

EKSPERTYZA TECHNICZA

**DOTYCZĄCA OSIADANIA JEZDNI W REJONIE PRZEPUSTU P-1
W KM 48+833,58 NA DW 483,
W MIEJSCOWOŚCI BOGUMIŁOWICE**

ZAŁĄCZNIK NR 7 ANALIZA NUMERYCZNA ODDZIAŁYWAŃ KONSTRUKCJI NA PODŁOŻE GRUNTOWE

ZAWARTOŚĆ:

1.	ZAŁOŻENIA ANALIZY	2
2.	PODŁOŻE GRUNTOWE	3
3.	KONSTRUKCJA OBIEKTU.....	6
4.	OBCIĄŻENIA.....	7
5.	FAZY BUDOWY.....	7
6.	WYNIKI ANALIZ NUMERYCZNYCH	8
6.1.	OSIADANIA	8
6.2.	KONSOLIDACJA	11

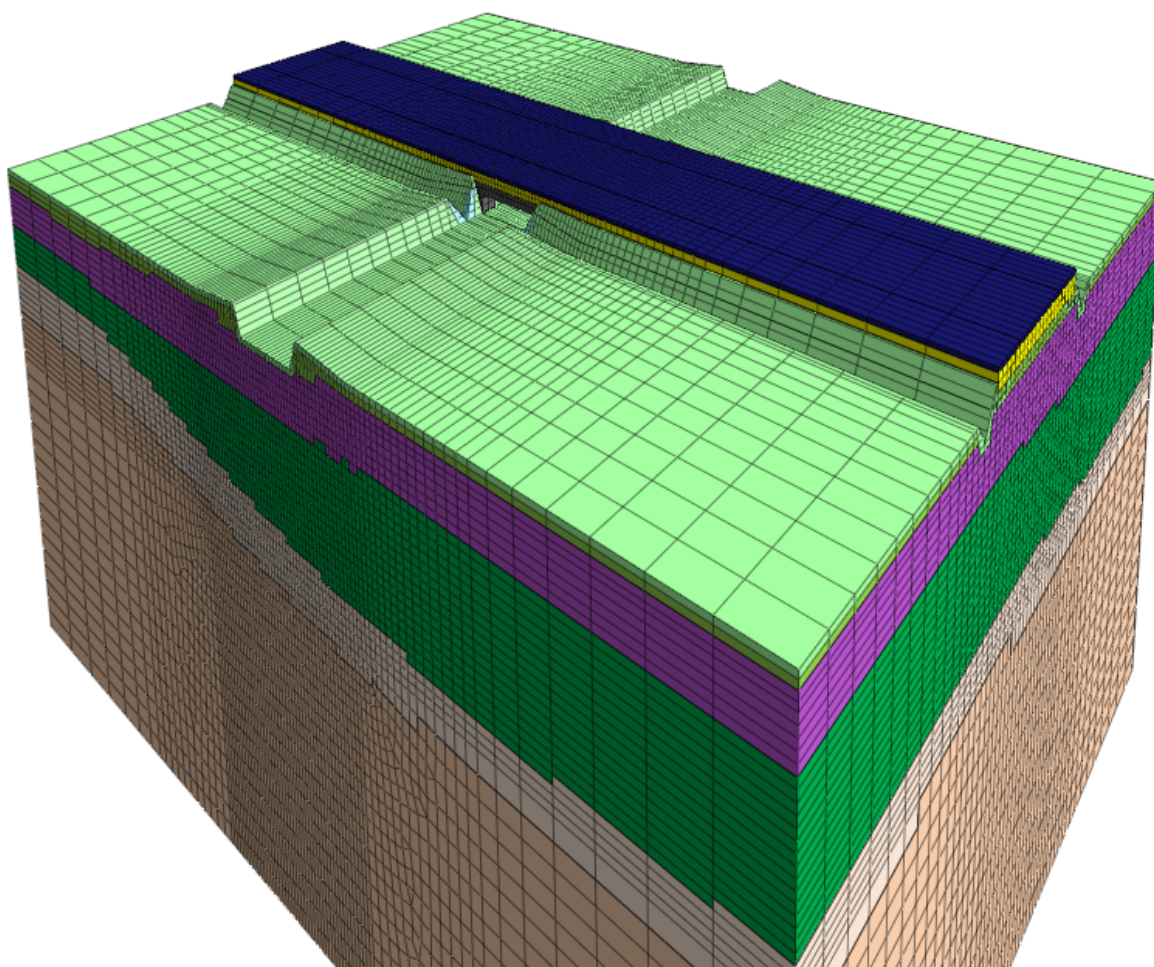
1. ZAŁOŻENIA ANALIZY

Przeprowadzono przestrzenną analizę naprężeń i przemieszczeń konstrukcji i podłoża gruntowego. Obliczenia numeryczne wykonano przy zastosowaniu metody elementów skończonych (MES-3D), w programie GTS NX 2019 (v2.1), dedykowanym do analizowania i rozwiązywania zagadnień geotechnicznych.

