



Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

**Instytut Materiałów
i Konstrukcji Budowlanych**
Wydział Inżynierii Lądowej



Zakład Konstrukcji Żelbetowych L-15

JAN WRÓBEL

Nr albumu: 114597

Kierunek studiów: Budownictwo, Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie
Studia II stopnia stacjonarne

**PROJEKT KONSTRUKCJI ŻELBETOWEJ
18 KONDYGNACYJNEGO BUDYNKU BIUROWEGO**

DESIGN FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF AN
EIGHTEEN STOREY OFFICE BUILDING

PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA

Ocena pracy:

Data:

Podpis promotora:

| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|

Promotor

Dr inż. Krzysztof Koziński

Kraków, wrzesień 2019

STRESZCZENIE:

Przedmiotem niniejszej pracy jest projekt konstrukcji żelbetowej 18 kondygnacyjnego budynku biurowego. Projektowany budynek jest obiektem żelbetowym o konstrukcji płytowo-słupowej wykonywanej w technologii na mokro. Obiekt składa się z trzech segmentów o zróżnicowanej liczbie kondygnacji nadziemnych oraz wysokości konstrukcji tych segmentów. Najwyższy punkt konstrukcji znajduje się na wysokości +52.20m. Budynek posadowiony jest na płycie fundamentowej na głębokości -11.00m.

Opracowanie obejmuje wykonanie i opis modelu fizycznego budynku w programie Autodesk Revit 2019 oraz modelu analitycznego w programie Dlubal RFEM 5.19. Wymiarowaniu poddana została płyta stropowa kondygnacji powtarzalnej. Szczegółnej analizie poddano wpływ rozłożenia obciążenia użytkowego na stropie na siły wewnętrzne w płycie stropowej. Wymiarowanie przeprowadzono ze względu na zginanie, przebicie, zarysowanie oraz ugięcia. Pokazana została prosta metoda wymiarowania zbrojenia ze względu na zginanie.

Kolejnym projektowanym elementem była płyta fundamentowa. Przeprowadzono analizę podparcia, a następnie zwymiarowano zbrojenie podłużne w punkcie trzema metodami: uproszczoną na zginanie, metodą trójwarstwową oraz przy użyciu kalkulatora wbudowanego w program obliczeniowy. Dodatkowo przeprowadzono analizę zarysowania z obliczeniem szerokości rysy: metodą analityczną oraz w programie. Następnie dokonano porównania wyników. Płytę fundamentową zwymiarowano również ze względu na wpływ przebiccia. Kształtowanie zbrojenia wykonano na podstawie map zbrojenia wygenerowanych w programie RFEM.

Przeprowadzono również wymiarowanie słupa, w którym wystąpiły największe siły przekrojowe. Analizie poddano wpływ sił wewnętrznych na efekty drugiego rzędu. Wymiarowanie przeprowadzono: w sposób tradycyjny ze względu na zginanie z udziałem siły podłużnej oraz przy użyciu gotowego arkusza kalkulacyjnego.

Na podstawie obliczeń wykonano rysunki konstrukcyjne zbrojenia projektowanych elementów w programie Allplan 2019, poprzedzone dodatkowymi obliczeniami wymaganymi przy konstruowaniu zbrojenia.

SPIS TREŚCI:

| | |
|--|-----------|
| 1. OPIS TECHNICZNY | 13 |
| 1.1. PRZEDMIOT I ZAKRES OPRACOWANIA | 13 |
| 1.2. PODSTAWY OPRACOWANIA | 13 |
| 1.3. WARUNKI GEOLOGICZNE I GEOTECHNICZNE | 13 |
| 1.4. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU..... | 13 |
| 1.5. SZCZEGÓŁOWY OPIS KONSTRUKCJI BUDYNKU | 16 |
| 1.5.1. Fundamenty | 16 |
| 1.5.2. Ściany żelbetowe trzonów | 16 |
| 1.5.3. Słupy żelbetowe..... | 16 |
| 1.5.4. Belki żelbetowe | 16 |
| 1.5.5. Żelbetowe płyty stropowe | 17 |
| 1.5.6. Schody..... | 17 |
| 1.5.7. Izolacja przeciwwodna..... | 17 |
| 1.6. MATERIAŁY KONSTRUKCYJNE..... | 17 |
| 1.7. ZALECENIA I UWAGI WYKONAWCZE | 18 |
| 1.7.1. Zabezpieczenie wykopu | 18 |
| 1.7.2. Roboty ziemne | 18 |
| 1.7.3. Technologia wykonywania ścian szczelinowych – metoda stropowa | 18 |
| 1.7.4. Technologia betonowania płyty fundamentowej..... | 19 |
| 1.7.5. Roboty betoniarskie..... | 19 |
| 1.8. UWAGI KOŃCOWE..... | 19 |
| 2. DOBÓR WYMIARÓW ELEMENTÓW KONSTRUKCJI | 21 |
| 2.1. WSTĘPNY DOBÓR WYMIARÓW | 21 |
| 2.2. PROJEKTOWANIE NA DZIAŁANIE POŻARU | 23 |
| 3. ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ..... | 25 |
| 3.1. OBCIĄŻENIA STAŁE | 25 |
| 3.1.1. Obciążenie stałe stropów..... | 26 |
| 3.1.2. Obciążenia stałe belkami i słupami..... | 27 |
| 3.1.3. Obciążenia stałe biegami schodowymi..... | 27 |
| 3.1.4. Obciążenia stałe ścianami | 28 |
| 3.1.5. Obciążenie stałe od parcia gruntu na ściany szczelinowe | 28 |
| 3.2. OBCIĄŻENIA ZMIENNE..... | 29 |
| 3.2.1. Obciążenia użytkowe stropodachu, stropów i schodów | 29 |
| 3.2.2. Obciążenie śniegiem | 29 |
| 3.2.3. Obciążenie wiatrem | 29 |
| 3.2.4. Obciążenie zmienne od parcia gruntu na ściany szczelinowe | 30 |
| 4. MODEL KONSTRUKCJI BUDYNKU | 31 |
| 4.1. TECHNIKI PROJEKTOWANIA NA PRZESTRZENI LAT | 31 |
| 4.2. MODEL FIZYCZNY KONSTRUKCJI W PROGRAMIE AUTODESK REVIT | 32 |
| 4.3. MODEL NUMERYCZNY W PROGRAMIE DLUBAL RFEM | 33 |

