



Politechnika
Wrocławska

Politechniki Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

(Załącznik 5a do procedury Pr 08)



SPECJALNOŚĆ: Inżynieria Budowlana

INŻYNIERSKA
PRACA DYPLOMOWA

PROJEKT WYBRANYCH ELEMENTÓW
KONSTRUKCJI ŻELBETOWEJ BIUROWCA Z
DACHEM ZIELONYM

Autor: Sandra Jacyno

Opiekun: dr inż. Wojciech Pawlak

Recenzent: dr inż. Tomasz Nowak

Rok akademicki 2025/2026

Spis treści

1. Streszczenie pracy dyplomowej	4
1.1. Streszczenie pracy.....	4
1.2. Słowa klucze.....	4
2. Opis techniczny.....	5
2.1. Przedmiot opracowania.....	5
2.2. Cel pracy.....	5
2.3. Podstawa opracowania.....	5
2.4. Zakres pracy.....	5
2.5. Założenia projektowe	5
2.5.1.Dane ogólne.....	5
2.5.2.Parametry obiektu	6
2.6.Charakterystyka obiektu	6
2.7.Opis techniczny - część konstrukcyjna.....	7
2.7.1.Beton.....	7
2.7.2.Stal zbrojeniowa.....	7
2.7.3.Otulina.....	7
2.7.4.Płyta stropowa.....	8
2.7.5.Słup.....	11
2.8. Opis techniczny - część architektoniczna.....	14
2.8.1.Przegrody i fasady.....	14
3. Zestawienie obciążeń	16
3.1. Obciążenie śniegiem.....	16
3.2. Obciążenie wiatrem.....	16
4. Projekt wstępny.....	20
4.1. Płyta stropowa.....	20
4.1.1. Wstępne dane.....	20
4.1.2 Grubość otuliny.....	20
4.1.3 Zestawienie obciążeń.....	21
4.1.4. Wstępna grubość płyty.....	22
4.1.5. Schemat statyczny.....	22
4.1.6. Kombinacje obciążeń	30
4.1.7. Wyniki.....	31
4.2. Słup.....	33
4.2.1. Wstępne dane.....	33

4.2.2. Grubość otuliny.....	34
4.2.3. Zestawienie obciążeń.....	34
4.2.5. Schemat statyczny.....	35
4.2.6. Wyniki.....	36
5. Projekt techniczny	37
5.1. Płyta stropowa	37
5.1.1. Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie - kierunek X.....	37
5.1.2. Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie - kierunek Y.....	43
5.1.3. Wymiarowanie zbrojenia ze względu na skurcz - kierunek X.....	52
5.1.4. Wymiarowanie zbrojenia ze względu na skurcz - kierunek Y.....	52
5.1.5. Wymiarowanie zbrojenia w płycie	55
5.1.6. Minimalny rozstaw prętów	59
5.1.7. Obliczeniowa długość zakotwienia	59
5.1.8. Obliczeniowa długość zakładu.....	61
5.1.9. Sprawdzanie przebicia w strefie przy podporowej.....	63
5.1.10. SGU - zarysowanie i ugięcie.....	85
5.2. Słup.....	92
5.2.1. Sprawdzenie smukłości słupa.....	92
5.2.2. Obliczenie efektów II rzędu - metoda nominalnej sztywności	96
5.2.3. Wymiarowanie zbrojenia na zginanie.....	98
5.2.4. Rozstaw strzemion.....	100
5.2.5. Wymiarowanie zbrojenia w słupie.....	101
5.2.6. Obliczeniowa długość zakotwienia	101
5.2.7. Obliczeniowa długość zakładu.....	102
6. Bibliografia.....	104
6.1. Normy i akty prawne	104
6.2. Literatura.....	104
6.3. Licencje i wykorzystane programy.....	105

1. Streszczenie pracy dyplomowej

1.1. Streszczenie pracy

Tematem pracy dyplomowej jest projekt wybranych elementów konstrukcji żelbetowej biurowca z dachem zielonym.

Celem pracy jest zapoznanie się z metodami projektowania obiektów biurowych ze stropami i płytą stropodachu jako ustroju płytowo-słupowego. Dodatkowo na stropodachu zostanie wykonany tzw. "dach zielony". Obiekt wykonany w technologii monolitycznej.

Praca obejmuje wymiarowanie płyty stropowej stropu płytowo-słupowego ze względu na Stan Graniczny Nośności oraz Stan Graniczny Użytkowości, a także wymiarowanie słupa z zastosowaniem metody nominalnej sztywności.

Podczas wykonywania obliczeń statycznych w pracy wykorzystano oprogramowanie Dlubal RFEM 6.12. Dokumentację rysunkową opracowano w programie Autodesk AutoCAD 2024, natomiast część tekstową przygotowano przy użyciu edytora Blockpad LLC.

1.2. Słowa kluczowe

konstrukcja żelbetowa, strop płytowo-słupowy, dach zielony, biurowiec

2. Opis techniczny

2.1. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania jest temat pracy inżynierskiej pod tytułem "Projekt wybranych elementów konstrukcji żelbetowej biurowca z dachem zielonym" wykonanego w technologii monolitycznej, z zastosowaniem ustroju płytowo-słupowego oraz stropodachu w formie dachu zielonego.

2.2. Cel pracy

Celem pracy jest zapoznanie się z metodami projektowania obiektów biurowych ze stropami i płytą stropodachu jako ustroju płytowo-słupowego.

2.3. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi temat pracy dyplomowej inżynierskiej na rok akademicki 2025/2026, ustalony w porozumieniu z promotorem i realizowany w Katedrze Konstrukcji Budowlanych.

2.4. Zakres pracy

W ramach pracy wykonano wymiarowanie wybranych elementów konstrukcyjnych określonych przez promotora, a następnie opracowano wykonawcze rysunki zbrojeniowe. Wymiary obiektu przyjęto na podstawie założeń architektonicznych.

Zakres pracy jest zgodny z założeniami wynikającymi z tematu pracy inżynierskiej oraz ustaleniami z promotorem i obejmuje:

- opracowanie rysunków architektonicznych budynku,
- zestawienie obciążeń oraz wymiarowanie elementów konstrukcyjnych,
- wykonanie rysunków konstrukcyjnych obliczonych elementów,
- sporządzenie opisu technicznego obiektu.

2.5. Założenia projektowe

2.5.1. Dane ogólne

Wykonanie projektowanego obiektu planowane jest na terenie Zielonej Góry w województwie Lubuskim. Podstawowe wymiary to szerokość 38m, długość 45m, wysokość

maksymalna 49m.

- Lokalizacja: Zielona Góra
- Rzędna terenu: 154 m.n.p.m.□
- Strefa przemarzania gruntu: I strefa $h_z = 0.8$ m
- Strefa śniegowa: I strefa zgodnie z [3]
- Strefa wiatrowa: I strefa zgodnie z [4]

2.5.2. Parametry obiektu

Parametry zostały ustalone na podstawie koncepcji architektonicznej.

2.6. Charakterystyka obiektu

Projektowany obiekt stanowi dwunastokondygnacyjny budynek biurowy zaprojektowany zgodnie z [9]. Obiekt spełnia wymagania w zakresie bezpieczeństwa konstrukcyjnego (§ 204–206), bezpieczeństwa użytkowania (§ 207–209), bezpieczeństwa pożarowego (§ 207, § 212–216), a także ochrony cieplnej i efektywności energetycznej (§ 225, § 328–331).

Konstrukcję nośną budynku stanowi układ płytowo-słupowy, zapewniający odpowiednią sztywność przestrzenną oraz możliwość elastycznego kształtowania przestrzeni użytkowej. Budynek posadowiono na monolitycznej płycie fundamentowej, z wykonanymi na niej ścianami fundamentowymi z bloczków betonowych, zgodnie z wymaganiami dotyczącymi posadowienia obiektów budowlanych. Schody oraz podszybie windy zaprojektowano jako niezależne elementy konstrukcyjne, posiadające własne fundamenty monolityczne.

Komunikację pionową w budynku zapewniają dwubiegowe schody powrotne oraz zespół wind zlokalizowanych w centralnej części obiektu. Rozwiązania te spełniają wymagania w zakresie dróg ewakuacyjnych oraz dostępności budynku dla osób z niepełnosprawnościami. Układ komunikacyjny zapewnia bezpieczne i czytelne przemieszczanie się użytkowników pomiędzy kondygnacjami.

Z przestrzeni poszczególnych kondygnacji wydzielono pomieszczenia biurowe spełniające wymagania dotyczące minimalnej wysokości pomieszczeń, oświetlenia światłem dziennym oraz warunków higienicznych i zdrowotnych. Przeszklone ściany osłonowe budynku umożliwiają efektywne doświetlenie wnętrza, przy jednoczesnym spełnieniu wymagań dotyczących ochrony cieplnej przegród zewnętrznych.

W jednym z fragmentów elewacji zaprojektowano zieloną ścianę obsadzoną roślinnością, która pełni funkcję estetyczną oraz proekologiczną, wpływając korzystnie na mikroklimat budynku oraz otoczenia. Rozwiązanie to wspiera realizację wymagań w zakresie ochrony środowiska i racjonalnego użytkowania energii.

Dach budynku zaprojektowano jako dach zielony z funkcją tarasu użytkowego, spełniający wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej oraz odwodnienia. Zastosowano system retencji wód opadowych, w którym woda deszczowa odprowadzana jest do zbiornika retencyjnego, a następnie wykorzystywana do podlewania zielonej ściany. Rozwiązanie to przyczynia się do ograniczenia zużycia wody pitnej oraz jest zgodne z zasadami zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi.

Zastosowane rozwiązania projektowe i materiałowe umożliwiają spełnienie wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej budynku, w tym ograniczenia zapotrzebowania na energię pierwotną oraz zwiększenia efektywności energetycznej. Projektowany budynek biurowy stanowi przykład nowoczesnego obiektu, spełniającego aktualne wymagania techniczno-budowlane, z uwzględnieniem aspektów ekologicznych i energooszczędnych.

2.7. Opis techniczny - część konstrukcyjna

2.7.1. Beton

Obliczenia wykonane przy założeniu betonu klasy C35/45 o charakterystycznej wytrzymałości na ciskanie równej 35 MPa. Do obliczeń przyjęto współczynnik bezpieczeństwa równy 1,4 zgodny z [5]. Założono cement klasy N o normalnym czasie wiązania.

Mieszkankę należy odpowiednio ułożyć, zawibrować i pielęgnować. Czas pielęgnacji zależny od pogody ale nie może być mniejszy niż 7 dni. Należy stosować szalunki ze środkiem adhezyjnym. Ułożone zbrojenie w trakcie układania mieszanki betonowej nie może być cieplejsze niż 25°C. Układanie mieszanki prowadzić wyłącznie w temperaturze od 5°C do 25°C.

Do obliczeń założono kruszywo o maksymalnej grubości 16 mm.

2.7.2. Stal zbrojeniowa

Zbrojenie kształtować z prętów gatunku B500SP/EPSTAL, klasa ciągliwości C. Charakterystyczna granica plastyczności 500 MPa. Do obliczeń przyjęto współczynnik bezpieczeństwa równy 1,15 zgodny z [5]. Zakłady prętów nie mogą występować obok siebie, zakład realizować przy użyciu drutu co ok 10 cm.

2.7.3. Otulina

Na podstawie punktu 4.4.1 [5] przyjęto grubość otuliny zbrojenia odpowiednią dla klasy ekspozycji XF1 od strony górnej powierzchni płyty oraz klasy XC1 od strony dolnej płyty, przy założeniu małej wilgotności powietrza w pomieszczeniach oraz klasy konstrukcji S4.

Pomieszczenia użytkowe nie będą narażone na działanie wilgoci ani innych czynników mogących powodować degradację betonu, w związku z czym nie zachodzi konieczność przyjmowania wyższej klasy ekspozycji środowiskowej.

W celu zapewnienia wymaganej grubości otuliny zbrojenia przewiduje się zastosowanie podkładek dystansowych wykonanych z betonu lub tworzywa sztucznego, w ilości 2 szt./m².

Przyjęto klasę odporności ogniowej elementu REI 60. Zgodnie z tabelą 5.8 [6] minimalna wymagana grubość otuliny dla tej klasy odporności ogniowej wynosi 15 mm, co oznacza, że warunek ochrony przeciwpożarowej został spełniony.

2.7.4. Płyta stropowa

Schemat statyczny i obciążenia

Schemat statyczny konstrukcji stropu przyjęto jako płytę sztywno podpartą na słupach. Obliczenia płyty stropowej wykonano z wykorzystaniem metody elementów skończonych MES przy użyciu programu [18]. Model stropu zdefiniowano jako powierzchniowy, z przypisanymi odpowiednimi parametrami geometrycznymi oraz właściwościami materiałowymi, odpowiadającymi projektowanej konstrukcji.

Podparcie płyty na ścianach zaprojektowano jako przegubowe, w postaci przegubu liniowego. Połączenie płyty ze słupami przyjęto jako utwierdzone, analogicznie jak podparcie słupów przy podstawie. Słupy zaprojektowano jako elementy żelbetowe o odpowiednio dobranej geometrii oraz charakterystyce materiałowej, zapewniającej spełnienie wymagań nośności i użytkowości.

W celu dokładniejszego odwzorowania pracy konstrukcji wykonano trójwymiarowy model obliczeniowy. Po wprowadzeniu geometrii wszystkich elementów konstrukcyjnych nałożono odpowiednią siatkę MES, zagęszczoną w rejonach podpór słupowych poprzez zastosowanie emiterów, co pozwoliło na uzyskanie bardziej precyzyjnych wyników obliczeń.

Obciążenie śniegiem zostało obliczone i wprowadzone do programu [18] zgodnie z odpowiednimi strefami obciążenia wynikającymi z normy [3]. Obciążenie wiatrem również obliczono i uwzględniono w modelu obliczeniowym, przyjmując najbardziej niekorzystny przypadek oddziaływania, powodujący maksymalne parcie na płyty oraz największe obciążenie słupów, zgodnie z wymaganiami normy [4].

Obciążenia użytkowe przyjęto dla kategorii C na podstawie tabeli 6.2 normy [2]. Obciążenia stałe wynikają z przyjętych warstw konstrukcyjnych dachu zielonego. Ze względu na założenie wykonania budynku jako dobrze izolowanego, pominięto oddziaływania termiczne. Dodatkowo uwzględniono obciążenie wynikające z projektowanych sufitów podwieszanych oraz instalacji technicznych.

Po przeanalizowaniu wszystkich oddziaływań przystąpiono do zestawienia kombinacji obciążeń. W celu uzyskania maksymalnych wyteżeń konstrukcji zastosowano wytyczne normy [11] oraz zależności określone wzorami (6.10a) i (6.10b) normy [1]. Dla kombinacji Stanu Granicznego Nośności (SGN) oraz Stanu Granicznego Użytkowalności (SGU) przyjęto współczynniki obciążenia jako niekorzystne. Zestawienie zastosowanych kombinacji przedstawiono w tabelach 5 i 18.

Po wprowadzeniu kombinacji obciążeń do programu obliczeniowego uzyskano następujące wyniki:

Lp.	Lokalizacja	m_x [kNm]	m_y [kNm]
1	Przęsło A-B	82.265	-
2	Przęsło B-C	64.125	-
3	Przęsło C-D	68.745	-
4	Przęsło D-E	64.831	-
5	Przęsło E-F	81.671	-
6	Przęsło 1-2	-	57.756
7	Przęsło 2-3	-	49.653
8	Przęsło 3-4	-	51.711
9	Przęsło 4-5	-	51.589
10	Przęsło 5-6	-	51.549
11	Przęsło 6-7	-	49.893
12	Przęsło 7-8	-	59.836
13	Podpora 1	-133.051	-112.695
14	Podpora 2	-173.803	-141.834
15	Podpora 3	-151.267	-131.289
16	Podpora 4	-151.276	-133.283
17	Podpora 5	-174.093	-144.529
18	Podpora 6	-133.056	-112.736
19	Podpora 7	-153.611	-141.334
20	Podpora 8	-201.266	-181.542
21	Podpora 9	-180.55	-171.576
22	Podpora 10	-180.55	-171.576
23	Podpora 11	-201.596	-183.182
24	Podpora 12	-153.882	-141.334
25	Podpora 13	-146.034	-122.755
26	Podpora 14	-192.918	-168.321
27	Podpora 15	-167.604	-153.087
28	Podpora 16	-167.604	-153.087
29	Podpora 17	-193.304	-168.758
30	Podpora 18	-143.034	-122.888

31	Podpora 19	-146.917	-124.245
32	Podpora 20	-194.853	-170.507
33	Podpora 21	-138.418	-120.703
34	Podpora 22	-138.418	-119.622
35	Podpora 23	-194.857	-170.507
36	Podpora 24	-146.917	-124.245
37	Podpora 25	-143.746	-123.604
38	Podpora 26	-189.527	-165.002
39	Podpora 27	-122.403	-37.464
40	Podpora 28	-125.027	-38.499
41	Podpora 29	-194.231	-168.402
42	Podpora 30	-146.631	-124.215
43	Podpora 31	-138.89	-117.25
44	Podpora 32	-182.699	-158.057
45	Podpora 33	-140.431	-129.131
46	Podpora 34	-143.773	-132.472
47	Podpora 35	-193.243	-167.281
48	Podpora 36	-145.783	-123.422
49	Podpora 37	-145.683	-133.235
50	Podpora 38	-190.389	-171.437
51	Podpora 39	-172.702	-163.733
52	Podpora 40	-175.839	-168.263
53	Podpora 41	-202.086	-182.062
54	Podpora 42	-153.083	-140.591
55	Podpora 43	-125.778	-110.252
56	Podpora 44	-164.036	-135.071
57	Podpora 45	-143.283	-126.49
58	Podpora 46	-143.523	-129.732
59	Podpora 47	-173.894	-142.762
60	Podpora 48	-132.64	-116.489

Wyniki odczytane dla maksymalnych wyteżeń elementów.

Założenia wykorzystane do obliczeń

Przy obliczaniu skurczu współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych, samo równoważących się naprężeń.

Przy analizie zarysowania przyjmuję do analizy środowiskowej wewnętrzne $RH = 50\%$ i cement normalnie twardniejący N. Wiek obciążenia betonu przyjmuję na $t_0 = 28$ dni.

Końcowy współczynnik pełzania przyjmuję $\phi(\infty, t_0) = 2.1$

Kształtowanie elementu

Zbrojenie dolnej części płyty zaprojektowano w oparciu o warunki nośności na zginanie oraz oddziaływanie skurczem betonu. Pręty zostały odpowiednio zakotwione na końcach płyty.

W rejonach nad podporami przewidziano górne zbrojenie płyty, uwzględniające zarówno wymagania obliczeniowe związane z przenoszeniem momentów zginających, jak i oddziaływania skurczowe. W tych strefach zaprojektowano również zbrojenie zabezpieczające przed przebicciem.

Zbrojenie wykonano z prętów o średnicach 16 mm, 20 mm oraz 25 mm. Zakłady prętów należy rozmieszczać z przesunięciem, eliminując ich występowanie w jednym przekroju, a łączenie realizować za pomocą drutu wiązałkowego w odstępach około 10 cm.

Wieńce stanowią elementy zatrzymania potencjalnej awarii, zapewniając przestrzenną sztywność konstrukcji. Zbrojenie podłużne wieńców zaprojektowano z prętów o średnicy 16 mm, natomiast strzemiona wykonano z prętów o średnicy 8 mm. W narożach wieńców oraz w miejscach połączeń w kształcie litery T przewidziano dodatkowe dozbrojenie w postaci dwóch prętów w każdej warstwie, umożliwiające prawidłowe połączenie wieńców pionowych i poziomych oraz zapewniające ciągłość pracy konstrukcji.

2.7.5. Słup

Schemat statyczny i obciążenia

Schemat statyczny konstrukcji stropu przyjęto jako płytę sztywno podpartą na słupach. Obliczenia płyty stropowej wykonano z wykorzystaniem metody elementów skończonych MES przy użyciu programu [18]. Model stropu zdefiniowano jako powierzchniowy, z przypisanymi odpowiednimi parametrami geometrycznymi oraz właściwościami materiałowymi, odpowiadającymi projektowanej konstrukcji.

Podparcie płyty na ścianach zaprojektowano jako przegubowe, w postaci przegubu liniowego. Połączenie płyty ze słupami przyjęto jako utwierdzone, analogicznie jak podparcie słupów przy podstawie. Słupy zaprojektowano jako elementy żelbetowe o odpowiednio dobranej geometrii oraz charakterystyce materiałowej, zapewniającej spełnienie wymagań nośności i użytkowości.

W celu dokładniejszego odwzorowania pracy konstrukcji wykonano trójwymiarowy model obliczeniowy. Po wprowadzeniu geometrii wszystkich elementów konstrukcyjnych nałożono odpowiednią siatkę MES, zagęszczoną w rejonach podpór słupowych poprzez zastosowanie emiterów, co pozwoliło na uzyskanie bardziej precyzyjnych wyników obliczeń.

Obciążenie śniegiem zostało obliczone i wprowadzone do programu [18] zgodnie z odpowiednimi strefami obciążenia wynikającymi z normy [3]. Obciążenie wiatrem również

obliczono i uwzględniono w modelu obliczeniowym, przyjmując najbardziej niekorzystny przypadek oddziaływania, powodujący maksymalne parcie na płyty oraz największe obciążenie słupów, zgodnie z wymaganiami normy [4].

Obciążenia użytkowe przyjęto dla kategorii C na podstawie tabeli 6.2 normy [2]. Obciążenia stałe wynikają z przyjętych warstw konstrukcyjnych dachu zielonego. Ze względu na założenie wykonania budynku jako dobrze izolowanego, pominięto oddziaływania termiczne. Dodatkowo uwzględniono obciążenie wynikające z projektowanych sufitów podwieszanych oraz instalacji technicznych.

Po przeprowadzeniu obliczeń uzyskano następujące wyniki :

Lp.	Lokalizacja	N_{Ed} [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
1	Podpora 1	524.53	42.34	42.85
2	Podpora 2	764.79	35.23	49.92
3	Podpora 3	724.1	19.52	47.49
4	Podpora 4	724.1	25.30	47.49
5	Podpora 5	766.74	18.06	49.92
6	Podpora 6	524.53	83.03	42.85
7	Podpora 7	701.7	43.05	7.53
8	Podpora 8	1047.27	34.76	8.84
9	Podpora 9	995.58	20.51	9.00
10	Podpora 10	995.58	25.06	8.91
11	Podpora 11	1049.6	17.81	8.69
12	Podpora 12	701.7	84.39	7.37
13	Podpora 13	670.82	41.94	13.57
14	Podpora 14	1010.04	32.21	15.25
15	Podpora 15	934.97	24.20	11.07
16	Podpora 16	934.97	17.46	11.13
17	Podpora 17	1012.26	16.50	15.25
18	Podpora 18	670.85	82.19	13.63
19	Podpora 19	678.57	41.74	14.67
20	Podpora 20	1024.84	30.05	13.11
21	Podpora 21	367.76	39.37	14.62
22	Podpora 22	367.76	21.07	14.91
23	Podpora 23	1024.84	15.49	13.11
24	Podpora 24	678.57	81.93	14.67
25	Podpora 25	666.94	40.91	14.61
26	Podpora 26	985.39	31.91	13.94
27	Podpora 27	155.12	36.81	0.47
28	Podpora 28	158.2	14.59	0.47
29	Podpora 29	1008.09	16.61	13.98

30	Podpora 30	680.23	82.25	14.74
31	Podpora 31	640.45	39.80	13.68
32	Podpora 32	955.56	31.52	14.67
33	Podpora 33	667.1	27.88	34.66
34	Podpora 34	686.46	15.40	35.10
35	Podpora 35	1009.83	16.36	14.67
36	Podpora 36	672.04	82.30	13.49
37	Podpora 37	667.16	40.44	20.58
38	Podpora 38	993.92	33.07	20.17
39	Podpora 39	967.37	20.43	16.68
40	Podpora 40	993.84	23.91	16.85
41	Podpora 41	1054.78	17.00	20.63
42	Podpora 42	700.9	84.08	21.09
43	Podpora 43	499.14	40.89	22.02
44	Podpora 44	727.00	35.33	25.21
45	Podpora 45	687.98	19.56	23.58
46	Podpora 46	704.79	25.14	24.35
47	Podpora 47	765.9	18.10	26.46
48	Podpora 48	524.18	82.73	23.45

Wyniki odczytane dla maksymalnych wyżeń elementów.

Założenia wykonane do obliczeń

Ze względu na przyjęty schemat statyczny pręta sztywno-sztywnego przyjmuje współczynnik wyboczeniowy $\beta = 0.5$.

Przy analizie zarysowania przyjmuję do analizy środowiskowej wewnętrzne $RH = 50\%$ i cement normalnie twardniejący N. Wiek obciążenia betonu przyjmuję na $t_0 = 28$ dni. Końcowy współczynnik pełzania przyjmuję $\phi(\infty, t_0) = 2.1$

Kształtowanie elementu

Pręty startowe pochodzące z płyty stropowej niższej kondygnacji nie zostały objęte zakresem niniejszego opracowania i przedstawiono je wyłącznie w sposób orientacyjny na rysunku wykonawczym słupa. W celu zapewnienia ciągłości zbrojenia konstrukcji przewidziano wyprowadzenie prętów zbrojeniowych ponad poziom płyty stropowej, zgodnie z dokumentacją rysunkową.

W analizowanym miejscu zaplanowano wykonanie przerwy roboczej. Przed przystąpieniem do betonowania kolejnego etapu konstrukcji należy oczyścić odsłonięte pręty zbrojeniowe oraz odpowiednio przygotować powierzchnię betonu, w szczególności poprzez nadanie jej

wymaganej chropowatości, umożliwiającej prawidłową współpracę kolejnych warstw betonu. Zbrojenie główne wykształtowane z prętów o średnicy 16 mm, montażowe 12mm, a strzemiona z 8 mm.

2.8. Opis techniczny - część architektoniczna

2.8.1. Przegrody i fasady

Fasada szklana

Założono fasadę szklaną na całym obrysie budynku. Jest to system szyb na aluminiowym stelażu.

Fasada zielona

Na prawej elewacji budynku zaprojektowano fasadę zieloną z roślinnością żywą, usytuowaną od strony zewnętrznej przegrody. Fasadę przewidziano na ścianie żelbetowej o grubości 15 cm, docieplonej warstwą 20 cm wełny mineralnej. Od strony wewnętrznej ściana została wykończona tynkiem cementowo-wapiennym.

Ściana wewnętrzna konstrukcyjna

Założono ścianę żelbetową o grubości 25 cm, wykończoną tynkiem gipsowym.

Ściana wewnętrzna działowa

Założono ścianę z bloczku silikatowego o grubości 24 cm wykończonego tynkiem gipsowym.

Podłoga na gruncie

Przyjęto wykonanie podbudowy w postaci warstwy podsypki piaskowej o grubości 50 cm, na której ułożono warstwę chudego betonu klasy C8/10 o grubości około 10 cm. Następnie zaprojektowano izolację przeciwwodną z papy układanej na zakład oraz warstwę termoizolacyjną ze styropianu. Na warstwie termoizolacji wykonano warstwę wyrównującą w postaci jastrychu, a jako warstwę wykończeniową przewidziano okładzinę z płytek ceramicznych układanych na zaprawie klejowej o grubości około 2 cm.

Płyta stropowa

Założono płytę o grubości 25 cm następnie ocieplenie ze styropianu EPS 100, na styropianie wykonana warstwa wyrównująca w formie jastrychu, warstwa wykończeniowa płytki na kleju o grubości 2 cm. Dodatkowo założone obciążenie od sufitu podwieszanego i instalacji.

Stropodach

Przyjęto stropodach w układzie dachu zielonego intensywnego. Konstrukcję nośną stanowi płyta stropowa o grubości 25 cm. Na płycie zaprojektowano warstwę wyrównującą z betonu o grubości 5 cm. Izolację termiczną wykonano z płyt XPS, na których ułożono geowłókninę poliestrową. Następnie przewidziano warstwę retencyjno-drenażową oraz kolejną warstwę separacyjną z geowłókniny polipropylenowej. Warstwę wegetacyjną stanowi substrat wulkaniczny o grubości 50 cm, przeznaczony pod zieleń intensywną.

Spadki połaci dachowej, niezbędne do prawidłowego odwodnienia, ukształtowano przy użyciu klinów styropianowych. Odprowadzenie wód opadowych zaprojektowano za pomocą wpustów dachowych, natomiast przelewy awaryjne umieszczono powyżej górnych krawędzi klinów styropianowych.

Wykończenie schodów

Jako warstwę wykończeniową schodów przewidziano okładzinę z płytek ceramicznych układanych na zaprawie klejowej o grubości około 2 cm. Od strony spodniej schody wykończono tynkiem cementowo-wapiennym.

3. Zestawienie obciążeń

3.1. Obciążenie śniegiem

Lokalizacja: Zielona Góra

Rzędna terenu: A = 154m.n.p.m

Strefa obciążenia śniegiem: I

Pochylenie połaci $\alpha = 2\%$

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu

$$s_k = 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Współczynnik ekspozycji dla terenu normalnego

Na podstawie tabeli 5.1 przyjmuję teren normalny $C_e = 1.0$.

Współczynnik termiczny

Zgodnie z punktem 5.2 przyjmuję przenikanie ciepła przegrody dachu mniejsze niż $1 \text{ W/m}^2\text{K}$, połac izolowana $C_t = 1.0$

Współczynnik kształtu dachu

Na podstawie punktu 5.3 dla kąta spadku dachu $\alpha = 2\%$ przyjmuję $\mu_1 = 0.8$

Obciążenie śniegu przy attyce

Zgodnie z załącznikiem B4 uwzględniam obciążenie zaspy przy attyce.

$$h_{\text{attyka}} = 0.8 \text{ m}$$

$$b_1 = 44.4 \text{ m} \quad b_2 = 0 \text{ m}$$

$$b = \text{Max}(b_1, b_2) = \text{Max}(44.4 \text{ m}, 0 \text{ m}) = 44.4 \text{ m}$$

$$l_s = \text{Min}(5 \cdot h_{\text{attyka}}, b_1, 15 \text{ m}) = \text{Min}(5 \cdot 0.8 \text{ m}, 44.4 \text{ m}, 15 \text{ m}) = 4 \text{ m}$$

$$\mu_{1,\text{attyka}} = \text{Min}\left(\left(\frac{2 \cdot h_{\text{attyka}}}{s_k}\right), \left(\frac{2 \cdot b}{l_s}\right), 8\right)$$

$$\mu_{1,\text{attyka}} = \text{Min}\left(\left(\frac{2 \cdot 0.8}{0.7}\right), \left(\frac{2 \cdot 44.4}{4}\right), 8\right) = 2.286$$

$$s_{\text{attyka}} = \mu_{1,\text{attyka}} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2.286 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1.600 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Obciążenie dachu śniegiem

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.2. Obciążenie wiatrem

Lokalizacja: Zielona Góra

Rzędna terenu: $A = 154\text{m.n.p.m}$

Strefa obciążenia wiatrem: I

Pochylenie połaci $\alpha = 2\%$

Bazowa prędkość wiatru

Zgodnie z tablica NA.1 przyjmuję wartość bazowej prędkości wiatru $v_{b,0} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zgodnie z punktem 4.2 (2) przyjmuję współczynnik kierunkowy $c_{\text{dir}} = 1.0$.

Zgodnie z punktem 4.2 (2) przyjmuję współczynnik sezonowy $c_{\text{season}} = 1.0$.

Zgodnie z punktem 4.2 (2) obliczam bazową prędkość wiatru.

$$v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Bazowe ciśnienie prędkości wiatru

Zgodnie z tablica NA.1 przyjmuję wartość bazowego ciśnienia prędkości wiatru.

$$q_{b,0} = 0.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

$$q_b = \frac{\rho \cdot v_b^2}{2} = \frac{1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(22 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 0.303 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Współczynnik chropowatości i ekspozycji

Zgodnie z tablicą NA.3 obliczam współczynniki, przyjmując III kategorię terenu, $z = 48.8\text{m}$.

$$c_{r,z} = 0.8 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{(0.19)} = 0.8 \cdot \left(\frac{48.8}{10}\right)^{(0.19)} = 1.081$$

$$c_{e,z} = 1.9 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{(0.26)} = 1.9 \cdot \left(\frac{48.8}{10}\right)^{(0.26)} = 2.869$$

Średnia prędkość wiatru

Zgodnie z punktem 4.3.1 obliczam średnią prędkość wiatru.

$$c_{0,z} = 1.0$$

$$v_{m,z} = c_{r,z} \cdot c_{0,z} \cdot v_b = 1.081 \cdot 1.0 \cdot 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 23.786 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Intensywność turbulencji

Zgodnie z punktem 4.4 obliczam intensywność turbulencji i przyjmuję współczynnik turbulencji $k_1 = 1.0$.

Zgodnie z tablicą 4.1 przyjmuję wymiar chropowatości $z_0 = 0.3$.

$$I_v = \frac{k_1}{c_{0,z} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1.0}{1.0 \cdot \ln\left(\frac{48.8}{0.3}\right)} = 0.196$$

Szczytowa wartość ciśnienia prędkości

Zgodnie z punktem 4.5 obliczam wartość szczytową ciśnienia prędkości.

$$q_{p,z} = c_{e,z} \cdot q_b = 2.869 \cdot 0.303 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.868 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Wartość ciśnienia działającego na powierzchnie ścian

Zgodnie z tablicą 7.1 obliczam wartości współczynnika ciśnienia działającego na ścianę.

$$h = 48.8 \text{ m} \quad d = 37.8 \text{ m} \quad b = 44.8 \text{ m} \quad \frac{h}{d} = \frac{48.8 \text{ m}}{37.8 \text{ m}} = 1.291$$

Wiatr od dłuższego boku

Ściana nawietrzna $c_{pe,10,n} = 0.8$

$$w_{e,n} = q_{p,z} \cdot c_{pe,10,n} = 0.868 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0.8 = 0.694 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ PARCIE}$$

Ściana zawietrzna $c_{pe,10,z} = -0.515$

$$w_{e,z} = q_{p,z} \cdot c_{pe,10,z} = 0.868 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot (-0.515) = -0.447 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ SSANIE}$$

Ściany prostopadłe do kierunku wiatru

$$e = \text{Min}(b, 2 \cdot h) = \text{Min}(44.8 \text{ m}, 2 \cdot 48.8 \text{ m}) = 44.8 \text{ m}$$

$$e > d = 44.8 \text{ m} > 37.8 \text{ m}$$

Tabela 1. Obliczanie współczynnika ciśnienia zewnętrznego dla powierzchni ścian

Pole	A	B
$c_{pe,10}$	-1.2	-0.8
$w_{e,p}$	-1.041 kN/m ²	-0.694 kN/m ²

$$w_{e,p} = q_{p,z} \cdot B2 = 0.868 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot (-1.2) = -1.041 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ SSANIE}$$

Wiatr od krótszego boku

Ściana nawietrzna $c_{pe,10,n1} = 0.8$

$$w_{e,n1} = q_{p,z} \cdot c_{pe,10,n1} = 0.868 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0.8 = 0.694 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ PARCIE}$$

Ściana zawietrzna $c_{pe,10,z1} = -0.515$

$$w_{e,z1} = q_{p,z} \cdot c_{pe,10,z1} = 0.868 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot (-0.515) = -0.447 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ SSANIE}$$

Ściany prostopadłe do kierunku wiatru

$$e1 = \text{Min}(d, 2 \cdot h) = \text{Min}(37.8 \text{ m}, 2 \cdot 48.8 \text{ m}) = 37.8 \text{ m}$$

$$e1 < b = 37.8 \text{ m} < 44.8 \text{ m}$$

Tabela 2. Obliczanie współczynnika ciśnienia zewnętrznego dla powierzchni ścian

Pole	A	B	C
$c_{pe,10}$	-1.2	-0.8	-0.5
$w_{e,p}$	-1.041 kN/m ²	-0.694 kN/m ²	-0.434 kN/m ²

$$w_{e,p1} = q_{p,z} \cdot B2 = 0.868 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot (-1.2) = -1.041 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ SSANIE}$$

Wartość ciśnienia działającego na powierzchnie dachu

Zgodnie z punktem 7.2.3 obliczam wartości ciśnienia dla dachu płaskiego.

$$e2 = \text{Min}(b, 2 \cdot h) = \text{Min}(44.8 \text{ m}, 2 \cdot 48.8 \text{ m}) = 44.8 \text{ m}$$

Tabela 3. Obliczanie współczynnika ciśnienia zewnętrznego dla powierzchni dachu

Pole	F	G	H	I1	I2
$c_{pe,10}$	-1.600	-1.100	-0.7	0.200	-0.2
$w_{e,d}$	-1.389 kN/m ²	-0.955 kN/m ²	-0.608 kN/m ²	0.174 kN/m ²	-0.174 kN/m ²

$$w_{e,d} = q_{p,z} \cdot B2 = 0.868 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot (-1.6) = -1.389 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ SSANIE}$$

Obciążenie termiczne

Ponieważ obiekt jest odpowiednio zaizolowany i nie podlega codziennym oraz eksploatacyjnym wahaniom temperatury, wpływ oddziaływań termicznych można pominąć.

Obciążenie technologiczne

Przyjmuję ciężar sufitu podwieszanego, instalacji elektrycznej, sanitarnej i wentylacyjnej, urządzeń technologicznych i oświetlenia.

$$g_{k,i} = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Obciążenie użytkowe

$$\text{Zgodnie z tablicą 6.9 budynek zaliczam do kategorii C i przyjmuję } q_{C,5} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Obciążenie od attyki

Attyka będzie wykonana monolitycznie z betonu.

$$q_A = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.2 \text{ m} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

4. Projekt wstępny

4.1. Płyta stropowa

4.1.1. Wstępne dane

Długość budynku $L = 44.8 \text{ m}$

Szerokość budynku $B = 37.8 \text{ m}$

Wysokość kondygnacji $h = 4 \text{ m}$

Liczba kondygnacji $n = 12$

Klasa konstrukcji S4

Klasa ekspozycji na górze płyty XF1

Klasa ekspozycji na dole płyty XC1

Odporność ogniowa REI60

Przyjęto beton klasy C35/45	$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$	$f_{cd} = \frac{35 \text{ MPa}}{1.4} = 25 \text{ MPa}$
Przyjęto stal klasy B500SP	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$	$f_{yd} = \frac{500 \text{ MPa}}{1.15} = 434.783 \text{ MPa}$

4.1.2 Grubość otuliny

Góra płyty

$$c_{\text{nom},g} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

$$\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min},g} = \text{Max}(c_{\text{min},b}, c_{\text{min},dur}, 10 \text{ mm})$$

Przyjmuję pręty $\phi 20$

$$c_{\text{min},b} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min},dur,g} = 45 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min},g} = \text{Max}(c_{\text{min},b}, c_{\text{min},dur,g}, 10 \text{ mm}) = \text{Max}(20 \text{ mm}, 45 \text{ mm}, 10 \text{ mm}) = 45 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom},g} = c_{\text{min},g} + \Delta c_{\text{dev}} = 45 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 55 \text{ mm}$$

Dół płyty

$$c_{\text{nom},d} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

$$\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min},d} = \text{Max}(c_{\text{min},b}, c_{\text{min},dur}, 10 \text{ mm})$$

Przyjmuję pręty $\phi 20$

$$c_{\text{min},b} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{\min, \text{dur}, d} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{\min, d} = \text{Max}(c_{\min, b}, c_{\min, \text{dur}, d}, 10 \text{ mm}) = \text{Max}(20 \text{ mm}, 15 \text{ mm}, 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}, d} = c_{\min, d} + \Delta c_{\text{dev}} = 20 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

4.1.3 Zestawienie obciążeń

Tabela 4. Zestawienie obciążeń na płytę

Lp	Warstwa obciążenia	Obciążenie charakterystyczne [kN/m ²]		Współczynnik obciążenia γ_f		Obciążenie obliczeniowe [kN/m ²]	
		Stan suchy	Nasycone wodą	Max	Min	Max	Min
1	Roślinność intensywna $\gamma = 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	2.942		1.35	1.0	3.972	2.942
2	Substrat wulkaniczny gr. 50cm $\gamma = 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.5 \text{ m}$	4.415	7.113	1.35	1.0	5.960	7.1125
3	Geowłóknina polipropylenowa $\gamma = 100 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$	0.001		1.35	1.0	0.001	0.001
4	Warstwa retencyjno-drenażowa $\gamma = 2.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	0.026		1.35	1.0	0.035	0.026
5	Geowłóknina poliestrowa $\gamma = 300 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$	0.003		1.35	1.0	0.004	0.003
6	Izolacja cieplna XPS gr. 20cm $\gamma = 0.032 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	0.032		1.35	1.0	0.043	0.032
7	Membrana	0.001		1.35	1.0	0.001	0.001

	hydroizolacyjna EPDM					
	$\gamma = 100 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$					
8	Warstwa spadkowa z betonu gr. 5cm $\gamma = 21.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.05 \text{ m}$	1.05	1.35	1.0	1.418	1.050
9	Płyta żelbetowa gr. 25cm $\gamma = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.25 \text{ m}$	6.25	1.35	1.0	8.438	6.250
Obciążenie stałe Σ		14.720	17.418	-	-	19.871
11	Obciążenie użytkowe $5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	5.00	1.5	0.0	7.5	0

4.1.4. Wstępna grubość płyty

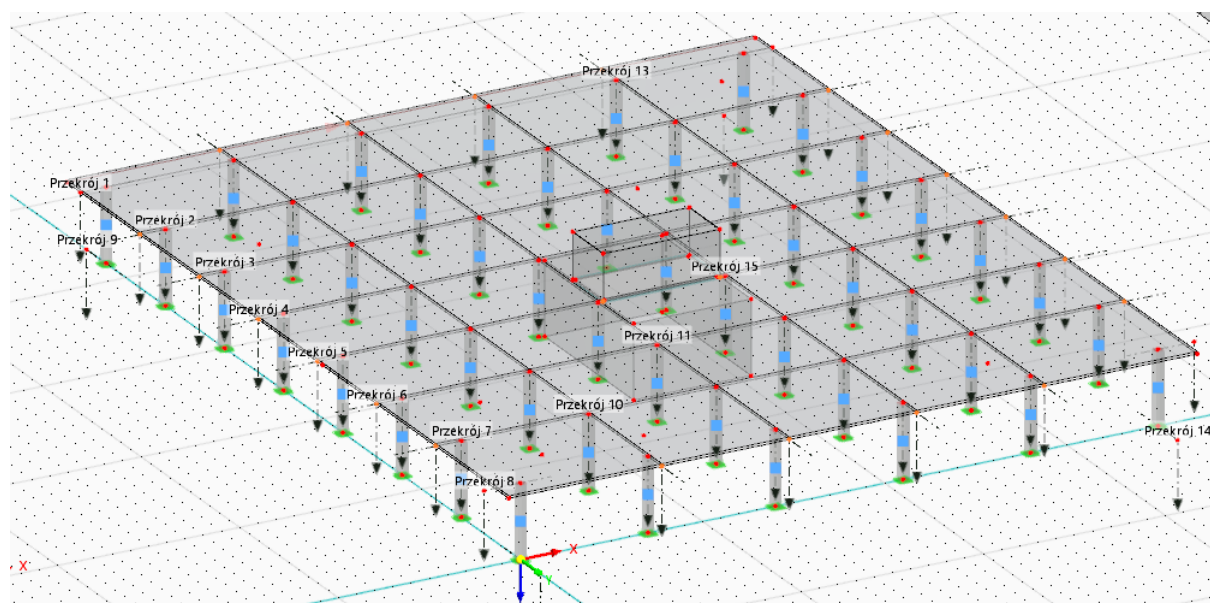
$$l = 7.0 \text{ m}$$

$$h = \frac{1}{30} = \frac{7.0 \text{ m}}{30} = 0.233 \text{ m}$$

Przyjmuję $h = 0.25 \text{ m}$

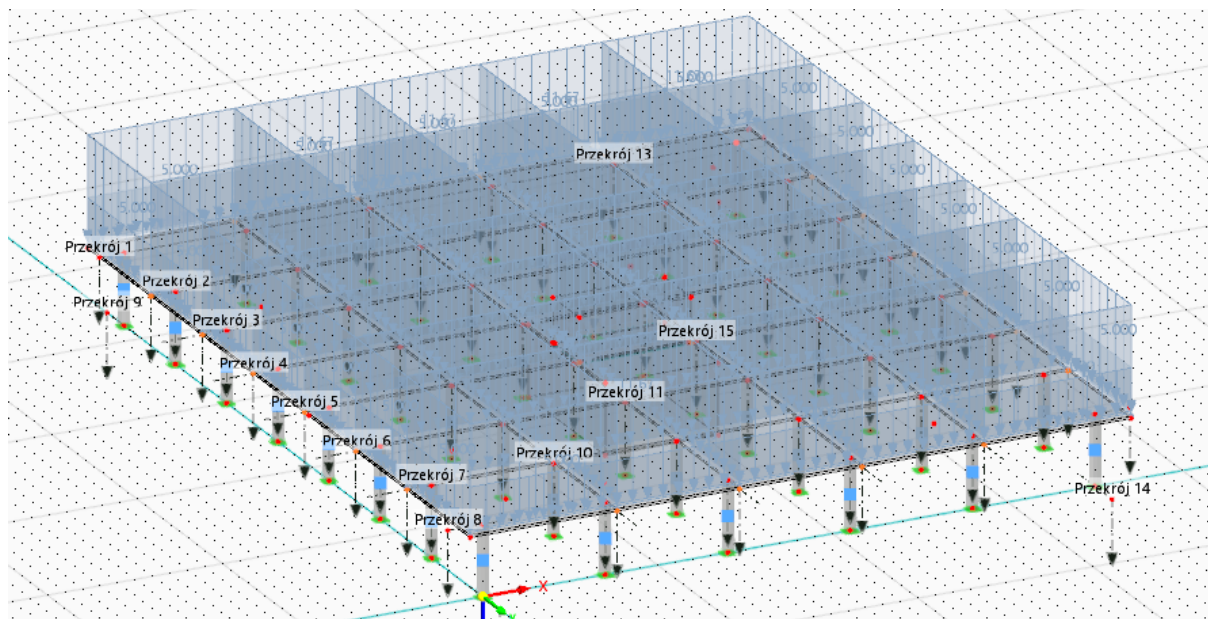
4.1.5. Schemat statyczny

Obliczenia dokonuje w programie RFEM6.

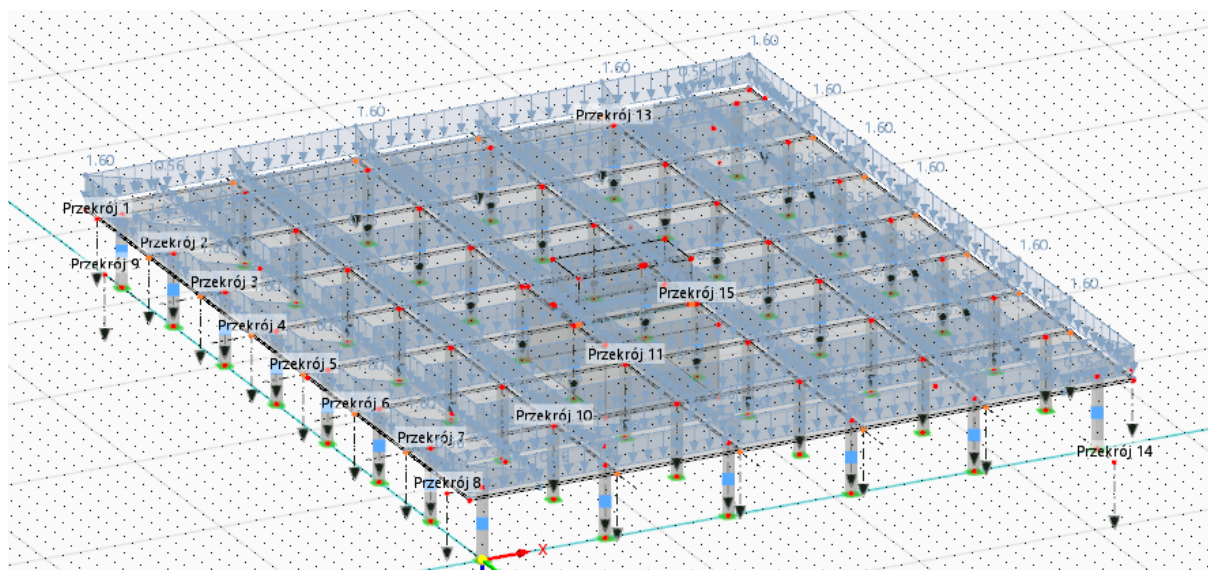


Rysunek 1. Model 3D do obliczeń

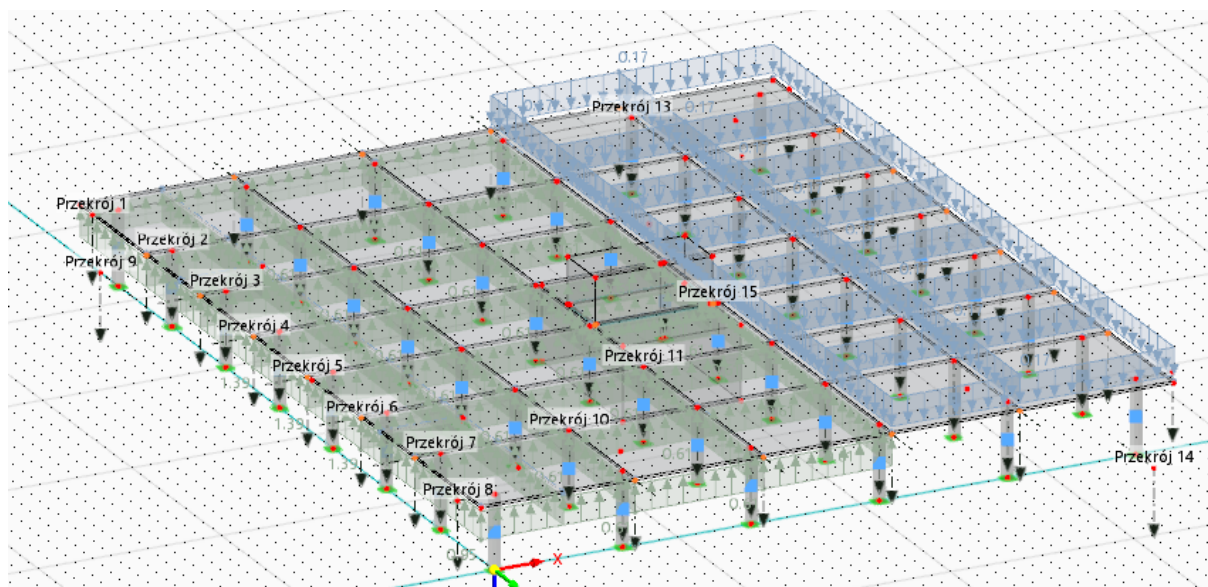
Zestawienie wszystkich obciążeń w programie zgodnie z punktem 4.1.3.. Kombinacje zostały stworzone przy pomocy [14].



