



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I ŚRODOWISKA  
Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego

POMOCE DYDAKTYCZNE

**WYBRANE ZAGADNIENIA PROJEKTOWANIA  
ŚCIAN OPOROWYCH**  
według Eurokodu 7

**Autor opracowania:**

Dr hab. inż. Adam Krasieński, prof. PG

**Kierownik Katedry Geotechniki:**

Dr hab. inż. Lech Bałachowski, prof. PG

Niniejsze opracowanie jest pomocniczym materiałem dydaktycznym przeznaczonym do użytku wewnętrznego wyłącznie dla studentów Politechniki Gdańskiej z kierunków: Budownictwo, Transport i Inżynieria Środowiska.

Wszelkie prawa zastrzeżone ®

**KONSTRUKCJE OPOROWE** – to konstrukcje, których głównym zadaniem jest podpieranie uskoków naziomu gruntów rodzimych lub nasypowych, a głównym obciążeniem jest oddziaływanie od parcia podpieranego gruntu.

Do konstrukcji oporowych zaliczamy:

- 1) Ściany lub mury oporowe grawitacyjne
- 2) Ścianki szczelne i szczelinowe
- 3) Obudowy wykopów

## ŚCIANY OPOROWE GRAWITACYJNE

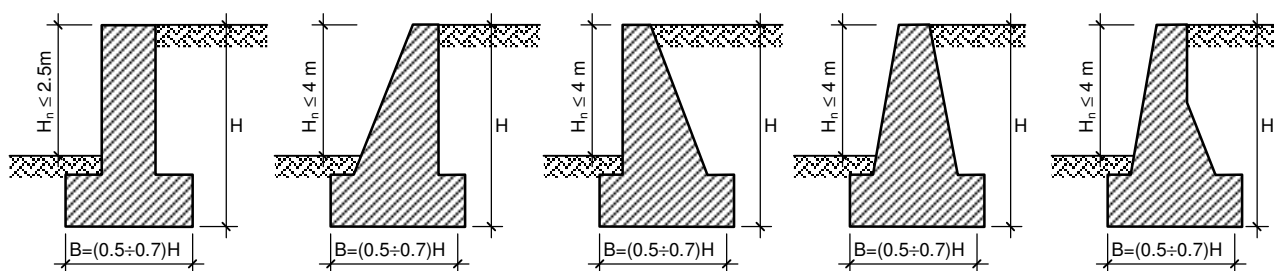
### Podział ścian oporowych

Ze względu na materiał:

- *murowane* (z cegły lub kamienia)
- *betonowe*
- *żelbetowe*

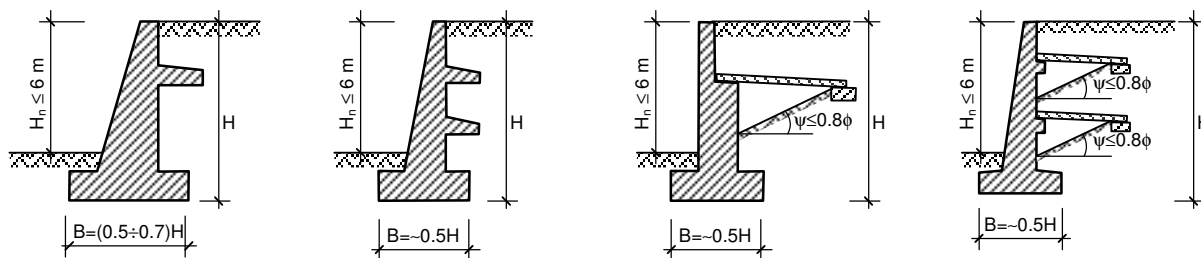
Ze względu na konstrukcję i kształt przekroju poprzecznego:

- **masywne** (najczęściej murowane lub betonowe) – ściany tego rodzaju utrzymują stateczność (przejmują parcie gruntu) dzięki swojej dużej masie. Kształty ścian: prostokątny, schodkowy, trapezowy, złożony (rys. 1).



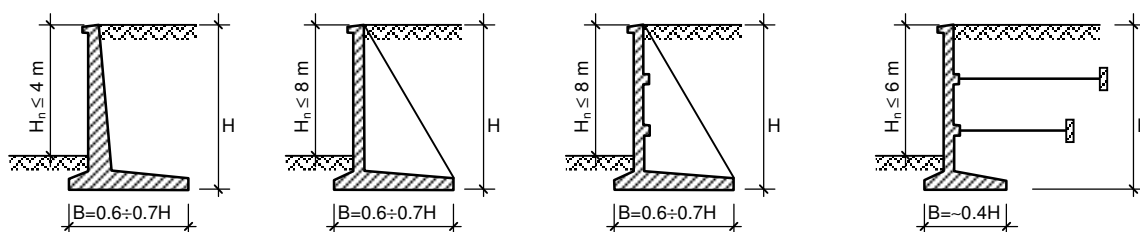
Rys. 1. Rodzaje kształtów ścian oporowych masywnych

- **półmasywne** z elementami odciążającymi (betonowe lub żelbetowe) – ściany tego rodzaju utrzymują stateczność częściowo dzięki swojej masie, a częściowo dzięki redukcji parcia gruntu, powodowanej przez elementy odciążające. Konstrukcje: ściany z jednym lub dwoma wspornikami, ściany z jedną lub dwiema płytami odciążającymi (rys. 2).



Rys. 2. Rodzaje ścian oporowych półmasywnych z elementami odciążającymi

- **lekkie** (wyłącznie żelbetowe) – ściany te zachowują stateczność głównie dzięki ciężarowi gruntu zalegającego na wewnętrznej odsadźce fundamentowej. Konstrukcje: ściany płytowo-kątowe, ściany płytowo-żebrowe, płytowe z elementami kotwiącymi (rys. 3).



Rys. 3. Rodzaje ścian oporowych lekkich

### Zastosowanie ścian oporowych:

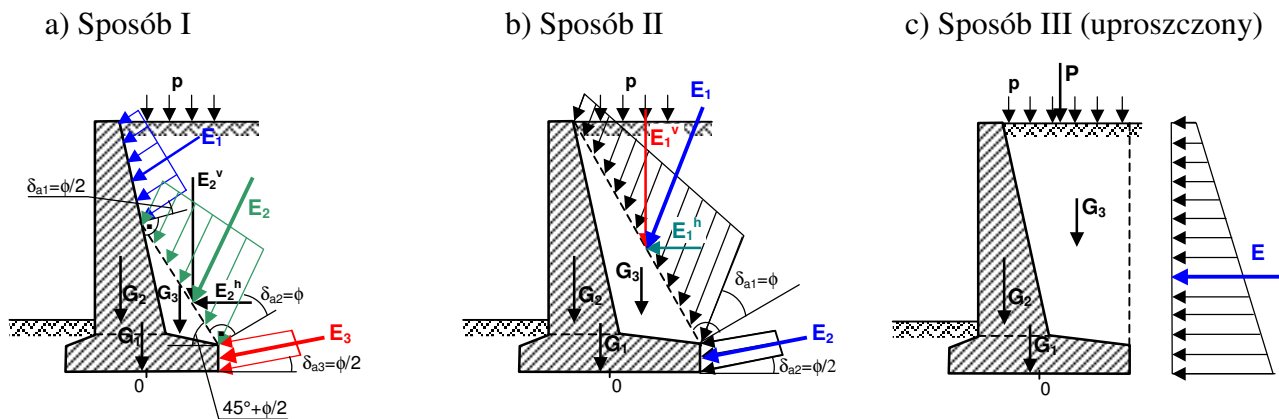
- podparcie tarasów pod zabudowę lub parkingi
- podparcie nasypów drogowych lub kolejowych na zboczach i dojazdach do wiaduktów
- podparcie skarp przy wjazdach do tuneli
- inne

### Obliczanie i projektowanie ścian oporowych według Eurokodu 7 (PN-EN 1997-1)

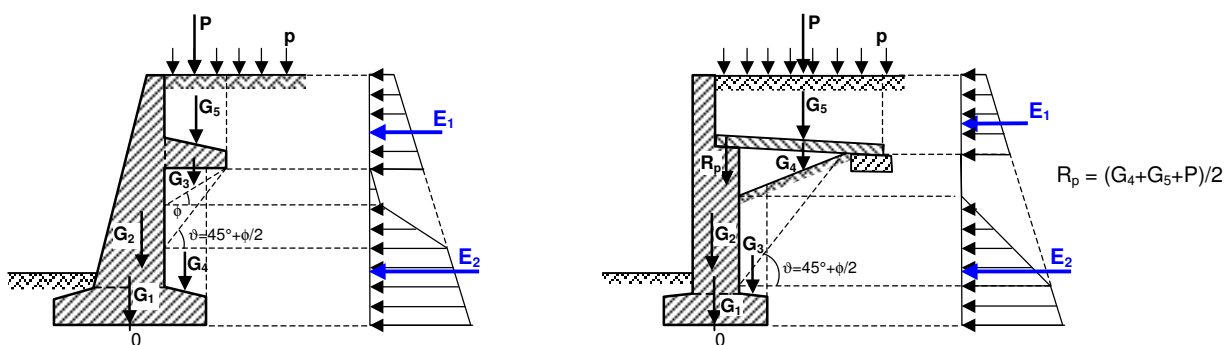
Główna idea norm europejskich (Eurokodów) polega na tym, że podane są w nich wymagania dotyczące metod projektowania i obliczania różnego rodzaju konstrukcji budowlanych. Zalecane są też określone podejścia obliczeniowe i proponowane do nich wartości współczynników obciążeń, parametrów i nośności. Nie ma natomiast w Eurokodach metod i wzorów obliczeniowych, narzucanych jako obowiązkowe do stosowania (tak jak to było w dotychczasowych normach polskich). Projektant może więc stosować dowolne metody obliczeniowe, które muszą jednak mieć umotywowaną podstawę, np. w wynikach badań naukowych, publikacjach, podręcznikach lub innej literaturze fachowej. Projektant ponosi pełną odpowiedzialność za wyniki swoich obliczeń i za zastosowane metody projektowania. Tym niemniej w Eurokodach (najczęściej w załącznikach do nich) mogą być podawane propozycje metod obliczeniowych.

### Obciążenia ścian oporowych grawitacyjnych

Na ściany oporowe działa złożony układ obciążeń pionowych i poziomych. Głównym obciążeniem jakie oddziałuje na ściany oporowe jest parcie gruntu zasypowego, które w zależności od rodzaju ściany i przyjętego sposobu obliczeniowego może być liczone jako ukośne lub poziome. Ponadto na ścianę działają obciążenia pionowe od ciężaru własnego jej elementów, ciężaru gruntu zasypowego spoczywającego na odsadzkach fundamentowych oraz od obciążenia naziomu  $p$ . Możliwe sposoby obliczeniowe dotyczące obciążeń przedstawiono na rys. 4 i 5.