| | |
|--|-----------|
| 5. WYMIAROWANIE PŁYTY STROPOWEJ KONDYGNACJI POWTARZALNEJ..... | 34 |
| 5.1. MODEL ANALITYCZNY..... | 34 |
| 5.1.1. Ogólny opis modelu..... | 34 |
| 5.1.2. Siatka elementów skończonych..... | 36 |
| 5.1.3. Przypadki obciążeń..... | 37 |
| 5.1.4. Kombinacje obciążeń..... | 37 |
| 5.1.5. Weryfikacja wyników..... | 41 |
| 5.2. WYNIKI OBLICZEŃ STATYCZNYCH..... | 42 |
| 5.2.1. Założenia..... | 42 |
| 5.2.2. Momenty zginające – stan graniczny nośności..... | 43 |
| 5.2.3. Momenty zginające – stan graniczny użyteczności..... | 44 |
| 5.2.4. Ugięcia sprężyste..... | 47 |
| 5.3. WYMIAROWANIE PŁYTY STROPOWEJ..... | 48 |
| 5.3.1. Dane materiałowe..... | 48 |
| 5.3.2. Otulina zbrojenia..... | 48 |
| 5.3.3. Minimalne i maksymalne pole przekroju zbrojenia..... | 48 |
| 5.3.4. Stan graniczny nośności - wymiarowanie ze względu na zginanie..... | 48 |
| 5.3.5. Stan graniczny nośności - wymiarowanie ze względu na przebicie..... | 49 |
| 5.3.6. Stan graniczny użyteczności - wymiarowanie ze względu na zarysowanie..... | 49 |
| 5.3.7. Stan graniczny użyteczności – wymiarowanie ze względu na ugięcia..... | 50 |
| 6. WYMIAROWANIE PŁYTY FUNDAMENTOWEJ | 51 |
| 6.1. MODEL ANALITYCZNY..... | 51 |
| 6.1.1. Ogólny opis modelu..... | 51 |
| 6.1.2. Siatka elementów skończonych..... | 53 |
| 6.1.3. Przypadki obciążeń..... | 55 |
| 6.1.4. Kombinacje obciążeń..... | 56 |
| 6.2. WYNIKI OBLICZEŃ STATYCZNYCH..... | 56 |
| 6.2.1. Założenia..... | 56 |
| 6.2.2. Siły wewnętrzne – stan graniczny nośności..... | 57 |
| 6.2.3. Siły wewnętrzne – stan graniczny użyteczności..... | 58 |
| 6.3. WYMIAROWANIE PŁYTY FUNDAMENTOWEJ | 61 |
| 6.3.1. Dane materiałowe..... | 61 |
| 6.3.2. Otulina zbrojenia..... | 61 |
| 6.3.3. Minimalne i maksymalne pole przekroju zbrojenia..... | 61 |
| 6.3.4. Stan graniczny nośności - wymiarowanie ze względu na zginanie..... | 61 |
| 6.3.5. Stan graniczny nośności - wymiarowanie ze względu na przebicie..... | 64 |
| 6.3.6. Stan graniczny użyteczności - wymiarowanie ze względu na zarysowanie..... | 64 |
| 7. WYMIAROWANIE SŁUPA..... | 70 |
| 7.1. MODEL ANALITYCZNY..... | 70 |
| 7.2. WYNIKI OBLICZEŃ STATYCZNYCH..... | 71 |
| 7.3. WYMIAROWANIE SŁUPA GARAŻU METODĄ ANALITYCZNĄ..... | 72 |
| 7.3.1. Dane materiałowe..... | 72 |
| 7.3.2. Otulina zbrojenia..... | 72 |
| 7.3.3. Minimalne i maksymalne pole przekroju zbrojenia..... | 72 |
| 7.3.4. Stan graniczny nośności - wymiarowanie ze względu na zginanie..... | 72 |
| 7.3.5. Porównanie wyników z arkuszem kalkulacyjnym dołączonym do [13]..... | 73 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 7.4. | WYMIAROWANIE SŁUPA PARTERU METODĄ UPROSZCZONĄ..... | 74 |
| 7.4.1. | Obliczenia pomocnicze | 74 |
| 7.4.2. | Obliczenie zbrojenia za pomocą arkusza kalkulacyjnego..... | 74 |
| 8. | OBLICZENIA DODATKOWE PRZY KONSTRUOWANIU ZBROJENIA..... | 76 |
| 9. | BIBLIOGRAFIA | 77 |
| 10. | SPIS ZAŁĄCZNIKÓW | 78 |
| 10.1. | ZAŁĄCZNIKI OBLICZENIOWE: | |
| A. | Wymiarowanie płyty stropowej kondygnacji powtarzalnej – obliczenia | |
| B. | Wymiarowanie płyty fundamentowej – obliczenia | |
| C. | Wymiarowanie słupa – obliczenia | |
| D. | Konstruowanie zbrojenia – obliczenia | |
| 10.2. | ZESTAWIENIA STALI ZBROJENIOWEJ | |
| 10.3. | ZAŁĄCZNIKI RYSUNKOWE: | |
| K.01. | Plan pozycyjny - fundament poz. -3 | |
| K.02. | Plan pozycyjny – płyta poz. +6 | |
| K.03. | Przekrój A-A | |
| K.04. | Zbrojenie dolne płyty fundamentowej poz. -3 | |
| K.05. | Zbrojenie górne płyty fundamentowej poz. -3 | |
| K.06. | Zbrojenie szczegółów płyty fundamentowej poz. -3 | |
| K.07. | Zbrojenie dolne płyty poz. +6 | |
| K.08. | Zbrojenie górne płyty poz. +6 | |
| K.09. | Zbrojenie szczegółów płyty poz. +6 | |
| K.10. | Zbrojenie słupa | |

