

ECCS  
CECM  
EKS



Funded by  
the European Union

# RECOMANDĂRI PENTRU REUTILIZAREA PRODUSELOR DIN OȚEL

— Volumul 1: Reutilizarea produselor și clădirilor existente din oțel —

Comitetul Tehnic 14  
Sustenabilitatea și eco-eficiența construcțiilor din oțel,  
în cadrul proiectului european RFCS ADVANCE

ADV1-RO | 2025



Comitetul Tehnic 14 al ECCS  
Sustenabilitatea și eco-eficiența construcțiilor din oțel

# Recomandări pentru reutilizarea produselor din oțel

## Volumul 1: Reutilizarea produselor și clădirilor existente din oțel

Ediția a 2-a, 2025

ECCS  
CECM  
E K S



## Recomandări pentru reutilizarea produselor din oțel

### Volumul 1: Reutilizarea produselor și clădirilor existente din oțel

Nr. 146, ADV1-RO, Ediția a 2-a, 2025

#### Publicat de:

ECCS – Convenția Europeană pentru Construcții Metalice

publications@steelconstruct.com

www.steelconstruct.com

Toate drepturile rezervate. Nicio parte a acestei publicații nu poate fi reprodusă, stocată într-un sistem de regăsire sau transmisă sub nicio formă și prin niciun mijloc, electronic, mecanic, fotocopiere, înregistrare sau altfel, fără permisiunea prealabilă a titularului drepturilor de autor.

ECCS nu își asumă nicio responsabilitate în ceea ce privește utilizarea materialului și informațiilor conținute în această publicație pentru orice aplicație.

**Copyright © 2025 ECCS** – European Convention for Constructional Steelwork (Convenția Europeană pentru Construcții Metalice)

ISBN: 978-92-9147-214-7

Deși au fost luate toate măsurile pentru a asigura integritatea și calitatea acestei publicații și a informațiilor conținute în ea, partenerii proiectului și editorul nu își asumă nicio răspundere pentru eventuale daune materiale sau personale rezultate din utilizarea acestei publicații și a informațiilor conținute în ea.

Reproducerea în scop necomercial este autorizată cu condiția menționării sursei și notificării coordonatorului de proiect. Distribuirea publică a acestei publicații prin alte surse decât site-urile web menționate mai jos necesită permisiunea prealabilă a partenerilor proiectului.



Această lucrare a fost finanțată de Uniunea Europeană în baza grantului nr. 101112269. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin însă exclusiv autorului (autorilor) și nu reflectă neapărat poziția Uniunii Europene. Uniunea Europeană nu poate fi considerată responsabilă pentru acestea.



Funded by  
the European Union



<https://www.steelconstruct.com/eu-projects/advance/>

## **PREFAȚĂ**

Utilizarea într-un proiect a elementelor structurale din oțel recuperat reprezintă o strategie eficientă pentru reducerea impactului unei clădiri asupra mediului, prin eliminarea necesității de a recicla oțelul în produse noi prin topirea materialului. Proiectul de cercetare *PROGRESS (Măsuri pentru o reutilizare mai extinsă a structurilor din oțel)* s-a concentrat pe clădirile din oțel cu un singur nivel și a identificat diverse scenarii de reutilizare. De asemenea, a demonstrat cum măsurile de proiectare bine gândite pot facilita reutilizarea structurii sau a componentelor sale principale. Scopul recomandărilor a fost de a extinde aria de aplicare, în cadrul proiectului de cercetare *ADVANCE (Măsuri însoțitoare pentru diseminarea, valorificarea și exploatarea colaborativă a circularității produselor din oțel pentru construcții)*, de la clădiri cu un singur nivel, la clădiri cu mai multe niveluri, conținutul suplimentar fiind inclus în această a doua ediție a *Recomandărilor pentru reutilizarea produselor din oțel*.

Aceste recomandări abordează aspectele esențiale pe care proiectanții trebuie să le ia în considerare pentru a facilita o reutilizare cât mai mare a structurilor din oțel și prezintă exemple de succes în acest sens. Ele conturează cerințele pentru reutilizarea funcțională, dar nu tratează în detaliu fezabilitatea economică sau beneficiile de mediu ale reutilizării.

Domeniul de aplicare al reutilizării structurilor din oțel este limitat la următoarele:

- Elementele ce urmează a fi reutilizate nu trebuie să fie deteriorate, incluzând deformații plastice sau secțiuni transversale reduse (ex: găuri, deschideri, fisuri sau coroziune excesivă);
- Toate elementele ce urmează a fi reutilizate trebuie să provină dintr-o structură construită după anul 1970, perioadă în care proiectarea pe baza stărilor limită a devenit practică curentă;
- Toate elementele principale recuperate sunt secțiuni laminate din oțel. Elementele sudate sau alcătuite din mai multe componente nu sunt incluse în sfera prezentului document;
- Pentru a fi reutilizate, elementele trebuie recuperate într-o formă cât mai apropiată de cea originală, chiar dacă pot necesita lucrări suplimentare de prelucrare și pregătire.

Recomandările sunt împărțite în trei volume:

Volumul 1: Reutilizarea produselor și clădirilor existente din oțel,

Volumul 2: Recomandări pentru proiectarea clădirilor în vederea facilitării deconstrucției și reutilizării viitoare,

Volumul 3: Aspecte de mediu și implementare practică.

**Volumul 1** abordează probleme tehnice generale legate de utilizarea structurală a oțelului recuperat din structuri existente din oțel și structuri compozite oțel-beton. Volumul prezintă o descriere succintă a tipologiilor de clădiri cu unul sau mai multe niveluri, clasificarea diferitelor scenarii de reutilizare, o revizuire istorică a codurilor europene de proiectare și a standardelor de produs, selecția și acceptarea materialelor și clasificarea acestora pentru proiecte „noi”, în conformitate cu Eurocodurile. Sunt abordate, de asemenea, aspecte privind proiectarea structurală pe baza principiilor stărilor limită. Protocolul pentru evaluarea stării, eșantionarea și testarea oțelului recuperat este prezentat în Anexa A. Derivarea coeficientului parțial de siguranță modificat pentru rezistența la flambaj a elementelor din oțel reutilizat este prezentată în Anexa B.

**Volumul 2** tratează proiectarea clădirilor noi având în vedere funcționalitatea, ușurința de fabricare, posibilitatea de demontare și reutilizarea viitoare, precum și aspectele estetice. Sunt definite principiile generale pentru proiectarea structurilor astfel încât acestea să poată fi dezasamblate și reutilizate. De asemenea, sunt stabilite acțiunile și combinațiile de încărcări ce urmează a fi utilizate în calculele de proiectare și se propun îmbunătățiri generale în detaliile de execuție care facilitează reutilizarea ulterioară.

**Volumul 3** prezintă evaluarea beneficiilor de mediu ale reutilizării elementelor structurale din oțel recuperat și oferă informații privind aspectele practice ale fabricării și montajului structurilor din oțel reutilizat. Mai multe studii de caz sunt prezentate în ultima secțiune a acestui volum, ilustrând utilizarea structurilor din oțel recuperat în diverse țări din UE și unele dintre problemele tehnice depășite în acest proces.

Membrii consorțiilor proiectelor PROGRESS și ADVANCE care au contribuit la întocmirea ghidului sunt (în ordinea partenerilor din proiect):

Petr Hradil	Finlanda	Véronique Dehan	Belgia
Ludovic Fülöp	Finlanda	Francis Grogna	Belgia
Sirje Vares	Finlanda	Carlos del Castillo	Belgia
Margareta Wahlström	Finlanda	Helena Gervásio	Portugalia
Tiina Vainio-Kaila	Finlanda	Luis da Silva	Portugalia
Michael Sansom	Marea Britanie	Ari Ilomäki	Finlanda
Ana M. Girão Coelho	Marea Britanie	Teemu Tiainen	Finlanda
Ricardo Pimentel	Marea Britanie	Timo Koivisto	Finlanda
Mark Lawson	Marea Britanie	Jyrki Kesti	Finlanda
Viorel Ungureanu	România	Břetislav Židlický	Republica Cehă
Raluca Buzatu	România	František Wald	Republica Cehă
Ioan Both	România	André Beyer	Franța
Dan Dubina	România	Amor Ben Larbi	Franța
Markus Kuhnhenne	Germania	Peetu Hirvonen	Finlanda
Dominik Pyschny	Germania	Maria Carrubba	Germania
Kevin Janczyk	Germania	Jie Yang	Luxembourg
Paul Kamrath	Germania	José Humberto Matias de Paula Filho	Luxembourg

## CUPRINS

1	INTRODUCERE	12
1.1	Domeniul de aplicare al acestei publicații	13
1.2	Standarde de proiectare, execuție și de produs	14
1.3	Termeni și definiții	16
2	COMPONENTE ALE CLĂDIRILOR CU UNUL SAU MAI MULTE NIVELURI	20
2.1	Clădiri din oțel cu un singur nivel (SSB)	20
2.1.1	Structură principală din oțel: cadre structurale și sistem de contravântuire	21
2.1.2	Structuri pentru acoperiș	22
2.1.3	Sisteme de contravântuire	23
2.1.4	Structura secundară din oțel	23
2.1.5	Sisteme de închidere	24
2.1.6	Ghiduri de proiectare pentru clădiri din oțel cu un singur nivel (SSB): documente suplimentare	25
2.2	Clădiri din oțel cu mai multe niveluri (MSB)	26
2.2.1	Cadre structurale	27
2.2.2	Contravântuiri pentru clădiri multietajate	28
2.2.3	Planșee în clădirile cu mai multe niveluri	29
2.2.4	Sisteme de închidere	30
2.2.5	Ghiduri de proiectare pentru clădiri din oțel multietajate (MBS): documente suplimentare	31
3	CLASIFICAREA REUTILIZĂRII OȚELULUI	33
3.1	Etapile ciclului de viață al componentelor din oțel utilizate în construcții	33
3.2	Scenarii de reutilizare	34
4	REVIZUIREA DE-A LUNGUL TIMPULUI A CODURILOR DE PRACTICĂ ȘI A STANDARDELOR DE PRODUS	36
4.1	Oțeluri structurale laminate la cald	36
4.1.1	Standarde de produs	36
4.1.2	Coduri de practică și standarde pentru proiectare	38
4.2	Oțeluri structurale formate la rece	38
5	EVALUAREA REUTILIZABILITĂȚII STRUCTURALE	40
5.1	Parametri care influențează reutilizabilitatea	40
5.2	Abordare generală	41
5.3	Procedura de proiectare	44
5.4	Oțel structural pentru reutilizare	45
5.4.1	Clasificarea elementelor structurale din oțel recuperat	46
5.4.2	Cerințe de performanță ale materialului	47

5.4.3	Cerințe privind asigurarea calității	48
5.4.4	Proprietățile oțelului necesare a fi declarate pentru elementele recuperate din oțel laminat la cald	48
5.4.5	Evaluarea proprietăților materialului	51
5.4.6	Evaluarea execuției și certificarea structurii metalice recuperate	53
5.5	Produse constituate	53
5.5.1	Proprietăți relevante	53
5.5.2	Fiabilitatea	57
5.6	Componente structurale sau întreaga structură principală	59
5.6.1	Clase de execuție	62
5.7	Elemente structurale din oțel formate la rece	65
5.7.1	Clasificarea elementelor structurale din oțel formate la rece recuperate pentru reutilizare	66
5.7.2	Criterii de selecție și acceptare	67
5.7.3	Cerințe privind performanța materialului	68
5.7.4	Evaluarea conformității și fiabilității	68
5.7.5	Proprietăți ale produsului care trebuie declarate pentru elemente formate la rece recuperate	69
5.7.6	Durabilitate	70
5.8	Planșee compozite	70
5.9	Elemente de închidere (învelitori pentru fațadă/acoperiș)	70
5.9.1	Criterii de selecție și acceptare	71
5.9.2	Rezistența la tracțiune și densitatea	72
5.9.3	Rezistența la forfecare	72
5.9.4	Rezistența la compresiune	72
5.9.5	Momentul încovoietor / rezistența la încrețire (wrinkling)	72
5.9.6	Factori de siguranță ai materialului	73
5.9.7	Proprietăți de durabilitate	73
5.9.8	Toleranțe	73
5.9.9	Comportament termic	73
5.9.10	Siguranța la foc	73
5.9.11	Certificare pentru reutilizare	73
6	ANALIZA STRUCTURALĂ ȘI PROIECTAREA STRUCTURILOR CE UTILIZEAZĂ ELEMENTE DIN OȚEL RECUPERAT	75
6.1	Asigurarea fiabilității	75
6.1.1	Coeficienți parțiali pentru acțiuni	77
6.1.2	Scenarii fezabile pentru adoptarea unei durate de viață de proiectare mai reduse	78
6.1.3	Coeficienți parțiali pentru rezistență	79
6.2	Analiza structurală (statică)	80
6.3	Stări limită ultime	81

6.3.1	Proiectarea elementelor: rezistența secțiunilor transversale	81
6.3.2	Proiectarea elementelor: stabilitate	81
6.3.3	Proiectarea îmbinărilor	81
6.3.4	Proiectarea structurii principale	82
6.3.5	Proiectarea elementelor structurale secundare	83
6.4	Considerații pentru proiectarea seismică	83
6.5	Stări limită de serviciu	84
6.5.1	Deformări și deplasări	84
	<b>BIBLIOGRAFIE</b>	<b>86</b>
	<b>Anexa A</b>	<b>94</b>
A.1	Generalități	94
A.2	Evaluarea stării tehnice și măsurători	94
A.3	Definirea grupului de elemente ce urmează a fi încercate – unitate de încercare	97
A.4	Tehnici de încercare pentru proprietățile mecanice și chimice	98
A.5	Procedurile de încercare	100
A.6	Implementarea încercării complete pentru rezistență și alungire	100
A.7	Tenacitatea la impact	104
A.8	Compoziția chimică	105
A.9	Toleranțe geometrice	105
A.10	Ghid suplimentar pentru produse din oțel formate la rece	106
A.11	Evaluarea oțelului recuperat conform Protocolului D	106
	<b>Anexa B</b>	<b>108</b>
B.1	Fundamente pentru coeficienții parțiali de material în EN 1990	108
B.2	Derivarea lui $\gamma_{M1,mod}$ pentru proiectarea cu oțel recuperat	108

## NOTAȚII

### Litere mici

$f_u$	Rezistența la tracțiune
$f_y$	Limita de curgere
$f_y(t)$	Limita de curgere funcție de grosimea tablei
$k_n$	Valoare luată din Tabelul D1 a EN1990
$m$	Valoare medie de grup
$n$	Exponent
$w$	Deformație

### Litere mari

$E$	Modulul de elasticitate
$F$	Acțiune
$G$	Modulul de forfecare, Acțiune permanentă
$G_{k,j,sup}$	Valoarea caracteristică superioară a acțiunii permanente $j$
$G_{k,j,inf}$	Valoarea caracteristică inferioară a acțiunii permanente $j$ ;
$H_v$	Valoarea durtății Vickers
$K_{\gamma M1}$	Coeficientul de corecție
$P_f$	Probabilitatea de cedare
$Q$	Acțiune variabilă
$Q_{k,1}$	Acțiune variabilă predominantă
$Q_{k,j}$	Acțiune variabilă ce acționează combinat cu acțiunea predominantă $i$
$R_{eH}$	Rezistența la curgere în urma încercărilor experimentale sau a unui standard de produs
$R_m$	Rezistența la tracțiune în urma încercărilor experimentale sau a unui standard de produs
$R_{p0,2}$	Limita de curgere convențională (decalată cu 0.2%)
$S_x$	Deviația standard
$V_x$	Coeficient de variație
$X$	Proprietatea materialului sau a produsului
$\bar{X}$	Valoarea medie a unei proprietăți a materialului sau produsului

$X_d$	Valoarea de proiectare a unei proprietăți de bază
$X_k$	Valoarea caracteristică a unei variabile de bază

### **Litere și simboluri grecești**

$\alpha$	Coeficientul de dilatare termică liniară
$\alpha_R$	Factorul de importanță al unei proprietăți de material
$\beta$	Indicele de fiabilitate
$\gamma_G$	Coeficient parțial pentru acțiuni (generic)
$\gamma_m$	Coeficient parțial pentru o caracteristică a materialului
$\gamma_M$	Coeficient parțial (generic)
$\gamma_{M0}$	Coeficient parțial pentru rezistența secțiunilor transversale
$\gamma_{M1}$	Coeficient parțial pentru rezistența barelor la pierderea stabilității evaluată prin verificări la nivel de bară
$\gamma_{M1,mod}$	Coeficient parțial modificat pentru rezistența barelor la pierderea stabilității evaluată prin verificări la nivel de bară
$\gamma_{M2}$	Coeficient parțial pentru rezistența la rupere a secțiunilor transversale din întindere
$\gamma_{Rd}$	Coeficient parțial ce evaluează incertitudinea modelului de calcul al rezistenței
$\varepsilon_t$	Alungirea specifică
$\nu$	Coeficientul lui Poisson
$\rho$	Densitatea aerului
$\xi$	Coeficient de reducere pentru acțiuni permanente defavorabile
$\psi$	Factor pentru valoarea de grupare
$\psi_0$	Factor pentru valoarea de grupare a unei acțiuni variabile
$\psi_{0,i}$	Factorul pentru valoarea de grupare a unei acțiuni variabile $i$
$\Phi$	Distribuție normală

### **Indice inferior**

ad	Ajustat
d	Valoarea de proiectare
inf	Inferior
k	Valoarea caracteristică
mod	Modificat

nom	Nominal
sup	Superior

### **Abrevieri**

CEN	Comitetul European de Standardizare
CEV	Valoare echivalentă în carbon
CFC	Clorofluorocarbura
CHS	Secțiuni tubulare circulare
CoV	Coeficient de variație
CPR	Regulamentul privind produsele de construcții
D <sub>0-A</sub>	Scenariu de reutilizare in-situ
D <sub>I-B</sub>	Scenariu de reutilizare: aceeași configurație și același site
D <sub>I-C</sub>	Scenariu de reutilizare: configurație diferită și același site
D <sub>I-D</sub>	Scenariu de reutilizare: aceeași configurație și site diferit
D <sub>I-E</sub>	Scenariu de reutilizare: configurație diferită și site diferit
DCL	Sisteme cu clasă de ductilitate scăzută pentru proiectare seismică conform EN 1998-1-2
DoP	Declarația de Performanță
DT	Încercare distructivă
EN	Normă Europeană
ETA	Evaluate Tehnică Europeană
EU	Uniunea Europeană
EXC	Clasa / Clasele de Execuție
FEM	Metoda elementului finit
H-CFC	Hidroclorofluorocarbura
hEN	Standard European armonizat
LCA	Evaluarea ciclului de viață
LCC	Evaluarea costurilor pe ciclul de viață
LSD	Metoda de proiectare la stările limită
MSB	Clădire multietajată din oțel
NA	Anexa Națională
NAD	Documentul Național de Aplicare
NDT	Încercare nedistructivă

<i>P-Δ</i>	Efecte globale de ordinul doi
<i>P-δ</i>	Efecte locale de ordinul doi
PU	Poliuretan
RHS	Secțiuni tubulare dreptunghiulare
SHS	Secțiuni tubulare pătrate
SLS	Starea limită de serviciu
SSB	Clădire parter din oțel
STR	Valorile de proiectare ale acțiunilor pentru rezistență
ULS	Starea limită ultimă
Z	Acoperire cu zinc prin imersarea benzii pregătite într-o baie de zinc topit
ZF	Acoperire zinc-fier prin imersarea benzii preparate într-o baie de zinc topit și o recoacere ulterioară
ZA	Acoperire zinc-aluminiu prin imersarea benzii pregătite într-o baie topită de zinc-aluminiu
ZM	Acoperire cu zinc-magneziu prin imersarea benzii pregătite într-o baie topită de zinc-aluminiu-magneziu
AZ	Acoperire cu aluminiu-zinc prin imersarea benzii pregătite într-o baie topită de aluminiu-zinc-silicon
AS	Acoperire cu aluminiu-silicon prin imersarea benzii pregătite într-o baie topită de aluminiu-silicon
<b>Axe</b>	
x	Axa în lungul barei
y	Axa de inerție maximă (paralelă cu tălpile)
z	Axa de inerție minimă (paralelă cu inima)

## 1 INTRODUCERE

Industria construcțiilor trebuie să dezvolte practici mai sustenabile care să conducă la o amprentă de carbon mai scăzută și să contribuie la economia circulară. Strategiile de circularitate 10R (Refuzare – Regândire – Reducere – Reutilizare – Reparare – Refacere – Refabricare – Reorientare – Reciclare – Recuperare) pot fi aplicate în ingineria structurală pentru a ajuta la dezvoltarea de noi abordări de proiectare și sisteme care reduc impactul asupra mediului și îmbunătățesc eficiența structurală generală a construcțiilor. În proiectarea, execuția și întreținerea structurilor metalice, cadrul 10R poate fi înțeles astfel:

- *Refuzarea* producerii elementelor structurale inutile. Dacă obiectivul poate fi atins cu infrastructura existentă, aceasta ar trebui preferată;
- *Regândirea* opțiunilor de la finalul ciclului de viață pentru o clădire din oțel. Demolarea nu este singura soluție;
- *Reducerea* emisiilor de CO<sub>2</sub> și a cererii de energie asociate producerii și/sau reciclării oțelului, reducea deșeurilor și a cantității de material prin dezvoltarea unor sisteme structurale mai eficiente;
- *Reutilizarea* produselor din oțel recuperat, acolo unde este posibil, pentru a înlocui oțelul nou;
- *Repararea* componentelor deteriorate. Proiectarea structurii noi astfel încât aceste componente să poată fi accesate, inspectate și reparate;
- *Refacerea* structurii existente, verificându-i integritatea, stabilitatea și funcționalitatea pentru a-i extinde durata de viață proiectată.
- *Refabricarea* componentelor învechite recuperate pentru a le aduce la specificațiile actuale, în loc să fie reciclate.
- *Reorientarea* prin utilizarea structurii metalice în alt scop dacă aceasta nu mai este necesară. Poate fi utilizată într-un mediu mai puțin solicitant sau într-o aplicație industrială diferită.
- *Reciclarea* componentelor din oțel care nu pot fi reparate, recondiționate, refabricate sau reorientate, pentru a minimiza epuizarea resurselor primare și impactul asupra mediului.
- *Recuperarea* a ceea ce rămâne și identificarea celei mai bune soluții circulare. Oțelul nu este singurul material prezent într-o clădire.

Acest ghid se concentrează pe reutilizarea structurilor metalice, dar abordează și conceptele de refacere, refabricare, reparare și reorientare, deoarece acestea se suprapun frecvent. Strategiile de „refuzare” și „regândire” nu sunt tratate în acest ghid, deoarece se referă mai degrabă la reutilizarea adaptivă și la partajarea spațiilor arhitecturale, decât la soluții tehnice pentru demontarea și/sau modificarea fizică a structurilor metalice existente.

Reducerea emisiilor de carbon asociate producției de materiale și diminuarea cantității de deșeurii sunt factori importanți în industria construcțiilor. În cadrul filosofiei circularității în construcții, Kibert [1] a prezentat câțiva pași esențiali pentru utilizarea și recuperarea materialelor într-un sistem închis și pentru reducerea deșeurilor la finalul ciclului de viață al unei clădiri. Aceasta înseamnă că o clădire ar trebui proiectată pentru a fi flexibilă în utilizare, iar la finalul vieții sale, materialele trebuie să fie reutilizabile sau reciclabile.

În contextul reutilizării structurilor din oțel, secțiunile noi sunt livrate cu un certificat care garantează proprietățile materialului. Secțiunile reutilizate necesită o garanție echivalentă a performanței, iar în lipsa altor informații, sunt necesare teste ale materialului pentru a permite reutilizarea.

Există provocări semnificative, în special în ceea ce privește evaluarea conformității și fiabilității oțelului recuperat, pentru a se asigura că:

- Elementele structurale recuperate respectă cerințele de performanță mecanică, fizică, dimensională și alte proprietăți relevante, pentru a fi conforme cu cerințele de proiectare EN 1993;
- Materialele recuperate respectă cerințele de calitate prevăzute de specificațiile normative, pentru a fi considerate fiabile în utilizare. Pentru oțelul structural, standardul relevant este EN 1993 și părțile sale;
- Structurile realizate din oțel recuperat trebuie să aibă o integritate structurală de durată și o durabilitate ridicată în utilizările ulterioare.

Acestea sunt aspecte esențiale care trebuie abordate pentru a demonstra că oțelul recuperat poate reprezenta o alternativă viabilă din punct de vedere economic și structural la utilizarea oțelului nou în construcții. Reutilizarea poate fi aplicată la toate nivelurile structurale – de la elemente individuale, componente precum ferme, cadre sau panouri tip sandwich, până la întreaga structură sau o parte din aceasta.

Scopul principal al acestei publicații este de a oferi recomandări și informații practice privind fabricarea și detalierea clădirilor realizate din oțel recuperat, precum și proiectarea acestora pentru o viitoare demontare și reutilizare.

Alte obiective ale ghidului sunt:

- Stabilirea criteriilor de acceptabilitate în ceea ce privește geometria, starea elementelor și proprietățile materialelor pentru a permite reutilizarea potențială a produselor din oțel, conform CEN / TS 1090-201 [2],
- Abordarea barierelor identificate în calea reutilizării structurilor metalice [3], în special aprovizionarea și achiziția de oțel recuperat, implicațiile de cost și recertificarea elementelor pentru reutilizare.

## 1.1 Domeniul de aplicare al acestei publicații

Aceste recomandări oferă îndrumări pentru îmbunătățirea procedurilor existente de proiectare utilizând produse din oțel recuperat și informații privind proiectarea pentru adaptabilitate viitoare, demontabilitate și reutilizare. Recomandările sunt prezentate ca linii directe în contextul proiectării conform Eurocodurilor. Pentru fiecare locație specifică, Anexele Naționale relevante pot impune parametri de proiectare specifici, care pot influența și reutilizarea structurilor metalice.

Publicul țintă principal al acestui ghid este format din ingineri structuriști și arhitecți, interesați de reutilizarea oțelului structural recuperat în prezent și de proiectarea unor clădiri noi care să poată fi demontate și reutilizate mai ușor în viitor. Pentru ca reutilizarea oțelului structural să devină o practică larg răspândită, este necesară implicarea tuturor actorilor din lanțul de aprovizionare al construcțiilor metalice, așadar acest ghid poate fi util și pentru un public

mai larg. Acoperă recomandări pentru clădiri din oțel cu un singur nivel (hale industriale), dar și pentru structuri metalice și compozite oțel-beton multietajate.

*Clădirile din oțel cu un singur nivel* sunt deosebit de potrivite pentru recuperarea și reutilizarea structurilor metalice deoarece:

- Dispun de un sistem structural repetitiv care respectă forme structurale bine definite;
- Pot fi asamblate și demontate cu ușurință;
- Elementele structurale sunt de obicei expuse vizual și accesibile la o înălțime relativ sigură de lucru;
- Sunt în general construcții cu grad redus de ocupare;
- De regulă, aceste structuri nu necesită protecție la foc;
- Prezintă un potențial ridicat de standardizare în ceea ce privește geometria și utilizarea componentelor principale;
- Fiecare componentă este ușor de documentat.

Recuperarea și reutilizarea elementelor structurale din oțel provenite *din clădiri cu structură din oțel multietajate* – majoritatea fiind structuri compozite oțel-beton – reprezintă o provocare dificilă, deoarece grinzile din oțel sunt conectate la planșeul de beton prin conectori de forfecare greu accesibili. Chen et al. [4] prezintă și analizează cinci metode potențiale de recuperare pentru a depăși dificultățile de acces și tăiere a acestor conectori sudați prin planșeu, în vederea reutilizării grinzilor structurale: tăiere cu fierăstrău cu bandă, tăiere cu fir, tăiere cu disc pe perete, găurire cu laser și carotare cu diamant. Cu toate acestea, aceste metode au fost implementate doar în teste de laborator pe eșantioane de mici dimensiuni. În practică, clădirile metalice cu mai multe etaje sunt de obicei reutilizate pe amplasamentul existent (ex: prin renovări majore), din cauza complexității structurale, a sistemelor compozite și a constrângerilor ingineresti specifice fiecărui context. Relocarea acestora presupune, de regulă, reproiectări ample, ceea ce reduce fezabilitatea practică. Pe de altă parte, sistemele de planșee uscate, când sunt integrate în clădiri cu mai multe niveluri, oferă un potențial crescut de demontare a componentelor individuale. Important este că aceste concepte au fost deja implementate în proiecte reale – de exemplu, cadrele prefabricate din beton demontabile și reutilizabile au fost aplicate cu succes în mai multe proiecte din Finlanda [5],[6]. Mai multe inovații pentru proiectarea unor sisteme reutilizabile și modulare pentru clădiri cu mai multe etaje sunt prezentate în volumul al doilea al acestui ghid.

## 1.2 Standarde de proiectare, execuție și de produs

Aceste recomandări sunt pregătite pentru a sprijini activitatea de inginerie structurală și fac referire la cerințe și principii din următoarele standarde:

- EN 1090-1:2009+A1:2012 [7] - Execuția structurilor din oțel și aluminiu, Partea 1: Cerințe pentru evaluarea conformității componentelor structurale (include modificarea CEN A1:2012),
- EN 1090-2:2018+A1:2024 [8] - Execuția structurilor din oțel și aluminiu, Partea 2: Cerințe tehnice pentru structuri din oțel (include modificarea CEN A1:2024),
- CEN/TS 1090-201:2024 [2] - Execuția structurilor metalice și structurilor din aluminiu - Reutilizarea oțelului structural,
- EN 1990:2023 [9] - Bazele proiectării structurilor,

- EN 1991-1-1:2002 [10] - Acțiuni asupra structurilor, Partea 1-1: Acțiuni generale – Densități, greutate proprie, încărcări utile pentru clădiri (include corrigenda CEN dec. 2004 și mar. 2009),
- EN 1991-1-3:2002+A1:2015 [11] - Acțiuni asupra structurilor, Partea 1-3: Acțiuni generale – Încărcări din zăpadă (include corrigenda CEN dec. 2004 și iun. 2009, și modificarea CEN A1:2015),
- EN 1991-1-4:2002+A1:2010 [12] - Acțiuni asupra structurilor, Partea 1-4: Acțiuni generale – Încărcări din vânt (include modificarea CEN A1:2010),
- EN 1991-1-5:2003 [13] - Acțiuni asupra structurilor, Partea 1-5: Acțiuni generale – Acțiuni termice,
- EN 1991-1-6:2005 [14] - Acțiuni asupra structurilor, Partea 1-6: Acțiuni generale – Acțiuni în timpul execuției,
- EN 1993-1-1:2022 [15] - Proiectarea structurilor de oțel, Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri,
- EN 1993-1-3:2024 [16] - Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-3: Reguli generale - Reguli suplimentare pentru elementele structurale și table formate la rece,
- EN 1993-1-8:2024 [17] - Proiectarea structurilor de oțel, Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor,
- EN 1993-1-10:2005 [18] Proiectarea structurilor de oțel, Partea 1-10: Alegerea claselor de calitate a oțelului (include eratele CEN din decembrie 2005, septembrie 2006 și martie 2009),
- EN 1994-1-1:2004 [19] Proiectarea structurilor compozite din oțel și beton – Reguli generale și reguli pentru clădiri.

Următoarele standarde de produs, care specifică cerințe geometrice și mecanice, au fost utilizate la elaborarea prezentului document și trebuie folosite împreună cu acesta:

- EN 10025-1:2004 [20] - Produse laminate la cald din oțeluri structurale, Partea 1: Condiții tehnice generale de livrare,
- EN 10025-2:2019 [21] - Produse laminate la cald din oțeluri de construcții. Partea 2: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții nealiate,
- EN 10025-4:2019 [22] - Produse laminate la cald din oțeluri de construcții. Partea 4: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții sudabile cu granulație fină obținute prin laminare termomecanică (include modificarea CEN A1:2022),
- EN 10025-5:2004 [23] - Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții. Partea 5: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziunea atmosferică,
- EN 10029:2010 [24] - Table de oțel laminate la cald, cu grosimi mai mari sau egale cu 3 mm. Toleranțe privind forma și dimensiunile,
- EN 10034:1993 [25] - Profile I și H de oțel pentru construcții. Toleranțe privind forma și dimensiunile,
- EN 10051:2024 [26] - Table, benzi late și benzi late fâșiate laminate continuu la cald, din oțeluri aliate și nealiate. Toleranțe privind forma și dimensiunile,
- EN 10055:1998 [27] - Profile T cu aripi egale laminate la cald, cu racorduri și colțuri rotunjite – Dimensiuni și abateri admise pentru formă și dimensiuni,

- EN 10056-1:2017 [28] - Corniere cu aripi egale și inegale din oțel pentru construcții. Partea 1: Dimensiuni,
- EN 10056-2:1993 [29] - Corniere cu aripi egale și inegale din oțel pentru construcții, Partea 2: Abateri admise pentru formă și dimensiuni,
- EN 10204:2004 [30] - Produse metalice – Tipuri de documente de inspecție,
- EN 10210-1:2006 [31] - Profile cave finisate la cald pentru construcții, din oțeluri de construcție nealiat și cu granulație fină. Partea 1: Condiții tehnice de livrare,
- EN 10210-2:2019 [32] - Profile cave finisate la cald pentru construcții, din oțeluri de construcție nealiat și cu granulație fină. Partea 2: Dimensiuni, toleranțe la dimensiuni și caracteristici ale profilului,
- EN 10219-1:2006 [33] - Profile cave deformate la rece pentru construcții, din oțeluri de construcție nealiat și cu granulație fină. Partea 1: Condiții tehnice de livrare,
- EN 10219-2:2019 [34] - Profile cave deformate la rece, sudate, din oțel pentru construcții. Partea 2: Toleranțe, dimensiuni și caracteristici ale profilului,
- EN 10279:2000 [35] - Profile U de oțel laminat la cald. Toleranțe la formă, dimensiuni și la masă,
- EN 10346:2015 [36] - Produse plate de oțel acoperite continuu prin imersie la cald pentru deformare la rece. Condiții tehnice de livrare,
- EN 10169:2022 [37] - Produse plate de oțel acoperite continuu cu materiale organice (acoperire în bandă continuă) – Condiții tehnice de livrare,
- EN 10365:2017 [38] - Profile în U din oțel laminat la cald, secțiuni I și H. Dimensiuni și mase,
- EN 14399 [39] - Ansambluri de șuruburi structurale de înaltă rezistență pentru preîncărcare (toate părțile),
- EN 14509:2013 [40] - Panouri sandwich autoportante, izolante, cu ambele fețe de tablă metalică. Produse fabricate industrial. Specificații.

### 1.3 Termeni și definiții

În contextul acestui ghid, au fost utilizați următorii termeni și definiții:

Panouri de închidere	Elemente de fațadă și acoperiș care formează anvelopa clădirii și asigură izolația termică și acustică necesară, etanșeitatea la apă și aer, protecția împotriva incendiilor, aspectul estetic și capacitatea portantă.
Componentă	Parte a unei structuri metalice, de exemplu o grindă cu zăbrele sau un panou tip sandwich. Poate fi un ansamblu din mai multe componente mai mici, cum ar fi îmbinări, etc.
Clase de consecințe	Clasificare a clădirilor bazată pe Eurocoduri, în funcție de consecințele pe care le poate avea o defecțiune sau o cedare asupra populației, economiei sau mediului. Fiecărei clase de consecințe îi corespunde un anumit indice de consecință.
Produs constituent	Materiale sau produse utilizate în fabricarea structurilor de construcții, ale căror proprietăți sunt luate în considerare

	<p>în calculele privind rezistența mecanică și stabilitatea construcției sau a părților sale și/sau rezistența la foc, inclusiv aspectele legate de durabilitate și funcționalitate.</p>
Oțel structural	<p>Termen generic care desemnează elementele din oțel utilizate în construcții (principale și secundare), inclusiv învelitoarea din oțel.</p>
Deconstrucție (sau dezasamblare, sau demontare)	<p>Procesul de dezmembrare a unei clădiri în componente astfel încât acestea să poată fi reutilizate cu ușurință; reduce aspectele distructive ale demolării prin conservarea componentelor și a materialelor.</p>
Demolare	<p>Proces în care o clădire este dezmembrată fără intenția de a recupera componentele pentru reutilizare; materialele rezultate pot fi, totuși, reciclate.</p>
Durata de viață proiectată	<p>Perioada estimată în care componenta este utilizată în scopul prevăzut, cu mentenanța corespunzătoare, dar fără reparații majore.</p>
Distribuitor	<p>Orice persoană fizică sau juridică din lanțul de aprovizionare, alta decât producătorul sau importatorul, care pune pe piață un produs pentru construcții.</p>
Anvelopa clădirii (sau învelitoarea)	<p>Componente sau părți ale clădirii care separă spațiul interior de mediul exterior și îndeplinesc funcții structurale și de fizica construcțiilor.</p>
Clasa de execuție	<p>Set de cerințe clasificate conform Eurocodurilor pentru execuția lucrărilor în ansamblu, a unei componente individuale sau a unui detaliu.</p>
Fațadă	<p>Vezi „panouri de închidere”.</p>
Planșeu	<p>Parte a structurii care asigură spațiul util al clădirii. Structural, transferă sarcinile către stâlpi și pereți și conferă stabilitate în planul orizontal al nivelurilor, contribuind la stabilitatea globală.</p>
Importator	<p>Persoană fizică sau juridică stabilită în UE care introduce pe piața UE un produs de construcție provenit dintr-o țară terță.</p>
Reutilizare in-situ	<p>Reutilizarea unei componente sau structuri, fără relocare, pe același amplasament. De exemplu, structura unei clădiri poate fi păstrată și reutilizată în timpul renovării.</p>
Producător	<p>Persoană fizică sau juridică ce produce un produs de construcție sau îl face disponibil pe piață sub numele sau marca proprie.</p>
Organism notificat	<p>Organism independent (non-guvernamental), recunoscut de UE/SEE, autorizat să realizeze evaluări ale</p>

	conformității pentru produse care îndeplinesc cerințele unui standard armonizat (hEN) sau ale unei Evaluări Tehnice Europene (ETA).
Audit pre-demolare	Evaluare calitativă și cantitativă a fluxurilor de deșeuri provenite din construcții și demolări, realizată înaintea demolării, deconstrucției sau renovării.
Structură principală	Cadru structural din oțel care cuprinde toate elementele portante principale, cum ar fi stâlpii, grinzile și contravântuirile.
Proveniență	Informații de bază despre utilizarea anterioară a unei componente structurale recuperate
Achizitor	Companie care achiziționează produse din oțel; în general, antreprenorul care realizează structura metalică.
Recondiționare	Proces de readucere a unui produs în stare bună de funcționare prin înlocuirea componentelor defecte și îmbunătățirea aspectului (curățare, vopsire, finisare).
Reciclare	Procesul de transformare a materialelor aruncate în materiale și produse noi; reciclarea oțelului implică topirea resturilor pentru a obține produse semifabricate.
Renovare	Renovarea unei clădiri existente pentru o nouă utilizare, incluzând procese variate, de la înlocuirea finisajelor până la modificări structurale majore.
Reutilizare relocată	Reutilizare care presupune transportul componentei sau structurii către un alt amplasament. Este opusul reutilizării in-situ.
Refabricare	Aducerea unui produs sau component la specificațiile de performanță ale producătorului original.
Reparare	Remediarea unui defect, fără a garanta funcționarea întregului produs. În cazul structurilor din oțel, poate însemna consolidarea unei componente.
Reorientare	Orice intervenție care schimbă funcția sau scopul unei componente.
Reutilizare	Utilizarea componentelor vechi cu modificări minime sau inexistente, în forma lor originală; pot fi utilizate în scopul inițial sau pentru o nouă funcție.
Structură secundară	Elemente secundare din oțel, cum ar fi contravântuirile orizontale și paneele, folosite pentru susținerea închiderii; pot contribui și la stabilizarea structurii primare.

