

GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

WP N°: 2

WP Title: eLectures

Deliverable N°: D3.1

Deliverable Title: Liner trays

Deliverable Date: 31st July 2018

**The GRISPE PLUS project has received financial support
from the European Community's Research Fund for Coal and Steel (RFCS)
under grant agreement N° 754092**

Author(s)

Markus KUHNHENNE, Dominik PYSCHNY, Lisa KRAMER
RWTH Aachen University

Drafting history

FINAL VERSION - DATE: 31st July 2018

Dissemination Level

<i>PU</i>	<i>Public-Open</i>	X
<i>PP</i>	<i>Restricted to the Commission Services, the Coal and Steel Technical Groups and the European Committee for Standardisation (CEN)</i>	
<i>RE</i>	<i>Restricted to a group specified by the Beneficiaries</i>	
<i>CO</i>	<i>Confidential, only for Beneficiaries (including the Commission services)</i>	

GRISPE PLUS

VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

MANUEL DE CALCUL POUR LES PLATEAUX

RFCS funded – agreement N° 754092

FINAL VERSION

DISCLAIMER NOTICE AND EU ACKNOWLEDGEMENT OF SUPPORT

Disclaimer notice

By making use of any information or content in this manual you agree to the following:

No warranties

All the information or content provided in this manual is provided "as is" and with no warranties. No express or implies warranties of any type, including for example implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, are made with respect to the information or content, or any use of the information or content in this manual.

The authors make no representations or extend no warranties of any type as to the completeness, accuracy, reliability, suitability or timeliness of any information or content in this manual.

Disclaimer of liability

This manual is for informational purposes only. It is your responsibility to independently determine whether to perform, use or adopt any of the information or content in this manual.

The authors specifically disclaim liability for incidental or consequential damages and assume no responsibility or liability for any loss or damage suffered by any person as a result of the use or misuse of any of the information or content in this manual.

The authors will not be liable to you for any loss or damage including without limitation direct, indirect, special or consequential loss or damage, or any loss or damage whatsoever arising from loss of data or loss of business, production, revenue, income, profits, commercial opportunities, reputation or goodwill, arising out of, or in connection with, the use of the information or content in this manual.

The authors do not represent, warrant, undertake or guarantee that the use of the information or content in this manual will lead to any particular outcome or results.

Reasonableness

By using this manual, you agree that the exclusions and limitations of liability set out in this disclaimer are reasonable. If you do not think they are reasonable, you must not use this manual.

Severability

If any part of this disclaimer is declared unenforceable or invalid, the remainder will continue to be valid and enforceable.

"The information and views set out in this report, article, guide, etc. (select the correct word) are those of the author(s) and do not necessarily reflect the official opinion of the European Union. Neither the European Union and bodies nor any person acting on their behalf may be held responsible for the use which may be made of the information or views contained therein"

EU acknowledgement of support

The GRISPE project has received financial support from the European Community's Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under grant agreement n° 75 4092.

SYMMARY

L'objectif de ce manuel de calcul est de présenter une nouvelle méthode de dimensionnement des plateaux par calcul, telle que développée durant le projet Européen GRISPE sur la base des résultats antérieurs obtenus dans le projet de recherche GRISPE terminé positivement.

Ce manuel est basé sur les principes des Eurocodes en général et plus spécifiquement sur ceux des normes EN 1993-1-3 et EN 1993-1-5.

Cette nouvelle méthode analytique de dimensionnement des plateaux est basée sur des essais réalisés dans le cadre du projet Européen GRISPE (2013-2016).

Le background de cette méthode est décrit dans l'Annexe 1.

Plus en détail:

Le chapitre 1 détaille les types de profils concernés, l'état de l'art, les principaux résultats de recherche de GRISPE ainsi que les exigences et règles générales de dimensionnement.

Le chapitre 2 présente les considérations préalables qui doivent être prises en compte lors des phases de pré-dimensionnement incluant en particulier la vérification des champs d'application de la nouvelle méthode de calcul.

Le chapitre 3 fournit les exigences technologiques qui doivent être respectées, notamment le support, les caractéristiques des profils et les assemblages.

Le chapitre 4 énumère les propriétés des matériaux des profils.

Le chapitre 5 indique la détermination des actions et leurs combinaisons.

Le chapitre 6 explique la nouvelle méthode de calcul.

Le chapitre 7 dresse la liste des considérations spécifiques de dimensionnement non couvertes par le présent manuel.

Le chapitre 8 explique en détail le logiciel développé pour les plateaux

Le chapitre 9 fournit un exemple de la nouvelle méthode de dimensionnement.

Une bibliographie est incluse.

REMARQUE IMPORTANTE

*Les données expérimentales ont été obtenues et fournies par Rainer Holz, IFL –ING LEICHTBAU
et Daniel Ruff and Christian Fauth, KIT –KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY*

PREFACE

Ce manuel de calcul a été réalisé avec le soutien du financement RFCS n°**754092**

Cette nouvelle méthode de calcul a été présentée au groupe d'évolution de l'EN 1993-1-3 en 2016-2017 et, est considérée pour inclusion dans les Eurocodes.

Ce manuel de calcul a été rédigé par Lisa Kramer et Dominik Pyschny se basant sur les données expérimentales et les considérations déjà établies par le concluant projet de recherche GRISPE; ce manuel de calcul a fait l'objet de discussions au sein d'un groupe de travail, du projet GRISPE PLUS, composé des membres suivants:

Mickael BLANC	France
Silvia CAPRILI	Italie
David IZABEL	France
Markus KUHNHENNE	Allemagne
Anna PALISSON	France
Valérie PRUDOR	France
Irene PUNCELLO	Italie
Dominik PYSCHNY	Allemagne
Thibault RENAUX	France
Walter SALVATORE	Italie
Léopold SOKOL	France
Daniel SPAGNI	France

FIGURES

Les figures et tableaux ont été réalisés par les organismes et sociétés suivants:

Figure 1.1.1	Copie de l'EN 1993-1-3
Figure 1.1.2	Copie de l'EN 1993-1-3
Figure 1.2.1	International Association for Lightweight Metal Building Envelopes (IFBS)
Figure 1.3.1	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 1.3.2	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 1.3.3	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 1.3.4	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 2.2.1	Copie de l'EN 1993-1-3
Figure 6.3.1	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 6.3.2	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 6.3.3	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 6.3.4	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 6.3.5	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 8.2.1	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 8.3.1	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 8.3.2	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 8.3.3	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 8.4.1	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 9.1.1	Bacacier
Figure 9.1.2	Bacacier
Figure 9.1.3	International Association for Lightweight Metal Building Envelopes (IFBS)
Figure 9.1.4	RWTH Aachen
Figure 9.1.5	Wurzer Profiliertechnik GmbH
Figure 9.2.1	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 9.2.2	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 9.2.3	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – projet GRISPE
Figure 9.2.4	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 9.2.5	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 9.2.6	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 9.2.7	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 9.2.8	Tracé à partir du logiciel Excel
Figure 9.2.9	Tracé à partir du logiciel Excel

Design manual for liner trays

Figure 9.2.10 Tracé à partir du logiciel Excel

Figure 9.2.11 Tracé à partir du logiciel Excel

SOMMAIRE

DOMAINE D'APPLICATION DE LA PUBLICATION	10
NOTATIONS.....	11
1. INTRODUCTION	12
1.1. Type de tôle d'acier profilée concernée.....	12
1.2. Etat de l'art	12
1.3. Principaux résultats de GRISPE	13
1.4. Exigences et règles générales de dimensionnement	15
2. CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES	16
2.1. Champ d'application de la nouvelle méthode de dimensionnement.....	16
2.2. Dispositions technologiques.....	16
3. EXIGENCES TECHNOLOGIQUES DE BASE	17
4. PROPRIETES DES MATERIAUX	17
5. ACTIONS ET LEURS COMBINAISONS	17
6. BASES DU CALCUL	18
6.1. Principes	18
6.2. Champ d'application de la nouvelle méthode de calcul	18
6.3. Procédure de dimensionnement	18
7. CONSIDERATION DU DIMENSIONNEMENT SPECIFIQUE.....	22
8. EXPLICATION DU LOGICIEL DE CALCUL	23
8.1. Approche générale	23
8.2. DONNEES.....	23
8.3. Explication du calcul itératif.....	23
8.4. Résultats.....	24
9. EXEMPLE DE CALCUL	25
9.1. Description du bâtiment et du système statique.....	25
9.1.1. Disposition	25
9.1.2. Géométrie du profil	26
9.1.3. Propriétés des matériaux	27
9.2. Calcul des résistances du profil	27
9.2.1. Validité de la géométrie du profil.....	27
9.2.2. Moment résistant – plage en compression	27
9.2.3. Moment résistant – plage en tension en travée sous pression	27
TABLE DES FIGURES.....	33
BIBLIOGRAPHIE	35
ANNEXE:	36

DOMAINE D'APPLICATION DE LA PUBLICATION

Le but de cette publication est de présenter une nouvelle méthode de dimensionnement des plateaux qui a été proposée pour inclusion dans l'Eurocode EN 1993-1-3.

