

**WP N°: 3****WP Title: eLectures: Interactive electronic lectures****Deliverable N°: D3.1****Deliverable Title : Steel decks with embossments PL****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***DRAFT N° 1 -DATE:**DRAFT N° 2- DATE:**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 STEEL DECK WITH EMBOSSEMENTS

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

Część 1-a: PORADNIK PROJEKTANTA DLA OBLICZANIA BLACH Z WYTŁOCZENIAMI UŻYWANYCH DLA STROPÓW ZESPOLONYCH

PODSUMOWANIE

Celem niniejszego poradnika projektanta jest przedstawienie nowej metody obliczeń blach stalowych z wytłoczeniami, opracowanej w ramach europejskiego projektu GRISPE PLUS.

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

Ta nowa metoda obliczeń blach stalowych z wytłoczeniami 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 wymogi 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 przedstawia przykład obliczeń;

Rozdział 8 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 – BACACIER

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 6.2.2 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.1.1 – BACACIER

Rysunek 8.1.2 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.1.3 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.1.4 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.1.5 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.1.6 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 8.2.1 – BACACIER

Rysunek 8.2.2 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.2.3 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 8.2.4 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.2.5 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 8.2.6 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 8.2.7 - 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. PRZYKŁAD OBLICZEŃ

- 8.1. Objasnienie oprogramowania "2 stiffeners – span – end support"**

8.2. Samosprawdzenie oprogramowania – szczegółowy tok obliczeń

9. BIBLIOGRAFIA

ZAŁĄCZNIK 1

ZAKRES PUBLIKACJI

Celem tej publikacji jest przedstawienie nowej metody obliczeń blach z wytłoczeniami używanych dla stropów zespolonych, 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

f_{yb} : granica plastyczności

E : Moduł Younga

$LS_{embossment}$: długość górnego wytłoczenia

$zS_{embossment}$: odległość od dolnej polki do wyższego wytłoczenia

$LI_{embossment}$: długość dolnego wytłoczenia

$zI_{embossment}$: odległość od dolnej polki do niższego wytłoczenia

h : wysokość wytłoczeń

ρ : współczynnik redukcji dla wytłoczeń

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 środnika między półką ściskaną i osią główną

s_{eff} : efektywna szerokość środnika

W_{eff} : wskaźnik wytrzymałości przekroju efektywnego

$R_{w,Rd}$: nośność środnika na zgniecenie

1. WSTĘP

1.1. Typ profilowanych blach stalowych

Poradnik ten przeznaczony jest dla obliczeń blachy stalowych z wytłoczeniami.



Rysunek 1.1.1 – Blacha stalowa z wytłoczeniami

1.2. Stan wiedzy przed projektem GRISPE

Blachy stalowe fałdowe z wytłoczeniami stały się integralnym elementem konstrukcyjnym w płytach zespolonych stropowych dachowych i pośrednich. Często jest to optymalnym rozwiązaniem do renowacji lub przebudowy budynków handlowych i przemysłowych z uwagi na wytrzymałość, lekkość i trwałość, wymagającym ograniczonej konserwacji.

W celu zwiększenia wytrzymałości na ścinanie podłużne pomiędzy stalą a betonem w stanie zespolenia z betonem, blachy są wyposażone w wytłoczenia lub wgniecenia. W fazie montażu, gdzie blacha służy jako szalunek przenosi ciężar świeżego betonu i obciążenia konstrukcyjne, efekt wytłoczeń i wgłębień nie jest korzystny dla wytrzymałości na zginanie.

W dotychczas przeprowadzonych pracach ([1] [2] [3] [4]) wykazano, że wytłoczenia zmniejszają o około 10% wytrzymałość na zginanie profilowanych blach i zwiększają o około 10% wytrzymałość nad podporą na interakcje moment + reakcja.

Jednak ograniczony zakres badań w ramach tych prac, nie pozwolił na wymierne określenie wpływu wytłoczeń z uwzględnieniem ich wymiarów i kształtów, na wytrzymałość blach.

Norma EN 1994-1 dla projektowania stropów zespolonych odwołuje się do EN 1993-1-3 dla obliczenia blach w fazie montażowej.

Jednakże EN 1993-1-3 nie uwzględnia się profili z wytłoczeniami stosowanymi w blachach dla płyt zespolonych.

Podsumowując w aktualnych tekstach Eurokodów, jedyną opcją dla producentów do zaprojektowania tej rodziny produktów jest przeprowadzenie kosztownych i czasochłonnych testów.

1.3. Główne wyniki projektu GRISPE

W celu określenia wytrzymałości blach fałdowych z wytłoczeniami i bez wytłoczeń wykonano obszerny program złożony z 144 testów "globalnych" (Rysunki 1.3.1, 1.3.2 i 1.3.4), zgodnie z EN 1993-1-3 Aneks A

Ponadto, w celu określenia lokalnego wpływu wytłoczeń, wykonano 54 badania rozciągania na małych próbkach z wytłoczeniami i bez wytłoczeń.

Na podstawie tego programu badań określono współczynnik redukcji grubości profilu z wytłoczeniami.

Ten innowacyjny model zachowania został zweryfikowany poprzez szczegółową analizę eksperymentalnych wyników 144 testów globalnych i opracowano metody obliczania wytrzymałości na moment dodatni w przęśle, wytrzymałości na zmiażdżenie środników

nad podporami skrajnymi, i wytrzymałości na interakcję: moment + reakcja na podporach pośrednich



Rysunek 1.3.1 – Badania wytrzymałości na moment przęsłowy



Rysunek 1.3.2 – Badania wytrzymałości na podporze skrajnej



Rysunek 1.3.3 – Badania wytrzymałości na podporze pośredniej

1.4. OGÓLNE WYMAGANIA I ZASADY PROJEKTOWANIA

- (1) Obliczanie blachy stalowych z wytłoczeniami 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 użytkowalności 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 wytłoczeniami 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..

2.2. Przepisy technologiczne dla profilowanych blach

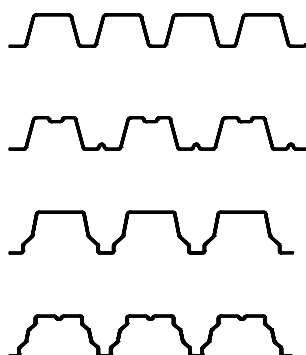
2.2.1. Kształty przekrojów

(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

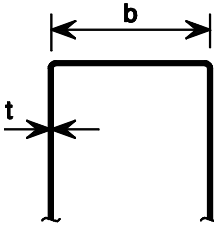
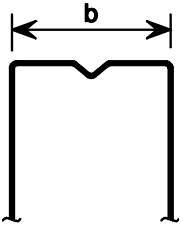
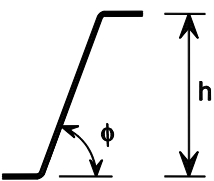
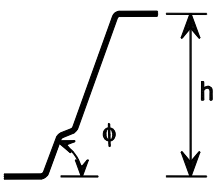
(4) Blachy profilowane na zimno mogą być nieusztywnione lub mogą zawierać podłużne usztywnienia pośrednie w pasach i środkach.

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

Płyty stalowe są oznakowane znakiem CE zgodnie z normą EN 1090-1.

4. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU

Blacha stalowa

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 ICH KOMBINACJE

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

6. ZASADY WYMIAROWANIA

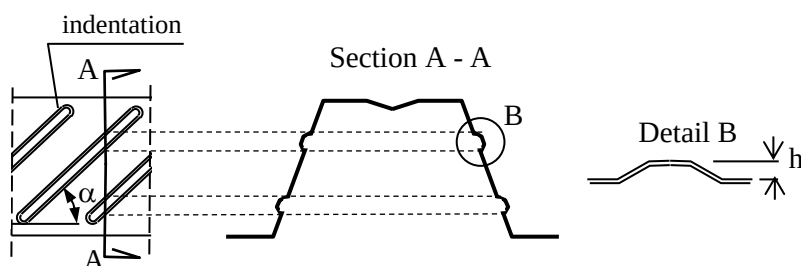
6.1. Wstęp

Niniejsza metoda obliczeń jest przeznaczona dla sprawdzenia następujących kryteriów wytrzymałości blach z wytłoczeniami:

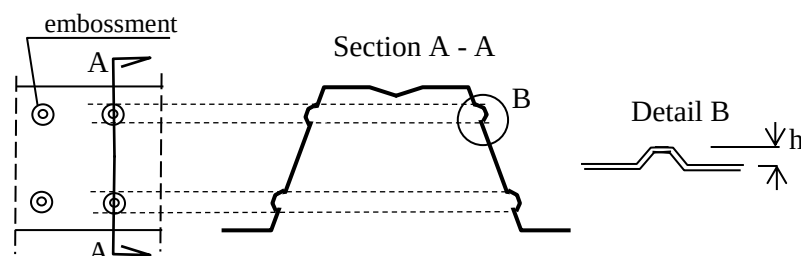
- na moment zginający
- na obciążenie skupione liniowe (w kierunku poprzecznym) lub reakcję podporową
- na jednoczesne działanie momentu zginającego i obciążenie skupione liniowe lub reakcję podporową

6.2. Dziedzina zastosowania podanej metody obliczeń

Niniejsza metoda obliczeń dotyczy blach z wytłoczeniami podłużnymi (rysunek 6.2.1) i / lub okrągłymi (rysunek 6.2.2)



Rysunek 6.2.1 – Blacha z wytłoczeniami podłużnymi



Rysunek 6.2.2 – Blacha z wytłoczeniami okrągłymi

Zakres stosowania:

$$0,71 \text{ mm} \leq t_{\text{cor}} \leq 1,21 \text{ mm}$$

$$h \leq 4,0 \text{ mm}$$

$$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$$

Dla grubości pośrednich współczynnik redukcji p można wyznaczyć za pomocą interpolacji liniowej między sąsiednimi wartościami t podanymi w tabelicy 6.3.

