



**Politechnika Krakowska**  
im. Tadeusza Kościuszki



Wydział  
Inżynierii Lądowej

**Katedra Konstrukcji  
Żelbetowych i Sprężonych**

**Paweł Jan Galica**

Nr albumu: 138295

Kierunek studiów: Budownictwo

Studia I stopnia stacjonarne

**PROJEKT WYBRANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI  
ŻELBETOWEJ 6 - KONDYGNACYJNEGO BUDYNKU  
BIUROWEGO.**

DESIGN FOR SELECTED ELEMENTS OF REINFORCED CONCRETE  
STRUCTURE OF A 6-STOREY OFFICE BUILDING.

**PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA**

Ocena pracy:

Data

Podpis promotora:

--	--	--

Promotor: dr inż. Rafał Sieńko

Kraków, luty 2024

*Składam serdeczne podziękowania  
Panu dr inż. Rafałowi Sieńko za cierpliwość,  
cenne wskazówki, wyrozumiałość i poświęcony czas.*

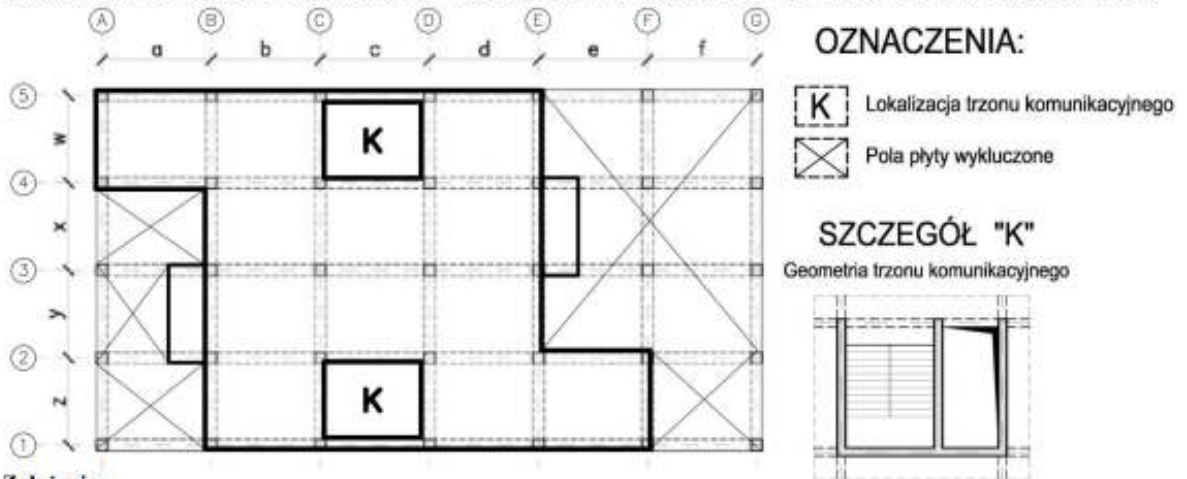
*Paweł Galica*

## Konstrukcje Żelbetowe i Murowe w Budownictwie Miejskim i Przemysłowym

### Projekt wybranych elementów konstrukcji żelbetowej 6 kondygnacyjnego budynku biurowego zlokalizowanego w Krakowie

Student ..... PAWEŁ GALICA .....

Dla układu konstrukcyjnego budynku przedstawionego na rysunku zaprojektować wybrane elementy konstrukcji żelbetowej.



**Założenia:**

Przeznaczenie obiektu	BUDYNEK BIUROWY
Wymiary osiowe a, b, c, d, e, f [m]	5,0m ; 3x6,0m ; 5,0m
Wymiary osiowe w, x, y, z [m]	5,0m ; 2x7,0m ; 5,0m
Liczba kondygnacji nadziemnych	6
Wysokość kondygnacji w osiach stropów [m]	4,28m
Projektowana kondygnacja	strop nad trzecią kondygnacją
Projektowane belki (oznaczenia osi)	5,C
Ściany wypełniające zewn./wewn.	ceramiczne / g-k
Balkony	tak
Podpiwniczenie	tak

W budynku przewidziano stropy żelbetowe, monolityczne płytowo-belkowe. Lokalizację trzonów komunikacyjnych oraz geometrię budynku przedstawiono na rysunku.

**Zakres projektu:**

- projekt wstępny (w tym dobór materiałów i wymiarów, rysunek zestawczy stropu)
- opis techniczny
- zestawienie obciążeń na wskazany strop
- obliczenia statyczne (model przestrzenny wydzielonej kondygnacji)
- wymiarowanie ze względu na ULS i SLS (met. uproszcz.) płyty i dwóch belek stropu nad wskazaną kondygnacją
- wykonanie rysunków wykonawczych zbrojenia projektowanych elementów

Temat wydał: dr inż. Rafał Sieńko

## **Streszczenie pracy inżynierskiej**

Niniejsza praca inżynierska miała na celu sporządzenie części projektu budowlanego budynku biurowego zlokalizowanego w Krakowie. W części tej skupiono się na zaprojektowaniu wybranych elementów konstrukcji żelbetowej złożonej z 6 kondygnacji nadziemnych i podpiwniczenia. Głównym celem pracy było zwymiarowanie płyty oraz dwóch wybranych belek stropowych nad trzecią kondygnacją. Obliczenia przeprowadzone zostały w oparciu o warunki stanów granicznych nośności (SGN) oraz użytkowości (SGU) przy pomocy programu Mathcad 9.0.0.0. Elementem dodatkowym były obliczenia dotyczące doboru odpowiedniego rozwiązania balkonów prefabrykowanych.

Projekt rozpoczęto od wstępnego dobrania wymiarów elementów konstrukcji oraz materiałów, z których zostały one wykonane. Następnie opracowano projekt wstępny składający się z schematu konstrukcji kondygnacji powtarzalnej oraz przekroju poprzecznego budynku. Na podstawie projektu wstępnego sporządzono zestawienie obciążeń oraz model 3D konstrukcji w programie obliczeniowym RFEM 5.

W celu otrzymania jak najdokładniejszych wyników w modelu obliczeniowym zastosowano dwa różne rodzaje obciążeń użytkowych: do zwymiarowania płyty stropowej wykorzystano system dziewiątkowy opracowany przez prof. Włodzimierza Starosolskiego, natomiast do wymiarowania belek stropowych zastosowano system obciążeń pasmowych. Po zakończeniu części obliczeniowej przystąpiono do wykonania rysunków wykonawczych projektowanych elementów w programie AutoCAD 2022.

# Spis treści

<b>1. Informacje ogólne .....</b>	<b>11</b>
1.1. Przedmiot pracy inżynierskiej .....	11
1.2. Cel pracy inżynierskiej .....	11
1.3. Zakres pracy inżynierskiej .....	11
<b>2. Opis techniczny .....</b>	<b>12</b>
2.1. Charakterystyka konstrukcji .....	12
2.2. Podstawowe parametry techniczne budynku .....	12
2.3. Lokalizacja budynku .....	12
2.4. Dane elementów żelbetowych .....	12
2.4.1. Fundament .....	12
2.4.2. Ściany .....	13
2.4.3. Słupy żelbetowe .....	13
2.4.4. Belki żelbetowe .....	13
2.4.5. Płyty żelbetowe .....	13
2.4.6. Stropodach .....	13
2.4.7. Trzony komunikacyjne .....	14
2.4.8. Balkony .....	14
<b>3. Zestawienie obciążeń oddziałujących na konstrukcję .....</b>	<b>15</b>
<b>4. Wstępne przyjęcie wymiarów elementów konstrukcji .....</b>	<b>16</b>

<b>5. Uproszczona metoda sprawdzenia nośności słupów</b> .....	<b>17</b>
5.1. Nośność słupa środkowego S-01 .....	17
5.2. Nośność słupa narożnego S-02 .....	20
<b>6. Korekta momentu bezwładności belek żelbetowych</b> .....	<b>23</b>
<b>7. Wymiarowanie płyty stropowej nad trzecią kondygnacją</b> .....	<b>24</b>
7.1. Kombinacje obciążeń .....	25
7.2. Mapy momentów zginających na płycie stropowej .....	26
7.3. Dane do wymiarowania .....	28
7.3.1. Klasa ekspozycji .....	28
7.3.2. Klasa betonu .....	28
7.3.3. Dobór stali .....	28
7.3.4. Otulenie zbrojenia .....	29
7.3.5. Wysokość użyteczna płyty .....	29
7.3.6. Zbrojenie maksymalne .....	29
7.3.7. Zbrojenie minimalne .....	30
7.3.8. Maksymalny rozstaw zbrojenia głównego .....	31
7.3.9. Minimalny rozstaw zbrojenia głównego .....	31
7.3.10. Maksymalny rozstaw zbrojenia rozdzielczego .....	31
7.3.11. Graniczna wartość efektywnej wysokości strefy ściskanej .....	31
7.4. Wymiarowanie zbrojenia na kierunku X .....	32
7.4.1. Nośność zbrojenia minimalnego .....	32
7.4.2. Wymiarowanie zbrojenia nad podporami .....	33
7.4.3. Zestawienie zbrojenia na kierunku X .....	33
7.5. Wymiarowanie zbrojenia na kierunku Y .....	34
7.5.1. Nośność zbrojenia minimalnego .....	34

7.5.2. Wymiarowanie zbrojenia nad podporami .....	35
7.5.3. Zestawienie zbrojenia na kierunku Y .....	36
7.6. Zakotwienie i zakład prętów .....	37
7.6.1. Graniczne naprężenie przyczepności .....	37
7.6.2. Podstawowa długość zakotwienia .....	37
7.6.3. Obliczeniowa długość zakotwienia .....	37
7.6.4. Połączenie na zakład .....	38
7.6.5. Zbrojenie rozdzielcze .....	38
7.7 Stan graniczny użyteczności - zarysowanie .....	39
7.7.1. Zarysowanie na kierunku X - przęsło o największym momencie zginającym .....	39
7.7.2. Zarysowanie na kierunku X - podpora I rodzaju .....	39
7.7.3. Zarysowanie na kierunku X - podpora II rodzaju .....	39
7.7.4. Zarysowanie na kierunku Y - przęsło o największym momencie zginającym .....	41
7.7.5. Zarysowanie na kierunku Y - podpora I rodzaju .....	41
7.7.6. Zarysowanie na kierunku Y - podpora II rodzaju .....	41
7.8. Stan graniczny użyteczności - ugięcie .....	43
7.8.1. Ugięcie na kierunku X - przęsło skrajne .....	43
7.8.2. Ugięcie na kierunku X - przęsło wewnętrzne .....	42
7.8.3. Ugięcie na kierunku Y - przęsło skrajne .....	43
7.8.4. Ugięcie na kierunku Y - przęsło wewnętrzne .....	46
<b>8. Wymiarowanie belki stropowej w osi "3" .....</b>	<b>47</b>
8.1. Wykresy sił wewnętrznych belki .....	47
8.2. Dane do wymiarowania .....	48
8.2.1. Klasa ekspozycji .....	48
8.2.2. Klasa betonu .....	48
8.2.3. Dobór stali .....	48

8.2.4. Otulenie zbrojenia .....	48
8.2.5. Wysokość użyteczna belki .....	49
8.2.6. Wyznaczenie szerokości efektywnej belki .....	49
8.2.7. Zbrojenie minimalne belki .....	50
8.2.8. Zbrojenie maksymalne belki .....	51
8.2.9. Minimalny rozstaw zbrojenia głównego .....	51
8.2.10. Wartości momentów zginających .....	52
8.3. Wyznaczenie zbrojenia na zginanie .....	53
8.3.1. Zbrojenie dolne w przęsłach "B-C" i "D-E" .....	53
8.3.2. Zbrojenie dolne w przęśle "C-D" .....	54
8.3.3. Zbrojenie górne nad podporą w osi "C" oraz "D" .....	55
8.3.4. Zbrojenie górne nad podporą w osi "B" oraz "E" .....	56
8.4. Zakotwienie i zakład prętów .....	57
8.4.1. Graniczne naprężenie przyczepności .....	57
8.4.2. Podstawowa długość zakotwienia .....	58
8.4.3. Obliczeniowa długość zakotwienia .....	59
8.4.4. Połączenie na zakład .....	60
8.5. Wymiarowanie zbrojenia na ścinanie .....	60
8.5.1. Obwiednia obliczeniowych sił poprzecznych .....	60
8.5.2. Obliczeniowa nośność na ścinanie elementu bez zbrojenia na ścinanie .....	60
8.5.3. Wyznaczenie potrzebnego zbrojenia na ścinanie na odcinkach 2 rodzaju .....	62
8.5.4. Wyznaczenie potrzebnego zbrojenia na ścinanie na odcinkach 1 rodzaju .....	63
8.6. Stan graniczny użyteczności - zarysowanie .....	64
8.6.1. Zarysowanie w przęśle "B-C" - metoda uproszczona .....	64
8.6.2. Zarysowanie w przęśle "B-C" -metoda dokładna .....	66
8.6.3. Zarysowanie nad podporą "D" - metoda uproszczona .....	69
8.7. Stan graniczny użyteczności - ugięcie .....	70



8.7.1. Ugięcie w przęśle "D-E" - metoda uproszczona .....	70
8.7.2. Ugięcie w przęśle "D-E" - metoda dokładna .....	71
8.8. Zestawienie zbrojenia belki w osi "3" .....	73
<b>9. Wymiarowanie belki stropowej w osi "E" .....</b>	<b>74</b>
9.1. Wykresy sił wewnętrznych belki .....	74
9.2. Dane do wymiarowania .....	75
9.2.1. Otulenie zbrojenia.....	75
9.2.2. Wysokość użyteczna belki.....	75
9.2.3. Wyznaczenie szerokości efektywnej belki .....	76
9.2.4. Zbrojenie minimalne belki .....	77
9.2.5. Zbrojenie maksymalne belki .....	78
9.2.6. Minimalny rozstaw zbrojenia głównego .....	78
9.2.7. Wartości momentów zginających .....	79
9.3. Wyznaczenie zbrojenia na zginanie .....	80
9.3.1. Zbrojenie dolne w przęśle "1-2" .....	80
9.3.2. Zbrojenie dolne w przęśle "2-3" .....	81
9.3.3. Zbrojenie dolne w przęśle "3-4" .....	82
9.3.4. Zbrojenie dolne w przęśle "4-5" .....	83
9.3.5. Zbrojenie górne nad podporą w osi "2" .....	84
9.3.6. Zbrojenie górne nad podporą w osi "3" oraz "4" .....	85
9.3.7. Zbrojenie górne nad podporą w osi "1" oraz "5" .....	86
9.4. Zakotwienie i zakład prętów .....	87
9.4.1. Graniczne naprężenie przyczepności .....	87
9.4.2. Podstawowa długość zakotwienia .....	88
9.4.3. Obliczeniowa długość zakotwienia .....	89
9.4.4. Połączenie na zakład .....	89

9.5. Wymiarowanie zbrojenia na ścinanie .....	90
9.5.1. Obwiednia obliczeniowych sił poprzecznych .....	90
9.5.2. Obliczeniowa nośność na ścinanie elementu bez zbrojenia na ścinanie .....	90
9.5.3. Wyznaczenie potrzebnego zbrojenia na ścinanie na odcinkach 2 rodzaju .....	91
9.5.4. Wyznaczenie potrzebnego zbrojenia na ścinanie na odcinkach 1 rodzaju .....	94
9.6. Stan graniczny użyteczności - zarysowanie .....	95
9.6.1. Zarysowanie w przęśle "3-4" - metoda uproszczona .....	95
9.6.2. Zarysowanie w przęśle "3-4" -metoda dokładna .....	97
9.6.3. Zarysowanie nad podporą "3" - metoda uproszczona .....	99
9.6.4. Zarysowanie nad podporą "3" -metoda dokładna .....	101
9.7. Stan graniczny użyteczności - ugięcie .....	102
9.7.1. Ugięcie w przęśle "3-4" - metoda uproszczona .....	102
9.7.2. Ugięcie w przęśle "3-4" - metoda dokładna .....	103
9.8. Zestawienie zbrojenia belki w osi "3" .....	105
<b>10. Balkony prefabrykowane .....</b>	<b>106</b>
10.1. Rozwiązania technologiczne .....	106
10.2. Zbrojenie balkonu .....	106
10.2.1. Zbrojenie górne .....	106
10.2.2. Zbrojenie dolne .....	106
10.3. Dobór łącznika termoizolacyjnego .....	108
10.3.1. Opis i parametry dobranego łącznika .....	110
10.3.2. Parametry z zakresu fizyki budowli .....	110
<b>Bibliografia .....</b>	<b>112</b>
<b>Zestawienie rysunków .....</b>	<b>113</b>

# **1. Informacje ogólne**

## **1.1. Przedmiot pracy inżynierskiej**

Przedmiotem pracy dyplomowej jest projekt wybranych elementów konstrukcji żelbetowej 6-kondygnacyjnego budynku biurowego.

## **1.2. Cel pracy inżynierskiej**

Celem pracy dyplomowej są obliczenia statyczno-konstrukcyjne oraz rysunki konstrukcyjno-wykonawcze projektowanych elementów budynku usługowego.

## **1.3. Zakres pracy inżynierskiej**

- Opis techniczny konstrukcji
- Dane niezbędne do zwymiarowania elementów
- Obliczenia statyczne - model przestrzenny wydzielanej kondygnacji
- Algorytmy obliczeniowe, na podstawie których zwymiarowano elementy
- Rysunki szalunkowe konstrukcji oraz rysunki konstrukcyjno-wykonawcze zbrojenia wybranych elementów

## **2. Opis techniczny**

### **2.1. Charakterystyka konstrukcji**

Projektowany budynek biurowy wykonany zostanie w technologii monolitycznej o konstrukcji szkieletowej. Budynek posiadający 6 kondygnacji nadziemnych oraz podpiwniczenie, posadowiony będzie na płycie fundamentowej o grubości 0,6m. Konstrukcja nośna składa się z układu słupów i belek. Słupy wewnętrzne S-01 o przekroju 40x50cm oraz słupy zewnętrzne o przekroju 40x40cm zachowują te wymiary na wszystkich kondygnacjach. Stropy żelbetowe monolityczne projektowane są jako dwukierunkowo zbrojone o grubości 18cm. Belki w osiach „A-F” będą miały wysokość równą 50cm, natomiast w osiach „1-5” - 55cm (brak wystąpienia kolizji zbrojenia belek). Budynek posiada dwa trzony komunikacyjne oraz dwa balkony na każdej kondygnacji zlokalizowane po przeciwnych stronach. Ściany kondygnacji podziemnej wykonane jako żelbetowe monolityczne, a ściany wypełniające kondygnacji nadziemnych wykonane z pustaków ceramicznych Porotherm.

### **2.2. Podstawowe parametry techniczne budynku**

- Liczba kondygnacji nadziemnych: 6
- Liczba kondygnacji podziemnych: 1
- Wysokość kondygnacji (w osiach stropów): 4.28m
- Wysokość budynku: 26,60m
- Szerokość budynku: 24,40m
- Długość budynku: 28,40m

### **2.3. Lokalizacja budynku**

Projektowany budynek zlokalizowany jest w Krakowie (woj. małopolskie) na wysokości 226 m n.p.m. Miasto znajduje się w 3 strefie obciążenia śniegiem, 1 strefie obciążenia wiatrem oraz 2 strefie przemarzania gruntu, gdzie wymagana głębokość posadowienia wynosi 1,0m.

### **2.4. Dane elementów żelbetowych**

#### **2.4.1. Fundament**

Fundament stanowić będzie żelbetowa monolityczna płyta fundamentowa o grubości 60cm, wykonana z betonu klasy C35/45 na warstwie podkładowej o grubości 10cm, z betonu klasy C8/10. Do wykonania zbrojenia płyty fundamentowej stosowana będzie stal RB500W.

#### **2.4.2. Ściany**

Ściany usztywniające trzonu komunikacyjnego wykonane będą jako żelbetowe monolityczne o grubości 25 cm (zewnątrzne) oraz 20 cm (ściany przy szybie windowym). Również w technologii żelbetowej monolitycznej wykonano ściany piwnic o grubości 25 cm. Do wykonania powyższych elementów zastosowano beton klasy C35/45 oraz stal RB500W. Ściany zewnętrzne wypełniające z bloczków ceramicznych Porotherm 25 P+W. Przewidziano wykonanie wewnętrznych ścianek działowych wykonanych w systemie g-k-112.

#### **2.4.3. Słupy żelbetowe**

Słupy żelbetowe monolityczne o przekroju 40x40cm (słupy: S-02, S-03, S-04), oraz 40x50cm (słupy S-01). Zbrojone stalą RB500W wykonane z betonu klasy C35/45. Słupy usytuowane w miejscach krzyżowania się belek stropowych.

#### **2.4.4. Belki żelbetowe**

Belki zaprojektowano jako żelbetowe monolityczne wykonane z betonu klasy C35/45 oraz zbrojone stalą RB500W. W konstrukcji zastosowano 2 wysokości przekrojów - belki w osiach „A-F” o wysokości 50cm, a w osiach „1-5” - 55cm. Rozwiązanie takie pozwoli uniknąć kolizji zbrojenia dolnego krzyżujących się belek.

#### **2.4.5. Płyty żelbetowe**

W budynku zaprojektowano stropy w formie płyt żelbetowych monolitycznych o grubości 18cm. Płyty wykonane z betonu klasy C35/45, dwukierunkowo zbrojone prętami ze stali RB500W

#### **2.4.6. Stropodach**

W konstrukcji zaprojektowano żelbetowy stropodach pełny, układ warstw według opisów na rysunkach wykonawczych. Warstwę spadkową o nachyleniu 1% uzyskano przez zastosowanie kształtek klinowych z materiału termoizolacyjnego. Żelbetowa płyta stropodachu o niezmiennej grubości 18cm wykonana z betonu klasy C35/45, dwukierunkowo zbrojona prętami ze stali RB500W

#### **2.4.7. Trzony komunikacyjne**

W budynku zaprojektowano dwa trzony komunikacyjne, składające się z klatki schodowej i trzonu windowego. Biegi schodowe wykonane w technologii monolitycznej żelbetowej. Schody płytowe o grubości płyt biegów i spoczników równej 16cm wykonane zostaną z betonu C35/45 i stali RB500W

- bieg schodowy kondygnacji podziemnej składa się z 13 stopni o wysokości 16,3cm i szerokości 28cm.

- bieg schodowy kondygnacji nadziemnych składa się z 13 stopni o wysokości 16,5cm i szerokości 28cm.

Ściany usztywniające trzonu komunikacyjnego wykonane będą jako żelbetowe monolityczne o grubości 25 cm (zewnętrzne) oraz 20 cm (ściany przy trzonu windowego).

#### **2.4.8. Balkony**

Balkony prefabrykowane w ilości 2 sztuk na kondygnację zlokalizowane po przeciwnych stronach budynku wykonane zostaną z betonu C30/37 i stali RB500W. Płyta balkonu o grubości 18cm montowana będzie przed zabetonowaniem stropu, skutkuje większą sztywnością połączenia. Łącznikiem pomiędzy płytą balkonową i stropem ma być wkładka termoizolacyjna zawierająca odpowiednie zbrojenie spajające.

## 3. Zestawienie obciążeń oddziałujących na konstrukcję

Tab.3.1. Zestawienie obciążeń dla płyty stropowej

ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ DLA PŁYTY STROPOWEJ					
Pochodzenie oddziaływania	grubość [m]	ciężar objętościowy [kN/m <sup>3</sup> ]	oddziaływanie charakterystyczne [kN/m <sup>2</sup> ]	współczynnik częściowy $\gamma_{G,j,sup} \gamma_{Q,1}$ [-]	oddziaływanie obliczeniowe [kN/m <sup>2</sup> ]
<b>OBCIĄŻENIA STAŁE</b>					
Warstwy stropu					
1. Parkiet dębowy 15 mm	0,015	9,00	0,14	1,35	0,18
2. Wylewka cementowa 50 mm	0,05	24,00	1,20		1,62
3. Tynk cem-wap 15 mm	0,015	19,00	0,29		0,38
4. Izolacja akustyczna styropian EPS 50 mm	0,05	0,40	0,02		0,03
$\Sigma_{\text{częściowa}}; (g_k); (g_d) :$			1,64		2,21
5. Płyta żelbetowa 180 mm	0,18	25,00	4,50	6,08	
$\Sigma_{\text{całkowita}}; (g_k); (g_d) :$			6,14	8,29	
<b>OBCIĄŻENIA ZMIENNE</b>					
1. Obciążenie użytkowe(technologiczne)			3,00	1,5	4,50
$\Sigma_{\text{całkowita}}; (q_k); (q_d) :$			3,00		4,50
SUMA WSZYSTKICH ODDZIAŁYWAŃ			9,14	-	12,79

Dodatek na instalacje podwieszane do sufitu:  $g_i := 0.3 \frac{kN}{m^2}$

Tab.3.2. Zestawienie obciążeń dla balkonu

ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ DLA BALKONU					
Pochodzenie oddziaływania	grubość [m]	ciężar objętościowy [kN/m <sup>3</sup> ]	oddziaływanie charakterystyczne [kN/m <sup>2</sup> ]	współczynnik częściowy $\gamma_{G,j,sup} \gamma_{Q,1}$ [-]	oddziaływanie obliczeniowe [kN/m <sup>2</sup> ]
<b>OBCIĄŻENIA STAŁE</b>					
Warstwy balkonu					
1. Płytki mrozoodporne	0,02	22,00	0,44	1,35	0,59
2. Wylewka betonowa C12/15	0,04	24,00	0,96		1,30
3. Folia PE	-	-	-		-
4. Izolacja termiczna styropian EPS	0,05	0,40	0,02		0,03
5. Folia zgrzewalna PCW	-	-	-		-
6. Tynk cementowo-wapienny	0,015	19,00	0,29		0,38
$\Sigma_{\text{częściowa}}; (g_k); (g_d) :$			1,42	1,92	
5. Płyta żelbetowa 180 mm	0,18	25,00	4,50	6,08	
$\Sigma_{\text{całkowita}}; (g_k); (g_d) :$			5,92	7,99	
<b>OBCIĄŻENIA ZMIENNE</b>					
1. Obciążenie użytkowe(technologiczne)			5,00	1,5	7,50
$\Sigma_{\text{całkowita}}; (q_k); (q_d) :$			5,00		7,50
SUMA WSZYSTKICH ODDZIAŁYWAŃ			10,92	-	15,49

#### 4. Wstępne przyjęcie wymiarów elementów konstrukcji

Maksymalna rozpiętość belek w osiach "A-F":  $I_{b1} := 7 \text{ m}$

Maksymalna rozpiętość belek w osiach "1-5":  $I_{b2} := 6 \text{ m}$

Maksymalna rozpiętość płyty:  $I_{pt} := 7 \text{ m}$

Grubość płyty:  $\frac{(I_{b1} + I_{b2})}{90} = 14.44 \text{ cm}$        $\frac{(I_{b1} + I_{b2})}{75} = 17.33 \text{ cm}$

Przyjęto  $h_{pt} := 18 \text{ cm}$

Wysokość belek w osiach "A-F":  $\frac{I_{b1}}{15} = 46.67 \text{ cm}$        $\frac{I_{b1}}{10} = 70 \text{ cm}$

Przyjęto  $h_{b1} := 55 \text{ cm}$

Szerokość belek w osiach "A-F" dostosowana do przekroju słupów podpierających:

Przyjęto  $b_{b1} := 40 \text{ cm}$

Wysokość belek w osiach "1-5":  $\frac{I_{b2}}{15} = 40 \text{ cm}$        $\frac{I_{b2}}{10} = 60 \text{ cm}$

Przyjęto  $h_{b2} := 50 \text{ cm}$

Szerokość belek w osiach "1-5" dostosowana do przekroju słupów podpierających:

Przyjęto  $b_{b2} := b_{b1} = 40 \text{ cm}$

Wymiary przekroju słupów S-02-04:  $b_s := b_{b1} = 40 \text{ cm}$        $h_s := b_{b1} = 40 \text{ cm}$

Wymiary przekroju słupa S-01:  $b_{s1} := b_{b1} = 40 \text{ cm}$        $h_{s1} := 50 \text{ cm}$

Długość słupa w osiach stropu:  $l := 4.28 \text{ m}$        $l_o := 0.7 \cdot l = 3 \text{ m}$

Warunek smukłości granicznej:

$$\frac{l_o}{b_s} = 7.49 \quad \frac{l_o}{b_s} \leq 20 = 1$$

**Warunek spełniony**

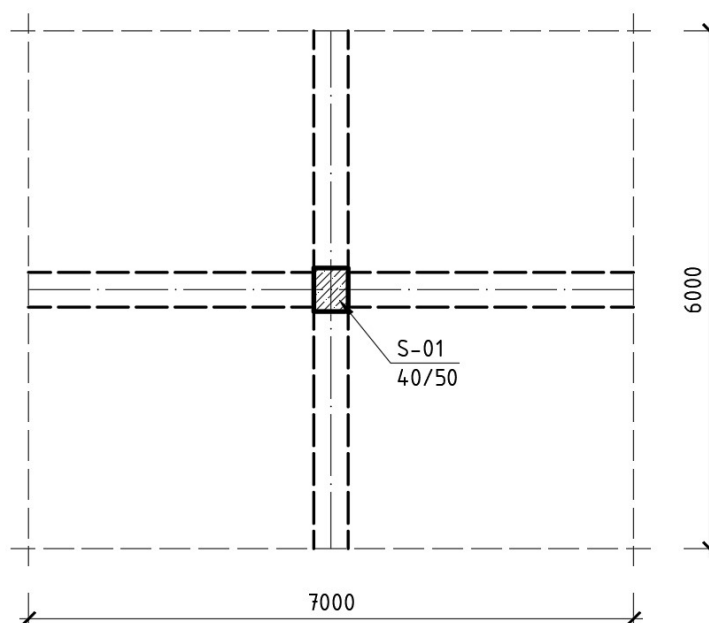
$$\frac{l_o}{b_{s1}} = 7.49 \quad \frac{l_o}{b_{s1}} \leq 20 = 1$$

**Warunek spełniony**



## 5. Uproszczona metoda sprawdzenia nośności słupów

### 5.1. Nośność słupa środkowego S-01



Rys.5.1. Pole zbierania obciążeń przez słup S-01

Pole zbierania obciążeń oddziałujących na słup:  $A_{zo} := 7 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 42 \text{ m}^2$

Występujące w tym polu obciążenia:

Ciężar własny belki 1 (55x40):  $h_{b1} = 55 \text{ cm}$        $b_{b1} = 40 \text{ cm}$        $L_{b1} := 7 \text{ m}$

$$G_{b1} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_{b1} \cdot b_{b1} \cdot L_{b1} = 38.5 \text{ kN}$$

Ciężar własny belki 2 (50x40):  $h_{b2} = 50 \text{ cm}$        $b_{b2} = 40 \text{ cm}$        $L_{b2} := 6 \text{ m}$

$$G_{b2} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_{b2} \cdot b_{b2} \cdot L_{b2} = 30 \text{ kN}$$

Ciężar własny słupa (40x50):  $h_s := 40 \text{ cm}$        $b_s := 50 \text{ cm}$        $L_s := 3.63 \text{ m}$

$$G_s := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_s \cdot b_s \cdot L_s = 18.15 \text{ kN}$$

Obciążenie stałe od warstw wykończeniowych pomieszczeń + dodatek na instalacje:

$$g_w := 1.64 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + g_i = 1.94 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad G_w := g_w \cdot A_{zo} = 81.48 \text{ kN}$$

**Obciążenie stałe - płyta:**

$$g_p := 4.5 \frac{kN}{m^2} \qquad G_p := g_p \cdot A_{zo} = 189 \text{ kN}$$

**Obciążenie użytkowe (technologiczne) strop + obciążenie rozmyte od ścian działowych:**

$$q_t := 3 \frac{kN}{m^2}$$

Procedura wg. [EC1-1-1 p.6.3.1.2 (8)] - ciężar ścianki działowej z g-k w systemie 112:

$$q_{\acute{s}d} := 0.45 \frac{kN}{m^2} \cdot 3.68 \text{ m} = 1.66 \frac{kN}{m} \qquad q_{\acute{s}d} < 2 \frac{kN}{m} = 1 \qquad q_{\acute{s}d} := 0.8 \frac{kN}{m^2}$$

$$Q_t := (q_t + q_{\acute{s}d}) \cdot A_{zo} = 159.6 \text{ kN}$$

**Obciążenie użytkowe (technologiczne) stropodach:**

$$q_{st} := 0.4 \frac{kN}{m^2} \qquad Q_{st} := q_{st} \cdot A_{zo} = 16.8 \text{ kN}$$

**Obciążenie śniegiem [wg PN-EN 1991-1-3]**

Lokalizacja: **Kraków**

Strefa obciążenia śniegiem: 3

Wysokość nad poziomem morza [m]:  $A := 226$

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem:

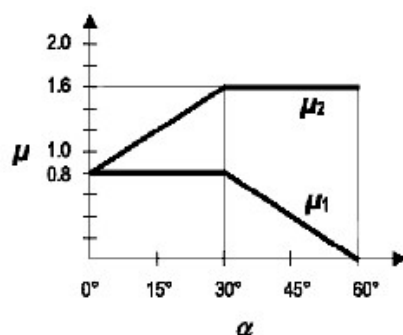
$$s := (0.006 \cdot A - 0.6) \cdot \frac{kN}{m^2} = 0.76 \frac{kN}{m^2}$$

$$s < 1.2 \cdot \frac{kN}{m^2} \qquad \text{Zatem przyjęto:} \qquad s := 1.2 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

Współczynnik termiczny:  $C_t := 1.0$

Współczynnik ekspozycji:  $C_e := 1.0$

Współczynnik kształtu dachu:  $\mu_1 := 0.8$



Współczynnik kształtu dachu

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem:

$$s_k := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s = 0.96 \frac{kN}{m^2}$$

$$S := s_k \cdot A_{zo} = 40.32 \text{ kN}$$

### Siła w słupie na najniższej kondygnacji

$$N_{Ed} := S \cdot 1.5 + Q_{st} \cdot 1.5 + (G_w + G_p + G_{b1} + G_{b2} + G_s) \cdot 1.35 \cdot 7 + (Q_t \cdot 1.5) \cdot 6$$

$$N_{Ed} = 4896.96 \text{ kN}$$

### Sprawdzenie nośności słupa

Beton: C35/45

Przekrój poprzeczny słupa:

$$A_s := 40 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm} = 2000 \text{ cm}^2$$

$$f_{ck} := 35 \text{ MPa}$$

$$\sigma := \frac{N_{Ed}}{A_s} = 24.48 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1.4} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} \geq \sigma = 1$$

Warunek spełniony

### Siła w słupie - kombinacja quasi-stała

$$\psi_{2.1} := 0.3$$

$$N_{Ek.lt} := (G_p + G_w + G_s + G_{b1} + G_{b2}) \cdot 7 + S \cdot \psi_{2.1} + Q_{st} \cdot \psi_{2.1} + Q_t \cdot \psi_{2.1} \cdot 6 = (2.8 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ek.lt}}{A_s} = 14.02 \text{ MPa}$$

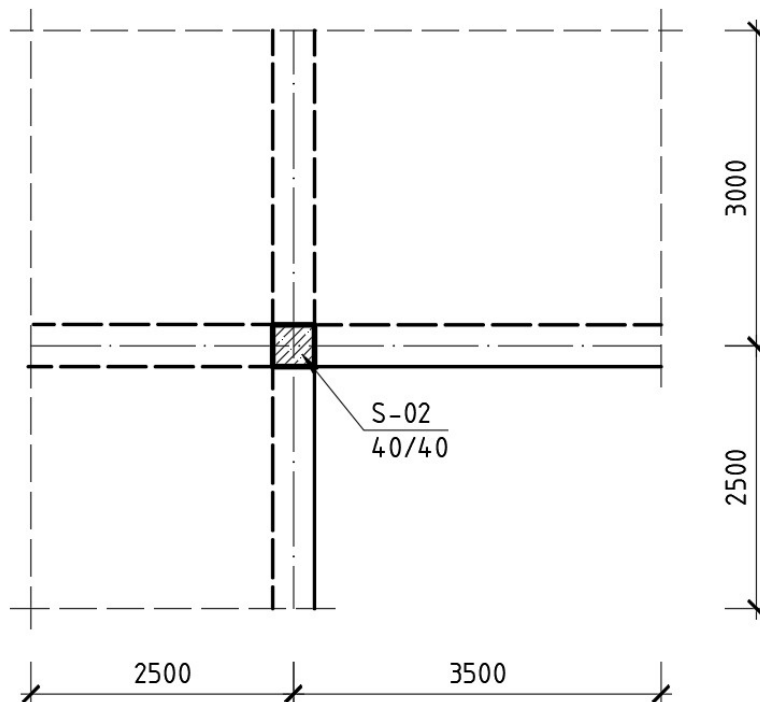
$$0.45 \cdot f_{ck} = 15.75 \text{ MPa}$$

$$\frac{N_{Ek.lt}}{A_s} \leq 0.45 \cdot f_{ck} = 1$$

Warunek spełniony

Wniosek: Poprawnie przyjęto przekrój słupa

## 5.2. Nośność słupa narożnego S-02



Rys.5.2. Pole zbierania obciążeń przez słup S-02

Pole zbierania obciążeń oddziałujących na słup:  $A_{zo} := 25.27 \text{ m}^2$

Występujące w tym polu obciążenia:

Ciężar własny belki 1 (55x40):  $h_{b1} = 55 \text{ cm}$   $b_{b1} = 40 \text{ cm}$   $L_{b1} := 5.5 \text{ cm}$

$$G_{b1} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_{b1} \cdot b_{b1} \cdot L_{b1} = 0.3 \text{ kN}$$

Ciężar własny belki 2 (50x40):  $h_{b2} = 50 \text{ cm}$   $b_{b2} = 40 \text{ cm}$   $L_{b2} := 6 \text{ m}$

$$G_{b2} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_{b2} \cdot b_{b2} \cdot L_{b2} = 30 \text{ kN}$$

Ciężar własny słupa (40x40):  $h_s := 40 \text{ cm}$   $b_s := 40 \text{ cm}$   $L_s := 3.63 \text{ m}$

$$G_s := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_s \cdot b_s \cdot L_s = 14.52 \text{ kN}$$

**Obciążenie stałe od warstw wykończeniowych:**

$$g_w := 1.64 \frac{kN}{m^2} + g_i = 1.94 \frac{kN}{m^2}$$

$$G_w := g_w \cdot A_{zo} = 49.02 \text{ kN}$$

**Obciążenie stałe - płyta:**

$$g_p := 4.5 \frac{kN}{m^2}$$

$$G_p := g_p \cdot A_{zo} = 113.72 \text{ kN}$$

**Obciążenie stałe - ściany zewnętrzne:**

ciężar ściany osłonowej:

$$g_{k.ściana} := 2.55 \frac{kN}{m^2}$$

ciężar ściany attykowej na stropodachu:

$$g_{k.ściana.abk} := 6 \frac{kN}{m^3} \cdot 0.2 \text{ m} = 1.2 \frac{kN}{m^2}$$

wysokość ściany:

$$h := 3.68 \text{ m}$$

długość ściany między słupami:

$$l := 3.30 \text{ m} + 2.30 \text{ m} = 5.6 \text{ m}$$

$$G_{k.ściana} := 0.75 \cdot g_{k.ściana} \cdot h = 7.04 \frac{kN}{m}$$

$$G_{k.ściana.a} := g_{k.ściana.abk} \cdot 1 \text{ m} = 1.2 \frac{kN}{m}$$

$$G_{sc} := G_{k.ściana} + G_{k.ściana.a} = 8.24 \frac{kN}{m}$$

$$G_{k.ściana} := 0.75 \cdot g_{k.ściana} \cdot h \cdot l = 39.41 \text{ kN}$$

$$G_{k.ściana.a} := g_{k.ściana.abk} \cdot 1 \text{ m} \cdot l = 6.72 \text{ kN}$$

$$G_{sc} := G_{k.ściana} + G_{k.ściana.a} = 46.13 \text{ kN}$$

**Obciążenie użytkowe (technologiczne) strop:**

$$q_t := 3 \frac{kN}{m^2}$$

Procedura wg. [EC1-1-1 p.6.3.1.2 (8)] - ciężar ścianki działowej z g-k w systemie 112:

$$q_{sd} := 0.45 \frac{kN}{m^2} \cdot 3.68 \text{ m} = 1.66 \frac{kN}{m}$$

$$q_{sd} < 2 \frac{kN}{m} = 1 \quad q_{sd} := 0.8 \frac{kN}{m^2}$$

$$Q_t := (q_t + q_{sd}) \cdot A_{zo} = 96.03 \text{ kN}$$

**Obciążenie użytkowe (technologiczne) stropodach:**

$$q_{st} := 0.4 \frac{kN}{m^2}$$

$$G_{st} := q_{st} \cdot A_{zo} = 10.11 \text{ kN}$$

### Obciążenie śniegiem:

$$S := s_k \cdot A_{zo} = 24.26 \text{ kN}$$

### Siła w słupie na najniższej kondygnacji

$$N_{Ed} := S \cdot 1.5 + G_{st} \cdot 1.5 + (G_w + G_p + G_{b1} + G_{b2} + G_s) \cdot 1.35 \cdot 7 + (Q_t \cdot 1.5) \cdot 6$$

$$N_{Ed} = 2877.24 \text{ kN}$$

### Sprawdzenie nośności słupa

Beton: C35/45

Przekrój poprzeczny słupa:

$$A_s := 40 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm} = 0.16 \text{ m}^2$$

$$f_{ck} := 35 \text{ MPa}$$

$$\sigma := \frac{N_{Ed}}{A_s} = 17.98 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1.4} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} \geq \sigma = 1$$

Warunek spełniony

### SIŁA W SŁUPIE - kombinacja quasi - stała

$$\psi_{2.1} := 0.3$$

$$N_{Ek.lt} := (G_p + G_w + G_s + G_{b1} + G_{b2}) \cdot 7 + G_{k.ściana} \cdot 6 + S \cdot \psi_{2.1} + Q_{st} \cdot \psi_{2.1} + Q_t \cdot \psi_{2.1} \cdot 6 + G_{k.ściana.a}$$

$$N_{Ek.lt} = (1.88 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ek.lt}}{A_s} = 11.76 \text{ MPa}$$

$$0.45 \cdot f_{ck} = 15.75 \text{ MPa}$$

$$\frac{N_{Ek.lt}}{A_s} \leq 0.45 \cdot f_{ck} = 1$$

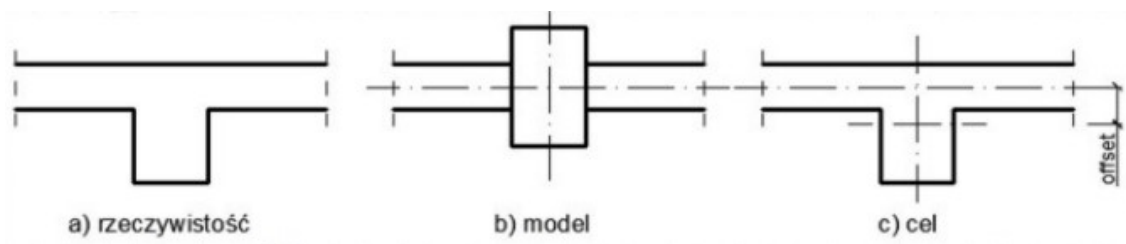
Warunek spełniony

Wniosek: Poprawnie przyjęto przekrój słupa

Pozostałe słupy o mniejszych polach zbierania obciążeń - S-03 i S-04 przekrój 40 x 40cm

## 6. Korekta momentu bezwładności belek żelbetowych

Celem stosowania korekty bezwładności przekroju żelbetowego jest uzyskanie dokładniejszych wyników otrzymanych w wyniku analizy MES w programie RFEM 5.