SPIS TABEL:

| | | |
|------------|---|----|
| Tabela 3.1 | Obciążenie stałe stropodachu zielonego..... | 25 |
| Tabela 3.2 | Obciążenia stałe części komunikacyjnej stropodachu..... | 25 |
| Tabela 3.3 | Obciążenie stałe stropów kondygnacji biurowych..... | 26 |
| Tabela 3.4 | Obciążenie stałe stropu parteru | 26 |
| Tabela 3.5 | Obciążenie stałe stropu nad garażem | 27 |
| Tabela 3.6 | Obciążenie stałe stropu garażu..... | 27 |
| Tabela 3.7 | Obciążenia stałe biegami schodowymi | 28 |
| Tabela 3.8 | Obciążenia użytkowe stropodachu, stropów i schodów | 29 |
| Tabela 5.1 | Porównanie wartości momentów zginających my dla kombinacji obciążeń i wyników | 38 |
| Tabela 5.2 | Zestawienie zbrojenia podłużnego w płycie..... | 49 |
| Tabela 6.1 | Przypadki obciążenia | 56 |
| Tabela 6.2 | Kombinacje obciążeń..... | 56 |
| Tabela 6.3 | Porównanie zbrojenia płyty fundamentowej dla różnych metod obliczeń | 64 |
| Tabela 6.4 | Porównanie wyników obliczeń dla sprawdzenia zarysowania..... | 65 |
| Tabela 6.5 | Zbrojenie zastosowane w płycie fundamentowej..... | 66 |
| Tabela 8.1 | Zestawienie długości zakotwienia i zakładu prętów | 76 |

SPIS ILUSTRACJI:

| | |
|---|----|
| Rysunek 1.1 Rzut stropu poz. +6 | 14 |
| Rysunek 1.2 Przekrój przez budynek..... | 15 |
| Rysunek 4.1 Model fizyczny budynku w programie Autodesk Revit 2019..... | 32 |
| Rysunek 4.2 Model analityczny budynku w programie Autodesk Revit 2019..... | 32 |
| Rysunek 5.1 Rzut wymiarowanej płyty stropowej | 34 |
| Rysunek 5.2 Położenie obliczeniowe belki w modelu | 35 |
| Rysunek 5.3 Model obliczeniowy | 35 |
| Rysunek 5.4 Przyjęta siatka elementów skończonych na stropie..... | 36 |
| Rysunek 5.5 Powierzchnie rozkładu obciążenia użytkowego | 37 |
| Rysunek 5.6 Mapa obliczeniowych momentów zginających m_y dla kombinacji obciążeń – obciążenia użytkowe na całym stropie..... | 39 |
| Rysunek 5.7 Mapa obliczeniowych momentów zginających m_y dla kombinacji obciążeń – brak obciążeń użytkowych..... | 39 |
| Rysunek 5.8 Mapa obliczeniowych momentów zginających m_y dla kombinacji wyników - dolna obwiednia | 40 |
| Rysunek 5.9 Mapa obliczeniowych momentów zginających m_y dla kombinacji wyników - górna obwiednia | 40 |
| Rysunek 5.10 Weryfikowany słup wraz z polem zbierania obciążeń ze stropu..... | 41 |
| Rysunek 5.11 Siła podłużna odczytana w programie obliczeniowym | 42 |
| Rysunek 5.12 Efekt uśrednienia wyników | 42 |
| Rysunek 5.13 Mapa momentów zginających m_x [kNm/m] od obliczeniowej kombinacji obciążeń..... | 43 |
| Rysunek 5.14 Mapa momentów zginających m_y [kNm/m] od obliczeniowej kombinacji obciążeń..... | 43 |
| Rysunek 5.15 Mapa momentów zginających m_x [kNm/m] od charakterystycznej kombinacji obciążeń | 44 |
| Rysunek 5.16 Mapa momentów zginających m_y [kNm/m] od charakterystycznej kombinacji obciążeń | 44 |
| Rysunek 5.17 Mapa momentów zginających m_x [kNm/m] od częstej kombinacji obciążeń..... | 45 |
| Rysunek 5.18 Mapa momentów zginających m_y [kNm/m] od częstej kombinacji obciążeń..... | 45 |
| Rysunek 5.19 Mapa momentów zginających m_x [kNm/m] od quasi-stałej kombinacji obciążeń | 46 |
| Rysunek 5.20 Mapa momentów zginających m_y [kNm/m] od quasi-stałej kombinacji obciążeń | 46 |
| Rysunek 5.21 Mapa pionowych przemieszczeń sprężystych u_z [mm] od quasi-stałej kombinacji obciążeń | 47 |
| Rysunek 6.1 Model obliczeniowy | 51 |
| Rysunek 6.2 Współczynnik sprężystego równomiernego nacisku pionowego [kN/m ³] obliczony w programie | 52 |
| Rysunek 6.3 Siatka elementów skończonych dla całego budynku | 54 |
| Rysunek 6.4 Siatka elementów skończonych dla płyty fundamentowej..... | 55 |
| Rysunek 6.5 Mapa momentów zginających m_x [kNm/m] od obliczeniowej kombinacji obciążeń..... | 57 |
| Rysunek 6.6 Mapa momentów zginających m_y [kNm/m] od obliczeniowej kombinacji obciążeń..... | 57 |
| Rysunek 6.7 Mapa momentów zginających m_x [kNm/m] od charakterystycznej kombinacji obciążeń | 58 |
| Rysunek 6.8 Mapa momentów zginających m_y [kNm/m] od charakterystycznej kombinacji obciążeń | 58 |
| Rysunek 6.9 Mapa momentów zginających m_x [kNm/m] od częstej kombinacji obciążeń..... | 59 |
| Rysunek 6.10 Mapa momentów zginających m_y [kNm/m] od częstej kombinacji obciążeń..... | 59 |

| | |
|--|----|
| Rysunek 6.11 Mapa momentów zginających m_x [kNm/m] od quasi-stałej kombinacji obciążeń | 60 |
| Rysunek 6.12 Mapa momentów zginających m_y [kNm/m] od quasi-stałej kombinacji obciążeń..... | 60 |
| Rysunek 6.13 Mapa zbrojenia górnego A_{sx} [cm ² /m] obliczonego w programie RFEM | 62 |
| Rysunek 6.14 Mapa zbrojenia górnego A_{sy} [cm ² /m] obliczonego w programie RFEM | 62 |
| Rysunek 6.15 Mapa zbrojenia dolnego A_{sx} [cm ² /m] obliczonego w programie RFEM..... | 63 |
| Rysunek 6.16 Mapa zbrojenia dolnego A_{sy} [cm ² /m] obliczonego w programie RFEM..... | 63 |
| Rysunek 6.17 Szerokość rys na powierzchni górnej płyty fundamentowej [mm]..... | 65 |
| Rysunek 6.18 Szerokość rys na powierzchni dolnej płyty fundamentowej [mm] | 66 |
| Rysunek 6.19 Mapa zbrojenia dolnego A_{sx} [cm ² /m] ze skalą kolorów dopasowaną do przyjętego zbrojenia | 67 |
| Rysunek 6.20 Mapa zbrojenia dolnego A_{sy} [cm ² /m] ze skalą kolorów dopasowaną do przyjętego zbrojenia | 67 |
| Rysunek 6.21 Mapa zbrojenia górnego A_{sx} [cm ² /m] ze skalą kolorów dopasowaną do przyjętego zbrojenia | 68 |
| Rysunek 6.22 Mapa zbrojenia górnego A_{sy} [cm ² /m] ze skalą kolorów dopasowaną do przyjętego zbrojenia | 68 |
| Rysunek 6.23 Zrzut ekranu komputera podczas pracy w programie Allplan 2019 | 69 |
| Rysunek 7.1 Lokalny układ współrzędnych pręta w programie RFEM | 70 |
| Rysunek 7.2 Siły przekrojowe w słupie od obliczeniowej kombinacji obciążeń - od lewej: maksymalna siła podłużna N [kN], odpowiadający moment w kierunku M_y [kNm], odpowiadający moment w kierunku M_z [kNm] | 71 |
| Rysunek 7.3 Siły przekrojowe w słupie od quasi-stałej kombinacji obciążeń - od lewej: maksymalna siła podłużna N [kN], odpowiadający moment w kierunku M_y [kNm], odpowiadający moment w kierunku M_z [kNm] | 71 |
| Rysunek 7.4 Zbrojenie dla słupa garażu..... | 73 |
| Rysunek 7.5 Wymiarowanie słupa garażu w arkuszu kalkulacyjnym..... | 73 |
| Rysunek 7.6 Wymiarowanie zbrojenia słupa parteru w arkuszu kalkulacyjnym..... | 74 |
| Rysunek 7.7 Zbrojenie dla słupa parteru | 75 |

1. OPIS TECHNICZNY

1.1. Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem opracowania jest budynek biurowy o żelbetowej konstrukcji płytowo-słupowej. Geometria obiektu została oparta na istniejącym budynku zlokalizowanym w Warszawie przy skrzyżowaniu ul. Obozowej i al. Prymasa Tysiąclecia. Zakres opracowania obejmuje wykonanie modelu obliczeniowego projektowanego budynku, jego analizę statyczną oraz przeprowadzenie obliczeń wybranych elementów konstrukcyjnych ze względu na stan graniczny nośności i użyteczności.

