndeplinească și cerințe de ductilitate (validate experimental), impuse de normele seismice funcție de tipul structurii și clasa de ductilitate.

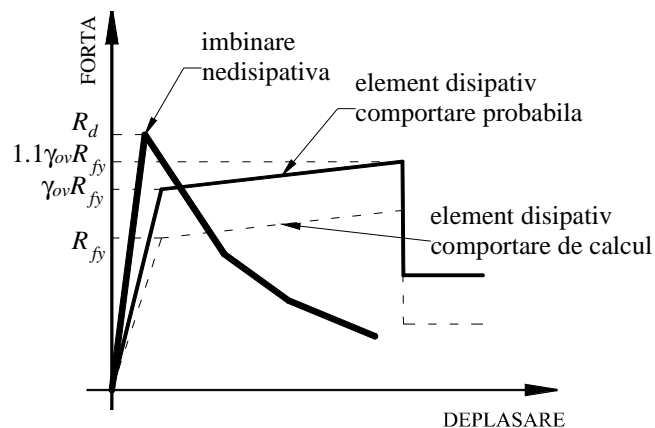


Figura 7.96: Principiul de dimensionare a îmbinărilor nedisipative

Îmbinările nedisipative aflate în vecinătatea zonelor disipative trebuie proiectate să rămână în domeniul elastic, asigurând dezvoltarea deformațiilor inelastice în zonele disipative ale elementelor îmbinate. În acest scop, îmbinările nedisipative trebuie proiectate la eforturi corespunzătoare unor zone disipative plasticizate și consolidate, și nu pe baza eforturilor din îmbinare determinate din analiza structurală. Acest principiu de calcul are la bază proiectarea bazată pe capacitate.. Relația de verificare se poate exprima generic sub forma:

$$R_d \geq 1.1 \gamma_{ov} R_{fy}$$

unde:

$R_d$  rezistența îmbinării

$R_{fy}$  rezistența plastică a elementului îmbinat, determinată pe baza limitei de curgere de calcul

1.1 un factor care ține cont de consolidarea (ecruisarea) zonei disipative

$\gamma_{ov}$  un factor de suprarezistență care ține cont de o limită de curgere reală mai mare decât cea caracteristică a zonei disipative (valoarea normativă a suprarezistenței, în lipsa unor încercări experimentale este egală cu 1.25)

Principiul de dimensionare a îmbinărilor nedisipative care îmbină elemente structurale disipative este prezentat schematic în Figura 7.96.

## 4.11. CAPACITATEA DE ROTIRE A ÎMBINĂRILOR GRINDĂ-STÂLP

### 4.11.1 Clasificarea după ductilitate

O clasificare amintind de cea relativă la secțiunile elementelor referitoare la voalarea locală a fost introdusă recent în literatură pentru îmbinări. De această dată, clasificarea este făcută în termeni de capacitate de rotire plastică a îmbinării  $\Phi_{pl}$  corespunzătoare momentului rezistent plastic de calcul  $M_{j,Rd}$  (Figura 7.97). Se pot distinge trei clase de îmbinări (Figura 7.98):

- *Clasa 1*: Îmbinări *ductile*.

O îmbinare ductilă este capabilă de a atinge momentul său rezistent plastic dezvoltând o capacitate de rotire importantă.

- *Clasa 2*: Îmbinări de *ductilitate intermediară*.

O îmbinare de ductilitate intermediară este capabilă de a atinge momentul său rezistent plastic dezvoltând numai o capacitate de rotire limitată, atunci când rezistența sa este atinsă.

- *Clasa 3*: Îmbinări *neductile*.

O cedare prematură (datorită unei instabilități sau unei rupei fragile a uneia din componentele îmbinării) apare în îmbinare înainte ca momentul rezistent, bazat pe o redistribuție plastică a eforturilor interioare, să fie atins.

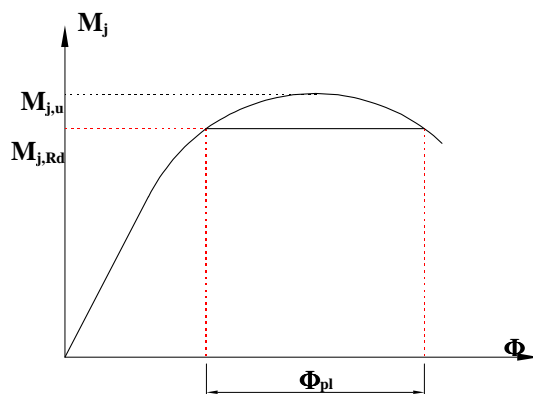


Figura 7.97: Capacitate de rotire plastică

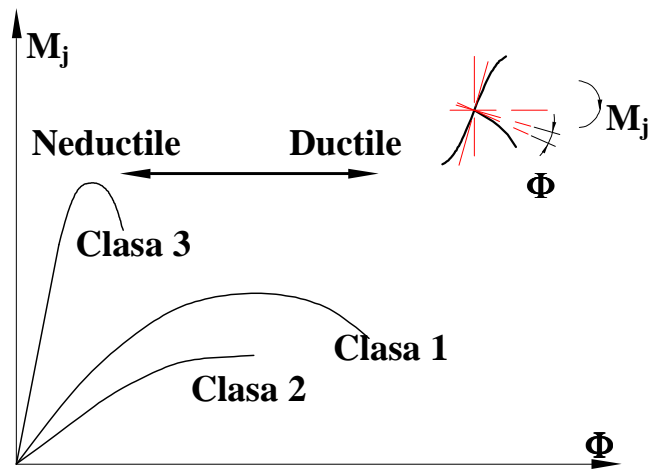


Figura 7.98: Clasificarea îmbinărilor după ductilitate

#### 4.11.2 Evaluarea capacității de rotire

Capacitatea de rotire  $\phi_{Cd}$  a unui nod, care este dată de rotirea maximă de pe caracteristica moment-rotire, vezi Figura 7.99(c), se determină cu 6.4 din EN1993-1-8 și sunt date mai jos în paragrafele 7.2.2.1 – 7.2.2.3.

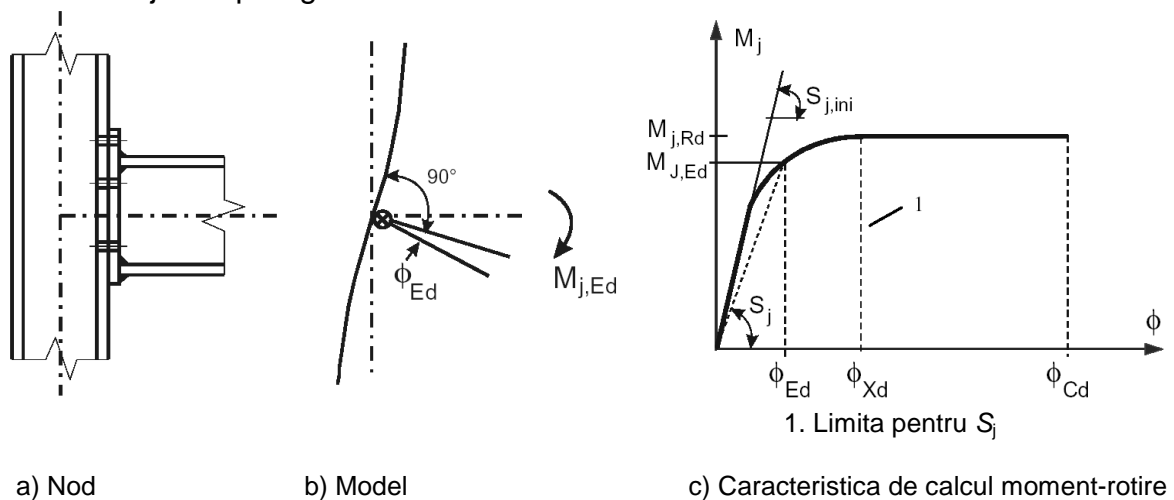


Figura 7.99: Caracteristica de calcul moment-rotire a nodului

##### 4.11.2.1 Prevederi generale

În cazul unei analize globale rigid plastice, un nod situat într-o zonă plastică trebuie să posede suficientă capacitate de rotire.

Capacitatea de rotire a unui nod sudat sau cu șuruburi trebuie determinată folosind prevederile date în 7.2.2.2 sau 7.2.2.3. Metodele de calcul date în aceste clauze sunt valabile doar pentru mărcile de oțel S235, S275 și S355 și pentru noduri în care forța axială  $N_{Ed}$  în elementul îmbinat nu depășește 5% din rezistența plastică de calcul  $N_{pl,Rd}$  a secțiunii lui transversale.

Ca o alternativă la 7.2.2.2 și 7.2.2.3, nu este necesară verificarea capacității de rotire a nodului dacă momentul rezistent de calcul al nodului  $M_{j,Rd}$  este cu cel puțin 20% mai mare decât momentul rezistent plastic  $M_{p,Rd}$  al elementului îmbinat.

Pentru cazurile neacoperite de 7.2.2.2 și 7.2.2.3 capacitatea de rotire poate fi determinată prin încercări în conformitate cu EN1990, Anexa D. Ca o alternativă, pot fi folosite și modele potrivite de calcul, cu condiția ca ele să fie bazate pe rezultatele unor încercări în conformitate cu EN1990.

#### 4.11.2.2 Noduri cu șuruburi

Un nod grindă-stâlp în care momentul rezistent de calcul  $M_{j,Rd}$  este determinat de rezistența de calcul a panoului inimii stâlpului la forfecare, se poate considera că are o capacitate de rotire adecvată pentru analiza globală plastică, cu condiția ca  $d/t_w \leq 69\varepsilon$ .

Un nod cu placă de capăt și șuruburi sau cu îmbinare cu corniere de tălpi poate fi considerat cu capacitate de rotire suficientă pentru analiza plastică, cu condiția ca următoarele condiții să fie satisfăcute:

a) momentul rezistent de calcul este determinat de rezistența de calcul a uneia din componentele:

- talpa stâlpului la încovoiere, sau
- placa de capăt a grinzii sau corniera de talpă întinsă la încovoiere

b) grosimea  $t$  a tălpii stâlpului sau a plăcii de capăt a grinzii sau corniera de talpa întinsă (nu neapărat aceeași componentă de bază ca în (a)) satisface condiția:

$$t \leq 0,36d\sqrt{f_{ub}/f_y} \quad (7.1)$$

unde:

$f_y$  este limita de curgere a componentei de bază respective.

Un nod îmbinat cu șuruburi în care momentul rezistent de calcul  $M_{j,Rd}$  este determinat de rezistența de calcul a șuruburilor lui la forfecare, nu trebuie considerat că are o capacitate de rotire suficientă pentru analiza globală plastică.

#### 4.11.2.3 Noduri sudate

Capacitatea de rotire  $\phi_{Cd}$  a unei îmbinări grindă-stâlp sudate poate fi considerată cel puțin egală cu valoarea următoare, cu condiția ca inima stâlpului să fie rigidizată la compresiune și nerigidizată la întindere și momentul ei rezistent de calcul nu este determinat de rezistența panoului inimii stâlpului, vezi 7.2.2.2(1):

$$\phi_{Cd} = 0,025 h_c/h_b \quad (7.2)$$

unde:

$h_b$  este înălțimea grinzii;

$h_c$  este înălțimea stâlpului.

Capacitatea de rotire a unei îmbinări grindă-stâlp sudate nerigidizate poate fi considerată egală cu cel puțin 0,015 rad dacă nodul a fost dimensionat în conformitate cu prevederile acestei secțiuni.

#### 4.11.3 Comportarea ciclică a îmbinărilor

Ductilitatea locală este un parametru foarte important în analiza seismică a structurilor metalice. Clasa de secțiune sau capacitatea de rotire a elementelor joacă direct asupra răspunsului seismic și asupra factorului de comportare  $q$  al cadrelor.

Ca și pentru elemente, este important să se cunoască capacitatea de rotire a îmbinărilor. Pentru a evalua capacitatea de rotire a îmbinărilor în urma dimensionării seismice, cel mai bine este de a o determina pe baza unor încercări experimentale sub solicitări ciclice alternante.

Pornind de la rezultatele unor încercări ciclice, ne putem gândi la introducerea unor coeficienți de reducere a capacității de rotire determinată din încercări statice sau prin modele teoretice bazate pe mecanisme plastice, ca și pentru elemente.