Ce manuel de calcul traite de situations qui se produisent couramment.

Pour des situations exceptionnelles, il est nécessaire de suivre les clauses correspondantes des Eurocodes et/ou de l'EN 1090-4.

NOTATIONS

Les symboles suivants sont utilisés:

h : profondeur totale

t : épaisseur de calcul

b_f : épaisseur de la semelle étroite

b_u : épaisseur de la plage

c : épaisseur de la lèvre de la semelle étroite

$b_{u,eff}$: épaisseur efficace de la plage

e_0 : distance de l'axe neutre de la section brute à l'axe neutre de la semelle étroite

L : portée du plateau

t_{eq} : épaisseur équivalente de la semelle étroite

I_a : moment d'inertie de la plage

$I_{y,eff}$: moment d'inertie de la section efficace

W_{eff} : module d'inertie de la section efficace

f_{yb} : limite d'élasticité

γ_{M0} : coefficient partiel

$M_{b,Rd}$: moment résistant de flambement du plateau

β_b : coefficient de corrélation

s_1 : espacement longitudinal entre fixations conférant un maintien latéral à la semelle étroite

y_{sf} : position de l'axe neutre en flambement latéral

A_{sf} : aire efficace de la semelle compressée

J_{sf} : moment d'inertie efficace en flexion autour de l'axe z-z-

1. INTRODUCTION

1.1. Type de tôle d'acier profilée concernée

Ce manuel de calcul traite des plateaux. La méthode présente l'amélioration du coefficient de réduction β_b et l'extension du domaine d'application de la distance de fixation s_1 entre l'enveloppe extérieure et la semelle étroite.

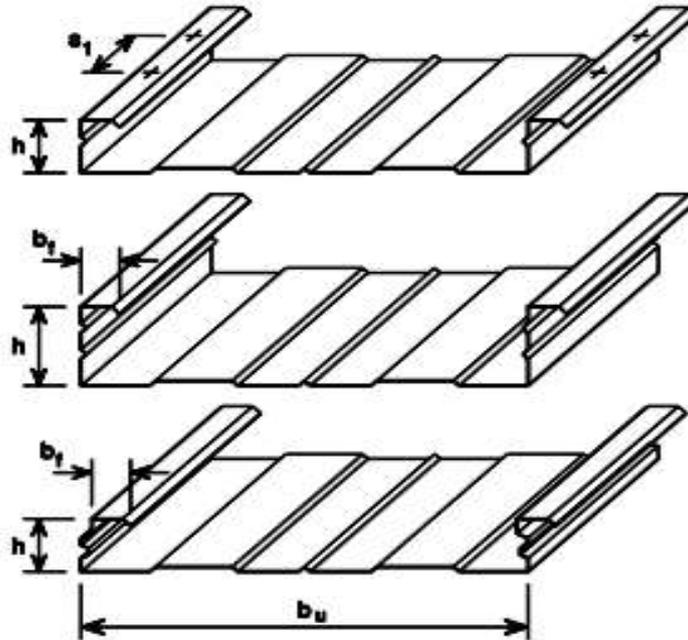


Figure 1.1.1 – Explication de la distance de fixation s_1

$$\begin{aligned}
 0,75 \text{ mm} &\leq t_{\text{nom}} \leq 1,5 \text{ mm} \\
 30 \text{ mm} &\leq b_f \leq 60 \text{ mm} \\
 60 \text{ mm} &\leq h \leq 200 \text{ mm} \\
 300 \text{ mm} &\leq b_u \leq 600 \text{ mm} \\
 I_u/b_u &\leq 10 \text{ mm}^4/\text{mm} \\
 s_1 &\leq 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Figure 1.1.2 - Domaine d'application des plateaux

1.2. Etat de l'art

Les plateaux sont des composants à paroi mince métallique et utilisés comme peau interne d'un système de paroi à double peau, illustré sur la Figure 1.2.1. Les profils trapézoïdaux ou les tôles ondulées sont utilisés comme peau extérieure. Ils sont connectés directement ou via un écarteur aux semelles étroites des plateaux. Lorsque des écarteurs sont utilisés, une distance plus grande peut être choisie en raison de l'indépendance de la géométrie du profil.



Figure 1.2.1 – Systèmes de bardage avec plateaux

Alors que la peau extérieure sert de protection contre les intempéries, le plateau a une fonction de support. De plus, les semelles étroites sont stabilisées par la rigidité au cisaillement de la peau extérieure.

Dans la norme européenne EN 1993-1-3, la méthode de conception est décrite pour les plateaux dans la section 10.2. La procédure de calcul fait la distinction entre compression et traction dans la poutre. Lorsque la poutre est en traction, le moment de flexion ultime

$$M_{b,Rd} = 0.8 \cdot \beta_b \cdot W_{eff,com} \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

est réduit par un coefficient de réduction

$$\beta_b = 1.15 - s_1/2000$$

qui prend en compte l'effet de la distance de fixation s_1 au-dessus de 300 mm. Si la distance de fixation est inférieure à 300 mm, le moment de flexion n'a pas besoin d'être réduit.

La règle de calcul actuelle concernant la distance de fixation est plutôt conservatrice et se limite en outre à une distance de fixation maximale $s_1 = 1000$ mm, qui n'est plus suffisante en raison des exigences architecturales et thermiques croissantes.

Le problème posé par l'augmentation de la distance de fixation s_1 est la réduction de la rigidité au cisaillement via la peau extérieure. L'étude de l'effet de la réduction de la rigidité au cisaillement fait partie de ces travaux de recherche.

1.3. Principaux résultats de GRISPE

Afin de déterminer et de comparer les valeurs de résistance des systèmes avec plateaux avec des distances de fixation plus importantes, un vaste programme d'essais a été réalisé conformément à la norme EN 1993-1-3 Annexe A avec différentes distances de fixation s_1 :

- $s_1 = 621$ mm
- $s_1 = 1242$ mm
- $s_1 = 1863$ mm
- sans fixation et peau extérieure

Les essais suivants ont été réalisés pour déterminer les valeurs de résistance en flexion et à la réaction d'appui des plateaux avec différentes distance de fixation, au total 71 tests:

- Essais en travée simple
- Essais d'appui intérieur
- Essais en travée double

Les éprouvettes pour les essais en travée simple et d'appui intérieur sont constituées d'un plateau plein et de deux demi-plateaux qui sont fixés dans les âmes et d'une plaque trapézoïdale perpendiculaire aux plateaux qui est fixée à la semelle supérieure à la distance s_1 .

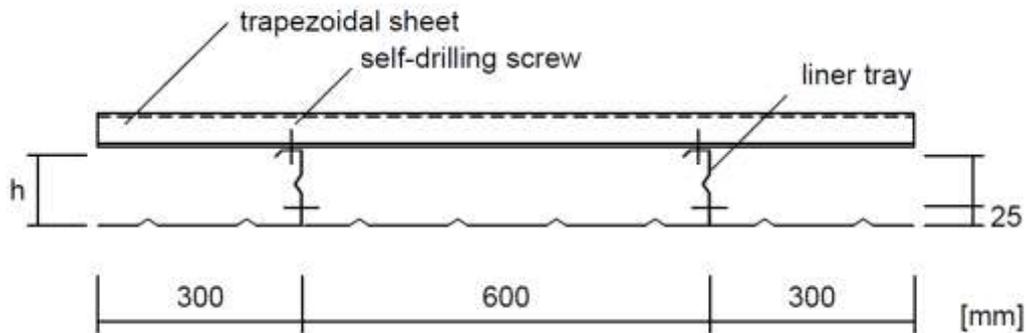


Figure 1.3.1 – Dispositif pour les essais en travée simple et d'appui intérieur

Les éprouvettes pour les essais à double travée sont constituées d'un plateau plein et de deux demi-plateaux qui sont fixés dans les âmes et d'un écarteur perpendiculaire aux plateaux qui est fixé à la semelle supérieure. Une plaque trapézoïdale parallèle aux plateaux qui est fixée à l'écarteur constitue la peau extérieure.

