



Politechnika
Wroclawska

Politechniki Wroclawska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

(Zał. 5a do procedury Pr 08)



SPECJALNOŚĆ: INŻYNIERIA BUDOWLANA (IBB)

INŻYNIERSKA

PRACA DYPLOMOWA

**PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ
ZADASZENIA LODOWISKA**

Autor: Sebastian Balcerowiak
Opiekun: dr inż. Łukasz Skotny
Recenzent: dr inż. Jan Rządkowski

Rok akademicki: 2016/17

SPIS TREŚCI

I WPROWADZENIE

1. Wstęp	8
1.1. Przedmiot opracowania	8
1.2. Cele pracy	8
1.3. Podstawa opracowania	8
1.4. Zakres pracy	8
1.5. Normy	8
1.6. Literatura	9
1.7. Licencje i oprogramowanie	9
2. Założenia projektowe	10
2.1. Dane ogólne	10
2.2. Metodyka obliczeń	10
2.3. Analiza węzłów	10
2.4. Nieliniowość geometryczna	10
2.5. Nieliniowość materiałowa	10

II GENERATOR OBIEKTU

3. Prezentacja	11
3.1. Informacje ogólne	11
4. Panel sterowania	16
4.1. Informacje ogólne	16
4.2. Geometria	16
4.3. Generacja	17
4.4. Parametry biegunowe	18
4.5. Numeracja	19
5. Obiekt centralny	20
5.1. Kopuła	20

5.1.1.	Geometria kopuły	20
5.1.2.	Dyskretyzacja pasów kratownicy	21
5.1.3.	Węzły	22
5.1.4.	Pasy kratownicy	23
5.1.5.	Definicja układu biegunowego	24
5.1.6.	Kopiowanie w układzie biegunowym	24
5.1.7.	Węzły	27
5.1.8.	Pasy kratownicy	28
5.1.9.	Wykratowanie	29
5.1.10.	Wykratowanie typu N	30
5.1.11.	Wykratowanie typu N_symetria	31
5.1.12.	Wykratowanie typu X	32
5.1.13.	Słupki podporowe	33
5.1.14.	Okap dachowy	34
5.1.15.	Płatwie dachowe	36
5.1.16.	Stężenie połączeniowe poprzeczne	38
5.1.17.	Stężenie międzywiązarowe	40
5.2.	Słupy	41
5.2.1.	Geometria słupów	41
5.2.2.	Węzły	41
5.2.3.	Węzły w ujęciu globalnym	42
5.2.4.	Słupy	43
5.2.5.	Rygle ścienne	45
5.2.6.	Stężenie międzysłupowe	46
6.	Obiekt obwodowy	48
6.1.	Informacje ogólne	48
6.2.	Obiekty dodatkowe	50
6.2.1.	Stężenie połączeniowe podłużne	50

III PROJEKT SZCZEGÓŁOWY

7.	Opis techniczny	51
7.1.	Dane ogólne	51
7.1.1.	Przedmiot opracowania	51
7.1.2.	Cele opracowania	51

7.1.3.	Zakres pracy	51
7.1.4.	Normy	51
7.1.5.	Literatura	51
7.1.6.	Licencje i oprogramowanie.....	51
7.1.7.	Typ budynku	51
7.1.8.	Lokalizacja	51
7.1.9.	Dane materiałowe.....	52
7.1.10.	Wymiary budynku.....	52
7.1.11.	Warunki gruntowo-wodne	52
7.2.	Dane szczegółowe.....	52
7.2.1.	Obudowa dachu.....	52
7.2.2.	Obudowa ścian	52
7.2.3.	Dźwigar dachowy.....	53
7.2.4.	Słup nośny	53
7.2.5.	Technologia wykonania	53
7.3.	Uwagi końcowe.....	53
8.	Schemat statyczny.....	54
8.1.	Geometria układu	54
8.1.1.	Geometria układu płaskiego.....	54
8.1.2.	Geometria układu przestrzennego.....	54
8.2.	Obciążenie śniegiem	56
8.2.1.	Informacje ogólne	56
8.2.2.	Dach hali numer 1	57
8.2.3.	Dach hali numer 2	60
8.2.4.	Worek śnieżny.....	62
8.3.	Obciążenie wiatrem.....	64
8.3.1.	Informacje ogólne	64
8.3.2.	Funkcje oddziaływanie wiatru na kopułę.....	64
8.3.3.	Dach hali numer 1	68
8.3.4.	Dach hali numer 2	70
8.3.5.	Funkcje oddziaływanie wiatru na ściany	72
8.3.6.	Ściany hali numer 1 oraz numer 2.....	74
8.3.7.	Parcie wewnętrzne	77
8.4.	Obciążenie stałe	79

