

Projekt muru oporowego

według PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne
wraz z poprawkami

Projekt muru oporowego obejmuje:

- opis techniczny,
- obliczenia statyczne,
- rysunki

W projektowaniu ściany oporowe traktuje się wraz z fundamentem jako całość.

Opis techniczny:

1. Przedmiot, podstawa i zakres opracowania,
2. Wykorzystane materiały:
 - dokumentacja geotechniczna/geologiczna,
 - projekt budowlany,
 - projekt urbanistyczny,
 - ekspertyzy,
 - normy,
 - literatura.
3. Założenia projektowe,
4. Lokalizacja obiektu,
5. Charakterystyka geologiczno-inżynierska,
 - ogólna charakterystyka morfologiczno-geologiczna (położenie, rzeźba terenu, ...),
 - szczegółowe warunki geotechniczne (rodzaj gruntów, stan gruntów, miąższość warstw, ...)
 - warunki wodne (zwierciadło wody gruntowej, agresywność, sąsiedztwo zbiorników wodnych, ...).
6. Opis konstrukcji,
 - ogólna charakterystyka konstrukcji (rodzaj konstrukcji, schemat, podstawowe wymiary, główne obciążenia).
 - opis poszczególnych elementów konstrukcyjnych.
 - opis obliczeń statycznych i metod wymiarowania konstrukcji.
7. Technologia wykonywania konstrukcji,
8. Informacje dodatkowe – wyposażenie,
9. Uwagi końcowe.

Obliczenia statyczne:

1. Ustalenie parametrów geotechnicznych
2. Przyjęcie wymiarów geometrycznych muru oporowego

3. Zebranie obciążeń.
 - 3.1. Zebranie obciążeń pionowych.
 - 3.2. Zebranie obciążeń poziomych (parcie gruntu).
4. Sprawdzenie wymiarów konstrukcji muru oporowego.
5. Sprawdzenie warunków I stanu granicznego
 - sprawdzenie nośności podłoża z uwzględnieniem mimośrodów i nachylenia obciążenia oraz budowy podłoża;
 - sprawdzenie stateczności na obrót;
 - sprawdzenie stateczności na przesunięcie w poziomie posadowienia fundamentu lub w głębszych warstwach podłoża;
 - sprawdzenie ogólnej stateczności ściany oporowej i uskoku naziomu.
6. Sprawdzenie warunków II stanu granicznego

Normy:

- | | |
|---------------------------|--|
| [1] PN-EN 1997-1:2008 | Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne. |
| [2] PN-EN 1997-1:2008/Ap2 | Poprawka do Polskiej Normy Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne. |
| [3] PN-EN 1997-1:2008/AC | Poprawka do Polskiej Normy Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne. |
| [4] PN-83/B-03010 | Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie. |
| [5] PN-81/B-03020 | Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie. |

TREŚĆ ZADANIA (przykład)

Zaprojektować mur oporowy typu **plytowo-kątowego**; podtrzymujący naziom o wysokości $h_n = 2,9$ m. Projekt wykonać dla konstrukcji posadowionej bezpośrednio.
Obciążenie naziomu $q_n = 5$ kPa.

Dane gruntowe:

Rzędne warstwy [m]	Rodzaj gruntu	Geneza	I_L/I_D
0.0 – -2.80	Gp	B	0.22
-2.80 – -6.0	Pd	-	0.65
-6.0 – -20.0	Ps	-	0.70

Poziom wody gruntowej: - nie stwierdzono

Projekt powinien zawierać:

1. Opis techniczny
2. Ustalenie parametrów geotechnicznych
3. Zebranie obciążeń
4. Przyjęcie i sprawdzenie wymiarów konstrukcji muru oporowego
5. Obliczenie stateczności muru oporowego według I stanu granicznego
6. Rysunki
 - a) Przekrój geotechniczny
 - b) Przekrój muru oporowego (z uwzględnieniem izolacji i odwodnienia)
 - c) Rysunki schematyczne w treści obliczeń

Termin oddania projektu:

OPIS TECHNICZNY

1. Przedmiot, podstawa i zakres opracowania,
2. Wykorzystane materiały:
 - dokumentacja geotechniczna/geologiczna,
 - projekt budowlany,
 - projekt urbanistyczny,
 - ekspertyzy,
 - normy,
 - literatura.
3. Założenia projektowe,
4. Lokalizacja obiektu,
5. Charakterystyka geologiczno-inżynierska,
 - ogólna charakterystyka morfologiczno-geologiczna (położenie, rzeźba terenu, ...),
 - szczegółowe warunki geotechniczne (rodzaj gruntów, stan gruntów, miąższość warstw, ...)
 - warunki wodne (zwierciadło wody gruntowej, agresywność, sąsiedztwo zbiorników wodnych, ...).
6. Opis konstrukcji,
 - ogólna charakterystyka konstrukcji (rodzaj konstrukcji, schemat, podstawowe wymiary, główne obciążenia).
 - opis poszczególnych elementów konstrukcyjnych.
 - opis obliczeń statycznych i metod wymiarowania konstrukcji.
7. Technologia wykonywania konstrukcji,
8. Informacje dodatkowe – wyposażenie,
9. Uwagi końcowe.

OBLICZENIA STATYCZNE

1.0. Ustalenie parametrów geotechnicznych

Charakterystyczne wartości parametrów geotechnicznych zostały wyznaczone z wykorzystaniem tabel i nomogramów zamieszczonych w normie PN-81/B-03020 („Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie”).

- dla gruntów niespoistych (nieplastycznych): rys. 3 (kąt tarcia wewnętrznego ϕ) oraz tab. 1 (gęstość objętościowa ρ),
- dla gruntów spoistych: rys. 4 (kąt tarcia wewnętrznego ϕ) i 5 (spójność c) oraz tab. 2 (gęstość objętościowa ρ).

Zasypkę przyjmujemy wg pkt 5.7 normy PN-83/B-03010 Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie: zaleca się stosować z gruntów mineralnych, rodzimych, niespoistych, o dobrych właściwościach drenujących, nieagresywnych lub o słabym stopniu agresywności. Dopuszcza się wykorzystanie miejscowych gruntów spoistych i przemysłowych materiałów odpadowych (popioły, żużle itp.) pod warunkiem właściwego ich ułożenia, zagęszczenia i odwodnienia. Nie należy stosować gruntów spoistych w stanie miękkoplastycznym. Kontrola zagęszczenia zasypu jest wymagana, gdy za ścianą oporową przewiduje się wykonanie innych konstrukcji podatnych na osiadanie lub zapadanie gruntu.

Najlepiej: grunt niespoisty średniozagęszczony.

Przelot [m]	Rodzaj gruntu	Metoda B (PN-81/B-03020)						
		Stan gruntu	Geneza	ρ [g/cm ³]	w [%]	ρ' [g/cm ³]	ϕ_u	c_u [kPa]
0.0 – -2.80	Gp	$I_L = 0,22$	B	2.20	12	1.25	18	30
-2.80 – -6.0	Pd	$I_D = 0,65$	-	1.75	22	0.90	32	-
-6.0 – -20.0	Ps	$I_D = 0,70$	-	1.90	20	0.99	34	-
Zasypka	Ps	$I_D = 0,60$	-	1.85	20	0.97	33	-

$$\rho' = (1 - n)(\rho_s - \rho_w) = \rho_{sat} - \rho_w$$

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} = \frac{e}{1 + e} = \frac{w_{sat} \cdot \rho_d}{\rho_w} = \frac{\rho_s(1 + w) - \rho}{\rho_s(1 + w)}$$

Wartość obliczeniowa parametru geotechnicznego według Eurokodu7 dla stanu granicznego GEO i podejścia obliczeniowego DA2 równa jest wartości charakterystycznej, ponieważ współczynnik materiałowy $\gamma_m = 1.0$.

