



Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

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



Katedra Konstrukcji Sprężonych L-14

JAROSŁAW MAŁEK

Nr albumu: 114489

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

**PROJEKT SPRĘŻONEJ PŁYTY FUNDAMENTOWEJ POD
TRYBUNY W HALI WIDOWISKOWO - SPORTOWEJ**

DESIGN FOR POST-TENSIONED CONCRETE FOUNDATION SLAB
FOR GRANDSTANDS OF MULTIARENA

PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA

Ocena pracy:

Data

Podpis promotora:

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

Promotor

Dr inż. Rafał Szydłowski

Kraków, wrzesień 2019



POLITECHNIKA KRAKOWSKA im. TADEUSZA KOŚCIUSZKI
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
INSTYTUT MATERIAŁÓW I KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH
KATEDRA KONSTRUKCJI SPRĘŻONYCH (L-14)

| TEMAT PRACY DYPLOMOWEJ MAGISTERSKIEJ | |
|---|--|
| Student | Małek Jarosław |
| Rok i rodzaj studiów | Rok 2, studia niestacjonarne II stopnia |
| Kierunek | Budownictwo |
| Specjalność | Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie |
| Tytuł pracy | PROJEKT SPRĘŻONEJ PŁYTY FUNDAMENTOWEJ POD TRYBUNY W HALI WIDOWISKOWO - SPORTOWEJ |
| Promotor | dr inż. Rafał Szydłowski |
| Katedra | Katedra Konstrukcji Sprężonych |
| Podstawy opracowania | Projekt architektoniczny obiektu budowlanego; Opinia Geotechniczna; Literatura naukowo-techniczna; Normy budowlane: EC0, EC2, PN-B-03264 Aprobata techniczna produktu |
| Zakres opracowania | 1. Część studialna dotycząca zjawiska skurczu w betonie 2. Część projektowa obejmująca: - Stworzenie modelu konstrukcji w programie Dlubal RFEM 5.17 - Obliczenia statyczne konstrukcji - Dobór i analiza siły sprężającej - Wymiarowanie płyty fundamentowej z uwagi na SGN i SGU 3. Część rysunkowa obejmująca: - Wykonanie rysunków zbrojenia zwykłego i zestawienie materiałów - Wykonanie rysunków sprężenia i zestawienie materiałów |
| Regulaminowy termin złożenia pracy | |
| Temat wydał: | Zatwierdził : Kierownik Katedry |
| podpis promotora, data | Kraków, dnia |

*Pragnę złożyć serdeczne podziękowania
Panu dr inż. Rafałowi Szydłowskiemu
za szereg wskazówek, życzliwość oraz poświęcony czas
podczas realizacji niniejszej pracy magisterskiej*

Streszczenie

Przedmiotem niniejszej pracy magisterskiej jest projekt płyty fundamentowej pod trybuny w hali widowiskowo - sportowej, mieszczącej się przy ulicy Stanisława Lema w Krakowie. Projekt, który pierwotnie zakładał zwykłą płytę żelbetonową, został zastąpiony opracowanym poniżej, z płytą o wysokości 100 cm, dwukierunkowo sprężoną cięgnami bez przyczepności. W celu objaśnienia takiej koncepcji, w części studialnej przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące wymiarowania masywnych płyt betonowych. Skupiono się przede wszystkim na zagadnieniu dotyczącym skurczu w ww. elementach. Omówiono zagadnienie skurczu samoczynnego oraz skurczu od wysychania, a także skutki jego występowania. Zwrócono szczególną uwagę na obciążenia twardniejącego betonu, które z kolei generują naprężenia będące źródłem najważniejszych zagrożeń betonowych konstrukcji masywnych i przyczyną ich najczęstszych uszkodzeń. Przedstawiono podstawowe wymagania dotyczące granicznej szerokości rozwarcia rys i ustalenie koniecznego z tego względu zbrojenia minimalnego. Poruszono również temat ochrony betonu przed zarysowaniem, poprzez zastosowanie dylatacji oraz przerw roboczych. W opracowaniu pokrótce opisano cechy charakterystyczne dla cięgien bez przyczepności. Przedstawiono różnice pomiędzy tradycyjnym sprężaniem kablami z przyczepnością a przyjętymi w projekcie cięgnami bez przyczepności, w zakresie wymiarowania konstrukcji, wykonawstwie oraz pracy tych form sprężenia w elemencie betonowym. Opisano również sposób zabezpieczania płyt przed nadmiernym zarysowaniem dzięki zastosowaniu osiowego sprężania płyt cięgnami bez przyczepności.