##### 4.11.3.1 Tipuri de cicluri

În ultimii ani, o importantă activitate experimentală a fost dezvoltată asupra îmbinărilor grindă-stâlp sub încărcări ciclice, permițând o mai bună înțelegere a comportării lor și deci o mai bună modelizare a lor.

Din punct de vedere comportare ciclică, îmbinările pot fi considerate ca *stabile* atunci când prezintă o curbă de comportare înfășurătoare identică cu cea a comportării monotone, odată cu creșterea numărului de cicluri ; ele sunt considerate *instabile* atunci când rigiditatea lor scade cu creșterea numărului de cicluri.

Mai precis, după Mazzolani, îmbinările pot fi caracterizate prin trei categorii de comportare (Figura 7.100):

- În prima categorie, îmbinările prezintă o comportare stabilă, caracterizată prin curbe histeretice având aceeași suprafață și formă odată cu creșterea numărului de cicluri, pentru rotații extreme impuse. (Figura 7.100a).
- Îmbinările din a doua categorie prezintă o comportare instabilă datorată unor deformații permanente (Figura 7.100b) aducând o pierdere de eficacitate progresivă a legăturii (de exemplu deformațiile plastice ale găurilor și șuruburilor reducând efectul forței de strângere al acestora din urmă). Panta curbelor histeretice care caracterizează rigiditatea ciclurilor, scade deci continuu.
- Îmbinările celei de a treia categorii prezintă o comportare instabilă datorată apariției bruște, în cursul unui ciclu, a unei lunecări la nivelul șuruburilor. Acest fenomen de lunecare modifică substanțial panta curbei reducând energia disipată pentru aceleași valori de rotații extreme. Degradarea continuă poate fi accentuată de deformațiile permanente ale găurilor și tijelor șuruburilor (Figura 7.100c).

Cazurile b și c se traduc la cedare, printr-o degradare adesea importantă a rigidității la rotire.

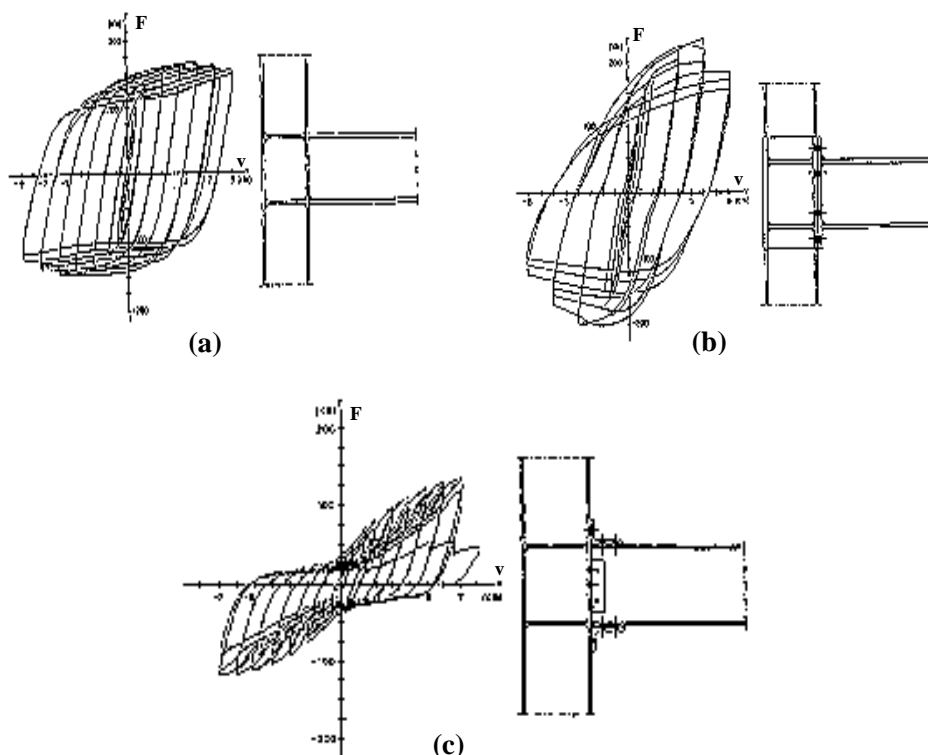


Figura 7.100: Curbe histeretice tipice ale unor îmbinări structurale

Dintr-un alt punct de vedere, ne-am putea mulțumi de a clasifica îmbinările, după comportarea lor ciclică, în două categorii ; prima (Figura 7.100a) ar fi proprie îmbinărilor cu rezistență totală, fără degradare (de exemplu, cazul îmbinărilor sudate și cu inima stâlpului rigidizată) ; a doua categorie (Figura 7.100b,c) ar privi îmbinările parțial rezistente, cu degradare incluzând sau nu fenomenul de alunecare (de exemplu, cazul îmbinărilor bulonate cu placă de capăt sau cu corniere).

În prezența unei evoluții a formei buclelor histeretice, comportarea ciclică a unei îmbinări trebuie să poată garanta un nivel dat de rezistență cu o ductilitate suficientă, coerentă cu exigențele dimensionării antiseismice, fără a înregistra o degradare prea importantă după un anumit număr de cicluri (legată de durata acțiunii seismice).

#### 4.11.3.2 Parametrii de comportare - Recomandările CECM

Alegerea parametrilor de comportare este importantă pentru interpretarea capacităților unei îmbinări la fel de bine ca și comparația diferitelor încercări. În special, acești parametri trebuie să permită caracterizarea în timpul procedurii de încărcare, a evoluției ductilității, a nivelului energiei absorbite la fel ca și degradarea rigidității și a rezistenței unei îmbinări.

În acest sens, Comitetul 13 al CECM a publicat recomandările de încercare pentru a caracteriza comportarea elementelor metalice, și deci și a îmbinărilor, sub încărcări ciclice cu deplasări impuse controlate.

Parametrii adimensionali, definiți în comparație cu caracteristicile elastice ale comportării statice (Figura 7.101a), au fost introduși, permițând a compara un ciclu de comportare real (Figura 7.101b) cu un ciclu ideal elasto-plastic de aceeași amplitudine (Figura 7.101c). În figurile menționate,  $F$  și  $v$  reprezintă o forță și o deplasare direct legate de momentul încovoietor  $M$  și de rotirea  $\phi$  ale îmbinării experimentate, sau eventual aceste mărimi înseși.

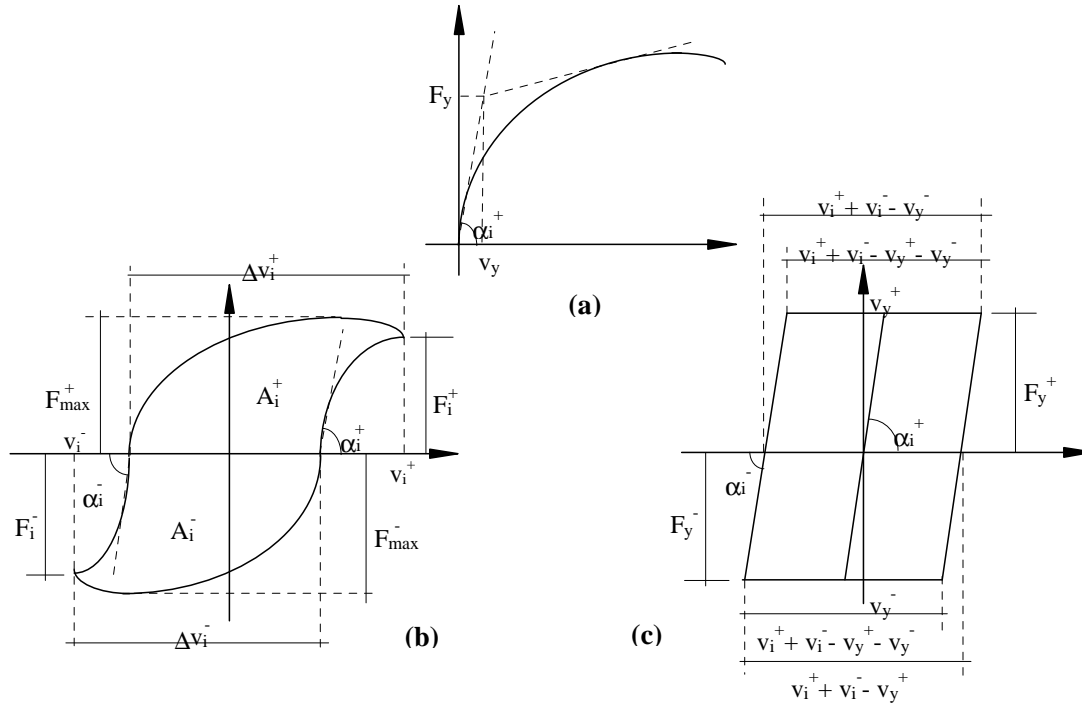


Figura 7.101: Caracteristicile recomandărilor CECEM pentru încercări ciclice

Încercările sunt realizate în grupuri succesive de cicluri, la valori ale deplasărilor impuse definite ca multipli ai deplasărilor limită elastice. Fiecare grup de cicluri cuprinde de fapt trei cicluri de aceeași amplitudine deplasare. Considerând grupul  $i$  de cicluri, recomandările CECEM recomandă utilizarea următorilor parametri adimensionali:

*a. Ductilitate parțială*

$$\mu_i^+ = \frac{v_i^+}{v_y^+} \quad \text{și} \quad \mu_i^- = \frac{v_i^-}{v_y^-} \quad (7.3)$$

Acest parametru reprezintă raportul dintre deplasarea maximă pozitivă sau negativă (considerată în valoare absolută) a unui ciclu și valoarea elastică limită corespunzătoare deplasării de același semn. Cu cât ductilitatea este mai mare, cu atât elementul este apt de a suporta deplasări în afara domeniului elastic.

*b. Ductilitate totală (sau ductilitate ciclică)*

$$\mu_{c_i}^+ = \frac{\Delta v_i^+}{v_y^+} \quad \text{și} \quad \mu_{c_i}^- = \frac{\Delta v_i^-}{v_y^-} \quad (7.4)$$

Acest parametru reprezintă raportul dintre amplitudinea totală a deplasării (în valoare absolută) în cursul fiecărui semi-ciclu și valoarea elastică limită corespunzătoare. Ne putem gândi că această definiție a ductilității este mult mai semnificativă decât cea precedentă pentru a interpreta comportarea ciclică.

*c. Raport de ductilități totale*

$$\Psi_i^+ = \frac{\Delta v_i^+}{v_i^+ + v_i^- - v_y^-} \quad \text{și} \quad \Psi_i^- = \frac{\Delta v_i^-}{v_i^+ + v_i^- - v_y^+} \quad (7.5)$$

Acest parametru reprezintă raportul dintre amplitudinea totală a deplasării (în valoare absolută) și valoarea corespunzătoare a deplasării pentru o comportare presupusă perfect elasto-plastică. Creșterea acestui parametru înseamnă o degradare a specimenului testat.

*d. Raport de rezistență (sau raport de degradare a rezistenței)*

$$\varepsilon_i^+ = \frac{F_i^+}{F_y^+} \quad \text{și} \quad \varepsilon_i^- = \frac{F_i^-}{F_y^-} \quad (7.6)$$

Acest parametru reprezintă raportul dintre forța corespunzătoare deplasării maxime și forța limită elastică (definită pentru același semn de deplasare).

*e. Raport de rigiditate (sau raport de degradare a rigidității)*

$$\zeta_i^+ = \frac{\tan \alpha_i^+}{\tan \alpha_y^+} \quad \text{și} \quad \zeta_i^- = \frac{\tan \alpha_i^-}{\tan \alpha_y^-} \quad (7.7)$$

Acest parametru reprezintă raportul dintre rigiditatea la nivelul ciclului curent și rigiditatea inițială. Reducerea acestui raport se traduce prin degradarea rigidității.

*f. Raport de energie absorbită*

$$\eta_i^+ = \frac{A_i^+}{F_y^+ (v_i^+ + v_i^- - v_y^+ - v_y^-)} \quad \text{și} \quad \eta_i^- = \frac{A_i^-}{F_y^- (v_i^+ + v_i^- - v_y^+ - v_y^-)} \quad (7.8)$$

Acest parametru reprezintă raportul dintre energia absorbită de element într-un semi-ciclu real și energia aceluiași semi-ciclu dar corespunzând unei comportări perfect elasto-plactice.