2.0. Przyjęcie wymiarów konstrukcji

Rodzaje konstrukcji oporowych:

- wspornikowe (ścianki szczelne);

- wspornikowe zakotwione;
- masywne (z betonu, kamienia lub ceglane);
- kątowe (żelbetowe: monolityczne lub prefabrykowane);
- kątowe żebrowe (zwykle żelbetowe monolityczne);
- z elementami odciażającymi (ze wspornikami lub płytami odciażającymi);
- złożone.

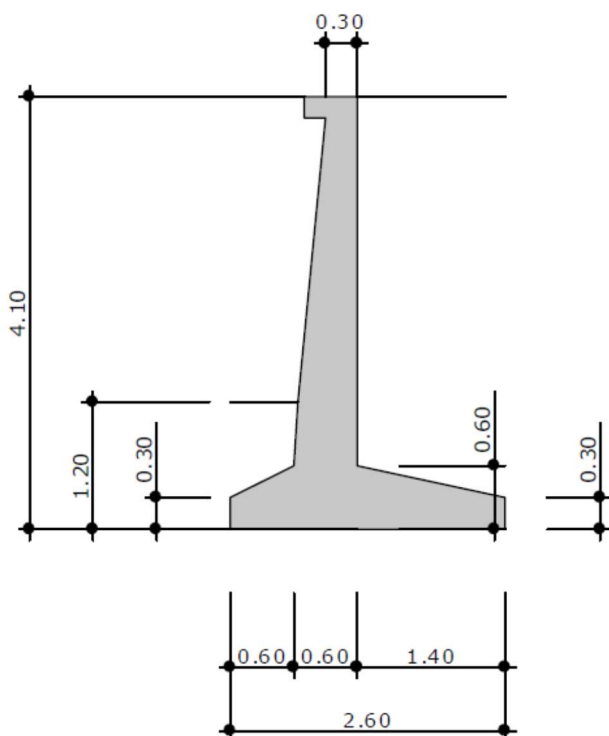
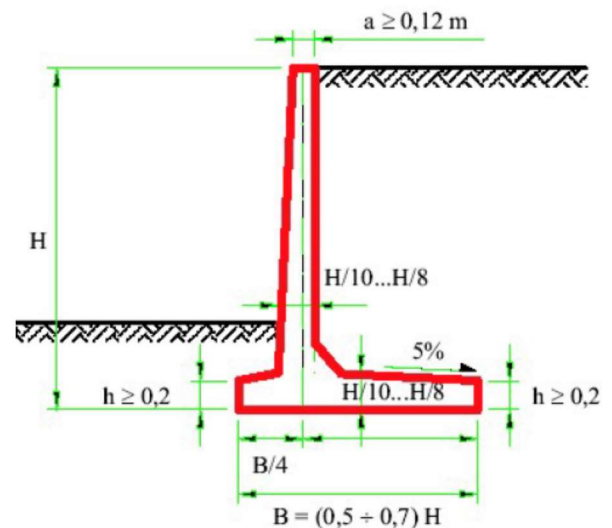
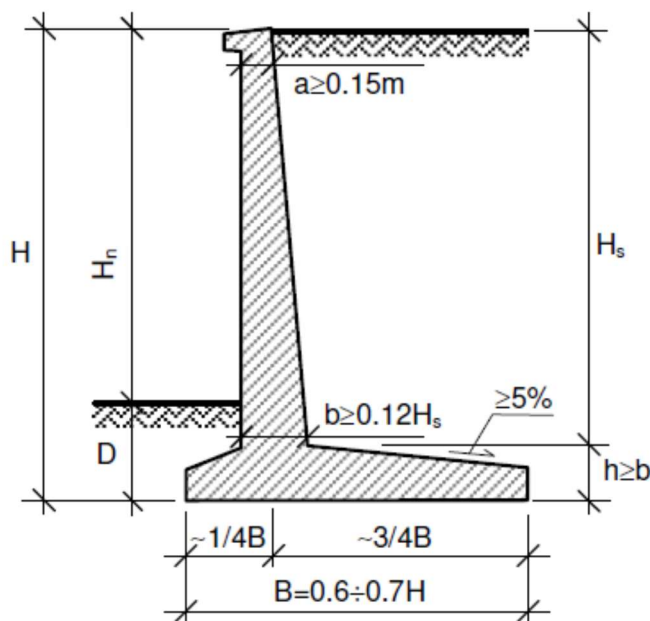
Zagłębienie ścian oporowych (D)

$D \geq 0.5 \text{ m}$ – grunty niewysadzinowe (grunty niespoiste)

$D \geq h_z$ – grunty wysadzinowe (grunty spoiste)

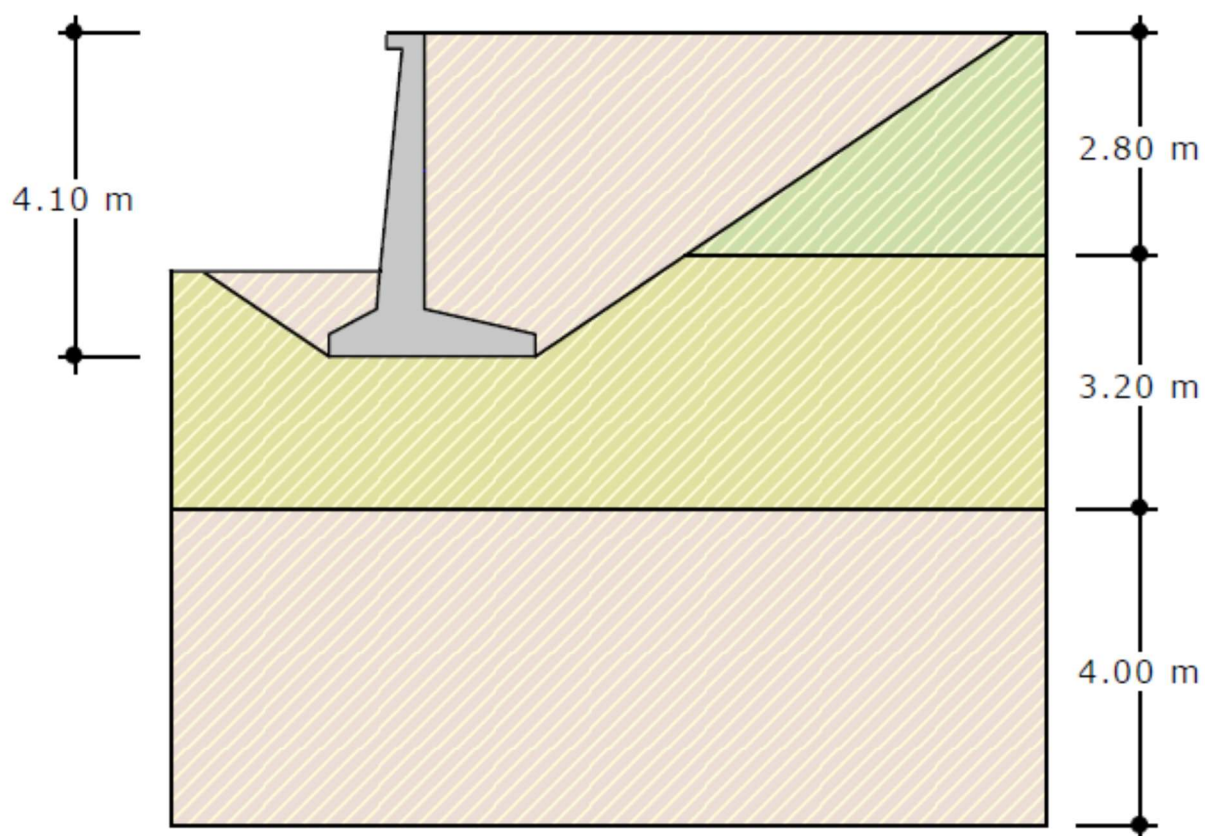
h_z – głębokość przemarzania gruntu

Zalecenia przyjmowania wymiarów murów płytowo-kątowych:

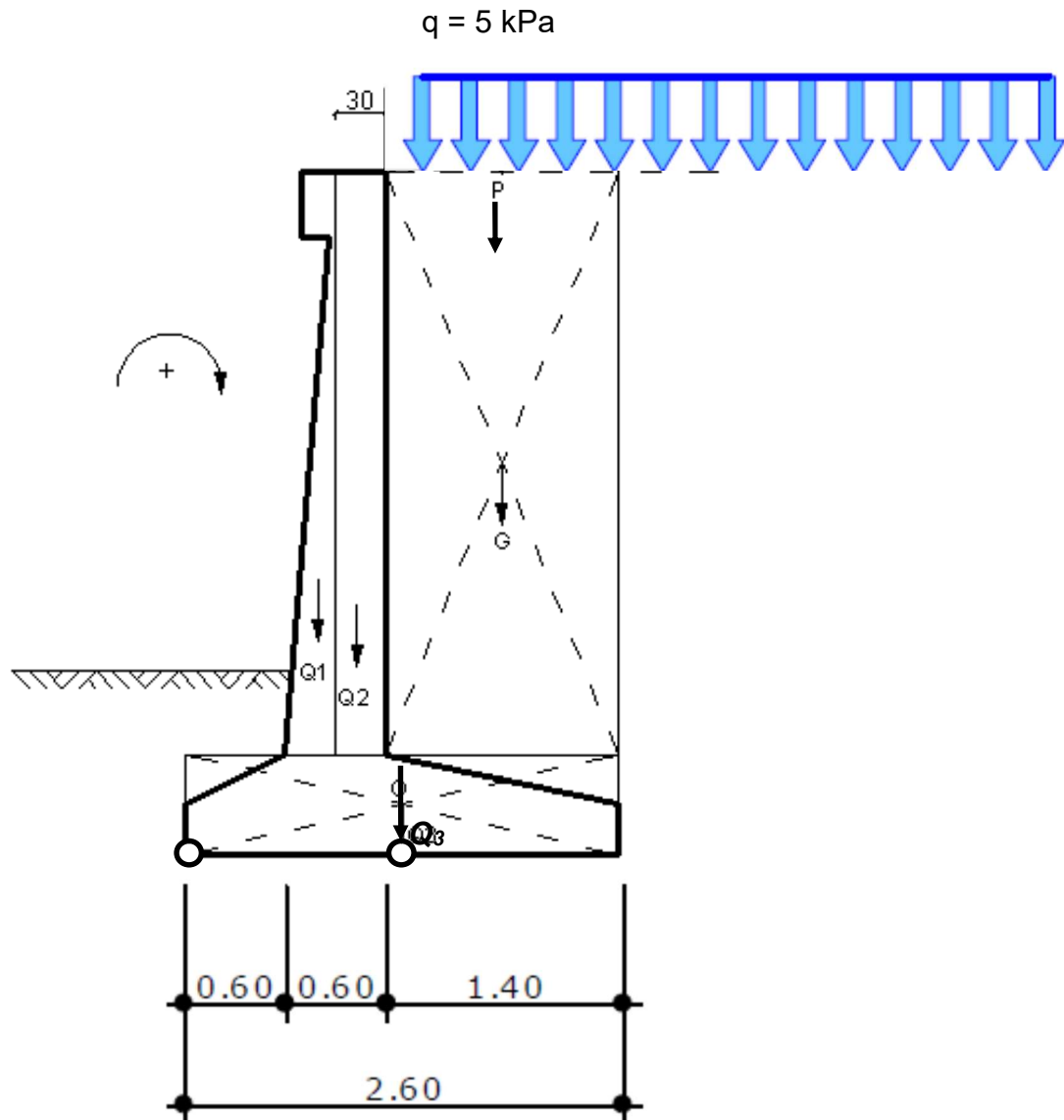


Przyjęte wymiary:

- głębokość posadowienia $D = 1.20 \text{ m}$,
 - wysokość całkowita $H = 4.10 \text{ m}$,
 - szerokość podstawy $B = 2.60 \text{ m}$,
 - wysokość podstawy $d = 0.30/0.60 \text{ m}$,
 - grubość ściany w koronie $= 0.30 \text{ m}$.
- szerokość odsadzek:
 $b_L = 0.6 \text{ m}$; $b_P = 1.4 \text{ m}$



3.0. Zebranie obciążeń (stan graniczny GEO, DA2)



3.1. Obciążenia pionowe

Obciążenia od konstrukcji - ciężar własny elementów ściany (Q)

Wartości charakterystyczne ciężaru własnego ścian:

– dla betonu $\gamma_b = 24,0 \text{ kN/m}^3$

– dla żelbetu $\gamma_z = 25,0 \text{ kN/m}^3$

Wartości współczynnika obciążeń: $\gamma_f = 1,35 (1,0)$.

Obciążenia od gruntu (nad odsadzkami) (G)

Uwzględniamy wariant z możliwością odkopania ściany oporowej od strony naziomu dolnego

➔ w zebraniu obciążeń pomijamy ciężar gruntu na odsadzce po stronie niższego naziomu (G_2).

Wartości charakterystyczne ciężaru objętościowego gruntu określimy na podstawie normy PN-81/B-03020.

Wartości współczynników obciążeń do określenia wartości obliczeniowych: $\gamma_f = 1,35 (1,0)$

Obciążenie naziomu (obciążenie zmienne) (P)

Wartości charakterystyczne obciążenia naziomu podano w temacie.

Wartości współczynników obciążeń γ_f do określenia wartości obliczeniowych: $\gamma_f = 1,5$ (0,0)

Obc.	Charakterystyczne wartości obciążeń		r_0	M_0	γ_{fmin}	V_{min}	M_{Omin}	γ_{fmax}	V_{max}	M_{Omax}	r_A	M_{Amin}
	V_k [kN/mb]	[m]										
Q_1	$0,5 \times 3,10 \times 0,30 \times 25 =$	11.63	-0.50	-5.81	1.00	11.63	-5.81	1.35	15.69	-7.85	0.80	9.30
Q_2	$3,50 \times 0,30 \times 25 =$	26.25	-0.25	-6.56	1.00	26.25	-6.56	1.35	35.44	-8.86	1.05	27.56
Q_3	$2,60 \times 0,6 \times 25 =$	39.00	0.00	0.00	1.00	39.00	0.00	1.35	52.65	0.00	1.30	50.70
G	$3,60 \times 1,40 \times 1,85 \times 9,81 =$	88.93	0.60	53.36	1.00	88.93	53.36	1.35	120.05	72.03	1.90	168.96
P	$1,40 \times 5,0 =$	7.00	0.60	4.20	0.00	0.00	0.00	1.50	10.50	6.30	1.90	0.00
Suma:		172.80		45.18		165.80	40.98		234.33	61.63		256.53

Suma obciążeń pionowych - V:

$V_k = 172,80$ kN/mb

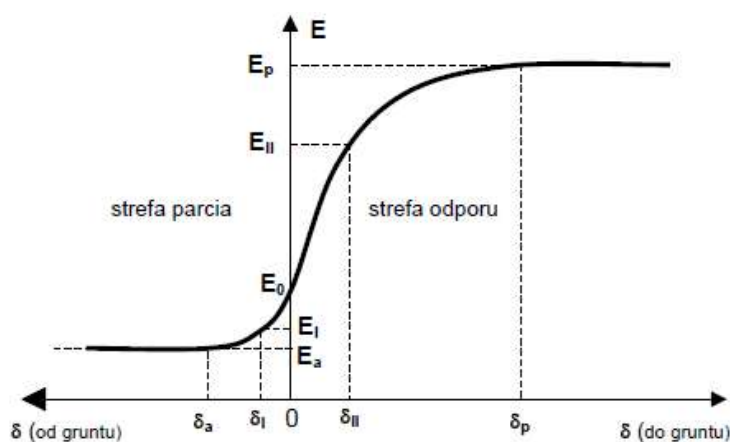
$V_{max} = 234,33$ kN/mb

$V_{min} = 165,80$ kN/mb

3.2. Obciążenia poziome

Parcie i odpór gruntu jest oddziaływaniem, którego wartość zależy od przemieszczeń i odkształcalności konstrukcji oporowej.

Wartości parcia zależą od przemieszczeń ściany, a przemieszczenia te z kolei są wynikiem między innymi parcia gruntu. Projektowanie ścian oporowych na parcie spoczynkowe (E_0) jest zbyt asekuracyjne i raczej niewłaściwe. Parcie takie przyjmuje się dla konstrukcji, które nie ulegają żadnym przemieszczeniom – np. ściany tuneli lub dużych kolektorów i rurociągów.



- E_0 – parcie spoczynkowe – gdy $\delta = 0$ (przem. zablokowane)
- E_a – parcie graniczne – gdy $\delta \geq \delta_a$ (ruch od gruntu)
- E_p – odpór graniczny – gdy $\delta \geq \delta_p$ (ruch do gruntu)
- E_I – parcie pośrednie – gdy $0 < \delta_I < \delta_a$
- E_{II} – odpór pośredni – gdy $0 < \delta_{II} < \delta_p$

Decyzje wyboru właściwego parcia i odporu, Eurokod 7 pozostawia projektantowi w oparciu o jego doświadczenie.

Ze względu na rozpatrywanie stanów granicznych GEO oraz EQU w ścianie oporowej, którym towarzyszą duże przemieszczenia, w obliczeniach uwzględniamy obciążenie ściany oporowej parciem granicznym.

W Eurokodzie graniczne jednostkowe parcia i odpory gruntu oznaczono symbolami σ_a i σ_p , czyli symbolami stanu naprężenia. W przykładzie przyjęto oznaczenia parć jednostkowych oraz wypadkowych jak w stosowanych dotychczas normach, czyli:

$$e_a = \sigma_a;$$

$$e_p = \sigma_p.$$

Zgodnie z Poprawką do normy EC 7:

PN-EN 1997-1:2008/AC:2009

9

Załącznik C (informacyjny)

Przykładowe sposoby wyznaczania wartości parcia gruntu

C.1 Graniczne wartości parcia i oporu gruntu

(1) Graniczne wartości parcia gruntu na pionową ścianę, wywołane przez grunt o ciężarze objętościowym γ , oraz równomierne obciążenie pionowe naziomu (q), kąt oporu ścinania (φ) i kohezję (c) należy wyznaczać z następujących wzorów:

– parcie graniczne:

$$\sigma_a(z) = K_a \left[\int \gamma dz + q - u \right] + u - c K_{ac} \quad (\text{C.1})$$

gdzie całka od powierzchni terenu do głębokości z

$$K_{ac} = 2\sqrt{[K_a(1 + a/c)]}, \text{ ograniczone do } 2,56\sqrt{K_a}$$

– odpór graniczny:

$$\sigma_p(z) = K_p \left[\int \gamma dz + q - u \right] + u + c K_{pc} \quad (\text{C.2})$$

gdzie całka od powierzchni terenu do głębokości z

$$K_{pc} = 2\sqrt{[K_p(1 + a/c)]}, \text{ ograniczone do } 2,56\sqrt{K_p}$$

$$e_a = \sigma_a(z) = K_a \left[\int \gamma dz + q - u \right] + u - c K_{ac}$$

gdzie:

$$K_{ac} = 2\sqrt{[K_a(1 + a/c)]}, \text{ ograniczone do } 2,562\sqrt{K_a}$$

a – przyczepność między gruntem a ścianą,

c – spójność gruntu,

K_a – współczynnik poziomego granicznego parcia gruntu,

K_p – współczynnik poziomego granicznego oporu gruntu,

q – pionowe obciążenie naziomu,

z – głębokość wzdłuż powierzchni ściany,

β – kąt nachylenia powierzchni gruntu za ścianą (dodatni zwrot do góry),

δ – kąt tarcia między ścianą a gruntem,

γ – całkowity ciężar objętościowy gruntu znajdującego się za ścianą,

$\sigma_a(z)$ – całkowite normalne naprężenie do ściany na głębokości z (parcie graniczne).

$\sigma_p(z)$ – całkowite normalne naprężenie do ściany na głębokości z (odpór graniczny).

Dla gruntów z drenażem K_a jest funkcją kąta oporu ścinania φ' i $c = c'$ kohezji efektywnej.

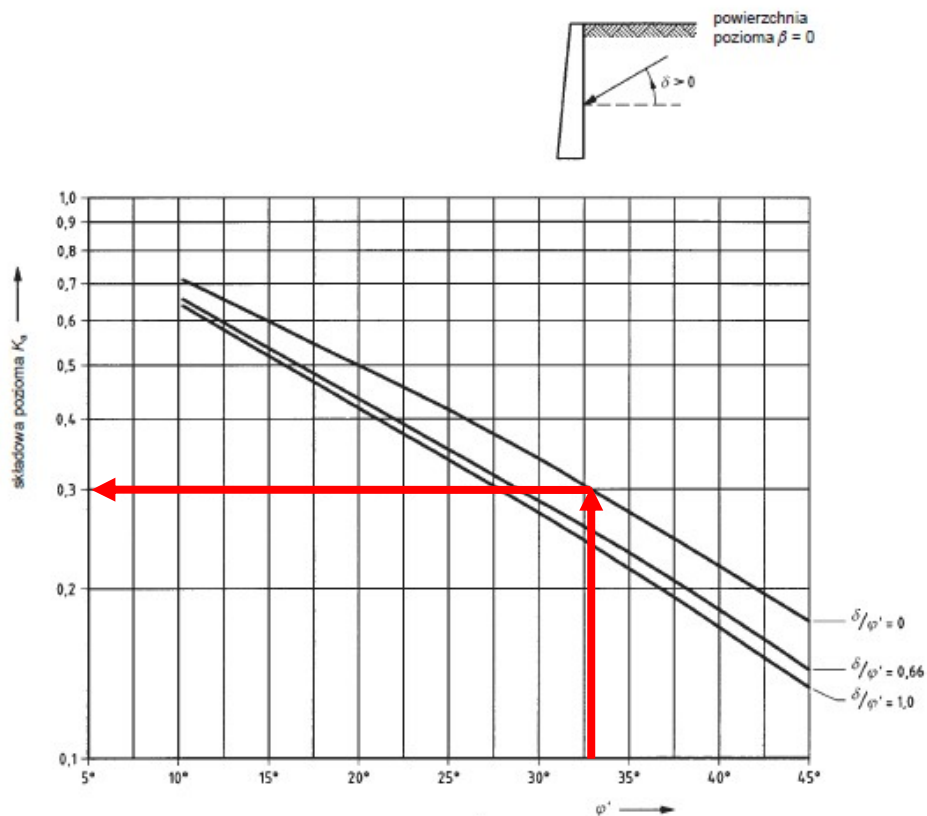
Dla gruntu bez drenażu $K_a = 1$ i $c = c_u$ wytrzymałości na ścinanie.