Componentă structurală	Element al unei structuri destinat să asigure rezistență mecanică și stabilitate și/sau rezistență la foc, inclusiv durabilitate și funcționalitate.
Kit structural	Set de componente structurale standardizate care sunt asamblate și montate pe șantier.
Furnizor	Companie care deține stocuri și furnizează produse din oțel pe piață.
Unitate de încercare	Grup de componente structurale individuale recuperate, cu proprietăți geometrice identice și aceeași funcție, pentru care proprietățile relevante pot fi determinate din încercarea unui singur element sau a câtorva elemente reprezentative.
Oțel structural de tip 1	Oțel structural produs în sau după 1970, cu un set de proprietăți relevante, inclusiv variațiile acestora, echivalent cu unul dintre oțelurile structurale standardizate enumerate în EN 1993-1-1
Oțel structural de tip 2	Oțel structural produs înainte de 1970, cu proprietăți relevante care s-ar putea abate semnificativ de cele ale oțelurilor structurale standardizate enumerate în EN 1993-1-1
Deșeu	Rest dintr-un material nedorit sau inutil, care nu mai poate fi valorificat.

## 2 COMPONENTE ALE CLĂDIRILOR CU UNUL SAU MAI MULTE NIVELURI

### 2.1 Clădiri din oțel cu un singur nivel (SSB)

Clădirile din oțel cu un singur nivel (SSB) sunt foarte versatile și utilizate frecvent într-o varietate de aplicații, precum depozite, spații comerciale, facilități industriale și agricole. Proprietățile lor intrinseci, cum ar fi rezistența și flexibilitatea, le fac ideale pentru o gamă largă de cerințe de proiectare.

SSB-urile sunt clasificate în funcție de sistemele lor structurale, care sunt adaptate pentru a răspunde cerințelor funcționale specifice și condițiilor de expunere. Sistemele structurale primare utilizate în SSB includ cadre portal și ferme. Fiecare sistem are caracteristici diferite care influențează proiectarea, construcția și performanța generală a clădirii. SSB-urile au în general deschideri mari și pot include spații de birouri într-o structură adiacentă sau la un mezanin.

Utilizarea pe scară largă a SSB-urilor demonstrează adaptabilitatea oțelului ca material de construcție, oferind o varietate de configurații adaptate pentru a răspunde cerințelor structurale, estetice și operaționale specifice, asigurând în același timp eficiență și siguranță. SSB-urile pot fi ușor adaptate pentru funcționalități diferite, oferind totodată un timp scurt de construcție și eficiență a costurilor. Această metodă modernă de construcție, caracterizată prin materiale ușoare, rezistente la foc și sustenabile, continuă să evolueze, oferind proiecte și tehnologii îmbunătățite pentru o performanță și durabilitate mai bună în aplicațiile de construcții.

Disponerea schematică a unei clădiri tipice cu un singur nivel este prezentată în Fig. 2.1 [43].

Există trei niveluri ale structurii:

- Structură principală din oțel, formată din cadre și sistemul de contravântuire din acoperiș și pereți,
- Structură secundară din oțel, formată din rigle laterale pentru pereți și pane pentru acoperiș, care sunt de obicei realizate din elemente profilate la rece,
- Închideri pentru pereți și acoperiș, de regulă sub formă de panouri sandwich (numite și panouri compozite) și sisteme stratificate cu două foi pentru acoperișuri.

Încărcările sunt compuse din:

- Greutatea proprie a structurii și a componentelor acesteia, inclusiv echipamentele susținute de structură,
- Încărcări variabile care acționează asupra structurii din cauza utilizării și ocupării clădirii,
- Încărcări din efecte de mediu, ex. zăpadă, vânt sau sarcini termice și acțiuni seismice.

Cadre posibile pentru clădirile cu un singur nivel:

- Grinzi/stâlpi articulate la capete, stabilizate prin contravântuiri,
- Cadre portal și variantele acestora pentru un domeniu de deschideri medii,
- Structuri tip grinzi cu zăbrele (ferme) pentru deschideri mari sau încărcări mari pe acoperiș.

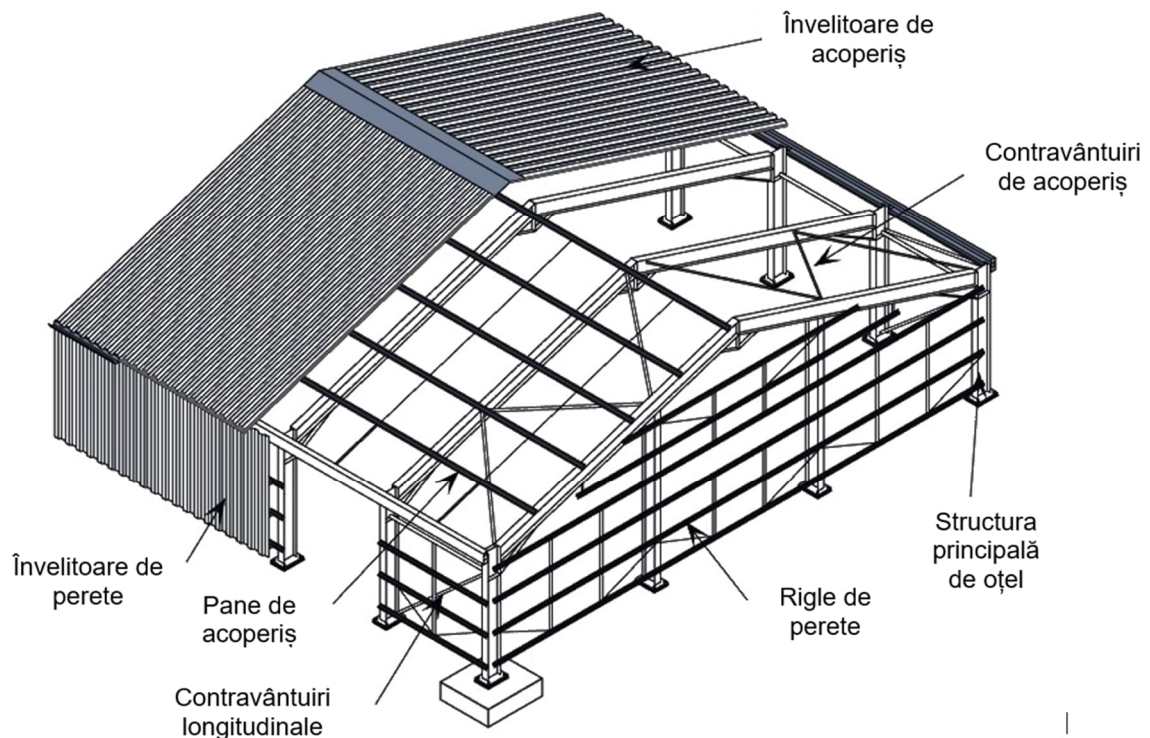


Fig. 2.1 Alcătuirea unei clădiri tipice cu un singur nivel, cu structură metalică în cadre cu o singură deschidere [43]

### 2.1.1 Structură principală din oțel: cadre structurale și sistem de contravântuire

Structurile cu cadre portal sunt unul dintre cele mai comune sisteme și pot avea acoperiș înclinat sau plat. Aceste sisteme constau într-o serie de cadre cu îmbinări rigide, care includ de obicei, pe direcția transversală, stâlpi verticali și grinzi, un sistem de contravântuire în acoperiș și în pereții longitudinali, precum și pane de acoperiș, rigle de pereți și sistemul de închidere. Stâlpii servesc drept suport vertical, transferând sarcinile din acoperiș către fundație. Grinzile traversează distanța dintre stâlpi, oferind suportul necesar pentru acoperiș. Elementele sunt adesea realizate din profile laminare din oțel, secțiuni sudate sau profile cu secțiune tubulară din oțel. Rigiditatea îmbinărilor permite cadrelor să reziste la sarcini laterale, făcându-le deosebit de potrivite pentru zonele expuse la vânt sau seism. Proiectarea cadrului portal permite acoperirea de spații largi, fără stâlpi interiori, ceea ce este avantajos pentru depozite sau spații comerciale.

Cadrele structurale pot fi proiectate conform principiilor construcției simple, construcției continue sau construcției semi-continue. Într-o construcție simplă, îmbinările dintre elemente sunt articulate, adică au rigiditatea la rotire redusă și nu transmit momente încovoietoare semnificative. Încărcările orizontale sunt preluate printr-un sistem de contravântuire. Într-o construcție continuă, îmbinările sunt proiectate pentru a oferi suficientă rigiditate astfel încât să fie considerate rigide și să transmită momente încovoietoare între elemente. O construcție semi-continuă este proiectată să reziste unui

anumit moment, dar nu la fel de mult ca un cadru complet rigid. Aceasta permite o mai mare flexibilitate în proiectare și poate îmbunătăți performanța structurală și economia.

Sistemele de grinzi cu zăbrele sunt o altă opțiune pentru clădirile din oțel cu un singur nivel, creând o structură ușoară, dar rezistentă. Fermele susțin eficient acoperișul, reducând totodată cantitatea de material necesară. În funcție de proiectare, sistemele de ferme pot fi cu pantă sau plate, permițând diferite soluții arhitecturale și funcționale. Fermele distribuie sarcinile prin rețeaua de conexiuni, fiind eficiente pentru a acoperi deschideri mari fără sprijin interior, ceea ce este benefic pentru săli de sport sau pavilioane exterioare.

Elementele secundare oferă sprijin acoperișului și pereților. Termenul „secundar” nu se referă la importanța elementului, ci la ordinea execuției în procesul de construcție. Aceste elemente includ riglele de perete și pane de acoperiș sau, uneori, table cu cute înalte și casete care transferă sarcinile către cadrul principal. Închiderea oferă un mediu interior controlat în clădire și include componente precum luminatoare și guri de ventilație. Atât închiderea, cât și elementele secundare pot oferi suport împotriva flambajului elementelor structurii principale.

### **2.1.2 Structuri pentru acoperiș**

Sistemele de acoperiș sunt proiectate pentru a transmite sarcinile și a forma închiderea clădirii, pentru a menține mediul interior necesar și funcționalitatea. Din punct de vedere structural, sistemele de acoperiș sunt proiectate să suporte greutatea proprie, sarcinile permanente din elementele secundare și din închidere, încărcări utile, încărcări din zăpadă și încărcări din vânt, inclusiv suțiuinea vântului. Acoperișul oferă de asemenea izolație acustică și termică, astfel încât anvelopa clădirii să fie etanșă la aer și impermeabilă.

Sistemele obișnuite de acoperiș în structurile cu un singur nivel sunt prezentate în Fig. 2.2, și includ:

- Cadre portal cu acoperiș înclinat (folosind grinzi/rigle înclinate conectate rigid de stâlpi) pentru deschideri de până la ~50 m. Pot avea configurații cu una sau mai multe deschideri, iar panta este de obicei de aproximativ 6° față de orizontală;
- Ferme cu talpă superioară înclinată pentru deschideri de până la ~100 m sau pentru încărcări mari care acționează la nivelul acoperișului.

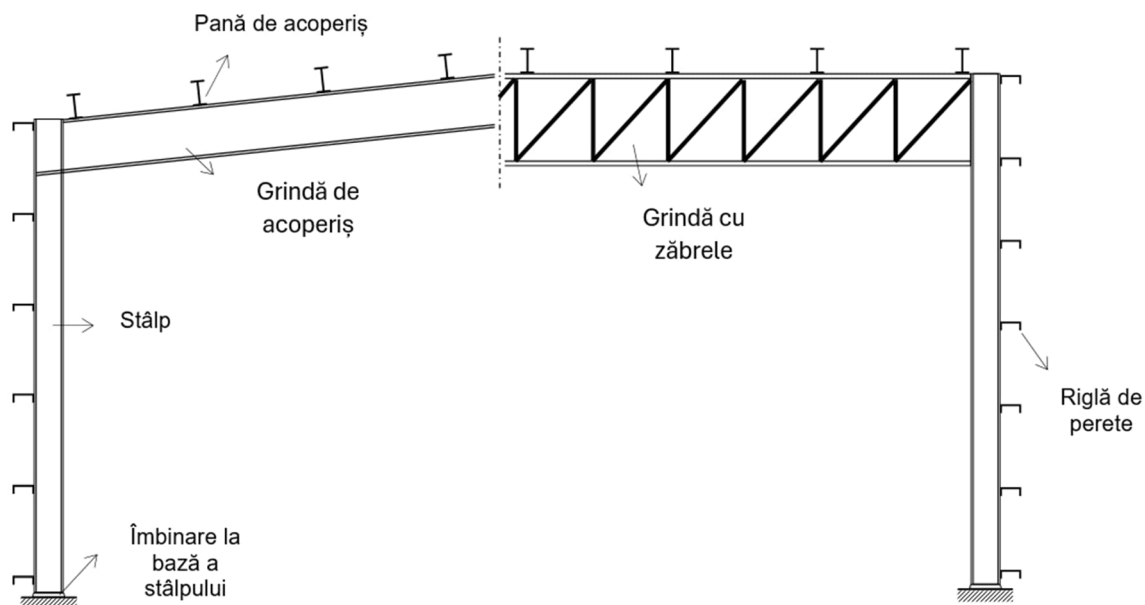


Fig. 2.2 Elemente structurale ale clădirilor tipice cu un singur nivel din oțel

### 2.1.3 Sisteme de contravântuire

Sistemele de contravântuire utilizate în clădirile cu un singur nivel pot fi împărțite în trei categorii:

- Contravântuiri permanente,
- Contravântuiri temporare,
- Contravântuiri care împiedică flambajul tălpilor comprimate ale grinzilor și ale îmbinărilor de continuitate ale stâlpilor (contrafișe).

Contravântuirea permanentă este proiectată pentru a oferi stabilitate generală structurii. Aceasta include adesea sisteme zăbrele (elemente drepte interconectate în formă triunghiulară) sau diafragme oferite de învelitoarea acoperișului. Când se folosesc contravântuiri în "X", acestea pot acționa ca elemente doar la întindere, permițând elementului comprimat al contravântuirii să flambeze. Tabla de acoperiș poate acționa ca o diafragmă și poate rigidiza considerabil clădirea.

Contravântuirea temporară poate fi necesară în funcție de etapa de construcție.

Cea mai comună opțiune este utilizarea structurii secundare și a contrafișelor pentru a limita flambajul general al elementelor principale, precum și flambajul tălpilor comprimate ale acestora. Totuși, pentru clădirile de dimensiuni considerabile și/sau pentru unele tipuri de construcție, poate fi necesar un sistem suplimentar de contravântuire.

### 2.1.4 Structura secundară din oțel

Structura secundară de oțel de pe acoperiș constă, de obicei, dintr-un sistem de pane din oțel care se așază peste grinzile structurii principale. Tradițional, se foloseau profile laminare la cald ca pane, însă, mai recent, panee formate la rece au devenit foarte populare. În funcție de tipul închiderii, distanța între paneele acoperișului este de obicei între 1,2 și 2,5 m (1,8 m fiind o valoare tipică). Structura secundară de oțel poate să nu fie necesară în cazul unor închideri cu deschidere mare care se așază direct între cadrele principale. Pentru

aplicațiile tipice cu cadre portal, se utilizează frecvent un sistem continuu cu soluții de suprapunere pe reazemele intermediare sau manșoane.

Panele acoperișului sunt de obicei elemente din oțel laminate la cald în formă de grindă I, sau elemente formate la rece cu secțiunea C sau Z, respectiv cu secțiuni sigma sau omega ca opțiuni alternative. Acestea sunt proiectate pentru:

- Transferarea încărcărilor de la închiderea acoperișului către sistemul structural principal, inclusiv a încărcărilor variabile din zăpadă și accesul pentru mentenanță,
- Transferarea încărcărilor orizontale către sistemul de contravântuire,
- Asigurarea rigidizării grinzilor structurii principale.

Panele de acoperiș și riglele de perete sunt de obicei livrate ca parte a sistemului de susținere a închiderii, împreună cu fitinguri, elemente de fixare și alte componente asociate.

Închiderea pereților este adesea susținută de riglele de perete care se întind între stâlpii cadrului principal. În prezent, secțiunile C formate la rece sunt o opțiune foarte populară pentru riglele de perete, însă pot fi utilizate și secțiuni Z formate la rece dacă aceasta este proiectată să fie continuă peste mai mulți stâlpi. Riglele de perete sunt proiectate pentru:

- Transferarea încărcărilor, inclusiv a încărcării din vânt, de la închiderea pereților către stâlpi,
- Transferarea încărcărilor orizontale către sistemul de contravântuire,
- Asigurarea rigidizării laterale a stâlpilor.

Închiderea rigidizează, de asemenea, peretele și transferă direct o proporție semnificativă din încărcarea verticală către stâlpi, oferind în același timp suport riglelor de perete împotriva flambajului.

### 2.1.5 Sisteme de închidere

Funcția principală a sistemului de închidere este de a asigura un mediu interior controlat, în funcție de destinația clădirii. Cerințele generale ale sistemului de închidere sunt următoarele:

- Asigurarea nivelului necesar de izolație termică,
- Rezistență la presiunea vântului și la forțele de sucțiune ale vântului prin sistemele de fixare pe pane,
- Prevenirea propagării incendiului,
- Asigurarea unei anvelope etanșe la aer,
- Includerea unor măsuri pentru ventilarea clădirii, de exemplu prin echipamente mecanice,
- Asigurarea izolației acustice compatibile cu utilizarea preconizată a clădirii,
- Stabilizarea elementelor din structura secundară de oțel, și uneori a structurii principale, prin sisteme de rigidizare adecvate.

La clădirile cu un singur nivel, închiderile cu deschidere mică (deschideri de până la 2–3 m) sunt, de obicei, fixate pe structura secundară din oțel. Ca alternativă, pot fi utilizate sisteme de închidere cu deschidere mare, cu deschideri de până la 10 m. Închiderea cu deschidere mare poate fi realizată sub formă de tablă trapezoidală cu cută înaltă pe acoperiș și panouri sandwich instalate orizontal pe pereți, care se întind între cadre. Această soluție reduce numărul de elemente de asamblat și numărul de straturi ale clădirii.

Sistemele tipice de închidere sunt următoarele:

- Tabla trapezoidală cu un singur strat,
- Sisteme dublu strat,
- Tablă fălțuită (standing seam),
- Panouri fălțuite cu casete structurale (liner trays),
- Panouri compozite, denumite adesea panouri sandwich.

### **2.1.6 Ghiduri de proiectare pentru clădiri din oțel cu un singur nivel (SSB): documente suplimentare**

Un set de ghiduri de proiectare pentru clădiri din oțel cu un singur nivel (SSB) a fost elaborat sub coordonarea Arcelor Mittal, Peiner Träger și Corus. Conținutul tehnic a fost pregătit de CTICM și SCI, în colaborare, sub denumirea Steel Alliance. Acesta este disponibil la: [https://constructalia.arcelormittal.com/en/news\\_center/articles/design\\_guides\\_steel\\_buildings\\_in\\_europe](https://constructalia.arcelormittal.com/en/news_center/articles/design_guides_steel_buildings_in_europe) [41]. Acesta cuprinde:

- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 1: Ghid pentru arhitecți;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 2: Proiectare conceptuală;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 3: Acțiuni;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 4: Proiectarea detaliată a cadrelor portal;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 5: Proiectarea detaliată a grinzilor cu zăbrele;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 6: Proiectarea detaliată a stâlpilor compuși;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 7: Securitatea la incendiu;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 8: Înelitori pentru clădiri;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 9: Introducere în software-uri de calcul;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 10: Specificații utilizate în documentele contractuale de construcții;
- Clădiri din oțel cu un singur nivel – Partea 11: Îmbinări rezistente la moment încovoietor.

Ghiduri de proiectare pentru SSB se regăsesc și la adresa <https://steelconstruction.info/> [43]. Acestea sunt:

- SCI P164: Proiectarea cadrelor portal în Europa. The Steel Construction Institute, 2001;
- SCI P313: Clădiri cu structură din oțel cu un singur nivel în condiții limită de incendiu. The Steel Construction Institute, 2002;
- SCI P252: Proiectarea cadrelor portal din oțel cu o singură deschidere conform BS 5950:2000. The Steel Construction Institute, 2004;
- SCI P346: Cele mai bune practici pentru specificarea și instalarea închiderilor metalice și a elementelor de oțel secundare. The Steel Construction Institute, 2006;
- SCI P347: Clădiri cu un singur nivel – Ghid de bune practici pentru dezvoltatori, proprietari, proiectanți și constructori. The Steel Construction Institute, 2006;
- EP37: Cele mai bune practici în construcții metalice – Clădiri industriale. Ghid pentru arhitecți, proiectanți și constructori. The Steel Construction Institute, 2008;
- SCI P397: Proiectarea elastică a cadrelor portal din oțel cu o singură deschidere conform Eurocodului 3. The Steel Construction Institute, 2012;

- SCI P399: Proiectarea clădirilor cu cadre portal din oțel conform Eurocod 3. The Steel Construction Institute, 2015;
- Target Zero: Ghid pentru proiectarea și construcția clădirilor sustenabile, cu emisii reduse de carbon, de tip depozit. Tata Steel și BCSA, 2011;
- Alegerea sistemului de închidere exterioară pentru pereți la clădiri cu un singur nivel, SS019a-EN-EU. Access Steel;
- Detalii pentru cadre portal folosind secțiuni laminate, SS051a-EN-EU. Access Steel;
- Proiectarea cadrelor portal folosind secțiuni sudate fabricate, SS052a-EN-EU. Access Steel;
- Alegerea sistemului de închidere exterioară a acoperișului pentru clădiri cu un singur nivel, SS018a-EN-EU. Access Steel;
- Prezentare generală a sistemelor structurale pentru clădiri cu un singur nivel, SS048a-EN-EU. Access Steel.

Această listă nu este exhaustivă și documente suplimentare, specifice anumitor țări sau produse, pot fi, de asemenea, aplicabile.

## 2.2 Clădiri din oțel cu mai multe niveluri (MSB)

Clădirile din oțel cu mai multe niveluri sunt structuri complexe care folosesc diverse sisteme structurale proiectate pentru a prelua încărcările și forțele întâlnite pe durata de viață a acestora. Proiectarea acestor clădiri se bazează pe utilizarea oțelului datorită rezistenței, versatilității și capacității sale de a fi fabricat într-o gamă largă de forme. Clădirile multietajate din oțel sunt adesea clasificate în funcție de cadrele structurale, care oferă suportul și stabilitatea necesare întregului sistem.

Într-o clădire din oțel cu mai multe niveluri, componentele tipice ale structurii sunt:

- Structura de oțel principală, constând din cadre (o rețea de grinzi, stâlpi, planșee și sisteme de contravântuire),
- Structura de oțel secundară, constând din grinzi marginale, scări, sisteme de contravântuire ușoare și grinzi secundare de planșeu,
- Sistemul de închidere pentru acoperiș, sub formă de acoperișuri din sticlă, acoperișuri etanșe sau sisteme de acoperiș compuse, respectiv pentru pereți, sub formă de sisteme vitrate, pereți cortină, zidărie, tencuială izolată sau plăci ceramice.

O clasificare principală se bazează pe tipul de sistem structural utilizat, care poate include cadre necontravântuite, cadre contravântuite și sisteme cu pereți de forfecare. Alegerea sistemului de structural este influențat în principal de înălțimea clădirii, cu următoarele opțiuni:

- Cadre necontravântuite – potrivite pentru clădiri de până la aproximativ 4 etaje, unde încărcările orizontale sunt o solicitare importantă;
- Cadre contravântuite – utilizate tipic pentru clădiri de până la aproximativ 12 etaje;
- Nuclee din oțel sau beton (sisteme cu pereți de forfecare) – adecvate pentru clădiri de până la aproximativ 40 de etaje.

În cazul clădirilor foarte înalte, încadrarea este influențată de sistemele de stabilizare și nu este acoperită de acest ghid.

Cadrelor necontravântuite se caracterizează prin capacitatea lor de a rezista forțelor laterale prin îmbinări rigide între grinzi și stâlpi. Sistemul structural permite cadrelor să se deplaseze sub încărcări laterale. Cadrele includ ansambluri care promovează flexibilitatea păstrând în același timp rezistența. Rigiditatea îmbinărilor permite structurii să își păstreze forma, distribuind uniform forțele în cadrul structural. Cadrele necontravântuite ajută la crearea de spații largi de etaj.

Cadrelor contravântuite, pe de altă parte, includ contravântuiri între stâlpi și grinzi pentru a crea o dispunere triunghiulară care îmbunătățește stabilitatea. Aceste contravântuiri contracarează eficient forțele laterale, ceea ce face acest sistem deosebit de potrivit pentru clădiri mai înalte. Proiectarea reduce cantitatea de oțel necesară comparativ cu cadrele rezistente la moment, menținând în același timp integritatea structurală. Contravântuirile cadrelor pot fi configurate în diverse tipologii, inclusiv în X, în V și cu contrafișă, în funcție de intenția arhitecturală și cerințele de proiectare.

Sistemele cu pereți de forfecare includ pereți verticali din beton armat sau oțel, plasați strategic în interiorul clădirii pentru a rezista încărcărilor laterale. Pereții acționează ca niște console verticale, transmițând forțele către fundație, ceea ce îi face ideali pentru clădiri concepute să reziste la presiuni ridicate ale vântului sau activitate seismică, oferind rigiditate și stabilitate suplimentară structurii. Integrarea pereților de forfecare poate îmbunătăți semnificativ rigiditatea structurii, permițând în același timp planuri deschise ale etajelor.

Încărcările aplicabile clădirilor metalice multietajate sunt următoarele:

- Greutatea proprie a structurii și a componentelor acesteia, inclusiv echipamente,
- Încărcări variabile utile, inclusiv pereți despărțitori mobili,
- Încărcări din efecte de mediu, de exemplu zăpadă, vânt sau acțiuni termice și seismice,
- Încărcări din acțiuni accidentale, de exemplu impact de la vehicule, explozii.

### 2.2.1 Cadre structurale

În clădirile multietajate, susținerea greutății clădirii și distribuirea încărcărilor către fundație sunt asigurate de un cadru principal format din stâlpi și grinzi. Numărul punctelor de sprijin depinde de destinația clădirii, de încărcările pe care trebuie să le suporte și de tipul de fundație ales (care, la rândul său, este influențat de condițiile solului din amplasamentul clădirii).

Stâlpii clădirilor multietajate sunt solicitați la compresiune semnificativă, necesitând considerente de proiectare pentru rezistența la flambaj. În funcție de dimensiunea și dispunerea rețelei, costurile de instalare, costul profilelor de oțel, ușurința conectării componentelor secundare (plafoane, pereți, fațade), gradul de conformitate cu cerințele de rezistență la foc, coroziune sau preferințele arhitecturale, principalele tipuri de stâlpi utilizate în general în structurile multietajate sunt profilele de tip H (din oțel sau compozite) și profilele tubulare circulare (din oțel sau compozite).

Grinzile joacă rol în transferul încărcărilor verticale. Supuse în principal momentelor de încovoiere, aceste elemente orizontale necesită suficientă rigiditate și rezistență pentru a asigura integritatea structurală. Există o mare varietate de secțiuni pentru grinzi, cum ar fi secțiuni laminate la cald potrivite pentru deschideri mici și medii, secțiuni compuse sudate din plăci (utilizate de obicei pentru grinzi mai lungi), profile ajurate realizate din secțiuni laminate

la cald cu goluri circulare sau hexagonale tăiate în inima profilului (rezultând o rezistență crescută și goluri pentru instalații) și secțiuni compozite constând dintr-un profil din oțel care lucrează împreună cu placa de beton prin conectori metalici sau tablă profilată din oțel.

Grinzile compozite sunt potrivite pentru planșee cu deschideri mari (până la ~20 m), deoarece beneficiază de zona mare de compresiune a plăcii de beton și de rezistența mare la întindere a grinzii din oțel, prezentând performanțe mecanice excepționale în capacitatea portantă și rigiditate. Sunt disponibile mai multe tipuri de grinzi compozite: plăci simple care necesită cofraj temporar, plăci prefabricate din beton cu tablă profilată din oțel și grinzi înglobate, în care profilul din oțel este parțial înglobat în beton pentru o rezistență sporită la foc. În clădirile cu mai multe etaje, se utilizează în general de tip "slim floor" (grinzi integrate) pentru a maximiza spațiul util. Această soluție integrează grinda din oțel direct în înălțimea plăcii de beton, reducând astfel adâncimea totală a planșeului.

Fig. 2.3 arată intervalele de deschidere ale planșeelor pentru diferite opțiuni structurale.

	Deschidere (m)					
	6	8	10	13	16	20
Placa plană de beton armat	—					
Planșee cu grinzi integrate și planșee compozite	—	—				
Grinzi înglobate în planșee prefabricate	—	—	—			
Grinzi și placă de beton armat		—	—	—		
Placă de beton post tensionată			—	—		
Grinzi compozite cu placă		—	—	—	—	
Grinzi fabricate cu goluri în inimă				—	—	—
Grinzi ajurate compozite				—	—	—
Grinzi cu zăbrele					—	—

Fig. 2.3 Deschideri pentru diferite opțiuni structurale de planșeu [41],[44]

## 2.2.2 Contravânturi pentru clădiri multietajate

Pe lângă efectul de cadru, stabilitatea globală a clădirilor cu mai multe niveluri poate fi asigurată prin sisteme de contravântuire. Utilizarea contravântuirilor pentru stabilitate împreună cu cadre rigide reprezintă o soluție eficientă din punct de vedere economic, deoarece folosirea exclusivă a cadrelor rigide pentru menținerea stabilității necesită stâlpi (și uneori grinzi) mai puternici, ceea ce duce la costuri mai mari pe măsură ce numărul de niveluri al clădirii crește. Prin urmare, într-o soluție economică optimă, cadrele pot oferi suportul principal într-o direcție, în timp ce sistemele de contravântuire sunt plasate în direcția perpendiculară pentru a spori stabilitatea.

Cadrele din oțel contravântuite încorporează diverse configurații de contravânturi în pereți, de obicei ascunse în golurile fațadelor sau în jurul casei scărilor și a zonelor tehnice. În zonele seismice, pot fi utilizate mai multe sisteme de cadre din oțel pentru a îmbunătăți rezistența la încărcările seismice. Aceste sisteme includ:

- Cadre necontravântuite (MRF): Aceste cadre se bazează pe rigiditatea grinzilor și a stâlpilor pentru a rezista forțelor laterale seismice,

- Cadre contravântuite centric (CBF): CBF utilizează contravântuiri în planul cadrului pentru a rezista forțelor de forfecare. În CBF, axa longitudinală a contravântuirilor este centrică cu mijlocul grinzii,
- Cadre contravântuite excentric (EBF): Similar cu CBF, EBF încorporează contravântuiri, dar acestea sunt proiectate să preia momente încovoietoare și să disipeze energie în timpul unui cutremur. În EBF, axa longitudinală a contravântuirilor este excentrică față de mijlocul grinzii,
- Cadre cu contravântuiri cu flambaj împiedicat (BRBF): BRBF abordează o limitare a contravântuirilor tradiționale prin includerea unor restricții de pierdere a stabilității care previn flambajul contravântuirilor sub încărcări seismice,
- Pereți de forfecare din tablă specială (SPSW): Acești pereți, construiți din plăci de oțel, acționează ca elemente rigide pentru a rezista forțelor de forfecare induse de încărcări seismice.

Sistemul EBF, care este un sistem structural ce combină sistemul MRF și sistemul CBF, oferă o ductilitate mare (așa cum oferă MRF) și o rigiditate elastică mare (așa cum oferă CBF), și include mai multe tipuri de configurații de contravântuire, așa cum se arată în Figura 2.4.

Sistemele de contravântuire în cruce sunt, de asemenea, utilizate în clădirile cu mai multe niveluri pentru a oferi stabilitate verticală, întrucât aceste clădiri sunt proiectate de obicei cu elemente articulate. Sistemele de contravântuire în cruce pot fi plasate în exteriorul sau în interiorul clădirii.

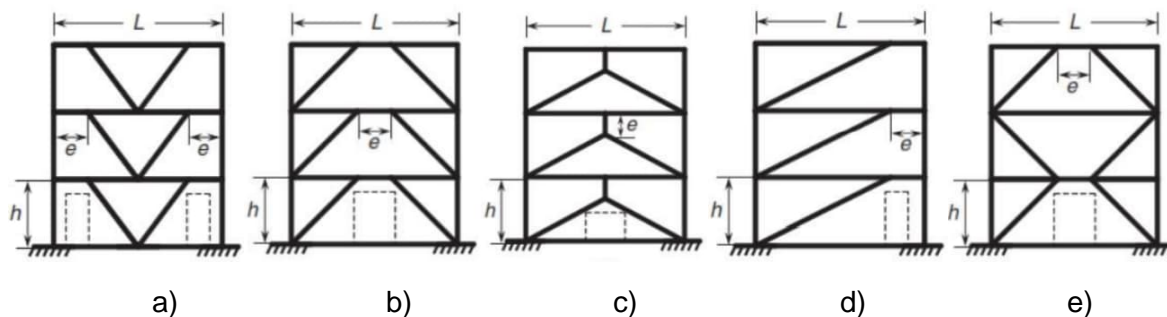


Fig. 2.4 Tipuri de configurații ale contravântuirilor în sistemul EBF: a) Contravântuiri în V, b) Contravântuiri în K, c) EBF cu link vertical, d) Contravântuiri în jumătate de K, e) Contravântuiri Y inversate

### 2.2.3 Planșee în clădirile cu mai multe niveluri

În cadrul unei structuri de clădire cu mai multe niveluri, planșeele îndeplinesc funcția de transfer a încărcărilor către elementele verticale și, în același timp, asigură stabilitate în plan orizontal datorită efectului de diafragmă pe care îl generează, contribuind la stabilitatea globală a structurii. În clădirile cu mai multe niveluri, vibrațiile planșeelor pot reprezenta un factor critic în proiectare. Instalațiile clădirii pot fi integrate în structura planșeului. Alternativ, acestea pot fi suspendate sub planșeu. În clădirile comerciale, planșeele înălțate permit distribuția ușoară a instalațiilor în spațiul de sub suprafața planșeului. Aceasta facilitează întreținerea și modificarea ulterioară a instalațiilor fără a perturba funcționarea clădirii.

Selectarea unui sistem de planșeu se bazează pe mai mulți factori, iar opțiunile obișnuite includ următoarele:

- Planșeu de beton cu tablă cutată de oțel: o tablă cutată simplă de oțel este instalată ca și cofraj permanent pentru o placă de beton și care contribuie la rezistența la încovoiere a planșeului, acționând ca element de întindere. Conlucrarea bună dintre beton și tablă este asigurată de profilările pereților tablei cutate de oțel;
- Placă compozită și grinzi compozite cu tablă cutată de oțel: o tablă cutată de oțel este instalată ca și cofraj permanent pentru o placă compozită, contribuind la rezistența la încovoiere a grinzilor. Conlucrarea bună dintre beton și grinda din oțel este asigurată de conectori metalici sudați pe talpa superioară a grinzii;
- Placă compozită prefabricată: elemente de placă prefabricată cu o lungime de până la 7 m și o lățime de 1,20 m;
- Plăci cu goluri (hollow core slabs): elemente prefabricate de placă cu goluri sunt integrate frecvent cu grinzile din oțel. Plăcile pot fi așezate pe talpa inferioară a grinzii din oțel sau pe profile din oțel în formă de L sudate pe inimă. Pentru a asigura efectul de diafragmă al planșeului, se toarnă un strat de beton armat deasupra;
- Placă prefabricată cu completare in-situ: plăci simple care folosesc o combinație de plăci de beton prefabricate și beton turnat la fața locului. În timpul turnării betonului in-situ, pot fi necesare sprijiniri temporare pentru a susține greutatea combinată a plăcii prefabricate, a betonului proaspăt și a muncitorilor. Prin integrarea unor elemente corespunzătoare, cum ar fi știfturi sudate între placă și grinzile de sprijin, placa poate îmbunătăți rezistența la încovoiere și rigiditatea grinzilor;
- Planșee uscate: un planșeu realizat din componente individuale asamblate, precum plăci de gips-carton, plăci de lemn, tablă profilată din oțel și vată minerală. Tabla cutată oferă o soluție pentru integrarea instalațiilor clădirii.

#### 2.2.4 Sisteme de închidere

Sistemele tipice de închidere pentru clădiri cu mai multe niveluri sunt următoarele:

- Sisteme de închidere din zidărie: pentru clădirile de până la trei etaje, închiderea din zidărie poate fi sprijinită direct pe sol. Structurile mai înalte necesită sprijin suplimentar, realizat de obicei cu ajutorul unor colțare din oțel inoxidabil, console individuale sau plăcuțe sudate de cadrul structural;
- Sisteme de închidere vitrată: aceste sisteme vitrate, utilizate la clădirile înalte, presupun de regulă utilizarea geamurilor triple sau a fațadelor cu strat dublu. Acestea sunt susținute de stâlpi din aluminiu sau rigidizări de sticlă, oferind o varietate de opțiuni de proiectare. Sunt frecvente prinderile în colțuri, iar panourile includ adesea garnituri în rosturi pentru etanșare la intemperii. De asemenea, pot apărea discrepanțe între toleranțele cadrelor din oțel și panourile vitrate, prin urmare, îmbinările trebuie să permită ajustări în timpul montajului. Pot apărea și dilatări sau contracții termice, iar sistemul de susținere trebuie să permită eficient aceste mișcări;

- Sisteme de pereți cortină: aceste sisteme de închidere implică panouri ușoare din aluminiu sau alte materiale, care sunt atașate structurii perimetrice din oțel, panouri din piatră sau panouri prefabricate din beton. Sistemul de închidere poate să își susțină propria greutate și sarcinile aplicate (panoul este suspendat de partea superioară sau sprijinit la bază, pe planșeu), sau poate necesita susținere suplimentară (sprijinul este, de obicei, sub formă de montanți verticali care pot traversa mai multe etaje; în unele cazuri, elemente orizontale numite traverse pot fi folosite pentru conectarea montanților la niveluri intermediare, îmbunătățind stabilitatea). Fiecare sistem de panouri de închidere utilizează un sistem unic de prindere proiectat pentru a permite mișcări și ajustări în trei direcții. Deoarece aceste detalii de fixare conectează închiderea la structura clădirii, proiectarea plăcii de planșeu poate necesita adaptări pentru a rezista forțelor concentrate exercitate de sistemul de închidere. O soluție obișnuită constă în realizarea unui canal tip șliț în marginea plăcii în timpul turnării, oferind un punct de fixare sigur și compatibil pentru sistemul de închidere;
- Sisteme de închidere cu panouri termoizolante sau tencuială: aceste sisteme sunt sprijinite pe pereți ușori de umplură (izolația și tencuiala sau plăcile sunt sprijinite pe un cadru secundar din oțel). Plăcile pot fi individuale sau panouri preformate. Acest sistem de închidere permite, de asemenea, utilizarea zidăriei ca strat exterior.