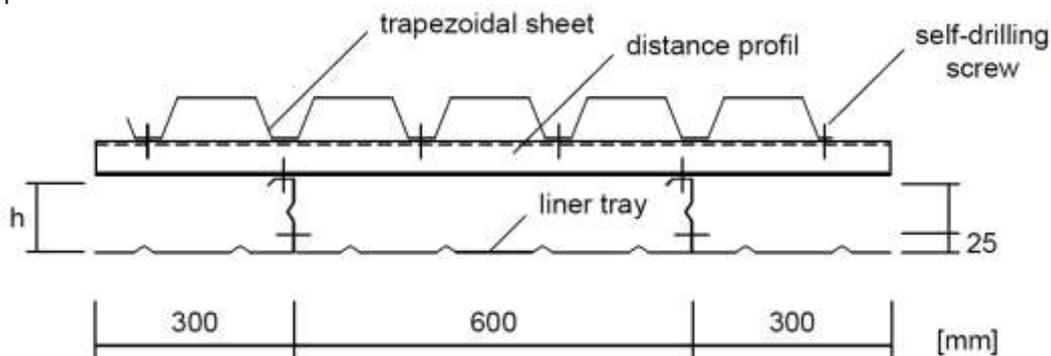


Figure 1.3.2 – Dispositif des essais double travée

Les essais en travée simple ont montré qu'en plus du mode de ruine, un autre type de ruine se produisait avec les éprouvettes sans peau extérieure. Alors que les éprouvettes présentant une résistance au cisaillement suffisante se ruinaient à cause du voilement local, elles se ruinaient sans raidissement à cause du flambement latéral.



Figure 1.3.3 – Ruine par flambement latéral de la semelle comprimée



Figure 1.3.4 – Ruine par flambement latéral de la semelle comprimée

1.4. Exigences et règles générales de dimensionnement

La nouvelle conception des plateaux doit être conforme aux règles générales de [1] et connectée à la méthode de dimensionnement [2].

2. CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES

2.1. Champ d'application de la nouvelle méthode de dimensionnement

Conformément à la norme EN 1993-1-3, ce manuel présente une nouvelle méthode de calcul pour la distance de fixation s_1 des plateaux jusqu'à une distance de fixation de 2000mm.

Ce manuel ne couvre pas la prise en compte des charges relatives aux phases d'exécution et d'entretien.

Les règles de calcul données dans le présent manuel ne sont applicables que si les tolérances des profils formés à froid sont conformes à l'EN 1993-1-3.

2.2. Dispositions technologiques

Les sections transversales peuvent être soit non raidies, ou comporter des raidisseurs longitudinaux d'âmes ou de semelles. Les tôles profilées ont une épaisseur nominale constante sur toute leur longueur, dans les limites des tolérances admissibles, et peuvent avoir une section uniforme ou ondulée. Une section transversale typique est montrée à la Figure 1.1.1.

Les dimensions des sections transversales doivent satisfaire les exigences générales définies par l'EN 1993-1-3, section 1.5.3. Il convient de ne pas appliquer les dispositions données dans ce manuel de calcul, aux sections transversales dont les rapports largeur sur épaisseur ne se situent pas dans la gamme de valeurs b/t , h/t , c/t and d/t (voir Figure 2.2.1). L'épaisseur de calcul t est l'épaisseur mesurée de métal nu moins la tolérance comme spécifié dans la clause 3.2.4 de l'EN 1993-1-3, sauf indication contraire.

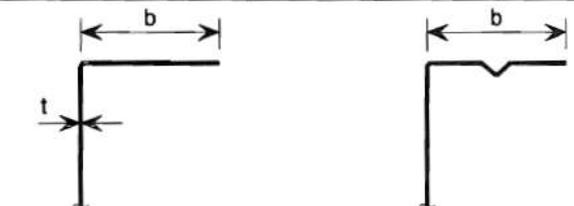
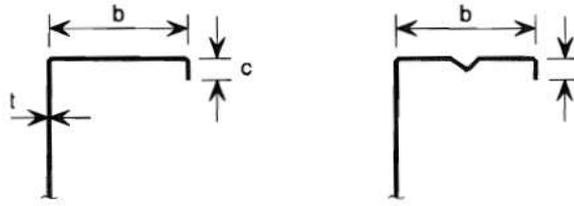
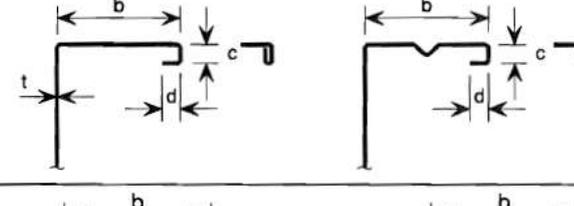
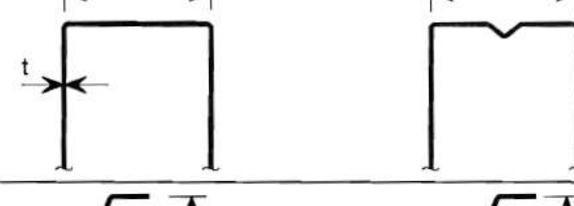
	$b/t \leq 50$
	$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
	$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
	$b/t \leq 500$
	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

Figure 2.2.1 – Domaine d'application géométrique

3. EXIGENCES TECHNOLOGIQUES DE BASE

Les plateaux sont marqués CE selon la norme EN 1090-1 [3] si structurels et EN 14782 [4][4] si non structurels.

4. PROPRIETES DES MATERIAUX

Les propriétés des matériaux, si non précisées, utilisées dans les calculs doivent satisfaire les exigences définies dans la section 3 de l'EN 1993-1-3.

Les tolérances des épaisseurs doivent satisfaire aux exigences formulées par l'EN 1993-1-3, section 3.2.4.

5. ACTIONS ET LEURS COMBINAISONS

Les actions et leurs combinaisons qui doivent être prises en compte doivent être déterminées conformément à [5], [1], [6] and [7].

6. BASES DU CALCUL

6.1. Principes

Le moment de flexion positif ultime des plateaux (plage en tension) est généralement limité par les forces de compression ultimes des petites semelles. Les semelles comprimées sont stabilisées contre le flambement latéral par les liaisons entre le plateau et le bardage extérieur.

La distance de fixation s_1 détermine la longueur de flambement de la semelle comprimée et donc les forces de compression ultimes des petites semelles et, par conséquent, le moment de flexion ultime. Le moment de flexion ultime est approximativement proportionnel à la résistance à la compression des petites semelles.

La nouvelle procédure de calcul commence par la quatrième étape de la méthode de calcul actuelle de l'EN 1993-1-3 «10.2.2.2 Plage tendue». Les modifications apportées à la méthode de calcul concernent le coefficient de réduction β_b de la capacité de moment fléchissant des plateaux.

6.2. Champ d'application de la nouvelle méthode de calcul

La méthode de calcul suivante suit la procédure de l'EN 1993-1-3 et étend le maximum de la distance de fixation s_1 du domaine d'application donné sur la Figure 1.1.2.

Le nouveau domaine d'application est donné ci-dessous:

$$\begin{aligned}
 0.75 \text{ mm} &\leq t_{nom} \leq 1.5 \text{ mm} \\
 30 \text{ mm} &\leq b_f \leq 60 \text{ mm} \\
 60 \text{ mm} &\leq h \leq 200 \text{ mm} \\
 300 \text{ mm} &\leq b_u \leq 600 \text{ mm} \\
 I_a/b_u &\leq 10 \text{ mm}^4/\text{mm} \\
 s_1 &\leq 2000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

6.3. Procédure de dimensionnement

Le coefficient de réduction β_b pour la distance de fixation s_1 , correspond approximativement à la réduction de la résistance à la compression des petites semelles.

