

# OBLICZENIA POSADOWIENIA WIADUKTU W C.D. KRAJ. NR 9 RADOM - RZESZÓW W KM 130+556 W M. CHMIELÓW

## Założenia.

### Podstawa obliczeń:

- 1/ PN-85/S-10030 "Obiekty mostowe. Obciążenia."
- 2/ PN-91/S-10042 "Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie."
- 3/ PN-83/B-02482 "Nośność pali i fundamentów palowych."
- 4/ PN-83/B-03010 "Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie."
- 5/ "Wytyczne techniczne projektowania pali wielkośrednicowych w obiektach mostowych"  
-Warszawa 1991r.
- 6/ A. Jarominiak "Pale i fundamenty palowe" wyd. Arkady, Warszawa 1976r.
- 7/ Eurocod PN-EN 1991-2 część 2

### Podstawowe parametry i wymiary:

- Światło wiaduktu-  
po prostopadłej-  $L_o := 32.80 \cdot m$
- Rozpiętość podporowa-  $L_t := 34 \cdot m$
- Długość całkowita ustroju-  $L := 35.90 \cdot m$
- Skos mostu-  $\alpha := 90 \cdot \text{deg}$
- Szerokość użytkowa - dla jezdni  $B_u := 2 \cdot (3.5 \cdot m + 0.7 \cdot m + 0.5 \cdot m)$   
 $B_u = 9.40 \cdot m$
- dla chodników  $B_{ut} := 1.5 \cdot m + 1.5 \cdot m$   
 $B_{ut} = 3.0 \cdot m$
- Szerokość całkowita-  $B_c := B_u + 2 \cdot 2.66 \cdot m$   
 $B_c = 14.72 \cdot m$
- Szerokość przyczółków-  
po prostopadłej-  $B_p := 13.55 \cdot m$
- Ustrój nośny- konstrukcja belkowo-płytowa - monolityczna.
- Schemat statyczny- belka swobodniepodparta

### Konstrukcja podpór:

- Przyczółki- żelbetowe, pełne o grubości 1.2 m
- Skrzydła- jako ściany pełne zdylatowane z częścią wiszącą dł. 5m
- Posadowienie- pale wielkośrednicowe  $\phi 150 \text{ cm}$

## Obciążenia:

### A/ Obciążenie stałe:

-żelbet C35/45

$$\rho_z := 27.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

-beton

$$\rho_b := 24.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

-beton asfaltowy

$$\rho_a := 23.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

-izolacja

$$\rho_i := 14.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

-pomost

$$\rho_k := \rho_z$$

$$\rho_k = 27.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

-grunt zasypowy

$$\rho_g := 19 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

### B/ Obciążenie użytkowe:

-klasa obciążenia "A" (wg 1)

$$K := 800 \cdot \text{kN}$$

$$q := 4.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_t := 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- dla dźwigarów i podpór

-pojazd specjalny STANAG C150 (wg 7)

$$Q_s := 1514 \cdot \text{kN}$$

### C/ Obciążenie użytkowe wg eurocodu PN-EN 1991-2 część 2:

$$Q_{1k} := 300 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{2k} := 200 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{3k} := 100 \cdot \text{kN}$$

$$q_{1k} := 9.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{2k} := 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{3k} := 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{4k} := 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{t\_En} := 5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- obciążenie tłumem pieszych

**Wytrzymałość i naprężenia:**

- w betonie wg 2/
- w stali wg 2/
- w gruncie wg "Dokumentacji geologiczno-inżynierskiej ..."

**Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe.****Zestawienie obciążeń stałych:**

	Wartość charakterystyczna	$\gamma_f$	Wartość obliczeniowa
- pomost	$A_p := 13.835 \cdot m^2$		
	$q_{1n\_p} := A_p \cdot \rho_k$	$\gamma_f := 1.20$	$q_{1r\_p} := q_{1n\_p} \cdot \gamma_f$
	$q_{1n\_p} = 373.5 \frac{kN}{m}$		$q_{1r\_p} = 448.3 \frac{kN}{m}$
	$q_{1n} := q_{1n\_p} \cdot \frac{L}{\sin(\alpha)}$	$\gamma_f := 1.20$	$q_{1r} := q_{1n} \cdot \gamma_f$
	$q_{1n} = 13410.3 \text{ kN}$		$q_{1r} = 16092.3 \text{ kN}$
- poprzecznice (podporowe+przęsłowe)	$V_2 := 2 \cdot 3 \cdot 2.383 \cdot m^2 \cdot 1.55m + 5 \cdot 3 \cdot 2.207 \cdot m^2 \cdot 0.4 \cdot m$		
	$V_2 = 35.40 m^3$		
	$q_{2n} := V_2 \cdot \rho_z$	$\gamma_f := 1.20$	$q_{2r} := q_{2n} \cdot \gamma_f$
	$q_{2n} = 955.9 \text{ kN}$		$q_{2r} = 1147.1 \text{ kN}$
- izolacja	$q_{3n} := 0.01 \cdot m \cdot 14.68 \cdot m \cdot \frac{L}{\sin(\alpha)} \cdot \rho_i$	$\gamma_f := 1.50$	$q_{3r} := q_{3n} \cdot \gamma_f$
	$q_{3n} = 73.8 \text{ kN}$		$q_{3r} = 110.7 \text{ kN}$
- nawierzchnia	$q_{4n} := 0.09 \cdot m \cdot 9.40 \cdot m \cdot \frac{L}{\sin(\alpha)} \cdot \rho_a$	$\gamma_f := 1.50$	$q_{4r} := q_{4n} \cdot \gamma_f$
	$q_{4n} = 698.5 \text{ kN}$		$q_{4r} = 1047.8 \text{ kN}$
- krawężnik kamienny	$q_{5n} := 2 \cdot \left[ \frac{L}{\sin(\alpha)} \cdot (0.2 \cdot 0.2) \cdot m^2 \right] \cdot \rho_z$	$\gamma_f := 1.50$	$q_{5r} := q_{5n} \cdot \gamma_f$
	$q_{5n} = 77.5 \text{ kN}$		$q_{5r} = 116.3 \text{ kN}$
- bariera ochronna + poręcz	$q_{7n} := 2 \cdot \left( 2.1 \cdot \frac{kN}{m} \cdot \frac{L}{\sin(\alpha)} \right)$	$\gamma_f := 1.50$	$q_{7r} := q_{7n} \cdot \gamma_f$
	$q_{7n} = 150.8 \text{ kN}$		$q_{7r} = 226.2 \text{ kN}$

- kapy chodnikowe	$q_{8n} := \left[ \left( 0.582\text{m}^2 + 0.582\text{m}^2 \right) \cdot \frac{L}{\sin(\alpha)} \right] \cdot \rho_z$	$\gamma_f := 1.50$	$q_{8r} := q_{8n} \cdot \gamma_f$
	$q_{8n} = 1128.3 \text{ kN}$		$q_{8r} = 1692.4 \text{ kN}$

- ekran akustyczny	$q_{9n} := \left( 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) \cdot \left( \frac{L}{\sin(\alpha)} + 2 \cdot 11.6\text{m} \right)$	$\gamma_f := 1.50$	$q_{9r} := q_{9n} \cdot \gamma_f$
	$q_{9n} = 0 \text{ kN}$		$q_{9r} = 0.0 \text{ kN}$

**RAZEM:**

$Q_n := q_{1n} + q_{2n} + q_{3n} + q_{4n} + q_{5n} + q_{7n} \dots$	$Q_r := q_{1r} + q_{2r} + q_{3r} + q_{4r} + q_{5r} + q_{7r} \dots$
$\quad \quad \quad + q_{8n} + q_{9n}$	$\quad \quad \quad + q_{8n} + q_{9n}$
$Q_n = 16495.08 \text{ kN}$	$Q_r = 19868.6 \text{ kN}$

<b>REAKCJA NA PRZYCZÓŁEK:</b>	$R_{1n} := \frac{Q_n}{2}$	$R_{1r} := \frac{Q_r}{2}$
	$R_{1n} = 8247.5 \text{ kN}$	$R_{1r} = 9934.3 \text{ kN}$