Rys.6.1. Obrazowe przedstawienie korekty momentu bezwładności przekroju

Wysokość belek w osiach "1-5":  $h_{b1} = 55 \text{ cm}$

Szerokość belek w osiach "1-5":  $b_{b1} = 40 \text{ cm}$

Wysokość belek w osiach "A-F":  $h_{b2} = 50 \text{ cm}$

Szerokość belek w osiach "A-F":  $b_{b2} = 40 \text{ cm}$

Wysokość płyty:  $h_{pł} = 18 \text{ cm}$

Moment bezwładności belki żelbetowej na krawędzi przekroju:

belki w osiach "1-5": 
$$I_{y1} := \frac{b_{b1} \cdot h_{b1}^3}{12} = 554583.33 \text{ cm}^4$$

belki w osiach "A-F": 
$$I_{y2} := \frac{b_{b2} \cdot h_{b2}^3}{12} = 416666.67 \text{ cm}^4$$

Moment bezwładności belki żelbetowej z uwzględnieniem przylegającej płyty:

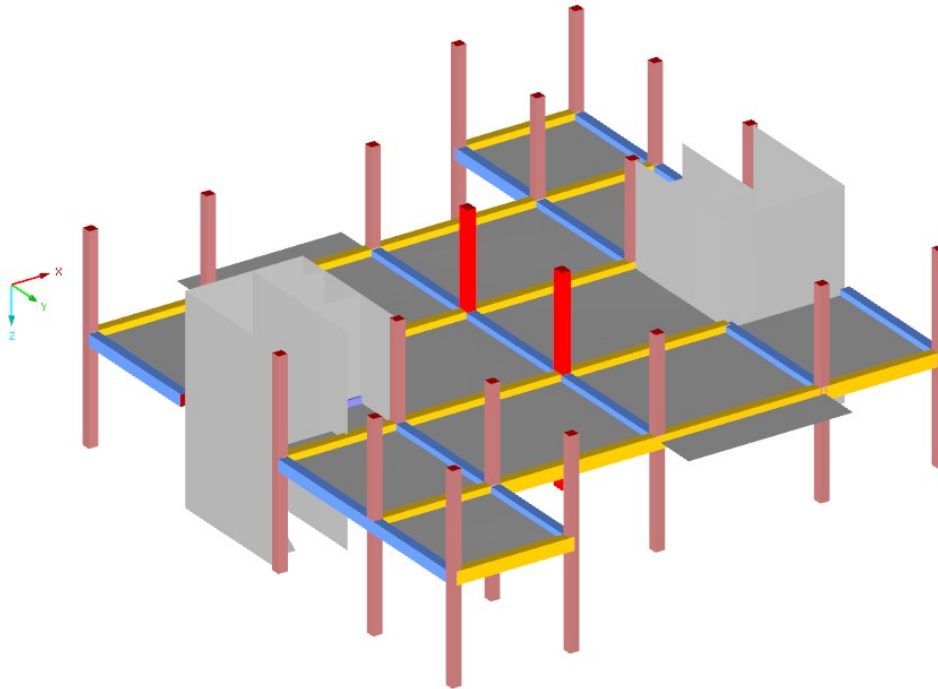
belki w osiach "1-5": 
$$I_{y1'} := \frac{b_{b1} \cdot h_{b1}^3}{12} + b_{b1} \cdot h_{b1} \cdot \left( \frac{h_{b1}}{2} - \frac{h_{pł}}{2} \right)^2 = 1307533.33 \text{ cm}^4$$

belki w osiach "A-F": 
$$I_{y2'} := \frac{b_{b2} \cdot h_{b2}^3}{12} + b_{b2} \cdot h_{b2} \cdot \left( \frac{h_{b2}}{2} - \frac{h_{pł}}{2} \right)^2 = 928666.67 \text{ cm}^4$$

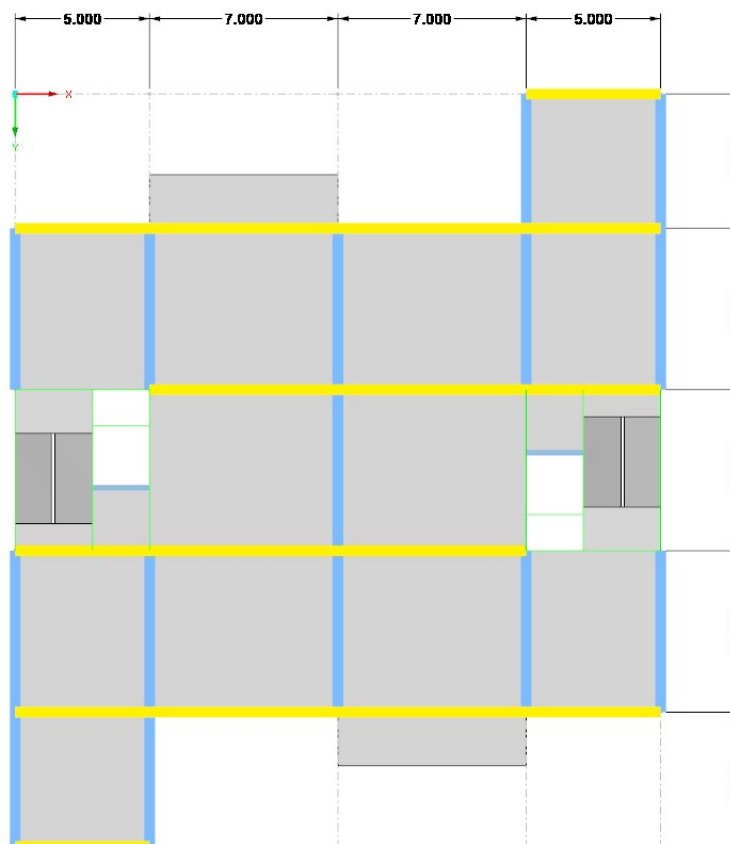
Stosunek obliczonych momentów bezwładności wprowadzony do programu:

belki w osiach "1-5":  $\frac{I_{y1'}}{I_{y1}} = 2.36$       belki w osiach "A-F":  $\frac{I_{y2'}}{I_{y2}} = 2.23$

## 7. Wymiarowanie płyty stropowej nad trzecią kondygnacją



Rys.7.1. Model 3D projektowanej kondygnacji powtarzalnej

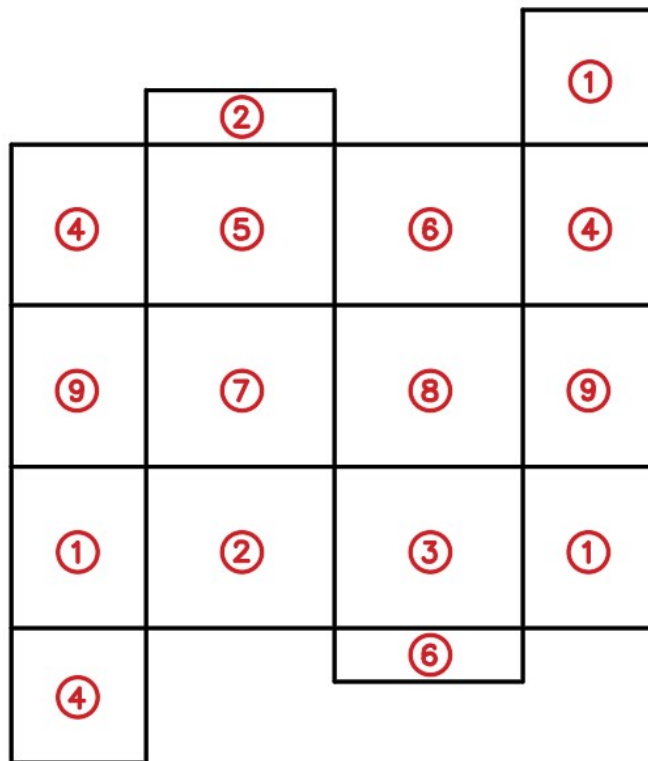


Rys.7.2. Rzut analizowanej kondygnacji powtarzalnej



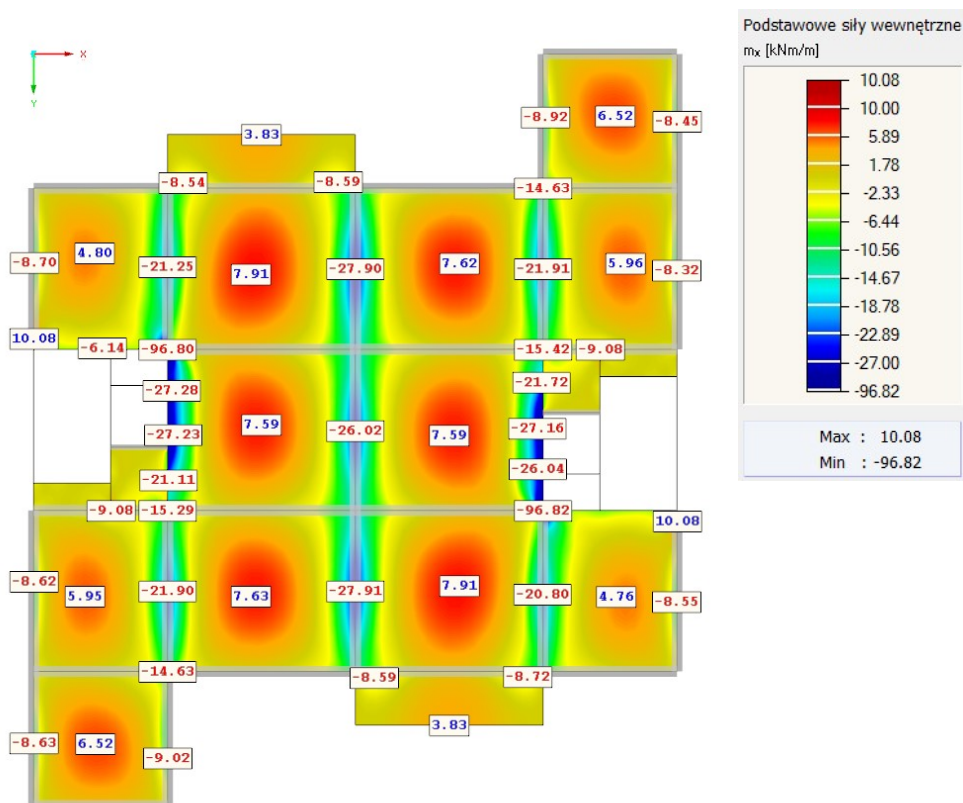
### 7.1. Kombinacje obciążeń

Do wymiarowania płyty stropowej wykorzystano system obciążeń dziewiątkowych autorstwa prof. Włodzimierza Starosolskiego. Pozwoliło to otrzymać najbardziej niekorzystne wyniki w analizie MES. Zastosowano opcję automatycznego utworzenia kombinacji obciążeń dostępną w preogramie RFEM 5. Poniżej przedstawiono sposób obciążenia stropu - pola o tym samym numerze obciążone zostały w tym samym przypadku obciążeń.

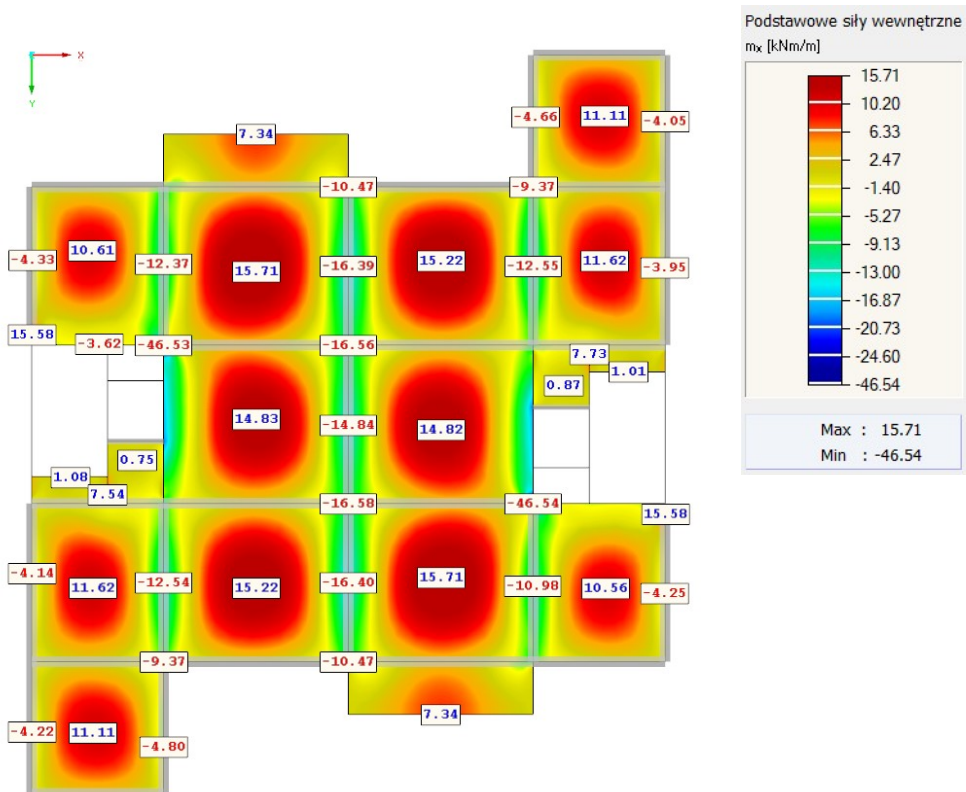


Rys. 7.3. Schemat obciążenia stropu wg. systemu dziewiątkowego

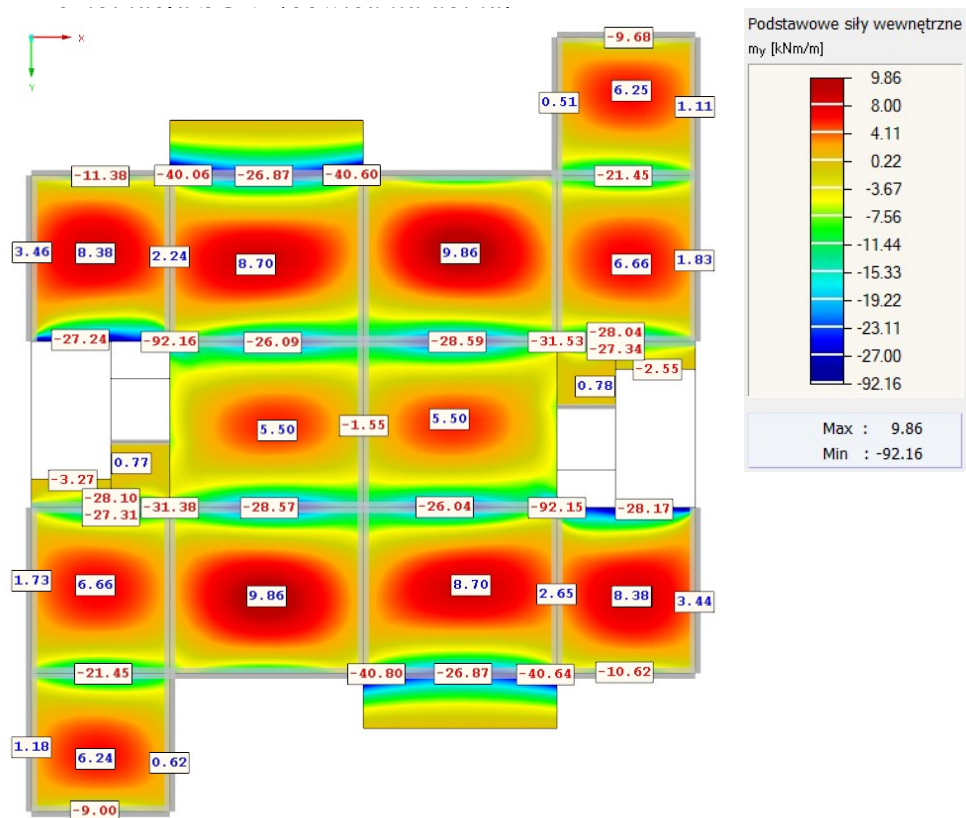
## 7.2. Mapy momentów zginających na płycie stropowej



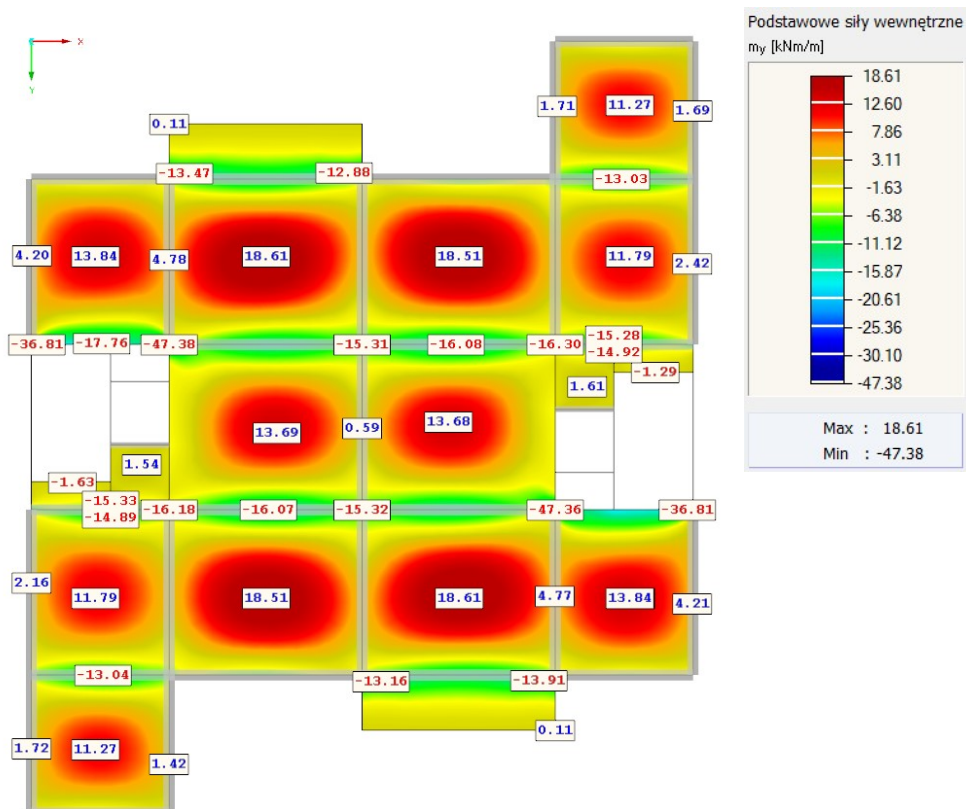
Rys. 7.4. Mapa momentów zginających  $M_{xx}$  [kNm].  
Kombinacja SGN+ (obwiednia górna)



Rys. 7.5. Mapa momentów zginających  $M_{xx}$  [kNm].  
Kombinacja SGN- (obwiednia dolna)



Rys. 7.6. Mapa momentów zginających  $M_{yy}$  [kNm].  
Kombinacja SGN+ (obwiednia górna).



Rys. 7.7. Mapa momentów zginających  $M_{yy}$  [kNm].  
Kombinacja SGN- (obwiednia dolna).

Moment wymiarujący:	Kierunek X	Kierunek Y
Nad podporą:	$M_{Ed.xx.pod} := 27.91 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{Ed.yy.pod} := 28.59 \text{ kN} \cdot \text{m}$
W przęśle:	$M_{Ed.xx.prz} := 15.71 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{Ed.yy.prz} := 18.61 \text{ kN} \cdot \text{m}$

### 7.3. Dane do wymiarowania

#### 7.3.1. Klasa ekspozycji

Przyjęto klasę ekspozycji **XC3** (Środowisko umiarkowanie wilgotne)

#### 7.3.2. Klasa betonu

Przyjęto klasę betonu - **C35/45** (kruszywo kwarcytowe)

Wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie	$f_{ck} := 35 \text{ MPa}$
Wartość współczynnika częściowego $\gamma_c$	$\gamma_c := 1.4$
Współczynnik częściowy dla betonu	$\alpha_{cc} := 1$
Wartość obliczeniowa wytrzymałości na ściskanie	$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 25 \text{ MPa}$
Średnia wytrzymałość na ściskanie	$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 43 \text{ MPa}$
Moduł sprężystości betonu	$E_{cm} := 34 \text{ GPa}$
Średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie osiowe	$f_{ctm} := 3.2 \text{ MPa}$

#### 7.3.3. Dobór stali

Przyjęto stal żebrowaną - **RB 500W**

Charakterystyczna granica plastyczności	$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
Wartość współczynnika częściowego	$\gamma_s := 1.15$
Wartość obliczeniowa granicy plastyczności	$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78 \text{ MPa}$
Moduł Younga dla stali	$E_s := 200 \text{ GPa}$

### 7.3.4. Otulenie zbrojenia

Przyjęto klasę konstrukcji **S3**

Średnica zbrojenia płyty	$\phi_{10} := 10 \text{ mm}$
Minimalne otulenie ze względu na przyczepność	$c_{min.b} := \phi_{10} = 10 \text{ mm}$
Minimalne otulenie ze względu na warunki środowiska	$c_{min.dur} := 20 \text{ mm}$
Dodatek ze względu na odchyłkę	$\Delta c_{dev} := 5 \text{ mm}$
Minimalne otulenie	$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur}, 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$
Nominalne otulenie	$c_{nom.pt} := c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 \text{ mm}$

### 7.3.5. Wysokość użyteczna płyty

$$M_{Ed.yy.pod} = 28.59 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.xx.pod} = 27.91 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.yy.pod} > M_{Ed.xx.pod} = 1$$

Większy moment zginający występuje na kierunku Y. Przyjęto zatem większą wysokość użyteczną przekroju na tym kierunku.

$$d_y := h_{pt} - c_{nom.pt} - 0.5 \cdot \phi_{10} = 15 \text{ cm}$$

$$d_x := h_{pt} - c_{nom.pt} - 1.5 \cdot \phi_{10} = 14 \text{ cm}$$

### 7.3.6. Zbrojenie maksymalne

Wysokość płyty	$h_{pt} = 18 \text{ cm}$
Szerokość płyty	$b_{pt} := 100 \text{ cm}$
Pole przekroju poprzecznego	$A_{c.pt} := h_{pt} \cdot b_{pt} = 1800 \text{ cm}^2$
Maksymalna powierzchnia zbrojenia	$A_{s.max} := 0.04 \cdot A_{c.pt} = 72 \text{ cm}^2$

### 7.3.7. Zbrojenie minimalne

- Ze względu na kruche zniszczenie

Średnia wartość wytrzymałości betonu  
narozciąganie osiowe  $f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$

Szerokość strefy rozciąganej  $b_t := b_{pt} = 1 \text{ m}$

#### Minimalna powierzchnia zbrojenia

$$A_{s.min.xx.SGN} := \max \left( 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d_x, 0.0013 \cdot b_t \cdot d_x \right) = 2.33 \text{ cm}^2$$

$$A_{s.min.yy.SGN} := \max \left( 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d_y, 0.0013 \cdot b_t \cdot d_y \right) = 2.5 \text{ cm}^2$$

- Ze względu na zarysowanie

Wysokość strefy ściskanej przed pojawieniem się rys  $h_{cr} := 0.5 \cdot h_{pt} = 9 \text{ cm}$

Wartość bezwzględna maksymalnego  
dozwolonego naprężenia w zbrojeniu  
powstającego natychmiast po pojawieniu się rysy  
(wk=0,3mm, maksymalna średnica prętów 10mm)  $\sigma_s := 320 \text{ MPa}$

Współczynnik rozkładu naprężeń w chwili  
poprzedzającej zarysowanie przy zginaniu  $k_c := 0.4$

Współczynnik zależny od wpływu równomiernych,  
samo równoważących się naprężeń  $k := 1.0$

Średnia wytrzymałość betonu na rozciąganie  
w chwili powstania rysy  $f_{ct,eff} := f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$

Pole rozciąganej strefy przed zarysowaniem  $A_{ct} := h_{cr} \cdot b_t = 900 \text{ cm}^2$

Minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie  $A_{s.min.SGU} := \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = 3.6 \text{ cm}^2$

#### **Ostateczne minimalne zbrojenia belki**

$$A_{s.min.xx} := \max (A_{s.min.xx.SGN}, A_{s.min.SGU}) = 3.6 \text{ cm}^2$$

$$A_{s.min.yy} := \max (A_{s.min.yy.SGN}, A_{s.min.SGU}) = 3.6 \text{ cm}^2$$

### 7.3.8. Maksymalny rozstaw zbrojenia głównego

$$s_{max.slabs} := \min(2 \cdot h_{pt}, 250 \text{ mm}) = 25 \text{ cm}$$

### 7.3.9. Minimalny rozstaw zbrojenia głównego

Maksymalny wymiar kruszywa

$$d_g := 16 \text{ mm}$$

Zalecana wartość współczynnika  $k_1$

$$k_1 := 1$$

Zalecana wartość współczynnika  $k_2$

$$k_2 := 5 \text{ mm}$$

Minimalny rozstaw zbrojenia

$$s_{min.slabs} := \max(k_1 \cdot \phi_{10}, d_g + k_2, 20 \text{ mm}) = 2.1 \text{ cm}$$

### 7.3.10. Maksymalny rozstaw zbrojenia rozdzielczego

$$s_{max.rozdz} := \min(3 \cdot h_{pt}, 400 \text{ mm}) = 40 \text{ cm}$$

### 7.3.11. Graniczna wartość efektywnej wysokości strefy ściskanej

Graniczne odkształcenie betonu ściskanego

$$\varepsilon_{cu} := 0.0035$$

Okształcenie stali odpowiadające granicy plastyczności

$$\varepsilon_{yd} := \frac{-f_{yd}}{E_s} = -0.0022$$

Względna graniczna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{lim} := \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + |\varepsilon_{yd}|} = 0.62$$

Względna graniczna efektywna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff.lim} := 0.8 \cdot \xi_{lim} = 0.49$$

## 7.4. Wymiarowanie zbrojenia na kierunku X

### 7.4.1. Nośność zbrojenia minimalnego

Wymagane zbrojenie minimalne na kierunku x

$$A_{s.min.xx} = 3.6 \text{ cm}^2$$

Założono zbrojenie minimalne:  $\phi 10$  co  $20 \text{ cm}$

$$A_{s.min.xx.prov} := 3.93 \text{ cm}^2$$

Sprawdzenie rozstawu zbrojenia

$$s_{max.slabs} \geq 20 \text{ cm} = 1$$

$$s_{min.slabs} \leq 20 \text{ cm} = 1$$

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{eff} := \frac{A_{s.min.xx.prov} \cdot f_{yd}}{f_{cd} \cdot b_{pt}} = 6.83 \text{ mm}$$

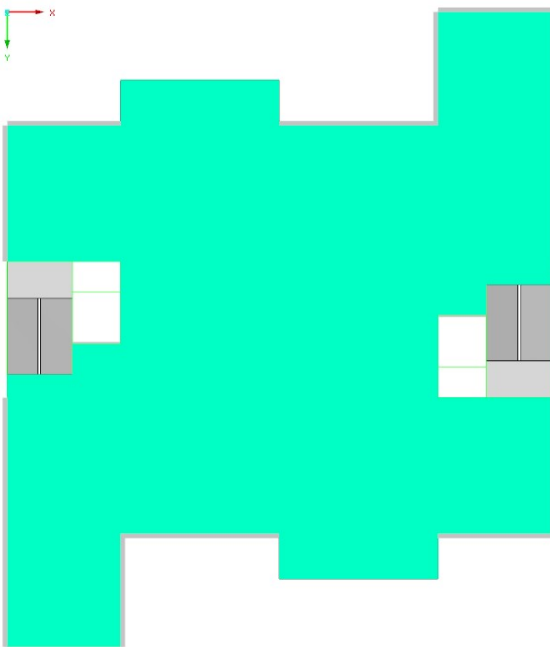
Względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} := \frac{x_{eff}}{d_x} = 0.05$$

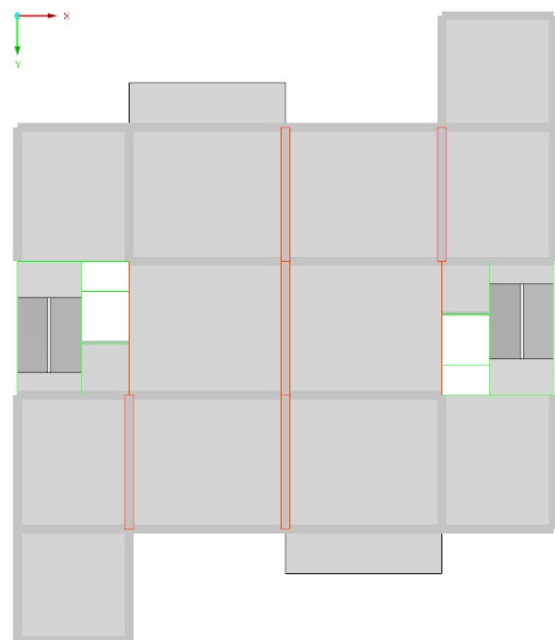
$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

### Nośność przyjętego zbrojenia minimalnego

$$M_{Rd} := f_{cd} \cdot b_{pt} \cdot x_{eff} \cdot (d_x - 0.5 \cdot x_{eff}) = 23.34 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Rys.7.8. Nośność zbrojenia minimalnego jest wystarczająca, by przenieść momenty przęsłowe na wszystkich polach.



Rys.7.9. Nośność przyjętego zbrojenia minimalnego nie jest wystarczająca, by przenieść momenty podporowe na zaznaczonych podporach.



