

GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

WP N°: 3

WP Title: eLectures

Deliverable N°: 3.1 (4)

Deliverable Title: Design manual

Deliverable Date: 31st march 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)

Thibault RENAUX, JORIS IDE

Drafting history

FINAL DRAFT – DATE: 30th of March 2018

FINAL VERSION – DATE: 28th of May 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 ASSEMBLED PROFILES

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 obejmującej weryfikację obliczeniową połączeń paneli wykonywanych z profilowanych blach stalowych, realizowanych przez uciąganie tych paneli nad podporą pośrednią. Procedura rekomendowana do stosowania została opracowana w ramach międzynarodowego europejskiego projektu badawczego GRISPE.

Instrukcję opracowano w zgodności z ogólnymi zasadami projektowania zawartymi w odpowiednich eurokodach, w tym w szczególności z eurokodami EN 1993-1-3 i EN 1993-1-5.

Procedury obliczeniowe zawarte w niniejszej instrukcji zostały zweryfikowane doświadczalnie w oparciu o badania eksperymentalne prowadzone w latach 2013 – 2016 w ramach projektu GRISPE.

Podstawą opracowania metody było zadanie D2.1 specyfikowane w ogólnym wniosku dotyczącym wskazanego powyżej projektu badawczego.

W rozdziale 1 podano szczegółowo typy rozpatrywanych profili stalowych, dotychczasowy stan wiedzy o ich projektowaniu oraz podstawowe wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w ramach projektu GRISPE. Zdefiniowano również główne zasady i ograniczenia analizy.

W rozdziale 2 zestawiono wstępne ustalenia które należy określić w fazie przedprojektowej, w tym minimalne wymagania technologiczne co do ramy na której opierają się łączone arkusze, co do zastosowanych profili tych arkuszy i co do rodzaju połączenia, które może być brane pod uwagę.

W rozdziale 3 podano podstawowe wymagania technologiczne.

W rozdziale 4 zestawiono właściwości materiałowe odniesione do stali z której wykonano łączone blachy i do samych łączników.

W rozdziale 5 określono miarodajne obciążenia zewnętrzne i podano zasady ich kombinowania.

W rozdziale 6 objaśniono szczegóły proponowanej metody projektowania (zasady postępowania, pola zastosowań, opis jak stosować i dobierać nowe formuły).

W rozdziale 7 podano listę specyficznych uwarunkowań projektowych dla których rekomendowane w niniejszej instrukcji procedury nie znajdują bezpośredniego zastosowania (analiza bezpieczeństwa odniesiona do warunków pożaru, analiza z uwzględnieniem oddziaływań sejsmicznych, analiza ze względu na interakcje środowiskowe, analiza z uwzględnieniem oddziaływań termicznych, analiza nakierowana na sprawy akustyki itp.).

W rozdziale 8 zamieszczono praktyczne przykłady obliczeniowe opracowane z wykorzystaniem nowej procedury projektowej.

Na końcu niniejszej instrukcji zamieszczono bibliografię natomiast w aneksie dodano oryginalną, przekazaną do CEN, propozycję uzupełnienia dotychczas stosowanej normy EN 1993-1-3.

PRZEDMOWA

Niniejsza instrukcja została opracowana przy wsparciu finansowym projektu europejskiego RFCS numer 754092.

Nowa metoda obliczeniowa rekomendowana do stosowania w tej instrukcji była prezentowana i dyskutowana w latach 2016 - 2017 w ramach tak zwanej Evolution Group powiązanej z eurokodem EN 1993-1-3 i jest rozważana jako propozycja do uzupełnienia tego eurokodu.

Niniejsza instrukcja została napisana przez Thibault RENAUX i była dyskutowana na posiedzeniu grupy roboczej w ramach projektu GRISPE PLUS. Grupa ta składała się z następujących członków:

Mickael BLANC	Francja
Silvia CAPRILI	Włochy
David IZABEL	Francja
Markus KUHNENNE	Niemcy
Anna PALISSON	Francja
Valérie PRUDOR	Francja
Irene PUNCELLO	Włochy
Dominik PYSCHNY	Niemcy
Thibault RENAUX	Francja
Daniel SPAGNI	Francja

Członkiem korespondencyjnym tej grupy był:

Léopold SOKOL	Francja
---------------	---------

RYSUNKI I TABELE

Poszczególne rysunki i tabele zostały opracowane przez następujące podmioty:

Rys. 1.1	JORIS IDE
Rys. 1.2.1	KIT / JORIS IDE
Rys. 1.2.2	Copy of DIN 18807-3
Rys. 1.2.3	Copy of DIN 18807-3
Rys. 1.2.4	Copy of DIN 18807-3
Rys. 1.3.1	JORIS IDE
Rys. 1.3.2	KIT
Rys. 1.3.3	KIT
Rys. 1.3.4	KIT
Rys. 2.3	Copy of EN 1993-1-3
Rys. 6.2.1	KIT / JORIS IDE
Rys. 6.2.2	Copy of DIN 18807-3
Rys. 6.3.1	Copy of DIN 18807-3
Rys. 6.3.2	Copy of DIN 18807-3
Rys. 6.3.3	KIT / IFL
Rys. 6.3.4	KIT / IFL
Rys. 8.2	JORIS IDE
Rys. 8.5.2a	KIT / JORIS IDE
Rys. 8.5.2b	KIT / JORIS IDE
Rys. 8.6.2a	JORIS IDE
Rys. 8.6.2b	JORIS IDE
Tab. 8.6.2a	JORIS IDE
Tab. 8.6.2b	JORIS IDE
Rys. 8.6.3a	JORIS IDE
Rys. 8.6.3b	JORIS IDE
Rys. 8.6.3c	JORIS IDE

Rys. 8.6.3d
Tab. 8.6.3a
Tab. 8.6.3b

JORIS IDE
 JORIS IDE
 JORIS IDE

SPIS TREŚCI

CEL PUBLIKACJI	7
OZNACZENIA.....	7
1. WPROWADZENIE	8
1.1. Rozważane typy profilowanych blach stalowych	8
1.2. Dotychczasowy stan wiedzy	8
1.3. Główne rezultaty uzyskane w ramach projektu GRISPE.....	10
1.4. Podstawowe wymagania i zasady projektowe.....	12
2. UWAGI WSTĘPNE	13
2.1. Obszar zastosowania proponowanej procedury projektowej.....	13
2.2. Minimalne dyspozycje technologiczne w odniesieniu do ramy stanowiącej oparcie badanego połączenia 13	
2.3. Minimalne dyspozycje technologiczne w odniesieniu do arkusza badanej blachy profilowanej	13
2.4. Minimalne dyspozycje technologiczne w odniesieniu do połączenia zakładkowego	14
3. PODSTAWOWE WYMAGANIA TECHNOLOGICZNE	14
3.1. Podpory	14
3.2. Znakowanie symbolem CE	14
4. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁOWE.....	15
4.1. Arkusze stalowych blach profilowanych.....	15
4.2. Łączniki.....	15
4.3. Współczynniki bezpieczeństwa	15
5. OBCIĄŻENIA ZEWNĘTRZNE I ICH KOMBINACJE	15
6. PODSTAWY PROJEKTOWANIA	15
6.1. Uwagi ogólne	15
6.2. Pole zastosowań nowej metody projektowej	15
6.3. Procedura projektowa	17
6.3.1. Stalowe arkusze blach łączone na zakładkę jednostronną względem osi podpory z częścią wspornikową nasuniętą na wierzch połączenia	17
6.3.2. Stalowe arkusze blach łączone na zakładkę jednostronną względem osi podpory z częścią wspornikową wsuniętą pod spód połączenia.....	18
6.3.3. Stalowe arkusze blach łączone na zakładkę dwustronną względem osi podpory	19
6.3.4. Połączenie z dodatkowym arkuszem blachy stanowiącym lokalne wzmocnienie	21
7. SPECYFICZNE UWARUNKOWANIA PROJEKTOWE.....	24

8. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE.....	24
8.1. Opis rozpatrywanej ramy nośnej i założenia co do obciążenia	24
8.1.1. Szczegółowe informacje dotyczące budynku 1	24
8.1.2. Założenia odnośnie obciążenia budynku 1	25
8.1.3. Szczegółowe informacje dotyczące budynku 2	26
8.1.4. Założenia odnośnie obciążenia budynku 2	26
8.2. Opis zastosowanego na pokrycie dachu arkusza profilowanej blachy stalowej	26
8.3. Opis łączników i elementów łączonych	27
8.4. Weryfikacja połączenia w budynku 1	28
8.4.1. Analiza statyczna	28
8.4.2. Połączenie arkuszy zrealizowane na zakładkę jednostronną względem osi podpory z częścią wspornikową arkusza nasuniętą na wierzch połączenia	28
8.4.3. Połączenie arkuszy zrealizowane na zakładkę jednostronną względem osi podpory z częścią wspornikową arkusza wsuniętą pod spód połączenia.....	29
8.5. Weryfikacja połączenia w budynku 2	30
8.5.1. Opis zastosowanego na pokrycie dachu arkusza profilowanej blachy stalowej	30
8.5.2. Analiza statyczna	31
8.5.3. Połączenie arkuszy zrealizowane na zakładkę dwustronną względem osi podpory	33
8.5.4. Uciąglenie łączonych blach przez dodatkowy arkusz wzmacniający.....	34
8.6. Weryfikacja z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego	36
8.6.1. Informacja o zastosowanym arkuszu.....	36
8.6.2. Walidacja przeprowadzona dla przykładu opracowanego dla budynku 1.	36
8.6.3. Walidacja przeprowadzona dla przykładu opracowanego dla budynku 2.	41
BIBLIOGRAFIA	50
ANNEX: PROPOZYCJA UZUPEŁNIENIA PRZEKAZANA DO CEN.....	52

CEL PUBLIKACJI

Celem niniejszej publikacji jest prezentacja nowej metody projektowej dotyczącej uciągłonych połączeń pokryć dachowych i okładzin ściennych wykonanych z cienkościennych profilowanych blach stalowych, zlokalizowanych w osi podpory pośredniej, zgodnej z rekomendacjami [1], proponowanej do włączenia w zakres tematyczny normy [2] w charakterze jej uzupełnienia.

Opracowana procedura dotyczy jedynie trwałej sytuacji projektowej związanej z powszechnie występującymi scenariuszami realizacji oddziaływań.

W celu rozpatrzenia przypadków specyficznych (takich jak na przykład zastosowanie blach z otworami) lub też sytuacji wyjątkowych (oddziaływania sejsmiczne, pożar itp.) należy zastosować stosowne rekomendacje odpowiednich Eurokodów i/lub zalecenia dokumentu [1].

OZNACZENIA

W stosunku do konwencjonalnej notacji stosowanej w normie EN 1993-1-3 dodatkowo wprowadzono następujące oznaczenia:

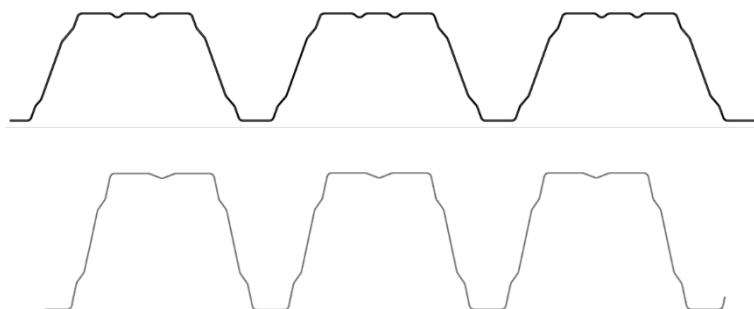
K_{Ed} – obciążenie wprowadzane do połączenia przez łączniki [kN],

a – długość zakładki łączonych ze sobą arkuszy blach lub szerokość dodatkowego arkusza blachy zastosowanego jako lokalne wzmocnienie połączenia [m].

1. WPROWADZENIE

1.1. Rozważane typy profilowanych blach stalowych

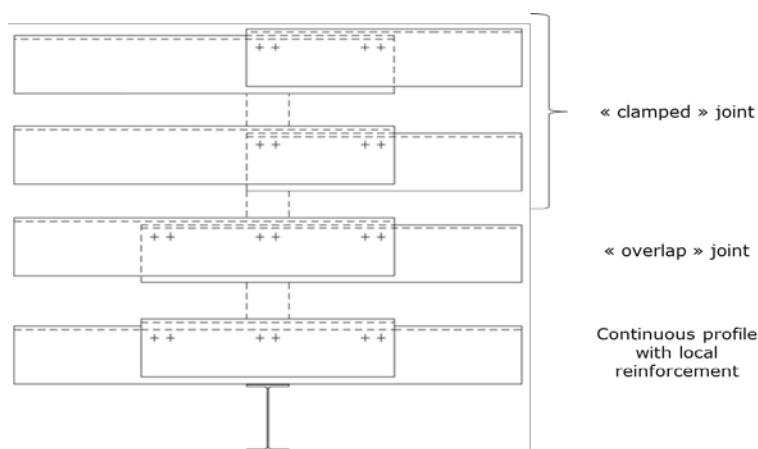
Prezentowana procedura dotyczy cienkościennych profilowanych blach stalowych o przekrojach pokazanych na Rys. 1.1, uciąganych w połączeniu nad podporą pośrednią.



Rys. 1.1 – Typowa geometria cienkościennych profilowanych blach stalowych do których odnosi się opisywana procedura.

1.2. Dotychczasowy stan wiedzy

Zakres tematyczny normy [2] nie zawiera reguł projektowania uciąglonego połączenia pokryć dachowych i okładzin ściennych wykonanego ze stalowych blach profilowanych łączonych nad podporą w procesie montażu na placu budowy. Dotyczy to sytuacji gdy pojedyncze arkusze tych blach transportuje się osobno na miejsce montażu a następnie łączy ze sobą na zakładkę, jako złącza jednostronne względem osi podpory (*clamped joint*), złącza dwustronne względem tej osi (*overlap joint*) lub też złącza z dodatkowym arkuszem wzmacniającym (*continuous profile with local reinforcement*), tak jak to pokazano na Rys. 1.2.1. W przypadku łącznego oddziaływania na tak uciąglone połączenie śniegu i wiatru, w niektórych sytuacjach otrzymuje się lokalne podwyższenie wartości miarodajnego efektu obciążenia. Tak jest na przykład wtedy gdy na dwuprzęsłowym pokryciu z uciąglonym połączeniem nad podporą środkową obciążenie zmienne oddziałuje jedynie na jedno przęsło. W praktyce zastosowana zakładka łączonych ze sobą arkuszy daje lokalne wzmocnienie przekroju poprzecznego w sąsiedztwie podpory pośredniej a to podwyższa charakterystyczną nośność samego połączenia.

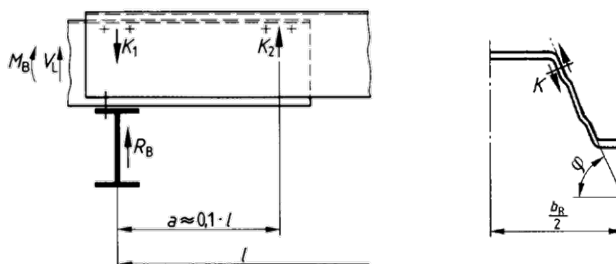


Rys. 1.2.1 – Rozpatrywane w instrukcji rodzaje połączeń uciągających pokrycie z blach profilowanych nad podporą środkową.

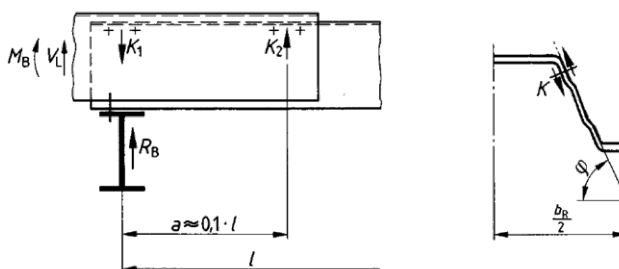
Te bardzo użyteczne rozwiązania nie są jak dotąd weryfikowane obliczeniowo. Istnieje zatem konieczność opracowania dla nich odpowiedniej metody projektowej. Przygotowanie tego typu procedury było jednym z podstawowych zadań projektu GRISPE.

W normie [3] istnieje rozwiązanie specyfikowane dla arkuszy blach łączonych na zakładkę. Tego typu połączenie może być stosowane jedynie nad podporami. Uwzględnienie, że jakiegokolwiek siły są w tym przypadku przenoszone przez kontakt pomiędzy arkuszami wymaga przeprowadzenia niezależnych testów. W obszarze zakładki przyjmuje się, że nośność pokrycia odpowiada nośności pojedynczego uciąglonego przekroju poprzecznego (bez wzmocnienia).

Na Rys. 1.2.2 i 1.2.3 pokazano dwie możliwości skonstruowania zakładki uciągającej arkusze blach w złączy jednostronnym względem osi podpory, odpowiednio: pierwszą - ze wspornikowym końcem arkusza wsuniętym pod łączony z nim sąsiadujący arkusz (Rys. 1.2.2) oraz drugą - gdy wspornikowy koniec arkusza nasunięto na wierzch łączonego z nim sąsiedniego arkusza (Rys. 1.2.3).



Rys. 1.2.2 – Realizacja jednostronnej względem osi podpory zakładki uciągającej łączone nad podporą arkusze blach (według [3]) – przypadek gdy wspornikowy koniec arkusza pozostaje na spodzie połączenia.



Rys. 1.2.3 – Realizacja jednostronnej względem osi podpory zakładki uciągającej łączone nad podporą arkusze blach (według [3]) – przypadek gdy wspornikowy koniec arkusza nasunięto na wierzch połączenia.