Przeprowadzono 2 typy obliczeń:

- 1) analizę naprężeń, w której otrzymany wynik odnosi się ściśle do danej fazy obliczeń; która umożliwia rozdzielenie osiadań spowodowanych obciążeniem zewnętrznym i osiadań wywołanych obniżeniem zwierciadła wody gruntowej;
- 2) analizę konsolidacji, która odwzorowuje rzeczywisty postęp osiadań w czasie i umożliwia odczyt stopnia konsolidacji w dowolnym czasie.

Model obliczeniowy obejmuje 80-metrowy odcinek nasypu i ma głębokość 30 m.

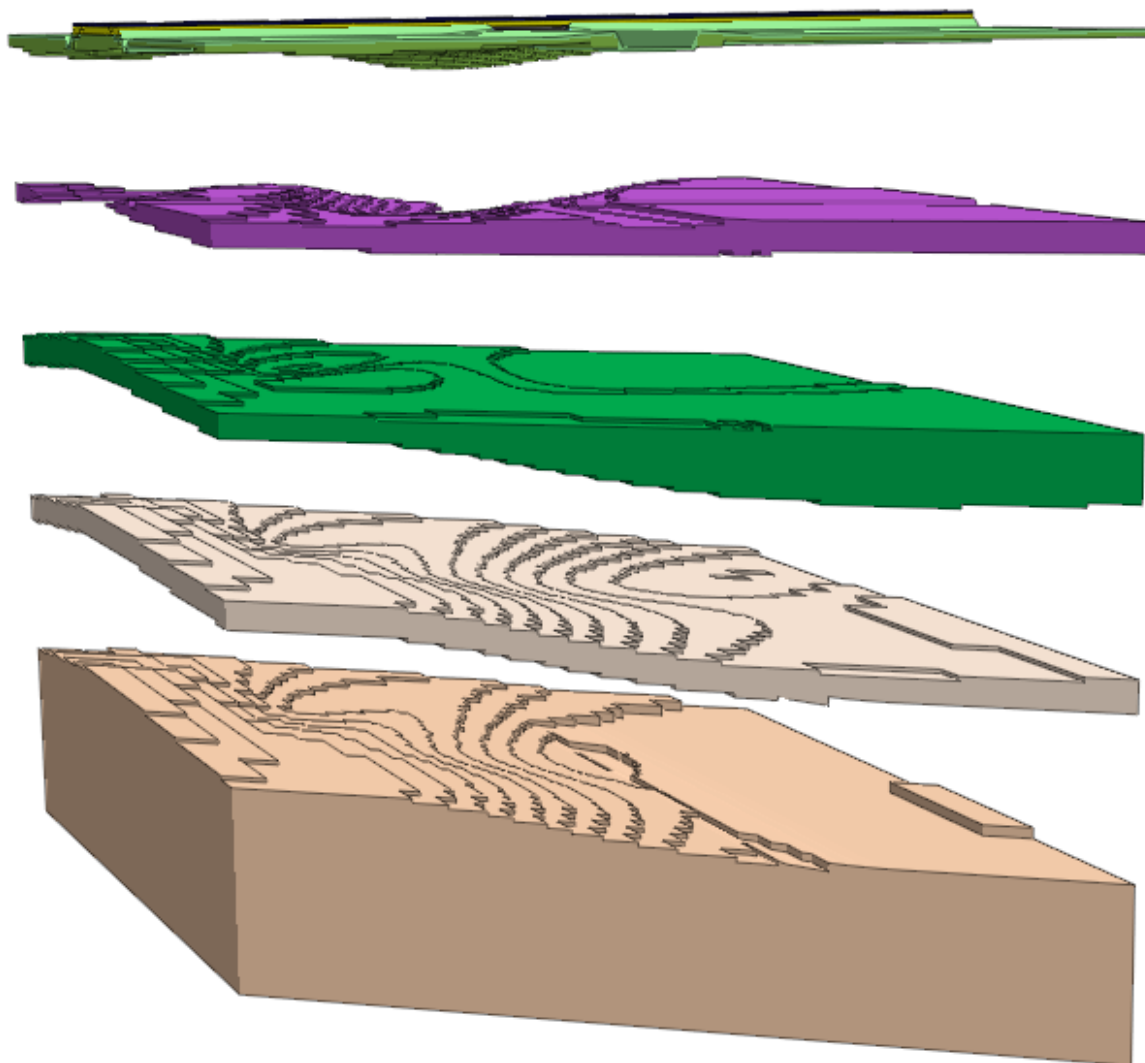


Rys. 1.1 Model geometryczny podłoża gruntowego z analizowanym obiektem

2. PODŁOŻE GRUNTOWE

Wykorzystując dane z badań podłoża gruntowego, w sposób możliwie dokładny zamodelowano topografię głównych pakietów gruntu.

