



Politechnika Warszawska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Instytut Inżynierii Budowlanej  
Zespół Konstrukcji Metalowych

**Imię i nazwisko dyplomanta:** *Joanna Stępka*

**Rodzaj studiów:** *stacjonarne II stopnia*

**Specjalność:** *Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie*

**TEMAT PRACY DYPLOMOWEJ MAGISTERSKIEJ:**

**PROJEKT KONSTRUKCJI STAŁOWEJ PRZEKRYCIA TERMINALU  
PORTU LOTNICZEGO**

**Promotor:** doc. dr inż. Jerzy Idzikowski

**Data przyjęcia pracy dyplomowej:** *14.10.2014*

**Ocena pracy dyplomowej:** *5 (6. dobra) Jbil*

*Jerzy Idzikowski*  
.....  
(podpis promotora)

*[Signature]*  
.....  
(podpis kierownika jednostki)

**Warszawa, październik 2014**

Candidate to Master's degree:  
Joanna Stepka, BSc

*Joanna Stepka*

Thesis supervisor:  
Jerzy Idzikowski, PhD

*Jerzy Idzikowski*

## **The project of steel construction of the airport terminal roofing**

### **Abstract**

The subject of Master's thesis is the project of steel construction of the airport terminal roofing.

Main constituents of the construction are: apical girder and intermediate girder. The apical girder, of sinusoidal geometry, was made of RK 180x180x16mm profile. Chord of apical girder is laying articulately on outermost columns and on columns of gable wall. The outermost columns, made of HEB 550 profile strengthened with steel plate, are fixed rigidly in foundation. The columns of apical wall, made of HEB 550 profile, are fixed articulately in foundation.

The intermediate girder is an arch girder with 2 "tears" made of RK 300x300x12,5mm profile – the upper chord and RK 400x400x20mm – the lower chord. The span of the one, single 'tear' is 36 m, the height in the most strained point 4 m. The framework rods are also made of tubular profile – RK 100x100x5mm. The girder chords are fixed articulately to the external columns. The external columns are made of HEB 280 profile and they are fixed rigidly in foundation. The girder is also braced by internal columns made of RO 273x22,5mm profile, which are fixed articulately in foundation.

The purlins were designed as an openwork profile – AHEB 240. They are placed on the girder every 3 m. The span of purlins in prop's axis is 15 m.

All elements of steel construction are made of steel S355.

The spatial stiffness of construction is ensured by longitudinal and transversal roof bracing and vertical wall bracing. Additionally, the loading capacity of profiled sheeting forming a roof was verified as transversal roof bracing. The proper tension of bracings was obtained thanks to using the "tubular cap".

Protection against construction's corrosion was provided by zinc coating – spray method. For fire protection there should be used fireproof bloating paint FLAME STAL.

The main carrying construction of roofing was designed in Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011 program. There were considered following loads: constant load, snow, wind in both directions – on the north gable wall and west longitudinal wall. Elaboration was based on Eurocodes.

Elaboration range:

- Technical description
- Collecting of loads
- Static and strength calculations
- Dimensioning elements of construction
- Executive drawings of steel constructions

**Keywords:** roofing, roof, steel construction, apical girder, column

Dyplomant:  
inż. Joanna Stępka

*Joanna Stępka*

Promotor:  
doc. dr inż. Jerzy Idzikowski

*Jerzy Idzikowski*

## Projekt konstrukcji stalowej przekrycia terminalu portu lotniczego

### Streszczenie

Przedmiotem pracy magisterskiej jest projekt konstrukcji stalowej przekrycia terminalu portu lotniczego.

Główne elementy konstrukcji stanowią: dźwigar szczytowy oraz dźwigar pośredni. Dźwigar szczytowy, o geometrii sinusoidalnej, wykonano z profili RK 180x180x16mm. Pas dźwigara szczytowego opiera się przegubowo na słupach skrajnych oraz słupach ściany szczytowej. Słupy skrajne, wykonane z profili HEB 550 wzmocnionych blachą, są zamocowane sztywno w fundamencie. Słupy ściany szczytowej, wykonane z profili HEB 550, są zamocowane przegubowo w fundamencie.

Dźwigar pośredni to dźwigar łukowy o 2 „lezkach” wykonany z profili RK 300x300x12,5mm – pas górny i RK 400x400x20mm – pas dolny. Rozpiętość pojedynczej „lezki” wynosi 36m, wysokość w najbardziej wyężonym punkcie 4m. Pręty skratowania również wykonano z elementów rurowych RK 100x100x5mm. Pasy dźwigara są połączone przegubowo ze słupami zewnętrznymi. Słupy stalowe zewnętrzne podpierające dźwigar wykonano z profili HEB 280 i są one zamocowane sztywno w fundamencie. Dźwigar podparty jest również przez słupy wewnętrzne wykonane z profili RO 273x22,2mm, zamocowane przegubowo w fundamencie.

Na dźwigarach w rozstawie co 3,0m oparte są płatwie z profili azurowych AHEB 240. Rozpiętość płatwi w osiach podpór wynosi 15m.

Elementy konstrukcji stalowej wykonano ze stali S355.

Sztywność przestrzenną konstrukcji zapewniają stężenia połączeniowe podłużne i poprzeczne oraz stężenia pionowe ścienne. Dodatkowo sprawdzono nośność blachy profilowanej jako stężenia połączeniowego poprzecznego. Właściwy naciąg stężeń uzyskano poprzez napięcie za pomocą tzw. nakrętki rurowej.

Konstrukcja została zabezpieczona antykorozyjnie poprzez nałożenie powłoki cynkowej metodą natryskową. W celu zabezpieczenia przeciwpożarowego należy zastosować ogniochronną farbę pęczniącą FLAME STAL.

Główna konstrukcja nośna przekrycia została zamodelowana w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011. W programie uwzględniono następujące obciążenia: ciężar stały, śnieg, wiatr działający w dwóch kierunkach – na północną ścianę szczytową oraz na zachodnią ścianę podłużną. Opracowanie wykonano na podstawie Eurokodów.

Zakres opracowania:

- Opis techniczny
- Zebranie obciążeń
- Obliczenia statyczne - wytrzymałościowe
- Wymiarowanie elementów konstrukcji
- Rysunki wykonawcze konstrukcji stalowych

**Słowa kluczowe:** przekrycie, dach, konstrukcja stalowa, dźwigar łukowy, słup.

## SPIS TREŚCI

<b>1. OPIS TECHNICZNY .....</b>	<b>10</b>
1.1. Informacje podstawowe.....	10
1.2. Geometria.....	10
1.3. Materiały.....	11
1.4. Posadzka .....	11
1.5. Pokrycie dachu i ścian.....	11
1.6. Płatwie .....	12
1.7. Dźwigar.....	12
1.8. Słupy.....	13
1.9. Zabezpieczenie antykorozyjne i przeciwpożarowe.....	13
1.10. Obliczenia statyczne.....	13
<b>2. ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ .....</b>	<b>14</b>
2.1. Zestawienie obciążeń na 1m <sup>2</sup> .....	14
2.1.1. Oddziaływania stałe.....	14
2.1.2. Oddziaływania zmienne .....	14
2.2. Zestawienie obciążeń ram skrajnych.....	22
2.2.1. Oddziaływania stałe.....	22
2.2.2. Oddziaływania zmienne .....	22
2.3. Zestawienie obciążeń ram pośrednich.....	29
2.3.1. Oddziaływania stałe.....	29
2.3.2. Oddziaływania zmienne .....	29
<b>3. KOMBINACJE OBCIĄŻEŃ .....</b>	<b>32</b>
3.1. Stan graniczny nośności (SGN) .....	32
3.2. Stan graniczny użytkowalności (SGU) .....	33
<b>4. PRZEKROJE ELEMENTÓW.....</b>	<b>35</b>
4.1. Słupy.....	35
4.1.1. Słupy skrajne .....	35
4.1.2. Słupy szczytowe .....	35
4.1.3. Słupy zewnętrzne.....	36
4.1.4. Słupy wspornikowe.....	37
4.1.5. Słupy wewnętrzne.....	37
4.2. Dźwigar.....	38

4.2.1.	Pas ściany szczytowej .....	38
4.2.2.	Pas górny .....	39
4.2.3.	Pas dolny .....	39
4.2.4.	Słupki .....	40
<b>5.</b>	<b>ANALIZA GLOBALNA.....</b>	<b>41</b>
5.1.	Wybór metody analizy.....	41
5.2.	Dane do analizy .....	41
5.3.	Przebieg analizy .....	41
5.4.	Wyniki analizy .....	41
5.4.1.	Stany graniczne nośności .....	41
5.4.2.	Stany graniczne użyteczności .....	42
<b>6.</b>	<b>SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI SŁUPÓW .....</b>	<b>46</b>
6.1.	Sprawdzenie nośności słupa skrajnego .....	46
6.1.1.	Siły wewnętrzne .....	46
6.1.2.	Klasyfikacja przekroju .....	46
6.1.3.	Nośność przekroju .....	47
6.1.4.	Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności .....	48
6.1.5.	Nośność elementu z uwzględnieniem niestateczności interaktywnej.....	51
6.2.	Sprawdzenie nośności słupa szczytowego.....	53
6.2.1.	Siły wewnętrzne .....	53
6.2.2.	Klasyfikacja przekroju .....	54
6.2.3.	Nośność przekroju .....	54
6.2.4.	Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności .....	56
6.2.5.	Nośność elementu z uwzględnieniem niestateczności interaktywnej.....	59
6.3.	Sprawdzenie nośności słupa zewnętrznego .....	61
6.3.1.	Siły wewnętrzne .....	61
6.3.2.	Klasyfikacja przekroju .....	61
6.3.3.	Nośność przekroju .....	62
6.3.4.	Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności .....	63
6.3.5.	Warunki nośności elementu ściskanego i zginanego jednokierunkowo.....	66
6.4.	Sprawdzenie nośności słupa wspornikowego.....	67
6.4.1.	Siły wewnętrzne .....	67
6.4.2.	Klasyfikacja przekroju .....	67
6.4.3.	Nośność przekroju .....	67

6.4.4.	Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności .....	70
6.5.	Sprawdzenie nośności słupa wewnętrznego .....	73
6.5.1.	Siły wewnętrzne .....	73
6.5.2.	Klasyfikacja przekroju .....	73
6.5.3.	Nośność przekroju .....	73
6.5.4.	Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności .....	75
<b>7.</b>	<b>SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI DŹWIGARA .....</b>	<b>77</b>
7.1.	Sprawdzenie nośności pasa ściany szczytowej.....	77
7.1.1.	Siły wewnętrzne .....	77
7.1.2.	Klasyfikacja przekroju .....	77
7.1.3.	Nośność przekroju .....	77
7.1.4.	Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności .....	79
7.2.	Sprawdzenie nośności pasa górnego .....	82
7.2.1.	Siły wewnętrzne .....	82
7.2.2.	Klasyfikacja przekroju .....	82
7.2.3.	Nośność przekroju .....	83
7.2.4.	Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności .....	84
7.3.	Sprawdzenie nośności pasa dolnego .....	87
7.3.1.	Siły wewnętrzne .....	87
7.3.2.	Klasyfikacja przekroju .....	87
7.3.3.	Nośność przekroju .....	87
7.3.4.	Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności .....	89
7.4.	Sprawdzenie nośności słupków .....	91
7.4.1.	Siły wewnętrzne .....	92
7.4.2.	Klasyfikacja przekroju .....	92
7.4.3.	Nośność przekroju na ściskanie.....	92
7.4.4.	Nośność elementu ze względu na wyboczenie.....	92
<b>8.</b>	<b>PŁATEW.....</b>	<b>94</b>
8.1.	Kombinacje obciążeń obliczeniowych .....	95
8.2.	Siły wewnętrzne .....	97
8.3.	Wymiarowanie przekroju .....	99
8.3.1.	Sprawdzenie klasy przekroju.....	100
8.3.2.	Określenie nośności przekroju na zginanie.....	100
8.3.3.	Określenie nośności przekroju na ścinanie .....	101

8.3.4.	Zginanie ze ścinaniem.....	102
8.3.5.	Nośność na zwichrzenie.....	102
8.3.6.	Sprawdzenie SGU.....	102
8.4.	Oparcie płatwi na dźwigarze.....	104
8.4.1.	Geometria i dane materiałowe.....	104
8.4.2.	Połączenie blachy poprzecznej i pasa dolnego dźwigara.....	105
8.4.3.	Połączenie płatwi z blachą poprzeczną.....	107
<b>9.</b>	<b>SPRAWDZENIE POŁĄCZEŃ .....</b>	<b>109</b>
9.1.	Podstawa słupa skrajnego .....	109
9.1.1.	Geometria i dane materiałowe.....	109
9.1.2.	Siły obliczeniowe.....	110
9.1.3.	Wymiarowanie blachy czołowej podstawy słupa.....	110
9.1.4.	Sprawdzenie zakotwienia.....	112
9.1.5.	Wstępne określenie rozstawu śrub fundamentowych.....	112
9.1.6.	Wyznaczenie nośności składników węzła w strefie rozciąganej .....	113
9.1.7.	Wyznaczenie nośności składników węzła w strefie ściskanej.....	113
9.1.8.	Sprawdzenie nośności obliczeniowej podstawy słupa przy zginaniu.....	114
9.1.9.	Sprawdzenie nośności obliczeniowej przy obciążeniu siłą poprzeczną .....	115
9.1.10.	Blachy trapezowe.....	117
9.1.11.	Sprawdzenie spoin łączących trzon słupa z blachą podstawy.....	118
9.1.12.	Sprawdzenie spoin łączących blachy trapezowe z blachą podstawy.....	119
9.1.13.	Sprawdzenie spoin łączących blachy trapezowe z profilem słupa .....	120
9.2	Podstawa słupa szczytowego .....	122
9.2.1.	Geometria i dane materiałowe.....	122
9.2.2.	Siły obliczeniowe.....	123
9.2.3.	Zastępcze króćce teowe w strefie ściskania .....	123
9.2.4.	Sprawdzenie nośności fundamentu na docisk pod blachą podstawy.....	123
9.2.5.	Sprawdzenie nośności ze względu na poślizg.....	124
9.2.6.	Sprawdzenie nośności spoiny łączącej trzon słupa z blachą podstawy.....	126
9.3.	Podstawa słupa zewnętrznego.....	127
9.3.1.	Geometria i dane materiałowe.....	127
9.3.2.	Siły obliczeniowe.....	128
9.3.3.	Wymiarowanie blachy czołowej podstawy słupa.....	129
9.3.4.	Sprawdzenie zakotwienia.....	130

9.3.5.	Wstępne określenie rozstawu śrub fundamentowych.....	130
9.3.6.	Wyznaczenie nośności składników węzła w strefie rozciąganej .....	131
9.3.7.	Wyznaczenie nośności składników węzła w strefie ściskanej.....	131
9.3.8.	Sprawdzenie nośności obliczeniowej podstawy słupa przy zginaniu.....	132
9.3.9.	Sprawdzenie nośności obliczeniowej przy obciążeniu siłą poprzeczną .....	133
9.3.10.	Blachy trapezowe.....	135
9.3.11.	Sprawdzenie spoin łączących trzon słupa z blachą podstawy.....	136
9.3.12.	Sprawdzenie spoin łączących blachy trapezowe z blachą podstawy.....	137
9.3.13.	Sprawdzenie spoin łączących blachy trapezowe z profilem słupa .....	138
9.4.	Podstawa słupa wewnętrznego.....	140
9.4.1.	Geometria i dane materiałowe.....	140
9.4.2.	Siły działające w połączeniu .....	141
9.4.3.	Dobór blachy podstawy .....	142
9.4.4.	Nośność blachy podstawy .....	142
9.4.5.	Połączenie sworzniowe .....	145
9.5.	Połączenie słupka i słupa wewnętrznego z pasem dolnym .....	148
9.5.1.	Połączenie spawane słupka z pasem dolnym .....	148
9.5.2.	Połączenie sworzniowe słupa wewnętrznego z pasem dolnym .....	151
9.6.	Oparcie dźwigara na słupie skrajnym.....	157
9.6.1.	Geometria i dane materiałowe.....	157
9.6.2.	Głowica słupa skrajnego .....	157
9.6.3.	Połączenie spawane blachy podłużnej z pasem szczytowym .....	160
9.7.	Oparcie dźwigara na słupie szczytowym.....	162
9.7.1.	Geometria i dane materiałowe.....	163
9.7.2.	Głowica słupa szczytowego .....	163
9.7.3.	Połączenie spawane blachy podłużnej z pasem szczytowym .....	166
9.8.	Oparcie dźwigara na słupie zewnętrznym .....	168
9.8.1.	Geometria i dane materiałowe.....	168
9.8.2.	Siły działające w połączeniu .....	169
9.8.3.	Głowica słupa zewnętrznego.....	169
9.8.4.	Połączenie spawane pasa górnego z pasem dolnym.....	172
9.8.5.	Połączenie spawane pasa dolnego z blachą czołową.....	175
9.8.6.	Połączenie spawane blachy czołowej z blachą zamykającą.....	176
9.9.	Styk montażowy dźwigara kratowego.....	178



9.8.1. Geometria i dane materiałowe.....	178
9.8.2. Siły działające w połączeniu .....	179
9.8.3. Nośność styku śrubowego doczołowego .....	180
<b>10. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI BLACHY PROFILOWANEJ JAKO STĘŻENIA POŁACIOWEGO POPRZECZNEGO.....</b>	<b>189</b>
10.1. Dane ogólne .....	189
10.2. Obciążenie przepony .....	189
10.3. Sprawdzenie nośności przepony .....	190
10.3.1. Geometria i dane materiałowe.....	190
10.3.2. Obliczenia.....	191
<b>11. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>193</b>
<b>12. ZAŁĄCZNIKI .....</b>	<b>194</b>
12.1. Wykaz miarodajnych sił przyjętych do wymiarowania elementów.....	194

## 1. OPIS TECHNICZNY

### 1.1. Informacje podstawowe

Przedmiotem opracowania jest projekt wykonawczy stalowego przekrycia terminalu portu lotniczego. Obiekt zlokalizowany jest w Polsce w strefie obciążenia śniegiem 2, strefie obciążenia wiatrem 1, na terenie kategorii II.

Dach podzielony został na sekcje, po 15 metrów każda, o takiej samej linii przekrojowej. Przenikanie się „płatów” dachu uzyskano poprzez zastosowanie stalowych rurowych dźwigarów o geometrii sinusoidalnej. Przekrycie zostało zaprojektowane w taki sposób, aby uzyskać efekt zróżnicowanej i harmonijnej bryły terminala jak i doświetlenie hali odlotów/przylotów światłem dziennym poprzez świetliki na styku sekcji zadaszenia. Zastosowane górne doświetlenie hali odlotowo-przylotowej, jak i hali wydawania bagażu, doprowadza do wnętrza terminala dużą ilość naturalnego światła, co jest istotnym elementem podnoszącym jakość tej przestrzeni.

Struktura dachu podparta jest regularnym systemem skośnych słupów w kształcie litery „V” zamocowanych przegubowo. Układ ten znakomicie porządkuje wnętrze hali i nadaje mu rytm. Dla podniesienia walorów bryły dźwigary podtrzymujące zadaszenie wyprowadzono wspornikowo 9 metrów poza obrys terminala.

### 1.2. Geometria

Wymiary konstrukcyjne:

Rozpiętość dźwigara	$d = 72\text{m}$
Rozstaw ram	$l = 15\text{m}$
Ilość segmentów w kierunku podłużnym	$n = 13$
Długość całkowita	$b = 195\text{m}$
Odległość od posadzki do dolnego pasa wiązara	$h_d = 13,5\text{m}$
Wysokość	$h = 17,5\text{m}$
Nachylenie połaci dachowej	$\alpha = 12^\circ$

### 1.3. Materiały

Elementy konstrukcji:

- dwuteowniki - stal S355J2+N
- rury kwadratowe - stal S355J2H
- rury okrągłe - stal S355J2H
- blachy - stal S355J2+N
- stopy fundamentowe - beton B25/30

Łączniki:

- śruby M16 kl. 4.8
- śruby M20 kl. 8.8 (8)
- śruby M24 kl. 10.9
- śruby M30 kl. 10.9
- kotwie fundamentowe M20 kl. 4.6
- kotwie fundamentowe M24 kl. 4.6
- kotwie fundamentowe M30 kl. 4.6
- kotwie fundamentowe M42 kl. 8.8
- kotwie fundamentowe M48 kl. 8.8

### 1.4. Posadzka

Posadzkę zaprojektowano jako monolityczną płytę sprężoną o grubości 150mm. Płytę należy posadzić na podsypce z zagęszczonego piasku oraz na wylewce z betonu B10 o grubości 100mm. Taka konstrukcja pozwala przetransmitować duże naciski, jest trwała i odporna na ścieranie.

### 1.5. Pokrycie dachu i ścian

Pokrycie dachu składa się z płatwi, papy termozgrzewalnej oraz jednej warstwy blachy profilowanej z ociepleniem. Jako blachę profilowaną zastosowano blachę trapezową T55-53L-976 firmy RUUKI, natomiast ocieplenie dachu stanowi wełna mineralna twarda grubości 15cm. Do mocowania blach stosuje się klipsy, które zatrzaskują się w zawiniętych obrzeżach blachy oraz przykryte są przez następny element. Dzięki temu, zamocowania leżą

pod powłoką dachu, powłoka dachu nie jest przełamana oraz gwarantowany jest najwyższy stopień szczelności. Klipsy pozwalają na ruchy przesuwne, które występują przy zmianach temperatury. Odwodnienie rozwiązano za pomocą systemu podciśnieniowego.

Fasady zaprojektowano jako słupowo-ryglowe ściany kurtynowe mocowane do konstrukcji stalowej. Zastosowano szklenie w postaci zestawów szyb izolacyjnych, zespolonych z poziomymi listwami dociskowymi na ryglach, rozstawionych co 3,10m. W fasadach szczytowych zastosowane zostały świetliki pionowe z kwaterami stałymi i wychylnymi, pełniącymi funkcję klap dymowych.

## **1.6. Płatwie**

Płatwie wykonano z dwuteowników ażurowych AHEB 240. Są to elementy dwukierunkowo zginane, które przenoszą obciążenia stałe od ciężaru pokrycia dachu oraz obciążenia wiatrem i śniegiem, a następnie przekazują je na dźwigar kratowy. Płatew w kierunku prostopadłym do połaci dachu jest jedna przęsłowa belka ciągła o rozpiętości przęsła  $l_z = 15\text{m}$ , natomiast w kierunku równoległym do połaci dachu jest dwu przęsłowa belka ciągła o rozpiętości przęsła  $l_y = 7,5\text{m}$ . Styki montażowe zostaną wykonane w miejscach zerowych momentów zginających, czyli w miejscu oparcia płatwi na dźwigarach kratowych.

## **1.7. Dźwigar**

Zaprojektowano dźwigary łukowe o 2 „łezkach”, o rozpiętości 72m oraz kącie nachylenia  $12^\circ$ . Wszystkie elementy dźwigara wykonano z kształtowników walcowanych. W kratownicy zastosowano wykratowanie słupkowe. Pas dolny dźwigara wykonano z rur kwadratowych RK 400x400x20mm, natomiast pas górny wykonano z rur kwadratowych RK 300x300x12,5mm. Słupki pionowe, o rozstawie 3m, zaprojektowano również z rur kwadratowych RK 100x100x5mm. Połączenie skratowania z pasami wiązara zaprojektowano jako spawane bezpośrednio do pasów (bez wprowadzania blach węzłowych). Zaprojektowano styk montażowy w środku rozpiętości wiązara kratowego jako doczołowe połączenie śrubowe pasa górnego i pasa dolnego. W połączeniach zastosowano śruby M24 kl. 10.9. W ścianach szczytowych elementem nośnym dachu jest rygiel o geometrii sinusoidalnych, wykonany z rur kwadratowych RK 180x180x16mm.

## **1.8. Słupy**

Ze względu na różnorodność funkcji i przyjmowanych sił zewnętrznych zaprojektowano następujące rodzaje słupów: słupy skrajne, słupy szczytowe, słupy zewnętrzne, słupy wspornikowe oraz słupy wewnętrzne. Słupy skrajne zaprojektowano jako słupy pełnościenne o przekroju HEB 550 wzmocnionym symetrycznie blachą o przekroju 10x550mm. Słup jest utwierdzony (węzeł sztywny) w płaszczyźnie ramy i przegubowy w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ramy. Słupy szczytowe zaprojektowano jako słupy pełnościenne o przekroju HEB 550. Podstawę słupa zaprojektowano jako przegubową. Słupy zewnętrzne zaprojektowano jako słupy pełnościenne o przekroju HEB 280. Słup jest utwierdzony (węzeł sztywny) w płaszczyźnie ramy i przegubowy w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ramy. Słupy wspornikowe i wewnętrzne wykonano z rur okrągłych o przekrojach odpowiednio: RO 244,5x6mm i RO 273x22,2mm. Podstawy słupów zaprojektowano jako przegubowe.

## **1.9. Zabezpieczenie antykorozyjne i przeciwpożarowe**

Konstrukcja została zabezpieczona antykorozyjnie poprzez nałożenie powłoki cynkowej metodą natryskową. W celu zabezpieczenia przeciwpożarowego należy zastosować ogniochronną farbę pęczniejącą FLAME STAL.

## **1.10. Obliczenia statyczne**

Do obliczeń statycznych głównego układu nośnego wykorzystano program Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011.

## 2. ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ

### 2.1. Zestawienie obciążeń na 1m<sup>2</sup>

#### 2.1.1. Oddziaływania stałe

##### Obciążenia stałe 1m<sup>2</sup> połaci dachowej

2xpapa termozgrzewalna		0,15 kN/m <sup>2</sup>
Wełna mineralna twarda 15cm;	0,15·2,0 =	0,30 kN/m <sup>2</sup>
Błacha profilowana T55-53L-976		0,09 kN/m <sup>2</sup>
Płatwie i stężenia		0,15 kN/m <sup>2</sup>
Instalacje		0,30 kN/m <sup>2</sup>
	Σ	<b>0,99 kN/m<sup>2</sup></b>

##### Obciążenia stałe 1m<sup>2</sup> ściany osłonowej – 0,35 kN/m<sup>2</sup>

Ciężar własny dźwigara i słupów zostanie uwzględniony bezpośrednio w programie komputerowym do obliczeń statycznych.

#### 2.1.2. Oddziaływania zmienne

**Obciążenia użytkowe dachu** kategorii H o wartości 0,40 kN/m<sup>2</sup> pominięto, ponieważ jest obciążeniem mniejszym od innych oddziaływań zmiennych. Zgodnie z PN-EN 1990 nie zaleca się przyjmować obciążenia użytkowego dachu łącznie ze śniegiem i wiatrem.

**Obciążenie śniegiem** na 1m<sup>2</sup> rzutu połaci dachu w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej.

Lokalizacja: Warszawa

Strefa obciążenia śniegiem gruntu: 2

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

$$\mu_i = \mu_1 = 0,8$$

$$C_e = 0,8 \text{ - teren wystawiony na działanie wiatru}$$

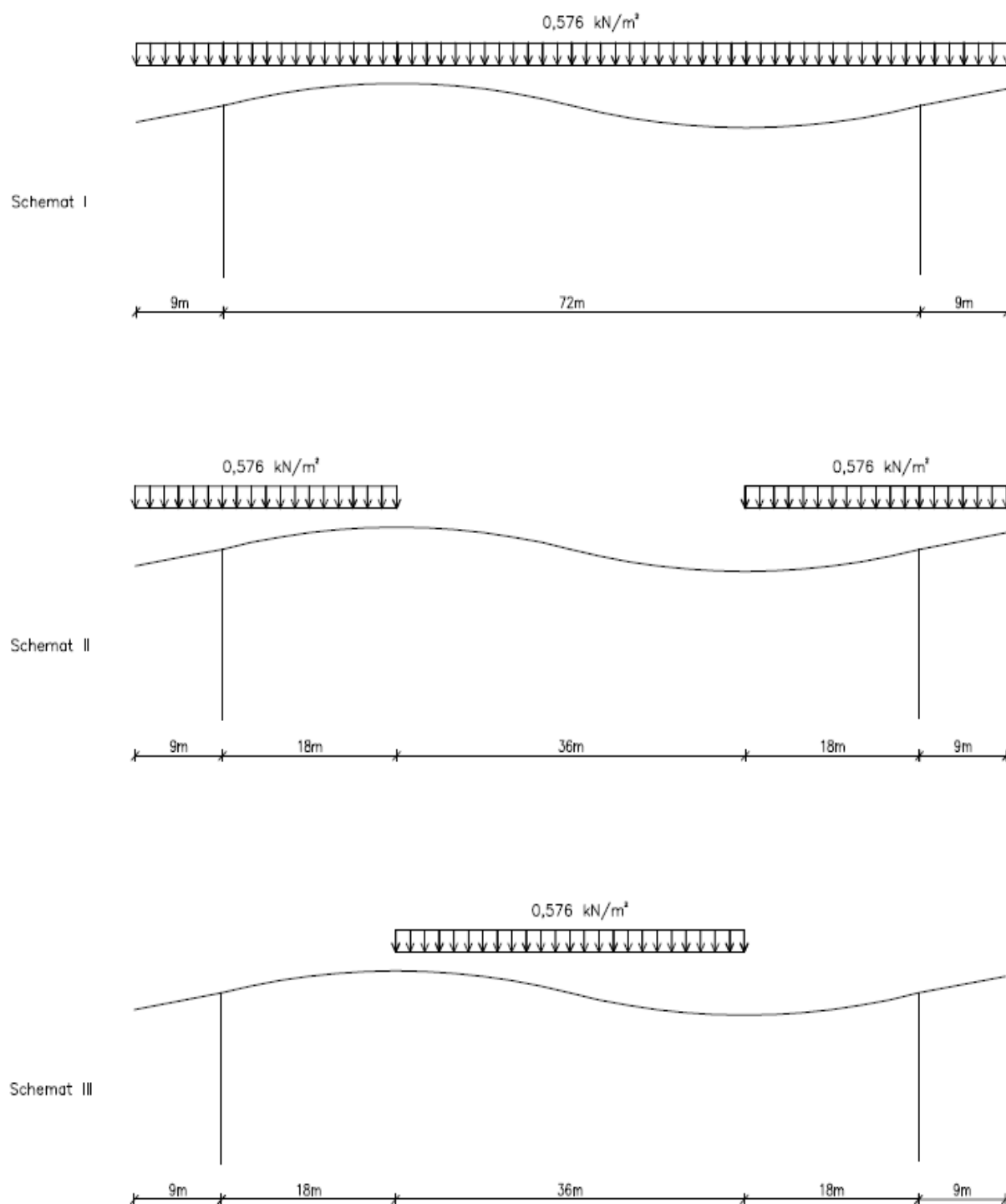
$$C_t = 1$$

$$s_k = 0,9 \frac{kN}{m^2}$$

Równomierne obciążenie śniegiem:

$$s_1 = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,576 \frac{kN}{m^2}$$

Ze względu na specyficzną konstrukcję dachu przyjęto poniższe schematy obciążenia śniegiem dachu.



**Rys. 1.** Schematy obciążenia śniegiem dachu.

## Oddziaływanie wiatru

Lokalizacja: Warszawa

Strefa obciążenia wiatrem: 1

### *Oddziaływanie wiatru na powierzchnie zewnętrzne*

Współczynnik sezonowy:  $c_{season} = 1,0$

Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru:  $v_{b,0} = 22 \frac{m}{s}$

Wysokość odniesienia:  $h = 17,50m < b = 195m$  lub  $36m \rightarrow z_e = h = 17,50m$

Współczynnik ekspozycji dla terenu kategorii II:

$$c_e(z_e) = 2,29 \cdot \left(\frac{z_e}{10}\right)^{0,265} = 2,29 \cdot \left(\frac{17,50}{10}\right)^{0,265} = 2,66$$

Gęstość powietrza:  $\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$

Ciśnienie wiatru:  $w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$

Do wyznaczenia współczynników ciśnienia zewnętrznego  $c_{pe,10}$  zastosowano interpolację liniową.

*Gdy wiatr wieje na zachodnią ścianę podłużną*

$c_{dir} = 1,0$  sektor kierunku wiatru –  $270^\circ$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 22 \frac{m}{s} = 22,0 \frac{m}{s}$$

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(22,0 \frac{m}{s}\right)^2 = 302,5 \frac{N}{m^2}$$

$$q_p(z_e) = c_e(z_e) \cdot q_b = 2,66 \cdot 302,5 \frac{N}{m^2} = 804,65 \frac{N}{m^2} \cong 0,81 \frac{kN}{m^2}$$

- obciążenie wiatrem  $1m^2$  ściany

$$e = \min(b; 2h) = \min(195,0; 2 \cdot 17,50) = 35,0m$$

Ściana podłużna dzieli się na 3 pola:

$$A = \frac{e}{5} = \frac{35,0}{5} = 7,0m, \quad B = \frac{4e}{5} = \frac{4 \cdot 35,0}{5} = 28,0m \quad \text{i} \quad C = d - e = 36,0 - 35,0 = 1,0m$$



pole A: ssanie  $c_{pe,10} = -1,20$   $w_{eA,p} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,20 = -0,97 \frac{kN}{m^2}$

pole B: ssanie  $c_{pe,10} = -0,80$   $w_{eB,p} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,80 = -0,65 \frac{kN}{m^2}$

pole C: ssanie  $c_{pe,10} = -0,50$   $w_{eC,p} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,50 = -0,41 \frac{kN}{m^2}$

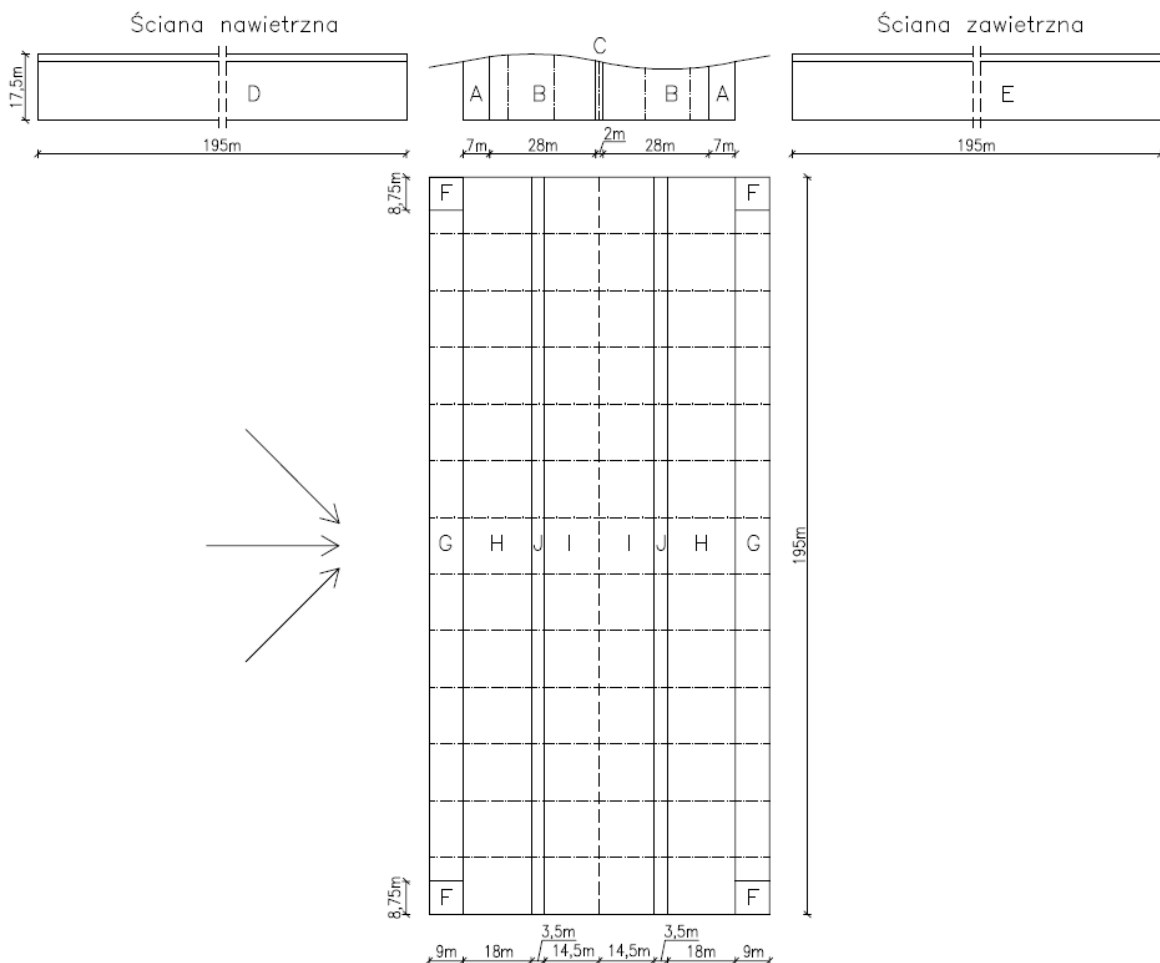
$$0,25 < \frac{h}{d} = \frac{17,5}{36,0} = 0,49 < 1$$

ściana nawietrzna

pole D: parcie  $c_{pe,10} = 0,73$   $w_{eD,p} = 0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,73 = 0,59 \frac{kN}{m^2}$

ściana zawietrzna

pole E: ssanie  $c_{pe,10} = -0,37$   $w_{eE,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,37 = -0,30 \frac{kN}{m^2}$



**Rys. 2.** Rozmieszczenie pól o różnych współczynnikach ciśnienia zewnętrznego na ścianach i dachu budynku, gdy wiatr wieje na ścianę podłużną.

- obciążenie wiatrem  $1\text{m}^2$  połaci dachowej ( $\theta = 0^\circ$ )

Dach dwuspadowy  $\alpha > 0^\circ$

$$e = \min(b; 2h) = \min(195; 2 \cdot 17,50) = 35,0\text{m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{35,0}{4} = 8,75\text{m} \quad \frac{e}{10} = \frac{35,0}{10} = 3,5\text{m}$$

pole F:	parcie	$c_{pe,10} = 0,14$	$w_{eF,p} = 0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,14 = 0,11 \frac{kN}{m^2}$
	ssanie	$c_{pe,10} = -1,14$	$w_{eF,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,14 = -0,92 \frac{kN}{m^2}$
pole G:	parcie	$c_{pe,10} = 0,14$	$w_{eG,p} = 0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,14 = 0,11 \frac{kN}{m^2}$
	ssanie	$c_{pe,10} = -0,92$	$w_{eG,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,92 = -0,75 \frac{kN}{m^2}$
pole H:	parcie	$c_{pe,10} = 0,14$	$w_{eH,p} = 0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,14 = 0,11 \frac{kN}{m^2}$
	ssanie	$c_{pe,10} = -0,39$	$w_{eH,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,39 = -0,32 \frac{kN}{m^2}$
pole I:	ssanie	$c_{pe,10} = -0,46$	$w_{eI,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,46 = -0,37 \frac{kN}{m^2}$
pole J:	parcie	$c_{pe,10} = 0,06$	$w_{eJ,p} = 0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,06 = 0,05 \frac{kN}{m^2}$
	ssanie	$c_{pe,10} = -0,88$	$w_{eJ,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,88 = -0,71 \frac{kN}{m^2}$

Dach dwuspadowy  $\alpha < 0^\circ$

$$e = \min(b; 2h) = \min(195; 2 \cdot 17,50) = 35,0\text{m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{35,0}{4} = 8,75\text{m} \quad \frac{e}{10} = \frac{35,0}{10} = 3,5\text{m}$$

pole F:	ssanie	$c_{pe,10} = -2,44$	$w_{eF,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 2,44 = -1,98 \frac{kN}{m^2}$
pole G:	ssanie	$c_{pe,10} = -1,27$	$w_{eG,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,27 = -1,03 \frac{kN}{m^2}$
pole H:	ssanie	$c_{pe,10} = -0,87$	$w_{eH,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,87 = -0,71 \frac{kN}{m^2}$
pole I:	ssanie	$c_{pe,10} = -0,53$	$w_{eI,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,53 = -0,43 \frac{kN}{m^2}$
pole J:	ssanie	$c_{pe,10} = -0,67$	$w_{eJ,s} = -0,81 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,67 = -0,54 \frac{kN}{m^2}$

Gdy wiatr wieje na północną ścianę szczytową

$$c_{dir} = 0,9 \text{ sektor kierunku wiatru} - 330^\circ$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 22 \frac{m}{s} = 19,8 \frac{m}{s}$$

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(19,8 \frac{m}{s}\right)^2 = 245,00 \frac{N}{m^2}$$

$$q_p(z_e) = c_e(z_e) \cdot q_b = 2,66 \cdot 245,00 \frac{N}{m^2} = 651,78 \frac{N}{m^2} \cong 0,65 \frac{kN}{m^2}$$

- obciążenie wiatrem  $1m^2$  ściany

$$e = \min(b; 2h) = \min(36,0; 2 \cdot 17,50) = 35,0m$$

Ściana podłużna dzieli się na 3 pola:

$$A = \frac{e}{5} = \frac{35,0}{5} = 7,0m, \quad B = \frac{4e}{5} = \frac{4 \cdot 35,0}{5} = 28,0m \quad \text{i} \quad C = d - e = 195,0 - 35,0 = 160,0m$$

$$\text{pole A:} \quad c_{pe,10} = -1,20 \quad w_{eA,s} = -0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,20 = -0,78 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{pole B:} \quad c_{pe,10} = -0,80 \quad w_{eB,s} = -0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,80 = -0,52 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{pole C:} \quad c_{pe,10} = -0,50 \quad w_{eC,s} = -0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,50 = -0,33 \frac{kN}{m^2}$$

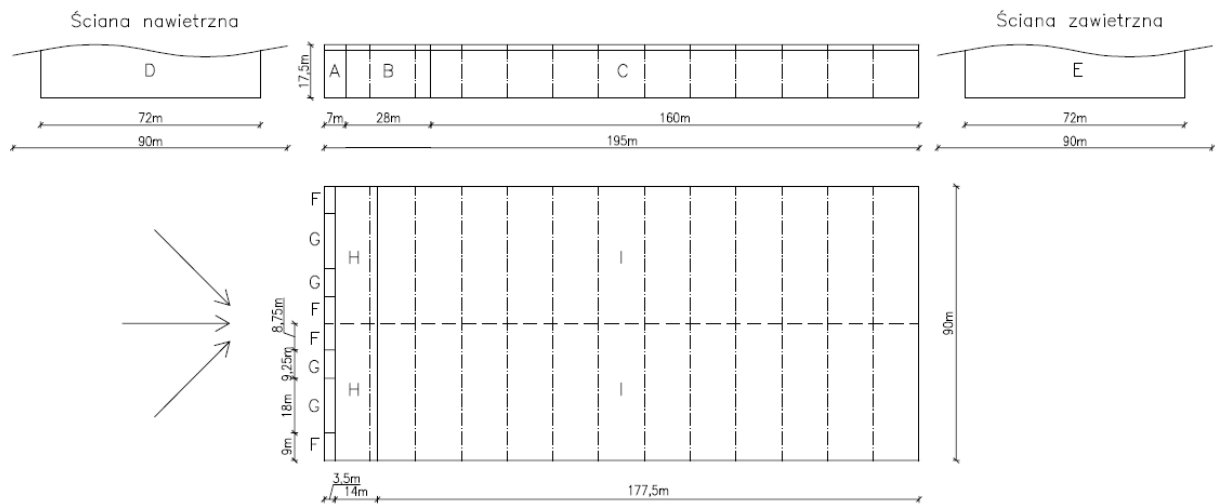
$$0,25 < \frac{h}{d} = \frac{17,5}{195,0} = 0,09 < 1$$

ściana nawietrzna

$$\text{pole D:} \quad \text{parcie} \quad c_{pe,10} = 0,70 \quad w_{eD,p} = 0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,70 = 0,46 \frac{kN}{m^2}$$

ściana zawietrzna

$$\text{pole E:} \quad \text{ssanie} \quad c_{pe,10} = -0,30 \quad w_{eE,s} = -0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,30 = -0,20 \frac{kN}{m^2}$$



**Rys. 3.** Rozmieszczenie pól o różnych współczynnikach ciśnienia zewnętrznego na ścianach i dachu budynku, gdy wiatr wieje na ścianę szczytową.

- obciążenie wiatrem  $1\text{m}^2$  połaci dachowej ( $\theta = 90^\circ$ )

Dach dwuspadowy  $\alpha > 0^\circ$

$$e = \min(b; 2h) = \min(36,0; 2 \cdot 17,50) = 35,0\text{m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{35,0}{2} = 17,50\text{m} \quad \frac{e}{4} = \frac{35,0}{4} = 8,75\text{m} \quad \frac{e}{10} = \frac{35,0}{10} = 3,50\text{m}$$

pole F: ssanie  $c_{pe,10} = -1,39$   $w_{eF,s} = -0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,39 = -0,90 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

pole G: ssanie  $c_{pe,10} = -1,30$   $w_{eG,s} = -0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,30 = -0,85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

pole H: ssanie  $c_{pe,10} = -0,63$   $w_{eH,s} = -0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,63 = -0,41 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

pole I: ssanie  $c_{pe,10} = -0,53$   $w_{eI,s} = -0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,53 = -0,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Dach dwuspadowy  $\alpha < 0^\circ$

$$e = \min(b; 2h) = \min(36,0; 2 \cdot 17,50) = 35,0\text{m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{35,0}{2} = 17,50\text{m} \quad \frac{e}{10} = \frac{35,0}{10} = 3,50\text{m} \quad \frac{e}{10} = \frac{35,0}{10} = 3,50\text{m}$$

pole F: ssanie	$c_{pe,10} = -1,87$	$w_{eF,s} = -0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,87 = -1,22 \frac{kN}{m^2}$
pole G: ssanie	$c_{pe,10} = -1,20$	$w_{eG,s} = -0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,20 = -0,78 \frac{kN}{m^2}$
pole H: ssanie	$c_{pe,10} = -0,77$	$w_{eH,s} = -0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,77 = -0,50 \frac{kN}{m^2}$
pole I: ssanie	$c_{pe,10} = -0,74$	$w_{eI,s} = -0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,74 = -0,48 \frac{kN}{m^2}$

### ***Oddziaływanie wiatru na powierzchnie wewnętrzne***

Przyjęto dwie, najbardziej niekorzystne, wartości współczynników ciśnienia wewnętrznego: +0,2 i -0,3.

Założono, że otwory (drzwi) znajdują się tylko w ścianach.

Przyjęto, że wysokość na której znajdują się otwory wynosi  $z_i = 2,40m$ .

$$c_e(z_i) = 2,29 \cdot \left(\frac{z_e}{10}\right)^{0,265} = 2,29 \cdot \left(\frac{2,40}{10}\right)^{0,265} = 1,57$$

*Gdy wiatr wieje na zachodnią ścianę podłużną*

$$q_b = 302,5 \frac{N}{m^2}$$

$$q_p(z_i) = c_e(z_i) \cdot q_b = 1,57 \cdot 302,5 \frac{N}{m^2} = 474,93 \frac{N}{m^2} \cong 0,48 \frac{kN}{m^2}$$

parcie:  $w_{i,p} = 0,48 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,2 = 0,10 \frac{kN}{m^2}$

ssanie:  $w_{i,s} = -0,48 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,3 = -0,14 \frac{kN}{m^2}$

*Gdy wiatr wieje na północną ścianę szczytową*

$$q_b = 245,00 \frac{N}{m^2}$$

$$q_p(z_i) = c_e(z_i) \cdot q_b = 1,57 \cdot 245,00 \frac{N}{m^2} = 384,65 \frac{N}{m^2} \cong 0,39 \frac{kN}{m^2}$$

parcie:  $w_{i,p} = 0,39 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,2 = 0,08 \frac{kN}{m^2}$

ssanie:  $w_{i,s} = -0,39 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,3 = -0,12 \frac{kN}{m^2}$

## 2.2. Zestawienie obciążeń ram skrajnych

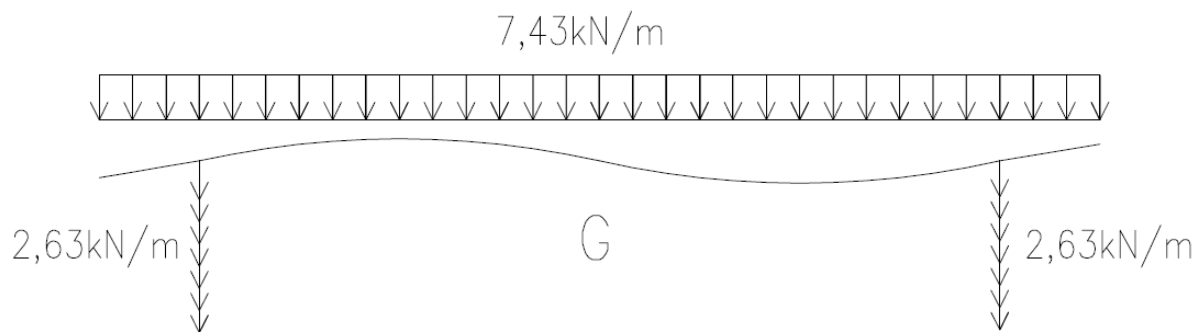
### 2.2.1. Oddziaływania stałe

Obciążenie stałe z 1m połaci dachowej

$$0,99 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 7,43 \frac{kN}{m}$$

Obciążenie stałe z 1m ściany osłonowej

$$0,35 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 2,63 \frac{kN}{m}$$



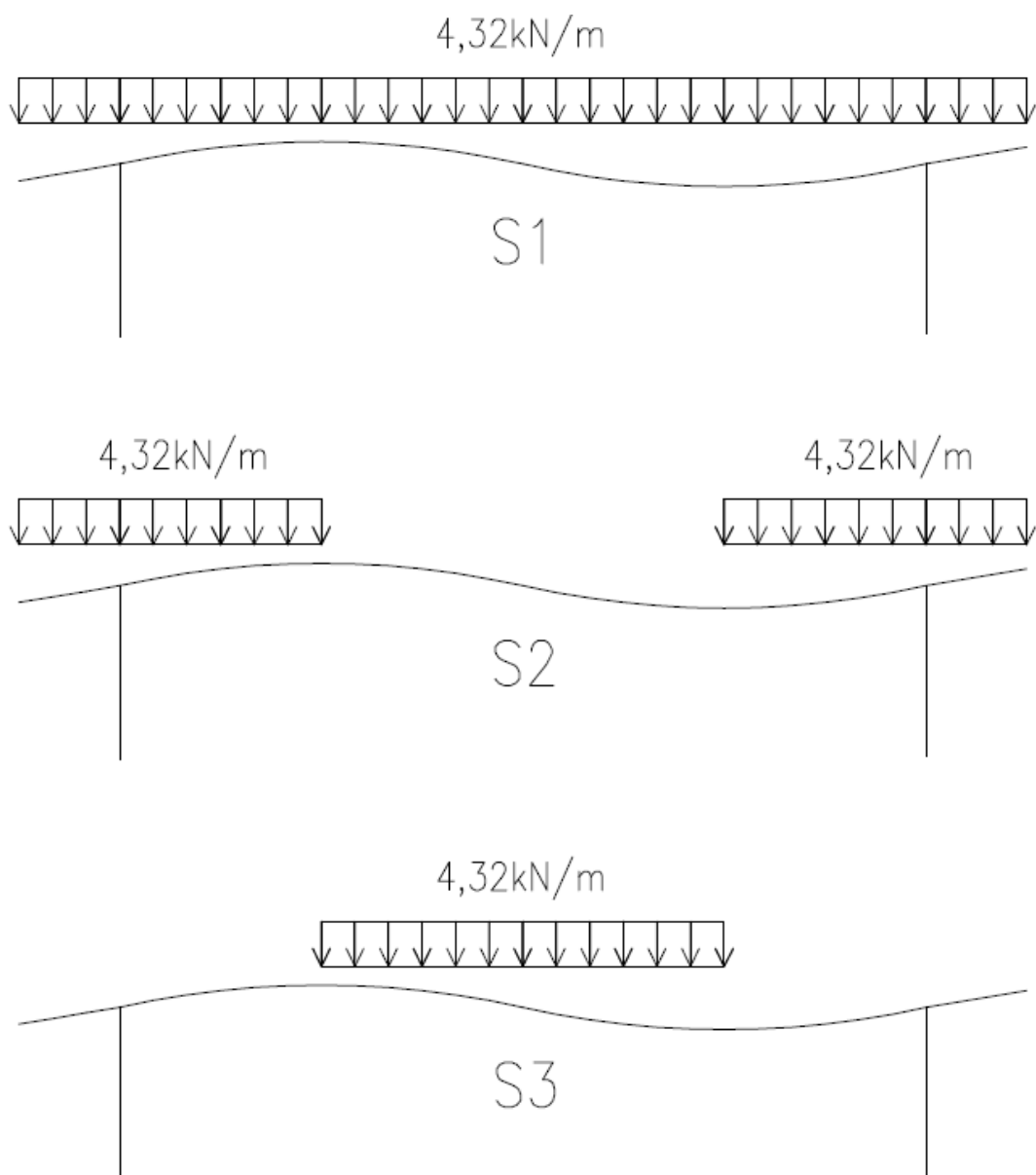
Rys. 4. Obciążenia stałe.

### 2.2.2. Oddziaływania zmienne

**Obciążenie śniegiem z 1m rzutu poziomego dachu**

Obciążenie śniegiem dachu schemat I-III

$$0,576 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 4,32 \frac{kN}{m}$$



**Rys. 5.** Obciążenie śniegiem.

**Obciążenie wiatru z 1m ścian i połaci dachowych**

***Oddziaływanie wiatru na powierzchnie zewnętrzne***

Gdy wiatr wieje na zachodnią ścianę podłużną

$\frac{h}{d} = \frac{17,5}{36,0} = 0,49 < 1$ , więc współczynnik korelacji wynosi 0,85.