W przypadku połączenia z zakładką jednostronną względem osi podpory siła przypadająca na grupę łączników zespalających środniki blach wynosi odpowiednio:

$$K = \max K_i = \frac{|M_B|}{2 \cdot a \cdot \sin \varphi} \cdot b_R \quad (\text{w przypadku połączenia z Rys. 1.2.2})$$

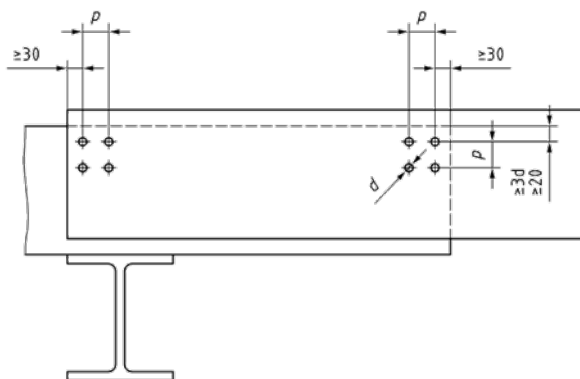
lub

$$K = \max K_i = \frac{\left| \frac{M_B}{a} + V_L \right|}{2 \cdot \sin \varphi} \cdot b_R \quad (\text{w przypadku połączenia z Rys. 1.2.3})$$

W każdym złączy, zarówno na kierunku pionowym jak i na kierunku poziomym, uwzględnia się pracę co najwyżej dwóch łączników (co w sumie może dać maksimum 4 łączniki rozważane w całym

połączeniu). Dopuszczalne odległości osi łączników od krawędzi arkuszy blach oraz rozstawy osi tych łączników muszą spełniać następujące wymagania (Rys. 1.2.4):

- o odległość osi łączników od krawędzi w kierunku obciążenia: $\geq 3d$ oraz ≥ 20 mm;
- o odległość osi łączników od krawędzi w kierunku prostopadłym do obciążenia: ≥ 30 mm;
- o odległość pomiędzy osiami łączników p : $\geq 4d$ oraz ≥ 40 mm oraz $\geq 10d$.

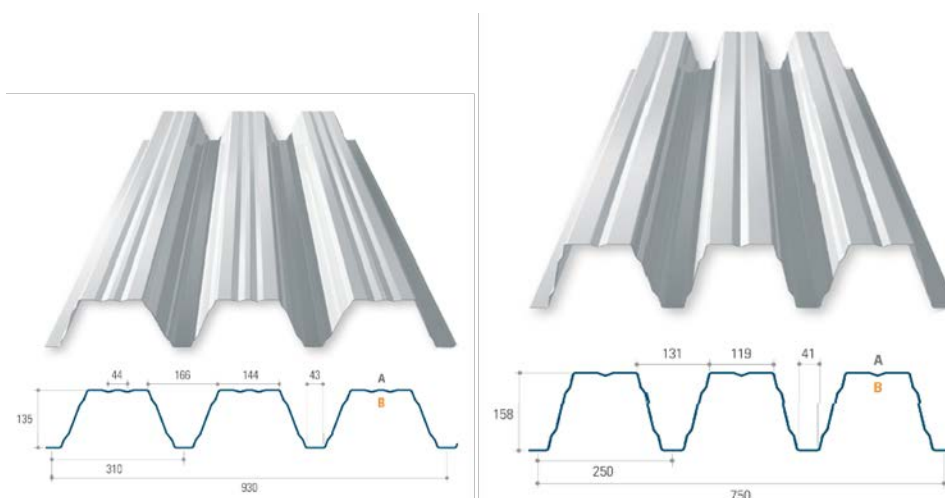


Rys. 1.2.4 – Dopuszczalne odległości pomiędzy łącznikami zastosowanymi w połączeniu oraz pomiędzy łącznikami i krawędziami łączonych blach (według [3]).

Opisane poniżej procedury są zgodne z rekomendacjami normy [3] a także z wymaganiami normy [4].

1.3. Główne rezultaty uzyskane w ramach projektu GRISPE

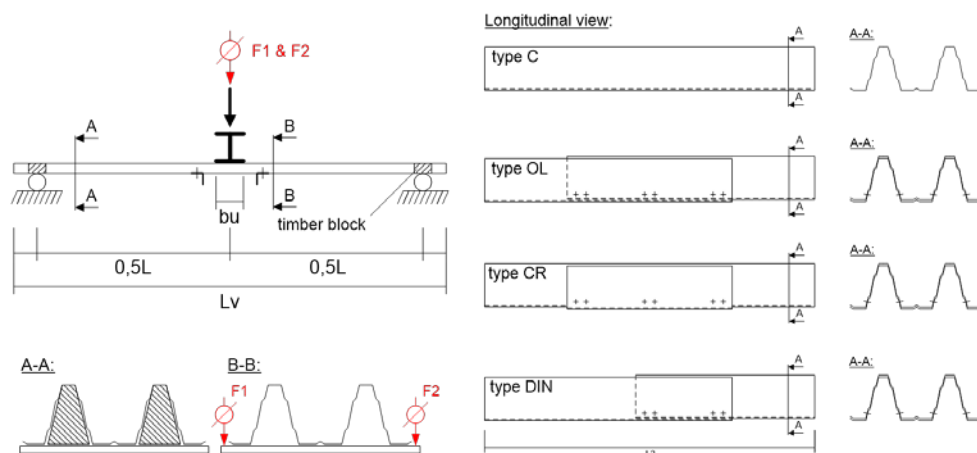
W celu potwierdzenia procedur obliczeniowych rekomendowanych do stosowania w normie [3], przeprowadzono serię testów odnoszących się do połączenia zakładkowego, jednostronnego względem osi podpory. Dodatkowo wykonano również odpowiednie testy weryfikujące zachowanie się pod obciążeniem połączenia z zakładką dwustronną względem osi podpory. Do szczegółowej analizy wybrano dwa typy blach, odpowiednio 135/310 oraz 158/250, pokazane na Rys. 1.3.1, uznane za reprezentatywne z uwagi na kąt nachylenia śródznika.



Rys. 1.3.1 – Blachy profilowane testowane w opisywanym eksperymencie.

Przeprowadzono serię 128 testów dostosowanych do różnych typów zakładki. Nośność połączenia nad podporą pośrednią badano w eksperymentach pokazanych szczegółowo na rys. 1.3.2 i 1.3.3. W

celach porównawczych przeprowadzono towarzyszące badania pojedynczych arkuszy blach. Badania połączeń z zakładką dwustronną względem podpory były prowadzone zgodnie z wymaganiami [3] w celu weryfikacji wiarygodności reguł zamieszczonych w tej normie w odniesieniu do pracy łączników.

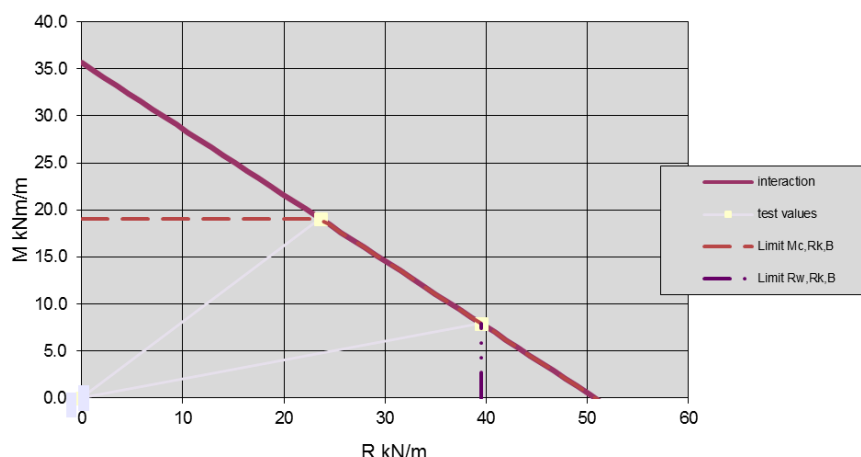


Rys. 1.3.2 – Schemat testów zachowania się połączenia nad podporą pośrednią.



Rys. 1.3.3 – Przykładowy test zachowania się połączenia nad podporą pośrednią i zrealizowany sposób zniszczenia.

Szczegółowa analiza przywołanych tu testów wraz z interpretacją uzyskanych wyników była opublikowana w pracach [5] i [6]. Porównanie poszczególnych rozwiązań badanego połączenia oparto na relacjach M-R wyznaczanych dla każdego testu. Przykładową relację tego typu pokazano na Rys. 1.3.4.



Rys. 1.3.4 – Przykładowy wykres interakcji M-R uzyskany z testu zachowania się połączenia nad podporą pośrednią.

Odpowiednie obliczenia przeprowadzono dla zakładki z jednostronnym wspornikiem, zarówno tej w wersji z wysunięciem dołem (Rys. 1.2.2) jak i tej z wysunięciem górą (Rys. 1.2.3) oraz dla zakładki dwustronnej względem osi podpory. Weryfikowano również pracę połączenia wzmocnionego i uciągłonego dodatkowym arkuszem blachy. W analizie przeprowadzano dekompozycję momentu zginającego zastępując go równoważną parą sił o tej samej wartości i przeciwnych zwrotach. Każda z sił tworzących tę parę przenoszona jest na połączenie przez łączniki.

Wykazano, że:

- W przypadku połączenia z zakładką dwustronną względem osi podpory nośność takiego połączenia nie jest dokładnie sumą nośności dwóch arkuszy liczonych pojedynczo. Osiąga ona bowiem jedynie wartość $1.8M_{Rd}$ gdzie M_{Rd} jest nośnością na czyste zginanie przekroju poprzecznego pojedynczego arkusza blachy. Tę samą zależność zarejestrowano w odniesieniu do połączenia uciągłanego i wzmocnianego dodatkowym arkuszem blachy.
- Specyficzny sposób zniszczenia realizuje się na końcach wsporników (Rys. 1.3.3) i dlatego na podstawie testów przyjęto, że w tym obszarze odpowiednia nośność wynosi jedynie $0.5R_{w,Rd}$.

W obecnej wersji normy [2] nie są dostępne żadne dane dotyczące projektowania połączeń zakładkowych arkuszy z blach profilowanych trapezowo. Z tego względu zdecydowano, że przedstawiona poniżej procedura powinna zostać włączona do odpowiedniego Eurokodu w charakterze uzupełniającego załącznika.

1.4. Podstawowe wymagania i zasady projektowe.

Przedstawiona poniżej metoda projektowania podaje sposób wyznaczania wartości obliczeniowych nośności połączenia zakładkowego, odpowiednio M_{Rd} i $R_{w,Rd}$, zgodny z wymaganiami normy [7] wraz z poprawkami [8] i [9]. Wartości obliczeniowe odpowiednich efektów kombinacji oddziaływań zewnętrznych muszą być ustalane w zgodności z zapisami normy [1] wraz z poprawką [11], normy [12] wraz z poprawkami [13] i [14] oraz normy [15] wraz z poprawkami [16] i [17]. Kolejne procedury obliczeniowe respektują zasady podane w normie [18] wraz z poprawkami [19] i [20] jak również te z normy [2] wraz z poprawką [21].

2. UWAGI WSTĘPNE

2.1. Obszar zastosowania proponowanej procedury projektowej

Procedura przedstawiona w niniejszej instrukcji dotyczy metody obliczeniowej służącej do określania nośności połączenia zakładkowego zgodnego z przepisami [1].

Proponowana metoda jest dostosowana do minimalnego zakresu dyspozycji technologicznych określonego w następnych paragrafach.

Zakres tematyczny niniejszej instrukcji nie dotyczy scenariusza obciążeń zewnętrznych realizowanego podczas budowy i montażu. Podane zasady obliczeń są ważne jedynie wtedy gdy tolerancje elementów giętych na zimno spełniają wymogi normy [2] wraz z poprawką [21].

2.2. Minimalne dyspozycje technologiczne w odniesieniu do ramy stanowiącej oparcie badanego połączenia

Arkusze profilowanej blachy stalowej musi być ułożony na trzech lub więcej podporach, stalowych lub drewnianych, o minimalnej szerokości nad podporą pośrednią równej 60 mm.

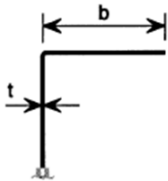
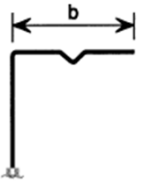
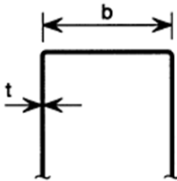
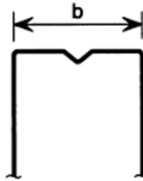
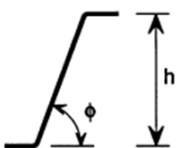
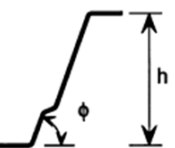
Bezpośredni kontakt blachy profilowanej z podporą betonową nie jest dopuszczalny.

2.3. Minimalne dyspozycje technologiczne w odniesieniu do arkusza badanej blachy profilowanej

Profilowane arkusze badanej blachy mają w ramach dopuszczalnych tolerancji stałą nominalną grubość na całej ich długości i mogą mieć albo jednolity przekrój poprzeczny albo też przekrój liniowo zbieżny wzdłuż ich długości.

Przekroje poprzeczne profilowanych arkuszy blach zawierają pewną liczbę płaskich elementów płytowych połączonych ze sobą elementami zakrzywionymi. Wymiary tych elementów powinny odpowiadać ogólnym wymaganiom podanym w części 1.5.3 normy [2].

Przepisy dotyczące obliczeń podane w niniejszej instrukcji nie powinny być stosowane w odniesieniu do przekrojów poprzecznych wykraczających poza zakres stosunków szerokości do grubości, odpowiednio: b/t , h/t , c/t oraz d/t , zestawionych na Rys. 2.3 i wyekstrahowanych z Tab. 5.1 normy [2].

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

Rys. 2.3 – Zakresy proporcji geometrycznych dla których ma zastosowanie procedura obliczeniowa opisana w niniejszej instrukcji (według [2]).

Grubość t jest obliczeniową grubością blachy stalowej interpretowaną, jeśli zachodzi taka potrzeba, jako grubość rdzenia stalowego minus odpowiednia tolerancja, tak jak to określono w pkt 3.2.4 normy [2], o ile w szczegółowych zapisach nie postanowiono inaczej.

Rozpatrywany arkusz blachy musi spełniać następujące wymagania:

- Wysokie profilowanie z odpowiednimi usztywnieniami zarówno górnego pasa jak i środka,
- Minimalna grubość nominalna równa 0,75 mm.

2.4. Minimalne dyspozycje technologiczne w odniesieniu do połączenia zakładkowego

Liczba łączników i ich rozstaw spełnia warunki opisane w paragrafie 2 niniejszej instrukcji (Rys. 1.2.4).

3. PODSTAWOWE WYMAGANIA TECHNOLOGICZNE

3.1. Podpory

Podpory w przypadku zastosowania stali zgodne z wymogami normy [18] wraz z poprawkami [19] i [20], w przypadku zastosowania drewna odpowiadające wymaganiom normy [22] wraz z poprawkami [23], [24] i [25].

3.2. Znakowanie symbolem CE

Wszystkie arkusze blach profilowanych powinny być oznakowane symbolem CE zgodnie z przepisami [1].

4. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁOWE

4.1. Arkusze stalowych blach profilowanych

Właściwości materiałowe w odniesieniu do stalowych blach profilowanych spełniają wymagania rozdziału 3 normy [2] z założeniem, że do ich wytworzenia użyto stali w gatunku co najmniej S 320 GD+Z.

4.2. Łączniki

Właściwości materiałowe w odniesieniu do łączników spełniają wymagania rozdziału 8 normy [2].

4.3. Współczynniki bezpieczeństwa

Zastosowane współczynniki bezpieczeństwa powinny spełniać wymagania rozdziału 2 normy [2].

5. OBCIĄŻENIA ZEWNĘTRZNE I ICH KOMBINACJE

Obciążenia zewnętrzne i ich kombinacje powinny być określone w zgodności z przepisami następujących norm:

- [8] i [9] – w odniesieniu do podstaw projektowania i zasad ustalania kombinacji obciążeń,
- [10] i [11] – w odniesieniu do ciężaru własnego i obciążeń użytkowych,
- [12], [13] i [14] – w odniesieniu do obciążenia śniegiem,
- [15], [16] i [17] – w odniesieniu do obciążenia wiatrem.

6. PODSTAWY PROJEKTOWANIA

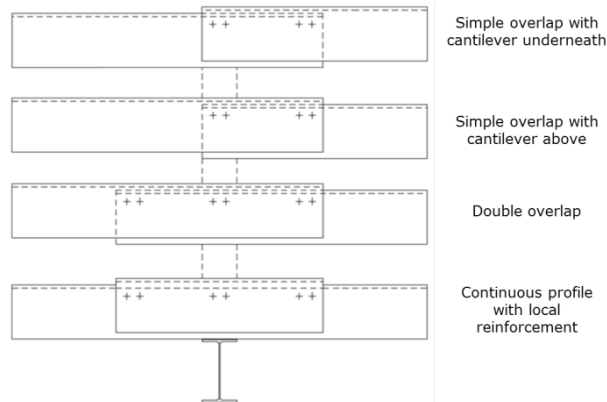
6.1. Uwagi ogólne

Nowa metoda projektowania, prezentowana w niniejszym opracowaniu, służy do:

- Wyznaczenia nośności czterech typów uciągłych połączenia pokrycia dachowego lub okładziny ściennej, wykonanych z profilowanych arkuszy blach stalowych, z uwagi na interakcyjne oddziaływanie momentu zginającego i siły poprzecznej,
- Weryfikacji warunków realizacji połączenia pomiędzy łączonymi ze sobą arkuszami blach profilowanych.

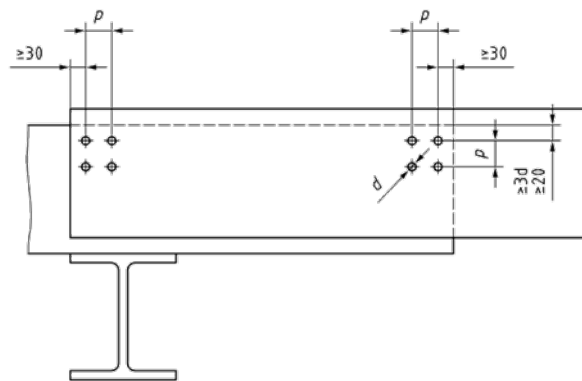
6.2. Pole zastosowań nowej metody projektowej

Procedura prezentowana poniżej dotyczy uciąglenia zrealizowanego na zakładkę, jednostronną lub dwustronną względem osi podpory, wykonaną na jeden z czterech sposobów pokazanych na Rys. 6.2.1.