### 7.4.2. Wymiarowanie zbrojenia nad podporami

Moment wymiarujący

$$M_{Ed} := M_{Ed.xx.pod} = 27.91 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Parametr pomocniczy

$$s_c := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{pt} \cdot d_x^2} = 0.06$$

Względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot s_c} = 0.06$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{eff} := \xi_{eff} \cdot d_x = 0.82 \text{ cm}$$

Wymagana powierzchnia zbrojenia

$$A_{s1} := \frac{f_{cd} \cdot b_{pt} \cdot x_{eff}}{f_{yd}} = 4.72 \text{ cm}^2$$

Minimalna powierzchnia zbrojenia

$$A_{s.min.xx} = 3.6 \text{ cm}^2$$

Powierzchnia zbrojenia

$$A_{s1.req.xx} := \max(A_{s1}, A_{s.min.xx}) = 4.72 \text{ cm}^2$$

Powierzchnia zbrojenia  $\phi 10$  co 15 cm

$$A_{s1.prov.xx} := 5.24 \text{ cm}^2$$

Sprawdzenie rozstawu zbrojenia

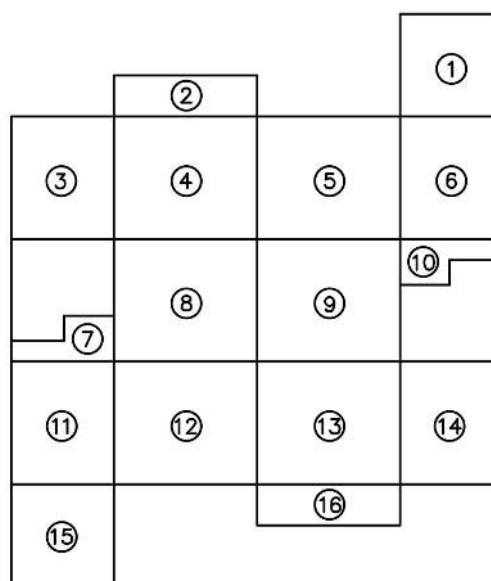
$$s_{max.slabs} \geq 15 \text{ cm} = 1$$

$$s_{min.slabs} \leq 15 \text{ cm} = 1$$

### 7.4.3. Zestawienie zbrojenia na kierunku X

Tab. 7.1. Zestawienie zbrojenia dolnego płyty na kierunku X

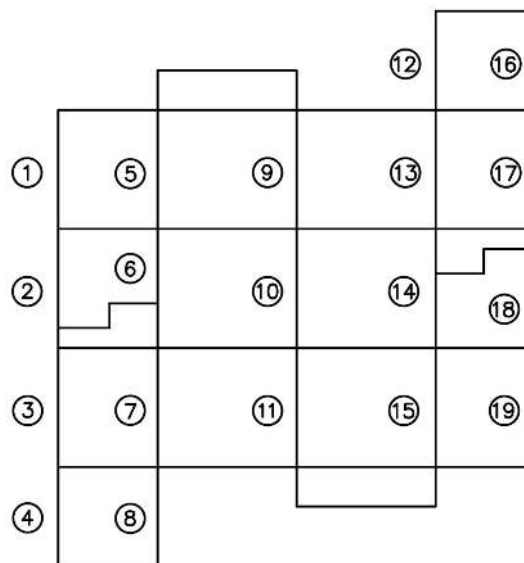
ZBROJENIE DOLNE PŁYTY NA KIERUNKU X			
Numer pola płyty	$A_{s1.prov}$ [cm <sup>2</sup> ]	Średnica zbrojenia [mm]	Rozstaw zbrojenia [cm]
1	3,93	10	20
2	5,24	10	15
3	3,93	10	20
4	3,93	10	20
5	3,93	10	20
6	3,93	10	20
7	3,93	10	20
8	3,93	10	20
9	3,93	10	20
10	3,93	10	20
11	3,93	10	20
12	3,93	10	20
13	3,93	10	20
14	3,93	10	20
15	3,93	10	20
16	5,24	10	15



Rys. 7.10. Numeracja płyt w osi na kierunku X

Tab.7.2. Zestawienie zbrojenia górnego płyty na kierunku X

ZBROJENIE GÓRNE PŁYTY NA KIERUNKU X			
Numer podpory	$A_{s1,prov}$ [cm <sup>2</sup> ]	Średnica zbrojenia [mm]	Rozstaw zbrojenia [cm]
1	3,93	10	20
2	3,93	10	20
3	3,93	10	20
4	3,93	10	20
5	3,93	10	20
6	5,24	10	15
7	5,24	10	15
8	3,93	10	20
9	5,24	10	15
10	5,24	10	15
11	5,24	10	15
12	3,93	10	20
13	5,24	10	15
14	5,24	10	15
15	3,93	10	20
16	3,93	10	20
17	3,93	10	20
18	3,93	10	20
19	3,93	10	20



Rys.7.11. Numeracja belek w osi na kierunku X

## 7.5. Wymiarowanie zbrojenia w kierunku Y

### 7.5.1. Sprawdzenie nośności zbrojenia minimalnego na kierunku Y

Wymagane zbrojenie minimalne na kierunku x

$$A_{s,min.yy} = 3.6 \text{ cm}^2$$

Założono zbrojenie minimalne:  $\phi 10$  co 20 cm

$$A_{s,min.yy,prov} := 3.96 \text{ cm}^2$$

Sprawdzenie rozstawu zbrojenia

$$s_{max.slabs} \geq 20 \text{ cm} = 1$$

$$s_{min.slabs} \leq 20 \text{ cm} = 1$$

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{eff} := \frac{A_{s,min.yy,prov} \cdot f_{yd}}{f_{cd} \cdot b_{pt}} = 6.89 \text{ mm}$$

Względna wysokość strefy ściskanej

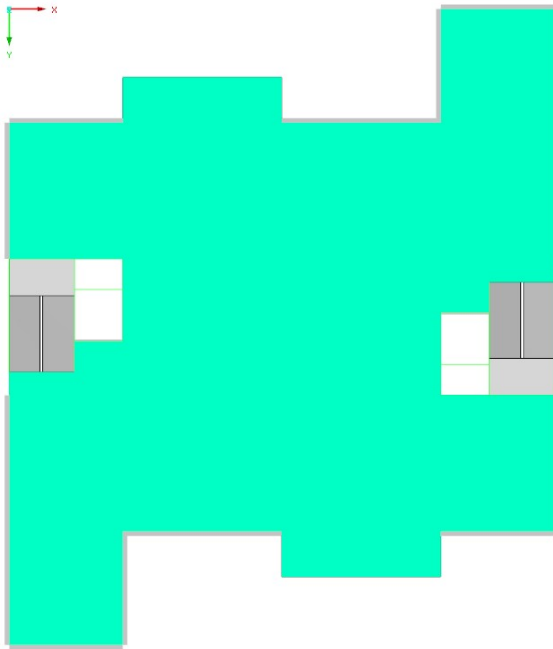
$$\xi_{eff} := \frac{x_{eff}}{d_y} = 0.05$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim} = 1$$

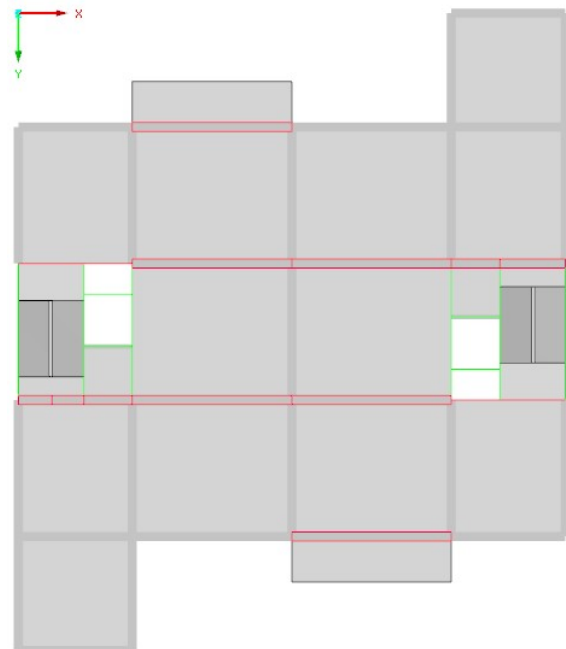
**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Nośność przyjętego zbrojenia minimalnego

$$M_{Rd} := f_{cd} \cdot b_{pt} \cdot x_{eff} \cdot (d_y - 0.5 \cdot x_{eff}) = 25.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Rys. 7.12. Nośność zbrojenia minimalnego jest wystarczająca, by przenieść momenty przęsłowe na wszystkich polach.



Rys. 7.13. Nośność przyjętego zbrojenia minimalnego nie jest wystarczająca, by przenieść momenty podporowe na zaznaczonych podporach.

### 7.5.2. Wymiarowanie zbrojenia nad podporami

Moment wymiarujący

$$M_{Ed} := M_{Ed.yy.pod} = 28.59 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Parametr pomocniczy

$$s_c := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{pt} \cdot d_y^2} = 0.05$$

Względna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot s_c} = 0.05$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{eff} := \xi_{eff} \cdot d_y = 7.83 \text{ mm}$$

Wymagana powierzchnia zbrojenia

$$A_{s1} := \frac{f_{cd} \cdot b_{pt} \cdot x_{eff}}{f_{yd}} = 4.5 \text{ cm}^2$$

Minimalna powierzchnia zbrojenia

$$A_{s.min.yy} = 3.6 \text{ cm}^2$$

Powierzchnia zbrojenia

$$A_{s1.req.yy} := \max(A_{s1}, A_{s.min.yy}) = 4.5 \text{ cm}^2$$

Powierzchnia zbrojenia  $\phi 10$  co 15 cm

$$A_{s1.prov.yy} := 5.24 \text{ cm}^2$$

Sprawdzenie rozstawu zbrojenia

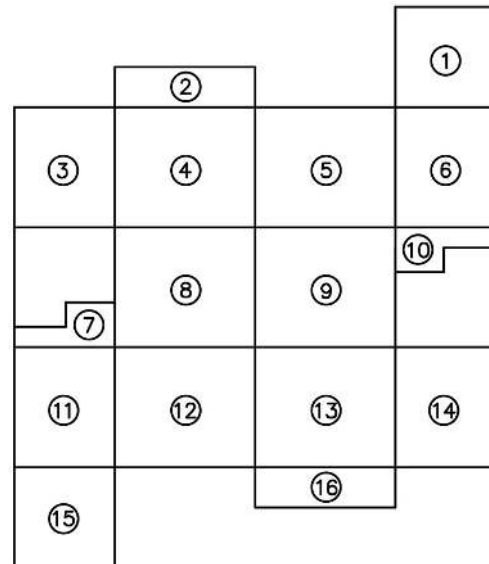
$$s_{max.slabs} \geq 15 \text{ cm} = 1$$

$$s_{min.slabs} \leq 15 \text{ cm} = 1$$

### 7.5.3. Zestawienie zbrojenia na kierunku Y

Tab.7.3. Zestawienie zbrojenia dolnego płyty na kierunku Y

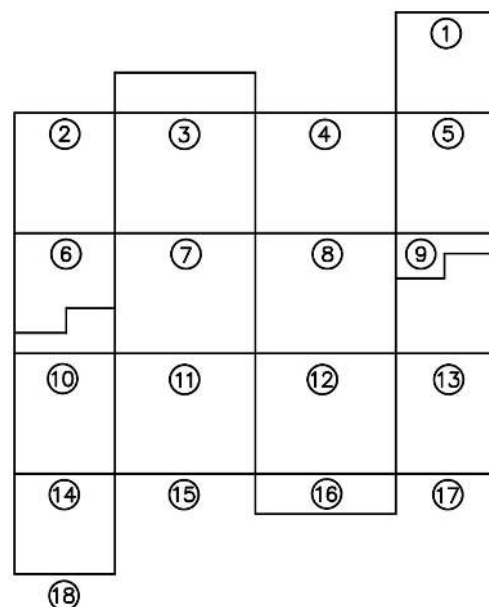
ZBROJENIE DOLNE PŁYTY NA KIERUNKU Y			
Numer pola płyty	$A_{s1,prov}$ [cm <sup>2</sup> ]	Średnica zbrojenia [mm]	Rozstaw zbrojenia [cm]
1	3,93	10	20
2	5,24	10	15
3	3,93	10	20
4	3,93	10	20
5	3,93	10	20
6	3,93	10	20
7	3,93	10	20
8	3,93	10	20
9	3,93	10	20
10	3,93	10	20
11	3,93	10	20
12	3,93	10	20
13	3,93	10	20
14	3,93	10	20
15	3,93	10	20
16	5,24	10	15



Rys.7.14. Numeracja płyt w osi na kierunku Y

Tab.7.4. Zestawienie zbrojenia górnego płyty na kierunku Y

ZBROJENIE GÓRNE PŁYTY NA KIERUNKU Y			
Numer podpory	$A_{s1,prov}$ [cm <sup>2</sup> ]	Średnica zbrojenia [mm]	Rozstaw zbrojenia [cm]
1	3,93	10	20
2	3,93	10	20
3	6,28	10	10/15
4	3,93	10	20
5	3,93	10	20
6	5,24	10	15
7	5,24	10	15
8	5,24	10	15
9	5,24	10	15
10	5,24	10	15
11	5,24	10	15
12	5,24	10	15
13	5,24	10	15
14	3,93	10	20
15	3,93	10	20
16	6,28	10	10/15
17	3,93	10	20
18	3,93	10	20



Rys.7.14. Numeracja belek w osi na kierunku Y

## 7.6. Zakotwienie i zakład prętów

### 7.6.1. Graniczne naprężenie przyczepności

Wartość zalecana współczynnika	$\alpha_{ct} := 1$
Współczynnik częściowy betonu	$\gamma_c = 1.4$
Charakterystyczna wytrzymałość betonu na rozciąganie	$f_{ctk.0.05} := 2.2 \text{ MPa}$
Wartość obliczeniowa wytrzymałości betonu na rozciąganie	$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.57 \text{ MPa}$
Współczynnik zależny od jakości warunków przyczepności i pozycji pręta w czasie betonowania (dobre warunki)	$\eta_1 := 1$
Współczynnik zależny od średnicy pręta (dla $\leq \phi 32 \text{ mm}$ )	$\eta_2 := 1$
Wartość obliczeniowa granicznego naprężenia przyczepności dla prętów żebrowanych	$f_{bd} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3.54 \text{ MPa}$

### 7.6.2. Podstawowa długość zakotwienia

Największa wartość	$\sigma_{sd} := f_{yd} = 434.78 \text{ MPa}$
Podstawowa wymagana długość zakotwienia	$l_{b.rqd} := \frac{\phi_{10}}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = 30.74 \text{ cm}$

### 7.6.3. Obliczeniowa długość zakotwienia

Minimalna długość zakotwienia	$l_{b.min} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi_{10}, 100 \text{ mm}) = 10 \text{ cm}$
Współczynnik zależny od kształtu prętów (pręty proste)	$\alpha_1 := 1$
Współczynnik zależny od najmniejszego otulenia betonem	$\alpha_2 := 1$
Współczynnik zależny od wpływu skrępowania betonu przez zbrojenie poprzeczne	$\alpha_3 := 1$

Obliczeniowa długość zakotwienia  $l_{bd} := \max(\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b.rqd}, l_{b.min}) = 30.74 \text{ cm}$

**Przyjęto długość zakotwienia**  $l_z := 30 \text{ cm}$

#### 7.6.4. Połączenie na zakład

Współczynnik zależny od udziału prętów  
połączonych na zakład w całym polu  
przekroju zbrojenia  $\alpha_6 := 1.5$

Minimalna długość  
połączenia na zakład  $l_{0.min} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd}, 15 \cdot \phi_{10}, 200 \text{ mm}) = 20 \text{ cm}$

Obliczeniowa długość zakładu  $l_0 := \max(\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd}, l_{0.min}) = 46.11 \text{ cm}$

**Przyjęto długość zakładu**  $l_0 := 50 \text{ cm}$

#### 7.6.5. Zbrojenie rozdzielcze

Przewiduje się Zastosowanie jednakowego zbrojenia rozdzielczego we wszystkich polach płyty

Minimalne pole przekroju zbrojenia rozdzielczego

$$A_{s.prov.min} := \max(5.24 \text{ cm}^2, 3.93 \text{ cm}^2) = 5.24 \text{ cm}^2$$

$$A_{s.rozd.min} := 0.2 \cdot A_{s.prov.min} = 1.05 \text{ cm}^2$$

Maksymalny rozstaw zbrojenia rozdzielczego  $s_{max.rozdz} = 40 \text{ cm}$

Przyjęte zbrojenie rozdzielcze:  $\phi 8$  co 30 cm  $A_{s.rozdz} := 1.68 \text{ cm}^2$

## 7.7 Stan graniczny użyteczności - zarysowanie

### 7.7.1. Zarysowanie na kierunku X - przęsło o największym momencie zginającym

Wskaźnik wytrzymałości  $W_c := \frac{b_{pt} \cdot h_{pt}^2}{6} = 0.005 \text{ m}^3$

Średnia wytrzymałość betonu na rozciąganie  $f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$

Moment rysujący  $M_{cr} := f_{ctm} \cdot W_c = 17.28 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Sprawdzenie dla kombinacji Charakterystycznej

Maksymalny moment przęsłowy  $M_{Ek} := 11.18 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Ek} \leq M_{cr} = 1$$

**Wniosek: Element niezarysowany**

### 7.7.2. Zarysowanie na kierunku X - podpora I rodzaju

**Podpora I rodzaju - belki, w których założono zbrojenie minimalne  $\phi 10$  co 20cm**

Sprawdzenie dla kombinacji Charakterystycznej

Maksymalny moment podporowy  $M_{Ek} := 15.10 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Ek} \leq M_{cr} = 1$$

**Wniosek: Element niezarysowany**

### 7.7.3. Zarysowanie na kierunku X - podpora II rodzaju

**Podpora II rodzaju- belki, w których założono zbrojenie  $\phi 10$  co 15cm**

Sprawdzenie dla kombinacji Charakterystycznej

Maksymalny moment podporowy  $M_{Ek} := 26.83 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Ek} \leq M_{cr} = 0$$

**Wniosek: Element zarysowany**

Sprawdzenie szerokości rozwarcia rys dla kombinacji Quasi stałej

Maksymalny moment przęsłowy  $M_{Eqs} := 19.05 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Pole przyjętego zbrojenia w przekroju zarysowanym

$$A_{s1,prov.xx} := 5.24 \text{ cm}^2$$

Stożek zbrojenia

$$\rho := \frac{A_{s1,prov.xx}}{b_{pt} \cdot d_x} = 0.37\%$$

Współczynnik  $\zeta$  dla  $\rho \leq 0.5$

$$\zeta := 0.9$$

$$\sigma_s := \frac{M_{Eqs}}{d_x \cdot \zeta \cdot A_{s1,prov.xx}} = 288.53 \text{ MPa}$$

Średnica zbrojenia dla szerokości rys równej 0,3 mm

$$\phi'_s := 10 \text{ mm} + \frac{(320 \text{ MPa} - \sigma_s) \cdot (12 \text{ mm} - 10 \text{ mm})}{320 \text{ MPa} - 280 \text{ MPa}} = 11.57 \text{ mm}$$

Zasięg strefy rozciąganej bezpośrednio przed zarysowaniem

$$h_{cr} := 0.5 \cdot h_{pt} = 9 \text{ cm}$$

Zastosowana średnica zbrojenia

$$\phi_{prov} := 10 \text{ mm}$$

Współczynnik  $k_c$

$$k_c := 0.4$$

Średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

Odległość od dolnej krawędzi do osi zbrojenia na kierunku x

$$a_x := h_{pt} - d_x = 4 \text{ cm}$$

$$a_x < 0.1 \cdot h_{pt} = 0$$

#### Zmodyfikowana maksymalna średnica prętów

współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych, samorównoważących się naprężeń

$$k := 1$$

$$\phi := \phi'_s \cdot \frac{k \cdot f_{ct,eff}}{2.9 \text{ MPa}} \cdot \frac{5 \cdot h_{cr} \cdot k_c}{h_{pt}} = 12.77 \text{ mm}$$

#### Sprawdzenie warunku

$\phi > \phi_{prov} = 1$  **Wniosek: Szerokość rozwarcia rys nie przekroczy wartości granicznej**



#### 7.7.4. Zarysowanie na kierunku Y - przęsło o największym momencie zginającym

Moment rysujący  $M_{cr} = 17.28 \text{ kN} \cdot \text{m}$

##### Sprawdzenie dla kombinacji charakterystycznej

Maksymalny moment przęsłowy  $M_{Ek} := 13.19 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Ek} \leq M_{cr} = 1$$

**Wniosek: Element niezarysowany**

#### 7.7.5. Zarysowanie na kierunku Y - podpora I rodzaju

Podpora I rodzaju - belki, w których założono zbrojenie minimalne  $\phi 10$  co 20cm

##### Sprawdzenie dla kombinacji Charakterystycznej

Maksymalny moment podporowy  $M_{Ek} := 15.28 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Ek} \leq M_{cr} = 1$$

**Wniosek: Element niezarysowany**

#### 7.7.6. Zarysowanie na kierunku Y - podpora II rodzaju

Podpora II rodzaju - belki, w których założono zbrojenie  $\phi 10$  co 15cm

##### Sprawdzenie dla kombinacji Charakterystycznej

Maksymalny moment podporowy  $M_{Ek} := 30.17 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Ek} \leq M_{cr} = 0$$

**Wniosek: Element zarysowany**

##### Sprawdzenie szerokości rozwarcia rys dla kombinacji Quasi stałej

Maksymalny moment przęsłowy  $M_{Eqs} := 19.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Pole przyjętego zbrojenia w przekroju zarysowanym  $A_{s1.prov.yy} := 5.24 \text{ cm}^2$

Stopień zbrojenia  $\rho := \frac{A_{s1.prov.yy}}{b_{pt} \cdot d_y} = 0.35\%$

Współczynnik  $\zeta$  dla  $\rho \leq 0.5$   $\zeta := 0.9$

$$\sigma_s := \frac{M_{Eqs}}{d_y \cdot \zeta \cdot A_{s1,prov.yy}} = 277.78 \text{ MPa}$$

Średnica zbrojenia dla szerokości rys równej 0,3 mm

$$\phi'_s := 10 \text{ mm} + \frac{(320 \text{ MPa} - \sigma_s) \cdot (12 \text{ mm} - 10 \text{ mm})}{320 \text{ MPa} - 280 \text{ MPa}} = 12.11 \text{ mm}$$

Zasięg strefy rozciąganej bezpośrednio przed zarysowaniem

$$h_{cr} := 0.5 \cdot h_{pt} = 9 \text{ cm}$$

Zastosowana średnica zbrojenia

$$\phi_{prov} := 10 \text{ mm}$$

Współczynnik  $k_c$

$$k_c := 0.4$$

Średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

Odległość od dolnej krawędzi do osi zbrojenia na kierunku x

$$a_y := h_{pt} - d_y = 3 \text{ cm}$$

$$a_y < 0.1 \cdot h_{pt} = 0$$

Zmodyfikowana maksymalna średnica prętów

współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych, samorównoważących się naprężeń

$$k := 1$$

$$\phi := \phi'_s \cdot \frac{k \cdot f_{ct,eff}}{2.9 \text{ MPa}} \cdot \frac{5 \cdot h_{cr} \cdot k_c}{h_{pt}} = 13.36 \text{ mm}$$

Sprawdzenie warunku

$\phi > \phi_{prov} = 1$  **Wniosek: Szerokość rozwarcia rys nie przekroczy wartości granicznej**

**7.8. Stan graniczny użyteczności - ugięcie****7.8.1. Ugięcie na kierunku X - przeszło skrajne**

Współczynnik zależny od rodzaju konstrukcji - skrajne przeszło płyty ciągłej dwukierunkowo zbrojonej

$$K := 1.3$$

Zbrojenie wymagane

$$A_{s.min.xx} = 3.6 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie zastosowane

$$A_{s.min.xx.prov} = 3.93 \text{ cm}^2$$

Przyjęty stopień zbrojenia

$$\rho := \frac{A_{s.min.xx.prov}}{b_{pt} \cdot d_x} = 0.003$$

Porównawczy stopień zbrojenia

$$\rho_0 := \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot 10^{-3} = 0.59\%$$

Sprawdzenie warunku

$$\rho_0 \geq \rho = 1 \quad \text{Korzystam ze wzoru 7.16a}$$

Graniczny stosunek rozpiętości do wysokości użytecznej

$$l_{do}d_{max} := \frac{500 \text{ MPa}}{f_{yk} \cdot A_{s1.req.xx}} \cdot K \cdot \left( 11 + 1.5 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right) = 55.99$$

$$\frac{A_{s.min.xx.prov}}{A_{s1.req.xx}}$$

$$a_1 := \min\left(\frac{1}{2} \cdot h_{b1}, \frac{1}{2} \cdot b_{b1}\right) = 20 \text{ cm}$$

$$a_2 := a_1 = 20 \text{ cm}$$

Wymiary analizowanej płyty

$$l_{pt.x} := 5 \text{ m}$$

Rzeczywisty stosunek rozpiętości do wysokości użytecznej

$$l_{eff} := l_{pt.x} + a_1 + a_2 = 5.4 \text{ m}$$

Sprawdzenie warunku

$$l_{do}d_{rzecz} := \frac{l_{eff}}{d_x} = 38.57$$

$$l_{do}d_{max} > l_{do}d_{rzecz} = 1$$

**Wniosek: Ugięcie nie przekroczy ugięcia dopuszczalnego**

### 7.8.2. Ugięcie na kierunku X - przęsło wewnętrzne

Współczynnik zależny od rodzaju konstrukcji  
- przęsło wewnętrzne płyty ciągłej  
dwukierunkowo zbrojonej

$$K := 1.5$$

Zbrojenie wymagane

$$A_{s.min.xx} = 3.6 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie zastosowane

$$A_{s.min.xx.prov} = 3.93 \text{ cm}^2$$

Przyjęty stopień zbrojenia

$$\rho := \frac{A_{s.min.xx.prov}}{b_{pt} \cdot d_x} = 0.003$$

Porównawczy stopień zbrojenia

$$\rho_0 := \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot 10^{-3} = 0.59\%$$

Sprawdzenie warunku

$$\rho_0 \geq \rho = 1 \quad \text{Korzystam ze wzoru 7.16a}$$

Graniczny stosunek rozpiętości do wysokości użytecznej

$$l_{do}d_{max} := \frac{500 \text{ MPa}}{f_{yk} \cdot A_{s1.req.xx}} \cdot K \cdot \left( 11 + 1.5 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^2 \right) = 64.6$$

$$A_{s.min.xx.prov}$$

$$a_1 := \min\left(\frac{1}{2} \cdot h_{b1}, \frac{1}{2} \cdot b_{b1}\right) = 20 \text{ cm}$$

$$a_2 := a_1 = 20 \text{ cm}$$

Wymiary analizowanej płyty

$$l_{pt.x} := 7.0 \text{ m}$$

Rzeczywisty stosunek rozpiętości  
do wysokości użytecznej

$$l_{eff} := l_{pt.x} + a_1 + a_2 = 7.4 \text{ m}$$

Sprawdzenie warunku

$$l_{do}d_{rzecz} := \frac{l_{eff}}{d_x} = 52.86$$

$$l_{do}d_{max} > l_{do}d_{rzecz} = 1$$

**Wniosek: Ugięcie nie przekroczy ugięcia dopuszczalnego**

**7.8.3. Ugięcie na kierunku Y - przeszło skrajne**

Współczynnik zależny od rodzaju  
konstrukcji - skrajne przeszło płyty ciągłej  
dwukierunkowo zbrojonej  
Zbrojenie wymagane

$$K := 1.3$$

$$A_{s,min.yy} = 3.6 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie zastosowane

$$A_{s,min.yy,prov} = 3.96 \text{ cm}^2$$

Przyjęty stopień zbrojenia

$$\rho := \frac{A_{s,min.yy,prov}}{b_{pt} \cdot d_y} = 0.003$$

Porównawczy stopień zbrojenia

$$\rho_0 := \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot 10^{-3} = 0.59\%$$

Sprawdzenie warunku

$$\rho_0 \geq \rho = 1 \quad \text{Korzystam ze wzoru 7.16a}$$

Graniczny stosunek rozpiętości do wysokościużytecznej

$$l_{do}d_{max} := \frac{500 \text{ MPa}}{f_{yk} \cdot A_{s1,req.yy}} \cdot K \cdot \left( 11 + 1.5 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right) = 65.25$$

$$\frac{A_{s,min.yy,prov}}{A_{s1,req.yy}}$$

$$a_1 := \min\left(\frac{1}{2} \cdot h_{b2}, \frac{1}{2} \cdot b_{b2}\right) = 20 \text{ cm}$$

$$a_2 := a_1 = 20 \text{ cm}$$

Wymiary analizowanej płyty

$$l_{pt,y} := 5 \text{ m}$$

Rzeczywisty stosunek rozpiętości do  
wysokości użytecznej

$$l_{eff} := l_{pt,y} + a_1 + a_2 = 5.4 \text{ m}$$

Sprawdzenie warunku

$$l_{do}d_{rzecz} := \frac{l_{eff}}{d_y} = 36$$

$$l_{do}d_{max} > l_{do}d_{rzecz} = 1$$

**Wniosek: Ugięcie nie przekroczy ugięcia dopuszczalnego**

#### 7.8.4. Ugięcie na kierunku Y - przeszło wewnętrzne

Współczynnik zależny od rodzaju konstrukcji - przeszło wewnętrzne płyty ciągłej dwukierunkowo zbrojonej

$$K := 1.5$$

Zbrojenie wymagane

$$A_{s,min.yy} = 3.6 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie zastosowane

$$A_{s,min.yy,prov} = 3.96 \text{ cm}^2$$

Przyjęty stopień zbrojenia

$$\rho := \frac{A_{s,min.yy,prov}}{b_{pt} \cdot d_y} = 0.003$$

Porównawczy stopień zbrojenia

$$\rho_0 := \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot 10^{-3} = 0.59\%$$

Sprawdzenie warunku

$$\rho_0 \geq \rho = 1$$

Korzystam ze wzoru 7.16a

Graniczny stosunek rozpiętości do wysokościużytecznej

$$l_{do}d_{max} := \frac{500 \text{ MPa}}{f_{yk} \cdot A_{s1,req.yy}} \cdot K \cdot \left( 11 + 1.5 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right) = 75.29$$

$$A_{s,min.yy,prov}$$

$$a_1 := \min\left(\frac{1}{2} \cdot h_{b2}, \frac{1}{2} \cdot b_{b2}\right) = 20 \text{ cm}$$

$$a_2 := a_1 = 20 \text{ cm}$$

Wymiary analizowanej płyty

$$l_{pt.y} := 6.0 \text{ m}$$

Rzeczywisty stosunek rozpiętości do wysokości użytecznej

$$l_{eff} := l_{pt.y} + a_1 + a_2 = 6.4 \text{ m}$$

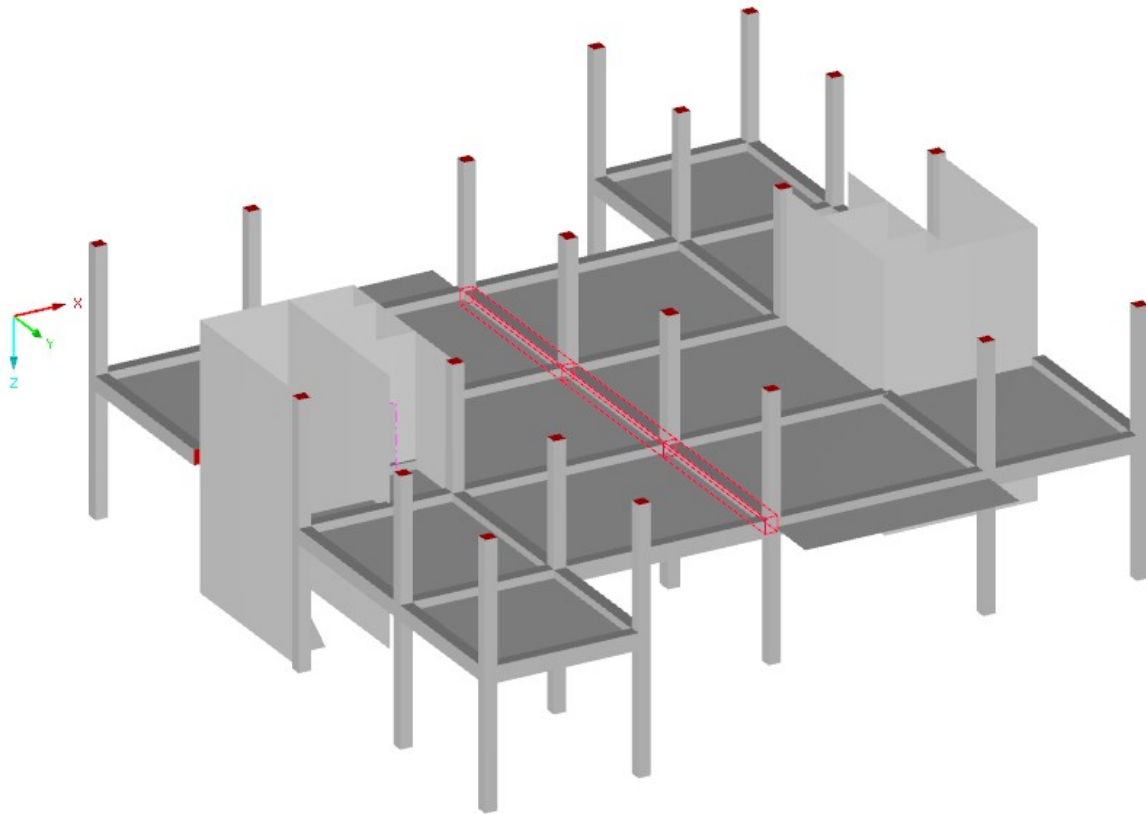
Sprawdzenie warunku

$$l_{do}d_{rzecz} := \frac{l_{eff}}{d_x} = 45.71$$

$$l_{do}d_{max} > l_{do}d_{rzecz} = 1$$

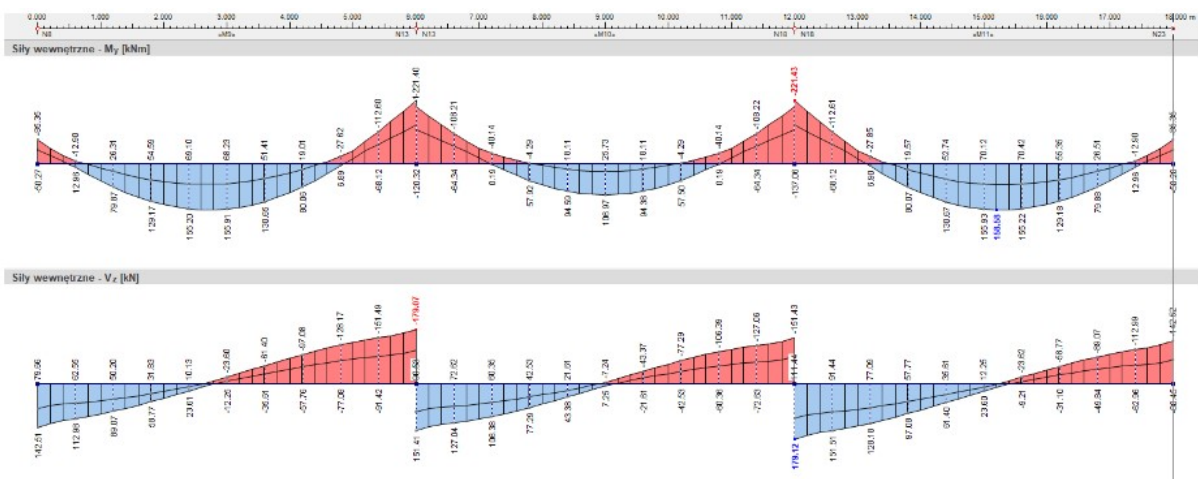
**Wniosek: Ugięcie nie przekroczy ugięcia dopuszczalnego**

## 8. Wymiarowanie belki stropowej w osi "3"



Rys.8.1. Lokalizacja projektowanej belki w stropie.

### 8.1. Wykresy sił wewnętrznych belki



Rys.8.2. Wykresy sił wewnętrznych belki [ $M_y, V_z$ ]

## 8.2. Dane do wymiarowania

### 8.2.1. Klasa ekspozycji

Przyjęto klasę ekspozycji XC3 (Środowisko umiarkowanie wilgotne)

### 8.2.2. Klasa betonu

Przyjęto klasę betonu - C35/45 (kruszywo kwarcytowe)

Wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie	$f_{ck} := 35 \text{ MPa}$
Wartość współczynnika częściowego $\gamma_c$	$\gamma_c := 1.4$
Współczynnik częściowy dla betonu	$\alpha_{cc} := 1$
Wartość obliczeniowa wytrzymałości na ściskanie	$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 25 \text{ MPa}$
Średnia wytrzymałość na ściskanie	$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 43 \text{ MPa}$
Moduł sprężystości betonu	$E_{cm} := 34 \text{ GPa}$
Średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie osiowe	$f_{ctm} := 3.2 \text{ MPa}$

### 8.2.3. Dobór stali

Przyjęto stal żebrowaną - RB500W

Charakterystyczna granica plastyczności	$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
Wartość współczynnika częściowego	$\gamma_s := 1.15$
Wartość obliczeniowa granicy plastyczności	$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78 \text{ MPa}$
Moduł Younga dla stali	$E_s := 200 \text{ GPa}$

### 8.2.4. Otulenie zbrojenia

Przyjęto klasę konstrukcji S3

Średnica zbrojenia belki	$\phi := 16 \text{ mm}$
Minimalne otulenie ze względu na przyczepność	$c_{min.b} := \phi = 16 \text{ mm}$



Minimalne otulenie ze względu na warunki środowiska	$c_{min.dur} := 20 \text{ mm}$
Dodatek ze względu na odchyłkę	$\Delta c_{dev} := 10 \text{ mm}$
Minimalne otulenie	$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur}, 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$
Nominalne otulenie	$c_{nom.b} := c_{min} + \Delta c_{dev} = 30 \text{ mm}$

### 8.2.5. Wysokość użyteczna belki

Wysokość belki:	$h_{b1} = 55 \text{ cm}$
Szerokość belki:	$b_{b1} = 40 \text{ cm}$
Wstępna średnica zbrojenia belki dołem	$\phi_{pod.d} := \phi = 16 \text{ mm}$
Wstępna średnica zbrojenia belki górą	$\phi_{pod.g} := \phi = 16 \text{ mm}$
Wstępna średnica pręta strzemion	$\phi_s := 8 \text{ mm}$
Wysokość użyteczna belki dla zbrojenia dolnego	$d_d := h_{b1} - c_{nom.b} - \phi_s - \frac{1}{2} \cdot \phi_{pod.d} = 50.4 \text{ cm}$
Wysokość użyteczna belki dla zbrojenia górnego	$d_g := h_{b1} - c_{nom.pt} - \phi_s - \frac{1}{2} \phi_{pod.g} = 50.9 \text{ cm}$

### 8.2.6. Wyznaczenie szerokości efektywnej belki

#### Przęsła skrajne "B-C" i "D-E"

Szerokość belki	$b_w := b_{b1} = 40 \text{ cm}$
Szerokość pomiędzy środkami belek w osiach "2" i "3"	$b_L := 7.00 \text{ m}$
Szerokość pomiędzy środkami belek w osiach "3" i "4"	$b_P := 7.00 \text{ m}$
Obliczenie połowy odległości w świetle między podciągami (z lewej)	$b_1 := \frac{b_L - b_w}{2} = 3.3 \text{ m}$
Obliczenie połowy odległości w świetle między podciągami (z prawej)	$b_2 := \frac{b_P - b_w}{2} = 3.3 \text{ m}$

Odległość między punktami zerowymi momentu zginającego

$$l_0 := 0.85 \cdot 6 \text{ m} = 510 \text{ cm}$$

Efektywna szerokość półki

$$b_{eff.i.L} := \min(0.2 \cdot b_1 + 0.1 \cdot l_0, 0.2 \cdot l_0, b_1) = 102 \text{ cm}$$

$$b_{eff.i.P} := \min(0.2 \cdot b_2 + 0.1 \cdot l_0, 0.2 \cdot l_0, b_2) = 102 \text{ cm}$$

$$b_{eff.3s} := b_{eff.i.L} + b_{eff.i.P} + b_w = 2.44 \text{ m}$$

### Przęsło wewnętrzne "C-D"

Odległość między punktami zerowymi momentu zginającego

$$l_0 := 0.7 \cdot 6 \text{ m} = 420 \text{ cm}$$

Efektywna szerokość półki

$$b_{eff.i.L} := \min(0.2 \cdot b_1 + 0.1 \cdot l_0, 0.2 \cdot l_0, b_1) = 84 \text{ cm}$$

$$b_{eff.i.P} := \min(0.2 \cdot b_2 + 0.1 \cdot l_0, 0.2 \cdot l_0, b_2) = 84 \text{ cm}$$

$$b_{eff.3w} := b_{eff.i.L} + b_{eff.i.P} + b_w = 2.08 \text{ m}$$

### 8.2.7. Zbrojenie minimalne belki

Wysokość belki

$$h_w := h_{b1} = 55 \text{ cm}$$

Szerokość strefy rozciąganej

$$b_t := b_{b1} = 40 \text{ cm}$$

Średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie

$$f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

Charakterystyczna granica plastyczności stali

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

- Minimalne zbrojenie ze względu na kruche zniszczenie

$$A_{s.min.x.dół} := \max\left(0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d_g, 0.0013 \cdot b_t \cdot d_g\right) = 3.39 \text{ cm}^2$$

$$A_{s.min.x.góra} := \max\left(0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d_d, 0.0013 \cdot b_t \cdot d_d\right) = 3.35 \text{ cm}^2$$

• **Minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie**

Maksymalne rozwarście rysy dla klasy XC3 ze względów na estetykę

$$w_{lim} := 0.3 \text{ mm}$$

Wysokość strefy rozciąganej tuż przed zarysowaniem

$$h_{cr} := \frac{1}{2} \cdot h_{b2} = 25 \text{ cm}$$

Pole przekroju strefy rozciąganej betonu

$$A_{ct} := b_t \cdot h_{cr} = 1000 \text{ cm}^2$$

Współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych, samorónoważących się naprężeń. Wartość interpolowana.

$$k := 0.825$$

Współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w chwili bezpośrednio poprzedzającej zarysowanie

$$k_c := 0.4$$

Średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie osiągnięta w chwili, w której przewiduje się powstanie rysy

$$f_{ct,eff} = 3.2 \text{ MPa}$$

Wartość bezwzględna maksymalnego dozwolonego naprężenia w zbrojeniu pojawiającego się natychmiast po zarysowaniu

$$\sigma_s := 240 \text{ MPa}$$

Minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie

$$A_{s,min,x} := \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = 4.4 \text{ cm}^2$$

**Ostateczne minimalne zbrojenia belki**

$$A_{s,min,pp} := \max(A_{s,min,x,dót}, A_{s,min,x,góra}, A_{s,min,x}) = 4.4 \text{ cm}^2$$

**8.2.8. Zbrojenie maksymalne belki**

$$A_{s,max,pp} := 0.04 \cdot b_w \cdot h_w = 88.00 \text{ cm}^2$$

**8.2.9. Minimalny rozstaw zbrojenia głównego**

Wstępna średnica zbrojenia podciągu

$$\phi = 16 \text{ mm}$$

Maksymalny wymiar kruszywa

$$d_{kr} := 16 \text{ mm}$$

Zalecana wartość współczynnika  $k_1$

$$k_1 := 1$$

Zalecana wartość współczynnika  $k_2$   $k_2 := 5 \text{ mm}$

Minimalny rozstaw zbrojenia

$$s_{min} := \max(k_1 \cdot \phi, d_{kr} + k_2, 20 \text{ mm}) = 21.0 \text{ mm}$$

### 8.2.10. Wartości momentów zginających

Momenty przęsłowe pomiędzy osiami

"B-C"  $M_{Ed.max.BC} := 158.58 \text{ kN} \cdot \text{m}$

"C-D"  $M_{Ed.max.CD} := 106.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$

"D-E"  $M_{Ed.max.DE} := 158.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Moment krawędziowy na podporze: (odczytane bezpośrednio z programu)

"C"  $M_{kr.C.L} := 183.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$   $M_{kr.C.P} := 167.22 \text{ kN} \cdot \text{m}$

"D"  $M_{kr.D.L} := 167.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$   $M_{kr.D.P} := 183.25 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Wymiarujący moment krawędziowy na podporze:

"B"  $M_{Ed.kr.B} := 56.60 \text{ kN} \cdot \text{m}$

"C"  $M_{Ed.kr.C} := \max(M_{kr.C.L}, M_{kr.C.P}) = 183.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$

"D"  $M_{Ed.kr.D} := \max(M_{kr.D.L}, M_{kr.D.P}) = 183.25 \text{ kN} \cdot \text{m}$

"E"  $M_{Ed.kr.E} := 56.60 \text{ kN} \cdot \text{m}$

#### W celu ułatwienia obliczeń:

- Przęsła "B-C" oraz "D-E" wymiarowane będą na ten sam, większy moment w nich występujący z przyjęciem  $b_{eff.3s}$ ,
- Przęsło "C-D" wymiarowane będzie osobno z przyjęciem  $b_{eff.3w}$ ,
- Zbrojenie nad podporą w osi "C" oraz "D" wymiarowane będzie na ten sam, większy moment nad nimi występujący.
- Zbrojenie nad podporą w osi "B" oraz "E" wymiarowane będzie na ten sam, większy moment nad nimi występujący.