Ściana szczytowa:

$$\text{ssanie na polu A (w osi A i G)} \quad -0,85 \cdot 0,97 \frac{kN}{m^2} \cdot 6,0m = -4,95 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu A/B (w osi B i F)} \quad -0,85 \cdot (0,97 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,0m + 0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 11,0m) = -6,90 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu B (w osi C i E)} \quad -0,85 \cdot 0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 12,0m = -6,63 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu B/C (w osi D)} \quad -0,85 \cdot (0,65 \frac{kN}{m^2} \cdot 10,0m + 0,41 \frac{kN}{m^2} \cdot 2,0m) = -6,22 \frac{kN}{m}$$

Ściana nawietrzna:

$$\text{parcie na polu D (w osi 1 i 14)} \quad 0,85 \cdot 0,59 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 3,76 \frac{kN}{m}$$

Ściana zawietrzna:

$$\text{ssanie na polu E (w osi 1 i 14)} \quad -0,85 \cdot 0,30 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -1,91 \frac{kN}{m}$$

Dach dwuspadowy  $\alpha > 0^\circ$ :

$$\text{parcie na polu F (w osi 1 i 14)} \quad 0,11 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 0,83 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu F (w osi 1 i 14)} \quad -0,92 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -6,90 \frac{kN}{m}$$

$$\text{parcie na polu H (w osi 1 i 14)} \quad 0,11 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 0,83 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu H (w osi 1 i 14)} \quad -0,32 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -2,40 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu I (w osi 1 i 14)} \quad -0,37 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -2,78 \frac{kN}{m}$$

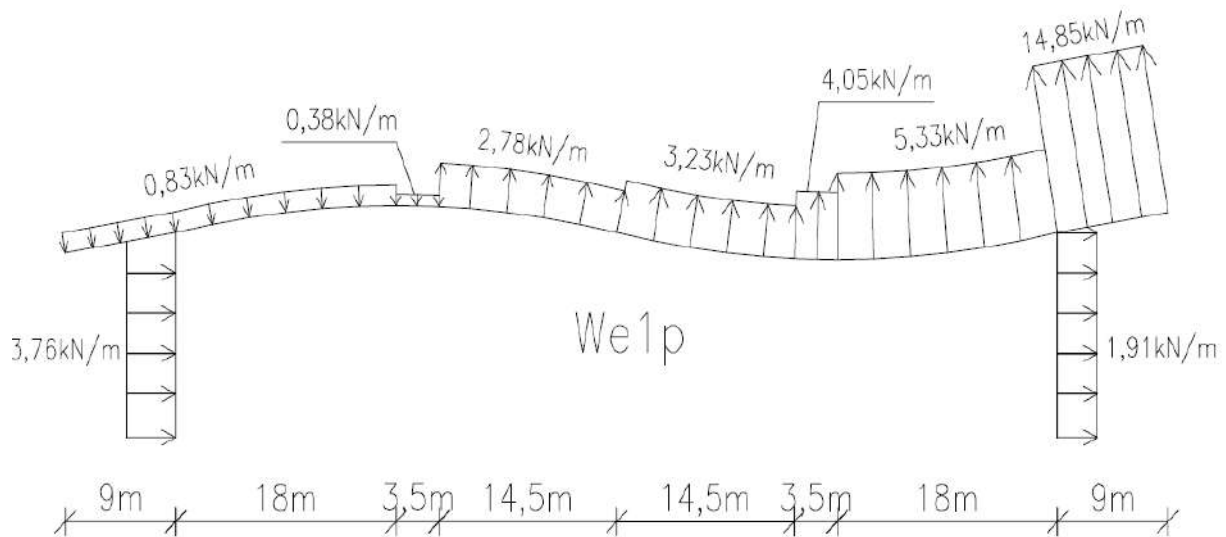
$$\text{parcie na polu J (w osi 1 i 14)} \quad 0,05 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 0,38 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu J (w osi 1 i 14)} \quad -0,71 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -5,33 \frac{kN}{m}$$

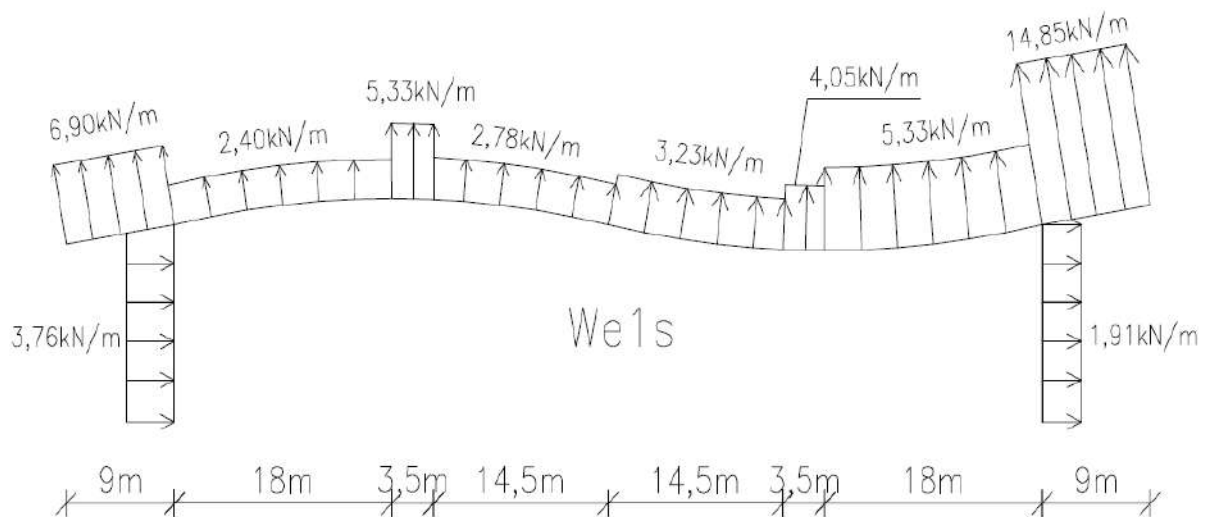


Dach dwuspadowy  $\alpha < 0^\circ$  :

ssanie na polu F (w osi 1 i 14)	$-1,98 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -14,85 \frac{kN}{m}$
ssanie na polu H (w osi 1 i 14)	$-0,71 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -5,33 \frac{kN}{m}$
ssanie na polu I (w osi 1 i 14)	$-0,43 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -3,23 \frac{kN}{m}$
ssanie na polu J (w osi 1 i 14)	$-0,54 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -4,05 \frac{kN}{m}$



**Rys. 6.** Oddziaływanie wiatru na powierzchnie zewnętrzne – parcie na ścianę nawietrzną i parcie na polach F, H, J.



**Rys. 7 .** Oddziaływanie wiatru na powierzchnie zewnętrzne – parcie na ścianę nawietrzną i ssanie na polach F, H, J.

Gdy wiatr wieje na północną ścianę szczytową

Ściany podłużne:

ssanie na polu A/B (w osi 1) 
$$-(0,78 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,0m + 0,52 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,5m) = -5,72 \frac{kN}{m}$$

ssanie na polu C (w osi 14) 
$$-0,33 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -2,48 \frac{kN}{m}$$

ściana nawietrzna:

parcie na polu D (w osi A i G) 
$$0,46 \frac{kN}{m^2} \cdot 6,0m = 2,76 \frac{kN}{m}$$

parcie na polu D (w osi B-F) 
$$0,46 \frac{kN}{m^2} \cdot 12,0m = 5,52 \frac{kN}{m}$$

ściana zawietrzna:

ssanie na polu E (w osi A i G) 
$$-0,20 \frac{kN}{m^2} \cdot 6,0m = -1,20 \frac{kN}{m}$$

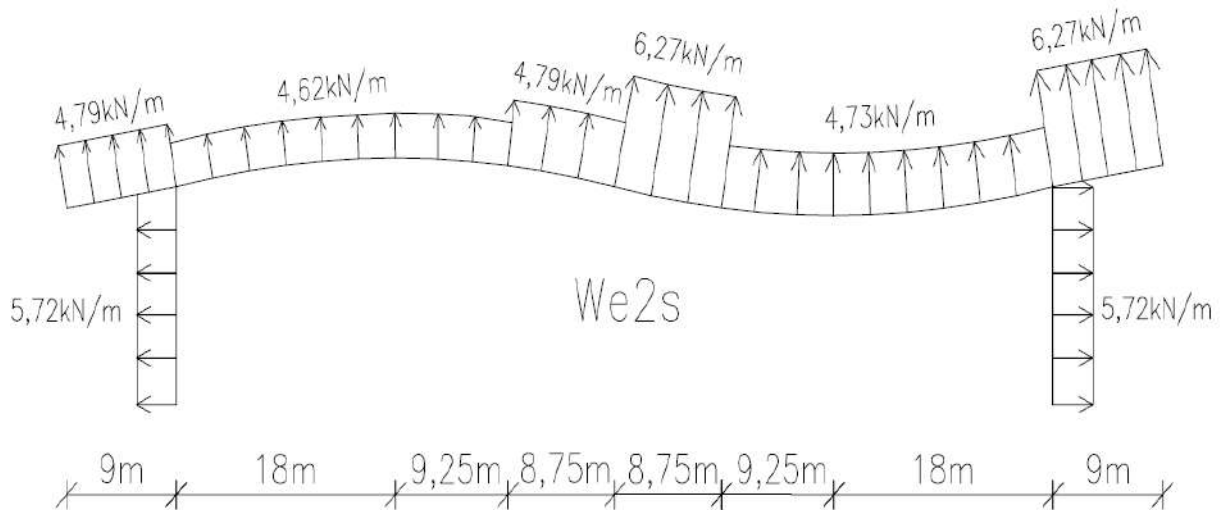
ssanie na polu E (w osi B-F) 
$$-0,20 \frac{kN}{m^2} \cdot 12,0m = -2,40 \frac{kN}{m}$$

Dach dwuspadowy  $\alpha > 0^\circ$  :

ssanie na polu F/H (w osi 1) 
$$-(0,90 \frac{kN}{m^2} \cdot 3,5m + 0,41 \frac{kN}{m^2} \cdot 4,0m) = -4,79 \frac{kN}{m}$$

ssanie na polu G/H (w osi 1) 
$$-(0,85 \frac{kN}{m^2} \cdot 3,5m + 0,41 \frac{kN}{m^2} \cdot 4,0m) = -4,62 \frac{kN}{m}$$

ssanie na polu I (w osi 14) 
$$-0,35 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -2,63 \frac{kN}{m}$$



**Rys. 8.** Oddziaływanie wiatru na powierzchnie zewnętrzne – ssanie na ścianach podłużnych i dachu.

Dach dwuspadowy  $\alpha < 0^\circ$  :

ssanie na polu F/H (w osi 1) 
$$-(1,22 \frac{kN}{m^2} \cdot 3,5m + 0,50 \frac{kN}{m^2} \cdot 4,0m) = -6,27 \frac{kN}{m}$$

ssanie na polu G/H (w osi 1) 
$$-(0,78 \frac{kN}{m^2} \cdot 3,5m + 0,50 \frac{kN}{m^2} \cdot 4,0m) = -4,73 \frac{kN}{m}$$

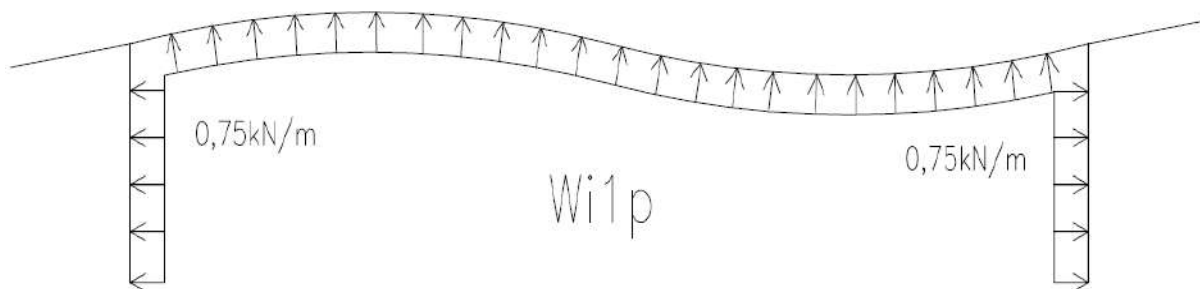
ssanie na polu I (w osi 14) 
$$-0,48 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -3,60 \frac{kN}{m}$$

***Oddziaływanie wiatru na powierzchnie wewnętrzne***

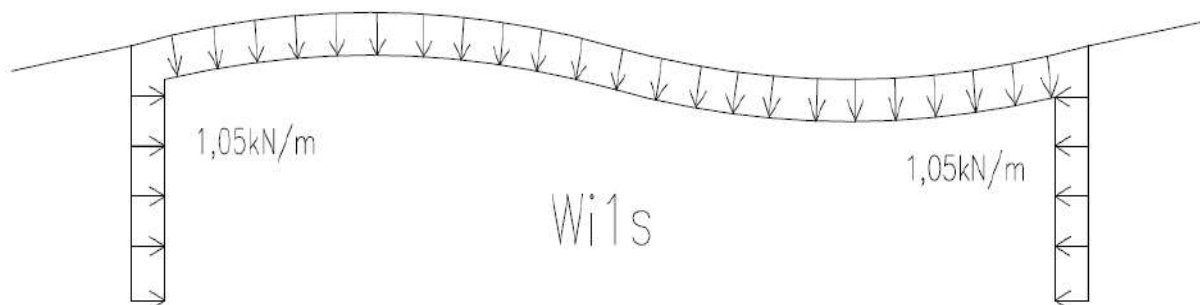
Gdy wiatr wieje na zachodnią ścianę podłużną

parcie 
$$0,10 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 0,75 \frac{kN}{m}$$

ssanie 
$$-0,14 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -1,05 \frac{kN}{m}$$



**Rys. 9.** Oddziaływanie wiatru na powierzchnie wewnętrzne – parcie wewnętrzne.



**Rys. 10.** Oddziaływanie wiatru na powierzchnie wewnętrzne – ssanie wewnętrzne.

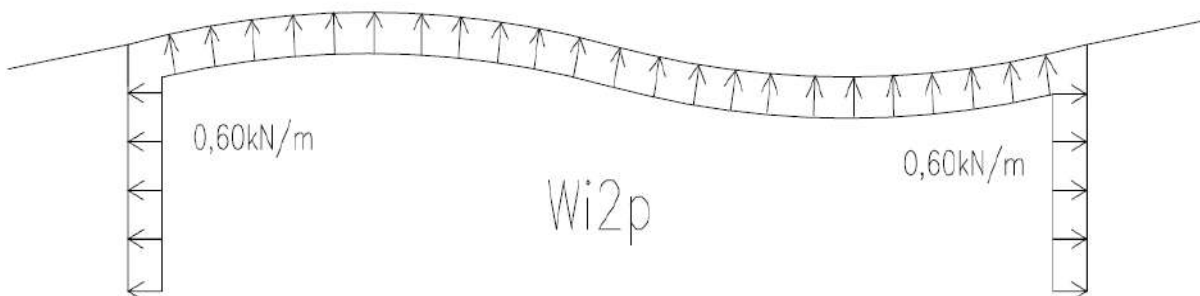
Gdy wiatr wieje na północną ścianę szczytową

parcie

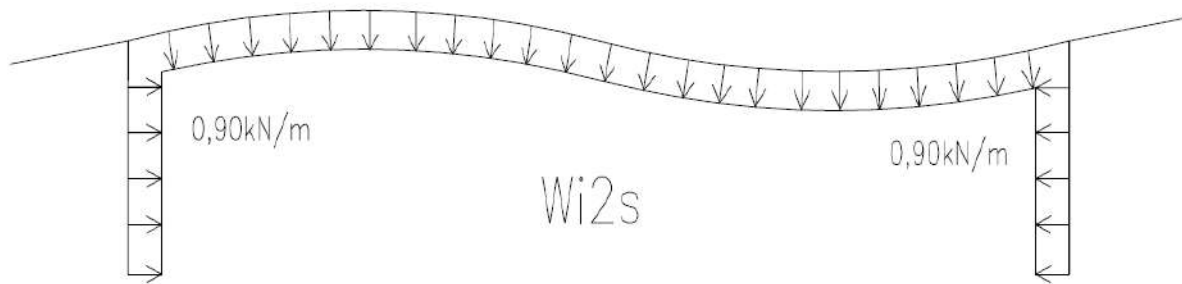
$$0,08 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 0,60 \frac{kN}{m}$$

ssanie

$$-0,12 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -0,90 \frac{kN}{m}$$



**Rys. 11.** Oddziaływanie wiatru na powierzchnie wewnętrzne – parcie wewnętrzne.



**Rys. 12.** Oddziaływanie wiatru na powierzchnie wewnętrzne – ssanie wewnętrzne.

## 2.3. Zestawienie obciążeń ram pośrednich

### 2.3.1. Oddziaływania stałe

Obciążenie stałe z 1m połaci dachowej

$$0,99 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 7,43 \frac{kN}{m}$$

Obciążenie stałe z 1m ściany osłonowej

$$0,35 \frac{kN}{m^2} \cdot 15,0m = 5,25 \frac{kN}{m}$$

### 2.3.2. Oddziaływania zmienne

**Obciążenie śniegiem** z 1 m rzutu poziomego dachu

Obciążenie śniegiem dachu schemat I-III

$$0,576 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 4,32 \frac{kN}{m}$$

**Obciążenie wiatru** z 1m ścian i połaci dachowych

### *Oddziaływanie wiatru na powierzchnie zewnętrzne*

Gdy wiatr wieje na zachodnią ścianę podłużną

$$\frac{h}{d} = \frac{17,5}{36,0} = 0,49 < 1, \text{ więc współczynnik korelacji wynosi } 0,85.$$

Ściana nawietrzna:

parcie na polu D ( w osi 2-13)

$$0,85 \cdot 0,59 \frac{kN}{m^2} \cdot 15,0m = 7,52 \frac{kN}{m}$$

Ściana zawietrzna:

$$\text{ssanie na polu E (w osi 2-13)} \quad -0,85 \cdot 0,30 \frac{kN}{m^2} \cdot 15,0m = -3,28 \frac{kN}{m}$$

Dach dwuspadowy  $\alpha > 0^\circ$ :

$$\text{parcie na polu F/G (w osi 2 i 13)} \quad 0,11 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,25m + 0,11 \frac{kN}{m^2} \cdot 6,25m = 0,83 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu F/G (w osi 2 i 13)} \quad -\left(0,92 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,25m + 0,75 \frac{kN}{m^2} \cdot 6,25m\right) = -5,84 \frac{kN}{m}$$

$$\text{parcie na polu G (w osi 2-13)} \quad 0,11 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 0,83 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu G (w osi 2-13)} \quad -0,75 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -5,63 \frac{kN}{m}$$

$$\text{parcie na polu H (w osi 2-13)} \quad 0,11 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 0,83 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu H (w osi 2-13)} \quad -0,32 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -2,40 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu I (w osi 2-13)} \quad -0,37 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -2,78 \frac{kN}{m}$$

$$\text{parcie na polu J (w osi 2-13)} \quad 0,05 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = 0,38 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu J (w osi 2-13)} \quad -0,71 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -5,33 \frac{kN}{m}$$

Dach dwuspadowy  $\alpha < 0^\circ$ :

$$\text{ssanie na polu F/G (w osi 2 i 13)} \quad -\left(1,98 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,25m + 1,03 \frac{kN}{m^2} \cdot 6,25\right) = -8,92 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu G (w osi 2-13)} \quad -1,03 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -7,73 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu H (w osi 2-13)} \quad -0,71 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -5,33 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu I (w osi 2-13)} \quad -0,43 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -3,23 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu J (w osi 2-13)} \quad -0,54 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -4,05 \frac{kN}{m}$$

### Gdy wiatr wieje na północną ścianę szczytową

Ściany podłużne:

$$\text{ssanie na polu B (w osi 2-3)} \quad -0,52 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -3,90 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu B/C (w osi 3)} \quad -\left(0,52 \frac{kN}{m^2} \cdot 5,00m + 0,33 \frac{kN}{m^2} \cdot 2,5m\right) = -3,43 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu C (w osi 4-13)} \quad -0,33 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -2,48 \frac{kN}{m}$$

Dach dwuspadowy  $\alpha > 0^\circ$ :

$$\text{ssanie na polu H (w osi 2)} \quad -0,41 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -3,08 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu H/I (w osi 2)} \quad -\left(0,41 \frac{kN}{m^2} \cdot 2,5m + 0,35 \frac{kN}{m^2} \cdot 5,0m\right) = -2,78 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu I (w osi 3-13)} \quad -0,35 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -2,63 \frac{kN}{m}$$

Dach dwuspadowy  $\alpha < 0^\circ$ :

$$\text{ssanie na polu H (w osi 2)} \quad -0,50 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -3,75 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu H/I (w osi 2)} \quad -\left(0,50 \frac{kN}{m^2} \cdot 2,5m + 0,48 \frac{kN}{m^2} \cdot 5,0m\right) = -3,65 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie na polu I (w osi 3-13)} \quad -0,48 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,5m = -3,60 \frac{kN}{m}$$

### ***Oddziaływanie wiatru na powierzchnie wewnętrzne***

#### Gdy wiatr wieje na zachodnią ścianę podłużną

$$\text{parcie} \quad 0,10 \frac{kN}{m^2} \cdot 15,0m = 1,50 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie} \quad -0,14 \frac{kN}{m^2} \cdot 15,0m = -2,10 \frac{kN}{m}$$

#### Gdy wiatr wieje na północną ścianę szczytową

$$\text{parcie} \quad 0,08 \frac{kN}{m^2} \cdot 15,0m = 1,20 \frac{kN}{m}$$

$$\text{ssanie} \quad -0,12 \frac{kN}{m^2} \cdot 15,0m = -1,80 \frac{kN}{m}$$

### 3. KOMBINACJE OBCIĄŻEŃ DO OBLICZEŃ GŁÓWNEGO UKŁADU NOŚNEGO

#### 3.1. Stan graniczny nośności (SGN)

Gdy oddziaływania stałe są niekorzystne

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj, \text{sup}} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

i

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{Gj, \text{sup}} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Gdy oddziaływania stałe są korzystne

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj, \text{inf}} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

i

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj, \text{inf}} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Przy czym:

$\gamma_{Gj, \text{sup}} = 1,35$ ,  $\gamma_{Gj, \text{inf}} = 1,00$ ,  $\gamma_{Q,1} = 1,50$  lub  $0$ ,  $\gamma_{Q,i} = 1,50$  lub  $0$ ,  $\xi_j = 0,85$ ,  $\psi_0 = 0,5$  - śnieg oraz  $0,6$  - wiatr.

KOMB1:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1p + W_i 1s) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S1$

KOMB2:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1p + W_i 1s) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S2$

KOMB3:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1p + W_i 1s) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S3$

KOMB4:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1s + W_i 1p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S1$

KOMB5:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1s + W_i 1p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S2$

KOMB6:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1s + W_i 1p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S3$

KOMB7:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 2s + W_i 2p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S1$

KOMB8:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 2s + W_i 2p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S2$

KOMB9:  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 2s + W_i 2p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S3$

KOMB10:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S1 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1p + W_i 1s)$



- KOMB11:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S1 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1s + W_i 1p)$
- KOMB12:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S1 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 2s + W_i 2p)$
- KOMB13:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S2 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1p + W_i 1s)$
- KOMB14:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S2 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1s + W_i 1p)$
- KOMB15:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S2 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 2s + W_i 2p)$
- KOMB16:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S3 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1p + W_i 1s)$
- KOMB17:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S3 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 1s + W_i 1p)$
- KOMB18:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S3 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W_e 2s + W_i 2p)$
- KOMB19:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 1p + W_i 1s) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S1$
- KOMB20:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 1s + W_i 1p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S1$
- KOMB21:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 2s + W_i 2p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S1$
- KOMB22:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 1p + W_i 1s) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S2$
- KOMB23:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 1s + W_i 1p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S2$
- KOMB24:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 2s + W_i 2p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S2$
- KOMB25:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 1p + W_i 1s) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S3$
- KOMB26:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 1s + W_i 1p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S3$
- KOMB27:  $1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 2s + W_i 2p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S3$
- KOMB28:  $G + 1,5 \cdot (W_e 1p + W_i 1s)$
- KOMB29:  $G + 1,5 \cdot (W_e 1s + W_i 1p)$
- KOMB30:  $G + 1,5 \cdot (W_e 2s + W_i 2p)$

### 3.2. Stan graniczny użyteczności (SGU)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- KOMB31:  $G + S1 + 0,6 \cdot (W_e 1p + W_i 1s)$
- KOMB32:  $G + S1 + 0,6 \cdot (W_e 1s + W_i 1p)$
- KOMB33:  $G + S1 + 0,6 \cdot (W_e 2s + W_i 2p)$

- KOMB34:  $G + S2 + 0,6 \cdot (W_e 1p + W_i 1s)$
- KOMB35:  $G + S2 + 0,6 \cdot (W_e 1s + W_i 1p)$
- KOMB36:  $G + S2 + 0,6 \cdot (W_e 2s + W_i 2p)$
- KOMB37:  $G + S3 + 0,6 \cdot (W_e 1p + W_i 1s)$
- KOMB38:  $G + S3 + 0,6 \cdot (W_e 1s + W_i 1p)$
- KOMB39:  $G + S3 + 0,6 \cdot (W_e 2s + W_i 2p)$
- KOMB40:  $G + (W_e 1p + W_i 1s) + 0,5 \cdot S1$
- KOMB41:  $G + (W_e 1s + W_i 1p) + 0,5 \cdot S1$
- KOMB42:  $G + (W_e 2s + W_i 2p) + 0,5 \cdot S1$
- KOMB43:  $G + (W_e 1p + W_i 1s) + 0,5 \cdot S2$
- KOMB44:  $G + (W_e 1s + W_i 1p) + 0,5 \cdot S2$
- KOMB45:  $G + (W_e 2s + W_i 2p) + 0,5 \cdot S2$
- KOMB46:  $G + (W_e 1p + W_i 1s) + 0,5 \cdot S3$
- KOMB47:  $G + (W_e 1s + W_i 1p) + 0,5 \cdot S3$
- KOMB48:  $G + (W_e 2s + W_i 2p) + 0,5 \cdot S3$
- KOMB49:  $G + S1$
- KOMB50:  $G + S2$
- KOMB51:  $G + S3$

## 4. PRZEKROJE ELEMENTÓW

### 4.1. Słupy

#### 4.1.1. Słupy skrajne

Na słupy skrajne przyjęto dwuteowniki HEB 550 wzmocniony symetrycznie blachą o wymiarach podanych na Rys. 13.

Charakterystyki geometryczne słupa:

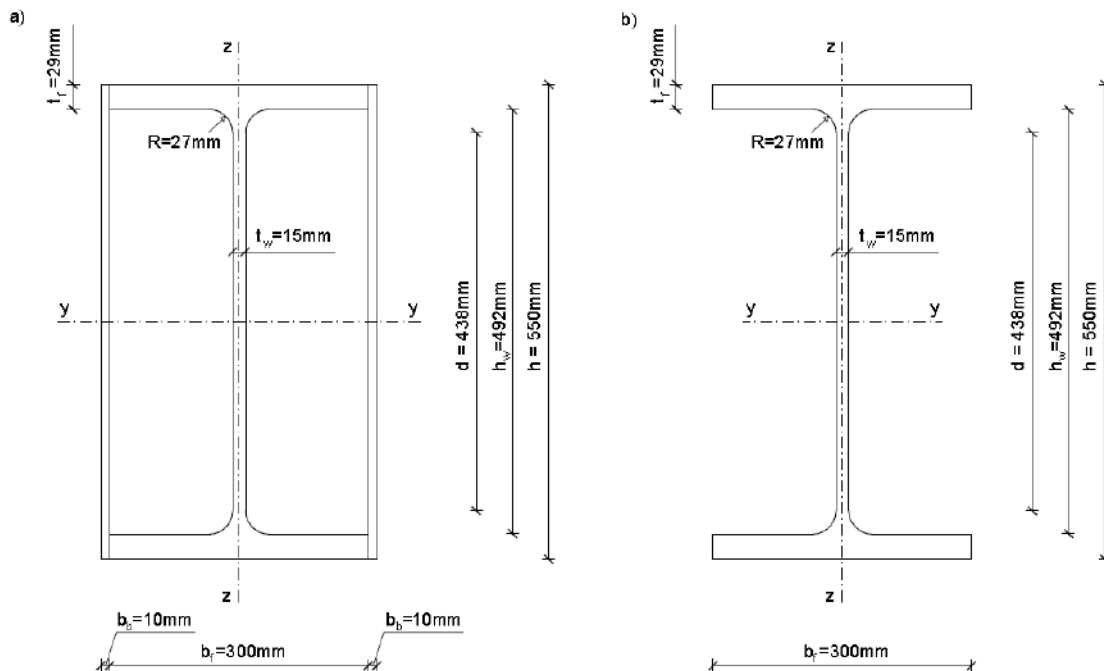
Pole przekroju	$A = 357,8 \text{ cm}^2$
Moment bezwładności względem osi y-y	$I_y = 160814,88 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności względem osi z-z	$I_z = 39500,5 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności przy skręcaniu	$I_T = 602,0 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności wycinkowy	$I_w = 8876120,7 \text{ cm}^6$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y	$W_{pl,y} = 5847,81 \text{ cm}^3$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z	$W_{pl,z} = 2468,78 \text{ cm}^3$

#### 4.1.2. Słupy szczytowe

Na słupy szczytowe przyjęto dwuteowniki HEB 550 o wymiarach podanych na Rys. 13.

Charakterystyki geometryczne słupa:

Pole przekroju	$A = 254,0 \text{ cm}^2$
Moment bezwładności względem osi y-y	$I_y = 136700,0 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności względem osi z-z	$I_z = 13080,0 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności przy skręcaniu	$I_T = 602,0 \text{ cm}^4$
Moment bezwładności wycinkowy	$I_w = 8876120,7 \text{ cm}^6$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y	$W_{pl,y} = 5590,61 \text{ cm}^3$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z	$W_{pl,z} = 1341,14 \text{ cm}^3$



Rys. 13. Przekrój słupa: a) skrajnego, b) szczytowego.

#### 4.1.3. Słupy zewnętrzne

Na słupy zewnętrzne przyjęto dwuteowniki HEB 280 o wymiarach podanych na Rys. 14.

Charakterystyki geometryczne słupa:

Pole przekroju

$$A = 131,0 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności względem osi y-y

$$I_y = 19270,0 \text{ cm}^4$$

Moment bezwładności względem osi z-z

$$I_z = 6590,0 \text{ cm}^4$$

Moment bezwładności przy skręcaniu

$$I_T = 144,0$$

$\text{cm}^4$

Moment bezwładności wycinkowy

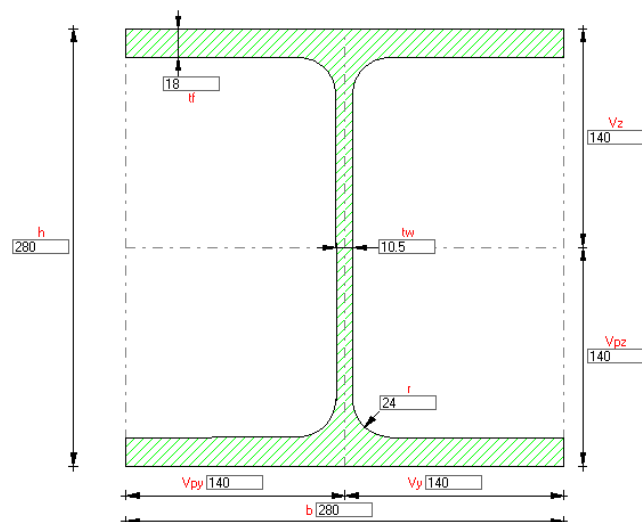
$$I_w = 1130909,9 \text{ cm}^6$$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y

$$W_{pl,y} = 1534,43 \text{ cm}^3$$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z

$$W_{pl,z} = 517,57 \text{ cm}^3$$



Rys. 14. Przekrój słupa zewnętrznego

#### 4.1.4. Słupy wspornikowe

Na słupy wspornikowe przyjęto kształtowniki rurowe okrągłe RO 244,5x6mm o wymiarach podanych na Rys. 15.

Charakterystyki geometryczne słupa:

Pole przekroju

$$A = 45,0 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności

$$I_y = I_z = 3199,0 \text{ cm}^4$$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 341,37 \text{ cm}^3$$

Promień bezwładności

$$i_y = i_z = 8,4 \text{ cm}$$

#### 4.1.5. Słupy wewnętrzne

Na słupy wewnętrzne przyjęto kształtowniki rurowe okrągłe RO 273x22,2mm o wymiarach podanych na Rys. 15.

Charakterystyki geometryczne słupa:

Pole przekroju

$$A = 175,0 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności

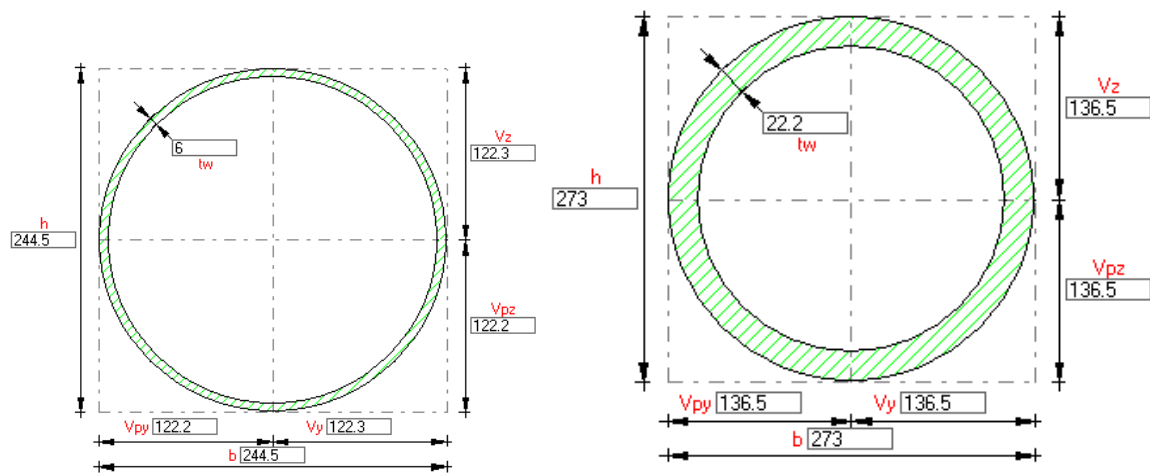
$$I_y = I_z = 13861,0 \text{ cm}^4$$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1400,04 \text{ cm}^3$$

Promień bezwładności

$$i_y = i_z = 8,9 \text{ cm}$$



Rys. 15. Przekrój słupa: wspornikowego (po lewej), wewnętrznego (po prawej).

## 4.2. Dźwigar

### 4.2.1. Pas ściany szczytowej

Na pas ściany szczytowej przyjęto kształtowniki rurowe kwadratowe RK 180x180x16mm o wymiarach podanych na Rys. 16.

Charakterystyki geometryczne pasa:

Pole przekroju

$$A = 102,2 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności

$$I_y = I_z = 4504,0 \text{ cm}^4$$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y

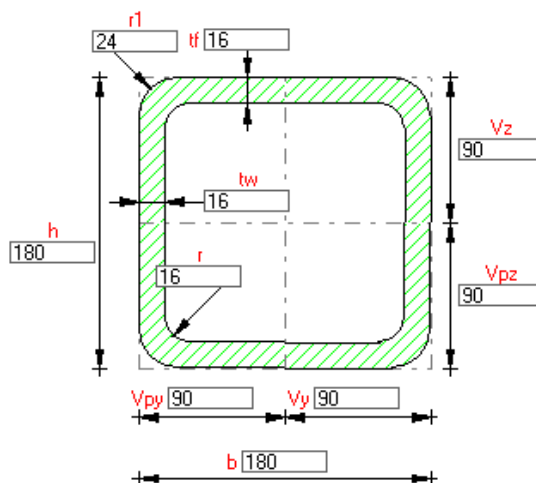
$$W_{pl,y} = 621,0 \text{ cm}^3$$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z

$$W_{pl,z} = 590,2 \text{ cm}^3$$

Promień bezwładności

$$i_y = i_z = 6,6 \text{ cm}$$



Rys. 16. Przekrój pasa ściany szczytowej

#### 4.2.2. Pas górny

Na pas górny dźwigara przyjęto kształtowniki rurowe kwadratowe RK 300x300x12,5mm o wymiarach podanych na Rys. 17.

Charakterystyki geometryczne pasa górnego:

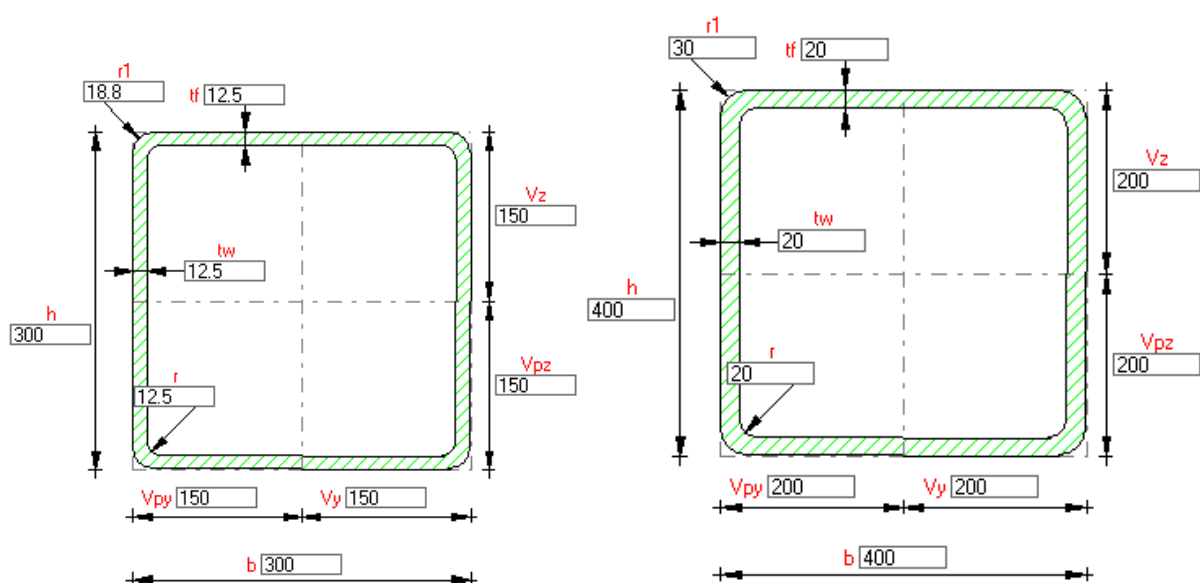
Pole przekroju	$A = 142,0 \text{ cm}^2$
Moment bezwładności	$I_y = I_z = 19442,0 \text{ cm}^4$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y	$W_{pl,y} = 1525,0 \text{ cm}^3$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z	$W_{pl,z} = 1491,37 \text{ cm}^3$
Promień bezwładności	$i_y = i_z = 11,7 \text{ cm}$

#### 4.2.3. Pas dolny

Na pas dolny dźwigara przyjęto kształtowniki rurowe kwadratowe RK 400x400x20mm o wymiarach podanych na Rys. 17.

Charakterystyki geometryczne pasa dolnego:

Pole przekroju	$A = 300,0 \text{ cm}^2$
Moment bezwładności	$I_y = I_z = 71535,0 \text{ cm}^4$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y	$W_{pl,y} = 4247,0 \text{ cm}^3$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z	$W_{pl,z} = 4133,85 \text{ cm}^3$
Promień bezwładności	$i_y = i_z = 15,4 \text{ cm}$



Rys. 17. Przekrój: pasa górnego (po lewej) i pasa dolnego (po prawej).

#### 4.2.4. Słupki

Na słupki dźwigara przyjęto kształtowniki rurowe kwadratowe RK 100x100x5mm o wymiarach podanych na Rys. 18.

Charakterystyki geometryczne pasa dolnego:

Pole przekroju

$$A = 18,7 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności

$$I_y = I_z = 279,0 \text{ cm}^4$$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y

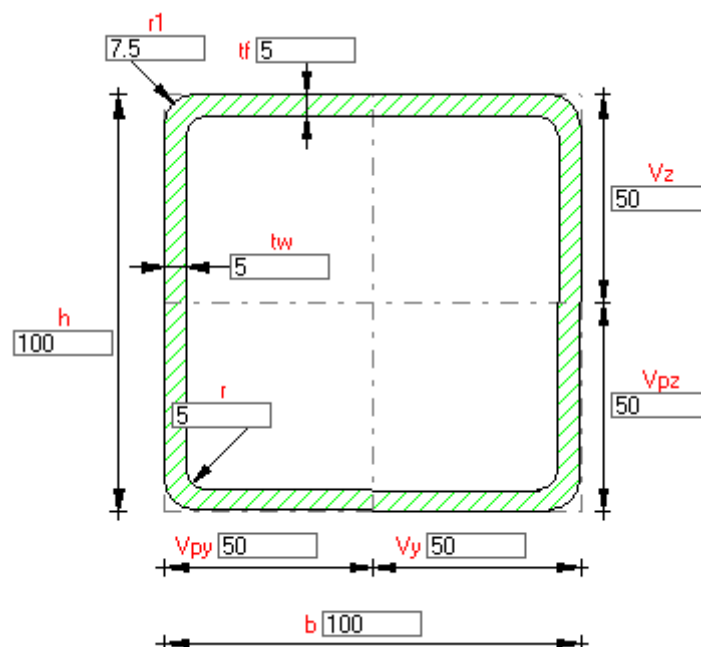
$$W_{pl,y} = 66,4 \text{ cm}^3$$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z

$$W_{pl,z} = 64,59 \text{ cm}^3$$

Promień bezwładności

$$i_y = i_z = 3,9 \text{ cm}$$



Rys. 18. Przekrój słupków.



## **5. ANALIZA GLOBALNA**

### **5.1. Wybór metody analizy**

Zgodnie z załącznikiem krajowym do PN-EN 1993-1-1 w przypadku jednokondygnacyjnych układów przechyłowych można stosować analizę I rzędu bez uwzględniania imperfekcji.

### **5.2. Dane do analizy**

Zamodelowana w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011 konstrukcja składa się z 1230 prętów oraz 832 węzłów.

Przyjęto następującą numerację prętów:

- słupy skrajne: pręty nr 1÷4
- słupy zewnętrzne: pręty nr 5÷28
- słupy szczytowe: pręty nr 29÷38
- słupy wspornikowe: pręty nr 39÷66
- pas ściany szczytowej: pręty nr 67÷126
- pas górny: pręty nr 127÷486
- pas dolny: pręty nr 487÷846
- słupki: pręty nr 847÷1110 oraz pręty nr 1159÷1230
- słupy wewnętrzne: pręty nr 1111÷1158

### **5.3. Przebieg analizy**

Obliczenia przeprowadzono przy użyciu programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011. Zastosowano analizę sprężystą I rzędu.

### **5.4. Wyniki analizy**

#### **5.4.1. Stany graniczne nośności**

Siły wewnętrzne miarodajne do wymiarowania otrzymano w przekrojach:

- słupów skrajnych przy kombinacji obciążeń KOMB20
- słupów zewnętrznych przy kombinacji obciążeń KOMB22
- słupów szczytowych przy kombinacji obciążeń KOMB23
- słupów wspornikowych przy kombinacji obciążeń KOMB19
- słupów wewnętrznych przy kombinacji obciążeń KOMB10

- pasa ściany szczytowej przy kombinacji obciążeń KOMB10
- pasa górnego dźwigara przy kombinacji obciążeń KOMB10
- pasa dolnego dźwigara przy kombinacji obciążeń KOMB10
- słupków przy kombinacji obciążeń KOMB10

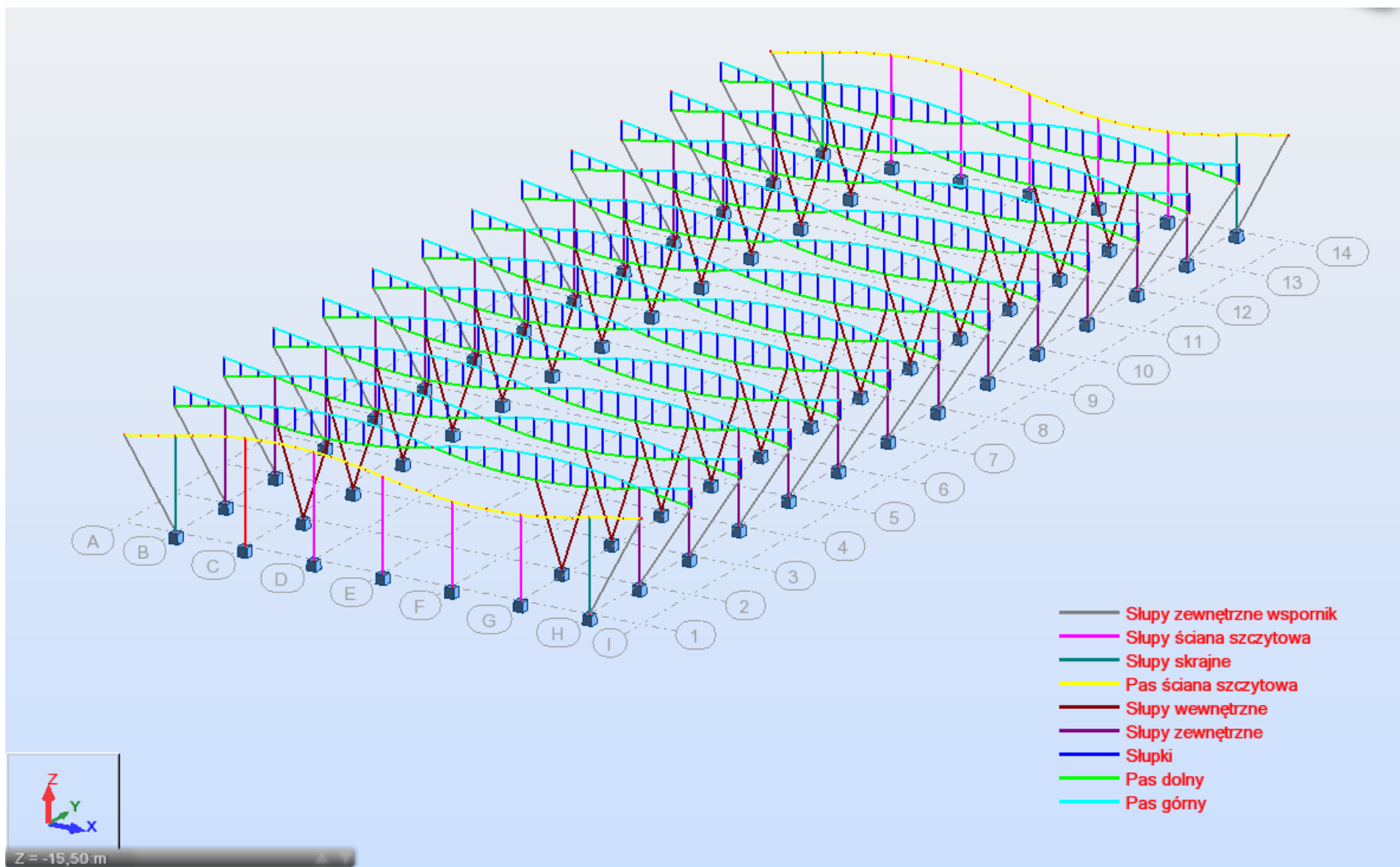
#### 5.4.2. Stany graniczne użyteczności

Maksymalne ugięcie dźwigara wystąpiło przy kombinacji obciążeń KOMB35. Przemieszczenie pionowe węzła 39 wyniosło 20,9cm i było mniejsze od ugięcia granicznego

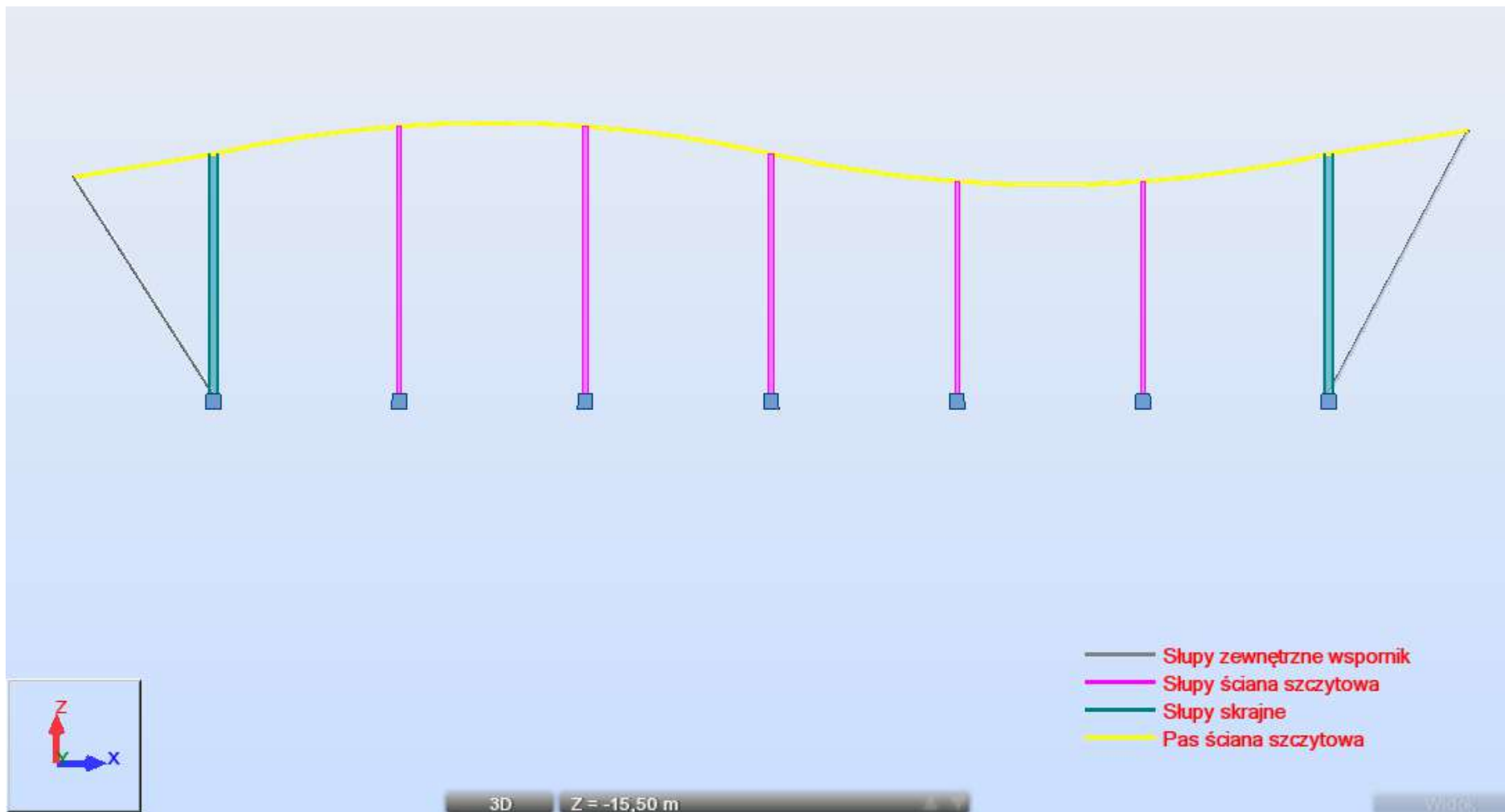
$$\frac{L}{250} = \frac{7200}{250} = 28,8cm.$$

Maksymalne przemieszczenie poziome węzła nr 822 dla słupa nr 4 odczytano dla kombinacji obciążeń KOMB40 jako 8,6cm. Wartość ta jest mniejsza od przemieszczenia granicznego

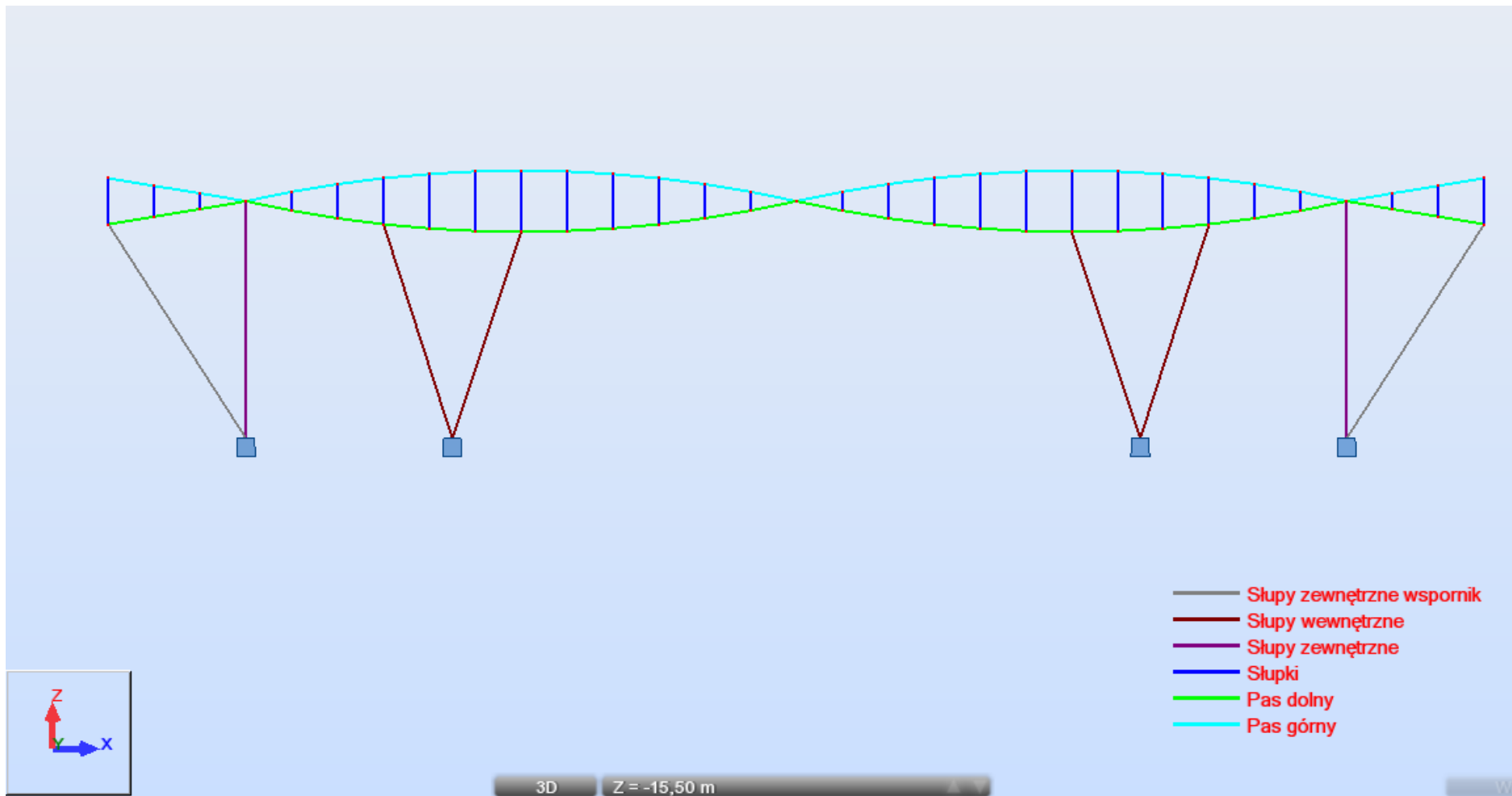
$$\frac{H}{150} = \frac{1750}{150} = 11,7cm.$$



Rys. 19. Model konstrukcji wraz z podziałem na grupy do wymiarowania.



Rys. 20. Model dźwigara szczytowego.



Rys. 21. Model dźwigara głównego.

## 6. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI SŁUPÓW

### 6.1. Sprawdzenie nośności słupa skrajnego

Jako miarodajny przekrój do wymiarowania wybrano pręt nr 4. Przyjęto przekrój HEB 550 wzmocniony symetrycznie blachą 550x10mm. Szczegółowe wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju podano w punkcie 4.1.1. oraz na Rys. 13.

Przekrój słupa dobrano na podstawie dopuszczalnej maksymalnej smukłości pręta  $\lambda_{\max} = 250$ .

#### 6.1.1. Siły wewnętrzne

Do obliczeń przyjęto wartości sił wewnętrznych z kombinacji obciążeń KOMB20.

Zestawienie sił wewnętrznych:

$$N_{Ed} = -52,29kN$$

$$M_{y,Ed} = 68,25kNm$$

$$M_{z,Ed} = 646,01kNm$$

$$V_{y,Ed} = -99,22kN$$

$$V_{z,Ed} = 26,52kN$$

#### 6.1.2. Klasyfikacja przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Środek zginany i ściskany:

Szerokość środka przenosząca siłę osiową

$$d_N = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{52290N}{15mm \cdot 355 \frac{kN}{mm^2}} = 9,82mm$$

$$\alpha = \frac{d + d_N}{2 \cdot d} = \frac{438mm + 9,82mm}{2 \cdot 438mm} = 0,511 > 0,5$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{h - 2t_f - 2R}{t_w} = \frac{550 - 2 \cdot 29 - 2 \cdot 27}{15} = 29,20 < \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,511 - 1} = 57,12 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Pas ściskany:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (b_f - t_w - 2R)}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (300 - 15 - 2 \cdot 27)}{29} = 3,98 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,33 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Przekrój jest klasy 1.

### 6.1.3. Nośność przekroju

#### 6.1.3.1. Ściskanie

$$N_{Ed} = -52,29kN$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{357,8 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 12701,9kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{52,29kN}{12701,9kN} \cong 0,00$$

$$N_{Ed} = 52,29kN < 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 12701,9kN = 3175,48kN$$

$$N_{Ed} = 52,29kN < \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 492 \cdot 15 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 1310,0kN$$

można więc pominąć wpływ siły podłużnej na nośność plastyczną przy zginaniu.

#### 6.1.3.2. Zginanie

Obliczeniowa nośność przekroju przy dwukierunkowym zginaniu

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5847,81 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 2075,97kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2468,78 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 876,14kNm$$

Warunek nośności przekroju przy obciążeniu momentem zginającym

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{68,25kNm}{2075,97kNm} = 0,03 < 1,0$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} = \frac{646,01kNm}{876,14kNm} = 0,74 < 1,0$$

### 6.1.3.3. Ścinanie

Pole przekroju czynnego

$$A_v = A - 2 \cdot b_f \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot R) \cdot t_f - 4 \cdot h_b \cdot t_b =$$

$$35780 - 2 \cdot 300 \cdot 29 + (15 + 2 \cdot 27) \cdot 29 - 2 \cdot 550 \cdot 10 = 9381mm^2$$

$$A_v = 9381mm^2 \geq \eta \cdot t_w \cdot h_w = 1,2 \cdot 15 \cdot 492 = 8856mm^2$$

Obliczeniowa nośność plastyczna przy ścinaniu:

$$V_{c,y,Rd} = V_{c,z,Rd} = V_{pl,y,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{9381 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} \cdot 10^{-3} kN = 1922,72kN$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{99,22kN}{1922,72kN} = 0,05 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{26,52kN}{1922,72kN} = 0,01 \leq 1,0$$

### 6.1.4. Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności

#### 6.1.4.1. Wyboczenie w płaszczyźnie układu ramowego

Giętne

$$L_{cr,y} = \mu_y \cdot l = 1,0 \cdot 3,10m = 3,10m$$

Siła krytyczna

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 160814,88 \cdot 10^4}{3100^2} \cdot 10^{-3} = 346834,17kN$$



Smukłość względna

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{357,8 \cdot 35,5}{346834,17}} = 0,21$$

$$\frac{h}{b_f} = \frac{550}{320} = 1,72 > 1,2 \quad \text{oraz} \quad t_f = 29\text{mm} < 40\text{mm}$$

więc krzywa wyboczeniowa a.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,21$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,21 - 0,2) + 0,21^2) = 0,52$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,52 + \sqrt{0,52^2 - 0,21^2}} = 1,0$$

6.1.4.2. Wyboczenie z płaszczyzny układu ramowego

Giętne

$$L_{cr,z} = 3,10\text{m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 39500,5 \cdot 10^4}{3100^2} \cdot 10^{-3} = 85191,89\text{kN}$$

Skretne

$$L_{cr,T} = 3,10\text{m}$$

$$I_0 = I_y + I_z = 160814,88\text{cm}^4 + 39500,5\text{cm}^4 = 200315,38\text{cm}^4$$

$$N_{cr,T} = \frac{A}{I_0} \cdot \left( G \cdot I_T + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{357,8 \cdot 10^2}{200315,38 \cdot 10^4} \cdot \left( 81000 \cdot 602 \cdot 10^4 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 8876120,7 \cdot 10^6}{3100^2} \right) \cdot 10^{-3}$$

$$N_{cr,T} = 42903,4\text{kN}$$

$$N_{cr} = \min(N_{cr,z}; N_{cr,T}) = \min(85191,89\text{kN}; 42903,4\text{kN}) = 42903,4\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{357,8 \cdot 35,5}{42903,4}} = 0,54$$

Krzywa wyboczeniowa b.

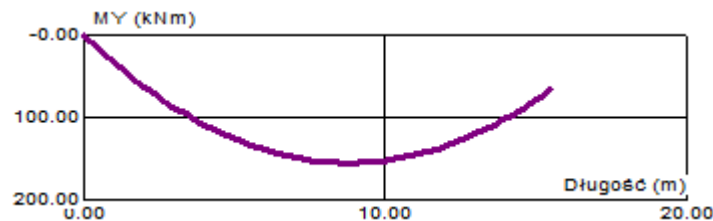
Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,54 - 0,2) + 0,54^2) = 0,70$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,70 + \sqrt{0,70^2 - 0,54^2}} = 0,87$$

#### 6.1.4.3. Zwichrzenie

Przyjęto, że na skutek odpowiedniego ukształtowania węzłów łączących rygle obudowy ze słupem w miejscach tych połączeń występuje podparcie przeciwskrętne słupa. W związku z tym, przy wyznaczaniu momentu krytycznego jako odległość  $L_{cr,LT}$  przyjęto rozstaw osiowy rygli równy 3,10m.



**Rys. 22.** Wykres momentów zginających  $M_y$  dla pręta nr 4.

$M_y$  dla pręta 4: 68,25kNm

w punkcie: 15,50m

$M_y$  dla pręta 4: 131,33kNm

w punkcie: 12,40m

Wykres momentów zginających jest nieliniowy.

$$\psi = \frac{M_a}{M_b} = \frac{68,25kN}{131,33kN} = 0,52$$

Obciążenie ciągle słupa między stężeniami przy kombinacji obciążeń KOMB20:

$$q = 1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 2s + W_i 2p) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S1 = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 2,63 + 1,5 \cdot (2,48 + 0,60) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,32$$

$$q = 10,88 \frac{kN}{m}$$

$$\mu = \frac{q \cdot L_{cr,LT}^2}{8 \cdot M_y} = \frac{10,88 \cdot 3,10^2}{8 \cdot 131,33} = 0,1 \rightarrow C_1 = 1,18$$

Współczynniki długości wybocheniowej  $k = 1,0$  i  $k_w = 1,0$ , zatem  $L_{cr,LT} = 3,10m$ .

Odległość między punktem przyłożenia siły, a środkiem ścinania  $z_g = 0$ .

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,LT}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$

$$M_{cr} = 1,18 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 39500,5}{3,10^2} \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{\frac{8876120,7}{39500,5} \cdot 10^{-4} + \frac{3,10^2 \cdot 81000 \cdot 602}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 39500,5}}$$

$$M_{cr} = 16879,7kNm = 1687970kNcm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{5847,81 \cdot 35,5}{1687970}} = 0,42$$

$$\frac{h}{b_f} = \frac{550}{320} = 1,72 < 2,0$$

więc krzywa zwichrzenia a.

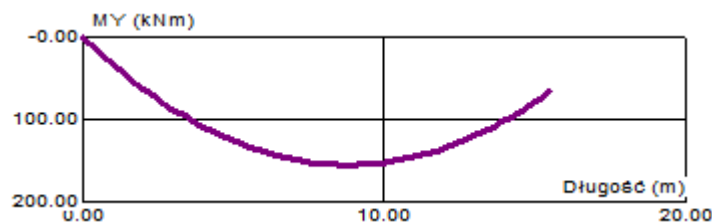
Parametr imperfekcji  $\alpha_{LT} = 0,21$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad \beta = 0,75$$

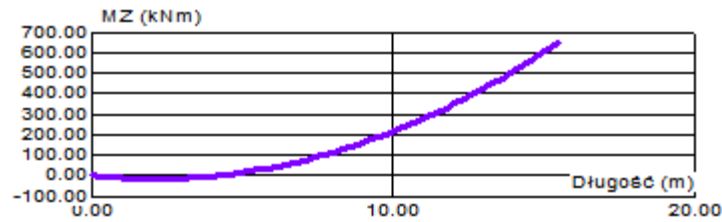
$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,42 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,42^2) = 0,57$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,57 + \sqrt{0,57^2 - 0,75 \cdot 0,42^2}} \cong 1,0$$

### 6.1.5. Nośność elementu z uwzględnieniem niestateczności interaktywnej (zginanie i ściskanie)



Rys. 23. Wykres momentów zginających  $M_y$  dla pręta nr 4.



Rys. 24. Wykres momentów zginających  $M_z$  dla pręta nr 4.

Parametr zależny od rozkładu momentów zginających (tab. B3 EC3):

$$\psi_y = \frac{68,25kNm}{131,33kNm} = 0,52$$

$$\psi_z = \frac{373,85kN}{646,01kN} = 0,58$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_y = 0,6 + 0,4 \cdot 0,52 = 0,81 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_z = 0,6 + 0,4 \cdot 0,58 = 0,83 \geq 0,4$$

Parametry interakcji (tab. B1 EC3):

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right]$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,81 \cdot \left[ 1 + (0,21 - 0,2) \cdot \frac{52,29kN}{1,0 \cdot 12701,9kN} \right] = 0,810 \\ 0,81 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{52,29kN}{1,0 \cdot 12701,9kN} \right] = 0,813 \end{array} \right\} = 0,810$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,810 = 0,486$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right]$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,83 \cdot \left[ 1 + (0,54 - 0,2) \cdot \frac{52,29kN}{0,87 \cdot 12701,9kN} \right] = 0,831 \\ 0,83 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{52,29kN}{0,87 \cdot 12701,9kN} \right] = 0,833 \end{array} \right\} = 0,831$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,831 = 0,499$$

Warunek nośności:

$$\frac{52,29kN}{1,0 \cdot 12701,9kN} + 0,810 \cdot \frac{68,25kNm}{1,0 \cdot 2075,97kNm} + 0,499 \cdot \frac{646,01kN}{876,14} = 0,45 \leq 1,0$$

$$\frac{52,29kN}{0,87 \cdot 12701,9kN} + 0,486 \cdot \frac{68,25kNm}{1,0 \cdot 2075,97kNm} + 0,831 \cdot \frac{646,01kNm}{876,14kNm} = 0,64 \leq 1,0$$

Warunki nośności słupa skrajnego są spełnione.

