

## STATECZNOŚĆ KĄTOWO-PŁYTOWEGO ŚCIANY OPOROWEJ WEDŁUG EUROKODU 7

Iwona CHMIELEWSKA\*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono procedurę sprawdzania warunków stateczności ściany oporowej płytowo-kątowej na wypieranie, przesunięcie i obrót, zgodnie z normą PN-EN 1997-1. Warunek na wypieranie i przesunięcie jest stanem granicznym nośności GEO, zaś warunek na obrót traktowany jest jako stan EQU. Przyjmując praktykę angielską, zakładającą wirtualną powierzchnię, na którą oddziałuje zasypka, pokazano, że dla geometrii ściany oporowej płytowo-kątowej przyjmowanej tradycyjnie przez inżynierów, zapewniona jest jej stateczność, co może świadczyć o tym, że współczynniki cząstkowe zalecane w Eurokodzie 7 są dobrane prawidłowo.

**Słowa kluczowe:** ściana oporowa płytowo-kątowa, Eurokod 7, stateczność ściany oporowej.

### 1. Wprowadzenie

Ściany oporowe płytowo-kątowe należą do podstawowych konstrukcji inżynierskich. Choć w ostatnich latach klasyczne konstrukcje murów oporowych zastępowane są konstrukcjami z gruntu zbrojonego, to w wielu przypadkach budowa klasycznych ścian oporowych jest rozwiązaniem optymalnym.

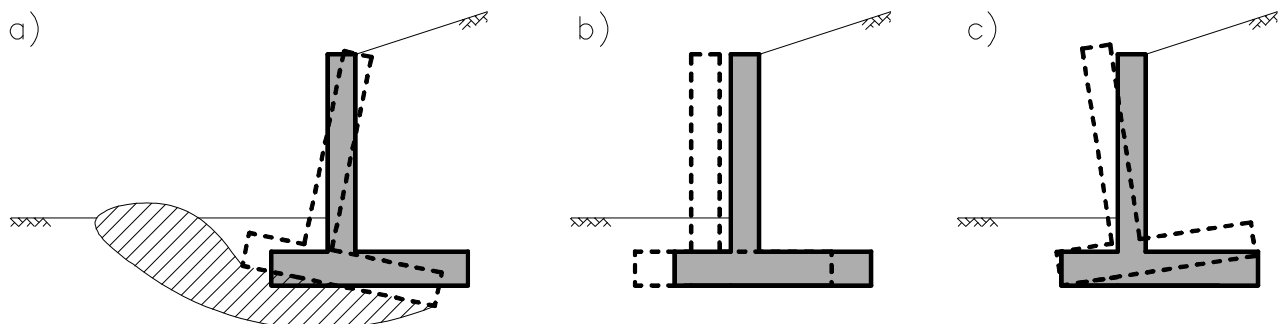
Zgodnie z PN-83/B-03010 podczas rozważania stateczności ścian oporowych sprawdza się cztery warunki:

- wypierania gruntu pod podstawą ściany;
- przesunięcia w podstawie ściany lub w niżej leżących warstwach podłoża;
- obrotu ściany oporowej względem krawędzi podstawy;
- stateczności ogólnej, tzn. sprawdzenie czy nie traci stateczności skarpa wraz z ścianą oporową.

Podstawowym zagadnieniem przy projektowaniu ścian

oporowych jest określenie wartości parć wywołanych przez grunt zasypowy na konstrukcję ściany oporowej. To siły parcia decydują o rozwiązaniach geometrycznych (wymiarach), jak również o konstrukcji poszczególnych elementów ściany oporowej.

Zgodnie z Eurokodem 7 ściany oporowe płytowo-kątowe są traktowane jako ściany masywne (*gravity wall*), w których ciężar własny, łącznie z ciężarem materiału zasypki leżącego na podstawie (płytcie), ma istotną rolę w zapewnieniu stateczności konstrukcji (Bond i Harris, 2008). Rozdział 9 PN-EN 1997-1 (2008) dotyczy zasad projektowania konstrukcji oporowych. W normie tej pokazano wiele rysunków ukazujących różne stany graniczne dla ścian oporowych płytowo-kątowych. W pracy rozpatrywane będą tylko trzy podstawowe stany graniczne nośności: utrata stateczności podłoża pod płytą, utrata stateczności na przesunięcie i utrata stateczności na obrót (rys. 1).



