

ECCS  
CECM  
EKS



Funded by  
the European Union

# RECOMANDĂRI PENTRU REUTILIZAREA PRODUSELOR DIN OȚEL

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

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

ADV2-RO | 2025

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

## **Recomandări pentru reutilizarea produselor din oțel**

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

Ediția a 2-a, 2025

**ECCS  
CECM  
E K S**



## Recomandări pentru reutilizarea produselor din oțel

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

Nr. 147, ADV2-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 căutare sau transmisă sub nicio formă sau prin niciun mijloc, electronic, mecanic, fotocopiere, înregistrare sau altfel, fără permisiunea prealabilă a deținătorului drepturilor de autor

ECCS nu își asumă nicio răspundere 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: 978-92-9147-215-4

Deși au fost depuse toate eforturile pentru a asigura integritatea și calitatea acestei publicații și a informațiilor conținute în ea, partenerii de proiect și editorul nu își asumă nicio răspundere pentru daune aduse proprietății sau persoanelor ca urmare a utilizării acestei publicații și a informațiilor conținute în ea.

Reproducerea în scop necomercial este autorizată cu condiția menționării sursei și informării coordonatorului de proiect. Distribuția publică a acestei publicații prin alte surse decât site-urile web indicate mai jos necesită acordul prealabil al partenerilor de proiect.



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 elementelor structurale din oțel recuperat într-un proiect reprezintă o strategie eficientă pentru reducerea impactului asupra mediului al unei clădiri, 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, iar conținutul suplimentar 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. Acesta 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	Finland	Véronique Dehan	Belgium
Ludovic Fülöp	Finland	Francis Grogna	Belgium
Sirje Vares	Finland	Carlos del Castillo	Belgium
Margareta Wahlström	Finland	Helena Gervásio	Portugal
Tiina Vainio-Kaila	Finland	Luis da Silva	Portugal
Michael Sansom	United Kingdom	Ari Ilomäki	Finland
Ana M. Girão Coelho	United Kingdom	Teemu Tiainen	Finland
Ricardo Pimentel	United Kingdom	Timo Koivisto	Finland
Mark Lawson	United Kingdom	Jyrki Kesti	Finland
Viorel Ungureanu	Romania	Břetislav Židlický	Czech Republic
Raluca Buzatu	Romania	František Wald	Czech Republic
Ioan Both	Romania	André Beyer	France
Dan Dubina	Romania	Amor Ben Larbi	France
Markus Kuhnhenne	Germany	Peetu Hirvonen	Finland
Dominik Pyschny	Germany	Maria Carrubba	Germany
Kevin Janczyk	Germany	Jie Yang	Luxembourg
Paul Kamrath	Germany	José Humberto Matias de Paula Filho	Luxembourg

## CUPRINS

1	INTRODUCERE	10
1.1	Domeniul de aplicare al acestei publicații	10
1.2	Termeni și definiții	10
2	RECOMANDĂRI PENTRU CLĂDIRILE VIITOARE	14
2.1	Principii generale ale proiectării pentru dezasamblare și reutilizare	14
2.1.1	Principii-cheie de proiectare	15
2.1.2	Strategii pentru faza de construcție	16
2.1.3	Planificarea post-utilizare și planificarea la sfârșitul ciclului de viață	16
2.2	Standardizare	16
2.3	Recomandări de bună practică pentru analiza și proiectarea clădirilor metalice parter	20
2.3.1	Detalii tipice pentru cadre portal	20
2.3.2	Sisteme de contravântuire	20
2.3.3	Cadre de fronton	22
2.3.4	Analiza globală	22
2.3.5	Comportarea îmbinărilor de la baza stâlpilor	22
2.3.6	Proiectarea la flambaj a elementelor	23
2.3.7	Verificarea eforturilor unitare	24
2.3.8	Verificarea deformațiilor	24
2.3.9	Soluții bazate pe grinzi cu zăbrele	24
2.4	Recomandări de bună practică pentru analiza și proiectarea clădirilor metalice multietajate	25
2.4.1	Sisteme structurale tipice	25
2.4.2	Analiza globală	26
2.5	Durabilitate	28
2.6	Documentare, identificare și trasabilitate pentru reutilizare	28
2.6.1	Fișa clădirii	28
2.6.2	Modelarea Informațională a Clădirii (Building Information Modelling - BIM)	29
2.6.3	Trasabilitatea produselor din oțel pentru reutilizare viitoare	30
3	ÎNCĂRCĂRI ȘI COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI PENTRU CLĂDIRI NOI	32
3.1	Valori caracteristice ale acțiunilor	32
3.1.1	Încărcări pe acoperișuri	32
3.1.2	Încărcări pe planșeele mezaninelor / planșeele clădirilor multietajate	33
3.1.3	Încărcări date de zăpadă	34
3.1.4	Încărcări din vânt	36
3.1.5	Recomandări pentru utilizarea claselor de zăpadă și vânt	38

3.1.6	Adaptarea valorilor caracteristice ale încărcărilor în funcție de perioada de revenire	39
3.1.7	Acțiunea termică	41
3.2	Combinatii de încărcări	42
4	REUTILIZAREA PRIN PROIECTARE ȘI DETALI DE EXECUȚIE ÎMBUNĂTĂȚITE	44
4.1	Proiectarea structurală pentru clădiri din oțel parter	44
4.2	Standardizarea în structuri metalice pe un singur nivel	45
4.2.1	Oportunități pentru reutilizare în structurile cu cadre din oțel	45
4.2.2	Cadru standard cu segmente sudate la streșină și la coamă	46
4.2.3	Grindă de cadru cu vută prinsă cu șuruburi	47
4.2.4	Cadru portal cu contrafișe	49
4.3	Prinderea stâlpilor în fundații	50
4.4	Soluții pentru reutilizarea grinzilor cu zăbrele / fermelor	51
4.5	Structuri contravântuite pe contur	53
4.6	Planșee	53
4.7	Elemente secundare din oțel și închideri	56
4.7.1	Elemente secundare din oțel	56
4.7.2	Sisteme alternative pentru elemente secundare din oțel	57
4.7.3	Închideri	57
4.7.4	Utilizarea casetelor prefabricate din oțel	60
4.8	Proiectarea structurală pentru clădiri multietajate din oțel	63
4.8.1	Standardizarea în clădirile din oțel multietajate	63
4.8.2	Recomandări pentru clădirile din oțel multietajate	64
5	OBSERVAȚII FINALE	75
	BIBLIOGRAFIE	77

## NOTAȚII

### Litere mici

$c_{dir}$	Factor direcțional (pentru calculele acțiunii vântului)
$c_{prob}$	Factor de probabilitate
$c_r$	Factor de rugozitate
$c_{season}$	Factor de anotimp (pentru calculele acțiunii vântului)
$c_0$	Factor orografic
$h_c$	Înălțimea secțiunii stâlpilor
$h_b$	Înălțimea secțiunii grinzii/fermei
$h_h$	Înălțimea vutei
$m$	Valoarea medie a grupului
$n$	Exponent
$p$	Probabilitatea anuală de depășire a vitezei medii a vântului (10 minute)
$q$	Încărcare uniform distribuită
$q_b$	Presiunea dinamică medie de referință a vântului
$q_p$	Presiunea dinamică de vârf
$q_t$	Valoarea caracteristică adaptată a acțiunii variabile pentru durata de viață de proiectare
$q_{t0}$	Valoarea caracteristică a acțiunii variabile pentru o durată standard de 50 de ani
$s$	Încărcarea dată de zăpadă pe acoperiș
$s_k$	Valoarea caracteristică a încărcării date de zăpadă pe sol la amplasamentul relevant
$s_n$	Încărcarea din zăpadă pe sol cu o perioadă de revenire de $n$ ani
$t$	Durata de viață proiectată propusă
$t_0$	Durata standard de viață proiectată de 50 de ani
$v_b$	Viteza de referință a vântului
$v_{b,0}$	Valoarea fundamentală a vitezei de referință a vântului
$v_{b,class}$	Viteza de referință a vântului pentru clasa europeană
$v_m$	Viteza medie a vântului
$z$	Înălțime de deasupra solului

### **Litere mari**

$C_e$	Coeficient de expunere (pentru calculele încărcării din zăpadă)
$C_{esl}$	Coeficient pentru încărcări excepționale date de zăpadă
$C_t$	Coeficient termic (pentru calculele încărcării din zăpadă)
$G$	Acțiune permanentă
$G_{k,h}$	Acțiune permanentă favorabilă $h$
$I_v$	Intensitatea turbulenței
$K$	Parametru de formă în funcție de coeficientul de variație al distribuției valorilor extreme
$K_{FI}$	Factor de multiplicare
$K_{\gamma_{M1}}$	Factor de corecție
$L$	Deschidere
$L_{column}$	Lungimea stâlpilor
$L_h$	Lungimea segmentelor de vută confecționate
$L_a$	Lungimea segmentului de coamă confecționat
$P_n$	Probabilitatea de depășire într-un an
$Q$	Încărcare concentrată variabilă, acțiune variabilă
$Q_{k,1}$	Valoarea caracteristică a principalei acțiuni variabile, 1
$Q_{k,j}$	Valoare caracteristică a unei acțiuni variabile asociate, $j$
$S$	Clasa europeană de încărcare din zăpadă
$V_x$	Coeficient de variație
$W_i$	Clasa europeană de vânt $i$

### **Litere grecești și simboluri**

$\alpha$	Coeficient de dilatare termică liniară
$\alpha_{cr}$	Factor cu care trebuie multiplicată valoarea de proiectare a încărcării pentru a produce instabilitate elastică
$\beta$	Indice de fiabilitate
$\gamma_{M1}$	Coeficient parțial pentru rezistența barelor la pierderea stabilității
$\gamma_{M1,mod}$	Coeficient parțial modificat pentru rezistența barelor la pierderea stabilității
$\mu_i$	Coeficient de formă pentru încărcarea dată de zăpadă
$\rho$	Densitatea aerului

$\psi_0$	Factor pentru valoarea de grupare a unei acțiuni variabile
$\psi_{0,i}$	Factorul pentru valoarea de grupare a unei acțiuni variabile $i$

### **Indici**

$d$	Valoare de proiectare
$k$	Valoare caracteristică

### **Abrevieri**

CC	Clasă(clase) de consecință
CEN	Comitetul European pentru Standardizare
CEV	Valoare echivalentă în carbon
DC1	Sisteme cu clasă de ductilitate scăzută pentru proiectare seismică conform EN 1998-1
DfD	Proiectare pentru Deconstrucție
EHF	Forțe orizontale echivalente
EN	Normă Europeană
ETA	Evaluare Tehnică Europeană
EU	Uniunea Europeană
EXC	Clasă(clase) de execuție
hEN	Standard European Armonizat
ID	Identificare; Identitate.
NA	Anexă Națională
RHS	Secțiuni tubulare rectangulare
SLS	Stare(stări) Limită de Serviciu
STC	Sistem de planșeu compozit oțel-lemn
STR	Valori de proiectare ale acțiunilor pentru rezistență
ULS	Stare(stări) Limită Ultimă

### **Axe**

$x$	Axa în lungul barei
$y$	Axa de inerție maximă (paralelă cu tălpile)
$z$	Axa de inerție minimă (paralelă cu inima)

# 1 INTRODUCERE

## 1.1 Domeniul de aplicare al acestei publicații

Acest al doilea volum din *Recomandări pentru reutilizarea produselor din oțel* oferă instrucțiuni de proiectare având ca scop facilitarea dezasamblării și reutilizării viitoare a elementelor din oțel în procesul de construcție al clădirilor. În conformitate cu principiile economiei circulare și obiectivele de durabilitate, ghidul abordează proiectarea clădirilor noi, incluzând hale industriale cu un singur nivel și clădiri rezidențiale sau de birouri cu mai multe niveluri, cu accent pe modularitate, demontare și durabilitatea materialului.

Acest ghid prezintă strategii practice pentru proiectarea structurilor care să maximizeze potențialul de reutilizare al elementelor din oțel prin promovarea standardizării, detaliilor de construcție eficiente și utilizarea îmbinărilor mecanice accesibile în locul sudurilor permanente.

Publicația subliniază integrarea timpurie a considerațiilor privind proiectarea pentru deconstrucție, selecția atentă a materialelor și practici de documentare complete, inclusiv utilizarea Building Information Modelling (BIM) pentru trasabilitate pe termen lung.

În plus, oferă recomandări tehnice privind gruparea încărcărilor, analiza structurală și bune practici de detaliere care îmbunătățesc integritatea structurală și reutilizarea componentelor de construcție.

Prin abordarea acestor aspecte, ghidul urmărește să minimizeze impactul asupra mediului, să reducă deșeurile, să scadă conținutul de carbon încorporat, să promoveze utilizarea circulară a materialelor de construcții și să încurajeze o industrie a construcțiilor mai sustenabilă și eficientă în utilizarea resurselor.

## 1.2 Termeni și definiții

În cadrul acestui ghid, următorii termeni și definiții au fost utilizați cu referire specifică la clădiri cu un singur nivel.

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 consecință	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 în calculele privind rezistența mecanică și stabilitatea construcției

	sau a părților sale și/sau rezistența la foc, inclusiv aspectele legate de durabilitate și funcționalitate.
Oțel structural	Termen generic care desemnează elementele din oțel utilizate în construcții (principale și secundare), inclusiv învelitoarea din oțel.
Deconstrucție (sau dezasamblare, sau demontare)	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.
Demolare	Proces în care o clădire este dezmembrată fără intenția de a recupera componentele pentru reutilizare; materialele rezultate pot fi, totuși, reciclate.
Proiectarea pentru dezasamblare (DfD)	Proiectarea pentru deconstrucție este un proces decizional în faza de proiectare privind modul în care o clădire poate fi demontată și, eventual, reutilizată.
Durata de viață proiectată	Perioada estimată în care componenta este utilizată în scopul prevăzut, cu mentenanța corespunzătoare, dar fără reparații majore.
Distribuitor	Orice persoană fizică sau juridică din lanțul de aprovizionare, alta decât producătorul sau importatorul, care pune pe piață un produs pentru construcții.
Anvelopa clădirii (sau învelitoarea)	Componente sau părți ale clădirii care separă spațiul interior de mediul exterior și îndeplinesc funcții structurale și de fizica construcțiilor.
Clasă de execuție	Set de cerințe clasificate conform Eurocodurilor pentru execuția lucrărilor în ansamblu, a unei componente individuale sau a unui detaliu.
Fațadă	Vezi „panouri de închidere”.
Planșeu	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.
Deșeu periculos	Deșeuri care prezintă riscuri semnificative sau potențiale pentru sănătatea publică sau mediu.
Importator	Persoană fizică sau juridică stabilită în UE care introduce pe piața UE un produs de construcție provenit dintr-o țară terță.
Reutilizare in-situ	Reutilizarea unei componente sau structuri, fără relocare, pe același amplasament. De exemplu, structura unei clădiri poate fi păstrată și reutilizată în timpul renovării.
Producător	Persoană fizică sau juridică ce produce un produs de construcție sau îl face disponibil pe piață sub numele sau marca proprie.

Organism notificat	Organism independent (non-guvernamental), recunoscut de UE/SEE, autorizat să realizeze evaluări ale 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.
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.
Reorientarea	Orice operațiune 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.
Îmbinare reversibilă	Tip de îmbinare structurală care poate fi demontată fără a deteriora componentele implicate
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.
Deșeu	Rest dintr-un material nedorit sau inutil, care nu mai poate fi valorificat.

## 2 RECOMANDĂRI PENTRU CLĂDIRILE VIITOARE

Volumul 2 abordează modurile în care structurile noi pot fi proiectate pentru a facilita o reutilizare mai mare a structurilor din oțel. Accentul este pus pe elementele din oțel și componentele secundare care sunt utilizate în clădiri din oțel cu un singur nivel și cu mai multe niveluri, cum ar fi clădiri industriale, unități comerciale mari, depozite, clădiri rezidențiale și de birouri, și modul în care acestea pot fi proiectate în primul lor ciclu de utilizare pentru a fi demontate ușor astfel încât componentele lor să poată fi reutilizate în clădiri viitoare. Oțelul, fiind durabil, reciclabil și versatil, oferă oportunități semnificative de reutilizare dacă este integrat corespunzător în proiectarea clădirilor. Aceasta include și îmbinările dintre elementele structurale și cele nestructurale, așa cum este prezentat în Secțiunea 4.

### 2.1 Principii generale ale proiectării pentru dezasamblare și reutilizare

Proiectarea structurilor din oțel pentru dezasamblare și reutilizare viitoare este în conformitate cu principiile economiei circulare, reduce deșeurile și maximizează eficiența utilizării resurselor. Integrarea acestor recomandări încă din faza de proiectare permite crearea unor clădiri adaptabile, reziliente și sustenabile. Prin prioritizarea modularității, documentării, selecției materialelor și îmbinărilor accesibile, industria construcțiilor poate reduce semnificativ impactul asupra mediului și poate deschide calea către practici de proiectare mai inovatoare și sustenabile.

Cantitatea de structuri metalice care pot fi recuperate și reutilizate din clădiri la sfârșitul duratei de viață depinde de modul în care acestea au fost proiectate și construite inițial. Această secțiune discută cum deciziile din etapa de proiectare pot permite dezasamblarea și, prin urmare, pot crește cantitatea de materiale economisite și reutilizate pentru cicluri de utilizare ulterioare.

În proiectarea pentru dezasamblare și potențială reutilizare, ar trebui adoptate următoarele principii [1]:

- Clădirile ar trebui să fie construite în ansambluri care pot fi ușor înlocuite pe parcursul vieții clădirii. Componentele cu cele mai scurte durate de viață ar trebui să fie în ansamblurile cel mai ușor accesibile,
- Complexitatea clădirii ar trebui redusă cât mai mult posibil. Proiectarea folosind rețele de elemente structurale simple, cu linii clare de rezemare, duce la utilizarea unor componente de dimensiuni regulate, care își maximizează potențialul de reutilizare, cu variații minime. Numărul diferitelor materiale și specificațiile lor ar trebui, de asemenea, să fie menținute la minimum pentru a facilita reutilizarea,
- Siguranța muncii și spațiului pentru utilaje trebuie luate în considerare în timpul construcției și demontării. Proiectarea trebuie să ia în considerare și logistica viitoarei dezasamblări,
- Componentele prefabricate sau modulele care sunt instalate pe șantier sunt mai ușor de demontat pentru reutilizare în alte locații sau chiar pe același șantier,
- Detaliile îmbinărilor ar trebui să fie simple și accesibile. Acest lucru se aplică și îmbinărilor fundațiilor și altor componente. Sudura ar trebui evitată, cu excepția cazurilor în care componentele sudate pot fi reutilizate în întregime, de exemplu grinzile unui cadru,

- Accesoriile pentru montaj, elementele de fixare, adezivii și elementele pentru etanșare trebuie alese astfel încât să nu deterioreze componentele secundare, cum ar fi panourile de închidere și ferestrele, în timpul demontării lor ca elemente potențiale reutilizabile,
- Proiectele ar trebui să maximizeze utilizarea materialelor reutilizabile și să evite materialele compozite, tencuiala, betonul armat etc., care sunt greu de separat și reciclat. Materialele periculoase ar trebui evitate. De asemenea, ar trebui luat în considerare efectul acoperirilor și protecției la foc pentru structurile metalice într-o reutilizare,
- Se va elabora un jurnal sau o bază de date a clădirii, sub forma unui Model Informațional al Clădirii (BIM), care să cuprindă date referitoare la proiectul inițial al clădirii, specificațiile materialelor, detaliile de execuție ale lucrărilor de modernizare și informațiile necesare pentru procesul de dezasamblare.

Prin concentrarea pe modularitate, pe specificațiile materialelor și pe tehnicile inteligente de îmbinare, arhitecții și inginerii pot crea structuri care nu doar servesc scopului imediat, ci oferă și beneficii de mediu și economice pe termen lung.

### 2.1.1 Principii-cheie de proiectare

Proiectarea modulară se remarcă drept una dintre cele mai eficiente strategii pentru a asigura că structurile din oțel pot fi dezasamblate și reutilizate cu deșeuri minime. Prin utilizarea componentelor standardizate și a modulelor prefabricate, clădirile pot fi asamblate într-un mod care promovează reutilizarea viitoare. Îmbinările cu șuruburi și cele reversibile sunt preferate în comparație cu îmbinările sudate, deoarece simplifică procesul de demontare. Modulele prefabricate pot fi ușor îndepărtate, transportate și reintegrate în proiecte noi, extinzând ciclul de viață al componentelor din oțel dincolo de durata de viață a structurii originale.

Documentarea și etichetarea sunt esențiale pentru a facilita eforturile viitoare de dezasamblare. Menținerea unor înscrisuri detaliate ale tuturor componentelor structurale, inclusiv clasele de oțel, dimensiunile și detaliile de îmbinare, permite identificarea și reutilizarea mai ușoară. Instrumentele digitale precum Modelarea Informațională a Clădirii / Building Information Modelling (BIM) oferă o soluție robustă pentru urmărirea și gestionarea materialelor pe parcursul ciclului de viață al clădirii. În plus, etichetarea fizică a elementelor din oțel cu etichete durabile oferă o referință rapidă în timpul dezasamblării, asigurând că materialele sunt corect identificate și reutilizate în mod eficient.

Selecția materialelor joacă un rol crucial în proiectarea pentru reutilizare viitoare. Acolo unde este posibil, oțelul structural ar trebui să fie achiziționat de la producători de oțel care au definit și implementează o strategie de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră și care și-au asumat public angajamentul de a reduce amprenta de carbon în conformitate cu obiectivele naționale și/sau internaționale de reducere a emisiilor de carbon. Aceasta include, dar nu se limitează la:

- O cale de reducere a emisiilor compatibilă cu obiectivele Acordului de la Paris;
- Un obiectiv validat pe bază științifică, de exemplu un obiectiv aprobat de Science Based Target Initiative (SBTi);
- Oțel certificat ResponsibleSteel sau oțel care respectă un standard internațional echivalent.

Acolo unde este posibil, este de preferat să se minimizeze utilizarea materialelor compozite sau a acoperirilor/straturilor de protecție care pot împiedica reciclarea, deoarece acestea pot complica procesul de recuperare. Secțiunile de oțel standardizate ar trebui să fie prioritizate pentru a simplifica reorientarea și pentru a asigura potrivirea perfectă a componentelor în proiecte noi, fără modificări majore.

Tehnicile de îmbinare și prindere influențează semnificativ ușurința dezasamblării. Îmbinările mecanice, cum ar fi șuruburile, sunt de preferat în fața metodelor permanente, cum ar fi sudura sau adezivii. Proiectarea îmbinărilor pentru a fi accesibile și ușor de desfăcut permite o demontare rapidă. Aceasta nu doar accelerează procesul de dezasamblare, ci și asigură că elementele componente din oțel pot fi reutilizate cu daune minime.

Simplitatea structurală și fiabilitatea sunt esențiale pentru a crea clădiri din oțel care sunt ușor de dezasamblat. Simplificarea planurilor structurale reduce complexitatea conexiunilor și minimizează componentele suprapuse, făcând dezasamblarea mai ușoară. Fiabilitatea în proiectare poate permite ca părți ale structurii să fie demontate fără a compromite stabilitatea generală, permițând reutilizarea selectivă.

### **2.1.2 Strategii pentru faza de construcție**

Proiectarea pentru o viitoare deconstrucție necesită o planificare atentă și o instruire corespunzătoare înainte de începerea construcției. Echipele de construcție ar trebui instruite în cele mai bune practici pentru asamblarea structurilor având în vedere dezasamblarea viitoare. Controlul calității în timpul asamblării asigură că îmbinările sunt instalate corect, facilitând demontarea.

### **2.1.3 Planificarea post-utilizare și planificarea la sfârșitul ciclului de viață**

Planificarea pentru sfârșitul ciclului de viață a structurilor din oțel ar trebui să înceapă încă din faza inițială de proiectare, prin aplicarea strategiilor de proiectare prezentate mai sus și documentarea acestora. Includerea considerentelor privind dezasamblarea în faza de proiectare asigură că clădirile sunt create având în vedere reutilizarea pe termen lung, minimizând deșeurile și contribuind la o economie mai circulară. La sfârșitul duratei de viață a clădirii, pentru a eficientiza procesul de dezasamblare, trebuie elaborate planuri în colaborare cu companiile de recuperare și reciclare pentru a eficientiza întregul proces. Identificarea potențialelor utilizări secundare ale componentelor din oțel ajută la prelungirea duratei lor de viață și la reducerea cererii de materiale noi.

## **2.2 Standardizare**

Majoritatea componentelor din oțel sunt proiectate și fabricate pentru cerințele specifice ale unui anumit proiect, pentru a întâmpina nevoile clientului. Raportul calitate-preț este o cerință a clientului, iar costul pe durata de viață a unei clădiri ar trebui menținut la un minim compatibil cu o anumită calitate. În prezent, acest cost pe durata de viață nu include costurile impactului asupra mediului asociate produselor pe parcursul ciclului lor de viață și nu include impactul eliminării sau reciclării la sfârșitul duratei de viață, precum și emisiile de CO<sub>2</sub> aferente.

Dacă se adoptă o abordare holistică privind costurile și impactul asupra mediului, atunci reutilizarea materialelor devine o soluție atractivă, întrucât poate conduce la un cost mai redus comparativ cu utilizarea materialelor noi, dar presupune costuri suplimentare pentru dezasamblare și pentru manipularea și recondiționarea materialelor recuperate.

Standardizarea este o soluție viabilă pentru a maximiza potențialul de reutilizare a elementelor structurale, deoarece poate facilita procesul de selecție și disponibilitatea elementelor recuperate.

*Standardizarea* poate fi definită ca utilizarea extinsă a proceselor, produselor sau componentelor în care se dorește atingerea unei regularități și repetiții. Clădirile standard sunt realizate cu dimensiuni regulate și cu componente identice multiple care permit economii de scară în fabricație.

În cazul **clădirilor metalice parter**, există beneficii de cost ce pot fi obținute din standardizarea dimensiunilor, iar următoarele propuneri pot fi făcute cu privire la forma dimensională:

1. Distanța dintre punctele de îmbinare ale elementelor este, în general, limitată de transportul rutier. Lungimile uzuale sunt de 10, 12, 14, 15, 16, 18 și 20 m. Lungimile de 12 m sunt, în general, transportabile cu camionul, iar lungimile de până la 18 m sunt posibile în funcție de drumurile locale către șantier. Pentru transportul containerizat, este necesară, de obicei, o lungime totală mai mică de 12 m,
2. Panta acoperișului depinde de zăpadă, ploaie și practicile de construcție locale. O pantă de cel puțin 1:10 (6°) este specificată, în mod normal, pentru cadre portal cu acoperiș înclinat; o pantă de 1:20 (3°) este adesea utilizată pentru grinzile cu zăbrele cu acoperiș înclinat, deoarece acestea sunt mai rigide și se deformează mai puțin decât cadrele portal,
3. Distanța între cadre este, de obicei, între 5 și 8 m, în funcție de deschidere. Dimensiunile comune pentru standardizare pot fi luate ca 7,5 m pentru regiunile cu zăpadă redusă și 5 sau 6 m pentru regiunile cu zăpadă abundentă. În scenariile de reutilizare, este posibilă utilizarea unor distanțe între cadre diferite față de clădirea originală,
4. Deschiderile tipice și raporturile deschidere/înălțime pentru elementele principale ale acoperișului în clădirile pe un singur nivel sunt prezentate în Tabelul 2.1, adaptat din [2].

Tabelul 2.1 Deschideri tipice și raporturi deschidere/înălțime grindă pentru clădiri parter

Soluții structurale	Interval tipic de deschidere	Înălțimea grinzii de acoperiș
<b>Construcție simplă</b>		
Grinzi laminate	până la 20 m	deschidere/25 până la deschidere/35, în funcție de dimensiunile și greutatea elementelor
Grinzi confecționate	până la 30 m	deschidere/20 până la deschidere/25
Grinzi ajurate sau cu goluri în inimă	până la 45 m	deschidere/18 până la deschidere/30, în funcție de dimensiunea golurilor
Acoperiș din grinzi cu zăbrele (înclinat)	până la 20 m	deschidere/5 până la deschidere/10, în funcție de înălțimea în partea superioară a fermei

Acoperiș din grinzi cu zăbrele (orizontal)	până la 100 m	deschidere/15 până la deschidere/20
<b>Construcție continuă</b>		
Cadru portal	15 m până la 50 m	deschidere/50 până la deschidere/65
Acoperiș cu o singură pantă	până la 25 m	pentru grinzi (până la deschidere/85
Cadre portal cu reazem intermediar	până la 50 m	dacă încărcarea din zăpadă nu este încărcarea dominantă la proiectare)
Profile confecționate cu secțiune variabilă	până la 70 m	între deschidere/25 și deschidere/65
Acoperiș din grinzi cu zăbrele (orizontal)	până la 100 m	deschidere/15 până la deschidere/20

În faza de proiectare preliminară a clădirilor din oțel cu un singur nivel și cu înălțimi la streașină între 6 și 12 m, adoptarea unui raport între deschiderea cadrului și înălțimea secțiunii stâlpului între 40 și 50 este o practică comună. Această recomandare oferă un echilibru între eficiența structurală și utilizarea economică a materialului.

În **structurile metalice multietajate**, preluarea și distribuirea încărcărilor sunt asigurate de un cadru principal format din grinzi și stâlpi. Optimizarea numărului de puncte de încărcare este o problemă ce se consideră în faza de proiectare, iar răspunsul trebuie să țină cont de utilizarea clădirii [3]. În ceea ce privește compartimentarea spațiului, stâlpii sunt considerați obstacole care trebuie reduse cât mai mult posibil. Structurile tradiționale de tip cadru utilizează deschideri de ordinul a 4,5 – 6 m pentru clădirile rezidențiale. Deschiderile mari, între 12 și 18 m pentru birouri și 15 – 16 m pentru parcuri, pot genera spații suplimentare.