## 6.2. Sprawdzenie nośności słupa szczytowego

Jako miarodajny przekrój do wymiarowania wybrano pręt nr 34. Przyjęto przekrój HEB 550. Szczegółowe wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju podano w punkcie 4.1.2. oraz na Rys. 13.

Przekrój słupa dobrano na podstawie dopuszczalnej maksymalnej smukłości pręta  $\lambda_{\max} = 250$ .

### 6.2.1. Siły wewnętrzne

Do obliczeń przyjęto wartości sił wewnętrznych z kombinacji obciążeń KOMB23.

Zestawienie sił wewnętrznych:

$$N_{Ed} = -78,04kN$$

$$M_{y,Ed} = -1601,86kNm$$

$$M_{z,Ed} = 7,51kNm$$

$$V_{y,Ed} = -0,43kN$$

$$V_{z,Ed} = -197,68kN$$

## 6.2.2. Klasyfikacja przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Środek zginany i ściskany:

Szerokość środka przenosząca siłę osiową

$$d_N = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{78040N}{15mm \cdot 355 \frac{kN}{mm^2}} = 14,66mm$$

$$\alpha = \frac{d + d_N}{2 \cdot d} = \frac{438mm + 14,66mm}{2 \cdot 438mm} = 0,52 > 0,5$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{h - 2t_f - 2R}{t_w} = \frac{550 - 2 \cdot 29 - 2 \cdot 27}{15} = 29,2 < \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,51 - 1} = 57,25 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Pas ściskany:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (b_f - t_w - 2R)}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (300 - 15 - 2 \cdot 27)}{29} = 3,98 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,33 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Przekrój jest klasy 1.

## 6.2.3. Nośność przekroju

### 6.2.3.1. Ściskanie

$$N_{Ed} = -78,04kN$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{254,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 9017,0kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{78,04kN}{9017,0kN} \cong 0,01$$

$$N_{Ed} = 78,04kN < 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 9017,0kN = 2254,25kN$$

$$N_{Ed} = 78,04kN < \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 492 \cdot 15 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 1309,95kN$$

można więc pominąć wpływ siły podłużnej na nośność plastyczną przy zginaniu.

### 6.2.3.2. Zginanie

Obliczeniowa nośność przekroju przy dwukierunkowym zginaniu

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5590,61 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1984,67 kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1341,14 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 476,10 kNm$$

Warunek nośności przekroju przy obciążeniu momentem zginającym

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{1601,86 kNm}{1984,67 kNm} = 0,81 < 1,0$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} = \frac{13,20 kNm}{476,10 kNm} = 0,03 < 1,0$$

### 6.2.3.3. Ścinanie

Pole przekroju czynnego

$$A_v = A - 2 \cdot b_f \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot R) \cdot t_f = 25400 - 2 \cdot 300 \cdot 29 + (15 + 2 \cdot 27) \cdot 29 = 10001,0 mm^2$$

$$A_v = 10001,0 mm^2 \geq \eta \cdot t_w \cdot h_w = 1,2 \cdot 15 \cdot 492 = 8856,0 mm^2$$

Obliczeniowa nośność plastyczna przy ścinaniu:

$$V_{c,y,Rd} = V_{c,z,Rd} = V_{pl,y,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{10001,0 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} \cdot 10^{-3} kN = 2049,80 kN$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{0,43 kN}{2049,80 kN} \cong 0,0 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{197,68 kN}{2049,80 kN} = 0,10 \leq 1,0$$

## 6.2.4. Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności

### 6.2.4.1. Wyboczenie z płaszczyzny układu ramowego

#### Giętne

$$L_{cr,y} = \mu_y \cdot l = 0,7 \cdot 17,28m = 12,10m$$

Siła krytyczna

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 136700 \cdot 10^4}{12100^2} \cdot 10^{-3} = 19351,60kN$$

Smukłość względna

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{254,0 \cdot 35,5}{19351,6}} = 0,68$$

$$\frac{h}{b_f} = \frac{550}{300} = 1,83 > 1,2 \quad \text{oraz} \quad t_f = 29mm < 40mm$$

więc krzywa wyboczeniowa a.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,21$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,68 - 0,2) + 0,68^2) = 0,78$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,68^2}} = 0,86 < 1,0$$

### 6.2.4.2. Wyboczenie w płaszczyźnie układu ramowego

#### Giętne

$$L_{cr,z} = 3,10m$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 13080 \cdot 10^4}{3100^2} \cdot 10^{-3} = 28210,0kN$$



### Skretne

$$L_{cr,T} = 3,10m$$

$$I_0 = I_y + I_z = 136700cm^4 + 13080cm^4 = 149780cm^4$$

$$N_{cr,T} = \frac{A}{I_0} \cdot \left( G \cdot I_T + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{254,0 \cdot 10^2}{149780 \cdot 10^4} \cdot \left( 81000 \cdot 602 \cdot 10^4 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 8876120,7 \cdot 10^6}{3100^2} \right) \cdot 10^{-3}$$

$$N_{cr,T} = 40732,9kN$$

$$N_{cr} = \min(N_{cr,z}; N_{cr,T}) = \min(28210,0kN; 40732,9kN) = 28210,0kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{254 \cdot 35,5}{28210,0}} = 0,56$$

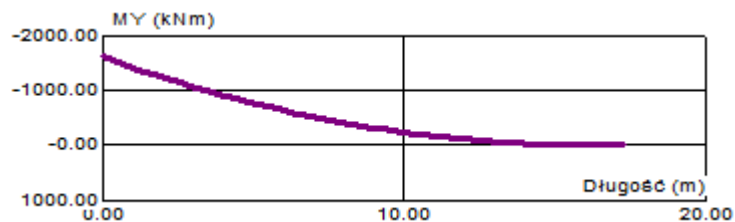
Krzywa wyboczeniowa b.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,56 - 0,2) + 0,56^2) = 0,72$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,56^2}} = 0,85$$

#### 6.2.4.3. Zwichrzenie



Rys. 25. Wykres momentów zginających dla pręta nr 34.

My dla pręta 34: -1601,86kNm

w punkcie: 0m

My dla pręta 34: -1047,33kNm

w punkcie: 3,10m

Wykres momentów zginających jest nieliniowy.

$$\psi = \frac{M_a}{M_b} = \frac{-1047,33kN}{-1601,86kN} = 0,65$$

Obciążenie ciągle słupa między stężeniami przy kombinacji obciążeń KOMB23:

$$q = 1,15 \cdot G + 1,5 \cdot (W_{e1s} + W_{i1p}) + 0,5 \cdot S3 = 1,15 \cdot 7,43 + 1,5 \cdot (-2,40 - 0,75) + 0,75 \cdot 4,32 \cong 7,06kN$$

$$\mu = \frac{q \cdot L_{cr,LT}^2}{8 \cdot M_y} = \frac{7,06 \cdot 3,10^2}{8 \cdot 1601,86} = 0,01 \rightarrow C_1 = 1,32$$

Współczynniki długości wybocheniowej  $k = 1,0$  i  $k_w = 1,0$ , zatem  $L_{cr,LT} = 3,10m$ .

Odległość między punktem przyłożenia siły, a środkiem ścinania  $z_g = 0$ .

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,LT}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} =$$

$$1,32 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 13080}{3,10^2} \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{\frac{8876120,7}{13080} \cdot 10^{-4} + \frac{3,10^2 \cdot 81000 \cdot 602,0}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 13080}} = 10865,7kNm = 1086570kNcm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{5590,61 \cdot 35,5}{1086570}} = 0,43$$

$$\frac{h}{b_f} = \frac{550}{300} = 1,83 < 2,0$$

więc krzywa zwichrzenia b.

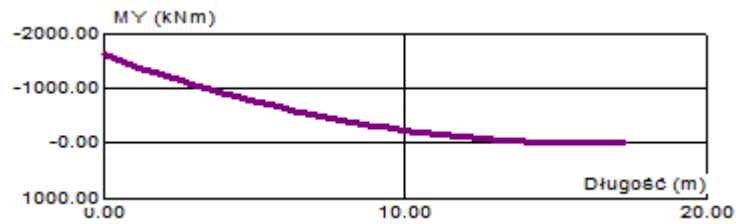
Parametr imperfekcji  $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad \beta = 0,75$$

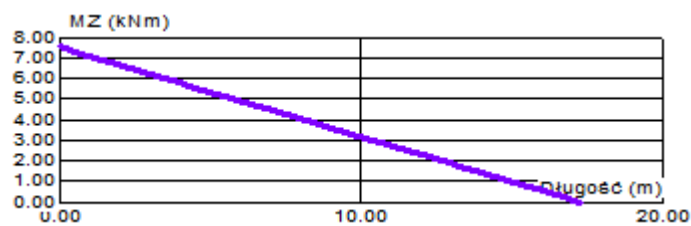
$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,43 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,43^2) = 0,57$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,57 + \sqrt{0,57^2 - 0,75 \cdot 0,43^2}} = 1,0$$

### 6.2.5. Nośność elementu z uwzględnieniem niestateczności interaktywnej (zginanie i ściskanie)



Rys. 26. Wykres momentów zginających  $M_y$  dla pręta nr 34.



Rys. 27. Wykres momentów zginających  $M_z$  dla pręta nr 34.

Parametr zależny od rozkładu momentów zginających (tab. B3 EC3):

$$\psi_y = \frac{-1047,33kN}{-1601,86kN} = 0,65$$

$$\psi_z = \frac{6,17kNm}{7,51kNm} = 0,82$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_y = 0,6 + 0,4 \cdot 0,65 = 0,86 > 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_z = 0,6 + 0,4 \cdot 0,82 = 0,93 \geq 0,4$$

Parametry interakcji (tab. B1 EC3):

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right]$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,86 \cdot \left[ 1 + (0,68 - 0,2) \cdot \frac{78,04kN}{0,86 \cdot 9017,0kN} \right] = 0,864 \\ 0,86 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{78,04kN}{0,86 \cdot 9017,0kN} \right] = 0,867 \end{array} \right\} = 0,864$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,864 = 0,518$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,93 \cdot \left[ 1 + (0,56 - 0,2) \cdot \frac{78,04kN}{0,85 \cdot 9017,0kN} \right] = 0,933 \\ 0,93 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{78,04kN}{0,85 \cdot 9017,0kN} \right] = 0,938 \end{array} \right\} = 0,933$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,933 = 0,560$$

Warunek nośności:

$$\frac{78,04kN}{0,86 \cdot 9017,0kN} + 0,864 \cdot \frac{1601,86kNm}{1,0 \cdot \frac{1984,67kNm}{1,0}} + 0,560 \cdot \frac{7,51kN}{476,1} = 0,75 \leq 1,0$$

$$\frac{78,04kN}{0,85 \cdot 9017,0kN} + 0,518 \cdot \frac{1601,86kNm}{1,0 \cdot \frac{1984,67kNm}{1,0}} + 0,933 \cdot \frac{7,51kNm}{476,1kNm} = 0,50 \leq 1,0$$

Warunki nośności słupa szczytowego są spełnione.

### 6.3. Sprawdzenie nośności słupa zewnętrznego

Jako miarodajny przekrój do wymiarowania wybrano pręt nr 13. Przyjęto przekrój HEB 280. Szczegółowe wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju podano w punkcie 4.1.3. oraz na Rys. 14.

Przekrój słupa dobrano na podstawie dopuszczalnej maksymalnej smukłości pręta  $\lambda_{\max} = 250$ .

#### 6.3.1. Siły wewnętrzne

Do obliczeń przyjęto wartości sił wewnętrznych z kombinacji obciążeń KOMB22.

Zestawienie sił wewnętrznych:

$$N_{Ed} = -194,29kN$$

$$M_{y,Ed} = 456,61kNm$$

$$V_{z,Ed} = 141,29kN$$

#### 6.3.2. Klasyfikacja przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Środek zginany i ściskany:

Szerokość środka przenosząca siłę osiową

$$d_N = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{194290N}{10,5mm \cdot 355 \frac{kN}{mm^2}} = 50,88mm$$

$$\alpha = \frac{d + d_N}{2 \cdot d} = \frac{196mm + 50,88mm}{2 \cdot 196mm} = 0,63 > 0,5$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{h - 2t_f - 2R}{t_w} = \frac{280 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 24}{10,5} = 18,7 < \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,63 - 1} = 44,83 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Pas ściskany:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (b_f - t_w - 2R)}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (280 - 10,5 - 2 \cdot 24)}{18} = 6,15 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,33 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Przekrój jest klasy 1.

### 6.3.3. Nośność przekroju

#### 6.3.3.1. Ściskanie

$$N_{Ed} = -194,29kN$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{131,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 4650,5kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{194,29kN}{4650,5kN} = 0,04$$

$$N_{Ed} = 194,29kN < 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 4650,5kN = 1162,63kN$$

$$N_{Ed} = 194,29kN < \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 244 \cdot 10,5 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 454,76kN$$

można więc pominąć wpływ siły podłużnej na nośność plastyczną przy zginaniu.

#### 6.3.3.2. Zginanie

Obliczeniowa nośność przekroju przy jednokierunkowym zginaniu

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1534,43 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 544,72kNm$$

Warunek nośności przekroju przy obciążeniu momentem zginającym

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{456,61kNm}{544,72kNm} = 0,84 < 1,0$$

#### 6.3.3.3. Ścinanie

Pole przekroju czynnego

$$A_v = A - 2 \cdot b_f \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot R) \cdot t_f = 13100 - 2 \cdot 280 \cdot 18 + (10,5 + 2 \cdot 24) \cdot 18 = 4073,0mm^2$$

$$A_v = 4073,0mm^2 \geq \eta \cdot t_w \cdot h_w = 1,2 \cdot 10,5 \cdot 244,0 = 3074,4mm^2$$

Obliczeniowa nośność plastyczna przy ścinaniu:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{4073,0 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 834,80 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{141,29 \text{ kN}}{834,80 \text{ kN}} = 0,17 = 17\% < 50\%$$

można więc pominąć wpływ siły poprzecznej na nośność przekroju przy zginaniu.

### 6.3.4. Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności

#### 6.3.4.1. Wyboczenie w płaszczyźnie układu ramowego

##### Giętne

$$L_{cr,y} = \mu_y \cdot l = 0,7 \cdot 15,5 \text{ m} = 10,85 \text{ m}$$

Siła krytyczna

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 19270 \cdot 10^4}{10850^2} \cdot 10^{-3} = 3392,67 \text{ kN}$$

Smukłość względna

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{131,0 \cdot 35,5}{3392,67}} = 1,17$$

$$\frac{h}{b_f} = \frac{280}{280} = 1,0 < 1,2 \quad \text{oraz} \quad t_f = 18 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

więc krzywa wyboczeniowa b.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (1,17 - 0,2) + 1,17^2) = 1,35$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,35 + \sqrt{1,35^2 - 1,17^2}} = 0,49$$

### 6.3.4.2. Wyboczenie z płaszczyzny układu ramowego

#### Giętne

$$L_{cr,z} = 3,10m$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6590 \cdot 10^4}{3100^2} \cdot 10^{-3} = 14212,85kN$$

#### Skretne

$$L_{cr,T} = 3,10m$$

$$I_0 = I_y + I_z = 19270cm^4 + 6590cm^4 = 25860cm^4$$

$$N_{cr,T} = \frac{A}{I_0} \cdot \left( G \cdot I_T + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{131,0 \cdot 10^2}{25860 \cdot 10^4} \cdot \left( 81000 \cdot 144,0 \cdot 10^4 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1130909,9 \cdot 10^6}{3100^2} \right) \cdot 10^{-3}$$

$$N_{cr,T} = 18264,4kN$$

$$N_{cr} = \min(N_{cr,z}; N_{cr,T}) = \min(14212,85kN; 18264,4kN) = 14212,85kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{131,0 \cdot 35,5}{14212,85}} = 0,57$$

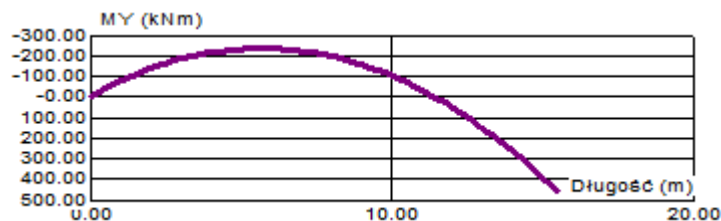
Krzywa wyboczeniowa c.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,57 - 0,2) + 0,57^2) = 0,75$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,75 + \sqrt{0,75^2 - 0,57^2}} = 0,81$$

### 6.3.4.3. Zwichrzenie



Rys. 28. Wykres momentów zginających dla pręta nr 13.



My dla pręta 13: 456,61kNm

w punkcie: 15,50m

My dla pręta 13: 84,61kNm

w punkcie: 12,40m

Wykres momentów zginających jest nieliniowy.

$$\psi = \frac{M_a}{M_b} = \frac{84,61kN}{456,61kN} = 0,19$$

Obciążenie ciągle słupa między stężeniami przy kombinacji obciążeń KOMB22:

$$q = 1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot (W_e 1p + W_i 1s) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S2 = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 5,25 + 1,5 \cdot (7,25 + 2,10) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,32$$
$$q \cong 23kN$$

$$\mu = \frac{q \cdot L_{cr,LT}^2}{8 \cdot M_y} = \frac{23 \cdot 3,10^2}{8 \cdot 456,63} = 0,06 \rightarrow C_1 = 1,12$$

Współczynniki długości wyboczeniowej  $k = 1,0$  i  $k_w = 1,0$ , zatem  $L_{cr,LT} = 3,10m$ .

Odległość między punktem przyłożenia siły, a środkiem ścinania  $z_g = 0$ .

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,LT}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} =$$
$$1,12 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6590}{3,10^2} \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{\frac{1130909,9}{6590} \cdot 10^{-4} + \frac{3,10^2 \cdot 81000 \cdot 144,0}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6590}} = 2535,36kNm = 253536kNcm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1534,43 \cdot 35,5}{253536}} = 0,46$$

$$\frac{h}{b_f} = \frac{280}{280} = 1,0 < 2,0$$

więc krzywa zwichrzenia b.

Parametr imperfekcji  $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad \beta = 0,75$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,46 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,46^2) = 0,59$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,59 + \sqrt{0,59^2 - 0,75 \cdot 0,46^2}} = 0,97$$

### 6.3.5. Warunki nośności elementu ściskanego i zginanego jednokierunkowo

Współczynniki interakcji policzono metodą 2 (wg załącznika B)

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,19 = 0,68$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot \left[ 1 + (1,17 - 0,2) \cdot \frac{194,29}{0,49 \cdot 4650,5 / 1,0} \right] = 0,973 \\ 0,9 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{194,29}{0,49 \cdot 4650,5 / 1,0} \right) = 0,960 \end{array} \right\} = 0,960$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \geq 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 0,57}{0,67 - 0,25} \cdot \frac{194,29}{0,81 \cdot 4650,5 / 1,0} \geq 1 - \frac{0,1}{0,67 - 0,25} \cdot \frac{194,29}{0,81 \cdot 4650,5 / 1,0}$$

$$k_{zy} = 0,993 > 0,988, \text{ więc przyjmuję } k_{zy} = 0,993$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{194,29}{0,49 \cdot \frac{4650,5}{1,0}} + 0,960 \cdot \frac{456,61}{1,0 \cdot \frac{544,72}{1,0}} = 0,89 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{194,29}{0,81 \cdot \frac{4650,5}{1,0}} + 0,993 \cdot \frac{456,61}{1,0 \cdot \frac{544,72}{1,0}} = 0,88 \leq 1,0$$

Warunki nośności słupa zewnętrznego są spełnione.

## 6.4. Sprawdzenie nośności słupa wspornikowego

Jako miarodajny przekrój do wymiarowania wybrano pręt nr 52. Przyjęto przekrój RO 244,5x6mm. Szczegółowe wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju podano w punkcie 4.1.4. oraz na Rys. 15.

Przekrój słupa dobrano na podstawie dopuszczalnej maksymalnej smukłości pręta  $\lambda_{\max} = 250$ .

### 6.4.1. Siły wewnętrzne

Do obliczeń przyjęto wartości sił wewnętrznych z kombinacji obciążeń KOMB19.

Zestawienie sił wewnętrznych:

$$N_{Ed} = -55,18kN$$

$$M_{y,Ed} = -11,60kNm$$

$$M_{z,Ed} = 106,72kNm$$

$$V_{y,Ed} = 6,41kN$$

$$V_{z,Ed} = 2,49kN$$

### 6.4.2. Klasyfikacja przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Przekrój zginany i/lub ściskany:

$$\frac{d}{t} = \frac{244,5}{6} = 40,75 < 70\varepsilon^2 = 70 \cdot 0,814^2 = 46,38 \rightarrow \text{klasa 2}$$

### 6.4.3. Nośność przekroju

#### 6.4.3.1. Ściskanie

$$N_{Ed} = -55,18kN$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 1597,5kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{55,18kN}{1597,5kN} = 0,03$$

#### 6.4.3.2. Zginanie z siłą podłużną

$$M_{y,Ed} = -11,60kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{341,37 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 121,19kNm$$

$$M_{z,Ed} = 106,72kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{341,37 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 121,19kNm$$

Zgodnie z załącznikiem krajowym:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{(1-n)}{(1-0,5 \cdot a_w)}, \text{ lecz } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \frac{(1-n)}{(1-0,5 \cdot a_f)}, \text{ lecz } M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$$

gdzie:  $n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{55,18kN}{1597,5kN} = 0,03$

$$a_w = a_f = 0,50 \text{ (wg załącznika krajowego dla kształtowników rurowych okrągłych)}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = 121,19 \cdot \frac{(1-0,03)}{(1-0,5 \cdot 0,5)} kNm = 156,74kNm > M_{pl,y,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 121,19kNm$$

Zatem:

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = 121,19kNm$$

Warunek nośności:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta, \text{ gdzie } \alpha = \beta = 2 \text{ (dla kształtowników rurowych okrągłych)}$$

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{11,60kNm}{121,19kNm} \right]^2 + \left[ \frac{106,72kNm}{121,19kNm} \right]^2 = 0,78 < 1,0$$

### 6.4.3.3. Ścinanie

Pole przekroju czynnego

$$A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \cdot 4500 \text{ mm}^2}{\pi} = 2864,79 \text{ mm}^2$$

Obliczeniowa nośność plastyczna przy ścinaniu:

$$V_{c,y,Rd} = V_{c,z,Rd} = V_{pl,y,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{2864,79 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 587,17 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{6,41 \text{ kN}}{587,17 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{2,49 \text{ kN}}{587,17 \text{ kN}} \cong 0,00 \leq 1,0$$

### 6.4.3.4. Skręcanie

Warunek nośności ma postać:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1,0$$

Zredukowana nośność plastyczna przekroju:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Naprężenia ścinające od momentu  $T_{t,Ed}$  (St. Venanta):

$$\tau_{t,Ed} = 2,85 \text{ MPa} \text{ (odczytane z programu komputerowego)}$$

$$V_{pl,y,T,Rd} = V_{pl,z,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{2,85}{(355 / \sqrt{3}) / 1,0} \right] \cdot 587,17 \text{ kN} = 579,0 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,T,Rd}} = \frac{6,41 \text{ kN}}{579,0 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,T,Rd}} = \frac{2,49 \text{ kN}}{579,0 \text{ kN}} \cong 0,00 \leq 1,0$$

#### 6.4.4. Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności

##### 6.4.4.1. Nośność na wyboczenie

Długość wyboczeniowa:

$$L_{cr} = \mu \cdot L = 1,0 \cdot 16,64m = 16,64m$$

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}, \text{ gdzie } i = 8,4cm$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,43$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{16,64 \cdot 10^2}{8,4} \cdot \frac{1}{76,43} = 2,59$$

Współczynnik wyboczeniowy:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Krzywa wyboczeniowa a.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (2,59 - 0,2) + 2,59^2) = 4,11$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{4,11 + \sqrt{4,11^2 - 2,59^2}} = 0,14 < 1,0$$

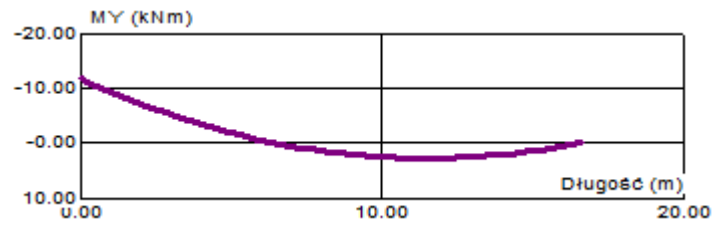
Warunek nośności elementu ze względu na wyboczenie:

$$N_{Ed} = 55,18kN$$

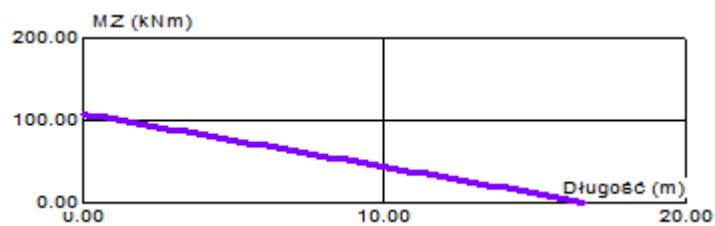
$$N_{b,Ed} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,14 \cdot 45,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 223,65kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{55,18kN}{223,65kN} = 0,25 \leq 1,0$$

6.4.4.2. Nośność elementu z uwzględnieniem niestateczności interaktywnej (zginanie i ściskanie)



Rys. 29. Wykres momentów zginających  $M_y$  dla pręta nr 52.



Rys. 30. Wykres momentów zginających  $M_z$  dla pręta nr 52.

Parametr zależny od rozkładu momentów zginających (tab. B3 EC3):

$$\psi_{yy} = 0 \text{ oraz } \alpha_{s,y} = \frac{M_s}{M_h} = \frac{2,79 \text{ kN}}{-11,60 \text{ kN}} = -0,24$$

$$\psi_{zz} = 0$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_{s,y} = 0,1 + 0,8 \cdot 0,24 = 0,29 < 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_{zz} = 0,6 \geq 0,4$$

Parametry interakcji (tab. B1 EC3):

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right]$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot \left[ 1 + (2,59 - 0,2) \cdot \frac{55,18kN}{\frac{0,14 \cdot 1597,5kN}{1,0}} \right] = 0,634 \\ 0,4 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{55,18kN}{\frac{0,14 \cdot 1597,5kN}{1,0}} \right] = 0,479 \end{array} \right\} = 0,479$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,479 = 0,287$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot \left[ 1 + (2,59 - 0,2) \cdot \frac{55,18kN}{\frac{0,14 \cdot 1597,5kN}{1,0}} \right] = 0,953 \\ 0,6 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{55,18kN}{\frac{0,14 \cdot 1597,5kN}{1,0}} \right] = 0,718 \end{array} \right\} = 0,718$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,718 = 0,431$$

Warunek nośności:

$$\frac{55,18kN}{\frac{0,14 \cdot 1597,5kN}{1,0}} + 0,479 \cdot \frac{11,60kNm}{1,0 \cdot \frac{121,19}{1,0}} + 0,431 \cdot \frac{106,72kN}{\frac{121,19}{1,0}} = 0,67 \leq 1,0$$

$$\frac{55,18kN}{\frac{0,14 \cdot 1597,5kN}{1,0}} + 0,287 \cdot \frac{11,60kNm}{1,0 \cdot \frac{121,19kNm}{1,0}} + 0,718 \cdot \frac{106,72kNm}{\frac{121,19kNm}{1,0}} = 0,91 \leq 1,0$$

Warunki nośności słupa wspornikowego są spełnione.



## 6.5. Sprawdzenie nośności słupa wewnętrznego

Jako miarodajny przekrój do wymiarowania wybrano pręt nr 1117. Przyjęto przekrój RO 273x22,2mm. Szczegółowe wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju podano w punkcie 4.1.5. oraz na Rys. 15.

Przekrój słupa dobrano na podstawie dopuszczalnej maksymalnej smukłości pręta  $\lambda_{\max} = 250$ .

### 6.5.1. Siły wewnętrzne

Do obliczeń przyjęto wartości sił wewnętrznych z kombinacji obciążeń KOMB10.

Zestawienie sił wewnętrznych:

$$N_{Ed} = -1090,52kN$$

$$M_{y,Ed} = 12,38kNm$$

### 6.5.2. Klasyfikacja przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Przekrój zginany i/lub ściskany:

$$\frac{d}{t} = \frac{273}{22,2} = 12,30\varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \rightarrow \text{klasa 1}$$

### 6.5.3. Nośność przekroju

#### 6.5.3.1. Ściskanie

$$N_{Ed} = -1090,52kN$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{175,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 6212,5kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1090,52kN}{6212,5kN} = 0,18$$

### 6.5.3.2. Zginanie

$$M_{y,Ed} = 12,38kNm$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1400,04 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 497,01kNm$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{12,38kNm}{497,01kNm} = 0,03$$

### 6.5.3.3. Zginanie z siłą podłużną

$$M_{y,Ed} = -12,38kNm$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1400,04 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 497,01kNm$$

Zgodnie z załącznikiem krajowym:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \frac{(1-n)}{(1-0,5 \cdot a_w)}, \text{ lecz } M_{N,Rd} \leq M_{pl,Rd}$$

gdzie:  $n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1090,52kN}{6212,5kN} = 0,18$

$a_w = 0,50$  (wg załącznika krajowego dla kształtowników rurowych okrągłych)

$$M_{N,Rd} = 497,01 \cdot \frac{(1-0,18)}{(1-0,5 \cdot 0,5)} kNm = 543,40kNm > M_{pl,Rd} = 497,01kNm$$

Zatem:

$$M_{N,Rd} = 497,01kNm$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{12,38kNm}{497,01kNm} = 0,03$$

#### 6.5.4. Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności

##### 6.5.4.1. Nośność na wyboczenie

Długość wyboczeniowa:

$$L_{cr} = \mu \cdot L = 1,0 \cdot 14,23m = 14,23m$$

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}, \text{ gdzie } i = 8,9cm$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,43$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{14,23 \cdot 10^2}{8,9} \cdot \frac{1}{76,43} = 2,09$$

Współczynnik wyboczeniowy:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Krzywa wyboczeniowa a.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (2,09 - 0,2) + 2,09^2) = 2,88$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,88 + \sqrt{2,88^2 - 2,09^2}} = 0,21 < 1,0$$

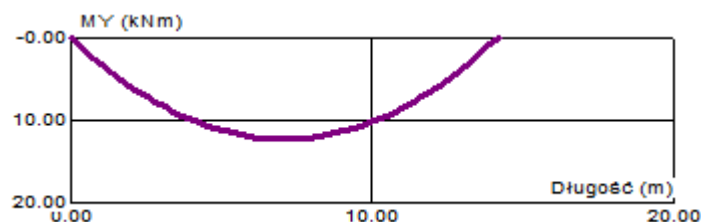
Warunek nośności elementu ze względu na wyboczenie:

$$N_{Ed} = -1090,52kN$$

$$N_{b,Ed} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,21 \cdot 175,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 1304,63kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1090,52kN}{1304,63kN} = 0,84 \leq 1,0$$

6.5.4.2. Nośność elementu z uwzględnieniem niestateczności interaktywnej (zginanie i ściskanie)



Rys. 31. Wykres momentów zginających  $M_y$  dla pręta nr 1117.

$M_y$  dla pręta 1117: 0kNm

w punkcie: 14,23m

$M_y$  dla pręta 1117: 12,38kNm

w punkcie: 7,12m

Współczynniki interakcji policzono metodą 2 (wg załącznika B)

$$\psi = 0 \rightarrow C_{my} = 0,95$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left[ 1 + (2,09 - 0,2) \cdot \frac{1091,52}{0,21 \cdot 6212,5 / 1,0} \right] = 2,452 \\ 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{1091,52}{0,21 \cdot 6212,5 / 1,0} \right) = 1,586 \end{array} \right\} = 1,586$$

Zgodnie z załącznikiem krajowym w przypadku ściskania i jednokierunkowego zginania można przyjmować  $k_{zy} = 0,0$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{1091,52}{0,21 \cdot \frac{6212,5}{1,0}} + 1,586 \cdot \frac{12,38}{1,0 \cdot \frac{497,01}{1,0}} = 0,88 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{1091,52}{0,21 \cdot \frac{6212,5}{1,0}} = 0,84 \leq 1,0$$

Warunki nośności słupa wewnętrznego są spełnione.

## 7. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI DŹWIGARA

### 7.1. Sprawdzenie nośności pasa ściany szczytowej

Jako miarodajny przekrój do wymiarowania wybrano pręt nr 73. Przyjęto przekrój RK 180x180x16mm. Szczegółowe wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju podano w punkcie 4.2.1. oraz na Rys. 16.

Przekrój słupa dobrano na podstawie dopuszczalnej maksymalnej smukłości pręta  $\lambda_{\max} = 250$ .

#### 7.1.1. Siły wewnętrzne

Do obliczeń przyjęto wartości sił wewnętrznych z kombinacji obciążeń KOMB10.

Zestawienie sił wewnętrznych:

$$N_{Ed} = -4,36kN$$

$$M_{y,Ed} = -206,44kNm$$

$$M_{z,Ed} = 45,72kNm$$

$$V_{y,Ed} = -6,67kN$$

$$V_{z,Ed} = -82,60kN$$

#### 7.1.2. Klasyfikacja przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{180 - 3 \cdot 16}{16} = 8,25 < 33\varepsilon = 33 \cdot 0,814 = 26,86 \rightarrow \text{klasa 1}$$

#### 7.1.3. Nośność przekroju

##### 7.1.3.1. Rozciąganie

$$N_{Ed} = -4,36kN$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{102,2 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 3628,1kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{4,36kN}{3628,1kN} \cong 0,0$$

### 7.1.3.2. Zginanie z siłą podłużną

$$M_{y,Ed} = -206,44kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{621,0 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 220,46kNm$$

$$M_{z,Ed} = 45,72kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{590,2 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 209,52kNm$$

Zgodnie z załącznikiem krajowym:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{(1-n)}{(1-0,5 \cdot a_w)}, \text{ lecz } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \frac{(1-n)}{(1-0,5 \cdot a_f)}, \text{ lecz } M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$$

gdzie:  $n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{4,36kN}{3628,1kN} = 0,0$

$$a_w = a_f = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = \frac{102,2 - 2 \cdot 18 \cdot 1,6}{102,2} = 0,44$$

$$M_{N,y,Rd} = 220,46 \cdot \frac{(1-0,0)}{(1-0,5 \cdot 0,44)} kNm = 282,64kNm > M_{pl,y,Rd} = 220,46kNm$$

Zatem:

$$M_{N,y,Rd} = 220,46kNm$$

$$M_{N,z,Rd} = 209,52 \cdot \frac{(1-0,0)}{(1-0,5 \cdot 0,44)} kNm = 268,62kNm > M_{pl,z,Rd} = 209,52kNm$$

Zatem:

$$M_{N,z,Rd} = 209,52kNm$$

Warunek nośności:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta, \text{ gdzie } \alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,33 \cdot n^2} = 1,66$$

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{206,44kNm}{220,46kNm} \right]^{1,66} + \left[ \frac{45,72kNm}{209,52kNm} \right]^{1,66} = 0,96 < 1,0$$

### 7.1.3.3. Ścinanie

Pole przekroju czynnego

$$A_v = \frac{A \cdot h}{(b + h)} = \frac{10220 \cdot 180}{(180 + 180)} \text{ mm}^2 = 5110,0 \text{ mm}^2$$

Obliczeniowa nośność plastyczna przy ścinaniu:

$$V_{c,y,Rd} = V_{c,z,Rd} = V_{pl,y,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{5110,0 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 1047,34 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{6,67 \text{ kN}}{1047,34 \text{ kN}} \cong 0,0 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{82,60 \text{ kN}}{1047,34 \text{ kN}} = 0,08 \leq 1,0$$

### 7.1.4. Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności

#### 7.1.4.1. Nośność na wyboczenie

Długość wyboczeniowa względem osi y-y:

$$L_{cr,y} = \mu \cdot L = 0,9 \cdot 3,01 \text{ m} = 2,71 \text{ m}$$

Długość wyboczeniowa względem osi z-z:

$$L_{cr,z} = \mu \cdot L = 1,0 \cdot 3,01 \text{ m} = 3,01 \text{ m}$$

Minimalny współczynnik wyboczeniowy odpowiada wyboczeniu względem osi z.

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}, \text{ gdzie } i_z = 6,6 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,43$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3,01 \cdot 10^2}{6,6} \cdot \frac{1}{76,43} = 0,60 \quad (\bar{\lambda}_y = 0,54)$$

Współczynnik wybozeniowy:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Krzywa wybozeniowa a.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi_z = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,6 - 0,2) + 0,6^2) = 0,72 \quad (\phi_y = 0,68)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,60^2}} = 0,89 \leq 1,0 \quad (\chi_y = 0,91)$$

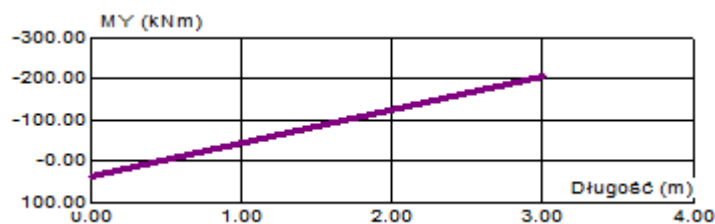
Warunek nośności elementu ze względu na wybozenie:

$$N_{Ed} = 4,36 \text{ kN}$$

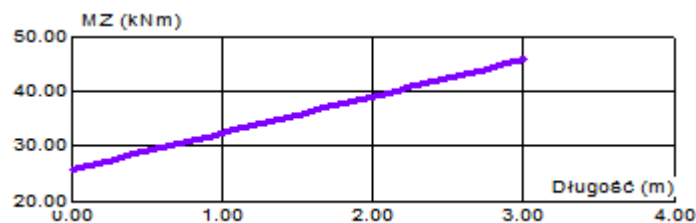
$$N_{b,Ed} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,89 \cdot 102,2 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 3229,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{4,36 \text{ kN}}{3229,0 \text{ kN}} \cong 0,0 \leq 1,0$$

7.1.4.2. Nośność elementu z uwzględnieniem niestateczności interaktywnej (zginanie i ściskanie)



Rys. 32. Wykres momentów zginających  $M_y$  dla pręta nr 73.



Rys. 33. Wykres momentów zginających  $M_z$  dla pręta nr 73.



Parametr zależny od rozkładu momentów zginających (tab. B3 EC3):

$$\psi_y = -\frac{38,33kN}{206,44kN} = -0,19$$

$$\psi_z = \frac{25,64kN}{45,72kN} = 0,56$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_y = 0,6 - 0,4 \cdot 0,19 = 0,52 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_z = 0,6 + 0,4 \cdot 0,56 = 0,82 \geq 0,4$$

Parametry interakcji (tab. B1 EC3):

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right]$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,52 \cdot \left[ 1 + (0,54 - 0,2) \cdot \frac{4,36kN}{0,91 \cdot 3628,1kN} \right] = 0,520 \\ 0,52 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{4,36kN}{0,91 \cdot 3628,1kN} \right] = 0,521 \end{array} \right\} = 0,520$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,520 = 0,312$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right]$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,82 \cdot \left[ 1 + (0,6 - 0,2) \cdot \frac{4,36kN}{0,89 \cdot 3628,1kN} \right] = 0,820 \\ 0,82 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{4,36kN}{0,89 \cdot 3628,1kN} \right] = 0,821 \end{array} \right\} = 0,820$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,820 = 0,492$$

Warunek nośności:

$$\frac{4,36kN}{0,91 \cdot 3628,1kN} + 0,520 \cdot \frac{206,44kNm}{1,0 \cdot \frac{220,46}{1,0}} + 0,492 \cdot \frac{45,72kN}{\frac{209,52}{1,0}} = 0,60 \leq 1,0$$

$$\frac{4,36kN}{0,89 \cdot 3628,1kN} + 0,312 \cdot \frac{206,44kNm}{1,0 \cdot \frac{220,46kNm}{1,0}} + 0,820 \cdot \frac{45,72kNm}{\frac{209,52kNm}{1,0}} = 0,47 \leq 1,0$$

Warunki nośności pasa ściany szczytowej są spełnione.

## 7.2. Sprawdzenie nośności pasa górnego

Jako miarodajny przekrój do wymiarowania wybrano pręt nr 178. Przyjęto przekrój RK 300x300x12,5mm. Szczegółowe wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju podano w punkcie 4.2.2. oraz na Rys. 17.

Przekrój słupa dobrano na podstawie dopuszczalnej maksymalnej smukłości pręta  $\lambda_{\max} = 250$ .

### 7.2.1. Siły wewnętrzne

Do obliczeń przyjęto wartości sił wewnętrznych z kombinacji obciążeń KOMB10.

Zestawienie sił wewnętrznych:

$$N_{Ed} = -755,83kN$$

$$M_{y,Ed} = 380,70kNm$$

$$V_{z,Ed} = 67,73kN$$

### 7.2.2. Klasyfikacja przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_w - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{300 - 4 \cdot 12,5}{12,5} = 20,0 < 33\varepsilon = 33 \cdot 0,814 = 26,86 \rightarrow \text{klasa 1}$$

### 7.2.3. Nośność przekroju

#### 7.2.3.1. Ściskanie

$$N_{Ed} = -755,83kN$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{142,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 5041,0kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{755,83kN}{5041,0kN} = 0,15$$

#### 7.2.3.2. Zginanie

$$M_{y,Ed} = 380,70kNm$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1525,0 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 541,38kNm$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{380,70kNm}{541,38kNm} = 0,70$$

#### 7.2.3.3. Zginanie z siłą podłużną

$$M_{y,Ed} = 380,70kNm$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1525,0 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 541,38kNm$$

Zgodnie z załącznikiem krajowym:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \frac{(1-n)}{(1-0,5 \cdot a_w)}, \text{ lecz } M_{N,Rd} \leq M_{pl,Rd}$$

gdzie:  $n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{755,83kN}{5041,0kN} = 0,15$

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = \frac{142 - 2 \cdot 30 \cdot 1,25}{142} = 0,47$$

$$M_{N,Rd} = 380,70 \cdot \frac{(1-0,15)}{(1-0,5 \cdot 0,47)} kNm = 423kNm < M_{pl,Rd} = 541,38kNm$$

Zatem:

$$M_{N,Rd} = 423kNm$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{380,70kNm}{423kNm} = 0,90$$

#### 7.2.3.4. Ścinanie

Pole przekroju czynnego

$$A_v = \frac{A \cdot b}{(b+h)} = \frac{14200 \cdot 300}{(300+300)} mm^2 = 7100,0mm^2$$

Obliczeniowa nośność plastyczna przy ścinaniu:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{7100 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} \cdot 10^{-3} kN = 1455,21kN$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{67,73kN}{1455,21kN} = 0,05$$

więc można pominąć wpływ siły poprzecznej przy na nośność przekroju przy zginaniu.

#### 7.2.4. Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności

##### 7.2.4.1. Nośność na wyboczenie

Długość wyboczeniowa względem osi y-y:

$$L_{cr,y} = \mu \cdot L = 0,9 \cdot 3,04m = 2,74m$$

Długość wyboczeniowa względem osi z-z:

$$L_{cr,z} = \mu \cdot L = 1,0 \cdot 3,04m = 3,04m$$

Przekroje pasa górnego mają takie same momenty bezwładności w obu płaszczyznach wybożenia, więc o nośności elementu zadecyduje wybożenie z płaszczyzny kratownicy.

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}, \text{ gdzie } i = 11,7 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,43$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3,04 \cdot 10^2}{11,7} \cdot \frac{1}{76,43} = 0,34$$

Współczynnik wybożeniowy:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Krzywa wybożeniowa a.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,34 - 0,2) + 0,34^2) = 0,57$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,57 + \sqrt{0,57^2 - 0,34^2}} = 0,97 < 1,0$$

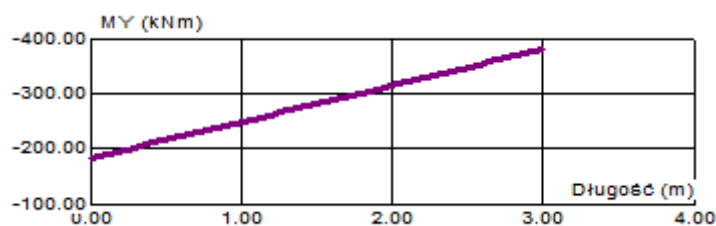
Warunek nośności elementu ze względu na wybożenie:

$$N_{Ed} = 755,83 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,97 \cdot 142,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 4889,77 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{755,83 \text{ kN}}{4889,77 \text{ kN}} = 0,16$$

7.2.4.2. Nośność elementu z uwzględnieniem niestateczności interaktywnej (zginanie i ściskanie)



Rys. 34. Wykres momentów zginających  $M_y$  dla pręta nr 178.

My dla pręta 178: -183,11kNm

w punkcie: 0,0m

My dla pręta 178: -380,70kNm

w punkcie: 3,0m

Współczynniki interakcji policzono metodą 2 (wg załącznika B)

$$\psi = \frac{-183,11kNm}{-380,7kNm} = 0,48$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,48 = 0,79 > 0,4$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,79 \cdot \left[ 1 + (0,34 - 0,2) \cdot \frac{755,83}{0,97 \cdot 5041,0 / 1,0} \right] = 0,807 \\ 0,79 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{755,83}{0,97 \cdot 5041,0 / 1,0} \right) = 0,888 \end{array} \right\} = 0,807$$

Zgodnie z załącznikiem krajowym w przypadku ściskania i jednokierunkowego zginania można przyjmować  $k_{zy} = 0,0$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{755,83}{0,97 \cdot \frac{5041,0}{1,0}} + 0,807 \cdot \frac{380,70}{1,0 \cdot \frac{541,38}{1,0}} = 0,72 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{755,83}{0,97 \cdot \frac{5041,0}{1,0}} = 0,16 < 1,0$$

Warunki nośności pasa górnego są spełnione.

### 7.3. Sprawdzenie nośności pasa dolnego

Jako miarodajny przekrój do wymiarowania wybrano pręt nr 538. Przyjęto przekrój RK 400x400x20mm. Szczegółowe wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju podano w punkcie 4.2.3. oraz na Rys. 17.

Przekrój słupa dobrano na podstawie dopuszczalnej maksymalnej smukłości pręta  $\lambda_{\max} = 250$ .

#### 7.3.1. Siły wewnętrzne

Do obliczeń przyjęto wartości sił wewnętrznych z kombinacji obciążeń KOMB10.

Zestawienie sił wewnętrznych:

$$N_{Ed} = 624,31kN$$

$$M_{y,Ed} = 1523,54kNm$$

$$V_{z,Ed} = 310,34kN$$

#### 7.3.2. Klasyfikacja przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_w - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{400 - 4 \cdot 20}{20} = 16,0 < 33\varepsilon = 33 \cdot 0,814 = 26,86 \rightarrow \text{klasa 1}$$

#### 7.3.3. Nośność przekroju

##### 7.3.3.1. Rozciąganie

$$N_{Ed} = 624,31kN$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{300,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 10650kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{624,31kN}{10650kN} = 0,06$$

### 7.3.3.2. Zginanie

$$M_{y,Ed} = 1523,54kNm$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4247 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1625,39kNm$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1523,54kNm}{1625,39kNm} = 0,94$$

### 7.3.3.3. Zginanie z siłą podłużną

$$M_{y,Ed} = 1523,54kNm$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4247 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1625,39kNm$$

Zgodnie z załącznikiem krajowym:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \frac{(1-n)}{(1-0,5 \cdot a_w)}, \text{ lecz } M_{N,Rd} \leq M_{pl,Rd}$$

gdzie:  $n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{624,31kN}{10650kN} = 0,06$

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} = \frac{300 - 2 \cdot 40 \cdot 2}{300} = 0,47$$

$$M_{N,Rd} = 1625,39 \cdot \frac{(1-0,06)}{(1-0,5 \cdot 0,47)} kNm = 1997,21kNm > M_{pl,Rd} = 1625,39kNm$$

Zatem:

$$M_{N,Rd} = 1625,39kNm$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{1523,54kNm}{1625,39kNm} = 0,94$$



#### 7.3.3.4. Ścinanie

Pole przekroju czynnego

$$A_v = \frac{A \cdot b}{(b + h)} = \frac{30000 \cdot 400}{(400 + 400)} \text{ mm}^2 = 15000 \text{ mm}^2$$

Obliczeniowa nośność plastyczna przy ścinaniu:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{15000 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 3074,39 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{310,34 \text{ kN}}{3074,39 \text{ kN}} = 0,10 = 10\% < 50\%$$

więc można pominąć wpływ siły poprzecznej przy na nośność przekroju przy zginaniu.

#### 7.3.4. Nośność elementu z uwzględnieniem stateczności

##### 7.3.4.1. Nośność na wyboczenie

Długość wyboczeniowa względem osi y-y:

$$L_{cr,y} = \mu \cdot L = 0,9 \cdot 3,0 \text{ m} = 2,7 \text{ m}$$

Długość wyboczeniowa względem osi z-z:

$$L_{cr,z} = \mu \cdot L = 1,0 \cdot 3,0 \text{ m} = 3,0 \text{ m}$$

Przekroje pasa dolnego mają takie same momenty bezwładności w obu płaszczyznach wyboczenia, więc o nośności elementu zadecyduje wyboczenie z płaszczyzny kratownicy.

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}, \text{ gdzie } i = 15,4 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,43$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3,0 \cdot 10^2}{15,4} \cdot \frac{1}{76,43} = 0,25$$

Współczynnik wyboczeniowy:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Krzywa wyboczeniowa a.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,25 - 0,2) + 0,25^2) = 0,54$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,54 + \sqrt{0,54^2 - 0,25^2}} = 0,98 < 1,0$$

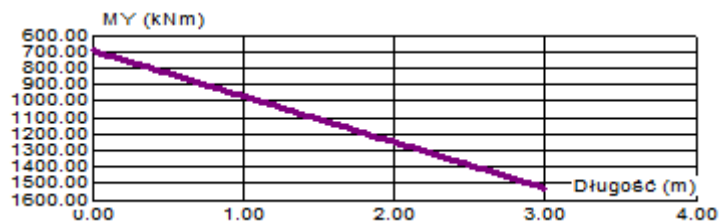
Warunek nośności elementu ze względu na wyboczenie:

$$N_{Ed} = 624,31 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,98 \cdot 300,0 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 10437 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{624,31 \text{ kN}}{10437 \text{ kN}} = 0,06$$

7.3.4.2. Nośność elementu z uwzględnieniem niestateczności interaktywnej (zginanie i ściskanie)



Rys. 35. Wykres momentów zginających  $M_y$  dla pręta nr 538.

$M_y$  dla pręta 538: 604,29 kNm

w punkcie: 0,0 m

$M_y$  dla pręta 538: 1523,54 kNm

w punkcie: 3,0 m

Współczynniki interakcji policzono metodą 2 (wg załącznika B)

$$\psi = \frac{604,29 \text{ kNm}}{1523,54 \text{ kNm}} = 0,40$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,4 = 0,76$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,76 \cdot \left[ 1 + (0,25 - 0,2) \cdot \frac{624,31}{0,98 \cdot 10650 / 1,0} \right] = 0,762 \\ 0,76 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{624,31}{0,98 \cdot 10650 / 1,0} \right) = 0,797 \end{array} \right\} = 0,762$$

Zgodnie z załącznikiem krajowym w przypadku ściskania i jednokierunkowego zginania można przyjmować  $k_{zy} = 0,0$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{624,31}{0,98 \cdot \frac{10650}{1,0}} + 0,762 \cdot \frac{1523,54}{1,0 \cdot \frac{1625,39}{1,0}} = 0,78 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{624,31}{0,98 \cdot \frac{10650}{1,0}} = 0,06 \leq 1,0$$

Warunki nośności pasa dolnego są spełnione.

#### 7.4. Sprawdzenie nośności słupków

Jako miarodajny przekrój do wymiarowania wybrano pręt nr 1039. Przyjęto przekrój RK 100x100x5mm. Szczegółowe wymiary i charakterystyki geometryczne przekroju podano w punkcie 4.2.4. oraz na Rys. 18.

Przekrój słupa dobrano na podstawie dopuszczalnej maksymalnej smukłości pręta

$$\lambda_{\max} = 250.$$

### 7.4.1. Siły wewnętrzne

Maksymalna ściskająca siła osiowa w słupku nr 1039 przy kombinacji obciążeń KOMB10:

$$N_{Ed,c} = N_{\max} = -240kN$$

### 7.4.2. Klasyfikacja przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_w - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{100 - 4 \cdot 5}{5} = 16,0 < 33\varepsilon = 33 \cdot 0,814 = 26,86 \rightarrow \text{klasa 1}$$

### 7.4.3. Nośność przekroju na ściskanie

$$N_{Ed} = -240kN$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18,7 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} kN = 663,85kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{240kN}{663,85kN} = 0,36$$

### 7.4.4. Nośność elementu ze względu na wyboczenie

Długość wyboczeniowa względem osi y-y:

$$L_{cr,y} = \mu \cdot L = 0,9 \cdot 4,0m = 3,6m$$

Długość wyboczeniowa względem osi z-z:

$$L_{cr,z} = \mu \cdot L = 1,0 \cdot 4,0m = 4,0m$$

Przekroje słupków mają takie same momenty bezwładności w obu płaszczyznach wyboczenia, więc o nośności elementu zadecyduje wyboczenie z płaszczyzny kratownicy.

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}, \text{ gdzie } i = 3,9 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,43$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{4,0 \cdot 10^2}{3,9} \cdot \frac{1}{76,43} = 1,34$$

Współczynnik wyboczeniowy:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Krzywa wyboczeniowa a.

Parametr imperfekcji  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (1,34 - 0,2) + 1,34^2) = 1,52$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,52 + \sqrt{1,52^2 - 1,34^2}} = 0,45 \leq 1,0$$

Warunek nośności elementu ze względu na wyboczenie:

$$N_{Ed} = -240 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,45 \cdot 18,7 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 298,73 \text{ kN}$$

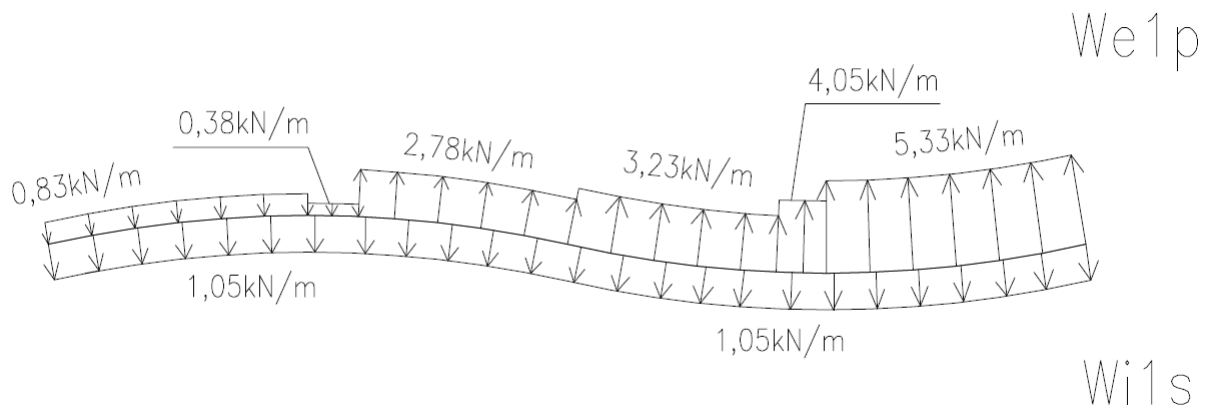
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{240 \text{ kN}}{298,73 \text{ kN}} = 0,80 \leq 1,0$$

Warunek nośności słupków są spełnione.

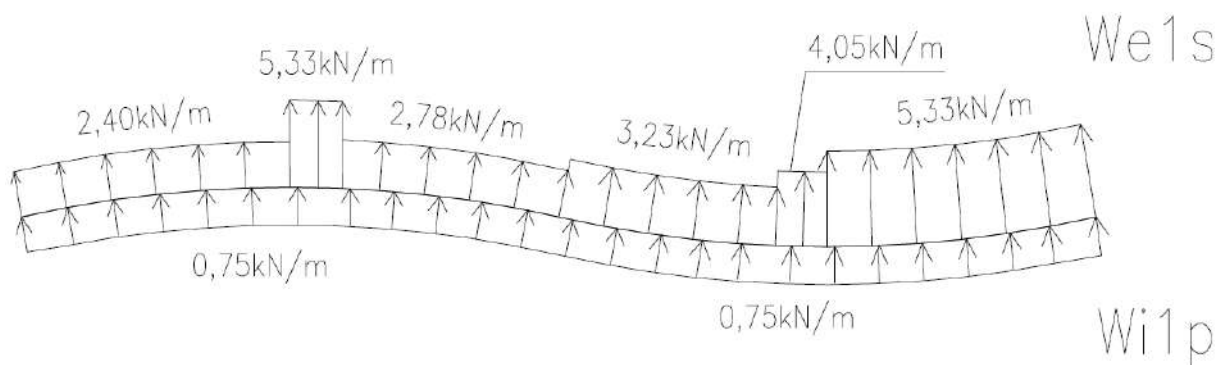
## 8. PŁATEW

Ustalenie maksymalnej wartości parcia i ssania wiatru na połac dachową.

Gdy wiatr wieje na północną ścianę podłużną



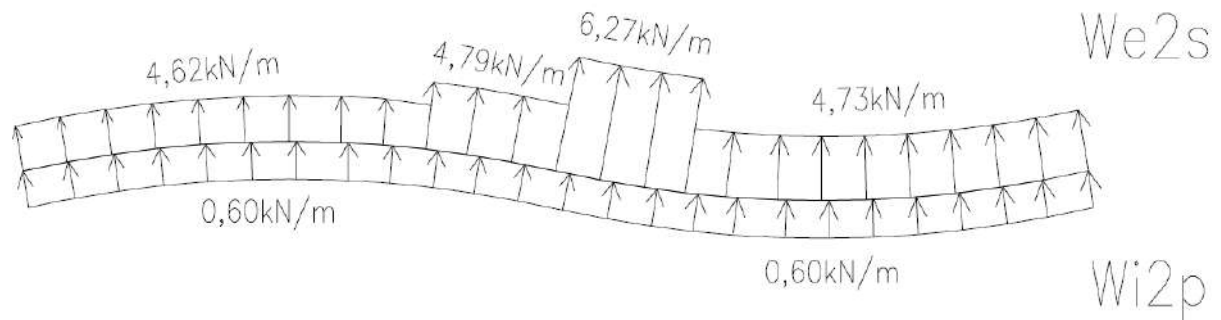
**Rys. 36.** Maksymalne parcie wiatru, gdy wiatr wieje na zachodnią ścianę podłużną.



**Rys. 37.** Maksymalne ssanie wiatru, gdy wiatr wieje na zachodnią ścianę podłużną.

$$w_p = 1,88 \frac{kN}{m}$$

$$w_s = -6,08 \frac{kN}{m}$$



**Rys. 38.** Maksymalne ssanie wiatru, gdy wiatr wieje na północną ścianę szczytową.

$$w_s = -6,67 \frac{kN}{m}$$

Gdy wiatr wieje na północną ścianę szczytową parcie nie występuje.

