


WP N°: 3
WP Title: eLectures: Interactive electronic lectures
Deliverable N°: D3.1
Deliverable Title : Holed profiles
Deliverable Date: 31st of 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)
Sokol Palisson Consultants, Anna Palisson
Drafting history
FINAL- DATE: 31st of March
Dissemination Level

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

D3.1 HOLED PROFILES

RFCS funded – agreement N° 754092

Disclaimer notice and EU acknowledgement of support

Disclaimer notice

By making use of any information or content in this manual (Part 1 and Part 2) 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 manual (Part 1 and Part 2) 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 No75 4092

PODSUMOWANIE

Celem niniejszego poradnika projektanta jest przedstawienie nowej metody obliczeń profili z otworami, opracowanej w ramach europejskiego projektu GRISPE PLUS.

Poradnik oparty jest na ogólnych zasadach Eurokodu, i w szczególności na normach EN 1993-1-3 i EN 1993-1-5.

Ta nowa metoda obliczeń profili z otworami opiera się na badaniach przeprowadzonych w ramach europejskiego projektu GRISPE (2013-2016).

Podstawy tej metody opisano w załączniku 1.

Rozdział 1 podaje w sposób szczegółowy typ profili, aktualny stan wiedzy, główne wyniki badań projektu GRISPE oraz ogólne wymagania i zasady projektowania;

Rozdział 2 przedstawia wstępne rozważania które należy uwzględnić w fazie projektu wstępnego, w tym w szczególności zakres zastosowania nowej metody projektowania;

Rozdział 3 określa wymagania technologiczne;

Rozdział 4 zawiera wymagania odnośnie właściwości materiału;

Rozdział 5 określa obciążenia i ich kombinacje;

Rozdział 6 przedstawia zasady obliczeń;

Rozdział 7 podaje listę kryteriów wymiarowania nie objętych instrukcją;

Rozdział 8 objaśnia oprogramowanie stworzone dla profili perforowanych;

Rozdział 9 podaje przykład nowej metody obliczeń;

Rozdział 10 podaje samo sprawdzenie oprogramowania;

Rozdział 11 podaje bibliografię.

PRZEDMOWA

Niniejszy poradnik projektanta został przeprowadzony przy wsparciu finansowania RFCS n°**754092**

Ta nowa metoda projektowania została zaprezentowana w grupie ewolucyjnej EN 1993-1-3 w latach 2016-2017 i jest rozważana do włączenia do Eurokodów.

Niniejszy poradnik projektanta został opracowany przez PALISSON Anna i został omówiony i zatwierdzony przez grupę roboczą GRISPE PLUS, składającej się z następujących członków:

Mickael BLANC	France
Silvia CAPRILI	Italy
David IZABEL	France
Markus KUHNENNE	Germany
Anna PALISSON	France
Valérie PRUDOR	France
Irene PUNCELLO	Italy
Dominik PYSCHNY	Germany
Thibaut RENAUX	France
Daniel SPAGNI	France

Członek korespondent:

SOKOL	Léopold	France
-------	---------	--------

Rysunki

Rysunki zostały wykonane przez firmy:

Rysunek 1.1.1 – JORIS IDE i Sokol Palisson Consultants

Rysunek 1.1.2 – JORIS IDE i Sokol Palisson Consultants

Rysunek 1.3.1 – KIT

Rysunek 1.3.2 – KIT

Rysunek 1.3.3 – KIT

Rysunek 2.2.1.1 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 2.2.2.1 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 6.2.1 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.1 – Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.1.1 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.1.2 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.1.3 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 9.1- Sokol Palisson Consultants

Rysunek 9.1.1- Sokol Palisson Consultants

Rysunek 9.1.2- Sokol Palisson Consultants

Rysunek 9.1.3- Sokol Palisson Consultants

Rysunek 9.2.1 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 9.3.1.1 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 9.3.1.2 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 9.3.1.3 - Sokol Palisson Consultants

ZAWARTOŚĆ

Zakres publikacji

Symbole

1. WSTĘP

- 1.1. Typ profilowanych blach stalowych**
- 1.2. Stan wiedzy przed projektem GRISPE**
- 1.3. Główne wyniki projektu GRISPE**
- 1.4. Ogólne wymagania i zasady projektowania**

2. ROZWAŻANIA WSTĘPNE

- 2.1. Zakres stosowania proponowanej metody obliczeń**
- 2.2. Przepisy technologiczne dla profilowanych blach**

3. PODSTAWOWE WYMOGI TECHNOLOGICZNE

4. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU

5. OBCIĄŻENIA I ICH KOMBINACJE

6. ZASADY WYMIAROWANIA

- 6.1. Wstęp**
- 6.2. Dziedzina zastosowania podanej metody obliczeń**
- 6.3. Procedura obliczeń**

7. SPECYFICZNE KRYTERIA WYMIAROWANIA

8. OBJAŚNIENIE OPROGRAMOWANIA "WEB PERFORATIONS – SPAN – END SUPPORT"

- 8.1. DANE**
- 8.2. Sprawdzenie proporcji geometrycznych**

8.3. Wyniki**9. PRZYKŁAD ROBOCZY**

- 9.1. Przekrój blachy**
- 9.2. Obliczenie pola przekroju brutto A_g**
- 9.3. Obliczenie efektywnego pola przekroju A_{eff} Krok 1 iteracji**
- 9.4. Obliczenie efektywnego pola przekroju A_{eff} Następne kroki iteracji**
- 9.5. Obliczenie wytrzymałości na moment przęsłowy**

10. SAMO SPRAWDZENIE OPROGRAMOWANIA

Obliczenie wytrzymałości na moment przęsłowy

11. BIBLIOGRAFIA**ZAŁĄCZNIK 1**

ZAKRES PUBLIKACJI

Celem tej publikacji jest przedstawienie nowej metody obliczeń profili z otworami, zaproponowanej dla Eurokodu EN 1993-1-3.

Ten podręcznik projektowy dotyczy stosowanych powszechnie zastosowań.

Dla rozwiązań specyficznych (na przykład z otworami) lub dla sytuacji wyjątkowych (seizm, pożar, itp.) należy przestrzegać odpowiednich przepisów Eurokodów oraz/lub EN 1090-4.