Rețelele de grinzi pentru planșeu definesc distanțele dintre stâlpi pe direcții ortogonale, și sunt influențate de:

- Rețeaua de axe (bazată de regulă pe unități de 300 mm, însă mai frecvent multipli de 0,6 m, 1,2 m sau 1,5 m);
- Distanța dintre stâlpii fațadei, în funcție de materialul fațadei (de obicei între 5,4 m și 7,5 m);
- Utilizarea spațiului interior (ex: birouri sau spații deschise);
- Cerințele pentru distribuția instalațiilor clădirii (pornind de la din nucleul clădirii).

De-a lungul liniei fațadei, distanțele dintre stâlpi sunt de regulă determinate de necesitatea susținerii sistemului de închidere (de exemplu, o distanță maximă de 6 m între stâlpi este necesară pentru zidărie). Aceasta influențează distanțarea stâlpilor în interior, exceptând cazurile în care se utilizează stâlpi suplimentari pe linia fațadei.

Pentru birourile ventilate natural, lățimea clădirii este de regulă între 12 și 15 m, realizabilă prin două deschideri de câte 6 până la 7,5 m. Se poate adopta și o singură deschidere cu elemente prefabricate din beton cu goluri (hollow core), cu înălțimea secțiunii mare (peste 400 mm), care acoperă întreaga lățime a clădirii. Iluminatul natural influențează, de asemenea, alegerea lățimii planșeelor. Totuși, în clădirile moderne, o soluție cu deschideri mari oferă o flexibilitate considerabilă în organizarea spațiului. Pentru birourile dotate cu aer condiționat, o deschidere liberă de 15 până la 18 m este frecvent utilizată.

Înălțimea propusă dintre planșee se bazează pe o înălțime de la planșeu la tavan de 2,5 până la 2,7 m pentru birouri uzuale sau 3 m pentru aplicații de clasă superioară, la care se adaugă grosimea planșeului, inclusiv spațiul pentru instalații. Următoarele valori ar trebui luate în considerare, în faza de concept, pentru înălțimea între planșee:

- Birouri de clasă superioară: 4 – 4,2 m,
- Birouri obișnuite: 3,6 – 4,0 m,
- Proiecte de renovare: 3,5 – 3,9 m.

Intervalele de deschidere pentru diferitele opțiuni structurale pentru planșee sunt prezentate

	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					■	

Tabelul 2.2 Intervale de deschidere pentru diferitele opțiuni structurale [3]

	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					■	

Următoarele informații despre rețelele de planșee sunt oferite, pe baza practicilor naționale:

- Germania (conform DIN): rețea de axe de 100 mm, de obicei multipli de 1,2 m,
- Olanda: rețea de axe de 100 mm, multipli de 1,8 m pentru școli, clădiri comerciale, hoteluri și birouri,
- Regatul Unit: rețea de axe de 300 mm; de obicei multipli de 0,6, 1,2 sau 1,5 m. Clădirile pentru școli și centre medicale sunt proiectate pentru multipli de 1,2 m, iar birourile pentru o rețea de axe de 1,5 m,
- În general, în Europa: sunt acceptați multipli de 1,25 și 1,35 m (1,35 m poate fi preferat pentru standardizarea dimensiunilor),
- Clădiri de birouri cu regim mic de înălțime (2–4 etaje): sunt utilizate frecvent rețele de axe de 6 până la 9 m pentru a se potrivi la utilizarea plăcilor de planșeu prefabricate din beton sprijinite pe talpa superioară a grinzilor sau, grinzi integrate în planșeu (slim floor), cu înălțime redusă,

- Pentru clădirile înalte de birouri, în Regatul Unit: sunt preferate rețelele de axe dreptunghiulare, în care deschiderea mai lungă se extinde între 13,5 și 18 m pe lățimea clădirii, în trepte de 1,5 m. O rețea de stâlpi de 16,5 m x 7,5 m este compatibilă cu parcările subterane,
- Aceste grinzi cu deschidere mare au, în general, goluri în inimă pentru integrarea instalațiilor clădirii, cum ar fi grinzile ajurate realizate din profile laminate, care au goluri circulare multiple.

Pentru clădirile înalte, o rețea de axe de 1,35 m duce la o distanțare între stâlpi de 16,2 m x 8,1 m, ceea ce reprezintă o grilă 2:1, utilă în planificarea clădirilor pentru adaptabilitate.

## 2.3 Recomandări de bună practică pentru analiza și proiectarea clădirilor metalice parter

### 2.3.1 Detalii tipice pentru cadre portal

Detaliile tipice pentru un cadru portal cu rezemare nominal articulată sunt prezentate în Fig. 2.1.

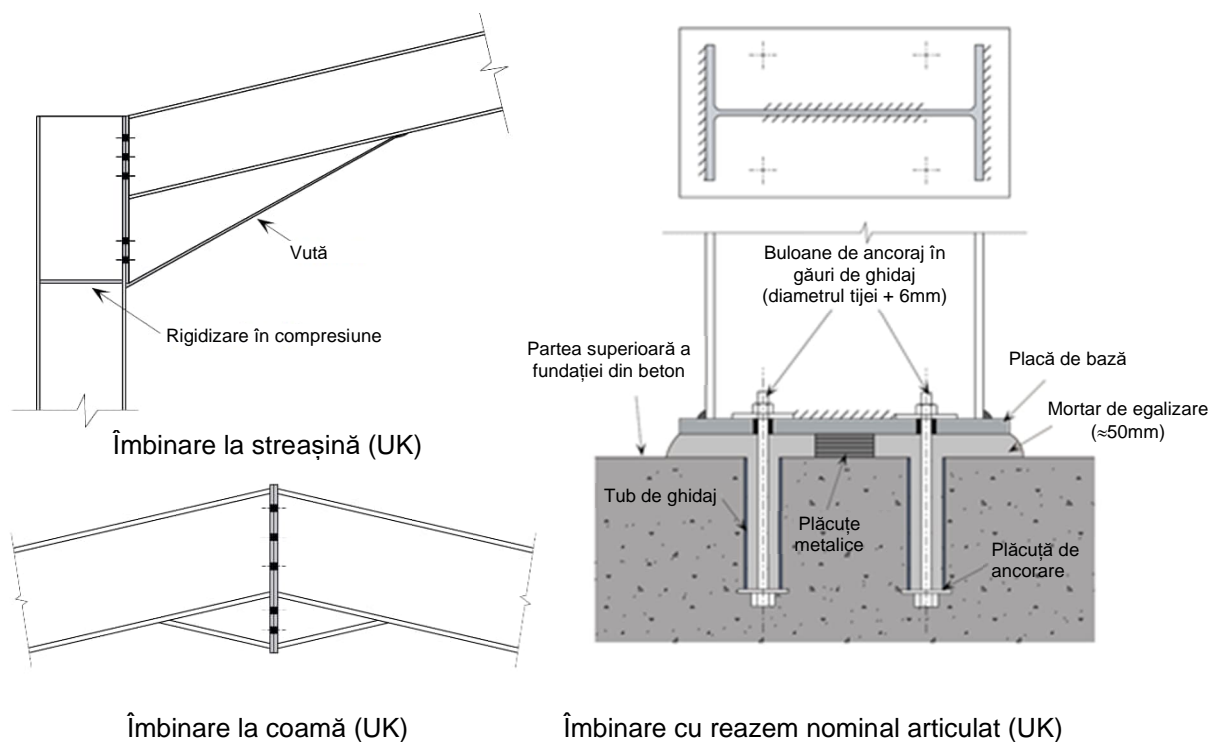


Fig. 2.1 Detalii tipice pentru un cadru cu o singură deschidere și rezemare nominal articulată [4]

### 2.3.2 Sisteme de contravântuire

O clădire cu cadre portal are două tipuri de sisteme principale de contravântuire: (i) sistem de contravântuire verticală și (ii) sistem de contravântuire în acoperiș. Funcțiile principale ale contravântuirii verticale din pereții laterali ai construcției sunt:

- Să transmită forțele horizontale către fundații,
- Să asigure stabilitatea în timpul montajului.

Contravântuirea poate fi amplasată la unul sau ambele capete ale clădirii (vezi Fig. 2.2), pe lungimea clădirii sau în fiecare porțiune dintre eventualele rosturi (acolo unde acestea există). Pentru acest scop pot fi utilizate travee contravântuite sau travee unde rigidizarea se face prin cadre rezistente la forțe laterale. Poziția lor poate fi influențată și de configurația clădirii. Riglele de streășină asigură că toate cadrele sunt contravântuite în afara planului prin sistemul de contravântuire verticală.

Sistemul de contravântuire în acoperiș este amplasat în planul acoperișului, de obicei la ambele capete ale clădirii, între primele două cadre adiacente (la ambele capete) (vezi Fig. 2.3). Funcțiile principale ale contravântuirii în acoperiș sunt:

- Să transmită forțele din vânt de la stâlpii de fronton către contravântuirile verticale din pereți,
- Să transmită forțele de frecare din vânt, de la acoperiș către contravântuirea verticală,
- Să ofere o rezemare rigidă pentru pane care rigidizează grinzile de acoperiș,
- Să asigure stabilitate în timpul montajului,
- Să constrângă capătul superior al stâlpilor interiori prin contravântuire către pereții perimetrali.

Sistemul de contravântuire în acoperiș trebuie organizat astfel încât să ofere sprijin în partea superioară a stâlpilor de fronton.

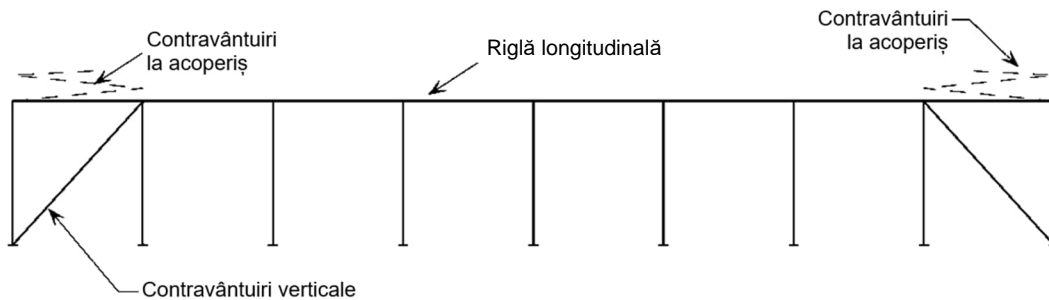


Fig. 2.2 Configurație tipică de contravântuire verticală **Error! Reference source not found.**

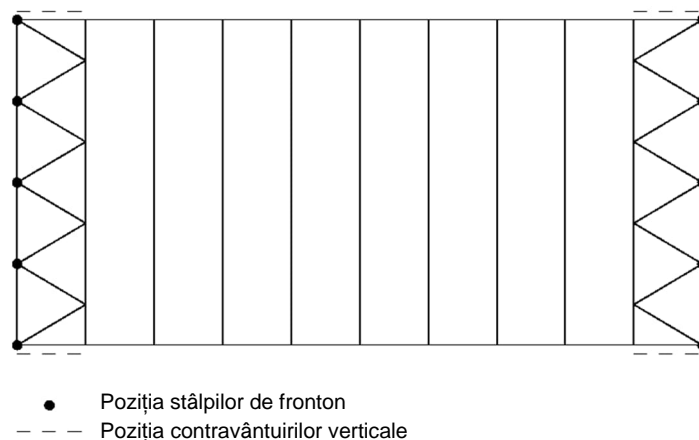


Fig. 2.3 Configurație tipică de contravântuire în acoperiș **Error! Reference source not found.**

### 2.3.3 Cadre de fronton

Cadrele de fronton sunt adesea proiectate asigurând suport intermediar pentru grinzile de acoperiș, care sunt astfel mai ușoare decât cadrele structurale principale. O alternativă este utilizarea cadrelor de fronton contravântuite, ceea ce poate duce la unele provocări în comportamentul sistemului de închidere, din cauza deplasărilor diferențiale între cadrele succesive. Se recomandă ca aceste cadre de fronton să aibă aceeași dimensiune ca și cadrele interioare, pentru a facilita reutilizarea și pentru a permite eventuale extinderi ulterioare ale clădirii. Această practică va aduce, de asemenea, o performanță mai bună a sistemului de închidere, deoarece se așteaptă o deplasare mai redusă între două cadre adiacente.

### 2.3.4 Analiza globală

În Europa, majoritatea cadrelor sunt proiectate la starea limită ultimă folosind analiza globală elastică, în timp ce în Regatul Unit sunt proiectate folosind analiza globală plastică, dar cu verificări suplimentare ale deformațiilor utilizând proiectarea elastică. Pentru a facilita reutilizarea structurilor, se recomandă utilizarea proiectării în domeniul elastic atât pentru prima utilizare (primul ciclu de viață al structurii), cât și pentru utilizările ulterioare.

Dimensiunile elementelor în proiectarea în domeniul plastic vor fi mai mici decât în cazul proiectării elastice globale, datorită redistribuirii momentelor de încovoiere în cadrul structurii. Totuși, costul suplimentar este minim, deoarece costurile materialelor reprezintă mai puțin de 50% din costul total al instalării.

### 2.3.5 Comportarea îmbinărilor de la baza stâlpilor

Îmbinările pot fi clasificate ca fiind nominal articulate, semi-rigide sau rigide, conform EN 1993-1-8 [6]. În faza de proiectare preliminară, se poate considera că o îmbinare la bază nominal articulată, conform detaliului tipic prezentat în Fig. 2.1, poate oferi 10% din rigiditatea la încovoiere a stâlpilor cadrului pentru o analiză globală de stabilitate și 20% pentru verificările la starea limită de serviciu (SLS). Pentru îmbinările la bază nominal articulate, se poate considera o rigiditate de până la 20% din rigiditatea stâlpului [7].

Pentru proiectarea finală, dacă un stâlp este îmbinat rigid în fundație, rigiditatea îmbinării la bază trebuie considerată egală cu rigiditatea stâlpului pentru toate calculele la starea limită ultimă (ULS). Pentru verificările la SLS, baza poate fi tratată ca rigidă [7]. Pentru îmbinările semi-rigide, se recomandă ca rigiditatea la rotire să fie evaluată conform EN 1993-1-8 sau cu ajutorul unui program de calcul adecvat.

Pachetele software uzuale permit introducerea directă a unei rigidități de rotire în model, facilitând implementarea acestor recomandări. În special pentru bazele cadrului, dacă software-ul de analiză nu permite modelarea cu rigiditate la rotire, rigiditatea bazei poate fi modelată cu ajutorul unor elemente fictive, cu rigiditate echivalentă, conform Fig. 2.4.

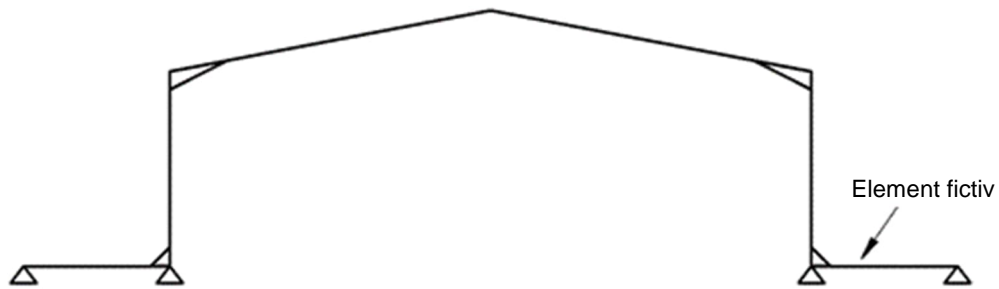
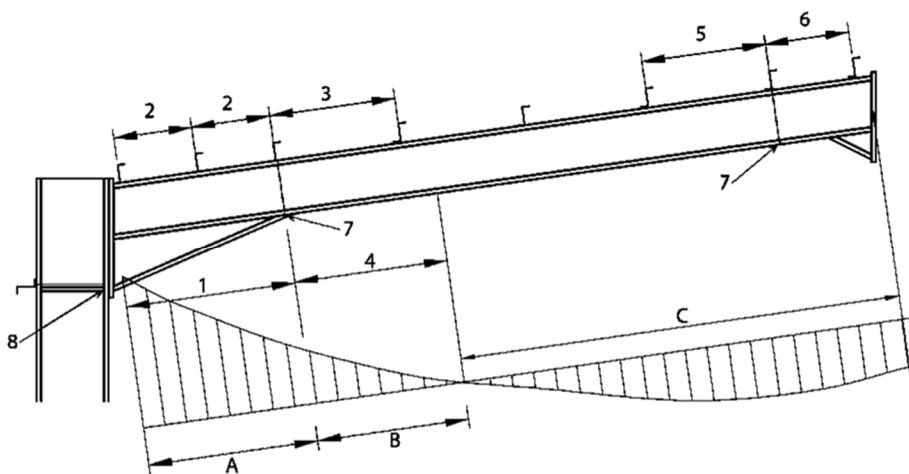


Fig. 2.4 Modelarea rigidității bazei cu elemente fictive [4]

### 2.3.6 Proiectarea la flambaj a elementelor

Proiectarea la flambaj a elementelor trebuie să urmeze procedurile din clauza 8.3 din EN 1993-1-1.

Elementele secundare din oțel joacă un rol important în proiectarea cadrelor, asigurând stabilitatea la flambajul prin încovoiere, flambajul prin răsucire și flambaj prin încovoiere-răsucire al elementelor. O configurație tipică de cadru portal se bazează pe dispunerea minimă a contrafișelor pentru a asigura stabilitatea la răsucire, conform propunerilor din Fig. 2.5. Pentru situațiile de suțiuine din vânt, pot fi necesare contrafișe suplimentare la răsucire pe talpa comprimată internă a grinzii de acoperiș (vezi Fig. 2.6) sau pe stâlpii din fațadă solicitați la suțiuinea vântului.



1. Porțiuni de grindă cu înălțime variabilă, situată între punctele de stabilizare la răsucire
2. Porțiuni de grindă cu înălțime variabilă, situată între punctele de stabilizare laterale
3. Porțiuni de grindă, poziționată între punctele de stabilizare laterale
4. Porțiuni de grindă, poziționată între punctele de stabilizare la răsucire
5. Porțiuni de grindă între punctele de stabilizare
6. Porțiuni de grindă între punctele de stabilizare
7. Secțiuni de stabilizare la răsucire, pentru grinda de acoperiș
8. Secțiuni de stabilizare la răsucire, pentru stâlp

Fig. 2.5 Configurații tipice de rigidizare a unui cadru portal: încărcare gravitațională [4]

Secțiune potențială de stabilizare la răsucire, în cazul suțiuinii

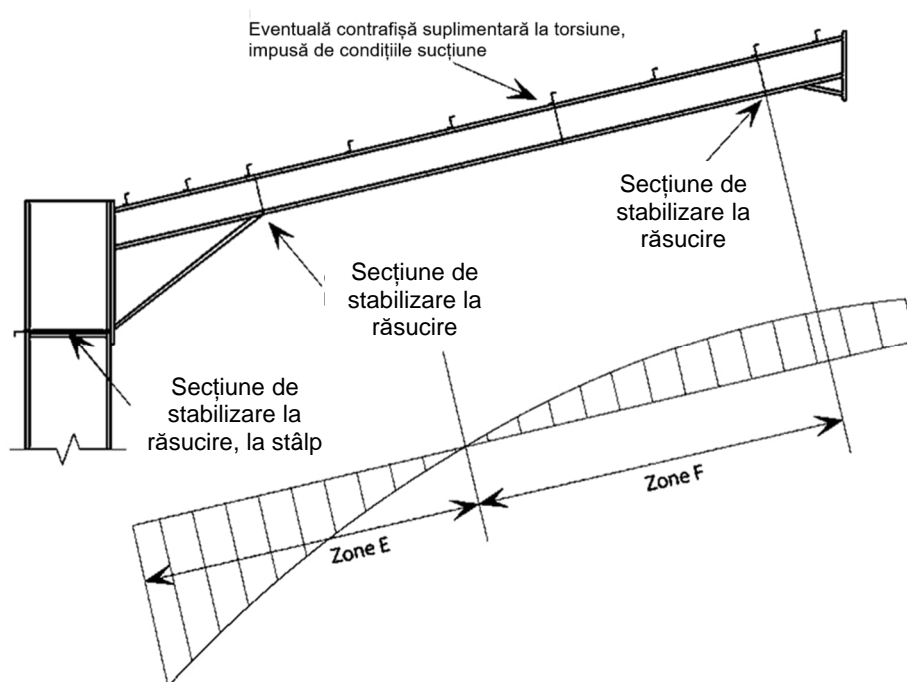


Fig. 2.6 Configurații tipice de rigidizare a unui cadru portal: sucțiune [4]

### 2.3.7 Verificarea eforturilor unitare

Conform EN 1993-1-1 [8], nu există nicio cerință de verificare a tensiunilor la starea limită de serviciu (SLS). Totuși, deoarece calculul deformațiilor se bazează pe analiza elastică, plasticizarea nu ar trebui să apară în stările limită de serviciu. Dacă structura este proiectată printr-o analiză plastică globală, se recomandă realizarea unei verificări a tensiunilor pentru combinațiile caracteristice de încărcări la starea limită de serviciu, conform EN 1090 [9].

### 2.3.8 Verificarea deformațiilor

Criteriile de verificare a deformațiilor pot fi stabilite pentru un proiect specific sau în funcție de practica locală. Se pot urma recomandările din Secțiunea 6.5.1 din Volumul 1 a acestui ghid.

### 2.3.9 Soluții bazate pe grinzi cu zăbrele

Prin utilizarea structurilor de tip grindă cu zăbrele, se poate obține o structură cu rigiditate și capacitate portantă comparativ ridicate, reducând în același timp utilizarea materialului (economiiile tind să crească odată cu creșterea deschiderii). În țările nordice, sunt folosite de obicei grinzile de acoperiș sub formă de grinzi cu zăbrele, deoarece încărcările grele pe acoperiș provin din zăpadă.

Pe lângă capacitatea de a realiza deschideri mari, structurile reticulate sunt atractive și permit o integrare simplă a instalațiilor. Fermele folosesc adesea secțiuni tubulare pentru stâlpii și grinzile de acoperiș, dar se pot folosi și secțiuni deschise. Într-o structură reticulată, rezistența mare la flambaj a secțiunilor tubulare permite utilizarea deschiderilor mari și a distanțelor mai mari între diagonale. Datorită rigidității la răsucire superioare a secțiunii închise, structurile reticulate realizate din secțiuni tubulare prezintă o bună rezistență la

flambajul prin încovoiere-răsucire. Pentru secțiunile tubulare, flambajul la încovoiere al elementelor guvernează de obicei proiectarea acestora. Fabricarea detaliilor standardizate de îmbinare este eficientă din punct de vedere al costurilor, iar colțurile rotunjite și îmbinările ușor accesibile facilitează pregătirea preliminară.

Pentru închideri cu deschideri mari (cum ar fi panourile compuse de tip sandwich cu cute înalte), talpa superioară a grinzii cu zăbrele se poate considera că este împiedicată la flambaj. Pentru încărcările de sucțiune provocate de vânt asupra acoperișului, talpa inferioară trebuie să fie împiedicată printr-un sistem de contravântuire longitudinală a acoperișului. Pentru fermele continue de acoperiș, pot fi necesare contravântuirii suplimentare pentru a împiedica flambajul tălpii inferioare comprimate în apropierea stâlpilor.

În țările nordice, fermele sudate din secțiuni tubulare reprezintă cea mai comună soluție de tip grindă cu zăbrele. Pentru deschideri mari, grinzile sunt de obicei fabricate și transportate în două piese cu îmbinări cu șuruburi la tălpile superioare și inferioare.

## **2.4 Recomandări de bună practică pentru analiza și proiectarea clădirilor metalice multietajate**

### **2.4.1 Sisteme structurale tipice**

Sistemul structural necesar pentru asigurarea stabilității este influențat în principal de înălțimea clădirii [10]. Pentru clădirile de până la 8 etaje, structura din oțel poate fi proiectată pentru a asigura stabilitatea, dar pentru clădirile mai înalte, nucleele din beton sau cadrele din oțel cu contravântuire sunt mai eficiente. Următoarele sisteme structurale pot fi luate în considerare pentru stabilitate.

Pentru clădirile de până la 4 etaje, se pot folosi cadre rigide în care multiple îmbinări grindă-stâlp oferă rezistență la încovoiere și rigiditate pentru a rezista la încărcări orizontale. Acest lucru este posibil doar atunci când grinzile sunt cu înălțime mare (400 mm până la 500 mm) și când dimensiunea secțiunii stâlpilor este mărită pentru a rezista momentelor încovoietoare aplicate. Îmbinările cu placă de capăt pe toată înălțimea secțiunii oferă în general rigiditatea necesară.

Pentru clădirile de până la 12 etaje, în mod obișnuit, se utilizează cadre din oțel contravântuite, cu contravântuiri în pereți în X, K sau V. În general, acestea se amplasează într-un gol din fațadă, în jurul scărilor sau altor zone de servicii. Contravântuirile în X sunt proiectate doar la întindere (elementul opus fiind redundant). Contravântuirile în X sunt adesea benzi plate de oțel, dar se pot folosi și secțiuni de tip cornier sau profile U.

Când contravântuirile sunt proiectate să lucreze la compresiune, cele mai populare sunt secțiunile tubulare, deși se pot folosi și secțiuni de tip cornier sau profile U.

Cadrele din oțel contravântuite prezintă două avantaje cheie:

- O singură echipă de construcție este responsabilă de asigurarea stabilității temporare,
- De îndată ce contravântuirea din oțel este montată (prin șuruburi), structura este stabilă.

Nucleele din beton sunt un sistem practic pentru stabilizarea clădirilor de până la 40 de etaje. Nucleul din beton este de obicei construit înaintea structurii metalice. În această formă de construcție, grinzile se sprijină adesea direct între stâlpii de pe perimetrul clădirii și nucleu. Considerații speciale de proiectare structurală sunt necesare pentru:

- Îmbinările grinzilor de nucleul din beton,
- Proiectarea grinzilor principale mai robuste la colțurile nucleului,
- Siguranța la incendiu și robustețea construcției cu deschideri mari.

O atenție deosebită trebuie acordată îmbinărilor dintre grinzile de oțel și nucleele de beton, permițând ajustarea și anticipând că nucleul poate fi poziționat greșit. Îmbinarea propriuzisă poate fi finalizată doar după întărirea betonului turnat *in-situ* sau după sudarea elementelor, astfel încât stabilitatea temporară este importantă.

Stâlpii cadrelor din oțel a clădirilor cu mai multe etaje sunt în general secțiuni H, care preiau predominant încărcări axiale. Când stabilitatea structurii este asigurată de nuclee sau contravântuiri verticale locale, grinzile sunt proiectate de obicei ca fiind simplu rezemate. Modelul de proiectare general acceptat este acela că îmbinările nominal articulate generează momente încovoietoare în stâlp, calculate presupunând că reacțiunea grinzii este la 100 mm de fața stâlpului.

Pentru ușurința construcției, stâlpii sunt de obicei montați în secțiuni de două sau uneori trei etaje (aproximativ 8 m până la 12 m lungime). Secțiunile stâlpilor au îmbinări de continuitate, de obicei la 300 mm până la 600 mm deasupra nivelului planșeului.

Există o gamă largă de soluții pentru planșee [3]. Deși soluțiile din oțel sunt adecvate pentru deschideri mici (de obicei 6 până la 9 m), oțelul are un avantaj important față de alte materiale la deschideri mari (între 12 și 18 m). Acest lucru oferă avantaje esențiale precum spațiu fără stâlpi și adaptabilitate viitoare, precum și mai puține fundații.

Plăcile de planșeu care se sprijină pe grinzile din oțel sunt de obicei fie elemente prefabricate din beton, fie planșee compozite oțel-beton. Grinzile din oțel pot fi amplasate sub placa de planșeu, cu planșeul sprijinit pe talpa superioară. Grinzile pot să fie, sau nu, compozite. În construcția compozită, conectorii de forfecare sunt sudați pe talpa superioară a grinzii, transferând sarcina către placa de beton. Conectorii sunt adesea sudați pe șantier prin tabla de oțel profilată. Placa poate fi, de asemenea, amplasată pe înălțimea secțiunii grinzilor, pentru a reduce înălțimea totală a planșeului; astfel de grinzi sunt cunoscute ca grinzi de planșeu suplu (slim floor), sau grinzi integrate. Grosimea disponibilă a plăcii este adesea factorul determinant în alegerea soluției de planșeu. De exemplu, în clădirile înalte, grosimea totală a celor 30-40 de planșee poate reprezenta un volum semnificativ de construcție neutilizat.

### 2.4.2 Analiza globală

Clădirile de înălțime mică din oțel (cu două sau trei etaje) sunt supuse doar unor forțe orizontale reduse și pot fi realizate cu sisteme de contravântuire suficient de robuste, astfel încât efectele de ordin doi să fie minimizate, în măsura în care efectele de instabilitate prin deplasare laterală nu trebuie considerate în mod explicit în proiectare. Stabilitatea poate fi asigurată fie prin contravântuiri triunghiulare, fie prin nucleu/e din beton armat. Planșeele acționează ca diafragme, asigurând legătura tuturor stâlpilor cu sistemele de contravântuire sau nucleele.

Cadrelor din oțel din clădirile cu înălțime medie sunt definite ca acele cadre în care nici rezistența la acțiuni orizontale, nici obținerea stabilității laterale nu au un impact semnificativ asupra dispunerii planului etajelor sau asupra formei structurale generale. De regulă,

stabilitatea orizontală este asigurată prin nuclee din beton/oțel sau zone contravântuite. Această limită este considerată în mod obișnuit la 12 etaje.

Un cadru necontravântuit este un cadru care nu are nici nucleu din beton, nici un sistem de contravântuire pe verticală, realizat în principal pentru a rezista acțiunilor orizontale. În astfel de cadre, cel puțin unele îmbinări grindă-stâlp trebuie să fie capabile să preia momente încovoietoare, pentru a transmite forțele orizontale la fundații și pentru a-i asigura stabilitatea.