Wartości współczynnika parcia gruntu K_a można przyjmować z rysunków od C.1.1 do C.1.4, a współczynnika oporu K_p z rysunków od C.2.1 do C.2.4. załączonych do normy.

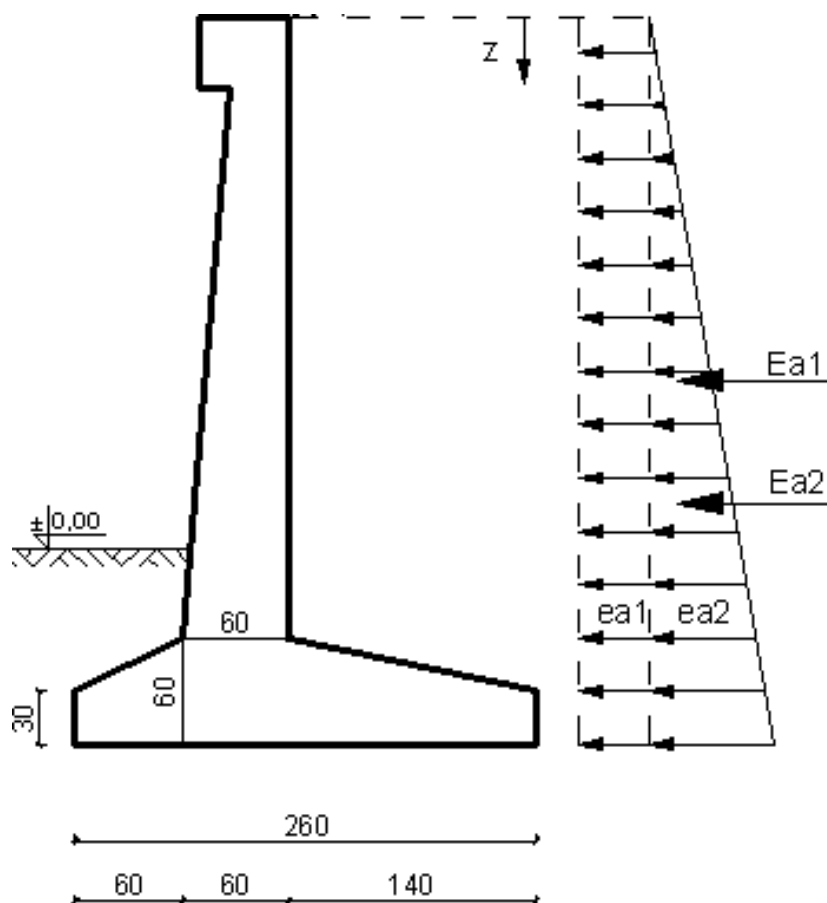
W przypadku gruntów uwarstwionych współczynnik K_a zaleca się przyjmować w oparciu o parametry wytrzymałości na ścinanie jedynie na głębokości z , niezależnie od wartości na pozostałych głębokościach.

10

PN-EN 1997-1:2008/AC:2009



Rysunek C.1.1 – Współczynniki K_a efektywnego czynnego parcia gruntu (składowa pozioma) w przypadku poziomej powierzchni naziomu ($\beta = 0$)



Obciążenia poziome – parcie graniczne czynne

Przy założeniach:

ściana pionowa, naziom poziomy ($\beta = 0$), brak tarcia między gruntem a ścianą ($\delta = 0$), współczynnik parcia granicznego $\rightarrow K_a = 0,3$.

Przy braku wody za murem oporowym (ściana poprawnie odwodniona) $u = 0.0$.

Dla ułatwienia obliczeń rozdzielamy wykres parcia jednostkowego e_a na dwa składowe:

$$e_a = K_a \left[\int \gamma dz + q - 0 \right] + 0 - cK_{ac} = K_a \times q + K_a \int \gamma dz - cK_{ac} = e_{a1} + e_{a2}$$

e_{a1} – parcie jednostkowe od obciążenia naziomu q ;

e_{a2} – parcie jednostkowe od gruntu.

- od obciążenia naziomu: $e_{a1} = q \times K_a = 5,0 \times 0,3 = 1,5 \text{ kN/m}^2$

- dla gruntu, $z = 0,00 \text{ m}$: $e_{a2} = (\rho \times g \times z) K_a - c \times K_{ac} = 0,0 \text{ kN/m}^2$

- dla gruntu, $z = H = 4,10 \text{ m}$: $e_{a2} = (1,85 \times 9,81 \times 4,1) 0,3 - 0 \times K_{ac} = 22,32 \text{ kN/m}^2$

Wypadkowa parcia gruntu:

- dla prostokątnego rozkładu jednostkowego parcia od obciążenia naziomu:

$$E_{a1} = e_{a1} \times H = 1,5 \times 4,1 = 6,15 \text{ kN/m}$$

- dla trójkątnego rozkładu jednostkowego parcia:

$$E_{a2} = \frac{1}{2} \times e_{a2} \times H = 0,5 \times 22,32 \times 4,1 = 45,76 \text{ kN/m}$$

Wartość charakterystyczna wypadkowej parcia:

$$E_{ak} = E_{a1} + E_{a2} = 6,15 + 45,76 = 51,91 \text{ kN/m}$$

Wartość charakterystyczna momentu od wypadkowej parcia względem punktu środkowego podstawy:

$$\begin{aligned} M_{EO} = M_{EA} &= -(\frac{1}{2} H) \times E_{a1} - (\frac{1}{3} H) \times E_{a2} = -0,5 \times 4,1 \times 6,15 - 0,333 \times 4,1 \times 45,76 = \\ &= -12.61 - 62.53 = -75.14 \text{ kNm/mb} \end{aligned}$$

Wartość obliczeniowa wypadkowej parcia (E_{a1} - obciążenie zmienne, E_{a2} - obciążenie stałe):

$$E_d = H_d = \gamma_Q \times E_{a1} + \gamma_G \times E_{a2} = 1,5 \times 6,15 + 1,35 \times 45,76 = 71,00 \text{ kN/m}$$

Wartość obliczeniowa momentu od wypadkowej parcia:

$$M_{Ed} = -(\frac{1}{2} H) \times E_{a1} \times \gamma_Q - (\frac{1}{3} H) \times E_{a2} \times \gamma_G$$

$$M_{Edmax} = -12.61 \times 1.5 - 62.53 \times 1.35 = -103.33 \text{ kNm/mb}$$

3.3. Zestawienie obciążeń

Suma obciążeń poziomych - H:

$$H_k = E_{ak} = 51,91 \text{ kN/mb}$$

$$H_d = E_d = 71,00 \text{ kN/mb}$$

Suma obciążeń pionowych - V:

$$V_k = 172,80 \text{ kN/mb}$$

$$V_{dmax} = 234,33 \text{ kN/mb}$$

$$V_{dmin} = 165,80 \text{ kN/mb}$$

Suma momentów sił względem środka fundamentu (punkt O):

charakterystyczne: $M_O(V_k, H_k) = 45,18 - 75,14 = -29,96 \text{ kNm/mb}$

Kombinacja obciążeń	charakterystyczne	obliczeniowe
	V_k, H_k, M_{Ok}	V_{max}, H_{max}
pionowe: V [kN/mb]	172.80	234.33
poziome: H [kN/mb]	51.91	71.00
$M_O(V)$ [kNm/mb]	45.18	61.63
$M_O(H)$ [kNm/mb]	-75.14	-103.33
$M_O(V+H)$ [kNm/mb]	-29.96	-41.70
mimośród [m] $e_B = \frac{M_O(V+H)}{V}$	-0.173	