Rys. 6.2.1 – Typy uciągleń pokrycia lub okładziny których dotyczy procedura obliczeniowa prezentowana poniżej.

Profilowane arkusze blach stalowych muszą mieć taką samą grubość obliczeniową a rozmieszczenie łączników musi spełniać wymagania pokazane na Rys. 6.2.2.

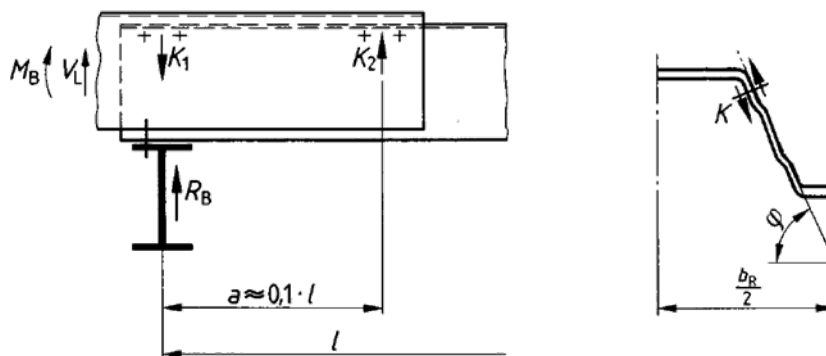


Rys. 6.2.2 – Rozmieszczenie łączników zapewniające efektywność pracy połączenia.

Do wzajemnego połączenia arkuszy blach profilowanych należy wykorzystywać grupy maksymalnie czterech łączników w każdej grupie ułożonych w kwadrat. Łączą one środki blach i rozmieszczone są na obu końcach zakładki. W każdej grupie odległość osi skrajnych łączników od krawędzi zakładki powinna wynosić co najmniej 30 mm. Odległość osi górnych łączników od spodu pasa górnego blachy powinna wynosić co najmniej 20 mm, a przy tym nie mniej niż $3d$, gdzie d jest średnicą otworu. Odległości, zarówno pionowe jak i poziome, pomiędzy samymi łącznikami powinny wynosić co najmniej 40 mm a przy tym być większe lub równe $4d$.

6.3. Procedura projektowa

6.3.1. Stalowe arkusze blach łączone na zakładkę jednostronną względem osi podpory z częścią wspornikową nasuniętą na wierzch połączenia



Rys. 6.3.1 – Zakładka jednostronna względem osi podpory z częścią wspornikową nasuniętą na wierzch połączenia.

Weryfikacja nośności połączenia

Weryfikacja nośności połączenia w osi podpory jest dokonywana w oparciu o wartości obliczeniowe $M_{B,Rd}$ i $R_{w,Rd,B}$ specyfikowane dla uciętego przekroju poprzecznego o nie zmienionej obliczeniowej grubości, z uwzględnieniem wpływu reakcji podporowej w przypadku obciążenia skierowanego w dół (interakcja M-R) lub interakcji M-V gdy obciążenie skierowane jest w górę.

Wartości $M_{B,Rd}$ i $R_{w,Rd,B}$ powinny być wyznaczane zgodnie z punktami 6.1.4 i 6.1.7 normy [2] natomiast warunki interakcyjne na podstawie punktu 6.1.11 tej samej normy [2].

Weryfikacja możliwości wybrzuszenia środnika

W przypadku obciążenia skierowanego w dół ewentualna możliwość wybrzuszenia środnika blachy na końcu części wspornikowej weryfikowana jest na podstawie zależności:

$$F_{Ed} = M_{B,Ed}/a < 0.5 \cdot R_{w,Rd,B}$$

gdzie $R_{w,Rd,B}$ jest graniczną wartością reakcji nad podporą pośrednią wyznaczaną przy negatywnym ustawieniu blachy dla maksymalnej szerokości podparcia. Na ogół $l_{a,B} = 160 \text{ mm}$.

Traktując jako tak zwany pozytyw normalne ułożenie profilowanego arkusza blachy, takie jak to pokazane na Rys. 1.1, ułożeniem rozumianym jako negatyw będzie ułożenie odwrotne, z głównym pasem blachy (na Rys. 1.1 zlokalizowanym u góry) pozostającym w bezpośrednim kontakcie z podporą.

Dla obciążenia arkusza skierowanego w górę wystąpienie wybrzuszenia środnika blachy na krawędzi części wspornikowej nie jest możliwe. W takim przypadku żadna weryfikacja tego rodzaju zagrożenia nie jest potrzebna.

Weryfikacja nośności pojedynczej grupy łączników K_{Ed}

Weryfikacja tego typu dotyczy przeniesienia siły obciążającej pojedynczą grupę łączników w połączeniu środników przylegających do siebie arkuszy blach. Przeprowadza się ją sprawdzając nierówność:

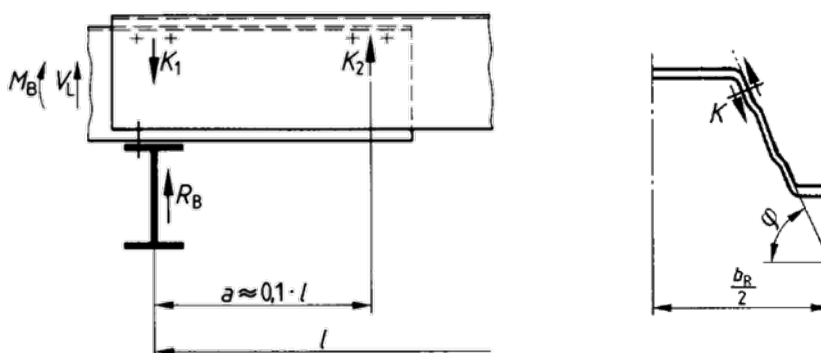
$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

przy czym:

$$K_{Ed} = \max K_i = \frac{|(M_{B,Ed}/a) + V_{L,Ed}|}{(2 \cdot \sin \varphi)} \cdot b_R$$

W powyższym wyrażeniu $\sum F_{V,Rd}$ jest sumaryczną nośnością śrub w rozpatrywanej grupie ze względu na ścinie ich trzpieni.

6.3.2. Stalowe arkusze blach łączone na zakładkę jednostronną względem osi podpory z częścią wspornikową wsuniętą pod spód połączenia



Rys. 6.3.2 –Zakładka jednostronna względem osi podpory z częścią wspornikową wsuniętą pod spód połączenia.

Weryfikacja nośności połączenia

Weryfikacja nośności połączenia w osi podpory jest dokonywana w oparciu o wartości obliczeniowe $M_{B,Rd}$ i $R_{w,Rd,B}$ specyfikowane dla uciągniętego przekroju poprzecznego o nie zmienionej obliczeniowej grubości, z uwzględnieniem wpływu reakcji podporowej w przypadku obciążenia skierowanego w dół (interakcja M-R) lub interakcji M-V gdy obciążenie skierowane jest w górę.

Wartości $M_{B,Rd}$ i $R_{w,Rd,B}$ powinny być wyznaczane zgodnie z punktami 6.1.4 i 6.1.7 normy [2] natomiast warunki interakcyjne na podstawie punktu 6.1.11 tej samej normy [2].

Weryfikacja możliwości wybrzuszenia środnika

Zarówno w przypadku wystąpienia obciążenia skierowanego w dół jak i w sytuacji działania na połączenie obciążenia skierowanego w górę wybrzuszenie środnika blachy na krawędzi części wspornikowej nie jest możliwe. Nie ma zatem potrzeby weryfikacji tego rodzaju zagrożenia.

Weryfikacja nośności pojedynczej grupy łączników K_{Ed}

Weryfikacja tego typu dotyczy przeniesienia siły obciążającej pojedynczą grupę łączników w połączeniu środników przylegających do siebie arkuszy blach. Przeprowadza się ją sprawdzając nierówność:

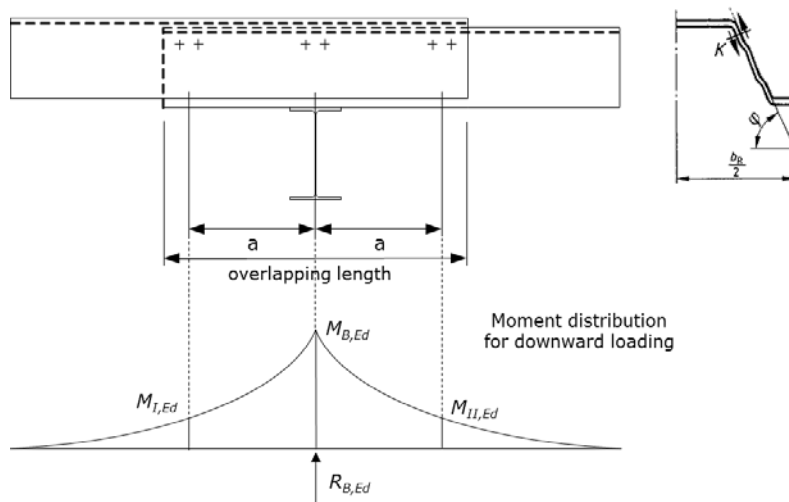
$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

przy czym:

$$K_{Ed} = \max K_i = \frac{|M_{B,Ed}|}{(2 \cdot a \cdot \sin \varphi)} \cdot b_R$$

W powyższym wyrażeniu $\sum F_{V,Rd}$ jest sumaryczną nośnością śrub w rozpatrywanej grupie ze względu na ścięcie ich trzpieni.

6.3.3. Stalowe arkusze blach łączone na zakładkę dwustronną względem osi podpory



Rys. 6.3.3 – Zakładka dwustronna względem osi podpory.

Ustalenia wstępne

Przed przystąpieniem do projektowania należy ustalić wartości momentów zginających $M_{B,Ed}$, $M_{I,Ed}$, $M_{II,Ed}$ oraz reakcji podporowej $R_{Ed,B}$ (Rys. 6.3.3) generowanych przyłożonym do połączonych arkuszy blach obciążeniem zewnętrznym o wartościach obliczeniowych, zgodnie z zasadami analizy statycznej prowadzonej dla ustrojów uciążlonych nad podporą.

Weryfikacja nośności połączenia w osi podpory

Weryfikacja nośności połączenia w osi podpory jest dokonywana przy założeniu wykorzystania jedynie 90 % wartości obliczeniowych $M_{B,Rd}$ i $R_{w,Rd,B}$ w każdym z łączonych arkuszy blachy o nie zmienionej obliczeniowej grubości, z uwzględnieniem wpływu reakcji podporowej w przypadku obciążenia skierowanego w dół (interakcja M-R) lub interakcji M-V gdy obciążenie skierowane jest w górę. A zatem:

$$M_{B,Ed} \leq 0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}$$

$$R_{B,Ed} \leq 0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}$$

Warunki interakcyjne zarówno te odniesione do interakcji M-R jak i te odniesione do interakcji M-V weryfikuje się zgodnie z wytycznymi zawartymi w punkcie 6.1.11 normy [2].

Weryfikacja warunku nośności połączenia na krawędziach zakładki.

Weryfikacja tego typu prowadzona jest przy założeniu pełnego uciążlenia łączonych profili dla momentów zginających równych odpowiednio $M_{I,Ed}$ i $M_{II,Ed}$ oraz dla towarzyszącego tym momentom

obciążenia K_i wprowadzanego do połączenia jako skutek oddziaływania miarodajnej grupy łączników. A zatem:

$$F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a}$$

Obciążenie F_{Ed} określa się dla obu rozpatrywanych w niniejszej instrukcji przypadków obciążenia zewnętrznego, zarówno tego skierowanego w dół jak i tego skierowanego w górę.

W przypadku obciążenia zewnętrznego skierowanego w dół, siła F_{Ed} jest oddziaływaniem rozciągającym środniki blach łączonych w połączeniu. Z tego względu weryfikacja nośności wymaga sprawdzenia trzech komplementarnych warunków:

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} \leq 1,0$$

Weryfikacja warunku interakcyjnego dla interakcji M-V przebiega zgodnie z wymaganiami punktu 6.1.11 normy [2].

W przypadku obciążenia zewnętrznego skierowanego w górę, siła F_{Ed} jest oddziaływaniem ściskającym środniki blach łączonych w połączeniu. Warunki służące w takim przypadku do weryfikacji nośności są zatem nieco odmienne od tych opisanych powyżej. Mają one postać zestawu:

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} \leq 1,0$$

Weryfikacja warunku interakcyjnego dla interakcji M-R przebiega przy tym zgodnie z wymaganiami punktu 6.1.11 normy [2].

W obu przypadkach obciążenia zewnętrznego do tego typu weryfikacji nośności połączenia arkuszy blach zastosowanie mają wartości nośności przekroju poprzecznego łączonych blach specyfikowane w osi podпоры pośredniej przy arkuszach ustawionych w pozycji odwrotnej, jako negatywy.

Weryfikacja możliwości wybrzuszenia środnika

W przypadku obciążenia zewnętrznego skierowanego w dół zagrożenie wystąpieniem wybrzuszenia środnika na krawędzi części wspornikowej połączenia weryfikowane jest nierównością:

$$F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \cdot a) < 0.5 \cdot R_{w,Rd,B}$$

w której $R_{w,Rd,B}$ jest graniczną wartością reakcji podporowej nad podporą pośrednią możliwą do przeniesienia przy ustawieniu łączonych arkuszy blach w pozycji odwrotnej (jako negatywy) i przy wykorzystaniu pełnej szerokości podporы. Na ogół zakłada się że $l_{a,B} = 160$ mm.

Traktując jako tak zwany pozytywny normalny układ profilowanego arkusza blachy, takie jak to pokazane na Rys. 1.1, układem rozumianym jako negatywny będzie układ odwrotny, z głównym pasem blachy (na Rys. 1.1 zlokalizowanym u góry) pozostającym w bezpośrednim kontakcie z podporą.

Dla obciążenia arkusza skierowanego w górę wystąpienie wybrzuszenia środka blachy na krawędzi części wspornikowej nie jest możliwe. W takim przypadku żadna weryfikacja tego rodzaju zagrożenia nie jest potrzebna.

Weryfikacja nośności pojedynczej grupy łączników K_{Ed}

Weryfikacja tego typu dotyczy przeniesienia siły obciążającej pojedynczą grupę łączników w połączeniu środków przylegających do siebie arkuszy blach. Przeprowadza się ją sprawdzając nierówność:

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

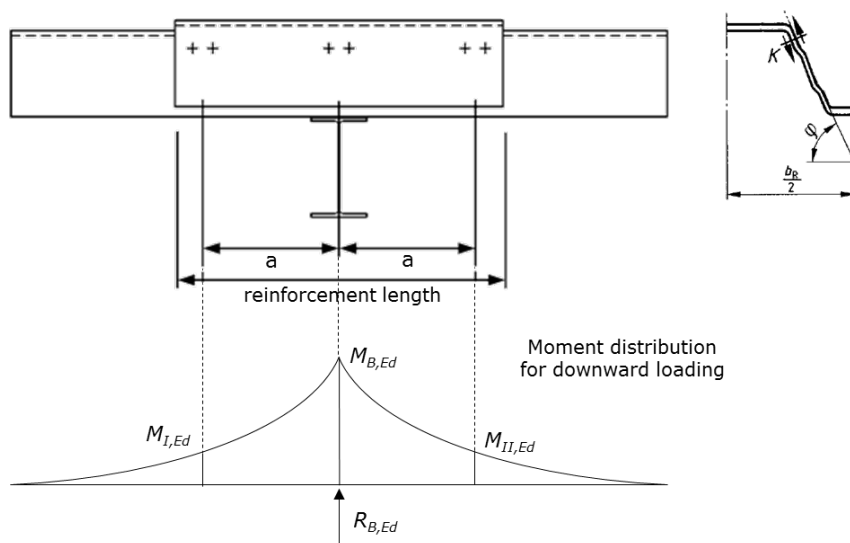
przy czym:

$$K_{Ed} = \max K_i = \frac{|M_{B,Ed}|}{(4 \cdot a \cdot \sin \varphi)} \cdot b_R$$

gdzie $\sum F_{V,Rd}$ jest sumaryczną nośnością śrub w rozpatrywanej grupie ze względu na ścięcie ich trzpieni.

Weryfikacja ta musi być przeprowadzona dla obydwu przypadków obciążenia zewnętrznego, zarówno tego skierowanego w dół jak i tego skierowanego w górę.

6.3.4. Połączenie z dodatkowym arkuszem blachy stanowiącym lokalne wzmocnienie



Rys. 6.3.4 – Połączenie zrealizowane przez dodatkowy arkusz blachy stanowiący lokalne wzmocnienie.

Ustalenia wstępne

Przed przystąpieniem do projektowania należy ustalić wartości momentów zginających $M_{B,Ed}$, $M_{I,Ed}$, $M_{II,Ed}$ oraz reakcji podporowej $R_{Ed,B}$ (Rys. 6.3.4) generowanych przyłożonym do połączonych arkuszy blach obciążeniem zewnętrznym o wartościach obliczeniowych, zgodnie z zasadami analizy statycznej prowadzonej dla ustrojów uciągonych nad podporą.

Weryfikacja nośności połączenia w osi podpory

Weryfikacja nośności połączenia w osi podpory jest dokonywana przy założeniu wykorzystania jedynie 90 % wartości obliczeniowych $M_{B,Rd}$ i $R_{w,Rd,B}$ w każdym z łączonych arkuszy blachy o nie zmienionej obliczeniowej grubości, z uwzględnieniem wpływu reakcji podporowej w przypadku obciążenia skierowanego w dół (interakcja M-R) lub interakcji M-V gdy obciążenie skierowane jest w górę. A zatem:

$$M_{B,Ed} \leq 0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}$$

$$R_{B,Ed} \leq 0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}$$

Warunki interakcyjne zarówno te odniesione do interakcji M-R jak i te odniesione do interakcji M-V weryfikuje się zgodnie z wytycznymi zawartymi w punkcie 6.1.11 normy [2].

