

## **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.	PRZEMIESZCZENIA POZIOME .....	<b>BŁĄD! NIE ZDEFINIOWANO ZAKŁADKI.</b>
6.2.	PRZEMIESZCZENIA PIONOWE .....	<b>BŁĄD! NIE ZDEFINIOWANO ZAKŁADKI.</b>
6.3.	SIŁY W PALACH .....	<b>BŁĄD! NIE ZDEFINIOWANO ZAKŁADKI.</b>

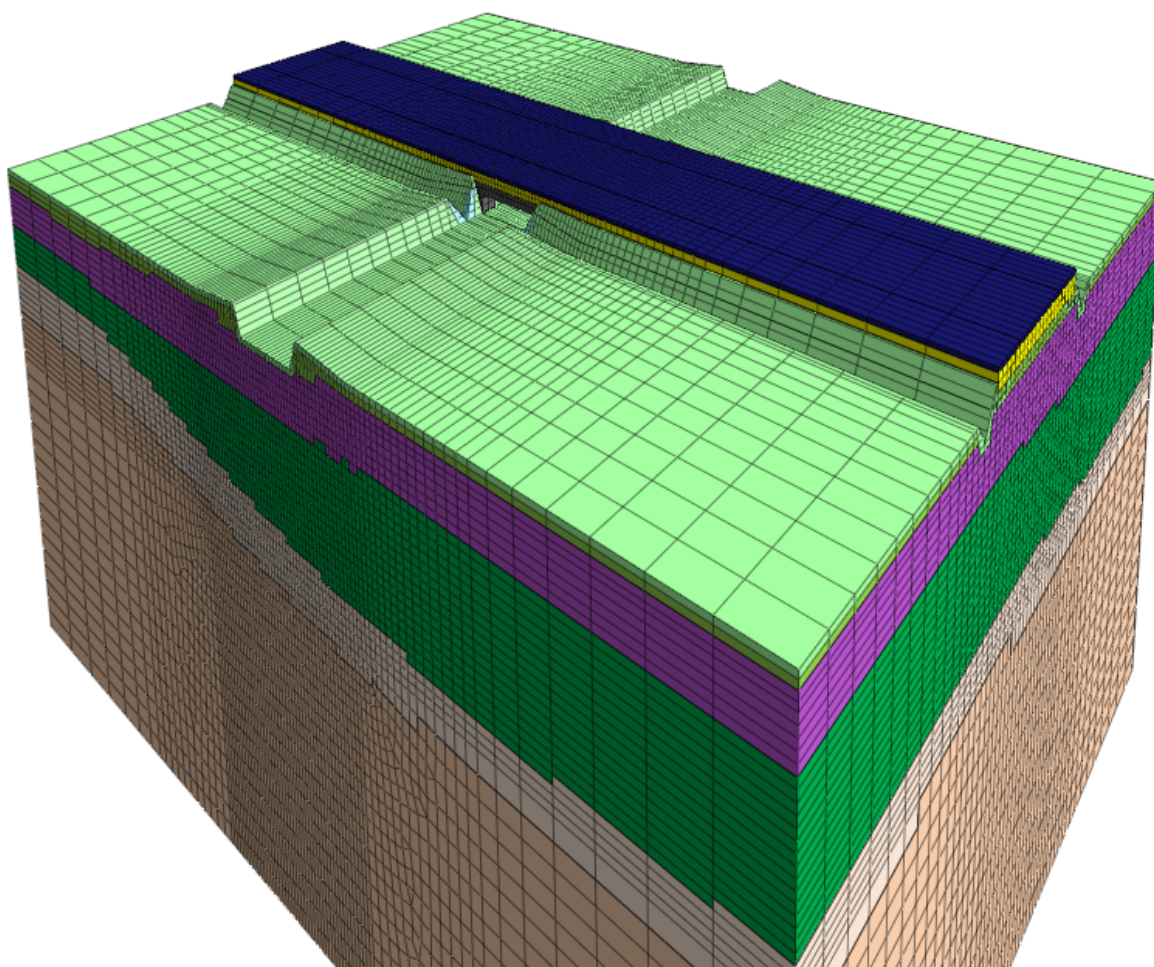
## 1. ZAŁOŻENIA ANALIZY

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.