1.2. Podstawy opracowania

Projekt wykonano w oparciu o:

- projekt architektury budynku,
- aktualne normy europejskie PN-EN,
- literaturę techniczną.

1.3. Warunki geologiczne i geotechniczne

Ze względu na brak informacji na temat warunków gruntowych w miejscu rzeczywistej konstrukcji, bazując między innymi na dokumentacji fotograficznej, w projekcie założono występowanie żwirów do głębokości 10m poniżej poziomu posadowienia obiektu oraz braku występowania wody gruntowej do głębokości 5m poniżej poziomu posadowienia obiektu. Przy takich założeniach, uwzględniając położenie oraz geometrię budynku, kategorię geotechniczną oceniono jako 3., a warunki gruntowe jako złożone.

1.4. Ogólna charakterystyka obiektu

Projektowany budynek jest obiektem żelbetowym o konstrukcji płytowo-słupowej wykonywanej w technologii na mokro. Obiekt składa się z trzech segmentów o zróżnicowanej liczbie kondygnacji nadziemnych oraz wysokości konstrukcji tych segmentów.

Segment pierwszy, nazywany w dalszej części opracowania wieżą niską składa się z parteru o funkcji handlowej i gastronomicznej oraz 7 kondygnacji nadziemnych przeznaczonych na biura z urządzeniami technicznymi zlokalizowanymi na stropodachu. Segment ten znajduje się między osiami A-C i 1-8, a jego wymiary w skrajnych osiach to 12.95 m x 50.80 m. Wysokość konstrukcji wieży niskiej wynosi 28.80 m.

Segment drugi, nazywany w dalszej części opracowania wieżą wysoką składa się z parteru o funkcji handlowej i gastronomicznej oraz 14 kondygnacji nadziemnych przeznaczonych na biura, z częścią tarasową na ostatniej kondygnacji oraz urządzeniami technicznymi na jej stropodachu. Segment ten znajduje się między osiami F-G i 9-16, a jego wymiary w skrajnych osiach to 12.95 m x 48.10 m. Wysokość konstrukcji wieży wysokiej wynosi 52.20 m. Osie F-H są nachylone w stosunku do osi A-E pod kątem równym 5 stopni.

Segment trzeci, nazywany w dalszej części opracowania łącznikiem składa się z parteru o funkcji reprezentacyjnej, 6 kondygnacji nadziemnych przeznaczonych na biura z częścią tarasową na stropodachu. Na części powierzchni parteru łącznika, jego wysokość jest równa wysokości parteru oraz pierwszego piętra wież. Segment ten znajduje się między osiami C-F. Kształt tego segmentu w rzucie

to trapez, a jego maksymalne wymiary zewnętrzne to 17.80 m x 21.60 m. Wysokość konstrukcji łącznika wynosi 24.20 m.

Dla całego budynku, wysokość określana jako różnica górnych rzędnych konstrukcji stropów dla parteru i pierwszego piętra wynosi 3.60 m. Dla kondygnacji biurowych tak samo określana wysokość wynosi 3.40 m. Dla ostatnich pięter wież wysokość ta jest równa 4.20 m.

