

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

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



DESIGN MANUAL FOR LINER TRAYS

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.

STRESZCZENIE

Celem niniejszej instrukcji jest prezentacja nowej metody projektowania przez weryfikację obliczeniową, dotyczącej kaset ściennych wykonanych ze stalowych blach profilowanych. Metoda ta została opracowana w ramach międzynarodowego projektu badawczego GRISPE PLUS, na podstawie wyników badań przeprowadzonych we wcześniejszym projekcie GRISPE.

Niniejsza instrukcja jest zgodna z zasadami projektowania określonymi w poszczególnych eurokodach, w tym w szczególności w normach EN 1993-1-3 i EN 1993-1-5.

Procedury obliczeniowe zastosowane w niniejszej instrukcji oparto na wynikach badań eksperymentalnych przeprowadzonych w latach 2013 – 2016 w ramach projektu GRISPE.

Poszczególne etapy przygotowywania procedur przedstawionych w niniejszej instrukcji zestawiono w Aneksie.

W szczególności:

W rozdziale 1 pokazano typy rozważanych kaset ściennych, przedstawiono obecny stan wiedzy oraz opisano podstawowe wyniki badań prowadzonych w ramach projektu GRISPE. Ponadto sformułowano główne zasady i wymagania projektowe.

W rozdziale 2 zestawiono wstępne ustalenia które należy brać pod uwagę w fazie przedprojektowej. W szczególności określono obszar zastosowań nowej metody projektowej.

W rozdziale 3 określono wymagania technologiczne które muszą być respektowane przy przeprowadzaniu badań w zakresie dotyczącym niniejszej instrukcji, zwłaszcza te odnoszące się do ramy podpierającej testowane elementy, a także do przekrojów poprzecznych testowanych kaset i ich zestawów.

W rozdziale 4 zestawiono listę właściwości materiałowych stali konstrukcyjnej z której wykonano kasety ścienne rozpatrywane w niniejszej instrukcji.

W rozdziale 5 podano obciążenia zewnętrzne brane pod uwagę w analizie a także ich miarodajne kombinacje.

W rozdziale 6 określono podstawy projektowania.

W rozdziale 7 zestawiono specyficzne uwarunkowania projektowe dla których niniejsza instrukcja nie ma zastosowania.

W rozdziale 8 objaśniono w szczegółach działanie arkusza kalkulacyjnego wykorzystanego do obliczeń.

W rozdziale 9 pokazano przykład obliczeniowy w którym zastosowano nową metodę projektowania prezentowaną w niniejszej instrukcji.

Na końcu niniejszej instrukcji zamieszczono bibliografię.

WAŻNA UWAGA

Dane eksperymentalne, procedury obliczeniowe a także arkusz kalkulacyjny wykorzystywany w analizie zostały dostarczone przez Rainera Holza, IFL – ING LEICHTBAU oraz Daniela Ruffa i Christiana Fautha, KIT – KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY.

PRZEDMOWA

Niniejsza instrukcja powstała w ramach programu finansowanego z funduszu RFCS numer 754092.

Procedura projektowania prezentowana w niniejszej instrukcji była dyskutowana w latach 2016 – 2017 na posiedzeniach tak zwanej Evolution Group dedykowanej normie EN 1993-1-3 i jest traktowana jako propozycja uzupełnienia dotychczasowych zapisów tego eurokodu.

Niniejsza instrukcja została napisana przez Lisę Kramer i Dominika Pyschny-ego na podstawie danych eksperymentalnych i rozważań odnoszących się do wcześniejszych wyników uzyskanych w ramach projektu badawczego GRISPE. Procedury zawarte w tej instrukcji były dyskutowane na posiedzeniach Grupy Roboczej projektu GRISPE PLUS. Do grupy tej należeli następujący członkowie:

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

RYSUNKI

Rysunki zamieszczone w niniejszej instrukcji pochodzą z następujących źródeł:

Rys. 1.1.1	Copy of EN 1993-1-3
Rys. 1.1.2	Copy of EN 1993-1-3
Rys. 1.2.1	International Association for Lightweight Metal Building Envelopes (IFBS)
Rys. 1.3.1	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 1.3.2	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 1.3.3	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 1.3.4	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 2.2.1	Copy of EN 1993-1-3
Rys. 6.3.1	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 6.3.2	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 6.3.3	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 6.3.4	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 6.3.5	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 8.2.1	Plotted from Excel software
Rys. 8.3.1	Plotted from Excel software
Rys. 8.3.2	Plotted from Excel software
Rys. 8.3.3	Plotted from Excel software
Rys. 8.4.1	Plotted from Excel software
Rys. 9.1.1	Bacacier
Rys. 9.1.2	Bacacier
Rys. 9.1.3	International Association for Lightweight Metal Building Envelopes (IFBS)
Rys. 9.1.4	RWTH Aachen
Rys. 9.1.5	Wurzer Profiliertechnik GmbH
Rys. 9.2.1	Plotted from Excel software
Rys. 9.2.2	Plotted from Excel software
Rys. 9.2.3	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – GRISPE project
Rys. 9.2.4	Plotted from Excel software
Rys. 9.2.5	Plotted from Excel software
Rys. 9.2.6	Plotted from Excel softwareFigure 9.2.6
Rys. 9.2.7	Plotted from Excel software
Rys. 9.2.8	Plotted from Excel software
Rys. 9.2.9	Plotted from Excel software
Rys. 9.2.10	Plotted from Excel software

Rys. 9.2.11 Plotted from Excel software Figure 9.2.11

SPIS TREŚCI

CEL PUBLIKACJI	10
OZNACZENIA	11
1. WPROWADZENIE.....	12
1.1. Typy stalowych kaset ściennych rozważanych w niniejszej instrukcji.....	12
1.2. Dotychczasowy stan wiedzy.....	12
1.3. Główne rezultaty uzyskane w projekcie GRISPE	13
1.4. Ogólne wymagania i zasady projektowe	16
2. USTALENIA WSTĘPNE	17
2.1. Obszar zastosowań nowej metody projektowej	17
2.2. Dyspozycje technologiczne	17
3. PODSTAWOWE WYMAGANIA TECHNOLOGICZNE	19
4. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁOWE	19
5. ODDZIAŁYWANIA ZEWNĘTRZNE I ICH MIARODAJNE KOMBINACJE	19
6. PODSTAWY PROJEKTOWANIA	20
6.1. Zasady ogólne	20
6.2. Obszar stosowania nowej metody obliczeniowej	20
6.3. Procedura obliczeniowa.....	20
7. SPECYFICZNE USTALENIA PROJEKTOWE	24
8. OBJAŚNIENIE ARKUSZA KALKULACYJNEGO WYKORZYSTANEGO DO OBLICZEŃ.....	25
8.1. Uwagi ogólne.....	25
8.2. Dane	25
8.3. Objasnienie procedury iteracyjnej	25
8.4. WYNIKI KOŃCOWE	26
9. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY	27
9.1. Opis budynku w którym zastosowano kasety ścienne i specyfikacja miarodajnego schematu statycznego	27
9.1.1. Uwagi ogólne.....	27
9.1.2. Geometria przekroju poprzecznego stalowej kasety ściennej rozpatrywanej w przykładzie	28
9.1.3. Właściwości materiałowe.....	29
9.2. Obliczenie nośności przekroju poprzecznego kasety	29
9.2.1. Weryfikacja wymiarów geometrycznych przekroju.....	29
9.2.2. Nośność na zginanie przekroju poprzecznego kasety – szeroki pas kasety poddany ścisnaniu.....	29
9.2.3. Nośność na zginanie przekroju poprzecznego kasety – szeroki pas kasety poddany rozciąganiu w przęśle obciążonym siłami parcia	29
spis rysunków	35
BIBLIOGRAFIA	37
ANEKS:	38

CEL PUBLIKACJI

Celem niniejszej publikacji jest prezentacja nowej metody projektowania kaset ściennych wykonanych ze stalowej blachy profilowanej. Metoda ta jest proponowana jako uzupełnienie dotychczasowych zapisów normy EN 1993-1-3.