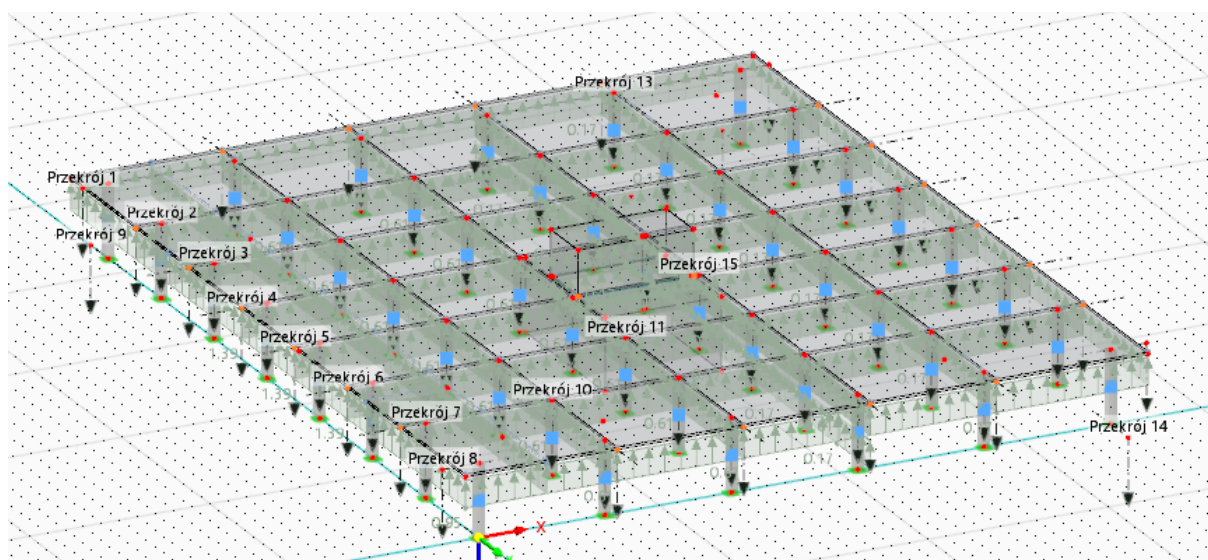
Rysunek 2. Obciążenie stałe (G)



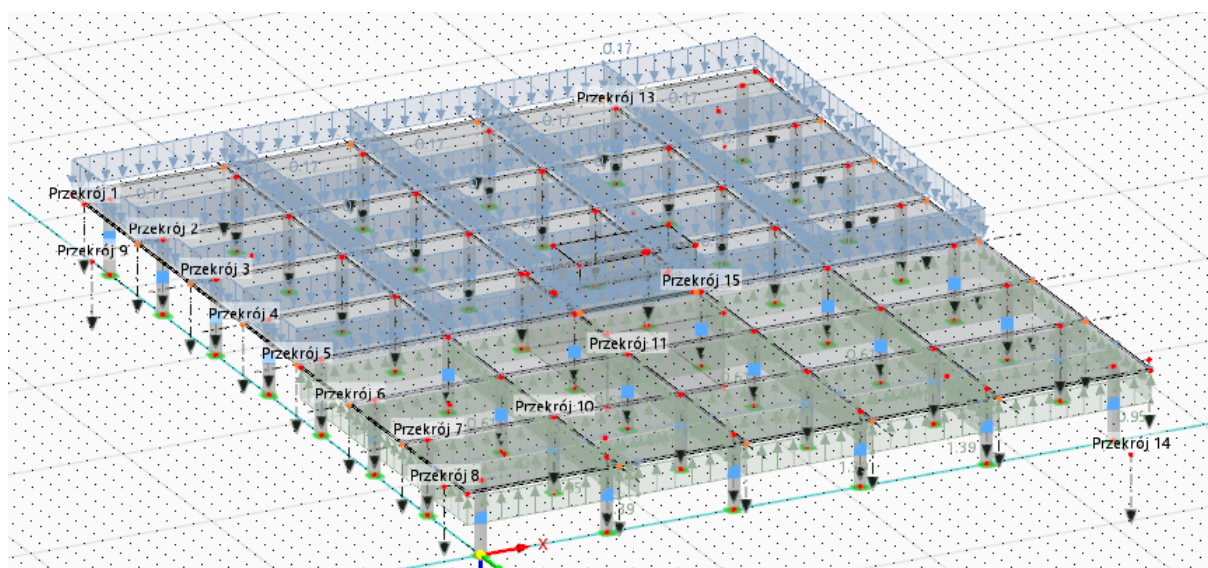
Rysunek 3. Obciążenie śniegiem (S)



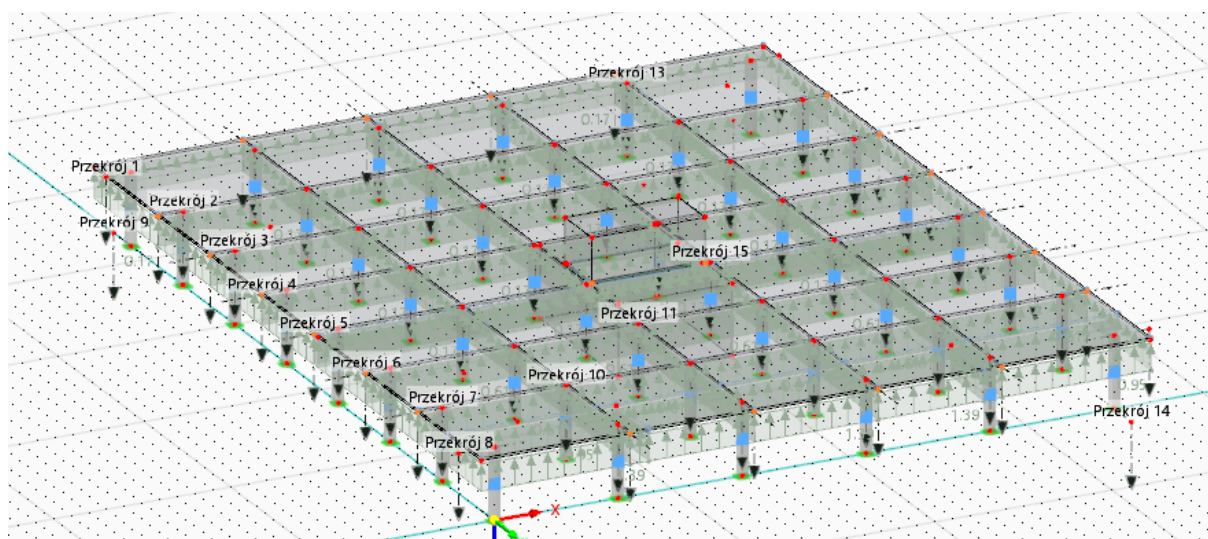
Rysunek 4. Obciążenie wiatrem (W)



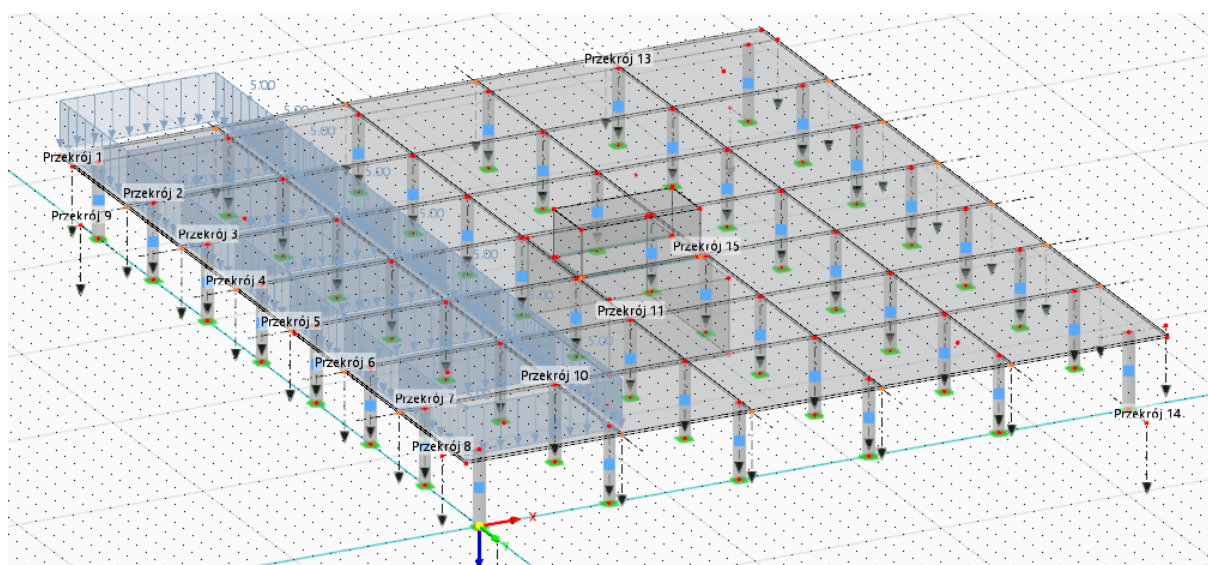
Rysunek 5. Obciążenie wiatrem (W)



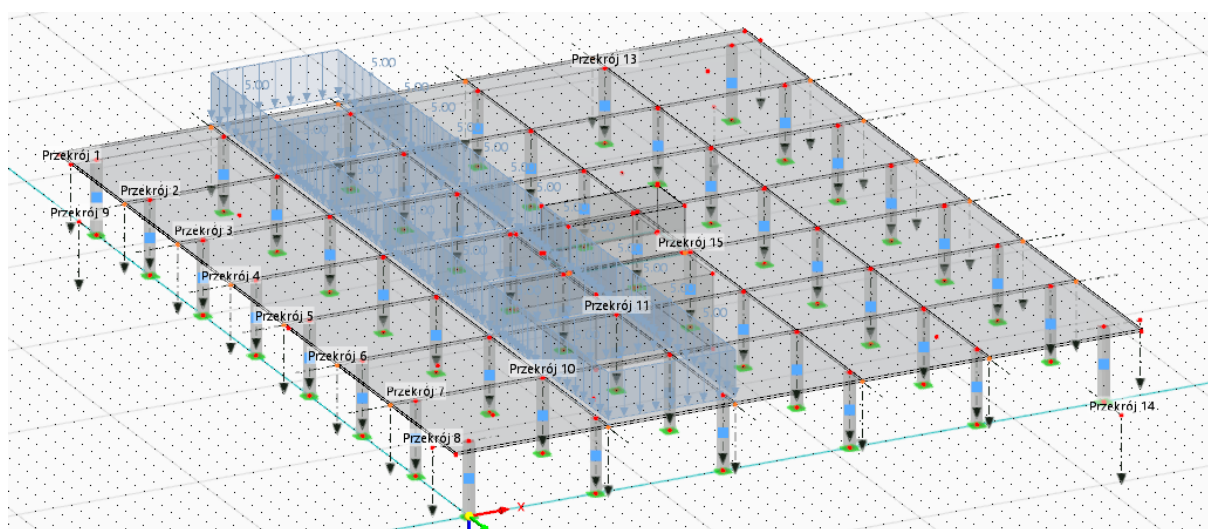
Rysunek 6. Obciążenie wiatrem (W)



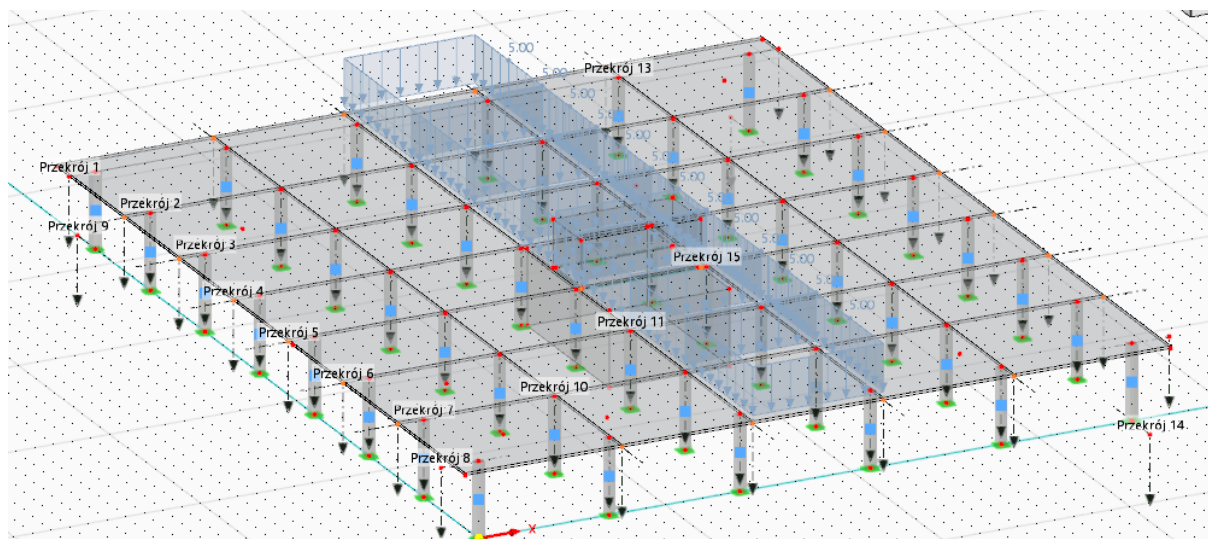
Rysunek 7. Obciążenie wiatrem (W)



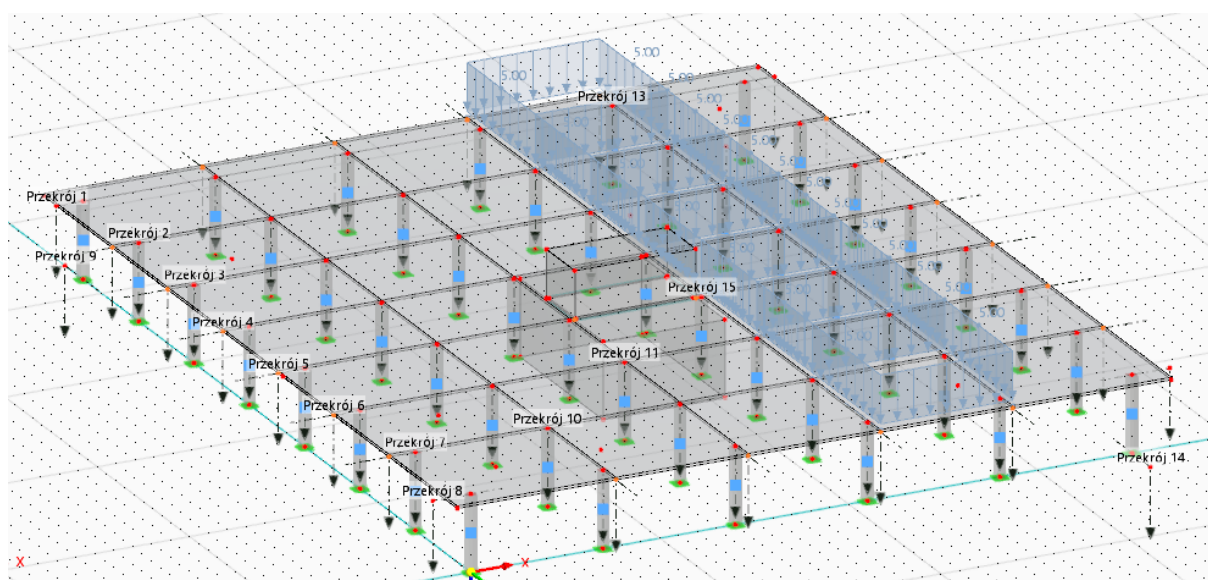
Rysunek 8. Obciążenie zmienne przęsło A-B:1-8 (A)



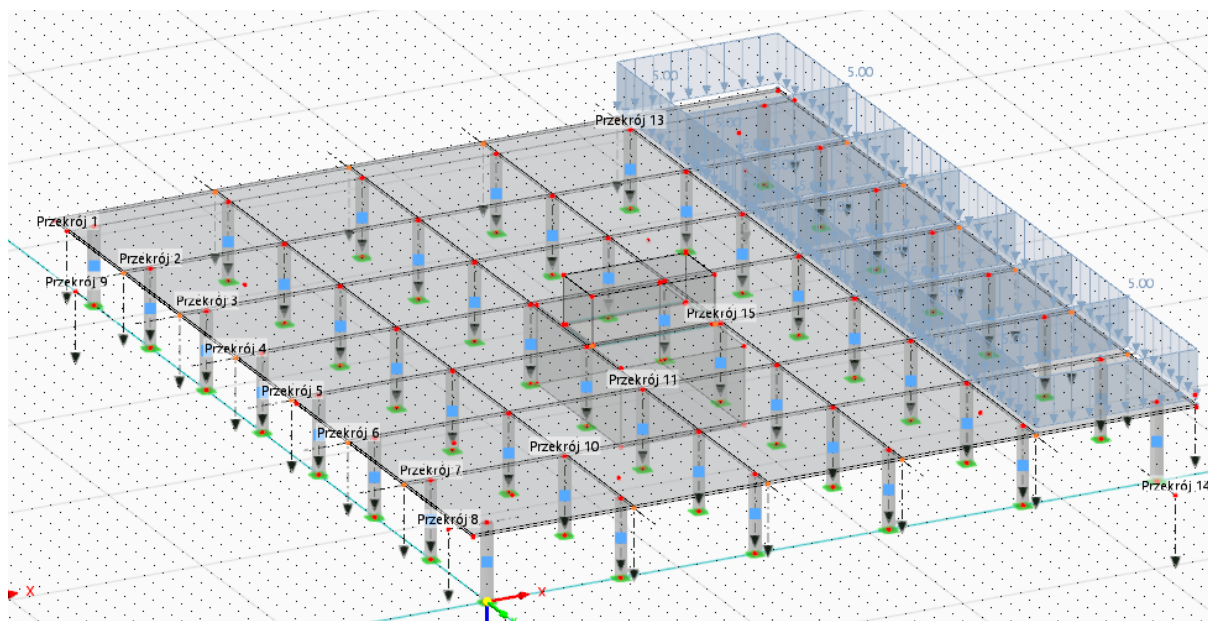
Rysunek 9. Obciążenie zmienne przęsło B-C:1-8 (B)



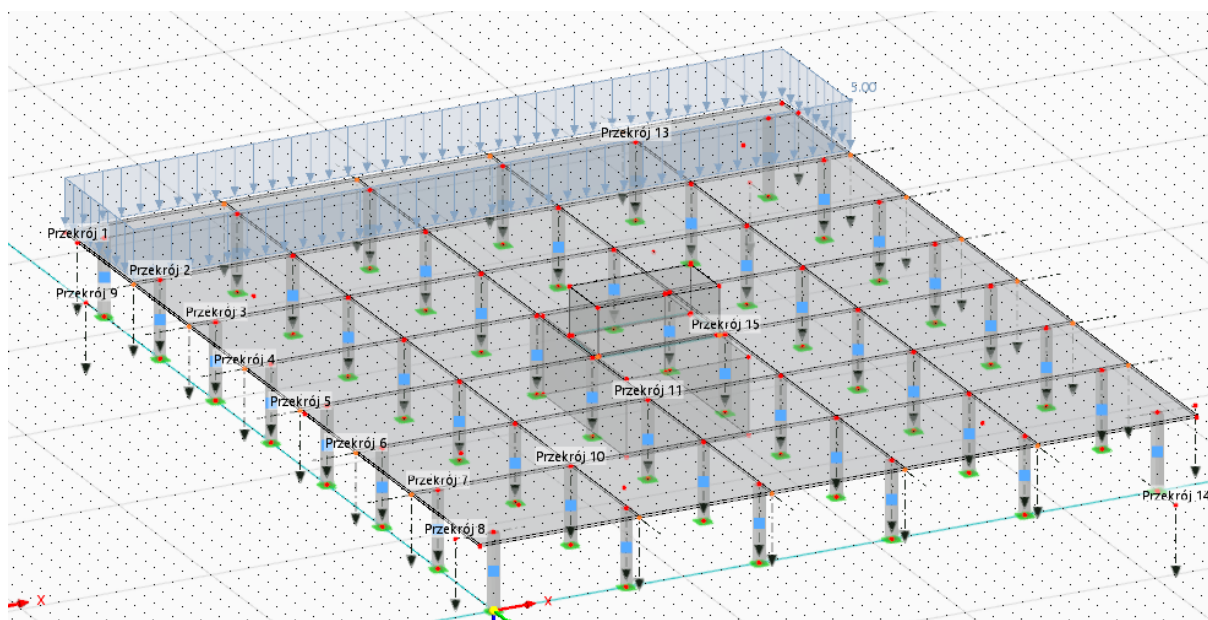
Rysunek 10. Obciążenie zmienne przęsło C-D:1-8 (C)



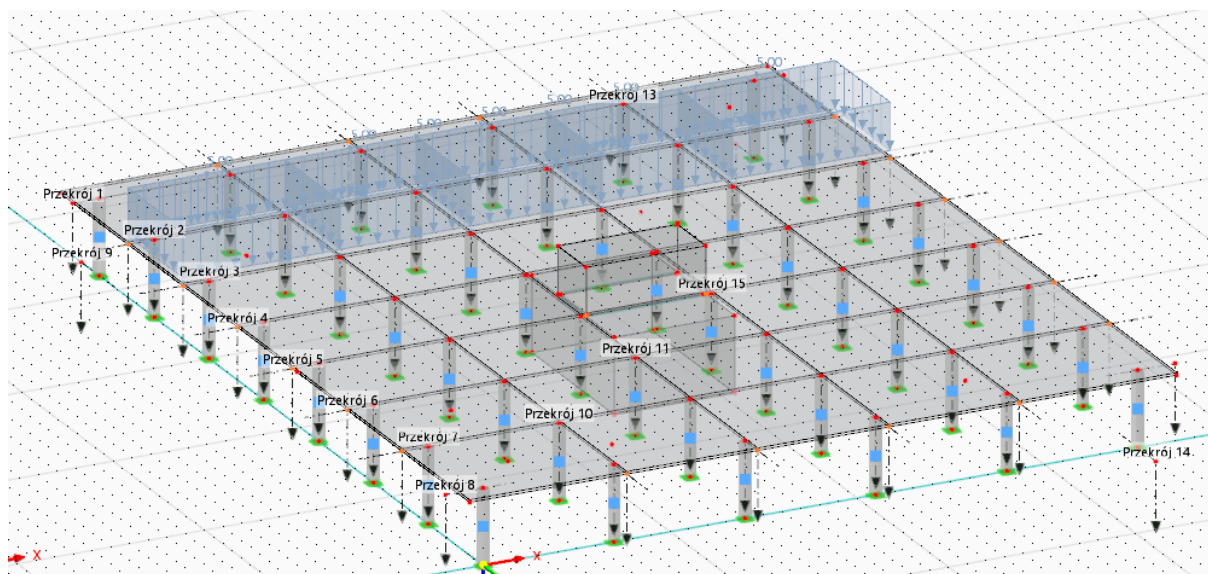
Rysunek 11. Obciążenie zmienne przęsło D-E:1-8 (D)



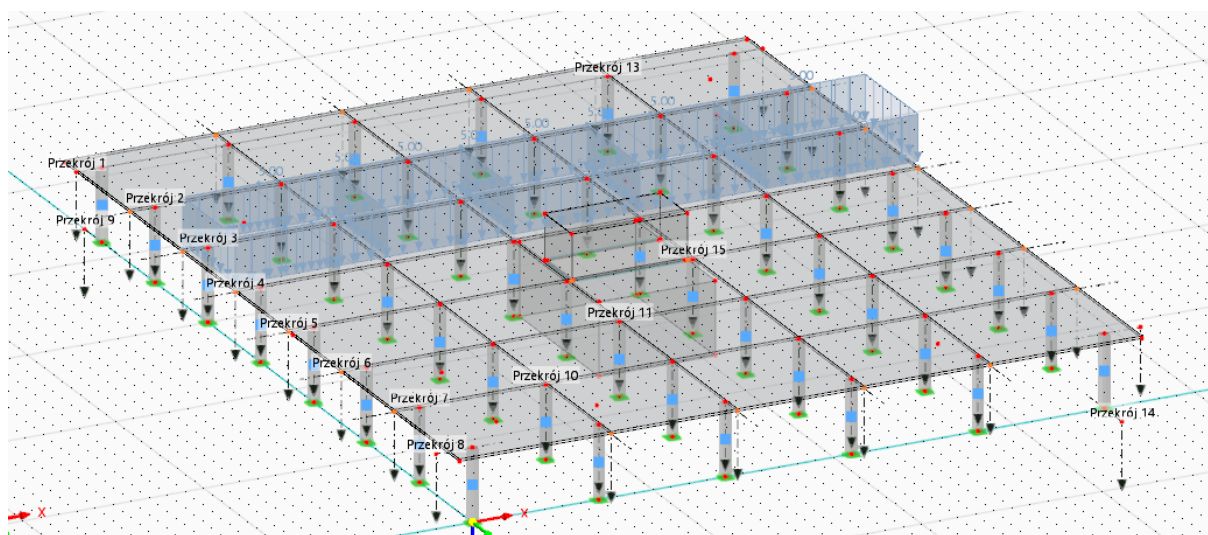
Rysunek 12. Obciążenie zmienne przęsło E-F:1-8 (E)



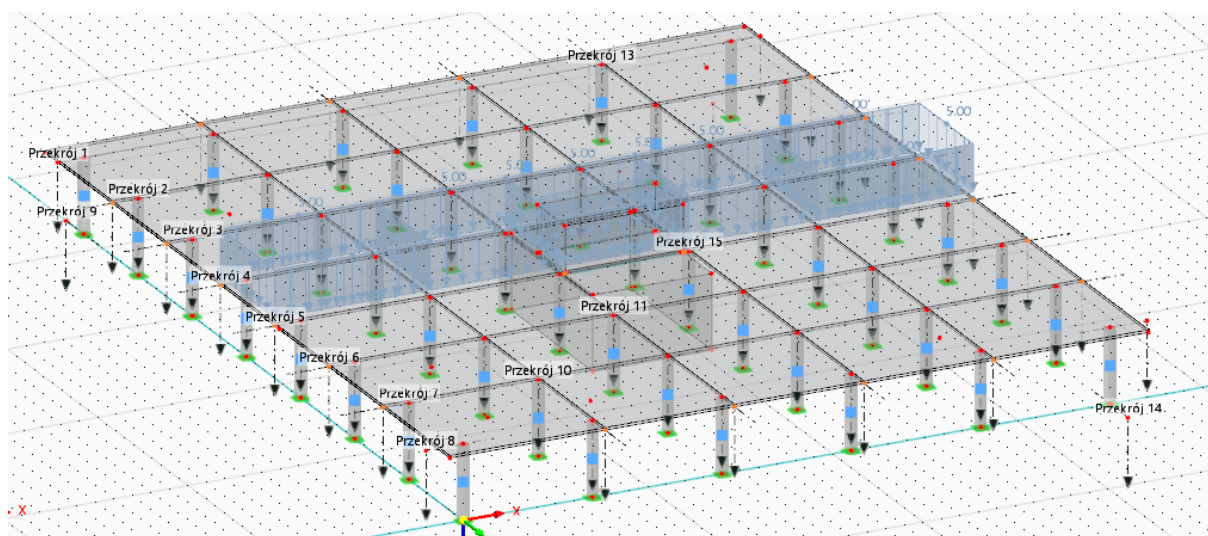
Rysunek 13. Obciążenie zmienne przęsło 1-2:A-F (1)



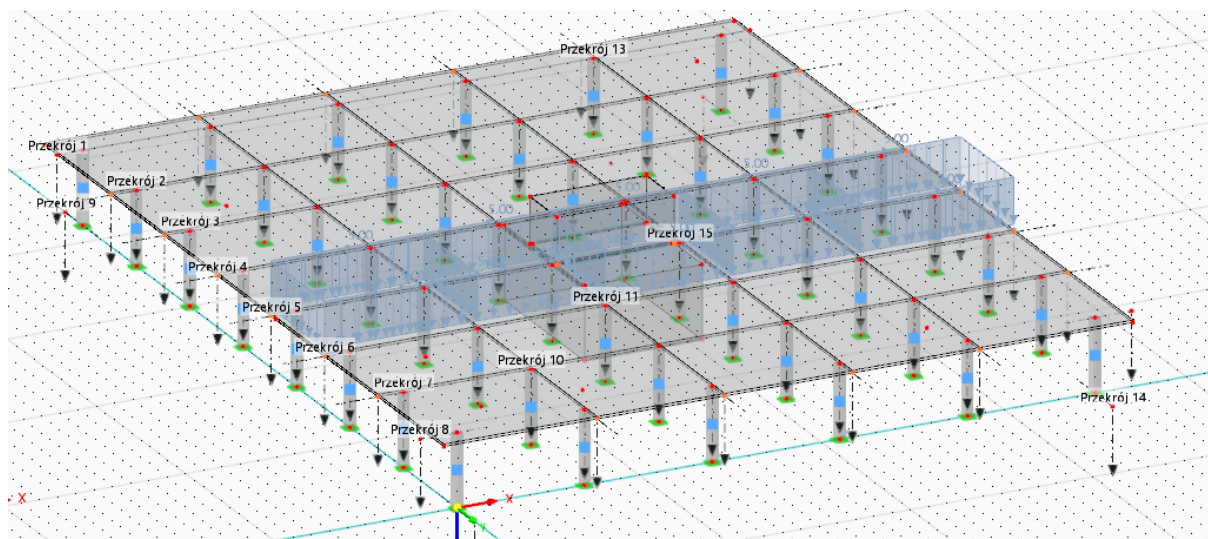
Rysunek 14. Obciążenie zmienne przęsło 2-3:A-F (2)



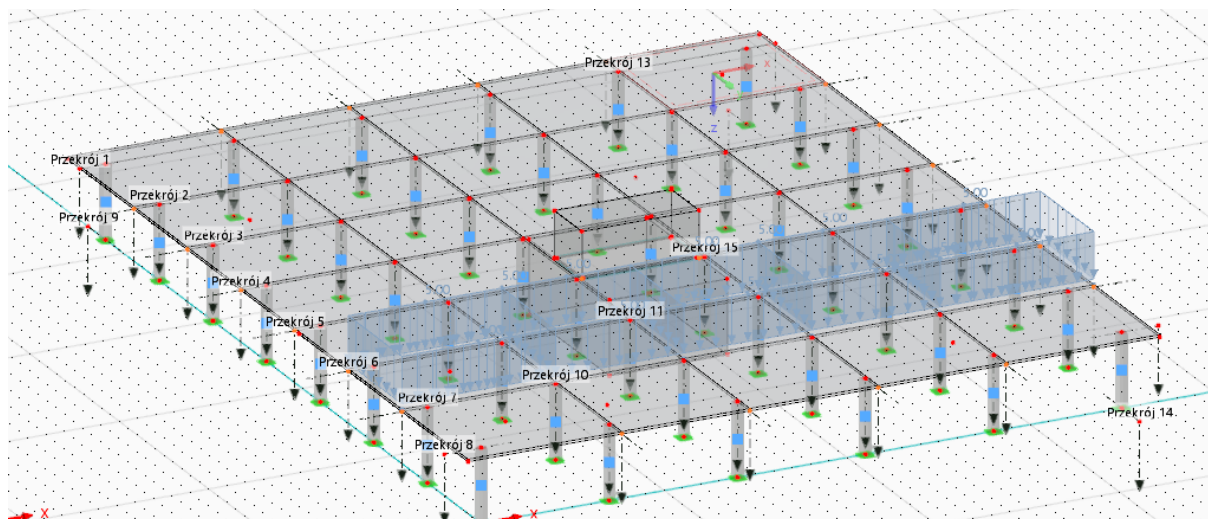
Rysunek 15. Obciążenie zmienne przęsło 3-4:A-F (3)



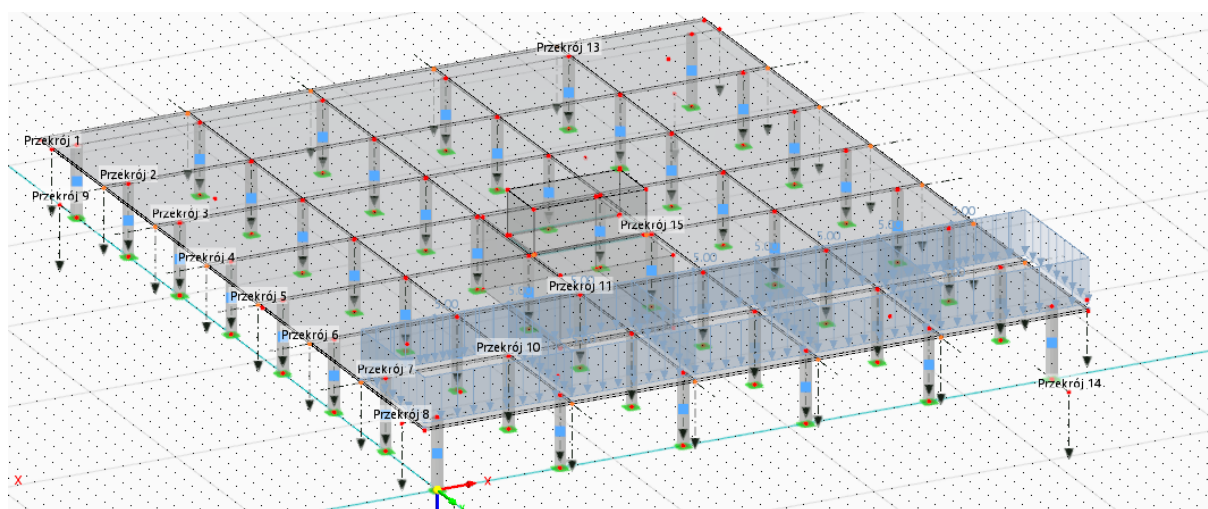
Rysunek 16. Obciążenie zmienne przęsło 4-5:A-F (4)



Rysunek 17. Obciążenie zmienne przęsło 5-6:A-F (5)



Rysunek 18. Obciążenie zmienne przęsło 6-7:A-F (6)



Rysunek 19. Obciążenie zmienne przęsło 7-8:A-F (7)

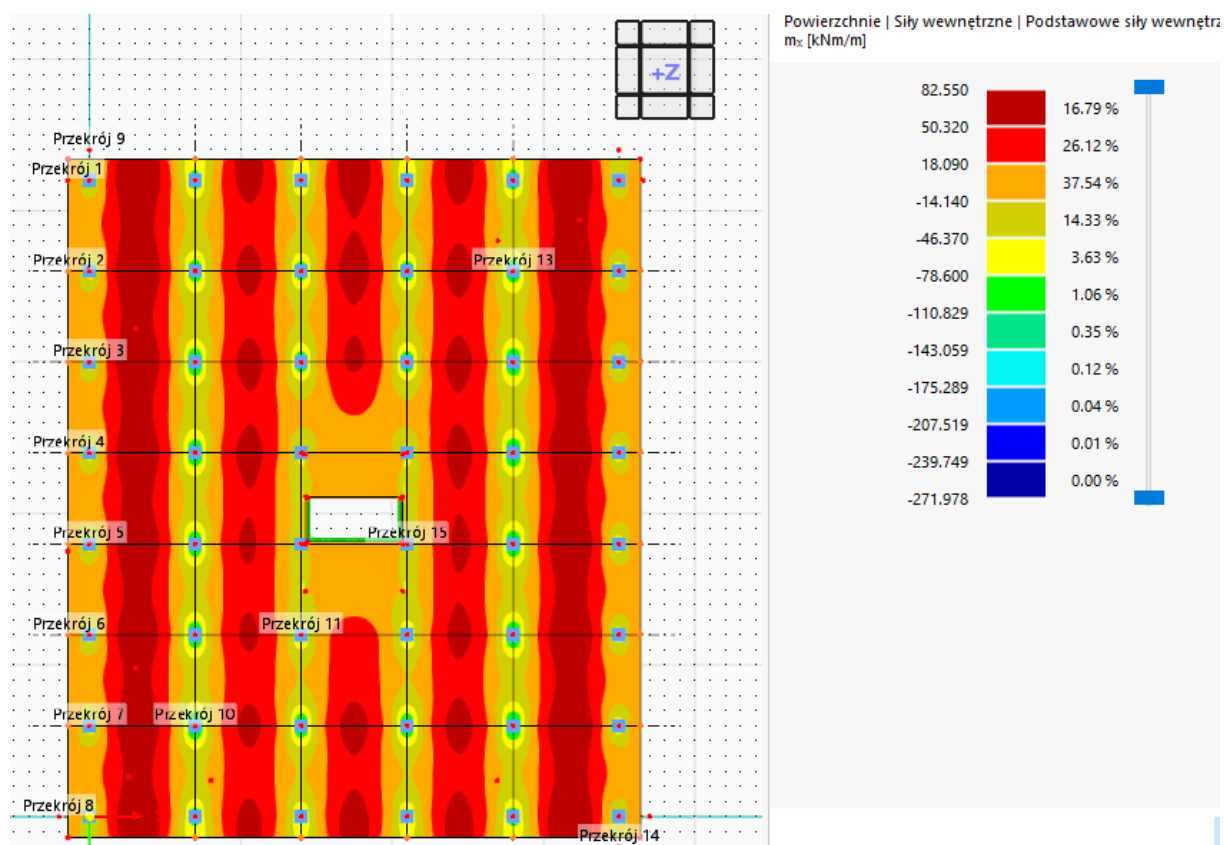
4.1.6. Kombinacje obciążeń

Kombinacje zostały stworzone na podstawie wzoru 6.10a i 6a10b z PN-EN 1990, a współczynniki zostały dobrane z tabeli A1.2(B) jako niekorzystne. Poniżej przedstawiam ogólną tabelę z kombinacjami. Każda została policzona osobno dla każdego przypadku wiatru. Taki schemat oraz kombinacje pozwolą na uzyskanie maksymalnych momentów przęsłowych i podporowych.

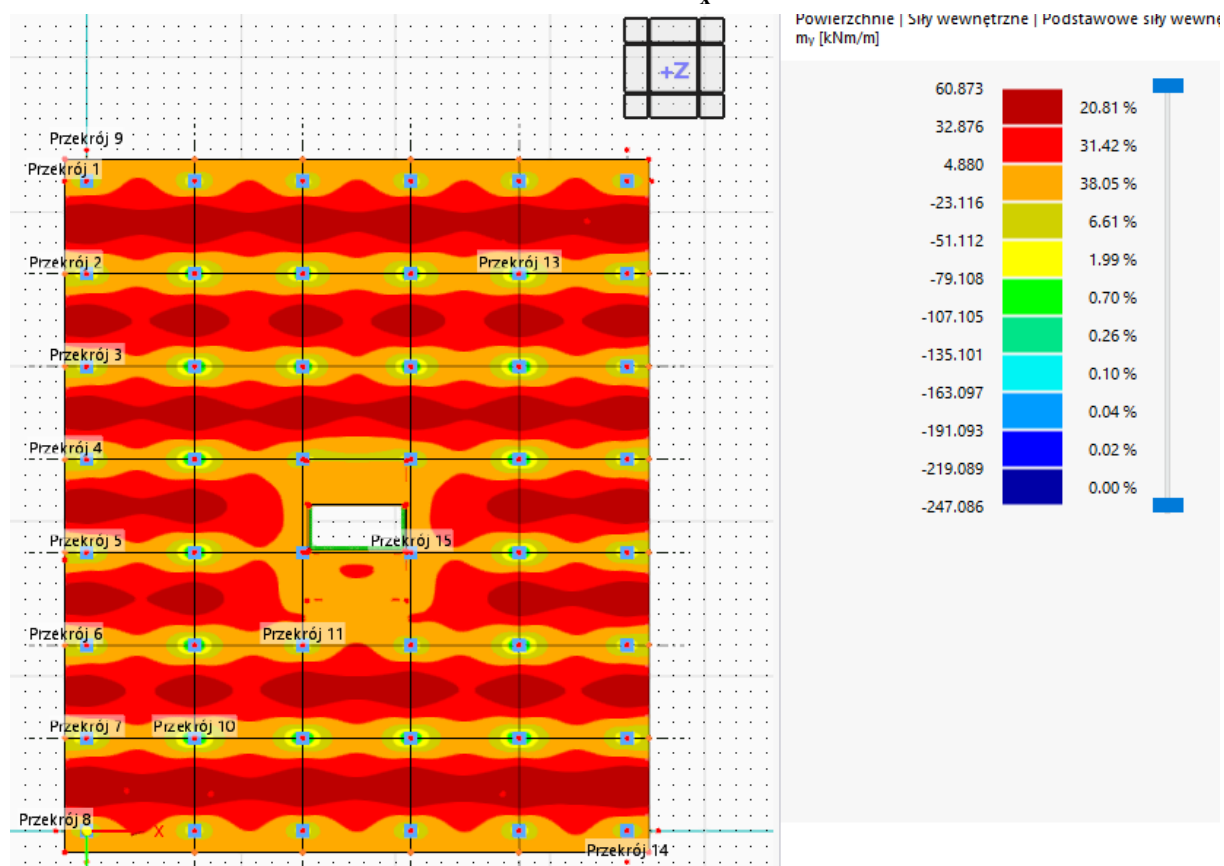
Tabela 5. Zestawienie kombinacji SGN dla płyty dachowej

Nazwa kombinacji	Wzór kombinacji
SGN-6.10a-1	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (A+C+E)$
SGN-6.10a-2	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (B+D)$
SGN-6.10a-3	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (A+B+C+D+E)$
SGN-6.10a-4	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (1+3+5+7)$
SGN-6.10a-5	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (2+4+6)$
SGN-6.10a-6	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (1+2+3+4+5+6+7)$
SGN-6.10a-7	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (A+B+D)$
SGN-6.10a-8	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (B+C+E)$
SGN-6.10a-9	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (A+C+D)$
SGN-6.10a-10	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (B+D+E)$
SGN-6.10a-11	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (1+2+4+5+7)$
SGN-6.10a-12	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (2+3+5+6)$
SGN-6.10a-13	$1.35 \cdot (G) + 0.5 \cdot 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (1+3+4+6+7)$
SGN-6.10b-1	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (A+C+E)$
SGN-6.10b-2	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (B+D)$
SGN-6.10b-3	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (A+B+C+D+E)$
SGN-6.10b-4	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (1+3+5+7)$
SGN-6.10b-5	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (2+4+6)$
SGN-6.10b-6	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (1+2+3+4+5+6+7)$
SGN-6.10b-7	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (A+B+D)$
SGN-6.10b-8	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (B+C+E)$
SGN-6.10b-9	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (A+C+D)$
SGN-6.10b-10	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (B+D+E)$
SGN-6.10b-11	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (1+2+4+5+7)$
SGN-6.10b-12	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (2+3+5+6)$
SGN-6.10b-13	$1.15 \cdot (G) + 1.5 \cdot S + 0.6 \cdot 1.5 \cdot W + 0.7 \cdot 1.5 \cdot (1+3+4+6+7)$

4.1.7. Wyniki



Rysunek 20. Obwiednia momentów m_x dla kombinacji obciążeń



Rysunek 21. Obwiednia momentów m_y dla kombinacji obciążeń

Na podstawie wykresów odczytuje maksymalne momenty i zestawiam je w tabeli poniżej.

Wyniki posłużą do wymiarowania zbrojenia na zginanie.

Tabela 6. Maksymalne momenty zginające

Lp.	Lokalizacja	m_x [kNm]	m_y [kNm]
1	Przęsło A-B	82.265	
2	Przęsło B-C	64.125	
3	Przęsło C-D	68.745	
4	Przęsło D-E	64.831	
5	Przęsło E-F	81.671	
6	Przęsło 1-2		57.756
7	Przęsło 2-3		49.653
8	Przęsło 3-4		51.711
9	Przęsło 4-5		51.589
10	Przęsło 5-6		51.549
11	Przęsło 6-7		49.893
12	Przęsło 7-8		59.836
13	Podpora 1	-133.051	-112.695
14	Podpora 2	-173.803	-141.834
15	Podpora 3	-151.267	-131.289
16	Podpora 4	-151.276	-133.283
17	Podpora 5	-174.093	-144.529
18	Podpora 6	-133.056	-112.736
19	Podpora 7	-153.611	-141.334
20	Podpora 8	-201.266	-181.542
21	Podpora 9	-180.55	-171.576
22	Podpora 10	-180.55	-171.576
23	Podpora 11	-201.596	-183.182
24	Podpora 12	-153.882	-141.334
25	Podpora 13	-146.034	-122.755
26	Podpora 14	-192.918	-168.321
27	Podpora 15	-167.604	-153.087
28	Podpora 16	-167.604	-153.087
29	Podpora 17	-193.304	-168.758
30	Podpora 18	-143.034	-122.888
31	Podpora 19	-146.917	-124.245
32	Podpora 20	-194.853	-170.507
33	Podpora 21	-138.418	-120.703
34	Podpora 22	-138.418	-119.622

35	Podpora 23	-194.857	-170.507
36	Podpora 24	-146.917	-124.245
37	Podpora 25	-143.746	-123.604
38	Podpora 26	-189.527	-165.002
39	Podpora 27	-122.403	-37.464
40	Podpora 28	-125.027	-38.499
41	Podpora 29	-194.231	-168.402
42	Podpora 30	-146.631	-124.215
43	Podpora 31	-138.89	-117.25
44	Podpora 32	-182.699	-158.057
45	Podpora 33	-140.431	-129.131
46	Podpora 34	-143.773	-132.472
47	Podpora 35	-193.243	-167.281
48	Podpora 36	-145.783	-123.422
49	Podpora 37	-145.683	-133.235
50	Podpora 38	-190.389	-171.437
51	Podpora 39	-172.702	-163.733
52	Podpora 40	-175.839	-168.263
53	Podpora 41	-202.086	-182.062
54	Podpora 42	-153.083	-140.591
55	Podpora 43	-125.778	-110.252
56	Podpora 44	-164.036	-135.071
57	Podpora 45	-143.283	-126.49
58	Podpora 46	-143.523	-129.732
59	Podpora 47	-173.894	-142.762
60	Podpora 48	-132.64	-116.489

4.2. Słup

4.2.1. Wstępne dane

Długość budynku $L1 = 44.8$ m

Szerokość budynku $B1 = 37.8$ m

Wysokość kondygnacji $h = 4$ m

Liczba kondygnacji $n = 12$

Klasa konstrukcji S4

Klasa ekspozycji XC1

Odporność ogniowa REI60

Przyjęto beton klasy C35/45

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

$$f_{cd} = \frac{35 \text{ MPa}}{1.4} = 25 \text{ MPa}$$

Przyjęto stal klasy B500SP

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

$$f_{yd} = \frac{500 \text{ MPa}}{1.15} = 434.783 \text{ MPa}$$

4.2.2. Grubość otuliny

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

$$\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min}} = \text{Max}(c_{\text{min,b}}, c_{\text{min,dur}}, 10 \text{ mm})$$

Przyjmuję pręty $\phi_{\text{główne}} = 20 \text{ mm}$

$$c_{\text{min,b}} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min,dur}} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min}} = \text{Max}(c_{\text{min,b}}, c_{\text{min,dur}}, 10 \text{ mm}) = \text{Max}(20 \text{ mm}, 15 \text{ mm}, 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 20 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

Zakładam $\phi_{\text{strzemion}} = 8 \text{ mm}$

4.2.3. Zestawienie obciążeń

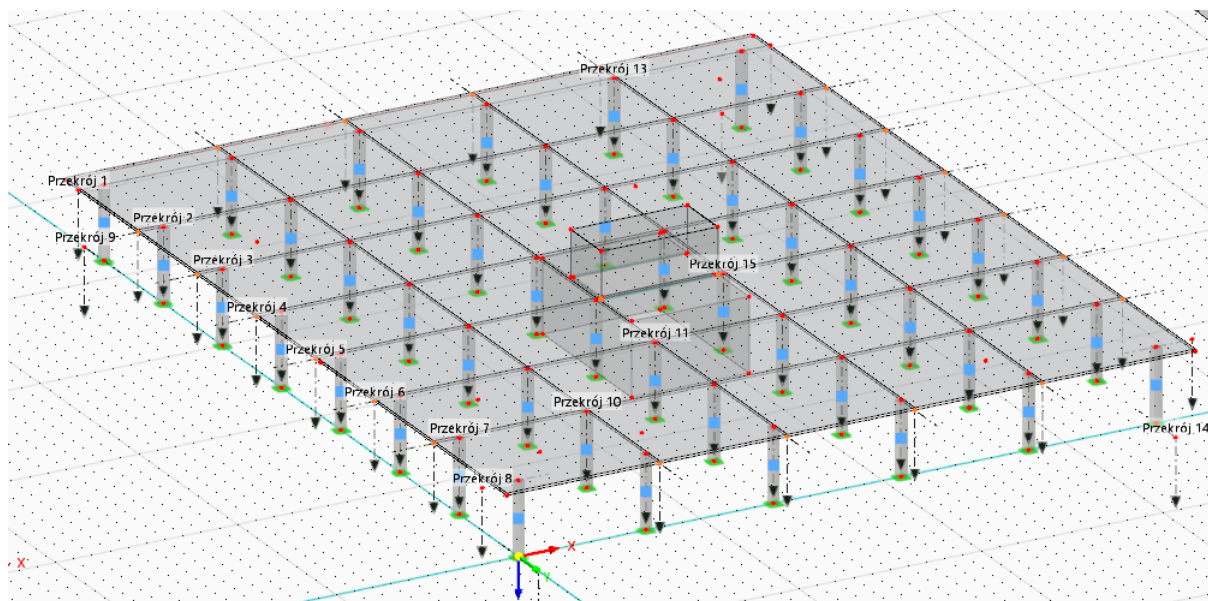
Tabela 7. Zestawienie obciążeń na słup

Lp	Warstwa obciążenia	Obciążenie charakterystyczne [kN/m²]		Współczynnik obciążenia γ_f		Obciążenie obliczeniowe [kN/m²]	
		Stan suchy	Nasycone wodą	Max	Min	Max	Min
1	Roślinność intensywna $300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$	123.48		1.35	1.0	166.70	123.48
2	Substrat wulkaniczny gr. 50cm $900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.5 \text{ m} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$	185.409	298.725	1.35	1.0	250.302	298.725
3	Geowłóknina polipropylenowa $100 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$	0.042		1.35	1.0	0.057	0.042
4	Warstwa retencyjno-drenażowa $2.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$	1.092		1.35	1.0	1.474	1.092
5	Geowłóknina poliestrowa	0.126		1.35	1.0	0.170	0.126

	$300 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$						
6	Izolacja cieplna XPS gr.20cm $0.032 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$	1.344	1.35	1.0	1.814	1.344	
7	Membrana hydroizolacyjna EPDM $100 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$	0.042	1.35	1.0	0.057	0.042	
8	Warstwa spadkowa z betonu gr. 5cm $21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.05 \text{ m} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$	44.10	1.35	1.0	59.535	44.100	
9	Płyta żelbetowa gr. 25cm $25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.25 \text{ m} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$	262.50	1.35	1.0	354.375	262.500	
10	Słup żelbetowy $25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.4 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m} \cdot 3.75 \text{ m}$	16.00	1.35	1.0	21.600	16.000	
Obciążenie stałe Σ		634.14	731.4510	-	-	834.48	731.45
11	Obciążenie użytkowe $5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6.0 \text{ m} \cdot 7.0 \text{ m}$	210.00	1.5	0.0	315.0	0	

4.2.5. Schemat statyczny

Obliczenia dokonuje w programie RFEM6. Model obliczeniowy oraz kombinacje są identyczne jak dla płyty.