Porównując oba przypadki wybieram maksymalne wielkości:

$$w_p = 1,88 \frac{kN}{m}$$

$$w_s = -6,67 \frac{kN}{m}$$

### 8.1. Kombinacje obciążeń obliczeniowych

- KOMB1:

$$q_{1,d} = 1,35 \cdot G + 0,5 \cdot 1,5 \cdot S + 0,6 \cdot 1,5 \cdot W$$

$$q_{1,d,z} = 1,35 \cdot g \cdot a \cdot \cos \alpha + 0,5 \cdot 1,5 \cdot s \cdot d \cdot \cos \alpha + 0,6 \cdot 1,5 \cdot w_p$$

$$q_{1,d,z} = 1,35 \cdot 0,99 \cdot 3,042 \cdot \cos 12^\circ + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,576 \cdot 3,0 \cdot \cos 12^\circ + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 1,88 = 6,94 \frac{kN}{m}$$

$$q_{1,d,y} = 1,35 \cdot g \cdot a \cdot \sin \alpha + 0,5 \cdot 1,5 \cdot s \cdot d \cdot \sin \alpha$$

$$q_{1,d,y} = 1,35 \cdot 0,99 \cdot 3,042 \cdot \sin 12^\circ + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,576 \cdot 3,0 \cdot \sin 12^\circ = 1,11 \frac{kN}{m}$$

- KOMB2:

$$q_{2,d} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 1,5 \cdot S + 0,6 \cdot 1,5 \cdot W$$

$$q_{2,d,z} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot g \cdot a \cdot \cos \alpha + 1,5 \cdot s \cdot d \cdot \cos \alpha + 0,6 \cdot 1,5 \cdot w_p$$

$$q_{2,d,z} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 0,99 \cdot 3,042 \cdot \cos 12^\circ + 1,5 \cdot 0,576 \cdot 3,0 \cdot \cos 12^\circ + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 1,88 = 7,61 \frac{kN}{m}$$

$$q_{2,d,y} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot g \cdot a \cdot \sin \alpha + 1,5 \cdot s \cdot d \cdot \sin \alpha$$

$$q_{2,d,y} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 0,99 \cdot 3,042 \cdot \sin 12^\circ + 1,5 \cdot 0,576 \cdot 3,0 \cdot \sin 12^\circ = 1,26 \frac{kN}{m}$$

- KOMB3:

$$q_{3,d} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot G + 0,5 \cdot 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W$$

$$q_{3,d,z} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot g \cdot a \cdot \cos \alpha + 0,5 \cdot 1,5 \cdot s \cdot d \cdot \cos \alpha + 1,5 \cdot w_p$$

$$q_{3,d,z} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 0,99 \cdot 3,042 \cdot \cos 12^\circ + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,576 \cdot 3,0 \cdot \cos 12^\circ + 1,5 \cdot 1,88 = 7,47 \frac{kN}{m}$$

$$q_{3,d,y} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot g \cdot a \cdot \sin \alpha + 0,5 \cdot 1,5 \cdot s \cdot d \cdot \sin \alpha$$

$$q_{3,d,y} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 0,99 \cdot 3,042 \cdot \sin 12^\circ + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,576 \cdot 3,0 \cdot \sin 12^\circ = 0,99 \frac{kN}{m}$$

- KOMB4:

$$q_{4,d} = 1,0 \cdot G + 1,5 \cdot W$$

$$q_{4,d,z} = 1,0 \cdot g \cdot a \cdot \cos \alpha + 1,5 \cdot w_s$$

$$q_{4,d,z} = 1,0 \cdot 0,99 \cdot 3,042 \cdot \cos 12^\circ + 1,5 \cdot (-6,67) = -7,06 \frac{kN}{m}$$

$$q_{4,d,y} = 1,0 \cdot g \cdot a \cdot \sin \alpha$$

$$q_{4,d,y} = 1,0 \cdot 0,99 \cdot 3,042 \cdot \sin 12^\circ = 0,63 \frac{kN}{m}$$

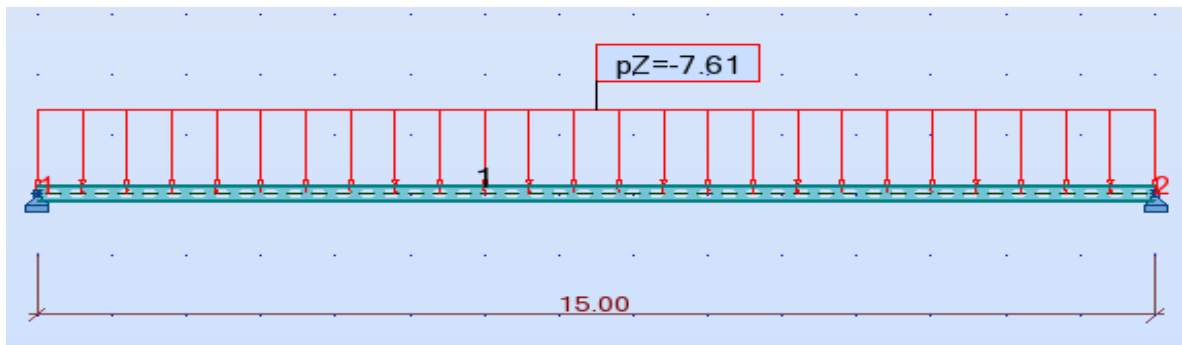
Do dalszych obliczeń przyjęto najbardziej niekorzystniejszą kombinację obciążeń KOMB2.



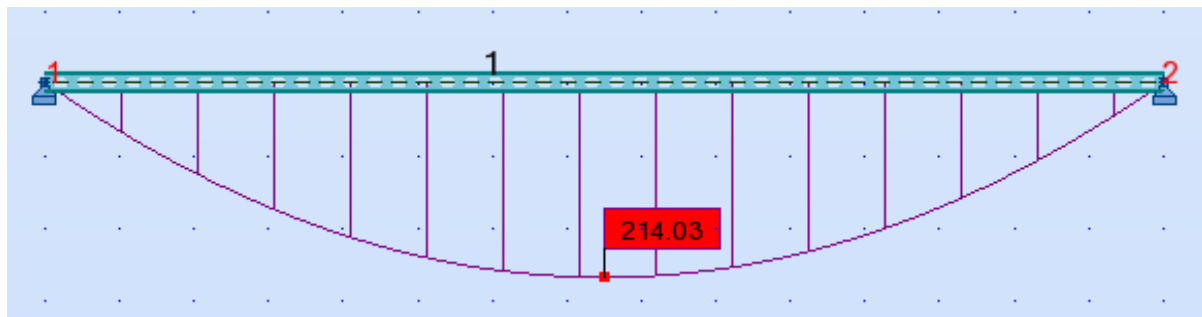
## 8.2. Siły wewnętrzne

W płaszczyźnie z:

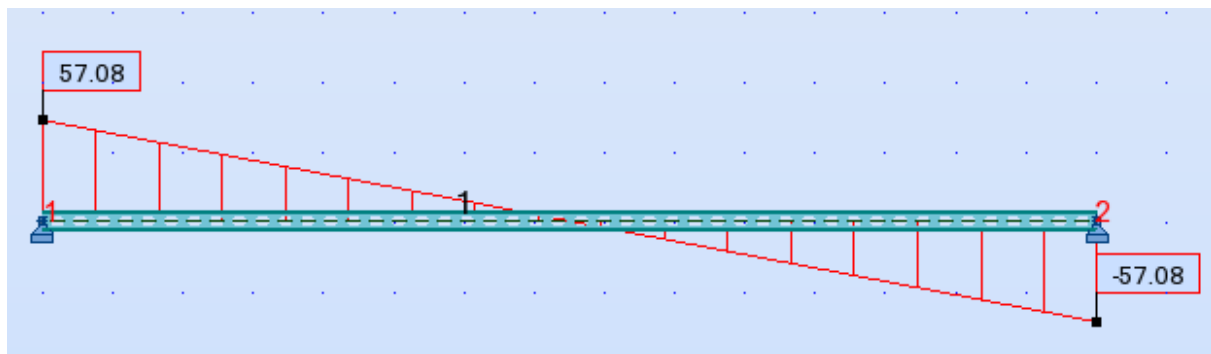
Schemat statyczny:



Momenty zginające [kNm]:

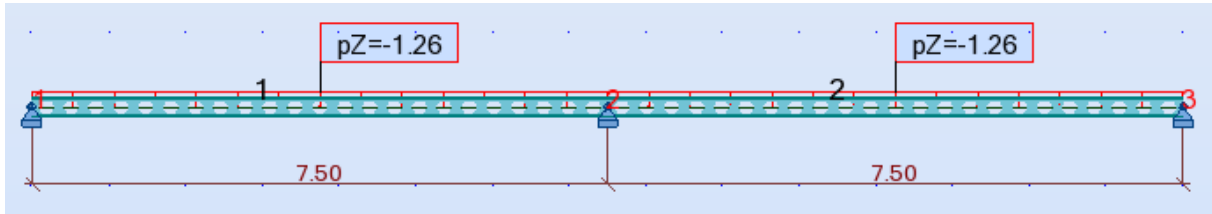


Siły poprzeczne [kN]:

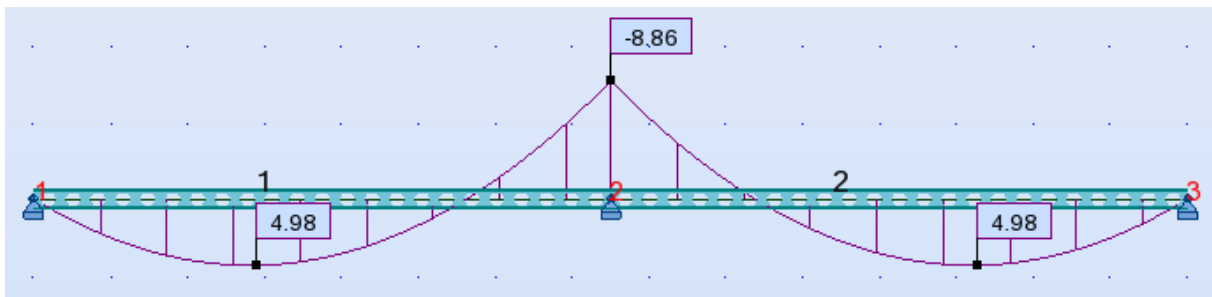


W płaszczyźnie y:

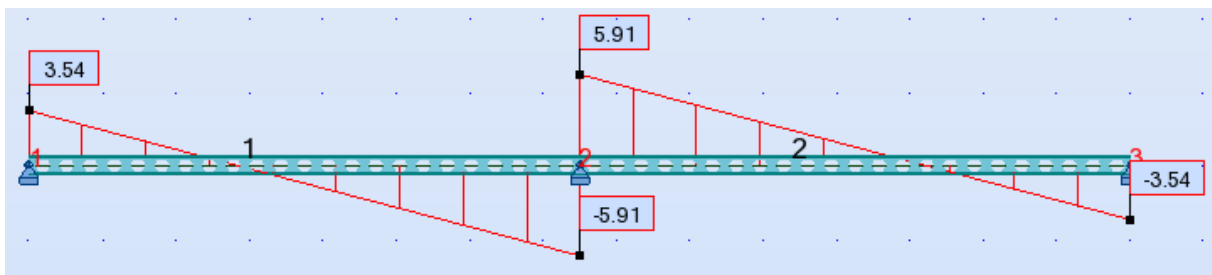
Schemat statyczny:



Momenty zginające [kNm]:



Siły poprzeczne [kN]:



Wybieramy największe wartości momentów zginających i sił poprzecznych:

$$M_{y,Ed,max} = 214,03kNm$$

$$V_{z,Ed,max} = 57,08kN$$

$$M_{z,Ed,max} = 4,98kNm$$

$$M_{z,Ed,min} = -8,86kNm$$

$$V_{y,Ed,max} = 5,91kN$$

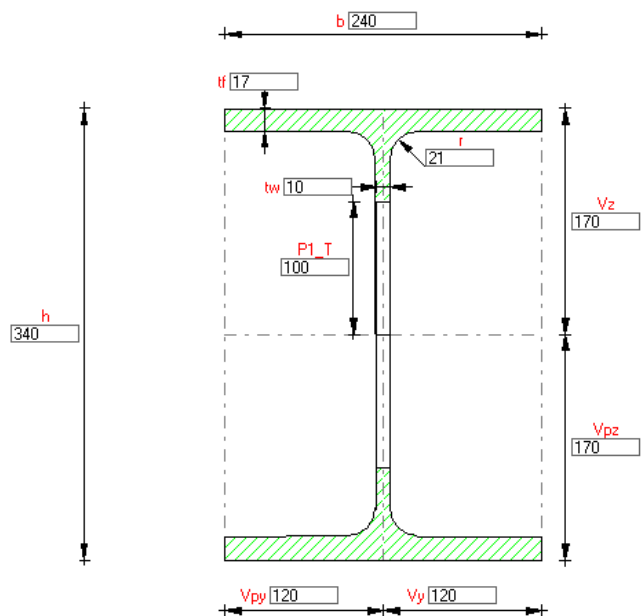
$$V_{y,Ed,min} = -3,54kN$$

### 8.3. Wymiarowanie przekroju

Założenie przekroju:

$$W_{req} = \frac{1,1 \cdot M_{c,Rd}}{f_y} = \frac{1,1 \cdot 180,92kNm}{355 \frac{N}{mm^2}} = \frac{1,1 \cdot 18092kNcm}{35,5 \frac{kN}{cm^2}} = 560,60cm^3$$

Dobrano przekrój **AHEB240** o charakterystykach geometrycznych przedstawionych poniżej.



Rys. 39. Przekrój płatwi.

Charakterystyki geometryczne płatwi:

$$h = 340mm$$

$$b = 240mm$$

$$t_w = 10mm$$

$$t_f = 17mm$$

$$r = 21mm$$

$$c = 100mm$$

$$W_{pl,y} = 1508,07cm^3$$

$$W_{pl,z} = 495,92cm^3$$

$$I_y = 24080cm^4$$

$$I_z = 3920\text{cm}^4$$

$$A = 95,98\text{cm}^2$$

### 8.3.1. Sprawdzenie klasy przekroju

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Część ściskana:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (b - t_w - 2r)}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (240 - 10 - 2 \cdot 21)}{17} = 5,53 < 9\varepsilon = 7,33 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Część zginana:

$$\frac{c}{t_w} = \frac{h - 2t_f - 2r}{t_w} = \frac{340 - 2 \cdot 17 - 2 \cdot 21}{10} = 26,4 < 72\varepsilon = 58,60 \rightarrow \text{klasa 1}$$

### 8.3.2. Określenie nośności przekroju na zginanie

$$M_{y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1508,07\text{cm}^3 \cdot 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 53536,49\text{kNcm} = 535,37\text{kNm}$$

$$M_{z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{495,92\text{cm}^3 \cdot 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 17605,16\text{kNcm} = 176,05\text{kNm}$$

Warunek nośności:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]^\beta = \left[ \frac{214,03}{535,37} \right]^2 + \left[ \frac{8,86}{176,05} \right]^1 = 0,21 \leq 1,0$$

### 8.3.3. Określenie nośności przekroju na ścinanie

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon \rightarrow \frac{340 - 2 \cdot 17 - 2 \cdot 100}{10} \leq \frac{72}{1,2} \cdot 0,814 \rightarrow 10,6 \leq 48,84$$

#### 8.3.3.1. Ścinanie wzdłuż osi z-z

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 95,98 - 2 \cdot 24 \cdot 1,7 + (1,0 + 2 \cdot 2,1) \cdot 1,7 = 55,12 \text{ cm}^2$$

$$A_{v,z} = 55,12 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot t_w \cdot h_w = 1,2 \cdot 1,0 \text{ cm} \cdot 10,6 \text{ cm} = 12,72 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,z,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{55,12 \text{ cm}^2 \cdot \frac{35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3}}}{1,0} = 1129,74 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{57,08 \text{ kN}}{1129,74 \text{ kN}} = 0,05 \leq 1,0$$

#### 8.3.3.2. Ścinanie wzdłuż osi y-y

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \leq 1$$

$$A_{v,y} = A - (h_w \cdot t_w) = A - (h - 2t_f - 2c) \cdot t_w = 95,98 - (34 - 2 \cdot 1,7 - 2 \cdot 10) \cdot 1,0 = 85,38 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,y,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{85,38 \text{ cm}^2 \cdot \frac{35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3}}}{1,0} = 1749,94 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{5,91 \text{ kN}}{1749,94 \text{ kN}} = 0,003 \leq 1,0$$

### 8.3.4. Zginanie ze ścinaniem

Ponieważ przekrój nie ulega redukcji wskutek wyboczenia przy ścinaniu, a siła poprzeczna nie przekracza 50% nośności plastycznej przy ściskaniu wpływ ścinania na nośność przy zginaniu można pominąć.

### 8.3.5. Nośność na zwichrzenie

Ze względu na przymocowanie płatwi do blachy poszycia zwichrzenie nie występuje.

### 8.3.6. Sprawdzenie Stanu Granicznego Użytkowości – SGU

oś z-z:  $l_z = 15\text{m}$

$$g_{k,z} = g \cdot a \cdot \cos \alpha = 0,99 \cdot 3,042 \cdot \cos 12^\circ = 2,95 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{k,z} = s \cdot d \cdot \cos \alpha + 0,6 \cdot w \cdot a = 0,576 \cdot 3,0 \cdot \cos 12^\circ + 0,6 \cdot 1,68 \cdot 3,042 = 4,76 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

oś y-y:  $l_y = 7,5\text{m}$

$$g_{k,y} = g \cdot a \cdot \sin \alpha = 0,99 \cdot 3,042 \cdot \sin 12^\circ = 0,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{k,y} = s \cdot d \cdot \sin \alpha = 0,576 \cdot 3,0 \cdot \sin 12^\circ = 0,36 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

k - dla przęseł skrajnych

k = 0,5 dla obciążenia stałego  $g_k$

k = 0,75 dla obciążenia zmiennego  $p_k$

$$w_z = k \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k,z} \cdot l_z^4}{E \cdot I_y} \leq \frac{l_z}{200}$$

$$w_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{(1500\text{cm})^4}{21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 24080\text{cm}^2} \cdot (0,5 \cdot 0,0295 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} + 0,75 \cdot 0,0476) = 6,58\text{cm} \leq \frac{l_z}{200} = 7,5\text{cm}$$

$$w_y = k \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k,y} \cdot l_y^4}{E \cdot I_z} \leq \frac{l_y}{200}$$

$$w_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{(750\text{cm})^4}{21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 3920\text{cm}^2} \cdot (0,5 \cdot 0,0063 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} + 0,75 \cdot 0,0036) = 0,29\text{cm} \leq \frac{l_y}{200} = 3,75\text{cm}$$

$$w = \sqrt{w_z^2 + w_y^2} = \sqrt{6,58^2 + 0,29^2} = 6,59\text{cm} < \frac{L}{200} = 7,5\text{cm}$$

k - dla pręseł pośrednich

k = 0,2 dla obciążenia stałego  $g_k$

k = 0,6 dla obciążenia zmiennego  $p_k$

$$w_z = k \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k,z} \cdot l_z^4}{E \cdot J_y} \leq \frac{l_z}{200}$$

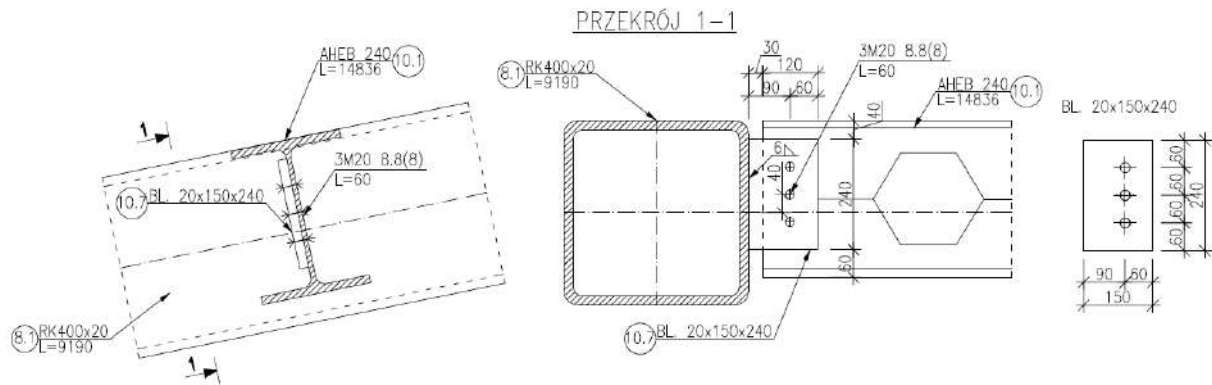
$$w_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{(1500\text{cm})^4}{21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 24080\text{cm}^2} \cdot (0,2 \cdot 0,0295 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} + 0,6 \cdot 0,0476) = 4,49\text{cm} \leq \frac{l_z}{200} = 7,5\text{cm}$$

$$w_y = k \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k,y} \cdot l_y^4}{E \cdot J_z} \leq \frac{l_y}{200}$$

$$w_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{(750\text{cm})^4}{21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 3920\text{cm}^2} \cdot (0,2 \cdot 0,0063 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} + 0,6 \cdot 0,0036) = 0,17\text{cm} \leq \frac{l_y}{200} = 3,75\text{cm}$$

$$w = \sqrt{w_z^2 + w_y^2} = \sqrt{4,49^2 + 0,17^2} = 4,49\text{cm} < \frac{L}{200} = 7,5\text{cm}$$

## 8.4. Oparcie płatwi na dźwigarze



Rys. 40. Oparcie płatwi na pasie dolnym dźwigara.

### 8.4.1. Geometria i dane materiałowe

Pas dolny RK400x400x20 (Rys. 17)

$$b_0 = h_0 = 400\text{mm}$$

$$t_0 = 20\text{mm}$$

Płatew AHEB 240 (Rys. 37)

$$h = 340\text{mm}$$

$$t = 240\text{mm}$$

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

$$t_f = 17\text{mm}$$

$$r = 21\text{mm}$$

$$c = 100\text{mm}$$

Blacha poprzeczna

$$b_1 = 240\text{mm}$$

$$t_1 = 20\text{mm}$$

śruby M20 klasy 8.8 (8)

$$d = 20\text{mm}$$

$$d_0 = 22\text{mm}$$

$$f_{ub} = 800\text{MPa}$$

Stal (pas dolny, płatew, blacha poprzeczna) S355

$$f_{y0} = f_{y1} = f_y = 355\text{MPa}$$

$$f_{up} = 510\text{MPa}$$



Sprawdzenie poprawności rozmieszczenia łączników:

$$e_1 = 60\text{mm} > 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22\text{mm} = 26,4\text{mm}$$

$$e_2 = 60\text{mm} > 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22\text{mm} = 26,4\text{mm}$$

$$p_1 = 60\text{mm} > 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22\text{mm} = 48,4\text{mm}$$

#### 8.4.2. Połączenie blachy poprzecznej i pasa dolnego dźwigara

##### 8.4.2.1. Zniszczenie blachy poprzecznej

$$N_{1,Rd} = f_{y,1} \cdot t_1 \cdot b_{eff} / \gamma_{M5}$$

Szerokość efektywna

$$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{f_{y,1} \cdot t_1} \cdot b_1 = \frac{10}{400/20} \cdot \frac{355 \cdot 20}{355 \cdot 20} \cdot 240 = 120\text{mm} \leq b_1 = 240\text{mm}$$

$$N_{1,Rd} = f_{y,1} \cdot t_1 \cdot b_{eff} / \gamma_{M5} = 355 \cdot 30 \cdot 120 / 1,0 = 1203,45\text{kN} > F_{Ed,H} = 310,33\text{kN}$$

Warunek nośności jest spełniony.

##### 8.4.2.2. Przebicie pasa

Przebicie pasa sprawdza się , gdy  $b_1 = 240\text{mm} \leq b_0 - 2t_0 = 400 - 2 \cdot 20 = 360\text{mm}$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{\sqrt{3}} \cdot (2t_1 + 2b_{e,p}) / \gamma_{M5}$$

$$\text{Parametr } b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_1 = \frac{10}{400/20} \cdot 240 = 120\text{mm} \leq b_1 = 240\text{mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{\sqrt{3}} \cdot (2t_1 + 2b_{e,p}) / \gamma_{M5} = \frac{355 \cdot 20}{\sqrt{3}} \cdot (2 \cdot 20 + 2 \cdot 120) / 1,0 = 1147,77\text{kN}$$

$$N_{1,Rd} = 1147,77\text{kN} > F_{Ed,H} = 310,33\text{kN}$$

Warunek nośności jest spełniony.

### 8.4.2.3. Nośność spoiny pomiędzy blachą poprzeczną, a pasem dolnym

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \text{ oraz } \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Grubość i długość spoiny:

Dobrano grubość spoiny  $a_w = 6mm$

Długość spoiny  $l_w = 240mm$

Pole przekroju spoiny:  $A_w = 2 \cdot a_w \cdot l_w = 2 \cdot 6 \cdot 240 = 2880mm^2$

Siły obciążające układ spoin:

$$F_{Ed,H} = 310,33kN$$

$$F_{Ed,V} = 57,08kN$$

$$M_{Ed} = F_{Ed,H} \cdot e_1 + F_{Ed,V} \cdot e_2 = 310,33 \cdot 40mm + 57,08kN \cdot 90mm = 17,55kNm$$

Składowe naprężenia:

$$W_w = \frac{2 \cdot a_w \cdot l_w^2}{6} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 240^2}{6} = 115200mm^3$$

$$\sigma = \frac{F_{Ed,H}}{A_w} + \frac{M_{Ed}}{W_w} = \frac{310,33 \cdot 10^3}{2880} + \frac{17,55 \cdot 10^6}{115200} = 26,0 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{26,0}{\sqrt{2}} = 18,39 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 18,39 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed,V}}{A_w} = \frac{57,08 \cdot 10^3}{2880} = 1,98 \frac{kN}{cm^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{18,39^2 + 3 \cdot (18,39^2 + 1,98^2)} =$$

$$36,94 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 18,39 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{kN}{cm^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

### 8.4.3. Połączenie płatwi z blachą poprzeczną

#### 8.4.3.1. Nośność śruby na ścinanie w jednej płaszczyźnie

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 314}{1,25} = 120,58 kN$$

#### 8.4.3.2. Nośność śruby na docisk

##### Śruba skrajna

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w}{\gamma_{M2}}, \text{ gdzie:}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{50}{3 \cdot 22} = 0,76 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{510} = 1,57 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,76$$

$$k_1 = \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{22} - 1,7 = 4,66 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,76 \cdot 510 \cdot 22 \cdot 10}{1,25} = 224400 N = 224,4 kN$$

##### Śruba pośrednia

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w}{\gamma_{M2}}, \text{ gdzie:}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{50}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,51 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{510} = 1,57 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,51$$

$$k_1 = \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7, p_2 = 0mm \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,51 \cdot 510 \cdot 22 \cdot 10}{1,25} = 114444N = 114,44kN$$

#### 8.4.3.3. Nośność grupy łączników

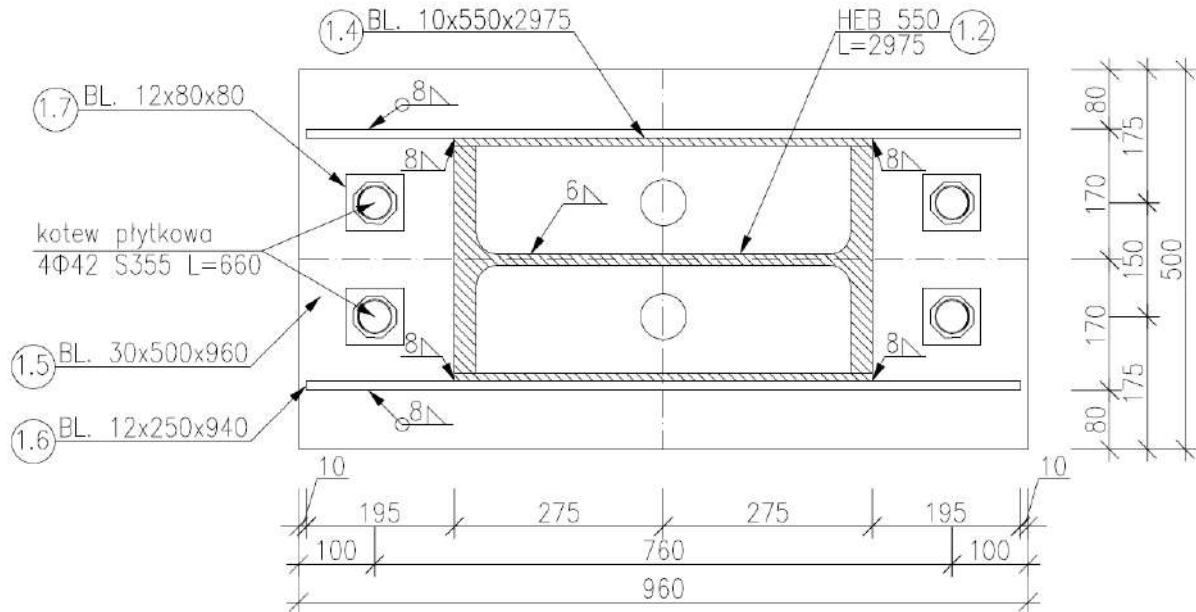
Ze względu na to, że nośność na ścinanie łącznika  $F_{v,Rd}$  jest większa od nośności na docisk  $F_{b,Rd}$ , obliczeniowa nośność grupy łączników jest równa sumie nośności pojedynczych łączników na docisk:

$$F_{b,Rd} = F_{b,Rd,1} + F_{b,Rd,2} = 224,4kN + 114,44kN = 338,84kN > 310,33 = F_{Ed,H}$$

## 9. SPRAWDZENIE POŁĄCZEŃ

### 9.1. Podstawa słupa skrajnego

#### 9.1.1. Geometria i dane materiałowe



Rys. 41. Podstawa słupa skrajnego.

- Założono 4 śruby płytkowe M42, klasa 8.8:

$$f_{ub} = 800 \frac{N}{mm^2}, f_{yb} = 640 \frac{N}{mm^2}$$

- Odległości osi otworów na śruby od krawędzi blachy czołowej podstawy:

$$1,2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq 4t + 40 \text{ mm}$$

$$d_0 = d + 3 \text{ mm} = 42 + 3 = 45 \text{ mm}$$

$$1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 45 \text{ mm} = 54 \text{ mm}$$

$$4t + 40 \text{ mm} = 4 \cdot 30 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$$

$$54 \text{ mm} \leq e_1 \leq 160 \text{ mm}$$

Przyjmuję  $e_1 = 100 \text{ mm}$

- Rozstaw śrub:

$$2,4 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \min(14t, 200 \text{ mm})$$

$$2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 45 \text{ mm} = 108 \text{ mm}$$

$$14t = 14 \cdot 30 \text{ mm} = 420 \text{ mm}$$

$$\min(14t, 200 \text{ mm}) = \min(420 \text{ mm}, 200 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

$$108 \text{ mm} \leq p_2 \leq 200 \text{ mm}$$

Przyjmuję  $p_2 = 150 \text{ mm}$

- Wstępne założenie wymiarów blachy podstawy:

$$t_p = 30\text{mm}$$

$$B_p = 500\text{mm}$$

$$D_p = 960\text{mm}$$

- Założona wstępnie grubość blach trapezowych  $t_g = 12\text{ mm}$
- Klasa betonu stopy fundamentowej 25/30:

$$f_{ck} = 25\text{MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67\text{MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33\text{MPa}$$

### 9.1.2. Siły obliczeniowe

Przypadek 1 - maksymalna siła podłużna  $N_{Ed}$  i odpowiadające jej wartości  $M_{Ed}$  i  $V_{Ed}$

$$N_{Ed} = -287,42\text{kN} \quad M_{Ed} = 372,19\text{kNm} \quad V_{Ed} = 34,29\text{kN}$$

Przypadek 2 - maksymalny moment zginający  $M_{Ed}$  i odpowiadające jej wartości  $N_{Ed}$  i  $V_{Ed}$

$$M_{Ed} = 646,01\text{kNm} \quad N_{Ed} = -52,29\text{kN} \quad V_{Ed} = 26,54\text{kN}$$

Obliczeniowa siła ściskająca:

$$\text{-dla przypadku 1 : } F_{C,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_f} - \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{37219}{55 - 2,9} + \frac{287,42}{2} = 858,09\text{kN}$$

$$\text{-dla przypadku 2 : } F_{T,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_f} - \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{64601}{55 - 2,9} - \frac{52,29}{2} = 1213,8\text{kN}$$

### 9.1.3. Wymiarowanie blachy czołowej podstawy słupa

$$N_{j,Ed} = 2 \cdot F_{C,Ed} = 2 \cdot 858,09\text{kN} = 1716,18\text{kN}$$

Wstępne przyjęcie wymiarów blachy czołowej podstawy słupa:

$$A_{co} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{h_c \cdot b_f} \cdot \left[ \frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} \right]^2 = \frac{1}{55 \cdot 30} \cdot \left[ \frac{1716,18}{1,667} \right]^2 = 642,21 \text{ cm}^2 \\ \frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} = \frac{1716,18}{1,667} = 1029,5 \text{ cm}^2 \end{array} \right\} A_{co} = 1029,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{co} = 1029,5 \text{ cm}^2 < 0,95 \cdot h_c \cdot b_f = 0,95 \cdot 55 \cdot 30 = 1567,5 \text{ cm}^2$$

Określenie szerokości strefy docisku:

$$A = 2$$

$$B = (2b_f - t_w + h_c) = (2 \cdot 30 - 15 + 55) = 100 \text{ cm}$$

$$C = - \left( \frac{N_{j,Ed}}{2 \cdot f_{jd}} \right) + (b_f \cdot t_f + 0,5 \cdot h_c \cdot t_w - t_f \cdot t_w)$$

$$C = - \left( \frac{1716,18}{2 \cdot 1,667} \right) + (30 \cdot 2,9 + 0,5 \cdot 55 \cdot 1,5 - 2,9 \cdot 1,5) = -390,85 \text{ cm}$$

$$c_1 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} = \frac{-100 - \sqrt{100^2 - 4 \cdot 2 \cdot (-390,85)}}{2 \cdot 2} = -53,64 \text{ cm}$$

$$c_2 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} = \frac{-100 + \sqrt{100^2 - 4 \cdot 2 \cdot (-390,85)}}{2 \cdot 2} = 3,64 \text{ cm} = c$$

$$c = 3,64 \text{ cm} < 0,5h_s = 0,5 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 0,5 \cdot (55 - 2 \cdot 2,9) = 24,6 \text{ cm}$$

Króćce nie zachodzą na siebie - obliczeń nie trzeba powtarzać.

Określenie wymiarów blachy czołowej podstawy słupa:

$$B_p \geq (b_f + 2 \cdot c + 2 \cdot t_g) = (300 + 2 \cdot 36,4 + 2 \cdot 12) \cong 397 \text{ mm}$$

Przyjmuję  $B_p = 500 \text{ mm}$

$$D_p \geq \max \left\{ \begin{array}{l} h_c + 2c = 550 + 2 \cdot 36,4 = 662,8 \text{ mm} \\ h_c + 4e_1 = 550 + 4 \cdot 100 = 950 \text{ mm} \end{array} \right\} = 950 \text{ mm}$$

Przyjmuję  $D_p = 960 \text{ mm}$

Określenie minimalnej grubości blachy czołowej podstawy słupa:

$$t_p \geq \frac{c}{\sqrt{\frac{f_{yp}}{3f_{jd} \cdot \gamma_{m0}}}} = \frac{36,4}{\sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16,67 \cdot 1,0}}} \approx 14mm$$

Przyjmuję  $t_p = 30mm$

#### 9.1.4. Sprawdzenie zakotwienia

Wymagane pole powierzchni trzypieni śrub:

$$A_s \geq F_{T,Ed} \cdot \left( \frac{\gamma_{M2}}{1,8f_{ub}} \right)$$

$$A_s \geq 1213,8 \cdot \left( \frac{1,25}{1,8 \cdot 80,0} \right) = 10,54cm^2$$

Przyjęte kotwy M42 o  $A_s = 11,2cm^2$  spełniają powyższy warunek.

Sprawdzenie grubości blachy podstawy za względu na siłę odrywającą:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{F_{T,Ed} \cdot \gamma_{m0}}{f_{yp} \cdot 2\pi}} = \sqrt{\frac{1213,8 \cdot 1,0}{35,5 \cdot 2\pi}} = 2,33cm = 23,3mm$$

Przyjęta grubość  $t_p = 30mm$  spełniają powyższy warunek.

#### 9.1.5. Wstępne określenie rozstawu śrub fundamentowych

Odległość pomiędzy kotwami wzdłuż osi z-z

$$d_p = \frac{M_{Ed}}{\left( \frac{|N_{Ed}|}{2} + n \cdot F_{T,Rd} \right)}$$

$$\text{gdzie, } F_{T,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 11,2 \cdot 80}{1,25} = 645,12kN$$

$$d_p = \frac{64601}{\left( \frac{52,29}{2} + 2 \cdot 645,12 \right)} = 49,07cm$$

Przyjęto  $d_p = 760mm$



### 9.1.6. Wyznaczenie nośności składników węzła w strefie rozciąganej

Obliczeniowa nośność na rozciąganie lewostronnej części węzła  $F_{T,1,Rd}$

$$F_{T,1,Rd} = \min(F_{t,wc,Rd}, F_{t,pl,Rd})$$

#### 9.1.6.1. Nośność obliczeniowa środka słupa przy rozciągającym lewym pasie

Ponieważ nie zastosowano śrub wewnątrz obrysu przekroju słupa to składnik  $F_{t,wc,Rd}$  można pominąć.

#### 9.1.6.2. Nośność obliczeniowa zginanej blachy podstawy w strefie rozciąganej

Obliczeniowa nośność zginanej blachy podstawy  $F_{t,pl,Rd}$

$$F_{t,pl,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$F_{T,1-2,Rd}$  – przy założeniu grubej blachy czołowej i usztywnieniu jej blachami pionowymi, można ten składnik pominąć.

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot F_{T,Rd} = 2 \cdot 645,12kN = 1290,24kN \rightarrow F_{t,pl,Rd} = 1290,24kN$$

Zatem:

$$F_{T,1,Rd} = \min(F_{t,wc,Rd}, F_{t,pl,Rd}) = 1290,24kN$$

### 9.1.7. Wyznaczenie nośności składników węzła w strefie ściskanej

Obliczeniowa nośność na ściskanie prawostronnej części węzła  $F_{C,r,Rd}$

$$F_{C,r,Rd} = \min(F_{c,fc,Rd}, F_{c,pl,Rd})$$

#### 9.1.7.1. Nośność obliczeniowa prawego pasa i środka słupa

$$F_{c,fc,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_c - t_f} = \frac{87614}{55 - 2,9} = 1681,65kN$$

9.1.7.2. Nośność obliczeniowa betonu wraz z podlewką i zginanej blachy podstawy w strefie ściskanej

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yp}}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{m0}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16,67 \cdot 1,0}} = 79,93 \text{ mm} \cong 80 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = t_f + 2c = 29 + 2 \cdot 80 = 189 \text{ mm}$$

$$c = 80 \text{ mm} < \frac{B_p - b_f}{2} = \frac{500 - 300}{2} = 100 \text{ mm} \rightarrow l_{eff} = b_f + 2c = 300 + 2 \cdot 80 = 460 \text{ mm}$$

$$F_{c,pl,Rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff} = 1,667 \cdot 18,9 \cdot 46,0 = 1449,29 \text{ kN}$$

9.1.7.3. Obliczeniowa nośność na ściskanie części węzła

$$F_{C,Rd} = \min \begin{cases} F_{c,fc,Rd} = 1681,65 \text{ kN} \\ F_{c,pl,Rd} = 1449,29 \text{ kN} \end{cases} = 1449,29 \text{ kN}$$

### 9.1.8. Sprawdzenie nośności obliczeniowej podstawy słupa przy zginaniu

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

Przypadek 1:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{37219}{287,42} = 129,5 \text{ cm} \cong 1300 \text{ mm}$$

$$z_{C,r} = \frac{h_c}{2} - \frac{t_f}{2} = \frac{550}{2} - \frac{29}{2} = 260,5 \text{ mm}$$

$$z_{T,l} = \frac{h_c}{2} + e_1 = \frac{550}{2} + 100 = 375 \text{ mm}$$

$$z = z_{C,r} + z_{T,l} = 260,5 \text{ mm} + 375 \text{ mm} = 635,5 \text{ mm}$$

$$M_{j,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{T,1,Rd} \cdot z}{\frac{z_{C,r}}{e} + 1} = \frac{1290,24 \cdot 63,6}{\frac{26,1}{130} + 1} = 68338,91kNcm = 683,39kNm \\ -\frac{F_{C,Rd} \cdot z}{\frac{z_{T,1}}{e} - 1} = \frac{-1449,29 \cdot 63,5}{\frac{37,5}{130} - 1} = 129339,34kNcm = 1293,39kNm \end{array} \right\} = 683,39kNm$$

$$M_{Ed} = 372,19kN \leq M_{j,Rd} = 683,39kN$$

Przypadek 2:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{64601}{52,29} = 1235,44cm \cong 12354mm$$

$$z_{C,r} = \frac{h_c}{2} - \frac{t_f}{2} = \frac{550}{2} - \frac{29}{2} = 260,5mm$$

$$z_{T,l} = \frac{h_c}{2} + e_1 = \frac{550}{2} + 100 = 375mm$$

$$z = z_{C,r} + z_{T,l} = 260,5mm + 375mm = 635,5mm$$

$$M_{j,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{T,1,Rd} \cdot z}{\frac{z_{C,r}}{e} + 1} = \frac{1290,24 \cdot 63,6}{\frac{26,1}{1235,4} + 1} = 80361,49kNcm = 803,62kNm \\ -\frac{F_{C,Rd} \cdot z}{\frac{z_{T,1}}{e} - 1} = \frac{-1449,29 \cdot 63,6}{\frac{37,5}{1235,4} - 1} = 95060,36kNcm = 950,6kNm \end{array} \right\} = 803,62kN$$

$$M_{Ed} = 646,01kN \leq M_{j,Rd} = 803,62kN$$

### 9.1.9. Sprawdzenie nośności obliczeniowej podstawy słupa przy obciążeniu siłą poprzeczną

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

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n \cdot \min(F_{1,Vb,Rd}; F_{2,Vb,Rd}; F_{3,b,Rd})$$

9.1.9.1. Obliczeniowa nośność ze względu na poślizg między blachą podstawy, a podlewką

$$F_{f,Rd} = C_{f,Rd} \cdot N_{Ed} = 0,2 \cdot 52,29kN = 10,46kN$$

9.1.9.2. Obliczeniowa nośność śrub kotwiących na ścinanie

$$F_{1,Vb,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$F_{1,Vb,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 1120}{1,25} = 430,08kN$$

$$F_{2,Vb,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}$$

$$F_{2,Vb,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = \frac{(0,44 - 0,0003 \cdot 640) \cdot 800 \cdot 1120}{1,25} = 177,77kN$$

9.1.9.3. Obliczeniowa nośność śrub na docisk

$$F_{3,b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d_t p}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{100}{3 \cdot 45} = 0,74 \\ \frac{800}{510} = 1,57 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,74$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{150}{45} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,5$$

$$F_{3,b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d_t p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 510 \cdot 42 \cdot 30}{1,25} = 951,05kN$$

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n \cdot \min(F_{1,Vb,Rd}; F_{2,Vb,Rd}; F_{3,b,Rd})$$

$$F_{v,Rd} = 10,46 + 4 \cdot \min(430,08; 177,77; 951,05) = 721,54 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{34,29}{721,54} = 0,05 \leq 1$$

### 9.1.10. Blachy trapezowe

Długość części blach trapezowych wystających poza trzon słupa:

$$L_g = \frac{D_p - 2 \cdot x - h_c}{2} = \frac{960 - 2 \cdot 10 - 550}{2} = 195 \text{ mm}$$

Wysokość blach trapezowych wyznaczona z warunku na wymaganą długość spoin łączących blachy z trzonem słupa:

$$H_g \geq \frac{F_{c,Ed}}{f_{vw,d} \cdot n \cdot a}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 261,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a > 3 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = t_g = 12 \text{ mm}, \quad t_{\max} = t_f = 29 \text{ mm}$$

$$5,8 \text{ mm} \leq a \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a > 3 \text{ mm}$$

Przyjmuję  $a = 8 \text{ mm}$

$$H_g \geq \frac{F_{c,Ed}}{f_{vw,d} \cdot n \cdot a} = \frac{858090}{261,73 \cdot 2 \cdot 8} = 205 \text{ mm}$$

Przyjmuję  $H_g = 250 \text{ mm}$

$$B_g = \frac{L_g}{\sqrt{1 + \left(\frac{L_g}{H_g}\right)^2}} = \frac{195}{\sqrt{1 + \left(\frac{195}{250}\right)^2}} = 170 \text{ mm}$$

$$\text{Smukłość blachy trapezowej: } \frac{2\sqrt{3}B_g}{t_g} = \frac{2\sqrt{3} \cdot 170}{12} = 49,07 < 185$$

### 9.1.11. Sprawdzenie spoin łączących trzon słupa z blachą podstawy

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a > 3\text{mm}$$

$$t_{\min} = t_w = 15\text{mm}, \quad t_{\max} = t_p = 30\text{mm}$$

$$6\text{mm} \leq a \leq 10,5 \quad \text{oraz} \quad a > 3\text{mm}$$

Przyjmuję  $a = 6\text{mm}$

$$\begin{aligned} \sum l &= 2 \cdot [b_f + (b_f - t_w - 2r) + (h_c - 2t_f - 2r)] \\ \sum l &= 2 \cdot [300 + (300 - 15 - 2 \cdot 27) + (550 - 2 \cdot 29 - 2 \cdot 27)] = 1938\text{mm} \end{aligned}$$

$$l_w = 2 \cdot (h_c - 2t_f - 2r) = 2 \cdot (550 - 2 \cdot 29 - 2 \cdot 27) = 876\text{mm}$$

Naprężenia w spoinie:

$$\sigma = \frac{N_{j,Ed}}{a \sum l} = \frac{1716180}{6 \cdot 1938} = 14,76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{14,76}{\sqrt{2}} = 10,44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{a \cdot l_w} = \frac{34290}{6 \cdot 876} = 0,65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Sprawdzenie warunku:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{10,44^2 + 3 \cdot (10,44^2 + 0,65^2)} =$$

$$20,91 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 10,44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

### 9.1.12. Sprawdzenie spoin łączących trapezowe blachy węzłowe z blachą podstawy

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a_1 \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a_1 > 3\text{mm}$$

$$t_{\min} = t_w = 12\text{mm}, \quad t_{\max} = t_p = 30\text{mm}$$

$$6\text{mm} \leq a_1 \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a > 3\text{mm}$$

Przyjmuję  $a_1 = 8\text{mm}$

Pole przekroju spoin:

$$A_w = 2 \cdot a_1 \cdot (D_p - 2 \cdot x) + 4 \cdot a_1 \cdot L_g = 2 \cdot 8 \cdot (960 - 2 \cdot 10) + 4 \cdot 8 \cdot 195 = 21280\text{mm}^2$$

Wyznaczenie momentu bezwładności spoin:

$$I_{wy} = 2 \cdot \frac{a_1 \cdot (D_p - 2 \cdot x)^3}{12} + 4 \cdot \frac{a_1 \cdot (L_g)^3}{12} + a_1 \cdot L_g \cdot \left( \frac{L_g}{2} + \frac{h}{2} \right)^2 =$$

$$2 \cdot \frac{8 \cdot (960 - 2 \cdot 10)^3}{12} + 4 \cdot \frac{8 \cdot 195^3}{12} + 8 \cdot 195 \cdot \left( \frac{195}{2} + \frac{550}{2} \right)^2 = 1475498083\text{mm}^4$$

Naprężenia w spoinie:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_w} + \frac{M_{Ed} \cdot 0,5 \cdot (D_p - x)}{I_{wy}} = \frac{52,29}{212,8} + \frac{64601 \cdot 0,5 \cdot (96 - 1)}{147549,81} = 21,04 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{21,04}{\sqrt{2}} = 14,88 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{34,29}{212,8} = 0,16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = \sqrt{14,88^2 + 3 \cdot (14,88^2 + 0,16^2)} =$$

$$29,76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 14,88 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

### 9.1.13. Sprawdzenie spoin łączących trapezowe blachy węzłowe z profilem słupa

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a_2 \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3\text{mm}$$

$$t_{\min} = t_g = 12\text{mm}, \quad t_{\max} = t_f = 29\text{mm}$$

$$5,8\text{mm} \leq a_2 \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3\text{mm}$$

Przyjmuję  $a_2 = 8\text{mm}$

Pole przekroju spoiny:

$$A_w = 4 \cdot a_2 \cdot H_g = 4 \cdot 8 \cdot 250 = 8000\text{mm}^2$$

Moment bezwładności względem osi x-x:

$$I_{wx} = 4 \cdot \frac{a_2 \cdot H_g^3}{12} = 4 \cdot \frac{8 \cdot 250^3}{12} = 41666666,67\text{mm}^4$$

Moment bezwładności względem osi y-y:

$$I_{wy} = 4 \cdot \left( \frac{a_2 \cdot H_g^3}{12} + H_g \cdot a_2 \cdot \left( \frac{h}{2} \right)^2 \right) = 4 \cdot \left( \frac{8 \cdot 250^3}{12} + 250 \cdot 8 \cdot \left( \frac{550}{2} \right)^2 \right) = 646666666,7\text{mm}^4$$

Biegunowy moment bezwładności:

$$I_{wo} = I_{wx} + I_{wy} = 41666666,7 + 646666666,7 = 688333333,3\text{mm}^4$$

Odległości do najbardziej wyężonego punktu:

$$r_1 = \sqrt{\left( \frac{h}{2} \right)^2 + \left( \frac{H_g}{2} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{550}{2} \right)^2 + \left( \frac{250}{2} \right)^2} = 302\text{mm}$$

Wyznaczenie naprężeń w spoinach:

Naprężenia od siły pionowej

$$\tau_N = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{52,29}{80} = 0,65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



Naprężenia od siły poziomej

$$\tau_H = \frac{H_{Ed}}{A_w} = \frac{26,52}{80} = 0,33 \frac{kN}{cm^2}$$

Naprężenia od momentu zginającego

$$\tau_M = \frac{\left( M_{Ed} - H_{Ed} \cdot \left( \frac{H_g}{2} \right) \right) \cdot r_1}{I_{wo}} = \frac{\left( 64601 - 26,52 \cdot \left( \frac{25}{2} \right) \right) \cdot 30,2}{68833} = 28,2 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{Mx} = \tau_M \cdot \cos(\alpha) \quad \text{oraz} \quad \tau_{My} = \tau_M \cdot \sin(\alpha)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,5h_c}{0,5H_g} = \frac{0,5 \cdot 550}{0,5 \cdot 250} = 2,2 \quad \alpha = 65,56^\circ$$

$$\tau_{Mx} = \tau_M \cdot \cos(\alpha) = 28,2 \cdot \cos(65,56) = 11,67 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{My} = \tau_M \cdot \sin(\alpha) = 28,2 \cdot \sin(65,56) = 25,67 \frac{kN}{cm^2}$$

Naprężenia wypadkowe

$$\tau_w = \sqrt{(\tau_N + \tau_{My})^2 + (\tau_H + \tau_{Mx})^2} = \sqrt{(0,65 + 25,67)^2 + (0,43 + 11,67)^2} = 25,19 \frac{kN}{cm^2}$$

Sprawdzenie nośności:

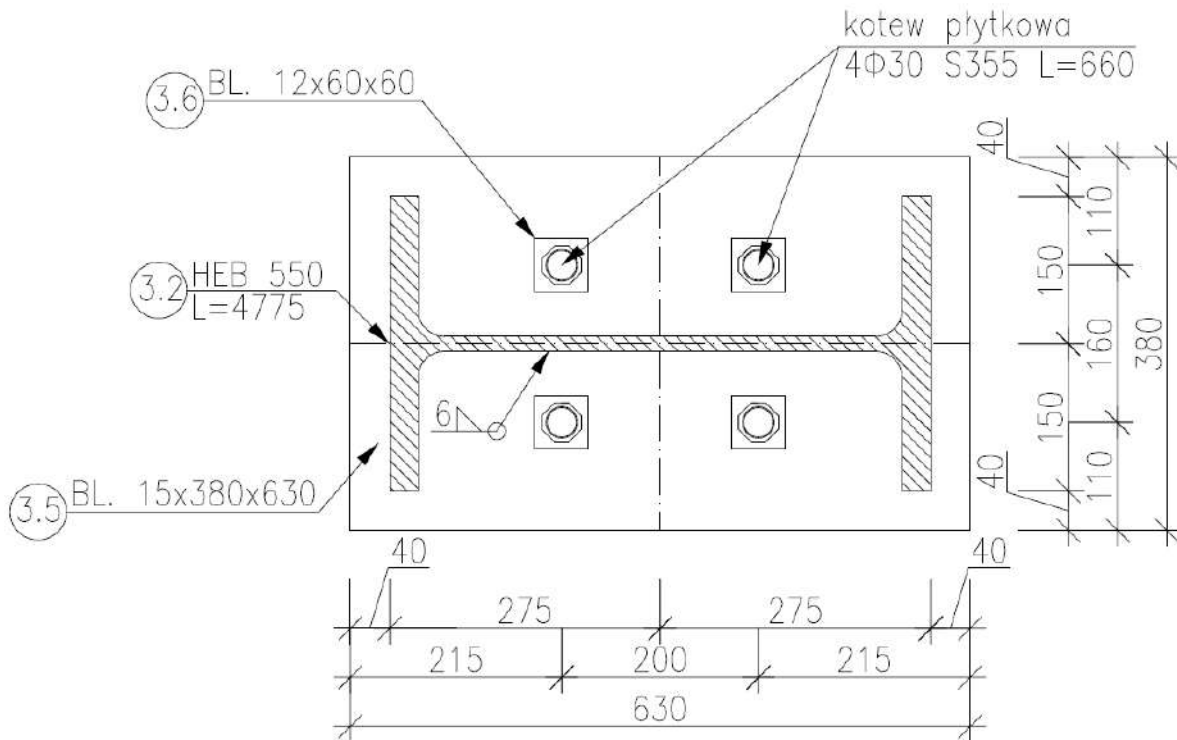
$$\tau_w \leq f_{v,wd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$25,19 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{51,0}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 26,17 \frac{kN}{cm^2}$$

Spoina spełnia warunek nośności.

## 9.2. Podstawa słupa szczytowego

### 9.2.1. Geometria i dane materiałowe



Rys. 42. Podstawa słupa szczytowego.

- Założono 4 kotwy fundamentowe M30, klasa 4.6:

$$f_{ub} = 400 \frac{N}{mm^2}, f_{yb} = 240 \frac{N}{mm^2}$$

- Rozstaw śrub:

$$2,2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq \min(14t, 200\text{mm})$$

$$2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 15\text{mm} = 33\text{mm}$$

$$14t = 14 \cdot 15\text{mm} = 210\text{mm}$$

$$\min(14t, 200\text{mm}) = \min(210\text{mm}, 200\text{mm}) = 200\text{mm}$$

$$33\text{mm} \leq p_1 \leq 200\text{mm}$$

Przyjmuję  $p_1 = 200\text{mm}$

$$2,4 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \min(14t, 200\text{mm})$$

$$2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 26\text{mm} = 62,4\text{mm}$$

$$14t = 14 \cdot 15\text{mm} = 210\text{mm}$$

$$\min(14t, 200\text{mm}) = \min(210\text{mm}, 200\text{mm}) = 200\text{mm}$$

$$62,4\text{mm} \leq p_2 \leq 200\text{mm}$$

Przyjmuję  $p_2 = 160\text{mm}$

- Blacha podstawy:

$$b_p = 380\text{mm}, h_p = 630\text{mm}, t_p = 15\text{mm}, e_1 = e_2 = 40\text{mm}$$

- Klasa betonu stopy fundamentowej 25/30:

$$f_{ck} = 25\text{MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67\text{MPa}$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = \frac{2}{3} \cdot 16,67 \cdot 1,5 = 16,67\text{MPa}$$

### 9.2.2. Siły obliczeniowe

Przypadek 1 - maksymalna siła podłużna  $N_{Ed}$  i odpowiadająca jej wartość  $V_{Ed}$

$$N_{Ed} = -252,86\text{kN} \quad V_{Ed} = 5,31\text{kN}$$

Przypadek 2 - maksymalny siła poprzeczna  $V_{Ed}$  i odpowiadająca jej wartość  $N_{Ed}$

$$V_{Ed} = 197,68\text{kN} \quad N_{Ed} = -44,63\text{kN}$$

### 9.2.3. Zastępcze króćce teowe w strefie ściskania

Maksymalny wysięg strefy docisku:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16,67 \cdot 1,0}} \cong 40\text{mm}$$

Ponieważ  $c = e_1 = e_2 = 40\text{mm}$  to mamy do czynienia z małym wysięgiem blachy.

Strefa docisku:

$$A_{c0,f} = (b + 2e_2)(e_1 + t_f + c) = (300 + 2 \cdot 40) \cdot (40 + 29 + 40) = 45220\text{mm}^2$$

$$A_{c0,w} = (h - 2t_f - 2c - 2e_1)(t_w + 2c) = (550 - 2 \cdot 29 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 40) \cdot (15 + 2 \cdot 40) = 31540\text{mm}^2$$

### 9.2.4. Sprawdzenie nośności fundamentu na docisk pod blachą podstawy

$$N_{j,Rd} = (2A_{c0,f} + A_{c0,w}) \cdot f_{jd} = (2 \cdot 45220 + 31540) \cdot 16,67 = 2033407\text{N} = 2033,41\text{kN}$$

Warunek nośności – przypadek 1

$$N_{j,Ed} = 252,86kN < N_{j,Rd} = 2033,41kN$$

Warunek jest spełniony.

Warunek nośności – przypadek 2

$$N_{j,Ed} = 44,63kN < N_{j,Rd} = 2033,41kN$$

Warunek jest spełniony.

### 9.2.5. Sprawdzenie nośności ze względu na poślizg

Obliczeniowa nośność ze względu na poślizg między blachą podstawy, a podlewką:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{C,Ed}$$

#### Przypadek 1

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{C,Ed} = 0,2 \cdot 252,86kN = 50,57kN$$

Należy zaprojektować ostrogę lub siła poprzeczna musi być przejęta przez ścinanie śrub kotwiących. Założono cztery kotwy fundamentowe M30 kl. 4.6

Obliczeniowa nośność na ścinanie kotwy fundamentowej:

$$F_{vb,Rd} = \min(F_{1,vb,Rd}, F_{2,vb,Rd})$$

Płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez gwintowaną część kotwy zatem  $\alpha_v = 0,6$

Współczynnik  $\alpha_b = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}$

Pole przekroju trzpienia kotwy:  $A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 706,86mm^2$

Pole przekroju czynnego śruby:  $A_s = 561mm^2$

$$F_{1,vb,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 706,86}{1,25} = 135717N = 135,72kN$$

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{(0,44 - 0,0003 \cdot 240) \cdot 400 \cdot 561}{1,25} = 66063N = 66,06kN$$

$$F_{vb,Rd} = \min(F_{1,vb,Rd}, F_{2,vb,Rd}) = \min(135,72kN; 66,06kN) = 66,06kN$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n \cdot F_{vb,Rd} = 50,57kN + 4 \cdot 66,06kN = 314,81kN > F_{j,Ed} = 5,31kN$$

Warunek nośności jest spełniony.

## Przypadek 2

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{C,Ed} = 0,2 \cdot 44,63kN = 8,93kN$$

Należy zaprojektować ostrogę lub siła poprzeczna musi być przejęta przez ścinanie śrub kotwiących. Założono dwie kotwy fundamentowe M30 kl. 4.6.

Obliczeniowa nośność na ścinanie kotwy fundamentowej:

$$F_{vb,Rd} = \min(F_{1,vb,Rd}, F_{2,vb,Rd})$$

Płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez gwintowaną część kotwy zatem  $\alpha_v = 0,6$

Współczynnik  $\alpha_b = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}$

$$\text{Pole przekroju trzpienia kotwy: } A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 706,86mm^2$$

$$\text{Pole przekroju czynnego śruby: } A_s = 561mm^2$$

$$F_{1,vb,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 706,86}{1,25} = 135717N = 135,72kN$$

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{(0,44 - 0,0003 \cdot 240) \cdot 400 \cdot 561}{1,25} = 66063N = 66,06kN$$

$$F_{vb,Rd} = \min(F_{1,vb,Rd}, F_{2,vb,Rd}) = \min(135,72kN; 66,06kN) = 66,06kN$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n \cdot F_{vb,Rd} = 8,93kN + 4 \cdot 66,06kN = 273,17kN > F_{j,Ed} = 197,68kN$$

Warunek nośności jest spełniony.