### 2.2.5 Ghiduri de proiectare pentru clădiri din oțel multietajate (MBS): documente suplimentare

Un set de ghiduri de proiectare pentru clădiri din oțel cu mai multe niveluri (MSB) a fost pregătit sub coordonarea Arcelor Mittal, Peiner Träger și Corus. Conținutul tehnic a fost elaborat de CTICM și SCI, colaborând în cadrul Steel Alliance. Acestea sunt disponibile la [https://constructalia.arcelormittal.com/en/news\\_center/articles/design\\_guides\\_steel\\_buildings\\_in\\_europe](https://constructalia.arcelormittal.com/en/news_center/articles/design_guides_steel_buildings_in_europe) [41]. Setul cuprinde:

- Clădiri din oțel multietajate – Partea 1: Ghidul arhitectului;
- Clădiri din oțel multietajate – Partea 2: Proiectare conceptuală;
- Clădiri din oțel multietajate – Partea 3: Acțiuni;
- Clădiri din oțel multietajate – Partea 4: Proiectare detaliată;
- Clădiri din oțel multietajate – Partea 5: Proiectarea îmbinărilor;
- Clădiri din oțel multietajate – Partea 6: Securitatea la incendiu;
- Clădiri din oțel cu mai multe niveluri – Partea 7: Specificații utilizate în documentele contractuale de construcții;
- Clădiri din oțel cu mai multe niveluri – Partea 8: Descrierea calculului de rezistență a elementelor;
- Clădiri din oțel cu mai multe niveluri – Partea 9: Descrierea calculului de rezistență pentru îmbinări simple;
- Clădiri din oțel cu mai multe niveluri – Partea 10: Ghid pentru dezvoltatorii de software pentru proiectarea grinzilor compozite.

Alte ghiduri relevante de proiectare pentru clădiri din oțel cu mai multe niveluri pot fi găsite la <https://steelconstruction.info/> [44]. Acestea sunt:

- SCI P332: Oțelul în clădiri rezidențiale cu mai multe etaje. The Steel Construction Institute, 2004;

- SCI P362: Eurocod concis pentru proiectarea clădirilor din oțel. The Steel Construction Institute, 2009;
- SCI P365: Proiectarea clădirilor din oțel: Cadre contravântuite cu înălțime medie. The Steel Construction Institute, 2009;
- BSCA 35/03: Clădiri din oțel. The British Construction Steel Association, 2003;
- SCI P300: Plăci și grinzi compozite folosind tablă profilată din oțel: Bune practici de proiectare și execuție, (ediția a 3-a), The Steel Construction Institute și The Metal Cladding & Roofing Association, 2023;
- SCI P355: Proiectarea grinzilor compozite cu deschideri mari în inimă. The Steel Construction Institute, 2011;
- SCI P354: Proiectarea planșeelor pentru vibrații – O nouă abordare. The Steel Construction Institute, 2009;
- SCI P166: Proiectarea clădirilor din oțel pentru integrarea instalațiilor. The Steel Construction Institute, 1992;
- SCI P416: Proiectarea plăcilor turnate pe șantier. The Steel Construction Institute, 2017;
- SCI P101: Interfețe – Sisteme de vitrare susținute de elemente de oțel. The Steel Construction Institute, 1997;
- Bune practici în construcțiile din oțel: Clădiri comerciale. The Steel Construction Institute, 2008;
- Target Zero – Ghid privind proiectarea și construcția de clădiri de birouri sustenabile, cu emisii reduse de carbon. Tata Steel și BCSA, 2012.
- Coordonarea proiectării structurale și arhitecturale pentru clădiri cu mai multe etaje cu cadre din oțel, SS001a-EN-EU. Access Steel;
- Plăci compozite pentru clădiri multietajate destinate utilizării comerciale și rezidențiale, SS010a-EN-EU. Access Steel;
- Grinzi integrate pentru clădiri multietajate destinate utilizării comerciale și rezidențiale, SS013a-EN-EU. Access Steel.

Această listă nu este exhaustivă, iar documente suplimentare specifice anumitor țări sau produse pot fi de asemenea aplicabile.

### 3 CLASIFICAREA REUTILIZĂRII OȚELULUI

#### 3.1 Etapele ciclului de viață al componentelor din oțel utilizate în construcții

Ciclul de viață al unei clădiri sau al unui produs poate fi împărțit în mai multe etape (numite Module) conform standardelor CEN/TC 350 pentru evaluarea ciclului de viață (LCA – Life-cycle assessment) și evaluarea costului ciclului de viață (LCC – Life-cycle cost) [45]-[47] (vezi Fig. 3.1):

**A: Etapa de producție și construcție**

- A<sub>0</sub>: Etapa pre-construcție
- A<sub>1</sub>: Furnizarea materiilor prime
- A<sub>2</sub>: Transport
- A<sub>3</sub>: Producție
- A<sub>4</sub>: Transport
- A<sub>5</sub>: Procesul de construcție și instalare

**B: Etapa de utilizare**

- B<sub>1</sub>: Utilizare
- B<sub>2</sub>: Întreținere
- B<sub>3</sub>: Reparare
- B<sub>4</sub>: Înlocuire
- B<sub>5</sub>: Renovare

**C: Etapa de sfârșit de ciclu de viață**

- C<sub>1</sub>: Deconstruire, demolare
- C<sub>2</sub>: Transport
- C<sub>3</sub>: Procesarea deșeurilor
- C<sub>4</sub>: Eliminare

**D: Potențialul de reutilizare, recuperare și reciclare**

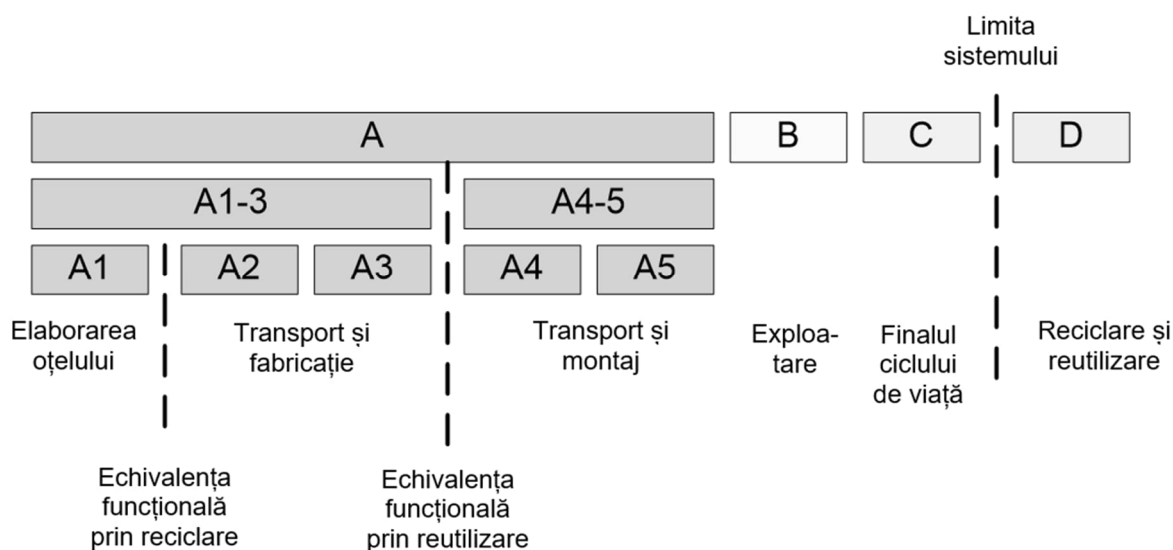


Fig. 3.1 Etapele ciclului de viață al elementelor din oțel

### 3.2 Scenarii de reutilizare

Așa cum este ilustrat în Fig. 3.2, pot fi recunoscute mai multe cazuri de bază ale reutilizării componentelor, în funcție de nivelul de demontare:

- D<sub>0</sub>: Reutilizarea întregii structuri metalice sau a unei părți a acesteia (de exemplu, mai multe deschideri) in-situ, fără demontare,
- D<sub>I</sub>: Reutilizarea structurii metalice demontate (poate include și învelitoarea clădirii),
- D<sub>II</sub>: Reutilizarea componentelor prefabricate (de exemplu, panouri sandwich, stâlpi),
- D<sub>III</sub>: Reutilizarea produselor componente (de exemplu, profile).

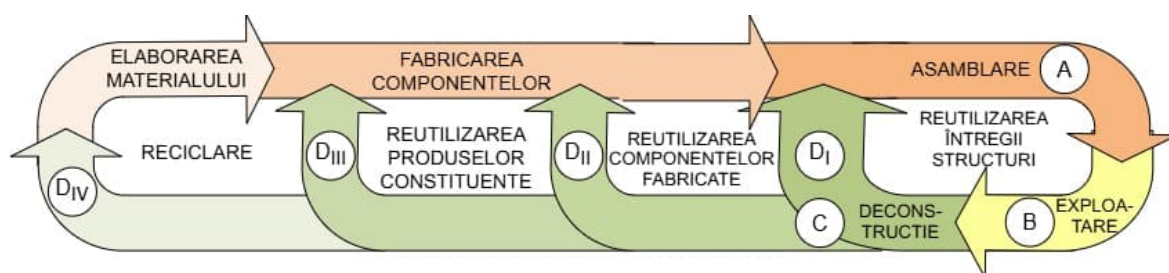


Fig. 3.2 Scenarii de reutilizare în funcție de nivelul de demontare

Din punctul de vedere al deconstrucției și transportului, pot exista mai multe scenarii:

- D<sub>A</sub>: Reutilizare in-situ fără demontare (reabilitare structurală),
- D<sub>B</sub>: Reutilizare pe același amplasament în aceeași configurație,
- D<sub>C</sub>: Reutilizare pe același amplasament în configurație diferită,
- D<sub>D</sub>: Reutilizare pe un amplasament diferit în aceeași configurație,
- D<sub>E</sub>: Reutilizare pe un amplasament diferit în configurație diferită.

Acest proces este explicat în Table 3.1 în termenii acestei clasificări.

Table 3.1 Clasificarea cazurilor de reutilizare

Caz	Reutilizare in-situ	Reutilizare cu relocare			
		Același amplasament		Amplasament diferit	
		Configurație identică	Configurație diferită	Configurație identică	Configurație diferită
Întreaga structură metalică	D <sub>0-A</sub>	- <sup>a</sup>	-	D <sub>0-D</sub> <sup>b</sup>	-
Structură metalică demontată	-	D <sub>I-B</sub>	D <sub>I-C</sub>	D <sub>I-D</sub>	D <sub>I-E</sub>
Componente fabricate	-	D <sub>II-B</sub>	D <sub>II-C</sub>	D <sub>II-D</sub>	D <sub>II-E</sub>
Produse constitutive	-	D <sub>III-B</sub>	D <sub>III-C</sub>	D <sub>III-D</sub>	D <sub>III-E</sub>

<sup>a</sup> Acest scenariu este puțin probabil, deoarece dacă structura a fost deconstruită, este improbabil să fie reconstruită în aceeași configurație pe același amplasament;

<sup>b</sup> Doar în cazul clădirilor din oțel cu un singur nivel.

În cazul *reutilizării in-situ* (D<sub>A</sub>), componentele nu sunt demontate și rămân conectate la structura metalică. Această abordare, cunoscută frecvent sub denumirea de reabilitare structurală, implică păstrarea structurii existente, care poate fi reparată, consolidată sau acoperită pentru a evita demontarea și înlocuirea, și eventual pentru a acomoda noi condiții

de încărcare. Rezistența structurală și funcționalitatea trebuie verificate în conformitate cu normele actuale. Acest caz specific nu este acoperit de aceste recomandări.

*Reutilizarea cu relocare* (de la  $D_B$  la  $D_E$ ) presupune demontarea și recondiționarea pe șantier sau în atelier a componentele. În multe cazuri, șantierul este reamenajat și poate fi benefic să se ia în considerare integrarea componentelor din oțel ale clădirii anterioare în noul proiect ( $D_B$  și  $D_C$ ).

Reutilizarea prin relocare pe un alt amplasament ( $D_D$  și  $D_E$ ) poate fi organizată prin intermediul distribuitorului de materiale (în cazul unor cantități mari de componente mici, cum ar fi profilele structurale) sau poate fi negociată direct între participanții la procesele de deconstrucție și construcție nouă. În cazul unor structuri de scară mică, de exemplu cele modulare, este posibilă relocarea clădirii sau a componentelor majore fără demontare ( $D_0$ ), pe distanțe scurte, cu ajutorul macaralelor sau vehiculelor cu șenile.

Opțiunile privind necesitățile de transport sunt prezentate în Table 3.1, unde indicele „A” înseamnă că reutilizarea are loc pe același amplasament, iar „B” înseamnă că este necesar transportul componentelor (de exemplu, între șantiere, către distribuitor, depozit sau atelier).

Învelitoarea clădirii (cladding) este o componentă mai complexă care poate fi reutilizată. Dacă este un sistem de table cutate dublu strat, trebuie acordată atenție tuturor straturilor. Panourile sandwich pot fi reutilizate dacă găurile pentru șuruburi sunt mascate sau refolosite în a doua utilizare. Păstrarea protecției oferite de straturile de acoperire este mai dificilă, în special în cazul degradării pe termen lung, poluării și acțiunii UV. Pentru configurații diferite, panourile sandwich pot fi reutilizate, dar în combinație cu un strat exterior nou.

## 4 REVIZUIREA DE-A LUNGUL TIMPULUI A CODURILOR DE PRACTICĂ ȘI A STANDARDELOR DE PRODUS

Cunoașterea istoriei oțelului structural este importantă dacă reutilizarea elementelor și componentelor din oțel urmează să fie adoptată pe scară largă. În anii 1970, care sunt considerați punctul de plecare pentru potențiala reutilizare a oțelului în cadrul acestui document, erau necesare descrieri detaliate privind compoziția chimică, caracteristicile fizice și mecanice ale elementelor din oțel, pentru a respecta standardele specifice fiecărei țări. Acest lucru este ilustrat în Fig. 4.1 pentru elementele structurale din oțel laminate la cald.

În anul 1961, Comité Européen de Normalisation (CEN – Comitetul European de Standardizare) a fost fondat de organizațiile naționale de standardizare din Europa pentru a elabora și implementa standarde europene comune. Standardele adoptate au fost implementate ca standarde naționale de către fiecare țară membră CEN, iar orice standarde naționale aflate în conflict au fost retrase.

În acest ghid, se pornește de la premisa că structura din oțel din care urmează să fie recuperate elementele a fost inițial proiectată conform standardelor prezentate în Fig. 4.1 sau conform EN 1993. Proiectarea s-a realizat pe baza principiilor Stărilor Limită, astfel încât probabilitatea de atingere a fiecărei stări limită să fie relativ uniformă pentru toate elementele structurii și, în același timp, menținută la un nivel scăzut, acceptabil.

### 4.1 Oțeluri structurale laminate la cald

#### 4.1.1 Standarde de produs

Denumirea produselor din oțel în EN 1993 este în conformitate cu standardul EN 10025-2:2019 [21]. Fig. 4.1 prezintă o listă cu denumirile naționale anterioare corespunzătoare și denumirile anterioare din EN 10025:1990 și EN 10025:1990+A1:1993, care au fost înlocuite de ediția din 2004 și ulterior de cea din 2019. Proprietățile materialului pentru oțelul structural sunt definite în Clauza 5.2.5 din EN 1993-1-1, iar aceste proprietăți nu se degradează în timp, adică modulul de elasticitate pentru toate clasele de oțel este  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ , coeficientul Poisson  $\nu = 0,3$ , iar coeficientul de dilatare termică liniară  $\alpha = 12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , la temperaturi ambientale.

Oțelul structural este specificat prin limita sa de curgere (în  $\text{N/mm}^2$  sau MPa), iar între rezistența ultimă și limita de curgere a oțelului trebuie să existe o marjă suficientă pentru a permite plasticizarea și redistribuirea forțelor interne în cadrul unei structuri. Clasele comune de oțel sunt S235 (valoarea minimă implicită pentru proiectare și dezvoltarea formulelor de proiectare în Eurocoduri), S275 și S355.

Oțelurile structurale moderne conțin cantități mici de carbon, în mod tipic 0,17% pentru S235 și 0,24% pentru S355 (în sub-clasele JR). Rezistența lor mai mare este obținută prin aliaje, de exemplu mangan, nichel și niobiu, care pot influența și alte proprietăți mecanice, precum ductilitatea, tenacitatea și sudabilitatea. Ductilitatea poate fi îmbunătățită prin reducerea nivelului de sulf, iar tenacitatea prin adăugarea de nichel.

		Austria	Belgia	Finlanda	Franța	Germania	Italia	Olanda	Norvegia	Portugalia	România	Spania	Suedia	Regatul Unit	
EN 10025-2:2004	EN 10025:1990 +A1:1993	M 3116	NBN A 21-101	SFS 200	NF A 35-501	DIN 17100	UNI 7070	Euronorm 25-72	DIN 17100	NP 1729	STAS 5002-76	UNE 36-080	SS 14 <i>urnal de clasa de oțel</i>	BS 4380	
	S235JR	Fe 360 B	AE 235-B		E 24-2	SI 37-2	Fe 360 B	Fe 310 0	SI 37-2	Fe 360-B	OL37-11a/1b	AE 235-BFU	13 11-00		
	S235JRG1	Fe 360 B				USI 37-2		Fe 360 A	USI 37-2						
	S235JRG2	Fe 360 BFN	Fe 37 B			RSI 37-2		Fe 360 BFN	RSI 37-2		OL37-2	AE 235-BFN	13 12-00	40 B	
	S235J0	Fe 360 C			E 24-3	SI 37-3 U	Fe 360 C	Fe 360 BFN	SI 37-3 U	Fe 360-C		AE 235 C		40 C	
								Fe 360 CFN				OL37-3k/3kf			
	S235J2G3	Fe 360 D1	Fe 37 D		E24-4	SI 37-3 N	Fe 360 D	Fe 360 DFN	SI 37-3 N	Fe 360-D		AE 235 D		40 D	
	S235J2G4	Fe 360 D2										OL37-4kf			
	S275JR	Fe 430 B	AE 255-B		E 28-2	SI 44-2	Fe 430 B	Fe 430 A	SI 44-2	Fe 430-B	OL44-2k	AE 275 B		43 B	
	S275J0	Fe 430 C	AE 255-C		E 28-3	SI 44-3 U	Fe 430 C	Fe 430 BFN	SI 44-3 U	Fe 430-C		AE 275 C		43 C	
								Fe 430 CFN				OL44-3k/3kf			
	S275J2G3	Fe 430 D1	Fe 44 D		E 28-4	SI 44-3 N	Fe 430 D	Fe 430 DFN	SI 44-3 N	Fe 430-D		AE 275 D		43 D	
	S275J2G4	Fe 430 D2										OL44-4kf			
	S355JR	Fe 510 B	AE 355-B		E 36-2		Fe 510 B	Fe 510 BFN		Fe 510-B	OL52-2k	AE 355 B		50 B	
S355J0	Fe 510 C	AE 355-C		E 36-3	SI 52-3 U	Fe 510 C	Fe 510 CFN	SI 52-3 U	Fe 510-C		AE 355 C		50 C		
S355J2G3	Fe 510 D1	Fe 52 D			SI 52-3 N	Fe 510 D	Fe 510 DFN	SI 52-3 N	Fe 510-D	OL52-3k/3kf	AE 355 D		50 D		
S355J2G4	Fe 510 D2						Fe 510 DFN								
S355J2G3	Fe 510 DD1	AE 355-DD		E 36-4				Fe 510 DFN		Fe 510-DD	OL52-4kf		50 DD		
S355K2	Fe 510 DD2														
EN 1993:2005	ENV 1993-1-1:1992	ÖNORM B 4300	NBN 212:1970 și NBN E 27-071:1987	Rakennus-määräys-kokoukma B7	Règles CM66	DIN 1880		NEN 6770, part 2 (1997-2012) NEN 6770, part 1 (1990-1997) NEN 3851 (1972-1990) N 1055 (1955-1972)	NS 3472:1984 NS 3472:2001	REAE, Decreto n.º 46160	STAS10108/0-78	NBE MV senile 10X și 11X (inamle de 1996) NBE EA-95 (dupa 1996)	BSK 89 Handbooks SIBK-NX, X = 1, 2, 3, 4, 5 BS 5950 (dupa 1985) BS 449 (inamle de 1985)		

Fig. 4.1 Produse naționale și standarde de proiectare structurală înainte de anul 2004

Proprietățile chimice și mecanice sunt înregistrate în certificatele de calitate, ca parte a procedurilor normale de control al calității ale producătorului de oțel și conform specificațiilor pentru fabricarea produselor din oțel. Trebuie subliniat că specificațiile de produs reprezintă un set de cerințe care trebuie îndeplinite și nu o etichetă pentru un anumit tip de oțel.

Clasele de oțel utilizate pe scară largă – S235, S275 și S355 – corespund unor standarde comune încă din anii 1970 și prezintă proprietăți comparabile cu oțelurile structurale utilizate în prezent. Dacă un produs laminat la cald este etichetat ca fiind conform unei alte specificații, diferența poate consta doar în tipul și volumul de testări cerute de acea altă specificație. Prin urmare, o analiză mai atentă va arăta dacă elementele structurale satisfac cerințele utilizatorului.

#### 4.1.2 Coduri de practică și standarde pentru proiectare

Primul standard european pentru proiectarea structurilor din oțel a fost emis în 1992, sub forma unui prestandard – ENV 1993-1-1 [48]. Acesta a fost conceput ca un cadru pentru elaborarea de specificații tehnice armonizate pentru produsele de construcții în diferite țări europene. Aceste standarde de proiectare erau utilizate împreună cu un Document Național de Aplicare (NAD) valabil în țara în care era amplasată construcția. Ulterior, acest ENV a fost transformat într-o Normă Europeană (EN), cunoscută ca EN 1993 sau Eurocod 3, iar NAD-urile au devenit Anexe Naționale (NA). În perioada 2005–2010, Eurocodurile au fost aplicate pe scară largă în toate țările europene și, în general, au înlocuit toate standardele naționale de proiectare structurală (vezi Fig. 4.1). Eurocodurile oferă, de asemenea, un mijloc de a asigura siguranța publică în întreaga Uniune Europeană.

O altă parte importantă a Eurocodului 3 este modul în care acesta este integrat cu standardele de produs pentru a permite marcarea CE, susținând astfel Regulamentul privind Produsele pentru Construcții (CPR) [49].

## 4.2 Oțeluri structurale formate la rece

În Europa, Comitetul ECCS TC7 a elaborat, în 1987, documentul *Recomandări europene pentru proiectarea elementelor din oțel cu pereți subțiri* [51], urmat de ENV 1993-1-3:1996 [51]. Această recomandare a fost ulterior dezvoltată și publicată în 2006 ca standard european, *Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel, Partea 1-3: Reguli generale – Reguli suplimentare pentru elementele structurale și table formate la rece* [16].

EN 1993-1-3:2006 reprezintă standardul european unificat pentru proiectarea elementelor realizate din produse de oțel formate la rece. Acesta include prevederi specifice pentru utilizarea produselor obținute din tablă și benzi subțiri, laminate la cald sau la rece, cu sau fără acoperire. Acest standard este destinat proiectării clădirilor sau lucrărilor de inginerie civilă, în combinație cu EN 1993-1-1 și EN 1993-1-5. Conform EN 1993-1-3, proiectarea se face exclusiv prin metoda stărilor limită (LSD – Limit State Design).

EN 1993-1-3 include în Capitolul 10 criterii de proiectare pentru următoarele aplicații:

- Grinzi stabilizate prin intermediul învelitorii;
- Casete structurale stabilizate prin intermediul învelitorii;
- Proiectarea pe baza efectului de diafragmă („stressed skin design”);
- Tablă cutată perforată.

Tehnologia formării la rece permite producerea de configurații de secțiuni adaptate cerințelor specifice. Totuși, atunci când se proiectează elemente cu forme mai neobișnuite, analiza devine mai complicată. Sistemele structurale realizate din mai multe tipuri de secțiuni formate la rece, conectate între ele (de exemplu, pane și învelitori), pot conduce la situații de proiectare complexe, care nu sunt acoperite integral de normele de proiectare existente. O soluție este utilizarea analizei numerice prin metoda elementelor finite (FEM), dar pentru multe situații practice modelarea poate fi dificilă. Pentru cazurile mai complexe, standardele actuale permit testarea experimentală a elementelor pentru a verifica performanța structurală. Aceste teste pot înlocui calculele sau se pot folosi împreună cu ele. Doar laboratoarele acreditate au dreptul să realizeze astfel de încercări și să ofere certificatele corespunzătoare.

## 5 EVALUAREA REUTILIZABILITĂȚII STRUCTURALE

Reutilizabilitatea majorității componentelor structurale, ansamblurilor sau produselor componente poate fi estimată încă din timpul auditului pre-deconstrucție. Acest lucru va influența semnificativ planificarea procesului de deconstrucție, inclusiv uneltele și tehnicile ce urmează a fi utilizate pe șantier. Reguli generale pentru auditare sunt prezentate în noul protocol al UE pentru gestionarea deșeurilor din construcții și demolări, care include linii directoare pentru audituri pre-demolare și pre-renovare ale lucrărilor de construcții [50], iar îndrumări mai specifice pentru structurile metalice sunt oferite de proiectul PROGRESS, în protocolul de audit pre-deconstrucție (Capitolul 3 din [42]).

### 5.1 Parametri care influențează reutilizabilitatea

Un aspect important în evaluarea oțelului structural pentru reutilizare este ca acesta să fie lipsit de degradări atunci când este recuperat din utilizarea sa anterioară. Prin urmare, elementele structurale nu trebuie să prezinte imperfecțiuni semnificative sau deformații permanente, nici deteriorări locale, incluzând deformații plastice și secțiuni transversale reduse (de exemplu, prin găuri, deschideri, fisuri sau coroziune excesivă) și nu trebuie să fi fost supuse unor evenimente extreme precum impactul, oboseala sau incendii.

Deteriorarea reprezintă reducerea caracteristicilor materiale și/sau a dimensiunilor ca urmare a condițiilor de expunere. De exemplu, un element din oțel poate suferi coroziune în condiții de expunere nefavorabile, ceea ce reduce proprietățile sale geometrice. Un defect este o scădere a capacității structurale în cazurile în care încărcările au depășit capacitatea structurală, sau ca urmare a unui impact local, a găuririi sau sudării, care afectează proprietățile structurale. O degradare este rezultatul unor încărcări extreme care nu ar fi putut fi prevăzute sau luate în considerare în proiectare, cum ar fi solicitările seismice extreme, impacturi (de exemplu, din partea unui vehicul), explozii sau deflagrații.

Oțelul nu suferă modificări majore ca urmare a îmbătrânirii, cu excepția apariției ruginii la suprafață și a posibilelor efecte ale deformațiilor inelastice. Coroziunea poate fi prevenită printr-o formă adecvată de protecție, care include pregătirea suprafeței și aplicarea de sisteme de vopsea sau protecții anticorozive metalice prin pulverizare termică sau galvanizare.

Îmbătrânirea materialului reprezintă deteriorarea treptată (ca urmare a timpului sau utilizării), în principal a proprietăților mecanice și fizice. Există două tipuri de bază de îmbătrânire: fragilizarea prin îmbătrânire termică și îmbătrânirea prin deformație. Fragilizarea prin îmbătrânire termică reprezintă un proces de schimbare a proprietăților materialului din cauza descompunerii soluției solide de ferită suprasaturate pe o perioadă lungă de timp, fără acțiunea unei sarcini mecanice externe. Acest fenomen poate apărea în special la oțelurile cu conținut scăzut de carbon (până la cca. 0,2% C) și conduce treptat la scăderea ductilității, a rezilienței la șoc și a tenacității la rupere a materialului, la creșterea temperaturii de tranziție și la mărirea limitelor inferioare și superioare ale rezilienței la șoc. Îmbătrânirea prin deformație se referă la un proces care constă în modificări ale proprietăților materialului după și/sau în timpul deformării plastice. Există două tipuri de îmbătrânire prin deformare: îmbătrânirea statică prin deformație, de exemplu în cazul tasărilor de fundație, unde proprietățile materialului se modifică după ce elementele au suferit deformații plastice, și îmbătrânirea dinamică prin deformație, de exemplu, după

evenimente seismice majore, când proprietățile materialului se schimbă rapid în timpul unor deformații mari. Îmbătrânirea prin deformare afectează caracteristicile mecanice în sensul că limita de curgere măsurată după îmbătrânire este adesea mai mare, dar ductilitatea la rupere scade. Cele două fenomene sunt frecvent considerate în combinație și, prin urmare, termenul *îmbătrânire* este adesea folosit în mod interschimbabil.

Oboseala este definită ca un proces de acumulare ciclică a deteriorării într-un material care este supus la solicitări și deformații fluctuante. O caracteristică semnificativă a oboselii este că sarcina nu este suficient de mare pentru a provoca o cedare imediată. În schimb, cedarea apare după un anumit număr de fluctuații ale sarcinii, adică după ce deteriorarea acumulată a atins un nivel critic. De exemplu, grinzile de rulare ale podurilor rulante sunt structuri sensibile la oboseală.

În anumite circumstanțe, oțelul poate ceda lent din cauza deformărilor plastice mici la temperaturi ridicate, de obicei în timpul unui incendiu. Rezistența la fluaj, în intervalul de temperaturi în care acesta se manifestă, este întotdeauna mai mică decât limita de curgere a materialului.

## 5.2 Abordare generală

Întregul proces, de la recuperare la reutilizarea componentelor din oțel, este rezumat în diagrama de flux din Fig. 5.1. Domeniul de aplicare este limitat la clădirile construite cu elemente produse după anul 1970, astfel încât materialele sunt, în general, conforme cu specificațiile moderne ale produselor și cu metodele de proiectare bazate pe stările limită considerate în standardele actuale.

Dacă o clădire devine disponibilă pentru recuperarea structurii principale din oțel, și eventual a componentelor secundare și a învelitorii, ar trebui realizat un audit pre-deconstrucție înainte de demontarea clădirii. Acest lucru va permite identificarea componentelor clădirii care pot fi reutilizate. Auditurile pre-deconstrucție sunt descrise în Volumul 3.

În urma acestei inspecții inițiale a clădirii, se emite o recomandare privind posibilitatea reutilizării componentelor din oțel sau, dacă este cazul, dacă demolarea reprezintă opțiunea mai adecvată.

Dacă produsele din oțel pot fi recuperate, este important să se definească scenariul de reutilizare preconizat. În cazul reutilizării prin relocare, se poate lua o decizie privind reutilizarea întregii structuri sau doar a elementelor individuale. Instrucțiuni privind evaluarea reutilizabilității elementelor recuperate sunt oferite în Secțiunea **Error! Reference source not found.** Materialele trebuie apoi prelevate și, dacă este necesar, testate conform protocolului din Anexa A. Reutilizabilitatea structurală a elementelor existente se evaluează apoi pe baza rezultatelor încercărilor.

Dacă reutilizarea este o opțiune viabilă pe baza dimensiunilor, calității și cantității elementelor recuperate, structura clădirii poate fi apoi demontată, iar toate elementele etichetate și grupate pe loturi. Componentele trebuie adesea curățate pentru a îndepărta protecția anticorozivă și murdăria acumulată sau supuse altor procese de recondiționare. În final, se realizează proiectarea structurală și verificarea elementelor din oțel recuperate și a

altor componente, pentru scenariul de reutilizare ales (vezi Secțiunea **Error! Reference source not found.**).

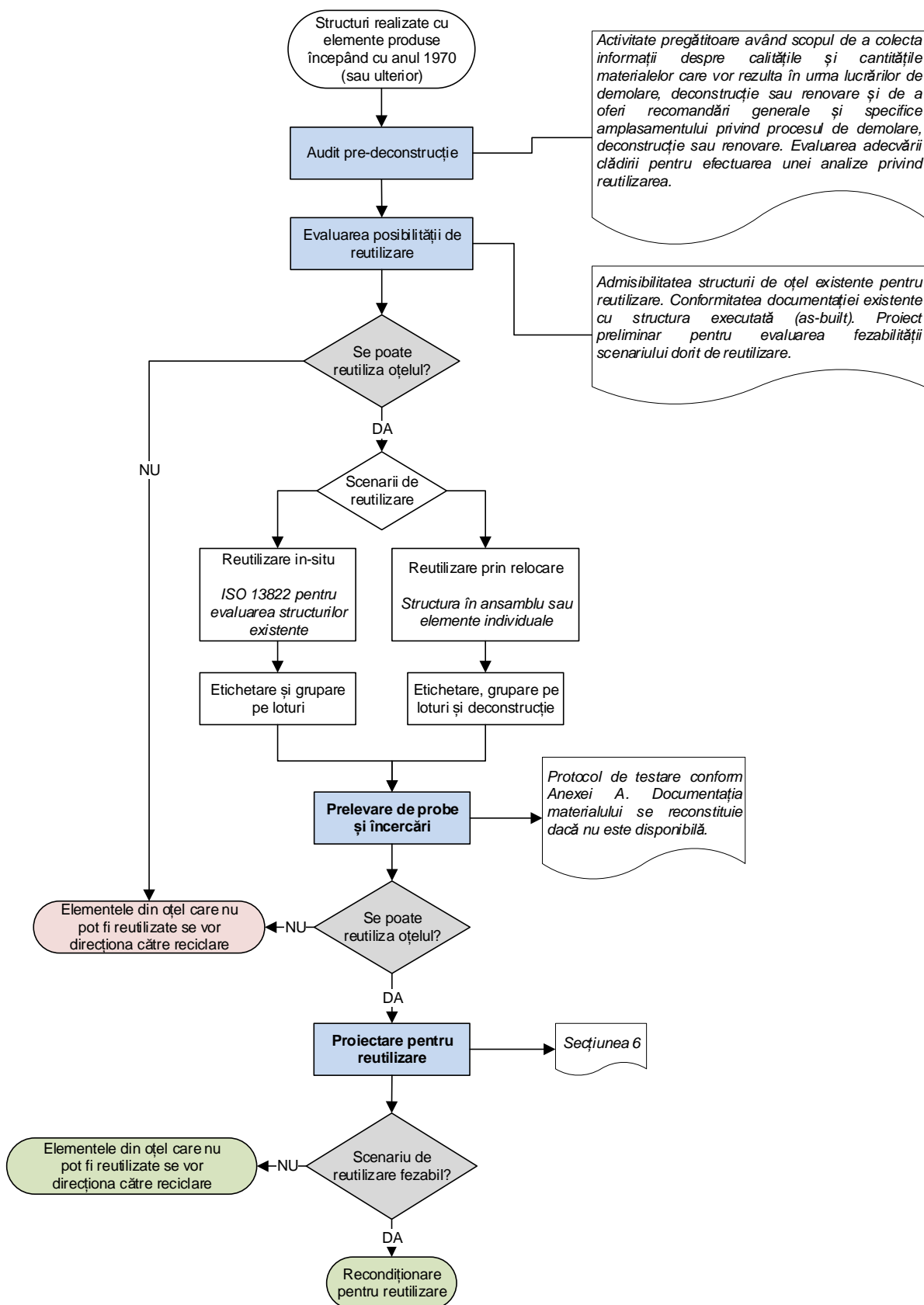


Fig. 5.1 Abordarea generală: de la recuperare la reutilizare și proiectarea produselor din oțel

### 5.3 Procedura de proiectare

Proiectarea structurilor realizate din elemente de oțel recuperate urmează aceleași principii de proiectare pe baza stărilor limită și verificare folosind metoda coeficienților parțiali, ca și pentru „structurile noi”. Există, totuși, câteva reguli și dispoziții suplimentare, care sunt prezentate în această parte a documentului. Dispozițiile specifice pentru verificarea integrității structurale sunt derivate din principiile fiabilității structurale [9].

Fig. 5.2 oferă o prezentare generală a principiilor de proiectare bazate pe Eurocod.

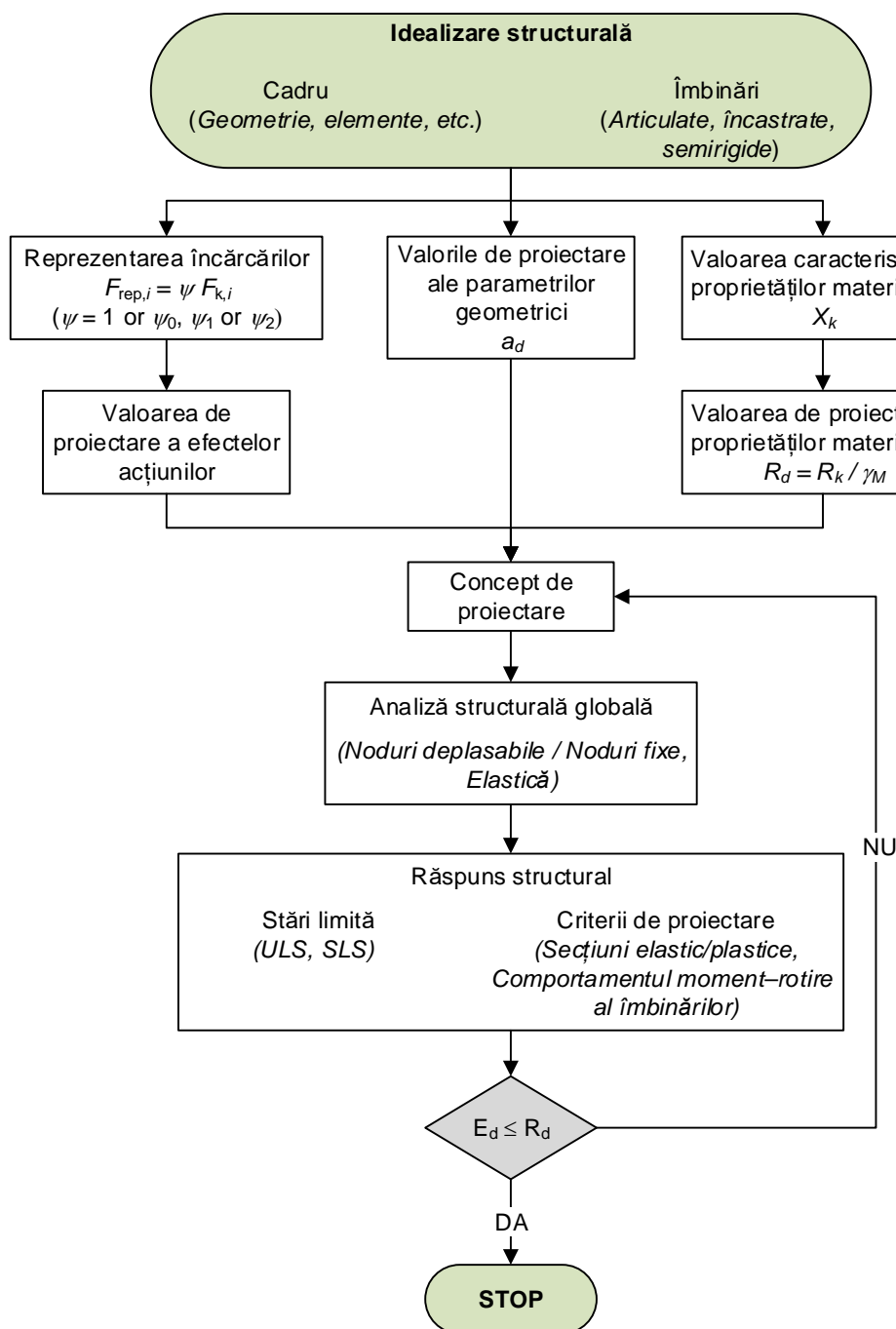


Fig. 5.2 Prezentare generală a proiectării cadrelor

Abordarea proiectării cuprinde următorii pași, în funcție de tipul structurii și de rolul contractual al proiectantului (în numele clientului sau al antreprenorului general):

- Proiectantul alege o schemă viabilă de cadru structural, bazat pe cerințele spațiale ale clădirii;
- Se obțin valorile de proiectare ale efectelor acțiunilor, în conformitate cu standardele relevante, precum și geometria clădirii;
- Valorile de proiectare ale rezistențelor materialelor sunt determinate pentru elementele structurale din oțel, vezi Secțiunea 5.4.1;
- Proiectarea conceptuală a structurii este finalizată pe baza acestor informații inițiale, iar diverse opțiuni sunt prezentate clientului;
- În acest stadiu, va deveni evident dacă utilizarea posibilă a componentelor din oțel recuperat este atât practică, cât și viabilă;
- Proiectarea finală a structurii este apoi realizată, ținând cont de feedback-ul clientului față de proiectul conceptual propus;
- Proiectantul decide tipul de analiză structurală care va fi adoptat. Recomandarea pentru proiectarea folosind elemente din oțel recuperat este de a adopta o analiză globală elastică;
- Se efectuează verificările la stările limită pentru a determina răspunsul structural. Acestea constau în verificarea Stărilor Limită de Serviciu (SLS), adică deformațiile cadrului și ale elementelor în condiții de exploatare, și a Stărilor Limită Ultime (ULS), adică rezistența elementelor, precum și stabilitatea elementelor și a cadrului;

Când structura nu îndeplinește noile cerințe de proiectare, sistemul structural va trebui modificat sau consolidat corespunzător.