Weryfikacja warunku nośności połączenia na krawędziach zakładki.

Weryfikacja tego typu prowadzona jest przy założeniu pełnego uciągnięcia łączonych profili dla momentów zginających równych odpowiednio $M_{I,Ed}$ i $M_{II,Ed}$ oraz dla towarzyszącego tym momentom obciążenia K_i wprowadzanego do połączenia jako skutek oddziaływania miarodajnej grupy łączników. A zatem:

$$F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a}$$

Obciążenie F_{Ed} określa się dla obu rozpatrywanych w niniejszej instrukcji przypadków obciążenia zewnętrznego, zarówno tego skierowanego w dół jak i tego skierowanego w górę.

W przypadku obciążenia zewnętrznego skierowanego w dół, siła F_{Ed} jest oddziaływaniem rozciągającym środniki blach łączonych w połączeniu. Z tego względu weryfikacja nośności wymaga sprawdzenia trzech komplementarnych warunków:

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} \leq 1,0$$

Weryfikacja warunku interakcyjnego dla interakcji M-V przebiega zgodnie z wymaganiami punktu 6.1.11 normy [2].

W przypadku obciążenia zewnętrznego skierowanego w górę, siła F_{Ed} jest oddziaływaniem ściskającym środniki blach łączonych w połączeniu. Warunki służące w takim przypadku do weryfikacji nośności są zatem nieco odmienne od tych opisanych powyżej. Mają one postać zestawu:

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} \leq 1,0$$

Weryfikacja warunku interakcyjnego dla interakcji M-R przebiega przy tym zgodnie z wymaganiami punktu 6.1.11 normy [2].

W obu przypadkach obciążenia zewnętrznego do tego typu weryfikacji nośności połączenia arkuszy blach zastosowanie mają wartości nośności przekroju poprzecznego łączonych blach specyfikowane w osi podpory pośredniej przy arkuszach ustawionych w pozycji odwrotnej, jako negatywy.

Weryfikacja możliwości wybrzuszenia środnika

W przypadku obciążenia zewnętrznego skierowanego w dół zagrożenie wystąpieniem wybrzuszenia środnika na krawędzi części wspornikowej połączenia weryfikowane jest nierównością:

$$F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \cdot a) < 0.5 \cdot R_{w,Rd,B}$$

w której $R_{w,Rd,B}$ jest graniczną wartością reakcji podporowej nad podporą pośrednią możliwą do przeniesienia przy ustawieniu łączonych arkuszy blach w pozycji odwrotnej (jako negatywy) i przy wykorzystaniu pełnej szerokości podpory. Na ogół zakłada się że $l_{a,B} = 160$ mm.

Traktując jako tak zwany pozytyw normalne ułożenie profilowanego arkusza blachy, takie jak to pokazane na Rys. 1.1, ułożeniem rozumianym jako negatyw będzie ułożenie odwrotne, z głównym pasem blachy (na Rys. 1.1 zlokalizowanym u góry) pozostającym w bezpośrednim kontakcie z podporą.

Dla obciążenia arkusza skierowanego w górę wystąpienie wybrzuszenia środnika blachy na krawędzi części wspornikowej nie jest możliwe. W takim przypadku żadna weryfikacja tego rodzaju zagrożenia nie jest potrzebna.

Weryfikacja nośności pojedynczej grupy łączników K_{Ed}

Weryfikacja tego typu dotyczy przeniesienia siły obciążającej pojedynczą grupę łączników w połączeniu środników przylegających do siebie arkuszy blach. Przeprowadza się ją sprawdzając nierówność:

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

przy czym:

$$K_{Ed} = \max K_i = \frac{|M_{B,Ed}|}{(4 \cdot a \cdot \sin \varphi)} \cdot b_R$$

gdzie $\sum F_{V,Rd}$ jest sumaryczną nośnością śrub w rozpatrywanej grupie ze względu na ścięcie ich trzpieni.

Weryfikacja ta musi być przeprowadzona dla obydwu przypadków obciążenia zewnętrznego, zarówno tego skierowanego w dół jak i tego skierowanego w górę.

7. SPECYFICZNE UWARUNKOWANIA PROJEKTOWE

Niniejsza instrukcja nie ma zastosowania do następujących, specyficznych przypadków analizy:

- o Analiza bezpieczeństwa odniesionego do sytuacji pożaru: w tego typu analizie należy stosować narodowe wytyczne normowe, w zgodności z przepisami norm EN 1991-1-2 i EN 1993-1-2;
- o Analiza bezpieczeństwa odniesiona do oddziaływań sejsmicznych: w tego typu analizie należy stosować narodowe wytyczne normowe, w zgodności z przepisami normy EN 1998-1;
- o Analiza odniesiona do aspektów środowiskowych: w tym przypadku należy stosować się do narodowych przepisów normowych i prawnych;
- o Analiza bezpieczeństwa odniesiona do oddziaływań termicznych: w tego typu analizie należy stosować narodowe wytyczne normowe, w zgodności z przepisami normy EN 1991-1-5;
- o Analiza odniesiona do zagadnień akustyki: w tym przypadku należy stosować się do narodowych przepisów normowych i prawnych.

Powyższe ograniczenia należy stosować również we wszystkich przypadkach, których nie można zakwalifikować w sposób jednoznaczny do sytuacji opisanych w niniejszej instrukcji.

8. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

8.1. Opis rozpatrywanej ramy nośnej i założenia co do obciążenia

Prezentowane przykłady dotyczą płaskiego pokrycia dachowego zrealizowanego na dwóch budynkach. Ustrój nośny obu budynków stanowią stalowe ramy z ryglami wykonanymi z kształtowników IPE 330 (o szerokości pasa równej 160 mm), o rozpiętości 5,45 m. Weryfikacja dotyczy połączeń uciągających arkusze blach, zlokalizowanych w polach H i I rozpatrywanych dachów, interpretowanych zgodnie z punktem 7.2.3 normy EN 1991-1-4.

Pokrycia obydwu płaskich dachów wykonano z profilowanych blach stalowych z dodatkiem izolacyjnej warstwy wełny mineralnej oraz okładziny sufitowej. Całkowity ciężar własny izolacji oraz okładziny sufitowej, oznaczony symbolem g_1 , w przypadku budynku 1 wyniósł $0,25 \text{ kN/m}^2$, w odniesieniu do budynku 2 natomiast $1,00 \text{ kN/m}^2$.

8.1.1. Szczegółowe informacje dotyczące budynku 1

Budynek oznaczany symbolem "budynek 1" ma 16 m wysokości i znajduje się w obszarze zabudowy przemysłowej w pobliżu Ostendy (Belgia). Wokół płaskiego dachu, na całym jego obwodzie, wybudowano attykę o wysokości 80 cm.

Podstawowa wartość prędkości wiatru oddziałującego na budynek, oznaczona symbolem $v_{b,0}$, wynosi 26 m.s^{-1} .

Założono, że teren sąsiadujący z budynkiem należy do kategorii 0.

Przyjęto, że zarówno współczynnik kierunkowy oddziaływania wiatru c_{dir} jak również współczynnik sezonowy c_{season} mają wartości równe 1. Taką samą wartość ma również współczynnik orograficzny $c_0(z)$.

Rekomendowana dla rozpatrywanego budynku wartość współczynnika turbulencji k_t wynosi 1.

Gęstość powietrza ρ , w rozpatrywanej strefie ustalono na poziomie $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Zgodnie z normą [12] przyjęto wartość współczynnika ekspozycji na poziomie $C_e=0,8$.

Współczynnik kształtu dachu dla obliczeń obciążenia śniegiem przyjęto na poziomie $\mu_i=0,8$.

8.1.2. Założenia odnośnie obciążenia budynku 1

Prezentowana procedura nie dotyczy fazy montażu dachu. Rozpatruje się fazę użytkowania gdy na dach oddziałują zarówno obciążenia użytkowe jak i obciążenia wywołane wiatrem.

Obciążenia śniegiem są pomijane w bilansie oddziaływań ze względu na ich małą wartość. W Belgii, zgodnie z narodowym aneksem stanowiącym załącznik normy [12], wartość charakterystyczna ciężaru pokrywy śnieżnej na gruncie s_k , na poziomie morza, wynosi $0,2 \text{ kN/m}^2$. Uwzględniając dodatkowo współczynnik kombinacyjny $\Psi_0=0,5$ w dokładnych obliczeniach otrzymuje się zatem poziom $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,064 \text{ daN/m}^2$.

Określenie oddziaływania wiatrem według przepisów [15], [16] i [17]

- Podstawowa prędkość wiatru $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 26 = 26 \text{ m.s}^{-1}$.
- Dla kategorii terenu 0: $z_0 = 0,003 \text{ m}$ oraz $z_{min} = 1 \text{ m}$;
 - o $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$;
 - o $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,003}{0,05}\right)^{0,07} \approx 0,156$;
 - o Współczynnik chropowatości terenu $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,156 \cdot \ln\left(\frac{16}{0,003}\right) \approx 1,339$;
 - o Średnia prędkość $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,339 \cdot 1,00 \cdot 26 \approx 34,8 \text{ m.s}^{-1}$;
 - o Wskaźnik turbulencji $I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,00}{1,00 \cdot \ln(16/0,003)} \approx 0,117$
 - o Wartość szczytowa ciśnienia $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,117] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 34,8^2 \approx 1,38 \text{ kN/m}^2$

Współczynniki ciśnienia dla dachu płaskiego:

- o $h_p/h = 0,8/16 = 0,05$;
- o Współczynniki ciśnienia zewnętrznego $c_{pe,10}$:
 - o Strefa H: $-0,7$
 - o Strefa: $+0,2/-0,2$
- o Współczynnik ciśnienia wewnętrznego $c_{pi} = +0,2/-0,3$
- o Współczynniki netto $c_{p,net}$:
 - o Dla parcia wiatru: $c_{p,net} = 0,5$
 - o Dla ssania wiatru: $c_{p,net} = -0,9$

Obciążenia wiatrem W_{50} :

- o Dla parcia wiatru: $W_{50}^+ = 0,69 \text{ kN/m}^2$
- o Dla ssania wiatru: $W_{50}^- = -1,24 \text{ kN/m}^2$

Kombinacje obciążeń zgodne z rekomendacjami norm [8] i [9] w tym również z narodowym aneksem do normy [8] opracowanym dla Belgii

Przypadek najbardziej niekorzystny z uwagi na parcie wiatru:

$$Q^+ = 1,50 \cdot W_{50}^+ + 1,35 \cdot (g_0 + g_1) = 1,50 \cdot 0,69 + 1,35 \cdot (0,097 + 0,25) \approx 1,50 \text{ kN/m}^2$$

Przypadek najbardziej niekorzystny z uwagi na ssanie wiatru:

$$Q^- = 1,50 \cdot W_{50}^- + (g_0 + g_1) = 1,50 \cdot (-1,24) + (0,097 + 0,25) \approx -1,51 \text{ kN/m}^2$$

Wartość ciężaru własnego arkusza blachy profilowanej g_0 podano w punkcie 8.2 natomiast ciężar własny warstwy izolacyjnej i okładziny sufitowej g_1 zestawiono w punkcie 8.1.1 niniejszego opracowania.

8.1.3. Szczegółowe informacje dotyczące budynku 2

Budynek 2 poza innym ciężarem g_1 jest taki sam jak budynek 1. Szczegółowe dane są zatem zgodne ze specyfikacją podaną w punkcie 8.1.1 niniejszego opracowania.

8.1.4. Założenia odnośnie obciążenia budynku 2

Dla budynku 2 ciężar własny warstwy izolacyjnej pokrycia dachowego i okładziny sufitowej wynosi $g_1 = 1,00 \text{ kN/m}^2$.

W odniesieniu do ustalenia wartości reprezentatywnych oddziaływania śniegu i wiatru na dach zachowują ważność przeliczenia z rozdziału 8.1.4.

Kombinacje obciążeń ustalane zgodnie z rekomendacjami norm [8] i [9] w tym również z narodowym aneksem do normy [8] ustalonym dla Belgii

Najbardziej niekorzystny przypadek z uwagi na parcie wiatru:

$$Q^+ = 1,50 \cdot W_{50}^+ + 1,35 \cdot (g_0 + g_1) = 1,50 \cdot 0,69 + 1,35 \cdot (0,097 + 1,00) \approx 2,51 \text{ kN/m}^2$$

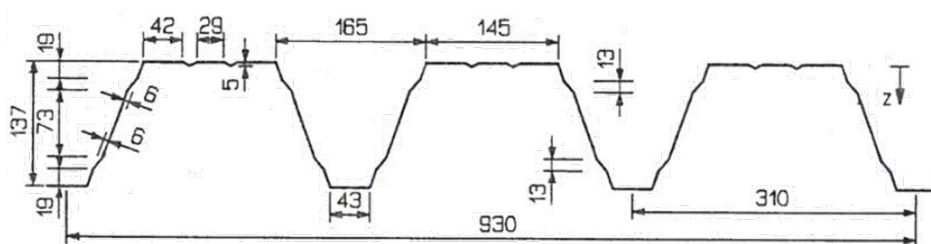
Najbardziej niekorzystny przypadek z uwagi na ssanie wiatru:

$$Q^- = 1,50 \cdot W_{50}^- + (g_0 + g_1) = 1,50 \cdot (-1,24) + (0,097 + 1,00) \approx -0,76 \text{ kN/m}^2$$

Specyfikację ciężaru własnego g_0 podano w rozdziale 8.2.

8.2. Opis zastosowanego na pokrycie dachu arkusza profilowanej blachy stalowej

Zastosowano arkusz blachy 137-310-930 profilowanej trapezoidalnie, o wymiarach jak na Rys. 8.2.



Rys. 8.2 – Wybrany do realizacji pokrycia arkusz blachy 137-310-930 profilowanej trapezoidalnie (pozytyw).

Szerokość pojedynczego profilu $b_r = 310 \text{ mm}$. Kąt nachylenia środka $\varphi = 66^\circ$.

Arkusz blachy wykonano ze stali S 320 GD + Z 275, o nominalnej grubości 0,75 mm. Ciężar własny g_0 tego arkusza wynosi 0,097 kN/m².

Wartość obliczeniową nośności przekroju poprzecznego dla rozpatrywanego arkusza blachy wyznaczono zgodnie z rekomendacjami normy [2] przy założeniu częściowego współczynnika bezpieczeństwa na poziomie $\gamma_m = 1,10$.

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste zginanie, przy normalnym ustawieniu tego arkusza (jako pozytyw) i przy obciążeniu skierowanym w dół wynosi:

$$M_{b,Rd} = 8,17/1,1 = 7,42 \text{ [kNm/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste zginanie, specyfikowana nad podporą i na końcu zakładki, przy ustawieniu tego arkusza jako negatyw i przy obciążeniu skierowanym w dół wynosi:

$$M_{b,Rd} = 9,66/1,1 = 8,78 \text{ [kNm/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste zginanie, specyfikowana nad podporą, przy ustawieniu tego arkusza jako pozytyw i przy obciążeniu skierowanym w górę wynosi:

$$M_{b,Rd} = 9,66/1,1 = 8,78 \text{ [kNm/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste zginanie, specyfikowana nad podporą, przy ustawieniu tego arkusza jako negatyw i przy obciążeniu skierowanym w górę wynosi:

$$M_{b,Rd} = 8,30/1,1 = 7,54 \text{ [kNm/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na oddziaływanie reakcji podporowej nad podporą środkową, przy ustawieniu tego arkusza jako pozytyw (szerokość podpory 160 mm):

$$R_{w,Rd,B} = 22,82/1,1 = 20,74 \text{ [kN/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na oddziaływanie reakcji podporowej nad podporą środkową, przy ustawieniu tego arkusza jako negatyw (szerokość podpory 160 mm):

$$R_{w,Rd,B,la=160} = 22,89/1,1 = 20,80 \text{ [kN/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste ścinanie:

$$V_{w,Rd} = 28,49/1,1 = 25,9 \text{ [kN/m]}$$

8.3. Opis łączników i elementów łączonych

Zastosowane łączniki spełniają wymagania rozdziału 8 normy [2] i mają 6.3 mm średnicy trzpienia. Ich obliczeniowa nośność na ścięciu trzpienia mieści się w zakresie rekomendowanym przez ETA.

Nośność każdej śruby ze względu na ścięcie trzpienia, po uwzględnieniu dwóch grubości łączonych blach, o wartości 0,75 mm każda, wynosi $F_{v,Rd} = 0,875 \text{ kN}$, a zatem łącznie: $\sum F_{v,Rd} = 3,50 \text{ kN}$.

W każdej grupie czterech śrub łączniki są rozstawione w odległości 30 mm od końca zakładki i od krawędzi górnego pasa arkusza blachy; odległości pomiędzy łącznikami wynoszą również 30 mm.

Pokrycie dachu w budynku 1 jest zrealizowane z zastosowaniem stalowych blach profilowanych z arkuszami łączonymi na zakładkę jednostronną względem osi podpory, z częścią wspornikową arkusza alternatywnie: nasuniętą na wierzch połączenia lub też wsuniętą pod jego spód. Długość zakładki wynosi $a=0,80 \text{ m}$.

Pokrycie dachu w budynku 2 jest podzielone na dwa obszary: w pierwszym zrealizowano uciąglenie łączonych ze sobą arkuszy przez zakładkę dwustronną względem osi podpory, w drugim natomiast przez dodatkowy arkusz blachy nałożony na styk i wzmacniający zespolenie. Długość zakładki jest taka sama jak długość dodatkowego, wzmacniającego, arkusza blachy i wynosi $a = 0,80$ m.

8.4. Weryfikacja połączenia w budynku 1

8.4.1. Analiza statyczna

Rozważono dwa równe przęsła, o rozpiętości $L = 5,45$ m każde, poddane działaniu obciążenia równomiernie rozłożonego.