### 9.2.6. Sprawdzenie nośności spoiny łączącej trzon słupa z blachą podstawy

Przyjęto spoinę pachwinową o grubości  $a = 6\text{mm}$ , ułożoną na całym obwodzie kształownika. Obwód kształownika HEB550 wynosi  $2140\text{mm}$ .

Przypadek decydujący przy sprawdzaniu nośności spoiny to przypadek 2 z maksymalną siłą poprzeczną.

Naprężenia w spoinie:

$$\sigma = \frac{N_{j,Ed}}{\sum al} = \frac{44,63 \cdot 10^3}{6 \cdot 2140} = 3,48 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{3,48}{\sqrt{2}} = 2,46 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 2,46 \frac{N}{\text{mm}^2} < 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M1}} = 0,9 \cdot \frac{510}{1,25} = 367,2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Przyjęto, że siłę poprzeczną przenoszą odcinki spoiny ułożone na długości spoiny:

$$\tau_{||} = \frac{F_{j,Ed}}{A_w} = \frac{197,68 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 438} = 37,61 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

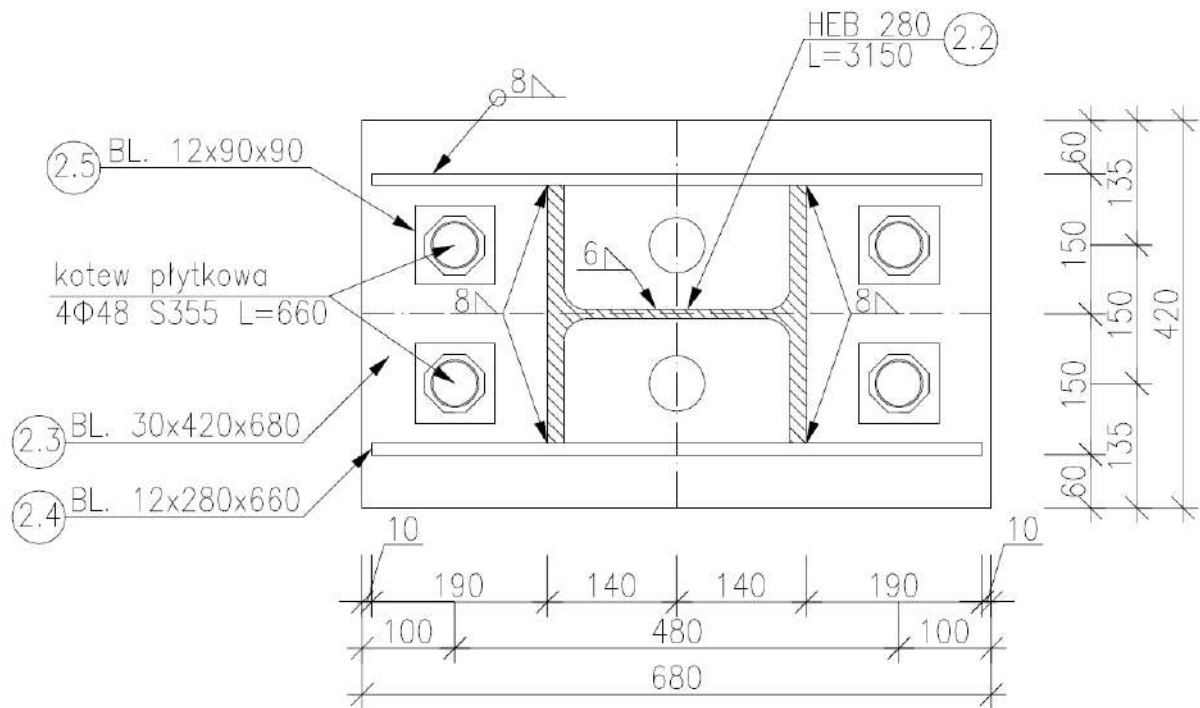
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = \sqrt{2,46^2 + 3 \cdot (2,46^2 + 37,61^2)} = 65,33 \frac{N}{\text{mm}^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Warunek nośności spoiny jest spełniony.

### 9.3. Podstawa słupa zewnętrznego

#### 9.3.1. Geometria i dane materiałowe



Rys. 43. Podstawa słupa zewnętrznego.

- Założono 4 śruby płytkowe M48, klasa 8.8:

$$f_{ub} = 800 \frac{N}{mm^2}, f_{yb} = 640 \frac{N}{mm^2}$$

- Odległości osi otworów na śruby od krawędzi blachy czołowej podstawy:

$$1,2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq 4t + 40 \text{ mm}$$

$$d_0 = d + 3 \text{ mm} = 48 + 3 = 51 \text{ mm}$$

$$1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 51 \text{ mm} = 61,2 \text{ mm}$$

$$4t + 40 \text{ mm} = 4 \cdot 30 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$$

$$61,2 \text{ mm} \leq e_1 \leq 160 \text{ mm}$$

Przyjmuję  $e_1 = 100 \text{ mm}$

- Rozstaw śrub:

$$2,4 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \min(14t, 200 \text{ mm})$$

$$2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 51 \text{ mm} = 122,4 \text{ mm}$$

$$14t = 14 \cdot 30 \text{ mm} = 420 \text{ mm}$$

$$\min(14t, 200\text{mm}) = \min(420\text{mm}, 200\text{mm}) = 200\text{mm}$$

$$122,4\text{mm} \leq p_2 \leq 200\text{mm}$$

Przyjmuję  $p_2 = 150\text{mm}$

- Wstępne założenie wymiarów blachy podstawy:

$$t_p = 30\text{mm}$$

$$B_p = 420\text{mm}$$

$$D_p = 680\text{mm}$$

- Założona wstępnie grubość blach trapezowych  $t_g = 12\text{ mm}$
- Klasa betonu stopy fundamentowej 25/30:

$$f_{ck} = 25\text{MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67\text{MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33\text{MPa}$$

### 9.3.2. Siły obliczeniowe

Przypadek 1 - maksymalna siła podłużna  $N_{Ed}$  i odpowiadające jej wartości  $M_{Ed}$  i  $V_{Ed}$

$$N_{Ed} = -260,96\text{kN} \quad M_{Ed} = -244\text{kNm} \quad V_{Ed} = -78,52\text{kN}$$

Przypadek 2 - maksymalny moment zginający  $M_{Ed}$  i odpowiadające jej wartości  $N_{Ed}$  i  $V_{Ed}$

$$M_{Ed} = 456,79\text{kNm} \quad N_{Ed} = -119,86\text{kN} \quad V_{Ed} = 141,30\text{kN}$$

Obliczeniowa siła ściskająca:

$$\text{-dla przypadku 1 : } F_{C,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_f} - \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{24400}{28 - 1,8} + \frac{260,96}{2} = 764,27\text{kN}$$

$$\text{-dla przypadku 2 : } F_{T,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_f} + \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{45679}{28 - 1,8} - \frac{119,86}{2} = 1685,62\text{kN}$$



### 9.3.3. Wymiarowanie blachy czołowej podstawy słupa

$$N_{j,Ed} = 2 \cdot F_{C,Ed} = 2 \cdot 764,27kN = 1528,54kN$$

Wstępne przyjęcie wymiarów blachy czołowej podstawy słupa:

$$A_{co} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{h_c \cdot b_f} \cdot \left[ \frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} \right]^2 = \frac{1}{28 \cdot 28} \cdot \left[ \frac{1528,54}{1,667} \right]^2 = 1072,42cm^2 \\ \frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} = \frac{1528,54}{1,667} = 916,94cm^2 \end{array} \right\} A_{co} = 1072,42cm^2$$

$$A_{co} = 1072,42cm^2 > 0,95 \cdot h_c \cdot b_f = 0,95 \cdot 28 \cdot 28 = 744,8cm^2$$

Określenie szerokości strefy docisku:

$$A = 2$$

$$B = (2b_f - t_w + h_c) = (2 \cdot 28 - 10,5 + 28) = 73,5cm$$

$$C = - \left( \frac{N_{j,Ed}}{2 \cdot f_{jd}} \right) + (b_f \cdot t_f + 0,5 \cdot h_c \cdot t_w - t_f \cdot t_w) =$$

$$- \left( \frac{1528,54}{2 \cdot 1,667} \right) + (28 \cdot 1,8 + 0,5 \cdot 28 \cdot 1,05 - 1,8 \cdot 1,05) = -395,26cm$$

$$c_1 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} = \frac{-73,5 - \sqrt{73,5^2 - 4 \cdot 2 \cdot (-395,26)}}{2 \cdot 2} = -41,51cm$$

$$c_2 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} = \frac{-73,5 + \sqrt{73,5^2 - 4 \cdot 2 \cdot (-395,26)}}{2 \cdot 2} = 4,8cm = c$$

$$c = 4,8cm < 0,5h_s = 0,5 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 0,5 \cdot (28 - 2 \cdot 1,8) = 12,2cm$$

Króćce nie zachodzą na siebie - obliczeń nie trzeba powtarzać.

Określenie wymiarów blachy czołowej podstawy słupa:

$$B_p \geq (b_f + 2 \cdot c + 2 \cdot t_g) = (280 + 2 \cdot 48 + 2 \cdot 15) = 406mm$$

Przyjmuję  $B_p = 420mm$

$$D_p \geq \max \left\{ \begin{array}{l} h_c + 2c = 280 + 2 \cdot 48 = 376mm \\ h_c + 4e_1 = 280 + 4 \cdot 100 = 680mm \end{array} \right\} = 680mm$$

Przyjmuję  $D_p = 680mm$

Określenie minimalnej grubości blachy czołowej podstawy słupa:

$$t_p \geq \frac{c}{\sqrt{\frac{f_{yp}}{3f_{jd} \cdot \gamma_{m0}}}} = \frac{48}{\sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16,67 \cdot 1,0}}} \approx 18mm$$

Przyjmuję  $t_p = 30mm$

### 9.3.4. Sprawdzenie zakotwienia

Wymagane pole powierzchni trzpieni śrub:

$$A_s \geq F_{T,Ed} \cdot \left( \frac{\gamma_{M2}}{1,8f_{ub}} \right)$$

$$A_s \geq 1685,62 \cdot \left( \frac{1,25}{1,8 \cdot 80,0} \right) = 13,63cm^2$$

Przyjęte kotwy M48 o  $A_s = 14,7cm^2$  spełniają powyższy warunek.

Sprawdzenie grubości blachy podstawy za względu na siłę odrywającą:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{F_{T,Ed} \cdot \gamma_{m0}}{f_{yp} \cdot 2\pi}} = \sqrt{\frac{1685,62 \cdot 1,0}{35,5 \cdot 2\pi}} = 2,75cm = 27,5mm$$

Przyjęta grubość  $t_p = 30mm$  spełniają powyższy warunek.

### 9.3.5. Wstępne określenie rozstawu śrub fundamentowych

Odległość pomiędzy kotwami wzdłuż osi z-z

$$d_p = \frac{M_{Ed}}{\left( \frac{|N_{Ed}|}{2} + n \cdot F_{T,Rd} \right)}$$

$$\text{gdzie, } F_{T,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 14,7 \cdot 80}{1,25} = 846,72kN$$

$$d_p = \frac{45679}{\left( \frac{119,86}{2} + 2 \cdot 846,72 \right)} = 26,08cm$$

Przyjęto  $d_p = 460mm$

### 9.3.6. Wyznaczenie nośności składników węzła w strefie rozciąganej

Obliczeniowa nośność na rozciąganie lewostronnej części węzła  $F_{T,1,Rd}$

$$F_{T,1,Rd} = \min(F_{t,wc,Rd}, F_{t,pl,Rd})$$

#### 9.3.6.1. Nośność obliczeniowa środnika słupa przy rozciągającym lewym pasie

Ponieważ nie zastosowano śrub wewnątrz obrysu przekroju słupa to składnik  $F_{t,wc,Rd}$  można pominąć.

#### 9.3.6.2. Nośność obliczeniowa zginanej blachy podstawy w strefie rozciąganej

Obliczeniowa nośność zginanej blachy podstawy  $F_{t,pl,Rd}$

$$F_{t,pl,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$F_{T,1-2,Rd}$  – przy założeniu grubej blachy czołowej i usztywnieniu jej blachami pionowymi, można ten składnik pominąć.

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot F_{T,Rd} = 2 \cdot 846,72kN = 1693,44kN \rightarrow F_{t,pl,Rd} = 1693,44kN$$

Zatem:

$$F_{T,1,Rd} = \min(F_{t,wc,Rd}, F_{t,pl,Rd}) = 1693,44kN$$

### 9.3.7. Wyznaczenie nośności składników węzła w strefie ściskanej

Obliczeniowa nośność na ściskanie prawostronnej części węzła  $F_{C,r,Rd}$

$$F_{C,r,Rd} = \min(F_{c,fc,Rd}, F_{c,pl,Rd})$$

### 9.3.7.1. Nośność obliczeniowa prawego pasa i środka słupa

$$F_{c,fc,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_c - t_f} = \frac{54472}{28 - 1,8} = 2079,08kN$$

### 9.3.7.2. Nośność obliczeniowa betonu wraz z podlewką i zginanej blachy podstawy w strefie ściskanej

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yp}}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{m0}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16,67 \cdot 1,0}} = 79,93mm \cong 80mm$$

$$b_{eff} = t_f + 2c = 18 + 2 \cdot 80 = 178mm$$

$$c = 80mm < \frac{B_p - b_f}{2} = \frac{420 - 280}{2} = 70mm \rightarrow l_{eff} = b_f + 2c = 280 + 2 \cdot 70 = 420mm$$

$$F_{c,pl,Rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff} = 1,667 \cdot 17,8 \cdot 42,0 = 1246,25kN$$

### 9.3.7.3. Obliczeniowa nośność na ściskanie części węzła

$$F_{C,Rd} = \min \begin{cases} F_{c,fc,Rd} = 2079,08kN \\ F_{c,pl,Rd} = 1246,25kN \end{cases} = 1246,25kN$$

### 9.3.8. Sprawdzenie nośności obliczeniowej podstawy słupa przy zginaniu

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

#### Przypadek 1:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{24400}{260,96} = 65,21cm \cong 652,1mm$$

$$z_{C,r} = \frac{h_c}{2} - \frac{t_f}{2} = \frac{280}{2} - \frac{18}{2} = 131mm$$

$$z_{T,l} = \frac{h_c}{2} + e_1 = \frac{280}{2} + 110 = 250mm$$

$$z = z_{C,r} + z_{T,l} = 131mm + 250mm = 381mm$$

$$M_{j,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{T,1,Rd} \cdot z}{\frac{z_{C,r}}{e} + 1} = \frac{1693,44 \cdot 38,1}{\frac{13,1}{65,21} + 1} = 53727kNcm = 537,27kNm \\ -\frac{F_{C,Rd} \cdot z}{\frac{z_{T,1}}{e} - 1} = \frac{-1246,25 \cdot 38,1}{\frac{25,0}{65,21} - 1} = 77004kNcm = 770,04kNm \end{array} \right\} = 537,27kNm$$

$$M_{Ed} = 244kN \leq M_{j,Rd} = 537,27kN$$

Przypadek 2:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{45679}{119,86} = 394,31cm = 3943mm$$

$$z_{C,r} = \frac{h_c}{2} - \frac{t_f}{2} = \frac{280}{2} - \frac{18}{2} = 131mm$$

$$z_{T,l} = \frac{h_c}{2} + e_1 = \frac{280}{2} + 110 = 250mm$$

$$z = z_{C,r} + z_{T,l} = 131mm + 250mm = 381mm$$

$$M_{j,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{T,1,Rd} \cdot z}{\frac{z_{C,r}}{e} + 1} = \frac{1693,44 \cdot 38,1}{\frac{13,1}{394,31} + 1} = 62445kNcm = 624,45kNm \\ -\frac{F_{C,Rd} \cdot z}{\frac{z_{T,1}}{e} - 1} = \frac{-1246,25 \cdot 38,1}{\frac{25,0}{394,31} - 1} = 50696kNcm = 506,96kNm \end{array} \right\} = 506,96kNm$$

$$M_{Ed} = 456,79kN \leq M_{j,Rd} = 506,96kN$$

### 9.3.9. Sprawdzenie nośności obliczeniowej podstawy słupa przy obciążeniu siłą poprzeczną

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

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n \cdot \min(F_{1,Vb,Rd}; F_{2,Vb,Rd}; F_{3,b,Rd})$$

9.3.9.1. Obliczeniowa nośność ze względu na poślizg między blachą podstawy, a podlewką

$$F_{f,Rd} = C_{f,Rd} \cdot N_{Ed} = 0,2 \cdot 119,86kN = 23,17kN$$

9.3.9.2. Obliczeniowa nośność śrub kotwiących na ścinanie

$$F_{1,Vb,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$F_{1,Vb,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 1470}{1,25} = 564,48kN$$

$$F_{2,Vb,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}$$

$$F_{2,Vb,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = \frac{(0,44 - 0,0003 \cdot 640) \cdot 800 \cdot 1470}{1,25} = 233,32kN$$

9.3.9.3. Obliczeniowa nośność śrub na docisk

$$F_{3,b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d_t p}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{110}{3 \cdot 51} = 0,72 \\ \frac{800}{510} = 1,57 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,72$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{150}{51} - 1,7 = 2,42 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,42$$

$$F_{3,b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,42 \cdot 0,72 \cdot 510 \cdot 48 \cdot 30}{1,25} = 1023,69 kN$$

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n \cdot \min(F_{1,Vb,Rd}; F_{2,Vb,Rd}; F_{3,b,Rd}) = 23,17 + 4 \cdot \min(564,48; 233,32; 1023,69) = 954,45 kN$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{141,30}{954,45} = 0,15 \leq 1$$

### 9.3.10. Blachy trapezowe

Długość części blach trapezowych wystających poza trzon słupa:

$$L_g = \frac{D_p - 2 \cdot x - h_c}{2} = \frac{680 - 2 \cdot 10 - 280}{2} = 190 mm$$

Wysokość blach trapezowych wyznaczona z warunku na wymaganą długość spoin łączących blachy z trzonem słupa:

$$H_g \geq \frac{F_{c,Ed}}{f_{vw,d} \cdot n \cdot a}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{\frac{510}{\sqrt{3}}}{0,9 \cdot 1,25} = 261,73 \frac{N}{mm^2}$$

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a > 3 mm$$

$$t_{\min} = t_g = 12 mm, \quad t_{\max} = t_f = 18 mm$$

$$3,6 mm \leq a \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a > 3 mm$$

Przyjmuję  $a = 8 mm$

$$H_g \geq \frac{F_{c,Ed}}{f_{vw,d} \cdot n \cdot a} = \frac{764270}{261,73 \cdot 2 \cdot 8} = 182,5 mm$$

Przyjmuję  $H_g = 280 mm$

$$B_g = \frac{L_g}{\sqrt{1 + \left(\frac{L_g}{H_g}\right)^2}} = \frac{190}{\sqrt{1 + \left(\frac{190}{280}\right)^2}} = 155 mm$$

$$\text{Smukłość blachy trapezowej: } \frac{2\sqrt{3}B_g}{t_g} = \frac{2\sqrt{3} \cdot 155}{12} = 44,74 < 185$$

### 9.3.11. Sprawdzenie spoin łączących trzon słupa z blachą podstawy

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a > 3\text{mm}$$

$$t_{\min} = t_w = 10,5\text{mm}, \quad t_{\max} = t_p = 30\text{mm}$$

$$6\text{mm} \leq a \leq 7,35 \quad \text{oraz} \quad a > 3\text{mm}$$

Przyjmuję  $a = 6\text{mm}$

$$\sum l = 2 \cdot [b_f + (b_f - t_w - 2r) + (h_c - 2t_f - 2r)]$$

$$\sum l = 2 \cdot [280 + (280 - 10,5 - 2 \cdot 24) + (280 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 24)] = 1395\text{mm}$$

$$l_w = 2 \cdot (h_c - 2t_f - 2r) = 2 \cdot (280 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 24) = 392\text{mm}$$

Naprężenia w spoinie:

$$\sigma = \frac{N_{j,Ed}}{a \sum l} = \frac{1528540}{6 \cdot 1395} = 18,26 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{18,26}{\sqrt{2}} = 12,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{a \cdot l_w} = \frac{141300}{6 \cdot 392} = 6,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{12,9^2 + 3 \cdot (12,9^2 + 6,0^2)} =$$

$$27,81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 12,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



### 9.3.12. Sprawdzenie spoin łączących trapezowe blachy węzłowe z blachą podstawy

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a_1 \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a_1 > 3\text{mm}$$

$$t_{\min} = t_g = 12\text{mm}, \quad t_{\max} = t_p = 30\text{mm}$$

$$6\text{mm} \leq a_1 \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a > 3\text{mm}$$

Przyjmuję  $a_1 = 8\text{mm}$

Pole przekroju spoin:

$$A_w = 2 \cdot a_1 \cdot (D_p - 2 \cdot x) + 4 \cdot a_1 \cdot L_g = 2 \cdot 8 \cdot (680 - 2 \cdot 10) + 4 \cdot 8 \cdot 190 = 16640\text{mm}^2$$

Wyznaczenie momentu bezwładności spoin:

$$I_{wy} = 2 \cdot \frac{a_1 \cdot (D_p - 2 \cdot x)^3}{12} + 4 \cdot \frac{a_1 \cdot (L_g)^3}{12} + a_1 \cdot L_g \cdot \left( \frac{L_g}{2} + \frac{h}{2} \right)^2 =$$

$$2 \cdot \frac{8 \cdot (680 - 2 \cdot 10)^3}{12} + 4 \cdot \frac{8 \cdot 190^3}{12} + 8 \cdot 190 \cdot \left( \frac{190}{2} + \frac{280}{2} \right)^2 = 485560666,7\text{mm}^4$$

Naprężenia w spoinie:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_w} + \frac{M_{Ed} \cdot 0,5 \cdot (D_p - x)}{I_{wy}} = \frac{119,86}{166,4} + \frac{45679 \cdot 0,5 \cdot (68 - 1)}{48556,07} = 31,64 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{31,64}{\sqrt{2}} = 22,35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{141,30}{166,4} = 0,84 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = \sqrt{22,35^2 + 3 \cdot (22,35^2 + 0,84^2)} =$$

$$44,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 22,35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

### 9.3.13. Sprawdzenie spoin łączących trapezowe blachy węzłowe z profilem słupa

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a_2 \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3\text{mm}$$

$$t_{\min} = t_g = 12\text{mm}, \quad t_{\max} = t_f = 18\text{mm}$$

$$3,6\text{mm} \leq a_2 \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3\text{mm}$$

Przyjmuję  $a_2 = 8\text{mm}$

Pole przekroju spoiny:

$$A_w = 4 \cdot a_2 \cdot H_g = 4 \cdot 8 \cdot 280 = 11200\text{mm}^2$$

Moment bezwładności względem osi x-x:

$$I_{wx} = 4 \cdot \frac{a_2 \cdot H_g^3}{12} = 4 \cdot \frac{8 \cdot 280^3}{12} = 73173333,33\text{mm}^4$$

Moment bezwładności względem osi y-y:

$$I_{wy} = 4 \cdot \left( \frac{a_2 \cdot H_g^3}{12} + H_g \cdot a_2 \cdot \left( \frac{h}{2} \right)^2 \right) = 4 \cdot \left( \frac{8 \cdot 280^3}{12} + 280 \cdot 8 \cdot \left( \frac{280}{2} \right)^2 \right) = 292693333,3\text{mm}^4$$

Biegunowy moment bezwładności:

$$I_{wo} = I_{wx} + I_{wy} = 73173333,33 + 292693333,3 = 365866666,7\text{mm}^4$$

Odległości do najbardziej wyężonego punktu:

$$r_1 = \sqrt{\left( \frac{h}{2} \right)^2 + \left( \frac{H_g}{2} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{280}{2} \right)^2 + \left( \frac{280}{2} \right)^2} = 198\text{mm}$$

Wyznaczenie naprężeń w spoinach:

Naprężenia od siły pionowej

$$\tau_N = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{119,86}{112} = 1,03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Naprężenia od siły poziomej

$$\tau_H = \frac{H_{Ed}}{A_w} = \frac{141,30}{112} = 1,26 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Naprężenia od momentu zginającego

$$\tau_M = \frac{\left( M_{Ed} - H_{Ed} \cdot \left( \frac{H_g}{2} \right) \right) \cdot r_1}{I_{wo}} = \frac{\left( 45681 - 141,30 \cdot \left( \frac{28}{2} \right) \right) \cdot 19,8}{36586,67} = 23,64 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{Mx} = \tau_M \cdot \cos(\alpha) \quad \text{oraz} \quad \tau_{My} = \tau_M \cdot \sin(\alpha)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,5h_c}{0,5H_g} = \frac{0,5 \cdot 280}{0,5 \cdot 280} = 1 \quad \alpha = 45^\circ$$

$$\tau_{Mx} = \tau_M \cdot \cos(\alpha) = 23,64 \cdot \cos(45) = 16,72 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{My} = \tau_M \cdot \sin(\alpha) = 23,64 \cdot \sin(45) = 16,72 \frac{kN}{cm^2}$$

Naprężenia wypadkowe

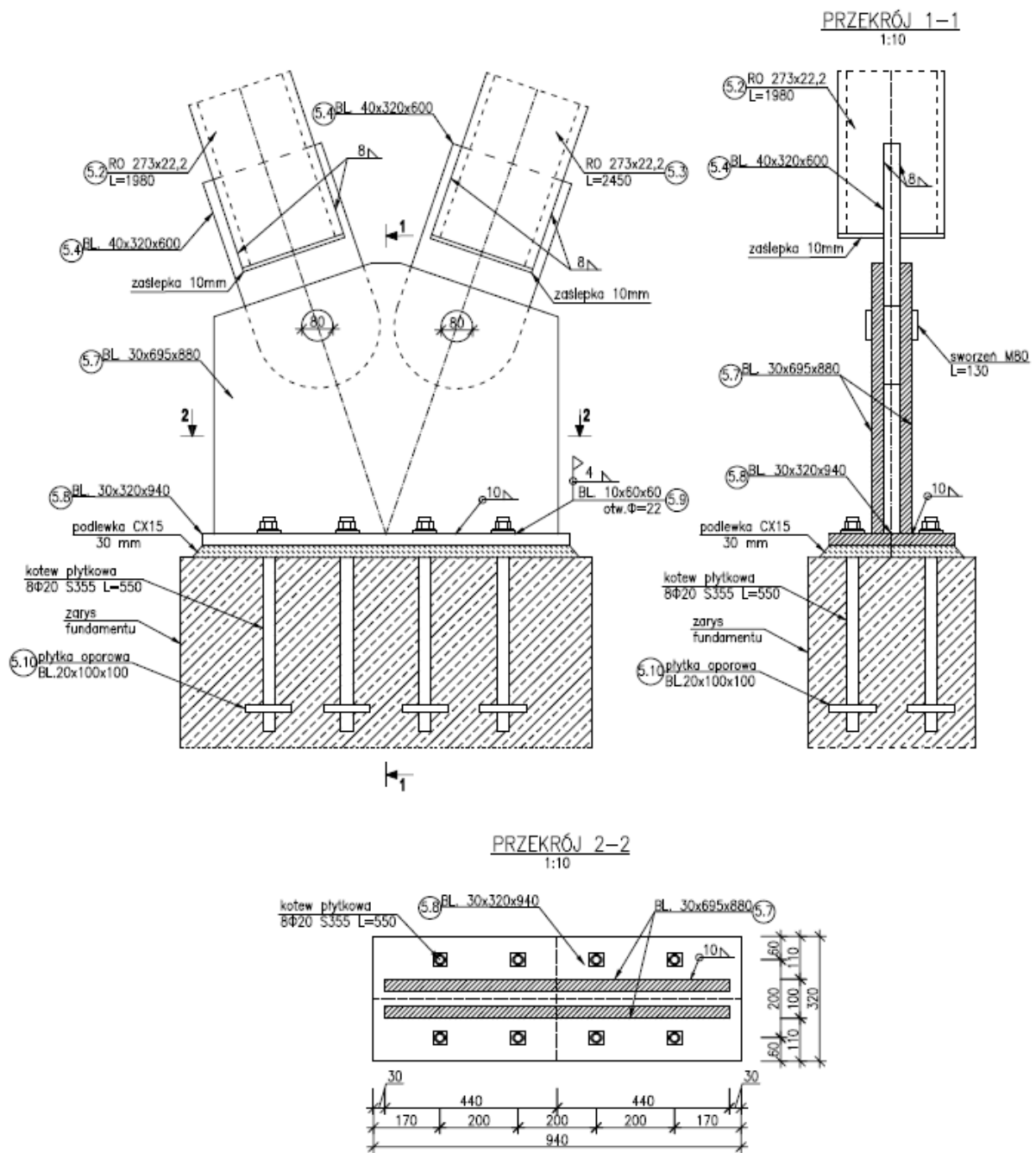
$$\tau_w = \sqrt{(\tau_N + \tau_{My})^2 + (\tau_H + \tau_{Mx})^2} = \sqrt{(1,03 + 16,72)^2 + (1,26 + 16,72)^2} = 25,25 \frac{kN}{cm^2}$$

Sprawdzenie nośności:

$$\tau_w \leq f_{v,wd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$25,25 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{51,0}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 26,17 \frac{kN}{cm^2}$$

## 9.4. Podstawa słupa wewnętrznego



Rys. 44. Podstawa słupa wewnętrznego.

### 9.4.1. Geometria i dane materiałowe

Słup wewnętrzny RO 273x22,2 (Rys. 15)

$$d_0 = 273\text{mm}$$

$$t_0 = 22,2\text{mm}$$

$$\theta_0 = 65^\circ$$

Stal (słup i blacha podstawy) S355

$$f_{y0} = f_{yi} = f_y = 355 \text{MPa}$$

$$f_u = 510 \text{MPa}$$

Blacha węzłowa

$$t_w = 30 \text{mm}$$

$$h_w = 880 \text{mm}$$

$$H_w = 695 \text{mm}$$

Klasa betonu stopy fundamentowej 25/30:

$$f_{ck} = 25 \text{MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33 \text{MPa}$$

Współczynniki częściowe:  $\gamma_{M0} = 1,0$ ;  $\gamma_{M2} = 1,25$ ;  $\gamma_{M5} = 1,0$

#### 9.4.2. Siły działające w połączeniu

Siły działające w połączeniu przy najbardziej niekorzystnej kombinacji KOMB10:

$$N_{Ed,1117} = -1100,95 \text{kN}$$

$$N_{Ed,1118} = -245,95 \text{kN}$$

$$M_{Ed,1117} = M_{Ed,1118} = 0 \text{kNm}$$

$$V_{Ed,1117} = V_{Ed,1118} \cong 0 \text{kNm}$$

Obciążenie podstawy słupa:

$$N_{j,Ed} = N_{Ed,1117} \cdot \sin \theta_0 + N_{Ed,1118} \cdot \sin \theta_0 = 1100,95 \cdot \sin 65^\circ + 245,95 \cdot \sin 65^\circ = 1221 \text{kN}$$

$$F_{j,Ed} = N_{Ed,1117} \cdot \cos \theta_0 - N_{Ed,1118} \cdot \cos \theta_0 = 1100,95 \cdot \cos 65^\circ - 245,95 \cdot \cos 65^\circ = 361,33 \text{kN}$$

### 9.4.3. Dobór blachy podstawy

Przyjęto następujące wymiary blachy podstawy:

$$b_p = 320\text{mm}, h_p = 940\text{mm}, t_p = 30\text{mm}, e_1 = 30\text{mm}, e_2 = 110\text{mm}, p_1 = 200\text{mm}, p_2 = 200\text{mm}$$

### 9.4.4. Nośność blachy podstawy

#### 9.4.4.1. Zastępcze króćce teowe w strefie ściskania

Maksymalny wysięg strefy docisku:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16,7 \cdot 1,0}} \cong 80\text{mm}$$

$c = 80\text{mm} > e_1 = 30\text{mm}$  oraz  $c = 80\text{mm} < e_2 = 110\text{mm}$ , więc mamy do czynienia z dużym wysięgiem blachy.

$$b_{eff} = b_2 + 2e_1 = 880 + 2 \cdot 30 = 940\text{mm}$$

$$l_{eff} = t_1 + 2t_2 + 2c = 40 + 2 \cdot 30 + 2 \cdot 80 = 260\text{mm}$$

#### 9.4.4.2. Nośność fundamentu na docisk pod blachą podstawy

$$A_{eff} = b_{eff} \cdot l_{eff} = 940 \cdot 260 = 244400\text{mm}^2$$

$$N_{j,Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 244400 \cdot 16,7 = 4081480\text{N} = 4081,5\text{kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} = \frac{1221\text{kN}}{4081,5\text{kN}} = 0,30 \leq 1,0$$

Warunek nośności jest spełniony.

#### 9.4.4.3. Nośność ze względu na poślizg

Obliczeniowa nośność ze względu na poślizg między blachą podstawy, a podlewką:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{j,Ed} = 0,2 \cdot 1221 = 244,2kN < F_{j,Ed} = 361,33kN$$

Należy zaprojektować ostrogę lub siła poprzeczna musi być przejęta przez ścinanie śrub kotwiących. Założono 8 kotew M20 kl. 4.6.

Obliczeniowa nośność na ścinanie kotwy:

$$F_{vb,Rd} = \min(F_{1,vb,Rd}, F_{2,vb,Rd})$$

Płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez gwintowaną część kotwy -  $\alpha_v = 0,6$

$$\text{Pole przekroju trzpienia kotwy} - A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 314,16mm^2$$

$$F_{1,vb,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 314,16}{1,25} = 60,32kN$$

$$\text{Współczynnik } \alpha_b = 0,44 - 0,0003 f_{yb} = 0,44 - 0,0003 \cdot 240 = 0,37$$

$$\text{Pole przekroju czynnego śruby} - A_s = 245mm^2$$

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_b f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,37 \cdot 400 \cdot 245}{1,25} = 29kN$$

$$F_{vb,Rd} = \min(F_{1,vb,Rd}, F_{2,vb,Rd}) = \min(60,32kN; 29kN) = 29kN$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n \cdot F_{vb,Rd} = 244,2 + 8 \cdot 29 = 476,2kN$$

$$\frac{F_{j,Rd}}{F_{vb,Rd}} = \frac{361,33kN}{476,2kN} = 0,76 \leq 1,0$$

Warunek nośności jest spełniony.

#### 9.4.4.4. Nośność spoiny pachwinowej pomiędzy blachą podstawy, a blachą węzłową

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \text{ oraz } \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Grubość i długość spoiny:

Dobrano grubość spoiny  $a_w = 10\text{mm}$

Długość spoiny  $l_w = 880\text{mm}$

Pole przekroju spoiny:  $A_w = 2 \cdot a_w \cdot l_w = 2 \cdot 10 \cdot 880 = 17600\text{mm}^2$

Siły obciążające układ spoin:

$$F_{Ed,H} = N_{Ed,1117} \cdot \sin \theta_0 + N_{Ed,1118} \cdot \sin \theta_0 = 1100,95 \cdot \sin 65^\circ + 245,95 \cdot \sin 65^\circ = 1221\text{kN}$$

$$F_{Ed,V} = N_{Ed,1117} \cdot \cos \theta_0 - N_{Ed,1118} \cdot \cos \theta_0 = 1100,95 \cdot \cos 65^\circ - 245,95 \cdot \cos 65^\circ = 361,33\text{kN}$$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{F_{Ed,H}}{A_w} = \frac{1221 \cdot 10^3}{17600} = 6,94 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{6,94}{\sqrt{2}} = 4,91 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 4,91 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{II} = \frac{F_{Ed,V}}{A_w} = \frac{361,33 \cdot 10^3}{17600} = 2,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{4,91^2 + 3 \cdot (4,91^2 + 2,1^2)} =$$

$$10,47 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 4,91 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

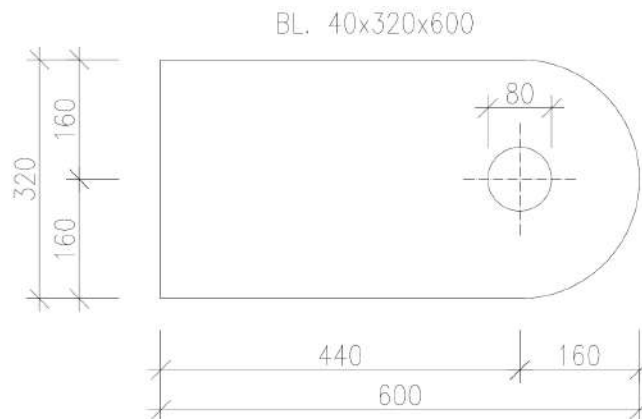
Nośność spoiny jest wystarczająca.



## 9.4.5. Połączenie sworzniowe

### 9.4.5.1. Nośność sworznia

W połączeniu sworzniowym zastosowano nieuzębrowane elementy sworzniowe jak na Rys. 45.



Rys. 45. Geometria blachy.

### Dobór blachy

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1100,95 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 38,98 \text{ mm} \rightarrow t = 40 \text{ mm}$$

$$d_0 \leq 2,5t = 2,5 \cdot 40 \text{ mm} = 100 \text{ mm} \rightarrow d_0 = 80 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} = \frac{1100,95 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 40 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 80}{3} = 92,1 \text{ mm} \rightarrow a = 120 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{1100,95 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 40 \cdot 355} + \frac{80}{3} = 65,41 \text{ mm} \rightarrow c = 120 \text{ mm}$$

### Nośność na ścinanie sworznia

$$F_{v,Rd} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 78^2}{4} \right) \cdot 510}{1,25} = 2339,49 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1100,95kN}{2339,49kN} = 0,47 \leq 1,0$$

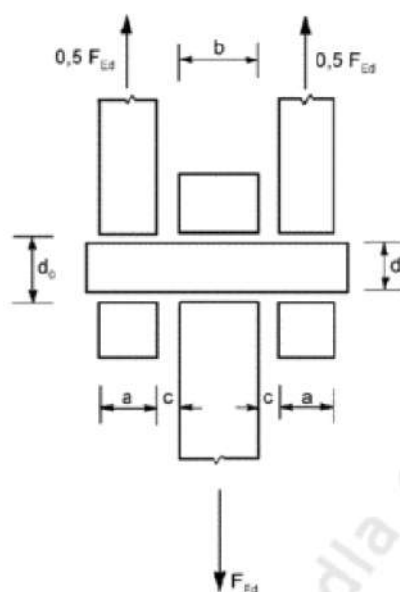
Nośność na docisk blachy i sworznia

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 78 \cdot 355}{1,0} = 1661,4kN$$

Warunek nośności:

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{1100,95kN}{1661,4kN} = 0,66 \leq 1,0$$

Nośność na zginanie sworznia



$$a = 30mm$$

$$b = 40mm$$

$$c = 2mm$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a) = \frac{1100,95 \cdot 10^3}{8} \cdot (40 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 30) \cong 14,86kNm$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 78^3}{32} \right) \cdot 355}{1,0} \cong 24,81kNm$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{14,86kNm}{24,81kNm} = 0,60 \leq 1,0$$

Nośność sworznia przy ścinaniu i zginaniu

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{14,86kNm}{24,81kNm} \right]^2 + \left[ \frac{1100,95kN}{2339,49kN} \right]^2 = 0,58 \leq 1,0$$

9.4.5.2. Nośność spoiny pachwinowej pomiędzy słupem wewnętrznym, a blachą węzłową

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \text{ oraz } \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Grubość i długość spoiny:

Dobrano grubość spoiny  $a_w = 8mm$

$$l_w \geq \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{Ed} \cdot \sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u \cdot 2 \cdot a_w} = \frac{1100,95 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25}{510 \cdot 2 \cdot 8} = 262,9mm \\ 6a_w = 6 \cdot 8mm = 48mm \\ 30mm \end{array} \right\}$$

Przyjęto:  $l_w = 265mm$

Pole przekroju spoiny:  $A_w = 2 \cdot a_w \cdot l_w = 2 \cdot 8 \cdot 265 = 4240mm^2$

Składowe naprężenia:

Spoiny są ułożone symetrycznie i równoległe do siły obciążającej, zatem  $\sigma_{\perp} = 0, \tau_{\perp} = 0$

$$\tau_{II} = \frac{F_{Ed}}{A_w} = \frac{1100,95kN}{42,4cm^2} = 25,97 \frac{kN}{cm^2}$$

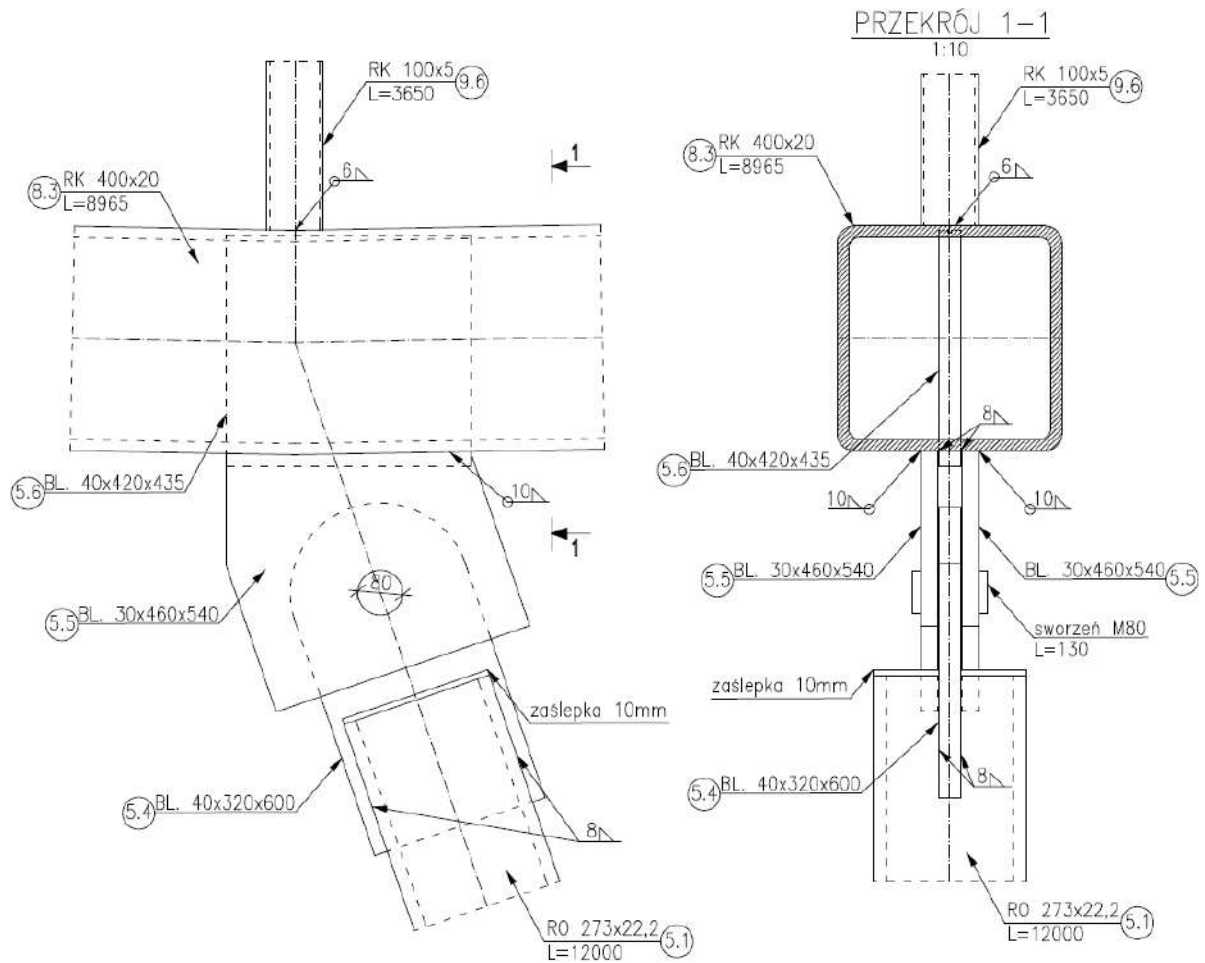
Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{3 \cdot 25,97^2} = 44,95 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{kN}{cm^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

## 9.5. Połączenie słupka i słupa wewnętrznego z pasem dolnym w węźle nr 152



Rys. 46. Połączenie słupka i słupa wewnętrznego z pasem dolnym.

### 9.5.1. Połączenie spawane słupka z pasem dolnym

#### 9.5.1.1. Geometria i dane materiałowe

Pas dolny RK 400x400x20 (Rys. 17)

$$b_0 = h_0 = 400\text{mm}$$

$$t_0 = 20\text{mm}$$

Słupek RK 100x100x5 (Rys. 18)

$$b_1 = h_1 = 100\text{mm}$$

$$t_1 = 5\text{mm}$$

$$\theta_1 = 89^\circ$$

Stal (pas dolny, słupek) S355

$$f_{y0} = f_{yi} = f_y = 355 \text{MPa}$$

$$f_u = 510 \text{MPa}$$

Współczynniki częściowe:  $\gamma_{M0} = 1,0$ ;  $\gamma_{M2} = 1,25$ ;  $\gamma_{M5} = 1,0$

#### 9.5.1.2. Siły działające w połączeniu

Siły działające w połączeniu przy najbardziej niekorzystnej kombinacji KOMB10:

$$N_{Ed,885} = -240 \text{kN}$$

$$N_{Ed,537} = -971,03 \text{kN}$$

$$N_{Ed,538} = -624,16 \text{kN}$$

#### 9.5.1.3. Warunki konstrukcyjne węzła

Węzeł typ T.

Stosunek wysokości rur

$$\frac{b_1}{b_0} = \frac{100}{400} = 0,25 \geq 0,25$$

Warunek jest spełniony.

Smukłość ścianki prętów skratowania

$$\frac{h_1}{t_1} = \frac{b_1}{t_1} = \frac{100}{5} = 20 \leq 35 \text{ oraz klasa przekroju } 1 < 2.$$

Warunek jest spełniony.

Smukłość ścianki prętów pasa dolnego

$$\frac{h_0}{t_0} = \frac{b_0}{t_0} = \frac{400}{20} = 20 \leq 35 \text{ oraz klasa przekroju } 1 < 2.$$

Warunek jest spełniony.

Stosunek wysokości rury do jej szerokości

$$\frac{h_0}{b_0} = \frac{400}{400} = 1,0 \leq 2,0$$

$$\frac{h_1}{b_1} = \frac{100}{100} = 1,0 \leq 2,0$$

Warunek jest spełniony.

Węzeł spełnia warunki zawarte w tabelicy 7.8 normy PN-EN 1993-1-8, więc obowiązują kryteria obliczeniowe jego nośności według tabelicy 7.10.

#### 9.5.1.4. Zniszczenie przystykowe pasa

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left( \frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$$

Stosunek szerokości prętów skratowania do szerokości pasa:

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{100}{400} = 0,25$$

Stosunek wysokości przekroju pręta skratowania do szerokości pasa:

$$\eta = \frac{h_1}{b_0} = \frac{b_1}{b_0} = \frac{100}{400} = 0,25$$

Współczynnik  $k_n$ :

Stosunek naprężeń określony jest następująco

$$n = (\sigma_{0,Ed} / f_{y0}) / \gamma_{M5} = (128,27 \text{ MPa} / 355 \text{ MPa}) / 1,0 = 0,36$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,36}{0,25} = 0,724 \leq 1,0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left( \frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5} =$$

$$N_{1,Rd} = \frac{0,724 \cdot 355 \cdot 20^2}{(1 - 0,25) \cdot \sin 89^\circ} \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,25}{\sin 89^\circ} + 4 \cdot \sqrt{1 - 0,25} \right) = 543,48 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = 543,48 \text{ kN} > N_{Ed,885} = 240 \text{ kN}$$

Warunek nośności jest spełniony.

#### 9.5.1.5. Nośność spoiny łączącej słupki z pasem

Grubość spoin o nośności obliczeniowej nie mniejszej niż obliczeniowa nośność ścianki słupka może być wyliczona z zależności:

$$\sum a \geq \sqrt{2} \cdot \beta_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M2}} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_u} \cdot t_1 = \sqrt{2} \cdot 0,9 \cdot \frac{355}{510} \cdot \frac{1,0}{1,25} \cdot 5 = 5,54mm$$

Przyjęto spoinę pachwinową dookoła brzegu słupka o grubości  $a_1 = 6,0mm$ .

### 9.5.2. Połączenie sworzniowe słupa wewnętrznego z pasem dolnym

#### 9.5.2.1. Geometria i dane materiałowe

Pas dolny RK 400x400x20 (Rys. 17)

$$b_0 = h_0 = 400mm$$

$$t_0 = 20mm$$

Słup wewnętrzny RO 273x22,2 (Rys. 15)

$$d_1 = 273mm$$

$$t_1 = 22,2mm$$

$$\theta_1 = 65^\circ$$

Stal (pas dolny, słup wewnętrzny) S355

$$f_{y0} = f_{yi} = f_y = 355MPa$$

$$f_u = 510MPa$$

Współczynniki częściowe:  $\gamma_{M0} = 1,0$ ;  $\gamma_{M2} = 1,25$ ;  $\gamma_{M5} = 1,0$

#### 9.5.2.2. Siły działające w połączeniu

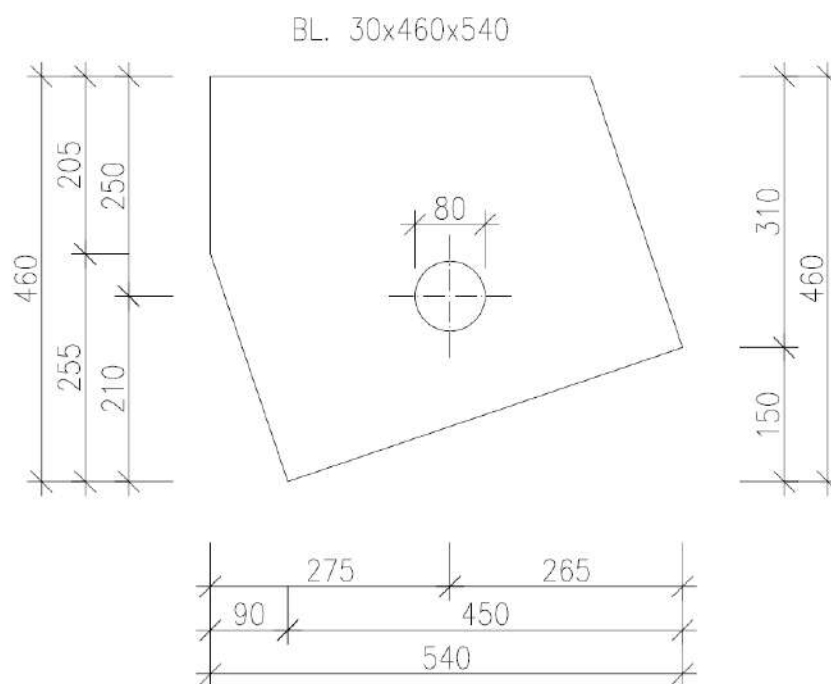
Siły działające w połączeniu przy najbardziej niekorzystnej kombinacji KOMB10:

$$N_{Ed,1117} = -1080,08kN$$

$$N_{Ed,537} = -971,03kN$$

$$N_{Ed,538} = -624,16kN$$

### 9.5.2.3. Zniszczenie przystykowe ścianki rury



**Rys. 47.** Geometria blachy węzłowej.

$$N_{1,Rd} = \frac{k_m f_{y0} t_0^2}{1 - t_b / b_0} (2h_b / b_0 + 4\sqrt{1 - t_b / b_0}) / \gamma_{M5}$$

Współczynnik  $k_m$ :

Stosunek naprężeń określony jest następująco

$$n = (\sigma_{0,Ed} / f_{y0}) / \gamma_{M5} = (62,31 \text{ MPa} / 355 \text{ MPa}) / 1,0 = 0,18$$

$$k_m = 1,3 \cdot (1 - n) = 1,3 \cdot (1 - 0,18) = 1,066 > 1,0 \rightarrow k_m = 1,0$$

$$N_1 = N_{Ed,1117} \cdot \sin 65^\circ = 1080,08 \text{ kN} \cdot \sin 65^\circ = 978,88 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_m f_{y0} t_0^2}{1 - t_b / b_0} (2h_b / b_0 + 4\sqrt{1 - t_b / b_0}) / \gamma_{M5} =$$

$$N_{1,Rd} = \frac{1,0 \cdot 355 \cdot 20^2}{1 - 30 / 400} \cdot (2 \cdot 435 / 400 + 4 \cdot \sqrt{1 - 30 / 400}) = 1005,06 \text{ kN}$$

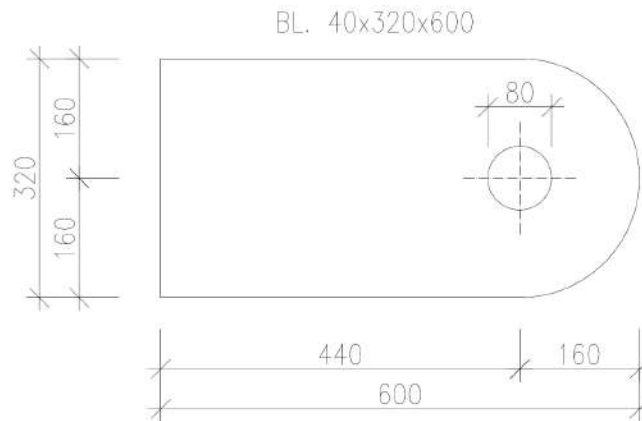
$$\frac{N_1}{N_{1,Rd}} = \frac{978,88 \text{ kN}}{1005,06 \text{ kN}} = 0,95 \leq 1,0$$

Warunek nośności jest spełniony.



#### 9.5.2.4. Nośność sworznia

W połączeniu sworzniowym zastosowano nieuzębrowane elementy sworzniowe jak na Rys. 48.



**Rys. 48.** Geometria blachy.

#### Dobór blachy

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1080,08 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 38,6 \text{ mm} \rightarrow t = 40 \text{ mm}$$

$$d_0 \leq 2,5t = 2,5 \cdot 40 \text{ mm} = 100 \text{ mm} \rightarrow d_0 = 80 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} = \frac{1080,08 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 40 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 80}{3} = 91,36 \text{ mm} \rightarrow a = 120 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{1080,08 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 40 \cdot 355} + \frac{80}{3} = 64,5 \text{ mm} \rightarrow c = 120 \text{ mm}$$

#### Nośność na ścinanie sworznia

$$F_{v,Rd} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 78^2}{4} \right) \cdot 510}{1,25} = 2339,49 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1080,08 \text{ kN}}{2339,49 \text{ kN}} = 0,46 \leq 1,0$$

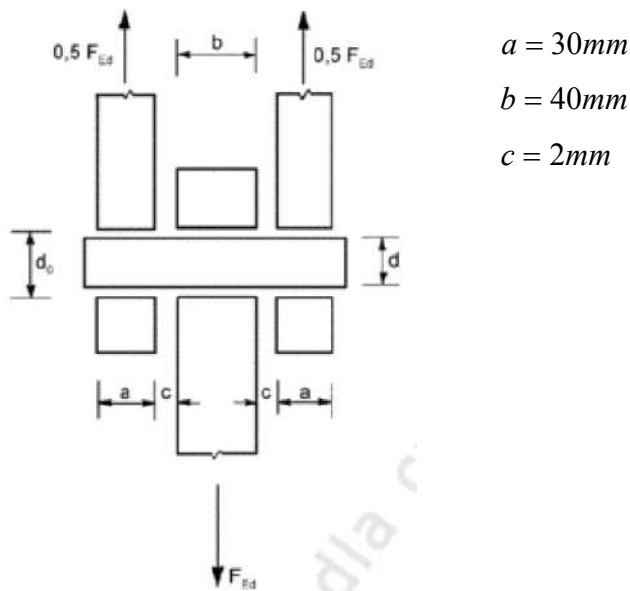
### Nośność na docisk blachy i sworznia

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 78 \cdot 355}{1,0} = 1661,4kN$$

Warunek nośności:

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{1080,08kN}{1661,4kN} = 0,65 \leq 1,0$$

### Nośność na zginanie sworznia



$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a) = \frac{1080,08 \cdot 10^3}{8} \cdot (40 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 30) \cong 14,58kNm$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 78^3}{32} \right) \cdot 355}{1,0} \cong 24,81kNm$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{14,58kNm}{24,81kNm} = 0,59 \leq 1,0$$

### Nośność sworznia przy ścinaniu i zginaniu

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{14,58kNm}{24,81kNm} \right]^2 + \left[ \frac{1080,08kN}{2339,49kN} \right]^2 = 0,56 \leq 1,0$$

### 9.5.2.5. Nośność spoiny pachwinowej pomiędzy słupem wewnętrznym, a blachą węzłową

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \text{ oraz } \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Grubość i długość spoiny:

Dobrano grubość spoiny  $a_w = 8mm$

$$l_w \geq \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{Ed} \cdot \sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u \cdot 2 \cdot a_w} = \frac{1080,08 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25}{510 \cdot 2 \cdot 8} = 257,9mm \\ 6a_w = 6 \cdot 8mm = 48mm \\ 30mm \end{array} \right\}$$

Przyjęto:  $l_w = 260mm$

Pole przekroju spoiny:  $A_w = 2 \cdot a_w \cdot l_w = 2 \cdot 8 \cdot 260 = 4160mm^2$

Składowe naprężenia:

Spoiny są ułożone symetrycznie i równoległe do siły obciążającej, zatem  $\sigma_{\perp} = 0, \tau_{\perp} = 0$

$$\tau_{II} = \frac{F_{Ed}}{A_w} = \frac{1080,07kN}{41,6cm^2} = 25,96 \frac{kN}{cm^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{3 \cdot 25,96^2} = 44,95 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{kN}{cm^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

### 9.5.2.6. Nośność spoiny pachwinowej pomiędzy blachą węzłową, a pasem dolnym

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \text{ oraz } \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Grubość i długość spoiny:

Dobrano grubość spoiny  $a_w = 10\text{mm}$

Długość spoiny  $l_w = 435\text{mm}$

Pole przekroju spoiny:  $A_w = 2 \cdot a_w \cdot l_w = 2 \cdot 10 \cdot 435 = 8700\text{mm}^2$

Siły obciążające układ spoin:

$$F_{Ed,H} = F_{Ed} \cdot \sin \theta_1 = 1080,08 \cdot \sin 65^\circ = 978,88\text{kN}$$

$$F_{Ed,V} = F_{Ed} \cdot \cos \theta_1 = 1080,08 \cdot \cos 65^\circ = 456,46\text{kN}$$

$$M_{Ed} = F_{Ed} \cdot e = 1080,07 \cdot 148\text{mm} = 159,85\text{kNm}$$

Składowe naprężenia:

$$W_w = \frac{2 \cdot a_w \cdot l_w^2}{6} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 435^2}{6} = 630750\text{mm}^3$$

$$\sigma = \frac{F_{Ed,H}}{A_w} + \frac{M_{Ed}}{W_w} = \frac{978,88 \cdot 10^3}{8700} + \frac{159,85 \cdot 10^6}{630750} = 25,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{25,5}{\sqrt{2}} = 18,03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 18,03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

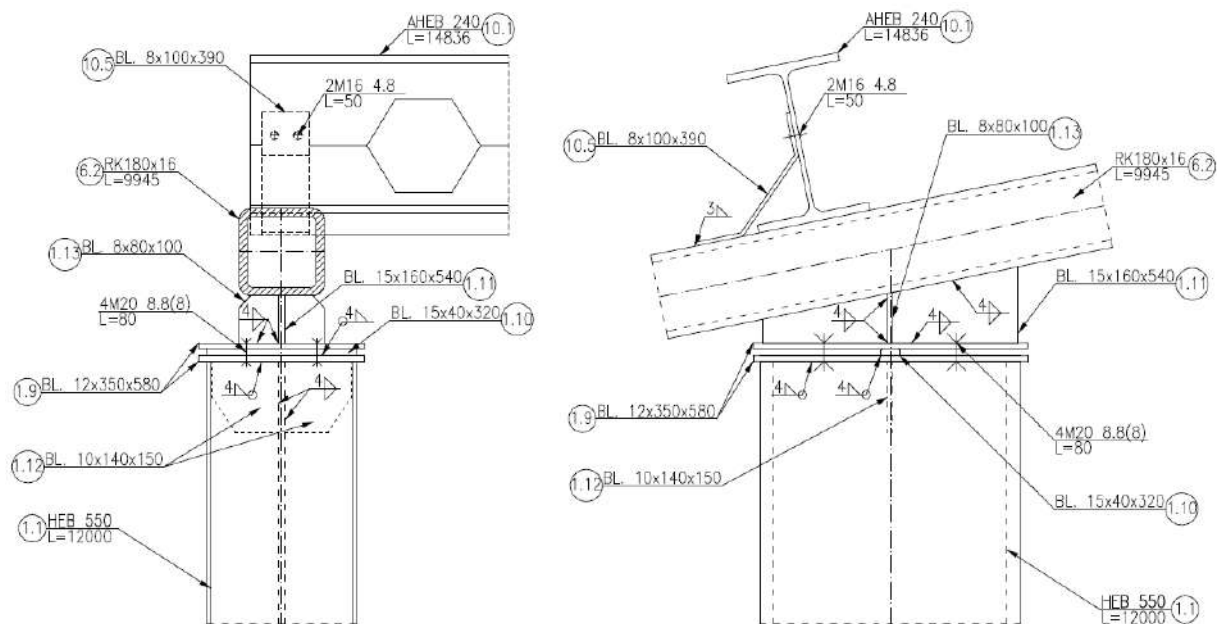
$$\tau_{II} = \frac{F_{Ed,V}}{A_w} = \frac{456,46 \cdot 10^3}{10800} = 4,23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Warunek nośności:

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} &= \sqrt{18,03^2 + 3 \cdot (18,03^2 + 4,23^2)} = \\ 36,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} &\leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\ \sigma_{\perp} &= 18,03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

## 9.6. Oparcie dźwigara na słupie skrajnym



Rys. 49. Oparcie dźwigara na słupie skrajnym.