Rys. 1. Formy utraty stateczności: a) wypieranie gruntu, b) poślizg, c) obrót

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: chmielewska.iwona1@gmail.com

Rozpatrywane ściany nie będą budowane na zboczu, zatem warunek utraty stateczności ogólnej nie będzie sprawdzany. Nie będą też sprawdzane stany graniczne wynikające z utraty nośności elementów konstrukcji przy założeniu, że w kolejnych etapach projektowania, elementy konstrukcji będą zaprojektowane prawidłowo i takie stany graniczne nie wystąpią. Szczegółowo będą rozpatrzone tylko ściany płytowo-kątowe posadowione na podłożu piaszczystym o głęboko położonym zwierciadle wody gruntowej. Zakłada się, że poziom wód gruntowych jest na tyle niski, że nie będzie miał wpływu nie tylko na siły oddziaływań na konstrukcję ściany oporowej, ale również na nośność podłoża. W pracy pokazano, że stateczność ściany oporowej może być zachowana przy geometrii ściany zaprojektowanej zgodnie z praktyką inżynierską i PN-EN 1997-1 (2008) oraz poprawką do tej normy PN-EN 1997-1: 2008/Ap 2 (2010).

## 2. Geometria ściany oporowej

Ściana oporowa obciążona jest głównie parciem gruntu, pracuje jako wspornik, zatem momenty zginające rosną od góry do dołu. Zwykle więc przy projektowaniu ścian płytowo-kątowych ściana ma minimalną grubość na górze, a maksymalną w przekroju zamocowania w płycie. Minimalna grubość ściany na górze, ze względów konstrukcyjnych, wynosi 25-30 cm (Bowles, 1996), zaś maksymalna grubość ściany wynosi zwykle około  $(0,08-0,1) \cdot h$ , gdzie  $h$  jest wysokością ściany (rys. 2).

W miejscu połączenia ściany z płytą, grubość płyty ( $h_3 = c$ ) jest zwykle równa grubości ściany (rys. 2). W płycie maksymalne momenty występują w miejscu połączenia ze ścianą i maleją oddalając się od niej, zatem grubość płyty zwykle maleje w przekrojach bardziej

odległych od ściany. Ponieważ w pracy rozważana będzie jedynie stateczność ściany, celem uproszczenia analizy, przyjęto równą grubość płyty i ściany (rys. 2).

Zgodnie z praktyką angielską przy obliczaniu ścian oporowych płytowo-kątowych rozważa się dwa schematy obliczeniowe. Schemat pierwszy, gdy długość odsadzki tylnej  $b \geq b_{min}$  (rys. 2a), i schemat drugi, gdy  $b < b_{min}$  (rys. 2b), gdzie:

$$b_{min} = (h + h^*) \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1)$$

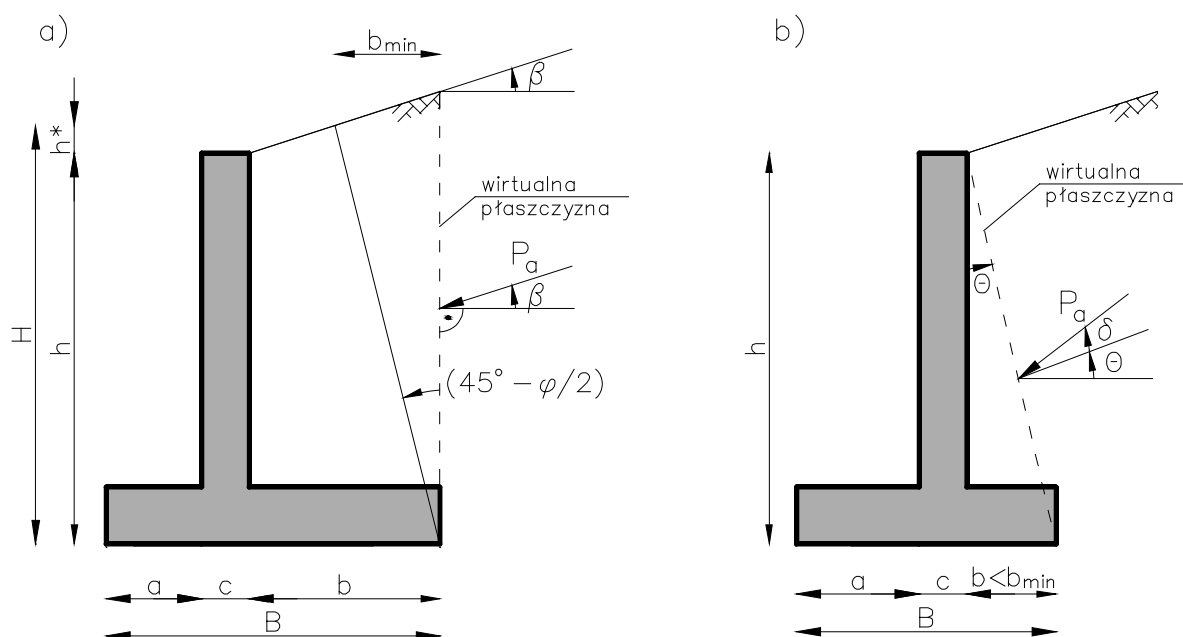
gdzie:  $h$  jest wysokością ściany oporowej, zaś  $h^*$  objaśniono na rysunku 2.