Un cadru contravântuit are componente structurale prevăzute explicit pentru transmiterea forțelor orizontale la fundații. Aceste componente cresc stabilitatea laterală a cadrului. Ele pot fi cu unul sau mai multe nuclee din beton, care în general adăpostesc utilitățile verticale, lifturile și scările. Alternativ, pot fi sisteme complete de contravântuiri din oțel dispuse în planuri verticale (acționând împreună cu diafragmele planșeelor sau contravântuirile orizontale). Într-un cadru contravântuit, grinzile pot fi proiectate ca fiind articulate la capete. Stâlpii preiau sarcini axiale și (în general) momente încovoietoare minime. Îmbinările grindă-stâlp pot fi proiectate ca fiind articulații nominale, și astfel să nu preia momente; trebuie totuși asigurată o capacitate suficientă de rotire.

Procedura generală de proiectare este următoarea:

1. Determinarea acțiunilor verticale pentru SLU,
2. Calculul forțelor orizontale echivalente (EHF) pentru a ține cont de imperfecțiuni,
3. Determinarea acțiunilor orizontale pentru SLU,
4. Determinarea forțelor orizontale totale (din punctele 2 și 3),
5. Alegerea configurației contravântuirii și a elementelor de contravântuire (dacă există), în funcție de încărcările orizontale totale,
6. Realizarea analizei de ordin 1 pentru determinarea eforturilor și a rigidității laterale a cadrului,
7. Pentru fiecare etaj din fiecare travee contravântuită, determinarea valorii  $\alpha_{cr}$  pentru combinația cea mai solicitantă de încărcări verticale,
8. Determinarea valorii dominante  $\alpha_{cr}$  ca fiind cea mai mică obținută din analiza anterioară,
9. Pe baza valorii  $\alpha_{cr}$  se decide dacă analiza de ordin 1 este suficientă sau este necesară o analiză suplimentară de ordin 2.

unde  $\alpha_{cr}$  este un factor cu care trebuie multiplicată valoarea de proiectare a încărcării pentru a produce instabilitate elastică.

Analiza de ordin 1 poate fi utilizată dacă cerința EN 1993-1-1 de  $\alpha_{cr} \geq 10$  este îndeplinită pentru întregul cadru și, deci, pentru fiecare etaj al unei clădiri cu mai multe etaje.

Clădirile trebuie proiectate pentru combinațiile de acțiuni prevăzute în EN 1990. Proiectarea la Starea Limită Ultimă (conform EN 1993-1-1), adică verificarea rezistenței și stabilității tuturor componentelor structurale ale clădirii pentru a rezista acțiunilor identificate prin analiza globală, rămâne elementul central al procesului detaliat de proiectare. EN 1993-1-8 [6] oferă metode de proiectare pentru îmbinări supuse în principal încărcărilor statice, utilizând clasele de oțel S235, S275, S355 și S460.

EN 1990 și EN 1993-1-1 cer ca structurile să îndeplinească Starea Limită de Serviciu (SLS). Criteriile relevante pentru clădirile cu mai multe etaje sunt: (1) deplasările orizontale; (2) deplasările verticale ale planșeelor; (3) răspunsul dinamic.

## 2.5 Durabilitate

Acoperirile metalice (soluțiile galvanizate prin imersie la cald) sunt mai puțin frecvente în comparație cu sistemele convenționale de vopsire, deoarece tind să fie mai costisitoare. La specificarea sistemelor de vopsire pentru clădirile reutilizabile, proiectanții pot lua în considerare o clasă de durabilitate mare sau foarte mare pentru sistemul de vopsire, conform ISO 12944-1 [11]. Cu toate acestea, deoarece un sistem de vopsire este în general mai slab decât o soluție galvanizată, cea din urmă este de preferat pentru structurile care pot fi supuse la mai multe cicluri de asamblare și dezasamblare. Soluțiile galvanizate prin imersie la cald trebuie să respecte ISO 1461 [12] și ISO 14713 [13] până la [15].

## 2.6 Documentare, identificare și trasabilitate pentru reutilizare

Principalele provocări pentru reutilizare sunt reprezentate de incertitudinile cu privire la proprietățile produselor și ale materialelor, precum și cerințele de încercări care decurg din acestea. Dacă informațiile despre materiale, fabricație și execuție sunt păstrate eficient pentru consultare viitoare, costurile asociate încercărilor pot fi evitate. Pentru a facilita reutilizarea structurilor metalice, aceste informații trebuie documentate, păstrate pe toată durata de viață a structurii, actualizate la nevoie și asociate clar cu componentele specifice ale clădirii pentru a permite identificarea ulterioară. Eficiența procesului de reutilizare poate crește suplimentar dacă informațiile sunt stocate într-un format care poate fi citit automat, cum ar fi un model BIM. Această secțiune explică principiile de bază ale modelării informațiilor clădirii și ale identificării componentelor.

### 2.6.1 Fișa clădirii

Pentru a facilita reutilizarea viitoare a structurilor clădirilor care sunt fabricate și montate în prezent, este util să se creeze o fișă a clădirii care să conțină informații de proiectare, proprietăți declarate și/sau certificate, cum ar fi:

- caracteristicile oțelului (de exemplu, certificate de laminare, marcaje CE, Declarații de Mediu ale Produselor – EPD-uri),
- specificații și planșe conforme cu cele din oferta de licitație,
- planșe și documente de fabricație și montaj,
- toate îmbinările dintre elemente.

Rezultatele măsurărilor, evaluărilor, testelor sau inspecțiilor ar trebui înregistrate, cum ar fi:

- identificarea neconformităților, de exemplu, variații dimensionale,
- rapoarte privind întreținerea periodică, modificările și lucrările de renovare,
- audituri pre-deconstrucție, în cazul utilizării elementelor din oțel existente,
- documentație fotografică.

Documentația de proiectare structurală pentru o clădire se bazează pe considerarea încărcărilor de proiectare și a forțelor care trebuie preluate de cadrul metalic, pentru orice ciclu de utilizare, și trebuie să indice și să descrie clar toate elementele structurale din oțel. Aceasta trebuie să includă, de asemenea, standardele și codurile care guvernează proiectarea și execuția, inclusiv prevederile pentru îmbinările cu șuruburi și sudurile. Orice revizuire a acestor documente trebuie adăugată la versiunile originale, de exemplu modificările de proiect apărute în timpul montajului.

Se recomandă ca proprietarul clădirii să mențină fișa clădirii, deoarece aceasta conține detalii privind toate produsele care constituie clădirea și este, de regulă, necesară pentru păstrarea evidențelor detaliate de mentenanță. Astfel se asigură că produsele din clădire sunt corect întreținute și, atunci când sunt înlocuite sau dezasamblate pentru reutilizare, respectă pe deplin noile cerințe.

Fișa clădirii poate fi corelată cu o reprezentare digitală a acesteia, de exemplu modelul arhitectural 3D, modelul de tip Building Information Model (BIM – model 3D cu caracteristici funcționale) sau o copie identică digitală (digital twin) (model 3D cu caracteristici funcționale și procese dinamice). Având în vedere că BIM devine tot mai răspândit în sectorul construcțiilor, acesta este discutat mai detaliat în secțiunea următoare.

## 2.6.2 Modelarea Informațională a Clădirii (Building Information Modelling - BIM)

Pentru a atinge reutilizarea la scară largă, informațiile digitale joacă un rol esențial în proces, deoarece toate datele relevante ale clădirii pot fi stocate într-un model digital 3D utilizând abordarea BIM. Nivelul de informații pe care un model BIM 3D trebuie să îl conțină este responsabilitatea tuturor părților implicate în proiect. Standardele ISO EN ISO 19650-1 [16] și EN ISO 19650-2 [17] introduc conceptul de nivel al necesarului de informații (LOIN), pentru care se recomandă ca fiecare actor al proiectului să definească informațiile relevante ce trebuie stocate, în funcție de rolul elementului într-un proiect specific. Conceptele-cheie din perspectiva ingineriei structurale sunt prezentate în Tabelul 2.3 și în Tabelul 2.4.

Propunerile din Tabelul 2.4 pot fi utilizate ca referință pentru definirea nivelului de informație stocat pentru elementele din oțel în cadrul unui model BIM. Referințele [18] până la [20] pot fi folosite pentru a ajuta la stabilirea nivelului de informație necesar al modelului BIM. Formularul de ghidare CWA 17316 [21] poate fi utilizat pentru a facilita schimbul de informații.

Tabelul 2.3 Categoriile propuse de informații pentru definirea LOIN: definiție generală

Categorie	Descriere
Context	Pentru fiecare ciclu de viață: contextul/momentul în care elementul structural a fost utilizat;
Actori implicați în proiect	Pentru fiecare ciclu de viață: actorii implicați din disciplinele relevante;
Scop	Pentru fiecare ciclu de viață: rolurile elementelor;
Identificare	Pentru fiecare ciclu de viață: identitatea elementului din oțel structural și trasabilitatea sa către informațiile digitale;
Proiectare structurală	Pentru fiecare ciclu de viață: condițiile de proiectare relevante și rezultatele proiectării pentru clădire și elemente;
Confecționare & montaj	Pentru fiecare ciclu de viață: date din procesul de fabricare, procedurile și calitatea acestora;
Proveniență & caracteristici	Trasabilitate completă a materialului elementului, inclusiv înscrisuri și certificate.

Tabelul 2.4 Categoriile de informații propuse pentru definirea LOIN: date relevante posibile

Categorie	Descriere
Context	Pentru fiecare ciclu de viață: descrierea proiectului, detalii despre amplasament, data construcției etc.

Actori implicați în proiect	Pentru fiecare ciclu de viață: arhitecți, ingineri, antreprenori etc.
Scop	Caracteristici precum elemente portante sau neportante, funcție structurală (grindă, stâlp, contravântuire), condiție (permanent, temporar) etc.
Identificare	Pentru fiecare ciclu de viață: număr de identificare (ID), locație (de ex. etaj, corp de clădire), alte proprietăți vizuale relevante, dimensiunea de serie a secțiunii etc.;
Proiectare structurală	Dacă elementul face parte dintr-un sistem structural principal sau secundar (de exemplu conform EN 1998-1-2), clasa de ductilitate conform EN 1998-1-2, rezistență la foc, temperatură critică, factor de utilizare și/sau rezistențe, detalii despre conectorii de forfecare, frecvență/valoare de proiectare OS-RMS90, deformații în exploatare, încărcări de proiectare (încărcări pe planșee, acțiuni ale vântului, zăpadă etc.), tipul de îmbinări (articulate, rigide sau elastice – specificați rigiditatea), momente și forțe tăietoare maxime pe element și pentru proiectarea îmbinării, forțe de legătură etc.
Confecționare & Montaj	Pentru fiecare ciclu de viață: firma de confecții metalice, data fabricării, standardul de execuție (de ex. EN1090-2), clasa de execuție, date despre fabricare (număr de proiect), firma de montaj, data montajului, detalii despre acoperire/galvanizare (clasă, durabilitate, grosime/masă)
Proveniență & caracteristici	<u>Oțel nou</u> : producător, ID-ul certificatului de material, standard de produs, condiție de livrare (EN 10204), clasă și subclasă de oțel, valoare Z, condiție de tratament termic, standarde de geometrie ale produsului etc. <u>Oțel recuperat</u> : distribuitor, standard de referință (de ex. EN 10025-2 sau EN 10219-1), clasă și subclasă, proprietăți relevante conform EN 1090-2 secțiunea 5.1 (valori măsurate și valori de calcul), referință internă a documentației distribuitorului, standarde de produs (de ex. EN 10365 și EN 10034) etc.

### 2.6.3 Trasabilitatea produselor din oțel pentru reutilizare viitoare

Pentru a evita verificările costisitoare ale proprietăților produselor și materialelor, este esențială crearea unei legături între produsele fizice și informația lor digitală (sistemul de urmărire). De obicei, este implementat un sistem de urmărire a componentelor în timpul fabricării și montajului, însă, în majoritatea cazurilor, acesta nu este păstrat pe toată durata de viață a clădirii. Se recomandă ca un sistem mai durabil să fie implementat pentru întreaga durată de viață a clădirii și să fie legat de un model digital în care informațiile relevante despre clădire și elementele sale să fie păstrate. Această măsură va facilita reutilizarea structurilor din oțel fără a fi necesare încercări suplimentare.


În acest scop, ar trebui stabilită o etichetare permanentă, iar marcajele ar trebui aplicate direct pe elementele structurale din oțel. Marcajele ar trebui să fie unice pentru fiecare grup de elemente cu aceleași caracteristici nominale, dar este recomandat ca marcajele să fie diferite pentru fiecare componentă în parte, pentru a permite legătura cu rezultatele specifice ale măsurătorilor, evaluărilor, testărilor sau inspecțiilor.

Exemple de etichete permanente includ plăcuțe gravate cu laser cu informații vizibile sau etichete cu identificare prin radio-frecvență (RFID) cu informații citibile cu scanner RF. Ambele metode ar trebui să conțină un identificator unic care poate fi legat la informația digitală stocată; de exemplu, identificatorul gravat cu laser poate fi un cod QR, un cod de bare sau un simplu cod de identificare. Opțional, ambele metode pot să conțină direct pe etichetă informațiile esențiale (cum ar fi marcajul CE). Acestea pot fi prezentate sub forma unui tabel gravat cu caracteristici esențiale sau ca date stocate pe un cip de memorie

conectat la o antenă RFID. Un exemplu de cod QR pentru un element recuperat este prezentat în Tabelul 2.5.

Este esențial ca informația digitală (Fișa clădirii, model BIM etc.) să fie disponibilă pe toată durata de viață a clădirii și a componentelor sale pentru proprietarul clădirii și pentru autoritățile relevante care emit autorizații de demolare, renovare și construcție. Fiabilitatea informațiilor conținute în declarații și certificate poate fi garantată, de exemplu, prin utilizarea unor sisteme independente de trasabilitate (precum Tracimat în Belgia), baze de date gestionate de autoritățile de construcții, fabricanți de structuri metalice responsabili de recertificare sau prin sisteme bazate pe blockchain.

Tabelul 2.5 Informații propuse pentru a fi stocate pe o etichetă fizică permanentă

<p><i>Exemplu posibil de cod QR pentru urmărirea componentelor:</i></p>  <p>(Încearcă-mă)</p>	<p>Tip: Reutilizat                  Origine: Marea Britanie, Ascot                  Vechimea oțelului: 1975                  ID: C10                  Producător: Nume                  Proiectant: Nume                  Distribuitor: Nume                  Certificat distribuitor: AA001                  Clasa oțelului: S355JR                  Standard material: EN1090-2 cl. 5.1                  Limita de curgere de calcul (MPa): 355                  Rezistență la tracțiune de calcul (MPa): 470                  Limita de curgere măsurată (MPa): 405                  Rezistență la tracțiune măsurată (MPa): 520                  Alungire măsurată (%): 23                  CEV măsurat: 0.45                  Profil: IPE500                  Dimensiuni: EN 10365                  Toleranțe: EN 10034</p>
---	--

### 3 ÎNCĂRCĂRI ȘI COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI PENTRU CLĂDIRI NOI

Clădirile din oțel cu un singur nivel sunt supuse încărcărilor proprii, încărcărilor din instalațiile clădirii, vânt și zăpadă. Acestea pot fi proiectate pentru a susține planșee intermediare (mezaninuri) și poduri rulante și adesea au spații de birouri atașate, copertine mari și alte elemente arhitecturale suplimentare.

Pentru clădirile multietajate din oțel, trebuie adăugate încărcările utile suplimentare, acestea fiind reprezentate prin încărcări distribuite uniform, liniare sau concentrate, aplicate pe acoperișuri sau planșee, sau o combinație a acestora.

Încărcările de zăpadă și vânt sunt specifice amplasamentului (localizare, altitudine). Ele sunt influențate și de geometria structurii și de topografia locală din imediata vecinătate a clădirii. În cazul clădirilor din oțel cu un singur nivel, aceste încărcări influențează potențialul de reutilizare a unei clădiri cu același plan și aceleași distanțe între cadre.

#### 3.1 Valori caracteristice ale acțiunilor

##### 3.1.1 Încărcări pe acoperișuri

Încărcările permanente pe acoperișuri includ greutatea proprie a învelitorii, precum și încărcările din instalații cum ar fi sisteme de ventilație, corpuri de iluminat etc., suplimentare față de greutatea proprie a elementelor din oțel. Greutățile proprii obișnuite ale componentelor de acoperiș sunt prezentate în Tabelul 3.1. Se recomandă o rezervă minimă de 0.10 kN/m<sup>2</sup> pentru elementele secundare. Pentru instalații, o valoare nominală de 0.30 kN/m<sup>2</sup> trebuie considerată pentru corpurile de iluminat, rețeaua sistemelor de sprinklere, tubulaturile de aer condiționat etc., dar și pentru panourile solare. Tabelul 3.2 prezintă greutatețile proprii recomandate pentru diferite tipuri de învelitori.

Tabelul 3.1 Greutăți proprii ale componentelor acoperișului

Tip de element secundar de oțel	Greutate (kN/m <sup>2</sup> )
Tablă simplă (foi de tablă cu deschideri scurte/lungi)	0.04 – 0.20
Izolație (vată minerală, per 100 mm grosime)	0.04 – 0.08
Plăci de izolație, per 25 mm grosime	0.07
Izolație de vată de sticlă, per 100 mm grosime	0.01
Casete structurale de închidere (grosime 0.4 mm – 0.7 mm)	0.09 – 0.13
Panouri sandwich (grosime 40 mm – 150 mm)	0.10 – 0.15
Pane de acoperiș / rigle de perete (distribuite pe suprafața acoperișului)	0.04 – 0.07
Pane de acoperiș din oțel	0.03 – 0.08

Tabelul 3.2 Greutăți proprii recomandate pentru diferite tipuri de învelitori de acoperiș

Tip de învelitoare de acoperiș	Greutate (kN/m <sup>2</sup> )
Panouri sandwich ușoare (deschideri mici, până la 100 mm grosime)	0.15
Panouri sandwich grele (deschideri mari, până la 200 mm grosime)	0.35
Pachet tablă cutată, izolație și membrane (deschideri mari)	0.60

Încărcările utile pe acoperișuri sunt specificate în Clauza 6.3.4.2 (1) din EN 1991-1-1 [64] și în Anexele Naționale ale fiecărei țări. Aceste încărcări sunt necesare doar pentru accesul în scopul curățării sau întreținerii (categoria H). Valorile recomandate sunt  $q_k = 0.4 \text{ kN/m}^2$  și  $Q_k = 1.0 \text{ kN}$ . Acestea nu trebuie adăugate la încărcările de zăpadă sau vânt. Valorile adoptate în general de țările europene sunt rezumate în Tabelul 3.3 pentru acoperișuri cu pantă mai mică sau egală cu  $6^\circ$ .

Tabelul 3.3 Încărcări utile pentru întreținerea acoperișurilor (categoria H)

Țara	$q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	$Q_k$ (kN)
Belgia	0.80	1.5
Republica Cehă	0.75	1.0
Finlanda	0.40	1.0
Franța	0.80	1.5
Germania	-	1.0
Irlanda	0.60	1.0
Italia	0.40	1.0
Olanda	1.00	1.5
Norvegia	0.75	1.5
Portugalia	0.40	1.0
România	0.50	1.0
Slovacia	0.75	1.0
Spania	0.40	1.0
Suedia	0.40	1.0
Marea Britanie	0.60	0.9

### 3.1.2 Încărcări pe planșeele mezaninelor / planșeele clădirilor multietajate

Pentru soluțiile ușoare de planșeu, se recomandă o încărcare proprie de  $1 \text{ kN/m}^2$  pentru a permite adaptabilitatea în viitor. Pentru planșee grele, cum ar fi dalele prefabricate susținute de grinzi laminate, această încărcare proprie poate varia între 3 și  $4.5 \text{ kN/m}^2$  în funcție de deschiderea și grosimea dalelor. De asemenea, se recomandă o marjă minimă de  $1.75 \text{ kN/m}^2$  pentru finisaje și instalații. Tabelul 3.4 prezintă greutatea tipice pentru elementele de construcție ale clădirilor multietajate.

Tabelul 3.4 Greutăți tipice pentru elementele de construcție [22]

Element	Greutate [kN/m <sup>2</sup> ]
Elemente prefabricate (deschidere de 6 m, proiectate pentru o încărcare utilă de $5 \text{ kN/m}^2$ )	3.5 – 4.5
Placă compozită (beton normal, grosime 140 mm)	2.8 – 3.5
Placă compozită (beton ușor, grosime 130 mm)	2.1 – 2.5
Instalații (iluminat)	0.25
Tavane	0.1
Elemente metalice (clădiri cu înălțime mică, 2 până la 6 etaje)	0.35 – 0.50
Elemente metalice (clădiri de înălțime medie, 7 până la 12 etaje)	0.40 – 0.70

Încărcările utile pe planșee sunt specificate în Clauza 6.3.1.2(1) din EN 1991-1-1 [64] și în Anexele Naționale ale țărilor pentru zonele de birouri și rezidențiale și sunt rezumate în Tabelul 3.5. Se recomandă o valoare standard de 3.0 kN/m<sup>2</sup> pentru zonele de birouri și 2.0 kN/m<sup>2</sup> pentru zonele rezidențiale.

Tabelul 3.5 Încărcări utile pentru locuințe/birouri și pentru planșeele mezaninului

Țara	Rezidențial* (Categoría A)		Birouri (Categoría B)	
	q <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	Q <sub>k</sub> (kN)	q <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	Q <sub>k</sub> (kN)
Belgia	2.00	2.00	3.00	3.00
Finlanda	2.00	2.00	2.50	2.00
Franța	1.50	2.00	2.50	4.00
Germania	1.50	2.00	2.00	2.00
Irlanda	1.50	2.00	3.00	4.50
Italia	2.00	2.00	3.00	2.00
Olanda	1.75	3.00	3.00	3.00
Norvegia	2.00	2.00	3.00	2.00
Portugalia	2.00	2.00	3.00	4.00
România	1.50	2.00	2.50	4.50
Spania	2.00	2.00	3.00	4.00
Suedia	2.00	2.00	2.50	3.00
Marea Britanie	1.50	2.00	2.50	2.70
* numai planșee				

### 3.1.3 Încărcări date de zăpadă

Încărcările date de zăpadă depind de: climatul local, relieful terenului, panta acoperișului, tipul acoperișului și geometria clădirii. Standardul EN 1991-1-3 [23] prevede că încărcările date de zăpadă trebuie determinate pentru *condiții normale* (situații de proiectare persistente), și *condiții excepționale* (situații de proiectare persistente și accidentale). Încărcările din zăpadă pe acoperișuri, conform Clauzei 5.2(3), sunt definite astfel:

- Pentru situații de proiectare persistente:

$$s = \mu_i C_e C_t S_k \quad (3.1)$$

- Pentru situații de proiectare accidentale – zăpadă excepțională:

$$s = \mu_i C_e C_t C_{esl} S_k \quad (3.2)$$

- Pentru situații de proiectare accidentale – aglomerări excepționale de zăpadă:

$$s = \mu_i S_k \quad (3.3)$$

unde

- $\mu_i$  coeficient de formă al încărcării date de zăpadă pe acoperiș,
- $S_k$  valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe sol (pentru o perioadă de revenire de 50 de ani),
- $C_e$  coeficient de expunere, care variază în funcție de topografie,
- $C_t$  coeficient termic,
- $C_{esl}$  coeficient pentru încărcări excepționale.

Pentru o pantă a acoperișului de maximum 6°, valorile recomandate ale acestor coeficienți sunt definite în standardul menționat:

$$\mu_i = 0.8 \quad C_e = 1.0 \quad C_t = 1.0 \quad C_{esl} = 2.0.$$

Principala variație a încărcării date de zăpadă provine din valoarea  $s_k$ . EN 1991 Partea 1-3 împarte Europa în nouă regiuni climatice și definește zone pentru calculul lui  $s_k$  în funcție de altitudine. Sunt propuse patru clase de zăpadă (S1 – S4). Pentru fiecare clasă, se indică o valoare recomandată a lui  $s_k$ , pentru a permite reutilizarea în regiuni cu zăpadă similară sau mai redusă (Tabelul 3.6 și Fig. 3.1).

Tabelul 3.6 Clase de zăpadă propuse S1 – S4 pentru proiectarea acoperișurilor

Țara	$s_k$ (kN/m <sup>2</sup> )			Clasa de zăpadă
	Min. <sup>a)</sup>	Medie țară <sup>b)</sup>	Valoare minimă europeană	
Finlanda	2.00	2.75	2.00	S1
România	1.50	2.00		
Norvegia	1.50	3.50		
Suedia	1.50	2.50		
Germania	0.45	0.85	1.00	S2
Italia	0.60	1.00		
Marea Britanie	0.45	0.65	0.70	S3
Franța	0.45	0.65		
Irlanda	0.40	0.55		
Olanda	0.70	0.70		
Belgia	0.50	0.70		
Portugalia	0.10	0.30	0.40	S4
Spania	0.30	0.40		

<sup>a)</sup> Presupunând altitudinea medie pentru zona cea mai puțin critică a țării  
<sup>b)</sup> Presupunând altitudinea medie pentru zona care acoperă cea mai mare parte a țării



Fig. 3.1 Clase de proiectare propuse pentru harta încărcării din zăpadă Tabelul 3.6

### 3.1.4 Încărcări din vânt

Standardul EN 1991-1-4 [24] tratează presiunile vântului ca fiind încărcări statice echivalente. Viteza de referință a vântului este determinată pe baza vitezei medii a vântului măsurate pe o perioadă de 10 minute pentru o anumită locație geografică. Această valoare este apoi corectată în funcție de orografie (relieful local), rugozitatea terenului și durata expunerii la vânt pentru a obține o presiune dinamică. Aceasta este transformată ulterior într-o forță pe suprafață, utilizând coeficienți de presiune sau de forță, care depind de forma clădirii.

Viteza de referință a vântului  $v_b$  este definită în Clauza 4.2 din EN 1991-1-4 ca o funcție a factorului de direcție a vântului,  $C_{dir}$ , și factorul de anotimp,  $C_{season}$ , care modifică valoarea vitezei de bază fundamentale a vântului,  $v_{b,0}$ , după cum urmează (pentru un teren de categoria II):

$$v_b = C_{dir} C_{season} v_{b,0} \quad (3.4)$$

Valoarea lui  $v_{b,0}$  este o alegere națională, corespunzătoare unei perioade de revenire de 50 de ani. Tabelul 3.7 prezintă limitele acestui parametru și valorile medii pentru diverse țări europene [25]. Pe baza acestor valori, se propune o valoare minimă europeană pentru  $v_{b,0}$ , și sunt definite patru clase de vânt (conform Fig. 3.2 și Tabelul 3.7). Astfel, presiunea vitezei de referință pentru fiecare clasă europeană  $v_{b,clasă}$  poate fi obținută cu Expresia (4.10) din EN 1991-1-4, după cum urmează:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \quad (3.5)$$

unde  $\rho$  este densitatea aerului, valoarea propusă fiind  $1.25 \text{ kg/m}^3$ .

Presiunile vitezei din vânt astfel calculate sunt apoi utilizate pentru a determina valoarea de vârf a presiunii la o înălțime specifică.

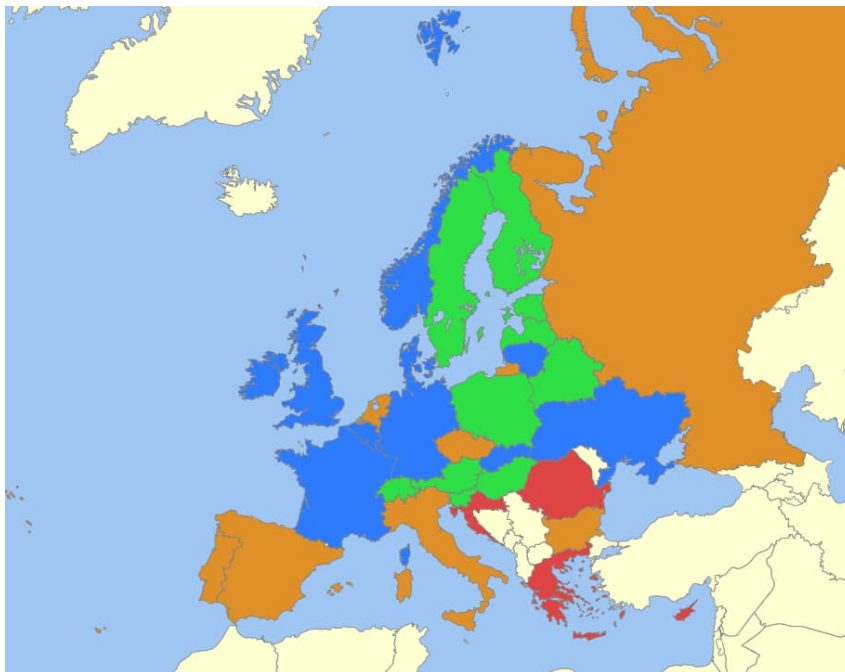


Fig. 3.2 Clasele de proiectare propuse pentru harta încărcării din vânt, conform Tabelul 3.7

Tabelul 3.7 Viteza de referință a vântului în diferite țări europene: clase de vânt

Țara	v <sub>b0</sub> (m/s)			q <sub>b0, medie</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	v <sub>b0, clasă</sub> (m/s)	q <sub>b, clasă</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	Clasa de vânt
	Min.	Max.	Media				
Croația	20	48	29	1.05	>28	1.20	W1
Cipru	24	40	29	1.05	>28		
Grecia	27	33	29	1.05	>28		
România	27	35	31 <sup>a)</sup>	1.20	>28		
Bulgaria	24	36	27	0.91	28	0.98	W2
Republica Cehă	23	36	27	0.91	28		
Italia	25	31	27 <sup>a)</sup>	0.91	28		
Olanda	25	30	27 <sup>a)</sup>	0.91	28		
Portugalia	27	30	27 <sup>a)</sup>	0.91	28		
Rusia	20	44	27	0.91	28		
Spania	26	29	27 <sup>a)</sup>	0.91	28		
Belgia	23	26	24	0.72	26		
Danemarca	24	27	25	0.78	26		
Franța	22	28	24 <sup>a)</sup>	0.72	26		
Germania	23	30	25 <sup>a)</sup>	0.78	26		
Irlanda	25	28	26	0.85	26		
Lituania	24	32	26	0.85	26		
Luxemburg	24	24	24	0.72	26		
Norvegia	22	31	25	0.78	26		
Slovacia	24	26	24	0.72	26		
Marea Britanie	22	32	25 <sup>a)</sup>	0.78	26		
Ucraina	24	31	26	0.85	26		
Austria	18	28	21	0.55	23	0.66	W4
Belarus	22	24	22	0.61	23		
Estonia	21	21	21	0.55	23		
Finlanda	21	26	22 <sup>a)</sup>	0.61	23		
Ungaria	24	24	23	0.66	23		
Letonia	21	27	23	0.66	23		
Polonia	22	26	23	0.66	23		
Slovenia	20	30	23	0.66	23		
Suedia	21	26	22	0.61	23		
Elveția	20	24	21	0.55	23		

<sup>a)</sup> Valori uzuale din Anexele Naționale/Locale

În scopul proiectării, este necesar să se calculeze valoarea de vârf a presiunii vitezei vântului la o anumită înălțime z, notată  $q_p(z)$  care include fluctuațiile de viteză pe termen scurt și lung. Conform EN 1991-1-4, Clauza 4.5, aceasta se determină cu expresia:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2 = c_e(z) \cdot q_b \quad (3.6)$$

unde:

$I_v(z)$  – intensitatea turbulenței la înălțimea  $z$ , definită ca deviația standard a turbulenței împărțită la viteza medie a vântului,

$\rho$  – densitatea aerului, care depinde de altitudine, temperatură și presiunea atmosferică preconizată în regiune în timpul furtunilor,

$c_e(z)$  – factorul de expunere,

$q_b$  – presiunea de referință a vitezei,

$v_m(z)$  – viteza medie a vântului la înălțimea  $z$ , deasupra terenului, care depinde de rugozitatea terenului și orografie și de viteza de referință a vântului,  $v_b$ , respectiv care trebuie determinată folosind următoarea expresie:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b, \quad (3.7)$$

$c_r(z)$  – este factorul de rugozitate (în funcție de categoria terenului),

$c_0(z)$  – factorul orografic, luat ca 1.0 în cazurile în care influența orografică (ex. dealuri, stânci) este mai mică de 5%, sau când panta medie a terenului este sub 3°. Terenul din aval care influențează vântul poate fi considerat pe o distanță de 10 ori înălțimea formei orografice izolate. Efectele orografiei pot fi calculate conform Anexei A.3 din EN 1991-1-4, iar anexele naționale pot modifica această procedură.