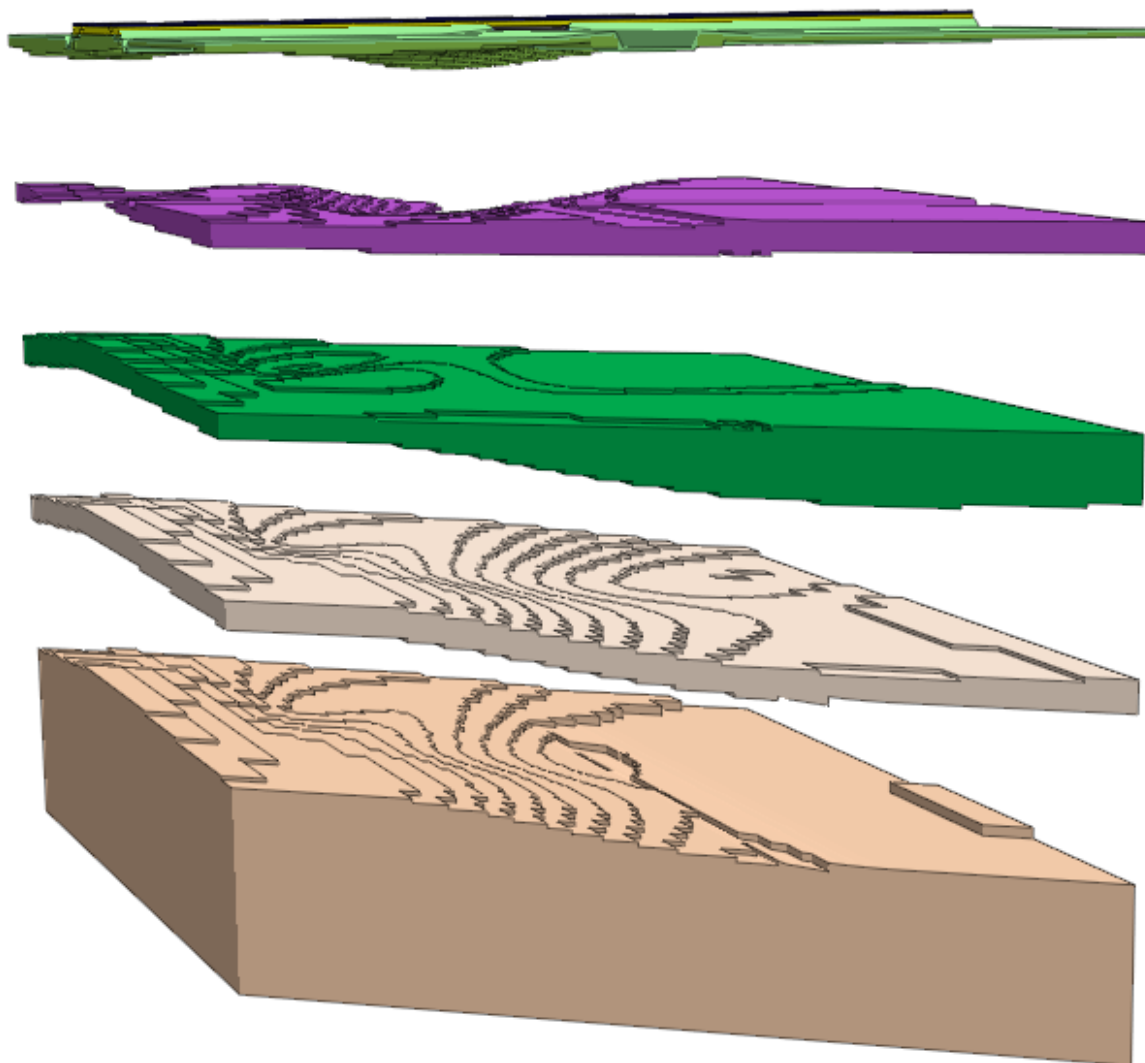


Rys. 1.1 Model geometryczny podłoża gruntowego z analizowanym obiektem

## 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  $\nu$ ,
- ciężar objętościowy  $\gamma$ ,
- ciężar objętościowy gruntu nawodnionego + ciężar wody  $\gamma''$ ,
- współczynnik parcia spoczynkowego  $K_0$ ,
- wskaźnik porowatości  $e_0$ ,
- współczynnik filtracji  $k$ ,
- spójność  $c$ ,
- kąt tarcia wewnętrznego  $\phi$ .