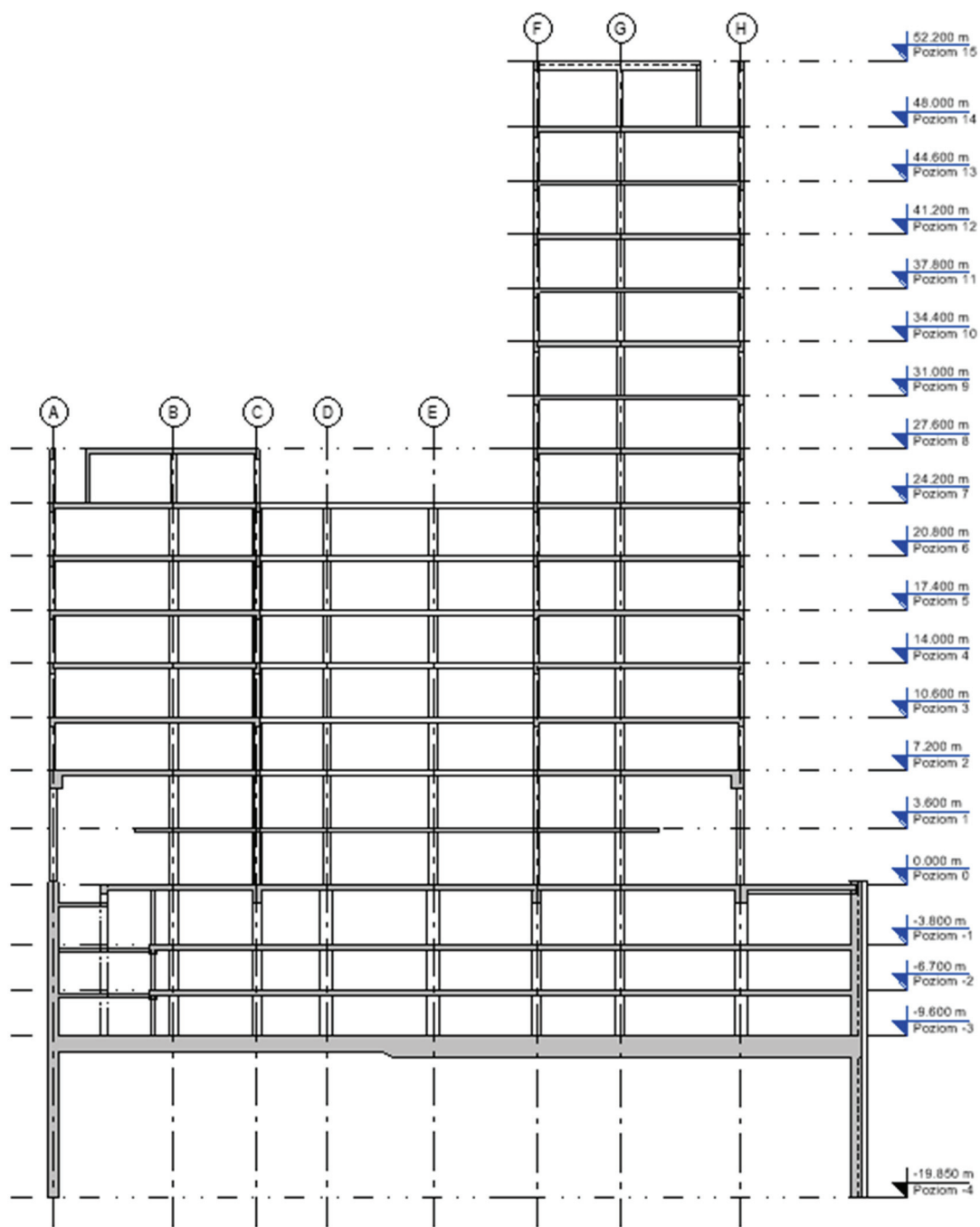
Konstrukcja wież składa się z żelbetowych płaskich płyt stropowych opartych na żelbetowych słupach oraz żelbetowych ścianach trzonów. Żelbetowe trzony stanowiące usztywnienie konstrukcji zlokalizowano w centralnej części, w pobliżu wewnętrznych, dłuższych krawędzi konstrukcji wież. W trzonach zlokalizowano klatki schodowe, szachty windowe i instalacyjne. Słupy wewnętrzne zarówno dla wież i łącznika rozplanowano na prostokątnej siatce, o maksymalnym rozstawie w osiach słupów wynoszącym 9.20m. Słupy zewnętrzne dla zdecydowanej większości konstrukcji rozmieszczono w rozstawie osiowym równym 2.70 m.

Budynek jest w całości podpiwniczony. Posiada 3 kondygnacje podziemne przeznaczone na garaże. Konstrukcja budynku jest posadowiona na żelbetowej płycie fundamentowej. Kondygnacje podziemne garażu są ograniczone żelbetowymi ścianami szczelinowymi.

Rzut kondygnacji 6 piętra przedstawia Rys. 1.1, natomiast przekrój przez projektowany budynek prezentuje Rys. 1.2.



Rysunek 1.1 Rzut stropu poz. +6



Rysunek 1.2 Przekrój przez budynek

1.5. Szczegółowy opis konstrukcji budynku

1.5.1. Fundamenty

Zasadniczy fundament budynku stanowi żelbetowa płyta fundamentowa o zróżnicowanej grubości wynoszącej 140cm i 100cm. Rzędna górnej powierzchni płyt wynosi -9.600m. Połączenie płyt o różnej grubości zostało zlokalizowane w pobliżu środka między osiami D i E. Połączenie to należy realizować według przekroju, zachowując kąt przejścia wynoszący 30 stopni. W budynku przewidziano wykonanie żelbetowych ścian szczelinowych o grubości 60cm, nie będących podstawą tego opracowania. Dolna rzędna tych ścian wynosi -19.85m. Ściany te zwieńczone są obwodowym oczepem żelbetowym o przekroju 60x80cm. Realizację ścian szczelinowych, baret oraz oczepu należy wykonać zgodnie z projektem warsztatowym opracowanym przez specjalistyczną firmę geotechniczną.

Zbrojenie płyty fundamentowej zaprojektowano w postaci trzech siatek zbrojenia: górnej, dolnej i środkowej. Siatki górna i dolna składają się ze zbrojenia podstawowego prętami średnicy 25mm co 20 cm i 22mm co 20cm dla odpowiednio płyty grubości 140cm i 100cm i dozbrojeń prętami o średnicy do 32mm. Siatka środkowa w postaci prętów średnicy 16mm co 40cm powinna zostać zamontowana w odległości 65cm od górnej powierzchni dla całej powierzchni płyty fundamentowej. Zbrojenie należy stabilizować do prętów zbrojeniowych tzw. koziółków o rozmieszczeniu podanym na rysunkach zbrojenia. Przed zabetonowaniem płyty fundamentowej należy ułożyć wszystkie łączniki – startery do ścian, słupów i rampy zjazdowej.

