INDETERMINATED FRAME ANALYSIS

SPIS TREŚCI:

[1. Wstęp 7](#_Toc410086118)

[1.1. Przedmiot i zakres pracy 7](#_Toc410086119)

[1.2. Opis budowli i przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych 9](#_Toc410086120)

[1.3. Bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji 27](#_Toc410086121)

[1.4. Zabezpieczenie antykorozyjne konstrukcji: 29](#_Toc410086122)

[1.5. Warunki wykonania i odbioru robót: 30](#_Toc410086123)

[2. Model obliczeniowy konstrukcji 33](#_Toc410086124)

[2.1. Płatwie dachowe 34](#_Toc410086125)

[2.2. Słupy 36](#_Toc410086126)

[2.3. Rygle 38](#_Toc410086127)

[2.4. Rygiel kratowy 39](#_Toc410086128)

[2.5. Rygle ścienne 41](#_Toc410086129)

[2.6. Stężenia 41](#_Toc410086130)

[2.7. Fundamenty 44](#_Toc410086131)

[2.8. Połączenia 45](#_Toc410086132)

[2.9. Nośności poszczególnych elementów 46](#_Toc410086133)

[3. Oddziaływania na konstrukcję 49](#_Toc410086134)

[3.1. Oddziaływania stałe 49](#_Toc410086135)

[3.2. Oddziaływania klimatyczne - wiatr 51](#_Toc410086136)

[3.3. Oddziaływania klimatyczne – śnieg 64](#_Toc410086137)

[3.4. Dobór blachy trapezowe 67](#_Toc410086138)

[3.5. Dobór płyt ściennych 69](#_Toc410086139)

[3.6. Kombinacje obciążeń 69](#_Toc410086140)

[4. Wyniki obliczeń statycznych 78](#_Toc410086141)

[4.1. Płatwie dachowe 78](#_Toc410086142)

[4.2. Słupy nawy bocznej 81](#_Toc410086143)

[4.3. Słupy nawy głównej - skrajne 83](#_Toc410086144)

[4.4. Słupy nawy głównej - wewnętrzne 85](#_Toc410086145)

[4.5. Rygle nawy bocznej 87](#_Toc410086146)

[4.6. Rygle ścienne 89](#_Toc410086147)

[4.7. Kratownica – pas górny 90](#_Toc410086148)

[4.8. Kratownica – pas dolny 91](#_Toc410086149)

[4.9. Kratownica – skratowanie 92](#_Toc410086150)

[4.10. Kratownica – połączenie z górnym pasem kratownicy 93](#_Toc410086151)

[4.11. Kratownica – połączenie z dolnym pasem kratownicy 94](#_Toc410086152)

[5. Wymiarowanie konstrukcji 95](#_Toc410086153)

[5.1. Płatew dachowa 95](#_Toc410086154)

[5.2. Słup nawy bocznej 103](#_Toc410086155)

[5.3. Słup nawy głównej – zewnętrzny 114](#_Toc410086156)

[5.4. Słup nawy głównej – wewnętrzny 125](#_Toc410086157)

[5.5. Rygiel nawy bocznej 135](#_Toc410086158)

[5.6. Rygle ścienne 156](#_Toc410086159)

[5.7. Tężniki połaciowe poprzeczne 162](#_Toc410086160)

[5.8. Tężniki pionowe ścienne 169](#_Toc410086161)

[5.9. Kratownica – pas górny 173](#_Toc410086162)

[5.10. Kratownica – pas dolny 181](#_Toc410086163)

[5.11. Kratownica – słupki i krzyżulce 184](#_Toc410086164)

[5.12. Kratownica – połączenie krzyżulców z pasem górnym 188](#_Toc410086165)

[5.13. Kratownica – połączenie krzyżulców z pasem dolnym 191](#_Toc410086166)

[5.14. Kratownica – stan graniczny użytkowalności 194](#_Toc410086167)

[5.15. Połączenie śrubowe słupa nawy bocznej z ryglem 195](#_Toc410086168)

[5.16. Stopa przegubowa 224](#_Toc410086169)

[5.17. Stopa utwierdzona 228](#_Toc410086170)

[6. Wykaz tablic 237](#_Toc410086171)