SYMBOLE

t : grubość obliczeniowa

t_{nom} : grubość nominalna

t_{eff} : grubość efektywna

h_w : wysokość profilu

h_a : wysokość części środknika nad żeberkiem

h_{sa} : wysokość usztywnienia w środkniku

d_s : wysokość usztywnienia w półce

d : wymiar otworu

f_{yb} : granica plastyczności

E : Moduł Younga

t_{red} : grubość zredukowana

b_{pi} : szerokość obliczeniowa płaskiej ścianki

$b_{i,eff}$: szerokość efektywna

A_g : pole przekroju brutto

A_{eff} : efektywne pole przekroju

z_G : położenie osi głównej

σ_{xx} : naprężenie

χ_d : współczynnik redukcyjny ze względu na wyboczenie dystorsyjne

$M_{c,Rd}$: nośność przekroju przy zginaniu

M_{span} : moment przęsłowy

e_c : odległość od półki ściskanej do osi głównej

s_n : szerokość środknika między półką ściskaną i osią główną

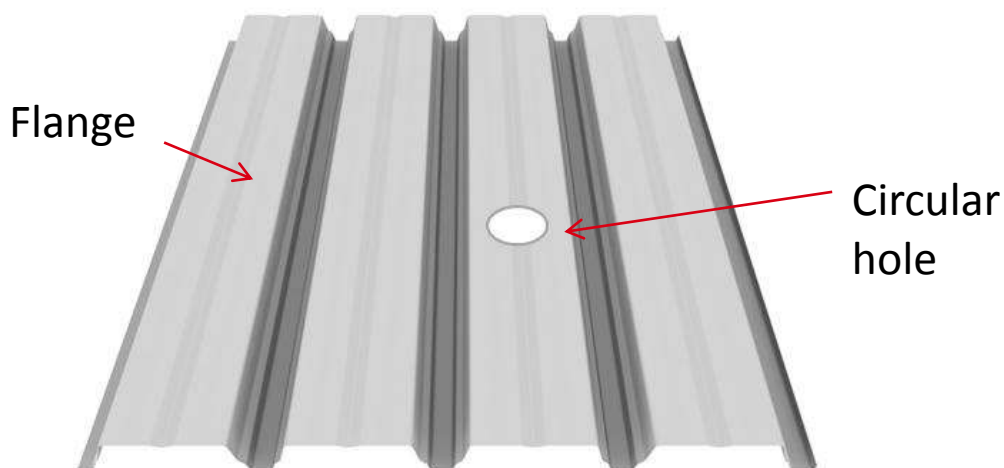
s_{eff} : efektywna szerokość środknika

W_{eff} : wskaźnik wytrzymałości przekroju efektywnego

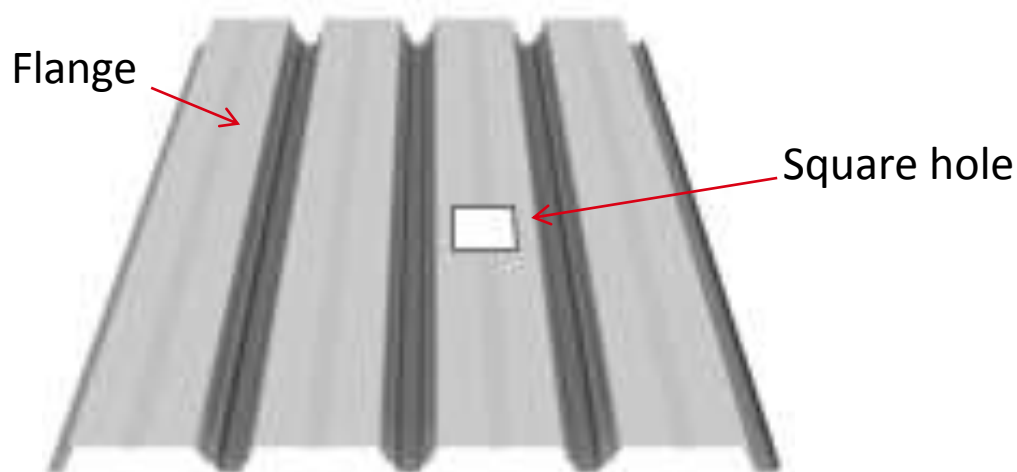
1. WSTĘP

1.1. Typ profilowanych blach stalowych

Poradnik ten przeznaczony jest dla obliczeń blach stalowych z otworem okrągłym (Rysunek 1.1.1) lub z otworem kwadratowym (Rysunek 1.1.2)



Rysunek 1.1.1 – Blacha stalowa z okrągłym otworem



Rysunek 1.1.2 – Blacha stalowa z kwadratowym otworem

1.2. Stan wiedzy przed projektem GRISPE

W kontekście projektowym często konieczne jest wiercenie lub wycinanie otworów w górnej półce blachy dla przeprowadzenia instalacji. Wobec braku rozwiązań normatywnych istnieje niebezpieczeństwo stosowania rozwiązań improwizowanych, co skutkuje zmniejszeniem bezpieczeństwa konstrukcji i niezawodności.

Otworki zmniejszają wytrzymałość blachy globalnie i lokalnie, osłabiając jej wytrzymałość na zginanie i w konsekwencji na bezpieczeństwo.

Wzory na wyboczenie ścianek z otworami są dostępne w literaturze [1] także niemiecka norma DIN 18807-3 dostarcza rozwiązań dla różnych dystrybucji i położeń otworów [2], dla których IFBS dostarczył również kilka praktycznych zastosowań [3] ale dotyczy to otworów ze wzmocnieniami.

"US Council on Tall Buildings and Urban Habitat" [4] przystosował holenderskie (SIS 1991), amerykańskie (Heagler 1987) i kanadyjskie rozwiązania. Kwadratowe lub okrągłe otworki do przeprowadzenia instalacji takich jak ewakuacja wody deszczowej, są często stosowane w przykryciach ([5]).

Dotychczas zrealizowano pewną ilość badania blach stalowych z otworami [3], [4], [6], [7], [8], lecz ich tematem był jedynie wpływ otworów na stateczność miejscowa oraz na wyboczenie i wytrzymałość płyt przy obciążeniu ściskającym lub ścinającym. W związku z tym nie ma badań, które ustalałyby, wytrzymałość na zginanie dla blach z otworami.

Także europejska norma EN 1993-1-3 nie dostarcza żadnych informacji na temat obliczania wytrzymałości na moment przęsłowy.

Jedyną opcją dla producentów do zaprojektowania profilu z otworkiem jest przeprowadzenie kosztownych i czasochłonnych testów.

1.3. Główne wyniki projektu GRISPE

W celu określenia wytrzymałości blach fałdowych z otworkiem w górnej półce i bez otworu wykonano obszerny program złożony z 48 testów "globalnych" (Rysunki 1.3.1 do 1.3.4), zgodnie z EN 1993-1-3 Aneks A:

- z okrągłym otworkiem w górnej półce
- z kwadratowym otworkiem w górnej półce
- bez otworów

W oparciu o wyniki i analizę badań blach z otworkiem w górnej półce, została opracowana innowacyjna metoda obliczania ich wytrzymałości na moment przęsłowy.



Rysunek 1.3.1 – Badania wytrzymałości na moment przęsłowy blachy bez otworów



Rysunek 1.3.2 – Badania wytrzymałości na moment przęsłowy blachy z otworem okrągłym



Rysunek 1.3.3 – Badania wytrzymałości na moment przęsłowy blachy z otworem kwadratowym

1.4. Ogólne wymagania i zasady projektowania

- (1) Obliczanie blach stalowych z otworami powinno być zgodne z ogólnymi zasadami podanymi w EN 1993-1-3.
- (2) Należy przyjąć odpowiednie współczynniki cząstkowe dla stanów granicznych nośności i stanów granicznych użytkowości zgodnie z EN 1993-1-3

2. ROZWAŻANIA WSTĘPNE

2.1. Zakres stosowania proponowanej metody obliczeń

Poradnik ten podaje wymagania projektowe dotyczące blachy stalowej z otworem okrągłym lub kwadratowym w górnej półce oraz obliczeniową metodę projektowania.

Metoda ta ma zastosowanie w określonych zakresach właściwości materiału i proporcji geometrycznych

Poradnik nie podaje zasad rozkładu obciążeń podczas montażu budowli.

Zasady obliczeń podane w tej instrukcji są aktualne gdy tolerancje elementów są zgodne z EN 1993-1-3.

Wykonanie konstrukcji stalowych z blach stalowych objęte jest normą EN 1090-4.

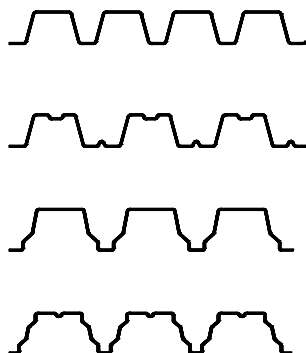
2.2. Przepisy technologiczne dla profilowanych blach

2.2.1. Kształty przekrojów

(1) Blachy kształtowane na zimno mają stałą grubość nominalną (w ramach dopuszczalnych tolerancji) na całej długości, natomiast przekrój poprzeczny może być stały lub zbieżny.

(2) Przekrój profili kształtowanych na zimno zawiera elementy płaskie, połączone elementami zakrzywionymi..

(3) Przykłady przekrojów blach profilowanych na zimno pokazano na Rysunku 2.2.1.1.



Rysunek 2.2.1.1 – Blachy profilowane

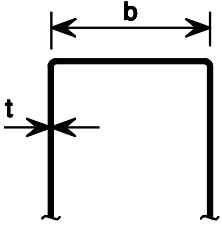
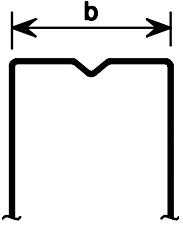
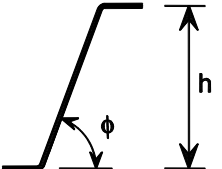
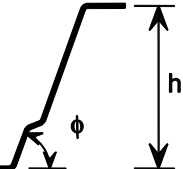
(4) Blachy profilowane na zimno mogą być nieusztywnione lub mogą zawierać podłużne usztywnienia pośrednie w pasach i środkach.

2.2.2. Wymiary przekroju poprzecznego

Wymiary przekroju powinny spełniać ogólne wymagania podane w EN 1993-1-3, rozdział 1.5.3.

(1) Jeśli nie podano inaczej, grubość t jest grubością obliczeniową stali, którą przyjmuje się równą grubości rdzennej ewentualnie pomniejszonej o odchyłkę wymiarową zgodnie z 3.2.4.

(2) Podane w niniejszym podręczniku zasady obliczeń nie powinny być stosowane dla przekrojów których smukłości ścianek b/t , h/t , c/t i d/t są poza zakresem określonym w Tablicy 2.2.2.1 (Tablica 5.1 z EN 1993-1-3).

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

Tablica 2.2.2.1 – Sprawdzenie proporcji geometrycznych

3. PODSTAWOWE WYMOGI TECHNOLOGICZNE

Profilowana blacha i znak CE

Blachy stalowe są oznakowane znakiem CE zgodnie z normą EN 14782 (zastosowanie niestrukturalne) lub EN 1090-1 (zastosowanie strukturalne).

4. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU

Steel sheet

Właściwości materiału powinny spełniać wymagania podane w EN 1993-1-3, sekcja 3.

Typowymi gatunkami stali są gatunki S320GD + ZA i S350GD + ZA

Tolerancje grubości powinny spełniać wymagania podane w EN 1993-1-3, sekcja 3.2.4.

5. OBCIĄŻENIA I KOMBINACJE DZIAŁAJĄCE

Działania i kombinacje, które należy wziąć pod uwagę, należy określić zgodnie z EN 1991-1-6 Eurokod 1: Działania na strukturach, Część 1-6: Działania ogólne - Działania podczas wykonywania, 2005 i załączniki krajowe.