Deoarece rugozitatea și orografia sunt dependente de locația clădirii, nu se pot face recomandări specifice pentru reutilizare. Totuși, ca regulă generală, se recomandă menținerea raportului între valoarea de vârf a presiunii vitezei și presiunea vitezei de referință la 15 m:  $q_p(15)/q_b \geq 1.15$  atunci când se folosesc clasele de încărcare din vânt propuse în Tabelul 3.7 și Fig. 3.2.

### 3.1.5 Recomandări pentru utilizarea claselor de zăpadă și vânt

Procesul propus de proiectare pentru clădiri noi necesită următorii pași:

- Definirea încărcărilor date de zăpadă și vânt în funcție de amplasamentul clădirii, ținând cont de parametrii definiți la nivel național,
- Compararea acestor încărcări cu valorile definite pentru diferitele clase de proiectare propuse în Tabelul 3.6 și Tabelul 3.7. Proiectanții pot alege să adopte fie valorile medii propuse la nivel de țară, fie valorile propuse pentru clasele europene de încărcare,
- Este necesară judecata inginerescă pentru a evalua implicațiile economice generate de creșterea încărcărilor de proiectare la nivelul valorilor propuse în aceste Tabelul 3.6 și Tabelul 3.7.

Această abordare este relevantă în cazurile în care se anticipează relocarea și reutilizarea viitoare a întregii clădiri.

Judecata inginerescă trebuie să ia în considerare rezultatul final al procesului de proiectare, și nu o simplă comparație între încărcarea conform amplasamentului clădirii și valorile propuse în Tabelul 3.6 și în Tabelul 3.7. În scenarii practice de proiectare, dimensiunile profilelor disponibile pot conduce la un factor de utilizare neoptimizat pentru elementele structurale, ceea ce poate permite o creștere a încărcărilor de calcul fără a crește costurile soluției. Proiectanții pot dori să documenteze capacitatea la SLU a structurii, adică ce încărcări caracteristice din zăpadă și vânt sunt admisibile pentru structură.

În ciuda utilizării valorilor propuse pentru clasele de proiectare, este probabil să apară diferențe între rezultatele proiectării bazate pe parametri definiți în anexe naționale diferite. Utilizarea valorilor medii naționale sau a valorilor propuse pentru clasele europene de încărcare împreună cu documentarea capacității portante a structurii va crește oportunitățile de reutilizare.

### 3.1.6 Adaptarea valorilor caracteristice ale încărcărilor în funcție de perioada de revenire

Valorile caracteristice ale acțiunilor variabile conform EN 1991 sunt calibrate pentru o durată de viață de proiectare de 50 de ani. Pentru o durată de viață mai mică, proiectanții pot să reducă valorile caracteristice ale acțiunilor variabile (recomandat doar pentru clădiri existente sau în scenarii de relocare a unei structuri întregi). Pentru o durată de viață de proiectare mai mare de 50 de ani, valoarea caracteristică a acțiunilor variabile trebuie corectată.

#### Încărcarea dată de zăpadă

Conform Anexei D din EN 1991-1-3, pentru perioade de revenire mai mari de 5 ani, dacă datele disponibile arată că valoarea maximă anuală a încărcării din zăpadă poate fi considerată că urmează o distribuție de probabilitate Gumbel, atunci relația dintre valoarea caracteristică a încărcării date de zăpadă pe sol și încărcarea dată de zăpadă pe sol pentru un interval mediu de revenire de  $n$  ani este dată de formula:

$$s_n = s_k \left\{ \frac{1 - V_x \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln(-\ln(1 - P_n)) + 0.57722}{(1 + 2.5923 V_x)} \right\} \quad (3.8)$$

unde:

$s_k$  – este valoarea caracteristică a încărcării date de zăpadă pe sol (cu o perioadă de revenire de 50 de ani, în conformitate cu EN 1990),

$s_n$  – este încărcarea din zăpadă pe sol cu o perioadă de revenire de  $n$  ani,

$P_n$  – este probabilitatea anuală de depășire (aproximativ echivalentă cu  $1/n$ , unde  $n$  este intervalul de revenire corespunzător, în ani),

$V_x$  – este coeficientul de variație al valorii maxime anuale a încărcării date de zăpadă, care poate fi definit de autoritatea națională relevantă. Sunt sugerate valori între 0,2 și 0,6 ca valori informative conform Anexei D din EN 1991-1-3. Pentru reducerea duratei de viață a clădirii, sunt recomandate valori ale coeficientului de variație  $V_x$  între 0,20 și 0,30.

Valorile pentru  $s_n/s_k$  pentru diferiți coeficienți de variație sunt oferite în Tabelul 3.8.

Tabelul 3.8 Ajustarea încărcării din zăpadă în funcție de perioada de revenire (EN1991-1-3)

Perioada de revenire	$s_n/s_k$					
	$V_x=0,20$	$V_x=0,30$	$V_x=0,40$	$V_x=0,50$	$V_x=0,60$	$V_x=0,70$
15	0,87	0,84	0,81	0,79	0,78	0,76
30	0,95	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90
50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
75	1,04	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08
100	1,07	1,09	1,11	1,12	1,13	1,14
125	1,09	1,12	1,14	1,16	1,17	1,18

Coeficientul de variație pentru încărcarea dată de zăpadă poate varia între 0,30 și 1,15. Sunt sugerate valori între 0,30 și 0,70 ca limită inferioară și respectiv valoare medie [26]. Valoarea poate fi definită pentru țări specifice prin anexe naționale sau alte referințe valabile.

### Încărcare din vânt

Viteza medie a vântului având probabilitatea  $p$  de a fi depășită anual se determină prin înmulțirea vitezei de referință a vântului  $v_b$  cu factorul de probabilitate,  $c_{prob}$ , dat de următoarea expresie (Nota 4 din Clauza 4.2 din EN 1991-1-4):

$$c_{prob} = \left( \frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \ln(-\ln(0.98))} \right)^n \quad (3.9)$$

unde:

$K$  – este parametrul de formă, în funcție de coeficientul de variație al distribuției valorilor extreme,

$n$  – este exponentul.

Conform Eurocodului, valorile recomandate sunt  $K = 0,2$  și  $n = 0,5$ . Probabilitatea  $p$  se poate obține în funcție de perioada de revenire, de exemplu, pentru o perioadă de revenire de 50 de ani,  $p = 1/50 = 0,02$ , ducând la  $c_{prob} \approx 1,00$ . Valorile lui  $c_{prob}$  pentru diferite perioade de revenire se regăsesc în Tabelul 3.9.

Tabelul 3.9 Ajustarea încărcării din vânt în funcție de perioada de revenire (EN1991-1-4)

Standard	$K$	$n$	$c_{prob}$					
			Perioada de revenire					
			15	30	50	75	100	125
Eurocod	0.20	0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Germania AN	0.10	1.00	0.91	0.96	1.00	1.03	1.05	1.07
Franța AN - $p > 0.02$	0.15	0.50	0.94	0.98	1.00	1.02	1.03	1.04
Franța AN - $p \leq 0.02$	0.20	0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Olanda AN - Zone I	0.20	0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Olanda AN - Zone II	0.234	0.50	0.92	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Olanda AN - Zone III	0.281	0.50	0.91	0.96	1.00	1.03	1.05	1.06
Marea Britanie AN	0.20	0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
Portugalia AN	0.11	1.00	0.91	0.96	1.00	1.03	1.05	1.07

### Încărcări utile

Așa cum este prezentat în secțiunile anterioare, adaptarea pentru zăpadă și vânt este discutată în părțile relevante ale EN 1991 prin intermediul unui factor de probabilitate ( $c_{prob}$ ). Pentru acțiuni utile pe planșee, valorile caracteristice ale acțiunilor variabile pot fi adaptate conform procedurii propuse de Anexa Națională Olandeză la EN 1990, clauza A1.1(2) [27] după cum urmează (vezi Tabelul 3.10):

$$q_t = q_{t0} \left( 1 + \frac{1 - \psi_0}{9} \ln \frac{t}{t_0} \right) \quad (3.10)$$

unde:

- $q_t$  – este valoarea caracteristică adaptată a acțiunii variabile pentru durata de viață proiectată,
- $q_{t0}$  – este valoarea caracteristică a acțiunii variabile pentru o durată de viață standard de 50 de ani,
- $\psi_0$  – este factorul pentru valoarea de grupare a unei acțiuni variabile (conform EN1990),
- $t$  – este durata de viață de proiectare propusă,
- $t_0$  – este durata de viață de proiectare standard de 50 de ani.

Tabelul 3.10 Modificarea încărcării utile pe planșee în funcție de perioada de revenire

$q_t/q_{t0}$						
$\psi_0$	Perioada de revenire					
	15	30	50	75	100	125
0.50	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05
0.60	0.95	0.98	1.00	1.02	1.03	1.04
0.70	0.96	0.98	1.00	1.01	1.02	1.03
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

### 3.1.7 Acțiunea termică

Schimbările de temperatură ale unei structuri din oțel provoacă deformații termice în elementele din oțel. Mărima deformației termice este egală cu coeficientul de dilatare termică, care este indicat în EN 1993-1-1 ca fiind  $\alpha = 12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  pentru temperaturi mai mici sau egale cu  $100^{\circ}\text{C}$ , înmulțit cu creșterea temperaturii. Aceasta corespunde unei dilatări de 1.2 mm pe grad Celsius la fiecare 100 m de clădire. Rezultatul deformației termice poate fi o dilatare/contractare liberă a elementului dacă nu există constrângeri, sau, dacă dilatarea/contractarea este complet restricționată, este indusă o tensiune axială.

În cadrele portal, cu contravântuiri verticale în pereții laterali la capetele clădirii, din cauza dilatării termice apar forțe axiale în elementele structurale continue între traveele contravântuite. Valoarea forței axiale depinde atât de variația de temperatură față de momentul construcției clădirii, cât și de rigiditatea sistemelor de reazem/contravântuire.

În practică, eforturile unitare axiale pot fi diminuate prin alunecarea în îmbinările cu șuruburi sau prin flambaj elastic al elementelor secundare, pentru a reduce forța axială. Elementele longitudinale continue, cum ar fi grinzile căii de rulare, șinele pentru macarale, grinzile de coamă sau grinzile de streășină, trebuie analizate cu atenție și dimensionate pentru sarcini axiale datorate variațiilor de temperatură. Pentru a defini acțiunea termică trebuie urmate prevederile oferite de EN 1991-1-5 [28]. Elementele foarte rigide, cum ar fi grinzile căii de rulare, pot dezvolta forțe mari din cauza dilatării termice.

Ca regulă generală, se recomandă ca, dacă se prevăd rosturi de dilatare la 150 m pentru cadrele portal tipice fără macarale, elementele longitudinale nu trebuie dimensionate pentru a prelua eforturi unitare datorate împiedicării dilatării. Poziționarea contravântuirilor verticale

la mijlocul distanței dintre rosturi va permite dilatarea liberă departe de traveea contravântuită.

Pe direcția transversală, modificările de temperatură vor determina modificări în lungimea elementelor cadrului din oțel. Chiar și pentru un cadru portal cu patru deschideri, analiza elastică arată că efectele acțiunii termice pe direcția cadrului sunt suficient de mici pentru a fi neglijate în cazul structurii interne din oțel.

Cadrela din oțel în clădiri cu mai multe etaje se dilată și se contractă și ele în funcție de variațiile de temperatură. Adesea, schimbările de temperatură ale structurii metalice sunt mult mai mici decât schimbările temperaturii exterioare, deoarece oțelul este protejat. Se recomandă evitarea rosturilor de dilatare, dacă este posibil, deoarece acestea sunt costisitoare și pot fi dificil de detaliat corect pentru a menține etanșeitatea învelișului exterior. În locul utilizării rosturilor de dilatare, cadrul poate fi analizat luând în calcul efectele variațiilor de temperatură. Acțiunile termice pot fi determinate din EN 1991-1-5, iar combinațiile de acțiuni trebuie verificate în conformitate cu EN 1990. În cele mai multe cazuri, elementele vor rezulta ca fiind adecvate.

În absența calculelor, practica comună pentru clădirile multietajate în Europa de Nord este ca rosturile de dilatare să fie necesare atunci când lungimea clădirii depășește 100 m pentru cadre simple (contravântuite) și 50 m în construcții continue. În climate mai calde, practica este de a limita lungimea la aproximativ 80 m. Aceste recomandări se aplică doar cadrului din oțel – rosturile de dilatare trebuie prevăzute în închiderile exterioare rigide, cum ar fi zidăria. Atunci când se prevăd rosturi de dilatare, acestea sunt de obicei amplasate la schimbări semnificative de formă în planul clădirii, la modificări ale numărului de niveluri sau pentru a separa părți ale clădirii aflate pe fundații diferite.

### 3.2 Combinații de încărcări

Combinațiile de încărcări pentru o anumită stare limită sunt prezentate în Clauza 8.3.4 din EN 1990, pentru diferite situații de proiectare: persistentă (adică utilizarea finală a structurii), tranzitorie, accidentală și cazuri de proiectare seismică. Această secțiune se concentrează pe prima utilizare, prin urmare sunt luate în considerare doar combinațiile fundamentale de încărcări. Pentru starea limită de rezistență (STR), combinațiile de acțiuni pot fi obținute cu Expresia 8.12, sau Expresiile 8.13 și 8.14 din EN 1990.

Atunci când o structură este proiectată pentru o durată de viață de 100 de ani, fiabilitatea țintă trebuie crescută pentru a reflecta perioada mai lungă de expunere. EN 1990 indică indici de fiabilitate de ordinul  $\beta \approx 5.2$  pentru o perioadă de referință de 1 an și  $\beta \approx 4.3$  pentru 50 de ani. Deși aceste valori  $\beta$  sunt asociate frecvent cu Clasa de Consecință 3 (CC3), o structură CC2 cu o durată de viață extinsă poate atinge nivelul de fiabilitate cerut adoptând măsurile de diferențiere a fiabilității descrise mai jos.

#### **Opțiunea A: Amplificarea coeficienților parțiali ( $K_{FI} = 1.1$ )**

Tabelul A.1.9 din EN 1990 permite utilizarea unui factor global de diferențiere a fiabilității  $K_{FI}$ . Aplicarea  $K_{FI} = 1.1$  asupra coeficienților parțiali pentru acțiunile nefavorabile din combinațiile fundamentale ridică fiabilitatea la nivelul cerut. Când se folosește  $K_{FI}$ , combinațiile de încărcări trebuie evaluate folosind Expresia (8.12) din Clauza 8.3.4.2(2) din EN 1990; expresiile (8.13) și (8.14) ar da o fiabilitate mai scăzută. Supravegherea și

inspecția normală (EXC2) pot fi suficiente doar dacă evaluarea riscului confirmă că obiectivul de fiabilitate a fost atins. În caz contrar, supravegherea mai strictă (EXC3) ar trebui să însoțească utilizarea  $K_{F1} = 1.1$ .

Combi-națiile fundamentale de încărcări se obțin apoi din următoarea expresie generală, în care „+” înseamnă „a fi combinat cu”:

$$\underbrace{\sum_{j \geq 1} 1.5G_{k,j}}_{\text{Acțiuni permanente nefavorabile}} + \underbrace{\sum_{h \geq 1} G_{k,h}}_{\text{Acțiuni permanente favorabile}} + 1.65Q_{k,1} + \sum_{i > 1} 1.65\psi_{0,i}Q_{k,i} \quad (3.11)$$

### Opțiunea B: Creșterea Clasei de Execuție și a Supravegherii

O alternativă este specificarea unei clase de execuție mai ridicate (de exemplu, EXC3 sau EXC4) împreună cu inspecții și întreținere îmbunătățite. Această abordare îmbunătățește fiabilitatea realizată fără a modifica coeficienții parțiali de încărcare. Totuși, Anexa A.5 din EN 1993-1-1 stipulează că o clasă de execuție mai ridicată nu trebuie folosită pentru a justifica reducerea coeficienților parțiali de rezistență.

Proiectarea cu  $K_{F1} = 1.1$  (sau cu EXC3) oferă o capacitate suplimentară, care poate facilita relocarea sau reutilizarea viitoare a structurii în regiuni în care parametrii de proiectare sunt diferiți. Criteriile inițiale astfel obținute păstrează conformitatea cu cerințele standard de fiabilitate pentru CC2 pe 50 de ani, chiar și după modificări semnificative ale parametrilor din anexele naționale.

Atât amplificarea factorilor parțiali cu  $K_{F1} = 1.1$  cât și creșterea clasei de execuție pot atinge obiectivele de fiabilitate pentru o structură CC2 cu durată de viață proiectată de 100 de ani. Proiectantul trebuie să documenteze strategia aleasă, să verifice indicele de fiabilitate folosind Expresia (8.12) din EN 1990, și să se asigure că regimul de supraveghere și inspecție este adecvat măsurilor adoptate de diferențiere a fiabilității.

## 4 REUTILIZAREA PRIN PROIECTARE ȘI DETALII DE EXECUȚIE ÎMBUNĂȚITE

### 4.1 Proiectarea structurală pentru clădiri din oțel parter

Trei forme de clădiri din oțel cu un singur nivel sunt identificate pentru studiul oportunităților de a facilita reutilizarea prin proiectare. Acestea includ grinzi de acoperiș (grinzi din profile laminate la cald simple sau continue sau structuri tip grinzi cu zăbrele) și stâlpi. Grinzile, stâlpii, îmbinările și bazele stâlpilor sunt elementele structurale ale cadrului clădirii. În ceea ce privește reutilizarea elementelor structurale sau a cadrelor întregi, se aplică principiile generale, care sunt prezentate mai jos.

Cadrul clădirii este proiectat mai întâi global, ca un ansamblu de elemente, luând în considerare caracteristicile îmbinărilor. Pentru a facilita reutilizarea, caracteristicile îmbinărilor ar trebui definite clar, iar recomandarea generală este utilizarea îmbinărilor considerate fie articulații (notionally pinned), fie rigide, în prima utilizare, dacă aceleași elemente urmează să fie folosite integral într-o a doua aplicație.

În urma analizei structurale, se obțin eforturile pentru fiecare combinație de încărcări, care sunt utilizate pentru verificarea rezistenței și stabilității elementelor, ținând cont de elementele secundare. Pentru încărcările de serviciu, se calculează deplasările pentru a putea evalua acceptabilitatea sistemului structural în ceea ce privește efectul său asupra închiderilor, podurilor rulante și utilizării generale a clădirii.

Sistemele structurale de bază sunt prezentate în termeni simpli în Fig. 4.1.

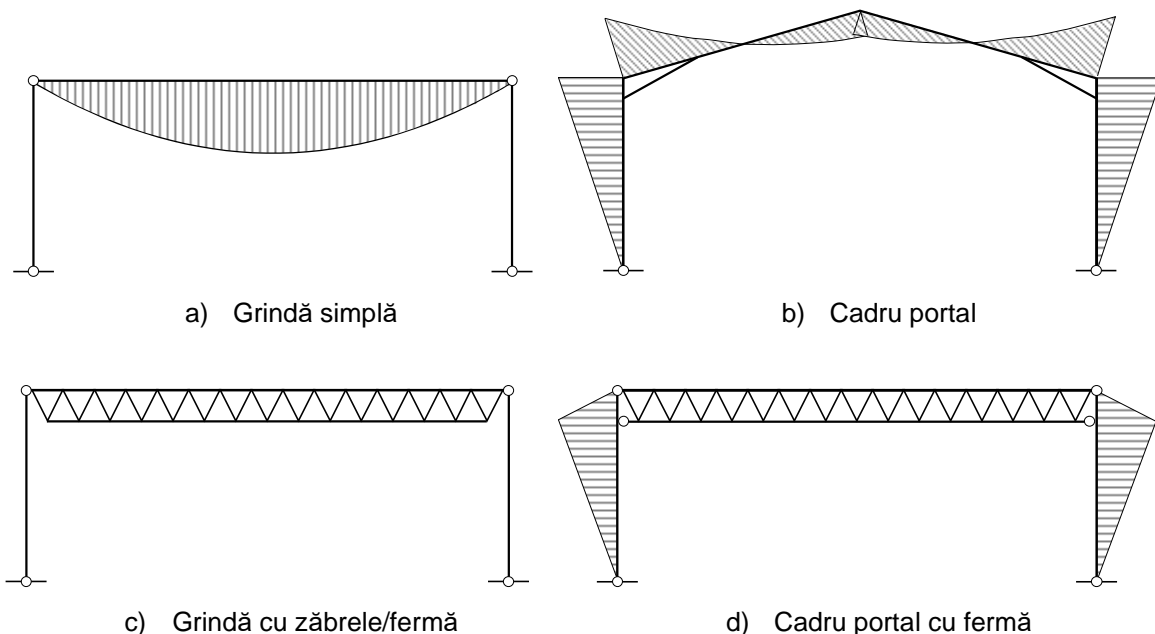


Fig. 4.1 Concepte structurale pentru structura metalică principală și diagrame de moment încovoietor în urma analizei elastice globale (după [29])

## 4.2 Standardizarea în structuri metalice pe un singur nivel

Capacitatea de a atinge un nivel rezonabil de standardizare a structurii principale depinde de:

- Forma construcției, deoarece cadrele portal au grinzi de acoperiș înclinate, iar fermele au forme reticulate bine definite,
- Cerințele dimensionale pentru structură și distanța dintre cadre,
- Înălțimea stâlpilor, care depinde de utilizarea spațiului și de necesitatea unui etaj intermediar etc.,
- Încărcările aplicate pe structură, care sunt în general similare într-o anumită regiune și tip de clădire.
- Utilizarea minimă a unor elemente structurale și secundare diferite, pentru lungimi de bare și încărcări date,
- Proiectarea îmbinărilor cu șuruburi și standardizarea componentelor acestor îmbinări,
- Proiectarea frontoanelor (cadrele de capăt) astfel încât să fie de aceeași formă cu cadrele interioare,
- Proiectarea și detalierea stâlpilor pentru a funcționa atât ca stâlpi de margine, cât și ca stâlpi interiori într-un posibil scenariu de cadru portal cu mai multe deschideri,
- Îmbinările la streșină trebuie să evite, pe cât posibil, utilizarea de segmente cu vută; soluția cu plăci simple de capăt, cu rânduri de șuruburi deasupra și dedesubtul grinzii de acoperiș, este recomandată; pentru deschideri mai mari, soluția cu vută este necesară pentru rezistență și/sau rigiditatea îmbinării. Proiectantul trebuie să țină cont că introducerea unei vute la coamă are o influență redusă asupra proiectării generale a barelor și asupra stabilității generale a cadrului.

### 4.2.1 Oportunități pentru reutilizare în structurile cu cadre din oțel

Un sistem convențional de cadre portal oferă posibilitatea reutilizării componentelor individuale, deoarece majoritatea elementelor primare sunt lungi, cu un raport deschidere-înălțime secțiune de 40–50 pentru stâlpi și 50–65 pentru grinzi de acoperiș (identificate cu verde în Fig. 4.2). Lungimile marcate cu verde pot fi separate de zonele mai critice (identificate cu roșu în această figură) prin tăiere, pentru a obține segmente de grinzi și stâlpi.

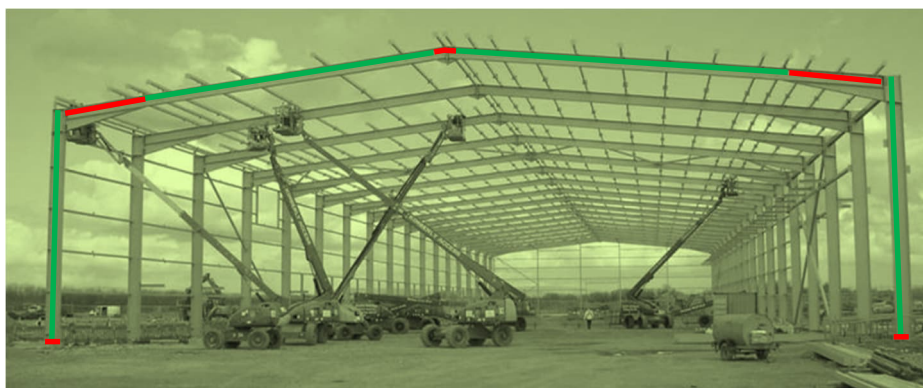


Fig. 4.2 Oportunități de reutilizare a cadrelor din oțel: segmente cu modificări minore

Proiectarea cadrelor din oțel este recomandată pentru următoarele dimensiuni standardizate:

- Incrementul de deschidere de 3 m. Deschiderile tipice sunt de 30 m, 36 m și 42 m utilizând secțiuni laminate,

- Panta acoperișului de 6° față de orizontală,
- Distanța dintre cadre de 6 m sau 7,5 m, cu 7,5 m preferată pentru sistemele de pane de acoperiș și rigle de perete,
- Stâlpi cu o înălțime standard până în vârful stâlpului de 7,5 m (6 m poate fi utilizat pentru deschideri mai mici de 30 m și 7,5 m pentru deschideri mai mari). Înălțimea până la partea inferioară a vutei poate fi cu până la 1 m mai mică decât înălțimea stâlpului,
- Proiectarea stâlpilor pentru o încărcare suplimentară de la un etaj intermediar (mezanin), dispus pe o rețea pătrată de 7,5 m, cu nivelul planșeului la 4 m deasupra plăcii de la parter, ceea ce ar necesita stâlpi cu lungimea de 7,5 m; abordarea cu rețea pătrată asigură că stâlpii pot fi utilizați într-o posibilă aplicație viitoare cu mai multe deschideri,
- Lungimea vutei de (10 până la 12)% din deschidere și o înălțime egală cu de două ori cea a grinzii de acoperiș, 10% fiind recomandarea ca dimensiune standard,
- Cadrul de fronton trebuie să fie identic cu cadrele curente pentru a facilita extinderea clădirii,
- Baze de stâlpi cu 4 șuruburi, pot fi considerate ca articulații nominale (articulate) la starea limită ultimă, dar pot oferi o anumită rigiditate la rotire pentru calculele de deplasare laterală,
- Contravântuirile sub formă de secțiuni tubulare circulare sau pătrate, cu un domeniu de dimensiuni ale secțiunii transversale (diametru/lățime) între 130 mm și 200 mm și lungimi între 3 m și până la (dar exclusiv) 12 m între cadre (cu distanțare de 7,5 m); a se evita utilizarea contravântuirilor în formă de „X”; este preferabilă utilizarea unui număr mic de elemente robuste care pot fi recuperate fără modificări.

#### 4.2.2 Cadru standard cu segmente sudate la streășină și la coamă

Folosind recomandările prezentate în secțiunea anterioară, un cadru portal poate fi compus din componente standardizate pentru a facilita reutilizarea grinzilor și a stâlpilor, fie într-un cadru portal similar, fie într-o construcție în general. Aceste componente sunt prezentate în Fig. 4.3 și sunt:

- Segmente fabricate de vută la streășină (2 buc.) cu lungimea  $L_h \approx 0.1L$  până la  $0.12L$ , unde  $L$  este deschiderea totală a cadrului,
- Segment fabricat de vută la coamă (1 buc.) cu lungimea  $L_a \approx 0.1L$ ,
- Grinzi (2 buc.) cu lungimea,  $L_b = 20h_b$ , unde  $h_b$  este înălțimea secțiunii grinzii,
- Stâlpi (2 buc.) cu lungimea totală,  $L_c = 20h_c$ , unde  $h_c$  este înălțimea secțiunii stâlpului.