Część projektowa przedstawia tok wymiarowania, przedstawiając różnicę pomiędzy płytą z, oraz bez sprężenia osiowego. W toku wymiarowania została zredukowana ilość zbrojenia minimalnego przeciwskurczowego. Zrezygnowano z 4 warstw zbrojenia, na rzecz 2 warstw zbrojenia przy powierzchniach plus sprężenie w środku wysokości płyty fundamentowej. Wymieniona oszczędność stali zbrojeniowej nie wpłynęła ujemnie na nośność elementu.

W celu wykonania obliczeń statyczno-wytrzymałościowych stworzono model w programie obliczeniowym RFEM 5.17 Dlubal Software. Zgodnie z otrzymanymi materiałami dydaktycznymi od promotora pracy, zadano geometrię, charakterystyki materiałowe oraz obciążenia i kombinacje, zgodnie z obowiązującymi normami. Wymiarowanie konstrukcji przeprowadzono w programie do analizy matematycznej Mathcad. Płyta fundamentowa została sprawdzona pod względem zachowania stanów granicznych nośności oraz użyteczności. Zwieńczeniem pracy są rysunki wykonawcze konstrukcji, stanowiące podstawę do prawidłowego wykonania wymiarowanej płyty fundamentowej.

| | |
|---|-----------|
| 1. CZĘŚĆ STUDIALNA | 1 |
| 1.1. Skurcz w konstrukcjach betonowych | 1 |
| 1.1.1. Skurcz autogeniczny | 1 |
| 1.1.2. Skurcz od wysychania | 1 |
| 1.1.3. Skurcz betonu wg Eurokodu 2..... | 3 |
| 1.2. Naprężenia wywołane skurczem oraz temperaturą..... | 7 |
| 1.2.1. Naprężenia własne σ_{cs}^{III} | 7 |
| 1.2.2. Naprężenia wymuszone..... | 8 |
| 1.2.3. Naprężenia skurczowe wymuszone przez więzy zewnętrzne σ_{cs}^I | 9 |
| 1.2.4. Naprężenia skurczowe wymuszone przez więzy wewnętrzne σ_{cs}^{II} | 11 |
| 1.3. Zarysowanie | 12 |
| 1.3.1. Zbrojenie minimalne ze względu na zarysowanie konstrukcji | 12 |
| 1.3.2. Uzasadnienie wartości $w_{lim}=0,3$ mm..... | 16 |
| 1.4. Specyfika zastosowania zbrojenia przeciwkurczowego | 18 |
| 1.5. Specyfika konstrukcji sprężonych bez przyczepności | 18 |
| 1.5.1. Straty sprężenia | 19 |
| 1.5.2. Koncepcja sprężania młodego betonu..... | 19 |
| 1.5.3. Zalecenia praktyczne | 20 |
| 2. DANE DO PROJEKTOWANIA | 21 |
| 2.1. Opis techniczny..... | 21 |
| 2.1.1. Przedmiot opracowania..... | 21 |
| 2.1.2. Podstawy opracowania..... | 22 |
| 2.1.3. Opis budynku..... | 22 |
| 2.1.4. Opis płyty fundamentowej..... | 23 |
| 2.1.5. Materiały..... | 27 |
| 2.1.6. Obliczenia modelowe | 27 |
| 2.1.7. Opis technologii wykonania | 27 |
| 2.2. Kategoria betonu C30/37..... | 31 |
| 2.3. Stal sprężająca Y1860 S7 (CONA CMM n06-150) | 32 |
| 2.4. Parametry wytrzymałościowe betonu w chwili sprężenia | 33 |
| 2.5. Pełzanie betonu | 34 |
| 2.6. Skurcz betonu | 35 |
| 2.6.1. Nominalne odkształcenia skurczowe przy wysychaniu | 35 |
| 2.6.2. Odkształcenia skurczowe spowodowane wysychaniem w czasie..... | 35 |
| 2.6.3. Odkształcenia skurczowe autogeniczne | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.7. | Stal zwykła | 37 |
| 3. | TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI | 37 |
| 3.1. | Otulenie z uwagi na warunki środowiskowe..... | 37 |
| 3.2. | Otulenie nominalne dla stali zwykłej | 38 |
| 3.3. | Otulenie nominalne dla stali sprężającej | 38 |
| 3.4. | Zbrojenie minimalne ze względów konstrukcyjnych..... | 38 |
| 3.5. | Zbrojenie minimalne z uwagi na zarysowanie przekroju (bez sprężenia osiowego) | 38 |
| 3.6. | Pożądana średnica zbrojenia ze względu na zarysowanie..... | 40 |
| 3.7. | Maksymalny rozstaw prętów zbrojenia przypowierzchniowego..... | 40 |