Rysunek 22. Model 3D do obliczeń

4.2.6. Wyniki

Tabela 8. Siły działające na słupy

Lp.	Lokalizacja	N_{Ed} [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
1	Podpora 1	524.53	42.34	42.85
2	Podpora 2	764.79	35.23	49.92
3	Podpora 3	724.1	19.52	47.49
4	Podpora 4	724.1	25.30	47.49
5	Podpora 5	766.74	18.06	49.92
6	Podpora 6	524.53	83.03	42.85
7	Podpora 7	701.7	43.05	7.53
8	Podpora 8	1047.27	34.76	8.84
9	Podpora 9	995.58	20.51	9.00
10	Podpora 10	995.58	25.06	8.91
11	Podpora 11	1049.6	17.81	8.69
12	Podpora 12	701.7	84.39	7.37
13	Podpora 13	670.82	41.94	13.57
14	Podpora 14	1010.04	32.21	15.25
15	Podpora 15	934.97	24.20	11.07
16	Podpora 16	934.97	17.46	11.13
17	Podpora 17	1012.26	16.50	15.25
18	Podpora 18	670.85	82.19	13.63
19	Podpora 19	678.57	41.74	14.67
20	Podpora 20	1024.84	30.05	13.11
21	Podpora 21	367.76	39.37	14.62
22	Podpora 22	367.76	21.07	14.91

23	Podpora 23	1024.84	15.49	13.11
24	Podpora 24	678.57	81.93	14.67
25	Podpora 25	666.94	40.91	14.61
26	Podpora 26	985.39	31.91	13.94
27	Podpora 27	155.12	36.81	0.47
28	Podpora 28	158.2	14.59	0.47
29	Podpora 29	1008.09	16.61	13.98
30	Podpora 30	680.23	82.25	14.74
31	Podpora 31	640.45	39.80	13.68
32	Podpora 32	955.56	31.52	14.67
33	Podpora 33	667.1	27.88	34.66
34	Podpora 34	686.46	15.40	35.10
35	Podpora 35	1009.83	16.36	14.67
36	Podpora 36	672.04	82.30	13.49
37	Podpora 37	667.16	40.44	20.58
38	Podpora 38	993.92	33.07	20.17
39	Podpora 39	967.37	20.43	16.68
40	Podpora 40	993.84	23.91	16.85
41	Podpora 41	1054.78	17.00	20.63
42	Podpora 42	700.9	84.08	21.09
43	Podpora 43	499.14	40.89	22.02
44	Podpora 44	727.00	35.33	25.21
45	Podpora 45	687.98	19.56	23.58
46	Podpora 46	704.79	25.14	24.35
47	Podpora 47	765.9	18.10	26.46
48	Podpora 48	524.18	82.73	23.45

5. Projekt techniczny

5.1. Płyta stropowa

5.1.1. Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie - kierunek X

$b = 1 \text{ m}$ - szerokość płyty $\phi_{\text{zakładane}} = 16 \text{ mm}$

$$a_{dx} = c_{\text{nom},d} + 0.5 \cdot \phi_{\text{zakładane}} = 30 \text{ mm} + 0.5 \cdot 16 \text{ mm} = 38 \text{ mm}$$

$$d_{dx} = h - a_{dx} = 0.25 \text{ m} - 38 \text{ mm} = 212 \text{ mm}$$

$$a_{gx} = c_{\text{nom}} + 0.5 \cdot \phi_{\text{zakładane}} = 30 \text{ mm} + 0.5 \cdot 16 \text{ mm} = 38 \text{ mm}$$

$$d_{gx} = h - a_{gx} = 0.25 \text{ m} - 38 \text{ mm} = 212 \text{ mm}$$

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

$$A_{s,\text{min},d} = \text{Max} \left[\left(0.26 \cdot \left(\frac{f_{\text{ctm}}}{f_{yk}} \right) \cdot b \cdot d_{dx} \right), \left(0.0013 \cdot b \cdot d_{dx} \right) \right] =$$

$$\text{Max} \left(\left(0.26 \cdot \left(\frac{3.2 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \right) \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm} \right), (0.0013 \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm}) \right) = 3.528 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\min,g} = \text{Max} \left(\left(0.26 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \cdot b \cdot d_{gx} \right), (0.0013 \cdot b \cdot d_{gx}) \right) =$$

$$\text{Max} \left(\left(0.26 \cdot \left(\frac{3.2 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \right) \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm} \right), (0.0013 \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm}) \right) = 3.528 \text{ cm}^2$$

Warunek obliczeniowy:

$$A_s \geq A_{s,\min}$$

Przęsło A-B

$$M_{Ed} = 82.265 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1.0$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dx}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 82.265 \text{ kN m}}{1.0 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (212 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0761$$

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 0.0761 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{eff}}{f_{yd}} = \frac{1.0 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0761}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00438$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dx} = 0.00438 \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm} = 9.278 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,\min,d} = 9.278 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Przęsło B-C

$$M_{Ed} = 64.125 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{\text{eff}} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dx}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 64.125 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (212 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0588$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{\text{eff}} < \xi_{\text{eff,lim}} = 0.0588 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{\text{eff}}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0588}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00338$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dx} = 0.00338 \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm} = 7.168 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,\text{min},d} = 7.168 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Przęsło C-D

$$M_{Ed} = 68.745 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{\text{eff}} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dx}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 68.745 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (212 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0632$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{\text{eff}} < \xi_{\text{eff,lim}} = 0.0632 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{\text{eff}}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0632}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00363$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dx} = 0.00363 \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm} = 7.701 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,\text{min},d} = 7.701 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Przęsło D-E

$$M_{Ed} = 64.831 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dx}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 64.831 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (212 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0595$$

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 0.0595 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{eff}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0595}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00342$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dx} = 0.00342 \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm} = 7.249 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,min,d} = 7.249 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Przęsło E-F

$$M_{Ed} = 81.671 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dx}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 81.671 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (212 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0755$$

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 0.0755 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{eff}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0755}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00434$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dx} = 0.00434 \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm} = 9.208 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,min,d} = 9.208 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Podpora 1

$$M_{Ed} = 133.051 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{gx}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 133.051 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (212 \text{ mm})^2} \right)} = 0.126$$

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 0.126 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{eff}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.126}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00727$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{gx} = 0.00727 \cdot 1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm} = 15.409 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,min,d} = 15.409 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Tabela 9. Zestawienie wyników wymiarowania zbrojenia na zginanie - kierunek X

Lp.	Lokalizacja	M_{Ed}	ξ_{eff} [-]	ρ [%]	A_{s1} [cm ²]
1	Przęsło A-B	82.265 kN*m	0.0761	0.00438	9.278
2	Przęsło B-C	64.125 kN*m	0.0588	0.00338	7.168
3	Przęsło C-D	68.745 kN*m	0.0632	0.00363	7.701
4	Przęsło D-E	64.831 kN*m	0.0595	0.00342	7.249

5	Przęsło E-F	81.671 kN*m	0.0755	0.00434	9.208
6	Podpora 1	133.05 kN*m	0.1264	0.00727	13.592
7	Podpora 2	173.80 kN*m	0.1690	0.00972	18.167
8	Podpora 3	151.27 kN*m	0.1452	0.00835	15.609
9	Podpora 4	151.28 kN*m	0.1452	0.00835	15.610
10	Podpora 5	174.09 kN*m	0.1693	0.00973	18.201
11	Podpora 6	133.06 kN*m	0.1264	0.00727	13.592
12	Podpora 7	153.61 kN*m	0.1476	0.00849	15.871
13	Podpora 8	201.27 kN*m	0.1989	0.01144	21.388
14	Podpora 9	180.55 kN*m	0.1762	0.01013	18.947
15	Podpora 10	180.55 kN*m	0.1762	0.01013	18.947
16	Podpora 11	201.60 kN*m	0.1993	0.01146	21.427
17	Podpora 12	153.88 kN*m	0.1479	0.00850	15.902
18	Podpora 13	146.03 kN*m	0.1397	0.00803	15.025
19	Podpora 14	192.92 kN*m	0.1897	0.01091	20.396
20	Podpora 15	167.60 kN*m	0.1623	0.00933	17.456
21	Podpora 16	167.60 kN*m	0.1623	0.00933	17.456
22	Podpora 17	193.30 kN*m	0.1901	0.01093	20.442
23	Podpora 18	143.03 kN*m	0.1366	0.00786	14.692
24	Podpora 19	146.92 kN*m	0.1406	0.00809	15.123
25	Podpora 20	194.85 kN*m	0.1918	0.01103	20.625
26	Podpora 21	138.42 kN*m	0.1319	0.00758	14.181
27	Podpora 22	138.42 kN*m	0.1319	0.00758	14.181
28	Podpora 23	194.86 kN*m	0.1918	0.01103	20.625
29	Podpora 24	146.92 kN*m	0.1406	0.00809	15.123
30	Podpora 25	143.75 kN*m	0.1374	0.00790	14.771
31	Podpora 26	189.53 kN*m	0.1860	0.01069	19.997
32	Podpora 27	122.40 kN*m	0.1156	0.00665	12.432
33	Podpora 28	125.03 kN*m	0.1183	0.00680	12.717
34	Podpora 29	194.23 kN*m	0.1911	0.01099	20.551
35	Podpora 30	146.63 kN*m	0.1404	0.00807	15.091
36	Podpora 31	138.89 kN*m	0.1324	0.00761	14.233
37	Podpora 32	182.70 kN*m	0.1785	0.01027	19.197
38	Podpora 33	140.43 kN*m	0.1340	0.00770	14.404
39	Podpora 34	143.77 kN*m	0.1374	0.00790	14.774
40	Podpora 35	193.24 kN*m	0.1900	0.01093	20.434
41	Podpora 36	145.78 kN*m	0.1395	0.00802	14.997
42	Podpora 37	145.68 kN*m	0.1394	0.00801	14.986
43	Podpora 38	190.39 kN*m	0.1869	0.01075	20.098
44	Podpora 39	172.70 kN*m	0.1678	0.00965	18.040
45	Podpora 40	175.84 kN*m	0.1711	0.00984	18.402
46	Podpora 41	202.09 kN*m	0.1998	0.01149	21.486

47	Podpora 42	153.08 kN*m	0.1471	0.00846	15.812
48	Podpora 43	125.78 kN*m	0.1190	0.00684	12.798
49	Podpora 44	164.04 kN*m	0.1586	0.00912	17.049
50	Podpora 45	143.28 kN*m	0.1369	0.00787	14.719
51	Podpora 46	143.52 kN*m	0.1371	0.00789	14.746
52	Podpora 47	173.89 kN*m	0.1691	0.00972	18.178
53	Podpora 48	132.64 kN*m	0.1260	0.00724	13.547

5.1.2. Wymiarowanie zbrojenia ze względu na zginanie - kierunek Y

$b_l = 1 \text{ m}$ - szerokość płyty $\phi_{\text{zakładane}l} = 16 \text{ mm}$

$$a_{dy} = c_{\text{nom},d} + 0.5 \cdot \phi_{\text{zakładane}l} = 30 \text{ mm} + 0.5 \cdot 16 \text{ mm} = 38 \text{ mm}$$

$$d_{dy} = h - a_{dy} - 16 \text{ mm} = 0.25 \text{ m} - 38 \text{ mm} - 16 \text{ mm} = 196 \text{ mm}$$

$$a_{gy} = c_{\text{nom}} + 0.5 \cdot \phi_{\text{zakładane}l} = 30 \text{ mm} + 0.5 \cdot 16 \text{ mm} = 38 \text{ mm}$$

$$d_{gy} = h - a_{gy} - 16 \text{ mm} = 0.25 \text{ m} - 38 \text{ mm} - 16 \text{ mm} = 196 \text{ mm}$$

$f_{ctm1} = 3.2 \text{ MPa}$ - średnia wytrzymałość betonu na rozciąganie

$$A_{s,\min,d} = \text{Max} \left(\left(0.26 \cdot \left(\frac{f_{ctm1}}{f_{yk}} \right) \cdot b_l \cdot d_{dy} \right), \left(0.0013 \cdot b_l \cdot d_{dy} \right) \right) =$$

$$\text{Max} \left(\left(0.26 \cdot \left(\frac{3.2 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \right) \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} \right), \left(0.0013 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} \right) \right) = 3.261 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\min,g} = \text{Max} \left(\left(0.26 \cdot \left(\frac{f_{ctm1}}{f_{yk}} \right) \cdot b_l \cdot d_{gy} \right), \left(0.0013 \cdot b_l \cdot d_{gy} \right) \right) =$$

$$\text{Max} \left(\left(0.26 \cdot \left(\frac{3.2 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \right) \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} \right), \left(0.0013 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} \right) \right) = 3.261 \text{ cm}^2$$

Warunek obliczeniowy:

$$A_s \geq A_{s,\min}$$

Przęsło 1-2

$$M_{Ed} = 57.756 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{\text{eff}} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dy}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 57.756 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (196 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0621$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{\text{eff}} < \xi_{\text{eff,lim}} = 0.0621 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{\text{eff}}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0621}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00357$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dy} = 0.00357 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} = 6.995 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,\text{min},d} = 6.995 \text{ cm}^2 > 3.261 \text{ cm}^2$$

Przęsło 2-3

$$M_{Ed} = 49.653 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{\text{eff}} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dy}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 49.653 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (196 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0531$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{\text{eff}} < \xi_{\text{eff,lim}} = 0.0531 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{\text{eff}}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0531}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00305$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dy} = 0.00305 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} = 5.986 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,\text{min},d} = 5.986 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Przęsło 3-4

$$M_{Ed} = 51.711 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dy}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 51.711 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (196 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0554$$

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 0.0554 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{eff}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0554}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00318$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dy} = 0.00318 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} = 6.241 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,min,d} = 6.241 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Przęsło 4-5

$$M_{Ed} = 51.589 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dy}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 51.589 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (196 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0552$$

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 0.0552 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{eff}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0552}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00318$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dy} = 0.00318 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} = 6.226 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,min,d} = 6.226 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Przęsło 5-6

$$M_{Ed} = 51.549 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{dy}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 51.549 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (196 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0552$$

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 0.0552 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{eff}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0552}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00317$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{dy} = 0.00317 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} = 6.221 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,min,d} = 6.221 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Przęsło 6-7

$$M_{Ed} = 49.893 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{\text{eff}} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{\text{Ed}}}{\eta \cdot f_{\text{cd}} \cdot b \cdot d_{\text{dy}}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 49.893 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (196 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0534$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{\text{cu3}}}{\varepsilon_{\text{cu3}} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{\text{eff}} < \xi_{\text{eff,lim}} = 0.0534 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{\text{cd}} \cdot \xi_{\text{eff}}}{f_{\text{yd}}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0534}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00307$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{\text{dy}} = 0.00307 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} = 6.015 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,\text{min},d} = 6.015 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Przęsło 7-8

$$M_{\text{Ed}} = 59.836 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{\text{cu3}} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{\text{eff}} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{\text{Ed}}}{\eta \cdot f_{\text{cd}} \cdot b \cdot d_{\text{dy}}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 59.836 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (196 \text{ mm})^2} \right)} = 0.0644$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{\text{cu3}}}{\varepsilon_{\text{cu3}} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{\text{eff}} < \xi_{\text{eff,lim}} = 0.0644 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{\text{cd}} \cdot \xi_{\text{eff}}}{f_{\text{yd}}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.0644}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00370$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{\text{dy}} = 0.00370 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} = 7.255 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,\text{min},d} = 7.255 \text{ cm}^2 > 3.528 \text{ cm}^2$$

Podpora 1

$$M_{Ed} = 112.695 \text{ kN m}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5 \text{ ‰}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_{gy}^2} \right)} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 112.695 \text{ kN m}}{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot (196 \text{ mm})^2} \right)} = 0.125$$

$$\xi_{eff,lim} = \lambda \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_s} \right) = 0.8 \cdot \left(\frac{3.5 \text{ ‰}}{3.5 \text{ ‰} + 0.00217} \right) = 0.4935$$

$$\xi_{eff} < \xi_{eff,lim} = 0.125 < 0.4935$$

$$\rho = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi_{eff}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 25 \text{ MPa} \cdot 0.125}{434.783 \text{ MPa}} = 0.00720$$

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d_{gy} = 0.00720 \cdot 1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm} = 14.107 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s,min,g} = 14.107 \text{ cm}^2 > 3.261 \text{ cm}^2$$

Tabela 10. Zestawienie wyników wymiarowania zbrojenia na zginanie - kierunek Y

Lp.	Lokalizacja	M_{Ed}	ξ_{eff} [-]	ρ [%]	A_{s1} [cm ²]
1	Przęsło 1-2	57.756 kN*m	0.0621	0.00357	6.995
2	Przęsło 2-3	49.653 kN*m	0.0531	0.00305	5.986
3	Przęsło 3-4	51.711 kN*m	0.0554	0.00318	6.241
4	Przęsło 4-5	51.589 kN*m	0.0552	0.00318	6.226
5	Przęsło 5-6	51.549 kN*m	0.0552	0.00317	6.221
6	Przęsło 6-7	49.893 kN*m	0.0534	0.00307	6.015
7	Przęsło 7-8	59.836 kN*m	0.0644	0.00370	7.255
8	Podpora 1	112.70 kN*m	0.1252	0.00720	12.308
9	Podpora 2	141.83 kN*m	0.1606	0.00923	15.788
10	Podpora 3	131.29 kN*m	0.1476	0.00849	14.512
11	Podpora 4	133.28 kN*m	0.1500	0.00863	14.752
12	Podpora 5	144.53 kN*m	0.1639	0.00943	16.118

13	Podpora 6	112.74 kN*m	0.1252	0.00720	12.313
14	Podpora 7	141.33 kN*m	0.1600	0.00920	15.728
15	Podpora 8	181.54 kN*m	0.2114	0.01215	20.782
16	Podpora 9	171.58 kN*m	0.1983	0.01140	19.499
17	Podpora 10	171.58 kN*m	0.1983	0.01140	19.499
18	Podpora 11	183.18 kN*m	0.2135	0.01228	20.996
19	Podpora 12	141.33 kN*m	0.1600	0.00920	15.728
20	Podpora 13	122.76 kN*m	0.1372	0.00789	13.493
21	Podpora 14	168.32 kN*m	0.1941	0.01116	19.085
22	Podpora 15	153.09 kN*m	0.1747	0.01004	17.173
23	Podpora 16	153.09 kN*m	0.1747	0.01004	17.173
24	Podpora 17	168.76 kN*m	0.1947	0.01119	19.140
25	Podpora 18	122.89 kN*m	0.1374	0.00790	13.509
26	Podpora 19	124.25 kN*m	0.1390	0.00799	13.670
27	Podpora 20	170.51 kN*m	0.1969	0.01132	19.363
28	Podpora 21	120.70 kN*m	0.1348	0.00775	13.250
29	Podpora 22	119.62 kN*m	0.1335	0.00767	13.122
30	Podpora 23	170.51 kN*m	0.1969	0.01132	19.363
31	Podpora 24	124.25 kN*m	0.1390	0.00799	13.670
32	Podpora 25	123.60 kN*m	0.1383	0.00795	13.594
33	Podpora 26	165.00 kN*m	0.1898	0.01091	18.664
34	Podpora 27	37.464 kN*m	0.0398	0.00229	3.913
35	Podpora 28	38.499 kN*m	0.0409	0.00235	4.024
36	Podpora 29	168.40 kN*m	0.1942	0.01117	19.095
37	Podpora 30	124.22 kN*m	0.1390	0.00799	13.667
38	Podpora 31	117.25 kN*m	0.1306	0.00751	12.843
39	Podpora 32	158.06 kN*m	0.1809	0.01040	17.791
40	Podpora 33	129.13 kN*m	0.1450	0.00834	14.253
41	Podpora 34	132.47 kN*m	0.1490	0.00857	14.654
42	Podpora 35	167.28 kN*m	0.1928	0.01108	18.953
43	Podpora 36	123.42 kN*m	0.1380	0.00794	13.573
44	Podpora 37	133.24 kN*m	0.1500	0.00862	14.746
45	Podpora 38	171.44 kN*m	0.1981	0.01139	19.482
46	Podpora 39	163.73 kN*m	0.1882	0.01082	18.504
47	Podpora 40	168.26 kN*m	0.1940	0.01116	19.077
48	Podpora 41	182.06 kN*m	0.2121	0.01219	20.850
49	Podpora 42	140.59 kN*m	0.1590	0.00914	15.637
50	Podpora 43	110.25 kN*m	0.1223	0.00703	12.023
51	Podpora 44	135.07 kN*m	0.1522	0.00875	14.968
52	Podpora 45	126.49 kN*m	0.1418	0.00815	13.938
53	Podpora 46	129.73 kN*m	0.1457	0.00838	14.325
54	Podpora 47	142.76 kN*m	0.1617	0.00930	15.902

55	Podpora 48	116.49 kN*m	0.1297	0.00746	12.753
----	------------	-------------	--------	---------	--------

5.1.3. Wymiarowanie zbrojenia ze względu na skurcz - kierunek X

Obliczam pole przekroju zbrojenia minimalnego ze względu na skurcz na podstawie punktu 7.3.2.

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

Pole przekroju strefy rozciąganej betonu tuż przed pojawieniem się zarysowania.

$$A_{ct} = b_f \cdot (h_f - \xi_{eff} \cdot d_x)$$

Współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych, samo równoważących się naprężeń.

$$k = 1$$

Współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w przekroju w chwili bezpośrednio poprzedzającej zarysowanie przy rozciąganiu.

$$k_c = 0.4$$

Wartość $f_{ct,eff}$ jest średnią wartością wytrzymałości betonu na rozciąganie w chwili powstania rys.

$$f_{ct,eff} = 0.5 \cdot f_{ctm} = 0.5 \cdot 3.2 \text{ MPa} = 1.6 \text{ MPa}$$

Zakładam pełne wykorzystanie zbrojenia $\sigma_s = f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Przęsło A-B

$$A_{ct} = b \cdot (h - D2 \cdot d_{dx}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0761 \cdot 212 \text{ mm}) = 2338.642 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2338.642 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 2.993 \text{ cm}^2$$

Przęsło B-C

$$A_{ct} = b \cdot (h - D3 \cdot d_{dx}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0588 \cdot 212 \text{ mm}) = 2375.345 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2375.345 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.040 \text{ cm}^2$$

Przęsło C-D

$$A_{ct} = b \cdot (h - D4 \cdot d_{dx}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0632 \cdot 212 \text{ mm}) = 2366.061 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2366.061 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.029 \text{ cm}^2$$

Przęsło D-E

$$A_{ct} = b \cdot (h - D5 \cdot d_{dx}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0595 \cdot 212 \text{ mm}) = 2373.929 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2373.929 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.039 \text{ cm}^2$$

Przęsło E-F

$$A_{ct} = b \cdot (h - D6 \cdot d_{dx}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0755 \cdot 212 \text{ mm}) = 2339.855 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2339.855 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 2.995 \text{ cm}^2$$

Podpora 1

$$A_{ct1} = b \cdot (h - D7 \cdot d_{gx}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.126 \cdot 212 \text{ mm}) = 2232.024 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min1} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct1}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2232.024 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 2.857 \text{ cm}^2$$

Tabela 11. Zestawienie wyników wymiarowania zbrojenia na skurcz - kierunek X

Lp.	Lokalizacja	ξ_{eff} [-]	A_{ct} [cm ²]	$A_{s,min}$ [cm ²]
1	Przęsło A-B	0.0761	2338.642	2.993
2	Przęsło B-C	0.0588	2375.345	3.040
3	Przęsło C-D	0.0632	2366.061	3.029
4	Przęsło D-E	0.0595	2373.929	3.039
5	Przęsło E-F	0.0755	2339.855	2.995
6	Podpora 1	0.1264	2263.625	2.897
7	Podpora 2	0.1690	2184.050	2.796
8	Podpora 3	0.1452	2228.545	2.853
9	Podpora 4	0.1452	2228.527	2.853
10	Podpora 5	0.1693	2183.469	2.795
11	Podpora 6	0.1264	2263.615	2.897
12	Podpora 7	0.1476	2223.975	2.847
13	Podpora 8	0.1989	2128.042	2.724
14	Podpora 9	0.1762	2170.479	2.778
15	Podpora 10	0.1762	2170.479	2.778
16	Podpora 11	0.1993	2127.356	2.723
17	Podpora 12	0.1479	2223.445	2.846
18	Podpora 13	0.1397	2238.701	2.866
19	Podpora 14	0.1897	2145.286	2.746
20	Podpora 15	0.1623	2196.415	2.811
21	Podpora 16	0.1623	2196.415	2.811
22	Podpora 17	0.1901	2144.493	2.745

23	Podpora 18	0.1366	2244.494	2.873
24	Podpora 19	0.1406	2236.991	2.863
25	Podpora 20	0.1918	2141.306	2.741
26	Podpora 21	0.1319	2253.368	2.884
27	Podpora 22	0.1319	2253.368	2.884
28	Podpora 23	0.1918	2141.298	2.741
29	Podpora 24	0.1406	2236.991	2.863
30	Podpora 25	0.1374	2243.121	2.871
31	Podpora 26	0.1860	2152.234	2.755
32	Podpora 27	0.1156	2283.786	2.923
33	Podpora 28	0.1183	2278.840	2.917
34	Podpora 29	0.1911	2142.586	2.743
35	Podpora 30	0.1404	2237.545	2.864
36	Podpora 31	0.1324	2252.463	2.883
37	Podpora 32	0.1785	2166.131	2.773
38	Podpora 33	0.1340	2249.504	2.879
39	Podpora 34	0.1374	2243.069	2.871
40	Podpora 35	0.1900	2144.618	2.745
41	Podpora 36	0.1395	2239.186	2.866
42	Podpora 37	0.1394	2239.380	2.866
43	Podpora 38	0.1869	2150.471	2.753
44	Podpora 39	0.1678	2186.253	2.798
45	Podpora 40	0.1711	2179.967	2.790
46	Podpora 41	0.1998	2126.337	2.722
47	Podpora 42	0.1471	2225.005	2.848
48	Podpora 43	0.1190	2277.422	2.915
49	Podpora 44	0.1586	2203.488	2.820
50	Podpora 45	0.1369	2244.014	2.872
51	Podpora 46	0.1371	2243.551	2.872
52	Podpora 47	0.1691	2183.868	2.795
53	Podpora 48	0.1260	2264.408	2.898

5.1.4. Wymiarowanie zbrojenia ze względu na skurcz - kierunek Y

Obliczam pole przekroju zbrojenia minimalnego ze względu na skurcz na podstawie punktu 7.3.2.

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

Pole przekroju strefy rozciąganej betonu tuż przed pojawieniem się zarysowania.

$$A_{ct} = b_f \cdot (h_f - \xi_{eff} \cdot d_x)$$

Współczynnik zależny od wpływu nierównomiernych, samo równoważących się naprężeń.

$$k = 1$$

Współczynnik zależny od rozkładu naprężeń w przekroju w chwili bezpośrednio

poprzedzając zarysowanie przy rozciąganiu.

$$k_c = 0.4$$

Wartość $f_{ct,eff}$ jest średnią wartością wytrzymałości betonu na rozciąganie w chwili powstania rys.

$$f_{ct,eff} = 0.5 \cdot f_{ctm} = 0.5 \cdot 3.2 \text{ MPa} = 1.6 \text{ MPa}$$

Zakładam pełne wykorzystanie zbrojenia $\sigma_s = f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Przęsło 1-2

$$A_{ct} = b \cdot (h - D2 \cdot d_{dy}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0621 \cdot 196 \text{ mm}) = 2378.356 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2378.356 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.044 \text{ cm}^2$$

Przęsło 2-3

$$A_{ct} = b \cdot (h - D3 \cdot d_{dy}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0531 \cdot 196 \text{ mm}) = 2395.903 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min1} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2395.903 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.067 \text{ cm}^2$$

Przęsło 3-4

$$A_{ct} = b \cdot (h - D4 \cdot d_{dy}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0554 \cdot 196 \text{ mm}) = 2391.462 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min1} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2391.462 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.061 \text{ cm}^2$$

Przęsło 4-5

$$A_{ct} = b \cdot (h - D5 \cdot d_{dy}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0552 \cdot 196 \text{ mm}) = 2391.726 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min1} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2391.726 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.061 \text{ cm}^2$$

Przęsło 5-6

$$A_{ct} = b \cdot (h - D6 \cdot d_{dy}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0552 \cdot 196 \text{ mm}) = 2391.812 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min1} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2391.812 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.062 \text{ cm}^2$$

Przęsło 6-7

$$A_{ct} = b \cdot (h - D7 \cdot d_{dy}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0534 \cdot 196 \text{ mm}) = 2395.386 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min1} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2395.386 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.066 \text{ cm}^2$$

Przęsło 7-8

$$A_{ct} = b \cdot (h - D8 \cdot d_{dy}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.0644 \cdot 196 \text{ mm}) = 2373.824 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min1} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2373.824 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 3.038 \text{ cm}^2$$

Podpora 1

$$A_{ct} = b \cdot (h - D9 \cdot d_{gy}) = 1 \text{ m} \cdot (0.25 \text{ m} - 0.125 \cdot 196 \text{ mm}) = 2254.654 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min1} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.6 \text{ MPa} \cdot 2254.654 \text{ cm}^2}{500 \text{ MPa}} = 2.886 \text{ cm}^2$$

Tabela 12. Zestawienie wyników wymiarowania zbrojenia na skurcz - kierunek Y

Lp.	Lokalizacja	ξ_{eff} [-]	A_{ct} [cm ²]	$A_{s,min}$ [cm ²]
1	Przęsło 1-2	0.0621	2378.356	3.044
2	Przęsło 2-3	0.0531	2395.903	3.067
3	Przęsło 3-4	0.0554	2391.462	3.061
4	Przęsło 4-5	0.0552	2391.726	3.061
5	Przęsło 5-6	0.0552	2391.812	3.062
6	Przęsło 6-7	0.0534	2395.386	3.066
7	Przęsło 7-8	0.0644	2373.824	3.038
8	Podpora 1	0.1252	2285.949	2.926
9	Podpora 2	0.1606	2225.418	2.849
10	Podpora 3	0.1476	2247.613	2.877
11	Podpora 4	0.1500	2243.442	2.872
12	Podpora 5	0.1639	2219.690	2.841
13	Podpora 6	0.1252	2285.865	2.926
14	Podpora 7	0.1600	2226.478	2.850
15	Podpora 8	0.2114	2138.566	2.737
16	Podpora 9	0.1983	2160.881	2.766
17	Podpora 10	0.1983	2160.881	2.766
18	Podpora 11	0.2135	2134.858	2.733
19	Podpora 12	0.1600	2226.478	2.850
20	Podpora 13	0.1372	2265.332	2.900

21	Podpora 14	0.1941	2168.092	2.775
22	Podpora 15	0.1747	2201.347	2.818
23	Podpora 16	0.1747	2201.347	2.818
24	Podpora 17	0.1947	2167.126	2.774
25	Podpora 18	0.1374	2265.057	2.899
26	Podpora 19	0.1390	2262.253	2.896
27	Podpora 20	0.1969	2163.254	2.769
28	Podpora 21	0.1348	2269.560	2.905
29	Podpora 22	0.1335	2271.783	2.908
30	Podpora 23	0.1969	2163.254	2.769
31	Podpora 24	0.1390	2262.253	2.896
32	Podpora 25	0.1383	2263.578	2.897
33	Podpora 26	0.1898	2175.405	2.785
34	Podpora 27	0.0398	2431.941	3.113
35	Podpora 28	0.0409	2430.020	3.110
36	Podpora 29	0.1942	2167.913	2.775
37	Podpora 30	0.1390	2262.315	2.896
38	Podpora 31	0.1306	2276.649	2.914
39	Podpora 32	0.1809	2190.585	2.804
40	Podpora 33	0.1450	2252.114	2.883
41	Podpora 34	0.1490	2245.140	2.874
42	Podpora 35	0.1928	2170.387	2.778
43	Podpora 36	0.1380	2263.954	2.898
44	Podpora 37	0.1500	2243.543	2.872
45	Podpora 38	0.1981	2161.190	2.766
46	Podpora 39	0.1882	2178.191	2.788
47	Podpora 40	0.1940	2168.220	2.775
48	Podpora 41	0.2121	2137.391	2.736
49	Podpora 42	0.1590	2228.052	2.852
50	Podpora 43	0.1223	2290.912	2.932
51	Podpora 44	0.1522	2239.692	2.867
52	Podpora 45	0.1418	2257.603	2.890
53	Podpora 46	0.1457	2250.862	2.881
54	Podpora 47	0.1617	2223.448	2.846
55	Podpora 48	0.1297	2278.207	2.916

5.1.5. Wymiarowanie zbrojenia w płycie

Dobieram ostateczne wymiary zbrojenia płyty na podstawie wymiarowania na zginanie i skurcz.

Tabela 13. Zestawienie wyników wymiarowania zbrojenia - kierunek X

Lp.	Lokalizacja	Pole zbrojenia na zginanie [cm ²]	Pole zbrojenia na skurcz [cm ²]	Suma zbrojenia [cm ²]	Przyjęte średnica prętów [mm]	Rozstaw prętów [mm]	Przyjęte zbrojenie [cm ²]
Zbrojenie dolne							
1	Przęsło A-B	9.2781	2.993	12.272	16	160	12.57
2	Przęsło B-C	7.1677	3.040	10.208	16	160	12.57
3	Przęsło C-D	7.7015	3.029	10.730	16	160	12.57
4	Przęsło D-E	7.2491	3.039	10.288	16	160	12.57
5	Przęsło E-F	9.2083	2.995	12.203	16	160	12.57
Zbrojenie górne							
6	Podpora 1	13.5916	2.897	16.489	20	100	31.42
7	Podpora 2	18.1671	2.796	20.963	20	100	31.42
8	Podpora 3	15.6087	2.853	18.461	20	100	31.42
9	Podpora 4	15.6097	2.853	18.462	20	100	31.42
10	Podpora 5	18.2005	2.795	20.995	20	100	31.42
11	Podpora 6	13.5921	2.897	16.490	20	100	31.42
12	Podpora 7	15.8715	2.847	18.718	20	100	31.42
13	Podpora 8	21.3876	2.724	24.112	20	100	31.42
14	Podpora 9	18.9475	2.778	21.726	20	100	31.42
15	Podpora 10	18.9475	2.778	21.726	20	100	31.42
16	Podpora 11	21.4270	2.723	24.150	20	100	31.42
17	Podpora 12	15.9019	2.846	18.748	20	100	31.42
18	Podpora 13	15.0247	2.866	17.890	20	100	31.42
19	Podpora 14	20.3961	2.746	23.142	20	100	31.42
20	Podpora 15	17.4561	2.811	20.268	20	100	31.42
21	Podpora 16	17.4561	2.811	20.268	20	100	31.42
22	Podpora 17	20.4417	2.745	23.187	20	100	31.42
23	Podpora 18	14.6916	2.873	17.565	20	100	31.42
24	Podpora 19	15.1230	2.863	17.986	20	100	31.42
25	Podpora 20	20.6249	2.741	23.366	20	100	31.42
26	Podpora 21	14.1814	2.884	17.066	20	100	31.42
27	Podpora 22	14.1814	2.884	17.066	20	100	31.42
28	Podpora 23	20.6254	2.741	23.366	20	100	31.42
29	Podpora 24	15.1230	2.863	17.986	20	100	31.42
30	Podpora 25	14.7705	2.871	17.642	20	100	31.42
31	Podpora 26	19.9965	2.755	22.751	20	100	31.42
32	Podpora 27	12.4323	2.923	15.356	20	100	31.42
33	Podpora 28	12.7167	2.917	15.634	20	100	31.42
34	Podpora 29	20.5513	2.743	23.294	20	100	31.42
35	Podpora 30	15.0911	2.864	17.955	20	100	31.42

36	Podpora 31	14.2334	2.883	17.117	20	100	31.42
37	Podpora 32	19.1975	2.773	21.970	20	100	31.42
38	Podpora 33	14.4035	2.879	17.283	20	100	31.42
39	Podpora 34	14.7735	2.871	17.645	20	100	31.42
40	Podpora 35	20.4345	2.745	23.180	20	100	31.42
41	Podpora 36	14.9968	2.866	17.863	20	100	31.42
42	Podpora 37	14.9857	2.866	17.852	20	100	31.42
43	Podpora 38	20.0979	2.753	22.851	20	100	31.42
44	Podpora 39	18.0404	2.798	20.839	20	100	31.42
45	Podpora 40	18.4019	2.790	21.192	20	100	31.42
46	Podpora 41	21.4856	2.722	24.207	20	100	31.42
47	Podpora 42	15.8122	2.848	18.660	20	100	31.42
48	Podpora 43	12.7982	2.915	15.713	20	100	31.42
49	Podpora 44	17.0494	2.820	19.870	20	100	31.42
50	Podpora 45	14.7192	2.872	17.592	20	100	31.42
51	Podpora 46	14.7458	2.872	17.618	20	100	31.42
52	Podpora 47	18.1776	2.795	20.973	20	100	31.42
53	Podpora 48	13.5466	2.898	16.445	20	100	31.42

Tabela 14. Zestawienie wyników wymiarowania zbrojenia - kierunek Y

Lp.	Lokalizacja	Pole zbrojenia na zginanie [cm ²]	Pole zbrojenia na skurcz [cm ²]	Suma zbrojenia [cm ²]	Przyjęte średnica prętów [mm]	Rozstaw prętów [mm]	Przyjęte zbrojenie [cm ²]
Zbrojenie dolne							
1	Przęsło 1-2	6.9945	3.044	10.039	16	190	10.58
2	Przęsło 2-3	5.9856	3.067	9.052	16	190	10.58
3	Przęsło 3-4	6.2409	3.061	9.302	16	190	10.58
4	Przęsło 4-5	6.2258	3.061	9.287	16	190	10.58
5	Przęsło 5-6	6.2208	3.062	9.282	16	190	10.58
6	Przęsło 6-7	6.0153	3.066	9.081	16	190	10.58
7	Przęsło 7-8	7.2551	3.038	10.294	16	190	10.58
Zbrojenie górne							
8	Podpora 1	12.308	2.926	15.234	25	150	32.73
9	Podpora 2	15.788	2.849	18.637	25	150	32.73
10	Podpora 3	14.512	2.877	17.389	25	150	32.73
11	Podpora 4	14.752	2.872	17.624	25	150	32.73
12	Podpora 5	16.118	2.841	18.959	25	150	32.73
13	Podpora 6	12.313	2.926	15.239	25	150	32.73

14	Podpora 7	15.728	2.850	18.577	25	150	32.73
15	Podpora 8	20.782	2.737	23.520	25	150	32.73
16	Podpora 9	19.499	2.766	22.265	25	150	32.73
17	Podpora 10	19.499	2.766	22.265	25	150	32.73
18	Podpora 11	20.996	2.733	23.728	25	150	32.73
19	Podpora 12	15.728	2.850	18.577	25	150	32.73
20	Podpora 13	13.493	2.900	16.393	25	150	32.73
21	Podpora 14	19.085	2.775	21.860	25	150	32.73
22	Podpora 15	17.173	2.818	19.990	25	150	32.73
23	Podpora 16	17.173	2.818	19.990	25	150	32.73
24	Podpora 17	19.140	2.774	21.914	25	150	32.73
25	Podpora 18	13.509	2.899	16.408	25	150	32.73
26	Podpora 19	13.670	2.896	16.566	25	150	32.73
27	Podpora 20	19.363	2.769	22.132	25	150	32.73
28	Podpora 21	13.250	2.905	16.155	25	150	32.73
29	Podpora 22	13.122	2.908	16.030	25	150	32.73
30	Podpora 23	19.363	2.769	22.132	25	150	32.73
31	Podpora 24	13.670	2.896	16.566	25	150	32.73
32	Podpora 25	13.594	2.897	16.492	25	150	32.73
33	Podpora 26	18.664	2.785	21.449	25	150	32.73
34	Podpora 27	3.913	3.113	7.026	25	150	32.73
35	Podpora 28	4.024	3.110	7.134	25	150	32.73
36	Podpora 29	19.095	2.775	21.870	25	150	32.73
37	Podpora 30	13.667	2.896	16.563	25	150	32.73
38	Podpora 31	12.843	2.914	15.757	25	150	32.73
39	Podpora 32	17.791	2.804	20.595	25	150	32.73
40	Podpora 33	14.253	2.883	17.136	25	150	32.73
41	Podpora 34	14.654	2.874	17.528	25	150	32.73
42	Podpora 35	18.953	2.778	21.731	25	150	32.73
43	Podpora 36	13.573	2.898	16.470	25	150	32.73
44	Podpora 37	14.746	2.872	17.618	25	150	32.73
45	Podpora 38	19.482	2.766	22.248	25	150	32.73
46	Podpora 39	18.504	2.788	21.292	25	150	32.73
47	Podpora 40	19.077	2.775	21.853	25	150	32.73
48	Podpora 41	20.850	2.736	23.586	25	150	32.73
49	Podpora 42	15.637	2.852	18.489	25	150	32.73
50	Podpora 43	12.023	2.932	14.955	25	150	32.73
51	Podpora 44	14.968	2.867	17.835	25	150	32.73
52	Podpora 45	13.938	2.890	16.828	25	150	32.73
53	Podpora 46	14.325	2.881	17.207	25	150	32.73
54	Podpora 47	15.902	2.846	18.748	25	150	32.73
55	Podpora 48	12.753	2.916	15.669	25	150	32.73

5.1.6. Minimalny rozstaw prętów

$$d_k = 16 \text{ mm} \quad \phi = 20 \text{ mm}$$

$$s = \text{Max}\left(\phi, 20 \text{ mm}, (d_k + 5 \text{ mm})\right) = \text{Max}(20 \text{ mm}, 20 \text{ mm}, (16 \text{ mm} + 5 \text{ mm})) = 21 \text{ mm}$$

Przyjmuję minimalny rozstaw prętów 21 mm □

5.1.7. Obliczeniowa długość zakotwienia

Na podstawie punktu 8.4.3 obliczam podstawową, wymaganą długość zakotwienia prętów.

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

Obliczam długość zakotwienia dla prętów na kierunku X z najmniejszą różnicą między zbrojeniem zastosowanym, a wymaganym.

Zbrojenie dolne

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

$$A_{s,req} = 12.272 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,prov} = 12.57 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s,req}}{A_{s,prov}} = \frac{434.783 \text{ MPa} \cdot 12.272 \text{ cm}^2}{12.57 \text{ cm}^2} = 424.475 \text{ MPa}$$

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

$$\alpha_{ct} = 1.0$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = \frac{1.0 \cdot 2.2 \text{ MPa}}{1.5} = 1.467 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 1 - \text{dobre warunki przyczepności}$$

$$\eta_2 = 1 - \text{ponieważ } \phi \leq 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.467 \text{ MPa} = 3.3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}\right) = \left(\frac{16 \text{ mm}}{4}\right) \cdot \left(\frac{424.475 \text{ MPa}}{3.3 \text{ MPa}}\right) = 514.515 \text{ mm}$$

Obliczeniowa długość zakotwienia

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 514.515 \text{ mm} = 514.515 \text{ mm}$$

$$\text{Zakładam } \alpha_1 = 1 \quad \alpha_2 = 1 \quad \alpha_3 = 1 \quad \alpha_4 = 1 \quad \alpha_5 = 1$$

Przyjmuję zakład równy 520 mm

Zbrojenie górne

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

$$A_{s,req} = 31.242 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,prov} = 31.42 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s,req}}{A_{s,prov}} = \frac{434.783 \text{ MPa} \cdot 31.242 \text{ cm}^2}{31.42 \text{ cm}^2} = 432.319 \text{ MPa}$$

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

$$\alpha_{ct} = 1$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2.2 \text{ MPa}}{1.5} = 1.467 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 1 - \text{dobre warunki przyczepności}$$

$$\eta_2 = 1 - \text{ponieważ } \phi \leq 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.467 \text{ MPa} = 3.3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) = \left(\frac{20 \text{ mm}}{4} \right) \cdot \left(\frac{432.319 \text{ MPa}}{3.3 \text{ MPa}} \right) = 655.030 \text{ mm}$$

Obliczeniowa długość zakotwienia

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 655.030 \text{ mm} = 655.030 \text{ mm}$$

$$\text{Zakładam } \alpha_1 = 1 \quad \alpha_2 = 1 \quad \alpha_3 = 1 \quad \alpha_4 = 1 \quad \alpha_5 = 1$$

Przyjmuję zakład równy 660 mm

Obliczam długość zakotwienia dla prętów na kierunku Y z najmniejszą różnicą między zbrojeniem zastosowanym, a wymaganym.

Zbrojenie dolne

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

$$A_{s,req} = 10.294 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,prov} = 10.58 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s,req}}{A_{s,prov}} = \frac{434.783 \text{ MPa} \cdot 10.294 \text{ cm}^2}{10.58 \text{ cm}^2} = 423.030 \text{ MPa}$$

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

$$\alpha_{ct} = 1$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2.2 \text{ MPa}}{1.5} = 1.467 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 1 - \text{dobre warunki przyczepności}$$

$\eta_2 = 1$ - ponieważ $\phi \leq 32$ mm

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.467 \text{ MPa} = 3.3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) = \left(\frac{16 \text{ mm}}{4} \right) \cdot \left(\frac{423.030 \text{ MPa}}{3.3 \text{ MPa}} \right) = 512.763 \text{ mm}$$

Obliczeniowa długość zakotwienia

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 512.763 \text{ mm} = 512.763 \text{ mm}$$

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

Przyjmuję zakład równy 520 mm

Zbrojenie górne

$$\phi = 25 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = 31.437 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,prov} = 32.73 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s,req}}{A_{s,prov}} = \frac{434.783 \text{ MPa} \cdot 31.437 \text{ cm}^2}{32.73 \text{ cm}^2} = 417.607 \text{ MPa}$$

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

$$\alpha_{ct} = 1$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2.2 \text{ MPa}}{1.5} = 1.467 \text{ MPa}$$

$\eta_1 = 1$ - dobre warunki przyczepności

$\eta_2 = 1$ - ponieważ $\phi \leq 32$ mm

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.467 \text{ MPa} = 3.3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) = \left(\frac{25 \text{ mm}}{4} \right) \cdot \left(\frac{417.607 \text{ MPa}}{3.3 \text{ MPa}} \right) = 790.921 \text{ mm}$$

Obliczeniowa długość zakotwienia

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 790.921 \text{ mm} = 790.921 \text{ mm}$$

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

Przyjmuję zakład równy 800 mm

5.1.8. Obliczeniowa długość zakładu

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$$

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

Zakładam 50% udziału prętów połączonych na zakład w całym polu przekroju zbrojenia,

dlatego $\alpha_6 = 1.4$.

Obliczam długość zakładu na kierunku X.

Zbrojenie dolne

$$l_1 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 514.515 \text{ mm} = 720.321 \text{ mm}$$

Minimalna długość zakładu

$$l_{0,min} = \text{Max}(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}, 15 \cdot \phi, 200 \text{ mm}) = \\ \text{Max}(0.3 \cdot 1.4 \cdot 514.515 \text{ mm}, 15 \cdot 16 \text{ mm}, 200 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Przyjmuję zakład równy 730 mm

Zbrojenie górne

$$l_1 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 655.030 \text{ mm} = 917.041 \text{ mm}$$

Minimalna długość zakładu

$$l_{0,min} = \text{Max}(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}, 15 \cdot \phi, 200 \text{ mm}) = \\ \text{Max}(0.3 \cdot 1.4 \cdot 655.030 \text{ mm}, 15 \cdot 20 \text{ mm}, 200 \text{ mm}) = 300 \text{ mm}$$

Przyjmuję zakład równy 920 mm

Obliczam długość zakładu na kierunku Y.