Deschiderea totală a cadrului este dată de:

$$L = 2 (L_b + L_h) \cos\theta + L_a \quad (4.1)$$

unde  $\theta$  este panta grinzii de acoperiș față de orizontală = 6°.

Înălțimea vutei,  $h_h$ , este aproximativ  $2h_b$ . Aceasta poate fi realizată din plăci de oțel. Placa de capăt a vutei are, de regulă, 15 mm sau 20 mm grosime. Un total de  $4 \times 2$  sau  $6 \times 2$  șuruburi M20 până la M24 preiau eforturi de întindere în partea superioară a îmbinării, iar  $2 \times 2$  șuruburi M20 până la M24 preiau eforturi de forfecare la baza îmbinării.

Având în vedere forma diagramei de moment încovoietor în zona de coamă, dimensiunea segmentului fabricat poate fi redusă la minimum, astfel încât să permită realizarea îmbinărilor dintre grinzile de acoperiș.

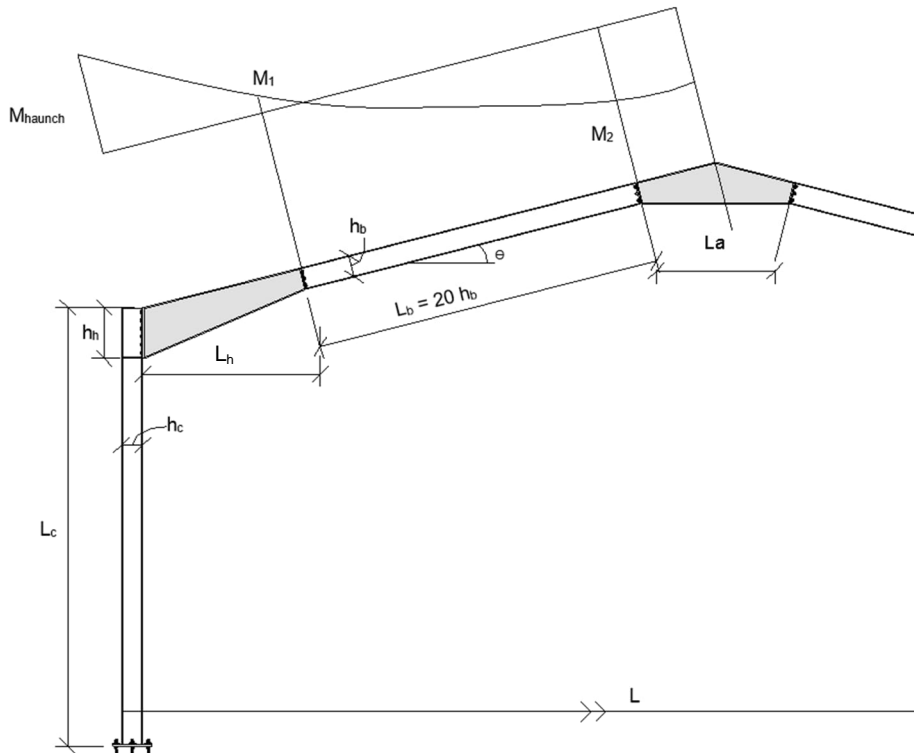


Fig. 4.3 Componente reutilizabile într-un cadru din oțel **Error! Reference source not found.**

#### 4.2.3 Grindă de cadru cu vută prinsă cu șuruburi

Alte oportunități de a crește reutilizarea componentelor unui cadru portal sunt prezentate în Fig. 4.4, care prezintă un detaliu cu vută prinsă cu șuruburi. În acest caz, se folosesc șuruburi de înaltă rezistență între segmentul de vută separat și grinda de acoperiș înclinată.

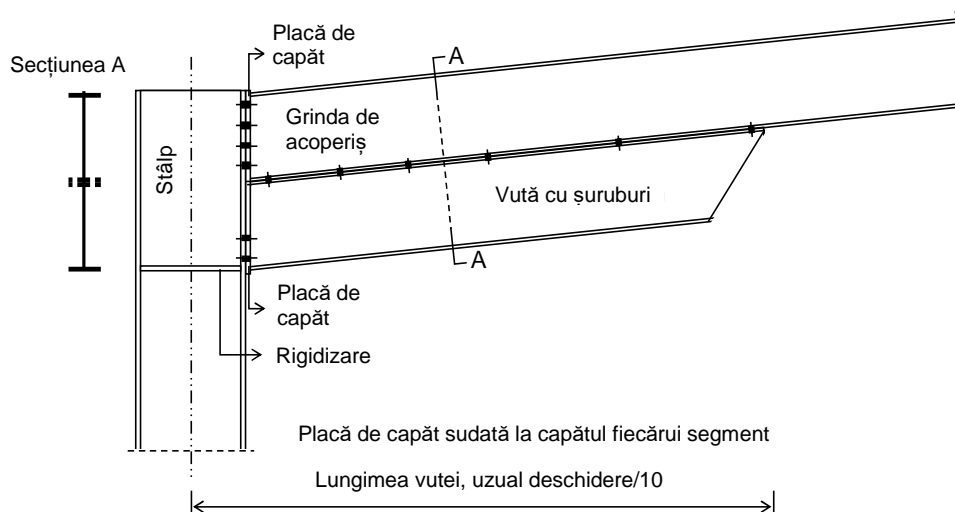


Fig. 4.4 Componentele unei vute prinsă cu șuruburi **Error! Reference source not found.**

Un exemplu similar de segment cu vută este prezentat în Fig. 4.5 cu un profil fabricat cu secțiune variabilă. Același sistem poate fi utilizat pentru îmbinarea la coamă prezentat în Fig. 4.6. Atât vuta prinsă cu șuruburi, cât și grinda de acoperiș au plăci de capăt sudate individual, ceea ce permite ca comportarea îmbinării să fie similară cu cea a unei îmbinării uzuale de streașină într-un cadru portal. Fig. 4.5 și Fig. 4.6 prezintă alternative pentru îmbinările la streașină și la coamă.

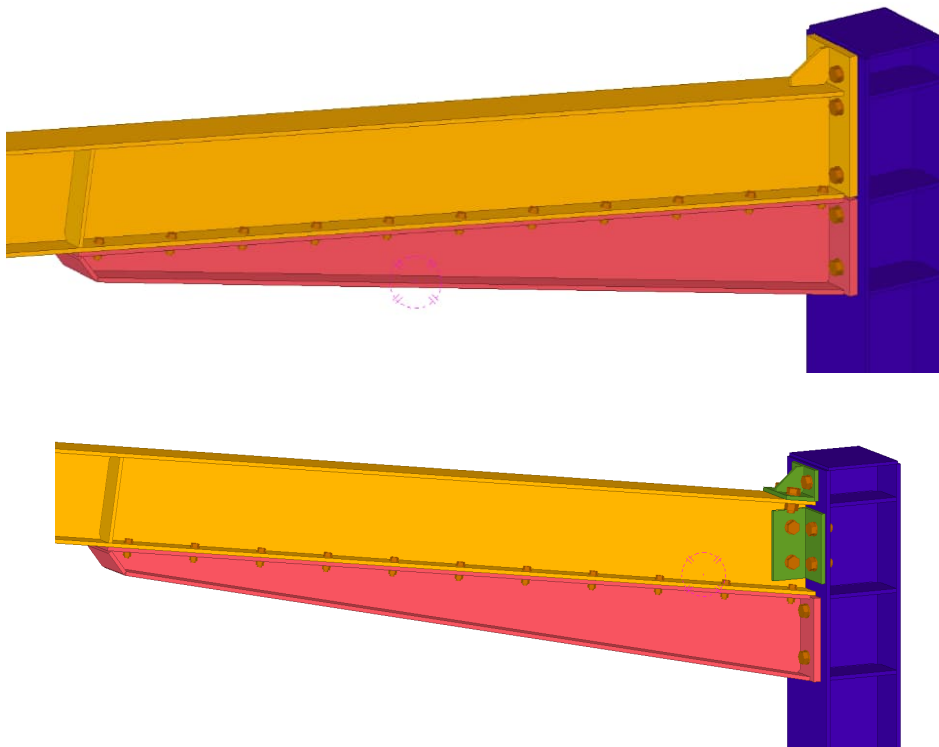


Fig. 4.5 Segmente cu secțiune variabilă la streașină prinse cu șuruburi (cadru portal)

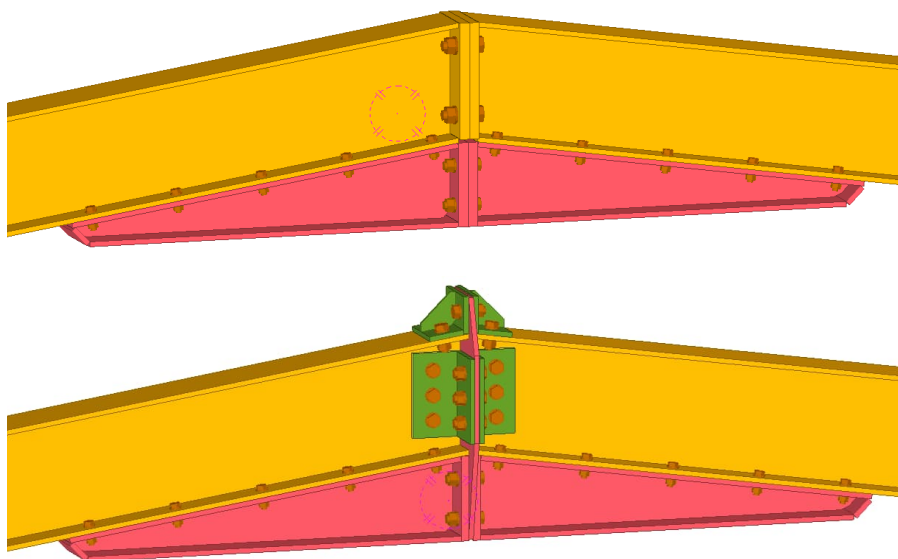


Fig. 4.6 Componente ale coamei prinse cu șuruburi (cadru portal)

#### 4.2.4 Cadru portal cu contrafișe

Pentru cadrele cu deschideri mici și medii, vuta poate fi înlocuită cu o contrafișă folosind o secțiune tubulară pătrată (SHS), prinsă între grinda de acoperiș și talpa stâlpului cu 4 șuruburi (vezi Fig. 4.7). Aceste șuruburi acționează la forfecare și întindere, în funcție de momentul încovoietor aplicat. De exemplu, contrafișa înclinată este la un unghi de  $45^\circ + 3^\circ = 48^\circ$  față de orizontală, astfel încât capetele contrafișei au detalii la același unghi față de axa elementului. Contrafișa va fi, în general, un element SHS, amplasat aproximativ la 1...1.5 m sub axa îmbinării elementelor, astfel că poate interfera cu utilizarea spațiului interior. Inima stâlpului și inima grinzii de acoperiș vor trebui rigidizate local printr-o rigidizare parțială. Pentru a permite reutilizarea pe întreaga lungime a grinzii de acoperiș, se recomandă utilizarea unei plăci de capăt prinsă cu șuruburi, compatibilă cu utilizarea în aplicații generale.

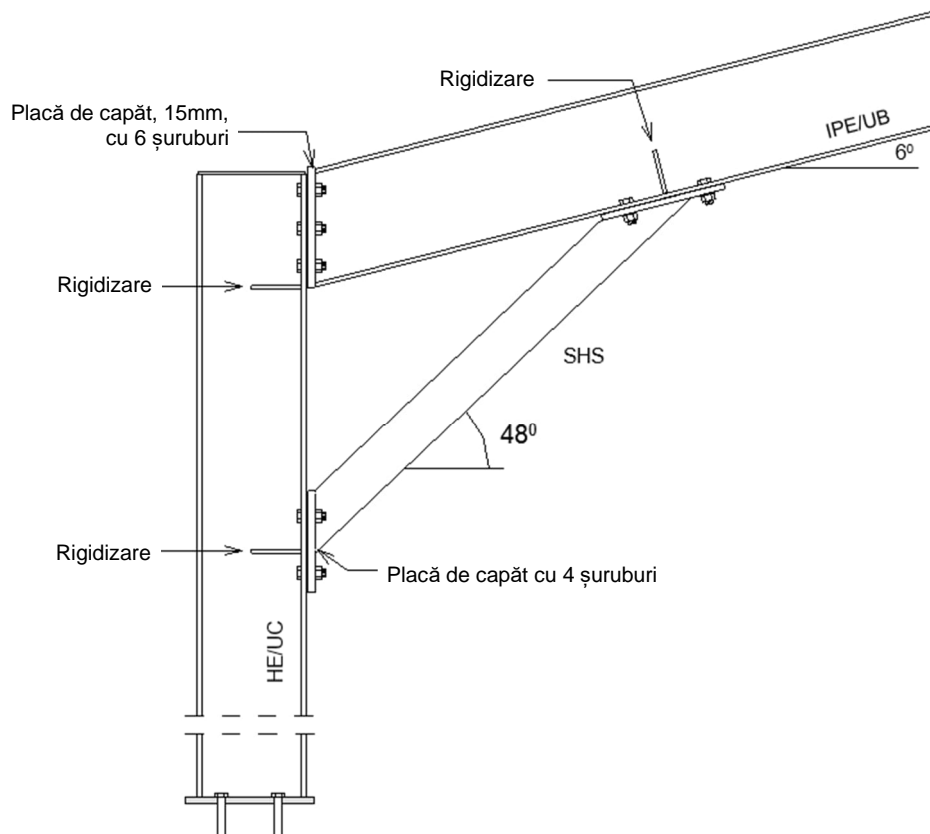


Fig. 4.7 Contrafișă într-un cadru din oțel **Error! Reference source not found.**

Același detaliu cu contrafișe poate fi utilizat și la coamă, însă în acest caz rigidizarea este orizontală. Este mai puțin eficientă în rezistența la încovoiere decât vuta, din cauza înclinării reduse a grinzii cadrului.

### 4.3 Prinderea stâlpilor în fundații

Există trei forme generice de îmbinări la bază care pot fi luate în considerare în funcție de dimensiunea structurii, și anume:

- Îmbinări articulate pentru cadre portal cu deschidere mică, folosind corniere prinse cu șuruburi. Un exemplu este prezentat în Fig. 4.8a. Pentru a facilita operațiile de turnare a mortarului, îmbinarea propusă poate fi prinsă cu șuruburi pe o placă de bază care oferă un nivel constant la partea inferioară,
- Îmbinări cu plăci de capăt, care au o anumită rigiditate la încovoiere, dar sunt tratate în mod normal ca articulații, cu excepția cazului în care placa de capăt se extinde în afara stâlpului. Utilizarea rigidizărilor sudate suplimentar nu este recomandată pentru a facilita reutilizarea stâlpilor,
- Un detaliu de prindere la bază pentru stâlp, care este fixat prin șuruburi, cu frecare, așa cum se arată în Fig. 4.8b, poate transfera un moment încovoiător mare către fundație. De asemenea, acesta poate fi combinat cu utilizarea unei îmbinări înclinate cu șuruburi pentru contravântuiri, așa cum este ilustrat în figură.



a) Articulată  
b) Încastrată  
Fig. 4.8 Exemple de îmbinări la baza stâlpilor demontabile

Este evident că bazele stâlpilor ar trebui să fie accesibile pentru a permite demontarea ușoară, fără deteriorări și fără a fi necesare lucrări majore de demolare. Un exemplu de detaliu care permite această accesibilitate este prezentat în Fig. 4.9.



Fig. 4.9 Exemplu de îmbinare la bază accesibilă [30]

#### 4.4 Soluții pentru reutilizarea grinzilor cu zăbrele / fermelor

În principiu, reutilizarea grinzilor cu zăbrele din oțel sudate este favorabilă deoarece acestea sunt îmbinate cu stâlpii prin șuruburi. Grinzile cu zăbrele sunt rezistente pe axa principală de încovoiere și sunt ușor de demontat. Grinzile cu zăbrele sudate sunt proiectate și fabricate pentru deschideri și încărcări specifice și este dificil să se realizeze modificări ale deschiderii fermei.

O configurație tipică de grindă cu zăbrele este prezentată în Fig. 4.10. Aceasta este de obicei fabricată din două piese care sunt asamblate cu îmbinări de continuitate la coamă și în mijlocul tălpii inferioare. Aceste îmbinări sunt solicitate la întindere sau compresiune, în funcție de direcția încărcării. Îmbinarea la stâlp poate fi, fie articulată, fie încastrată (de exemplu, grindă cu zăbrele din Fig. 4.10 acționează ca încastrată față de stâlp, în timp ce cea din Fig. 4.11 este articulată).

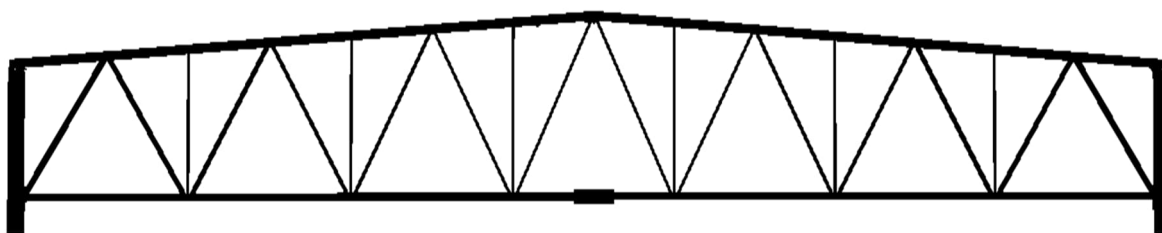


Fig. 4.10 Configurație tipică de grindă cu zăbrele cu panta acoperișului de 1:20 (~3°) [31]

Principiile care ghidează reutilizarea grinzilor cu zăbrele sunt următoarele.

- Grinzile cu zăbrele ar trebui luate în considerare pentru deschideri care depășesc 30 m și sunt preferate acolo unde sunt aplicate încărcări suplimentare asupra fermei, inclusiv instalații suspendate sau pasarele,
- Grinzile cu zăbrele ar trebui să aibă un raport deschidere-înălțime grindă de aproximativ 20 și astfel o fermă poate avea 2 m înălțime la coamă pentru o deschidere de 40 m. Prin urmare, un raport deschidere-înălțime de 20 poate fi adoptat ca standard pentru reutilizare și acesta poate fi considerat foarte rigid la încovoiere,

- Din cauza costurilor mai mari de fabricație, ideal, grinzile cu zăbrele ar trebui să fie amplasate la 7,5 m sau chiar 9 m distanță, în funcție de forma elementelor secundare,
- O grindă cu zăbrele ar trebui să fie fabricată din profile structurale cu secțiune închisă (SHS), în care tălpile și diagonalele au aceeași lățime, astfel încât să poată fi transferate forțe axiale mari fără a introduce încovoieri în tălpile secțiunilor SHS,
- Pentru grinzi cu zăbrele cu deschidere mai mare de 50 m, este posibil să nu fie posibilă livrarea fermelor în două segmente egale și, prin urmare, pot fi necesare îmbinări intermediare. Aceste îmbinări ar trebui să fie în pozițiile de sfert de deschidere,
- Lățimea tălpilor grinzii cu zăbrele este aleasă în mod normal astfel încât acestea să fie stabile la compresiune sub propria greutate atunci când sunt ridicate în două puncte la un unghi presupus de  $45^\circ$ . Pentru un segment de grindă cu zăbrele de 20 m lungime, cu puncte de ridicare la 12 m distanță, zveltețea în direcția transversală nu ar trebui să depășească 200, caz în care lățimea minimă ar fi de 150 mm (adică  $150 \times 150$  pentru secțiuni SHS sau  $150 \times 100$  pentru secțiuni RHS),
- Talpa superioară este relativ stabilă la compresiune atunci când este rigidizată de paneele acoperișului, dar talpa inferioară ar trebui, în general, să fie stabilizată la jumătatea deschiderii în cazul acțiunii vântului (sucțiune) asupra acoperișului. Aceasta poate fi realizată printr-o diagonală înclinată către o grindă la nivelul coamei,
- Grinzile cu zăbrele pot fi proiectate să transfere momente de încovoiere semnificative către stâlpi prin considerarea efectului de cadru și astfel structurile care utilizează grinzi cu zăbrele sunt eficiente în ceea ce privește rezistența lor la forțele orizontale, cu condiția ca talpa inferioară să fie stabilizată printr-o contravântuire în plan transversal.

O opțiune de a îmbunătăți reutilizarea grinzilor cu zăbrele sudate din oțel este schimbarea configurației tipice a fermei astfel încât aceasta să fie livrată întotdeauna în două bucăți cu înălțime uniformă și cu tălpile superioare și inferioare paralele, așa cum este prezentat în Fig. 4.11. Sistemul ar trebui să permită montarea grinzii cu zăbrele de acoperiș la diferite pante și, astfel, să permită un mic interval de variație a deschiderilor grinzii cu zăbrele. Cele două jumătăți ale fermei sunt îmbinate în mijloc cu piese de îmbinare specifice proiectului, pentru a se adapta la pante ale acoperișului cuprinse între  $3^\circ$  și  $10^\circ$ . Conectorii sunt proiectați cu șuruburi care lucrează la forfecare, iar detalii sunt prezentate în Fig. 4.12.

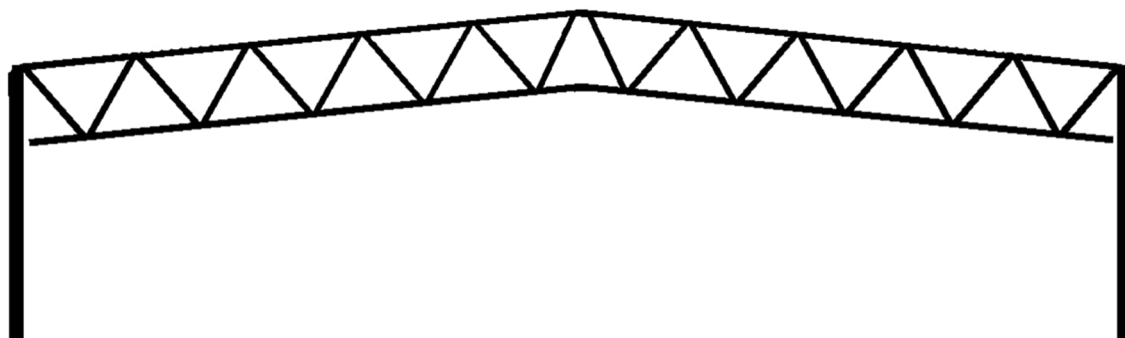


Fig. 4.11 Sistem de grindă cu zăbrele din oțel cu un potențial crescut de reutilizare [31]

Pentru a menține efectul cadrului a acestor grinzi cu zăbrele cu stâlpii, trebuie utilizată o piesă de îmbinare între capetele tălpii inferioare a grinzii cu zăbrele și talpa stâlpului.

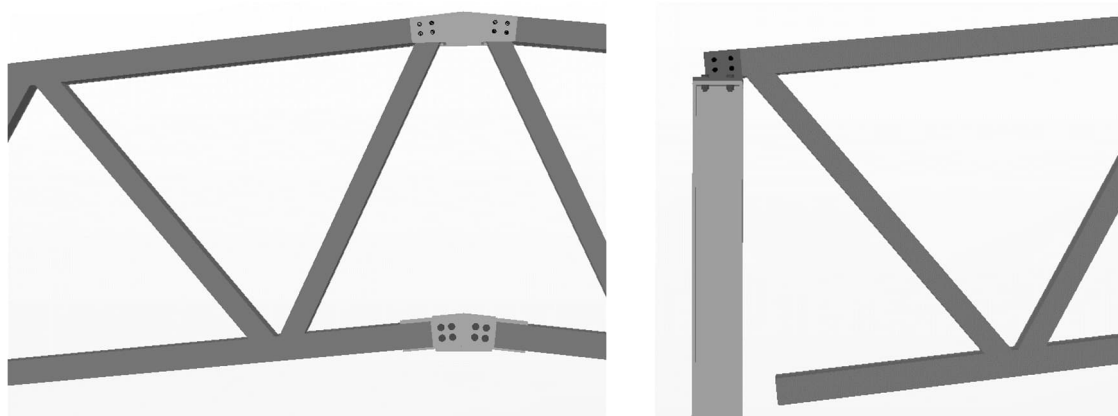


Fig. 4.12 Îmbinări care permit asamblarea fermei la pante diferite [31]

#### 4.5 Structuri contravântuite pe contur

Structurile contravântuite pe contur oferă bune oportunități de reutilizare deoarece componentele structurale pot fi ușor standardizate. Toate îmbinările dintre elemente pot fi articulate, ceea ce necesită detalii simple și un număr minim de șuruburi. Soluția necesită un sistem de contravântuire în direcția longitudinală a clădirii și contravântuiri de acoperiș, susținute de cadrele de fronton contravântuite, care oferă stabilitate în plan a cadrelor (vezi Fig. 4.13). Acest concept este utilizat pe scară largă în structuri temporare și poate fi luat în considerare pentru clădiri cu un singur nivel și deschideri mici.

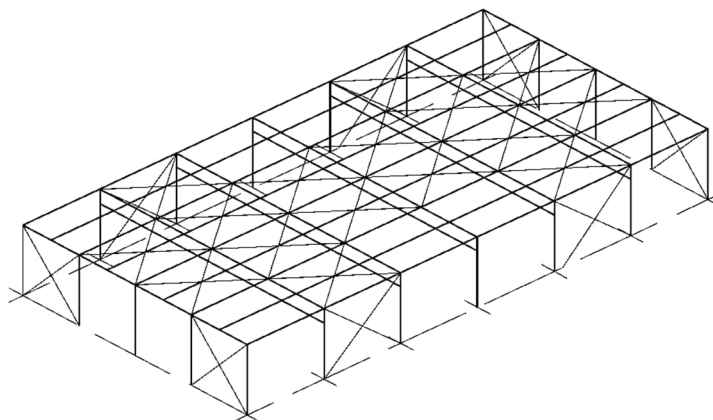


Fig. 4.13 Exemplu de structură contravântuită pe contur **Error! Reference source not found.**

#### 4.6 Planșee

Se recomandă ca planșeele să se bazeze pe o rețea de stâlpi cu multipli de 1,5 m, de obicei de 6 m. Se propune utilizarea unei valori de 4 m ca înălțime standard deasupra pardoselii de la parter pentru un cadru cu înălțimea la streășină de 7,5 m. Planșeele ar trebui să utilizeze o rețea de grinzi secundare articulate la capete cu îmbinări simple cu corniere (vezi Fig. 4.14a).

Elementele cu aceeași secțiune transversală ar trebui să aibă aceeași detaliere la îmbinări. La conectarea grinzilor pe axa minimă de inerție a unui stâlp, îmbinările cu corniere (cleated connections) pot să nu fie posibile. Pentru astfel de cazuri, poate fi utilizat un detaliu de prindere cu guseu (vezi Fig. 4.14b). Recomandarea generală este ca pentru grinzile de planșeu să nu fie utilizată sudarea. Dacă sunt utilizați stâlpi din secțiuni tubulare, se recomandă soluții de tip Holo-Bolt sau Blind-Bolt (vezi Fig. 4.15).

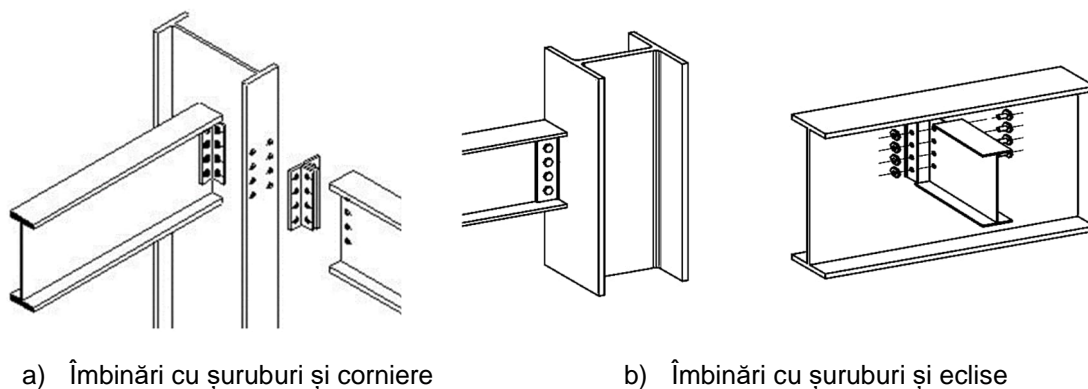


Fig. 4.14 Îmbinări recomandate pentru grinzile planșeelor



Fig. 4.15 Soluții Holo-Bolt și Blind-Bolt [32]

O alternativă la îmbinările cu corniere și eclise este sistemul prezentat în Fig. 4.16, care poate accelera procesele de montare și demontare. Îndrumări privind acest concept pot fi găsite în referința [33].



Fig. 4.16 Îmbinări Quicon [34]

Unul dintre detaliile critice care împiedică reutilizarea planșelor este îmbinarea permanentă dintre placa de planșeu și grinzi, așa cum este soluția tradițională de planșee compozite cu conectori sudați. Pentru a crește reutilizarea grinzilor de planșeu, este încurajată utilizarea soluțiilor de planșeu demontabile, precum cele prezentate în Fig. 4.17 până la Fig. 4.20.