Procedury obliczeniowe prezentowane w niniejszej instrukcji dotyczą jedynie podstawowych sytuacji projektowych.

W przypadku rozpatrywania sytuacji wyjątkowych (oddziaływania sejsmiczne, pożar itp.) należy stosować się do odpowiednich zapisów eurokodów oraz normy EN 1090-4.

OZNACZENIA

W prezentowanej procedurze zastosowano następujące oznaczenia:

h : całkowita głębokość kasety

t : grubość obliczeniowa

b_f : szerokość wąskiego pasa kasety

b_u : szerokość szerokiego pasa kasety

c : szerokość podwinięcia swobodnej krawędzi wąskiego pasa kasety

$b_{u,eff}$: szerokość efektywna szerokiego pasa kasety

e_0 : odległość pomiędzy osią centralną przekroju poprzecznego brutto i osią centralną wąskiego pasa kasety

L : rozpiętość kasety

t_{eq} : zastępcza grubość wąskiego pasa kasety

I_a : moment bezwładności przekroju szerokiego pasa kasety

$I_{y,eff}$: moment bezwładności przekroju efektywnego

W_{eff} : wskaźnik zginania przekroju efektywnego

f_{yb} : granica plastyczności stali z której wykonano kasety

γ_{M0} : częściowy współczynnik bezpieczeństwa

$M_{b,Rd}$: nośność kasety skojarzona z jej wyboczeniem przy zginaniu

β_b : współczynnik redukcyjny

s_1 : podłużny rozstaw łączników zabezpieczających przed zwichrzeniem wąskiego pasa kasety

y_{sf} : położenie osi obojętnej przekroju przy analizie zwichrzenia

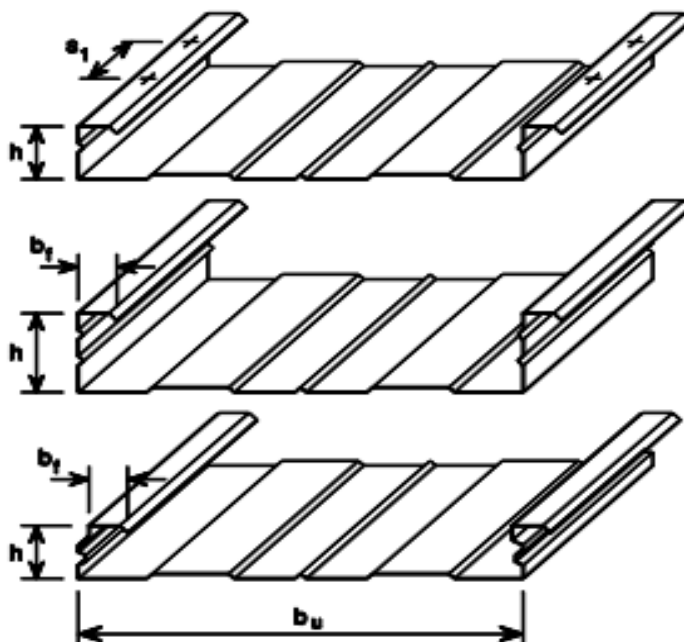
A_{sf} : powierzchnia efektywna ściskanego pasa kasety

J_{sf} : moment bezwładności przekroju efektywnego względem osi z-z

1. WPROWADZENIE

1.1. Typy stalowych kaset ściennych rozważanych w niniejszej instrukcji

Niniejsza instrukcja dotyczy stalowych kaset ściennych. Prezentowana procedura obliczeniowa wiąże się z bardziej precyzyjnym wyznaczeniem wartości współczynnika redukcyjnego β_b a także z rozszerzonym zakresem stosowania rozstawu mocowania s_1 pomiędzy zewnętrzną powłoką ściany osłonowej i wąskim pasem kołnierza kasety ściennej.



Rys. 1.1.1 – Interpretacja rozstawu mocowania s_1

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

Rys. 1.1.2 – Zakres stosowania stalowych kaset ściennych

1.2. Dotychczasowy stan wiedzy

Stalowe kasety ścienne są cienkościennymi elementami lekkiej obudowy używanymi jako wewnętrzna powłoka systemu podwójnej ściany osłonowej (Rys. 1.2.1).

Jako zewnętrzną powłokę takiej obudowy stosuje się arkusze blachy profilowanej trapezoidalnie lub też arkusze blachy falistej. Są one połączone z wąskim pasem kołnierza kasety ściennej w sposób bezpośredni lub przez konstrukcję dystansową. W przypadku stosowania przekładek dystansowych rozstaw mocowania arkuszy może być większy niż ten stosowany przy mocowaniu bezpośrednim.



Rys. 1.2.1 – Systemy lekkiej obudowy z wykorzystaniem stalowych kaset ściennych

Zewnętrzna powłoka tego typu lekkiej obudowy służy jako ochrona przed warunkami pogodowymi, kasetę ścienną ma natomiast funkcję podtrzymującą. Ponadto wąskie pasy kołnierzy kasety są stabilizowane przez sztywność ścinania zewnętrznej powłoki.

W punkcie 10.2. normy EN 1993-1-3 podano metodę projektowania stalowych kaset ściennych. Procedura projektowa rozróżnia sytuacje ze ściskaniem i z rozciąganiem szerokiego pasa kasety. Jeżeli szeroki pas kasety jest rozciągany to graniczny moment zginający ma wartość:

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

przy czym współczynnik redukcyjny wyznacza się z zależności:

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

Redukcję tę stosuje się jeżeli rozstaw mocowania pasów kołnierzy kasety s_1 jest równy co najmniej 300 mm. Jeśli odległość ta jest mniejsza niż 300 mm, graniczny moment zginający nie musi być zmniejszany.

Tak określony sposób projektowania jest raczej zachowawczy, a ponadto ograniczony do maksymalnego rozstawu mocowania równego $s_1 = 1000$ mm. Tego typu ograniczenie, ze względu na rosnące wymagania architektoniczne i termiczne, nie jest już jednak praktycznie uzasadnione.

Problem ze zwiększonym rozstawem mocowania s_1 polega na zmniejszeniu w takim przypadku usztywniającego działania na kasetę powłoki zewnętrznej. Zbadanie wpływu zmniejszonej sztywności ścinania było częścią prac badawczych raportowanych w niniejszej instrukcji.

1.3. Główne rezultaty uzyskane w projekcie GRISPE

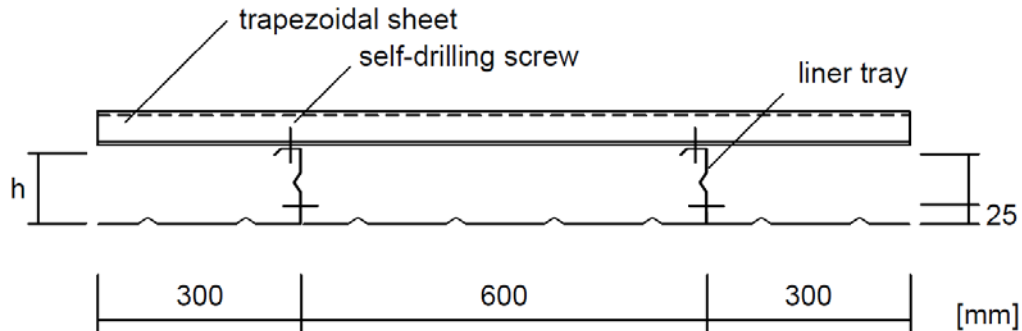
Aby określić i porównać ze sobą wartości nośności systemów ścian okładzinowych z większymi niż zazwyczaj stosowanymi rozstawami mocowania s_1 zrealizowano szeroki program badań doświadczalnych, zgodnych z wymaganiami Aneksu A normy EN 1993-1-3. Zastosowano następujące rozstawy:

- $s_1 = 621$ mm,
- $s_1 = 1242$ mm,
- $s_1 = 1863$ mm,
- bez mocowania do zewnętrznej powłoki.