6. ZASADY WYMIAROWANIA

6.1. Wstęp

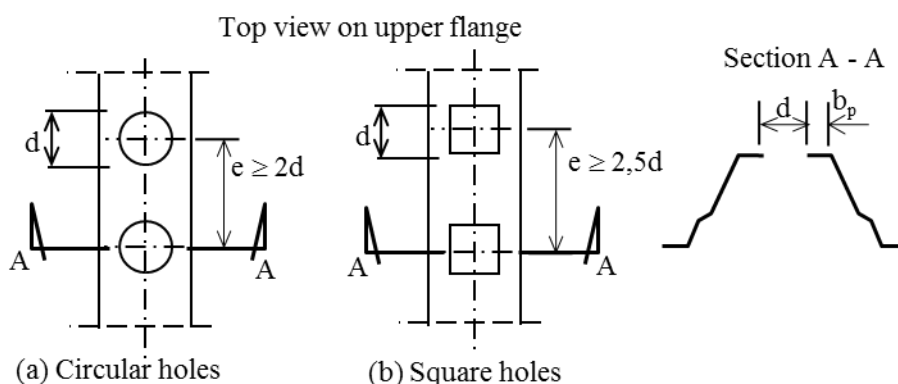
Niniejsza metoda obliczeń jest przeznaczona dla sprawdzenia wytrzymałości na moment zginający blach z otworem okrągłym lub kwadratowym w ściskanej półce.

6.2. Dziedzina zastosowania podanej metody obliczeń

Niniejsza metoda obliczeń dotyczy blach z okrągłym (Rysunek 6.2.1 a) lub kwadratowym (Rysunek 6.2.2) otworem w górnej półce

Zakres stosowania:

- a) trapezowa profilowana blacha;
- b) nie więcej niż dwa otwory na półce z minimalną odległością według Rysunku 6.2.1
- c) dozwolone są tylko równomiernie rozłożone obciążenia.



Rysunek 6.2.1 – Okrągłe lub kwadratowe otwory w górnej półce

6.3. Procedura obliczeń

6.3.1. Efektywny przekrój blachy z otworem na górnej półce

W przypadku okrągłego lub kwadratowego otworu w ściskanej górnej półce efektywna szerokość części pólki przyległych do środków wyznacza się jako element wspornikowy o szerokości b_p

6.3.2. Moment wytrzymałości na zginanie blachy z otworem na górnej półce

Obliczeniowa nośność przekroju na zginanie $M_{c,Rd}$ jest określona zgodnie z EN 1993-1-3 "6.1.4 Zginanie", jak następuje:

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Wskaźnik wytrzymałości W_{eff} oblicza się dla przekroju współpracującego poddanego zginaniu względem osi głównej, przy maksymalnych naprężeniach $\sigma_{max,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$, uwzględniając wpływ wyboczenia miejscowego i dystorsyjnego, zgodnie z 5.5. i z 7.1

7. SPECYFICZNE KRYTERIA WYMIAROWANIA

Kryteria wymiarowania nie objęte niniejszą instrukcją

Ogniowe

Sejsmiczne

Aspekty środowiskowe

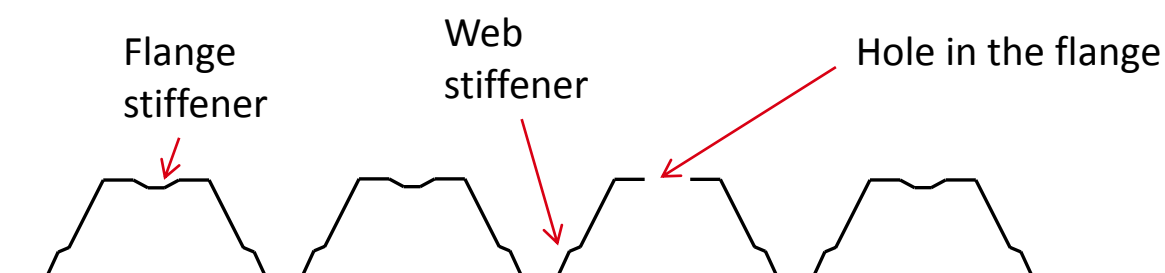
Termiczne

Akustyczne

Inne

8. OBJAŚNIENIE OPROGRAMOWANIA "HOLE – SPAN"

Oprogramowanie to służy do obliczania wytrzymałości na moment zginający blachy z otworem w jednej z górnych półek, z usztywnieniem w górnych półkach i środnikach (Rysunek 8.1)



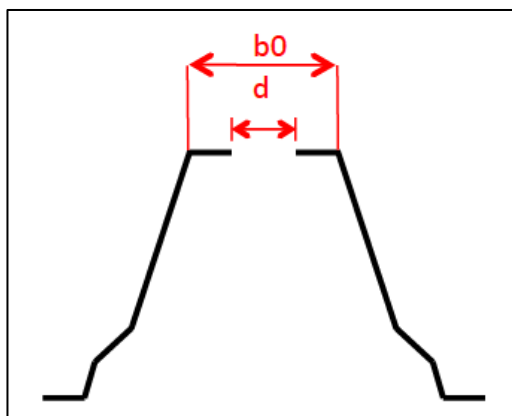
Rysunek 8.1 - Blacha stalowa z otworem w jednej z górnych półek, z usztywnieniami w półkach i środnikach

8.1. Dane

Wszystkie czerwone komórki muszą być wypełnione wymiarami blachy (Rysunki 8.1.1 i 8.1.2): wewnętrzny promień zagięć R , kąty θ , obliczeniowa grubość t , nominalna grubość t_{nom} , moduł, wysokość środnika h_w , wysokość części środnika nad żeberkiem h_a , wysokość usztywnienia w środniku h_{sa} , głębokość górnego usztywnienia d_s , granica plastyczności f_{yb} , moduł Younga E , wymiar otworu d :

$R1$ (mm)	θ_1 (rad)	$R2_{sup}$ (mm)	$R2_{inf}$ (mm)	θ_2 (rad)	$R3$ (mm)	θ_3 (rad)
t (mm)	t_{nom} (mm)	Pitch (mm)	h_w (mm)	h_a (mm)	h_{sa} (mm)	d_s (mm)
f_{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}	b_0 (mm)	d (mm)		

Tablica 8.1.1 - Komórki do wypełnienia wymiarami blachy



Rysunek 8.1.1 – Wymiary otworu

Należy wypełnić czerwone komórki poniższej tablicy wymiarami (b_{pi}) wszystkich elementów $\frac{1}{2}$ modułu. Numery elementów są podane na Rysunku 8.1.2. Długości elementów są mierzone od punktu środkowego « P » przylegającego elementu narożnego jak pokazane na Rysunku 8.1.3.

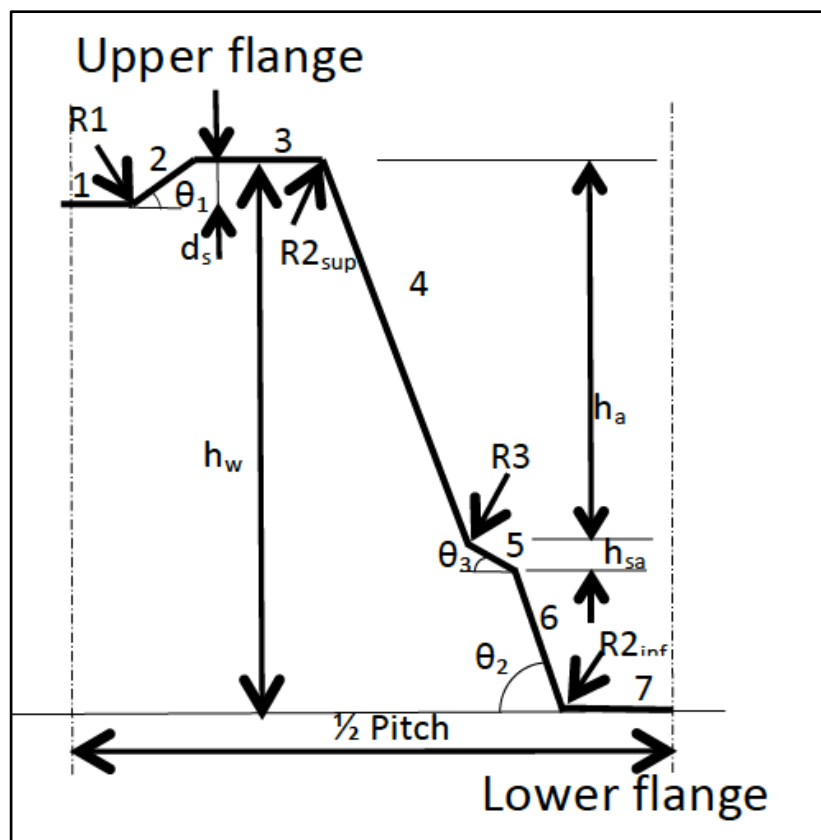
Element	b_{pi} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Tablica 8.1.2 – Komórki do wypełnienia wymiarami elementów