### 8.3. Wyznaczenie zbrojenia na zginanie

#### 8.3.1. Zbrojenie dolne w przęsłach "B-C" i "D-E"

Moment wymiarujący  $M_{Ed} := \max(M_{Ed.max.BC}, M_{Ed.max.DE}) = 158.58 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Szerokość efektywna  $b_{eff} := b_{eff.3s} = 2.44 \text{ m}$

Wysokość płyty  $h_f := h_{pt} = 18 \text{ cm}$

Moment płytowy  $M_f := b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot \left(d_d - \frac{1}{2} \cdot h_f\right) = 4545.72 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Ed} \leq M_f = 1$$

**Wniosek: Przekrój pozornie teowy**

Parametr pomocniczy  $S_{c.eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d_d^2} = 0.01$

Względna graniczna wysokość strefy ściskanej  $\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c.eff}} = 0.01$

$$\xi_{eff.lim} = 0.49$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej  $x_{eff} := d_d \cdot \xi_{eff} = 0.52 \text{ cm}$

Wymagana powierzchnia zbrojenia  $A_{s1.BC} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_{eff}}{f_{yd}} = 7.27 \text{ cm}^2$

Zbrojenie minimalne przęsła  $A_{s.min.pp} = 4.40 \text{ cm}^2$

$$A_{s1.req.BC} := \max(A_{s1.BC}, A_{s.min.pp}) = 7.27 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1.req.DE} := A_{s1.req.BC} = 7.27 \text{ cm}^2$$

Teoretyczna liczba prętów  $n := \frac{A_{s1.req.BC}}{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.d}}{2}\right)^2} = 3.62$

Liczba prętów  $n := \text{ceil}(n) = 4$

Przyjęta powierzchnia przekroju  
poprzecznego zbrojenia

$$A_{s1.prov.BC} := n \cdot \pi \cdot \left( \frac{\phi_{pod.d}}{2} \right)^2 = 8.04 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1.prov.DE} := A_{s1.prov.BC} = 8.04 \text{ cm}^2$$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.d} - (n-1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1$$

**Warunek spełniony**

**Przyjęto, iż belka w przęsłach "B-C" i "D-E" dołem zbrojona będzie 4 prętami  $\phi 16$ .**

### 8.3.2. Zbrojenie dolne w przęśle "C-D"

Moment wymiarujący

$$M_{Ed} := M_{Ed.max.CD} = 106.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Szerokość efektywna

$$b_{eff} := b_{eff.3w} = 2.08 \text{ m}$$

Moment płytowy

$$M_f := b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot \left( d_d - \frac{1}{2} \cdot h_f \right) = 3875.04 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed} \leq M_f = 1$$

**Wniosek: Przekrój pozornie teowy**

Parametr pomocniczy

$$S_{c.eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d_d^2} = 0.01$$

Względna graniczna  
wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c.eff}} = 0.01$$

$$\xi_{eff.lim} = 0.49$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{eff} := d_d \cdot \xi_{eff} = 0.41 \text{ cm}$$

Wymagana powierzchnia zbrojenia

$$A_{s1.CD} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_{eff}}{f_{yd}} = 4.90 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie minimalne przęsła

$$A_{s.min.pp} = 4.40 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1.req.CD} := \max(A_{s1.CD}, A_{s.min.pp}) = 4.90 \text{ cm}^2$$

Teoretyczna liczba prętów  $n := \frac{A_{s1.req.CD}}{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.d}}{2}\right)^2} = 2.44$

Liczba prętów  $n := \text{ceil}(n) = 3$

Przyjęta powierzchnia przekroju poprzecznego zbrojenia  $A_{s1.prov.CD} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.d}}{2}\right)^2 = 6.03 \text{ cm}^2$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.d} - (n - 1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

**Przyjęto, iż belka w przęśle "C-D" dołem zbrojona będzie 3 prętami  $\phi 16$ .**

### 8.3.3. Zbrojenie górne nad podporą w osi "C" oraz "D"

Moment wymiarujący  $M_{Ed} := \max(M_{Ed.kr.C}, M_{Ed.kr.D}) = 183.25 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Parametr pomocniczy  $S_{c.eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d_g^2} = 0.07$

Względna graniczna wysokość strefy ściskanej  $\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c.eff}} = 0.07$

$$\xi_{eff.lim} = 0.49$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej  $x_{eff} := d_g \cdot \xi_{eff} = 3.74 \text{ cm}$

Wymagana powierzchnia zbrojenia  $A_{s1.C} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_w}{f_{yd}} = 8.60 \text{ cm}^2$

Zbrojenie minimalne przęsła  $A_{s.min.pp} = 4.40 \text{ cm}^2$

$$A_{s1.req.C} := \max(A_{s1.C}, A_{s.min.pp}) = 8.60 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1.req.D} := A_{s1.req.C} = 8.60 \text{ cm}^2$$

Teoretyczna liczba prętów	$n := \frac{A_{s1.req.C}}{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2} = 4.28$
Liczba prętów	$n := \text{ceil}(n) = 5$
Przyjęta powierzchnia przekroju poprzecznego zbrojenia	$A_{s1.prov.C} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2 = 10.05 \text{ cm}^2$
	$A_{s1.prov.D} := A_{s1.prov.C} = 10.05 \text{ cm}^2$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.g} - (n - 1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

**Przyjęto, iż belka nad podporami "C" i "D" górą zbrojona będzie 5 prętami  $\phi 16$ .**

### 8.3.4. Zbrojenie górne nad podporą w osi "B" oraz "E"

Moment wymiarujący	$M_{Ed} := \max(M_{Ed.kr.B}, M_{Ed.kr.E}) = 56.60 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Parametr pomocniczy	$S_{c.eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d_g^2} = 0.02$
Względna graniczna wysokość strefy ściskanej	$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c.eff}} = 0.02$
	$\xi_{eff.lim} = 0.49$
	$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1 \quad \text{Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony}$

Wysokość strefy ściskanej	$x_{eff} := d_g \cdot \xi_{eff} = 1.12 \text{ cm}$
---------------------------	--

Wymagana powierzchnia zbrojenia	$A_{s1.B} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_w}{f_{yd}} = 2.59 \text{ cm}^2$
---------------------------------	---

Zbrojenie minimalne przęsła	$A_{s.min.pp} = 4.40 \text{ cm}^2$
	$A_{s1.req.B} := \max(A_{s1.B}, A_{s.min.pp}) = 4.40 \text{ cm}^2$
	$A_{s1.req.E} := A_{s1.req.B} = 4.40 \text{ cm}^2$



Teoretyczna liczba prętów	$n := \frac{A_{s1.req.B}}{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2} = 2.19$
Liczba prętów	$n := \text{ceil}(n) = 3$
Przyjęta powierzchnia przekroju poprzecznego zbrojenia	$A_{s1.prov.B} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2 = 6.03 \text{ cm}^2$
	$A_{s1.prov.E} := A_{s1.prov.B} = 6.03 \text{ cm}^2$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.g} - (n - 1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

**Przyjęto, iż belka nad podporą "B" i "E" górą zbrojona będzie 3 prętami  $\phi 16$ .**

## 8.4. Zakotwienie i zakład prętów

### 8.4.1. Graniczne naprężenie przyczepności

Współczynnik stosowany w celu uwzględnienia efektów długotrwałych oraz niekorzystnych wpływów, wynikających ze sposobu przyłożenia obciążenia, na wytrzymałość betonu na rozciąganie. (wartość zalecana)

$$\alpha_{ct} := 1$$

Współczynnik częściowy betonu

$$\gamma_c = 1.4$$

Charakterystyczna wytrzymałość betonu na rozciąganie

$$f_{ctk.0.05} = 2.2 \text{ MPa}$$

Wartość obliczeniowa wytrzymałości betonu na rozciąganie

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.57 \text{ MPa}$$

Współczynnik zależny od jakości warunków przyczepności i pozycji pręta w czasie betonowania:

- Pręty zbrojenia dołem (dobre warunki)  $\eta_{1.d} := 1$

- Pręty zbrojenia górą (słabe warunki)  $\eta_{1.g} := 0.7$

Współczynnik zależny od średnicy pręta (dla  $\phi 16\text{mm}$ )

$$\eta_2 := 1$$

Wartość obliczeniowa granicznego naprężenia przyczepności dla prętów żebrowanych

- Zbrojenie dolne  $f_{bd.d} := 2.25 \cdot \eta_{1.d} \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3.54 \text{ MPa}$
- Zbrojenie górne  $f_{bd.g} := 2.25 \cdot \eta_{1.g} \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2.48 \text{ MPa}$

#### 8.4.2. Podstawowa długość zakotwienia

- **Podstawowa długość zakotwienia dołem**

Wstępna średnica zbrojenia belki dołem  $\phi := \phi_{pod.d} = 16 \text{ mm}$

Pole powierzchni zastosowanego zbrojenia w przesłach skrajnych, które należy odpowiednio zakotwić

$$A_{s1.prov.d} := \max(A_{s1.prov.BC}, A_{s1.prov.DE}) = 8.042 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni obliczonego zbrojenia w przesłach skrajnych, które należy odpowiednio zakotwić

$$A_{s1.req.d} := \max(A_{s1.req.BC}, A_{s1.req.DE}) = 7.27 \text{ cm}^2$$

Naprężenie obliczeniowe w miejscu od którego odmierza się długość zakotwienia dla zbrojenia dolnego

$$\sigma_{sd.d} := \frac{A_{s1.req.d}}{A_{s1.prov.d}} \cdot f_{yd} = 393.25 \text{ MPa}$$

Podstawowa wymagana długość zakotwienia

$$l_{b.rqd.d} := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd.d}}{f_{bd.d}} = 44.49 \text{ cm}$$

- **Podstawowa długość zakotwienia górą**

Wstępna średnica zbrojenia belki górą  $\phi := \phi_{pod.g} = 16 \text{ mm}$

Pole powierzchni zastosowanego zbrojenia nad podporami skrajnymi, które należy odpowiednio zakotwić

$$A_{s1.prov.g} := \max(A_{s1.prov.B}, A_{s1.prov.E}) = 6.03 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni obliczonego zbrojenia nad podporami skrajnymi, które należy odpowiednio zakotwić

$$A_{s1.req.g} := \max(A_{s1.req.B}, A_{s1.req.E}) = 4.40 \text{ cm}^2$$

Naprężenie obliczeniowe w miejscu od którego odmierza się długość zakotwienia dla zbrojenia górnego

$$\sigma_{sd.g} := \frac{A_{s1.req.g}}{A_{s1.prov.g}} \cdot f_{yd} = 317.16 \text{ MPa}$$

Podstawowa wymagana długość zakotwienia

$$l_{b.rqd.g} := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd.g}}{f_{bd.g}} = 51.3 \text{ cm}$$

### 8.4.3. Obliczeniowa długość zakotwienia

Minimalna długość zakotwienia:

- zbrojenia dolnego  $l_{b.min.d} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd.d}, 10 \cdot \phi, 10 \text{ mm}) = 16 \text{ cm}$
- zbrojenia górnego  $l_{b.min.g} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd.g}, 10 \cdot \phi, 10 \text{ mm}) = 16 \text{ cm}$

Współczynniki:

Współczynnik zależny od kształtu pręta  $\alpha_1 := 1.0$

Współczynnik zależny od najmniejszego otulenia betonu  $\alpha_2 := 1.0$

Współczynnik wpływający na ograniczenie odkształceń poprzez zbrojenie poprzeczne  $\alpha_3 := 1.0$

Warunek:  $\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \geq 0.7 = 1$  **Warunek spełniony**

Obliczeniowa długość zakotwienia

- Dla zbrojenia dolnego  $l_{bd.d} := \max(\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b.rqd.d}, l_{b.min.d}) = 44.5 \text{ cm}$

**Przyjęta długość zakotwienia dla zbrojenia dolnego**  $l_{bd.d} := 45 \text{ cm}$

- Dla zbrojenia górnego  $l_{bd.g} := \max(\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b.rqd.g}, l_{b.min.g}) = 51.3 \text{ cm}$

**Przyjęta długość zakotwienia dla zbrojenia górnego**  $l_{bd.g} := 55 \text{ cm}$

#### 8.4.4. Połączenie na zakład

Współczynnik zależny od udziału prętów połączonych na zakład w całym polu przekroju zbrojenia

$$\alpha_6 := 1.5$$

Minimalna długość połączenia na zakład

$$l_{0.min} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd.g}, 15 \cdot \phi, 200 \text{ mm}) = 24 \text{ cm}$$

Obliczeniowa długość zakładu

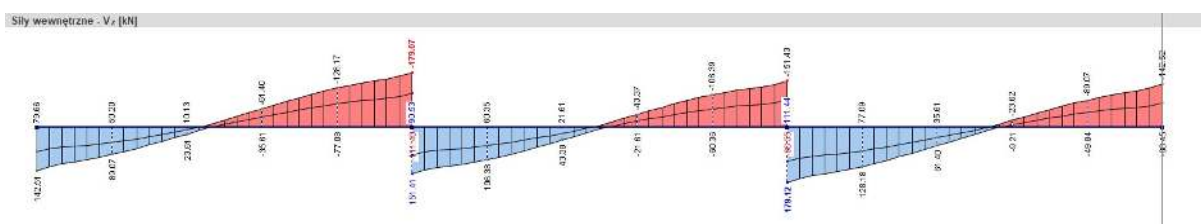
$$l_0 := \max(\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd.g}, l_{0.min}) = 76.89 \text{ cm}$$

**Przyjęto długość zakładu**

$$l_0 := 80 \text{ cm}$$

### 8.5. Wymiarowanie zbrojenia na ścinanie

#### 8.5.1. Obwiednia obliczeniowych sił poprzecznych



Rys.8.3. Obwiednia obliczeniowych sił poprzecznych belki w osi "3".

Maksymalna siła poprzeczna:  $V_{Ed.max} := 179.12 \text{ kN}$

#### 8.5.2. Obliczeniowa nośność na ścinanie elementu bez zbrojenia na ścinanie

Obliczeniowa nośność na ścinanie

$$V_{Rd.c} = \max \left( \left( C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot MPa \right) \cdot b_w \cdot d, \nu_{min} \cdot b_w \cdot d \right)$$

Powyższą nośność przyjęto dla całej belki z uwzględnieniem najniekorzystniejszego współczynnika  $\rho_l$  oraz  $d$ .

Mniejsza wysokość użyteczna

$$d := \min(d_d, d_g) = 50.4 \text{ cm}$$

Szerokość belki

$$b_w = 40 \text{ cm}$$

Charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

Współczynnik k

$$k := \min\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d} \cdot \text{mm}}, 2\right) = 1.63$$

Pole przekroju zbrojenia rozciąganego - 3φ16 (przyjęto najbardziej niekorzystny przekrój czyli ten, w którym  $A_{sl}$  jest najmniejsze)

$$A_{sl} := 3 \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 = 6.03 \text{ cm}^2$$

Stopień zbrojenia

$$\rho_l := \min\left(\frac{A_{sl}}{b_w \cdot d}, 0.02\right) = 0$$

Współczynnik częściowy dla betonu

$$\gamma_c = 1.4$$

Współczynnik  $C_{Rd,c}$

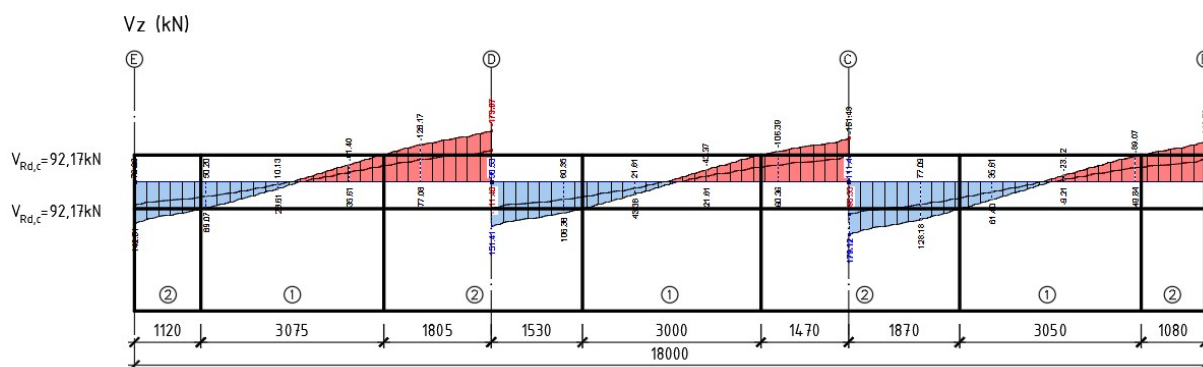
$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.13$$

Współczynnik  $\nu_{min}$

$$\nu_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa} = 0.43 \text{ MPa}$$

**Obliczeniowa nośność na ścinanie, bez zbrojenia na ścinanie**

$$V_{Rd,c} := \max\left(\left(C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa}\right) \cdot b_w \cdot d, \nu_{min} \cdot b_w \cdot d\right) = 92.43 \text{ kN}$$



Rys.8.4. Podział belki na odcinki 1 i 2 rzędu

**8.5.3. Wyznaczenie potrzebnego zbrojenia na ścinanie na odcinkach 2 rodzaju**

Odcinki 2 rodzaju zostaną obliczone dla największej siły tnącej występującej na belce. Zbrojenie na ścinanie przyjęto w formie strzemion dwuciętych pionowych  $\phi 8$ .

Wartość obliczeniowa nośności krzyżulców betonowych  $V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)}$

Ramię sił wewnętrznych  $z := 0.9 \cdot d = 45.36 \text{ cm}$

Współczynnik zależny od stanu naprężeń w pasie ściskany (konstrukcje niesprężone)  $\alpha_{cw} := 1$

Współczynnik redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu  $\nu_1 := \max\left(0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}}\right), 0.5\right) = 0.52$

Kąt nachylenia krzyżulców betonowych  $\theta := 45 \text{ deg}$

$$\cot(\theta) = 1 \quad \tan(\theta) = 1$$

Wartość obliczeniowa nośności krzyżulców betonowych  $V_{Rd,max} := \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 1170.29 \text{ kN}$

Pole przekroju zbrojenia na ścinanie  $A_{sw} := 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_s}{2}\right)^2 = 1.01 \text{ cm}^2$

Obliczeniowa granica plastyczności zbrojenia na ścinanie - klasa stali jak dla zbrojenia głównego  $f_{ywd} := f_{yd} = 434.78 \text{ MPa}$

Kąt nachylenia strzemion do osi głównej belki  $\alpha := 90 \text{ deg} \quad \nu := \nu_1 = 0.52$

Dodatkowy warunek dla siły poprzecznej  $V_{Rd,b} := 0.5 \cdot b_w \cdot d \cdot \nu \cdot f_{cd} = 1300.32 \text{ kN}$

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,b} = 1$$

**Warunek spełniony**

Sprawdzenie nośności krzyżulców betonowych

$$V_{Ed,max} < V_{Rd,max} = 1$$

**Warunek spełniony****Wniosek: Krzyżulce betonowe nie zostaną zmiażdżone**

Rozstaw zbrojenia na ścinanie	$s := \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta)}{V_{Ed,max}} = 11.07 \text{ cm}$
	Przyjęto $s := 10 \text{ cm}$
Maksymalny rozstaw podłużny zestawów zbrojenia na ścinanie	$s_{l,max} := 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha)) = 37.8 \text{ cm}$
	$s \leq s_{l,max} = 1$ <b>Warunek spełniony</b>
Rzeczywisty rozstaw poprzeczny ramion strzemion	$s_t := b_w - 2 \cdot c_{nom,b} - 2 \cdot \phi_s = 32.4 \text{ cm}$
Maksymalny rozstaw poprzeczny ramion strzemion	$s_{t,max} := \min(0.75 \cdot d, 600 \text{ mm}) = 37.80 \text{ cm}$
	$s_t \leq s_{t,max} = 1$ <b>Warunek spełniony</b>
Stożek zbrojenia na ścinanie	$\rho_w := \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 0.0025$
Minimalny stożek zbrojenia na ścinanie	$\rho_{w,min} := 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0.0009$
Sprawdzenie warunku	$\rho_w > \rho_{w,min} = 1$ <b>Warunek spełniony</b>

**Ostatecznie przyjęto rozstaw zbrojenia na ścinanie na odcinkach 2 rodzaju równy 10 cm.**

#### 8.5.4. Wyznaczenie potrzebnego zbrojenia na ścinanie na odcinkach 1 rodzaju

Zbrojenie konstrukcyjne powinno mieć rozstaw podłużny mniejszy od rozstawu maksymalnego oraz stopień zbrojenia większy od zbrojenia minimalnego.

Sprawdzenie dodatkowego warunku dla siły poprzecznej	$V_{Rd,b} := 0.5 \cdot b_w \cdot d \cdot \nu \cdot f_{cd} = 1300.32 \text{ kN}$
	$V_{Ed} := V_{Rd,c} = 92.43 \text{ kN}$
	$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,b} = 1$ <b>Warunek spełniony</b>

Maksymalny rozstaw podłużny zbrojenia na ścinanie	$s_{max} := \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 26.55 \text{ cm}$
---	--

Wstępnie założony rozstaw zbrojenia	$s_{konst} := 20 \text{ cm}$
Stożek zbrojenia na ścinanie	$\rho_w := \frac{A_{sw}}{s_{konst} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 0.0013$
Minimalny stożek zbrojenia na ścinanie	$\rho_{w.min} := 0.08 \cdot \frac{\sqrt[2]{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}}{\frac{f_{yk}}{\text{MPa}}} = 0.0009$
Sprawdzenie warunku	$\rho_w > \rho_{w.min} = 1$ <b>Warunek spełniony</b>

**Ostatecznie przyjęto rozstaw zbrojenia na ścinanie na odcinkach 1 rodzaju równy 20 cm.**

## 8.6. Stan graniczny użyteczności - zarysowanie

### 8.6.1. Zarysowanie w przęśle "B-C" - metoda uproszczona

Wymiary belki:	$b_{b1} = 40 \text{ cm}$
	$h_{b1} = 55 \text{ cm}$
Odległość od włókien najbardziej ściskanych do środka ciężkości przekroju	$h_{cr} := \frac{h_{b1}}{2} = 27.5 \text{ cm}$
Moment bezwładności	$I_x := \frac{b_{b1} \cdot h_{b1}^3}{12} = 554583.33 \text{ cm}^4$
Wskaźnik wytrzymałości	$W_c := \frac{I_x}{h_{b1} - h_{cr}} = 20166.67 \text{ cm}^3$
Pole przyjętego zbrojenia w przęśle	$A_{s1.prov.BC} = 8.04 \text{ cm}^2$
Wysokość użyteczna belki dla zbrojenia dolnego	$d_d = 50.4 \text{ cm}$
Wysokość użyteczna belki dla zbrojenia górnego	$d_g = 50.9 \text{ cm}$
Stosunek modułów sprężystości stali i betonu (obciążenia krótkotrwałe)	$\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.88$
Pole przekroju sprowadzonego	$A_I := b_t \cdot h_{b1} + \alpha_e \cdot A_{s1.prov.BC} = 2247.309 \text{ cm}^2$



Moment statyczny  $S_I := b_{b1} \cdot h_{b1} \cdot \frac{h_{b1}}{2} + \alpha_e \cdot A_{s1,prov.BC} \cdot d_d = 62884.36 \text{ cm}^3$

Odległość od włókien najbardziej ściskanych do środka ciężkości przekroju sprowadzonego  $x_I := \frac{S_I}{A_I} = 27.98 \text{ cm}$

Moment bezwładności

$$I_I := \frac{b_{b1} \cdot h_{b1}^3}{12} + b_{b1} \cdot h_{b1} \cdot \left(x_I - \frac{h_{b1}}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1,prov.BC} \cdot (d_d - x_I)^2 = 578870.22 \text{ cm}^4$$

Wskaźnik wytrzymałości  $W_{cs} := \frac{I_I}{h_{b1} - x_I} = 21425.41 \text{ cm}^3$

Moment rysujący

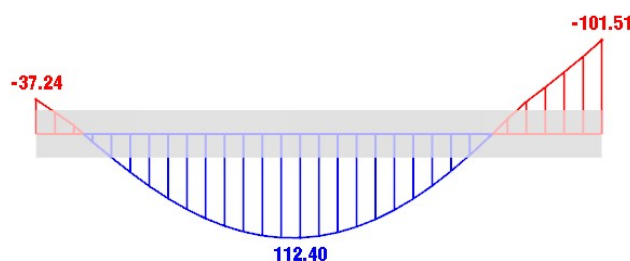
$$M_{cr,prz} := f_{ctm} \cdot W_{cs} = 68.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksymalny moment od kombinacji charakterystycznej

$$M_{Ek,prz} := 112.42 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ek,prz} \leq M_{cr,prz} = 0$$

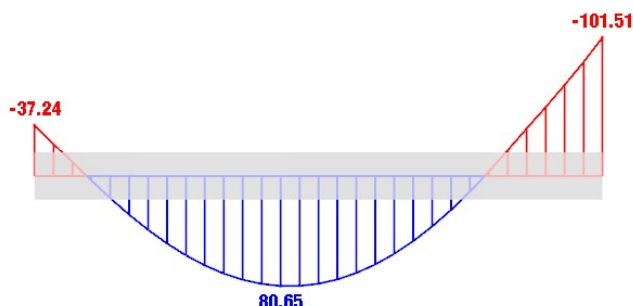
**Wniosek: Wystąpi zarysowanie**



Rys.8.5. Fragment wykresu momentów zginających w kombinacji charakterystycznej - przęsło "B-C"

Moment dla kombinacji quasi-stałej

$$M_{Eqp,prz} := 80.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Rys.8.6. Fragment wykresu momentów zginających w kombinacji quasi stałej - przęsło "B-C"

Przyjęta maksymalna szerokość rozwarcia rysy  $w_{lim} = 0.3 \text{ mm}$

Stopień zbrojenia  $\rho := \frac{A_{s1,prov.BC}}{b_{b1} \cdot d_d} \cdot 100\% = 0.4\%$

Współczynnik  $\zeta$  dla  $\rho \leq 0.5$   $\zeta := 0.90$

Naprężenia w stali zbrojeniowej  $\sigma_s := \frac{M_{Eqp.prz}}{d_d \cdot \zeta \cdot A_{s1,prov.BC}} = 221.08 \text{ MPa}$

Średnica zbrojenia dla szerokości rys równej 0,3 mm

$$\phi'_s := 16 \text{ mm} + \frac{(240 \text{ MPa} - \sigma_s) \cdot (25 \text{ mm} - 16 \text{ mm})}{240 \text{ MPa} - 200 \text{ MPa}} = 20.26 \text{ mm}$$

Współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w chwili bezpośrednio poprzedzającej zarysowanie  $k_c := 0.4$

Przyjęta średnica zbrojenia belki  $\phi = 16 \text{ mm}$

Zmodyfikowana maksymalna średnica prętów  $\phi_{s,zast} := \phi'_s \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2.9 \text{ MPa}} \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h_{b1} - d_d)} = 26.73 \text{ mm}$

$$\phi_{s,zast} \geq \phi = 1$$

**Warunek spełniony**

### 8.6.2. Zarysowanie w przęśle "B-C" -metoda dokładna

Obliczenie współczynnika pełzania (metoda uproszczona)

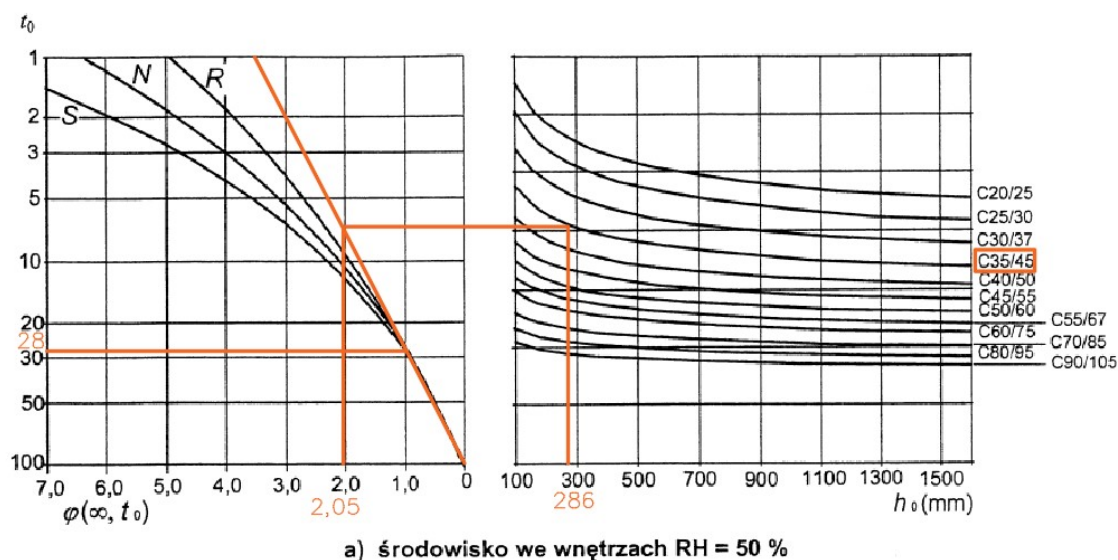
Pole przekroju betonowego  $A_c := h_{b1} \cdot b_{b1} = 2200 \text{ cm}^2$

Obwód części przekroju poddanej wysychaniu  $u := 2 (b_{b1} + h_{b1}) - 2 \cdot h_{pt} = 154 \text{ cm}$

Miarodajny wymiar przekroju  $h_0 := \frac{2 \cdot A_c}{u} = 285.71 \text{ mm}$

Wilgotność względna  $RH := 50\%$

Wiek betonu w chwili obciążenia  $t_T := 28 \text{ day}$



Rys.8.7. Metoda wyznaczania współczynnika pełzania betonu w warunkach normalnych

Współczynnik pełzania

$$\varphi_{t,t_0} := 2.05$$

Efektywny moduł sprężystości betonu

$$E_{c,eff} := \frac{E_{cm}}{\varphi_{t,t_0} + 1} = 11.15 \text{ GPa}$$

Stosunek modułów sprężystości stali i betonu  
(obciążenia długotrwałe)

$$\alpha_{et} := \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 17.94$$

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{II} := \frac{\alpha_{et} \cdot A_{s1,prov.BC}}{b_{b1}} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_{b1} \cdot d_g}{\alpha_{et} \cdot A_{s1,prov.BC}}} \right) = 15.89 \text{ cm}$$

Moment bezwładności

$$I_{II} := \frac{b_{b1} \cdot x_{II}^3}{3} + \alpha_{et} \cdot A_{s1,prov.BC} \cdot (d_g - x_{II})^2 = 230352.76 \text{ cm}^4$$

Otulinie zbrojenia rozciąganego

$$c_x := c_{nom.b} + \phi = 46 \text{ mm}$$

Wysokość efektywna strefy rozciąganej betonu

$$h_{c,eff} := \min \left( 2.5 \cdot (h_{b1} - d_g), \frac{h_{b1} - h_{cr}}{3} \right) = 9.17 \text{ cm}$$

Efektywne pole strefy rozciąganej

$$A_{c,eff} := b_{b1} \cdot h_{c,eff} = 366.67 \text{ cm}^2$$

Stopień zbrojenia strefy rozciąganej

$$\rho_{p,eff} := \frac{A_{s1,prov.BC}}{A_{c,eff}} = 0.022$$

Przyjęte współczynniki:

Pręty o wysokiej przyczepności  $k_1 := 0.8$

Element zginany  $k_2 := 0.5$

Uwzględnia powstanie obszaru odprężenia  $k_3 := 3.4$

Uwzględnia przejście z długości obwodu na pole koła  $k_4 := 0.425$

Współczynnik zależny od czasu trwania onciążenia (obciążenie długotrwałe)  $k_t := 0.4$

Maksymalny rozstaw rys  $s_{r,max} := k_3 \cdot c_x + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 28.04 \text{ cm}$

Moment charakterystyczny dla kombinacji quasi-stałej  $M_{Eqp,prz} = 80.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Napężenie w zbrojeniu rozciągającym obliczone dla kombinacji quasi-stałej przy założeniu, że przekój jest zarysowany

$$\sigma_{s,x} := \alpha_{et} \cdot \frac{M_{Eqp,prz}}{I_{II}} \cdot (d_g - x_{II}) = 219.90 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax} := \frac{M_{Eqp,prz}}{I_{II}} \cdot x_{II} = 5.56 \text{ MPa} \qquad 0.45 \cdot f_{ck} = 15.75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax} < 0.45 \cdot f_{ck} = 1$$

**Wniosek: Słusznie przyjęto pełzanie liniowe**

Różnica odkształceń stali i betonu na odcinku na odcinku między rysami

$$\varepsilon = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$\varepsilon_{sm}$  - średnie odkształcenie zbrojenia

$\varepsilon_{cm}$  - średnie odkształcenie betonu między rysami

$$\varepsilon := \max \left( \frac{\sigma_s - \frac{k_t \cdot f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s,x}}{E_s} \right) = 0.00078$$

Obliczone rozwarście rysy

$$w_k := s_{r,max} \cdot \varepsilon = 0.22 \text{ mm}$$

Maksymalne rozwarście rysy

$$w_{lim} := 0.30 \text{ mm}$$

$w_k \leq w_{lim} = 1$  **Wniosek: Szerokość rozwarcia rysy nie przekroczy wartości dopuszczalnej**

### 8.6.3. Zarysowanie nad podporą "D" - metoda uproszczona

Moment rysujący

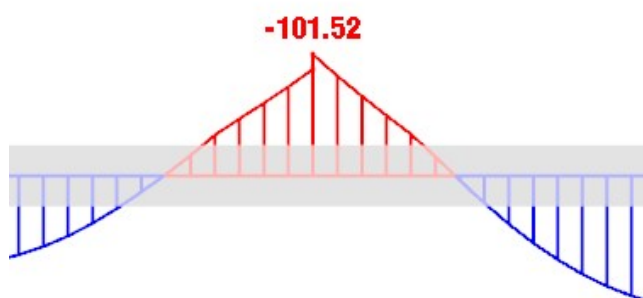
$$M_{cr.pod} := f_{ctm} \cdot W_{cs} = 68.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksymalny moment od kombinacji charakterystycznej

$$M_{Ek.pod} := 101.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ek.pod} \leq M_{cr.pod} = 0$$