4. Sprawdzenie wymiarów konstrukcji muru oporowego.

Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążeń w podstawie fundamentu

$$e_B = M_{Ok}/V_k = 29,96/172,80 = 0,173 \text{ m} < B/6 \quad (B/6 = 2,6/6 = 0,43 \text{ m})$$

NIE WYSTAPI ODRYWANIE FUNDAMENTU OD PODŁOŻA

Dopuszcza się odrywanie, ale z warunkiem: $e_B \leq \frac{B}{3}$. Jeżeli $e_B > \frac{B}{3}$ to nie można używać wzorów podanych w EC7. Należy dążyć do tego, aby mimośród $e_B < \frac{B}{6}$. Tak będzie, jeżeli prawidłowo dobierze się wymiary podstawy muru oporowego.

5. Sprawdzenie warunków I stanu granicznego.

5.1. NOŚNOŚĆ PODŁOŻA POD PODSTAWĄ FUNDAMENTU

(STAN GRANICZNY GEO - WYPARCIE GRUNTU)

Sprawdzenie warunku nośności:

$$R_{d,v} \geq V_d$$

Sprawdzamy możliwość wyparcia gruntu spod fundamentu w warunkach „z odpływem”.

Jeżeli warunek nie jest spełniony należy zwiększyć tylną odsadzkę.

$\gamma_R = 1,4$ – współczynnik częściowy dla nośności podłoża (dla wyporu) – stan GEO, DA 2

V_d – wartość obliczeniowa siły pionowej działającej w poziomie posadowienia

$R_{d,v}$ – wartość obliczeniowa oporu podłoża na wyparcie dla „warunków z odpływem”

Grunt podłoża wg PN-81/B-03020:

Piasek drobny	$I_D = 0,65$	$\rho = 1,75 \text{ g/cm}^3$	$\phi_u = 32^\circ$	$c_u = 0 \text{ kPa}$
---------------	--------------	------------------------------	---------------------	-----------------------

Charakterystyczne wartości parametrów wytrzymałościowych gruntu podłoża:

- efektywny kąt tarcia wewnętrznego $\phi'_k = \phi_u = 32,0^\circ$
- efektywna spójność $c'_k = c_u = 0,0 \text{ kPa}$
- wytrzymałość przy szybkim ścinaniu bez odpływu $c_{uk} = 0$ (dla warunków „bez odpływu”)

Ścianę oporową traktujemy jak ławę fundamentową (fundament pasmowy): $L' \rightarrow \infty$; $B'/L' = 0,0$

$$\frac{R_{k,v}}{A'} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot b_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma$$

Efektywne wymiary fundamentu:

$$B' = B - 2e_B = 2,60 - 2 \times 0,173 = 2,254 \text{ m}$$

Obciążenia są zbierane na 1 m długości fundamentu, stąd $L' = 1 \text{ m}$

ale przyjmujemy $\frac{B'}{L'} = \frac{2,254}{\infty} = 0,0 !!!$

Efektywne pole fundamentu: $A' = B' \times 1 \text{ m} = 2,254 \text{ m}^2$

5.1.1. Współczynniki nośności

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi'} \cdot tg^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) = e^{\pi \cdot \tan(32)} \cdot tg^2 \left(45 + \frac{32}{2} \right) = 23,18$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot ctg(\phi') = (23,18 - 1) \cdot ctg(32) = 35,49$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot tg(\phi'), \text{ jeżeli } \delta \geq \phi' / 2 \text{ (w przypadku szorstkiej podstawy)}$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (23,18 - 1) \cdot tg(32) = 27,72$$

5.1.2. Współczynniki kształtu podstawy fundamentu

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \phi' = 1,0$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = 1.0$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B'}{L'} = 1.0$$

5.1.3. Współczynniki nachylenia obciążenia

- warunek maksymalnego oddziaływania poziomego na podłoże:

$$H_k \leq V_k + A' \cdot c' \cdot \text{ctg}(\varphi')$$

$$H_k = 51.91 \text{ kN/m}$$

$$V_k = 172.80 \text{ kN/m}$$

$$H_k = 51.91 \text{ kN/m} < V_k + A' \cdot c' \cdot \text{ctg}(\varphi') = 172.80 + 2.254 \times 0 \times \text{ctg}(32) = 172.8 \text{ kN}$$

WARUNEK SPEŁNIONY

$$i_q = \left[1 - \frac{H_k}{V_k + A' \cdot c' \cdot \text{ctg} \varphi'} \right]^m$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H_k}{V_k + A' \cdot c' \cdot \text{ctg} \varphi'} \right]^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \text{tg} \varphi'}$$

gdzie:

$$m = m_B = [2 + (B'/L')]/[1 + (B'/L')] - \text{gd} \ddot{y} \text{ si} \acute{e} \text{a pozioma dzia} \acute{ł} \text{a na kierunku B}$$

$$m = m_B = \frac{2 + 0}{1 + 0} = 2.0$$

$$i_q = \left(1 - \frac{51.91}{172.80} \right)^{2.0} = 0.49$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{51.91}{172.80} \right)^{3.0} = 0.34$$

$$i_c = 0.49 - \frac{1 - 0.49}{35.49 \cdot \text{tg}(32)} = 0.47$$

5.1.4. Współczynniki nachylenia podstawy fundamentu

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \text{tg} \varphi')^2$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q)/(N_c \cdot \text{tg} \varphi')$$

podstawa fundamentu jest pozioma, tzn. $\alpha = 0 \text{ rad} \Rightarrow b_q = b_\gamma = b_c = 1.00$

5.1.5. Charakterystyczny opór podłoża na wyparcie w warunkach „z odpływem”

Ze względu na brak zwierciadła wody gruntowej w obrębie podłoża fundamentu:

$$\gamma' = \gamma \text{ i } q' = q = D \cdot \gamma = 1.2 \times 1.75 \times 9.81 = 20.60 \text{ kPa}$$

γ - obliczeniowy ciężar objętościowy gruntu poniżej posadowienia

(UWAGA: korzystając z zalecenia z Załącznika 1 PN-81/B-03020 obliczamy średni ciężar objętościowy gruntów zalegających poniżej poziomu posadowienia do głębokości równej $B=2,6\text{m}$):

$$\gamma = \frac{\gamma_{II} \cdot 1.9 + \gamma_{III} \cdot (2.6 - 1.9)}{2.6} = \frac{1.75 \cdot 9.81 \cdot 1.9 + 1.9 \cdot 9.81 \cdot 0.7}{2.6} = 17.56 \text{ kN/m}^3$$

$$R_{k,v} = A' \cdot (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma) =$$

$$= 2.254 \cdot (0 \cdot 35.5 \cdot 1.0 \cdot 0.47 \cdot 1.00 + 20.6 \cdot 23.18 \cdot 1.0 \cdot 0.49 \cdot 1.00 + 0.5 \cdot 17.56 \cdot 2.254 \cdot 27.72 \cdot 1.0 \cdot 0.34 \cdot 1.00)$$

$$R_{k,v} = 985.40 \text{ kN/m}$$

5.1.6. Obliczeniowy opór podłoża na wyparcie w warunkach „z odpływem”

$$R_{d,v} = \frac{R_{k,v}}{\gamma_{R,v}} = \frac{985.40}{1.4} = 703.86 \text{ kN}$$

5.1.7. Warunek nośności podłoża w warunkach „z odpływem”

$$R_{d,v} \geq V_d$$

$$R_{d,v} = 703.86 \text{ kN} \geq V_d = 234.33 \text{ kN}$$

WARUNEK SPEŁNIONY

5.2. NOŚNOŚĆ NA PRZESUNIĘCIE

Warunek nośności podłoża na poślizg w warunkach „z odpływem”

$$R_{d,h} \geq H_d$$

Całkowite, obliczeniowe oddziaływanie poziome: $H_d = 71.00 \text{ kN/m}$

Pominięto wpływ odporu gruntu przed ścianą oporową (założono, że ściana może zostać odkopana).