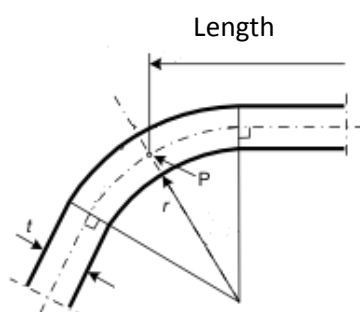
Należy wypełnić czerwoną komórkę poniższej tablicy ilością górnych pólek bez otworu

Number of upper flanges without a hole	
--	--

Tablica 8.1.3 – Komórki do wypełnienia ilością górnych pólek bez otworu



Rysunek 8.1.2 - Numeracja i dane elementów (1/2 półka bez otworu)

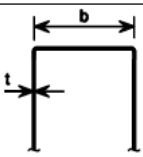
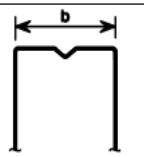
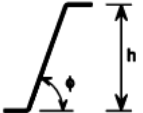
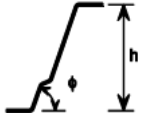


Rysunek 8.1.3 - Długość elementów mierzona w odniesieniu do środkowego punktu « P »

8.2. Sprawdzenie proporcji geometrycznych

Wypełnić czerwoną komórkę w następnej tabelicy z szerokością (b)

Program automatycznie wyświetla sprawdzenie proporcji geometrycznych.

	$b =$				$b/t \leq 500$
	$b/t =$				
	$\theta_2 =$				
	$h/t =$				
	$500 \sin(\theta_2) =$				$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
$r <$	$0,04 t E / f_y$				$h/t \leq 500 \sin \phi$

Tablica 8.2.1 - Automatyczne wyświetlenie sprawdzenia proporcji geometrycznych

8.3. WYNIK

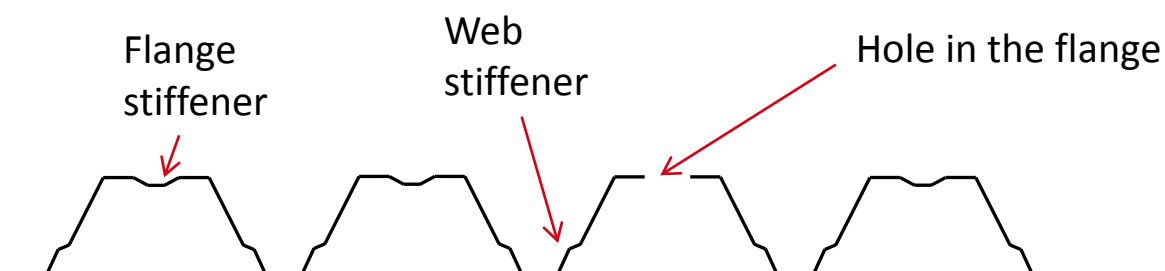
Program automatycznie wyświetla wynik:

⇒ wytrzymałość na moment zginający

$M_{span} =$ xxx kNm/m

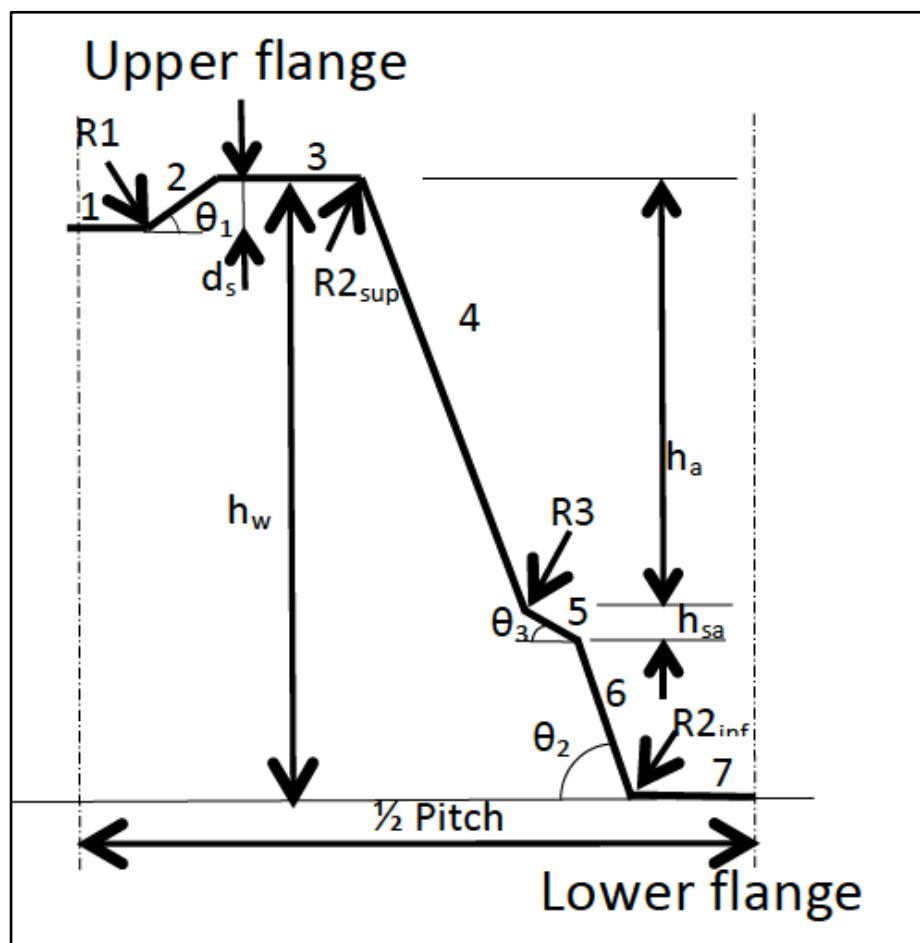
9. PRZYKŁAD ROBOCZY

Przykład ten wyjaśnia jak należy obliczać wytrzymałość na moment zginający blachy z okrągłym lub kwadratowym otworem w jednej z górnych półek, z usztywnieniem w górnych półkach i środnikach.

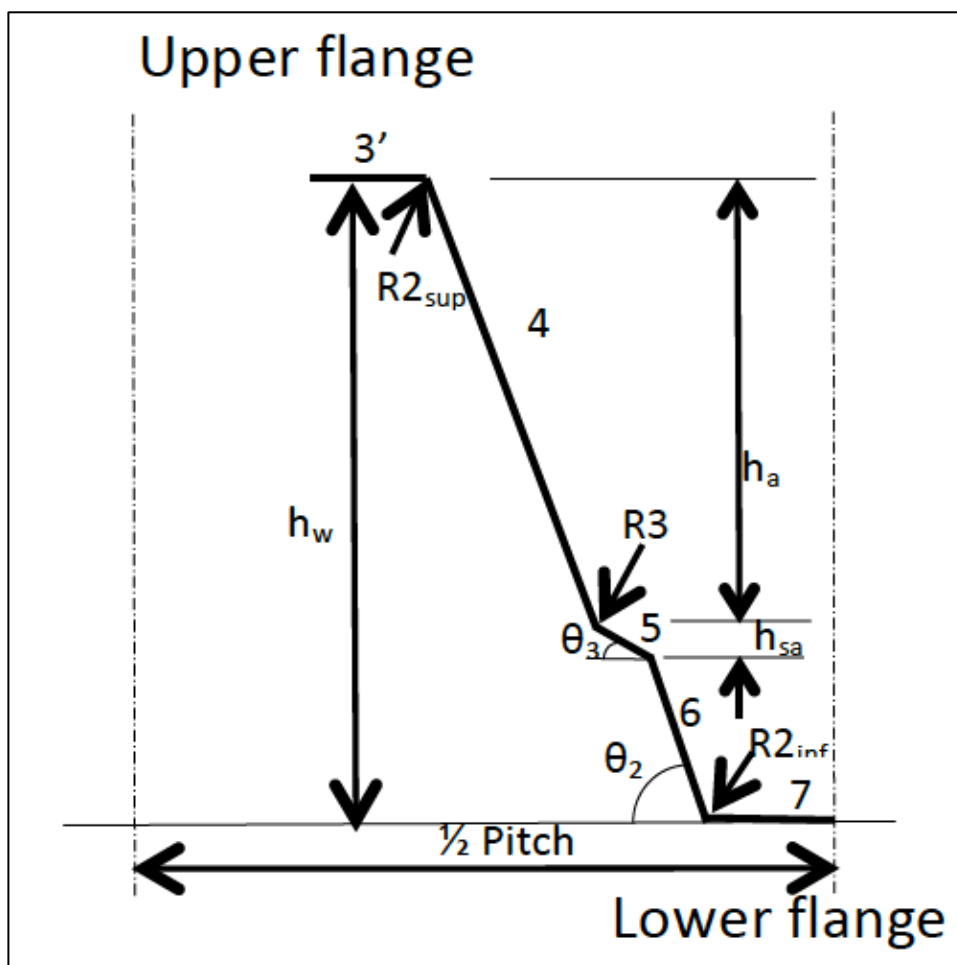


Rysunek 9.1 - Blacha stalowa z otworem w jednej z górnych półek, z usztywnieniem w górnych półkach i środnikach.