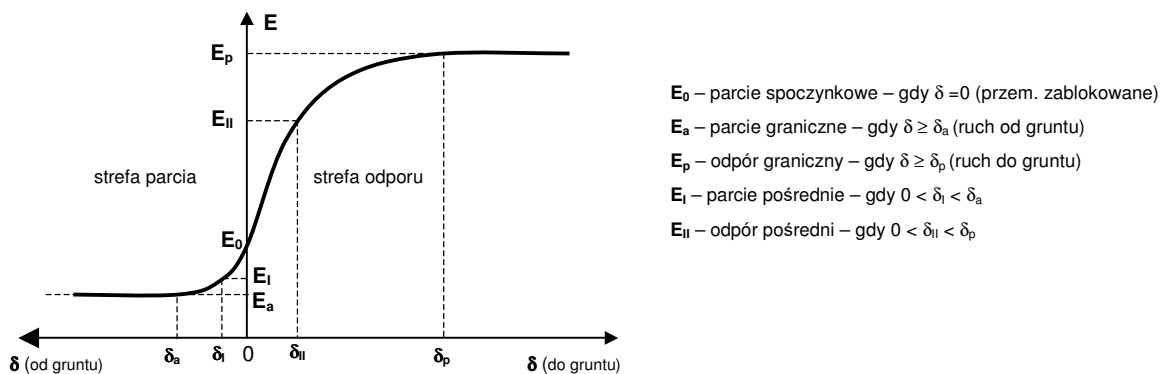
Rys. 4. Sposoby zbierania obciążeń na ściany oporowe masywne i lekkie



Rys. 5. Przyjmowanie obciążeń działających na ściany oporowe z elementami odciążającymi

### Zagadnienie parcia gruntu na ściany oporowe

Parcie i odpór gruntu są oddziaływaniami, których wartość zależy od kilku czynników, między innymi od parametrów geotechnicznych gruntu, stopnia prekonsolidacji (w przypadku gruntów rodzimych), metody wykonywania i zagęszczania gruntu (w przypadku gruntów nasypowych) oraz od przemieszczeń i odkształcalności konstrukcji oporowej. Zależność parcia i odporu gruntu od przemieszczeń konstrukcji oporowej można przedstawić graficznie, jak na rys. 6.



Rys. 6. Zależność parcia i odporu gruntu od przemieszczeń konstrukcji oporowej

Przyjęcie odpowiedniej wartości parcia gruntu w przypadku ścian oporowych nie jest sprawą łatwą, gdyż wartość ta zależy od przemieszczeń ściany, a przemieszczenia te są z kolei wynikiem samego parcia gruntu. Zachodzi więc sprzężenie zwrotne. 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 sztywnych zbiorników podziemnych. Projektowanie z kolei na parcie graniczne ( $E_a$ ) może być zbyt ryzykowne, gdyż ma ono wartość najmniejszą i występuje dopiero przy znacznych przemieszczeniach ściany. Ściany oporowe powinny się zatem projektować na parcie gruntu pośrednie.

## Ustalanie wartości parcia gruntu na ściany oporowe według Eurokodu 7

W stosunku do metod określania parcia gruntu działającego na ściany oporowe, w Eurokodzie 7 stawiane są następujące wymagania:

- powinny uwzględniać rodzaj i parametry gruntu oraz zmienność tych parametrów w czasie,
- powinny uwzględniać metodę układania i zagęszczania gruntu zasypowego za ścianą oporową,
- powinny uwzględniać wpływ obciążenia naziomu i sposób jego działania (obciążenie statyczne, powtarzalne, dynamiczne)
- powinny uwzględniać wpływ przemieszczeń i odkształceń ściany,
- powinny uwzględniać wpływ sił filtracji wody w gruncie za ścianą oporową.

### Parcie graniczne gruntu

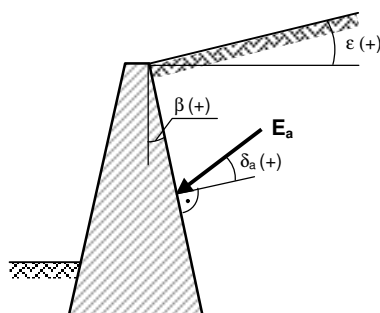
Wartość jednostkową parcia granicznego gruntu wyznacza się z wzoru:

$$e_a(z) = \sigma_z \cdot K_a - 2c' \sqrt{K_a} = (p + \gamma \cdot z) \cdot K_a - 2c' \sqrt{K_a} \geq 0 \quad [\text{kPa}] \quad (1)$$

Wartość współczynnika  $K_a$  można odczytywać z nomogramów zawartych w załączniku C do EC7 lub obliczać z wzoru:

$$K_a = \frac{\cos^2(\beta - \phi')}{\cos^2 \beta \cos(\beta + \delta_a) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta_a) \cdot \sin(\phi' - \varepsilon)}{\cos(\beta + \delta_a) \cdot \cos(\beta - \varepsilon)}} \right]^2} \quad (2)$$

Wielkości (kąty) podane we wzorze (2) wraz z odpowiednimi znakami podano poniżej na rys. 7.



Rys. 7. Oznaczenia kątów występujących we wzorze (4) wraz z przyjętą konwencją znaków

W przypadku ściany pionowej i gładkiej oraz poziomego naziomu ( $\delta_a = \beta = \varepsilon = 0$ ) wzór (2) sprowadza się do dużo prostszej i ogólnie znanej postaci:

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (3)$$

W ścianach oporowych grawitacyjnych do zasypu najczęściej stosuje się grunty niespoiste, dla których wartość spójności  $c'$ , występującej we wzorze (1) równa jest zero ( $c' = 0$ ).

W przypadkach, w których parcie przyjmowane jest jako poziome (rys. 4c i 5), współczynnik parcia granicznego oblicza się również według wzoru (3).

### Parcie spoczynkowe gruntu

Wartość jednostkową parcia spoczynkowego gruntu wyznacza się z wzoru:

$$e_0(z) = \sigma_z \cdot K_0 = (p + \gamma \cdot z) \cdot K_0 \quad [\text{kPa}] \quad (4)$$

W gruntach rodzimych wartość współczynnika  $K_0$  można obliczać z wzoru:

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot (1 - \sin \varepsilon) \cdot \sqrt{OCR} \quad (5)$$

w którym  $OCR$  jest współczynnikiem prekonsolidacji, który w gruntach prekonsolidowanych ma wartość większą niż 1,0, a w gruntach normalnie skonsolidowanych równy jest 1,0. Grunty prekonsolidowane to takie, które w przeszłości uległy jakiemuś przeciążeniu (np. od lodowca, wydmy lub innego znacznego obciążenia zewnętrznego).

W gruntach nasypowych (zasypowych) parcie spoczynkowe jest z reguły większe niż w gruntach rodzimych normalnie skonsolidowanych z powodu użytych technik zagęszczania, które przeprowadza się najczęściej metodami wibracyjnymi lub dynamicznymi. W EC7 brak jest propozycji sposobu uwzględniania wpływu techniki zagęszczania nasypu w obliczeniach parcia gruntu. Wpływ ten można uwzględnić przez przyjęcie współczynnika  $OCR > 1,0$ , jednak brak jest w literaturze fachowej wytycznych dotyczących przyjmowania wartości tego współczynnika. Można więc wykorzystać procedurę zaproponowaną w dawnej normie polskiej PN-83/B-03010, w której współczynnik parcia spoczynkowego dla gruntu nasypowego oblicza się z wzoru:

$$K_0 = [0.5 - \xi_4 + (0.1 + 2\xi_4)(5I_s - 4.15)\xi_5] \cdot (1 + \sin \varepsilon) \quad (6)$$

w którym:

$\xi_4$  i  $\xi_5$  – współczynniki zależne od rodzaju gruntu oraz techniki wykonywania i zagęszczania nasypu, przyjmowane według tabl. 1 i 2,

$I_s$  – wskaźnik zagęszczenia gruntu nasypowego.

Dla piasków drobnych i średnich można wykorzystać przybliżoną, empiryczną formułę na obliczanie wartości  $I_s$  względem  $I_D$ , opracowaną przez Borowczyka i Frankowskiego (1981):

$$I_s = 0.845 + 0.188 \cdot I_D \quad (7)$$

Tablica 1. Wartości współczynnika  $\xi_4$

Rodzaj gruntu w bezpośrednim sąsiedztwie ściany	$\xi_4$
Żwir, pospółka	0,15
Piasek gruby i średni	0,10
Piasek drobny i pylasty	0,05
Grunty niespoiste przemieszane	0,07
Grunty mało spoiste przemieszane	0,03
Inne grunty spoiste	nie stosować

Tablica 2. Wartości współczynnika  $\xi_5$

Metoda zagęszczania zasypki	Liczba warstw zasypki	
	$\geq 10$	$< 10$
Statyczna (np. wałowanie walcem lub spycharką gąsienicową)	0,95	1,00
Udarowa miejscowa (ubijarki ręczne i małe płyty na lekkim sprzęcie mechanicznym)	1,00	1,05
Udarowa powierzchniowa (duże płyty na ciężkim sprzęcie mechanicznym)	1,05	1,10
Wibracyjna miejscowa (lekkie walce i zagęszczarki wibracyjne)	0,90	0,95
Wibracyjna powierzchniowa (ciężkie walce i zagęszczarki wibracyjne)	0,85	0,80

Przyjmuje się, że parcie spoczynkowe działa poziomo.

### **Parcie pośrednie gruntu**

Parcie pośrednie, które zależy od przemieszczeń ściany, ustala się na podstawie obliczeń iteracyjnych.

W przypadkach mniej odpowiedzialnych konstrukcji oporowych można przyjmować przybliżoną wartość parcia pośredniego, określoną według poniższych wzorów:

$$E_l = \frac{E_a^h + E_0}{2} \quad \text{lub} \quad E_l = \frac{2E_a^h + E_0}{3} \quad (8)$$

w których  $E_a^h$  jest składową poziomą wypadkową parcia granicznego gruntu.

W gruntach niespoistych można obliczyć współczynnik parcia pośredniego  $K_I$ :

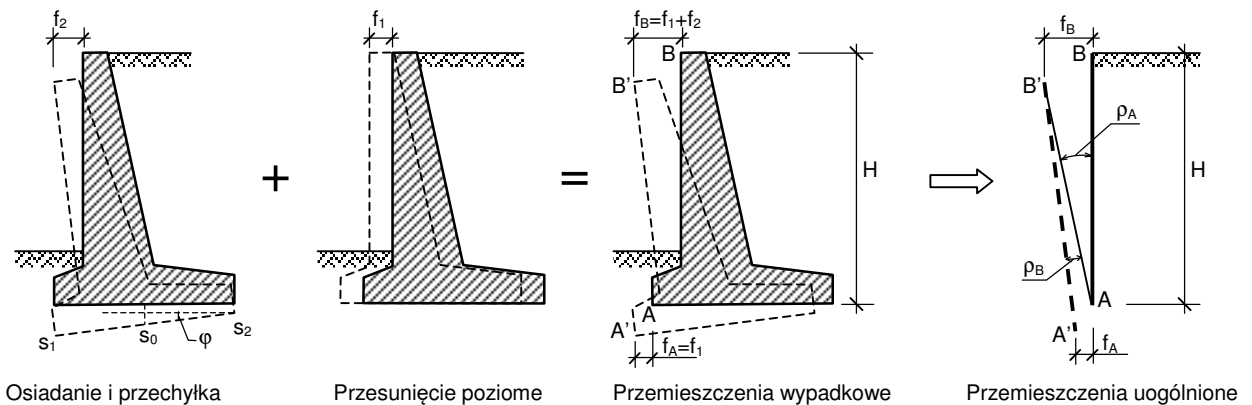
$$K_I = \frac{K_{ah} + K_0}{2} \quad \text{lub} \quad K_I = \frac{2K_{ah} + K_0}{3} \quad (9)$$

gdzie  $K_{ah}$  jest współczynnikiem składowej poziomej parcia granicznego:  $K_{ah} = K_a \cdot \cos(\beta + \delta_a)$ .