Przeprowadzono następujące testy służące do określenia wartości nośności kasety na zginanie, oraz jej odporności na wybrzuszenie środnika (razem 71 testów z różnym rozstawem mocowania):

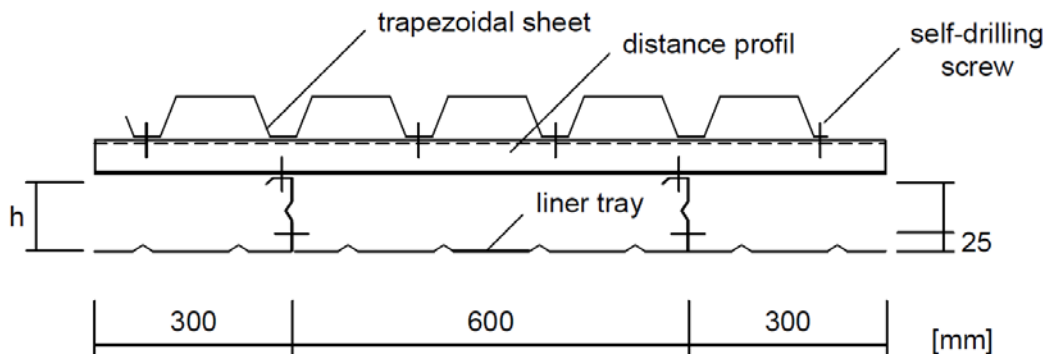
- testy pojedynczego przęsła,
- testy podpory pośredniej,
- testy elementu dwuprzęsłowego.

Elementy testowane w testach pojedynczego przęsła i w testach podpory pośredniej składały się z kasety pełnej i dwóch kaset połówkowych połączonych ze sobą środnikami kołnierzy jak również połączonych wąskimi pasami kołnierzy, w rozstawie s_1 , z trapezoidalnie profilowaną blachą zewnętrzną umieszczoną prostopadłe względem tych kaset (Rys. 1.3.1).



Rys. 1.3.1 – Schemat testu pojedynczego przęsła i testu podpory pośredniej

Elementy testowane w schemacie ustroju dwuprzęsłowego składały się z kasety pełnej i dwóch kaset połówkowych połączonych ze sobą środnikami kołnierzy jak również połączonych wąskimi pasami kołnierzy z przekładką dystansową umieszczoną prostopadłe względem tych kaset. Przekładka ta była z kolei połączona z trapezoidalnie profilowaną blachą zewnętrzną w efekcie czego kierunek profilowania tej blachy był równoległy do kierunku profilowania samych kaset (Rys. 1.3.2).



Rys. 1.3.2 – Schemat testu element dwuprzęsłowego

Z testów przeprowadzanych dla pojedynczego przęsła wynikało, że niezależnie od konwencjonalnego sposobu zniszczenia kasety w ścianie obudowy może wystąpić inny, typowy dla kasety bez powłoki zewnętrznej. W przypadku kaset z usztywnieniem zapewniającym sztywność na ścinanie zniszczenie następowało przez lokalną utratę stateczności, w sytuacji jednak gdy takiego usztywnienia nie było zniszczenie następowało przez zwichrzenie.



Rys. 1.3.3 – Zniszczenie kasety przez zwichrzenie ściskanych pasów kołnierza kasety



Rys. 1.3.4 – Zniszczenie kasety przez zwichrzenie ściskanych pasów kołnierza kasety – widok z góry

1.4. Ogólne wymagania i zasady projektowe

Projektowanie prowadzone na podstawie zaleceń niniejszej instrukcji powinno być zgodne z wymaganiami ogólnymi zawartymi w przepisach normy [1] a także niesprzeczne z zasadami projektowymi zdefiniowanymi w normie [2].

2. USTALENIA WSTĘPNE

2.1. Obszar zastosowań nowej metody projektowej

Na podstawie zaleceń normy EN 1993-1-3 procedury rekomendowane do stosowania w niniejszej instrukcji dotyczą stalowych kaset ściennych z rozstawem mocowania s_1 nie przekraczającym wartości 2000 mm.

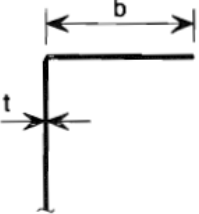
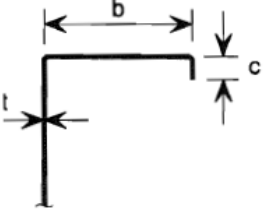
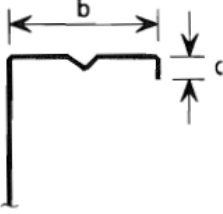
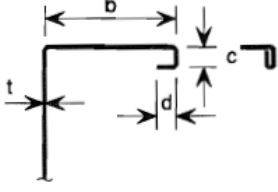
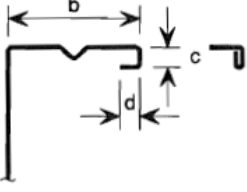
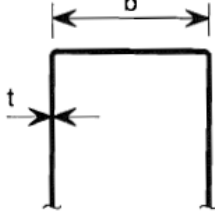
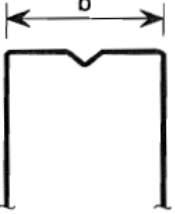
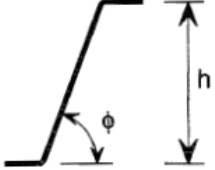
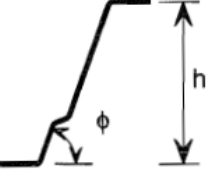
Niniejsza instrukcja nie dotyczy sytuacji projektowych kojarzonych z montażem konstrukcji i z działaniami podejmowanymi w celu utrzymania stanu jej zdatności.

Metoda projektowa rekomendowana w niniejszej instrukcji jest ważna jedynie w przypadku gdy wszelkiego typu tolerancje spełniają wymagania i ograniczenia normy EN 1993-1-3.

2.2. Dyspozycje technologiczne

Przekroje poprzeczne blach z których wykonano kasety mogą być niewzmocnione lub też mogą zawierać wzdłużne usztywnienia w ich pasach i/lub środkach kołnierzy. Profilowane arkusze tych blach mają stałą nominalną grubość na całej swojej długości, w dopuszczalnych tolerancjach, i mogą mieć albo przekrój lokalnie płaski albo też falisty. Typowy przekrój tego rodzaju pokazano na Rys. 1.1.1.

Wymiary przekroju poprzecznego blachy kasety powinny być zgodne z ogólnymi wymaganiami rozdziału 1.5.3 normy EN 1993-1-3. Rekomendowanej tu metody projektowania nie należy stosować do przekrojów blachy lokalnie nie mieszczących się w dopuszczalnych zakresach stosunków szerokości do grubości, takich jak: b/t , h/t , c/t i d/t (Rys. 2.2.1). Jeżeli nie określono inaczej, grubość obliczeniowa blachy t jest zmierzoną grubością rdzenia stalowego pomniejszoną o tolerancję, zgodnie z rozdziałem 3.2.4 normy EN 1993-1-3.

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

Rys. 2.2.1 – Wymiary geometryczne określające zakres stosowania procedur rekomendowanych w niniejszej instrukcji

3. PODSTAWOWE WYMAGANIA TECHNOLOGICZNE

Stalowe kasety ściennie są znakowane oznaczeniem CE, zgodnie z zapisami normy EN 1090-1 [3] w odniesieniu do aspektów konstrukcyjnych i normy EN 14782 [4] w odniesieniu do aspektów niekonstrukcyjnych.

4. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁOWE

Właściwości materiałowe odniesione do stali konstrukcyjnej z której wykonano kasety, jeśli nie zaznaczono inaczej, muszą spełniać wymagania zdefiniowane w punkcie 3 normy EN 1993-1-3.

Tolerancje grubości blach kaset powinny spełniać wymagania punktu 3.2.4 normy EN 1993-1-3.

5. ODDZIAŁYWANIA ZEWNĘTRZNE I ICH MIARODAJNE KOMBINACJE

Obciążenia zewnętrzne i ich miarodajne kombinacje rozpatrywane w procedurach obliczeniowych rekomendowanych w niniejszej instrukcji muszą być określone w zgodzie z wymaganiami norm [1], [5], [6] i [7].