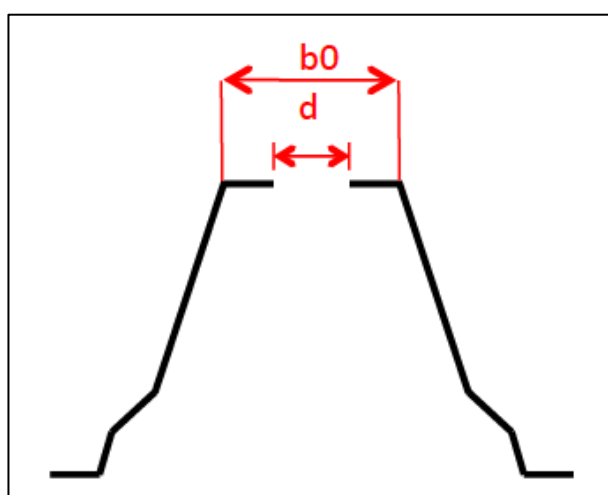
9.1. Przekrój blachy



Rysunek 9.1.1 - Przekrój blachy (1/2 półka bez otworu)



Rysunek 9.1.2 - Przekrój blachy (1/2 półka bez otworu)



Rysunek 9.1.3 - Wymiar otworu

9.1.1. Dane blachy

Przykład ten zrealizowany jest dla następujących danych:

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	R3 (mm)	θ_3 (rad)
0	0.22	6	6	1.31	3	0.99

t _{nom} (mm)	t (mm)	Pitch (mm)	h _w (mm)	h _a (mm)	h _{sa} (mm)	d _s (mm)
0.75	0.71	195	73	45	9	3

f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	ν_{M0}	b0 (mm)	d (mm)
320.00	210000.00	1.00	125	90.00

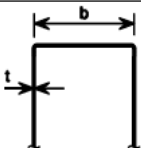
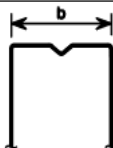
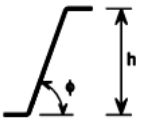
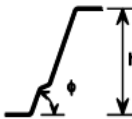
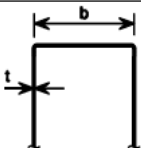
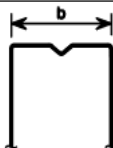
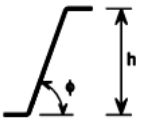
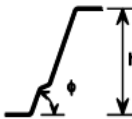
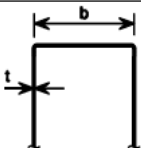
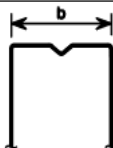
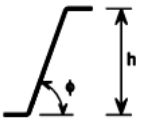
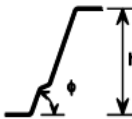
Tablica 9.1.1.1 - Charakterystyka blachy

Element	b _{pi} (mm)
1	0.00
2	15.30
3	47.50
4	45.44
5	10.38
6	18.52
7	12.00

Tablica 9.1.1.2 - Wymiary elementów ions

9.1.2. Sprawdzenie proporcji geometrycznych

b = 125; t = 0.71; h = 73; f_y = 320 N/mm²

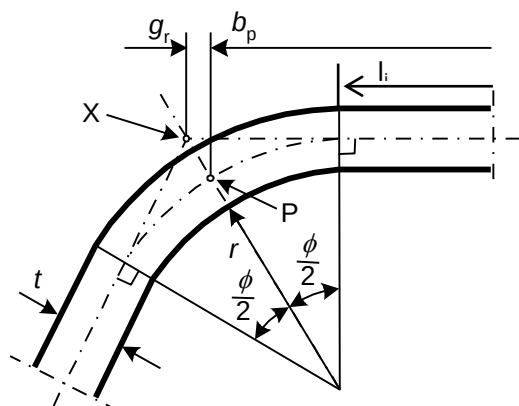
<table><tr><td>b=</td><td>125.00</td></tr><tr><td>b/t=</td><td>176.06</td></tr><tr><td>$\theta_2=$</td><td>75.00</td></tr><tr><td>h/t=</td><td>102.82</td></tr><tr><td>500sin(θ_2)=</td><td>482.96</td></tr></table>	b=	125.00	b/t=	176.06	$\theta_2=$	75.00	h/t=	102.82	500sin(θ_2)=	482.96	<table><tr><td></td><td></td><td>$b/t \leq 500$</td></tr><tr><td></td><td></td><td>$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$</td></tr><tr><td></td><td></td><td>$h/t \leq 500 \sin \phi$</td></tr></table>			$b/t \leq 500$			$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$			$h/t \leq 500 \sin \phi$
b=	125.00																			
b/t=	176.06																			
$\theta_2=$	75.00																			
h/t=	102.82																			
500sin(θ_2)=	482.96																			
		$b/t \leq 500$																		
		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$																		
		$h/t \leq 500 \sin \phi$																		
<table><tr><td>r <</td><td>0,04 t E / f_y</td><td>18.64</td></tr></table>	r <	0,04 t E / f _y	18.64																	
r <	0,04 t E / f _y	18.64																		

Tablica 9.1.2.1 - Sprawdzenie proporcji geometrycznych

9.2. Obliczenie pola przekroju brutto A_g

A_g jest sumą pól wszystkich elementów (długość x t)

długość = $l_i = b_p - r_m \times \sin\pi/4$



(a) midpoint of corner or bend

X is intersection of midlines

P is midpoint of corner

$$r_m = r + t / 2$$

Rysunek 9.2.1 - Umowne szerokości b_p części płaskich przekroju

9.2.1. Obliczenie pola przekroju brutto A_g bez otworu

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	0.0	0.0	70.0	0.00	-21.2
Corner 1 _{inf}	0.0	0.0	70.0	0.00	-21.2
2	15.3	10.9	71.5	776.56	-22.7
Corner 1 _{sup}	0.0	0.0	73.0	0.00	-24.2
3	43.8	31.1	73.0	2272.61	-24.2
Corner 2 _{sup}	7.9	5.6	71.4	398.30	-22.6
4	40.4	28.7	50.5	1447.25	-1.7
Corner 3 _{sup}	3.0	2.1	28.0	59.04	20.8
5	7.5	5.3	23.5	125.58	25.3
Corner 3 _{inf}	3.0	2.1	19.0	40.07	29.8
6	13.4	9.5	9.5	90.70	39.3
Corner 2 _{inf}	7.9	5.6	1.6	8.77	47.3
7	8.3	5.9	0.0	0.00	48.8
TOTAL		106.8		5218.9	48.8

Tablica 9.2.1.1 - Wartości elementów

$$A_g = 106.8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Położenie osi głównej: } z_G = S / A_g = 48.8 \text{ mm}$$

9.2.2. Obliczenie pola przekroju brutto A_g z otworem

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)
3'	13.8	9.8	73.0	717.71	-24.2
Corner 2 _{sup}	7.9	5.6	71.4	398.30	-22.6
4	40.4	28.7	50.5	1447.25	-1.7
Corner 3 _{sup}	3.0	2.1	28.0	59.04	20.8
5	7.5	5.3	23.5	125.58	25.3
Corner 3 _{inf}	3.0	2.1	19.0	40.07	29.8
6	13.4	9.5	9.5	90.70	39.3
Corner 2 _{inf}	7.9	5.6	1.6	8.77	47.3
7	8.3	5.9	0.0	0.00	48.8
TOTAL		74.7		2887.4	38.7

Tablica 9.2.2.1 - Wartości elementów

$$A_g = 74.7 \text{ mm}^2$$

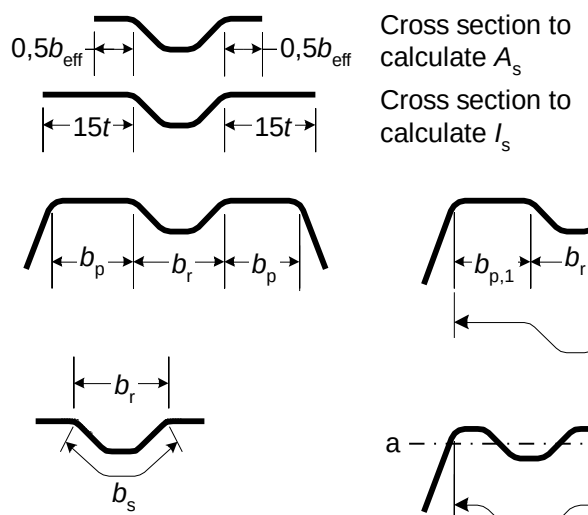
$$\text{Położenie osi głównej: } z_G = S / A_g = 38.7 \text{ mm}$$

9.3. Obliczenie efektywnego pola przekroju A_{eff} Krok 1 iteracji

A_{eff} jest sumą efektywnych pól wszystkich elementów.