## Zestawienie obciążeń użytkowych:

- obciążenie "q" + $q_t$	$q_{10n} := \left( B_u \cdot \frac{L}{\sin(\alpha)} \right) \cdot q$	$\gamma_f := 1.50$	$q_{10r} := q_{10n} \cdot \gamma_f$
	$q_{10n} = 1349.8 \text{ kN}$		$q_{10r} = 2024.8 \text{ kN}$

$q_{11n} := \left( B_{ut} \cdot \frac{L}{\sin(\alpha)} \right) \cdot q_t$	$\gamma_f := 1.50$	$q_{11r} := q_{11n} \cdot \gamma_f$
$q_{11n} = 269.3 \text{ kN}$		$q_{11r} = 403.9 \text{ kN}$

<b>REAKCJA NA PRZYCZÓŁEK:</b>	$R_{2n} := \frac{q_{10n} + q_{11n}}{2}$	$R_{2r} := \frac{q_{10r} + q_{11r}}{2}$
	$R_{2n} = 809.5 \text{ kN}$	$R_{2r} = 1214.3 \text{ kN}$

- obciążenie pojazdem K	$K_{1n} := \frac{K}{4}$	-obciążenie na oś
	$K_{1n} = 200.0 \text{ kN}$	

<b>REAKCJA NA PRZYCZÓŁEK:</b>	$R_{3n} := K_{1n} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{0.85 \cdot m}{L_t} \right) + \frac{L_t - 0.35 \cdot m}{L_t} + \frac{L_t - (0.35 + 1.2) \cdot m}{L_t} + \frac{L_t - (0.35 + 2 \cdot 1.2) \cdot m}{L_t} \right]$	
	$R_{3n} = 777.6 \text{ kN}$	$\gamma_f := 1.50$
		$R_{3r} := R_{3n} \cdot \gamma_f$
		$R_{3r} = 1166.5 \text{ kN}$

-obciążenia pojazdem Stanag 2021- C150

$$Q_s = 1514.0 \text{ kN} \quad \text{-ciężar całkowity}$$

- obciążenia na osi

$$S_1 := 196 \cdot \text{kN}$$

$$S_2 := 374 \cdot \text{kN}$$

$$S_3 := 374 \cdot \text{kN}$$

$$S_4 := 285 \cdot \text{kN}$$

$$S_5 := 285 \cdot \text{kN}$$

**REAKCJA NA PRZYCZÓŁEK:**

$$R_{4n} := Q_s - \frac{(-S_5 \cdot 0.85 \cdot m + S_4 \cdot 0.98 \cdot m + S_3 \cdot 7.69 \cdot m + S_2 \cdot 9.82 \cdot m + S_1 \cdot 13.48 \cdot m)}{L_t}$$

$$R_{4n} = 1242.6 \text{ kN}$$

$$\gamma_f := 1.35$$

$$R_{4r} := R_{4n} \cdot \gamma_f$$

$$R_{4r} = 1677.5 \text{ kN}$$

**MAKSYMALNA REAKCJA NA  
PRZYCZÓŁEK OD OBCIĄŻENIA  
RUCHOMEGO POJAZDEM:**

$$R_{\max Rn} := \max(R_{3n}, R_{4n})$$

$$R_{\max Rr} := \max(R_{3r}, R_{4r})$$

$$R_{\max Rn} = 1242.6 \text{ kN}$$

$$R_{\max Rr} = 1677.5 \text{ kN}$$

**MINIMALNA REAKCJA NA  
PRZYCZÓŁEK OD OBCIĄŻENIA  
RUCHOMEGO POJAZDEM:**

$$R_{\min Rn} := \min(R_{3n}, R_{4n})$$

$$R_{\min Rr} := \min(R_{3r}, R_{4r})$$

$$R_{\min Rn} = 777.6 \text{ kN}$$

$$R_{\min Rr} = 1166.5 \text{ kN}$$

**Zestawienie obciążeń użytkowych wg eurocodu:**

$$w_1 := 3 \text{ m}$$

$$w_2 := 3 \text{ m}$$

$$w_3 := 3 \text{ m}$$

$$w_4 := 0.4 \text{ m}$$

- szerokość poszczególnych pasów ruchu

- obciążenie "q" +  $q_t$

$$q_{12n\_E} := \left( w_1 \cdot q_{1k} + w_2 \cdot q_{2k} \dots \right) \cdot \frac{L}{\sin(\alpha)}$$

$$\gamma_f := 1.50$$

$$q_{12r\_E} := q_{12n\_E} \cdot \gamma_f$$

$$q_{12n\_E} = 1543.7 \text{ kN}$$

$$q_{12r\_E} = 2315.6 \text{ kN}$$

$$q_{13n\_E} := \left( B_{ut} \cdot \frac{L}{\sin(\alpha)} \right) \cdot q_{t\_En}$$

$$\gamma_f := 1.50$$

$$q_{13r\_E} := q_{13n\_E} \cdot \gamma_f$$

$$q_{13n\_E} = 538.5 \text{ kN}$$

$$q_{13r\_E} = 807.8 \text{ kN}$$

**REAKCJA NA PRZYCZÓŁEK:  
(od obc. równomiernego)**

$$R_{5n\_E} := \frac{q_{12n\_E} + q_{13n\_E}}{2}$$

$$R_{5r\_E} := \frac{q_{12r\_E} + q_{13r\_E}}{2}$$

$$R_{5n\_E} = 1041.1 \text{ kN}$$

$$R_{5r\_E} = 1561.7 \text{ kN}$$

**REAKCJA NA PRZYCZÓŁEK:  
(od układu tamtemowego)**

$$R_{Q1k\_n} := Q_{1k} \cdot \left[ \left( \frac{L_t + \frac{L - L_t}{2}}{L_t} \right) + \left[ \frac{L_t - \left( 1.2m - \frac{L - L_t}{2} \right)}{L_t} \right] \right] \quad \gamma_f := 1.50 \quad R_{Q1k\_r} := R_{Q1k\_n} \cdot \gamma_f$$

$$R_{Q1k\_n} = 606.2 \text{ kN} \quad R_{Q1k\_r} = 909.3 \text{ kN}$$

$$R_{Q2k\_n} := Q_{2k} \cdot \left[ \left( \frac{L_t + \frac{L - L_t}{2}}{L_t} \right) + \left[ \frac{L_t - \left( 1.2m - \frac{L - L_t}{2} \right)}{L_t} \right] \right] \quad \gamma_f := 1.50 \quad R_{Q2k\_r} := R_{Q2k\_n} \cdot \gamma_f$$

$$R_{Q2k\_n} = 404.1 \text{ kN} \quad R_{Q2k\_r} = 606.2 \text{ kN}$$

$$R_{Q3k\_n} := Q_{3k} \cdot \left[ \left( \frac{L_t + \frac{L - L_t}{2}}{L_t} \right) + \left[ \frac{L_t - \left( 1.2m - \frac{L - L_t}{2} \right)}{L_t} \right] \right] \quad \gamma_f := 1.50 \quad R_{Q3k\_r} := R_{Q3k\_n} \cdot \gamma_f$$

$$R_{Q3k\_n} = 202.1 \text{ kN} \quad R_{Q3k\_r} = 303.1 \text{ kN}$$

$$R_{6n\_E} := R_{Q1k\_n} + R_{Q2k\_n} + R_{Q3k\_n} \quad R_{6r\_E} := R_{Q1k\_r} + R_{Q2k\_r} + R_{Q3k\_r}$$

$$R_{6n\_E} = 1212.4 \text{ kN} \quad R_{6r\_E} = 1818.5 \text{ kN}$$

**Hamowanie na przęśle:**

$$\alpha_{Q1} := 1.0$$

$$\alpha_{q1} := 1.0$$

$$H_{k\_En} := 0.6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.1 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L$$

$$H_{k\_En} = 456.9 \text{ kN}$$

$$\gamma_f := 1.3$$

$$H_{k\_Er} := H_{k\_En} \cdot \gamma_f$$

$$H_{k\_Er} = 594.0 \text{ kN}$$

**Ciężar własny przyczółka:**

$$\text{- ciężar korpusu} \quad G_{1n} := \left( \frac{12.88 \cdot m^2 \cdot 11.95m \dots}{+ 0.8m \cdot 9.92m \cdot 3.85m} \right) \cdot \rho_z \quad \gamma_f := 1.20 \quad G_{1r} := G_{1n} \cdot \gamma_f$$