Se poate constata că toți parametrii de mai sus au fost definiți prin comparație cu un comportament perfect elasto-plastic, forma ciclului fiind cu atât mai bună cu cât valorile parametrilor sunt mai apropiate de unitate.

De altfel, acești parametri pot fi utilizați pentru a defini starea ultimă care corespunde unui final de încercare, unei stări ultime semnificând o degradare avansată a rezistenței, a rigidității sau unei diminuări importante a disipării de energie.

## 4.12. SOLUȚII CONSTRUCTIVE

Configurarea îmbinării trebuie să fie compatibilă cu sistemul structural ales și cu dimensiunile elementelor structurale.

Pentru a obține noduri rigide și cu rezistență totală, în general trebuie împiedecate deformația inimii stâlpului, a tălpii acestuia și a plăcii de capăt a grinzii. Acest lucru se poate realiza

prin întărirea inimii stâlpului cu rigidizări sau plăci sudate și a celorlalte componente printr-un raport de grosimi ales judicios.

Cele mai uzuale soluții constructive sunt prezentate în continuare.

#### **4.12.1 Îmbinare cu șuruburi cu placă de capăt extinsă rigidizată**

Acest tip de nod (Figura 7.102) este utilizat foarte des în practică având o comportare foarte bună la solicitări ciclice. Îmbinarea este considerată rigidă, cu rezistență totală. De asemenea montajul este relativ simplu de realizat pe șantier.

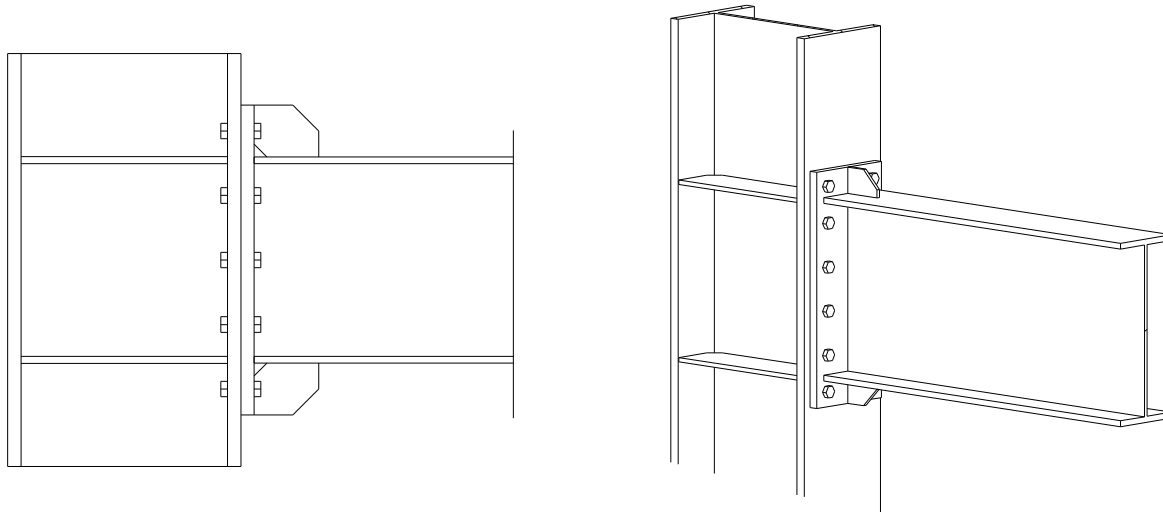


Figura 7.102: Îmbinare cu șuruburi cu placă de capăt extinsă rigidizată

#### **4.12.2 Îmbinare sudată cu rigidizări ale tălpilor grinzii**

Acest tip de nod (Figura 7.103) este utilizat mai puțin în practică, deoarece realizarea pe șantier este grea și scumpă. Îmbinarea este considerată rigidă, cu rezistență totală.

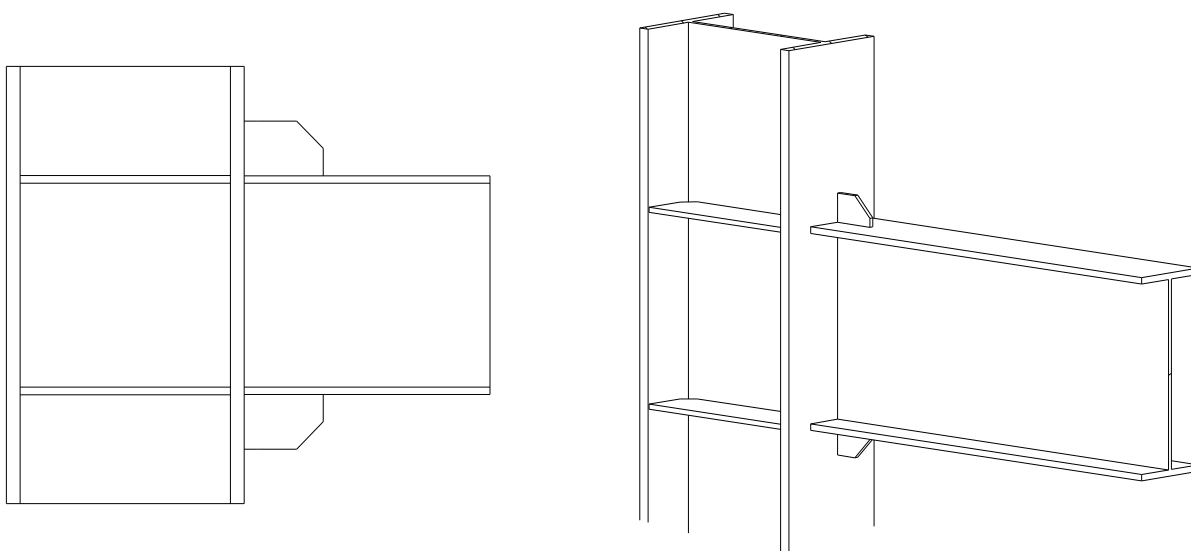


Figura 7.103: Îmbinare sudată cu rigidizări ale tălpilor grinzii

#### 4.12.3 Îmbinare cu tălpile grinzii sudate de plăci de continuitate sudate de talpa stâlpului și cu eclisă sudată prinsă cu șuruburi de inima grinzii

Acest tip de nod (Figura 7.104) este utilizat des în practică având o comportare foarte bună la solicitări ciclice. Îmbinarea este considerată rigidă, cu rezistență totală. Montajul este relativ simplu de realizat pe șantier fiind realizat prin eclisa de pe inima grinzii prinsă cu șuruburi și care are doar rol de montaj.

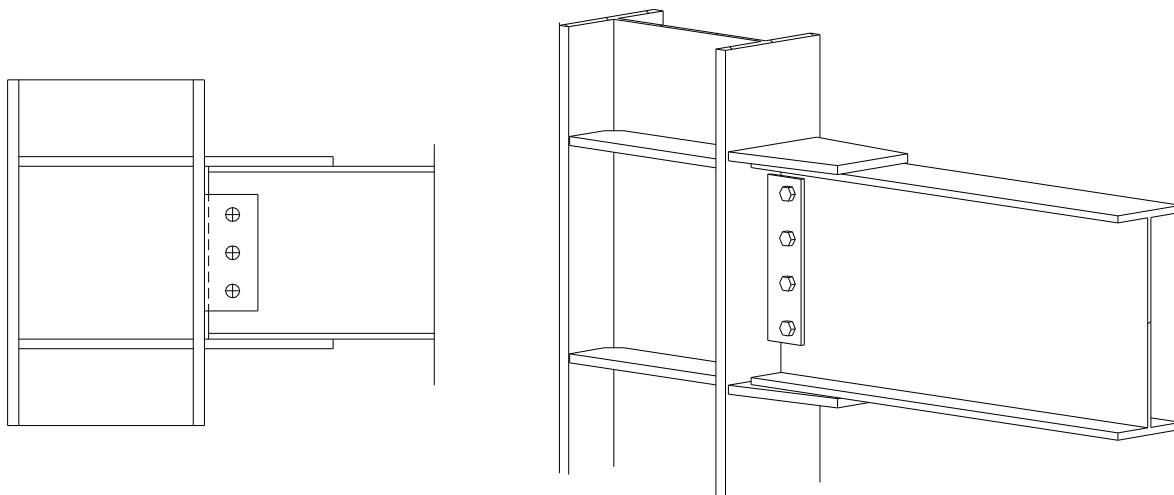


Figura 7.104: Îmbinare cu tălpile grinzii sudate de plăci de continuitate sudate de talpa stâlpului și cu eclisă sudată prinsă cu șuruburi de inima grinzii

#### 4.12.4 Îmbinare sudată cu grindă cu secțiune redusă (dog bone)

Acest tip de nod (Figura 7.105) este recomandat a fi utilizat atunci când din proiectare, se dorește dirijarea articulației plastice în capătul grinzii. Acest lucru se realizează prin reducerea secțiunii grinzii. Montajul este relativ simplu de realizat pe șantier fiind realizat prin eclisa de pe inima grinzii prinsă cu șuruburi și care are doar rol de montaj.

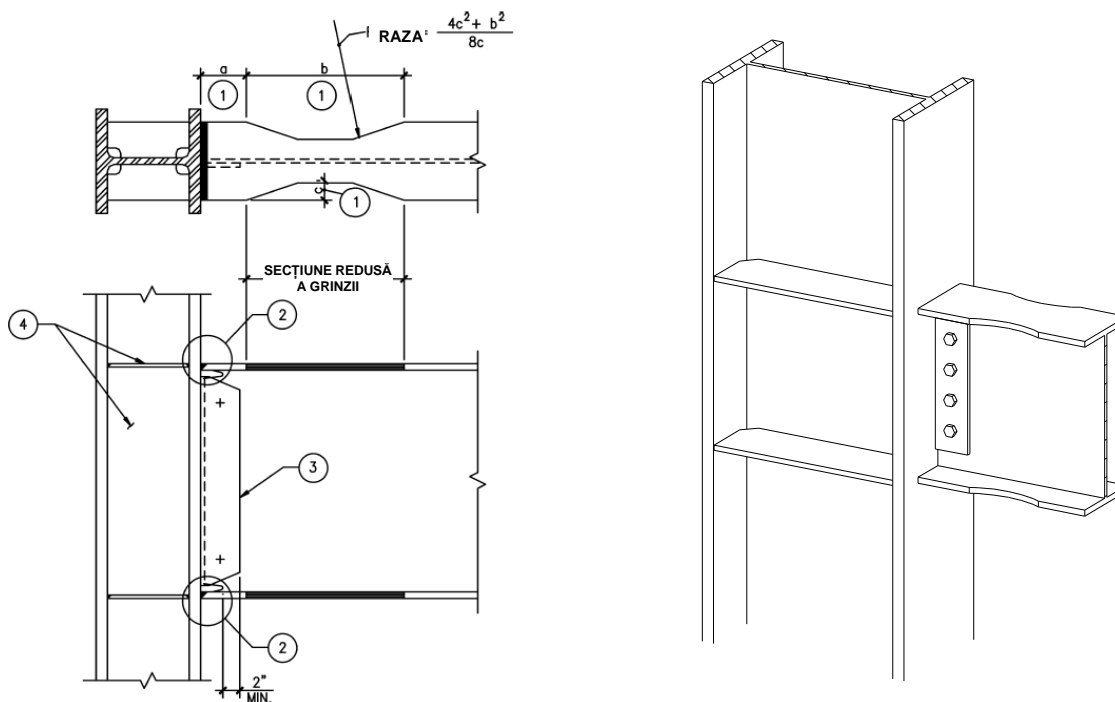


Figura 7.105: Îmbinare sudată cu grindă cu secțiune redusă (dog bone)