W schemacie pierwszym, przy rozważaniu stateczności ściany oporowej przyjmuje się, że parcie gruntu działa na wirtualną pionową płaszczyznę, a kierunek działania siły wypadkowej parcia  $P_a$  jest równoległy do naziomu. W schemacie drugim długość odsadzki tylnej  $b < b_{min}$  i wirtualna ściana jest nachylona pod kątem  $\theta$ . Na ścianie tej występuje tarcie opisane kątem  $\delta$ , zatem siła parcia ( $P_a$ ) jest nachylona do poziomu pod kątem  $(\theta + \delta)$  (rys. 2b). Nachylenie wirtualnej ściany określone kątem  $\theta$  oblicza się z równania:

$$\tan \theta = \frac{b}{H} \quad (2)$$

gdzie  $H = h + h^*$ .

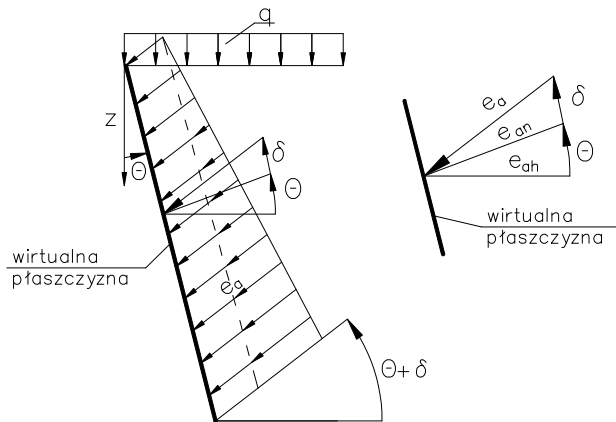
Taki sposób analizy stateczności ścian oporowych nie jest w Polsce popularny, zatem w pracy skupiono się nad jego analizą.



Rys. 2. Schemat geometrii ściany: a) schemat I,  $b \geq b_{min}$ , b) schemat II,  $b < b_{min}$  na podstawie Bonda i Harissa (2008)

### 3. Parcie jednostkowe

Ponieważ schemat pierwszy jest szczególnym przypadkiem schematu drugiego ( $\theta = 0$ ,  $\delta = \beta$ ), zatem poniżej podano wzory jedynie dla schematu drugiego (rys. 3).



Rys. 3. Parcie jednostkowe na wirtualną płaszczyznę

Przy obliczaniu stateczności ściany oporowej zwykle przyjmuje się, że ściana może się odkształcić na tyle, że wystąpią parcia czynne.

Składowa normalna parć jednostkowych:

$$e_{an} = K_{a\gamma} \cdot \gamma \cdot z + K_{aq} \cdot q - K_{ac} \cdot c \quad (3)$$

gdzie:

$$K_{a\gamma} = K_n \cdot \cos \beta \cdot \cos(\beta - \theta) \quad (4)$$

$$K_{aq} = K_n \cdot \cos^2 \beta \quad (5)$$

$$K_{ac} = (K_n - 1) \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

$$K_n = \frac{1 - \sin \varphi \cdot \sin(2 \cdot m_w - \varphi)}{1 + \sin \varphi \cdot \sin(2 \cdot m_t - \varphi)} \cdot e^{-2 \cdot \nu \cdot \tan \varphi} \quad (7)$$

$$\nu = m_t + \beta - m_w - \Theta \quad (8)$$

wyrażone w radianach

Wartości  $m_t$  i  $m_w$  oblicza się z równań:

$$\cos(2 \cdot m_t - \varphi + \beta) = \frac{\sin \beta}{\sin \varphi} \quad (9)$$

$$\cos(2 \cdot m_w - \varphi - \delta) = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi} \quad (10)$$