Zbrojenie dolne

$$l_1 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 512.763 \text{ mm} = 717.868 \text{ mm}$$

Minimalna długość zakładu

$$l_{0,min} = \text{Max}(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}, 15 \cdot \phi, 200 \text{ mm}) = \\ \text{Max}(0.3 \cdot 1.4 \cdot 512.763 \text{ mm}, 15 \cdot 16 \text{ mm}, 200 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Przyjmuję zakład równy 720 mm

Zbrojenie górne

$$l_1 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 790.921 \text{ mm} = 1107.290 \text{ mm}$$

Minimalna długość zakładu

$$l_{0,min} = \text{Max}(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd}, 15 \cdot \phi, 200 \text{ mm}) = \\ \text{Max}(0.3 \cdot 1.4 \cdot 790.921 \text{ mm}, 15 \cdot 25 \text{ mm}, 200 \text{ mm}) = 375 \text{ mm}$$

Przyjmuję zakład równy 1110 mm

5.1.9. Sprawdzanie przebicia w strefie przy podporowej

Tabela 15. Wartości sił tnących w podporach

Lp.	Lokalizacja	V_{Ed} [kN]
1	Podpora 1	524.53
2	Podpora 2	764.79
3	Podpora 3	724.1
4	Podpora 4	724.1
5	Podpora 5	766.74
6	Podpora 6	524.53
7	Podpora 7	701.7
8	Podpora 8	1047.27
9	Podpora 9	995.58
10	Podpora 10	995.58
11	Podpora 11	1049.6
12	Podpora 12	701.7
13	Podpora 13	670.82
14	Podpora 14	1010.04
15	Podpora 15	934.97
16	Podpora 16	934.97
17	Podpora 17	1012.26
18	Podpora 18	670.85
19	Podpora 19	678.57
20	Podpora 20	1024.84
21	Podpora 21	367.76
22	Podpora 22	367.76
23	Podpora 23	1024.84
24	Podpora 24	678.57
25	Podpora 25	666.94
26	Podpora 26	985.39
27	Podpora 27	155.12
28	Podpora 28	158.2
29	Podpora 29	1008.09
30	Podpora 30	680.23
31	Podpora 31	640.45
32	Podpora 32	955.56
33	Podpora 33	667.1
34	Podpora 34	686.46
35	Podpora 35	1009.83

36	Podpora 36	672.04
37	Podpora 37	667.16
38	Podpora 38	993.92
39	Podpora 39	967.37
40	Podpora 40	993.84
41	Podpora 41	1054.78
42	Podpora 42	700.9
43	Podpora 43	499.14
44	Podpora 44	727.00
45	Podpora 45	687.98
46	Podpora 46	704.79
47	Podpora 47	765.9
48	Podpora 48	524.18

Użyteczna wysokość płyty

$$d_{\text{eff}} = \frac{d_{\text{dx}} + d_{\text{dy}}}{2} = \frac{212 \text{ mm} + 196 \text{ mm}}{2} = 204 \text{ mm}$$

Podpora 1

Obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie przy przebiciu

$$v_{\text{Rd,c}} = c_{\text{Rd,c}} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho \cdot f_{\text{ck}}\right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} + k_1 \cdot \sigma_{\text{cp}}$$

Długość obwodu kontrolnego

$$h = 0.4 \text{ m} \quad b = 0.4 \text{ m}$$

$$u_0 = 2 \cdot h + 2 \cdot b = 2 \cdot 0.4 \text{ m} + 2 \cdot 0.4 \text{ m} = 1.6 \text{ m}$$

Współczynnik β

Na podstawie 6.4.3 dla podpory 1 przyjmuję $\beta = 1.5$

Naprężenia styczne na obwodzie słupa u_0

$$v_{\text{Ed}} = \frac{\beta \cdot C_2 \cdot 1 \text{ kN}}{u_0 \cdot d_{\text{eff}}} = \frac{1.5 \cdot 524.53 \cdot 1 \text{ kN}}{1.6 \text{ m} \cdot 204 \text{ mm}} = 2.411 \text{ MPa}$$

Naprężenia graniczne

$$v_{\text{Rd,max}} = 0.5 \cdot 0.5 \cdot \left(1 - \frac{f_{\text{ck}}}{250 \text{ MPa}}\right) \cdot f_{\text{cd}} = 0.5 \cdot 0.5 \cdot \left(1 - \frac{35 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}\right) \cdot 25 \text{ MPa} = 5.375 \text{ MPa}$$

Warunek sprawdzający

$$v_{\text{Ed}} < v_{\text{Rd,max}} = 2.411 \text{ MPa} < 5.375 \text{ MPa} = \text{True}$$

Długość obwodu kontrolnego u_1

$$u_1 = 2 \cdot (h + b + 2 \cdot \pi \cdot d_{\text{eff}}) = 2 \cdot (0.4 \text{ m} + 0.4 \text{ m} + 2 \cdot 3.142 \cdot 204 \text{ mm}) = 4.164 \text{ m}$$

Naprężenia styczne na obwodzie słupa u_1

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot C2 \cdot 1 \text{ kN}}{u_1 \cdot d_{eff}} = \frac{1.5 \cdot 524.53 \cdot 1 \text{ kN}}{4.164 \text{ m} \cdot 204 \text{ mm}} = 0.926 \text{ MPa}$$

Współczynnik k

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{204 \text{ mm}}} = 1.990 < 2$$

Minimalne naprężenia graficzne

$$v_{min} = (0.035 \cdot k^{1.5}) \cdot \left(\frac{f_{ck}}{1 \text{ MPa}} \right)^{0.5} \cdot 1 \text{ MPa} = (0.035 \cdot 1.990^{1.5}) \cdot \left(\frac{35 \text{ MPa}}{1 \text{ MPa}} \right)^{0.5} \cdot 1 \text{ MPa} = 0.581 \text{ MPa}$$

Warunek sprawdzający

$$v_{Ed} > v_{min} = 0.926 \text{ MPa} > 0.581 \text{ MPa} = \text{True}$$

Naprężenia graniczne $V_{Rd,c}$

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

$$\rho_x = \frac{H9 \cdot 1 \text{ cm}^2}{b \cdot d_{dx}} = \frac{31.42 \cdot 1 \text{ cm}^2}{1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm}} = 0.0148$$

$$\rho_y = \frac{H11 \cdot 1 \text{ cm}^2}{b \cdot d_{dy}} = \frac{32.73 \cdot 1 \text{ cm}^2}{1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm}} = 0.0167$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = \sqrt{0.0148 \cdot 0.0167} = 0.0157$$

$$v_{Rd,c} = c_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho \cdot f_{ck} \right)^{\left(\frac{1}{3} \right)} = 0.129 \cdot 1.990 \cdot (100 \cdot 0.0157 \cdot 35 \text{ MPa})^{\left(\frac{1}{3} \right)}$$

$$v_{Rd,c} = 0.961 \text{ MPa}$$

Warunek sprawdzający

$$v_{Ed} < v_{Rd,c}$$

$$0.926 \text{ MPa} < 0.961 \text{ MPa} = \text{True}$$

Warunek spełniony

Nie jest wymagane zbrojenie na przebiecie

Tabela 16. Zestawienie wyników warunku na przebiecie

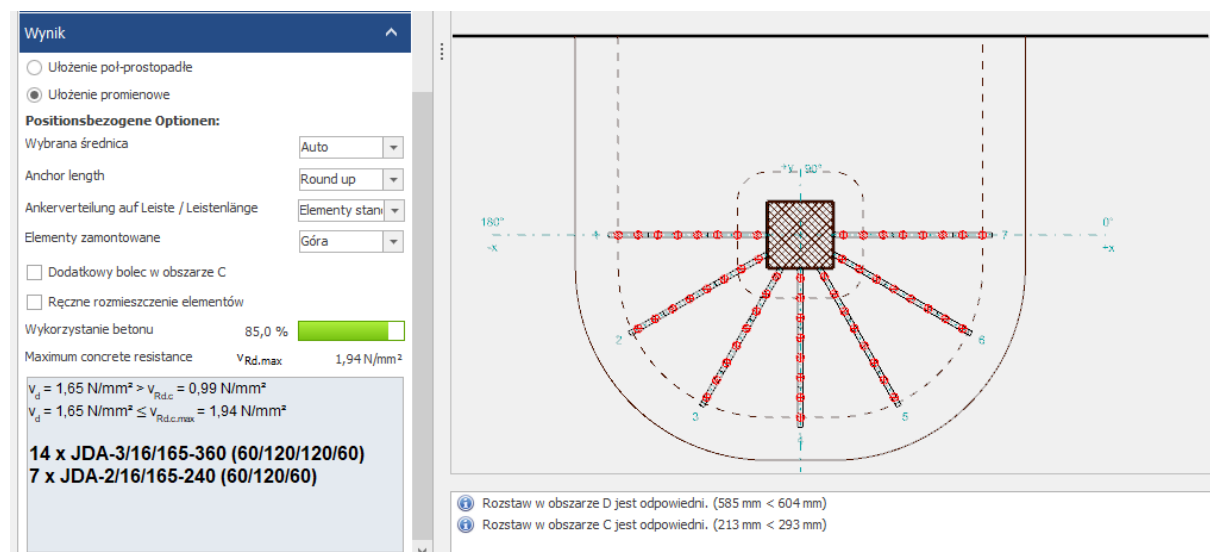
Lp	Lokalizacja	v_{Ed}	ρ_x	ρ_y	ρ	$v_{Rd,c}$	Warunek
1	Podpora 1	0.926 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True
2	Podpora 2	1.261 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
3	Podpora 3	1.194 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False

4	Podpora 4	1.194 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
5	Podpora 5	1.264 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
6	Podpora 6	0.926 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True
7	Podpora 7	1.157 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
8	Podpora 8	1.418 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
9	Podpora 9	1.348 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
10	Podpora 10	1.348 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
11	Podpora 11	1.421 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
12	Podpora 12	1.157 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
13	Podpora 13	1.106 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
14	Podpora 14	1.368 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
15	Podpora 15	1.266 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
16	Podpora 16	1.266 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
17	Podpora 17	1.371 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
18	Podpora 18	1.106 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
19	Podpora 19	1.118 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
20	Podpora 20	1.388 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
21	Podpora 21	0.498 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True
22	Podpora 22	0.498 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True
23	Podpora 23	1.388 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
24	Podpora 24	1.118 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
25	Podpora 25	1.099 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
26	Podpora 26	1.334 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
27	Podpora 27	0.210 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True
28	Podpora 28	0.214 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True
29	Podpora 29	1.365 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
30	Podpora 30	1.121 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
31	Podpora 31	1.056 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
32	Podpora 32	1.294 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
33	Podpora 33	0.903 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True
34	Podpora 34	0.929 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True
35	Podpora 35	1.367 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
36	Podpora 36	1.108 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
37	Podpora 37	1.100 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
38	Podpora 38	1.346 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
39	Podpora 39	1.310 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
40	Podpora 40	1.346 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
41	Podpora 41	1.428 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
42	Podpora 42	1.155 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
43	Podpora 43	0.881 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True
44	Podpora 44	1.198 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
45	Podpora 45	1.134 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False

46	Podpora 46	1.162 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
47	Podpora 47	1.262 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	False
48	Podpora 48	0.926 MPa	0.0148	0.0167	0.0157	0.961 MPa	True

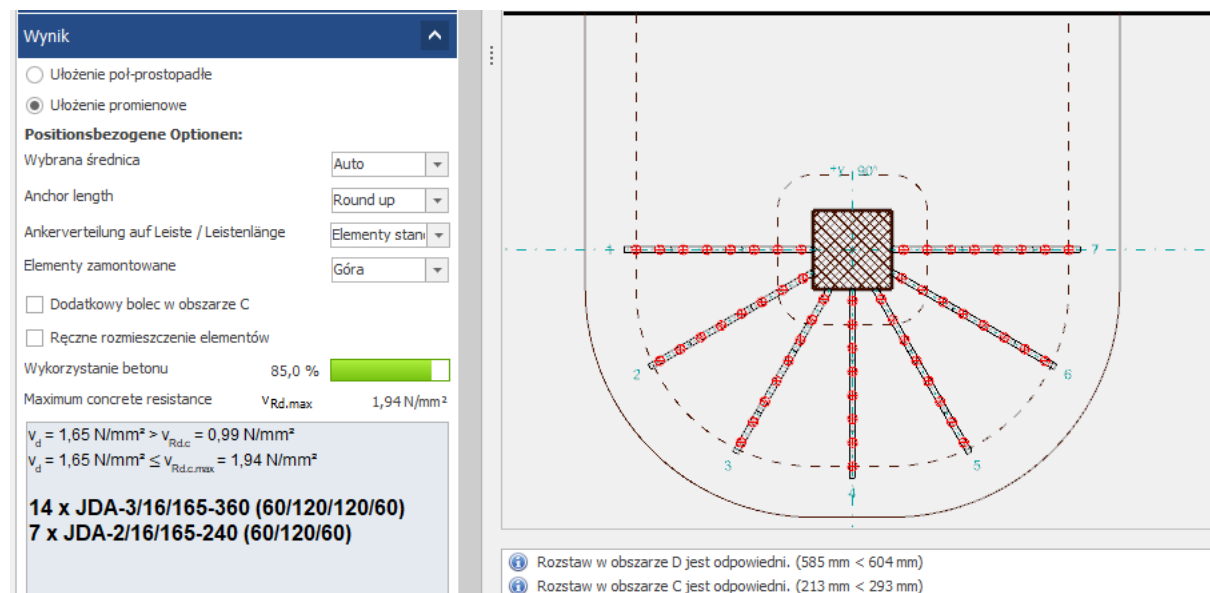
W większości podpór następuje przebicie, dlatego za pomocą programu JORDAHL EXPERT Przebicie - projektuje zbrojenie na przebicie.

Podpora 2



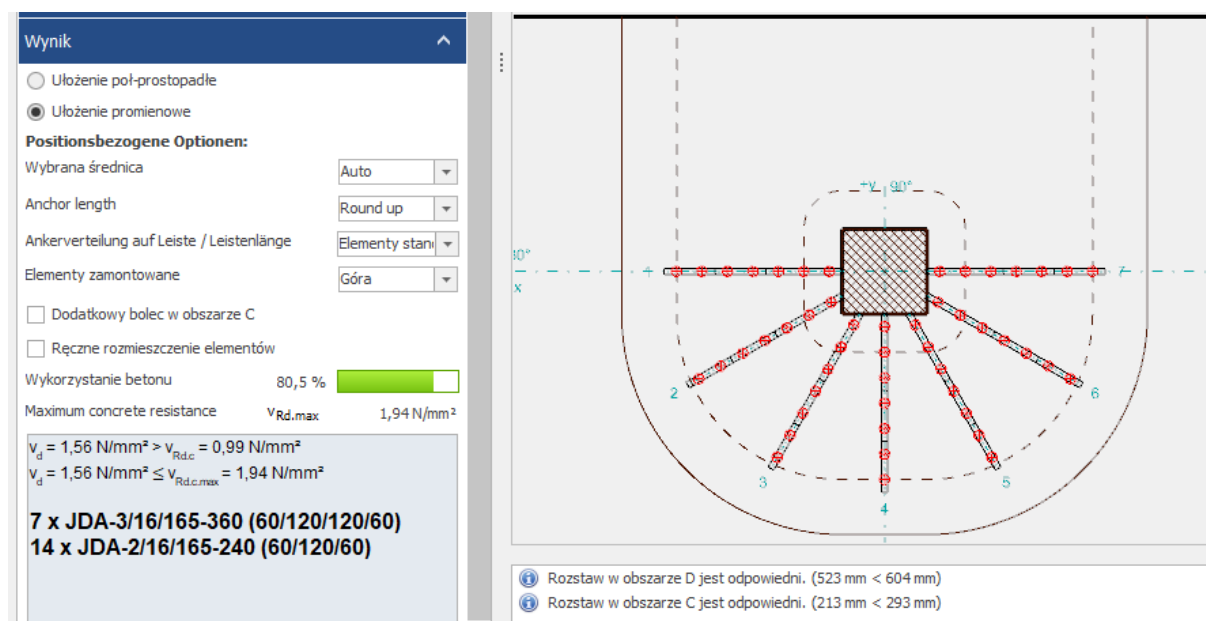
Rys 23. Zbrojenie na przebicie Podpory 2

Podpora 3



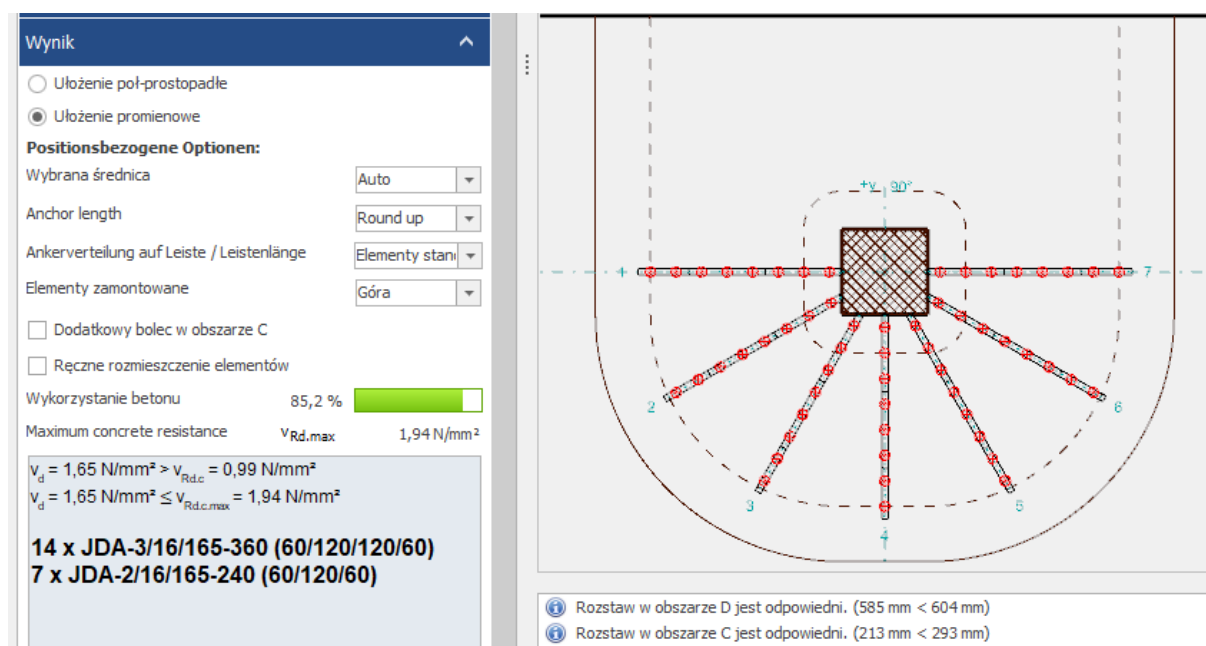
Rys 24. Zbrojenie na przebicie Podpory 3

Podpora 4



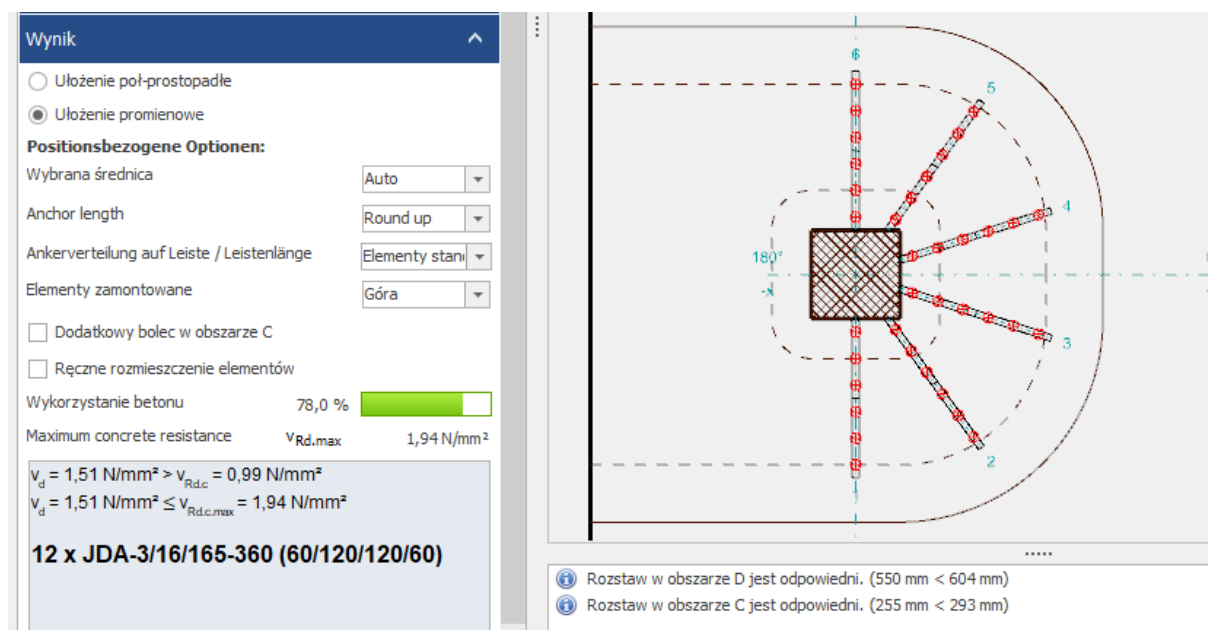
Rys 25. Zbrojenie na przebiecie Podpory 4

Podpora 5



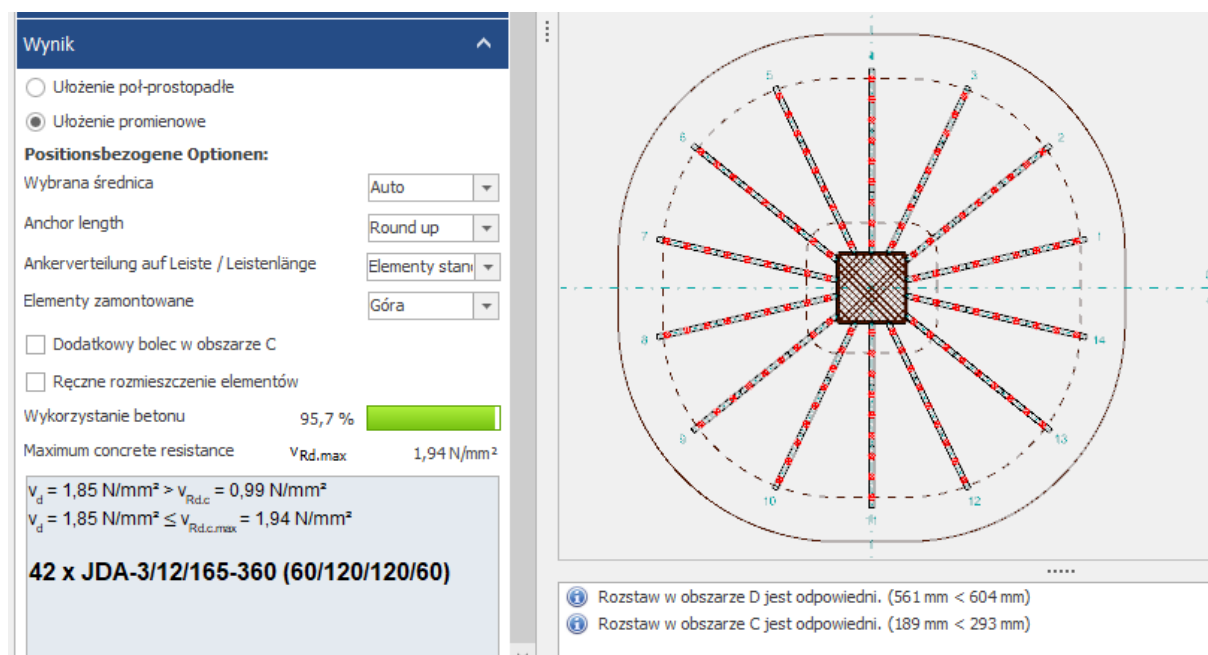
Rys 26. Zbrojenie na przebiecie Podpory 5

Podpora 7



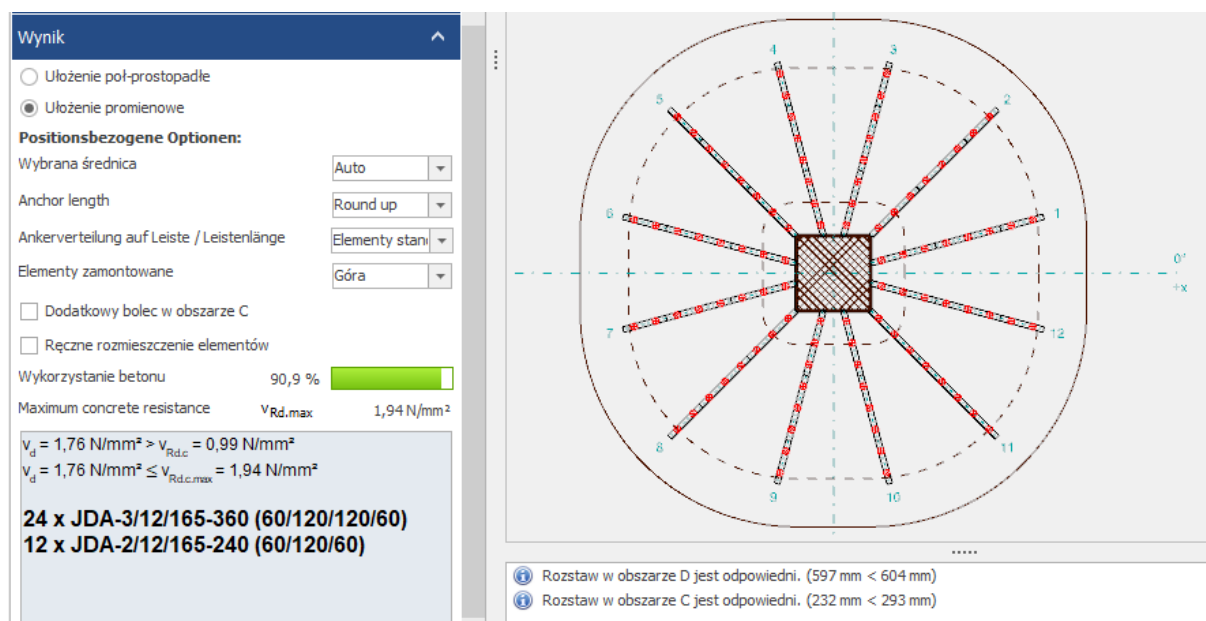
Rys 27. Zbrojenie na przebiecie Podpory 7

Podpora 8



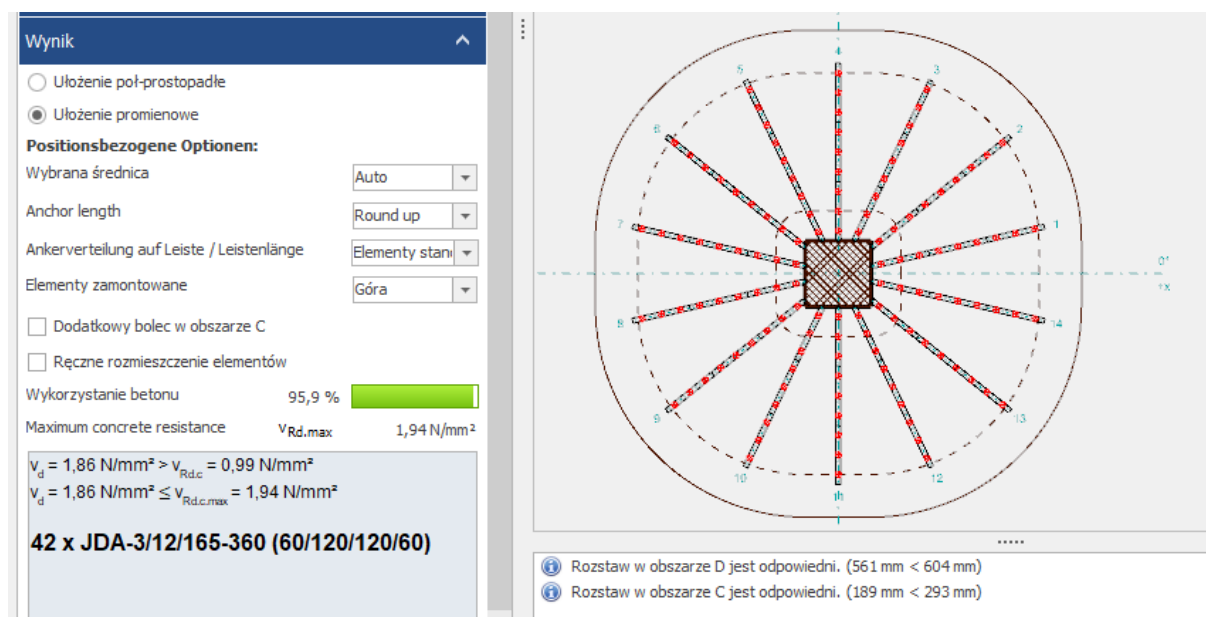
Rys 28. Zbrojenie na przebiecie Podpory 8

Podpora 9 i 10



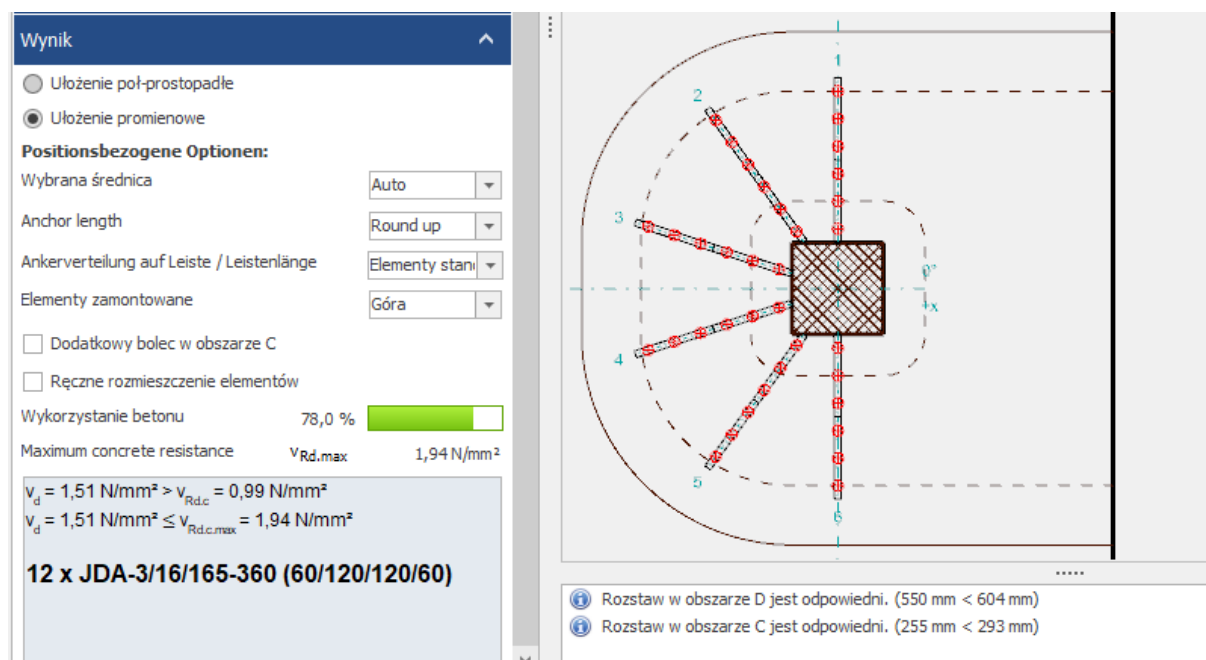
Rys 29. Zbrojenie na przebiecie Podpory 9 i 10

Podpora 11



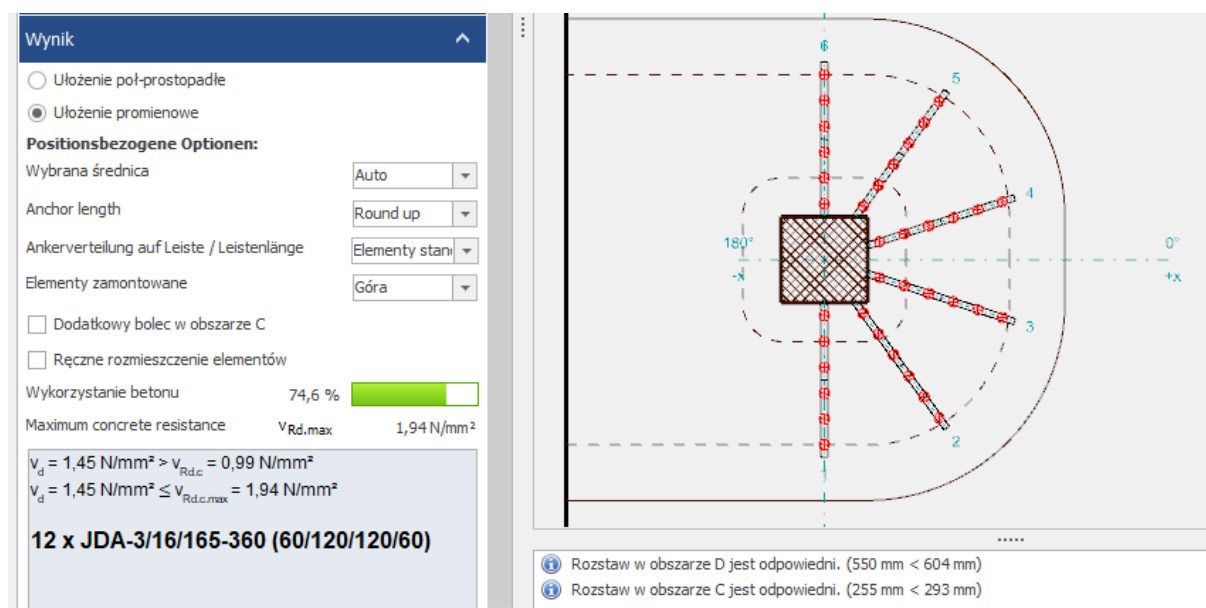
Rys 30. Zbrojenie na przebiecie Podpory 11

Podpora 12



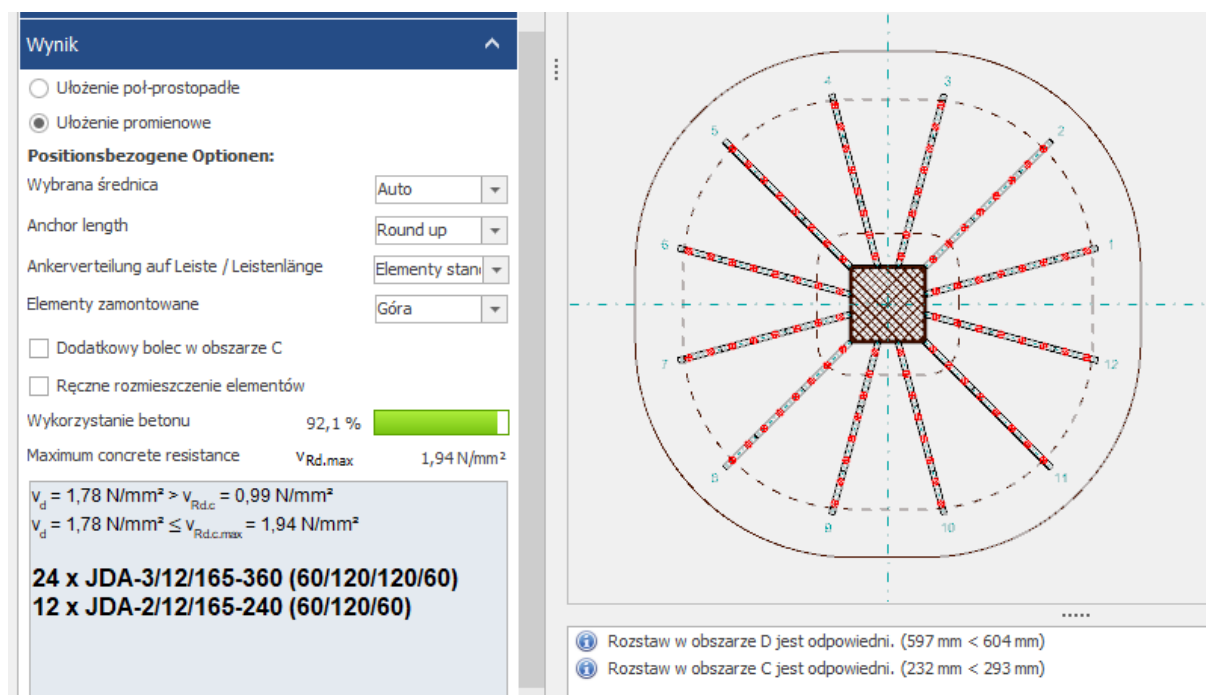
Rys 31. Zbrojenie na przebiecie Podpory 12

Podpora 13



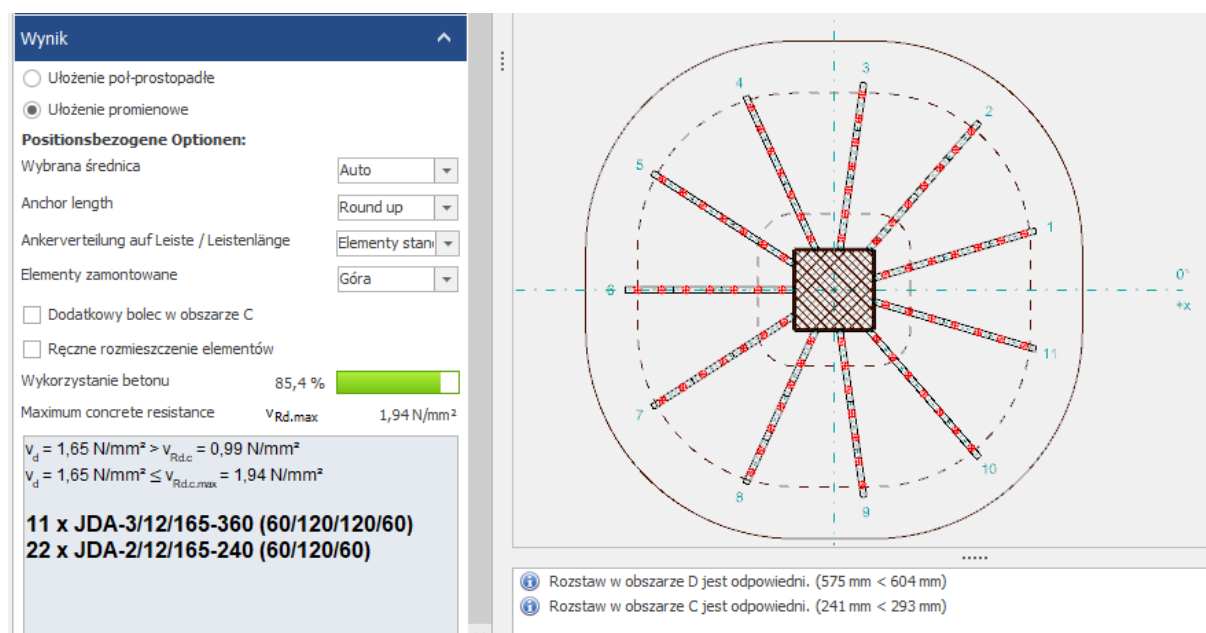
Rys 32. Zbrojenie na przebiecie Podpory 13

Podpora 14



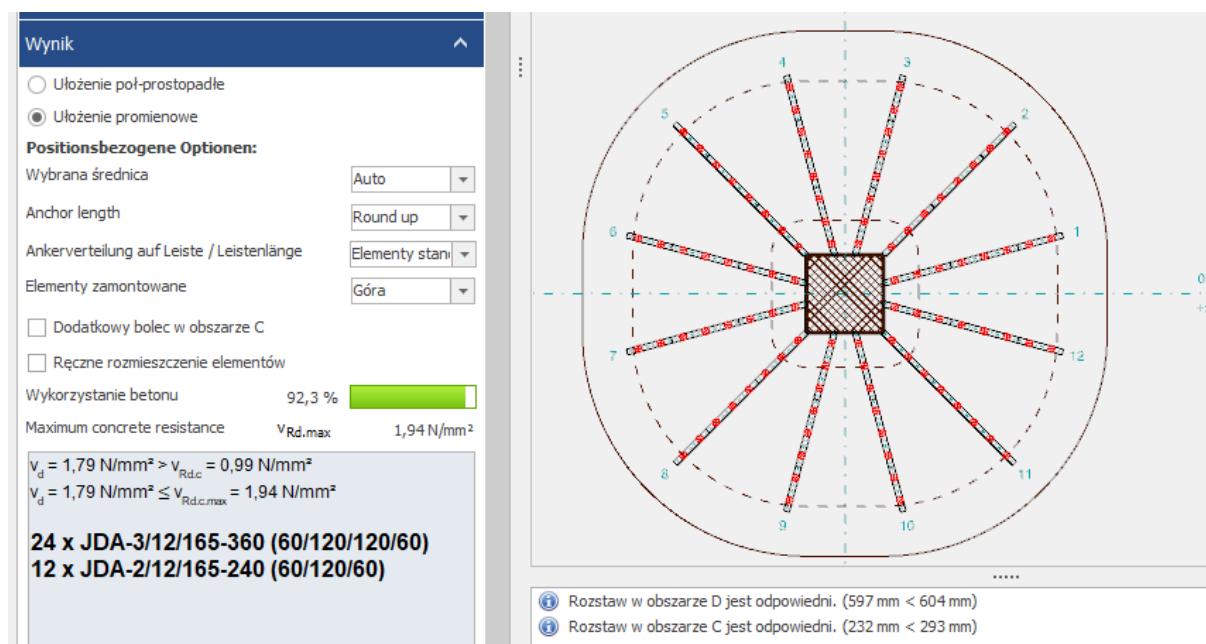
Rys 33. Zbrojenie na przebiecie Podpory 14

Podpora 15 i 16



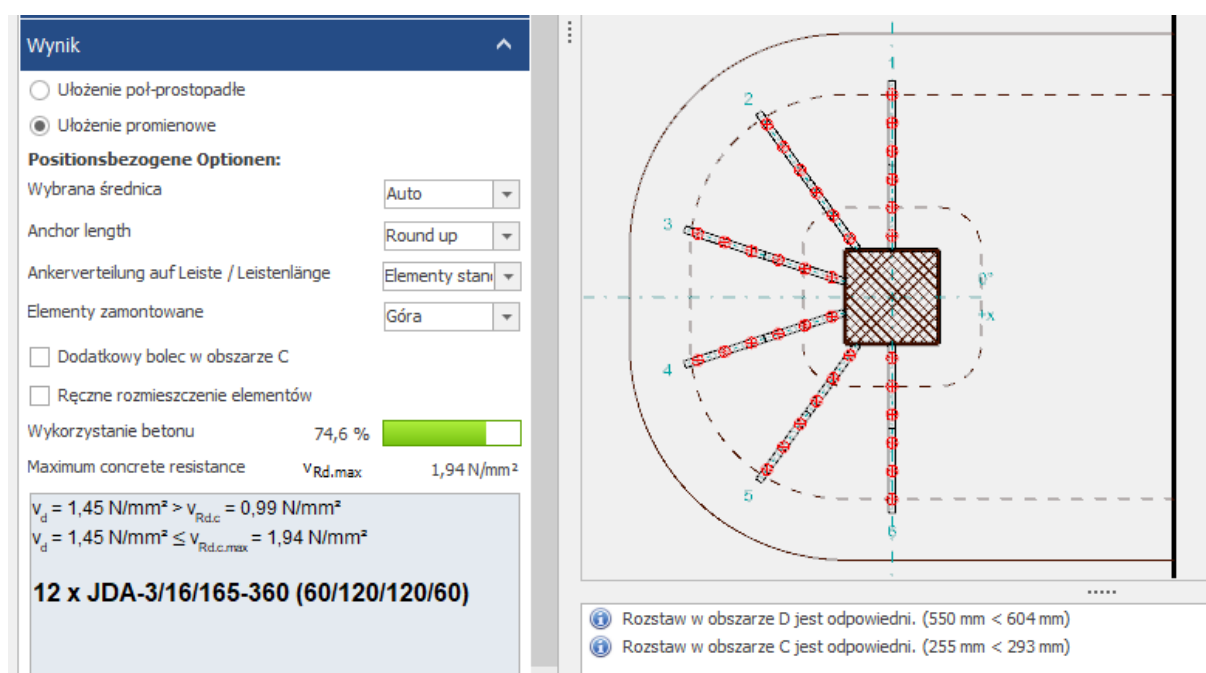
Rys 34. Zbrojenie na przebiecie Podpory 15 i 16

Podpora 17



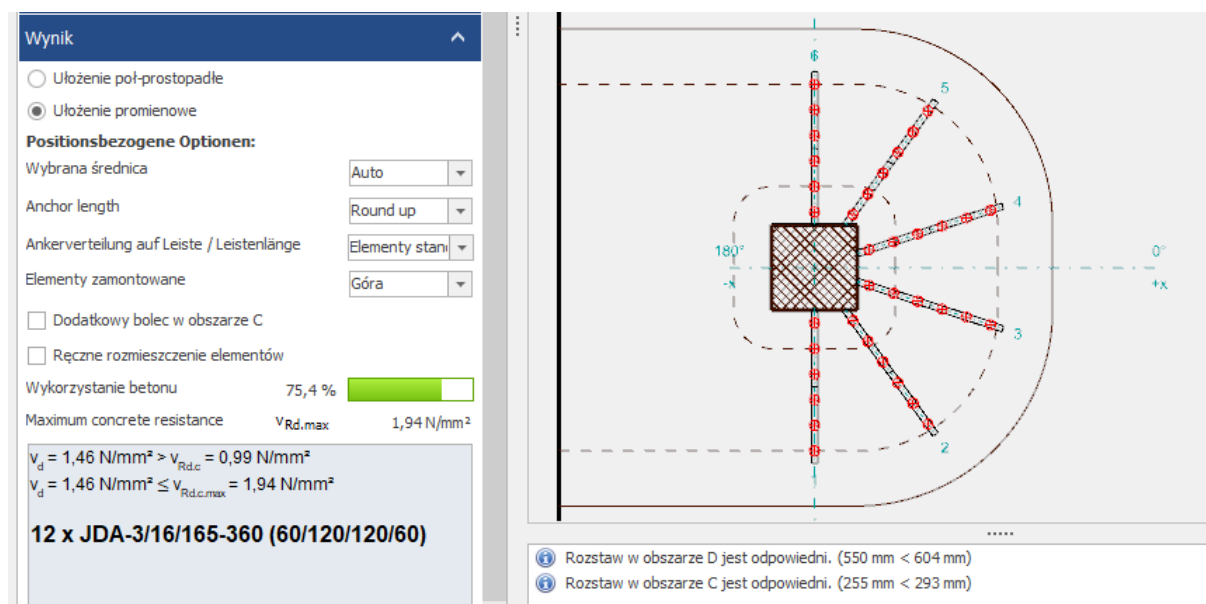
Rys 35. Zbrojenie na przebiecie Podpory 17

Podpora 18



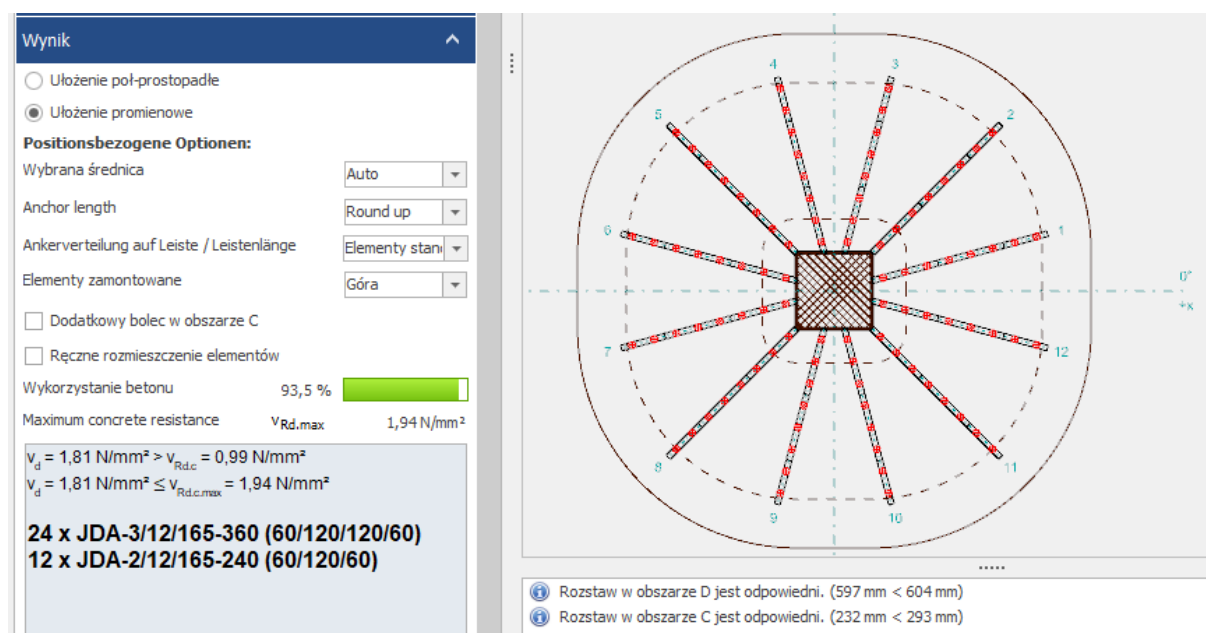
Rys 36. Zbrojenie na przebiecie Podpory 18

Podpora 19



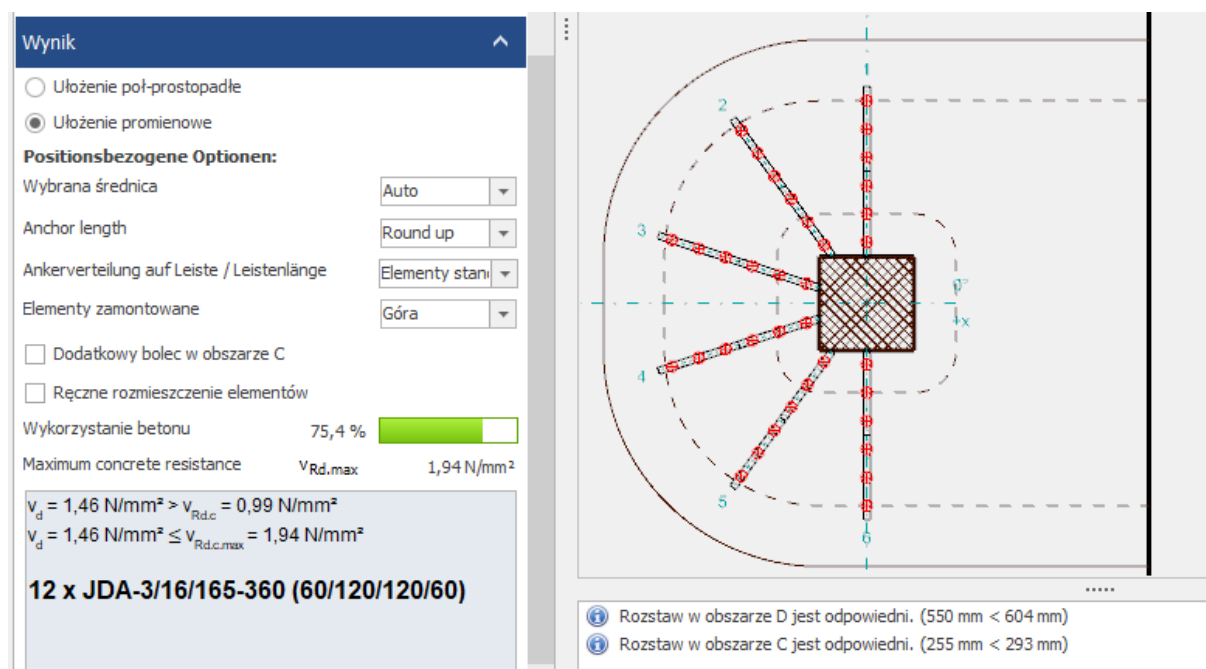
Rys 37. Zbrojenie na przebiecie Podpory 19