### 9.6.1. Geometria i dane materiałowe

Pas szczytowy RK180x180x16 (Rys. 16)

$$b_0 = h_0 = 180\text{mm}$$

$$t_0 = 16\text{mm}$$

Słup skrajny HEB 550 (Rys. 13)

Stal (pas szczytowy, słup skrajny i blachy) S355

$$f_{y0} = f_{y1} = f_y = 355\text{MPa}$$

Współczynniki częściowe:  $\gamma_{M0} = 1,0$ ;  $\gamma_{M2} = 1,25$ ;  $\gamma_{M5} = 1,0$

### 9.6.2. Głowica słupa skrajnego

#### 9.6.2.1. Geometria blach

Blacha pozioma zamykająca

$$b_g = b_c + 2 \cdot 15\text{mm} = 320 + 30 = 350\text{mm}$$

$$l_g = h_c + 2 \cdot 15\text{mm} = 550 + 30 = 580\text{mm}$$

$$t_g = 12\text{mm}$$

Płytką centrującą

$$b_{pc} = 40mm$$

$$l_{pc} = b_c = 320mm$$

$$t_{pc} = 15mm$$

Żebro usztywniające

$$b_z = \frac{b_c - t_w}{2} = \frac{300 - 15}{2} \cong 140mm$$

$$t_z = 10mm$$

9.6.2.2. Sprawdzenie docisku płytki centrującej do blachy poziomej

$$\sigma_b = \frac{N_{Ed}}{b_{pc} \cdot l_{pc}} = \frac{185,95 \cdot 10^3}{40 \cdot 320} = 14,53 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{1,25 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,25 \cdot 355}{1,0} = 443,75 \frac{N}{mm^2}$$

Warunek jest spełniony.

9.6.2.3. Sprawdzenie nośności spoin łączących płytkę centrującą z blachą poziomą

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a > 3mm$$

$$t_{\min} = t_g = 12mm, \quad t_{\max} = t_{pc} = 15mm$$

$$3mm \leq a \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a > 3mm$$

Przyjmuję  $a = 4mm$

Łączne pole spoiny:

$$A_w = a \cdot (2 \cdot b_{pc} + 2 \cdot l_{pc}) = 4 \cdot (2 \cdot 40 + 2 \cdot 320) = 2880mm^2$$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{185,95 \cdot 10^3}{2880} = 64,57 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{64,57}{\sqrt{2}} = 45,66 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 45,66 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\parallel} = 0 \frac{N}{mm^2}$$

Warunek nośności:

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} &= \sqrt{45,66^2 + 3 \cdot (45,66^2 + 0^2)} = \\ 91,32 \frac{N}{mm^2} &\leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,33 \frac{N}{mm^2} \\ \sigma_{\perp} &= 45,66 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,2 \frac{kN}{cm^2} \end{aligned}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

#### 9.6.2.4. Określenie wysokości żeber z warunku na nośność spoin

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

gdzie:  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$ , czyli

$$\tau_{\parallel} \leq 0,58 \cdot \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

gdzie  $\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot h_z \cdot a_1}$  oraz  $a_1 = 4mm \leq 0,7 \cdot t_w = 0,7 \cdot 15 = 10,5mm$

stąd:

$$h_z \geq \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a_1 \cdot \frac{0,58 \cdot f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{185,95 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot \frac{0,58 \cdot 510}{0,9 \cdot 1,25}} = 44,2mm$$

Przyjmuję  $h_z = 150m$

### 9.6.2.5. Sprawdzenie nośności spoin łączących blachę poziomą z trzonem słupa

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a_2 \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3\text{mm}$$

$$t_{\min} = t_g = 12\text{mm}, \quad t_{\max} = t_w = 15\text{mm}$$

$$3\text{mm} \leq a_2 \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3\text{mm}$$

Przyjmuję  $a_2 = 4\text{mm}$

Łączne pole spoiny:

$$A_w = a_2 \cdot (2 \cdot b_c + 2 \cdot h_c) = 4 \cdot (2 \cdot 320 + 2 \cdot 550) = 6960\text{mm}^2$$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{185,95 \cdot 10^3}{6960} = 26,72 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{26,72}{\sqrt{2}} = 18,89 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 18,89 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\parallel} = 0 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{18,89^2 + 3 \cdot (18,89^2 + 0^2)} =$$

$$37,78 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,33 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 37,78 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

### 9.6.3. Połączenie spawane blachy podłużnej z pasem szczytowym

#### 9.6.3.1. Zniszczenie przystykowe pasa

$$N_{1,Rd} = \frac{k_m f_{y0} t_0^2}{1 - t_b / b_0} (2h_b / b_0 + 4\sqrt{1 - t_b / b_0}) / \gamma_{M5}$$



Współczynnik  $k_m$ :

Stosunek naprężeń określony jest następująco:

$$n = (\sigma_{0,Ed} / f_{y0}) / \gamma_{M5} = (70,12 \text{MPa} / 355 \text{MPa}) / 1,0 = 0,20$$

$$k_m = 1,3 \cdot (1 - n) = 1,3 \cdot (1 - 0,20) = 1,04 > 1,0 \rightarrow k_m = 1,0$$

$N_1 = N_{Ed,s} = 185,95 \text{kN}$  - siła podłużna w słupie

$$N_{1,Rd} = \frac{k_m f_{y0} t_0^2}{1 - t_1 / b_0} (2h_1 / b_0 + 4\sqrt{1 - t_1 / b_0}) / \gamma_{M5} =$$

$$N_{1,Rd} = \frac{1,0 \cdot 355 \cdot 16^2}{1 - 15/180} \cdot (2 \cdot 540 / 180 + 4 \cdot \sqrt{1 - 15/180}) = 985,55 \text{kN}$$

$$\frac{N_1}{N_{1,Rd}} = \frac{185,95 \text{kN}}{985,55 \text{kN}} = 0,19 \leq 1,0$$

Warunek nośności jest spełniony.

9.6.3.2. Nośność spoiny pachwinowej pomiędzy blachą podłużną, a pasem szczytowym

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a > 3 \text{mm}$$

$$t_{\min} = t_1 = 15 \text{mm}, \quad t_{\max} = t_0 = 16 \text{mm}$$

$$3,2 \text{mm} \leq a \leq 10,5 \quad \text{oraz} \quad a > 3 \text{mm}$$

Przyjmuję  $a = 4 \text{mm}$

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Długość spoiny  $l_w = 540 \text{mm}$

Pole przekroju spoiny:  $A_w = 2 \cdot a_w \cdot l_w = 2 \cdot 4 \cdot 540 = 4320 \text{mm}^2$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{N_{Ed,s}}{A_w} = \frac{185,95 \cdot 10^3}{4320} = 4,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{4,31}{\sqrt{2}} = 3,05 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 3,05 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{\parallel} = 0 \frac{kN}{cm^2}$$

Warunek nośności:

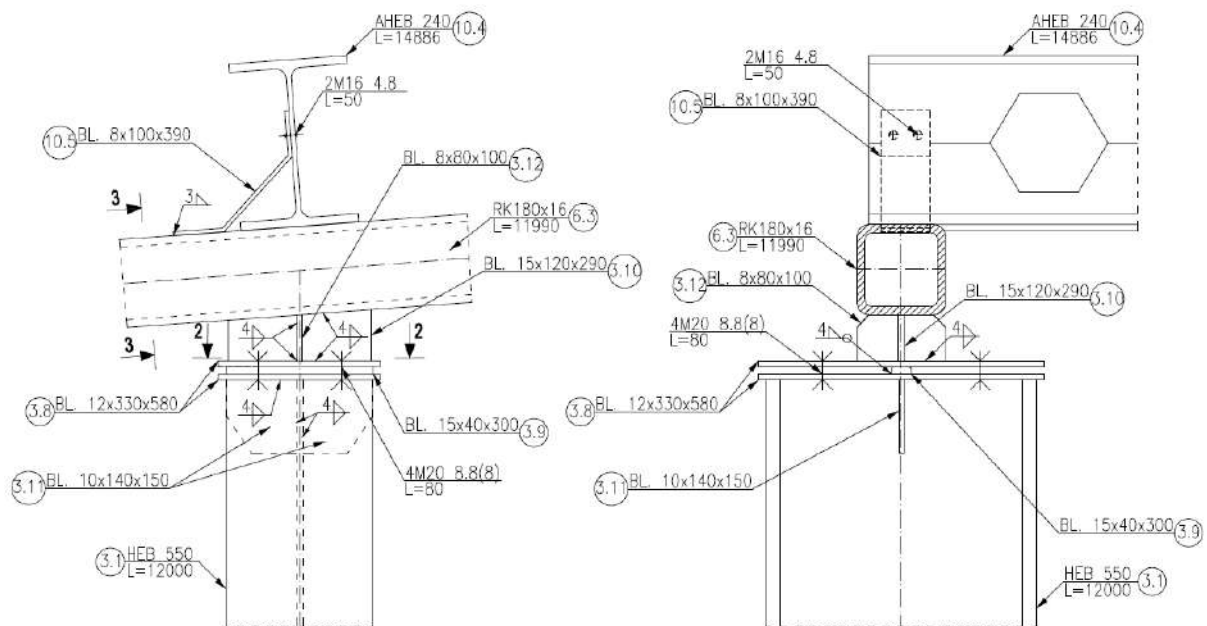
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3,05^2 + 3 \cdot (3,05^2 + 0^2)} =$$

$$6,10 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 3,05 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{kN}{cm^2}$$

Nośność spiny jest wystarczająca.

## 9.7. Oparcie dźwigara na słupie szczytowym



Rys. 50. Oparcie dźwigara na słupie szczytowym.

### 9.7.1. Geometria i dane materiałowe

Pas szczytowy RK180x180x16 (Rys. 16)

$$b_0 = h_0 = 180mm$$

$$t_0 = 16mm$$

Słup skrajny HEB 550 (Rys. 13)

Stal (pas szczytowy, słup skrajny i blachy) S355

$$f_{y0} = f_{y1} = f_y = 355MPa$$

Współczynniki częściowe:  $\gamma_{M0} = 1,0$ ;  $\gamma_{M2} = 1,25$ ;  $\gamma_{M5} = 1,0$

### 9.7.2. Głowica słupa szczytowego

#### 9.7.2.1. Geometria blach

Blacha pozioma zamykająca

$$b_g = b_c + 2 \cdot 15mm = 300 + 30 = 330mm$$

$$l_g = h_c + 2 \cdot 15mm = 550 + 30 = 580mm$$

$$t_g = 12mm$$

Płytki centrująca

$$b_{pc} = 40mm$$

$$l_{pc} = b_c = 300mm$$

$$t_{pc} = 15mm$$

Żebro usztywniające

$$b_z = \frac{b_c - t_w}{2} = \frac{300 - 15}{2} \cong 140mm$$

$$t_z = 10mm$$

### 9.7.2.2. Sprawdzenie docisku płytki centrującej do blachy poziomej

$$\sigma_b = \frac{N_{Ed}}{b_{pc} \cdot l_{pc}} = \frac{195,36 \cdot 10^3}{40 \cdot 300} = 16,28 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{1,25 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,25 \cdot 355}{1,0} = 443,75 \frac{N}{mm^2}$$

Warunek jest spełniony.

### 9.7.2.3. Sprawdzenie nośności spoin łączących płytkę centrującą z blachą poziomą

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a > 3mm$$

$$t_{\min} = t_g = 12mm, \quad t_{\max} = t_{pc} = 15mm$$

$$3mm \leq a \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a > 3mm$$

Przyjmuję  $a = 4mm$

Łączne pole spoiny:

$$A_w = a \cdot (2 \cdot b_{pc} + 2 \cdot l_{pc}) = 4 \cdot (2 \cdot 40 + 2 \cdot 300) = 2720mm^2$$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{195,36 \cdot 10^3}{2720} = 71,82 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{71,82}{\sqrt{2}} = 50,78 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 50,78 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\parallel} = 0 \frac{N}{mm^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{50,78^2 + 3 \cdot (50,78^2 + 0^2)} = 101,56 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,33 \frac{N}{mm^2}$$
$$\sigma_{\perp} = 50,78 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,2 \frac{kN}{cm^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

#### 9.7.2.4. Określenie wysokości żeber z warunku na nośność spoin

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

gdzie:  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$ , czyli

$$\tau_{II} \leq 0,58 \cdot \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

gdzie  $\tau_{II} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot h_z \cdot a_1}$  oraz  $a_1 = 4mm \leq 0,7 \cdot t_w = 0,7 \cdot 15 = 10,5mm$

stąd:

$$h_z \geq \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a_1 \cdot \frac{0,58 \cdot f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{195,36 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot \frac{0,58 \cdot 510}{0,9 \cdot 1,25}} = 46,44mm$$

Przyjmuję  $h_z = 150mm$

#### 9.7.2.5. Sprawdzenie nośności spoin łączących blachę poziomą z trzonem słupa

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a_2 \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3mm$$

$$t_{\min} = t_g = 12mm, \quad t_{\max} = t_w = 15mm$$

$$3mm \leq a_2 \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3mm$$

Przyjmuję  $a_2 = 4mm$

Łączne pole spoiny:

$$A_w = a_2 \cdot [2 \cdot b_c + 2 \cdot (h_c - 2t_f - 2r_c) + 2 \cdot (b_c - t_w - 2r_c)] =$$

$$A_w = 4 \cdot [2 \cdot 300 + 2 \cdot (550 - 2 \cdot 29 - 2 \cdot 27) + 2 \cdot (300 - 15 - 2 \cdot 27)] = 7352mm^2$$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{195,36 \cdot 10^3}{7352} = 26,57 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{26,57}{\sqrt{2}} = 18,79 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 18,79 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{II} = 0 \frac{N}{mm^2}$$

Warunek nośności:

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} &= \sqrt{18,79^2 + 3 \cdot (18,79^2 + 0^2)} = \\ 37,58 \frac{N}{mm^2} &\leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,33 \frac{N}{mm^2} \\ \sigma_{\perp} &= 37,58 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,2 \frac{kN}{cm^2} \end{aligned}$$

### 9.7.3. Połączenie spawane blachy podłużnej z pasem szczytowym

#### 9.7.3.1. Zniszczenie przystykowe pasa

$$N_{1,Rd} = \frac{k_m f_{y0} t_0^2}{1 - t_b / b_0} (2h_b / b_0 + 4\sqrt{1 - t_b / b_0}) / \gamma_{M5}$$

Współczynnik  $k_m$ :

Stosunek naprężeń określony jest następująco

$$n = (\sigma_{0,Ed} / f_{y0}) / \gamma_{M5} = (91,37 MPa / 355 MPa) / 1,0 = 0,26$$

$$k_m = 1,3 \cdot (1 - n) = 1,3 \cdot (1 - 0,26) = 0,962$$

$N_1 = N_{Ed,s} = 195,36 kN$  - siła podłużna w słupie

$$N_{1,Rd} = \frac{k_m f_{y0} t_0^2}{1 - t_1 / b_0} (2h_1 / b_0 + 4\sqrt{1 - t_1 / b_0}) / \gamma_{M5} =$$

$$N_{1,Rd} = \frac{0,962 \cdot 355 \cdot 16^2}{1 - 15/180} \cdot (2 \cdot 290/180 + 4 \cdot \sqrt{1 - 15/180}) = 672,57 kN$$

$$\frac{N_1}{N_{1,Rd}} = \frac{195,36 kN}{672,57 kN} = 0,29 \leq 1,0$$

Warunek nośności jest spełniony.

### 9.7.3.2. Nośność spoiny pachwinowej pomiędzy blachą podłużną, a pasem szczytowym

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \text{ oraz } a > 3\text{mm}$$

$$t_{\min} = t_1 = 15\text{mm}, \quad t_{\max} = t_0 = 16\text{mm}$$

$$3,2\text{mm} \leq a \leq 10,5 \text{ oraz } a > 3\text{mm}$$

Przyjmuję  $a = 4\text{mm}$

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \text{ oraz } \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Długość spoiny  $l_w = 540\text{mm}$

Pole przekroju spoiny:  $A_w = 2 \cdot a_w \cdot l_w = 2 \cdot 4 \cdot 540 = 4320\text{mm}^2$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{N_{Ed,s}}{A_w} = \frac{185,95 \cdot 10^3}{4320} = 4,31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{4,31}{\sqrt{2}} = 3,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 3,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\parallel} = 0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

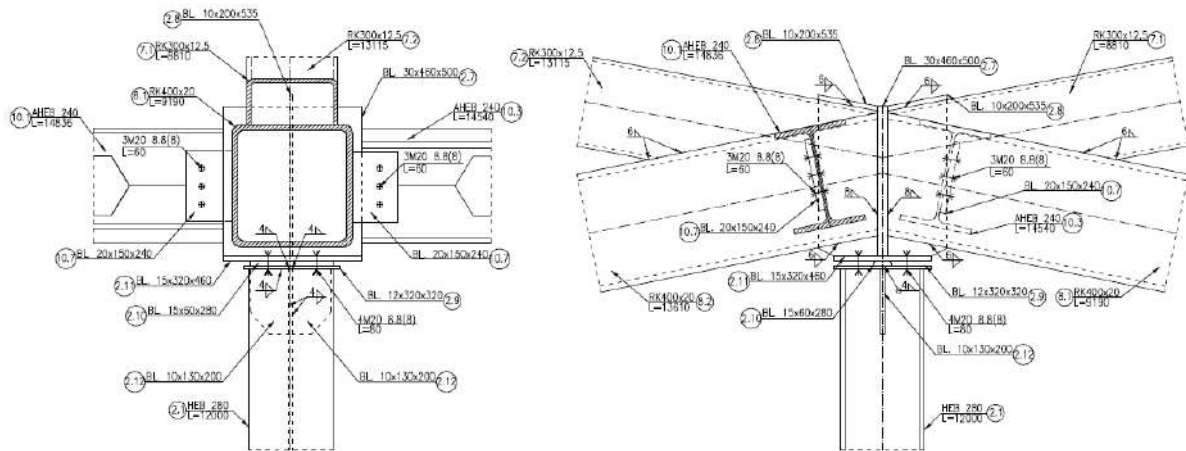
Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3,05^2 + 3 \cdot (3,05^2 + 0^2)} = 6,10 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 3,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

## 9.8. Oparcie dźwigara na słupie zewnętrznym



Rys. 51. Oparcie dźwigara na słupie zewnętrznym.

### 9.8.1. Geometria i dane materiałowe

Pas dolny RK400x400x20 (Rys. 17)

$$b_d = h_d = 400\text{mm}$$

$$t_d = 20\text{mm}$$

$$\theta_1 = 78^\circ$$

Pas górny RK300x300x12,5 (Rys. 17)

$$b_g = h_g = 300\text{mm}$$

$$t_g = 12,5\text{mm}$$

$$\theta_2 = 78^\circ$$

$$\theta_3 = 24^\circ$$

Słup zewnętrzny HEB 280 (Rys. 14)

Błacha czołowa

$$b_{cz} = 280\text{mm}$$

$$h_{cz} = 560\text{mm}$$

$$t_{cz} = 30\text{mm}$$

Stal (pas dolny, pas górny, słup i blachy) S355

$$f_{y0} = f_{y1} = f_y = 355\text{MPa}$$



### 9.8.2. Siły działające w połączeniu

Jako miarodajne do wymiarowania przyjęto siły pochodzące od kombinacji obciążeń KOMB30:

$$\begin{aligned}N_{Ed,183} &= -205,25kN & V_{Ed,183} &= -8,53kN \\N_{Ed,184} &= -10,60kN & V_{Ed,184} &= -23,68kN \\N_{Ed,543} &= 103,21kN & V_{Ed,564} &= -29,07kN \\N_{Ed,544} &= 30,31kN & V_{Ed,562} &= -7,00kN\end{aligned}$$

Redukcja sił do środka ciężkości połączenia:

$$\begin{aligned}N_{Ed} &= -(N_{Ed,183} + N_{Ed,184} + N_{Ed,543} + N_{Ed,544}) \cdot \cos\theta_1 - (V_{Ed,183} + V_{Ed,184} + V_{Ed,543} + V_{Ed,544}) \cdot \sin\theta_1 = \\N_{Ed} &= -(205,25 + 10,6 + 103,21 + 30,31) \cdot \cos 78^0 - (8,53 + 23,68 + 29,07 + 7) \cdot \sin 78^0 = -139,43kN\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{Ed} &= (N_{Ed,183} - N_{Ed,184} - N_{Ed,543} + N_{Ed,544}) \cdot \sin\theta_1 + (V_{Ed,183} + V_{Ed,184} + V_{Ed,543} + V_{Ed,544}) \cdot \cos\theta_1 = \\V_{Ed} &= (205,25 - 10,6 - 103,21 + 30,31) \cdot \sin 78^0 - (8,53 - 23,68 - 29,07 + 7) \cdot \cos 78^0 = 126,83kN\end{aligned}$$

### 9.8.3. Głowica słupa zewnętrznego

#### 9.8.3.1. Geometria

Blacha pozioma zamykająca

$$b_g = b_c + 2 \cdot 20mm = 280 + 40 = 320mm$$

$$l_g = h_c + 2 \cdot 20mm = 280 + 40 = 320mm$$

$$t_g = 12mm$$

Płytki centrująca

$$b_{pc} = 60mm$$

$$l_{pc} = b_c = 280mm$$

$$t_{pc} = 15mm$$

Żebro usztywniające

$$b_z = \frac{b_c - t_w}{2} = \frac{280 - 10,5}{2} \cong 130 \text{ mm}$$

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

9.8.3.2. Sprawdzenie docisku płytki centrującej do blachy poziomej

$$N_{Ed}^g = N_{Ed,c} + N_{Ed} = 139,43 \text{ kN} + 80,68 \text{ kN} = 220,11 \text{ kN} - \text{siła w górnej części słupa}$$

$$\sigma_b = \frac{N_{Ed}}{b_{pc} \cdot l_{pc}} = \frac{220,11 \cdot 10^3}{60 \cdot 280} = 13,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \frac{1,25 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,25 \cdot 355}{1,0} = 443,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Warunek jest spełniony.

9.8.3.3. Sprawdzenie nośności spoin łączących płytkę centrującą z blachą poziomą

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a > 3 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = t_g = 12 \text{ mm}, \quad t_{\max} = t_{pc} = 15 \text{ mm}$$

$$3 \text{ mm} \leq a \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a > 3 \text{ mm}$$

Przyjmuję  $a = 4 \text{ mm}$

Łączne pole spoiny:

$$A_w = a \cdot (2 \cdot b_{pc} + 2 \cdot l_{pc}) = 4 \cdot (2 \cdot 60 + 2 \cdot 280) = 2720 \text{ mm}^2$$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{220,11 \cdot 10^3}{2720} = 80,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{80,92}{\sqrt{2}} = 57,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 57,22 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\parallel} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{57,22^2 + 3 \cdot (57,22^2 + 0^2)} = 114,44 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,33 \frac{N}{mm^2}$$
$$\sigma_{\perp} = 57,22 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,2 \frac{kN}{cm^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

#### 9.8.3.4. Określenie wysokości żeber z warunku na nośność spoin

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

gdzie:  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$ , czyli

$$\tau_{II} \leq 0,58 \cdot \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

gdzie  $\tau_{II} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot h_z \cdot a_1}$  oraz  $a_1 = 4mm \leq 0,7 \cdot t_w = 0,7 \cdot 10,5 = 7,35mm$

stąd:

$$h_z \geq \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a_1 \cdot \frac{0,58 \cdot f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{220,11 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot \frac{0,58 \cdot 510}{0,9 \cdot 1,25}} = 52,32mm$$

Przyjmuję  $h_z = 200mm$

#### 9.8.3.5. Sprawdzenie nośności spoin łączących blachę poziomą z trzonem słupa

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a_2 \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3mm$$

$$t_{\min} = t_w = 10,5mm, \quad t_{\max} = t_g = 12mm$$

$$2,4mm \leq a_2 \leq 7,35 \quad \text{oraz} \quad a_2 > 3mm$$

Przyjmuję  $a_2 = 4mm$

Łączne pole spoiny:

$$A_w = a_2 \cdot [2 \cdot b_c + 2 \cdot (h_c - 2t_f - 2r_c) + 2 \cdot (b_c - t_w - 2r_c)] =$$
$$A_w = 4 \cdot [2 \cdot 280 + 2 \cdot (280 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 24) + 2 \cdot (280 - 10,5 - 2 \cdot 24)] = 5580 \text{ mm}^2$$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{220,11 \cdot 10^3}{5580} = 39,45 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{39,45}{\sqrt{2}} = 27,89 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 27,89 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\parallel} = 0 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{27,89^2 + 3 \cdot (27,89^2 + 0^2)} = 55,78 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,33 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 27,89 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} = 367,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

#### 9.8.4. Połączenie spawane pasa górnego z pasem dolnym

##### 9.8.4.1. Warunki konstrukcyjne węzła

Węzeł typ Y.

Stosunek wysokości rur

$$\frac{b_1}{b_0} = \frac{b_g}{b_d} = \frac{300}{400} = 0,75 \geq 0,25$$

Warunek jest spełniony.

Smukłość ścianki prętów skratowania

$$\frac{h_1}{t_1} = \frac{h_g}{t_g} = \frac{300}{12,5} = 24 \leq 35 \text{ oraz klasa przekroju } 1 < 2.$$

Warunek jest spełniony.

Smukłość ścianki prętów pasa dolnego

$$\frac{h_0}{t_0} = \frac{b_0}{t_0} = \frac{400}{20} = 20 \leq 35 \text{ oraz klasa przekroju } 1 < 2.$$

Warunek jest spełniony.

Stosunek wysokości rury do jej szerokości

$$\frac{h_0}{b_0} = \frac{h_d}{b_d} = \frac{400}{400} = 1,0 \leq 2,0$$

$$\frac{h_1}{b_1} = \frac{h_g}{b_g} = \frac{300}{300} = 1,0 \leq 2,0$$

Warunek jest spełniony.

Węzeł spełnia warunki zawarte w tabelicy 7.8 normy PN-EN 1993-1-8, więc obowiązują kryteria obliczeniowe jego nośności według tabelicy 7.10.

Dodatkowe warunki stosowania tabelicy 7.10 dla węzła Y

$$\frac{b_i}{b_0} = \frac{b_g}{b_d} = \frac{300}{400} = 0,75 \leq 0,85$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{b_d}{t_d} = \frac{400}{20} = 20 \geq 10$$

Warunki są spełnione.

9.8.4.2. Zniszczenie przystykowe pasa

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_d^2}{(1 - \beta) \sin \theta_3} \left( \frac{2\eta}{\sin \theta_3} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$$

Stosunek szerokości prętów skratowania do szerokości pasa:

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{b_g}{b_d} = \frac{300}{400} = 0,75$$

Stosunek wysokości przekroju pręta skratowania do szerokości pasa:

$$\eta = \frac{h_1}{h_0} = \frac{h_g}{h_d} = \frac{300}{400} = 0,75$$

Współczynnik  $k_n$ :

Stosunek naprężeń określony jest następująco

$$n = (\sigma_{0,Ed} / f_{y0}) / \gamma_{M5} = (135,6MPa / 355MPa) / 1,0 = 0,38$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,38}{0,75} = 1,09 \leq 1,0 \rightarrow k_n = 1,0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_d^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left( \frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{1,0 \cdot 355 \cdot 20^2}{(1 - 0,75) \cdot \sin 24^\circ} \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,75}{\sin 24^\circ} + 4 \cdot \sqrt{1 - 0,75} \right) = 7943,03kN$$

$$N_{1,Rd} = 7943,03kN > N_{Ed,183} = 205,25kN$$

Warunek nośności jest spełniony.

#### 9.8.4.3. Nośność spoiny

Spoinę mocującą dwie ścianki rury ustawione pod kątem prostym do lica pasa dolnego przyjęto jako pachwinową o grubości  $a_w = 6mm$ .

Trzecia ścianka jest nachylona pod kątem  $24^\circ$ . Norma PN-EN 1993-1-8 zaleca traktować taką spoinę jak czołową niepełną, lecz zgodnie z p. 4.7.2 jej nośność obliczeniową wyznacza się stosując metodę dla spoin pachwinowych z głębokim przetopem. Założono brak głębokiego przetopu i przyjęto grubość spoiny  $a_w = 6mm$ .

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \text{ oraz } \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Grubość i długość spoiny pachwinowej:

Dobrano grubość spoiny  $a_w = 6mm$

$$\text{Długość spoiny } l_w = \frac{b_d}{\cos 71^\circ} = \frac{300}{\cos 71^\circ} = 922mm$$

$$\text{Pole przekroju spoiny: } A_w = 2 \cdot a_w \cdot l_w = 2 \cdot 6 \cdot 922 = 11064mm^2$$

Siły obciążające układ spoin:

$$F_{Ed,H} = N_{Ed,183} \cdot \sin 78^\circ = 200,76kN$$

$$F_{Ed,V} = N_{Ed,183} \cdot \cos 78^{\circ} = 42,67 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed,183} \cdot e = 205,25 \cdot 461 \text{ mm} = 94,62 \text{ kNm}$$

Składowe naprężenia:

$$W_w = \frac{2 \cdot a_w \cdot l_w^2}{6} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 922^2}{6} = 1700168 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{F_{Ed,H}}{A_w} + \frac{M_{Ed}}{W_w} = \frac{200,76 \cdot 10^3}{11064} + \frac{94,62 \cdot 10^6}{1700168} = 10,38 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{10,38}{\sqrt{2}} = 7,34 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 7,34 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed,V}}{A_w} = \frac{42,67 \cdot 10^3}{11064} = 0,39 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{7,34^2 + 3 \cdot (7,34^2 + 0,39^2)} = 14,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 7,34 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

### 9.8.5. Połączenie spawane pasa dolnego z blachą czołową

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad \text{oraz} \quad a > 3 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = t_d = 20 \text{ mm}, \quad t_{\max} = t_{cz} = 30 \text{ mm}$$

$$6 \text{ mm} \leq a \leq 14 \quad \text{oraz} \quad a > 3 \text{ mm}$$

Przyjmuję  $a = 8 \text{ mm}$

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Grubość i długość spoiny:

Dobrano grubość spoiny  $a_w = 8mm$

Długość spoiny  $l_w = 400mm$

Pole przekroju spoiny:  $A_w = 4 \cdot a_w \cdot l_w = 4 \cdot 8 \cdot 400 = 12800mm^2$

Siły obciążające układ spoin:

$$F_{Ed,H} = N_{Ed,183} \cdot \sin 78^\circ + N_{Ed,543} \cdot \sin 78^\circ = 301,72kN$$

$$F_{Ed,V} = N_{Ed,183} \cdot \cos 78^\circ + N_{Ed,543} \cdot \cos 78^\circ = 64,13kN$$

$$M_{Ed} = (N_{Ed,183} + N_{Ed,543}) \cdot e = 308,46 \cdot 208mm = 64,16kNm$$

Składowe naprężenia:

$$W_w = \frac{2 \cdot a_w \cdot l_w^2}{6} = \frac{2 \cdot 8 \cdot 400^2}{6} = 426667mm^3$$

$$\sigma = \frac{F_{Ed,H}}{A_w} + \frac{M_{Ed}}{W_w} = \frac{301,72 \cdot 10^3}{12800} + \frac{64,16 \cdot 10^6}{426667} = 17,39 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{17,39}{\sqrt{2}} = 12,3 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 12,3 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed,V}}{A_w} = \frac{64,13 \cdot 10^3}{12800} = 0,51 \frac{kN}{cm^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{12,3^2 + 3 \cdot (12,3^2 + 0,51^2)} = 24,62 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 12,3 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{kN}{cm^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

### 9.8.6. Połączenie spawane blachy czołowej z blachą zamykającą

Grubość spoiny pachwinowej:

$$0,2 \cdot t_{\max} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \text{ oraz } a > 3mm$$



$$t_{\min} = t_g = 12\text{mm}, \quad t_{\max} = t_{cz} = 30\text{mm}$$

$$6\text{mm} \leq a \leq 8,4 \quad \text{oraz} \quad a > 3\text{mm}$$

Przyjmuję  $a = 6\text{mm}$

Sprawdzenie nośności metodą kierunkową:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Grubość i długość spoiny:

Dobrano grubość spoiny  $a_w = 6\text{mm}$

$$\text{Pole przekroju spoiny: } A_w = a_w \cdot (2 \cdot b_{cz} + 2 \cdot t_{cz}) = 6 \cdot (2 \cdot 280 + 2 \cdot 30) = 3720\text{mm}^2$$

Siły obciążające układ spoin:

$$F_{Ed,H} = N_{Ed} = 139,43\text{kN}$$

$$F_{Ed,V} = V_{Ed} = 126,83\text{kN}$$

Składowe naprężenia:

$$\sigma = \frac{F_{Ed,H}}{A_w} = \frac{139,43 \cdot 10^3}{3720} = 3,75 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{3,75}{\sqrt{2}} = 2,65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 2,65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{II} = \frac{F_{Ed,V}}{A_w} = \frac{126,83 \cdot 10^3}{3720} = 3,41 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Warunek nośności:

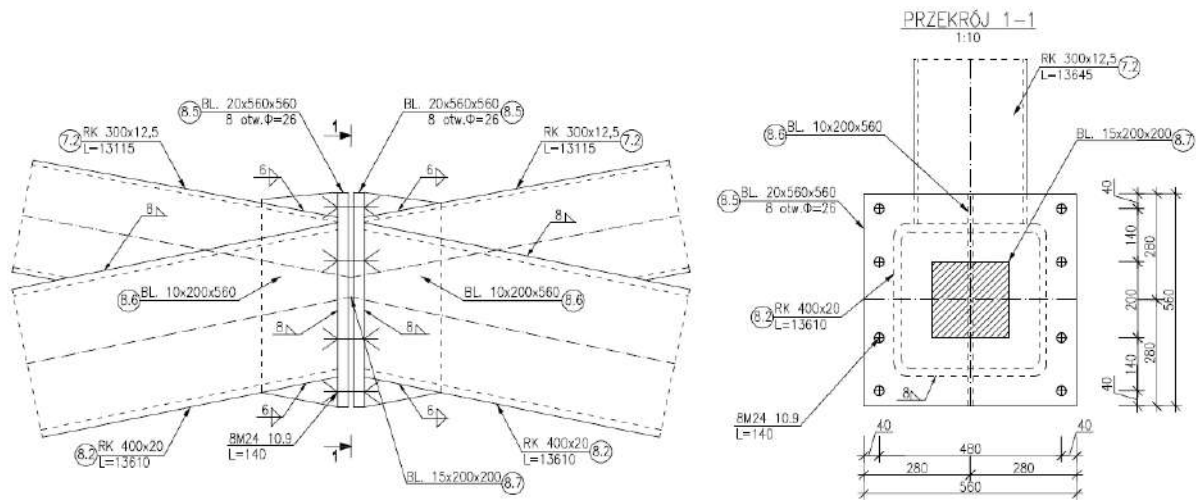
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{2,65^2 + 3 \cdot (2,65^2 + 3,41^2)} = 7,94 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 45,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 2,65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 36,72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

## 9.9. Styk montażowy dźwigara kratowego w węźle nr 180 – połączenie śrubowe doczołowe pasa górnego i pasa dolnego

### 9.9.1. Geometria i dane materiałowe



Rys. 52. Styk montażowy dźwigara kratowego.

Pas dolny RK400x400x20 (Rys. 17)

$$b_d = h_d = 400\text{mm}$$

$$t_d = 20\text{mm}$$

$$\theta_1 = 11^\circ$$

Pas górny RK300x300x12,5 (Rys. 17)

$$b_g = h_g = 300\text{mm}$$

$$t_g = 12,5\text{mm}$$

$$\theta_2 = 11^\circ$$

Blacha czołowa

$$b = h = 560\text{mm}$$

$$t_p = 20\text{mm}$$

Rozstaw łączników:

$$e_1 = 40\text{mm} > 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26\text{mm} = 31,5\text{mm}$$

$$e_2 = 40\text{mm} > 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26\text{mm} = 31,5\text{mm}$$

$$p = 200\text{mm}$$

$$w = 480\text{mm}$$

$$d_1 = 80\text{mm}$$

$$d_2 = 140\text{mm}$$

Śruby M24, kl. 10.9

$$d = 24mm$$

$$A_s = 353mm^2$$

$$f_{yb} = 900MPa$$

$$f_{ub} = 1000MPa$$

Stal (pas dolny, pas górny i blacha czołowa) S355

$$f_{y0} = f_{y1} = f_y = 355MPa$$

### 9.9.2. Siły działające w połączeniu

Jako miarodajne do wymiarowania przyjęto siły pochodzące od kombinacji obciążeń KOMB16:

$$N_{Ed,201} = -600,27kN \quad V_{Ed,201} = -59,83kN$$

$$N_{Ed,202} = -728,05kN \quad V_{Ed,202} = -61,98kN$$

$$N_{Ed,561} = 846,20kN \quad V_{Ed,561} = 217,6kN$$

$$N_{Ed,562} = 972,80kN \quad V_{Ed,562} = 225,48kN$$

Redukcja sił do środka ciężkości połączenia:

$$N_{Ed}^1 = N_{Ed,561} \cdot \cos\theta_1 - V_{Ed,561} \cdot \sin\theta_1 - N_{Ed,201} \cdot \cos\theta_2 + V_{Ed,201} \cdot \sin\theta_2 =$$

$$N_{Ed}^1 = 846,20 \cdot \cos 11^\circ - 217,6 \cdot \sin 11^\circ - 600,27 \cdot \cos 11^\circ + 59,83 \cdot \sin 11^\circ = 211,31kN$$

$$N_{Ed}^2 = N_{Ed,562} \cdot \cos\theta_1 - V_{Ed,562} \cdot \sin\theta_1 - N_{Ed,202} \cdot \cos\theta_2 + V_{Ed,202} \cdot \sin\theta_2 =$$

$$N_{Ed}^2 = 972,80 \cdot \cos 11^\circ - 225,48 \cdot \sin 11^\circ - 728,05 \cdot \cos 11^\circ + 61,98 \cdot \sin 11^\circ = 209,06kN$$

$$N_{Ed} = \max(N_{Ed}^1, N_{Ed}^2) = 211,31kN$$

$$M_{Ed} = (N_{Ed,202} \cdot \cos\theta_1 - V_{Ed,202} \cdot \sin\theta_1) \cdot z = (728,05 \cdot \cos 11^\circ - 61,98 \cdot \sin 11^\circ) \cdot 0,052m = 36,55kNm$$

### 9.9.3. Nośność styku śrubowego doczołowego

#### 9.9.3.1. Połączenie spawane pasa górnego z pasem dolnym

##### Warunki konstrukcyjne węzła

Węzeł typ Y.

Stosunek wysokości rur

$$\frac{b_1}{b_0} = \frac{b_g}{b_d} = \frac{300}{400} = 0,75 \geq 0,25$$

Warunek jest spełniony.

Smukłość ścianki prętów skratowania

$$\frac{h_1}{t_1} = \frac{h_g}{t_g} = \frac{300}{12,5} = 24 \leq 35 \text{ oraz klasa przekroju } 1 < 2.$$

Warunek jest spełniony.

Smukłość ścianki prętów pasa dolnego

$$\frac{h_0}{t_0} = \frac{b_0}{t_0} = \frac{400}{20} = 20 \leq 35 \text{ oraz klasa przekroju } 1 < 2.$$

Warunek jest spełniony.

Stosunek wysokości rury do jej szerokości

$$\frac{h_0}{b_0} = \frac{h_d}{b_d} = \frac{400}{400} = 1,0 \leq 2,0$$

$$\frac{h_1}{b_1} = \frac{h_g}{b_g} = \frac{300}{300} = 1,0 \leq 2,0$$

Warunek jest spełniony.

Węzeł spełnia warunki zawarte w tabelicy 7.8 normy PN-EN 1993-1-8, więc obowiązują kryteria obliczeniowe jego nośności według tabelicy 7.10.

Dodatkowe warunki stosowania tablicy 7.10 dla węzła Y

$$\frac{b_i}{b_0} = \frac{b_g}{b_d} = \frac{300}{400} = 0,75 \leq 0,85$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{b_d}{t_d} = \frac{400}{20} = 20 \geq 10$$

Warunki są spełnione.

### Zniszczenie przystykowe pasa

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_d^2}{(1-\beta) \sin \theta_3} \left( \frac{2\eta}{\sin \theta_3} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$$

Stosunek szerokości prętów skratowania do szerokości pasa:

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{b_g}{b_d} = \frac{300}{400} = 0,75$$

Stosunek wysokości przekroju pręta skratowania do szerokości pasa:

$$\eta = \frac{h_1}{h_0} = \frac{h_g}{h_d} = \frac{300}{400} = 0,75$$

Współczynnik  $k_n$ :

Stosunek naprężeń określony jest następująco

$$n = (\sigma_{0,Ed} / f_{y0}) / \gamma_{M5} = (90,93 \text{ MPa} / 355 \text{ MPa}) / 1,0 = 0,26$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,26}{0,75} = 1,16 \leq 1,0 \rightarrow k_n = 1,0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_d^2}{(1-\beta) \sin \alpha} \left( \frac{2\eta}{\sin \alpha} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{1,0 \cdot 355 \cdot 20^2}{(1-0,75) \cdot \sin 22^\circ} \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,75}{\sin 22^\circ} + 4 \cdot \sqrt{1-0,75} \right) = 7943,03 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = 7943,03 \text{ kN} > N_{Ed,202} = 724,56 \text{ kN}$$

Warunek nośności jest spełniony.

### Nośność spoiny

Grubość spoin łączących pas górny z pasem dolnym obliczono przy założeniu, że spoiny te przenoszą siłę równą nośności ścianki pasa dolnego. Nośność ścianki obliczono jako nośność przekroju na rozciąganie.

$$N_t = t_g \cdot b_g \cdot \frac{f_y}{\gamma_{MO}} = 12,5 \cdot 300 \cdot \frac{355}{1,0} = 1331,25 kN$$

Przyjęto spoinę pachwinową grubości

$$a = 8 mm$$

Długość spoiny

$$l = 3 \cdot 300 mm = 900 mm$$

Naprężenie w spoinie:

$$\sigma = \frac{N_t}{a \cdot l} = \frac{1331,25 \cdot 10^3}{8 mm \cdot 900 mm} = 184,90 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cdot \sin\left(\frac{90 - \alpha}{2}\right) = 184,9 \cdot \sin 39,5^\circ = 117,61 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \cdot \cos\left(\frac{90 - \alpha}{2}\right) = 184,9 \cdot \cos 39,5^\circ = 142,67 \frac{N}{mm^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{117,61^2 + 3 \cdot 142,67^2}$$

$$273,67 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 117,61 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 367,2 \frac{N}{mm^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

#### 9.9.3.2. Połączenie spawane pasa dolnego z blachą czołową

Grubość spoin łączących pas górny z pasem dolnym obliczono przy założeniu, że spoiny te przenoszą siłę równą nośności ścianki pasa dolnego. Nośność ścianki obliczono jako nośność przekroju na rozciąganie.

$$N_t = t_g \cdot b_g \cdot \frac{f_y}{\gamma_{MO}} = 20 \cdot 400 \cdot \frac{355}{1,0} = 2840 \text{ kN}$$

Przyjęto spoinę pachwinową grubości

$$a = 8 \text{ mm}$$

Długość spoiny

$$l = 3 \cdot 400 \text{ mm} + (400 \text{ mm} - 300 \text{ mm}) = 1300 \text{ mm}$$

Napężenie w spoinie:

$$\sigma = \frac{N_t}{a \cdot l} = \frac{2840 \cdot 10^3}{10 \text{ mm} \cdot 1300 \text{ mm}} = 218,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cdot \sin\left(\frac{90 - \alpha}{2}\right) = 218,46 \cdot \sin 39,5^\circ = 138,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \cdot \cos\left(\frac{90 - \alpha}{2}\right) = 218,46 \cdot \cos 39,5^\circ = 168,57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Warunek nośności:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{138,96^2 + 3 \cdot 168,57^2} = 323,35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{51,0}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = 138,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 51,0}{1,25} = 367,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nośność spoiny jest wystarczająca.

### 9.9.3.3. Śrubowe połączenie doczołowe – szereg śrub nr 1

Błacha czołowa w strefie rozciągania

$$e_{\min} = e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$m_x = d_1 - e_2 - 0,8 \cdot a_2 \cdot \sqrt{2} = 80 - 40 - 0,8 \cdot 8 \cdot \sqrt{2} = 30,95 \text{ mm}$$

$$e = e_1 = 40 \text{ mm}$$

Długości efektywne, mechanizmy kołowe (szereg śrub poza rozciąganą ścianką pasa)

$$l_{\text{eff},cp} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot \pi \cdot m_x = 2 \cdot \pi \cdot 30,95 = 194,46 \text{ mm} \\ \pi \cdot m_x + w = \pi \cdot 30,95 + 480 = 577,23 \text{ mm} \\ \pi \cdot m_x + 2 \cdot e = \pi \cdot 30,95 + 2 \cdot 40 = 177,23 \text{ mm} \end{array} \right\} = 177,23 \text{ mm}$$

Długości efektywne, mechanizmy niekołowe (szereg śrub poza rozciągana ścianką pasa)

$$l_{eff,nc} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_2 = 4 \cdot 30,95 + 1,25 \cdot 40 = 173,8mm \\ e + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_2 = 40 + 2 \cdot 30,95 + 0,625 \cdot 40 = 126,9mm \\ 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 560 = 280mm \\ 0,5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_2 = 0,5 \cdot 480 + 2 \cdot 30,95 + 0,625 \cdot 40 = 326,9mm \end{array} \right\} = 126,9mm$$

### Model zniszczenia 1

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = 126,9mm$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 126,9 \cdot 20^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 4505 \cdot 10^3 Nmm$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m_x} = \frac{4 \cdot 4505 \cdot 10^3}{30,95} = 582229N = 582,23kN$$

### Model zniszczenia 2

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 126,9mm$$

$$M_{pl,2,Rd} = M_{pl,1,Rd} = 4505 \cdot 10^3 Nmm$$

$$n = e_{min} = e_2 = 40mm$$

$$\text{lecz } n \leq 1,25 \cdot m_x = 1,25 \cdot 30,95 = 38,69mm \rightarrow n = 38,69mm$$

Nośność śruby na rozciąganie

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 353}{1,25} = 254160N$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_x + n} = \frac{2 \cdot 4505 \cdot 10^3 + 38,69 \cdot 2 \cdot 254160}{30,95 + 38,69} = 411788N = 411,79kN$$

### Model zniszczenia 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254160N = 508320N = 508,32kN$$

Nośność blachy czołowej

$$F_{t1,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(582,23; 411,79; 508,32) = 411,79kN$$



Nośność 1 szeregu śrub

$$F_{t1,Rd} = F_{t1,ep,Rd} = 411,79kN$$

9.9.3.4. Śrubowe połączenie doczołowe – szereg śrub nr 2

Blacha czołowa w strefie rozciągania

$$m = \frac{w - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot a_2 - h_d}{2} = \frac{480 - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 8 - 400}{2} = 35,47mm$$

$$e = e_{\min} = e_1 = 40mm$$

Długości efektywne, mechanizmy kołowe (1 szereg śrub poniżej rozciąganej ścianki pasa)

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 35,47 = 222,86mm$$

Długości efektywne, mechanizmy niekołowe (1 szereg śrub poniżej rozciąganej ścianki pasa)

$$m_2 = d_2 + e_2 - d_1 - t_d - 0,8 \cdot a_2 \cdot \sqrt{2} = 140 + 40 - 80 - 20 - 0,8 \cdot 8 \cdot \sqrt{2} = 70,95mm$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{35,47}{35,47 + 40} = 0,47$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{70,95}{35,47 + 40} = 0,94 \rightarrow \alpha = 5,35$$

$$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 5,35 \cdot 70,95 = 379,58mm$$

Model zniszczenia 1

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = 222,86mm$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 222,86 \cdot 20^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 7911 \cdot 10^3 Nmm$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 7911 \cdot 10^3}{35,47} = 892134N = 892,13kN$$

Model zniszczenia 2

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 379,58mm$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 379,58 \cdot 20^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 13475 \cdot 10^3 Nmm$$

$$n = e_{\min} = 40mm$$

lecz  $n \leq 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 35,47 = 44,34mm$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 13475 \cdot 10^3 + 40 \cdot 2 \cdot 254160}{35,47 + 40} = 626511N = 626,51kN$$

### Model zniszczenia 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254160N = 508320N = 508,32kN$$

Nośność blachy czołowej

$$F_{t2,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(892,13; 626,51; 508,32) = 508,32kN$$

### Ścianka rury w strefie rozciągania

$$b_{eff,t,wd} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = 222,86mm$$

$$F_{t2,wd,Rd} = \frac{b_{eff,t,wd} \cdot t_d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{222,86 \cdot 20 \cdot 355}{1,0} = 1582306N = 1582,31kN$$

Nośność 2 szeregu śrub

$$F_{t2,Rd} = \min(F_{t2,ep,Rd}; F_{t2,wd,Rd}) = \min(508,32; 1582,31) = 508,32kN$$

9.9.3.5. Śrubowe połączenie doczołowe – szereg śrub nr 3

Nośność 3 szeregu śrub jest taka sama jak nośność szeregu 2.

$$F_{t3,Rd} = F_{t2,Rd} = 508,32kN$$

9.9.3.6. Nośność szeregów 2 i 3 rozważanych jako grupa szeregów

### Blacha czołowa w strefie rozciągania

$$m = 35,47mm$$

$$e = e_{\min} = e_1 = 40mm$$

Szereg śrub nr 2

Długości efektywne, mechanizmy kołowe (1 szereg śrub poniżej rozciągniętej ścianki pasa)

$$l_{eff,cp} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 35,47 + 200 = 311,43mm$$

Długości efektywne, mechanizmy niekołowe (1 szereg śrub poniżej rozciągniętej ścianki pasa)

$$l_{eff,nc} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e) = 0,5 \cdot 200 + 5,35 \cdot 35,47 - (2 \cdot 35,47 + 0,625 \cdot 40) = 193,82mm$$

Szereg śrub nr 3 jest symetryczny względem szeregu 2

$$l_{eff,cp} = 311,43mm$$

$$l_{eff,nc} = 193,82mm$$

$$\sum l_{eff,cp} = 2 \cdot 311,43 = 622,86mm$$

$$\sum l_{eff,nc} = 2 \cdot 193,82 = 387,64mm$$

### Model zniszczenia 1

$$\sum l_{eff,1} = \min(\sum l_{eff,cp}; \sum l_{eff,nc}) = 387,64mm$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 387,64 \cdot 20^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 13761 \cdot 10^3 Nmm$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 13761 \cdot 10^3}{35,47} = 1552 \cdot 10^3 N = 1552kN$$

### Model zniszczenia 2

$$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc} = 387,64mm$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 387,64 \cdot 20^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 13761 \cdot 10^3 Nmm$$

$$n = e_{min} = 40mm$$

$$\text{lecz } n > 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 347 = 44,34mm$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 13761 \cdot 10^3 + 40 \cdot 4 \cdot 254160}{35,47 + 40} = 903506N = 903,51kN$$

### Model zniszczenia 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 4 \cdot 254160N = 1016640N = 1016,64kN$$

Nośność blachy czołowej

$$F_{t(2+3),ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(1552,903,51;1016,64) = 903,51kN$$

Ścianka rury w strefie rozciągania

$$b_{eff,t,wd} = \min\left(\sum l_{eff,cp}; \sum l_{eff,nc}\right) = 387,64mm$$

$$F_{t(2+3),wd,Rd} = \frac{b_{eff,t,wd} \cdot t_{wd} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{387,64 \cdot 20 \cdot 355}{1,0} = 2752 \cdot 10^3 N = 2752kN$$

Nośność 2 i 3 szeregów śrub

$$F_{t(2+3),Rd} = \min(F_{t(2+3),ep,Rd}; F_{t(2+3),wd,Rd}) = \min(903,51;2752) = 903,51kN$$

$$F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} = 2 \cdot 508,32kN = 1016,64kN > F_{t(2+3),Rd} = 903,51kN$$

więc nośność szeregów 2 i 3 zredukowano do wartości:

$$F_{t2,Rd} = F_{t3,Rd} = \frac{F_{t(2+3),Rd}}{2} = \frac{903,51kN}{2} = 451,76kN$$

9.9.3.7. Śrubowe połączenie doczołowe – szereg śrub nr 4

Nośność 4 szeregu śrub jest taka sama jak nośność szeregu 1.

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} = 411,79kN$$

Nośność połączenia śrubowego doczołowego na rozciąganie

$$F_{j,Rd} = \sum F_{ti,Rd} = 2 \cdot 411,79 + 2 \cdot 451,76 = 1727kN > N_{Ed} = 306,05kN$$

$$M_{j,Rd} = \sum (h \cdot F_{ti,Rd}) = 2 \cdot 411,79kN \cdot 0,24m + 2 \cdot 451,76kN \cdot 0,1m = 288,01kNm > M_{Ed} = 36,55kN$$

Warunek jest spełniony.

## 10. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI BLACHY PROFILOWANEJ JAKO STĘŻENIA POŁĄCZOWEGO POPRZECZNEGO

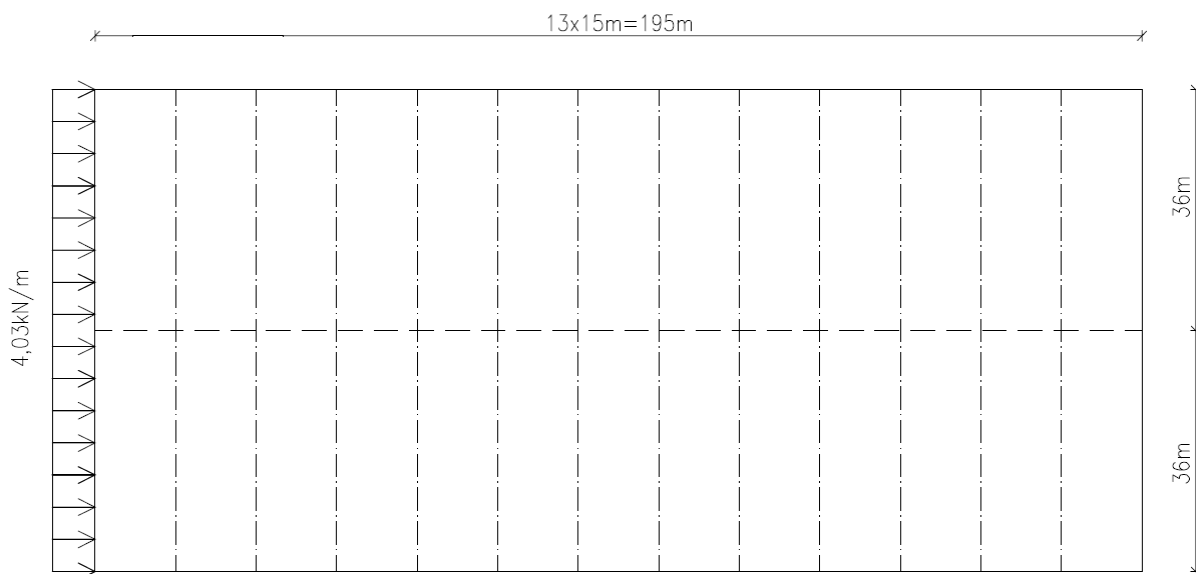
### 10.1. Dane ogólne

Przyjęto arkusze blach o długości obliczeniowej 15m. Do połączeń głównych z pasami dźwigarów zastosowano kołki wstrzeliwane o średnicy 3,7mm w każdej dolinie fałdy, do połączeń pośrednich wkręty samogwintujące 5,5mm co 500mm, a do połączeń uszczelniających między arkuszami – wkręty samogwintujące o średnicy 4,1mm, również co 500mm.

### 10.2. Obciążenie przepony

Maksymalna siła ściskająca w pasie kratownicy wynosi  $N_{Ed} = 1022,03kN$ .

Obciążenie tężnika od parcia wiatru na ścianę szczytową pokazano na rys. 53.



Rys. 53. Obciążenie wiatrem stężenia poprzecznego.