Płytę fundamentową należy posadzić na warstwie betonu podkładowego C12/15 o grubości 15 cm. Szczegóły dotyczące technologii wykonania podpiwniczenia zawarto w punkcie 1.7.

1.5.2. Ściany żelbetowe trzonów

Zaprojektowano dwa żelbetowe trzony złożone przede wszystkim ze ścian żelbetowych o stałej grubości 25 cm na całej wysokości obiektu. Zbrojenie ścian stanowią 2 siatki – wewnętrzna i zewnętrzna, połączone ze sobą za pomocą spinek z prętów z lokalnymi dozbrojeniami. W okolicach otworów należy stosować dodatkowe zbrojenie zawarte na szczegółach na rysunkach zbrojenia ścian.

1.5.3. Słupy żelbetowe

W budynku zaprojektowano słupy żelbetowe o wielu zróżnicowanych przekrojach poprzecznych i o zróżnicowanych klasach betonu zgodnie z p.1.6. W kondygnacjach podziemnych przeważają słupy prostokątne 60x80cm i kwadratowe 60x60cm. W podwyższonym parterze na obwodzie występują słupy o przekroju prostokątnym 35x50cm, kwadratowym 50x50cm i okrągłe o średnicy 50cm. W wieży wysokiej do +6 kondygnacji występują wewnętrzne słupy kwadratowe 60x60cm. W pozostałej części wieży wysokiej i w wieży niskiej występują wewnętrzne słupy kwadratowe 50x50cm. Wszystkie wewnętrzne słupy łącznika zaprojektowano jako okrągłe o średnicy 50cm. Wszystkie zewnętrzne słupy wież zaprojektowano jako prostokątne 35x40cm, zlokalizowane wg rysunków, krótszą krawędzią prostopadle do powierzchni elewacji.

Zbrojenie słupa, dla którego prowadzono szczegółową analizę należy wykonać z 12 prętów średnicy 25mm umieszczając po 4 pręty przy każdej z krawędzi przekroju. Zbrojenie poprzeczne zaprojektowano w postaci 3 zamkniętych strzemion tak, że każdy z prętów znajduje się w narożu strzemienia. Strzemiona dla słupa garażu należy rozmieszczać równomiernie co 20cm na całej wysokości przekroju, natomiast strzemiona w słupie parteru należy rozmieszczać co 30cm w części środkowej z zagęszczeniem do 15cm na odcinku 90cm na obydwu krawędziach słupa.

1.5.4. Belki żelbetowe

W budynku zaprojektowano belki żelbetowe o zróżnicowanych przekrojach. Część belek stanowi elementy transferowe. Większość z tych belek zlokalizowano na poziomie 0 i +2.

W stropach kondygnacji powtarzalnych zaprojektowano belki obwodowe o przekroju dostosowanym do szerokości słupów wynoszącym 35x60 cm. Zbrojenie belki zaprojektowano jako 3 lub 4 pręty średnicy 16mm góra i dołem belki w zależności od lokalizacji belki na rzucie. Zbrojenie poprzeczne należy wykonać z dwuciętych strzemion z pręta o średnicy 8mm rozmieszczone co 25cm z lokalnymi zagęszczeniami do 10cm w okolicy niektórych podpór. Zaprojektowano również dwie belki o przekroju 20x60cm znajdujące się na wolnych krawędziach płyty przy szybie instalacyjnym. Belki te, podobnie do belek krawędziowych, należy zbroić 3 prętami średnicy 16mm góra i dołem belki ze zbrojeniem poprzecznym ze strzemion dwuciętych średnicy 8mm rozmieszczonych co 20cm.

1.5.5. Żelbetowe płyty stropowe

Wszystkie zaprojektowane w budynku płyty stropowe posiadają grubość 30cm. Płyty zaprojektowano jako płyty płaskie oparte na słupach wewnętrznych i krawędziowych oraz żelbetowych ścianach trzonów.

Dla stropów kondygnacji powtarzalnej dla której podjęto szczegółową analizę, zbrojenie zaprojektowano w postaci dwóch pełnych siatek zbrojenia podstawowego góra i dołem z lokalnymi dozbrojeniami. Siatki podstawowe górną i dolną należy wykonać z prętów o średnicy 12mm co 20cm jednakowo dla obydwu ortogonalnych kierunków dostosowanych do geometrii płyt. Dozbrojenia w siatce dolnej należy wykonać z prętów o średnicy 12mm, natomiast w siatce górnej z prętów o średnicy 16mm i 22mm uzupełniając siatki podstawowe.

1.5.6. Schody

Klatki schodowe zaprojektowano w technologii mieszanej. Spoczniki piętrowe należy wykonać jako monolityczne i zbroić jak płyty stropowe. Spoczniki między piętrowe należy wykonać jako monolityczne. Dopuszcza się możliwość połączenia spoczników ze ścianami trzonu za pośrednictwem zbrojenia odginanego. Biegi schodowe należy wykonać jako prefabrykowane płyty oparte i zakotwione na krawędziach spoczników.

