



Politechnika  
Wrocławska

**Politechniki Wrocławska**  
**Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego**

(Zał. 5a do procedury Pr 08)



**SPECJALNOŚĆ: INŻYNIERIA BUDOWLANA**

**INŻYNIERSKA**

**PRACA DYPLOMOWA**

**Projekt dwunawowej, dwukondygnacyjnej hali  
przemysłowej z suwnicą**

**Autor: Oliwia Kaniuk**

**Opiekun: dr inż. Krzysztof Marcinczak**

**Recenzent: dr inż. Rajmund Ignatowicz**

Rok akademicki: 2024/2025

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Spis treści                                                                                           |    |
| Streszczenie pracy dyplomowej.....                                                                    | 5  |
| 1. Opis techniczny .....                                                                              | 6  |
| 1.1 Podstawa opracowania.....                                                                         | 6  |
| 1.2 Przedmiot opracowania.....                                                                        | 6  |
| 1.3 Zakres opracowania.....                                                                           | 6  |
| 1.4 Dane wyjściowe.....                                                                               | 6  |
| 1.5 Opis elementów konstrukcji.....                                                                   | 6  |
| 1.5.1 Pokrycie dachowe.....                                                                           | 6  |
| 1.5.2 Obudowa ścienna.....                                                                            | 6  |
| 1.5.3 Płatew P1.....                                                                                  | 7  |
| 1.5.4 Dźwigar dachowy.....                                                                            | 7  |
| 1.5.5 Belka krawędziowa B2.....                                                                       | 7  |
| 1.5.7 Suwnica.....                                                                                    | 7  |
| 1.5.8 Belka podsuwnicowa.....                                                                         | 7  |
| 1.5.9 Słup S2.....                                                                                    | 7  |
| 1.5.10 Stopa fundamentowa St2.....                                                                    | 8  |
| 1.6 Materiały użyte do wykonania konstrukcji.....                                                     | 8  |
| 2. Zestawienie obciążeń.....                                                                          | 8  |
| 2.1 Obciążenie ciężarem własnym i stałym.....                                                         | 8  |
| 2.2 Obciążenie śniegiem.....                                                                          | 8  |
| 2.2.1 Przyjęte założenia oraz obliczenie wartości charakterystycznego obciążenia śniegiem gruntu..... | 8  |
| 2.2.2 Przypadki obciążenia śniegiem.....                                                              | 9  |
| 2.3 Obciążenie wiatrem.....                                                                           | 10 |
| 2.3.1 Przyjęte założenia oraz obliczenie wartości ciśnienia szczytowego.....                          | 10 |
| 2.3.2 Ciśnienie zewnętrzne od wiatru przypadające na 1m <sup>2</sup> dachu.....                       | 13 |
| 2.3.3 Ciśnienie zewnętrzne od wiatru przypadające na 1m <sup>2</sup> ściany.....                      | 17 |
| 2.3.4 Ciśnienie wewnętrzne.....                                                                       | 20 |
| 2.4 Obciążenie technologiczne.....                                                                    | 20 |
| 2.5 Obciążenie użytkowe stropu.....                                                                   | 20 |
| 3. Dobór elementów hali.....                                                                          | 21 |
| 3.1 Pokrycie dachowe.....                                                                             | 21 |
| 3.2 Obudowa ścienna.....                                                                              | 22 |
| 3.3 Wstępny dobór płatwi stalowej.....                                                                | 23 |
| 3.4 Dźwigar dachowy.....                                                                              | 26 |
| 3.5 Podkładki elastomerowe pod dźwigar dachowy .....                                                  | 28 |
| 3.6 Suwnica.....                                                                                      | 28 |
| 3.6.1 Dobór suwnicy.....                                                                              | 28 |
| 3.6.2 Szyny.....                                                                                      | 29 |
| 3.6.3 Belka podsuwnicowa.....                                                                         | 29 |
| 3.6.4 Oddziaływania od suwnicy.....                                                                   | 30 |
| 3.6.5 Wyznaczenie maksymalnej reakcji pionowej od suwnicy, bliższy słup.....                          | 31 |
| 3.6.6. Wyznaczenie minimalnej reakcji pionowej od suwnicy, bliższy słup.....                          | 33 |
| 3.7 Strop.....                                                                                        | 35 |
| 4. Płatew.....                                                                                        | 38 |
| 4.1 Obciążenie działające na płatew, schemat statyczny.....                                           | 38 |
| 4.2 Sprawdzenie klasy przekroju płatwi.....                                                           | 41 |
| 4.3 Sprawdzenie nośności przekroju na zginanie.....                                                   | 41 |
| 4.4 Sprawdzenie nośności na ścinanie.....                                                             | 42 |
| 4.5 Sprawdzenie czy można pominąć wpływ ścinania na nośność na zginanie.....                          | 42 |
| 4.6 Sprawdzenie nośności przekroju na ściskanie.....                                                  | 43 |

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.7 Sprawdzenie płatwi z uwagi na zwichrzenie.....                                     | 43  |
| 4.8 Sprawdzenie zginania z siłą podłużną.....                                          | 45  |
| 4.9 Dwukierunkowe zginanie - plastyczna nośność przekroju.....                         | 45  |
| 4.10 Sprawdzenie elementu z uwagi na zginanie ze ściskaniem.....                       | 46  |
| 4.11 Sprawdzenie stanu granicznego użyteczności (SGU) płatwi.....                      | 48  |
| 5. Belka krawędziowa.....                                                              | 49  |
| 5.1 Dane ogólne.....                                                                   | 49  |
| 5.2 Zebranie obciążeń.....                                                             | 50  |
| 5.3 Schemat statyczny.....                                                             | 51  |
| 5.4 Dobór podkładek elastomerowych.....                                                | 52  |
| 5.4.1 Pod belkę krawędziową.....                                                       | 52  |
| 5.4.2 Pod żebra płyt stropowych TT.....                                                | 52  |
| 5.5 Wymiarowanie na zginanie.....                                                      | 53  |
| 5.5.1 Zbrojenie podłużne dolne od obciążeń pionowych.....                              | 53  |
| 5.5.2 Zbrojenie podłużne boczne od obciążeń poziomych - rozpór od płyt stropowych..... | 57  |
| 5.6 Wymiarowanie na ścinanie .....                                                     | 65  |
| 5.7 Wymiarowanie dodatkowych strzemion w miejscu występowania lokalnych sił.....       | 68  |
| 5.7.1 Zbrojenie pionowe, inaczej podwieszające.....                                    | 69  |
| 5.7.2 Zbrojenie poziome.....                                                           | 71  |
| 5.8 Strzemiona na skręcanie.....                                                       | 73  |
| 5.9 Sprawdzenie na przebicie.....                                                      | 77  |
| 5.10 Stan graniczny użyteczności.....                                                  | 78  |
| 5.10.1 Kombinacja quasi-stała.....                                                     | 78  |
| 5.10.2 Wyznaczenie efektywnego modułu sprężystości betonu.....                         | 79  |
| 5.10.3 Faza 1 przed zarysowaniem.....                                                  | 80  |
| 5.10.4 Faza 2 po zarysowaniu.....                                                      | 82  |
| 5.10.5 Sprawdzenie szerokości rozwarcia rys.....                                       | 83  |
| 5.10.6 Zwiększenie pola zbrojenia i przeprowadzenie obliczeń na nowo.....              | 84  |
| 6. Rama.....                                                                           | 89  |
| 6.1 Schemat statyczny.....                                                             | 89  |
| 6.2 Przypadki obciążeń.....                                                            | 89  |
| 6.2.1 Obciążenie stałe.....                                                            | 89  |
| 6.2.2 Obciążenie śniegiem.....                                                         | 90  |
| 6.2.3 Wiatr na powierzchnie zewnętrzne.....                                            | 91  |
| 6.2.4 Wiatr - ciśnienie wewnętrzne.....                                                | 92  |
| 6.2.5 Obciążenie użytkowe na strop.....                                                | 93  |
| 6.2.6 Obciążenie technologiczne.....                                                   | 95  |
| 6.2.7 Suwnica.....                                                                     | 95  |
| 6.3 Kombinacje oddziaływań dla stanu granicznego nośności.....                         | 98  |
| 6.4 Wpływ sztywności elementów na rozkład sił wewnętrznych - SGN.....                  | 98  |
| 6.5 Kombinacje oddziaływań dla stanu granicznego użyteczności.....                     | 100 |
| 7. Słup środkowy.....                                                                  | 100 |
| 7.1 Dane ogólne.....                                                                   | 100 |
| 7.2 Długości obliczeniowe.....                                                         | 101 |
| 7.3 Zestawienie sił wewnętrznych w przekrojach.....                                    | 102 |
| 7.4 Sprawdzenie efektów II rzędu.....                                                  | 102 |
| 7.4.1 Przekrój 1-1 przypadek maksymalny moment.....                                    | 102 |
| 7.4.2 Zestawienie wyników dla wszystkich przekrojów.....                               | 106 |
| 7.5 Wymiarowanie słupa.....                                                            | 107 |
| 7.5.1 Za pomocą programu Excel - metoda iteracyjna.....                                | 107 |
| 7.5.2 Za pomocą Programu Prostokąt.....                                                | 108 |

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 7.5.3 Strzemiona .....                                      | 116 |
| 7.6 Faza składowania słupa.....                             | 116 |
| 7.7 Faza podnoszenia słupa.....                             | 117 |
| 7.8 Przechył ramy.....                                      | 118 |
| 8. Wymiarowanie wsporników.....                             | 120 |
| 8.1 Wspornik pod suwnicę.....                               | 120 |
| 8.1.1 Dane ogólne.....                                      | 120 |
| 8.1.2 Zbrojenie główne rozciągane przy górnej krawędzi..... | 121 |
| 8.1.3 Strzemiona.....                                       | 125 |
| 8.2 Wspornik pod belkę krawędziową.....                     | 123 |
| 8.2.2 Zbrojenie główne rozciągane przy górnej krawędzi..... | 124 |
| 8.1.3 Strzemiona.....                                       | 125 |
| 9. Stopa fundamentowa St2.....                              | 126 |
| 9.1 Dane ogólne.....                                        | 126 |
| 9.2 Faza eksploatacji.....                                  | 126 |
| 9.2.1 Pierwszy stan graniczny.....                          | 127 |
| 9.2.2 Zginanie fundamentu.....                              | 129 |
| 9.2.3 Przebicie fundamentu.....                             | 131 |
| 9.4 Połączenie stopy ze słupem.....                         | 133 |



## **Streszczenie pracy dyplomowej**

Niniejsza praca miała na celu zaprojektowanie wybranych elementów dwunawowej, dwukondygnacyjnej hali przemysłowej z suwnicą zlokalizowanej w Nowej Soli. Hala wznoszona jest z elementów prefabrykowanych. Budynek o wymiarach 24x45m i wysokości 16m składa się z powtarzalnych, dwunawowych ram w rozstawie co 4,5m. Na słupach znajdują się wsporniki w dwóch kierunkach, na których opierają się dźwigary dachowe, belki podsuwnicowe oraz belki krawędziowe, które stanowią oparcie dla płyt stropowych TT. W ramach pracy zestawione zostały obciążenia oraz dobrano niezbędne elementy z katalogów różnych firm. Następnie wykonane zostały obliczenia statyczno-wytrzymałościowe kolejno płatwi stalowej, belki krawędziowej, słupa wraz ze wspornikami oraz stopy fundamentowej i jej połączenia ze słupem. Na koniec wykonano rysunki architektoniczno - budowlane budynku oraz rysunki konstrukcyjne belki krawędziowej, słupa ze wspornikami oraz stopy fundamentowej.

**Słowa klucze:** prefabrykaty, hala, słup, żelbet

## **Summary content**

This thesis aimed to design selected elements of a two-aisle, two-story industrial hall with a crane, located in Nowa Sól. The hall is constructed using prefabricated elements. The building, measuring 24x45m with a height of 16m, consists of repetitive two-aisle frames spaced every 4.5m. The columns are equipped with brackets in two directions, supporting roof girders, crane beams, and edge beams, which serve as supports for TT floor slabs. As part of the project, loads were compiled, and the necessary elements were selected from catalogs of various companies. Subsequently, static and strength calculations were performed for the steel purlin, edge beam, column with brackets, as well as the foundation footing and its connection to the column. Finally, architectural and structural drawings of the building were prepared, along with detailed construction drawings of the edge beam, column with brackets, and foundation footing.

**Key words:** prefabrication, hall, column, reinforced concrete

## 1. Opis techniczny

### 1.1 Podstawa opracowania

Podstawą do opracowania projektu był temat pracy dyplomowej inżynierskiej pt. *Projekt dwunawowej, dwukondygnacyjnej hali przemysłowej z suwnicą* wydany przez Katedrę Konstrukcji Budowlanych zatwierdzony w dniu 03.07.2024r.

### 1.2 Przedmiot opracowania

Opracowaniu podlegał projekt budowlany i wykonawczy wybranych elementów dwunawowej, dwukondygnacyjnej hali przemysłowej z suwnicą.

### 1.3 Zakres opracowania

Wykonanie wybranych elementów projektu budowlanego i wykonawczego przedmiotowego obiektu. Parametry obiektu określa się na podstawie koncepcji architektonicznej.

Zakres pracy:

- opis techniczny,
- rysunki architektoniczno-budowlane obiektów,
- rysunki obiektów i konstrukcje statyczne wybranych elementów,
- rysunki i rysunki konstrukcyjne wybranych elementów

### 1.4 Dane wyjściowe

Projektowana hala znajduje się w Nowej Soli, na wysokości 65m nad poziomem morza. Budynek dwunawowy, dwukondygnacyjny ocieplony przeznaczony jest na cele magazynowo-produkcyjne. Wymiary hali w osiach wynoszą 24,00x45,00m.

W kierunku podłużnym hali zastosowano stężenia dachowe oraz ścienne w skrajnych polach w celu zapewnienia sztywności konstrukcji oraz niezmienności geometrycznej. Przyjęto sztywne połączenie słupów z fundamentami.

Wartości przyjęte do obliczeń:

- długość hali:  $L_h = 45 \text{ m}$
- rozpiętość naw:  $L_n = 12 \text{ m}$
- szerokość hali:  $D_h = 2 * 12 \text{ m} = 24 \text{ m}$
- wysokość hali:  $H = 16 \text{ m}$
- rozstaw ram nośnych:  $B = 4.5 \text{ m}$
- udźwig suwnic:  $Q = 15 \text{ t}$

### 1.5 Opis elementów konstrukcji

#### 1.5.1 Pokrycie dachowe

Zaprojektowano poszycie dachowe z blachy trapezowej T50P firmy Blachy Pruszyński montowaną małymi polkami do płatwi (sposób montażu pozytywny) w układzie trójpłaszczyznowym o długości przęsła 2m. Na blasze trapezowej ułożona została elastomerobitumiczna papa paroizolacyjna BauderTEC DBR. Kolejną warstwę tworzy termoizolacja w postaci płyt BauderPIR FA o grubości 20 cm. Za warstwę nawierzchniową przyjęto folię dachową z tworzywa sztucznego BauderThermoplan-T15.

#### 1.5.2 Obudowa ścienna

Obudowę ścienną zaprojektowano z płyt warstwowych MW Standard firmy BalexMetal o grubości rdzenia równej 80 mm. Przyjęto układ jednopłaszczyznowy o długości przęsła 4,5m równej rozstawie ram głównych. Płyty układane będą poziomo i zostaną przymocowane do słupów.

### **1.5.3 Płatew P1**

Płatwie z dwuteowników IPE140. Przyjęto schemat obliczeniowy jako belka jednoprzęsłowa o rozpiętości równej rozstawie ram, czyli 4,5m. Płatwi jest po 7 na każdej stronie dachu i są w rozstawie co 2m, a ich pochylenie wynosi 8.7%.

### **1.5.4 Dźwigar dachowy**

Na dźwigar wybrano produkt firmy Pekabex. Dobrano belkę o przekroju I500-240 i rozpiętości 12m z blokami końcowymi ułatwiającymi montaż belki pod kątem. Belka zostanie oparta na wspornikach, z czego wspornik na środkowym słupie jest umiejscowiony wyżej, aby uzyskać spadek 8,7%.

### **1.5.5 Belka krawędziowa B2**

Belka krawędziowa ma kształt odwróconej litery T. Wysokość belki wynosi 0.7m, wysokość półki 0,3m, szerokość dolnej półki 0,7m, szerokość środnika 0,3m. Belka oparta jest na wspornikach i przyjmuję schemat belki jednoprzęsłowej o długości 3,9m. Belkę obliczałam ze względu na zginanie, ścinanie, skręcanie, obliczono dodatkowe zbrojenie ze względu na występowanie lokalnych sił od płyt TT oraz sprawdzono z uwagi na przebicie, a na końcu sprawdzono rysy.

Zbrojenie podłużne przyjęto jako 7 prętów  $\phi 20$ . Strzemiona zarówno na skręcanie jak i ścinanie przyjęto z prętów  $\phi 8$  w odpowiednich rozstawach. Strzemiona zaprojektowano jako spawane. Dodatkowo obliczono dodatkowe strzemiona z uwagi na lokalne siły również z prętów  $\phi 8$  i rozmieszczono w pobliżu miejsc przyłożenia sił.

### **1.5.6 Strop**

Strop zaprojektowano z płyt TT o wysokości 0.7m, szerokości 2,23m i rozpiętości 11.7m opartych na dolnych półkach belek krawędziowych. W tym celu zostaną odpowiednio podcięte. Obciążenie użytkowe dla powierzchni znajdującej się nad stropem przyjęto  $5\text{kN/m}^2$ .

### **1.5.7 Suwnica**

Dobrano suwnice firmy ABUS model ZLK o udźwigu 15t. Rozpiętość suwnicy wynosi 10m, poruszać się będzie na szynach A75 zamocowanych do belki podsuwnicowej.

### **1.5.8 Belka podsuwnicowa**

Żelbetowa belka podsuwnicowa o przekroju litery T. Wysokość belki wynosi 600mm, wysokość półki 120mm, a szerokość środnika 300mm. Belka będzie ustawiona na 20mm podlewce i zamocowana do wspornika.

### **1.5.9 Słup S2**

Słup zaprojektowano jako prefabrykowany element o stałym przekroju  $0,6 \times 0,7\text{m}$ . Wysokość słupa wynosi 16,33m. Słup jest zamocowany połączeniem sztywnym ze stopą za pomocą systemu firmy Peikko. W słupie zaprojektowano wsporniki w dwóch kierunkach pod belkę krawędziową, pod belkę podsuwnicową oraz pod dźwigar dachowy. Słup został zwymiarowany w 7 przekrojach z uwzględnieniem efektów drugiego rzędu, a następnie sprawdzono poprawność obliczeń za pomocą programu Prostokąt.

Zbrojenie podłużne wykonano z prętów  $\phi 20$ , z zachowaniem odpowiednich długości zakładu. Strzemiona zaprojektowano jako 4 cięte z prętów  $\phi 8$  w rozstawie co  $s = 200\text{ mm}$ . Rozstaw zagęszczono do  $0.5s$  przy wsporniku. Zaprojektowano również odpowiednie dozbrojenie w miejscu występowania haków do podnoszenia oraz w pobliżu połączeniu słupa ze stopą fundamentową.

### 1.5.10 Stopa fundamentowa St2

Stopę zaprojektowano jako prefabrykowany element o prostokątnym kształcie 3x3,5m o wysokości 0,6m. Stopa ułożona zostanie na betonie podkładowym o grubości 10mm. Zwymiarowano stopę z uwagi na 3 przypadki obciążeń i wybrano ten najniekorzystniejszy. Dobrano zbrojenie z prętów  $\phi 12$  w różnym rozstawie w zależności od kierunku.

### 1.6 Materiały użyte do wykonania konstrukcji

Wykorzystane zostały następujące materiały:

- Beton C30/37 o charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie  $f_{ck} = 30$  MPa
- Stal B500SP o charakterystycznej granicy plastyczności  $f_{yk} = 500$  MPa
- Stal konstrukcyjna S235 o charakterystycznej granicy plastyczności  $f_{yk} = 235$  MPa

## 2. Zestawienie obciążeń

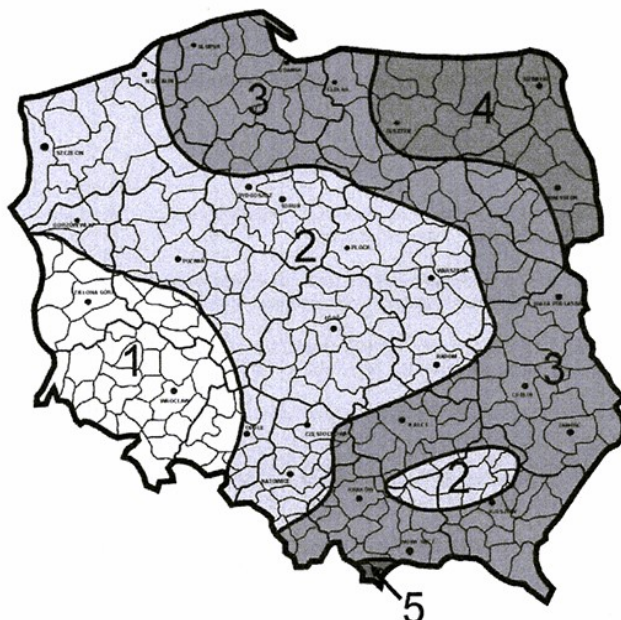
### 2.1 Obciążenie ciężarem własnym i stałym

Ciężar własny elementów uwzględniony zostanie przez program obliczeniowy RFEM. Po etapie doboru pokrycia dachowego, płatwi, belki krawędziowej i innych elementów obciążających obliczane elementy konstrukcji pod uwagę zostanie wzięty również ich ciężar.

### 2.2 Obciążenie śniegiem

#### 2.2.1 Przyjęte założenia oraz obliczenie wartości charakterystycznego obciążenia śniegiem gruntu

Obliczenia przeprowadzono dla dachu dwuspadowego o kącie nachylenia  $\alpha = 5^\circ$ . Obiekt zlokalizowany jest w Nowej Soli, według normy PN-EN 1991-1-3:2005 [3] znajduje się on w 1 strefie obciążenia śniegiem - Rys. 2.1



Rys. 2.1 Podział Polski na strefy obciążenia śniegiem gruntu, wg [3]

Obiekt zlokalizowany na wysokości  $A = 70$  m n.p.m. Wysokość hali nad poziomem terenu wynosi  $z = 16$  m.

Przyjęte wartości współczynników zalecane przez normę [3]:

- współczynnik ekspozycji - warunki terenowe normalne:  $C_e = 1.0$
- współczynnik termiczny - połacie izolowane:  $C_t = 1.0$
- współczynnik kształtu dachu:  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ , więc  $\mu = 0.8$

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu:

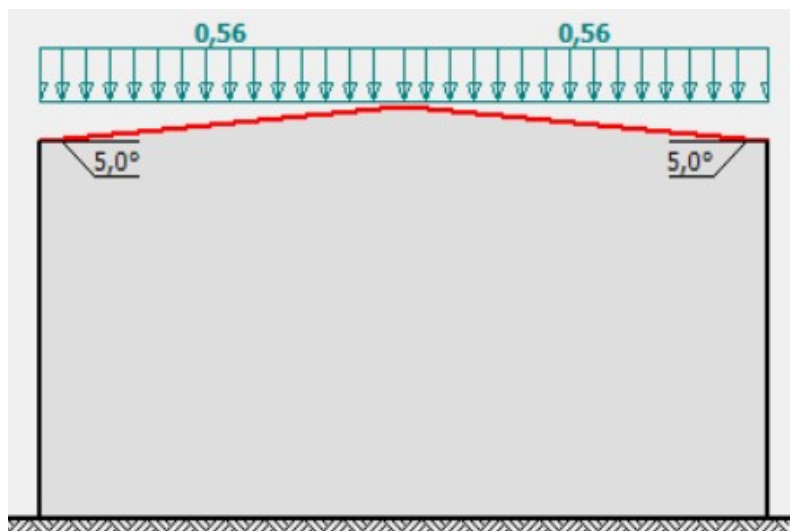
$$s_k = \max(0.007 * A - 1.4, 0.7) * 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = \max(0.007 * 70 - 1.4, 0.7) * 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 2.2.2 Przypadki obciążenia śniegiem

1) Dach równomiernie obciążony

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem dachu:

$$s_{k1} = \mu * C_e * C_t * s_k = 0.8 * 1.0 * 1.0 * 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Rys. 2.2 Wycinek z programu SPECBUD, obciążenie działające na  $1\text{m}^2$  dachu przy równomiernym obciążeniu połaci dachowych

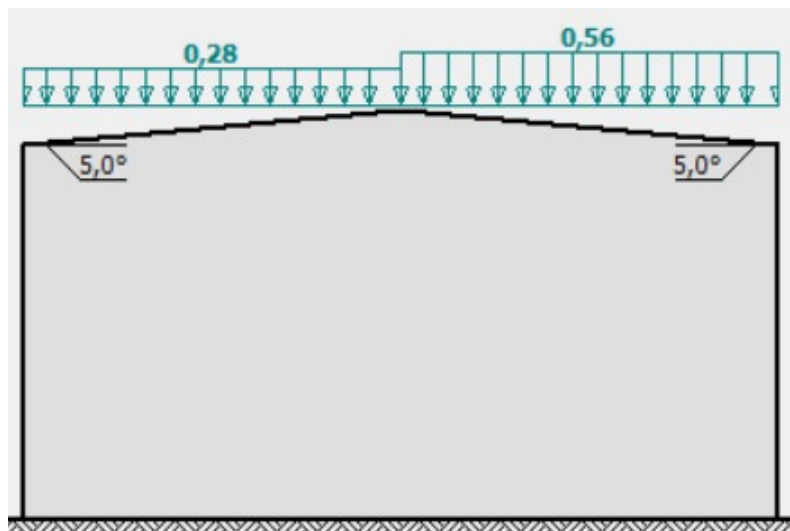
2) Dach nierównomiernie obciążony

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem dachu - połacie bardziej obciążone:

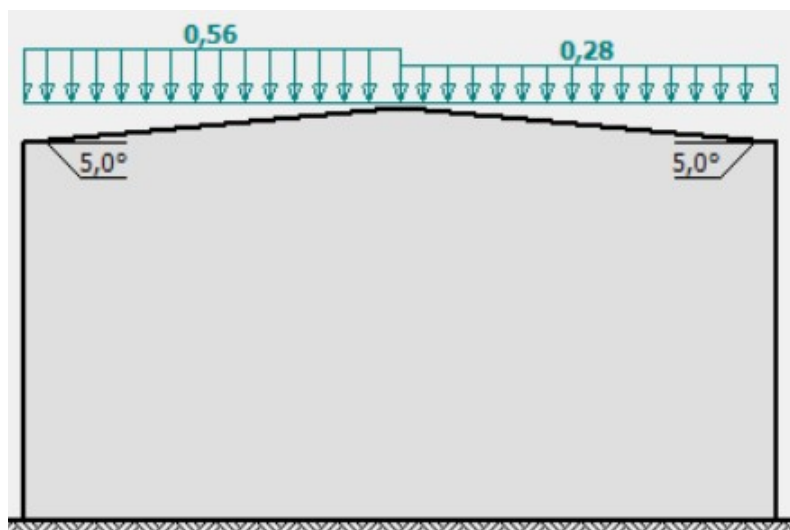
$$s_{k1} = \mu * C_e * C_t * s_k = 0.8 * 1.0 * 1.0 * 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem dachu - połacie bardziej obciążone:

$$s_{k2} = 0.5 * \mu * C_e * C_t * s_k = 0.5 * 0.8 * 1.0 * 1.0 * 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Rys. 2.3 Wycinek z programu SPECBUD, obciążenie działające na  $1\text{m}^2$  dachu w przypadku bardziej obciążonej prawej połaci



Rys. 2.4 Wycinek z programu SPECBUD, obciążenie działające na  $1\text{m}^2$  dachu w przypadku bardziej obciążonej lewej połaci

## 2.3 Obciążenie wiatrem

### 2.3.1 Przyjęte założenia oraz obliczenie wartości ciśnienia szczytowego

Obliczenia przeprowadzono dla dachu dwuspadowego o kącie nachylenia  $5^\circ$ . Obiekt zlokalizowany jest w Nowej Soli, według normy PN-EN 1991-1-4:2008 [4] znajduje się on w 1 strefie obciążenia wiatrem - Rys. 2.5



Rys. 2.5 Podział polski na strefy obciążenia wiatrem, wg [4]

Obiekt zlokalizowany na wysokości  $A/ = 70$  m n.p.m. Wysokość hali nad poziomem terenu wynosi  $z = 16$  m.

| Strefa                                       | $v_{b,0}$<br>(m/s) | $v_{b,0}$<br>(m/s)                | $q_{b,0}$<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | $q_{b,0}$<br>(kN/m <sup>2</sup> )                                                      |
|----------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              | $A \leq 300$ m     | $A > 300$ m                       | $A \leq 300$ m                    | $A > 300$ m                                                                            |
| 1                                            | 22                 | $22 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]$ | 0,30                              | $0,30 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]^2$                                                  |
| 2                                            | 26                 | 26                                | 0,42                              | 0,42                                                                                   |
| 3                                            | 22                 | $22 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]$ | 0,30                              | $0,30 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]^2 \cdot \left[ \frac{20000 - A}{20000 + A} \right]$ |
| UWAGA: $A$ – wysokość nad poziomem morza (m) |                    |                                   |                                   |                                                                                        |

Rys. 2.6 Wartości podstawowe bazowej prędkości wiatru i ciśnienia prędkości wiatru w strefach, wg [4]

Według powyższej tabeli wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru wynosi:

$$v_{b,0} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \text{ natomiast wartość podstawowa ciśnienia prędkości wiatru: } q_{b,0} = 0,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}.$$

Przyjęte wartości współczynników zalecane przez normę [4]:

- współczynnik kierunkowy wiatru:  $C_{\text{dir}} = 0,8$

- współczynnik sezonowy:  $C_{\text{season}} = 1,0$

Bazowa prędkość wiatru:

$$v_b = C_{\text{dir}} * C_{\text{season}} * v_{b,0} = 0,8 * 1,0 * 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 17,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Na podstawie Tablicy 4.1 zawartej w normie [4] zakwalifikowałam teren, na którym powstanie hala, do kategorii terenu III.

| Kategoria terenu                                  |                                                                                                                                                                                                              | $z_0$<br>[m] | $z_{min}$<br>[m] |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------|
| 0                                                 | Obszary morskie i przybrzeżne wystawione na otwarte morze                                                                                                                                                    | 0,003        | 1                |
| I                                                 | Jeziora lub tereny płaskie, poziome, o nieznacznej roślinności i bez przeszkód terenowych                                                                                                                    | 0,01         | 1                |
| II                                                | Tereny o niskiej roślinności, takiej jak trawa, i o pojedynczych przeszkodach (drzewa, budynki) oddalonych od siebie na odległość równą co najmniej ich 20 wysokościami                                      | 0,05         | 2                |
| III                                               | Tereny regularnie pokryte roślinnością lub budynkami albo o pojedynczych przeszkodach, oddalonych od siebie najwyżej na odległość równą ich 20 wysokościami (takie jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy) | 0,3          | 5                |
| IV                                                | Tereny, których przynajmniej 15 % powierzchni jest pokryte budynkami o średniej wysokości przekraczającej 15 m                                                                                               | 1,0          | 10               |
| UWAGA Kategorie terenu pokazano w Załączniku A.1. |                                                                                                                                                                                                              |              |                  |

Rys. 2.7 Kategorie i parametry terenu, wg [4]

| Kategoria terenu                                                                             | $c_r(z)$                                     | $c_e(z)$                                     | $z_{min}, m$ | $z_{max}, m$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|--------------|
| 0                                                                                            | $1,3 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,11}$ | $3,0 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,17}$ | 1            | 200          |
| I                                                                                            | $1,2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,13}$ | $2,8 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19}$ | 1            | 200          |
| II                                                                                           | $1,0 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,17}$ | $2,3 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$ | 2            | 300          |
| III                                                                                          | $0,8 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19}$ | $1,9 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,26}$ | 5            | 400          |
| IV                                                                                           | $0,6 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$ | $1,5 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,29}$ | 10           | 500          |
| UWAGA: $c_r(z)$ i $c_e(z)$ dla wysokości $z > z_{max}$ należy przyjmować jak dla $z_{max}$ . |                                              |                                              |              |              |

Rys. 2.8 Współczynnik chropowatości i współczynnik ekspozycji oraz  $z_{min}$  i  $z_{max}$ , wg [4]

Współczynnik chropowatości wg powyższej tabeli

$$C_{rz} = 0,8 * \left(\frac{z}{10 * 1 \text{ m}}\right)^{(0,19)} = 0,8 * \left(\frac{16 \text{ m}}{10 * 1 \text{ m}}\right)^{(0,19)} = 0,875$$

Współczynnik ekspozycji wg powyższej tabeli

$$C_{ez} = 1,9 * \left(\frac{z}{10 * 1 \text{ m}}\right)^{(0,26)} = 1,9 * \left(\frac{16 \text{ m}}{10 * 1 \text{ m}}\right)^{(0,26)} = 2,147$$

Współczynnik rzeźby terenu przyjęto na podstawie wytycznych w normie [4]:  $C_{0z} = 1$ .

Wartość średniej prędkości wiatru

$$v_{mz} = C_{rz} * C_{0z} * v_b = 0,875 * 1 * 17,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 15,395 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Współczynnik turbulencji przyjęto jako zalecaną wartość równą  $K_1 = 1,0$

Wymiar chropowatości dla kategorii terenu 3:  $z_0 = 0,3$



Intensywność turbulencji na wysokości odniesienia równej  $z = 16 \text{ m}$

$$I_v = \frac{K_1}{C_{0z} * \ln\left(\frac{z}{z_0 * 1 \text{ m}}\right)} = \frac{1.0}{1 * \ln\left(\frac{16 \text{ m}}{0.3 * 1 \text{ m}}\right)} = 0.251$$

Gęstość powietrza:  $\rho = 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

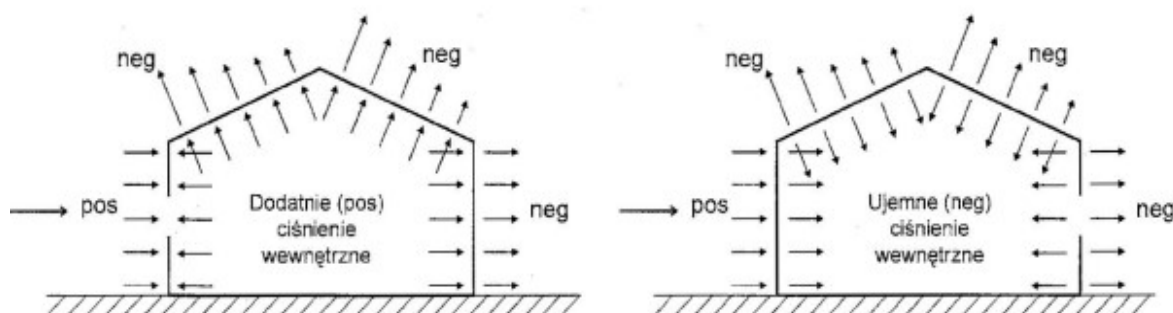
Zatem wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru na wysokości odniesienia  $z = 16 \text{ m}$

$$q_p = (1 + 7 * I_v) * 0.5 * \rho * v_{mz}^2$$

$$q_p = (1 + 7 * I_v) * 0.5 * \rho * v_{mz}^2 = (1 + 7 * 0.251) * 0.5 * 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(15.395 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$= 0.409 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Dach jest w pochyleniu  $5^\circ$ , więc traktuje go jako dach dwuspadowy



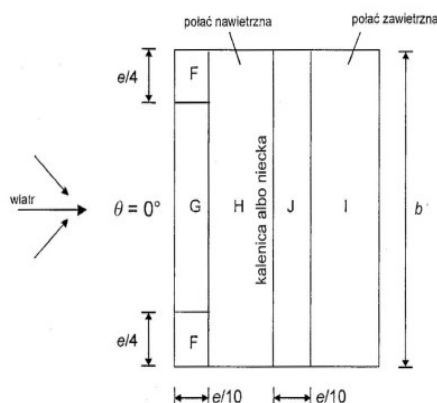
Rys. 2.9 Sposób znakowania sił od wiatru działających na powierzchnie budynku, wg [4]

### 2.3.2 Ciśnienie zewnętrzne od wiatru przypadające na $1 \text{ m}^2$ dachu

Ciśnienie wiatru działające na powierzchnię zewnętrzną konstrukcji:  $w_e = q_p * c_{pe}$

Wysokość odniesienia ciśnienia zewnętrznego:  $z_e = H = 16 \text{ m}$

- Ciśnienie zewnętrzne od wiatru wiejącego na ścianę podłużną

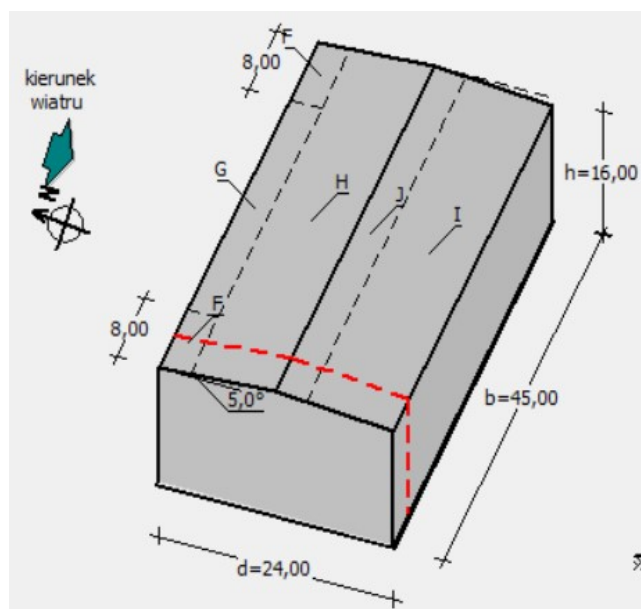


Rys. 2.10 Obszary oddziaływań występujące na dachu obiektu w przypadku wiatru wiejącego na ścianę podłużną - kierunek wiatru:  $\theta_1 = 0^\circ$ , wg [4]

Wartość odległości  $e$  obliczono zgodnie z normą [4]:

$$e_1 = \min(L_h, 2 * H) = \min(45 \text{ m}, 2 * 16 \text{ m}) = 32 \text{ m}; \frac{e_1}{4} = \frac{32 \text{ m}}{4} = 8 \text{ m};$$

$$\frac{e_1}{10} = \frac{32 \text{ m}}{10} = 3.2 \text{ m}$$



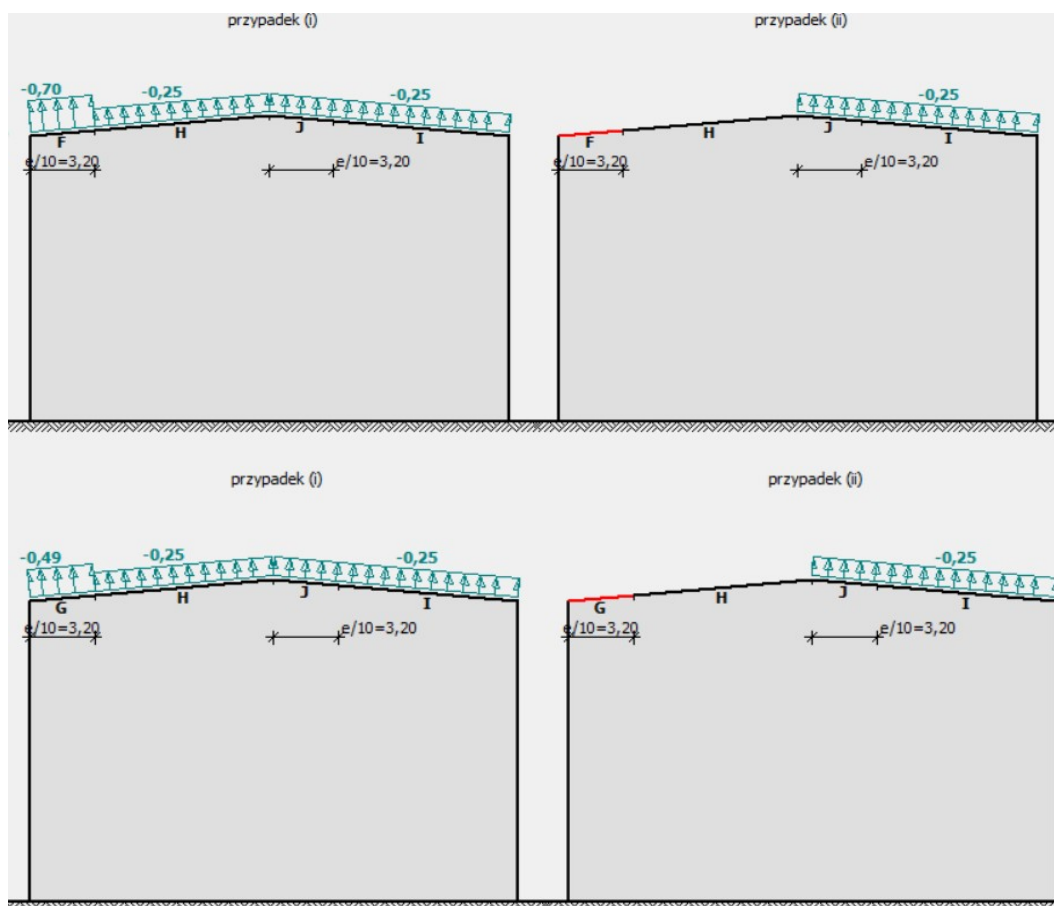
Rys. 2.11 Wycinek z programu SPECBUD, obszary oddziaływań występujące na dachu obiektu w przypadku wiatru wiejącego na ścianę podłużną - kierunek wiatru: 0 °

| Kąt spadku $\alpha$ | Pole dla kierunku wiatru $\theta = 0^\circ$ |            |             |            |             |            |             |            |             |            |
|---------------------|---------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                     | F                                           |            | G           |            | H           |            | I           |            | J           |            |
|                     | $C_{pe,10}$                                 | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ |
| -45°                | -0,6                                        |            | -0,6        |            | -0,8        |            | -0,7        |            | -1,0        | -1,5       |
| -30°                | -1,1                                        | -2,0       | -0,8        | -1,5       | -0,8        |            | -0,6        |            | -0,8        | -1,4       |
| -15°                | -2,5                                        | -2,8       | -1,3        | -2,0       | -0,9        | -1,2       | -0,5        |            | -0,7        | -1,2       |
| -5°                 | -2,3                                        | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,8        | -1,2       | +0,2        |            | +0,2        |            |
|                     |                                             |            |             |            |             |            | -0,6        |            | -0,6        |            |
| 5°                  | -1,7                                        | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,6        | -1,2       |             |            | +0,2        |            |
|                     | +0,0                                        |            | +0,0        |            | +0,0        |            | -0,6        |            | -0,6        |            |
| 15°                 | -0,9                                        | -2,0       | -0,8        | -1,5       | -0,3        |            | -0,4        |            | -1,0        | -1,5       |
|                     | +0,2                                        |            | +0,2        |            | +0,2        |            | +0,0        |            | +0,0        | +0,0       |
| 30°                 | -0,5                                        | -1,5       | -0,5        | -1,5       | -0,2        |            | -0,4        |            | -0,5        |            |
|                     | +0,7                                        |            | +0,7        |            | +0,4        |            | +0,0        |            | +0,0        |            |
| 45°                 | -0,0                                        |            | -0,0        |            | -0,0        |            | -0,2        |            | -0,3        |            |
|                     | +0,7                                        |            | +0,7        |            | +0,6        |            | +0,0        |            | +0,0        |            |
| 60°                 | +0,7                                        |            | +0,7        |            | +0,7        |            | -0,2        |            | -0,3        |            |
| 75°                 | +0,8                                        |            | +0,8        |            | +0,8        |            | -0,2        |            | -0,3        |            |

Rys. 2.12 Współczynniki ciśnienia zewnętrznego dla dachów dwuspadowych, wg [4]

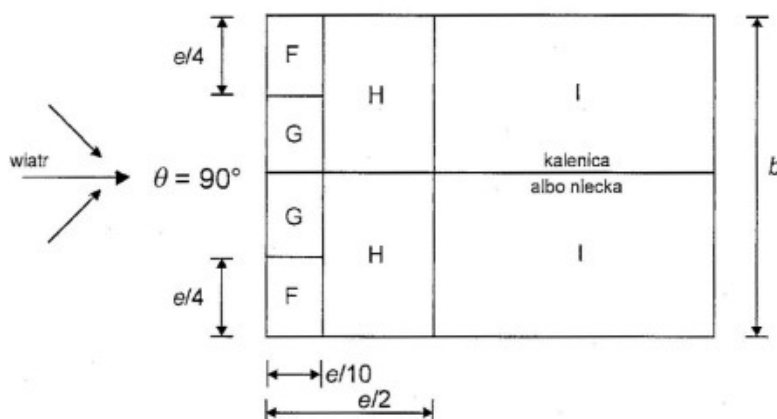
Tab. 2.1 Wartości współczynnika  $c_{pe,10}$  oraz  $w_{e,10}$  dla poszczególnych obszarów dachu

| Wielkość    | Pola dachu (wiatr od boku $\theta=0^\circ$ ) |        |   |        |   |        |        |        |        |       |
|-------------|----------------------------------------------|--------|---|--------|---|--------|--------|--------|--------|-------|
|             | F                                            |        | G |        | H |        | J      |        | I      |       |
| $C_{pe,10}$ | 0                                            | -1.7   | 0 | -1.2   | 0 | -0.6   | -0.6   | -0.6   | -0.6   | 0.2   |
| $W_{e,10}$  | 0                                            | -0.695 | 0 | -0.491 | 0 | -0.245 | -0.245 | -0.245 | -0.245 | 0.082 |



Rys. 2.13 Wycinki z programu SPECBUD, schemat obciążeń działających na dach obiektu

- Ciśnienie zewnętrzne od wiatru wiejącego na ścianę szczytową

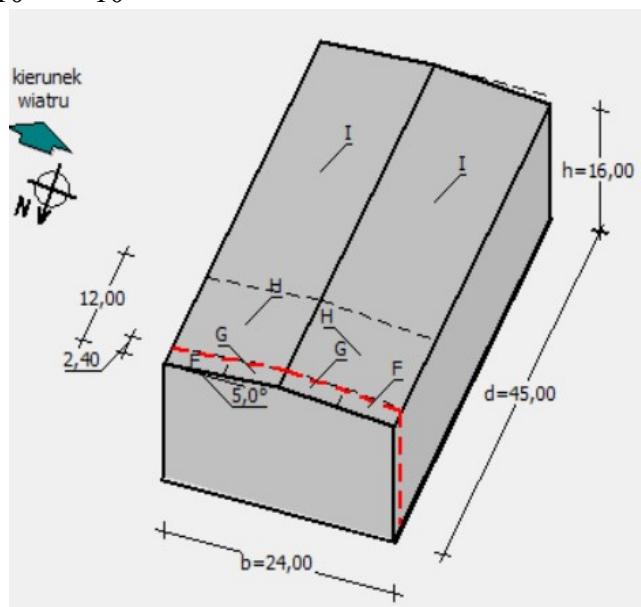


Rys. 2.14 Obszary oddziaływań występujące na dachu obiektu w przypadku wiatru wiejącego na ścianę szczytową - kierunek wiatru:  $\theta_2 = 90^\circ$ , wg [4]

Wartość odległości  $e$  obliczono zgodnie z normą [4]:

$$e_2 = \min(D_h, 2 * H) = \min(24 \text{ m}, 2 * 16 \text{ m}) = 24 \text{ m}; \frac{e_2}{2} = \frac{24 \text{ m}}{2} = 12 \text{ m}$$

$$\frac{e_2}{4} = \frac{24 \text{ m}}{4} = 6 \text{ m}; \frac{e_2}{10} = \frac{24 \text{ m}}{10} = 2.4 \text{ m}$$



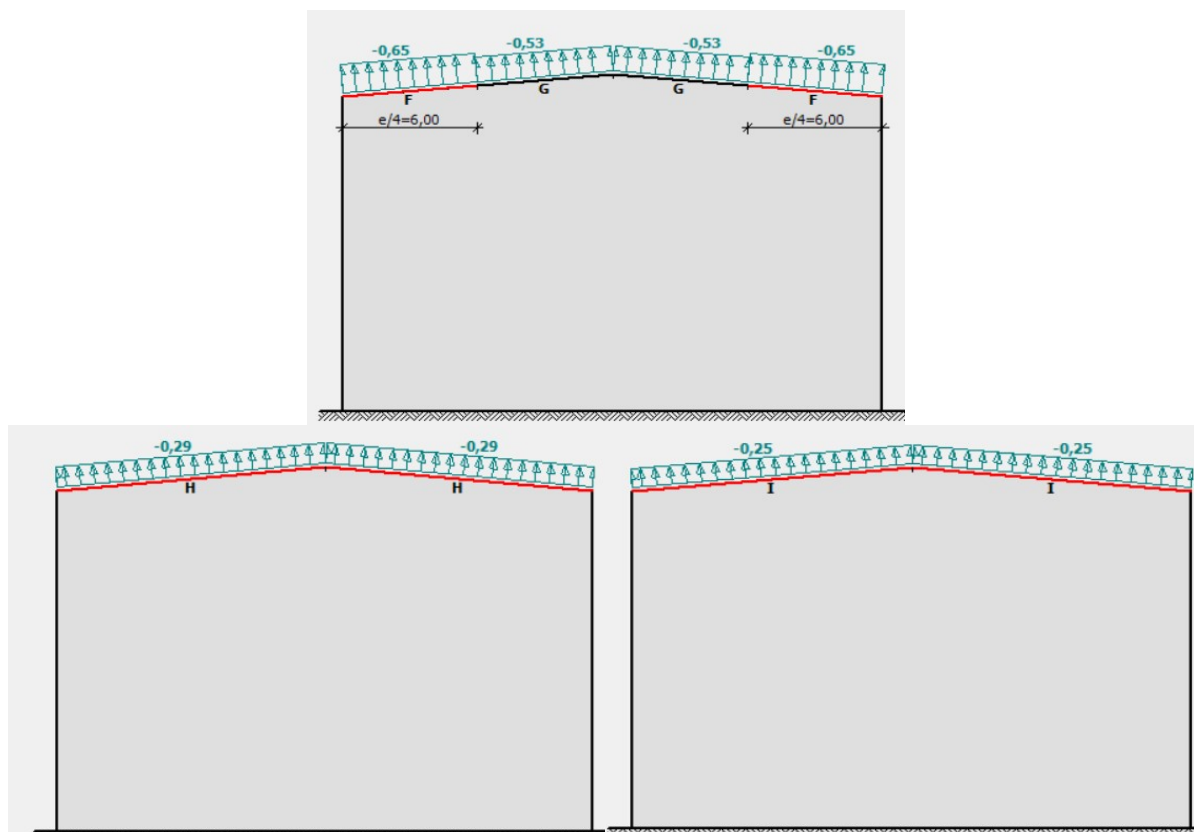
Rys. 2.15 Wycinek z programu SPECBUD, obszary oddziaływań występujące na dachu obiektu w przypadku wiatru wiejącego na ścianę podłużną - kierunek wiatru:  $\theta_2 = 90^\circ$

| Kąt spadku<br>$\alpha$ | Pole dla kierunku wiatru $\theta = 90^\circ$ |            |             |            |             |            |             |            |
|------------------------|----------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                        | F                                            |            | G           |            | H           |            | I           |            |
|                        | $c_{pe,10}$                                  | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| -45°                   | -1,4                                         | -2,0       | -1,2        | -2,0       | -1,0        | -1,3       | -0,9        | -1,2       |
| -30°                   | -1,5                                         | -2,1       | -1,2        | -2,0       | -1,0        | -1,3       | -0,9        | -1,2       |
| -15°                   | -1,9                                         | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,8        | -1,2       | -0,8        | -1,2       |
| -5°                    | -1,8                                         | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,7        | -1,2       | -0,6        | -1,2       |
| 5°                     | -1,6                                         | -2,2       | -1,3        | -2,0       | -0,7        | -1,2       | -0,6        |            |
| 15°                    | -1,3                                         | -2,0       | -1,3        | -2,0       | -0,6        | -1,2       | -0,5        |            |
| 30°                    | -1,1                                         | -1,5       | -1,4        | -2,0       | -0,8        | -1,2       | -0,5        |            |
| 45°                    | -1,1                                         | -1,5       | -1,4        | -2,0       | -0,9        | -1,2       | -0,5        |            |
| 60°                    | -1,1                                         | -1,5       | -1,2        | -2,0       | -0,8        | -1,0       | -0,5        |            |
| 75°                    | -1,1                                         | -1,5       | -1,2        | -2,0       | -0,8        | -1,0       | -0,5        |            |

Rys. 2.16 Współczynniki ciśnienia zewnętrznego dla dachów dwuspadowych, wg [4]

Tab. 2.2 Wartości współczynnika  $c_{pe,10}$  oraz  $w_{e,10}$  dla poszczególnych obszarów dachu

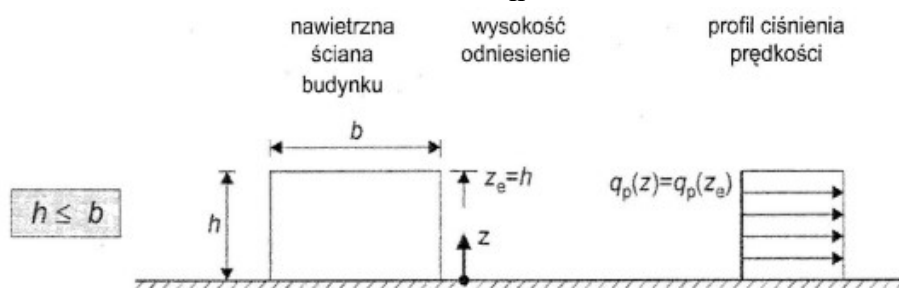
| Wielkość    | Pola dachu (wiatr od czoła $\theta=90^\circ$ ) |        |        |        |
|-------------|------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|             | F                                              | G      | H      | I      |
| $C_{pe,10}$ | -1.6                                           | -1.3   | -0.7   | -0.6   |
| $W_{e,10}$  | -0.654                                         | -0.532 | -0.286 | -0.245 |



Rys. 2.17 Wycinki z programu SPECBUD, schemat obciążeń od wiatru działających na dach

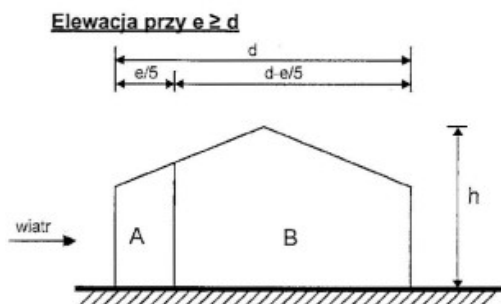
### 2.3.3 Ciśnienie zewnętrzne od wiatru przypadające na $1\text{m}^2$ ściany

$H \leq L_h = 16\text{ m} \leq 45\text{ m} = 16\text{ m} \leq 45\text{ m}$  oraz  $H \leq D_h = 16\text{ m} \leq 24\text{ m} = 16 \leq 24$



Rys. 2.18 Zalecana wysokość odniesienia

- Ciśnienie zewnętrzne od wiatru wiejącego na ścianę podłużną  
 $e_1 = 32\text{ m}$  ;  $e_1 > D_h = 32\text{ m} > 24\text{ m} = 32\text{ m} > 24\text{ m}$



Rys. 2.19 Obszary oddziaływań występujące na ścianach obiektu w przypadku wiatru wiejącego na ścianę podłużną - kierunek wiatru:  $\theta_1 = 0^\circ$ , wg [4]

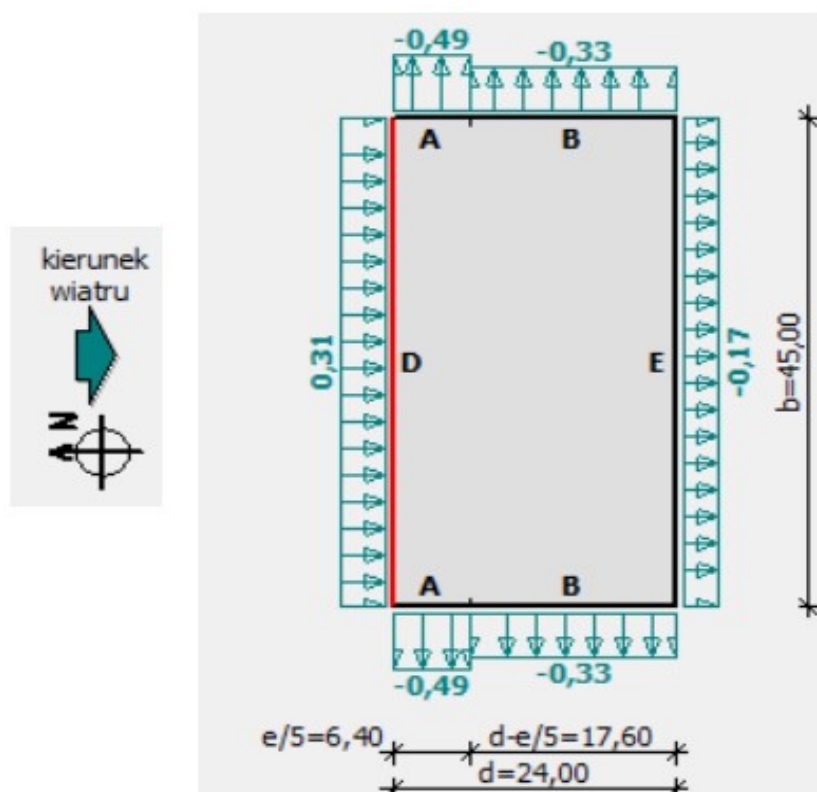
$$\frac{H}{D_h} = \frac{16 \text{ m}}{24 \text{ m}} = 0.667$$

| Pole        | A           |            | B           |            | C           |            | D           |            | E           |            |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| $h/d$       | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,8        | +1,0       | -0,7        |            |
| 1           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,8        | +1,0       | -0,5        |            |
| $\leq 0,25$ | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,7        | +1,0       | -0,3        |            |

Rys. 2.20 Zalecane wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego dla ścian pionowych budynków na rzucie prostokąta, wg [4]

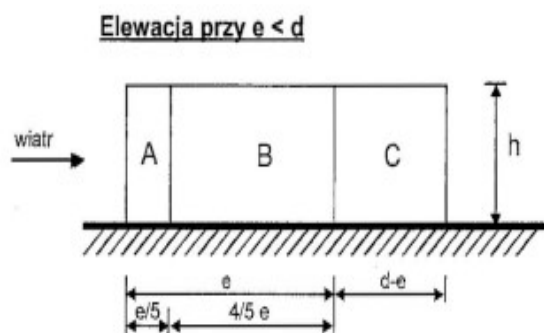
Tab. 2.3 Wartości współczynnika  $c_{pe,10}$  oraz  $w_{e,10}$  dla poszczególnych obszarów ściany

| Wielkość    | Pola ściany (wiatr od boku $\theta=0^\circ$ ) |        |       |        |
|-------------|-----------------------------------------------|--------|-------|--------|
|             | A                                             | B      | D     | E      |
| $c_{pe,10}$ | -1.2                                          | -0.8   | 0.756 | -0.5   |
| $w_{e,10}$  | -0.491                                        | -0.327 | 0.309 | -0.174 |



Rys. 2.21 Wycinek z programu SPECBUD, schemat obciążeń od wiatru działających na ściany obiektu

- Ciśnienie zewnętrzne od wiatru wiejącego na ścianę szczytową  
 $e_2 = 24 \text{ m} : e_2 < L_h = 24 \text{ m} < 45 \text{ m} = 24 \text{ m} < 45 \text{ m}$



Rys. 2.22 Obszary oddziaływań występujące na ścianach obiektu w przypadku wiatru wiejącego na ścianę szczytową - kierunek wiatru:  $\theta_2 = 90^\circ$ , wg [4]

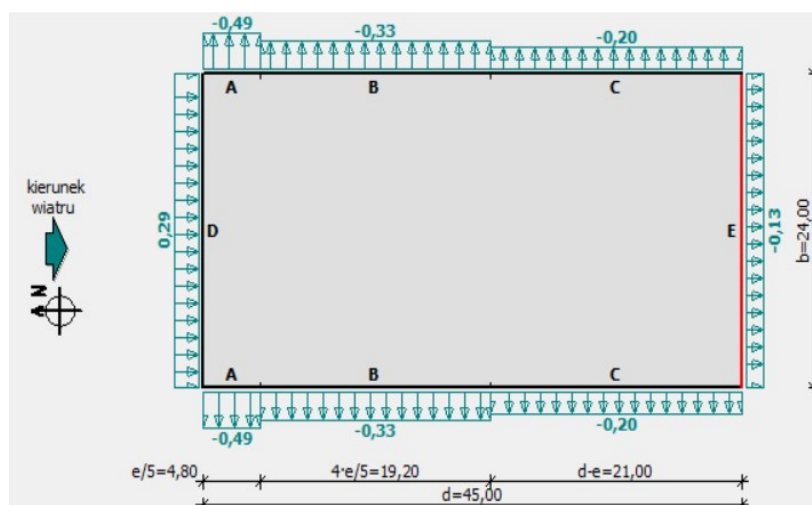
$$\frac{H}{L_h} = \frac{16 \text{ m}}{45 \text{ m}} = 0.356$$

| Pole        | A           |            | B           |            | C           |            | D           |            | E           |            |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| $h/d$       | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,8        | +1,0       | -0,7        |            |
| 1           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,8        | +1,0       | -0,5        |            |
| $\leq 0,25$ | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,7        | +1,0       | -0,3        |            |

Rys. 2.23 Zalecane wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego dla ścian pionowych budynków na rzucie prostokąta, wg [4]

Tab. 2.4 Wartości współczynnika  $c_{pe,10}$  oraz  $w_{e,10}$  dla poszczególnych obszarów ściany

| Wielkość    | Pola ściany (wiatr od czoła $\theta=90^\circ$ ) |        |        |       |        |
|-------------|-------------------------------------------------|--------|--------|-------|--------|
|             | A                                               | B      | C      | D     | E      |
| $C_{pe,10}$ | -1.2                                            | -0.8   | -0.5   | 0.714 | -0.328 |
| $W_{e,10}$  | -0.491                                          | -0.327 | -0.205 | 0.292 | -0.134 |



Rys. 2.24 Wycinek z programu SPECBUD, schemat obciążeń od wiatru działających na ściany



### 2.3.4 Ciśnienie wewnętrzne

Ciśnienie wiatru działające na powierzchnię wewnętrzną konstrukcji:

$$w_i = q_p * c_{pi}$$

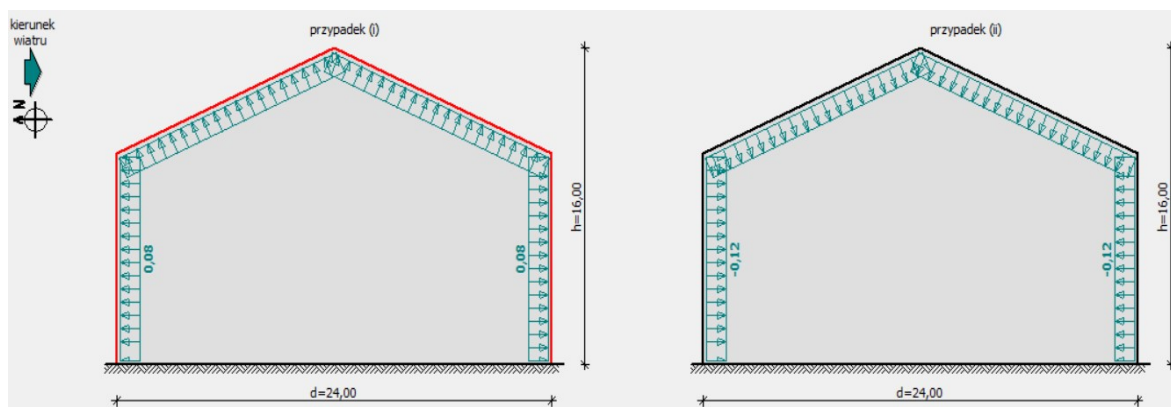
Wysokość odniesienia ciśnienia wewnętrznego:  $z_i = z_e = 16 \text{ m}$

Ponieważ nie jestem w stanie oszacować stosunku otworów przyjmuję, że współczynnik ciśnienia wewnętrznego  $C_{pi}$  przyjmuje bardziej niekorzystną wartość z dwóch:

$$C_{pi,1} = 0.2 \text{ lub } C_{pi,2} = -0.3.$$

$$w_{i,1} = 0.2 * 0.409 = 0.08$$

$$w_{i,2} = -0.3 * 0.409 = -0.12$$



Rys. 2.25 Wycinek z programu SPECBUD, schemat obciążeń działających na powierzchnie wewnętrzne

### 2.4 Obciążenie technologiczne

Jako obciążenie technologiczne przyjmuję: oświetlenie oraz wentylację.

$$q_{\text{tech}} = 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### 2.5 Obciążenie użytkowe stropu

$$q_{\text{uż}} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

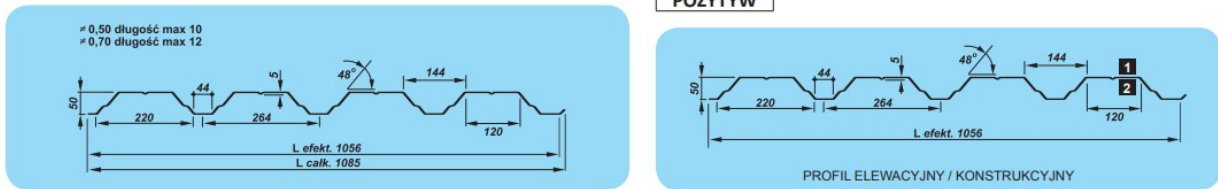


### 3. Dobór elementów hali

#### 3.1 Pokrycie dachowe

Wybrałam blachę trapezową T50P o grubości 0,7mm opartą wąskimi półkami na płatwiach w układzie trójpłaszczyznowym w rozstawie co 2m.