Dla $t_{\text{cor}} > 1,21 \text{ mm}$ mogą być przyjęte wartości podane dla $t_{\text{cor}} = 1,21 \text{ mm}$.

6.3. Procedura obliczeń

6.3.1. Efektywny przekrój blachy z wytłoczeniami

(1) W pierwszym kroku efektywna szerokość płaskiej ściany z wytłoczeniami (rysunek 6.2.1 i rysunek 6.2.2) powinna być obliczona zgodnie z 5.5.1 (2) z EN 1993-1-3, bez uwzględnienia wytłoczeń.

(2) W drugim kroku należy uwzględnić wytłoczenia, (rysunki 6.2.1 / 6.2.2) traktując je jako elementy płaskie o zmniejszonej grubości $t_{red} = \rho * t_{cor}$ gdzie:

$$\rho = A * h + B$$

h jest wysokością wytłoczenia w mm (zobaczyć rysunki 6.2.1 i 6.2.2)

A i B są współczynnikami podanymi w tabelcy 6.3.1

Type of local deformation	t (mm)	h (mm)	A	B
Indentation	0.71	0 - 1.5	-0.533	1.000
		1.5 - 2.75	-0.112	0.368
		2.75 - 4.0	-0.025	0.128
	0.96	0 - 1.5	-0.467	1.000
		1.5 - 2.75	-0.186	0.580
		2.75 - 4.0	-0.020	0.122
	1.21	0 - 1.5	-0.401	1.000
		1.5 - 2.75	-0.260	0.792
		2.75 - 4.0	-0.015	0.116
Embossment	0.71	0 - 1.5	-0.267	1.000
		1.5 - 2.75	-0.056	0.684
		2.75 - 4.0	-0.013	0.564
	0.96	0 - 1.5	-0.234	1.000
		1.5 - 2.75	-0.093	0.790
		2.75 - 4.0	-0.010	0.561
	1.21	0 - 1.5	-0.201	1.000
		1.5 - 2.75	-0.130	0.896
		2.75 - 4.0	-0.008	0.558

Tablica 6.3.1 – Wartości współczynników A i B

(3) Położenie przekroju dla obliczenia jego wytrzymałości na zginanie powinno być wybrane tak, aby wywoływało ono najbardziej niekorzystny efekt

6.3.2. Moment wytrzymałości na zginanie blachy z wytłoczeniami

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 nieprężeniach $\sigma_{max,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$, uwzględniając wpływ wyboczenia miejscowego i dystorsyjnego, zgodnie z 5.5. i z 7.1

6.3.3. Obciążenie skupione i reakcja na podporze

Nośność na zmiężdżenie środka blachy z wytłoczeniami oblicza się według wzoru (6.18) z EN 1993-1-3

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{r/t} \right) \left[0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right] \left(2,4 + (\phi/90)^2 \right) / \gamma_{M1} \quad (6.18)$$

6.3.4. Zginanie i obciążenie poprzeczne liniowe

(1) W przypadku blach z wytłoczeniami, są stosowane wzory (6.28a), (6.28b) i (6.28c) EN 1993-1-3, gdzie:

$M_{c,Rd}$ = nośność przekroju przy zginaniu ustalona z uwzględnieniem wytłoczeń zgodnie z (6.3.2)

$R_{w,Rd}$ = nośność poprzeczna środnika ustalona z uwzględnieniem wytłoczeń zgodnie z (6.3.3)

(2) W przypadku elementów obciążonych jednocześnie momentem zginającym M_{Ed} i obciążeniem liniowym F_{Ed} warunki nośności mają postać:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

$$F_{Ed} / R_{w,Rd} \leq 1$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25$$

7. SPECYFICZNE KRYTERIA

Kryteria wymiarowania nie objęte niniejszą instrukcją

Ogniowe

Sejsmiczne

Aspekty środowiskowe

Termiczne

Akustyczne

Inne

8. PRZYKŁAD OBLICZEN

8.1. Objaśnienie oprogramowania "2 stiffeners - span - end support"

Oprogramowanie to służy do obliczania wytrzymałości na moment zginający i na reakcje na podporze skrajnej dla blachy z dwoma żeberkami podłużnymi w górnej półce, z podłużnymi wytłoczeniami w środkach.



Rysunek 8.1.1 – Blacha z dwoma żeberkami w górnej półce i z podłużnymi wytłoczeniami

1) Określanie stosunku wytłoczenia ρ

Czerwoną komórkę
wypełnić wartością t_{nom} profilu: 0.75 lub 1

Choose $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$ or $t_{nom} = 1 \text{ mm}$

należy

Czerwona komórka

Height of the embossment $h_e < 4 \text{ mm}$

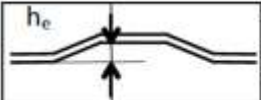
należy

wypełnić wysokością wytłoczenia, która powinna być $\leq 4 \text{ mm}$

Następnie wartość współczynnika ρ zostanie automatycznie wyświetlona przez oprogramowanie

Na przykład:

- kiedy $t_{nom} = 1 \text{ mm}$ i $h_e = 3 \text{ mm}$

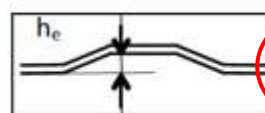
Choose $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$ or $t_{nom} = 1 \text{ mm}$	1						
	<table> <tr> <td colspan="2">if $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$</td></tr> <tr> <td>$h_e < 4 \text{ mm}$</td><td>$\rho$</td></tr> <tr> <td></td><td></td></tr> </table>	if $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$		$h_e < 4 \text{ mm}$	ρ		
if $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$							
$h_e < 4 \text{ mm}$	ρ						

Height of the embossment $h_e < 4 \text{ mm}$	3						
<table> <tr> <td colspan="2">if $t_{nom} = 1 \text{ mm}$</td></tr> <tr> <td>$h_e < 4 \text{ mm}$</td><td>ρ</td></tr> <tr> <td>3</td><td>0.062</td></tr> </table>		if $t_{nom} = 1 \text{ mm}$		$h_e < 4 \text{ mm}$	ρ	3	0.062
if $t_{nom} = 1 \text{ mm}$							
$h_e < 4 \text{ mm}$	ρ						
3	0.062						

Rysunek 8.1.2 – Komórki do wypełnienia gdy $t_{nom} = 1 \text{ mm}$

➤ gdy $t_{nom} = 0,75$ mm i $h_e = 2$ mm

Choose $t_{nom} = 0.75$ mm or $t_{nom} = 1$ mm 0.75



if $t_{nom} = 0,75$ mm	
$h_e < 4$ mm	ρ
2	0.150

Height of the embossment $h_e < 4$ mm 2

if $t_{nom} = 1$ mm	
$h_e < 4$ mm	ρ

Rysunek 8.1.3 - Komórki do wypełnienia gdy $t_{nom} = 0.75$ mm

Wartość ta zostanie automatycznie wyświetlona w tablicy w punkcie "2) DANE"

ratio ρ
0,150

2) DANE

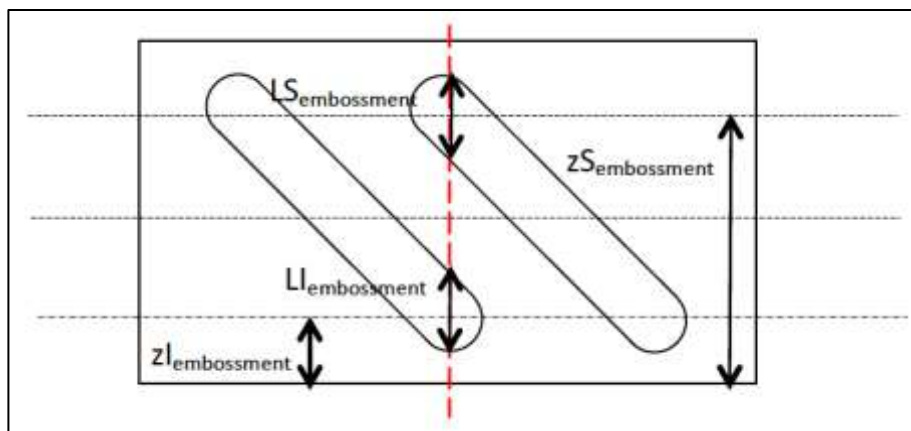
Wszystkie czerwone komórki muszą być wypełnione wymiarami blachy (Rysunek 8.1.4 i Rysunek 8.1.5): wewnętrzne promienie zagięć R , kąty θ , obliczeniowa grubość t , nominalna grubość t_{nom} , moduł, wysokość środka h_w , głębokość górnego usztywnienia d_s , głębokość dolnego usztywnienia d_i , granica plastyczności f_{yb} , moduł Younga E , długość l_{rs} długość górnego wytłoczenia $LS_{embossment}$, odległość od dolnej półki do górnego wytłoczenia, długość dolnego wytłoczenia $LI_{embossment}$, I odległość od dolnej półki do dolnego wytłoczenia:

$R1$ (mm)	θ_1 (rad)	$R2_{sup}$ (mm)	$R2_{inf}$ (mm)	θ_2 (rad)	t_{nom} (mm)	t (mm)

Pitch (mm)	h_w (mm)	d_s (mm)	l_{rs} (mm)	d_i (mm)	f_{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}

$LS_{embossment}$ (mm)	$LI_{embossment}$ (mm)	$zS_{embossment}$ (mm)	$zI_{embossment}$ (mm)