9.3.1. Obliczenie efektywnego pola przekroju A_{eff} bez otworu

Górna półka posiada jedno usztywnienie więc efektywne pole górnej półki jest liczone według EN 1993-1-3 § "5.5.3.4.2 Pasy z usztywnieniami pośrednimi".



Rysunek 9.3.1.1 - Pas z jednym usztywnieniem

$$\text{napężenie w górnej półce jest } \sigma_{\text{com}} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 158 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$b_p = 47.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = b_p/t / (28.4 \varepsilon k_\sigma^{1/2}) \text{ with } \varepsilon = (235/f_{yb})^{1/2}$$

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1 = 1 \rightarrow \text{współczynnik } k_\sigma = 4$$

$$\lambda_p = 1.374$$

$$\lambda_{pred} = \lambda_p \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y/\gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred1} = 0.966$$

$$\lambda_{pred} > 0.673 \rightarrow \rho = \frac{1 - 0.055(3+\psi)/\bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0.18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0.6)} \rightarrow \rho = 0.894$$

$$b_{eff} = \rho * b_p = 42.5 \rightarrow \boxed{0.5 b_{eff} = 21.2 \text{ m}}$$

Usztywnienie górnej półki:

Przekrój usztywnienia liczy się według EN 1993-1-3 § "5.5.3.3 Ścianki płaskie z usztywnieniami pośrednimi".

Obliczenie naprężenia krytycznego $\sigma_{cr,s}$

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4.2 k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4 b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}}$$

$$b_s = 30.6 \text{ mm}, b_p = 47.5 \text{ mm}$$

Obliczenie A_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)
plane part	21.23	15.08
Corner 1 _{sup}	0.00	0.00
2	15.30	10.86
Corner 1 _{inf}	0.00	0.00
2	0.00	0.00
Corner 1 _{inf}	0.00	0.00
2	15.30	10.86
Corner 1 _{sup}	0.00	0.00
plane part	21.23	15.08
TOTAL		51.9

Tablica 9.3.1.1 - Długości i pola elementów

$$A_s = 51.9 \text{ mm}^2$$

Obliczenie I_s

Element	l_1 (mm)	A_1 (mm ²)	z (mm)	S_x (mm ³)	z_0 (mm)	h	I_1 (mm ⁴)
plane part	10.65	7.56	0.00	0.00	0.88	0.71	6.23
Corner l_{sup}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
2	15.30	10.86	1.50	16.29	-0.62	3.30	13.95
Corner l_{inf}	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.00	0.00
1	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.71	0.00
Corner l_{inf}	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.00	0.00
2	15.30	10.86	1.50	16.29	-0.62	3.30	13.95
Corner l_{sup}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
plane part	10.65	7.56	0.00	0.00	0.88	0.71	6.23
TOTAL		36.8		32.6	0.88		40.4

Tablica 9.3.1.2 - Długości elementów i momenty bezwładności

$$I_s = 40.4 \text{ mm}^4$$

$$I_b = 3,07 \sqrt[4]{\frac{I_s b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}{t^3}}$$

$$I_b = 254.9$$

$$s_w = 73.7$$

$$I_b / s_w = 3.5 \geq 2 \rightarrow k_w = k_{w0}$$

$$k_{w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2 b_d}{s_w + 0,5 b_d}}$$

$$k_{w0} = 1.54$$

$$\text{Napężenie krytyczne } \sigma_{cr,s} = 76.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb} / \sigma_{cr,s}}$$

$$\bar{\lambda}_d = 2.04$$

$$\bar{\lambda}_d \geq 1,38 \rightarrow \chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d}$$

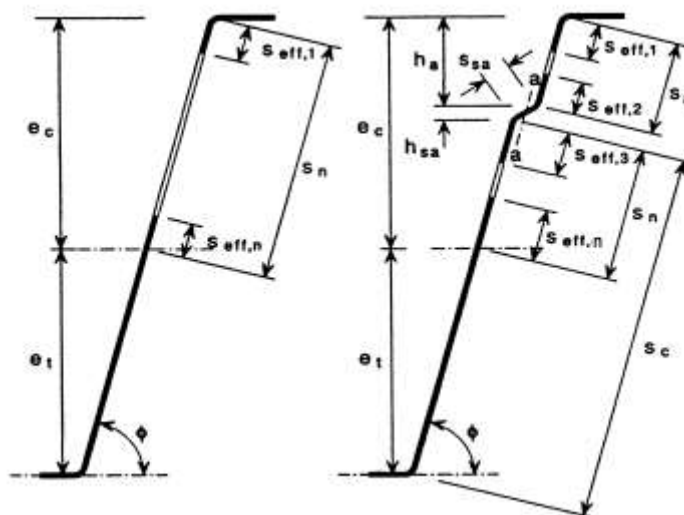
$$\text{Współczynnik redukcyjny ze względu na wyboczenie dystorsyjne } \chi_d = 0,323$$

$$\text{Zredukowana grubość } t_{red} = c_d t \frac{f_{yb} / g_{M0}}{s_{com,Ed}}$$

$$\text{Zredukowana grubość } t_{red} = 0.46 \text{ mm}$$

Efektywne pole przekroju środnika

Efektywne pole przekroju środnika jest określone według EN 1993-1-3 "5.5.3.4.3 Środniki z jednym lub dwoma usztywnieniami pośrednimi"-



Rysunek 9.3.1.2 - Pole efektywne środka

$z_g = 48.8$ mm and $h_a = 45$ mm usztywnienie środka jest usytuowane poniżej osi głównej więc nie jest ściskane i efektywne pole środka liczy się jako środek bez usztywnienia.

$$e_c = h_w - z_g = 24,2 \text{ mm} \rightarrow s_n = 24,1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_g) / z_g = 158 \text{ N / mm}^2$$

wartości efektywnego pola określone iteracją $\rightarrow$

$$s_{eff,0} = 0,95t \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0} \sigma_{com,Ed}}}$$

$$\rightarrow s_{eff,0} = 24,6 \text{ mm}$$

$$s_{eff,1} = s_{eff,0} \rightarrow s_{eff,1} = 24,6 \text{ mm}$$

$$s_{eff,n} = 1,5 s_{eff,0} \rightarrow s_{eff,n} = 36,9 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n \text{ cały środek jest efektywny}$$

$$s_{eff,1} = 0,4s_n$$

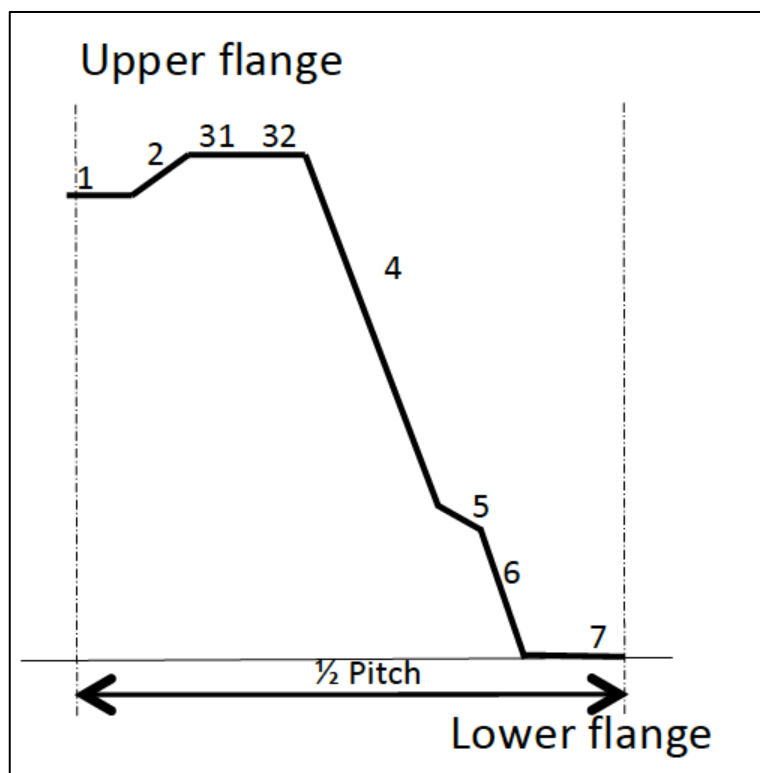
$$s_{eff,n} = 0,6s_n$$

Efektywne pole przekroju dolnej półki

W tym przypadku dolna półka jest rozciągana $\rightarrow$ efektywne pole = pole przekroju brutto

Całkowite efektywne pole przekroju

Obliczenie A_{eff}

**Rysunek 9.3.1.3** - Numery elementów

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	0.0	0.46	0.0	70.00	0.00	-23.97
Corner 1 _{inf}	0.0	0.46	0.0	70.00	0.00	-23.97
2	15.3	0.46	7.1	71.50	507.80	-25.47
Corner 1 _{sup}	0.0	0.46	0.0	73.00	0.00	-26.97
31	23.8	0.46	11.0	73.00	804.94	-26.97
32	17.6	0.71	12.5	73.00	911.17	-26.97
Corner 2 _{sup}	7.9	0.71	5.6	71.43	398.30	-25.40
4	40.4	0.71	28.7	50.50	1447.25	-4.47
Corner 3 _{sup}	3.0	0.71	2.1	28.00	59.04	18.03
5	7.5	0.71	5.3	23.50	125.58	22.53
Corner 3 _{inf}	3.0	0.71	2.1	19.00	40.07	27.03
6	13.4	0.71	9.5	9.50	90.70	36.53
Corner 2 _{inf}	7.9	0.71	5.6	1.57	8.77	44.45
7	8.3	0.71	5.9	0.00	0.00	46.03
TOTAL			95.5		4393.6	46.0

Tablica 9.3.1.3 - Długości i pola elementów

$$A_{eff} = 95.5 \text{ mm}^2$$

Położenie osi głównej efektywnego pola: $z_G = 46.0 \text{ mm}$

9.3.2. Obliczenie efektywnego pola przekroju A_{eff} z otworem

Efektywne pole górnej półki z otworem

Efektywne pole górnej półki z otworem wyznacza się według EN 1993-1-5 z polem przekroju brutto A_c : $A_{c,eff} = \rho A_c$ gdzie ρ jest współczynnikiem redukcyjnym niestateczności.