Podpora 20 i 23



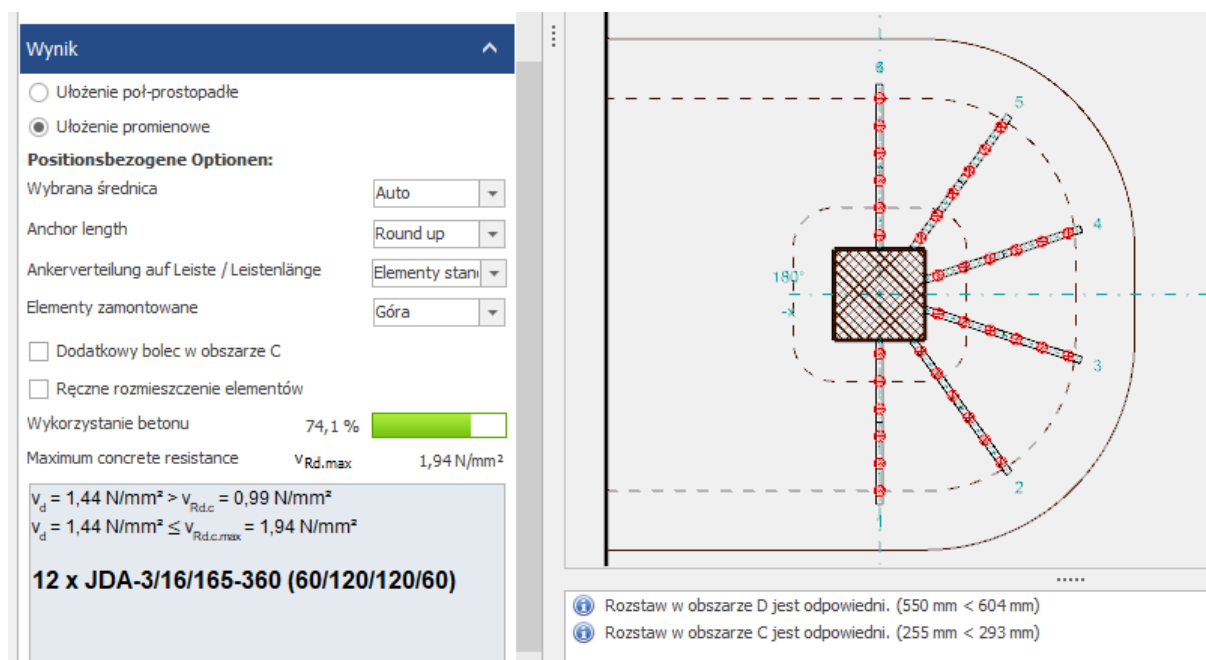
Rys 38. Zbrojenie na przebiecie Podpory 20 i 23

Podpora 24



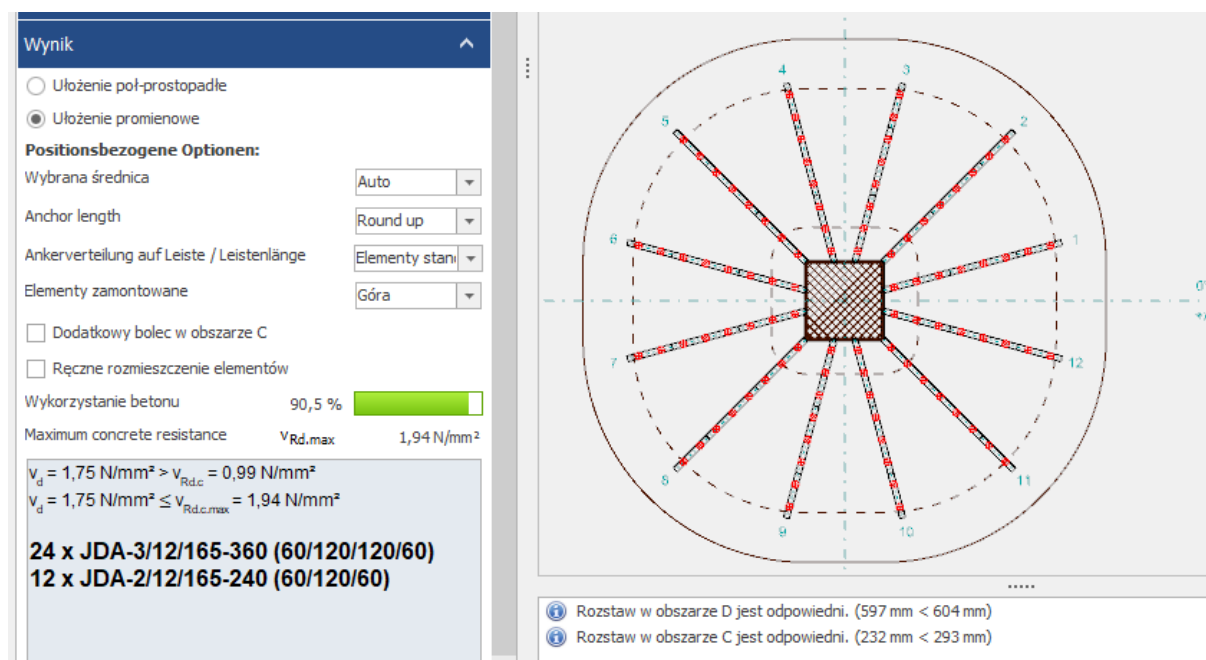
Rys 39. Zbrojenie na przebiecie Podpory 24

Podpora 25



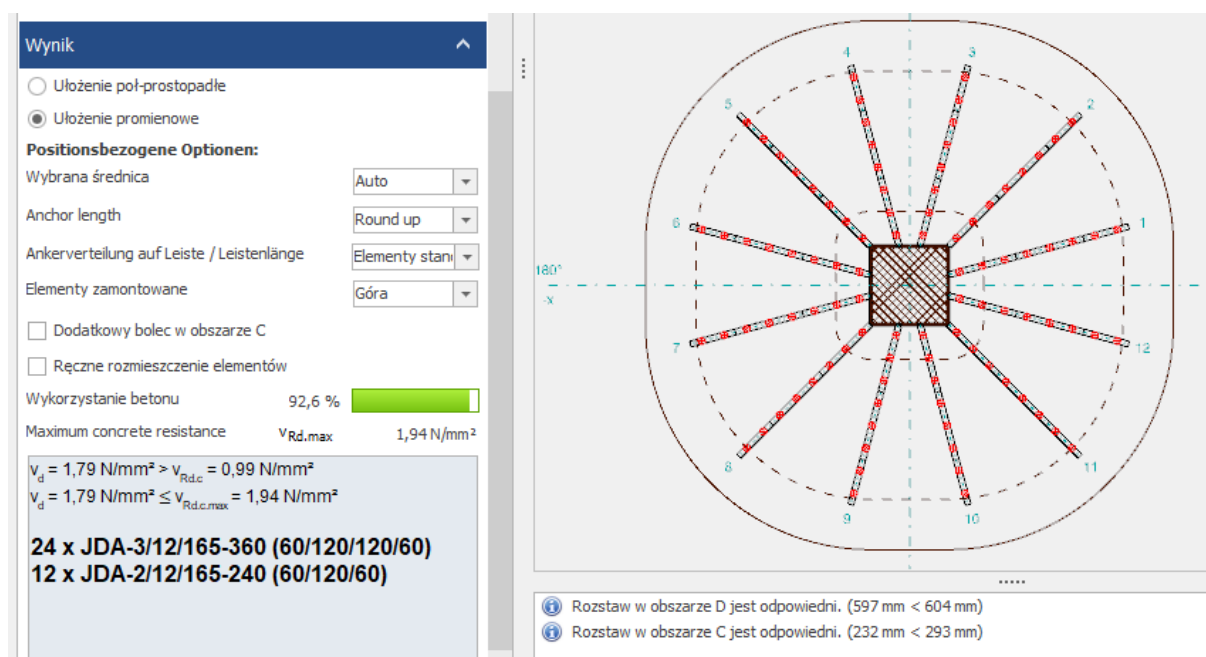
Rys 40. Zbrojenie na przebiecie Podpory 25

Podpora 26



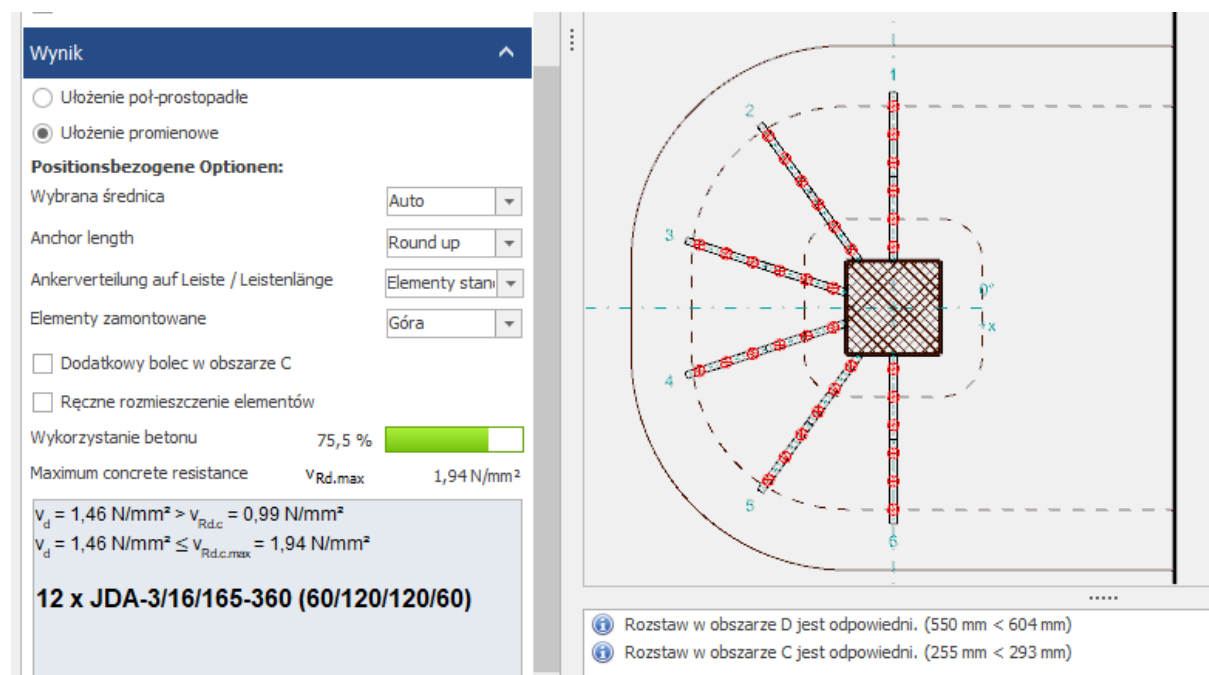
Rys 41. Zbrojenie na przebiecie Podpory 26

Podpora 29



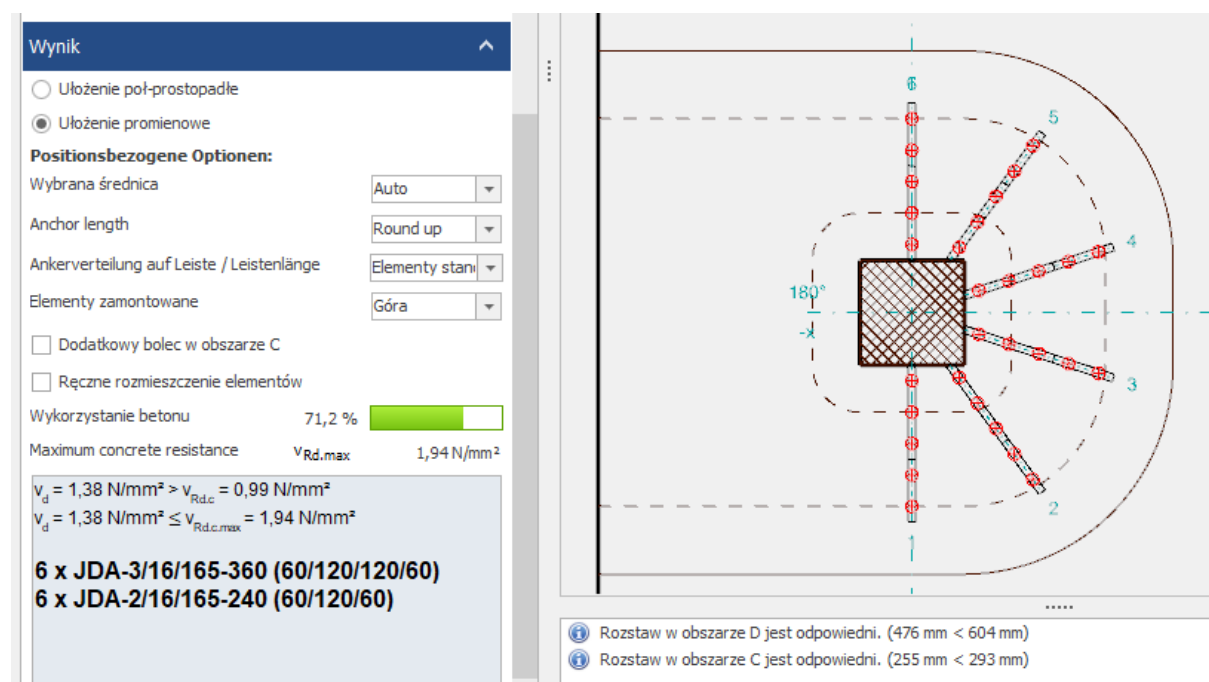
Rys 42. Zbrojenie na przebiecie Podpory 29

Podpora 30



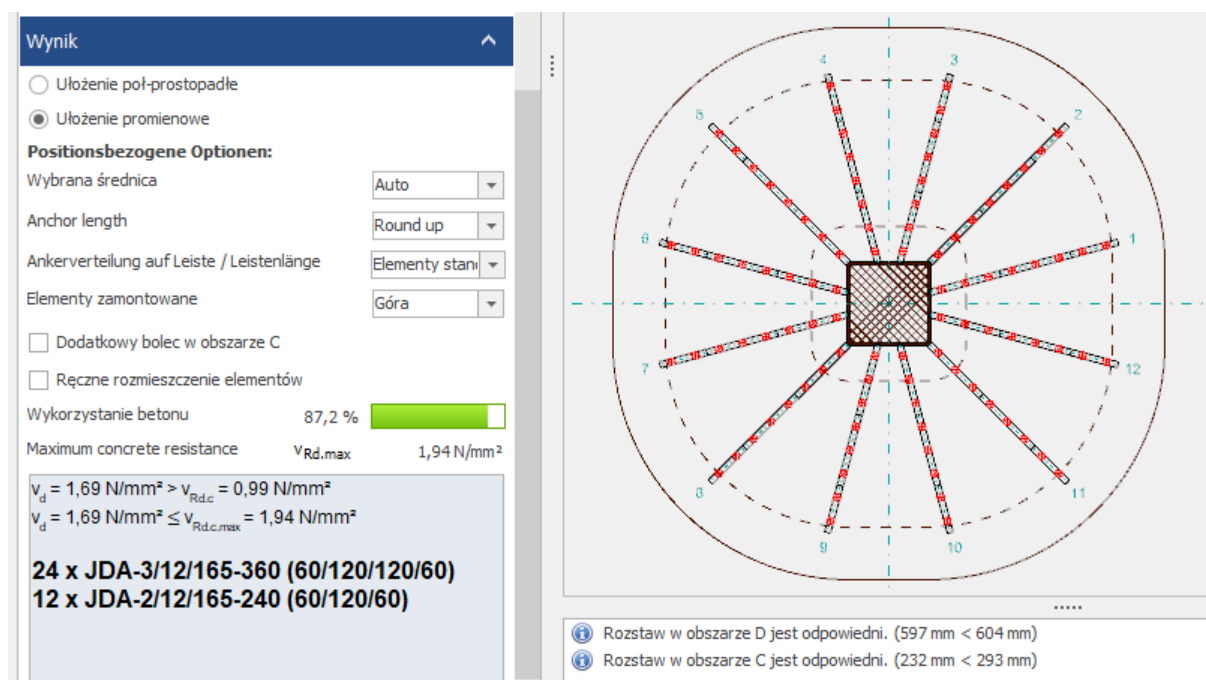
Rys 43. Zbrojenie na przebiecie Podpory 30

Podpora 31



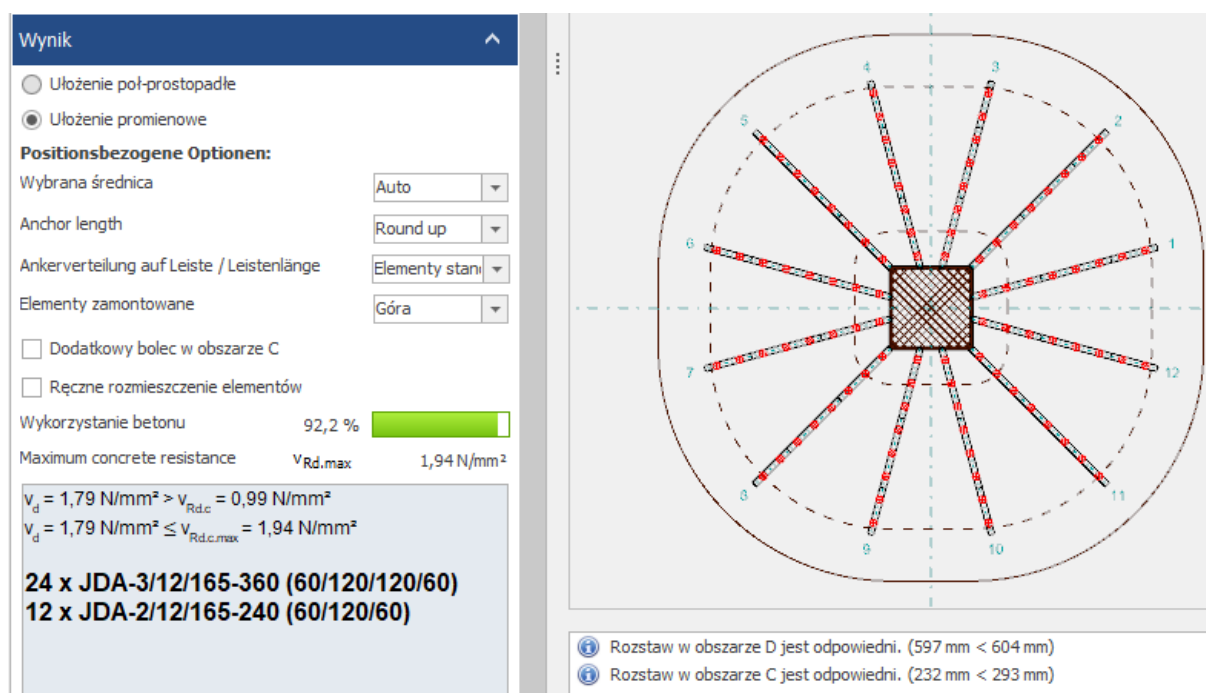
Rys 44. Zbrojenie na przebiecie Podpory 31

Podpora 32



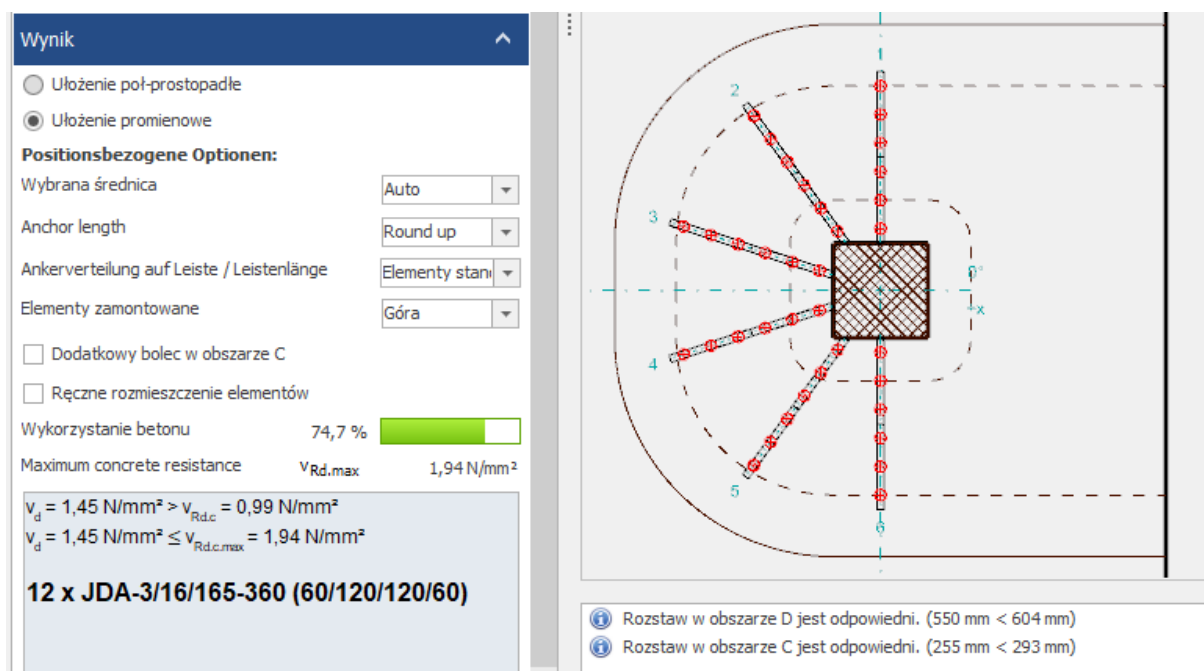
Rys 45. Zbrojenie na przebiecie Podpory 32

Podpora 35



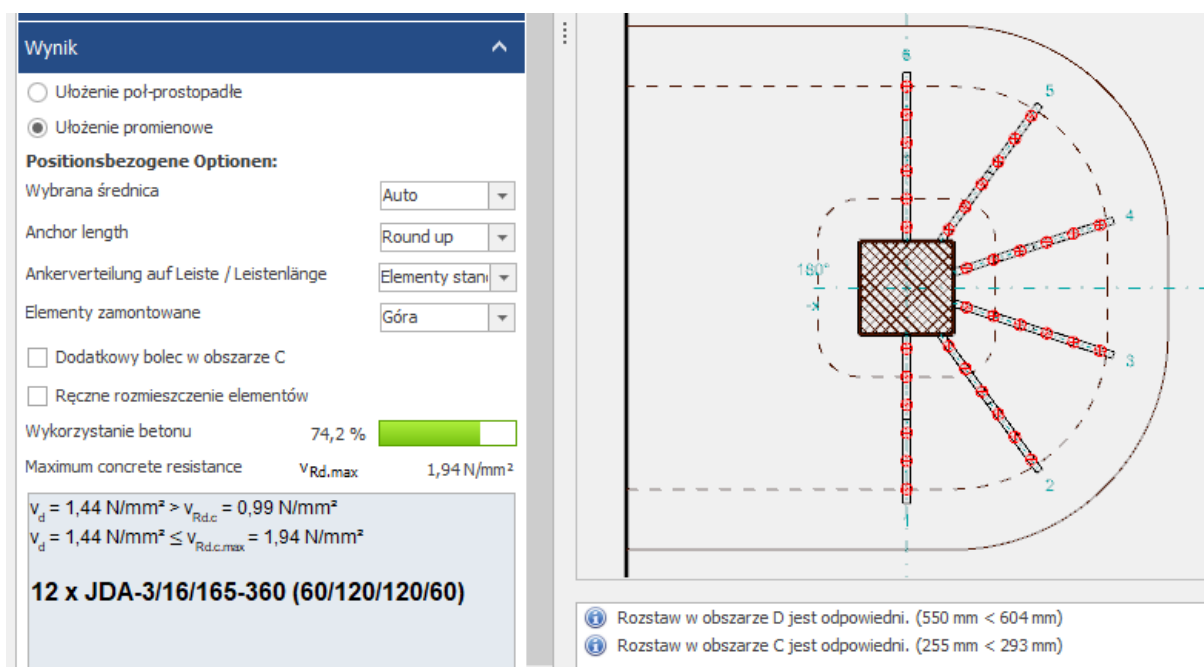
Rys 46. Zbrojenie na przebiecie Podpory 35

Podpora 36



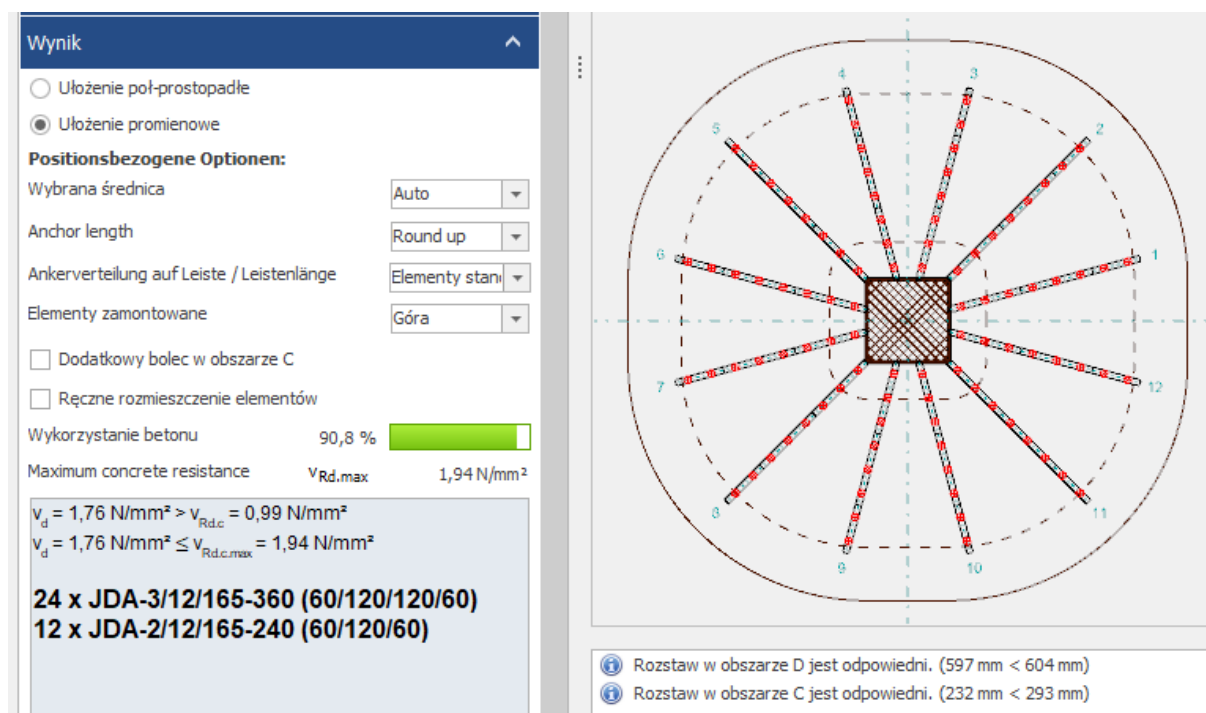
Rys 47. Zbrojenie na przebiecie Podpory 36

Podpora 37



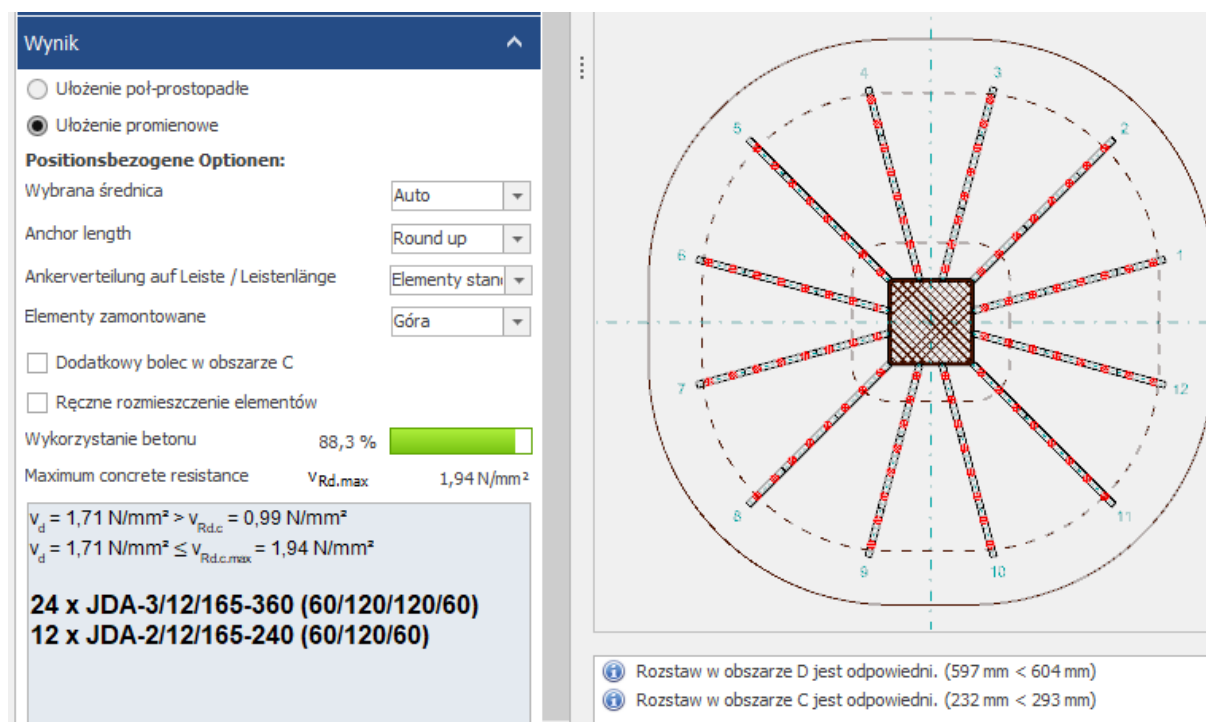
Rys 48. Zbrojenie na przebiecie Podpory 37

Podpora 38



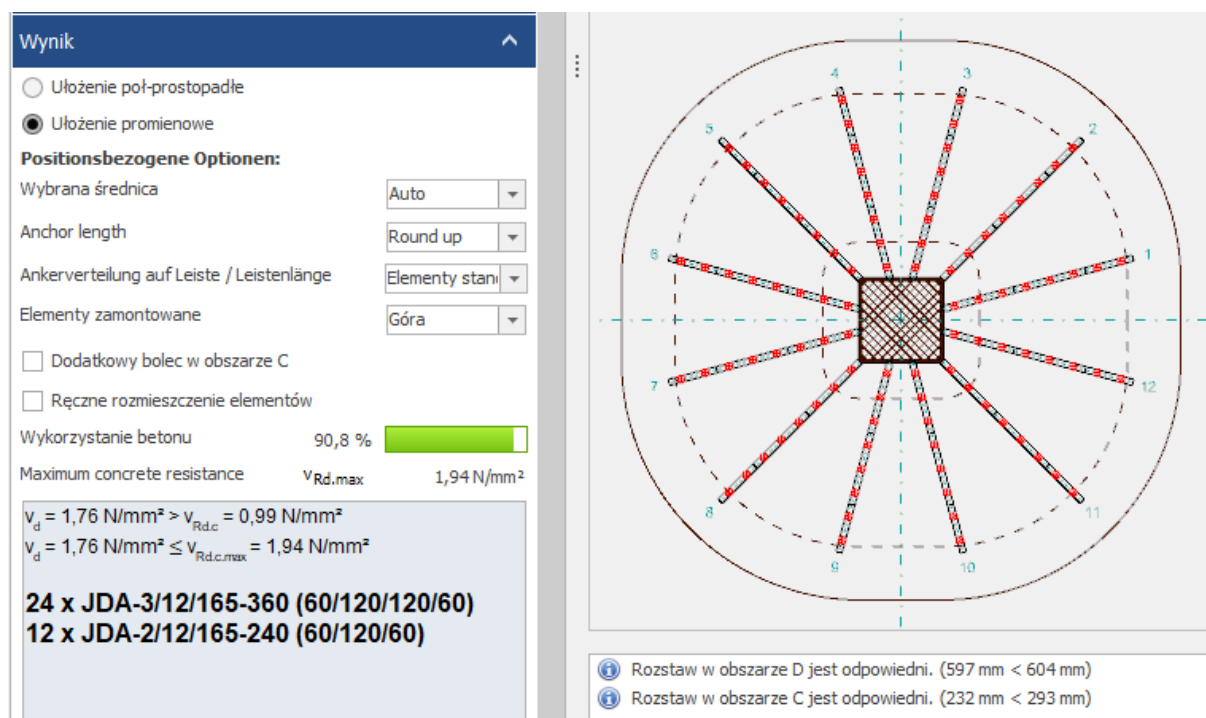
Rys 49. Zbrojenie na przebiecie Podpory 38

Podpora 39



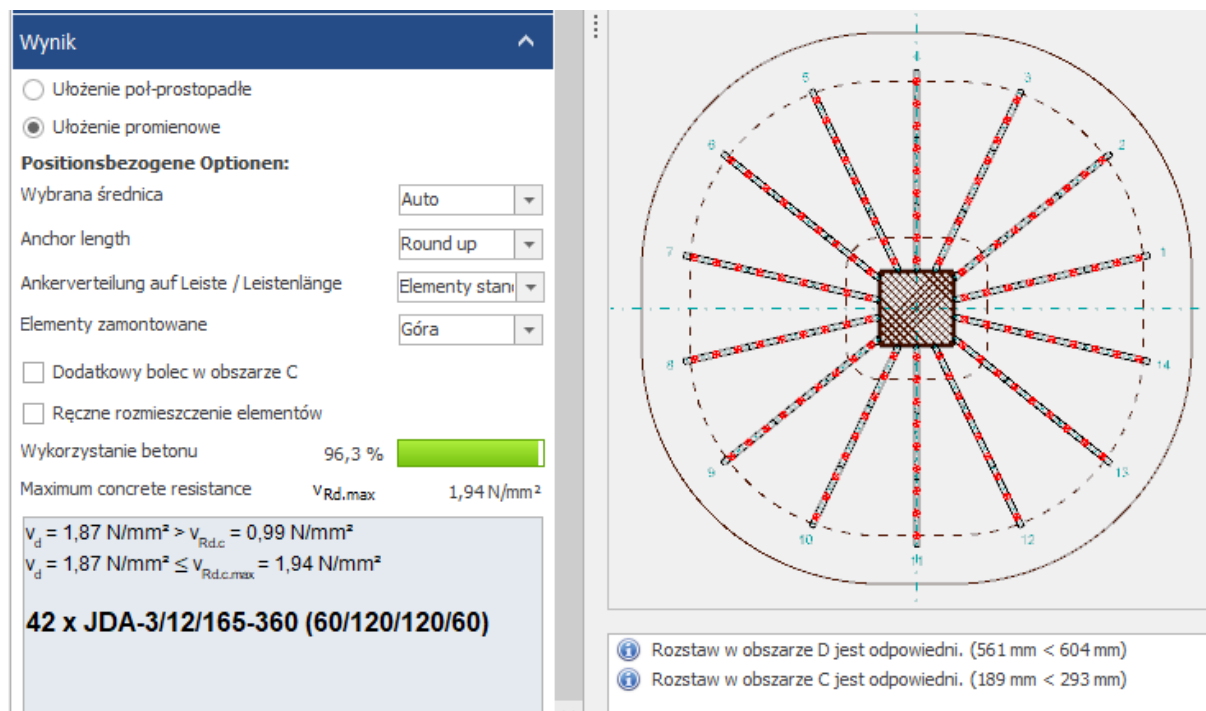
Rys 50. Zbrojenie na przebiecie Podpory 39

Podpora 40



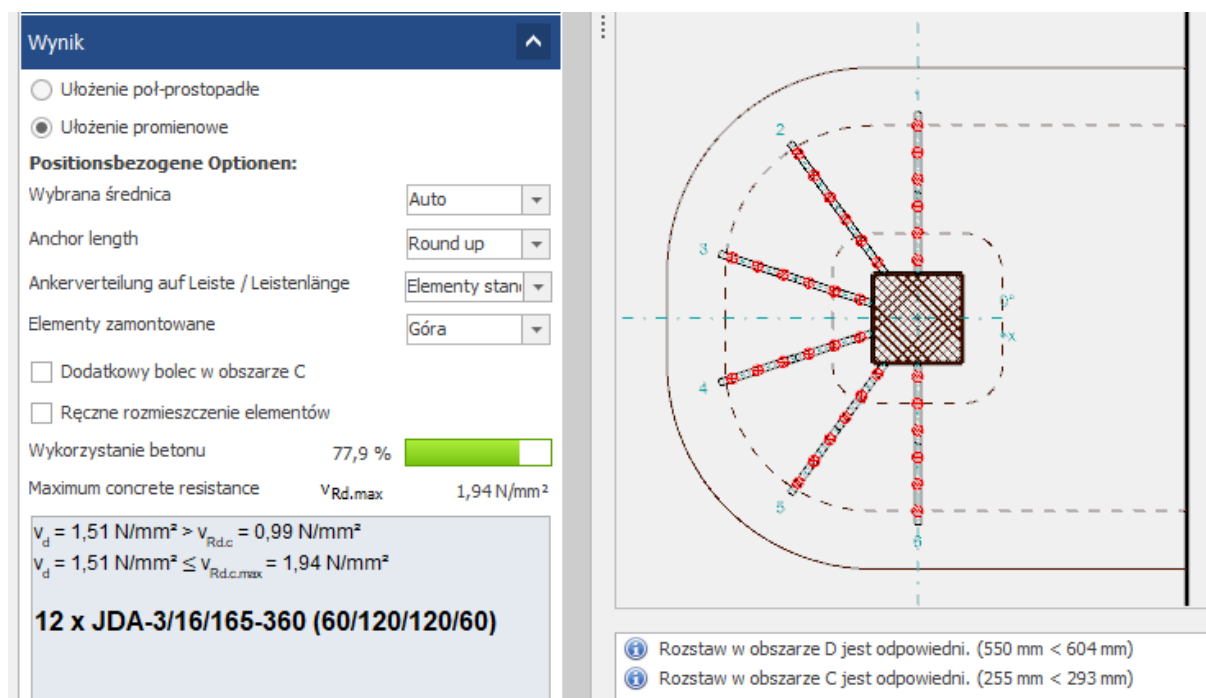
Rys 51. Zbrojenie na przebiecie Podpory 40

Podpora 41



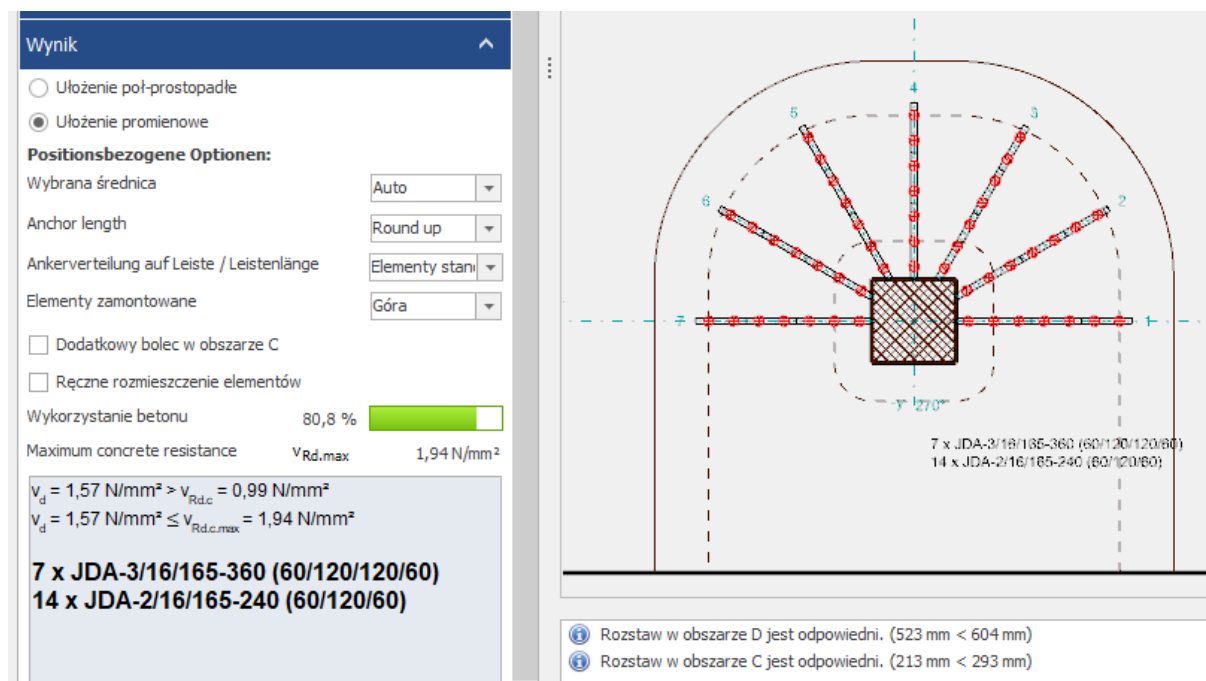
Rys 52. Zbrojenie na przebiecie Podpory 41

Podpora 42



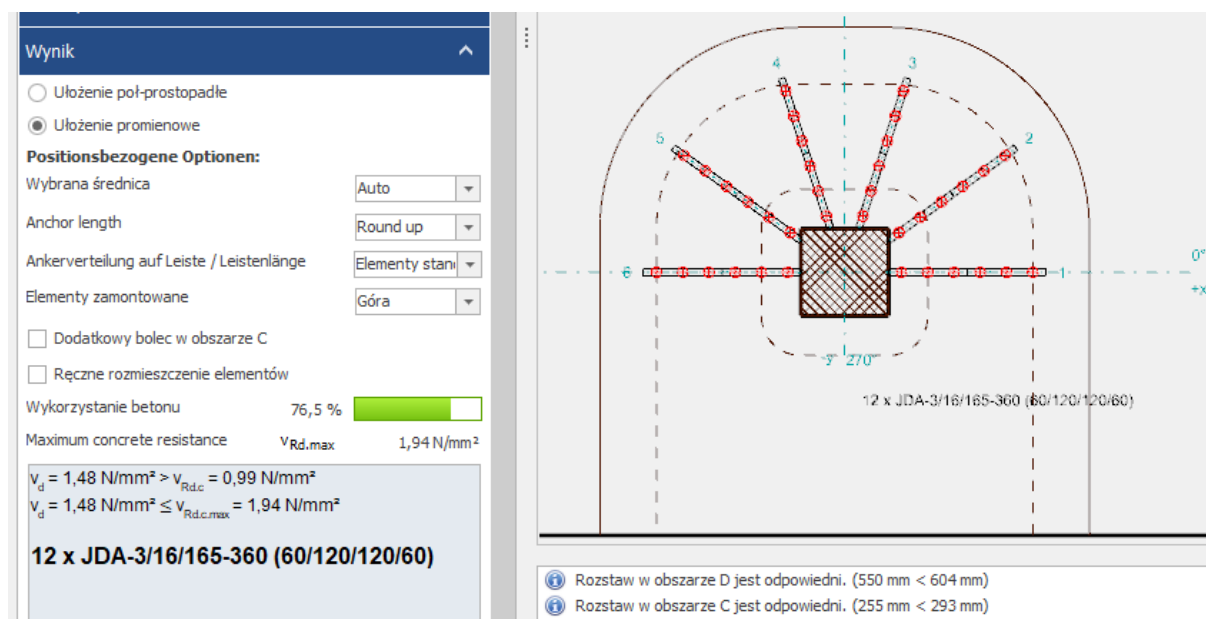
Rys 53. Zbrojenie na przebiecie Podpory 42

Podpora 44



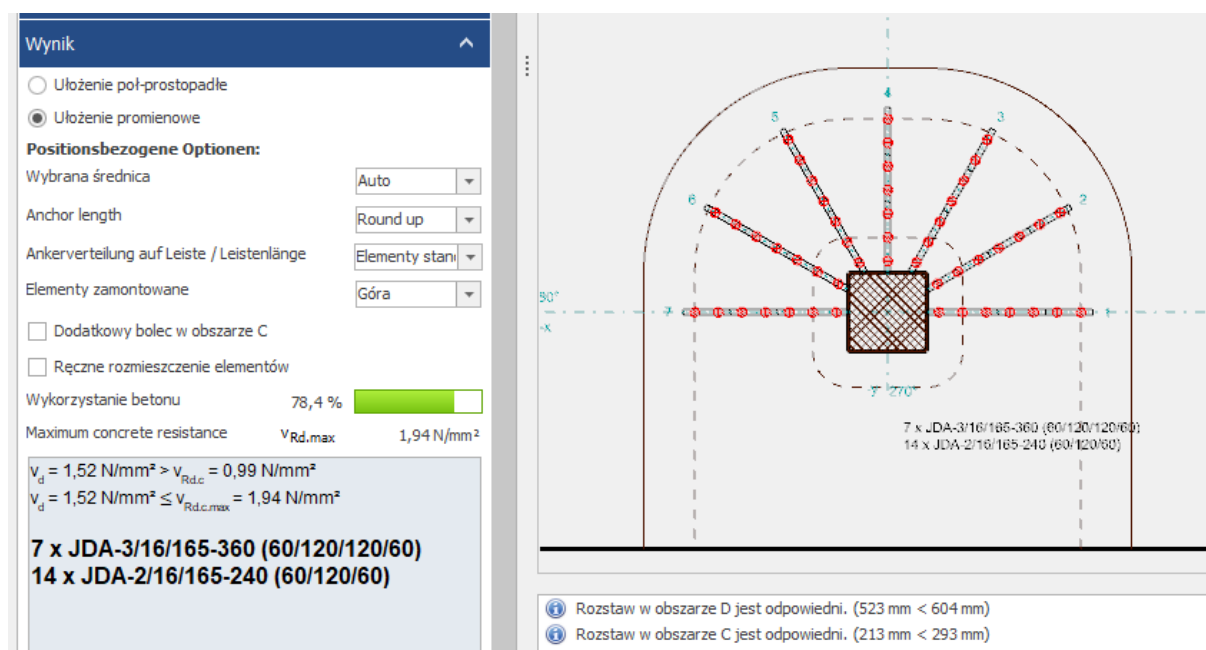
Rys 54. Zbrojenie na przebiecie Podpory 44

Podpora 45



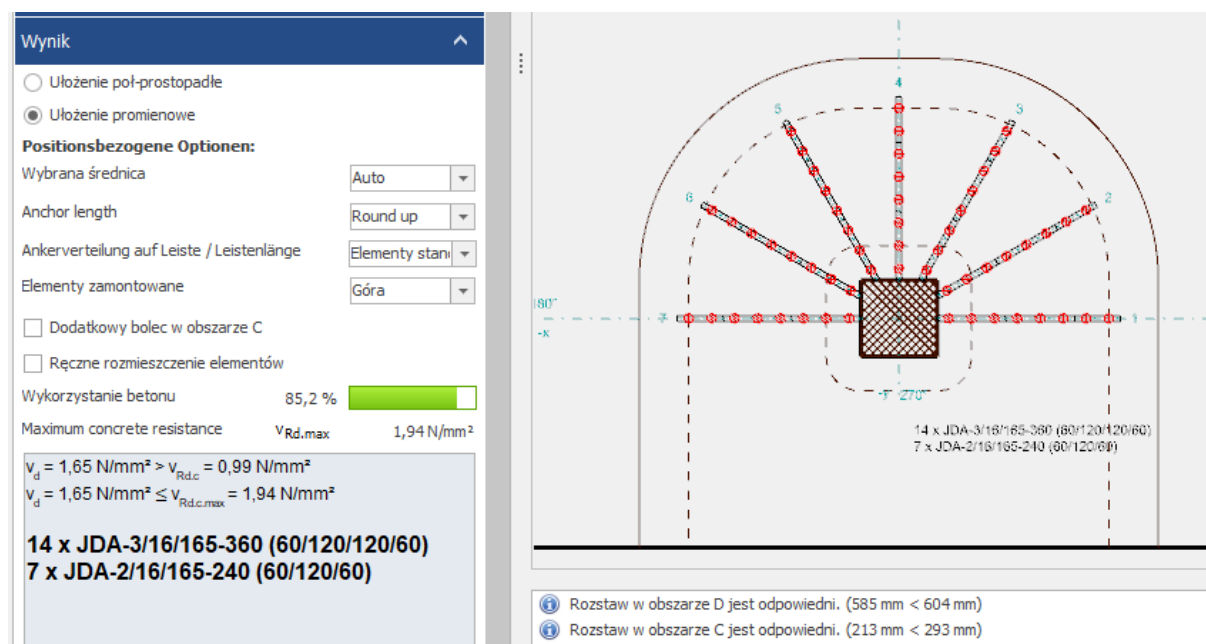
Rys 55. Zbrojenie na przebiecie Podpory 45

Podpora 46



Rys 56. Zbrojenie na przebiecie Podpory 46

Podpora 47



Rys 57. Zbrojenie na przebiecie Podpora 47

Tabela 17. Zestawienie wyników zbrojenia na przebiecie

Lp	Lokalizacja	v_{Ed}	$v_{Rd,c,max}$	Warunek
1	Podpora 1	0.926 MPa	0.961 MPa	True
2	Podpora 2	1.650 MPa	1.940 MPa	True
3	Podpora 3	1.650 MPa	1.940 MPa	True
4	Podpora 4	1.560 MPa	1.940 MPa	True
5	Podpora 5	1.650 MPa	1.940 MPa	True
6	Podpora 6	0.926 MPa	0.961 MPa	True
7	Podpora 7	1.510 MPa	1.940 MPa	True
8	Podpora 8	1.850 MPa	1.940 MPa	True
9	Podpora 9	1.760 MPa	1.940 MPa	True
10	Podpora 10	1.760 MPa	1.940 MPa	True
11	Podpora 11	1.860 MPa	1.940 MPa	True
12	Podpora 12	1.510 MPa	1.940 MPa	True
13	Podpora 13	1.450 MPa	1.940 MPa	True
14	Podpora 14	1.780 MPa	1.940 MPa	True
15	Podpora 15	1.650 MPa	1.940 MPa	True
16	Podpora 16	1.650 MPa	1.940 MPa	True
17	Podpora 17	1.790 MPa	1.940 MPa	True
18	Podpora 18	1.450 MPa	1.940 MPa	True
19	Podpora 19	1.460 MPa	1.940 MPa	True
20	Podpora 20	1.810 MPa	1.940 MPa	True
21	Podpora 21	0.498 MPa	0.961 MPa	True

22	Podpora 22	0.498 MPa	0.961 MPa	True
23	Podpora 23	1.810 MPa	1.940 MPa	True
24	Podpora 24	1.460 MPa	1.940 MPa	True
25	Podpora 25	1.440 MPa	1.940 MPa	True
26	Podpora 26	1.750 MPa	1.940 MPa	True
27	Podpora 27	0.210 MPa	0.961 MPa	True
28	Podpora 28	0.214 MPa	0.961 MPa	True
29	Podpora 29	1.790 MPa	1.940 MPa	True
30	Podpora 30	1.460 MPa	1.940 MPa	True
31	Podpora 31	1.380 MPa	1.940 MPa	True
32	Podpora 32	1.690 MPa	1.940 MPa	True
33	Podpora 33	0.903 MPa	0.961 MPa	True
34	Podpora 34	0.929 MPa	0.961 MPa	True
35	Podpora 35	1.790 MPa	1.940 MPa	True
36	Podpora 36	1.450 MPa	1.940 MPa	True
37	Podpora 37	1.440 MPa	1.940 MPa	True
38	Podpora 38	1.760 MPa	1.940 MPa	True
39	Podpora 39	1.710 MPa	1.940 MPa	True
40	Podpora 40	1.760 MPa	1.940 MPa	True
41	Podpora 41	1.870 MPa	1.940 MPa	True
42	Podpora 42	1.510 MPa	1.940 MPa	True
43	Podpora 43	0.881 MPa	0.961 MPa	True
44	Podpora 44	1.570 MPa	1.940 MPa	True
45	Podpora 45	1.480 MPa	1.940 MPa	True
46	Podpora 46	1.520 MPa	1.940 MPa	True
47	Podpora 47	1.650 MPa	1.940 MPa	True
48	Podpora 48	0.926 MPa	0.961 MPa	True

5.1.10. SGU - zarysowanie i ugięcie

Tabela 18. Zestawienie kombinacji SGU dla płyty dachowej

Nazwa kombinacji	Wzór kombinacji
SGU-1	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (A+C+E)$
SGU-2	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (B+D)$
SGU-3	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (A+B+C+D+E)$
SGU-4	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (1+3+5+7)$
SGU-5	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (2+4+6)$
SGU-6	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (1+2+3+4+5+6+7)$
SGU-7	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (A+B+D)$
SGU-8	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (B+C+E)$
SGU-9	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (A+C+D)$
SGU-10	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (B+D+E)$
SGU-11	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (1+2+4+5+7)$

SGU-12	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (2+3+5+6)$
SGU-13	$1.0 \cdot (G) + 0.7 \cdot (1+3+4+6+7)$

Najbardziej wyężone jest przęsło A-B z momentem $M_{E_{dqp}} = 54.488 \text{ kN m}$ oraz 7-8 z momentem $M_{E_{dqp}} = 40.036 \text{ kN m}$ i podpora 41 na kierunku x z momentem $M_{E_{qdp}} = 201.464 \text{ kN m}$ oraz podpora 11 na kierunku y z momentem $M_{E_{qdp}} = 181.743 \text{ kN m}$. Obliczenia wykonuję dla 1mb płyty.