Tablica 8.1.1 – Komórki do wypełnienia wymiarami blachy



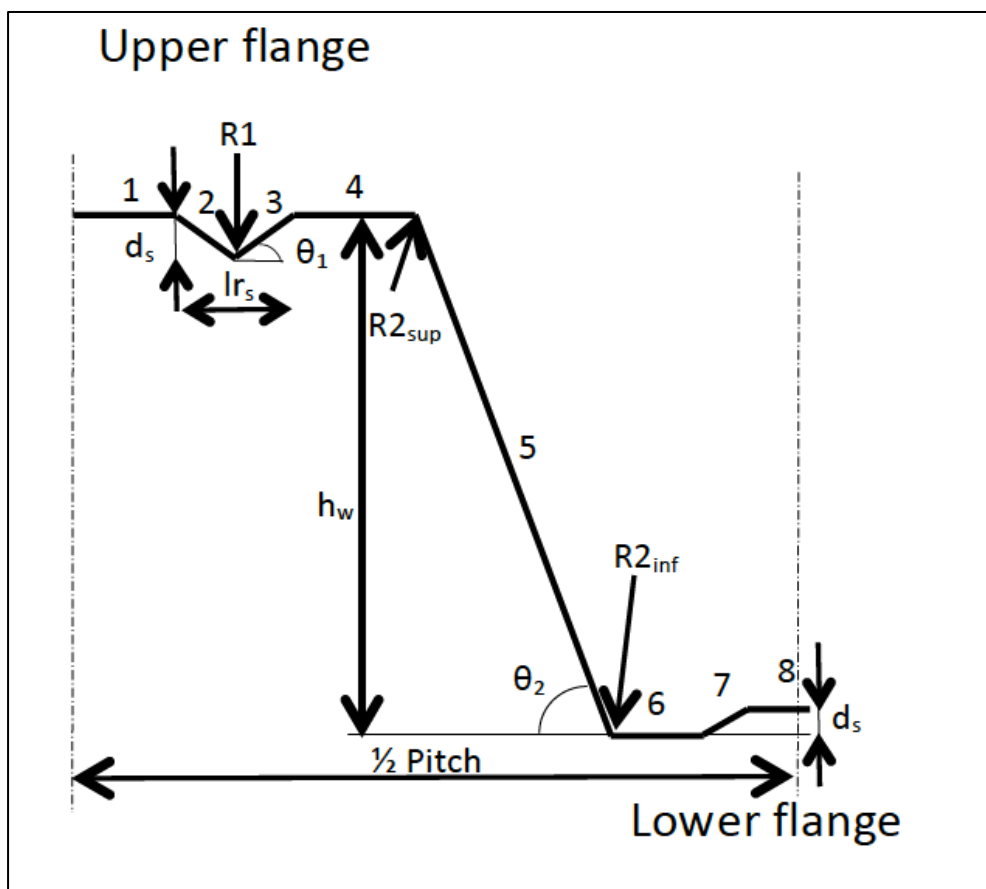
Rysunek 8.1.4 – Wymiary podłużnych wytłoczeń

Następnie wartość współczynnika ρ zostanie automatycznie wyświetlona przez oprogramowanie

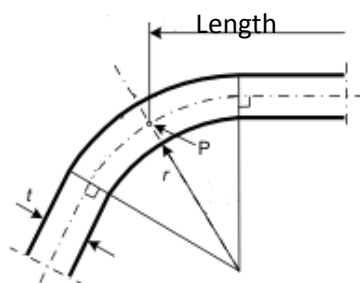
Należy wypełnić czerwone komórki poniższej tablicy wymiarami (b_{pi}) wszystkich elementów $\frac{1}{2}$ modulu. Numery elementów są podane na Rysunku 8.1.5. Długości elementów są mierzone od punktu środkowego « P » przylegającego elementu narożnego jak pokazane na Rysunku 8.1.6.

Element	b_{pi} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

Tablica 8.1.2 Komórki do wypełnienia wymiarami elementów



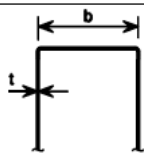
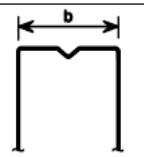
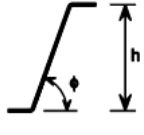
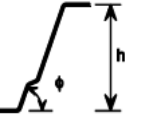
Rysunek 8.1.5 – Numeracja i dane elementów



Rysunek 8.1.6 – Długość elementów mierzona w odniesieniu do środkowego punktu « P »

3) Sprawdzenie proporcji geometrycznych

Program automatycznie wyświetla sprawdzenie proporcji geometrycznych.

	$b/t=$	94,37	 	$b/t \leq 500$
	$\theta_2=$	72,00		
	$h/t=$	84,51	 	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
	$500 \sin(\theta_2)=$	475,52		$h/t \leq 500 \sin \phi$
	$r < 0,04 t E / f_y$	18,64		

Tablica 8.1.3 - Automatyczne wyświetlenie sprawdzenia proporcji geometrycznych

4) WYNIKI

Program automatycznie wyświetla wyniki:

⇒ wytrzymałość na moment zginający

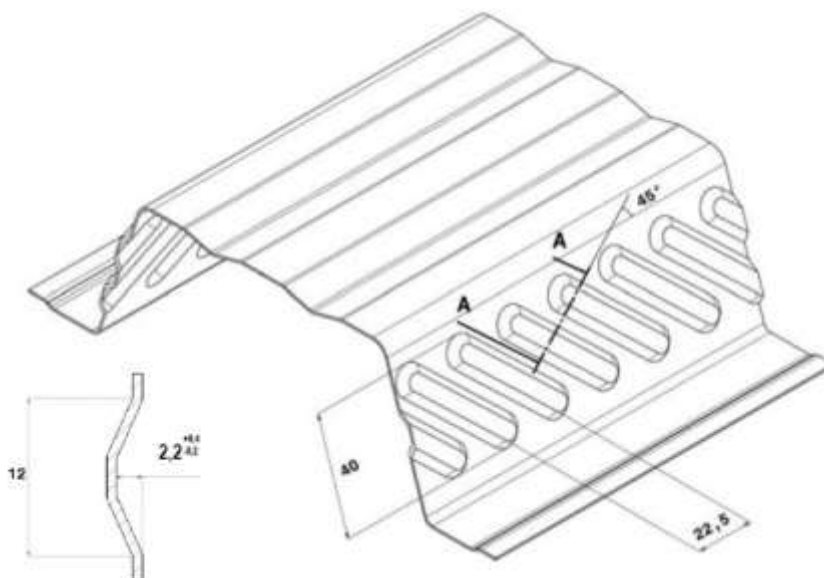
$M_{span} = 4.45 \text{ kNm/m}$

⇒ wytrzymałość na reakcje na podporze skrajnej:

$R_{endsupport} = 6.89 \text{ kN/m}$

8.2. Samosprawdzenie oprogramowania – szczegółowy tok obliczeń

Samosprawdzenie polega na obliczeniu wytrzymałości na moment zginający profilu o grubości = 0,75 mm i wysokości wytłoczeń 2,2 mm



Rysunek 8.2.1 - Profil do obliczenia

1) Określanie współczynnika redukcyjnego ρ **Oprogramowanie**

if $t_{nom} = 0,75$ mm	
$h_e < 4$ mm	ρ
2.2	0.122

Tablica 8.2.1 - Współczynnik ρ określony przez program**Obliczenie:**

$\rho = A \cdot h + B$, A i B są współczynnikami podanymi w tablicy 6.3.1

Dla $h = 2,2$ ($1.5 < h < 2.75 \rightarrow A = -0,112$; $B = 0.368$) **$\rho = 0,122$**

2) DANE**Oprogramowanie i obliczenia:**

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	t_{nom} (mm)	t (mm)
0,00	0,20	5,00	5,00	1,26	0,75	0,71

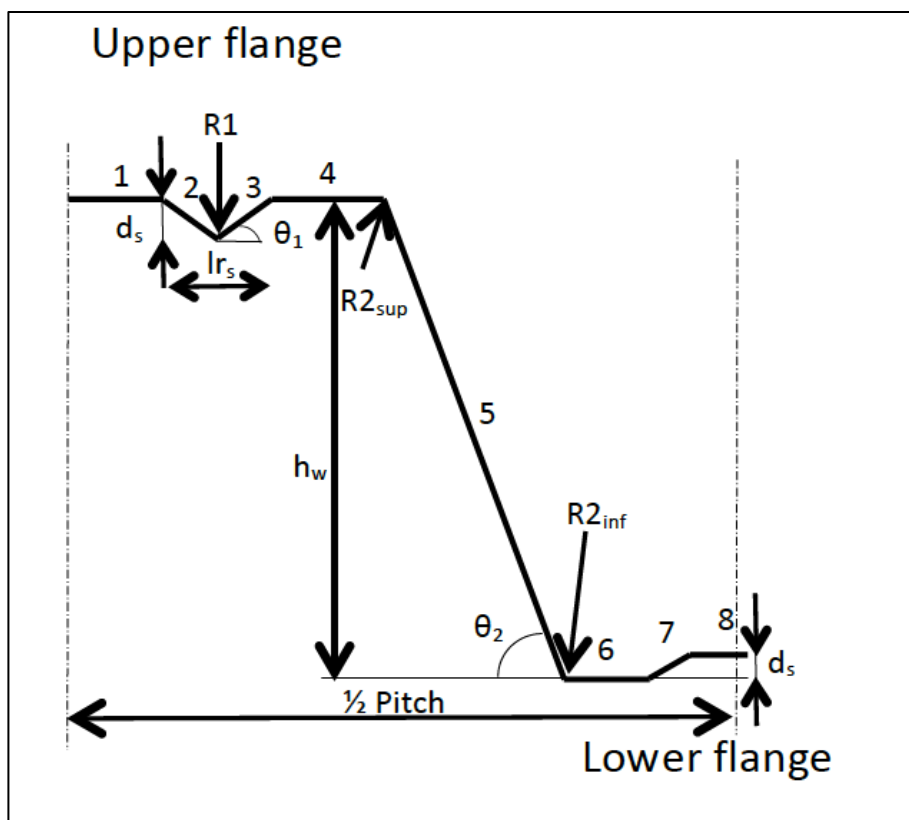
Pitch (mm)	hw (mm)	d _s (mm)	lr _s (mm)	d _i (mm)	f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}
207,00	60,00	2,50	25,00	1,00	320,00	210000,00	1,00

hS _{embossment} (mm)	hI _{embossment} (mm)	zS _{embossment} (mm)	zI _{embossment} (mm)
16.97	16.97	41.25	18.75