Obie części półki z otworem są traktowane jako równomiernie ściskane elementy wspornikowe.

Współczynnik redukcyjny ρ jest określony wzorem:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

Efektywna szerokość b_{eff} jest określona według tablicy 4.2 EN 1993-1-5

Naprężenie w górnej półce jest $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 284 \text{ N / mm}^2$

$b_p = 17.5 \text{ mm}$

$$\lambda_p = b_p / t / (28.4 \epsilon k_\sigma^{1/2}) \text{ z } \epsilon = (235 / f_{yb})^{1/2}$$

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 1 \rightarrow \text{współczynnik } k_\sigma = 0.43$$

$$\lambda_p = 1.544$$

$$\lambda_{pred} = \lambda_p \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred1} = 1.455$$

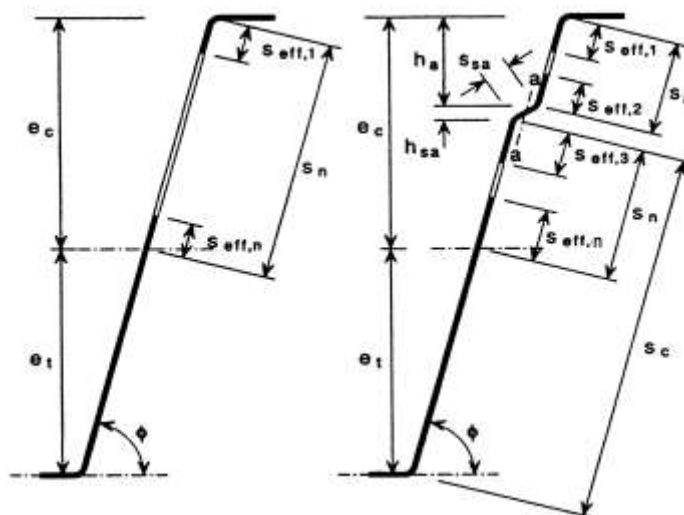
$\lambda_{pred} > 0.748$ i ponieważ $\sigma_{com} = 284 \text{ N / mm}^2 < 320 \text{ N / mm}^2$

$$\rho = \frac{1 - 0,188 / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \rightarrow \rho = 0.615$$

$$b_{eff} = \rho * b_p = 10.8 \rightarrow \boxed{0,5 b_{eff} = 5.4 \text{ m}}$$

Efektywne pole przekroju środnika

Efektywne pole przekroju środnika jest określone według EN 1993-1-3 "5.5.3.4.3 Środniki z jednym lub dwoma usztywnieniami pośrednimi"



Rysunek 9.3.2.1 - Pole efektywne środka

$z_g = 38.7$ mm and $h_a = 45$ mm usztywnienie środka jest usytuowane poniżej osi głównej więc nie jest ściskane i efektywne pole środka liczy się jako środek bez usztywnienia.

$$e_c = h_w - z_g = 34,3 \text{ mm} \rightarrow s_n = 34.6 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_g) / z_g = 284 \text{ N / mm}^2$$

wartości efektywnego pola określone iteracyjnie $\rightarrow$

$$s_{eff,0} = 0,95t \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0} \sigma_{com,Ed}}}$$

$$\rightarrow s_{eff,0} = 18.3 \text{ mm}$$

$$s_{eff,1} = s_{eff,0} \rightarrow s_{eff,1} = 18.3 \text{ mm}$$

$$s_{eff,n} = 1.5 s_{eff,0} \rightarrow s_{eff,n} = 27.5 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n \text{ cały środek jest efektywny}$$

$$s_{eff,1} = 0,4s_n$$

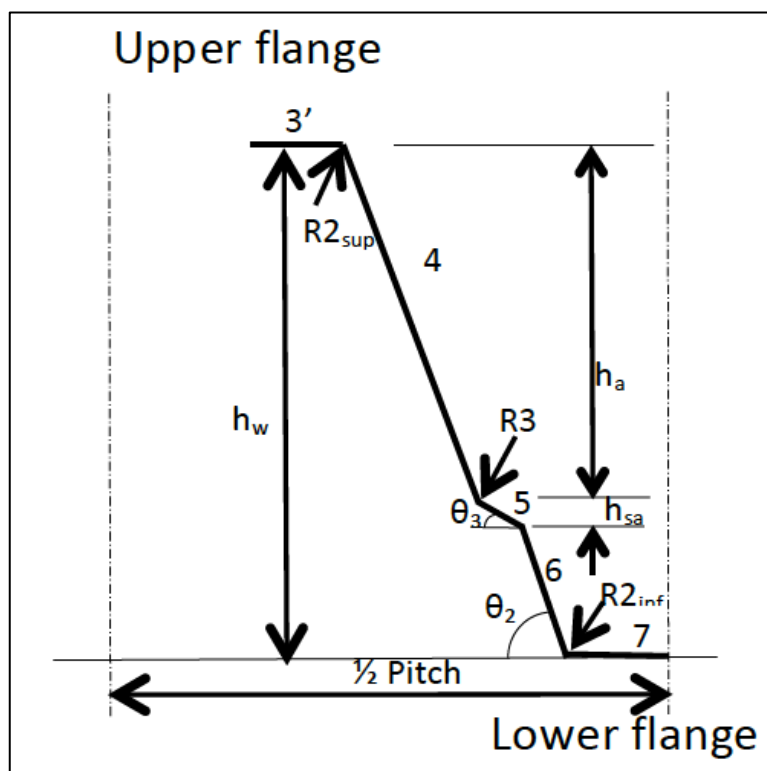
$$s_{eff,n} = 0,6s_n$$

Efektywne pole przekroju dolnej półki

W tym przypadku dolna półka jest rozciągana $\rightarrow$ efektywne pole = pole przekroju brutto

Całkowite efektywne pole przekroju

Obliczenie A_{eff}



Rysunek 9.3.2.2 - Numeracja elementów

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
3'	1.7	0.7	1.2	73.0	89.7	-38.8
Corner 2 _{sup}	7.9	0.7	5.6	71.4	398.3	-37.2
4	40.4	0.7	28.7	50.5	1447.3	-16.3
Corner 3 _{sup}	3.0	0.7	2.1	28.0	59.0	6.2
5	7.5	0.7	5.3	23.5	125.6	10.7
Corner 3 _{inf}	3.0	0.7	2.1	19.0	40.1	15.2
6	13.4	0.7	9.5	9.5	90.7	24.7
Corner 2 _{inf}	7.9	0.7	5.6	1.6	8.8	32.6
7	8.3	0.7	5.9	0.0	0.0	34.2
TOTAL			66.1		2259.4	34.2

Tablica 9.3.2.1 - Długości i pola przekroju elementów

$$A_{eff} = 66.1 \text{ mm}^2$$

Położenie osi głównej efektywnego pola: $z_G = 34.2 \text{ mm}$

9.4. Obliczenie efektywnego pola przekroju A_{eff} Następne kroki

9.4.1. Obliczenie efektywnego pola przekroju A_{eff} bez otworu

W każdym następnym kroku iteracji nowe położenie osi głównej efektywnego pola przekroju jest wzięta do obliczenia nowego naprężenia σ_{com} .