Wówczas wartość jednostkową składowej poziomej parcia pośredniego gruntu oblicza się z wzoru:

$$e_I(z) = \sigma_z \cdot K_I = (p + \gamma \cdot z) \cdot K_I \quad [\text{kPa}] \quad (10)$$

Gdy chcemy dokładniej określić wartość parcia pośredniego, na podstawie przemieszczeń ściany, wówczas możemy wykorzystać procedurę w polskiej normie PN-83/B-03010. W tym celu należy najpierw obliczyć przemieszczenia ściany i wyznaczyć przemieszczenia uogólnione zgodnie z rys. 8.



Rys. 8. Wyznaczanie przemieszczeń uogólnionych ściany oporowej

Kąty  $\rho_A$  i  $\rho_B$  oblicza się z wzorów:

$$\rho_A = \frac{f_B}{H} \quad [\text{rad}] \quad \rho_B = \frac{f_A}{H} \quad [\text{rad}] \quad (11)$$

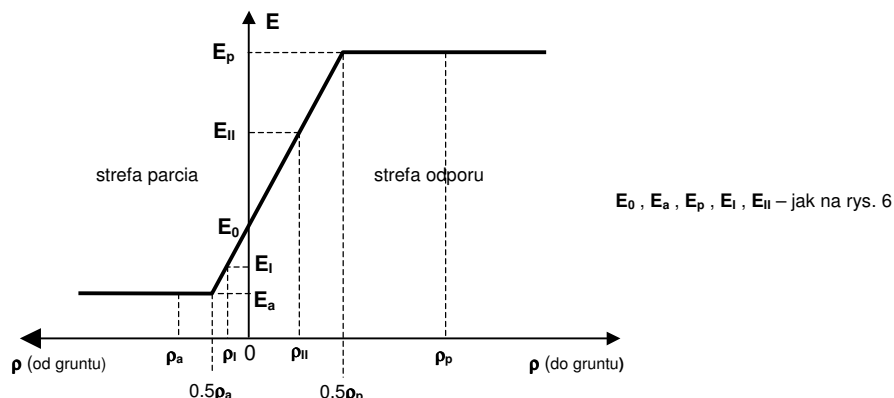
a całkowite przemieszczenie uogólnione jest sumą obu kątów:

$$\rho_I = \rho_A + \rho_B \quad [\text{rad}] \quad (12)$$

Gdy przemieszczenie uogólnione  $\rho_I$  jest większe od połowy wartości przemieszczenia granicznego ( $\rho_I \geq 0.5\rho_a$ ), to przyjmuje się, że na ścianę działa parcie graniczne gruntu:  $E = E_a$ . Natomiast w przypadku gdy  $0 < \rho_I < 0.5\rho_a$  – występuje parcie pośrednie, które oblicza się z wzoru:

$$E_I = E_0 - \rho_I \frac{E_0 - E_a}{0.5\rho_a} \quad (13)$$

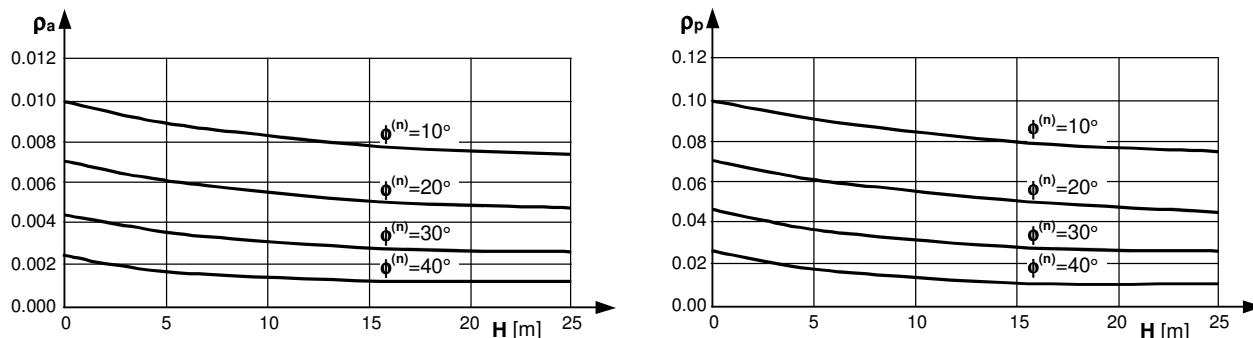
Wzór (13) wynika z uproszczonego wykresu, przedstawionego na rys. 9.



Rys. 9. Uproszczona zależność parcia i odporu gruntu od przemieszczeń uogólnionych

W podobny sposób, jeśli zachodzi taka potrzeba, można wyznaczyć odpór pośredni gruntu lub według procedury podanej w załączniku C do EC7.

Wartości uogólnionych przemieszczeń granicznych dla parcia  $\rho_a$  oraz dla odporu  $\rho_p$  odczytuje się z nomogramów przedstawionych na rys. 10.



Rys. 10. Nomogramy do wyznaczania uogólnionych przemieszczeń granicznych  $\rho_a$  i  $\rho_p$

Można zauważyć, że wartości  $\rho_p$  są około 10-krotnie większe od wartości  $\rho_a$  co oznacza, że do wzbudzenia odporu granicznego potrzebne są znacznie większe przemieszczenia konstrukcji oporowej niż do wzbudzenia parcia granicznego.

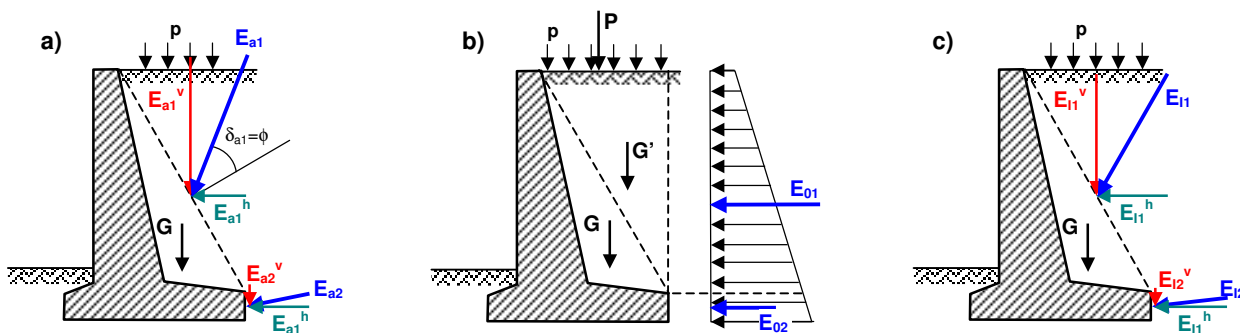
W przypadkach, w których parcie graniczne przyjmowane jest jako poziome (rys. 4c i 5), wyznaczenie parcia pośredniego nie sprawia kłopotu. Problem pojawia się, gdy parcie graniczne działa ukośnie ( $\delta_a > 0$ ) (rys. 4a,b), a parcie spoczynkowe poziomo. Wówczas składową poziomą parcia pośredniego  $E_I^h$  wyznaczamy ze wzoru (13), w którym w miejsce  $E_a$  wstawia się składową poziomą  $E_a^h$ , natomiast składową pionową  $E_I^v$  można obliczyć z wzoru:

$$E_I^v = G' + P - \rho_I \frac{(G' + P - E_a^v)}{0.5\rho_a} \quad (14)$$

w którym  $G'$  jest ciężarem bryły gruntu zasypowego, pokazanej na rys. 11b.

W przypadku parcia ukośnego działającego na pionową ścianę płyty fundamentowej, składową pionową parcia pośredniego dla  $\rho_I < 0.5\rho_a$  wyznaczmy z wzoru:

$$E_{I2}^v = \frac{\rho_I}{0.5\rho_a} \cdot E_{a2}^v \quad (15)$$



Rys. 11. Rozkłady i wypadkowe parcia gruntu na ścianę oporową: a) parcie graniczne, b) parcie spoczynkowe, c) parcie pośrednie

Przy ustalaniu wartości parcia pośredniego działającego na ścianę oporową proponuje się następujący iteracyjny tok postępowania:

- 1) Zebrać obciążenia działające na ścianę oporową z wstępnym przyjęciem parcia granicznego gruntu ( $E_a$ ).
- 2) Obliczyć przemieszczenia ściany oporowej (osiadanie i przechyłkę oraz przesunięcie poziome – rys. 8) i określić przemieszczenia uogólnione.
- 3) Określić wartość parcia pośredniego  $E_I$ . Gdy okaże się, że  $E_I = E_a$  następuje koniec iteracji. Jeśli nie – należy przejść do pkt. 4).
- 4) Ponownie obliczyć przemieszczenia ściany oporowej i przemieszczenia uogólnione dla nowego układu obciążeń (z parciem pośrednim policzonym w pkt. 3))
- 5) Określić nową wartość parcia pośredniego  $E_I$ . W przypadku, gdy parcie to będzie różniło się mniej niż o 5% w stosunku do parcia ustalonego w poprzednim kroku iteracji – zakończyć iterację.

### Kombinacje obciążeń projektowych (obliczeniowych) działających na ścianę oporową

W odniesieniu do ścian oporowych, w EC7 proponuje się podejście obliczeniowe 2\*, w którym kombinację współczynników można ogólnie przedstawić jak poniżej:

$$\text{Kombinacja: } AI + MI + R2 \quad (16)$$

gdzie:  $AI$  – współczynniki częściowe do oddziaływań (obciążeń) – tabl. 3

$MI$  – współczynniki częściowe do parametrów geotechnicznych – tabl. 4

$R2$  – współczynniki częściowe do oporów (nośności) – tabl. 5

Tablica 3. Współczynniki częściowe do oddziaływań ( $\gamma_F$ ) (według Tabl. A.3 w EC7)

Oddziaływanie		Symbol	Zestaw	
			$AI$	$A2$
Stałe	Niekorzystne	$\gamma_G$	1,35	1,0
	Korzystne		1,0	1,0
Zmienne	Niekorzystne	$\gamma_Q$	1,5	1,3
	Korzystne		0	0

Tablica 4. Współczynniki częściowe do parametrów geotechnicznych ( $\gamma_M$ ) (według Tabl. A.4 w EC7)

Parametr gruntu	Symbol	Zestaw	
		$MI$	$M2$
Tangens kąta tarcia wewnętrzzn.	$\gamma_\phi$	1,0	1,25
Spójność efektywna	$\gamma_c$	1,0	1,25
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe	$\gamma_{qu}$	1,0	1,4
Ciężar objętościowy	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tablica 5. Współczynniki częściowe do oporów ( $\gamma_R$ ) (według Tabl. A.13 w EC7)

Opór	Symbol	Zestaw		
		$R1$	$R2$	$R3$
Nośność podłoża	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Opór na przesunięcie	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,1	1,0
Odpór gruntu	$\gamma_{R,e}$	1,0	1,4	1,0

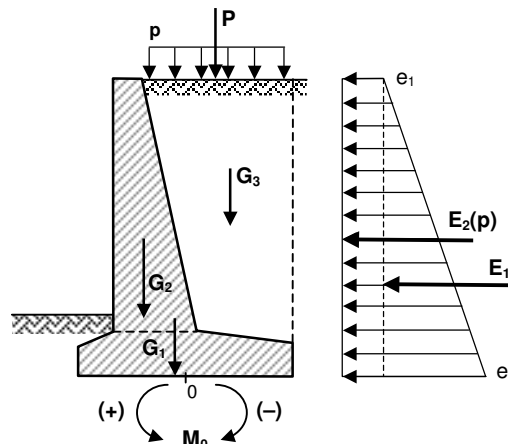
Tablica 6. Współczynniki częściowe do oporu w analizie stateczności ogólnej (według Tabl. A.14 EC7)

Opór	Symbol	Zestaw		
		$R1$	$R2$	$R3$
Opór gruntu przy ścinaniu	$\gamma_{R,e}$	1,0	1,1	1,0

Z wzoru (16) i z wartości współczynników w tablicach 3, 4 i 5 wynika, że w podejściu obliczeniowym 2 współczynniki częściowe stosuje się do obciążeń i do oporów, natomiast parametry geotechniczne przyjmuje się o wartościach charakterystycznych ( $\gamma_M = 1,0$ ). Podejście obliczeniowe 2\* polega na tym, że oddziaływania występujące po stronie oporów również przyjmuje się o wartościach charakterystycznych.

