

1. SPRAWOZDANIE Z OBLICZEŃ STATYCZNYCH

1.1. Wstęp

Przedmiotem obliczeń są wszystkie główne elementy konstrukcyjne obiektu mostowego. Celem obliczeń jest podanie najważniejszych ekstremalnych wartości sił oraz naprężeń w projektowanej konstrukcji.

Podstawą do przeprowadzenia obliczeń są normy podane w punkcie 1.2.1 oraz literatura techniczna.

1.2. Założenia

1.2.1. Normy, przepisy normatywy

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe przeprowadzono zgodnie z następującymi normami i przepisami:

- a) PN-EN 206+A1:2016-12 Beton: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- b) PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy Projektowania konstrukcji
- c) PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- d) PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne.
- e) PN-EN 1991-2:2007 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 2. Obciążenia ruchome mostów.
- f) PN-EN 1992-2:2010 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 2: Mosty z betonu. Obliczanie i reguły konstrukcyjne.
- g) PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- h) PN-EN 1997-1:2008/Ap2:2010 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- i) PN-S 10042:1991 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie.
- j) Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. (Dz. U. z 2000r, Nr 63, poz. 735 ze zmianami).

1.2.2. Obciążenia normowe

Przedmiotowy obiekt inżynierski zaprojektowano na obciążenie ruchome klasy I wg normy „PN-EN 1991-2:2007 Eurokod 1 : oddziaływania na konstrukcje. Część 2. Obciążenia ruchome mostów”, oraz na obciążenia pojazdami klasy MLC dla klasy I obiektu.

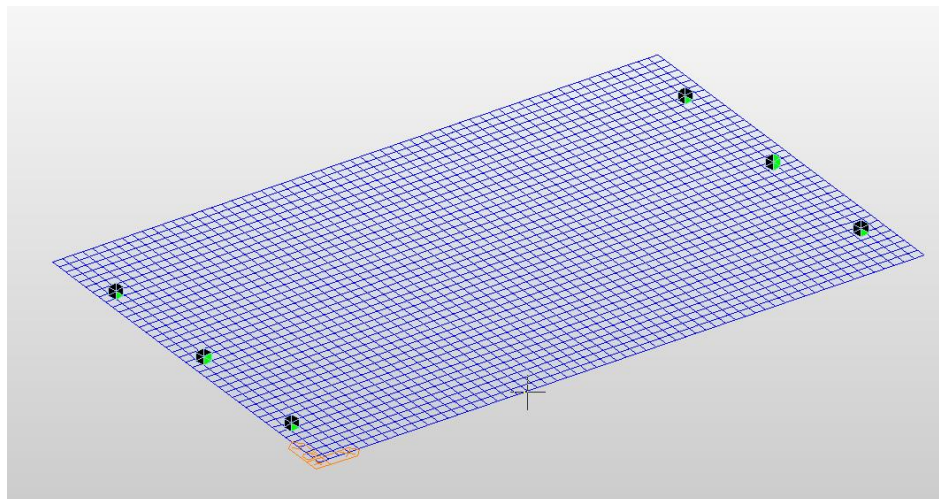
Pomost ustroju nośnego zaprojektowano na obciążenie ruchome klasy I wg normy „PN-EN 1991-2:2007 Eurokod 1 : oddziaływania na konstrukcje. Część 2. Obciążenia ruchome mostów” oraz STANAG 2021 dla klasy 150.

W obliczeniach dźwigarów głównych nie uwzględniono oddziaływań termicznych w postaci składowej równomiernej temperatury i składowej liniowej zmiennej po wysokości przekroju oraz nierównomiernym przemieszczeniem podpór UZ, ze względu na wolnopodparty schemat łóżykowania.

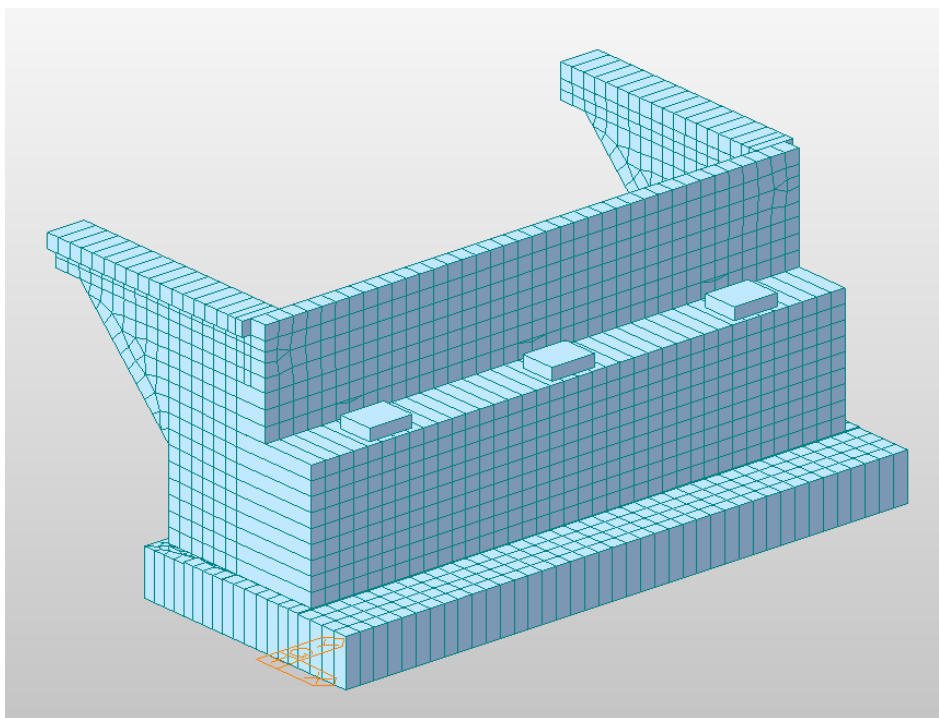
1.2.3. Modele i schematy obliczeniowe

W obliczeniach statycznych obiektu wykorzystano następujące modele obliczeniowe:

- dla konstrukcji niosącej:
konstrukcję zamodelowano jako układ dwuwymiarowy klasy (e1+e2,p2), wykorzystywano w tym celu program Midas Civil 2021 (v1.2). Do zamodelowania układu wykorzystano elementy belkowe dla dźwigarów głównych oraz powłokowe dla płyty pomostowej,
- dla podpór:
konstrukcję zamodelowano jako układ klasy (e1+e2,p3), wykorzystywano w tym celu program Midas Civil 2021 (v1.2).



Rys. 1 Model obliczeniowy ustroju nośnego e1+e2,p2



Rys. 2 Model obliczeniowy podpory e1+e2,p3

1.2.4. Wykorzystane programy komputerowe

Do obliczeń statyczno – wytrzymałościowych wykorzystano następujące programy komputerowe:

- Midas Civil 2021 (v1.2) – do obliczeń statycznych ustroju niosącego i podpór
- Autodesk Robot Structural Analysis 2013- do obliczeń statycznych podpór
- BestAbut 1.1- do obliczeń statycznych podpór
- Arkusze kalkulacyjne EXCEL.
- Pale PN 5.0- dla pali fundamentowych

1.2.5. Inne założenia

- Do sprawdzenia stanów granicznych nośności (SGN) i stanów granicznych użytkowności (SGU) rozpatrzono trwałą sytuację obliczeniową.
- W poszczególnych przekrojach odczytano wartości sił, wykonano obwiednię obliczeniową sił wewnętrznych (dla SGN) oraz obwiednie charakterystyczną, częstą i quasi- stałą (dla SGU) oraz dobrano zbrojenie miękkie i sprężające.
- Dla przyjętego sprężenia, zbrojenia i klasy betonu dokonano sprawdzenia naprężeń ściskających i rozciągających w betonie, a także sprawdzono poziom globalnych współczynników bezpieczeństwa, warunek rysoodporności, ścinania i ugięć.
- Płytę pomostową obliczono dla obciążenia wyjątkowego modelem obciążenia LM2 dla klasy I oraz specjalnym (STANAG 2021 klasy 150).
- Zasadnicze przekroje żelbetowych podpór oraz sprawdzenie stanów granicznych naprężenia w podłożu gruntowym pod stopą fundamentową dokonano z uwzględnieniem obciążeń stałych, stałych oraz hamowania.
- Sprawdzenie SGN oraz osiadań posadowienia bezpośredniego dokonano metodą normową.

1.3. Dane materiałowe

Zgodnie z p. 4.4. opisu technicznego.

1.4. Charakterystyki geometryczne

Poniżej przedstawiono charakterystyki geometryczne przekroju belki ustroju nośnego.

Charakterystyki geometryczne przekrojów sprawdzonych zestawiono w Tabelcy 1.

Oznaczenia:

- N - przekrój niezespólny
- Z - przekrój zespolony
- A_N, A_Z - pole przekroju
- J_N, J_Z - moment bezwładności
- odległości od środka ciężkości:
- h_{gN}, h_{gZ} - krawędzi górnych belki
- h_{dN}, h_{dZ} - krawędzi dolnych belki
- h_{pZ} - krawędzi górnej płyty

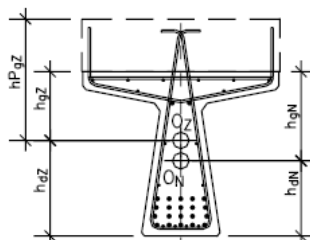


Tabela 1.