Fig. 4.17 Sistem demontabil de planșeu folosind elemente prefabricate și contravânturi în planul planșeului [29]

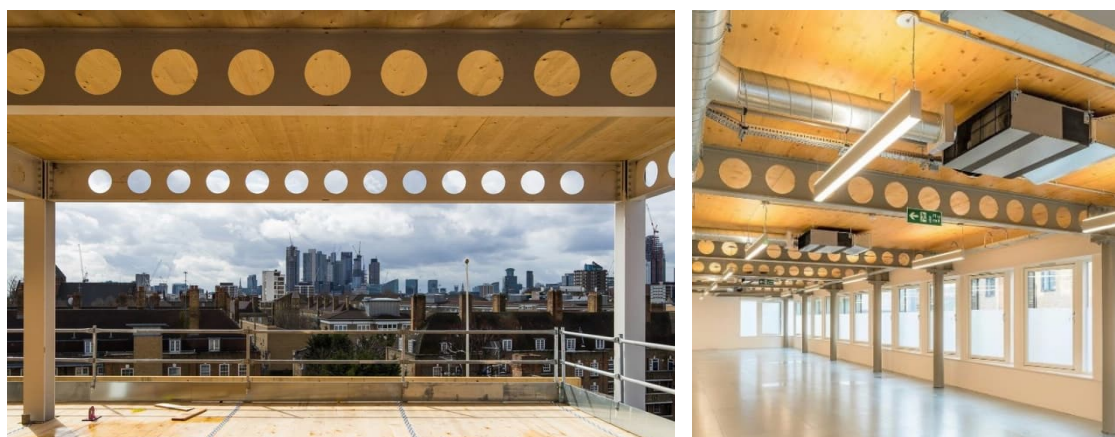


Fig. 4.18 Sistem de planșeu demontabil folosind lemn lamelat încrucișat (CLT) [36]

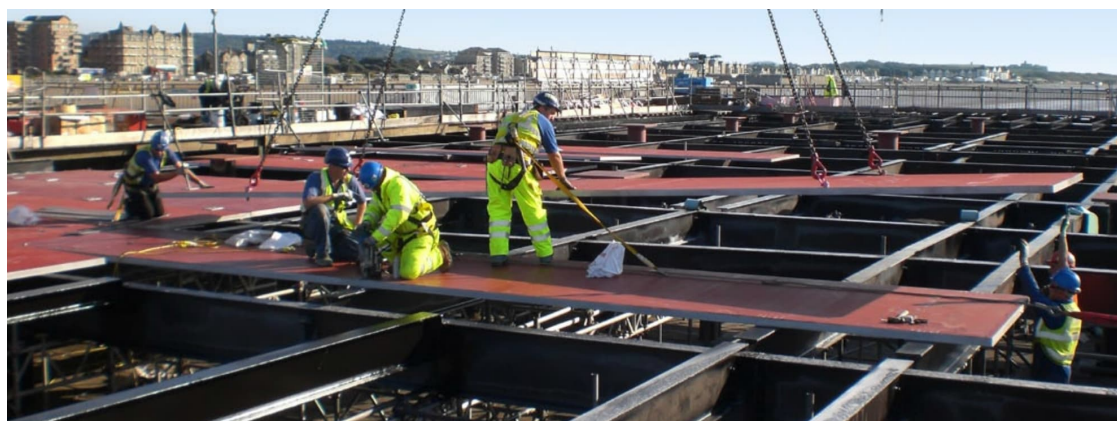


Fig. 4.19 Sistem de planșeu demontabil cu panouri de oțel cu miez polimeric (SPS) [37]

Soluția de planșeu compozit demontabil propusă în Fig. 4.20 oferă avantajul demontării împreună cu rigiditatea și rezistența sporită furnizate de acțiunea compozită dintre grinda de oțel și stratul de beton turnat peste tabla de oțel. Prevederi pentru analiza și proiectarea unor astfel de sisteme se poate găsi în referința [35].

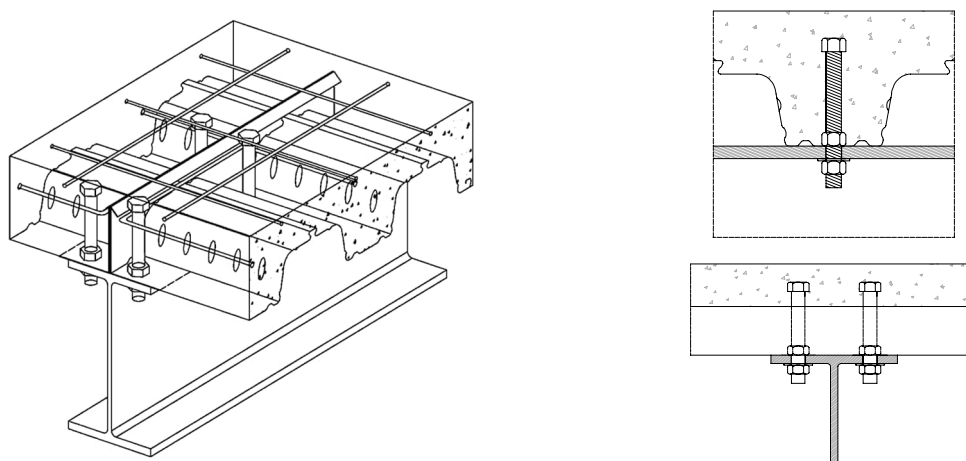


Fig. 4.20 Sistem de planșeu compozit demontabil care permite reutilizarea segmentelor de planșeu [35]

## 4.7 Elemente secundare din oțel și închideri

Elementele secundare din oțel și închiderile sunt cele mai critice două categorii de elemente, pentru o clădire cu un singur nivel eficient reutilizabilă. Acest lucru este legat de numărul considerabil de îmbinări și prinderi utilizate între structura principală și structura secundară, precum și la închideri. Îndepărtarea uneia dintre aceste două categorii va facilita procesul de demontare și reutilizare. Prin urmare, ori de câte ori este posibil, se recomandă utilizarea sistemelor de închideri cu deschideri mari, care evită montajul pe șantier al elementelor secundare din oțel. Pentru cazurile în care este utilizată structura secundară, numărul acestor elemente ar trebui redus la minimum, ceea ce va contribui la reducerea numărului de îmbinări între aceste categorii.

### 4.7.1 Elemente secundare din oțel

Elementele secundare sunt de obicei sub formă de pane cu secțiune Z, pentru acoperișuri, și rigle de perete cu secțiune C, pentru pereți. Secțiunile Z sunt adesea proiectate prin dublare sau suprapuneri peste reazeme pentru a beneficia de continuitate, panourile fiind prinse cu șuruburi prin intermediul unor piese fixate pe talpa superioară a grinzilor de acoperiș. Pentru a facilita reutilizarea grinzilor de acoperiș, aceste elemente trebuie să fie fixate cu șuruburi utilizând minimum 2 șuruburi la un pas de 1,8 m de-a lungul grinzii de acoperiș (prin urmare, se recomandă o distanță minimă între pane de 1,8 m). Pentru o deschidere de 7,5 m, panele cu manșoane au adesea o adâncime de 250 mm.

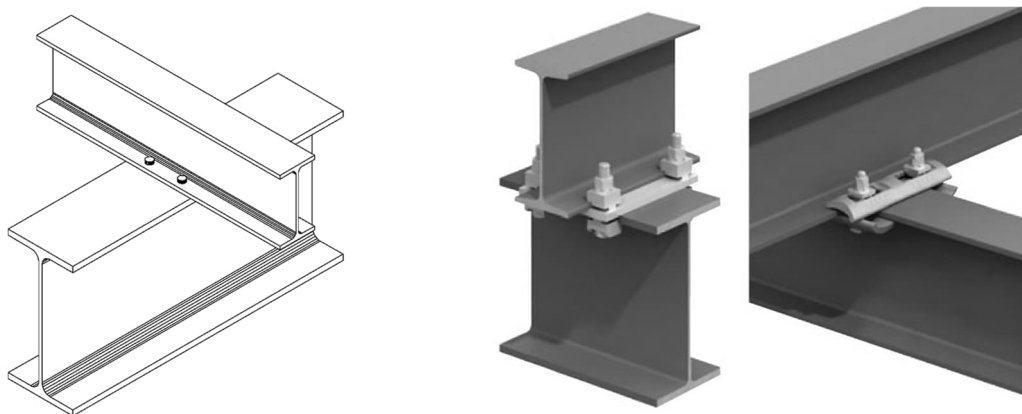
În multe țări, sistemele de casete structurale sunt utilizate ca alternativă la riglele de perete cu secțiune C, deoarece acestea susțin închiderea exterioară și izolația în casete structurale. Casetele sunt mai eficiente pentru distanțe între stâlpi de până la 6 m.

Panele în formă de omega ar trebui luate în considerare pentru aplicațiile de reutilizare, deoarece nu necesită elemente suplimentare, fiind prinse direct cu șuruburi de grinzi. Totuși, ele nu sunt, în general, adecvate pentru aplicații cu deschideri mari (deschideri > 6 m), doar dacă se folosesc manșoane (elemente de dublare cu secțiune diferită) sau suprapuneri.

Barele de susținere laterală (ar trebui evitate cât mai mult posibil, deoarece necesită mult mai multă manoperă la fața locului. Acestea introduc goluri în structura secundară care pot afecta reutilizarea. Acest lucru poate conduce la o soluție cu greutate mai mare, deși procesul de asamblare este mai rapid. Riglele de perete au de obicei bare de susținere laterală pentru a le menține în poziție în timp ce sunt montate elementele de învelitoare. Cu o analiză și proiectare corespunzătoare privind acțiunile în plan și în afara planului, barele de susținere laterală pot fi, de asemenea, evitate.

#### 4.7.2 Sisteme alternative pentru elemente secundare din oțel

Soluția comună pentru elementele secundare din oțel se bazează pe pane și rigle laterale formate la rece, care oferă de obicei o soluție economică pentru o distanță de 1,8 m până la 2 m între elemente. O măsură posibilă de reducere a numărului de îmbinări între straturile clădirii ar fi utilizarea unor distanțe mai mari între pane/rigle laterale (de ex., 3,5–4 m). Aceasta va necesita pane mai rezistente și mai rigide, pentru care poate fi utilizată o secțiune tubulară (de obicei dreptunghiulară) sau o secțiune laminată la cald. Beneficiul continuității pentru elementele secundare din oțel poate fi obținut utilizând bine-cunoscutul sistem *Gerber*, care folosește îmbinări simple în elementele continue situate în punctele de moment încovoietor egal cu zero. Pentru o secțiune deschisă, sistemul nu ar necesita sudarea de pane/rigle cu elemente auxiliare. Pentru secțiunile deschise, nu sunt necesare corniere și alte accesorii, deoarece elementele secundare din oțel pot fi prinse direct cu șuruburi de structura principală (Fig. 4.21a). Ca alternativă, poate fi explorată soluția cu cleme, deoarece evită găurirea elementelor metalice (vezi Fig. 4.21b).



a) Îmbinare cu șuruburi între pana laminată la cald și structura principală b) Îmbinare cu cleme între pana laminată la cald și structura principală [38]

Fig. 4.21 Îmbinări între pane laminate la cald și structura principală

#### 4.7.3 Închideri

Sistemele de închidere sunt de obicei fixate cu șuruburi autofiletante și autoperforante, ceea ce afectează reutilizarea învelitorii. În plus față de prinderile dintre închideri și structura

secundară, sunt necesare șuruburi suplimentare între panourile de învelitoare, ceea ce crește volumul de muncă necesar pentru demontare. Aceste prinderi sunt realizate în partea superioară a nervurii profilului de acoperiș pentru a preveni pătrunderea apei. Necesitatea elementelor de tinichigerie la marginile clădirii crește complexitatea sistemului, precum și numărul de prinderi necesare. Exemple sunt detaliile de streășină și aticurile de fronton, detaliile de coamă sau pur și simplu îmbinările pereților.

Aspectul-cheie pentru un sistem de închidere cu reutilizare mai crescută este legat de numărul și tipul de prinderi utilizate între elementele de învelitoare și, între învelitoare și structura secundară/principală. Îmbinările cu șuruburi sunt recomandate pentru toate operațiunile de montare a învelitorii, inclusiv pentru elementele de tinichigerie. Locațiile șuruburilor ar trebui, ideal, să fie ascunse, utilizând îmbinări de tip falț dublu între panouri.

Cu pante standardizate ale acoperișului, ar putea fi posibilă dezvoltarea de detalii standard pentru streșini, aticuri, coame etc., cu cât mai puține îmbinări cu șuruburi, ceea ce ar putea reduce volumul de muncă la fața locului pentru montare și demontare.

După cum s-a menționat mai sus, utilizarea panourilor de închidere cu deschidere mare este încurajată, deoarece nu sunt necesare pane de acoperiș/rigle de perete. Prin reducerea unui strat al clădirii, s-ar obține o reducere considerabilă a numărului de îmbinări, ceea ce ar putea permite o creștere a reutilizării sistemului de învelitoare.

O măsură potențială pentru a promova practica curentă în clădirile cu un singur nivel mai eficientă pentru reutilizare este îmbunătățirea prinderilor sistemelor de învelitoare de structura secundară. Panourile tip sandwich sau casetele de acoperiș ar putea avea elemente pre-atașate care să permită ajustarea clemelor în funcție de poziția structurii secundare. Aceasta poate duce la o instalare mai complexă a învelitorii, însă, cu un astfel de sistem, numărul de îmbinări ar putea fi redus la minimum, crescând potențialul de reutilizare al elementelor secundare din oțel și al învelitorii.

O zonă clară de interes este investigarea unor soluții noi, panouri pentru acoperișuri și pereți, cu deschidere mare (6–10 m). Dacă se dezvoltă un sistem adecvat de îmbinare (cu șuruburi sau cleme, cu puncte clare de demontare), aceste elemente ar putea fi ușor demontate și reutilizate (a se vedea secțiunea 4.7.5).

Practica cea mai frecventă pentru panourile de închidere cu deschidere mare (6–8 m) se bazează pe table trapezoidale cu cută înaltă (Fig. 4.23) sau panouri sandwich groase pe acoperișuri (Fig. 4.24 și Fig. 4.25) și panouri sandwich instalate orizontal pe pereți între cadre (Fig. 4.22). Astfel de soluții sunt practicate frecvent în Finlanda și Suedia, unde cerințele de izolare termică necesită, de obicei, panouri groase, care sunt, în consecință, rezistente structural, permițând instalarea orizontală între elementele structurale principale fără a fi nevoie de pane.

O soluție posibilă pentru panourile de perete tip sandwich cu îmbinări cu cleme este prezentată în Fig. 4.22.

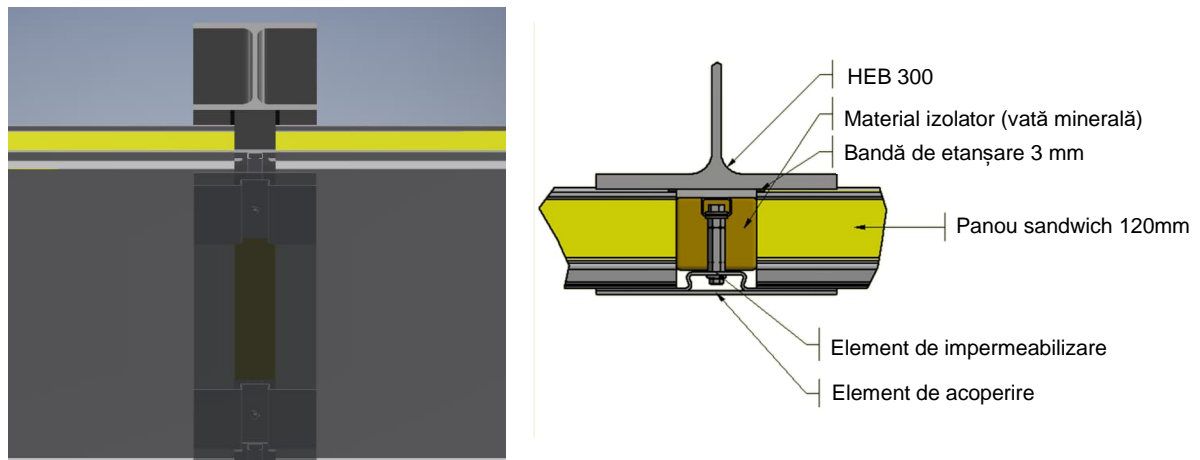


Fig. 4.22 Sistem de prindere cu cleme pentru închideri de perete cu deschidere mare

Utilizarea tablei trapezoidale cu cută adâncă este potrivită pentru pantele standard propuse ale acoperișului de 3° și 6°, pentru grinzi de acoperiș laminate la cald sau grinzi cu zăbrele. Acoperișul este alcătuit dintr-o soluție stratificată tipică, formată, de obicei, dintr-o tablă trapezoidală, barieră de vapori, strat de izolație (vată minerală sau PIR) și membrană (PVC sau bitum). Tabla trapezoidală cu cută adâncă poate beneficia de comportament continuu peste structura principală prin intermediul unei suprapuneri. Se poate considera o suprapunere tipică de 0,10 x deschidere peste reazeme. Ca alternativă, pot fi utilizate principiile sistemului *Gerber*, pentru care se poate considera o suprapunere de 150 mm. Se recomandă o lățime minimă a tălpii superioare de 150 mm pentru a sprijini tabla de oțel.



Fig. 4.23 Exemplu de sistem de acoperiș cu tablă trapezoidală cu cută adâncă [31]

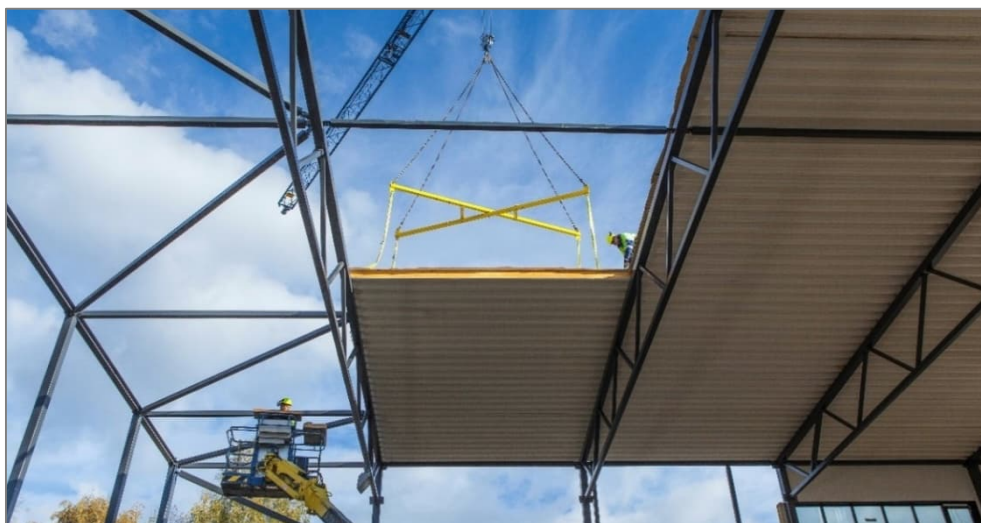


Fig. 4.24 Exemplu de sistem de acoperiș cu panouri compozite cu deschidere mare [31]

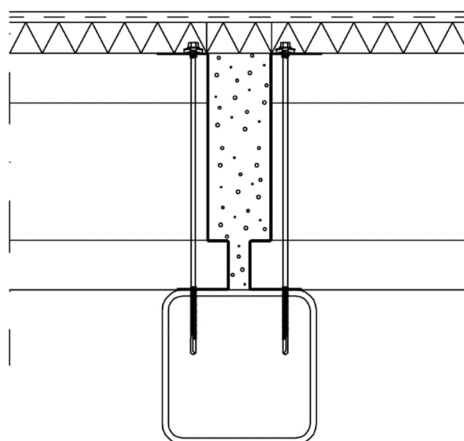


Fig. 4.25 Îmbinări între panoul compozit cu deschidere mare și structura principală [31]

#### 4.7.4 Utilizarea casetelor prefabricate din oțel

Casetele prefabricate sunt adesea utilizate la planșee și acoperișuri în construcțiile de locuințe cu structură ușoară din oțel. Casetele structurale sunt alcătuite din secțiuni de tip C formate la rece, care reazemă între secțiuni Z sau U la capetele lor. Pentru planșee, distanța dintre secțiunile C este de 400 sau 600 mm, iar lungimea maximă a casetelor este de 2,4 m, astfel încât să fie adecvate pentru transport și ridicare mecanizată.

Aceeași formă de casetă poate fi utilizată și pentru acoperișuri (accesibile doar pentru întreținere) și pereți în cadre, pentru deschideri de 6 până la 7,5 m. Casetă poate fi prinsă de talpa superioară a unei grinzi de acoperiș printr-o secțiune Z marginală, așa cum se arată în Fig. 4.26.

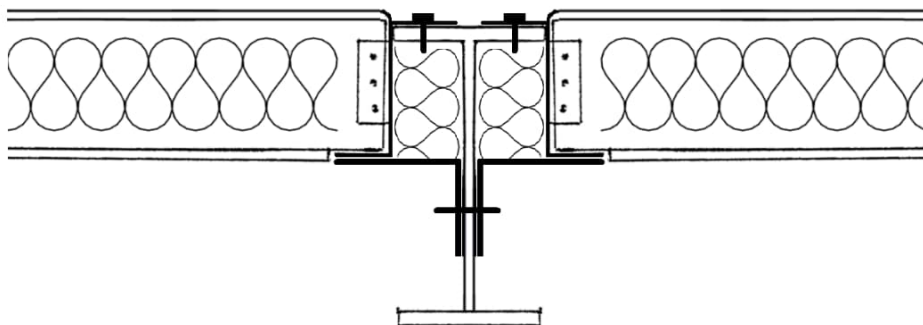


Fig. 4.26 Utilizarea casetelor prefabricate izolate pentru acoperiș sau planșeu înglobate în grosimea grinzii **Error! Reference source not found.**

O alternativă ar fi poziționarea casetei deasupra tălpii, caz în care se folosesc secțiuni U la capetele acestora (Fig. 4.27 și Fig. 4.28). Se poate lăsa un rost între casete pentru a facilita montajul, care poate fi ulterior umplut cu un strat subțire de izolație. Se recomandă o lățime minimă a tălpii superioare de 150 mm. Șuruburile autoperforante cu șaibe de etanșare pot fi utilizate pentru a fixa caseta de structura principală din oțel. Soluția este, de asemenea, adecvată pentru o structură cu grinzi cu zăbrele cu secțiuni tubulare.

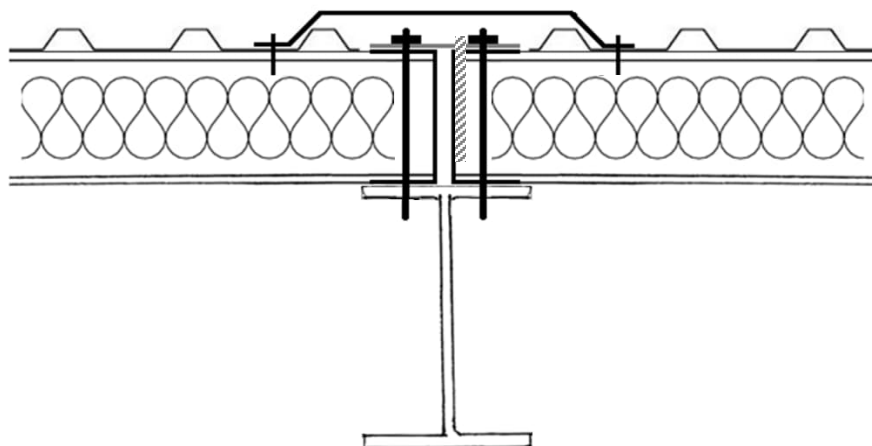


Fig. 4.27 Utilizarea casetelor prefabricate izolate de acoperiș, rezemate pe talpa superioară a grinzii **Error! Reference source not found.**

Pentru încărcări din zăpadă care nu depășesc  $1 \text{ kN/m}^2$ , secțiunile C cu înălțimea de 200 mm sunt adecvate pentru o deschidere de 6 m, iar secțiunile C de 250 mm pentru o deschidere de 7,5 m. Caseta este placată și izolată în afara șantierului, asigurând protecția împotriva intemperiilor în timpul construcției.

Detaliile unei casete tipice de acoperiș sunt prezentate în Fig. 4.28 și Fig. 4.29. Pentru a permite toleranțele, secțiunea Z trebuie să aibă 75 mm lățime și 2–3 mm grosime, poziționată astfel încât să permită obținerea unei suprafețe plane aliniată cu suprafața casetelor. Secțiunile C au o grosime de 1,2–2 mm și sunt plasate la distanțe de 600–900 mm, în funcție de încărcările de pe acoperiș/pardoseală și de deschiderea casetei. Secțiunile C pot avea inimi perforate pentru a îmbunătăți performanța termică a sistemului (posibila pierdere de căldură prin puntea termică a elementului cu 70–80% - Fig. 4.29) [31].

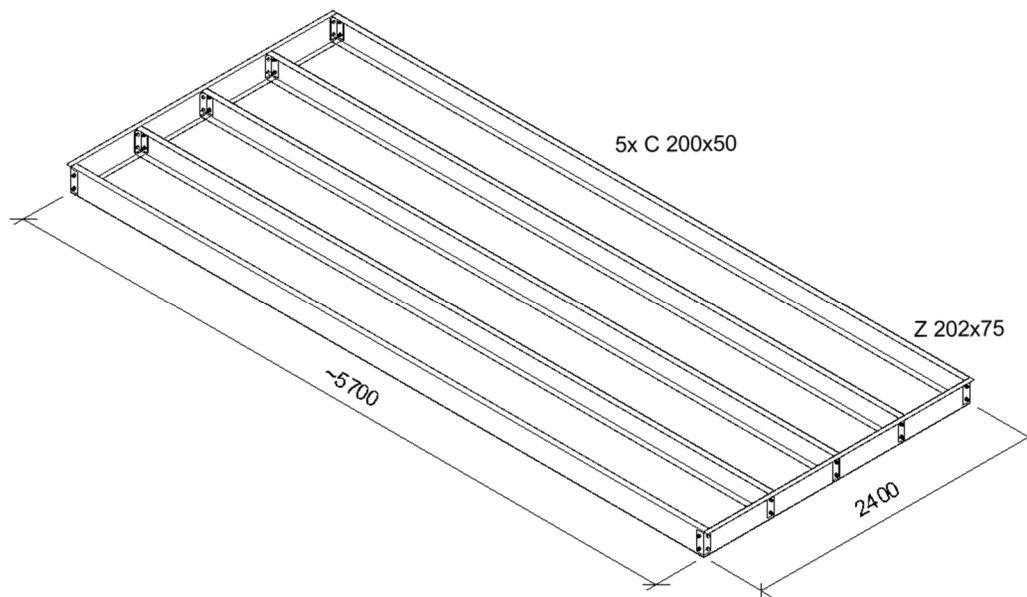


Fig. 4.28 Casetă din oțel utilizată în construcția prefabricată a acoperișului pentru grinzi cu distanța de 6 m (mai puțin lățimea grinzii de aproximativ 300 mm) **Error! Reference source not found.**

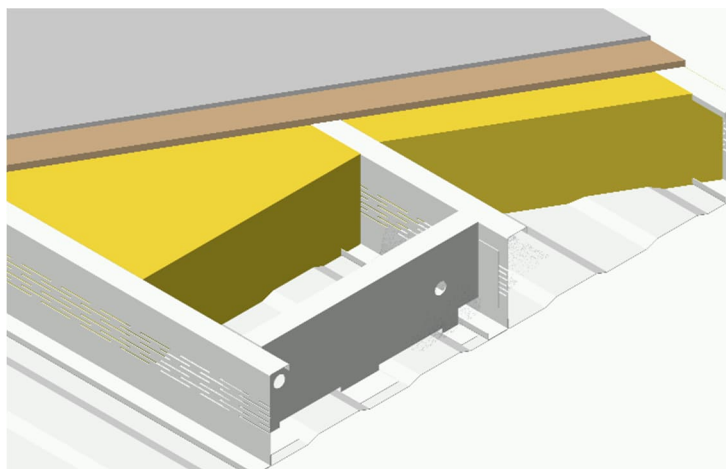


Fig. 4.29 Casetă structurală din oțel cu inimă perforată [31]

Secțiunile C au îmbinări cu corniere cu 3 șuruburi la secțiunile perimetrice Z/U. Eventualele filete de șurub proiectate sunt tăiate pentru a nu interfera cu amplasarea casetei peste grindă. În unele sisteme de casete, se preferă îmbinarea prin sertizare sau nituri perforate pneumatic. Toate îmbinările dintre casete, între casete și grinzi de acoperiș sau elemente de tinichigerie trebuie realizate cu șuruburi.

Pentru a închide stratul de izolație pot fi utilizate plăci OSB sau foi de tablă. Plăcile trebuie să fie durabile în cazul în care caseta este expusă înainte de montarea stratului final al învelitorii. Placa de pe partea inferioară trebuie să fie suficient de robustă și estetică, astfel încât să poată fi lăsată expusă. Plăcile din silicat de calciu oferă, de asemenea, un sistem pasiv de protecție la foc pentru secțiunile C și grinzi.

Acest sistem prefabricat creează o anvelopă de clădire izolată și etanșă la intemperii. Caseta structurală cu izolație din vată minerală atinge un coeficient U de  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Volumul clădirii poate fi, de asemenea, redus datorită casetelor structurale prinse de planșeu/acoperiș și absenței panourilor deasupra grinzilor de acoperiș. Aceasta va duce la economii de costuri pentru sistemul de învelitoare.

Efectul de diafragmă rigidă este asigurat, de asemenea, de placarea aplicată pe casetele structurale pentru planșeu și de șuruburile în grindă. Capace din tablă pentru capete de fixare pot fi utilizate pentru a conecta cele două casete de acoperiș plasate peste o grindă de acoperiș (așa cum se arată în Fig. 4.27), permițând o acțiune îmbunătățită de șaibă rigidă.

În sistemul prezentat în Fig. 4.26, partea superioară a grinzii poate fi izolată între casetele acoperișului pentru a reduce punțile termice. Această operațiune poate fi realizată din interiorul clădirii. Corniere continue suplimentare pot fi fixate cu șuruburi pe inima grinzii, astfel încât prin solicitarea la întindere-compresiune să asigure constrângeri la rotire pentru a preveni flambajul prin încovoiere-răsucire al grinzilor sub moment negativ.