Przyjęto pierwotny poziom wody gruntowej na rzędnej 193,1 m npm.



Rys. 2.1 Model geometryczny podłoża gruntowego

Dla gruntów antropogenicznych i przypowierzchniowych, w celu zamodelowania materiału, przyjęto standardowy model konstytutywny Mohra-Coulomba, wprowadzając uśrednione wartości następujących parametrów:

- moduł sprężystości E ,
- współczynnik Poissona ν ,
- ciężar objętościowy γ ,
- ciężar objętościowy gruntu nawodnionego + ciężar wody γ'' ,
- współczynnik parcia spoczynkowego K_0 ,
- wskaźnik porowatości e_0 ,
- współczynnik filtracji k ,
- spójność c ,
- kąt tarcia wewnętrznego ϕ .

Zbrojenie nasypu budowlanego zamodelowano za pomocą dodatkowej spójności.

Tab. 2.1 Parametry geotechniczne gruntów przypowierzchniowych

Warstwa	E	ν	γ / γ''	K_0	e_0	k	c	ϕ
	[MPa]	[-]	[kN/m ³]	[-]	[-]	[m/dzień]	[kPa]	[°]
nB	33.4	0.30	17.5 / 19.5	0.47	0.74	2.0	6.0	32.0
Pd	29.7	0.30	17.5 / 19.5	0.48	0.74	2.0	1.0	31.0

Dla głębszych warstw gruntów rodzimych, w celu zamodelowania materiału, przyjęto model konstytutywny Hardening Soil; model ten opisuje nieliniowe zachowanie gruntu w zakresie sprężysto – plastycznym, z uwzględnieniem wzmocnienia zależnego od ścieżki naprężeń.

Przeprowadzone badania in-situ wykazały, że średni moduł ścisłości M_0 skonsolidowanego torfu wynosi około 2,2 MPa. Korzystając z zależności zmiany ścisłości względem naprężeń oszacowano pierwotny (nieskonsolidowany nasypem) moduł ścisłości torfu równy 1,0 MPa.

$$M_{0,c} = M_{0,nc} \cdot \left(\frac{\sigma'_{yz} + 0,5 \cdot \sigma_{dz}}{p_{ref}} \right)$$

$$2,2 = M_{0,nc} \cdot \left(\frac{27 + 0,5 \cdot 65}{27} \right) \Rightarrow M_{0,nc} = 1,0 \text{ MPa}$$

gdzie:

$M_{0,c}$ – moduł ścisłości skonsolidowanego torfu,

$M_{0,nc}$ – moduł ścisłości nieskonsolidowanego torfu,

σ'_{yz} – średnie naprężenia pionowe efektywne nieskonsolidowanego torfu

σ_{dz} – dodatkowe naprężenia pionowe (ciężar 2-metrowego nasypu + obc. użytkowe)

p_{ref} – naprężenia referencyjne

Wprowadzono następujące wartości parametrów:

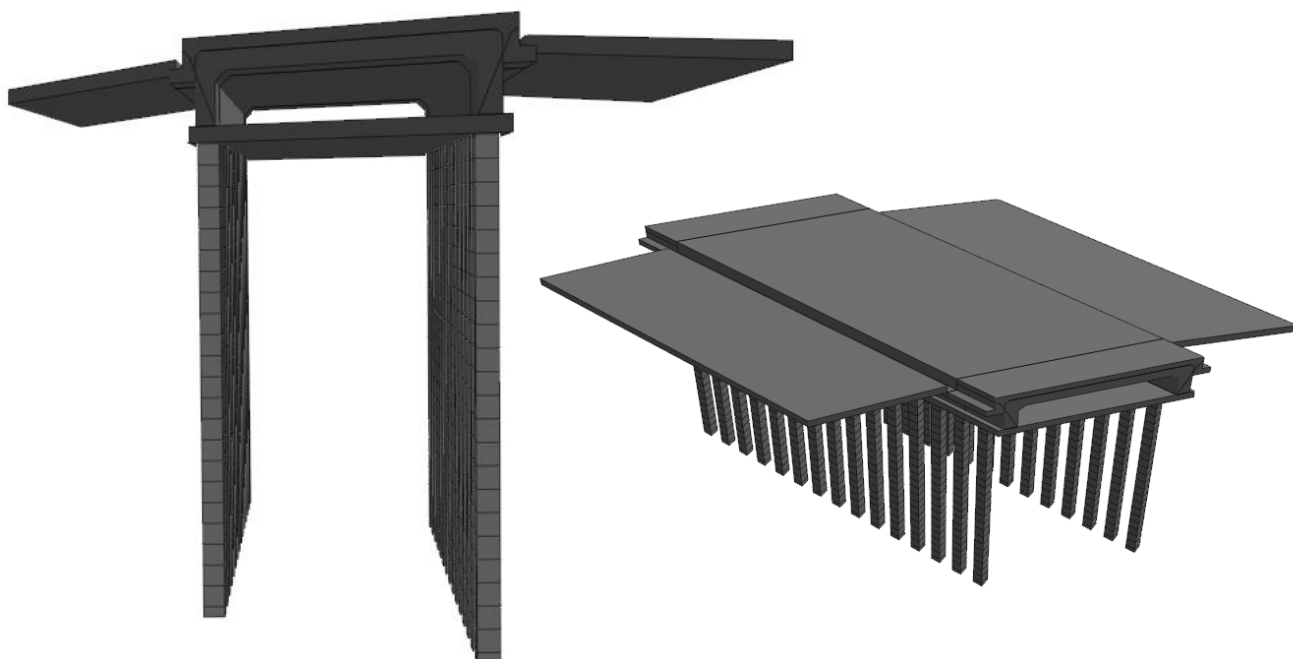
- moduł sprężystości E_{50} ,
- moduł edometryczny pierwotny M_0 ,
- moduł sprężystości odciążenie-obciążenie E_{ur} ,
- ciśnienie otaczające p_{ref} ,
- współczynnik Poissona ν ,
- ciężar objętościowy γ ,
- ciężar objętościowy gruntu nawodnionego + ciężar wody γ'' ,
- współczynnik parcia spoczynkowego K_0 ,
- wskaźnik porowatości e_0 ,
- współczynnik filtracji k ,
- wykładnik potęgowej prawa sztywności m ,
- spójność c ,
- kąt tarcia wewnętrznego ϕ ,
- stopień prekonsolidacji OCR .

Tab. 2.2 Parametry geotechniczne gruntów rodzimych

Warstwa	E_{50}^{ref}	M_0^{ref}	E_{ur}^{ref}	p_{ref}	ν	γ / γ''	K_0	e_0	k	m	c	ϕ	OCR
	[MPa]	[MPa/m]	[MPa]	[kPa]	[-]	[kN/m ³]	[-]	[-]	[m/dobę]	[-]	[kPa]	[°]	[-]
Pd	29.7	40.0	89.1	17	0.30	17.5 / 19.5	0.48	0.74	2.0	0.60	1.0	31.0	1.4
T	0.6	1.0	1.9	25	0.35	14 / 12.3	0.46	3.29	1.0E-06	1.00	6.0	27.0	1.4
Pd	29.7	40.0	89.1	39	0.30	17.5 / 19.5	0.48	0.74	2.0	0.65	1.0	31.0	1.4
Pg	16.8	24.0	50.3	98	0.32	21 / 21.4	0.78	0.45	0.01	0.85	12.0	12.5	2.0
Gp	24.5	35.0	73.4	120.0	0.32	21 / 21.2	0.76	0.49	0.001	0.80	15.0	14.0	2.0

3. KONSTRUKCJA OBIEKTU

Analiza obejmuje przepust drogowy posadowiony pośrednio na palach fundamentowych wraz z płytą denną i płytami przejściowymi.



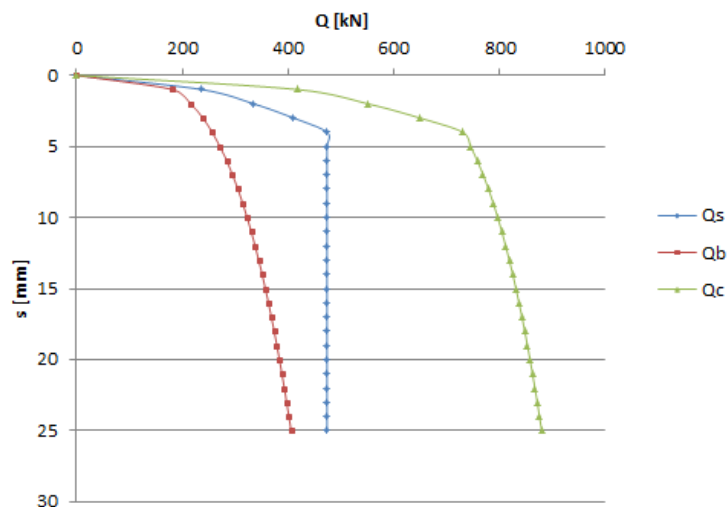
Rys. 3.1 Konstrukcja przepustu

Konstrukcję zamodelowano jako elementy kontinuum, nadając im parametry materiałowe (E , ν , γ). Pale fundamentowe zamodelowano jako elementy prętowe, nadając im parametry materiałowe (E , ν , γ) oraz charakterystyki przekrojowe.