$$G_{1n} = 4980.7 \text{ kN} \quad G_{1r} = 5976.8 \text{ kN}$$

$$\text{- ciężar skrzydeł} \quad V_{G2\_1} := 0.8m \cdot 9.92m \cdot 7.15m \quad \text{-obj. części stojącej}$$

$$V_{G2\_1} = 56.7 m^3$$

$$V_{G2\_2} := 11.38 \cdot m^2 \cdot 0.5m \quad \text{-obj. części wiszącej}$$

$$V_{G2\_2} = 5.69 m^3$$

$$V_{G2} := V_{G2\_1} + V_{G2\_2}$$

$$V_{G2} = 62.4 \text{ m}^3$$

$$G_{2n} := V_{G2} \cdot \rho_z$$

$$\gamma_f := 1.20$$

$$G_{2r} := G_{2n} \cdot \gamma_f$$

$$G_{2n} = 1685.7 \text{ kN}$$

$$G_{2r} = 2022.8 \text{ kN}$$

Ponieważ skrzydło jest zdylatowane z przyczółkiem ławę fundamentową dzielę na część znajdującą się pod przyczółkiem i pod skrzydłem a pale będą liczył oddzielne.

- ciężar ławy fundamentowej

$$V_{G3p} := 169.3 \text{ m}^3$$

$$G_{3pn} := V_{G3p} \cdot \rho_z$$

$$\gamma_f := 1.20$$

$$G_{3pr} := G_{3pn} \cdot \gamma_f$$

*części pod przyczółkiem -*

$$G_{3pn} = 4571.1 \text{ kN}$$

$$G_{3pr} = 5485.3 \text{ kN}$$

$$V_{G3s} := 2 \cdot 60.1 \text{ m}^3$$

*części pod skrzydłem -  
(obu stron)*

$$G_{3sn} := V_{G3s} \cdot \rho_z$$

$$\gamma_f := 1.20$$

$$G_{3sr} := G_{3sn} \cdot \gamma_f$$

$$G_{3sn} = 3245.4 \text{ kN}$$

$$G_{3sr} = 3894.5 \text{ kN}$$

*całkowity -*

$$V_{G3} := V_{G3p} + V_{G3s}$$

$$V_{G3} = 289.5 \text{ m}^3$$

$$G_{3n} := V_{G3} \cdot \rho_z$$

$$\gamma_f := 1.20$$

$$G_{3r} := G_{3n} \cdot \gamma_f$$

$$G_{3n} = 7816.5 \text{ kN}$$

$$G_{3r} = 9379.8 \text{ kN}$$

- ciężar ziemi na odsadce  
przedniej

$$G_{4n} := 29.8 \cdot \text{m}^3 \cdot \rho_g$$

$$\gamma_f := 1.50$$

$$G_{4r} := G_{4n} \cdot \gamma_f$$

$$G_{4n} = 566.2 \text{ kN}$$

$$G_{4r} = 849.3 \text{ kN}$$

- ciężar ziemi na odsadce tylnej

$$G_{5n} := (162.16 + 40.6) \cdot \text{m}^3 \cdot \rho_g$$

$$\gamma_f := 1.50$$

$$G_{5r} := G_{5n} \cdot \gamma_f$$

$$G_{5n} = 3852.4 \text{ kN}$$

$$G_{5r} = 5778.7 \text{ kN}$$

- ciężar płyt prześciowych i gruntu

$$G_{6n} := 0.5 \left( 38.4 \cdot \text{m}^3 \cdot \rho_z + 65.25 \cdot \text{m}^3 \cdot \rho_g \right)$$

$$\gamma_f := 1.50$$

$$G_{6r} := G_{6n} \cdot \gamma_f$$

$$G_{6n} = 1138.3 \text{ kN}$$

$$G_{6r} = 1707.4 \text{ kN}$$

## Parcie zasypki:

Przyjęto grunt zasypowy o parametrach:

$$\phi := 32 \cdot \text{deg}$$

Parcie czynne:

$$Z_{ni\_a} := \left[ \rho_g \cdot \left( \tan \left( 45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \right]$$

$$Z_{ni\_a} = 5.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$K_a := \left( \tan \left( 45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi}{2} \right) \right)^2$$

$$K_a = 0.31$$

Parcie spoczynkowe:

$$\varepsilon_n := 0 \cdot \text{deg} \quad - \text{ kąt nachylenia naziomu}$$

$$I_s := 0.95 \quad - \text{ wskaźnik zagęszczenia gruntu nasypowego}$$

$$\xi_4 := 0.10 \quad - \text{ wsp.tab.8, tab.9 wg normy Ściany oporowe}$$

$$\xi_5 := 0.95$$

$$K_0 := \left[ 0.5 - \xi_4 + (0.1 + 2 \cdot \xi_4) \cdot (5 \cdot I_s - 4.15) \cdot \xi_5 \right] \cdot (1 + 0.5 \cdot \tan(\varepsilon_n))$$

$$K_0 = 0.57$$

$$Z_{ni\_O} := \rho_g \cdot K_0$$

$$Z_{ni\_O} = 10.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Parcie pośrednie:

$$K_{sr} := \frac{K_a + K_0}{2}$$

$$K_{sr} = 0.44$$

$$Z_{ni\_E} := \frac{Z_{ni\_a} + Z_{ni\_O}}{2}$$

$$Z_{ni\_E} = 8.34 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

-do spodu  
oczepu pali

$$h := 10.45 \cdot \text{m}$$

$$e_n := Z_{ni\_E} \cdot h$$

$$e_n = 87.19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\gamma_f := 1.25$$

$$e_r := e_n \cdot \gamma_f$$

$$e_r = 108.99 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Siła pozioma:

Zgodnie z normą do parcia należy brać szer. rzeczywistą + 1m.

$$E_{zn} := 0.5 e_n \cdot h \cdot (B_p + 1 \text{m})$$

$$E_{zn} = 6628.4 \text{ kN}$$

$$\gamma_f := 1.25$$

$$E_{zr} := E_{zn} \cdot \gamma_f$$

$$E_{zr} = 8285.6 \text{ kN}$$

### Parcie od strony przeszkody:

$$O_{ni} := \rho_g \cdot \left( \tan \left( 45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi}{2} \right) \right)^2$$

$$h_o := 0.85 \cdot m$$

$$e_{on} := O_{ni} \cdot h_o$$

$$\gamma_f := 0.8$$

$$e_{or} := e_{on} \cdot \gamma_f$$

$$e_{on} = 4.96 \frac{kN}{m^2}$$

$$e_{or} = 3.97 \frac{kN}{m^2}$$

Siła pozioma:

$$E_{on} := 0.5 e_{on} \cdot (B_p + 0.5m) \cdot h_o$$

$$\gamma_f := 0.8$$

$$E_{or} := E_{on} \cdot \gamma_f$$

$$E_{on} = 29.6 \text{ kN}$$

$$E_{or} = 23.7 \text{ kN}$$

### Parcie gruntu od naziomu obciążonego:

- od taboru samochodowego

Długość klina odłamu:

$$L_k := h \cdot \tan \left( 45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi}{2} \right)$$

$L_k = 5.8 \text{ m}$  - na klinie odłamu znajdują się 4 osie pojazdu "K".