[7. Wykaz rysunków 238](#_Toc410086172)

[8. Piśmiennictwo 242](#_Toc410086173)

[9. Część graficzna pracy 244](#_Toc410086174)

# Frame calculations

## Description

## Example

### Data

Concrete column and beam 20x30cm, concrete C20/25

* Elastic modulus:
* Area:
* Moment of inertia:

|  |
| --- |
| 10m  10m  7kN |
| Figure 1‑1 Frame schema |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1.1 |

# Wykaz tablic

[Tab. 1.1 Wymagana klasa odporności pożarowej budynku PM 28](#_Toc410086175)

[Tab. 1.2 Klasy odporności ogniowej elementów budynku dla klasy odporności pożarowej „D” 28](#_Toc410086176)

[Tab. 2.1 Procentowe wytężenie poszczególnych elementów 46](#_Toc410086177)

[Tab. 2.2 Procentowe wytężenie poszczególnych połączeń 48](#_Toc410086178)

[Tab. 3.1 Ciężar warstw dachowych hali. 50](#_Toc410086179)

[Tab. 3.2 Obciążenia działające na warstwy dachowe 67](#_Toc410086180)

[Tab. 3.3 Przypadki proste obciążeń działających na konstrukcję 70](#_Toc410086181)

[Tab. 3.4 Kombinacje oddziaływań stanu granicznego nośności 71](#_Toc410086182)

[Tab. 3.5 Kombinacje oddziaływań stanu granicznego użytkowalności 76](#_Toc410086183)

# Wykaz rysunków

[Rys. 1.1 Wymiary hali 7](#_Toc410086184)

[Rys. 1.2 Przekrój poprzeczny hali – rama powtarzalna 9](#_Toc410086185)

[Rys. 1.3 Przekrój poprzeczny hali – rama skrajna 9](#_Toc410086186)

[Rys. 1.4 Rzut hali 10](#_Toc410086187)

[Rys. 1.5 Zastosowane przekroje prętów 11](#_Toc410086188)

[Rys. 1.6 Płatwie dachowe 12](#_Toc410086189)

[Rys. 1.7 IPE180 12](#_Toc410086190)

[Rys. 1.8 Słupy nawy głównej 13](#_Toc410086191)

[Rys. 1.9 IPE400 13](#_Toc410086192)

[Rys. 1.10 Słupy nawy bocznej 14](#_Toc410086193)

[Rys. 1.11 IPE360 14](#_Toc410086194)

[Rys. 1.12 Słupy ściany szczytowej o przekroju IPE330 15](#_Toc410086195)

[Rys. 1.13 IPE330 15](#_Toc410086196)

[Rys. 1.14 Słupy ściany szczytowej o przekroju IPE220 16](#_Toc410086197)

[Rys. 1.15 IPE220 16](#_Toc410086198)

[Rys. 1.16 Rygle 17](#_Toc410086199)

[Rys. 1.17 Rygle oczepowe ścian szczytowych 17](#_Toc410086200)

[Rys. 1.18 CE240 18](#_Toc410086201)

[Rys. 1.19 Dźwigar kratowy – pas górny 18](#_Toc410086202)

[Rys. 1.20 HEA240 19](#_Toc410086203)

[Rys. 1.21 Dźwigar kratowy – pas dolny 19](#_Toc410086204)

[Rys. 1.22 HEA200 19](#_Toc410086205)

[Rys. 1.23 Dźwigar kratowy – słupki i krzyżulce 20](#_Toc410086206)

[Rys. 1.24 Rygle ścienne 21](#_Toc410086207)

[Rys. 1.25 Tężniki pionowe i połaciowe 22](#_Toc410086208)

[Rys. 1.26 Tężniki podłużne – elementy sztywne 22](#_Toc410086209)

[Rys. 1.27 Tężniki podłużne – elementy wiotkie 23](#_Toc410086210)

[Rys. 1.28 Układ warstw poszycia dachowego hali 24](#_Toc410086211)

[Rys. 1.29 Fundament pod słupem nawy głównej - przekrój 25](#_Toc410086212)

[Rys. 1.30 Fundament pod słupem nawy głównej – widok z góry 25](#_Toc410086213)

[Rys. 1.31 Fundament pod słupem nawy bocznej - przekrój 26](#_Toc410086214)