#### T50P



Rys. 3.1 Przekrój blachy trapezowej z katalogu firmy Blachy Pruszyński, wg [15]

- Obciążenie stałe: warstwy pokrycia dachowego
  - papa nawierzchniowa: BauderThermoplan-T15 -  $1.8 \text{ kg/m}^2$
  - termoizolacja: BauderPIR FA -  $6 \text{ kg/m}^2$
  - paroizolacja: BauderTEC DBR -  $1,6 \text{ kg/m}^2$
  - Blacha trapezowa T50P gr.0.7mm -  $6.4 \text{ kg/m}^2$

$$g_{pd} = 0.018 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.016 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.064 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Obciążenie śniegiem:  $q_{sd} = s_{k1} = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

- Obciążenie wiatrem:

$$\text{- największe parcie zew + ssanie wew : } q_{wd,p} = 0 + 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{- największe ssanie zew + parcie wew: } q_{wd,s} = -0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} - 0.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = -0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Obciążenie technologiczne:  $q_{tech} = 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Obciążenie charakterystyczne działające na blachę trapezową

$$Q_{k,par,pd} = g_{pd} + q_{sd} + q_{wd,p} + q_{tech} = 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1.138 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{k,ssa,pd} = g_{pd} + q_{wd,s} = 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + -0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = -0.622 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Obciążenie obliczeniowe działające na blachę trapezową

$$Q_{d,par,pd} = 1.35 * g_{pd} + 1.5 * q_{sd} + 1.5 * q_{wd,p} + 1.5 * q_{tech} = 1.35 * 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$+ 1.5 * 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1.5 * 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1.5 * 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1.683 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{d,ssa,pd} = 1 * g_{pd} + 1.5 * q_{wd,s} = 1 * 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1.5 * -0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = -1.012 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



| Gru-<br>bość | Jx [cm <sup>4</sup> ] | Ciężar<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | Przy-<br>paadek | Dopuszczalne obciążenia ciągle równomiernie rozłożone w kN/m <sup>2</sup> przy rozpiętości L(m) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              |                       |                                |                 | 1,00                                                                                            | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,00 | 4,25 | 4,50 | 4,75 | 5,00 |
| 0,70         | 24,19<br>30,18        | 0,064                          | SGN             | 12,91                                                                                           | 9,29 | 7,03 | 5,53 | 4,46 | 3,68 | 3,09 | 2,64 | 2,27 | 1,98 | 1,74 | 1,55 | 1,38 | 1,24 | 1,12 | 1,02 | 0,93 |
|              |                       |                                | L/150           | 12,91                                                                                           | 9,29 | 7,03 | 5,53 | 4,46 | 3,68 | 3,09 | 2,52 | 2,01 | 1,62 | 1,31 | 1,07 | 0,89 | 0,75 | 0,63 | 0,54 | 0,47 |
|              |                       |                                | L/200           | 12,91                                                                                           | 9,29 | 7,03 | 5,53 | 4,46 | 3,46 | 2,64 | 2,02 | 1,57 | 1,25 | 1,01 | 0,82 | 0,68 | 0,57 | 0,48 | 0,41 | 0,36 |
|              |                       |                                | L/300           | 12,91                                                                                           | 9,29 | 7,03 | 5,15 | 3,60 | 2,57 | 1,90 | 1,44 | 1,12 | 0,88 | 0,71 | 0,57 | 0,47 | 0,39 | 0,33 | 0,28 | 0,24 |

Rys. 3.2 Fragment tabeli z katalogu firmy Blachy Pruszyński, wg [15]

Dopuszczalne obciążenia:

$$Q_{\text{dop,SGN}} = 4.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{\text{dop,SGU}} = 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Warunki:

$$Q_{\text{dop,SGN}} \geq Q_{\text{d,par,pd}} = 4.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 1.683 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{\text{dop,SGN}} \geq |Q_{\text{d,ssa,pd}}| = 4.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq \left| -1.012 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right|$$

$$Q_{\text{dop,SGU}} \geq Q_{\text{k,par,pd}} = 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 1.138 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{\text{dop,SGU}} \geq |Q_{\text{k,par,pd}}| = 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq \left| 1.138 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right|$$

### 3.2 Obudowa ścienna

Zaprojektowano obudowę ścienną z płyt warstwowych w układzie jednoprzęsłowym układanych poziomo. Płyty mocowane są do słupów w rozstawie co 4,5m.

- Obciążenie wiatrem - największe parcie zewnętrzne + ssanie wewnętrzne:

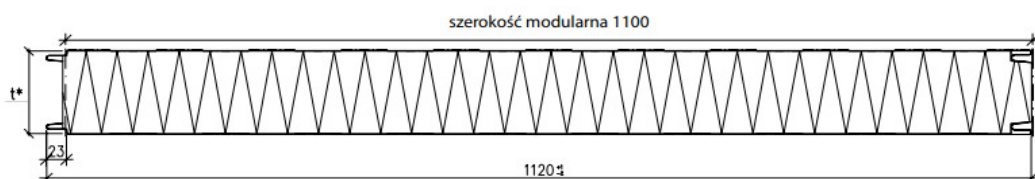
$$q_{\text{wś,p}} = 0.31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.43 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Obciążenie wiatrem - największe ssanie zewnętrzne + parcie wewnętrzne:

$$q_{\text{wś,s}} = -0.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} - 0.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = -0.57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Wybrałam pokrycie ściennie z płyt warstwowych MW Standard firmy Balex Metal o gr. 8 cm:

**Płyta ścienna MW Standard, styk, typy profilowań**



\*Zakres grubości płyt

t = 80; 100; 120; 130; 140; 150; 160; 180; 200; 230 [mm]

Rys. 3.3 Przekrój płyty warstwowej ściennej, wg [14]

**Tabela 6. Układ 1-przęsłowy - maksymalne obciążenia charakterystyczne płyt warstwowych ściennych MW STANDARD lub MW FIRE w okładzinach o grubości 0,50/0,50 mm i profilacji mikroprofilowanie/ liniowanie; szerokość podpory zewnętrznej 40mm.**  
**Kierunek działania siły - DO PODPORY - PARCIE**

| Płyta warstwowa MW STANDARD lub MW FIRE |               |                                                                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
|-----------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
| Grubość rdzenia                         | Grupa kolorów | Maksymalne obciążenie charakterystyczne [kN/m²] przy danej rozpiętości [m] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
|                                         |               | 1,25                                                                       | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,00 | 4,25 | 4,50 | 4,75 | 5,00 | 5,25 | 5,50 | 5,75 | 6,00 | 6,25 | 6,50 | 6,75 | 7,00 | 7,25 | 7,50 | 7,75 | 8,00 |  |  |
| 80                                      | I             | 3,04                                                                       | 2,53 | 2,17 | 1,90 | 1,69 | 1,52 | 1,38 | 1,26 | 1,17 | 1,08 | 1,01 | 0,96 | 0,90 | 0,85 | 0,81 | 0,76 | 0,73 | 0,69 | 0,65 | 0,59 | 0,55 | 0,50 | 0,47 | 0,43 | 0,40 | 0,38 | 0,35 | 0,31 |  |  |
|                                         | II            | 3,04                                                                       | 2,53 | 2,17 | 1,90 | 1,69 | 1,52 | 1,38 | 1,26 | 1,17 | 1,08 | 1,01 | 0,96 | 0,90 | 0,85 | 0,81 | 0,76 | 0,73 | 0,69 | 0,65 | 0,59 | 0,55 | 0,50 | 0,47 | 0,43 | 0,40 | 0,38 | 0,35 | 0,31 |  |  |
|                                         | III           | 3,04                                                                       | 2,53 | 2,17 | 1,90 | 1,69 | 1,52 | 1,38 | 1,26 | 1,17 | 1,08 | 1,01 | 0,96 | 0,90 | 0,85 | 0,81 | 0,76 | 0,73 | 0,69 | 0,65 | 0,59 | 0,55 | 0,50 | 0,47 | 0,43 | 0,40 | 0,38 | 0,35 | 0,31 |  |  |

Rys. 3.4 Fragment tabeli z katalogu firmy BalexMetal, wg [14]

$$\text{Dopuszczalne obciążenie: } q_{pś,p,max} = 0,85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Warunek: } q_{pś,p,max} \geq q_{ws,p} = 0,85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 0,43 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

**Tabela 9. Układ 1-przęsłowy - maksymalne obciążenia charakterystyczne płyt warstwowych ściennych MW STANDARD lub MW FIRE w okładzinach o grubości 0,50/0,50 mm i profilacji mikroprofilowanie/liniowanie; szerokość podpory zewnętrznej 40mm**  
**Kierunek działania siły - OD PODPORY - SSANIE**

| Płyta warstwowa MW STANDARD lub MW FIRE |               |                                                                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Grubość rdzenia                         | Grupa kolorów | Maksymalne obciążenie charakterystyczne [kN/m²] przy danej rozpiętości [m] |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                         |               | 1,25                                                                       | 1,50  | 1,75  | 2,00  | 2,25  | 2,50  | 2,75  | 3,00  | 3,25  | 3,50  | 3,75  | 4,00  | 4,25  | 4,50  | 4,75  | 5,00  | 5,25  | 5,50  | 5,75  | 6,00  | 6,25  | 6,50  | 6,75  | 7,00  | 7,25  | 7,50  | 7,75  | 8,00  |
| 80                                      | I             | -3,47                                                                      | -2,89 | -2,48 | -2,17 | -1,92 | -1,73 | -1,57 | -1,44 | -1,33 | -1,23 | -1,15 | -1,08 | -1,02 | -0,97 | -0,92 | -0,87 | -0,83 | -0,79 | -0,72 | -0,66 | -0,61 | -0,57 | -0,52 | -0,49 | -0,45 | -0,42 | -0,39 | -0,36 |
|                                         | II            | -3,47                                                                      | -2,89 | -2,48 | -2,17 | -1,92 | -1,73 | -1,57 | -1,44 | -1,33 | -1,23 | -1,15 | -1,08 | -1,02 | -0,97 | -0,92 | -0,87 | -0,83 | -0,79 | -0,72 | -0,66 | -0,61 | -0,57 | -0,52 | -0,48 | -0,43 | -0,39 | -0,35 | -0,31 |
|                                         | III           | -3,47                                                                      | -2,89 | -2,48 | -2,17 | -1,92 | -1,73 | -1,57 | -1,44 | -1,33 | -1,23 | -1,15 | -1,08 | -1,02 | -0,97 | -0,92 | -0,87 | -0,83 | -0,79 | -0,72 | -0,66 | -0,55 | -0,46 | -0,39 | -0,32 | -0,26 | -0,21 | -0,17 | -0,14 |

Rys. 3.5 Fragment tabeli z katalogu firmy BalexMetal, wg [14]

$$\text{Dopuszczalne obciążenie: } q_{pś,s,max} = -0,97 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Warunek: } |q_{pś,s,max}| \geq |q_{ws,s}| = \left| -0,97 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right| \geq \left| -0,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right|$$

$$\text{Ciężar płyt: } g_{pwś} = 0,176 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### 3.3 Wstępny dobór płatwi stalowej

Przyjęłam schemat płatwi jako belka jednoprzęsłowa o rozpiętości przęsła równej rozstawie ram głównych  $L_{pł} = 4,5$  m. Płatwie wykonane będą ze stali C235JR, a ich rozstaw wynosi  $b = 2$  m.

Obciążenie działające na płatew:

- Obciążenie stałe: warstwy pokrycia dachowego

$$g_{pd} = 0,158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Obciążenie śniegiem:  $q_{śd} = 0,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

- Obciążenie wiatrem:

$$\text{-największe parcie zew + ssanie wew : } q_{wd,p} = 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{- największe ssanie zew + parcie wew: } q_{wd,s} = -0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Obciążenie technologiczne:  $q_{tech} = 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Obciążenie działające na płatew

$$1) q_{pl,par} = \left( 1.35 * \left( 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + g_{pd} \right) + 1.5 * q_{sd} + 1.5 * q_{wd,p} + 1.5 * q_{tech} \right) * b$$

$$q_{pl,par} = \left( 1.35 * \left( 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + g_{pd} \right) + 1.5 * q_{sd} + 1.5 * q_{wd,p} + 1.5 * q_{tech} \right) * b =$$

$$\left( 1.35 * \left( 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) + 1.5 * 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1.5 * 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1.5 * 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * 2 \text{ m}$$

$$= 3.637 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$2) q_{pl,ssanie} = \left( 1 * \left( 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + g_{pd} \right) + 1.5 * q_{wd,s} \right) * b$$

$$q_{pl,ssanie} = \left( 1 * \left( 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + g_{pd} \right) + 1.5 * q_{wd,s} \right) * b =$$

$$\left( 1 * \left( 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) + 1.5 * -0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * 2 \text{ m} = -1.824 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{max} = \max \left( q_{pl,par}, |q_{pl,ssanie}| \right) = \max \left( 3.637 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \left| -1.824 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right| \right) =$$

$$\max \left( 3.637 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, 1.824 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) = 3.637 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Moment maksymalny

$$M_{ED,pl} = \frac{q_{max,par} * L_{pl}^2}{8}$$

$$M_{ED,pl} = \frac{q_{max} * L_{pl}^2}{8} = \frac{3.637 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * (4.5 \text{ m})^2}{8} = 9.205 \text{ kNm}$$

$$f_{y,pl} = 235 \text{ MPa}$$

$\chi_{lt,pl} = 0.5$  - współczynnik zwichrzenia

$$W_{pl,y,pl,min} = \frac{q_{pl,par} * L_{pl}^2}{8 * \chi_{lt,pl} * f_{y,pl}} = \frac{3.637 \frac{kN}{m} * (4.5 m)^2}{8 * 0.5 * 235 MPa} = 78341.649 mm^3$$

Wybrałam na płatew kształtownik z katalogu Arcelor Mittal IPE140:

$$W_{pl,y,pl} = 88.3 cm^3 = 88300 mm^3$$

$$w_{pl,z,pl} = 19.3 cm^3 = 19300 mm^3$$

Nośność płatwi:

$$M_{Rd,pl} = \frac{\chi_{lt,pl} * W_{pl,y,pl} * f_{y,pl}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 * 88300 mm^3 * 235 MPa}{1} = 10.375 kNm$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

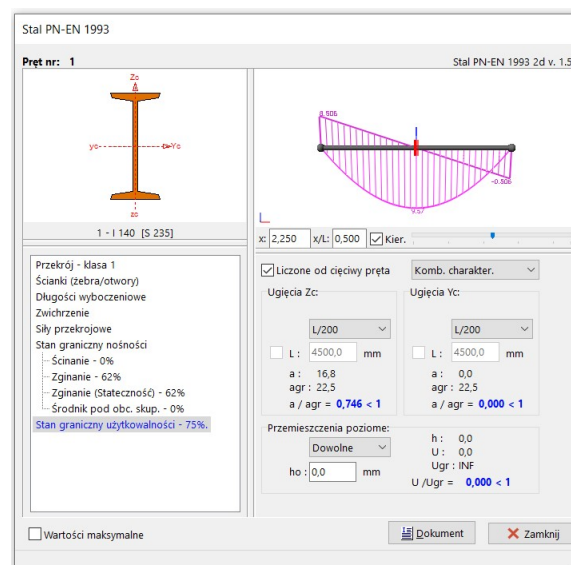
Sprawdzenie warunków:

1) Nośność płatwi

$$M_{Rd,pl} \geq M_{ED,pl} = 10.375 kNm \geq 9.205 kNm$$

$$W_{pl,y,pl} \geq W_{pl,y,pl,min} = 88300 mm^3 \geq 78341.649 mm^3$$

2) Ugięcie płatwi



Rys. 3.6 Ugięcie płatwi odczytane z programu RM-Win

$$u_{dop,pl} = \frac{L_{pl}}{200} = \frac{4.5 m}{200} = 22.5 mm$$

$$u_{pl} = 16.8 mm$$

$$u_{dop,pl} \geq u_{pl} = 22.5 mm \geq 16.8 mm$$

Oba warunki zostały spełnione.

$$\text{Ciężar płatwi: } g_{pl} = 0.129 \frac{kN}{m}$$

### 3.4 Dźwigar dachowy

- Obciążenie stałe: warstwy pokrycia dachowego, płatwie
- papa nawierzchniowa: BauderThermoplan-T15 -  $1.8 \text{ kg/m}^2$
- termoizolacja: BauderPIR FA -  $6 \text{ kg/m}^2$
- Paroizolacja: BauderTEC DBR -  $1,6 \text{ kg/m}^2$
- Blacha trapezowa T50P gr.0.7mm -  $6.4 \text{ kg/m}^2$
- Płatew IPE140 -  $12.9 \text{ kN/m}$

$$g_{pdd} = \left( 0.018 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.016 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.064 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * 4.5 \text{ m} + 0.129 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 0.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Obciążenie śniegiem:  $q_{sdd} = s_{kl} * L_{pł} = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = 2.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

- Obciążenie wiatrem:

- największe parcie zew + ssanie wew:

$$q_{wdd,p} = q_{wd,p} * L_{pł} = 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = 0.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- największe ssanie zew + parcie wew:

$$q_{wdd,s} = q_{wd,s} * L_{pł} = -0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = -3.51 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Obciążenie technologiczne:  $q_{tech,pp} = q_{tech} * L_{pł} = 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = 1.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Obciążenie charakterystyczne dźwigara dachowego:

$$1) Q_{k,dd,par} = g_{pdd} + q_{sdd} + q_{wdd,p} + q_{tech,pp}$$

$$Q_{k,dd,par} = g_{pdd} + q_{sdd} + q_{wdd,p} + q_{tech,pp} = 0.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 2.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 5.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$2) Q_{k,dd,ssa} = g_{pdd} + q_{wdd,s} + q_{tech,pp}$$

$$Q_{k,dd,ssa} = g_{pdd} + q_{wdd,s} + q_{tech,pp} = 0.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + -3.51 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = -1.32 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Obciążenie obliczeniowe dźwigara dachowego:

$$1) Q_{d,dd,par} = 1.35 * g_{pdd} + 1.5 * q_{sdd} + 1.5 * q_{wdd,p} + 1.5 * q_{tech,pp}$$

$$Q_{d,dd,par} = 1.35 * g_{pdd} + 1.5 * q_{sdd} + 1.5 * q_{wdd,p} + 1.5 * q_{tech,pp} = 1.35 * 0.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1.5 * 2.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1.5 * 0.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1.5 * 1.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 7.749 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

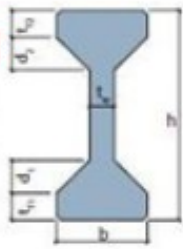
$$2) Q_{d,dd,ssa} = 1 * g_{pdd} + 1.5 * q_{wdd,s}$$

$$Q_{d,dd,ssa} = 1 * g_{pdd} + 1.5 * q_{wdd,s} = 1 * 0.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1.5 * -3.51 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = -4.425 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



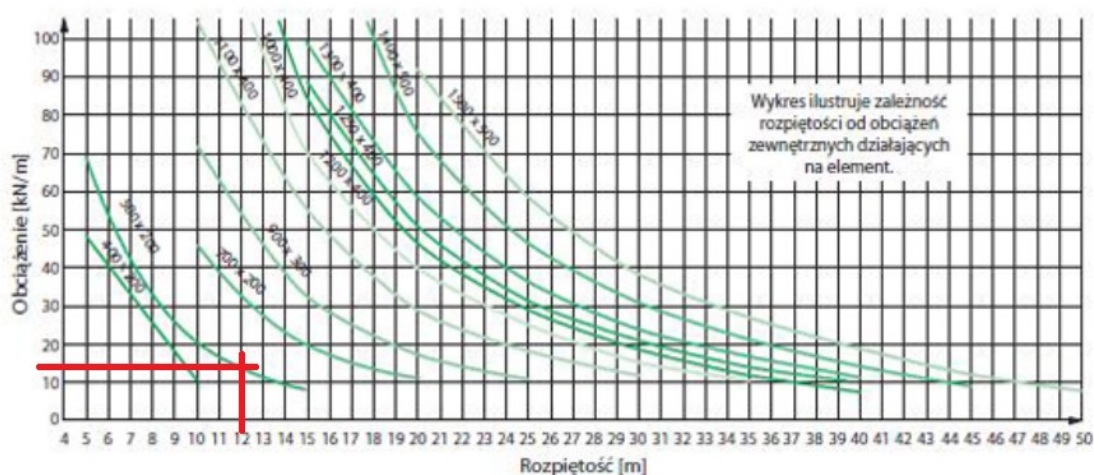
Wybrałam dźwigar dachowy typu I: I-500x240 firmy Pekabex

| Charakterystyka  |            |            |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
|------------------|------------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Przekrój         | h<br>[mm]  | b<br>[mm]  | t <sub>w</sub><br>[mm] | d <sub>1</sub><br>[mm] | d <sub>2</sub><br>[mm] | t <sub>o</sub><br>[mm] | t <sub>u</sub><br>[mm] | l <sub>u</sub><br>[mm] | l <sub>u</sub><br>[mm] |
| I 400x240        | 400        | 240        | 70                     | 80                     | 60                     | 70                     | 80                     | 5                      | 10                     |
| <b>I 500x240</b> | <b>500</b> | <b>240</b> | <b>70</b>              | <b>80</b>              | <b>60</b>              | <b>70</b>              | <b>80</b>              | <b>5</b>               | <b>15</b>              |
| I 700x300        | 700        | 300        | 90                     | 110                    | 110                    | 90                     | 80                     | 8                      | 20                     |
| I 900x300        | 900        | 300        | 100                    | 110                    | 110                    | 100                    | 80                     | 8                      | 25                     |
| I 1000x400       | 1000       | 400        | 100                    | 150                    | 80                     | 150                    | 100                    | 10                     | 30                     |
| I 1100x400       | 1100       | 400        | 150                    | 150                    | 80                     | 200                    | 100                    | 10                     | 35                     |
| I 1200x400       | 1200       | 400        | 150                    | 140                    | 70                     | 200                    | 120                    | 10                     | 40                     |
| I 1250x400       | 1250       | 400        | 150                    | 140                    | 70                     | 250                    | 120                    | 10                     | 40                     |
| I 1300x400       | 1300       | 400        | 200                    | 140                    | 70                     | 250                    | 120                    | 10                     | 40                     |
| I 1400x500       | 1400       | 500        | 150                    | 190                    | 70                     | 200                    | 120                    | 15                     | 45                     |
| I 1500x500       | 1500       | 500        | 200                    | 190                    | 70                     | 250                    | 120                    | 20                     | 50                     |



Rys. 3.7 Tablica z przekrojami dźwigarów dachowych z katalogu firmy Pekabex, wg [16]

| Dopuszczalne wartości obliczeniowego obciążenia zewnętrznego |                                           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Rozpiętość<br>belki [m]                                      | Sumaryczne obciążenie obliczeniowe [kN/m] |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |
|                                                              | I 400x240                                 | I 500x240 | I 700x300 | I 900x300 | I 1000x400 | I 1100x400 | I 1200x400 | I 1250x400 | I 1300x400 | I 1400x500 | I 1500x500 |
| 5                                                            | 48,08                                     | 68,88     |           |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 10                                                           | 10,64                                     | 20,26     | 45,48     | 71,48     | 103,98     | 136,48     | 162,48     |            |            |            |            |
| 15                                                           |                                           | 7,78      | 19,48     | 32,48     | 54,58      | 70,18      | 84,48      | 88,38      | 98,78      | 140,38     |            |
| 20                                                           |                                           |           | 10,77     | 16,88     | 29,23      | 40,28      | 46,78      | 50,68      | 58,48      | 75,38      | 92,28      |
| 25                                                           |                                           |           |           | 10,38     | 18,18      | 24,68      | 28,58      | 31,18      | 36,38      | 46,78      | 58,48      |
| 30                                                           |                                           |           |           |           | 11,42      | 15,58      | 18,96      | 20,78      | 24,03      | 31,18      | 38,59      |
| 35                                                           |                                           |           |           |           |            | 10,12      | 12,07      | 14,02      | 16,62      | 21,56      | 27,28      |
| 40                                                           |                                           |           |           |           |            |            | 7,78       | 9,86       | 10,77      | 14,54      | 18,83      |
| 45                                                           |                                           |           |           |           |            |            |            |            |            | 9,34       | 12,07      |
| 50                                                           |                                           |           |           |           |            |            |            |            |            |            | 7,78       |



Rys. 3.8 Tablica z dopuszczalnym obciążeniami dźwigarów dachowych z katalogu firmy Pekabex, wg [16]

$$q_{d,dd,dop} = 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Q_{d,dd,par} \leq q_{d,dd,dop} = 7.749 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \leq 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$|Q_{d,dd,ssa}| \leq q_{d,dd,dop} = \left| -4.425 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right| \leq 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (3.21)$$

Ciężar dźwigara dachowego:  $q_{dd} = 36 \text{ kN}$

Dźwigar dachowy oparty będzie na podkładkach elastomerowych na wspornikach. Wspornik na środkowym słupie będzie wyżej niż na skrajnych aby uzyskać spadek dachu równy 8.75%. W celu ułatwienia montażu dźwigar dachowy zostanie wykonany z blokiem końcowym.

### 3.5 Podkładki elastomerowe pod dźwigar dachowy

Wartość charakterystyczna reakcji na podporze:

$$V_k = \frac{Q_{k,dd,par} * 12 + q_{dd}}{2}$$

$$V_k = \frac{Q_{k,dd,par} * 12 \text{ m} + q_{dd}}{2} = \frac{5.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 12 \text{ m} + 36 \text{ kN}}{2} = 49.5 \text{ kN}$$

| Tricosal N15 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| [mm]         | 50  | 75  | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 250 | 300 |
| 50           | 38  | 56  | 75  | 94  | 113 | 131 | 150 | 188 | 225 |
| 75           | 56  | 84  | 113 | 141 | 169 | 197 | 225 | 281 | 338 |
| 100          | 75  | 113 | 150 | 188 | 225 | 263 | 300 | 375 | 450 |
| 125          | 94  | 141 | 188 | 234 | 281 | 328 | 375 | 469 | 563 |
| 150          | 113 | 169 | 225 | 281 | 338 | 394 | 450 | 563 | 675 |
| 175          | 131 | 197 | 263 | 328 | 394 | 459 | 525 | 656 | 788 |
| 200          | 150 | 225 | 300 | 375 | 450 | 525 | 600 | 750 | 900 |

Rys. 3.9 Fragment z katalogu firmy Tricosal, wg [19]

Dobrałam podkładki elastomerowe niezbrojone firmy Tricosal N15 o gr. 5mm. Wymiary podkładki wynoszą 125x100mm.

$$V_{k,dop} = 188 \text{ kN}$$

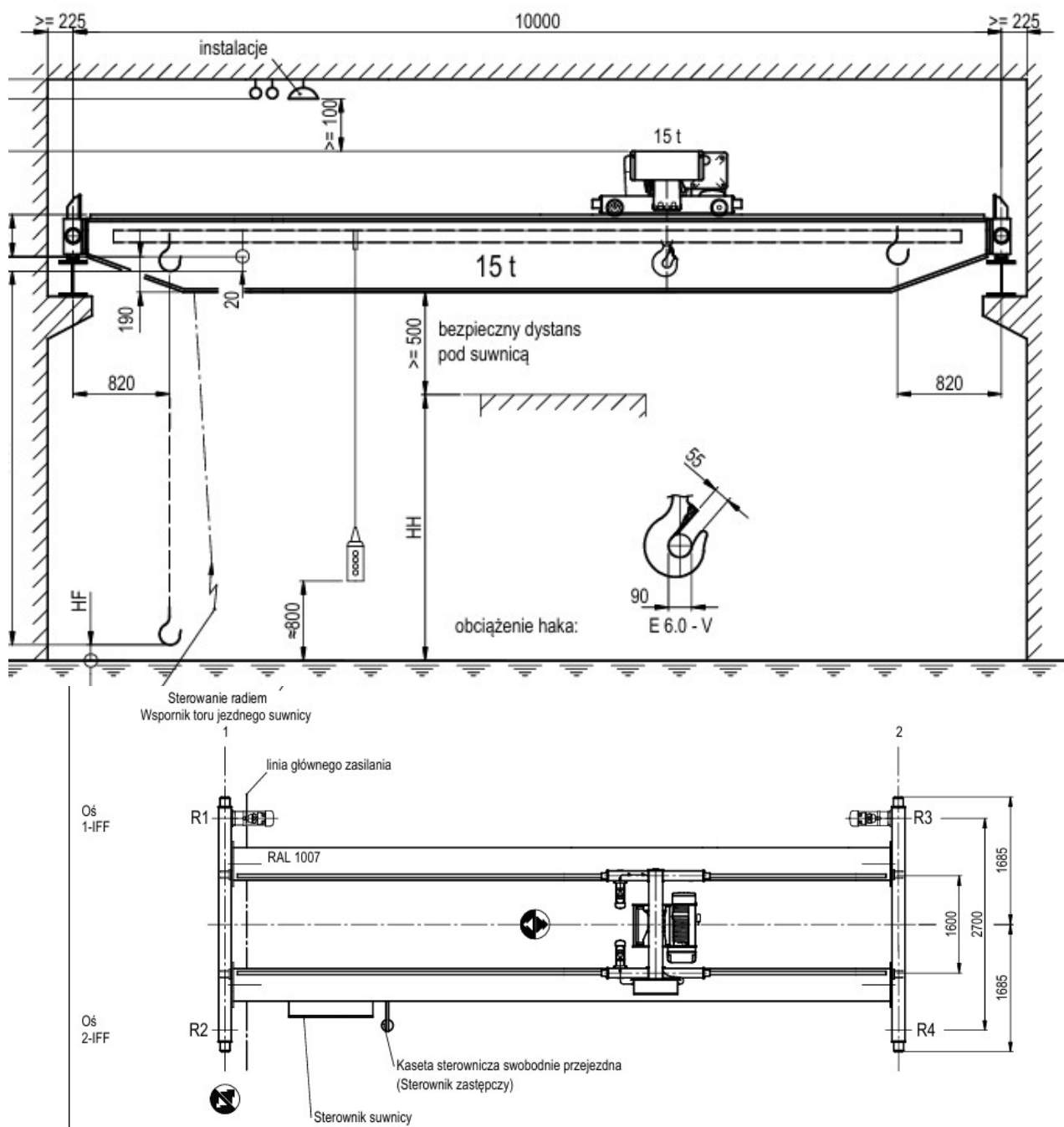
$$V_k \leq V_{k,dop} = 49.5 \text{ kN} \leq 188 \text{ kN}$$

### 3.6 Suwnica

#### 3.6.1 Dobór suwnicy

Suwnicę model ZLK o udźwigu 15t dostarczyła firma Abus. Rozpiętość suwnicy wynosi 10m, natomiast rozstaw kół wynosi 2.7m.





Rys. 3.10 Rysunki schematyczne suwnicy firmy Abus, wg [18]

### 3.6.2 Szyny

Dobrano szyny A75

Wysokość szyny - 85 mm

Szerokość główki - 75mm

Szerokość stopki 200 mm

Ciężar szyny:  $g_{sz} = 0.55 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

### 3.6.3 Belka podsuwnicowa

Wymiary dobranej belki podsuwnicowej:

$h_{bs} = 600 \text{ mm}$ ;  $h_{f,bs} = 120 \text{ mm}$ ;  $h_{w,bs} = 480 \text{ mm}$ ;  $b_{eff,bs} = 550 \text{ mm}$ ;  $b_{w,bs} = 300 \text{ mm}$ ;

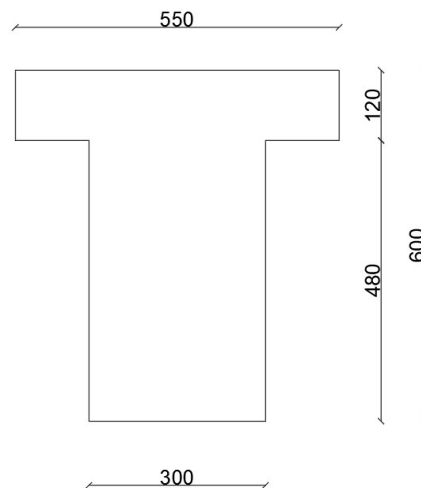
$$L_{bs} = 4.5 \text{ m}$$

$$A_{bs} = b_{w,bs} * h_{w,bs} + h_{f,bs} * b_{eff,bs}$$

$$A_{bs} = b_{w,bs} * h_{w,bs} + h_{f,bs} * b_{eff,bs} = 300 \text{ mm} * 480 \text{ mm} + 120 \text{ mm} * 550 \text{ mm} = 0.21 \text{ m}^2$$

$$\gamma_b = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Ciężar belki: } g_{bs} = A_{bs} * \gamma_b = 0.21 \text{ m}^2 * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 5.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

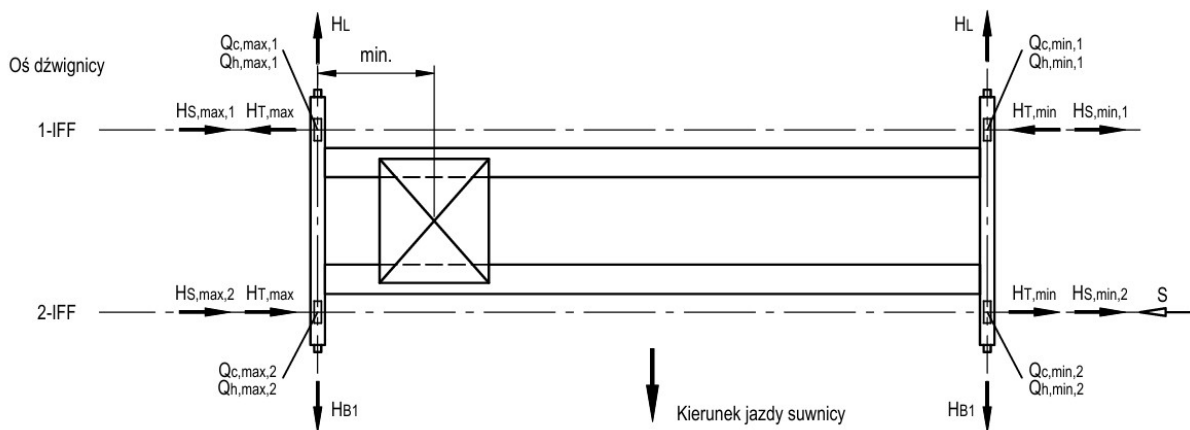


Rys. 3.11 Przekrój belki podsuwnicowej

### 3.6.4 Oddziaływania od suwnicy

|                                                             |                                                                                              |          |     |          |      |      |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|----------|------|------|
| obciążenia od kół (pionowe)                                 | Składowa siły wynikająca z masy dźwigni i wózka/wózków na każdą oś dźwigni                   | Qc,min,1 | 8,8 | Qc,max,1 | 13,5 | [kN] |
|                                                             |                                                                                              | Qc,min,2 | 8,8 | Qc,max,2 | 13,9 | [kN] |
|                                                             | składowa siły wynikająca z masy podnoszonego ładunku w każdej osi dźwigni                    | Qh,min,1 | 6,1 | Qh,max,1 | 67,9 | [kN] |
|                                                             |                                                                                              | Qh,min,2 | 6,1 | Qh,max,2 | 68,0 | [kN] |
| obciążenia boczne (poziome)                                 | Siła wynikająca z przyspieszenia dźwigni mł podnoszonym ładunkiem (siła masowa)              | HT,min   | 0,6 | HT,max   | 3,2  | [kN] |
|                                                             | Siła wynikająca ze znoszenia (współczynnik tarcia <= 0,3)                                    | S        |     |          | 23,4 | [kN] |
|                                                             | Siła pozioma wynikająca ze znoszenia w każdej osi dźwigni                                    | HS,min,1 | 0,0 | HS,max,1 | 0,0  | [kN] |
|                                                             |                                                                                              | HS,min,2 | 3,6 | HS,max,2 | 19,8 | [kN] |
| Obciążenia podłużne (poziome) (na każdy wspornik torowiska) | Siła wynikająca z przyspieszenia dźwigni mł podnoszonym ładunkiem (siła masowa)              | HL       |     |          | 1,5  | [kN] |
|                                                             | siła wynikająca z uderzenia o bufor (końcowa siła buforowa) (Ogranicznik ruchu uwzględniony) | HB1      |     |          | 15,4 | [kN] |

Rys. 3.12 Oddziaływania od suwnicy wartości charakterystyczne, wg [18]



Rys. 3.13 Schemat sił wywołanych przez suwnicę, wg [18]

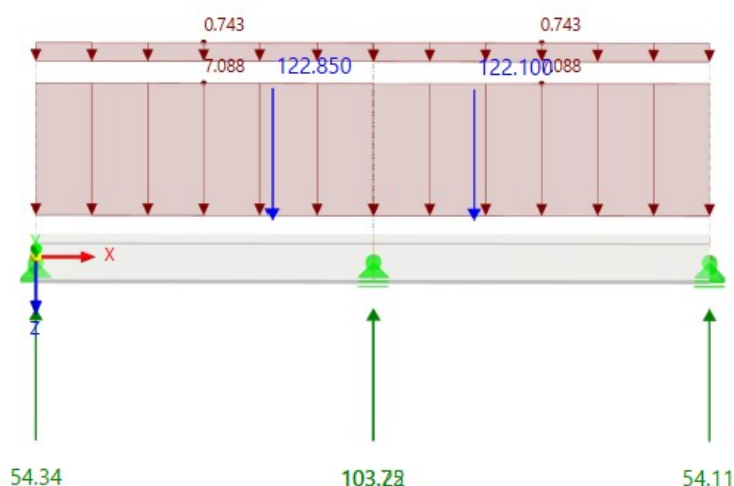
|                   |      |                                                                                  |
|-------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $\varphi 1$       | 1,10 | Przyspieszenie działające na masę dźwigni wynikające z podnoszenia i grawitacji  |
| $\varphi 2$       | 1,10 | Bezwładność i grawitację przy podnoszeniu bez przeszkód ładunku z podłoża        |
| $\varphi 3$       | 1,00 | Bezwładność i grawitację przy gwałtownym opuszczeniu części podnoszonego ładunku |
| $\varphi 4$       | 1,00 | Obciążenia z jazdy po nierównościach                                             |
| $\varphi 5, Kr$   | 1,20 | Obciążenia z przyspieszenia przez napędy jazdy suwnicy                           |
| $\varphi 6, dyn$  | 1,05 | Dynamiczne obciążenie pomiarowe                                                  |
| $\varphi 6, stat$ | 1,00 | Statyczne obciążenie pomiarowe                                                   |
| $\varphi 7, Kr$   | 1,25 | Obciążenia z sił buforowych                                                      |

Rys. 3.14 Współczynniki dynamiczne dla suwnicy, wg [18]

### 3.6.5 Wyznaczenie maksymalnej reakcji pionowej od suwnicy, bliższy słup

Sprawdzenie w jakim ustawieniu suwnicy reakcja na podporze będzie największa -  $R_{max}$ .

Belki zostały obciążone ciężarem własnym oraz ciężarem szyn (współczynnik bezpieczeństwa 1,35) oraz siłami pionowymi od maksymalnego nacisku kół suwnicy, czyli  $Q_{c,max} + Q_{h,max}$  (współczynnik bezpieczeństwa 1,5), w ustawieniu bardziej niekorzystnym, czyli takim w którym reakcja na podporze jest największa.

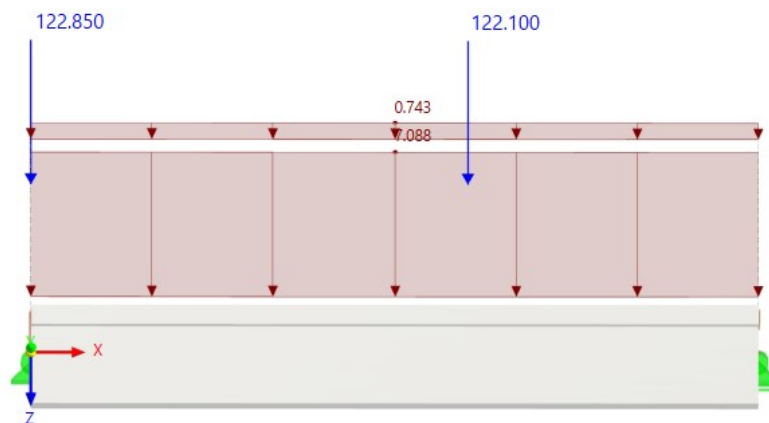


Rys. 3.15 Schemat 1 - suwnica na dwóch belkach podsuwnicowych, koła w równej odległości od podpory (między belkami jest minimalna przerwa)



Rys.3.16 Schemat 2 - jedno koło nad podporą, a drugie na belce w odpowiedniej odległości

Gorszym przypadkiem jest, gdy jedno koło suwnicy stoi nad podporą, a drugie w odpowiedniej kolejności, więc ten schemat przyjmuję do dalszych obliczeń wyznaczenia reakcji maksymalnej  $R_{\max}$ .



Rys. 3.17 Maksymalne obciążenia belki podsuwnicowej w programie RFem.

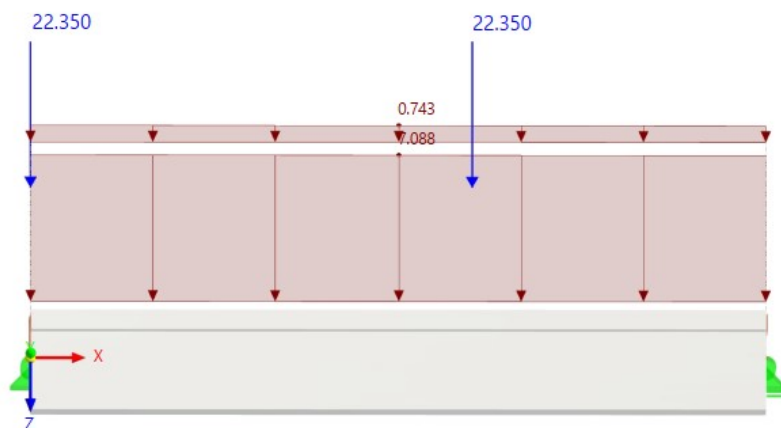


Rys. 3.18 Reakcje podporowe w belce podsuwnicowej od maksymalnego obciążenia w programie RFem.

$$R_{\max} = 140.47 \text{ kN}$$

Wyznaczenie reakcji pionowej dopełniającej do maksymalnej  $R_{\max, \text{dop}}$  (Reakcja na słup, który znajdują się dalej od wózka suwnicy).

Belka została obciążona ciężarem własnym oraz ciężarem szyn (współczynnik bezpieczeństwa 1,35) oraz siłami pionowymi od dopełniającego nacisku kół suwnicy, czyli  $Q_{c,min} + Q_{h,min}$  (współczynnik bezpieczeństwa 1,5), w ustawieniu bardziej niekorzystnym, czyli takim w którym reakcja na podporze jest największa.



Rys. 3.19 Dopełniające do maksymalnego obciążenia belki podsuwnicowej w programie RFem.



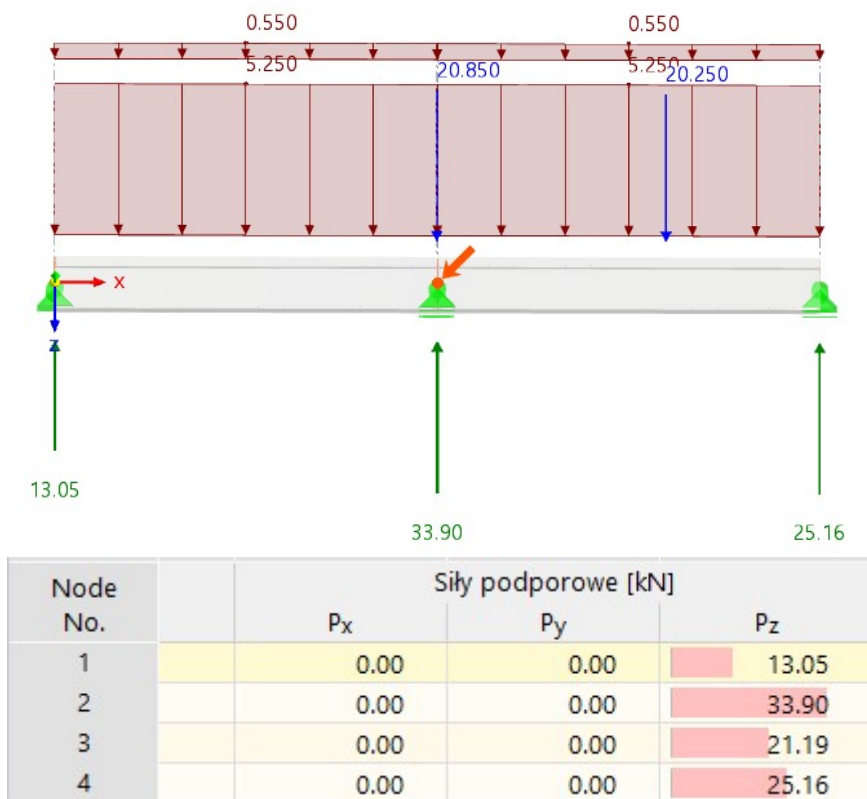
Rys. 3.20 Reakcje podporowe dopełniające w belce podsuwnicowej w programie RFem.

$$R_{\max, \text{dop}} = 39.97 \text{ kN}$$

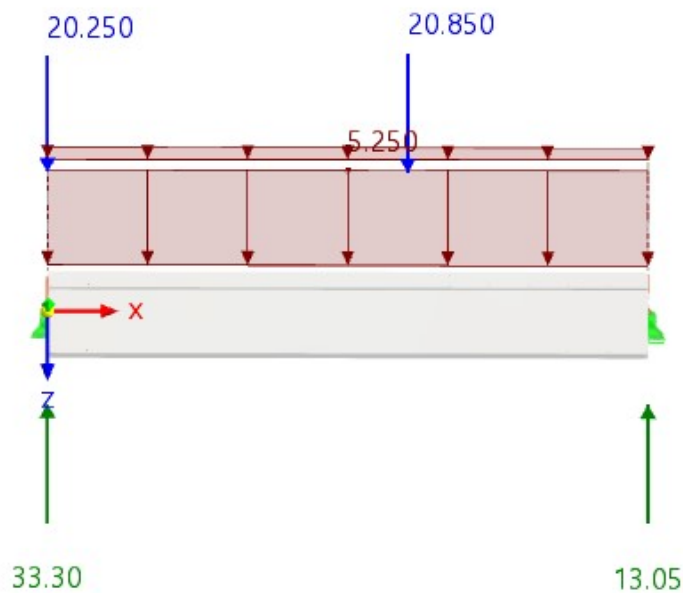
### 3.6.6. Wyznaczenie minimalnej reakcji pionowej od suwnicy, bliższy słup

Sprawdzenie w jakim ustawieniu suwnicy reakcja na podporze będzie najmniejsza -  $R_{\min}$ .

Belki zostały obciążone ciężarem własnym oraz ciężarem szyn (współczynnik bezpieczeństwa 1,0) oraz siłami pionowymi od nacisku kół suwnicy bez udźwigu, czyli  $Q_{c,\max}$  (współczynnik bezpieczeństwa 1,5), w ustawieniu bardziej korzystnym, czyli takim w którym reakcja na podporze jest najmniejsza.



Rys. 3.21 Schemat 1 - suwnica na dwóch belkach podsuwnicowych, jedno koło na końcu pierwszej belki, drugie w odpowiedniej odległości (między belkami jest minimalna przerwa)



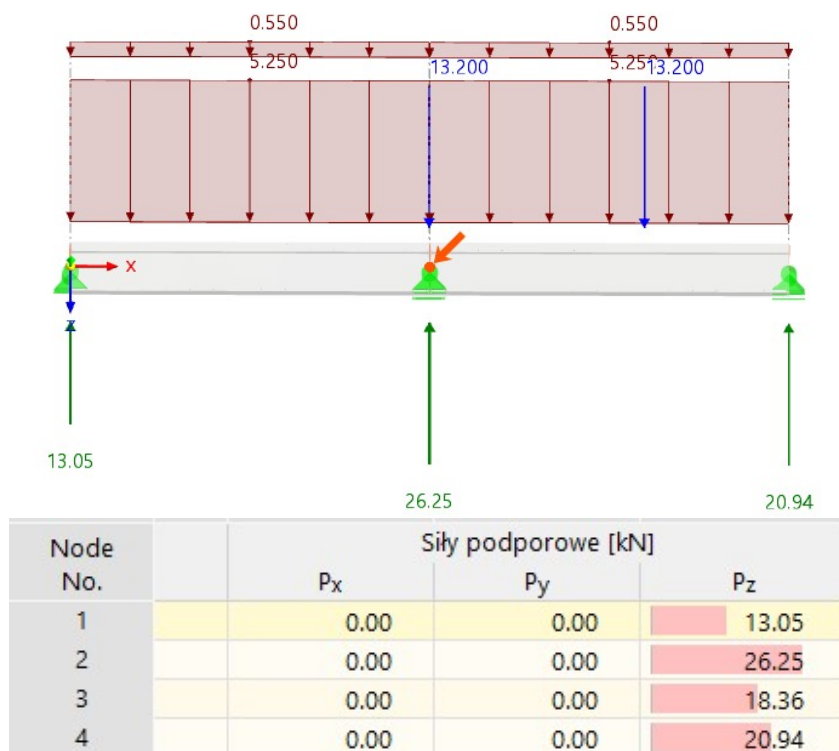
Rys.3.22 Schemat 2 - jedno koło nad podporą, a drugie na belce w odpowiedniej odległości.

Przypadek, który wywołuje mniejszą reakcję, to gdy jedno koło suwnicy stoi nad podporą na pierwszej belce, a drugie w odpowiedniej kolejności na drugiej.

$$R_{\min} = 21.19 \text{ kN}$$

Wyznaczenie reakcji pionowej dopełniającej do minimalnej  $R_{\min, \text{dop}}$  (Reakcja na słup, który znajdują się dalej od wózka suwnicy).

Belka została obciążona ciężarem własnym oraz ciężarem szyn (współczynnik bezpieczeństwa 1,0) oraz siłami pionowymi od dopełniającego nacisku kół suwnicy bez udźwigu, czyli  $Q_{c, \min}$  (współczynnik bezpieczeństwa 1,5), w ustawieniu bardziej korzystnym, czyli takim w którym reakcja na podporze jest najmniejsza.



Rys. 3.23 Dopełniające do minimalnego obciążenia belki podsuwnicowej w programie RFem.

$$R_{\min, \text{dop}} = 18.36 \text{ kN}$$

### 3.7 Strop

- Obciążenie stałe:

- warstwa wyrównawcza z betonu 5 cm - 25 kN/m<sup>3</sup>

- posadzka żywiczna 5mm - 13 kN/m<sup>3</sup>

$$g_{\text{ost}} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0.05 \text{ m} + 13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0.005 \text{ m} = 1.315 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Obciążenie użytkowe:  $q_{\text{uż}} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

- Obciążenie technologiczne:  $q_{\text{tech}} = 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Obciążenie charakterystyczne stropu:

$$Q_{\text{strop}} = g_{\text{ost}} + q_{\text{uż}} + q_{\text{tech}} = 1.315 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 6.615 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Wybrałam na strop płyty TT400/120-8 firmy Consolis:

**Tab. 6.2. Dopuszczalne obciążenia charakterystyczne dla płyt TT400 i TT500 z żebrem 120 mm**

| $L_{eff}$<br>[m] | $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] |             |             |             |             |             |             |             |              |
|------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|                  | TT400/120-2                | TT400/120-4 | TT400/120-6 | TT400/120-8 | TT500/120-2 | TT500/120-4 | TT500/120-6 | TT500/120-8 | TT500/120-10 |
| 6,00             | 11,43                      | 22,94       | 32,24       | 39,62       | 15,02       | 30,37       | 43,61       | 54,74       | 63,76        |
| 7,00             | 7,82                       | 16,27       | 23,18       | 28,53       | 10,39       | 21,66       | 31,39       | 39,57       | 46,20        |
| 8,00             | 5,21                       | 11,95       | 17,23       | 21,33       | 6,96        | 16,01       | 23,46       | 29,72       | 34,80        |
| 9,00             | 3,60                       | 8,98        | 13,16       | 16,40       | 5,06        | 12,14       | 18,03       | 22,97       | 26,98        |
| 10,00            | 2,61                       | 6,49        | 10,24       | 12,87       | 3,58        | 9,37        | 14,14       | 18,14       | 21,39        |
| 11,00            | 1,88                       | 5,04        | 8,09        | 10,01       | 2,64        | 6,91        | 11,26       | 14,57       | 17,25        |
| 12,00            |                            | 3,80        | 6,08        | 7,66        | 1,93        | 5,47        | 9,07        | 11,85       | 14,11        |
| 13,00            |                            | 2,61        | 4,49        | 5,84        | 1,27        | 4,35        | 6,95        | 9,72        | 11,34        |
| 14,00            |                            | 1,59        | 3,22        | 4,39        |             | 3,36        | 5,71        | 7,69        | 9,08         |
| 15,00            |                            |             | 2,20        | 3,23        |             | 2,39        | 4,46        | 6,05        | 7,26         |
| 16,00            |                            |             |             |             |             | 1,47        | 3,30        | 4,70        | 5,77         |
| 17,00            |                            |             |             |             |             |             | 2,34        | 3,59        | 4,54         |
| 18,00            |                            |             |             |             |             |             | 1,54        | 2,65        | 3,50         |
| 19,00            |                            |             |             |             |             |             |             | 1,86        | 2,63         |
| 20,00            |                            |             |             |             |             |             |             | 1,19        | 1,88         |

Rys. 3.24 Fragment katalogu firmy Consolis, wg [17]

$$\text{Dopuszczalne obciążenie: } Q_{\text{strop,dop,TT400}} = 7,66 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Warunek: } Q_{\text{strop}} \leq Q_{\text{strop,dop,TT400}} = 6,615 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq 7,66 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ze względu na aspekty architektoniczne oraz wymiary belki krawędziowej i sprężającej wybieram strop z płyt TT700/120-4 firmy Consolis:

**Tab. 6.3. Dopuszczalne obciążenia charakterystyczne dla płyt TT600 i TT700 z żebrem 120 mm**

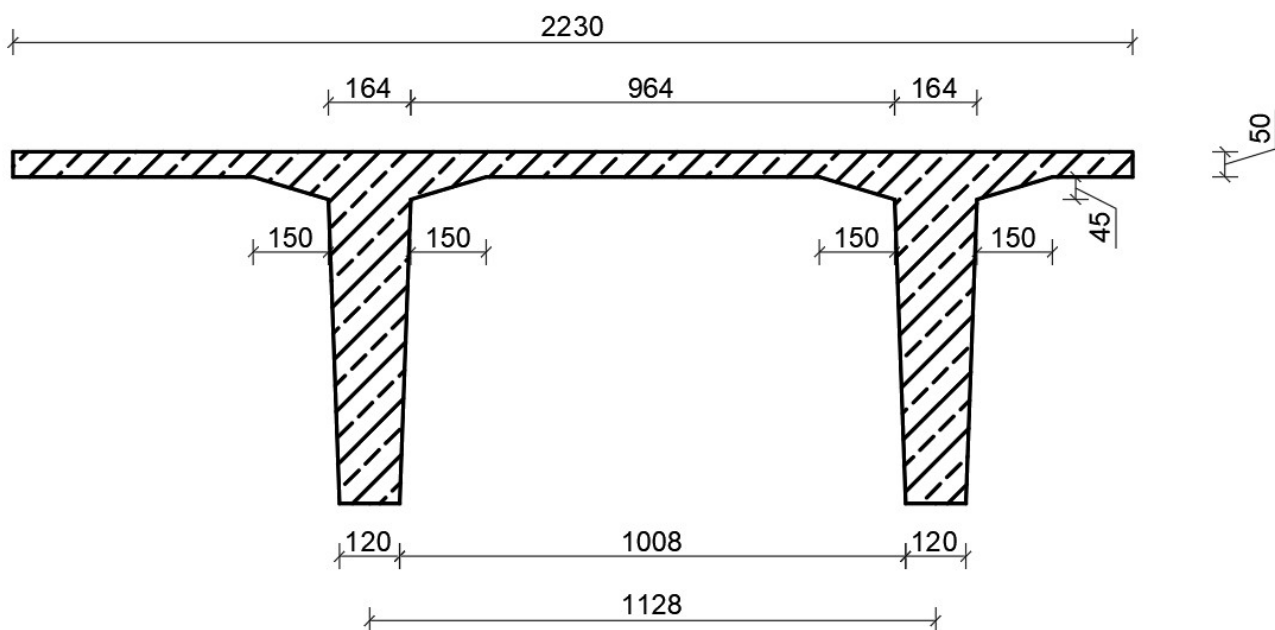
| L <sub>eff</sub><br>[m] | q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ] |             |             |             |              |             |             |             |             |              |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|                         | TT600/120-2                         | TT600/120-4 | TT600/120-6 | TT600/120-8 | TT600/120-10 | TT700/120-2 | TT700/120-4 | TT700/120-6 | TT700/120-8 | TT700/120-10 |
| 6,00                    | 18,56                               | 37,76       | 54,85       | 69,83       | 82,71        | 22,09       | 45,14       | 66,08       | 84,91       | 101,64       |
| 7,00                    | 12,9                                | 27,01       | 39,57       | 50,58       | 60,04        | 15,42       | 32,35       | 47,74       | 61,58       | 73,87        |
| 8,00                    | 9,24                                | 20,04       | 29,65       | 38,08       | 45,32        | 11,09       | 24,05       | 35,83       | 46,43       | 55,84        |
| 9,00                    | 6,36                                | 15,25       | 22,85       | 29,51       | 35,23        | 8,12        | 18,36       | 27,67       | 36,04       | 43,48        |
| 10,00                   | 4,70                                | 11,83       | 17,99       | 23,38       | 28,02        | 5,69        | 14,29       | 21,83       | 28,61       | 34,64        |
| 11,00                   | 3,36                                | 9,30        | 14,39       | 18,85       | 22,68        | 4,24        | 11,28       | 17,51       | 23,12       | 28,09        |
| 12,00                   | 2,50                                | 6,96        | 11,65       | 15,40       | 18,62        | 3,06        | 8,99        | 14,23       | 18,94       | 23,12        |
| 13,00                   | 1,82                                | 5,58        | 9,52        | 12,71       | 15,46        | 2,26        | 6,81        | 11,67       | 15,68       | 19,25        |
| 14,00                   | 1,28                                | 4,48        | 7,83        | 10,58       | 12,95        | 1,63        | 5,50        | 9,64        | 13,10       | 16,17        |
| 15,00                   |                                     | 3,48        | 6,12        | 8,86        | 10,73        | 1,12        | 4,45        | 8,01        | 11,02       | 13,7         |
| 16,00                   |                                     | 2,81        | 5,09        | 7,22        | 8,76         |             | 3,48        | 6,31        | 9,31        | 11,67        |
| 17,00                   |                                     | 1,88        | 4,05        | 5,76        | 7,13         |             | 2,81        | 5,28        | 7,90        | 9,85         |
| 18,00                   |                                     | 1,06        | 3,00        | 4,54        | 5,77         |             | 2,11        | 4,42        | 6,36        | 8,14         |
| 19,00                   |                                     |             | 2,12        | 3,50        | 4,61         |             | 1,25        | 3,44        | 5,22        | 6,69         |
| 20,00                   |                                     |             | 1,36        | 2,62        | 3,62         |             |             | 2,51        | 4,12        | 5,45         |
| 21,00                   |                                     |             |             | 1,86        | 2,77         |             |             | 1,70        | 3,17        | 4,38         |
| 22,00                   |                                     |             |             | 1,20        | 2,03         |             |             | 1,00        | 2,35        | 3,46         |
| 23,00                   |                                     |             |             |             | 1,39         |             |             |             | 1,63        | 2,65         |
| 24,00                   |                                     |             |             |             |              |             |             |             | 1,00        | 1,94         |
| 25,00                   |                                     |             |             |             |              |             |             |             |             | 1,32         |

Rys. 3.25 Fragment katalogu firmy Consolis, wg [17]

$$\text{Dopuszczalne obciążenie: } Q_{\text{strop,dop,TT600}} = 8,99 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Warunek: } Q_{\text{strop}} \leq Q_{\text{strop,dop,TT600}} = 6,615 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq 8,99 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$





Rys. 3.26 Przekrój płyty TT700/120

Płyty TT o gabarytach: długość:  $L_{st} = 11.7$  m, szerokość:  $A_{st} = 2.23$  m oraz wysokość  $H_{st} = 0.7$  m oparte zostaną na belkach krawędziowych: skrajna o kształcie litery L oraz środkowa o kształcie odwróconej litery T. Belki zostaną odpowiednio przycięte, tak aby umożliwić ich oparcie na dolnej półce belek krawędziowych.

Tab. 6.1. Ciężar płyt TT

| Typ płyty                                                | TT400/120   | TT500/120   | TT600/120   | TT700/120   | TT800/120   |
|----------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ciężar 1 m <sup>2</sup> płyty $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | <b>2,36</b> | <b>2,67</b> | <b>3,01</b> | <b>3,39</b> | <b>3,78</b> |
| Typ płyty                                                | TT400/200   | TT500/200   | TT600/200   | TT700/200   | TT800/200   |
| ciężar 1 m <sup>2</sup> płyty $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | <b>2,95</b> | <b>3,42</b> | <b>3,93</b> | <b>4,48</b> | <b>5,04</b> |
| Typ płyty                                                | TT400/240   | TT500/240   | TT600/240   | TTX700/240  | TT800/240   |
| ciężar 1 m <sup>2</sup> płyty $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | <b>3,64</b> | <b>4,19</b> | <b>4,78</b> | <b>5,40</b> | <b>6,05</b> |

Rys. 3.27 Fragment katalogu firmy Consolis, wg [17]

$$\text{Ciężar własny stropu: } g_{k,st} = 3.39 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

#### 4. Płatew

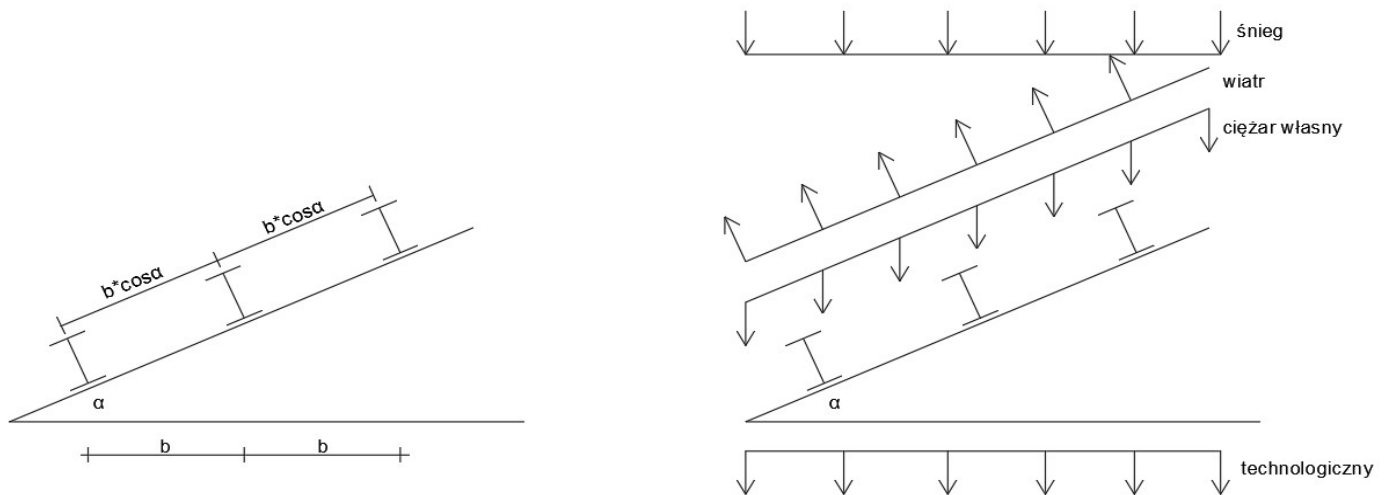
We wstępnym doborze na płatew wybrałam dwuteownik IPE140.