$$K_{05} := K$$

$$K_{05} = 800.0 \text{ kN}$$

$$q_k := \frac{K_{05}}{5.4 \cdot m \cdot 4.8 \cdot m}$$

$$q_k = 30.86 \frac{kN}{m^2}$$

$$e_{kn} := q_k \cdot \left( \tan \left( 45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi}{2} \right) \right)^2$$

$$\gamma_f := 1.5$$

$$e_{kr} := e_{kn} \cdot \gamma_f$$

$$e_{kn} = 9.48 \frac{kN}{m^2}$$

$$e_{kr} = 14.22 \frac{kN}{m^2}$$

Siła pozioma: Obciążenie K nie znajduje się na całym klinie odłamu więc parcie od K wynosi  $E_{kn} = K \cdot \tan(45 \text{deg} - \phi/2)$

$$h = 10.45 \text{ m}$$

$$E_{kn\_1} := e_{kn} \cdot 5.4 \cdot m \cdot h$$

$$\gamma_f := 1.5$$

$$E_{kr\_1} := E_{kn\_1} \cdot \gamma_f$$

$$E_{kn\_1} = 535.1 \text{ kN}$$

$$E_{kr\_1} = 802.7 \text{ kN}$$

$$E_{kn\_2} := K_{05} \cdot \tan \left( 45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\gamma_f := 1.5$$

$$E_{kr\_2} := E_{kn\_2} \cdot \gamma_f$$

$$E_{kn\_2} = 443.4 \text{ kN}$$

$$E_{kr\_2} = 665.2 \text{ kN}$$

$$E_{kn} := \min(E_{kn\_1}, E_{kn\_2})$$

$$E_{kr} := \min(E_{kr\_1}, E_{kr\_2})$$

$$E_{kn} = 443.4 \text{ kN}$$

$$E_{kr} = 665.2 \text{ kN}$$

- od tłumy pieszych

$$q_{tp} := 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e_{tn} := q_{tp} \cdot \left( \tan \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \right)^2$$

$$\gamma_f := 1.3$$

$$e_{tr} := e_{tn} \cdot \gamma_f$$

$$e_{tn} = 0.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e_{tr} = 1.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Siła pozioma:

$$h = 10.45 \text{ m}$$

$$E_{tn} := e_{tn} \cdot B_{ut} \cdot h$$

$$\gamma_f := 1.3$$

$$E_{tr} := E_{tn} \cdot \gamma_f$$

$$E_{tn} = 24.1 \text{ kN}$$

$$E_{tr} = 31.3 \text{ kN}$$

### Parcie od obciążeń użytkowych wg Eurocodu:

- od obc. równomiernego - wsp. obc. 1.0 - patrz pkt. 4.9.1 (2) PN-EN 1991-2

$$w_1 = 3.0 \text{ m}$$

$$q_{1k} = 9.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_2 = 3.0 \text{ m}$$

$$q_{2k} = 2.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- szerokość i obciążenie poszczególnych pasów ruchu

$$w_3 = 3.0 \text{ m}$$

$$q_{3k} = 2.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_4 = 0.4 \text{ m}$$

$$q_{4k} = 2.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$E_{k\_qEn} := (q_{1k} \cdot w_1 + q_{2k} \cdot w_2 + q_{3k} \cdot w_3 + q_{4k} \cdot w_4) \cdot h \cdot K_{sr}$$

$$\gamma_f := 1.0$$

$$E_{k\_qEr} := E_{k\_qEn} \cdot \gamma_f$$

$$E_{k\_qEn} = 197.3 \text{ kN}$$

$$E_{k\_qEr} = 197.3 \text{ kN}$$

- od obc. skupionego (tandemowego) - wsp. obc. 1.0 - patrz pkt. 4.9.1 (2) PN-EN 1991-2

$$E_{k\_tEn} := (2 \cdot Q_{1k} + 2 \cdot Q_{2k} + 2 \cdot Q_{3k}) \cdot \tan \left( 45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\gamma_f := 1.0$$

$$E_{k\_tEr} := E_{k\_tEn} \cdot \gamma_f$$

$$E_{k\_tEn} = 665.2 \text{ kN}$$

$$E_{k\_tEr} = 665.2 \text{ kN}$$

- od tłumy pieszych (wg eurocodu)

$$q_{t\_En} = 5.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e_{t\_En} := q_{t\_En} \cdot \left( \tan \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \right)^2$$

$$\gamma_f := 1.0$$

$$e_{t\_Er} := e_{t\_En} \cdot \gamma_f$$

$$e_{t\_En} = 1.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e_{t\_Er} = 1.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Siła pozioma:

$$h = 10.45 \text{ m}$$

$$E_{t\_En} := e_{t\_En} \cdot B_{ut} \cdot h$$

$$\gamma_f := 1.0$$

$$E_{t\_Er} := E_{t\_En} \cdot \gamma_f$$

$$E_{t\_En} = 48.2 \text{ kN}$$

$$E_{t\_Er} = 48.2 \text{ kN}$$

**Parcie gruntu od hamowania na naziomie:**

$$H_l := 0.1 \cdot q \cdot 9.4 \cdot m \cdot L_k + 0.2 \cdot K$$

$$H_k := 0.3 \cdot K$$

$$H_l = 181.8 \text{ kN}$$

<

$$H_k = 240.0 \text{ kN}$$

poziom niwelety

$$e_{Hn} := \frac{H_k}{5.4 \cdot m \cdot 0.5 \cdot h}$$

$$\gamma_f := 1.30$$

$$e_{Hr} := e_{Hn} \cdot \gamma_f$$

$$e_{Hn} = 8.51 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e_{Hr} = 11.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Siła pozioma:

$$E_{Hn} := 0.5 \cdot e_{Hn} \cdot h \cdot 5.4 \text{ m}$$

$$\gamma_f := 1.30$$

$$E_{Hr} := E_{Hn} \cdot \gamma_f$$

$$E_{Hn} = 240 \text{ kN}$$

$$E_{Hr} = 312 \text{ kN}$$

**Siła oporu łożysk:**

$$\Delta L_t := 34.00 \cdot m$$

Dobrano łożyska na przyczółkach o wymiarach 40x30x8cm o nośności 1600\*kN

$$\Delta t_1 := -25 \quad C$$

$$\Delta t_2 := 20 \quad C$$

$$\Delta L_{max} := 25 \cdot \Delta L_t \cdot 0.00001$$

$$\Delta L_{max} = 0.9 \text{ cm}$$

$$H_l := 8 \cdot \text{cm}$$

$$B_l := 45 \cdot \text{cm}$$

$$L_l := 45 \cdot \text{cm}$$

$$G_l := 1 \cdot \text{MPa}$$

$$A_l := B_l \cdot L_l$$

$$A_l = 0.203 \text{ m}^2$$

siła oporu jednego łożyska przyczółka

$$T_{ln1} := \frac{1.5 \cdot G_l \cdot \Delta L_{max} \cdot A_l}{H_l}$$

$$T_{ln1} = 32.3 \text{ kN}$$

$$n_l := 4 \quad \text{- ilość łożysk na przyczółku}$$

$$T_{ln} := n_l \cdot T_{ln1}$$

$$\gamma_f := 1.5$$

$$T_{lr} := T_{ln} \cdot \gamma_f$$

$$T_{ln} = 129.1 \text{ kN}$$

$$T_{lr} = 193.6 \text{ kN}$$

## Parcie od obc. naziomu nasypem po wykonaniu pali

$$K' := 0.5$$

$$h_{a1} := 10.45 \cdot \text{m} \quad \text{-wys nasypu ponad poziom terenu projektowanego}$$

$$e_{pnn} := K' \cdot \rho_g \cdot h_{a1}$$

$$e_{pnn} = 99.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$E_{pnn} := (0.9 \cdot 4 \cdot 1.5) \text{m} \cdot \frac{1}{2} \cdot e_{pnn} \cdot 10.45 \text{m}$$

$$\gamma_f := 1.25$$

$$E_{pnr} := E_{pnn} \cdot \gamma_f$$

$$E_{pnn} = 2801.0 \text{ kN}$$

$$E_{pnr} = 3501.3 \text{ kN}$$

## Zestawienie obciążeń w poziomie posadowienia:

Dla samego przyczółka (pominięty jest ciężar skrzydeł itd.)