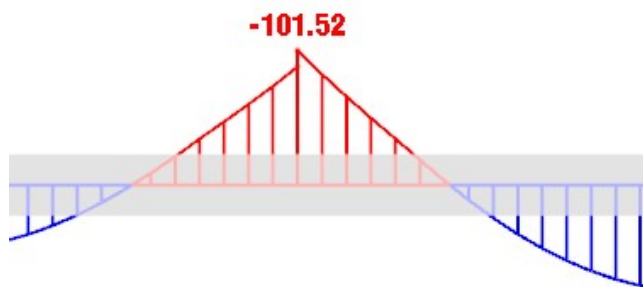
**Wniosek: Wystąpi zarysowanie**



Rys.8.8. Fragment wykresu momentów zginających w kombinacji charakterystycznej - podpora w osi "D"

Moment dla kombinacji quasi-stałej

$$M_{Eqp.pod} := 101.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Rys.8.9. Fragment wykresu momentów zginających w kombinacji quasi stałej - podpora w osi "D"

Przyjęta maksymalna szerokość rozwarcia rysy

$$w_{lim} = 0.3 \text{ mm}$$

Pole przyjętego zbrojenia nad podporą

$$A_{s1.prov.D} = 10.05 \text{ cm}^2$$

Stopień zbrojenia

$$\rho := \frac{A_{s1.prov.D}}{b_{b1} \cdot d_g} \cdot 100\% = 0.494\%$$

Współczynnik  $\zeta$  dla  $0.5 < \rho \leq 1.0\%$   $\zeta := 0.85$

Naprężenia w stali zbrojeniowej  $\sigma_s := \frac{M_{Eqp.pod}}{d_g \cdot \zeta \cdot A_{s1.prov.D}} = 233.41 \text{ MPa}$

Średnica zbrojenia dla szerokości rys równej 0,3 mm

$$\phi'_s := 16 \text{ mm} + \frac{(240 \text{ MPa} - \sigma_s) \cdot (25 \text{ mm} - 16 \text{ mm})}{240 \text{ MPa} - 200 \text{ MPa}} = 17.48 \text{ mm}$$

Współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w chwili bezpośrednio poprzedzającej zarysowanie  $k_c := 0.4$

Przyjęta średnica zbrojenia belki  $\phi = 16 \text{ mm}$

Zmodyfikowana maksymalna średnica prętów  $\phi_{s.zast} := \phi'_s \cdot \frac{f_{ct.eff}}{2.9 \text{ MPa}} \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h_{b1} - d_g)} = 25.88 \text{ mm}$

$\phi_{s.zast} \geq \phi = 1$  **Wniosek: Szerokość rozwarcia rysy nie przekroczy wartości dopuszczalnej**

## 8.7. Stan graniczny użyteczności - ugięcie

### 8.7.1. Ugięcie w przęśle "D-E" - metoda uproszczona

Rozpiętość belki w świetle  $l := 5.6 \text{ m}$

Oparcie na podporze wewnętrznej  $a_1 := \min(0.5 h_{b1}, 0.5 \cdot b_{s1}) = 20 \text{ cm}$

Oparcie na podporze zewnętrznej  $a_2 := a_1 = 20 \text{ cm}$

Długość efektywna belki  $l_{eff} := l + a_1 + a_2 = 6 \text{ m}$

Stosunek modułów sprężystości stali i betonu (obciążenia długotrwałe)  $\alpha_{et} = 17.94$

Współczynnik zależny od rodzaju konstrukcji - skrajne przęsło belki  $K := 1.3$

Porównawczy stopień zbrojenia  $\rho_0 := \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot 10^{-3} = 0.0059$

Zbrojenie wymagane

$$A_{s1.req.DE} = 7.27 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie zastosowane

$$A_{s1.prov.DE} = 8.04 \text{ cm}^2$$

Wymagany ze względu na nośność  
stopień zbrojenia rozciąganego

$$\rho := \frac{A_{s1.req.DE}}{b_{b1} \cdot d_d} = 0.0036$$

Sprawdzenie warunku

$$\rho \leq \rho_0 = 1$$

Stopień zbrojenia rozciąganego jest mniejszy od porównawczego stopnia zbrojenia

$$l_{do}d_{max} := K \cdot \left( 11 + 1.5 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^2 \right) \cdot \frac{500 \text{ MPa}}{f_{yk} \cdot A_{s1.req.DE}} \cdot 0.8$$

$$\frac{500 \text{ MPa}}{f_{yk} \cdot A_{s1.req.DE}}$$

$$A_{s1.prov.DE}$$

Graniczny stosunek rozpiętości do  
wysokości użytecznej

$$l_{do}d_{max} = 40.51$$

Rzeczywisty stosunek rozpiętości do  
wysokości użytecznej

$$l_{do}d_{rzecz.DE} := \frac{l}{d_d} = 11.11$$

$$l_{do}d_{max} > l_{do}d_{rzecz.DE} = 1$$

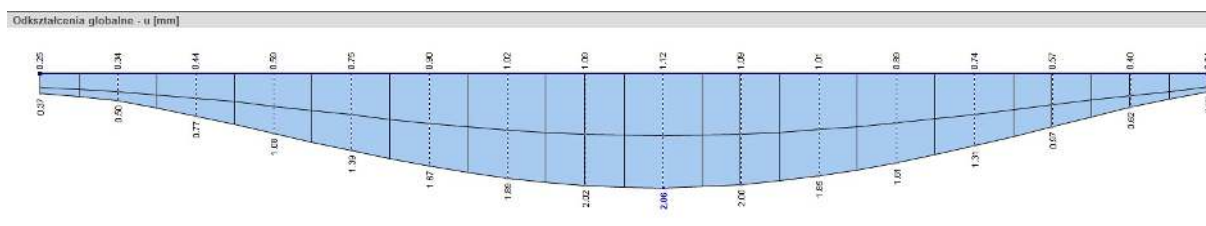
**Wniosek: Ugięcie jest mniejsze od dopuszczalnego**

### 8.7.2. Ugięcie w przęśle "D-E" - metoda dokładna

Wysokość strefy ściskanej  $x_{Id} := \frac{\alpha_{et} \cdot A_{s1.prov.DE}}{b_{b1}} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 b_{b1} \cdot d_d}{\alpha_{et} \cdot A_{s1.prov.DE}}} \right) = 15.8 \text{ cm}$

Moment bezwładności  $I_{Id} := \frac{b_{b1} \cdot x_{Id}^3}{3} + \alpha_{et} \cdot A_{s1.prov.DE} \cdot (d_d - x_{Id})^2 = 225330.84 \text{ cm}^4$

Przemieszczenie na środku rozpatrywanej belki odczytane z programu  
(bez korekty momentu bezwładności belki)



Rys.8.10. Przemieszczenia globalne rozpatrywanego przęśla belki odczytane z programu

Przemieszczenie na podporze lewej	$u_1 := 0.37 \text{ mm}$
Przemieszczenie na podporze prawej	$u_2 := 0.33 \text{ mm}$
Przemieszczenie w przęśle	$u_p := 2.06 \text{ mm}$
Ugięcie na środku belki względem podpór	$\alpha_{el} := u_p - \frac{u_1 + u_2}{2} = 1.71 \text{ mm}$
Sztywność elementu przed zarysowaniem	$B_I := E_{cm} \cdot \frac{b_{b1} \cdot h_{b1}^3}{12} = 188558.33 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$
Sztywność elementu przed zarysowaniem z uwzględnieniem pełzania	$B_{II} := E_{c,eff} \cdot I_I = 64529.79 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$
Ugięcie na środku belki przed zarysowaniem z uwzględnieniem pełzania	$\alpha_I := \alpha_{el} \cdot \frac{B_I}{B_{II}} = 5 \text{ mm}$
Sztywność elementu po zarysowaniu z uwzględnieniem pełzania	$B_{III} := E_{c,eff} \cdot I_{Id} = 25118.85 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$
Ugięcie na środku belki po zarysowaniu z uwzględnieniem pełzania	$\alpha_{II} := \alpha_{el} \cdot \frac{B_I}{B_{III}} = 12.84 \text{ mm}$
Dla obciążeń długotrwałych	$\beta := 0.5$
Moment rysujący	$M_{cr.prz} = 68.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Moment w kombinacji quasi-stałej	$M_{Eqp.prz} = 80.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Współczynnik dystrybucji gdy element jest zarysowany	$\zeta := 1 - \beta \cdot \left( \frac{M_{cr.prz}}{M_{Eqp.prz}} \right)^2 = 0.64$
Ostateczne ugięcie dla belki	$a := \zeta \cdot \alpha_{II} + (1 - \zeta) \cdot \alpha_I = 10 \text{ mm}$
Maksymalne dopuszczalne ugięcie	$a_{lim} := \frac{l_{eff}}{250} = 24.00 \text{ mm}$

$$a \leq a_{lim} = 1$$

**Wniosek: Ugięcie jest mniejsze od dopuszczalnego**



### 8.8. Zestawienie zbrojenia belki w osi "3"

Tab.8.1. Zestawienie zbrojenia dla belki - zbrojenie główne

Przekrój	Zbrojenie Obliczone $A_{s1}^{req} [cm^2]$	Zbrojenie Przyjęte $A_{s1}^{prov} [cm^2]$	Sztuk Średnica $\phi$ [mm]
Przęsła dołem			
B-C	7,27	8,04	4 $\phi$ 16
C-D	4,90	6,03	3 $\phi$ 16
D-E	7,27	8,04	4 $\phi$ 16
Podpory górną			
B	4,40	6,03	3 $\phi$ 16
C	8,60	10,05	5 $\phi$ 16
D	8,60	10,05	5 $\phi$ 16
E	4,40	6,03	3 $\phi$ 16

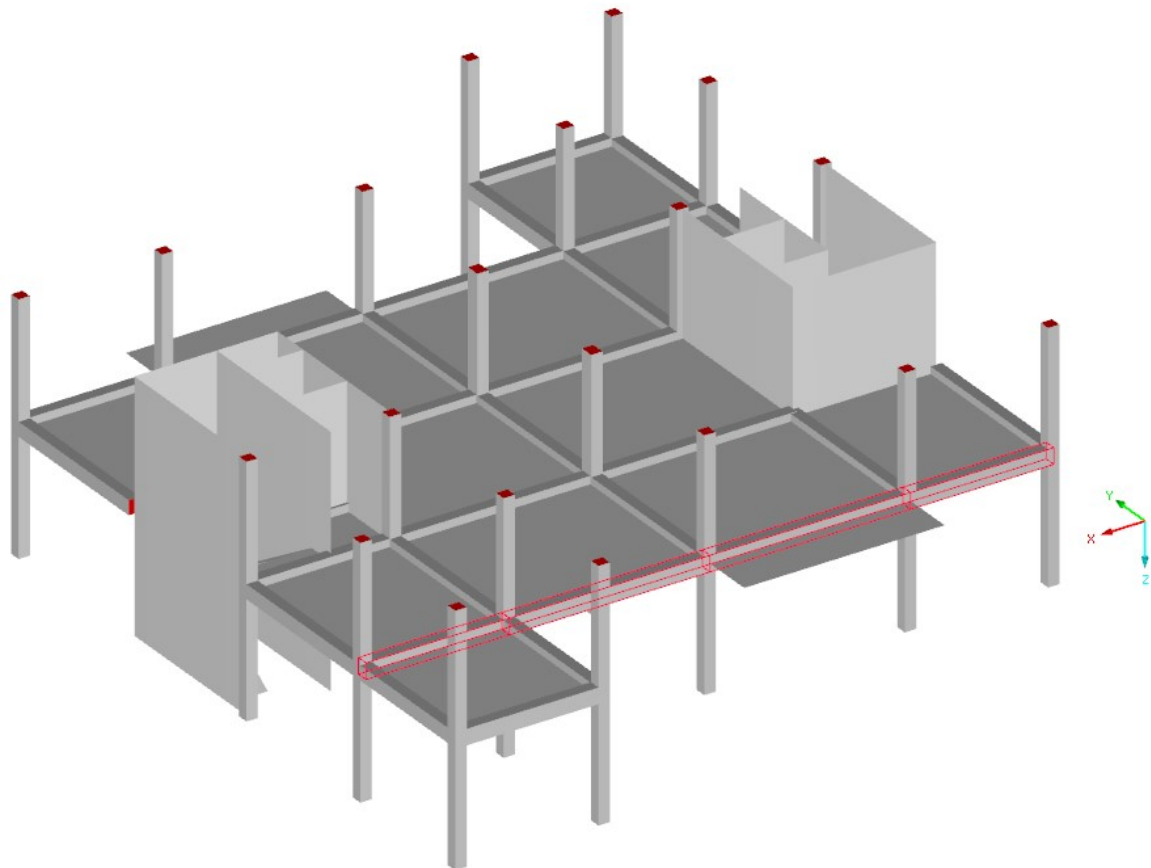
Tab.8.2. Alternatywne rozwiązanie zbrojenia belki - zbrojenie główne

Przekrój	Zbrojenie Obliczone $A_{s1}^{req} [cm^2]$	Zbrojenie Przyjęte $A_{s1}^{prov} [cm^2]$	Sztuk Średnica $\phi$ [mm]
Przęsła dołem			
B-C	7,27	9,42	3 $\phi$ 20
C-D	4,90	6,28	2 $\phi$ 20
D-E	7,27	9,42	3 $\phi$ 20
Podpory górną			
B	4,40	6,28	2 $\phi$ 20
C	8,60	9,42	3 $\phi$ 20
D	8,60	9,42	3 $\phi$ 20
E	4,40	6,28	2 $\phi$ 20

Tab.8.3. Zestawienie zbrojenia dla belki - strzemiona

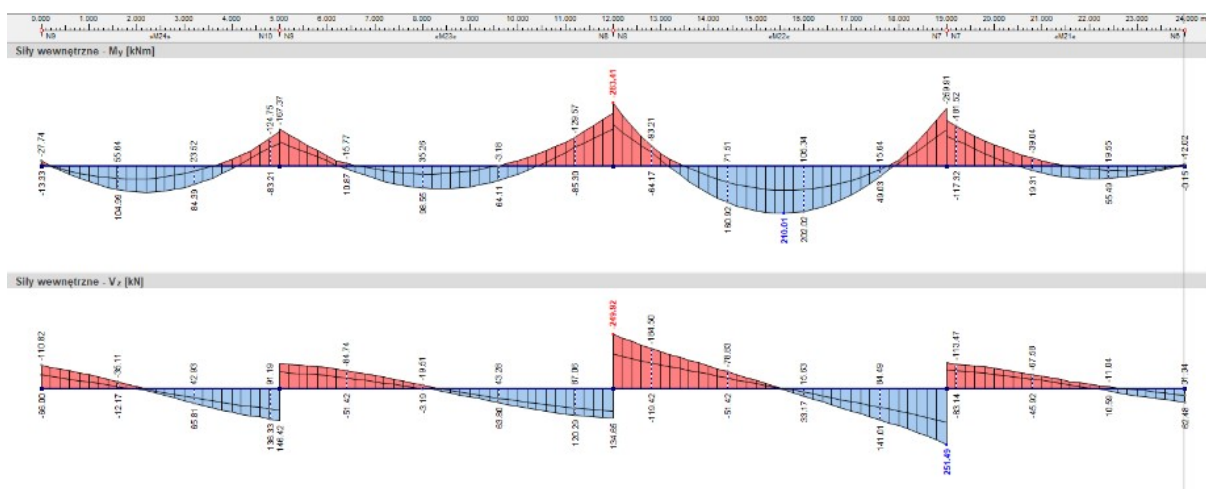
Odcinek	Rodzaj	Średnica $\phi$ [mm], Rozstaw [mm]
1 rodzaju	dwu-cięte	$\phi$ 8 co 200
2 rodzaju	dwu-cięte	$\phi$ 8 co 100

## 9. Wymiarowanie belki stropowej w osi "E"



Rys.9.1. Lokalizacja projektowanej belki w stropie.

### 9.1. Wykresy sił wewnętrznych belki



Rys.9.2. Wykresy sił wewnętrznych belki [ $M_y, V_z$ ]

## 9.2. Dane do wymiarowania

Uwaga: Klasa ekspozycji, betonu i stali taka sama jak dla belki w osi "3" (punkt 8.2)

### 9.2.1. Otulenie zbrojenia

**Przyjęto klasę konstrukcji S3**

Średnica zbrojenia belki	$\phi := 20 \text{ mm}$
Minimalne otulenie ze względu na przyczepność	$c_{min.b} := \phi = 20 \text{ mm}$
Minimalne otulenie ze względu na warunki środowiska	$c_{min.dur} := 20 \text{ mm}$
Dodatek ze względu na odchyłkę	$\Delta c_{dev} := 10 \text{ mm}$
Minimalne otulenie	$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur}, 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$
Nominalne otulenie	$c_{nom.b} := c_{min} + \Delta c_{dev} = 30 \text{ mm}$

### 9.2.2. Wysokość użyteczna belki

Wysokość belki:	$h_{b2} = 50 \text{ cm}$
Szerokość belki:	$b_{b1} = 40 \text{ cm}$
Wstępna średnica zbrojenia belki dołem	$\phi_{pod.d} := \phi = 20 \text{ mm}$
Wstępna średnica zbrojenia belki górą	$\phi_{pod.g} := \phi = 20 \text{ mm}$
Wstępna średnica pręta strzemion	$\phi_s := 10 \text{ mm}$
Wysokość użyteczna belki dla zbrojenia dolnego	$d_d := h_{b2} - c_{nom.b} - \phi_s - \frac{1}{2} \cdot \phi_{pod.d} = 45.0 \text{ cm}$
Wysokość użyteczna belki dla zbrojenia górnego	$d_g := h_{b2} - c_{nom.pt} - \phi_s - \frac{1}{2} \cdot \phi_{pod.g} = 45.5 \text{ cm}$

### 9.2.3. Wyznaczenie szerokości efektywnej belki

#### Przęsło skrajne "1-2"

Szerokość belki  $b_w := b_{b2} = 40 \text{ cm}$

Szerokość pomiędzy środkami belek w osi "D-E"  $b_L := 6.00 \text{ m}$

Szerokość pomiędzy środkami belek w osi "E-F"  $b_P := 5.00 \text{ m}$

Obliczenie połowy odległości w świetle między podciągami (z lewej)  $b_1 := \frac{b_L - b_w}{2} = 2.8 \text{ m}$

Obliczenie połowy odległości w świetle między podciągami (z prawej)  $b_2 := \frac{b_P - b_w}{2} = 2.3 \text{ m}$

Odległość między punktami zerowymi momentu zginającego  $l_0 := 0.85 \cdot 5 \text{ m} = 425 \text{ cm}$

Efektywna szerokość półki

$$b_{eff.i.L} := \min(0.2 \cdot b_1 + 0.1 \cdot l_0, 0.2 \cdot l_0, b_1) = 85 \text{ cm}$$

$$b_{eff.i.P} := \min(0.2 \cdot b_2 + 0.1 \cdot l_0, 0.2 \cdot l_0, b_2) = 85 \text{ cm}$$

$$b_{eff.s12} := b_{eff.i.L} + b_{eff.i.P} + b_w = 2.1 \text{ m}$$

#### Przęsło skrajne "4-5"

Odległość między punktami zerowymi momentu zginającego  $l_0 := 0.85 \cdot 5 \text{ m} = 425 \text{ cm}$

Efektywna szerokość półki

$$b_{eff.i.L} := \min(0.2 \cdot b_1 + 0.1 \cdot l_0, 0.2 \cdot l_0, b_1) = 85 \text{ cm}$$

$$b_{eff.s45} := b_{eff.i.L} + b_w = 1.25 \text{ m}$$

#### Przęsła wewnętrzne "2-3" i "3-4"

Uwaga: Balkon przylegający do belki w przęśle "3-4" zaprojektowano jako prefabrykowany, stąd zdecydowano by nie uwzględniać współpracy płyty balkonowej z belką przy wyznaczaniu szerokości efektywnej

Odległość między punktami zerowymi momentu zginającego  $l_0 := 0.70 \cdot 7 \text{ m} = 490 \text{ cm}$

Efektywna szerokość półki

$$b_{eff.i.L} := \min(0.2 \cdot b_1 + 0.1 \cdot l_0, 0.2 \cdot l_0, b_1) = 98 \text{ cm}$$

$$b_{eff.w23} := b_{eff.i.L} + b_w = 1.38 \text{ m} \qquad b_{eff.w34} := b_{eff.w23} = 1.38 \text{ m}$$

#### 9.2.4. Zbrojenie minimalne belki

Wysokość belki	$h_w := h_{b2} = 50 \text{ cm}$
Szerokość strefy rozciąganej	$b_t := b_{b2} = 40 \text{ cm}$
Średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie	$f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$
Charakterystyczna granica plastyczności stali	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

- Minimalne zbrojenie ze względu na kruche zniszczenie

$$A_{s.min.x.dół} := \max\left(0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d_g, 0.0013 \cdot b_t \cdot d_g\right) = 3.03 \text{ cm}^2$$

$$A_{s.min.x.góra} := \max\left(0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d_d, 0.0013 \cdot b_t \cdot d_d\right) = 3 \text{ cm}^2$$

- Minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie

Maksymalne rozwarście rysy dla klasy XC3 ze względu na estetykę

$$w_{lim} := 0.3 \text{ mm}$$

Wysokość strefy rozciąganej tuż przed zarysowaniem

$$h_{cr} := \frac{1}{2} \cdot h_{b2} = 25 \text{ cm}$$

Pole przekroju strefy rozciąganej betonu

$$A_{ct} := b_t \cdot h_{cr} = 1000 \text{ cm}^2$$

Współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych, samorównoważących się naprężeń. Wartość interpolowana.

$$k := 0.86$$

Współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w chwili bezpośrednio poprzedzającej zarysowanie

$$k_c := 0.4$$

Średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie osiągnięta w chwili, w której przewiduje się powstanie rysy

$$f_{ct.eff} = 3.2 \text{ MPa}$$

Wartość bezwzględna maksymalnego dozwolonego naprężenia w zbrojeniu pojawiającego się natychmiast po zarysowaniu

$$\sigma_s := 240 \text{ MPa}$$

Minimalne zbrojenie ze względu na zarysowanie

$$A_{s.min.x} := \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct.eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = 4.59 \text{ cm}^2$$

### Ostateczne minimalne zbrojenia belki

$$A_{s.min.pp} := \max(A_{s.min.x.dół}, A_{s.min.x.góra}, A_{s.min.x}) = 4.59 \text{ cm}^2$$

### 9.2.5. Zbrojenie maksymalne belki

$$A_{s.max.pp} := 0.04 \cdot b_w \cdot h_w = 80.00 \text{ cm}^2$$

### 9.2.6. Minimalny rozstaw zbrojenia głównego

Wstępna średnica zbrojenia belki

$$\phi = 20 \text{ mm}$$

Maksymalny wymiar kruszywa

$$d_{kr} := 16 \text{ mm}$$

Zalecana wartość współczynnika  $k_1$

$$k_1 := 1$$

Zalecana wartość współczynnika  $k_2$

$$k_2 := 5 \text{ mm}$$

Minimalny rozstaw zbrojenia

$$s_{min} := \max(k_1 \cdot \phi, d_{kr} + k_2, 20 \text{ mm}) = 21.0 \text{ mm}$$

### 9.2.7. Wartości momentów zginających

Momenty przęsłowe pomiędzy osiami:

$$\text{"1-2"} \quad M_{Ed.max.12} := 117.25 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{"2-3"} \quad M_{Ed.max.23} := 101.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{"3-4"} \quad M_{Ed.max.34} := 210.01 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{"4-5"} \quad M_{Ed.max.45} := 57.20 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Moment krawędziowy na podporze: (odczytane bezpośrednio z programu)

$$\text{"2"} \quad M_{kr.2.L} := 124.75 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{kr.2.P} := 142.31 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{"3"} \quad M_{kr.3.L} := 210.35 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{kr.3.P} := 229.43 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{"4"} \quad M_{kr.4.L} := 205.73 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{kr.4.P} := 181.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Wymiarujący moment krawędziowy na podporze:

$$\text{"1"} \quad M_{Ed.kr.1} := 27.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{"2"} \quad M_{Ed.kr.2} := \max(M_{kr.2.L}, M_{kr.2.P}) = 142.31 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{"3"} \quad M_{Ed.kr.3} := \max(M_{kr.3.L}, M_{kr.3.P}) = 229.43 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{"4"} \quad M_{Ed.kr.4} := \max(M_{kr.4.L}, M_{kr.4.P}) = 205.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{"5"} \quad M_{Ed.kr.5} := 12.02 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### W celu ułatwienia obliczeń

- Zbrojenie nad podporą w osi "3" oraz "4" wymiarowane będzie na ten sam, większy moment nad nimi występujący.
- Zbrojenie nad podporą w osi "1" oraz "5" wymiarowane będzie na ten sam, większy moment nad nimi występujący.

### 9.3. Wyznaczenie zbrojenia na zginanie

#### 9.3.1. Zbrojenie dolne w przęśle "1-2"

Moment wymiarujący  $M_{Ed} := M_{Ed.max.12} = 117.25 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Szerokość efektywna  $b_{eff} := b_{eff.s12} = 2.10 \text{ m}$

Moment płytowy  $M_f := b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot \left( d_d - \frac{1}{2} \cdot h_f \right) = 3402.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Ed} \leq M_f = 1$$

**Wniosek: Przekrój pozornie teowy**

Parametr pomocniczy  $S_{c,eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d_d^2} = 0.01$

Względna graniczna wysokość strefy ściskanej  $\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c,eff}} = 0.01$

$$\xi_{eff.lim} = 0.49$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej  $x_{eff} := d_d \cdot \xi_{eff} = 0.50 \text{ cm}$

Wymagana powierzchnia zbrojenia  $A_{s1.12} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_{eff}}{f_{yd}} = 6.03 \text{ cm}^2$

Zbrojenie minimalne przęsła  $A_{s.min.pp} = 4.59 \text{ cm}^2$

$$A_{s1.req.12} := \max(A_{s1.12}, A_{s.min.pp}) = 6.03 \text{ cm}^2$$

Teoretyczna liczba prętów  $n := \frac{A_{s1.req.12}}{\pi \cdot \left( \frac{\phi_{pod.d}}{2} \right)^2} = 1.92$

Liczba prętów  $n := \text{ceil}(n) = 2$

Przyjęta powierzchnia przekroju poprzecznego zbrojenia  $A_{s1.prov.12} := n \cdot \pi \cdot \left( \frac{\phi_{pod.d}}{2} \right)^2 = 6.28 \text{ cm}^2$



Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.d} - (n-1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

Ostatecznie przyjęto, iż belka w przęśle "1-2" dołem zbrojona będzie 2 prętami  $\phi 20$ .

### 9.3.2. Zbrojenie dolne w przęśle "2-3"

Moment wymiarujący

$$M_{Ed} := M_{Ed.max.23} = 101.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Szerokość efektywna

$$b_{eff} := b_{eff.w23} = 1.38 \text{ m}$$

Moment płytowy

$$M_f := b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot \left( d_d - \frac{1}{2} \cdot h_f \right) = 2235.60 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed} \leq M_f = 1$$

**Wniosek: Przekrój pozornie teowy**

Parametr pomocniczy

$$S_{c.eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d_d^2} = 0.01$$

Względna graniczna  
wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c.eff}} = 0.01$$

$$\xi_{eff.lim} = 0.49$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{eff} := d_d \cdot \xi_{eff} = 0.66 \text{ cm}$$

Wymagana powierzchnia zbrojenia

$$A_{s1.23} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_{eff}}{f_{yd}} = 5.24 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie minimalne przęsła

$$A_{s.min.pp} = 4.59 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1.req.23} := \max(A_{s1.23}, A_{s.min.pp}) = 5.24 \text{ cm}^2$$

Teoretyczna liczba prętów

$$n := \frac{A_{s1.req.23}}{\pi \cdot \left( \frac{\phi_{pod.d}}{2} \right)^2} = 1.67$$

Liczba prętów  $n := \text{ceil}(n) = 2$

Przyjęta powierzchnia przekroju  
poprzecznego zbrojenia  $A_{s1,prov.23} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.d}}{2}\right)^2 = 6.28 \text{ cm}^2$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom,b} - n \cdot \phi_{pod.d} - (n-1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

**Ostatecznie przyjęto, iż belka w przęśle "2-3" dołem zbrojona będzie 2 prętami  $\phi 20$ .**

### 9.3.3. Zbrojenie dolne w przęśle "3-4"

Moment wymiarujący  $M_{Ed} := M_{Ed,max.34} = 210.01 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Szerokość efektywna  $b_{eff} := b_{eff,w34} = 1.38 \text{ m}$

Moment płytowy  $M_f := b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot \left(d_d - \frac{1}{2} \cdot h_f\right) = 2235.60 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Ed} \leq M_f = 1$$

**Wniosek: Przekrój pozornie teowy**

Parametr pomocniczy  $S_{c,eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d_d^2} = 0.03$

Względna graniczna  
wysokość strefy ściskanej  $\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{c,eff}} = 0.03$

$$\xi_{eff,lim} = 0.49$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej  $x_{eff} := d_d \cdot \xi_{eff} = 1.37 \text{ cm}$

Wymagana powierzchnia zbrojenia  $A_{s1,34} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_{eff}}{f_{yd}} = 10.90 \text{ cm}^2$

Zbrojenie minimalne przęsła  $A_{s,min,pp} = 4.59 \text{ cm}^2$

$$A_{s1.req.34} := \max(A_{s1.34}, A_{s.min.pp}) = 10.90 \text{ cm}^2$$

Teoretyczna liczba prętów

$$n := \frac{A_{s1.req.34}}{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.d}}{2}\right)^2} = 3.47$$

Liczba prętów

$$n := \text{ceil}(n) = 4$$

Przyjęta powierzchnia przekroju  
poprzecznego zbrojenia

$$A_{s1.prov.34} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.d}}{2}\right)^2 = 12.57 \text{ cm}^2$$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.d} - (n - 1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

**Ostatecznie przyjęto, iż belka w przęśle "3-4" dołem zbrojona będzie 4 prętami  $\phi 20$ .**

### 9.3.4. Zbrojenie dolne w przęśle "4-5"

Moment wymiarujący

$$M_{Ed} := M_{Ed.max.45} = 57.20 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Szerokość efektywna

$$b_{eff} := b_{eff.s45} = 1.25 \text{ m}$$

Moment płytowy

$$M_f := b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd} \cdot \left(d_d - \frac{1}{2} \cdot h_f\right) = 2025.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed} \leq M_f = 1$$

**Wniosek: Przekrój pozornie teowy**

Parametr pomocniczy

$$S_{c.eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d_d^2} = 0.01$$

Względna graniczna  
wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c.eff}} = 0.01$$

$$\xi_{eff.lim} = 0.49$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{eff} := d_d \cdot \xi_{eff} = 0.41 \text{ cm}$$

Wymagana powierzchnia zbrojenia	$A_{s1.45} := \frac{J_{cd} \cdot x_{eff} \cdot d_{eff}}{f_{yd}} = 2.94 \text{ cm}^2$
Zbrojenie minimalne przęsła	$A_{s.min.pp} = 4.59 \text{ cm}^2$
	$A_{s1.req.45} := \max(A_{s1.45}, A_{s.min.pp}) = 4.59 \text{ cm}^2$
Teoretyczna liczba prętów	$n := \frac{A_{s1.req.45}}{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.d}}{2}\right)^2} = 1.46$
Liczba prętów	$n := \text{ceil}(n) = 2$
Przyjęta powierzchnia przekroju poprzecznego zbrojenia	$A_{s1.prov.45} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.d}}{2}\right)^2 = 6.28 \text{ cm}^2$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.d} - (n - 1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

**Ostatecznie przyjęto, iż belka w przęsle "4-5" dołem zbrojona będzie 2 prętami  $\phi 20$ .**

### 9.3.5. Zbrojenie górne nad podporą w osi "2"

Moment wymiarujący	$M_{Ed} := M_{Ed.kr.2} = 142.31 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Parametr pomocniczy	$S_{c.eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d_g^2} = 0.07$
Względna graniczna wysokość strefy ściskanej	$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c.eff}} = 0.07$
	$\xi_{eff.lim} = 0.49$
	$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$
	<b>Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony</b>
Wysokość strefy ściskanej	$x_{eff} := d_g \cdot \xi_{eff} = 3.24 \text{ cm}$
Wymagana powierzchnia zbrojenia	$A_{s1.2} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_w}{f_{yd}} = 7.46 \text{ cm}^2$

Zbrojenie minimalne pręśła	$A_{s.min.pp} = 4.59 \text{ cm}^2$
	$A_{s1.req.2} := \max(A_{s1.2}, A_{s.min.pp}) = 7.46 \text{ cm}^2$
Teoretyczna liczba prętów	$n := \frac{A_{s1.req.2}}{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2} = 2.37$
Liczba prętów	$n := \text{ceil}(n) = 3$
Przyjęta powierzchnia przekroju poprzecznego zbrojenia	$A_{s1.prov.2} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2 = 9.42 \text{ cm}^2$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.g} - (n - 1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

**Ostatecznie przyjęto, iż belka nad podporą "2" górą zbrojona będzie 3 prętami  $\phi 20$ .**

### 9.3.6. Zbrojenie górne nad podporą w osi "3" oraz "4"

Moment wymiarujący	$M_{Ed} := \max(M_{Ed.kr.3}, M_{Ed.kr.4}) = 229.43 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Parametr pomocniczy	$S_{c.eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d_g^2} = 0.11$
Względna graniczna wysokość strefy ściskanej	$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c.eff}} = 0.12$ $\xi_{eff.lim} = 0.49$
	$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$ <b>Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony</b>
Wysokość strefy ściskanej	$x_{eff} := d_g \cdot \xi_{eff} = 5.36 \text{ cm}$
Wymagana powierzchnia zbrojenia	$A_{s1.3} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_w}{f_{yd}} = 12.32 \text{ cm}^2$
Zbrojenie minimalne pręśła	$A_{s.min.pp} = 4.59 \text{ cm}^2$
	$A_{s1.req.3} := \max(A_{s1.3}, A_{s.min.pp}) = 12.32 \text{ cm}^2$

$$A_{s1.req.4} := A_{s1.req.3} = 12.32 \text{ cm}^2$$

Teoretyczna liczba prętów

$$n := \frac{A_{s1.req.3}}{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2} = 3.92$$

Liczba prętów

$$n := \text{ceil}(n) + 1 = 5$$

Przyjęta powierzchnia przekroju poprzecznego zbrojenia

$$A_{s1.prov.3} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2 = 15.71 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1.prov.4} := A_{s1.prov.3} = 15.71 \text{ cm}^2$$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.g} - (n - 1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

**Ostatecznie przyjęto, iż belka nad podporą "3" i "4" górą zbrojona będzie 5 prętami  $\phi 20$ . Zdecydowano o dozbrojeniu podpór dodatkowym prętem przez wzgląd na znaczne wyężenie i usytuowany pomiędzy nimi balkon.**

### 9.3.7. Zbrojenie górne nad podporą w osi "1" oraz "5"

Moment wymiarujący

$$M_{Ed} := \max(M_{Ed.kr.1}, M_{Ed.kr.5}) = 27.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Parametr pomocniczy

$$S_{c.eff} := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d_g^2} = 0.01$$

Względna graniczna wysokość strefy ściskanej

$$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 S_{c.eff}} = 0.01$$

$$\xi_{eff.lim} = 0.49$$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{eff} := d_g \cdot \xi_{eff} = 0.61 \text{ cm}$$

Wymagana powierzchnia zbrojenia

$$A_{s1.1} := \frac{f_{cd} \cdot x_{eff} \cdot b_w}{f_{yd}} = 1.41 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie minimalne przęsła

$$A_{s.min.pp} = 4.59 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1.req.1} := \max(A_{s1.1}, A_{s.min.pp}) = 4.59 \text{ cm}^2$$

Teoretyczna liczba prętów

$$n := \frac{A_{s1.req.1}}{\pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2} = 1.46$$

Liczba prętów

$$n := \text{ceil}(n) = 2$$

Przyjęta powierzchnia przekroju  
poprzecznego zbrojenia

$$A_{s1.prov.1} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_{pod.g}}{2}\right)^2 = 6.28 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1.prov.5} := A_{s1.prov.1} = 6.28 \text{ cm}^2$$

Warunek na ułożenie zbrojenia w odpowiednich odległościach

$$b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - n \cdot \phi_{pod.g} - (n - 1) \cdot s_{min} - 2 \cdot \phi_s \geq 0 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

**Ostatecznie przyjęto, iż belka nad podporą "1" i "5" górz zbrojona będzie 2 prętami  $\phi 20$ .**

## 9.4. Zakotwienie i zakład prętów

### 9.4.1. Graniczne naprężenie przyczepności

Współczynnik stosowany w celu uwzględnienia efektów długotrwałych oraz niekorzystnych wpływów, wynikających ze sposobu przyłożenia obciążenia, na wytrzymałość betonu na rozciąganie. (wartość zalecana)

$$\alpha_{ct} := 1$$

Współczynnik częściowy betonu

$$\gamma_c = 1.4$$

Charakterystyczna wytrzymałość betonu na rozciąganie

$$f_{ctk.0.05} = 2.2 \text{ MPa}$$

Wartość obliczeniowa wytrzymałości betonu na rozciąganie

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.57 \text{ MPa}$$

Współczynnik zależny od jakości warunków przyczepności i pozycji pręta w czasie betonowania

- Pręty zbrojenia dołem (dobre warunki)

$$\eta_{1.d} := 1$$

- Pręty zbrojenia górz (słabe warunki)

$$\eta_{1.g} := 0.7$$

Współczynnik zależny od średnicy pręta (dla  $\phi 20\text{mm}$ )

$$\eta_2 := 1$$

Wartość obliczeniowa granicznego naprężenia przyczepności dla prętów żebrowanych

- Zbrojenie dolne  $f_{bd.d} := 2.25 \cdot \eta_{1.d} \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3.54 \text{ MPa}$
- Zbrojenie górne  $f_{bd.g} := 2.25 \cdot \eta_{1.g} \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2.48 \text{ MPa}$

#### 9.4.2. Podstawowa długość zakotwienia

##### • Podstawowa długość zakotwienia dołem

Pole powierzchni zastosowanego zbrojenia w przęsłach skrajnych, które należy odpowiednio zakotwić

$$A_{s1.prov.d} := \max(A_{s1.prov.12}, A_{s1.prov.45}) = 6.283 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni obliczonego zbrojenia w przęsłach skrajnych, które należy odpowiednio zakotwić

$$A_{s1.req.d} := \max(A_{s1.req.12}, A_{s1.req.45}) = 6.03 \text{ cm}^2$$

Naprężenie obliczeniowe w miejscu od którego odmierza się długość zakotwienia dla zbrojenia dolnego

$$\sigma_{sd.d} := \frac{A_{s1.req.d}}{A_{s1.prov.d}} \cdot f_{yd} = 417 \text{ MPa}$$

Podstawowa wymagana długość zakotwienia

$$l_{b.rqd.d} := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd.d}}{f_{bd.d}} = 58.97 \text{ cm}$$

##### • Podstawowa długość zakotwienia górą

Pole powierzchni zastosowanego zbrojenia nad podporami skrajnymi, które należy odpowiednio zakotwić

$$A_{s1.prov.g} := \max(A_{s1.prov.1}, A_{s1.prov.5}) = 6.28 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni obliczonego zbrojenia nad podporami skrajnymi, które należy odpowiednio zakotwić

$$A_{s1.req.g} := \max(A_{s1.req.1}, A_{s1.req.1}) = 4.59 \text{ cm}^2$$

Naprężenie obliczeniowe w miejscu od którego odmierza się długość zakotwienia dla zbrojenia górnego

$$\sigma_{sd.g} := \frac{A_{s1.req.g}}{A_{s1.prov.g}} \cdot f_{yd} = 317.39 \text{ MPa}$$

Podstawowa wymagana długość zakotwienia

$$l_{b.rqd.g} := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd.g}}{f_{bd.g}} = 64.1 \text{ cm}$$



### 9.4.3. Obliczeniowa długość zakotwienia

Minimalna długość zakotwienia:

- zbrojenia dolnego  $l_{b.min.d} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd.d}, 10 \cdot \phi, 10 \text{ mm}) = 20 \text{ cm}$
- zbrojenia górnego  $l_{b.min.g} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd.g}, 10 \cdot \phi, 10 \text{ mm}) = 20 \text{ cm}$

Współczynniki:

Współczynnik zależny od kształtu pręta  $\alpha_1 := 1.0$

Współczynnik zależny od najmniejszego otulenia betonu  $\alpha_2 := 1.0$

Współczynnik wpływający na ograniczenie odkształceń poprzez zbrojenie poprzeczne  $\alpha_3 := 1.0$

Warunek:  $\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \geq 0.7 = 1$  **Warunek spełniony**

Obliczeniowa długość zakotwienia

- Dla zbrojenia dołem  $l_{bd.d} := \max(\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b.rqd.d}, l_{b.min.d}) = 59 \text{ cm}$

**Przyjęta długość zakotwienia dla zbrojenia dolnego**  $l_{bd.d} := 60 \text{ cm}$

- Dla zbrojenia górą  $l_{bd.g} := \max(\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b.rqd.g}, l_{b.min.g}) = 64.1 \text{ cm}$

**Przyjęta długość zakotwienia dla zbrojenia górnego**  $l_{bd.g} := 65 \text{ cm}$

### 9.4.4. Połączenie na zakład

Współczynnik zależny od udziału prętów połączonych na zakład w całym polu przekroju zbrojenia  $\alpha_6 := 1.5$

Minimalna długość połączenia na zakład

$$l_{0.min} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd.g}, 15 \cdot \phi, 200 \text{ mm}) = 30 \text{ cm}$$

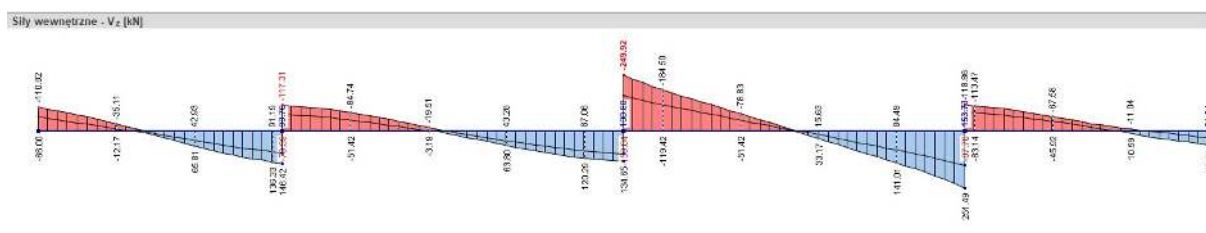
Obliczeniowa długość zakładu

$$l_0 := \max(\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b.rqd.g}, l_{0.min}) = 96.18 \text{ cm}$$

**Przyjęto długość zakładu**  $l_0 := 100 \text{ cm}$

## 9.5. Wymiarowanie zbrojenia na ścinanie

### 9.5.1. Obwiednia obliczeniowych sił poprzecznych



Rys.9.3. Obwiednia obliczeniowych sił poprzecznych belki w osi "E".