Wzory (3)-(10) są zalecane przez PN-EN 1997-1 (2008) dla  $\nu > 0$ . Można ich jednak używać dla niezbyt dużych ujemnych wartości  $\nu$ . Wartość styczną jednostkowego parcia czynnego można określić z równania:

$$e_{as} = e_{an} \cdot \tan \delta \quad (11)$$

gdzie  $\delta$  jest kątem tarcia gruntu o konstrukcję (wirtualną płaszczyznę),  $\varphi$  jest kątem tarcia wewnętrznego gruntu zasypki, a  $\beta$  jest kątem nachylenia naziomu. Bond i Harris (2008) podają, że kąt tarcia gruntu o konstrukcję oblicza się ze wzoru:

$$\delta = k \cdot \varphi_{cv} \quad (12)$$

gdzie:  $\varphi_{cv}$  jest kątem tarcia gruntu w stanie krytycznym,  $k = 1$  dla konstrukcji betonowych wylewanych na miejscu budowy, zaś  $k = 2/3$  dla konstrukcji prefabrykowanych. Na wirtualnej płaszczyźnie, możemy przyjąć,  $k = 1$ , zatem  $\delta = \varphi_{cv}$ . Z teorii stanów krytycznych dla gruntów sypkich można przyjąć, że w stanach krytycznych stopień zagęszczenia  $I_D \approx 0,2$  (Bolton, 1986), zatem  $\varphi_{cv}$  jest wartością kąta tarcia wewnętrznego, określoną na podstawie PN-81/B-03020 dla  $I_D = 0,2$ .

Dla wirtualnej płaszczyzny pionowej i poziomego naziomu,  $\beta = 0$  i  $\delta = 0$  mamy przypadek zwany w geotechnice stanami Rankine'a.

### 4. Stateczność ściany oporowej

#### 4.1. Współczynniki cząstkowe

Zgodnie z poprawką do polskiej normy (PN-EN 1997-1: 2008/Ap 2 (2010)) do obliczeń stanów granicznych GEO przy wypieraniu i poślizgu zalecane jest podejście obliczeniowe 2. W poprawce nie określono współczynników cząstkowych dla stanu granicznego EQU, a sprawdzenie stateczności na obrót powinno być traktowane jako stan EQU, gdzie właściwości wytrzymałościowe gruntu nie są istotne, a jedynie istotne są geometria ściany oporowej i obciążenia. Zatem przy obliczaniu stateczności na obrót powinny być używane współczynniki cząstkowe przewidziane do stanu EQU (PN-EN 1997-1 (2008)). Zgodnie z PN-EN 1997-1 (2008) „wartości parcia gruntu i kierunki sił wypadkowych parcia gruntu należy obliczać zgodnie z wybranym podejściem obliczeniowym oraz rozpatrywanym stanem granicznym”. Współczynniki cząstkowe przyjęte do obliczeń stanów granicznych GEO i EQU podano w tablicy 1.

Jeżeli obciążenie zmienne działa korzystnie to pomijamy je w obliczeniach (PN-EN 1990: 2004/A1 (2008)).

#### 4.2. Stateczność na wypieranie

Wypieranie gruntu pod podstawą ściany oporowej nie nastąpi jeżeli:

$$V_d \leq R_d \quad (13)$$

gdzie:  $V_d$  jest wartością projektową (obliczeniową) siły pionowej, działającej w środku podstawy fundamentu, liczone na 1 mb ściany oporowej, zaś  $R_d$  jest wartością projektową (obliczeniową) oporów podłoża liczoną również na 1 mb ściany oporowej. Ponieważ ściana oporowa jest traktowana jako ława fundamentowa,

Tab. 1. Współczynniki cząstkowe stanów GEO i EQU

			Stany GEO			Stany EQU		
			A1	M1	R1	A1	M1	R1
Oddziaływania	stałe	niekorzystne ( $\gamma_G$ )	1,35			1,1		
		korzystne ( $\gamma_G$ )	1,0			0,9		
	zmienne	niekorzystne ( $\gamma_Q$ )	1,5			1,5		
Właściwości gruntu		$\tan \varphi'$ ( $\gamma_\varphi$ )		1,0			1,25	
		efektywna spójność $c'$ ( $\gamma_c$ )		1,0			1,25	
		wytrzymałość bez odplywu ( $\gamma_{ck}$ )		1,0			1,4	
		ciężar objętościowy ( $\gamma_\gamma$ )		1,0			1,0	
Opory gruntu dla ścian oporowych		wyparcie ( $\gamma_{Rw}$ )			1,4			
		opór ze względu na poślizg ( $\gamma_{Rs}$ )			1,1			
		odpór graniczny ( $\gamma_{Rb}$ )			1,4			

wartość oporu podłoża  $R_d$ , dla podejścia obliczeniowego 2 dla którego współczynniki materiałowe są równe 1, może być obliczona ze wzoru:

$$R_d = A' \cdot \left\{ c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \right\} / \gamma_{Rw} \quad (14)$$

gdzie:

$$\gamma_{Rw} = 1,4$$

$$A' = B' \cdot L'$$

$$L' = 1m$$

$$B' = B - 2 \cdot e_B$$

Współczynniki nośności oblicza się według równań:

$$N_q = e^{\pi \cdot (\tan \varphi) d} \cdot \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi_k}{2} \right) \quad (15)$$

$$N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan \varphi_k} \quad (16)$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi_k \quad \text{dla } \delta > \frac{\varphi}{2} \quad (17)$$