Tablica 8.2.2 - Komórki wypełnienione wymiarami blachy

Element	b _{pi} (mm)
1	8.50
2	12.75
3	12.75
4	20.00
5	61.70
6	20.50
7	1.41
8	9.00

Tablica 8.2.3 - Komórki wypełnienione wymiarami elementów



Rysunek 8.2.2 – Numeracja elementów

4) WYNIKI

Oprogramowanie:

⇒ wytrzymałość na moment zginający

$M_{span} =$	4.45	kNm/m
--------------	------	-------

⇒ wytrzymałość na reakcje na podporze skrajnej:

$R_{end support}$	6.89	kN/m
-------------------	------	------

Obliczenie:

Obliczenie pola przekroju brutto A_g A_g jest sumą pól wszystkich elementów (długość x t)

$$A_g = 104.2 \text{ mm}^2$$

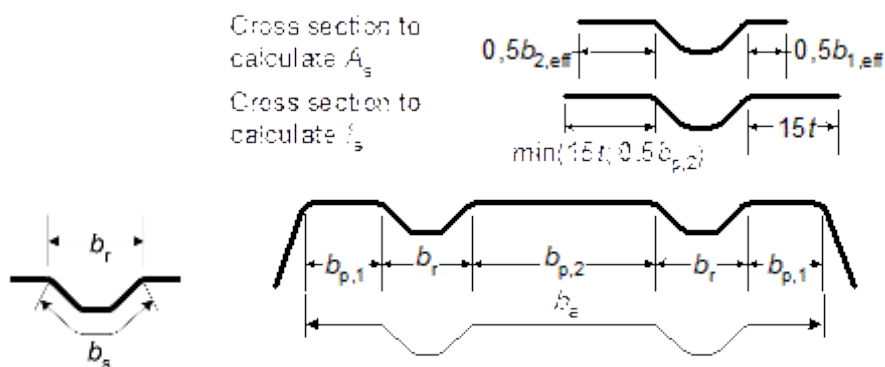
Położenie osi głównej: $z_G = 34.7 \text{ mm}$ **Obliczenie efektywnego pola przekroju A_{eff} :**

Pierwszy krok

A_{eff} jest sumą efektywnych pól wszystkich elementów

Efektywne pole przekroju górnej półki

Górna półka ma 2 usztywnienia więc efektywne pole górnej półki jest określone według EN 1993-1-3 § "5.5.3.4.2 Pasy z usztywnieniami pośrednimi"



Rysunek 8.2.3 – Pas z dwoma usztywnieniami

napężenie w górnej półce jest $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 233 \text{ N / mm}^2$

$b_{p,1} = 20 \text{ mm}$, $\rho = 1 \rightarrow 0,5 b_{1,eff} = 10 \text{ mm}$

$b_{p,2} / 2 = 8,5 \text{ mm}$, $\rho = 1 \rightarrow 0,5 b_{2,eff} = 8,5 \text{ mm}$

Usztywnienia:

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

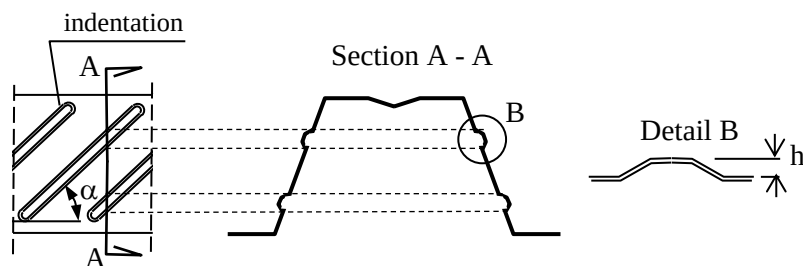
Napężenie krytyczne $\sigma_{cr,s} = 103 \text{ N/mm}^2$

Współczynnik redukcyjny ze względu na wyboczenie dystorsyjne $\chi_d = 0,374$

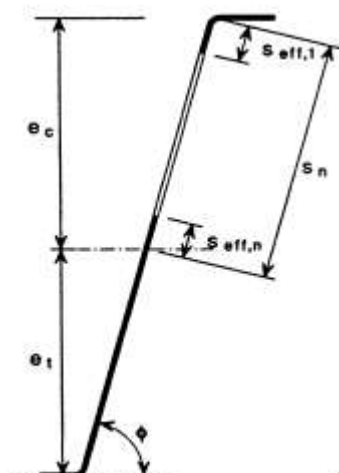
Efektywne pole przekroju środknika

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

Efektywne pola pasów z wytłoczeniami (Rysunek 8.2.7) są najpierw określone według EN 1993-1-3, 5.5.1(2)



Rysunek 8.2.4 – Blacha z wytłoczeniami podłużnymi



Rysunek 8.2.5 – Pole efektywne środniaka

$$e_c = h_w - z_G = 25,3 \text{ mm} \rightarrow s_n = 25,9 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 233 \text{ N / mm}^2 \rightarrow s_{eff,0} = 20,24 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} = 20,24 \text{ mm}$$

$$\rightarrow s_{eff,n} = 30,36 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n \text{ cały środniak jest efektywny}$$

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

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

Efektywne pole przekroju dolnej półki

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

Całkowite efektywne pole przekroju

$$A_{eff} = 89 \text{ mm}^2$$

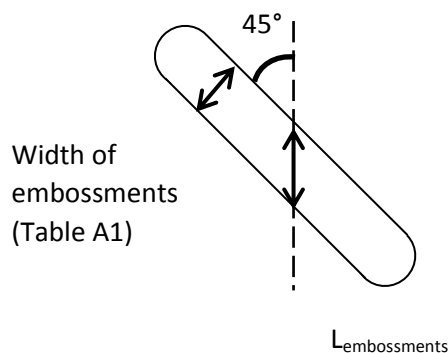
Położenie osi głównej efektywnego pola przekroju: $z_G = 30,5 \text{ mm}$

Iteracja: Następne kroki

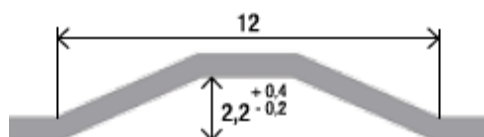
W następnych krokach nowe położenie osi głównej efektywnego pola przekroju jest wzięta do obliczenia nowego σ_{com} .

Efektywne pole przekroju górnej półki jest określone jak w pierwszym kroku tylko ze z nowym σ_{com} policzonym dla nowej policzonej pozycji osi głównej z_c

Efektywne pole przekroju środniaka jest określone traktując wytłoczenia jako elementy płaskie zredukowanej grubości $t_{red} = 0,122 \times 0,71 = 0,087 \text{ mm}$ na długości wytłoczenia $L_{embossments}$ (Rysunek 8.2.6)

**Rysunek 8.2.6** – Długość podłużnego wytłoczenia

$L_{\text{embossments}} = \text{szerokość} / \sin(45^\circ)$ gdzie szerokość = 12 mm

**Rysunek 8.2.7** – Wysokość wytłoczenia

Wiec $L_{\text{embossments}} = 16,97 \text{ mm}$

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

		2nd step	3rd step
Upper flange	σ_{com}	309	320
	ρ pour $b_{2,\text{eff}}$	1	1
	$0,5 b_{2,\text{eff}}$	8.50	8.50
	ρ pour $b_{1,\text{eff}}$	1	1
	$0,5 b_{1,\text{eff}}$	10.00	10.00
Upper flange stiffener	$\sigma_{\text{cr},s}$	102.7	102.7
	χ_d	0.37	0.37
	t_{red}	0.27	0.27
Web	e_c	29.5	31.1
	S_n	30.3	32.0
	$S_{\text{eff},0}$	17.6	16.7
	$S_{\text{eff},1}$	17.6	16.7
	$S_{\text{eff},n}$	26.4	25.0
	$S_{\text{eff},1} + S_{\text{eff},n}$	43.9	41.6
		entire web is effective	entire web is effective
	$S_{\text{eff},1}$	0,4sn	0,4sn
	$S_{\text{eff},n}$	0,6sn	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	63.9	63.5
Position of neutral axis	z_c	28.9	28.7

Tablica 8.2.4 – Wartości dla kroków 2 i 3

Obliczenie momentu przęsłowego:

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

$$\text{Dla } 1/2 \text{ modulu } I_{eff} = 45029 \text{ mm}^4$$

$$\text{Dla blachy } I_{eff} = 435 \text{ mm}^3$$

$$v = \max(28,7; 31,3) = 31,3 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = I_{eff} / v = 13,9 \text{ mm}^3$$

$$M_{span} = 4,45 \text{ kNm/m}$$

Wynik jest zgodny z wynikiem programu

$M_{span} =$	4.45	kNm/m
--------------	------	-------

Obliczenie nośności środnika:

Nośność poprzeczna jednego środnika blachy z wytłoczeniem oblicza się według wzoru (6.18) z EN 1993-1-3

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{r/t} \right) \left[0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right] \left(2,4 + (\phi/90)^2 \right) / \gamma_{M1} \quad (6.18)$$

$$\alpha = 0,075$$

$$t = 0,71 \text{ mm}$$

$$r = 5 \text{ mm}$$

$$l_a = 10 \text{ mm}$$

$$\phi = 72$$

$$\text{Dla środnika : } R_{w,Rd} = 713 \text{ N}$$

$$\text{Na metr: } R_{w,Rd} = 6,89 \text{ kN/m}$$

Wynik jest zgodny z wynikiem programu

$R_{endsupport}$	6.89	kN/m
------------------	------	------

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Davies J.M and Jiang C., Design Procedures for Profiled Metal Sheeting and Decking in Thin-Walled Structures Vol. 27, No. I, pp. 43-53, Elsevier, 1997.
- [2] Luure P. and Crisinel M. Essais comparatifs sur tôles nervurées de plancher mixtes avec et sans bossages, ICOM/EPFL, Nov. 1993.
- [3] Mistakidis, E.S, Kyriakos, G. and Dimitriadis, L., Thin-Walled Structures: Bending resistance of composite slabs made with thin-walled steel sheeting with indentations or embossments, University of Thessaly, 38334 Volos, 2007.
- [4] Composite slabs and beams using steel decking: best practice for design and construction, MCRMA Technical Paper No. 13 SCI Publication, March 2009.