6. PODSTAWY PROJEKTOWANIA

6.1. Zasady ogólne

Graniczny dodatni moment zginający kasety ściennie (przypadek szerokiego pasa kasety poddanego rozciąganiu) jest w ogólności ograniczany przez graniczne siły ściskające wąskie pasy kołnierzy. Ściskane pasy kołnierzy są przy tym stabilizowane w celu zabezpieczenia ich przed ewentualnym zwichrzeniem. Tego typu stabilizację uzyskuje się przez punktowe połączenia między kaseta i zewnętrzną blachą okładziny.

Rozstaw mocowania s_1 określa długość wyboczeniową ściskanego pasa kołnierza, a zatem pośrednio graniczne siły ściskające w tym pasie i w konsekwencji także graniczny moment zginający kaseta. Graniczny moment zginający kaseta jest w przybliżeniu proporcjonalny do nośności na ściskanie specyfikowanej dla pasów kołnierzy.

Nowa procedura projektowania, rekomendowana w niniejszej instrukcji, rozpoczyna się w czwartym kroku obecnie stosowanej metody obliczeniowej o algorytmie zawartym w punkcie 10.2.2.2 normy EN 1993-1-3 (szeroki pas kasety poddany rozciąganiu). Zmiany w konwencjonalnej metodzie projektowania dotyczą w tym przypadku współczynnika redukcji β_b określanego dla momentu zginającego kaseta ścienną.

6.2. Obszar stosowania nowej metody obliczeniowej

Poniższa metoda projektowania stanowi uogólnienie konwencjonalnej procedury normowej zawartej w przepisach EN 1993-1-3, takie, że rozszerza maksymalny dopuszczalny rozstaw mocowania s_1 poza zakres stosowania podany wcześniej na Rys. 1.1.2.

Nowy zakres stosowania metody podano poniżej:

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

6.3. Procedura obliczeniowa

Współczynnik redukcyjny β_b zależny od rozstawu mocowania s_1 odpowiada w przybliżeniu stopniowi redukcji nośności na ściskanie pasów kołnierza kasety.

Graniczny moment zginający kaseta wyznacza się bowiem z zależności:

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

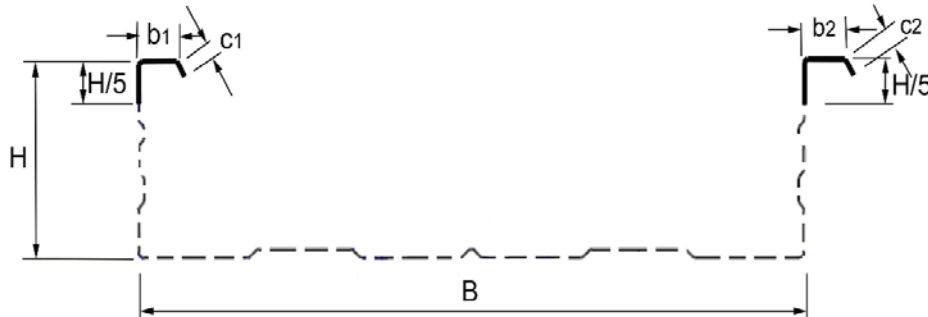
gdzie:

- $M_{c,Rk,1}$ - wartość charakterystyczna (znanego a priori) granicznego dodatniego momentu zginającego kaseta przy danym rozstawie mocowania $s_{1,1}$,
- $M_{c,Rk,2}$ - wartość charakterystyczna (nieznanego a priori) granicznego dodatniego momentu zginającego kaseta przy danym rozstawie mocowania $s_{1,2}$,
- $N_{Rk,1}$ – wartość charakterystyczna granicznej siły ściskającej pas kołnierza kasety, obliczona przy założeniu długości wyboczeniowej $l = s_{1,1}$,
- $N_{Rk,2}$ - wartość charakterystyczna granicznej siły ściskającej pas kołnierza kasety, obliczona przy założeniu długości wyboczeniowej $l = s_{1,2}$.

Obliczenie wartości charakterystycznej granicznej siły ściskającej pas kołnierza kasety powinno być zgodne z następującymi zasadami:

Krok 1: Przekrój pasów kołnierza kasety brutto:

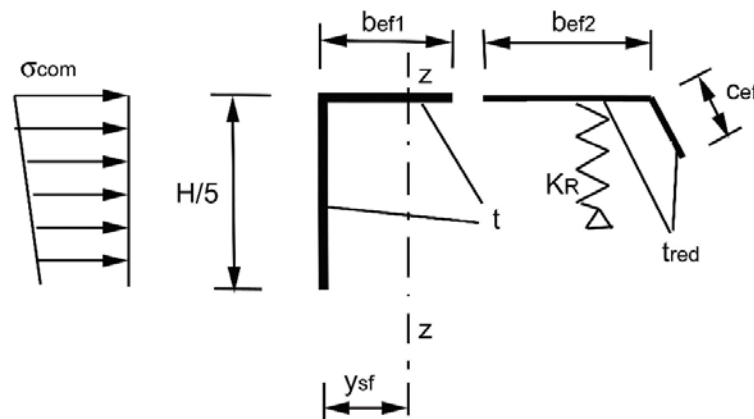
Przekrój brutto ściskanego pasa kołnierza kasety składa się z przekroju samego pasa, przekrojów wzdłużnych usztywnień brzegowych i 1/5 przekroju środka kołnierza. Odrębne obliczenia powinny być wykonane dla pasów po obu stronach kasety, ponieważ przekroje tych pasów są różne.



Rys. 6.3.1 – Charakterystyki geometryczne przekroju netto ściskanych pasów kołnierza kasety

Krok 2: Efektywny przekrój ściskanego pasa kołnierza kasety

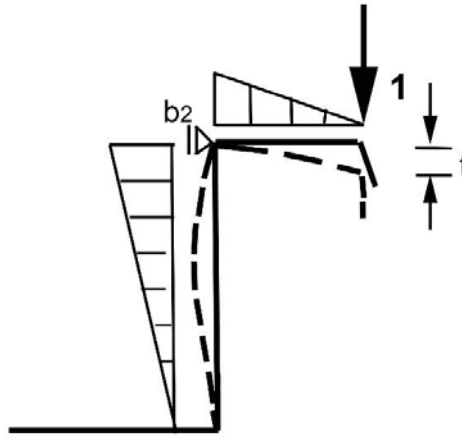
Efektywny przekrój ściskanego pasa kołnierza kasety powinien uwzględniać lokalne wyboczenie tego pasa (b_{ef1} , b_{ef2}) i usztywnienia brzegowego (c_{ef}), a także wyboczenie samego usztywnienia (t_{red}). Obliczenie wykonuje się dla wybranego poziomu naprężenia σ_{com} , odrębnie dla każdego z dwóch pasów kołnierza rozpatrywanej kasety.



Rys. 6.3.2 – Efektywny przekrój ściskanego pasa kołnierza kasety dla wybranego poziomu naprężenia σ_{com}

Charakterystyki przekroju poprzecznego:

- y_{sf} – położenie osi obojętnej przy analizie zwichrzenia,
- A_{fz} – powierzchnia efektywnego przekroju ściskanego pasa kołnierza kasety,
- J_{fz} – moment bezwładności przekroju efektywnego względem osi z-z,

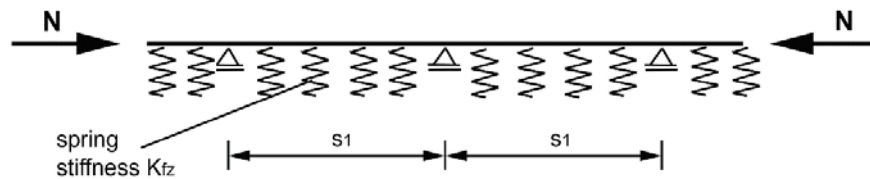


Rys. 6.3.3 – Schemat do określania sztywności sprężyny modelującej wpływ usztywnienia brzegowego

Sztywność sprężyny:

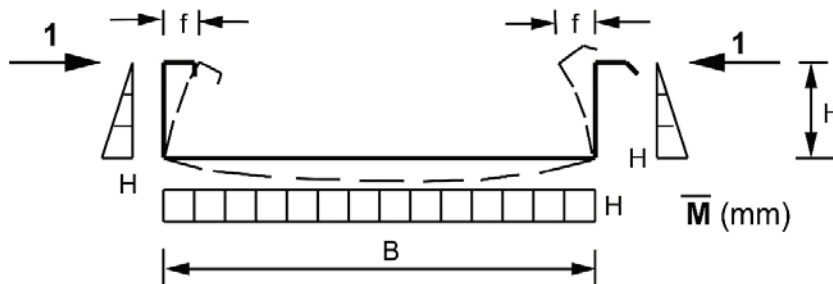
$$K_R = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{3}{b_2 \cdot (b_2^2 + b_2 \cdot h)}$$

Krok 3: Wyznaczenie granicznej siły ściskającej pas kołnierza kasety ze względu na zagrożenie zwichrzeniem



Rys. 6.3.4 – Schemat statyczny pracy ściskanego pasa kołnierza kasety

Przy rozpatrywaniu zwichrzenia ściskanego pasa kołnierza kasety, powinno być brane pod uwagę sprężyste podparcie tego pasa w kierunku poprzecznym (Rys. 6.3.4):



Rys. 6.3.5 – Rozkład momentów zginających kasetę stosowany do wyznaczenia sztywności K_{fz}

Sztywność:

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

Siła krytyczna:

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

W konwencjonalnej analizie osiowa siła krytyczna jest minimalna dla $n=1$ (n jest liczbą fal wyboczeniowych zrealizowanych między sąsiadującymi ze sobą mocowaniami pasa kołnierza). A zatem, graniczna osiowa siła ściskająca pas kołnierza N_{Rk} jest obliczana zgodnie z punktem 6.3.1.1 normy EN 1993-1-1, przy czym do analizy wybiera się krzywą wyboczeniową a_0 .

Graniczna siła ściskająca:

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

Graniczne naprężenie ściskające:

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

Jeżeli σ_k różni się od początkowo wybranego naprężenia σ_{com} , obliczenia należy powtórzyć, począwszy od kroku 2, przy użyciu podstawienia $\sigma_{com} = \sigma_k$. Ten sposób postępowania powtarza się aż do uzyskania naprężenia na poziomie σ_{com} , które w takim przypadku stanowi podstawę do specyfikacji efektywnego przekroju pasa kołnierza oraz naprężeń σ_k kojarzonych ze zwichrzeniem tego pasa.

Analogiczne obliczenia należy przeprowadzić dla obu pasów kołnierzy rozpatrywanej kasety ściennej.

Krok 4: Wyznaczenie wartości współczynnika redukcyjnego β_b

Obliczenia prowadzone dla kroku 2 i dla kroku 3 należy wykonać dla obu pasów kołnierzy rozpatrywanej kasety ściennej i dla obu towarzyszących tym pasom rozstawów $s_{1,1}$ i $s_{1,2}$.

Współczynnik redukcyjny określony dla rozstawu mocowania $s_{1,2}$:

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

7. SPECYFICZNE USTALENIA PROJEKTOWE

Następujące sytuacje projektowe nie stanowią obszaru stosowania procedury obliczeniowej rekomendowanej w niniejszej instrukcji:

- Projektowanie ze względu na oddziaływania pożarowe,
- Projektowanie ze względu na oddziaływania sejsmiczne,
- Projektowanie ze względu na aspekty środowiskowe,
- Projektowanie ze względu na oddziaływania termiczne,
- Projektowanie z uwagi na analizy akustyczne,
- Projektowanie w każdym z przypadków, którego nie da się jednoznacznie przyporządkować do wyspecyfikowanego wcześniej obszaru stosowania proponowanej w niniejszej instrukcji nowej metody obliczeniowej.

8. OBJAŚNIENIE ARKUSZA KALKULACYJNEGO WYKORZYSTANEGO DO OBLICZEŃ

8.1. Uwagi ogólne

Do przeprowadzenia szczegółowych obliczeń opracowano arkusz kalkulacyjny napisany w środowisku Excel. Zawarto w nim wszystkie specyfikowane wcześniej kroki obliczeniowe. Graniczna wartość siły osiowej ściskającej pas kołnierza kasety jest w tym arkuszu obliczana w sposób bezpośredni na podstawie danych o geometrii przekroju poprzecznego. W ten sposób poszukiwaną wartość współczynnika redukcyjnego wyznacza się przy stosunkowo niewielkim nakładzie pracy.

Iteracyjny sposób stosowania prezentowanego arkusza szczegółowo objaśniono poniżej.

8.2. Dane

Na początku obliczeń do arkusza należy wprowadzić dane o geometrii przekroju poprzecznego rozpatrywanej kasety ściennej. Wprowadza się je do określonych komórek arkusza oznaczonych kolorem czerwonym (Rys. 8.2.1). Są to kolejno: grubość rdzenia blachy stalowej - t_c , szerokość pasa kołnierza spodniego - b_{f1} , szerokość usztywnienia brzegowego kołnierza spodniego - c_1 , szerokość pasa kołnierza wierzchniego - b_{f2} , szerokość usztywnienia brzegowego kołnierza wierzchniego - c_2 , rozstaw mocowania pasów kołnierza kasety - s_1 , głębokość kasety - H , szerokość kasety - B , granica plastyczności stali z której wykonano kasetę - f_{yb} , kąt nachylenia usztywnienia brzegowego - 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)	

Rys. 8.2.1 – Komórki arkusza kalkulacyjnego do których wprowadza się dane o geometrii przekroju poprzecznego rozpatrywanej kasety ściennej

8.3. Objaśnienie procedury iteracyjnej

Po wprowadzeniu danych o geometrii przekroju poprzecznego rozpatrywanej kasety ściennej pozostałe rezultaty są obliczane automatycznie.

Najpierw wyznaczane są charakterystyki geometryczne miarodajnych przekrojów lewego i prawego kołnierza kasety (Rys. 8.1.3).

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

flange above		stiffener	
I_{fz}	A_{fz}	y_{sf}	z_{sR}
mm ⁴	mm ²	mm	mm

Rys. 8.3.1 – Wyznaczenie charakterystyk do weryfikacji możliwości lokalnej utraty stateczności ściskanego pasa kołnierza rozpatrywanej kasety ściennej

Następnie weryfikowane jest zagrożenie lokalnej utraty stateczności każdego z dwóch pasów kołnierza rozpatrywanej kasety ściennej (Rys. 8.3.2).

Local buckling of the small flanges

small flange underneath b_{f1} =				36	mm				Edge stiffener c_1 =				14	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	sigma_kiR	lam_MR	chi_d	t_red
mm	N/mm ²	-			-			-		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm

small flange above b_{f2} =				38	mm				Edge stiffener c_2 =				13	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	sigma_kiR	lam_MR	chi_d	t_red
mm	N/mm ²	-			-			-		mm	mm ²	mm ⁴	N/mm ²	N/mm ²	-	-	mm

Rys. 8.3.2 – Weryfikacja zagrożenia lokalnej utraty stateczności każdego z dwóch pasów kołnierzy rozpatrywanej kasety ściennej

Każdy z pasów obu kołnierzy kasety jest rozpatrywany odrębnie, ponieważ pasy te nie są symetryczne. Komórki arkusza oznaczone na czerwono są wypełniane w sposób iteracyjny, co będzie objaśnione w dalszym opisie.

W trzecim kroku analitycznym dla każdego pasa kołnierza kasety wyznaczane są graniczne wartości siły osiowej (Rys. 8.3.3).

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

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

Rys. 8.3.3 – Obliczenie granicznych wartości siły osiowej dla każdego z pasów kołnierzy rozpatrywanej kasety ściennej

Aby uzyskać miarodajne wyniki, wyznaczenie naprężenia σ_u należy przeprowadzić w sposób iteracyjny. W tym celu użytkownik w każdym kroku iteracyjnym wprowadza nową wartość naprężenia σ_d (czerwone komórki na Rys. 8.3.2). Iterację wykonuje się tak długo aż wartości te nie okażą się zgodne z wartościami σ_u (zielone komórki na Rys. 8.3.3).