Zbrojenie nasypu budowlanego zamodelowano za pomocą dodatkowej spójności.

Tab. 2.1 Parametry geotechniczne gruntów przypowierzchniowych

Warstwa	$E$	$\nu$	$\gamma / \gamma''$	$K_0$	$e_0$	$k$	$c$	$\phi$
	[MPa]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[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,

$\sigma'_{yz}$  – średnie naprężenia pionowe efektywne nieskonsolidowanego torfu

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

$p_{ref}$  – naprężenia referencyjne

Wprowadzono następujące wartości parametrów:

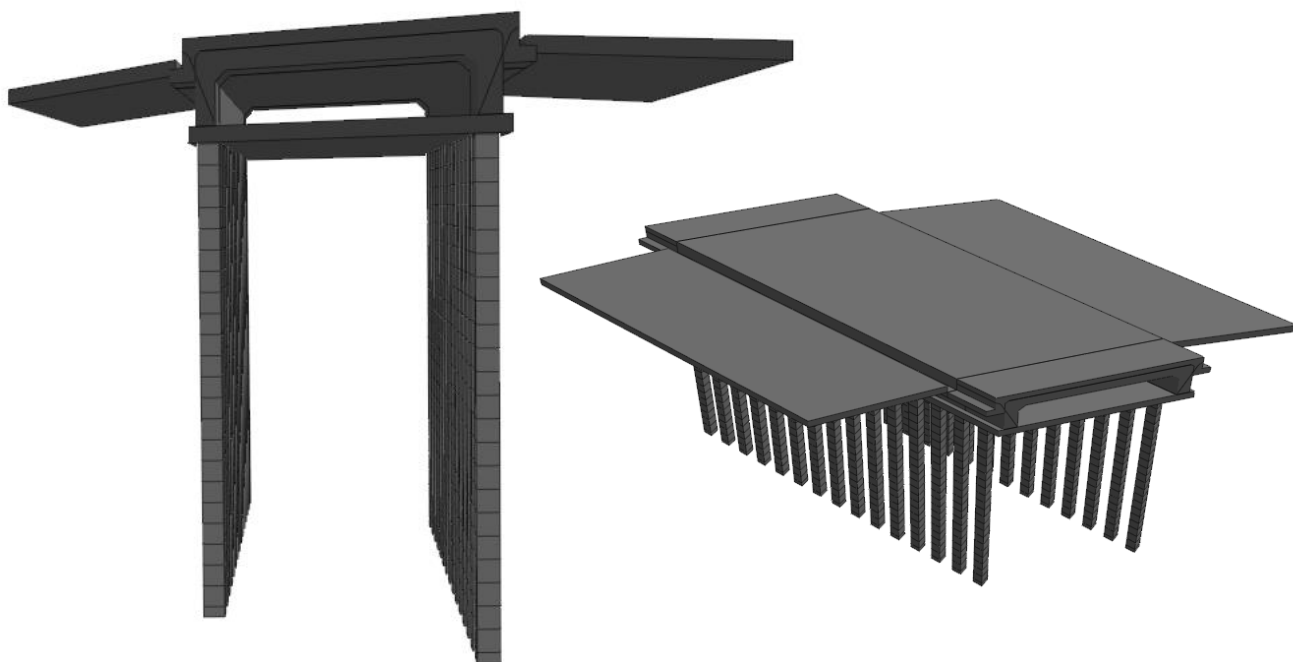
- moduł sprężystości  $E_{50}$ ,
- moduł edometryczny pierwotny  $M_0$ ,
- moduł sprężystości odciążenie-obciążenie  $E_{ur}$ ,
- ciśnienie otaczające  $p_{ref}$ ,
- współczynnik Poissona  $\nu$ ,
- ciężar objętościowy  $\gamma$ ,
- ciężar objętościowy gruntu nawodnionego + ciężar wody  $\gamma''$ ,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

Tab. 2.2 Parametry geotechniczne gruntów rodzimych

Warstwa	$E_{50}^{ref}$	$M_0^{ref}$	$E_{ur}^{ref}$	$p_{ref}$	$\nu$	$\gamma / \gamma''$	$K_0$	$e_0$	$k$	$m$	$c$	$\phi$	$OCR$
	[MPa]	[MPa/m]	[MPa]	[kPa]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[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.