Przy rozważaniu parcia wiatru i zastosowaniu kombinacji obciążeń opisanych w rozdziale 8.1.2 niniejszego opracowania otrzymano:

- o obliczeniowy moment zginający przyłożony w przekroju nad podporą pośrednią:

$$M_{B,Ed} = (Q^+ \cdot L^2)/8 = (1,5 \cdot 5,45^2)/8 = 5,57 \text{ kNm/m};$$

- o obliczeniową reakcję na podporze pośredniej:

$$R_{B,Ed} = 1,25 \cdot Q^+ \cdot L = 1,25 \cdot 1,5 \cdot 5,45 = 10,22 \text{ kN/m};$$

- o maksymalną wartość obliczeniowej siły poprzecznej:

$$V_{L,Ed} = (5 \cdot Q^+ \cdot L)/8 = (5 \cdot 1,5 \cdot 5,45)/8 = 5,11 \text{ kN/m}.$$

Przy rozważaniu ssania wiatru i zastosowaniu kombinacji obciążeń opisanych w rozdziale 8.1.2 niniejszego opracowania otrzymano:

- o obliczeniowy moment zginający przyłożony w przekroju nad podporą pośrednią:

$$M_{B,Ed} = (Q^- \cdot L^2)/8 = (1,51 \cdot 5,45^2)/8 = 5,61 \text{ kNm/m};$$

- o obliczeniową reakcję na podporze pośredniej:

$$R_{B,Ed} = 1,25 \cdot Q^- \cdot L = 1,25 \cdot 1,51 \cdot 5,45 = 10,29 \text{ kN/m};$$

- o maksymalną wartość obliczeniowej siły poprzecznej:

$$V_{L,Ed} = (5 \cdot Q^- \cdot L)/8 = (5 \cdot 1,51 \cdot 5,45)/8 = 5,14 \text{ kN/m}.$$

8.4.2. Połączenie arkuszy zrealizowane na zakładkę jednostronną względem osi podpory z częścią wspornikową arkusza nasuniętą na wierzch połączenia

Weryfikacja nośności połączenia

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

- o Zginanie nad podporą pośrednią:

Design Manual for Assembled profiles

$$\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{5,57}{7,42} = 0,751 < 1,0;$$

- o Nośność podpory z uwagi na oddziaływanie reakcji podporowej:

$$\frac{R_{B,Ed}}{R_{w,Rd,B}} = \frac{10,22}{20,74} = 0,493 < 1,0;$$

- o Warunek interakcji M-R:

$$\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{R_{B,Ed}}{R_{w,Rd,B}} = 0,751 + 0,493 = 1,244 < 1,25.$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę:

- o Zginanie nad podporą pośrednią:

$$\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{5,61}{8,78} = 0,638 < 1,0;$$

- o Ścinanie:

$$\frac{V_{L,Ed}}{V_{w,Rd}} = \frac{5,14}{25,90} = 0,199 < 1,0;$$

- o Warunek interakcji M-V:

$$\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{V_{L,Ed}}{V_{w,Rd}} = 0,638 + 0,199 = 0,837 < 1,25.$$

Dodatkowo, zgodnie z wymaganiami normy [2], należy przeprowadzić weryfikację nośności łączników.

Weryfikacja ewentualnej możliwości wybruszenia środka blachy

Dla obciążenia skierowanego w dół:

$$\frac{M_{B,Ed}}{(a \cdot 0,5 \cdot R_{w,Rd,B,la=160})} = \frac{5,57}{(0,8 \cdot 0,5 \cdot 20,80)} = 0,670 < 1,0.$$

Dla obciążenia skierowanego w górę weryfikacja ewentualnej możliwości wybruszenia środka blachy nie jest potrzebna.

Weryfikacja nośności pojedynczej grupy łączników K_{Ed} :

$$K_{Ed} = \frac{|(5,57/0,8)+5,11|}{(2 \cdot \sin(66^\circ))} \cdot 0,31 = 2,05 \text{ kN}$$

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{2,05}{3,50} = 0,585 < 1,0$$

8.4.3. Połączenie arkuszy zrealizowane na zakładkę jednostronną względem osi podpory z częścią wspornikową arkusza wsuniętą pod spód połączenia

Weryfikacja nośności połączenia

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

- o Zginanie nad podporą pośrednią:

$$\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{5,57}{7,42} = 0,751 < 1,0;$$

- o Nośność podpory z uwagi na oddziaływanie reakcji podporowej:

$$\frac{R_{B,Ed}}{R_{w,Rd,B}} = \frac{10,22}{20,74} = 0,493 < 1,0;$$

- o Warunek interakcji M-R:

$$\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{R_{B,Ed}}{R_{w,Rd,B}} = 0,751 + 0,493 = 1,244 < 1,25.$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę:

- o Zginanie nad podporą pośrednią:

$$\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{5,61}{8,78} = 0,638 < 1,0;$$

- o Ścinanie:

$$\frac{V_{L,Ed}}{V_{w,Rd}} = \frac{5,14}{25,90} = 0,199 < 1,0;$$

- o Warunek interakcji M-V:

$$\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{V_{L,Ed}}{V_{w,Rd}} = 0,638 + 0,199 = 0,837 < 1,25.$$

Dodatkowo, zgodnie z wymaganiami normy [2], należy przeprowadzić weryfikację nośności łączników.

Weryfikacja ewentualnej możliwości wybrzuszenia środka blachy

Dla obydwu przypadków obciążenia tego typu weryfikacja nie jest potrzebna.

Weryfikacja nośności pojedynczej grupy łączników K_{Ed} :

$$K_{Ed} = \frac{|5,57|}{(2 \cdot 0,8 \cdot \sin(66^\circ))} \cdot 0,31 = 1,18 \text{ kN}$$

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{1,18}{3,50} = 0,338 < 1,0$$

8.5. Weryfikacja połączenia w budynku 2

8.5.1. Opis zastosowanego na pokrycie dachu arkusza profilowanej blachy stalowej

Do analizy przyjęto stalową blachę 137-310-930 profilowaną trapezoidalnie, o przekroju poprzecznym pokazanym na Rys. 8.2.

Szerokość pojedynczego profilu $b_r = 310 \text{ mm}$. Kąt nachylenia środka $\varphi = 66^\circ$.

Arkusz blachy wykonano ze stali S 320 GD + Z 275, o nominalnej grubości 0,75 mm. Ciężar własny g_0 tego arkusza wynosi 0,097 kN/m².

Wartości obliczeniowych nośności przekroju poprzecznego rozważanego arkusza blachy są następujące:

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste zginanie, przy normalnym ustawieniu tego arkusza (jako pozytywny) i przy obciążeniu skierowanym w dół wynosi:

$$M_{b,Rd} = 7,42 \text{ [kNm/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste zginanie, specyfikowana nad podporą i na końcu zakładki, przy ustawieniu tego arkusza jako negatyw i przy obciążeniu skierowanym w dół wynosi:

$$M_{b,Rd} = 8,78 \text{ [kNm/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste zginanie, specyfikowana nad podporą, przy ustawieniu tego arkusza jako pozytywny i przy obciążeniu skierowanym w górę wynosi:

$$M_{b,Rd} = 8,78 \text{ [kNm/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste zginanie, specyfikowana nad podporą, przy ustawieniu tego arkusza jako negatyw i przy obciążeniu skierowanym w górę wynosi:

$$M_{b,Rd} = 7,54 \text{ [kNm/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na oddziaływanie reakcji podporowej nad podporą środkową, przy ustawieniu tego arkusza jako pozytywny (szerokość podpory 160 mm):

$$R_{w,Rd,B} = 20,74 \text{ [kN/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na oddziaływanie reakcji podporowej nad podporą środkową, przy ustawieniu tego arkusza jako negatyw (szerokość podpory 160 mm):

$$R_{w,Rd,B,la=160} = 20,80 \text{ [kN/m]}$$

- o Obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego arkusza blachy na czyste ścinanie:

$$V_{w,Rd} = 25,9 \text{ [kN/m]}$$

8.5.2. Analiza statyczna

Rozważono dwa równe przęsła, o rozpiętości $L = 5,45$ m każde, poddane działaniu obciążenia równomiernie rozłożonego.

Przy rozważaniu parcia wiatru i zastosowaniu kombinacji obciążeń opisanych w rozdziale 8.1.4 niniejszego opracowania otrzymano:

- o obliczeniowy moment zginający przyłożony w przekroju nad podporą pośrednią:

$$M_{B,Ed} = (Q^+ \cdot L^2)/8 = (2,51 \cdot 5,45^2)/8 = 9,33 \text{ kNm/m};$$

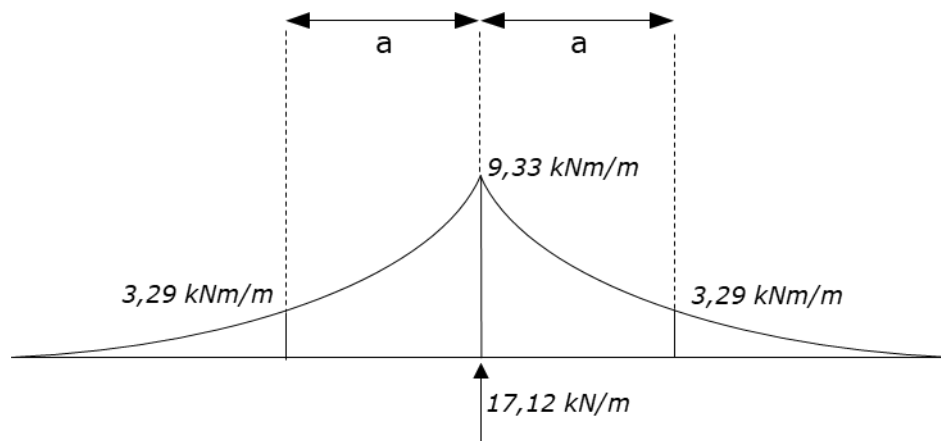
- o obliczeniową reakcję na podporze pośredniej:

$$R_{B,Ed} = 1,25 \cdot Q^+ \cdot L = 1,25 \cdot 2,51 \cdot 5,45 = 17,12 \text{ kN/m};$$

- o maksymalną wartość obliczeniowej siły poprzecznej:

$$V_{L,Ed} = (5 \cdot Q^+ \cdot L)/8 = (5 \cdot 2,51 \cdot 5,45)/8 = 8,56 \text{ kN/m};$$

- o obliczeniowy moment zginający przyłożony na końcu zakładki, równy 3,29 kNm/m ($M_{I,Ed} = M_{II,Ed}$), wyznaczony tak jak to okazano na Rys. 8.5.2a.



Rys. 8.5.2a – Rozkład momentów zginających w rozpatrywanej belce przy obciążeniu skierowanym w dół.

Przy rozważaniu ssania wiatru i zastosowaniu kombinacji obciążeń opisanych w rozdziale 8.1.4 niniejszego opracowania otrzymano:

- o obliczeniowy moment zginający przyłożony w przekroju nad podporą pośrednią:

$$M_{B,Ed} = (Q^- \cdot L^2)/8 = (0,76 \cdot 5,45^2)/8 = 2,82 \text{ kNm/m};$$

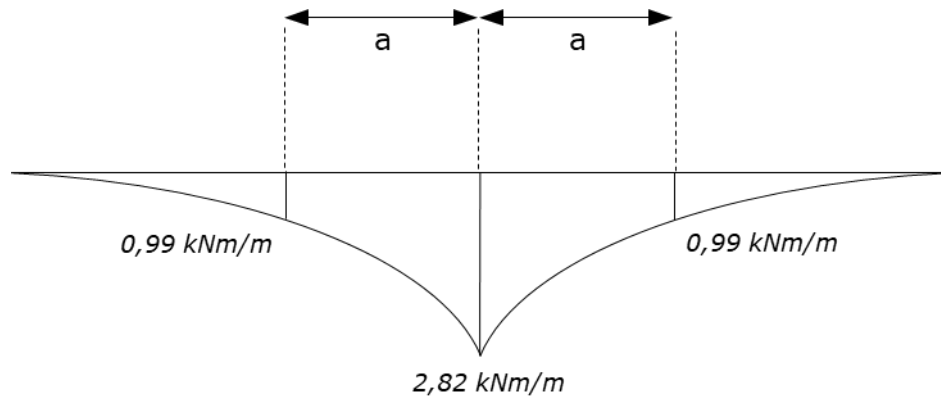
- o obliczeniową reakcję na podporze pośredniej:

$$R_{B,Ed} = 1,25 \cdot Q^- \cdot L = 1,25 \cdot 0,76 \cdot 5,45 = 5,18 \text{ kN/m};$$

- o maksymalną wartość obliczeniowej siły poprzecznej:

$$V_{L,Ed} = (5 \cdot Q^- \cdot L)/8 = (5 \cdot 0,76 \cdot 5,45)/8 = 2,59 \text{ kN/m};$$

- o obliczeniowy moment zginający przyłożony na końcu zakładki, równy 0,99 kNm/m ($M_{I,Ed} = M_{II,Ed}$), wyznaczony tak jak to okazano na Rys. 8.5.2b.



Rys. 8.5.2b – Rozkład momentów zginających w rozpatrywanej belce przy obciążeniu skierowanym w górę.

8.5.3. Połączenie arkuszy zrealizowane na zakładkę dwustronną względem osi podpory

Weryfikacja nośności połączenia w osi podpory

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

- o Zginanie nad podporą pośrednią:

$$\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} = \frac{9,33}{0,9 \cdot 2 \cdot 7,42} = 0,699 < 1,0;$$

- o Nośność podpory z uwagi na oddziaływanie reakcji podporowej:

$$\frac{R_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}} = \frac{17,12}{0,9 \cdot 2 \cdot 20,74} = 0,459 < 1,0;$$

- o Warunek interakcji M-R:

$$\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} + \frac{R_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}} = 0,699 + 0,459 = 1,158 < 1,25.$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę:

- o Zginanie nad podporą pośrednią:

$$\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} = \frac{2,82}{0,9 \cdot 2 \cdot 8,78} = 0,178 < 1,0;$$

- o Ścinanie:

$$\frac{V_{L,Ed}}{0,9 \cdot \sum V_{w,Rd}} = \frac{2,59}{0,9 \cdot 2 \cdot 25,90} = 0,056 < 1,0;$$

- o Warunek interakcji M-V:

$$\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} + \frac{V_{L,Ed}}{0,9 \cdot \sum V_{w,Rd}} = 0,178 + 0,056 = 0,234 < 1,25.$$

Weryfikacja nośności połączenia zakładkowego na krawędziach zakładki

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

$$F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a} = \frac{9,33}{2 \cdot 0,8} = 5,83 \text{ kN/m}$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{3,29}{7,54} = 0,436 \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} = \frac{5,83}{25,90} = 0,225 \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} = 0,436 + 0,225 = 0,661 < 1,25.$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę:

$$F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a} = \frac{2,82}{2 \cdot 0,8} = 1,76 \text{ kN/m}$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Ed}} = \frac{0,99}{8,78} = 0,113 \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} = \frac{1,76}{20,80} = 0,085 \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} = 0,113 + 0,085 = 0,198 \leq 1,25.$$

Weryfikacja ewentualnej możliwości wybrzuszenia środka blachy

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

$$\frac{M_{B,Ed}}{(2 \cdot a \cdot 0,5 \cdot R_{w,Rd,B,la=160})} = \frac{9,33}{(2 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 20,80)} = 0,561 < 1,0$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę tego typu weryfikacja nie jest potrzebna

Weryfikacja nośności pojedynczej grupy łączników K_{Ed} :

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

$$K_{Ed} = \frac{9,33}{(4 \cdot 0,8 \cdot \sin(66))} \cdot 0,31 = 0,99 \text{ kN}$$

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{0,99}{3,50} = 0,283 \leq 1,0$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę:

$$K_{Ed} = \frac{2,82}{(4 \cdot 0,8 \cdot \sin(66))} \cdot 0,31 = 0,30 \text{ kN}$$

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{0,30}{3,50} = 0,085 \leq 1,0$$

8.5.4. Uciąglenie łączonych blach przez dodatkowy arkusz wzmacniający

Weryfikacja nośności połączenia w osi podpory

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

- o Zginanie nad podporą pośrednią:

$$\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} = \frac{9,33}{0,9 \cdot 2 \cdot 7,42} = 0,699 < 1,0;$$

- o Nośność podpory z uwagi na oddziaływanie reakcji podporowej:

$$\frac{R_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}} = \frac{17,12}{0,9 \cdot 2 \cdot 20,74} = 0,459 < 1,0;$$

- o Warunek interakcji M-R:

$$\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} + \frac{R_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}} = 0,699 + 0,459 = 1,158 < 1,25.$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę:

- o Zginanie nad podporą pośrednią:

$$\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} = \frac{2,82}{0,9 \cdot 2 \cdot 8,78} = 0,178 < 1,0;$$

- o Ścinanie:

$$\frac{V_{L,Ed}}{0,9 \cdot \sum V_{w,Rd}} = \frac{2,59}{0,9 \cdot 2 \cdot 25,90} = 0,056 < 1,0;$$

- o Warunek interakcji M-V:

$$\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} + \frac{V_{L,Ed}}{0,9 \cdot \sum V_{w,Rd}} = 0,178 + 0,056 = 0,234 < 1,25.$$

Weryfikacja nośności połączenia zakładkowego na krawędziach zakładki

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

$$F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a} = \frac{9,33}{2 \cdot 0,8} = 5,83 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{3,29}{7,54} = 0,436 \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} = \frac{5,83}{25,90} = 0,225 \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} = 0,436 + 0,225 = 0,661 < 1,25.$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę:

$$F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a} = \frac{2,82}{2 \cdot 0,8} = 1,76 \text{ kN/m}$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{0,99}{8,78} = 0,113 \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} = \frac{1,76}{20,80} = 0,085 \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} = 0,113 + 0,085 = 0,198 \leq 1,25.$$

Weryfikacja ewentualnej możliwości wybrzuszenia środka blachy

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

$$\frac{M_{B,Ed}}{(2 \cdot a \cdot 0,5 \cdot R_{w,Rd,B,la=160})} = \frac{9,33}{(2 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 20,80)} = 0,561 < 1,0$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę tego typu weryfikacja nie jest potrzebna

Weryfikacja nośności pojedynczej grupy łączników K_{Ed} :

W przypadku obciążenia skierowanego w dół:

$$K_{Ed} = \frac{9,33}{(4 \cdot 0,8 \cdot \sin(66))} \cdot 0,31 = 0,99 \text{ kN}$$

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{0,99}{3,50} = 0,283 \leq 1,0$$

W przypadku obciążenia skierowanego w górę:

$$K_{Ed} = \frac{2,82}{(4 \cdot 0,8 \cdot \sin(66))} \cdot 0,31 = 0,30 \text{ kN}$$

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{0,30}{3,50} = 0,085 \leq 1,0$$

8.6. Weryfikacja z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego

8.6.1. Informacja o zastosowanym arkuszu

Do weryfikacji wykorzystano arkusz kalkulacyjny napisany w środowisku Excel. Jest on dostępny na stronie internetowej programu GRISPE PLUS (www.grispeplus.eu).