Współczynniki kształtu wynoszą:

$$s_q = s_\gamma = s_c = 1$$

Współczynniki nachylenia wypadkowej oblicza się według równań:

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \varphi_k} \quad (18)$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H_d}{V_d + \frac{A' \cdot c_d}{\tan \varphi_k}} \right] \quad (19)$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H_d}{V_d + \frac{A' \cdot c_d}{\tan \varphi_k}} \right]^{m+1} \quad (20)$$

gdzie współczynnik  $m = 2$ .

Mimośród wynosi  $e_B = M_d / V_d$ , gdzie  $M_d$  jest wartością projektową (obliczeniową) momentu, obliczoną w środku podstawy ściany oporowej.

Zwykle w obliczeniach stateczności ściany oporowej przyjmuje się, że ściana oporowa może być w czasie jego eksploatacji odkopana do poziomu posadowienia, zatem  $q' = 0$ . Takie założenie zwiększa bezpieczeństwo konstrukcji. Eurokod 7 dopuszcza maksymalny mimośród  $e_B \leq B / 3$ . W obliczeniach inżynierskich często oblicza się współczynnik wykorzystania nośności, który dla wypierania ma postać:

$$\Lambda_w = \frac{V_d}{R_d} \quad (21)$$

#### 4.3. Stateczność na przesunięcie

Stateczność na przesunięcie jest zapewniona jeżeli:

$$H_d \leq R_{ds} + R_{bd} \quad (22)$$

gdzie:  $H_d$  jest wartością projektową (obliczeniową) siły poziomej działającej w podstawie płyty liczoną na 1 mb ściany oporowej,  $R_{ds}$  jest obliczeniową wartością oporu na ścinanie w poziomie posadowienia, a  $R_{bd}$  jest wartością

obliczeniową odporu gruntu ( $P_b$ ), przeciwdziałającą przesunięciu (rys. 4 i 5). Ze względu na to, że ściana oporowa może być odkopana, zwykle w obliczeniach stateczności na przesunięcie przyjmuje się, że  $R_{bd} = 0$ .

$$R_{ds} = V_d \cdot (\tan \delta)_d \quad (23)$$

gdzie  $\delta$  jest kątem tarcia gruntu o konstrukcję (dla konstrukcji wylewanych na miejscu  $\delta = \varphi_{cv}$ ).

Warunek (22) zatem może być zapisany w postaci:

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd} \quad (24)$$

gdzie:

$$\tau_{Ed} = \frac{H_d}{A'} = \frac{H_d}{B \cdot 1} \quad (25)$$

zaś

$$\tau_{Rd} = \frac{V_d \cdot (\tan \delta)_d}{B \cdot 1 \cdot \gamma_{Rs}} \quad (26)$$

gdzie  $\gamma_{Rs} = 1,1$

Współczynnik wykorzystania nośności:

$$\Lambda_s = \frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd}} \quad (27)$$

#### 4.4. Stateczność na obrót

Przy sprawdzaniu stateczności na obrót, w pracy traktowanej jako stan graniczny EQU, warunek ma postać:

$$M_{od} \leq M_{ud} \quad (28)$$

gdzie  $M_{od}$  jest wartością projektową momentu obracającego, zaś  $M_{ud}$  wartością projektową (obliczeniową) momentu utrzymującego.

Współczynnik wykorzystania nośności:

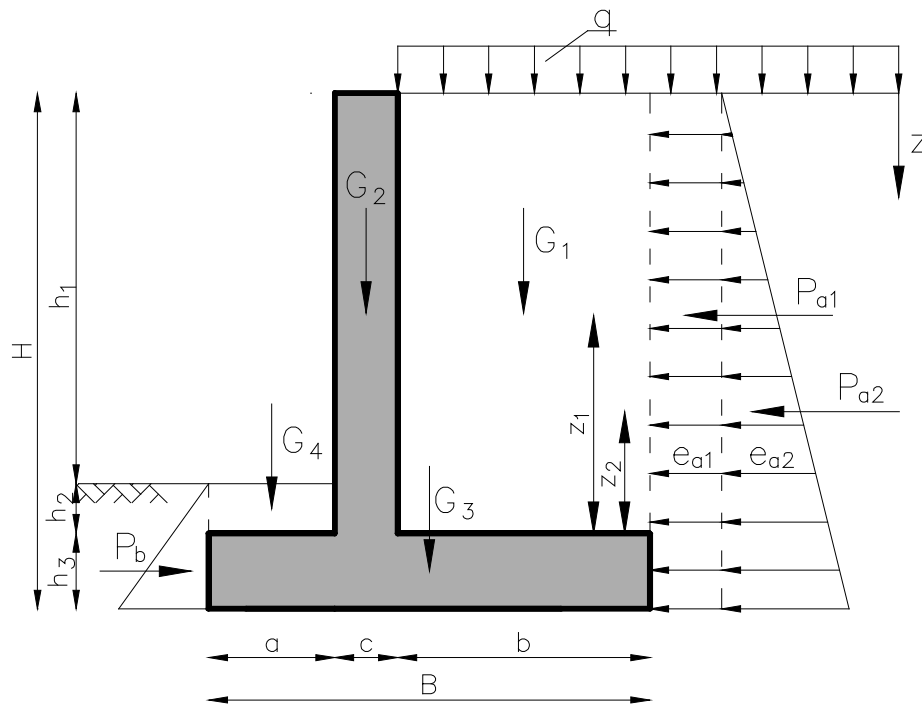
$$\Lambda_o = \frac{M_{od}}{M_{ud}} \quad (29)$$

W stanach EQU stosuje się inne niż w stanach GEO współczynniki obciążenia i materiałowe (tab. 1), zatem konieczne są niezależne obliczenia oddziaływań.

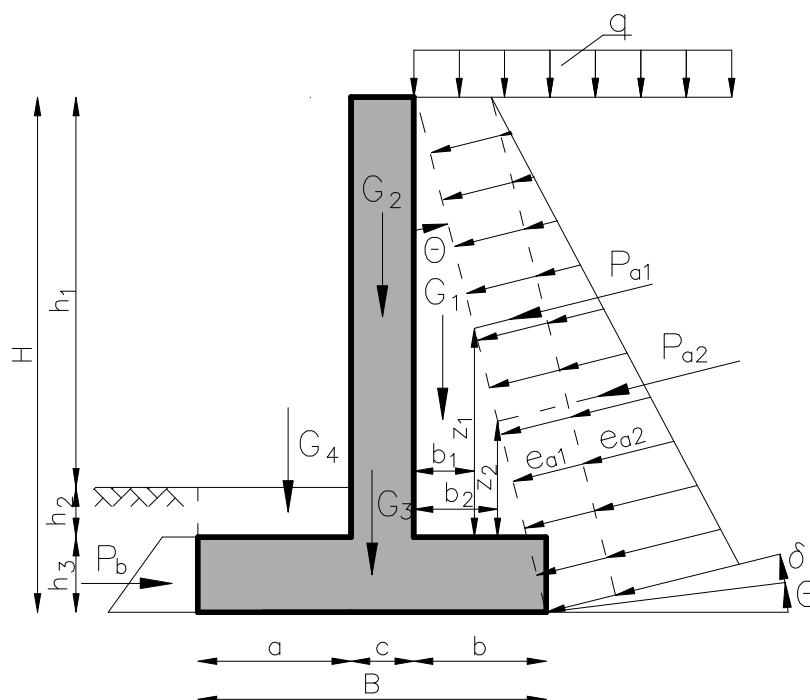
Żaden ze współczynników wykorzystania  $A_w$ ,  $A_s$  i  $A_o$  nie może być większy od 1, a przynajmniej jeden z nich powinien być bliski jedności. Należy tak dobrać wymiary podstawy (płyty) ściany oporowej, aby zapewniona była jego stateczność.

## 5. Przykład

Jako przykład projektu ściany oporowej płytowo-kątowej rozpatrzono ścianę o wysokości naziomu  $h_1 = 3; 4; 5$  m o naziomie poziomym obciążonym stałym obciążeniem użytkowym  $q = 0; 10; 20$  kPa. Ścianę oprową zasypano piaskiem średnim o  $I_D = 0,7$ , zaś w podłożu do głębokości oddziaływania ściany równej minimum dwóm szerokościom płyty występują piaski średnie o  $I_D = 0,7$ , w których nie nawiercono wody gruntowej. Oznaczenia wartości geometrycznych i sił działających na ścianę oporową pokazano na rysunku 4, dla  $b \geq b_{min}$ , gdy wirtualna płaszczyzna jest pionowa, i na rysunku 5, dla  $b < b_{min}$ , gdzie wirtualna płaszczyzna jest nachylona.