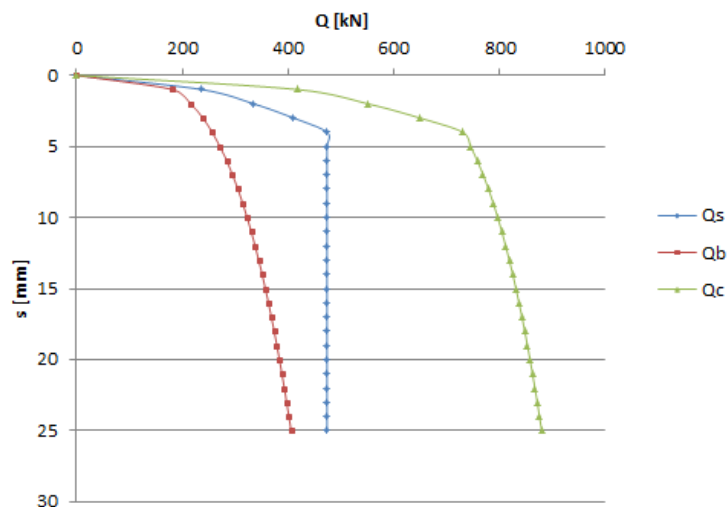
Rys. 3.1 Konstrukcja przepustu

Konstrukcję zamodelowano jako elementy kontinuum, nadając im parametry materiałowe ( $E$ ,  $\nu$ ,  $\gamma$ ). Pale fundamentowe zamodelowano jako elementy prętowe, nadając im parametry materiałowe ( $E$ ,  $\nu$ ,  $\gamma$ ) oraz charakterystyki przekrojowe.

Tab. 0.1 Parametry materiałów konstrukcyjnych

Materiał	$E$	$\nu$	$\gamma$
	[GPa]	[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]
Beton C30/37	32	0,17	25,0
Asfalt	0,2	0,3	10,0