8.4. WYNIKI KOŃCOWE

Po zakończeniu iteracji w arkuszu kalkulacyjnym generowana jest wartość maksymalnego obciążenia osiowego specyfikowanego sumarycznie dla obu rozpatrywanych pasów kołnierzy kasety, a także towarzysząca temu obciążeniu wartość średniego naprężenia ściskającego σ_u (Rys. 8.4.1).

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

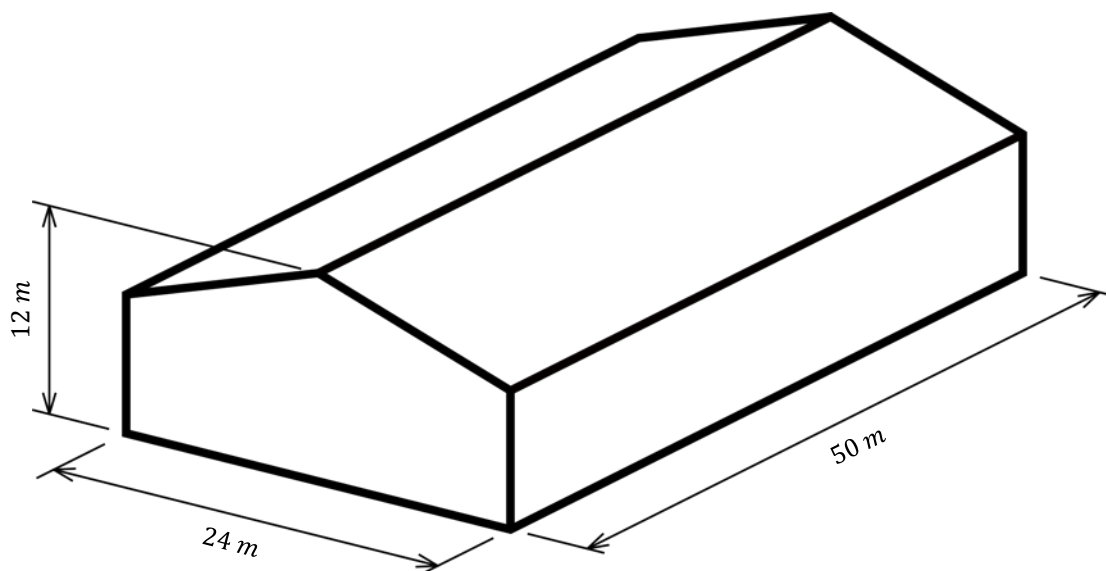
Rys. 8.4.1 – Obliczenie granicznej wartości siły osiowej ściskającej pasy kołnierzy rozpatrywanej kasety ściennej

9. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

9.1. Opis budynku w którym zastosowano kasety ścienne i specyfikacja miarodajnego schematu statycznego

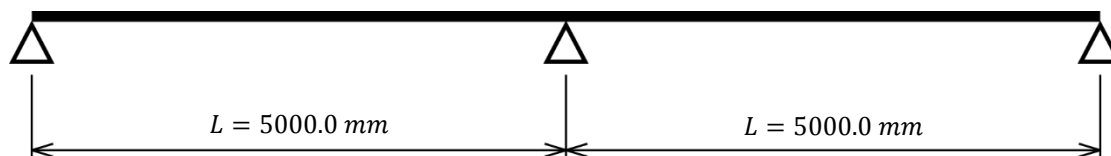
9.1.1. Uwagi ogólne

Analizie poddano następujący budynek:



Rys. 9.1.1 – Wymiary budynku analizowanego w przykładzie

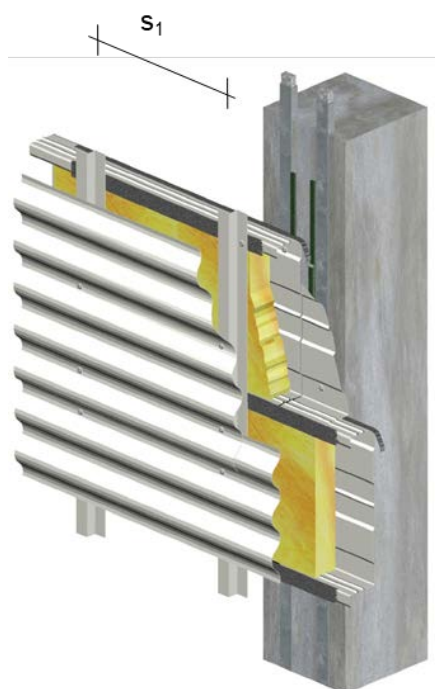
Dwuprzęsłowy schemat statyczny kasety ściennej:



Rys. 9.1.2 – Schemat statyczny kasety ściennej rozpatrywanej w przykładzie

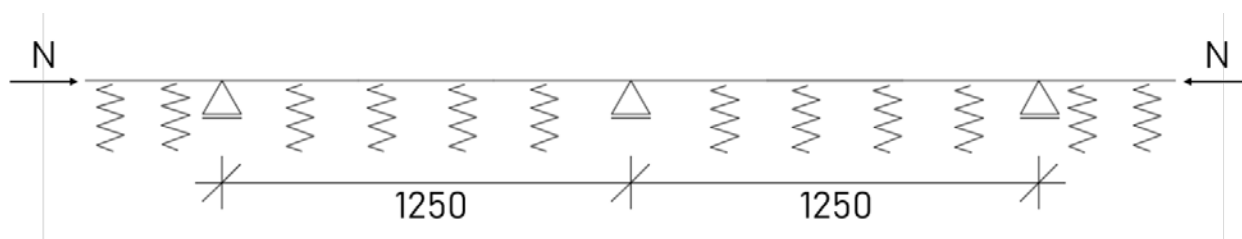
Przyjęto, że okładzina zewnętrzna budynku została wykonana z blachy profilowanej trapezoidalnie. Połączono ją z kasetami ściennymi przez przekładki dystansowe wykonane z cienkościennego kształtownika zetowego.

Weryfikacja warunków nośności i użytkowości zastosowanej w przykładzie okładziny zewnętrznej oraz przekładek dystansowych nie jest częścią niniejszej instrukcji.



Rys. 9.1.3 – Zastosowany w przykładzie system okładziny ściennej opartej na kasetach

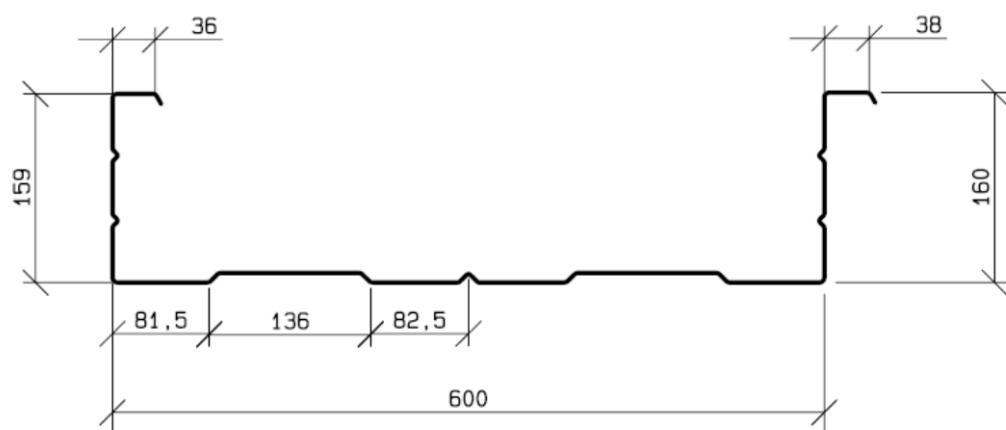
Przyjęto oparcie kasety ściennej na przekładkach dystansowych rozstawionych co 1250 mm. Ten rozstaw odpowiada długości wyboczeniowej $s_{1,2}$ ściskanego pasa kołnierza kasety.