## 5.4 Oțel structural pentru reutilizare

Oțelul structural recuperat poate fi utilizat în proiectarea structurală conform dispozițiilor din EN 1993. Pentru a fi în conformitate cu acest standard de proiectare, materialul trebuie să respecte cerințe specifice de performanță și calitate, care sunt descrise mai jos.

Definiția oțelului structural în acest context se referă la oțelul provenit din elemente realizate din profile laminate la cald și îmbinările lor de capăt, inclusiv ferme realizate din profile laminate. Secțiunile fabricate (sudate), cum ar fi grinzile din tablă, pot fi incluse în această definiție, însă acestea sunt adesea proiectate pentru condiții specifice de încărcare, în ceea ce privește dimensiunea sudurilor, rigidizările tablei etc., și necesită verificări pentru scenariul specific de reutilizare. Elemente secundare realizate din profile formate la rece pot fi de asemenea reutilizate, fără modificări sau prin scurtare, deși ele nu sunt, în mod obișnuit, considerate în definiția oțelului structural.

CEN/TS 1090-201:2024 [2] oferă prevederi complementare la EN 1090-2 pentru evaluarea și testarea componentelor structurale recuperate, destinate execuției structurilor metalice până la clasa de execuție EXC3 (vezi EN 1090-2). Prevederile din CEN/TS 1090-201:2024 se aplică produselor utilizate în structuri care urmează a fi proiectate (vezi EN 1993-1-1) pentru sarcini cvasi-stactice și care nu sunt supuse solicitărilor de oboseală. Documentul stabilește cerințe pentru evaluarea reutilizabilității componentelor structurale și a produselor componente recuperate. De asemenea, acesta include o evaluare generală a reutilizabilității

și o evaluare a calității pentru table, profile laminate la cald și secțiuni tubulare laminate la cald sau formate la rece din oțel carbon, utilizate ca produse componente.

Evaluarea calității include determinarea și declararea proprietăților mecanice și geometrice, precum și a sudabilității. Aceste proprietăți sunt cele care trebuie specificate pentru produse nestandardizate conform Clauzei 5.1 din EN 1090-2. Dimensiunile și toleranțele tuturor produselor recuperate trebuie măsurate și documentate. Componenta poate fi declarată cu referire la un profil standard, dacă sunt îndeplinite toate cerințele geometrice. Proprietățile mecanice pot fi investigate prin teste nedistructive de duritate, iar în final, proprietățile relevante sunt obținute prin unul sau câteva teste distructive, iar rezultatele sunt atribuite tuturor elementelor din unitatea de testare. În final, oțelul poate fi declarat conform claselor definite în standardele de produs.

Documentul nu se aplică secțiunilor structurale formate la rece și tablă profilată, așa cum sunt descrise în EN 1090-4, sau elementelor de îmbinare mecanică.

Documentul [53] prezintă cele mai importante aspecte de luat în considerare în proiectarea structurilor noi cu oțel structural recuperat, în conformitate cu EN 1993, incluzând domeniul de aplicare, propuneri și planuri de acțiune. Domeniul de aplicare cuprinde proiectarea componentelor structurale din oțel recuperat pentru reutilizare (doar elemente structurale). De asemenea, acesta propune 8 etape ale procesului ulterior, pentru care sunt furnizate descrieri detaliate ale respectivilor pași ai lanțului de proces (PC Steps).

#### 5.4.1 Clasificarea elementelor structurale din oțel recuperat

În cadrul proiectului RFCS PROGRESS [54], oțelul recuperat a fost clasificat în funcție de verificarea cerințelor de performanță ale materialului (evaluarea adecvării) și a cerințelor de asigurare a calității (evaluarea fiabilității), în următoarele clase:

- **Clasa A:** materiale din oțel care îndeplinesc cerințele de performanță și care dispun de asigurarea calității aprobată, pe baza certificatelor originale;
- **Clasa B:** materiale din oțel care îndeplinesc toate cerințele de performanță prin testări complete ale materialului (vezi Anexa A) și cu asigurare a calității aprobate, respectiv certificate de conformitate cu standardele europene de produs relevante, obținute prin încercări;
- **Clasa C:** materiale din oțel clasificate ca având cel mai conservator grad, în funcție de vechimea și locația structurii (oțel neidentificat).

Evaluarea adecvării are scopul de a justifica caracteristicile necesare/cerute ale materialului conform standardului de material/produs sau conform Clauzei 5.1 din EN 1090-2, în timp ce evaluarea fiabilității urmărește să justifice că cerințele de fiabilitate pentru procedurile de proiectare conform Eurocodurilor sunt îndeplinite.

CEN/TS 1090-201:2024 [2] propune patru protocoale de testare, de la A la D. Încercările distructive necesare sunt adaptate pe baza informațiilor obținute în etapa de prospectare. Recomandările pentru alegerea unui anumit protocol sunt prezentate mai jos și sunt ilustrate în Fig. 5.3. Proveniența oțelului se consideră cunoscută atunci când sunt disponibile cel puțin informații privind amplasamentul geografic, anul construcției și funcția anterioară a componentelor. Sunt incluse două tipuri de oțel structural, respectiv tipul 1 și tipul 2.

Oțelul structural de tip 1 poate fi considerat ca având proprietăți mecanice și de sudabilitate similare cu clasele de oțel conform standardelor europene listate în Clauza 5.3 din EN 1090-

2:2018+A1:2024. Variabilitatea proprietăților mecanice ale acestora poate fi considerată conformă cu Anexa E din EN 1993-1-1. Produsele recuperate din structuri realizate cu elemente fabricate începând cu anul 1970 sau ulterior sunt considerate ca fiind din oțel „modern”, denumit oțel de Tip 1.

Pentru oțelul structural de Tip 2, variabilitatea proprietăților nu poate fi considerată în mod fiabil, fiind necesare încercări suplimentare, precum și o analiză statistică a rezultatelor, conform protocolului C din 5.3.4.5 al CEN/TS 1090-201:2024.

Componentele structurale cu proveniență necunoscută nu trebuie grupate în unități de testare și necesită testare completă, conform protocolului D din 5.3.4.6 al CEN/TS 1090-201:2024.

CEN/TS 1090-201:2024 introduce un cadru tehnic mai detaliat pentru verificarea componentelor structurale din oțel reutilizate. Spre deosebire de sistemul de clasificare A/B/C prezentat în proiectul RFCS PROGRESS [54], CEN/TS 1090-201:2024 definește patru protocoale de testare (A-D), selectate pe baza provenienței oțelului (cunoscută sau necunoscută) și a clasificării sale fie ca Tip 1 (după 1970) sau Tip 2 (înainte de 1970). Aceste protocoale stabilesc cerințe pentru testare, inspecție și declararea proprietăților mecanice în conformitate cu EN 1090-2 și Eurocod 3. În prezentul ghid, vor fi adoptate protocoalele de testare definite în CEN/TS 1090-201:2024.

#### 5.4.2 Cerințe de performanță ale materialului

EN 1090-2, referitor la execuția structurilor din oțel (adică fabricație și montaj), permite specificarea oțelului și a secțiunilor care nu sunt acoperite de standardele europene pentru produse constitutive. Următoarele proprietăți mecanice trebuie determinate conform Clauzei 5.1 din EN 1090-2 [8]:

- Rezistență, adică limita de curgere,  $f_y$ , și rezistența la tracțiune,  $f_u$ ,
- Alungirea la rupere,  $a$ , care oferă informații despre cât de mult se deformează materialul,
- Condiția de livrare după tratamentul termic.

Clasa de oțel ar trebui să fie în intervalul S235 până la S700. Cerințele de ductilitate pentru proiectarea conform EN 1993-1-1 sunt prezentate în Tabelul Tabelul 5.11 (valori recomandate care pot fi modificate de Anexele Naționale – NAs).

Tabelul 5.1 Cerințe de ductilitate (valori recomandate de CEN)

	Raport $f_u/f_y$	Alungire la rupere
Pentru analiză globală plastică	$\geq 1.10$	$\geq 15\%$
Pentru analiză globală elastică	$\geq 1.05$	$\geq 12\%$

EN 1090-2 prevede, de asemenea, că pot fi necesare, deși nu sunt obligatorii, caracterizările următoarelor proprietăți:

- Reducerea secțiunii sub tensiune,
- Rezistența la impact sau tenacitatea,
- Cerințe privind proprietățile pe direcția grosimii (valoarea Z),
- Limite privind discontinuitățile interne sau fisuri în zonele care urmează să fie sudate.

Atunci când se prevede sudarea unei structuri realizate din oțel recuperat, compoziția chimică trebuie determinată pentru a fi utilizată la elaborarea specificației procedurii de sudare. Există tehnici foarte simple de încercare nedistructivă pentru determinarea compoziției oțelului, cum este tehnica de identificare pozitivă a metalului (PMI – Positive Metal Identification) (vezi Anexa A). Se impune, de asemenea, caracterizarea completă a compoziției chimice, deoarece materialul recuperat trebuie caracterizat în lipsa certificatelor originale. Sudabilitatea oțelului trebuie declarată astfel [8]:

- Clasificare conform sistemului de grupare a materialelor definit în CEN ISO/TR 15608 [55], sau
- Limită maximă pentru echivalentul de carbon, sau,
- Declarație a compoziției chimice suficient detaliată pentru a calcula echivalentul de carbon.

#### **5.4.3 Cerințe privind asigurarea calității**

Oțelul recuperat trebuie să respecte anumite cerințe de calitate și siguranță pentru a putea fi caracterizat astfel încât să se asigure capacitatea sa de a fi utilizat în proiectarea structurală conform EN 1993. Întrebarea principală la care trebuie să se răspundă este: „*Conform cărui standard specific de produs a fost fabricat materialul?*”, pentru a verifica conformitatea, calitatea și trasabilitatea produsului.

Trasabilitatea materialului reprezintă capacitatea de a urmări sursa unui material specific din oțel până la identitatea sa originală, așa cum a fost livrat de la laminor, printr-un sistem corespunzător de identificare și asigurare a calității. Furnizorii și fabricanții care intenționează să recupereze materiale structurale din oțel trebuie să stabilească un sistem intern de asigurare a calității pentru a garanta trasabilitatea acestor materiale. Fiecare element de oțel trebuie să fie marcat cu un număr unic de identificare, pentru care se introduc și se înregistrează verificări de control al calității. O astfel de identificare unică va facilita referințele viitoare către certificatul de control al producției din fabrică, certificatul de testare al producătorului, fișa de inspecție și/sau raportul de încercări, fără confuzii.

Dacă sunt disponibile certificatele de producător, este posibilă trasabilitatea componentelor de oțel recuperate pentru a verifica dacă acestea îndeplinesc specificațiile și cerințele relevante ale materialului.

Materialele noi din oțel sunt furnizate cu o declarație de performanță (DoP) valabilă și un certificat de încercare al producătorului, pe baza specificației de livrare. Prin contrast, reutilizarea materialului este permisă în urma unei verificări satisfăcătoare a reutilizabilității acestuia.

#### **5.4.4 Proprietățile oțelului necesare a fi declarate pentru elementele recuperate din oțel laminat la cald**

Această secțiune rezumă proprietățile oțelului care trebuie evaluate pentru elementele recuperate din oțel laminat la cald, conform clauzei 5.1 din EN 1090-2 (inclusiv secțiunile tubulare – vezi Tabelul Tabelul 5.2). În continuare sunt oferite și comentarii suplimentare privind aceste proprietăți.

## Rezistență

Limita de curgere și rezistența la tracțiune trebuie determinate și evaluate conform Anexei A. Valorile declarate pentru limita de curgere și rezistența la tracțiune ale oțelului structural recuperat, ce urmează a fi utilizat în proiectare, trebuie definite în funcție de o clasă de oțel specificată într-un standard de produs de referință (de exemplu, S275), care să asigure cerințele de fiabilitate (vezi Anexa A).

Tabelul 5.2 Proprietăți ale materialului ce trebuie declarate conform clauzei 5.1 din EN 1090-2

Proprietate	A se declara	Procedură
Rezistență (limita de curgere și la tracțiune)	Da	Determinată prin încercări distructive și nedistructive
Alungire	Da	Determinată prin încercări distructive
Cerințe privind reducerea secțiunii sub tensiune (STRA)	Dacă se cere	În general, nu este necesară declararea
Toleranțe privind dimensiunile și forma	Da	Pe baza măsurătorilor dimensionale
Rezistență la impact sau tenacitate	Dacă se cere	Dacă este cazul, determinată prin încercări distructive; ipoteză conservatoare implicită
Condiție de livrare privind tratamentul termic	Da	Ipoteză conservatoare implicită
Proprietăți pe direcția grosimii (valoarea Z)	Dacă se cere	În general, nu este necesară declararea
Limite privind discontinuități interne/fisuri în zonele de sudură	Dacă se cere	În general, nu este necesară declararea
<b>În plus, dacă oțelul urmează să fie sudat, sudabilitatea acestuia trebuie declarată astfel:</b>		
Proprietate	A se declara	Procedură
Clasificare conform sistemului de grupare a materialelor din CEN ISO/TR 15608, sau	-	Nu se aplică pentru structuri metalice reutilizate.
Limită maximă pentru echivalentul de carbon al oțelului, sau	Da	Valoarea maximă de declarat din certificatele de test ale producătorului.
Declarație privind compoziția chimică, cu un nivel de detaliu suficient pentru a permite calcularea echivalentului de carbon	Da	Determinată prin încercări distructive și nedistructive.

## Alungire

Utilizarea structurilor metalice recuperate este limitată la aplicații unde nu este necesară o ductilitate semnificativă (adică, analiză globală elastică, fără utilizare în sistemul seismic principal; proiectare DCL). Cu toate acestea, alungirea trebuie evaluată conform clauzei 5.1 din EN 1090-2, ceea ce presupune determinarea prin încercări distructive de tracțiune. Pe baza datelor istorice, nu există motive de îngrijorare că oțelul structural recuperat din clădiri construite după 1970 nu ar îndeplini cerințele de proiectare conform Eurocodului 3 (vezi

Tabelul Tabelul 5.1) [56]] - [58]. Cerința minimă privind alungirea pentru oțelul recuperat este preluată din Tabelul 5.1, nu din standardul de produs de referință.

### ***Toleranțe privind dimensiunile și forma***

Elementele recuperate pot fi verificate în raport cu toleranțele geometrice conform standardului de produs relevant (vezi Tabelul 5.4). Elementele care se încadrează în toleranțele admise sunt acceptabile și satisfac ipotezele utilizate în standardul de proiectare. Totuși, nu există nicio restricție în utilizarea structurilor metalice recuperate cu dimensiuni atipice, adică elemente pentru care nu sunt respectate toleranțele din Tabelul 5.4, atâta timp cât proiectarea ia în considerare proprietățile secțiunii măsurate și nu dimensiunile standard din tabele. Deformările elementelor (cum ar fi încovoierea sau imperfecțiunile secțiunii transversale – lipsa de unghi drept sau de planeitate) trebuie totuși să respecte cerințele din EN 1090-2.

### ***Proprietăți pe direcția grosimii***

Proprietățile pe direcția grosimii nu sunt, în general, necesare pentru elementele recuperate, cum ar fi grinzi sau stâlpi. Anumite detalii de îmbinare sau componente pot necesita ca tabla de oțel să aibă proprietăți specifice pe direcția grosimii [62]. Dacă sunt necesare proprietăți pe direcția grosimii, tabla recuperată trebuie testată conform specificațiilor din EN 1993-1-10 [18].

### ***Rezistența la impact sau tenacitatea***

Rezistența la impact sau tenacitatea (cunoscută în mod obișnuit sub denumirea de valoare Charpy) poate fi necesară pentru un proiect specific, cum ar fi structuri groase, foarte solicitate, în special când sunt expuse la temperaturi scăzute. Pentru structurile metalice interioare care nu sunt supuse la oboseală, se poate adopta o ipoteză conservatoare privind tenacitatea materialului, presupunându-se o valoare minimă a încercării Charpy cu creșterea V de 27J la 20°C, în cazul în care nu se efectuează încercări (clasă de calitate JR) [56] – [58]. Dacă tenacitatea materialului trebuie determinată, sunt necesare încercări distructive conform standardului relevant (vezi Anexa A).

### ***Condiția de livrare privind tratamentul termic***

Condițiile de livrare legate de tratamentul termic influențează, de exemplu, dimensiunea granulelor, tensiunile reziduale etc. În contextul prezentului document, această condiție are implicații pentru secțiunile tubulare recuperate. Secțiunile tubulare pentru aplicații structurale sunt fie formate la rece conform EN 10219, fie laminate la cald conform EN 10210. Condiția de tratament termic influențează nivelul tensiunilor reziduale în secțiunea tubulară, ceea ce, la rândul său, are implicații asupra proiectării la flambaj a elementului. Deoarece măsurarea acestei proprietăți nu este fezabilă economic, se recomandă ca toate secțiunile tubulare recuperate să fie considerate ca fiind formate la rece, conform EN 10219.

### ***Declarația privind compoziția chimică***

Compoziția chimică este necesară pentru a stabili durabilitatea și sudabilitatea oțelului structural recuperat. Este necesară o declarație privind compoziția chimică bazată pe teste (vezi Anexa A). Compoziția chimică trebuie să determine anumite elemente chimice conform

standardului de produs de referință relevant (EN 10025-2/3/4, clauza 7.2 sau EN 10219-1, clauza 6.6), pe baza cărora poate fi calculată valoarea echivalentului de carbon (CEV).

### 5.4.5 Evaluarea proprietăților materialului

În general, oțelul recuperat este evaluat din punctul de vedere al adecvării și fiabilității, care sunt strâns interconectate. Oțelul trebuie, de obicei, evaluat, adică proprietățile reale ale materialului trebuie verificate în raport cu cerințele de performanță ale materialului. În lipsa certificatelor relevante, testarea materialului trebuie efectuată folosind metode adecvate de eșantionare și testare, pentru a demonstra adecvarea acestuia. Evaluarea fiabilității are scopul de a asigura că produsele din oțel sunt fabricate sub un sistem riguros de asigurare a calității și că îndeplinesc cerințele corespunzătoare de calitate.

Materialele pot fi clasificate după finalizarea acestor evaluări, care sunt evident interdependente, conform sistemului propus mai sus și în conformitate cu schema logică prezentată în Figura 5.3. Clasificarea este necesară pentru a stabili dacă materialul de oțel recuperat poate fi utilizat în structuri conform EN 1993, cu sau fără restricții.

Cele patru protocoale [2], A până la D, sunt definite pentru evaluarea proprietăților materialului:

- **Protocolul A:** Documentație disponibilă (oțel structural de tip 1 cu documente originale de inspecție);
- **Protocolul B:** Eșantion unic cu testare distructivă (oțel structural de tip 1 cu proveniență cunoscută);
- **Protocolul C:** Încercare distructivă reprezentativă statistic (oțel structural de tip 2 cu proveniență cunoscută);
- **Protocolul D:** Încercare distructivă completă (oțel structural cu proveniență necunoscută).

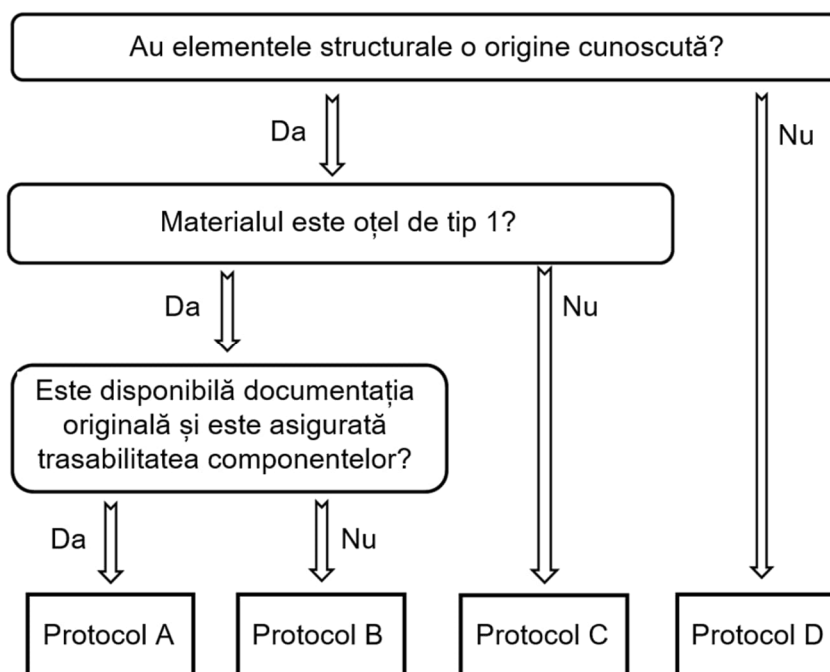


Fig. 5.3 Diagrama de flux pentru alegerea protocolului de testare [2]

**Protocolul A:** Documentație disponibilă (oțel structural de tip 1 cu documente originale de inspecție). Acesta acoperă cazul produselor care sunt trasabile și pentru care documentația originală este disponibilă. Conform Protocolului A, materialul din oțel poate fi utilizat în proiectare conform EN 1993, deoarece evaluarea adecvării și fiabilității este justificată prin documentația existentă. Exemple de structuri metalice clasificate în Clasa A includ structurile recuperate dintr-un proiect anulat (niciodată montate) sau structuri provenite din surse diferite, pentru care există documentație. Se poate utiliza o procedură opțională minimală de încercări pentru oțelul din Clasa A, pentru a confirma clasa materialului recuperat.

**Protocolul B:** Eșantion unic cu testare distructivă (oțel structural de tip 1 cu proveniență cunoscută). Se face o distincție importantă în funcție de vechimea materialului evaluat. Componentele produse recent au, cel mai probabil, proprietăți (inclusiv variabilitatea acestora) corespunzătoare celor presupuse în proiectarea cu clasele actuale de oțel. Acestea pot fi evaluate pe baza unui singur test (Protocolul B). Când se aplică Protocolul B, proprietățile atribuite tuturor elementelor dintr-o unitate de testare validă pot fi declarate prin referire la o clasă de oțel. Valorile caracteristice ale limitei de curgere și rezistenței la tracțiune corespund fractilei inferioare de 5% (echivalent fractilei superioare de 95%) calculate pe baza valorilor medii și varianțelor prezentate în Anexa E din EN 1993-1-1.

Alternativ, limita de curgere și rezistența la tracțiune pot fi declarate cu referire la o clasă de oțel echivalentă pentru care valorile măsurate satisfac criteriile din Tabelul 5.3.

Table 5.3 Valorile minime pentru limita de curgere și rezistența la tracțiune din încercări pe eșantion unic pentru clase echivalente de oțel

Clasă echivalentă de oțel	$R_{eH} \geq$ (MPa)	$R_m \geq$ (MPa)
S235	267	397
S275	313	452
S355	391	505
S420	463	559
S460	490	560

Valorile minime pentru limita de curgere și rezistența la tracțiune din Tabelul 5.3 sunt fractila de 5%, presupunând proprietăți ale materialului conform EN 1993-1-1:2022, Anexa E.

**Protocolul C:** Încercarea distructivă reprezentativă statistic (oțel structural de tip 2 cu proveniență cunoscută). Când se aplică Protocolul C, proprietățile caracteristice atribuite tuturor elementelor unei unități de testare valide pot fi bazate pe o analiză statistică conform EN 1990.

Pentru protocoalele B și C, conformitatea cu cerințele de performanță se demonstrează prin încercări detaliate ale materialului (vezi Anexa A). Procedura de testare include o combinație de încercări distructive și nedistructive, de exemplu conform EN ISO 6892-1, împreună cu inspecția toleranțelor geometrice.

**Protocolul D:** Încercări distructive complete (oțel structural cu proveniență necunoscută). Dacă originea produselor recuperate este necunoscută, nu este posibilă gruparea mai multor componente într-o unitate de încercare și atribuirea unor proprietăți comune. În acest caz, protocolul D impune ca fiecare componentă să fie încercată individual prin metode

distructive. Rezultatele încercărilor pot fi apoi utilizate direct ca valori caracteristice sau comparate cu valorile nominale dintr-un standard de produs relevant. Când proveniența componentelor recuperate este cunoscută, acestea pot fi grupate în unități de încercări, iar încercarea nedistructivă de duritate se efectuează pe toate elementele din unitate pentru a selecta în siguranță pe cele pentru încercarea distructivă.

Alternativ, dacă materialul din oțel recuperat rămâne neidentificat, dar fără defecte semnificative, poate fi permisă utilizarea lui pentru structuri care nu sunt critice din punct de vedere al siguranței, de exemplu clădiri agricole. În acest caz, se va presupune că oțelul este din cea mai slabă clasă structurală utilizată la momentul primei utilizări. Se pot folosi standardele relevante pentru produse și codurile de proiectare în funcție de data montării structurii.

După ce este efectuată evaluarea adecvării structurii din oțel recuperat, este necesară o evaluare a fiabilității pentru a asigura că produsul recuperat poate fi utilizat în proiectarea structurală conform EN 1993. Cerința de bază a acestei evaluări este legată de faptul că EN 1993 se bazează pe o distribuție statistică cunoscută a limitelor de curgere și a rezistenței la tracțiune pentru a specifica coeficienți parțiali care să asigure cerințele de fiabilitate conform EN 1990. Pentru a efectua o astfel de evaluare, rezultatele încercărilor trebuie să respecte anumite valori minime pentru limitele de curgere și rezistența la tracțiune.

Anexa A oferă un protocol de evaluare și testare care include definirea grupurilor de elemente pentru testare (unități de testare), frecvența testărilor, tipurile de proceduri de testare care trebuie utilizate pentru a efectua evaluarea adecvării și o procedură de atingere a cerințelor de fiabilitate (evaluarea fiabilității).

#### **5.4.6 Evaluarea execuției și certificarea structurii metalice recuperate**

Nu vor exista diferențe în procesele de fabricație, proceduri, standarde sau toleranțe între oțelul nou și oțelul recuperat. Prin urmare, este adecvat ca structurile refabricate din oțel recuperat să poată primi Marcajul CE în conformitate cu EN 1090-1.

Pe lângă controlul atent al procesului de fabricație, proprietățile materialului trebuie declarate conform Clauzei 5.1 din EN 1090-2 dacă nu sunt disponibile certificatele/documentele de material. Atunci când se utilizează oțel recuperat, declararea acestor proprietăți conform Clauzei 5.1 poate deveni responsabilitatea distribuitorului. Distribuitorii care doresc să comercializeze elemente recuperate înapoi către industria construcțiilor sunt responsabili de furnizarea documentației materialului, conform așteptărilor aplicabile și producătorilor de oțel „nou”.

Această cerință se referă la elementele recuperate simple, fără suduri. Dacă elementele recuperate conțin îmbinări sudate, procedurile de sudare trebuie inspectate și testate pentru a se asigura că îndeplinesc cerințele de fabricație din EN 1090-2.

### **5.5 Produse constituate**

#### **5.5.1 Proprietăți relevante**

Un produs constituent în contextul reutilizării reprezintă un element individual extras dintr-o structură existentă, selectat pentru demontare și apoi reutilizat ca produs nou pentru

fabricarea și construcția unei alte structuri. Acesta poate include profile din oțel laminate la cald sau formate la rece.

Profilele, tablele și barele din oțel utilizate ca elemente structurale trebuie să aibă dimensiuni și toleranțe care să respecte standardele din Tabelul 5.4, iar secțiunile structurale tubulare pe cele din Tabelul 5.5.

Tabelul 5.4 Secțiuni, table sau bare de oțel laminate: standarde privind materialul și dimensiunile

Formă	Dimensiuni	Toleranțe	Calitatea materialului	
			Oțeluri nealiat	Oțeluri rezistente la intemperii
Secțiuni I și H	EN 10365	EN 10034	EN 10025-2 <sup>(a)</sup> EN 10025-3 EN 10025-4	EN 10025-5 <sup>(b)</sup>
Secțiuni I cu tălpi conice laminate la cald	EN 10365	EN 10024		
Secțiuni U	EN 10365	EN 10279		
Profile laminate cu tălpi asimetrice	<i>Vezi informațiile producătorului</i>			
Corniere	EN 10056-1	EN 10056-2		
Secțiuni T laminate	EN 10055	EN 10055		
Secțiuni fabricate și imperfectiuni de încovoiere	-	EN 1090-2		
Table (lamine reversibile) <sup>(c)</sup>	-	EN 10029		
Table (tăiate din rulou) <sup>(c)</sup>	-	EN 10051		

<sup>(a)</sup> Clasele de oțel S235, S275, S355 și S450. Clasele S235 și S275 pot fi furnizate în calitățile JR, J0 și J2. Clasa S355 poate fi furnizată în calitățile JR, J0, J2 și K2. Clasa S450 este furnizată în calitatea J0.

<sup>(b)</sup> Clasele de oțel S235 și S355. Clasa S235 poate fi furnizată în calitățile J0W și J2W. Clasa S355 poate fi furnizată în calitățile J0W, J0WP, J2W, J2WP și K2W.

<sup>(c)</sup> Domeniul de aplicare al EN 10029 acoperă table cu grosimi de 3 mm până la 250 mm, laminate în proces cu laminoare reversibile, în timp ce EN 10051 acoperă table cu grosimi de până la 25 mm, laminate la cald în mod continuu, neacoperite, sub formă de produse plate.

Tabelul 5.5 Secțiuni structurale tubulare: standarde de material și dimensiuni

Formă <sup>(a)</sup>	Dimensiuni și toleranțe	Calitatea materialului
Secțiuni tubulare (finisate la cald)	EN 10210-2	EN 10210-1
Secțiuni tubulare (formate la rece)	EN 10219-2	EN 10219-1

<sup>(a)</sup> Secțiuni tubulare utilizate în structuri metalice (atât finisate la cald, cât și formate la rece) sunt furnizate în clasa de oțel S235 în clasa de calitate JRH, clasa S275 în calitățile J0H și J2H și clasa S355 în calitățile J0H, J2H și K2H.

Notă: Alegerea între EN 10210 sau EN 10219 specifică dacă secțiunile structurale tubulare sunt finisate la cald sau formate la rece. Secțiunile tubulare finisate la cald conform EN 10210 nu pot fi înlocuite direct cu cele formate la rece conform EN 10219, deoarece proprietățile nu corespund direct.

Pe lângă proprietățile geometrice, caracteristicile materialului sunt de mare importanță pentru performanța elementelor. Clasa oțelului poate fi obținută prin utilizarea protocoalelor de testare prezentate în secțiunea 5.4.5. Aceste protocoale pot fi, de asemenea, utilizate pentru a defini tenacitatea la rupere a oțelului necesară pentru a îndeplini cerințele din EN 1993-1-10 [17].

EN 1993-1-10 prevede cerințe pentru alegerea claselor de oțel, în vederea evitării ruperii fragile prin specificarea proprietăților de tenacitate și pentru evitarea ruperii lamelare în elementele sudate prin specificarea proprietăților pe direcția grosimii.

Alternativ, Tabelul 5.6 oferă grosimi limită ale plăcilor pentru practica din Regatul Unit, presupunând că structura de oțel este sudată cu detalii „moderate” și „foarte severe” conform referințelor [59] și [60] pentru un nivel de efort unitar egal sau mai mare decât  $0.5 \times f_y(t)$ .

Table 5.6 Grosime maximă (mm) pentru fiecare clasă și subclasă de oțel (Regatul Unit)

Detaliu de sudare	Structură metalică	S235			S275			S355		
		JR	J0	J2	JR	J0	J2	JR	J0	J2
Moderat	Internă	45	82.5	115	40	70	102.5	22.5	45	67.5
	Externă	27.5	67.5	97.5	22.5	60	85	12.5	37.5	55
Foarte sever	Internă	27.5	45	67.5	22.5	40	60	12.5	22.5	37.5
	Externă	12.5	37.5	55	10	32.5	50	5	17.5	30

Deoarece domeniul de aplicare al ghidului actual este limitat la reutilizarea oțelului recuperat, pentru structuri unde oboseala nu este un criteriu de proiectare pot fi utilizate valorile limită de grosime propuse de SCI P419 [61] (vezi Tabelul 5.7). Documentul care stă la baza EN 1993-1-10 [18] confirmă că grosimile limită pot fi extrem de conservatoare dacă sunt utilizate pentru structuri care nu sunt supuse oboselii.

SCI P419 adoptă aceleași proceduri ca și Eurocodul, bazate pe abordarea mecanicii ruperii, dar reduce creșterea fisurii calculată pentru aplicații în care oboseala nu este un criteriu de proiectare. Tabelul 5.7 urmează același format ca Tabelul 2.1 din EN 1993-1-10. Valorile din Tabelul 5.7 pot fi utilizate în alte țări decât Regatul Unit, când oboseala nu este un criteriu de proiectare, sub rezerva oricăror cerințe ale Anexei Naționale specifice țării în care se realizează construcția.

Tabelul 5.7 Valori limită ale grosimii când oboseala nu este un criteriu de proiectare [61]

Steel grade	Sub Grade	Charpy energy CVN		Reference temperature, $T_{Ed}$ (°C)																				
				$\sigma_{Ed} = 0.75 f_y(t)$					$\sigma_{Ed} = 0.5 f_y(t)$					$\sigma_{Ed} = 0.25 f_y(t)$										
		at T (°C)	$J_{min}$	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
S235	JR	20	27	200	200	200	195	125	87	63	200	200	200	200	200	200	161	200	200	200	200	200	200	200
	J0	0	27	200	200	200	200	195	125	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	J2	-20	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
S275	JR	20	27	200	200	200	133	91	64	47	200	200	200	200	200	170	121	200	200	200	200	200	200	200
	J0	0	27	200	200	200	200	200	133	91	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	J2	-20	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	M,N	-20	40	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	ML, NL	-50	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
S355	JR	20	27	200	177	114	77	54	40	30	200	200	200	200	147	104	76	200	200	200	200	200	200	200
	J0	0	27	200	200	200	177	114	77	54	200	200	200	200	200	200	147	200	200	200	200	200	200	200
	J2	-20	27	200	200	200	200	200	177	114	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	K2,M,N	-20	40	200	200	200	200	200	200	177	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	ML, NL	-50	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
S460	Q	-20	30	200	200	200	200	147	96	65	200	200	200	200	200	200	187	200	200	200	200	200	200	200
	M,N	-20	40	200	200	200	200	200	147	96	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	QL	-40	30	200	200	200	200	200	200	147	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	ML, NL	-50	27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	QL1	-60	30	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Documentele de inspecție (sau certificatele de încercare) constituie dovezi suficiente că produsul laminat respectă o clasă și subclasă cerută. În uzina de fabricare a oțelului, sistemul de control al calității aplică marcaje sub formă de numere sau litere ștanțate pe fiecare bucată sau lot de produse, astfel încât acestea să poată fi urmărite de la turnarea și

ruta de fabricație specifice, până în punctul de asamblare al elementelor [63]. Documentul de inspecție pentru fiecare lot de oțel este cel mai important document pentru producătorul de oțel, fabricant, montator și pentru cumpărătorul final al componentelor sau structurii finite. Pe lângă compoziția chimică și proprietățile mecanice, documentul de inspecție ar trebui, de asemenea, să înregistreze procesul de fabricare a oțelului și orice tratamente termice aplicate materialului de către producătorul de oțel.

Oțelul care nu poate fi identificat cu ușurință în ceea ce privește clasa trebuie spus încercărilor pentru a determina conformitatea cu standardele. Trebuie stabilit un protocol de eșantionare pentru a furniza informații adecvate despre materiale necesare unei evaluări fiabile (vezi Anexa A). Oțelul recuperat neidentificat poate fi utilizat în structuri care nu sunt critice din punct de vedere al siguranței, de exemplu în clădiri agricole.

Următoarea procedură este propusă pentru verificarea reutilizabilității structurale a elementelor din oțel ca produse constituate:

- Pentru toate elementele trebuie furnizată documentația care indică locația și structura clădirii din care au fost recuperate, inclusiv data construcției clădirii originale,
- Toate produsele care urmează a fi reutilizate trebuie să provină dintr-o structură construită cu elemente fabricate în sau după anul 1970, care nu a fost expusă la solicitări dinamice majore sau alte condiții severe, de exemplu incendiu,
- Toate suprafețele trebuie inspectate vizual, pentru a se asigura că suprafețele de oțel sunt fără rugină și că nu există coroziune excesivă. (Elementele trebuie să fie vizibil expuse și, prin urmare, orice protecție la foc trebuie îndepărtată). În cazul secțiunilor tubulare formate la rece, cordonul de sudură trebuie inspectat pentru orice defecte,
- Straturile de protecție anticorozivă care conțin substanțe toxice, de exemplu plumb, cadmiu, azbest, respectiv delaminarea de suprafață, trebuie îndepărtate prin pregătirea suprafețelor conform EN ISO 8501-1 [64],
- Elementele din oțel recuperat nu trebuie să includă îmbinări sudate (cu excepția cazului în care sudurile sunt testate) și nu trebuie să aibă găuri în poziții în care se vor realiza găuri noi în element (regula rezonabilă de detaliere este o distanță minimă de 3 ori diametrul găurii sau 100 mm între găurile noi și cele existente),
- Dimensiunile secționale (dacă nu sunt cunoscute) trebuie măsurate și secțiunile clasificate, conform Tabelului 5.4 și Tabelului 5.5. Trebuie selectate cel puțin trei poziții de-a lungul elementelor pentru comparație cu valorile nominale,
- Pentru secțiunile deschise (grinzi H și I cu talpă lată), EN 10034 specifică toleranțele privind dimensiunile de formă ale acestor elemente. Trebuie adoptate următoarele toleranțe: înălțimea secțiunii, lățimea tălpii, grosimea inimii, grosimea tălpii, nealinierea unghiurilor și decalajul inimii față de centru,
- Pentru secțiunile închise care sunt Secțiuni Tubulare Circulare (CHS), Secțiuni Tubulare Pătrate (SHS) și Secțiuni Tubulare Dreptunghiulare (RHS), EN 10219-2 specifică toleranțele privind dimensiunile de formă ale secțiunilor structurale tubulare formate la rece, în timp ce EN 10210-2 specifică toleranțele pentru secțiunile tubulare structurale laminate la cald. Trebuie adoptate următoarele toleranțe: dimensiuni exterioare (CHS și RHS), grosime (CHS și RHS), abatere de la rotunjime (pentru CHS), concavitate/convexitate (pentru RHS) și perpendicularitatea laturilor (pentru RHS),

- Toleranțele privind rectiliniaritatea elementelor trebuie să respecte EN 1090-2, iar pentru CHS și RHS trebuie să respecte EN 10219-2 și EN 10210-2. Toleranțele pentru secțiunile mai vechi pot fi diferite și, prin urmare, poate fi necesară o îndreptare, de exemplu vezi Tabelul 5.8 pentru date istorice din Regatul Unit și România,
- Elementele trebuie să aibă o suprafață netedă. Totuși, umflăturile, cavitățile sau canelurile longitudinale superficiale rezultate din procesul de fabricație sunt permise, cu condiția ca grosimea rămasă să fie în limitele toleranței. Defectele de suprafață pot fi îndepărtate prin rectificare, cu condiția ca grosimea secțiunii după reparație să nu fie mai mică decât grosimea minimă admisibilă. Dacă dimensiunea efectivă după sablare/șlefuire nu îndeplinește dimensiunile nominale minus toleranța nominală, secțiunea trebuie încadrată la următoarea secțiune inferioară,
- Gâtuirea (reducerea secțiunii transversale) nu este permisă, de exemplu în îmbinări și elemente solicitate la întindere,
- Secțiunile recuperate care nu se pot repara/recondiționa într-un mod economic, trebuie valorificate ca deșeu,
- Oțelul structural recuperat trebuie clasificat în scopuri de proiectare conform Secțiunii 5.4.1.