## 4.13. CRITERII DE PRECALIFICARE (AISC 2002 ȘI FEMA 350)

În Statele Unite structurile metalice erau considerate ideale pentru clădirile situate în zone seismice, datorită ductilității lor. Mulți ingineri considerau chiar că structurile metalice sunt practic invulnerabile la acțiunea seismică și că în cazul producerii unor avarii, acestea se limitează la plastificări în secțiunile elementelor și în îmbinări. Colapsul era considerat practic imposibil. Această părere generală era dată de comportarea bună a structurilor metalice sub acțiunea cutremurelor în comparație cu soluțiile care utilizau alte materiale (beton, zidărie, etc). Cutremurul de la Northridge din anul 1994 a arătat că și structurile metalice pot fi vulnerabile la acțiunea seismică. Îmbinările au avut cel mai mult de suferit de pe urma cutremurului. Acest lucru a făcut ca în perioada imediat următoare cutremurului, folosirea îmbinărilor să fie făcută numai după ce rezultatele obținute pe cale analitică erau validate prin încercări experimentale. Majoritatea îmbinărilor rigla-stâlp folosite până la cutremurul din 1994 de la Northridge se bazau pe rezultatele experimentale obținute în anii '70 de către Popov și Stephen (Popov&Stephen, 1972). Cercetările care au urmat cutremurului au încercat să stabilească soluții constructive îmbunătățite pentru tipurile de îmbinări folosite curent în practica nord-americană, soluții care au condus la alcătuirea unei baze de îmbinări considerate predefinite. Toate aceste rezultate au fost incluse în norma de calcul seismic AISC 2002. Astfel, în conformitate cu prevederile acestor norme, îmbinările folosite la cadrele metalice speciale trebuie să satisfacă următoarele cerințe:

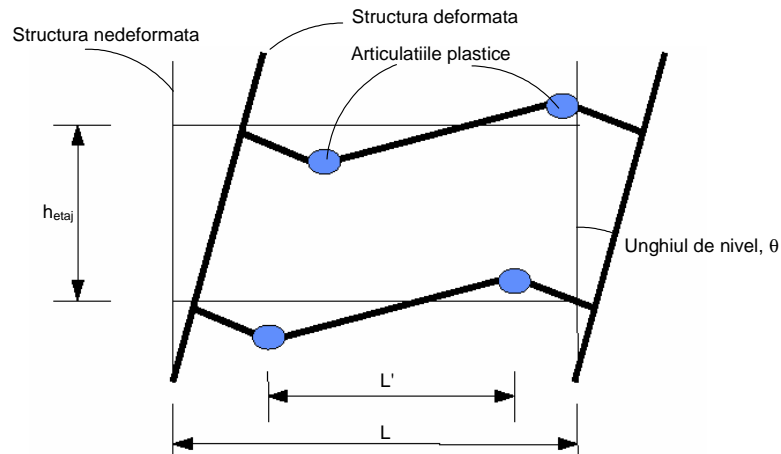
- driftul de nivel capabil să fie mai mare de 0,04rad pentru cadrele speciale necontravantuite
- capacitatea portantă a îmbinării, determinată la fața stâlpului, este cel puțin egală cu 80% din momentul plastic capabil al grinzii adiacente la un drift de nivel aferent de 0.04rad.

Validarea acestor cerințe se poate face în două moduri:

- îmbinările se încadrează într-unul din tipurile de îmbinări predefinite, pentru care există garanția (data de folosirea lor în trecut și de încercările experimentale) unei comportări bune la cutremur.
- încercări experimentale pe baza prescripțiilor oferite de AISC 2002

### 4.13.1 Îmbinările predefinite introduse în norma de calcul AISC 2002

Pentru ca îmbinările să se încadreze în această categorie, trebuie îndeplinite o serie de condiții legate de conformarea de ansamblu și de detaliu a elementelor structurii de rezistență. Astfel, cadrele trebuie alcătuite și detaliate astfel încât driftul de nivel necesar să poată fi dezvoltat ca o combinație între deformațiile elastice și plasticizările în anumite zone ale cadrului (Figura 7.108). În cadrul din figura driftul inelastic este dezvoltat prin rotirile plastice în articulațiile formate. Driftul total se va obține deci prin însumarea acestei deformații cu driftul elastic datorat încovoierii elementelor structurale. Nu sunt incluse aici scurtările sau alungirile stâlpilor datorate forțelor axiale. Formarea articulațiilor în rigle conduce la disiparea energiei induse prin deformații plastice în articulațiile plastice formate. Pe de altă parte, în cazul formării articulațiilor plastice în stâlpi, capacitatea de disipare este mai redusă deoarece numărul de elemente plastificate este mai redus. De asemenea, în cazul formării articulațiilor plastice în stâlpi apare și pericolul formării mecanismelor plastice de nivel.



#### 4.13.2 Determinarea poziției articulațiilor plastice

Pentru calculul eforturilor maxime în secțiunile critice, este necesară determinarea în prealabil a poziției articulațiilor plastice în structură. În cazul structurilor la care nivelul încărcărilor gravitaționale este redus, adică ponderea eforturilor unitare este mai mică de 30% din capacitatea portantă a elementului, determinarea poziției formării articulațiilor plastice se face în conformitate cu Figura 7.109. În caz contrar, aceasta se face folosind o analiză plastică a structurii.

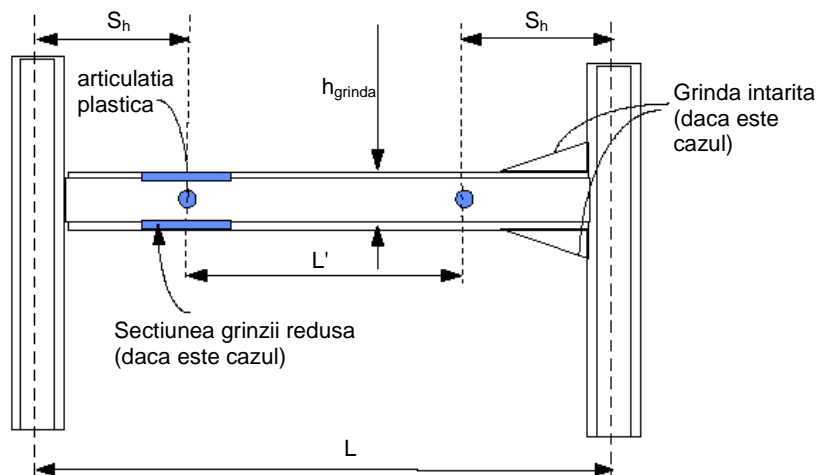


Figura 7.109: Poziția formării articulațiilor plastice pe grindă

#### 4.13.3 Determinarea momentului plastic în articulațiile plastice

În cazul îmbinărilor de rezistență completă, momentul plastic probabil în articulația plastică se determină cu relația:

$$M_{pr} = C_{pr} \cdot R_y \cdot Z_e \cdot F_y \quad (7.9)$$

în care:

$M_{pr}$  - valoarea maximă probabilă a momentului în articulația plastică

$C_{pr}$  - factor ce ia în considerare valoarea maximă a rezistenței îmbinării, inclusiv ecruisarea materialului, întărirea locală, alte condiții locale. Pentru majoritatea tipurilor de îmbinări,  $C_{pr}$  se determină cu relația:

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 \cdot F_y} \quad (7.10)$$

$R_y$  - coeficient care ia in considerare calitatea materialului

$Z_e$  - modulul de rezistenta plastic efectiv al secțiunii (sau îmbinării)

$F_y$  - limita de curgere minima a materialului

$F_u$  - rezistenta minima la întindere a materialului

#### 4.13.4 Determinarea rezistentei necesare in secțiunile critice

Pentru a determina caracteristicile îmbinărilor, este necesara determinarea rezistentei necesare la încovoiere si forfecare in secțiunile critice. Acest lucru se poate face prin izolarea porțiunii din element cuprinsa între doua articulații plastice (Figura 7.110).

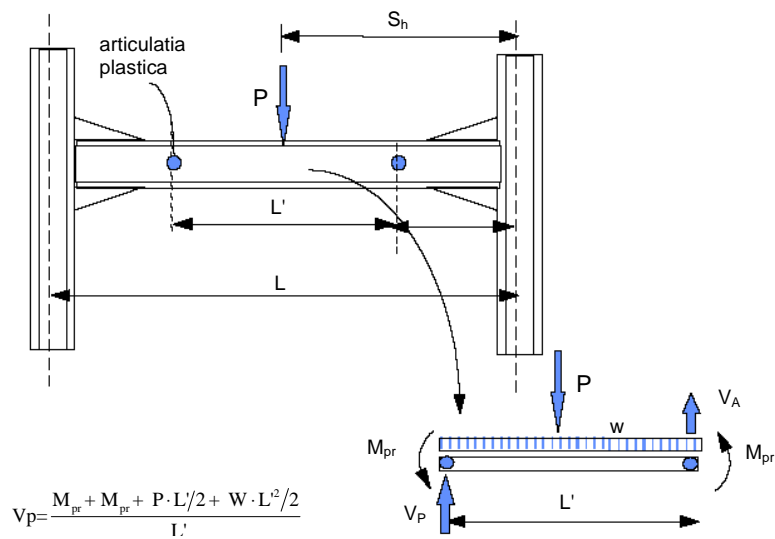


Figura 7.110: Calculul forței tăietoare în articulația plastică

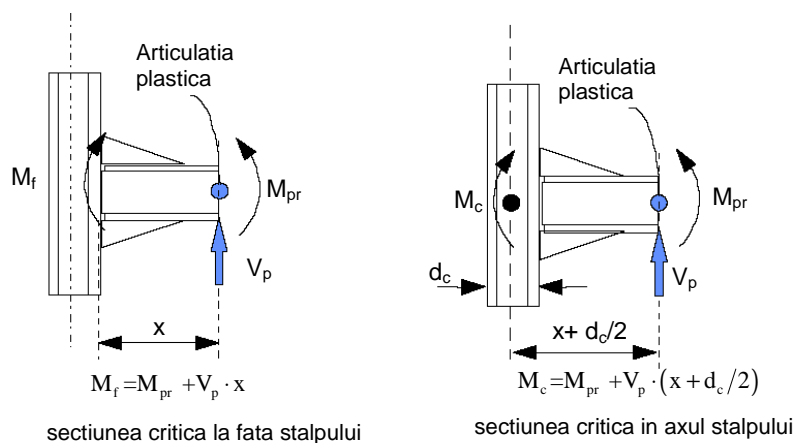


Figura 7.111: Calculul eforturilor în secțiunile critice

#### 4.13.5 Condiții generale

Pentru calcul îmbinărilor este necesara verificarea unor condiții generale de alcătuire. Dacă aceste condiții sunt satisfăcute, se poate presupune ca îmbinarea va avea o comportare similara cu cea descrisa prin calcul.

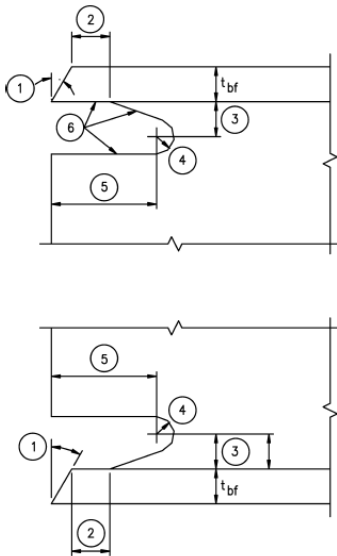
#### 4.13.5.1 Condiții referitoare la grinzi

Aceste condiții se referă la zveltețile maxime admise pentru tălpi și inimi. Astfel, zveltețile maxime admise sunt următoarele:

- $b_f/2t_f \leq 52/\sqrt{F_y}$  - zveltețea limită pentru tălpile grinzii
- $h_c/t_w \leq 520/\sqrt{F_y}$  - zveltețea limită pentru inima grinzii

#### 4.13.5.2 Condiții referitoare la îmbinările sudate

În această categorie intră mai multe condiții, referitoare atât la calitatea materialelor utilizate (rezistența materialelor îmbinate, reziliența materialului de bază și adaos, etc.) cât și la executarea detaliilor de sudură (gaura de acces pentru sudură, plăcuța suport pentru sudură, controlul calității execuției sudurii, etc.).