Na pobocznicach 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**

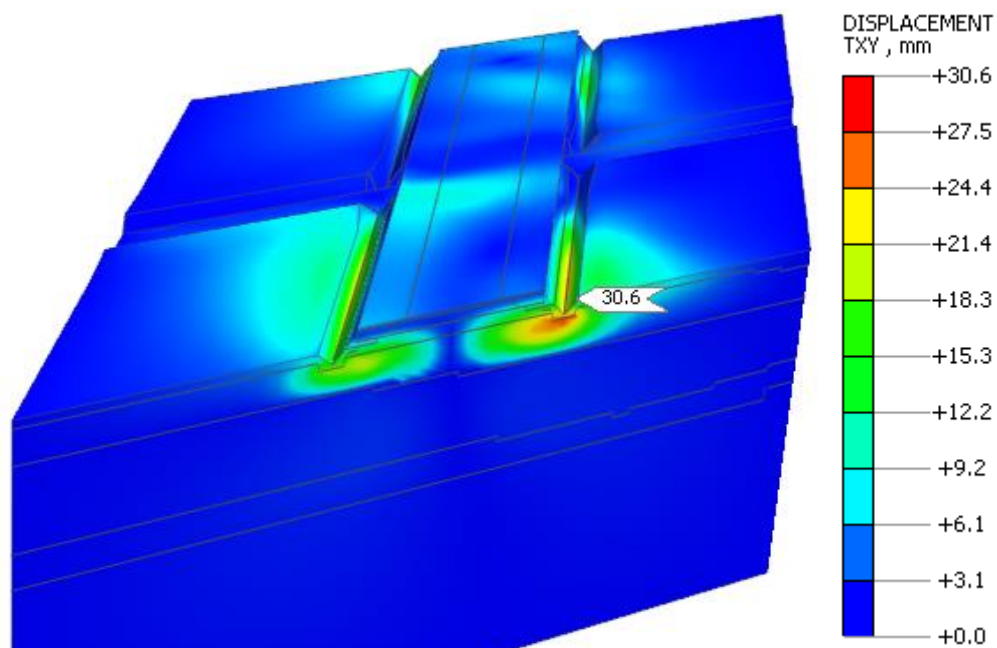


## 6. WYNIKI ANALIZ NUMERYCZNYCH

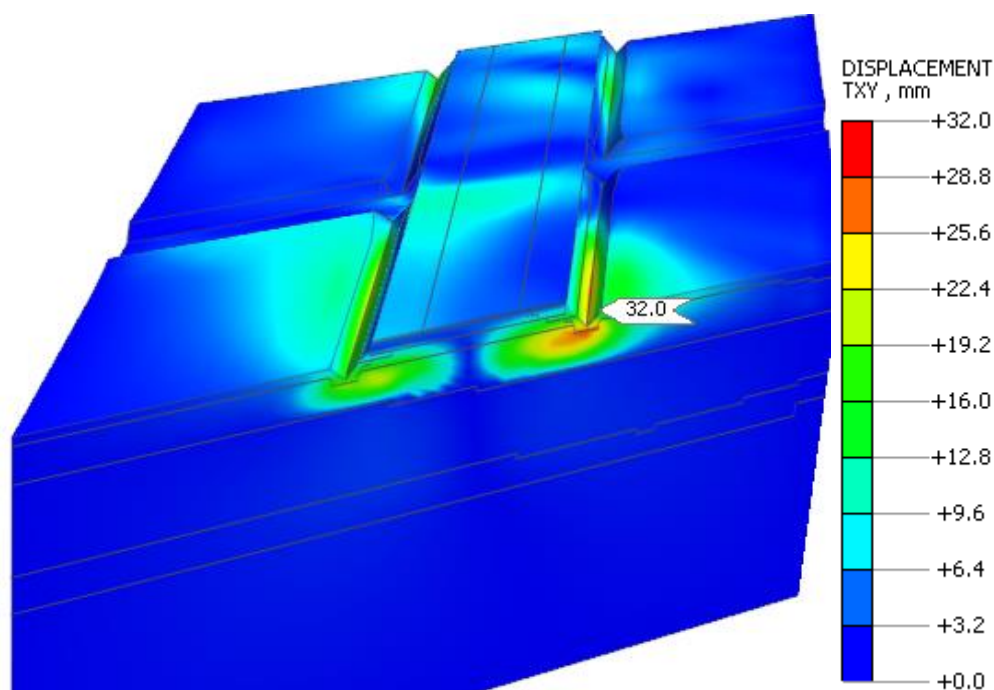
### 6.1. OSIADANIA

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

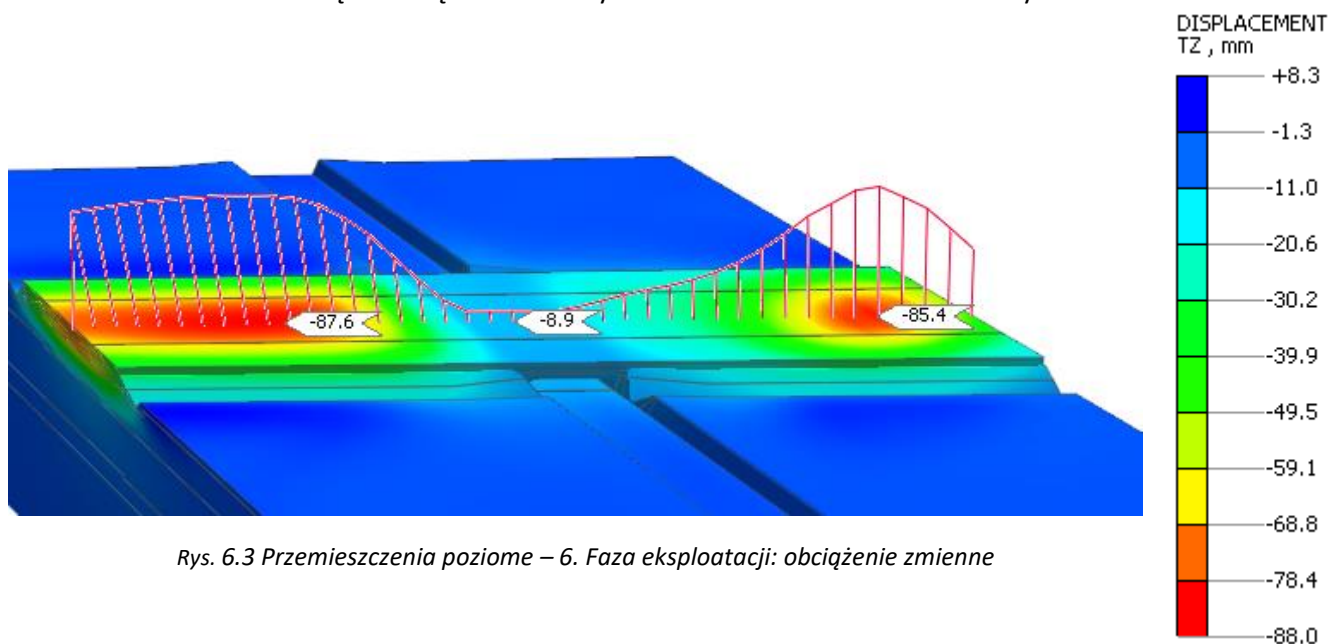


Rys. 6.2 Przemieszczenia poziome – 7. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne + obniżenie poziomu wody