Geometria przekroju:

$$h_{pł} = 140 \text{ mm}; b_{pł} = 73 \text{ mm}; t_{w,pł} = 4.7 \text{ mm}; t_{f,pł} = 6.9 \text{ mm}; c_{pł} = 112.2 \text{ mm};$$

$$A_{pł} = 16.4 \text{ cm}^2$$

##### 4.1 Obciążenie działające na płatew, schemat statyczny



Rys. 4.1 Schemat obciążeń płatwi

- Kombinacja SGN:6.10b

$$q_{pł,SGN} = \left( \frac{1.15 * g_{pd}}{\cos(\alpha)} + 1.5 * q_{sd} + 1.5 * q_{tech} \right) * b =$$

$$\left( \frac{1.15 * 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{\cos(5^\circ)} + 1.5 * 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1.5 * 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * 2 \text{ m} = 2.945 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\psi_2 = 0.6$$

$$w_{ssanie,pł,SGN} = \psi_2 * 1.5 * (q_{wd,s}) * \left( \frac{b}{\cos(\alpha)} \right) = 0.6 * 1.5 * \left( -0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * \left( \frac{2 \text{ m}}{\cos(5^\circ)} \right)$$

$$= -1.409 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$w_{parcie,pł,SGN} = \psi_2 * 1.5 * q_{wd,p} * \left( \frac{b}{\cos(\alpha)} \right) = 0.6 * 1.5 * 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * \left( \frac{2 \text{ m}}{\cos(5^\circ)} \right)$$

$$= 0.217 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{pł,z,1} = q_{pł,SGN} * \cos(\alpha) + w_{ssanie,pł,SGN} = 2.945 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * \cos(5^\circ) + -1.409 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$= 1.524 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{pl,z,2} = q_{pl,SGN} * \cos(\alpha) + w_{parcie,pl,SGN} = 2.945 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * \cos(5^\circ) + 0.217 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$= 3.150 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{pl,z,d} = \max(q_{pl,z,1}, q_{pl,z,2}) = \max\left(1.524 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, 3.150 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) = 3.150 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{pl,y,d} = q_{pl,SGN} * \sin(\alpha) = 2.945 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * \sin(5^\circ) = 0.257 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

• Kombinacja SGU 6.14b:

$$q_{pl,SGU} = \left( \frac{1 * g_{pd}}{\cos(\alpha)} + 1 * q_{sd} + 1 * q_{tech} \right) * b =$$

$$\left( \frac{1 * 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{\cos(5^\circ)} + 1 * 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1 * 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * 2 \text{ m} = 2.037 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$w_{ssanie,pl,SGU} = \left( \psi_2 * (q_{wd,s}) * \left( \frac{b}{\cos(\alpha)} \right) \right) = \left( 0.6 * \left( -0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * \left( \frac{2 \text{ m}}{\cos(5^\circ)} \right) \right)$$

$$= -0.940 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$w_{parcie,pl,SGU} = \left( \psi_2 * q_{wd,p} * \left( \frac{b}{\cos(\alpha)} \right) \right) = \left( 0.6 * 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * \left( \frac{2 \text{ m}}{\cos(5^\circ)} \right) \right) = 0.145 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{pl,z,3} = q_{pl,SGU} * \cos(\alpha) + w_{ssanie,pl,SGU} = 2.037 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * \cos(5^\circ) + -0.940 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

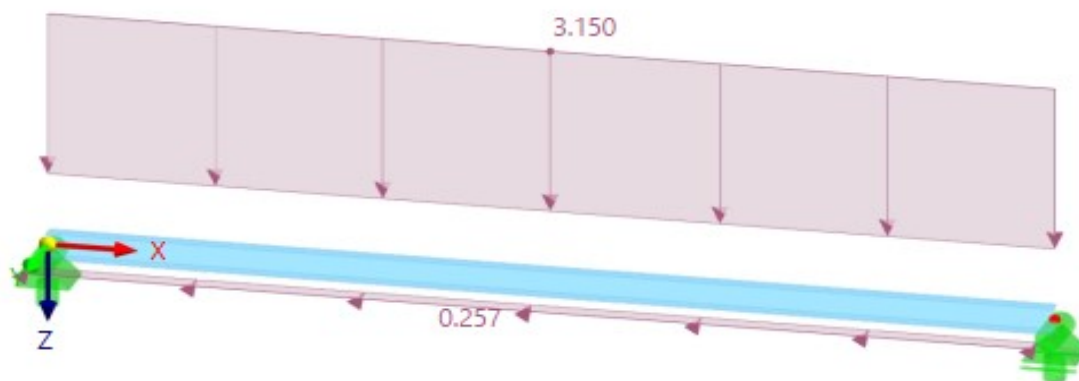
$$= 1.090 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{pl,z,4} = q_{pl,SGU} * \cos(\alpha) + w_{parcie,pl,SGU} = 2.037 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * \cos(5^\circ) + 0.145 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

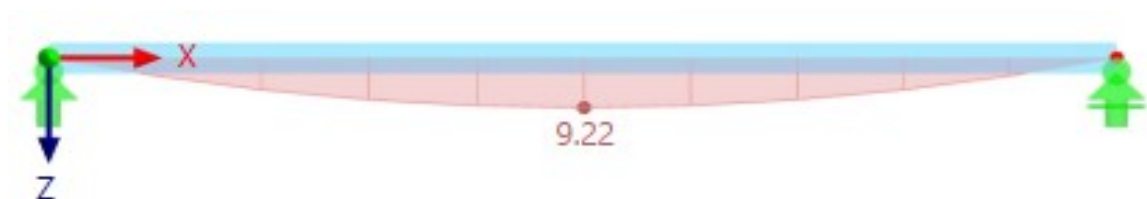
$$= 2.174 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{pl,z,k} = \max(q_{pl,z,3}, q_{pl,z,4}) = \max\left(1.090 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, 2.174 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) = 2.174 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{pl,y,k} = q_{pl,SGU} * \sin(\alpha) = 2.037 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * \sin(5^\circ) = 0.178 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

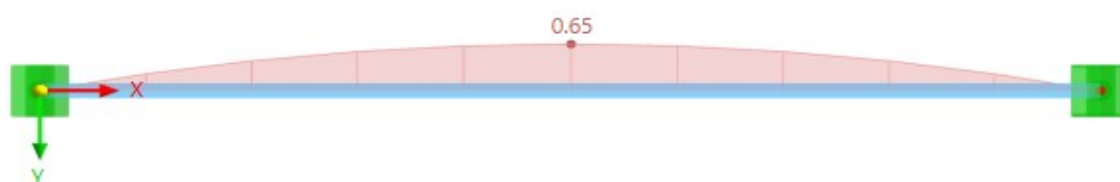


Rys. 4.2 Schemat obciążenia płatwi w programie RFem



Rys. 4.3 Moment maksymalny  $M_{y,d}$  w programie RFem

Maksymalny moment  $M_{y,d} = 9.2 \text{ kNm}$



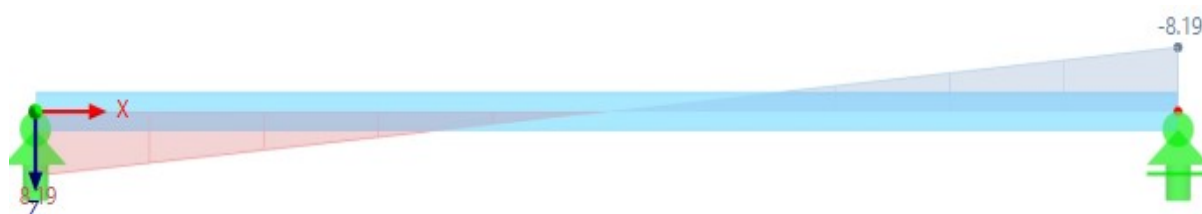
Rys. 4.4 Moment maksymalny  $M_{z,d}$  w programie RFem

Maksymalny moment  $M_{z,d} = 0.65 \text{ kNm}$



Rys. 4.5 Maksymalna siła tnąca  $V_{y,d}$  w programie RFem

Maksymalna siła tnąca  $V_{y,d} = 0.58 \text{ kN}$



Rys. 4.6 Maksymalna siła tnąca  $V_{z,d}$  w programie RFem

Maksymalna siła tnąca  $V_{z,d} = 8.41 \text{ kN}$

## 4.2 Sprawdzenie klasy przekroju płatwi

- Od zginania

$$\varepsilon = \left( \frac{235 \text{ MPa}}{f_{y,pł}} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = \left( \frac{235 \text{ MPa}}{235 \text{ MPa}} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 1$$

Stosunek wysokość/grubość środnika:  $\frac{c_{pł}}{t_{w,pł}} = \frac{112.2 \text{ mm}}{4.7 \text{ mm}} = 23.872$

Klasa 1:  $72 * \varepsilon = 72 * 1 = 72$

$28.393 \leq 72$  - 1 klasa od zginania

- Od ściskania ze zginaniem

$N_{Ed,pł} = 10 \text{ kN}$

$$c_N = \frac{N_{Ed,pł}}{t_{w,pł} * f_{y,pł}} = \frac{10 \text{ kN}}{4.7 \text{ mm} * 235 \text{ MPa}} = 9.054 \text{ mm}$$

względny zasięg strefy ściskanej:

$$\alpha_{pł} = \frac{c_N + c_{pł}}{2 * c_{pł}} = \frac{9.054 \text{ mm} + 112.2 \text{ mm}}{2 * 112.2 \text{ mm}} = 0.540$$

szerokość strefy ściskanej:

$$z_{c,pł} = \frac{h_{pł} + c_N}{2} = \frac{140 \text{ mm} + 9.054 \text{ mm}}{2} = 74.527 \text{ mm}$$

szerokość strefy rozciąganej:

$$z_{t,pł} = h_{pł} - z_{c,pł} = 140 \text{ mm} - 74.527 \text{ mm} = 65.473 \text{ mm}$$

Dla przypadku z całkowitym ściskaniem:

Klasa 1:  $\frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha_{pł} - 1} = \frac{396 * 1}{13 * 0.540 - 1} = 65.731$

$23.872 \leq 65.731$  - 1 klasa od ściskania ze zginaniem

Przekrój płatwi jest w klasie 1.

## 4.3 Sprawdzenie nośności przekroju na zginanie

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y,pł} * f_{y,pł}}{\gamma_{M0}} = \frac{88300 \text{ mm}^3 * 235 \text{ MPa}}{1} = 20.751 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z,pł} * f_{y,pł}}{\gamma_{M0}} = \frac{19300 \text{ mm}^3 * 235 \text{ MPa}}{1} = 4.536 \text{ kNm}$$

Warunki:

$$\frac{M_{y,d}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{9.2 \text{ kNm}}{20.751 \text{ kNm}} = 0.443 \leq 1$$

$$\frac{M_{z,d}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{0.65 \text{ kNm}}{4.536 \text{ kNm}} = 0.143 \leq 1$$

Oba warunki spełnione.

#### 4.4 Sprawdzenie nośności na ścinanie

- powierzchnia ścinania:  $A_{v,y,IPE200} = 12.26 \text{ cm}^2$ ;  $A_{v,z,IPE200} = 8.74 \text{ cm}^2$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y,IPE200} * \left( \frac{f_{y,pl}}{\left( \frac{1}{2} \right)} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{12.26 \text{ cm}^2 * \left( \frac{235 \text{ MPa}}{\left( \frac{1}{2} \right)} \right)}{1} = 166.340 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z,IPE200} * \left( \frac{f_{y,pl}}{\left( \frac{1}{2} \right)} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{8.74 \text{ cm}^2 * \left( \frac{235 \text{ MPa}}{\left( \frac{1}{2} \right)} \right)}{1} = 118.582 \text{ kN}$$

Warunki:

$$\frac{V_{y,d}}{V_{pl,y,Rd}} = \frac{0.58 \text{ kN}}{166.340 \text{ kN}} = 0.00349 \leq 1$$

$$\frac{V_{z,d}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{8.41 \text{ kN}}{118.582 \text{ kN}} = 0.0709 \leq 1$$

Oba warunki spełnione.

#### 4.5 Sprawdzenie czy można pominąć wpływ ścinania na nośność na zginanie

Warunki:

$$\frac{V_{y,d}}{V_{pl,y,Rd}} = \frac{0.58 \text{ kN}}{166.340 \text{ kN}} = 0.00349 \leq 0.5$$

$$\frac{V_{z,d}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{8.41 \text{ kN}}{118.582 \text{ kN}} = 0.0709 \leq 0.5$$

Oba warunki spełnione, więc można pominąć wpływ ścinania na nośność na zginanie.

#### 4.6 Sprawdzenie nośności przekroju na ściskanie

Zakładam:  $N_{Ed,pł} = 10 \text{ kN}$

$$N_{Rd,pł} = \frac{A_{pł} * f_{y,pł}}{\gamma_{M0}} = \frac{16.4 \text{ cm}^2 * 235 \text{ MPa}}{1} = 385.4 \text{ kN}$$

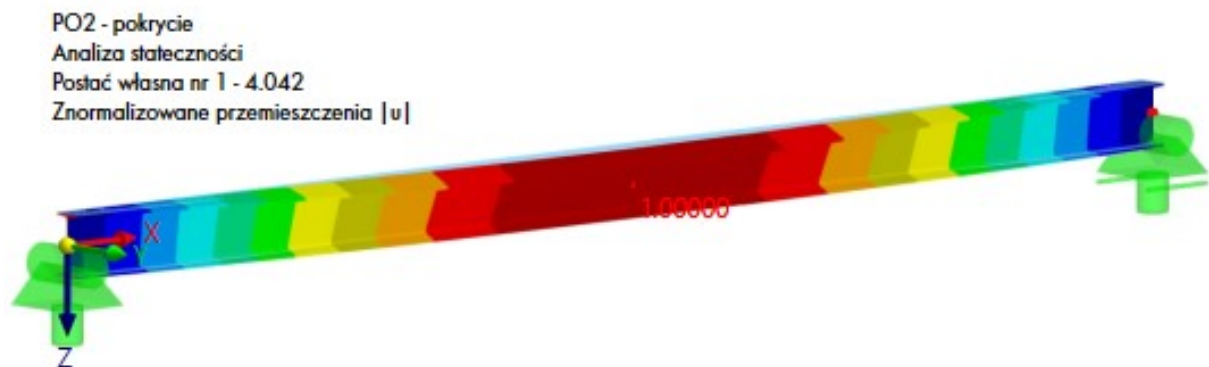
Warunek:

$$\frac{N_{Ed,pł}}{N_{Rd,pł}} = \frac{10 \text{ kN}}{385.4 \text{ kN}} = 0.0259 \leq 1$$

Warunek spełniony.

#### 4.7 Sprawdzenie płatwi z uwagi na zwichrzenie

- Wyznaczony za pomocą programu RFEM



Rys. 4.7 Zwichrzenie z programu RFem

$$M_{cr,RFEM} = 4.042 * M_{y,d} = 4.042 * 9.2 \text{ kNm} = 37.186 \text{ kNm}$$

- Wyznaczony za pomocą wzoru analitycznego

$$C_1 = 1.127; C_2 = 0.454; E = 210 \text{ GPa}; G = 81000000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}; L_{pł1} = 4.5 \text{ m}; k = 1$$

$$I_z = 142 \text{ cm}^4; I_w = 13000 \text{ cm}^6; I_t = 6.98 \text{ cm}^4; z_g = 0.5 * h_{pł} = 0.5 * 140 \text{ mm} = 0.07 \text{ m}$$

$$M_{cr,wz} = C_1 * \left( \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{pł1}^2} \right) * \left[ \left( \frac{I_w}{I_z} \right) + \left( \frac{L_{pł1}^2 * G * I_t}{\pi^2 * E * I_z} \right) + (C_2 * z_g)^2 \right] \left( \frac{1}{2} \right) - C_2 * z_g =$$

$$1.127 * \left( \frac{3.142^2 * 210 \text{ GPa} * 142 \text{ cm}^4}{(4.5 \text{ m})^2} \right) * \left[ \left( \frac{13000 \text{ cm}^6}{142 \text{ cm}^4} \right) + \left( \frac{(4.5 \text{ m})^2 * 81000000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 6.98 \text{ cm}^4}{3.142^2 * 210 \text{ GPa} * 142 \text{ cm}^4} \right) + (0.454 * 0.07 \text{ m})^2 \right] \left( \frac{1}{2} \right) - 0.454 * 0.07 \text{ m}$$

$$= 31.077 \text{ kNm}$$

Do dalszych obliczeń przyjmuję, moment krytyczny wyznaczony za pomocą wzoru analitycznego, żeby być po bezpiecznej stronie:  $M_{cr} = 31.077 \text{ kNm}$ .

$$\mu_{M,cr} = \frac{q_{pl,z,d} * L_{pl}^2}{8 * M_{y,d}} = \frac{3.150 \frac{kN}{m} * (4.5 m)^2}{8 * 9.2 kNm} = 0.867$$

$$W_{pl,y,pl} = 88300 mm^3 = 88.3 cm^3$$

$$\lambda_{lt} = \left( \frac{W_{pl,y,pl} * f_{y,pl}}{M_{cr}} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = \left( \frac{88300 mm^3 * 235 MPa}{31.077 kNm} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 0.817$$

$$\frac{h_{pl}}{b_{pl}} = \frac{140 mm}{73 mm} = 1.918 - \text{krzywa zwijczenia b}$$

| Elementy                 | Ograniczenia              | Krzywa<br>zwijczenia |
|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| Dwuteowniki<br>walcowane | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | <b>b</b><br><b>c</b> |
| Dwuteowniki spawane      | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | <b>c</b><br><b>d</b> |

Rys. 4.8 Przyporządkowanie krzywych zwijczenia, wg [8]

Tablica 6.3: Zalecane wartości parametru imperfekcji przy zwijczeniu

| Krzywa zwijczenia                  | a    | b    | c    | d    |
|------------------------------------|------|------|------|------|
| Parametr imperfekcji $\alpha_{LT}$ | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Rys. 4.9 Zalecane wartości parametru imperfekcji przy zwijczeniu, wg [8]

Przyjęte parametry dla krzywej zwijczenia b:  $\alpha_{lt} = 0.34$ ;  $\lambda_0 = 0.4$ ;  $\beta = 0.75$

$$\varphi_{lt,1} = 0.5 * \left( 1 + \alpha_{lt} * (\lambda_{lt} - \lambda_0) + \beta * \lambda_{lt}^2 \right) = 0.5 * \left( 1 + 0.34 * (0.817 - 0.4) + 0.75 * 0.817^2 \right) = 0.821$$

$$\chi_{lt,1} = \frac{1}{\varphi_{lt,1} + \left( \varphi_{lt,1}^2 - \beta * \lambda_{lt}^2 \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)}} = \frac{1}{0.821 + \left( 0.821^2 - 0.75 * 0.817^2 \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)}} = 0.808$$

$$D = \min \left( 1, \frac{1}{\lambda_{lt}^2} \right) = \min \left( 1, \frac{1}{0.817^2} \right) = 1$$

$$\chi_{lt,1} \leq D = 0.808 \leq 1$$

$$M_{b,Rd,lt} = W_{pl,y,pl} * \left( \frac{f_{y,pl}}{\gamma_{M0}} \right) = 88300 mm^3 * \left( \frac{235 MPa}{1} \right) = 20.751 kNm$$



Warunki:

$$\frac{M_{y,d}}{M_{b,Rd,lt}} = \frac{9.2 \text{ kNm}}{20.751 \text{ kNm}} = 0.443 \leq 1$$

$$\left( \frac{M_{y,d}}{\chi_{lt,1} * M_{b,Rd,lt}} \right) + \left( \frac{M_{z,d}}{M_{pl,z,Rd}} \right) = \left( \frac{9.2 \text{ kNm}}{0.808 * 20.751 \text{ kNm}} \right) + \left( \frac{0.65 \text{ kNm}}{4.536 \text{ kNm}} \right) = 0.692 \leq 1$$

Oba warunki spełnione.

#### 4.8 Sprawdzenie zginania z siłą podłużną

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{pl} * f_{y,pl}}{\gamma_{M0}} = \frac{16.4 \text{ cm}^2 * 235 \text{ MPa}}{1} = 385.4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,1} = 0.25 * N_{pl,Rd} = 0.25 * 385.4 \text{ kN} = 96.35 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,2} = \frac{0.5 * c_{pl} * t_{w,pl} * f_{y,pl}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 * 112.2 \text{ mm} * 4.7 \text{ mm} * 235 \text{ MPa}}{1} = 61.962 \text{ kN}$$

Warunki:

$$N_{Ed,pl} \leq N_{Rd,1} = 10 \text{ kN} \leq 96.35 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,pl} \leq N_{Rd,2} = 10 \text{ kN} \leq 61.962 \text{ kN}$$

Oba warunki spełnione.

#### 4.9 Dwukierunkowe zginanie - plastyczna nośność przekroju

Dla dwuteowników bisymetrycznych  $\alpha_1 = 2$

$$n = \frac{N_{Ed,pl}}{N_{pl,Rd}} = \frac{10 \text{ kN}}{385.4 \text{ kN}} = 0.0259$$

$$\beta_1 = \max(5 * n, 1) = \max(5 * 0.0259, 1) = 1$$

$$a_1 = \frac{A_{pl} - 2 * b_{pl} * t_{f,pl}}{A_{pl}} = \frac{16.4 \text{ cm}^2 - 2 * 73 \text{ mm} * 6.9 \text{ mm}}{16.4 \text{ cm}^2} = 0.386$$

$$a_1 \geq n = 0.386 \geq 0.0259$$

$$M_{N,y,Rd} = \min \left( \frac{M_{pl,y,Rd} * (1 - n)}{1 - 0.5 * a_1}, M_{pl,y,Rd} \right) = \min \left( \frac{20.751 \text{ kNm} * (1 - 0.0259)}{1 - 0.5 * 0.386}, 20.751 \text{ kNm} \right) = 20.751 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = \min \left( \frac{M_{pl,z,Rd} * (1 - n)}{1 - 0.5 * a_1}, M_{pl,z,Rd} \right) = \min \left( \frac{4.536 \text{ kNm} * (1 - 0.0259)}{1 - 0.5 * 0.386}, 4.536 \text{ kNm} \right) = 4.536 \text{ kNm}$$

Warunek:

$$\left( \frac{M_{y,d}}{M_{N,y,Rd}} \right)^{\alpha_1} + \left( \frac{M_{z,d}}{M_{N,z,Rd}} \right)^{\beta_1} = \left( \frac{9.2 \text{ kNm}}{20.751 \text{ kNm}} \right)^2 + \left( \frac{0.65 \text{ kNm}}{4.536 \text{ kNm}} \right)^1 = 0.340 < 1$$

Warunek spełniony.

#### 4.10 Sprawdzenie elementu z uwagi na zginanie ze ściskaniem

Warunki:

$$\frac{N_{Ed,pł}}{\chi_y * N_{Rd,pł}} + k_{yy} * \left( \frac{M_{y,d}}{\chi_{lt,1} * M_{pl,y,Rd}} + k_{yz} * \left( \frac{M_{z,d}}{M_{pl,z,Rd}} \right) \right) = \frac{10 \text{ kN}}{0.708 * 385.4 \text{ kN}} + 0.605 * \left( \frac{9.2 \text{ kNm}}{0.808 * 20.751 \text{ kNm}} + 0.477 * \left( \frac{0.65 \text{ kNm}}{4.536 \text{ kNm}} \right) \right) = 0.410 < 1$$

$$\frac{N_{Ed,pł}}{\chi_y * N_{Rd,pł}} + k_{zy} * \left( \frac{M_{y,d}}{\chi_{lt,1} * M_{pl,y,Rd}} + k_{zz} * \left( \frac{M_{z,d}}{M_{pl,z,Rd}} \right) \right) = \frac{10 \text{ kN}}{0.708 * 385.4 \text{ kN}} + 0.363 * \left( \frac{9.2 \text{ kNm}}{0.808 * 20.751 \text{ kNm}} + 0.794 * \left( \frac{0.65 \text{ kNm}}{4.536 \text{ kNm}} \right) \right) = 0.277 < 1$$

Oba warunki spełnione.

Obliczenia odpowiednich wartości do powyższych warunków:

- Przekrój y:

$$L_{pł1} = 4.5 \text{ m}$$

$\mu_1 = 1$  - współczynnik wyboczeniowy

$$L_{cr,y} = \mu_1 * L_{pł1} = 1 * 4.5 \text{ m} = 4.5 \text{ m}$$

$$I_y = 1943 \text{ cm}^4$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{3.142^2 * 210 \text{ GPa} * 1943 \text{ cm}^4}{(4.5 \text{ m})^2} = 1988.689 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \left( \frac{A_{pł} * f_{y,pł}}{N_{cr,y}} \right)^{0.5} = \left( \frac{16.4 \text{ cm}^2 * 235 \text{ MPa}}{1988.689 \text{ kN}} \right)^{0.5} = 0.440$$

$$\phi_y = \left( 0.5 * \left( 1 + \alpha_{lt} * (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right) \right) = \left( 0.5 * \left( 1 + 0.34 * (0.440 - 0.2) + 0.440^2 \right) \right) = 0.638$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + (\phi_y^2 + \lambda_y^2)^{0.5}} = \frac{1}{0.638 + (0.638^2 + 0.440^2)^{0.5}} = 0.708$$

- Przekrój z:

$$L_{cr,z} = L_{cr,y} = 4.5 \text{ m}$$

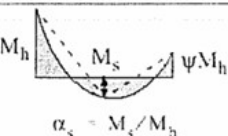
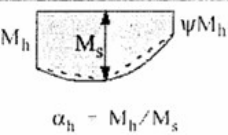
$$I_{z1} = 142 \text{ cm}^4$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_{z1}}{L_{cr,z}^2} = \frac{3.142^2 * 210 \text{ GPa} * 142 \text{ cm}^4}{(4.5 \text{ m})^2} = 145.339 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \left( \frac{A_{pl} * f_{y,pl}}{N_{cr,z}} \right)^{0.5} = \left( \frac{16.4 \text{ cm}^2 * 235 \text{ MPa}}{145.339 \text{ kN}} \right)^{0.5} = 1.628$$

$$\phi_z = \left( 0.5 * \left( 1 + \alpha_{lt} * (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right) \right) = \left( 0.5 * \left( 1 + 0.34 * (1.628 - 0.2) + 1.628^2 \right) \right) = 2.069$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + (\phi_z^2 + \lambda_z^2)^{0.5}} = \frac{1}{2.069 + (2.069^2 + 1.628^2)^{0.5}} = 0.213$$

| Wykres momentów                                                                                                                 | Zakres                   |                       | $C_{my}, C_{mz}$ i $C_{mLT}$   |                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
|                                                                                                                                 |                          |                       | Obciążenie równomierne         | Obciążenie skupione                   |
|                                               | $-1 \leq \psi \leq 1$    |                       | $0.6 + 0.4\psi \geq 0.4$       |                                       |
|                                              | $0 \leq \alpha_s \leq 1$ | $-1 \leq \psi \leq 1$ | $0.2 + 0.8\alpha_s \geq 0.4$   | $0.2 + 0.8\alpha_s \geq 0.4$          |
|                                                                                                                                 | $-1 \leq \alpha_s < 0$   | $0 \leq \psi \leq 1$  | $0.1 - 0.8\alpha_s \geq 0.4$   | $-0.8\alpha_s \geq 0.4$               |
|                                              | $0 \leq \alpha_h \leq 1$ | $-1 \leq \psi \leq 1$ | $0.95 + 0.05\alpha_h$          | $0.90 + 0.10\alpha_h$                 |
|                                                                                                                                 |                          | $0 \leq \psi \leq 1$  | $0.95 + 0.05\alpha_h$          | $0.90 + 0.10\alpha_h$                 |
|                                                                                                                                 | $-1 \leq \alpha_h < 0$   | $-1 \leq \psi < 0$    | $0.95 + 0.05\alpha_h(1+2\psi)$ | $0.90 - 0.10\alpha_h(1+2\psi)^{0.28}$ |
| W przypadku przechyłowej postaci wyboczenia można przyjmować odpowiednio $C_{my} = 0.9$ lub $C_{mz} = 0.9$ .                    |                          |                       |                                |                                       |
| $C_{my}, C_{mz}$ i $C_{mLT}$ ustala się odpowiednio do rozkładu momentów między punktami podparcia (stężeńiami), jak następuje: |                          |                       |                                |                                       |
| Współczynnik momentu                                                                                                            | Oś zginania              | Kierunek podparcia    |                                |                                       |
| $C_{my}$                                                                                                                        | y-y                      | z-z                   |                                |                                       |
| $C_{mz}$                                                                                                                        | z-z                      | y-y                   |                                |                                       |
| $C_{mLT}$                                                                                                                       | y-y                      | y-y                   |                                |                                       |

Rys. 4.10 Współczynniki równoważnego stałego momentu, wg [8]

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = 0.6 + 0.4 * \psi = 0.6 + 0.4 * 0 = 0.6 \geq 0.4$$

$$C_{mz} = C_{my} = 0.6$$

$$C_{mLT} = C_{my} = 0.6$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

- $k_{yy}$

$$k_{yy} = C_{my} * \left( 1 + (\lambda_y - 0.2) * \left( \frac{N_{Ed,pl}}{\chi_y * N_{Rd,pl}} \right) \right) = 0.6 * \left( 1 + (0.440 - 0.2) * \left( \frac{10 \text{ kN}}{0.708 * 385.4 \text{ kN}} \right) \right)$$

$$= 0.605$$

- $k_{zz}$

$$k_{zz} = C_{mz} * \left( 1 + (2 * \lambda_z - 0.6) * \left( \frac{N_{Ed,pl}}{\chi_z * N_{Rd,pl}} \right) \right) =$$

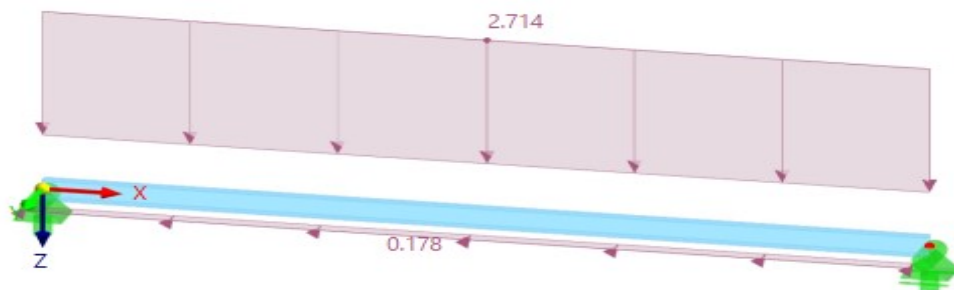
$$0.6 * \left( 1 + (2 * 1.628 - 0.6) * \left( \frac{10 \text{ kN}}{0.213 * 385.4 \text{ kN}} \right) \right) = 0.794$$

- $k_{yz}$  oraz  $k_{zy}$

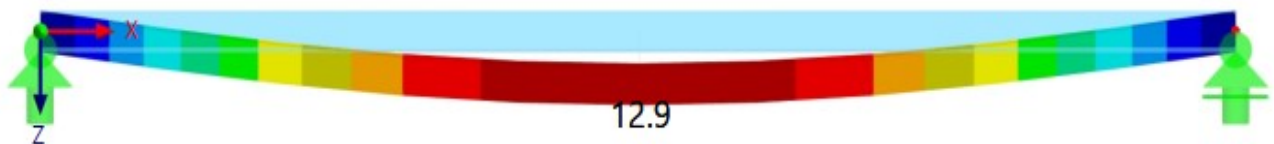
$$k_{yz} = 0.6 * k_{zz} = 0.6 * 0.794 = 0.477$$

$$k_{zy} = 0.6 * k_{yy} = 0.6 * 0.605 = 0.363$$

#### 4.11 Sprawdzenie stanu granicznego użytkowości (SGU) płatwi



Rys. 4.11 Schemat obciążenia płatwi dla sprawdzenia SGU



Rys. 4.12 Ugięcie płatwy odczytane z programu RFem

$$u_{\max} = 12.9 \text{ mm}$$

$$\text{Dopuszczalne ugięcie: } u_{\text{dop}} = \frac{L_{pl1}}{200} = \frac{4.5 \text{ m}}{200} = 22.5 \text{ mm}$$

$$\text{Warunek: } u_{\max} \leq u_{\text{dop}} = 12.9 \text{ mm} \leq 22.5 \text{ mm}$$

## 5. Belka krawędziowa

### 5.1 Dane ogólne

Beton: C30/37:  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ ;  $\gamma_c = 1.4$ ;  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30 \text{ MPa}}{1.4} = 21.43 \text{ MPa}$ ;  $f_{ctm} = 2.9 \text{ MPa}$

Stal: B500SP:  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ;  $\gamma_s = 1.15$ ;  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1.15} = 434.78 \text{ MPa}$ ;  $E_s = 200 \text{ GPa}$

Przyjęto klasę ekspozycji dla hali XC3 wg [6], czyli korozję spowodowaną karbonizacją. Jest to środowisko umiarkowane wilgotne, czyli w sytuacji gdy beton znajduje się w środku budynku o umiarkowanej lub wysokiej wilgotności powietrza, jak w moim przypadku. Klasę konstrukcji przyjęto jako S4 wg [6], czyli projektowany okres użytkowania hali wynosi 50 lat..

Zgodnie z [9] budynek określa się jako PM, czyli produkcyjno-magazynowy. Hala ma dwie kondygnacje i wysokość równą 16m n.p.m.. Przyjęto maksymalną gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej w budynku równą  $Q = 1800 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$ . Na podstawie tych danych

zakwalifikowano go do klasy odporności pożarowej C. Z tego wynika, że główna konstrukcja nośna musi spełniać warunek R60, natomiast strop REI60.

Otulina ze względu na klasę ekspozycji XC3:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$  - zalecana wartość wg [6] dodatku ze względu na odchyłkę

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}, 10 \text{ mm})$$

gdzie:

$c_{min,b}$  - minimalne otulenie ze względu na przyczepność, należy przyjąć średnice pręta, więc wstępnie zakładam, że  $c_{min,b} = 20 \text{ mm}$

$c_{min,dur}$  - minimalne otulenie ze względu na warunki środowiska  $c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$

$\Delta c_{dur,y}$  - składnik ze względu na bezpieczeństwo  $\Delta c_{dur,y} = 0$

$\Delta c_{dur,st}$  - zmniejszenie minimalnego otulenia ze względu na stosowanie stali nierdzewnej, ponieważ nie stosuję stali nierdzewnej to  $\Delta c_{dur,st} = 0$

$\Delta c_{dur,add}$  - zmniejszenie minimalnego otulenia ze względu na stosowanie dodatkowego zabezpieczenia, ponieważ nie używam żadnego zabezpieczenia to  $\Delta c_{dur,add} = 0$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}, 10 \text{ mm}) =$$

$$\max(20 \text{ mm}, 25 \text{ mm} + 0 - 0 - 0, 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 35 \text{ mm} - \text{odległość od boku belki do skrajnego pręta}$$

Otulina ze względu na odporność ogniową:

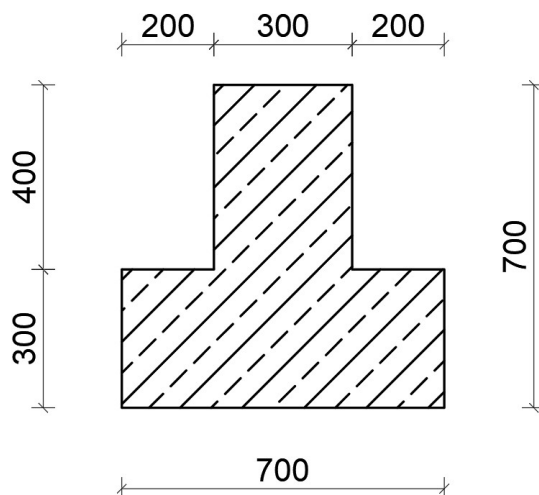
$b_{min} = 200 \text{ mm}$  - minimalna szerokość belki

$a = 30 \text{ mm}$  - średnia odległość osiowa

$a_{sd} = a + 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$  - odległość osiowa od boku belki do prętów

W tym wypadku decydująca jest otulina ze względu na klasę ekspozycji  $c_{nom} = 35 \text{ mm}$ .

## 5.2 Zebranie obciążeń



Rys. 5.1 Przekrój belki krawędziowej

Wymiary:

$$h_{bk} = 0.70 \text{ m}; b_{bk} = 0.7 \text{ m}; h_f = 0.3 \text{ m}; b_w = 0.3 \text{ m}; g_{bet} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Długość belki:  $L_{bk} = 3.9 \text{ m}$

Ponieważ płyty stropowe TT wykonywane są z przeciw strzałką, to podczas działania obciążenia i uginania się tych belek pojawiają się siły poziome działające w kierunku belek krawędziowych, które przyjmują na poziomie 20% siły pionowej. Za miejsce przyłożenia sił przyjmuję oś żeber belek stropowych TT.

- Ciężar własny belki krawędziowej:

$$g_{bk} = \left[ (b_{bk} * h_f) + ((h_{bk} - h_f) * (b_w)) \right] * g_{bet} =$$

$$\left[ (0.7 \text{ m} * 0.3 \text{ m}) + ((0.70 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) * (0.3 \text{ m})) \right] * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 8.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Obciążenie ciężarem stropu w postaci sił skupionych:

$$g_{st,bk,pion} = \frac{(g_{k,st} + g_{ost}) * L_{st} * A_{st}}{4} = \frac{\left( 3.39 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1.315 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * 11.7 \text{ m} * 2.23 \text{ m}}{4}$$

$$= 30.69 \text{ kN}$$

$$g_{st,bk,poz} = 0.2 * g_{st,bk,pion} = 0.2 * 30.69 \text{ kN} = 6.14 \text{ kN}$$

- Obciążenie użytkowe ze stropu w postaci sił skupionych

$$q_{uż,bk,pion} = \frac{q_{uż} * L_{st} * A_{st}}{4} = \frac{5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 11.7 \text{ m} * 2.23 \text{ m}}{4} = 32.61 \text{ kN}$$

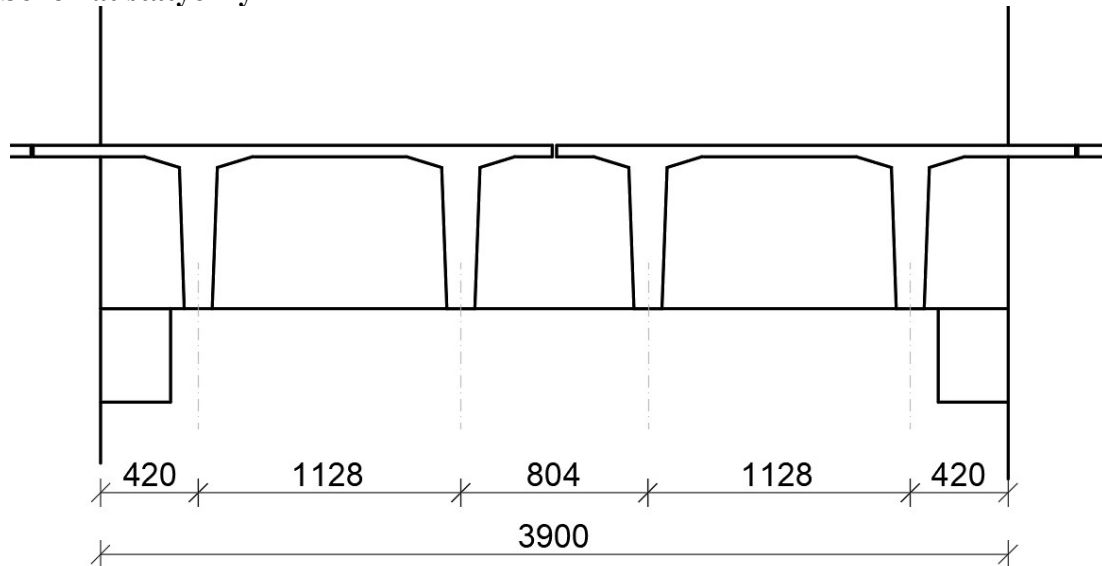
$$q_{uż,bk,poz} = 0.2 * q_{uż,bk,pion} = 0.2 * 32.61 \text{ kN} = 6.52 \text{ kN}$$

- Obciążenie technologiczne ze stropu w postaci sił skupionych

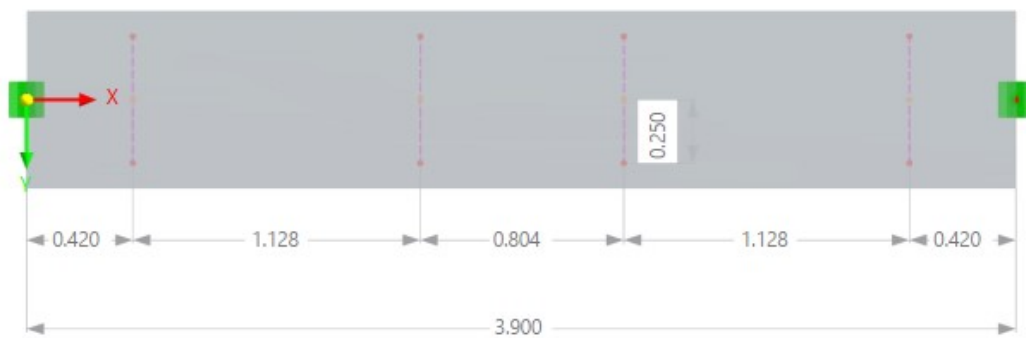
$$q_{\text{tech,bk,pion}} = \frac{q_{\text{tech}} * L_{\text{st}} * A_{\text{st}}}{4} = \frac{0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 11.7 \text{ m} * 2.23 \text{ m}}{4} = 1.96 \text{ kN}$$

$$q_{\text{tech,bk,poz}} = 0.2 * q_{\text{tech,bk,pion}} = 0.2 * 1.96 \text{ kN} = 0.39 \text{ kN}$$

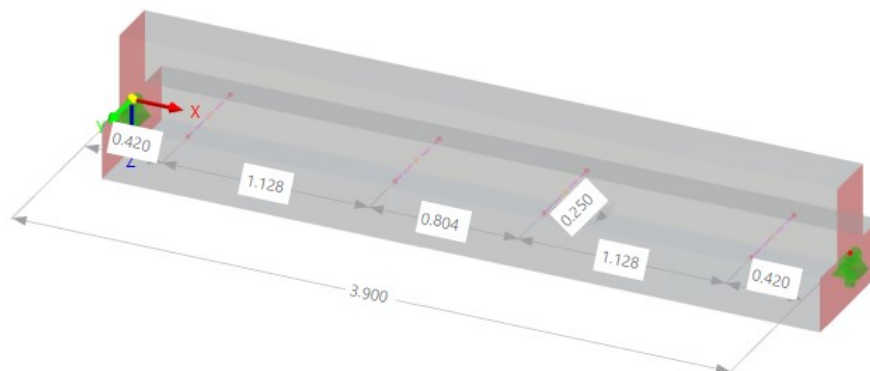
### 5.3 Schemat statyczny



Rys. 5.2 Widok belki krawędziowej



Rys. 5.3 Schemat statyczny belki krawędziowej w programie RFem widok z góry

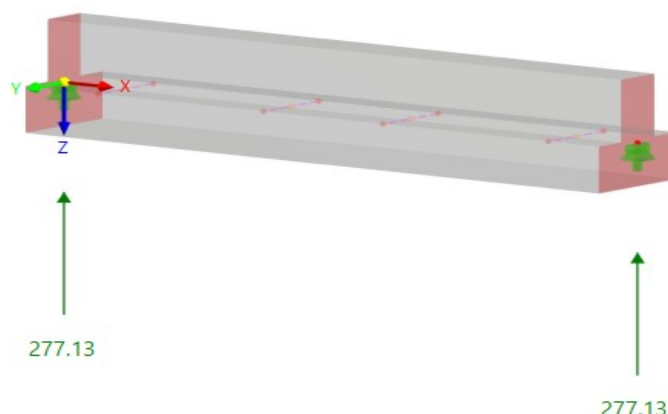


Rys. 5.4 Schemat statyczny belki krawędziowej w programie RFem widok pod kątem

## 5.4 Dobór podkładek elastomerowych

### 5.4.1 Pod belkę krawężniową

Do wyznaczenia maksymalnej wartości obciążenia ściskającego działającego na podkładkę obciążono belkę krawężniową ciężarem własnym, obciążeniem użytkowym, technologicznym oraz ciężarem stropu ze współczynnikami bezpieczeństwa 1.0.



Rys.5.5 Charakterystyczna wartość obciążenia ściskającego

| Tricosal N15 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| [mm]         | 50  | 75  | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 250 | 300 |
| 50           | 38  | 56  | 75  | 94  | 113 | 131 | 150 | 188 | 225 |
| 75           | 56  | 84  | 113 | 141 | 169 | 197 | 225 | 281 | 338 |
| 100          | 75  | 113 | 150 | 188 | 225 | 263 | 300 | 375 | 450 |
| 125          | 94  | 141 | 188 | 234 | 281 | 328 | 375 | 469 | 563 |
| 150          | 113 | 169 | 225 | 281 | 338 | 394 | 450 | 563 | 675 |
| 175          | 131 | 197 | 263 | 328 | 394 | 459 | 525 | 656 | 788 |
| 200          | 150 | 225 | 300 | 375 | 450 | 525 | 600 | 750 | 900 |

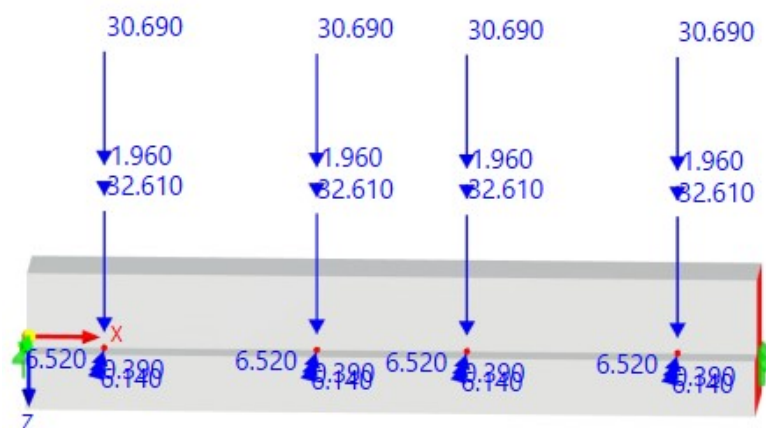
Rys.5.6 Fragment katalogu firmy Tricosal, wg [18]

Dobrano podkładki elastomerowe niezbrojone firmy Tricosal N15 o gr. 5mm i wymiarach 150x150mm i maksymalnej wartości obciążenia ściskającego 338 kN.

### 5.4.2 Pod żebra płyt stropowych TT

Do wyznaczenia maksymalnej wartości obciążenia ściskającego działającego na podkładkę pod każdym żebrem, przyłożono w ich miejscu obciążenie użytkowe, technologiczne oraz ciężar stropu.

$$V_{\max} = 30.69 \text{ kN} + 1.96 \text{ kN} + 32.61 \text{ kN} = 62.26 \text{ kN}$$



Rys. 5.7 Obciążenia przyłożone na belkę krawężniową w miejscu żebrowania płyt TT



| Tricosal N15 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| [mm]         | 50  | 75  | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 250 | 300 |
| 50           | 38  | 56  | 75  | 94  | 113 | 131 | 150 | 188 | 225 |
| 75           | 56  | 84  | 113 | 141 | 169 | 197 | 225 | 281 | 338 |
| 100          | 75  | 113 | 150 | 188 | 225 | 263 | 300 | 375 | 450 |
| 125          | 94  | 141 | 188 | 234 | 281 | 328 | 375 | 469 | 563 |
| 150          | 113 | 169 | 225 | 281 | 338 | 394 | 450 | 563 | 675 |
| 175          | 131 | 197 | 263 | 328 | 394 | 459 | 525 | 656 | 788 |
| 200          | 150 | 225 | 300 | 375 | 450 | 525 | 600 | 750 | 900 |

Rys.5.8 Fragment katalogu firmy Tricosal, wg [18]

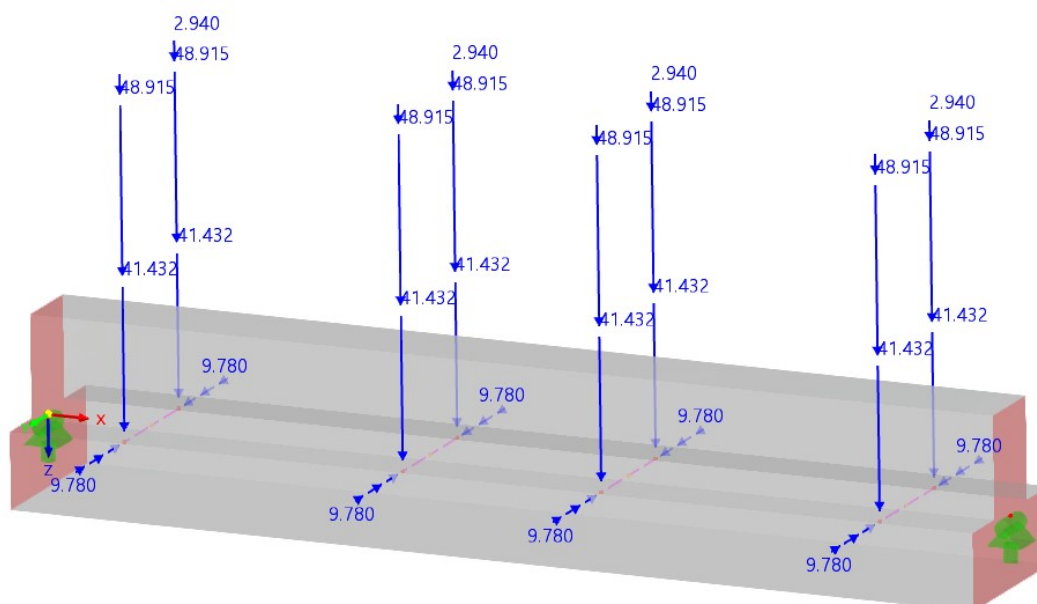
Dobrano podkładki elastomerowe niezbrojone firmy Tricosal N15 o gr. 5mm i wymiarach 100x100mm i maksymalnej wartości obciążenia ściskającego 150 kN.

## 5.5 Wymiarowanie na zginanie

### 5.5.1 Zbrojenie podłużne dolne od obciążeń pionowych

Do wymiarowania na zginanie od obciążeń pionowych przyjmuję najgorszą kombinację, czyli działa jednocześnie obciążenie własne belki, które przyjmuje sam program (współczynnik bezpieczeństwa 1.35) oraz siły skupione od obu stropów (współczynnik bezpieczeństwa 1.35), obciążenia technologicznego i użytkowego z obu stron (współczynnik bezpieczeństwa dla obu 1.5).

$$Q_{bk} = 1.35 * g_{bk} + (1.35 * g_{st,bk,pion}) * 2 + (1.5 * q_{uż,bk,pion}) * 2 + (1.5 * q_{tech,bk,pion}) * 2$$



Rys. 5.9 Schemat obciążenia belki



Rys. 5.10 Wykres momentów zginających  $M_{Ed}$  dla powyższego schematu obciążeń rys.5.5

Odczytane z programu RFem:  $M_{Ed} = 385.78 \text{ kNm}$

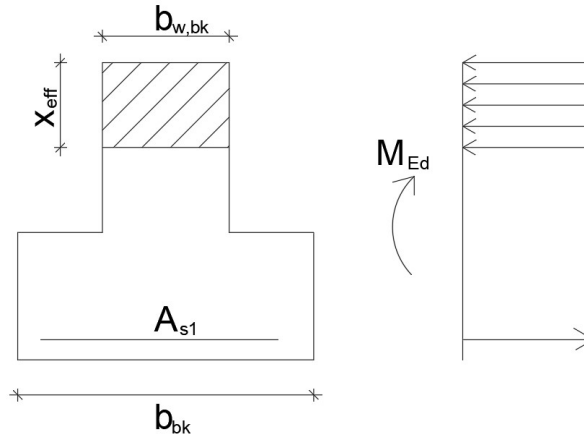
Wstępnie zakładam zbrojenie belki krawędziowej prętami głównymi  $\phi_{pr} = 20 \text{ mm}$  oraz strzemionami  $\phi_{strz,bk} = 8 \text{ mm}$

Wysokość użyteczna przekroju d:

$$a_1 = c_{nom} + \phi_{strz,bk} + 0.5 * \phi_{pr} = 35 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + 0.5 * 20 \text{ mm} = 53 \text{ mm}$$

$$d = h_{bk} - a_1 = 0.70 \text{ m} - 53 \text{ mm} = 647 \text{ mm}$$

Wyznaczenie strefy ściskanej:



Rys.5.11 Schemat wyznaczania strefy ściskanej w belce

$$\sum M_{As1} = 0$$

$$M_{Ed,AB} = x_{eff} * f_{cd} * b_w * (d - 0.5 * x_{eff})$$

$$385.78 = x_{eff} * 21.43 * 0.3 * (0.647 - 0.5 * x_{eff})$$

$$x_{eff} = 0.101 \text{ m}$$

Warunek:

$$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d} = \frac{0.101 \text{ m}}{647 \text{ mm}} = 0.155$$

$$\xi_{eff,lim} = \lambda * \left( \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} \right)$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

Ponieważ  $f_{ck} = 30 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa}$ , to  $\lambda = 0.8$

$$\xi_{eff,lim} = 0.8 * \left( \frac{0.0035}{0.0035 + \left( \frac{f_{yd}}{E_s} \right)} \right) = 0.8 * \left( \frac{0.0035}{0.0035 + \left( \frac{434.78 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} \right)} \right) = 0.493$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim} = 0.155 \leq 0.493 \text{ Warunek spełniony.}$$

$$\sum X = 0$$

$$F_c = F_s$$

$$F_c = f_{cd} * x_{eff} * b_w$$

$$F_s = A_{s1} * f_{yd}$$

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} * x_{eff} * b_w}{f_{yd}} = \frac{21.43 \text{ MPa} * 0.101 \text{ m} * 0.3 \text{ m}}{434.78 \text{ MPa}}$$

$$A_{s1, \text{wstępne}} = 0.00149 \text{ m}^2$$

$$A_{s1, \text{wstępne}} = 14.935 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie minimalne:

$$A_{s, \min} = \max \left( 0.26 * \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) * b_{bk} * d, 0.0013 * b_{bk} * d \right)$$

$$A_{s, \min 1} = 0.26 * \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) * b_{bk} * d = 0.26 * \left( \frac{2.9 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \right) * 0.7 \text{ m} * 647 \text{ mm} = 6.830 \text{ cm}^2$$

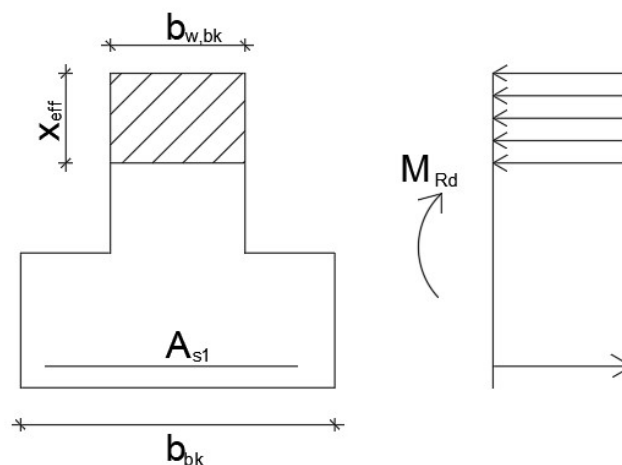
$$A_{s, \min 2} = 0.0013 * b_{bk} * d = 0.0013 * 0.7 \text{ m} * 647 \text{ mm} = 5.888 \text{ cm}^2$$

$$A_{s, \min} = \max(A_{s, \min 1}, A_{s, \min 2}) = \max(6.830 \text{ cm}^2, 5.888 \text{ cm}^2) = 6.830 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1, \text{wstępne}} \geq A_{s, \min} = 0.00149 \text{ m}^2 \geq 6.830 \text{ cm}^2$$

$$\text{Przyjęłam } 5\phi 20 \text{ } A_{s1} = 15.71 \text{ cm}^2$$

Sprawdzenie nośności belki krawędziowej



Rys.5.12 Schemat wyznaczania nośności belki.

$$\sum X = 0$$

$$F_c = F_s$$

$$F_c = f_{cd} * x_{eff} * b_w$$

$$F_s = A_{s1} * f_{yd}$$

$$x_{eff} = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{b_w * f_{cd}}$$

$$x_{eff} = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{b_w * f_{cd}} = \frac{15.71 \text{ cm}^2 * 434.78 \text{ MPa}}{0.3 \text{ m} * 21.43 \text{ MPa}} = 0.106 \text{ m}$$

Warunek:

$$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d} = \frac{0.106 \text{ m}}{647 \text{ mm}} = 0.164$$

$$\xi_{eff,lim} = 0.493$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim} = 0.164 \leq 0.493 \text{ Warunek spełniony.}$$

$$\Sigma M_{As1} = 0$$

$$M_{Rd} = x_{eff} * f_{cd} * b_w * (d - 0.5 * x_{eff}) = 0.106 \text{ m} * 21.43 \text{ MPa} * 0.3 \text{ m} * (0.647 \text{ m} - 0.5 * 0.106 \text{ m})$$

$$M_{Rd} = 404.796 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 404.796 \text{ kNm} \geq 385.78 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Rd}}{5} = \frac{404.796 \text{ kNm}}{5} = 80.959 \text{ kNm} - \text{nośność jednego pręta}$$

Ostatecznie przyjęto zbrojenie dolne podłużne:  $5\phi 20 A_{s1} = 15.71 \text{ cm}^2$

Obliczenie długości zakotwienia -  $l_{bd}$ :

- graniczne naprężenia przyczepności  $f_{bd}$

$$f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$\eta_1$  - współczynnik zależny od jakości warunków przyczepności i pozycji pręta w czasie

betonowania, przyjmuję warunki dobre, więc  $\eta_1 = 1$

$\eta_2 = 1$ , ponieważ  $20 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$

$$f_{ctd} = 1.43 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2.25 * 1 * 1 * 1.43 \text{ MPa} = 3.22 \text{ MPa}$$

- podstawowa długość zakotwienia  $l_{b,rgd}$

$$l_{b,rgd} = \left( \frac{\phi}{4} \right) * \left( \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right)$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} * \left( \frac{A_{req}}{A_{prov}} \right)$$

$$A_{req} = 14.935 \text{ cm}^2$$

$$A_{prov} = 15.71 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{sd} = 434.78 \text{ MPa} * \left( \frac{14.935 \text{ cm}^2}{15.71 \text{ cm}^2} \right) = 413.325 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rgd} = \left( \frac{20 \text{ mm}}{4} \right) * \left( \frac{413.325 \text{ MPa}}{3.22 \text{ MPa}} \right) = 642.31 \text{ mm}$$

- obliczeniowa długość zakotwienia  $l_{bd}$

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rgd}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd,wstępne} = l_{b,rgd} = 642.307 \text{ mm} - l_{bd} = 650 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max(0.3 * l_{b,rgd}, 10 * \phi_{pr}, 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(0.3 * l_{b,rgd}, 10 * \phi_{pr}, 100 \text{ mm}) =$$

$$\max(0.3 * 642.31 \text{ mm}, 10 * 20 \text{ mm}, 100 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

$$l_{bd} \geq l_{b,min} = 650 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$$

Przyjęta długość zakotwienia  $l_{bd} = 650 \text{ mm}$

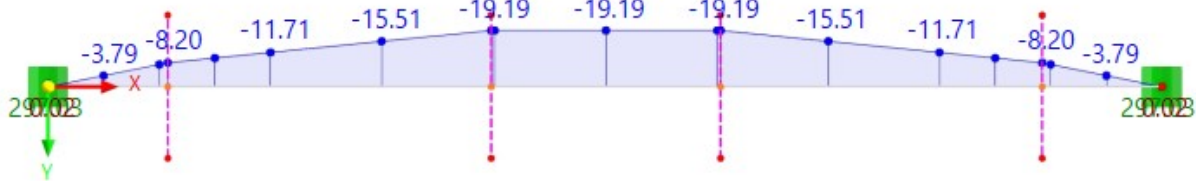
### 5.5.2 Zbrojenie podłużne boczne od obciążeń poziomych - rozpór od płyt stropowych

Do wymiarowania na zginanie od obciążeń poziomych przyjmuję najgorszą kombinację, czyli działa jednocześnie obciążenie własne belki, które przyjmuje sam program (współczynnik bezpieczeństwa 1.35) oraz siły skupione poziome wynoszące 20% siły pionowej od obu stropów (współczynnik bezpieczeństwa 1.35) oraz obciążenie technologiczne z obu stron i użytkowe z jednej strony (współczynnik bezpieczeństwa dla obu 1.5). W obliczeniach pominęłam półkę dolną.

$$Q_{bk} = 1.35 * g_{bk} + (1.35 * g_{st,bk,pion}) * 2 + 1.5 * q_{uż,bk,pion} + (1.5 * q_{tech,bk,pion}) * 2$$



Rys.5.13 Schemat obciążenia belki



Rys. 5.14 Wykres momentów zginających  $M_{Ed}$  dla powyższego schematu obciążeń rys.  
Odczytane z programu RFem:  $M_{Ed} = 19.19 \text{ kNm}$

Wstępnie zakładam zbrojenie belki krawędziowej prętami głównymi  $\phi_{pr} = 16 \text{ mm}$  oraz strzemiionami  $\phi_{strz} = 8 \text{ mm}$ .

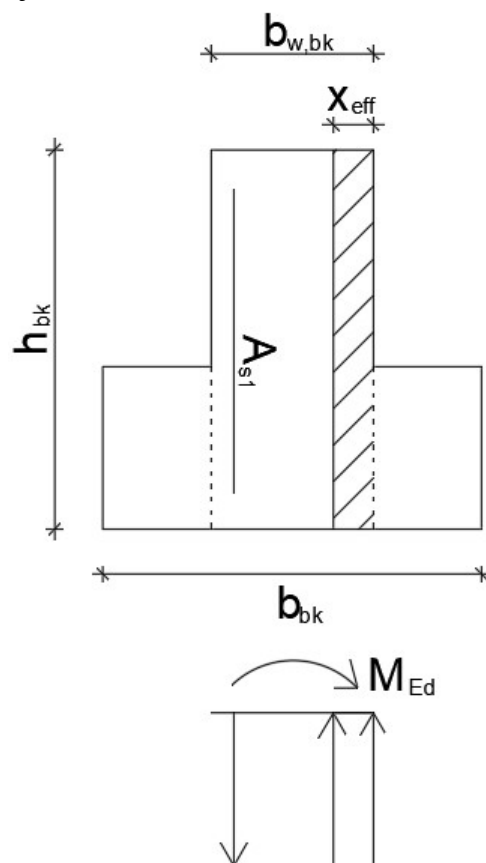
- Sposób 1 - uznaję, że pracuję tylko środek belki

Wysokość użyteczna przekroju d:

$$a_1 = c_{nom} + \phi_{strz} + 0.5 * \phi_{pr} = 35 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + 0.5 * 16 \text{ mm} = 51 \text{ mm}$$

$$d = b_w - a_1 = 0.3 \text{ m} - 51 \text{ mm} = 249 \text{ mm}$$

Wyznaczenie strefy ściskanej



Rys.5.15 Schemat wyznaczenia strefy ściskanej.

$$\sum M_{As1} = 0$$

$$M_{Ed,AB} = x_{eff} * f_{cd} * h_{bk} * (d - 0.5 * x_{eff})$$

$$19.17 = x_{\text{eff}} * 21.43 * 0.7 * (0.249 - 0.5 * x_{\text{eff}})$$

$$x_{\text{eff}} = 0.005 \text{ m}$$

Warunek:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{x_{\text{eff}}}{d} = \frac{0.00519 \text{ m}}{249 \text{ mm}} = 0.021$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda * \left( \frac{\varepsilon_{\text{cu}}}{\varepsilon_{\text{cu}} + \varepsilon_{\text{yd}}} \right)$$

$$\varepsilon_{\text{yd}} = \frac{f_{\text{yd}}}{E_s}$$

Ponieważ  $30 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa}$ , to  $\lambda = 0.8$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = 0.8 * \left( \frac{0.0035}{0.0035 + \left( \frac{f_{\text{yd}}}{E_s} \right)} \right) = 0.8 * \left( \frac{0.0035}{0.0035 + \left( \frac{434.78 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} \right)} \right) = 0.493$$

$$\xi_{\text{eff}} \leq \xi_{\text{eff,lim}} = 0.021 \leq 0.493 \text{ Warunek spełniony.}$$

$$\sum X = 0$$

$$F_c = F_s$$

$$F_c = f_{\text{cd}} * x_{\text{eff}} * h_{\text{bk}}$$

$$F_s = A_{s1} * f_{\text{yd}}$$

$$A_{s1} = \frac{f_{\text{cd}} * x_{\text{eff}} * h_{\text{bk}}}{f_{\text{yd}}} = \frac{21.43 \text{ MPa} * 0.005 \text{ m} * 0.7 \text{ m}}{434.78 \text{ MPa}}$$

$$A_{s1, \text{wstępne}} = 0.000173 \text{ m}^2$$

$$A_{s1, \text{wstępne}} = 1.725 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie minimalne:

$$A_{s, \text{min}} = \max \left( 0.26 * \left( \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \right) * h_{\text{bk}} * d, 0.0013 * h_{\text{bk}} * d \right)$$

$$A_{s, \text{min1}} = 0.26 * \left( \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \right) * h_{\text{bk}} * d = 0.26 * \left( \frac{2.9 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \right) * 0.70 \text{ m} * 249 \text{ mm} = 2.628 \text{ cm}^2$$

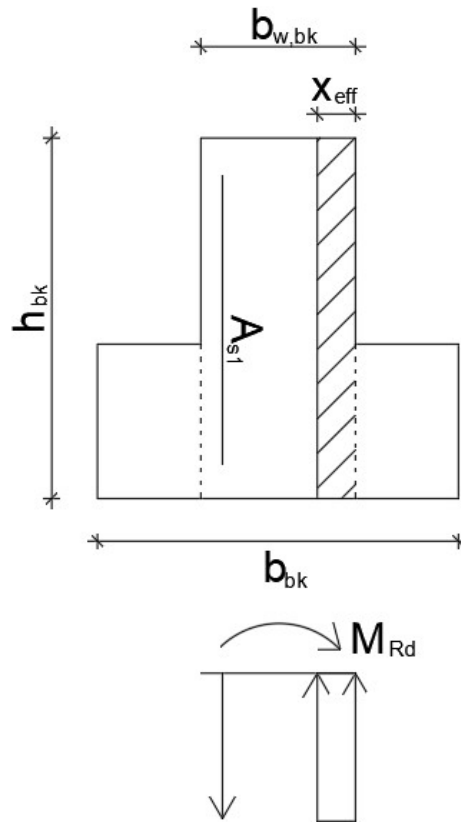
$$A_{s, \text{min2}} = 0.0013 * h_{\text{bk}} * d = 0.0013 * 0.70 \text{ m} * 249 \text{ mm} = 2.266 \text{ cm}^2$$

$$A_{s, \text{min}} = \max(A_{s, \text{min1}}, A_{s, \text{min2}}) = \max(2.628 \text{ cm}^2, 2.266 \text{ cm}^2) = 2.628 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1, \text{wstępne}} \leq A_{s, \text{min}} = 0.000173 \text{ m}^2 \leq 2.628 \text{ cm}^2$$

Przyjęłam  $2\phi 16$   $A_{s1} = 4.02 \text{ cm}^2$ . Zbrojenie przyjęłam symetryczne po obu stronach.