8.6.2. Walidacja przeprowadzona dla przykładu opracowanego dla budynku 1.

Dla przykładu opracowanego dla budynku 1 wykorzystano pierwszą i drugą tabelę arkusza kalkulacyjnego.

Pierwszymi wprowadzanymi danymi są charakterystyki geometryczne przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy, częściowy współczynnik bezpieczeństwa γ_M oraz nośność łączników specyfikowana ze względu na ścięcie trzpienia. Sposób wprowadzania pokazano na Rys. 8.6.2a i 8.6.2b, przy czym:

- o charakterystyczna nośność na zginanie nad podporą przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy, przy ułożeniu tego arkusza jako pozytyw i przy obciążeniu skierowanym w dół wynosi: $M_{c,Rk,B} = M_{b,Rd} = 8,17 \text{ [kNm/m]}$;

Design Manual for Assembled profiles

- o charakterystyczna nośność przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy ze względu na oddziaływanie nad podporą pośrednią o szerokości 160 mm reakcji podporowej wynosi: $R_{w,Rk,B} = R_{w,Rd,B} = 22,82$ [kN/m];
- o charakterystyczna nośność przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy ze względu na oddziaływanie nad podporą pośrednią o szerokości 160 mm reakcji podporowej, ale przy ułożeniu tego arkusza jako negatyw, wynosi: $R_{w,Rk,B,laB=160} = R_{w,Rd,B,la=160} = 22,89$ [kN/m];
- o charakterystyczna nośność przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy z uwagi na ścinanie wynosi: $V_{w,Rk} = V_{w,Rd} = 28,49$ [kN/m];
- o częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla nośności przyjęto na poziomie $\gamma_m = 1,10$;
- o nośność zastosowanych łączników ze względu na ścięcie ich trzpieni wynosi: $\sum F_{V,Rd} = 3,50$ kN.

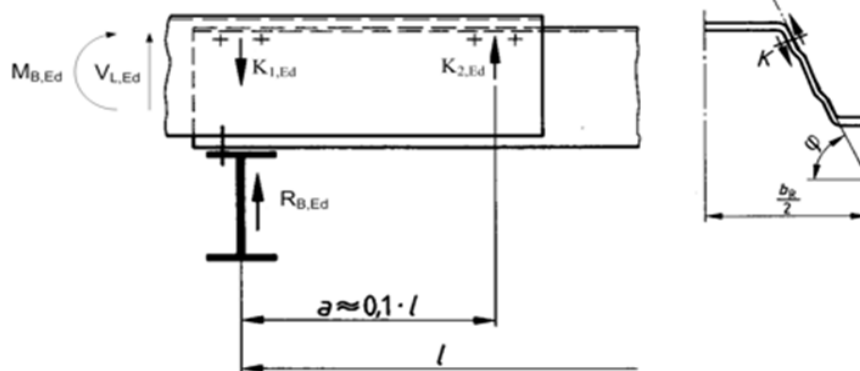
Druga grupa wprowadzanych danych dotyczy rozpatrywanej kombinacji obciążeń. Zgodnie z punktem 8.1.2 niniejszej instrukcji założono:

- o Dla obciążeń skierowanych w dół:
 - o Moment zginający w przekroju poprzecznym blachy zlokalizowanym nad podporą pośrednią $M_{B,Ed} = 5,57$ kNm/m;
 - o Reakcja podporowa nad podporą pośrednią: $R_{B,Ed} = 10,22$ kN/m;
- o Dla obciążeń skierowanych w górę - miarodajna siła poprzeczna: $V_{L,Ed} = 5,14$ kN/m;
- o Szerokość pojedynczego profilu: $b_R = 0,31$ m;
- o Długość zakładki: $a = 0,80$ m;
- o Kąt nachylenia środka blachy w pojedynczym fałdzie: $\varphi = 66^\circ$.

Please fill in the red cells

Verification

Notice: If verification is not fulfilled please increase length a.



$M_{c,Rk,B}$	8,17	[kNm/m]	$M_{B,Ed}$	5,57	[kNm/m]
$R_{w,Rk,B}$	22,82	[kN/m]	$R_{B,Ed}$	10,22	[kN/m]
$R_{w,Rk,B,laB=160}$	22,89	[kN/m]	$V_{L,Ed}$	5,14	[kN/m]
$V_{w,Rk}$	28,49	[kN/m]	b_R	0,31	[m]
γ_M	1,10	[-]	length a	0,80	[m]
$\Sigma F_{v,Rd}$	3,50	[kN]	φ	66,00	[°]

Notice: $R_{w,Rk,B,laB=160}$ mm for opposite profile position

$\Sigma F_{v,Rd} = n \times F_{v,Rd}$ shear resistance value according to EN 1993-1-3 or ETA at each coupling point

Bending moment distribution like for continuous profile.

a.) Verification of the profile at intermediate support

$M_{B,Ed} / M_{c,Rd,B} \leq 1.0$	0,75	[-]
downward load: $R_{B,Ed} / R_{w,Rd,B} \leq 1.0$	0,49	[-]
uplift load: $V_{L,Ed} / V_{w,Rd} \leq 1.0$	0,20	[-]

Notice: Verification of M-R-interaction or M-V-interaction according to used type design must be done additionally depending on downward or uplift design loads.

b.) Check of the free end of the cantilever, if the line load F_{Ed} introduced by the connections K_i may create web-crippling

downward and uplift load:

No additional verification necessary

c.) Verification of the connections

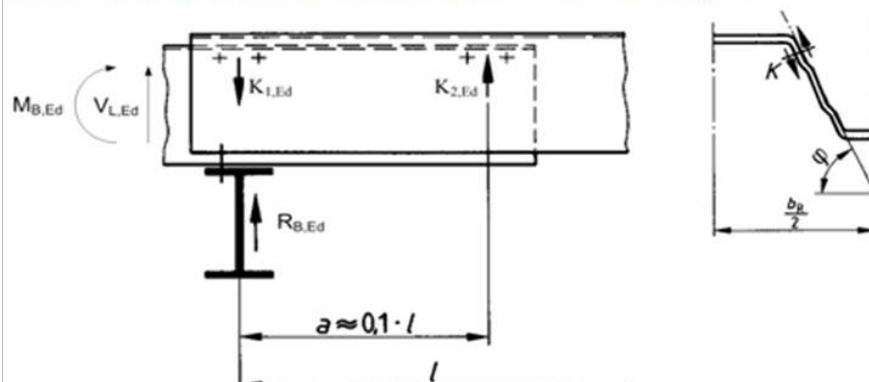
$K_{Ed} = M_{B,Ed} / a / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R$	1,18	[kN]
$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1.0$	0,34	[-]

Rys. 8.6.2a – Tabela z arkusza kalkulacyjnego napisanego w środowisku Excel dedykowana dla połączenia z zakładką jednostronną względem osi podpory i z częścią wspornikową wyprowadzoną na wierzch.

Please fill in the red cells

Verification

Notice: If verification is not fulfilled please increase length a.



$M_{c,Rk,B}$	8,17	[kNm/m]	$M_{B,Ed}$	5,57	[kNm/m]
$R_{w,Rk,B}$	22,82	[kN/m]	$R_{B,Ed}$	10,22	[kN/m]
$R_{w,Rk,B,laB=160}$	22,89	[kN/m]	$V_{L,Ed}$	5,14	[kN/m]
$V_{w,Rk}$	28,49	[kN/m]	b_R	0,31	[m]
γ_M	1,10	[-]	length a	0,80	[m]
$\Sigma F_{v,Rd}$	3,50	[kN]	φ	66,00	[°]

Notice: $R_{w,Rk,B,laB=160}$ mm for opposite profile position

$\Sigma F_{v,Rd} = n \times F_{v,Rd}$ shear resistance value according to EN 1993-1-3 or ETA at each coupling point

Bending moment distribution like for continuous profile.

a.) Verification of the profile at intermediate support

$M_{B,Ed} / M_{c,Rd,B} \leq 1.0$	0,75	[-]
downward load: $R_{B,Ed} / R_{w,Rd,B} \leq 1.0$	0,49	[-]
uplift load: $V_{L,Ed} / V_{w,Rd} \leq 1.0$	0,20	[-]

Notice: Verification of M-R-interaction or M-V-interaction according to used type design must be done additionally depending on downward or uplift design loads.

b.) Check of the free end of the cantilever, if the line load F_{Ed} introduced by the connections K_i may create web-crippling

downward and uplift load:

No additional verification necessary

c.) Verification of the connections

$K_{Ed} = M_{B,Ed} / a / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R$	1,18	[kN]
$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1.0$	0,34	[-]

Rys. 8.6.2b – Tabela z arkusza kalkulacyjnego napisanego w środowisku Excel dedykowana dla połączenia z zakładką jednostronną względem osi podpory i z częścią wspornikową wprowadzoną pod spód.

Porównanie wyników uzyskanych analitycznie z analogicznymi wynikami otrzymanymi po zastosowaniu arkusza kalkulacyjnego przygotowanego w środowisku Excel.

Wyniki dla połączenia z zakładką jednostronną względem osi podpory i z częścią wspornikową wyprowadzoną na wierzch.

Dla tego porównania miarodajne są wyniki analityczne uzyskane w punkcie 8.4.2 niniejszej instrukcji.

Kryterium porównawcze	Wynik uzyskany analitycznie	Wynik z arkusza kalkulacyjnego Excel	Błąd względny [%]
Weryfikacja nośności nad podporą pośrednią			
Obciążenie skierowane w dół:			
Moment zginający	0,751	0,75	-0,13 %
Reakcja podporowa	0,493	0,49	-0,6 %
Obciążenie skierowane w górę:			
Siła poprzeczna	0,199	0,20	0,5 %
Zagrożenie ewentualnego wybrzuszenia środnika			
Obciążenie skierowane w dół	0,67	0,67	0 %
Obciążenie skierowane w górę	-	-	
Weryfikacja miarodajnej grupy łączników			
Siła w miarodajnej grupie łączników	2,05	2,05	0 %
Nośność miarodajnej grupy łączników	0,585	0,59	0,85 %

Tabela 8.6.2a – Porównanie pomiędzy wynikami analitycznymi i odpowiadającymi im rezultatami zastosowania arkusza kalkulacyjnego. Wyniki dla połączenia z zakładką jednostronną względem osi podpory i z częścią wspornikową wyprowadzoną na wierzch.

Jak łatwo zauważyć wyniki uzyskane analitycznie są bardzo bliskie odpowiadającym im wynikom otrzymanym po zastosowaniu arkusza kalkulacyjnego. Błąd względny na ogół jest mniejszy niż ± 1 %.

Wyniki dla połączenia z zakładką jednostronną względem osi podpory i z częścią wspornikową wprowadzoną pod spód.

Dla tego porównania miarodajne są wyniki analityczne uzyskane w punkcie 8.4.3 niniejszej instrukcji.

Kryterium porównawcze	Wynik uzyskany analitycznie	Wynik z arkusza kalkulacyjnego Excel	Błąd względny [%]
Weryfikacja nośności nad podporą pośrednią			
Obciążenie skierowane w dół:			
Moment zginający	0,751	0,75	-0,13 %
Reakcja podporowa	0,493	0,49	-0,6 %
Obciążenie skierowane w górę:			
Siła poprzeczna	0,199	0,20	0,5 %
Zagrożenie ewentualnego wybrzuszenia środnika	-	-	-
Weryfikacja miarodajnej grupy łączników			
Siła w miarodajnej grupie łączników	1,18	1,18	0 %
Nośność miarodajnej grupy łączników	0,338	0,34	0,59 %

Tabela 8.6.2b – Porównanie pomiędzy wynikami analitycznymi i odpowiadającymi im rezultatami zastosowania arkusza kalkulacyjnego. Wyniki dla połączenia z zakładką jednostronną względem osi podpory i z częścią wspornikową wprowadzoną pod spód.

Podobnie jak poprzednio, wyniki uzyskane analitycznie są bardzo bliskie odpowiadającym im wynikom otrzymanym po zastosowaniu arkusza kalkulacyjnego. Błąd względny na ogół jest mniejszy niż $\pm 1\%$.

8.6.3. Walidacja przeprowadzona dla przykładu opracowanego dla budynku 2.

Dla przykładu opracowanego dla budynku 2 wykorzystano trzecią i czwartą tabelę arkusza kalkulacyjnego.

Pierwszymi wprowadzanymi danymi są charakterystyki geometryczne przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy, częściowy współczynnik bezpieczeństwa γ_m oraz nośność łączników specyfikowana ze względu na ścięcie trzpienia. Sposób wprowadzania pokazano na Rys. 8.6.3a i 8.6.3b, przy czym:

- dla obciążeń skierowanych w dół:

- o charakterystyczna nośność na zginanie nad podporą przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy, przy ułożeniu tego arkusza jako pozytyw i przy obciążeniu skierowanym w dół wynosi: $M_{c,Rk,B}^{(+)} = M_{b,Rd} = 8,17$ [kNm/m];
- o charakterystyczna nośność na zginanie nad podporą przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy, przy ułożeniu tego arkusza jako negatyw i przy obciążeniu skierowanym w górę wynosi: $M_{c,Rk,B}^{(-)} = M_{b,Rd} = 8,30$ [kNm/m];
- o charakterystyczna nośność przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy ze względu na oddziaływanie nad podporą pośrednią o szerokości 160 mm reakcji podporowej wynosi: $R_{w,Rk,B}^{(+)} = R_{w,Rd,B} = 22,82$ [kN/m];
- o charakterystyczna nośność przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy ze względu na oddziaływanie nad podporą pośrednią o szerokości 160 mm reakcji podporowej, ale przy ułożeniu tego arkusza jako negatyw, wynosi: $R_{w,Rk,B,160mm} = R_{w,Rd,B,la=160} = 22,89$ [kN/m];
- o charakterystyczna nośność przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy z uwagi na ścinanie wynosi: $V_{w,Rk}^{(-)} = V_{w,Rd} = 28,49$ [kN/m];
- o częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla nośności przyjęto na poziomie $\gamma_m = 1,10$;
- o nośność zastosowanych łączników ze względu na ścięcie ich trzpieni wynosi: $\sum F_{V,Rd} = 3,50$ kN.
- o Dla obciążeń skierowanych w górę:
- o charakterystyczna nośność na zginanie nad podporą przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy, przy ułożeniu tego arkusza jako pozytyw i przy obciążeniu skierowanym w górę wynosi: $M_{c,Rk,B}^{(+)} = M_{b,Rd} = 9,66$ [kNm/m];

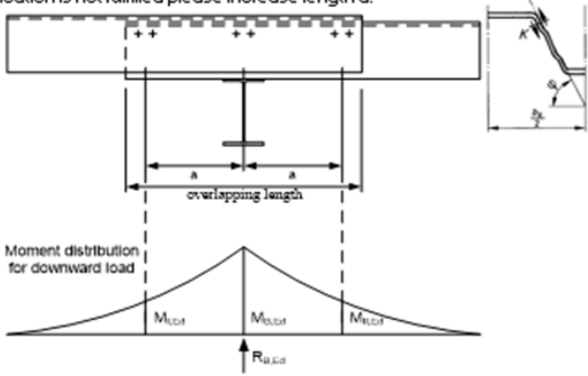
- o charakterystyczna nośność na zginanie nad podporą i na krawędzi zakładki przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy, przy ułożeniu tego arkusza jako negatyw i przy obciążeniu skierowanym w dół wynosi: $M_{c,Rk,B}^{(-)} = M_{b,Rd} = 9,66$ [kNm/m];
- o charakterystyczna nośność przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy ze względu na oddziaływanie nad podporą pośrednią o szerokości 160 mm reakcji podporowej, ale przy ułożeniu tego arkusza jako negatyw, wynosi: $R_{w,Rd,B,la=160} = 22,89$ [kN/m];
- o charakterystyczna nośność przekroju poprzecznego zastosowanego arkusza blachy z uwagi na ścinanie wynosi: $V_{w,Rk}^{(+)} = V_{w,Rd} = 28,49$ [kN/m];
- o częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla nośności przyjęto na poziomie $\gamma_m = 1,10$;
- o nośność zastosowanych łączników ze względu na ścięcie ich trzpieni wynosi: $\sum F_{V,Rd} = 3,50$ kN.