Niektóre obciążenia i oddziaływania mogą w pewnych sytuacjach działać niekorzystnie, a w innych korzystnie, dlatego należy utworzyć kilka kombinacji obciążeń. W przypadku ścian oporowych grawitacyjnych należy przygotować 4 kombinacje: **Komb1** – obciążenia charakterystyczne, **Komb2** i **Komb3** – obciążenia projektowe (obliczeniowe) z obciążeniem naziomu  $p$  i **Komb4** - obciążenia projektowe bez obciążenia naziomu  $p$ .

W celu wyznaczenia kombinacji obciążeń, proponuje się tabelarycznie zestawić oddzielnie obciążenia pionowe i oddzielnie poziome wraz z promieniami działania i momentami względem środka podstawy fundamentu „0” (patrz tabl. 7 i 8 dla przykładowej ściany z układem obciążeń przedstawionym na rys. 12). Oddziaływanie gruntu po stronie niższego naziomu jest z reguły pomijane ze względów bezpieczeństwa.



Rys. 12. Przykładowa ściana oporowa z układem obciążeń

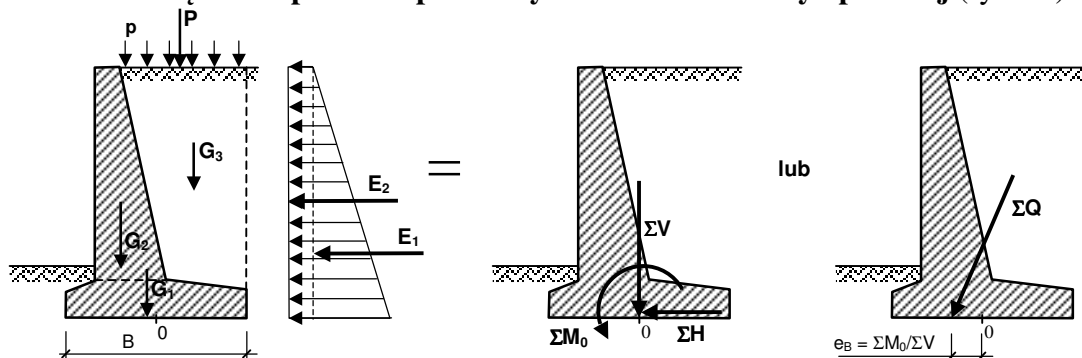
Tablica 7. Zestawienie obciążeń pionowych na 1 mb ściany

Obc.	Wartość char. $V_k$ [kN]	$r_0$ [m]	$M_0(V_k)$ [kNm]	$\gamma_{F,max}$	$V_{d,max}$ [kN]	$M_0(V_{d,max})$ [kNm]	$\gamma_{F,min}$	$V_{d,min}$ [kN]	$M_0(V_{d,min})$ [kNm]
$G_1$				1,35			1,0		
$G_2$				1,35			1,0		
$G_3$				1,35			1,0		
$P$				1,5			0,0		
$\Sigma$	$\Sigma V_k$	-	$\Sigma M_0(V_k)$	-	$\Sigma V_{d,max}$	$\Sigma M_0(V_{d,max})$	-	$\Sigma V_{d,min}$	$\Sigma M_0(V_{d,min})$

Tablica 8. Zestawienie obciążeń poziomych na 1 mb ściany

Obc.	Wartość char. $H_k$ [kN]	$r_0$ [m]	$M_0(H_k)$ [kNm]	$\gamma_{F,A}$	$H_{d,A}$ [kN]	$M_0(H_{d,A})$ [kNm]	$\gamma_{F,B}$	$H_{d,B}$ [kN]	$M_0(H_{d,B})$ [kNm]
$E_1$				1,35			1,35		
$E_2$				1,5			0,0		
$\Sigma$	$\Sigma V_k$	-	$\Sigma M_0(H_k)$	-	$\Sigma H_{d,A}$	$\Sigma M_0(H_{d,A})$	-	$\Sigma H_{d,B}$	$\Sigma M_0(H_{d,B})$

Sprowadzenie obciążeń do poziomu podstawy fundamentu ściany oporowej (rys. 13)



Rys. 13. Sprowadzenie obciążeń działających na ścianę oporową do poziomu podstawy fundamentowej.

Należy przygotować następujące kombinacje obciążeń:

1. Obciążenia charakterystyczne:

$$- \text{Komb. 1} : V_{k;1} = \Sigma V_k, \quad H_{k;1} = \Sigma H_k, \quad M_{0k;1} = \Sigma M_0(V_k) + \Sigma M_0(H_k) \quad (17)$$

2. Obciążenia projektowe (obliczeniowe):

$$- \text{Komb. 2} : V_{d;2} = \Sigma V_{d;max}, \quad H_{d;2} = \Sigma H_{d;A}, \quad M_{0d;2} = \Sigma M_0(V_{d;max}) + \Sigma M_0(H_{d;A}) \quad (18)$$

$$- \text{Komb. 3} : V_{d;3} = \Sigma V_k, \quad H_{d;3} = \Sigma H_{d;A}, \quad M_{0d;3} = \Sigma M_0(V_k) + \Sigma M_0(H_{d;A}) \quad (19)$$

$$- \text{Komb. 4} : V_{d;4} = \Sigma V_{d;min}, \quad H_{d;4} = \Sigma H_{d;B}, \quad M_{0d;4} = \Sigma M_0(V_{d;min}) + \Sigma M_0(H_{d;B}) \quad (20)$$

### Mimośród $e_B$ wypadkowej obciążeń w ścianie posadowionej bezpośrednio

Dla każdej kombinacji obciążeń należy obliczyć wartość mimośrodu  $e_B$  i sprawdzić, czy spełnia on określone warunki:

$$- \text{dla Komb1:} \quad e_{Bk;1} = \frac{M_{0k;1}}{V_{k;1}} \leq \frac{B}{6} \quad (21)$$

$$- \text{dla Komb2:} \quad e_{Bd;2} = \frac{M_{0d;2}}{V_{d;2}} \leq \frac{B}{6} \quad (22)$$

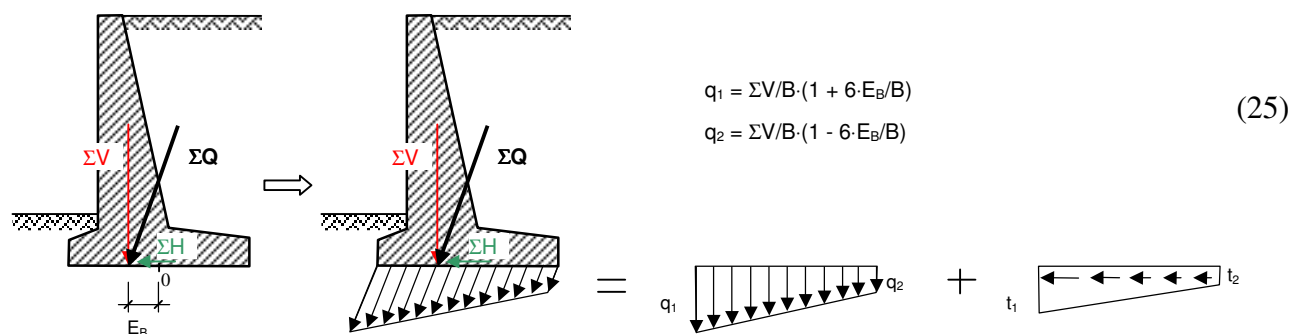
$$- \text{dla Komb3:} \quad e_{Bd;3} = \frac{M_{0d;3}}{V_{d;3}} \leq \frac{B}{4} \quad (23)$$

$$- \text{dla Komb4:} \quad e_{Bd;4} = \frac{M_{0d;4}}{V_{d;4}} \leq \frac{B}{6} \quad (24)$$

Z powyższego wynika, że w *Komb1*, *Komb2* i *Komb4* wypadkowa obciążeń musi znajdować się w obrębie rdzenia podstawy fundamentu, a w *Komb3* może nieznacznie wykraczać poza rdzeń. *Komb3* jest kombinacją obciążeń projektowych o najmniejszym prawdopodobieństwie wystąpienia. Obliczenia najczęściej wykazują, że najmniej niebezpieczna jest kombinacja *Komb4* (bez obciążenia naziemu  $p$ ), dlatego może być ona pomijana.

### Naciski na podłoże gruntowe pod płytą fundamentową ściany posadowionej bezpośrednio

Z powodu ukośnego działania wypadkowej obciążeń, również naciski na grunt pod płytą fundamentową mają kierunek ukośny. Jednak w dalszych obliczeniach wykorzystywana jest tylko składowa pionowa nacisków (rys. 14). Naciski oblicza się dla charakterystycznych wartości obciążeń (*Komb1*).



Rys. 14. Rozkład nacisków na grunt pod podstawą ściany oporowej

## Sprawdzenie stanów granicznych nośności (SGN - GEO) ściany posadowionej bezpośrednio

W przypadku ścian oporowych grawitacyjnych, posadowionych bezpośrednio, należy sprawdzić trzy warunki stanów granicznych nośności:

- nośności podłoża gruntowego
- oporu na przesunięcie
- stateczności ogólnej uskoku podpartego ścianą oporową

### Sprawdzenie nośności podłoża gruntowego (równowagi sił pionowych – rys. 15a)

Nośność podłoża gruntowego pod fundamentem ściany oporowej można sprawdzić tak jak w przypadku typowych fundamentów bezpośrednich, wykorzystując metodę obliczeniową zaproponowaną w załączniku D do EC7.

W przypadku gruntu spoistego (słabo przepuszczalnego dla wody) nośność należy sprawdzić dla warunków bez odpływu i dla warunków z odpływem wody z porów gruntowych.

Warunki bez odpływu mogą wystąpić w początkowym okresie po wykonaniu fundamentu i całego obiektu, szczególnie gdy obiekt jest szybko budowany. Nośność w warunkach bez odpływu określana jest też mianem nośności krótkoterminowej. Oblicza się ją przyjmując całkowite wartości naprężeń w gruncie i wytrzymałość gruntu na ścinanie bez odpływu  $C_u$ .

Warunki z odpływem ustalają się po dłuższym czasie funkcjonowania obiektu i dlatego nośność w takich warunkach określana jest mianem nośności długoterminowej. Oblicza się ją przyjmując efektywne wartości naprężeń w gruncie i efektywne parametry wytrzymałościowe gruntu  $\phi'$  i  $c'$ .

W przypadku gruntu niespoistego mamy do czynienia tylko z warunkami z odpływem.