### 9.5.2. Obliczeniowa nośność na ścinanie elementu bez zbrojenia na ścinanie

Obliczeniowa nośność na ścinanie

$$V_{Rd,c} = \max \left( \left( C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot MPa \right) \cdot b_w \cdot d, \nu_{min} \cdot b_w \cdot d \right)$$

Powyższą nośność przyjęto dla całej belki z uwzględnieniem najniekorzystniejszego współczynnika  $\rho_l$  oraz  $d$ .

Mniejsza wysokość użyteczna

$$d := \min(d_d, d_g) = 45 \text{ cm}$$

Szerokość belki

$$b_w = 40 \text{ cm}$$

Charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

Współczynnik k

$$k := \min \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{d} \cdot \text{mm}}, 2 \right) = 1.67$$

Pole przekroju zbrojenia rozciąganego -  $2\phi 20$  (przyjęto najbardziej niekorzystny przekrój czyli ten, w którym  $A_{sl}$  jest najmniejsze)

$$A_{sl} := 2 \cdot \pi \cdot \left( \frac{\phi}{2} \right)^2 = 6.28 \text{ cm}^2$$

Stopień zbrojenia

$$\rho_l := \min \left( \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d}, 0.02 \right) = 0.0035$$

Współczynnik częściowy dla betonu

$$\gamma_c = 1.4$$

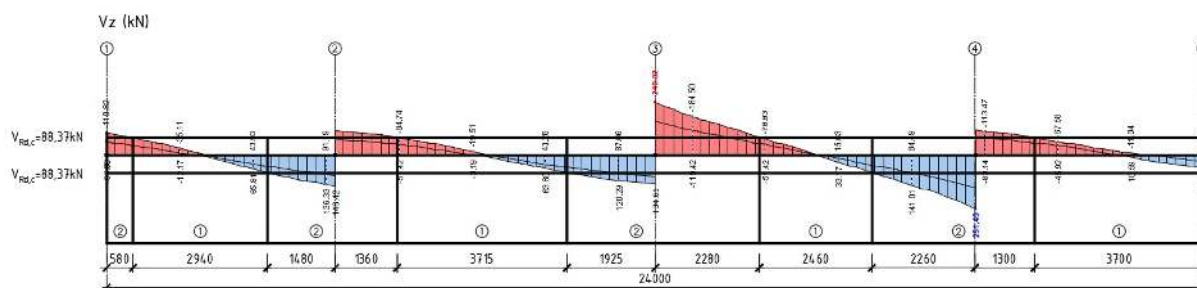
Współczynnik  $C_{Rd,c}$

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.13$$

$$\text{Współczynnik } \nu_{min} \qquad \nu_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left( \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot MPa = 0.45 \text{ MPa}$$

### Obliczeniowa nośność na ścinanie, bez zbrojenia na ścinanie

$$V_{Rd.c} := \max \left( \left( C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot MPa \right) \cdot b_w \cdot d, \nu_{min} \cdot b_w \cdot d \right) = 88.84 \text{ kN}$$



Rys.9.4. Podział belki na odcinki 1 i 2 rzędu

### 9.5.3. Wyznaczenie potrzebnego zbrojenia na ścinanie na odcinkach 2 rodzaju

Największa siła poprzeczna (oś "3" i "4"):

$$V_{Ed.max.4} := 251.49 \text{ kN}$$

Największa siła poprzeczna (pozostałe osie):

$$V_{Ed.max} := 146.42 \text{ kN}$$

Obliczenia dot. odcinków 2 rodzaju przeprowadzone będą dla siły tnącej nieprzekroczony nad większością podpór. Siła na podporę w osiach "3" i "4" przeanalizowana zostanie osobno przez znaczną różnicę wartości w stosunku do pozostałych (punkt). Zbrojenie na ścinanie przyjęto w formie strzemion dwuciętych pionowych  $\phi 10$ .

Wartość obliczeniowa nośności krzyżulców betonowych

$$V_{Rd.max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)}$$

Ramię sił wewnętrznych

$$z := 0.9 \cdot d = 40.5 \text{ cm}$$

Współczynnik zależny od stanu naprężeń w pasie ściskanym (konstrukcje niesprężone)

$$\alpha_{cw} := 1$$

Współczynnik redukcji wytrzymałości betonu zarysowanego przy ścinaniu

$$\nu_1 := \max \left( 0.6 \cdot \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right), 0.5 \right) = 0.52$$

Kąt nachylenia krzyżulców betonowych

$$\theta := 45 \text{ deg}$$

$$\cot(\theta) = 1 \qquad \tan(\theta) = 1$$

Wartość obliczeniowa nośności  
krzyżulców betonowych

$$V_{Rd,max} := \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 1044.90 \text{ kN}$$

Pole przekroju zbrojenia na ścinanie

$$A_{sw} := 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_s}{2}\right)^2 = 1.57 \text{ cm}^2$$

Obliczeniowa granica plastyczności  
zbrojeniana ścinanie - klasa stali jak  
dla zbrojenia głównego

$$f_{ywd} := f_{yd} = 434.78 \text{ MPa}$$

Kąt nachylenia strzemion do osi głównej belki

$$\alpha := 90 \text{ deg}$$

$$\nu := \nu_1 = 0.52$$

Dodatkowy warunek dla siły poprzeczne

$$V_{Rd,b} := 0.5 \cdot b_w \cdot d \cdot \nu \cdot f_{cd} = 1161 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,b} = 1$$

$$V_{Ed,max,A} \leq V_{Rd,b} = 1$$

**Warunek spełniony**

Sprawdzenie nośności krzyżulców betonowych

$$V_{Ed,max} < V_{Rd,max} = 1$$

$$V_{Ed,max,A} < V_{Rd,max} = 1$$

**Warunek spełniony**

**Wniosek: Krzyżulce betonowe nie zostaną zmiażdżone**

a) Rozstaw strzemion - podpory w osi "1", "2" i "5"

Siła wymiarująca

$$V_{Ed,max} := 146.42 \text{ kN}$$

Rozstaw zbrojenia na ścinanie

$$s := \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta)}{V_{Ed,max}} = 18.89 \text{ cm}$$

$$\text{Przyjęto } s := 15 \text{ cm}$$

Maksymalny rozstaw podłużny  
zestawów zbrojenia na ścinanie

$$s_{l,max} := 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha)) = 33.75 \text{ cm}$$

$$s \leq s_{l,max} = 1$$

**Warunek spełniony**

Rzeczywisty rozstaw  
poprzeczny ramion strzemion

$$s_t := b_w - 2 \cdot c_{nom,b} - 2 \cdot \phi_s = 32 \text{ cm}$$

Maksymalny rozstaw  
poprzeczny ramion strzemion

$$s_{t,max} := \min(0.75 \cdot d, 600 \text{ mm}) = 33.75 \text{ cm}$$

$$s_t \leq s_{t,max} = 1$$

**Warunek spełniony**

Stopień zbrojenia na ścinanie  $\rho_w := \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 0.0026$

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie  $\rho_{w.min} := 0.08 \cdot \frac{\sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}}{\frac{f_{yk}}{MPa}} = 0.0009$

Sprawdzenie warunku  $\rho_w > \rho_{w.min} = 1$  **Warunek spełniony**

**Ostatecznie przyjęto rozstaw zbrojenia na ścinanie na odcinkach 2 rodzaju równy 15 cm.**

**b) Rozstaw strzemion - podpory w osi "3" i "4"**

Siła wymiarująca  $V_{Ed.max.4} := 251.49 \text{ kN}$

Rozstaw zbrojenia na ścinanie  $s := \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta)}{V_{Ed.max.4}} = 11.00 \text{ cm}$

Przyjęto  $s := 10 \text{ cm}$

Maksymalny rozstaw podłużny zestawów zbrojenia na ścinanie  $s_{l.max} := 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha)) = 33.75 \text{ cm}$

$s \leq s_{l.max} = 1$  **Warunek spełniony**

Rzeczywisty rozstaw poprzeczny ramion strzemion  $s_t := b_w - 2 \cdot c_{nom.b} - 2 \cdot \phi_s = 32 \text{ cm}$

Maksymalny rozstaw poprzeczny ramion strzemion  $s_{t.max} := \min(0.75 \cdot d, 600 \text{ mm}) = 33.75 \text{ cm}$

$s_t \leq s_{t.max} = 1$  **Warunek spełniony**

Stopień zbrojenia na ścinanie  $\rho_w := \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 0.0039$

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie  $\rho_{w.min} := 0.08 \cdot \frac{\sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}}{\frac{f_{yk}}{MPa}} = 0.0009$

Sprawdzenie warunku

$$\rho_w > \rho_{w.min} = 1$$

**Warunek spełniony**

**Ostatecznie przyjęto rozstaw zbrojenia na ścinanie na odcinkach 2 rodzaju (oś "3" i "4") równy 10 cm.**

#### 9.5.4. Wyznaczenie potrzebnego zbrojenia na ścinanie na odcinkach 1 rodzaju

Zbrojenie konstrukcyjne powinno mieć rozstaw podłużny mniejszy od rozstawu maksymalnego oraz stopień zbrojenia większy od zbrojenia minimalnego.

Sprawdzenie dodatkowego warunku dla siły poprzecznej

$$V_{Rd.b} := 0.5 \cdot b_w \cdot d \cdot \nu \cdot f_{cd} = 1161 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} := V_{Rd.c} = 88.84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd.b} = 1$$

**Warunek spełniony**

Maksymalny rozstaw podłużny zestawów zbrojenia na ścinanie

$$s_{l.max} := 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha)) = 33.75 \text{ cm}$$

Maksymalny rozstaw podłużny zbrojenia na ścinanie

$$s_{max} := \frac{A_{sw}}{\rho_{w.min} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 41.49 \text{ cm}$$

Wstępnie założony rozstaw zbrojenia

$$s_{konst} := 30 \text{ cm}$$

Stopień zbrojenia na ścinanie

$$\rho_w := \frac{A_{sw}}{s_{konst} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)} = 0.0013$$

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie

$$\rho_{w.min} := 0.08 \cdot \frac{\sqrt[2]{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}}{\frac{f_{yk}}{\text{MPa}}} = 0.0009$$

Sprawdzenie warunku

$$\rho_w > \rho_{w.min} = 1$$

**Warunek spełniony**

**Ostatecznie przyjęto rozstaw zbrojenia na ścinanie na odcinkach 1 rodzaju równy 30 cm.**

## 9.6. Stan graniczny użyteczności - zarysowanie

### 9.6.1. Zarysowanie w przęśle "3-4" - metoda uproszczona

Wymiary belki:	$b_{b2} = 40 \text{ cm}$
	$h_{b2} = 50 \text{ cm}$
Odległość od włókien najbardziej ściskanych do środka ciężkości przekroju	$h_{cr} := \frac{h_{b2}}{2} = 25 \text{ cm}$
Moment bezwładności	$I_x := \frac{b_{b2} \cdot h_{b2}^3}{12} = 416666.67 \text{ cm}^4$
Wskaźnik wytrzymałości	$W_c := \frac{I_x}{h_{b2} - h_{cr}} = 16666.67 \text{ cm}^3$
Pole przyjętego zbrojenia w przęśle	$A_{s1,prov.34} = 12.57 \text{ cm}^2$
Wysokość użyteczna belki dla zbrojenia dolnego	$d_d = 45 \text{ cm}$
Wysokość użyteczna belki dla zbrojenia górnego	$d_g = 45.5 \text{ cm}$
Stosunek modułów sprężystości stali i betonu (obciążenia krótkotrwałe)	$\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.88$
Pole przekroju sprowadzonego	$A_I := b_t \cdot h_{b2} + \alpha_e \cdot A_{s1,prov.34} = 2073.92 \text{ cm}^2$
Moment statyczny	$S_I := b_{b2} \cdot h_{b2} \cdot \frac{h_{b2}}{2} + \alpha_e \cdot A_{s1,prov.34} \cdot d_d = 53326.39 \text{ cm}^3$
Odległość od włókien najbardziej ściskanych do środka ciężkości przekroju sprowadzonego	$x_I := \frac{S_I}{A_I} = 25.71 \text{ cm}$
Moment bezwładności	$I_I := \frac{b_{b2} \cdot h_{b2}^3}{12} + b_{b2} \cdot h_{b2} \cdot \left(x_I - \frac{h_{b2}}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1,prov.34} \cdot (d_d - x_I)^2 = 445180.72 \text{ cm}^4$
Wskaźnik wytrzymałości	$W_{cs} := \frac{I_I}{h_{b2} - x_I} = 18329.89 \text{ cm}^3$

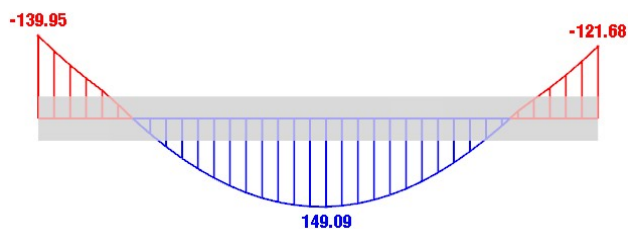
Moment rysujący

$$M_{cr.prz} := f_{ctm} \cdot W_{cs} = 58.66 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksymalny moment od kombinacji charakterystycznej

$$M_{Ek.prz} := 149.09 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ek.prz} \leq M_{cr.prz} = 0$$

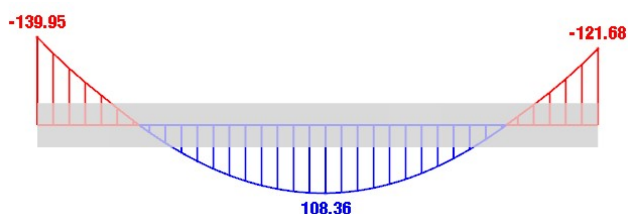


Rys.9.5. Fragment wykresu momentów zginających w kombinacji charakterystycznej - przęsło "3-4"

**Wniosek: Wystąpi zarysowanie**

Moment dla kombinacji quasi-stałej

$$M_{Eqp.prz} := 108.36 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Rys.9.6. Fragment wykresu momentów zginających w kombinacji quasi stałej - przęsło "3-4"

Przyjęta maksymalna szerokość rozwarcia rysy

$$w_{lim} = 0.3 \text{ mm}$$

Stożek zbrojenia

$$\rho := \frac{A_{s1.prov.34}}{b_{b2} \cdot d_d} \cdot 100\% = 0.7\%$$

Współczynnik  $\zeta$  dla  $0.5 < \rho \leq 1.0$

$$\zeta := 0.85$$

Naprężenia w stali zbrojeniowej

$$\sigma_s := \frac{M_{Eqp.prz}}{d_d \cdot \zeta \cdot A_{s1.prov.34}} = 225.44 \text{ MPa}$$

Średnica zbrojenia dla szerokości rys równej 0,3 mm

$$\phi'_s := 16 \text{ mm} + \frac{(240 \text{ MPa} - \sigma_s) \cdot (25 \text{ mm} - 16 \text{ mm})}{240 \text{ MPa} - 200 \text{ MPa}} = 19.28 \text{ mm}$$

Współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w chwili bezpośrednio poprzedzającej zarysowanie

$$k_c := 0.4$$



Przyjęta średnica zbrojenia belki

$$\phi = 20 \text{ mm}$$

Zmodyfikowana maksymalna  
średnica prętów

$$\phi_{s.zast} := \phi'_s \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2.9 \text{ MPa}} \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h_{b2} - d_d)} = 21.27 \text{ mm}$$

$$\phi_{s.zast} \geq \phi = 1$$

**Warunek spełniony**

### 9.6.2. Zarysowanie w przęśle "3-4" -metoda dokładna

Obliczenie współczynnika pełzania (metoda uproszczona)

Pole przekroju betonowego

$$A_c := h_{b2} \cdot b_{b2} = 2000 \text{ cm}^2$$

Obwód części przekroju poddanej wysychaniu

$$u := 2 \cdot (b_{b2} + h_{b2}) - 2 \cdot h_{pt} = 144 \text{ cm}$$

Miarodajny wymiar przekroju

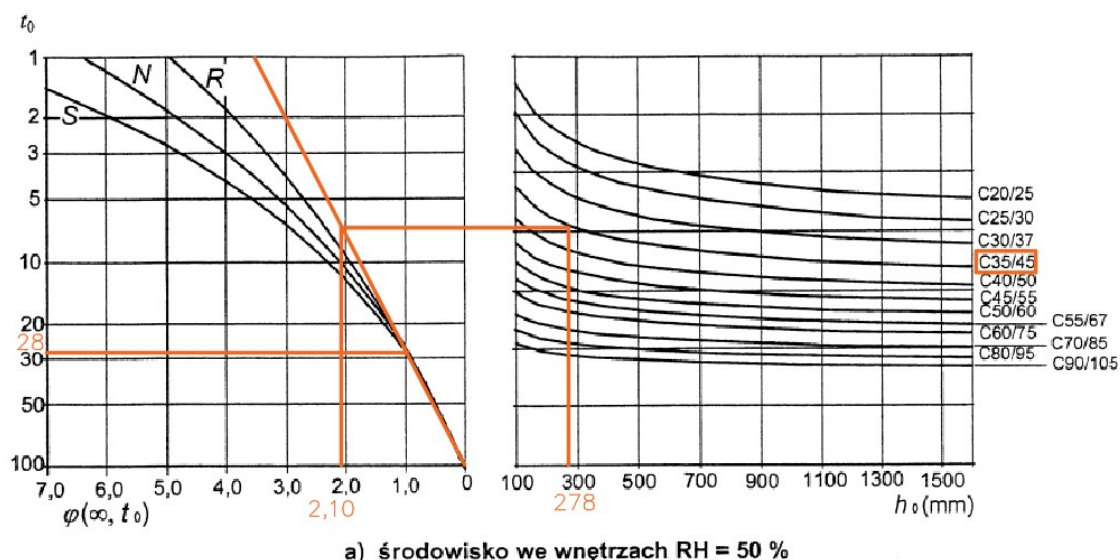
$$h_0 := \frac{2 \cdot A_c}{u} = 277.78 \text{ mm}$$

Wilgotność względna

$$RH := 50\%$$

Wiek betonu w chwili obciążenia

$$t_T := 28 \text{ day}$$



Rys.9.7. Metoda wyznaczania współczynnika pełzania betonu w warunkach normalnych

Współczynnik pełzania

$$\varphi_{t,t0} := 2.10$$

Efektywny moduł sprężystości betonu

$$E_{c,eff} := \frac{E_{cm}}{\varphi_{t,t0} + 1} = 10.97 \text{ GPa}$$

Stosunek modułów sprężystości stali i betonu  
(obciążenia długotrwałe)  $\alpha_{et} := \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 18.24$

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{II} := \frac{\alpha_{et} \cdot A_{s1,prov.34}}{b_{b2}} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_{b2} \cdot d_g}{\alpha_{et} \cdot A_{s1,prov.34}}} \right) = 17.81 \text{ cm}$$

Moment bezwładności

$$I_{II} := \frac{b_{b2} \cdot x_{II}^3}{3} + \alpha_{et} \cdot A_{s1,prov.34} \cdot (d_g - x_{II})^2 = 251022.2 \text{ cm}^4$$

Otulenie zbrojenia rozciąganego

$$c_x := c_{nom.b} + \phi = 50 \text{ mm}$$

Wysokość efektywna strefy  
rozciąganej betonu

$$h_{c,eff} := \min \left( 2.5 \cdot (h_{b2} - d_g), \frac{h_{b2} - h_{cr}}{3} \right) = 8.33 \text{ cm}$$

Efektywne pole strefy rozciąganej

$$A_{c,eff} := b_{b2} \cdot h_{c,eff} = 333.33 \text{ cm}^2$$

Stopień zbrojenia strefy rozciąganej

$$\rho_{p,eff} := \frac{A_{s1,prov.34}}{A_{c,eff}} = 0.038$$

Przyjęte współczynniki:

Pręty o wysokiej przyczepności

$$k_1 := 0.8$$

Element zginany

$$k_2 := 0.5$$

Uwzględnić powstanie  
obszaru odprężenia

$$k_3 := 3.4$$

Uwzględnić przejście z długości  
obwodu na pole koła

$$k_4 := 0.425$$

Współczynnik zależny od czasu trwania  
onciażenia (obciążenie długotrwałe)

$$k_t := 0.4$$

Maksymalny rozstaw rys

$$s_{r,max} := k_3 \cdot c_x + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 26.02 \text{ cm}$$

Moment charakterystyczny dla  
kombinacji quasi-stałej

$$M_{Eqp,prz} = 108.36 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Naprężenie w zbrojeniu rozciągającym obliczone dla kombinacji quasi-stałej przy założeniu, że przekój jest zarysowany

$$\sigma_{s.x} := \alpha_{et} \cdot \frac{M_{Eqp.prz}}{I_{II}} \cdot (d_g - x_{II}) = 217.96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax} := \frac{M_{Eqp.prz}}{I_{II}} \cdot x_{II} = 7.69 \text{ MPa} \qquad 0.45 \cdot f_{ck} = 15.75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax} < 0.45 \cdot f_{ck} = 1$$

**Wniosek: Słusznie przyjęto pełzanie liniowe**

Różnica odkształceń stali i betonu na odcinku na odcinku między rysami

$$\varepsilon = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$\varepsilon_{sm}$  - średnie odkształcenie zbrojenia

$\varepsilon_{cm}$  - średnie odkształcenie betonu między rysami

$$\varepsilon := \max \left( \frac{\sigma_s - \frac{k_t \cdot f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s,x}}{E_s} \right) = 0.00092$$

Obliczone rozwarście rysy

$$w_k := s_{r,max} \cdot \varepsilon = 0.24 \text{ mm}$$

Maksymalne rozwarście rysy

$$w_{lim} := 0.30 \text{ mm}$$

$w_k \leq w_{lim} = 1$  **Wniosek: Szerokość rozwarścia rysy nie przekroczy wartości dopuszczalnej**

### 9.6.3. Zarysowanie nad podporą "3" - metoda uproszczona

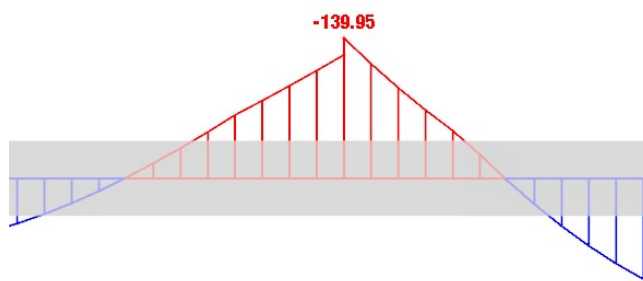
Moment rysujący

$$M_{cr.pod} := f_{ctm} \cdot W_{cs} = 58.66 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksymalny moment od kombinacji charakterystycznej

$$M_{Ek.pod} := 139.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ek.pod} \leq M_{cr.pod} = 0$$

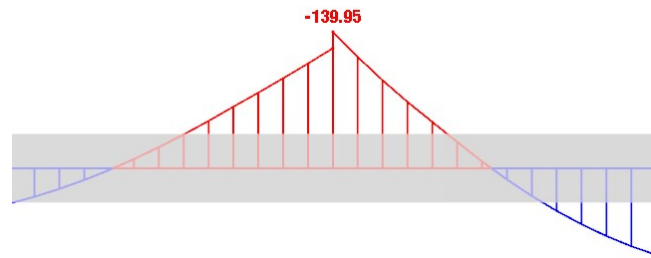


Rys.9.8. Fragment wykresu momentów zginających w kombinacji charakterystycznej - podpora w osi "3"

**Wniosek: Wystąpi zarysowanie**

Moment dla kombinacji  
quasi-stałej

$$M_{Eqp.pod} := 139.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Rys.9.9. Fragment wykresu momentów zginających  
w kombinacji quasi stałej - podpora w osi "3"

Przyjęta maksymalna szerokość rozwarcia rysy

$$w_{lim} = 0.3 \text{ mm}$$

Pole przyjętego zbrojenia nad podporą

$$A_{s1.prov.3} = 15.71 \text{ cm}^2$$

Stożek zbrojenia

$$\rho := \frac{A_{s1.prov.3}}{b_{b2} \cdot d_g} \cdot 100\% = 0.863\%$$

Współczynnik  $\zeta$  dla  $0.5 < \rho \leq 1.0\%$

$$\zeta := 0.85$$

Naprężenia w stali zbrojeniowej

$$\sigma_s := \frac{M_{Eqp.pod}}{d_g \cdot \zeta \cdot A_{s1.prov.3}} = 230.37 \text{ MPa}$$

Średnica zbrojenia dla szerokości rys równej 0,3 mm

$$\phi'_s := 16 \text{ mm} + \frac{(240 \text{ MPa} - \sigma_s) \cdot (25 \text{ mm} - 16 \text{ mm})}{240 \text{ MPa} - 200 \text{ MPa}} = 18.17 \text{ mm}$$

Współczynnik zależny od rozkładu naprężeń  
w chwili bezpośrednio poprzedzającej zarysowanie

$$k_c := 0.4$$

Przyjęta średnica zbrojenia belki

$$\phi = 20 \text{ mm}$$

Zmodyfikowana maksymalna  
średnica prętów

$$\phi_{s.zast} := \phi'_s \cdot \frac{f_{ct.eff}}{2.9 \text{ MPa}} \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h_{b2} - d_g)} = 22.27 \text{ mm}$$

$\phi_{s.zast} \geq \phi = 1$  **Wniosek: Szerokość rozwarcia rysy nie przekroczy wartości dopuszczalnej**

#### 9.6.4. Zarysowanie nad podporą "3" -metoda dokładna

Wysokość strefy ściskanej

$$x_{II} := \frac{\alpha_{et} \cdot A_{s1.prov.3}}{b_{b2}} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 b_{b2} \cdot d_d}{\alpha_{et} \cdot A_{s1.prov.3}}} \right) = 19.22 \text{ cm}$$

Moment bezwładności

$$I_{II} := \frac{b_{b2} \cdot x_{II}^3}{3} + \alpha_{et} \cdot A_{s1.prov.3} \cdot (d_d - x_{II})^2 = 285037.03 \text{ cm}^4$$

Otulenie zbrojenia rozciąganego

$$c_x := c_{nom.b} + \phi = 50 \text{ mm}$$

Wysokość efektywna strefy rozciąganej betonu

$$h_{c.eff} := \min \left( 2.5 \cdot (h_{b2} - d_d), \frac{h_{b2} - h_{cr}}{3} \right) = 8.33 \text{ cm}$$

Efektywne pole strefy rozciąganej

$$A_{c.eff} := b_{b2} \cdot h_{c.eff} = 333.33 \text{ cm}^2$$

Stopień zbrojenia strefy rozciąganej

$$\rho_{p.eff} := \frac{A_{s1.prov.3}}{A_{c.eff}} = 0.047$$

Przyjęte współczynniki:

Pręty o wysokiej przyczepności

$$k_1 := 0.8$$

Element zginany

$$k_2 := 0.5$$

Uwzględnia powstanie obszaru odprężenia

$$k_3 := 3.4$$

Uwzględnia przejście z długości obwodu na pole koła

$$k_4 := 0.425$$

Współczynnik zależny od czasu trwania onciążenia (obciążenie długotrwałe)

$$k_t := 0.4$$

Maksymalny rozstaw rys

$$s_{r.max} := k_3 \cdot c_x + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p.eff}} = 24.22 \text{ cm}$$

Moment charakterystyczny dla kombinacji quasi-stałej

$$M_{Eqp.pod} = 139.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Naprężenie w zbrojeniu rozciągającym obliczone dla kombinacji quasi-stałej przy założeniu, że przekój jest zarysowany

$$\sigma_{s.x} := \alpha_{et} \cdot \frac{M_{Eqp.pod}}{I_{II}} \cdot (d_d - x_{II}) = 230.85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax} := \frac{M_{Eqp.pod}}{I_{II}} \cdot x_{II} = 9.44 \text{ MPa} \qquad 0.45 \cdot f_{ck} = 15.75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax} < 0.45 \cdot f_{ck} = 1$$

**Wniosek: Słusznie przyjęto pełzanie liniowe**

Różnica odkształceń stali i betonu na odcinku na odcinku między rysami

$$\varepsilon = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$\varepsilon_{sm}$  - średnie odkształcenie zbrojenia

$\varepsilon_{cm}$  - średnie odkształcenie betonu między rysami

$$\varepsilon := \max \left( \frac{\sigma_s - \frac{k_t \cdot f_{ct.eff}}{\rho_{p.eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p.eff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s.x}}{E_s} \right) = 0.00098$$

Obliczone rozwarście rysy

$$w_k := s_{r.max} \cdot \varepsilon = 0.24 \text{ mm}$$

Maksymalne rozwarście rysy

$$w_{lim} := 0.30 \text{ mm}$$

$w_k \leq w_{lim} = 1$  **Wniosek: Szerokość rozwarścia rysy nie przekroczy wartości dopuszczalnej**

## 9.7. Stan graniczny użyteczności - ugięcie

### 9.7.1. Ugięcie w przęśle "3-4" - metoda uproszczona

Rozpiętość belki w świetle

$$l := 6.6 \text{ m}$$

Oparcie na podporze wewnętrznej

$$a_1 := \min(0.5 h_{b2}, 0.5 \cdot b_{s1}) = 20 \text{ cm}$$

Oparcie na podporze zewnętrznej

$$a_2 := a_1 = 20 \text{ cm}$$

Długość efektywna belki

$$l_{eff} := l + a_1 + a_2 = 7 \text{ m}$$

Stosunek modułów sprężystości stali i betonu (obciążenia długotrwałe)

$$\alpha_{et} = 18.24$$

Współczynnik zależny od rodzaju konstrukcji  
- wewnętrzne przęsło belki

$$K := 1.5$$

Porównawczy stopień  
zbrojenia

$$\rho_0 := \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot 10^{-3} = 0.0059$$

Zbrojenie wymagane

$$A_{s1.req.34} = 10.90 \text{ cm}^2$$

Zbrojenie zastosowane

$$A_{s1.prov.34} = 12.57 \text{ cm}^2$$

Wymagany ze względu na nośność  
stopień zbrojenia rozciąganego

$$\rho := \frac{A_{s1.req.34}}{b_{b2} \cdot d_d} = 0.0061$$

Sprawdzenie warunku

$$\rho \leq \rho_0 = 0 \quad \rho' := 0$$

Stopień zbrojenia rozciąganego jest mniejszy od porównawczego stopnia zbrojenia

$$l_{do}d_{max} := K \cdot \left( 11 + 1.5 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \frac{\rho'}{\rho_0} \right) \cdot \frac{500 \text{ MPa}}{\frac{f_{yk} \cdot A_{s1.req.DE}}{A_{s1.prov.DE}}} \cdot 0.8$$

Graniczny stosunek rozpiętości do  
wysokości użytecznej

$$l_{do}d_{max} = 26.1$$

Rzeczywisty stosunek rozpiętości do  
wysokości użytecznej

$$l_{do}d_{rzecz.34} := \frac{l}{d_d} = 14.67$$

$$l_{do}d_{max} > l_{do}d_{rzecz.34} = 1$$

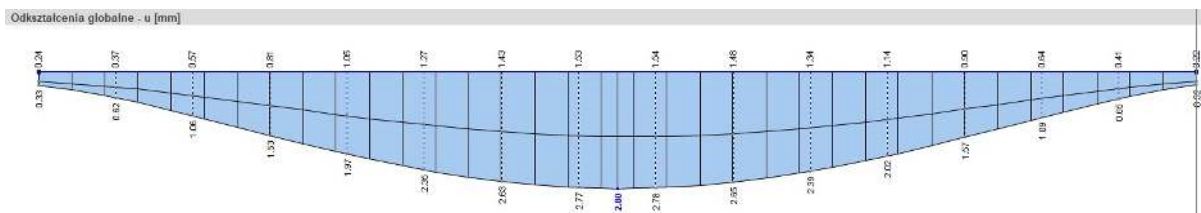
**Wniosek: Ugięcie jest mniejsze od dopuszczalnego**

### 9.7.2. Ugięcie w przęsle "3-4" - metoda dokładna

Wysokość strefy ściskanej  $x_{Id} := \frac{\alpha_{et} \cdot A_{s1.prov.34}}{b_{b2}} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 b_{b2} \cdot d_d}{\alpha_{et} \cdot A_{s1.prov.34}}} \right) = 17.69 \text{ cm}$

Moment bezwładności  $I_{Id} := \frac{b_{b2} \cdot x_{Id}^3}{3} + \alpha_{et} \cdot A_{s1.prov.34} \cdot (d_d - x_{Id})^2 = 244720.63 \text{ cm}^4$

Przemieszczenie na środku rozpatrywanej belki odczytane z programu  
(bez korekty momentu bezwładności belki)



Rys.9.10. Przemieszczenia globalne rozpatrywanego przęsła belki odczytane z programu

Przemieszczenie na podporze lewej  $u_1 := 0.33 \text{ mm}$

Przemieszczenie na podporze prawej  $u_2 := 0.32 \text{ mm}$

Przemieszczenie w przęśle  $u_p := 2.80 \text{ mm}$

Ugięcie na środku belki względem podpór  $\alpha_{el} := u_p - \frac{u_1 + u_2}{2} = 2.475 \text{ mm}$

Sztywność elementu przed zarysowaniem  $B_I := E_{cm} \cdot \frac{b_{b2} \cdot h_{b2}^3}{12} = 141666.67 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$

Sztywność elementu przed zarysowaniem z uwzględnieniem pełzania  $B_{II} := E_{c,eff} \cdot I_I = 48826.27 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$

Ugięcie na środku belki przed zarysowaniem z uwzględnieniem pełzania  $\alpha_I := \alpha_{el} \cdot \frac{B_I}{B_{II}} = 7.18 \text{ mm}$

Sztywność elementu po zarysowaniu z uwzględnieniem pełzania  $B_{III} := E_{c,eff} \cdot I_{Id} = 26840.33 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$

Ugięcie na środku belki po zarysowaniu z uwzględnieniem pełzania  $\alpha_{II} := \alpha_{el} \cdot \frac{B_I}{B_{III}} = 13.06 \text{ mm}$

Dla obciążeń długotrwałych  $\beta := 0.5$

Moment rysujący  $M_{cr.prz} = 58.66 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Moment w kombinacji quasi-stałej  $M_{Eqp.prz} = 108.36 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Współczynnik dystrybucji gdy element jest zarysowany  $\zeta := 1 - \beta \cdot \left( \frac{M_{cr.prz}}{M_{Eqp.prz}} \right)^2 = 0.85$



Ostateczne ugięcie dla belki

$$a := \zeta \cdot \alpha_{II} + (1 - \zeta) \cdot \alpha_I = 12.2 \text{ mm}$$

Maksymalne dopuszczalne ugięcie

$$a_{lim} := \frac{l_{eff}}{250} = 28.00 \text{ mm}$$

$$a \leq a_{lim} = 1$$

**Wniosek: Ugięcie jest mniejsze od dopuszczalnego**

## 9.8. Zestawienie zbrojenia dla belki w osi "E"

Tab.9.1. Zestawienie zbrojenia dla belki - zbrojenie główne

Przekrój	Zbrojenie Obliczone $A_{s1}^{req} [cm^2]$	Zbrojenie Przyjęte $A_{s1}^{prov} [cm^2]$	Sztuk Średnica $\phi$ [mm]
Przęśła dołem			
1-2	6,03	6,28	2 $\phi$ 20
2-3	5,24	6,28	2 $\phi$ 20
3-4	10,90	12,57	4 $\phi$ 20
4-5	4,59	6,28	2 $\phi$ 20
Podpory góra			
1	4,59	6,28	2 $\phi$ 20
2	7,46	9,42	3 $\phi$ 20
3	12,32	15,71	5 $\phi$ 20
4	12,32	15,71	5 $\phi$ 20
5	4,59	6,28	2 $\phi$ 20

Tab.9.2. Zestawienie zbrojenia dla belki - strzemiona

Odcinek	Rodzaj	Średnica $\phi$ [mm], Rozstaw [mm]
1 rodzaju	dwu-cięte	$\phi$ 10 co 300
2 rodzaju (a)	dwu-cięte	$\phi$ 10 co 150
2 rodzaju (b)	dwu-cięte	$\phi$ 10 co 100

## 10. Balkony prefabrykowane

### 10.1. Rozwiązania technologiczne

Balkony wspornikowe o wymiarach 7,4m x 1,8m zaprojektowano jako prefabrykowane z wmontowaną wkładką termoizolacyjną. Element montowany przed zabetonowaniem stropu w sposób klasyczny tj. górna powierzchnia balkonu i płyty stropowej na tym samym poziomie.