Moment de flexion ultime :

$$M_{c,Rk,2} = M_{c,Rk,1} \cdot \frac{N_{Rk,2}}{N_{Rk,1}} = M_{c,Rk,1} \cdot \beta_b$$

avec:

- $M_{c,Rk,1}$ (déjà connu) moment de flexion positif ultime des plateaux pour une distance de fixation $s_{1,1}$
- $M_{c,Rk,2}$ (inconnu) moment de flexion positif ultime des plateaux pour une distance de fixation $s_{1,2}$
- $N_{Rk,1}$ effort de compression caractéristique d'une petite semelle de plateau, calculé avec une longueur de flambement $l=s_{1,1}$
- $N_{Rk,2}$ effort de compression caractéristique d'une petite semelle de plateau, calculé avec une longueur de flambement $l=s_{1,2}$

Le calcul de l'effort de compression caractéristique des petites semelles de plateau doit respecter les principes suivants:

Etape 1: Section brute des semelles:

La section transversale brute de la semelle comprimée comprend la petite semelle, le raidisseur de bord et 1/5 de l'âme. Des calculs séparés doivent être effectués pour les petites semelles des deux côtés du plateau, car les sections transversales des deux semelles sont différentes.

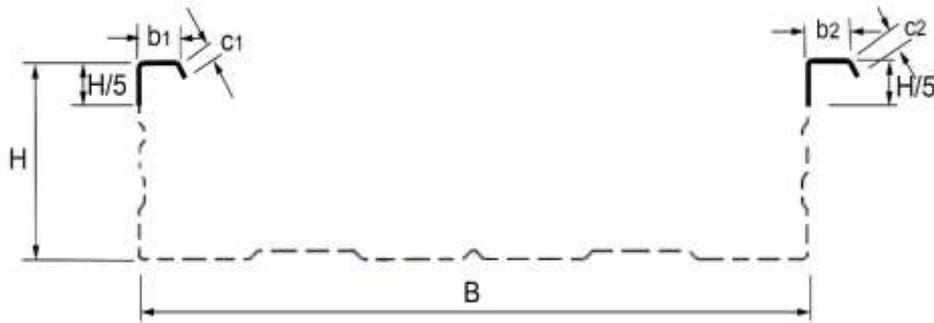


Figure 6.3.1 – Plateau, définition de la section transversale brute de la semelle comprimée

Etape 2: Section transversale efficace des semelles

La section transversale efficace doit prendre en compte le voilement local de la semelle (b_{ef1} , b_{ef2}) et du raidisseur (c_{ef}) ainsi que le flambement du raidisseur (t_{red}). Le calcul est effectué pour une contrainte choisie σ_{com} pour les deux semelles du plateau.

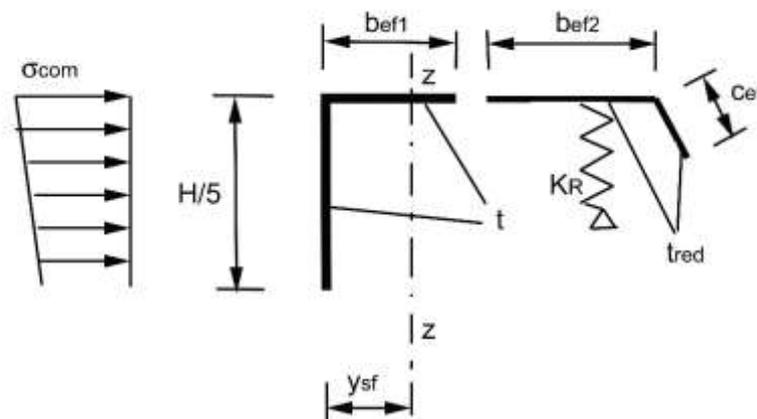


Figure 6.3.2 – Section transversale efficace de la semelle comprimée pour une contrainte choisie σ_{com}

Valeurs de la section transversale

- y_{sf} position de l'axe neutre en flexion latérale
- A_{fz} aire efficace de la semelle comprimée
- J_{fz} moment d'inertie efficace en flexion autour de l'axe z-z

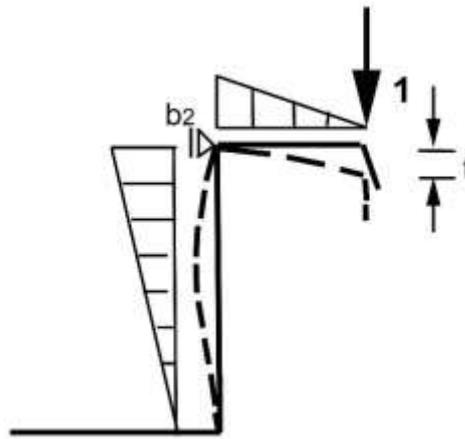


Figure 6.3.3 – Raideur du ressort du raidisseur de bord

Raideur du ressort:

$$K_R = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{3}{b_2 \cdot (b_2^2 + b_2 \cdot h)}$$

Etape 3: Effort de compression ultime de la petite semelle par rapport au flambement latéral

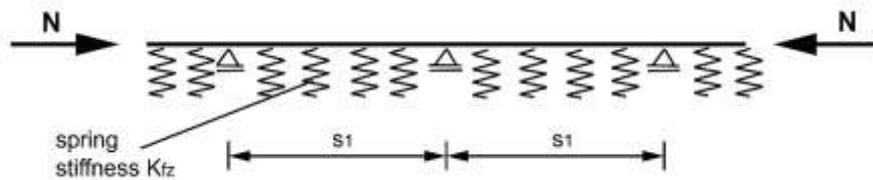


Figure 6.3.4 – Système statique de la petite semelle comprimée du plateau

Lorsque le flambement latéral de la semelle comprimée est considéré, l'appui élastique de la semelle comprimée dans la direction latérale peut être pris en compte:

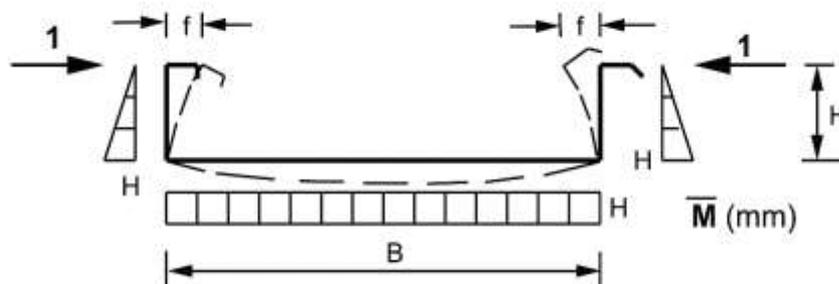


Figure 6.3.5 – Distribution du moment pour calculer le ressort K_{fz}

Raideur du ressort:

$$K_{fz} = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{6}{2 \cdot h^3 + 3 \cdot b \cdot h^2}$$

Force axiale critique:

$$N_{cr} = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{fz}}{s_1^2} + \frac{K_{fz} \cdot s_1^2}{n^2 \cdot \pi^2}$$

Design manual for liner trays

Normalement, la force axiale est minimale pour $n = 1$ ($n =$ nombre d'ondes de flambement entre les fixations voisines). La force de compression axiale ultime N_{Rk} est calculée conformément à la norme EN 1993-1-1, clause 6.3.1.1. Ici, la courbe de flambement a_0 peut être utilisée:

Force axiale ultime:

$$N_{Rk} = \chi(a_0) \cdot A_{fz} \cdot f_{yb}$$

Contrainte de compression ultime:

$$\sigma_k = \chi(a_0) \cdot f_{yb}$$

Si σ_k est différente de la contrainte initialement choisie σ_{com} , le calcul doit être répété à partir de l'étape 2 en utilisant $\sigma_{com} = \sigma_k$ jusqu'à ce que la contrainte σ_{com} , qui constitue la base de la section transversale efficace, et que les contraintes de flambement de la semelle comprimée σ_k aient convergé.

Des calculs analogues doivent être effectués pour les deux semelles du plateau.

Etape 4: Coefficient de réduction β_b

Le calcul selon les étapes 2 et 3 est effectué pour les deux semelles et pour les deux distances de fixation $s_{1,1}$ et $s_{1,2}$.

Le coefficient de réduction pour la distance de fixation $s_{1,2}$

$$\beta_b = \frac{\sum N_{Rk,1}}{\sum N_{Rk,2}}$$

7. CONSIDERATION DU DIMENSIONNEMENT SPECIFIQUE

Les domaines suivants ne sont pas traités par le présent manuel :

- Calcul feu
- Calcul sismique
- Aspects environnementaux
- Aspects thermiques
- Aspects acoustiques
- Tout autre sujet non clairement identifié plus haut ou plus bas.

8. EXPLICATION DU LOGICIEL DE CALCUL

8.1. Approche générale

Le logiciel excel existant intègre la nouvelle méthode de conception. Toutes les étapes du calcul sont incluses dans le logiciel. La force axiale ultime des petites semelles est calculée directement à l'aide des données de profil. Le nouveau coefficient de réduction peut être calculé avec un minimum d'effort.