#### Nośność w warunkach bez odpływu

Nośność tę można obliczyć z wzoru:

$$R_v = A' \cdot [(\pi + 2) \cdot C_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q_{\min}] \quad (26)$$

gdzie :  $A'$  – efektywna powierzchnia podstawy fundamentu:  $A' = B' \cdot L'$ ;  $B' = B - 2e_{BK}$ ;  $L' = L - 2e_{LK}$ ;

w fundamentach liniowych, takich jak ściany oporowe, przyjmuje się  $L' = 1$  mb

$b_c$  – bezwymiarowy współczynnik uwzględniający nachylenie podstawy fundamentu

$s_c$  – współczynnik kształtu podstawy fundamentu

$i_c$  – współczynnik uwzględniający wpływ obciążeń poziomych

$q_{\min}$  – obciążenie od ciężaru gruntu zalegającego nad poziomem posadowienia fundamentu

Współczynniki bezwymiarowe oblicza się według wzorów:

$$b_c = 1 - 2\alpha / (\pi + 2) \quad (27)$$

$$s_c = 1 + 0,2(B' / L') \quad (28)$$

$$i_c = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{H_k}{A' \cdot C_u}} \right) \quad (29)$$

**Uwaga:** w przypadku ściany oporowej należy przyjmować  $s_c = 1,0$ , natomiast we wzorze (29) musi być spełniony warunek, że  $H_k \leq A' \cdot C_u$ . Nie spełnienie tego warunku świadczy o zbyt słabej wytrzymałości gruntu na ścinanie w stosunku do obciążeń. Grunt taki wymaga wzmocnienia lub wymiany.

We wzorach (27) i (29):  $\alpha$  – kąt odchylenia podstawy fundamentu od poziomu  
 $H_k$  – charakterystyczne obciążenie poziome fundamentu

### Nośność w warunkach z odpływem

Nośność tę można obliczyć z wzoru:

$$R_v = A' \cdot [c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q'_{\min} \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma] \quad (30)$$

gdzie :  $N_c, N_q, N_\gamma$  – współczynniki nośności

$b_c, b_q, b_\gamma$  – współczynniki uwzględniające nachylenie podstawy fundamentu

$s_c, s_q, s_\gamma$  – współczynniki kształtu podstawy fundamentu

$i_c, i_q, i_\gamma$  – współczynniki uwzględniające wpływ obciążeń poziomych

$q'_{\min}$  – obciążenie od efektywnego ciężaru gruntu zalegającego nad poziomem posadowienia fundamentu

Współczynniki do wzoru (30) oblicza się następująco:

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi'} \cdot \tan^2(45^\circ + \phi' / 2) \quad (31)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi' \quad (32)$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi' \quad (33)$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \cdot \tan \phi') \quad (34)$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \tan \phi')^2 \quad (35)$$

$$s_q = 1 + (B' / L') \cdot \sin \phi'$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B' / L') \quad (36)$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) \quad (37)$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \phi') \quad (38)$$

$$i_q = [1 - H_k / (V_k + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^m \quad (39)$$

$$i_\gamma = [1 - H_k / (V_k + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^{m+1} \quad (40)$$

$$\text{gdzie: } m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] \quad \text{gdy } H_k \text{ działa w kierunku } B' \quad (41)$$

$$m = m_L = [2 + (L' / B')] / [1 + (L' / B')] \quad \text{gdy } H_k \text{ działa w kierunku } L' \quad (42)$$

W przypadkach, gdy składowa pozioma obciążenia działa w kierunku tworzącym kąt  $\theta$  z kierunkiem  $L'$ , wartość  $m$  można obliczyć ze wzoru:

$$m = m_\theta = m_L \cdot \cos^2 \theta + m_B \cdot \sin^2 \theta \quad (43)$$

**Uwaga:** w przypadku ściany oporowej we wzorach (31) do (42) należy przyjmować  $L' = \infty$ .

### Nośność projektowa podłoża gruntowego

Nośność projektową obliczamy z wzoru:

$$R_{v;d} = R_v / \gamma_{R,v} \quad (44)$$

w którym współczynnik częściowy, zgodnie z tabl. 5, należy przyjmować równy  $\gamma_{R,v} = 1,4$ .

### **Warunek nośności podłoża gruntowego**

Warunek przedstawia się następująco:

$$V_d \leq R_{v;d} \quad (45)$$

W obliczeniach ścian oporowych grawitacyjnych należy sprawdzić warunek nośności dla  $Komb2$  obciążeń projektowych, która jest najbardziej niekorzystna.

W przypadku nie spełnienia warunku nośności należy bądź przeprojektować ścianę oporową w celu zmiany układu obciążeń na bardziej korzystny, bądź wzmocnić podłoże gruntowe (np. przez wymianę warstwy gruntu o zbyt małej wytrzymałości).

### **Sprawdzenie oporu na przesunięcie (równowagi sił poziomych – rys. 15b,c)**

Opór na przesunięcie fundamentu ściany oporowej można sprawdzić wykorzystując metodę obliczeniową zaproponowaną w pkt. 6.5.5 EC7.

#### **Opór w warunkach bez odpływu**

Opór ten można obliczyć z wzoru:

$$R_h = A_c \cdot C_u \quad (46)$$

gdzie :  $A_c$  – pole podstawy fundamentu lub powierzchni po której odbywa się przesuw;

#### **Opór w warunkach z odpływem**

W przypadku fundamentów z płaską podstawą (rys. 15b) opór ten można obliczyć z wzoru:

$$R_h = V_k \cdot \tan \delta, \quad (47)$$

a w przypadku fundamentów z ostrogą (rys. 15c) - z wzoru:

$$R_h = N_k \cdot \tan \phi' + A_c \cdot c' \quad (48)$$

w powyższych wzorach:

$\delta$  – kąt tarcia gruntu o powierzchnię podstawy fundamentu,

$N_k$  – charakterystyczna wartość siły normalnej do powierzchni przesuwu (rys. 15c)

W przypadku fundamentów wykonywanych monolitycznie można przyjmować  $\delta = \phi'$ .

### **Wartość projektowa oporu na przesunięcie**

Nośność projektową obliczamy z wzoru:

$$R_{h;d} = R_h / \gamma_{R,h} \quad (49)$$

w którym współczynnik częściowy, zgodnie z tabl. 5, należy przyjmować równy  $\gamma_{R,h} = 1,1$ .

### **Warunek oporu na przesunięcie**

Warunek przedstawia się następująco:

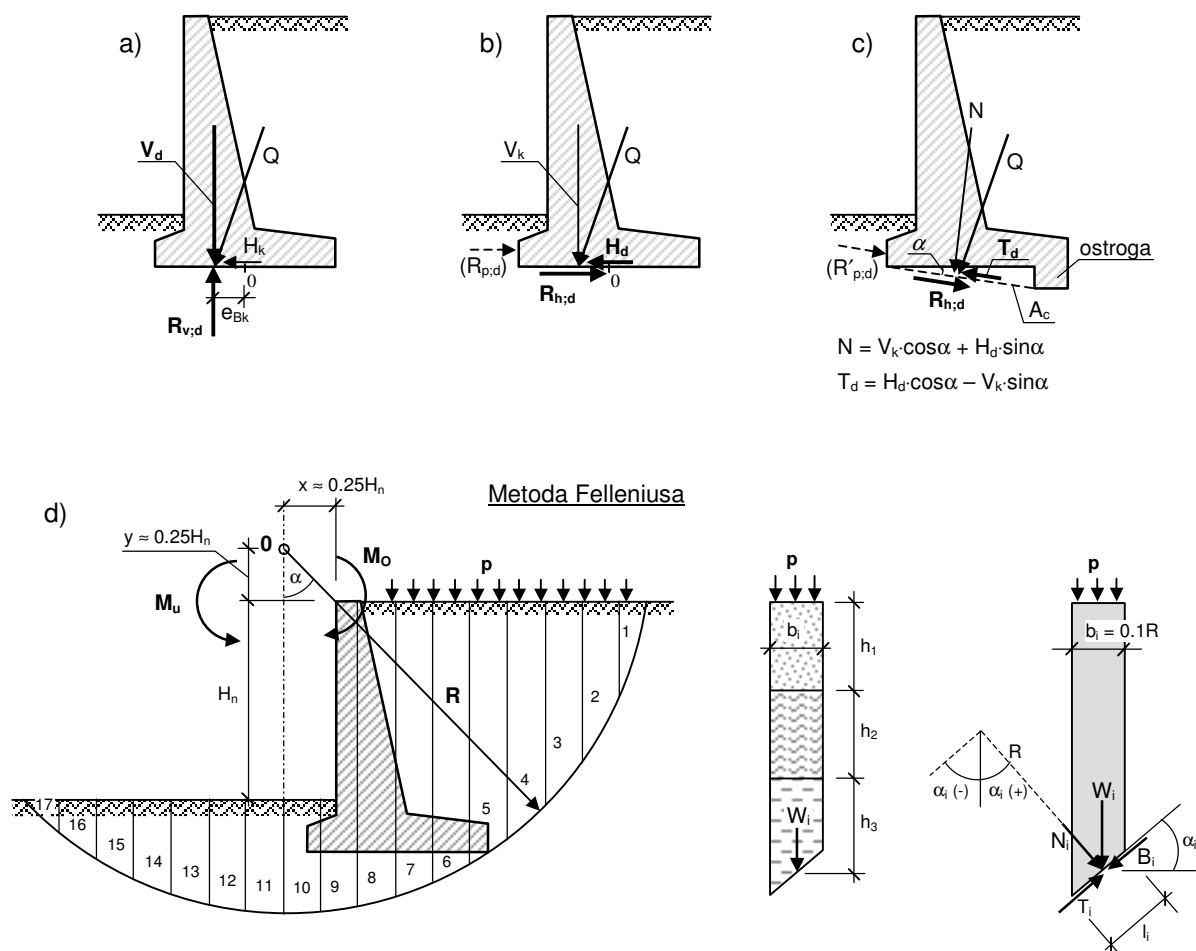
$$H_d \leq R_{h;d} - R_{p;d} \quad \text{lub} \quad T_d \leq R_{h;d} - R'_{p;d} \quad (50)$$

w którym:  $R_{p;d}$  – projektowa wartość oddziaływania przeciwdziałającego przesunięciu, pochodzącego np. od parcia gruntu na ścianę pionową fundamentu.

$T_d$  – projektowa wartość siły powodującej przesuw (rys. 15c)

W obliczeniach ścian oporowych grawitacyjnych powyższy warunek należy sprawdzić dla *Komb3* i *Komb4*, które są najbardziej niekorzystne, a ponadto pominąć działanie siły  $R_{p;d}$ , ze względu na możliwość wystąpienia sytuacji odślonięcia fundamentu ściany od strony niższego naziomu.

W pierwszym etapie należy sprawdzić warunek dla fundamentu o płaskiej podstawie. W przypadku niespełnienia warunku należy spróbować zastosować ostrogę (rys. 15c), a jeżeli to nie pomoże, to dokonać wzmocnienia gruntu przez np. jego wymianę.



Rys. 15. Schematy do sprawdzania warunków stanów granicznych nośności (SGN - GEO)

### Sprawdzenie stateczności ogólnej uskoku podpartego ścianą oporową – rys. 15d

Stateczność ogólną można sprawdzać metodami „paskowymi”, zakładającymi walcowe powierzchnie poślizgu (np. metoda Felleniusa lub Bishopa), metodami stanu granicznego naprężeń lub metodami elementów skończonych (redukcji parametrów wytrzymałościowych gruntu).

Na rys. 15d przedstawiono założenia i schemat obliczeniowy do metody Felleniusa.