### 10.2. Zbrojenie balkonu

#### 10.2.1. Zbrojenie górne

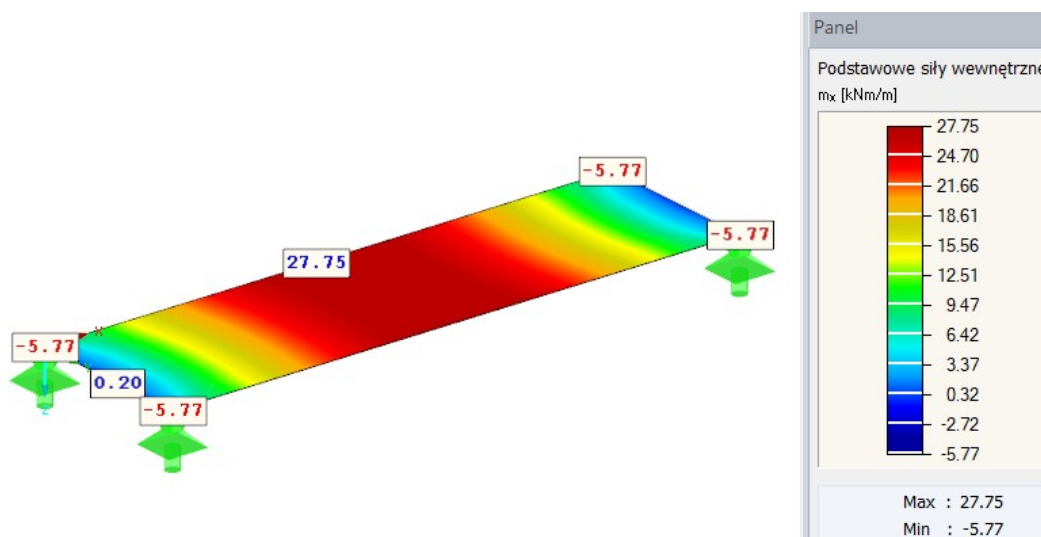
Zbrojenie górne na kierunku X wyznaczono w punkcie:

- 7.4. "Wymiarowanie zbrojenia w kierunku X"  $\phi 10$  co 20cm

Zbrojenie górne na kierunku Y należy dostosować do rozstawu prętów wkładki Isokorb T typ K-M7-V1 w celu zapewnienia odpowiedniej współpracy płyty stropowej i balkonowej. Ostatecznie przyjęto  $\phi 10$  co 10/15cm

#### 10.2.2. Zbrojenie dolne

W celu wyznaczenia zbrojenia dolnego przeprowadzona została dodatkowa analiza stanu przejściowego występującego podczas transportu oraz montażu balkonu na budowie. W sytuacji tej element unoszony jest przez dźwig za pomocą łańcuchów przymocowanych w narożnikach płyty. Taki manewr powoduje krótkotrwałe, lecz znaczne rozciąganie dolnych włókien płyty, co przedstawiać ma poniższy model:



Rys.10.1. Moment zginający występujący w balkonie w sytuacji przejściowej

$$\text{Moment wymiarujący} \quad M_{Ed} := 27.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**Wymagania materiałowe narzucone przez producenta łączników termicznych:**

klasa betonu - **C30/37** (kruszywo kwarcytowe)

Wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie	$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$
Wartość współczynnika częściowego $\gamma_c$	$\gamma_c := 1.4$
Współczynnik częściowy dla betonu	$\alpha_{cc} := 1$
Wartość obliczeniowa wytrzymałości na ściskanie	$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 21.43 \text{ MPa}$
Otulina zbrojenia	$c_{nom} := 30 \text{ mm}$
Wysokość balkonu	$h := 18 \text{ cm}$
Szerokość analizowanej płyty	$b_{pt} := 1 \text{ m}$
Średnica założonego zbrojenia	$\phi := 10 \text{ mm}$
Wysokość użyteczna	$d_x := h - c_{nom} - \frac{1}{2} \cdot \phi = 0.15 \text{ m}$
Parametr pomocniczy	$s_c := \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{pt} \cdot d_x^2} = 0.06$
Względna wysokość strefy ściskanej	$\xi_{eff} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot s_c} = 0.06$

$$\xi_{eff} \leq \xi_{eff.lim} = 1$$

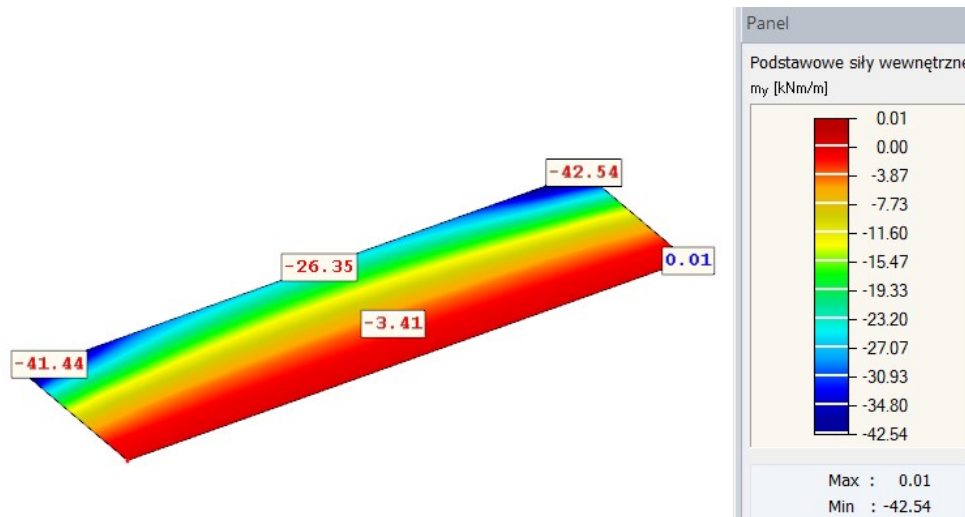
**Wniosek: Przekrój pojedynczo zbrojony**

Wysokość strefy ściskanej	$x_{eff} := \xi_{eff} \cdot d_x = 0.92 \text{ cm}$
Wymagana powierzchnia zbrojenia	$A_{s1} := \frac{f_{cd} \cdot b_{pt} \cdot x_{eff}}{f_{yd}} = 4.55 \text{ cm}^2$
Minimalna powierzchnia zbrojenia	$A_{s.min.xx} = 3.6 \text{ cm}^2$
Powierzchnia zbrojenia	$A_{s1.req.xx} := \max(A_{s1}, A_{s.min.xx}) = 4.55 \text{ cm}^2$
Powierzchnia zbrojenia $\phi 10$ co 15cm	$A_{s1.prov.xx} := 5.24 \text{ cm}^2$

**Ostatecznie przyjęto zbrojenie dolne w postaci siatki  $\phi 10$  co 15cm**

### 10.3. Dobór łącznika termoizolacyjnego

Łącznik termiczny musi mieć nośność wystarczającą do przeniesienia momentu występującego w miejscu styku balkonu ze stropem. Do doboru odpowiedniego łącznika wykorzystano program obliczeniowy "Oprogramowanie pomiarowe Isokorb Schock"

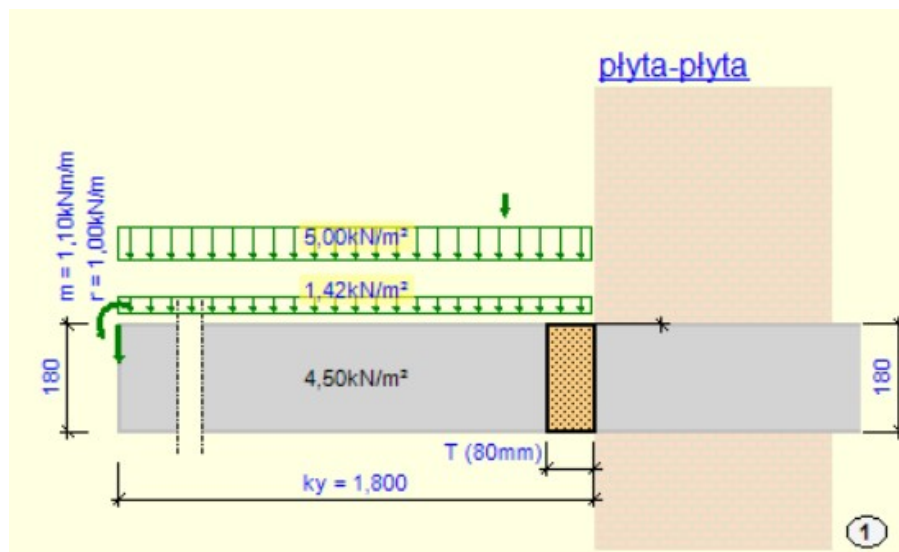


Rys.10.2. Moment zginający podporowy występujący w balkonie w modelu rzeczywistym

Geometria balkonu	
System	balkon prostokątny
Model	Isokorb T (80mm)
Wariant wykonania	Standard
Grubość	h 180 mm
Wysokość Isokorb®	H 180 mm
Długość	lx 7,4 m
Szerokość	ky 1,8 m
Przewieszenie lewe	le 0 m
Przewieszenie prawe	re 0 m
Balkon podparty	<input type="checkbox"/>
Dane ogólne	
Otulina betonowa	CV 30 mm
min. klasa betonu	C30/37
Odporność ogniowa	<input checked="" type="checkbox"/>
Isokorb® przed ścianą	<input checked="" type="checkbox"/>
Podparcie	
Edycja geometrii podparcia	
Rodzaj	phyta-phyta
Grubość płyty	hD 180 mm
Różnica wysokości	HV 0 mm
Grubość ściany	w 400 mm
Obciążenia	
Ciężar własny	$g1_k$ 4,5 kN/m <sup>2</sup>
Warstwy wykończeniowe	$g2_k$ 1,42 kN/m <sup>2</sup>
Obc. zmienne	$q_k$ 5 kN/m <sup>2</sup>
Obc. krawędziowe	$r_k$ 1 kN/m
Obc. krawędziowe tylko przód	<input type="checkbox"/>
Moment krawędziowy	$m_{r_k}$ 1,1 kNm/m
Obc. liniowe	$v_k$ 0 kN/m
Obciążenie równoległe do osi x	$F_{d,x}$ 0 kN
Obciążenie równoległe do osi y	$F_{d,y}$ 0 kN
Kombinacja obciążeń Trzęsienie ziemi	<input type="checkbox"/>

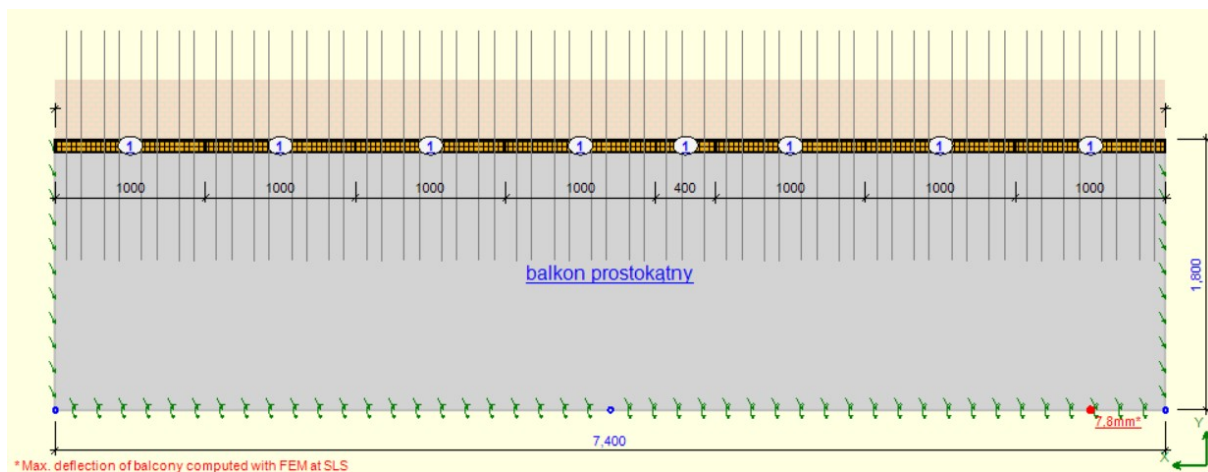
Rys.10.3. Dane wprowadzone do oprogramowania

**Dobraný łącznik:**



① [7.5x Isokorb® T Typ K-M7-V1-REI120-CV30-X80-H180-6.0 \(K55-CV30-V8-H180-REI120\)](#)

Rys.10.4. Dobraný łącznik - przekrój



\*Max. deflection of balcony computed with FEM at SLS

Rys.10.5. Dobraný łącznik - rzut

### 10.3.1. Opis i parametry wybranego łącznika

#### Schöck Isokorb® T typu K

Nośny element termoizolacyjny o grubości korpusu izolacyjnego 8 cm, do łączenia żelbetonowych balkonów wspornikowych ze stropami żelbetowymi.

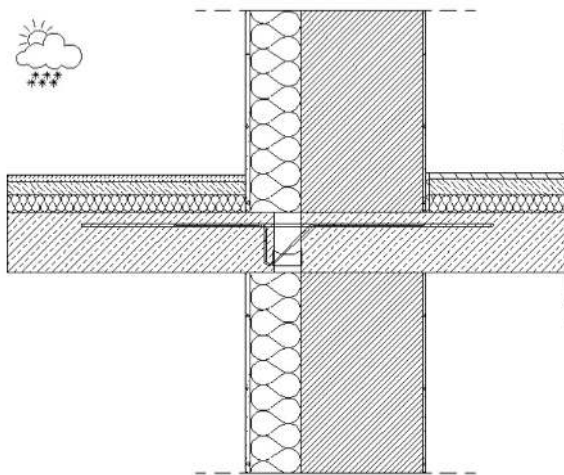


Schöck Isokorb® T typu K	M7
Długość elementu Isokorb® [mm]	1000
Pręty rozciągane V1/V2	8 ∅ 12
Pręty rozciągane VV1	9 ∅ 12
Pręty na siły poprzeczne V1	6 ∅ 8
Pręty na siły poprzeczne V2	8 ∅ 8
Pręty na siły poprzeczne VV1	7 ∅ 8 + 4 ∅ 8
Łożysko oporowe V1/V2 (szt.)	11
Łożysko oporowe VV1 (szt.)	16
Strzemię specjalne (szt.)	4

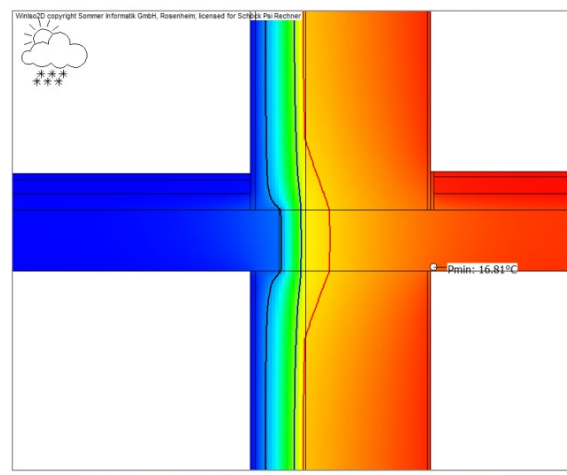
Rys.10.6. Opis i parametry łącznika Isokorb T typ K-M7-V1

### 10.3.2. Parametry z zakresu fizyki budowli

Obliczenia wykonane za pomocą programu "Kalkulator mostków cieplnych - Schock"



Rys.10.7. Szczegół połączenia balkonu ze stropem



Rys.10.8. Wyniki analizy cieplnej połączenia balkonu ze stropem

Wyniki obliczeń		
Liniowy współczynnik przenikania ciepła "Ściana górna"	$U_o$	0,17 [W/m <sup>2</sup> K]
Liniowy współczynnik przenikania ciepła "Ściana dolna"	$U_u$	0,17 [W/m <sup>2</sup> K]
minimalna temperatura na powierzchni	$\Theta_{si,min}$	16,8 [°C]
Współczynnik temperaturowy	$f_{Rsi}$	0,87 [-]
Kryterium ryzyka rozwoju pleśni spełnione		tak
Liniowy współczynnik przenikania ciepła – w odniesieniu do wymiarów zewnętrznych	$\Psi_e$	0,20 [W/(mK)]

Wybrany produkt: Schöck Isokorb® T Typ K-M7-V1-REI120-CV30-X80-H180-6.0 (K55-CV30-V8-H180-F120)		
Grubość korpusu		80 [mm]
Schöck Isokorb®-Wysokość		180 [mm]
Schöck Isokorb®-Długość		1000 [mm]
Ochrona p.poż.		tak
Współczynnik przewodzenia ciepła	$\lambda_{eq}$	0,186 [W/(mK)]
Opór cieplny	$R_{eq}$	0,430 [(m <sup>2</sup> •K)/W]
klasa betonu		C30/37
Sprawdzona redukcja dźwięków uderzeniowych zgodnie z EAD 01 (adopted)	$\Delta L_w$	8,6 [dB]
Moment zginający		-42,90 / 0,00 [kNm/m]
Siła poprzeczna		+92,70 / 0,00 [kN/m]

Rys.10.9. Otrzymane wyniki w zakresie fizyki budowli

## Wnioski

Cel powyższej pracy inżynierskiej, jakim było zaprojektowanie wybranych elementów konstrukcji budynku biurowego, został w pełni zrealizowany. Zarówno płyta, jak i belki stropowe zlokalizowane nad trzecią kondygnacją, spełniły przeanalizowane tu warunki stanów granicznych nośności i użyteczności. Warunkami tymi w ramach SGN było wyznaczenie zbrojenia na zginanie dla płyty i belek oraz zbrojenia na ścinanie dla belek. Natomiast w przypadku SGU było to sprawdzenie czy nie przekroczone zostały maksymalne dopuszczalne wartości ugięć i zarysowań metodami uproszczonymi oraz dokładnymi. Na podstawie tych obliczeń ustalono postać zbrojenia o odpowiedniej nośności spełniające wszystkie wymagania postawione przez analizę prowadzoną wg Norm Europejskich PN-EN. Poczynione obliczenia były podstawą do wykonania szczegółowych rysunków wykonawczych zbrojenia projektowanych elementów dołączonych w formie załącznika do pracy. Elementem dodatkowym były obliczenia mające na celu dobór odpowiedniego rozwiązania balkonów prefabrykowanych. Wyznaczono ich zbrojenie, a następnie odpowiedni łącznik termoizolacyjny spełniający warunki zarówno nośności, jak i zagadnień w zakresie fizyki budowli.

## Bibliografia

### Normy:

- PN-EN 1992-1-1:2008, Eurokod 2, Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- PN-EN 1990:2004, Eurokod 0, Podstawy projektowania konstrukcji
- PN-EN 1991-1-1:2004/AC:2009, Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne, ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- PN-EN 1991-1-1:2004/AC:2009, Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-3: Oddziaływania ogólne, obciążenie śniegiem

### Literatura:

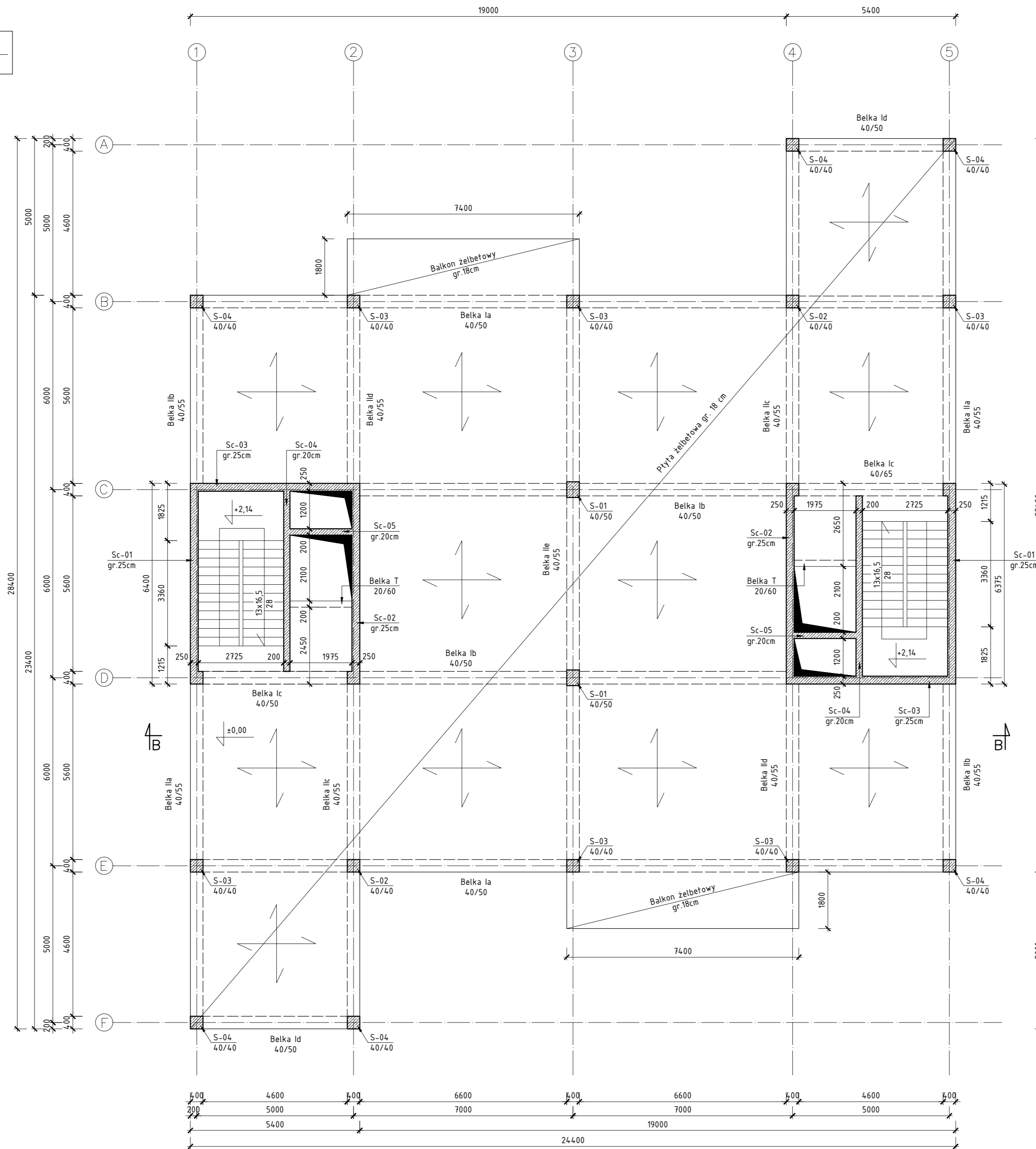
- M. Knauff "Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2", Wydawnictwo Naukowe PWN
- W. Starosolski "Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych", tom I wydanie XIV, Wydawnictwo Naukowe PWN
- W. Starosolski "Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych", tom II wydanie XIV, Wydawnictwo Naukowe PWN
- Materiały dydaktyczne Politechniki Krakowskiej
- "Balkony i zadaszenia - skuteczna minimalizacja mostków cieplnych"  
- katalog firmy Schöck



## Zestawienie rysunków

- KA-01 Rysunek szalukowy stropu kondygnacji powtarzalnej "A-A"
- KA-02 Przekrój poprzeczny budynku "B-B"
- KZ-01 Zbrojenie dolne płyty nad 3 kondygnacją
- KZ-02 Zbrojenie górne płyty nad 3 kondygnacją, przekrój poprzeczny "C-C"
- KZ-03 Zbrojenie belki "Ile" w osi "3" nad 3 kondygnacją
- KZ-04 Zbrojenie belki "Ia" w osi "E" nad 3 kondygnacją

RZUT A-A  
1:100



**UWAGI:**

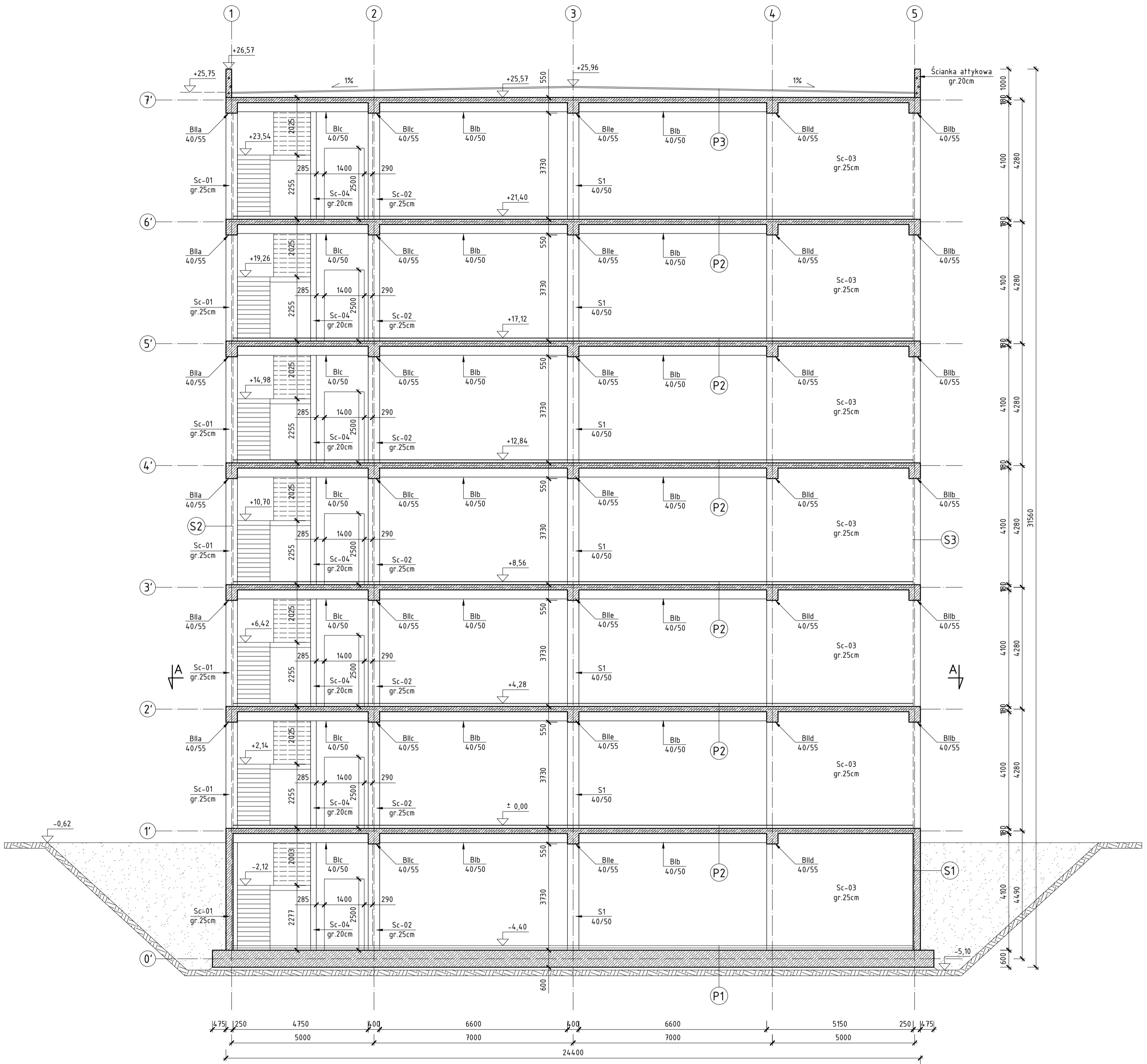
- wymiary na rysunku podano w mm
- rysunek rozpatrywać jako całość z częścią opisową i pozostałymi rysunkami przedstawionej konstrukcji
- trzon komunikacyjny o żelbetowej konstrukcji ścianowej usztywniający budynek wykonany na wszystkich kondygnacjach
- balkony wspornikowe prefabrykowane o grubości płyty 18 cm wykonane w systemie z wkładką termoz izolacyjną Shock Isokorb T typu K

**MATERIAŁY:**

BETON C35/45  
 STAL: f<sub>yk</sub>=500MPa, kl. ciągłości C  
 Otulina płyty 25mm  
 Otulina belek 30mm

PRACA INŻYNIERSKA			
POLITECHNIKA KRAKOWSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ KATEDRA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH I SPRĘŻONYCH			
DYPLOMANT:	Paweł Galica	Podpis:	Data złożenia: 03.2023
PROMOTOR:	dr inż. Rafał Sieńko		
TEMAT: Rysunek szalunkowy stropu kondygnacji powtarzalnej "A-A"	Skala: 1:100	Nr rysunku: KA-01	

**PRZEKRÓJ B-B**  
1:100



<b>Płyta fundamentowa + warstwy parkingu P1</b>
Posadzka z żywicy epoksydowej 3 mm
Wylewka betonowa zbrojona na folii PE 8 cm
Izolacja termiczna XPS 8 cm
Żelbetowa płyta fundamentowa 60 cm
Izolacja przeciwilgociowa masa KMB 3 mm
Beton podkładowy C8/10 10 cm

<b>Strop P2</b>
Parkiet dębowy 1,5 cm
Wylewka betonowa na folii PE 5 cm
Izolacja akustyczna EPS 5 cm
Strop żelbetowy monolityczny 18 cm
Tynk cementowo wapienny 1,5 cm

<b>Stropodach P3</b>
Membrana dachowa 0,3 cm
Gładź cementowa na folii PE 4 cm
Styropian spadokowy EPS max 35 cm
Płyta żelbetowa 18 cm
Tynk cementowo wapienny 1,5 cm

<b>Ściana piwniczna S1</b>
Folia kubetkowa
Termoizolacja XPS 5 cm
Izolacja przeciwilgociowa masa KMB 3 mm
Ściana fundamentowa z blozków betonowych 25 cm
Tynk cementowo wapienny 2 cm

<b>Ściana zewnętrzna S2</b>
Tynk silikonowy na zaprawie klejowej 0,5 cm
Styropian TERMONIUM 15 cm
Błoczek ścienny Porotherm D 25 Profi 25 cm
Tynk cementowo wapienny 1,5 cm

<b>Ściana trzonu komunikacyjnego S3</b>
Tynk silikonowy na zaprawie klejowej 0,5 cm
Styropian TERMONIUM 15 cm
Ściana fundamentowa z blozków betonowych 25 cm
Tynk cementowo wapienny 1,5 cm

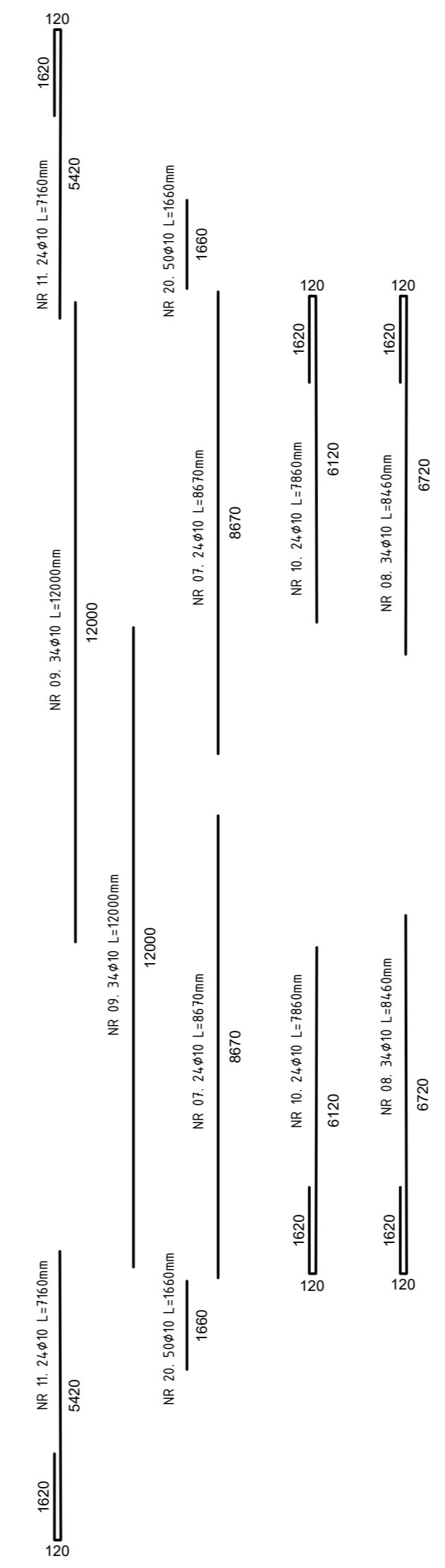
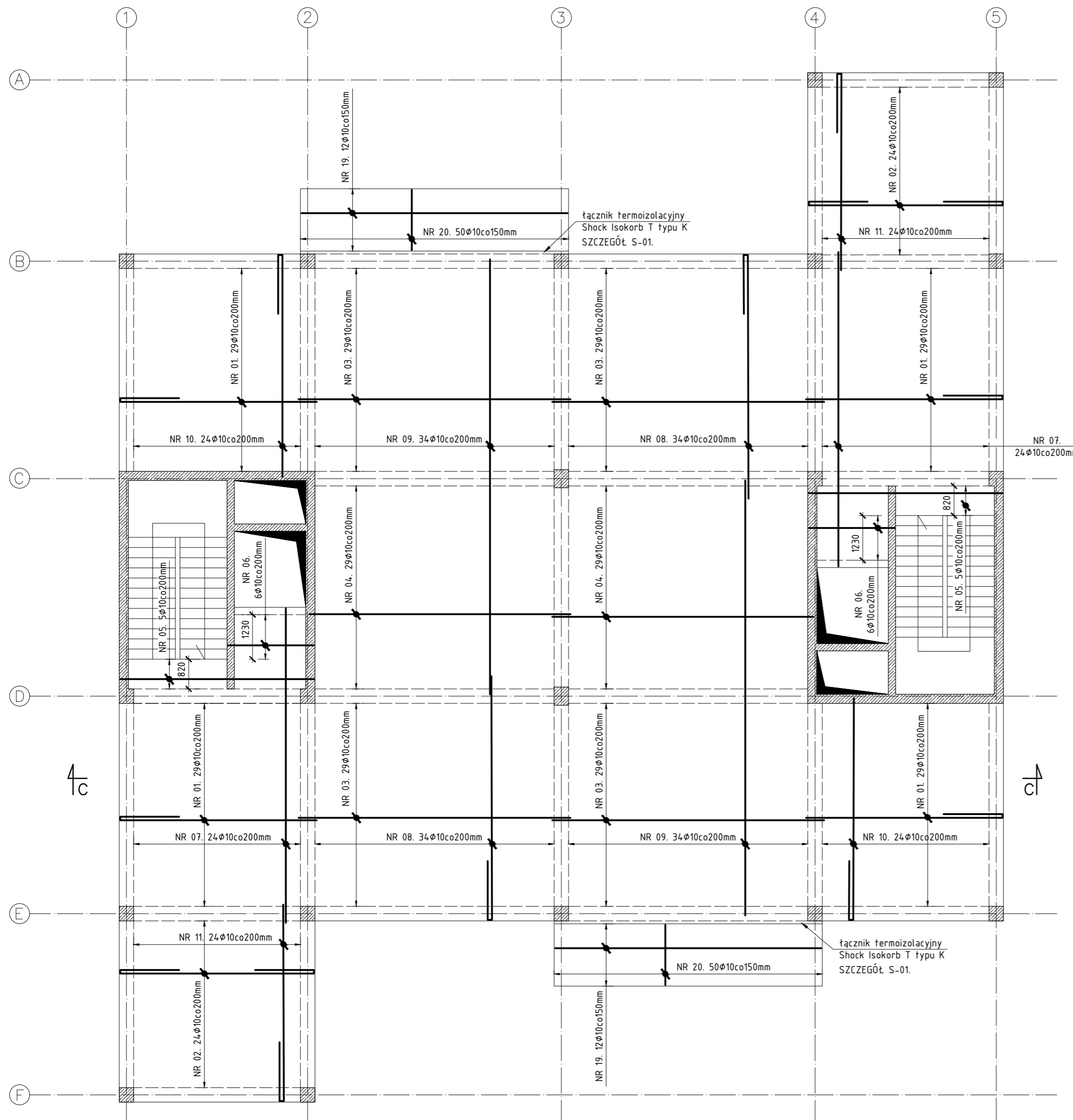
<b>MATERIAŁY:</b>
BETON C35/45
STAL: fyk=500MPa, kl. ciagliwości C
Otulina płyty 25mm
Otulina belek 30mm