Charakterystyki geometryczne podstawowe przekrojów sprawdzonych w środku rozpiętości belki

		Belka 27 m		Belka 24 m		Belka 21 m	
Obciążenia		długotrwale	krótkotrwale	długotrwale	krótkotrwale	długotrwale	krótkotrwale
Przekrój niezespólny							
A_N	m ²	0.490	0.454	0.436	0.405	0.388	0.360
J_N	m ⁴	6.598E-02	5.982E-02	4.922E-02	4.456E-02	3.544E-02	3.209E-02
h_{gN}	m	0.559	0.543	0.492	0.478	0.427	0.415
h_{dN}	m	0.541	0.557	0.508	0.522	0.473	0.485
Przekrój zespolony							
A_Z	m ²	0.708	0.658	0.652	0.608	0.603	0.563
J_Z	m ⁴	1.377E-01	1.225E-01	1.055E-01	9.394E-02	7.885E-02	7.025E-02
h_{gZ}	m	0.373	0.338	0.309	0.278	0.249	0.222
h_{dZ}	m	0.727	0.762	0.691	0.722	0.651	0.678
h_{pZ}	m	0.613	0.578	0.549	0.518	0.489	0.462

		Belka 18 m		Belka 15 m		Belka 12 m	
Obciążenia		długotrwale	krótkotrwale	długotrwale	krótkotrwale	długotrwale	krótkotrwale
Przekrój niezespólny							
A_N	m ²	0.325	0.299	0.318	0.296	0.260	0.241
J_N	m ⁴	2.018E-02	1.822E-02	1.986E-02	1.806E-02	9.983E-03	8.982E-03
h_{gN}	m	0.336	0.325	0.331	0.323	0.246	0.239
h_{dN}	m	0.414	0.425	0.419	0.427	0.354	0.361
Przekrój zespolony							
A_Z	m ²	0.538	0.503	0.529	0.500	0.469	0.445
J_Z	m ⁴	4.868E-02	4.318E-02	4.738E-02	4.266E-02	2.706E-02	2.417E-02
h_{gZ}	m	0.169	0.145	0.163	0.142	0.092	0.075
h_{dZ}	m	0.581	0.605	0.587	0.608	0.508	0.525
h_{pZ}	m	0.409	0.385	0.403	0.382	0.332	0.315

1.5. Obciążenia

1.5.1. Obciążenia ciężarem własnym oraz wyposażeniem

Obciążenie		Wartość	Jednostka	Uwagi
Ciężar elementów konstrukcyjnych (beli i płyta zespólna)		26	[kN/m ³]	Ciężar własny elementów konstrukcyjnych uwzględniono w programie obliczeniowym
Wyposażenie	Kapa chodnikowa	25	[kN/m ³]	-
	Nawierzchnia jezdni	23	[kN/m ³]	-
	Izolacja chodnika	25	[kN/m ³]	-
	Izolacja mostowa	14	[kN/m ³]	-
	Barieroporce	1	[kN/m]	-
	Krawężniki	27	[kN/m ³]	-

Tab. 1 Wartości obciążeń stałych przyjętych do obliczeń

1.5.2. Obciążenie użytkowe pionowe na obiekcie

a) Wartości obciążeń zmiennych przyjętych do obliczeń

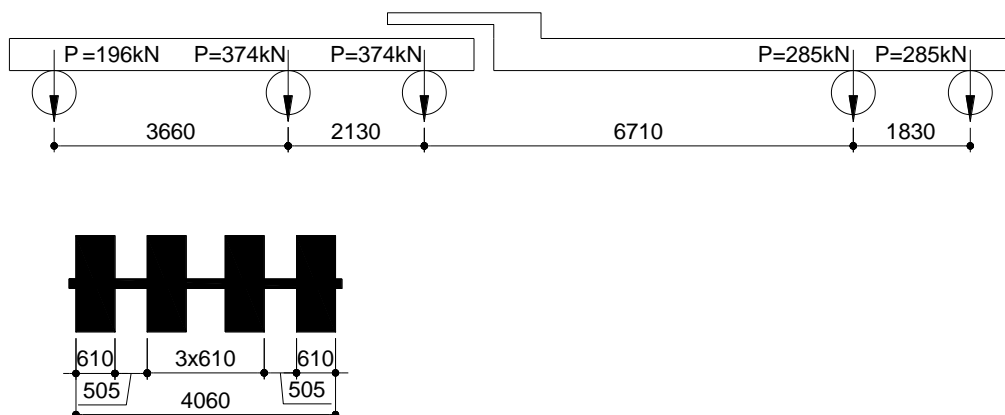
Klasa obciążenia mostu	Współczynniki dostosowawcze					
	α_{Q1}	$\alpha_{Qi \geq 2}$	α_{q1}	α_{q2}	$\alpha_{qi \geq 2}$	α_{qr}
Klasa I	1,0	1,0	1,33	2,4	1,2	1,2

Tab. 2 Współczynniki dostosowawcze dla modelu LM1 dla klasy I

Obciążenie		Wartość	Jednostka	Uwagi
Pionowe obciążenie ruchome- model LM1	TS	Pas nr 1 $\alpha_{Q1}Q_{1k}=300$ Pas nr 2 $\alpha_{Q2}Q_{2k}=200$	[kN]	Obciążenie jednej osi tandemu TS dla analizowanego obiektu mostowego
	UDL	Pas nr 1: $\alpha_{q1}q_{1k} = \alpha_{q1} \times 9$ Pas nr 2: $\alpha_{q2}q_{2k} = \alpha_{q2} \times 2,5$ Obszar pozostały: $\alpha_{qr}q_{rk} = \alpha_{qr} \times 2,5$	[kn/m ²]	Obciążenie równomiernie rozłożone, wartość zależna od klasy obciążenie
Pionowe obciążenie ruchome- Model LM2	-	$\alpha_{Q1}Q_{ak}=400$	[kN]	Obciążenie na oś
Hamowanie i przyspieszanie na przęśle		$Q_{lk}=0,6\alpha_{Q1}(2Q_{1k})+0,1\alpha_{q1}q_{1k}w_l=415$	[kN]	Hamowanie i przyspieszanie odniesione do powierzchni pasa nr 1 naciąg długości przęsła

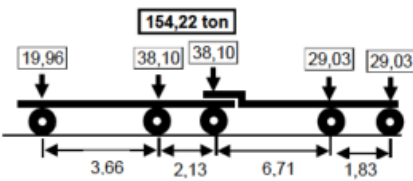
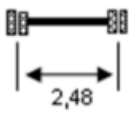
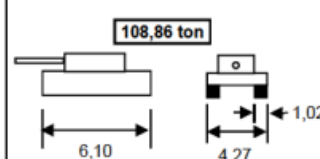
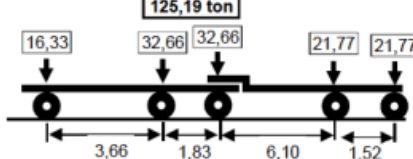
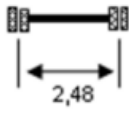
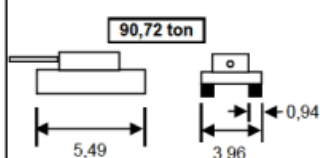
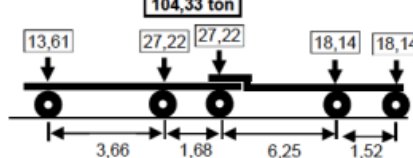
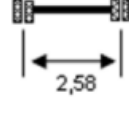
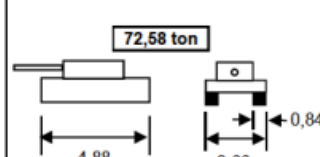
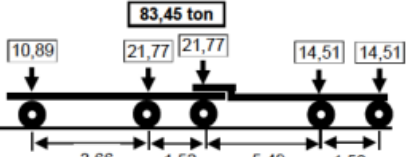

Tab. 3 Wartości obciążeń zmiennych przyjęte do obliczeń

b) Obciążenie pojazdem STANAG 150



Rys. 2 Model obciążenie pojazdem STANAG 150 dla klasy I

c) Obciążenie pojazdami MLC

Klasa MLC	Pojazdy gaśnicowe	Pojazdy kołowe	
		obciążenie [tony] i rozstaw osi [m]	rozstaw osiowy kół na osi pojazdu [m]
150	—		
120			
100			
80			

Tab. 4 Wartości obciążeń MLC przyjętych do obliczeń

1.5.3. Obciążenie użytkowe poziome na obiekcie

Siły poziome od hamowania pojazdów na obiekcie wynoszą:

$$Q_k = 0,6\alpha_{Q1}(2Q_{1k}) + 0,1\alpha_{Q1}q_{1k}w_l = 415 \text{ [kN]}$$

1.5.4. Parcie graniczne czynne gruntu

Współczynnik parcia spoczynkowego dla gruntów zasypowych wynosi:

$$K_0 = \frac{1 - \sin 35^\circ}{1 + \sin 35^\circ} = 0,271$$

gdzie:

$\varphi' = 35^\circ$ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu zasypowego

Jednostkowe parcie graniczne działające na korpus przyczółka wynosi:

$$\sigma_0(h_{max}) = K_0 \times \gamma \times z = 0,271 \times 18,5 \times 3,85 = 19,23 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

gdzie:

z - głębokość wzdłuż powierzchni sciany [m]

γ - ciężar objętościowy gruntu [kN/m³]

1.5.5. Parcie poziome gruntu na przyczółek od obciążenia na naziomie

- Pas nr 1:

Obciążenie UDL na pasie umownym nr 1

$$q_{1k} = 9 \times \alpha_{q1} = 9 \times 1,33 = 11,97 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Parcie jednostkowe gruntu od obciążenia naziomu równomiernie rozłożonego UDL na pasie nr 1

$$\sigma_{Q,UDL,1} = K_0 \times q_{1k} = 0,271 \times 11,97 = 3,25 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Obciążenie TS na pasie umownym nr 1

$$Q_{1k} = 300 \times \alpha_{Q1} = 300 \times 1 = 300 [kN]$$

Równoważne obciążenie zastępcze q_{ed} od pojazdu TS na pasie nr 1:

$$q_{ED,TS1} = \frac{2 \times 300}{2,2 \times 3} = 91 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Parcie jednostkowe gruntu od obciążenia naziomu tandemem TS na pasie nr 1

$$\sigma_{Q,TS1} = \frac{K_0 \times q_{ED,TS1} \times 2,2}{h_{TS}} = \frac{0,271 \times 91 \times 2,2}{3,81} = 14,23 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

- Pas nr 2:

Obciążenie UDL na pasie umownym nr 2

$$q_{2k} = 9 \times \alpha_{q1} = 2,5 \times 2,4 = 6,0 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Parcie jednostkowe gruntu od obciążenia naziomu równomiernie rozłożonego UDL na pasie nr 2

$$\sigma_{Q,UDL,2} = K_0 \times q_{1k} = 0,271 \times 6,0 = 1,63 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Obciążenie TS na pasie umownym nr 2

$$Q_{2k} = 300 \times \alpha_{Q2} = 200 \times 1 = 200 [kN]$$

Równoważne obciążenie zastępcze q_{ed} od pojazdu TS na pasie nr 2:

$$q_{ED,TS2} = \frac{2 \times 200}{2,2 \times 3} = 61 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Parcie jednostkowe gruntu od obciążenia naziomu tandemem TS na pasie nr 2

$$\sigma_{Q,TS1} = \frac{K_0 \times q_{ED,TS1} \times 2,2}{h_{TS}} = \frac{0,271 \times 61 \times 2,2}{3,81} = 9,55 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

$$h_{TS} = \frac{2,2}{\tan 30^\circ} = 3,81m \leq 3,85m \rightarrow h_{TS} = 3,81m$$

- Obszar pozostały:

Obciążenie UDL na obszarze pozostałym

$$q_{rk} = 2,5 \times \alpha_{q1} = 2,5 \times 1,2 = 3,0 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Parcie jednostkowe gruntu od obciążenia naziomu równomiernie rozłożonego UDL na obszarze pozostałym

$$\sigma_{Q,UDL,2} = K_0 \times q_{1k} = 0,271 \times 3,0 = 0,81 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

1.5.6. Parcie poziome gruntu na skrzydła od obciążenia na naziomie

Odległość pasa umownego nr 1 od krawędzi skrzydła

$$B_{Pas,1} = 0,76 \text{ m}$$

Głębokość na której zaczyna występować parcie

$$h_{Pas,1} = \frac{B_{Pas,1}}{\tan(90 - \varphi_n)} = \frac{0,76}{\tan 55^\circ} = 0,53 \text{ m}$$

Głębokość na której parcie przyjmuje wartość maksymalną

$$h_{Pas,1max} = \frac{B_{Pas,1}}{\tan(30)} = \frac{0,76}{\tan 30^\circ} = 1,30 \text{ m}$$

Wysokość, na której działa parcie stałe dla pasa umownego nr 1

$$h_{Pas,1TS/UDL} = \frac{1,42m}{\tan(30)} = 2,45 \text{ m}$$

-Pas nr 1

Parcie jednostkowe maksymalne gruntu od obciążenia naziomu równomiernie rozłożonego q pochodzącego od obciążenia UDL na pasie umownym nr 1

$$\sigma_{Q,UDL,pas1} = \frac{K_0 \times q_{1k} \times 1,79m}{h_{Pas,1TS/UDL}} = \frac{0,271 \times 11,97 \times 1,45}{2,45} = 1,88 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Parcie jednostkowe maksymalne gruntu od obciążenia naziomu równomiernie rozłożonego q pochodzącego od obciążenia TS na pasie umownym nr 1

$$\sigma_{Q,TS,pas1} = \frac{K_0 \times q_{ed,TS1} \times 1,79m}{h_{Pas,1TS/UDL}} = \frac{0,271 \times 91 \times 1,42}{2,45} = 14,29 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

-Pas nr 2

Parcie jednostkowe maksymalne gruntu od obciążenia naziomu równomiernie rozłożonego q pochodzącego od obciążenia UDL na pasie umownym nr 2

$$\sigma_{Q,UDL,pas2} = \frac{K_0 \times q_{1k} \times 1,79m}{h_{Pas,1TS/UDL}} = \frac{0,271 \times 6 \times 1,42}{2,45} = 0,94 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

Parcie jednostkowe maksymalne gruntu od obciążenia naziomu równomiernie rozłożonego q pochodzącego od obciążenia TS na pasie umownym nr 2

$$\sigma_{Q,TS,pas2} = \frac{K_0 \times q_{ed,TS1} \times 1,79m}{h_{Pas,1TS/UDL}} = \frac{0,271 \times 61 \times 1,42}{2,45} = 9,58 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

-Obszar pozostały

Parcie jednostkowe maksymalne gruntu od obciążenia naziomu równomiernie rozłożonego q pochodzącego od obciążenia UDL na obszarze pozostałym

$$\sigma_{Q,UDL,pas2} = \frac{K_0 \times q_{1k} \times 1,79m}{h_{Pas,1TS/UDL}} = \frac{0,271 \times 3 \times 1,5}{2,45} = 0,50 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

1.5.7. Obciążenie pionowe gruntu na odsadźce od strony nasypu

Parcie gruntu na odsadźkę fundamentu przy wysokości $z = 3,35$ wynosi:

$$\sigma_p = \gamma \times z = 18,5 \times 3,85 = 71,23 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

1.5.8. Obciążenia pionowe i poziome od strony przeszkody

Ze względu na odciążający charakter obciążenia oraz możliwość rozluźnienia się gruntu od strony przeszkody w obliczeniach pominięto to obciążenie.

1.5.9. Ciężar własny podpory

W obliczeniach przyjęto następujące elementy przy założeniu ciężaru betonu $25kN/m^3$.

-fundament	0,765-0,80m
-trzon przyczółka	1,55m
-ścianka zapleczna	0,30-0,60m
-skrzydła	0,50m
-gzymsy skrzydeł	0,65m
-elementy imitujące łóżysko	0,60x0,75m

1.5.10. Osiadanie podpór

Przyjęto maksymalne osiadanie podpór $f=1,0$ cm.

1.5.11. Obciążenie temperaturą

W obliczeniach dźwigara nie uwzględniono oddziaływań termicznych ze względu na schemat statyczny wolnopodparty ustroju nośnego.

1.6. Podstawowe wyniki obliczeń i ich interpretacja

1.6.1. Ustrój nośny

Poniżej przedstawiono podstawowe wyniki obliczeń statyczno-wytrzymałościowych.

Naprężenia dla betonu C50/60 i sprężenia ograniczonego nie przekraczają następujących wartości:

Dla kombinacji częstej:

- Stadium I

$$\max \sigma_{gk} = -0,8 > f_{ctd,b} = -2,07 \text{ MPa}$$

$$\min \sigma_{gk} = -1,5 > f_{ctd,b} = -2,07 \text{ MPa}$$

$$\max \sigma_{dk} = 21 < f_{cd,b} = 30,4 \text{ MPa}$$

$$\min \sigma_{dk} = 17,7 < f_{cd,b} = 30,4 \text{ MPa}$$

- Stadium IV

$$\max \sigma_{gk} = 7,6 < f_{cd,b} = 30,4 \text{ MPa}$$

$$\min \sigma_{gk} = 6,0 < f_{cd,b} = 30,4 \text{ MPa}$$

$$\max \sigma_{dk} = 14,7 < f_{cd,b} = 30,4 \text{ MPa}$$

$$\min \sigma_{dk} = 10,7 < f_{cd,b} = 30,4 \text{ MPa}$$

Dla kombinacji charakterystycznej:

- Stadium IV

$$\max \sigma_{gk} = 8,3 < f_{cd,b} = 30,4 \text{ MPa}$$

$$\min \sigma_{gk} = 6,0 < f_{cd,b} = 30,4 \text{ MPa}$$

$$\max \sigma_{dk} = 15,0 < f_{cd,b} = 30,4 \text{ MPa}$$

$$\min \sigma_{dk} = -2,0 > f_{ctd,b} = -2,07 \text{ MPa}$$

Moment zginający		Przęsło
Stadium początkowe (I) (CW Belek)	Ch.max	171
	Ch.min	118
	Obl. max	231
	Obl. min	118
Stadium bezużytkowe (II) (CW Belek+ płyty)	Ch.max	312
	Ch.min	312
	Obl. max	422
	Obl. min	312
Stadium bezużytkowe (III)	Ch.max	242
	Ch.min	216
	Obl. max	312
	Obl. min	192
Stadium użytkowe (IV)	Ch.max	636
	Ch.min	-1
	Częsta max	408
	Częsta min	-1
	Obl. max	859
	Obl. min	-2
Suma całkowita	Ch.max	1191
	Ch.min	527
	Częsta max	963
	Częsta min	528
	Obl. max	1593
	Obl. min	503

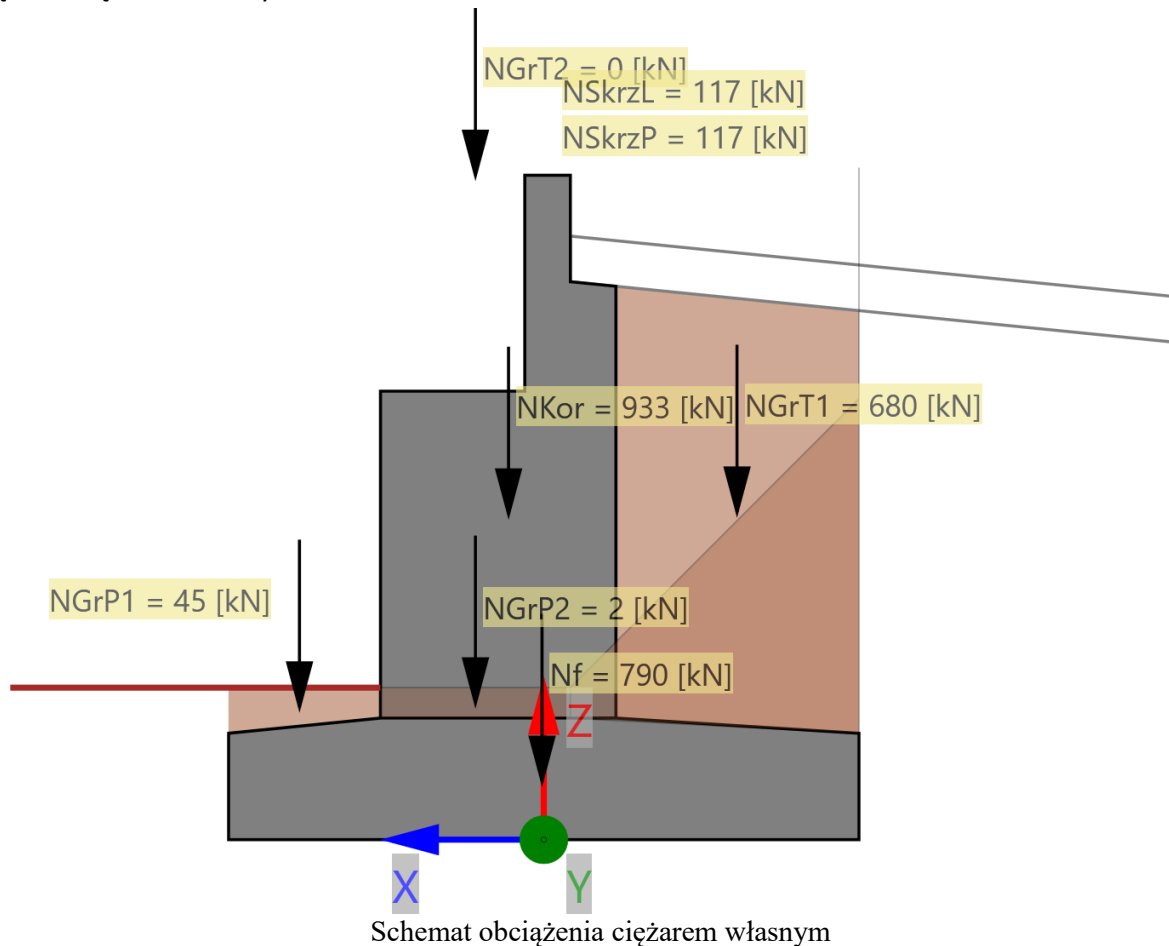
1.6.2. Łożyska

Łożyskowanie												
Łożysko	Wartości charakterystyczne SGU [kN]				Wartości obliczeniowe SGN [kN]				Przemieszczenia SGU [mm]		Obrót [rad]	Typ
	Rz min	Rz max	Hx	Hy	Rz min	Rz max	Hx	Hy	Ux	Uy	Ry	-
1A	600	1500	-	-	550	2000	-	-	±10	±10	0,0001	WP
1B	200	1100	-	75	150	1400	-	100	±10	-	0,0001	JP
1C	600	1500	-	-	550	2000	-	-	±10	±10	0,0001	WP
2A	600	1500	-	-	550	2000	-	-	±10	±10	0,0001	WP
2B	200	1100	415	75	150	1400	560	100	-	-	0,0001	S
2C	600	1500	-	-	550	2000	-	-	±10	±10	0,0001	WP

1.6.3. Posadowienie

Poniżej przedstawiono raport z obliczeń przedmiotowej podpory obiektu.