Zastosowano formułę na wypadkowy opór graniczny wg PN-EN 1997-1 pkt 6.5.3.:

$$R_{k,h} = V_k \cdot \tan(\delta_k)$$

gdzie: δ_k – charakterystyczny kąt tarcia na styku fundamentu i gruntu

5.2.1. Wartość charakterystyczna kąta tarcia w kontakcie fundament-podłoże gruntowe

Według PN-EN 1997-1 pkt 6.5.3. kąt tarcia w kontakcie fundament-grunt można przyjąć równy wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego w stanie krytycznym φ'_{cv} dla fundamentów formowanych na gruncie oraz 2/3 tego kąta dla gładkich fundamentów prefabrykowanych.

Zakładając wariant mniej korzystny (mur prefabrykowany) oraz zakładając $\varphi'_{cv} = \varphi'$ przyjmuję:

$$\delta_k = 0.667 \times 32 = 21.33^\circ$$

Według zalecenia PN-EN 1997-1 pkt 6.5.3. pomija się efektywną spójność c' .

5.2.2. Charakterystyczny opór podłoża na poślizg

$$V_k = 172.8 \text{ kN/m}$$

$$R_{k,h} = V_k \times \tan(\delta_k) = 172.8 \times \tan(21.33) = 67.49 \text{ kN/m}$$

5.2.3. Obliczeniowy opór podłoża na poślizg

$$R_{d,h} = \frac{R_{k,h}}{\gamma_{R,h}} = \frac{67.49}{1.1} = 61.35 \text{ kN}$$

5.2.4. Warunek nośności podłoża na poślizg w warunkach „z odpływem”

$$R_{d,h} \geq H_d$$

Całkowite, obliczeniowe oddziaływanie poziome: $H_d = 70.08 \text{ kN}$

$$R_{d,h} = 61.35 \text{ kN} < H_d = 70.08 \text{ kN}$$

WARUNEK NIESPEŁNIONY

Uwaga: w takim przypadku należy zaproponować rozwiązanie problemu (uwzględnienie siły oporu gruntu, zastosowanie ostrogi pod fundamentem, nachylenie podstawy, podsypka zwiększająca tarcie ...)

5.3. STATECZNOŚĆ NA OBRÓT (Stan graniczny EQU)

EQU – utrata równowagi budowli lub podłoża traktowanych jako sztywna bryła (w stanie tym wytrzymałość gruntu nie wpływa na nośność).

$$E_{dst;d} \leq E_{stb;d}$$

$E_{dst;d} = E\{\gamma_F F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\}_{dst} \rightarrow$ wartość obliczeniowa efektów oddziaływań niekorzystnych

$E_{stb;d} = E\{\gamma_F F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\}_{stb} \rightarrow$ wartość obliczeniowa efektów oddziaływań korzystnych

Tablica A.1 – Współczynniki częściowe do oddziaływań (γ_F)

Oddziaływanie	Symbol	Wartość
Stałe		
Niekorzystne ^a	$\gamma_{G,dst}$	1,1
Korzystne ^b	$\gamma_{G,stb}$	0,9
Zmienne		
Niekorzystne ^a	$\gamma_{Q,dst}$	1,5
Korzystne ^b	$\gamma_{Q,stb}$	0
^a Destabilizujące		
^b Stabilizujące		

Obciążenia charakterystyczne i obliczeniowe w stanie granicznym EQU:

Obc.	Charakterystyczne wartości obciążeń		r _o	M _O	γ _{fmin}	V _{min}	M _{Omin}	γ _{fmax}	V _{max}	M _{Omax}	r _A	M _{Amin}
	V _k [kN/mb]		[m]	[kNm/mb]	[-]	[kN/mb]	[kNm/mb]	[-]	[kN/mb]	[kNm/mb]	[m]	[kNm/mb]
Q ₁	0.5 x 3,10 x 0,30 x 25 =	11.63	-0.50	-5.81	0.9	10.46	-5.23	1.1	12.79	-6.39	0.80	8.37
Q ₂	3,50 x 0,30 x 25 =	26.25	-0.25	-6.56	0.9	23.63	-5.91	1.1	28.88	-7.22	1.05	24.81
Q ₃	2,60 x 0,6 x 25 =	39.00	0.00	0.00	0.9	35.10	0.00	1.1	42.90	0.00	1.30	45.63
G	3,60 x 1,40 x 1,85 x 9,81 =	88.93	0.60	53.36	0.9	80.03	48.02	1.1	97.82	58.69	1.90	152.07
P	1,40 x 5,0 =	7.00	0.60	4.20	0	0.00	0.00	1.5	10.50	6.30	1.90	0.00
	Suma:	172.80		45.18		149.22	36.88		192.88	51.38		230.87

W stanie granicznym EQU rozpatrujemy możliwość obrotu ściany względem punktu A leżącego pod zewnętrzną krawędzią podstawy muru.

Wartość obliczeniowa efektów oddziaływań korzystnych $E_{stb;d}$ = moment wszystkich sił obliczeniowych przeciwdziałających obrotowi ściany ($\gamma_f \leq 1$):

$$E_{stb;d} = M_A(V_{min}) = M_{Amin} = 230,87 \text{ kNm/mb}$$

Wartość obliczeniowa efektów oddziaływań niekorzystnych $E_{dst;d}$ = moment wszystkich sił obliczeniowych powodujących obrót ściany ($\gamma_f > 1$), moment wywracający od parcia gruntu:

$$E_{dst;d} = M_{Ed} = M_{Ed} = M_{EO} \times \gamma_f = -75.14 \times 1.1 = -82.65 \text{ kNm/mb}$$

$$E_{dst;d} = 82.65 \text{ kNm/mb} < E_{stb;d} = 230,87 \text{ kNm/mb} \rightarrow \text{warunek nośności EQU został spełniony}$$

5.4. SPRAWDZENIE OGÓLNEJ STATECZNOŚCI ŚCIANY OPOROWEJ I USKOKU NAZIOMU

Według punktu 4.2.6. normy PN-83/B-03010 "Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie":

- obliczenia należy przeprowadzić wariantowo, wprowadzając dla wartości parametrów gruntu w poszczególnych strefach raz współczynniki obliczeniowe zwiększające, drugi raz - zmniejszające

- Wartości działających obciążeń powinny spełniać warunek:

$$M_\theta \leq m \cdot M_u$$

gdzie:

$\Sigma M_\phi, \Sigma M_u$ – odpowiednio suma momentów obracających i utrzymujących

m – współczynnik korekcyjny, $m = 0.6 \div 0.85$ – dla charakterystycznych obciążeń i parametrów,