Efektywne pole przekroju górnej półki jest liczone jak w pierwszym kroku, z nowym naprężeniem σ_{com} otrzymanym dla nowego położenia osi głównej z_c

Efektywne pole przekroju środnika jest liczone jak w pierwszym kroku, z nowym naprężeniem σ_{com} otrzymanym dla nowego położenia osi głównej z_c

Efektywne pole przekroju dolnej półki

W tym przypadku dolna półka jest rozciągana → efektywne pole = pole przekroju brutto

Wartości otrzymane w krokach iteracji 2, 3 i 4 są podane w poniższej tabeli. Iteracja kończy się na kroku 4, gdzie zbieżność jest uznana jako wystarczająca

		2nd step	3rd step	4th step
Upper flange	σ_{com}	188	195	197
	ρ	0.827	0.810	0.806
	$0,5 b_{1,eff}$	19.63	19.24	19.15
Upper flange stiffener	$\sigma_{cr,s}$	80.31	81.22	81.43
	χ_d	0.33	0.33	0.33
	t_{red}	0.40	0.39	0.38
Web	e_c	27.0	27.7	27.8
	s_n	27.0	27.7	27.9
	$s_{eff,0}$	22.6	22.1	22.0
	$s_{eff,1}$	22.6	22.1	22.0
	$s_{eff,n}$	33.9	33.2	33.0
	$s_{eff,1} + s_{eff,n}$	56.4	55.3	55.0
		entire web is effective	entire web is effective	entire web is effective
	$s_{eff,1}$	0,4sn	0,4sn	0,4sn
	$s_{eff,n}$	0,6sn	0,6sn	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	93.0	92.4	92.3
Position of neutral axis	z_c	45.3	45.2	45.1

Tablica 9.4.1.1 – Wartości dla kroków 2, 3 i 4

9.4.2. Obliczenie efektywnego pola przekroju A_{eff} z otworem

W każdym następnym kroku iteracji nowa położenie osi głównej efektywnego pola przekroju jest wzięta do obliczenia nowego naprężenia σ_{com} .

Efektywne pole przekroju górnej półki jest liczone jak w pierwszym kroku, z nowym naprężeniem σ_{com} otrzymanym dla nowego położenia osi głównej z_c

Efektywne pole przekroju środnika jest liczone jak w pierwszym kroku, z nowym napr eniem σ_{com} otrzymanym dla nowego po oenia osi g ownej z_c

Efektywne pole przekroju dolnej półki

W tym przypadku dolna półka jest rozci ana → efektywne pole = pole przekroju brutto

Wartości otrzymane w krokach iteracji 2 i 3 są podane w poniższej tablicy. Iteracja kończy się na kroku 3, gdzie zbie no  jest uznana jako wystarczająca

		2nd step	3rd step
Upper flange	σ_{com}	320	320
	ρ	0.569	0.569
	$0,5 b_{1,eff}$	4.98	4.98
Web	e_c	38.8	39.0
	s_n	39.2	39.4
	$s_{eff,0}$	17.3	17.3
	$s_{eff,1}$	17.3	17.3
	$s_{eff,n}$	25.9	25.9
	$s_{eff,1} + s_{eff,n}$	43.2	43.2
		entire web is effective	entire web is effective
	$s_{eff,1}$	0,4sn	0,4sn
	$s_{eff,n}$	0,6sn	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	65.8	65.8
Position of neutral axis	z_c	34.0	34.0

Tablica 9.4.2.1 – Warto ci dla krok w 2 i 3

9.5. Obliczenie wytrzyma oci na moment prz s owy

9.5.1. Obliczenie wytrzyma oci na moment prz s owy bez otworu

Moment prz s owy jest obliczony z warto ciami kroku 3.

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
1	0.0	0.38	0.0	70.00	0.00	-24.87	0.71	0.00
Corner 1 _{inf}	0.0	0.38	0.0	70.00	0.00	-24.87	0.00	0.00
2	15.3	0.38	5.9	71.50	419.41	-26.37	3.30	4085.73
Corner 1 _{sup}	0.0	0.38	0.0	73.00	0.00	-27.87	0.00	0.00
31	23.8	0.38	9.1	73.00	664.83	-27.87	0.71	7076.68
32	17.6	0.71	12.5	73.00	911.17	-27.87	0.71	9698.82
Corner 2 _{sup}	7.9	0.71	5.6	71.43	398.30	-26.30	0.00	3867.93
4	40.4	0.71	28.7	50.50	1447.25	-5.37	38.99	4458.17
Corner 3 _{sup}	3.0	0.71	2.1	28.00	59.04	17.13	0.00	618.79
5	7.5	0.71	5.3	23.50	125.58	21.63	6.29	2516.63
Corner 3 _{inf}	3.0	0.71	2.1	19.00	40.07	26.13	0.00	1439.62
6	13.4	0.71	9.5	9.50	90.70	35.63	12.99	12251.28
Corner 2 _{inf}	7.9	0.71	5.6	1.57	8.77	43.55	0.00	10587.71
7	8.3	0.71	5.9	0.00	0.00	45.13	0.71	12068.76
TOTAL			92.3		4165.1	45.1		68670.1

Tablica 9.5.1.1 – Wartości kroku 3

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Dla ½ modułu $I_{eff} = 68670 \text{ mm}^4$

Dla 1 m $I_{eff} = 704 \text{ mm}^3$

$v = \max(45.1; 27.9) = 45.1 \text{ mm}$

$$W_{eff} = I_{eff} / v = 15.6 \text{ mm}^3$$

Wytrzymałość na moment bez otworu

$$\mathbf{M = 4,99 \text{ kNm/m}}$$

9.5.2. Obliczenie wytrzymałości na moment przęsłowy z otworem

Moment przęsłowy jest obliczony z wartościami kroku 3.

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
3	1,3	0,7	0,9	73,0	68,6	-39,0	0,7	1427,3
Corner 2 _{sup}	7,9	0,7	5,6	71,4	398,3	-37,4	0,0	7811,6
4	40,4	0,7	28,7	50,5	1447,3	-16,5	39,0	11409,9
Corner 3 _{sup}	3,0	0,7	2,1	28,0	59,0	6,0	0,0	76,9
5	7,5	0,7	5,3	23,5	125,6	10,5	6,3	609,5
Corner 3 _{inf}	3,0	0,7	2,1	19,0	40,1	15,0	0,0	476,3
6	13,4	0,7	9,5	9,5	90,7	24,5	13,0	5876,2
Corner 2 _{inf}	7,9	0,7	5,6	1,6	8,8	32,5	0,0	5882,7
7	8,3	0,7	5,9	0,0	0,0	34,0	0,7	6861,2
TOTAL			65,8		2238,3	34,0		40431,5

Tablica 9.5.2.1 – Wartości kroku 3

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$\text{Dla } \frac{1}{2} \text{ modułu } I_{eff} = 40431.5 \text{ mm}^4$$

$$\text{Dla } 1 \text{ m } I_{eff} = 415 \text{ mm}^3$$

$$v = \max(34.0; 39.0) = 39 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = I_{eff} / v = 10.6 \text{ mm}^3$$

Wytrzymałość na moment z uwzględnieniem otworu:

$$M_{hole} = 3.4 \text{ kNm/m}$$

9.5.3. Obliczenie wytrzymałości na moment przęsłowy blachy

Wytrzymałość na moment blachy z otworem jest przyjęta jako uśredniona wartość dla fałd bez otworów i z otworem.

Dany przekrój posiada cztery fałdy $n_{ribs} = 4$, z czego trzy bez otworów i jedna z otworem, więc:

$$M_{span} = (3 \cdot M + M_{hole}) / n_{ribs} = (3 \times 4.99 + 3.4) / 4$$

$$M_{span} = 4.6 \text{ kNm/m}$$

10. SAMO SPRAWDZENIE OPROGRAMOWANIA

Samo sprawdzenie jest oparte na poprzednim przykładzie.

Obliczenie wytrzymałości na moment zginający:

Obliczona wytrzymałość na moment zginający w poprzednim przykładzie jest

$$M_{span} = 4.6 \text{ kNm/m}$$

Wynik oprogramowania jest

$$M_{span} = 4.6 \text{ kNm/m}$$

Wynik jest zgodny z wynikiem programu

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] Aurubis, Nordic Systems Copper Facade, Roof and Rainwater Structures Luvata, 2007.
- [2] DIN 18807-3 Trapezoidal sheeting in building; trapezoidal steel sheeting; structural analysis and design.
- [3] Chow F.Y, Narayan R. Buckling of plates containing openings, 1984.
- [4] Azhari M., Shahidi A.R, Saadatpour M. M, Local and post buckling of stepped and perforated thin plates 2005.
- [5] Buckling of plates containing opening, 7th International speciality conference on cold formed steel structure St Louis, USA G.
- [6] Narayan R., Chow F.Y, Strength of biaxially compressed perforated plates, 1984.
- [7] Paik J.K, Ultimate strength of perforated steel plates under edge sheer loading, Thin-Walled Structures 45, 2007.
- [8] Shanmugan N.E, Design formula for axially compressed perforated plates, Thin-Walled Structures, 34, 1999.

ZAŁĄCZNIK 1

Background nowej metody obliczania profilów z otworem

D3.1	GRISPE WP3 Background document	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D3.2	GRISPE WP3 Test programme definition	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D3.3	GRISPE Test report	Christian FAUTH (KIT)
D3.4	GRISPE WP3 Test analysis and interpretation	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D3.5	GRISPE WP3 Background guidance for EN 1993-1-3 to design of sheeting with perforations or with a hole	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)