W PN-EN 1993-1-1 zaleca się w analizie stężeń uwzględniać imperfekcje np. w postaci imperfekcji geometrycznej stężanych pasów górnych dźwigarów kratowych. Przyjęto, że skrajna przepona przejmuje całe parcie wiatru i stabilizuje w całości wiązar skrajny oraz w połowie wiązar przedskrajny, stąd liczba elementów stężanych  $m = 1,5$ . Zatem:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{1,5}\right)} = 0,91$$

Strzałka wstępnej imperfekcji łukowej z płaszczyzny dźwigara:

$L = 36m$  - rozpiętość 1 „łezki” dźwigara

$$e_0 = \frac{\alpha_m \cdot L}{500} = \frac{0,91 \cdot 36 \cdot 10^3}{500} = 66mm$$

Obciążenie ciągłe tężnika równoważne imperfekcji wiązarów przy pominięciu ugięcia stężenia od oddziaływania  $\delta_q$  jako wartości w tym wypadku małej:

$$q_d = N_{Ed} \cdot 8 \cdot \frac{e_0}{L^2} = 1022,03 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot \frac{66}{(36 \cdot 10^3)^2} = 0,42 \frac{kN}{m}$$

Siła ścinająca przeponę:

- od imperfekcji przypadające na jeden dźwigar:

$$V_d = \frac{q_d \cdot L}{2} = \frac{0,42 \cdot 36}{2} = 7,56kN$$

- od parcia wiatru na skrajną przeponę:

$$V_{wp} = 4,03 \cdot 36 = 145,08kN$$

Łączna siła ścinająca w skrajnej przeponie:

$$V = V_d + V_{wp} = 7,56kN + 145,08 = 152,64kN$$

### **10.3. Sprawdzenie nośności przepony**

#### **10.3.1. Geometria i dane materiałowe**

Rozpiętość wiązara  $a_p = L = 36m$

Długość obliczeniowa arkusza blachy  $b_p = 15m$

Szerokość szerszego pasa fałdy  $l = 107mm$

Podział fałd  $p_f = 244mm$

Podział łączników głównych  $p = p_f = 244mm$

Długość rozwinięcia 1 fałdy  $u = 258mm$

Moment bezwładności blachy  $J_{ef}^+ = 257,2cm^4 / m$

Moment bezwładności 1 fałdy względem osi obojętnej  $J = \frac{257,2 \cdot 10^4}{3} \cdot \frac{978}{1000} = 838472mm^4$

Liczba łączników w połączeniu uszczelniającym  $n_s = \frac{15000}{500} - 1 = 29$

Liczba łączników pośrednich na końcowym odcinku elementu brzegowego  $n_{sc} = \frac{15000}{500} = 30$

Grubość blachy  $t = 1,5mm$

Średnica łącznika uszczelniającego  $d = 4,8mm$

Wytrzymałość doraźna blachy  $R_m = 400MPa$

Granica plastyczności blachy  $f_y = 320MPa$

Wytrzymałość obliczeniowa blachy  $f_d = 290MPa$

Liczba Poissona  $\nu = 0,3$

Współczynniki korekcyjne:  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1,0$

### 10.3.2. Obliczenia

Nośność łącznika uszczelniającego:

$$F_s = 2,9 \cdot \sqrt{\frac{t}{d}} \cdot R_m \cdot d \cdot t = 2,9 \cdot \sqrt{\frac{1,5}{4,1}} \cdot 400 \cdot 4,1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 4,32kN$$

Nośność łącznika głównego:

$$F_p = 2,9 \cdot R_m \cdot d \cdot t = 2,9 \cdot 400 \cdot 3,7 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 6,44kN$$

Nośność łącznika pośredniego:

$$F_{sc} = 1,9 \cdot R_m \cdot d \cdot t = 1,9 \cdot 400 \cdot 5,5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 6,27kN$$

Nośność połączeń uszczelniających:

$$V_s = \frac{a_p}{b_p} \cdot \left[ n_s \cdot F_s + \left( \frac{\beta_1}{\beta_3} \right) \cdot F_p \right] = \frac{36 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} \cdot \left[ 29 \cdot 4,32 + \left( \frac{1,0}{1,0} \right) \cdot 6,44 \right] = 316,13kN$$

Nośność połączeń pośrednich:

$$V_{sc} = \frac{a_p}{b_p} \cdot n_{sc} \cdot F_{sc} = \frac{36 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} \cdot 30 \cdot 6,27 = 451,44 \text{ kN}$$

Nośność połączenia głównego:

$$V_p = \frac{0,6 \cdot a_p \cdot F_p}{p} = \frac{0,6 \cdot 36 \cdot 10^3 \cdot 6,44}{244} = 566,56 \text{ kN} > V_R = \min(V_s; V_{sc}) = 316,13 \text{ kN}$$

Nośność końca blachy:

$$V_k = 0,9 \cdot t^{1,5} \frac{a_p \cdot f_d}{p_f^{0,5}} = 0,9 \cdot 1,5^{1,5} \frac{36 \cdot 10^3 \cdot 290}{244^{0,5}} \cdot 10^{-3} = 1105 \text{ kN} > V_R = 316,13 \text{ kN}$$

Więc końce blach są zabezpieczone przed przedwczesnym dużym zniekształceniem profilu fałd.

Obliczenie nośności z uwzględnieniem stateczności:

$$D_x = \frac{E \cdot t^3 \cdot p_f}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot u} = \frac{210000 \cdot 1,5^3 \cdot 244}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 258} = 61381 \text{ Nmm}^2 / \text{mm} = 61,38 \text{ kNmm}^2 / \text{mm}$$

$$D_y = \frac{E \cdot I}{p_f} = \frac{210000 \cdot 838472}{244} = 721636 \text{ kNmm}^2 / \text{mm}$$

$$V_g = \frac{28,8 \cdot a_p}{b_p^2} \cdot D_x^{\frac{1}{4}} \cdot D_y^{\frac{3}{4}} = \frac{28,8 \cdot 36000}{15000^2} \cdot 61,38^{\frac{1}{4}} \cdot 721636^{\frac{3}{4}} = 319,34 \text{ kN} > V_R = 316,13 \text{ kN}$$

$$\frac{l}{t} = \frac{107}{1,5} = 71,33 < 2,9 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_d}} = 2,9 \cdot \sqrt{\frac{210}{0,29}} = 78,0$$

Zatem siłę krytyczną całkowitej utraty stateczności przepony przy ścinaniu nie należy redukować ze względu na wpływ lokalnej utraty stateczności.

Warunek nośności:

$$V = 152,64 \text{ kN} < V_R = 316,13 \text{ kN}$$

Warunek jest spełniony.



## 11. BIBLIOGRAFIA

### Literatura:

- Praca zbiorowa pod kierunkiem dr. hab. inż. Mariana Giżejowskiego, prof. dr. hab. inż. Jerzego Ziółko, *Budownictwo ogólne tom 5. Stalowe konstrukcje budynków. Projektowanie według eurokodów z przykładami obliczeń.*  
Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2010
- A. Biegus, *Stalowe budynki halowe.*  
Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2004
- A. Biegus, *Połączenia śrubowe.*  
Wydawnictwo Naukowe PWN 2009
- Kielbasa Z., Kozłowski A., Kubiszyn W., Pisarek S., Reichhart A., Stankiewicz B., Ślęczka L., Wojnar A., *Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Część pierwsza. Wybrane elementy i połączenia.*  
Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.
- W. Bogucki, M. Żybertowicz, *Tablice do projektowania konstrukcji metalowych.*  
Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2006

### Normy:

- PN-EN 1990 Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcji
- PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne - Obciążenie śniegiem.
- PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.
- PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- PN-EN 1993-1-8:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych - Część 1-8: Projektowanie węzłów.

## **ZAŁĄCZNIK NR 1**

### **WYKAZ MIARODAJNYCH SIŁ PRZYJĘTYCH DO WYMIAROWANIA ELEMENTÓW**

### SŁUP SKRAJNY

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
4/ 822/ 31 (K)	-29,45	15,87	35,33	0,0	0,0	0,0
4/ 832/ 31 (K)	52,29	-99,22	-26,52	0,0	68,25	646,01

### SŁUP SZCZYTOWY

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
34/ 802/ 34 (K)	78,04	0,43	197,68	0,0	-1601,86	7,51
34/ 827/ 34 (K)	116,91	0,43	-12,28	0,0	0,0	0,0

### SŁUP ZEWNĘTRZNY

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
13/ 546/ 33 (K)	82,73	0,00	-82,37	0,0	0,0	0,0
13/ 604/ 33 (K)	194,29	0,00	141,29	0,0	456,61	-0,00

### SŁUP WSPORNIKOWY

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
52/ 826/ 30 (K)	55,18	6,41	2,49	0,0	-11,60	106,72
52/ 795/ 30 (K)	49,60	6,41	-1,10	0,0	0,0	0,0

### SŁUP WEWNĘTRZNY

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1117/ 152/ 21 (K)	1080,08	-0,00	3,48	0,0	0,0	0,0
1117/ 162/ 21 (K)	1100,95	0,00	-3,48	0,0	0,0	0,0

Uwaga: Miarodajne siły w punkcie 7,12m: FX (kN) = 1092,52, MY (kN) = 12,38

### PAS ŚCIANY SZCZYTOWEJ

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
73/ 7/ 21 (K)	-4,11	-6,67	-79,89	-1,91	38,33	25,64
73/ 8/ 21 (K)	-4,36	-6,67	-82,60	-1,91	-206,44	45,72

## PAS GÓRNY DŹWIGARA GŁÓWNEGO

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
178/ 124/ 21 (K)	755,76	0,00	-63,97	-0,00	-183,11	-0,00
178/ 123/ 21 (K)	755,83	0,00	-67,73	-0,00	-380,70	-0,00

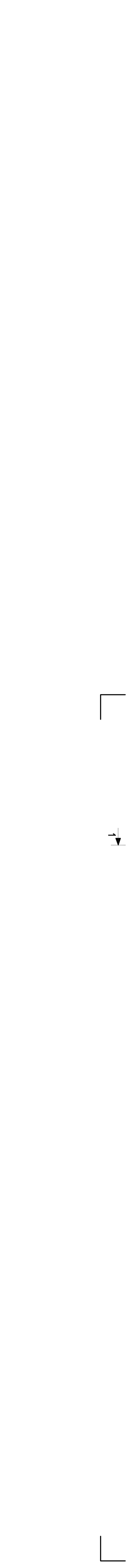
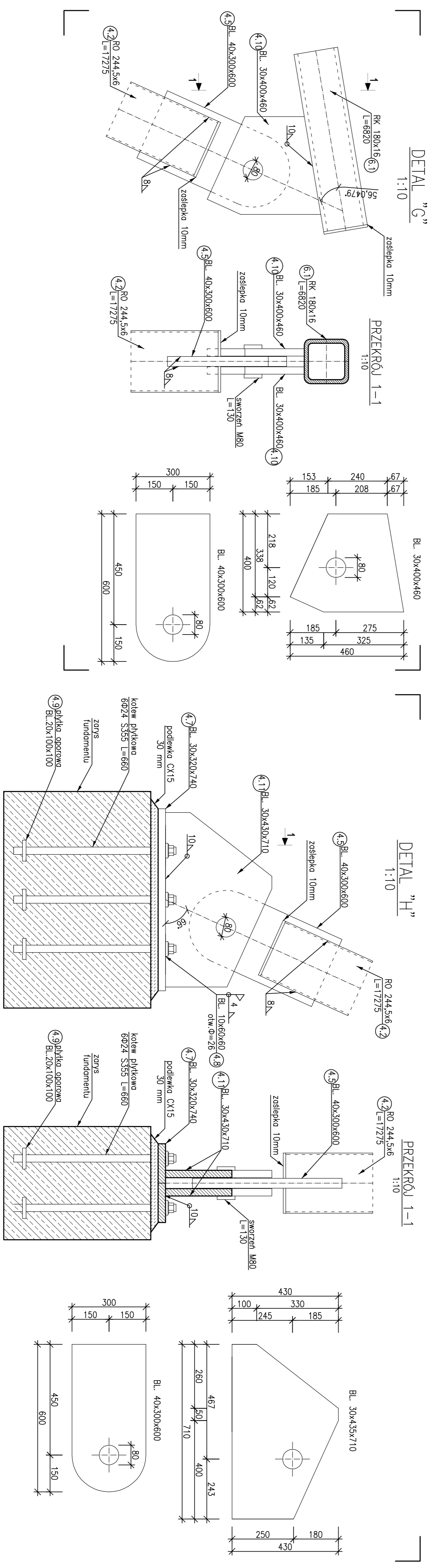
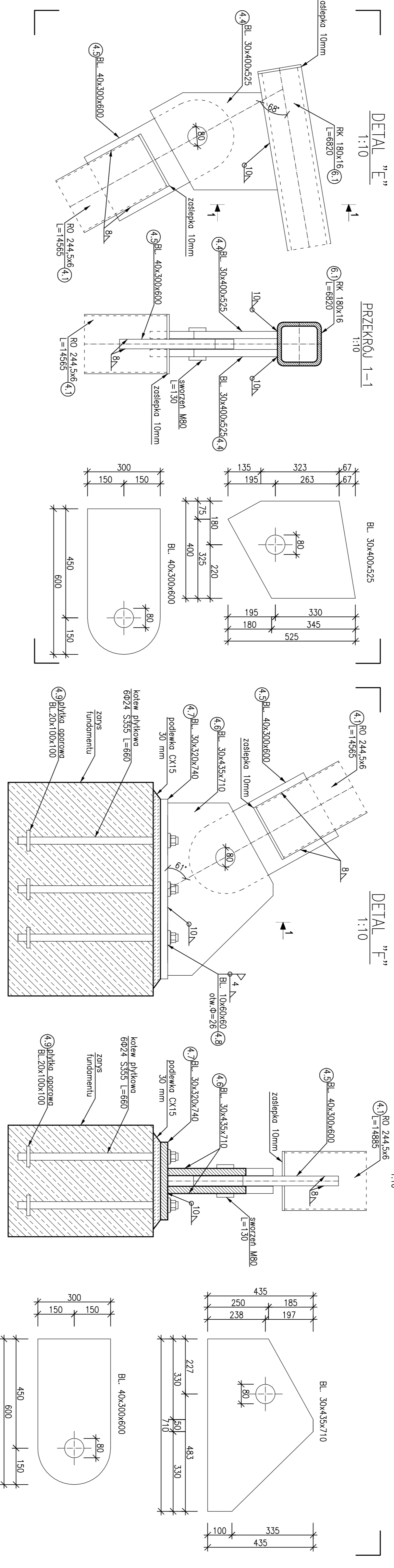
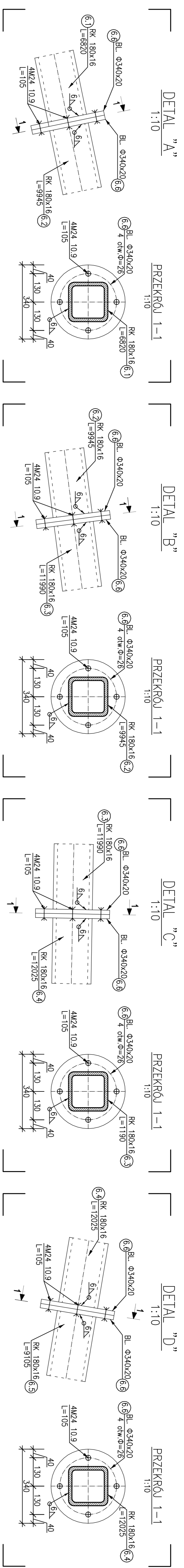
## PAS DOLNY DŹWIGARA GŁÓWNEGO

Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
538/ 153/ 21 (K)	-624,16	0,00	302,39	0,00	604,29	-0,00
538/ 152/ 21 (K)	-624,31	0,00	310,34	0,00	1523,54	-0,00

## SŁUPKI

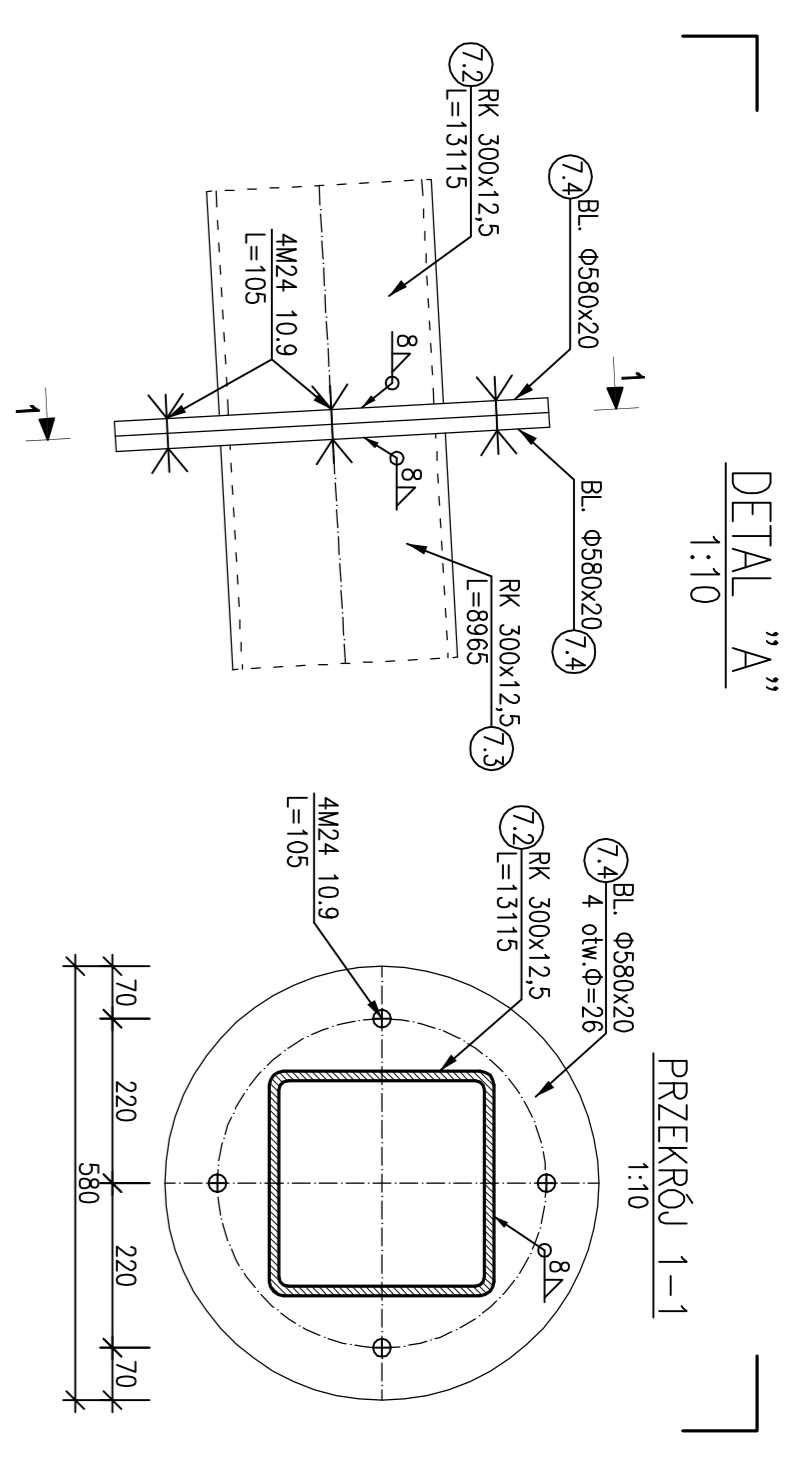
Pręt/Węzeł/Przypadek	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1039/ 564/ 21 (K)	239,34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1039/ 593/ 21 (K)	240,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



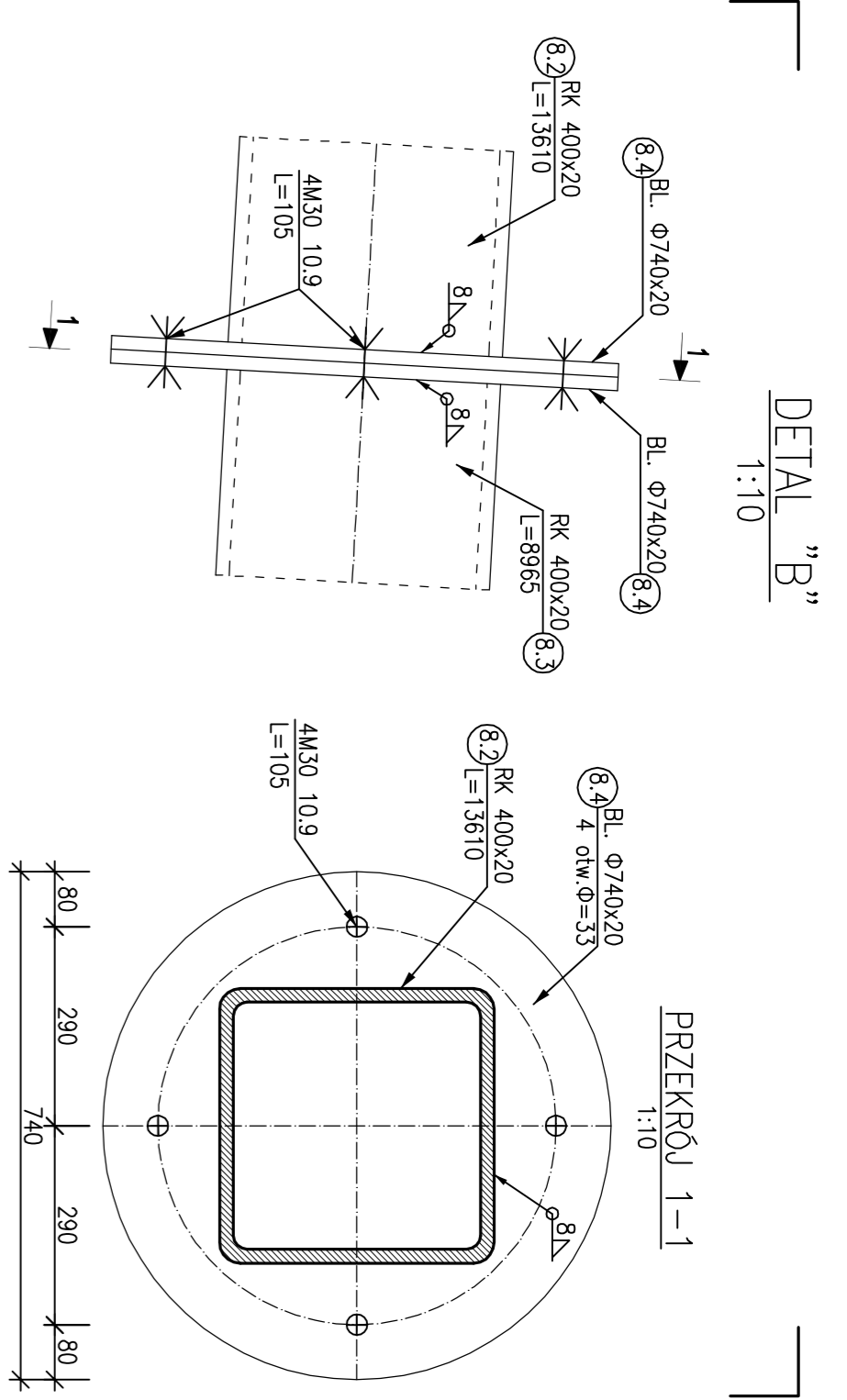


UWAGI  
STAL: S355J2+N  
S355J2H

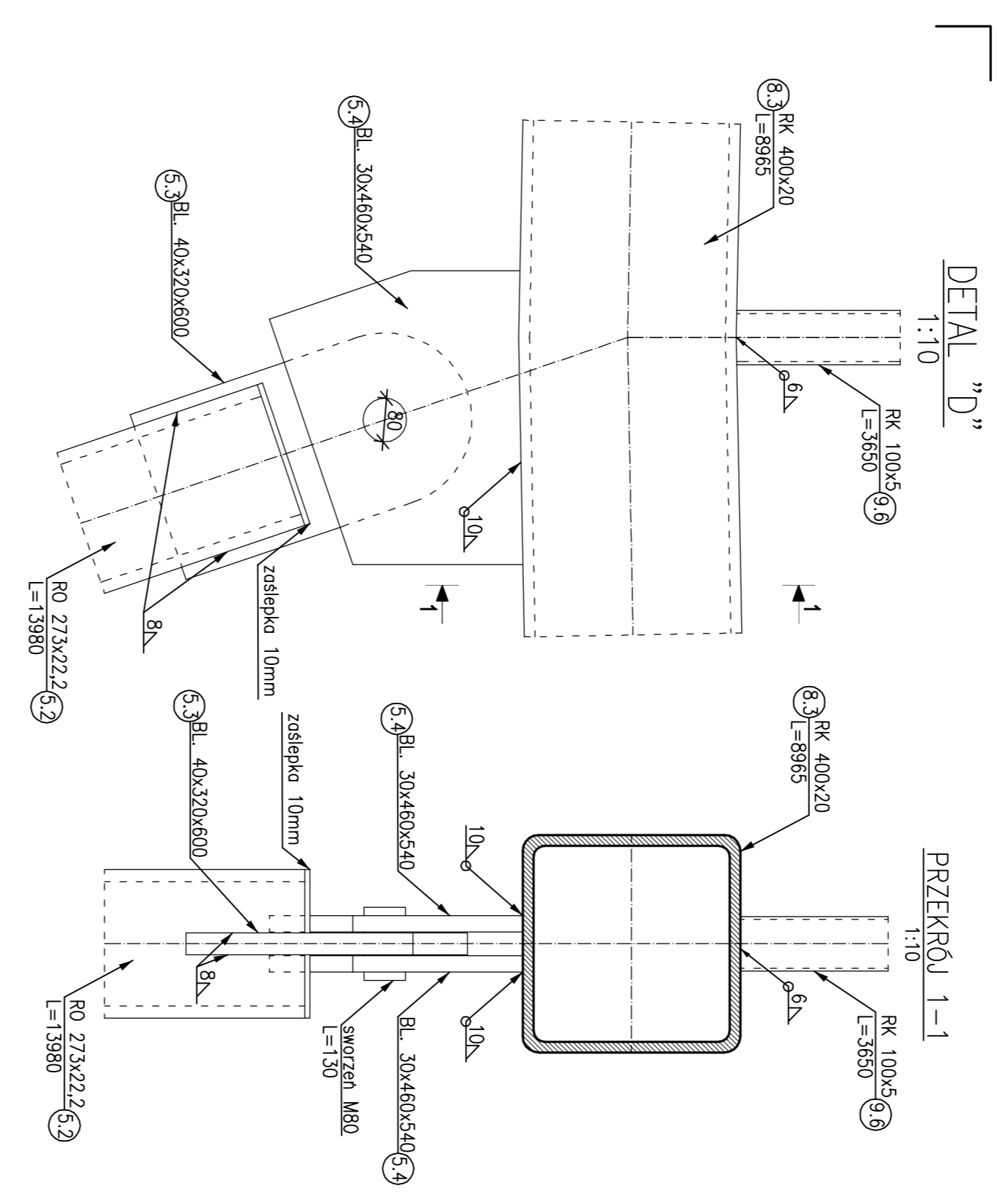
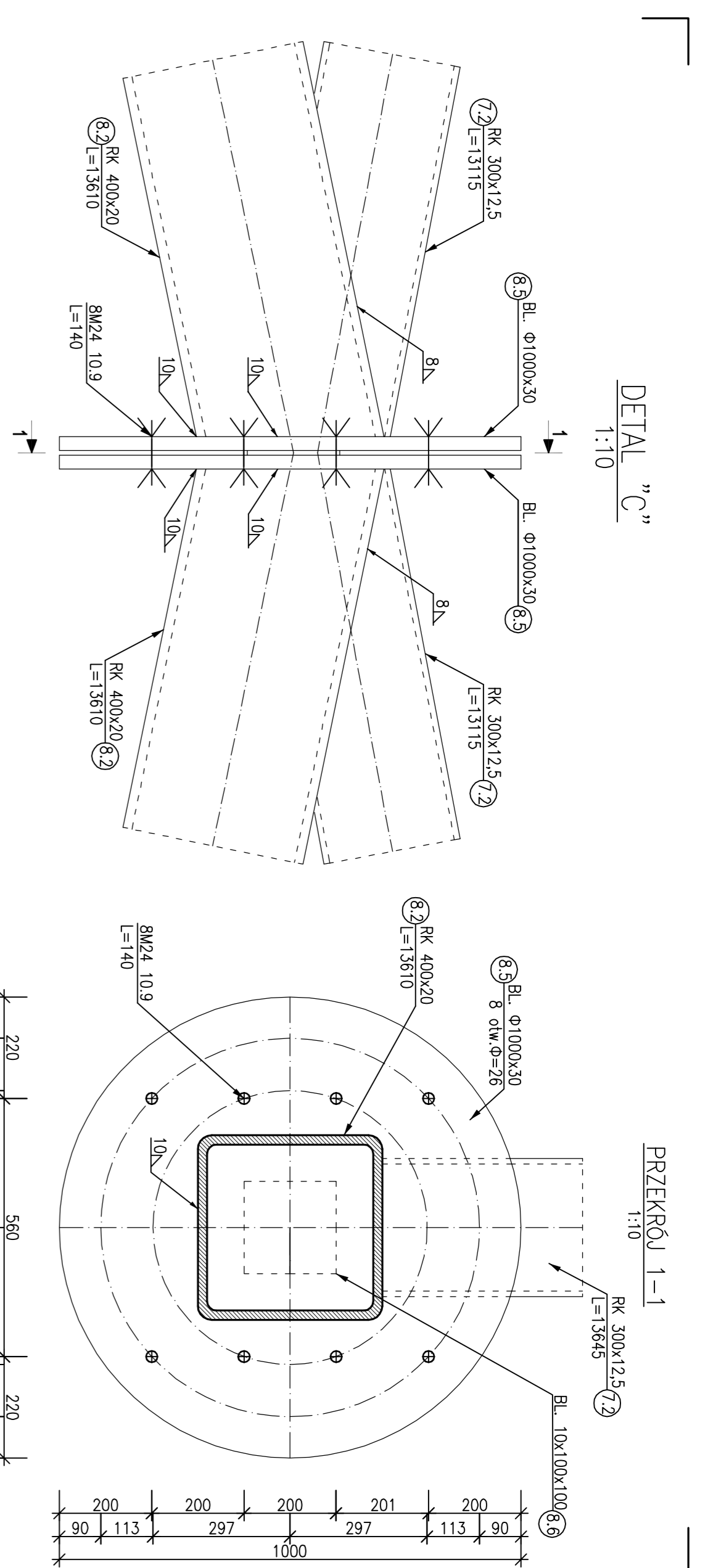
POLITECHNIKA WARSZAWSKA WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ INSTYTUT INŻYNIERII BUDOWLANEJ ZESPÓŁ KONSTRUKCJI METALOWYCH		PRACA DYPLOMOWA	
PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ PRZEKRYCIA TERMINALU PORTU LOTNICZEGO	PROJEKTANT doc. dr inż. JERZY DZIWIŃSKI	NUMER NR PIS	5
Tytuł rysunku: DETAL DZIWIŃCZEGO SZCZYTOWEGO	RYSUJE KONSTRUKCJA	DATA 11.2014	
PROJEKTOWA inż. JOANNA STEPA	SKALA 1:10		



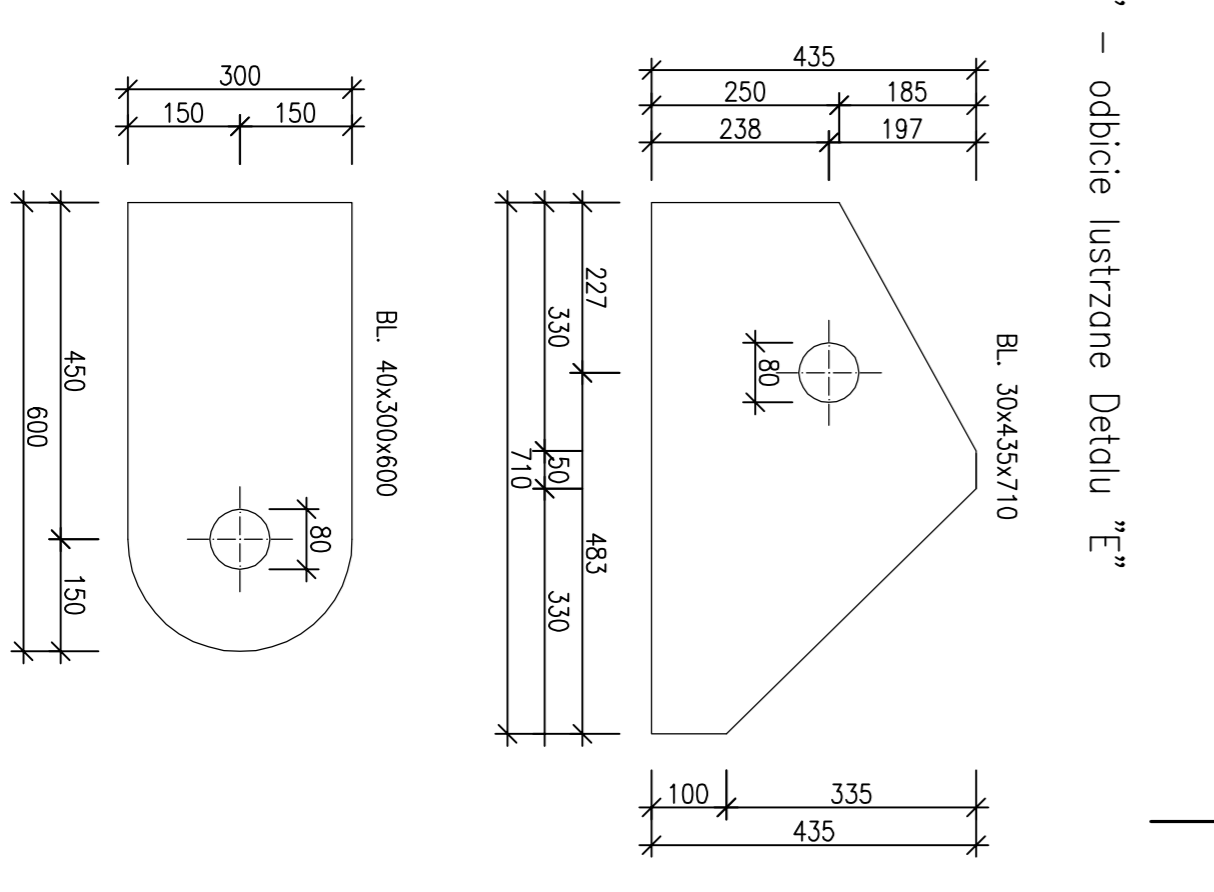
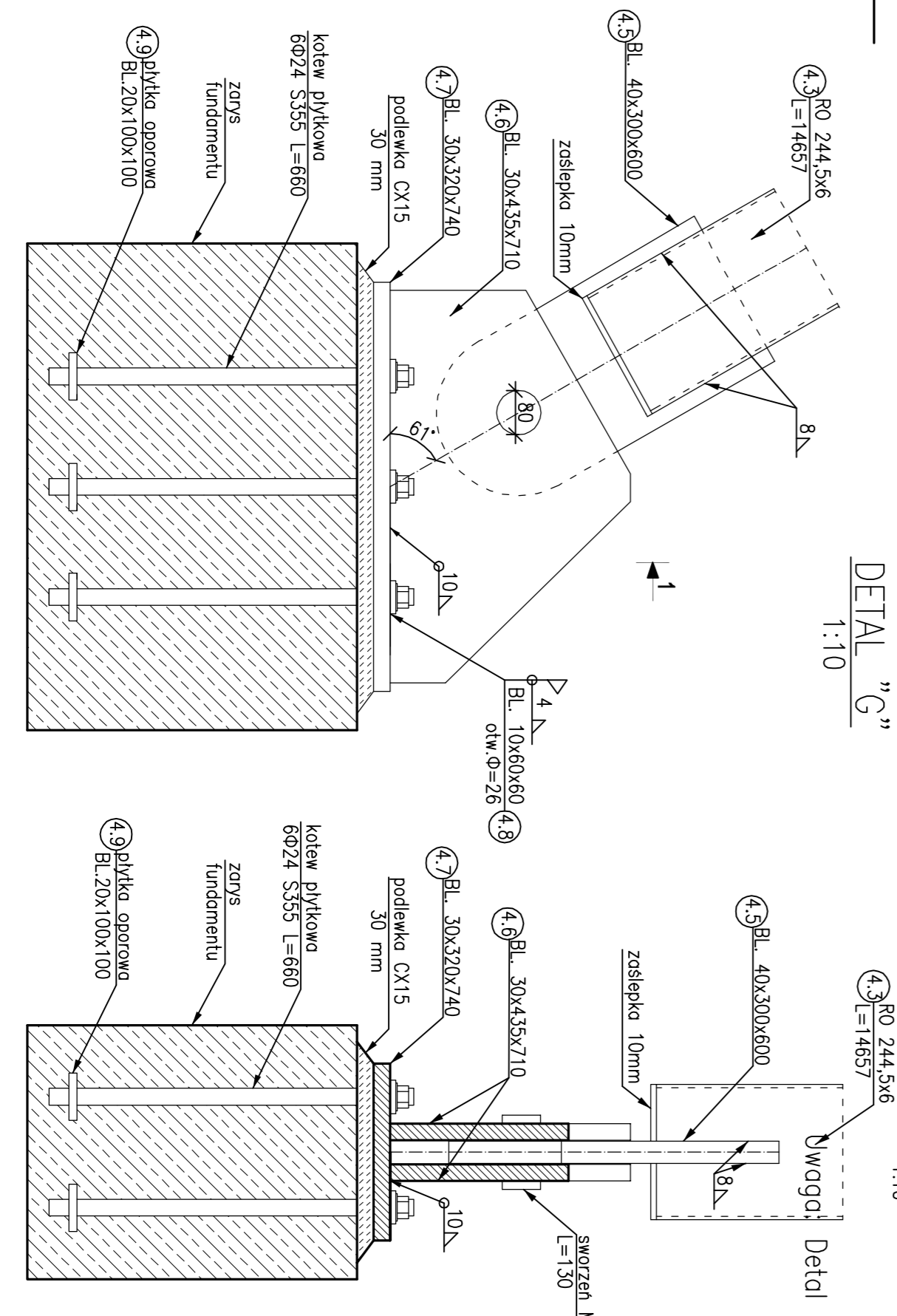
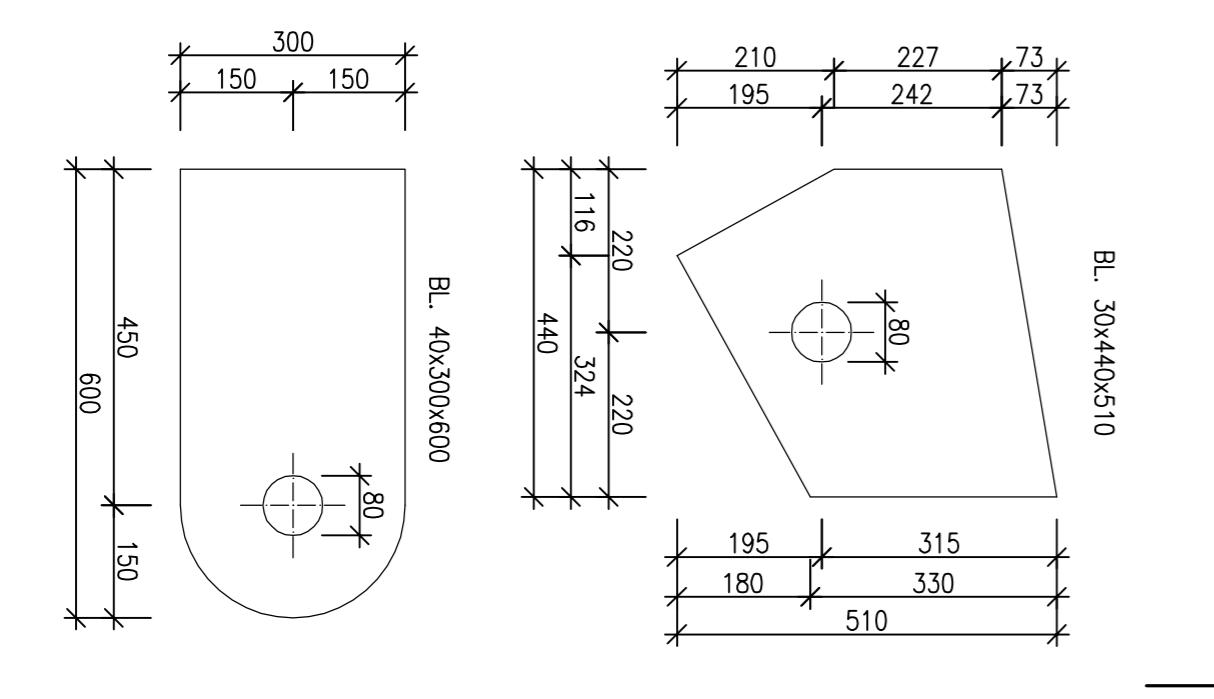
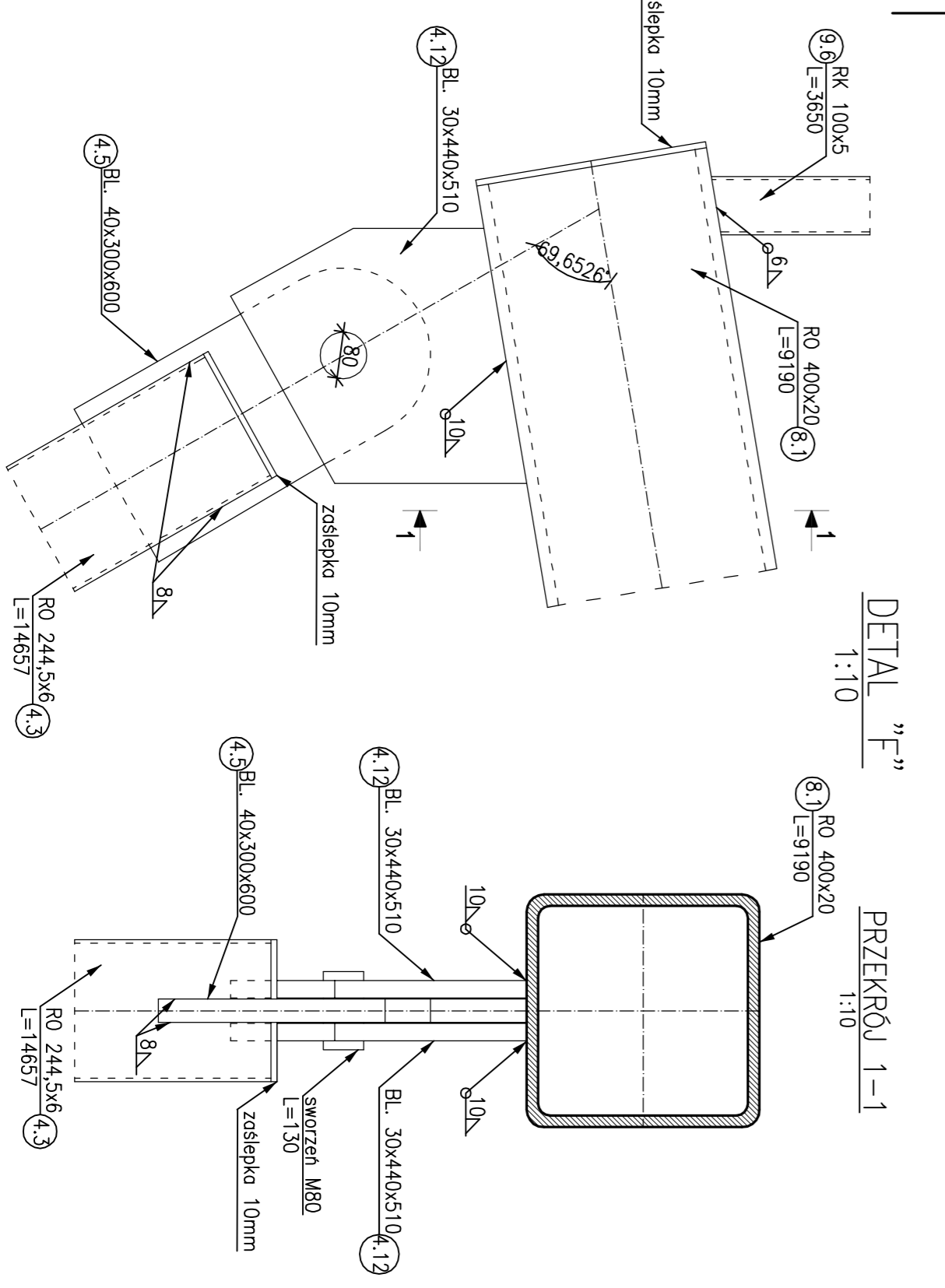
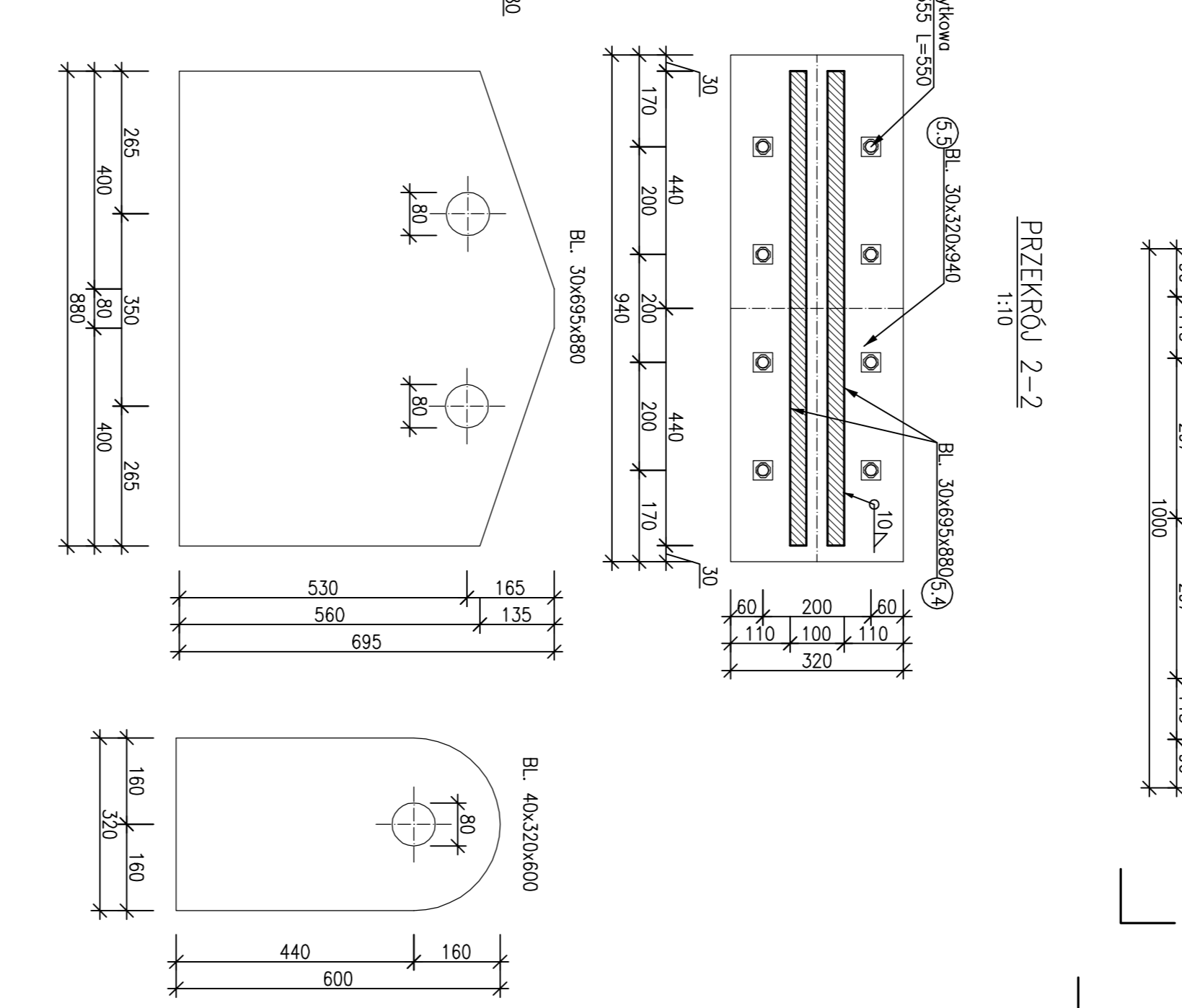
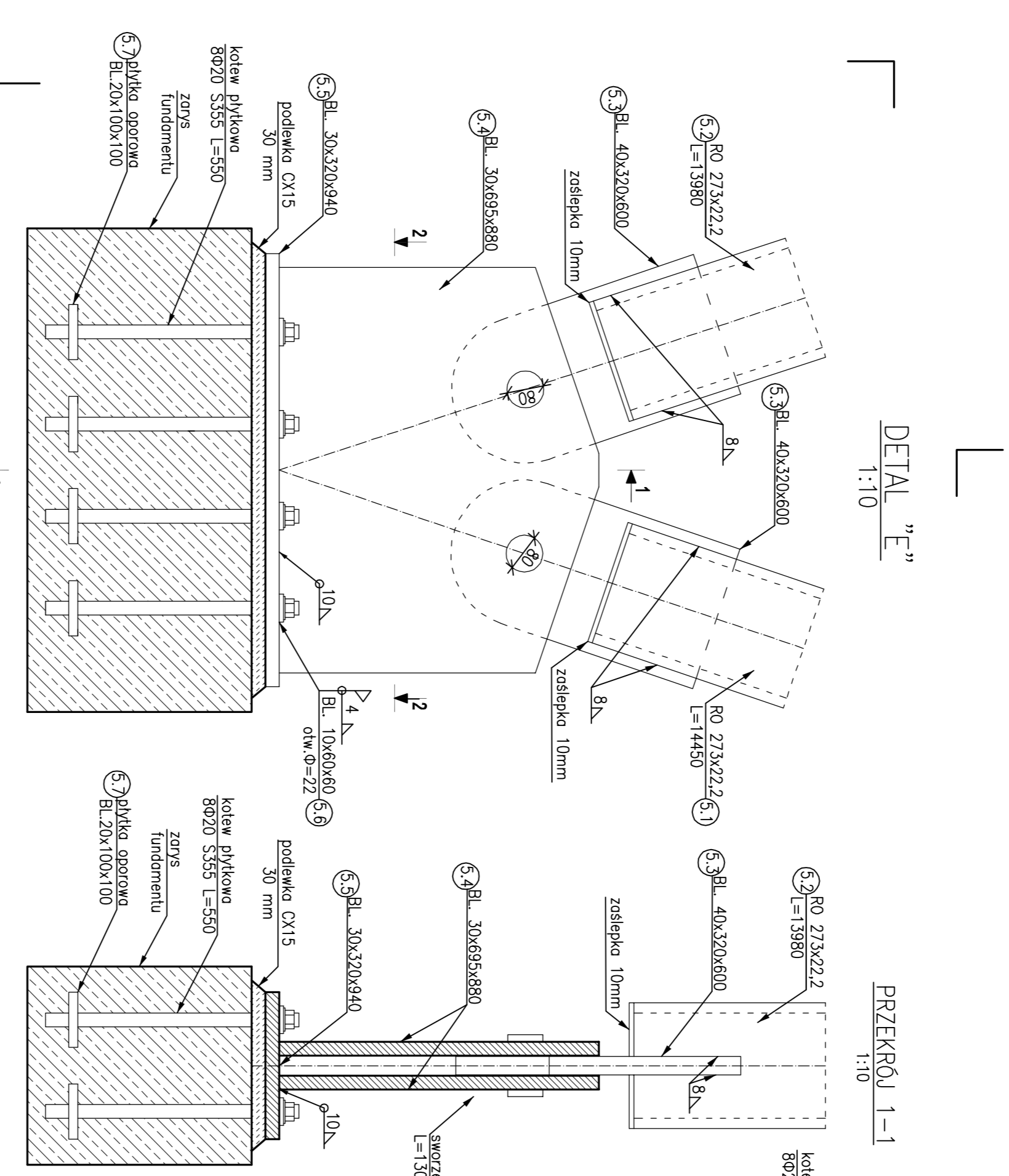
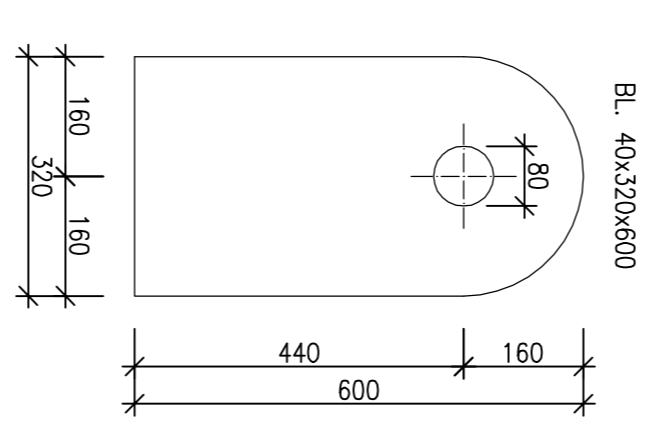
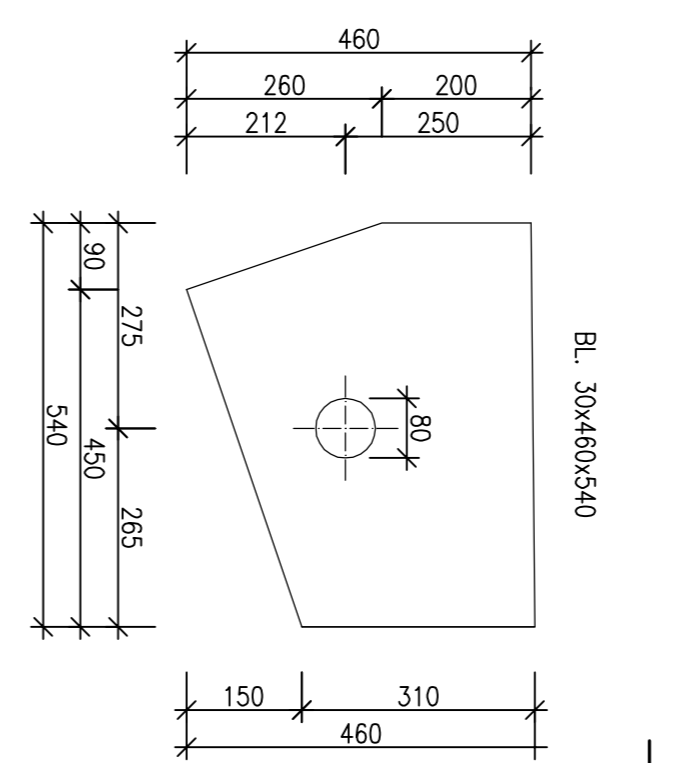
Uwaga: Detal "Ax" - odbicie lustrzane Detalu "A"



Uwaga: Detal "Bx" - odbicie lustrzane Detalu "B"



Uwaga: Detal "Dx" - odbicie lustrzane Detalu "D"