La bonne façon d'utiliser ce logiciel itératif est expliquée ci-dessous.

8.2. DONNEES

Premièrement, le logiciel Excel a besoin des données des plateaux. Toutes les cellules rouges doivent être complétées avec les dimensions du profil: l'épaisseur de métal nu t_c , petite semelle inférieure b_{f1} , raidisseur latéral c_1 , petite semelle supérieure b_{f2} , raidisseur latéral c_2 , distance de fixation s_1 , hauteur du plateau H , largeur du plateau B , limite d'élasticité f_{yb} , et pente du raidisseur latéral a .

steel core thickness t_c	[mm]	fixing distance s_1	[mm]
small flange underneath b_{f1}	[mm]	Height of liner tray H	[mm]
Edge stiffener c_1	[mm]	Width of liner tray B	[mm]
small flange above b_{f2}	[mm]	yield strength f_{yb}	[N/mm ²]
Edge stiffener c_2	[mm]	Slope of edge stiffener a	[rad]
		(against reference plane parallel to liner tray's bottom)	

Figure 8.2.1 – Cellules Excel devant être complétées avec les dimensions du profil

8.3. Explication du calcul itératif

Une fois que les cellules Excel ont été remplies avec les dimensions de profil, le logiciel Excel calcule les résultats automatiquement.

Tout d'abord, les valeurs de la section transversale sont calculées pour les semelles gauche et droite.

Cross section values of the small flanges (effective cross section)							
flange underneath				stiffener			
I_{fz}	A_{fz}	y_{sf}	z_{sR}	I_{fz}	A_{fz}	y_{sf}	z_{sR}
mm ⁴	mm ²	mm	mm	mm ⁴	mm ²	mm	mm

Figure 8.3.1 – Calcul des valeurs de la section transversale des petites semelles

Dans un deuxième temps, le voilement local des petites semelles est calculé.

Local buckling of the small flanges																	
small flange underneath $b_{f1} =$						Edge stiffener $c_1 =$											
t_c	σ_d	$\lambda_{m,p}$	ρ	b_{ef1}	$\lambda_{m,p}$	ρ	b_{ef2}	$\lambda_{m,p}$	ρ	c_{ef}	A_R	I_R	c_R	σ_{kiR}	$\lambda_{m,MR}$	χ_d	t_{red}
mm	N/mm ²	-		mm	-		mm	-		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm
small flange above $b_{f2} =$						Edge stiffener $c_2 =$											
t_c	σ_d	$\lambda_{m,p}$	ρ	b_{ef1}	$\lambda_{m,p}$	ρ	b_{ef2}	$\lambda_{m,p}$	ρ	c_{ef}	A_R	I_R	c_R	σ_{kiR}	$\lambda_{m,MR}$	χ_d	t_{red}
mm	N/mm ²	-		mm	-		mm	-		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm

Figure 8.3.2 – Calcul du voilement local des petites semelles

Design manual for liner trays

Chaque semelle est considérée séparément, comme elles ne sont pas symétriques. Les cellules rouges doivent être complétées de façon itérative, ce qui sera expliqué ultérieurement

La troisième étape consiste à calculer la force axiale ultime pour chaque semelle.

small flange underneath													
	t_c mm	s_1 mm	n -	I_fz mm ⁴	A_fz mm ²	i_fz mm	c_fz N/mm ²	N_ki,z N	lam_k -	Phi -	Chi-a0 -	sigma_u N/mm ²	N_uD N
small flange above													
	t_k mm	s_1 mm	n -	I_fz mm ⁴	A_fz mm ²	i_fz mm	c_fz N/mm ²	N_ki,z N	lam_k -	Phi -	Chi-a0 -	sigma_u N/mm ²	N_uD N

Figure 8.3.3 – Calcul de la force axiale ultime pour chaque petite semelle

Pour obtenir les bons résultats, la contrainte σ_u doit être itérée. Pour la résistance à la compression, l'utilisateur saisit σ_d (cellules rouges de la figure 8.3.2) au cours de l'itération. L'itération est effectuée jusqu'à ce que cette valeur soit conforme à σ_u (cellules vertes de la Figure 8.3.3)

8.4. Résultats

Lorsque l'itération est terminée, le logiciel Excel génère en résumé la charge axiale ultime pour les deux petites semelles et une contrainte de compression moyenne σ_u .

both small flanges together							
	t_k mm	s_1 mm	n -	I_fz mm ⁴	A_fz mm ²	N_uD N	sigma_u N/mm ²

Figure 8.4.1 – Calcul de la force axiale ultime en résumé

9. EXEMPLE DE CALCUL

9.1. Description du bâtiment et du système statique

9.1.1. Disposition

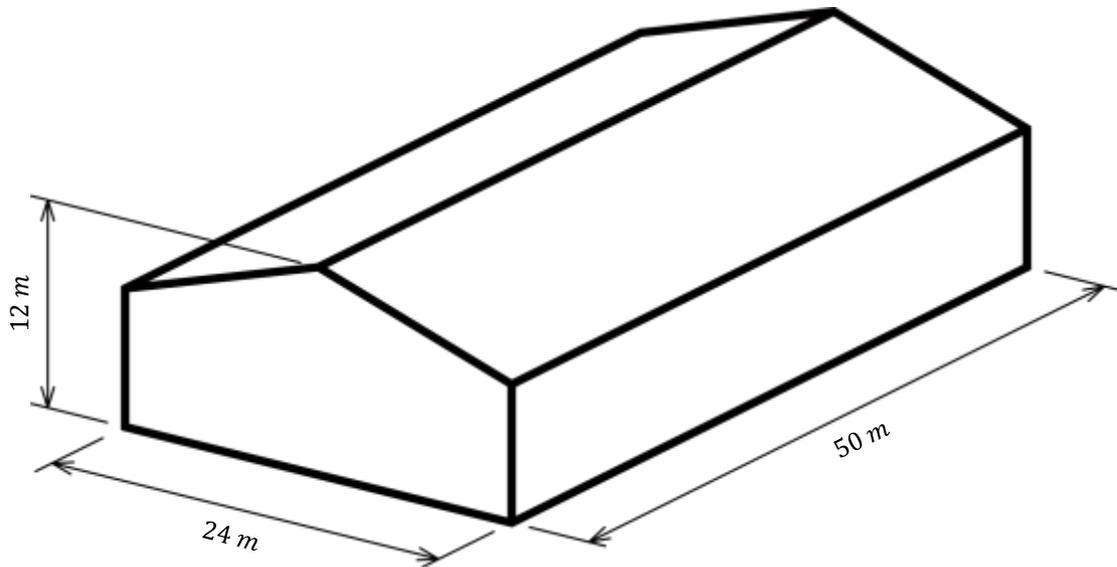


Figure 9.1.1 - Dimensions du bâtiment

La portée L du plateau à la structure porteuse:

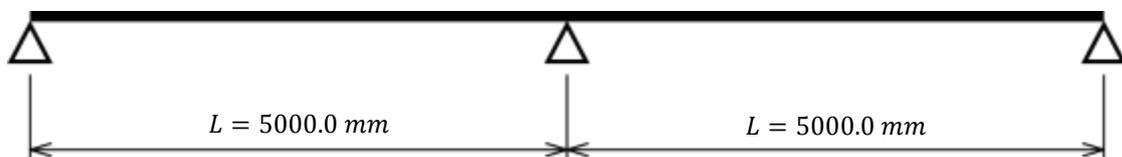


Figure 9.1.2 - Schéma statique de la disposition du plateau

Une plaque trapézoïdale est utilisée avec un écarteur en tant que parement extérieur. Un profil z est utilisé en tant qu'écarteur.

Le calcul du parement extérieur et du profil z ne fait pas partie de ce manuel de calcul.

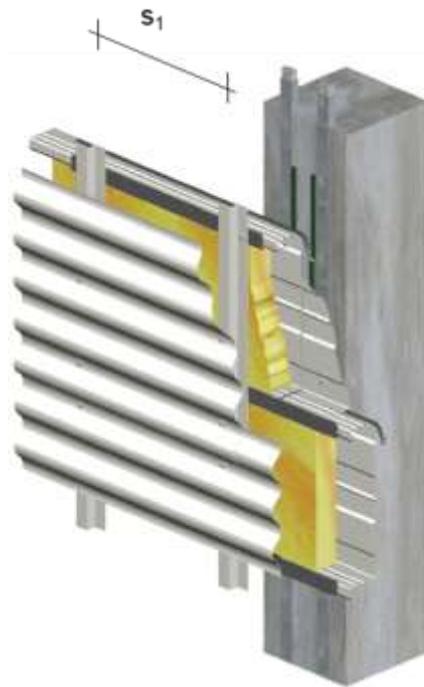


Figure 9.1.3 – Système de bardage avec plateau

L'écarteur est fixé tous les 1250 mm, ce qui correspond à la longueur de flambement $s_{1,2}$ de la petite semelle comprimée.