1. Prelucrarea în funcție de procedeul de sudură.
2. Maximul dintre  $t_{bf}$  și 12.7mm
3. Valoarea cuprinsă între  $\frac{3}{4} t_{bf}$  și  $t_{bf}$ , minim 19mm
4. raza minimă 9.5mm
5. lungimea egală cu  $3 \cdot t_{bf}$

Figura 7.112: Detaliu de acces pentru sudură

#### 4.13.5.3 Condiții referitoare la plăcile de continuitate

În cazul îmbinărilor rigla-stâlp, dispunerea plăcilor de continuitate pe înălțimea stâlpului este obligatorie dacă talpa stâlpului are grosimea mai mică decât cea obținută cu ecuațiile:

$$t_{cf} < 0,4 \sqrt{1,8b_f t_f \frac{F_{yb} \cdot R_{yb}}{F_{yc} \cdot R_{yc}}} \quad (7.11)$$

$$t_{cf} < \frac{b_f}{6}$$

în care:

- $t_{cf}$  - grosimea minimă a tălpii stâlpului pentru care nu este necesară dispunerea plăcilor de continuitate
- $b_f$  - lățimea tălpii grinzii

- $t_f$  - grosimea tălpii grinzii
- $F_{yb}$  ( $F_{yc}$ ) - limita de curgere minimă a tălpii grinzii (stâlpului)
- $R_{yb}$  ( $R_{yc}$ ) - raportul dintre limita de curgere reală și cea minimă pentru materialul din grindă (stâlp)

În cazul în care din calcul rezultă necesitatea dispunerii plăcilor de continuitate, grosimea acestora trebuie să satisfacă următoarele condiții:

- pentru îmbinările rigla-stâlp exterioare (de o singură parte a stâlpului), grosimea plăcilor de continuitate trebuie să fie cel puțin egală cu jumătate din grosimea tălpii grinzii
- pentru îmbinările rigla-stâlp interioare (de ambele părți ale stâlpului), grosimea plăcilor de continuitate trebuie să fie cel puțin egală cu cea mai groasă dintre tălpile grinzilor îmbinate.

#### 4.13.5.4 Condiții referitoare la rezistența panoului inimii stâlpului

Îmbinările rigla-stâlp trebuie astfel configurate încât curgerea în panoul inimii stâlpului să se producă simultan cu curgerea în grindă sau curgerea să se producă exclusiv în grindă. Pentru aceasta, se va realiza un calcul în doi pași:

- *Pasul 1:* se calculează grosimea  $t$  a panoului inimii stâlpului din condiția de apariție a curgerii simultan în panoul inimii stâlpului și în grindă cu următoarea relație:

$$t = \frac{C_y M_c \times \frac{h-d_b}{h}}{(0.9) \times 0.6 \times F_{yc} \times R_{yc} \times d_c \times (d_b - t_{fb})} \quad (7.12)$$

în care:

- $h$  - înălțimea medie a nivelului superior și inferior panoului inimii stâlpului
- $R_{yc}$  - raportul dintre limita de curgere și limita de curgere minimă a materialului din stâlp
- *Pasul 2:* dacă grosimea  $t$  astfel calculată este mai mare decât grosimea inimii stâlpului, se dispun plăci suplimentare pe inimă sau se măsoară grosimea inimii stâlpului până la satisfacerea condiției anterioare

#### 4.13.6 Calculul îmbinărilor predefinite

Îmbinările predefinite pot fi folosite pentru structurile în cadre care se încadrează în limite prescrise pentru fiecare tip de îmbinare. Dacă se utilizează îmbinări care nu se află în baza de îmbinări predefinite, sunt necesare încercări experimentale pentru a valida rezultatele obținute prin calcul.

##### 4.13.6.1 Îmbinări sudate

În cadrul acestei grupe de îmbinări sunt incluse 5 tipuri de îmbinări sudate și anume:

- Îmbinări cu sudura pe tălpi și prinse cu șuruburi pe inimă
- Îmbinări cu sudura pe tălpi și pe inimă
- Grinzi cu secțiune redusă
- Îmbinări cu sudura cu eclise pe tălpi

Dintre aceste îmbinări va fi exemplificat al doilea tip de îmbinare enumerat mai sus și anume îmbinarea cu sudura pe tălpi și inimă. Aceasta îmbinare este clasificată ca

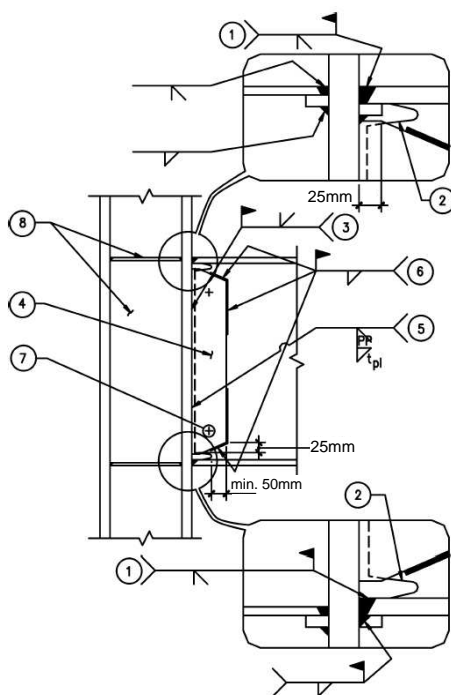
predefinita atât pentru cadrele ordinare (OMF) cat si cele speciale (SMF) daca sunt respectate condițiile prezentate în Tabelul 7.16:

Tabelul 7.16 Condiții pentru îmbinarea predefinită cu sudură pe inimă si pe tălpi

Sistemul constructiv la care poate fi aplicat	OMF, SMF
Localizarea articulației plastice	$d_c/2 + d_b/2$
Condiții referitoare la grindă	
Inaltimea maxima a grinzii	W36
Grosimea tălpii	max. 25mm
Calitatea materialului	A572, A913, A992
Condiții referitoare la stâlp	

Tabelul 7.17 Condiții pentru îmbinarea predefinita cu sudura pe inima si pe tălpi (continuare)

Inaltimea secțiunii	OMF-nu este limitata; SMF-W12, W14
Calitatea materialului	A572, A913, A992
Raportul dintre grindă si stâlp	
Rezistenta panoului inimii stâlpului	se verifica cu relația prezentata mai sus
Raportul rezistentei la încovoiere a stâlpului si a grinzii	se verifica cu relația prezentata mai sus
Detalii referitoare la îmbinare	
Detalii referitoare la inima	se verifica cu relația prezentata mai sus
Grosimea plăcilor de continuitate	se verifica cu relația prezentata mai sus
Sudura tălpiilor	se verifica cu relația prezentata mai sus
Parametrii sudurii	se verifica cu relația prezentata mai sus
Gaura de acces pentru sudura	se verifica cu relația prezentata mai sus



Notă:

1. Sudura cu prelucrare dintre tălpi si stâlp. La talpa de sus daca se indeparteaza plăcuta suport se realizează un cordon de sudura de colt de grosime 8mm la partea inferioara a tălpii. Daca nu se indeparteaza plăcuta suport se realizează un cordon de sudura de colt de grosime 8mm între plăcuta suport si talpa stâlpului. La talpa de jos se indeparteaza plăcuta suport si se realizează un cordon de sudura de colt de grosime 8mm la partea inferioara a tălpii.
2. Pentru gaura de acces, vezi Figura 7.112

3. Sudura cu prelucrare a inimii între cele două găuri de acces. După sudare se îndepărtează plăcuța suport și se polizează capetele cordonului de sudură la contactul cu gaura de acces
4. Eclisa de prindere a inimii se va realiza de grosime egală cu cea a inimii. Lungimea se va alege astfel încât să se suprapună cu 3mm la partea de sus și de jos peste gaura de acces iar lățimea astfel încât să depășească cel puțin 50mm extremitatea găurii de acces
5. Resudarea rădăcinii sudurii cu prelucrare între inima și eclisa
6. Sudura de colț între colțurile eclisei și inima grinzii de grosime egală cu grosimea eclisei minus 1,5mm. Sudura va depăși pe înălțime 1/3 din lungimea eclisei
7. Șuruburi de montaj
8. Placi de continuitate

Figura 7.113: Îmbinarea cu sudura pe tălpi și pe inima

Procedura de calcul a îmbinării presupune următoarele etape:

**Pas 1:** Se calculează  $M_{pr}$ , în secțiunea în care apare articulația plastică  $S_h$

**Pas 2:** Se calculează  $V_p$ , în secțiunea în care apare articulația plastică  $S_h$

**Pas 3:** Se calculează  $M_c$  și  $C_y$

**Pas 4:** Se calculează grosimea panoului inimii

**Pas 5:** Se determină condiția pentru plăcile de continuitate

**Pas 6:** Se detaliază îmbinarea în conformitate cu prevederile din Figura 7.113.

#### 4.13.6.2 Îmbinări cu șuruburi

În cadrul acestei grupe de îmbinări sunt incluse mai multe tipuri de îmbinări cu șuruburi și anume:

- Îmbinări cu șuruburi și placa de capăt
- Îmbinări cu șuruburi, placa de capăt și rigidizări pe talpa grinzii
- Îmbinări cu șuruburi prinse pe tălpi

Dintre aceste îmbinări se va prezenta primul caz și anume cel al îmbinării cu șuruburi și placa de capăt. Acest tip de îmbinare este relativ puțin folosit în Statele Unite însă are o pondere mult mai însemnată în practica europeană. Îmbinarea se obține prin prinderea riglei de placa de capăt cu sudura realizată în fabrică. Placa de capăt este apoi prinsă pe șantier de talpa stâlpului cu ajutorul șuruburilor. Acest tip de îmbinare poate fi utilizată ca îmbinare predefinită atât pentru cadre ordinare cât și cele speciale dacă sunt respectate condițiile exprimate în Tabelul 7.18.

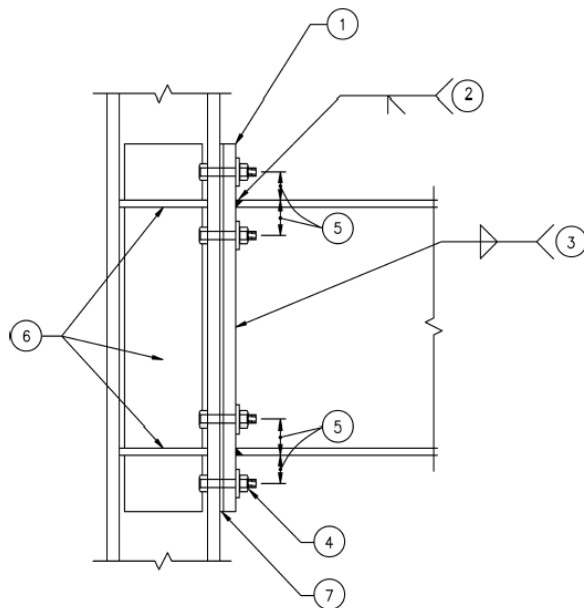
Tabelul 7.18 Condiții pentru îmbinarea predefinită cu șuruburi și placa de capăt

Sistemul constructiv la care poate fi aplicat	OMF, SMF
Localizarea articulației plastice	$d_b/2 + t_{pl} + d_b/3$
<b>Condiții referitoare la grinda</b>	
Înălțimea maximă a grinzii	W30 pentru OMF W24 pentru SMF
Grosimea tălpii	max. 19mm
Calitatea materialului	A572, A913, A992
<b>Condiții referitoare la stâlp</b>	
Înălțimea secțiunii	OMF - nu este limitată SMF – W8, W10, W12, W14
Calitatea materialului	A572, A913, A992
<b>Raportul dintre grinda și stâlp</b>	
Rezistența panoului inimii stâlpului	se verifică cu relația prezentată mai sus

Raportul rezistenței la încovoiere a stâlpului și a grinzii	se verifică cu relația prezentată mai sus
<b>Detalii referitoare la îmbinare</b>	
<i>Detalii referitoare la șuruburi</i>	
diametrul șuruburilor	se verifică cu relația prezentată mai sus
grupa șuruburilor	A325 – A490
Tipul găurii	standard
Tipul șaibe	
<i>Detalii referitoare la placa de capăt</i>	
Grosimea plăcii de capăt	se verifică cu relația prezentată mai sus

Tabelul 7.19 Condiții pentru îmbinarea predefinită cu șuruburi și placa de capăt (continuare)

Calitatea materialului din placa de capăt	A36
<i>Detalii referitoare la sudura tălpilor</i>	
Tipul de sudură	Vezi
Gaura de acces	Nu este permisă
Prinderea inimii	Vezi
Placi de continuitate	se verifică cu relația prezentată mai sus



Notă:

1. Material A36 (echivalent OL37) pentru placa de capăt
2. Sudura cu prelucrare.
3. Sudura de colt
4. Șuruburi de înaltă rezistență pretensionate A325 sau A490.
5. Dispunerea șuruburilor este dată de calculul plăcii de capăt
6. Placi de continuitate și placi suplimentare pe inimă