Na początku należy przyjąć położenie punktu obrotu „O” oraz wykreślić walcową (kołową) powierzchnię poślizgu zgodnie ze wskazówkami na rys. 15d. Następnie wydzieloną bryłę należy podzielić na paski o szerokości  $b_i = 0,1R$ , najlepiej wydzielając je na prawo i na lewo od pionowej osi przechodzącej przez punkt „O”. Kolejnym krokiem obliczeń jest określenie ciężarów poszczególnych pasków  $W_i$ . Wartość charakterystyczną ciężaru pojedynczego paska określa wzór:

$$W_{i;k} = (p_i + \sum \gamma_j \cdot h_j) \cdot b_i \quad (51)$$

a wartości projektową (obliczeniową):

$$W_{i;d} = (p_i \cdot \gamma_Q + \sum \gamma_j \cdot h_j \cdot \gamma_G) \cdot b_i \quad (52)$$

W odniesieniu do rozpatrywanego przypadku ściany oporowej, to jeżeli w obszarze danego paska wchodzi element ściany oporowej, to należy to odpowiednio uwzględnić, przyjmując dla tej części paska ciężar objętościowy betonu lub żelbetu.

Wartości współczynników do oddziaływań  $\gamma_Q$  i  $\gamma_G$  będą zależały od tego, czy dany pasek znajduje się po prawej stronie, czy po lewej (zgodnie z orientacją przyjętą na rys. 15d). Ciężary pasków po prawej stronie działają niekorzystnie i zgodnie z tabl. 4 dla nich przyjmuje się  $\gamma_Q = 1,5$  i  $\gamma_G = 1,35$ , natomiast ciężary pasków po lewej stronie działają korzystnie, więc dla nich należy przyjąć  $\gamma_Q = 0$  i  $\gamma_G = 1,0$ .

Moment obracający  $M_o$  jest powodowany przez siły ścinające  $B_i$ , których wartości obliczeniowe oblicza się z wzoru:

$$B_{i;d} = W_{i;d} \cdot \sin \alpha_i \quad (53)$$

Dla pasków po prawej stronie ( $\alpha_i$  dodatnie) wartości sił  $B_i$  są dodatnie, a dla pasków po lewej stronie ( $\alpha_i$  ujemne) – ujemne.

Wartość obliczeniową momentu obracającego zsumowaną ze wszystkich pasków oblicza się z wzoru:

$$M_{o;d} = \sum B_{i;d} \cdot R \quad (54)$$

Na moment utrzymujący składają się siły oporów ścinania  $T_i$ , których wartości charakterystyczne oblicza się z wzoru:

$$T_{i;k} = W_{i;k} \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \phi'_i + c'_i \cdot l_i \quad \text{gdzie} \quad l_i = b_i / \cos \alpha_i \quad (55)$$

Zgodnie z założeniami podejścia obliczeniowego 2, wartości  $T_{i;k}$  należy obliczać przyjmując charakterystyczne wartości parametrów geotechnicznych gruntów ( $\phi'_i$  i  $c'_i$ ).

Wartość obliczeniową momentu utrzymującego zsumowaną ze wszystkich pasków oblicza się z wzoru:

$$M_{u;d} = \sum T_{i;k} \cdot R / \gamma_{R,e} , \quad \text{gdzie:} \quad \gamma_{R,e} = 1,1 \quad (\text{według tabl. 6}) \quad (56)$$

### Warunek stateczności

Warunek przedstawia się następująco:

$$M_{o;d} \leq M_{u;d} \quad (57)$$

Obliczenia najlepiej przeprowadzić tabelarycznie, według poniższej propozycji.

Tablica 9 do obliczeń stateczności ogólnej metodą Felleniusa

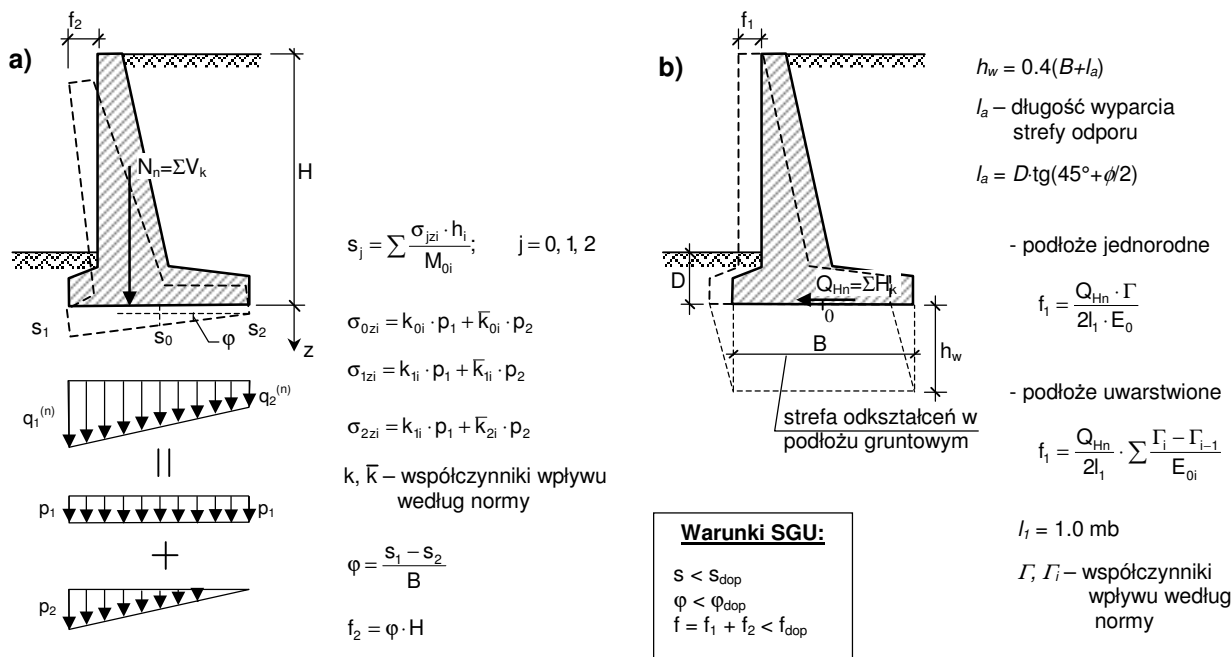
Nr paska	$\alpha_i$	$b_i$	$p_i$	$W_{i;k}$	$W_{i;d}$	$B_{i;d}$	$\phi'_i$	$c'_i$	$l_i$	$T_{i;k}$	$R$	$M_{oi;d}$	$M_{ui;d}$
	[°]	[m]	[kPa]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[°]	[kPa]	[m]	[kN/m]	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]
1													
2													
3													
·													
·													
·													
											Σ		

## Obliczanie przemieszczeń ściany oporowej i sprawdzenie stanów granicznych użytkowalności (SGU)

W Eurokodzie 7 nie przedstawiono propozycji metody obliczeniowej do określania przemieszczeń ścian oporowych, dlatego proponuje się zastosować metodę zawartą w normie PN-83/B-03010.

### Obliczenie osiadań i przechyłki ściany oporowej

Obliczenia osiadań i przechyłki ściany oporowej proponuje się wykonać metodą odkształceń jednoosiowych. W tym celu trapezowy rozkład nacisków na grunt pod fundamentem ściany należy rozłożyć na rozkład prostokątny  $p_1$  i trójkątny  $p_2$ . Następnie po podzieleniu podłoża gruntowego na warstwy obliczeniowe o miąższości  $h_i \leq 0.5B$  należy obliczyć wartości osiadań punktów 0, 1 i 2, korzystając ze wzorów podanych na rys. 16a oraz współczynników  $k_j$  i  $\bar{k}_j$  z tabl. 10. Obliczenia proponuje się wykonać tabelarycznie (tabl. 11), przez sumowanie osiadań poszczególnych warstw obliczeniowych do głębokości  $z_i$ , na której spełniony jest warunek:  $\sigma_{z_i} \leq 0,2\sigma_{\gamma z_i}$ . Wielkość  $z_i$  odmierzymy zawsze od poziomu posadowienia do środka warstwy „i”.



Rys. 16. Schematy do obliczania przemieszczeń ściany oporowej

Tablica 10. Wartości współczynników  $k_j$  i  $\bar{k}_j$  (wg PN-83/B-03010-tabl. Z4-1)

$z/B$	$k_0$	$k_1$	$\bar{k}_0$	$\bar{k}_1$	$\bar{k}_2$	$z/B$	$k_0$	$k_1$	$\bar{k}_0$	$\bar{k}_1$	$\bar{k}_2$
0.00	1.000	0.500	0.50	0.50	0.00	2.00	0.306	0.275	0.15	0.15	0.14
0.25	0.960	0.496	0.48	0.42	0.08	2.50	0.245	0.231	0.13	0.12	0.13
0.50	0.820	0.481	0.41	0.35	0.13	3.00	0.208	0.198	0.11	0.10	0.10
0.75	0.668	0.450	0.33	0.29	0.15	4.00	0.160	0.153	0.08	0.08	0.08
1.00	0.542	0.410	0.28	0.25	0.16	5.00	0.126	0.124	0.06	0.06	0.06
1.50	0.396	0.332	0.20	0.19	0.15						

**Tablica 11. Obliczenia osiadań ściany oporowej**

Profil geotechn.	$\gamma_i^d$	$h_i$	$z_i$	$\sigma_{z_i}$	$0.2\sigma_{z_i}$	$z/B$	$k_{0i}$	$\bar{k}_{0i}$	$k_{1i}$	$\bar{k}_{1i}$	$\bar{k}_{2i}$	$\sigma_{0z_i}$	$\sigma_{1z_i}$	$\sigma_{2z_i}$	$M_{0i}$	$S_{0i}$	$S_{1i}$	$S_{2i}$	
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m]	[m]	[kPa]	[kPa]	-	-	-	-	-	-	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	
<b><math>\Sigma</math></b>																			

**Obliczenie przemieszczeń poziomych ściany oporowej**

Przemieszczenia poziome ściany oporowej nie są efektem poślizgu fundamentu ściany po gruncie, gdyż do tego nie można dopuścić, lecz wynikają z odkształceń postaciowych bryły gruntowej, znajdującej się pod fundamentem i sięgającej do głębokości  $h_w$ .

Podstawowe wzory do obliczenia przemieszczenia poziomego  $f_1$  ściany oporowej przedstawiono na rys. 16b. Występujące w tych wzorach współczynniki  $\Gamma$  oblicza się następująco:

$$\Gamma = (1 + \nu) \cdot \frac{2}{\pi} \left[ (1 - \nu) \cdot \ln(1 + m_\Gamma^2) + m_\Gamma (3 - 2\nu) \cdot \arctg \frac{1}{m_\Gamma} \right] \quad (58)$$

We wzorze tym  $\nu$  jest współczynnikiem Poissona dla gruntu. Należy pamiętać, żeby wyrażenie  $\arctg \frac{1}{m_\Gamma}$  podawać w radianach.

W przypadku gdy wielkość  $h_w$  zawiera się w jednej warstwie gruntowej, to mamy do czynienia z przypadkiem podłoża jednorodnego i wówczas:  $m_\Gamma = \frac{2h_w}{B}$ .

W przypadku gdy w zasięgu  $h_w$  zawierają się dwie lub więcej warstw, to mamy do czynienia z przypadkiem podłoża uwarstwionego i wówczas dla każdej warstwy obliczamy oddzielny współczynnik  $\Gamma_i$  dla  $m_{\Gamma_i} = \frac{2h_i}{B}$ . Wielkość  $h_i$  jest zagłębieniem spodu danej warstwy „i” w stosunku do spodu fundamentu (nie mylić z miąższością tej warstwy). Dla ostatniej warstwy:  $h_i = h_w$ .

