

Katedra Geotechniki i Budownictwa Drogowego

WYDZIAŁ NAUK TECHNICZNYCH

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

„Projektowanie geotechniczne na podstawie obliczeń”

Temat ćwiczenia:

Opór graniczny podłoża gruntowego

dr inż. Ireneusz Dyka – pok. 3.34 [ul. Heweliusza 4]

<http://pracownicy.uwm.edu.pl/i.dyka>

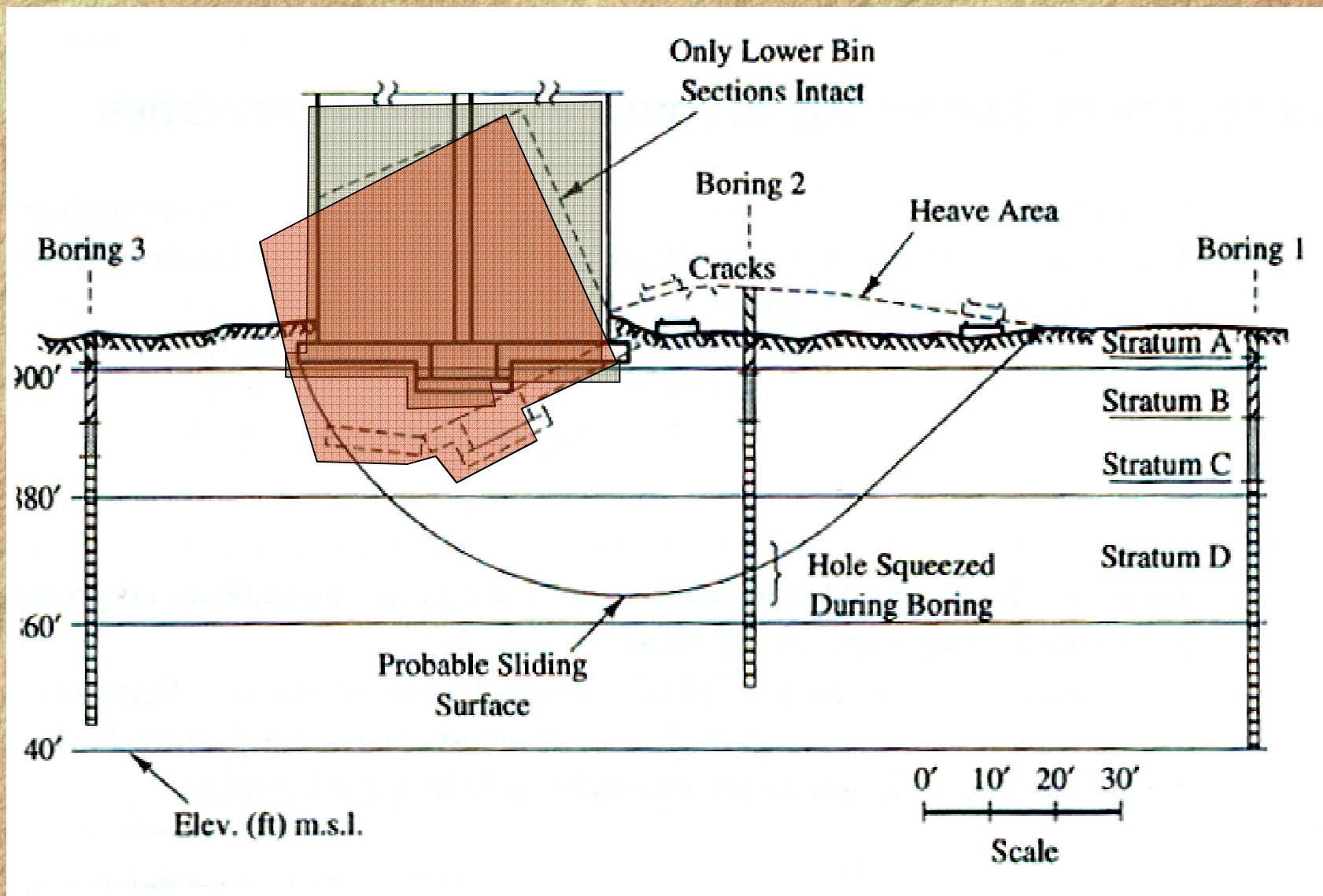
[e-mail: i.dyka@uwm.edu.pl](mailto:i.dyka@uwm.edu.pl)

Transcosna Grain Elevator Canada (Oct. 18, 1913)