Tabelul 5.8 Revizuirea toleranțelor geometrice pentru elementele individuale

Produce	Toleranțe				
	BS4 UK (1962) [65]	Dorman Long UK (1964) [66]	NSSS UK (1994) [67]	EN 1090-2 EU (2018) [8]	STAS 767 RO (1988) [68]
Grindă	L/960	L/960	L/1000 or 3 mm	L/1000	L/1000, dar max. 15 mm
Stâlp până la (dar fără a include) 9,14 m	L/714	L/960	L/1000 or 3 mm	L/1000	
Stâlp până la 13,72 m	L/960	L/960	L/1000 or 3 mm	L/1000	
Stâlpi peste și egali cu 13,72 m	L/960 – 4.75 mm	L/960 + 9.5 mm	L/1000 or 3 mm	L/1000	

### 5.5.2 Fiabilitatea

Fiabilitatea metodelor de proiectare din Eurocodul 3 este garantată prin utilizarea coeficienților parțiali. Valorile recomandate ale acestor coeficienți sunt definite în partea relevantă a Eurocodului 3 și în anexele naționale corespunzătoare. Pentru secțiunile reutilizate, momentan nu sunt furnizate informații specifice.

Dacă sunt respectate protocoalele de încercare și cerințele definite în CEN/TS 1090-201:2024 [2], pare rezonabil să se aplice aceiași factori parțiali, atâta timp cât nu există alte prevederi la nivel național.

Este de asemenea important de menționat că Anexa E a EN 1993-1-1:2022 [15] furnizează proprietățile statistice ale caracteristicilor geometrice și de material, care au fost presupuse în timpul determinării valorilor actuale ale coeficienților parțiali.

Intervalele de variație presupuse (valorile medii, coeficienții de variație) pentru proprietățile dimensionale sunt date în Tabelul E.2 din EN 1993-1-1:2022. Pentru proprietățile dimensionale care nu sunt menționate specific în Tabelul E.2, se presupune că valorile medii sunt egale cu valorile nominale, iar deviațiile standard sunt egale cu jumătate din intervalul dintre valoarea nominală și limita inferioară a intervalului de toleranță aplicabil conform EN 1090-2 sau altor standarde de produs relevante. Valorile din Tabelul 5.9 (Tabelul E.2 din [15]) reprezintă produsele disponibile în prezent pe piața europeană care satisfac standardele europene relevante pentru produse.

Tabelul 5.9 Variabilitatea presupusă a proprietăților dimensionale [15]

Tip de dimensiune	Parametru	Valoare medie	Coeficient de variație	Valoare de referință superioară	Valoare de referință inferioară
		$X_m$		$X_{5\%}$	$X_{0.12\%}$
Dimensiuni exterioare ale secțiunii transversale	Înălțimea $h$	1.0 $h_{nom}^a$	0.9 %	0.98 $h_{nom}^a$	0.97 $h_{nom}^a$
	Lățimea $b$	1.0 $b_{nom}^a$	0.9 %	0.98 $b_{nom}^a$	0.97 $b_{nom}^a$
	Diametrul exterior $d$ al secțiunii tubulare circulare	1.0 $d_{nom}^a$	0.5 %	0.99 $d_{nom}^a$	0.98 $d_{nom}^a$
Grosime	Secțiuni I și H laminate sau sudate: grosimea tălpii $t_f$	0.98 $t_{f,nom}^a$	2.5 %	0.95 $t_{f,nom}^a$	0.91 $t_{f,nom}^a$
	Secțiuni I și H laminate sau sudate: grosimea inimii $t_w$	1.0 $t_{w,nom}^a$	2.5 %	0.96 $t_{w,nom}^a$	0.93 $t_{w,nom}^a$
	Secțiuni structurale tubulare laminate la cald (fără sudură) sau sudate (conform EN 10210 - toate părțile): grosimea peretelui $t$	0.99 $t_{nom}^a$	2.5 %	0.95 $t_{nom}^a$	0.92 $t_{nom}^a$
	Secțiuni formate la rece din role sau table (conform EN 10219 - toate părțile): grosimea peretelui $t$	0.99 $t_{nom}^a$	2.5 %	0.95 $t_{nom}^a$	0.92 $t_{nom}^a$
	Toate celelalte secțiuni sudate din tablă groasă: grosimea $t$	0.99 $t_{nom}^a$	2.5 %	0.95 $t_{nom}^a$	0.92 $t_{nom}^a$
<sup>a</sup> Dimensiuni nominale conform standardului de produs sau specificației aplicabile.					

Tabelul 5.10 oferă proprietățile statistice presupuse pentru limita de curgere și rezistența la tracțiune.

Dacă evaluarea proprietăților elementelor oferă proprietăți statistice similare pentru elementele recuperate, din nou pare rezonabil să se aplice valorile factorilor parțiali utilizate

În mod obișnuit pentru elementele noi, cu condiția ca și toleranțele geometrice, cum ar fi deviația de la rectiliniaritate sau planeitate, să respecte standardele de produs.

Tabelul 5.10 Variabilitatea presupusă a proprietăților materialelor [15]

Parametru	Clasa oțelului	Valoare medie	Coeficient de variație	Valoare de referință superioară	Valoare de referință inferioară
		$X_m$		$X_{5\%}$	$X_{0.12\%}$
Limita de curgere, $f_y$	S235, S275	1,25 $R_{eH,min}^a$	5,5%	1,14 $R_{eH,min}^a$	1,06 $R_{eH,min}$
	S355, S420	1,20 $R_{eH,min}^a$	5,0%	1,1 $R_{eH,min}^a$	1,03 $R_{eH,min}$
	S460	1,15 $R_{eH,min}^a$	4,5%	1,07 $R_{eH,min}^a$	1,00 $R_{eH,min}$
	peste S460	1,10 $R_{eH,min}^a$	3,5%	1,04 $R_{eH,min}^a$	1,00 $R_{eH,min}$
Rezistența la tracțiune, $f_u$	S235, S275	1,20 $R_{eH,min}^a$	5,0%	1,11 $R_{m,min}^a$	1,03 $R_{m,min}$
	S355, S420	1,15 $R_{eH,min}^a$	4,0%	1,08 $R_{m,min}^a$	1,03 $R_{m,min}$
	S460 și peste	1,10 $R_{eH,min}^a$	3,5%	1,04 $R_{m,min}^a$	1,00 $R_{m,min}$
Modulul de elasticitate, E	Toate clasele de oțel	210 000 MPa	3,0%	200 000 MPa	192 000 MPa

<sup>a</sup>  $R_{eH,min}$  și  $R_{m,min}$  sunt valorile minime ale rezistenței la curgere  $R_{eH}$  și limita inferioară a rezistenței la tracțiune ultimă  $R_m$ , conform standardului de produs aplicabil, de ex. EN 10025 (toate părțile).

## 5.6 Componente structurale sau întreaga structură principală

Structurile metalice și produsele din construcții metalice sunt, în general, ușor demontabile. Atâta timp cât se acordă atenție deconstrucției încă din faza de proiectare, nu există un motiv tehnic pentru care aproape întregul stoc de clădiri metalice să nu fie considerat sursă de componente pentru utilizări viitoare în aplicații noi. În anumite sectoare, de exemplu, industrial și agricol, reutilizarea structurilor metalice parter și a elementelor de închidere este deja relativ comună.

Conform EN 1090-2, o componentă reprezintă o parte a unei structuri metalice, care poate fi la rândul ei un ansamblu de mai multe componente mai mici. O structură metalică reprezintă o combinație organizată de componente conectate, proiectată pentru a prelua sarcini și a furniza rigiditate adecvată.

Se propun următoarele criterii de selecție și acceptare pentru reutilizarea unei componente din oțel, a unei părți de structură, respectiv a unei structuri principale în totalitate:

- Componentele structurale sau întreaga structură primară ar trebui să aparțină unei clădiri metalice construite după 1970, utilizând elemente fabricate în sau după acel an, și să nu fi fost supuse unor solicitări dinamice semnificative sau altor condiții extreme,
- Toate elementele din oțel recuperate trebuie măsurate și certificate în ceea ce privește proprietățile geometrice și apoi clasificate conform sistemului propus în Secțiunea 5.4.1 a acestui document,
- Mai întâi, elementele structurale individuale sunt evaluate conform Secțiunii 5.5. Termenul „evaluare”, în acest context, este așa cum este definit în EN 1090-1, adică pentru a demonstra conformitatea cu cerințele, cum ar fi proprietățile materialului, geometrie și caracteristici structurale,
- În completarea Secțiunii 5.5, toate sudurile trebuie inspectate vizual 100% pe întreaga lor lungime pentru depistarea imperfecțiunilor de suprafață în conformitate cu EN ISO 17637 [69]. Inspecția vizuală trebuie efectuată înainte de orice altă

inspecție NDT. Dacă sunt detectate imperfecțiuni de suprafață, trebuie efectuate încercări suplimentare prin metode cu lichide penetrante sau pulberi magnetice asupra sudurii inspectate. În general, încercarea cu ultrasunete sau încercarea radiografică se aplică la suduri cap la cap, iar încercarea cu lichide penetrante sau pulberi magnetice se aplică la suduri de colț,

- Șuruburile existente din aplicații anterioare nu trebuie reutilizate,
- În cazul refabricării, componenta/detaliul/elementul structural sau structura principală din oțel reutilizat poate fi marcat(ă) CE conform EN 1090-1 [7].

Fig. 5.4 prezintă cadrul general pentru procesul de reutilizare a unei structuri metalice sau a unei componente structurale.

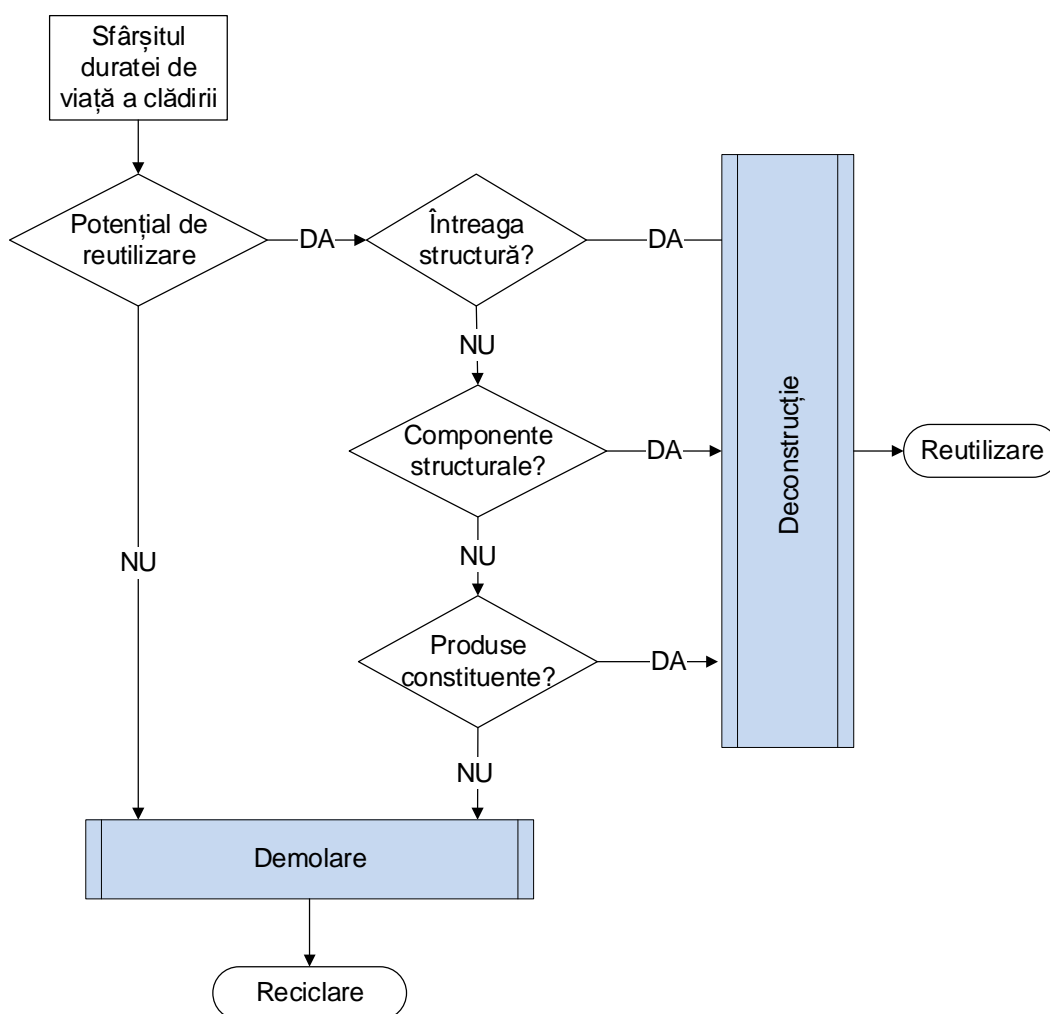


Fig. 5.4 Cadrul general pentru procesul de reutilizare a structurii/componentelor din oțel

Totuși, un anumit grad de incertitudine este inevitabil asociat cu utilizarea elementelor metalice recuperate. Cadrul general pentru verificarea reutilizabilității componentelor sau a întregii structuri primare este prezentat în Fig. 5.5.

Schema logică din Fig. 5.5 identifică trei clase posibile, după verificarea eligibilității și a conformității cu toleranțele din EN 1090-2:

- Clasa RSC1:** componenta structurală nu a fost marcată CE în prima viață și trebuie să fie certificată ca o componentă structurală/structură nouă. Sunt necesare investigații detaliate pentru această clasă – materialele din oțel îndeplinesc cerințele de performanță prin încercări extinse,

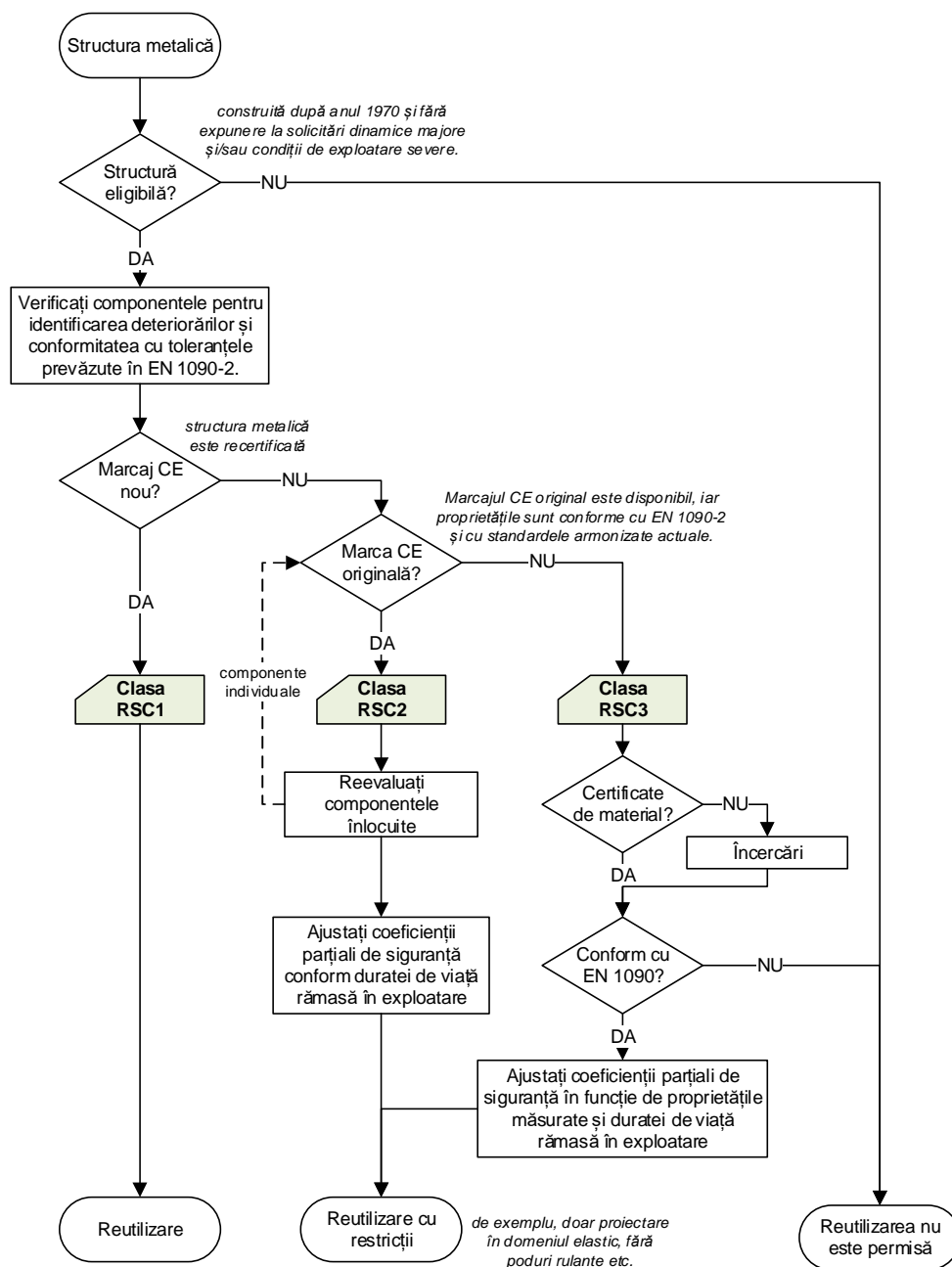


Fig. 5.5 Cadru general pentru verificarea reutilizabilității componentelor sau a întregii structuri principale

- Clasa RSC2:** componenta structurală a fost marcată CE în prima viață conform EN 1090-1 și documentația originală este disponibilă. La reutilizare, fiecare componentă se reevaluează pentru confirmarea conformității cu EN 1090-2 și standardele armonizate aplicabile. Materialele din oțel demonstrează îndeplinirea cerințelor de

performanță prin încercări limitate, sprijinite de certificatele originale. Sudurile trebuie să treacă inspecțiile vizuale și alte inspecții NDT. Componenta structurală recuperată poate fi reutilizată în proiectare conform EN 1993-1-1 cu unele restricții: (i) analiza globală plastică nu este permisă; (ii) se recomandă o valoare conservatoare a factorului de siguranță  $\gamma_{M1}$  pentru a acoperi posibilele incertitudini, întrucât procesele de evaluare sunt probabil mai puțin fiabile decât cele aplicate pentru componentele noi din oțel structural,

- **Clasa RSC3:** componenta structurală nu a fost marcată CE sau nu este disponibilă. Componentele structurale trebuie să fie conforme cu standardul EN 1090-2. Materialele din oțel și sudurile pot fi evaluate prin încercări limitate asupra materialului, iar structura metalică poate fi recertificată. Componenta structurală recuperată poate fi reutilizată în proiectare conform EN 1993-1-1 cu aceleași restricții ca pentru Clasa RSC2.

### 5.6.1 Clase de execuție

Clasa de execuție necesară pentru structura metalică este un diferențiator de fiabilitate pentru alegerea nivelului de calitate, a cerințelor de încercare și de calificare. Baza marcajului CE este declarația producătorului că produsele sale îndeplinesc caracteristicile de performanță specificate, care sunt definite ca esențiale pentru utilizarea produselor în construcții.

Pentru orice proiect, calitatea necesară a fabricației sau clasa de execuție (EXC) trebuie specificată. EN 1090-2 [8] solicită ca clasa de execuție să fie specificată pentru lucrare în ansamblu, pentru o componentă individuală sau pentru un detaliu al unei componente. În unele cazuri, clasa de execuție pentru structura, componente și detalii va fi aceeași, în timp ce în alte cazuri clasa de execuție pentru componentă și detalii poate fi diferită de cea pentru întreaga structură.

EN 1090-2 specifică cerințe care sunt, în mare parte, independente de tipul și forma structurii metalice (de exemplu, clădiri, poduri, componente laminate sau cu zăbrele), incluzând structuri supuse la oboseală sau acțiuni seismice. Anumite cerințe sunt diferențiate în funcție de clasele de execuție.

Conform EN 1090-2, există patru clase, de la EXC1, pentru care cerințele sunt cele mai puțin stricte, până la EXC4, pentru care cerințele sunt cele mai stricte. Totuși, trebuie remarcat că cerințele pentru EXC4 trebuie definite individual, dar luând în considerare cel puțin cele aplicabile clasei EXC3. Revine în sarcina proiectantului de a selecta clasa de execuție necesară pentru o structură, o componentă individuală sau un anumit detaliu al unei componente.

Selectarea clasei de execuție trebuie să se bazeze pe următorii trei factori:

- fiabilitatea necesară;
- tipul de încărcare pentru care structura, componenta sau detaliul este proiectat;
- tipul structurii, componente sau detaliului.

Din punctul de vedere al managementului fiabilității, selectarea clasei de execuție trebuie să se bazeze pe clasa de consecințe (CC) necesară. Clasele de consecințe sunt definite în EN 1990:2023 [9]. Prevederile Eurocodurilor acoperă regulile de proiectare pentru structuri clasificate de la CC1 la CC3.

În ceea ce privește tipul de încărcare aplicat unei structuri din oțel, unei componente sau unui detaliu, selecția clasei de execuție trebuie să se bazeze pe faptul dacă structura/componenta/detaliul este proiectat(ă) pentru acțiuni statice, cvasi-statice, de oboseală sau acțiuni seismice.

Selectarea clasei de execuție (EXC) în funcție de tipul de încărcare este prezentată în Tabelul 5.11 din EN 1993-1-1.

Tabelul 5.11 Selectarea clasei de execuție (EXC) în funcție de tipul de încărcare

Clasa de Consecințe (CC)	Tipul de încărcare				
	Statică, Cvasi-statică	Seismică			Oboseală <sup>b</sup>
		DC1 <sup>a</sup>	DC2 <sup>a</sup>	DC3 <sup>a</sup>	
CC3	EXC3 <sup>c</sup>	EXC3 <sup>c</sup>	EXC3 <sup>c</sup>	EXC3 <sup>c</sup>	EXC3 <sup>c</sup>
CC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3 <sup>d</sup>	EXC3
CC1	EXC1	EXC2 <sup>e</sup>	EXC2	EXC2	EXC2

<sup>a</sup> Clasele de ductilitate seismică (DC) sunt definite în prEN 1998-1-1.  
<sup>b</sup> Vezi EN 1993-1-9.  
<sup>c</sup> EXC4 poate fi luată în considerare pentru cazuri speciale, inclusiv cele acoperite de obicei de CC4 din EN 1990.  
<sup>d</sup> Doar sistemul structural principal de rezistență seismică intră în EXC3; sistemul structural de rezistență la sarcini gravitaționale poate intra în EXC2.  
<sup>e</sup> Dacă indicele de acțiune seismică nu depășește 2,5m/s<sup>2</sup> (clasă de acțiune seismică scăzută, vezi prEN 1998-1-1), clasa de execuție a structurilor în DC1 poate fi EXC1.

Dacă clasa de execuție necesară pentru anumite componente și/sau detalii este diferită de cea aplicabilă structurii în general, atunci aceste componente și/sau detalii trebuie identificate clar.

Anexele Naționale pot specifica alegerea clasei de execuție în funcție de tipurile de componente sau detalii. Se recomandă următoarele [15]:

*“Dacă se selectează EXC1 pentru o structură, atunci EXC2 ar trebui să se aplice următoarelor tipuri de componente:*

- a) componente sudate fabricate din produse din oțel de gradul S355 și peste;*
- b) componente sudate esențiale pentru integritatea structurală care sunt asamblate prin sudare pe șantier;*
- c) componente sudate ale grinzilor cu zăbrele CHS care necesită tăieturi de profil la capete;*
- d) componente cu formare la cald în timpul fabricației sau care primesc tratament termic în timpul fabricației.”*

Documentul de față se concentrează pe reutilizarea clădirilor din oțel parter sau multietajate și a componentelor acestora. Componentele reutilizate pot fi încadrate în Clasa de Consecințe CC1 sau CC2 conform Anexei A din EN 1993-1-1, pentru încărcări statice, cvasi-statice sau seismice de tip DC1. În consecință, clasa de execuție 2 (EXC2) este cea mai adecvată pentru majoritatea clădirilor parter sau multietajate, deci clădiri sau părți ale acestora care nu sunt acoperite de CC1 sau CC3. Lista cerințelor legate de clasele de execuție este oferită în Anexa A.3 din EN 1090-2.

Componentele structurale din oțel recuperate trebuie tratate în mod clar diferit, deoarece este posibil să fi fost fabricate conform unui standard anulat și este foarte puțin probabil să dispună de rezultate documentate ale încercărilor de la momentul fabricării. EN 1090-2 permite utilizarea altor materiale declarând că: *„Dacă se folosesc produse componente care nu sunt acoperite de standardele listate, proprietățile acestora trebuie specificate”*. Nu există nicio diferență în procesele de fabricație, proceduri, standarde sau toleranțe pentru oțelul nou sau oțelul recuperat. Prin urmare, este adecvat ca și componentele structurale din oțel recuperat să poată fi marcate CE conform EN 1090. În plus față de controlul atent al componentelor structurale, proprietățile materialelor trebuie declarate conform EN 1090-2.

Specificarea clasei de execuție (EXC) nu este întotdeauna suficientă, de una singură, pentru diferențierea criteriilor de acceptare și a gradului de inspecție a sudurilor/detaliilor de importanță sau exigență diferită. Acest lucru poate duce la:

- a) criteriile de acceptare prea stricte pentru sudurile care nu sunt importante,
- b) o extindere prea mare a inspecției specificate pentru sudurile care nu sunt importante,
- c) omisiunea locațiilor critice în inspecția specificată.

Utilizarea claselor de inspecție a sudurilor (WICs) (vezi Anexa L din EN 1090-2) poate fi utilă pentru orientarea domeniului și a procentajului de încercări suplimentare în funcție de nivelul de exigență al sudurii. Acest lucru poate fi benefic atât din punct de vedere al siguranței, cât și din punct de vedere economic, evitând inspecții și reparații inutile. Alegerea inițială a claselor de inspecție a sudurilor (WICs) trebuie să țină cont de probabilitatea apariției defectelor pentru anumite configurații de sudură (de exemplu, suduri executate în condiții dificile, cum ar fi suduri peste cap, suduri în șantier, suduri pentru prinderi provizorii). Ulterior, clasele de inspecție a sudurilor pot fi reduse pe baza experienței în producție.

Clasele de inspecție a sudurilor trebuie utilizate pe baza următoarelor criterii de selecție:

- a) solicitarea la oboseală,
- b) consecințele ruperii unei sudurii asupra structurii,
- c) direcția, tipul și nivelul eforturilor unitare.

Anexa A.3 din EN 1090-2:2018 listează cerințe specifice fiecăreia dintre clasele de execuție menționate în acest standard european. „Nr” în tabel înseamnă „Nicio cerință specifică în text”.

În cazul componentelor recuperate sau al reutilizării întregii structuri principale, contractorul sau deținătorul stocului este responsabil pentru specificarea clasei de execuție EXC pentru structură (lucrarea în ansamblu) precum și pentru componente individuale și detalii, acolo unde este adecvat să se specifice o clasă de execuție diferită de cea specificată pentru structură. Dacă clasa de execuție pentru o componentă sau un detaliu este diferită de cea a structurii, clasa de execuție nu trebuie să fie mai mică decât cea specificată pentru lucrarea în ansamblu. Clasa EXC pentru orice componentă sau un detaliu trebuie identificată clar în noua specificație dacă este diferită de clasa de execuție a structurii.

Operatorul care deține componentele structurale din oțel recuperate sau întreaga structură principală are responsabilități importante care implică examinarea și testarea structurii metalice, păstrarea înregistrărilor complete și declarațiile formale ale proprietăților materialului atunci când componentele structurale recuperate sau întreaga structură principală sunt distribuite în lanțul de aprovizionare.

Când componentele structurale recuperate sau întreaga structură principală sunt distribuite în lanțul de aprovizionare, acestea trebuie să fie însoțite de o declarație formală, conform cerințelor din EN 1090-2. Declarația trebuie să precizeze clar ce proprietăți au fost presupuse și care au fost determinate prin testare.

Următoarele proprietăți trebuie să fie declarate:

- date geometrice (toleranțe privind dimensiunile și forma),
- sudabilitate – dacă este necesar; în caz contrar, se poate declara „Nicio performanță determinată (NPD)”,
- tenacitatea la rupere a produselor structurale din oțel,
- reacția la foc – se va declara că materialele sunt clasificate ca Clasa A1; sau, dacă există un strat cu conținut organic mai mare de 1%, se va declara clasa relevantă a conținutului organic,
- eliberarea cadmiului și a compușii săi – se va declara „NPD”,
- emisia de radioactivitate – se va declara „NPD”,
- durabilitate – se va declara conform specificației componenteii,
- clasa de execuție (EXC),
- referință la specificația componenteii.

## 5.7 Elemente structurale din oțel formate la rece

Panеле de acoperiș și riglele de perete sunt de obicei secțiuni proprietare, formate la rece, cu pereți subțiri, galvanizate. În prezent, secțiuni de tip Z, C și  $\Sigma$  sunt utilizate ca pane de acoperiș sau rigle de perete, producătorii oferind date de proiectare sub formă de tabele de încărcare/deschidere sau software. Paneele de acoperiș și riglele de perete care acționează ca grinzi secundare sprijinite de grinzi principale (de exemplu, grinzi de acoperiș sau ferme) sau stâlpi, sunt adesea rigidizate de anvelopa clădirii (de exemplu, tablă trapezoidală, casete, panouri sandwich etc.).

Forma și semnul diagramei de moment încovoietor depind nu doar de tipul de încărcare – gravitațională sau de suucțiune – ci și de condițiile de rezemare ale paneei, care poate fi simplu rezemată sau continuă peste două sau mai multe deschideri. Când este continuă, pana poate avea o secțiune transversală uniformă pe deschidere și peste reazem sau secțiuni dublate, prin suprapunerea profilelor peste reazemele intermediare. În acest caz din urmă, secțiunile de tip Z pot fi selectate pentru a adapta capacitatea paneei la variația momentului de-a lungul elementului, precum și la cerințele de încărcare transversală la reazeme.

Producătorii realizează propriile forme specifice, cu adâncimi cuprinse între 100 și 350 mm și grosimi între 0,8 mm și 3,2 mm. Aceste pane sunt de obicei adecvate pentru distanțe între cadre de 4 până la 9 m și distanțe dintre pane între 1,2 și 2,5 m.

Toate tipurile de oțel utilizate pentru elementele de oțel formate la rece și pentru tabla profilată trebuie să fie adecvate pentru formare la rece și, dacă este cazul, pentru sudare. Oțelurile utilizate pentru elementele galvanizate și tablele care urmează să fie galvanizate trebuie, de asemenea, să fie adecvate pentru galvanizare.

EN 1993-1-3 [16] specifică faptul că materialele din Tabelul 5.1a sunt conforme cu standardele armonizate de produs, în timp ce materialele din Tabelul 5.1b sunt conforme cu standardele de produs EN sau ISO. Pentru alte tipuri de oțel, capacitatea de formarea la

rece trebuie demonstrată printr-un test de îndoire conform EN ISO 7438 [70] sau printr-un test echivalent.

Pentru o proiectare eficientă, atunci când deschiderile sunt cuprinse între 6,0 m și 7,0 m, paneele continue sunt de obicei realizate cu secțiuni suprapuse și îmbinate cu șuruburi pe reazemele intermediare. Alternativ, se pot utiliza secțiuni duble pentru întărirea paneei pe reazemele intermediare.

Învelitoarea însăși poate fi utilizată ca sistem de reazem continuu pentru a preveni deformațiile laterale și torsiunea paneei. Pentru a fi eficient, un astfel de sistem de reazem trebuie să dispună de rigiditate la translație și rotație suficientă. Atunci când reazemul prin învelitoare nu este pe deplin eficient, se pot utiliza dispozitive de contravântuire laterală discretă, dispuse la intervale de-a lungul paneei.

Potențialul de recuperare al elementelor secundare din oțel format la rece este, în general, mai redus decât cel al elementelor primare din oțel laminat la cald. Aceasta se datorează în principal faptului că închiderile sunt fixate, de regulă, cu un număr mare de elemente de îmbinare mecanice, ceea ce complică procesul de demontare și crește riscul de deteriorare a elementelor în timpul deconstrucției.

Secțiunile anterioare au oferit o imagine de ansamblu asupra procesului de reutilizare a elementelor structurale din oțel laminate la cald conform EN 1090-2. Pentru elementele structurale formate la rece, se aplică principii similare, ținând cont de recomandările din EN 1090-4 [71]. Sunt posibile și specificații alternative ale materialului de bază, similare cu cele din Secțiunea 5.2.5. Secțiunile următoare clarifică aspectele-cheie pentru a permite reutilizarea structurală a elementelor formate la rece.

Este puțin probabil ca, în cadrul acestui ghid, sudura elementelor din oțel formate la rece să fie întâlnită sau necesară pentru aplicații viitoare. Prin urmare, evaluarea proceselor de execuție se vor referi doar la toleranțele geometrice ale elementelor formate la rece, conform EN 1090-4 și recomandărilor EN 1993-1-3.

### **5.7.1 Clasificarea elementelor structurale din oțel formate la rece recuperate pentru reutilizare**

Elementele structurale din oțel formate la rece și tabla profilată, utilizate în scopuri portante în ingineria structurală, trebuie să fie supuse clasificării în ceea ce privește cerințele de rezistență și dimensionale. În acest sens, evaluarea sistemului de protecție împotriva coroziunii constituie, de asemenea, o parte a clasificării generale.

Conform Secțiunii 5.4.1, oțelul recuperat trebuie clasificat în funcție de verificarea privind (i) cerințele de performanță a materialului (evaluarea conformității) și (ii) cerințele de asigurare a calității (evaluarea fiabilității), încadrând oțelul într-una dintre următoarele clase: clasa A, clasa B sau clasa C. Pentru elementele structurale din oțel din clasa C, întrucât este probabil să fie disponibile o gamă largă de clase de oțel, nu se recomandă să se presupună o rezistență la curgere și o rezistență la tracțiune mai mari de 120 MPa, respectiv 260 MPa.

Elementele din oțel formate la rece sunt de obicei protejate împotriva coroziunii prin acoperiri metalice, așa cum este specificat în EN 10346 (denumirea masei de acoperire: Z, ZM, ZA sau AZ) și, dacă este necesar, printr-un strat organic suplimentar, conform [37]. Prevederile din EN 10346 [36] se aplică pentru determinarea masei acoperirii. Tipul și domeniul de aplicare al testelor ce trebuie efectuate sunt date în Tabelul E.8 din EN 1090-4.

### 5.7.2 Criterii de selecție și acceptare

Următoarele criterii de selecție și acceptare sunt propuse în acest ghid pentru evaluarea reutilizabilității elementelor structurale secundare, adică a panelor de acoperiș și riglelor de perete:

1. Componentele structurale (elementele care compun sistemul structural secundar) sau sistemul structural secundar trebuie să facă parte dintr-o clădire și să nu fi fost expuse la condiții extreme,
2. Fiecare element trebuie demontat, asigurând între timp stabilitatea. Elementele care asigură stabilitate laterală nu trebuie demontate înainte de îndepărtarea elementelor principale sau înainte de instalarea contravântuirilor temporare,
3. Componentele structurale din oțel trebuie ambalate, manipulate și transportate în mod sigur, astfel încât să nu apară deformații permanente și deteriorări ale suprafețelor. Produsele care au fost manipulate sau depozitate într-un mod sau pentru o perioadă de timp care ar fi putut duce la o deteriorare semnificativă trebuie verificate înainte de utilizare, pentru a se asigura că respectă în continuare standardul relevant de produs,
4. Mai întâi, elementele structurale individuale sunt evaluate conform EN 1090-1 [7],
5. Tot oțelul recuperat trebuie să fie certificat în ceea ce privește proprietățile secțiunii și clasificat conform sistemului propus în Secțiunea 5.4.1 a acestui document,
6. Dacă planșele inițiale lipsesc, toate dimensiunile componentelor/structurii trebuie măsurate pentru a verifica dacă se încadrează în toleranțe, la nivel de secțiune transversală, element sau sistem structural, conform EN 1090-4. Toate măsurătorile pentru verificarea formei și dimensiunilor secțiunii transversale trebuie efectuate la o distanță de cel puțin 250 mm de capătul secțiunilor pentru a exclude orice influență a deformației de capăt asupra rezultatelor măsurate. Grosimea secțiunii trebuie măsurată pe fețele plane ale secțiunii. Rectiliniaritatea și răsucirea unei secțiuni trebuie verificate pe întreaga lungime a barei așezate pe o bază plană. Lungimea trebuie măsurată de-a lungul liniei mediane a celei mai mari suprafețe:
  - a. Toleranțele esențiale și funcționale de fabricație pentru elemente obținute prin îndoire la presă sau prin pliere sunt date în Anexa D din EN 1090-4,
  - b. Pentru elementele formate prin laminare la rece, se aplică EN 10162 [72]. Toleranța negativă pe înălțimea rebordului rigidizatorilor marginale trebuie să fie conformă cu următoarele: (1) toleranța negativă pe înălțimea rebordului fiecărui element de margine nu trebuie să fie mai mare de 10% din înălțimea nominală a rebordului, cu un maxim de minus 2 mm; (2) toleranța medie pe înălțimea rebordului tuturor elementelor de margine din fiecare secțiune transversală, de-a lungul lungimii elementului, nu trebuie să depășească jumătate din toleranța negativă permisă pentru dimensiunile exterioare limitate de o rază și o margine liberă. Toleranța pozitivă este o toleranță funcțională,
  - c. Grosimea poate fi măsurată în orice punct situat la mai mult de 40 mm de margini. Toleranțele pentru grosime trebuie să fie cele indicate în Tabelele 1 până la 4 din EN 10143 [73] și se aplică pe toată lungimea,
7. Suprafața produsului trebuie inspectată vizual pentru a verifica conformitatea cu cerințele din Secțiunile 7.4 până la 7.6 din EN 10346 [36]. Suprafața protecției anticorozive poate varia și se poate închide la culoare prin oxidare. Masele

disponibile de acoperire trebuie să fie în conformitate cu Tabelul 11 din EN 10346. Trebuie efectuate încercări NDT pentru a verifica grosimea acoperirii. Dacă este necesar, trebuie utilizate metodele descrise în Anexa A (Z, ZF, ZA și AZ) sau Anexa B (AS) din EN 10346,

8. Componenta din oțel reutilizată sau componenta structurală poate fi marcată CE conform EN 1090-1.

### 5.7.3 Cerințe privind performanța materialului

Evaluarea produselor constituate care nu sunt reglementate de standarde de referință, este permisă prin clauza 5.1 din EN 1090-4. Aceasta afirmă că *“Dacă urmează a fi utilizate produse componente care nu sunt acoperite de standardele enumerate în Clauza 5.3, proprietățile acestora trebuie specificate”*.