ZAŁĄCZNIK 1

Background nowej metody obliczania blach stalowych z wytłoczeniami używanych dla stropów zespolonych

D1.1	GRISPE WP1 Background document	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.2	GRISPE WP1 Test programme definition	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.3	GRISPE Test report of steel trapezoidal sheeting with and without embossments and outward stiffeners	Christian FAUTH (KIT)
D1.4	GRISPE WP1 Test analysis and interpretation	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.5	GRISPE Background guidance for EN 1993-1-3 to design of sheeting with embossments and indentations	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)

**Część 2-a: PRZYKŁAD ROBOCZY DLA
OBLICZANIA BLACH Z WYTŁOCZENIAMI,
UŻYWANYCH DLA STROPÓW
ZESPOLONYCH**

PODSUMOWANIE

Celem niniejszego przykładu roboczego obliczeń jest przedstawienie nowej metody obliczeń blach stalowych z wytłoczeniami, opracowanej w ramach europejskiego projektu GRISPE PLUS.

Przykład roboczy oparty jest na ogólnych zasadach Eurocodu, i w szczególności na normach EN 1993-1-3 i EN 1993-1-5.

Ta nowa metoda projektowania poprzez obliczenia dla blach stalowych z wytłoczeniami opiera się na badaniach przeprowadzonych w ramach europejskiego projektu GRISPE (2013-2016).

Podstawy tej metody opisano w załączniku 1.

Rozdział 1 podaje przekrój blachy, dane i wymiary wytłoczeń

Rozdział 2 przedstawia obliczenie pola przekroju brutto

Rozdział 3 przedstawia obliczenie efektywnego pola przekroju

Rozdział 4 przedstawia obliczenie wytrzymałości na moment przęsłowy

Rozdział 5 przedstawia obliczenie nośności środnika

Przedmowa

Niniejszy przykład roboczy 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 przykład roboczy został napisany przez PALISSON Anna i został omówiony w grupie roboczej 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 – BACACIER

Rysunek 1.1.1 – Sokol Palisson Consultants

Rysunek 1.3.1 – BACACIER

Rysunek 1.3.2 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 1.3.3 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 2.1 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 3.1.1 – Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 3.1.2 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 3.1.3 - Kopia EN 1993-1-3

Rysunek 3.1.4 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 3.2.1 - Sokol Palisson Consultants

Rysunek 5.1 – Kopia EN 1993-1-3

ZAWARTOŚĆ

Zakres publikacji

Symbole

1. WSTĘP

- 1.1. Przekrój blachy**
- 1.2. Dane blachy**
- 1.3. Wymiary wytłoczeń**

2. OBLICZENIE POLA PRZEKROJU BRUTTO A_g

3. OBLICZENIE EFEKTYWNEGO POLA PRZEKROJU A_{eff}

- 3.1. Krok 1**
- 3.2. Iteracja: Krok 2**
- 3.3. Iteracja: Krok 3**

4. OBLICZENIE WYTRZYMAŁOŚCI NA MOMENT PRZĘSŁOWY

5. OBLICZENIE NOŚNOŚCI ŚRODNIKA

ANNEX 1

ZAKRES PUBLIKACJI

Celem tej publikacji jest przedstawienie nowej metody obliczeń blach z wytłoczeniami używanych dla stropów zespolonych, 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

f_{yb} : granica plastyczności

E : Moduł Younga

$LS_{\text{embossment}}$: długość górnego wytłoczenia

$zS_{\text{embossment}}$: odległość od dolnej polki do wyższego wytłoczenia

$LI_{\text{embossment}}$: długość dolnego wytłoczenia

$zI_{\text{embossment}}$: odległość od dolnej polki do niższego wytłoczenia

h : wysokość wytłoczeń

ρ : współczynnik redukcji dla wytłoczeń

t_{red} : grubość zredukowana

b_{pi} : szerokość obliczeniowa płaskiej ścianki

$b_{i,\text{eff}}$: 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 polki ściskanej do osi głównej

s_n : szerokość środniczki między półką ściskaną i osią główną

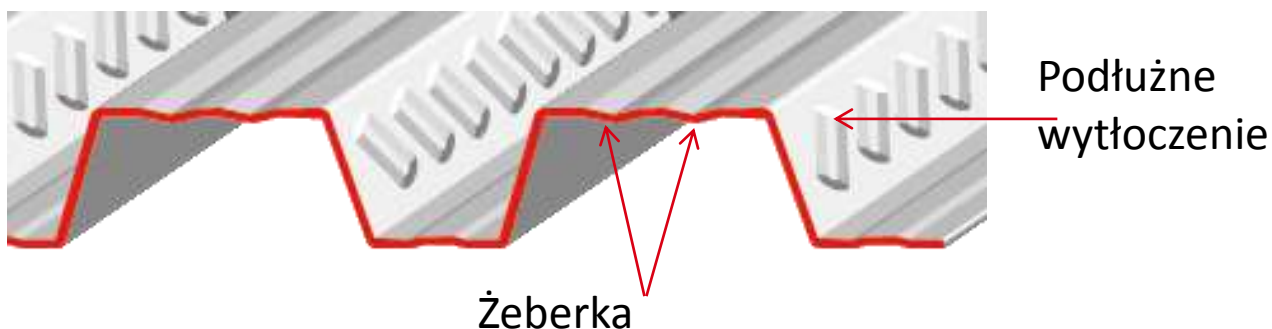
s_{eff} : efektywna szerokość środniczki

W_{eff} : wskaźnik wytrzymałości przekroju efektywnego

$R_{w,Rd}$: nośność środniczki na zgniecenie

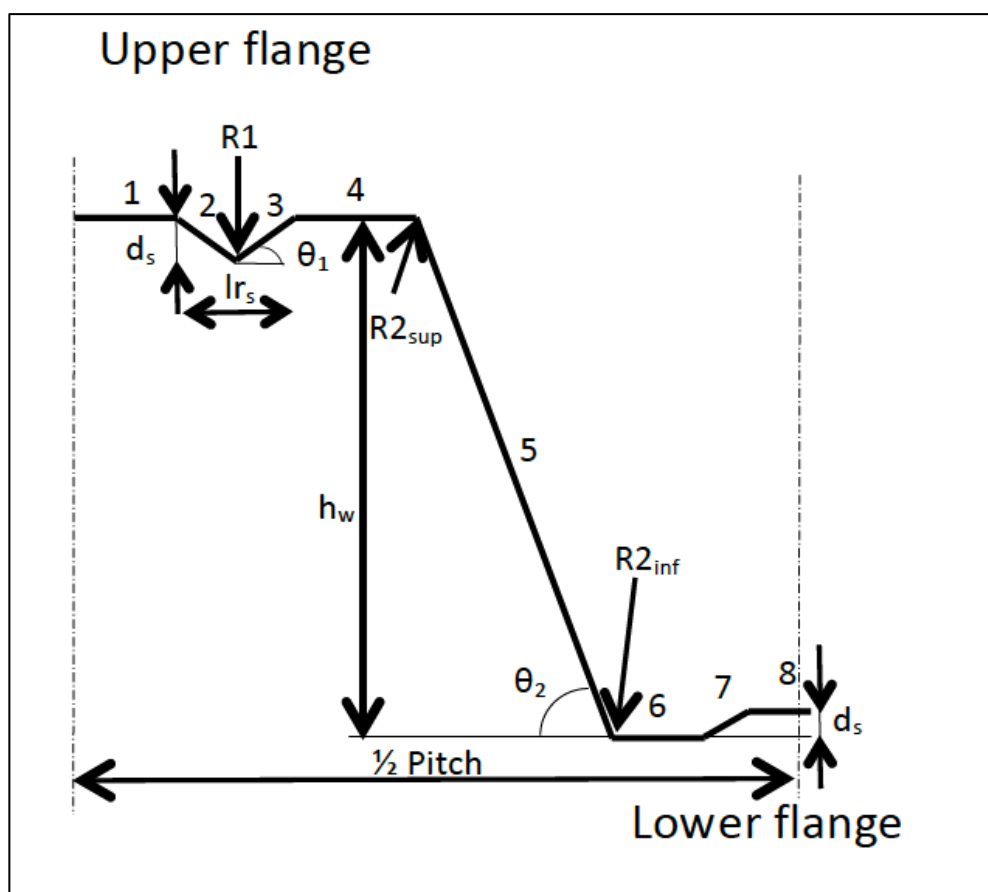
1. WSTĘP

Przykład ten wyjaśnia jak należy uwzględniać podłużne wytłoczenia w obliczeniu wytrzymałości na moment zginający i na reakcje na podporze skrajnej dla blachy stalowej z dwoma żeberkami podłużnymi w górnej półce.