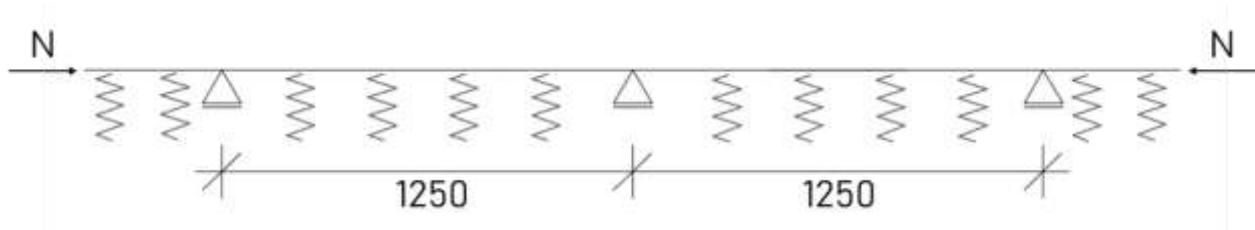


Figure 9.1.4 – Schéma statique de la semelle comprimée pour la longueur de flambement

9.1.2. Géométrie du profil

Le profil calculé ainsi est le suivant:

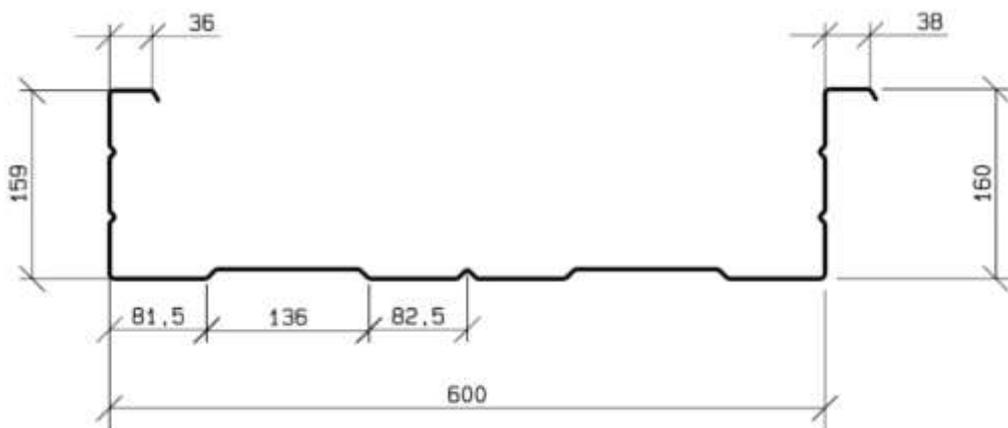


Figure 9.1.5 – Géométrie du profil calculé

Notation:

$$\begin{aligned}
 t_{nom} &= 0.75 \text{ mm} \\
 b_{f1} &= 36.0 \text{ mm} \\
 c_1 &= 10.0 \text{ mm} \\
 b_{f2} &= 38.0 \text{ mm} \\
 c_2 &= 10.0 \text{ mm} \\
 h &= 160.0 \text{ mm} \\
 b &= 600.0 \text{ mm} \\
 M_{c,Rk,1} &= 5.57 \text{ kNm/m (portée)}
 \end{aligned}$$

9.1.3. Propriétés des matériaux

Générales:

$$\begin{aligned}
 E &= 210000 \text{ N/mm}^2 \\
 \nu &= 0,3
 \end{aligned}$$

Acier utilisé:

$$\begin{aligned}
 \text{Nuance d'acier: S320} \\
 f_{yb} &= 320 \text{ N/mm}^2 \\
 t_{nom} &= 0,75 \text{ mm} \\
 t_{cor} &= 0.71 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

9.2. Calcul des résistances du profil

9.2.1. Validité de la géométrie du profil

$$\begin{aligned}
 0.75 \text{ mm} \leq t_{nom} = 0.75 \text{ mm} < 1.5 \text{ mm} \\
 30 \text{ mm} \leq b_f = 37.0 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm} \\
 60 \text{ mm} < h = 160.0 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \\
 300 \text{ mm} \leq b_u = 600.0 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \\
 I_a/b_u = 0.522 \text{ mm}^4/\text{mm} \leq 10 \text{ mm}^4/\text{mm} \\
 s_1 = 1250 \text{ mm} \leq 2000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

La géométrie du profil est dans le domaine de validité de la procédure de calcul.

9.2.2. Moment résistant – plage en compression

La plage en compression ne fait pas partie de la nouvelle procédure de calcul et doit être vérifiée selon l'EN 1991-1-3 "10.2.2.1 Plage en compression".

9.2.3. Moment résistant – plage en tension en travée sous pression

Pour calculer le moment résistant sous charge de succion selon la nouvelle méthode de conception, la force axiale ultime pour la longueur connue, puis pour la longueur inconnue, est calculée. De ce fait, le coefficient de réduction peut être calculé avec

$$\beta_b = \frac{\sum N_{Rk,1}}{\sum N_{Rk,2}}$$

En raison des différentes semelles, les deux sont calculées séparément puis additionnées.

Force axiale ultime pour la distance de fixation connue $s_{1,1}$

La distance de fixation connue $s_{1,1}$ est 732 mm, ce qui correspondrait à une connexion toutes les trois semelles de la plaque trapézoïdale. Le moment de flexion ultime correspondant en travée $M_{c,Rk,1}$ doit être calculé conformément à l'EN 1993-1-3 ou pris dans les spécifications du fabricant.

Au départ les cellules rouges doivent être complétées avec les données.

steel core thickness t_c	0.71	[mm]	fixing distance s_1	732	[mm]
small flange underneath b_{f1}	36	[mm]	Height of liner tray H	160	[mm]
Edge stiffener c_1	10	[mm]	Width of liner tray B	600	[mm]
small flange above b_{f2}	38	[mm]	yield strength f_{yb}	320	[N/mm ²]
Edge stiffener c_2	10	[mm]	Slope of edge stiffener α	1.047	[rad]

(against reference plane parallel to liner tray's bottom)

Figure 9.2.1 – Les dimensions du profil et la distance de fixation connue $s_{1,1}$

Au premier pas, les sections transversales brutes des semelles comprimées doivent être calculées séparément pour les deux semelles. La semelle et le raidisseur de bord sont entièrement pris en compte. En revanche, seul un cinquième de l'âme est pris en compte (voir Figure 6.3.1).

Semelle inférieure:

$$b_{f1} = 36.0 \text{ mm}$$

$$c_1 = 10.0 \text{ mm}$$

$$h_1 = 1/5 * 159 = 31.8 \text{ mm}$$

Semelle supérieure:

$$b_{f2} = 38.0 \text{ mm}$$

$$c_2 = 10.0 \text{ mm}$$

$$h_2 = 1/5 * 160 = 32 \text{ mm}$$

Cross section values of the small flanges (effective cross section)							
flange underneath			stiffener	flange above			stiffener
I_fz	A_fz	y_sf	z_sR	I_fz	A_fz	y_sf	z_sR
mm ⁴	mm ²	mm	mm	mm ⁴	mm ²	mm	mm
6855	42.03	8.47	1.320	7434	41.88	8.70	1.278

Figure 9.2.2 – Section transversale calculée avec la distance de fixation connue $s_{1,1}$

Au deuxième pas, la section transversale efficace doit considérer le voilement local de la semelle et du raidisseur ainsi que le flambement par distorsion du raidisseur (voir Figure 6.3.2). La procédure est la même que dans l'EN 1993-1-3 en ce qui concerne le voilement local et le flambement par distorsion "5.5.3.2 Parois munies de raidisseurs de bord".