| 3.8. | Zbrojenie minimalne przypowierzchniowe z uwagi na skurcz od wysychania..... | 41 |
| 4. | ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ | 42 |
| 4.1. | Obciażenia stałe i zmienne..... | 42 |
| 4.2. | Przypadki obciążeń i kombinacje | 45 |
| 5. | WSTĘPNE ZAŁOŻENIA DO WYMIAROWANIA - KIERUNEK X...46 | |
| 5.1. | Dane do wymiarowania konstrukcji płyty..... | 48 |
| 5.2. | Charakterystyki geometryczne przekroju w kierunku X..... | 49 |
| 5.3. | Redukcja odkształceń skurczowych w elemencie żelbetowym | 50 |
| 5.4. | Wstępny dobór sprężenia | 51 |
| 5.5. | Obliczanie zarysowania..... | 52 |
| 5.5.1. | Sytuacja początkowa..... | 53 |
| 5.5.2. | Sytuacja przejściowa | 54 |
| 5.5.3. | Sytuacja trwała | 54 |
| 6. | TRASA KABLA SPRĘŻAJĄCEGO W KIERUNKU X | 54 |
| 7. | DOBÓR WARTOŚCI SPRĘŻENIA KABLA W KIERUNKU X | 55 |
| 7.1. | Dobór ilości splotów | 55 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 7.2. | Określenie wartości siły sprężającej na kierunku X..... | 56 |
| 7.3. | Wyznaczenie strat doraźnych siły sprężającej na kierunku X..... | 56 |
| 7.3.1. | Straty siły sprężającej spowodowane tarciami cięgna o osłonkę..... | 56 |
| 7.3.2. | Straty spowodowane poślizgiem cięgna w zakotwieniu..... | 57 |
| 7.3.3. | Straty spowodowane odkształceniami sprężystymi betonu..... | 58 |
| 7.3.4. | Zestawienie wartości sił sprężających po stratach doraźnych..... | 58 |
| 7.4. | Wyznaczenie strat opóźnionych na kierunku X..... | 59 |
| 7.5. | Zestawienie sił sprężających i strat..... | 60 |
| 8. | SPRAWDZENIE STANÓW GRANICZNYCH - PRZEKRÓJ SŁUPOWY - KIERUNEK X | 60 |
| 8.1. | Stan graniczny użyteczności (naprężenia + zbrojenie minimalne) | 60 |
| 8.1.1. | Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.45f_{ck}(t_0)$ w sytuacji początkowej | 60 |
| 8.1.2. | Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.6f_{ck}(t_0)$ w sytuacji początkowej | 61 |
| 8.1.3. | Sprawdzenie warunku pojawienia się rys prostopadłych w sytuacji trwałej..... | 61 |
| 8.1.4. | Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.6f_{ck}(t_2)$ w sytuacji trwałej..... | 62 |
| 8.1.5. | Zbrojenie minimalne z uwagi na zarysowanie przekroju po sprężeniu osiowym | 62 |
| 8.2. | Stan graniczny nośności w sytuacji trwałej | 63 |
| 8.2.1. | Nośność na zginanie przekroju żelbetowego niesprężonego | 63 |
| 8.2.2. | Nośność na zginanie przekroju sprężonego - metoda uproszczona..... | 64 |
| 8.2.3. | Nośność na zginanie przekroju sprężonego - metoda dokładna..... | 66 |
| 8.3. | Stan graniczny użyteczności (obliczenie szerokości rozwarcia rys) | 71 |
| 9. | SPRAWDZENIE STANÓW GRANICZNYCH - PRZEKRÓJ PRZĘSŁOWY - KIERUNEK X..... | 74 |
| 9.1. | Stan graniczny użyteczności (naprężenia + zbrojenie minimalne) | 74 |
| 9.1.1. | Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.45f_{ck}(t_0)$ w sytuacji początkowej | 74 |
| 9.1.2. | Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.6f_{ck}(t_0)$ w sytuacji początkowej | 75 |
| 9.1.3. | Sprawdzenie warunku pojawienia się rys prostopadłych w sytuacji trwałej..... | 75 |
| 9.1.4. | Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.6f_{ck}(t_2)$ w sytuacji trwałej..... | 75 |
| 9.2. | Stan graniczny nośności w sytuacji trwałej | 75 |
| 9.2.1. | Nośność na zginanie przekroju żelbetowego niesprężonego | 75 |
| 9.3. | Stan graniczny użyteczności (obliczenie szerokości rozwarcia rys) | 77 |