Rysunek 1.1 – Blacha z dwoma żeberkami w górnej półce i z podłużnymi wytłoczeniami

1.1. Przekrój blachy



Rysunek 1.1.1 – Numeracja elementów

1.2. Dane blachy

Przykład ten zrealizowany jest dla następujących danych:

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	t _{nom} (mm)	t (mm)
0,00	0,20	5,00	5,00	1,26	0,75	0,71

Pitch (mm)	h _w (mm)	d _s (mm)	l _r (mm)	d _i (mm)	f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}
207,00	60,00	2,50	25,00	1,00	320,00	210000,00	1,00

hS _{embossment} (mm)	hI _{embossment} (mm)	zS _{embossment} (mm)	zI _{embossment} (mm)
16.97	16.97	41.25	18.75

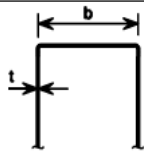
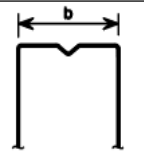
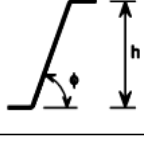
Tablica 1.2.1 – Charakterystyka blachy

Element	b _{pi} (mm)
1	8.50
2	12.75
3	12.75
4	20.00
5	61.70
6	20.50
7	1.41
8	9.00

Tablica 1.2.2 - Wymiary elementów

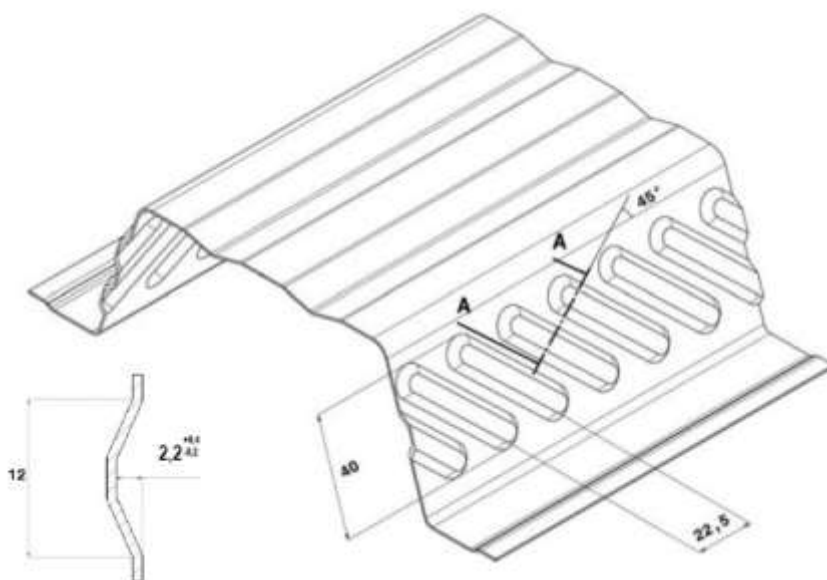
Sprawdzenie proporcji geometrycznych

b = 107; t = 0.71; h = 60; f_y = 320

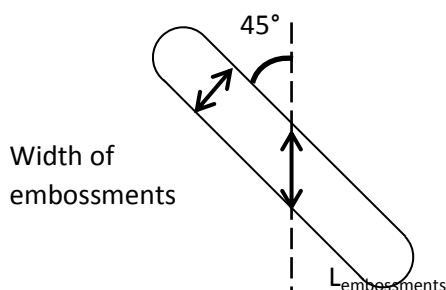
	b/t=	94,37			b/t ≤ 500
	θ_2 =	72,00			
	h/t=	84,51			45° ≤ φ ≤ 90°
	500sin(θ ₂)=	475,52			
r <	0,04 t E / f _y	18,64			h/t ≤ 500 sinφ

Tablica 1.2.3 - Sprawdzenie proporcji geometrycznych

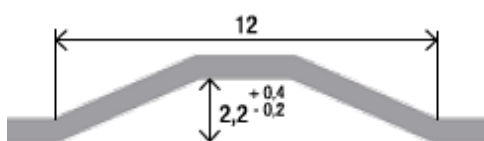
1.3. Wymiary wytłoczeń



Rysunek 1.3.1 – Obliczona blacha



Rysunek 1.3.2 – Długość wydłużonych wytłoczeń



Rysunek 1.3.3 – Wysokość wytłoczeń

Sprawdzenie zakresu ważności

$$0.71 \text{ mm} \leq t_{\text{cor}} = 0.75 \leq 1.21 \text{ mm}$$

$$h=2.2 \leq 4.0 \text{ mm}$$

$$30^\circ \leq \alpha=0.45 \leq 60^\circ$$

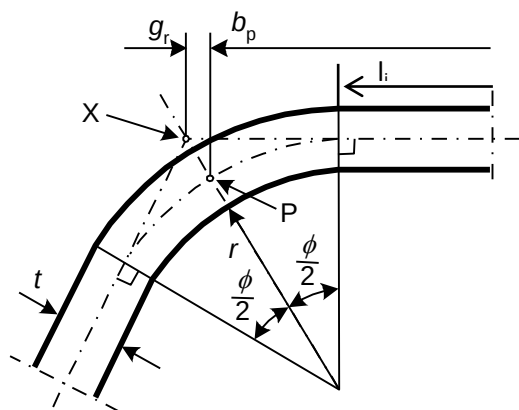
$L_{\text{embossments}}$ = szerokość / $\sin(45^\circ)$ gdzie szerokość jest = 12 mm

Wiec $L_{\text{embossments}} = 16.97 \text{ mm}$

2. OBLICZENIE POLA PRZEKROJU BRUTTO A_g

A_g jest sumą pól wszystkich elementów (długość $\times$ t)

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



(a) midpoint of corner or bend

X is intersection of midlines

P is midpoint of corner

$$r_m = r + t / 2$$

Rysunek 2.1 – Umowne szerokości b_p części płaskich przekroju

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	8.5	6.0	60.0	362.1	-25.3
2	12.7	9.1	58.8	531.7	-24.0
Corner 1	0.0	0.0	57.5	0.0	-22.8
3	12.7	9.1	58.8	531.7	-24.0
4	17.1	12.1	60.0	726.8	-25.3
Corner 2 _{sup}	6.3	4.5	58.8	262.2	-24.1
5	55.8	39.6	30.0	1189.1	4.7
Corner 2 _{inf}	6.3	4.5	1.2	5.4	33.5
6	16.9	12.0	0.0	0.0	34.7
7	1.4	1.0	0.5	0.5	34.2
8	9.0	6.4	1.0	6.4	33.7
TOTAL		104.2		3616.0	34.7

Tablica 2.1 - Wartości elementów

$$A_g = 104.2 \text{ mm}^2$$

$$\boxed{\text{Położenie osi głównej: } z_G = S / A_g = 34,7 \text{ mm}}$$

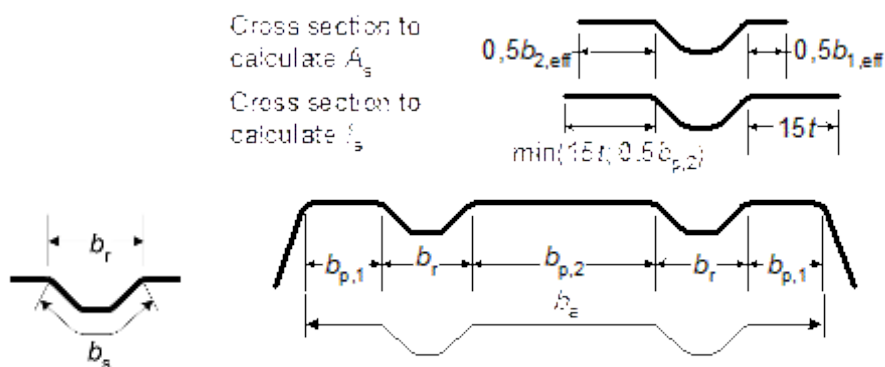
3. OBLICZENIE EFEKTYWNEGO POLA PRZEKROJU A_{eff}

A_{eff} jest sumą efektywnych pól wszystkich elementów.

3.1. Krok 1

Efektywne pole przekroju górnej półki

Górna półka posiada 2 usztywnienia więc efektywne pole górnej półki jest określone według EN 1993-1-3 § "5.5.3.4.2 Pasy z usztywnieniami pośrednimi".



Rysunek 3.1.1 – Pas z dwoma usztywnieniami

napężenie w górnej półce jest $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 233 \text{ N / mm}^2$

$$b_{p,1} = 20 \text{ mm}$$

$$\lambda_{p1} = b_{p1} / t / (28.4 \epsilon k_\sigma^{1/2}) \text{ with } \epsilon = (235 / f_{yb})^{1/2}$$

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

$$\lambda_{p1} = 0.579$$

$$\lambda_{pred1} = \lambda_{p1} \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred1} = 0.494$$

$$\lambda_{pred1} \leq 0.673 \rightarrow \rho = 1$$

$$b_{1eff} = \rho * b_{p1} = 20 \rightarrow \boxed{0,5 b_{1,eff} = 10 \text{ mm}}$$

$$b_{p,2} = 17 \text{ mm}$$

$$\lambda_{p1} = b_{p1} / t / (28.4 \epsilon k_\sigma^{1/2}) \text{ with } \epsilon = (235 / f_{yb})^{1/2}$$

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

$$\lambda_{p2} = 0.492$$

$$\lambda_{pred2} = \lambda_{p2} \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred2} = 0.420$$

$$\lambda_{pred2} \leq 0.673 \rightarrow \rho = 1$$

$$b_{2eff} = \rho * b_{p2} = 17 \rightarrow \boxed{0,5 b_{2,eff} = 8.5 \text{ mm}}$$

Usztywnienia górnej półki:

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

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

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2 k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{8 b_1^2 (3 b_e - 4 b_1)}}$$

$$b_s = 25.5 \text{ mm}, b_r = 25 \text{ mm}$$

$$b_e = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_s = 108 \text{ mm}$$

$$b_1 = b_{p,1} + 0,5 b_r = 32.5 \text{ mm}$$

Obliczenie A_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)
plane part of $0.5 b_{2eff}$	8,50	6,0
2	12,75	9,1
Corner 1	0,00	0,0
3	12,75	9,1
plane part of $0.5 b_{1eff}$	10,00	7,10
TOTAL		31,2