Următoarele proprietăți au fost identificate ca necesare pentru o evaluare adecvată:

- Limita de curgere sau limita de curgere convențională ( $R_{eH}/R_{p0.2}$ ) în MPa;
- Rezistența la tracțiune ( $R_m$ ) în MPa;
- Alungirea după rupere  $A_{80}$  mm în %;
- Raportul dintre raza de îndoire și grosime, dacă este relevant;
- Aderența acoperirii metalice;
- Toleranțele privind dimensiunile și forma, inclusiv grosimea minimă;

Dacă oțelul urmează să fie sudat, sudabilitatea acestuia trebuie declarată după cum urmează:

- O limită maximă pentru echivalentul de carbon al oțelului, sau;
- O declarație a compoziției chimice detaliate, suficientă pentru a calcula echivalentul de carbon.

În plus față de proprietățile de mai sus, masa stratului de acoperire și grosimea acoperirii trebuie evaluate.

Cu condiția ca oțelul recuperat să îndeplinească toate cerințele relevante de material și procesele de fabricație să respecte standardele EN 1090, nu va exista nicio diferență în procedurile de fabricație, standardele sau toleranțele dintre oțelul nou și cel recuperat. Prin urmare, elementele structurale din oțel recuperat pot fi marcate CE conform EN 1090-1.

Regimul de încercări pentru elementele din oțel formate la rece are scopul de a permite declararea proprietăților de material necesare conform clauzei 5.3 din EN 1090-4, pe baza măsurărilor dimensionale, a testelor nedistructive, a testelor distructive sau a unor presupuneri conservatoare.

În cadrul prezentului ghid de proiectare, limita de curgere nominală pentru elementele formate la rece trebuie să se situeze între 220 N/mm<sup>2</sup> și 550 N/mm<sup>2</sup>. Rezistența la tracțiune nominală minimă ar trebui să fie între 300 N/mm<sup>2</sup> și 560 N/mm<sup>2</sup>. Cerințele de ductilitate pentru proiectarea conform EN 1993-1-1 sunt prezentate în Tabelul 5.1 (valori recomandate ce pot fi modificate prin Anexele Naționale).

### 5.7.4 Evaluarea conformității și fiabilității

Similar cu elementele laminate la cald, sunt necesare evaluări ale conformității și fiabilității și pentru elementele din oțel formate la rece, pentru a se asigura că produsul recuperat poate fi

utilizat în proiectarea structurală conform EN 1993-1-3. O procedură de testare pentru efectuarea evaluării adecvării și fiabilității elementelor formate la rece este propusă în Anexa A.

### 5.7.5 Proprietăți ale produsului care trebuie declarate pentru elemente formate la rece recuperate

Această secțiune rezumă proprietățile oțelului care trebuie evaluate pentru elementele din oțel formate la rece recuperate, conform clauzei 5.3 din EN 1090-4 (vezi Tabelul 5.12). Se oferă și comentarii suplimentare cu privire la aceste proprietăți.

Tabelul 5.12 Proprietăți ale materialului care trebuie declarate conform Clauzei 5.3 din EN 1090-4

Proprietate	A se declara	Procedură
Limita de curgere sau limita de curgere convențională ( $R_{eH}/R_{p0,2}$ )	Da	Determinată prin încercări distructive și nedistructive.
Rezistența la tracțiune ( $R_m$ )	Da	Determinată prin încercări distructive și nedistructive.
Alungirea după rupere $A_{80}$ mm în %	Da	Determinată prin încercări distructive.
Toleranțe privind dimensiunile și forma, inclusiv grosimea minimă	Da	Pe baza măsurătorilor dimensionale.
Raportul dintre raza de îndoire și grosime, dacă e relevant	Dacă e necesar	Dacă e necesar, determinat prin încercări distructive.
Compoziția stratului metalic, denumirea și masa/grosimea stratului	Da	Dacă e necesar, determinată prin încercări nedistructive/distructive și inspecție vizuală
Aderența acoperirii metalice	Da	Pe baza inspecției vizuale
Suplimentar, dacă oțelul urmează a fi sudat, sudabilitatea trebuie declarată astfel:		
Proprietate	A se declara	Procedură
Limita maximă pentru echivalentul de carbon, sau	Dacă e necesar (de obicei nu este necesar deoarece procedurile de sudare nu sunt utilizate frecvent)	Se declară pe baza certificatelor de încercare ale producătorului.
Compoziția chimică suficient de detaliată pentru a calcula echivalentul de carbon	Da	Determinată prin teste distructive și nedistructive.

#### Limita de curgere, rezistența la tracțiune și alungirea

Conform EN 10346 [36], testele de tracțiune trebuie efectuate fără strat de acoperire, în direcția de testare dată în Tabelele 7 până la 11 și Secțiunea 7.2.5.2 din același standard.

#### Toleranțe geometrice și limitări

Toleranțele geometrice privind forma dimensională trebuie să fie conforme cu EN 10143 [73]. EN 1993-1-3 specifică grosimile minime pentru elementele din oțel formate la rece. Trebuie respectate și recomandările din EN 1090-4.

### **Raportul dintre raza de îndoire și grosime și aderența acoperirii metalice**

Deoarece elementele recuperate sunt deja îndoite, trebuie efectuată o inspecție vizuală pentru a evalua eventualele crăpături și aderența stratului metalic în zona de îndoire pentru fiecare element. Scopul evaluării aderenței este de a detecta orice aderență mai slabă decât „perfectă” (vezi Anexa A pentru detalii).

### **Compoziția, codul și masa stratului de acoperire metalică**

Compoziția stratului metalic trebuie specificată conform EN 10346. Secțiunea 3 din EN 10346 definește componentele chimice esențiale pentru fiecare tip de acoperire. Pentru evaluarea masei stratului de acoperire, se va considera Secțiunea 7.3 din EN 10346 (vezi și Anexa A).

### **Compoziția chimică**

Pentru produsele formate la rece, poate fi utilizat standardul EN 10346, unde în Tabelul 2 este prezentată compoziția chimică a oțelurilor pentru construcții. Scopul acestei declarații este de a permite calculul valorii echivalente de carbon (CEV), care este o măsură cheie a sudabilității. Dacă elementele formate la rece nu urmează a fi sudate, compoziția chimică nu trebuie evaluată (vezi Anexa A pentru detalii).

### **5.7.6 Durabilitate**

Procesul de demontare poate provoca deteriorări ale elementelor din oțel, în special ale stratului de acoperire. Oțelul își pierde masa stratului protector în timp (la o rată care depinde de mediul în care se află clădirea/structura). Aceasta înseamnă că masa stratului de acoperire pentru ciclurile de viață ulterioare este redusă, ceea ce reduce durabilitatea sistemului structural. Prin urmare, este necesar ca protocolul de testare să evalueze masa de acoperire rămasă/disponibilă pentru elementele recuperate formate la rece.

## **5.8 Planșee compozite**

Planșeele compozite din oțel-beton sunt utilizate pe scară largă ca soluție structurală ce combină proprietățile complementare ale oțelului și betonului. Principalul lor avantaj constă în capacitatea de a crea un sistem ușor, rezistent și durabil, care accelerează construcția și oferă performanțe ridicate din punct de vedere al capacității portante și al rezistenței la foc. Din cauza îmbinării permanente dintre oțel și beton în soluțiile actuale, planșeele compozite din oțel nu pot fi reutilizate în forma lor originală după construcție. Totuși, atât oțelul cât și betonul pot fi reciclate, oferind astfel o metodă de eliminare responsabilă din punct de vedere al mediului, chiar dacă reutilizarea directă nu este posibilă.

## **5.9 Elemente de închidere (învelitori pentru fațadă/acoperiș)**

Panourile compozite sunt acoperite de standardul EN 14509 – *Panouri sandwich autoportante, izolante, cu peliculă dublă de acoperire metalică. Produse fabricate. Specificație și cerințe pentru produs* [74]. Pentru panourile fabricate după anul 2004, informațiile esențiale sunt disponibile pe o etichetă amplasată pe nervura panoului, care include: producătorul, data fabricării și date despre panou, inclusiv tipul de miez. Începând cu anul 2000, pentanul a fost utilizat ca agent de expandare pentru miez, fără conținut de CFC (clorofluorocarburi) sau H-CFC (hidroclorofluorocarburi).

Tablele pentru panourile de acoperiș și pereți sunt acoperite de standardul EN 14782 – *Placă metalică autoportantă pentru învelitoare de acoperiș, placări la exterior și căptușiri la interior. Specificație de produs și cerințe* [75].

Se propun recomandări pentru evaluarea potențialului de reutilizare a panourilor tip sandwich. Pentru evaluarea aspectelor de siguranță privind reutilizarea, se folosesc regulile din EN 1990 (factori de siguranță) și regulile din standardul armonizat EN 14509 referitor la tipul de încercare a proprietăților esențiale. O cerință de bază pentru un program de încercări redus este ca numele producătorului să fie cunoscut și să existe o copie a valorilor declarate inițial (valorile furnizate de producător). Aceasta poate limita utilizarea unui program de încercări redus pentru panouri mai vechi de 25 de ani, din cauza lipsei unor reguli cunoscute la nivel general, cu excepția cazurilor în care au fost produse sub aprobări naționale cu încercări de tip existente și control realizat de o parte terță. În celelalte cazuri, este recomandat un program complet de încercări conform EN 14509.

Evaluarea potențialului de reutilizare a panourilor sandwich se realizează astfel:

- Pe baza criteriilor arhitecturale sau estetice,
- Pe baza performanței; evaluarea proprietăților esențiale conform EN 14509.

În acest scop, modificările de culoare ale suprafeței sau deteriorările vizibile se evaluează vizual.

### 5.9.1 Criterii de selecție și acceptare

Proprietățile mecanice ale panoului care trebuie declarate și determinate pe baza încercărilor de tip sunt, conform EN 14509:

- rezistența la încrețire (wrinkling strength),
- rezistența la forfecare și modulul de elasticitate transversal,
- coeficientul de fluaj (doar pentru încărcări permanente),
- rezistența la compresiune și modulul de compresiune,
- rezistența la tracțiune și modulul de elasticitate la întindere,
- proprietățile de durabilitate,
- toleranțele.

Valoarea de referință a proprietăților mecanice este cea declarată de producător la momentul livrării panourilor. Această valoare de referință este denumită în continuare „nivel zero”.

Evaluarea posibilei degradări a proprietăților mecanice ale panoului se face mai întâi prin compararea nivelului rezistenței la tracțiune pe direcție transversală panoului cu nivelul zero. Dacă se constată o degradare considerabilă (cu peste 10% sub valoarea caracteristică comparativ cu valoarea declarată), se realizează încercări de rezistență la forfecare și rezistență la compresiune a panoului. Valoarea caracteristică a rezistenței la forfecare a panoului, determinată pe specimene prelevate din panourile demontate, este valoarea utilizată în proiectare atunci când panourile sunt reutilizate.

Valoarea medie a modulului de forfecare este măsurată pe panourile care urmează să fie reutilizate. Pentru rezistența la încrețire (wrinkling), rezistența la compresiune și modulul la compresiune, valorile declarate inițial se reduc proporțional cu raportul dintre rezistența caracteristică la forfecare și rezistența la forfecare declarată inițial. Această procedură este

una conservatoare, întrucât experiența arată că îmbătrânirea afectează în principal rezistența la tracțiune pe direcția transversală panoului și rezistența la forfecare. Rezultatele încercărilor efectuate pe panouri demontate la sfârșitul anilor '90 indică faptul că rata de îmbătrânire a rezistenței la încrețire este aproximativ jumătate din cea a rezistenței la forfecare. Se sugerează ca factorii de siguranță ai materialelor să rămână aceiași ca cei care au stat la baza încercărilor de tip inițiale.

Se recomandă încercarea unor eșantioane prelevate din panourile demontate pentru rezistența la tracțiune pe direcția transversală panoului, conform secțiunii A1 din EN 14509. Numărul de probe ar trebui să fie de cel puțin 3 și până la 10, ceea ce va duce la o acuratețe mai mare a rezultatelor. Densitatea specimenelor este măsurată din probe prelevate în apropierea celor pentru rezistența la tracțiune.

### **5.9.2 Rezistența la tracțiune și densitatea**

Valoarea caracteristică a rezistenței la tracțiune este comparată cu valoarea declarată inițial. Dacă există o degradare la un nivel mai mic de 10%, panourile pot fi refolosite utilizând valorile inițiale declarate pentru toate proprietățile mecanice de rezistență. Dacă degradarea este mai mare de 10%, trebuie prelevat un set de probe pentru testarea rezistenței și a modulului de elasticitate transversal, precum și a rezistenței la compresiune și a modulului la compresiune. Trebuie prelevate cel puțin 3 probe pentru fiecare proprietate, de preferință 5 pentru testele de forfecare și 10 pentru testele de compresiune.

### **5.9.3 Rezistența la forfecare**

Rezistența la forfecare și modulul de forfecare sunt determinate pentru probele prelevate din panourile demontate. Dacă degradarea rezistenței la tracțiune nu este mai mare de 10%, se efectuează o singură încercare de forfecare. Rezultatul testului trebuie să fie cel puțin egal cu valoarea declarată. Seria completă de teste se efectuează dacă rezistența la tracțiune pe direcția transversală a panoului a suferit o degradare mai mare de 10% comparativ cu valoarea declarată inițial. Valoarea caracteristică este calculată pentru rezistența la forfecare. Valoarea caracteristică a rezultatelor încercărilor este apoi utilizată în proiectare panourilor pentru reutilizare.

### **5.9.4 Rezistența la compresiune**

Rezistența la compresiune este determinată pentru probele prelevate din panourile demontate. Încercările se efectuează dacă rezistența la tracțiune pe direcția transversală a panoului a suferit o degradare mai mare de 10% comparativ cu valoarea declarată inițial. Valoarea caracteristică este calculată pentru rezistența la compresiune. Această valoare este utilizată în proiectarea panourilor pentru reutilizare.

### **5.9.5 Momentul încovoietor / rezistența la încrețire (wrinkling)**

Pentru momentul încovoietor sau rezistența la încrețire, valoarea declarată inițial poate fi utilizată dacă degradarea rezistenței la tracțiune este mai mică de 10%. Dacă degradarea este mai mare, atunci fie rezistența la încrețire este redusă proporțional cu reducerea rezistenței la forfecare față de valoarea declarată inițial, fie rezistența la încrețire este testată pentru probe prelevate din panourile demontate. Valoarea caracteristică a rezultatelor încercărilor este apoi utilizată în proiectare panourilor pentru reutilizare.

### 5.9.6 Factori de siguranță ai materialului

Se utilizează valorile factorilor de siguranță ai materialului determinate prin încercarea de tipul inițial. Alternativ, pot fi utilizate valorile factorilor de siguranță determinate din testele pe panouri demontate, calculate conform secțiunii A.16 din EN 14509.

### 5.9.7 Proprietăți de durabilitate

Repetarea încercărilor pentru durabilitate este necesară doar dacă există o degradare a rezistenței la tracțiune de peste 10%. În acest caz, se efectuează doar încercarea de durabilitate pe termen scurt (14 zile, vezi EN 14509, Anexa B, clauza B.2.4, pentru toate celelalte tipuri de miez în afară de vata minerală, și 7 zile pentru miez din vată minerală, vezi clauza B.3.4). Pentru panourile cu miez din vată minerală, degradarea proprietăților nu trebuie să depășească 15%, iar pentru toate celelalte tipuri nu trebuie să depășească 17%.

### 5.9.8 Toleranțe

Toleranțele trebuie verificate vizual, iar dacă se observă o abatere, panourile sunt verificate pentru a stabili dacă acestea sunt adecvate pentru reutilizare.

### 5.9.9 Comportament termic

Pentru panourile sandwich cu miez din poliuretan (PU), dacă raportul celulelor închise (vezi ISO 4590) este redus cu mai mult de 10%, conductivitatea termică trebuie retestată și o nouă valoare de proiectare trebuie determinată (EN 14509, clauza A.10).

### 5.9.10 Siguranța la foc

Pentru panourile cu materiale de miez care folosesc ignifuganți, trebuie efectuate teste pentru comportamentul la flacără mică pentru a verifica dacă efectul substanțelor ignifuge este încă activ. În caz contrar, poate fi necesară o reclasificare.

### 5.9.11 Certificare pentru reutilizare

Un rezumat al procedurilor de evaluare și certificare pentru reutilizarea panourilor sandwich este prezentat în Tabelul 5.13.

Tabelul 5.13 Rezumat al procedurii de evaluare pentru reutilizarea panourilor sandwich

Criteria de evaluare	Proprietate
<b>Rezistență mecanică</b>	
Încercarea de rezistență la tracțiune pe direcție transversală a panoului, minimum 3 probe (EN 14509, A1): Calcularea rezultatului caracteristic al rezistenței la tracțiune. Încercarea unei probe pentru rezistența la forfecare (EN 14509, A.3 sau A.4)	
1. Rezistență la tracțiune Valoare reală $\geq 0.9 \times$ Valoare declarată, și 2. Rezistență la forfecare Valoare reală $\geq 0.9 \times$ Valoare declarată	Dacă DA, nu sunt necesare încercări suplimentare. Toate valorile declarate pentru rezistența mecanică pot fi utilizate. Dacă NU, trebuie determinate noi valori declarate printr-un program de testare conform EN 14509 pentru (i) rezistență la tracțiune, (ii) rezistență la compresiune și (iii) rezistență la forfecare. Rezistența la încrețire este redusă proporțional cu reducerea rezistenței la forfecare.

<b>Durabilitate</b>	
Rezistență la tracțiune Valoare reală $\geq 0.9 \times$ Valoare declarată	Dacă DA, nu sunt necesare încercări suplimentare. Panourile sunt adecvate pentru utilizare.
	Dacă NU: pentru panourile MiWo: Testarea de 7 zile (vezi EN 14509 clauza B.3.4) trebuie să fie efectuată. Reducerea rezistenței la tracțiune după îmbătrânire nu trebuie să depășească 15% din valoarea medie a rezistenței la tracțiune în temperatură ambientală. Pentru toate celelalte tipuri de panouri: Procedura din EN 14509 Anexa B.2 este urmată astfel încât panourile sunt testate 14 zile la temperatură așa cum este descris în B.2.4. Reducerea rezistenței la tracțiune după îmbătrânire nu trebuie să depășească 17% din valoarea medie a rezistenței la tracțiune la temperatură ambientală.
<b>Toleranțe</b>	
Evaluarea deteriorărilor prin inspecție vizuală	Dacă nu sunt identificate deteriorări sau defecte grave, panoul poate fi refolosit.
	Dacă sunt identificate deteriorări grave care afectează rezistența, izolația sau etanșeitarea îmbinărilor, panourile se resping.
<b>Conținut de umiditate</b>	
Umezeala miezului panoului	Dacă nu se constată umezeală semnificativă, panourile pot fi refolosite
<b>Comportament termic</b>	
Pentru panourile PU: 1. Raport celule închise Valoare reală $\geq 0.9 \times$ Valoarea obținută la încercarea de tip și 2. Schimbare în densitate < 10%	Dacă DA, nu sunt necesare încercări suplimentare; se poate folosi valoarea originală a conductivității termice.
	Dacă NU, se face o nouă încercare conform secțiunii A.10 din EN 14509.
<b>Siguranță la foc</b>	
Încercare la flacără mică, clauza C.1.2 din EN 14509	Încercările trebuie efectuate pe materialul de bază, inclusiv pe ignifuganți. Clasificarea este verificată și, dacă este necesar, reclassificată. Panourile sunt apte de utilizare, îndeplinind cerințele proiectului pentru reutilizare.

## 6 ANALIZA STRUCTURALĂ ȘI PROIECTAREA STRUCTURILOR CE UTILIZEAZĂ ELEMENTE DIN OȚEL RECUPERAT

Această secțiune discută mai multe aspecte care pot influența proiectarea structurilor ce utilizează elemente din oțel recuperat. Trebuie respectate principiile proiectării în stare limită (Limit State Design), iar regulile pentru rezistență și deformabilitate prevăzute în Părțile 1.1 și 1.8 ale EN 1993 pot fi aplicate, utilizând factorii parțiali de rezistență  $\gamma_M$  și aceleași metode de analiză și proiectare.

Structurile realizate din (sau care includ) componente din oțel reutilizat trebuie să respecte aceleași principii de bază prevăzute în EN 1990. Pentru "noua" durată de viață, structura trebuie să fie proiectată și construită astfel încât:

- Să reziste tuturor acțiunilor care pot apărea, în funcție de rezistența elementelor,
- Să rămână adecvată pentru utilizare din punct de vedere al exploatarei și durabilității,
- Să respecte reglementările moderne privind integritatea structurală.

În practica europeană, clădirile (altele decât cele agricole, temporare și monumentale) sunt proiectate pentru o durată de viață intenționată de 50 de ani, iar acest lucru se reflectă în valorile caracteristice ale acțiunilor din EN 1991 și în factorii parțiali aplicați acestor acțiuni. Durata de viață afectează valorile de proiectare ale efectelor acțiunilor, dar nu și verificările de rezistență și de deformabilitate prezentate mai jos.

Ductilitatea și tenacitatea trebuie să fie adecvate pentru ca structura să funcționeze conform așteptărilor. Ipotezele obișnuite de proiectare și procedurile Eurocode presupun un nivel minim de ductilitate pentru a permite elementelor încovoiate compacte să atingă capacitatea plastică a secțiunii și să permită cedarea locală fără rupere în zonele cu concentrații de efort (vezi Tabelul 5.1). De fapt, proiectantul se bazează pe ductilitate în mai multe aspecte ale proiectării, inclusiv redistribuirea tensiunilor în starea limită ultimă (SLU), în proiectarea grupurilor de șuruburi și în procesul de fabricație pentru sudare, îndoire și îndreptare. În proiectarea structurală folosind oțel recuperat, potențialele reduceri de ductilitate și tenacitate pot fi, în general, neglijate. Aceasta deoarece, în condiții normale de utilizare a clădirii, cerințele de deformație specifică sunt, de regulă, sub 1.5%, iar aceste niveluri scăzute nu afectează semnificativ performanța structurală.

În majoritatea cazurilor, se poate aștepta ca elementele din oțel recuperat să se comporte similar cu cele noi, fără a ține cont de modificările proprietăților materialului. Totuși, imperfecțiunile geometrice pot afecta rezistența la flambaj a elementelor, motiv pentru care poate fi necesară creșterea coeficientului parțial relevant.

### 6.1 Asigurarea fiabilității

Aplicarea metodei factorului parțial necesită definirea valorilor de proiectare ale acțiunilor, proprietăților materialului și produsului, datelor geometrice și incertitudinilor modelului. Valorile de proiectare pentru acțiuni,  $Q_d$ , sunt obținute din valorile caracteristice,  $Q_k$ , pe baza unei durate de viață de referință de 50 de ani și a fiabilității țintă corespunzătoare. Valoarea țintă a indicelui de fiabilitate  $\beta$  este legată de probabilitatea de cedare  $P_f$  corespunzătoare unei perioade de referință, astfel:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (6.1)$$

unde  $\Phi(\cdot)$  este funcția de distribuție cumulativă normală standard.

Acțiunile asupra structurilor sunt definite în EN 1991-1-1 [10]. Greutățile proprii și încărcările utile nu sunt sensibile la perioada de referință, așadar, perioada standard de 50 de ani poate fi în continuare utilizată. Pentru încărcările din zăpadă și acțiunile vântului, EN 1991 oferă valori ajustate pentru perioade de referință diferite în Anexa D a EN 1991-1-3 [11] pentru încărcări din zăpadă, respectiv în Nota 4 din Clauza 4.2 a EN 1991-1-4 [12] pentru încărcări din vânt.

EN 1990 [9] definește cinci Clase de Consecințe (CC), în funcție de consecințele cedării sau funcționării defectuoase a structurii, și oferă reguli de proiectare pentru trei dintre ele, astfel:

- CC0: consecințe *foarte reduse* pentru pierderea de vieți omenești sau consecințe economice, sociale sau de mediu *nesemnificative*,
- CC1: consecințe *reduse* pentru pierderi de vieți omenești și consecințe economice, sociale sau de mediu *mici sau neglijabile*,  $\beta_{50\text{-year}} = 3.3$ ,
- CC2: consecințe *medii* pentru pierderi de vieți omenești și consecințe economice, sociale sau de mediu *considerabile*,  $\beta_{50\text{-year}} = 3.8$ ,
- CC3: consecințe *ridicate* pentru pierderi de vieți omenești sau consecințe economice, sociale sau de mediu *foarte mari*,  $\beta_{50\text{-year}} = 4.3$ .
- CC4: consecințe *extreme* pentru pierderea de vieți omenești sau consecințe economice, sociale sau de mediu *uriașe*.

De asemenea, se menționează că proiectele care folosesc coeficienții parțiali din Eurocoduri conduc, în general, la structuri cu un indice  $\beta$  mai mare de 3,8 pentru o perioadă de referință de 50 de ani.

Durata de viață de proiectare a structurii nu este legată explicit de clasa de consecințe în EN 1990:2023 și poate fi înțeleasă ca perioada în care o structură este utilizată conform scopului său, cu întreținere anticipată, dar fără reparații majore. Anexa A.1.4 din EN 1990 oferă următoarele categorii împreună cu durata de viață de proiectare:

- Structuri agricole și similare / Părți structurale care pot fi înlocuite, cu o durată de viață de proiectare de 25 de ani (categoria 2),
- Structuri pentru clădiri care nu sunt incluse într-o altă categorie, cu o durată de viață de proiectare de 50 de ani (categoria 3),
- Structuri pentru clădiri monumentale cu o durată de viață de proiectare de 100 de ani (categoria 4).

Structurile sau părțile de structuri care pot fi demontate pentru a fi reutilizate nu ar trebui să fie clasificate ca structuri temporare.

Structurile proiectate conform Eurocodurilor sunt așteptate să funcționeze și să rămână adecvate pentru utilizare pe durata de viață de proiectare corespunzătoare. Pentru clădirile tipice, durata de viață este de obicei de 50 de ani, adică, categoria 3, corespunzând unui indice de fiabilitate  $\beta_{50\text{-year}} = 3.8$ , sau  $\beta_{1\text{-year}} = 4.7$ , corespunzând unei probabilități de cedare de  $\sim 10^{-4}$  / an. Dacă o structură este destinată unei durate de viață de proiectare mai scurte, un indice țintă de fiabilitate mai mic poate fi justificat. Acest lucru ar corespunde unui  $\beta_{50\text{-year}} < 3.8$  pentru o perioadă de 50 de ani. Totuși, conform ISO 13822 [76], o valoare minimă de  $\beta_{50} \geq 2.3$  ar trebui menținută pentru a asigura siguranța umană. Dimpotrivă, dacă durata de viață de proiectare este extinsă, de exemplu, la 100 de ani, un  $\beta_{50\text{-year}} > 3.8$  ar fi adecvat,

reflectând o cerință de fiabilitate mai mare pe o perioadă de referință de 50 de ani. Trebuie menționat că aceste valori  $\beta$  sunt valori țintă utilizate în proiectare pentru a asigura un nivel constant de fiabilitate. Ele reprezintă repere teoretice și nu reflectă neapărat rate reale de cedare.

Gulvanessian et al. [77] explică clar că indicii  $\beta$  sunt utilizați ca valori operaționale pentru scopuri de calibrare a codurilor și pentru compararea nivelurilor de fiabilitate ale structurilor, care depind în mod natural de durata de viață de proiectare și sunt folosiți în întregul sistem *acțiuni – rezistențe – coeficienți parțiali*.

Măsuri diferite pentru reducerea riscului de cedare pot fi interschimbate într-o măsură limitată, cu condiția ca nivelul cerut de fiabilitate să fie menținut. La proiectarea cu oțel recuperat, poate fi necesar să se compenseze un coeficient parțial ușor mai mic printr-un nivel ridicat de management al calității, control și inspecție asupra structurii. Acesta este un exemplu de diferențiere a fiabilității prin cerințele nivelurilor de calitate.

Diferențierea fiabilității poate fi de asemenea aplicată prin (i) coeficienți parțiali pentru acțiuni  $\gamma_F$ , sau (ii) coeficienți parțiali pentru rezistență,  $\gamma_M$ , care sunt detaliați în continuare. Prima opțiune este de obicei preferată.

### 6.1.1 Coeficienți parțiali pentru acțiuni

Coeficienții parțiali pentru acțiuni permit luarea în considerare, la proiectare, a variabilității încărcărilor. În majoritatea cazurilor, probabilitatea de cedare crește din cauza încărcărilor mai mari decât cele prevăzute, dar și situațiile în care greutatea proprie este mai mică decât cea considerată pentru a contracara momentele de răsturnare pot avea același efect de creștere a probabilității de cedare.

Acțiunile luate în considerare pentru situațiile de proiectare persistente și tranzitorii (fundamentale) trebuie să includă:

- valoarea de proiectare a acțiunii variabile dominante;
- valorile de combinație de proiectare ale acțiunilor variabile însoțitoare.

La aplicarea coeficienților parțiali pentru acțiuni, combinațiile de acțiuni  $\Sigma F_d$  pentru situațiile de proiectare persistente și tranzitorii (fundamentale) trebuie calculate conform EN 1990:2023, prin una dintre următoarele:

- formula (8.12) din EN 1990:2023 sau (6.2) de mai jos; sau
- cea mai defavorabilă dintre cele două expresii din Formula (8.13) din EN 1990:2023 sau (6.3) de mai jos; sau
- cea mai defavorabilă dintre cele două expresii din Formula (8.14) din EN 1990:2023 sau (6.4) de mai jos.

$$\Sigma F_d = \sum_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \quad (6.2)$$

sau

$$\Sigma F_d = \begin{cases} \sum_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \\ \sum_i \xi_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \end{cases} \quad (6.3)$$

sau

$$\Sigma F_d = \left\{ \begin{array}{l} \sum_i \gamma_{G,i} G_{k,i} \\ \sum_i \xi_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \end{array} \right. \quad (6.4)$$

unde

$F_d$	reprezintă valoarea de proiectare a unei acțiuni;
$\Sigma$	reprezintă combinația variabilelor incluse;
$\gamma_{G,i}$	este coeficientul parțial pentru acțiunea permanentă $i$ ;
$G_{k,i}$	este valoarea caracteristică a acțiunii permanente $i$ ;
$\gamma_{Q,1}$	este coeficientul parțial pentru acțiunea variabilă predominantă 1;
$\psi_{0,1}$	este coeficientul de combinație pentru acțiunea variabilă predominantă 1 (dacă se aplică);
$Q_{k,1}$	este valoarea caracteristică a acțiunii variabile predominante 1;
$Q_{k,j}$	este valoarea caracteristică a unei acțiuni variabile însoțitoare $j$ ;
$\psi_{0,j}$	este coeficientul de combinație pentru acțiunea variabilă $j$ ;
$\gamma_{Q,j}$	este coeficientul parțial pentru acțiunea variabilă $j$ ;
$\xi$	este coeficientul de reducere aplicat acțiunilor permanente nefavorabile; valoarea este 0,85 dacă Anexele Naționale nu specifică altă valoare.

Dacă coeficientul de variație este mic, o acțiune permanentă,  $G$ , ar trebui să fie reprezentată printr-o singură valoare caracteristică  $G_k$ . Dacă se utilizează o singură valoare caracteristică  $G_k$  atunci aceasta poate fi considerată ca valoarea medie a lui  $G$ . Dacă incertitudinea în  $G$  nu este mică sau dacă structura este sensibilă la variații ale valorii sau distribuției spațiale, atunci acțiunea permanentă  $G$  ar trebui să fie reprezentată prin valorile caracteristice superioară și inferioară  $G_{k,sup}$  și, respectiv  $G_{k,inf}$ . Valoarea caracteristică superioară  $G_{k,sup}$  trebuie selectată ca procent de 95% și valoarea caracteristică inferioară  $G_{k,inf}$  ca procent de 5% din distribuția statistică a lui  $G$ .

Combi-națiile acțiunilor pentru stările limită ultime, cu factorii parțiali asupra acțiunilor, trebuie alese în funcție de situația de proiectare, conform EN1990:2023:

- Tabelului A.1.3, când se folosește formula (8.12); sau
- Tabelului A.1.4, când se folosește formula (8.13); sau
- Tabelului A.1.5, când se folosește formula (8.14).

Dacă valorile de proiectare ale acțiunilor pentru situațiile de proiectare persistente și tranzitorii (fundamentale) sunt alese conform Tabelului A.1.4 sau Tabelului A.1.5 din EN1990:2023, atunci trebuie verificată expresia cea mai nefavorabilă dintre cele două din formula relevantă pentru combinația de acțiuni.

Este practică curentă reducerea nivelului de siguranță cerut la evaluarea și modernizarea structurilor existente, atât timp cât limitele pentru siguranța persoanelor nu sunt depășite, vezi referințele [78] și [79]. Acest lucru este justificat prin faptul că, pentru structurile existente, se presupune și se acceptă adesea o durată de viață mai scurtă. În mod similar, pentru proiectele de structuri metalice recuperate, este rezonabil să se ia în considerare opțiunea unei durate de viață mai scurte, cum ar fi 15–30 de ani (categoria 2 de mai sus).

### 6.1.2 Scenarii fezabile pentru adoptarea unei durate de viață de proiectare mai reduse

În secțiunea anterioară s-a sugerat că factorii de combinație pentru acțiuni ar putea fi ușor reduși atunci când se proiectează cu oțel recuperat, presupunând o durată de viață de

exploatare mai scurtă. Se recomandă ca această opțiune să impună un nivel mai ridicat de control al managementului calității și inspecție asupra structurii.

Pentru o clădire nouă, cerințele de fiabilitate din standardul EN 1990 trebuie respectate (chiar dacă se folosesc elemente recuperate individuale). Exemple unde pot fi folosiți coeficienți parțiali mai mici, corespunzători unei durate nominale de viață de proiectare de 15–30 ani sunt: (i) modernizarea clădirilor existente, sau (ii) cazurile în care întreaga clădire este relocată într-o altă locație.

Atunci când se proiectează o structură nouă promovând reutilizarea oțelului, este posibil să se ajusteze configurația structurală, cum ar fi distanța dintre grinzele de planșeu sau cadre, pentru a se asigura că efectele încărcărilor asupra elementelor recuperate rămân în limite acceptabile. Procedând astfel, structura poate respecta cerințele standard de fiabilitate pentru o durată nominală de viață de proiectare de 50 de ani, în conformitate cu EN 1990. Această abordare permite respectarea procesului de proiectare Eurocode, acomodând în același timp variabilitatea inerentă a componentelor din oțel reutilizat.

### 6.1.3 Coeficienți parțiali pentru rezistență

Coeficienții parțiali pentru rezistență definiți în EN 1993-1-1 sunt rezumați în Tabelul 6.1. Valorile caracteristice ale rezistenței sunt împărțite la coeficienții parțiali relevanți pentru a obține valorile de proiectare ale rezistenței. Aceste valori sunt parametri stabiliți la nivel național și pot fi modificați în Anexele Naționale utilizate pentru implementarea EN 1993-1-1 în fiecare țară, vezi Tabelul 6.2. Valorile din aceste tabele sunt date pentru oțeluri noi și au fost obținute din date experimentale colectate între 1969 și 1980, vezi [80] și [81], și mai târziu, în 2002 [82].

Tabelul 6.1 Coeficienți parțiali pentru rezistență  $\gamma_M$  în EN 1993

Coeficient parțial		Valoare recomandată (CEN)
$\gamma_{M0}$	Rezistența secțiunilor transversale	1.00
$\gamma_{M1}$	Rezistența elementelor la flambaj	1.00
$\gamma_{M2}$	Rezistența secțiunilor transversale la întindere până la rupere	1.25

Tabelul 6.2 Coeficienți parțiali pentru rezistență,  $\gamma_M$ , din Anexele Naționale\*

Coeficienți parțiali	Austria	Belgia	Danemarca	Finlanda	Franța	Germania <sup>(i)</sup>	Italia	Irlanda	Olanda	Norvegia	Portugalia	România	Spania	Suedia	Regatul Unit
$\gamma_{M0}$	1.00	1.00	<b>1.10</b>	1.00	1.00	1.00	<b>1.05</b>	1.00	1.00	<b>1.05</b>	1.00	1.00	<b>1.05</b>	1.00	1.00
$\gamma_{M1}$	1.00	1.00	<b>1.20</b>	1.00	1.00	<b>1.10</b>	<b>1.05</b>	1.00	1.00	<b>1.05</b>	1.00	1.00	<b>1.05</b>	1.00	1.00
$\gamma_{M2}$	1.25	1.25	<b>1.35</b>	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	<b>a</b>	<b>1.10</b>
$a = \min \left( 1.10, \frac{0.9f_u}{f_y} \right)$ ; <sup>(i)</sup> Pentru analiză neliniară, se consideră $\gamma_{M0} = 1.10$															
* Coeficienții parțiali pentru rezistență corespund ediției din 2006 a EN 1993-1-1.															

Utilizarea oțelului recuperat a fost restricționată la clădirile fabricate și construite după 1970. Prin urmare, este puțin probabil ca proprietățile oțelului să fie diferite de cele ale oțelurilor utilizate pentru calibrarea coeficienților parțiali pentru verificările secțiunilor transversale,  $\gamma_{M0}$  și  $\gamma_{M2}$ . Ambii factori acoperă variabilitatea rezistenței materialului, astfel încât rezistența efectivă a oțelului în structură poate diferi de cea utilizată în calcule. Astfel, proiectantul poate adopta în siguranță aceleași valori din Tabelul 6.1 pentru  $\gamma_{M0}$  și  $\gamma_{M2}$  în proiectele care folosesc oțel reutilizat.

Coeficientul parțial  $\gamma_{M1}$  este utilizat la proiectarea elementelor (grinzi și stâlpi) pentru stabilitate. Problema stabilității necesită luarea în considerare a proprietăților materialului și, de asemenea, a unui număr important de factori grupați de obicei sub denumirea de *imperfecțiuni*, care includ lipsa inițială de rectiliniaritate, excentricități accidentale ale încărcării și tensiuni reziduale. Proiectarea se bazează de obicei pe conceptul *curbelor de flambaj*, care corelează rezistența la flambaj cu *zveltețea adimensională* a elementului. Deși elementele recuperate trebuie să respecte toate toleranțele geometrice, poate fi rezonabil, în anumite circumstanțe, să se ia în considerare o valoare  $\gamma_{M1}$  mai mare pentru verificarea stabilității atunci când se utilizează oțel reutilizat. Acest lucru oferă o marjă suplimentară de siguranță pentru a ține cont de incertitudinile legate de istoricul materialului, posibilele imperfecțiuni și variabilitățile care nu sunt considerate complet în ipotezele standard de proiectare. O abordare posibilă este prezentată în Anexa B.

Dacă o structură este păstrată în locația sa originală (reutilizare in-situ), nu există niciun motiv de a crește nivelurile de siguranță cerute. Aceasta înseamnă că valorile factorului de corecție  $K_{\gamma_{M1}}$  pentru elementele din oțel existente, instalate după 1970, pot fi considerate egale cu 1 pentru un astfel de scenariu de reutilizare. Valoarea  $K_{\gamma_{M1}}$  este de asemenea legată de incertitudinea rezultată din procesele multiple de transport, demontare, remontare, precum și din procedurile de testare pentru a evalua imperfecțiunile geometrice. Deoarece majoritatea acestor incertitudini nu se aplică dacă clădirea rămâne în locația sa inițială, se poate folosi valoarea  $K_{\gamma_{M1}} = 1.0$ .