Sprawdzenie nośności belki krawędziowej



Rys.5.16 Schemat wyznaczania nośności belki.

$$\sum X = 0$$

$$F_c = F_s$$

$$F_c = f_{cd} * x_{\text{eff}} * h_{bk}$$

$$F_s = A_{s1} * f_{yd}$$

$$A_{s1} * f_{yd}$$

$$x_{\text{eff}} = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{h_{bk} * f_{cd}}$$

$$x_{\text{eff}} = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{h_{bk} * f_{cd}} = \frac{4.02 \text{ cm}^2 * 434.78 \text{ MPa}}{0.70 \text{ m} * 21.43 \text{ MPa}} = 0.012 \text{ m}$$

Warunek:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{x_{\text{eff}}}{d} = \frac{0.012 \text{ m}}{249 \text{ mm}} = 0.0468$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = 0.493$$

$$\xi_{\text{eff}} \leq \xi_{\text{eff,lim}} = 0.0468 \leq 0.493 \text{ Warunek spełniony.}$$



$$\sum M_{As1} = 0$$

$$M_{Rd} = x_{eff} * f_{cd} * h_{bk} * (d - 0.5 * x_{eff}) =$$

$$0.012 \text{ m} * 21.43 \text{ MPa} * 0.7 \text{ m} * (0.249 \text{ m} - 0.5 * 0.012 \text{ m})$$

$$M_{Rd} = 43.743 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 43.743 \text{ kNm} \geq 19.19 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Rd}}{2} = \frac{43.743 \text{ kNm}}{2} = 21.871 \text{ kNm} - \text{nośność jednego pręta}$$

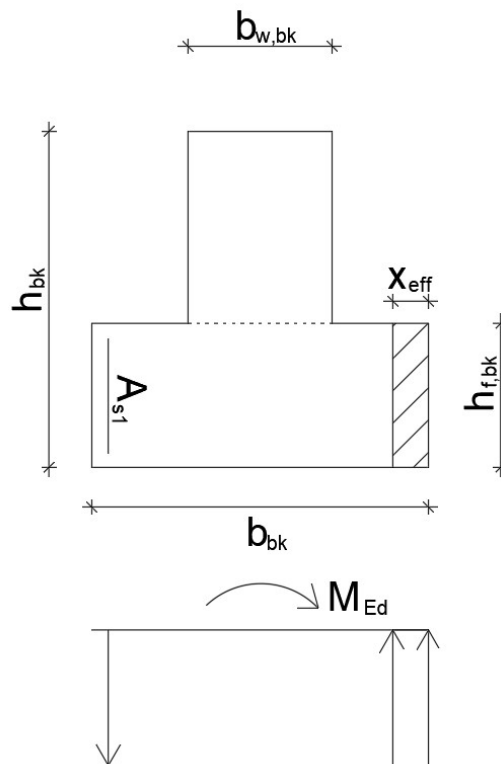
- Sposób 2 - uznaję, że pracują tylko półka belki

Wysokość użyteczna przekroju d:

$$a_1 = c_{nom} + \phi_{strz} + 0.5 * \phi_{pr} = 35 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + 0.5 * 16 \text{ mm} = 51 \text{ mm}$$

$$d = b_{bk} - a_1 = 0.7 \text{ m} - 51 \text{ mm} = 649 \text{ mm}$$

Wyznaczenie strefy ściskanej



Rys.5.17 Schemat wyznaczenia strefy ściskanej.

$$\sum M_{As1} = 0$$

$$M_{Ed,AB} = x_{eff} * f_{cd} * h_f * (d - 0.5 * x_{eff})$$

$$19.17 = x_{eff} * 21.43 * 0.3 * (0.649 - 0.5 * x_{eff})$$

$$x_{eff} = 0.012 \text{ m}$$

Warunek:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{x_{\text{eff}}}{d} = \frac{0.0123 \text{ m}}{649 \text{ mm}} = 0.019$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda * \left( \frac{\varepsilon_{\text{cu}}}{\varepsilon_{\text{cu}} + \varepsilon_{\text{yd}}} \right)$$

$$\varepsilon_{\text{yd}} = \frac{f_{\text{yd}}}{E_s}$$

Ponieważ  $30 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa}$ , to  $\lambda = 0.8$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = 0.8 * \left( \frac{0.0035}{0.0035 + \left( \frac{f_{\text{yd}}}{E_s} \right)} \right) = 0.8 * \left( \frac{0.0035}{0.0035 + \left( \frac{434.78 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} \right)} \right) = 0.493$$

$\xi_{\text{eff}} \leq \xi_{\text{eff,lim}} = 0.019 \leq 0.493$  Warunek spełniony.

$$\sum X = 0$$

$$F_c = F_s$$

$$F_c = f_{\text{cd}} * x_{\text{eff}} * h_f$$

$$F_s = A_{s1} * f_{\text{yd}}$$

$$A_{s1} = \frac{f_{\text{cd}} * x_{\text{eff}} * b_f}{f_{\text{yd}}} = \frac{21.43 \text{ MPa} * 0.012 \text{ m} * 0.3 \text{ m}}{434.78 \text{ MPa}}$$

$$A_{s1, \text{wstępne}} = 0.000177 \text{ m}^2$$

$$A_{s1, \text{wstępne}} = 1.774 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie minimalne:

$$A_{s, \text{min}} = \max \left( 0.26 * \left( \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \right) * h_f * d, 0.0013 * h_f * d \right)$$

$$A_{s, \text{min1}} = 0.26 * \left( \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \right) * h_f * d = 0.26 * \left( \frac{2.9 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \right) * 0.3 \text{ m} * 649 \text{ mm} = 2.936 \text{ cm}^2$$

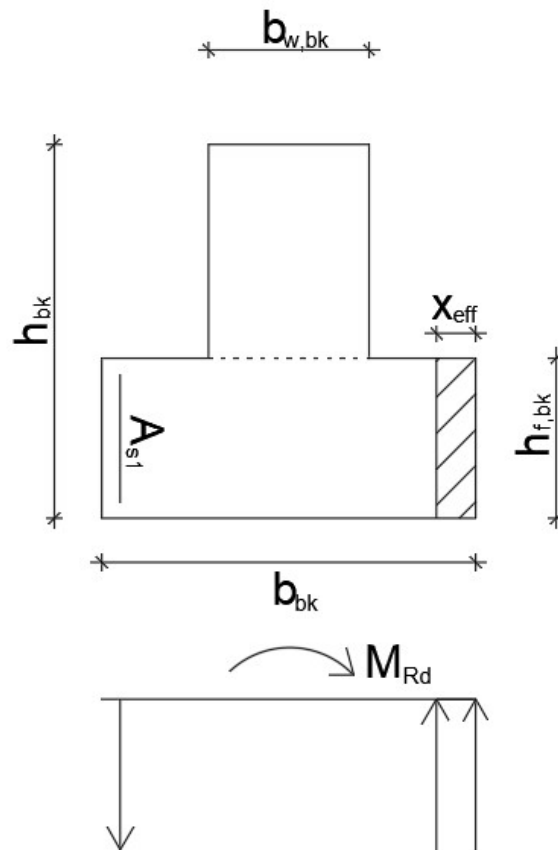
$$A_{s, \text{min2}} = 0.0013 * h_f * d = 0.0013 * 0.3 \text{ m} * 649 \text{ mm} = 2.531 \text{ cm}^2$$

$$A_{s, \text{min}} = \max(A_{s, \text{min1}}, A_{s, \text{min2}}) = \max(2.936 \text{ cm}^2, 2.531 \text{ cm}^2) = 2.936 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1, \text{wstępne}} \leq A_{s, \text{min}} = 0.000177 \text{ m}^2 \leq 2.936 \text{ cm}^2$$

Przyjęłam  $2\phi 16$   $A_{s1} = 4.02 \text{ cm}^2$ . Zbrojenie przyjęłam symetryczne po obu stronach.

Sprawdzenie nośności belki krawędziowej



Rys.5.18 Schemat wyznaczania nośności belki.

$$\sum X = 0$$

$$F_c = F_s$$

$$F_c = f_{cd} * x_{eff} * h_f$$

$$F_s = A_{s1} * f_{yd}$$

$$A_{s1} * f_{yd}$$

$$x_{eff} = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{h_f * f_{cd}}$$

$$x_{eff} = \frac{4.02 \text{ cm}^2 * 434.78 \text{ MPa}}{0.3 \text{ m} * 21.43 \text{ MPa}} = 0.027 \text{ m}$$

Warunek:

$$\xi_{eff} = \frac{0.027 \text{ m}}{649 \text{ mm}} = 0.0419$$

$$0.493$$

$$= 0.0419 \leq 0.493 \text{ Warunek spełniony.}$$

$$\sum M_{As1} = 0$$

$$M_{Rd} = x_{eff} * f_{cd} * h_f * (d - 0.5 * x_{eff})$$

$$M_{Rd} = 40.879 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 40.879 \text{ kNm} \geq 19.19 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Rd}}{2} = \frac{40.879 \text{ kNm}}{2} = 20.439 \text{ kNm} - \text{nośność jednego pręta}$$

Ostatecznie przyjęto zbrojenie dolne podłużne:  $2\phi 16 A_{s1} = 4.02 \text{ cm}^2$

Obliczenie długości zakotwienia -  $l_{bd}$ :

- graniczne naprężenia przyczepności  $f_{bd}$

$$f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$\eta_1$  - współczynnik zależny od jakości warunków przyczepności i pozycji pręta w czasie betonowania, przyjmuję warunki dobre, więc  $\eta_1 = 1$

$\eta_2 = 1$ , ponieważ  $\phi_{pr} = 16 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$

$$f_{ctd} = 1.43 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2.25 * 1 * 1 * 1.43 \text{ MPa} = 3.22 \text{ MPa}$$

- podstawowa długość zakotwienia  $l_{b,rgd}$

$$l_{b,rgd} = \left( \frac{\phi}{4} \right) * \left( \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right)$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} * \left( \frac{A_{req}}{A_{prov}} \right)$$

$$A_{req} = A_{s1, \text{wstępne}} = 1.774 \text{ cm}^2$$

$$A_{prov} = A_{s1} = 4.02 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} * \left( \frac{A_{req}}{A_{prov}} \right) = 434.78 \text{ MPa} * \left( \frac{1.774 \text{ cm}^2}{4.02 \text{ cm}^2} \right) = 191.912 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rgd} = \left( \frac{\phi_{pr}}{4} \right) * \left( \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) = \left( \frac{16 \text{ mm}}{4} \right) * \left( \frac{191.912 \text{ MPa}}{3.22 \text{ MPa}} \right) = 238.58 \text{ mm}$$

- obliczeniowa długość zakotwienia  $l_{bd}$

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rgd}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd, \text{wstępne}} = l_{b,rgd} = 238.585 \text{ mm} - l_{bd} = 240 \text{ mm}$$

$$l_{b, \min} = \max(0.3 * l_{b,rgd}, 10 * \phi_{pr}, 100 \text{ mm})$$

$$l_{b, \min} = \max(0.3 * l_{b,rgd}, 10 * \phi_{pr}, 100 \text{ mm}) =$$

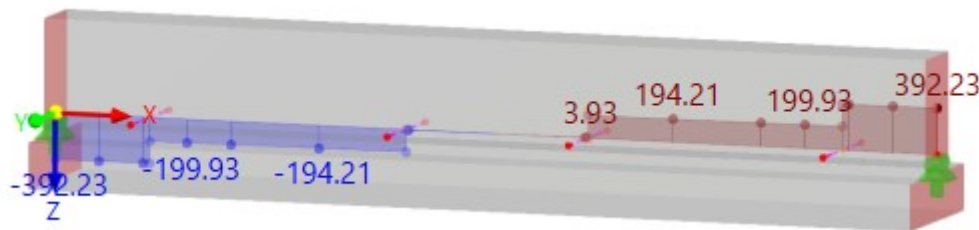
$$\max(0.3 * 238.58 \text{ mm}, 10 * 20 \text{ mm}, 100 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

$$l_{bd} \geq l_{b,min} = 240 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$$

Przyjęta długość zakotwienia  $l_{bd} = 240 \text{ mm}$

## 5.6 Wymiarowanie na ścinanie

Do wymiarowania na ścinanie przyjmuję najgorszą kombinację, czyli działa jednocześnie obciążenie własne belki, które przyjmuje sam program (współczynnik bezpieczeństwa 1.35) oraz siły skupione od obu stropów (współczynnik bezpieczeństwa 1.35), obciążenia technologicznego i użytkowego z obu stron (współczynnik bezpieczeństwa dla obu 1.5).



Rys.5.19 Wykres sił tnących w programie RFem

$$V_{Rd,c} = \max \left( \left( C_{Rd,c} * k * \left( 100 * \rho_L * f_{ck} \right)^{\left( \frac{1}{3} \right)} + k_1 * \sigma_{cp} \right) * b_w * d, \left( v_{min} + k_1 * \sigma_{cp} \right) * b_w * d \right)$$

$$k = 1 + \left( \frac{200}{d} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} \leq 2$$

$$d = 647 \text{ mm}$$

$$b_w = 0.3 \text{ m}$$

$$k = 1 + \left( \frac{200}{d} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 1 + \left( \frac{200}{647} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 1.556 \leq 2$$

$$c_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.4} = 0.129$$

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w * d}$$

$A_{sL}$  - pole przekroju zbrojenia rozciąganego, które sięga na odległość nie mniejszą niż

$l_{bd} + d$  po za rozpatrywany przekrój, w moim przypadku są to wszystkie pręty dolne podłużne

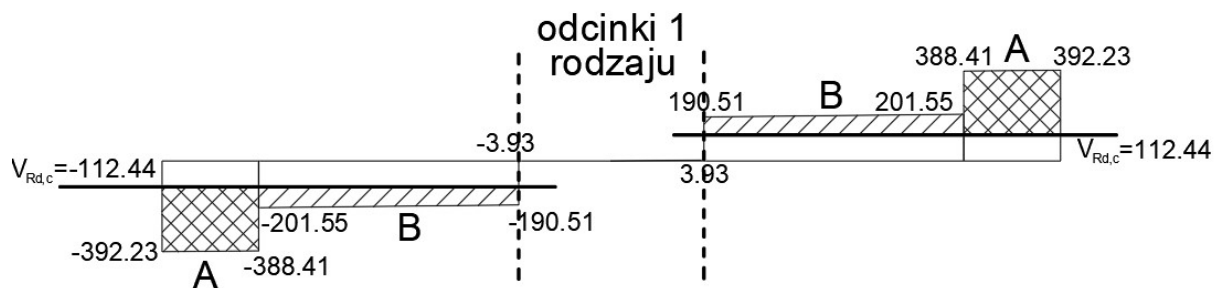
$$A_{sL} = 15.71 \text{ cm}^2$$

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w * d} = \frac{15.71 \text{ cm}^2}{0.3 \text{ m} * 647 \text{ mm}} = 0.00809$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$v_{\min} = 0.035 * k^{\left(\frac{3}{2}\right)} * f_{ck}^{\left(\frac{1}{2}\right)} = 0.035 * 1.556^{\left(\frac{3}{2}\right)} * 30^{\left(\frac{1}{2}\right)} = 0.372$$

$$V_{Rd,c} = \max \left( \left( c_{Rd,c} * k * \left( 100 * \rho_L * f_{ck} \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} * b_w * d, v_{\min} * b_w * d \right) \right. \\ \left. \max \left( \left( 0.129 * 1.556 * \left( 100 * 0.00809 * 30 \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} * 0.3 * 647, 0.372 * 0.3 * 647 \right) \right) \right) = 112.443 \text{ kN}$$



Rys.5.20 Odcinki ścinania w belce

Przyjmuję zbrojenie na ścinanie samymi strzemionami:  $ctg\theta = 2$

$$ctg\theta = \frac{l_t}{z}$$

Długość odcinka ścinania wynosi maksymalnie  $l_t = 1.8 d$

$$l_{t,max} = 1.8 * d = 1.8 * 647 \text{ mm} = 1164.6 \text{ mm}$$

- Odcinek ścinania A

$$l_t = 0.42 \text{ m}$$

Przyjmuję strzemiona dwucięte o średnicy 8mm, więc  $A_{sw} = 2 \phi 8$ :

$$A_{sw} = 1.01 \text{ cm}^2$$

$V_{Ed} = 388.41 \text{ kN}$  - wartość siły na początku odcinka ścinania

$$V_{Rd,s} = \left( \frac{A_{sw}}{s} \right) * z * f_{ywd} * ctg\theta$$

$$V_{rd,s} \geq V_{Ed}$$

$$s = \left( \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \right) * z * f_{ywd} * ctg\theta$$

$$f_{ywd} = f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$$

$$s_{wstępne} = \left( \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \right) * 0.9 * d * f_{ywd} * ctg\theta =$$

$$\left( \frac{1.01 \text{ cm}^2}{388.41 \text{ kN}} \right) * 0.9 * 647 \text{ mm} * 434.783 \text{ MPa} * 2 = 131.668 \text{ mm}$$

Rozstaw strzemion konstrukcyjny:

$$s_k = \min \left( \frac{A_{sw} * f_{yk}}{0.08 * \left( f_{ck} \left( \frac{1}{2} \right) \right) * b_w * \sin(\alpha)}, 0.75 * d * (1 + ctg(\alpha)), 300 \text{ mm} \right)$$

$\alpha = 90^\circ$  - kąt nachylenia strzemion do zbrojenia głównego

$$s_{k1} = \frac{A_{sw} * f_{yd}}{0.08 * f_{ck} \left( \frac{1}{2} \right) * 1 \text{ MPa} * b_w * 1} = \frac{1.01 \text{ cm}^2 * 434.78 \text{ MPa}}{0.08 * 30 \left( \frac{1}{2} \right) * 1 \text{ MPa} * 0.3 \text{ m} * 1} = 334.058 \text{ mm}$$

$$s_{k2} = 0.75 * d * (1 + 0) = 0.75 * 647 \text{ mm} * (1 + 0) = 485.25 \text{ mm}$$

$$s_{k3} = 300 \text{ mm}$$

$$s_k = \min(s_{k1}, s_{k2}, s_{k3}) = \min(334.058 \text{ mm}, 485.25 \text{ mm}, 300 \text{ mm}) = 300 \text{ mm}$$

$s_{wstępne} \leq s_k = 131.668 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$  - przyjęty rozstaw strzemion wynosi  $s_A = 130 \text{ mm}$

- Odcinek ścinania B

$$l_t = 1.128 \text{ m}$$

Przyjmuję strzemiona dwucięte o średnicy 8mm, więc  $A_{sw} = 2 \phi 8$ :

$$A_{sw} = 1.01 \text{ cm}^2$$

$V_{Ed} = 190.51 \text{ kN}$  - wartość siły na początku odcinka ścinania

$$V_{Rd,s} = \left( \frac{A_{sw}}{s} \right) * z * f_{ywd} * ctg\theta$$

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$$

$$s = \left( \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \right) * z * f_{ywd} * ctg\theta$$

$$f_{ywd} = f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$$

$$s_{\text{wstępne}} = \left( \frac{A_{\text{sw}}}{V_{\text{Ed}}} \right) * 0.9 * d * f_{\text{ywd}} * \text{ctg}\theta =$$

$$\left( \frac{1.01 \text{ cm}^2}{190.51 \text{ kN}} \right) * 0.9 * 647 \text{ mm} * 434.783 \text{ MPa} * 2 = 268.443 \text{ mm}$$

Rozstaw strzemion konstrukcyjny:

$$s_k = \min \left( \frac{A_{\text{sw}} * f_{\text{yk}}}{0.08 * \left( f_{\text{ck}} \left( \frac{1}{2} \right) \right) * b_w * \sin(\alpha)}, 0.75 * d * (1 + \text{ctg}(\alpha)), 300 \text{ mm} \right)$$

$\alpha = 90^\circ$  - kąt nachylenia strzemion do zbrojenia głównego

$$s_{k1} = \frac{A_{\text{sw}} * f_{\text{yd}}}{0.08 * f_{\text{ck}} \left( \frac{1}{2} \right) * 1 \text{ MPa} * b_w * 1} = \frac{1.01 \text{ cm}^2 * 434.78 \text{ MPa}}{0.08 * 30 \left( \frac{1}{2} \right) * 1 \text{ MPa} * 0.3 \text{ m} * 1} = 334.058 \text{ mm}$$

$$s_{k2} = 0.75 * d * (1 + 0) = 0.75 * 647 \text{ mm} * (1 + 0) = 485.25 \text{ mm}$$

$$s_{k3} = 300 \text{ mm}$$

$$s_k = \min(s_{k1}, s_{k2}, s_{k3}) = \min(334.058 \text{ mm}, 485.25 \text{ mm}, 300 \text{ mm}) = 300 \text{ mm}$$

$$s_{\text{wstępne}} \leq s_k = 268.443 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} - \text{przyjęty rozstaw strzemion wynosi } s_B = 250 \text{ mm}$$

Dla odcinków 1 rodzaju przyjęto rozstaw strzemion równy rozstawie strzemion na odcinku B w celu ułatwienia konstruowania strzemion  $s_1 = s_B = 250 \text{ mm}$

Nośność krzyżulca betonowego

$$V_{\text{Rd,max}} = \frac{b_w * z * v * f_{\text{cd}}}{\text{ctg}\theta + \text{tg}\theta}$$

$$v = 0.6 * \left( 1 - \left( \frac{f_{\text{ck}}}{250} \right) \right) = 0.6 * \left( 1 - \left( \frac{30}{250} \right) \right) = 0.53$$

$$V_{\text{Rd,max}} = \frac{b_w * 0.9 * d * v * f_{\text{cd}}}{2 + 0.5} = \frac{0.3 \text{ m} * 0.9 * 647 \text{ mm} * 0.53 * 21.43 \text{ MPa}}{2 + 0.5}$$

$$= 790.597 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed,max}} = 392.23 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed,max}} \leq V_{\text{Rd,max}} = 392.23 \text{ kN} \leq 790.597 \text{ kN}$$

Warunek spełniony, więc nie dojdzie do zniszczenia krzyżulca betonowego.

### 5.7 Wymiarowanie dodatkowych strzemion w miejscu występowania lokalnych sił

Dolne półki belki krawędziowej pełnią rolę wspornika liniowego, na którym oparte są płyty



TT z obu stron na żebrach, które przekazują obciążenie jako siły skupione. Z tego powodu może dojść do oderwania lub wyłamania części półki.

Wartości sił skupionych:

$$V_{TT} = g_{st,bk,pion} = 30.690 \text{ kN}$$

$$V_{TT,poz} = g_{st,bk,poz} = 6.138 \text{ kN}$$

$$V_{tech} = q_{tech,bk,pion} = 1.957 \text{ kN}$$

$$V_{tech,poz} = q_{tech,bk,poz} = 0.391 \text{ kN}$$

$$V_{uż} = q_{uż,bk,pion} = 32.614 \text{ kN}$$

$$V_{uż,poz} = q_{uż,bk,poz} = 6.523 \text{ kN}$$

### 5.7.1 Zbrojenie pionowe, inaczej podwieszające

$c = 100 \text{ mm}$  - szerokość podkładki elastomerowej

Warianty obciążenie wspornika:

1. Symetryczne obciążenie - obciążenie użytkowe, technologiczne oraz ciężar belek tt po obu stronach

$$F_{v,sd,1} = V_{TT} + V_{tech} + V_{uż} = 30.690 \text{ kN} + 1.957 \text{ kN} + 32.614 \text{ kN} = 65.260 \text{ kN}$$

$$A_{sw,h,1} = \frac{F_{v,sd,1}}{f_{ywd}} = \frac{65.260 \text{ kN}}{434.783 \text{ MPa}} = 1.501 \text{ cm}^2 \text{ - z jednej strony belki}$$

2. Niesymetryczne obciążenie - ciężar belek TT oraz obciążenie technologiczne z obu stron, natomiast obciążenie użytkowe tylko z jednej strony

Ze względu na wygodę obliczeń rozważono ten przypadek jako superpozycję obciążenia o charakterze symetrycznym (działanie obciążenia od ciężaru płyt TT oraz obciążenia technologicznego z obu stron) oraz niesymetrycznym (działanie obciążenia użytkowego z jednej strony)

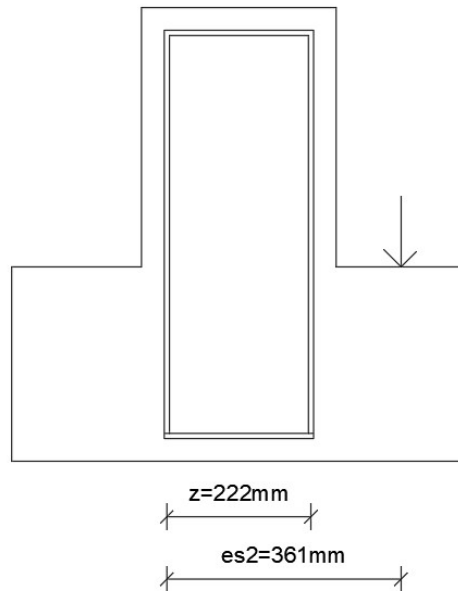
$$F_{v,sd,sym} = V_{TT} + V_{tech} = 30.690 \text{ kN} + 1.957 \text{ kN} = 32.646 \text{ kN}$$

$$F_{v,sd,niesym} = V_{uż} = 32.614 \text{ kN}$$

$$a_c = 100 \text{ mm}$$

$$c_1 = c_{nom} + 0.5 * \phi_{strz} = 35 \text{ mm} + 0.5 * 8 \text{ mm} = 39 \text{ mm}$$

$$z_h = b_w - 2 * c_{nom} - 2 * 0.5 * \phi_{strz} = 0.3 \text{ m} - 2 * 35 \text{ mm} - 2 * 0.5 * 8 \text{ mm} = 0.222 \text{ m}$$



Rys.5.21 Odległości niezbędne do wymiarowania dodatkowych strzemion

$e_{s2} = 361 \text{ mm}$  - odległość od siły do osi zbrojenia po drugiej stronie belki

$z = 222 \text{ mm}$  - odległość między osiami strzemion pionowych

$$A_{sw,sym} = \frac{F_{v,sd,sym}}{f_{ywd}} = \frac{32.646 \text{ kN}}{434.783 \text{ MPa}} = 0.751 \text{ cm}^2$$

$$A_{sw,niesym} = \frac{F_{v,sd,niesym} * e_{s2}}{z_h * f_{ywd}} = \frac{32.614 \text{ kN} * 361 \text{ mm}}{0.222 \text{ m} * 434.783 \text{ MPa}} = 1.220 \text{ cm}^2$$

$$A_{sw,h,2} = A_{sw,sym} + A_{sw,niesym} = 0.751 \text{ cm}^2 + 1.220 \text{ cm}^2 = 1.971 \text{ cm}^2 \text{ - z jednej strony belki}$$

$$A_{sw,h,2} \geq A_{sw,h,1} = 1.971 \text{ cm}^2 \geq 1.501 \text{ cm}^2$$

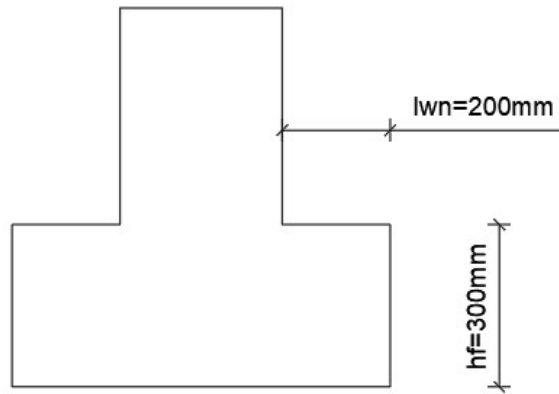
Gorszym przypadkiem jest niesymetryczne obciążenie belki środkowej.

Dla jednego strzemienia :  $A_{sw,\phi 8} = 0.5 \text{ cm}^2$

$$A_{sw,pot} = \frac{A_{sw,h,2}}{A_{sw,\phi 8}} = \frac{1.971 \text{ cm}^2}{0.5 \text{ cm}^2} = 3.941$$

Potrzebuje, więc 4 strzemiona dwucięte z pręta  $\phi 8$ .

Rozmieszczenie zbrojenia jak najbliżej siły.



Rys.5.22 Wymiary belki do obliczenia długości na jakiej rozmieścić zbrojenia

$$l_{wn} = 0.2 \text{ m}$$

$$c_{\text{eff},1} = c + 2 * l_{wn} + 2 * h_f = 100 \text{ mm} + 2 * 0.2 \text{ m} + 2 * 0.3 \text{ m} = 1100 \text{ mm}$$

$$c_{\text{eff},2} = c + 4 * l_{wn} = 100 \text{ mm} + 4 * 0.2 \text{ m} = 900 \text{ mm}$$

Do rozmieszczenia strzemion wybieram mniejszą długość.

$$c_{\text{eff}} = \min(c_{\text{eff},1}, c_{\text{eff},2}) = \min(1100 \text{ mm}, 900 \text{ mm}) = 900 \text{ mm}$$

Strzemiona współpracujące w przenoszeniu sił pionowych uznaje się takie, które znajdują się w odległości nie większej niż  $0.5d$  od osi podkładki.

$$c_{\text{współ}} = 0.5 * d = 0.5 * 647 \text{ mm} = 323.5 \text{ mm} - \text{od osi podkładki w dwie strony}$$

### 5.7.2 Zbrojenie poziome

Poziome zbrojenie obliczono jak dla krótkiego wspornika.

Zakładam zbrojenie:  $\phi_{\text{pr}} = 8 \text{ mm}$

Szerokość współpracująca:  $c_{\text{eff}} = c + h_f = 100 \text{ mm} + 0.3 \text{ m} = 400 \text{ mm}$

$$a_f = \frac{l_{wn}}{2} = \frac{0.2 \text{ m}}{2} = 0.1 \text{ m}$$

Sprawdzenie geometrii wspornika:

$$\frac{a_f}{h_f} = \frac{0.1 \text{ m}}{0.3 \text{ m}} = 0.333 > 0.3$$

$$F_{v,sd} \leq F_{v,Rd}$$

$$b = c_{\text{eff}} = 400 \text{ mm}$$

$$d = h_f - c_{\text{nom}} - \frac{\phi_{\text{pr}}}{2} = 0.3 \text{ m} - 35 \text{ mm} - \frac{8 \text{ mm}}{2} = 0.261 \text{ m}$$

$$\nu = 0.6 * \left( 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right) = 0.6 * \left( 1 - \left( \frac{30}{250} \right) \right) = 0.528$$

$$F_{v,Rd} = 0.5 * \nu * f_{cd} * b * d = 0.5 * 0.528 * 21.43 \text{ MPa} * 400 \text{ mm} * 0.261 \text{ m} = 590.606 \text{ kN}$$

$$F_{v,sd} = V_{TT} + V_{\text{tech}} + V_{uż} = 30.690 \text{ kN} + 1.957 \text{ kN} + 32.614 \text{ kN} = 65.260 \text{ kN}$$

$$F_{v,sd} \leq F_{v,Rd} = 65.260 \text{ kN} \leq 590.606 \text{ kN}$$

Główne zbrojenie rozciągane

$$A_s \geq \left( \frac{1}{f_{yd}} \right) * \left( F_{v, sd} * \left( \frac{a}{z} \right) + H_{sd} * \left( \frac{a_h + z}{z} \right) \right)$$

Warianty obciążenie wspornika:

1. Symetryczne obciążenie - obciążenie użytkowe, technologiczne oraz ciężar belek tt po obu stronach

$$H_{sd,1} = 0.2 * F_{v, sd,1} = 0.2 * 65.260 \text{ kN} = 13.052 \text{ kN}$$

2. Niesymetryczne obciążenie - ciężar belek TT oraz obciążenie technologiczne z obu stron, natomiast obciążenie użytkowe tylko z jednej strony

Ze względu na wygodę obliczeń rozważono ten przypadek jako superpozycję obciążenia o charakterze symetrycznym (działanie obciążenia od ciężaru płyt TT oraz obciążenia technologicznego z obu stron) oraz niesymetrycznym (działanie obciążenia użytkowego z jednej strony)

$$H_{sd, sym} = V_{TT, poz} + V_{tech, poz} = 6.138 \text{ kN} + 0.391 \text{ kN} = 6.529 \text{ kN}$$

$$H_{sd, niesym} = V_{uż, poz} = 6.523 \text{ kN}$$

$$H_{v, sd, 2} = H_{sd, sym} + H_{sd, niesym} = 6.529 \text{ kN} + 6.523 \text{ kN} = 13.052 \text{ kN}$$

$$a_1 = \left( \frac{F_{v, sd}}{0.85 * f_{cd} * b} \right) = \left( \frac{65.260 \text{ kN}}{0.85 * 21.43 \text{ MPa} * 400 \text{ mm}} \right) = 0.009 \text{ m}$$

$$a = a_f + 0.5 * a_1 = 0.1 \text{ m} + 0.5 * 0.009 \text{ m} = 0.104 \text{ m}$$

$$a_2 = d - \left( d^2 - 2 * a_1 * a \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 0.261 \text{ m} - \left( (0.261 \text{ m})^2 - 2 * 0.009 \text{ m} * 0.104 \text{ m} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)}$$

$$= 0.004 \text{ m}$$

$$z = d - 0.5 * a_2 = 0.261 \text{ m} - 0.5 * 0.004 \text{ m} = 0.259 \text{ m}$$

$h_{podk} = 5 \text{ mm}$  - wysokość podkładki elastomerowej

$$a_H = c_{nom} + h_{podk} + \frac{\phi_{pr}}{2} = 35 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + \frac{8 \text{ mm}}{2} = 44 \text{ mm}$$

$$A_{s, min} = \left( \frac{1}{f_{yd}} \right) * \left( F_{v, sd} * \left( \frac{a}{z} \right) + H_{v, sd, 2} * \left( \frac{a_H + z}{z} \right) \right) =$$

$$\left( \frac{1}{434.78 \text{ MPa}} \right) * \left( 65.260 \text{ kN} * \left( \frac{0.104 \text{ m}}{0.259 \text{ m}} \right) + 13.052 \text{ kN} * \left( \frac{44 \text{ mm} + 0.259 \text{ m}}{0.259 \text{ m}} \right) \right) = 0.956 \text{ cm}^2$$

Przyjmuję 2 $\phi$ 8:  $A_s = 1.1 \text{ cm}^2$

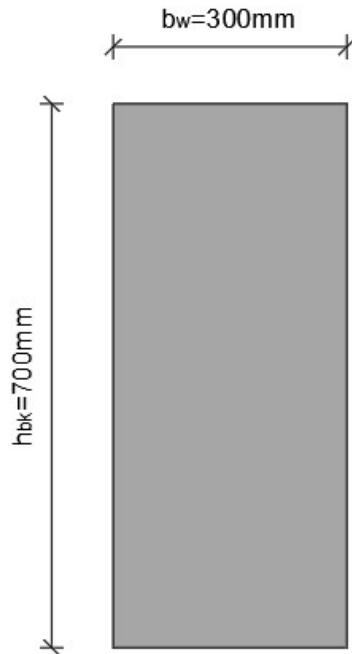
$$s = \frac{b}{2} = \frac{400 \text{ mm}}{2} = 200 \text{ mm}$$

Przyjęto 2 strzemiona z prętów  $\phi$ 8 w odległości 200 mm od osi podkładki.

### 5.8 Strzemiona na skręcanie

Poniższy algorytm ma zastosowanie podczas gdy występuje jednocześnie skręcanie i zginanie elementu tak jak w moim przypadku. Przy samym skręcaniu nie miałyby zastosowania. Algorytm obliczeń przeprowadzony według [22].

Do obliczania strzemion na skręcanie przyjmuję, że w skręcaniu bierze udział tylko środek belki krawędziowej, aby być po bezpiecznej stronie.



Rys.5.23 Przekrój - sam środek belki

Pole przekroju:  $A = b_w * h_{bk} = 0.3 \text{ m} * 0.70 \text{ m} = 0.21 \text{ m}^2$

Obwód przekroju:  $u = 2 * (b_w + h_{bk}) = 2 * (0.3 \text{ m} + 0.70 \text{ m}) = 2 \text{ m}$

$t_{\text{eff}} = \frac{A}{u}$  - efektywna grubość ściany, nie mniejsza niż podwojona odległość od krawędzi przekroju do środka zbrojenia podłużnego

$$t_{\text{eff, wstępne}} = \frac{A}{u} = \frac{0.21 \text{ m}^2}{2 \text{ m}} = 0.105 \text{ m}$$

$$t_{\text{eff, min}} = 2 * \left( c_{\text{nom}} + \phi_{\text{strz}} + \frac{\phi_{\text{pr}}}{2} \right) = 2 * \left( 35 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \frac{16 \text{ mm}}{2} \right) = 102 \text{ mm}$$

$$t_{\text{eff}} = \max(t_{\text{eff, wstępne}}, t_{\text{eff, min}}) = \max(0.105 \text{ m}, 102 \text{ mm}) = 0.105 \text{ m}$$

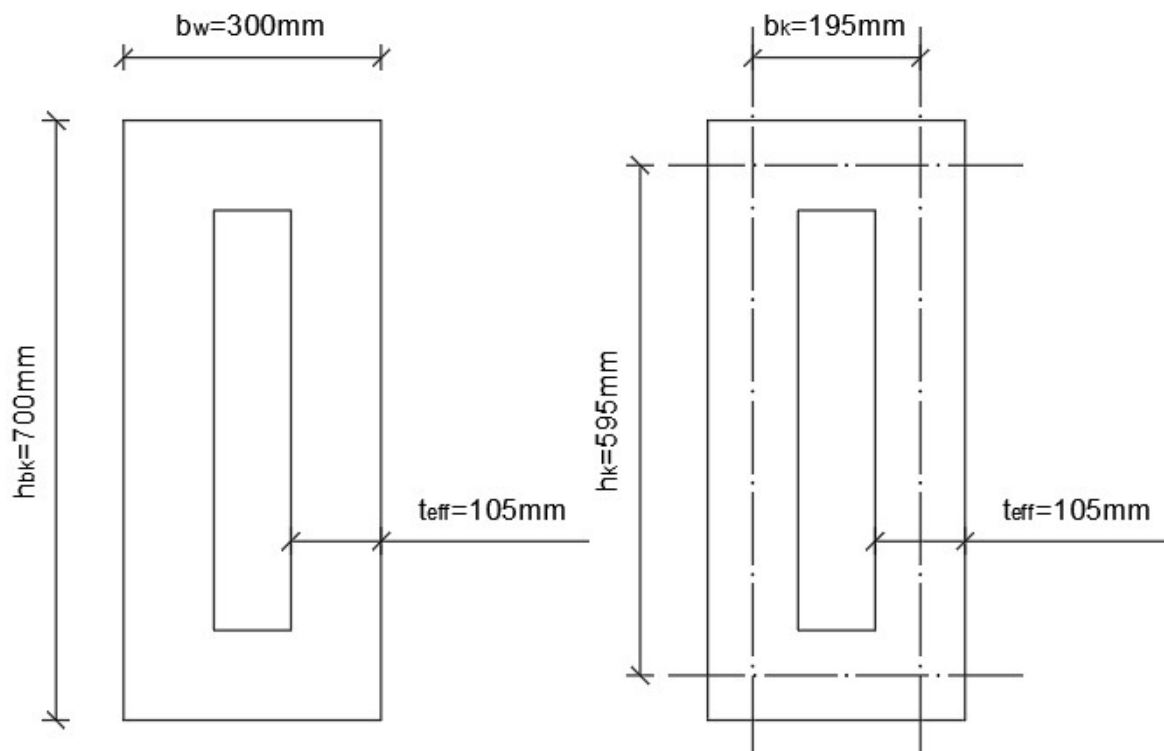
Parametry modelu obliczeniowego:

$$b_k = b_w - t_{\text{eff}} = 0.3 \text{ m} - 0.105 \text{ m} = 0.195 \text{ m}$$

$$h_k = h_{bk} - t_{\text{eff}} = 0.70 \text{ m} - 0.105 \text{ m} = 0.595 \text{ m}$$

$$A_k = b_k * h_k = 0.195 \text{ m} * 0.595 \text{ m} = 0.116 \text{ m}^2$$

$$u_k = 2 * (b_k + h_k) = 2 * (0.195 \text{ m} + 0.595 \text{ m}) = 1.58 \text{ m}$$



Rys.5.24 Model obliczeniowy

Kombinacja powodująca największe skręcanie w belce występuje gdy obciążałam belkę ciężarem własnym, ciężarem stropów (oba ze współczynnikiem bezpieczeństwa 1.35), technologicznym z obu stron oraz użytkowym z jednej strony (ze współczynnikami bezpieczeństwa 1.5).



Rys.5.25 Maksymalny moment skręcający w belce krawędziowej

$$T_{Ed,A} = 24.46 \text{ kNm}$$

$$T_{Ed,B} = 12.23 \text{ kNm}$$



Rys.5.26 Siła tnąca towarzysząca maksymalnemu momentowi skręcającemu

$$V_{Ed,A} = 294.40 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,B} = 152.63 \text{ kN}$$

Graniczna siła poprzeczna na odcinkach niewymagających zbrojenia na ścinanie:

$$V_{Rd,c} = 112.443 \text{ kN}$$

Maksymalny moment skręcający:

$$T_{Rd,c} = 2 * A_k * t_{eff} * f_{ctd}$$

$$T_{Rd,c} = 2 * A_k * t_{eff} * f_{ctd} = 2 * 0.116 \text{ m}^2 * 0.105 \text{ m} * 1.43 \text{ MPa} = 34.842 \text{ kNm}$$

Nośność krzyżulca betonowego

$$V_{Rd,max} = c * \left( \frac{ctg\theta}{1 + ctg^2\theta} \right)$$

$ctg\theta = 2$  - zbrojenie samymi strzemionami

$\alpha_{cw}$  - współczynnik uwzględniający wpływ siły podłużnej na nośność krzyżulca; dla

konstrukcji które nie są sprężone  $\alpha_{cw} = 1$

$$\nu = 0.6 * \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0.6 * \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0.528$$

$$z = 0.9 * d$$

$$c = \alpha_{cw} * \nu * f_{cd} * b_w * z$$

$$c = \alpha_{cw} * \nu * f_{cd} * b_w * 0.9 * d = 1 * 0.528 * 21.43 \text{ MPa} * 0.3 \text{ m} * 0.9 * 647 \text{ mm} = 1976.493 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = c * \left( \frac{2}{1 + 4} \right) = 1976.493 \text{ kN} * \left( \frac{2}{1 + 4} \right) = 790.597 \text{ kN}$$

Graniczny moment skręcający przy czystym skręcaniu

$$T_{Rd,max} = 2 * \alpha_{cw} * \nu * f_{cd} * A_k * t_{eff} * \left( \frac{ctg\theta}{1 + ctg^2\theta} \right)$$

$$T_{Rd,max} = 2 * \alpha_{cw} * \nu * f_{cd} * A_k * t_{eff} * \left( \frac{ctg\theta}{1 + ctg^2\theta} \right) =$$

$$2 * 1 * 0.528 * 21.43 \text{ MPa} * 0.116 \text{ m}^2 * 0.105 \text{ m} * \left( \frac{2}{1 + 2^2} \right) = 110.270 \text{ kNm}$$

- Odcinek A:

Sprawdzenie warunku, czy jest konieczne zastosowanie dodatkowego zbrojenia na skręcanie:

$$\left( \frac{T_{Ed,A}}{T_{Rd,c}} \right) + \left( \frac{V_{Ed,A}}{V_{Rd,c}} \right) = \left( \frac{24.46 \text{ kNm}}{34.842 \text{ kNm}} \right) + \left( \frac{294.40 \text{ kN}}{112.443 \text{ kN}} \right) = 3.320 > 1$$

Trzeba obliczyć zbrojenie na skręcanie.

Sprawdzenie warunku, czy pole przekroju modelu jest wystarczające:

$$\left( \frac{T_{Ed,A}}{T_{Rd,max}} \right) + \left( \frac{V_{Ed,A}}{V_{Rd,max}} \right) = \left( \frac{24.46 \text{ kNm}}{110.270 \text{ kNm}} \right) + \left( \frac{294.40 \text{ kN}}{790.597 \text{ kN}} \right) = 0.594 < 1$$

Pole jest wystarczające.

$A_{swt}$  - pole przekroju zbrojenia poprzecznego, które mieści się w jednej ścianie modelu i spełnia wymagania konstrukcyjne ze względu na ścinanie, w moim przypadku jest to w jeden

pręt  $\phi 8$ , więc  $A_{swt} = 0.5 \text{ cm}^2$

$\alpha_v$  - współczynnik oznaczający stosunek  $A_{swt}$  do pola przekroju całego zbrojenia poprzecznego, ponieważ całe zbrojenie poprzeczne to strzemię dwucięte z pręta  $\phi 8$ ,  $\alpha_v = 0.5$

Wymagany rozstaw strzemion:

$$s_{A,ws} = \frac{A_{swt} * f_{yd} * ctg\theta}{\left( \frac{T_{Ed,A}}{2 * A_k} \right) + \left( \alpha_v * \left( \frac{V_{Ed,A}}{0.9 * d} \right) \right)} = \frac{0.5 \text{ cm}^2 * 434.78 \text{ MPa} * 2}{\left( \frac{24.46 \text{ kNm}}{2 * 0.116 \text{ m}^2} \right) + \left( 0.5 * \left( \frac{294.40 \text{ kN}}{0.9 * 647 \text{ mm}} \right) \right)} = 121.38 \text{ mm}$$

Przyjęty rozstaw strzemion na odcinku A:  $s_A = 120 \text{ mm}$

Wymagane pole przekroju zbrojenia podłużnego:

$$\Sigma A_{si} = T_{Ed,A} * \left( \frac{u_k}{2 * A_k * f_{yd}} \right) * 2 = 24.46 \text{ kNm} * \left( \frac{1.58 \text{ m}}{2 * 0.116 \text{ m}^2 * 434.78 \text{ MPa}} \right) * 2$$

$$= 7.661 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie podłużne w środku to  $3\phi 20$ , więc  $A_s = 3 * 3.14 \text{ cm}^2 = 9.42 \text{ cm}^2$

$$A_s \geq \Sigma A_{si} = 9.42 \text{ cm}^2 \geq 7.661 \text{ cm}^2$$

Warunek spełniony.

- Odcinek B:

Sprawdzenie warunku, czy jest konieczne zastosowanie dodatkowego zbrojenia na skręcanie:

$$\left( \frac{T_{Ed,B}}{T_{Rd,c}} \right) + \left( \frac{V_{Ed,A}}{V_{Rd,c}} \right) = \left( \frac{12.23 \text{ kNm}}{34.842 \text{ kNm}} \right) + \left( \frac{294.40 \text{ kN}}{112.443 \text{ kN}} \right) = 2.969 > 1$$

Trzeba obliczyć zbrojenie na skręcanie.

Sprawdzenie warunku, czy pole przekroju modelu jest wystarczające:

$$\left( \frac{T_{Ed,B}}{T_{Rd,max}} \right) + \left( \frac{V_{Ed,B}}{V_{Rd,max}} \right) = \left( \frac{12.23 \text{ kNm}}{110.270 \text{ kNm}} \right) + \left( \frac{152.63 \text{ kN}}{790.597 \text{ kN}} \right) = 0.304 < 1$$

Pole jest wystarczające.

$A_{swt}$  - pole przekroju zbrojenia poprzecznego, które mieści się w jednej ścianie modelu i spełnia wymagania konstrukcyjne ze względu na ścinanie, w moim przypadku jest to w jeden pręt  $\phi 8$ , więc  $A_{swt} = 0.5 \text{ cm}^2$

$\alpha_v$  - współczynnik oznaczający stosunek  $A_{swt}$  do pola przekroju całego zbrojenia poprzecznego, ponieważ całe zbrojenie poprzeczne to strzemię dwucięte z pręta  $\phi 8$ ,  $\alpha_v = 0.5$

Wymagany rozstaw strzemion:

$$s_{B,ws} = \frac{A_{swt} * f_{yd} * ctg\theta}{\left( \frac{T_{Ed,B}}{2 * A_k} \right) + \left( \alpha_v * \left( \frac{V_{Ed,B}}{0.9 * d} \right) \right)} = \frac{0.5 \text{ cm}^2 * 434.78 \text{ MPa} * 2}{\left( \frac{12.23 \text{ kNm}}{2 * 0.116 \text{ m}^2} \right) + \left( 0.5 * \left( \frac{152.63 \text{ kN}}{0.9 * 647 \text{ mm}} \right) \right)} = 236.601 \text{ mm}$$



Przyjęty rozstaw strzemion na odcinku B:  $s_B = 230 \text{ mm}$

Wymagane pole przekroju zbrojenia podłużnego:

$$\Sigma A_{si} = T_{Ed,B} * \left( \frac{u_k}{2 * A_k * f_{yd}} \right) * 2 = 12.23 \text{ kNm} * \left( \frac{1.58 \text{ m}}{2 * 0.116 \text{ m}^2 * 434.78 \text{ MPa}} \right) * 2$$

$$= 3.831 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie podłużne w środniku to  $3\phi 20$ , więc  $A_s = 3 * 3.14 \text{ cm}^2 = 9.42 \text{ cm}^2$

$$A_s \geq \Sigma A_{si} = 9.42 \text{ cm}^2 \geq 3.831 \text{ cm}^2$$

Warunek spełniony.

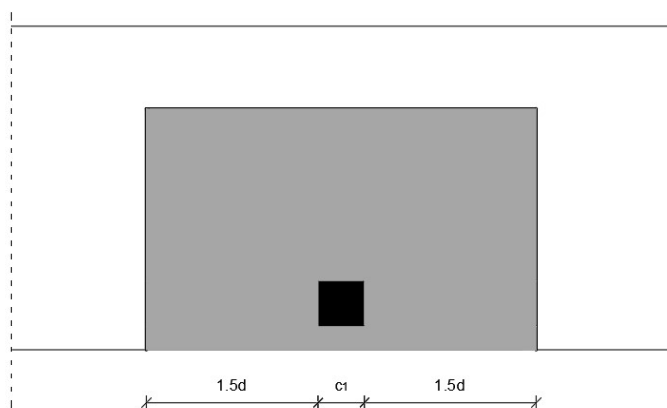
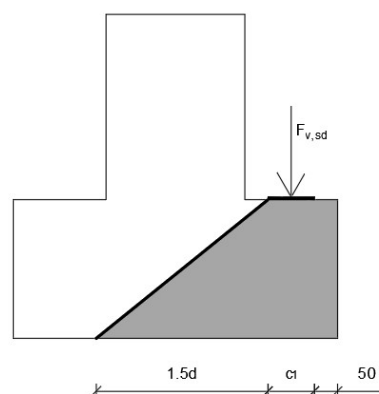
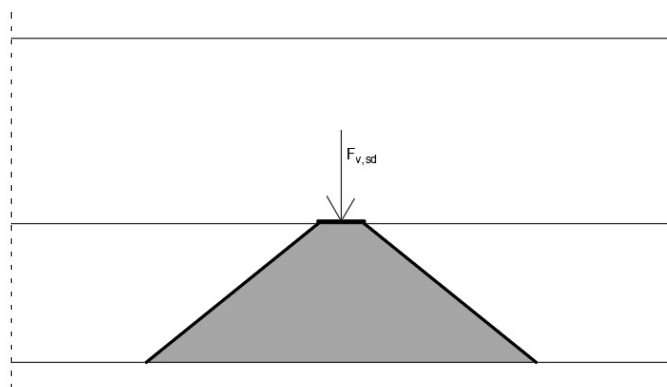
Strzemiona na odcinku 1 rodzaju, czyli pomiędzy odcinkami B przyjmuję w rozstawie takim samym jak na odcinku B:  $s_1 = s_B = 230 \text{ mm}$

## 5.9 Sprawdzenie na przebicie

$$c_1 = 100 \text{ mm}$$

$$d = h_f - c_{nom} - \phi_{strz} - \frac{\phi_{pr}}{2} = 0.3 \text{ m} - 35 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - \frac{20 \text{ mm}}{2} = 0.247 \text{ m}$$

$$1.5 * d = 1.5 * 0.247 \text{ m} = 0.371 \text{ m}$$



Rys.5.27 Schemat zniszczenia wspornika przez przebicie

Powierzchnia obwodu kontrolnego:

$$A_{\text{cont}} = (1.5 * d + c_1) * (1.5 * d + c_1 + 0.05 \text{ m}) =$$

$$(1.5 * 0.247 \text{ m} + 100 \text{ mm}) * (1.5 * 0.247 \text{ m} + 100 \text{ mm} + 0.05 \text{ m}) = 0.245 \text{ m}^2$$

Długość obwodu kontrolnego:

$$u = (1.5 * d * 2 + c_1) + 2 * (1.5 * d + c_1 + 0.05 \text{ m}) = (1.5 * 0.247 \text{ m} * 2 + 100 \text{ mm})$$

$$+ 2 * (1.5 * 0.247 \text{ m} + 100 \text{ mm} + 0.05 \text{ m}) = 1.882 \text{ m}$$

Siła przebijająca:

$$V_{\text{Ed}} = \frac{F_{\text{v,sd}}}{u * d} = \frac{65.260 \text{ kN}}{1.882 \text{ m} * 0.247 \text{ m}} = 140.388 \text{ kPa}$$

$$V_{\text{Rd,c}} = C_{\text{Rd,c}} * k * (100 * \rho_L * f_{\text{ck}})^{\left(\frac{1}{3}\right)} * \left(\frac{2 * d}{a}\right) \geq v_{\text{min}} * \left(\frac{2 * d}{a}\right)$$

$$C_{\text{Rd,c}} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.4} = 0.129$$

$$a = 1.5 * d = 1.5 * 0.247 \text{ m} = 0.371 \text{ m}$$

$$k = 1 * \left(\frac{200 \text{ mm}}{d}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)} = 1 * \left(\frac{200 \text{ mm}}{0.247 \text{ m}}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)} = 0.900$$

$$\rho_L = \frac{A_{\text{s1}}}{b_{\text{bk}} * d} = \frac{15.71 \text{ cm}^2}{0.7 \text{ m} * 0.247 \text{ m}} = 0.00909$$

$$v_{\text{min}} = 0.035 * k^{\left(\frac{3}{2}\right)} * f_{\text{ck}}^{\left(\frac{1}{2}\right)} * 1 \text{ MPa} = 0.035 * 0.900^{\left(\frac{3}{2}\right)} * 30^{\left(\frac{1}{2}\right)} * 1 \text{ MPa} = 0.164 \text{ MPa}$$

$$V_{\text{Rd,c,1}} = C_{\text{Rd,c}} * k * (100 * \rho_L * f_{\text{ck}})^{\left(\frac{1}{3}\right)} * 1 \text{ MPa} * \left(\frac{2 * d}{a}\right) =$$

$$0.129 * 0.900 * (100 * 0.00909 * 30)^{\left(\frac{1}{3}\right)} * 1 \text{ MPa} * \left(\frac{2 * 0.247 \text{ m}}{0.247 \text{ m}}\right) = 0.696 \text{ MPa}$$

$$V_{\text{Rd,c,2}} = v_{\text{min}} * \left(\frac{2 * d}{a}\right) = 0.164 \text{ MPa} * \left(\frac{2 * 0.247 \text{ m}}{0.247 \text{ m}}\right) = 0.327 \text{ MPa}$$

$$V_{\text{Rd,c}} = \min(V_{\text{Rd,c,1}}, V_{\text{Rd,c,2}}) = \min(0.696 \text{ MPa}, 0.327 \text{ MPa}) = 327.272 \text{ kPa}$$

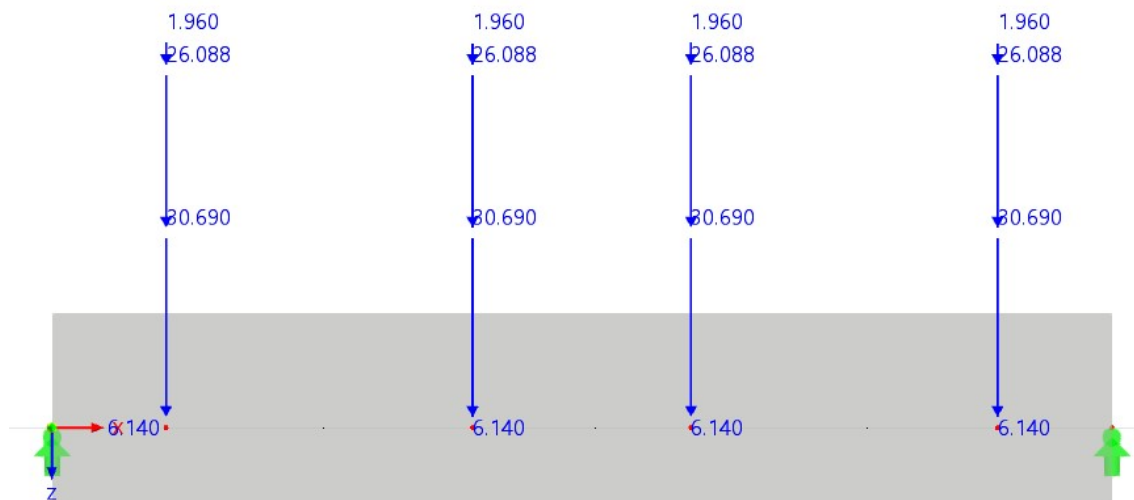
$$V_{\text{Ed}} \leq V_{\text{Rd,c}} = 140.388 \text{ kPa} \leq 327.272 \text{ kPa}$$

Warunek na przebicie został spełniony.

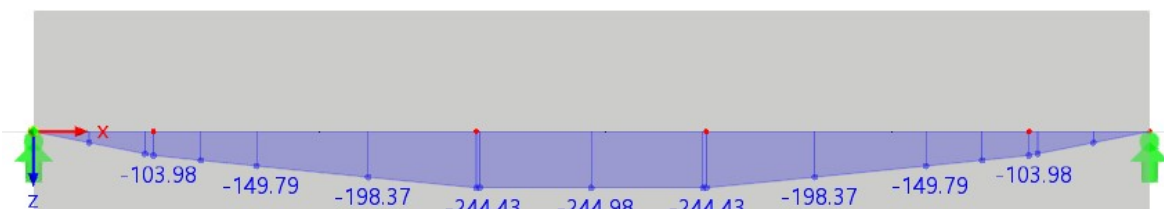
## 5.10 Stan graniczny użytkowalności

### 5.10.1 Kombinacja quasi-stała

Przyjmuję kombinację, w której działa jednocześnie ciężar własny belki krawędziowej, ciężar stropów, obciążenie technologiczne z obu stron (wszystko ze współczynnikami bezpieczeństwa 1.0) oraz obciążenie użytkowe z obu stron ze (współczynnikiem  $\psi_2 = 0.8$ )



Rys.5.28 Schemat obciążenia belki krawędziowej w kombinacji SGU



Rys.5.29 Wykres momentów w programie RFem dla powyższej kombinacji

$$M_{\text{Eqp}} = 244.98 \text{ kNm}$$

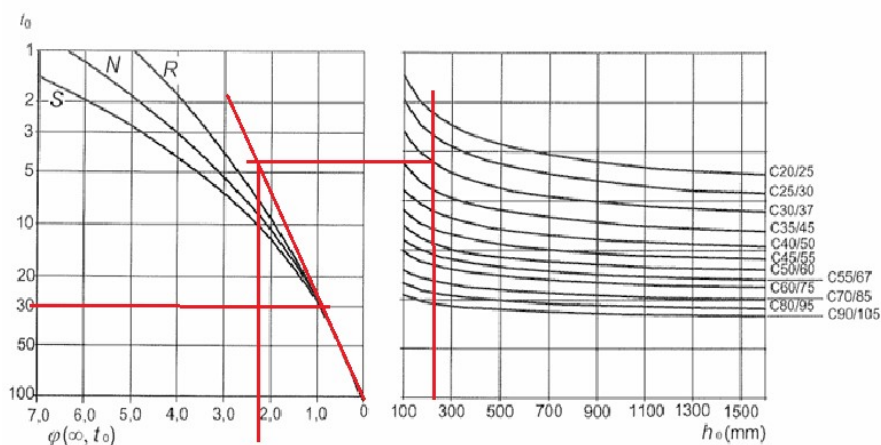
### 5.10.2 Wyznaczenie efektywnego modułu sprężystości betonu

$u = 2800 \text{ mm}$  - obwód, przez który następuje wymiana wilgoci, w moim przypadku nie uwzględniam góry środka

$A_c = 330000 \text{ mm}^2$  - powierzchnia przekroju betonowego (przekroju efektywnego)

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * 330000 \text{ mm}^2}{2800 \text{ mm}} = 235.714 \text{ mm}$$

Ponieważ belka będzie znajdować się w środku hali przyjmuję, że wilgotność wynosi 50%, cement przyjmuję N. Pełne obciążenie belki nastąpi dopiero po 30 dniach.



Rys.5.30 Wyznaczenie współczynnika pełzania, wg [7]

Odczytałam, że współczynnik pełzania  $\varphi = 2.2$

Efektywny moduł sprężystości, po zajściu efektów reologicznych (skurczu i pełzania).