Figura 7.114: Îmbinarea cu șuruburi și placa de capăt

Comportarea acestui tip de îmbinare poate fi dictată de mai multe componente, cum ar fi: plasticizarea grinzii, plasticizarea plăcii de capăt, plasticizarea panoului inimii stâlpului, ruperea șuruburilor la întindere sau tăiere, ruperea sudurilor. Unele din aceste

componente conduc la cedări fragile și de aceea trebuie evitate. Plasticizarea grinzii sau a panoului inimii stâlpului este însoțită de deformații plastice considerabile. Alcătuirea îmbinării trebuie să fie făcută astfel încât curgerea să apară în grinda și în panoul inimii stâlpului sau numai în grinda. Placa de capăt, șuruburile și îmbinările cu sudura trebuie dimensionate astfel încât să nu se producă curgerea în aceste elemente. Procedura de calcul a îmbinării presupune următoarele etape:

**Pas 1:** Se calculează  $M_f$  și  $M_c$

**Pas 2:** Se determină diametrul și grupa șuruburilor cu relația următoare:

$$M_f < 2T_{ub} (d_o + d_i) \quad (7.13)$$

în care:

$T_{ub} = 90A_{surub}$  pentru șuruburi de grupa A325

=  $113A_{surub}$  pentru șuruburi de grupa A490

$d_o$  și  $d_i$  se determină din

**Pas 3:** Se verifică șuruburile astfel încât să fie evitată ruperea lor la forfecare

$$A_b = \frac{\frac{2M_f}{L - d_c} + V_g}{3F_v} \quad (7.14)$$

**Pas 4:** Se calculează grosimea minimă a plăcii de capăt  $t_p$  pentru a preveni apariția curgerii din încovoierea plăcii:

$$t_p = \sqrt{\frac{M_f}{0,8F_{yp} \left\{ (d_b - p_t) \left[ \frac{b_p}{2} \left( \frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right] + \frac{b_p}{2} \left( \frac{d_b}{p_f} + \frac{1}{2} \right) \right\}}} \quad (7.15)$$

în care:

$$s = \sqrt{b_p g} \quad (7.16)$$

Placa de capăt se execută obligatoriu din oțel A36 (echivalent OL37)

**Pas 5:** Se determină grosimea minimă a plăcii de capăt  $t_p$  pentru a preveni apariția curgerii din forfecare:

$$t_p = \frac{M_f}{1,1F_{yp} b_p (d_b - t_{bf})} \quad (7.17)$$

**Pas 6:** Se determină grosimea minimă a tălpii stâlpului din condiția de a rezista la întinderea din talpa grinzii:

$$t_{fc} = \sqrt{\frac{M_f C_1}{d_b - t_{fb} 2F_{yc} c}} \quad (7.18)$$

in care:

$$C_1 = \frac{g}{2} - k_1 \quad (7.19)$$

Daca grosimea tălpii stâlpului este mai mica decât cea calculate cu aceasta relație, sunt necesara placi de continuitate.

**Pas 7:** Daca se dispun placi de continuitate, grosimea tălpii stâlpului se verifica cu relația:

$$t_{fc} = \sqrt{\frac{M_f}{0,8F_{yc} Y_c} \frac{2(d_b - t_{fb})}{c}} \quad (7.20)$$

in care:

$$Y_c = \left(\frac{c}{2} + s\right) \left(\frac{1}{C_2} + \frac{2}{C_1}\right) + (C_2 + C_1) \left(\frac{4}{c} + \frac{2}{s}\right)$$

$$C_1 = \frac{g}{2} - k_1$$

$$C_2 = \frac{b_{fc} - g}{2}$$

$$s = \sqrt{\frac{C_1 C_2}{C_2 + 2C_1} (2b_{fc} - 4k_1)}$$
(7.21)

Daca grosimea stâlpului este mai mica decât cea determinate cu aceasta formula, se alege o grosime mai mare.

**Pas 8:** Se verifica grosimea tălpiilor stâlpului din condiția de a rezista compresiunii din talpa grinzii:

$$t_{fc} > \frac{M_f}{(d_b - t_{fb})(6k + 2t_{pl} + t_{bf})F_{yc}} \quad (7.22)$$

Daca grosimea tălpii este mai mica decât cea determinata cu relația anterioara, se dispun placi de continuitate.

**Pas 9:** Se verifica rezistenta la forfecare a panoului inimii stâlpului

**Pas 10:** Se detaliază îmbinarea in conformitate cu Figura 7.115: Modul de alcătuire a îmbinării cu placa de capăt si șuruburi.

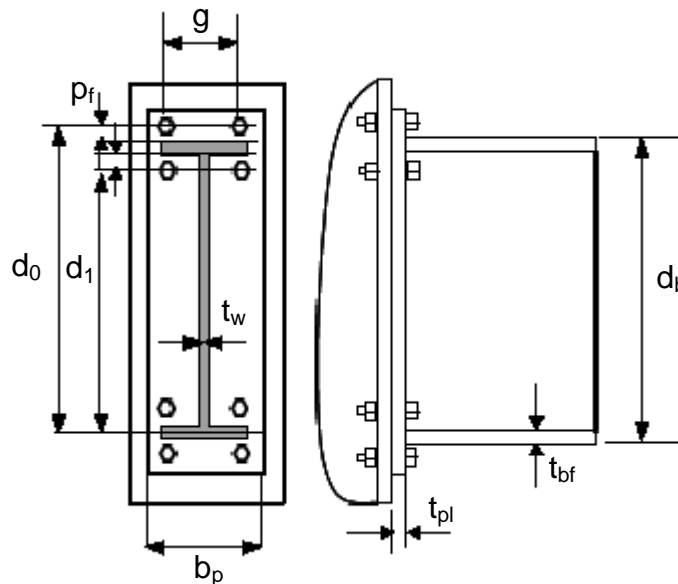


Figura 7.115: Modul de alcătuire a îmbinării cu placa de capăt și șuruburi

## 4.14. PROIECTARE DUPĂ CRITERII DE PERFORMANȚĂ

Un progres important în proiectarea bazată pe performanță a fost adus de FEMA273 și apoi FEMA350 și FEMA 356. În conformitate cu aceste recomandări, fiecare obiectiv de performanță constă în definirea unei stări limită de degradare, denumită nivel de performanță și a unei intensități seismice asociate, pentru care nivelul de performanță precizat trebuie atins. Acest lucru garantează că, în cazul în care mișcarea seismică astfel definită solicită structura, nivelul distrugerilor nu va fi mai mare decât cel prevăzut în nivelul de performanță respectiv. Pentru cutremure de intensitate redusă, deplasările laterale vor fi reduse iar structura de rezistență va fi în stadiul elastic. Deoarece structura este solicitată în domeniul elastic și nu se produc plasticizări în elemente și îmbinări, nu se produc avarii structurale. Pentru seisme de intensitate mare, deplasările laterale vor fi mari iar unele elemente structurale vor suferi plasticizări, astfel că se produc avarii ale elementelor structurale. În funcție de ductilitatea elementelor structurii, nivelul acceptabil de deplasare laterală în structură, corespunzător fiecărui nivel de performanță, prezintă variații foarte mari. Nivelele de performanță ale nodurilor sunt stări discrete de degradare selectate dintre toate stările posibile de degradare pe care un nod le poate suferi ca o consecință a răspunsului seismic. De exemplu, FEMA350 prevede 3 nivele de performanță și anume:

- Ocupare imediată (IO)
- Siguranța vieții (LS)
- Prevenirea colapsului (CP)

Pentru fiecare dintre aceste nivele de performanță, este dată și o descriere a stării de degradare a elementelor și îmbinărilor acestora (Tabelul 7.20). Pentru nivelul de performanță de Ocupare imediată (IO), de regula se considera că structura este în domeniul elastic de aceea nu sunt permise degradări.

FEMA356 a făcut un pas înainte și a oferit și criteriile de acceptare cantitative pentru fiecare nivel de performanță, în funcție de tipul de analiză structurală (Tabelul 7.21).

Tabelul 7.20 Caracterizarea nivelurilor de performanță structurală

Elemente	Nivele de performanță structurală	
	CP	IO
Nod grinda-stalp	Multe îmbinări fisurate la care capacitatea portantă este aproape epuizată	Mai puțin de 10% din îmbinări fisurate la oricare etaj. Plasticizări locale incipiente la alte îmbinări
Panoul inimii stalpului	Deformații extinse	Deformații minore
Îmbinare de continuitate stalp	Fără fisuri	Fără plasticizări
Placă de bază stalp	Plasticizări extinse la șuruburi de ancoraj și placa de bază	Fără avarii sau deformații vizibile

Tabelul 7.21 Criterii de acceptare pentru analiză neliniară – FEMA356

Tip nod	Rotire plastică, rad		
	IO	LS	CP
Noduri sudate	0.128- 0.0003 <i>d</i>	0.0284- 0.0009 <i>d</i>	0.0337- 0.0004 <i>d</i>
Nod sudat, gusee pe tălpi	0.0140- 0.0003 <i>d</i>	0.0319- 0.0006 <i>d</i>	0.0426- 0.0008 <i>d</i>
Secțiune redusă de grinda	0.0125- 0.0001 <i>d</i>	0.0380- 0.0002 <i>d</i>	0.0500- 0.0003 <i>d</i>
Nod cu șuruburi, cu componentă slabă în:	Placă de capăt	0.010	0.028
	Șuruburi	0.008	0.010
	Sudura	0.003	0.008

Notă:  
*d* – înălțimea grinzii

**CAPITOLUL VIII**  
**MODELAREA STRUCTURILOR ȚINÂND SEAMA DE**  
**COMPORTAREA ÎMBINĂRILOR**

**Timișoara, Seprembrie 2010**

## 4.8. INTRODUCERE

Analiza globală a structurilor în cadre metalice se realizează pe baza unor ipoteze, atât în ceea ce privește răspunsul structurii (teoria de ordinul I/ordinul II) cât și în ceea ce privește comportarea secțiunilor (elasică plastică respectiv a nodurilor (după rigiditate, capacitate de rezistență, capacitate de rotire).

În modul tradițional de proiectare, calculul unei structuri presupune două etape și anume:

- analiza structurii, urmată de
- verificarea structurii, care constă la rândul ei din evaluarea forțelor interne și a deplasărilor și compararea cu valorile admise pentru exploatarea în siguranță.

Acest mod de abordare a proiectării structurilor este valabil însă doar pentru nodurile continue sau cele simple, în conformitate cu clasificarea îmbinărilor în conformitate cu SR-EN 1993-1-8 (vezi paragraful 3.2 al prezentei lucrări). În cazul în care caracteristicile nodurilor nu se încadrează în domeniul nodurilor continue sau simple, atunci comportamentul nodurilor trebuie integrate în analiza structurală. Comportarea reală a nodurilor are efecte directe asupra distribuției forțelor și momentelor interne și asupra deformațiilor totale ale unei structuri.

Nivelul real de rigiditate al nodurilor poate avea o influență mare asupra răspunsului structurilor necontravântuite cu noduri deplasabile. De aceea, procedura clasică de analiză și dimensionare poate fi folosită atâta timp cât nodurile sunt complet rigide sau complet articulate. În cazul structurilor contravântuite cu noduri fixe, la care preluarea forțelor laterale se face în principal de către sistemul de contravântuiri, rigiditatea nodurilor nu este foarte importantă.

Norma europeană SR EN 1993-1-8 admite faptul că majoritatea nodurilor sunt semi-continue și de aceea recomandă integrarea în calcul a comportamentului real al nodurilor, prin introducerea nodurilor semi-rigide și/sau parțial rezistente. Figura 52 evidențiază diferențele din procesul de proiectare pentru concepția tradițională (Figura 52 a), în care dimensionarea îmbinărilor apare doar în faza finală, în comparație cu proiectarea bazată pe utilizarea comportării reale a nodurilor (Figura 52 b) în care verificarea la stările limită includ verificarea îmbinărilor.