<b>UWAGI:</b>
- wymiary na rysunku podano w mm
- rysunek rozpatrywać jako całość z częścią opisową i pozostałymi rysunkami przedstawionej konstrukcji
- trzon komunikacyjny o żelbetowej konstrukcji ścianowej usztywniający budynek wykonany na wszystkich kondygnacjach

**PRACA INŻYNIERSKA**

POLITECHNIKA KRAKOWSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁADOWEJ  
KATEDRA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH I SPRĘŻONYCH

DYPLOMANT:	Paweł Galica	Podpis:	Data oddania: 03.2023	Uwagi:	
PROMOTOR:	dr inż. Rafał Sieńko				
TEMAT: Przekrój poprzeczny budynku "B-B"				Skala: 1:100	Nr rysunku: KA-02



WYKAZ ZBROJENIA					
NUMER PRĘTA	ŚREDNICA [mm]	DŁUGOŚĆ [mm]	ILOŚĆ [szt.]	DŁUGOŚĆ [m]	
				Ø8	Ø10
1	10	7140	58	-	414.12
2	10	8780	48	-	421.44
3	10	7500	116	-	870.00
4	10	7200	58	-	417.60
5	10	5340	10	-	53.40
6	10	2360	12	-	28.32
7	10	8670	48	-	416.16
8	10	8460	68	-	575.28
9	10	12000	68	-	816.00
10	10	6120	48	-	293.76
11	10	7160	48	-	343.68
12	10	3600	224	-	806.40
13	10	2890	38	-	109.82
14	10	4550	26	-	118.30
15	10	7450	12	-	89.40
16	10	4530	16	-	72.48
17	10	4100	248	-	1016.80
18	10	2300	212	-	487.60
19	10	7340	24	-	176.16
20	10	1660	100	-	166.00
21	10	8540	20	-	170.80
22	10	2260	118	-	266.68
PRĘTY ROZDZIELCZE [mb-długość ustalić na budowie]					
23	8	550	1	550.00	-
DŁUGOŚĆ CAŁKOWITA WG ŚREDNIC				550.00	8130.20
MASA 1mb PRĘTA [kg]				0.395	0.617
MASA CAŁKOWITA WG ŚREDNIC [kg]				217.25	5016.33
MASA CAŁKOWITA [kg]				5233.58	

**UWAGI:**

- wymiary na rysunku podano w mm
- rysunek rozpatrywać jako całość z częścią opisową i pozostałymi rysunkami przedstawionej konstrukcji
- trzon komunikacyjny o żelbetowej konstrukcji ścianowej usztywniający budynek wykonany na wszystkich kondygnacjach
- balkony wspornikowe prefabrykowane o grubości płyty 18 cm wykonane w systemie z wkładką termoizolacyjną Shock Isokorb T typu K
- pręty zbrojenia górnego na kierunku X należy łączyć z krzyżującymi się z nimi prętami górnymi na kierunku Y, jeżeli nie ma takiej możliwości utożyc pręty rozdzielcze Ø8co300mm
- wszystkie wymiary zweryfikować na budowie przed przystąpieniem do prac
- wszystkie pręty zwirowano osiowo
- pręty NR 07. odjąć zgodnie z nachyleniem gniegu schodowego
- rysunki KZ-01 i KZ-02 stanowią całość, należy zatem czytać je równocześnie podczas wykonywania robót

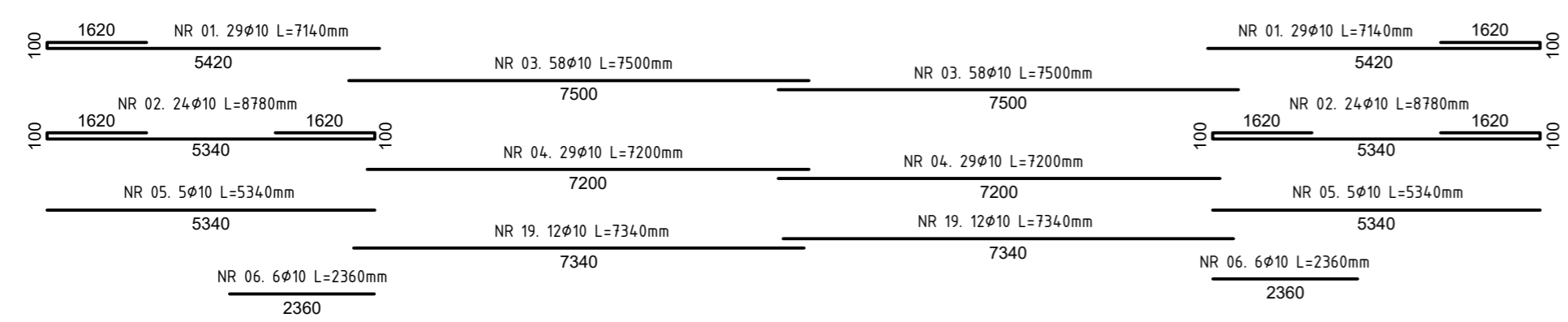
**MATERIAŁY:**

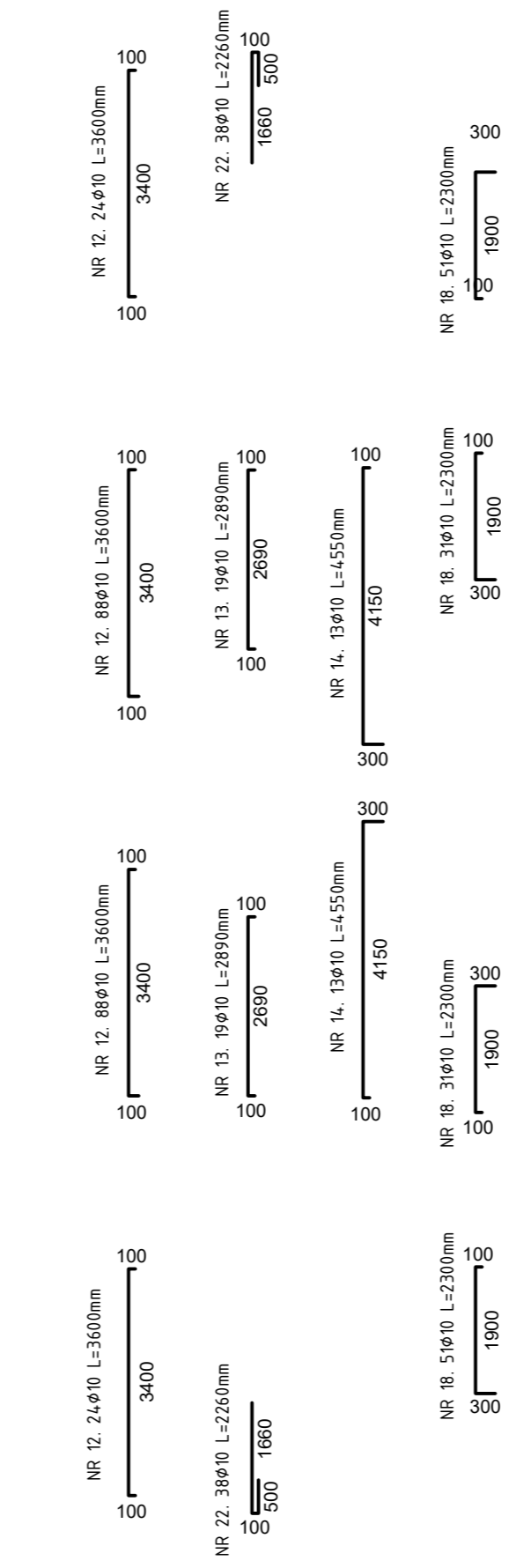
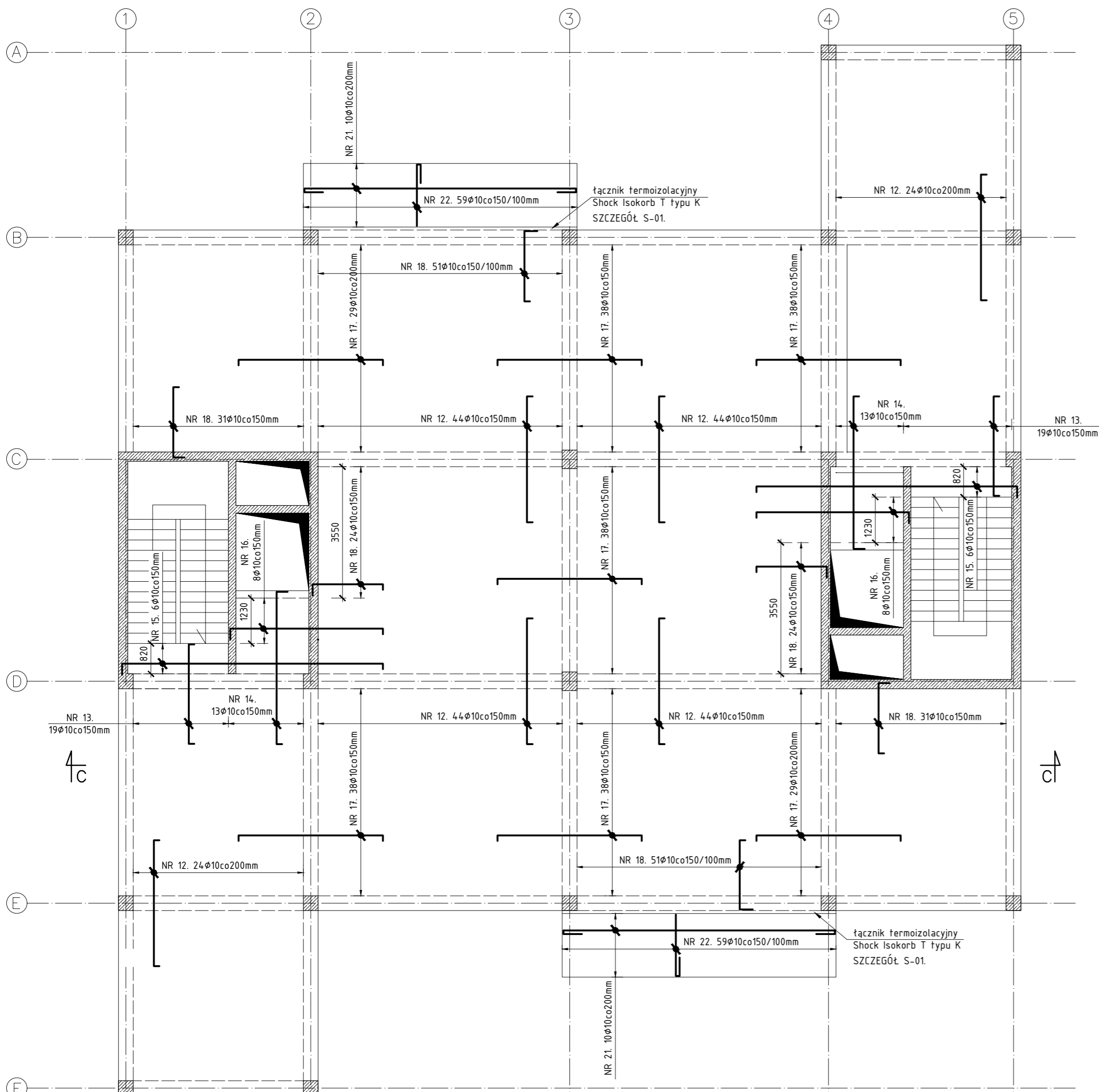
BETON C35/45  
 STAL: fyk=500MPa, kl. ciągliwości C  
 Otulina płyty 25mm  
 Otulina belek 30mm  
 Zakotwienie prętów 300mm  
 Klasa ekspozycji XC3

**PRACA INŻYNIERSKA**

POLITECHNIKA KRAKOWSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
 KATEDRA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH I SPRĘŻONYCH

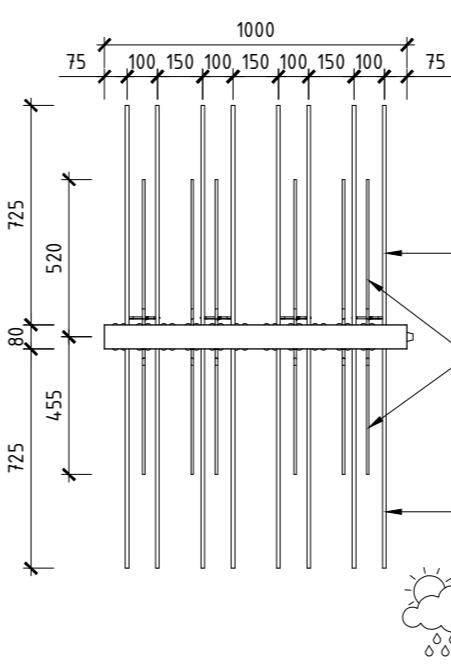
DYPLOMANT:	Paweł Galica	Podpis:	Data oddania: 03.2023	Uwagi:
PROMOTOR:	dr inż. Rafał Sieńko			
TEMAT: Zbrojenie dolne płyty nad 3 kondygnacją	Skala: 1:100	Nr rysunku: KZ-01		



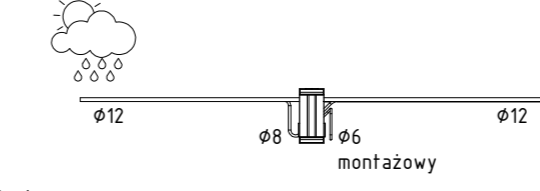


S-01.  
1:25 łącznik termoizolacyjny Shock Isokorb T typu K-M7V1

Widok z góry



Widok z boku

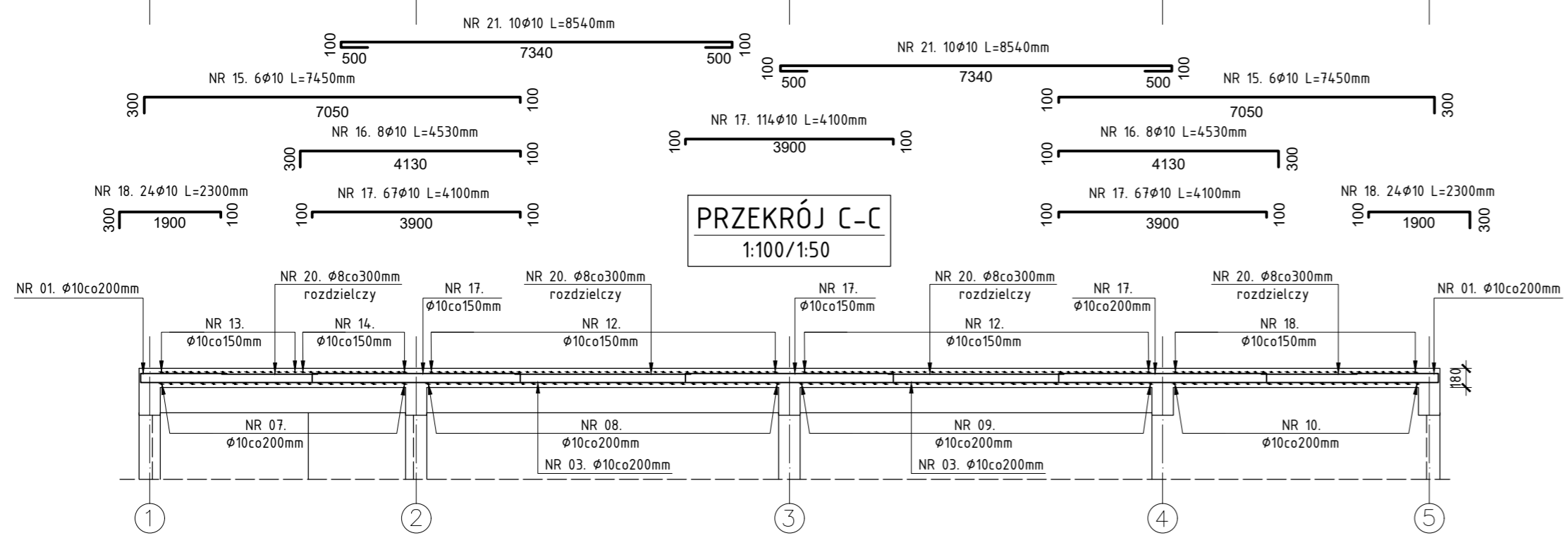


Pręty przenoszące zginanie 8φ12co150/100mm taczycy na zakład z prętami NR 18.  
Pręty przenoszące ścinanie 6φ8  
Pręty przenoszące zginanie 8φ12co150/100mm taczycy na zakład z prętami NR 22.

WYKAZ ZBROJENIA					
NUMER PRĘTA	ŚREDNICA [mm]	DŁUGOŚĆ [mm]	ILOŚĆ [szt.]	DŁUGOŚĆ [m]	
				Ø8	Ø10
1	10	7140	58	-	414.12
2	10	8780	48	-	421.44
3	10	7500	116	-	870.00
4	10	7200	58	-	417.60
5	10	5340	10	-	53.40
6	10	2360	12	-	28.32
7	10	8670	48	-	416.16
8	10	8460	68	-	575.28
9	10	12000	68	-	816.00
10	10	6120	48	-	293.76
11	10	7160	48	-	343.68
12	10	3600	224	-	806.40
13	10	2890	38	-	109.82
14	10	4550	26	-	118.30
15	10	7450	12	-	89.40
16	10	4530	16	-	72.48
17	10	4100	248	-	1016.80
18	10	2300	212	-	487.60
19	10	7340	24	-	176.16
20	10	1660	100	-	166.00
21	10	8540	20	-	170.80
22	10	2260	118	-	266.68
PRĘTY ROZDZIELCZE [mb-długość ustalić na budowie]					
23	8	550	1	550.00	-
DŁUGOŚĆ CAŁKOWITA WG ŚREDNIC				550.00	8130.20
MASA 1mb PRĘTA [kg]				0.395	0.617
MASA CAŁKOWITA WG ŚREDNIC [kg]				217.25	5016.33
MASA CAŁKOWITA [kg]				5233.58	

- UWAGI:**
- wymiary na rysunku podano w mm
  - rysunek rozpatrywać jako całość z częścią opisową i pozostałymi rysunkami przedstawionej konstrukcji
  - trzon komunikacyjny o żelbetowej konstrukcji ścianowej usztywniający budynek wykonany na wszystkich kondygnacjach
  - balkony wspornikowe prefabrykowane o grubości płyty 18 cm wykonane w systemie z wkładką termoizolacyjną Shock Isokorb T typu K
  - pręty zbrojenia górnego na kierunku X należy taczycy z krzyżującymi się z nimi prętami górnymi na kierunku Y, jeżeli nie ma takiej możliwości ułożyć pręty rozdzielcze Ø8co300mm
  - wszystkie wymiary zweryfikować na budowie przed przystąpieniem do prac
  - wszystkie pręty zmiarowano osiowo
  - rysunki KZ-01 i KZ-02 stanowią całość, należy zatem czytać je równocześnie podczas wykonywania robót
  - pręty NR 22 i NR 18 taczycy na zakład z prętami wkładki termoizolacyjnej Shock Isokorb T typu K
  - zbrojenie górne układać na stalowych siatkach dylatacyjnych typu ZET o wysokości 110mm
- MATERIAŁY:**
- BETON C35/45  
STAL: fyk=500MPa, kl. ciągliwości C  
Otulina płyty 25mm  
Otulina belek 30mm  
Zakład prętów 500mm  
Zakotwienie prętów 300mm  
Klasa ekspozycji XC3

PRZEKRÓJ C-C  
1:100/1:50



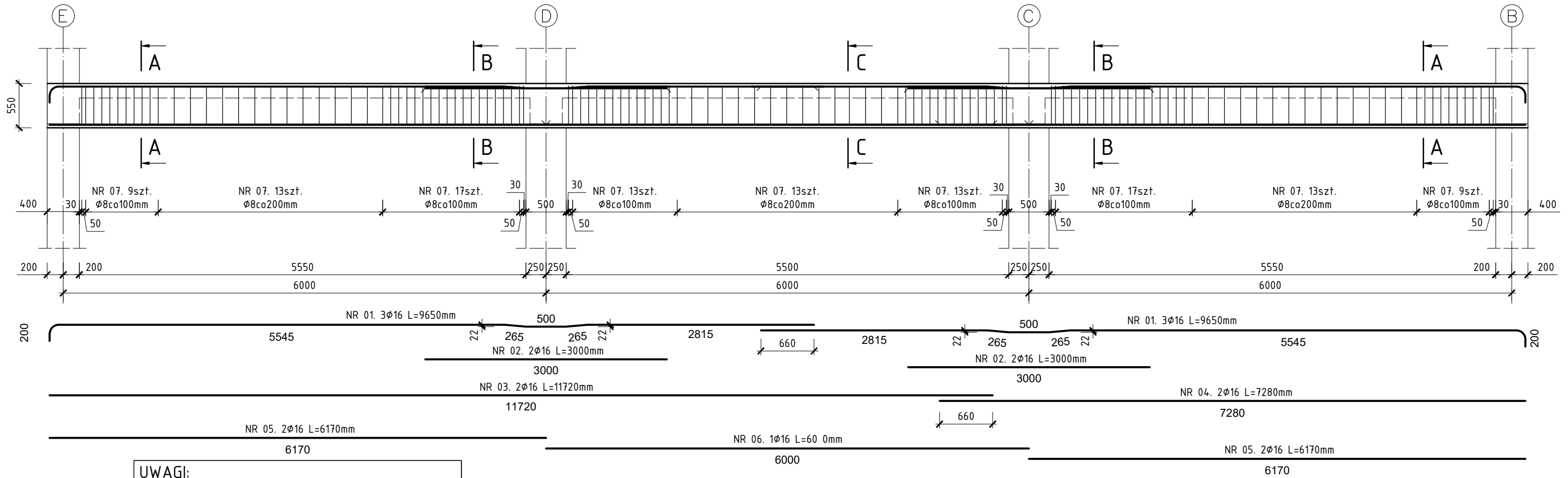
**PRACA INŻYNIERSKA**

POLITECHNIKA KRAKOWSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
KATEDRA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH I SPRĘŻONYCH

DYPLOMANT:	Paweł Galica	Podpis:	Data oddania:	Uwagi:
PROMOTOR:	dr inż. Rafał Sieńko			
TEMAT: Zbrojenie górne płyty nad 3 kondygnacją, przekrój poprzeczny "C-C"	Skala:	Nr rysunku:		
	1:100 1:50	KZ-02		

# BELKA IIe 40/55

1:50/1:25



### UWAGI:

- wymiary na rysunku podano w mm
- zbrojenie układać zgodnie z zasadami i sztuką budowlaną
- strzemiona należy rozmieszczać tak, aby ich haki znajdowały się naprzemiennie w górnych narożnikach belki. Zabrania się umieszczania haków przy dolnej krawędzi belki.
- rysunek rozpatrywać jako całość z częścią opisową i pozostałymi rysunkami przedstawionej konstrukcji
- wszystkie wymiary zweryfikować na budowie przed przystąpieniem do prac
- promień zagięcia prętów głównych min.  $7\phi$
- zbrojenie górne należy odgiąć w stosunku 1:12 w celu uniknięcia kolizji zbrojenia krzyżujących się belek
- strzemiona umieszczone przy odgiętych zbrojeniu dopasować na budowie

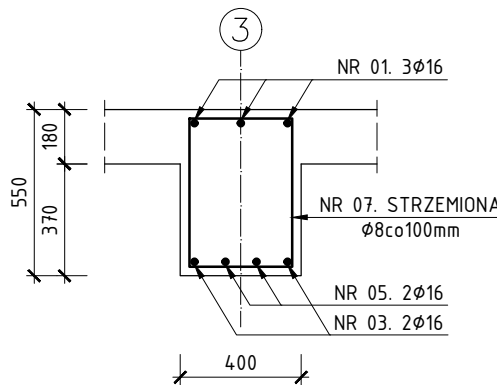
### MATERIAŁY:

BETON C35/45  
 STAL: fyk=500MPa, kl. ciągliwości C  
 Otulina płyty 25mm  
 Otulina belek 30mm  
 Zakład prętów min. 40φ  
 Zakotwienie prętów 550mm  
 Klasa ekspozycji XC3

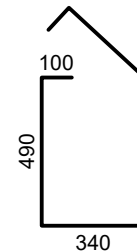
### WYKAZ ZBROJENIA

NUMER PRĘTA	ŚREDNICA [mm]	DŁUGOŚĆ [mm]	ILOŚĆ [szt.]	DŁUGOŚĆ [m]	
				Ø8	Ø16
1	16	9650	6	-	57.90
2	16	3000	4	-	12.00
3	16	11720	2	-	23.44
4	16	7280	2	-	14.56
5	16	6170	4	-	24.68
6	16	6000	1	-	6.00
7	8	1860	129	239.94	-
DŁUGOŚĆ CAŁKOWITA WG ŚREDNIC				239.94	138.58
MASA 1mb PRĘTA [kg]				0.395	1.578
MASA CAŁKOWITA WG ŚREDNIC [kg]				94.78	218.68
MASA CAŁKOWITA [kg]				313.46	

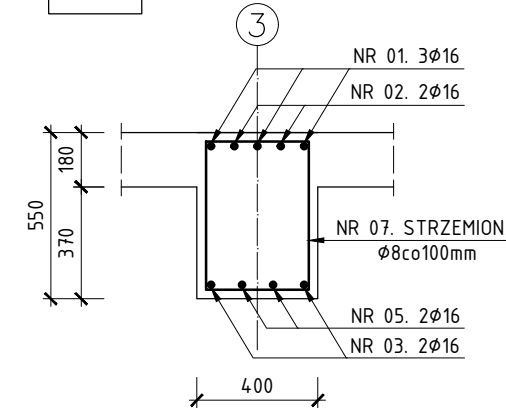
A-A  
1:25



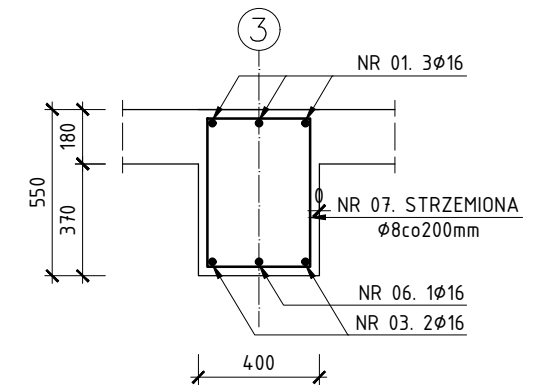
NR 07. 129φ8  
L=1860mm



B-B  
1:25



C-C  
1:25



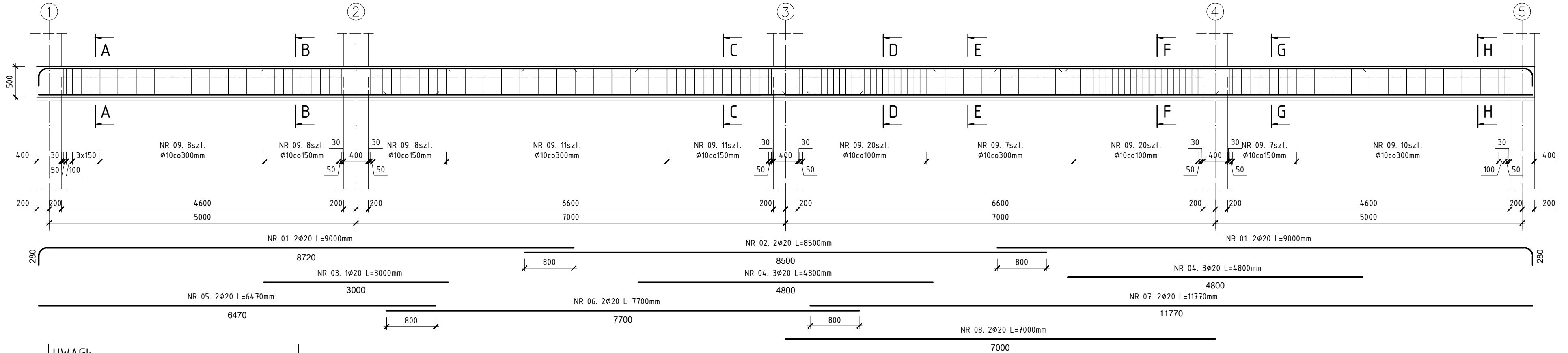
## PRACA INŻYNIERSKA

POLITECHNIKA KRAKOWSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
 KATEDRA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH I SPRĘŻONYCH

DYPLOMANT:	Paweł Galica	Podpis:	Data oddania:	Uwagi:
PROMOTOR:	dr inż. Rafał Sieńko		11.2023	
TEMAT: Zbrojenie belki "Ile" w osi "3" nad 3 kondygnacją		Skala:	Nr rysunku:	
		1:50 1:25	KZ-03	

# BELKA Ia 40/50

1:50/1:25



## MATERIAŁY:

BETON C35/45  
 STAL: fyk=500MPa,  
 kl. ciągliwości C  
 Otulina płyty 25mm  
 Otulina belek 30mm  
 Zakład prętów min. 40φ  
 Zakotwienie prętów 650mm  
 Klasa ekspozycji XC3

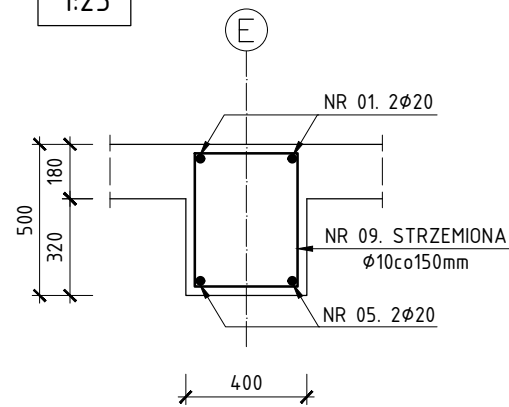
## UWAGI:

- wymiary na rysunku podano w mm
- zbrojenie układać zgodnie z zasadami i sztuką budowlaną
- strzemiona należy rozmieszczać tak, aby ich haki znajdowały się naprzemiennie w górnych narożnikach belki. Zabrania się umieszczania haków przy dolnej krawędzi belki.
- rysunek rozpatrywać jako całość z częścią opisową i pozostałymi rysunkami przedstawionej konstrukcji
- wszystkie wymiary zweryfikować na budowie przed przystąpieniem do prac
- promień zagięcia prętów głównych min. 7φ

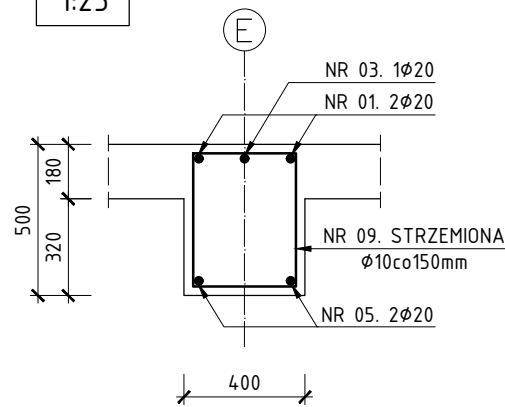
## WYKAZ ZBROJENIA

NUMER PRĘTA	ŚREDNICA [mm]	DŁUGOŚĆ [mm]	ILOŚĆ [szt.]	DŁUGOŚĆ [m]	
				Ø10	Ø20
1	20	9000	4	-	36.00
2	20	8500	2	-	17.00
3	20	3000	1	-	3.00
4	20	4800	6	-	28.80
5	20	6470	2	-	12.94
6	20	7700	2	-	15.40
7	20	11770	2	-	23.54
8	20	7000	2	-	14.00
9	10	1800	131	235.80	-
DŁUGOŚĆ CAŁKOWITA WG ŚREDNIC				235.80	150.68
MASA 1mb PRĘTA [kg]				0.617	2.470
MASA CAŁKOWITA WG ŚREDNIC [kg]				145.49	372.18
MASA CAŁKOWITA [kg]				517.67	

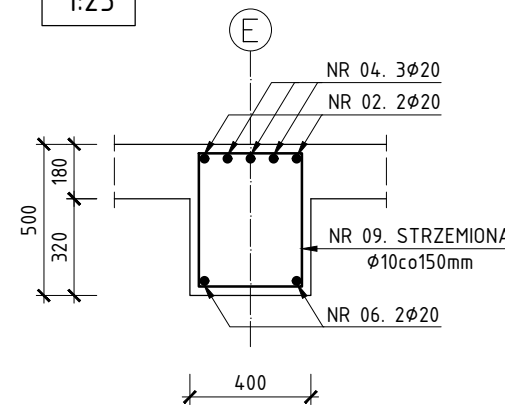
A-A  
1:25



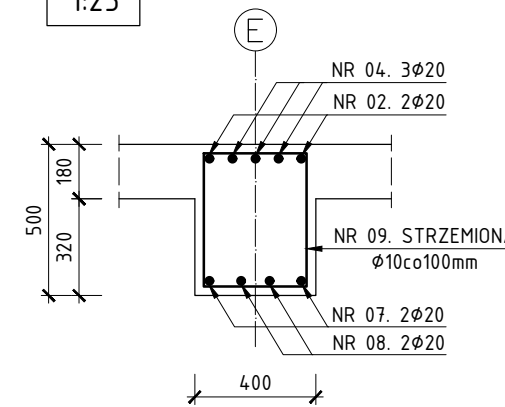
B-B  
1:25



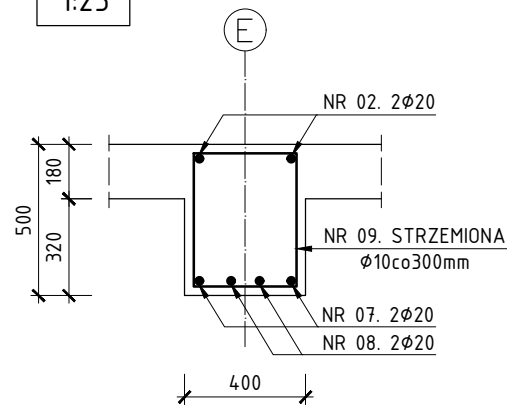
C-C  
1:25



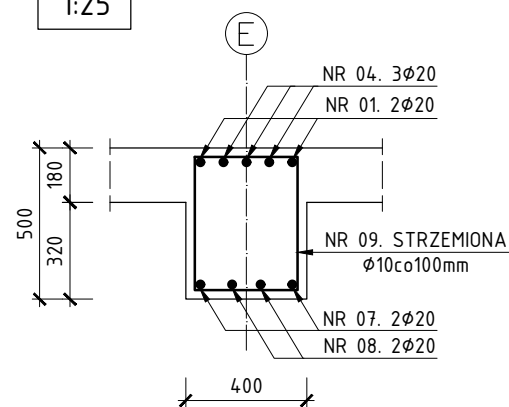
D-D  
1:25



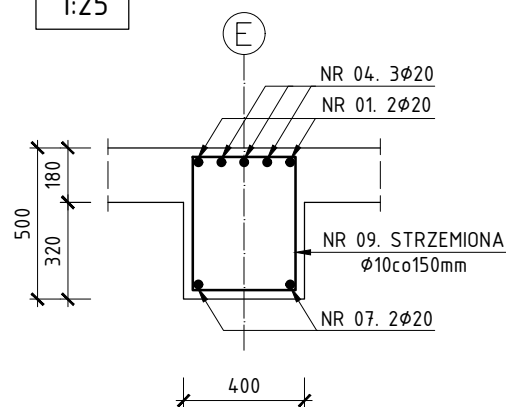
E-E  
1:25



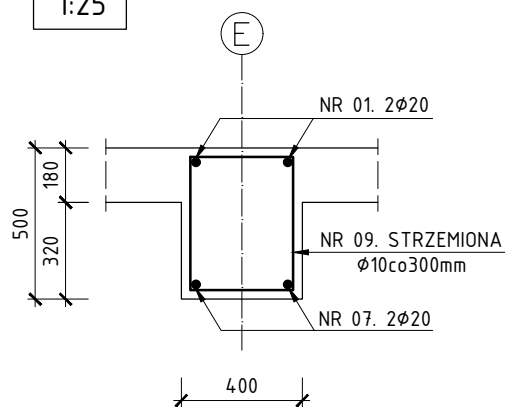
F-F  
1:25



G-G  
1:25



H-H  
1:25



## PRACA INŻYNIERSKA

POLITECHNIKA KRAKOWSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
 KATEDRA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH I SPRĘŻONYCH

DYPLOMANT:	Paweł Galica	Podpis:	Data oddania:	Uwagi:
PROMOTOR:	dr inż. Rafał Sieńko		12.2023	
TEMAT: Zbrojenie belki "Ia" w osi "E" nad 3 kondygnacją				Skala:
				1:50
				1:25
				Nr rysunku:
				KZ-04