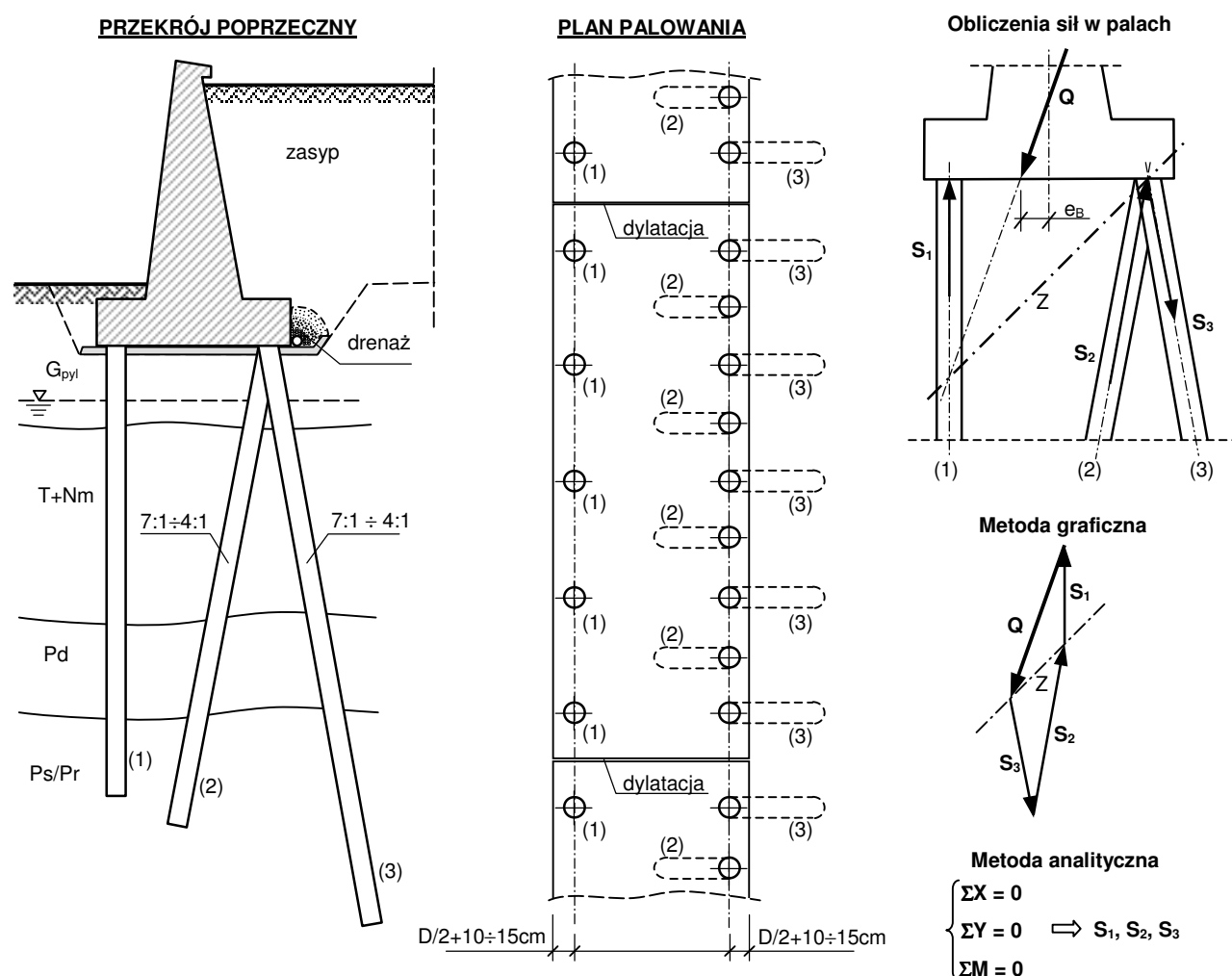
## Posadowienie ścian oporowych na palach

W przypadku słabonośnego podłoża gruntowego z występowaniem np. warstw gruntów organicznych (torfy, namuły) o znacznej miąższości, ścianę oporową należy posadowić na palach, których zadaniem będzie przekazanie obciążeń na warstwy nośne znajdujące się na większej głębokości.

Ściany oporowe posadawia się na palach o umiarkowanych średnicach ( $\varnothing 300 \div 500$  mm) lub na mikropalach ( $\varnothing 150 \div 200$  mm). Pod ścianami oporowymi z reguły nie stosuje się pali wielkośrednicowych.

Możliwe są do zastosowania praktycznie wszystkie technologie pali – od wbijanych prefabrykowanych, przez wbijane monolityczne, wiercone, przemieszczeniowe wkręcane, iniekcyjne itd. Rodzaj pali należy dobrać w zależności od warunków gruntowych i terenowych. Np. w przypadku podłoża z piaskami średniozagęszczonymi (warstwy nośne) powinno się stosować pale wbijane, a w terenie zabudowanym – przemieszczeniowe wkręcane. W przypadku piasków zagęszczonych i gruntów spoistych zwartych i półzwartych powinno się stosować pale wiercone.

Ze względu na znaczne obciążenia poziome ścian oporowych, należy stosować układy pali ukośnych (tzw. układy kozłowe). Takie układy zapewniają odpowiednią sztywność poziomą posadowienia. W przypadku tylko pali pionowych mogłyby wystąpić zbyt duże przemieszczenia poziome ściany i duże momenty zginające w palach. Przykłady możliwych wariantów układów pali przedstawiono na rys. 17 do 19.



Rys. 17. Posadowienie ściany oporowej na palach – Rozwiązanie I. Geometria i metody obliczeń sił w palach.



Najbardziej popularne jest rozwiązanie I posadowienia ścian oporowych na palach (rys. 17). W przypadku znacznych obciążeń poziomych i dużych sił w palach wyciąganych (pale (3)), można zastosować rozwiązanie II posadowienia (rys. 18), w którym przez zastosowanie wszystkich pali ukośnych uzyskuje się redukcję sił wyciągających w palach. W rozwiązaniach I i II obliczenia sił w palach można wykonać metodą sztywnego oczepu (graficzną Culmanna lub analityczną), wykorzystując równania równowagi układu sił niezbieżnych.

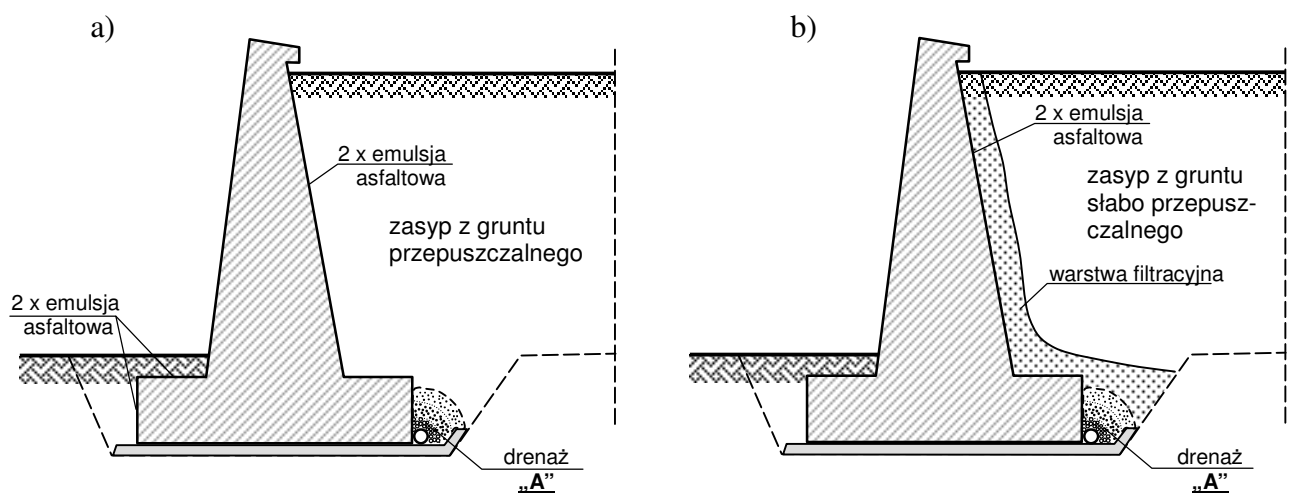
W przypadku niedużej miąższości warstw gruntów słabych i zalegania ich nie bezpośrednio pod fundamentem ściany, możliwe jest do zastosowania rozwiązanie III na dwóch rzędach pali ukośnych (rys. 19). W takim rozwiązaniu konieczne jest zastosowanie metody numerycznej obliczeń, w której pale modeluje się jako pręty współpracujące ze sprężystym (sprężysto-plastycznym) ośrodkiem gruntowym. W wynikach otrzymuje się siły i momenty w palach oraz przemieszczenia całego układu. Jeżeli przemieszczenia poziome przekraczają wartości dopuszczalne, to należy zastosować rozwiązanie I lub II.

Dla otrzymanych sił w palach dobiera się średnice i długości pali na podstawie obliczeń nośności pali w gruncie (oddzielne opracowanie).

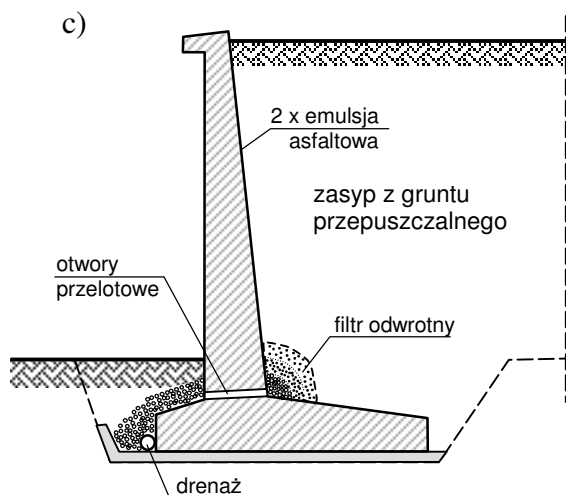
## Odwodnienie i izolacja ścian oporowych

Ściany oporowe wymagają odwodnienia, którego celem jest odprowadzenie wody opadowej lub napływającej ze zbocza, i nie dopuszczenie do napełnienia się zasypu wodą. Wypełnienie to mogłoby doprowadzić do znacznego wzrostu obciążeń poziomych ściany (doszłoby parcie wody) i jej awarii.

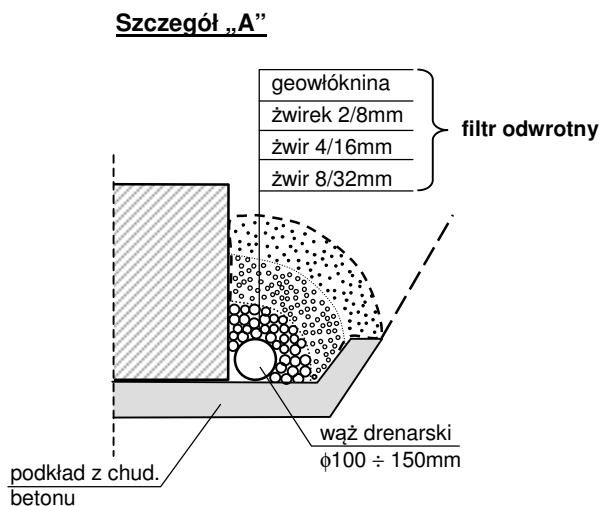
Odwodnienie wykonuje się w postaci drenażu, umieszczonego za ścianą oporową (rys. 20). Ważnym elementem drenażu jest tzw. filtr odwrotny (rys. 21), który ma zabezpieczyć przed wypłukiwaniem drobnych frakcji z zasypu i przed zakolmatowaniem się drenu. Drenaż odprowadza wodę do studzienek kanalizacji burzowej lub do studni chłonnych.