Tab. 0.1 Parametry materiałów konstrukcyjnych

Materiał	E	ν	γ
	[GPa]	[-]	[kN/m ³]
Beton C30/37	32	0,17	25,0
Asfalt	0,2	0,3	10,0

Na pobocznicę i pod podstawami pali wprowadzono elementy kontaktowe o parametrach sztywności podłużnej i poprzecznej. Elementy te umożliwiają odwzorowanie charakterystyki obciążenie-osiadanie pala (krzywa Q-s).



Rys. 3.1 Krzywa Q-s pala

4. OBCIĄŻENIA

Obliczenia wykonano dla wartości charakterystycznych kombinacji maksymalnych obciążeń: stałych i zmiennych. Przyjęto obciążenie użytkowe jezdni równe 25,0 kPa i chodników – 2,5 kPa.

5. FAZY BUDOWY

W analizie uwzględniono fazy budowy:

1. Stan pierwotny:

- generacja naprężeń pierwotnych, powstałych od ciężaru własnego podłoża gruntowego,
- inicjalizacja przemieszczeń - wyzerowanie osiadań od ciężaru własnego.

2. Stan przed modernizacją:

- generacja naprężeń od „starego”, wąskiego przepustu.

3. Faza budowy: rozbiórka:

- Demontaż starej konstrukcji,
- wykonanie wykopu w obrębie płyt przejściowych.

4. Faza budowy: pale + płyta denna

5. Faza budowy: konstrukcja naziemna obiektu i nasypu

6. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne

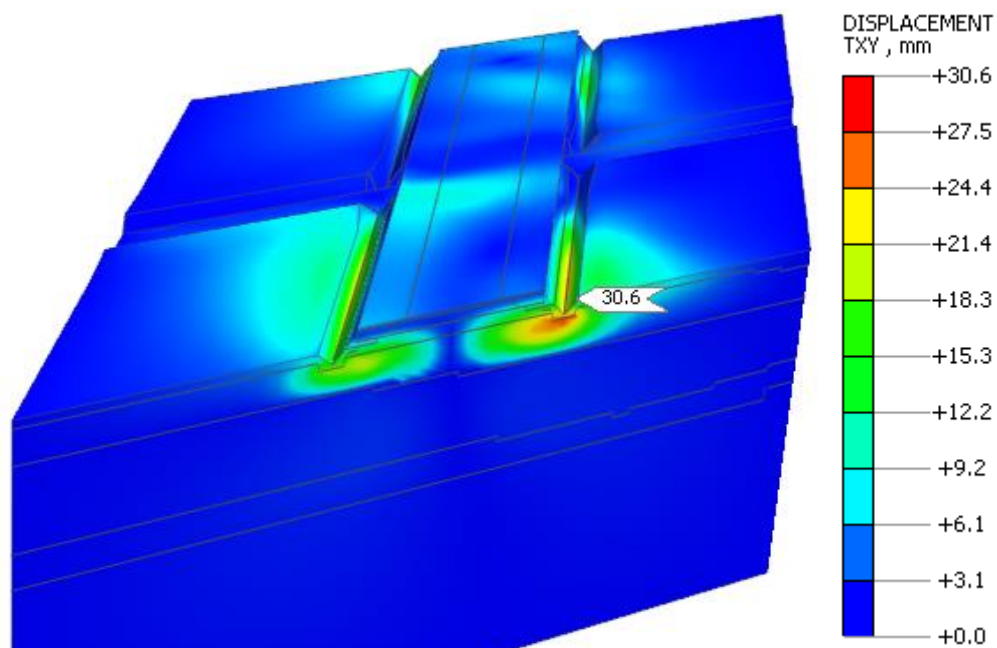
7. Faza eksploatacji: obniżenie poziomu wody do rzędnej 189,0 m npm