La raideur du ressort du raidisseur de bord doit être calculée comme montré sur la Figure 9.2.3 et les résultats calculés par le logiciel Excel sont montrés sur la Figure 9.2.4

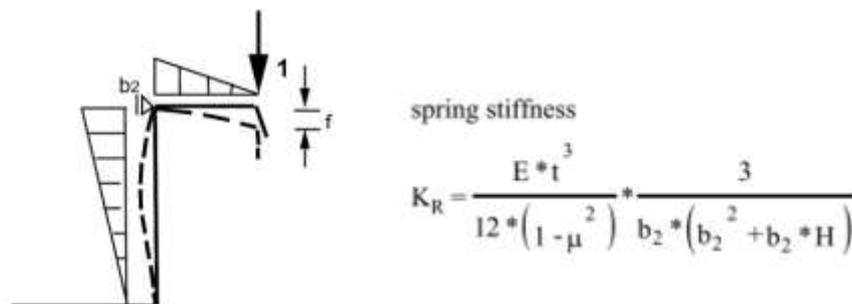


Figure 9.2.3 – Raideur du ressort du raidisseur de bord K_R

Design manual for liner trays

Semelle inférieure:

avec

$$b_2 = b_{f1} = 36 \text{ mm}$$

$$h = h_w = 160 \text{ mm}$$

$$K_{R,1} = \frac{210000 \cdot 0.71^3}{12 \cdot (1 - 0.3^2)} \cdot \frac{3}{b_2 \cdot (b_2^2 + b_2 \cdot h)} = 0.0813 \text{ N/mm}^2$$

Semelle supérieure:

avec

$$b_2 = b_{f2} = 38 \text{ mm}$$

$$h = h_w = 160 \text{ mm}$$

$$K_{R,2} = \frac{210000 \cdot 0.71^3}{12 \cdot (1 - 0.3^2)} \cdot \frac{3}{b_2 \cdot (b_2^2 + b_2 \cdot h)} = 0.0722 \text{ N/mm}^2$$

Dans ce cas, l'épaisseur d'une semelle étroite est utilisée pour b_2 .

Pour calculer le coefficient de réduction ρ , [8] et [9] sont nécessaires.

Lors de l'utilisation du logiciel Excel, il faut d'abord adopter la contrainte à la limite d'élasticité de base et l'améliorer itérativement.

Local buckling of the small flanges

small flange underneath $b_{f1} =$				36	mm				Edge stiffener $c_1 =$				10	mm			
t_c	sigma_d	lam_p	rho	b_ef1	lam_p	rho	b_ef2	lam_p	rho	c_ef	A_R	I_R	c_R	sigm_kiR	lam_MR	chi_d	t_red
mm	N/mm ²	-								mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm
0.71	285.4	0.9832	0.7895	14.21	0.6826	0.9928	17.87	0.7725	0.9062	9.06	19.12	98.7	0.0813	135.8	1.5352	0.4299	0.342

small flange above $b_{f2} =$				38	mm				Edge stiffener $c_2 =$				10	mm			
t_c	sigma_d	lam_p	rho	b_ef1	lam_p	rho	b_ef2	lam_p	rho	c_ef	A_R	I_R	c_R	sigm_kiR	lam_MR	chi_d	t_red
mm	N/mm ²	-								mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm
0.71	288.07	1.0427	0.7567	14.38	0.7055	0.9754	18.53	0.7761	0.9020	9.02	19.56	98.2	0.0722	124.8	1.6013	0.4122	0.325

Figure 9.2.4 – Considération des valeurs efficaces du voilement local et du flambement par distorsion pour la distance de fixation connue $s_{1,1}$

Au troisième pas, la force de compression ultime de la petite semelle par rapport au flambement latéral doit être calculée (voir Figure 6.3.4).

Pour cela, la raideur du ressort K_{fz} doit être calculée une seule fois, car c'est indépendant des semelles (voir Figure 6.3.5).

$$K_{fz} = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{6}{2 \cdot h^3 + 3 \cdot b \cdot h^2}$$

avec

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = h_w = 160 \text{ mm}$$

$$K_{fz} = \frac{210000 \cdot 0.71^3}{12 \cdot (1 - 0.3^2)} \cdot \frac{6}{2 \cdot h^3 + 3 \cdot b \cdot h^2} = 0.00076 \text{ N/mm}^2$$

La largeur de la plage b_u est utilisée ici comme largeur b .

Après avoir calculé la raideur du ressort, la charge axiale critique peut être calculée séparément encore une fois pour les deux semelles.

$$N_{cr} = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{fz}}{s_1^2} + \frac{K_{fz} \cdot s_1^2}{n^2 \cdot \pi^2}$$

Semelle inférieure:

$$N_{cr,1,1} = \frac{1^2 \cdot \pi^2 \cdot 210000 \cdot 6855}{732^2} + \frac{0.00076 \cdot 732^2}{1^2 \cdot \pi^2} = 26556 \text{ N}$$

Semelle supérieure:

$$N_{cr,1,2} = \frac{1^2 \cdot \pi^2 \cdot 210000 \cdot 7434}{732^2} + \frac{0.00076 \cdot 732^2}{1^2 \cdot \pi^2} = 28796 \text{ N}$$

Le coefficient de réduction χ peut être calculé avec la charge axiale critique et la courbe de flambement correspondante, de sorte que la force axiale ultime puisse être déterminée. Ici, la courbe de flambement a_0 peut être utilisée de [10] et [11].

Semelle inférieure:

$$N_{Rk,1,1} = \chi(a_0) \cdot A_{fz} \cdot f_{yb} = 11994 \text{ N}$$

Semelle supérieure:

$$N_{Rk,1,2} = \chi(a_0) \cdot A_{fz} \cdot f_{yb} = 12096 \text{ N}$$

Comme il s'agit d'un processus itératif, le calcul doit être répété jusqu'à ce que la force de compression ultime et la contrainte de flambement de la semelle comprimée aient convergé.

small flange underneath

	t_c	s_1	n	I_fz	A_fz	i_fz	c_fz	N_ki,z	lam_k	Phi	Chi-a0	sigma_u	N_uD
	mm	mm	-	mm ⁴	mm ²	mm	N/mm ²	N	-	-	-	N/mm ²	N
	0.71	732	1	6855	42.03	12.77	0.00076	26556	0.7116	0.7865	0.8918	285.4	11994

small flange above

	t_k	s_1	n	I_fz	A_fz	i_fz	c_fz	N_ki,z	lam_k	Phi	Chi-a0	sigma_u	N_uD
	mm	mm	-	mm ⁴	mm ²	mm	N/mm ²	N	-	-	-	N/mm ²	N
	0.71	732	1	7434	41.88	13.32	0.00076	28796	0.6822	0.7641	0.9024	288.8	12096

Figure 9.2.5 – Force de compression axiale ultime calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,1}$

En utilisant le logiciel Excel, les cellules rouges de la Figure 9.2.4 doivent être itérées jusqu'à ce qu'elles soient égales aux cellules vertes de la Figure 9.2.5.

La force de compression axiale ultime totale pour la distance de fixation connue, exprimée par la somme des semelles droite et gauche, est la suivante:

$$\sum N_{Rk,1} = 11994 + 12096 = 24089 \text{ N}$$

both small flanges together

	t_k	s_1	n	I_fz	A_fz	N_uD	sigma_u
	mm	mm	-	mm ⁴	mm ²	N	N/mm ²
	0.71	732	1	14289	83.91	24089	287.1

Figure 9.2.6 – Force axiale ultime totale calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,1}$

Avant que le nouveau coefficient de réduction β_b puisse être calculé, le même calcul du pas 1 au pas 3 doit être répété pour la distance de fixation inconnue $s_{1,2}$.

Force axiale ultime pour la distance de fixation inconnue $s_{1,2}$

Le calcul pour la distance de fixation inconnue $s_{1,2}$ étant analogue, seuls les résultats du logiciel Excel sont affichés.