**Przyczółek obciążony + przęsło nieobciążone:**

**Siła pionowa:**

$$\text{- wartość obliczeniowa} \quad H_{r1,max} := G_{1r} + G_{3pr} + G_{4r} + G_{5r} + G_{6r} + R_{1r}$$

$$H_{r1,max} = 29731.8 \text{ kN}$$

$$H_{r1,min} := (G_{1n} + G_{3n} + G_{4n} + G_{5n} + G_{6n} + R_{1n}) \cdot 0.9$$

$$H_{r1,min} = 23941.5 \text{ kN}$$

- wartość charakter.

$$H_{n1} := G_{1n} + G_{3n} + G_{4n} + G_{5n} + G_{6n} + R_{1n}$$

$$H_{n1} = 26601.6 \text{ kN}$$

### - OBCIĄŻENIE WG EUROKODU

- jak wyżej

$$H_{r1,max\_E} := H_{r1,max}$$

$$H_{r1,min\_E} := H_{r1,min}$$

$$H_{n1\_E} := H_{n1}$$

**Siła pozioma:**

- wartość obliczeniowa

$$T_{r1,max} := E_{zr} - E_{or} + E_{kr} + E_{tr} + E_{Hr} + T_{lr} + E_{pnr}$$

$$T_{r1,max} = 12965.3 \text{ kN}$$

$$T_{r1,min} := (E_{zn} - E_{on} + E_{kn}) \cdot 0.8 - T_{ln} + E_{pnn} \cdot 0.8$$

$$T_{r1,min} = 7745.55 \text{ kN}$$

- wartość charakter.

$$T_{n1} := E_{zn} - E_{on} + E_{kn} + E_{tn} + E_{Hn} + T_{ln} + E_{pnn}$$

$$T_{n1} = 10236.5 \text{ kN}$$

### - OBCIĄŻENIE WG EUROKODU

- wartość obliczeniowa

$$T_{r1,max\_E} := E_{zr} - E_{or} + E_{k\_qEr} + E_{k\_tEr} + E_{t\_Er} + E_{Hr} + T_{lr} + E_{pnr}$$

$$T_{r1,max\_E} = 13179.5 \text{ kN}$$

$$T_{r1,min\_E} := (E_{zn} - E_{on} + E_{kn}) \cdot 0.8 - T_{ln} + E_{pnn} \cdot 0.8$$

$$T_{r1,min\_E} = 7745.55 \text{ kN}$$

- wartość charakter.

$$T_{n1\_E} := E_{zn} - E_{on} + E_{k\_qEn} + E_{k\_tEn} + E_{t\_En} + E_{Hn} + T_{ln} + E_{pnn}$$

$$T_{n1\_E} = 10679.6 \text{ kN}$$

**Moment:**

- wartość obliczeniowa

$$M_{r1.max} := E_{zr} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{or} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + E_{kr} \cdot \frac{1}{2} \cdot h + E_{tr} \cdot \frac{1}{2} \cdot h + E_{Hr} \cdot \frac{2}{3} \cdot h \dots$$

$$+ T_{lr} \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnr}$$

$$M_{r1.max} = 24330 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{r1.min} := \left( E_{zn} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{on} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + E_{kn} \cdot \frac{1}{2} \cdot h \right) \cdot 0.8 - T_{ln} \cdot 9.6 \cdot m$$

$$M_{r1.min} = 19079 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- wartość charakter.

$$M_{n1} := E_{zn} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{on} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + E_{kn} \cdot \frac{1}{2} \cdot h + E_{tn} \cdot \frac{1}{2} \cdot h + E_{Hn} \cdot \frac{2}{3} \cdot h \dots$$

$$+ T_{ln} \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnn}$$

$$M_{n1} = 18678 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**- OBCIĄŻENIE WG EUROKODU**
 $l_{tE} := 1.6 \text{ m}$  - długość obciążenia tandemowego

$$h_{tE} := \frac{l_{tE}}{\tan\left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi}{2}\right)}$$
 - wysokość klina odłamu od obciążenia tandemowego

$$h_{tE} = 2.89 \text{ m}$$

- wartość obliczeniowa

$$M_{r1.max\_E} := E_{zr} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{or} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + E_{k\_tEr} \cdot \left( h - h_{tE} + \frac{h_{tE}}{2} \right) + E_{k\_qEr} \cdot \frac{1}{2} \cdot h \dots$$

$$+ E_{t\_Er} \cdot \frac{1}{2} \cdot h + E_{Hr} \cdot \frac{2}{3} \cdot h + T_{lr} \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnr}$$

$$M_{r1.max\_E} = 27965 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{r1.min\_E} := \left[ E_{zn} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{on} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + E_{k\_tEn} \cdot \left( h - h_{tE} + \frac{h_{tE}}{2} \right) + E_{k\_qEn} \cdot \frac{1}{2} \cdot h \right] \cdot 0.8 - T_{ln} \cdot 9.6 \cdot m$$

$$M_{r1.min\_E} = 22843 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- wartość charakter.

$$M_{n1\_E} := E_{zn} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{on} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + E_{kn} \cdot \frac{1}{2} \cdot h + E_{tn} \cdot \frac{1}{2} \cdot h + E_{Hn} \cdot \frac{2}{3} \cdot h \dots$$

$$+ T_{ln} \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnn}$$

$$M_{n1} = 18678 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## Przyczółek nieobciążony + przęsło obciążone:

### Siła pionowa:

- wartość obliczeniowa  $H_{r2,max} := G_{1r} + G_{3pr} + G_{4r} + G_{5r} + G_{6r} + R_{1r} + R_{2r} + R_{maxRr}$   $H_{r2,max} = 32623.6 \text{ kN}$   
 $H_{r2,min} := (G_{1n} + G_{3n} + G_{4n} + G_{5n} + G_{6n} + R_{1n}) \cdot 0.9$   $H_{r2,min} = 23941 \text{ kN}$
- wartość charakter.  $H_{n2} := G_{1n} + G_{3n} + G_{4n} + G_{5n} + G_{6n} + R_{1n} + R_{2n} + R_{maxRn}$   $H_{n2} = 28653.8 \text{ kN}$

### - OBCIĄŻENIE WG EUROKODU

- wartość obliczeniowa  $H_{r2,max\_E} := G_{1r} + G_{3pr} + G_{4r} + G_{5r} + G_{6r} + R_{1r} + R_{5r\_E} + R_{6r\_E}$   $H_{r2,max\_E} = 33112 \text{ kN}$   
 $H_{r2,min\_E} := (G_{1n} + G_{3n} + G_{4n} + G_{5n} + G_{6n} + R_{1n}) \cdot 0.9$   $H_{r2,min\_E} = 23941 \text{ kN}$
- wartość charakter.  $H_{n2\_E} := G_{1n} + G_{3n} + G_{4n} + G_{5n} + G_{6n} + R_{1n} + R_{5n\_E} + R_{6n\_E}$   $H_{n2\_E} = 28855 \text{ kN}$

### Siła pozioma:

- wartość obliczeniowa  $T_{r2,max} := E_{zr} - E_{or} + T_{lr} + E_{pnr} + H_k \cdot 1.3$   $T_{r2,max} = 12268.8 \text{ kN}$   
 $T_{r2,min} := (E_{zn} - E_{on}) \cdot 0.8 - T_{ln} + E_{pnn} \cdot 0.8 - H_k \cdot 1.3$   $T_{r2,min} = 7078.8 \text{ kN}$
- wartość charakter.  $T_{n2} := E_{zn} - E_{on} + T_{ln} + E_{pnn} + H_k$   $T_{n2} = 9769.0 \text{ kN}$

### - OBCIĄŻENIE WG EUROKODU

- wartość obliczeniowa  $T_{r2,max\_E} := E_{zr} - E_{or} + T_{lr} + E_{pnr} + H_{k\_Er}$   $T_{r2,max\_E} = 12550.8 \text{ kN}$   
 $T_{r2,min\_E} := (E_{zn} - E_{on}) \cdot 0.8 - T_{ln} + E_{pnn} \cdot 0.8 - H_{k\_Er}$   $T_{r2,min\_E} = 6796.8 \text{ kN}$
- wartość charakter.  $T_{n2\_E} := E_{zn} - E_{on} + T_{ln} + E_{pnn} + H_{k\_En}$   $T_{n2\_E} = 9985.9 \text{ kN}$