6. WYNIKI ANALIZ NUMERYCZNYCH

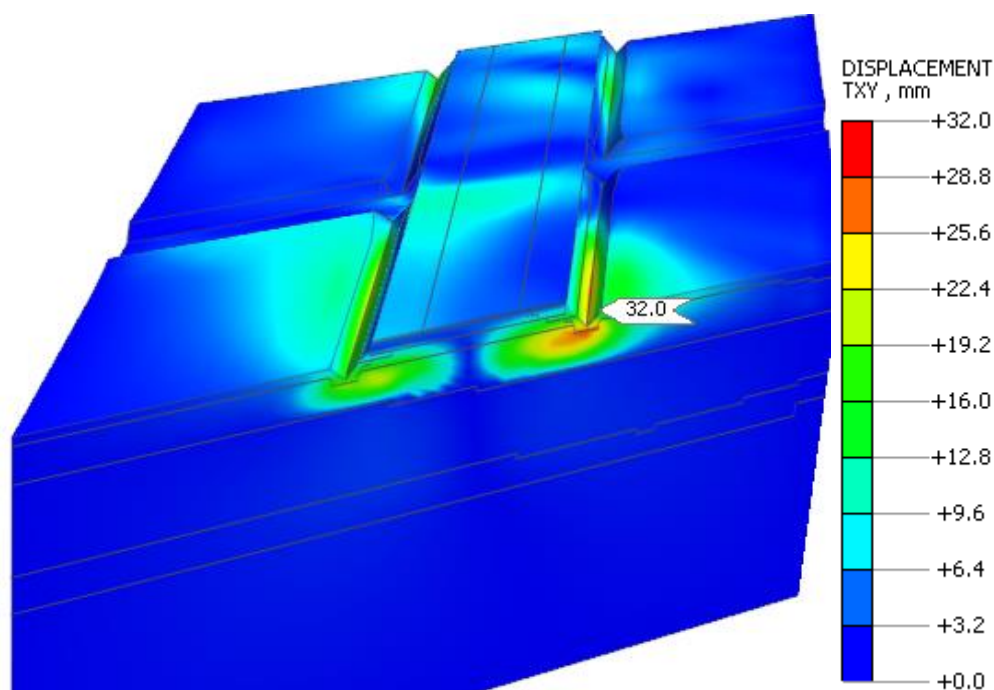
6.1. OSIADANIA

Na podstawie przeprowadzonych analiz obliczono przemieszczenia konstrukcji, nasypu i podłoża gruntowego. Oszacowano, że maksymalne przemieszczenie poziome (u podstawy nasypu) wynosi:

- 31 mm od obciążenia ciężarem własnym i ruchem,
- 32 mm od obciążenia ciężarem własnym i ruchem oraz od obniżenia wody.



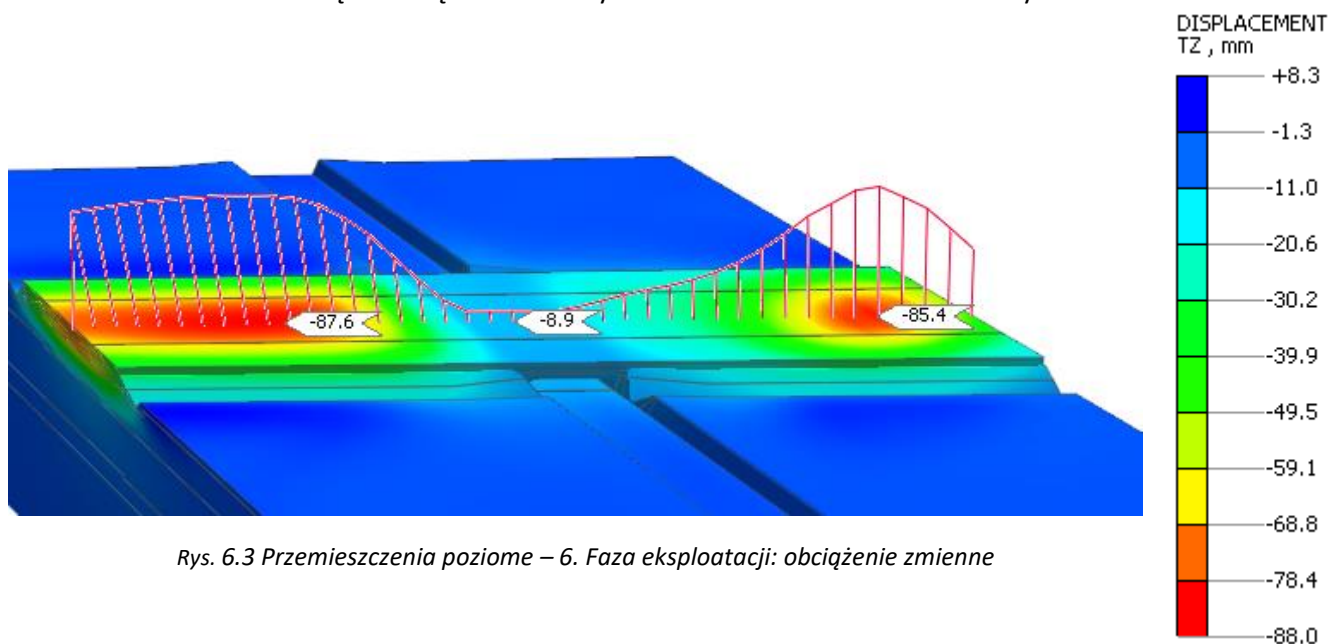
Rys. 6.1 Przemieszczenia poziome – 6. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne



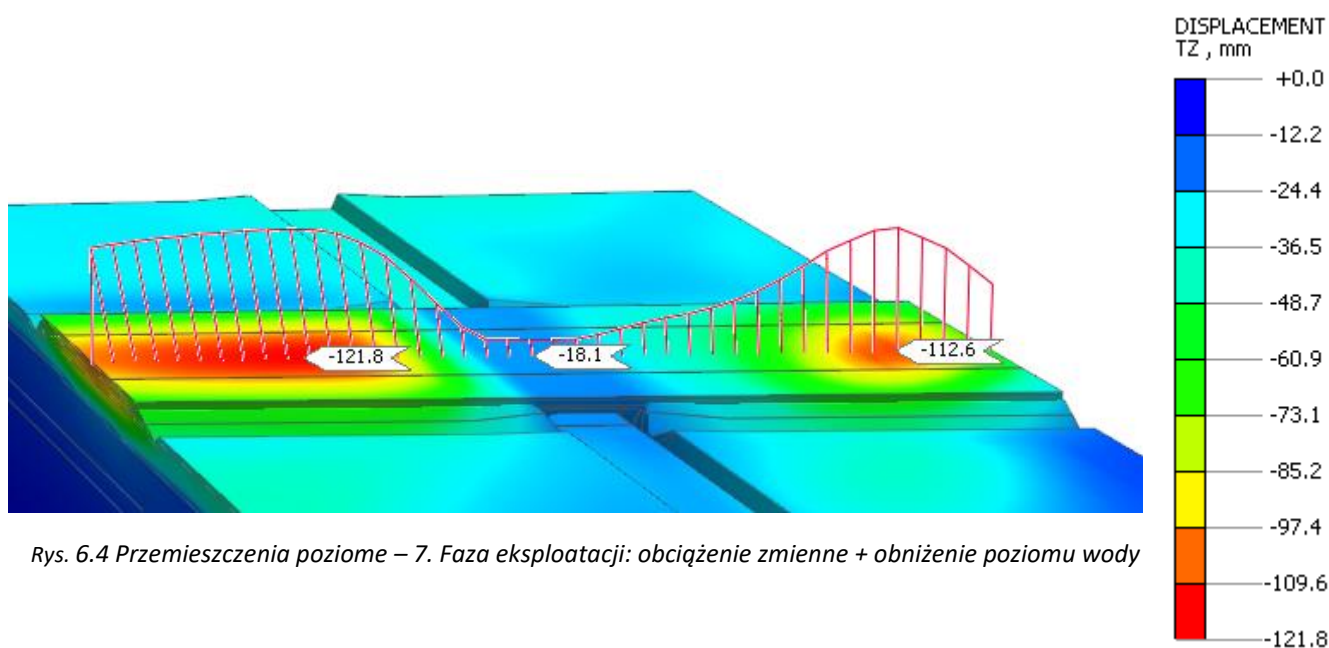
Rys. 6.2 Przemieszczenia poziome – 7. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne + obniżenie poziomu wody

Oszacowano, że maksymalne przemieszczenie pionowe (w koronie nasypu) wynosi:

- 88 mm od obciążenia ciężarem własnym i ruchem,
- 122 mm od obciążenia ciężarem własnym i ruchem oraz od obniżenia wody.