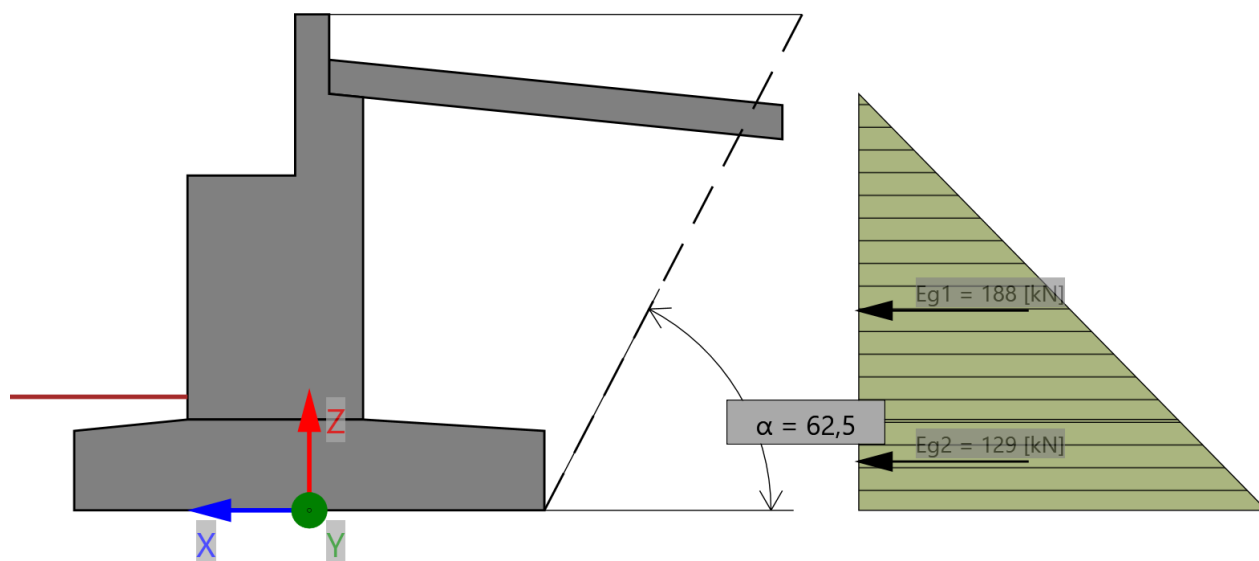
Obciążenie ciężarem własnym



Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]	Opis
Nf	790	0,01	Ciężar fundamentu
NKor	933	0,23	Ciężar korpusu
NSkrzL	117	-1,88	Ciężar skrzydła lewego
NSkrzP	117	-1,88	Ciężar skrzydła prawego
NGrP1	45	1,61	Ciężar gruntu od strony przeszkody
NGrP2	2	0,45	Ciężar gruntu na odsadzkach fund. w strefie korp.
NGrT1	680	-1,27	Ciężar gruntu zasypki

Obciążenie parciem gruntu

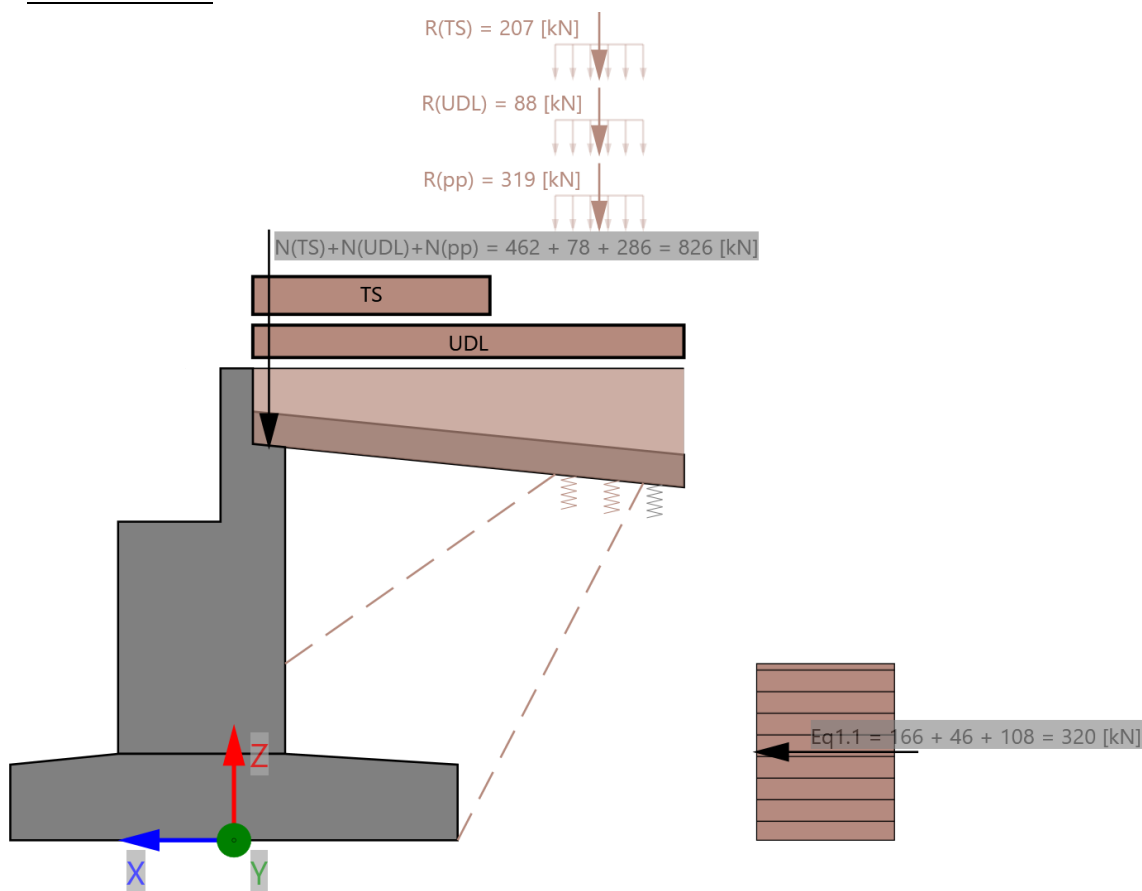


Schemat obciążenia parciem gruntu

Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]
Eg1	188	1,76
Eg2	129	0,43

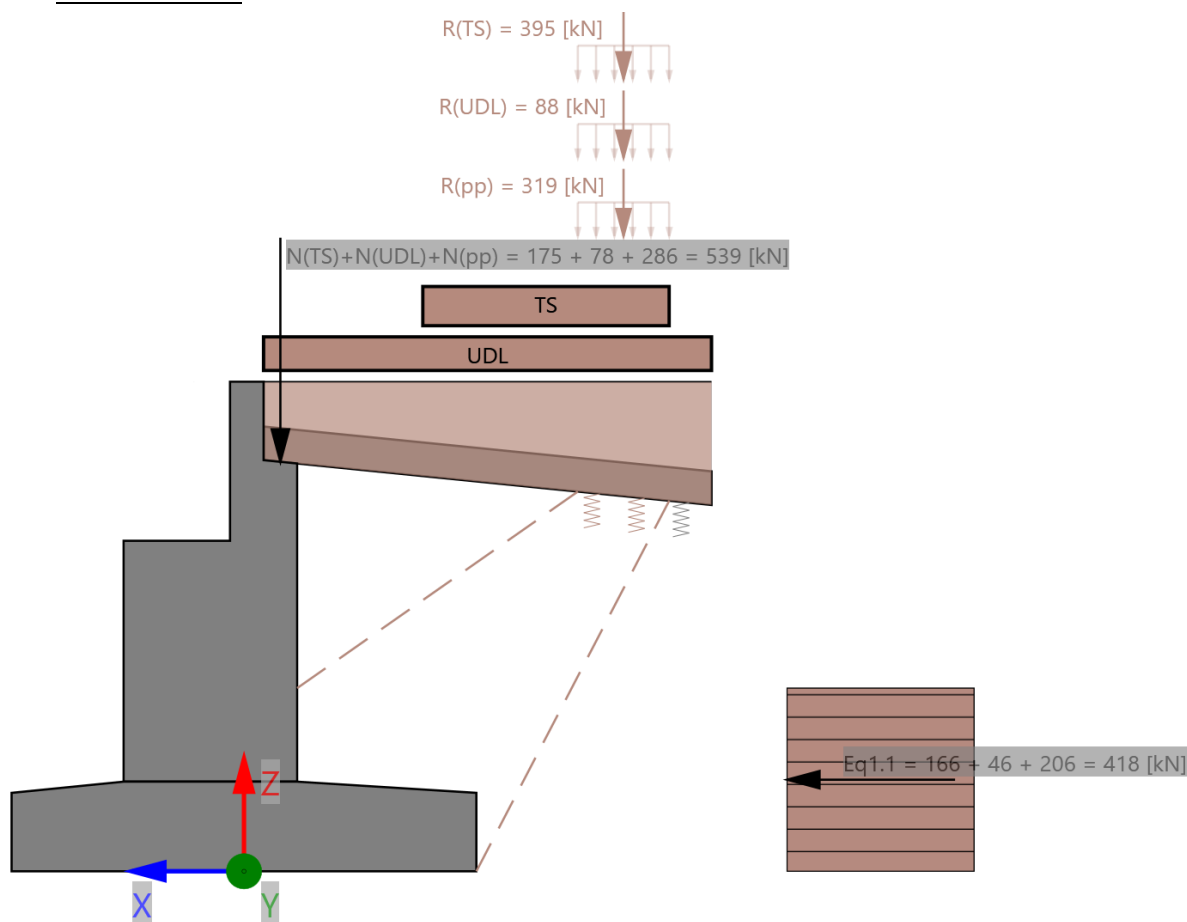
Ustawienie nr 1



Pojazd na naziomie - ustawienie nr 1
Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]
Eq1.1a(pp)	166	0,82
Eq1.1a(UDL)	46	0,82
Eq1.1a(TS)	108	0,82
N(TS)	462	-0,32
N(pp)	286	-0,32
N(UDL)	78	-0,32