Stratul final de închidere poate fi asigurat printr-o tablă de oțel. Pe piață există o gamă largă de soluții diferite pentru acest scop. Fața inferioară a casetei poate fi acoperită cu tablă sau plăci, în funcție de aplicația casetei sau de cerințele clientului. De exemplu, pentru o casetă structurală folosită la planșeu, de care se va agăța un tavan fals, o placă OSB obișnuită este suficientă; pentru o suprafață expusă pe un acoperiș, se poate folosi o tablă profilată de oțel sau o placă cu aspectul dorit.

Stratul final al învelitorii clădirii poate fi încorporat în caseta structurală (ca la un panou sandwich tipic) sau instalat la fața locului peste secțiunile de fixare tip capac, care au fost atașate anterior plăcii, în afara șantierului. Beneficiul ultimei opțiuni este că tabla de acoperiș poate fi ușor înlocuită în viitor, iar casetele sunt păstrate fără a afecta utilizarea clădirii sau a deteriora caseta în timpul înlocuirii tablei.

Instalații, precum cele de iluminat, pot fi integrate în acest sistem, deoarece secțiunile C pot fi fabricate cu orificii pentru instalații cu diametrul de 150 mm. Casetele structurale pot fi reutilizate pentru alte acoperișuri, unde placarea poate fi îndepărtată și înlocuită dacă s-a deteriorat în timp. Același sistem de casete poate fi utilizat pentru planșeele intermediare sprijinite pe grinzi cu secțiune I din oțel.

Sistemele de casete structurale sunt o alternativă la panourile sandwich cu deschidere mare, care pot să nu fie disponibile pe anumite piețe la un preț competitiv. Casetele structurale permit o soluție mai optimizată pentru o anumită încărcare și deschidere, deoarece nu sunt limitate de dimensiuni standard.

## 4.8 Proiectarea structurală pentru clădiri multietajate din oțel

### 4.8.1 Standardizarea în clădirile din oțel multietajate

Standardizarea în structurile din oțel multietajate reprezintă o abordare importantă, menită să îmbunătățească eficiența și sustenabilitatea construcției clădirilor și a posibilității lor de reutilizare viitoare. Iată câteva aspecte esențiale de avut în vedere:

1. **Proiectare modulară:** Implementarea principiilor de proiectare modulară permite prefabricarea și standardizarea componentelor, făcându-le mai ușor de asamblat, demontat și reutilizat în diferite configurații sau proiecte,

2. **Flexibilitatea proiectării:** Deși standardizarea promovează componente uniforme, ea poate fi integrată cu principiile de proiectare modulară, permițând clădirilor să fie reconfigurate sau extinse cu ușurință,
3. **Standardizarea materialelor:** Utilizarea secțiunilor și conexiunilor din oțel standardizate poate simplifica procesul de proiectare, reduce costurile de fabricație și asigură compatibilitatea la reutilizarea elementelor în structuri noi,
4. **Sisteme de îmbinare:** Standardizarea metodelor de îmbinare poate îmbunătăți ușurința de demontare și reasamblare, ceea ce este vital pentru reutilizarea viitoare. Utilizarea îmbinărilor cu șuruburi în locul celor sudate poate sprijini acest proces,
5. **Documentare și etichetare:** Documentarea și etichetarea corespunzătoare a elementelor structurale pot ajuta la urmărirea componentelor pentru reutilizarea viitoare, asigurând identificarea și refolosirea lor ușoară,
6. **Tehnologii digitale:** Utilizarea Modelării Informaționale a Clădirii (BIM) și a altor instrumente digitale pentru proiectare, oferind o mai bună vizualizare și coordonare a componentelor standardizate,
7. **Evaluarea ciclului de viață:** Integrarea instrumentelor de evaluare a ciclului de viață în faza de proiectare poate ajuta la evaluarea impactului asupra mediului și a sustenabilității materialelor, promovând utilizarea componentelor reutilizabile.

#### 4.8.2 Recomandări pentru clădirile din oțel multietajate

Soluțiile existente pentru clădirile din oțel multietajate, dintre care majoritatea au structuri compozite oțel-beton, prezintă o provocare dificilă pentru recuperarea și reutilizarea elementelor structurale din oțel. Grinzile din oțel sunt prinse de planșeul compozit din beton prin conectori de forfecare cu accesibilitate foarte redusă. Din cauza îmbinării „permanente” dintre oțel și beton, planșeul compozit cu tablă profilată din oțel nu poate fi reutilizat în forma sa inițială, după construcție. Totuși, atât oțelul, cât și betonul pot fi reciclate, asigurând o metodă de eliminare responsabilă față de mediu, chiar dacă reutilizarea directă nu este posibilă.

Astfel, clădirile obișnuite din oțel multietajate sunt, în general, reutilizabile doar in-situ, datorită construcției lor complexe, a acțiunii compozite a materialelor și a considerațiilor ingineresti specifice amplasamentului. Mutarea lor pe un alt amplasament ar necesita reproiectare extinsă, ceea ce le face nepractice pentru majoritatea proiectelor.

Recomandările furnizate în acest ghid pot fi utilizate pentru clădirile din oțel cu mai multe etaje situate în zone neseismice sau în zone seismice DC1 (adică, clasa de ductilitate redusă DCL în proiectarea seismică – acțiune seismică redusă, vezi prEN 1998-1-2 [39]).

Structurile proiectate conform conceptului de comportament structural disipativ trebuie să aparțină claselor de ductilitate structurală DC2 sau DC3. Aceste clase corespund unei capacități crescute a structurii de a disipa energie prin mecanisme plastice. În funcție de clasa de ductilitate, trebuie îndeplinite cerințe specifice într-unul sau mai multe dintre următoarele aspecte: clasa secțiunilor de oțel și capacitatea de rotire a îmbinărilor. Pentru astfel de cazuri, se recomandă utilizarea elementelor din oțel recuperate numai dacă aceste elemente sunt folosite în cel puțin una dintre următoarele condiții: (i) ca elemente ale sistemelor de rezistență la încărcări gravitaționale sau secundare (nu fac parte din sistemul de rezistență la încărcări laterale, cum ar fi grinzile de planșeu articulate), sau (ii) ca elemente care fac parte dintr-o structură având clasa de ductilitate DC1.

Prin urmare, în cazul clădirilor din oțel multietajate situate în zone neseismice sau în zone seismice DC1, cea mai mare provocare este acțiunea compozită a planșeului, ceea ce le face imposibil de reutilizat.

Cadrelor din oțel cu secțiuni laminate la cald și cu planșee prefabricate reprezintă o soluție structurală frecvent utilizată pentru o varietate de tipuri de clădiri multietajate [10]. Această soluție poate rezulta în grinzi metalice necompozite cu plăci de planșeu prefabricate din beton, care reazemă pe talpa superioară a grinzilor din oțel sau pe corniere sudate de inimă, în afara tălpilor grinzii, dar care nu au o legătură structurală cu acestea, ceea ce înseamnă că nu colaborează. Aceasta se deosebește de grinzi compozite din oțel, unde o legătură structurală, cum ar fi conectorii la forfecare, este utilizată pentru a crea un element cu capacitate portantă unificată. Sistemul slim-floor poate fi adoptat pentru a minimiza grosimea structurală a planșeului, caz în care elementele prefabricate se pot rezema pe o talpă inferioară lată sau pe o placă mai lată sudată de talpa inferioară a unei grinzi standard de secțiune H.

Grinda din oțel este proiectată să preia întreaga încărcare singură, fără a se baza pe placa de beton pentru rezistență sau rigiditate suplimentară. Elementele prefabricate funcționează în principal ca suprafață de planșeu și cofraj pentru stratul de beton turnat monolit (dacă este utilizat) și pot, de asemenea, să asigure sprijin lateral pentru grinzi din oțel în timpul execuției. Elementele prefabricate din beton sunt fie panouri cu goluri, în mod uzual cu grosimi de 150–400 mm, fie panouri pline cu grosimi de 75–100 mm. Panourile prefabricate cu goluri pot fi utilizate pentru a acoperi deschideri de până la 15 m (pentru elemente cu grosimi de 400 mm sau mai mari).

Prevederi de proiectare pentru această soluție structurală sunt acoperite în mai multe publicații SCI, cum ar fi: *P287: Design of composite beams using precast concrete slabs* [40], *P342: Design of asymmetric Slimfloor beams with precast concrete slabs* [41] și *P334: Design of multi-storey braced frames* [42].

Peikko [43] a implementat o soluție similară. DELTABEAM® este o grindă compozită de tip planșeu-subțire (slim-floor) care este integrată în planșeu. Grinda este complet umplută cu beton la fața locului. Betonul de umplere și DELTABEAM® formează o structură compozită după întărirea betonului. Grinda DELTABEAM® funcționează ca o grindă de oțel înainte ca betonul de completare să atingă rezistența necesară. Poate fi utilizată în combinație și cu mai multe tipuri de planșee din lemn, inclusiv planșee din lemn masiv stratificat (CLT, GLT, NLT, DLT) și planșee compozite din lemn cu tablă profilată pentru planșeu. De asemenea, pot fi utilizate elemente prefabricate compozite.

Grinzile din oțel necompozite, utilizate împreună cu unități de beton prefabricate, oferă avantaje semnificative pentru reutilizare deoarece ansamblurile lor pot fi demontate cu deteriorări minime, permițând atât grinzilor, cât și plăcilor să fie recuperate intacte. Cu câteva modificări minore, aceste componente pot fi reparate eficient în funcțiune în structuri noi, contribuind la practici de construcție mai sustenabile și circulare.

Proiectul RFCS REDUCE [44] a dezvoltat și testat noi sisteme de planșee compozite demontabile și a furnizat ghiduri de proiectare și informații practice despre fabricarea și detalierea acestor sisteme, pentru primul și al doilea ciclu de utilizare. Scopul a fost susținerea economiei circulare, precum și producția în serie a elementelor structurale și integrarea lor în BIM sau alte instrumente digitale. Elementele demontabile realizate din

grinzi, planșee și îmbinările ajustabile din oțel formează baza unui sistem structural „plug-and-play” [45] (vezi Fig. 4.30).

Au fost efectuate teste push-out și teste pe grinzi pentru sistemele noi de conectori de forfecare demontabili. Testele au fost efectuate pe planșee prefabricate și compozite, folosind șuruburi de frecare și conectori cu sistem de cuplare încastrați, unele sisteme utilizând rășină injectată pentru a reduce alunecarea inițială.

În plus, a fost realizat la Universitatea de Tehnologie Delft un test la scară reală pe un tronson de parcare demontabilă, cuprinzând patru plăci prefabricate (7,2 m x 2,6 m) din beton așezate pe trei grinzi cu secțiune variabilă din oțel, de 14,4 m. Acțiunea compozită a fost realizată folosind conectori cu sistem de cuplare încastrați, injectați cu rășină. Testele au fost concepute pentru a înțelege utilitatea și costurile de asamblare, demontare și reasamblare a planșeelor compozite pentru parări.

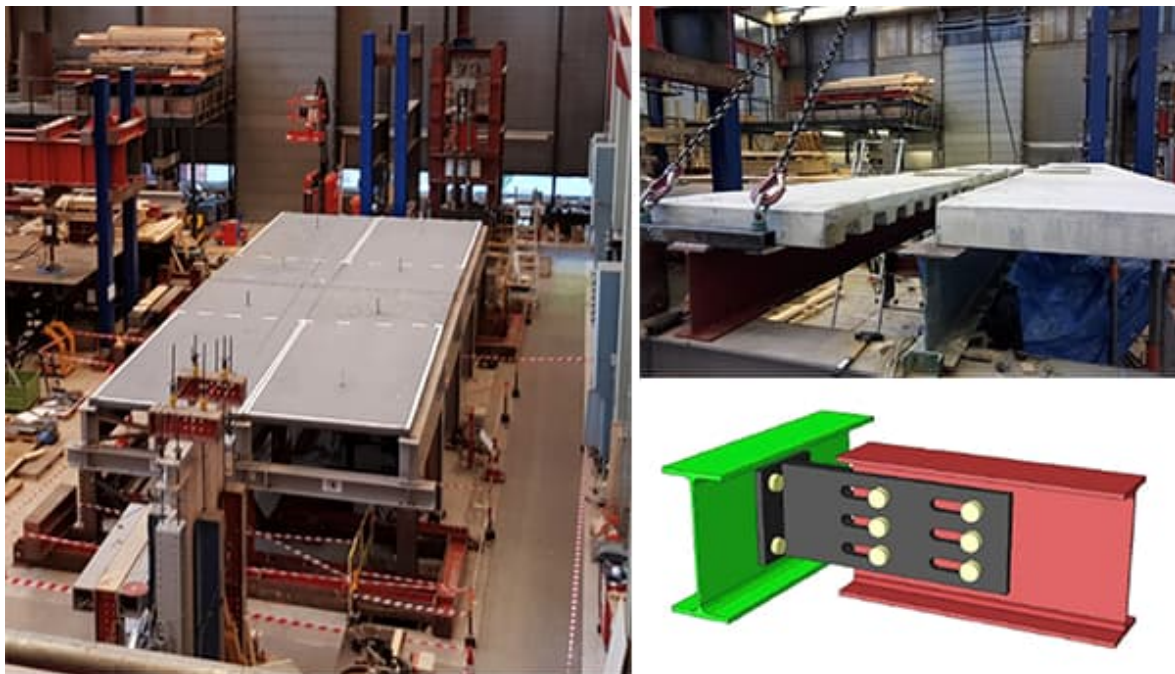


Fig. 4.30 Prezentare generală a încercărilor experimentale [44], [46], [47]

Au fost realizate, de asemenea, teste pe grinzi compozite cu diferiți conectori de forfecare demontabili și în diferite aranjamente. După testarea în domeniul elastic din primul ciclu, unele plăci au fost tăiate longitudinal, demontate, reasamblate și testate până la cedare. Componenta structurală cheie pentru obținerea unei structuri demontabile și reutilizabile este tipul conectorilor de forfecare (vezi Fig. 4.31) utilizați pentru îmbinarea dintre grinda de oțel și planșeu (pentru plăci turnate in-situ și prefabricate) [44], [46], [47].

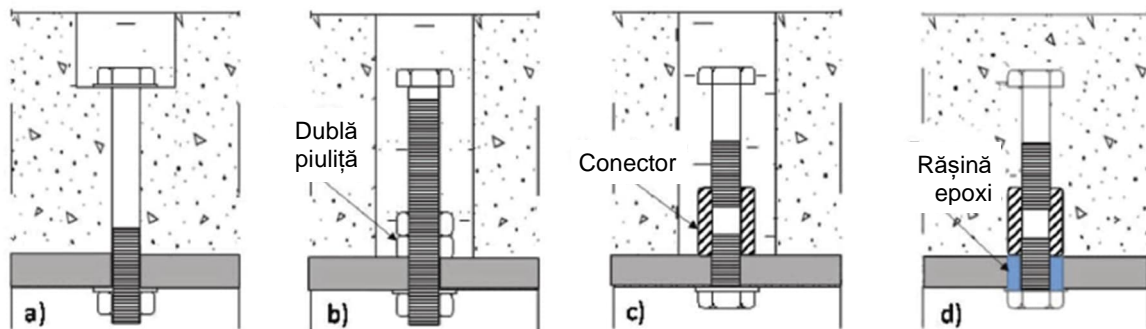


Fig. 4.31 Tipuri de conectori cu șuruburi demontabili: a) conectori de frecare (friction grip bolts), b) sistem cu piuliță dublă (double-nut), c) conectori tip cuplă (coupler system connectors), d) conectori de forfecare cu sistem de cuplare și injectare cu rășină [44]

În plus, au fost efectuate teste pe îmbinări standardizate care facilitează deconstrucția și reutilizarea grinzilor. Acestea au inclus un conector tip bloc pentru îmbinarea grindă-grindă cu găuri alungite [45].

Ghidul de proiectare P428 [48] prezintă o procedură de proiectare și exemple detaliate pentru grinzi compozite utilizând conectori de forfecare demontabili, bazată pe principiile Eurocodului 4 (EN 1994-1-1). Metodologia de proiectare ia în considerare caracteristicile diferite ale conectorilor demontabili, în ceea ce privește rezistența la forfecare, rigiditatea și ductilitatea acestora. Au fost prezentate și datele de proiectare privind performanța a două tipuri de conectori demontabili de forfecare, utilizând șuruburi structurale de înaltă rezistență și sisteme cu cuplare. De asemenea, au fost prezentate mai multe soluții pentru clădiri, elemente hibride sau compozite și îmbinări pentru clădiri multietajate. Totuși, nu există standarde tehnice consacrate pentru proiectarea structurală a structurilor compozite demontabile. Prin urmare, este esențială cercetarea extinsă pentru a construi o bază de date completă și pentru a dezvolta metodologii de proiectare robuste.

Romero și Odenbreit [49] au introdus, de asemenea, un sistem inovator de planșeu compozit demontabil oțel-lemn (SCT) cu potențial de reutilizare. Sistemul de planșeu constă din profile laminate la cald cu secțiuni dublu T și plăci din lemn stratificat (LVL) îmbinate de grinzi din oțel printr-o nouă soluție de conectori de forfecare. Acest sistem de planșeu SCT oferă o alternativă la sistemele tradiționale de planșee oțel-beton. Noile îmbinări de forfecare implementate în grinzi SCT facilitează demontabilitatea, adaptabilitatea, reconfigurarea și relocarea componentelor (vezi Fig. 4.32).

În plus, acest sistem de planșeu prezintă un potențial semnificativ pentru modularizare, standardizare și producție în serie, ceea ce îl face ideal pentru prefabricare în dimensiuni și module standard. Structura poate fi relocată, sau componentele structurale individuale pot fi utilizate în clădiri diferite, aducând astfel beneficii atât de mediu, cât și economice.

Au fost testate două grinzi SCT la scară reală, fiecare cu o deschidere de 10 m, o lățime a plăcii LVL de 2,51 m și o grosime de 144 mm, montate pe un profil din oțel IPE 400, simplu rezemat și încărcate în șase puncte, pentru a evalua răspunsul lor la încovoiere (vezi

Fig. 4.33). Rezultatele celor două teste de încovoiere la scară reală demonstrează capacitățile lor semnificative de rezistență și deformare, precum și potențialul lor de

reutilizare. În plus, rezultatele indică eficacitatea noilor îmbinări la forfecare și integritatea structurală generală a grinzilor.

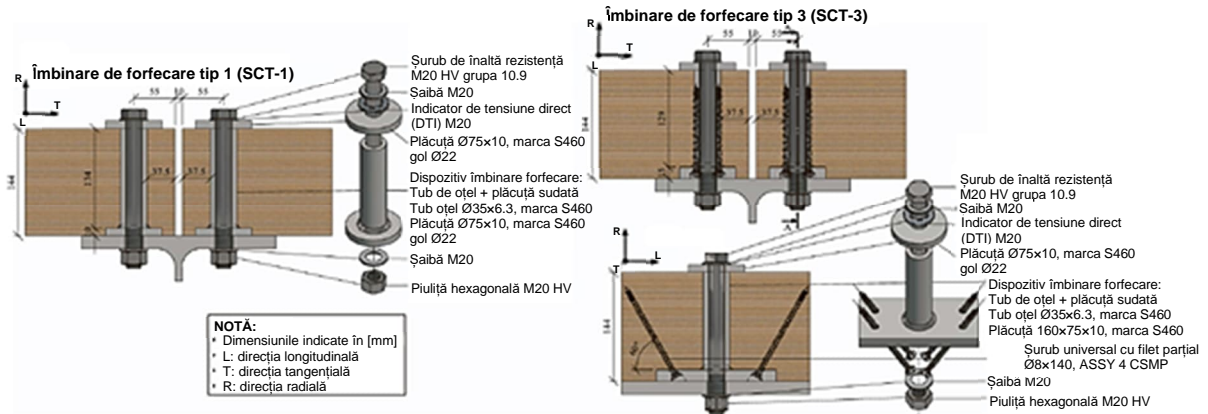


Fig. 4.32 Detalii ale îmbinărilor de forfecare SCT-1 și SCT-3 implementate în grinzile compozite demontabile oțel-lemn încercate experimental [49]

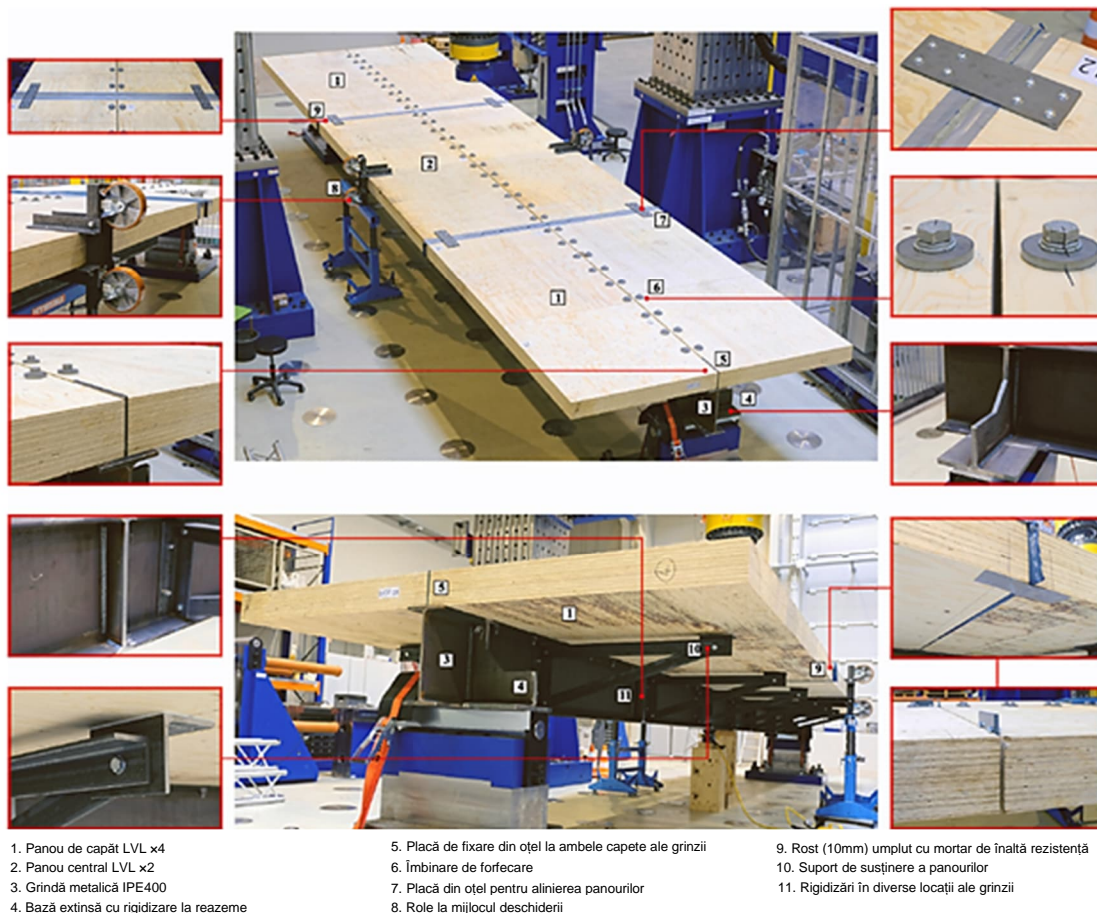


Fig. 4.33 Componentele grinzilor SCT testate [49]

Cercetări similare [50] au evaluat capacitatea de demontare și potențialul de reutilizare al îmbinărilor la forfecare oțel-lemn. Experimentele au inclus configurații cu forfecare dublă cu șuruburi pentru lemn și trei diametre diferite. Mai întâi au fost efectuate încercări monotone pentru fiecare configurație pentru a evalua rigiditatea, rezistența și ductilitatea (vezi Fig.

4.34). Probele complementare au fost apoi testate sub zece cicluri de încărcare-descărcare, la 40% din capacitatea obținută din încercările monotone, pentru a evalua degradarea rigidității, deformările șuruburilor și deteriorarea panourilor din lemn stratificat încrucișat (CLT). După demontare și măsurători, epruvetele au fost reasamblate și încercate până la cedare. După demontare, șuruburile au prezentat deformații permanente, iar panourile de lemn au prezentat deteriorări minore în timpul încărcării ciclice. Epruvetele reasamblate au avut rigiditate, rezistență, ductilitate și moduri de cedare similare cu cele ale epruvetelor încercate monoton. Aceste observații sugerează că atât secțiunea de oțel, cât și panourile CLT pot fi complet reutilizate structural, iar măsurătorile încercărilor pot fi adoptate într-un indice de reutilizare structurală pentru indicatori de circularitate ai clădirilor.

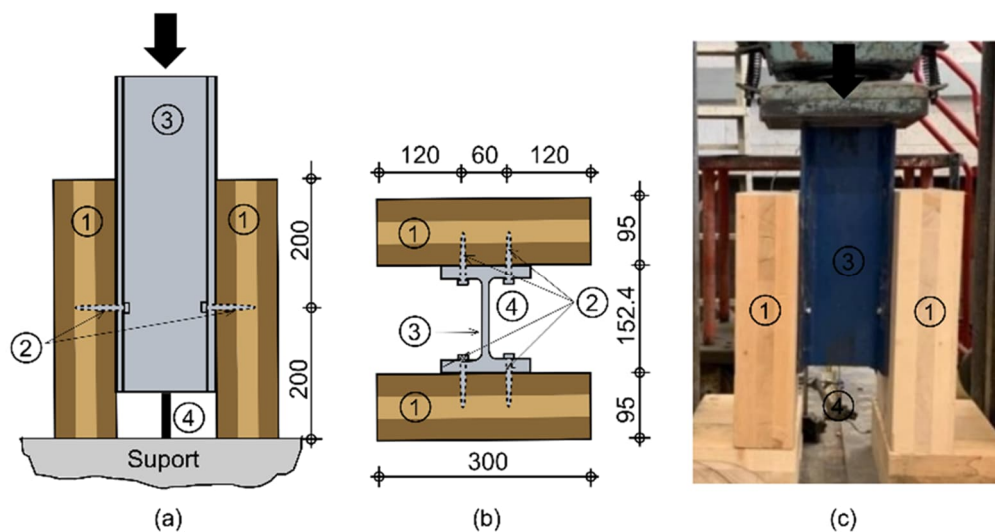


Fig. 4.34 Configurația speciemenelor testate: a vedere schematică frontală, b) vedere de sus, c) imagine a unui specimen de încercare (legendă: (1) panou CLT, (2) șuruburi, (3) profil din oțel, (4) captor / săgeata indică punctul de aplicare al încărcării)

Ghidul de proiectare 37, *Hybrid Steel Frames with Wood Floors* [51], încurajează utilizarea sistemelor de planșee din lemn masiv în construcții. Ghidul oferă un context cuprinzător pentru această nouă tipologie de clădiri, detaliind strategii pentru accelerarea utilizării structurilor hibride din lemn și oțel în construcții rezidențiale și comerciale cu mai multe etaje. Lemnul masiv este ușor, iar oțelul oferă rezistență structurilor și poate răspunde mai bine cerințelor de vibrații și deschideri ale clădirilor. Ghidul de proiectare 37 și soluțiile prezentate sunt adaptate pentru proiectarea în vederea dezasamblării și reutilizării viitoare.

Rezultatele recente ale publicației ECCS nr. 145 [52] oferă un ghid solid pentru cercetările viitoare necesare finalizării unui ghid de proiectare pentru structuri hibride compozite oțel-lemn. Recomandările propuse sunt menite să contureze direcții de cercetare viitoare și să furnizeze cunoștințe tehnice pentru dezvoltarea unui cod de proiectare complet pentru structuri compozite din oțel și lemn. Recomandările sunt împărțite în următoarele puncte: (1) materiale și produse din lemn; (2) îmbinări la forfecare; (3) îmbinări; (4) grinzi și planșee; (5) stâlpi; (6) pereți, diafragme și contravântuiri; (7) proiectarea la foc și (8) sustenabilitate.

În referința [53] este prezentată o sinteză de ultimă oră, investigând sistematic progresele recente, performanțele mecanice, provocările și perspectivele clădirilor modulare.

Loss et al. [54], [55] au dezvoltat un sistem modular prefabricat pentru clădiri cu mai multe etaje, în care principalele componente structurale, realizate prin combinarea lemnului cu oțelul, sunt puternic tehnologizate și pot fi produse în fabrică. Cercetarea a demonstrat potențialul structurilor hibride oțel-lemn în ceea ce privește sustenabilitatea, oferind construcții moderne, ușoare, rezistente la cutremure și ușor de dezamblat. Articolele prezintă teste pe mai multe tipuri de îmbinări inovatoare și oferă prototipuri ale unor noi componente industrializate pentru pereți de forfecare și planșee hibride oțel-lemn. Fig. 4.35 prezintă o imagine 3D a clădirii de referință și o imagine detaliată a structurii hibride, cu distribuția încărcărilor verticale și orizontale.