[Rys. 1.32 Fundament pod słupem nawy bocznej – widok z góry 26](#_Toc410086215)

[Rys. 1.33 Grubość warstwy farby pęczniejącej dla różnych czasów ochrony przeciwpożarowej 29](#_Toc410086216)

[Rys. 2.1 Pasma rozkładu obciążeń w projektowanej hali 34](#_Toc410086217)

[Rys. 2.2 Przekrój blachy trapezowej T45, ułożenie negatyw 35](#_Toc410086218)

[Rys. 2.3 Przyłożone obciążenia kolejno od ciężaru własnego, śniegu oraz wiatru 35](#_Toc410086219)

[Rys. 2.4 Schemat podparcia bocznego płatwi przez poszycie 35](#_Toc410086220)

[Rys. 2.5 Połączenie płatwi z dźwigarami 36](#_Toc410086221)

[Rys. 2.6 Połączenie sztywne płatwi 36](#_Toc410086222)

[Rys. 2.7 Połączenie słupa nawy bocznej z ryglem 37](#_Toc410086223)

[Rys. 2.8 Postać wyboczenia słupa nawy bocznej w płaszczyźnie ramy 37](#_Toc410086224)

[Rys. 2.9 Postać wyboczenia słupa nawy bocznej z płaszczyzny ramy 37](#_Toc410086225)

[Rys. 2.10 Postać wyboczenia wewnętrznego słupa nawy głównej w płaszczyźnie ramy 38](#_Toc410086226)

[Rys. 2.11 Postać wyboczenia skrajnego słupa nawy bocznej w płaszczyźnie ramy 38](#_Toc410086227)

[Rys. 2.12 Postać wyboczenia słupów nawy głównej z płaszczyzny ramy 38](#_Toc410086228)

[Rys. 2.13 Postać wyboczenia rygla w płaszczyźnie ramy 39](#_Toc410086229)

[Rys. 2.14 Dźwigar kratowy 39](#_Toc410086230)

[Rys. 2.15 Połączenie skratowania z pasem górnym 40](#_Toc410086231)

[Rys. 2.16 Połączenie skratowania z dolnym pasem 41](#_Toc410086232)

[Rys. 2.17 Pola powierzchni działania wiatru na tężniki 42](#_Toc410086233)

[Rys. 2.18 Obciążenia obliczeniowe działające na stężenia rygla w przypadku imperfekcji łukowej po przeprowadzeniu iteracji 42](#_Toc410086234)

[Rys. 2.19 Obciążenia obliczeniowe działające na stężenia dźwigara kratowego w przypadku imperfekcji łukowej po przeprowadzeniu iteracji 43](#_Toc410086235)

[Rys. 2.20 Obciążenia obliczeniowe działające na stężenia dźwigara kratowego w przypadku imperfekcji przechyłowej po przeprowadzeniu iteracji 43](#_Toc410086236)

[Rys. 2.21 Obciążenia obliczeniowe działające na stężenia ścienne 44](#_Toc410086237)

[Rys. 2.22 Pole powierzchni kontaktu króćca teowego z fundamentem 45](#_Toc410086238)

[Rys. 2.23 Połączenie słupa nawy bocznej z ryglem 46](#_Toc410086239)

[Rys. 2.24 Połączenie słupa nawy głównej z dźwigarem kratowym. 46](#_Toc410086240)

[Rys. 3.1 Przekrój blachy trapezowej T45 50](#_Toc410086241)

[Rys. 3.2 Obciążenia stałe konstrukcji 51](#_Toc410086242)

[Rys. 3.3 Oznaczenia ścian pionowych przy wietrze wiejącym z kierunku Θ = 0° 54](#_Toc410086243)

[Rys. 3.4 Oznaczenia dachu dwuspadowego przy wiatrze wiejącym z kierunku Θ = 0° 54](#_Toc410086244)

[Rys. 3.5 Oznaczenia ścian pionowych przy wietrze wiejącym z kierunku Θ = 180° 55](#_Toc410086245)

[Rys. 3.6 Oznaczenia dachu dwuspadowego przy wietrze wiejącym z kierunku Θ = 180° 56](#_Toc410086246)