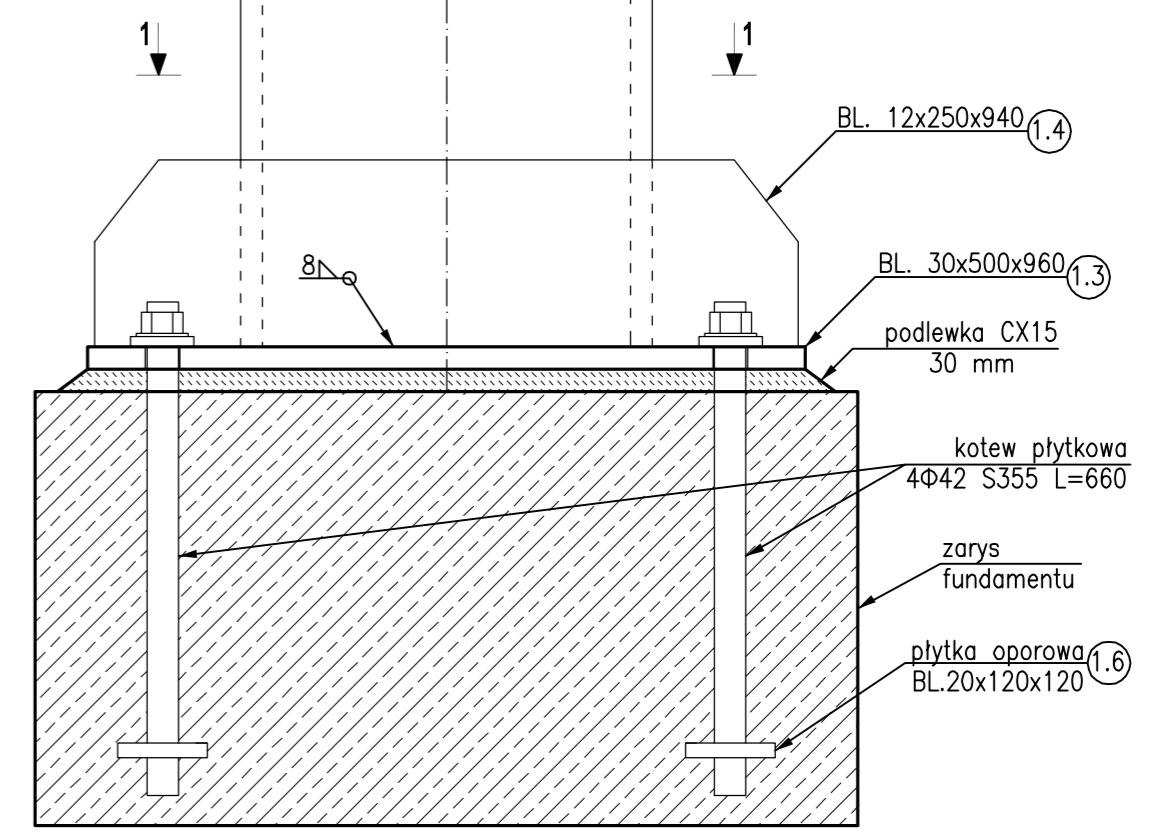
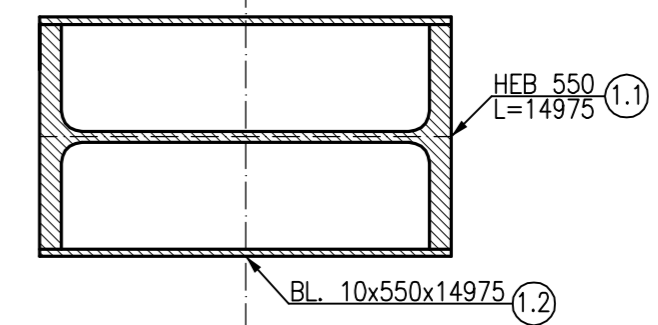
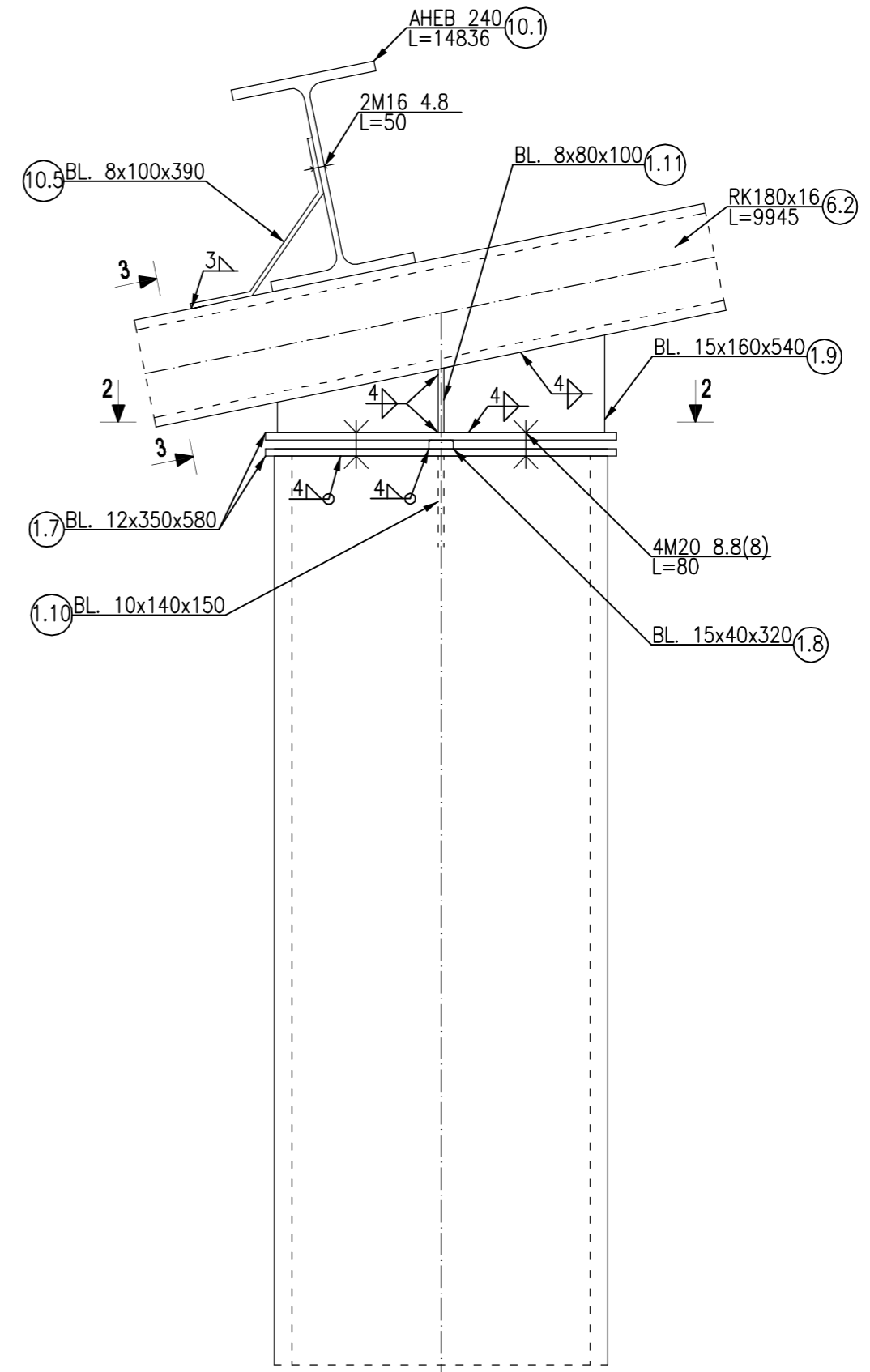
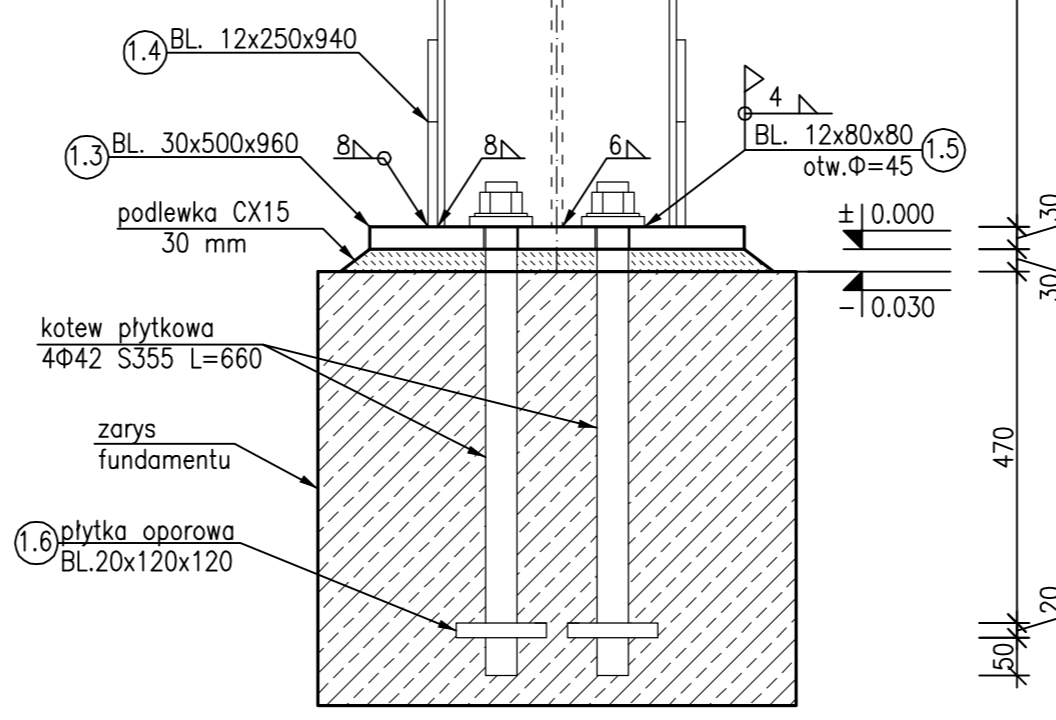
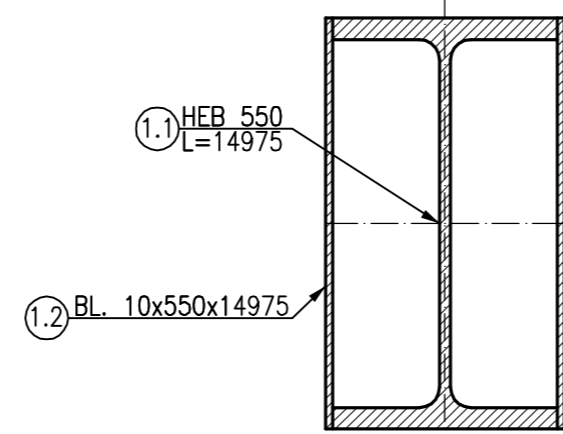
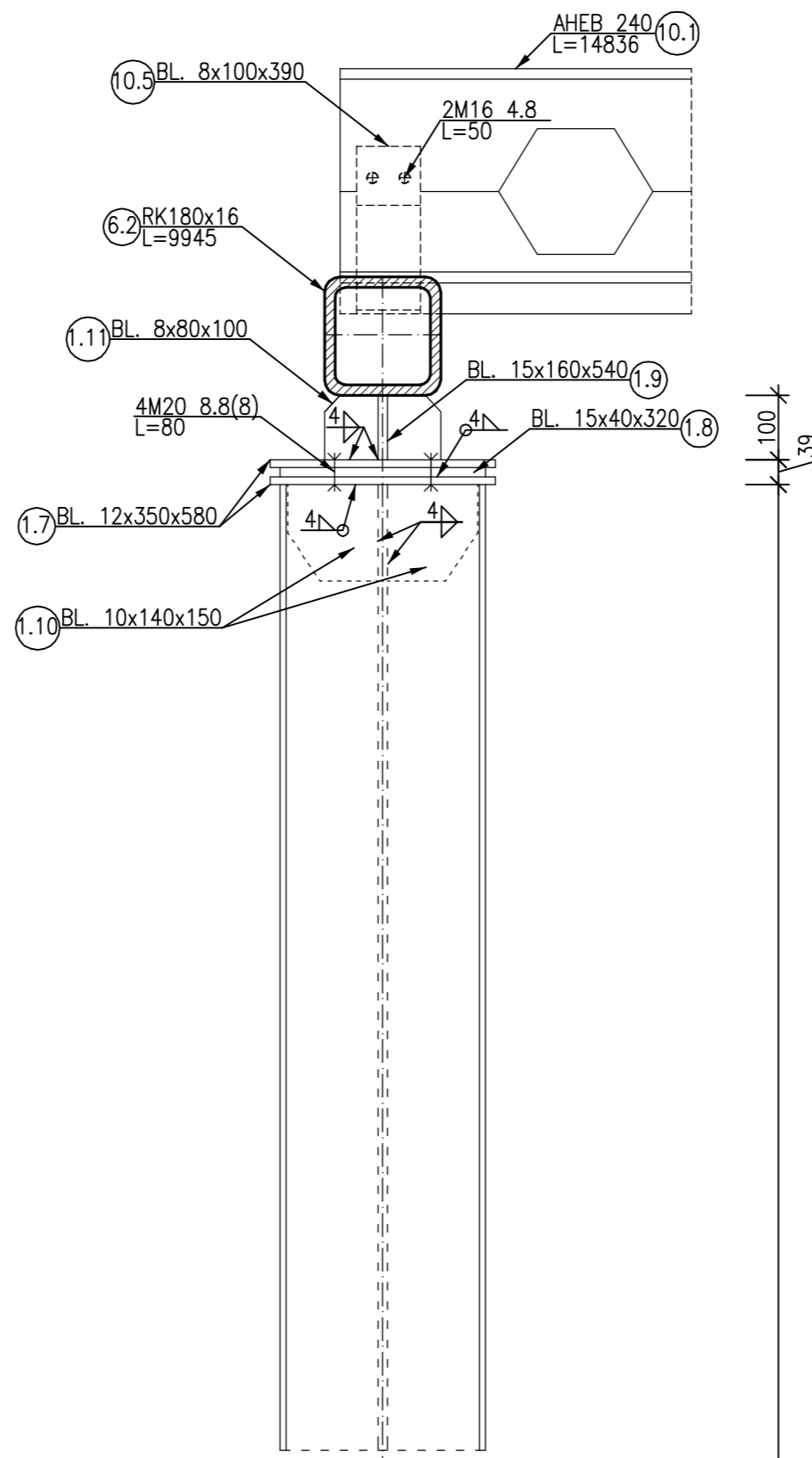
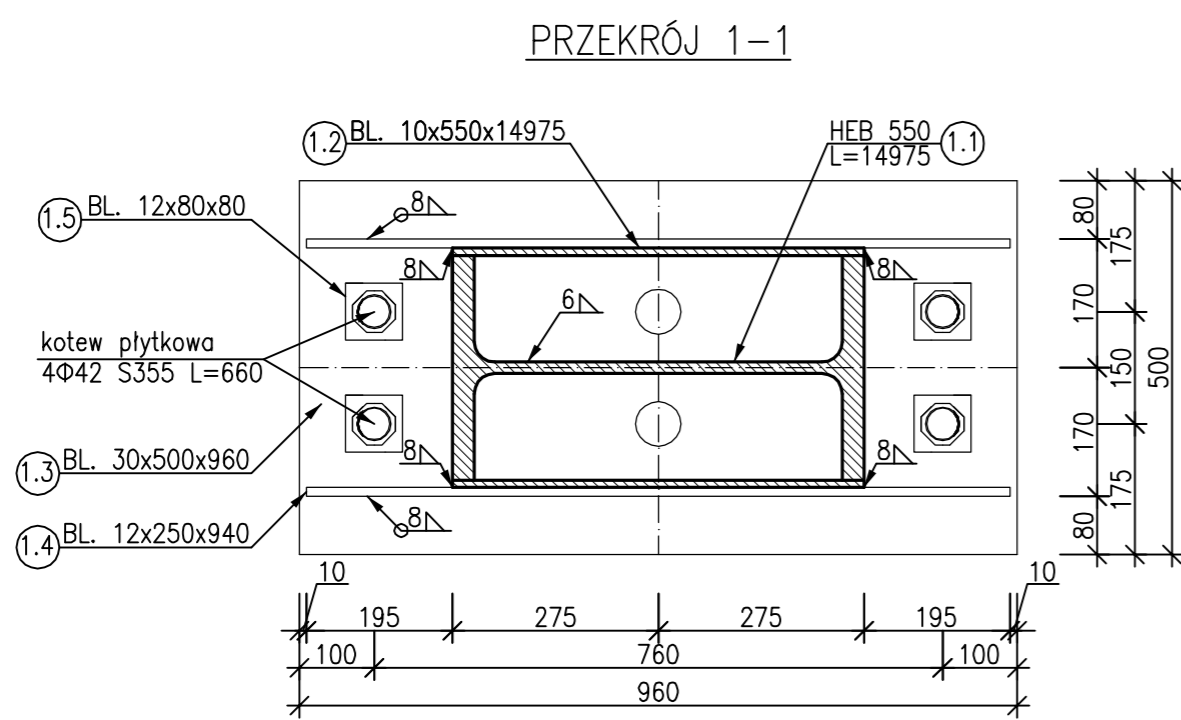
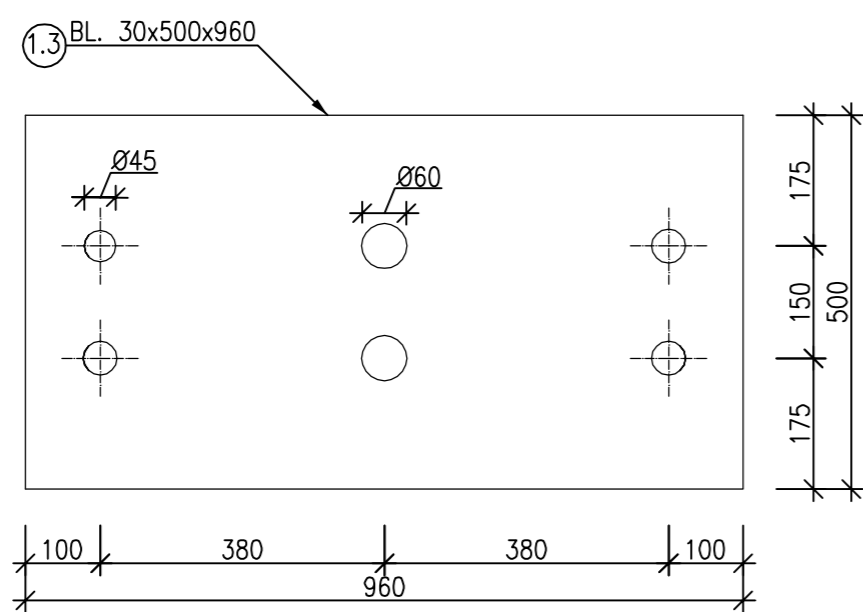
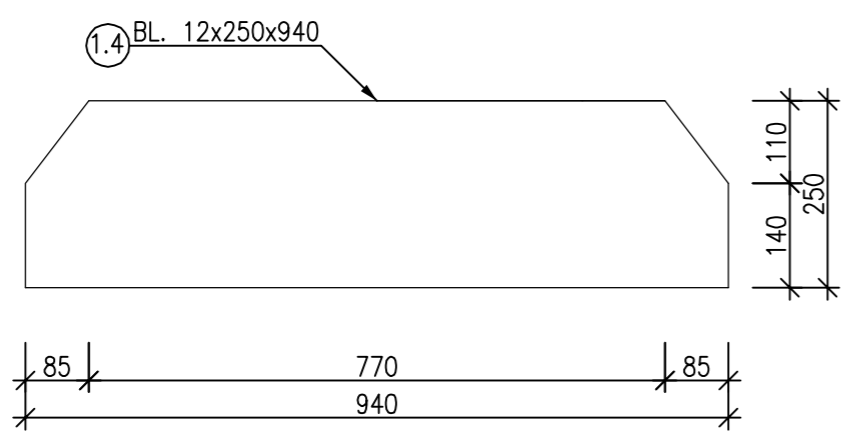
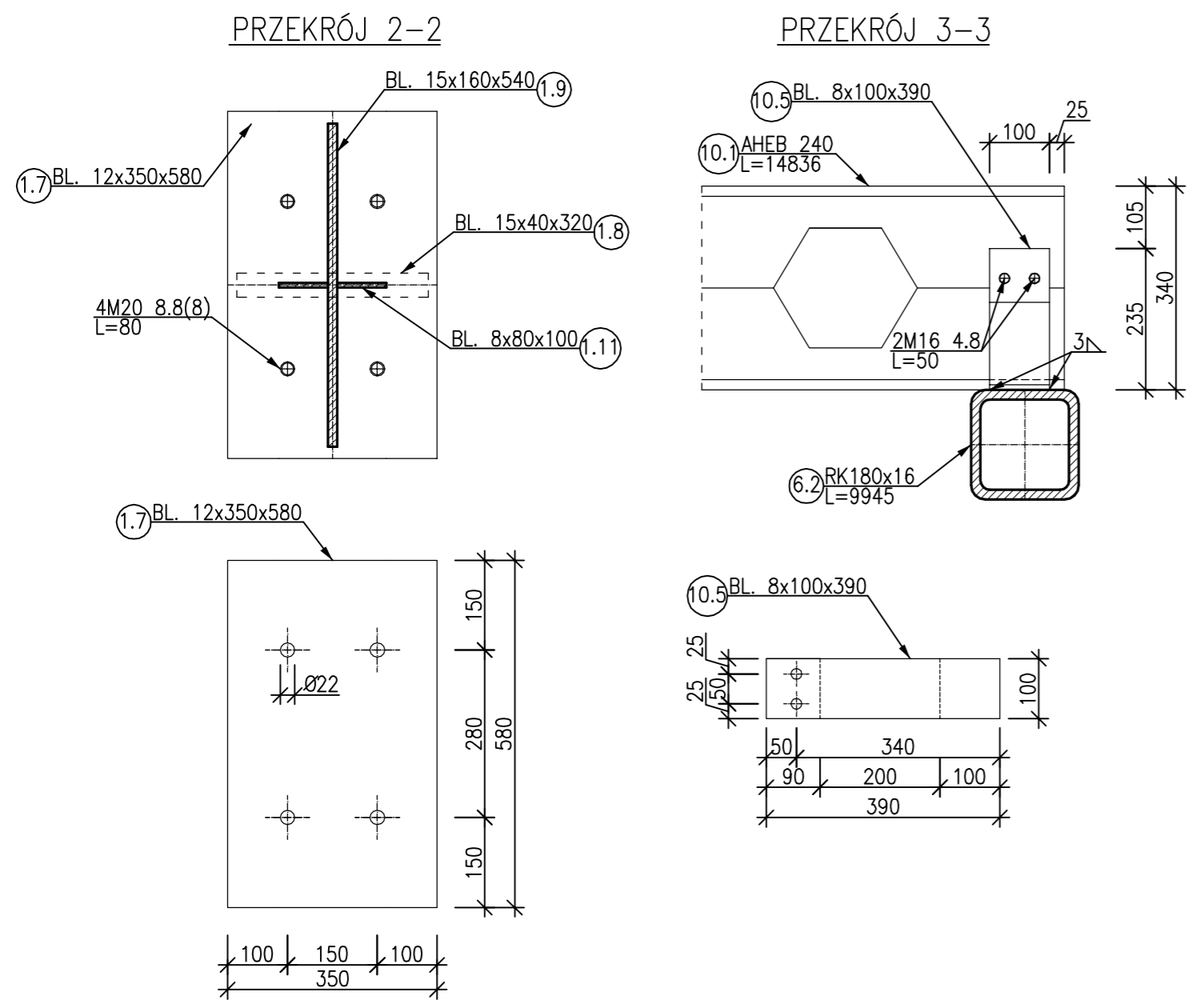


Uwaga: Detal "Fx" - odbicie lustrzane Detalu "F"

Uwaga: Detal "Gx" - odbicie lustrzane Detalu "G"

POLITECHNIKA WARSZAWSKA	
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ	
INSTYTUT INŻYNIERII BUDOWLANEJ	
ZESPÓŁ KONSTRUKCJI METALOWYCH	
PRACA DYPLOMOWA	
PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ PRZEKRYCIA	PROJEKTOR:
TERMINALU PORTU LOTNICZEGO	doc. dr inż. JERZY DZIWKOWSKI
Tytuł rysunku:	BRAMA
DETAL DZIWIŁGARA GŁÓWNEGO	KONSTRUKCJA
PROJEKCYJNA	SKALA
inż. JOANNA STEPA	1:10
	NR RYS.
	7

SŁUP SKRAJNY



UWAGI  
STAL: S355J2+N  
S355J2H

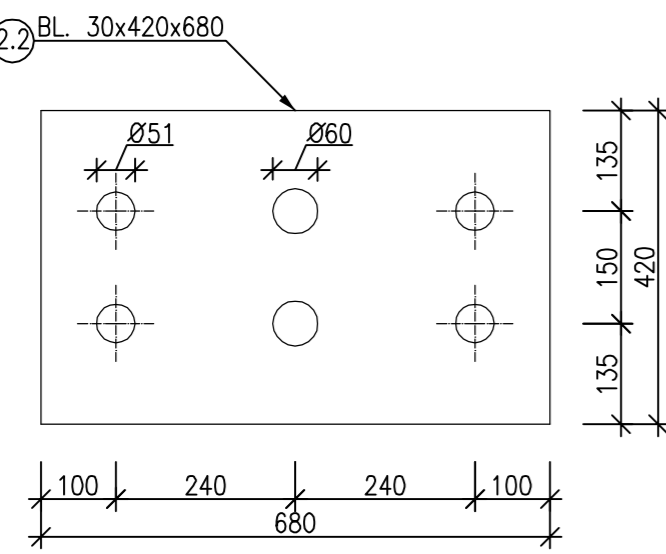
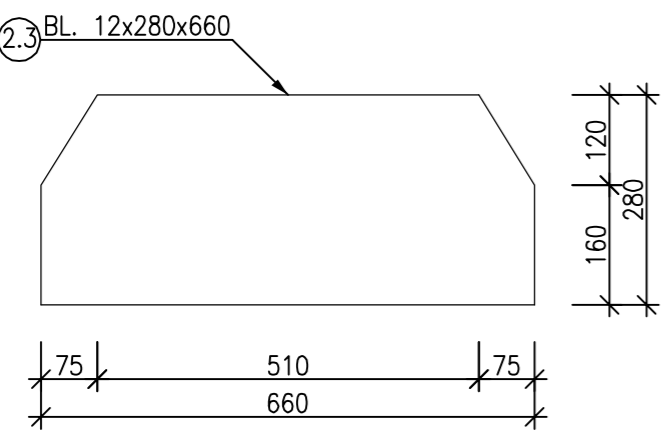
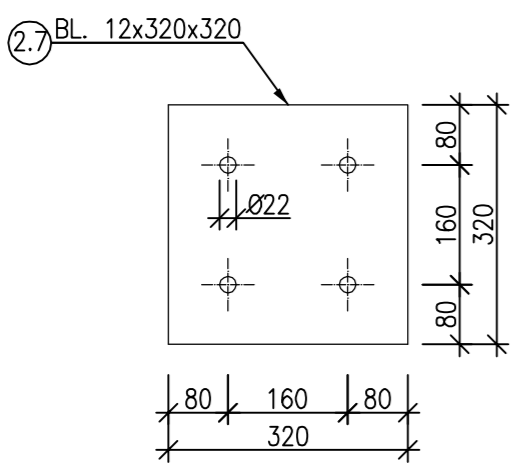
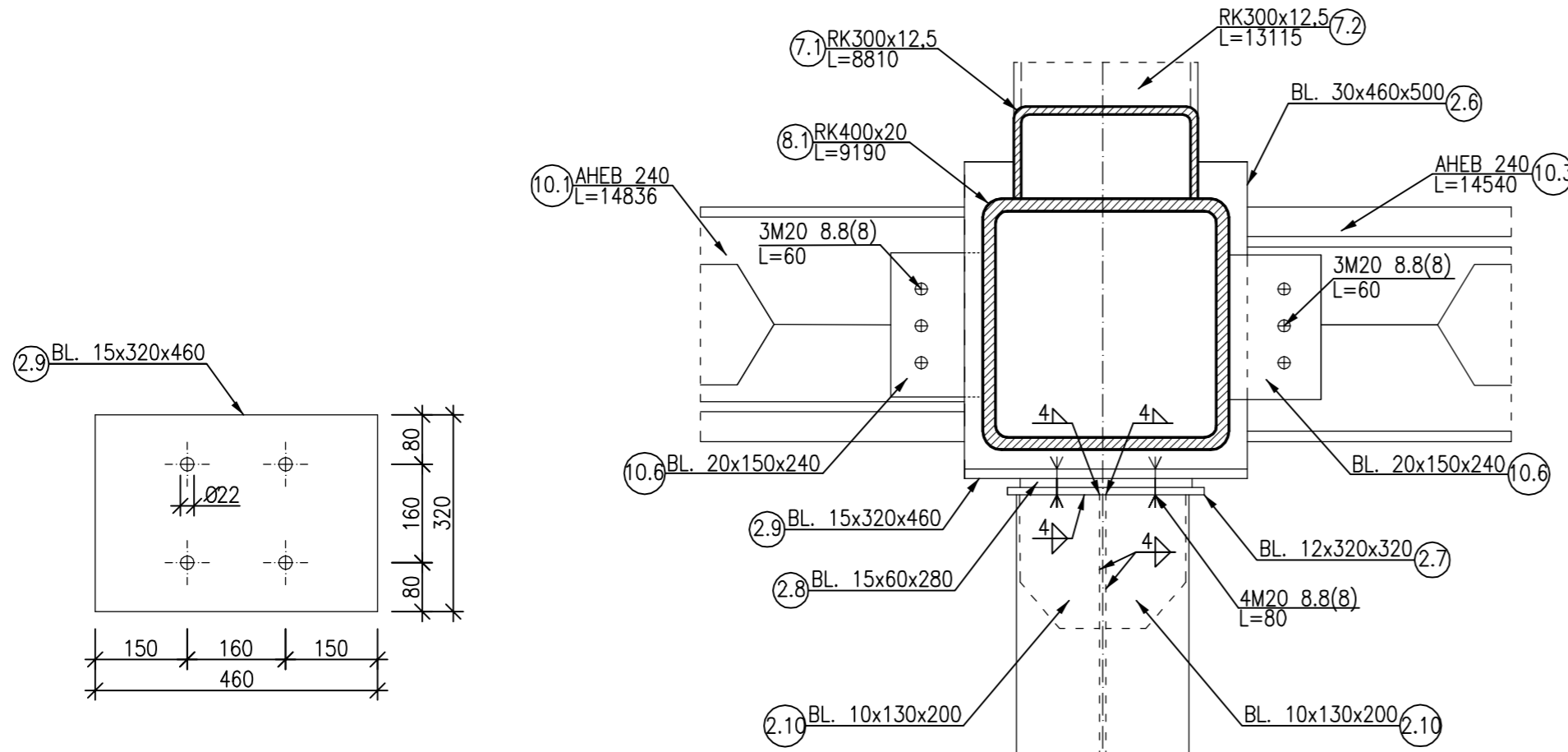
POLITECHNIKA WARSZAWSKA WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ INSTYTUT INŻYNIERII BUDOWLANEJ ZESPÓŁ KONSTRUKCJI METALOWYCH			
PRACA DYPLOMOWA			
PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ PRZEKRYCIA TERMINAŁU PORTU LOTNICZEGO		PROMOTOR: doc. dr inż. JERZY IDZIKOWSKI	
TEMAT RYSUNKU: SŁUP SKRAJNY DŹWIGARA SZCZYTOWEGO	BRANŻA: KONSTRUKCJA	NR RYS.	8
PROJEKTOWAŁA: inż. JOANNA STĘPKA	SKALA: 1:10	DATA: 11.2014	



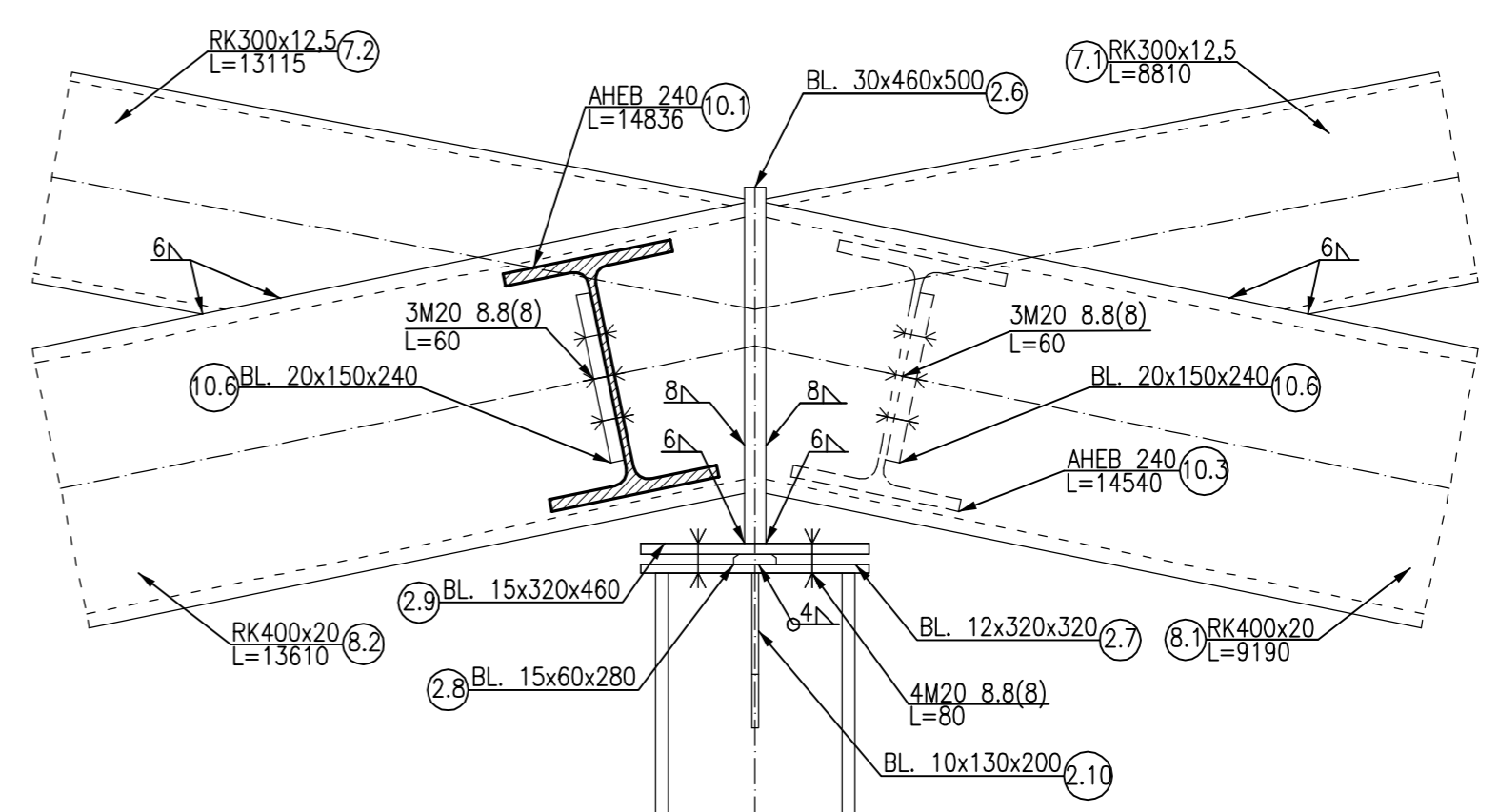
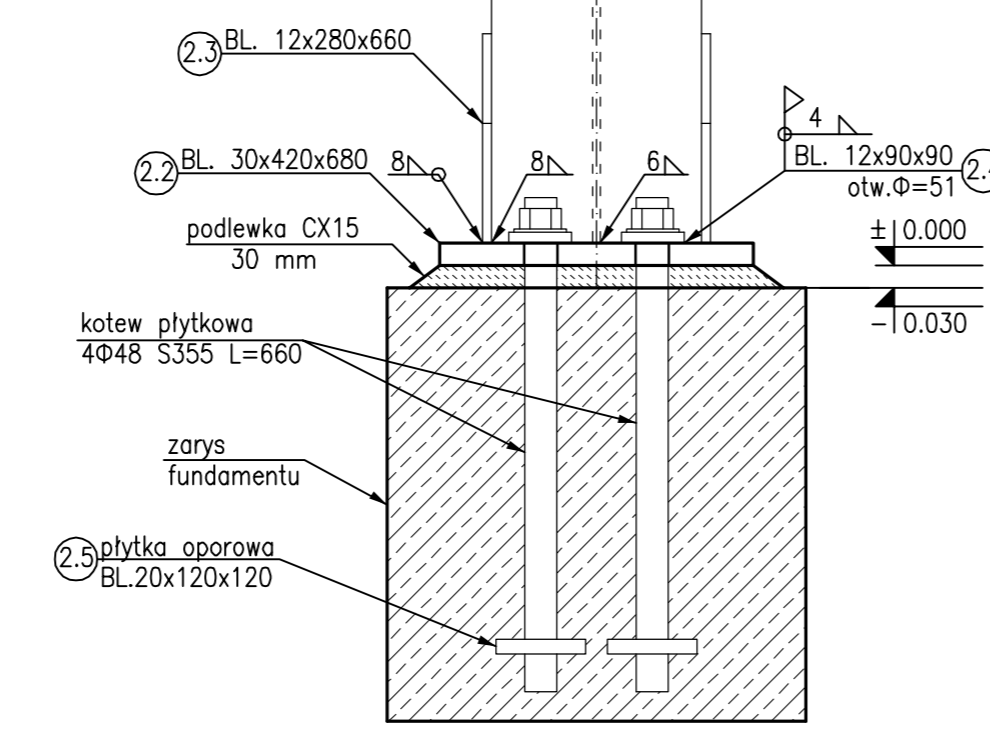
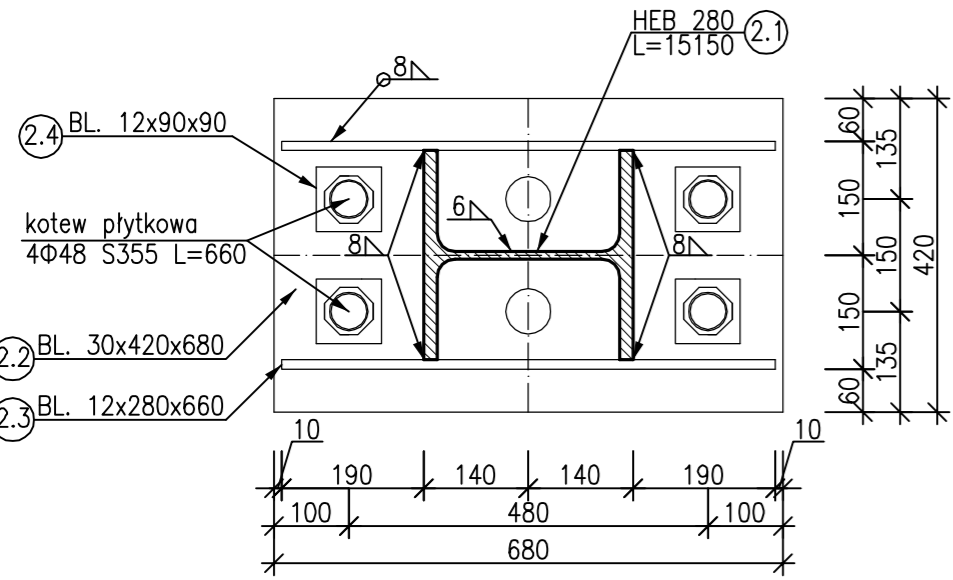
SŁUP ZEWNĘTRZNY

PRZEKRÓJ 2-2

2

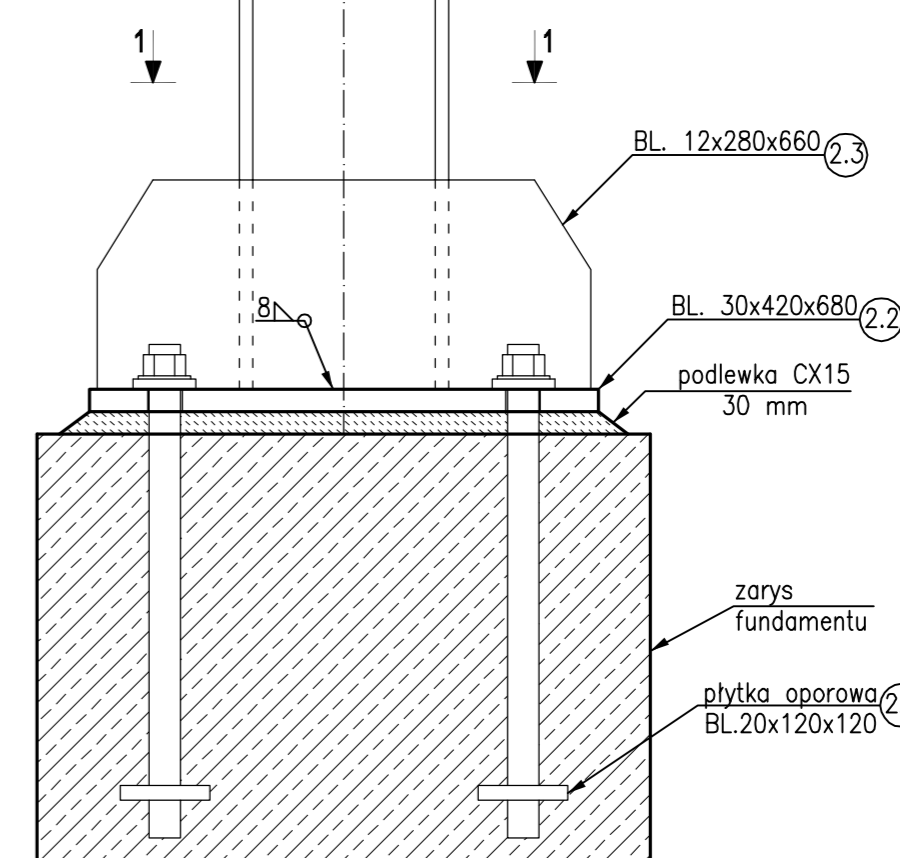


PRZEKRÓJ 1-1



15150

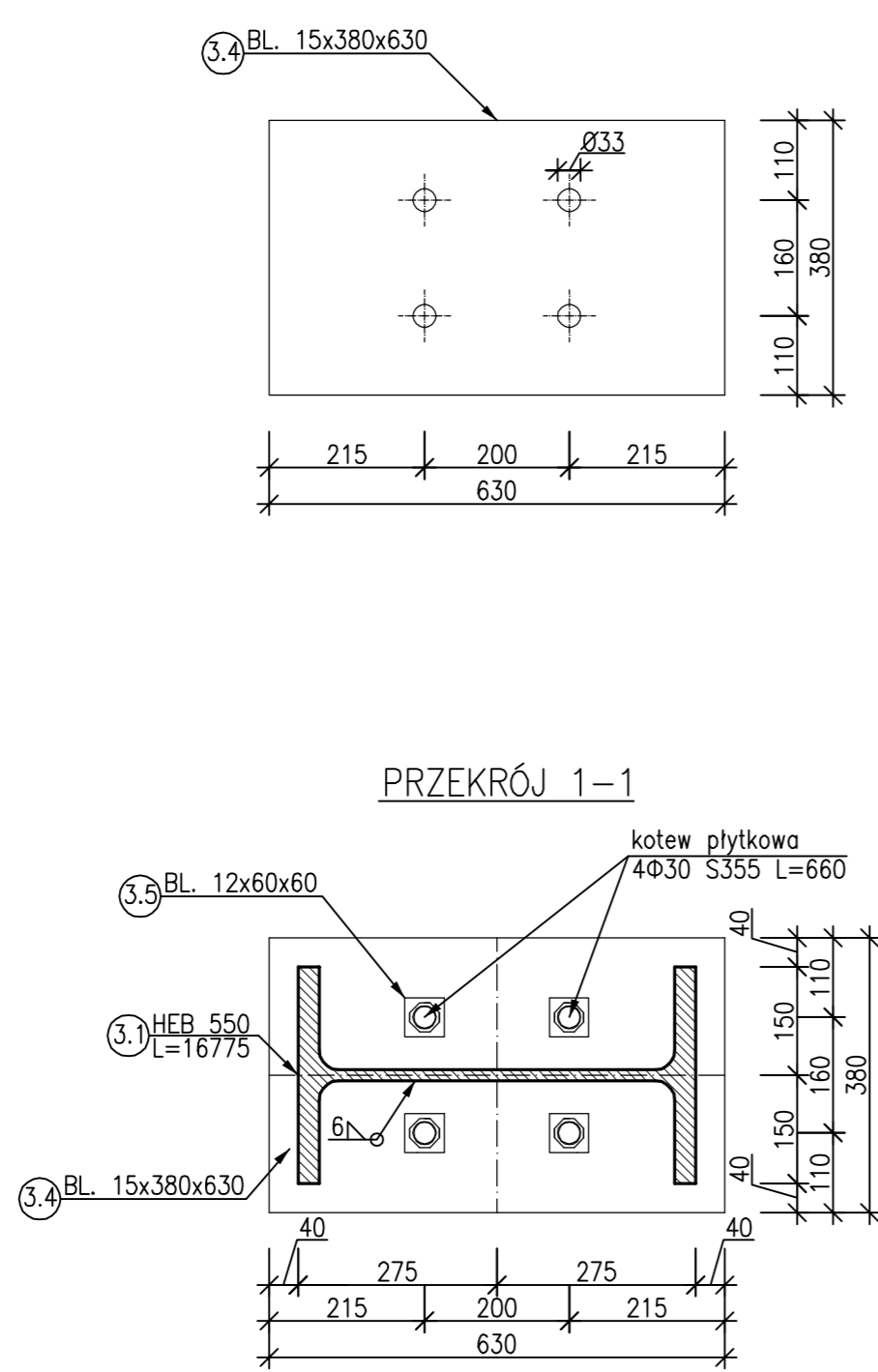
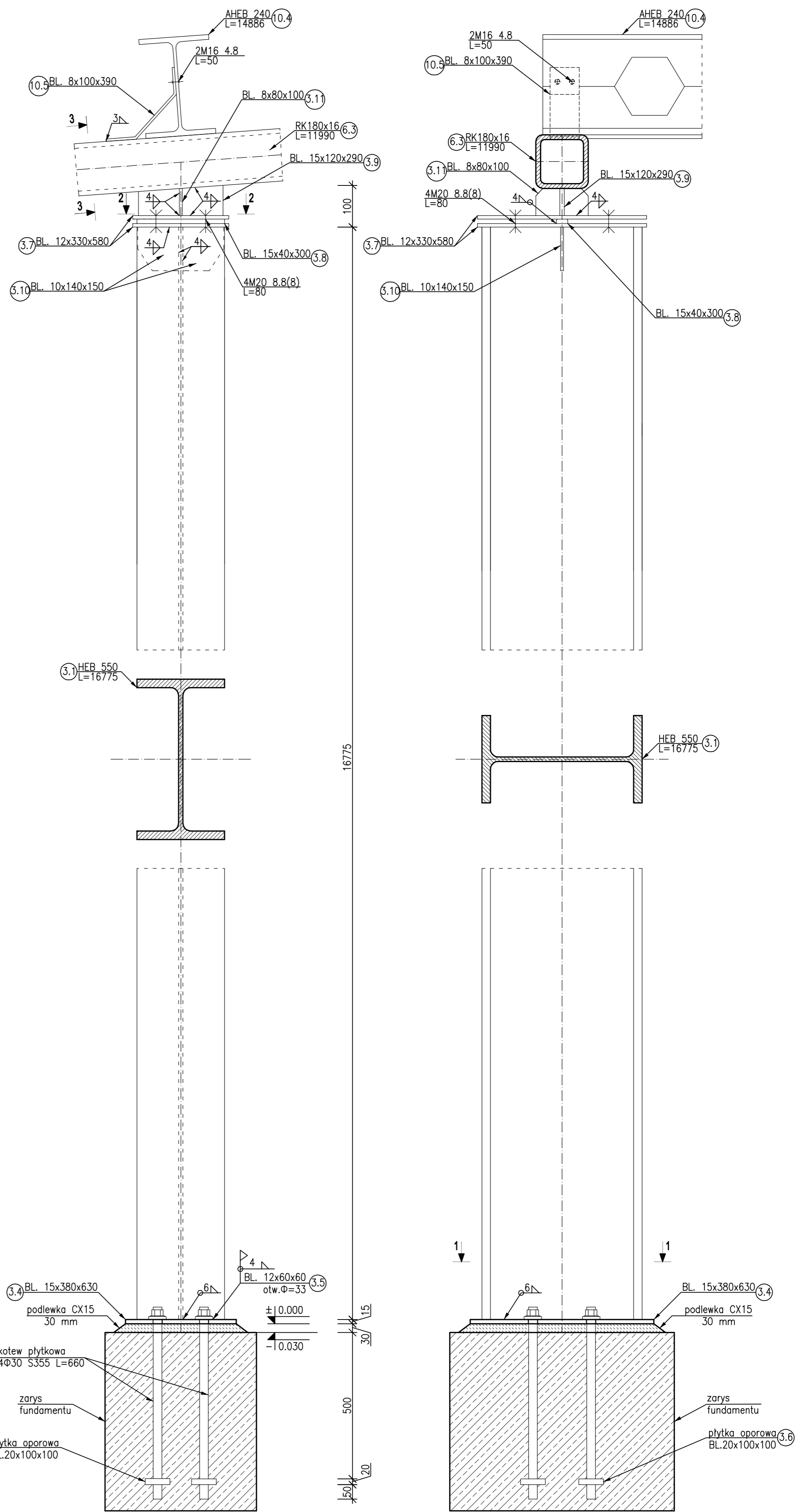
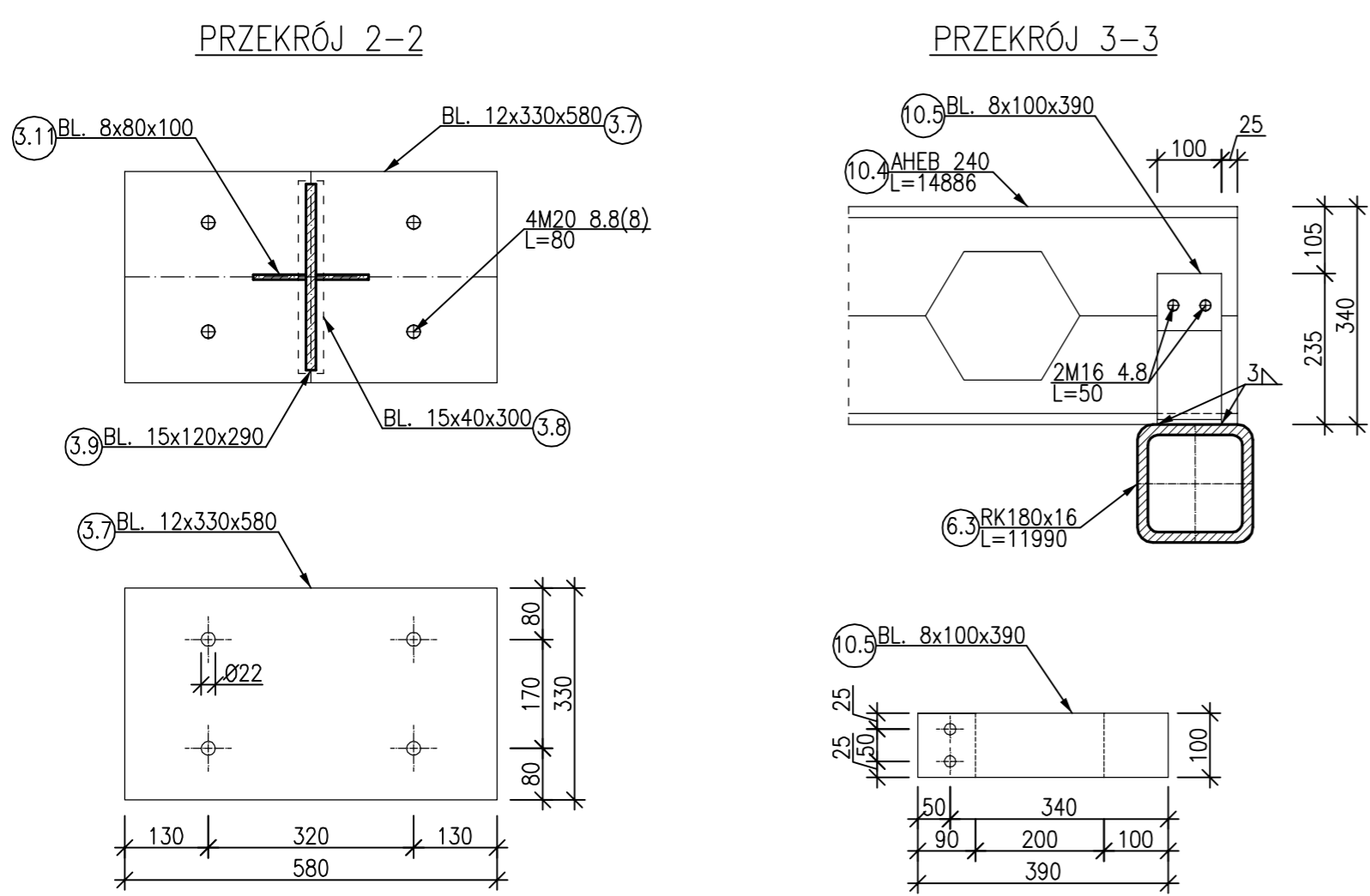
30  
470  
20



UWAGI  
STAL: S355J2+N  
S355J2H

POLITECHNIKA WARSZAWSKA WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ INSTYTUT INŻYNIERII BUDOWLANEJ ZESPÓŁ KONSTRUKCJI METALOWYCH			
PRACA DYPLOMOWA			
PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ PRZEKRYCIA TERMINAŁU PORTU LOTNICZEGO		PROMOTOR: doc. dr inż. JERZY IDZIKOWSKI	
TEMAT RYSUNKU: SŁUP ZEWNĘTRZNY DŹWIGARA GŁÓWNEGO		BRANŻA: KONSTRUKCJA	
PROJEKTOWAŁA: inż. JOANNA STĘPKA		SKALA: 1:10	
		DATA: 11.2014	
			NR RYS. 9

SŁUP SZCZYTOWY 3.1



WYKAZ DŁUGOŚCI SŁUPÓW ŚCIANY SZCZYTOWEJ

NR	PROFIL	DŁUGOŚĆ [mm]	ILOŚĆ
3.1	HEB 550	16775	4
3.2	HEB 550	14995	2
3.3	HEB 550	13215	4

UWAGI  
 STAL: S355J2+N  
 S355J2H

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
 WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ  
 INSTYTUT INŻYNIERII BUDOWLANEJ  
 ZESPÓŁ KONSTRUKCJI METALOWYCH

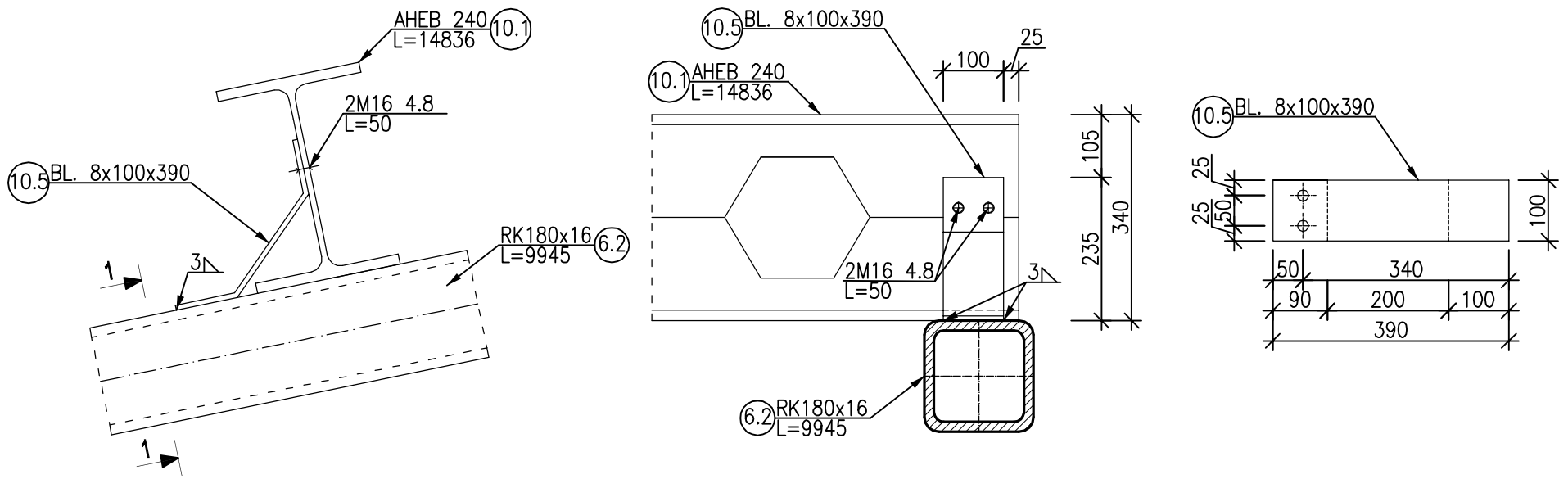
PRACA DYPLOMOWA

PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ PRZEKRYCIA TERMINALU PORTU LOTNICZEGO	PROMOTOR: doc. dr inż. JERZY IDZIKOWSKI
TEMAT RYSUNKU: SŁUP SZCZYTOWY DŹWIGARA SZCZYTOWEGO	BRANŻA: KONSTRUKCJA
PROJEKTOWAŁA: inż. JOANNA STĘPKA	SKALA: 1:10
	DATA: 11.2014
	NR RYS. 10

DETAL "Oparcie płatwi na pasie dźwigara szczytowego"

1:10

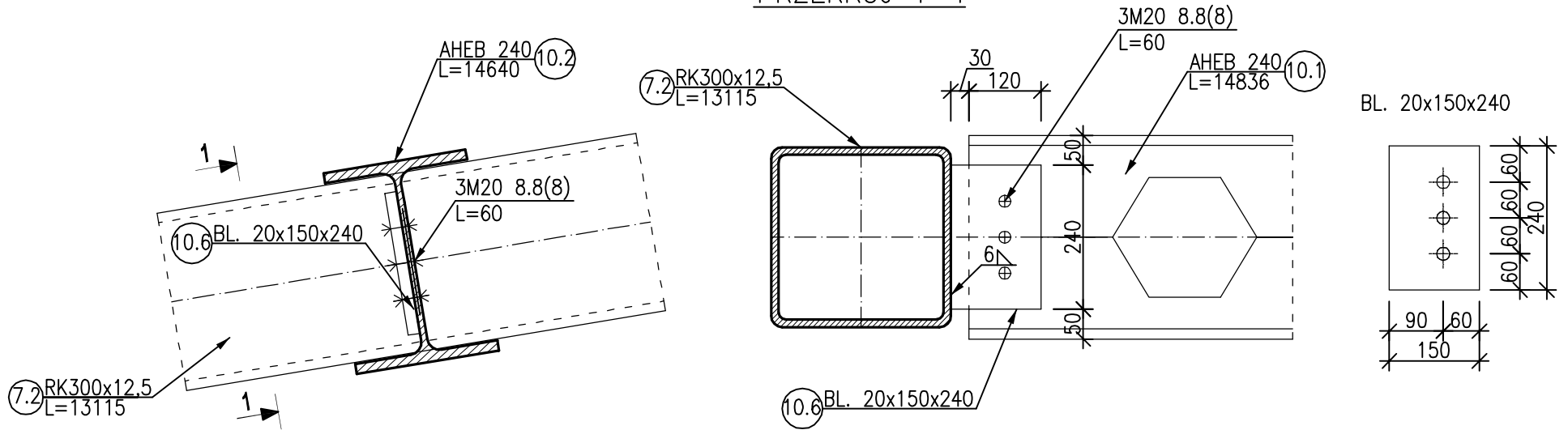
PRZEKRÓJ 1-1



DETAL "Oparcie płatwi na pasie górnym dźwigara głównego"

1:10

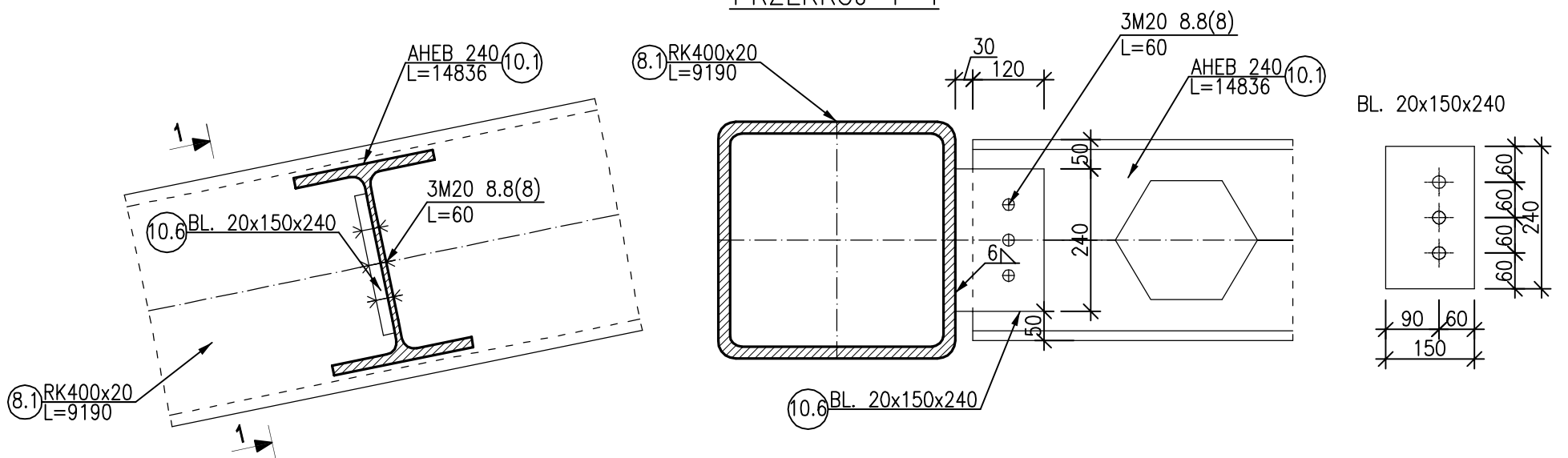
PRZEKRÓJ 1-1



DETAL "Oparcie płatwi na pasie dolnym dźwigara głównego"

1:10

PRZEKRÓJ 1-1



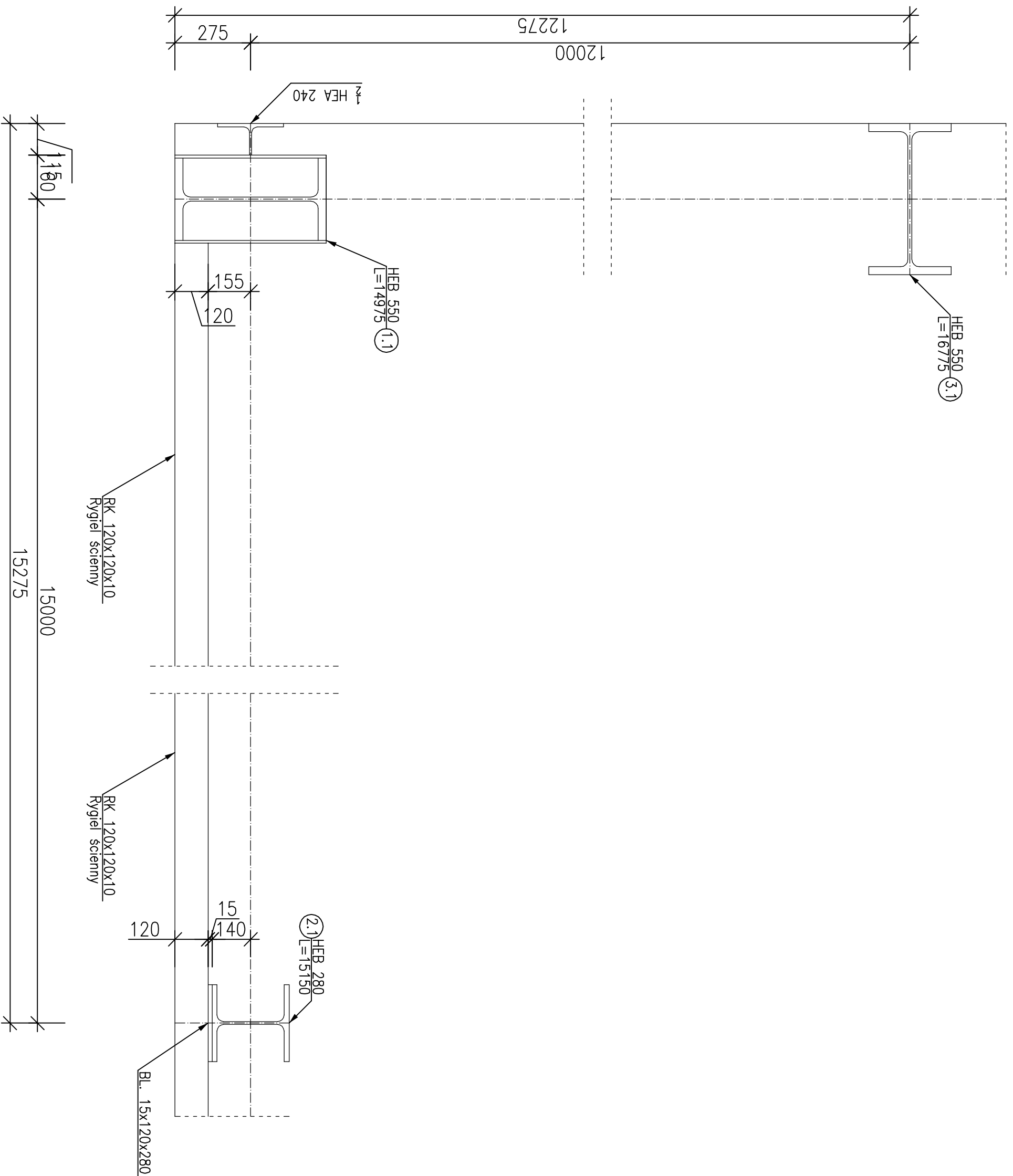
UWAGI  
STAL: S355J2+N  
S355J2H

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ

INSTYTUT INŻYNIERII BUDOWLANEJ  
ZESPÓŁ KONSTRUKCJI METALOWYCH

PRACA DYPLOMOWA

PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ PRZEKRYCIA TERMINALU PORTU LOTNICZEGO		PROMOTOR: doc. dr inż. JERZY IDZIKOWSKI	
TEMAT RYSUNKU: DETAL - OPARCIE PŁATWI		BRANŻA: KONSTRUKCJA	NR RYS. 11
PROJEKTOWAŁA: inż. JOANNA STEPKA	SKALA: 1:10	DATA: 11.2014	



UTWORZONY PRZEZ PROGRAM EDUKACYJNY FIRMY AUTODESK

POLITECHNIKA WARSZAWSKA			
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ			
INSTYTUT INŻYNIERII BUDOWLANEJ			
ZESPÓŁ KONSTRUKCJI METALOWYCH			
PRACA DYPLOMOWA			
PROJEKT KONSTRUKCJI STAŁOWEJ PRZEKRYCIA	PROJEKTOR:	doc. dr inż. JERZY IDZIKOWSKI	
TERMINAŁU PORTU LOTNICZEGO			
TEMAT PRACY:	SKALA:	DATA:	NR PIS.
SCHEMAT MONTAŻU ŚCIANY SŁUPOWO-RYGLOWEJ	1:10	11.2014	12
PROJEKTOWAŁA:	inż. JOANNA STĘPKA		