### Moment:

- wartość obliczeniowa  $M_{r2,max} := E_{zr} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{or} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + (T_{lr} + H_k \cdot 1.3) \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnr}$   $M_{r2,max} = 21513 \text{ kN} \cdot m$   
 $M_{r2,min} := E_{zn} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{on} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o - (T_{lr} + H_k \cdot 1.3) \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnn}$   $M_{r2,min} = 8470 \text{ kN} \cdot m$
- wartość charakter.  $M_{n2} := E_{zn} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{on} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + (T_{ln} + H_k \cdot 1.3) \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnn}$   $M_{n2} = 17558 \text{ kN} \cdot m$

## - OBCIĄŻENIE WG EUROKODU

- wartość obliczeniowa  $M_{r2.max\_E} := E_{zr} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{or} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + (T_{lr} + H_{k\_Er}) \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnr}$   $M_{r2.max\_E} = 24220 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{r2.min\_E} := E_{zn} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{on} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o - (T_{lr} + H_{k\_Er}) \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnn}$   $M_{r2.min\_E} = 5762 \text{ kN}\cdot\text{m}$

- wartość charakter.  $M_{n2\_E} := E_{zn} \cdot \frac{1}{3} \cdot h - E_{on} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_o + (T_{ln} + H_{k\_En}) \cdot 9.6 \cdot m - \frac{1}{3} \cdot h_{a1} \cdot E_{pnn}$   $M_{n2\_E} = 18950 \text{ kN}\cdot\text{m}$

## **OBCIĄŻENIE PALA**

### **Schemat I**

**Przyczółek obciążony - przęsło nieobciążone**

### ***Siła pionowa maksymalna w palach pod ścianą czołową***

- wartość obliczeniowa  $H_{r1.maxp} := \frac{H_{r1.max}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r1.max}}{3m}$   $H_{r1.maxp} = 3829 \text{ kN}$

$H'_{r1.maxp} := \frac{H_{r1.max}}{12} - \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r1.max}}{3 \cdot m}$   $H'_{r1.maxp} = 1126 \text{ kN}$

$H_{r1.minp} := \frac{H_{r1.min}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r1.min}}{3m}$   $H_{r1.minp} = 3055 \text{ kN}$

- wartość charakter.  $H_{n1p} := \frac{H_{n1}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{n1}}{3m}$   $H_{n1p} = 3254 \text{ kN}$

## - OBCIĄŻENIE WG EUROKODU

$H_{r1.maxp\_E} := \frac{H_{r1.max\_E}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r1.max\_E}}{3m}$   $H_{r1.maxp\_E} = 4031 \text{ kN}$

$H'_{r1.maxp\_E} := \frac{H_{r1.max\_E}}{12} - \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r1.max\_E}}{3 \cdot m}$   $H'_{r1.maxp\_E} = 924 \text{ kN}$

$H_{r1.minp\_E} := \frac{H_{r1.min\_E}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r1.min\_E}}{3m}$   $H_{r1.minp\_E} = 3264 \text{ kN}$

- wartość charakter.  $H_{n1p\_E} := \frac{H_{n1\_E}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{n1\_E}}{3m}$   $H_{n1p\_E} = 3254 \text{ kN}$

### ***Siła pozioma***

- wartość obliczeniowa  $T_{r1.p} := \frac{T_{r1.max}}{12}$   $T_{r1.p} = 1080 \text{ kN}$

- wartość charakter.  $T_{n1.p} := \frac{T_{n1}}{12}$   $T_{n1.p} = 853 \text{ kN}$

## Schemat II

### Przyczółek nieobciążony - przęsło obciążone

#### ***Siła pionowa maksymalna w palach pod ścianą czołową***

- wartość obliczeniowa

$$H_{r2.maxp} := \frac{H_{r2.max}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r2.max}}{3m}$$

$$H_{r2.maxp} = 3914 \text{ kN}$$

$$H'_{r2.maxp} := \frac{H_{r2.max}}{12} - \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r2.max}}{3m}$$

$$H'_{r2.maxp} = 1523 \text{ kN}$$

$$H_{r2.minp} := \frac{H_{r2.min}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r2.min}}{3m}$$

$$H_{r2.minp} = 2466 \text{ kN}$$

- wartość charakter.

$$H_{n2p} := \frac{H_{n2}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{n2}}{3m}$$

$$H_{n2p} = 3363 \text{ kN}$$

#### **- OBCIĄŻENIE WG EUROKODU**

- wartość obliczeniowa

$$H_{r2.maxp\_E} := \frac{H_{r2.max\_E}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r2.max\_E}}{3m}$$

$$H_{r2.maxp\_E} = 4105 \text{ kN}$$

$$H'_{r2.maxp\_E} := \frac{H_{r2.max\_E}}{12} - \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r2.max\_E}}{3m}$$

$$H'_{r2.maxp\_E} = 1414 \text{ kN}$$

$$H_{r2.minp\_E} := \frac{H_{r2.min\_E}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{r2.min\_E}}{3m}$$

$$H_{r2.minp\_E} = 2315 \text{ kN}$$

- wartość charakter.

$$H_{n2p\_E} := \frac{H_{n2\_E}}{12} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{n2\_E}}{3m}$$

$$H_{n2p\_E} = 3457 \text{ kN}$$

#### ***Siła pozioma***

- wartość obliczeniowa

$$T_{r2.p} := \frac{T_{r2.max}}{12}$$

$$T_{r2.p} = 1022 \text{ kN}$$

- wartość charakter.

$$T_{n2.p} := \frac{T_{n2}}{12}$$

$$T_{n2.p} = 814 \text{ kN}$$

#### **- OBCIĄŻENIE WG EUROKODU**

- wartość obliczeniowa

$$T_{r2.p\_E} := \frac{T_{r2.max\_E}}{12}$$

$$T_{r2.p\_E} = 1046 \text{ kN}$$

- wartość charakter.

$$T_{n2.p\_E} := \frac{T_{n2\_E}}{12}$$

$$T_{n2.p\_E} = 832 \text{ kN}$$

## Obliczenie nośności pionowej pali

Obliczenie nośności pionowej pali wybrano otwór **nr 4**

GII/GIIz, tpl	$h_1 := 1.40 \cdot \text{m}$	$I_{L1} := 0.17$	$\gamma_{n1} := 20.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u1} := 19.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_1 := 41.5 \cdot \text{kPa}$	$E_{o1} := 15000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n1} := 15.5 \cdot \text{deg}$
GIIz,tpl	$h_2 := 1.40 \cdot \text{m}$	$I_{L2} := 0.17$	$\gamma_{n2} := 20.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u2} := 19.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_2 := 41.5 \cdot \text{kPa}$	$E_{o2} := 15000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n2} := 15.5 \cdot \text{deg}$
I, tpl	$h_3 := 1.50 \cdot \text{m}$	$I_{L3} := 0.15$	$\gamma_{n3} := 21.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u3} := 52.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_3 := 42.5 \cdot \text{kPa}$	$E_{o3} := 27000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n3} := 11.0 \cdot \text{deg}$
I, pzw	$h_4 := 11.70 \cdot \text{m}$	$I_{L4} := 0.05$	$\gamma_{n4} := 21.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u4} := 58.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_4 := 47.5 \cdot \text{kPa}$	$E_{o4} := 39000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n4} := 13 \cdot \text{deg}$
II, pl	$h_5 := 0 \cdot \text{m}$	$I_{L5} := 0.15$	$\gamma_{n5} := 20.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u5} := 18.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_5 := 25.8 \cdot \text{kPa}$	$E_{o5} := 22000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n5} := 15.30 \cdot \text{deg}$
GII, pl	$h_6 := 0 \cdot \text{m}$	$I_{D6} := 0.33$	$\gamma_{n6} := 19.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u6} := 13.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_6 := 20.7 \cdot \text{kPa}$	$E_{o6} := 14000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n6} := 13 \cdot \text{deg}$
II, tpl	$h_7 := 0 \cdot \text{m}$	$I_{L7} := 0.15$	$\gamma_{n7} := 20.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u7} := 18.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_7 := 25.8 \cdot \text{kPa}$	$E_{o7} := 22000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n7} := 15.30 \cdot \text{deg}$
GII+Ż+Ko, pzw	$h_8 := 0 \cdot \text{m}$	$I_{D8} := 0$	$\gamma_{n8} := 22.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u8} := 30.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_8 := 95.0 \cdot \text{kPa}$	$E_{o8} := 34000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n8} := 18 \cdot \text{deg}$
II, pzw	$h_9 := 0 \cdot \text{m}$	$I_{D9} := 0$	$\gamma_{n9} := 20.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u9} := 60 \cdot \text{kPa}$
		$t_9 := 95.0 \cdot \text{kPa}$	$E_{o9} := 27000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n9} := 13 \cdot \text{deg}$