Przyjmuję środowisko wewnętrzna $RH = 50\%$, cement normalnie twardniejący, wiek obciążenia betonu $t = 28$ dni - przyjmuję $\phi(\infty, t_0) = 2.1$ $\phi = 2.1$

Przęsło A-B

Faza I

$$M_{E_{qdp}} = 54.488 \text{ kN m}$$

$$b_{\text{eff}} = 1 \text{ m}$$

$$d = 212 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} = 7 \text{ m}$$

$$A_{s1} = 12.57 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 0.25 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 0.25 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{cm}} = 34 \text{ GPa}$$

$$E_{c,\text{eff}} = \frac{E_{\text{cm}}}{1 + \infty, t_0} = \frac{34 \text{ GPa}}{1 + 2.1} = 10.968 \text{ GPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e,\text{It}} = \frac{E_s}{E_{c,\text{eff}}} = \frac{200 \text{ GPa}}{10.968 \text{ GPa}} = 18.235$$

Obliczanie sprowadzonego pola przekroju

$$A_{\text{cs}} = A_c + \alpha_{e,\text{It}} \cdot A_{s1} = 0.25 \text{ m}^2 + 18.235 \cdot 12.57 \text{ cm}^2 = 0.273 \text{ m}^2$$

Położenie środka ciężkości

$$x_I = \frac{\alpha_{e,\text{It}} \cdot A_{s1} \cdot d + 0.5 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h^2}{b_{\text{eff}} \cdot h + \alpha_{e,\text{It}} \cdot A_{s1}} = \frac{18.235 \cdot 12.57 \text{ cm}^2 \cdot 212 \text{ mm} + 0.5 \cdot 1 \text{ m} \cdot (250 \text{ mm})^2}{1 \text{ m} \cdot 250 \text{ mm} + 18.235 \cdot 12.57 \text{ cm}^2} = 13.231 \text{ cm}$$

Moment bezwładności

$$I_I = \frac{b_{\text{eff}} \cdot h^3}{12} + b_{\text{eff}} \cdot h \cdot (0.5 \cdot h - x_I)^2 + \alpha_{e,It} \cdot A_{s1} \cdot (d - x_I)^2 = \frac{1 \text{ m} \cdot (250 \text{ mm})^3}{12} + 1 \text{ m} \cdot 250 \text{ mm} \cdot (0.5 \cdot 250 \text{ mm} - 13.231 \text{ cm})^2 + 18.235 \cdot 12.57 \text{ cm}^2 \cdot (212 \text{ mm} - 13.231 \text{ cm})^2 = 0.00146 \text{ m}^4$$

$$\alpha_M = \left(\frac{1}{12} \right) = 0.0833$$

Ugięcie w fazie I

$$a_I = \frac{\alpha_M \cdot M_{\text{Eqdp}} \cdot l_{\text{eff}}^2}{E_{c,\text{eff}} \cdot I_I} = \frac{0.0833 \cdot 54.488 \text{ kN m} \cdot (7 \text{ m})^2}{10.968 \text{ GPa} \cdot 0.00146 \text{ m}^4} = 13.885 \text{ mm}$$

Wskaźnik na zginanie

$$W_I = \left(\frac{I_I}{h - x_I} \right) = \left(\frac{0.00146 \text{ m}^4}{250 \text{ mm} - 13.231 \text{ cm}} \right) = 12413.694 \text{ cm}^3$$

Moment rysujący

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

$$M_{\text{cr}} = f_{\text{ctm}} \cdot W_I = 3.2 \text{ MPa} \cdot 12413.694 \text{ cm}^3 = 39.724 \text{ kN m}$$

$$M_{\text{Eqdp}} > M_{\text{cr}} = 54.488 \text{ kN m} > 39.724 \text{ kN m} = \text{True}$$

Przekrój zarysuję się.

Faza II

$$a = \frac{A_{s1} \cdot \alpha_{e,It}}{b_{\text{eff}} \cdot d} = \frac{12.57 \text{ cm}^2 \cdot 18.235}{1 \text{ m} \cdot 212 \text{ mm}} = 0.108$$

$$\xi = \sqrt{a^2 + 2 \cdot a} - a = \sqrt{0.108^2 + 2 \cdot 0.108} - 0.108 = 0.369$$

$$x_{II} = \xi \cdot d = 0.369 \cdot 212 \text{ mm} = 7.829 \text{ cm}$$

Moment bezwładności

$$I_{II} = \frac{b_{\text{eff}} \cdot x_{II}^3}{12} + b_{\text{eff}} \cdot x_{II} \cdot (0.5 \cdot h - x_{II})^2 + \alpha_{e,It} \cdot A_{s1} \cdot (d - x_{II})^2 = \frac{1 \text{ m} \cdot (7.829 \text{ cm})^3}{12} + 1 \text{ m} \cdot 7.829 \text{ cm} \cdot (0.5 \cdot 250 \text{ mm} - 7.829 \text{ cm})^2 + 18.235 \cdot 12.57 \text{ cm}^2 \cdot (212 \text{ mm} - 7.829 \text{ cm})^2 = 62058.749 \text{ cm}^4$$

Ugięcie w fazie II

$$a_{II} = \frac{\alpha_M \cdot (M_{\text{Eqdp}} \cdot l_{\text{eff}}^2)}{E_{c,\text{eff}} \cdot I_{II}} = \frac{0.0833 \cdot (54.488 \text{ kN m} \cdot (7 \text{ m})^2)}{10.968 \text{ GPa} \cdot 62058.749 \text{ cm}^4} = 32.689 \text{ mm}$$

Ugięcie płyty

$$\zeta = 1 - 0.5 \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{Eqdp}} \right) = 1 - 0.5 \cdot \left(\frac{39.724 \text{ kN m}}{54.488 \text{ kN m}} \right) = 0.635$$

$$a = a_{II} \cdot \zeta + a_I \cdot (1 - \zeta) = 32.689 \text{ mm} \cdot 0.635 + 13.885 \text{ mm} \cdot (1 - 0.635) = 25.834 \text{ mm}$$

$$a_{lim} = \frac{l_{eff}}{250} = \frac{7 \text{ m}}{250} = 28 \text{ mm}$$

$$a < a_{lim} = 25.834 \text{ mm} < 28 \text{ mm} = \text{True}$$

WARUNEK UGIĘCIA SPEŁNIONY

Sprawdzenie szerokości rozwarcia rysy

$$k_1 = 0.8$$

$$k_2 = 0.5$$

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

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

$$c = 30 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \cdot \text{Min} \left(2.5 \cdot (h - d), \left(\frac{h - x_I}{3} \right) \right) =$$

$$1 \text{ m} \cdot \text{Min} \left(2.5 \cdot (250 \text{ mm} - 212 \text{ mm}), \left(\frac{250 \text{ mm} - 13.231 \text{ cm}}{3} \right) \right) = 392.311 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\rho,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}} = \frac{12.57 \text{ cm}^2}{392.311 \text{ cm}^2} = 0.0320$$

Rozstaw rys

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \left(\frac{\phi}{\rho_{\rho,eff}} \right) = 3.4 \cdot 30 \text{ mm} + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \left(\frac{16 \text{ mm}}{0.0320} \right) = 186.891 \text{ mm}$$

Naprężenia w stali

$$\sigma_s = \left(\frac{\alpha_{e,It} \cdot M_{Eqdp} \cdot (d - x_{II})}{I_{II}} \right) = \left(\frac{18.235 \cdot 54.488 \text{ kN m} \cdot (212 \text{ mm} - 7.829 \text{ cm})}{62058.749 \text{ cm}^4} \right) = 214.076 \text{ MPa}$$

$$k_t = 0.4$$

$$\varepsilon_{cr} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{\rho_{\rho,eff}} \right) \cdot (1 + \alpha_{e,It} \cdot \rho_{\rho,eff})}{E_s} =$$

$$\frac{214.076 \text{ MPa} - 0.4 \cdot \left(\frac{3.2 \text{ MPa}}{0.0320} \right) \cdot (1 + 18.235 \cdot 0.0320)}{200 \text{ GPa}} = 0.000754$$

Rozwarcie rysy

$$w_k = s_{r,\max} \cdot \varepsilon_{cr} = 186.891 \text{ mm} \cdot 0.000754 = 0.141 \text{ mm}$$

$$w_{\max} = 0.4 \text{ mm}$$

$$w_k < w_{\max} = 0.141 \text{ mm} < 0.4 \text{ mm} = \text{True}$$

WARUNEK SZEROKOŚCI ROZWARCIA RYSY - SPEŁNIONY

Przesło 7-8

Faza I

$$M_{Eqdp} = 40.036 \text{ kN m}$$

$$b_{eff} = 1 \text{ m}$$

$$d = 196 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 6 \text{ m}$$

$$A_{s1} = 10.58 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 0.25 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 0.25 \text{ m}^2$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \infty, t_0} = \frac{34 \text{ GPa}}{1 + 2.1} = 10.968 \text{ GPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e,It} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200 \text{ GPa}}{10.968 \text{ GPa}} = 18.235$$

Obliczanie sprowadzonego pola przekroju

$$A_{cs} = A_c + \alpha_{e,It} \cdot A_{s1} = 0.25 \text{ m}^2 + 18.235 \cdot 10.58 \text{ cm}^2 = 0.269 \text{ m}^2$$

Położenie środka ciężkości

$$x_I = \frac{\alpha_{e,It} \cdot A_{s1} \cdot d + 0.5 \cdot b_{eff} \cdot h^2}{b_{eff} \cdot h + \alpha_{e,It} \cdot A_{s1}} = \frac{18.235 \cdot 10.58 \text{ cm}^2 \cdot 196 \text{ mm} + 0.5 \cdot 1 \text{ m} \cdot (250 \text{ mm})^2}{1 \text{ m} \cdot 250 \text{ mm} + 18.235 \cdot 10.58 \text{ cm}^2} = 13.009 \text{ cm}$$

Moment bezwładności

$$I_I = \frac{b_{\text{eff}} \cdot h^3}{12} + b_{\text{eff}} \cdot h \cdot (0.5 \cdot h - x_I)^2 + \alpha_{e,It} \cdot A_{s1} \cdot (d - x_I)^2 = \frac{1 \text{ m} \cdot (250 \text{ mm})^3}{12} + 1 \text{ m} \cdot 250 \text{ mm} \cdot (0.5 \cdot 250 \text{ mm} - 13.009 \text{ cm})^2 + 18.235 \cdot 10.58 \text{ cm}^2 \cdot (196 \text{ mm} - 13.009 \text{ cm})^2 = 0.00139 \text{ m}^4$$

$$\alpha_M = \left(\frac{1}{12} \right) = 0.0833$$

Ugięcie w fazie I

$$a_I = \frac{\alpha_M \cdot M_{\text{Eqdp}} \cdot l_{\text{eff}}^2}{E_{c,\text{eff}} \cdot I_I} = \frac{0.0833 \cdot 40.036 \text{ kN m} \cdot (6 \text{ m})^2}{10.968 \text{ GPa} \cdot 0.00139 \text{ m}^4} = 7.865 \text{ mm}$$

Wskaźnik na zginanie

$$W_I = \left(\frac{I_I}{h - x_I} \right) = \left(\frac{0.00139 \text{ m}^4}{250 \text{ mm} - 13.009 \text{ cm}} \right) = 11611.479 \text{ cm}^3$$

Moment rysujący

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

$$M_{\text{cr}} = f_{\text{ctm}} \cdot W_I = 3.2 \text{ MPa} \cdot 11611.479 \text{ cm}^3 = 37.157 \text{ kN m}$$

$$M_{\text{Eqdp}} > M_{\text{cr}} = 40.036 \text{ kN m} > 37.157 \text{ kN m} = \text{True}$$

Przekrój zarysuję się.

Faza II

$$a = \frac{A_{s1} \cdot \alpha_{e,It}}{b_{\text{eff}} \cdot d} = \frac{10.58 \text{ cm}^2 \cdot 18.235}{1 \text{ m} \cdot 196 \text{ mm}} = 0.0984$$

$$\xi = \sqrt{a^2 + 2 \cdot a} - a = \sqrt{0.0984^2 + 2 \cdot 0.0984} - 0.0984 = 0.356$$

$$x_{II} = \xi \cdot d = 0.356 \cdot 196 \text{ mm} = 6.979 \text{ cm}$$

Moment bezwładności

$$I_{II} = \frac{b_{\text{eff}} \cdot x_{II}^3}{12} + b_{\text{eff}} \cdot x_{II} \cdot (0.5 \cdot h - x_{II})^2 + \alpha_{e,It} \cdot A_{s1} \cdot (d - x_{II})^2 = \frac{1 \text{ m} \cdot (6.979 \text{ cm})^3}{12} + 1 \text{ m} \cdot 6.979 \text{ cm} \cdot (0.5 \cdot 250 \text{ mm} - 6.979 \text{ cm})^2 + 18.235 \cdot 10.58 \text{ cm}^2 \cdot (196 \text{ mm} - 6.979 \text{ cm})^2 = 54840.698 \text{ cm}^4$$

Ugięcie w fazie II

$$a_{II} = \frac{\alpha_M \cdot (M_{\text{Eqdp}} \cdot l_{\text{eff}}^2)}{E_{c,\text{eff}} \cdot I_{II}} = \frac{0.0833 \cdot (40.036 \text{ kN m} \cdot (6 \text{ m})^2)}{10.968 \text{ GPa} \cdot 54840.698 \text{ cm}^4} = 19.969 \text{ mm}$$

Ugięcie płyty

$$\zeta_1 = 1 - 0.5 \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{Eqdp}} \right) = 1 - 0.5 \cdot \left(\frac{37.157 \text{ kN m}}{40.036 \text{ kN m}} \right) = 0.536$$

$$a_1 = a_{II} \cdot \zeta_1 + a_I \cdot (1 - \zeta_1) = 19.969 \text{ mm} \cdot 0.536 + 7.865 \text{ mm} \cdot (1 - 0.536) = 14.352 \text{ mm}$$

$$a_{lim1} = \frac{l_{eff}}{250} = \frac{6 \text{ m}}{250} = 24 \text{ mm}$$

$$a_1 < a_{lim1} = 14.352 \text{ mm} < 24 \text{ mm} = \text{True}$$

WARUNEK UGIĘCIA SPEŁNIONY

Sprawdzenie szerokości rozwarcia rysy

$$k_1 = 0.8$$

$$k_2 = 0.5$$

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$\phi_1 = 16 \text{ mm}$$

$$c = 30 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \cdot \text{Min} \left(2.5 \cdot (h - d), \left(\frac{h - x_I}{3} \right) \right) =$$

$$1 \text{ m} \cdot \text{Min} \left(2.5 \cdot (250 \text{ mm} - 196 \text{ mm}), \left(\frac{250 \text{ mm} - 13.009 \text{ cm}}{3} \right) \right) = 399.711 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\rho,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}} = \frac{10.58 \text{ cm}^2}{399.711 \text{ cm}^2} = 0.0265$$

Rozstaw rys

$$s_{r,max} = k_2 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \left(\frac{\phi_1}{\rho_{\rho,eff}} \right) = 0.5 \cdot 30 \text{ mm} + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \left(\frac{16 \text{ mm}}{0.0265} \right) = 117.761 \text{ mm}$$

Naprężenia w stali

$$\sigma_s = \left(\frac{\alpha_{e,It} \cdot M_{Eqdp} \cdot (d - x_{II})}{I_{II}} \right) = \left(\frac{18.235 \cdot 40.036 \text{ kN m} \cdot (196 \text{ mm} - 6.979 \text{ cm})}{54840.698 \text{ cm}^4} \right) = 168.023 \text{ MPa}$$

$$k_t = 0.4$$

$$\varepsilon_{cr} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{\rho_{\rho,eff}} \right) \cdot (1 + \alpha_{e,It} \cdot \rho_{\rho,eff})}{E_s} =$$

$$\frac{168.023 \text{ MPa} - 0.4 \cdot \left(\frac{3.2 \text{ MPa}}{0.0265} \right) \cdot (1 + 18.235 \cdot 0.0265)}{200 \text{ GPa}} = 0.000482$$

Rozwarcie rysy

$$w_k = s_{r,\max} \cdot \varepsilon_{cr} = 117.761 \text{ mm} \cdot 0.000482 = 0.0567 \text{ mm}$$

$$w_{\max} = 0.4 \text{ mm}$$

$$w_k < w_{\max} = 0.0567 \text{ mm} < 0.4 \text{ mm} = \text{True}$$

WARUNEK SZEROKOŚCI ROZWARCIA RYSY - SPEŁNIONY

5.2. Słup

5.2.1. Sprawdzenie smukłości słupa

Założone wymiary słupa $b = 0.4 \text{ m}$ $h = 0.4 \text{ m}$ $l = 3.75 \text{ m}$

Przyjmuję środowisko wewnętrzna $RH = 0.5$, cement normalnie twardniejący, wiek obciążenia betonu $t = 28$ dni - przyjmuję $\phi(\infty, t_0) = 2.1$ $\phi_{ef} = 2.1$

$$d = h - c_{\text{nom}} - \phi_{\text{strzemion}} - \frac{\phi_{\text{główne}}}{2} = 0.4 \text{ m} - 30 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - \frac{20 \text{ mm}}{2} = 0.352 \text{ m}$$

$$a = c_{\text{nom}} + \phi_{\text{strzemion}} + \frac{\phi_{\text{główne}}}{2} = 30 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + \frac{20 \text{ mm}}{2} = 48 \text{ mm}$$

Długość wyboczeniowa

$$l_0 = \beta \cdot l = 0.5 \cdot 3.75 \text{ m} = 1.875 \text{ m}$$

Mimośród początkowy

$$e_0 = e_s + e_a$$

$$N_{Ed} = 524.53 \text{ kN}$$

$$e_a = \text{Max} \left(\frac{l_0}{400}, \frac{h}{30}, 20 \text{ mm} \right) = \text{Max} \left(\frac{1.875 \text{ m}}{400}, \frac{0.4 \text{ m}}{30}, 20 \text{ mm} \right) = 20 \text{ mm}$$

$$e_s = \frac{42.85 \text{ kN m}}{524.53 \text{ kN}} = 81.692 \text{ mm}$$

$$e_0 = e_s + e_a = 81.692 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 101.692 \text{ mm}$$

Moment bezwładności

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.4 \text{ m} \cdot (0.4 \text{ m})^3}{12} = 213333.333 \text{ cm}^4$$

Pole powierzchni

$$A = b \cdot h = 0.4 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m} = 1600 \text{ cm}^2$$

Promień bezwładności

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{213333.333 \text{ cm}^4}{1600 \text{ cm}^2}} = 11.547 \text{ cm}$$

Słup jest zamocowany w schemacie sztywno-sztywnym, dlatego $\beta = 0.5$.

Smukłość elementu

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{1.875 \text{ m}}{11.547 \text{ cm}} = 16.238$$

Smukłość graniczna

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

Względna siła nominalna

$$n = \frac{N_{\text{Ed}}}{A \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{524.53 \text{ kN}}{1600 \text{ cm}^2 \cdot 25 \text{ MPa}} = 0.131$$

Współczynnik A

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{\text{ef}}} = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot 2.1} = 0.704$$

Współczynnik B

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0.348} = 1.302$$

$$A_c = b \cdot h = 0.4 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m} = 0.16 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{zakładane}} = 2\%$$

$$A_s = b \cdot h \cdot \rho_{\text{zakładane}} = 0.4 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m} \cdot 2\% = 0.0032 \text{ m}^2$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{\text{yd}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{0.0032 \text{ m}^2 \cdot 434.783 \text{ MPa}}{0.16 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ MPa}} = 0.348$$

Współczynnik C

$$C = 1 - r_m = 1 - 0.259 = 0.741$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{11.09 \text{ kN m}}{42.85 \text{ kN m}} = 0.259$$

$$M_{01} = 11.09 \text{ kN m}$$

$$M_{02} = 42.85 \text{ kN m}$$

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0.704 \cdot 1.302 \cdot 0.741}{\sqrt{0.131}} = 37.539$$

$$\lambda < \lambda_{\text{lim}} = 16.238 < 37.539 = \text{True}$$

Warunek smukłości spełniony. Nie będą występować efekty II rzędu.

Tabela 19. Zestawienie wyników warunku smukłości dla momentów M_y

Lp	Lokalizacja	n	A	B	C	λ_{lim}	Warunek $\lambda < \lambda_{lim}$
1	Podpora 1	0.131	0.704	1.302	0.034	1.723	False
2	Podpora 2	0.191	0.704	1.302	0.862	36.158	True
3	Podpora 3	0.181	0.704	1.302	0.338	14.575	False
4	Podpora 4	0.181	0.704	1.302	0.555	23.938	True
5	Podpora 5	0.192	0.704	1.302	0.502	21.015	True
6	Podpora 6	0.131	0.704	1.302	0.737	37.343	True
7	Podpora 7	0.175	0.704	1.302	0.070	3.082	False
8	Podpora 8	0.262	0.704	1.302	0.831	29.791	True
9	Podpora 9	0.249	0.704	1.302	0.376	13.819	False
10	Podpora 10	0.249	0.704	1.302	0.524	19.261	True
11	Podpora 11	0.262	0.704	1.302	0.391	14.012	False
12	Podpora 12	0.175	0.704	1.302	0.744	32.586	True
13	Podpora 13	0.168	0.704	1.302	0.096	4.314	False
14	Podpora 14	0.253	0.704	1.302	0.796	29.042	True
15	Podpora 15	0.234	0.704	1.302	0.631	23.952	True
16	Podpora 16	0.234	0.704	1.302	0.215	8.148	False
17	Podpora 17	0.253	0.704	1.302	0.277	10.098	False
18	Podpora 18	0.168	0.704	1.302	0.748	33.511	True
19	Podpora 19	0.170	0.704	1.302	0.081	3.606	False
20	Podpora 20	0.256	0.704	1.302	0.811	29.373	True
21	Podpora 21	0.092	0.704	1.302	0.735	44.478	True
22	Podpora 22	0.092	0.704	1.302	0.050	3.014	False
23	Podpora 23	0.256	0.704	1.302	0.357	12.936	False
24	Podpora 24	0.170	0.704	1.302	0.743	33.105	True
25	Podpora 25	0.167	0.704	1.302	0.048	2.163	False
26	Podpora 26	0.246	0.704	1.302	0.877	32.389	True
27	Podpora 27	0.039	0.704	1.302	0.728	67.775	True
28	Podpora 28	0.040	0.704	1.302	0.050	4.614	False
29	Podpora 29	0.252	0.704	1.302	0.603	22.039	True
30	Podpora 30	0.170	0.704	1.302	0.745	33.119	True
31	Podpora 31	0.160	0.704	1.302	0.030	1.382	False
32	Podpora 32	0.239	0.704	1.302	0.827	31.048	True
33	Podpora 33	0.167	0.704	1.302	0.934	41.930	True
34	Podpora 34	0.172	0.704	1.302	0.767	33.952	True
35	Podpora 35	0.252	0.704	1.302	0.400	14.592	False
36	Podpora 36	0.168	0.704	1.302	0.753	33.686	True
37	Podpora 37	0.167	0.704	1.302	0.007	0.322	False
38	Podpora 38	0.248	0.704	1.302	0.818	30.084	True
39	Podpora 39	0.242	0.704	1.302	0.402	15.005	False

40	Podpora 40	0.248	0.704	1.302	0.504	18.543	True
41	Podpora 41	0.264	0.704	1.302	0.339	12.122	False
42	Podpora 42	0.175	0.704	1.302	0.753	32.975	True
43	Podpora 43	0.125	0.704	1.302	0.030	1.549	False
44	Podpora 44	0.182	0.704	1.302	0.864	37.175	True
45	Podpora 45	0.172	0.704	1.302	0.344	15.193	False
46	Podpora 46	0.176	0.704	1.302	0.553	24.158	True
47	Podpora 47	0.191	0.704	1.302	0.504	21.119	True
48	Podpora 48	0.131	0.704	1.302	0.748	37.902	True

Tabela 20. Zestawienie wyników warunku smukłości dla momentów M_z

Lp	Lokalizacja	n	A	B	C	λ_{lim}	Warunek $\lambda < \lambda_{lim}$
1	Podpora 1	0.131	0.704	1.302	0.741	37.539	True
2	Podpora 2	0.191	0.704	1.302	0.738	30.945	True
3	Podpora 3	0.181	0.704	1.302	0.743	32.032	True
4	Podpora 4	0.181	0.704	1.302	0.738	31.796	True
5	Podpora 5	0.192	0.704	1.302	0.725	30.386	True
6	Podpora 6	0.131	0.704	1.302	0.725	36.712	True
7	Podpora 7	0.175	0.704	1.302	0.440	19.249	True
8	Podpora 8	0.262	0.704	1.302	0.538	19.300	True
9	Podpora 9	0.249	0.704	1.302	0.662	24.345	True
10	Podpora 10	0.249	0.704	1.302	0.654	24.054	True
11	Podpora 11	0.262	0.704	1.302	0.530	18.994	True
12	Podpora 12	0.175	0.704	1.302	0.426	18.656	True
13	Podpora 13	0.168	0.704	1.302	0.491	21.980	True
14	Podpora 14	0.253	0.704	1.302	0.572	20.870	True
15	Podpora 15	0.234	0.704	1.302	0.377	14.290	False
16	Podpora 16	0.234	0.704	1.302	0.380	14.417	False
17	Podpora 17	0.253	0.704	1.302	0.576	20.990	True
18	Podpora 18	0.168	0.704	1.302	0.512	22.934	True
19	Podpora 19	0.170	0.704	1.302	0.510	22.705	True
20	Podpora 20	0.256	0.704	1.302	0.407	14.731	False
21	Podpora 21	0.092	0.704	1.302	0.055	3.351	False
22	Podpora 22	0.092	0.704	1.302	0.097	5.842	False
23	Podpora 23	0.256	0.704	1.302	0.403	14.593	False
24	Podpora 24	0.170	0.704	1.302	0.508	22.614	True
25	Podpora 25	0.167	0.704	1.302	0.432	19.399	True
26	Podpora 26	0.246	0.704	1.302	0.404	14.924	False
27	Podpora 27	0.039	0.704	1.302	0.170	15.853	False
28	Podpora 28	0.040	0.704	1.302	0.170	15.697	False

29	Podpora 29	0.252	0.704	1.302	0.406	14.817	False
30	Podpora 30	0.170	0.704	1.302	0.437	19.431	True
31	Podpora 31	0.160	0.704	1.302	0.428	19.601	True
32	Podpora 32	0.239	0.704	1.302	0.512	19.210	True
33	Podpora 33	0.167	0.704	1.302	0.770	34.596	True
34	Podpora 34	0.172	0.704	1.302	0.771	34.144	True
35	Podpora 35	0.252	0.704	1.302	0.510	18.612	True
36	Podpora 36	0.168	0.704	1.302	0.407	18.210	True
37	Podpora 37	0.167	0.704	1.302	0.812	36.463	True
38	Podpora 38	0.248	0.704	1.302	0.755	27.782	True
39	Podpora 39	0.242	0.704	1.302	0.642	23.946	True
40	Podpora 40	0.248	0.704	1.302	0.646	23.758	True
41	Podpora 41	0.264	0.704	1.302	0.761	27.163	True
42	Podpora 42	0.175	0.704	1.302	0.817	35.774	True
43	Podpora 43	0.125	0.704	1.302	0.020	1.037	False
44	Podpora 44	0.182	0.704	1.302	0.019	0.819	False
45	Podpora 45	0.172	0.704	1.302	0.026	1.144	False
46	Podpora 46	0.176	0.704	1.302	0.057	2.476	False
47	Podpora 47	0.191	0.704	1.302	0.047	1.980	False
48	Podpora 48	0.131	0.704	1.302	0.066	3.327	False

5.2.2. Obliczenie efektów II rzędu - metoda nominalnej sztywności

$$EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_s \cdot E_s \cdot I_s$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$K_s = 1.0$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{35}{20}} = 1.323$$

$$k_2 = \text{Min} \left(C2 \cdot \left(\frac{\lambda}{170} \right), 0.2 \right) = \text{Min} \left(0.131 \cdot \left(\frac{16.238}{170} \right), 0.2 \right) = 0.0125$$

$$K_c = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1.323 \cdot 0.0125}{1 + 2.1} = 0.00535$$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1.2} = \frac{34 \text{ GPa}}{1.2} = 28.333 \text{ GPa}$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.4 \text{ m} \cdot (0.4 \text{ m})^3}{12} = 213333.333 \text{ cm}^4$$

$$I_s = (0.02 \cdot A) \cdot \left(\frac{h}{2} - a \right)^2 = (0.02 \cdot 1600 \text{ cm}^2) \cdot \left(\frac{0.4 \text{ m}}{2} - 48 \text{ mm} \right)^2 = 7393.28 \text{ cm}^4$$

$$EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_s \cdot E_s \cdot I_s = 0.00535 \cdot 28.333 \text{ GPa} \cdot 213333.333 \text{ cm}^4$$

$$+ 1.0 \cdot 200 \text{ GPa} \cdot 7393.28 \text{ cm}^4 = 15109.638 \text{ kN m}^2$$

$$\beta = 1.234$$

Sila krytyczna

$$N_B = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l_0^2} = \frac{3.142^2 \cdot 15109.638 \text{ kN m}^2}{(1.875 \text{ m})^2} = 42418.104 \text{ kN}$$

Moment z uwzględnieniem II rzędu

$$M_{Ed} = (D2 \cdot 1 \text{ kN m}) \cdot \left(1 + \frac{\beta}{\left(\frac{N_B}{C2 \cdot 1 \text{ kN}} \right) - 1} \right) =$$

$$(42.34 \cdot 1 \text{ kN m}) \cdot \left(1 + \frac{1.234}{\left(\frac{42418.104 \text{ kN}}{524.53 \cdot 1 \text{ kN}} \right) - 1} \right) = 42.994 \text{ kN m}$$

Tabela 21. Zestawienie momentów M_y z uwzględnieniem II rzędu

Lp	Lokalizacja	EI [kNm ²]	N _B [kN]	M _{Ed} [kN]
1	Podpora 1	15131.176	37334.681	43.085
3	Podpora 3	15131.176	37334.681	19.996
7	Podpora 7	15131.176	37334.681	44.068
9	Podpora 9	15131.176	37334.681	21.203
11	Podpora 11	15131.176	37334.681	18.446
13	Podpora 13	15131.176	37334.681	42.887
16	Podpora 16	15131.176	37334.681	18.013
17	Podpora 17	15131.176	37334.681	17.067
19	Podpora 19	15131.176	37334.681	42.693
22	Podpora 22	15131.176	37334.681	21.329
23	Podpora 23	15131.176	37334.681	16.030
25	Podpora 25	15131.176	37334.681	41.828
28	Podpora 28	15131.176	37334.681	14.667
31	Podpora 31	15131.176	37334.681	40.657
35	Podpora 35	15131.176	37334.681	16.921
37	Podpora 37	15131.176	37334.681	41.348
39	Podpora 39	15131.176	37334.681	21.101
41	Podpora 41	15131.176	37334.681	17.610
43	Podpora 43	15131.176	37334.681	41.574
45	Podpora 45	15131.176	37334.681	20.013

Tabela 22. Zestawienie momentów M_z z uwzględnieniem II rzędu

Lp	Lokalizacja	EI [kNm ²]	N _B [kN]	M _{Ed} [kN]
1	Podpora 15	15131.176	37334.681	11.421
2	Podpora 16	15131.176	37334.681	11.483
3	Podpora 20	15131.176	37334.681	13.567
4	Podpora 21	15131.176	37334.681	14.799
5	Podpora 22	15131.176	37334.681	15.093
6	Podpora 23	15131.176	37334.681	13.567
7	Podpora 26	15131.176	37334.681	14.406
8	Podpora 27	15131.176	37334.681	0.472
9	Podpora 28	15131.176	37334.681	0.472
10	Podpora 29	15131.176	37334.681	14.459
11	Podpora 43	15131.176	37334.681	22.388
12	Podpora 44	15131.176	37334.681	25.828
13	Podpora 45	15131.176	37334.681	24.126
14	Podpora 46	15131.176	37334.681	24.928
15	Podpora 47	15131.176	37334.681	27.144
16	Podpora 48	15131.176	37334.681	23.862

5.2.3. Wymiarowanie zbrojenia na zginanie

Na podstawie [16] obliczam zbrojenie na zginanie w słupie.

$$A_{s,min} = \text{Max} \left(\frac{0.1 \cdot C2 \cdot 1 \text{ kN}}{f_{yd}}, 0.002 \cdot A \right) = \text{Max} \left(\frac{0.1 \cdot 524.53 \cdot 1 \text{ kN}}{434.783 \text{ MPa}}, 0.002 \cdot 1600 \text{ cm}^2 \right)$$

$$= 3.2 \text{ cm}^2$$

$$\delta_1 = \frac{a}{d} = \frac{48 \text{ mm}}{0.352 \text{ m}} = 0.136$$

$$\delta_2 = \frac{a}{d} = \frac{48 \text{ mm}}{0.352 \text{ m}} = 0.136$$

$$S = b \cdot d \cdot f_{cd} = 0.4 \text{ m} \cdot 0.352 \text{ m} \cdot 25 \text{ MPa} = 3520 \text{ kN}$$

$$n_{Ed} = \frac{C2 \cdot 1 \text{ kN}}{S} = \frac{524.53 \cdot 1 \text{ kN}}{3520 \text{ kN}} = 0.149$$

$$m_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{S \cdot d} = \frac{42.994 \text{ kN m}}{3520 \text{ kN} \cdot 0.352 \text{ m}} = 0.0347$$

$$m_{Ed,1} = m_{Ed} + 0.5 \cdot n_{Ed} \cdot (1 - \delta_1) = 0.0347 + 0.5 \cdot 0.149 \cdot (1 - 0.136) = 0.0990$$

$$(\alpha_1 + \alpha_2)_{min} = \text{value1} = \text{Max} \left(0.002 \cdot (1 + \delta_1) \cdot \left(\frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right), 0.1 \cdot n_{Ed} \right) =$$

$$\text{Max}\left(0.002 \cdot (1 + 0.136) \cdot \left(\frac{434.783 \text{ MPa}}{25 \text{ MPa}}\right), 0.1 \cdot 0.149\right) = 0.0395$$

$$\alpha_{1,\min} = 0.5 \cdot 0.0395 = 0.0198$$

$$\alpha_{2,\min} = 0.5 \cdot 0.0395 = 0.0198$$

$$\alpha_2 = \frac{\text{value1} - 0.371}{1 - \delta_2} = \frac{0.0395 - 0.371}{1 - 0.136} = -0.384$$

$$\alpha_2 < \alpha_{2,\min} = (-0.384) < 0.0198 = \text{True}$$

Przyjmuję $\alpha_2 = \alpha_{2,\min}$

$$\alpha_1 = \text{Max}\left(\left(0.973 - n_{\text{Ed}} - \sqrt{0.947 - 1.95 \cdot m_{\text{Ed},1}}\right), \alpha_{1,\min}\right) =$$

$$\text{Max}\left(\left(0.973 - 0.149 - \sqrt{0.947 - 1.95 \cdot 0.0990}\right), 0.0198\right) = 0.0198$$

$$A_{s1} = \alpha_1 \cdot \left(\frac{S}{f_{yd}}\right) = 0.0198 \cdot \left(\frac{3520 \text{ kN}}{434.783 \text{ MPa}}\right) = 1.6 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = \alpha_{2,\min} \cdot \left(\frac{S}{f_{yd}}\right) = 0.0198 \cdot \left(\frac{3520 \text{ kN}}{434.783 \text{ MPa}}\right) = 1.6 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} < A_{s,\min} = 1.6 \text{ cm}^2 < 3.2 \text{ cm}^2 = \text{True}$$

$$A_{s2} < A_{s,\min} = 1.6 \text{ cm}^2 < 3.2 \text{ cm}^2 = \text{True}$$

Przyjmuję zbrojenie minimalne jako $2\phi 16 = 4.02 \text{ cm}^2$.

Tabela 23. Zestawienie zbrojenia z uwzględnieniem efektów II rzędu

Lp.	Lokalizacja	$A_{s,\min}$	n_{Ed}	m_{Ed}	$m_{\text{Ed},1}$	$(\alpha_1 + \alpha_2)_{\min}$	α_1	α_2	A_{s1}	A_{s2}
1	Podpora 1	3.2 cm ²	0.149	0.035	0.099	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
2	Podpora 2	3.2 cm ²	0.010	0.040	0.045	0.0395	0.0356	-0.384	2.88 cm ²	1.6 cm ²
3	Podpora 3	3.2 cm ²	0.206	0.016	0.105	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
4	Podpora 4	3.2 cm ²	0.007	0.038	0.041	0.0395	0.0351	-0.384	2.84 cm ²	1.6 cm ²
5	Podpora 5	3.2 cm ²	0.218	0.040	0.134	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
6	Podpora 6	3.2 cm ²	0.024	0.067	0.077	0.0395	0.0570	-0.384	4.61 cm ²	1.6 cm ²
7	Podpora 7	3.2 cm ²	0.199	0.036	0.122	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
8	Podpora 8	3.2 cm ²	0.010	0.028	0.032	0.0395	0.0229	-0.384	1.86 cm ²	1.6 cm ²
9	Podpora 9	3.2 cm ²	0.283	0.017	0.139	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
10	Podpora 10	3.2 cm ²	0.007	0.020	0.023	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
11	Podpora 11	3.2 cm ²	0.298	0.015	0.144	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
12	Podpora 12	3.2 cm ²	0.024	0.068	0.078	0.0395	0.0580	-0.384	4.69 cm ²	1.6 cm ²
13	Podpora 13	3.2 cm ²	0.191	0.035	0.117	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
14	Podpora 14	3.2 cm ²	0.009	0.026	0.030	0.0395	0.0212	-0.384	1.72 cm ²	1.6 cm ²
15	Podpora 15	3.2 cm ²	0.266	0.009	0.124	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
16	Podpora 16	3.2 cm ²	0.005	0.015	0.017	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²

17	Podpora 17	3.2 cm ²	0.288	0.014	0.138	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
18	Podpora 18	3.2 cm ²	0.023	0.066	0.076	0.0395	0.0563	-0.384	4.56 cm ²	1.6 cm ²
19	Podpora 19	3.2 cm ²	0.193	0.034	0.118	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
20	Podpora 20	3.2 cm ²	0.009	0.011	0.015	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
21	Podpora 21	3.2 cm ²	0.104	0.012	0.057	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
22	Podpora 22	3.2 cm ²	0.006	0.012	0.015	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
23	Podpora 23	3.2 cm ²	0.291	0.013	0.139	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
24	Podpora 24	3.2 cm ²	0.023	0.066	0.076	0.0395	0.0562	-0.384	4.55 cm ²	1.6 cm ²
25	Podpora 25	3.2 cm ²	0.189	0.034	0.116	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
26	Podpora 26	3.2 cm ²	0.009	0.012	0.016	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
27	Podpora 27	3.2 cm ²	0.044	0.000	0.019	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
28	Podpora 28	3.2 cm ²	0.004	0.012	0.014	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
29	Podpora 29	3.2 cm ²	0.286	0.012	0.135	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
30	Podpora 30	3.2 cm ²	0.023	0.066	0.076	0.0395	0.0564	-0.384	4.57 cm ²	1.6 cm ²
31	Podpora 31	3.2 cm ²	0.182	0.033	0.111	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
32	Podpora 32	3.2 cm ²	0.009	0.025	0.029	0.0395	0.0207	-0.384	1.68 cm ²	1.6 cm ²
33	Podpora 33	3.2 cm ²	0.190	0.028	0.110	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
34	Podpora 34	3.2 cm ²	0.004	0.028	0.030	0.0395	0.0262	-0.384	2.12 cm ²	1.6 cm ²
35	Podpora 35	3.2 cm ²	0.287	0.014	0.138	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
36	Podpora 36	3.2 cm ²	0.023	0.066	0.077	0.0395	0.0564	-0.384	4.57 cm ²	1.6 cm ²
37	Podpora 37	3.2 cm ²	0.190	0.033	0.115	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
38	Podpora 38	3.2 cm ²	0.009	0.027	0.031	0.0395	0.0218	-0.384	1.76 cm ²	1.6 cm ²
39	Podpora 39	3.2 cm ²	0.275	0.017	0.136	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
40	Podpora 40	3.2 cm ²	0.007	0.019	0.022	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
41	Podpora 41	3.2 cm ²	0.300	0.014	0.144	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
42	Podpora 42	3.2 cm ²	0.024	0.068	0.078	0.0395	0.0577	-0.384	4.67 cm ²	1.6 cm ²
43	Podpora 43	3.2 cm ²	0.142	0.034	0.095	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
44	Podpora 44	3.2 cm ²	0.207	0.021	0.110	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
45	Podpora 45	3.2 cm ²	0.195	0.019	0.104	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
46	Podpora 46	3.2 cm ²	0.200	0.020	0.107	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
47	Podpora 47	3.2 cm ²	0.218	0.022	0.116	0.0395	0.0198	-0.384	1.6 cm ²	1.6 cm ²
48	Podpora 48	3.2 cm ²	0.149	0.019	0.084	0.0395	0.0198	-0.430	1.6 cm ²	1.6 cm ²

5.2.4. Rozstaw strzemion

$$s_{cl,tmax} = \text{Min}(20 \cdot 20 \text{ mm}, 400 \text{ mm}, 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm}$$

Zagęszczenie rozstawu strzemion

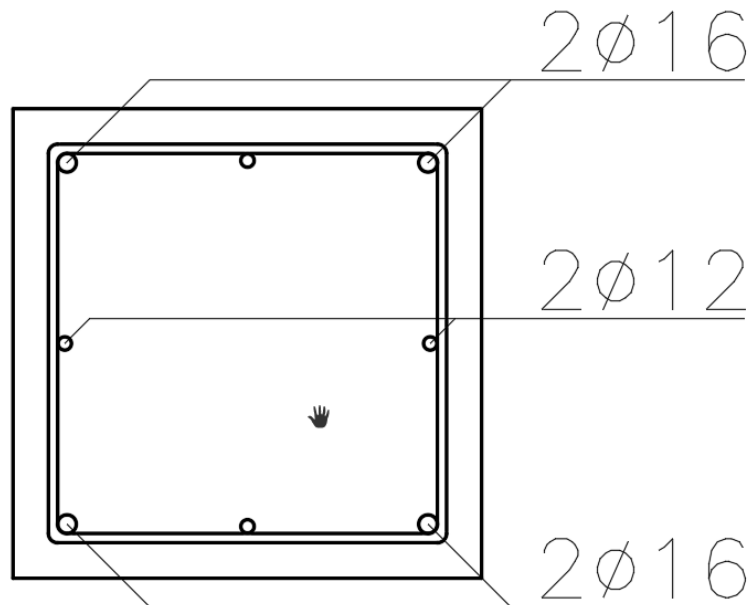
$$s_{cl,t,zagęszczzone} = 0.5 \cdot s_{cl,tmax} = 0.5 \cdot 400 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

$$l_{0,zagęszczzenia} = \text{Max}(l_{bd}, b, h) = \text{Max}(104.877 \text{ mm}, 0.4 \text{ m}, 0.4 \text{ m}) = 0.4 \text{ m}$$

Zagęszczam strzemiona na górze i dole słupa przy płytach stropowych.

5.2.5. Wymiarowanie zbrojenia w słupie

Przyjmuję minimalne zbrojenie we wszystkich słupach, 4φ16 - pręty główne oraz 4φ12 - pręty montażowe.



Rys 58. Zbrojenie w słupie

5.2.6. Obliczeniowa długość zakotwienia

Na podstawie punktu 8.4.3 obliczam podstawową, wymaganą długość zakotwienia prętów.

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

Obliczam długość zakotwienia dla prętów głównych.

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

$$A_{s,req} = 1.60 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,prov} = 8.04 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s,req}}{A_{s,prov}} = \frac{434.783 \text{ MPa} \cdot 1.60 \text{ cm}^2}{8.04 \text{ cm}^2} = 86.524 \text{ MPa}$$

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

$$\alpha_{ct} = 1$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2.2 \text{ MPa}}{1.5} = 1.467 \text{ MPa}$$

$\eta_1 = 1$ - dobre warunki przyczepności

$\eta_2 = 1$ - ponieważ $\phi \leq 32$ mm

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.467 \text{ MPa} = 3.3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) = \left(\frac{16 \text{ mm}}{4} \right) \cdot \left(\frac{86.524 \text{ MPa}}{3.3 \text{ MPa}} \right) = 104.877 \text{ mm}$$

Obliczeniowa długość zakotwienia

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 104.877 \text{ mm} = 104.877 \text{ mm}$$

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

Przyjmuję zakotwienie równe 105 mm

Obliczam długość zakotwienia dla prętów montażowych.

$$\phi = 12 \text{ mm}$$

$$A_{s,req1} = 1.6 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,prov1} = 4.52 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s,req1}}{A_{s,prov1}} = \frac{434.783 \text{ MPa} \cdot 1.6 \text{ cm}^2}{4.52 \text{ cm}^2} = 153.905 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,0.5} = 2.2 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{ct} = 1$$

$$\gamma_c = 1.5$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.5}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2.2 \text{ MPa}}{1.5} = 1.467 \text{ MPa}$$

$\eta_1 = 1$ - dobre warunki przyczepności

$\eta_2 = 1$ - ponieważ $\phi \leq 32$ mm

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.467 \text{ MPa} = 3.3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) = \left(\frac{12 \text{ mm}}{4} \right) \cdot \left(\frac{153.905 \text{ MPa}}{3.3 \text{ MPa}} \right) = 139.914 \text{ mm}$$

Obliczeniowa długość zakotwienia

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 139.914 \text{ mm} = 139.914 \text{ mm}$$

Zakładam $\alpha_7 = 1$ $\alpha_8 = 1$ $\alpha_9 = 1$ $\alpha_{10} = 1$ $\alpha_{11} = 1$

Przyjmuję zakotwienie równe 140 mm

5.2.7. Obliczeniowa długość zakładu

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$$

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

Zakładam 50% udziału prętów połączonych na zakład w całym polu przekroju zbrojenia, dlatego $\alpha_6 = 1.4$.

Obliczam długość zakładu dla prętów głównych.

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 104.877 \text{ mm} = 146.828 \text{ mm}$$

Minimalna długość zakładu

$$l_{0,min} = \text{Max}(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}, 15 \cdot \phi, 200 \text{ mm}) = \\ \text{Max}(0.3 \cdot 1.4 \cdot 514.515 \text{ mm}, 15 \cdot 16 \text{ mm}, 200 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Przyjmuję zakład minimalny równy 240 mm

Obliczam długość zakładu dla prętów montażowych.

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 139.914 \text{ mm} = 195.880 \text{ mm}$$

Minimalna długość zakładu

$$l_{0,min} = \text{Max}(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}, 15 \cdot \phi, 200 \text{ mm}) = \\ \text{Max}(0.3 \cdot 1.4 \cdot 514.515 \text{ mm}, 15 \cdot 16 \text{ mm}, 200 \text{ mm}) = 240 \text{ mm}$$

Przyjmuję zakład minimalny równy 240 mm

6. Bibliografia

6.1. Normy i akty prawne

- [1] PN-EN 1990 „Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji”
- [2] PN-EN 1991-1-1 „Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- [3] PN-EN 1991-1-1 „Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję Część 1-3: Oddziaływania ogólne - Obciążenie śniegiem
- [4] PN-EN 1991-1-1 „Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję Część 1-4: Oddziaływania ogólne - Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru
- [5] PN-EN 1992-1-1 „Eurokod 2: projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [6] PN-EN 1992-1-2 „Eurokod 2: projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-2: Reguły ogólne Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe
- [7] PN-EN 1991-1-1 „Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję Część 1-5: Oddziaływania ogólne - Oddziaływania termiczne
- [8] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy.
- [9] Obwieszczenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

6.2. Literatura

- [10] Pędziwiatr J. (2010): *Wstęp do projektowania konstrukcji żelbetowych wg PN-EN 1992-1-1:2008*. Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne,
- [11] Pędziwiatr J. (2021): *Krótkie wykłady z konstrukcji żelbetowych tom 1*. Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne,
- [12] Pędziwiatr J. (2021): *Krótkie wykłady z konstrukcji żelbetowych tom 2*. Wrocław, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne,
- [13] Starosolski W. (2022): *Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych, tom 1*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN,
- [14] Starosolski W. (2022): *Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych, tom 2*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN,
- [15] Starosolski W. (2022): *Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych, tom 3*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN,
- [16] Knauff M. (2019): *Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2*.

Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

6.3. Licencje i wykorzystane programy

- [17] Autodesk AutoCAD 2024, licencja studencka
- [18] Dlubal RFEm 6, licencja studencka
- [19] 2024 Blockpad LLC
- [20] JORDAHL EXPERT Przebicie

6.4. Załączniki

- [21] Karta produktu - GF-60-Garden
- [22] Karta produktu - GF-EPDM-Carlise
- [23] Karta produktu - GF-PES-300B
- [24] Karta produktu - GF-SW-I substrat wulkaniczny intensywny
- [25] Karta produktu - GF-TEX-100
- [26] Karta produktu - płyty styropianowe XPS

KARTA PRODUKTU

GREENFOND 60 Garden

GREENFOND 60 Garden moduł retencyjno-drenażowy (HDPE) o wysokiej kumulacji wody i wytrzymałości obciążeniowej. Do zastosowania w systemie dachu zielonego intensywnego.

Moduł retencyjno-drenażowy GREENFOND 60 Garden stosowany jest w rozwiązaniach systemowych dachów zielonych intensywnych oraz ekstensywnych. Innowacyjny kształt profili oraz odpowiednio dobrana mieszanka z utwardzonego polietylenu HDPE, mają istotny wpływ na właściwości mechaniczno-fizyczne produktu, dzięki czemu otrzymujemy ponadprzeciętne parametry retencyjne w swojej klasie.

GREENFOND 60 Garden jest w stanie zgromadzić ok. 20 litrów na jednym metrze kwadratowym, natomiast większość tego typu produktów kumuluje średnio 10 litrów w tej samej jednostce. Ponadto GREENFOND Garden 60 charakteryzuje bardzo duża wytrzymałość na ściskanie ok. 450 kN/m², a po wypełnieniu kruszywem nawet do 850 kN/m².

GREENFOND 60 Garden to także innowacyjna konstrukcja całego modułu. Dzięki specjalnemu przetłoczeniu jego brzegach, możemy wykonać ich wzajemne połączenie, przez co w przeciwieństwie do obecnie stosowanych rozwiązań układanych metodą na tzw. „styk”, płyta obok płyty, otrzymujemy stabilną konstrukcję całej warstwy drenażowej przy jednoczesnym łatwym i szybkim dla wykonawcy sposobie montażu.

Ponadto GREENFOND 60 Garden posiada na górnej powierzchni profilu dodatkowe specjalne przetłoczenie, rozszczelniające w niewielkim zakresie bezpośredni styk z włókniną drenażową GREENFOND TEX 100, co w efekcie pozwala na swobodny przepływ powietrza pomiędzy poszczególnymi sekcjami, a w przypadkach obfitych opadów także na skuteczne odprowadzenie nadmiaru wody.



KARTA PRODUKTU

GREENFOND

60 Garden

Ekstremalna kumulacja wody - ok. 20 litrów/m²

Ponadprzeciętna wytrzymałość naciskowa - 450 kN/m²

Dobra wentylacja konstrukcji oraz skuteczna retencja

Pewny i łatwy montaż

DANE TECHNICZNE PRODUKTU:

Materiał	HDPE	
Wysokość wytłoczeń	60 mm	
Gramatura	2,6 kg/m ²	
Grubość materiału	1,4 mm	
Pojemność wodna	20 l/m ²	
Ilość wytłoczeń na płycie	128	
Maxymalne obciążenie z wypełnieniem	- profilami ułożonymi w układzie max retencji: 850 kN/m ² - profilami ułożonymi "odwrotnie": 1400 kN/m ²	
Maxymalne obciążenie bez wypełnienia	450 kN/m ²	
Wytrzymałość na rozciąganie	21 kN	
Wydłużenie przy max obciążeniu	7,4 %	
Zdolności przepływu wody w płaszczyźnie	I=1,0. (m x s)	I=0,1
	20 kPa - 2,1	20 kPa - 2,05
	100 kPa - 3,6	100 kPa - 3,52
	200 kPa - 4,3	200 kPa - 3,82
Barwa	czarna	
Forma	arkusze	
Wymiar płyty	2 x 1 m/2m ²	
Trwałość	50 lat	
Zintegrowana z włókniną	nie	
Ciężar produktu	5,4 kg	
Nr art.	25.1206	

KARTA PRODUKTU

GREENFOND

EPDM CARLISLE geomembrana

GREENFOND EPDM czarna syntetyczna membrana
hydroizolacyjna na bazie terpolimeru etylen-propylen-dien (EPDM)

Membrana EPDM to materiał szczególnie zalecany na tarasy, dachy zielone i inne miejsca, które stale narażone są na działanie wody. Membrany EPDM są używane również jako izolacja oczek wodnych, zbiorników czy basenów.

Membrana EPDM wykonana z materiału o wyjątkowo dużej odporności na skrajne temperatury. Dzięki całkowicie nasyconemu łańcuchowi polimerowemu jest również odporna na ozon, promieniowanie UV oraz wiele oddziaływań chemicznych. Posiada długą trwałość - stabilność chemiczną sięgającą 50 lat. Jest niezwykle odporna na działanie wody.

Zastosowanie:

- Hydroizolacja dachów płaskich
- Hydroizolacja zbiorników przeciwpożarowych, technicznych
- Hydroizolacja zbiorników na wodę pitną
- Hydroizolacja stawów kąpielowych
- Hydroizolacja oczek wodnych
- Uszczelnienia obróbek dekarских i blacharskich

Zalety:

- pamięć kształtu,
- odporność na ozon i warunki atmosferyczne,
- odporność na promieniowanie UV,
- bardzo długą trwałość - stabilność chemiczna, oraz żywotność sięgająca 50-60 lat,
- odporność na wilgoć,
- zachowanie elastyczności do 400%,
- duża rozciągliwość,
- odporność na kwasy humusowe, bakterie i grzyby,
- zachowanie właściwości w temperaturze od -45° do 150°C,
- odporność na przebicie korzeniami.

KARTA PRODUKTU

GREENFOND

EPDM CARLISLE geomembrana

DANE TECHNICZNE PRODUKTU:

Materiał	EPDM- terpolimer, etylen, propylen, dien	
Kolor	czarny	
Grubość	1,2 mm	
Reakcja na ogień	EN 13501-1	klasa E
Wytrzymałość na rozciąganie	EN 12311-2	$\geq 8 \text{ N/mm}^2$
Wydłużenie przy rozciąganiu	EN 12311-2	$\geq 350 \%$
Odporność na rozdarcie	EN 12310-2	$\geq 25 \text{ N}$
Stabilność wymiarowa	EN 1107-2	$\leq 0,5\%$
Odporność	EN 1844 EN 1397	na ozon, promieniowanie UV

DOSTĘPNE WYMIARY ROLKI:

Nr art.	Nazwa produktu
70.1330	EPDM CARLISLE 1,2 mm, rolka 3,05 x 30,05 m
70.1331	EPDM CARLISLE 1,2 mm, rolka 6,10 x 30,05 m
70.1332	EPDM CARLISLE 1,2 mm, rolka 9,15 x 30,05 m
70.1333	EPDM CARLISLE 1,2 mm, rolka 12,20 x 30,05 m
70.1334	EPDM CARLISLE 1,2 mm, rolka 15,25 x 30,05 m

KARTA PRODUKTU

GREENFOND PES 300B

GREENFOND PES 300B geowłóknina poliestrowa wykonana z włókien ciągłych. Dzięki swojej dużej gęstości struktury idealnie nadaje się jako element separacyjny oraz ochronny.

GREENFOND PES 300B ma szeroki zakres zastosowania, począwszy od budowy dróg, autostrad, lotnisk, parkingów czy też placów zabaw. Produkty te można znaleźć również w budownictwie przemysłowym jak i mieszkaniowym np. dachy zielone, warstwa ochronna pionowa oraz pozioma. Wymiar rolki 2 x 50 m jest tak dobrany aby był wygodny do transportu oraz montażu na budowie.



KARTA PRODUKTU

GREENFOND

PES 300B

DANE TECHNICZNE PRODUKTU:

Gramatura		300 g/m ²
Szerokość		2 m
Długość		50 m
Waga		28,8 kg
Wytrzymałość na rozciąganie	EN 10319	kN/m
MD		8,34(-0,3)
CMD		9,24(-0,7)
Wydłużenie względne przy max. Obciążeniu	EN 10319	%
MD		107
CMD		119
Odporność na przebicie dynamiczne	EN 13433	10(+2) mm
Odporność na przebicie statyczne	EN ISO 12236	1,46 kN
Charakterystyczna wielkość porów	EN ISO 12956	105±25 µm
Wodoprzepuszczalność w płaszczyźnie wyrobu (MD), zdolność przepływu [l/m·s] dla i=0,1 przy obciążeniu:	EN ISO 12958	
-20 kPa		2,25x10 ⁻³
-100 kPa		0,75x10 ⁻³
-200 kPa		0,25x10 ⁻³
dla i =1.0 przy obciążeniu:		
-20kPa		6,8x10 ⁻³
-100 kPa		2,75x10 ⁻³
-200 kPa		1,9x10 ⁻³
Przeznaczenie		F,R,S
Trwałość		Zakryć w dniu wbudowania. Przewidywana trwałość min. 25 lat w gruntach naturalnych o 4<ph<9 i w gruncie o temp. 25C jeśli wyrób nie pełni funkcji zbrojenia.
Wymiar rolki		2x50 m/100m ²
Kolor		czarny
Nr. Art		10.1226

KARTA PRODUKTU

GREENFOND SW-I substrat wulkaniczny intensywny

GREENFOND SW-I podłoże wulkaniczne przeznaczone jako warstwa wegetacyjna na dachach zielonych dla roślinności intensywnej.

GREENFOND SW-I charakteryzuje się wysoką nasiąkliwością, dobrymi zdolnościami drenażowymi oraz niewielkim współczynnikiem osiadania.

PRZEZNACZENIE:

Wykorzystanie na dachach zielonych jako podłoże wegetacyjne dla roślin.

SKŁAD:

Przesiane i wyselekcjonowane kruszywo mineralne drenażowe o różnych frakcjach na bazie tufu wulkanicznego z naturalnych skał mineralnych, kompost, piasek płukany

WŁAŚCIWOŚCI:

- maksymalna pojemność wodna - powyżej 50%
- zawartość frakcji poniżej 0,063 mm wynosi 10%
- pojemność powietrzna przy maksymalnej pojemności wodnej > 10%
- porowatość ogólna > 60%
- zawartość materii organicznej ok. 20%
- pH - 6,0 - 8,5
- zasolenie - poniżej 1,0 NaCl g/dm³
- wodoprzepuszczalność > 0,5 mm/min
- współczynnik zagęszczania ok. 1,2

ZASTOSOWANIE:

Intensywne zakładanie dachów zielonych

MIAŻSZOŚĆ:

- od 15 cm

* Dane w oparciu o badania przeprowadzone przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa IUNG w Puławach oraz Instytut Ogrodnictwa w Sierniewicach.

Gwarancja właściwości fizycznych oraz stabilności składu 36 miesięcy pod warunkiem przechowywania i użytkowania substratu zgodnie z wytycznymi Stowarzyszenia DAFA i FLL.



KARTA PRODUKTU

GREENFOND

SW-I

 substrat wulkaniczny intensywny

ZALECENIA WYKONAWCZE:

DOSTAWA:

Substrat należy dostarczyć na budowę luzem pod przykryciem lub w kontenerach elastycznych typu big-bag. Nie należy dostarczać substratu w stanie nadmiernego nasycenia wodą lub zmrózenia. Nie należy dostarczać substratu w bezpośrednim kontakcie z innymi materiałami mogącymi zmienić jego właściwości fizyczne lub chemiczne.

SKŁADOWANIE:

Po dostarczeniu na plac budowy substrat należy składować w miejscu do tego przygotowanym, oczyszczonym oraz zapewniającym odpływ wody opadowej, tj. na podłożu utwardzonym bądź na materiale zabezpieczającym substrat przed zanieczyszczeniem, np. na piasku lub geowłókninie. W przypadku konieczności dłuższego składowania na placu budowy substrat należy zabezpieczyć przed zanieczyszczeniem, zachwaszczeniem, wymywaniem, erozją i nadmiernym zawilgoceniem.

KARTA PRODUKTU

GREENFOND

SW-I

 substrat wulkaniczny intensywny

Właściwości fizyczne*:

Skład granulometryczny:

frakcje poniżej 0,063 mm	maks. 10% masy
--------------------------	----------------

Zawartość kruszyw nasiąkliwych	ok. 50%
--------------------------------	---------

Zawartość składników organicznych	do 90 kg/m ³
-----------------------------------	-------------------------

Zagęszczalność (współczynnik zużycia)	ok. 15%
---------------------------------------	---------

Osiadanie po zagęszczeniu	poniżej 6%
---------------------------	------------

Waga nasypowa w stanie suchym	850-950 kg/m ³
-------------------------------	---------------------------

Waga w stanie max. nasycenia wodą	1400-1500 kg/m ³
-----------------------------------	-----------------------------

Porowatość ogólna	ok. 60 %
-------------------	----------

Pojemność wodna	ok. 45%
-----------------	---------

Pojemność powietrzna	ok. 10%
----------------------	---------

Prędkość przepływu wody	ok. 0,5 mm/min
-------------------------	----------------

Zawartość substancji obcych	poniżej 0,5% wagowo
-----------------------------	---------------------

(kruszywa inne niż wymienione, kruszywa ponadgabarytowe itp.)

Parametry chemiczne**

Odczyn pH w H ₂ O	6,0 - 8,5
------------------------------	-----------

Zasolenie [KCL/l]	poniżej 1,0 g/l
-------------------	-----------------

Dane techniczne produktu:

Wielkość worka	Big-Bag 1m ³
----------------	-------------------------

Nr art.	30.1207
---------	---------

(*) Badania własne zgodnie z Wytycznymi planowania, wykonywania i pielęgnacji dachów zielonych FLL. Guidelines for the Planning . Construction and Maintenance of Green Roofing, FLL. ed. 2008.

(**) Wartości średnie uzyskane podczas standardowych badań laboratoryjnych wykonanych przez Okręgową Stację Chemiczno - Rolniczą w Warszawie.

KARTA PRODUKTU

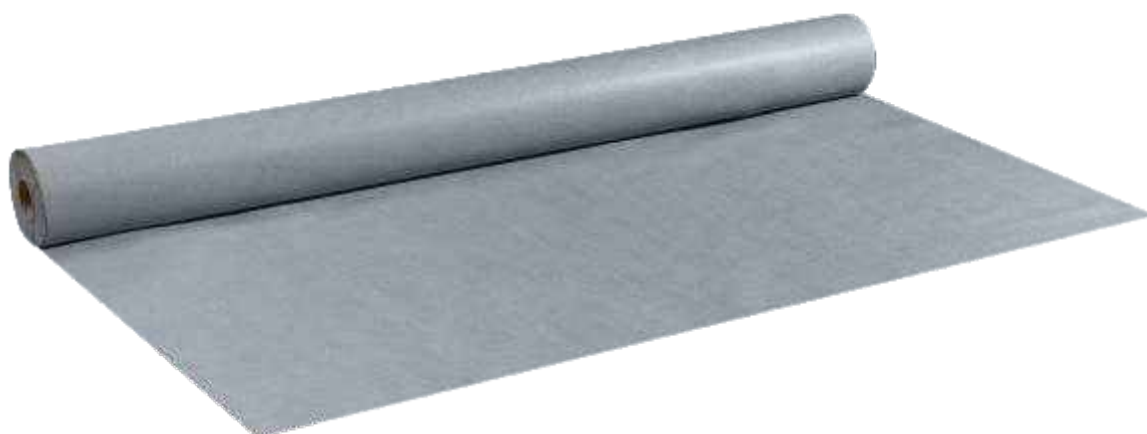
GREENFOND TEX 100

GREENFOND TEX 100 specjalistyczna geowłóknina polipropylenowa kalandrowana, wykonana z włókien ciągłych, utwardzanych termicznie

GREENFOND TEX 100 to produkt stosowany jako warstwa filtracyjna, separacyjna, drenażowa, wzmacniająca na dachach zielonych, w drogownictwie, geotechnice oraz rolnictwie.

Dzięki bardzo dobrym właściwościom separacyjno-filtracyjnym przy jednoczesnym zachowaniu wysokich parametrów wytrzymałościowych, stosowana jest z powodzeniem jako warstwa filtracyjna w układach dachów zielonych zarówno ekstensywnych jak i intensywnych.

GREENFOND TEX 100 odpowiednio dobrany wymiar rolki ułatwia jej wygodny transport oraz łatwy montaż na miejscu budowy.



KARTA PRODUKTU

GREENFOND

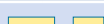
TEX 100

DANE TECHNICZNE PRODUKTU:

Masa własna	100 (min. -30, max.+30) g/m ²
Grubość	
2 kPa	0,96 mm
20 kPa	0,75 mm
200 kPa	0,55 mm
Wytrzymałość na rozciąganie MD/CMD	7,9/8,9 kN/m
Wydłużanie MD/CMD	58/66 (+/- 20) %
Dynamiczna perforacja	37,2 mm
Wytrzymałość na przebicie statyczne	1,34 kN
Przepływ wody w płaszczyźnie i=1	10 ⁻⁷ m ² /s
20 kPa	- 18
100 kPa	- 7
200 kPa	- 4
Umowny wymiar porów	90 µm
Przepuszczalność wody w płaszczyźnie prostopadłej	100 l/m ² ·s
Klasa wytrzymałości	II
Trwałość	Pokrycie powinno nastąpić najpóźniej 14 dni po wbudowaniu; trwałość > 25 lat w naturalnym gruncie przy 4-9 pH i < 25 C zgodnie z EN ISO 13438
Wymiar rolki	2x50m/100m ²
Nr art.	10.1201

PŁYTY XPS

DANE TECHNICZNE

Właściwości		Jednostka	Kod oznaczeń wg EN13164	STYRISOL®															
Kształt krawędzi				RR 										SP 					
Wykończenie powierzchni licowej *				GL		RU		FG		DG		WA		GL		RU		FG	
Wykończenie krawędzi *				RR										SP					
Długość x szerokość		[mm]		1250 x 600 oraz 2500 x 600 ***															
Gęstość		[kg/m³]		33±3		33±3		33±3		33±3		33±3		33±3		33±3		33±3	
Współczynnik przewodzenia ciepła		λD [W/(m x K)]		λD		λD		λD		λD		λD		λD		λD		λD	
Opór cieplny		RD [m²K/W]			RD		RD		RD		RD		RD		RD		RD		RD
Grubość	20	[mm]		0,035	0,55	0,035	0,55	0,035	0,55	0,035	0,55	0,035	0,55						
	25**			0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7
	30			0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85
	40			0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1
	50			0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4
	60			0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7
	70**				1,9		1,9		1,9		1,9		1,9		1,9		1,9		1,9
	80			0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10
	90**				2,35		2,35		2,35		2,35		2,35		2,35		2,35		2,35
	100			0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6
	120			0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35
	140**				3,9		3,9		3,9		3,9		3,9		3,9		3,9		3,9
160**		4,45		4,45		4,45		4,45		4,45		4,45		4,45		4,45			
Napężenie ściskające przy 10 % odkształceniu względnym		[N/mm²]	CS (10/Y)	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300		20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300		20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300		20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300		20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300		20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300		20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300		20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	
Wytrzymałość na rozciąganie		[mm/(m²K)]		0,07		0,07		0,07		0,07		0,07		0,07		0,07		0,07	
Właściwości palne		[klasa Euro]		E		E		E		E		E		E		E		E	
Długotrwała nasiąkliwość wodą (28 dni)		%	WL(T) 0,7	0,7		0,7		0,7		0,7		0,7		0,7		0,7		0,7	
Absorbcja wody przy długotrwałej dyfuzji (28 dni)		%	WD(V)3	3		3		3		3		3		3		3		3	

- * Krawędzie: RR-Proste | SP- Na zakładkę, | TG-Pióro wpust Powierzchnia: GL-Gładka | RU- Porowata | WA-Wafel | FG-Porowata z drobnymi rowkami | DG-Porowata z grubymi rowkami.
- ** Na zamówienie | *** Inne wymiary na zamówienie.

PŁYTY XPS

DANE TECHNICZNE

Właściwości		Jednostka	Kod oznaczeń wg EN13164	STYRISOL®												Norma
Kształt krawędzi				SP 				TG 								
Wykończenie powierzchni licowej *				DG	WA	GL	RU	FG	DG	WA						
Wykończenie krawędzi *				TG												
Długość x szerokość		[mm]		1250 x 600 oraz 2500 x 600 ***												
Gęstość		[kg/m³]		33±3	33±3	33±3	33±3	33±3	33±3	33±3						DIN EN 1602
Współczynnik przewodzenia ciepła		λ_D [W/(m x K)]		λ_D		λ_D		λ_D		λ_D		λ_D		λ_D		DIN EN 13164
Opór cieplny		RD [m²K/W]			RD		RD		RD		RD		RD		RD	
Grubość	20	[mm]						0,035	0,55	0,035	0,55	0,035	0,55	0,035	0,55	
	25**			0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7	0,035	0,7	
	30			0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85	0,035	0,85	
	40			0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1	0,035	1,1	
	50			0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4	0,035	1,4	
	60			0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7	0,035	1,7	
	70**				1,9		1,9		1,9		1,9		1,9		1,9	
	80			0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10	0,038	2,10	
	90**				2,35		2,35		2,35		2,35		2,35		2,35	
	100			0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6	0,038	2,6	
	120			0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35	0,038	3,35	
	140**				3,9		3,9		3,9		3,9		3,9		3,9	
	160**				4,45		4,45		4,45		4,45		4,45		4,45	
Napężenie ściskające przy 10 % odkształceniu względnym		[N/mm²]	CS (10/Y)	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	20 < 40 mm: 0,200 ≥ 40 mm: 0,300	DIN EN 826
Wytrzymałość na rozciąganie		[mm/(m²K)]		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	DIN EN 53752
Właściwości palne		[klasa Euro]		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	DIN EN 13501-1
Długotrwała nasiąkliwość wodą (28 dni)		%	WL(T) 0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	DIN EN 12087
Absorpcja wody przy długotrwałej dyfuzji (28 dni)		%	WD(V)3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	DIN EN 12088
Zakres temperatur		[°C]		60/+70	60/+70	60/+70	60/+70	60/+70	60/+70	60/+70	60/+70	60/+70	60/+70	60/+70	60/+70	

- * Krawędzie: RR-Proste | SP- Na zakładkę, | TG-Pióro wpust Powierzchnia: GL-Gładka | RU- Porowata | WA-Wafel | FG-Porowata z drobnymi rowkami | DG-Porowata z grubymi rowkami.
 ■ ** Na zamówienie | *** Inne wymiary na zamówienie.

OPÓR CIEPLNY*

Grubość (mm)	20	25	30	35	40	50	60	65	70	80	90	100	120	140	160
R_0	0,55	0,70	0,85	1,00	1,10	1,40	1,70	1,75	1,90	2,15	2,50	2,80	3,35	3,90	4,45

PŁYTY XPS

DANE TECHNICZNE

STYRISOL® Przeznaczenie	Wykończenia powierzchni i krawędzi	Gładkie			Wąflowe	Szorstkie*
						
Podłoga	Projekty budowlane	■	■			
	Przemysłowe	■	■			
Ściany	Mury szczelinowe			■		
	Ściany wewnętrzne	■			■	
	Most przemarzania	■			■	
	Ściany zewnętrzne	■			■	
Sufity	Sale gimnastyczne, hale przemysłowe			■		
Dachy	Dachy odwrócone pokryte zwirem lub płytkami (np. taras, zielony dach)		■			
	Dachy spadziste			■		
Piwnice	Podłogi		■	■		
	Ściany		■			
Inne	Płyty warstwowe	■				■

■ *Z folią lub bez folii z rowkami.

SKŁADOWANIE, OBRÓBKĄ, MONTAŻ

CIĘCIE

- Łatwość cięcia (piła ręczna, nożyk, styroploter).

WIERCENIE

Bez ograniczeń.

KLEJENIE

XPS może być wykorzystywany w zestawieniu z większością materiałów budowlanych (wapno, cement, tynk, bezwodny tynk, alkohole, kwasy i zasady). Rozpuszczalniki na bazie ropy naftowej, smoły węglowej i produkty pochodne mogą wpłynąć na materiał. Rozpuszczalniki takie jak aceton, octan etylu, benzyna, toluen mogą uszkodzić płyty. Zawsze należy sprawdzić w instrukcji, czy produkt jest odpowiedni do zastosowania z ekstrudowanym polistyrenem.

MALOWANIE

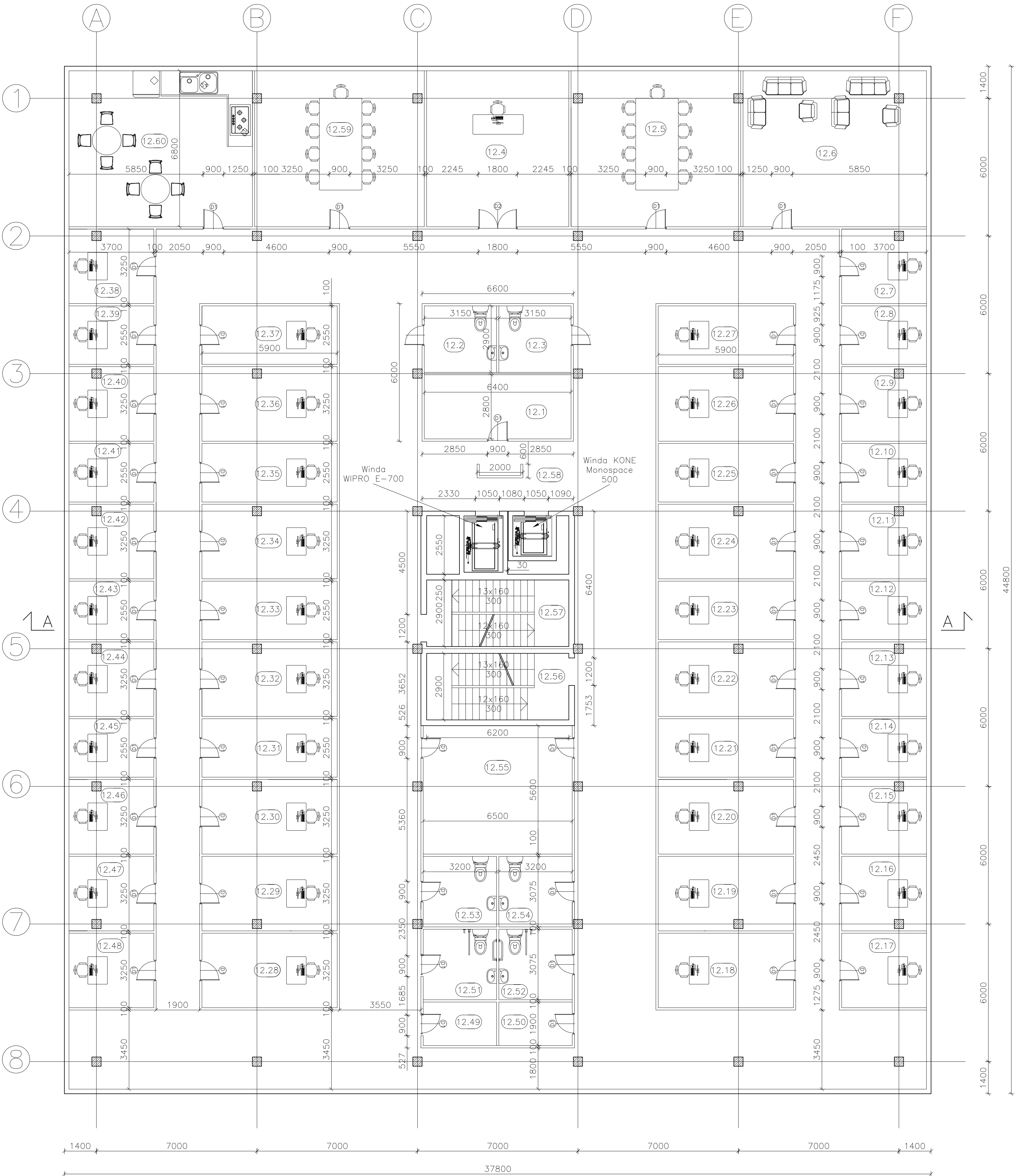
- Farby akrylowe rozpuszczalne na bazie wody.

FORMOWANIE

- Nieograniczone możliwości kształtowania form poprzez pokrywanie szpachlami, wycinanie.

SKŁADOWANIE I TRANSPORT

Produkt należy transportować ostrożnie, w pozycji poziomej lub z kierunkiem oznaczenia wskazanym na opakowaniu. Należy zabezpieczyć powierzchnię przed uderzeniem/zarysowaniem. Należy składować w suchym pomieszczeniu. W przypadku składowania na zewnątrz należy przykryć szczelnie chroniąc od wody i niesprzyjających warunków atmosferycznych.



ZESTAWIENIE POMIESZCZEŃ

NR	NAZWA	POWIERZCHNIA	POSADZKA
12.1	Archiwum	17,92 m ²	Wykładzina
12.2	Toaleta	9,14 m ²	Gres
12.3	Toaleta	9,14 m ²	Gres
12.4	Pom. biurowe	42,16 m ²	Wykładzina
12.5	Sala konferencyjna	50,32 m ²	Wykładzina
12.6	Pokój socjalny	54,40 m ²	Wykładzina
12.7	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.8	Pom. biurowe	9,44 m ²	Wykładzina
12.9	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.10	Pom. biurowe	9,44 m ²	Wykładzina
12.11	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.12	Pom. biurowe	9,44 m ²	Wykładzina
12.13	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.14	Pom. biurowe	9,44 m ²	Wykładzina
12.15	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.16	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.17	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.18	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.19	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.20	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.21	Pom. biurowe	15,05 m ²	Wykładzina
12.22	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.23	Pom. biurowe	15,05 m ²	Wykładzina
12.24	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.25	Pom. biurowe	15,05 m ²	Wykładzina
12.26	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.27	Pom. biurowe	15,05 m ²	Wykładzina
12.28	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.29	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.30	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.31	Pom. biurowe	15,05 m ²	Wykładzina
12.32	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.33	Pom. biurowe	15,05 m ²	Wykładzina
12.34	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.35	Pom. biurowe	15,05 m ²	Wykładzina
12.36	Pom. biurowe	19,18 m ²	Wykładzina
12.37	Pom. biurowe	15,05 m ²	Wykładzina
12.38	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.39	Pom. biurowe	9,44 m ²	Wykładzina
12.40	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.41	Pom. biurowe	9,44 m ²	Wykładzina
12.42	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.43	Pom. biurowe	9,44 m ²	Wykładzina
12.44	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.45	Pom. biurowe	9,44 m ²	Wykładzina
12.46	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.47	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.48	Pom. biurowe	12,03 m ²	Wykładzina
12.49	Pom. gospodarcze	6,07 m ²	Gres
12.50	Pom. gospodarcze	6,07 m ²	Gres
12.51	Toaleta dostosowana	9,84 m ²	Gres
12.52	Toaleta dostosowana	9,84 m ²	Gres
12.53	Toaleta	9,84 m ²	Gres
12.54	Toaleta	9,84 m ²	Gres
12.55	Pom. techniczne	36,40 m ²	Gres
12.56	Klatka schodowa	17,98 m ²	Gres
12.57	Klatka schodowa	17,98 m ²	Gres
12.58	Recepcja	20,12 m ²	Gres
12.59	Sala konferencyjna	50,32 m ²	Wykładzina
12.60	Kuchnia	54,40 m ²	Gres

UWAGI:

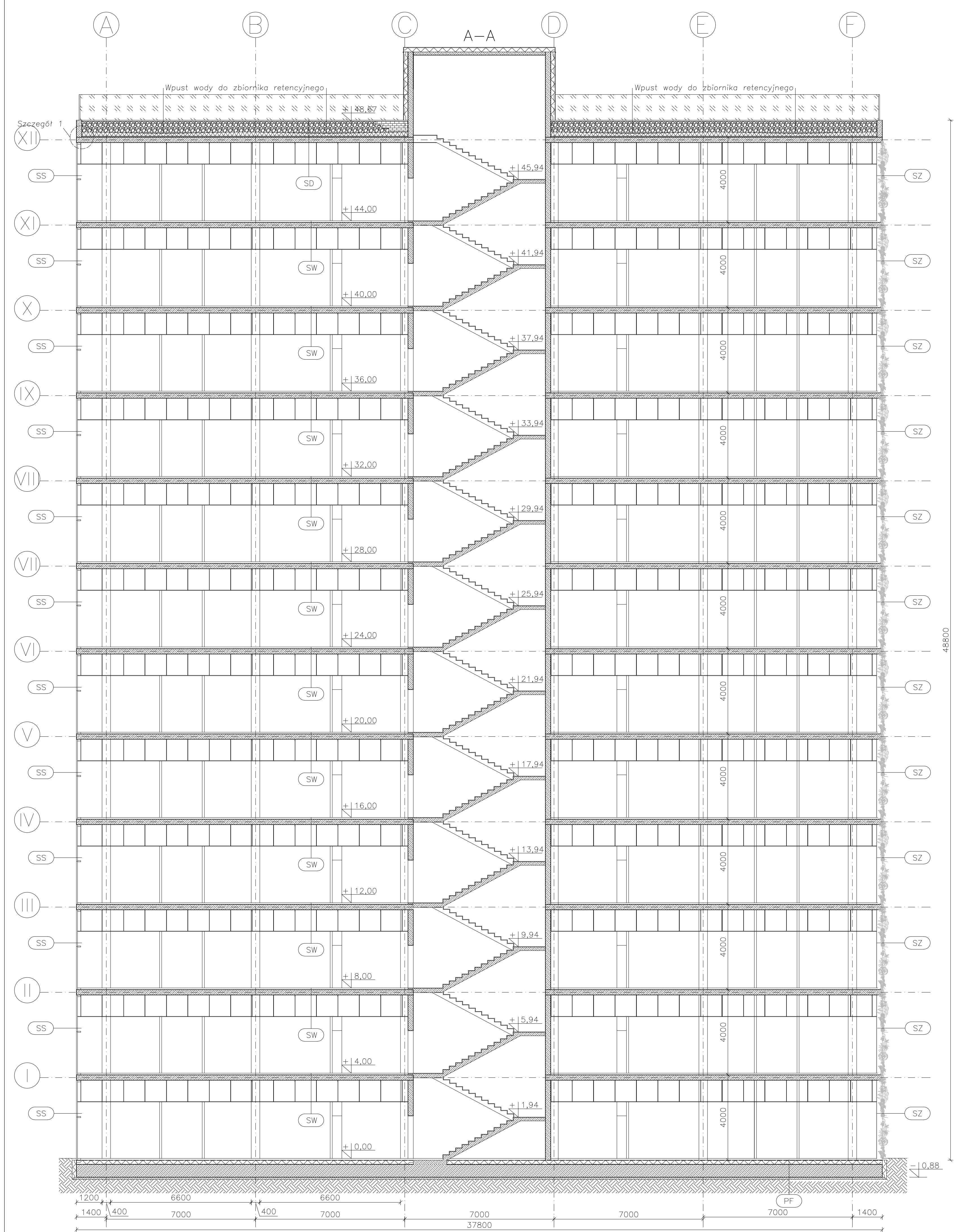
- Rysunek przedstawia rzut ostatniej kondygnacji i należy go rozpatrywać łącznie z pozostałymi rysunkami projektu.
- Wymiary, osie konstrukcyjne oraz lokalizację elementów nośnych należy przyjmować zgodnie z niniejszym rysunkiem oraz rysunkami przekrojów.
- Usytuowanie stropu, wieńców oraz słupów należy przyjmować na podstawie rysunków rzutów i przekrojów.
- Elementy konstrukcyjne należy analizować w powiązaniu z obliczeniami statyczno-wytrzymałościowymi.
- Rzut należy koordynować z dokumentacją architektoniczną oraz branżową.
- Wszelkie kolizje i niezgodności pomiędzy dokumentacją należy zgłaszać projektantowi przed rozpoczęciem robót.
- Nie dopuszcza się wprowadzania zmian w układzie konstrukcyjnym bez zgody projektanta.

KLASA BETOU: C35/45
STAL ZBROJENIOWA: B500SP C
KLASA EKSPOZYCJI: XF1 od góry płyty
KLASA EKSPOZYCJI: XC1 od dołu płyty
OTULINA: 55mm od góry płyty
OTULINA: 30 mm od dołu płyty
ODPORNOŚĆ OGNIOWA: REI60

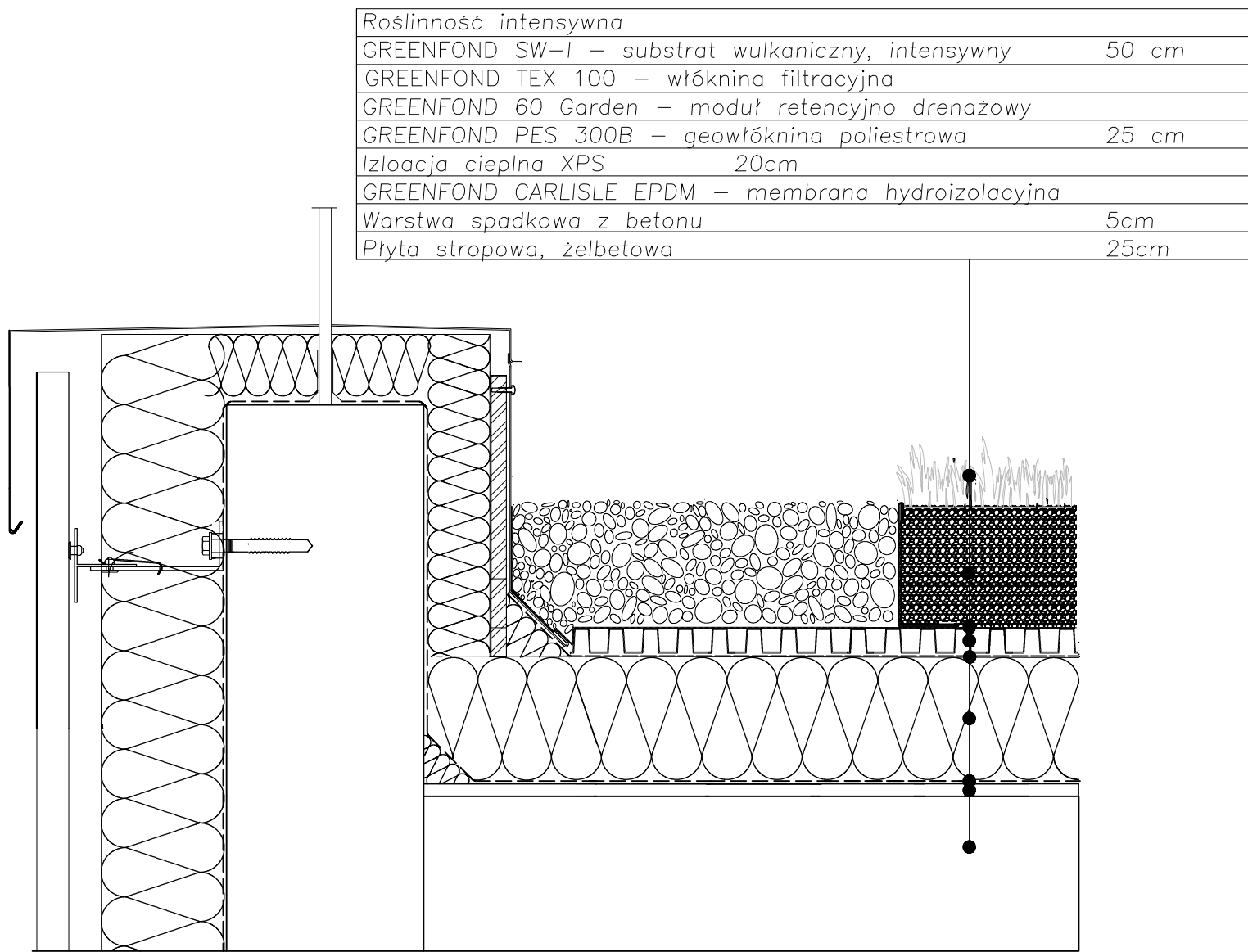
PROJEKT WYBRANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI
ŻELBETOWEJ BIUROWCA Z DACHEM ZIELONYM

Rzut ostatniej kondygnacji

	Imię i nazwisko	Data	Podpis	Skala: 1:100
Student	Sandra Jacyno			Nr rys. 1
Opiekun	dr inż. Wojciech Pawlak			
Recenzent	dr inż. Tomasz Nowak			



Szczegół 1



SD	Stropodach Zielony	
	Roślinność intensywna	
	Substrat wulkaniczny	50 cm
	Geowłóknina polipropilenowa	
	Warstwa retencyjno-drenazowa	
	Geowłóknina poliestrowa	25 cm
	Izolacja cieplna XPS	20cm
	Membrana hydroizolacyjna EPDM	

SW	Strop Wewnętrzny	
	Posadzka, płytki ceramiczne	2 cm
	Wylewka betonowa, wyrównująca	6 cm
	Izolacja termiczna, styropian EPS100	5 cm
	Izolacja paroszczelna, folia	
	Płyta stropowa, żelbetowa C35/45	25 cm

SZ	Ściana Zielona	
	Tynk cementowo-wapienny	2cm
	Ściana nośna, żelbetowa C30/37	15 cm
	Izolacja termiczna, wełna mineralna	20cm

SS	Ściana Szklana	
	Fasada szklana, szkło + profil alum.	15cm

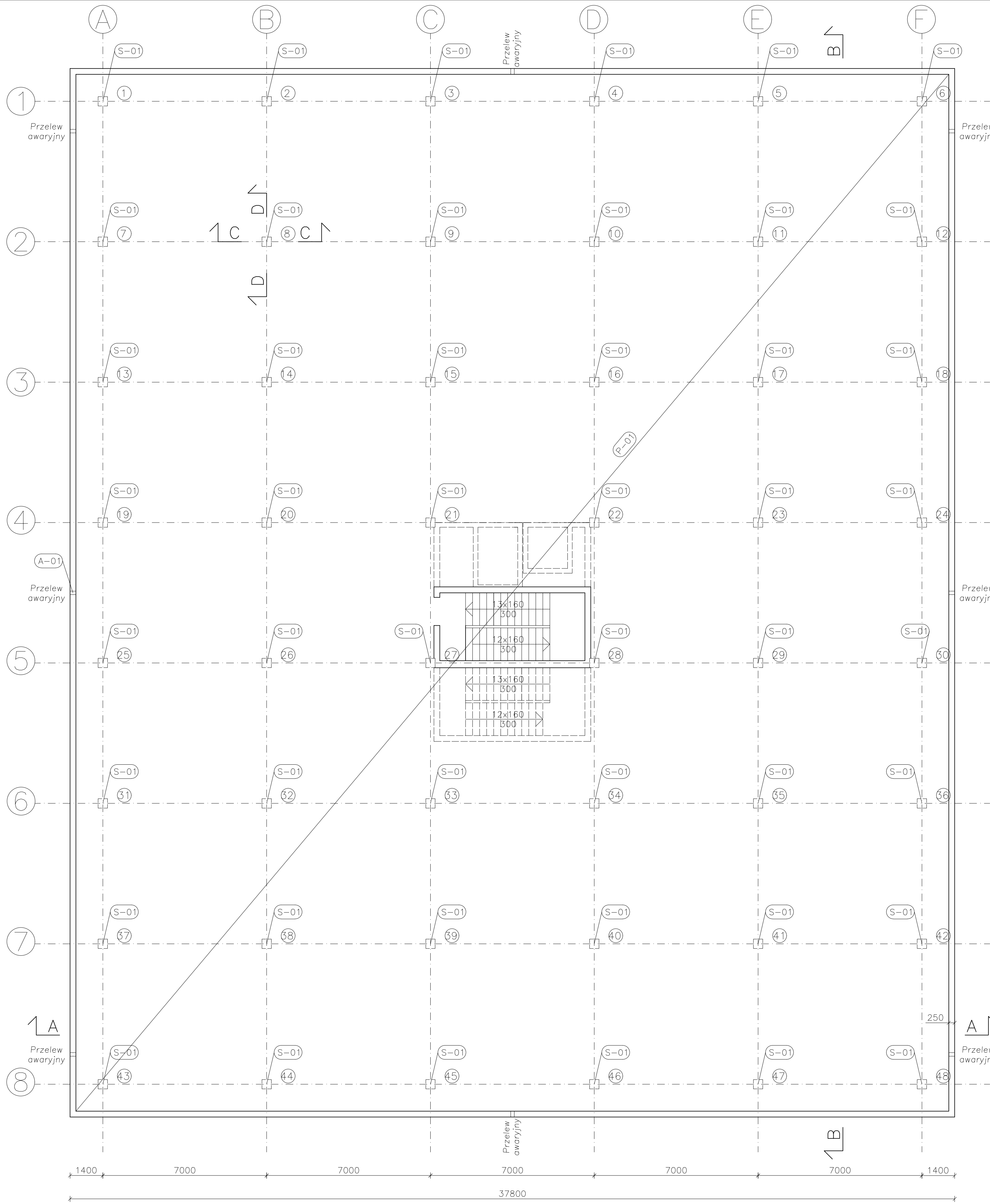
PF	Płyta fundamentowa	
	Posadzka, płytki ceramiczne	2 cm
	Wylewka betonowa, wyrównująca	6 cm
	Izolacja przeciwnad, papa na zakład	
	Izolacja termiczna, styropian EPS100	20 cm
	Warstwa przeciwnad, papa na zakład	
	Płyta fundamentowa, żelbetowa C35/45	60 cm
	Podlewka z betonu C8/10	10cm

PROJEKT WYBRANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI
ŻELBETOWEJ BIUROWCA Z DACHEM ZIELONYM

Przekrój pionowy A-A

Imię i nazwisko		Data	Podpis	Skala: 1:100
Student	Sandra Jacyno			Nr rys. 2
Opiekun	dr inż. Wojciech Pawlak			
Recenzent	dr inż. Tomasz Nowak			

B-B

1400
6000
6000
6000
6000
6000
6000
1400
44800

UWAGI:

- Rysunek przedstawia rzut konstrukcji dachu i należy go rozpatrywać łącznie z pozostałymi rysunkami projektu.
- Wymiary, osie konstrukcyjne oraz lokalizację elementów nośnych należy przyjmować zgodnie z niniejszym rysunkiem oraz rysunkami przekrojów.
- Usytuowanie stropu, wieńców oraz słupów należy przyjmować na podstawie rysunków rzutów i przekrojów.
- Elementy konstrukcyjne należy analizować w powiązaniu z obliczeniami statyczno-wytrzymałościowymi.
- Rzut należy koordynować z dokumentacją architektoniczną oraz branżową.
- Wszelkie kolizje i niezgodności pomiędzy dokumentacją należy zgłaszać projektantowi przed rozpoczęciem robót.
- Nie dopuszcza się wprowadzania zmian w układzie konstrukcyjnym bez zgody projektanta.