1.5.7. Izolacja przeciwwodna

Izolację przeciwwodną fundamentów oraz ścian pionowych wykonać według rysunków i wytycznych projektu Architektury, które stanowią wytyczne do wykonania projektu warsztatowego hydroizolacji przez dostawcę systemu.

1.6. Materiały konstrukcyjne

Materiały konstrukcyjne przyjęte do projektowania:

- Beton C12/15 – warstwa podkładowa pod płytą fundamentową
- Beton C30/37 – płyty stropowe, belki
- Beton C35/45 – płyta fundamentowa, ściany szczelinowe, ściany, słupy kondygnacji powyżej +2 (dla wieży wysokiej powyżej +6)
- Beton C40/50 – odlewki w stropach nad słupami z betonu C50/60
- Beton C50/60 – słupy kondygnacji -3 do +2 (dla wieży wysokiej do +6)
- Stal zbrojeniowa żebrzana B500SP o wysokiej klasie ciągliwości

Receptura betonu ścian szczelinowych oraz płyty fundamentowej powinna być zgodna z Technologia Betonu Wodoszczelnego (TBW). Beton biegów schodowych wg producenta prefabrykatów.

9. BIBLIOGRAFIA

Literatura:

- [1] Bilfinger Berger Budownictwo SA, „Inżynier Budownictwa - Inwestycje - Metody budowy części podziemnej budynków głębokich na podstawie realizacji inwestycji Wolf Marszałkowska i Wolf Bracka”. [Online]. Dostępne na: http://www.inzynierbudownictwa.pl/inwestycje,inwestycje,artykul,metody_budowy_czesci_podziemnej_budynkow_glebokich_na_podstawie_realizacji_inwestycji_wolf_marszalkowska_i_wolf_bracka,4181. [Udostępniono: 25-sie-2019].
- [2] Krzysztof Grzegorzewicz, „Projektowanie i wykonywanie ścian szczelinowych”, *Geoinż.*, t. 06, nr 03, s. 43–51, 2005.
- [3] W. Starosolski, *Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych*. 2, Wyd. 15. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2016.
- [4] W. Starosolski, *Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych*. 3, Wyd. 5. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2013.
- [5] M. Knauff, *Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2*. Wrocław: Dolnośląskie Wydaw. Edukacyjne, 2006.
- [6] W. Starosolski, *Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych*. 1, Wyd. 15. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2014.
- [7] A. Tomana, *BIM: innowacyjna technologia w budownictwie: podstawy, standardy, narzędzia*. Kraków: s.n., 2015.
- [8] Dlubal Software Sp. z o.o., *Program RFEM 5 - Obliczanie konstrukcji przestrzennych metodą elementów skończonych; Opis programu*, Czerwiec 2015. Katowice: Dlubal Software Sp. z o.o., 2015.
- [9] K. Flaga, *Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych*, Wyd. 2, uzup.Rozszerz. Kraków: Politechnika Krakowska, 2011.
- [10] A. Rawska-Skotniczny, *Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych według Eurokodów*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2013.
- [11] Michał Adam Knauff i Piotr Knyziak, „Prosta metoda sprawdzania fundamentów ze względu na przebicie”, *Przegląd Bud.*, t. 84, nr 12, s. 19–23, 2013.
- [12] B. C. Jensen i A. Łapko, *Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetowych*. Warszawa: Arkady, 2005.
- [13] M. Knauff, A. Golubińska, i B. Grzeszykowski, *Przykłady obliczania konstrukcji żelbetowych: Elementy ściskane. Z. 2*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2016.

Normy:

- [N.0] PN-EN 1990:2004 Eurokod, Podstawy projektowania konstrukcji
- [N.1] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- [N.2] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2, Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków,
- [N.3] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2, Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe
- [N.4] PN-82/B-02001 Polska Norma, Obciążenia budowli - Obciążenia stałe
- [N.5] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-3: Oddziaływania Ogólne – Obciążenie śniegiem
- [N.6] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-4: Oddziaływania Ogólne. Oddziaływania wiatru.

10. SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

10.1. ZAŁĄCZNIKI OBLICZENIOWE:

- A. Wymiarowanie płyty stropowej kondygnacji powtarzalnej – obliczenia
- B. Wymiarowanie płyty fundamentowej – obliczenia
- C. Wymiarowanie słupa – obliczenia
- D. Konstruowanie zbrojenia – obliczenia

10.2. ZESTAWIENIA STALI ZBROJENIOWEJ

10.3. ZAŁĄCZNIKI RYSUNKOWE:

- K.01. Plan pozycyjny - fundament poz. -3
- K.02. Plan pozycyjny – płyta poz. +6
- K.03. Przekrój A-A
- K.04. Zbrojenie dolne płyty fundamentowej poz. -3
- K.05. Zbrojenie górne płyty fundamentowej poz. -3
- K.06. Zbrojenie szczegółów płyty fundamentowej poz. -3
- K.07. Zbrojenie dolne płyty poz. +6
- K.08. Zbrojenie górne płyty poz. +6
- K.09. Zbrojenie szczegółów płyty poz. +6
- K.10. Zbrojenie słupa