[Rys. 3.7 Obciążenia wiatrem (Θ = 0°.) wiejącym prostopadle do dłuższego boku obiektu 58](#_Toc410086247)

[Rys. 3.8 Obciążenia wiatrem (Θ = 180°) wiejącym prostopadle do dłuższego boku obiektu 58](#_Toc410086248)

[Rys. 3.9 Oznaczenia ścian pionowych przy wietrze wiejącym z kierunku Θ = 90° 59](#_Toc410086249)

[Rys. 3.10 Oznaczenia dachu dwuspadowego przy wietrze wiejącym z kierunku Θ = 90° 60](#_Toc410086250)

[Rys. 3.11 Obciążenia wiatrem (Θ = 90°) wiejącym prostopadle do krótszego boku obiektu 62](#_Toc410086251)

[Rys. 3.12 Obciążenia wiatrem (Θ = 0°.) wiejącym prostopadle do dłuższego boku obiektu 63](#_Toc410086252)

[Rys. 3.13 Obciążenia wiatrem (Θ = 180°) wiejącym prostopadle do dłuższego boku obiektu 63](#_Toc410086253)

[Rys. 3.14 Obciążenia śniegiem 65](#_Toc410086254)

[Rys. 3.15 Obciążenia śniegiem 66](#_Toc410086255)

[Rys. 3.16 Obciążenia śniegiem 66](#_Toc410086256)

[Rys. 3.17 Przekrój blachy trapezowej T45 67](#_Toc410086257)

[Rys. 3.18 Tabela dopuszczalnych wartości obciążeń w ułożeniu negatyw 67](#_Toc410086258)

[Rys. 3.19 Tabela dopuszczalnych wartości obciążeń w ułożeniu pozytyw 67](#_Toc410086259)

[Rys. 3.20 Tabela nośności płyty KS1000-AWP 69](#_Toc410086260)

[Rys. 4.1 Wykres momentów kombinacja 98 78](#_Toc410086261)

[Rys. 4.2 Wykres momentów - kombinacja 82 79](#_Toc410086262)

[Rys. 4.3 Wykres momentów przy największej wartości momentu przęsłowego w kombinacji 98, płatew skrajna i przedskrajna 80](#_Toc410086263)

[Rys. 4.4 Wykres momentów przy największej wartości momentu podporowego w kombinacji 98, płatew skrajna i przedskrajna 80](#_Toc410086264)

[Rys. 4.5 Wykres momentów - kombinacja 98 81](#_Toc410086265)

[Rys. 4.6 Wykres sił normalnych - kombinacja 98 82](#_Toc410086266)

[Rys. 4.7 Wykres momentów - kombinacja 76 83](#_Toc410086267)

[Rys. 4.8 Wykres sił normalnych - kombinacja 98 84](#_Toc410086268)

[Rysunek 4.9 Wykres momentów - kombinacja 111 85](#_Toc410086269)

[Rys. 4.10 Wykres sił normalnych w przypadku kombinacji 98 86](#_Toc410086270)

[Rys. 4.11 Wykres momentów - kombinacja 98 87](#_Toc410086271)

[Rys. 4.12 Wykres momentów - kombinacja 98 88](#_Toc410086272)

[Rys. 4.13 Wykres momentów - kombinacja 98 88](#_Toc410086273)

[Rys. 4.14 Wykres momentów - kombinacja 111 88](#_Toc410086274)

[Rys. 4.15 Wykres momentów – kombinacja 74 89](#_Toc410086275)

[Rys. 4.16 Wykres sił normalnych - kombinacja 98 90](#_Toc410086276)

[Rys. 4.17 Wykres sił normalnych - kombinacja 98 91](#_Toc410086277)

[Rys. 4.18 Wykres sił normalnych - kombinacja 98 92](#_Toc410086278)

[Rys. 4.19 Wykres sił normalnych - kombinacja 98 93](#_Toc410086279)

[Rys. 4.20 Wykres sił normalnych - kombinacja 98 94](#_Toc410086280)

[Rys. 5.1 Wykres sił normalnych w ryglu dla obciążenia destabilizującego w przypadku imperfekcji łukowej 166](#_Toc410086281)

[Rys. 5.2 Wykres sił normalnych w kratownicy dla obciążenia destabilizującego w przypadku imperfekcji łukowej 167](#_Toc410086282)