Druga grupa wprowadzanych danych dotyczy rozpatrywanej kombinacji obciążeń. Zgodnie z punktem 8.1.4 niniejszej instrukcji założono:

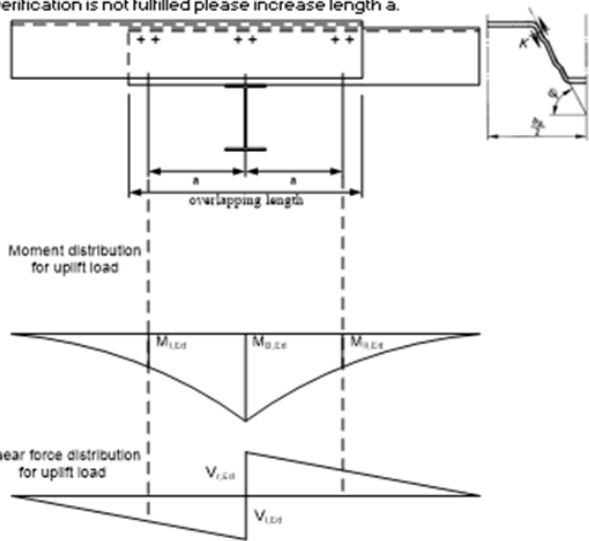
- Dla obciążeń skierowanych w dół:
 - o Moment zginający w przekroju poprzecznym blachy zlokalizowanym nad podporą pośrednią $M_{B,Ed} = 9,33$ kNm/m;
 - o Moment zginający w przekroju zlokalizowanym na krawędzi zakładki (po lewej stronie osi podpory pośredniej): $M_{I,Ed} = 3,29$ kNm/m;
 - o Moment zginający w przekroju zlokalizowanym na krawędzi zakładki (po prawej stronie osi podpory pośredniej): $M_{II,Ed} = 3,29$ kNm/m;
 - o Reakcja podporowa nad podporą pośrednią: $R_{B,Ed} = 17,12$ kN/m;
 - o Szerokość pojedynczego fałdu profilu: $b_R = 0,31$ m;
 - o Długość zakładki: $a = 0,80$ m;
 - o Kąt nachylenia środka blachy w pojedynczym fałdzie: $\varphi = 66^\circ$.
- Dla obciążeń skierowanych w górę:
 - o Moment zginający w przekroju poprzecznym blachy zlokalizowanym nad podporą pośrednią $M_{B,Ed} = 2,82$ kNm/m;
 - o Miarodajna siła poprzeczna: $V_{Ed} = V_{L,Ed} = 2,59$ kN/m;
 - o Moment zginający w przekroju zlokalizowanym na krawędzi zakładki (po lewej stronie osi podpory pośredniej): $M_{I,Ed} = 0,99$ kNm/m;
 - o Moment zginający w przekroju zlokalizowanym na krawędzi zakładki (po prawej stronie osi podpory pośredniej): $M_{II,Ed} = 0,99$ kNm/m;

Design Manual for Assembled profiles

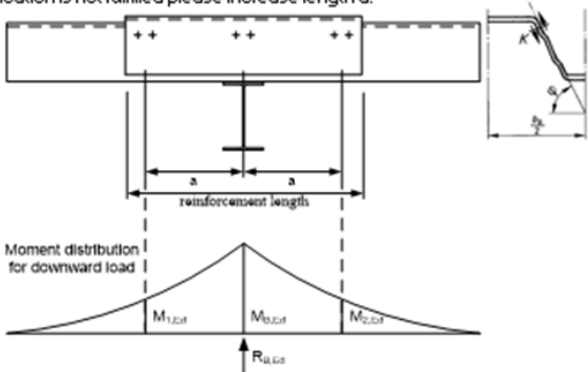
- o Szerokość pojedynczego fałdu profilu: $b_R = 0,31 \text{ m}$;
- o Długość zakładki: $a = 0,80 \text{ m}$;
- o Kąt nachylenia środka blachy w pojedynczym fałdzie: $\varphi = 66^\circ$.

Please fill in the red cells					
Verification					
downward load					
Notice: If verification is not fulfilled please increase length a. 					
$M_{c,Rk,B}^{(+)}$	8,17	[kNm/m]	a.)	$M_{B,Ed}$	9,33 [kNm/m]
$R_{u,Rk,B}^{(+)}$	22,82	[kN/m]		$R_{B,Ed}$	17,12 [kN/m]
$M_{c,Rk,B}^{(-)}$	8,30	[kNm/m]		$M_{I,Ed}$	3,29 [kNm/m]
$V_{u,Rk}^{(-)}$	28,49	[kN/m]		$M_{II,Ed}$	3,29 [kNm/m]
γ_M	1,10	[-]		b_R	0,31 [m]
$\Sigma F_{v,Rd}$	3,50	[kN]		length a	0,80 [m]
$R_{u,Rk,B,160mm}$	22,89	[kN/m]		φ	66,00 [°]
Notice: (+) normal profile position downward load (-) opposite profile position uplift load $R_{u,Rk,B,160mm}$ for opposite profile position downward load $\Sigma F_{v,Rd} = n \times F_{v,Rd}$ shear resistance value according to EN 1993-1-3 or ETA at each coupling point Bending moment distribution like for continuous profile without taking into account the higher stiffness at the support area.					
b.) Verification of the profile at intermediate support					
$M_{B,Ed} / (1.8 \times M_{c,Rd,B}^{(+)}) \leq 1.0$ 0,70 [-] $R_{B,Ed} / (1.8 \times R_{u,Rd,B}^{(+)}) \leq 1.0$ 0,46 [-]					
Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally.					
c.) Verification of the continuous profile at the end of the overlap with the bending moments $M_{I,Ed}$ or $M_{II,Ed}$ and the line load F_{Ed}					
$F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \times a)$ 5,83 [kN/m]					
Section I and II:					
$M_{I,Ed} / M_{c,Rd,B}^{(-)} \leq 1.0$ 0,44 [-] $M_{II,Ed} / M_{c,Rd,B}^{(-)} \leq 1.0$ 0,44 [-] $F_{Ed} / V_{u,Rd}^{(-)} \leq 1.0$ 0,23 [-]					
Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally for section I and II.					
d.) Check of the free end of the cantilever, if the line load F_{Ed} introduced by the connections K_i may create web-crippling					
cantilever: upside underneath $M_{B,Ed} / (2 \times a) / (0.5 \times R_{u,B,Rd,B-160}) \leq 1.0$ 0,56 [-] not necessary					
e.) Verification of the connections					
$K_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \times a) / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R$ 0,99 [kN] $K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1.0$ 0,28 [-]					

Rys. 8.6.3a – Tabela z arkusza kalkulacyjnego napisanego w środowisku Excel dedykowana dla połączenia z zakładką dwustronną względem osi podpory i z obciążeniem skierowanym w dół.

uplift load			
Notice: If verification is not fulfilled please increase length a.			
			
$M_{c,Rk,B}^{(+)}$	9,66	[kNm/m]	a.)
$V_{u,Rk}^{(+)}$	28,49	[kN/m]	
$M_{c,Rk,B}^{(-)}$	9,66	[kNm/m]	
$R_{u,Rk,B}^{(-)}$	22,83	[kN/m]	
γ_H	1,10	[-]	
$\Sigma F_{v,Rd}$	3,50	[kN]	
$M_{B,E4}$	2,82	[kNm/m]	
$\max V_{E4}$	2,59	[kN/m]	
$M_{I,E4}$	0,99	[kNm/m]	
$M_{II,E4}$	0,99	[kNm/m]	
b_R	0,31	[m]	
length a	0,80	[m]	
φ	66,00	[°]	
Notice: (+) normal profile position uplift load (-) opposite profile position downward load, values for max $L_{a,B}$ $R_{u,Rk,B,160mm}$ for opposite profile position downward load $\Sigma F_{v,Rd} = n \times F_{v,Rd}$ shear resistance value according to EN 1993-1-3 or ETA at each coupling point Bending moment distribution like for continuous profile without taking into account the higher stiffness at the support area.			
b.) Verification of the profile at intermediate support			
$M_{B,E4} / (1,8 \times M_{c,Rd,B}^{(+)}) \leq 1,0$	0,18	[-]	
$\max V_{E4} / (1,8 \times V_{u,Rd}^{(+)}) \leq 1,0$	0,06	[-]	
Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally.			
c.) Verification of the continuous profile at the end of the overlap with the bending moments $M_{I,E4}$ or $M_{II,E4}$ and the line load F_{E4}			
$F_{E4} = M_{B,E4} / (2 \times a)$	1,76	[kN/m]	
Section I and II:			
$M_{I,E4} / M_{c,Rd,B}^{(-)} \leq 1,0$	0,11	[-]	
$M_{II,E4} / M_{c,Rd,B}^{(-)} \leq 1,0$	0,11	[-]	
$F_{E4} / R_{u,Rd,B}^{(-)} \leq 1,0$	0,08	[-]	
Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally for section I and II.			
d.) Check of the free end of the cantilever, if the line load F_{E4} introduced by the connections K_i may create web-crippling			
cantilever:	upside	underneath	
	not necessary	not necessary	
e.) Verification of the connections			
$K_{E4} = M_{B,E4} / (2 \times a) / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R$	0,30	[kN]	
$K_{E4} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$	0,09	[-]	

Rys. 8.6.3b – Tabela z arkusza kalkulacyjnego napisanego w środowisku Excel dedykowana dla połączenia z zakładką dwustronną względem osi podpory i z obciążeniem skierowanym w górę.

Please fill in the red cells					
Verification					
downward load					
Notice: If verification is not fulfilled please increase length a. 					
$M_{c,Rk,B}^{(*)}$	8,17	[kNm/m]	a.)	$M_{B,Ed}$	9,33 [kNm/m]
$R_{u,Rk,B}^{(*)}$	22,82	[kN/m]		$R_{B,Ed}$	17,12 [kN/m]
$M_{c,Rk,B}^{(-)}$	8,30	[kNm/m]		$M_{i,Ed}$	3,29 [kNm/m]
$V_{u,Rk}^{(-)}$	28,49	[kN/m]		$M_{ii,Ed}$	3,29 [kNm/m]
γ_M	1,10	[-]		b_R	0,31 [m]
$\Sigma F_{v,Rd}$	3,50	[kN]		length a	0,80 [m]
$R_{u,Rk,B,160mm}$	22,89	[kN/m]		φ	66,00 [°]
Notice: (+) normal profile position downward load (-) opposite profile position uplift load $R_{u,Rk,B,160mm}$ for opposite profile position downward load $\Sigma F_{v,Rd} = n \times F_{v,Rd}$ shear resistance value according to EN 1993-1-3 or ETA at each coupling point Bending moment distribution like for continuous profile without taking into account the higher stiffness at the support area.					
b.) Verification of the profile at intermediate support					
$M_{B,Ed} / (1,8 \times M_{c,Rd,B}^{(*)}) \leq 1,0$ 0,70 [-] $R_{B,Ed} / (1,8 \times R_{u,Rd,B}^{(*)}) \leq 1,0$ 0,46 [-]					
Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally.					
c.) Verification of the continuous profile at the end of the overlap with the bending moments $M_{i,Ed}$ or $M_{ii,Ed}$ and the line load F_{Ed}					
$F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \times a)$ 5,83 [kN/m]					
$\max M_{i,Ed} / M_{c,Rd,B}^{(*)} \leq 1,0$ 0,44 [-] $F_{Ed} / V_{u,Rd}^{(*)} \leq 1,0$ 0,23 [-]					
Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally.					
d.) Check of the free end of the cantilever, if the line load F_{Ed} introduced by the connections K_i may create web-crippling					
$M_{B,Ed} / (2 \times a) / (0,5 \times R_{u,B,Rd,i+B-160}) \leq 1,0$ 0,56 [-]					
e.) Verification of the connections					
$K_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \times a) / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R$ 0,99 [kN] $K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$ 0,28 [-]					

Rys. 8.6.3c – Tabela z arkusza kalkulacyjnego napisanego w środowisku Excel dedykowana dla połączenia lokalnie wzmocnionego dodatkowym arkuszem blachy – obciążenie skierowane w dół.

uplift load

Notice: If verification is not fulfilled please increase length a.

$M_{c,Rk,B}^{(+)}$	9,66	[kNm/m]	a.)	$M_{B,E4}$	2,82	[kNm/m]
$V_{u,Rk}^{(+)}$	28,49	[kN/m]		$\max V_{E4}$	2,59	[kN/m]
$M_{c,Rk,B}^{(-)}$	9,66	[kNm/m]		$M_{i,E4}$	0,99	[kNm/m]
$R_{u,Rk,B}^{(-)}$	22,89	[kN/m]		$M_{ii,E4}$	0,99	[kNm/m]
γ_M	1,10	[-]		b_R	0,31	[m]
$\Sigma F_{v,Rd}$	3,50	[kN]		length a	0,80	[m]
				φ	66,00	[°]

Notice: (+) normal profile position uplift load

(-) opposite profile position downward load, values for $\max L_{a,B}$

$R_{u,Rk,B,160mm}$ for opposite profile position downward load

$\Sigma F_{v,Rd} = n \times F_{v,Rd}$ shear resistance value according to EN 1993-1-3 or ETA at each coupling point

Bending moment distribution like for continuous profile without taking into account the higher stiffness at the support area.

b.) Verification of the profile at intermediate support

$$M_{B,E4} / (1,8 \times M_{c,Rd,B}^{(+)}) \leq 1,0 \quad 0,18 \quad [-]$$

$$\max V_{E4} / (1,8 \times V_{u,Rd}^{(+)}) \leq 1,0 \quad 0,06 \quad [-]$$

Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally.

c.) Verification of the continuous profile at the end of the overlap with the bending moments $M_{i,E4}$ or $M_{ii,E4}$ and the line load F_{E4}

$$F_{E4} = M_{B,E4} / (2 \times a) \quad 1,76 \quad [kN/m]$$

$$\max M_{i,E4} / M_{c,Rd,B}^{(-)} \leq 1,0 \quad 0,11 \quad [-]$$

$$F_{E4} / R_{u,Rd,B}^{(-)} \leq 1,0 \quad 0,08 \quad [-]$$

Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally.

d.) Check of the free end of the cantilever, if the line load F_{E4} introduced by the connections K_i may create web-crippling

not necessary

e.) Verification of the connections

$$K_{E4} = M_{B,E4} / (2 \times a) / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R \quad 0,30 \quad [kN]$$

$$K_{E4} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0 \quad 0,09 \quad [-]$$

Rys. 8.6.2a – Tabela z arkusza kalkulacyjnego napisanego w środowisku Excel dedykowana dla połączenia lokalnie wzmocnionego dodatkowym arkuszem blachy – obciążenie skierowane w górę.

Porównanie wyników uzyskanych analitycznie z analogicznymi wynikami otrzymanymi po zastosowaniu arkusza kalkulacyjnego przygotowanego w środowisku Excel.

Wyniki dla połączenia z zakładką dwustronną względem osi podpory.

Dla tego porównania miarodajne są wyniki analityczne uzyskane w punkcie 8.5.3. niniejszej instrukcji.

Kryterium porównawcze	Wynik uzyskany analitycznie	Wynik z arkusza kalkulacyjnego Excel	Błąd względny [%]
Weryfikacja nośności nad podporą pośrednią			
Obciążenie skierowane w dół:			
Moment zginający	0,699	0,70	0,14 %
Reakcja podporowa	0,459	0,46	0,22 %
Obciążenie skierowane w górę:			
Moment zginający	0,178	0,18	1,12 %
Siła poprzeczna	0,056	0,06	7,14 %
Weryfikacja nośności na krawędzi zakładki			
Obciążenie skierowane w dół:			
Przyłożone obciążenie	5,83	5,83	0 %
Moment zginający na krawędzi zakładki	0,436	0,44	0,92 %
Siła poprzeczna	0,225	0,23	2,22 %
Obciążenie skierowane w górę:			
Przyłożone obciążenie	1,76	1,76	0 %
Moment zginający na krawędzi zakładki	0,113	0,11	-2,65 %
Reakcja podporowa	0,085	0,08	-5,88 %
Zagrożenie ewentualnego wybrzuszenia środka			
Obciążenie skierowane w dół	0,561	0,56	-0,17 %
Obciążenie skierowane w górę	-	-	--
Weryfikacja miarodajnej grupy łączników			
Obciążenie skierowane w dół:			
Siła w miarodajnej grupie łączników	0,99	0,99	0 %
Nośność miarodajnej grupy łączników	0,283	0,28	-1,06 %
Obciążenie skierowane w górę:			
Siła w miarodajnej grupie łączników	0,30	0,30	0 %
Nośność miarodajnej grupy łączników	0,085	0,09	5,88 %

Tabela 8.6.3a – Porównanie pomiędzy wynikami analitycznymi i odpowiadającymi im rezultatami zastosowania arkusza kalkulacyjnego. Wyniki dla połączenia z zakładką dwustronną względem osi podpory.

Wyniki uzyskane analitycznie są tu prezentowane z dokładnością do trzech miejsc dziesiętnych natomiast odpowiadające im wartości uzyskane po zastosowaniu arkusza kalkulacyjnego z dokładnością jedynie do dwóch miejsc dziesiętnych. Tego typu różnicowanie ma wpływ na specyfikację błędu względnego w prawej kolumnie powyższej tabeli. Jeżeli wszystkie porównywane ze sobą rezultaty byłyby prezentowane z dokładnością do dwóch miejsc dziesiętnych to otrzymany błąd w każdym przypadku byłby mniejszy niż ± 1 %. Tak więc jego wartości byłyby w niniejszym przykładzie możliwe do zaakceptowania.

Wyniki dla połączenia lokalnie wzmocnionego dodatkowym arkuszem blachy.

Dla tego porównania miarodajne są wyniki analityczne uzyskane w punkcie 8.5.4 niniejszej instrukcji.