Rys. 9.1.4 – Schemat statyczny ściskanego pasa kołnierza kasety (rozstaw podpór odpowiada długości wyboczeniowej)

9.1.2. Geometria przekroju poprzecznego stalowej kasety ściennej rozpatrywanej w przykładzie

Do rozważań szczegółowych przyjęto następujący profil kasety:



Rys. 9.1.5 – Geometria przekroju poprzecznego kasety rozpatrywanej w przykładzie

Oznaczenia:

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

9.1.3. Właściwości materiałowe

Kasety wykonano ze stali o następujących właściwościach:

$$\begin{aligned}\text{Gatunek stali: } &S320 \\E &= 210000 \text{ N/mm}^2 \\v &= 0,3 \\f_{yb} &= 320 \text{ N/mm}^2 \\t_{nom} &= 0,75 \text{ mm} \\t_{cor} &= 0.71 \text{ mm}\end{aligned}$$

9.2. Obliczenie nośności przekroju poprzecznego kasety

9.2.1. Weryfikacja wymiarów geometrycznych przekroju

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

Wszystkie wymiary rozpatrywanego przekroju kasety mieszczą się w zakresie stosowalności wybranej do obliczeń procedury projektowej.

9.2.2. Nośność na zginanie przekroju poprzecznego kasety – szeroki pas kasety poddany ścisnaniu

Sytuacja projektowa gdy szeroki pas przekroju poprzecznego kasety ściennej poddany jest ścisnaniu nie jest częścią nowej procedury obliczeniowej prezentowanej w niniejszej instrukcji. W tym przypadku weryfikacji dokonuje się zgodnie z procedurą normową zawartą w punkcie 10.2.2.1 normy EN 1991-1-3 („Szeroki pas kasety poddany ścisnaniu”).

9.2.3. Nośność na zginanie przekroju poprzecznego kasety – szeroki pas kasety poddany rozciąganiu

Aby zgodnie z nową procedurą obliczeniową obliczyć nośność na zginanie przekroju kasety przy szerokim pasie poddanym rozciąganiu, najpierw oblicza się graniczną wartość siły osiowej wyznaczoną dla znanego rozstawu mocowania, a następnie tę określoną dla nieznanego rozstawu mocowania. Na tej podstawie współczynnik redukcyjny wyznaczany jest z zależności:

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

Ze względu na różnice w geometrii kołnierzy kasety, lewego i prawego, obliczenia prowadzi się odrębnie dla każdego z nich a następnie sumuje uzyskane wyniki.

Wyznaczenie granicznej wartości siły osiowej przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,1}$

Znana a priori wartość rozstawu mocowania $s_{1,1}$ wynosi 732 mm co odpowiada połączeniu zrealizowanemu w co trzecim pasie trapezoidalnie profilowanej blachy okładziny. Odpowiadający

temu rozstawowi graniczny przeszłowy moment zginający $M_{c,Rk,1}$ musi być wyznaczany na podstawie normy EN 1993-1-3 lub brany bezpośrednio ze specyfikacji producenta.

Na początku analizy wprowadza się dane do oznaczonych na czerwono komórek arkusza kalkulacyjnego.

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)		

Rys. 9.2.1 – Wymiary geometryczne przekroju poprzecznego kasety rozważanej w przykładzie przy znanym rozstawie $s_{1,1}$

W pierwszym kroku obliczeniowym przekrój brutto ściskanych pasów kołnierza kasety jest obliczany odrębnie dla każdego kołnierza. Uwzględnia się przy tym cały przekrój pasa i cały przekrój usztywnienia brzegowego ale jedynie jedną piątą wysokości przekroju środka kołnierza (Rys. 6.3.1).

Dla spodniego pasa kołnierza zachodzi:

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

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

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

Dla wierzchniego pasa kołnierza zachodzi natomiast:

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

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

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

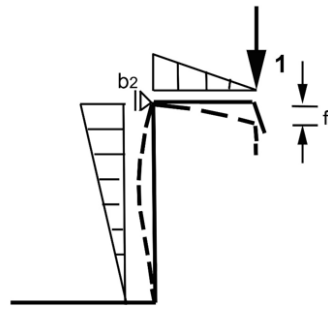
Cross section values of the small flanges (effective cross section)			
flange underneath			stiffener
I_{fz}	A_{fz}	y_{sf}	z_{sR}
mm ⁴	mm ²	mm	mm
6855	42.03	8.47	1.320

flange above			stiffener
I_{fz}	A_{fz}	y_{sf}	z_{sR}
mm ⁴	mm ²	mm	mm
7434	41.88	8.70	1.278

Rys. 9.2.2 – Obliczone charakterystyki geometryczne przekroju brutto przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,1}$

W drugim kroku obliczeniowym efektywny przekrój poprzeczny powinien uwzględniać ewentualne lokalne wyboczenie pasa kołnierza oraz wyboczenie samego usztywnienia. Oprócz tego należy również brać pod uwagę ewentualne dystorsyjne wyboczenie tego usztywnienia (Rys. 6.3.2). Procedura obliczeniowa jest taka sama jak w rozdziale 5.5.3.2 normy EN 1993-1-3 przy uwzględnieniu wyboczenia lokalnego i dystorsyjnego („Elementy płaskie z usztywnieniami krawędziowymi”).

Sztywność sprężyny modelującej efekt usztywnienia brzegowego należy obliczyć w sposób pokazany na Rys. 9.2.3. Wyniki obliczeń uzyskane po zastosowaniu arkusza kalkulacyjnego napisanego w programie Excel pokazano na Rys. 9.2.4.



spring stiffness

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

Rys. 9.2.3 – Sposób obliczania sztywności sprężyny K_R modelującej efekt usztywnienia brzegowego

Dla spodniego pasa kołnierza przy:

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

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

zachodzi:

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

Dla wierzchniego pasa kołnierza przy:

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

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

zachodzi:

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

Do wyznaczenia wartości współczynnika redukcyjnego ρ konieczne jest wykorzystanie zapisów norm [8] i [9].

Przy korzystaniu z arkusza kalkulacyjnego wartość naprężenia granicznego należy najpierw założyć na poziomie odpowiadającym granicy plastyczności stali a następnie w sposób iteracyjny poprawiać.

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		

Rys. 9.2.4 – Weryfikacja zagrożenia realizacji w przekroju pasa kołnierza kasety ściennej lokalnej utraty stateczności i wyboczenia dystorsyjnego dla znanego rozstawu mocowania $s_{1,1}$

W trzecim kroku obliczeniowym wyznaczana jest graniczna wartość siły ściskającej pas kołnierza kasety ściennej, skojarzona z ewentualnym wystąpieniem zwiczenia (Rys. 6.3.4).

W tym celu sztywność sprężyny K_{fz} należy obliczać tylko jeden raz, ponieważ jest ona niezależna od pasów kołnierzy (Rys. 6.3.5). A zatem:

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

gdzie:

$b = 600 \text{ mm}$

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

co daje:

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

Szerokość szerokiego pasa kasety b_u została tu użyta jako wymiar b .

Po wyznaczeniu sztywności sprężyny można obliczyć krytyczne obciążenie osiowe specyfikowane oddzielnie dla każdego z kołnierzy kasety.

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

Co dla pasa spodniego daje:

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

Dla pasa wierzchniego natomiast:

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

Współczynnik niestateczności χ oblicza się dla krzywej wyboczeniowej a_0 , na podstawie zapisów norm [10] i [11].

Dla pasa spodniego otrzymano:

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

Dla pasa wierzchniego natomiast:

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

Ponieważ jest to proces iteracyjny obliczenia należy powtarzać do momentu gdy naprężenie odpowiadające granicznej wartości siły ściskającej oraz naprężenie skojarzone z wyboczeniem ściskanego pasa kołnierza kasety będą miały te same wartości.

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
	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 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
	0.71	732	1	7434	41.88	13.32	0.00076	28796	0.6822	0.7641	0.9024	288.8	12096

Rys. 9.2.5 – Obliczona wartość graniczna osiowej siły ściskającej pas kołnierza kasety przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,1}$

Przy korzystaniu z arkusza kalkulacyjnego napisanego w programie Excel wartości wpisane do komórek oznaczonych na Rys. 9.2.4 kolorem czerwonym muszą być iterowane dotąd, aż będą równe wartościom wpisanym do komórek oznaczonych na Rys. 9.2.5 kolorem zielonym.