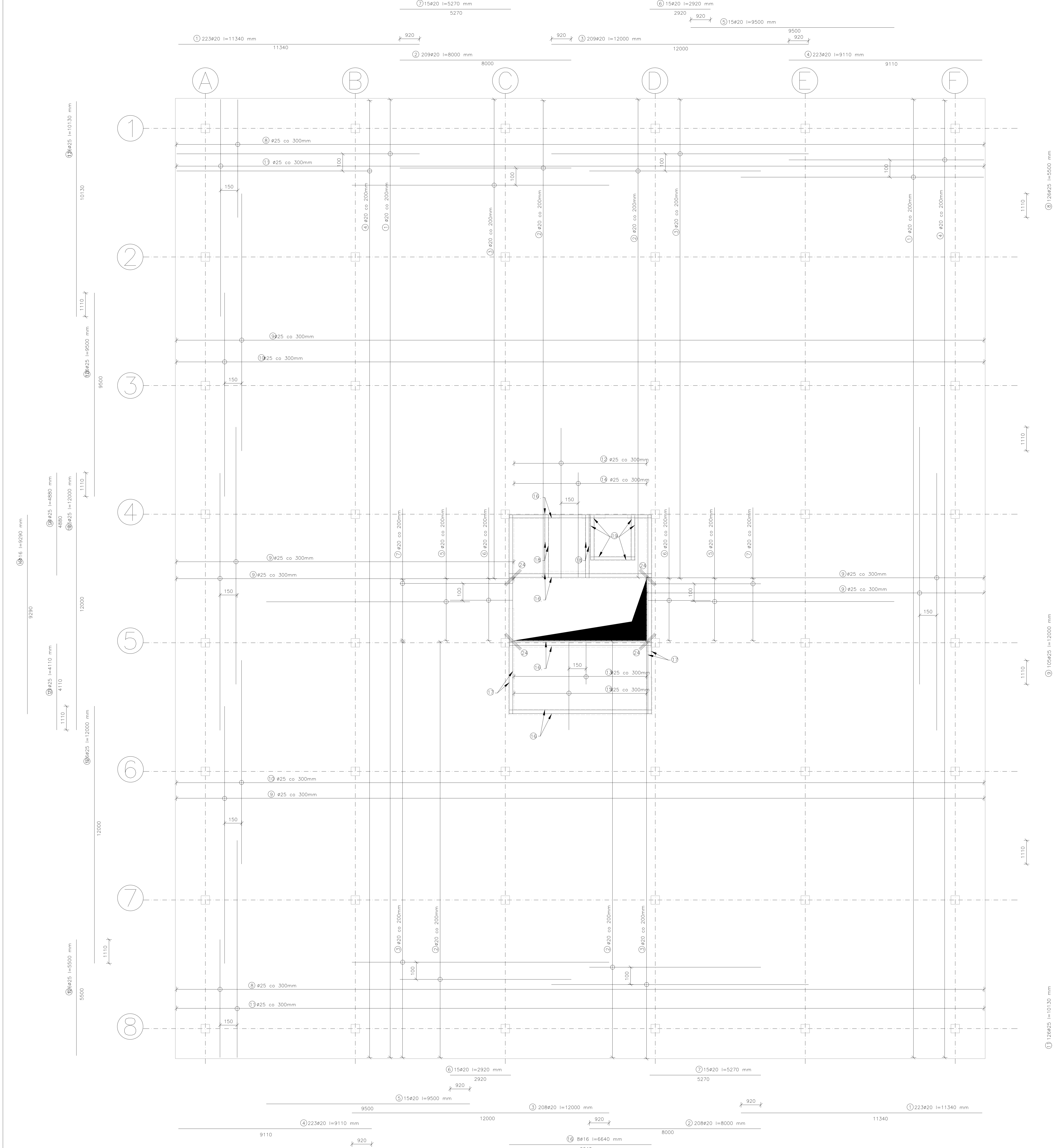
KLASA BETONU: C35/45
STAŁ ZBROJENIOWA: B500SP C
KLASA EKSPOZYCJI: XF1 od góry płyty
KLASA EKSPOZYCJI: XC1 od dołu płyty
OTULINA: 55mm od góry płyty
OTULINA: 30 mm od dołu płyty
ODPORNOŚĆ OGNIOWA: REI60

S-01 - słup
A-01 - atryka
P-01 - płyta

PROJEKT WYBRANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI
ŻELBETOWEJ BIUROWCA Z DACHEM ZIELONYM

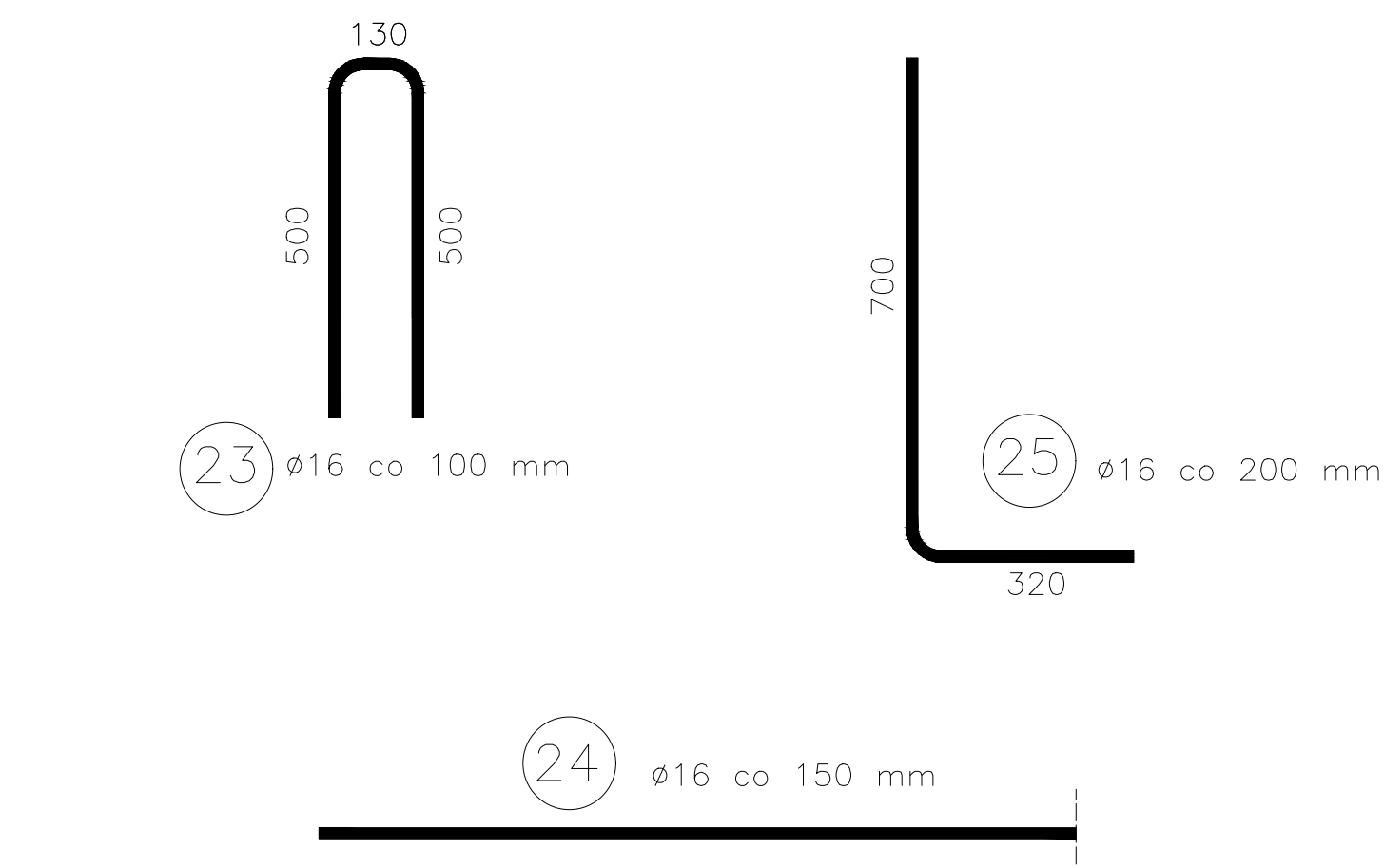
Rzut konstrukcji dachu

Imię i nazwisko		Data	Podpis	Skala: 1:100
Student	Sandra Jacyno			3
Opiekun	dr inż. Wojciech Pawlak			
Recenzent	dr inż. Tomasz Nowak			

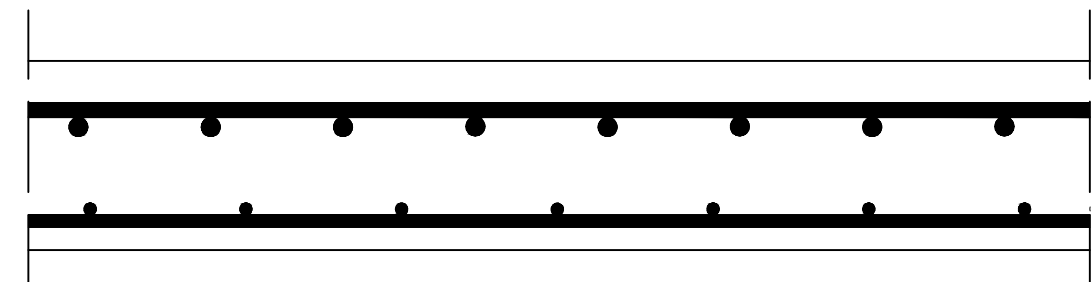


ZBROJENIE ATTYKI

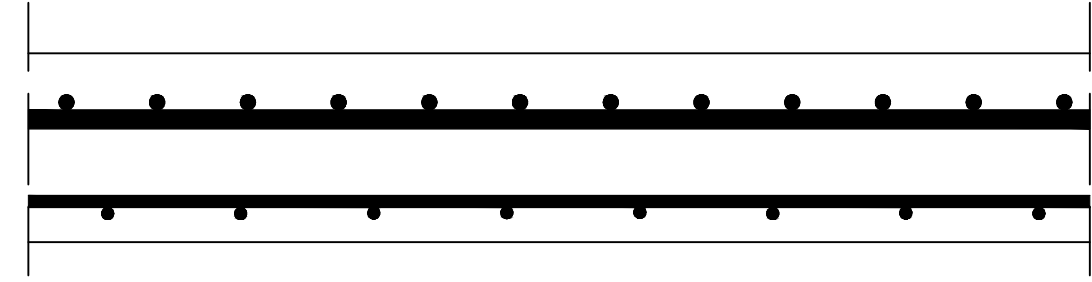
Skala: 1:10



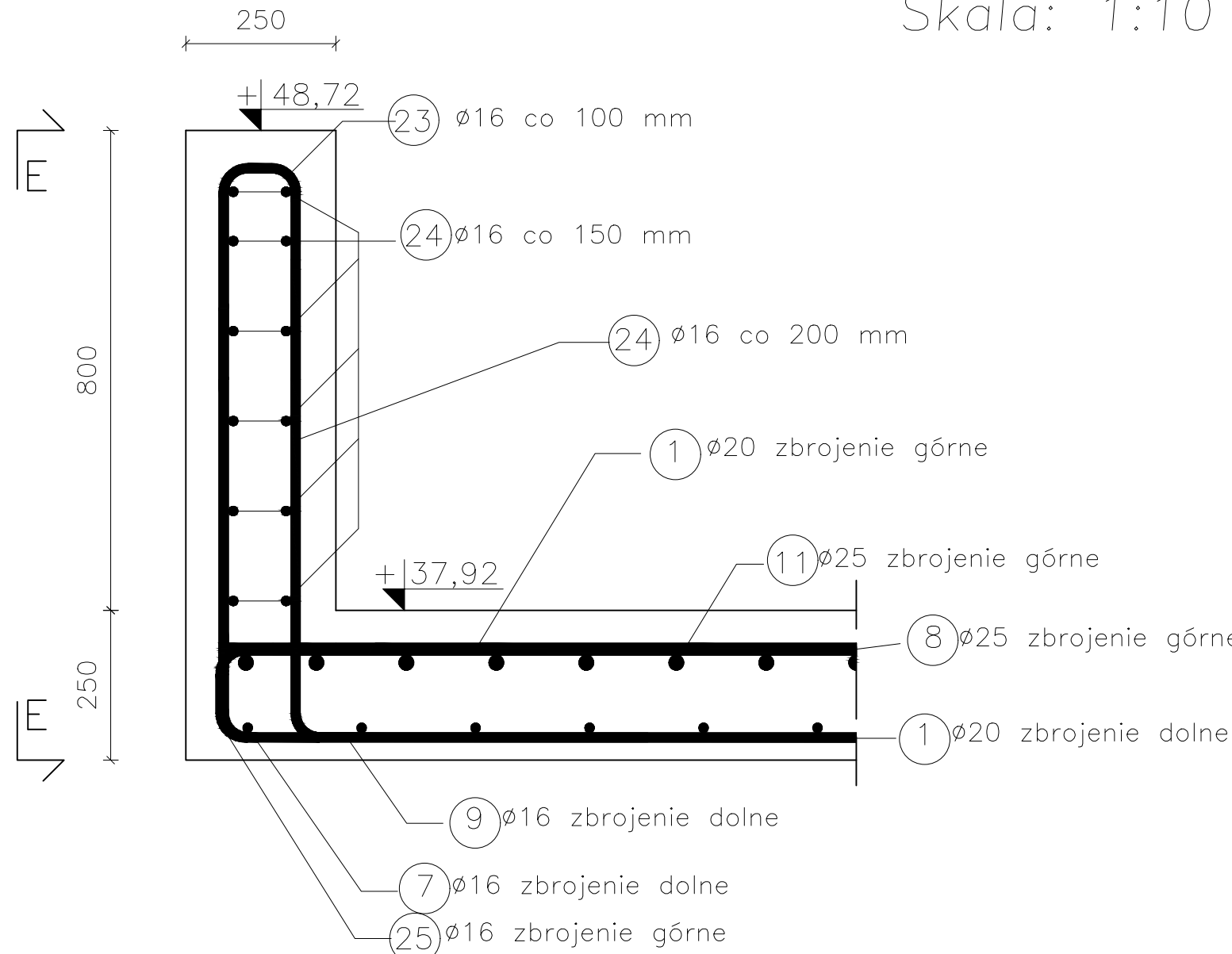
A-A



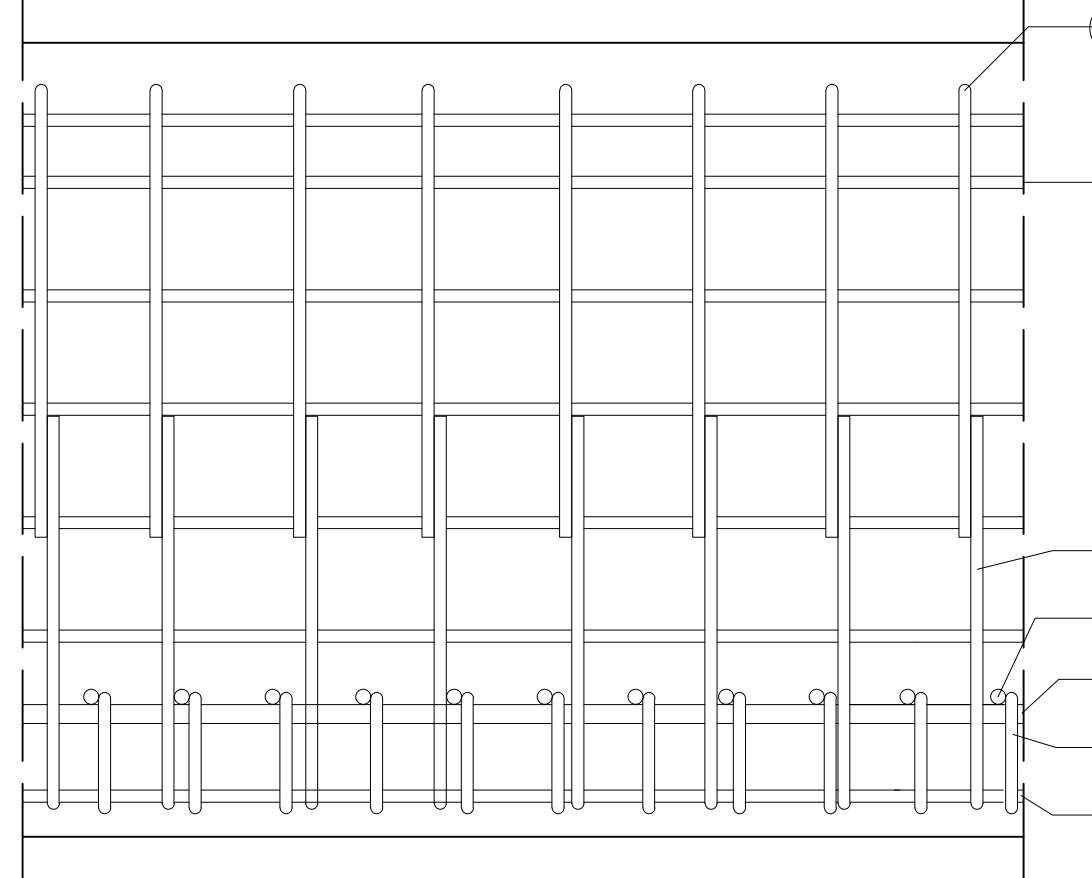
B-B



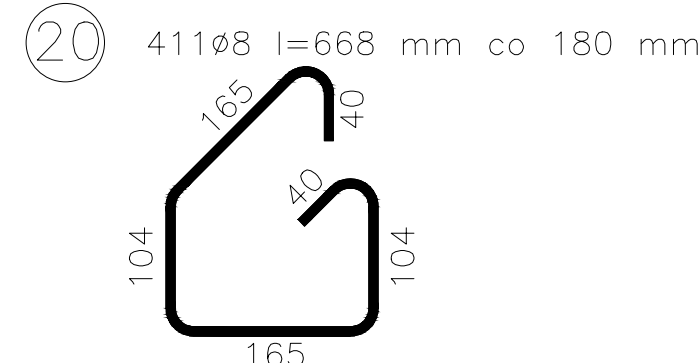
Skala: 1:10



E-E



Skala: 1:5



10160#8 l=860 mm 6szt./m²

504#16 l=2040 mm

896#16 l=1740 mm

660

ZESTAWIENIE STALI									
NR	ILOŚĆ	Ø	mm	Ø8	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	
1	446	20	11340						
2	417	20	8000						
3	417	20	12000						
4	446	20	9110						
5	30	20	9500						
6	30	20	9500						
7	30	20	5270						
8	252	25	5500						1386,00
9	462	25	12000						5544,00
10	252	25	9500						2394,00
11	252	25	10130						2552,76
12	21	25	7010						147,21
13	21	25	1980						41,58
14	21	25	4880						102,48
15	21	25	4110						86,31
16	8	16	6640						53,12
17	4	16	9290						37,16
18	4	16	2340						11,76
19	6	16	2070						12,42
20	411	8	668	274,55					1028,16
21	10160	8	860	8137,60					1559,04
22	504	16	2040						1028,16
23	896	16	1740						1028,16
24	12	12	1040						12,48
DŁUGOŚĆ CAŁKOWITA [m]			9012,15	12,48	2701,66	17991,40	2254,34		
MASA JEDNOSTKOWA [kg/m]			0,395	0,888	1,580	2,470	3,850		
MASA CAŁKOWITA [t]			3,56	4,27	44,44	47,18			
SUMA [t]					99,45				

UWAGI:

- Przy realizacji zbrojenia należy uwzględnić wytyczne zawarte w dokumentacji opisowej.
- Elementy konstrukcyjne należy rozpatrywać w powiązaniu z obliczeniami statyczno-wyrzyskościami.
- Minimalne promienie gięcia prętów należy przyjmować zgodnie z oznaczeniami przedstawionymi na schemacie.
- Zbrojenie należy analizować łącznie z rozwiązaniami zastosowanymi w sąsiadujących elementach konstrukcyjnych.
- W celu utrzymania wymaganej otuliny betonowej należy stosować dystanse z betonu w ilości 2 szt./m².
- Przy siatce zbrojeniowych warstw górnej i dolnej należy łączyć w układzie naprzemiennym, co drugie oczko.
- Zbrojenie wieńców zlokalizowanych wewnątrz obiektu prowadzić w trzeciej warstwie, licząc od górnej i dolnej krawędzi elementu.
- W strefach narożnych wieńców przewidzieć dodatkowe dozbrojenie w postaci 2 prętów Ø8, natomiast w miejscach poligonalnych typu „T” zastosować po 4 pręty Ø8 na każdą warstwę zbrojenia.
- Usytuowanie strzemiw należy przyjmować na podstawie rysunku przekrojowego.
- Zamknąć strzemiw w wieńcach wykonanych naprzemiennie, prowadząc je od strony górnej.

KLASA BETONU C35/45
STAL ZBROJENIOWA B500SP C
KLASA EKSPOZYCJI XF1 od góry płyty
KLASA EKSPOZYCJI XC1 od dołu płyty
OTULINA 55mm od góry płyty
OTULINA 30 mm od dołu płyty
ODPORNOŚĆ OGNIOWA REI60

MINIMALNE ŚREDNICE GIĘCIA

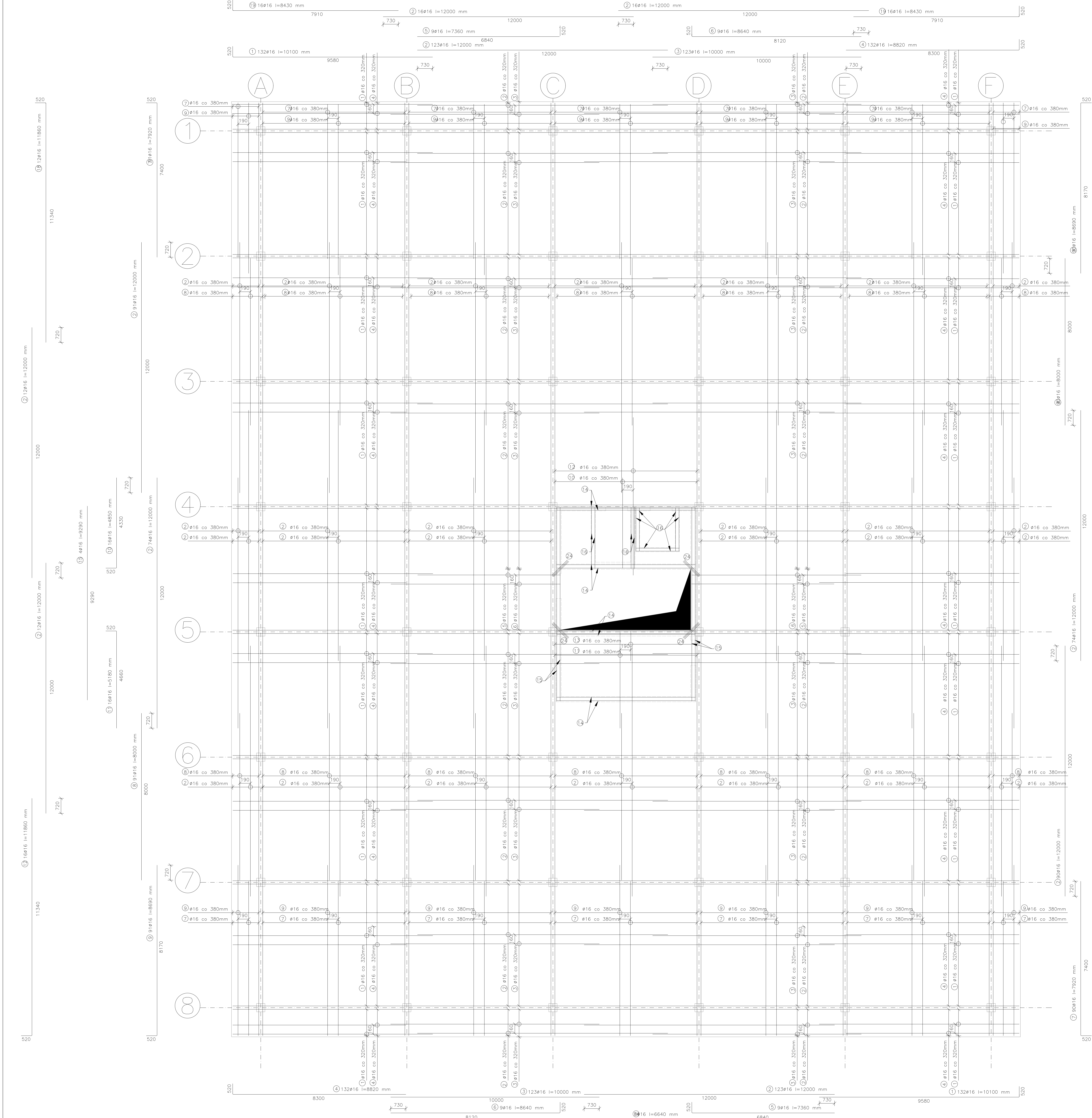
d = 4ø dla Ø = 16mm
d = 7ø dla Ø = 16mm

PROJEKT WYBRANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI

ŻELBETOWEJ BIUROWCA Z DACHEM ZIELONYM

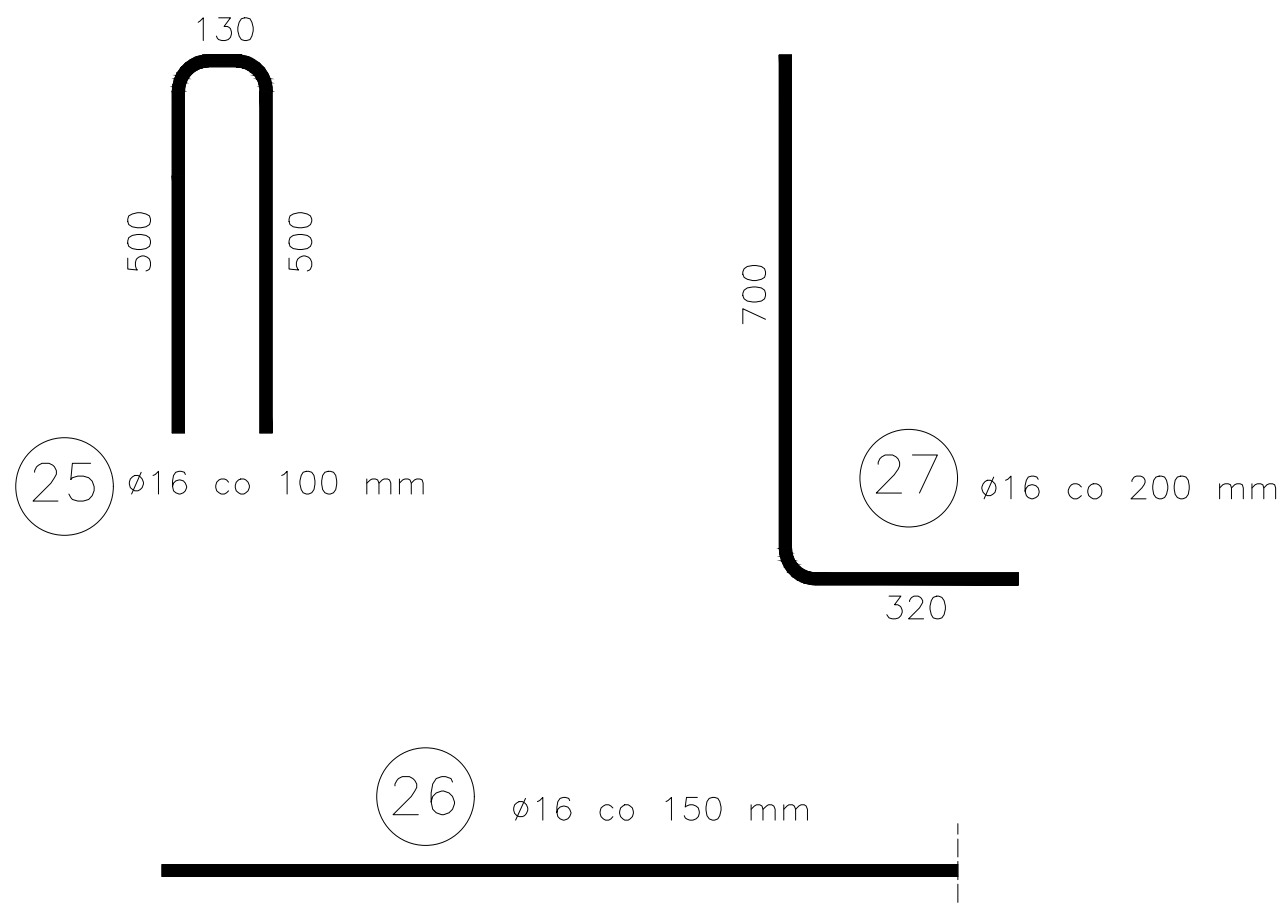
Górne zbrojenie płyty

Imię i nazwisko	Data	Podpis	Skala: 1:50
Student: Sandra Jacyńska			
Opiekun: dr inż. Wojciech Pawlak			
Recenzent: dr inż. Tomasz Nowak			

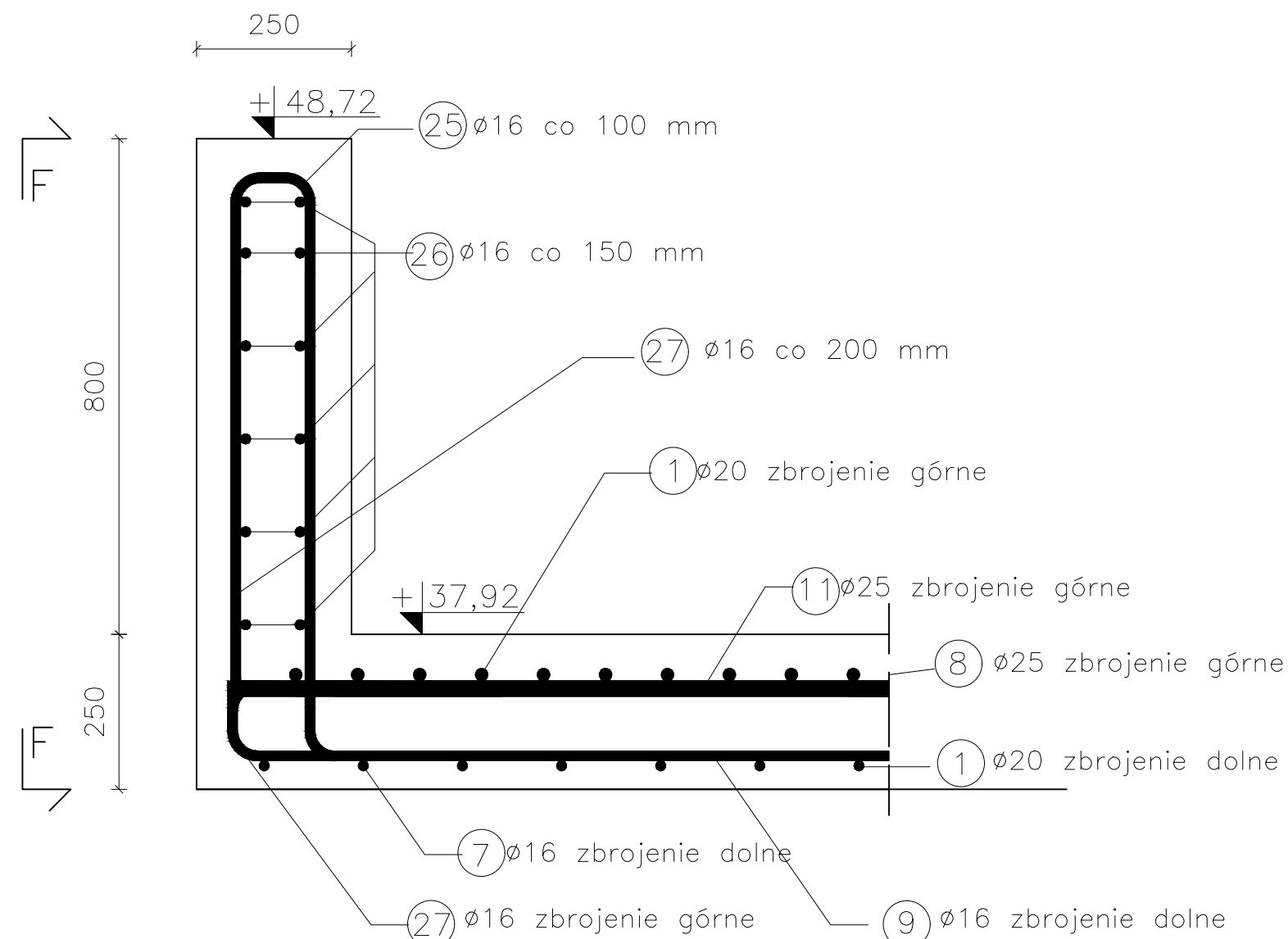


ZBROJENIE ATYKI

Skala: 1:10

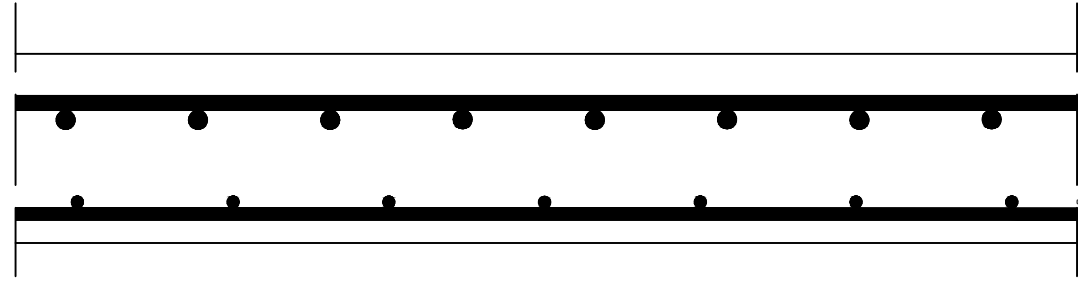


Skala: 1:10

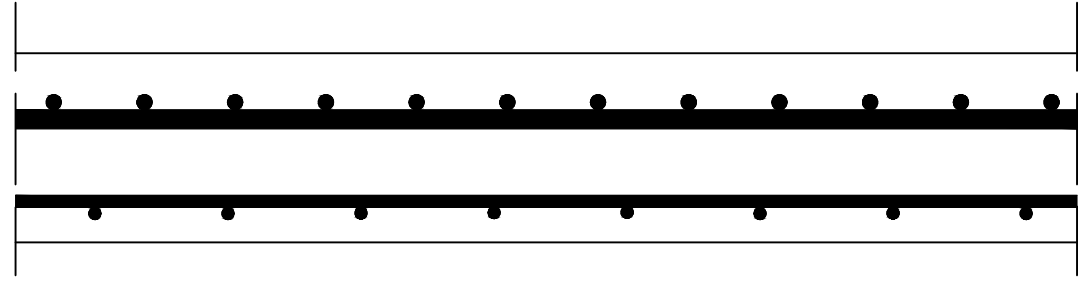


A-A

Skala: 1:10

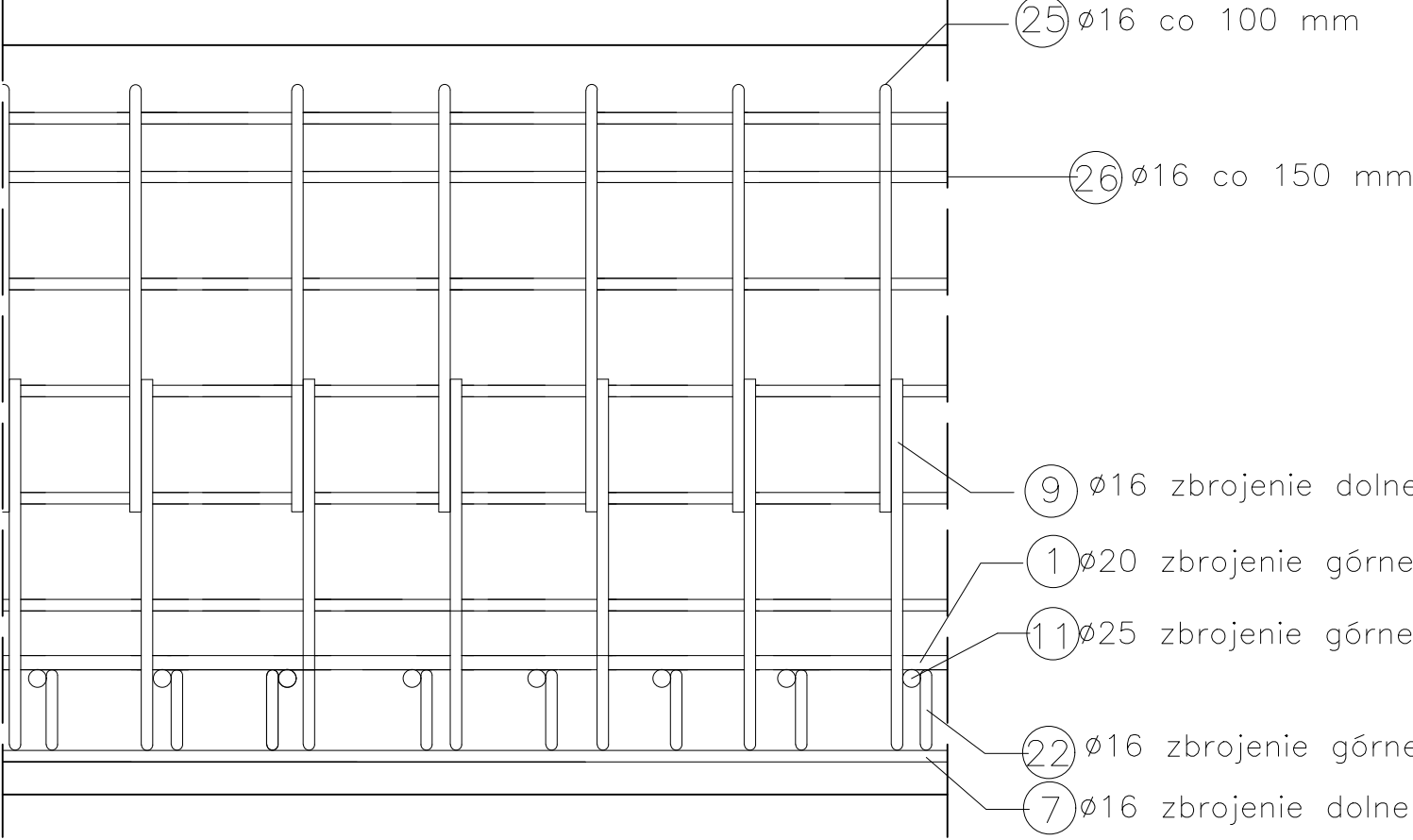


B-B



Skala: 1:10

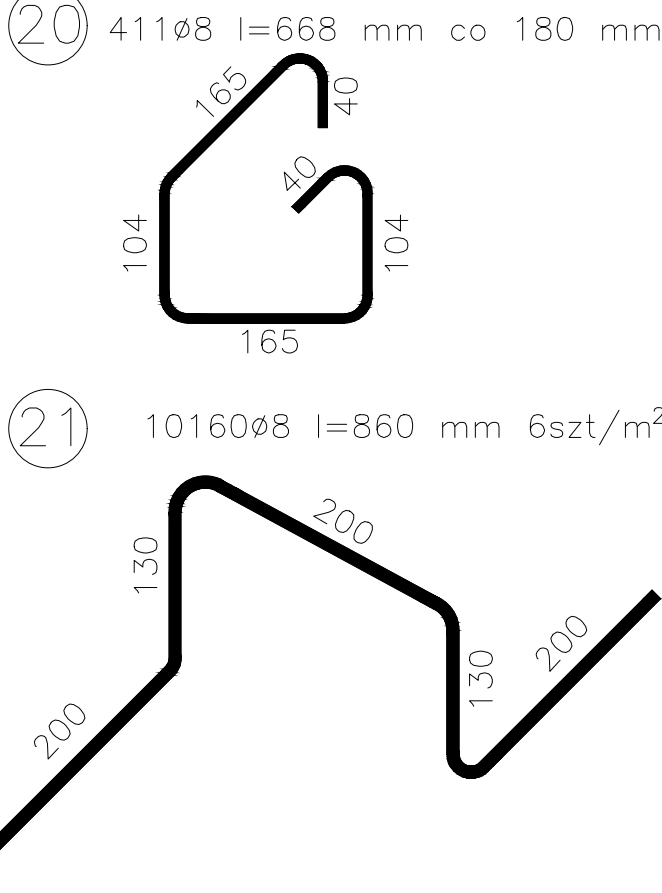
F-F



ZESTAWIENIE STALI

NR	ILOŚĆ	Ø	L	Ilość prętów [m]		
				Ø8	Ø12	Ø16
1	264	16	10100			2666,40
2	631	16	12000			7572,00
3	246	16	10000			2460,00
4	264	16	8820			2328,48
5	18	16	7360			132,48
6	18	16	8640			155,52
7	181	16	7920			1433,52
8	181	16	8000			1448,00
9	181	16	8690			1572,89
10	16	16	4850			77,60
11	16	16	5180			82,88
12	16	16	8080			129,28
13	16	16	1950			31,20
14	8	16	6640			53,12
15	4	16	9290			37,16
16	4	16	2940			11,76
17	6	16	2070			12,42
18	12	16	11860			142,32
19	16	16	8430			134,88
20	411	8	668	274,55		
21	10160	8	960	8737,60		
22	12	12	1040		12,48	
DŁUGOŚĆ CAŁKOWITA [m]				9012,15	12,48	20481,91
MASA JEDNOSTKOWA [kg/m]				0,395	0,888	1,580
MASA CAŁKOWITA [t]				3,56	0,01	32,36
SUMA [t]						35,93

Skala: 1:5



UWAGI:

- Przy realizacji zbrojenia należy uwzględnić wytyczne zawarte w dokumentacji opisowej.
- Elementy konstrukcyjne należy rozpatrywać w powiązaniu z obliczeniami statyczno-wytrzymałościowymi.
- Minimalne promienie gięcia prętów należy przyjmować zgodnie z oznaczeniami przedstawionymi na schemacie.
- Zbrojenie należy analizować łącznie z rozwiązaniami zastosowanymi w sąsiadujących elementach konstrukcyjnych.
- W celu utrzymania wymaganej otuliny betonowej należy stosować dystanse z betonu w ilości 2 szt./m².
- Pręty siatek zbrojeniowych warstw górnej i dolnej należy łączyć w układzie naprzemiennym, co drugie oczko.
- Zbrojenie wieńców zlokalizowanych wewnątrz obiektu prowadzić w trzeciej warstwie, licząc od górnej i dolnej krawędzi elementu.
- W strefach narożnych wieńców przewidzieć dodatkowe zbrojenie w postaci 2 prętów Ø8, natomiast w miejscach połączeń typu „T” zastosować po 4 pręty Ø8 na każdą warstwę zbrojenia.
- Usytuowanie stropu należy przyjmować na podstawie rysunku przekrojowego.
- Zamknięcie szeregów w wieńcach wykonywać naprzemiennie, prowadząc je od strony górnej.

KLASA BETONU: C35/45

KLASA ZBROJENIOWA: B500SP C

KLASA EKSPOZYCYJNA: XF1 od góry płyty

KLASA EKSPOZYCYJNA: XC1 od dołu płyty

OTULINA: 55mm od góry płyty

OTULINA: 30 mm od dołu płyty

ODPORNOŚĆ OGNIOWA: REI60

MINIMALNE ŚREDNICE GIĘCIA

d = 4Ø dla Ø ≤ 16mm

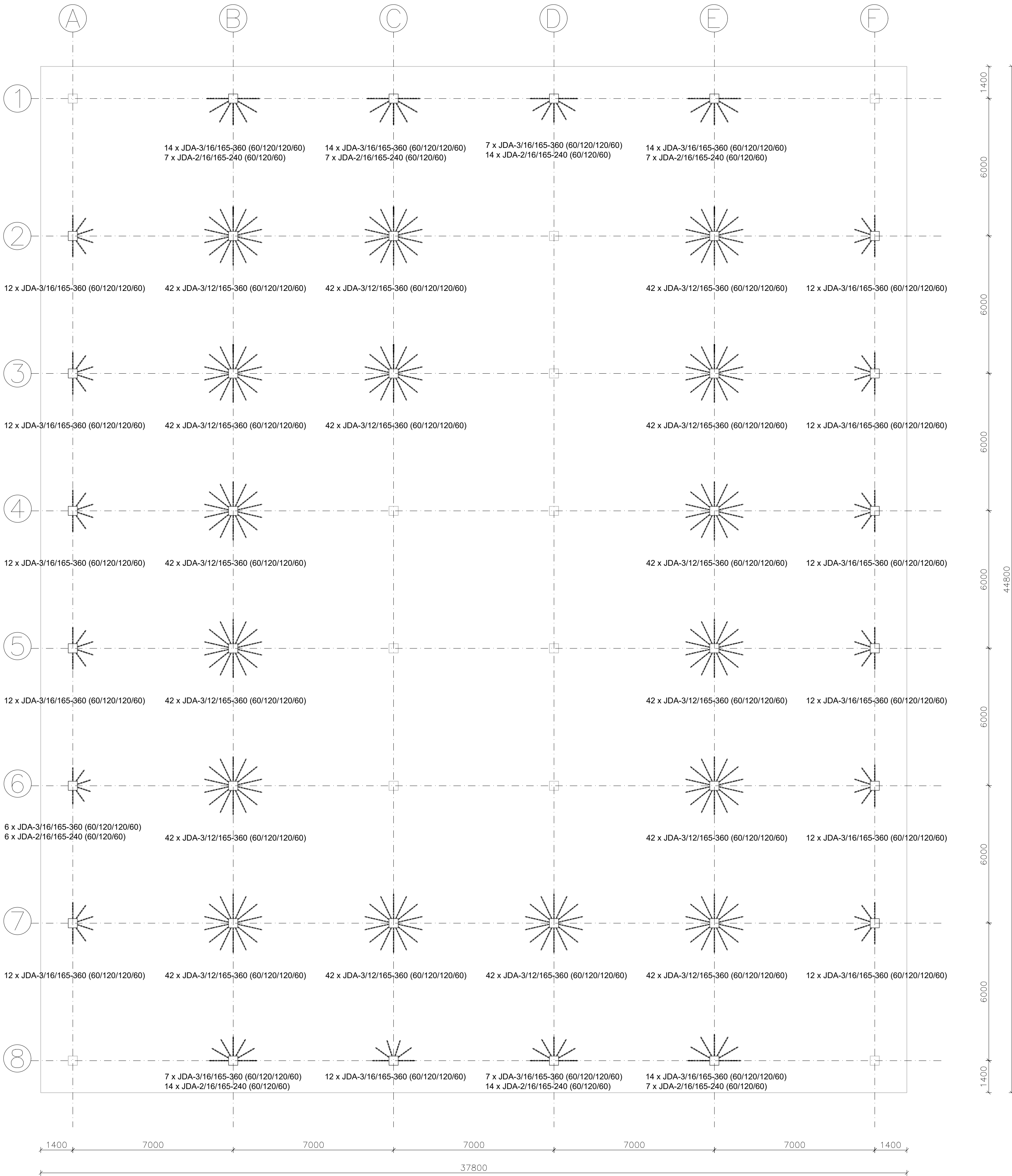
d = 7Ø dla Ø > 16mm

PROJEKT WYBRANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI

ŻELBETOWEJ BIUROWCA Z DACHEM ZIELONYM

Dolne zbrojenie płyty

Imię i nazwisko	Data	Podpis	Skala: 1:50
Student: Sandra Jędrzejko			
Opiekun: dr inż. Wojciech Pawlak			
Recenzent: dr inż. Tomasz Nowak			



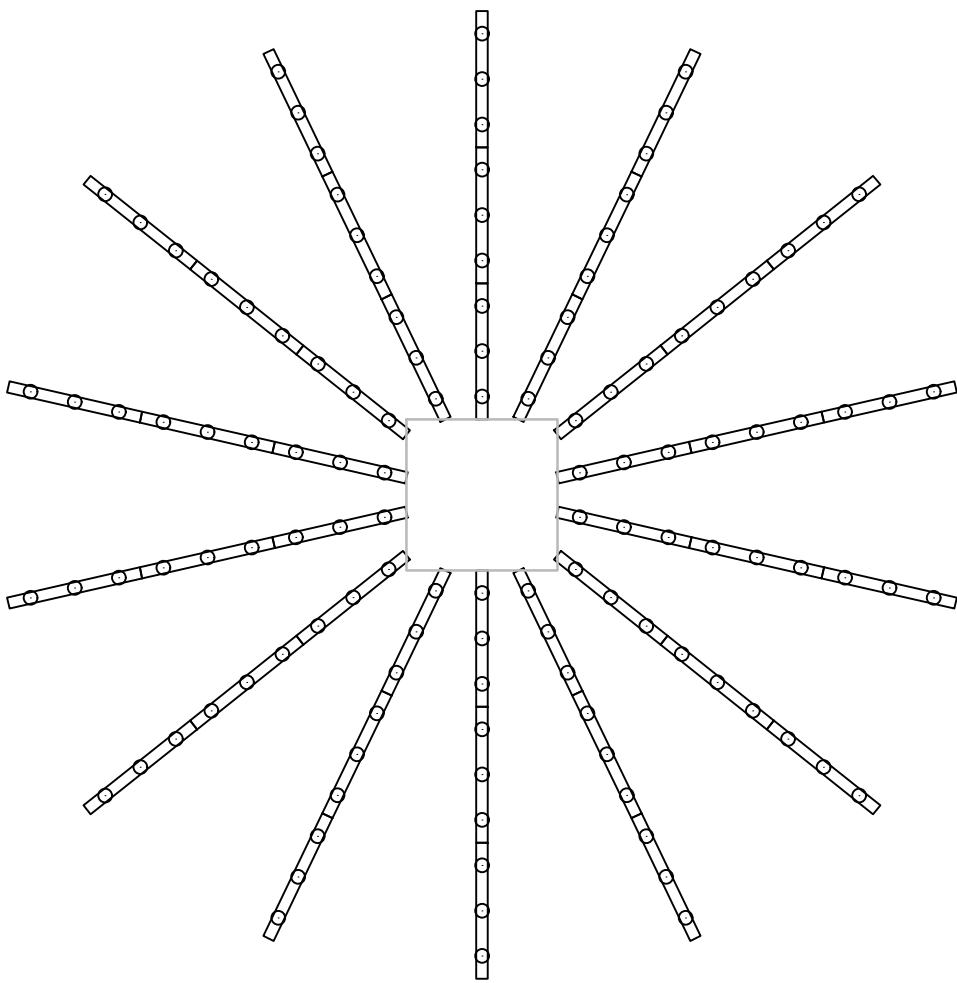
UWAGI:

- Przy realizacji zbrojenia należy uwzględnić wytyczne zawarte w dokumentacji opisowej.
- Elementy konstrukcyjne należy rozpatrywać w powiązaniu z obliczeniami statyczno-wytrzymałościowymi.
- Zbrojenie należy analizować łącznie z rozwiązaniami zastosowanymi w sąsiadujących elementach konstrukcyjnych.
- W celu utrzymania wymaganej otuliny betonowej należy stosować dystanse z betonu w ilości 2 szt./m².
- Usytuowanie stropu należy przyjmować na podstawie rysunku przekrojowego.

KLASA BETONU: C35/45
STAL ZBROJENIOWA: B500SP C
KLASA EKSPOZYCJI: XF1 od góry płyty
KLASA EKSPOZYCJI: XC1 od dołu płyty
OTULINA: 55mm od góry płyty
OTULINA: 30 mm od dołu płyty
ODPORNOŚĆ OGNIOWA: REI60

PROJEKT WYBRANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI					
ŻELBETOWEJ BIUROWCA Z DACHEM ZIELONYM					
Układ zbrojenia na przebiecie					
	Imię i nazwisko		Data	Podpis	Skala: 1:100
Student	Sandra Jacyno				Nr rys. 6
Opiekun	dr inż. Wojciech Pawlak				
Recenzent	dr inż. Tomasz Nowak				

ZBROJENIE NA PRZEBICIE
dla podpory ⑧



ZESTAWIENIE STALI							
NR	ILOŚĆ	ø	L	ILOŚĆ	Ilość prętów [m]		
	szt.	mm	mm	ELEMENTÓW szt.	ø8	ø12	ø16
1	4	20	4450	48			854,40
2	4	20	4450	48		854,40	
3	12	20	1590	48	915,84		
DŁUGOŚĆ CAŁKOWITA [m]					915,84	854,40	854,40
MASA JEDNOSTKOWA [kg/m]					0,395	1,580	2,470
MASA CAŁKOWITA [t]					0,36	1,35	2,11
SUMA [t]					3,82		

UWAGI:

- Przy realizacji zbrojenia należy uwzględnić wytyczne zawarte w dokumentacji opisowej.
- Elementy konstrukcyjne należy rozpatrywać w powiązaniu z obliczeniami statyczno-wytrzymałościowymi.
- Minimalne promienie gięcia prętów należy przyjmować zgodnie z oznaczeniami przedstawionymi na schemacie.
- Zbrojenie należy analizować łącznie z rozwiązaniami zastosowanymi w sąsiadujących elementach konstrukcyjnych.
- W celu utrzymania wymaganej otuliny betonowej należy stosować dystanse z betonu lub tworzywa sztucznego co 3–4 strzemiona.
- Usytuowanie słupa należy przyjmować na podstawie rysunku przekrojowego.

KLASA BETONU: C35/45
STAL ZBROJENIOWA: B500SP C
KLASA EKSPOZYCJI: XC1
OTULINA: 30 mm
ODPORNOŚĆ OGNIOWA: REI60

MINIMALNE ŚREDNICE GIĘCIA

$d = 4\phi$ dla $\phi \leq 16\text{mm}$
 $d = 7\phi$ dla $\phi > 16\text{mm}$

PROJEKT WYBRANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI
ŻELBETOWEJ BIUROWCA Z DACHEM ZIELONYM

Zbrojenie słupa

	Imię i nazwisko	Data	Podpis	Skala: 1:20
Student	Sandra Jacyno			Nr rys.
Opiekun	dr inż. Wojciech Pawlak			7
Recenzent	dr inż. Tomasz Nowak			