8.4.1.	Pokrycie dachowe	79
8.4.2.	Blacha trapezowa dachowa	79
8.4.3.	Obudowa ścienna hali numer 1	81
8.4.4.	Obudowa ścienna hali numer 2	81
8.5.	Obciążenie użytkowe	82
8.6.	Imperfekcja przechyłowa	83
8.6.1.	Informacje ogólne	83
8.6.2.	Kierunki przechyłu	84
8.7.	Obciążenia	85
8.7.1.	Przypadki proste	85
8.7.2.	Kombinacje	86
9.	Wymiarowanie prętów	87
9.1.	Wymiarowanie w programie RFEM5	87
9.1.1.	Reguły wymiarowania	87
9.1.2.	Wyteżenie elementów	89
9.2.	Płatew dachowa	91
9.2.1.	Informacje ogólne	91
9.2.2.	Parametry przekroju	92
9.2.3.	Siły wewnętrzne	93
9.2.4.	Nośność na zginanie ze względu na stateczność – metoda ogólna	94
9.2.5.	Nośność na zginanie ze względu na stateczność – metoda analityczna	95
9.2.6.	Ugięcie elementu	96
9.3.	Rygiel ścienny	97
9.3.1.	Informacje ogólne	97
9.3.2.	Parametry przekroju	98
9.3.3.	Siły wewnętrzne	99
9.3.4.	Nośność na zginanie ze względu na stateczność – metoda ogólna	100
9.3.5.	Ugięcie elementu	101
9.4.	Dźwigar kratowy	101
9.4.1.	Informacje ogólne	101
9.4.2.	Parametry przekroju	103
9.4.3.	Siły wewnętrzne	104
9.4.4.	Nośność na ściskanie ze zginaniem ze względu na stateczność	106
9.4.5.	Ugięcie elementu	107

9.5.	Słup	108
9.5.1.	Informacje ogólne	108
9.5.2.	Parametry przekroju	110
9.5.3.	Siły wewnętrzne	111
9.5.4.	Siła krytyczna.....	112
9.5.5.	Moment krytyczny	113
9.5.6.	Nośność na ściskanie ze zginaniem ze względu na stateczność	114
9.5.7.	Przesuw poziomy	117
9.6.	Stężenie połączeniowe poprzeczne	118
9.6.1.	Informacje ogólne	118
9.6.2.	Parametry przekroju	119
9.6.3.	Imperfekcja łukowa.....	120
9.6.4.	Siły wewnętrzne	121
9.6.5.	Nośność przekroju na rozciąganie	121
9.7.	Stężenie połączeniowe podłużne	122
9.7.1.	Informacje ogólne	122
9.7.2.	Parametry przekroju	123
9.7.3.	Siły wewnętrzne	124
9.7.4.	Nośność przekroju na rozciąganie	124
9.8.	Stężenie międzywiązarowe	124
9.8.1.	Informacje ogólne	124
9.8.2.	Parametry przekroju	126
9.8.3.	Siły wewnętrzne	127
9.8.4.	Nośność przekroju na rozciąganie	127
9.9.	Stężenie międzysłupowe	128
9.9.1.	Informacje ogólne	128
9.9.2.	Parametry przekroju	129
9.9.3.	Siły wewnętrzne	130
9.9.4.	Nośność przekroju na rozciąganie	130
10.	Węzły	131
10.1.	Połączenie centralne.....	131
10.1.1.	Informacje ogólne	131
10.1.2.	parametry przekroju	132
10.1.3.	Imperfekcja panelu.....	134

10.1.4. Nieliniowość materiałowa.....	135
10.1.5. Siły wewnętrzne	136
10.1.6. Nośność przekroju.....	137
10.2. Połączenia montażowe dźwigara kratowego	138
10.2.1. Informacje ogólne	138
10.2.2. Siły wewnętrzne	138
10.2.3. Geometria połączenia.....	139
10.2.4. Nośność śrub na ścinanie	139
10.2.5. Nośność śrub na rozciąganie	140
10.2.6. Nośność śrub na przeciągnięcie łba śruby	141
10.3. Podstawa słupa.....	141
10.3.1. Informacje ogólne	141
10.3.2. Siły wewnętrzne	142
10.3.3. Blacha pozioma.....	142
10.3.4. Spoina pachwinowa – blacha pozioma	143
10.3.5. Kotwy fundamentowe	145
10.4. Stopa fundamentowa.....	147
10.4.1. Informacje ogólne	147
10.4.2. Warunki gruntowe.....	147
10.4.3. Geometria stopy fundamentowej	148
10.4.4. Siły wewnętrzne	148
10.4.5. Mimośrodowe położenie fundamentu.....	149
10.4.6. Parametry gruntowe	149
10.4.7. Nośność podłoża gruntowego	151
10.4.8. Nośność na przebicie.....	152
10.4.9. Nośność na zginanie.....	153
10.4.10. Rozmieszczenie zbrojenia	155