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$$

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + 2.2} = \frac{33 \text{ GPa}}{1 + 2.2} = 10.313 \text{ GPa}$$

### 5.10.3 Faza 1 przed zarysowaniem

Przekrój sprowadzony:

$\alpha_e$  - współczynnik uwzględniający różnicę modułów sprężystości betonu i stali do wyznaczenia momentu bezwładności tzw. przekroju sprowadzonego

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}}$$

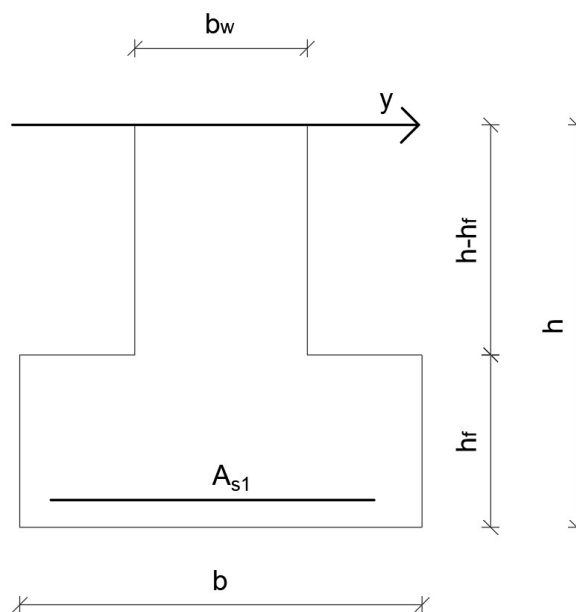
$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200 \text{ GPa}}{10.313 \text{ GPa}} = 19.394$$

Pole przekroju sprowadzonego:

$$A_{c,s,1} = A_c + A_{s1} * \alpha_e = 330000 \text{ mm}^2 + 15.71 \text{ cm}^2 * 19.394 = 360468 \text{ mm}^2$$

Położenie osi obojętnej przed zarysowaniem:

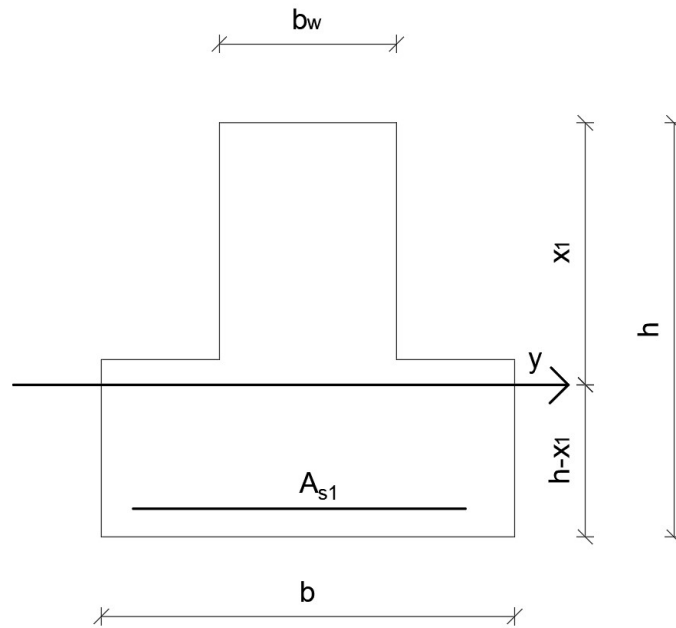


Rys.5.31 Schemat służący do wyznaczenia osi obojętnej w przekroju

$$b_w = 0.3 \text{ m}; b = 0.7 \text{ m}; h_r = 0.3 \text{ m}; h = 0.7 \text{ m}; 647 \text{ mm}$$

$$S_{c,s,1} = (0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) * 0.3 \text{ m} * \left( \frac{0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m}}{2} \right) + 0.3 \text{ m} * 0.7 \text{ m} * \left( 0.7 \text{ m} - \left( \frac{0.3 \text{ m}}{2} \right) \right) + 15.71 \text{ cm}^2 * 19.394 * 647 \text{ mm} = 159213 \text{ cm}^3$$

$$x_1 = \frac{159213 \text{ cm}^3}{360468 \text{ mm}^2} = 44.2 \text{ cm}$$



Rys.5.32 Położenie osi w 1 fazie

Moment bezwładności w fazie 1:

$$I_1 = \left[ \frac{b_w * (h - h_f)^3}{12} + b_w * (h - h_f) * \left( x_1 - \left( \frac{h - h_f}{2} \right) \right)^2 \right] + \left[ \left( \frac{b * h_f^3}{12} \right) + b * h_f * \left( h - x_1 - \left( \frac{h_f}{2} \right) \right)^2 \right] + \left( A_{s1} * \alpha_e * (d - x_1)^2 \right) =$$

$$\left[ \frac{0.3 \text{ m} * (0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m})^3}{12} + 0.3 \text{ m} * (0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) * \left( 44.2 \text{ cm} - \left( \frac{0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m}}{2} \right) \right)^2 \right] + \left[ \left( \frac{0.7 \text{ m} * (0.3 \text{ m})^3}{12} \right) + 0.7 \text{ m} * 0.3 \text{ m} * \left( 0.7 \text{ m} - 44.2 \text{ cm} - \left( \frac{0.3 \text{ m}}{2} \right) \right)^2 \right] + \left( 15.71 \text{ cm}^2 * 19.394 * (647 \text{ mm} - 44.2 \text{ cm})^2 \right) = 1393249.650 \text{ cm}^4$$

Wskaźnik przekroju na zginanie:

$$W_{c,s,1} = \frac{I_1}{h - x_1} = \frac{1393249.650 \text{ cm}^4}{0.7 \text{ m} - 44.2 \text{ cm}} = 53935.761 \text{ cm}^3$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = W_{c,s,1} * f_{ctm} = 53935.761 \text{ cm}^3 * 2.9 \text{ MPa} = 156.414 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} \leq M_{Eqp} = 156.414 \text{ kNm} \leq 244.98 \text{ kNm} - \text{występują rysy}$$

Ugięcie:

$$\text{Dla danego schematu statycznego: } \alpha = \frac{5}{48} = 0.104$$

$$l_{eff} = 3.6 \text{ m}$$

$$a_1 = \alpha * \left( \frac{M_{Eqp} * l_{eff}^2}{E_{c,eff} * I_1} \right) = 0.104 * \left( \frac{244.98 \text{ kNm} * (3.6 \text{ m})^2}{10.313 \text{ GPa} * 1393249.650 \text{ cm}^4} \right) = 2.302 \text{ mm}$$

#### 5.10.4 Faza 2 po zarysowaniu

$$S_{cs,2} = 0$$

$$S_{c,s,2} = (b_w * x_2) * \left( \frac{x_2}{2} \right) - \left( \alpha_e * A_{s1} * (d - x_2) \right) = 0$$

$$(0.3 \text{ m} * x_2) * \left( \frac{x_2}{2} \right) - \left( 19.394 * 15.71 \text{ cm}^2 * (647 \text{ mm} - x_2) \right) = 0$$

$$x_2 = 27.491 \text{ cm}$$

$$x_2 < x_1 = 27.491 \text{ cm} < 44.2 \text{ cm}$$

$$I_2 = \left[ (b_w * x_2) * \left( \frac{x_2}{2} \right)^2 \right] + \left[ A_{s1} * \alpha_e * (d - x_2)^2 \right] = \left[ (0.3 \text{ m} * 27.491 \text{ cm}) * \left( \frac{27.491 \text{ cm}}{2} \right)^2 \right] + \left[ 15.71 \text{ cm}^2 * 19.394 * (647 \text{ mm} - 27.491 \text{ cm})^2 \right] = 577651.683 \text{ cm}^4$$

Ugięcie w fazie 2:

$$a_2 = \frac{a_1 * I_1}{I_2} = \frac{2.302 \text{ mm} * 1393249.650 \text{ cm}^4}{577651.683 \text{ cm}^4} = 5.552 \text{ mm}$$

Całkowite ugięcie:

$$\zeta = 1 - 0.5 * \left( \frac{M_{cr}}{M_{Eqp}} \right)^2 = 1 - 0.5 * \left( \frac{156.414 \text{ kNm}}{244.98 \text{ kNm}} \right)^2 = 0.796$$

$$a_c = a_2 * \zeta + a_1 * (1 - \zeta) = 5.552 \text{ mm} * 0.796 + 2.302 \text{ mm} * (1 - 0.796) = 4.889 \text{ mm}$$

$$a_{lim} = \frac{l_{eff}}{250} = \frac{3.6 \text{ m}}{250} = 14.4 \text{ mm}$$

$$a_c \leq a_{lim} = 4.889 \text{ mm} \leq 14.4 \text{ mm}$$

Warunek na ugięcie belki został spełniony.

### 5.10.5 Sprawdzenie szerokości rozwarcia rys

$$w_k = S_{r,max} * (E_{s,cm}) = 310.646 \text{ mm} * (0.00120) = 0.371 \text{ mm}$$

$$E_{s,cm} = E_{sm} - E_{cm}$$

$$S_{r,max} = k_{3,rysa} * c + \left( \frac{k_{1,rysa} * k_{2,rysa} * k_{4,rysa} * \phi_{pr}}{\rho_{eff}} \right) = 3.4 * 53 \text{ mm} + \left( \frac{0.8 * 0.5 * 0.425 * 20 \text{ mm}}{0.0261} \right) = 310.646 \text{ mm}$$

$$k_{3,rysa} = 3.4 \text{ [wg 6]}$$

$$c = c_{nom} + \phi_{strz} + \frac{\phi_{pr}}{2} = 35 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \frac{20 \text{ mm}}{2} = 53 \text{ mm}$$

$$k_{1,rysa} = 0.8 - \text{pręty ą żebrowane}$$

$$k_{2,rysa} = 0.5 - \text{dla zginania [wg 6]}$$

$$k_{4,rysa} = 0.425 \text{ [wg 6]}$$

$$\rho_{eff} = \left( \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}} \right) = \left( \frac{15.71 \text{ cm}^2}{60273.848 \text{ mm}^2} \right) = 0.0261$$

$$A_{c,eff} = b * \min \left( 2.5 * (h - d), \left( \frac{h - x_1}{3} \right) \right) =$$

$$0.7 \text{ m} * \min \left( 2.5 * (0.7 \text{ m} - 647 \text{ mm}), \left( \frac{0.7 \text{ m} - 44.2 \text{ cm}}{3} \right) \right) = 60273.848 \text{ mm}^2$$

$$E_{s,cm} = \frac{\sigma_s - k_t * \left( \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} \right) * (1 + \alpha_e * \rho_{eff})}{E_s} =$$

$$\frac{306.037 \text{ MPa} - 0.4 * \left( \frac{2.9 \text{ MPa}}{0.0261} \right) * (1 + 19.394 * 0.0261)}{200 \text{ GPa}} = 0.00120$$

$$\sigma_s = \frac{\alpha_e * M_{Eqp} * (d - x_2)}{I_2} = \frac{19.394 * 244.98 \text{ kNm} * (647 \text{ mm} - 27.491 \text{ cm})}{577651.683 \text{ cm}^4} = 306.037 \text{ MPa}$$

$$k_t = 0.4 \text{ [wg 6]}$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2.9 \text{ MPa}$$

Graniczna szerokość rozwarcia rysy dla klasy ekspozycji XC3:  $w_{k,lim} = 0.3 \text{ mm}$

$$w_k \geq w_{k,lim} = 0.371 \text{ mm} \geq 0.3 \text{ mm}$$

Warunek rozwarcia rysy nie został spełniony.

### 5.10.6 Zwiększenie pola zbrojenia i przeprowadzenie obliczeń na nowo

Zwiększam pole zbrojenia dolnego podłużnego na  $7\phi 20$   $A_{s1} = 21.99 \text{ cm}^2$  i prowadzę obliczenia od punktu 5.10.2 jeszcze raz.

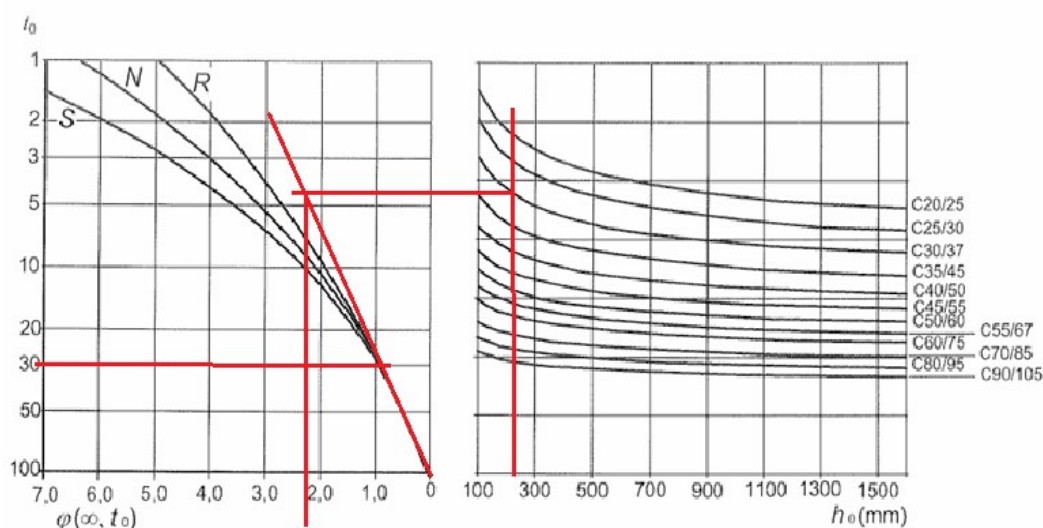
Wyznaczenie efektywnego modułu sprężystości betonu

$u = 2800 \text{ mm}$  - obwód, przez który następuje wymiana wilgoci, w moim przypadku nie uwzględniam góry średnika

$A_c = 330000 \text{ mm}^2$  - powierzchnia przekroju betonowego (przekroju efektywnego)

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * 330000 \text{ mm}^2}{2800 \text{ mm}} = 235.714 \text{ mm}$$

Ponieważ belka będzie znajdować się w środku hali przyjmuję, że wilgotność wynosi 50%, cement przyjmuję N. Pełne obciążenie belki nastąpi dopiero po 30 dniach.



Rys.5.33 Wyznaczenie współczynnika pełzania, wg [7]

Odczytałam, że współczynnik pełzania  $\varphi = 2.2$

Efektywny moduł sprężystości, po zająciu efektów reologicznych (skurczu i pełzania).

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$$

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + 2.2} = \frac{33 \text{ GPa}}{1 + 2.2} = 10.313 \text{ GPa}$$

Faza 1 - przed zarysowaniem

Przekrój sprowadzony:

$\alpha_e$  - współczynnik uwzględniający różnicę modułów sprężystości betonu i stali do wyznaczenia momentu bezwładności tzw. przekroju sprowadzonego



$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}}$$

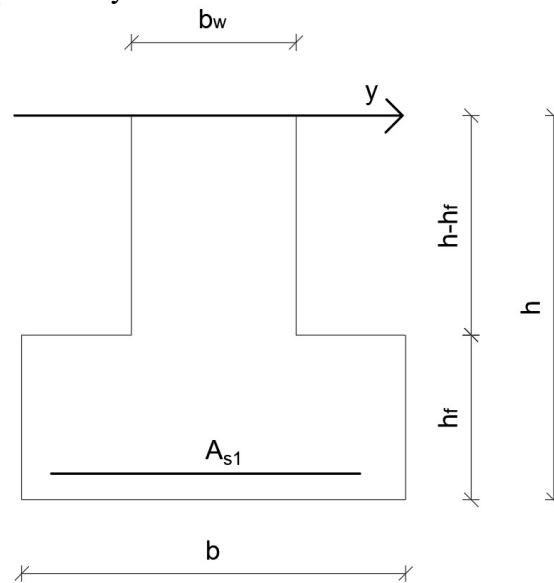
$$E_{s1} = 200 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_{s1}}{E_{c,eff}} = \frac{200 \text{ GPa}}{10.313 \text{ GPa}} = 19.394$$

Pole przekroju sprowadzonego:

$$A_{c,s,1} = A_c + A_{s1} * \alpha_e = 330000 \text{ mm}^2 + 21.99 \text{ cm}^2 * 19.394 = 372647 \text{ mm}^2$$

Położenie osi obojętnej przed zarysowaniem:



Rys.5.34 Schemat służący do wyznaczenia osi obojętnej w przekroju

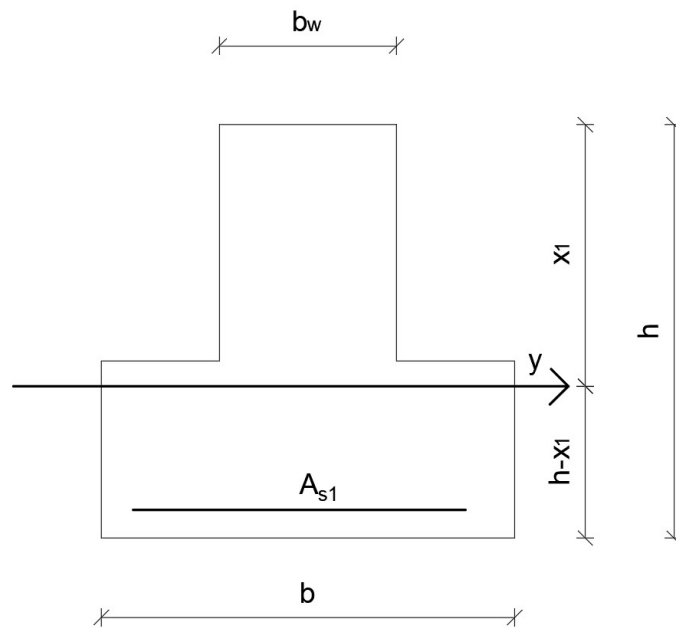
$$b_{w1} = 0.3 \text{ m}; b_l = 0.7 \text{ m}; h_{fl} = 0.3 \text{ m}; h = 0.7 \text{ m}; d = 647 \text{ mm}$$

$$S_{c,s,1} = (h - h_{fl}) * b_{w1} * \left( \frac{h - h_{fl}}{2} \right) + h_{fl} * b_l * \left( h - \left( \frac{h_{fl}}{2} \right) \right) + A_{s1} * \alpha_e * d =$$

$$(0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) * 0.3 \text{ m} * \left( \frac{0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m}}{2} \right) + 0.3 \text{ m} * 0.7 \text{ m} * \left( 0.7 \text{ m} - \left( \frac{0.3 \text{ m}}{2} \right) \right)$$

$$+ 21.99 \text{ cm}^2 * 19.394 * 647 \text{ mm} = 167093 \text{ cm}^3$$

$$x_1 = \frac{S_{c,s,1}}{A_{c,s,1}} = \frac{167093 \text{ cm}^3}{372647 \text{ mm}^2} = 44.8 \text{ cm}$$



Rys.5.35 Położenie osi w 1 fazie

Moment bezwładności w fazie 1:

$$\begin{aligned}
 I_1 = & \left( \frac{b_{w1} * (h - h_{f1})^3}{12} + b_{w1} * (h - h_{f1}) * \left( x_1 - \left( \frac{h - h_{f1}}{2} \right) \right)^2 \right) \\
 & + \left( \frac{bI * h_{f1}^3}{12} + bI * h_{f1} * \left( h - x_1 - \left( \frac{h_{f1}}{2} \right) \right)^2 \right) + \left( A_{s1} * \alpha_e * (d - x_1)^2 \right) = \\
 & \left( \frac{0.3 \text{ m} * (0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m})^3}{12} + 0.3 \text{ m} * (0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) * \left( 44.8 \text{ cm} - \left( \frac{0.7 \text{ m} - 0.3 \text{ m}}{2} \right) \right)^2 \right) \\
 & + \left( \frac{0.7 \text{ m} * (0.3 \text{ m})^3}{12} + 0.7 \text{ m} * 0.3 \text{ m} * \left( 0.7 \text{ m} - 44.8 \text{ cm} - \left( \frac{0.3 \text{ m}}{2} \right) \right)^2 \right) \\
 & + \left( 21.99 \text{ cm}^2 * 19.394 * (647 \text{ mm} - 44.8 \text{ cm})^2 \right) = 1442913.681 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Wskaźnik przekroju na zginanie:

$$W_{c,s,1} = \frac{I_1}{h - x_1} = \frac{1442913.681 \text{ cm}^4}{0.7 \text{ m} - 44.8 \text{ cm}} = 57348.133 \text{ cm}^3$$

Moment rysujący:

$$M_{cr1} = W_{c,s,1} * f_{ctm} = 57348.133 \text{ cm}^3 * 2.9 \text{ MPa} = 166.310 \text{ kNm}$$

$$M_{cr1} \leq M_{Eqp} = 166.310 \text{ kNm} \leq 244.98 \text{ kNm} - \text{występują rysy}$$

Ugięcie:

Dla danego schematu statycznego:  $\alpha = \frac{5}{48} = 0.104$

$$l_{\text{eff}} = 3.6 \text{ m}$$

$$a_1 = \alpha * \left( \frac{M_{\text{Eqp}} * l_{\text{eff}}^2}{E_{\text{c,eff}} * I_1} \right) = 0.104 * \left( \frac{244.98 \text{ kNm} * (3.6 \text{ m})^2}{10.313 \text{ GPa} * 1442913.681 \text{ cm}^4} \right) = 2.223 \text{ mm}$$

Faza 2 - po zarysowaniu

$$S_{\text{cs},2} = 0$$

$$S_{\text{c,s},2} = (b_w * x_2) * \left( \frac{x_2}{2} \right) - \left( \alpha_e * A_{s1} * (d - x_2) \right) = 0$$

$$(0.3 \text{ m} * x_2) * \left( \frac{x_2}{2} \right) - \left( 19.394 * 21.99 \text{ cm}^2 * (647 \text{ mm} - x_2) \right) = 0$$

$$x_2 = 29.351 \text{ cm}$$

$$x_2 < x_1 = 29.351 \text{ cm} < 44.8 \text{ cm}$$

$$I_2 = \left[ (b_{w1} * x_2) * \left( \frac{x_2}{2} \right)^2 \right] + \left[ A_{s1} * \alpha_e * (d - x_2)^2 \right] = \left[ (0.3 \text{ m} * 29.351 \text{ cm}) * \left( \frac{29.351 \text{ cm}}{2} \right)^2 \right] + \left[ 21.99 \text{ cm}^2 * 19.394 * (647 \text{ mm} - 29.351 \text{ cm})^2 \right] = 722534.938 \text{ cm}^4$$

Ugięcie w fazie 2:

$$a_2 = \frac{a_1 * I_1}{I_2} = \frac{2.223 \text{ mm} * 1442913.681 \text{ cm}^4}{722534.938 \text{ cm}^4} = 4.439 \text{ mm}$$

Całkowite ugięcie:

$$\zeta = 1 - 0.5 * \left( \frac{M_{\text{cr1}}}{M_{\text{Eqp}}} \right)^2 = 1 - 0.5 * \left( \frac{166.310 \text{ kNm}}{244.98 \text{ kNm}} \right)^2 = 0.770$$

$$a_c = a_2 * \zeta + a_1 * (1 - \zeta) = 4.439 \text{ mm} * 0.770 + 2.223 \text{ mm} * (1 - 0.770) = 3.928 \text{ mm}$$

$$a_{\text{lim}} = \frac{l_{\text{eff}}}{250} = \frac{3.6 \text{ m}}{250} = 14.4 \text{ mm}$$

$$a_c \leq a_{\text{lim}} = 3.928 \text{ mm} \leq 14.4 \text{ mm}$$

Warunek na ugięcie belki został spełniony.

Sprawdzenie szerokości rozwarcia rys:

$$w_k = S_{\text{r,max}} * (E_{\text{s,cm}}) = 439.548 \text{ mm} * (0.000607) = 0.267 \text{ mm}$$

$$E_{s,cm} = E_{sm} - E_{cm}$$

$$S_{r,max} = k_{3,rysa} * c + \left( \frac{k_{1,rysa} * k_{2,rysa} * k_{4,rysa} * \phi_{pr}}{\rho_{eff}} \right) = 3.4 * 53 \text{ mm} + \left( \frac{0.8 * 0.5 * 0.425 * 20 \text{ mm}}{0.0131} \right) = 439.548 \text{ mm}$$

$$k_{3,rysa} = 3.4 \text{ [wg 6]}$$

$$c = c_{nom} + \phi_{strz} + \frac{\phi_{pr}}{2} = 35 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \frac{20 \text{ mm}}{2} = 53 \text{ mm}$$

$$k_{1,rysa} = 0.8 - \text{pręty ą żebrowane}$$

$$k_{2,rysa} = 0.5 - \text{dla zginania [wg 6]}$$

$$k_{4,rysa} = 0.425 \text{ [wg 6]}$$

$$\rho_{eff} = \left( \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}} \right) = \left( \frac{21.99 \text{ cm}^2}{167737.362 \text{ mm}^2} \right) = 0.0131$$

$$A_{c,eff} = b * \min \left( 2.5 * (h - d), \left( \frac{h - x_1}{3} \right) \right) =$$

$$2 \text{ m} * \min \left( 2.5 * (0.7 \text{ m} - 647 \text{ mm}), \left( \frac{0.7 \text{ m} - 44.8 \text{ cm}}{3} \right) \right) = 167737.362 \text{ mm}^2$$

$$E_{s,cm} = \frac{\sigma_s - k_t * \left( \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} \right) * (1 + \alpha_e * \rho_{eff})}{E_s} =$$

$$\frac{232.439 \text{ MPa} - 0.4 * \left( \frac{2.9 \text{ MPa}}{0.0131} \right) * (1 + 19.394 * 0.0131)}{200 \text{ GPa}} = 0.000607$$

$$\sigma_s = \frac{\alpha_e * M_{Eqp} * (d - x_2)}{I_2} = \frac{19.394 * 244.98 \text{ kNm} * (647 \text{ mm} - 29.351 \text{ cm})}{722534.938 \text{ cm}^4} = 232.439 \text{ MPa}$$

$$k_t = 0.4 \text{ [wg 6]}$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2.9 \text{ MPa}$$

Graniczna szerokość rozwarcia rysy dla klasy ekspozycji XC3:  $w_{k,lim} = 0.3 \text{ mm}$

$w_k \geq w_{k,lim} = 0.267 \text{ mm} \geq 0.3 \text{ mm}$  Warunek spełniony.

## 6. Rama

### 6.1 Schemat statyczny



Rys. 6.1 Schemat statyczny hali.

## 6.2 Przypadki obciążeń

### 6.2.1 Obciążenie stałe

Ciężar własny słupów, belki sprężającej oraz dźwigara dachowego zostały przyjęte z programu RFem.

Obciążenie na dach przyjęto ciężar pokrycia dachowego oraz płatwi:  $g_{dach} = 0.84 \frac{kN}{m}$

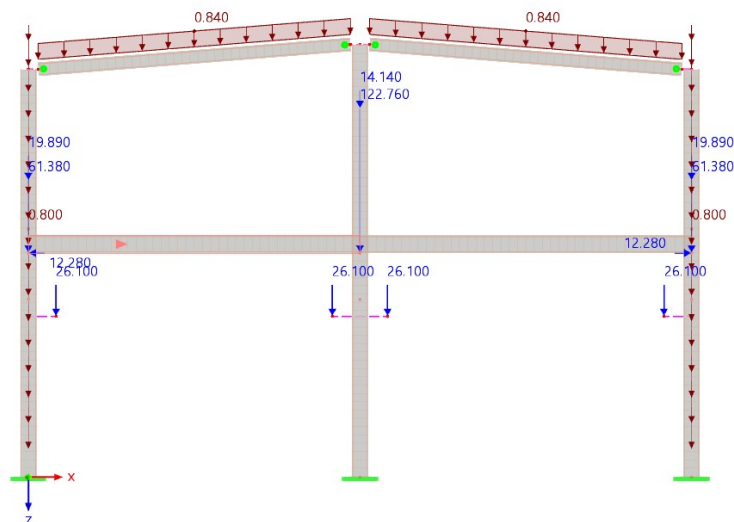
Ciężar obudowy ściennej:  $g_{pś} = 0.176 \frac{kN}{m^2} * 4.5 m = 0.8 \frac{kN}{m}$

Ciężar belki podsuwnicowej i szyny odczytano z modelu obliczeniowego dla belki podsuwnicowej obciążonej tylko ciężarem własnym i szyny, jako reakcje na wspornik, ponieważ na jednym wsporniku są dwie belki to:  $g_{bp,s} = 13.05 kN * 2 = 26.1 kN$

Obciążenie ciężarem stropu odczytano z programu RFem z modelu obliczeniowego belki krawędziowej jako reakcję tej belki obciążonej tylko ciężarem stropu na wspornik: reakcja pionowa  $g_{st,pion} = 61.38 kN$  oraz reakcja pozioma  $g_{st,poz} = 12.28 kN$

Ciężar belki krawędziowej odczytano z programu RFem z modelu obliczeniowego belki krawędziowej jako reakcję tej belki obciążonej tylko ciężarem własnym na wspornik, ponieważ belka skrajna ma inny kształt niż środkowa to:  $g_{bk,L} = 19.89 kN$ ,

a  $g_{bk,T} = 16.09 kN$ .

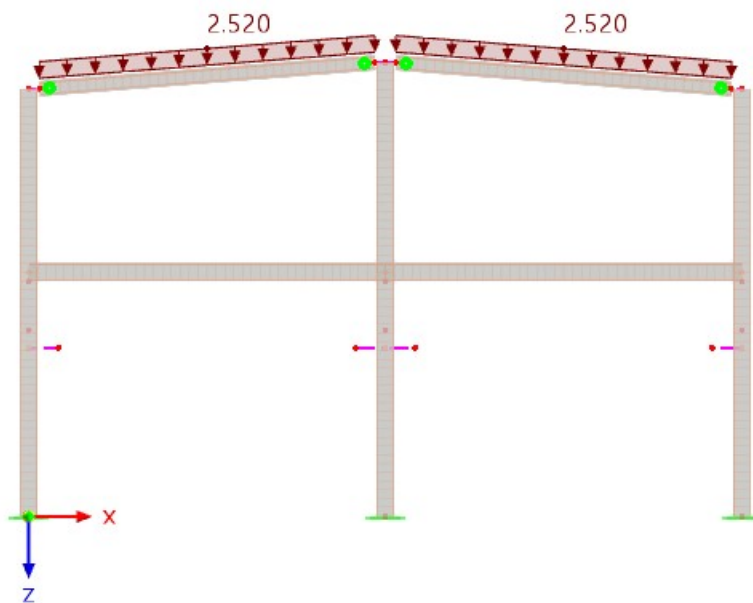


Rys. 6.2 Schemat obciążeń stałych (PO1)

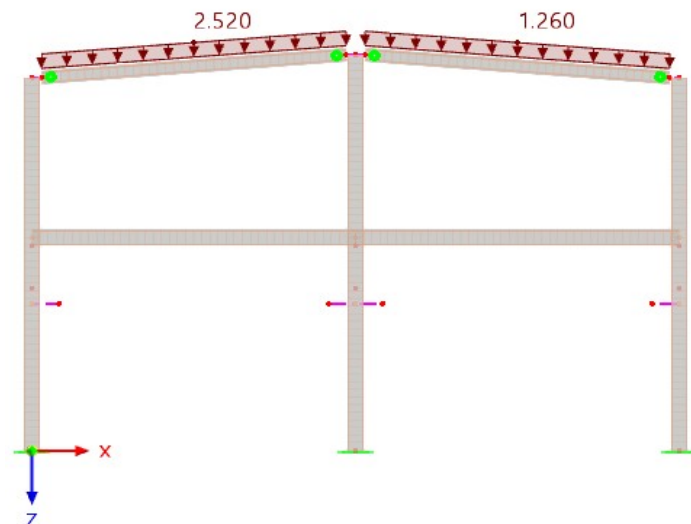
### 6.2.2 Obciążenie śniegiem

$$s_1 = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = 2.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_2 = \frac{s_1}{2} = \frac{2.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{2} = 1.26 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Rys. 6.3 Schemat obciążenia śniegiem 1 - równomierny (PO 6)



Rys. 6.4 Schemat obciążenia śniegiem 2 - nierównomierny (PO7)

### 6.2.3 Wiatr na powierzchnie zewnętrzne

Dach:

$$w_{e,dach,1} = -0.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = -1.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

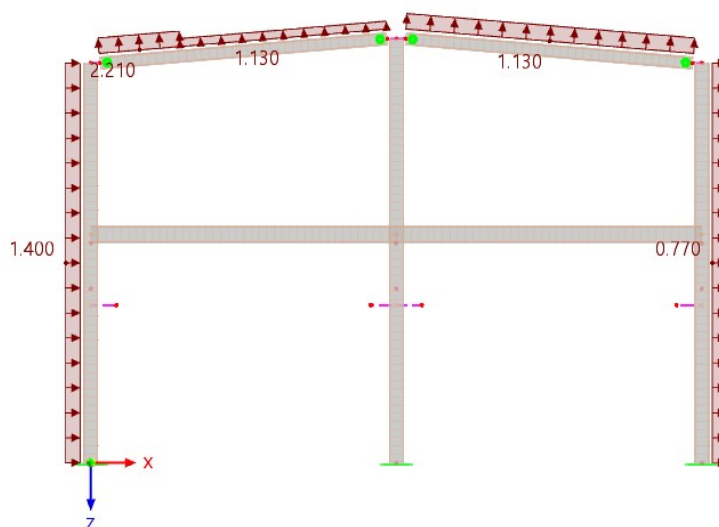
$$w_{e,dach,2} = -0.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = -2.21 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Ściana:

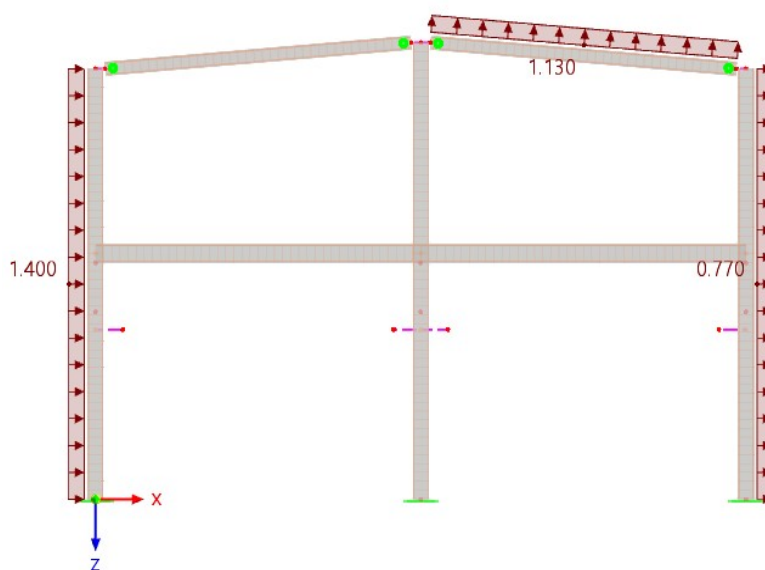
$$w_{e,ściana,1} = 0.31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = 1.40 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$w_{e,ściana,2} = -0.17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = -0.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

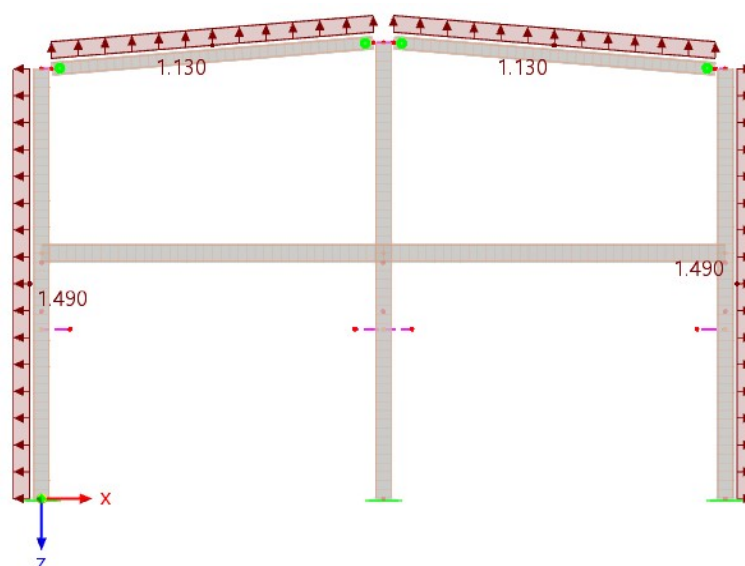
$$w_{e,ściana,3} = -0.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = -1.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Rys.6.5 Schemat obciążenia wiatrem od boku 1 (PO 8)



Rys.6.6 Schemat obciążenia wiatrem z boku 2 (PO9)



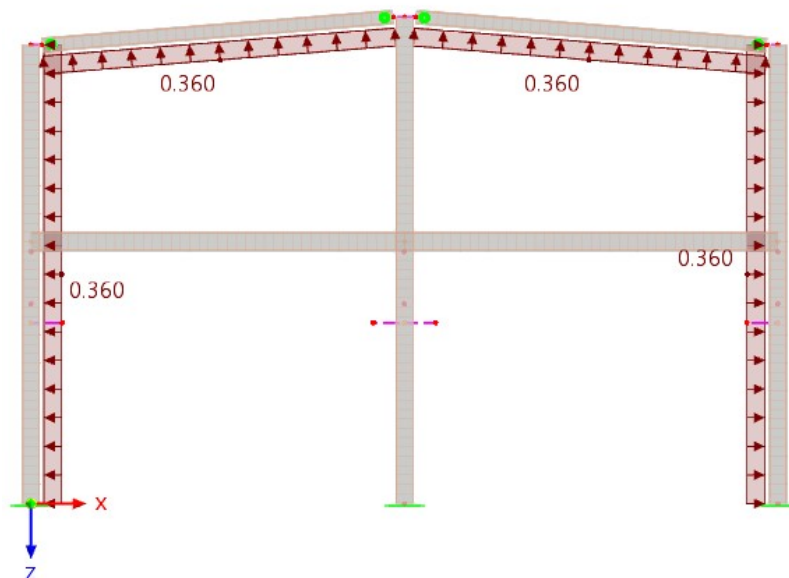
Rys.6.7 Schemat obciążenia wiatrem z przodu 1 (na ścianę szczytową) (PO 10)

#### 6.2.4 Wiatr - ciśnienie wewnętrzne

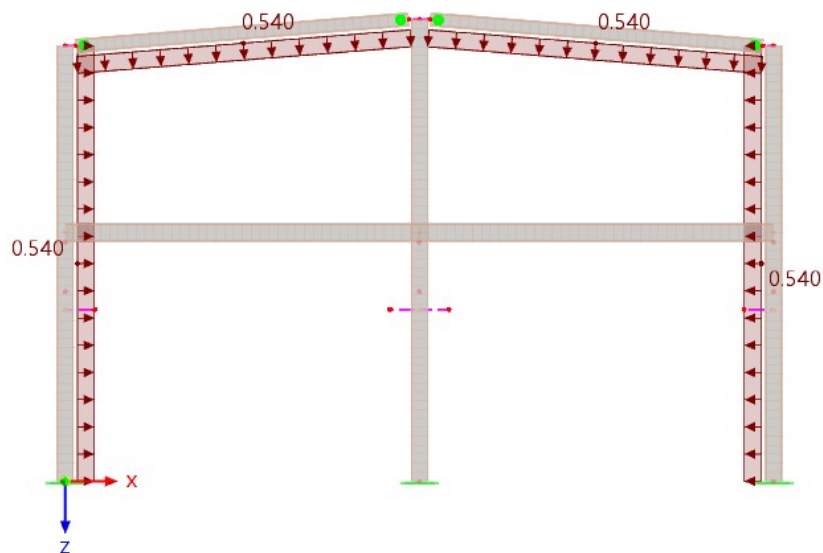
$$w_{i,1} = 0.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = 0.36 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$w_{i,2} = -0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = -0.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$





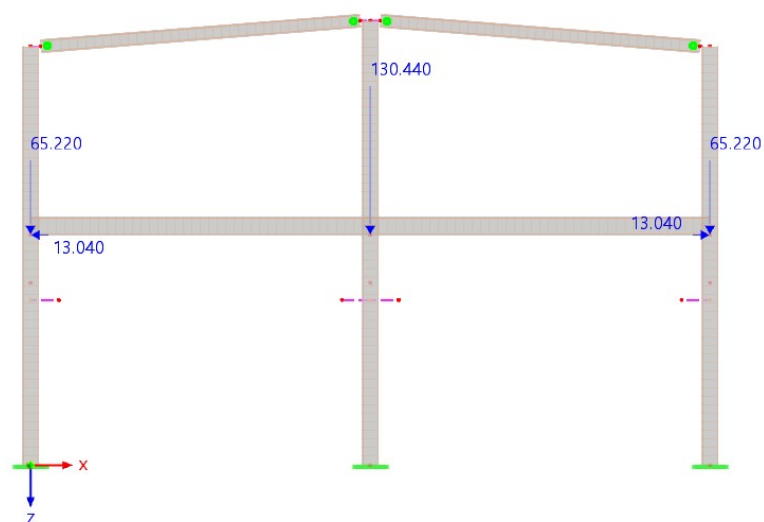
Rys. 6.8 Schemat obciążenia ciśnieniem wewnętrznym 1 - parcie (PO 11)



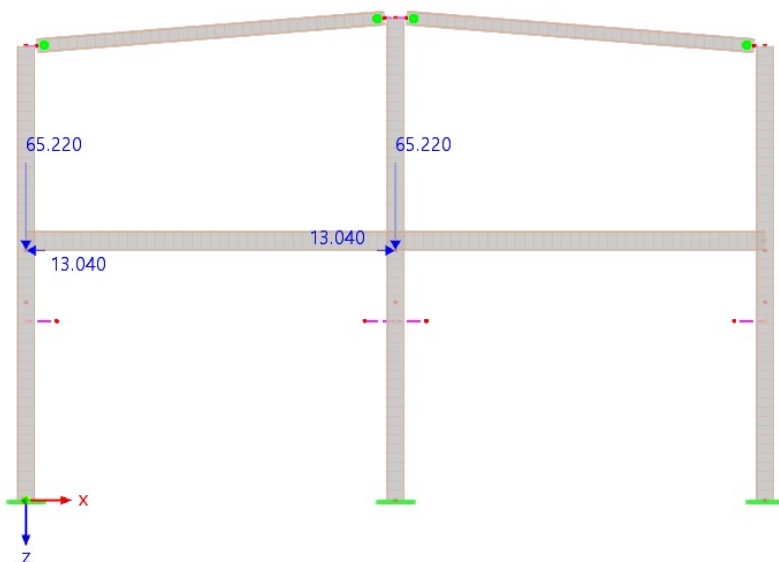
Rys. 6.9 Schemat obciążenia ciśnieniem wewnętrznym 2 - ssanie (PO 12)

### 6.2.5 Obciążenie użytkowe na strop

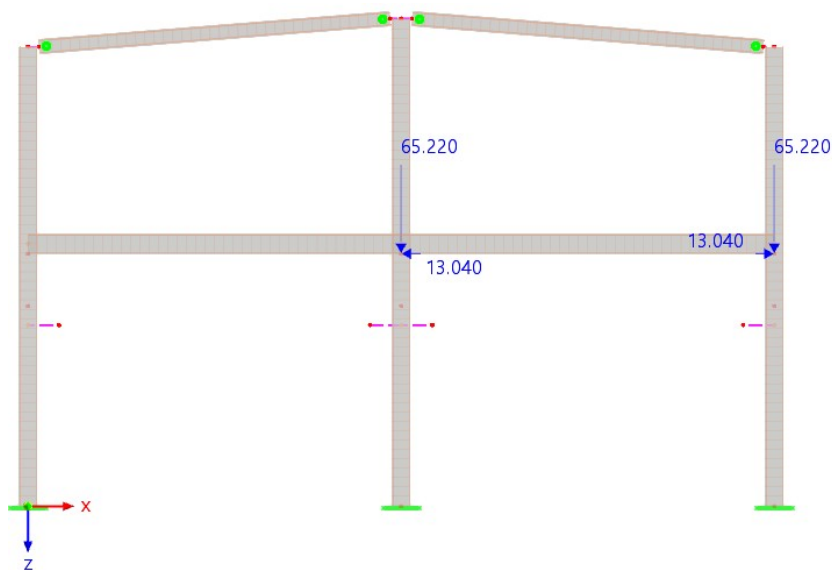
Obciążenie użytkowe odczytano z programu RFem z modelu obliczeniowego belki krawędziowej jako reakcję tej belki obciążonej tylko obciążeniem użytkowym na wspornik: reakcja pionowa  $q_{u\acute{z},pion} = 61.22 \text{ kN}$  oraz reakcja pozioma  $q_{u\acute{z},poz} = 13.04 \text{ kN}$



Rys. 6.10 Schemat obciążenia użytkowego 1 - na oba stropy (PO 3)



Rys. 6.11 Schemat obciążenia użytkowego 2 - tylko lewy strop (PO 2)



Rys. 6.12 Schemat obciążenia użytkowego 3 - tylko prawy strop (PO 4)

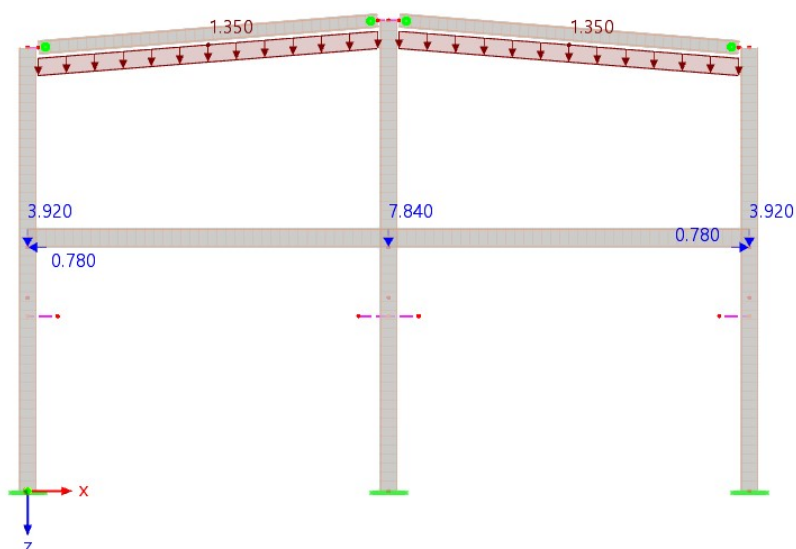
### 6.2.6 Obciążenie technologiczne

$$q_{\text{tech,dach}} = 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 4.5 \text{ m} = 1.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Obciążenie technologiczne na strop odczytano z programu RFem z modelu obliczeniowego belki krawędziowej jako reakcję tej belki obciążonej tylko obciążeniem technologicznym na wspornik:

reakcja pionowa  $q_{\text{tech,st,pion}} = 3.92 \text{ kN}$  oraz reakcja pozioma  $q_{\text{tech,st,poz}} = 0.78 \text{ kN}$

Za obciążenie technologiczne uznaję ciężar oświetlenia i instalacji, więc działa cały czas.



Rys. 6.13 Schemat obciążenia technologicznego (PO 5)

### 6.2.7 Suwnica

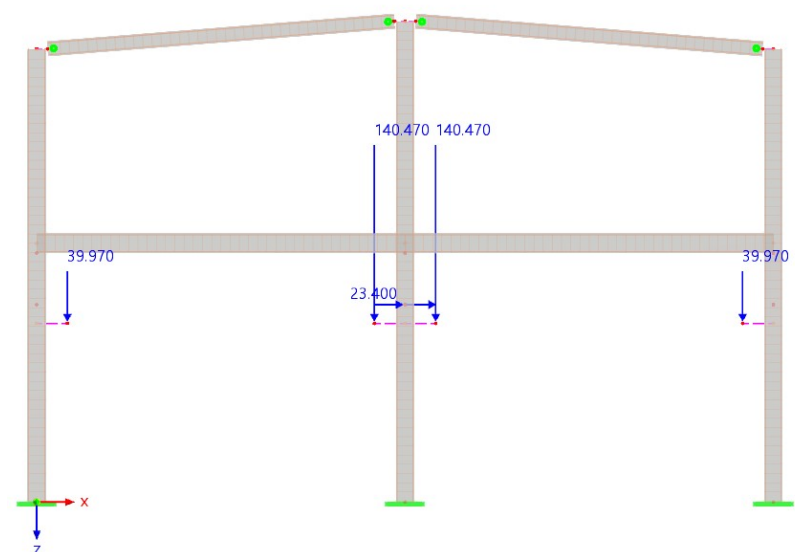
$$V_{\text{max}} = 140.47 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max,dop}} = 39.97 \text{ kN}$$

$$S = 23.4 \text{ kN}$$

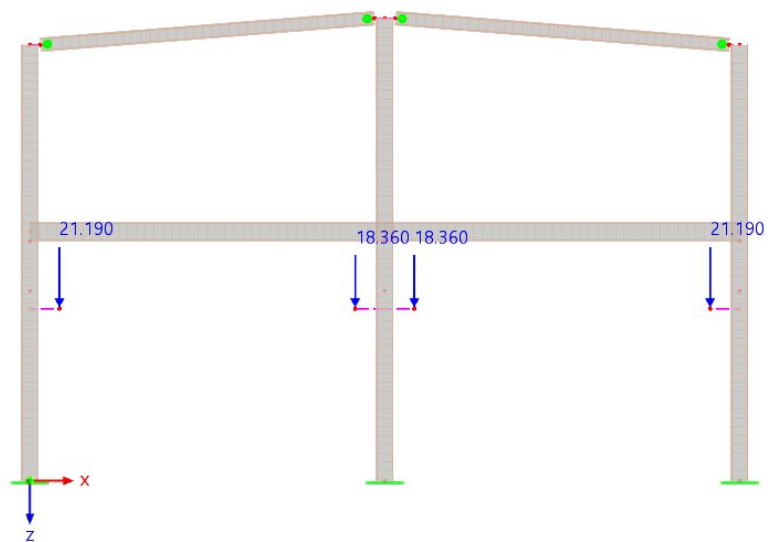
$$V_{\text{min}} = 21.19 \text{ kN}$$

$$V_{\text{min,dop}} = 18.36 \text{ kN}$$

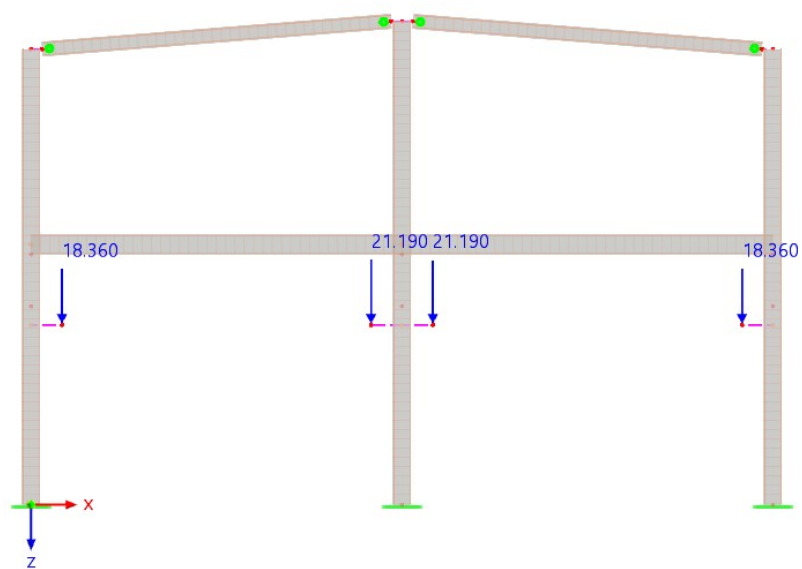


Rys.6.14 Schemat obciążenia suwnicą S1 (PO 13)

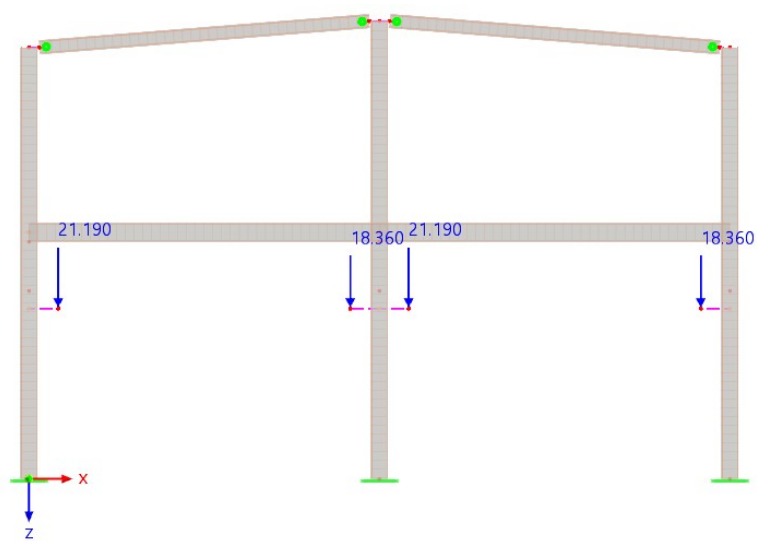




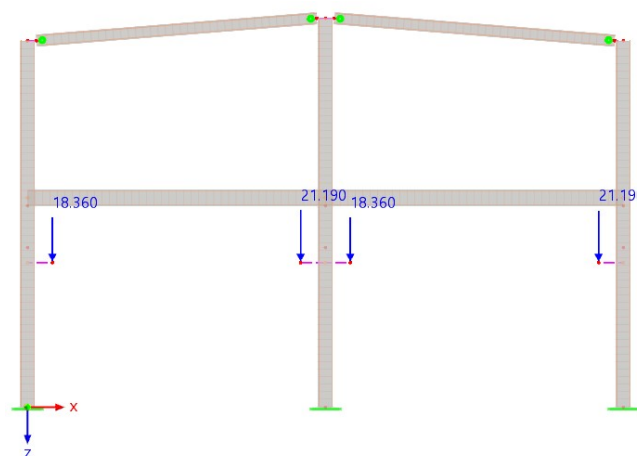
Rys.6.18 Schemat obciążenia suwnicą S5 (PO 17)



Rys.6.19 Schemat obciążenia suwnicą S6 (PO 18)



Rys.6.20 Schemat obciążenia suwnicą S7 (PO 19)



Rys.6.21 Schemat obciążenia suwnicą S8 (PO 20)

### 6.3 Kombinacje oddziaływań dla stanu granicznego nośności

Kombinacje wykonano automatyczne w programie obliczeniowym RFem.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right.$$

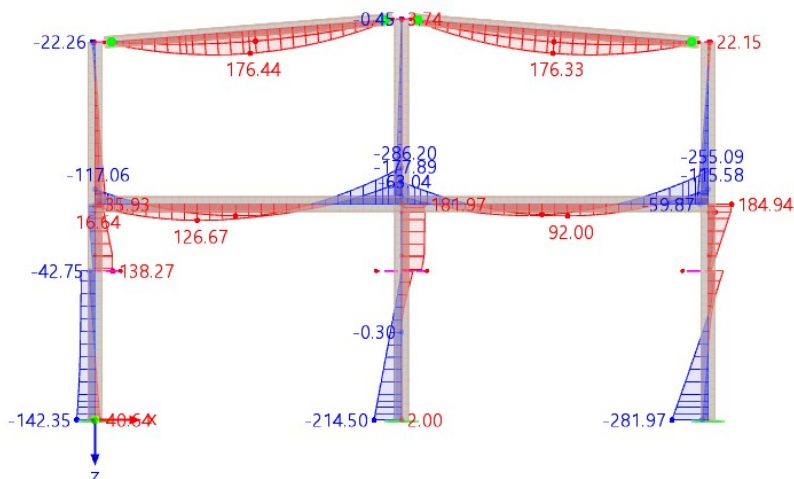
Wartości współczynników  $\psi_0$ :

- obciążenie śniegiem:  $\psi_0 = 0.5$
- obciążenie wiatrem:  $\psi_0 = 0.6$
- obciążenie użytkowe:  $\psi_0 = 1.0$
- obciążenie technologiczne:  $\psi_0 = 1.0$
- obciążenie suwnicą:  $\psi_0 = 1.0$

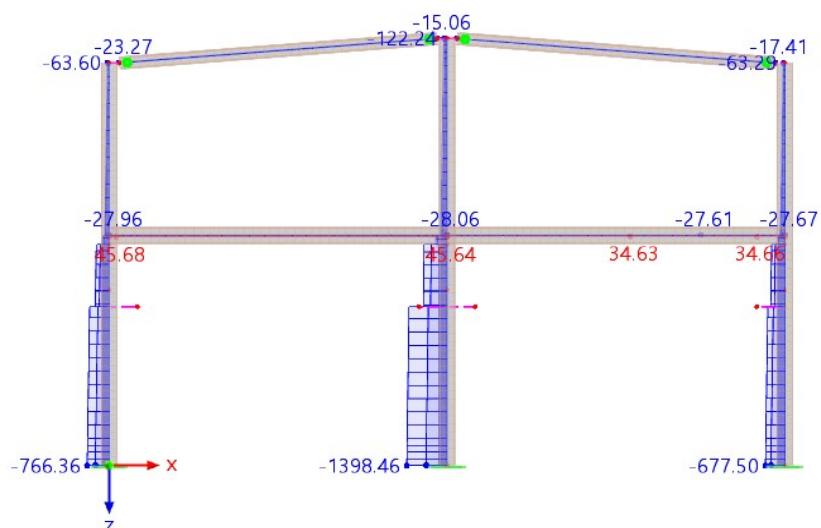
Kombinacje dla SGN zostały umieszczone w załączniku 1.

### 6.4 Wpływ sztywności elementów na rozkład sił wewnętrznych - SGN

- Stałe EI na słupie oraz belce sprężającej

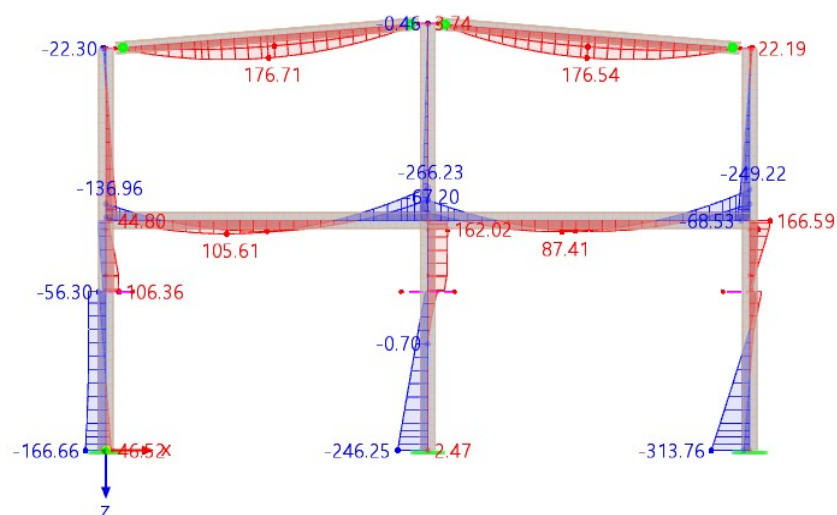


Rys. 6.22 Obwiednia momentów dla SGN przy stałym EI

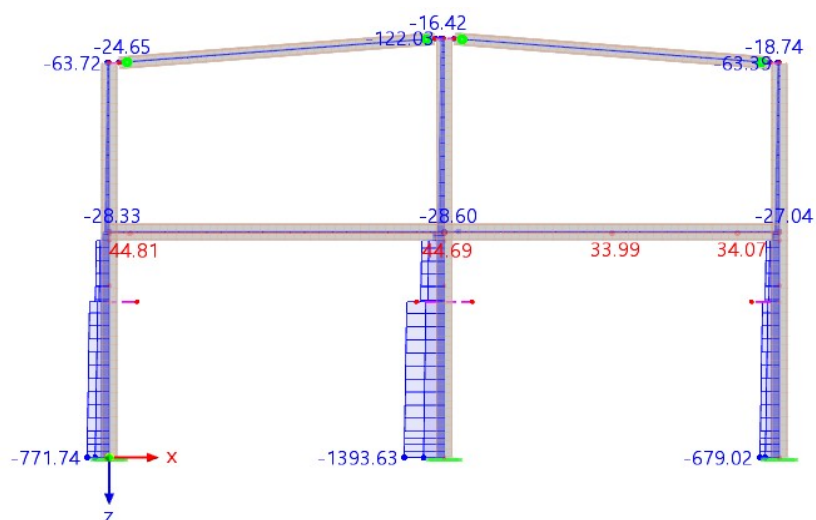


Rys. 6.23 Obwiednia sił osiowych dla SGN przy stałym EI

- Słup  $0.7EI$ , a belka sprężająca  $0.3EI$

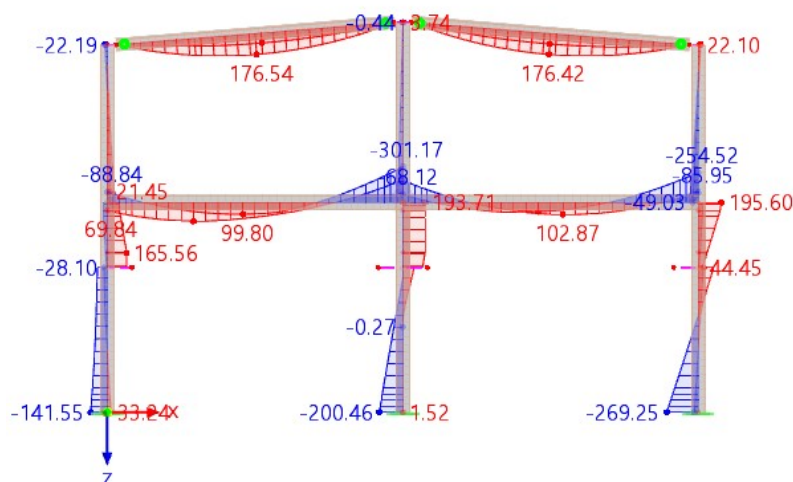


Rys. 6.24 Obwiednia momentów dla SGN -  $0.7EI$  dla słupa i  $0.3EI$  dla belki sprężającej

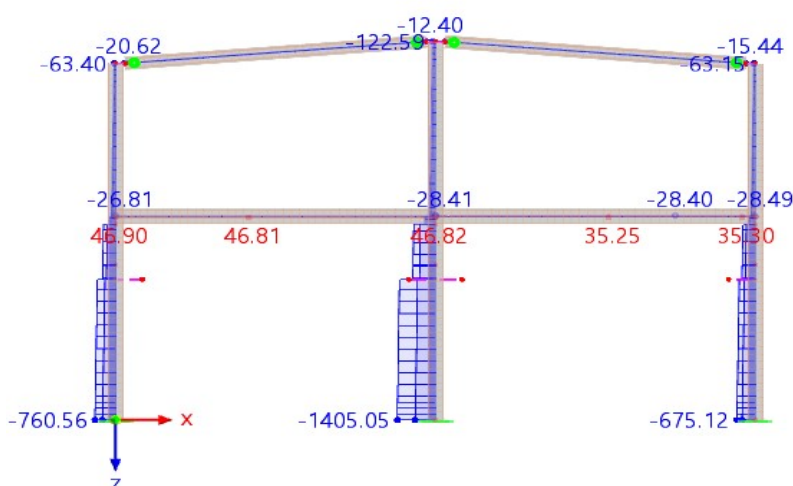


Rys. 6.25 Obwiednia sił osiowych dla SGN -  $0.7EI$  dla słupa i  $0.3EI$  dla belki sprężającej

- Słup  $0.3EI$ , a belka sprężająca  $0.7EI$



Rys. 6.26 Obwiednia momentów dla SGN -  $0.3EI$  dla słupa i  $0.7EI$  dla belki sprężającej



Rys. 6.27 Obwiednia sił osiowych dla SGN -  $0.3EI$  dla słupa i  $0.7EI$  dla belki sprężającej

## 6.5 Kombinacje oddziaływań dla stanu granicznego użytkowości

Kombinacje wykonano automatycznie w programie obliczeniowym RFem.

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

Do wyznaczenia przechyłu ramy przyjęto kombinację, z ciężarem własnym, wiatrem z boku oraz suwnicą z maksymalną siłą poziomą, w takim samym kierunku jak działanie wiatru.

## 7. Słup środkowy

### 7.1 Dane ogólne

Beton: C30/37:  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ ;  $\gamma_c = 1.4$ ;  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30 \text{ MPa}}{1.4} = 21.43 \text{ MPa}$ ;  $f_{ctm} = 2.9 \text{ MPa}$

Stal: B500SP:  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ;  $\gamma_s = 1.15$ ;  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1.15} = 434.78 \text{ MPa}$ ;  $E_s = 200 \text{ GPa}$

Otulina ze względu na klasę ekspozycji XC3:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$



$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$  - zalecana wartość wg [6] dodatku ze względu na odchyłkę

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}, 10 \text{ mm})$$

gdzie:

$c_{min,b}$  - minimalne otulenie ze względu na przyczepność, należy przyjąć średnice pręta, więc wstępnie zakładam, że  $c_{min,b} = 20 \text{ mm}$

$c_{min,dur}$  - minimalne otulenie ze względu na warunki środowiska  $c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$

$\Delta c_{dur,y}$  - składnik ze względu na bezpieczeństwo  $\Delta c_{dur,y} = 0$

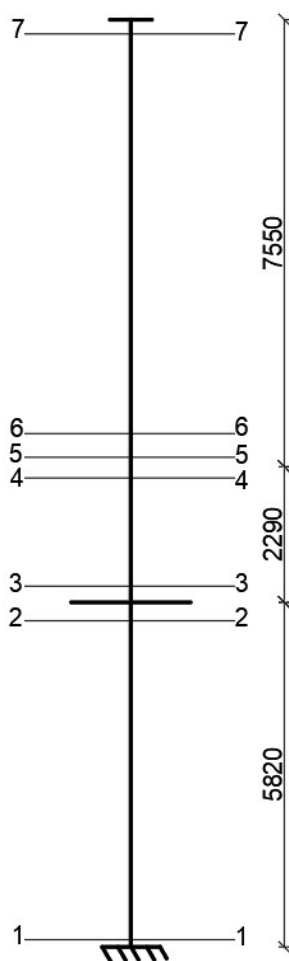
$\Delta c_{dur,st}$  - zmniejszenie minimalnego otulenia ze względu na stosowanie stali nierdzewnej, ponieważ nie stosuję stali nierdzewnej to  $\Delta c_{dur,st} = 0$

$\Delta c_{dur,add}$  - zmniejszenie minimalnego otulenia ze względu na stosowanie dodatkowego zabezpieczenia, ponieważ nie używam żadnego zabezpieczenia to  $\Delta c_{dur,add} = 0$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}, 10 \text{ mm}) = \max(20 \text{ mm}, 25 \text{ mm} + 0 - 0 - 0, 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$  - odległość od boku belki do skrajnego pręta

## 7.2 Długości obliczeniowe



Rys. 7.1 Przekroje słupa, dla których zostanie wykonane wymiarowanie

Długości obliczeniowe - wg [9]

$$l_{o1} = 5.82 \text{ m} * 1.6 = 9.31 \text{ m}$$

$$l_{o2} = 2.29 \text{ m} * 2.0 = 4.58 \text{ m}$$

$$l_{o3} = 7.56 \text{ m} * 2.5 = 18.9 \text{ m}$$

### 7.3 Zestawienie sił wewnętrznych w przekrojach

Obliczenia prowadzę dla przypadku gdy słup ma 0.7EI, a belka sprężająca 0.3EI. Oznacza to, że elementy te zostaną zarysowane i będą przenosiły inne wartości sił wewnętrznych. Porównując wcześniej wykresy sił osiowych oraz momentów okazało się, że siły osiowe nie zmieniają się diametralnie natomiast na momenty ma to większy wpływ i ten przypadek był najgorszy.