## 6.2 Analiza structurală (statică)

Analiza structurală globală pentru ULS trebuie realizată în conformitate cu principiile din EN 1993-1-1, cu luare în considerare corectă a imperfecțiunilor globale (efecte  $P-\Delta$  pentru structură) și locale (efecte  $P-\delta$ , pentru element), precum și a efectelor de ordinul doi.

Analiza globală poate fi de ordinul întâi sau de ordinul doi, în funcție de flexibilitatea orizontală a structurii, care dictează dacă ignorarea efectelor de ordin doi poate duce la subestimarea forțelor interne și a momentelor încovoietoare. Pentru structuri sensibile la efecte globale de ordinul doi, se recomandă ca efectele  $P-\Delta$  globale să fie luate în calcul printr-o analiză geometrică neliniară (realizată de obicei prin programe de calcul) sau prin utilizarea factorului de amplificare conform Secțiunii 7.2.2(12)-(13) din EN 1993-1-1.

Se recomandă analiza elastică globală atunci când se proiectează cu elemente din oțel reutilizat pentru a obține forțele și deplasările interne într-o structură. O analiză liniară geometrică are avantajul că permite suprapunerea forțelor interne provenite din cazuri de încărcare diferite. În funcție de clasa secțiunii transversale, proiectarea elementelor se

poate face pe baza rezistenței plastice sau elastice a secțiunii transversale, conform EN 1993-1-1:2022.

Rezistențele elementelor la SLU controlează siguranța structurii și trebuie îndeplinite. Verificarea dacă o structură sau un element satisface această stare limită este o verificare tehnică bazată pe prevederile din standardul de proiectare EN 1993-1-1:2022 (vezi Secțiunea 6.3).

Starea limită de serviciu (SLS) definește performanța funcțională a structurii și este de obicei bazată pe așteptările beneficiarului, care trebuie să specifice criteriile de performanță ce trebuie respectate. SLS nu sunt critice din punct de vedere al siguranței, dar pot afecta utilizarea și durabilitatea clădirii, de exemplu prin apariția de fisuri și infiltrații cauzate de deformații excesive ale închiderilor (vezi Secțiunea **Error! Reference source not found.**).

## 6.3 Stări limită ultime

### 6.3.1 Proiectarea elementelor: rezistența secțiunilor transversale

Regulile stabilite în Clauza 8.2 din EN 1993-1-1:2022 pot fi aplicate fără restricții în verificările de proiectare pentru rezistența secțiunilor transversale, luând în considerare clasele de secțiune transversală din Clauza 7.5. Modelele de rezistență ar trebui să se bazeze pe proprietățile secțiunii transversale nete. Proiectantul structurii metalice poate adopta în siguranță valorile pentru  $\gamma_{M0}$  și  $\gamma_{M2}$  conform anexei naționale corespunzătoare la EN 1993-1-1:2022 (vezi Secțiunea 6.2.3).

### 6.3.2 Proiectarea elementelor: stabilitate

Pentru verificările de stabilitate ale elementelor, trebuie luate în considerare imperfecțiunile locale, în conformitate cu Clauza 7.3.3 din EN 1993-1-1:2022. De obicei, acest lucru este tratat implicit în cadrul procedurilor de verificare a elementelor individuale din Clauza 8.3. În cazul elementelor care utilizează oțel recuperat, se recomandă înlocuirea  $\gamma_{M1}$  și  $\gamma_{M1,mod}$  (vezi Secțiunea 6.1.3).

În general, secțiunea transversală brută a elementelor structurale este utilizată pentru determinarea rezistenței la flambaj. Totuși, dacă găurile pentru șuruburi sunt localizate în cadrul secțiunii transversale critice (forțele interne maxime în secțiune) și reduc secțiunea transversală cu mai mult de 15% în secțiunea critică al elementului, proprietățile secțiunii transversale nete ar trebui utilizate în proiectare [58]. Zveltețea relativă (sau adimensională), ar trebui, totuși, determinată întotdeauna pentru secțiunea transversală brută.

### 6.3.3 Proiectarea îmbinărilor

Proiectarea îmbinărilor ar trebui să se bazeze pe Partea 1-8 din EN 1993 utilizând coeficienții parțiali specificați  $\gamma_M$ . Pentru verificările la flambaj local, de exemplu, în inima stâlpilor în compresiune transversală pentru îmbinări rezistente la moment, nu este necesară actualizarea factorului parțial  $\gamma_{M1}$ .

Dacă elementele din oțel care urmează să fie reutilizate sunt îmbinate prin sudură, se poate presupune că materialul sudurii are aceeași rezistență ca materialul structural de bază [58]. Cu toate acestea, se recomandă ca sudurile existente să fie inspectate cu atenție.

Clasa de oțel a plăcilor de îmbinare poate fi considerată ca fiind aceeași cu cea a materialului de bază al elementelor structurale de care sunt prinse.

Cele mai bune practici pentru proiectarea conexiunilor conform EN 1993-1-8 pot fi găsite în referințele [83] și [84].

### 6.3.4 Proiectarea structurii principale

Secțiunile anterioare au abordat comportamentul elementelor individuale presupunând că atât încărcările cât și condițiile de margine sunt cunoscute. Proiectarea elementelor într-o structură depinde în mod natural de modul în care acestea sunt îmbinate și conduce la următoarele tipuri: (i) construcție simplă, (ii) construcție continuă și (iii) construcție semi-continuuă.

În construcția simplă, îmbinările dintre elemente sunt articulate, astfel încât au o rigiditate la rotire mică și nu transmit momente. Acest lucru permite ca toate elementele să fie proiectate practic ca elemente simplu rezemate.

În construcția continuă, îmbinările sunt rigide și transmit momente încovoietoare substanțiale între elemente. În acest caz, elementele pot fi totuși proiectate separat, cu condiția ca eforturile să fie calculate luând în considerare momentele care se transferă între elemente. Acest lucru se poate face printr-o analiză elastică globală.

Clauza 7.2.2 din EN 1993-1-1:2022 permite toate formele de imperfecțiuni geometrice și de material într-o analiză globală de ordin doi a cadrelor. Această abordare necesită software specializat și este rar utilizată în practică. Opțiunea b) din Clauza 7.2.2(2) este cea mai probabilă alegere, și permite tratarea separată a tuturor imperfecțiunilor, și consideră imperfecțiunile globale (adică imperfecțiunile cadrului) în analiza globală, iar imperfecțiunile locale în verificările elementelor. Detaliile privind modul în care imperfecțiunile globale ale cadrului ar trebui incluse sunt furnizate în Clauza 7.3.2.

Sistemele permanente de contravântuire sunt proiectate să reziste la:

- încărcările orizontale aplicate cadrului contravântuit,
- orice încărcări aplicate direct sistemului de contravântuire, și
- efectul imperfecțiunilor în cadrele pe care le contravântuiește.

În scopuri de proiectare, și în conformitate cu Clauza 7.3 din EN 1993-1-1:2022, aceste imperfecțiuni sunt înlocuite cu forțe orizontale echivalente.

Pentru contravântuirile în plan vertical, toate cele trei efecte ar trebui combinate. Forțele orizontale echivalente trebuie luate în considerare pentru toate combinațiile de încărcări la ULS deoarece scopul lor este de a reprezenta geometria imperfectă inițială care conduce la deplasări sub încărcarea aplicată. Aceste forțe echivalente ar trebui determinate separat pentru fiecare combinație de încărcare, deoarece ele depind de mărimea încărcărilor verticale de proiectare.

Sistemele de contravântuire pentru tălpile comprimate se proiectează conform Clauzei 7.3.5 din EN 1993:2022. Imperfecțiunile se iau în considerare utilizând una dintre următoarele metode: fie prin includerea unei imperfecțiuni inițiale de încovoiere în elementele care urmează a fi stabilizate și proiectarea pentru momentele suplimentare rezultate, fie prin utilizarea unei forțe stabilizatoare echivalente. În cazul în care grinzile sau elementele

comprimate sunt îmbinate, există o cerință suplimentară ca sistemul de contravântuire să poată prelua o forță locală suplimentară în zona îmbinării, vezi Clauza 7.3.5.2(2).

Nu există o recomandare specifică în EN 1993 pentru proiectarea contravântuirilor temporare sau de montaj. Aceste sisteme asigură că structura poate fi construită în siguranță. Ele depind de succesiunea construcției și ar trebui poziționate astfel încât să reducă erorile cumulative de toleranță.

### 6.3.5 Proiectarea elementelor structurale secundare

Structura metalică secundară este de obicei formată din paneele de acoperiș care se întind între grinzile cadrelor și riglele de perete care se întind între stâlpi, din elemente formate la rece. Aceste elemente susțin închiderile și sunt proiectate pentru încărcări din vânt, iar acoperișurile și pentru zăpadă. Paneele de acoperiș și de perete sunt de asemenea adesea utilizate pentru a asigura stabilitatea grinzilor și stâlpilor și pentru a transfera încărcările orizontale către sistemul de contravântuire.

Secțiunea 11 a EN 1993-1-3 oferă ghiduri pentru proiectarea paneele de acoperiș și a riglelor de perete. Deoarece aceste elemente sunt de obicei produse de firmă, producătorii au dezvoltat și testat secțiuni adecvate, furnizând date de proiectare sub formă de tabele sau programe de calcul.

## 6.4 Considerații pentru proiectarea seismică

Proiectanții ar trebui să țină cont că proiectarea seismică a clădirilor cu un singur nivel nu necesită, de obicei, considerente speciale de proiectare, conform Secțiunii 6 din prEN1998-1-2 [85]. Clădirile cu un singur nivel sunt tratate, în general, ca făcând parte din clasa de ductilitate redusă (DC1), ceea ce înseamnă că cerințele de proiectare din EN 1993-1-1 sunt suficiente. Compromisul în această practică este că un factor de comportare mai mic trebuie luat în considerare la evaluarea acțiunii seismice de proiectare. Cu toate acestea, deoarece clădirile cu un singur nivel au o masă redusă, acțiunea seismică nu guvernează, de obicei, proiectarea. Dacă un concept DC1 este presupus în proiectare, nu există nicio preocupare în utilizarea elementelor din oțel recuperat pentru structuri supuse acțiunii seismice, dar se recomandă un factor de comportare  $q = 1$  în proiectarea elementelor din oțel recuperat.

Recomandările furnizate în acest ghid pot fi adaptate pentru alte structuri, cum ar fi clădirile cu mai multe niveluri, pentru care acțiunea seismică are o altă semnificație (prezența unor mase mai mari, înălțimea clădirii, zone disipative). Structurile proiectate în conformitate cu conceptul de comportare structurală disipativă trebuie să aparțină claselor structurale de ductilitate DC2 sau DC3. Aceste clase corespund unei capacități sporite a structurii de a disipa energie prin mecanisme plastice. În funcție de clasa de ductilitate, trebuie respectate cerințe specifice privind clasa secțiunilor transversale și capacitatea de rotire a îmbinărilor. Pentru astfel de cazuri, este recomandat să se permită utilizarea elementelor din oțel recuperat doar dacă aceste elemente sunt utilizate cel puțin în una dintre următoarele condiții: (i) ca elemente ale stâlpilor sau ale sistemelor secundare de preluare a încărcărilor (care nu fac parte din sistemul de rezistență la acțiuni laterale, cum ar fi grinzile de planșeu articulate la capete), sau (ii) ca elemente care fac parte dintr-o structură de clasă DC1.

Procedurile de evaluare și testare propuse în Anexa A sunt în acord cu cerințele propuse în EN1998-3 [86] pentru clădirile existente. Pentru cazurile în care se efectuează o evaluare a unei structuri existente și este necesară o comportare disipativă (clasă de ductilitate medie sau ridicată), procedurile de testare recomandate ar trebui să urmeze recomandările pentru o structură CC3 conform Anexei A. Recomandări suplimentare pot fi găsite în referințele [87] până la [89].

## **6.5 Stări limită de serviciu**

### **6.5.1 Deformări și deplasări**

Condițiile pentru starea limită de serviciu (deformări, deplasări, vibrații) sunt prezentate în Clauzele 5.4, 8.4 și Anexa A din EN1990:2023 [9]. Criteriile și limitele de utilizare sunt oferite în Anexa A din EN1990:2023 și pot fi utilizate pentru proiectarea structurilor folosind elemente din oțel recuperat. Cerințele privind utilizarea trebuie specificate individual pentru fiecare proiect. Alte prevederi legate de criteriile de utilizare sunt prezentate în celelalte Eurocoduri. Alte valori maxime trebuie să fie cele specificate de autoritatea competentă sau, în lipsa unei specificări, pot fi convenite pentru un anumit proiect de către părțile implicate. Analiza elastică se utilizează pentru determinarea deformațiilor cadrului în starea limită de serviciu.

În cele ce urmează, sunt discutate câteva condiții care pot influența criteriile de exploatare.

#### ***Închideri***

Deformațiile diferențiate între cadrele adiacente trebuie limitate pentru a preveni ca prinderile elementelor de închidere să fie suprasolicitate, ceea ce ar putea duce la rupere și eventual scurgeri. De exemplu, tablele de închidere în clădirile cu un singur nivel se deformează semnificativ mai puțin decât deformațiile calculate pentru cadrul neechipat. Acest lucru se datorează faptului că tabla acționează ca o diafragmă, oferind un efect considerabil de rigidizare asupra structurii. Deplasarea reală depinde de proporțiile clădirii și de tipul de închidere, dar reduceri ale deplasărilor orizontale de peste 50% (față de cele calculate pentru cadrul neechipat) sunt tipic măsurate pe structuri deja executate.

#### ***Frontoane***

Un cadru de fronton prevăzut cu închideri și/sau contravântuit este foarte rigid în planul său. Deformațiile diferențiate calculate între cadrul de capăt și cadrul adiacent pot fi foarte mari. Această deformație diferențiată va fi întotdeauna modificată de prezența planșeului clădirii, a tablelor de acoperiș și a contravântuirilor de acoperiș.

#### ***Zidărie***

Atunci când pereții laterali din zidărie de cărămidă sau blocuri sunt realizați astfel încât să primească sprijin de la cadrul din oțel, aceștia trebuie detaliați astfel încât să poată deforma împreună cu cadrul, prin utilizarea unui strat hidroizolant compresibil la baza peretelui. Trebuie asigurată o fixare adecvată în partea superioară a panoului de zidărie și, dacă este necesar, și în punctele intermediare. Dacă zidăria este continuată în jurul stâlpilor de oțel, formând reazeme rigide, este irațional să se aștepte ca panourile să se deformeze împreună cu cadrul. În acest caz, ar trebui aplicate limite de deformație mai stricte cadrului.

### ***Acumularea de apă***

Pentru acoperișurile cu pantă mică sau drepte, trebuie luată în considerare posibilitatea acumulării apei pe acoperiș. Panta minimă recomandată a acoperișului este de 3° după luarea în calcul a săgeții verticale. Panta standard recomandată este de 6° față de orizontală, pentru care acumularea de apă poate fi ignorată. Grinzile cu zăbrele au, de obicei, o pantă de 3°, dar deoarece sunt mult mai rigide decât soluțiile cu profile laminate la cald sau fabricate, efectele de acumulare de apă nu sunt critice.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Kibert CJ (2013). Sustainable construction: green building design and delivery: green building design and Delivery. John Wiley & Sons.
- [2] CEN – European Committee for Standardisation (2024). CEN/TS 1090-201: Execution of steel structures and aluminium structures - Reuse of structural steel, Brussels, Belgium.
- [3] Densley Tingley D, Allwood J (2014). Reuse of structural steel: the opportunities and challenges. In: European Steel Environment & Energy Congress 2014, 15-17 September, Teeside University, UK.
- [4] Chen H-M, Wang Y, Zhou K, Lam D, Guo W, Li L, Ajayebi A, Hopkinson P (2022). Reclaiming structural steels from the end of service life composite structures for reuse - An assessment of the viability of different methods. Developments in the Built Environment 10, 100077.
- [5] Yrjölä J. (2022). New white paper: Dismount and reuse of precast concrete structures, Peikko Group. Retrieved from: <https://www.peikko.com/blog/new-white-paper-dismount-and-reuse-of-precast-concrete-structures/>.
- [6] ReCreate Project. (2023). Reusing concrete building components - A practical example. [Video]. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=EzppFH\\_Fg4w](https://www.youtube.com/watch?v=EzppFH_Fg4w).
- [7] CEN – European Committee for Standardisation (2009). EN 1090-1: Execution of steel structures and aluminium structures, Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components (incorporating CEN amendment A1:2012), Brussels, Belgium.
- [8] CEN – European Committee for Standardisation (2018). EN 1090-2: Execution of steel structures and aluminium structures, Part 2: Technical requirements for steel structures (incorporating CEN amendment A1:2024), Brussels, Belgium.
- [9] CEN – European Committee for Standardisation (2023). EN 1990: Eurocode: Basis of structural and geotechnical design, Brussels, Belgium.
- [10] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 1991-1-1: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Mar. 2009), Brussels, Belgium.
- [11] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 1991-1-3: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-3: General actions – snow loads (incorporating CEN corrigenda Dec. 2004 and Jun. 2009, and CEN amendment A1:2015), Brussels, Belgium.
- [12] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 1991-1-4: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-4: General actions – wind actions (incorporating CEN amendment A1:2010), Brussels, Belgium.
- [13] CEN – European Committee for Standardisation (2003). EN 1991-1-5: Eurocode 1. Actions on structures, Part 1-5: General actions - Thermal actions, Brussels, Belgium.
- [14] CEN – European Committee for Standardisation (2005). EN 1991-1-6: Eurocode 1. Actions on structures, Part 1-6: General actions - Actions during execution, Brussels, Belgium.

- [15] CEN – European Committee for Standardisation (2022). EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium.
- [16] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 1993-1-3: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-3: General rules – supplementary rules for cold-formed members and sheeting, Brussels, Belgium.
- [17] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints, Brussels, Belgium.
- [18] CEN – European Committee for Standardisation (2005). EN 1993-1-10: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties (incorporating CEN corrigenda Dec. 2005, Sep. 2006 and Mar. 2009), Brussels, Belgium.
- [19] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 1994-1-1: Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium.
- [20] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 10025-1: Hot rolled products of structural steels, Part 1: General technical delivery conditions, Brussels, Belgium.
- [21] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10025-2: Hot rolled products of structural steels, Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels, Brussels, Belgium.
- [22] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10025-4: Hot rolled products of structural steels, Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels (incorporating CEN amendment A1:2022), Brussels, Belgium.
- [23] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 10025-5: Hot rolled products of structural steels, Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance, Brussels, Belgium.
- [24] CEN – European Committee for Standardisation (2010). EN 10029: Hot rolled steel plates 3 mm thick or above, Tolerances on dimensions and shape, Brussels, Belgium.
- [25] CEN – European Committee for Standardisation (1993). EN 10034: Structural steel I and H sections – Tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [26] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 10051: Continuously hot-rolled strip and plate/sheet cut from wide strip of non-alloy and alloy steels – Tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [27] CEN – European Committee for Standardisation (1998). EN 10055: Hot rolled steel equal flange tees with radiused root and toes – Dimensions and tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.
- [28] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN 10056-1: Structural steel equal and unequal leg angles, Part 1: Dimensions, Brussels, Belgium.
- [29] CEN – European Committee for Standardisation (1993). EN 10056-2: Structural steel equal and unequal leg angles, Part 2: Tolerances on shape and dimensions, Brussels, Belgium.

- [30] CEN – European Committee for Standardisation (2004). EN 10204: Metallic products – Types of inspection documents, Brussels, Belgium.
- [31] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 10210-1: Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements, Brussels, Belgium.
- [32] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10210-2: Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties, Brussels, Belgium.
- [33] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 10219-1: Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 1: Technical delivery requirements, Brussels, Belgium.
- [34] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 10219-2: Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels, Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties, Brussels, Belgium.
- [35] CEN – European Committee for Standardisation (2000). EN 10279: Hot rolled steel channels – Tolerances on shape, dimension and mass, Brussels, Belgium.
- [36] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN 10346: Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming – Technical delivery conditions, Brussels, Belgium.
- [37] CEN – European Committee for Standardisation (2022). EN 10169: Continuously organic coated (coil coated) steel flat products - Technical delivery conditions, Brussels, Belgium.
- [38] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN 10365 Hot rolled steel channels, I and H sections – Dimension and masses, Brussels, Belgium.
- [39] CEN – European Committee for Standardisation. EN 14399: High-strength structural bolting assemblies for preloading (all parts), Brussels, Belgium.
- [40] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN 14509: Self-supporting double skin metal faced insulating panels, Factory made products, Specifications, Brussels, Belgium.
- [41] Steel buildings in Europe: Design guides for single-storey and multi-storey steel buildings. [https://constructalia.arcelormittal.com/en/news\\_center/articles/design\\_guides\\_steel\\_buildings\\_in\\_europe](https://constructalia.arcelormittal.com/en/news_center/articles/design_guides_steel_buildings_in_europe).
- [42] Kamrath, P., Sansom, M., Ungureanu, V., & Hradil, P. (2020). Deliverable D2.1a: Safe and efficient deconstruction; Deliverable D2.1a: Deconstruction protocol for single-storey steel framed buildings. European Convention for Constructional Steelwork. <https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/PROGRESS-D2.1-Auditing-and-deconstruction-process.pdf>.
- [43] Single storey industrial buildings. [https://steelconstruction.info/Single\\_storey\\_industrial\\_buildings](https://steelconstruction.info/Single_storey_industrial_buildings).
- [44] Multi-storey office buildings. [https://steelconstruction.info/Multi-storey\\_office\\_buildings](https://steelconstruction.info/Multi-storey_office_buildings).
- [45] CEN – European Committee for Standardisation (2019). EN 15804: Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products (incorporating CEN amendment A2:2019), Brussels, Belgium.

- [46] CEN – European Committee for Standardisation (2011). EN 15978: Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method, Brussels, Belgium.
- [47] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN 16627: Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method, Brussels, Belgium.
- [48] CEN – European Committee for Standardisation (1992). ENV 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, Belgium.
- [49] European Union (2011). Regulation (EC) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC/EC 2008/98/EC. Available at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/305/oj>.
- [50] European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Oberender, A., Fruergaard Astrup, T., Frydkjær Witte, S., Camboni, M., Chiabrando, F., Hayleck, M., & Akelytė, R. (2024). EU construction & demolition waste management protocol including guidelines for pre-demolition and pre-renovation audits of construction works: updated edition 2024, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/77980>.
- [51] ECCS P49 (1987). European recommendations for design of light gauge steel members, Publication P049, European Convention for Constructional Steelwork, Brussels, Belgium.
- [52] CEN – European Committee for Standardisation (1996). ENV1993-1-3: Eurocode 3: Design of Steel Structures Part 1.3. General Rules. Supplementary rules for cold-formed thin gauge members and sheeting. (including the Corrigenda to ENV1993-1-3 of 1997-02-25). European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [53] Feldmann M et al. (2024). Guidance on Establishing European Rules for the Design of reclaimed Steel Components for Reuse (4<sup>th</sup> draft), CEN-TC 250-SC 3-AHG Reuse.
- [54] Girao Coelho AM, Pimentel R, Ungureanu V, Hradil P, Kesti J (2020). European Recommendations for Reuse of Steel Products in Single-Storey Buildings, 1st Edition, <https://www.steelconstruct.com/>.
- [55] CEN – European Committee for Standardisation (2017). CEN ISO/TR 15608: Welding - Guidelines for a metallic materials grouping system, Brussels, Belgium.
- [56] BSI – British Standards Institution. BS 15:1948. Structural steel, UK.
- [57] BSI – British Standards Institution. BS 4360-2:1969. Specification for weldable structural steels metric units, UK.
- [58] SIA 269/3:2011. Existing structures – Steel structures, SIA Zurich.
- [59] Brown D. G. and Iles, D. C. Selection of steel sub-grade in accordance with the Eurocodes. SCI Document ED007. SCI, 2012.
- [60] PD 6695-1-10:2009. Recommendations for the design of structures to BS EN 1993-1-10. BSI, 2009.
- [61] P419 – Brittle fracture: selection of steel sub-grade to BS EN 1993-1-10; ISBN 1-85942-135-0, 2017. The Steel Construction Institute.

- [62] Sedlacek, G. et al. Commentary and worked examples to BS EN 1993-1-10 “Material toughness and through thickness properties” and other toughness-oriented rules in BS EN 1993. European Commission Joint Research Centre, 2008.
- [63] Davison B, Owens GW (eds.) (2012). Steel designers’ manual. The Steel Construction Institute, 7<sup>th</sup> edition, Wiley-Blackwell, UK.
- [64] CEN – European Committee for Standardisation (2007). EN ISO 8501-1: Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Visual assessment of surface cleanliness, Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings, Brussels, Belgium.
- [65] BS 4 Part 1;1962. Specification for structural steel section; Part 1: Hot Rolled sections.
- [66] Dorman Long & CO Ltd (1964). Handbook for constructional engineers, Fanfare Press Ltd, London, UK.
- [67] The British Constructional Steelwork Association (1994). National structural steelwork specification for building construction, 3<sup>th</sup> Edition, 203, London, UK.
- [68] STAS 767/0-88 (1988). Steel Structures. General technical requirements for quality of non-industrial, industrial and agricultural buildings. Romanian Institute for Standardization.
- [69] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN ISO 17637: Non-destructive testing of welds – Visual testing of fusion-welded joints, Brussels, Belgium.
- [70] CEN – European Committee for Standardization (2020). EN ISO 7438: Metallic materials – Bend test, Brussels, Belgium.
- [71] CEN – European Committee for Standardisation (2018). EN 1090-4: Execution of steel structures and aluminium structures, Part 4: Technical requirements for cold-formed structural steel elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications, Brussels, Belgium.
- [72] CEN – European Committee for Standardisation (2003). EN 10162: Cold rolled steel sections – Technical delivery conditions – Dimensional and cross-sectional tolerances, Brussels, Belgium.
- [73] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 10143: Continuously hot-dip coated steel sheet and strip – Tolerances on dimensions and shape, Brussels, Belgium.
- [74] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN 14509: Self-supporting double skin metal faced insulating panels. Factory made products. Specifications, Brussels, Belgium.
- [75] CEN – European Committee for Standardisation (2006). EN 14782: Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining. Product specification and requirements, Brussels, Belgium.
- [76] International Standard (2010). ISO 13822: Bases for design of structures – Assessment of existing structures, Geneva, Switzerland.
- [77] Gulvanessian H, Calgar JA, Holický M (2012). Designer’s guide to Eurocode: basis of structural design EN 1990, ICE Publishing, Thomas Telford, London (2<sup>nd</sup> edition).
- [78] Steenbergen RDJM, Vrouwenvelder ACWM (2010). Safety philosophy for existing structures and partial factors for traffic loads on bridges, Heron 55(2), 123-140.

- [79] Matthews S (2012). Structural appraisal of existing buildings, including for a material change of use, Part 3: Structural appraisal procedures, BRE-DG 366, Building Research Establishment, UK.
- [80] Sedlacek G, Spangemacher R, Hensen W, ARBED Research (1989). Background Documentation for EC3, Doc. 5.01, Background document for the justification of safety factor  $\gamma_M = 1.0$  for rolled beams in bending about the strong axis. Commission of the European Communities.
- [81] Sedlacek G, Ungermann D, Kuck J, Maquoi R, Janss J (1989). Background Document for EC3, Doc. 5.03, Evaluation of test results on beams with cross-sectional classes 1-3 in order to obtain strength functions and suitable model factors. Commission of the European Communities.
- [82] Charbrolin B, CTICM, Labein, ProfilARBED, RWTH, SCI, TNO, SAES (2002). Partial safety factors for resistance of steel elements to EC3 and EC4. Calibration for various steels products and failure criteria. Final report. Technical steel research series, European Communities, EUR 20344 EN.
- [83] SCI P358, Joints in steel construction: Simple joints to Eurocode 3, 2014. The Steel Construction Institute.
- [84] SCI P398 Joints in steel construction: Moment-resisting joints to Eurocode 3. The Steel Construction Institute.
- [85] CEN – European Committee for Standardisation (2023). prEN 1998-1-2: Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance - Part 1-2: Buildings, Brussels, Belgium.
- [86] CEN – European Committee for Standardisation (2005). EN 1998-3: Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. Assessment and retrofitting of buildings, Brussels, Belgium.
- [87] AISC – American Institute of Steel Construction (2022). ANSI/AISC 342:2022: Seismic Provisions for Evaluation and Retrofit of Existing Structural Steel Buildings, Chicago, IL, USA.
- [88] ASCE – American Society of Civil Engineers (2017). ASCE/SEI 41-17: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Reston, Virginia, USA.
- [89] FEMA P-2208:2023: NEHRP Recommended Revisions to ASCE/SEI 41-17, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, USA.
- [90] CEN – European Committee for Standardisation (2007). EN 1993-6:2007 Eurocode 3. Design of steel structures. Crane supporting structures, Brussels, Belgium.
- [91] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN 13018: Non-destructive testing, Visual testing, General principles, Brussels, Belgium.
- [92] CEN – European Committee for Standardisation (2011). EN ISO 13385-1: Geometrical product specifications (GPS), Dimensional measuring equipment, Part 1: Callipers; Design and metrological characteristics (incorporating corrigendum Oct. 2015), Brussels, Belgium.
- [93] CEN – European Committee for Standardisation (2011). EN ISO 13385-2: Geometrical product specifications (GPS), Dimensional measuring equipment, Part 2: Calliper depth gauges; Design and metrological characteristics (incorporating corrigendum Oct. 2015), Brussels, Belgium.

- [94] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN ISO 3452-1: Non-destructive testing, Penetrant testing, Part 1: General principles (incorporating corrigendum Jun. 2014), Brussels, Belgium.
- [95] CEN – European Committee for Standardisation (2010). EN ISO 15549: Non-destructive testing – Eddy current testing – General principles, Brussels, Belgium.
- [96] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN ISO 17643: Non-destructive testing of welds – Eddy current examination of welds by complex plane analysis, Brussels, Belgium.
- [97] CEN – European Committee for Standardisation (2014). EN ISO 16810: Non-destructive testing, Ultrasonic testing, General principles, Brussels, Belgium.
- [98] CEN – European Committee for Standardisation (2018). EN ISO 17640: Non-destructive testing of welds, Ultrasonic testing, Techniques, testing levels, and assessment, Brussels, Belgium.
- [99] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN ISO 17638: Non-destructive testing of welds. Magnetic particle testing, Brussels, Belgium.
- [100] CEN – European Committee for Standardisation (2015). EN ISO 23277: Non-destructive testing of welds, Penetrant testing, Acceptance levels, Brussels, Belgium.
- [101] CEN – European Committee for Standardisation. EN ISO 17636: Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. X- and gamma-ray techniques (all parts), Brussels, Belgium.
- [102] FEMA 352:2000. Recommended Post earthquake Evaluation and Repair Criteria for Welded. Steel Moment-Frame Buildings; Federal Emergency Management Agency USA.
- [103] CEN – European Committee for Standardisation. EN ISO 6507: Metallic materials. Vickers hardness test (all parts), Brussels, Belgium.
- [104] CEN – European Committee for Standardisation. EN ISO 6508: Metallic materials. Rockwell hardness test (all parts), Brussels, Belgium.
- [105] CEN – European Committee for Standardisation – EN ISO 6505: Metallic materials. Brinell hardness test (all parts), Brussels, Belgium.
- [106] ASTM – American Society for Testing and Materials (2017). A1038: Standard test method for portable hardness testing by the ultrasonic contact impedance method. West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [107] ISO 19272:2015; Low alloyed steel – Determination of C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Al, Ti and Cu – Glow discharge optical emission spectrometry (routine method), 2015.
- [108] ASTM – American Society for Testing and Materials (2013). E572: Standard test method for analysis of stainless and alloy steels by wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry. West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [109] ASTM – American Society for Testing and Materials (2014). E1476: Standard guide for metals identification, grade verification, and sorting, West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [110] ISO 145775 (all parts). Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters.

- [111] CEN – European Committee for Standardisation (2007). CEN Workshop Agreement CWA 15627: Small punch test method for metallic materials, Brussels, Belgium.
- [112] CEN – European Committee for Standardisation (2017). prEN 15627: Metallic materials - Small punch test method, working document, ECISS/TC 1010/WG 1 committee.
- [113] CEN – European Committee for Standardisation (2020). EN ISO 6892-1: Metallic materials – Tensile testing, Part 1: Method of test at room temperature, Brussels, Belgium.
- [114] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN ISO 14284: Steel and iron – sampling and preparation of samples for the determination of chemical composition (incorporating corrigendum Dec. 2002), Brussels, Belgium.
- [115] CEN – European Committee for Standardisation (2016). EN ISO 148-1: Metallic materials – Charpy pendulum impact test, Part 1: Test method, Brussels, Belgium.
- [116] ASTM – American Society for Testing and Materials (2013). E112 Standard test methods for determining average grain size. West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- [117] SCI P427 – Structural Steel Reuse: assessment, testing and design principles, The Steel Construction Institute, 2019.
- [118] Simões da Silva L, Marques L, Tankova T, Rebelo C, Kuhlmann U, Kleiner A, Spiegler J, Snider HH, Dekker RWA, Dehan V, Taras A, Haremza C, Cajot LG, Vassart O, Popa N (2017). Standardisation of safety assessment procedures across brittle to ductile failure modes (SAFEBRITILE). Research Fund for Coal and Steel (RFCS), Final report EUR 28906, European Commission, Brussels, Belgium.
- [119] Fujita M, Kuki K (2016). An evaluation of mechanical properties with the hardness of building steel structural members for reuse by NDT, *Metals* 6, 247, doi: 10.3390/met6100247.
- [120] CEN – European Committee for Standardisation (2013). EN ISO 18265: Metallic materials – Conversion of hardness materials, Brussels, Belgium.
- [121] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN ISO 377: Steel and steel products. Location and preparation of samples and test pieces for mechanical testing, Brussels, Belgium.
- [122] CEN – European Committee for Standardisation (2017). EN 13523-1: Coil coated metals. Test methods. Film thickness, Brussels, Belgium.
- [123] CEN – European Committee for Standardisation (2002). EN 13523-6: Coil coated metals. Test methods. Adhesion after indentation, Brussels, Belgium.
- [124] CEN – European Committee for Standardisation (2014). EN 13523-7: Coil coated metals. Test methods. Resistance to cracking on bending (T-bend test), Brussels, Belgium.
- [125] Holický M (2009). Reliability analysis for structural design. Sun Press.

## **Anexa A**

### **Evaluare, măsurători, prelevare de probe și încercări**

#### **A.1 Generalități**

Cuantificarea proprietăților materialului și verificarea structurii sau evaluarea componentelor structurale sunt necesare pentru a evalua posibilitatea de reutilizare. Programele de încercări vor include o gamă de încercări și trebuie realizate cu atenție. Trebuie atins un echilibru între obținerea unei cantități suficiente de informații pentru a face o evaluare rezonabilă a riscului și dacă prelevarea intruzivă de probe deteriorează structura în sine, după cum urmează:

- Încercările pot fi eficiente și pot fi interpretate în combinație, de exemplu, un eșantion reprezentativ de locații care dezvăluie o anumită caracteristică poate fi examinat în detaliu printr-o varietate de teste mai amănunțite,
- Procedurile de evaluare a performanței folosind încercări nedistructive (NDT) ar trebui să aibă prioritate, dacă este posibil,
- În cazul încercărilor distructive (DT), găurirea sau tăierea trebuie localizate, specificate și supravegheate cu atenție pentru a evita posibilele daune asupra structurii,
- În cazul în care se analizează sudura, compoziția chimică trebuie determinată, astfel încât să se poată stabili specificația procedurii de sudare. Potrivirea metalului de bază pentru sudare trebuie demonstrată prin valoarea echivalentă de carbon (CEV).

#### **A.2 Evaluarea stării tehnice și măsurători**

##### **A.2.1 Generalități**

Evaluarea structurilor existente din oțel este descrisă în Volumul 3. Diagrama de flux din Fig. 5.1 ilustrează cadrul general pentru recuperarea elementelor structurale existente din oțel. A fost de asemenea subliniată necesitatea de a evalua procesele de fabricație ale structurilor existente din oțel (în special sudurile), pentru a se asigura că aceste procese sunt în conformitate cu cerințele de calitate din EN1090. Secțiunea următoare oferă instrucțiuni suplimentare pentru evaluarea structurilor existente din oțel, precum și pentru inspecția sudurilor.

##### **A.2.2 Tehnici de inspecție**

Tehnicile de inspecție potrivite pentru un proiect dat sunt prezentate în Tabelul A.1. Aceste tehnici foarte simple vor ajuta la determinarea stării generale a structurii și la definirea unei proceduri adecvate de prelevare de probe și testare. În practică, acestea sunt combinate cu măsurători detaliate. Pot fi colectate următoarele informații:

- Vârsta structurii și posibile modificări sau reparații,
- Materialele din care este realizată structura (sau care au fost adăugate ulterior),
- Geometria și configurația structurală a clădirii, dimensiunile elementelor și detaliile îmbinărilor.

În cazul în care întreaga structură primară este reutilizată, inspecția clădirii include detalii suplimentare. Dimensiunile componentelor în locațiile critice trebuie măsurate. Dimensiunile îmbinărilor și ale conectorilor trebuie înregistrate, inclusiv dimensiunile sudurilor. Inspecția tuturor sudurilor trebuie efectuată. În plus, deoarece rezistența la flambaj este afectată de imperfecțiunile geometrice, măsurători detaliate ale abaterilor trebuie realizate în conformitate cu EN 1090-2.

Tabelul A.1 Tehnici de inspecție

Tehnica	Descriere	Comentarii/Valoare
Inspecție vizuală	Examinare pentru coroziune, fisuri, deformații, deteriorări etc.	Esențială. Evaluare generală a stării fizice a structurii. Nu va dezvălui fisuri fine sau de suprafață. Prevederi generale sunt oferite în EN 13018 [91].
Studiu pe teren	Studiu geometric al pozițiilor și dimensiunilor elementelor și detaliilor.	Esențial în absența desenelor, și pentru (i) verificarea modificărilor și reparațiilor, (ii) determinarea dimensiunilor secțiunii transversale, rectiliniarității, verticalității, deformațiilor și săgeților elementelor.
Inspecție dimensională	Măsurători folosind șubler, micrometre, scanare laser 3D, măsurători ultrasonice etc.	Esențială în absența desenelor structurale originale. Colectare de date geometrice, dimensiuni ale elementelor. Pentru echipamente și unelte vezi de ex. EN ISO 13385-1 [92] și EN ISO 13385-2 [93].

### A.2.3 Încercarea nedistructivă a sudurilor

NDT este, în general, realizată prin operarea echipamentului aproape de, pe sau fixat de suprafața structurii și are avantaje majore, și anume că nu deteriorează structura și elimină necesitatea prelevării aleatorii, consumatoare de timp, și a testării ulterioare în laborator. Tabelul A.2 prezintă câteva dintre tehnicile care pot fi utilizate în această fază de examinare. Tehnicile NDT pot fi utile pentru localizarea și/sau măsurarea dimensiunii defectelor.