IV DOKUMENTACJA RYSUNKOWA

11. Dokumentacja rysunkowa

Rys. 1. Rysunek zestawczo – montażowy, skala 1:200

Rys. 2. Przekrój poprzeczny, skala 1:33,3

Rys. 3. Element wysyłkowy K-1 wraz z pozycjami, skala 1:5 1:10 1:20

Rys. 4. Element wysyłkowy K-2 wraz z pozycjami, skala 1:5 1:10 1:20

Rys. 5. Element wysyłkowy K-3 wraz z pozycjami, skala 1:5 1:10 1:20

Rys. 6. Element wysyłkowy S-1, S-2, D-1 wraz z pozycjami, skala 1:5 1:10 1:20

STRESZCZENIE / SŁOWA KLUCZOWE

Praca dyplomowa inżynierska pt. "Projekt konstrukcji stalowej zadaszania lodowiska" to projekt obiektu budowlanego o konstrukcji stalowej, szkieletowej. Geometria budynku została opisana na planie dwóch okręgów, tworząc dwie nawy zamknięte.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe zostały przeprowadzone zgodnie z europejskimi normami projektowymi, wraz z uwzględnieniem polskiego załącznika krajowego. Konstrukcja spełnia także aktualne wymogi dotyczące przenikalności cieplnej przegród budowlanych, zawarte w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

W pracy podjęto próbę optymalizacji geometrii budynku. Został w tym celu napisany program generujący pełną informację wsadową zgodną z oprogramowaniem SOFiSTiK AG. Niestety, dokładna optymalizacja wymagała by bardzo dużo czasu na obliczenia statyczno-wytrzymałościowo, więc porzeczano procesu optymalizacji kształtu po kilku iteracjach. Przyjęty obiekt jest zgodny z wytycznymi z literatury technicznej.

Analiza statyczna została przeprowadzona numerycznie przy zastosowaniu Metody Elementów Skończonych (FEM) w środowisku Dlubal RFEM 5 oraz SOFiSTiK AG. Pozwoliło to m.in. na wyłapanie błędów podczas analizy wyboczeniowej (LBA). Zastosowano analizę nieliniową geometrycznie (NA), która uwzględniła podatność układu na efekty II rzędu oraz nieliniowy charakter stężeń obiektu. Dla analizy zwiczenia wybranych elementów konstrukcyjnych wykorzystano model panelowo-prętowy uwzględniający deplanację przekroju.

Elementy prętowe zwymiarowano w programie przy użyciu metody pręta zastępczego. Został tak przeliczony cały układ dla pełnej kombinacji ULS oraz SLS: ugięcia. Następnie dokonano weryfikacji wyężenia drogą analityczną przy zastosowaniu innych metod wymiarowania, m.in. zmodyfikowanej metody ogólnej z eurokodu do projektowania konstrukcji stalowych PN-EN 1993-1-1.

Węzeł centralny został zaprojektowany jako pierścień o przekroju ceownika ze wstawianymi żebrami usztywniającymi. Zastosowano analizę nieliniową geometrycznie i materiałowo z uwzględnieniem imperfekcji (GMNIA). Tak przeprowadzony tok obliczeń wymagał ograniczenia projektowego dotyczącego odkształceń plastycznych.

Dokumentacja warsztatowa została wygenerowana na podstawie modelu 3d. Zastosowano szereg inteligentnych, predefiniowanych połączeń w oprogramowaniu Autodesk Advance Steel. Dokumentacja 2d jest dynamicznie połączona z modelem przestrzennym, umożliwiając sprawną rewizję rysunków.

SŁOWA KLUCZOWE:

KONSTRUKCJA SZKIELETOWA, ANALIZA NIELINIOWA, GENERATOR OBIEKTU, EUROKOD, 7TH DOF.

SUMMARY

Engineering thesis entitled: “Desing of steel structure of icerink” is a project of construction work made of steel and skeletal building structure. Building geometry is described on a plan of two circles creating two closed bays.

Static-strength calculations are carried in compliance with European structural design standards along with Polish national annex. The construction also meets the requirements for thermal diffusivity of partitions concluded in Directive of the Minister of the Infrastructure on the technical conditions that should be met by buildings and their location.

In the degree dissertation it has been attempted to optimise the building geometry. For this purpose, a program generating complete batch file in accordance with SOFiSTiK AG software has been designed. Unfortunately, an accurate optimization requires too much time for static-strength calculations, that’s why the shape optimization process has been stopped after a few iterations. The assumptive object is compatible with guidelines contained in technical literature.

Static analysis has been carried out numerically with application of finite element method (FEM) in environment Dlubal RFEM 5 and SOFiSTiK AG. It’s allowed to find mistakes made during buckling analysis (LBA). Geometrical nonlinear analysis (GNA) has been used as it includes vulnerability of system for second order analysis and flaccid bracings. For the lateral torsional buckling of chosen structural elements it has been used the beam and panel model included warping torsion of cross-section as a part of 6 DOF.

The beam elements have been dimensioned using the equivalent member method. The whole system has been calculated for ULS and SLS combinations. Afterwards, there has been made a utilization verification with application of modified analytical General Method contained in PN-EN 1993-1-1.

The central joint has been designed as a channel section ring supported with stiffening rib. There has been used geometrically and materially nonlinear analysis with imperfections included (GMNIA). That way of calculations has demanded a designing limitation concerned plastic strains.

The workshop documentation has been generated based on 3D model. There have been used a few intelligent, predefined conjunctions in Autodesk Advance Steel software. 2D documentation is dynamically linked with special model so that drawings’ revision can be done efficiently.