Całkowita graniczna osiowa siła ściskająca wyznaczona dla znanej odległości mocowania jako suma sił wyznaczonych dla prawego i lewego kołnierza kasety wynosi:

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

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
	0.71	732	1	14289	83.91	24089	287.1

Rys. 9.2.6 – Całkowita graniczna siła osiowa obliczona dla znanego rozstawu mocowania $s_{1,1}$

Zanim można będzie obliczyć wartość współczynnika redukcyjnego β_b należy powtórzyć te same obliczenia, od kroku 1 do kroku 3, tym razem dla nieznanego rozstawu mocowania $s_{1,2}$.

Wyznaczenie granicznej siły osiowej dla nieznanego rozstawu mocowania $s_{1,2}$

Obliczenia przeprowadzane dla nieznanego rozstawu mocowania $s_{1,2}$ są analogiczne do tych prezentowanych powyżej. Z tego powodu w dalszych rozważaniach wyświetla się bez komentarza odpowiednie rezultaty uzyskane po zastosowaniu arkusza kalkulacyjnego.

Wszystkie parametry geometryczne przekroju poprzecznego kasety są takie same jak poprzednio z wyjątkiem rozstawu mocowania który teraz zmienia się do wartości 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 a	1.047	[rad]
			(against reference plane parallel to liner tray's bottom)		

Rys. 9.2.7 – Podstawowe wymiary przekroju poprzecznego kasety ściennej wykorzystane do obliczeń przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$

Krok 1:

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
9399	47.73	10.89	1.568	9972	46.90	10.99	1.533

Rys. 9.2.8 – Charakterystyki geometryczne przekroju poprzecznego pasów kołnierzy kasety wykorzystane do obliczeń przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$

Krok 2:

Local buckling of the small flanges																	
small flange underneath b _{f1} =								Edge stiffener c ₁ =									
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	-		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} =								Edge stiffener c ₂ =									
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	-		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

Rys. 9.2.9 – Wartości pomocnicze do specyfikacji przekroju efektywnego pasów kołnierzy kasety, uwzględniającego ewentualną lokalną utratę stateczności i ewentualne wyboczenie dystorsyjne przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$

Krok 3:**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
	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 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
	0.71	1250	1	9972	46.90	14.58	0.00076	13348	1.0603	1.1180	0.6790	217.3	10190

Rys. 9.2.10 – Obliczona wartość graniczna naprężenia ściskającego przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$

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
	0.71	1250	1	19371	94.63	20073	212.1

Rys. 9.2.11 – Obliczona całkowita wartość granicznej siły ściskającej przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$

Całkowita wartość granicznej siły ściskającej dla nieznanego rozstawu mocowania, obliczona jako suma analogicznej siły wyznaczonej odpowiednio dla lewego i dla prawego pasa kołnierza kasety, wynosi:

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

Ponieważ obie wartości granicznej siły ściskającej zostały wyznaczone można obliczyć wartość współczynnika redukcyjnego β_b .

Wyznaczenie nośności na zginanie przekroju poprzecznego kasety ściennej w oparciu o współczynnik redukcyjny β_b

Współczynnik redukcyjny β_b wyznacza się z ilorazu odpowiednich wartości siły granicznej:

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

Na tej podstawie wyznaczana jest miarodajna nośność przekroju poprzecznego kasety na zginanie przy znanej a priori wartości tej nośności specyfikowanej przez producenta na poziomie 5.57 kNm/m. A zatem:

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

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1.1.1 - Interpretacja rozstawu mocowania s_1	12
Rys. 1.1.2 - Zakres stosowania stalowych kaset ściennych	12
Rys. 1.2.1 - Systemy lekkiej obudowy z wykorzystaniem stalowych kaset ściennych	13
Rys. 1.3.1 – Schemat testu pojedynczego przęsła i testu podpory pośredniej	14
Rys. 1.3.2 – Schemat testu element dwuprzęsłowego	14
Rys. 1.3.3 – Zniszczenie kasety przez zwichrzenie ściskanych pasów kołnierza kasety	15
Rys. 1.3.4 – Zniszczenie kasety przez zwichrzenie ściskanych pasów kołnierza kasety – widok z góry	15
Rys. 2.2.1 – Wymiary geometryczne określające zakres stosowania procedur rekomendowanych w niniejszej instrukcji	18
Rys. 6.3.1 – Charakterystyki geometryczne przekroju netto ściskanych pasów kołnierza kasety	221
Rys. 6.3.2 – Efektywny przekrój ściskanego pasa kołnierza kasety dla wybranego poziomu naprężenia σ_{com}	221
Rys. 6.3.3 – Schemat do określania sztywności sprężyny modelującej wpływ usztywnienia brzegowego	22
Rys. 6.3.4 – Schemat statyczny pracy ściskanego pasa kołnierza kasety	22
Rys. 6.3.5 – Rozkład momentów zginających kasety stosowany do wyznaczenia sztywności K_{tz}	22
Rys. 8.2.1 – Komórki arkusza kalkulacyjnego do których wprowadza się dane o geometrii przekroju poprzecznego rozpatrywanej kasety ściennej	25
Rys. 8.3.1 – Wyznaczenie charakterystyk do weryfikacji możliwości lokalnej utraty stateczności ściskanego pasa kołnierza rozpatrywanej kasety ściennej	25
Rys. 8.3.2 – Weryfikacja zagrożenia lokalnej utraty stateczności każdego z dwóch pasów kołnierza rozpatrywanej kasety ściennej	26
Rys. 8.3.3 – Obliczenie granicznych wartości siły osiowej dla każdego z pasów kołnierza rozpatrywanej kasety ściennej	26
Rys. 8.4.1 – Obliczenie granicznej wartości siły osiowej ściskającej pasy kołnierza rozpatrywanej kasety ściennej	26
Rys. 9.1.1 - Wymiary budynku analizowanego w przykładzie	27
Rys. 9.1.2 - Schemat statyczny kasety ściennej rozpatrywanej w przykładzie	27
Rys. 9.1.3 – Zastosowany w przykładzie system okładziny ściennej opartej na kasetach	28
Rys. 9.1.4 - Schemat statyczny ściskanego pasa kołnierza kasety (rozstaw podpór odpowiada długości wyboczeniowej)	28
Rys. 9.1.5 – Geometria przekroju poprzecznego kasety rozpatrywanej w przykładzie.....	28
Rys. 9.2.1 – Wymiary geometryczne przekroju poprzecznego kasety rozważanej w przykładzie przy znanym rozstawie $s_{1,1}$	30
Rys. 9.2.2 – Obliczone charakterystyki geometryczne przekroju brutto przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,1}$	30
Rys. 9.2.3 – Sposób obliczania sztywności sprężyny K_R modelującej efekt usztywnienia brzegowego	31

Rys. 9.2.4 – Weryfikacja zagrożenia realizacji w przekroju pasa kołnierza kasety ściennej lokalnej utraty stateczności i wyboczenia dystorsyjnego dla znanego rozstawu mocowania $s_{1,1}$	31
Rys. 9.2.5 – Obliczona wartość graniczna osiowej siły ściskającej pas kołnierza kasety przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,1}$	32
Rys. 9.2.6 – Całkowita graniczna siła osiowa obliczona dla znanego rozstawu mocowania $s_{1,1}$	33
Rys. 9.2.7 – Podstawowe wymiary przekroju poprzecznego kasety ściennej wykorzystane do obliczeń przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$	33
Rys. 9.2.8 – Charakterystyki geometryczne przekroju poprzecznego pasów kołnierzy kasety wykorzystane do obliczeń przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$	33
Rys. 9.2.9 – Wartości pomocnicze do specyfikacji przekroju efektywnego pasów kołnierzy kasety, uwzględniającego ewentualną lokalną utratę stateczności i ewentualne wyboczenie dystorsyjne przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$	33
Rys. 9.2.10 – Obliczona wartość graniczna naprężenia ściskającego przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$	34
Rys. 9.2.11 – Obliczona całkowita wartość granicznej siły ściskającej przy znanym rozstawie mocowania $s_{1,2}$	34

BIBLIOGRAFIA

- [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.

ANEKS:

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)