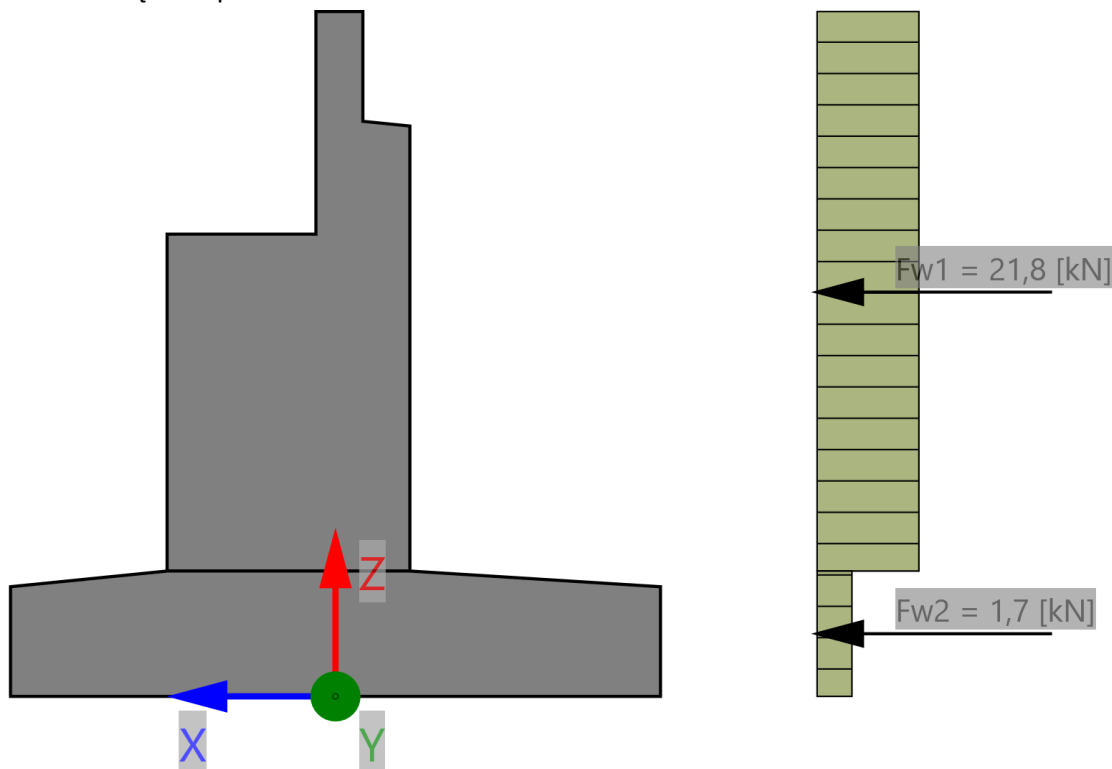
Ustawienie nr 2



Pojazd na naziomie - ustawienie nr 2
Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]
Eq1.1a(pp)	166	0,82
Eq1.1a(UDL)	46	0,82
Eq1.1a(TS)	206	0,82
N(TS)	175	-0,32
N(pp)	286	-0,32
N(UDL)	78	-0,32

Obciążenie parciem wiatru

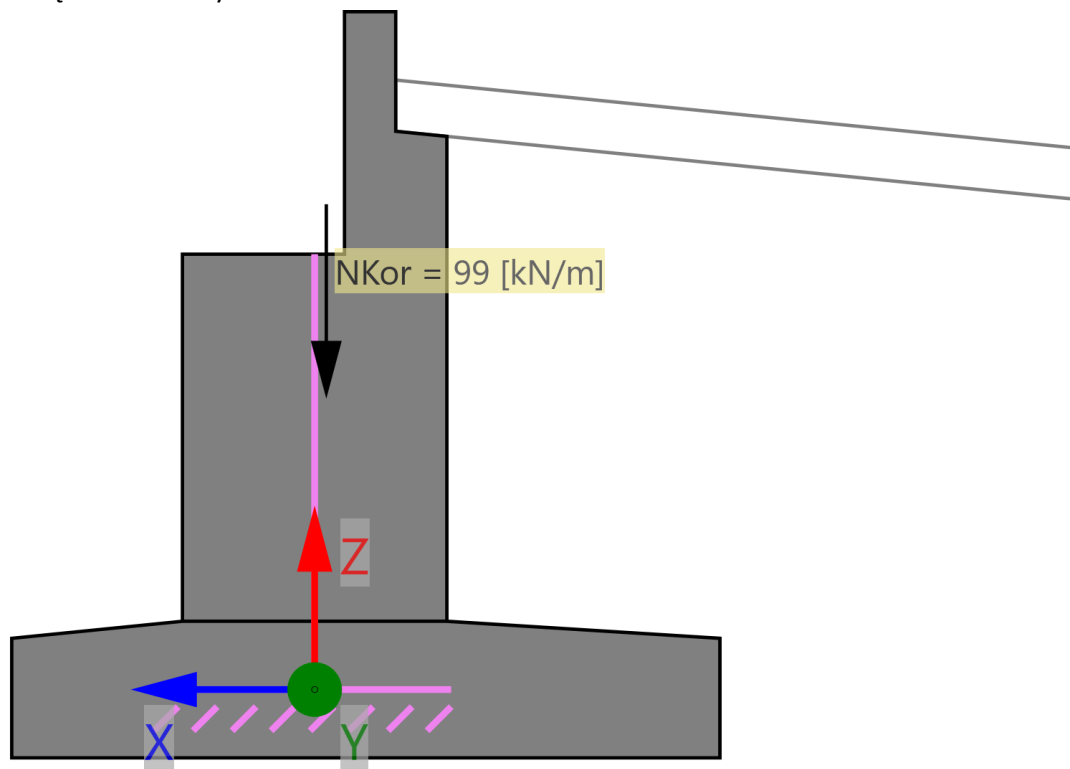


Schemat obciążenia parciem wiatru
Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]
Fw1	21,8	2,58
Fw2	1,7	0,4

Zestawienie obciążeń na korpus

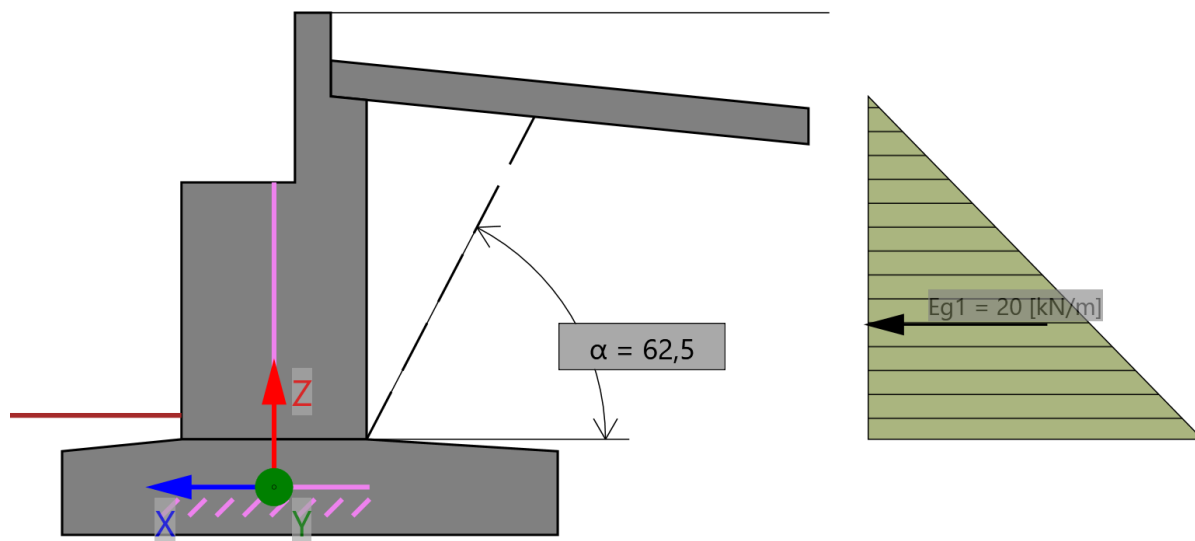
Obciążenie ciężarem własnym



Schemat obciążenia ciężarem własnym
Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]	Opis
NKor	99	-0,07	Ciężar 1mb korpusu

Obciążenie parciem gruntu

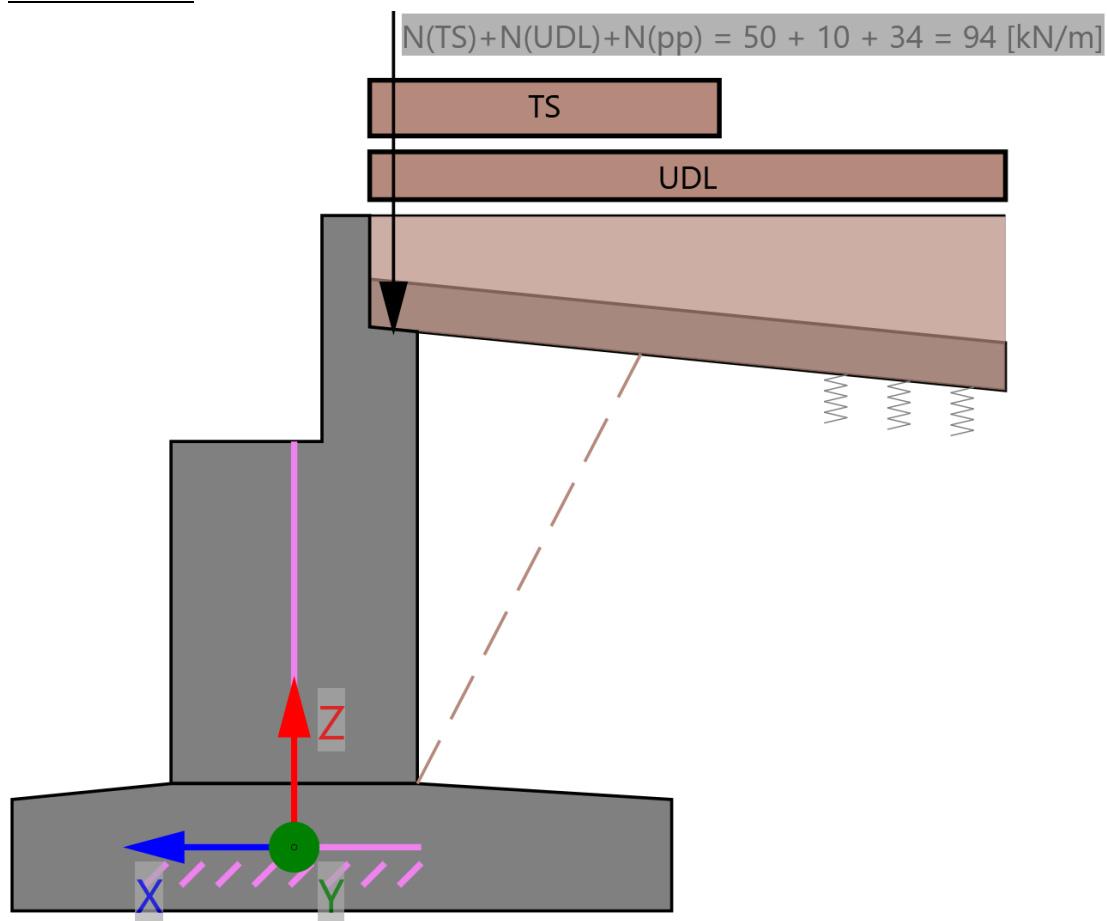


Schemat obciążenia parciem gruntu
Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]
Eg1	20	1,36