$m = 0.80 \div 1.0$ – dla obliczeniowych obciążeń i parametrów

Stosując metodę Felleniusa:

$$M_u = \sum_{i=1}^n (G_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \Phi_i + l_i c_i) \quad (\text{Z3-2})$$

$$M_o = \sum_{i=1}^n G_i \sin \alpha_i \quad (\text{Z3-3})$$

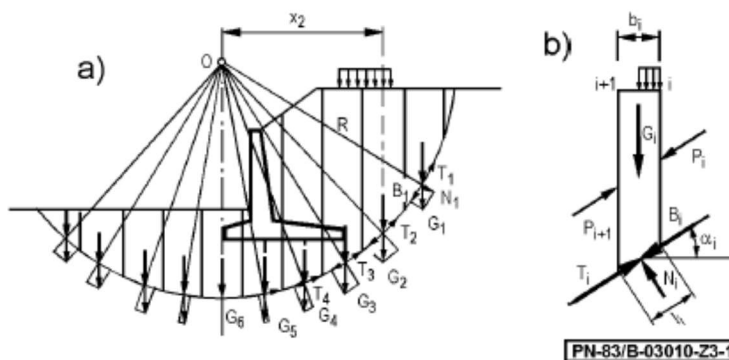
w którym:

G_i - ciężar bloku i ,

Φ_i - kąt tarcia wewnętrznego na odcinku l_i .

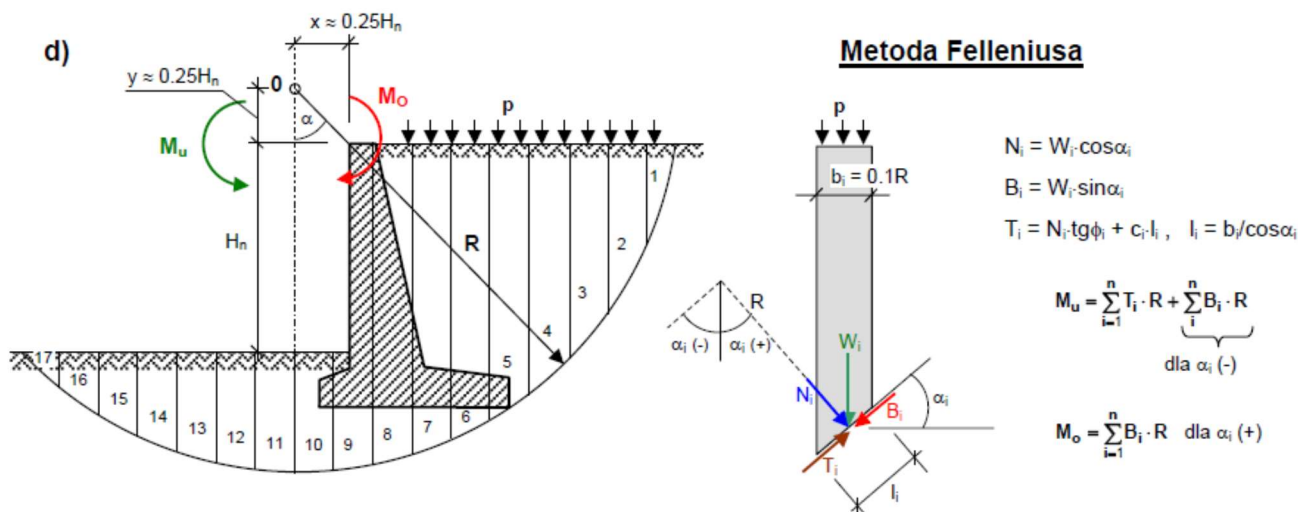
c_i - spójność na odcinku I_i .

α_i, l_i - wartość geometryczna wg rys. Z3-1.



Rys. Z3-1

Według innych źródeł:



Zgodnie z normą Eurokod 7 stateczność ogólna zaliczana jest do stanu granicznego GEO, dla którego sprawdza się ogólny warunek:

$$E_d \leq R_d$$

a według postanowień Załącznika Krajowego:

NA.2.6 Postanowienia dotyczące 2.4.7.3.4.1(1)P

Przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności podłoża (GEO) należy stosować:

- | | | |
|---|---|---------------------------|
| przy sprawdzaniu stateczności ogólnej | – | podejście obliczeniowe 3, |
| przy sprawdzaniu pozostałych stanów granicznych | – | podejście obliczeniowe 2. |

W podejściu obliczeniowym 2. obliczenia należy wykonać przyjmując wszystkie wartości charakterystyczne, a współczynniki częściowe stosować przy sprawdzaniu warunku nośności, tj. opór graniczny podłoża należy wyznaczać z wzoru 2.7b, przyjmując wartość współczynnika obciążeń $\gamma_F = 1,0$ (podejście 2°).

Przy podejściu obliczeniowym 3. opór graniczny podłoża należy wyznaczać z wzoru 2.7c.

$$R_d = R \{ \gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \} / \gamma_R$$

F_{rep} – wartość reprezentatywna oddziaływania;

γ_F – częściowy współczynnik dla oddziaływania.

X_k – wartość charakterystyczna właściwości materiału;

γ_M – częściowy współczynnik dla parametru geotechnicznego (współczynnik materiałowy).

a_d – wartość obliczeniowa parametru geometrycznego.

Podejście 3 (DA3) obejmuje zestaw współczynników: A2 + M2 + R3

Tablica NA.2 – Zestawienie wartości współczynników częściowych przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności (GEO)

			stany graniczne nośności – podejście 2			stateczność ogólna – podejście 3			
			A ₁	M ₁	R ₂	A ₂	M ₂	R ₃	
do oddziaływań		stałe	niekorzystne	1,35			1,0		
			korzystne	1,0			1,0		
		zmiennie	niekorzystne	1,5			1,3		
do właściwości gruntu		tan φ			1,0		1,25		
		efektywna spójność			1,0		1,25		
		wytrzymałość bez odpływu			1,0		1,4		
		wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie			1,0		1,4		
		ciężar objętościowy			1,0		1,0		
do oporu gruntu	fundamenty bezpośrednie	wyparcie				1,4			
		poślizg				1,1			
	pale	podstawa				1,1			
		pobocznicza				1,1			
		całkowity opór				1,1			
		wyciąganie				1,15			
	kotwy	tymczasowe				1,1			
		trwałe				1,1			
	ściany oporowe	wyparcie				1,4			
		opór ze względu na poślizg				1,1			
		odpór graniczny				1,4			
	skarpy		opór graniczny						

Ustalenie obliczeniowych wartości parametrów materiałowych (geotechnicznych):

Przelot [m]	Rodzaj gruntu	Wartości charakterystyczne			Współczynnik γ _M	Wartości obliczeniowe		
		ρ [g/cm ³]	φ'	c' [kPa]		ρ _d [g/cm ³]	φ' _d	c' _d [kPa]
0.0 – -2.80	Gp	2.20	18	30	1.0/1.25/1.25	2.20	14.6	24
-2.80 – -6.0	Pd	1.75	32	-	1.0/1.25/1.25	1.75	26.6	0
-6.0 – -20.0	Ps	1.90	34	-	1.0/1.25/1.25	1.90	28.4	0
Zasyпка	Ps	1.85	33	-	1.0/1.25/1.25	1.85	27.5	0

$$\varphi_d' = \arctg(tg(\varphi_k') / \gamma_{\phi'})$$

Nr paska	b [m]	p [kPa]	A1	γ ₁	A2	γ ₂	A3	γ ₃	Ciężar paska W [kN/m]	kąt α	φ'	c' [kPa]	l [m]	c*I	B [kN/m]	N [kN/m]	T [kN/m]
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	

$$E_d = \sum B$$

$$R_d = \sum T$$

Warunek nośności w stanie granicznym GEO:

$$E_d \leq R_d$$