Tous les paramètres sont identiques à l'exception de la distance de fixation qui change à 1250 mm.

steel core thickness t_c	0.71	[mm]	fixing distance s_1	1250	[mm]
small flange underneath b_{f1}	36	[mm]	Height of liner tray H	160	[mm]
Edge stiffener c_1	10	[mm]	Width of liner tray B	600	[mm]
small flange above b_{f2}	38	[mm]	yield strength f_{yb}	320	[N/mm ²]
Edge stiffener c_2	10	[mm]	Slope of edge stiffener α	1.047	[rad]

(against reference plane parallel to liner tray's bottom)

Figure 9.2.7 – Les dimensions du profil et distance de fixation connue $s_{1,2}$

PAS 1:

Cross section values of the small flanges (effective cross section)

flange underneath				stiffener	flange above				stiffener
I_{fz}	A_{fz}	y_{sf}	z_{sR}		I_{fz}	A_{fz}	y_{sf}	z_{sR}	
mm ⁴	mm ²	mm	mm		mm ⁴	mm ²	mm	mm	
9399	47.73	10.89	1.568		9972	46.90	10.99	1.533	

Figure 9.2.8 – Section transversale calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,2}$

PAS 2:

Local buckling of the small flanges

small flange underneath $b_{f1} =$				36				mm				Edge stiffener $c_1 =$				10				mm			
t_c	σ_d	λ_{mp}	ρ	b_{ef1}	λ_{mp}	ρ	b_{ef2}	λ_{mp}	ρ	c_{ef}	A_R	I_R	c_R	σ_{kiR}	λ_{MR}	χ_d	t_{red}						
mm	N/mm ²	-		mm	mm		mm	mm		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm						
0.71	207.06	0.8375	0.8804	15.85	0.7016	0.9783	17.61	0.6580	1.0639	10.00	19.60	129.3	0.0813	151.5	1.4531	0.4542	0.498						

small flange above $b_{f2} =$				38				mm				Edge stiffener $c_2 =$				10				mm			
t_c	σ_d	λ_{mp}	ρ	b_{ef1}	λ_{mp}	ρ	b_{ef2}	λ_{mp}	ρ	c_{ef}	A_R	I_R	c_R	σ_{kiR}	λ_{MR}	χ_d	t_{red}						
mm	N/mm ²	-		mm	mm		mm	mm		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm						
0.71	217.3	0.9056	0.8360	15.88	0.7264	0.9597	18.23	0.6741	1.0385	10.00	20.05	130.3	0.0722	140.3	1.5104	0.4370	0.457						

Figure 9.2.9 – Considération des valeurs efficaces du voilement local et du flambement par distorsion pour la distance de fixation connue $s_{1,2}$

PAS 3:

small flange underneath

t_c	s_1	n	I_{fz}	A_{fz}	i_{fz}	c_{fz}	$N_{ki,z}$	λ_{mk}	Φ	χ_{a0}	σ_u	N_{uD}
mm	mm	-	mm ⁴	mm ²	mm	N/mm ²	N	-	-	-	N/mm ²	N
0.71	1250	1	9399	47.73	14.03	0.00076	12588	1.1016	1.1653	0.6470	207.1	9883

small flange above

t_k	s_1	n	I_{fz}	A_{fz}	i_{fz}	c_{fz}	$N_{ki,z}$	λ_{mk}	Φ	χ_{a0}	σ_u	N_{uD}
mm	mm	-	mm ⁴	mm ²	mm	N/mm ²	N	-	-	-	N/mm ²	N
0.71	1250	1	9972	46.90	14.58	0.00076	13348	1.0603	1.1180	0.6790	217.3	10190

Figure 9.2.10 – Force de compression axiale ultime calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,2}$

both small flanges together

t_k	s_1	n	I_{fz}	A_{fz}	N_{uD}	σ_u
mm	mm	-	mm ⁴	mm ²	N	N/mm ²
0.71	1250	1	19371	94.63	20073	212.1

Figure 9.2.11 – Force axiale ultime totale calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,2}$

Design manual for liner trays

La force de compression ultime totale pour la distance de fixation inconnue, comme somme de la semelle droite et gauche, est:

$$\sum N_{Rk,2} = 9883 + 10190 = 20073 \text{ N}$$

Si les deux forces axiales ultimes sont calculées, le nouveau coefficient de réduction peut être calculé.

Calcul de la résistance au moment avec le nouveau coefficient de réduction

Le coefficient de réduction résulte du quotient des forces ultimes.

$$\beta_b = \frac{\sum N_{Rk,2}}{\sum N_{Rk,1}} = 0.833$$

Enfin, la résistance au moment peut être calculée avec la résistance au moment connue, donnée par le fabricant: 5.57 kNm/m.

$$M_{c,Rk,2} = M_{c,Rk,1} \cdot \beta_b = 4.64 \text{ kNm/m}$$

TABLE DES FIGURES

Figure 1.1.1 – Explication de la distance de fixation s_1	12
Figure 1.1.2 - Domaine d'application des plateaux.....	12
Figure 1.2.1 – Systèmes de bardage avec plateaux	13
Figure 1.3.1 – Dispositif pour les essais en travée simple et d'appui intérieur.....	14
Figure 1.3.2 – Dispositif des essais double travée.....	14
Figure 1.3.3 – Ruine par flambement latéral de la semelle comprimée	14
Figure 1.3.4 – Ruine par flambement latéral de la semelle comprimée	15
Figure 2.2.1 – Domaine d'application géométrique	16
Figure 6.3.1 – Plateau, définition de la section transversale brute de la semelle comprimée.....	19
Figure 6.3.2 – Section transversale efficace de la semelle comprimée pour une contrainte choisie σ_{com}	19
Figure 6.3.3 – Raideur du ressort du raidisseur de bord	20
Figure 6.3.4 – Système statique de la petite semelle comprimée du plateau	20
Figure 6.3.5 – Distribution du moment pour calculer le ressort K_{fz}	20
Figure 8.2.1 – Cellules Excel devant être complétées avec les dimensions du profil.....	23
Figure 8.3.1 – Calcul des valeurs de la section transversale des petites semelles.....	23
Figure 8.3.2 – Calcul du voilement local des petites semelles.....	23
Figure 8.3.3 – Calcul de la force axiale ultime pour chaque petite semelle	24
Figure 8.4.1 – Calcul de la force axiale ultime en résumé	24
Figure 9.1.1 - Dimensions du bâtiment	25
Figure 9.1.2 – Schéma statique de la disposition du plateau	25
Figure 9.1.3 – Système de bardage avec plateau	26
Figure 9.1.4 – Schéma statique de la semelle comprimée pour la longueur de flambement.....	26
Figure 9.1.5 – Géométrie du profil calculé	26
Figure 9.2.1 – Les dimensions du profil et la distance de fixation connue $s_{1,1}$	28
Figure 9.2.2 – Section transversale calculée avec la distance de fixation connue $s_{1,1}$	28
Figure 9.2.3 – Raideur du ressort du raidisseur de bord K_R	28
Figure 9.2.4 – Considération des valeurs efficaces du voilement local et du flambement par distorsion pour la distance de fixation connue $s_{1,1}$	29
Figure 9.2.5 – Force de compression axiale ultime calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,1}$	30
Figure 9.2.6 – Force axiale ultime totale calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,1}$	30
Figure 9.2.7 – Les dimensions du profil et distance de fixation connue $s_{1,2}$	31
Figure 9.2.8 – Section transversale calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,2}$	31

Design manual for liner trays

Figure 9.2.9 – Considération des valeurs efficaces du voilement local et du flambement par distorsion pour la distance de fixation connue $s_{1,2}$ 31

Figure 9.2.10 – Force de compression axiale ultime calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,2}$ 31

Figure 9.2.11 – Force axiale ultime totale calculée pour la distance de fixation connue $s_{1,2}$ 31

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CEN, EN 1991-1-1:2002 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels, 2010.
- [2] CEN, EN 1993-1-3:2006 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting, Brussels, 2006.
- [3] CEN, EN 1090-1: 2012 - Execution of steel structures and aluminium structures - Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components, Brussels, 2012.
- [4] CEN, EN 14782: 2015 - Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining - Product specification and requirements, Brussels, 2015.
- [5] CEN, EN 1990 Eurocode 0: Basis of structural design, Brussels, 2010.
- [6] CEN, EN 1991-1-3: 2005 - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads, Brussels, 2005.
- [7] CEN, EN 1991-1-6:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-6: General actions, Actions during execution, Brussels, 2010
- [8] CEN, EN 1993-1-5:2006 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements, Brussels, 2006.
- [9] CEN, EN 1993-1-5:2006/A1:2017 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements – Amendment A1.
- [10] CEN, EN 1993-1-1:2005 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [11] CEN, EN 1993-1-1:2005/A1:2014 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings – Amendment A1, Brussels, 2014.

ANNEXE:

D2.1	GRISPE WP2 Background document	Christian FAUTH (KIT)
D2.2	GRISPE WP2 Test programme definition	Rainer HOLZ (IFL)
D2.3	GRISPE Test report	Christian FAUTH (KIT)
D2.4	GRISPE WP2 Test analysis and interpretation	Rainer HOLZ (IFL)
D2.5	GRISPE WP2 Background and draft annex for EN 1993-1-3 for liner trays	Christian FAUTH (KIT)