Obciążenie naziomu

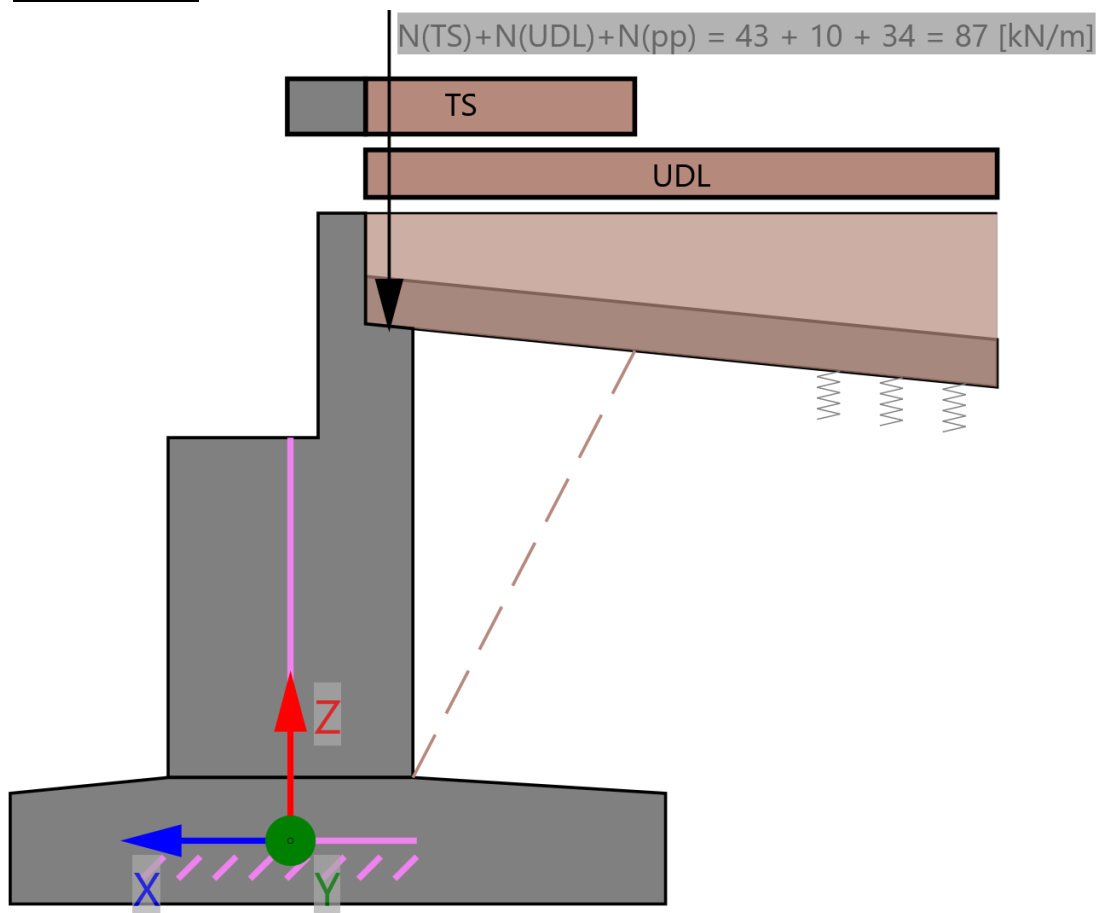
Ustawienie nr 1



Pojazd na naziemie - ustawienie nr 1
Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]
N(TS)	50	-0,62
N(pp)	34	-0,62
N(UDL)	10	-0,62

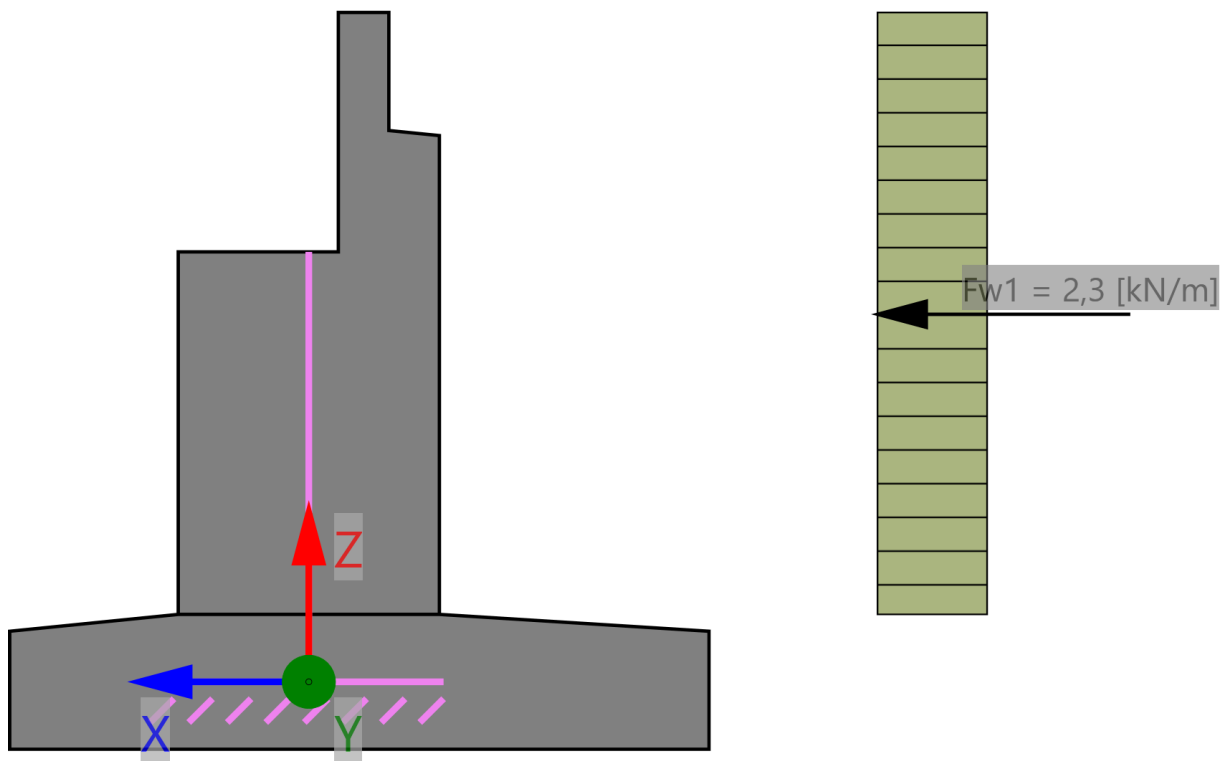
Ustawienie nr 2



Pojazd na naziemie - ustawienie nr 2
Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]
N(TS)	43	-0,62
N(pp)	34	-0,62
N(UDL)	10	-0,62

Obciążenie parciem wiatru



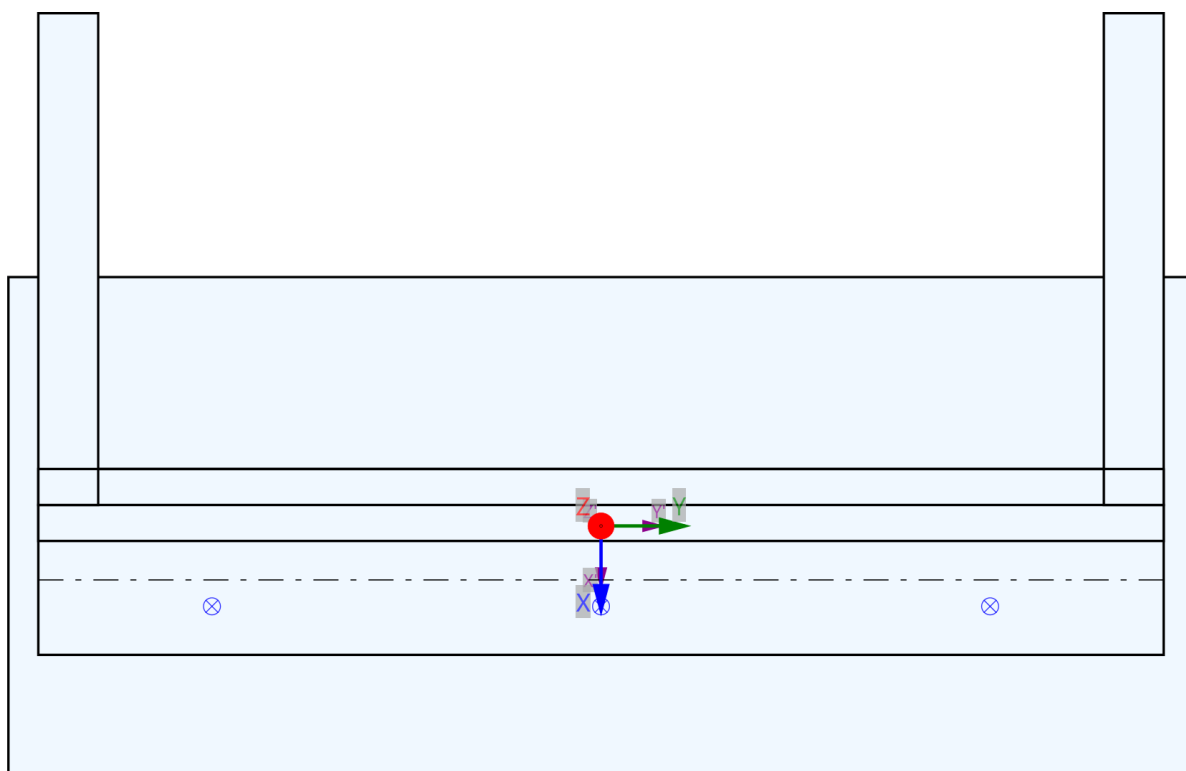
Schemat obciążenia parciem wiatru
Zestawienie sił

Siła	Wartość [kN]	Ramię [m]
Fw1	2,3	2,18

Kombinacje obciążeń

Kombinacje sił sprowadzonych do środka ciężkości podstawy fundamentu

Kombinacje sił zestawiono w dwóch układach: wyjściowym XYZ i głównym X'Y'Z'. Osie X' i Y' są głównymi osiami bezwładności podstawy fundamentu. W tabelach poniżej podano kombinacje sił w wartościach charakterystycznych i obliczeniowych. Są to ekstremalne kombinacje ze wszystkich etapów.