Gz+Ż+M, tpi	$h_{10} := 0 \cdot \text{m}$	$I_{D10} := 0.15$	$\gamma_{n10} := 17.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u10} := 0 \cdot \text{kPa}$
		$t_{10} := 63.7 \cdot \text{kPa}$	$E_{o10} := 60000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n10} := 33 \cdot \text{deg}$
Gp+Ż, tpi	$h_{11} := 0 \cdot \text{m}$	$I_{L11} := 0.11$	$\gamma_{n11} := 20.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u11} := 12.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_{11} := 37.1 \cdot \text{kPa}$	$E_{o11} := 10000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n11} := 12 \cdot \text{deg}$
Gp, tpi	$h_{12} := 0 \cdot \text{m}$	$I_{D12} := 0.15$	$\gamma_{n12} := 17.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u12} := 0.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_{12} := 100.5 \cdot \text{kPa}$	$E_{o12} := 125000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n12} := 37 \cdot \text{deg}$
Gp+Ż, pzw	$h_{13} := 0 \cdot \text{m}$	$I_{D13} := 0.15$	$\gamma_{n13} := 20.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$C_{u13} := 19.0 \cdot \text{kPa}$
		$t_{13} := 42.5 \cdot \text{kPa}$	$E_{o13} := 10000 \cdot \text{kPa}$	$\Phi_{n13} := 15 \cdot \text{deg}$

$$h_g := h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10} + h_{11} + h_{12} + h_{13}$$

$$h_g = 16.0 \text{ m}$$

zagłębienie pała w gruncie

## Wyznaczenie obliczeniowej nośności pobocznic

współczynniki technologiczne wg [3] tab. 4 - dla pali z rurą obsadową zagłębianą głowicą pokrętną

$$S_{s1} := 1.0 \quad \text{dla gruntów spoistych}$$

$$S_{s2} := 1.1 \quad \text{dla gruntów niespoistych}$$

$$S_{s3} := 0.8 \quad \text{dla piasków drobnych}$$

$$S_p := 1.0$$

$$D := 1.5 \cdot \text{m} \quad \text{średnica pała}$$

Współczynnik redukcyjny:

$$m_2 := 0.9 \quad \text{dla fundamentów palowych opartych na liczbie pali większej od dwóch [3] p.2.1.}$$

## Obliczenie nośności poboczniczy

$$h_c := h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10} + h_{11} + h_{12} + h_{13}$$

$$h_c = 16.0 \text{ m}$$

$$\gamma_m := 0.9$$

wg [5] p 4.5 nie redukuje się nośności poboczniczy  $m_1 := 1$

$z_p := 1 \cdot \text{m}$  - zagłębienie góry pała od poziomu terenu pierwotnego (wykop pog oczep) - poziom od którego interpolujemy opór na poboczniczy

$$N_s := m_1 \cdot \gamma_m \cdot (\pi \cdot D) \cdot \left[ \frac{\left( \frac{z_p + h_1}{2} \right)}{5 \cdot \text{m}} \cdot h_1 \cdot t_1 \cdot S_{s1} + \frac{\left( z_p + h_1 + \frac{h_2}{2} \right)}{5 \cdot \text{m}} \cdot h_2 \cdot t_2 \cdot S_{s1} + \frac{\left( z_p + h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2} \right)}{5 \text{m}} \cdot h_3 \cdot t_3 \cdot S_{s1} + h_4 \cdot t_4 \cdot S_{s1} \dots \right. \\ \left. + h_5 \cdot t_5 \cdot S_{s1} + h_6 \cdot t_6 \cdot S_{s1} + h_7 \cdot t_7 \cdot S_{s1} + h_8 \cdot t_8 \cdot S_{s1} + h_9 \cdot t_9 \cdot S_{s1} + h_{10} \cdot t_{10} \cdot S_{s1} + h_{11} \cdot t_{11} \cdot S_{s1} \dots \right. \\ \left. + h_{12} \cdot t_{12} \cdot S_{s1} + h_{13} \cdot t_{13} \cdot S_{s1} \right]$$

$$N_s = 2815 \text{ kN}$$

## Obliczenie nośności podstawy

Przyjęto parametry iłu w stanie półzwałym:

$$q := 1835 \cdot \text{kPa}$$

$$q = 1835 \text{ kPa}$$

jednostkowy opór graniczny pod podstawą pała wg [3] p.2.2.2

$$\gamma_{m1} := 0.9$$

współczynnik wg [3] p.2.2.2.

jednostkowy obliczeniowy opór graniczny pod podstawą pała:

$$q_r := \gamma_{m1} \cdot q$$

$$q_r = 1651.5 \text{ kPa}$$

$$D = 1.5 \text{ m}$$

pole powierzchni podstawy pała

$$A_p := \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_p = 1.77 \text{ m}^2$$

$$S_p := 1.0$$

wg [3] p.2.2.7

Obliczeniowa nośność stopy pała

$$N_p := S_p \cdot q_r \cdot A_p$$

$$N_p = 2918 \text{ kN}$$

## Obliczeniowa nośność pionowa pala

$$N_{2u} := N_s + N_p$$

$$N_{2u} = 5733 \text{ kN}$$

Obliczeniowe obciążenie pala

$$H_{r.maxp\_1} := \max(H_{r1.maxp}, H_{r2.maxp}) \quad H_{r.maxp\_1} = 3914 \text{ kN}$$

$$H_{r.maxp\_2} := \max(H_{r1.maxp\_E}, H_{r2.maxp\_E}) \quad H_{r.maxp\_2} = 4105 \text{ kN}$$

$$H_{r.maxp} := \max(H_{r.maxp\_1}, H_{r.maxp\_2})$$

$$H_{r.maxp} = 4105 \text{ kN}$$

$$Q_r := H_{r.maxp} + 27 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 1.2 \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot h_g$$

$$Q_r = 5021 \text{ kN}$$

$$Q_r = 5021 \text{ kN} \quad \blacktriangleleft \quad N_{2u} \cdot m_2 = 5160 \text{ kN}$$

nośność pala po uwzględnieniu współczynnika korekcyjnego

$$Q_r < N_{2u} \cdot m_2 = 1.0$$

**Warunek spełniony**

## Obliczenie sił wewnętrznych w palach

Obliczenie poziomu utwierdzenia pala w gruncie

Moduł odkształcenia pierwotnego gruntu wyznaczony jako średnia ważona z modułów dla poszczególnych warstw

$$E_{2us} := \frac{E_{o1} \cdot h_1 + E_{o2} \cdot h_2 + E_{o3} \cdot h_3 + E_{o4} \cdot h_4 + E_{o5} \cdot h_5 + E_{o6} \cdot h_6 + E_{o7} \cdot h_7 + E_{o8} \cdot h_8 + E_{o9} \cdot h_9 \dots + E_{o10} \cdot h_{10} + E_{o11} \cdot h_{11} + E_{o12} \cdot h_{12} + E_{o13} \cdot h_{13}}{h_c}$$

$$h_c = 16.0 \text{ m}$$

$$E_{2us} = 33675 \text{ kPa}$$

$$J := \pi \cdot \frac{D^4}{64}$$

$$J = 24850488.8 \text{ cm}^4$$

$$E := 32.6 \cdot \text{GPa}$$

sztywność trzonu pala

$$n_1 := 1$$

wykładnik potęgi, dla gruntów spoistych wg [3] p.5.1.

$$D_s := 1.0$$

średnica pala wg [3] p.5.4.3.

$$S_n := 1.1$$

wg [3] p.5.4.3.