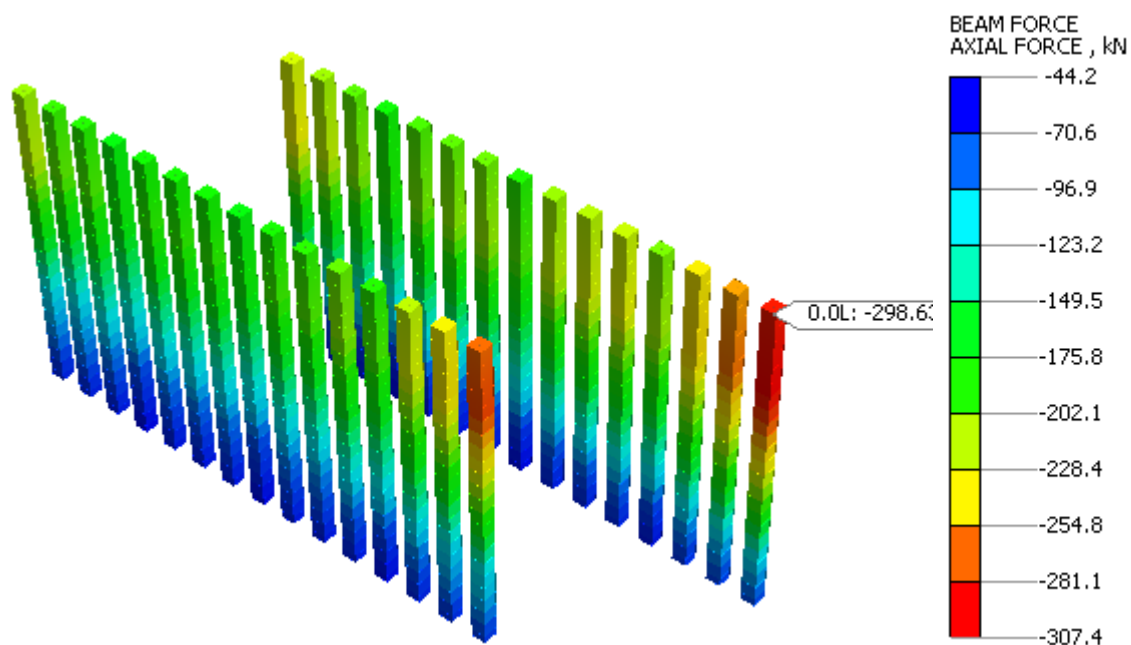
Rys. 6.3 Przemieszczenia poziome – 6. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne



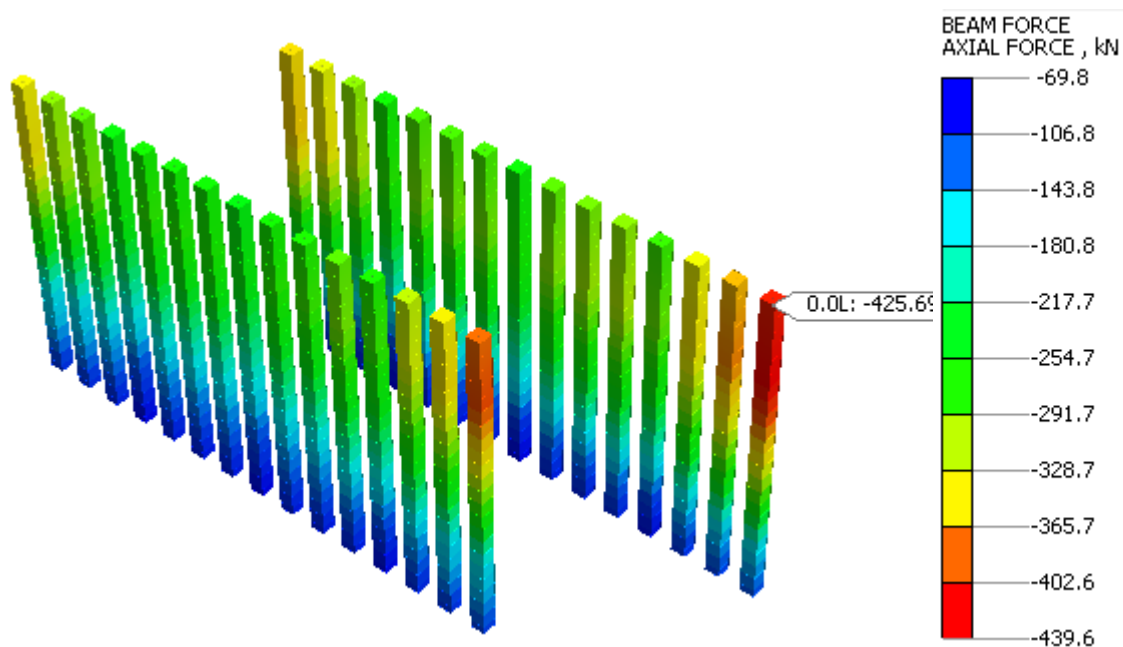
Rys. 6.4 Przemieszczenia poziome – 7. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne + obniżenie poziomu wody

Oszacowano maksymalne siły pionowe w palach:

- 307 kN od obciążenia ciężarem własnym i ruchem,
- 440 kN od obciążenia ciężarem własnym i ruchem oraz od obniżenia wody.



Rys. 6.5 Siły w palach – 6. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne



Rys. 6.6 Siły w palach – 7. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne + obniżenie poziomu wody

6.2. KONSOLIDACJA

Na podstawie przeprowadzonych analiz obliczono konsolidację podłoża gruntowego. Założono najbardziej niekorzystny wariant, tj. przyrost obciążeń zewnętrznych i spadek wody gruntowej realizuje się w bardzo długim okresie: od momentu zakończenia budowy do chwili obecnej.