Układy współrzędnych: wyjściowy i główny

Kombinacja obciążeń w układzie XYZ

Kombinacja obciążeń charakterystycznych (posadowienie)

Nazwa kombinacji	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
kombinacja Fxmax (char)	1205	0	-4648	-418	2125	-355
kombinacja Fxmin (char)	-78	0	-3134	0	324	0
kombinacja Fymax (char)	0	0	-1957	0	-217	0
kombinacja Fymin (char)	0	0	-1957	0	-217	0
kombinacja Fzmax (char)	0	0	-1957	0	-217	0
kombinacja Fzmin (char)	529	0	-6308	1295	1620	-79
kombinacja Mxmax (char)	529	0	-6308	1355	1620	-39
kombinacja Mxmin (char)	529	0	-6308	-1662	1620	-79
kombinacja Mymax (char)	999	0	-5849	926	2934	-79
kombinacja Mymin (char)	167	0	-4935	-802	-1290	-224
kombinacja Mzmax (char)	0	0	-1957	0	-217	0
kombinacja Mzmin (char)	735	0	-4648	-418	504	-355

Kombinacja obciążeń obliczeniowych (posadowienie)

Nazwa kombinacji	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
kombinacja Fxmax (obl)	1735	0	-4648	-418	3222	-533
kombinacja Fxmin (obl)	-248	0	-3814	-175	-2098	-79
kombinacja Fymax (obl)	483	23	-2970	-52	-577	-37
kombinacja Fymin (obl)	483	-23	-2970	52	-577	37
kombinacja Fzmax (obl)	0	0	-1663	0	-185	0
kombinacja Fzmin (obl)	529	0	-8528	1730	1988	-79
kombinacja Mxmax (obl)	529	-23	-6991	2106	1974	-2
kombinacja Mxmin (obl)	529	23	-7117	-2496	2019	-116
kombinacja Mymax (obl)	1426	0	-7449	1293	4707	-119
kombinacja Mymin (obl)	-68	0	-5625	-1174	-2675	-224
kombinacja Mzmax (obl)	483	-23	-2970	52	-577	37
kombinacja Mzmin (obl)	861	23	-4648	-469	607	-569

Kombinacja obciążeń w układzie X'Y'Z'

Kombinacja obciążeń charakterystycznych w układzie X'Y'Z' (posadowienie)

Nazwa kombinacji	FX' (kN)	FY' (kN)	FZ' (kN)	MX' (kNm)	MY' (kNm)	MZ' (kNm)
kombinacja Fxmax (char)	1205	0	-4648	-418	2125	-355
kombinacja Fxmin (char)	-78	0	-3134	0	324	0
kombinacja Fymax (char)	0	0	-1957	0	-217	0
kombinacja Fymin (char)	0	0	-1957	0	-217	0
kombinacja Fzmax (char)	0	0	-1957	0	-217	0
kombinacja Fzmin (char)	529	0	-6308	1295	1620	-79
kombinacja Mxmax (char)	529	0	-6308	1355	1620	-39
kombinacja Mxmin (char)	529	0	-6308	-1662	1620	-79
kombinacja Mymax (char)	999	0	-5849	926	2934	-79
kombinacja Mymin (char)	167	0	-4935	-802	-1290	-224
kombinacja Mzmax (char)	0	0	-1957	0	-217	0
kombinacja Mzmin (char)	735	0	-4648	-418	504	-355

Kombinacja obciążeń obliczeniowych w układzie X'Y'Z' (posadowienie)

Nazwa kombinacji	FX' (kN)	FY' (kN)	FZ' (kN)	MX' (kNm)	MY' (kNm)	MZ' (kNm)
kombinacja Fxmax (obl)	1735	0	-4648	-418	3222	-533
kombinacja Fxmin (obl)	-248	0	-3814	-175	-2098	-79
kombinacja Fymax (obl)	483	23	-2970	-52	-577	-37
kombinacja Fymin (obl)	483	-23	-2970	52	-577	37
kombinacja Fzmax (obl)	0	0	-1663	0	-185	0
kombinacja Fzmin (obl)	529	0	-8528	1730	1988	-79
kombinacja Mxmax (obl)	529	-23	-6991	2106	1974	-2
kombinacja Mxmin (obl)	529	23	-7117	-2496	2019	-116
kombinacja Mymax (obl)	1426	0	-7449	1293	4707	-119
kombinacja Mymin (obl)	-68	0	-5625	-1174	-2675	-224
kombinacja Mzmax (obl)	483	-23	-2970	52	-577	37

kombinacja Mzmin (obl)

861

23

-4648

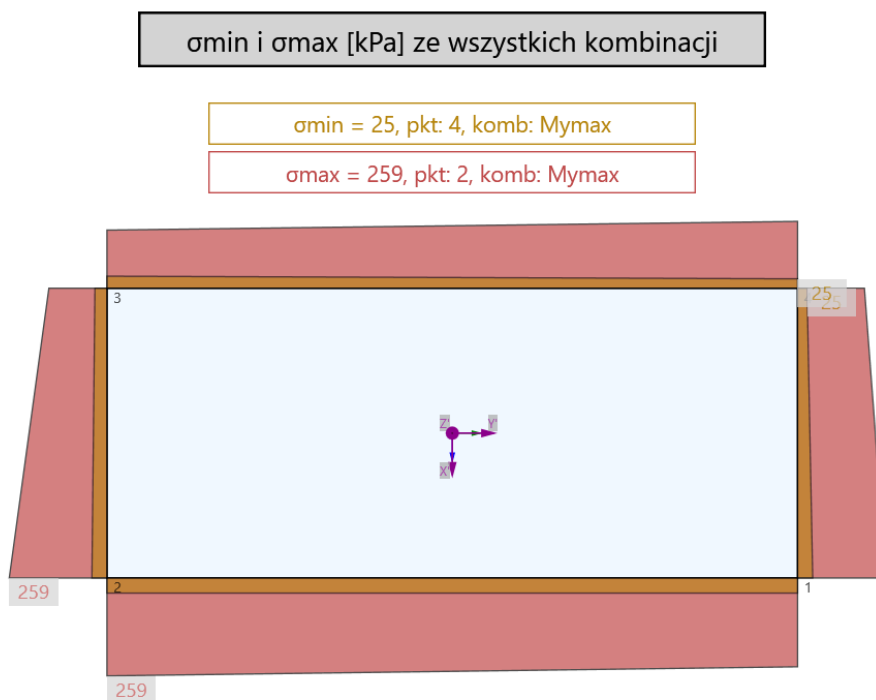
-469

607

-569

Naprężenia w gruncie

Poniżej zamieszczono wykresy i tabele z wartościami naprężeń wyliczonych względem głównych osi bezwładności podstawy fundamentu. Z podziałem na obciążenia charakterystyczne i obliczeniowe.



Wykresy naprężeń w gruncie [kPa] od obciążeń charakterystycznych

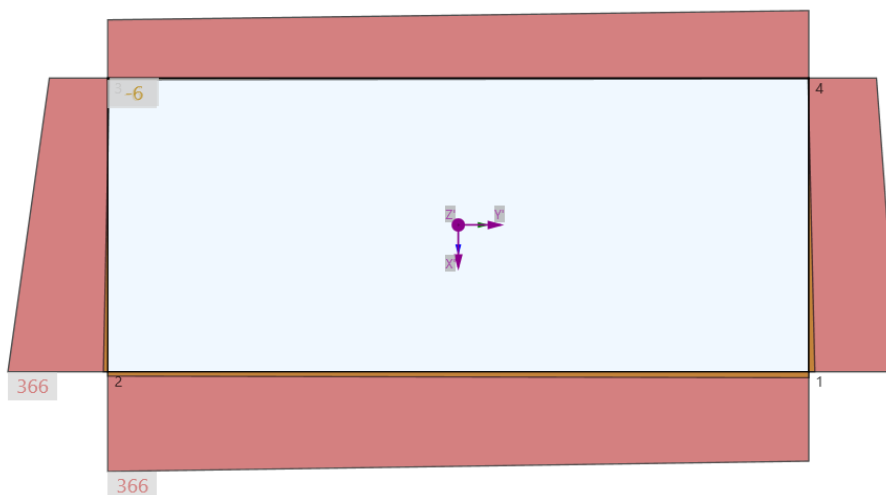
Wartość naprężeń w gruncie od obciążeń charakterystycznych [kPa]

Nazwa kombinacji	σ_{P1}	σ_{P2}	σ_{P3}	σ_{P4}
kombinacja Fxmax (char)	194	182	32	45
kombinacja Fxmin (char)	88	88	65	65
kombinacja Fymax (char)	40	40	55	55
kombinacja Fymin (char)	40	40	55	55
kombinacja Fzmax (char)	40	40	55	55
kombinacja Fzmin (char)	191	230	116	77
kombinacja Mxmax (char)	191	231	117	77
kombinacja Mxmin (char)	235	186	72	121
kombinacja Mymax (char)	232	259	53	25
kombinacja Mymin (char)	87	63	154	177
kombinacja Mzmax (char)	40	40	55	55
kombinacja Mzmin (char)	137	125	89	102