Tablica 3.1.1 – Długości i pola elementów

$$A_s = 31.2 \text{ mm}^2$$

Obliczenie I_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
plane part of $\min(15t; 0.5b_{2eff})$	8,50	6,0	0,0	0,0	0,7	0,7	3,3
2	12,75	9,1	1,3	11,3	-0,5	2,5	7,3
Corner 1	0,00	0,0	2,5	0,0	-1,8	0,0	0,0
3	12,75	9,1	1,3	11,3	-0,5	2,5	7,3
plane part of $15t$	10,65	7,6	0,0	0,0	0,7	0,7	4,2
TOTAL		31,7		22,6	0,7		22,1

Tablica 3.1.2 - Długości elementów i momenty bezwładności

$$I_s = 22.1 \text{ mm}^4$$

$$I_b = 3,65 \sqrt[4]{I_s b_1^2 (3 b_e - 4 b_1) / t^3}$$

$$I_b = 217.8$$

$$s_w = 61.7$$

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

$$k_{w0} = \sqrt{\frac{(2 b_e + s_w)(3 b_e - 4 b_1)}{b_1(4 b_e - 6 b_1) + s_w(3 b_e - 4 b_1)}}$$

$$k_{w0} = 1.65$$

$$\text{Napężenie krytyczne } \sigma_{cr,s} = 103 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\bar{\lambda}_d = 1.77$$

$$\bar{\lambda}_d \geq 1.38 \rightarrow \chi_d = \frac{0.66}{\bar{\lambda}_d}$$

$$\text{Współczynnik redukcyjny ze względu na wyboczenie dystorsyjne } \chi_d = 0.374$$

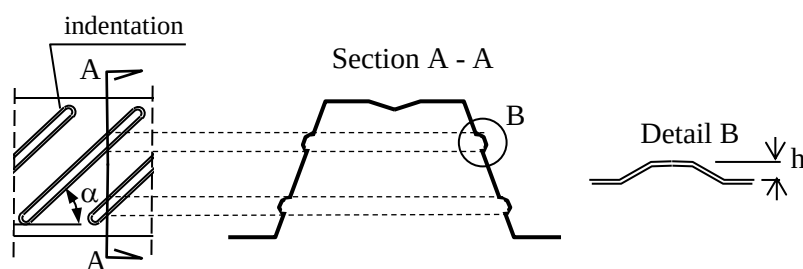
$$\text{Zredukowana grubość } t_{red} = c_d t \frac{f_{yb}/g_{M0}}{s_{com,Ed}}$$

$$\text{Zredukowana grubość } t_{red} = 0.36 \text{ mm}$$

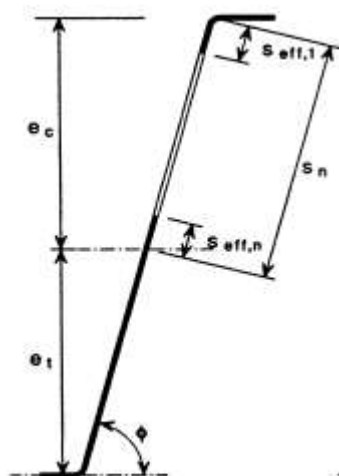
Efektywne pole przekroju środника

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

Blacha ma podłużne wytłoczenia jak na rysunku 3.1.2. Efektywne pola pasów z wytłoczeniami ([Rysunek 8.2.7](#)) są najpierw określone według EN 1993-1-3, 5.5.1(2).



Rysunek 3.1.2 – Blacha z wytłoczeniami podłużnymi



Rysunek 3.1.3 - Pole efektywne środnika

$$e_c = h_w - z_G = 25,3 \text{ mm} \rightarrow s_n = 25,9 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 233 \text{ N / mm}^2$$

wartości efektywnego pola określone iteracją →

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

$$\rightarrow s_{eff,0} = 20,24 \text{ mm}$$

$$s_{eff,1} = s_{eff,0} \rightarrow s_{eff,1} = 20,24 \text{ mm}$$

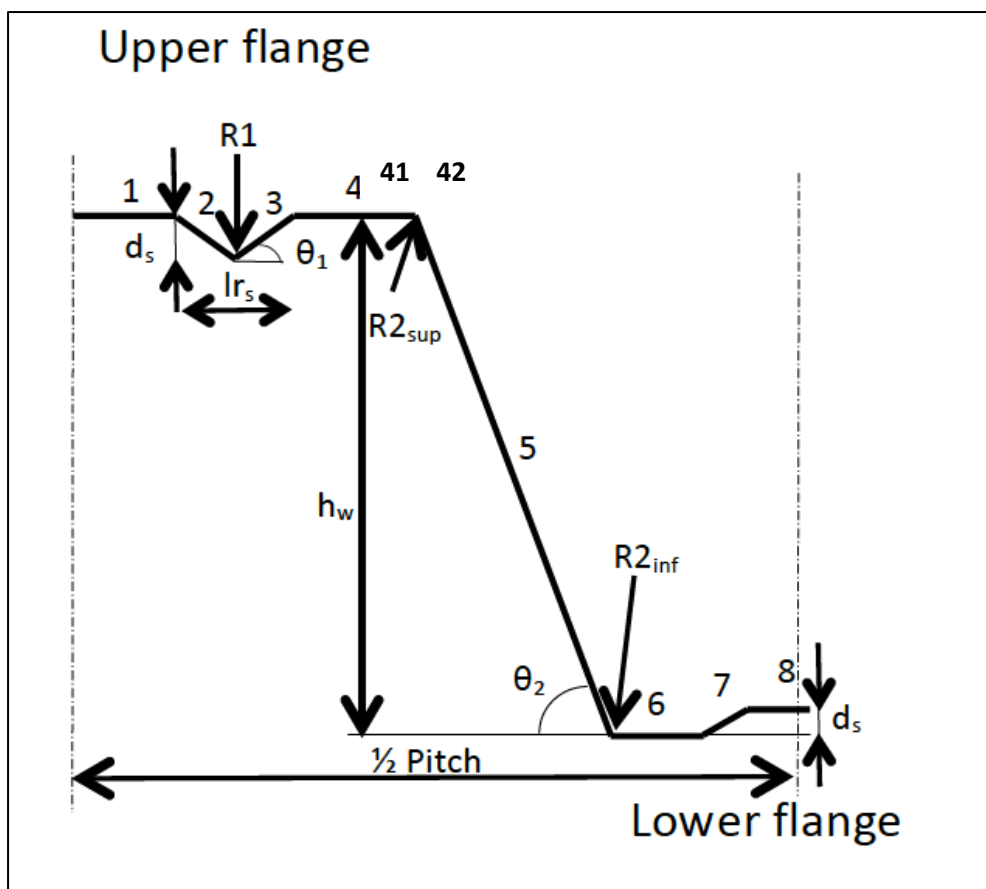
$$s_{eff,n} = 1,5 s_{eff,0} \rightarrow s_{eff,n} = 30,4 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n \text{ cały środnik jest efektywny}$$

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

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

Efektywne pole przekroju dolnej półki

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

Całkowite efektywne pole przekrojuObliczenie A_{eff} **Rysunek 3.1.4** – Numeracja elementów

Elément	l_i (mm)	t_{eff}	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	8.50	0.36	3.1	60.0	185.8	-29.5
2	12.75	0.36	4.6	58.8	272.9	-28.2
Corner 1	0.00	0.36	0.0	57.5	0.0	-27.0
3	12.75	0.36	4.6	58.8	272.9	-28.2
41	10.00	0.36	3.6	60.0	218.6	-29.5
42	7.06	0.71	5.0	60.0	300.8	-29.5
Corner 2 _{sup}	6.28	0.71	4.5	58.8	262.2	-28.3
5	55.82	0.71	39.6	30.0	1189.1	0.5
Corner 2 _{inf}	6.28	0.71	4.5	1.2	5.4	29.3
6	16.87	0.71	12.0	0.0	0.0	30.5
7	1.41	0.71	1.0	0.5	0.5	30.0
8	9.00	0.71	6.4	1.0	6.4	29.5
TOTAL			89.0		2714.6	30.5

Tablica 3.1.3 – Długości i pola elementów

$$A_{eff} = 89 \text{ mm}^2$$

Położenie osi głównej efektywnego pola : $z_G = 30,5 \text{ mm}$

3.2. Iteracja: Krok 2

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 określone jak w pierwszym kroku, z nowym naprężeniem σ_{com} otrzymanym dla nowego położenia osi głównej z_c

Wartości otrzymane dla górnej półki w kroku 2 są podane w poniższej tabelcy.