Rys. 20. Odwodnienie i izolacja ścian oporowych.



Rys. 20 c.d. Odwodnienie ściany płytowo-kątowej.

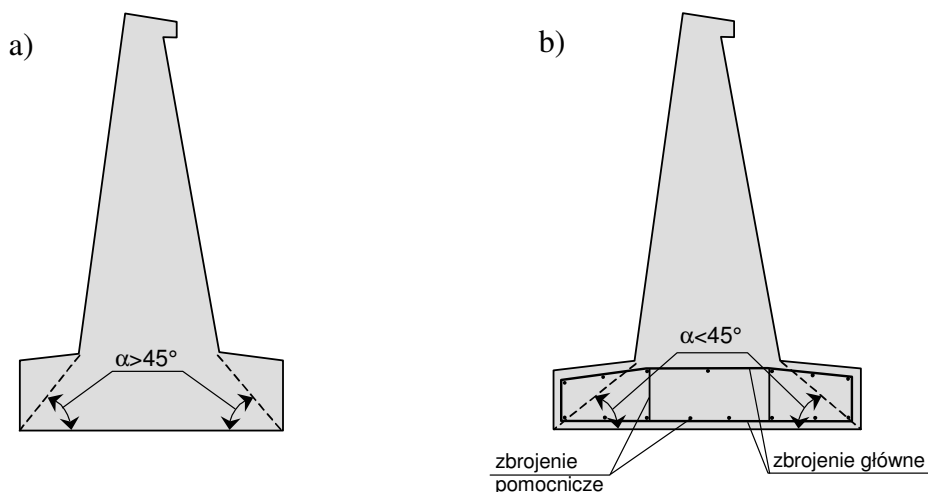


Rys. 21. Szczegół filtra odrotnego.

Izolacja ścian oporowych polega głównie na pokryciu powierzchni ściany stykających się z gruntem 2 warstwami emulsji asfaltowej. Zastosowanie emulsji pozwala na pokrywanie ściany bez konieczności jej wysuszenia, gdyż emulsja, jak wiadomo, jest roztworem wodnym asfaltu. W przypadku intensywnego napływu wód lub wód agresywnych może zaistnieć konieczność zastosowania cięższej formy izolacji, np. oklejenie papą termozgrzewalną (1 lub 2 warstwy).

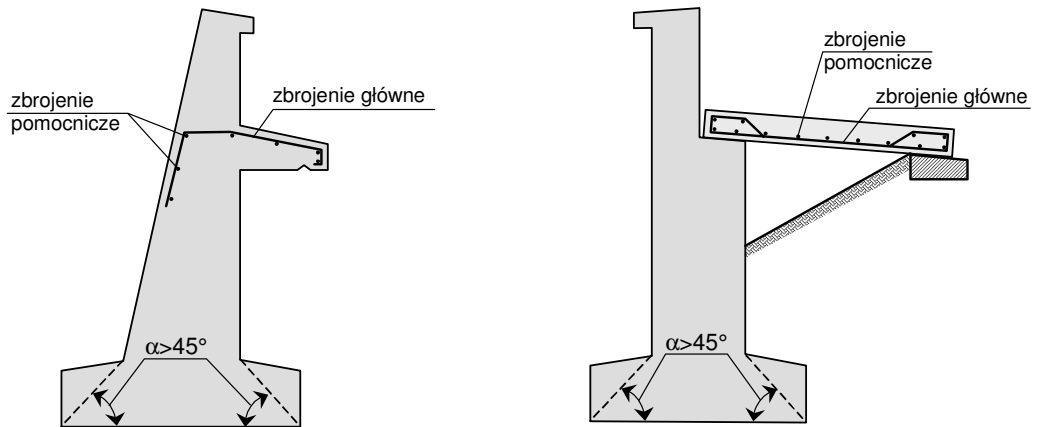
### Zbrojenie ścian oporowych

Ściany oporowe masywne generalnie projektuje się tak, żeby nie wymagały zbrojenia. Wyjątek może stanowić zbrojenie płyty fundamentowej, w której może zaistnieć konieczność zbrojenia przy znacznej jej szerokości i kącie  $\alpha > 45^\circ$  (rys. 22).



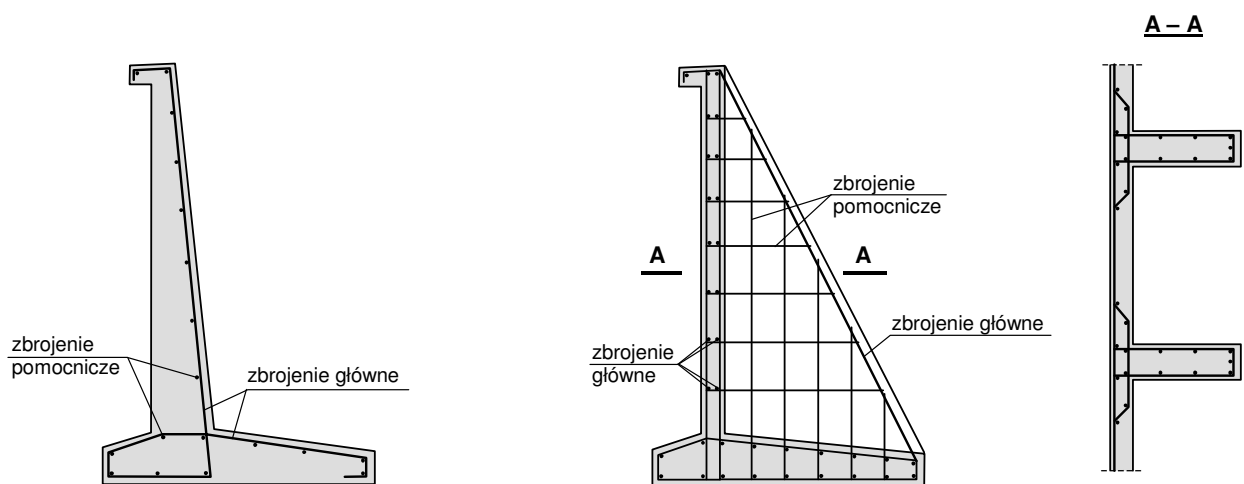
Rys. 22. Zbrojenie ścian masywnych: a) bez zbrojenia, b) ze zbrojeniem płyty fundamentowej.

W ścianach z elementami odciążającymi zbrojenia wymagają głównie elementy odciążające (rys. 23), względnie płyta fundamentowa, podobnie jak w ścianach masywnych.



Rys. 23. Zbrojenie ścian oporowych z elementami odciążającymi

Ściany lekkie są z definicji żelbetowe i wymagają zbrojenia w całym swoim korpusie (rys. 24).



Rys. 24. Zbrojenie ścian oporowych lekkich – płytowo-kątowej i płytowo-żebrowej

Opracowanie:

*dr hab. inż. Adam Krasieński*

*(Katedra Geotechniki, Geologii i Bud. Morskiego PG)*

## Załącznik Zalecenia dotyczące przyjmowania wstępnych wymiarów ścian oporowych

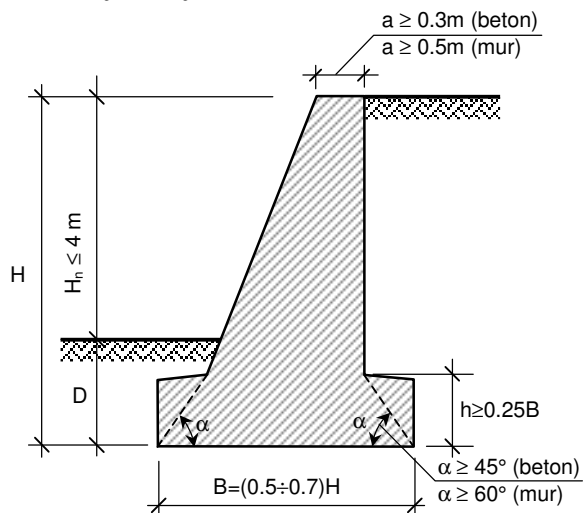
### 1. Minimalna głębokość posadowienia ścian oporowych

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

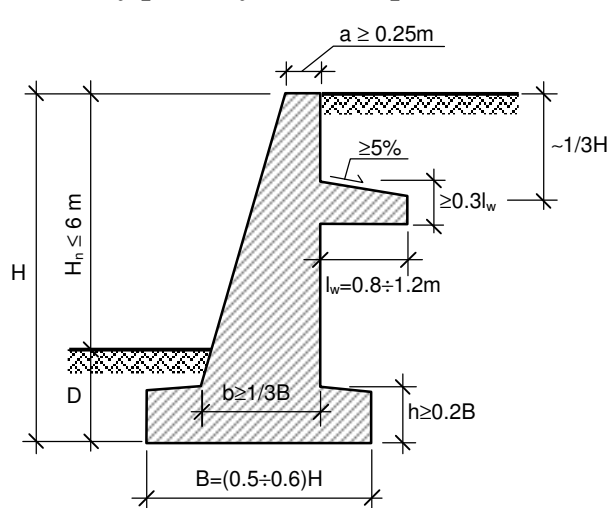
$D \geq h_z$  – grunty wysadzinowe (grunty spoiste)

$h_z$  – głębokość przemarzania gruntu (wg PN-81/B-03020)

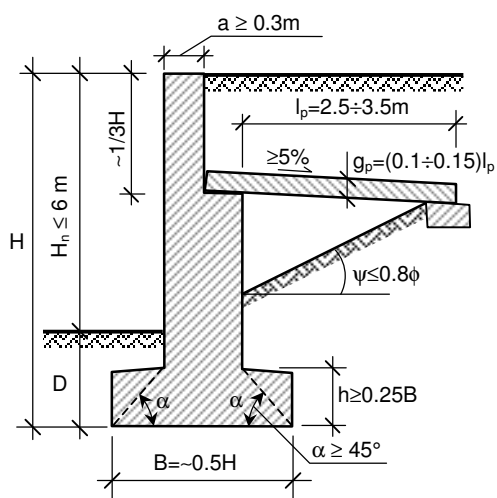
### 2. Ściany masywne



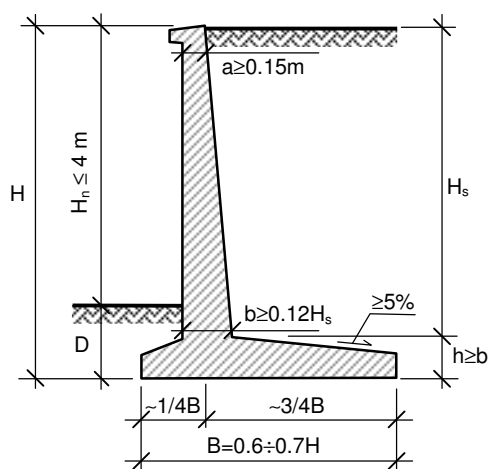
### 3. Ściany półmasywne ze wspornikiem



### 4. Ściany półmasywne z płytą odciążającą



### 5. Ściany lekkie płytowo-kątowe



### 5. Ściany lekkie płytowo-żebrowe