σ_{\min} i σ_{\max} [kPa] ze wszystkich kombinacji

$\sigma_{\min} = -6$, pkt: 3, komb: Fxmax

$\sigma_{\max} = 366$, pkt: 2, komb: Mymax



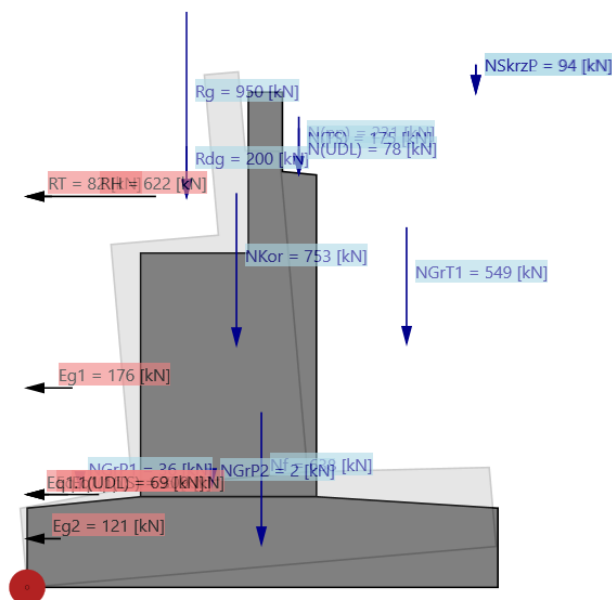
Wykresy naprężeń w gruncie [kPa] od obciążeń obliczeniowych

Wartość naprężeń w gruncie od obciążeń obliczeniowych [kPa]

Nazwa kombinacji	σ_{P1}	σ_{P2}	σ_{P3}	σ_{P4}
kombinacja Fxmax (obl)	233	220	-6	6
kombinacja Fxmin (obl)	22	16	164	169
kombinacja Fymax (obl)	53	51	92	93
kombinacja Fymin (obl)	51	53	93	92
kombinacja Fzmax (obl)	34	34	47	47
kombinacja Fzmin (obl)	252	303	163	112
kombinacja Mxmax (obl)	209	271	132	70
kombinacja Mxmin (obl)	281	207	65	139
kombinacja Mymax (obl)	328	366	35	-3
kombinacja Mymin (obl)	60	25	214	248
kombinacja Mzmax (obl)	51	53	93	92
kombinacja Mzmin (obl)	141	128	85	99

Stateczność podpory

Stateczność na obrót



$$M_o(\text{obl}) / M_u(\text{obl}) = 0,4 < 0,8$$

$$M_o(\text{char}) / M_u(\text{char}) = 0,24$$

Lokalizacja sił do sprawdzenia stateczności podpory na obrót

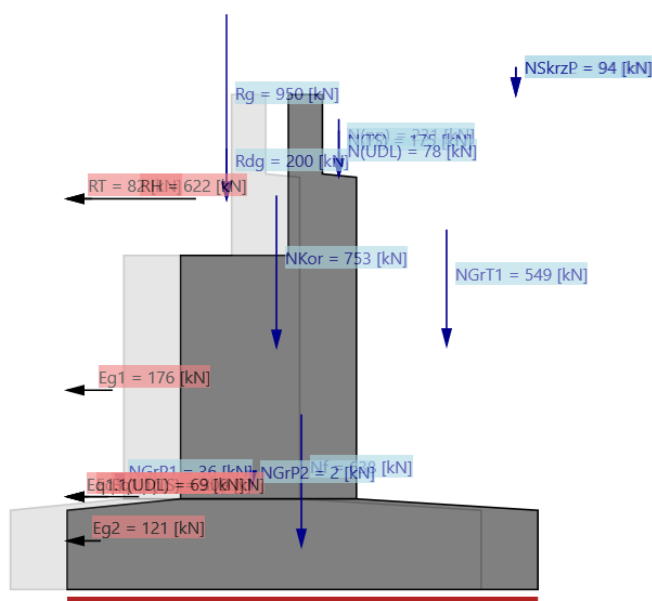
Obliczeniowe wartości sił wraz z ramionami ich działania do sprawdzenia stateczności na obrót

Nazwa obciążenia	Ramię działania obciążenia [m]	Wartość [kN]
NKor	1,845	753
NSkrzL	3,955	94
NSkrzP	3,955	94
Nf	2,065	638
NGrT1	3,345	549
NGrP1	0,465	36
NGrP2	1,625	2
N(pp)	2,395	231
Rg	1,405	950
Rdg	1,405	200
RT	3,45	-82
RH	3,45	-622
Eg1	1,76	-176
Eg2	0,43	-121
Eq1.1(pp)	0,82	-155
Eq1.1(TS)	0,82	-309

N(TS)	2,395	175
Eq1.1(UDL)	0,82	-69
N(UDL)	2,395	78

Stateczność na przesuw

Przy sprawdzaniu stateczności na przesuw przyjęto współczynnik tarcia, pomiędzy fundamentem a gruntem, o wartości równej 0,45



$$F_p(\text{obl}) / F_u(\text{obl}) = 0,9 < 0,9$$

$$F_p(\text{char}) / F_u(\text{char}) = 0,58$$

Lokalizacja sił do sprawdzenia stateczności podpory na przesuw

Obliczeniowe wartości sił do sprawdzenia stateczności na przesuw

Nazwa obciążenia	Wartość [kN]
NKor	753
NSkrzL	94
NSkrzP	94
Nf	638
NGrT1	549
NGrP1	36
NGrP2	2
N(pp)	231

Rg	950
Rdg	200
RT	-82
RH	-622
Eg1	-176
Eg2	-121
Eq1.1(pp)	-155
Eq1.1(TS)	-309
N(TS)	175
Eq1.1(UDL)	-69
N(UDL)	78

Sprawdzenie warunków stateczności

W dwóch tabelach poniżej zamieszczono sprawdzenia warunków stateczności dla obliczanej podpory. Sprawdzenia dokonano na wartościach obliczeniowych.

Wyniki obliczeń stateczności na obrót

Mo [kNm]	Mu [kNm]	Mo/Mu
3231	8087	0,4

Wyniki obliczeń stateczności na przesuw

Fp [kN]	Fu [kN]	Fp/Fu
1535	1711	0,89

1.7. Sprawdzenie SGU

Sprawdzenie SGU dokonano dla następujących parametrów funkcji użytkowych obiektu:

- a) ugięcia: maksymalne ugięcia elementów konstrukcji od obciążeń ruchomych są mniejsze niż $L/800 = 14200/800 = 17,75$.
- b) możliwość pojawienia się rys ukośnych: maksymalne główne naprężenia rozciągające nie przekraczają wytrzymałości betonu na rozciąganie $R_{bt}k_{0,05}$.
- c) strefa dekompresji: naprężenia normalne w strefie dekompresji dla kombinacji podstawowej obciążeń spełniają warunek sprężenia pełnego.
- d) kontrola naprężeń w stali sprężającej w stadium początkowym, bezużytkowym oraz użytkowym. Wartości charakterystycznych naprężeń w stali sprężającej po stratach doraźnych nie przekraczają wartości $0.8 \times f_{pk} = 1280$ MPa oraz $0.75 \times f_{pk} = 1395$ MPa, w stanie użytkowym (po zejściu strat doraźnych i reologicznych) wartości $0.65 \times f_{pk} = 1209$ MPa.
- e) możliwość pęknięć wywołanych zmęczeniem - maksymalny zakres zmienności naprężenia jest mniejszy niż 40% wytrzymałości charakterystycznej cięgna sprężającego przy liczbie cykli większej niż 5×10^5 .
- f) Projektant dopuszcza maksymalne osiadanie podpory na poziomie 10mm.

2. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI UŻYTKOWEJ ISTNIEJĄCEGO MOSTU

2.1. Wstęp

Przedmiotem obliczeń jest wyznaczenie nośności użytkowej istniejącego mostu sklepionego, który na czas prac prowadzonych w obrębie projektowanej trasy głównej będzie pełnił rolę obiektu tymczasowego.

Celem obliczeń jest podanie najważniejszych ekstremalnych wartości sił w istniejącej konstrukcji.

2.2. Założenia

2.2.1. Normy, przepisy normatywy

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe przeprowadzono zgodnie z następującymi normatywami i przepisami:

- Zasadnicze obciążenia taborem samochodowym normatywu z 1956 r.
- Załącznik do zarządzenia nr 17 Generalnego Dyrektora dróg Krajowych i Autostrad z dnia 1 czerwca 2004 roku „Instrukcja do określania nośności użytkowej drogowych obiektów mostowych”.

2.2.2. Obciążenia normowe

Sprawdzenie nośności użytkowej istniejącego mostu sklepionego przeprowadzono w oparciu o analizę porównawczą sił wewnętrznych otrzymanych na podstawie obciążeń:

- obciążenia klasy I wg. Normatywu z 1965 r.
- obciążenia kategorii 1/S42 wg. Załącznika do zarządzenia nr 17 GDDKiA.

W obliczeniach dźwigarów porównano wartości sił wewnętrznych powstających wyłączeni od obciążeń ruchomych.

2.2.3. Modele i schematy obliczeniowe

W obliczeniach statycznych obiektu wykorzystano model belkowy jako układ klasy (e1,p2).



Rys. 1 Model obliczeniowy obiektu

2.2.4. Wykorzystane programy komputerowe

Do obliczeń statyczno – wytrzymałościowych wykorzystano następujące programy komputerowe:

- Autodesk Robot Structural Analysis 2013- do obliczeń statycznych podpór

2.2.5. Inne założenia

- Projektant zwraca uwagę, że wszelkiego rodzaju ubytki i uszkodzenia istniejącego mostu należy bezwzględnie naprawić/usunąć przed obciążeniem obiektu projektowanym ruchem samochodowym, zapewniając pełną nośność jego elementów,
- Założono ruch wahadłowy na obiekcie,
- Z uwagi na brak archiwalnej dokumentacji dla przedmiotowego obiektu założono, że obiekt przenosił obciążenia ruchome klasy I normatywu z 1956 r, który prawdopodobnie obowiązywał w czasie jego powstawania,
- Most obciążono obciążeniem ruchomy zgodnie z p. 2.2.2.,
- W poszczególnych przekrojach odczytano obwiednią sił wewnętrznych generowanych przez przyłożone obciążenia ruchome.

2.3. Podstawowe wyniki obliczeń i ich interpretacja

W poniższej tabeli przedstawiono podstawowe wyniki sił wewnętrznych powstałych w konstrukcji w zależności od przyłożonego obciążenia ruchomego.

Obciążenie ruchome	My [kNm]	Fz [kN]	Fx[kN]
Wg normatywu 1956 r	112	80	285
1/S42	73	80	205

Na podstawie powyższych wyników stwierdzono, że obciążenia ruchome wg normatywu z 1956 r. generują większe wartości sił wewnętrznych powstałych od obciążenia pojazdem kategorii 1/S42.

W związku z powyższym stwierdzono, że przy zachowaniu wskazanych powyżej założeń nośność użytkowa przedmiotowego obiektu jest wystarczająca dla przeniesienia ruchu samochodowego, wahadłowego klasy 1/S42.