		2nd step
Upper flange	σ_{com}	309
	$\rho \text{ pour } b_{2,eff}$	1
	$0,5 b_{2,eff}$	8.50
	$\rho \text{ pour } b_{1,eff}$	1
	$0,5 b_{1,eff}$	10.00
Upper flange stiffener	$\sigma_{cr,s}$	102.7
	χ_d	0.37
	t_{red}	0.27

Tablica 3.2.1 – Wartości górnej półki otrzymane w kroku 2

Efektywne pole przekroju środknika

Dane dla środknika w kroku 2 są podane w poniższej tabelcy

Web	e_c	29.5
	s_n	30.3
	$s_{eff,0}$	17.6
	$s_{eff,1}$	17.6
	$s_{eff,n}$	26.4
	$s_{eff,1} + s_{eff,n}$	43.9
	entire web is effective	
	$s_{eff,1}$	0,4sn
	$s_{eff,n}$	0,6sn

Tablica 3.2.2 – Wartości środknika w kroku 2

Wytłoczenia są traktowane jako elementy płaskie o zredukowanej grubości $t_{red} = \rho \times 0,71$ dla długości $L_{embossments}$ (Fig 1.3.2)

Określanie stosunku wytłoczenia ρ

$$\rho = A \cdot h + B, \text{ A i B są współczynnikami podanymi w tablice 3.2.1}$$

Type of local deformation	t (mm)	h (mm)	A	B
Indentation	0.71	0 - 1.5	-0.533	1.000
		1.5 - 2.75	-0.112	0.368
		2.75 - 4.0	-0.025	0.128
	0.96	0 - 1.5	-0.467	1.000
		1.5 - 2.75	-0.186	0.580
		2.75 - 4.0	-0.020	0.122
	1.21	0 - 1.5	-0.401	1.000
		1.5 - 2.75	-0.260	0.792
		2.75 - 4.0	-0.015	0.116
Embossment	0.71	0 - 1.5	-0.267	1.000
		1.5 - 2.75	-0.056	0.684
		2.75 - 4.0	-0.013	0.564
	0.96	0 - 1.5	-0.234	1.000
		1.5 - 2.75	-0.093	0.790
		2.75 - 4.0	-0.010	0.561
	1.21	0 - 1.5	-0.201	1.000
		1.5 - 2.75	-0.130	0.896
		2.75 - 4.0	-0.008	0.558

Tablica 3.2.3 – Wartości współczynników A i B

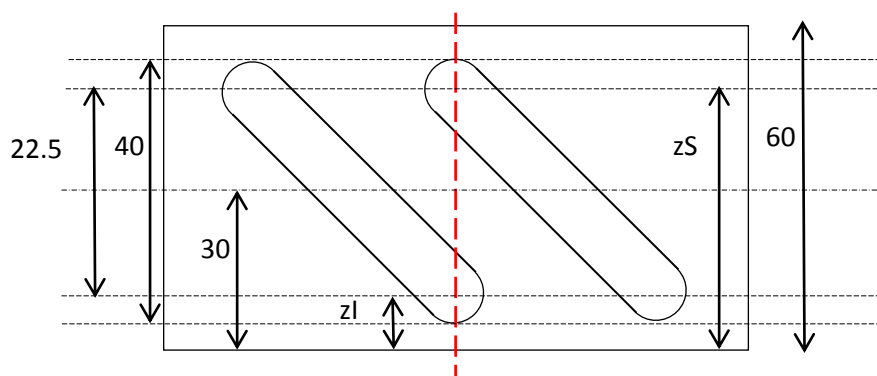
Dla $t=0.71$ mm i $h= 2,2$ mm ($1.5 < h < 2.75$) $\rightarrow A = -0,112$; $B = 0.368$

$$\rho = 0,122$$

Zredukowana grubość wytłoczenia $t_{red} = 0,122 \times 0,71 = 0,087$ mm dla długości $L_{embossments}$ (Fig 1.3.2)

Położenie przekroju dla obliczenia jego wytrzymałości na zginanie powinno być wybrane tak, aby wywoływało ono najbardziej niekorzystny efekt

Największa redukcja wytrzymałości na moment otrzymuje się dla położenia w którym przekrój przecina symetrycznie 2 wytłoczenia jak pokazane na rysunku 3.2.1.



Rysunek 3.2.1 –Przekrój obliczeniowy

$$zS = 60/2 + 22.5/2 = 41.25$$

$$zI = 60/2 - 22.5/2 = 18.75$$

Efektywne pole przekroju dolnej półki

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

Całkowite efektywne pole przekroju

Obliczenie A_{eff}

Elément	l_i (mm)	t_{eff}	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	8.50	0.27	2.3	60.0	140.1	-31.1
2	12.75	0.27	3.5	58.8	205.7	-29.8
Corner 1	0.00	0.27	0.0	57.5	0.0	-28.6
3	12.75	0.27	3.5	58.8	205.7	-29.8
41	10.00	0.27	2.7	60.0	164.8	-31.1
42	7.06	0.71	5.0	60.0	300.8	-31.1
Corner 2 _{sup}	6.28	0.71	4.5	58.8	262.2	-29.9
5	55.82	0.71	39.6	30.0	1189.1	-1.1
Embossment S	-16.97	0.71	-12.0	41.3	-497.0	-12.3
	16.97	0.09	1.5	41.3	60.9	-12.3
Embossment I	-16.97	0.71	-12.0	18.8	-225.9	10.2
	16.97	0.09	1.5	18.8	27.7	10.2
Corner 2 _{inf}	6.28	0.71	4.5	1.2	5.4	27.7
6	16.87	0.71	12.0	0.0	0.0	28.9
7	1.41	0.71	1.0	0.5	0.5	28.4
8	9.00	0.71	6.4	1.0	6.4	27.9
TOTAL			63.9		1846.4	28.9

Tablica 3.2.4 - Długości i pola elementów

$$A_{eff} = 63,9 \text{ mm}^2$$

Położenie osi głównej efektywnego pola: $z_G = 28,9 \text{ mm}$

3.3. Iteracja: Krok 3

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

		3rd step
Upper flange	σ_{com}	320
	ρ pour b 2,eff	1
	$0,5 b_{2,eff}$	8.50
	ρ pour b 1,eff	1
	$0,5 b_{1,eff}$	10.00
Upper flange stiffener	$\sigma_{cr,s}$	102.7
	χ_d	0.37
	t_{red}	0.27
Web	e_c	31.1
	S_n	32.0
	$S_{eff,0}$	16.7
	$S_{eff,1}$	16.7
	$S_{eff,n}$	25.0
	$S_{eff,1} + S_{eff,n}$	41.6
		entire web is effective
	$S_{eff,1}$	0,4sn
	$S_{eff,n}$	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	63.5
Position of neutral axis	z_c	28.7

Tablica 3.3.1 – Wartości dla kroków 2 i 3

4. OBLICZENIE WYTRZYMAŁOŚCI NA MOMENT PRZĘSŁOWY

Moment przęsłowy jest obliczony z wartościami kroku 3.

Elément	l_i (mm)	t_{eff}	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
1	8,50	0,27	2,3	60,0	135,4	-31,3	0,7	2209,5
2	12,75	0,27	3,4	58,8	198,8	-30,0	2,5	3055,7
Corner 1	0,00	0,27	0,0	57,5	0,0	-28,8	0,0	0,0
3	12,75	0,27	3,4	58,8	198,8	-30,0	2,5	3055,7
41	10,00	0,27	2,7	60,0	159,3	-31,3	0,7	2599,4
42	7,06	0,71	5,0	60,0	300,8	-31,3	0,7	4908,6
Corner 2 _{sup}	6,28	0,71	4,5	58,8	262,2	-30,1	0,0	4039,5
5	55,82	0,71	39,6	30,0	1189,1	-1,3	53,1	9375,7
Embossment S	-16,97	0,71	-12,0	41,3	-497,0	-12,5	16,1	-2156,2
	16,97	0,09	1,5	41,3	60,9	-12,5	16,1	264,0
Embossment I	-16,97	0,71	-12,0	18,8	-225,9	10,0	16,1	-1456,9
	16,97	0,09	1,5	18,8	27,7	10,0	16,1	178,4
Corner 2 _{inf}	6,28	0,71	4,5	1,2	5,4	27,5	0,0	3377,1
6	16,87	0,71	12,0	0,0	0,0	28,7	0,7	9872,1
7	1,41	0,71	1,0	0,5	0,5	28,2	1,0	799,2
8	9,00	0,71	6,4	1,0	6,4	27,7	0,7	4906,9
TOTAL			63,5		1822,3	28,7		45028,6

Tablica 4.1 – Wartości kroku 3

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

Dla 1/2 modułu $I_{eff} = 45029 \text{ mm}^4$

Dla blachy $I_{eff} = 435 \text{ mm}^3$

$$v = \max(28,7; 31,3) = 31,3 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = I_{eff} / v = 13.9 \text{ mm}^3$$

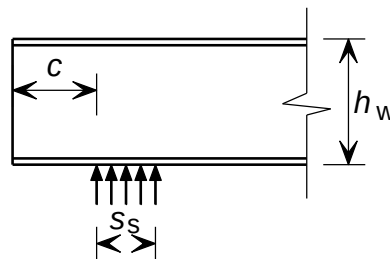
$$M_{span} = 4,4 \text{ kNm/m}$$

5. OBLICZENIE NOŚNOŚCI ŚRODNIKA

Nośność poprzeczna jednego środniaka blachy z wytłoczeniem oblicza się według wzoru (6.18) z EN 1993-1-3

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{r/t} \right) \left[0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right] \left(2,4 + (\phi/90)^2 \right) / \gamma_{M1} \quad (6.18)$$

W tym przypadku reakcja podpory jest w odległości $c \leq 1,5 h_w$ więc to jest Kategoria 1



Rysunek 5.1 – Reakcja podpory w odległości $c \leq 1,5 h_w$: Kategoria 1

Dla kategorii 1 dla blach $\alpha = 0,075$ i $l_a = 10 \text{ mm}$

$$t = 0,71 \text{ mm}$$

$$r = 5 \text{ mm}$$

$$\phi = 72$$

$$\text{Dla środniaka : } R_{w,Rd} = 713 \text{ N}$$

$$\text{Moduł} = 207 \text{ mm}$$

Dla pasma o szerokości 1 m:

$$R_{w,Rd} = 6,9 \text{ kN/m}$$

ZAŁĄCZNIK 1

Background nowej metody obliczania blach stalowych z wytłoczeniami używanych dla stropów zespolonych

D1.1	GRISPE WP1 Background document	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.2	GRISPE WP1 Test programme definition	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.3	GRISPE Test report of steel trapezoidal sheeting with and without embossments and outward stiffeners	Christian FAUTH (KIT)
D1.4	GRISPE WP1 Test analysis and interpretation	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.5	GRISPE Background guidance for EN 1993-1-3 to design of sheeting with embossments and indentations	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)