Rys. 4. Ściana oporowa o  $b \geq b_{min}$  (Schemat I)

Rys. 5. Ściana oporowa o  $b < b_{min}$  (Schemat II)

Na podstawie wieloletnich doświadczeń inżynierów można przyjąć, że szerokość płyty ściany oporowej zawiera się  $B = 0,4-0,7 H$  (Bowles, 1996), a szerokość odsadzki przedniej  $a = 0,3 B$ . Dla takich założeń policzono wartości współczynników wykorzystania nośności:  $A_w$ ,  $A_s$ ,  $A_o$ , które pokazano w tabelicy 2. Przy takich wymiarach geometrycznych ściany oporowej, w obliczeniach stateczności, stosuje się schemat II, ściany o nachylonej szorstkiej płaszczyźnie wirtualnej.

Analizując współczynniki wykorzystania nośności (tab. 2) można stwierdzić, że dla rozważanej ściany oporowej płytowo-kątowej o nośności decyduje wypieranie gruntu spod płyty. Jest to głównie konsekwencją przyjęcia możliwości odkopania ściany oporowej ( $q' = 0$ ) do poziomu posadowienia, a w gruntach niespoistych istotny wpływ na nośność ma zagłębienie. Dla naziomu nieobciążonego ( $q = 0$ ), stateczność zapewnia warunek  $B \geq 0,5 \cdot H$ , natomiast dla naziomu obciążonego, stateczność jest zapewniona przez warunek  $B \geq 0,6 \cdot H$ . W analizowanych

przypadkach, przy zapewnieniu stateczności na wypieranie, współczynnik wykorzystania nośności ze względu na poślizg  $A_s < 0,64$ , zaś ze względu na obrót  $A_o < 0,39$ .

W dalszej analizie przyjęto, że  $b = b_{min}$ ,  $a = 0,3 B$ . W tym przypadku mogą być stosowane dwa schematy obliczeniowe (schemat I, schemat II). Obliczono wartości współczynników wykorzystania nośności, które pokazano w tabelicy 3.

Ponieważ  $B > 0,6 \cdot H$ , zatem wszystkie współczynniki są znacznie mniejsze od jedności, więc szerokość płyty jest zbyt duża. Według schematu II współczynniki przyjmują wartości mniejsze o około 30-40%, zatem schemat II jest schematem mniej bezpiecznym przy projektowaniu niż schemat I. Jest to konsekwencją przyjęcia wartości kąta tarcia  $\delta = 0$  na pionowej płaszczyźnie wirtualnej. W związku z tym siła parcia wywołuje większy moment niż w schemacie I.

Tab. 2. Zestawienie współczynników wykorzystania nośności

Lp	Geometria					Obciążenie				Współczynniki wykorzystania nośności			
	$h_1$ [m]	$h_2$ [m]	$h_3 = c$ [m]	H [m]	$b_{min}$ [m]	a [m]	b [m]	B [m]	B/H [-]	q [kPa]	$\Lambda_w$	$\Lambda_s$	$\Lambda_o$
1						0,5	0,65	1,5	0,41		2,12	0,73	0,53
2						0,6	0,85	1,8	0,49	0	0,90	0,65	0,40
3						0,7	1,15	2,2	0,60		0,42	0,56	0,28
4						0,5	0,65	1,5	0,41		4,96	0,81	0,67
5	3,0	0,3	0,35	3,65	1,94	0,6	0,85	1,8	0,49	10	1,60	0,72	0,50
6						0,7	1,15	2,2	0,60		0,65	0,61	0,35
7						0,5	0,65	1,5	0,41		9,76	0,87	0,75
8						0,6	0,85	1,8	0,49	20	2,47	0,76	0,56
9						0,7	1,15	2,2	0,60		0,89	0,64	0,39
10						0,6	0,85	1,9	0,40		2,54	0,74	0,56
11						0,7	1,25	2,4	0,51	0	0,84	0,63	0,38
12						0,85	1,55	2,85	0,60		0,43	0,55	0,28
13						0,6	0,85	1,9	0,40		5,14	0,80	0,67
14	4,0	0,3	0,45	4,75	2,52	0,7	1,25	2,4	0,51	10	1,29	0,67	0,46
15						0,85	1,55	2,85	0,60		0,61	0,59	0,34
16						0,6	0,85	1,9	0,40		9,32	0,85	0,75
17						0,7	1,25	2,4	0,51	20	1,80	0,71	0,51
18						0,85	1,55	2,85	0,60		0,79	0,62	0,37
19						0,7	1,1	2,3	0,40		2,91	0,76	0,58
20						0,9	1,5	2,9	0,50	0	0,89	0,65	0,40
21						1,05	1,95	3,5	0,60		0,43	0,56	0,29
22						0,7	1,1	2,3	0,40		5,28	0,81	0,67
23	5,0	0,3	0,5	5,8	3,08	0,9	1,5	2,9	0,50	10	1,29	0,69	0,46
24						1,05	1,95	3,5	0,60		0,57	0,59	0,33
25						0,7	1,1	2,3	0,40		8,81	0,84	0,74
26						0,9	1,5	2,9	0,50	20	1,74	0,72	0,51
27						1,05	1,95	3,5	0,60		0,71	0,61	0,36