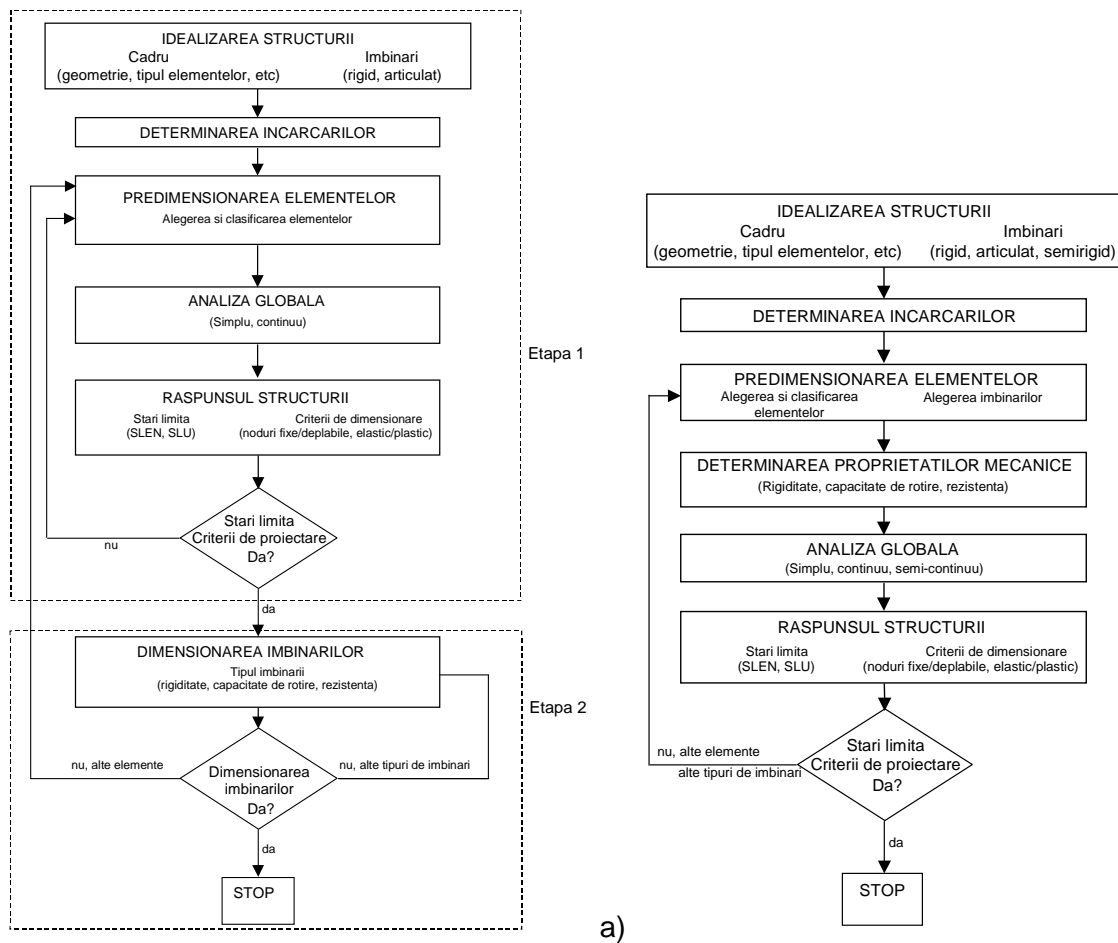


Figura 116: Etapele procesului de proiectare bazat pe concepția tradițională – a) respectiv pe utilizarea comportării reale a nodurilor – b)

În Figura 117 sunt prezentate ca exemplu trei tipuri de noduri grinda-stâlp cu șuruburi, la care proprietățile de rigiditate variază de la rigid (a) la articulat (c).

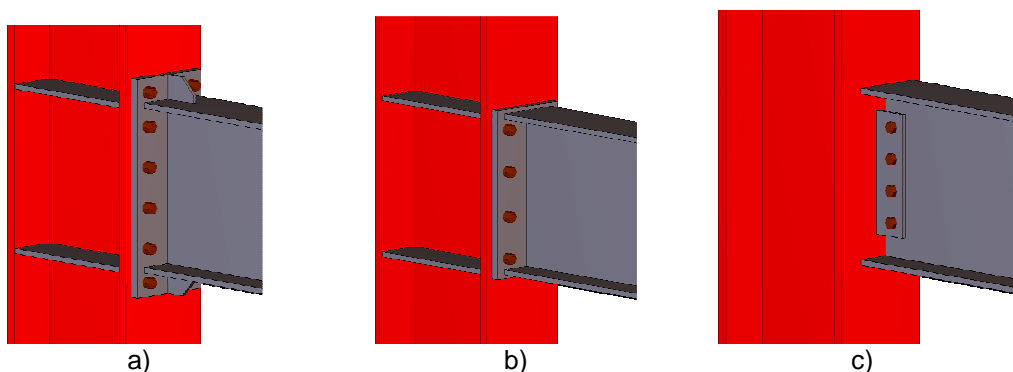


Figura 117: Exemple de noduri grinda-stâlp cu diferite nivele de rigiditate(\*): a) nod continuu; b) nod semi-continuu; c) nod simplu

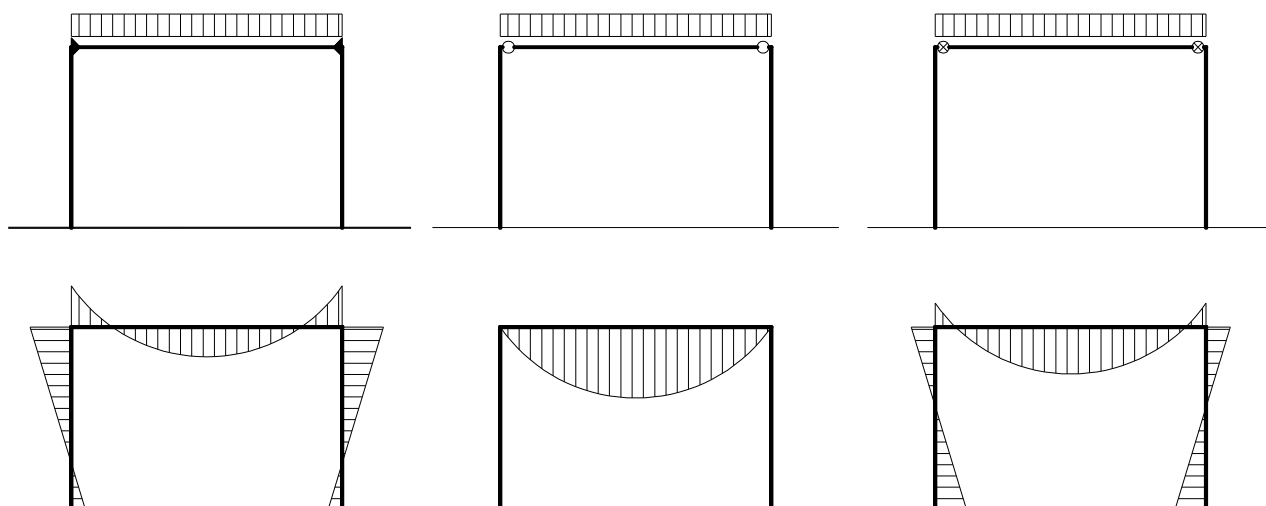
\* Notă: Nodurile din figură sunt cu titlu informativ. Clasificarea unui nod în funcție de rigiditate și rezistență se va face după determinarea exactă a acestor caracteristici.

Pentru răspunsul structural elastic, rigiditatea îmbinărilor joacă un rol principal în deformația structurii și în modul de distribuție al eforturilor interne:

- în cazul în care nodurile structurale sunt suficient de rigide (în mod ideal se consideră că sunt infinit rigide) atunci nodul este de tip *rigid* și ele nu introduc rotații relative între elementele îmbinate, iar nodul are o rotație de corp rigid. Exemplul din Figura 118 a) ilustrează modul de distribuție al eforturilor interne pentru un cadru simplu necontravântuit supus la o încărcare verticală uniform distribuită pe grindă;

- dacă nodurile unei structuri nu au nici o rigiditate la rotire (noduri *articulate*), atunci grinda se va comporta ca una simplu rezemată, independent de comportamentul celorlalte elemente din structură. Distribuția de momente în acest caz este dată de Figura 118 b);

- pentru cazurile intermediare, (cu rigiditate mai mare decât zero, dar finită), momentul transmis de grindă stâlpului reprezintă o fracțiune din cel transmis de nodurile rigide(vezi Figura 118 c). În aceste cazuri nodurile sunt de tip *semi-rigid* și va rezulta o rotire relativă diferită de zero între elementele îmbinate.



a) noduri rigide

b) noduri articulate

c) noduri semi-rigide

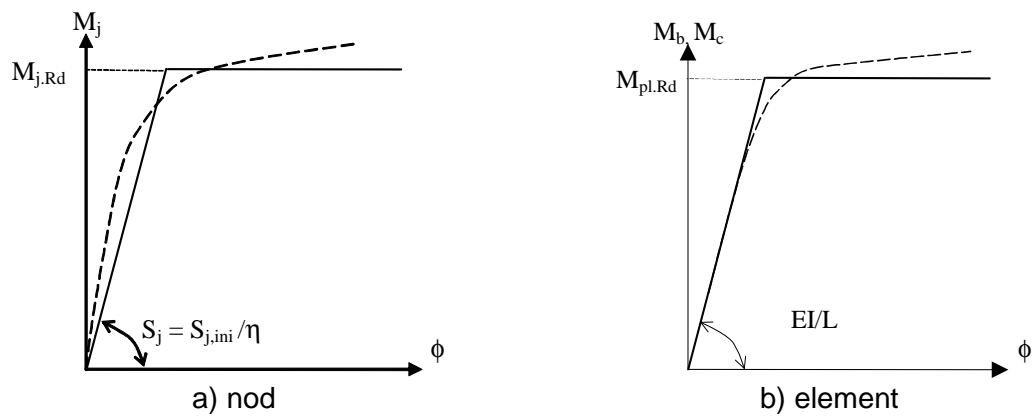
Figura 118: Distribuția elastică a momentelor încovoietoare în funcție de rigiditatea nodurilor

Introducerea în calcul a semi-rigidității poate fi făcută prin intermediul unui resort la rotire dispus la contactul dintre elemente. Rigiditatea la rotire  $S$  a resortului este parametrul care leagă momentul  $M_j$  transmis de îmbinare de rotirea relativă  $\Phi$  dintre elementele îmbinate. În concordanță cu prevederile SR-EN 1993-1-8, se acceptă ca nodurile să fie rigide chiar în condițiile în care rigiditatea nu e infinită dar are valori relativ mari, respectiv să fie considerate articulate dacă aceasta este relativ mică.

Pentru modelarea structurilor pentru alte analize decât cele elastice, nodurile trebuie caracterizate și în funcție de rezistența capabilă la momente încovoietoare.

## 4.9. MODELAREA NODURILOR PENTRU ANALIZA STRUCTURALĂ

Comportarea neliniară a nodurilor, reprezentate prin resorturi având o anumită rigiditate la rotire, este destul de dificil de utilizat în practica curentă de proiectare. De aceea, curba caracteristică reală moment-rotire a nodului poate fi modelată, fără o scădere semnificativă a preciziei, printr-o curbă caracteristică elastic-perfect plastică (Figura 119 a). Rigiditatea nodului în modelarea biliniară  $S_j$  se obține prin împărțirea rigidității inițiale  $S_{j,ini}$  la coeficientul  $\eta$ , denumit și coeficient de modificare a rigidității. Valorile coeficientului  $\eta$  sunt date în Tabelul 22. Această reprezentare are avantajul de a fi similară cu curba caracteristică de modelare a comportării elementelor la încovoiere (Figura 119 b).