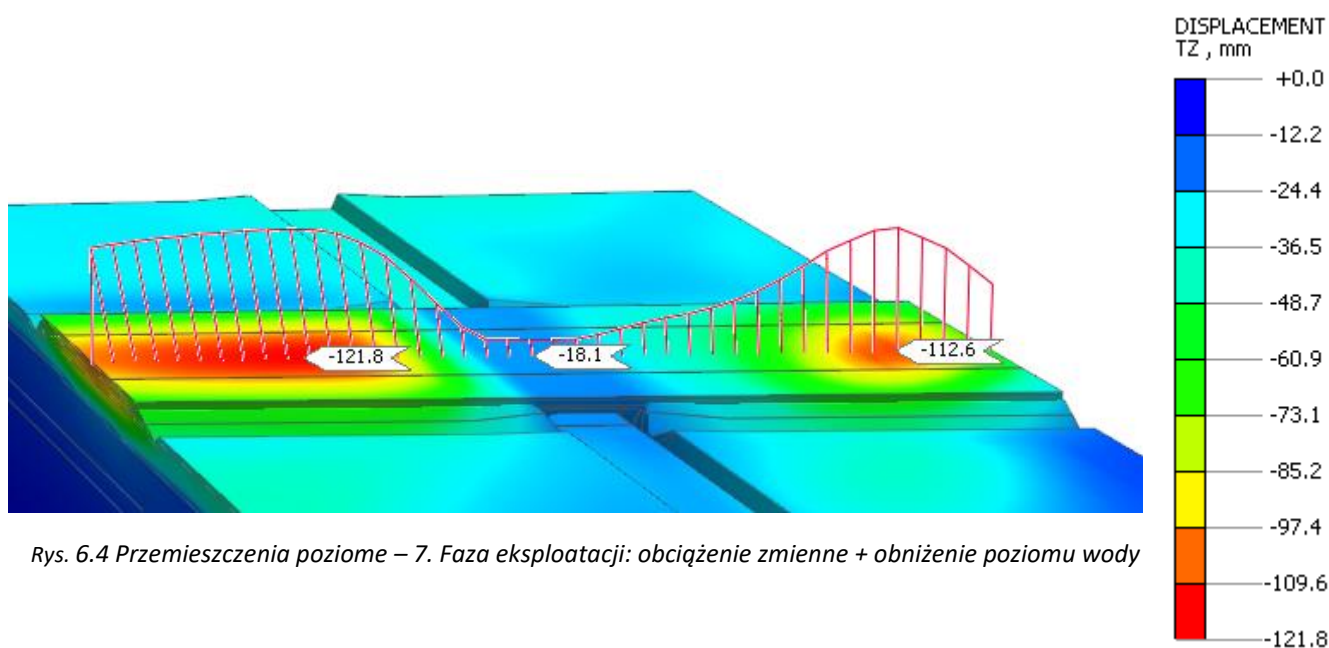


Oszacowano, że maksymalne przemieszczenie pionowe (w koronie nasypu) wynosi:

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



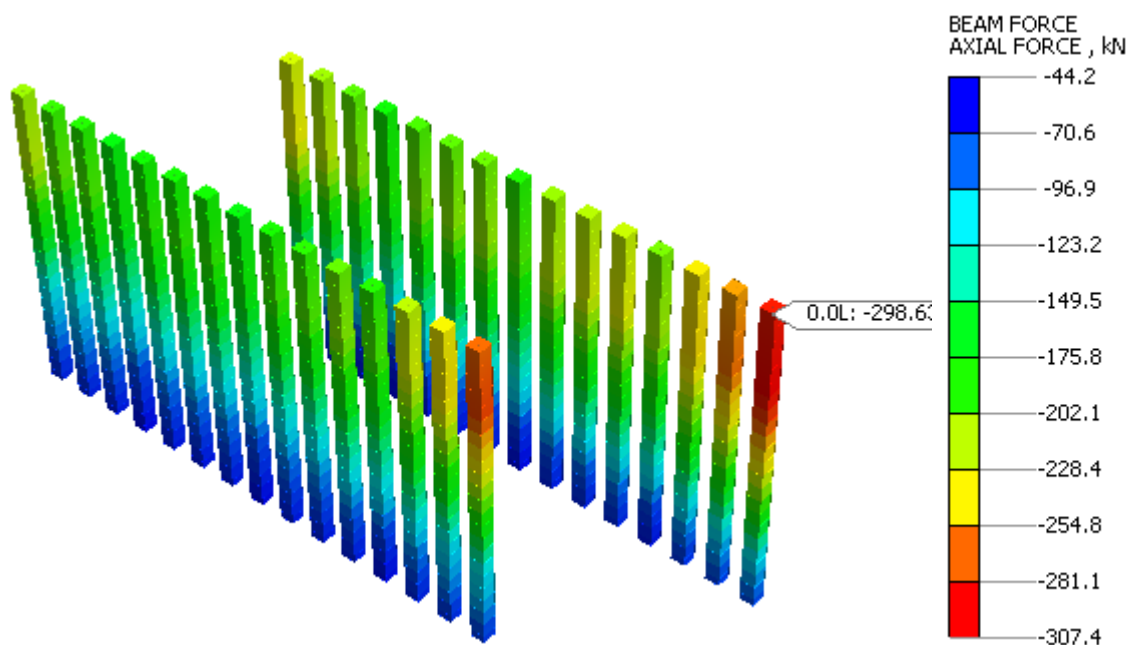
Rys. 6.3 Przemieszczenia poziome – 6. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne



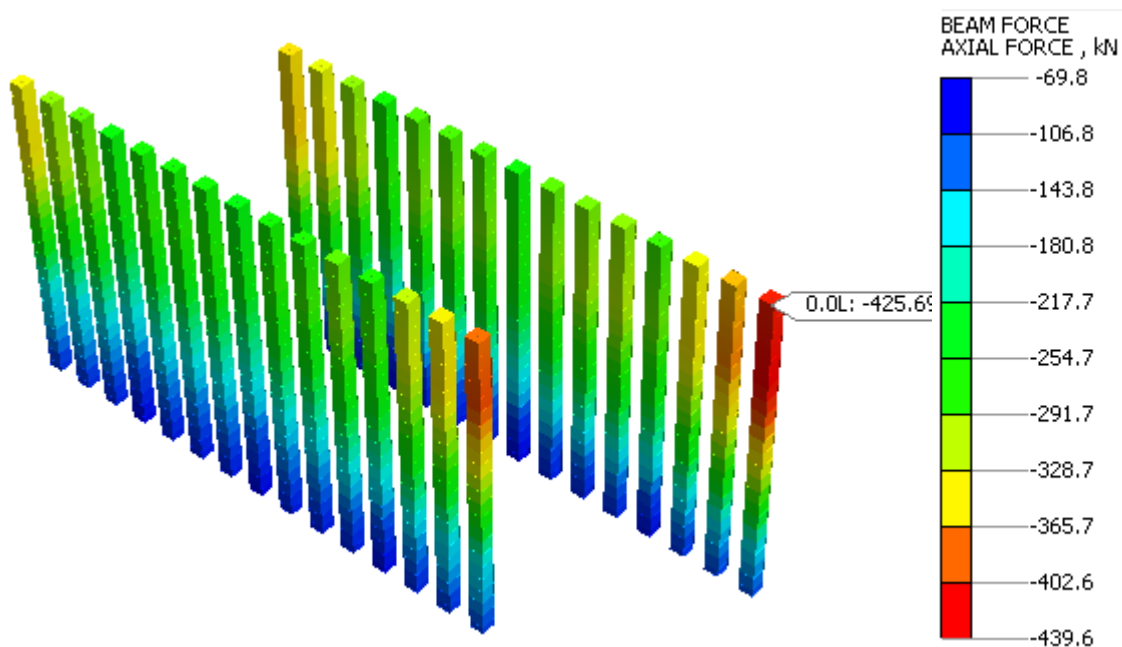
Rys. 6.4 Przemieszczenia poziome – 7. Faza eksploatacji: obciążenie zmienne + obniżenie poziomu wody

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.