Tab. 3. Porównanie schematów obliczeniowych

Lp	Geometria								Obciążenie q [kPa]	Współczynniki wykorzystania nośności					
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub> = c	a	b = b <sub>min</sub>	H	B	B/H		Schemat I			Schemat II		
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]		Λ <sub>w</sub>	Λ <sub>s</sub>	Λ <sub>o</sub>	Λ <sub>w</sub>	Λ <sub>s</sub>	Λ <sub>o</sub>
1									0	0,27	0,47	0,23	0,20	0,38	0,16
2	3,0	0,3	0,35	0,58	1,94	3,65	2,87	0,79	10	0,41	0,55	0,30	0,28	0,41	0,20
3									20	0,58	0,61	0,36	0,36	0,43	0,22
4									0	0,27	0,48	0,23	0,20	0,39	0,16
5	4,0	0,3	0,45	0,76	2,52	4,75	3,73	0,79	10	0,37	0,54	0,29	0,26	0,41	0,19
6									20	0,50	0,59	0,34	0,32	0,42	0,21
7									0	0,28	0,49	0,23	0,21	0,40	0,17
8	5,0	0,3	0,5	0,92	3,08	5,8	4,5	0,78	10	0,37	0,54	0,29	0,26	0,42	0,19
9									20	0,47	0,58	0,33	0,31	0,43	0,21

## 6. Zakończenie i wnioski

W pracy przedstawiono procedurę obliczeń stateczności ściany oporowej płytowo-kątowej, zgodnie z Eurokodem 7 i praktyką inżynierską. Stateczność ściany oporowej jest funkcją przyjętej geometrii konstrukcji ściany, geometrii i obciążenia naziomu, parametrów materiału zasypki, właściwości podłoża gruntowego oraz przyjętych do obliczeń założeń, dotyczących w szczególności zmian poziomów wód gruntowych i możliwości odkopania ściany oporowej.

Stateczność na obrót traktowano jako stan graniczny nośności EQU, stosując inne współczynniki cząstkowe niż dla stanów granicznych GEO. W niektórych krajach stateczność na obrót obliczana jest przy wartościach parć obliczonych ze stanu GEO. Jednak, zdaniem autorki, przy stosowaniu podejścia obliczeniowego 2, zalecanego w Polsce, nie jest to prawidłowe.

Przy obliczaniu stateczności ściany oporowej płytowo-kątowej, oblicza się parcie działające na płaszczyznę wirtualną, oddaloną od konstrukcji ściany, zatem oddziaływania na ścianę oporową nie muszą być równoważne oddziaływaniom na płaszczyznę wirtualną. Należy pamiętać, że przy projektowaniu ściany oporowej ma znaczenie zagęszczenie zasypki, które nie jest istotne przy obliczeniach stateczności. Reasumując należy stwierdzić, że projektowanie ściany oporowej płytowo-kątowej nie jest łatwym zadaniem i może być wykonywane tylko przez doświadczonych projektantów.

## Literatura

- Bolton M. D. (1986). The strength and dilatancy of sands. *Geotechnique*, Vol. 36, No 1, 65-78.
- Bond A. and Harris A. (2008). *Decoding Eurocode 7*. Taylor & Francis. London and New York.
- Bowles I. E. (1996). *Foundations Analysis and Design*. McGraw-Hill International Editions, New York.
- PN-EN 1997-1. Eurokod 7 (2008). Projektowanie geotechniczne. Część 1. Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-1: 2008/Ap 2 (2010). Poprawka do polskiej normy PN-EN 1997-1:2008.
- PN-EN 1990: 2004/A1 (2008). Zmiana do polskiej normy PN-EN 1990:2004. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
- PN-81/B-03020. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-83/B-03010. Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.

## STABILITY OF T-SHAPED RETAINING WALL ACCORDING TO EUROCODE 7

**Abstract:** The stability of a T-shaped retaining wall with dry backfill is analysed in this paper. The bearing and sliding are treated as GEO limit states in accordance with Eurocode 7. The rotation is treated as EQU limit state. The stability for bearing, sliding and rotation is secured, if geometry of the wall is designed based on engineering practice. The analysed T-shaped wall can be treated as a proof of rightfulness of procedures and practical factors given in Eurocode 7.