Caracteristica  $M-\phi$  reală -----  
 Reprezentare idealizată —————

Figura 119: Curbele bilinare moment-rotire

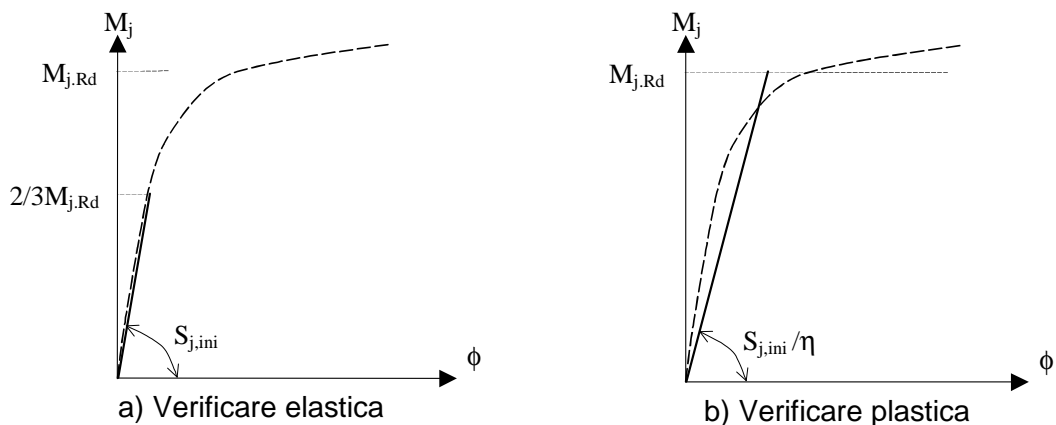
Tabelul 22 Rezultatele grupării componentelor în serie și paralel.

Tipul îmbinării	Noduri riglă-stâlp	Alte tipuri de noduri (grindă-grindă, bazele stâlpilor)
Sudate	2	3
Cu șuruburi și placă de capăt	2	3
Cu corniere prinse cu șuruburi	2	3,5
Plăci de bază	-	3

Efectele de ecrusare a materialului sau alte efecte sunt neglijate. Acest lucru explică diferențele dintre comportarea idealizată a nodului și comportarea reală. În funcție de tipul de analiză (vezi paragraful 3.2), se pot alege diferite moduri de idealizare a caracteristicii  $M - \phi$ .

**Modelarea elastică pentru o analiză elastică.** Caracteristica principală a nodului este rigiditatea la rotire. În acest tip de analiză, avem două posibilități de verificare:

- verificarea elastică a rezistenței nodului (Figura 120 a): rigiditatea constantă este egală cu rigiditatea inițială  $S_{j,ini}$ . La sfârșitul analizei, trebuie să se verifice dacă momentul de calcul  $M_{Ed}$  din nod este mai mic decât momentul rezistent elastic al îmbinării având valoarea  $2/3M_{j,Rd}$ ;
- verificarea plastică a rezistenței nodului (Figura 120 b): rigiditatea constantă este egală cu o rigiditate având valoarea cuprinsă între rigiditatea inițială și cea secantă relativă la  $M_{j,Rd}$ . Această rigiditate este definită ca  $S_{j,ini}/\eta$ . Modelarea este valabilă pentru valori ale momentului  $M_{Ed}$  mai mici sau egale cu  $M_{j,Rd}$ .



Caracteristica  $M-\phi$  reală -----  
 Reprezentare idealizată —————

Figura 120: Modelarea rigid-plastică a curbei  $M-\phi$

**Modelarea rigid-plastică** pentru o analiză rigid-plastică. În analiză este necesară doar rezistența de calcul  $M_{j,Rd}$ . Pentru a permite formarea și dezvoltarea articulațiilor plastice în îmbinări, este necesară verificarea capacității de rotire a îmbinărilor (Figura 121).

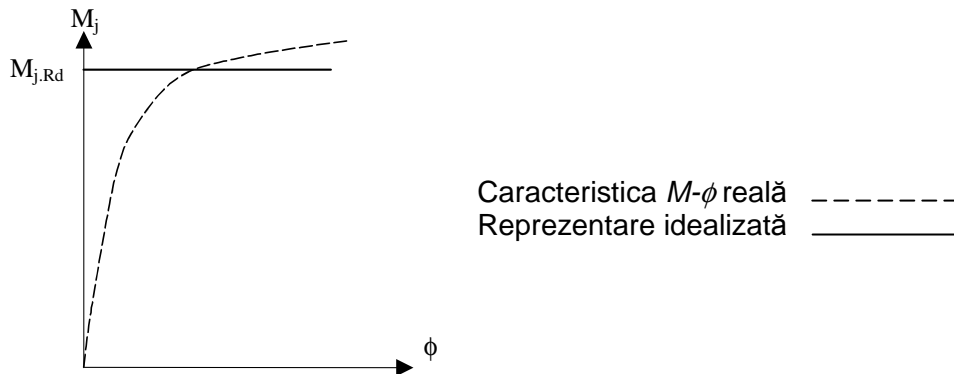


Figura 121: Modelarea rigid-plastică a curbei  $M-\phi$

**Modelarea neliniară** pentru o analiză plastică de ordinul II. În calcul sunt necesare atât rezistența cât și rigiditatea. Se pot folosi curbe biliniare, triliniare, până la curbe complet neliniare. Pentru a permite formarea și dezvoltarea articulațiilor plastice în noduri, este necesară și în acest caz verificarea capacității de rotire a nodului (Figura 122).

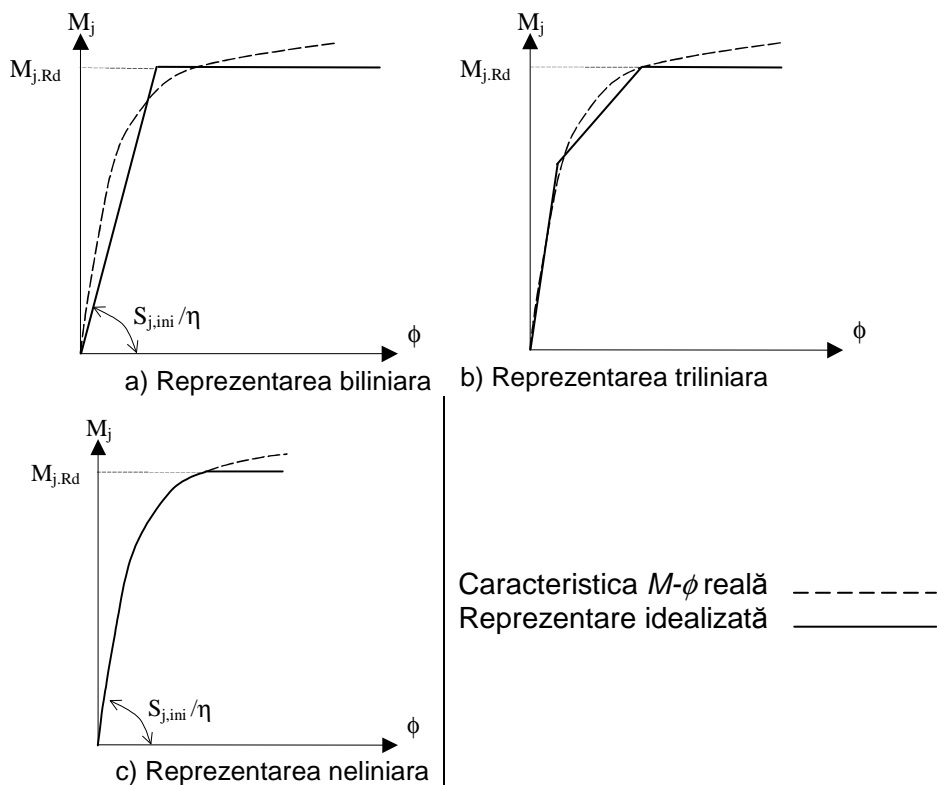


Figura 122: Modelarea neliniară a curbei  $M-\phi$

**Modelul histeretic** de comportament al îmbinărilor este util în cazul în care nodurile și elementele sunt analizate prin analize dinamice (de exemplu încărcări de tip seismic cu accelerograme sau încărcări dinamice din vânt). De obicei în acest caz încărcările extreme produc plastificări ale elementelor sau nodurilor în ambele sensuri. De aceea, pe lângă modelarea neliniară a curbei înfășurătoare  $M-\phi$  a nodurilor este nevoie de definirea unor parametri care să definească comportamentul ciclic al nodurilor:

- parametri privitori la capacitatea de rotire a nodului și la panta descendentă a curbei;
- parametri care definesc efectul de pierdere a rigidității la descărcarea pe cicluri.

Un model histeretic nelinier de modelare a comportamentului nodurilor este ilustrat în Figura 123. Modelul are în acest caz trei pante ascendente, o pantă descendentă și trei parametri care definesc forma ciclurilor. În momentul de față unele programe de calcul cu element finit permit modelarea elasto-plastică cu histereză a curbelor  $M-\phi$  pentru noduri, pe modelul Richard-Abbott (Richard and Abbott, 1975).

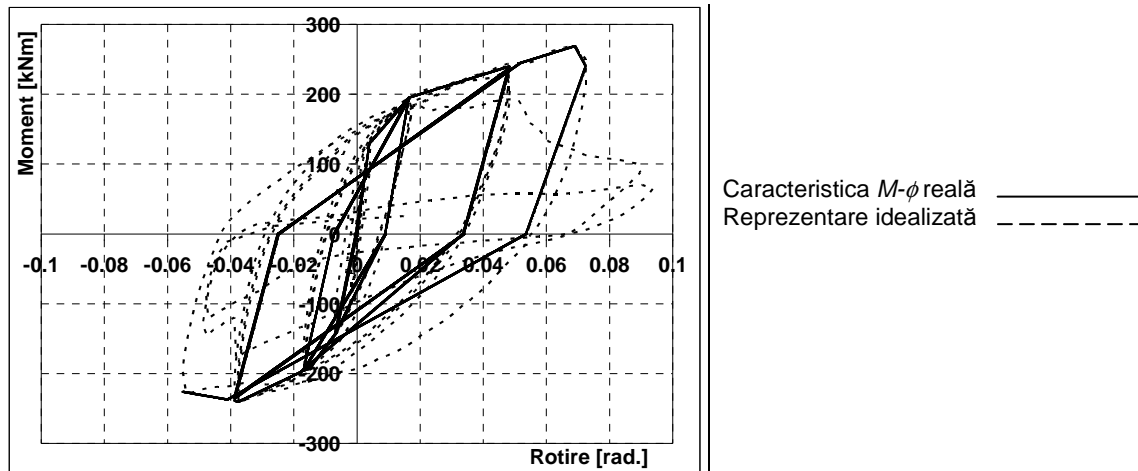


Figura 123: Modelarea histeretică a curbei  $M-\phi$  (Ciutina, 2003).



## Bibliografie

ANSI/AISC 341-05, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 2005

CIDECT Report: 5BP-4/05, Development of a full consistent design approach for bolted and welded joints in building frames and trusses between steel members made of hollow and/or open sections, Application of the component method, Volume 1: Practical guidelines, 2005

CIDECT, Design of Tubular Steel Structures, Lecture 12: Generalities on joint design, 2009

CIDECT, Design of Tubular Steel Structures, Lecture 13: Welded connections, 2009

CIDECT, Design of Tubular Steel Structures, Lecture 14: Bolted connections, 2009

Ciutina A., 2003, Assemblages et comportement seismique de portiques en acier et mixtes acier+beton: experimentation et simulation numerique, Institut National Des Sciences Appliques de Rennes, 2003

Ciutina A., 2007, Comportarea structurilor în cadre compuse din oțel-beton și a îmbinărilor acestora, Imprimeria Orizonturi Universitare, 2007

COST C1 Project: Composite steel-concrete joints in frames for buildings: Design provisions, European Commission, 1999

ECCS No. 126, TC10: Structural Connections, European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures, Eurocode 3, Part 1-8, 2009

EN 1998-1: 2003, Eurocode 8 : Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

FEMA-350:2000, Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings, 2000

Girao Coelho A. M., 2004, Characterization Of The Ductility Of Bolted End Plate Beam-to-Column Steel Connections, Universidade de Coimbra, 2004

Grecea D. M., 2001, Calculul static și dinamic al structurilor în cadre multietajate necontravântuite, Editura Orizonturi Universitare, 2001

Leonardo Project: CESTRUCO, Questions and Answers to design of Structural Connections according to Eurocode 3, 2003

Maquoi R., Chabrolin B., 1998, Frame design including joint behaviour, European Commission, 1998

P100-1:2006, Cod de proiectare seismică. Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri, 2006

Richard, R., Abbott, B., 1975. Versatile elastic-plastic stress-strain formula. ASCE J. Eng. Mech. Div., Technical Note 101, 511-515.

SR EN 1992-1-8:2006, Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor

SR EN 1993-1-8:2006, Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor

SR-EN 1992, Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton.

Stratan A., 2007, Dinamica structurilor și inginerie seismică, Editura Orizonturi Universitare, 2007