[Rys. 5.3 Wykres sił normalnych w kratownicy dla obciążenia destabilizującego w przypadku imperfekcji przechyłowej 168](#_Toc410086283)

[Rys. 5.4 Wykres sił normalnych w tężniku pionowym ściennym – słupy nawy bocznej 170](#_Toc410086284)

[Rys. 5.5 Wykres sił normalnych w tężniku pionowym ściennym – słupy nawy głównej 171](#_Toc410086285)

[Rys. 5.6 Połączenie śrubowe słupa nawy bocznej z ryglem 196](#_Toc410086286)

[Rys. 5.7 Rozstaw śrub 197](#_Toc410086287)

# Piśmiennictwo

1. Goczek J. Supeł Ł., Gajdzicki M. Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej 2013.
2. Giżejkowski M. Ziólko J (redakcja). Budownictwo ogólne – stalowe konstrukcje budynków projektowanie według Eurokodów z przykładami obliczeń. Arkady 2010.
3. Kozłowski A. (redakcja) Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2009.
4. Bogucki W., Żyburtowicz M. Tablice do projektowania konstrukcji metalowych. Arkady 2007.
5. PN-EN 1990 Podstawy projektowania konstrukcji.
6. PN-EN 1991-1-3 Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem.
7. PN-EN 1991-1-4 Oddziaływania ogólne – Obciążenie wiatrem.
8. PN-EN 1992-1-1 Projektowanie konstrukcji z betonu – Reguły ogólne i reguły dla budynków.
9. PN-EN 1993-1-1 Projektowanie konstrukcji stalowych - Reguły ogólne i reguły dla budynków.
10. PN-EN 1993-1-3 Projektowanie konstrukcji stalowych – Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.
11. PN-EN 1993-1-5 Projektowanie konstrukcji stalowych – Blachownice.
12. PN-EN 1993-1-8 Projektowanie konstrukcji stalowych – Projektowanie węzłów.
13. PN-70/B-02852 Ochrona przeciwpożarowa w budownictwie. Obliczanie obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru.
14. PN-B-02852 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru.
15. PN-B-06200 Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe.
16. PN-EN 45014 Ogólne kryteria deklaracji zgodności składanej przez dostawcę.
17. PN-EN 10204 Wyroby metalowe - Rodzaje dokumentów kontroli.
18. PN-EN ISO 12944-2 Farby i lakiery Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich Część 2: Klasyfikacja środowisk.
19. PN-EN ISO 12944-4 Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 4: Rodzaje powierzchni i sposoby przygotowania powierzchni.
20. PN-EN ISO 12944-5 Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 5: ochronne systemy malarskie.
21. PN-EN ISO 8501-1 Przygotowanie podłoży stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów -- Wzrokowa ocena czystości powierzchni -- Stopnie skorodowania i stopnie przygotowania niezabezpieczonych podłoży stalowych oraz podłoży stalowych po całkowitym usunięciu wcześniej nałożonych powłok.
22. PN-EN 22553 Rysunek techniczny – Połączenia spawane, zgrzewane i lutowane – Umowne przedstawianie na rysunkach.
23. PN-ISO 5261 Rysunek techniczny dla konstrukcji metalowych.
24. PN-ISO 8991 System oznaczeń części złączanych.
25. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690)
26. ANSI/AISC 360-05 Specification for Structural Steel Buildings.
27. Aprobata techniczna ITB AT-15-9175/2013 Zestawy wyrobów malarskich do ogniochronnego zabezpieczania konstrukcji stalowych i stalowych ocynkowanych systemem FLAME STAL Fire Proof Solvent.
28. <http://www.obliczenia.icad.pl/gwinty/metryczne/gwMResults.asp>
29. Access Steel.

# Część graficzna pracy

W części graficznej pracy zawarto następujące rysunki obiektu:

1. Rzut fundamentów w skali 1:100
2. Plan zakotwienia w skali 1:100/20
3. Rzut konstrukcji dachu w skali 1:100
4. Rzuty konstrukcji ścian w skali 1:100
5. Przekrój poprzeczny budowli w skali 1:50
6. Elewacje w skali 1:100
7. Konstrukcja główna w skali 1:20