$$k_{x1} := 9600 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (1 - I_{L1}) \cdot \frac{1}{D_s} \cdot S_n$$

$$k_{x1} = 8764.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x2} := 9600 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (1 - I_{L2}) \cdot \frac{1}{D_s} \cdot S_n$$

$$k_{x2} = 8764.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x3} := 9600 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (1 - I_{L3}) \cdot \frac{1}{D_s} \cdot S_n$$

$$k_{x3} = 8976 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x4} := 9600 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (1 - I_{L4}) \cdot \frac{1}{D_s} \cdot S_n$$

$$k_{x4} = 10032 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x5} := 9600 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (1 - I_{L5}) \cdot \frac{1}{D_s} \cdot S_n$$

$$k_{x5} = 8976 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x6} := S_n \cdot (750 \cdot I_{D6}^2 + 225 \cdot I_{D6} + 150) \cdot \frac{\gamma_{n6}}{D_s}$$

$$k_{x6} = 6696.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x7} := 9600 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (1 - I_{L7}) \cdot \frac{1}{D_s} \cdot S_n$$

$$k_{x7} = 8976 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x8} := S_n \cdot (750 \cdot I_{D8}^2 + 225 \cdot I_{D8} + 150) \cdot \frac{\gamma_{n8}}{D_s}$$

$$k_{x8} = 3679.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x9} := S_n \cdot (750 \cdot I_{D9}^2 + 225 \cdot I_{D9} + 150) \cdot \frac{\gamma_{n9}}{D_s}$$

$$k_{x9} = 3399 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x10} := S_n \cdot \left( 750 \cdot I_{D10}^2 + 225 \cdot I_{D10} + 150 \right) \cdot \frac{\gamma_{n10}}{D_s}$$

$$k_{x10} = 3751.69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x11} := 9600 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (1 - I_{L11}) \cdot \frac{1}{D_s} \cdot S_n$$

$$k_{x11} = 9398.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x12} := S_n \cdot \left( 750 \cdot I_{D12}^2 + 225 \cdot I_{D12} + 150 \right) \cdot \frac{\gamma_{n12}}{D_s}$$

$$k_{x12} = 3862.03 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$k_{x13} := S_n \cdot \left( 750 \cdot I_{D13}^2 + 225 \cdot I_{D13} + 150 \right) \cdot \frac{\gamma_{n13}}{D_s}$$

$$k_{x13} = 4413.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Średnia wartość  $k_x$

$$K_{x, sr} := \frac{k_{x1} \cdot h_1 + k_{x2} \cdot h_2 + k_{x3} \cdot h_3 + k_{x4} \cdot h_4 + k_{x5} \cdot h_5 + k_{x6} \cdot h_6 + k_{x7} \cdot h_7 + k_{x8} \cdot h_8 + k_{x9} \cdot h_9 \dots + k_{x10} \cdot h_{10} + k_{x11} \cdot h_{11} + k_{x12} \cdot h_{12} + k_{x13} \cdot h_{13}}{h_c}$$

$$K_{x, sr} = 9711.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Zagłębienie sprężyste pała wg [3] p.5.1. wzór 32

$$h_s := \sqrt[n_1+4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{K_{x, sr} \cdot D}} \cdot h_c^{n_1}$$

$$h_s = 8.13 \text{ m}$$

$$1.5 \cdot h_s = 12.2 \text{ m}$$

pał sztywny

$$3 \cdot h_s = 24.4 \text{ m}$$

pał wiotki

$$1.5 \cdot h_s < h_c < 3 \cdot h_s = 1.0 \quad \text{pał pośredni między sztywnym a wiotkim}$$

Poziom utwierdzenie pała sztywnego

$$h_u := 0.4 \cdot h_s$$

$$h_u = 3.3 \text{ m}$$

Poziom utwierdzenia pała wiotkiego

Uwzględnia się odpór gruntu działający na ławę zwieńczającą pale - nie uwzględniam - ujęto parcie na przedniej ścianie ławy w zestawieniu obciążeń

$$b_{sr} := 15.75 \cdot \text{m}$$

$$\gamma_z := 19 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\phi = 32.0 \text{ deg}$$

$$q_{ns} := \gamma_z \cdot 0.4 \cdot \text{m}$$

$$h_{sr} := 0 \cdot \text{m}$$

zestawienie sił od oporu pośredniego gruntu na jeden pał

$$K_0 := \left( \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \right)^2$$

$$E_{as} := 0.85 \cdot \gamma_z \cdot \left( \frac{h_{sr}^2}{2} \cdot K_0 + 0.4 \cdot m \cdot h_{sr} \cdot K_0 \right) \cdot 3.16 \cdot m$$

$$E_{as} = 0.0 \text{ kN}$$

$$M_{as} := E_{as} \cdot \frac{h_{sr}}{3}$$

$$M_{as} = 0.0 \text{ kNm}$$

Wysokość zaczepienia siły poziomej nad poziomem terenu

$$H_{Hmax} := T_{r2,max\_E}$$

$$T_{r2,max\_E} = 12551 \text{ kN}$$

$$M_{Hmax} := M_{r2,max\_E}$$

$$M_{r2,max\_E} = 24220 \text{ kNm}$$

$$h_H := \frac{M_{r2,max\_E}}{T_{r2,max\_E}}$$

$$h_H = 1.93 \text{ m}$$

$$\frac{h_H}{h_s} = 0.24$$

$$N_1 := 0.56$$

$$N_3 := 0.56$$

Poziom utwierdzenia pała wiotkiego

$$z_{max} := N_1 \cdot h_s$$

$$z_{max} = 4.6 \text{ m}$$

$$z_{max} > h_u = 1.0$$

Momnet zginający w pału

$$H_r := T_{r2,p\_E}$$

$$H_r = 1046 \text{ kN}$$

$$M_{maxp1} := H_r \cdot (h_H + h_s \cdot N_1) \cdot N_3$$

$$M_{maxp1} = 3798 \text{ kNm}$$

-pał z głowicą swobodną

$$M_{maxp2} := 0.5 \cdot H_r \cdot h_s$$

$$M_{maxp2} = 4253 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

-pał z głowicą utwierdzoną na poziomie terenu

$$M_{maxp3} := H_r \cdot (h_H + h_u)$$

$$M_{maxp3} = 5421 \text{ kNm}$$

-pał sztywny

## Obliczenie osiadań fundamentu palowego

Wyznaczenie średnich modułów odkształcenia pierwotnego

$$P_{pmax} := H_{n2p\_E} + 27 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot h_c \quad P_{pmax} = 4220.75 \text{ kN}$$

$$Q_{1p} := P_{pmax}$$

$$Q_{1p} = 4221 \text{ kN}$$

$$E_t := 32.6 \cdot \text{GPa} \quad - \text{moduł ścisłości trzonu pala}$$

$$R_a := 1.0 \quad - \text{wg pkt. 4.5.2 PN-83/B-02482 (dla pali pełnych } R_a=1.0)$$

Ważone wartości modułów ścisłości

$$E_{2us} = 33675 \text{ kPa} \quad \text{podpora nr 2 pal pionowy}$$

$$h_c = 16.0 \text{ m} \quad \text{długość pala pionowego}$$

$$D = 1.5 \text{ m}$$

Pal pionowy

$$\frac{h_c}{D} = 10.7$$

$$K_{a1p} := \frac{E_t}{E_{2us}} \cdot R_a \quad K_{a1p} = 968$$

$$E_{o9} = 27000 \text{ kPa} \quad E_{2us} = 33675 \text{ kPa}$$

$$\frac{E_{o9}}{E_{2us}} = 0.8$$

$$R_b := 1.0 \quad \text{współczynnik wpływu warstwy mniej ścisłej}$$

Współczynniki wg PN-83/B-02482

$$l_{ok1p} := 1.6$$

$$l_{w1p} := l_{ok1p} \cdot R_b \quad l_{w1p} = 1.6$$

$$s_{1p} := \frac{Q_{1p}}{h_c \cdot E_{2us}} \cdot l_{w1p} \quad s_{1p} = 12.5 \text{ mm} \quad \text{podpora nr 2 pal pionowy}$$

Osiadanie w wysokości 12.5 mm jest dopuszczalne.