Tab. 7.1 Zestawienie sił wewnętrznych w wybranych przekrojach

| Przekrój 1-1     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| M <sub>max</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | M <sub>min</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | N <sub>min</sub> | M <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> |
| 2.47             | 864.07           | -0.8             | -246.25          | 1082.66          | 37.37            | 1393.63          | -151.11          | 36.7             |
| Przekrój 2-2     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| M <sub>max</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | M <sub>min</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | N <sub>min</sub> | M <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> |
| 76.97            | 1278.78          | 52.23            | -22.24           | 1024.66          | 38.7             | 1311.1           | 68.73            | 37.8             |
| Przekrój 3-3     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| M <sub>max</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | M <sub>min</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | N <sub>min</sub> | M <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> |
| 132.35           | 658.93           | 39.13            | -2.24            | 711.11           | -0.8             | 819.22           | 68.73            | 37.39            |
| Przekrój 4-4     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| M <sub>max</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | M <sub>min</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | N <sub>min</sub> | M <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> |
| 162.02           | 626.56           | 3.18             | -4.06            | 678.65           | -0.79            | 786.8            | 35.82            | -33.26           |
| Przekrój 5-5     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| M <sub>max</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | M <sub>min</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | N <sub>min</sub> | M <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> |
| 159.5            | 351.14           | 20.91            | -0.13            | 378.64           | 18.77            | 388.96           | 28.83            | -33.39           |
| Przekrój 6-6     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| M <sub>max</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | M <sub>min</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | N <sub>min</sub> | M <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> |
| 0.78             | 213.95           | 0.41             | -49.64           | 192.14           | 6.78             | 224.51           | -29.18           | 3.99             |
| Przekrój 7-7     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| M <sub>max</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | M <sub>min</sub> | N <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> | N <sub>min</sub> | M <sub>tow</sub> | V <sub>tow</sub> |
| 3.74             | 111.46           | 0.4              | -0.46            | 89.65            | 6.77             | 122.03           | -0.12            | 4.01             |

### 7.4 Sprawdzenie efektów II rzędu

#### 7.4.1 Przekrój 1-1 przypadek maksymalny moment

Wymiary przekroju:  $h = 700 \text{ mm}$ ;  $b = 600 \text{ mm}$

Smukłość graniczna:

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{10 * A * B * C}{n \left( \frac{1}{2} \right)}$$

$$N_{SEd} = 864.07 \text{ kN}$$

$$M_{SEd} = 2.47 \text{ kNm}$$

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 * \varphi_{eff}}$$

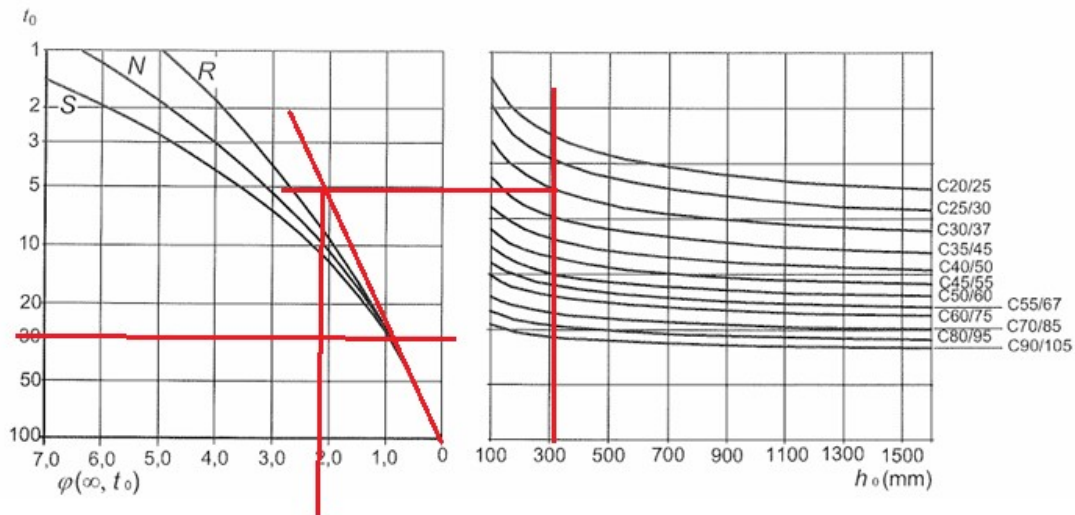
$$\varphi_{eff} = \varphi(\infty, t_0)$$

$$u = 2 * b + 2 * h = 2 * 600 \text{ mm} + 2 * 700 \text{ mm} = 2600 \text{ mm}$$

$$A_c = b * h = 600 \text{ mm} * 700 \text{ mm} = 420000 \text{ mm}^2$$

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * 420000 \text{ mm}^2}{2600 \text{ mm}} = 323.077 \text{ mm}$$

Słup znajduje się w środku hali, więc przyjmuję, że wilgotność wynosi 50%. Pełne obciążenie słupa nastąpi po 30 dniach.



Rys.7.2 Wyznaczenie współczynnika pełzania, wg [6]

$$\varphi(\infty, t_0) = 2.2$$

$$\varphi_{eff} = 2.2$$

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 * \varphi_{eff}} = \frac{1}{1 + 0.2 * 2.2} = 0.694$$

$$\text{Zakładam zbrojenie } 4\phi 20: A_s = 12.57 \text{ cm}^2; \phi_{pr} = 20 \text{ mm}; \phi_{strz} = 8 \text{ mm}$$

$$B = (1 + 2 * \omega)^{\left(\frac{1}{2}\right)}$$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{12.57 \text{ cm}^2 * 434.78 \text{ MPa}}{420000 \text{ mm}^2 * 21.43 \text{ MPa}} = 0.0607$$

$$B = (1 + 2 * \omega)^{\left(\frac{1}{2}\right)} = (1 + 2 * 0.0607)^{\left(\frac{1}{2}\right)} = 1.059$$

$$C = 1.7 - r_m = 1.7 - 1 = 0.7$$

$r_m = 1$  - nie rozpatruję rozkładu momentów

$$n = \frac{N_{SEd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{864.07 \text{ kN}}{420000 \text{ mm}^2 * 21.43 \text{ MPa}} = 0.0960$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 * A * B * C}{n \left( \frac{1}{2} \right)} = \frac{20 * 0.694 * 1.059 * 0.7}{0.0960 \left( \frac{1}{2} \right)} = 33.23$$

Smukłość rzeczywista:

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{600 \text{ mm} * (700 \text{ mm})^3}{12} = 1715000 \text{ cm}^4$$

$$i = \left( \frac{I}{A_c} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = \left( \frac{1715000 \text{ cm}^4}{420000 \text{ mm}^2} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 20.2 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{l_{o1}}{i} = \frac{9.31 \text{ m}}{20.2 \text{ cm}} = 46.082$$

Ponieważ  $\lambda = 46.082 > 33.23$ , więc należy policzyć efekty II rzędu  
Wyznaczenie mimośrod początkowego

$$e_0 = e_s + e_i \geq \max \left( \frac{h}{30}, 20 \text{ mm} \right)$$

$e_i$  - mimośród zależny od imperfekcji pod działaniem siły ściskającej

$e_s$  - mimośród statyczny

$$e_s = \left( \frac{M_{SEd}}{N_{SEd}} \right) = \left( \frac{2.47 \text{ kNm}}{864.07 \text{ kN}} \right) = 0.003 \text{ m}; l_{o1} = 9310 \text{ mm}$$

$$e_i = \frac{l_{o1}}{400} = \frac{9310 \text{ mm}}{400} = 23 \text{ mm}$$

$$e_0 = e_s + e_i = 0.003 \text{ m} + 23 \text{ mm} = 26.134 \text{ mm}$$

$$\max \left( \frac{h}{30}, 20 \text{ mm} \right) = \max \left( \frac{700 \text{ mm}}{30}, 20 \text{ mm} \right) = 23.333 \text{ mm}$$

$$M_{0,Ed} = N_{SEd} * e_0 = 864.07 \text{ kN} * 26.134 \text{ mm} = 22.581 \text{ kNm}$$

Teoria II rzędu - Metoda Nominalnej Sztywności (MNS)

$$M_{II,Ed} = M_{0Ed} * \left( 1 + \left( \frac{\beta}{\left( \frac{N_B}{N_{SEd}} \right) - 1} \right) \right)$$

$\beta$  - współczynnik, który zależy od rozkładu momentów na wysokości słupa

$$\beta = \frac{pi^2}{c_0} = \frac{3.142^2}{8} = 1.234$$

$c_0 = 8$  - dla rozkładu momentu zmiennego na wysokości

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{CE}} = \frac{32 \text{ GPa}}{1.2} = 26.667 \text{ GPa}$$

$$\gamma_{CE} = 1.2; E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$E_{cd,eff} = \frac{E_{cd}}{1 + \varphi_{eff}} = \frac{26.667 \text{ GPa}}{1 + 2.2} = 8.333 \text{ GPa}$$

Przyjmuję zbrojenie symetryczne, a więc  $A_{s1} = A_{s2}$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$x_I = 0.5 * h = 0.5 * 700 \text{ mm} = 350 \text{ mm}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cd,eff}} = \frac{200 \text{ GPa}}{8.333 \text{ GPa}} = 24$$

$$a_1 = c_{nom} + \phi_{strz} + \frac{\phi_{pr}}{2} = 35 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \frac{20 \text{ mm}}{2} = 53 \text{ mm}$$

$$I_c = \frac{b * h^3}{12} = \frac{600 \text{ mm} * (700 \text{ mm})^3}{12} = 1715000 \text{ cm}^4$$

$$I_s = A_s * \alpha_e * \left( \frac{h}{2} - a_1 \right)^2 = 12.57 \text{ cm}^2 * 24 * \left( \frac{700 \text{ mm}}{2} - 53 \text{ mm} \right)^2 = 266108.911 \text{ cm}^4$$

$$N_B = \left( \frac{pi^2}{(l_{ol})^2} \right) * E_{cd,eff} * \left( I_c + 1.2 * (1 + \varphi_{eff}) * \alpha_e * I_s \right) =$$

$$\left( \frac{3.142^2}{(9.312 \text{ m})^2} \right) * 8.333 \text{ GPa} * \left( 1715000 \text{ cm}^4 + 1.2 * (1 + 2.2) * 24 * 266108.911 \text{ cm}^4 \right)$$

$$= 248879.846 \text{ kN}$$

$$M_{II,Ed} = M_{0,Ed} * \left( 1 + \left( \frac{\beta}{\left( \frac{N_B}{N_{SEd}} \right) - 1} \right) \right) = 22.581 \text{ kNm} * \left( 1 + \left( \frac{1.234}{\left( \frac{248879.846 \text{ kN}}{864.07 \text{ kN}} \right) - 1} \right) \right)$$

$$= 22.68 \text{ kNm}$$

$$e_{II} = \frac{M_{II,Ed}}{N_{SEd}} = \frac{22.68 \text{ kNm}}{864.07 \text{ kN}} = 0.0262 \text{ m}$$

## 7.4.2 Zestawienie wyników dla wszystkich przekrojów

Tab. 7.2 Zestawienie wyników dla wszystkich przekrojów

| Przekroj 1-1 |           |                 |           |                 |           |                  |                   |              |
|--------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|------------------|-------------------|--------------|
| Przypadek    | $l_0$ [m] | $\lambda_{lim}$ | $\lambda$ | Efekty II rzędu | $e_0$ [m] | $M_{0,Ed}$ [kNm] | $M_{II,Ed}$ [kNm] | $e_{II}$ [m] |
| Mmax         | 9.31      | 33.23           | 46.082    | TAK             | 0.0261    | 22.58            | 22.68             | 0.026        |
| Mmin         |           | 29.68           |           | TAK             | 0.251     | -271.45          | -291.91           | 0.27         |
| Nmin         |           | 26.16           |           | TAK             | 0.132     | -183.55          | -201.68           | 0.145        |
| Przekroj 2-2 |           |                 |           |                 |           |                  |                   |              |
| Przypadek    | $l_0$ [m] | $\lambda_{lim}$ | $\lambda$ | Efekty II rzędu | $e_0$ [m] | $M_{0,Ed}$ [kNm] | $M_{II,Ed}$ [kNm] | $e_{II}$ [m] |
| Mmax         | 9.31      | 27.31           | 46.082    | TAK             | 0.084     | 106.73           | 116.34            | 0.091        |
| Mmin         |           | 30.51           |           | TAK             | 0.045     | -46.09           | -49.37            | 0.048        |
| Nmin         |           | 26.97           |           | TAK             | 0.076     | 99.25            | 108.43            | 0.083        |
| Przekroj 3-3 |           |                 |           |                 |           |                  |                   |              |
| Przypadek    | $l_0$ [m] | $\lambda_{lim}$ | $\lambda$ | Efekty II rzędu | $e_0$ [m] | $M_{0,Ed}$ [kNm] | $M_{II,Ed}$ [kNm] | $e_{II}$ [m] |
| Mmax         | 4.58      | 38.05           | 22.665    | NIE             | 0.224     | 147.69           | -                 | -            |
| Mmin         |           | 36.63           |           | NIE             | 0.026     | -18.79           | -                 | -            |
| Nmin         |           | 34.14           |           | NIE             | 0.107     | 87.8             | -                 | -            |
| Przekroj 4-4 |           |                 |           |                 |           |                  |                   |              |
| Przypadek    | $l_0$ [m] | $\lambda_{lim}$ | $\lambda$ | Efekty II rzędu | $e_0$ [m] | $M_{0,Ed}$ [kNm] | $M_{II,Ed}$ [kNm] | $e_{II}$ [m] |
| Mmax         | 4.58      | 39.02           | 22.665    | NIE             | 0.282     | 176.6            | -                 | -            |
| Mmin         |           | 37.49           |           | NIE             | 0.029     | -19.86           | -                 | -            |
| Nmin         |           | 34.82           |           | NIE             | 0.069     | 54.13            | -                 | -            |
| Przekroj 5-5 |           |                 |           |                 |           |                  |                   |              |
| Przypadek    | $l_0$ [m] | $\lambda_{lim}$ | $\lambda$ | Efekty II rzędu | $e_0$ [m] | $M_{0,Ed}$ [kNm] | $M_{II,Ed}$ [kNm] | $e_{II}$ [m] |
| Mmax         | 4.58      | 52.12           | 22.665    | NIE             | 0.478     | 167.67           | -                 | -            |
| Mmin         |           | 50.2            |           | NIE             | 0.024     | -8.94            | -                 | -            |
| Nmin         |           | 49.52           |           | NIE             | 0.097     | 37.88            | -                 | -            |
| Przekroj 6-6 |           |                 |           |                 |           |                  |                   |              |
| Przypadek    | $l_0$ [m] | $\lambda_{lim}$ | $\lambda$ | Efekty II rzędu | $e_0$ [m] | $M_{0,Ed}$ [kNm] | $M_{II,Ed}$ [kNm] | $e_{II}$ [m] |
| Mmax         | 18.9      | 66.78           | 93.53     | TAK             | 0.027     | 5.76             | 6.11              | 0.029        |
| Mmin         |           | 70.46           |           | TAK             | 0.282     | -54.11           | -57.05            | 0.297        |
| Nmin         |           | 65.19           |           | TAK             | 0.153     | -34.41           | -36.6             | 0.163        |
| Przekroj 7-7 |           |                 |           |                 |           |                  |                   |              |
| Przypadek    | $l_0$ [m] | $\lambda_{lim}$ | $\lambda$ | Efekty II rzędu | $e_0$ [m] | $M_{0,Ed}$ [kNm] | $M_{II,Ed}$ [kNm] | $e_{II}$ [m] |
| Mmax         | 18.9      | 92.52           | 93.53     | TAK             | 0.051     | 5.73             | 5.91              | 0.053        |
| Mmin         |           | 103.16          |           | NIE             | 0.028     | -2.55            | -                 | -            |
| Nmin         |           | 88.42           |           | TAK             | 0.024     | -2.96            | -3.06             | 0.025        |

## 7.5 Wymiarowanie słupa

### 7.5.1 Za pomocą programu Excel - metoda iteracyjna

Przekrój 1-1 dla przypadku  $M_{\max}$

Sprawdzenie zasięgu ściskania ze względu na sam beton, nie znam odkształceń w stali.

$$N_{SEd} = 864.07 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 23.92 \text{ kNm}$$

$$a_1 = c_{\text{nom}} + \phi_{\text{strz}} + \frac{\phi_{\text{pr}}}{2} = 35 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \frac{20 \text{ mm}}{2} = 53 \text{ mm}$$

$$a_2 = a_1 = 53 \text{ mm}$$

$$d = h - a_1 = 700 \text{ mm} - 53 \text{ mm} = 647 \text{ mm}$$

$$\omega' = \frac{N_{SEd}}{d * b * f_{cd}}$$

$$\omega' = \frac{N_{SEd}}{d * b * f_{cd}} = \frac{864.07 \text{ kN}}{647 \text{ mm} * 600 \text{ mm} * 21.43 \text{ MPa}} = 0.104$$

$$\mu'_{sc} = \frac{M_{Ed}}{f_{cd} * b * d^2}$$

$$\mu'_{sc} = \frac{M_{Ed}}{f_{cd} * b * d^2} = \frac{23.92 \text{ kNm}}{21.43 \text{ MPa} * 600 \text{ mm} * (647 \text{ mm})^2} = 0.004$$

$$\xi = 0.12$$

$$\mu_{sc} = 0.8 * \xi - 0.32 * \xi^2 = 0.8 * 0.12 - 0.32 * 0.12^2 = 0.091$$

$$\omega = 0.8 * \xi = 0.8 * 0.12 = 0.096$$

$$\varepsilon_{s2} = 0.35\% * \left( \frac{\xi - \left( \frac{a_2}{d} \right)}{\xi} \right) = 0.0035 * \left( \frac{0.12 - \left( \frac{53 \text{ mm}}{647 \text{ mm}} \right)}{0.12} \right) = 0.111\%$$

$$\varepsilon_{s1} = 0.35\% * \left( \frac{1 - \xi}{\xi} \right) = 0.0035 * \left( \frac{1 - 0.12}{0.12} \right) = 2.567\%$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} * E_s = 2.567\% * 200 \text{ GPa} = 5133.333 \text{ MPa} > f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} * E_s = 0.111\% * 200 \text{ GPa} = 222.154 \text{ MPa}$$

Do dalszych obliczeń przyjmuję, że  $\sigma_{s1} = f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} M_{Ed,s} &= M_{Ed} + N_{SEd} * \left( \left( \frac{h}{2} \right) - a_1 \right) = 23.92 \text{ kNm} + 864.07 \text{ kN} * \left( \left( \frac{700 \text{ mm}}{2} \right) - 53 \text{ mm} \right) \\ &= 280.549 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\Sigma M_{As1} = 0$$

$$A_{s2} = \left( \frac{M_{Ed,s} - f_{cd} * b * d^2 * \mu_{sc}}{\sigma_{s2} * (d - a_2)} \right) = \frac{280.549 \text{ kNm} - 21.43 \text{ MPa} * 0.6 \text{ m} * (0.647 \text{ m}^2) * 0.09}{222.154 \text{ MPa} * (0.647 \text{ m} - 0.053 \text{ m})}$$

$$= 5.82 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} * b * d * \omega + A_{s2} * \sigma_{s2} - N_{SEd}}{\sigma_{s1}} =$$

$$\frac{21.43 \text{ MPa} * 600 \text{ mm} * 647 \text{ mm} * 0.096 + 5.82 \text{ cm}^2 * 222.154 \text{ MPa} - 864.07 \text{ kN}}{434.783 \text{ MPa}}$$

$$= 1.468 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,wst} = A_{s1} + A_{s2} = 1.468 \text{ cm}^2 + 5.82 \text{ cm}^2 = 7.288 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} \geq \frac{0.1 * N_{SEd}}{f_{yd}} = \frac{0.1 * 864.07 \text{ kN}}{434.78 \text{ MPa}} = 1.987 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} \geq 0.002 * b * h = 0.002 * 600 \text{ mm} * 700 \text{ mm} = 8.4 \text{ cm}^2$$

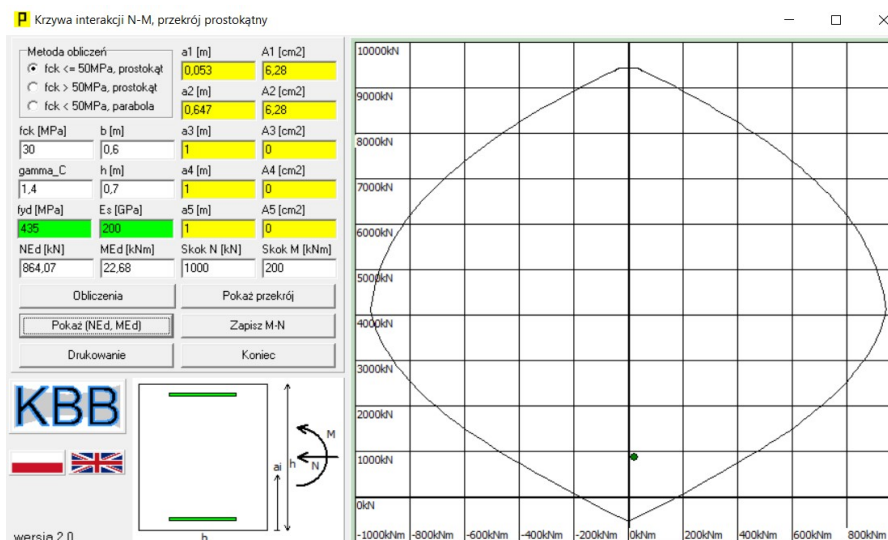
$$A_{s1} \leq 0.04 * b * d = 0.04 * 600 \text{ mm} * 647 \text{ mm} = 155.28 \text{ cm}^2$$

Przyjęto symetryczne zbrojenie 2φ20 na każdą stronę, więc  $A_s = 12.57 \text{ cm}^2$

### 7.5.2 Za pomocą Programu Prostokąt

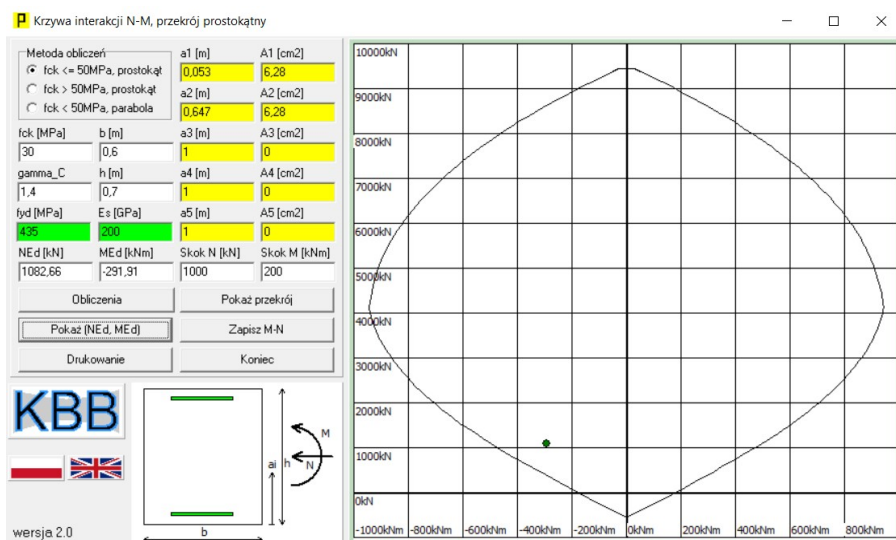
Program działa według PN-EN 1992-1-1:2008.

Po wprowadzeniu wymiarów przekroju, usytuowania oraz pola zbrojenia, danych materiałowych stali zbrojeniowej oraz betonu oraz sił działających na przekrój program oblicza i wyrysowuje krzywe interakcji. Parę sił działających na przekrój reprezentuje punkt, jeśli mieści się on w polu wyznaczonym przez krzywe interakcji to przekrój zaprojektowano poprawnie.

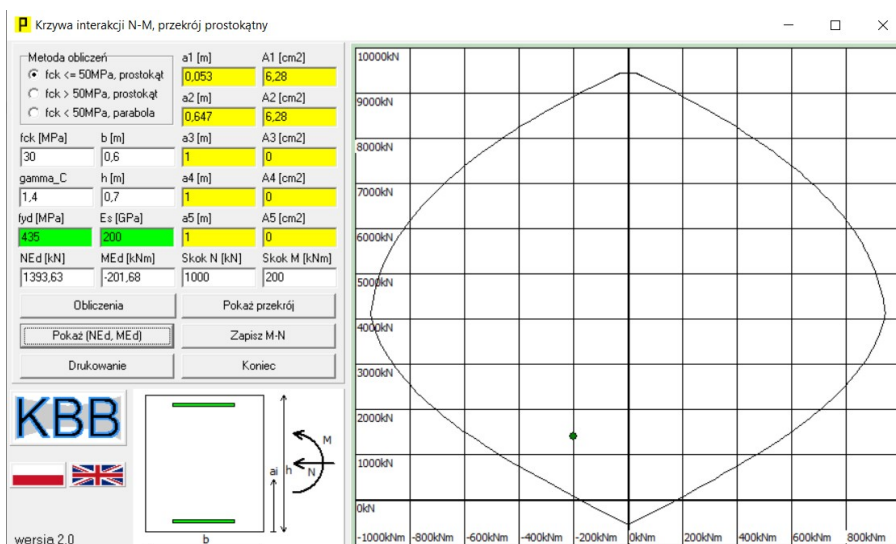


Rys. 7.3 Przypadek  $M_{max}$ , Przekrój 1-1

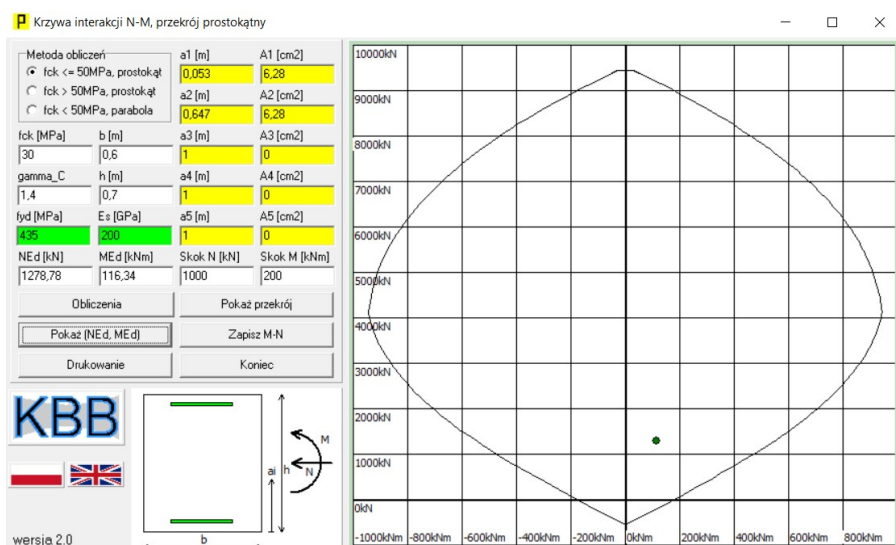




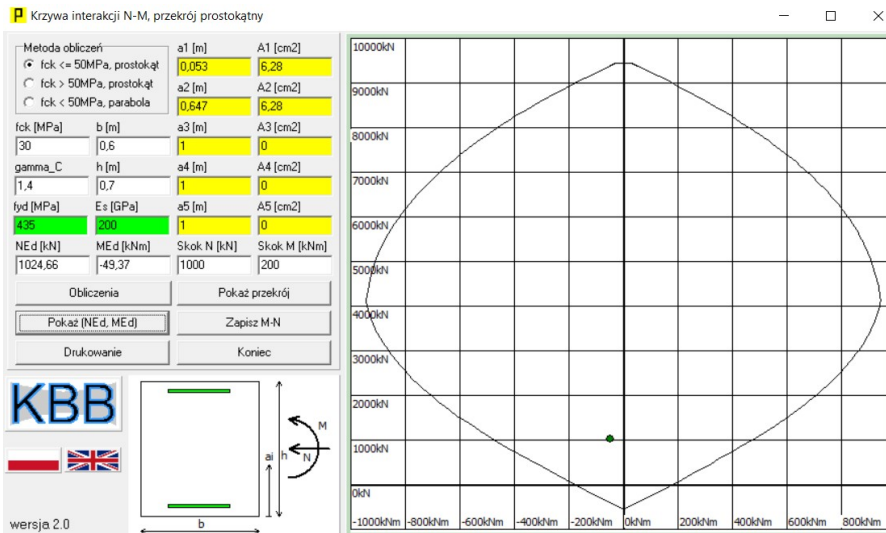
Rys. 7.4 Przypadek  $M_{min}$ , Przekrój 1-1



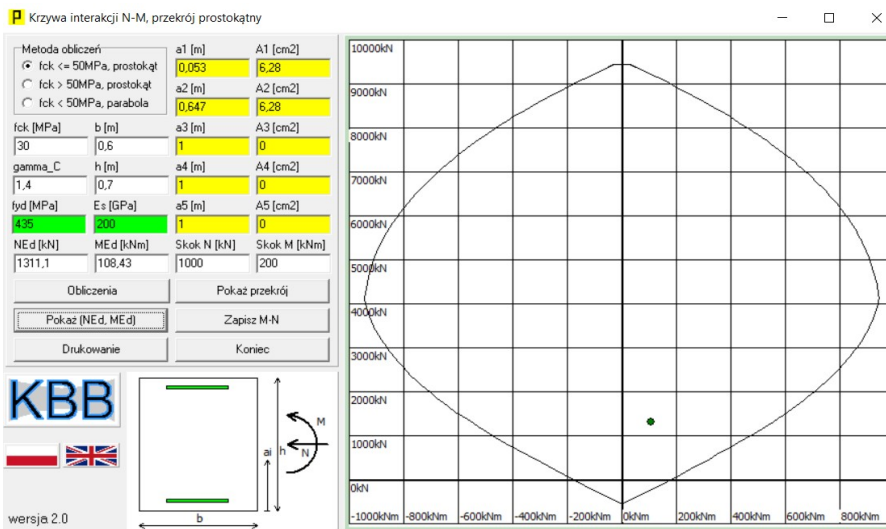
Rys. 7.5 Przypadek  $N_{min}$ , Przekrój 1-1



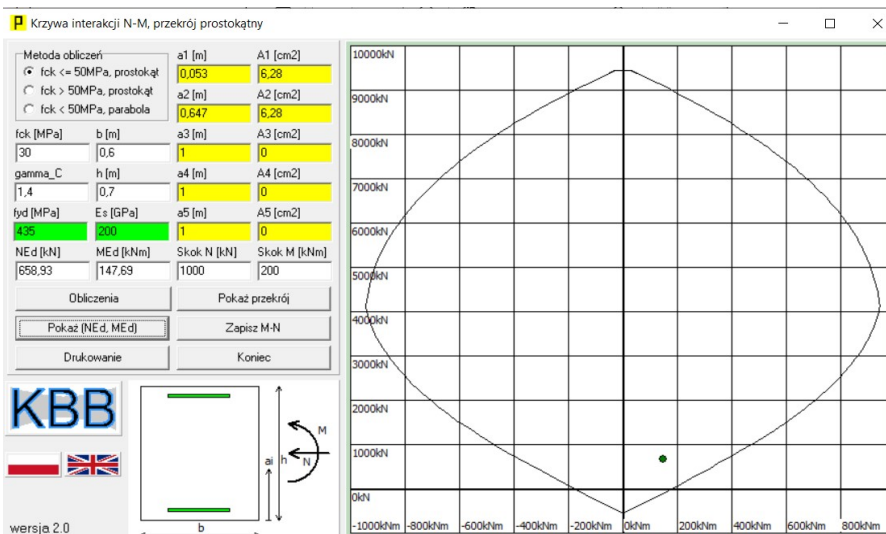
Rys. 7.6 Przypadek  $M_{max}$ , Przekrój 2-2



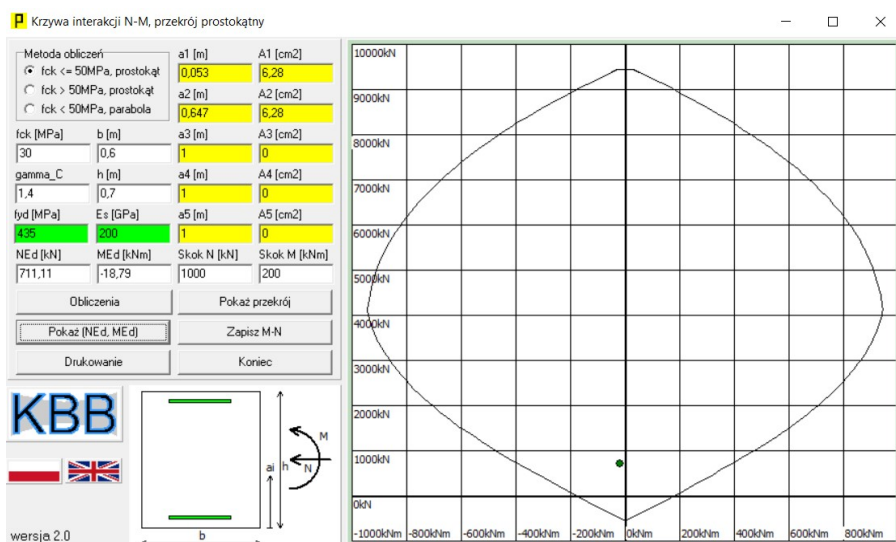
Rys. 7.7 Przypadek  $M_{min}$ , Przekrój 2-2



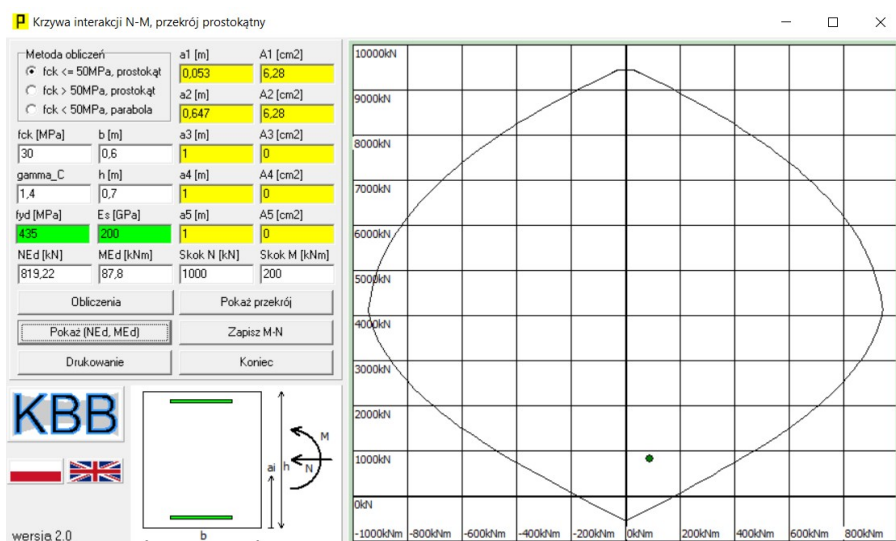
Rys. 7.8 Przypadek  $N_{min}$ , Przekrój 2-2



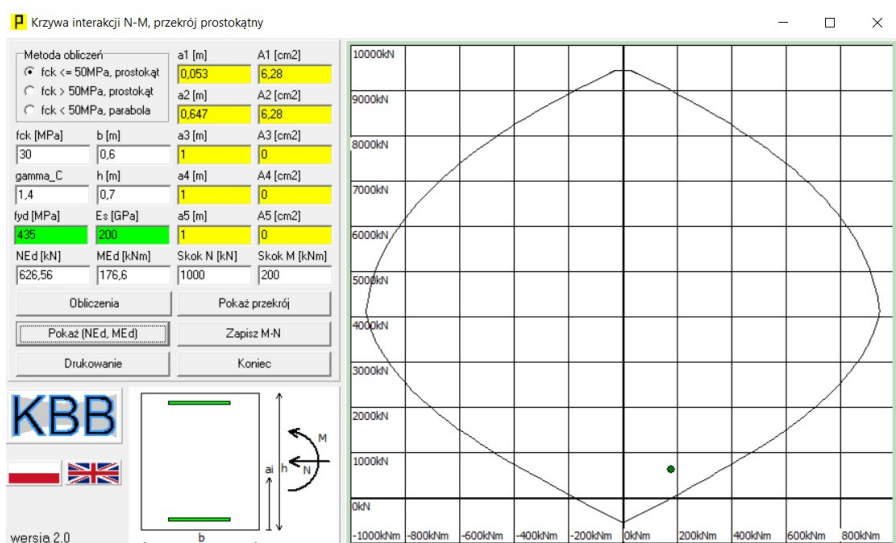
Rys. 7.9 Przypadek  $M_{max}$ , Przekrój 3-3



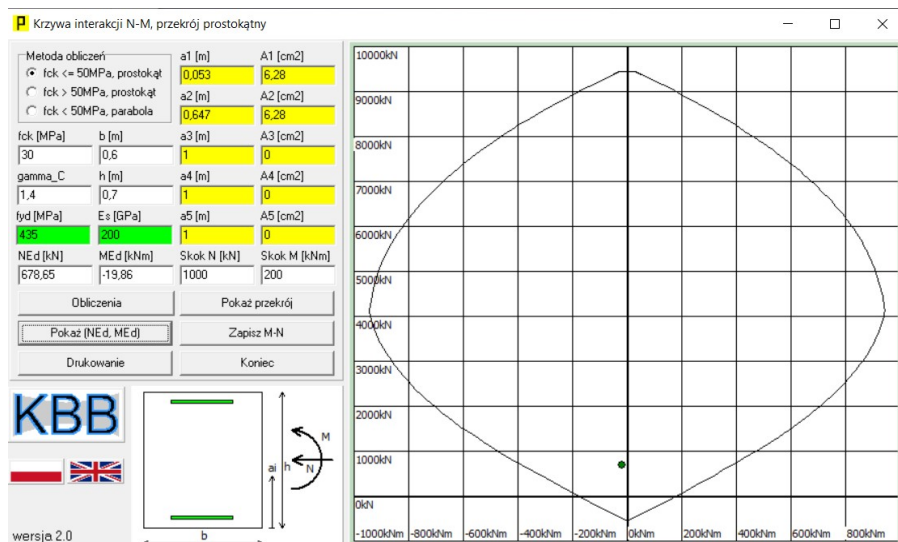
Rys. 7.10 Przypadek  $M_{min}$ , Przekrój 3-3



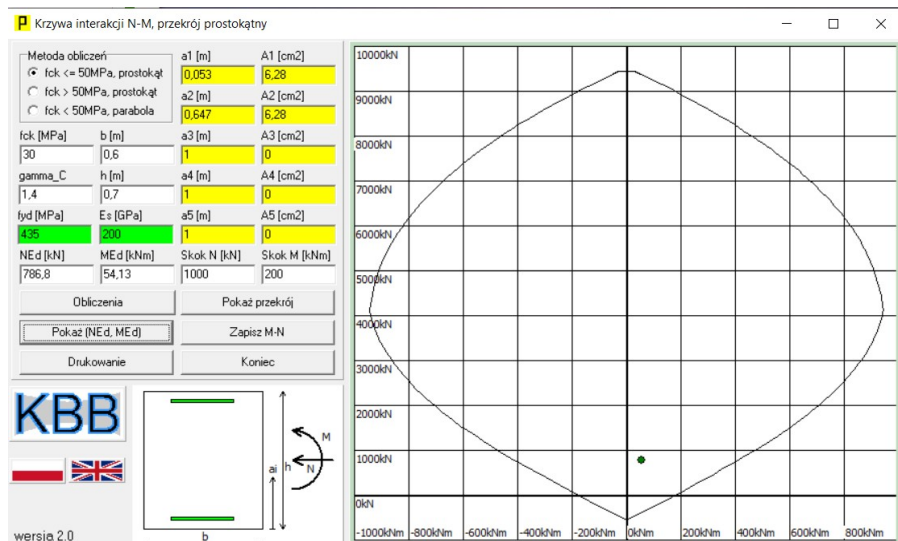
Rys. 7.11 Przypadek  $N_{min}$ , Przekrój 3-3



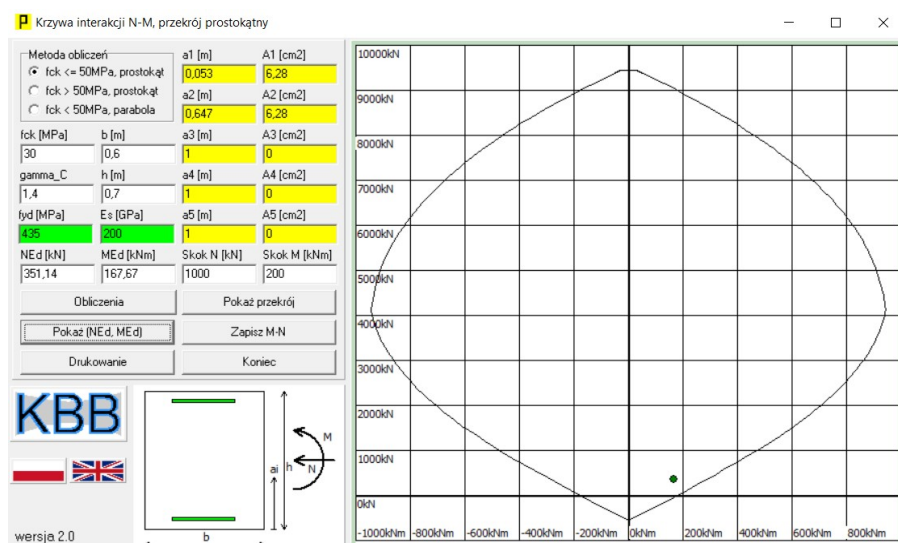
Rys. 7.12 Przypadek  $M_{max}$ , Przekrój 4-4



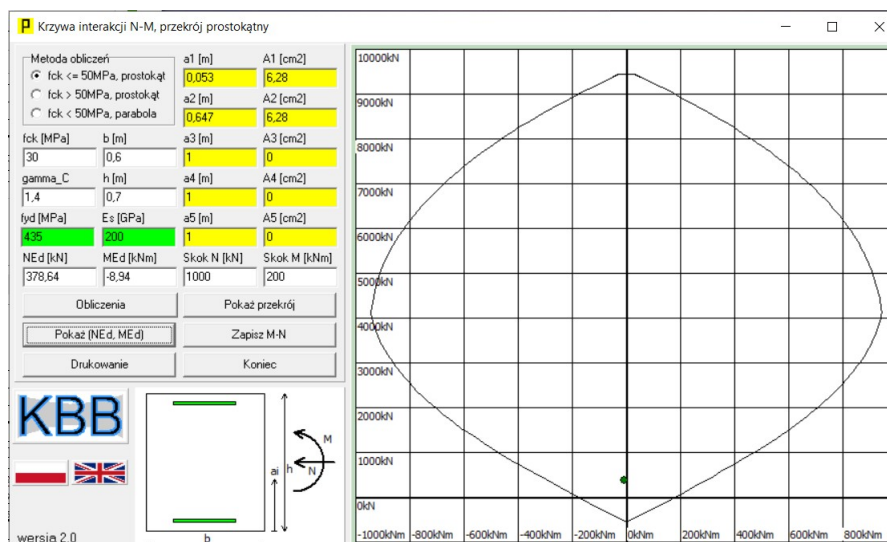
Rys. 7.13 Przypadek  $M_{min}$ , Przekrój 4-4



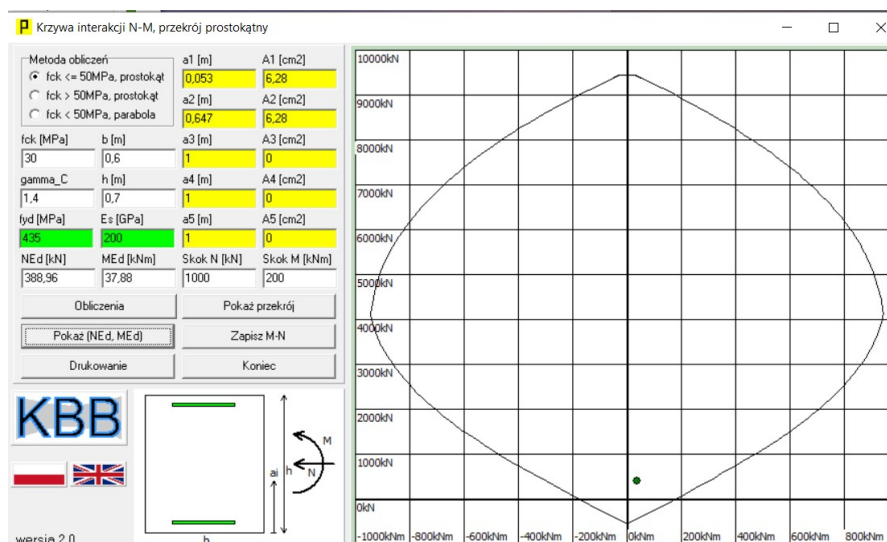
Rys. 7.14 Przypadek  $N_{min}$ , Przekrój 4-4



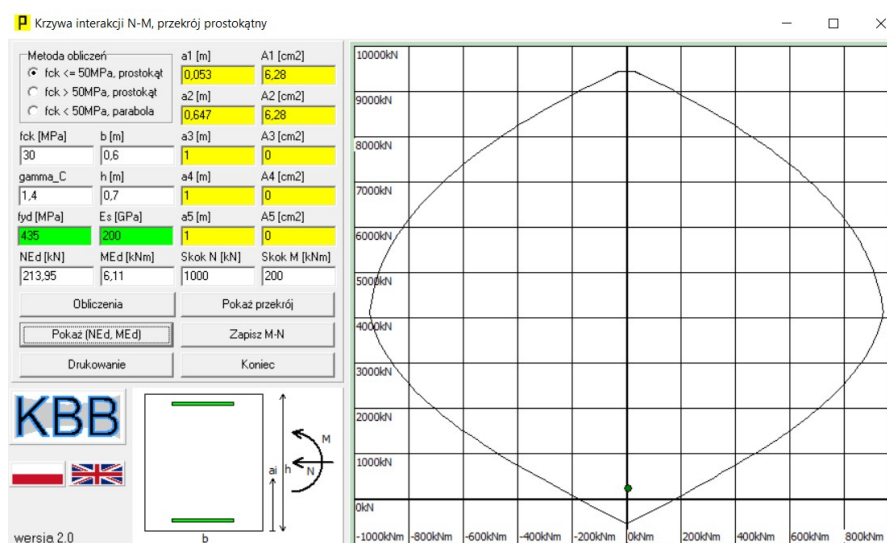
Rys. 7.15 Przypadek  $M_{max}$ , Przekrój 5-5



Rys. 7.16 Przypadek  $M_{min}$ , Przekrój 5-5

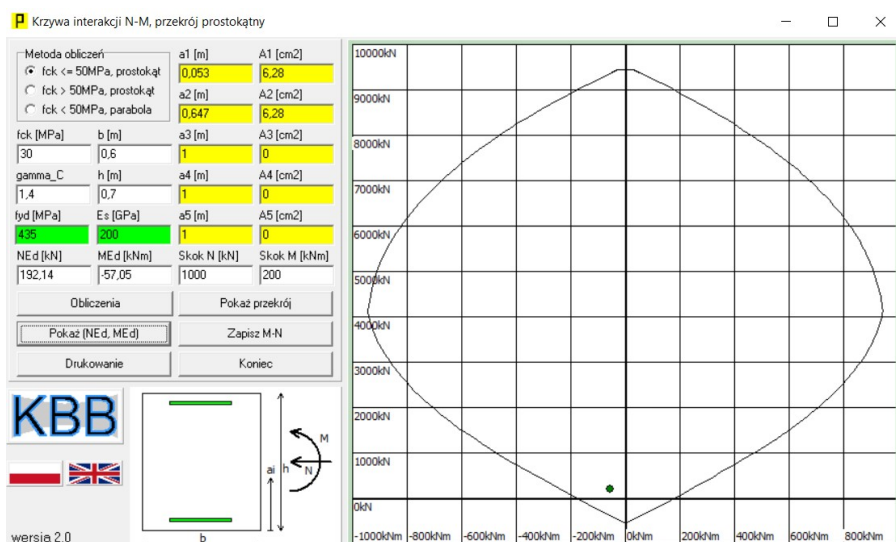


Rys. 7.17 Przypadek  $N_{min}$ , Przekrój 5-5

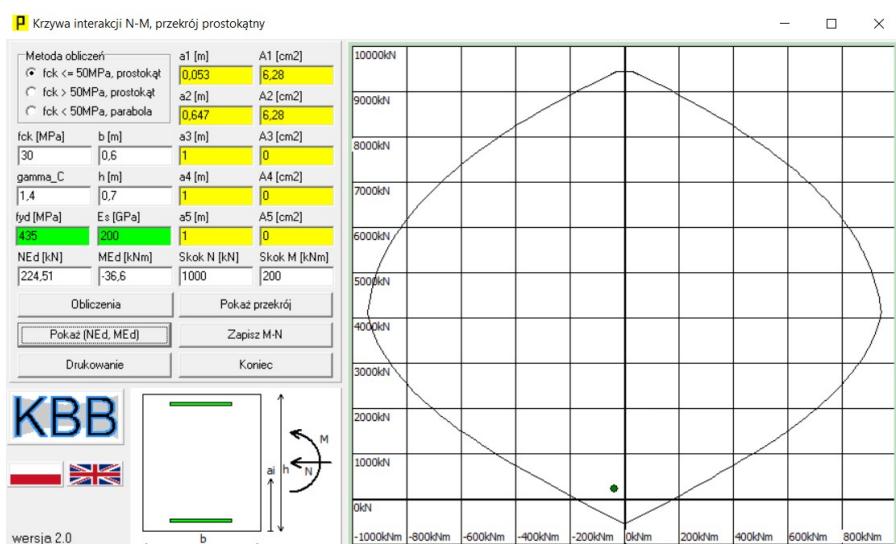


Rys. 7.18 Przypadek  $M_{max}$ , Przekrój 6-6

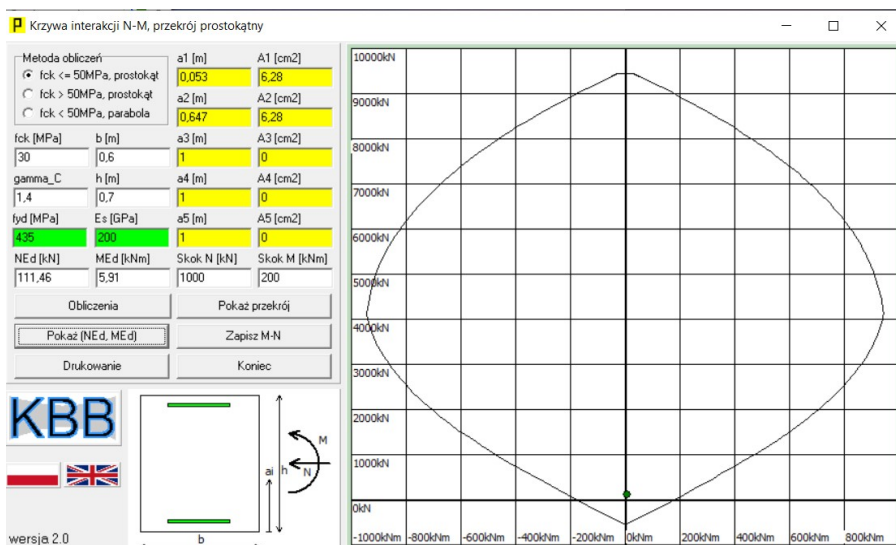




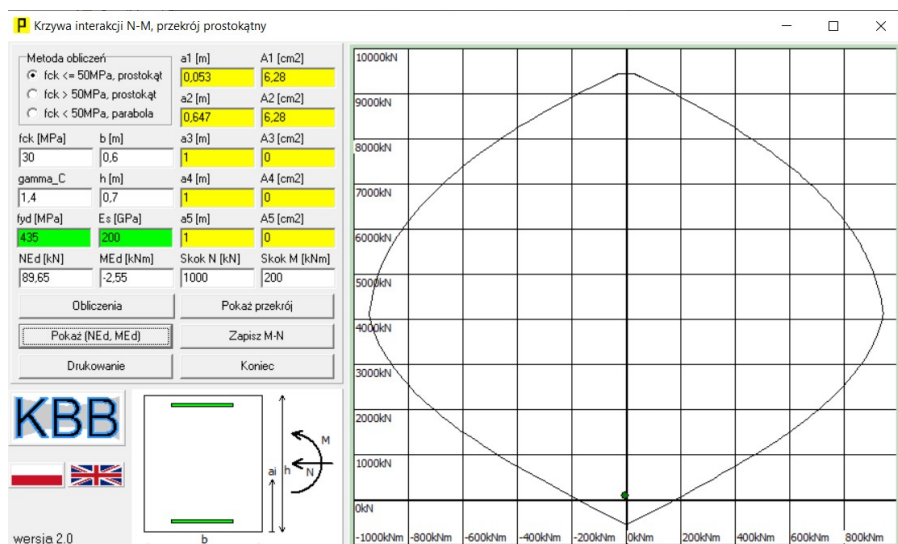
Rys. 7.19 Przypadek  $M_{min}$ , Przekrój 6-6



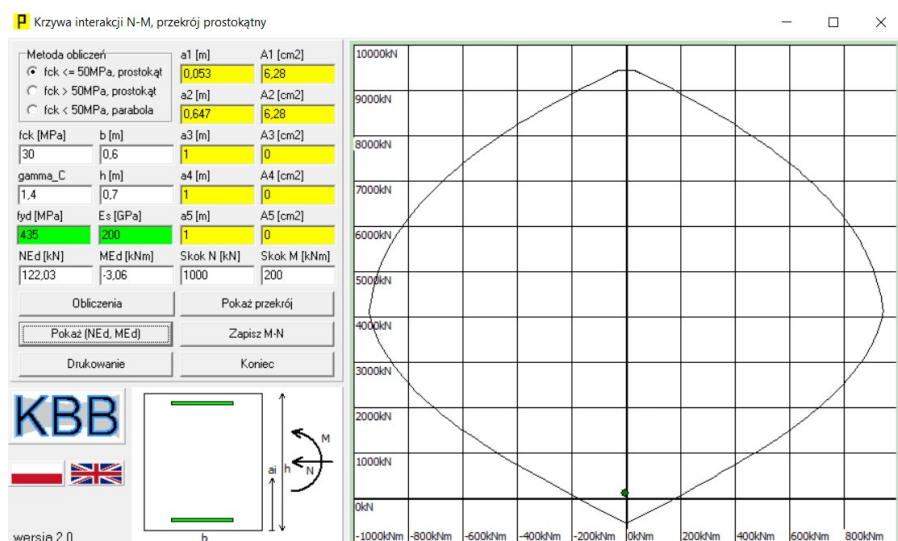
Rys. 7.20 Przypadek  $N_{min}$ , Przekrój 6-6



Rys. 7.21 Przypadek  $M_{max}$ , Przekrój 7-7



Rys. 7.22 Przypadek  $M_{min}$ , Przekrój 7-7



Rys. 7.23 Przypadek  $N_{min}$ , Przekrój 7-7

Tab. 7.3 Przyjęte zbrojenie podłużne słupa

| Przekrój | Przyjęto    |             | Przyjęto       |                | $A_s$<br>[cm²] | $\rho$<br>[%] |
|----------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
|          | $A_{s1}$    | $A_{s2}$    | $A_{s1}$ [cm²] | $A_{s2}$ [cm²] |                |               |
| 1-1      | 2 $\phi$ 20 | 2 $\phi$ 20 | 6.28           | 6.28           | 12.56          | 0.30          |
| 2-2      | 2 $\phi$ 20 | 2 $\phi$ 20 | 6.28           | 6.28           | 12.56          | 0.30          |
| 3-3      | 2 $\phi$ 20 | 2 $\phi$ 20 | 6.28           | 6.28           | 12.56          | 0.30          |
| 4-4      | 2 $\phi$ 20 | 2 $\phi$ 20 | 6.28           | 6.28           | 12.56          | 0.30          |
| 5-5      | 2 $\phi$ 20 | 2 $\phi$ 20 | 6.28           | 6.28           | 12.56          | 0.30          |
| 6-6      | 2 $\phi$ 20 | 2 $\phi$ 20 | 6.28           | 6.28           | 12.56          | 0.30          |
| 7-7      | 2 $\phi$ 20 | 2 $\phi$ 20 | 6.28           | 6.28           | 12.56          | 0.30          |

W celu zachowania odpowiednich odległości pomiędzy prętami zostaną zastosowane dodatkowe pręty konstrukcyjne.

### 7.5.3 Strzemiona

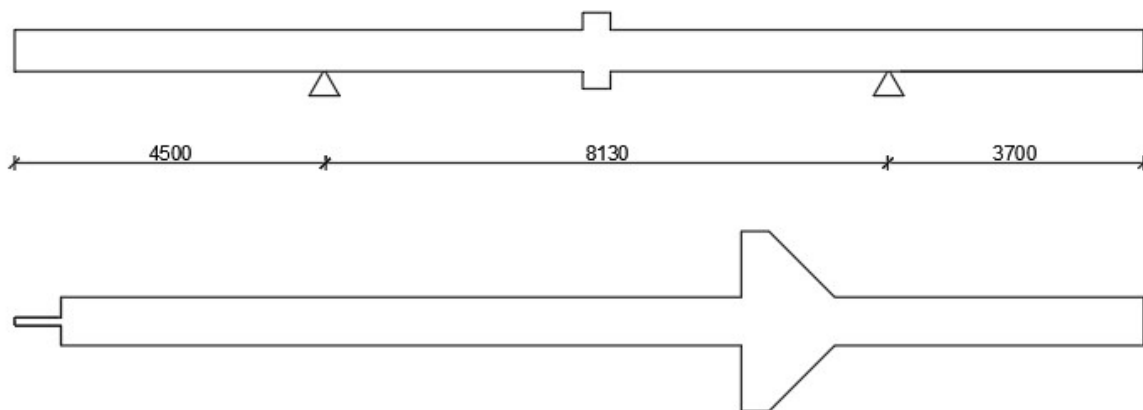
Strzemiona przyjmuję 4 cięte z prętów  $\phi 8$ .

Rozstaw:

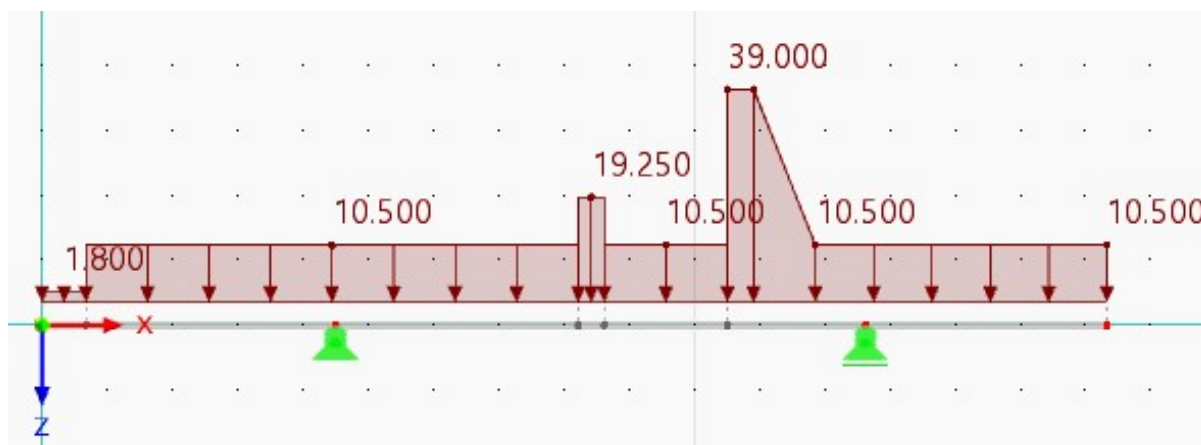
$$s = \min(20 * \phi_{pr}, 400 \text{ mm}, b) = \min(20 * 20 \text{ mm}, 400 \text{ mm}, 600 \text{ mm}) = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Zagęszczony rozstaw strzemion: } \frac{s}{2} = \frac{400 \text{ mm}}{2} = 200 \text{ mm}$$

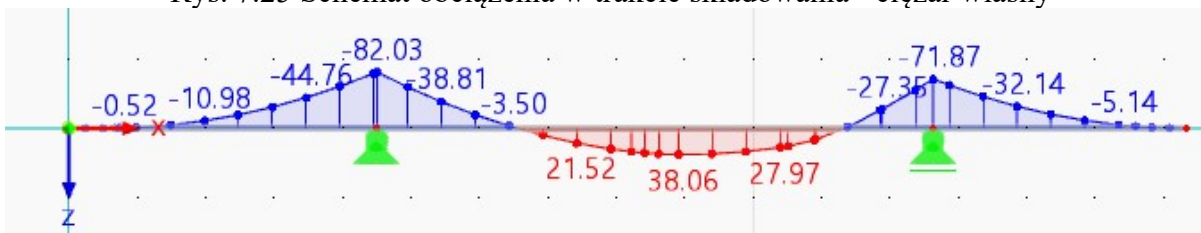
### 7.6 Faza składowania słupa



Rys. 7.24 Schemat składowania słupa



Rys. 7.25 Schemat obciążenia w trakcie składowania - ciężar własny



Rys. 7.26 Wykres momentów dla zadanego schematu w programie RFem

Sprawdzam nośność w przekroju nad lewą podporą ponieważ tam jest największy moment, a zbrojenie jest takie same lub większe niż w tym przekroju, więc jeśli ten przekrój spełni warunek nośności to inne też.

$$M_A = 82.03 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = 6.28 \text{ cm}^2 - 2\phi 20$$



$$d = 600 \text{ mm} - 53 \text{ mm} = 547 \text{ mm}$$

$$\Sigma X = 0$$

$$x_{\text{eff}} = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * h} = \frac{6.28 \text{ cm}^2 * 434.78 \text{ MPa}}{21.43 \text{ MPa} * 700 \text{ mm}} = 1.820 \text{ cm}$$

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{x_{\text{eff}}}{d} = \frac{1.820 \text{ cm}}{547 \text{ mm}} = 0.0333$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda * \left( \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} \right)$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\text{Poniewa\k{z } } f_{ck} = 30 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa, to } \lambda = 0.8$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = 0.8 * \left( \frac{0.0035}{0.0035 + \left( \frac{f_{yd}}{E_s} \right)} \right) = 0.8 * \left( \frac{0.0035}{0.0035 + \left( \frac{434.78 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} \right)} \right) = 0.493$$

$$\xi_{\text{eff}} \leq \xi_{\text{eff,lim}} = 0.0333 \leq 0.493$$

$$\Sigma M_{As1} = 0$$

$$M_{Rd} = x_{\text{eff}} * h * f_{cd} * (d - 0.5 * x_{\text{eff}})$$

$$M_{Rd} = x_{\text{eff}} * h * f_{cd} * (d - 0.5 * x_{\text{eff}}) =$$

$$1.820 \text{ cm} * 700 \text{ mm} * 21.43 \text{ MPa} * (547 \text{ mm} - 0.5 * 1.820 \text{ cm}) = 146.870 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_A = 146.870 \text{ kNm} \geq 82.03 \text{ kNm}$$

Warunek no\ss{no}sci w fazie sk\ladowania zosta\l spe\l{niony.

## 7.7 Faza podnoszenia s\lupa

Warto\ss{c} si\l y do podnoszenia:

$$P = 0.5 * (G + Q) * \beta$$

gdzie:

G - ci\k{e}\ss{z}ar podnoszonego s\lupa

Q- przyczepno\ss{c} betonu do formy

A - pole powierzchni s\lupa przylegaj\ss{a}cy do formy

$$A = 33.46 \text{ m}^2$$

$\beta = 1.6$  - do podnoszenia u\ss{y}ta zostanie suwnica

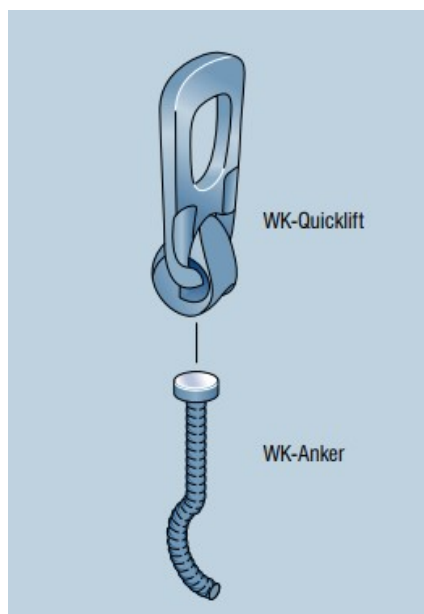
$$h_a = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ - szalunek jest naoliwiony}$$

$$G = 195.5 \text{ kN}$$

$$Q = A * h_a = 33.46 \text{ m}^2 * 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 33.46 \text{ kN}$$

$$P = 0.5 * (G + Q) * \beta = 0.5 * (195.5 \text{ kN} + 33.46 \text{ kN}) * 1.6 = 183.168 \text{ kN}$$

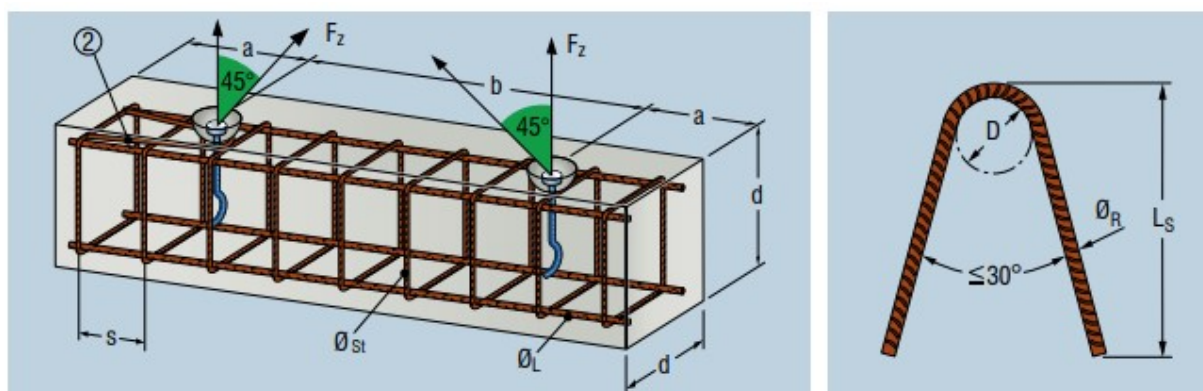
Do transportu dobrano systemem firmy PFEIFER składający się z dwóch uchwytów kulkowych WK oraz dwóch haków kulkowych WK 20.0 o nośności 200kN, haki znajdować się będą w tych samych miejscach co podpory w schemacie składowania słupa.