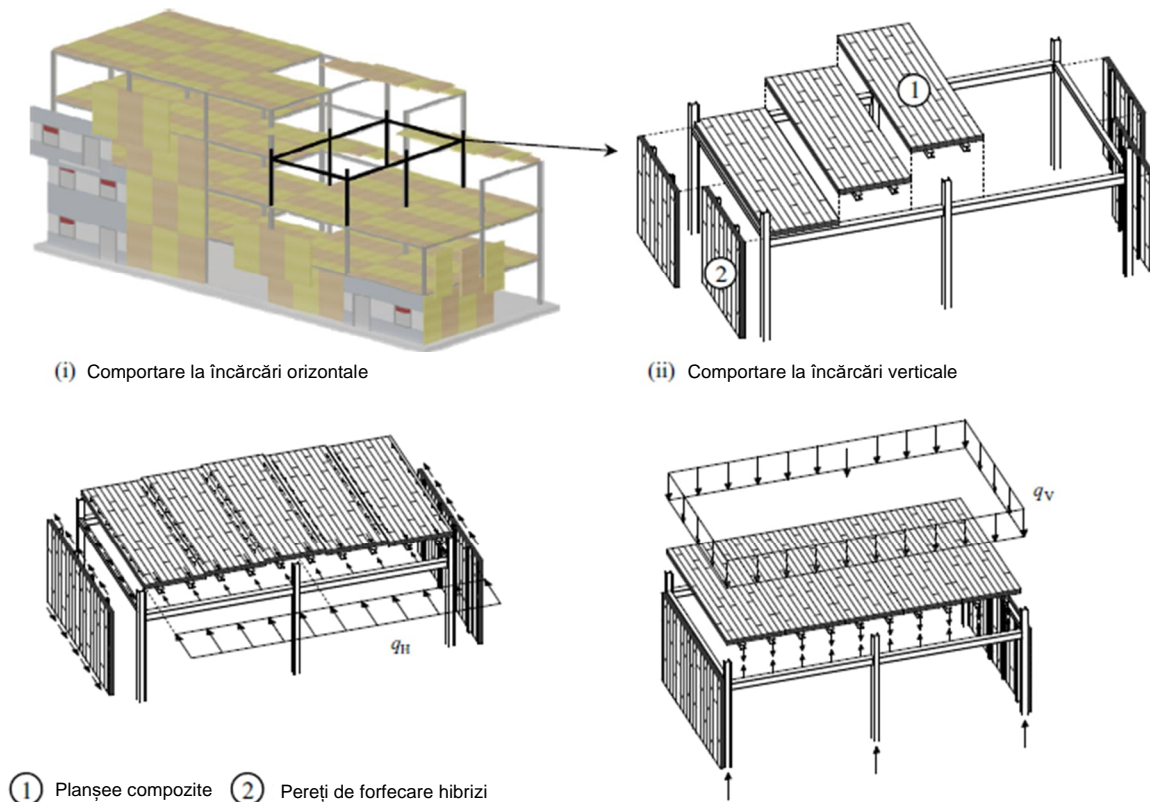


Fig. 4.35 Vedere axonometrică a clădirii și vedere detaliată a structurii hibride, cu reprezentarea distribuției încărcărilor verticale și orizontale [54]

Fig. 4.36 și Fig. 4.37 prezintă Setul I de îmbinări oțel-lemn, care include 20 de configurații diferite, iar Setul II include 4 aranjamente distincte de îmbinări lemn-lemn. Cercetarea a demonstrat că sunt simplu de obținut elemente de planșeu compozite care oferă un comportament excelent la încovoiere sub încărcări verticale.

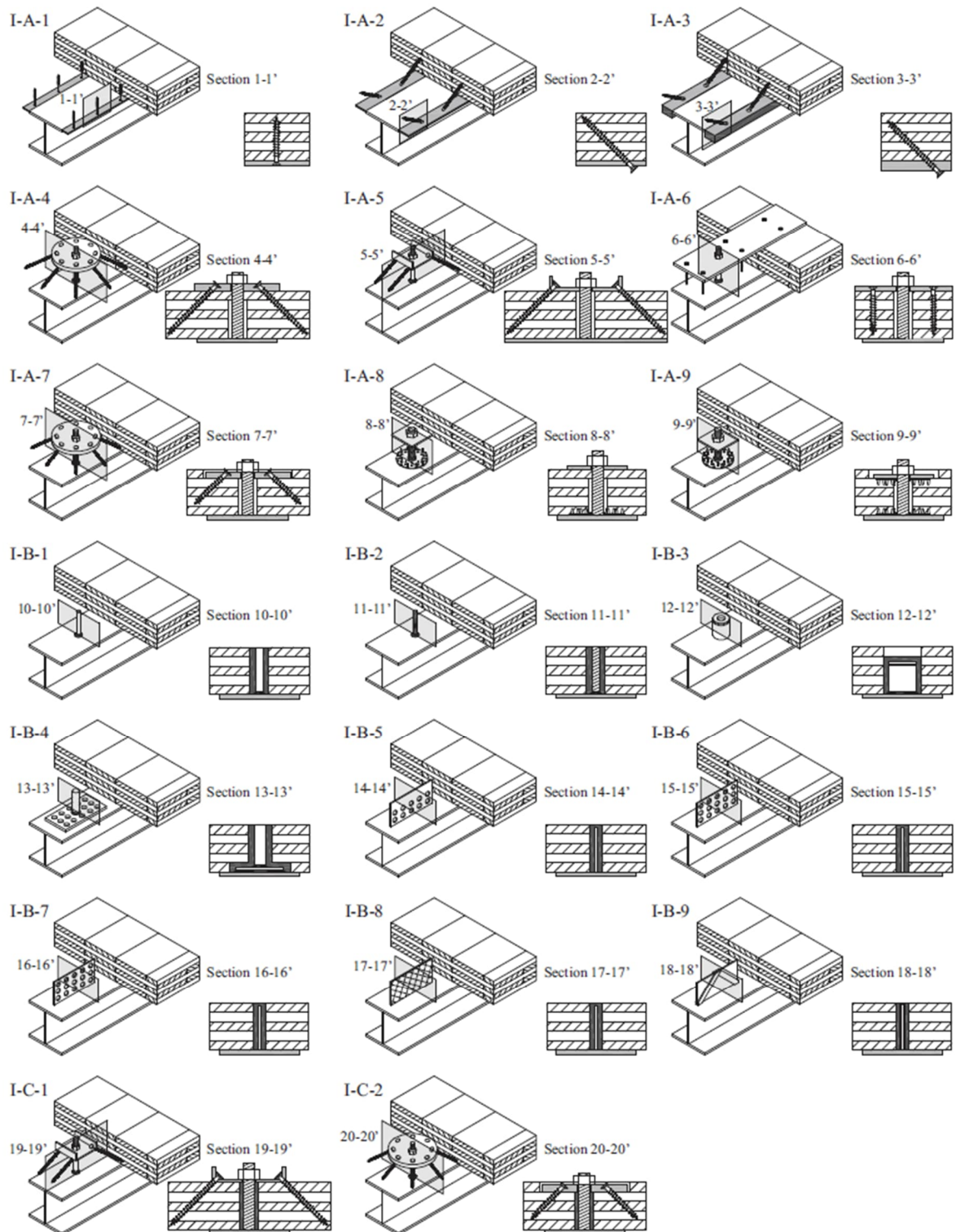


Fig. 4.36 Îmbinări grindă-panou pentru planșee și pereți de forfecare hibride oțel-CLT [54]

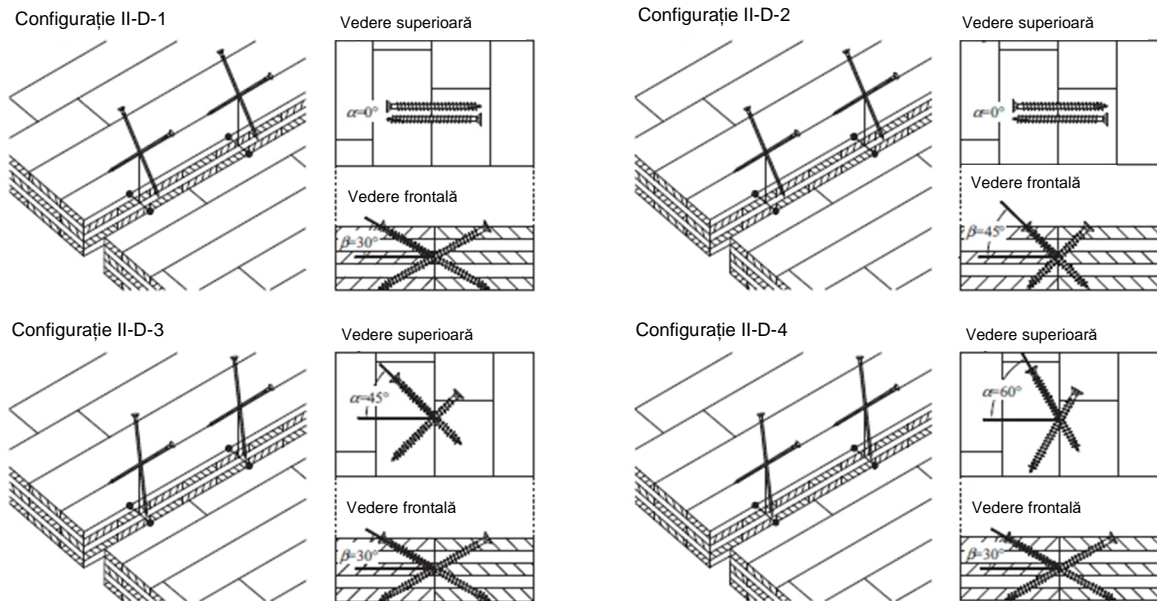


Fig. 4.37 Îmbinări panou-panou pentru planșee și pereți de forfecare hibride oțel-CLT [54]

În cazul clădirilor cu mai multe etaje, dacă se folosesc conectori demontabili la forfecare pentru planșeu și se asigură accesibilitatea la îmbinările grindă-stâlp, îmbinările cu șuruburi pot fi demontate cu ușurință.

Totuși, există limitări semnificative în cazul structurilor proiectate în conformitate cu conceptele de comportament structural disipativ (clasele de ductilitate structurală DC2 sau DC3 din EN 1998). Proiectul european de cercetare “Equaljoints plus” [56], [57], [58] a avut ca obiectiv furnizarea de criterii de pre-calificare pentru îmbinările din oțel în vederea următoarei versiuni a EN 1998-1-2 [39]. Activitatea de cercetare a vizat standardizarea procedurilor de proiectare și fabricare, referindu-se la un set de îmbinări cu șuruburi tip și la o îmbinare sudată de tip *dog-bone* cu profile cu pereți groși, proiectate pentru a îndeplini diferite niveluri de performanță. Unul dintre obiectivele proiectului a fost dezvoltarea unui protocol de încărcare pentru pre-calificare europeană a îmbinărilor, bazat pe solicitările seismice reprezentative din Europa.

Patru tipologii de îmbinări cu șuruburi grindă-stâlp au fost investigate în cadrul proiectului și anume: (a) îmbinări cu șuruburi, cu placă de capăt extinsă, nerigidizată, (b) îmbinări cu șuruburi, cu placă de capăt extinsă, rigidizată, (c) îmbinări cu șuruburi, cu placă de capăt extinsă și vută, și (d) îmbinări sudate cu secțiune redusă (*dog-bone*) (vezi [57], [58]), proiectate pentru a îndeplini diferite niveluri de performanță. Îmbinările cu șuruburi au fost proiectate conform unei proceduri de proiectare din cadrul prEN 1993-1-8. Proiectarea îmbinărilor sudate de tip *dog-bone* a fost conformă cu codul de construcții din SUA, ASCE 7-10 (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures) [59] și cu standardele specifice clădirilor din oțel, AISC 341-16 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings) [60], AISC 358-16 (Prequalified Connections for Seismic Applications) [61] și AISC 360-16 [62].

Îmbinările au fost propuse pentru a fi utilizate pentru clasele de ductilitate DC2 și DC3, cu următoarele obiective de performanță:

- Îmbinare total rezistentă: toată solicitarea plastică este concentrată în grindă, lăsând îmbinarea și panoul inimii fără deteriorări;
- Îmbinare de rezistență egală: solicitarea plastică este împărțită între îmbinare și grindă;
- Îmbinare de rezistență parțială: toată solicitarea plastică este concentrată în îmbinare.

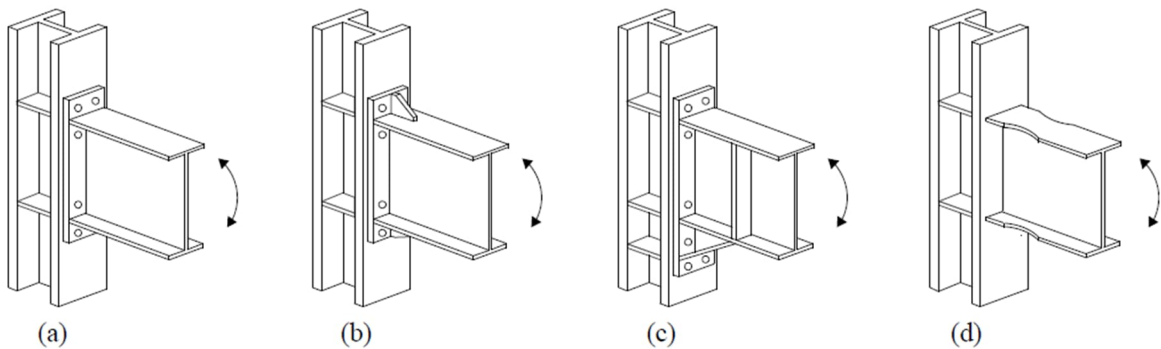


Fig. 4.38 Îmbinări grindă-stâlp pre-calificate în cadrul proiectului EQUALJOINTS:  
 a) Îmbinare cu șuruburi, cu placă de capăt extinsă, nerigidizată b) Îmbinare cu șuruburi, cu placă de capăt extinsă, rigidizată c) Îmbinare cu șuruburi cu placă de capăt extinsă și vută  
 d) Îmbinare sudată cu secțiune redusă (dog-bone)

Alte soluții inovatoare pentru clasele de ductilitate DC2 și DC3 se bazează pe îmbinări grindă-stâlp echipate cu amortizoare prin frecare [63]. Grinda este prinsă de stâlp printr-un element-T fix, clasic, care prinde talpa superioară, iar amortizorul prin frecare este amplasat la talpa inferioară a grinzii (vezi

Fig. 4.39).

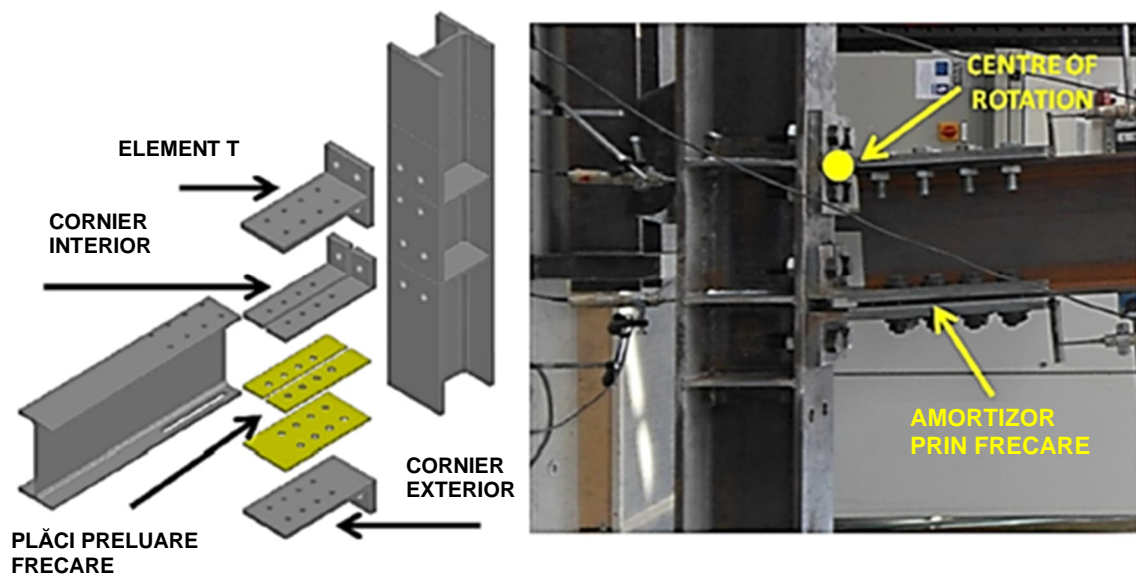


Fig. 4.39 Îmbinare grindă-stâlp echipată cu amortizor prin frecare [63]

Amortizorul prin frecare este compus dintr-un pachet de plăci de oțel, conceput pentru a asigura frecare simetrică. Acesta este proiectat să alunece la un nivel de încărcare mai mic decât rezistența nominală la încovoiere a grinzii îmbinate. Astfel, este posibilă obținerea unor îmbinări capabile să disipeze energia seismică aproape fără deteriorarea grinzilor din oțel.

Pentru a maximiza utilizarea grinzii îmbinate, se poate sugera folosirea unei vute la capătul grinzii, pentru a mări și calibra brațul de pârghie (vezi

Fig. 4.40). Rezultatele programului experimental privind amortizorul prin frecare au arătat că este posibilă menținerea grinzilor îmbinate fără deteriorări, chiar și în cazul încărcărilor ciclice repetate induse de cutremure.

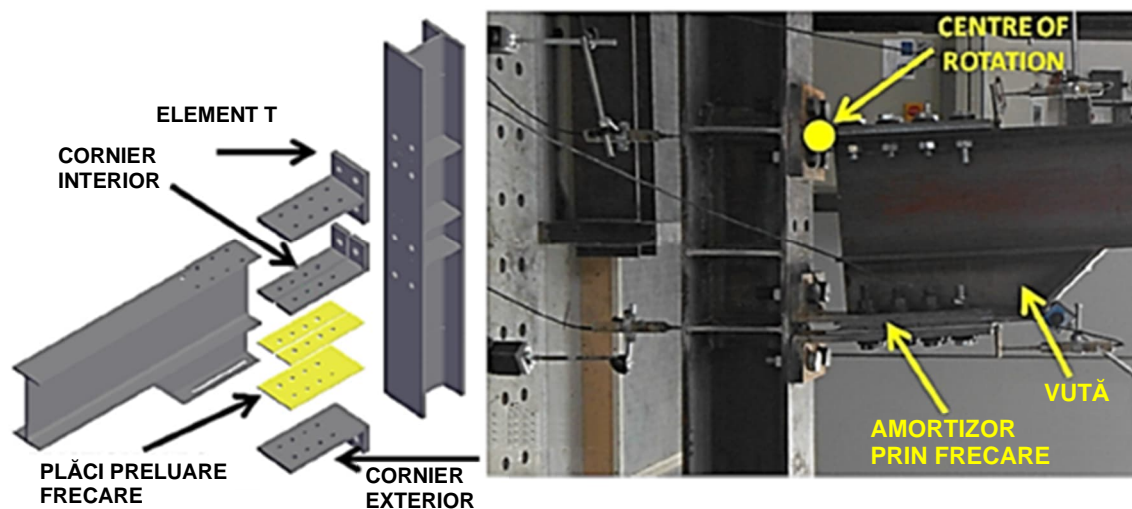


Fig. 4.40 Îmbinare grindă-stâlp echipată cu amortizor prin frecare și vută suplimentară [63]

## 5 OBSERVAȚII FINALE

Creșterea necesității de a reduce impactul asupra mediului din sectorul construcțiilor a dus la un interes semnificativ pentru reutilizarea materialelor de construcție, în special a oțelului structural. Ghidul de față abordează această nevoie, concentrându-se pe strategii de proiectare care facilitează demontarea și reutilizarea viitoare a elementelor din oțel. Un punct cheie discutat este importanța integrării principiilor de proiectare pentru demontare (DfD) încă din faza incipientă a procesului de proiectare, asigurându-se că structurile nu sunt doar funcționale și durabile, ci și adaptabile la nevoile viitoare. Accentul este pus pe proiectarea modulară, pe componente standardizate și pe îmbinări mecanice accesibile, care împreună îmbunătățesc ușurința de demontare și extind ciclul de viață al materialelor.

Mai mult, documentul subliniază necesitatea trasabilității și a stocării documentației detaliate pe toată durata de viață a unei clădiri. Implementarea Modelării Informaționale a Clădirii (BIM) și menținerea unor jurnale detaliate ale clădirii asigură păstrarea informațiilor esențiale, cum ar fi proprietățile materialelor, specificațiile de proiectare și detaliile de fabricație, facilitând în mare măsură eforturile viitoare de reutilizare. Ghidul abordează, de asemenea, cerințele privind încărcările și analiza structurală, pentru a se asigura menținerea standardelor ridicate de performanță a clădirilor proiectate pentru dezasamblare atât în perioada de utilizare inițială, cât și în ciclurile ulterioare de viață. Prin combinarea rigorii tehnice cu strategii practice, ghidul prezintă o abordare holistică a practicilor de construcție durabilă.

Aceste recomandări marchează o schimbare esențială față de practicile tradiționale de proiectare, către un model de economie circulară, în care materialele sunt păstrate în uz pentru perioade mai lungi. Integrarea considerațiilor de mediu în proiectarea structurală, fără a compromite funcționalitatea sau siguranța, evidențiază maturitatea și caracterul practic al strategiilor propuse. Publicația oferă o bază solidă pentru avansarea sustenabilității în sectorul construcțiilor, sprijinind proiectanții, inginerii și factorii de decizie politică în atingerea obiectivelor de mediu pe termen lung.

Concluziile cheie care pot fi trase din acest volum sunt următoarele:

- **Proiectarea pentru reutilizare:** Integrarea principiilor de proiectare pentru demontare (DfD) încă din faza de proiectare permite reutilizarea viitoare a elementelor din oțel structural, sprijinind economia circulară în construcții.
- **Modularitate și standardizare:** Proiectele de construcții modulare și componentele standardizate din oțel sporesc ușurința de demontare și cresc potențialul de recuperare și reutilizare a materialelor.
- **Îmbinări reversibile:** Utilizarea îmbinărilor cu șuruburi, mecanice, în locul îmbinărilor sudate, permanente, facilitează demontarea și repunerea în uz a elementelor structurale.
- **Trasabilitate și documentație:** Păstrarea unor evidențe detaliate, inclusiv utilizarea BIM și a memoriilor clădirii, asigură păstrarea datelor esențiale despre materiale și fabricare, pentru reutilizarea ulterioară.
- **Performanță structurală:** Proiectele trebuie să echilibreze necesitatea reutilizării cu standardele stricte de performanță, asigurând durabilitatea, siguranța și adaptabilitatea pe parcursul mai multor cicluri de viață.

- **Reducerea impactului asupra mediului:** Prin facilitarea reutilizării produselor din oțel recuperat, recomandările contribuie la reducerea semnificativă a deșeurilor din construcții și a emisiilor de carbon.
- **Progresul industriei:** Ghidul promovează o schimbare a practicilor din industrie către soluții sustenabile, fără a compromite funcționalitatea, fezabilitatea economică sau siguranța.
- **Alinierea politicilor și practicilor:** Publicația sprijină dezvoltarea standardelor și reglementărilor din industrie care pot conduce la o adoptare pe scară largă a strategiilor de proiectare orientate spre reutilizare.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Gorgolewski M (2006). The implications of reuse and recycling for the design of steel buildings. *Can J Civ Eng* 33, 489-496.
- [2] Steel Alliance (2008). Single-storey buildings, Part 1: Architect's guide. Design Guide produced in the framework of the RFS2-CT-2008-0030 Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO).
- [3] Steel Alliance (2008). Multi-storey buildings, Part 1: Architect's guide. Design Guide produced in the framework of the RFS2-CT-2008-0030 Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO).
- [4] SCI P399 (2015). Design of Steel Portal Frame Buildings to Eurocode 3. The Steel Construction Institute, UK.
- [5] SCI P252 (2004). Design of Single-Span Steel Portal Frames to BS5950-1:2000. The Steel Construction Institute, UK.
- [6] CEN – European Committee for Standardisation (2024). EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints, Brussels, Belgium.
- [7] BSI – British Standards Institution – BS 5950-1:2000. Structural use of steelwork in building. Code of practice for design. Rolled and welded sections.
- [8] 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.
- [9] CEN – European Committee for Standardisation (2023). EN 1990: Eurocode: Basis of structural and geotechnical design, Brussels, Belgium.
- [10] Steel Alliance (2008). Multi-storey buildings, Part 2: Concept design. Design Guide produced in the framework of the RFS2-CT-2008-0030 Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO).
- [11] ISO 12944-1. Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 1: General introduction, 2017.
- [12] ISO 1461. Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles – Specifications and test methods, 2009.
- [13] ISO 14713-1:2017. Zinc coatings – Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures – Part 1: General principles of design and corrosion resistance.
- [14] ISO 14713-2. Zinc coatings – Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures – Part 2: Hot dip galvanizing, 2009.
- [15] ISO 14713-3:2017. Zinc coatings – Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures – Part 3: Sherardizing.
- [16] CEN – European Committee for Standardisation – EN ISO 19650-1:2018; Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling.

- [17] CEN – European Committee for Standardisation – EN ISO 19650-2:2018; Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling.
- [18] CEN – European Committee for Standardisation – prEN 17412 – Building information modelling – Level of information needed – concepts and principles.
- [19] CEN – European Committee for Standardisation – prEN ISO 23387-1 Building Information Modelling (BIM) – Data templates for construction objects used in the life cycle of any built asset – Concepts and principles.
- [20] ISO/DIS 20887. Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles requirements and guidance.
- [21] CWA 17316: 2018. Smart CE marking for construction products; CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels.
- [22] Steel Alliance (2008). Multi-storey buildings, Part 3: Actions. Design Guide produced in the framework of the RFS2-CT-2008-0030 Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO).
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Kray T, Paul J (2015). Comparative study of effects on peak velocity pressure calculated by thirty-four European wind loading standards. Proc. 14<sup>th</sup> International Conference on Wind Engineering, Porto Alegre, Brasil, June 21-26.
- [26] Holický M (2009). Reliability analysis for structural design. Sun Press.
- [27] CEN – European Committee for Standardisation (2010). NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB. National Annex to NEN-EN 1990+A1:2006+A1:2006/C2:2010 Eurocode: Basis of structural design.
- [28] CEN – European Committee for Standardisation (2003). EN 1991-1-5: Eurocode 1. Actions on structures, Part 1-5: General actions - Thermal actions, Brussels, Belgium.
- [29] Davison B, Owens GW (eds.) (2012). Steel designers' manual. The Steel Construction Institute, 7<sup>th</sup> edition, Wiley-Blackwell, UK.
- [30] Research Fund for Coal and Steel (RFCS): Progress – Case study Fokker 7 distribution Center Schiphol Airport; Images courtesy of Tata Steel (<https://www.tatasteeleurope.com/>).
- [31] <https://www.ruukki.com/>.
- [32] SCI P358 (2014). Joints in steel construction: Simple joints to Eurocode 3. The Steel Construction Institute.
- [33] SCI P338 (2004). Quicon Design Guide to BS 5950-1. The Steel Construction Institute.

- [34] <https://www.newsteelconstruction.com/wp/quicon-wins-contract-at-ikea/>.
- [35] SCI P428 (2020). Guidance on Demountable Composite Construction Systems for UK Practice, 2020. The Steel Construction Institute.
- [36] <https://www.kloecknermetalsuk.com/westok/>.
- [37] <https://www.spstechnology.com/>.
- [38] <http://www.lindapter.com/>.
- [39] CEN – European Committee for Standardisation (2023). prEN 1998-1-2: Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance - Part 1-2: Buildings, Brussels, Belgium.
- [40] SCI P287 (2003). Design of composite beams using precast concrete slabs. The Steel Construction Institute.
- [41] SCI P342 (2006). Design of asymmetric Slimfloor beams with precast concrete slabs. The Steel Construction Institute.
- [42] SCI P334 (2004). Design of multi-storey braced frames. The Steel Construction Institute.
- [43] <https://www.peikko.com/products/deltabeam-slim-floor-structures/technical-information/>.
- [44] Research Fund for Coal and Steel (RFCS): Reuse and demountability using steel structures and the circular economy - REDUCE, project number RFCS-02-2015.
- [45] Odenbreit C, Yang J, Romero A, Kozma A (2023). A Lego-like steel-framed system for standardization and serial production. *Steel Construction* 16(1), 56-64.
- [46] Kavoura F, Veljkovic M (2023). Design strategies for reusable structural components in the built environment. *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems, Biondini & Frangopol (Eds)*. 799-806.
- [47] Kozma A, Odenbreit C, Braun MV, Veljkovic M, Nijgh MP (2019). Push-out tests on demountable shear connectors of steel-concrete composite structures, *Structures* 21, 45-54.
- [48] SCI P428 (2020). Guidance on Demountable Composite Construction Systems for UK Practice. The Steel Construction Institute.
- [49] Romero A, Odenbreit C (2024). Innovative demountable steel-timber composite (STC) beams: Experimental full-scale bending tests. *Engineering Structures*, 318, 118599.
- [50] Bompa DV, Ungureanu V, Elghazouli AY, Afsal A (2024). Disassembly and Structural Reuse Potential of Steel-Timber Shear Connections with Screws. V. Ungureanu et al. (Eds.): CESARE 2024, LNCE 489, 1–12.
- [51] AISC Design Guide 37 (2022). Hybrid Steel Frames with Wood Floors. American Institute of Steel Construction.
- [52] ECCS N°145 (2024). State of art on Steel-Timber-(Concrete) Structures, 1<sup>st</sup> Edition, ECCS: European Convention for Constructional Steelwork, ISBN: 978-92-9147-199-7.

- [53] Ferdousa W, Baib Y, Ngoc TD, Manalod A, Mendisc P (2019). New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review. *Engineering Structures* 183, 883–893.
- [54] Loss C, Piazza M, Zandonini R (2016). Connections for steel–timber hybrid prefabricated buildings. Part I: Experimental tests. *Construction and Building Materials* 122, 781–795.
- [55] Loss C, Piazza M, Zandonini R (2016). Connections for steel–timber hybrid prefabricated buildings. Part II: Innovative modular structures. *Construction and Building Materials* 122, 796–808.
- [56] Research Fund for Coal and Steel (RFCS): European pre-QUALified Steel JOINTS - EQUALJOINTS-PLUS, project number 754048 - RFCS-02-2016.
- [57] Equaljoints PLUS (2018): Information brochures for 4 seismically qualified joints. N° EQJ1-EN, 1st Edition, ECCS.
- [58] Equaljoints PLUS (2018): Pre-normative design recommendations for seismically qualified steel joints. N° EQJ2-EN, 1st Edition, ECCS.
- [59] ASCE 7-10 (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers, USA.
- [60] ANSI-AISC 341-10 (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction (AISC), USA.
- [61] ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. American Institute of Steel Construction (AISC), USA.
- [62] AISC 360-16 (2016). *Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction (AISC), USA.
- [63] Latour M, Piluso V, Rizzano G (2018). Experimental analysis of beam-to-column joints equipped with sprayed aluminium friction dampers. *Journal of Constructional Steel Research* 146, 33–48.
- [64] 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.



**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 MÉALLIQUE  
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.