| | |
|--|-----------|
| 10. WSTĘPNE ZAŁOŻENIA DO WYMIAROWANIA - KIERUNEK Y... | 79 |
| 10.1. Dane do wymiarowania konstrukcji płyty..... | 80 |
| 10.2. Charakterystyki geometryczne przekroju w kierunku Y | 80 |
| 10.3. Wstępny dobór sprężenia | 82 |
| 10.4. Obliczanie zarysowania..... | 82 |
| 10.4.1. Sytuacja początkowa..... | 82 |
| 10.4.2. Sytuacja przejściowa..... | 83 |
| 10.4.3. Sytuacja trwała | 83 |
| 11. TRASA KABLA SPRĘŻAJĄCEGO W KIERUNKU Y | 84 |
| 12. DOBÓR WARTOŚCI SPRĘŻENIA KABLA W KIERUNKU Y | 84 |
| 12.1. Dobór ilości splotów | 84 |
| 12.2. Określenie wartości siły sprężającej na kierunku Y | 84 |
| 12.3. Wyznaczenie strat doraźnych siły sprężającej na kierunku Y | 84 |
| 12.3.1. Straty siły sprężającej spowodowane tarciem cięgna o osłonkę..... | 84 |
| 12.3.2. Straty spowodowane poślizgiem cięgna w zakotwieniu..... | 85 |
| 12.3.3. Straty spowodowane odkształceniami sprężystymi betonu | 86 |
| 12.3.4. Zestawienie wartości sił sprężających po stratach doraźnych | 86 |
| 12.4. Wyznaczenie strat opóźnionych na kierunku Y | 86 |
| 12.5. Zestawianie sił sprężających i strat | 87 |
| 13. SPRAWDZENIE STANÓW GRANICZNYCH - PRZEKRÓJ SŁUPOWY - KIERUNEK Y | 87 |
| 13.1. Stan graniczny użyteczności (naprężenia + zbrojenie minimalne) | 88 |
| 13.1.1. Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.45f_{ck}(t_0)$ w sytuacji początkowej | 88 |
| 13.1.2. Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.6f_{ck}(t_0)$ w sytuacji początkowej | 88 |
| 13.1.3. Sprawdzenie warunku pojawienia się rys prostopadłych w sytuacji trwałej | 88 |
| 13.1.4. Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.6f_{ck}(t_2)$ w sytuacji trwałej..... | 89 |
| 13.1.5. Zbrojenie minimalne z uwagi na zarysowanie przekroju po sprężeniu osiowym | 89 |
| 13.2. Stan graniczny nośności w sytuacji trwałej | 90 |
| 13.2.1. Nośność na zginanie przekroju żelbetowego niesprężonego | 90 |
| 13.3. Stan graniczny użyteczności (obliczenie szerokości rozwarcia rys) | 91 |

| | |
|---|------------|
| 14. STAN GRANICZNY NOŚNOŚCI ZE WZGLĘDU NA PRZEBICIE W SŁUPIE ŚRODKOWYM - MAX. MOMENT ZGINAJĄCY W PŁYTCIE | 93 |
| 14.1. Dane do wymiarowania | 93 |
| 14.2. Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie na krawędzi słupa..... | 94 |
| 14.3. Wyznaczenie nośności na przebicie płyty bez zbrojenia poprzecznego..... | 95 |
| 15. STAN GRANICZNY NOŚNOŚCI ZE WZGLĘDU NA PRZEBICIE W SŁUPIE ŚRODKOWYM - MAX. SIŁA N W SŁUPIE | 96 |
| 15.1. Dane do wymiarowania | 96 |
| 15.2. Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie na krawędzi słupa..... | 97 |
| 15.3. Wyznaczenie nośności na przebicie płyty bez zbrojenia poprzecznego..... | 97 |
| 16. SPRAWDZENIE STANÓW GRANICZNYCH - PRZEKRÓJ PRZĘSŁOWY - KIERUNEK Y..... | 99 |
| 16.1. Stan graniczny użyteczności (naprężenia + zbrojenie minimalne) | 100 |
| 16.1.1. Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.45f_{ck}(t_0)$ w sytuacji początkowej | 100 |
| 16.1.2. Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.6f_{ck}(t_0)$ w sytuacji początkowej | 100 |
| 16.1.3. Sprawdzenie warunku pojawienia się rys prostopadłych w sytuacji trwałej..... | 100 |
| 16.1.4. Sprawdzenie warunku naprężeń ściskających $0.6f_{ck}(t_2)$ w sytuacji trwałej..... | 101 |
| 16.2. Stan graniczny nośności w sytuacji trwałej | 101 |
| 16.2.1. Nośność na zginanie przekroju żelbetowego niesprężonego | 101 |
| 17. KONSTRUOWANIE ZBROJENIA MIĘKKIEGO | 102 |
| 17.1. Długość zakotwienia | 103 |
| 17.2. Długość zakładu | 104 |
| 18. WNIOSKI KOŃCOWE | 105 |
| 19. BIBLIOGRAFIA | 107 |
| 20. ZAŁĄCZNIKI GRAFICZNE | |