Rys. 7.27 Przyjęty system haka z uchwytem, wg [21]

| Typ/<br>Größe | $N_{R, zul.}$<br>[kN] | a<br>[mm] | b<br>[mm] | d<br>[mm] | $\emptyset_{BU}$<br>[mm] | s<br>[mm] | $\emptyset_L$<br>[mm] | D<br>[mm] | $\emptyset_R$<br>[mm] | $L_S$<br>[mm] |
|---------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|---------------|
| WK 2.0        | 20                    | 350       | 700       | 170       | 6                        | 150       | 12                    | 32        | 8                     | 300           |
| WK 2.5        | 25                    | 450       | 900       | 205       | 6                        | 150       | 14                    | 32        | 8                     | 350           |
| WK 4.0        | 40                    | 600       | 1200      | 260       | 8                        | 200       | 16                    | 32        | 8                     | 400           |
| WK 6.3        | 63                    | 700       | 1400      | 300       | 10                       | 200       | 20                    | 48        | 12                    | 450           |
| WK 8.0        | 80                    | 750       | 1500      | 360       | 10                       | 200       | 25                    | 48        | 12                    | 550           |
| WK 10.0       | 100                   | 800       | 1600      | 380       | 12*                      | 200*      | 25                    | 56        | 14                    | 600           |
| WK 15.0       | 150                   | 1000      | 2000      | 450       | 16*                      | 200*      | 28                    | 64        | 16                    | 800           |
| WK 20.0       | 200                   | 1200      | 2400      | 600       | 20*                      | 200*      | 28                    | 140       | 20                    | 900           |

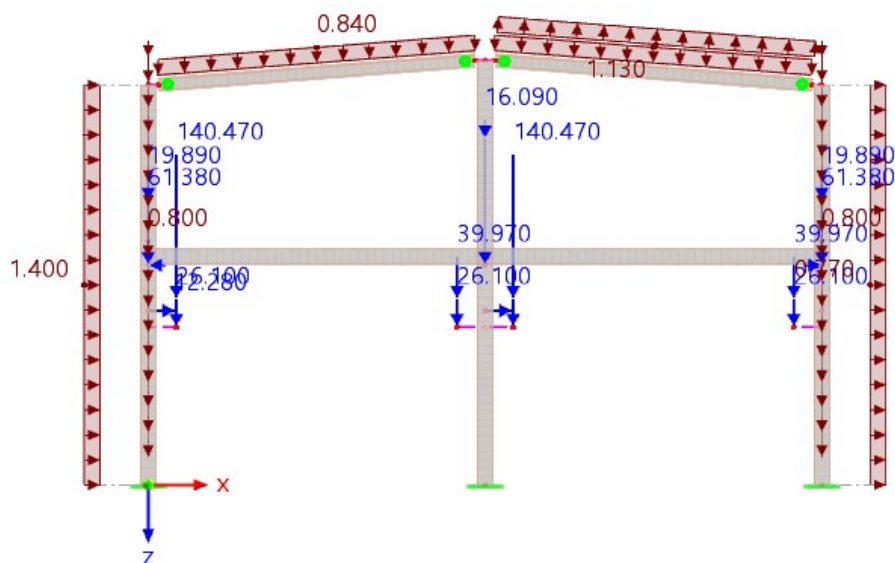
Rys. 7.28 Fragment katalogu firmy Pfeifer



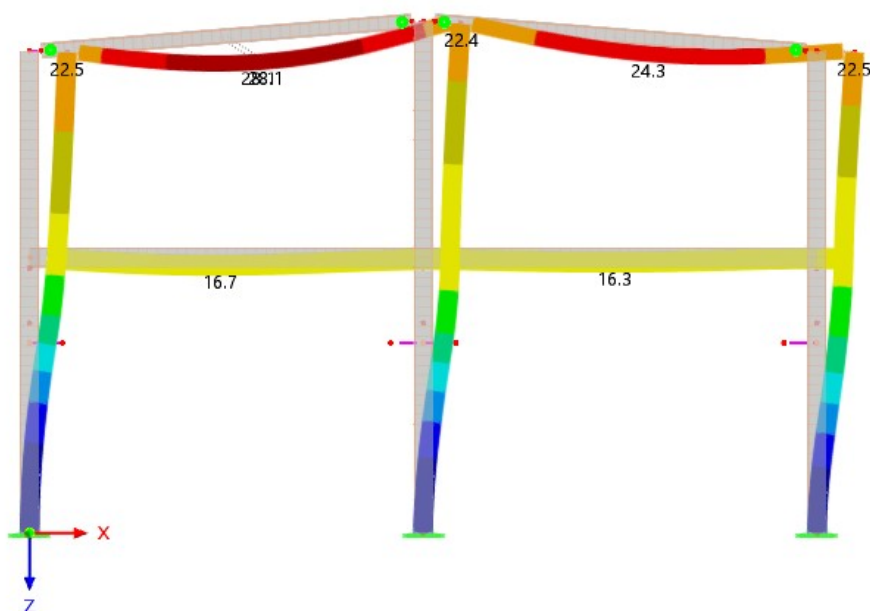
Rys. 7.29 Wymagane dozbrojenie w miejscach uchwytów, wg [21]

## 7.8 Przechył ramy

Do wyznaczenia przechyłu całej ramy wykorzystałam kombinację charakterystyczną od obciążenia ciężarem własnym, od suwnicy (PO15) oraz wiatru z boku (PO9) w schemacie Słup0.3EI, belka sprężająca 0.7EI.



Rys. 7.30 Obciążenia w kombinacji do wyznaczenia przechyłu ramy



Rys.7.31 Schemat deformacji ramy w mm

Wyniki:

- Na wysokości główki szyny:  $u_1 = 13.5 \text{ mm}$
- Na górze słupa:  $u_2 = 22.4 \text{ mm}$

Wartości maksymalne:

- Na wysokości główki szyny:  $u_{1,\max} = \frac{6.43 \text{ m}}{400} = 16.08 \text{ mm}$
- Na górze słupa:  $u_{2,\max} = \frac{15.66 \text{ m}}{150} = 104.4 \text{ mm}$

$$u_1 \leq u_{1,\max} = 13.5 \text{ mm} \leq 16.08 \text{ mm}$$

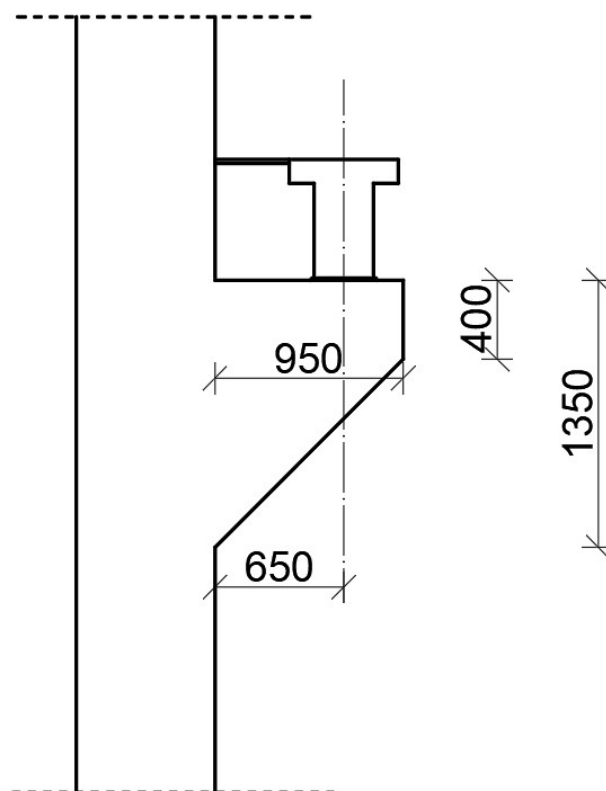
$$u_2 \leq u_{2,\max} = 22.4 \text{ mm} \leq 104.4 \text{ mm}$$

Oba warunki zostały spełnione.

## 8. Wymiarowanie wsporników

### 8.1 Wspornik pod suwnicę

#### 8.1.1 Dane ogólne



Rys. 8.1 Wspornik pod suwnicę

Geometria wspornika:

$$a_F = 650 \text{ mm}$$

$$h = 1350 \text{ mm}$$

$$0.3 < \frac{a_F}{h} = \frac{650 \text{ mm}}{1350 \text{ mm}} = 0.481 \leq 1.0$$

$$\phi_{\text{strz}} = 8 \text{ mm} \quad \phi_{\text{pr}} = 16 \text{ mm}$$

szerokość wspornika:  $b = 600 \text{ mm}$

$$F_{v,Sd} = V_{\text{max}} = 140.47 \text{ kN}$$

$$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd} = 0.425 * \nu * f_{cd} * b * d$$

$$d = h - c_{\text{nom}} - \frac{\phi_{\text{pr}}}{2} = 1350 \text{ mm} - 35 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} = 1307 \text{ mm}$$

$$\nu = 0.6 * \left( 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right) = 0.6 * \left( 1 - \left( \frac{30}{250} \right) \right) = 0.528$$

Warunek na nośność w przekroju przysłupowym:

$$F_{v,Rd1} = 0.425 * \nu * f_{cd} * b * d = 0.425 * 0.528 * 21.43 \text{ MPa} * 600 \text{ mm} * 1307 \text{ mm} \\ = 3770.882 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd1} > F_{v,Sd} = 3770.882 \text{ kN} > 140.47 \text{ kN}$$

Warunek nośności w przekroju na krawędzi przyłożenia siły:

$$d_2 = 600 \text{ mm} - c_{\text{nom}} - \frac{\phi_{\text{pr}}}{2} = 600 \text{ mm} - 35 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} = 557 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rd2} = 0.23 * f_{\text{cd}} * b * d_2 = 0.23 * 21.43 \text{ MPa} * 600 \text{ mm} * 557 \text{ mm} = 1647.129 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd2} \geq F_{v,Sd} = 1647.129 \text{ kN} \geq 140.47 \text{ kN}$$

Oba warunki spełnione.

### 8.1.2 Zbrojenie główne rozciągane przy górnej krawędzi

$$A_s \geq \left( \frac{1}{f_{\text{yd}}} \right) * \left( F_{v,Sd} * \left( \frac{a}{z} \right) + H_{Sd} * \left( \frac{a_H + z}{z} \right) \right)$$

$$H_{Sd} = S = 23.4 \text{ kN}$$

$$a_1 = \frac{F_{v,Sd}}{f_{\text{cd}} * b} = \frac{140.47 \text{ kN}}{21.43 \text{ MPa} * 600 \text{ mm}} = 0.011 \text{ m}$$

$$a = a_F + 0.5 * a_1 = 650 \text{ mm} + 0.5 * 0.011 \text{ m} = 0.655 \text{ m}$$

$$a_2 = d - \left( d^2 - 2 * a_1 * a \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 1307 \text{ mm} - \left( (1307 \text{ mm})^2 - 2 * 0.011 \text{ m} * 0.655 \text{ m} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 0.005 \text{ m}$$

$$z = d - 0.5 * a_2 = 1307 \text{ mm} - 0.5 * 0.005 \text{ m} = 1.304 \text{ m}$$

$$a_H = c_{\text{nom}} + \frac{\phi_{\text{pr}}}{2} + h_b = 35 \text{ mm} + \frac{16 \text{ mm}}{2} + 705 \text{ mm} = 748 \text{ mm}$$

$$h_b = 20 \text{ mm} + 600 \text{ mm} + 85 \text{ mm} = 705 \text{ mm} - \text{podlewka, belka podsuwnicowa, szyna}$$

$$A_{s,\text{wst}} = \left( \frac{1}{f_{\text{yd}}} \right) * \left( F_{v,Sd} * \left( \frac{a}{z} \right) + H_{Sd} * \left( \frac{a_H + z}{z} \right) \right) =$$

$$\left( \frac{1}{434.78 \text{ MPa}} \right) * \left( 140.47 \text{ kN} * \left( \frac{0.655 \text{ m}}{1.304 \text{ m}} \right) + 23.4 \text{ kN} * \left( \frac{748 \text{ mm} + 1.304 \text{ m}}{1.304 \text{ m}} \right) \right) = 2.471 \text{ cm}^2$$

Przyjęto jedną pętlę z pręta  $\phi 16$  o polu  $A_s = 2 \phi 16$ ;  $A_s = 4.02 \text{ cm}^2$

Obliczenie długości zakotwienia -  $l_{\text{bd}}$ :

- graniczne naprężenia przyczepności  $f_{\text{bd}}$

$$f_{\text{bd}} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{\text{ctd}}$$

$\eta_1$  - współczynnik zależny od jakości warunków przyczepności i pozycji pręta w czasie betonowania, przyjmuję warunki dobre, więc  $\eta_1 = 1$

$$\eta_2 = 1, \text{ ponieważ } \phi_{\text{pr}} = 16 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$$

$$f_{\text{ctd}} = 1.43 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{bd}} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{\text{ctd}} = 2.25 * 1 * 1 * 1.43 \text{ MPa} = 3.22 \text{ MPa}$$

- podstawowa długość zakotwienia  $l_{b,rgd}$

$$l_{b,rgd} = \left( \frac{\phi}{4} \right) * \left( \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right)$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} * \left( \frac{A_{req}}{A_{prov}} \right)$$

$$A_{req} = A_{s,wst} = 2.471 \text{ cm}^2$$

$$A_{prov} = A_s = 4.02 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} * \left( \frac{A_{req}}{A_{prov}} \right) = 434.78 \text{ MPa} * \left( \frac{2.471 \text{ cm}^2}{4.02 \text{ cm}^2} \right) = 267.200 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rgd} = \left( \frac{\phi_{pr}}{4} \right) * \left( \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) = \left( \frac{16 \text{ mm}}{4} \right) * \left( \frac{267.200 \text{ MPa}}{3.22 \text{ MPa}} \right) = 332.18 \text{ mm}$$

- obliczeniowa długość zakotwienia  $l_{bd}$

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rgd}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd,ws} = l_{b,rgd} = 332.183 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max(0.3 * l_{bd,ws}, 10 * \phi_{pr}, 100 \text{ mm}) =$$

$$\max(0.3 * 332.183 \text{ mm}, 10 * 16 \text{ mm}, 100 \text{ mm}) = 160 \text{ mm}$$

$$l_{bd,ws} \geq l_{b,min} = 332.183 \text{ mm} \geq 160 \text{ mm}$$

Przyjęta długość zakotwienia  $l_{bd} = 340 \text{ mm}$

### 8.1.3 Strzemiona

- Strzemiona pionowe

Ponieważ  $\frac{a_F}{h} = \frac{650 \text{ mm}}{1350 \text{ mm}} = 0.481 < 0.5$  nie ma konieczności stosowania strzemion pionowych.

- Strzemiona poziome

Ponieważ  $0.3 < \frac{a_F}{h} = \frac{650 \text{ mm}}{1350 \text{ mm}} = 0.481 \leq 0.6$  wymagane jest stosowanie strzemion

poziomych o sumarycznym przekroju:  $A_{sw} \geq 0.5 * A_s$

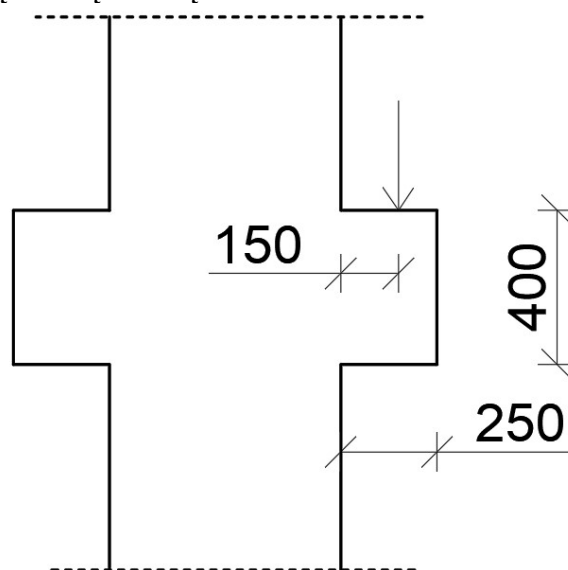
$$0.5 * A_s = 0.5 * 4.02 \text{ cm}^2 = 2.01 \text{ cm}^2$$

Przyjmuję 7 strzemion dwuciętych  $\phi 8$  o  $A_{sw} = 7.04 \text{ cm}^2$

Maksymalny rozstaw strzemion:

$$s = \min(0.25 * h, 150 \text{ mm}) = \min(0.25 * 1350 \text{ mm}, 150 \text{ mm}) = 150 \text{ mm}$$

## 8.2 Wspornik pod belkę krawężniową



Rys. 8.2 Wspornik pod belkę krawężniową

Geometria wspornika:

$$a_F = 150 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$0.3 < \frac{a_F}{h} = \frac{150 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} = 0.375 \leq 1.0$$

$$\phi_{\text{strz}} = 8 \text{ mm} \quad \phi_{\text{pr}} = 16 \text{ mm}$$

szerokość wspornika:  $b = 700 \text{ mm}$

$F_{v,Sd} = 394.86 \text{ kN}$  - reakcja ze schematu obliczeniowego belki krawężniowej przy maksymalnym obciążeniu

$$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd} = 0.425 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d$$

$$d = h - c_{\text{nom}} - \frac{\phi_{\text{pr}}}{2} = 400 \text{ mm} - 35 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} = 357 \text{ mm}$$

$$\nu = 0.6 \cdot \left( 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \right) = 0.6 \cdot \left( 1 - \left( \frac{30}{250} \right) \right) = 0.528$$

Warunek na nośność w przekroju przysłupowym:

$$F_{v,Rd1} = 0.425 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 0.425 \cdot 0.528 \cdot 21.43 \text{ MPa} \cdot 700 \text{ mm} \cdot 357 \text{ mm} = 1201.662 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd1} > F_{v,Sd} = 1201.662 \text{ kN} > 394.86 \text{ kN}$$

Warunek nośności w przekroju na krawędzi przyłożenia siły:

$$d_2 = h - c_{\text{nom}} - \frac{\phi_{\text{pr}}}{2} = 400 \text{ mm} - 35 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} = 357 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rd2} = 0.23 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_2 = 0.23 \cdot 21.43 \text{ MPa} \cdot 700 \text{ mm} \cdot 357 \text{ mm} = 1231.65 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd2} \geq F_{v,Sd} = 1231.65 \text{ kN} \geq 394.86 \text{ kN}$$

Oba warunki spełnione.

### 8.2.2 Zbrojenie główne rozciągane przy górnej krawędzi

$$A_s \geq \left( \frac{1}{f_{yd}} \right) * \left( F_{v,Sd} * \left( \frac{a}{z} \right) + H_{Sd} * \left( \frac{a_H + z}{z} \right) \right)$$

$$H_{Sd} = 0.2 * F_{v,Sd} = 0.2 * 394.86 \text{ kN} = 78.972 \text{ kN}$$

$$a_1 = \frac{F_{v,Sd}}{f_{cd} * b} = \frac{394.86 \text{ kN}}{21.43 \text{ MPa} * 700 \text{ mm}} = 0.026 \text{ m}$$

$$a = a_F + 0.5 * a_1 = 150 \text{ mm} + 0.5 * 0.026 \text{ m} = 0.163 \text{ m}$$

$$a_2 = d - \left( d^2 - 2 * a_1 * a \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 357 \text{ mm} - \left( (357 \text{ mm})^2 - 2 * 0.026 \text{ m} * 0.163 \text{ m} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 0.012 \text{ m}$$

$$z = d - 0.5 * a_2 = 357 \text{ mm} - 0.5 * 0.012 \text{ m} = 0.351 \text{ m}$$

$$a_H = c_{nom} + \frac{\phi_{pr}}{2} + h_b = 35 \text{ mm} + \frac{16 \text{ mm}}{2} + 5 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$$

$h_b = 5 \text{ mm}$  - gr. podkładki elastomerowej

$$A_{s,wst} = \left( \frac{1}{f_{yd}} \right) * \left( F_{v,Sd} * \left( \frac{a}{z} \right) + H_{Sd} * \left( \frac{a_H + z}{z} \right) \right) =$$

$$\left( \frac{1}{434.78 \text{ MPa}} \right) * \left( 394.86 \text{ kN} * \left( \frac{0.163 \text{ m}}{0.351 \text{ m}} \right) + 78.972 \text{ kN} * \left( \frac{48 \text{ mm} + 0.351 \text{ m}}{0.351 \text{ m}} \right) \right) = 6.29 \text{ cm}^2$$

Przyjęto dwie pętle z prętów  $\phi 16$  o polu  $A_s = 4 \phi 16$ ;  $A_s = 8.04 \text{ cm}^2$

Obliczenie długości zakotwienia -  $l_{bd}$ :

- graniczne naprężenia przyczepności  $f_{bd}$

$$f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$\eta_1$  - współczynnik zależny od jakości warunków przyczepności i pozycji pręta w czasie betonowania, przyjmuję warunki dobre, więc  $\eta_1 = 1$

$\eta_2 = 1$ , ponieważ  $\phi_{pr} = 16 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$

$$f_{ctd} = 1.43 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2.25 * 1 * 1 * 1.43 \text{ MPa} = 3.22 \text{ MPa}$$

- podstawowa długość zakotwienia  $l_{b,rgd}$

$$l_{b,rgd} = \left( \frac{\phi}{4} \right) * \left( \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right)$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} * \left( \frac{A_{req}}{A_{prov}} \right)$$



$$A_{\text{req}} = A_{\text{s,wst}} = 6.288 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{prov}} = A_{\text{s}} = 8.04 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{sd}} = f_{\text{yd}} * \left( \frac{A_{\text{req}}}{A_{\text{prov}}} \right) = 434.78 \text{ MPa} * \left( \frac{6.288 \text{ cm}^2}{8.04 \text{ cm}^2} \right) = 340.036 \text{ MPa}$$

$$l_{\text{b,rgd}} = \left( \frac{\phi_{\text{pr}}}{4} \right) * \left( \frac{\sigma_{\text{sd}}}{f_{\text{bd}}} \right) = \left( \frac{16 \text{ mm}}{4} \right) * \left( \frac{340.036 \text{ MPa}}{3.22 \text{ MPa}} \right) = 422.73 \text{ mm}$$

- obliczeniowa długość zakotwienia  $l_{\text{bd}}$

$$l_{\text{bd}} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{\text{b,rgd}}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1$$

$$l_{\text{bd,ws}} = l_{\text{b,rgd}} = 422.733 \text{ mm}$$

$$l_{\text{b,min}} = \max(0.3 * l_{\text{bd,ws}}, 10 * \phi_{\text{pr}}, 100 \text{ mm}) = \max(0.3 * 422.733 \text{ mm}, 10 * 16 \text{ mm}, 100 \text{ mm}) = 160 \text{ mm}$$

$$l_{\text{bd,ws}} \geq l_{\text{b,min}} = 422.733 \text{ mm} \geq 160 \text{ mm}$$

Przyjęta długość zakotwienia  $l_{\text{bd}} = 430 \text{ mm}$

### 8.1.3 Strzemiona

- Strzemiona pionowe

Ponieważ  $\frac{a_{\text{F}}}{h} = \frac{150 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} = 0.375 < 0.5$  nie ma konieczności stosowania strzemion pionowych.

- Strzemiona poziome

Ponieważ  $0.3 < \frac{a_{\text{F}}}{h} = \frac{150 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} = 0.375 \leq 0.6$  wymagane jest stosowanie strzemion poziomych o sumarycznym przekroju:  $A_{\text{sw}} \geq 0.5 * A_{\text{s}}$

$$0.5 * A_{\text{s}} = 0.5 * 8.04 \text{ cm}^2 = 4.02 \text{ cm}^2$$

Przyjmuję 4 strzemion dwuciętych  $\phi 8$  o  $A_{\text{sw}} = 4.02 \text{ cm}^2$

Maksymalny rozstaw strzemion:

$$s = \min(0.25 * h, 150 \text{ mm}) = \min(0.25 * 400 \text{ mm}, 150 \text{ mm}) = 100 \text{ mm}$$

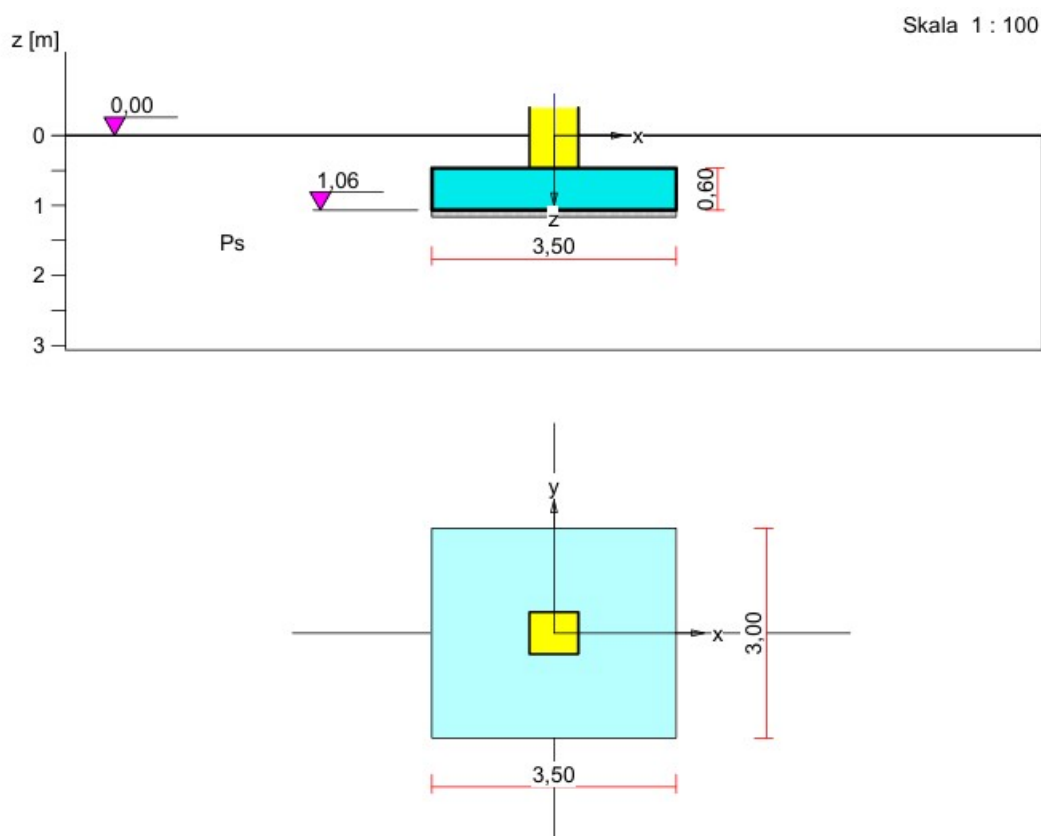
Z uwagi na małą wysokość wspornika przyjmuję rozstaw strzemion równy około 70mm.

## 9. Stopa fundamentowa St2

### 9.1 Dane ogólne

- Beton: C30/37  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$   $f_{cd} = 21.429 \text{ MPa}$
- Stal: B500SP:  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$   $f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$
- Otulina: stopa jest na betonie podkładowo- wyrównawczym, więc  $c_{nom} = 50 \text{ mm}$

### 9.2 Faza eksploatacji



Rys. 9.1 Schemat stopy fundamentowej w programie FD-Win

Za podłoże gruntowe przyjąłm piasek średni o kącie tarcia równym 33 stopnie, grunt bez wody.

Fundament stoi na warstwie wyrównawczej o grubości 0.1m i ciężarze objętościowych  $22 \text{ kN/m}^3$ .

Rozpatrzyłam 3 przypadki: Pary sił jak w przekroju 1-1 dla słupa.

Tab.9.1 Przypadki obciążenia stopy fundamentowej

| Lp. | N      | $H_x$ | $H_y$ | $M_x$ | $M_y$ |
|-----|--------|-------|-------|-------|-------|
|     | [kN]   | [kN]  | [kN]  | [kNm] | [kNm] |
| 1   | 864.1  | 0.8   | 0     | 0     | -22.7 |
| 2   | 1082.7 | -37.4 | 0     | 0     | 291.9 |
| 3   | 1339.6 | 36.7  | 0     | 0     | 201.7 |

### 9.2.1 Pierwszy stan graniczny

Rozpatruję przykładowo kombinacje 2:

| Pozycja        | Obc. char. | $E_x$ | $E_y$ | $\gamma$  | Obc. obl. | Mom. obl.      | Mom. obl.      |
|----------------|------------|-------|-------|-----------|-----------|----------------|----------------|
|                | [kN]       | [m]   | [m]   | [-]       | G [kN]    | $M_{Gx}$ [kNm] | $M_{Gy}$ [kNm] |
| Fundament      | 157,50     | 0,00  | 0,00  | 1,10(0,9) | 173,25    | 0,00           | 0,00           |
| Grunt - pole 1 | 21,68      | 0,90  | -0,78 | 1,20(0,8) | 26,01     | -20,16         | 23,52          |
| Grunt - pole 2 | 21,68      | -0,90 | -0,78 | 1,20(0,8) | 26,01     | -20,16         | -23,52         |
| Grunt - pole 3 | 21,68      | -0,90 | 0,78  | 1,20(0,8) | 26,01     | 20,16          | -23,52         |
| Grunt - pole 4 | 21,68      | 0,90  | 0,78  | 1,20(0,8) | 26,01     | 20,16          | 23,52          |

Rys. 9.2 Zestawienie obciążeń

Wartości obliczeniowe obciążenia zewnętrznego fundamentu:

- Siła pionowa:  $N = 1082.7$  kN
- Siła pozioma:  $H_x = -37.4$  kN;  $H_y = 0$  kN
- Moment:  $M_x = 0$  kNm;  $M_y = 291.9$  kNm

Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu

Obciążenie pionowe:

$$N_r = N + G = 1082,7 + 277,3 + 211,1 = 1360,0 + 1293,8 \text{ kN.}$$

Momenty względem środka podstawy:

$$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = 1082,7 \cdot 0,00 - 0,0 \cdot 0,50 + 0,0 + (0,0) + 0,0 = 0,0 + 0,0 \text{ kNm.}$$

$$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = -1082,7 \cdot 0,00 + (-37,4) \cdot 0,50 + 291,9 + (0,0) + (0,0) = 273,0 + 273,0 \text{ kNm.}$$

Mimośrodowość względem środka podstawy:

$$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 273,0/1293,8 = 0,21 \text{ m,}$$

$$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 0,0/1293,8 = 0,00 \text{ m.}$$

$$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,060 + 0,000 = 0,060 \text{ m} < 0,167.$$

**Wniosek: Wypadkowa obciążenia wewnątrz rdzenia podstawy fundamentu.**

Rys. 9.3 Obliczenia wykonane w programie FD-Win

Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego:

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$$B'_x = B_x - 2 \cdot e_{rx} = 3,50 - 2 \cdot 0,20 = 3,10 \text{ m,} \quad B'_y = B_y - 2 \cdot e_{ry} = 3,00 - 2 \cdot 0,00 = 3,00 \text{ m.}$$

Minimalna intensywność obciążenia podłoża obok ławy:  $\rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} = 17,73$  kPa.

Współczynniki nośności podłoża:

$$\text{obliczeniowy kąt tarcia wewnętrzznego: } \Phi_{u(r)} = \Phi_{u(n)} \cdot \gamma_m = 33,00 \cdot 0,90 = 29,70^\circ,$$

$$\text{spójność: } c_{u(r)} = c_{u(n)} \cdot \gamma_m = 0,00 \text{ kPa,}$$

$$N_B = 7,18 \quad N_C = 29,42, \quad N_D = 17,78.$$

Wpływ odchylenia wypadkowej obciążenia od pionu:

$$i_B = 0,91, \quad i_C = 0,95, \quad i_D = 0,95.$$

Ciężar objętościowy gruntu pod ławą fundamentową:

$$\rho_{B(n)} \cdot \gamma_m \cdot g = 1,85 \cdot 0,90 \cdot 10,00 = 16,65 \text{ kN/m}^3.$$

Współczynniki kształtu:

$$m_B = 1 - 0,25 \cdot B_y / B_x' = 0,76, \quad m_C = 1 + 0,3 \cdot B_y' / B_x' = 1,29, \quad m_D = 1 + 1,5 \cdot B_y / B_x' = 2,45$$

Odpór graniczny podłoża:

$$Q_{fNB} = B_x' \cdot B_y' (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_C + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{min} \cdot i_D + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B_x' \cdot i_B) = 9141,3 \text{ kN.}$$

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

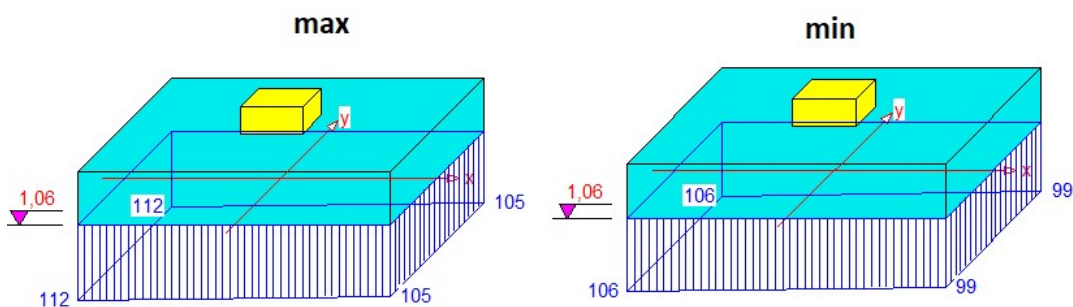
$$N_r = 1360,0 \text{ kN} < m \cdot Q_{fNB} = 0,81 \cdot 9141,3 = 7404,5 \text{ kN.}$$

**Wniosek: warunek nośności jest spełniony.**

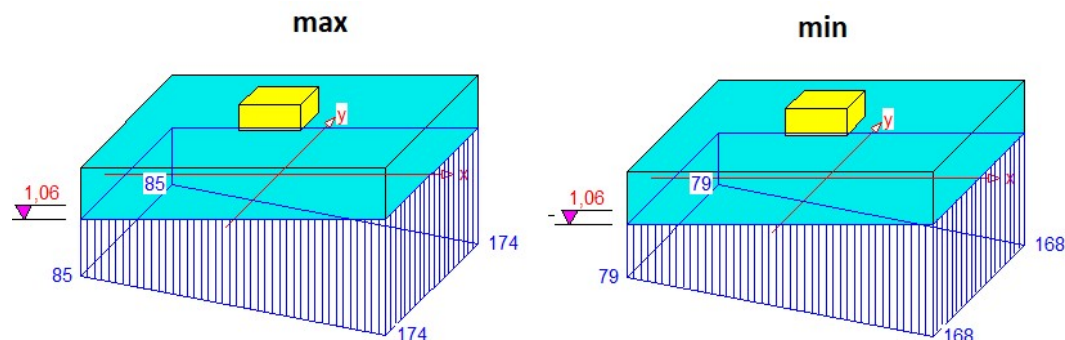
Rys. 9.4 Obliczenia wykonane w programie FD-Win

| Nr komb. | Rodzaj komb. | Poziom [m] | Wsp. nośności | Wsp. przes. | Wsp. mimośr. |
|----------|--------------|------------|---------------|-------------|--------------|
| 1        | podstawowa   | 1,06       | 0,135         |             | 0,036        |
| * 2      | podstawowa   | 1,06       | 0,184         |             | 0,362        |
| 3        | podstawowa   | 1,06       | 0,208         |             | 0,202        |

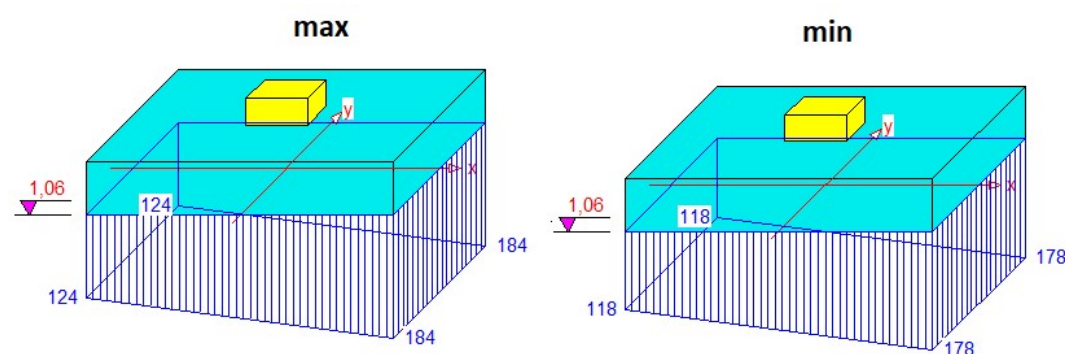
Rys. 9.5 Wyniki analizy nośności, przesunięcia i mimośrodu dla wszystkich kombinacji



Rys. 9.6 Naprężenia pod fundamentem dla kombinacji 1



Rys. 9.7 Naprężenia pod fundamentem dla kombinacji 2



Rys. 9.8 Naprężenia pod fundamentem dla kombinacji 3

### 9.2.2 Zginanie fundamentu

Wymiarowanie stopy na zginanie przeprowadzono przykładowo dla kombinacji 3:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa:  $N_r = 1340 \text{ kN}$ ,

momenty:  $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_{yr} = 183,17 \text{ kNm}$ .

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

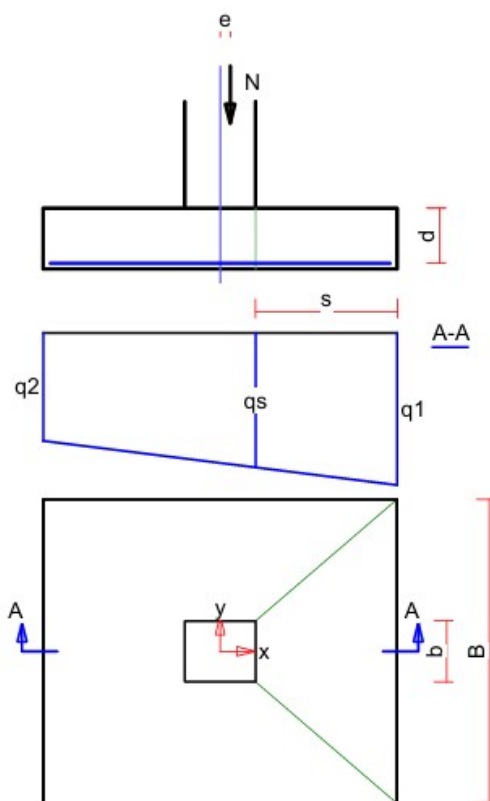
$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,14 \text{ m}$ ,  $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$ .

Oddziaływania w narożach fundamentu:

$q_1 = 157 \text{ kPa}$ ,  $q_2 = 98 \text{ kPa}$ ,  $q_3 = 98 \text{ kPa}$ ,  $q_4 = 157 \text{ kPa}$ .

Rys. 9.9 Zestawienie obciążeń w kombinacji 3

Wymiarowanie stopy na zginanie w kierunku x:



Rys. 9.10 Schemat obliczania zginania w kierunku x

Oddziaływania na krawędziach fundamentu w przekroju środkowym A-A:

$q_k = 157 \text{ kPa}$ ,  $q_p = 98 \text{ kPa}$ .

Oddziaływanie podłoża w przekroju 1:  $s = 1,40 \text{ m}$ ,  $q_s = 134 \text{ kPa}$ .

**Zginanie stopy w przekroju 1:**

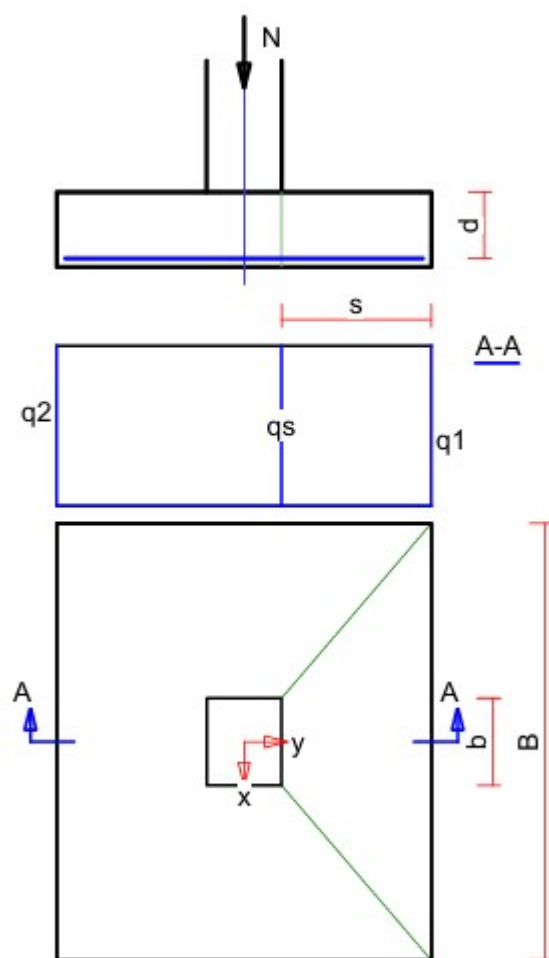
Moment zginający:

$M_{sd} = [(b+3 \cdot B) \cdot q_k + (b+B) \cdot q_s] \cdot s^2/12 = 325,47 \text{ kNm}$ .

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia:  $A_s = 14,58 \text{ cm}^2$ .

Rys. 9.11 Obliczenia w programie FD-Win

Wymiarowanie stopy na zginanie w kierunku y:



Rys. 9.12 Schemat obliczania zginania w kierunku y

Oddziaływania na krawędziach fundamentu w przekroju środkowym A-A:

$$q_k = 128 \text{ kPa}, \quad q_p = 128 \text{ kPa}.$$

Oddziaływanie podłoża w przekroju 1:  $s = 1,20 \text{ m}$ ,  $q_s = 128 \text{ kPa}$ .

**Zginanie stopy w przekroju 1:**

Moment zginający:

$$M_{sd} = [(b+3 \cdot B) \cdot q_k + (b+B) \cdot q_s] \cdot s^2 / 12 = 235,77 \text{ kNm}.$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia:  $A_s = 10,75 \text{ cm}^2$ .

Rys. 9.13 Obliczenia w programie FD-Win



| Nr komb. | Kierunek | Przekrój | Moment zginający                                      | Min. przekrój zbrojenia                                         |
|----------|----------|----------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|          |          |          | $M_{\text{dod}} \mid M_{\text{ujemny}} \text{ [kNm]}$ | $A_{s,\text{dół}} \mid A_{s,\text{góra}} \text{ [cm}^2\text{]}$ |
| 1        | x        | 1        | 184   -                                               | 8,2   -                                                         |
|          | y        | 1        | 152   -                                               | 6,9   -                                                         |
| 2        | x        | 1        | 297   -                                               | 13,3   -                                                        |
|          | y        | 1        | 191   -                                               | 8,7   -                                                         |
| *3       | x        | 1        | 325   -                                               | 14,6   -                                                        |
|          | y        | 1        | 236   -                                               | 10,7   -                                                        |

Rys. 9.14 Zestawienie wyników dla wszystkich kombinacji

Zbrojenie stopy na zginanie:

**Zbrojenie główne na kierunku x:**

Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego:  $A_s = 14,6 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12,0 \text{ mm}$ .

Konieczna liczba prętów:  $L_{xs} = 13$ .

Przyjęta liczba prętów:  $L_{xr} = 13$  co 240 mm.

**Zbrojenie główne na kierunku y:**

Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego:  $A_s = 10,7 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12,0 \text{ mm}$ .

Konieczna liczba prętów:  $L_{ys} = 15$ .

Przyjęta liczba prętów:  $L_{yr} = 15$  co 210/285 mm.

Rys. 9.15 Obliczone zbrojenie na zginanie z programu FD-Win

Ostatecznie przyjęto zbrojenie stopy prętami  $\phi_{\text{pr}} = 12 \text{ mm}$  w rozstawie co 150mm w obu kierunkach.

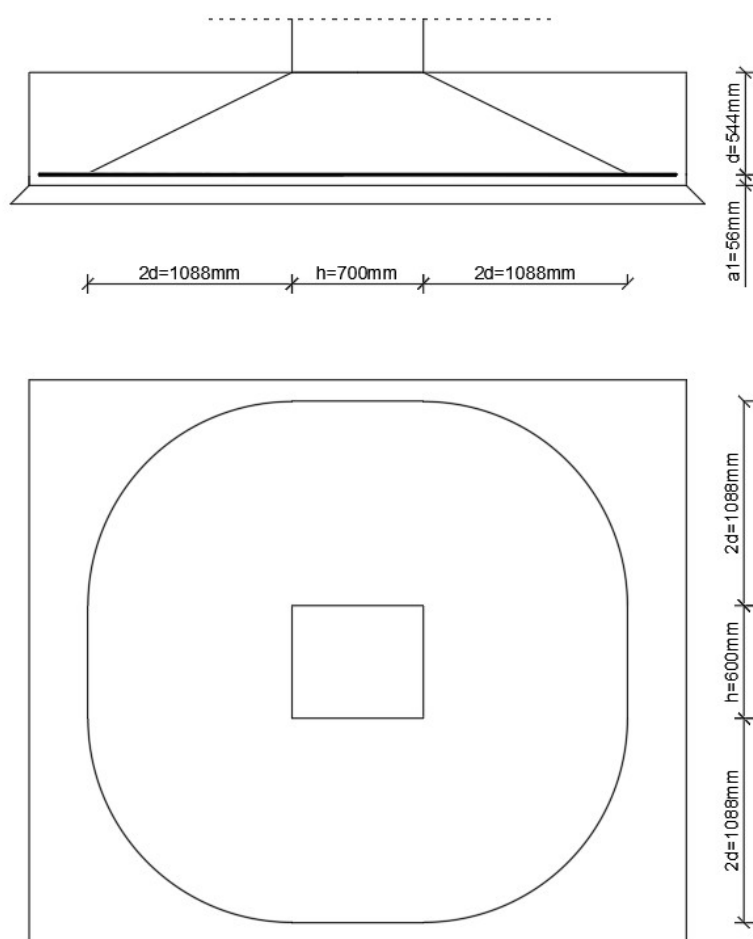
### 9.2.3 Przebiecie fundamentu

Do sprawdzenia przebiecia przyjmuję przypadek z największą siłą ściskającą, czyli kombinację 3.

$N_{\text{Ed}} = 1339,6 \text{ kN}$

Wymiary fundamentu:  $B_x = 3,5 \text{ m}$ ;  $B_y = 3 \text{ m}$

Obwód kontrolny:



Rys. 9.16 Wyznaczenie obwodu kontrolnego

$$h_{sl} = 700 \text{ mm}; b_{sl} = 600 \text{ mm}; a_1 = c_{nom} + 0.5 * \phi_{pr} = 50 \text{ mm} + 0.5 * 12 \text{ mm} = 56 \text{ mm}$$

$$h_{sf} = 600 \text{ mm}; d = h_{sf} - a_1 = 600 \text{ mm} - 56 \text{ mm} = 544 \text{ mm}$$

Długość obwodu kontrolnego:  $u = 9.44 \text{ m}$

Pole obwodu kontrolnego:  $A_{cont} = 6.97 \text{ m}^2$

$$\text{Odpór gruntu: } q_r = \frac{N_{Ed}}{B_x * B_y} = \frac{1339.6 \text{ kN}}{3.5 \text{ m} * 3 \text{ m}} = 127.581 \text{ kPa}$$

$$\Delta V_{Ed} = A_{cont} * q_r = 6.97 \text{ m}^2 * 127.581 \text{ kPa} = 889.239 \text{ kN}$$

Siła przebijająca:

$$V_{Ed} = \frac{N_{Ed} - \Delta V_{Ed}}{u * d} = \frac{1339.6 \text{ kN} - 889.239 \text{ kN}}{9.44 \text{ m} * 544 \text{ mm}} = 87.698 \text{ kPa}$$

Nośność na przebicie:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \left( 100 * \rho_L * f_{ck} \right)^{\left( \frac{1}{3} \right)} * \left( \frac{2 * d}{a} \right) \geq v_{min} * \left( \frac{2 * d}{a} \right)$$



$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.4} = 0.129$$

$$k = 1 + \left( \frac{200 \text{ mm}}{d} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 1 + \left( \frac{200 \text{ mm}}{544 \text{ mm}} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 1.606$$

$$v_{\min} = 0.035 * k^{\left( \frac{3}{2} \right)} * f_{ck}^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 0.035 * 1.606^{\left( \frac{3}{2} \right)} * 30^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 0.390$$

$$\rho_L = (\rho_1 + \rho_2)^{\left( \frac{1}{2} \right)}$$

$$A_s = 26.01 \text{ cm}^2$$

$$\rho_L = \left( \left( \frac{A_s}{B_x * d} \right)^2 \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = \left( \left( \frac{26.01 \text{ cm}^2}{3.5 \text{ m} * 544 \text{ mm}} \right)^2 \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)} = 0.0014$$

$$a = 2 * d = 2 * 544 \text{ mm} = 1088 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \left( 100 * \rho_L * f_{ck} \right)^{\left( \frac{1}{3} \right)} * \left( \frac{2 * d}{a} \right) =$$

$$0.129 * 1.606 * (100 * 0.0014 * 30)^{\left( \frac{1}{3} \right)} * \left( \frac{2 * 544 \text{ mm}}{1088 \text{ mm}} \right) = 0.331 \leq v_{\min} * \left( \frac{2 * d}{a} \right) = 0.390$$

$$v_{Rd,c} = \max(V_{Rd,c}, \text{value1}) = 0.390 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed} = 87.698 \text{ kPa} = 0.0877 \text{ MPa} < v_{Rd,c1} = \max(V_{Rd,c}, \text{value1}) = 0.390 \text{ MPa}$$

Nie nastąpi przebiecie stopy fundamentowej.

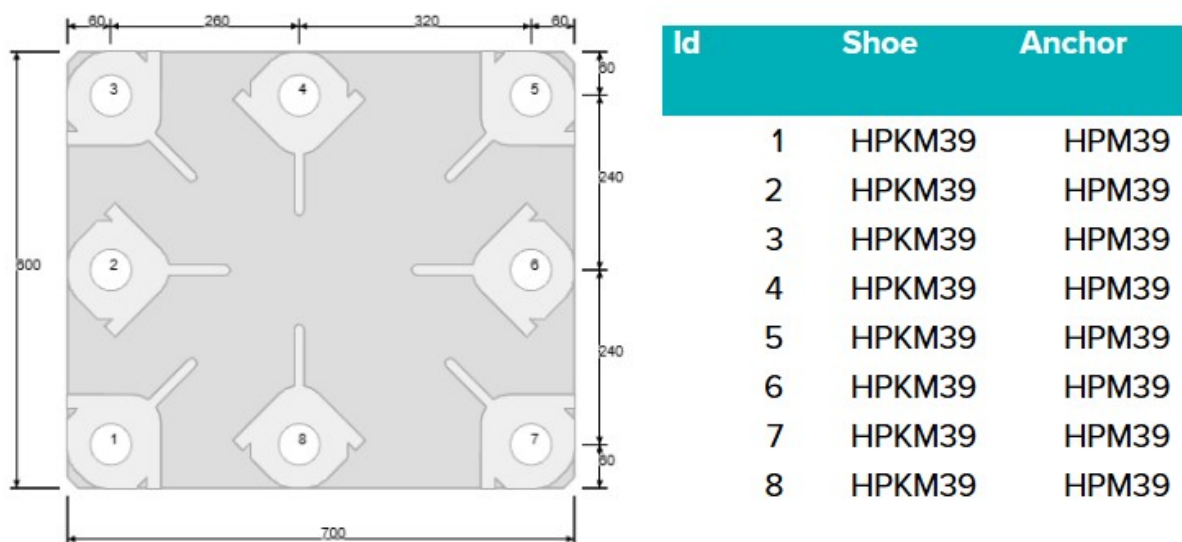
#### 9.4 Połączenie stopy ze słupem

Zaprojektowano sztywne połączenie stopy ze słupem za pomocą systemu firmy Peikko. Do obliczenia nośności połączenia wykorzystano program obliczeniowy dostarczony przez producenta Peikko Designer.

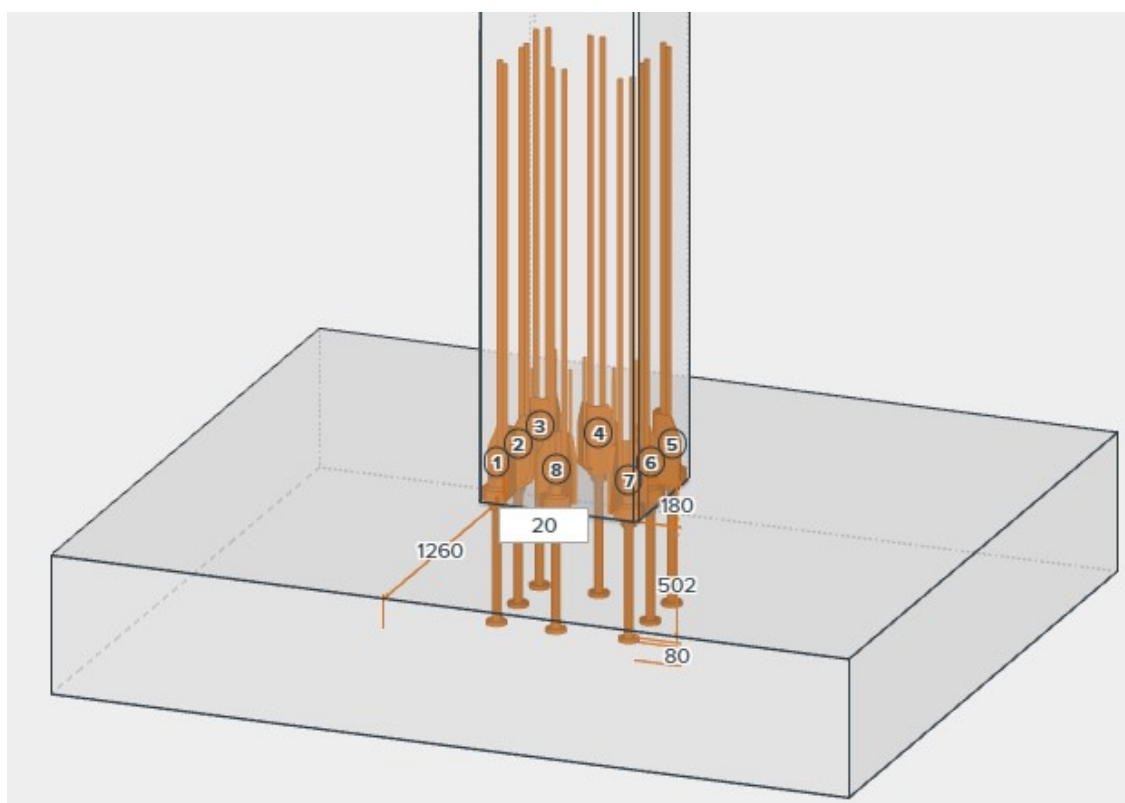
Przypadki obciążeń zadano 3 tak samo jak w przypadku obliczania stopy fundamentowej:

| LC#1            |        |       | LC#2            |         |       | LC#3            |         |       |
|-----------------|--------|-------|-----------------|---------|-------|-----------------|---------|-------|
| N <sub>d</sub>  | 864.07 | [kN]  | N <sub>d</sub>  | 1082.66 | [kN]  | N <sub>d</sub>  | 1393.63 | [kN]  |
| M <sub>xd</sub> | 0.00   | [kNm] | M <sub>xd</sub> | 0.00    | [kNm] | M <sub>xd</sub> | 0.00    | [kNm] |
| M <sub>yd</sub> | -22.70 | [kNm] | M <sub>yd</sub> | 291.90  | [kNm] | M <sub>yd</sub> | 201.70  | [kNm] |
| V <sub>xd</sub> | 0.80   | [kN]  | V <sub>xd</sub> | -37.37  | [kN]  | V <sub>xd</sub> | -36.70  | [kN]  |
| V <sub>yd</sub> | 0.00   | [kN]  | V <sub>yd</sub> | 0.00    | [kN]  | V <sub>yd</sub> | 0.00    | [kN]  |
| T <sub>d</sub>  | 0.00   | [kNm] | T <sub>d</sub>  | 0.00    | [kNm] | T <sub>d</sub>  | 0.00    | [kNm] |

Rys. 9.19 Zestawienie przypadków obciążeń dla połączenia

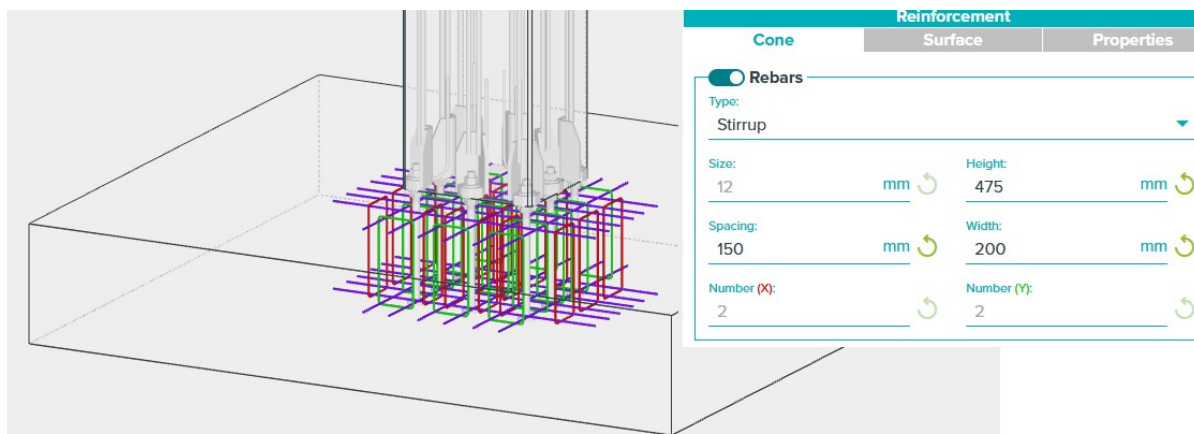


Rys. 9.20 Schemat dobranego połączenia w widoku z góry oraz zastosowane elementy



Rys. 9.21 Schemat połączenia stopy ze słupem

W celu osiągnięcia nośności w każdym przypadku konieczne było zastosowanie dodatkowego dozbrojenia stopy fundamentowej w strefie połączenia.