Kryterium porównawcze	Wynik uzyskany analitycznie	Wynik z arkusza kalkulacyjnego Excel	Błąd względny [%]
Weryfikacja nośności nad podporą pośrednią			
Obciążenie skierowane w dół:			
Moment zginający	0,699	0,70	0,14 %
Reakcja podporowa	0,459	0,46	0,22 %
Obciążenie skierowane w górę:			
Moment zginający	0,178	0,18	1,12 %
Siła poprzeczna	0,056	0,06	7,14 %
Weryfikacja nośności na krawędzi zakładki			
Obciążenie skierowane w dół:			
Applied load	5,83	5,83	0 %
Moment zginający na krawędzi zakładki	0,436	0,44	0,92 %
Siła poprzeczna	0,225	0,23	2,22 %
Obciążenie skierowane w górę:			
Applied load	1,76	1,76	0 %
Moment zginający na krawędzi zakładki	0,113	0,11	-2,65 %
Reakcja podporowa	0,085	0,08	-5,88 %
Zagrożenie ewentualnego wybrzuszenia środka			
Obciążenie skierowane w dół	0,561	0,56	-0,17 %
Obciążenie skierowane w górę	-	-	-
Weryfikacja grupy łączników			
Obciążenie skierowane w dół:			
Siła w miarodajnej grupie łączników	0,99	0,99	0 %
Nośność miarodajnej grupy łączników	0,283	0,28	-1,06 %
Obciążenie skierowane w górę:			
Siła w miarodajnej grupie łączników	0,30	0,30	0 %
Nośność miarodajnej grupy łączników	0,085	0,09	5,88 %

Tabela 8.6.3b – Porównanie pomiędzy wynikami analitycznymi i odpowiadającymi im rezultatami zastosowania arkusza kalkulacyjnego. Wyniki dla połączenia lokalnie wzmocnionego dodatkowym arkuszem blachy.

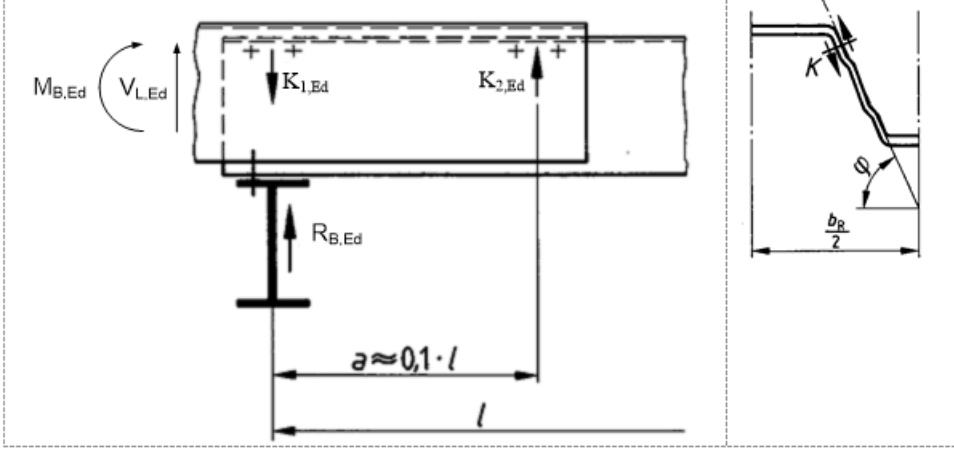
Wnioski z powyższego porównania są analogiczne do tych otrzymanych w Tabeli 8.6.3a dla połączenia z zakładką dwustronną względem osi podpory.

BIBLIOGRAFIA

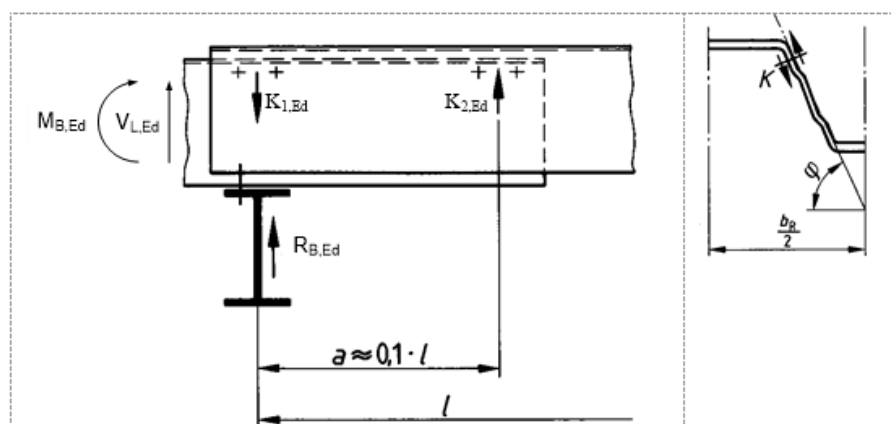
- [1] CEN, EN 14782:2006 – Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining - Product specification and requirements, Brussels, 2006.
- [2] CEN, EN 1993-1-3:2007 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting, Brussels, 2007.
- [3] DIN 18807-3:1987 - Trapezoidal sheeting in building – Trapezoidal steel sheeting – Structural analysis and design, Berlin, 1987.
- [4] CEN, EN 1090-4 – Execution of steel structures and aluminium structures – Part 4: Technical requirements for thin-gauge, cold-formed steel elements and structures for roof, ceiling, floor and wall applications.
- [5] C. FAUTH, GRISPE – WP2: Assembled Profiles – D2.3 Test report, 2016.
- [6] R. HOLZ, GRISPE – WP2: Assembled Profiles – D2.4 Test analysis and interpretation, 2016.
- [7] CEN, EN 1990:2002 – Eurocode – Basis of structural design, Brussels, 2002.
- [8] CEN, EN 1990:2002/A1:2005 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1, Brussels, 2005.
- [9] CEN, EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1 - Corrigendum, Brussels, 2010.
- [10] CEN, EN 1991-1-1:2002 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels, 2002.
- [11] CEN, EN 1991-1-1:2002/AC:2009 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [12] CEN, EN 1991-1-3:2003 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads, Brussels, 2003.
- [13] CEN, EN 1991-1-3:2003/AC:2009 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [14] CEN, EN 1991-1-3:2003/A1:2015 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads - Amendment A1, Brussels, 2015.
- [15] CEN, EN 1991-1-4:2005 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions, Brussels, 2005.
- [16] CEN, EN 1991-1-4:2005/AC:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Corrigendum, Brussels, 2010.
- [17] CEN, EN 1991-1-4:2005/A1:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Amendment A1, Brussels, 2010.

- [18] CEN, EN 1993-1-1:2005 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [19] CEN, EN 1993-1-1:2005/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings - Corrigendum, Brussels, 2005.
- [20] 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.
- [21] CEN, EN 1993-1-3:2007/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [22] CEN, EN 1995-1-1:2005 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [23] CEN, EN 1995-1-1:2005/AC:2006 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Corrigendum, Brussels, 2006.
- [24] CEN, EN 1995-1-1:2005/A1:2008 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Amendment A1, Brussels, 2008.
- [25] CEN, EN 1995-1-1:2005/A2:2014 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Amendment A1, Brussels, 2014.
- [26] CEN, EN 1993-1-5:2007 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements, Brussels, 2007.
- [27] CEN, EN 1993-1-5:2007/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [28] CEN, EN 1993-1-5:2006/A1:2017 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements – Amendment A1, Brussels, 2017.

ANNEX: PROPOZYCJA UZUPEŁNIENIA PRZEKAZANA DO CEN

AM-1-3-2016-08	
Subject	Assembled trapezoidal profiles (statically effective overlapping)
Clause No/ Subclause No/ Annex	
Reason for Amendment	No data in the actual version of EN 1993-1-3
Proposed Change	1. cantilever above  a) Verification of the profile with the design resistance values ($M_{Rd,B}$, $R_{w,Rd,B}$) of the continuous profile in the support axis taking into account the influence of support reaction (M-R-interaction). b) Check of the free end of the cantilever, if the line load introduced by the connections K_i may create web crippling - Downward load = negative bending moment web crippling at the end of the cantilever $F_{Ed} = M_{B,Ed}/a < 0,5 R_{w,Rd,B}$ $R_{w,Rd,B}$ is the ultimate support reaction at intermediate supports in the opposite profile position (in general negative position) for the max. support width, in general $l_{aB} = 160$ mm (determined in GRISPE [1], that the design resistance $R_{w,Rd,B}(160 \text{ mm})$ is suitable for this verification) - Uplift load = positive bending moment No web crippling possible at the end of the cantilever c) Verification of the connections K_{Ed} $K_{Ed} = \max K_i = M_{B,Ed}/a + V_{L,Ed} / (2 \cdot \sin(\varphi)) \cdot b_R \text{ (Verification in one web)}$ $K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$ with $\Sigma F_{v,Rd}$ shear resistance of the screws

2. cantilever underneath



- Verification of the profile with the design resistance values ($M_{Rd,B}$, $R_{w,Rd,B}$) of the continuous profile in the support axis taking into account the influence of support reaction (M-R-interaction).
- Check of the free end of the cantilever, if the line load introduced by the connections K_i may create web crippling
 - Downward load = negative bending moment
No web crippling possible at the end of the cantilever
 - Uplift load = positive bending moment
No web crippling possible at the end of the cantilever

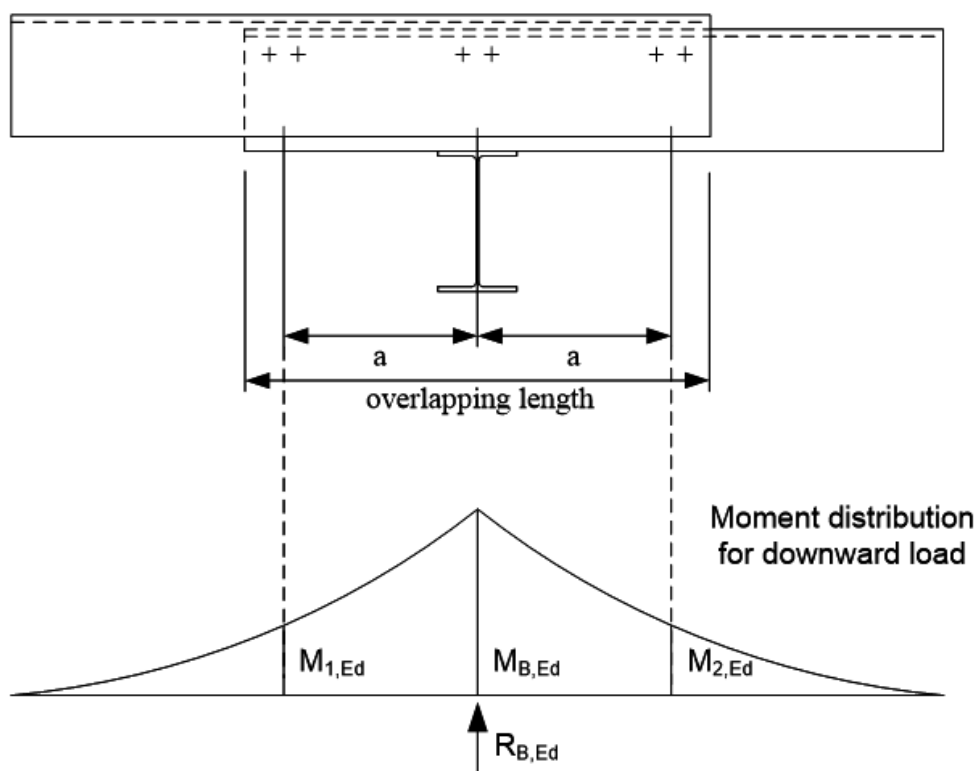
- Verification of the connections K_{Ed}

$$K_{Ed} = \max K_i = |M_{B,Ed}| / (2 \cdot a \cdot \sin(\varphi)) \cdot b_R \text{ (Verification in one web)}$$

$$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$$

with $\Sigma F_{v,Rd}$ shear resistance of the screws

3. Overlap joint



- Determination of the bending moment distribution under design loads like for continuous sheets (The influence of the higher bending stiffness at the overlapping area, which is partly compensated by the slip and/or elastic deformations at the connections, is neglected). Results: $M_{B,Ed}$; $R_{B,Ed}$; $M_{1,Ed}$; $M_{2,Ed}$
- Verification of the profiles at the support axis with 90 % of the resistance of the overlapping profiles (factor 0,9 determined in GRISPE [1]) taking into account the influence of the support reaction (M-R-interaction):
 $M_{B,Ed} \leq 0,9 \sum M_{Rd,B}$; $R_{B,Ed} \leq 0,9 \sum R_{wRd,B}$; M-R-interaction
- Verification of the continuous profiles at the ends of the overlap with the bending moments $M_{1,Ed}$ or $M_{2,Ed}$ and the line loads introduced by the connections K_i : $F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2a)$. Depending of the direction of the load F_{Ed} relative to the web of the profile, the M-R-interaction or the M-V-interaction has to be verified.
 For downward load, F_{Ed} is acting as a tension force on the webs of the continuous profiles; M-V-interaction has to be verified.
 For uplift load, F_{Ed} is acting as a compression force on the webs of the continuous profiles; M-R-interaction has to be verified.
 In both load cases, the resistance values of the profile in the opposite position at intermediate supports apply for these verifications.
- Check of the free end of the cantilever, if the line load introduced by the connections K_i may create web crippling
 - Downward load = negative bending moment
 web crippling at the end of the upside cantilever
 $F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2a) < 0,5 R_{wRd,B}$

$R_{w,Rd,B}$ is the ultimate support reaction at intermediate supports in the opposite profile position (in general negative position) for the max. support width, in general $l_{aB} = 160$ mm (determined in GRISPE [1], that the design resistance $R_{w,Rd,B}(160 \text{ mm})$ is suitable for this verification)
 No web crippling possible at the end of the cantilever underneath

- Uplift load = positive bending moment
 No web crippling possible, neither at the upside cantilever nor at the cantilever underneath.

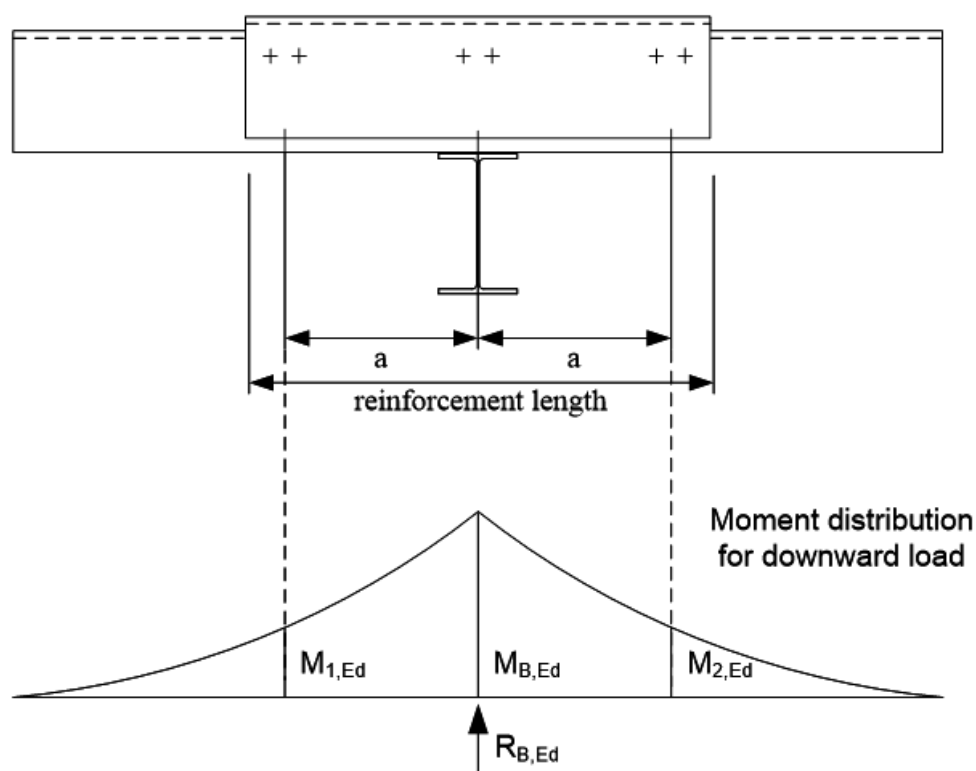
- e) Verification of the connections K_{Ed}
 with

$$K_{Ed} = \max K_i = |M_{B,Ed}| / (4 * a * \sin(\varphi)) * b_R \text{ (Verification in one web)}$$

$$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$$

with $\Sigma F_{v,Rd}$ shear resistance of the screws

4. Continuous profile with local reinforcement



- a) Determination of the bending moment distribution under design loads like for continuous sheets (The influence of the higher bending stiffness at the overlapping area, which is partly compensated by the slip and/or elastic deformations at the connections, is neglected). Results: $M_{B,Ed}$; $R_{B,Ed}$; $M_{1,Ed}$; $M_{2,Ed}$
- b) Verification of the profiles at the support axis with 90 % of the resistance of the overlapping profiles (factor 0,9 determined in GRISPE [1]) taking into account the influence of the support reaction (M-R-interaction):
 $M_{B,Ed} \leq 0,9 \Sigma M_{Rd,B}$; $R_{B,Ed} \leq 0,9 \Sigma R_{wRd,B}$; M-R-interaction

- c) Verification of the continuous profile at the ends of the overlap with the bending moments $M_{1,Ed}$ or $M_{2,Ed}$ and the line loads introduced by the connections K_i : $F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2a)$. Depending of the direction of the load F_{Ed} relative to the web of the profile, the M-R-interaction or the M-V-interaction has to be verified.

For downward load, F_{Ed} is acting as a tension force on the webs of the continuous profile; M-V-interaction has to be verified.

For uplift load, F_{Ed} is acting as a compression force on the webs of the continuous profile; M-R-interaction has to be verified.

In both load cases, the resistance values of the profile in the opposite position at intermediate supports apply for these verifications.

- d) Check of the free end of the cantilever, if the line load introduced by the connections K_i may create web crippling

- Downward load = negative bending moment
web crippling at the end of both cantilevers

$$F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2a) < 0,5 R_{w,Rd,B}$$

$R_{w,Rd,B}$ is the ultimate support reaction at intermediate supports in the opposite profile position (in general negative position) for the max. support width, in general $l_{aB} = 160$ mm (determined in GRISPE [1], that the design resistance $R_{w,Rd,B}(160 \text{ mm})$ is suitable for this verification)

- Uplift load = positive bending moment
No web crippling possible at the end of both cantilevers

- e) Verification of the connections K_{Ed}
with

$$K_{Ed} = \max K_i = |M_{B,Ed}| / (4 * a * \sin(\varphi)) * b_R \text{ (Verification in one web)}$$

$$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$$

with $\Sigma F_{v,Rd}$ shear resistance of the screws

Edge and hole spacings for statically effective overlapping (1.-4.)