Tabelul A.2 Tehnici NDT posibile pentru suduri

Tehnică	Descriere	Comentarii/Valoare
Inspecție vizuală	Acoperă examinarea vizuală a sudurilor realizate prin fuziune la materiale metalice. Examinarea se efectuează, în general, pe suduri în starea „as-welded” (imediat după sudare), dar în mod excepțional, examinarea poate fi efectuată în alte etape în timpul procesului de sudare.	Asigură controlul minim al calității pentru fiecare îmbinare sudată. EN ISO 17637 [69].
Testare cu lichide penetrante	Colorantul evidențiază crăpături de suprafață.	Indică crăpături de suprafață în elemente, altfel invizibile cu ochiul liber, aproximativ 25 μm. Defectele de suprafață pot fi detectate cu precizie. EN ISO 3452-1 [94] oferă principiile

		generale pentru această tehnică. Pentru suduri, vezi EN ISO 23277 [100].
Examinarea sudurilor cu curenți turbionari (Eddy Current Testing)	Metodele cu curenți turbionari sunt utilizate pentru detectarea și caracterizarea nedistructivă a discontinuităților în materiale conductoare, fie ele magnetice sau nemagnetice.	Esențială pentru detectarea crăpăturilor de suprafață și aproape de suprafață. Aplicabilă doar la geometrie simplă. Nu detectează defecte încorporate în interior. Principii generale sunt prezentate în EN ISO 15549 [95]. Pentru suduri vezi EN ISO 17643 [96].
Testare ultrasonică	Traductorul convertește energia electrică în unde sonore de frecvență ultra-înaltă care sunt reflectate de defecte și înregistrate.	Potrivită pentru detectarea defectelor plane încorporate, inclusiv fisuri, lipsa de fuziune a sudurilor, desprindere lamelară, fisurare cu hidrogen. Prevederi generale prezentate în EN ISO 16810 [97]. Pentru suduri vezi EN ISO 17640 [98].
Testare cu pulberi magnetice	Testarea cu pulberi magnetice se bazează pe magnetizarea zonelor critice ale materialelor feromagnetice. Pentru punerea în evidență a câmpului magnetic se utilizează o suspensie cu particule feromagnetice, de regulă fluorescente.	Această metodă de inspecție poate fi utilizată pentru detectarea crăpăturilor de suprafață numai în materiale feromagnetice. Crăpăturile în material nemagnetic sau în elemente tip sandwich nu pot fi detectate. Metoda poate fi aplicată ca și control de calitate pentru poziționarea precisă a găurilor forate, pentru oprirea fisurilor active de oboseală. EN 17638 [99] este o referință în acest sens.
Inspecție radiografică	Inspecția radiografică (raze X, raze $\gamma$ , de ex. cu sursă de iridiu) este aplicată pentru a detecta fisuri și defecte în secțiuni compuse, pentru a evalua elemente tip sandwich. Sursa radiografică este localizată pe o parte a elementului compus, filmul radiosensibil, detectorul sau unitatea de stocare digitală fiind pe cealaltă parte a secțiunii inspectate.	Inspecția radiografică sau cu raze $\gamma$ reprezintă singura metodă a cărei fezabilitate a fost demonstrată atât prin încercări de laborator, cât și prin teste în șantier, pentru detectarea defectelor interne sau a fisurilor din zona mediană a elementelor tip sandwich. EN ISO 17636 [101] este o referință în acest sens.

#### **A.2.4 Protocol de verificare pentru suduri**

Sudurile dintre plăcile elementelor fabricate (inclusiv grinzile ajurate) trebuie verificate. Același volum de încercări a sudurilor cerut de EN 1090-2 (vezi Tabelul 24) trebuie aplicat și elementelor din oțel reutilizat. O inspecție vizuală a 100% dintre suduri este obligatorie. Tabelul A.3 sugerează un număr minim de îmbinări sudate ce trebuie inspectate prin încercări nedistructive. O îmbinare poate avea mai multe segmente de sudură. Într-o îmbinare obișnuită grindă-stâlp, trebuie evaluate sudurile dintre tălpi și inimă. Fiecare dintre aceste suduri poate fi considerată drept o îmbinare, conform Tabelului A.3.

Tabelul A.3 Procentul minim de suduri de testat sugerat [2] [102]

Număr total de îmbinări	Număr de îmbinări de verificat	Total %
6	3 (minim)	50%
10	4	40%
15	5	33%
20	6	30%
30	8	27%
40	10	25%
50	12	24%
75	16	21%
100	20	20%
200	30	15%
300	40	13%
500	60	12%
1000	100	10%
2000	150	8%

### A.3 Definirea grupului de elemente ce urmează a fi încercate – unitate de încercare

Elementele din oțel recuperat trebuie considerate ca făcând parte dintr-un grup, cu condiția să provină din aceeași structură-sursă și să îndeplinească următoarele cerințe:

- Structura din oțel realizată după anul 1970,
- Au aceeași serie dimensională,
- Au aceeași funcție structurală, de exemplu, grinzi de acoperiș, grinzi de planșeu, stâlpi, contravântuiri etc.,
- Detalii identice (lungime, îmbinări etc.),
- Rigidizările locale nu sunt considerate având efect negativ pentru gruparea elementelor.

Dacă elementele din oțel au fost fabricate inițial conform unei alte specificații / standard de produs (altele decât cele EN), iar acestea urmează să fie comercializate, materialele fabricate conform standardelor diferite nu trebuie amestecate în cadrul unui grup – sursa și standardul de fabricație ale tuturor materialelor dintr-un grup trebuie să fie coerente.

Un grup trebuie să conțină o greutate maximă de 20 de tone. Vor fi necesare mai multe grupuri de câte 20 de tone dacă se recuperează un număr mare de elemente identice. Definirea unui grup de elemente pentru încercări permite stabilirea anumitor caracteristici ale materialului prin încercarea unuia sau mai multor elemente reprezentative din grup. Pentru elemente formate la rece, un grup ar trebui să conțină o greutate maximă de 4 tone.

În acest protocol, conceptul de „grup” are o semnificație specială, așa cum s-a explicat mai sus. În standardele de produs precum EN 10025-2 sau secțiunea EN 10346, un termen similar este „unitate de încercare”, indicând o serie de produse din oțel cu o greutate maximă totală specificată, având aceeași formă, clasă și calitate, și aceeași condiție de livrare. O „unitate de încercare” poate conține produse de grosimi variate, în timp ce în acest protocol, un „grup” este limitat la elemente cu aceeași serie dimensională. În standardele de produs, încercările trebuie efectuate pe probe din unitatea de încercare; în acest protocol, încercările trebuie efectuate pe probe din seria de elemente recuperate.

## A.4 Tehnici de încercare pentru proprietățile mecanice și chimice

### A.4.1 Generalități

Poate exista o variabilitate semnificativă a proprietăților oțelului într-o clădire, chiar dacă toate elementele și componentele de îmbinare respectă aceleași specificații și clase de material. Este necesar doar să se caracterizeze proprietățile materialului într-o structură pe baza distribuțiilor statistice probabile, cu valori medii și coeficienți de variație. Cunoașterea specificației materialului și a clasei la care un element structural se încadrează, împreună cu vârsta sa aproximativă, este suficientă pentru a defini aceste proprietăți în aproape toate evaluările.

Dacă sunt disponibile documentele originale de construcție, inclusiv planurile și specificațiile, de regulă, nu este necesară efectuarea de teste de material. Atunci când proprietățile materialului nu sunt indicate clar în planuri și specificații, sau acestea nu sunt disponibile, pot fi presupuse clasele de material indicate în Tabelul 5.7. Alternativ, se poate desfășura un program limitat de prelevare de probe și testare pentru a confirma clasele probabile ale acestor materiale.

Dacă se efectuează prelevări, acestea trebuie realizate în zone cu solicitări reduse pentru a minimiza efectele suprafeței reduse, cum ar fi capetele tălpii, la capetele grinzelor simplu rezemate, marginile tălpiilor, în zona de mijloc a elementelor din cadrele necontravântuite, și marginile plăcilor exterioare.

### A.4.2 Încercări nedistructive și minim invazive pentru determinarea proprietăților de material

Încercarea nedistructivă (NDT) pentru determinarea durității este potrivită pentru estimarea rezistenței la tracțiune a oțelului. Tabelul A rezumă câteva dintre tehnicile alternative nedistructive care pot fi utilizate pentru a evalua proprietățile oțelului reutilizat.

Tabelul A.4 Metode potențiale de examinare nedistructivă

Tehnică	Descriere	Comentarii/Valoare
Încercarea de duritate	Diametrul amprentei măsurat atunci când o bilă din oțel călit este apăsată pe o suprafață netedă cu o forță cunoscută.	Oferă un număr de duritate, de ex. Vickers conform ISO 6507 [103], care este un ghid pentru limita de curgere și rezistența la tracțiune a materialului. Metoda de testare Vickers este specificată în EN 1090-2. Alte alternative sunt metodele Rockwell ISO 6508 [104] și Brinell ISO 6505 [105]. Vezi și ASTM 1038:2017 [106].
Identificarea pozitivă a materialelor metalice	Utilizează fluorescența de raze X și spectrometria de emisie optică pentru a stabili compoziția aliajului metalic și identificarea clasei prin citirea cantităților procentuale ale elementelor componente.	Esențială pentru caracterizarea sudabilității elementelor structurale din oțel, în funcție de echivalentul de carbon. Furnizează informații suplimentare despre tipul și proprietățile fizice asociate ale oțelului și despre materialele de aliere - vezi ISO 19272 [107]. Vezi și ASTM E572 [108] și ASTM 1476 [109].

Încercare de indentare cu instrumentare	Aparatul de indentare instrumentat folosește o metodă asemănătoare încercărilor de duritate, înregistrând sarcina și adâncimea de pătrundere pe parcursul unor cicluri succesive de încărcare și descărcare.	Rezultatul încercării de indentare include relația tensiune-deformație, modulul de elasticitate, duritatea și rigiditatea. Vezi ISO 14577-5 [110].
Încercarea cu poanson mic (SPT)	Încercarea cu poanson mic utilizează o bilă ceramică apăsată pe fața unei probe circulare mici (diametru 8 mm, grosime 0,5 mm). Relația tensiune-deformație este apoi derivată din încărcarea măsurată versus deplasarea bilei.	Calculul conform prEN 15627 [111], [112] poate fi folosit pentru a prezice limita de curgere și rezistența la tracțiune a oțelului. Relația echivalentă tensiune-deformație a epruvetei de tracțiune poate fi obținută printr-o modelare cu element finit, mai avansată.

#### A.4.3 Încercarea distructivă pentru determinarea proprietăților de material

Tehnicile de încercare distructivă (DT) necesită extragerea de probe mici din structura existentă. Tehnicile potențiale de încercare distructivă sunt identificate în tabelul de mai jos (vezi Tabelul A.5). Probele pentru încercare sunt extrase prin tăiere sau găurire. Este important să se ia în considerare valoarea probabilă a rezultatelor încercării în raport cu posibilele daune aduse structurii, de ex. fragilizarea ca urmare a încălzirii când proba este extrasă prin tăiere cu flacăra, și dacă metodele indirecte ar putea fi mai potrivite. Proprietățile mecanice și metalurgice pot fi, de obicei, determinate prin încercări de laborator pe aceeași probă. Informații despre extragerea probelor din oțel pot fi găsite în standardele relevante, de ex. pentru oțel vezi EN 10025.

Tabelul A.4 Tehnici potențiale de testare distructivă (DT)

Tehnică	Descriere	Comentarii/Valoare
Încercare la tracțiune	Încercarea la tracțiune pe probe relevante, oferind limita de curgere și rezistența la tracțiune, modulul de elasticitate, alungirea uniformă și alungirea la rupere.	În absența certificatelor de material. Pentru detalii despre încercare, vezi EN ISO 6892-1 [113].
Analiza compoziției chimice	Încercarea pentru determinarea conținutului de carbon, siliciu, mangan, sulf și fosfor.	Esențială pentru identificarea materialului și pentru verificarea sudabilității oțelului pe baza echivalentului de carbon, precum și pentru evaluarea nivelului de impurități. Încercările se efectuează pe șpan rezultat din găurire sau răzuire. Oferă informații suplimentare despre tipul și proprietățile fizice asociate ale oțelului. Vezi EN ISO 14284 [114].
Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruveta Charpy	Determinarea fragilității și a ductilității la crestătură, în funcție de temperatură, se face prin măsurarea energiei absorbite la ruperea unei epruvete standard prevăzute cu crestătură în U sau V, supusă unei lovituri aplicate de un pendul (încercare Charpy).	Permite caracterizarea sub-clasei oțelului în absența certificatelor de material. Pentru detalii despre test, vezi EN ISO 148-1 [115]. Tenacitatea la impact poate fi, de asemenea, testată pe epruvete de dimensiuni reduse, iar rezultatele pot fi recalulate pentru a corespunde comportamentului testelor pe dimensiuni complete.
Metalografie	Determinarea dimensiunii medii a grăuntelui.	Determinarea structurii interne a materialului prin examinarea microscopică a unei probe cu o suprafață plană. Vezi ASTM E 112 [116].

## **A.5      Protocoloale de încercare**

Patru protocoale de încercări, A până la D, sunt descrise în CEN / TS 1090-201 [2]. Recomandările pentru alegerea unui protocol specific sunt oferite mai jos și ilustrate în Fig. 5.3. Dacă structura inițială a fost executată conform EN 1090-2 și clasele și/sau calitățile componentelor structurale pot fi identificate, documentele originale de inspecție conform EN 10204 pot fi utilizate pentru a declara proprietățile componente (vezi protocolul de încercarea A în Secțiunea 5.3.4.3 din CEN / TS 1090-201 [2]). Componentele structurale care au o proveniență cunoscută ar trebui grupate în unități de încercare conform Secțiunii 5.3.4.2 din CEN / TS 1090-201 [2].

Proveniența ar trebui considerată ca fiind cunoscută atunci când cel puțin locația geografică, anul construcției și funcția anterioară a componentelor sunt cunoscute. Măsurătorile efectuate pentru unul sau câteva elemente reprezentative a unei unități de încercare pot sta la baza proprietăților declarate pentru toate elementele acelei unități de testare (vezi Secțiunile 5.3.4.4 și 5.3.4.5 din CEN / TS 1090-201 [2]).

Trebuie făcută o distincție între oțelul structural de tip 1 și oțelul structural de tip 2.

Oțelul structural de tip 1 se poate aștepta să aibă proprietăți mecanice și sudabilitate similare cu clasele de oțel conform standardelor europene listate în Clauza 5.3 din EN 1090-2:2018+A1:2024. Variabilitatea proprietăților lor mecanice poate fi considerată conform Anexei E din EN 1993-1-1.

Proprietățile mecanice ale oțelului structural de tip 1 pot fi determinate prin încercarea unei singure probe reprezentative conform protocolului de testare B din Secțiunea 5.3.4.4 din CEN / TS 1090-201 [2].

Pentru oțelul structural de tip 2, variabilitatea proprietăților nu poate fi considerată în mod fiabil și trebuie efectuate mai multe teste, precum și o analiză statistică a rezultatelor, conform protocolului C din Secțiunea 5.3.4.5 din CEN / TS 1090-201 [2].

Componentele structurale de proveniență necunoscută nu trebuie grupate în unități de încercare, ci sunt necesare încercări complete, conform protocolului D din Secțiunea 5.3.4.6 din CEN / TS 1090-201 [2].

O abordare alternativă pentru determinarea limitei de curgere, rezistenței la tracțiune, alungirii și compoziției chimice în funcție de clasa de consecință este prezentată în [117].

## **A.6      Implementarea încercării complete pentru rezistență și alungire**

### **A.6.1    Introducere**

Rezistența materialului și alungirea pot fi evaluate atât prin încercări distructive, cât și prin încercări nedistructive. În secțiunea următoare se oferă ghidare pentru ambele tipuri de încercări.

### **A.6.2    Evaluarea fiabilității – produse laminate la cald și secțiuni tubulare**

Rezultatele încercărilor nedistructive și distructive trebuie comparate cu valorile minime prezentate în Tabelul A.5 pentru a determina clasa oțelului. Valorile minime sunt stabilite

prin reducerea valorii medii cu 1,64 ori abaterea standard pentru fiecare clasă de oțel, pe baza datelor din Tabelul A.6.

Tabelul A.5 Valorile minime recomandate pentru limita de curgere și rezistența la tracțiune necesare pentru evaluarea fiabilității produselor laminate la cald și a secțiunilor tubulare

Clasa oțelului	Limita de curgere (N/mm <sup>2</sup> )			Rezistența la tracțiune (N/mm <sup>2</sup> )			$f_u/f_y$ medie	Standard de referință
	$f_y$ Design	Min.	Medie	$f_u$ Design	Min.	Medie		
<b>S235</b>	235	267	293	360	397	432	1.47	EN 10025-2; EN 10219
<b>S275</b>	275	313	343	410	452	492	1.43	EN 10025-2; EN 10219
<b>S355</b>	355	391	426	470	505	540	1.26	EN 10025-2; EN 10219
<b>S460</b>	460	490	529	540	560	594	1.12	EN 10025-3/4; EN 10219

Tabelul A.6 Informații privind proprietățile oțelului conform referinței [118]

Clasa oțelului	Limita de curgere		Rezistența la tracțiune	
	Valoare Medie (X valoare caracteristică)	CoV	Valoare Medie (X valoare caracteristică)	CoV
<b>S235</b>	1.25	0.055	1.20	0.050
<b>S275</b>	1.25	0.055	1.20	0.050
<b>S355</b>	1.20	0.050	1.15	0.040
<b>S460</b>	1.15	0.045	1.10	0.035

### A.6.3 Evaluarea fiabilității – produse din oțel formate la rece

Rezultatele încercărilor nedistructive și distructive trebuie comparate cu valorile minime prezentate în Tabelul A.8 pentru a determina clasa oțelului. Valorile minime sunt stabilite prin scăderea de 1,64 ori abaterea standard din valoarea medie pentru fiecare clasă de oțel, pe baza datelor din Tabelul A.6.

Deoarece curbele de flambaj nu depind de limita de curgere pentru elementele din oțel formate la rece, conform EN 1993-1-3, se propun valori medii pentru rezistența medie (la curgere și la tracțiune) și coeficientul de variație pentru toate clasele de oțel până la S450, în Tabelul A.8.

Tabelul A.7 Valori minime recomandate pentru limita de curgere și rezistența la tracțiune pentru evaluarea fiabilității produselor din oțel formate la rece

Clasa oțelului	Limita de curgere [N/mm <sup>2</sup> ]			Rezistență la tracțiune [N/mm <sup>2</sup> ]			$f_u/f_y$ medie	Standard de referință
	$f_y$ Design	Min.	Medie	$f_u$ Design	Min.	Medie		
<b>S220</b>	220	226	242	300	303	330	1.364	EN 10346
<b>S250</b>	250	257	275	330	333	363	1.320	
<b>S280</b>	280	288	308	360	364	396	1.286	
<b>S320</b>	320	329	352	390	394	429	1.219	
<b>S350</b>	350	360	385	420	424	462	1.200	
<b>S390</b>	390	401	429	460	465	506	1.179	
<b>S420</b>	420	432	462	480	485	528	1.143	
<b>S450</b>	450	463	495	510	515	561	1.133	

Tabelul A.8 Informații privind proprietățile oțelului conform referinței

Clasa oțelului	Limita de curgere		Rezistență la tracțiune	
	Medie (X valoare caracteristică)	CoV	Medie (X valoare caracteristică)	CoV
S220 to S450	1.10	0.04	1.10	0.05

#### A.6.4 Încercări nedistructive de duritate

##### Introducere

Fiecare element reutilizat trebuie să fie supus unei încercări nedistructive de duritate pentru a stabili o valoare pentru limita de curgere și rezistența la tracțiune a oțelului. Există o relație între duritatea măsurată și rezistența oțelului care este considerată suficient de precisă pentru a defini clasa materialului. Relația dintre duritatea măsurată și rezistența materialului depinde de tipul de încercare de duritate efectuată.

Încercarea de duritate trebuie realizată pe elementele reutilizate, în zone cu solicitare redusă în exploatare. Pentru grinzile simplu rezemate, sunt recomandate locații din apropierea capetelor elementului. Orice tratament de suprafață trebuie îndepărtat din zona care urmează a fi testată. Rezultatul pentru duritatea materialului trebuie luat ca media a trei măsurători efectuate în aceeași locație. Sistemul de protecție a suprafeței elementelor structurii din oțel trebuie îndepărtat pentru a permite măsurătorile.

Rezultatele fiecărui element dintr-un grup trebuie evaluate în conformitate cu EN 1990 pentru a determina valoarea reprezentativă pentru întregul grup. Odată determinată valoarea durității pentru grup, limita de curgere și rezistența la tracțiune trebuie calculate și comparate cu valorile minime din Tabelul A.5 și Tabelul A.7 pentru a defini clasa oțelului.

##### Evaluarea rezultatelor testelor de duritate

Duritatea unui element individual trebuie considerată ca media a zece măsurători. Dacă această valoare medie pentru un element diferă cu mai mult de 10% față de valoarea medie a grupului de elemente, elementul neconform trebuie eliminat din grup.

Valoarea caracteristică a durității  $H_v$  pentru întregul grup trebuie determinată folosind Tabelul D.1 din EN 1990, presupunând „ $V_x$  necunoscut” și calculată conform expresiei:

$$H_v = m - k_n S_x \quad (\text{A.1})$$

unde:

$H_v$  este valoarea caracteristică a durității pentru grup;

$m$  este valoarea medie a grupului (duritatea medie a elementelor din grup);

$S_x$  este abaterea standard a rezultatelor;

$k_n$  se ia din Tabelul D.1 al standardului EN 1990 pentru „ $V_x$  necunoscut”, prezentat aici ca Tabelul A.9.

Tabelul A.9 Valori ale coeficientului  $k_n$  pentru valoarea caracteristică de 5% (EN 1990, Tabelul D.1)

Număr de elemente în grup ( $n$ )	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ necunoscut	–	–	3.37	2.63	2.33	2.18	2.00	1.92	1.76	1.73	1.64

Se poate utiliza o încercare de duritate cu ultrasunete ca metodă de testare. Toate elementele trebuie testate pentru duritatea Vickers conform EN ISO 6507 [103].

### **Corelarea dintre duritate și rezistența materialului**

EN ISO 18265:2013 [120], Anexa A, include tabele de conversie dintre duritate în rezistență la tracțiune. Conversia implică o dispersie semnificativă, iar rezistența la tracțiune obținută este doar informativă.

Ca alternativă, referința [119] prezintă relația dintre duritatea Vickers și rezistența materialului care poate fi utilizată pentru a estima proprietățile materialului.

Totuși, specificația CEN / TS 1090-201 [2] nu recomandă această abordare.

### **A.6.5 Încercări distructive de tracțiune: Încercare non-statistică și statistică**

#### **Introducere**

Poziția probelor pentru încercările distructive trebuie aleasă conform recomandărilor din standardul de produs. Anexa A a EN 10025-1 oferă îndrumări pentru elemente și plăci laminate la cald. Anexa C a EN 10219-1 oferă îndrumări pentru secțiuni tubulare sudate formate la rece, iar Anexa C a EN 10210-1 oferă îndrumări pentru secțiuni tubulare formate la cald.

Încercările distructive de tracțiune sunt utilizate pentru a determina următoarele proprietăți ale oțelului:

- Limita de curgere;
- Rezistența la tracțiune;
- Raportul între rezistența la tracțiune și limita de curgere;
- Alungirea la rupere.

Încercările distructive de tracțiune trebuie efectuate conform EN ISO 6892-1 [113]. Ca referință, pozițiile probelor pot fi definite conform ISO 377 [121]. De asemenea, se poate urma îndrumătorul din standardul de produs relevant, de exemplu, EN 10025 sau EN 10219.

Limita de curgere declarată, rezistența la tracțiune și alungirea trebuie să se bazeze pe rezultatele încercărilor distructive, nu pe cele nedistructive. Valorile declarate trebuie să fie cele specificate în standardul de produs corespunzător pentru clasa de oțel determinată, identificată prin încercările distructive, nu prin cele nedistructive.

Observație importantă: dacă un element reutilizat nu respectă un anumit standard de produs, cum ar fi EN 10025-2, poate fi totuși utilizat, atâta timp cât proprietățile relevante ale materialului sunt declarate, conform cerinței EN 1090-2, clauza 5.1. De exemplu, dacă alungirea la rupere măsurată printr-o încercare distructivă nu corespunde valorilor minime din EN 10025-2 pentru o anumită clasă de oțel, dar valoarea măsurată de alungire respectă valorile minime din EN 1993-1-1 necesare pentru o analiză elastică globală (vezi Tabelul 5.1), oțelul recuperat poate fi totuși folosit.

#### **Încercare non-statistică**

Pe lângă încercarea nedistructivă 100%, este necesară o singură încercare distructivă (prelevată de la orice element din grup) care să respecte valorile minime din Tabelul A.6 sau Tabelul A.7. O încercare unică nu are valoare statistică, de aceea este descrisă ca fiind „non-statistică”.

Încercarea distructivă non-statistică (adică o singură încercare distructivă dintr-un grup) este recomandată pentru oțelul utilizat în clasa de consecință 1 sau 2. Proprietățile mecanice ale oțelului de tip 1 pot fi determinate prin încercarea unui eșantion reprezentativ conform protocolului de testare B din Secțiunea 5.3.4.4 din CEN / TS 1090-201 [2].

Încercarea non-statistică nu este recomandată pentru elementele formate la rece.

### Încercarea statistică – evaluarea rezultatelor încercărilor de tracțiune

Pe lângă încercarea nedistructivă 100%, sunt necesare cel puțin trei încercări distructive, efectuate pe elemente din cadrul aceluiași grup. Creșterea numărului de încercări va îmbunătăți precizia valorilor calculate și, în general, va conduce la valori mai mari.

Valoarea caracteristică a limitei de curgere și a rezistenței la tracțiune a întregului grup trebuie determinată utilizând Tabelul D1 din EN 1990, presupunând „ $V_x$  cunoscut” și calculată folosind următoarea formulă:

$$X_d = m - k_n S_x \quad (A.2)$$

unde:

$X_d$  – este valoarea caracteristică a proprietății (limita de curgere sau rezistența la tracțiune);

$m$  – este media eșantionului;

$S_x$  – este abaterea standard;

$k_n$  – este preluat din Tabelul D1 din EN 1990 pentru „ $V_x$  cunoscut”, prezentat mai jos ca Tabelul A.10.

Tabelul A.10 Valori ale  $k_n$  pentru valoarea caracteristică de 5% (EN 1990, Tabelul D.1)

Număr de încercări	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ cunoscut	2.31	2.01	1.89	1.83	1.80	1.77	1.74	1.72	1.68	1.67	1.64

Utilizarea valorii „ $V_x$  cunoscut” este justificată, deoarece coeficientul de variație pentru limita de curgere și rezistența la tracțiune este cunoscut.

Dacă se finalizează încercarea statistică, valorile calculate din încercările distructive ar trebui utilizate pentru a determina clasa oțelului conform Tabelul A.5 sau Tabelul A.7.

## A.7 Tenacitatea la impact

În absența încercărilor distructive, se presupune că oțelul are sub-clasa JR, conform EN 1993-1-10. Este posibil să existe avantaje economice dacă se realizează teste distructive care să demonstreze că oțelul recuperat are o subclasă cu o tenacitate mai ridicată, mai ales în cazul secțiunilor groase.

Dacă este necesar, încercările distructive trebuie utilizate pentru a stabili sub-clasa oțelului pentru elementele dintr-un grup, pe baza încercării unui element reprezentativ. Conform EN 10025-1, pentru încercare sunt necesare șase eșantioane, prelevate din locații specificate în Anexa A din EN 10025-1.

Pentru fiecare 20 de tone dintr-un lot, un set de încercări (6 eșantioane) de la un singur element trebuie folosit pentru a determina valoarea Charpy pentru toate elementele din acel lot. Încercarea Charpy trebuie efectuată conform EN ISO 148-1 [115].

## **A.8 Compoziția chimică**

### **A.8.1 Introducere**

Compoziția chimică a oțelului reutilizat trebuie determinată pentru a putea calcula valoarea echivalentului de carbon (CEV) folosind expresia din Secțiunea 7.2.3 a EN 10025-1 sau Secțiunea 6.6.1 a EN 10219-1. Compoziția chimică trebuie evaluată prin tehnici nedistructive și distructive. CEV-ul pentru întregul grup trebuie considerat ca fiind valoarea maximă obținută din oricare dintre testele efectuate (atât distructive cât și nedistructive).

Compoziția chimică a fiecărui element individual trebuie determinată și înregistrată. Dacă conținutul de carbon sau mangan măsurat pentru un element diferă cu mai mult de 10% față de valoarea medie a grupului, acel element trebuie eliminat din grup.

Compoziția chimică anticipată a unui anumit tip de oțel poate fi găsită în Secțiunea 6.6.1 a părții relevante din EN 10025 și EN 10219. Pentru produsele formate la rece, se poate folosi EN 10346, unde în Tabelul 2 este prezentată compoziția chimică estimată pentru oțelurile pentru construcții. Nu este necesară declararea compoziției chimice a elementelor formate la rece dacă acestea nu urmează să fie sudate.

### **A.8.2 Încercări nedistructive pentru determinarea compoziției chimice**

Spectroscopia de emisie optică poate fi utilizată pentru a determina compoziția chimică a unui element de oțel. Deși această tehnică este considerată o metodă de încercare nedistructivă, metoda lasă o mică bavură pe suprafața oțelului. Compoziția chimică poate fi evaluată conform ISO 19272 [107].

### **A.8.3 Încercări distructive pentru determinarea compoziției chimice**

Compoziția chimică a oțelului poate fi determinată prin analiza șpanului rezultat în urma unei găuriri. Elementul trebuie găurit într-o zonă cu solicitare redusă. Compoziția chimică poate fi evaluată conform EN ISO 14284 [114].

## **A.9 Toleranțe geometrice**

### **A.9.1 Dimensiunile secțiunii transversale**

Dimensiunile secțiunii transversale (înălțime, lățime, grosimea tălpii, grosimea inimii, grosimea peretelui etc.) trebuie măsurate pentru toate elementele. Se va furniza o declarație cu dimensiunile măsurate de către deținătorul stocului de elemente.

Dacă dimensiunile secțiunii se află în afara abaterilor permise conform standardului de produs, dimensiunile măsurate trebuie utilizate pentru determinarea proprietăților secțiunii transversale.

### **A.9.2 Imperfecțiuni de încovoiere (abatere de la rectiliniaritate)**

Rectiliniaritatea fiecărui element, în direcția ambelor axe, trebuie măsurată și comparată cu abaterile permise conform EN 1090-2. Elementele care depășesc abaterile permise trebuie îndreptate ca parte a procesului de fabricație.

## A.10 Ghid suplimentar pentru produse din oțel formate la rece

### A.10.1 Compoziția învelișului metalic, marcajul și greutatea stratului de acoperire

Compoziția învelișului metalic trebuie specificată conform EN 10346 (de exemplu: Z, ZF, ZA, ZM, AZ, AS). Secțiunea 3 din EN 10346 specifică componentele chimice principale pentru fiecare tip de strat. Toate elementele trebuie verificate prin proceduri nedistructive.

Pentru evaluarea masei stratului de acoperire, trebuie luată în considerare Secțiunea 7.3 din EN 10346. Valoarea minimă a masei stratului de acoperire, determinată într-un singur punct, poate fi utilizată pentru a verifica desemnarea reală a acoperirii. Pentru evaluarea grosimii stratului, se aplică recomandările din Secțiunea 7 a aceluiași standard. Grosimea stratului de acoperire a metalelor acoperite în rolă poate fi evaluată conform EN 13523-1 [122].

### A.10.1 Raportul dintre raza de îndoire și grosime și aderența acoperirii metalice

Deoarece elementele de oțel reutilizat sunt deja îndoite, trebuie efectuată o inspecție vizuală pentru a evalua eventualele fisuri și aderența stratului metalic în apropierea zonei de îndoire, pentru fiecare element recuperat. Nu trebuie să existe fisuri vizibile cu ochiul liber în zonele îndoite (EN 1090-4, Secțiunea 6.1). Evaluarea aderenței are ca obiectiv detectarea oricărei lipse de aderență perfectă. Aceasta poate include metode precum: îndepărtare prin forțare, ciocănire, îndoire, batere, încălzire, tăiere, șlefuire, tragere, zgâriere, dăltuire sau o combinație a acestora. Dacă stratul de acoperire se exfoliază, se desprinde sau se ridică, aderența este considerată nesatisfăcătoare. Secțiunea 7.10 din EN 10346 specifică faptul că aderența stratului trebuie testată printr-o „metodă adecvată”, alegerea metodei fiind la „discreția producătorului”. Vezi și referințele [123] și [124].

## A.11 Evaluarea oțelului recuperat conform Protocolului D

### A.11.1 Produse laminate la cald și secțiuni tubulare

Pentru oțel structural cu proveniență necunoscută, se pot utiliza ipoteze conservatoare privind proprietățile materialului pentru analiză și proiectare. Proprietățile conservatoare ale materialului sunt prezentate în Tabelul A.11.

Tabelul A.11 Proprietăți recomandate pentru oțel structural fără încercări

Material	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$G$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_{uk}$ [%]	$\nu$	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\alpha_T$ [10 <sup>-6</sup> /°C]
Oțel – Elemente	235	360	81000	210000	15+	0.30	7850	10
Oțel – Suduri	–	360	–	–	–	–	–	–

În funcție de vârsta și locația clădirii, pot fi utilizate standarde locale pentru a stabili o bază pentru valorile conservatoare ale limitei de curgere și rezistenței la tracțiune.

### A.11.2 Produse formate la rece

Pentru oțelul format la rece recuperat, întrucât este probabilă o gamă largă de clase de oțel, nu se recomandă presupunerea unor limite de curgere și rezistențe la tracțiune mai mari de 120 MPa și respectiv 260 MPa. Vezi EN 10346, Secțiunea 7 și EN 1993-1-3, Secțiunea 3 pentru detalii.

### **A.11.3 Îmbinări sudate**

Dacă nu se realizează testări, scenariul de reutilizare ar trebui, în mod ideal, să evite procedurile de sudare. În cazurile în care sudura este necesară, se poate presupune o valoare CEV de 0.51 (conform BS 4360 din 1969 [57]). Pot fi utilizate încercări nedistructive minime pentru a evalua valoarea presupusă a CEV.

## Anexa B

### Coeficient parțial de material pentru flambajul elementelor, utilizat în proiectarea cu oțel recuperat

#### B.1 Fundamente pentru coeficienții parțiali de material în EN 1990

Această anexă oferă o metodă de derivare a unui coeficient parțial modificat  $\gamma_{M1,mod}$  pentru rezistența la flambaj a elementelor reutilizate din oțel. Metoda se bazează pe principiile din EN 1990, iar trimiterile de mai jos fac referire la acest cod. EN 1990 definește un coeficient parțial  $\gamma_M$  pentru o proprietate a materialului, care ține cont și de incertitudinile de modelare și de variațiile dimensionale. Conform Clauzei 8.3.5(2), se aplică relația:

$$\gamma_M = \gamma_{Rd} \gamma_m \quad (B.1)$$

în care  $\gamma_m$  este coeficientul parțial pentru rezistența materialului;  
și  $\gamma_{Rd}$  este coeficientul parțial care acoperă incertitudinile modelului de rezistență, precum și abaterea geometrică, dacă acestea nu sunt modelate explicit.

EN 1090 nu specifică o valoare pentru  $\gamma_{Rd}$  deoarece aceasta depinde de materialele de construcție și de comportamentul elementului structural. Pentru structurile metalice, valoarea uzuală este între 1.05 și 1.15 [125]. Factorul parțial  $\gamma_m$  se determină conform Clauzei 8.3.6:

$$\gamma_m = \frac{X_k}{X_d} \quad (B.2)$$

unde  $X_k$  este valoarea caracteristică a unei proprietăți a materialului sau produsului;  
 $X_d$  este valoarea de proiectare a acelei proprietăți.

Pentru factorul  $\gamma_{M1}$ ,  $X_k$  este rezistența de curgere nominală a unui anumit grad de oțel,  $f_{y,nom}$ , iar  $X_d$  este definită în Clauza C4.4.2(3), Ecuația (C.14), pentru o distribuție normală:

$$X_d = \bar{X} (1 - \alpha_R \beta V_X) \quad (B.3)$$

unde  $\bar{X}$  este valoarea medie a proprietății materialului;  
 $\alpha_R$  este factorul de importanță, cu valori între 0 (fără importanță) și 1 (importanță maximă); clauza C4.4.2(3) sugerează o valoare de 0.8;  
 $\beta$  este indicele de fiabilitate țintă;  
 $V_X$  este coeficientul de variație pentru proprietatea materialului.

#### B.2 Derivarea lui $\gamma_{M1,mod}$ pentru proiectarea cu oțel recuperat

Valoarea coeficientului parțial depinde de valoarea indicelui de fiabilitate țintă și de incertitudinile parametrilor care influențează rezistența elementului, cum ar fi incertitudinile privind dimensiunile și proprietățile materialului.

Dacă protocoalele de evaluare din CEN TS 1090-201 [2] sunt aplicate, se poate presupune că incertitudinea proprietăților este cel puțin similară cu cea a profilelor noi. Prin urmare, este rezonabil să se considere aceeași valoare a coeficientului parțial ca cea utilizată pentru profilele noi.

În alte cazuri, ar putea fi necesar să se procedeze cu o evaluare a fiabilității de la caz la caz.

În proiectul RFCS PROGRESS [54] este propusă o abordare simplificată care conduce la un factor parțial modificat. Pentru a fi de partea sigură, se poate presupune că factorul parțial pentru incertitudinea modelului și deviațiile geometrice ia valoarea maximă de 1.15, dacă deviațiile geometrice așteptate pentru elementele de oțel reutilizat reprezintă o preocupare pentru verificările de stabilitate. Atunci coeficientul parțial modificat  $\gamma_{M1,mod}$  este calculat. Acest coeficient este definit după cum urmează:

$$\gamma_{M1,mod} = K_{\gamma_{M1}} \gamma_{M1} \quad (B.4)$$

unde  $K_{\gamma_{M1}}$  este un factor de corecție.

Factorul de corecție poate lua valoarea sigură de 1,15.

$$K_{\gamma_{M1}} = 1.15 \quad (B.5)$$

În consecință, se obține o valoare modificată a coeficientului parțial de 1,15.

$$\gamma_{M1,mod} = 1.15 \quad (B.6)$$



**Funded by  
the European Union**

Ambiția proiectului ADVANCE este de a contribui la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și la obiectivele economiei circulare, abordând aceste provocări atât în procesul de deconstrucție și reutilizare a clădirilor existente din oțel, cât și în proiectarea, construcția și documentarea noilor clădiri pentru a facilita reutilizarea viitoare. Domeniul său de aplicare include reutilizarea componentelor, a elementelor fabricate și a ansamblurilor de componente. Materialul reutilizat poate proveni din structuri principale, structuri secundare și din anvelopele clădirilor. Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră din industria siderurgică a devenit esențială în ultimii ani, accentul fiind pus pe produsele de construcții, care au cea mai mare contribuție la amprenta de mediu a acestei industrii. Sectorul construcțiilor oferă posibilitatea de a fi lider în implementarea tehnologiilor pe bază de oțel pentru decarbonizarea altor industrii importante dependente de soluțiile siderurgice.

**ECCS  
CECM  
EKS**



EUROPEAN CONVENTION FOR CONSTRUCTIONAL STEELWORK  
CONVENTION EUROPÉENNE DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE  
EUROPÄISCHE KONVENTION FÜR STAHLBAU

[publications@steelconstruct.com](mailto:publications@steelconstruct.com) | [www.steelconstruct.com](http://www.steelconstruct.com)

TC14 este Comitetul Tehnic din cadrul Convenției Europene de Construcții Metalice (ECCS) pentru sustenabilitatea și eco-eficiența construcțiilor din oțel. Comitetul își propune să promoveze dezvoltările din industrie, cercetare și mediul academic care consolidează cunoștințele și capacitățile în ceea ce privește construcțiile sustenabile din oțel. Domeniul larg al problematicii include, de exemplu, următoarele aspecte: gestionarea performanței globale a clădirilor pe întregul ciclu de viață; tehnici pentru îmbunătățirea performanței de mediu; tehnici pentru asigurarea unei calități și a unui confort interior ridicat; eficiența energetică; minimizarea resurselor și a utilizării materiilor prime.