Rys. 9.22 Dozbrojenie stopy fundamentowej przy połączeniu ze słupem

Utilization [%]

Erection stage

Final stage

calculation id: fed60c31-db69-41b3-b677-f5ac61d22dbb

<

0 - 3 (3)

>

| Load Id | Max | Joint failure | Steel failure | Concrete failure |    |     |     |       |   |    |
|---------|-----|---------------|---------------|------------------|----|-----|-----|-------|---|----|
|         |     |               |               | Tension          |    |     |     | Shear |   |    |
|         |     |               |               |                  |    |     |     |       |   |    |
|         |     |               |               |                  |    |     |     |       |   |    |
| LC#1    | 33  | 31            | 33            | 12               | 32 | n/r | n/r | 0     | 0 | 18 |
| LC#2    | 76  | 66            | 76            | 27               | 74 | n/r | n/r | 2     | 5 | 65 |
| LC#3    | 73  | 66            | 73            | 26               | 71 | n/r | n/r | 3     | 8 | 63 |

Rys. 9.23 Wyniki z programu Peikko Designer - wykorzystanie nośności

Bibliografia:

- [1] PN-EN 1990: 2024 Eurokod: *Podstawy projektowania konstrukcji*
- [2] PN-EN 1991-1-1:2002 Eurokod 1: *Oddziaływania na konstrukcje - Część 1-1: Oddziaływania ogólne - Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenie użytkowe w budynkach*
- [3] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: *Oddziaływania na konstrukcje Część 1-3: Oddziaływania ogólne - Obciążenie śniegiem*
- [4] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: *Oddziaływania na konstrukcje Część 1-4: Oddziaływania ogólne - Oddziaływania wiatru*
- [5] PN-EN 1991-3:2009 Eurokod 1: *Oddziaływania na konstrukcje Część 3: Oddziaływania wywołane dźwignicami i maszynami*
- [6] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: *Projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*
- [7] PN-EN 1992-1-2:2008 Eurokod 2: *Projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe*
- [8] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3: *Projektowanie konstrukcji stalowych Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*
- [9] PN-B-03264:2002 *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone, obliczenia statyczne i projektowanie*
- [10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
- [11] Starosolski W. *Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002 i Eurokodu 2*, Tom 1, Warszawa, PWN, 2007
- [12] Starosolski W. *Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002 i Eurokodu 2*, Tom 3, Warszawa, PWN, 2007
- [13] Gołdyn M., Krawczyk Ł., Urban T., *Przykłady projektowania żelbetowych wsporników*, Zeszyt 2, Łódź, Politechnika Łódzka, 2021
- [14] Katalog techniczny firmy BalexMetal
- [15] Katalog firmy Blachy Pruszyński
- [16] Katalog firmy Pekabex
- [17] Katalog firmy Consolis - dźwigar dachowy
- [18] Katalog firmy Abus
- [19] Katalog firmy Tricosal
- [20] Katalog firmy Consolis - płyty TT
- [21] Katalog firmy Pfeifer
- [22] Golubińska A., Knauff M., Knyziak P. *Tablice i wzory do projektowania konstrukcji żelbetowych z przykładami obliczeń*, Warszawa, PWN, 2013
- [23] <https://boltedconnection.peikkodesigner.com/design>

## Załącznik1. Kombinacje dla SGN

[illegible]





























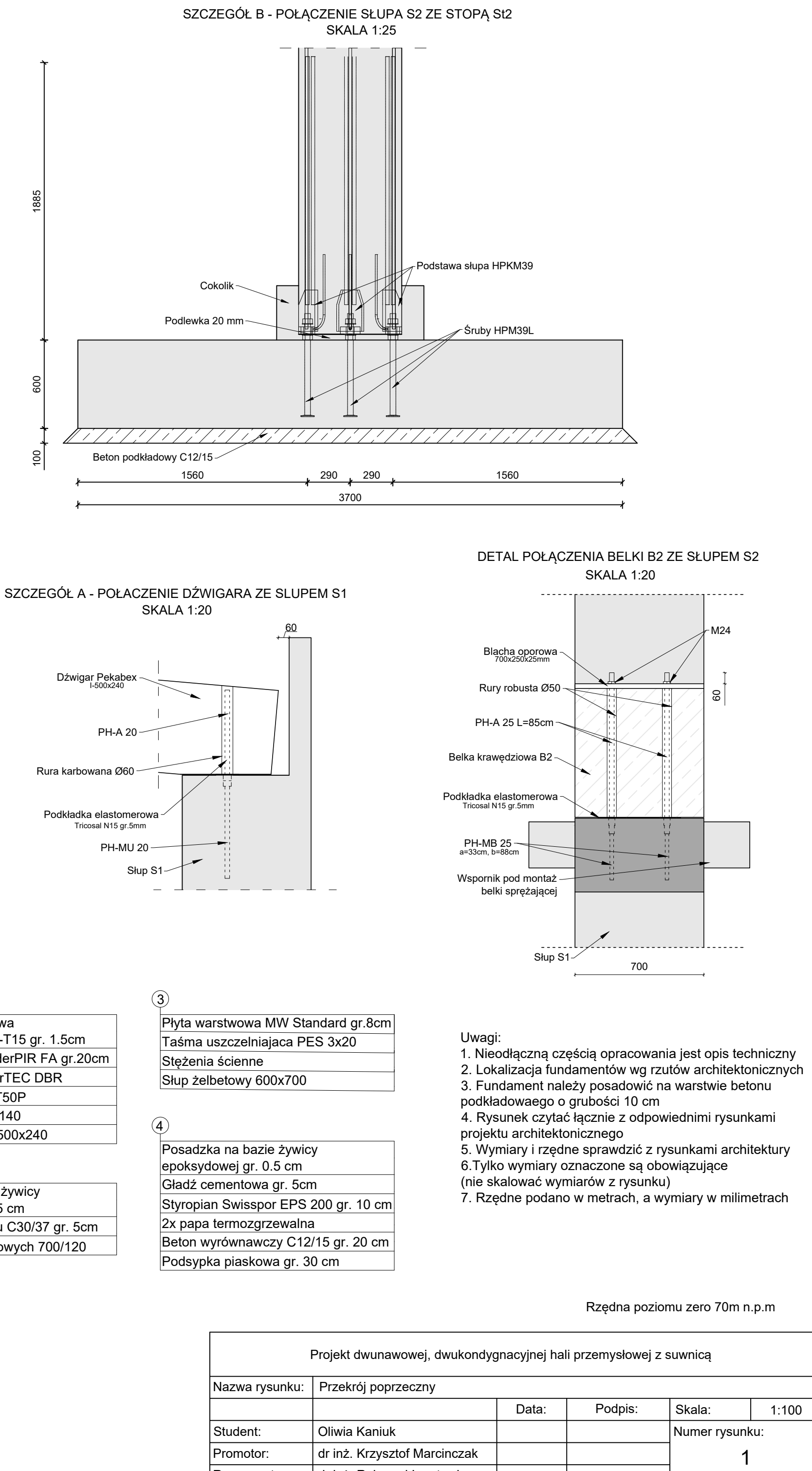












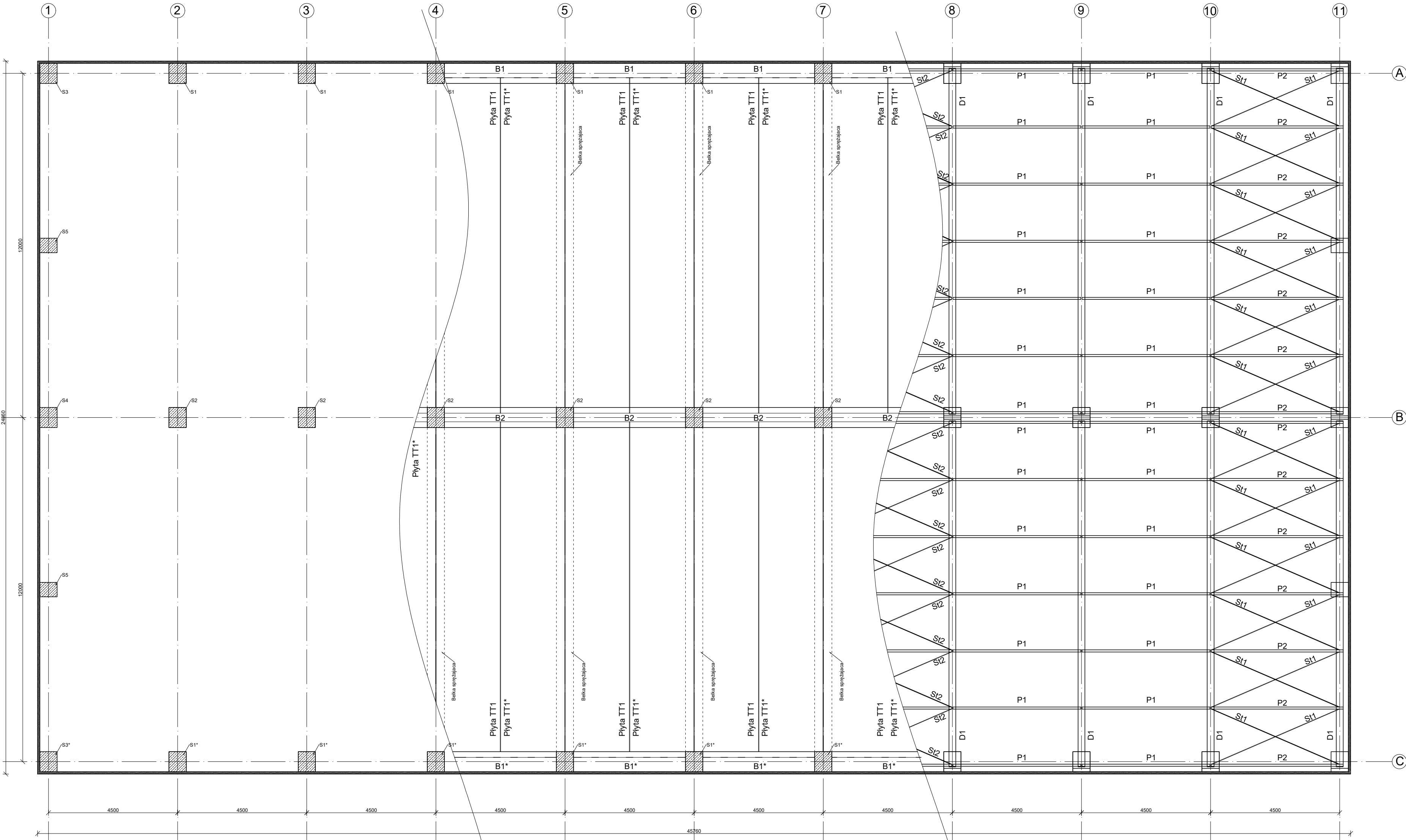
|                                                                   |                              |       |         |                                |       |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|---------|--------------------------------|-------|
| Projekt dwunawowej, dwukondygnacyjnej hali przemysłowej z suwnicą |                              |       |         |                                |       |
| Nazwa rysunku:                                                    | Przekrój poprzeczny          | Data: | Podpis: | Skala:                         | 1:100 |
| Student:                                                          | Oliwia Kaniuk                |       |         | Numer rysunku:<br><br><b>1</b> |       |
| Promotor:                                                         | dr inż. Krzysztof Marcinczak |       |         |                                |       |
| Recenzent:                                                        | dr inż. Rajmund Ignatowicz   |       |         |                                |       |



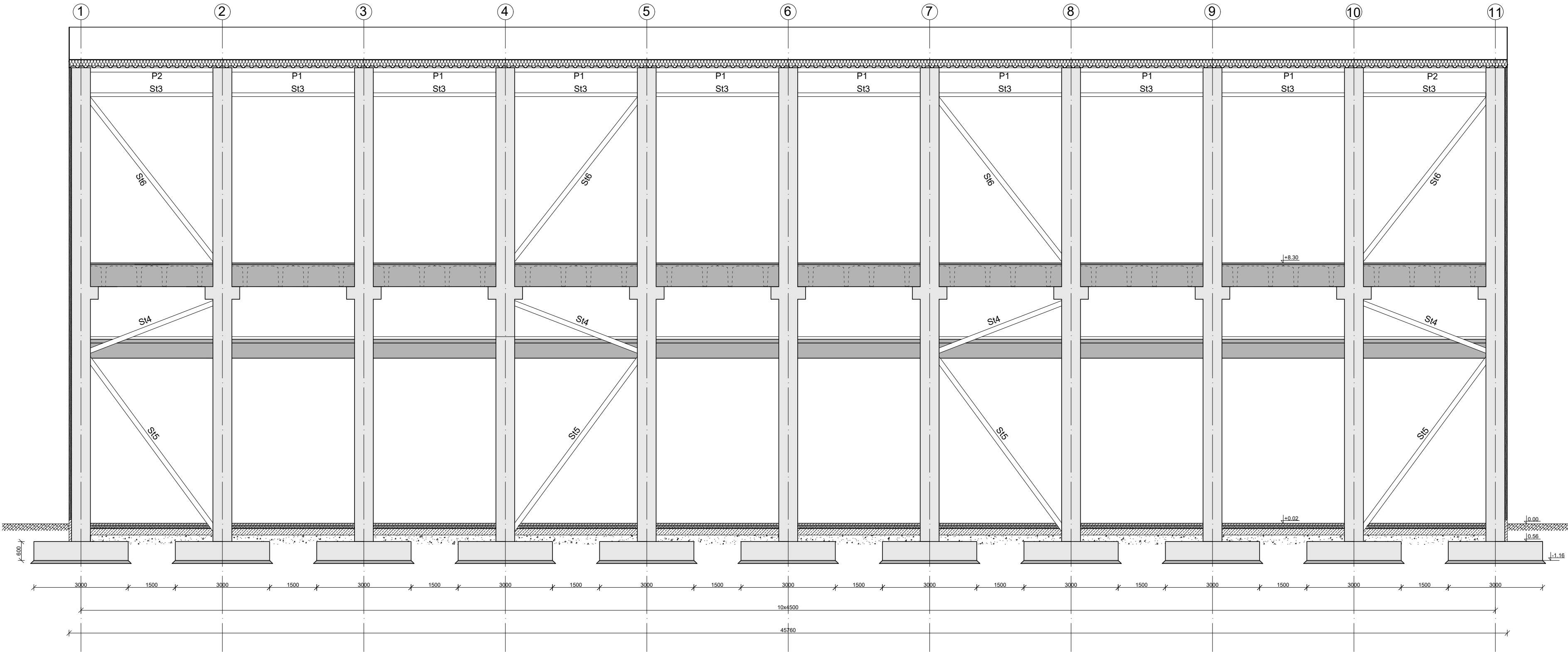
RZUT PARTERU - SKALA 1:100

RZUT PIĘTRA - SKALA 1:100

RZUT DACHU - SKALA 1:100



WIDOK Z BOKU - SKALA 1:100



Oznaczenia:

S1 - Słup żelbetonowy o wymiarach przekroju 700x600mm i wysokości 15270 mm  
S1\* - Odbicie lustrzane słupa S1  
S2 - Słup żelbetonowy o wymiarach przekroju 700x600mm i wysokości 16330 mm  
S3 - Słup żelbetonowy o wymiarach przekroju 700x600mm i wysokości 15270 mm  
S4 - Słup żelbetonowy o wymiarach przekroju 700x600mm i wysokości 16330 mm  
S5 - Słup żelbetonowy o wymiarach przekroju 500x600mm

B1 - Belka krawędziowa o kształcie litery L  
B1\* - Odbicie lustrzane belki B1  
B2 - Belka krawędziowa o kształcie odwróconej litery T o przekroju 700x700mm

BP1 - Belka podsuwnicowa o przekroju w kształcie litery T o wymiarach 550x600mm  
Płyta TT1 - Płyta stropowa TT o szerokości 2230mm i długości 11700mm  
Płyta TT1\* - Odbicie lustrzane Płyty TT1

D1 - Dźwigar dachowy Pekabex I-500x240

P1 - Płatek stalowa IPE140 o długości 4450 mm  
P2 - Płatek stalowa IPE 140 o długości 4600 mm

St1 - Stężenie z rury pełnej Ø16 o długości 4840 mm  
St2 - Stężenie z rury pełnej Ø16 o długości 4830 mm  
St3 - Stężenie z rury kwadratowej RK 120x5mm o długości 3900mm  
St4 - Stężenie z rury kwadratowej RK 160x6mm o długości 4180mm  
St5 - Stężenie z rury kwadratowej RK 160x6mm o długości 6580mm  
St6 - Stężenie z rury kwadratowej RK 160x6mm o długości 6330mm

Uwagi:

1. Nieodłączną częścią opracowania jest opis techniczny  
2. Lokalizacja fundamentów wg rzutów architektonicznych  
3. Fundament należy posadowić na warstwie betonu podkładowego o grubości 10 cm  
4. Rysunek czytać łącznie z odpowiednimi rysunkami projektu architektonicznego  
5. Wymiary i rzędne sprawdzić z rysunkami architektury  
6. Tylko wymiary oznaczone są obowiązujące (nie skalować wymiarów z rysunku)  
7. Rzędne podano w metrach, a wymiary w milimetrach

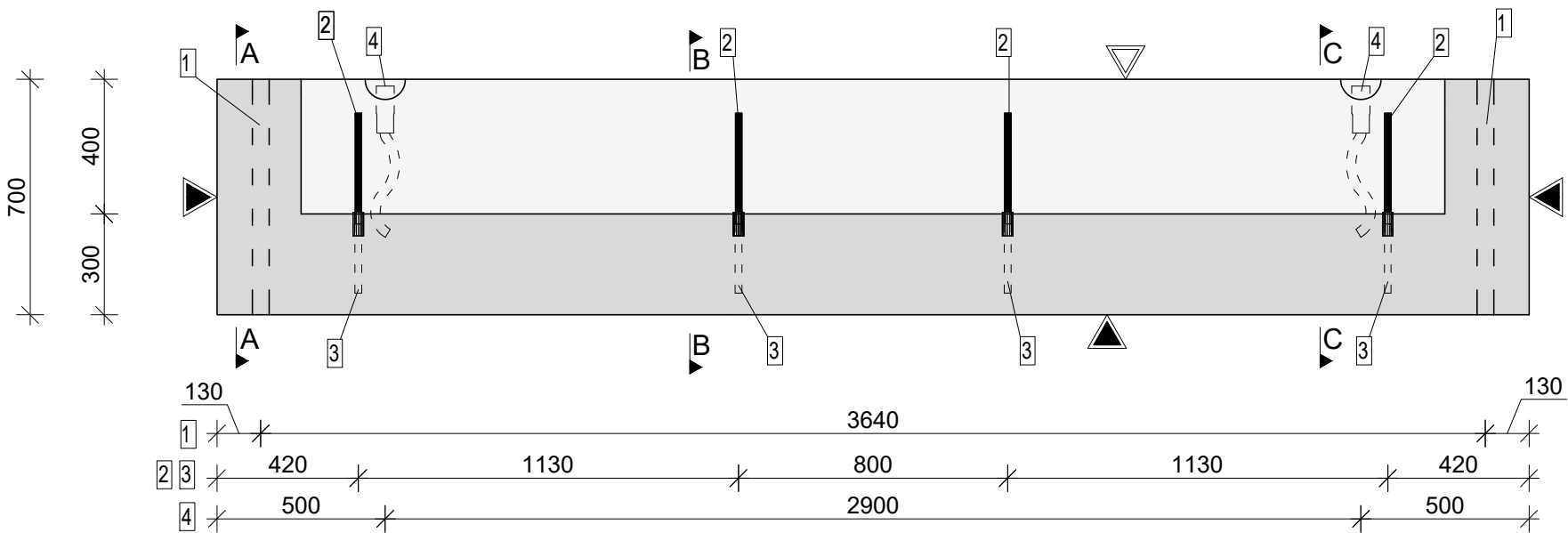
Projekt dwunawowej, dwukondygnacyjnej hali przemysłowej z suwnicą

|                |                                                |       |         |                     |       |
|----------------|------------------------------------------------|-------|---------|---------------------|-------|
| Nazwa rysunku: | Rzut parteru, piętra oraz dachu i widok z boku |       |         |                     |       |
| Student:       | Olivia Kaniuk                                  | Data: | Podpis: | Skala:              | 1:100 |
| Promotor:      | dr inż. Krzysztof Marcinczak                   |       |         | Numer rysunku:<br>2 |       |
| Recenzent:     | dr inż. Rajmund Ignatowicz                     |       |         |                     |       |

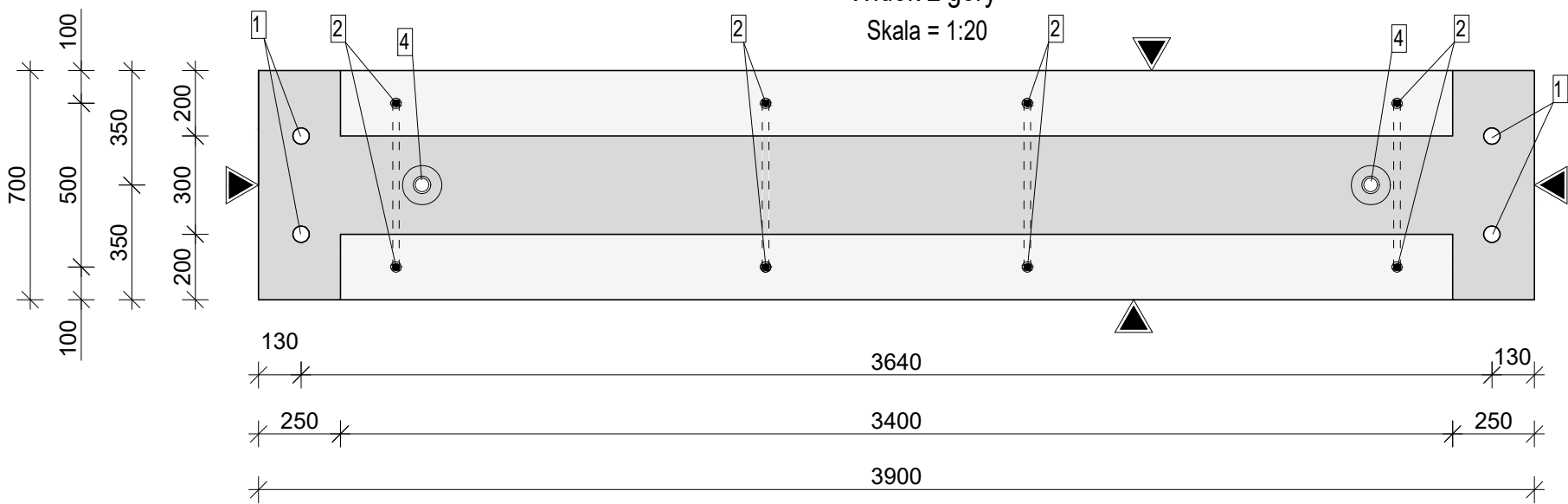


Rysunek szalunkowy

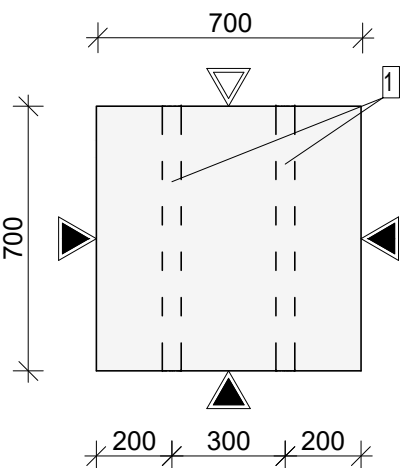
Widok z boku  
Skala = 1:20



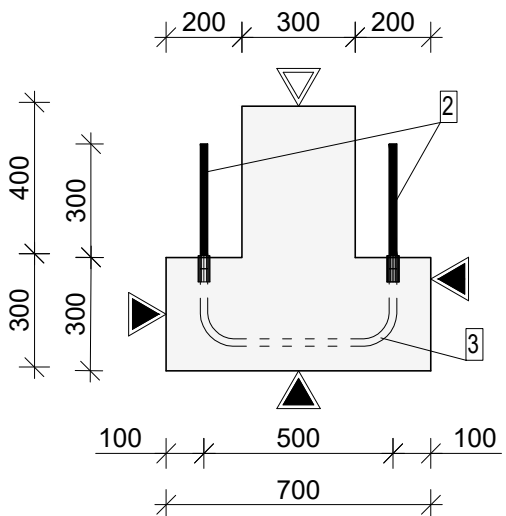
Widok z góry  
Skala = 1:20



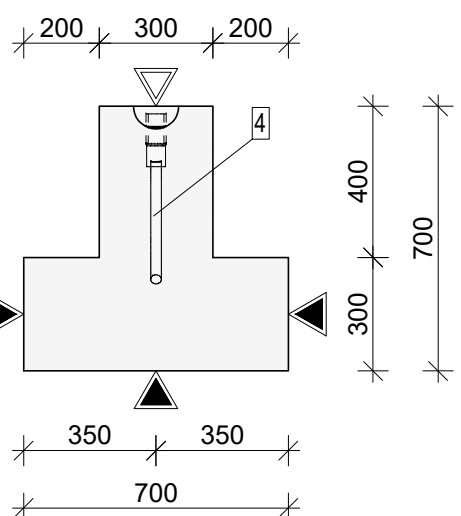
Przekrój A-A  
Skala = 1:20



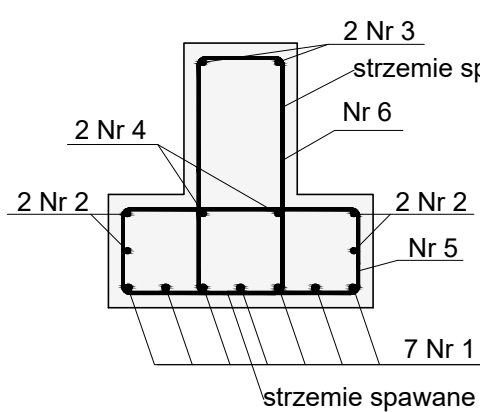
Przekrój B-B  
Skala = 1:20



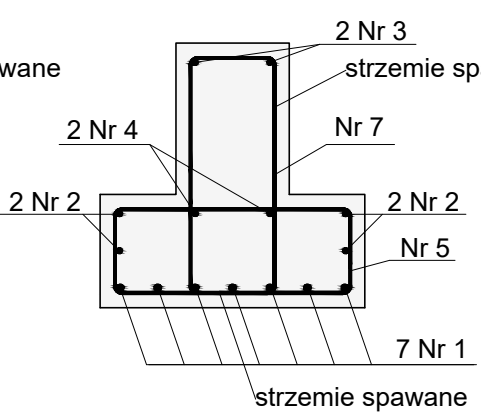
Przekrój C-C  
Skala = 1:20



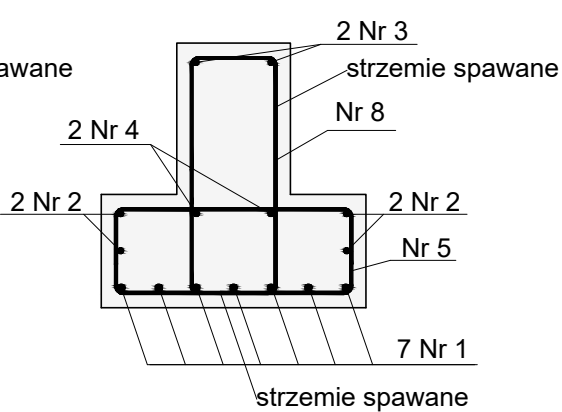
Przekrój D-D  
Skala = 1:20



Przekrój E-E  
Skala = 1:20

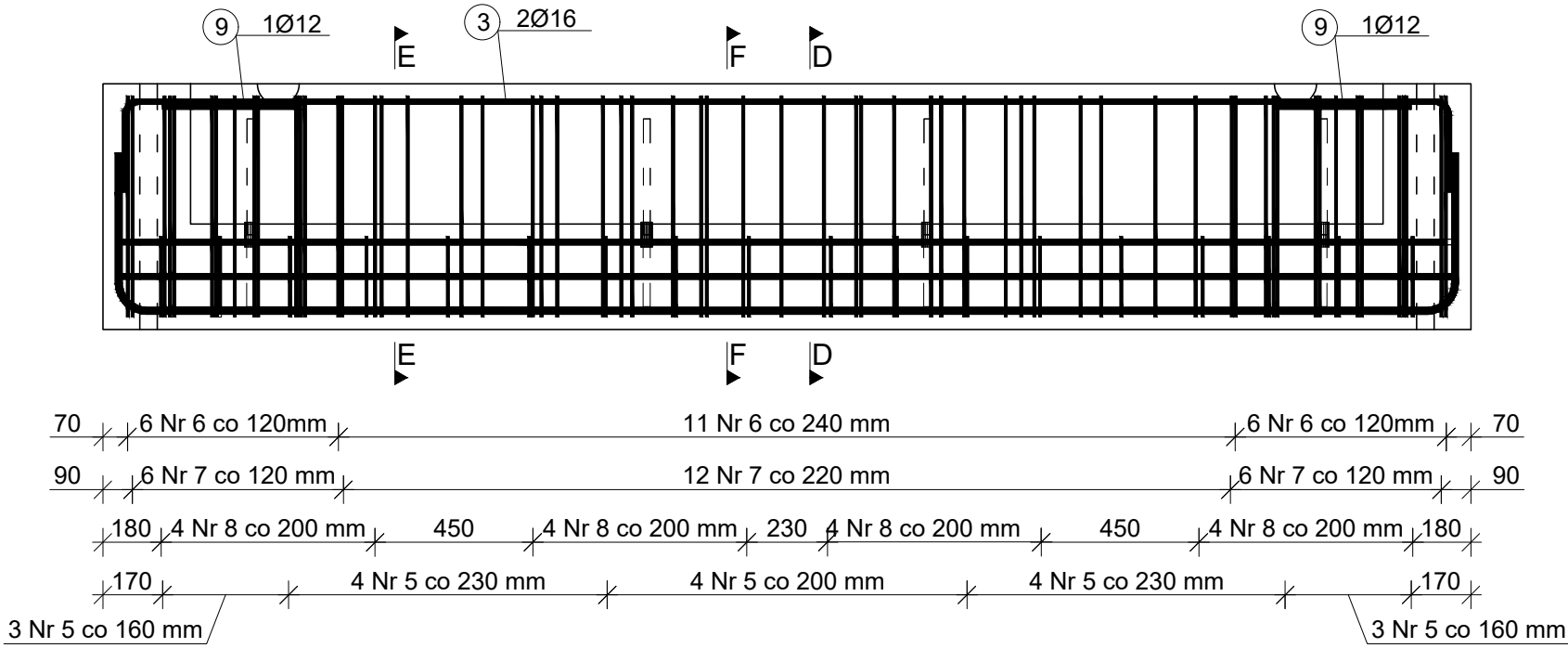


Przekrój F-F  
Skala = 1:20

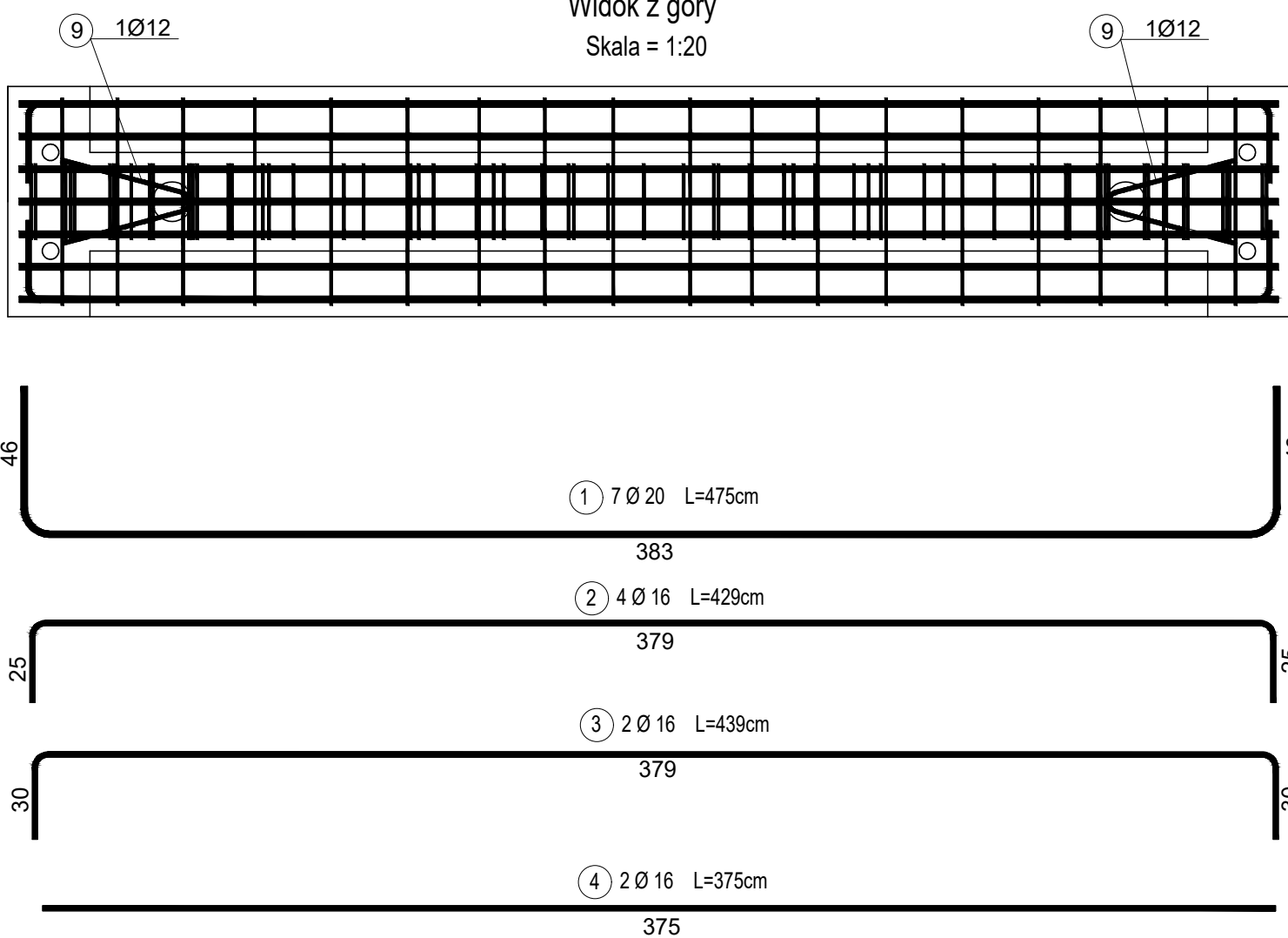


Rysunek zbrojeniowy

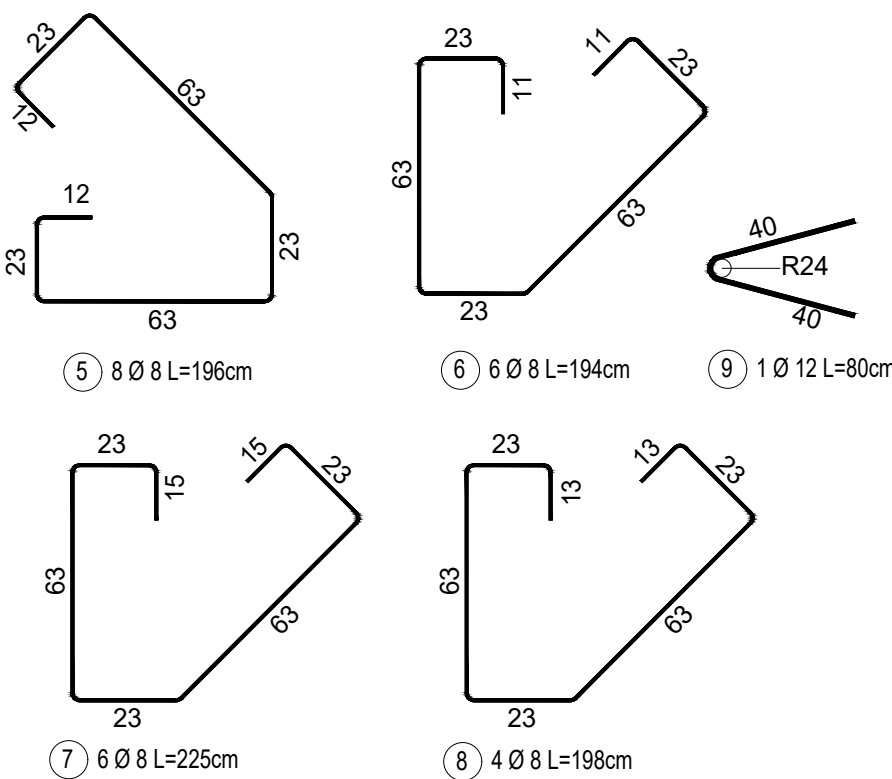
Widok z boku  
Skala = 1:20



Widok z góry  
Skala = 1:20



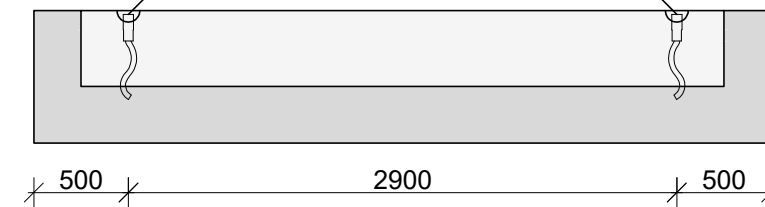
Wszystkie strzemięna wykonać spawane



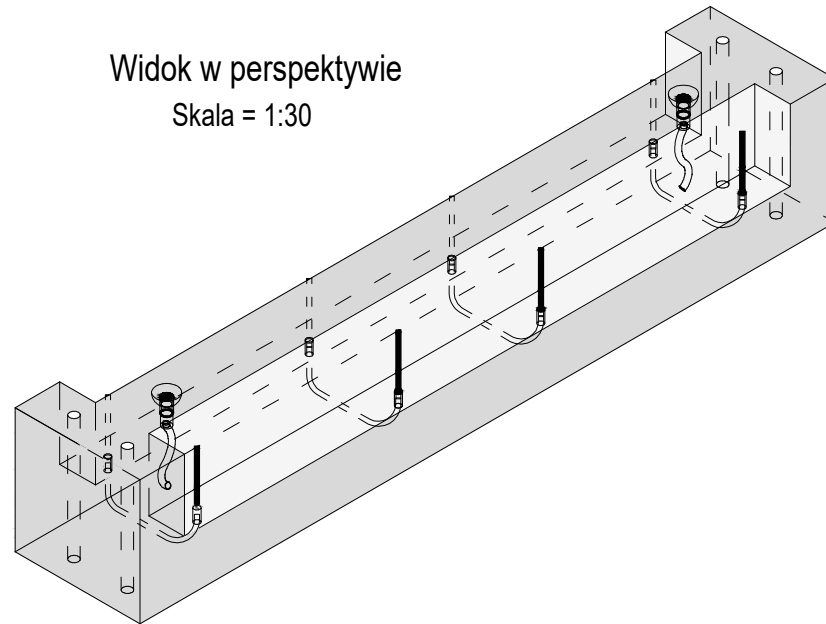
| CHARAKTERYSTYKA ELEMENTU |                   |
|--------------------------|-------------------|
| Nazwa                    | B2                |
| Liczba elementów         | 10                |
| Odporność p.poż          | REI60             |
| Beton                    | C30/37            |
| Stal zbrojeniowa         | B500 SP           |
| Sposób wyk. Pow.         | Zatarta na gładko |
| Długość                  | 3,9 m             |
| Objętość                 | 1,29 m3           |
| Masa elementu            | 3,22 t            |
| Klasa ekspozycji         | XC3               |
| Otulina                  | 35 mm             |
| Maks. wymiar kruszywa    | 16 mm             |
| Dokładność wykonania     | 10 mm             |

| ZESTAWIENIE AKCESORIÓW DODATKOWYCH |                                  |                  |              |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------|
| Poz.                               | Opis elementu                    | Nr. Kat.         | Ilość [szt.] |
| 1                                  | Rura robusta $\Phi 50/56$ L=0.7m | -                | 4            |
| 2                                  | PH-A 20 L= 32 cm                 | 05.321.202.040   | 8            |
| 3                                  | PH-MB 20 a=23 cm, b=50 cm        | 05.322.202       | 8            |
| 4                                  | Hak kulkowy WK 6.3               | 05.185.063.570.2 | 2            |

Schemat podnoszenia  
Skala 1:40



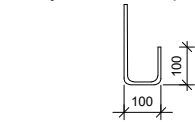
Widok w perspektywie  
Skala = 1:30



| ZESTAWIENIE STALI ZBROJENIOWEJ - BELKA KRAWĘDZIOWA B2 (10 szt) |          |         |        |                   |           |           |           |
|----------------------------------------------------------------|----------|---------|--------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| POZ.                                                           | Średnica | Długość | Ilość  | Długość całkowita |           |           |           |
|                                                                |          |         |        | $\Phi 8$          | $\Phi 12$ | $\Phi 16$ | $\Phi 20$ |
|                                                                | [mm]     | [m]     | [szt.] | [m]               | [m]       | [m]       | [m]       |
| 1                                                              | 20       | 4,75    | 7      |                   |           |           | 33,25     |
| 2                                                              | 16       | 4,29    | 4      |                   |           | 17,16     |           |
| 3                                                              | 16       | 4,39    | 2      |                   |           | 8,78      |           |
| 4                                                              | 16       | 3,75    | 2      |                   |           | 7,50      |           |
| 5                                                              | 8        | 1,96    | 18     | 35,28             |           |           |           |
| 6                                                              | 8        | 1,94    | 23     | 44,62             |           |           |           |
| 7                                                              | 8        | 2,25    | 24     | 54,00             |           |           |           |
| 8                                                              | 8        | 1,98    | 16     | 31,68             |           |           |           |
| 9                                                              | 12       | 0,80    | 2      |                   | 1,60      |           |           |
| Długość ogólna według średnic [m]                              |          |         |        | 165,58            | 1,60      | 33,44     | 33,25     |
| Masa 1mb pręta [kg/mb]                                         |          |         |        | 0,39              | 0,89      | 1,58      | 2,47      |
| Masa prętów wg średnic w elemencie [kg]                        |          |         |        | 64,58             | 1,42      | 52,84     | 82,13     |
| Masa prętów w elemencie [kg]                                   |          |         |        | 200,96            |           |           |           |
| Ilość elementów [szt.]                                         |          |         |        | 10                |           |           |           |
| Masa prętów wg średnic [kg]                                    |          |         |        | 645,76            | 14,24     | 528,35    | 821,275   |
| Masa całkowita prętów [kg]                                     |          |         |        | 2009,63           |           |           |           |

UWAGI:

1. Nieodłączną częścią opracowania jest opis techniczny
2. Wymiary i rzędne sprawdzać z rysunkami architektury
3. Tylko wymiary oznaczone są obowiązujące (nie skalować wymiarów z rysunku)
4. Wymiary na widokach i przekrojach podano w milimetrach, wymiary prętów podano w centymetrach
5. Wszystkie strzemięna wykonać spawane
6. Średnice gięcia prętów wg. p.8.3 normy PN-EN 1992-1-1
7. Wymiarowanie prętów według wymiarów zewnętrznych



8. Oznaczenia

▲ - Strona szalunkowa

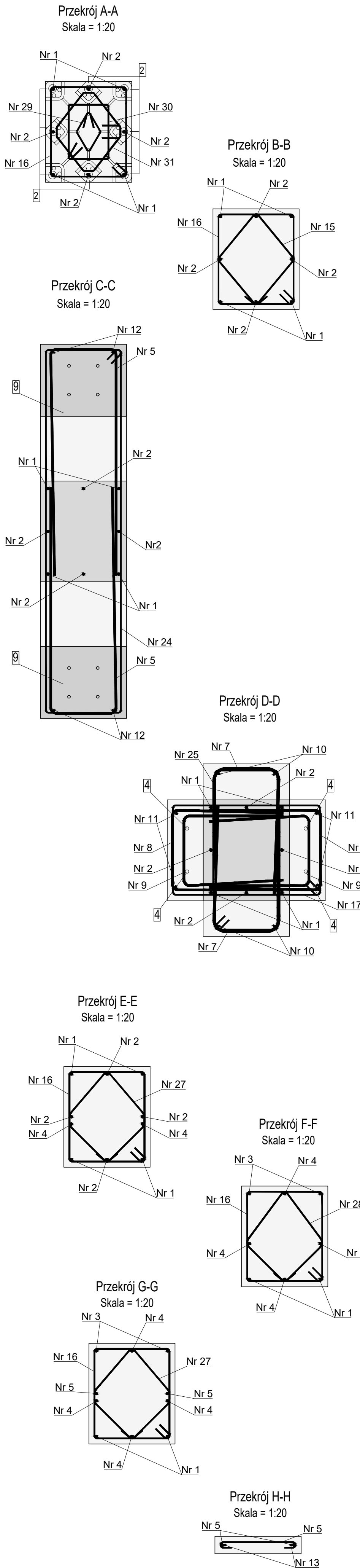
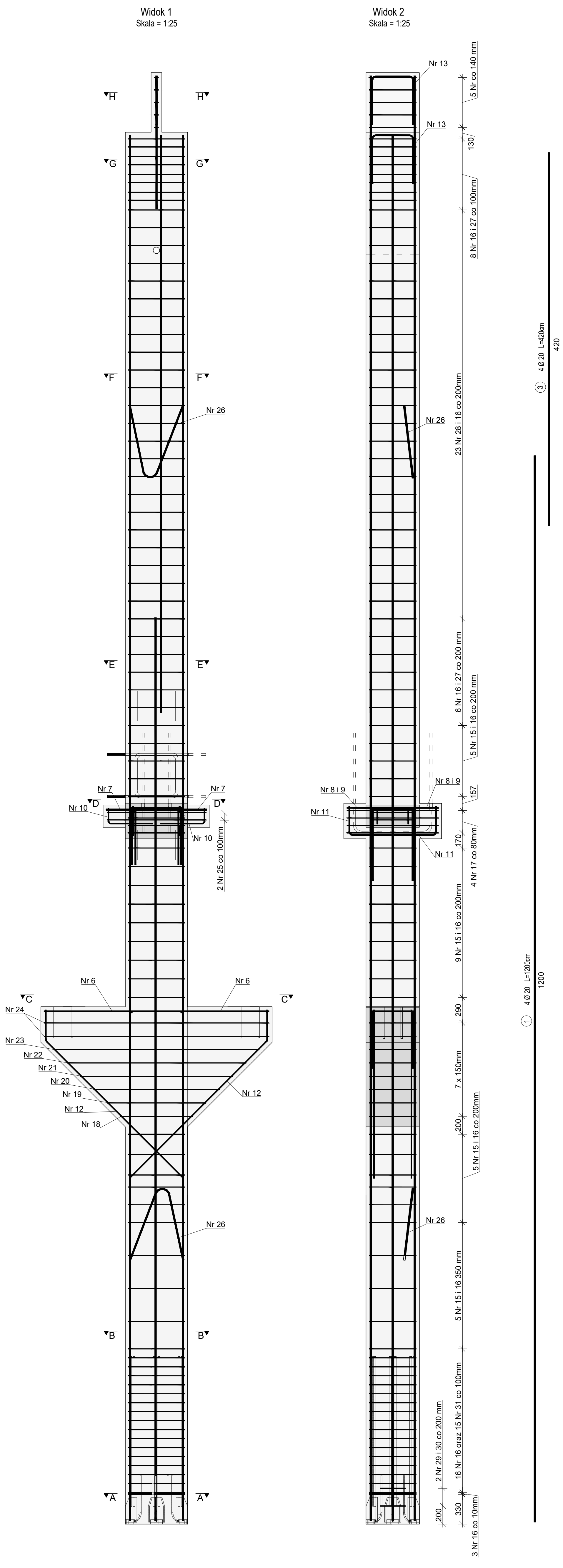
△ - Strona zacierana

Projekt dwunawowej, dwukondygnacyjnej hali przemysłowej z suwnicą

|                |                                          |                  |         |             |
|----------------|------------------------------------------|------------------|---------|-------------|
| Nazwa rysunku: | Projekt wykonawczy belki krawędziowej B2 |                  |         |             |
| Student:       | Oliwia Kaniuk                            | Data:            | Podpis: | Skala: 1:20 |
| Promotor:      | dr inż. Krzysztof Marcinczak             | Numer rysunku: 3 |         |             |
| Recenzent:     | dr inż. Rajmund Ignatowicz               |                  |         |             |



### Rysunek zbrojeniowy



| POZ                                     | Średnica<br>[mm] | Długość<br>[m] | Ilość<br>[szt] | Długość cat [m] |            |            |            |
|-----------------------------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|------------|------------|------------|
|                                         |                  |                |                | φ8<br>[m]       | φ12<br>[m] | φ16<br>[m] | φ20<br>[m] |
| 1                                       | 20               | 12,00          | 4              |                 |            |            | 48,00      |
| 2                                       | 20               | 10,20          | 4              |                 |            |            | 40,80      |
| 3                                       | 20               | 4,20           | 4              |                 |            |            | 16,80      |
| 4                                       | 20               | 6,50           | 4              |                 |            |            | 26,00      |
| 5                                       | 20               | 1,50           | 2              |                 |            |            | 3,00       |
| 6                                       | 16               | 4,93           | 2              |                 |            | 9,86       |            |
| 7                                       | 20               | 3,85           | 2              |                 |            |            | 7,70       |
| 8                                       | 16               | 3,43           | 2              |                 |            |            |            |
| 9                                       | 16               | 3,20           | 2              |                 |            |            |            |
| 10                                      | 12               | 0,83           | 4              |                 | 3,32       |            |            |
| 11                                      | 12               | 0,96           | 4              |                 |            |            | 3,84       |
| 12                                      | 12               | 2,94           | 4              |                 | 11,76      |            |            |
| 13                                      | 16               | 1,57           | 4              |                 |            |            | 6,28       |
| 14                                      | 8                | 0,69           | 5              | 3,45            |            |            |            |
| 15                                      | 8                | 1,88           | 24             | 45,12           |            |            |            |
| 16                                      | 8                | 2,54           | 80             | 203,20          |            |            |            |
| 17                                      | 8                | 3,54           | 4              | 14,16           |            |            |            |
| 18                                      | 8                | 2,90           | 1              | 2,90            |            |            |            |
| 19                                      | 8                | 3,50           | 1              | 3,50            |            |            |            |
| 20                                      | 8                | 4,11           | 1              | 4,11            |            |            |            |
| 21                                      | 8                | 4,71           | 1              | 4,71            |            |            |            |
| 22                                      | 8                | 5,31           | 1              | 5,31            |            |            |            |
| 23                                      | 8                | 5,90           | 1              | 5,90            |            |            |            |
| 24                                      | 8                | 6,54           | 2              | 12,89           |            |            |            |
| 25                                      | 8                | 3,33           | 2              | 6,66            |            |            |            |
| 26                                      | 20               | 1,70           | 2              |                 |            |            | 3,40       |
| 27                                      | 8                | 1,98           | 14             | 27,72           |            |            |            |
| 28                                      | 8                | 1,94           | 23             | 44,62           |            |            |            |
| 29                                      | 8                | 0,86           | 2              | 1,72            |            |            |            |
| 30                                      | 8                | 1,98           | 2              | 3,96            |            |            |            |
| 31                                      | 8                | 1,78           | 15             | 26,70           |            |            |            |
| Długość ogólna według średnic [m]       |                  |                |                | 415,62          | 15,08      | 33,24      | 145,70     |
| Masa 1mb pręta [kg/mb]                  |                  |                |                | 0,39            | 0,89       | 1,58       | 2,47       |
| Masa prętów wg średnic w elemencie [kg] |                  |                |                | 162,09          | 13,42      | 52,52      | 359,88     |
| Masa prętów w elemencie [kg]            |                  |                |                | 587,91          |            |            |            |
| Ilość elementów [szt]                   |                  |                |                | 9               |            |            |            |
| Masa prętów wg średnic [kg]             |                  |                |                | 1458,83         | 120,79     | 472,67     | 3238,91    |
| Masa całkowita prętów [kg]              |                  |                |                | 5291,20         |            |            |            |

| ZESTAWIENIE AKCESORIÓW DODATKOWYCH DO 1 SŁUPA 2 |                                                                     |                  |       |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|-------|
| Poz                                             | Opis elementu                                                       | Nr. Kat          | Ilość |
|                                                 |                                                                     |                  | [szt] |
| 1                                               | Hak kulowy WK 20 x 0                                                | 05 185 053.570.2 | 2     |
| 2                                               | Podstawa słupa HKM39                                                | -                | 2     |
| 3                                               | Rura stalowa RO 80xL=60cm                                           | -                | 1     |
| 4                                               | PH-MB 25 a=33cm, b=88cm                                             | 05 322.252.4     | 4     |
|                                                 | Zestaw P1 (Pręt gwintowany + nakrętka + podkładka = blacha oporowa) | -                | 4     |
| 6                                               | PGS 36/H2-B Sonder, L=1450 mm                                       | 05 337.362.2     | 4     |
| 7                                               | PH-MU 20 L= 57cm                                                    | 05 320.022.128   | 4     |
| 8                                               | PH-A 20 L=40cm                                                      | 05 321.0222.128  | 4     |
| 9                                               | Marka stalowa M1 - 500x600x15mm, preł Ø20 di 350mm                  | -                | 2     |
| 10                                              | Marka stalowa M2 - 200x200x12mm, preł Ø20 di 700mm                  | -                | 1     |

| CHARAKTERYSTYKA ELEMENTU |                    |
|--------------------------|--------------------|
| Nazwa                    | S2                 |
| Liczba elementów         | 9                  |
| Odporność p.poz          | REI/60             |
| Beton                    | C30/37             |
| Stal zbrojeniowa         | B 500 SP           |
| Sposób wyk. Pow.         | Zatarata na gładko |
| Długość                  | 16,33 m            |
| Objętość                 | 7,83 m3            |
| Masa elementu            | 19,58 t            |
| Klasa ekspozycji         | XC3                |
| Grubość                  | 35 mm              |
| Maks. wymiar kruszywa    | 16 mm              |
| Dokładność wykonania     | 10 mm              |

UWAGI:

1. Nieodłączną częścią opracowania jest opis techniczny
2. Wymiary i rzędne sprawdzać z rysunkami architektury
3. Tylko wymiary oznaczone są obowiązujące (nie skalować z rysunku)
4. Wymiary na widokach i przekrojach podano w milimetrach  
wymiary prętów podano w centymetrach
5. Średnice gęcia prętów wg. p.8.3 normy PN-EN 1992-1-1
6. Wymiarowanie prętów według wymiarów zewnętrznych

7. Oznaczenia

 - Strona szalunkowa

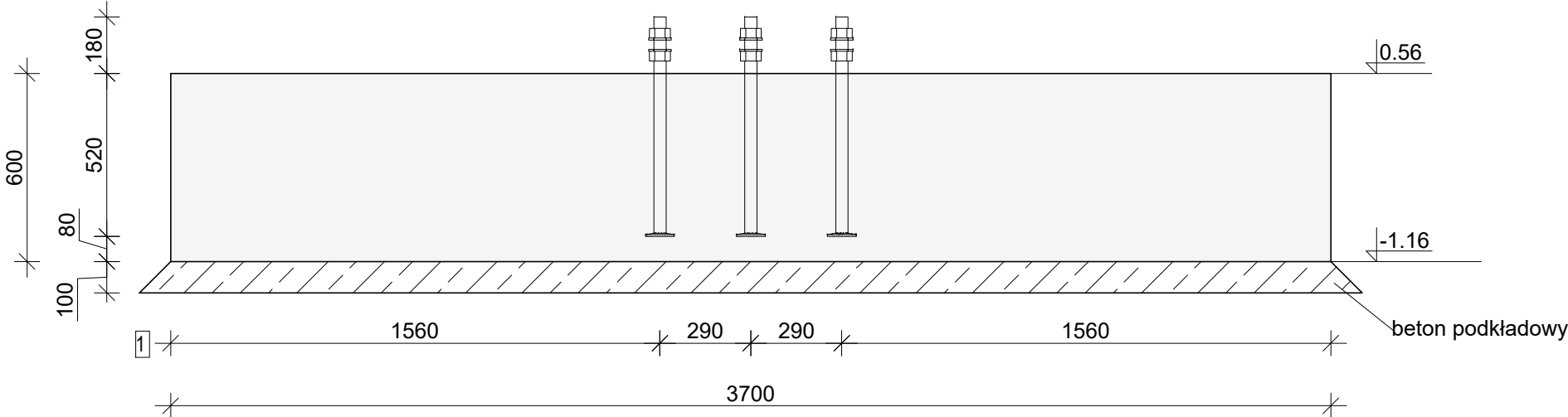
 - Strona zacierana

|                                                                  |                              |       |         |                                |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|---------|--------------------------------|
| Projekt dwunawowej, dwukondygnacyjnej hal przemysłowej z suwnica |                              |       |         |                                |
| Nazwa rysunku:                                                   | Projekt wykonawczy słupa S2  |       |         |                                |
|                                                                  |                              | Data: | Podpis: | Skala: 1:25                    |
| Student:                                                         | Olivia Kaniuk                |       |         | Numer rysunku:<br><br><b>4</b> |
| Promotor:                                                        | dr inż. Krzysztof Marcinczak |       |         |                                |
| Recenzent:                                                       | dr inż. Rajmund Ignatowicz   |       |         |                                |

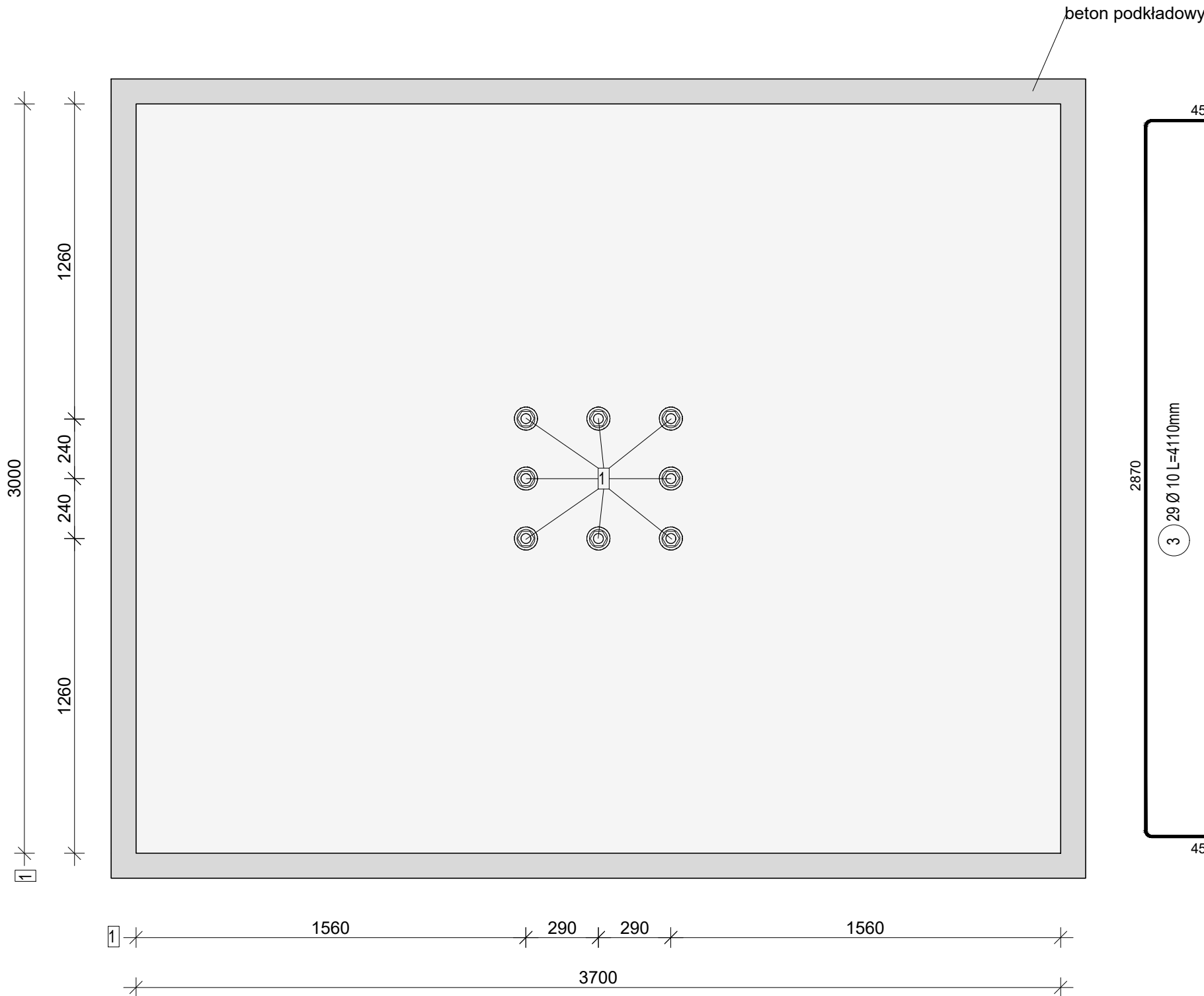


Rysunek szalunkowy

Widok z boku  
Skala 1:20

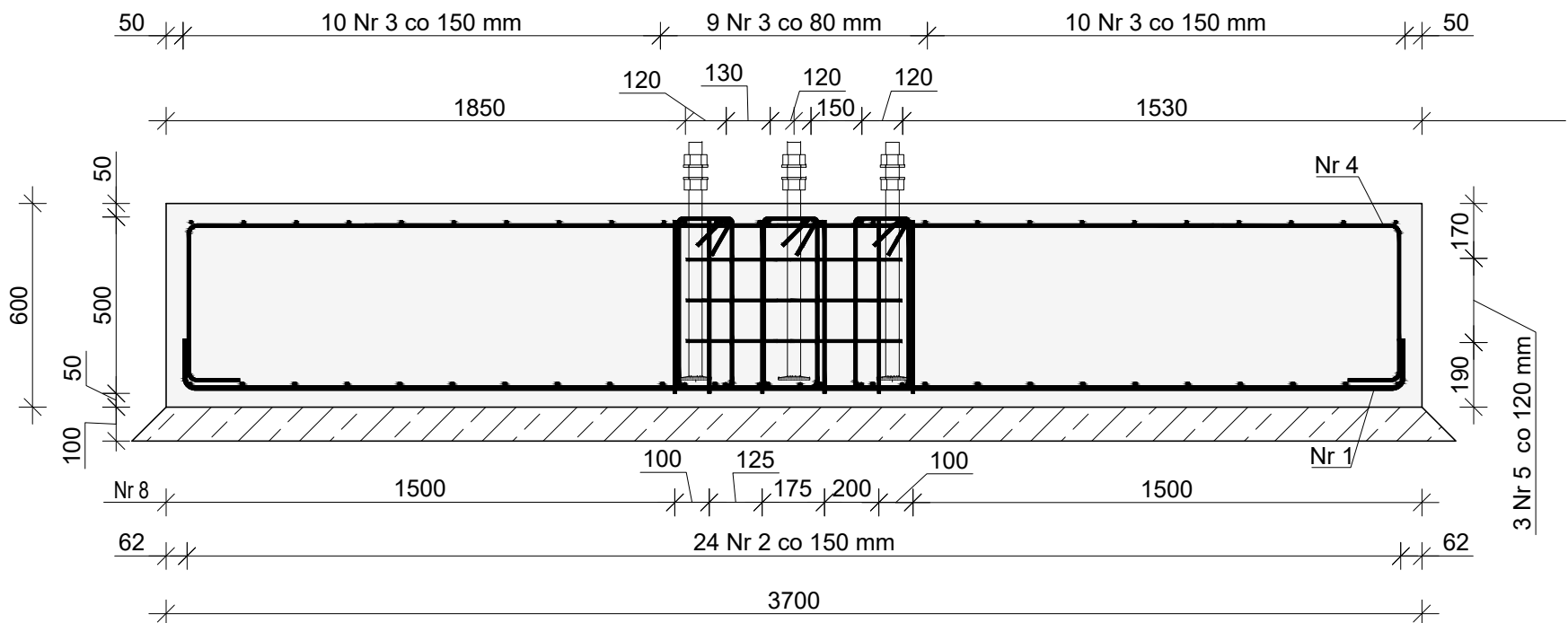


Widok z góry  
Skala 1:20

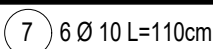
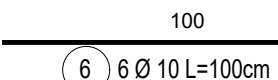
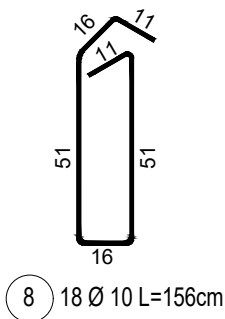
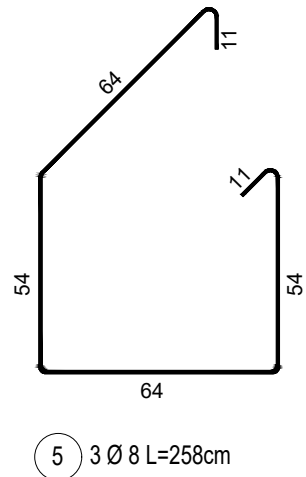
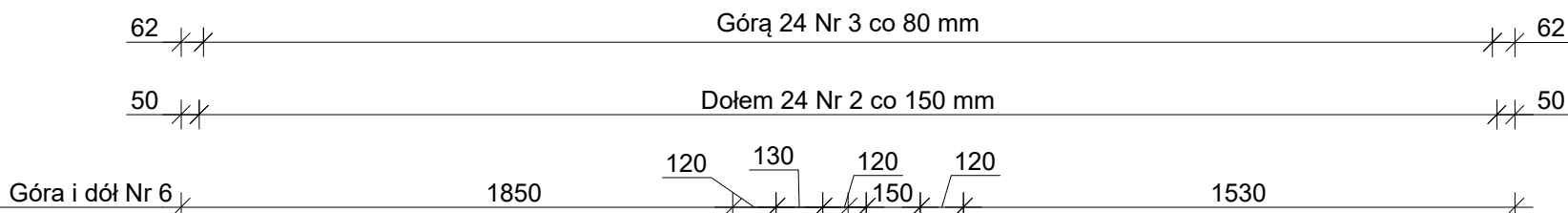


Rysunek zbrojeniowy

Widok z boku  
Skala 1:20



Widok z góry  
Skala 1:20

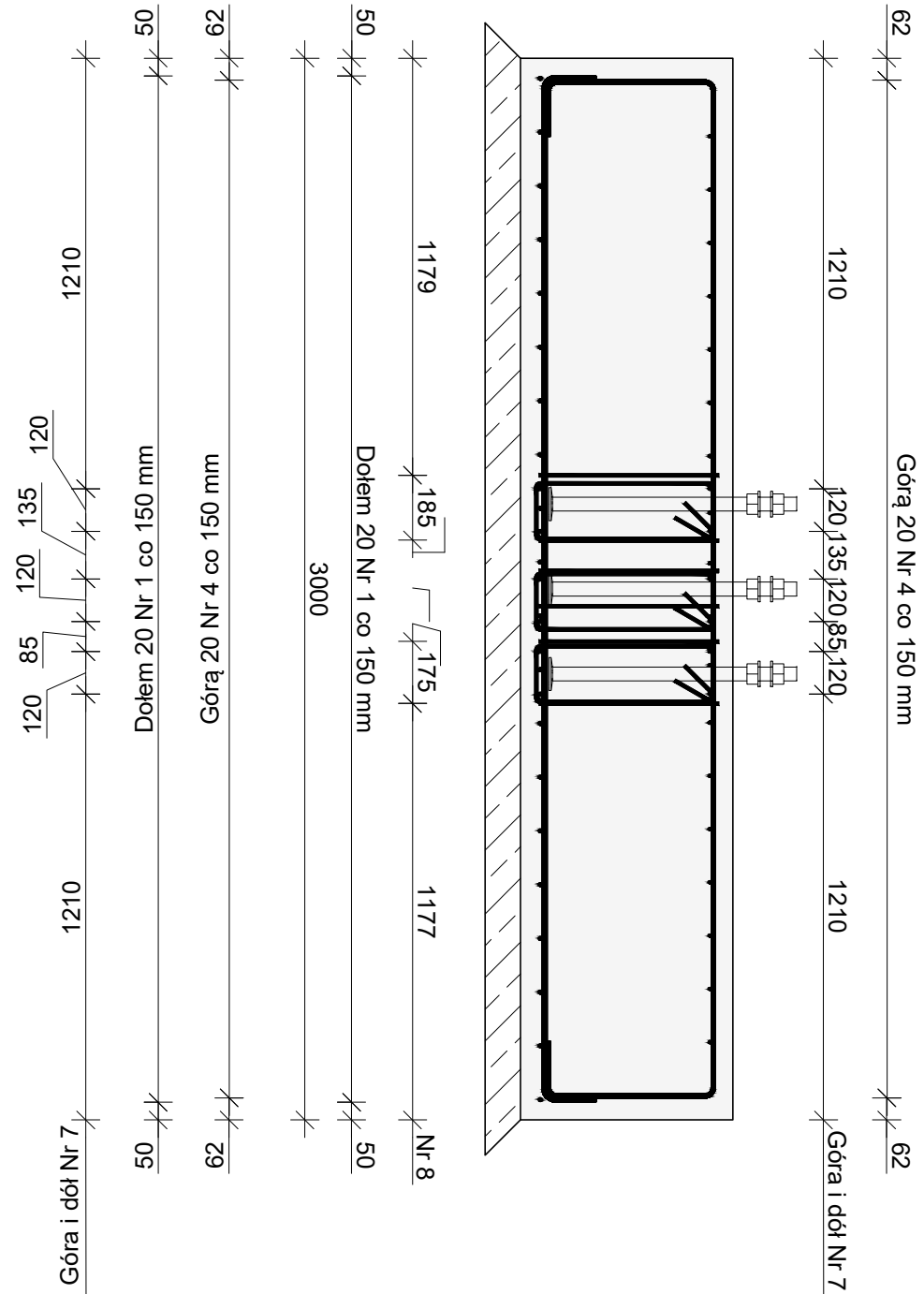


| POZ                                     | Średnica<br>[mm] | Długość<br>[m] | Ilość<br>[szt] | Długość cał. [m] |            |            |            |
|-----------------------------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|------------|------------|------------|
|                                         |                  |                |                | Φ8<br>[m]        | Φ10<br>[m] | Φ12<br>[m] | Φ16<br>[m] |
| 1                                       | 12               | 3,90           | 20             |                  |            | 78,00      |            |
| 2                                       | 12               | 3,20           | 24             |                  |            | 76,80      |            |
| 3                                       | 10               | 4,11           | 29             |                  | 119,19     |            |            |
| 4                                       | 10               | 4,78           | 24             |                  | 114,72     |            |            |
| 5                                       | 8                | 2,53           | 3              | 7,59             |            |            |            |
| 6                                       | 10               | 1,00           | 6              |                  | 6          |            |            |
| 7                                       | 10               | 1,10           | 6              |                  | 6,6        |            |            |
| 8                                       | 10               | 1,56           | 36             |                  | 56,16      |            |            |
| Długość ogólna według średnic [m]       |                  |                |                | 7,59             | 302,67     | 154,80     | 0,00       |
| Masa 1mb pręta [kg/mb]                  |                  |                |                | 0,39             | 0,62       | 0,89       | 1,58       |
| Masa prętów wg średnic w elemencie [kg] |                  |                |                | 2,96             | 187,66     | 137,77     | 0,00       |
| Masa prętów w elemencie [kg]            |                  |                |                | 328,3875         |            |            |            |
| Ilość elementów [szt.]                  |                  |                |                | 9                |            |            |            |
| Masa prętów wg średnic [kg]             |                  |                |                | 26,64            | 1688,90    | 1239,95    | 0,00       |
| Masa całkowita prętów [kg]              |                  |                |                | 2955,49          |            |            |            |

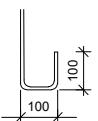
| ZESTAWIENIE AKCESORIÓW DODATKOWYCH DO 1 SI2 |               |          |                 |
|---------------------------------------------|---------------|----------|-----------------|
| Poz.                                        | Opis elementu | Nr. Kat. | Ilość<br>[szt.] |
| 1                                           | Śruby HPM39L  | -        | 8               |

| CHARAKTERYSTYKA ELEMENTU |                   |
|--------------------------|-------------------|
| Nazwa                    | SI2               |
| Liczba elementów         | 9                 |
| Beton                    | C30/37            |
| Stal zbrojeniowa         | B500 SP           |
| Sposób wyk. Pow.         | Zatarta na gładko |
| Długość                  | 3,7 m             |
| Szerokość                | 3,0 m             |
| Wysokość                 | 0,6 m             |
| Objętość                 | 6,66 m3           |
| Masa elementu            | 16,65 t           |
| Klasa ekspozycji         | XC3               |
| Otulina                  | 50 mm             |
| Maks. wymiar kruszywa    | 16 mm             |
| Dokładność wykonania     | 10 mm             |

Widok z boku  
Skala 1:20



- Uwagi:
- Nieodłączną częścią opracowania jest opis techniczny
  - Lokalizacja fundamentów wg rzutów architektonicznych
  - Fundament należy posadawić na warstwie betonu podkładowego o grubości 10 cm
  - Rysunek czytać łącznie z odpowiednimi rysunkami projektu architektonicznego
  - Wymiary i rzędne sprawdzić z rysunkami architektury
  - Tylko wymiary oznaczone są obowiązujące (nie skalować wymiarów z rysunku)
  - Rzędne podano w metrach, a wymiary w milimetrach
  - Wymiary na widokach i przekrojach podano w milimetrach, wymiary prętów podano w centymetrach
  - Średnice gięcia prętów wg. p.8.3 normy PN-EN 1992-1-1
  - Wymiarowanie prętów według wymiarów zewnętrznych



| Projekt dwunawowej, dwukondygnacyjnej hali przemysłowej z suwnica |                                            |       |         |                            |      |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|---------|----------------------------|------|
| Nazwa rysunku:                                                    | Projekt wykonawczy stopy fundamentowej SI2 |       |         |                            |      |
| Student:                                                          | Oliwia Kaniuk                              | Data: | Podpis: | Skala:                     | 1:20 |
| Promotor:                                                         | dr inż. Krzysztof Marcinczak               |       |         | Numer rysunku:<br><b>5</b> |      |
| Recenzent:                                                        | dr inż. Rajmund Ignatowicz                 |       |         |                            |      |