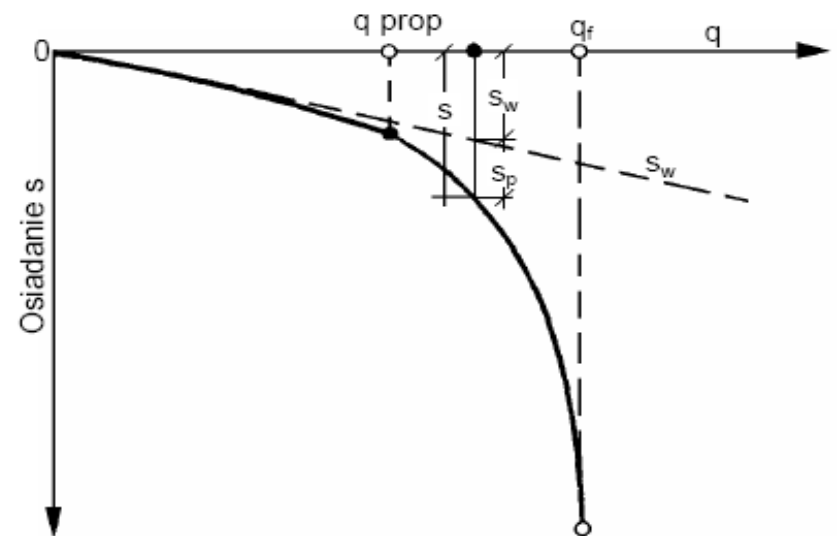
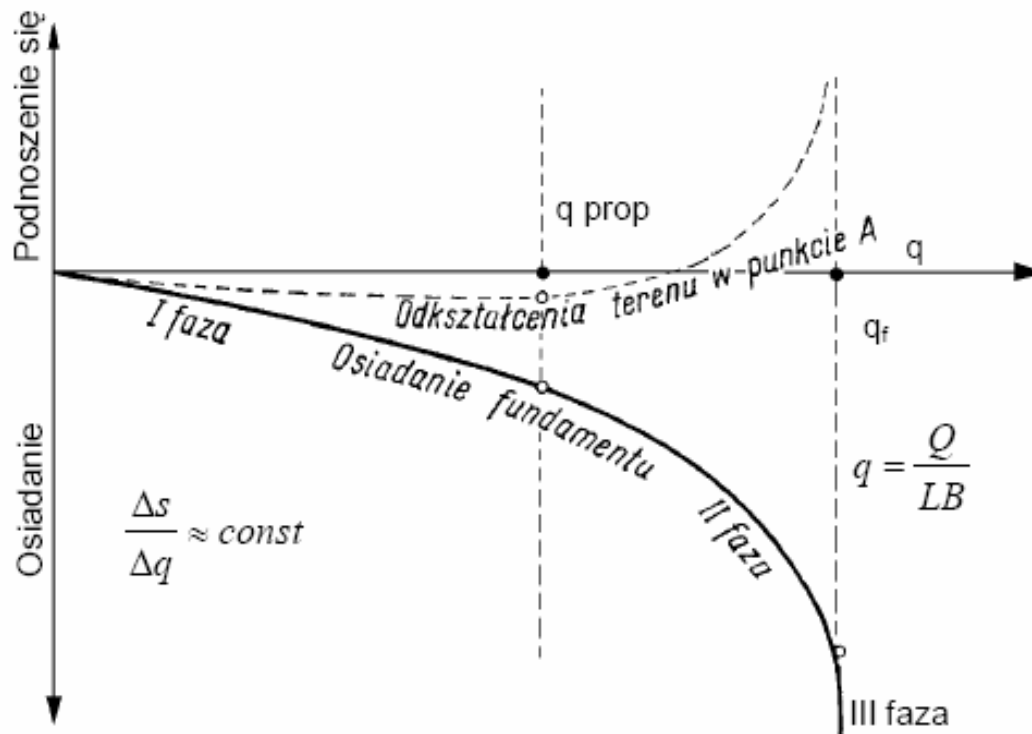
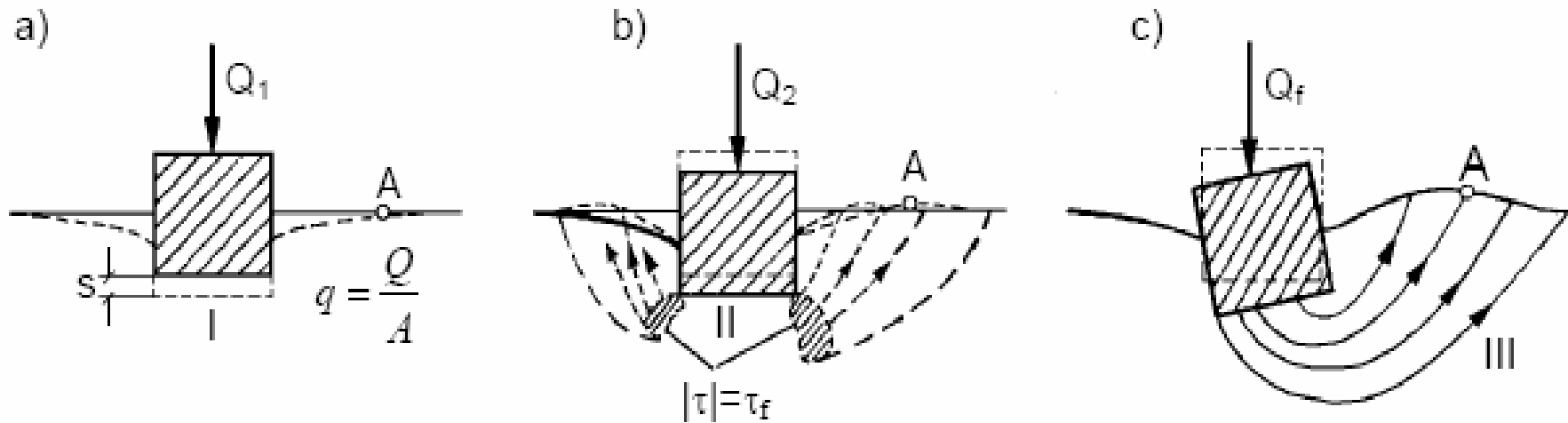


West side of foundation sank 24-ft

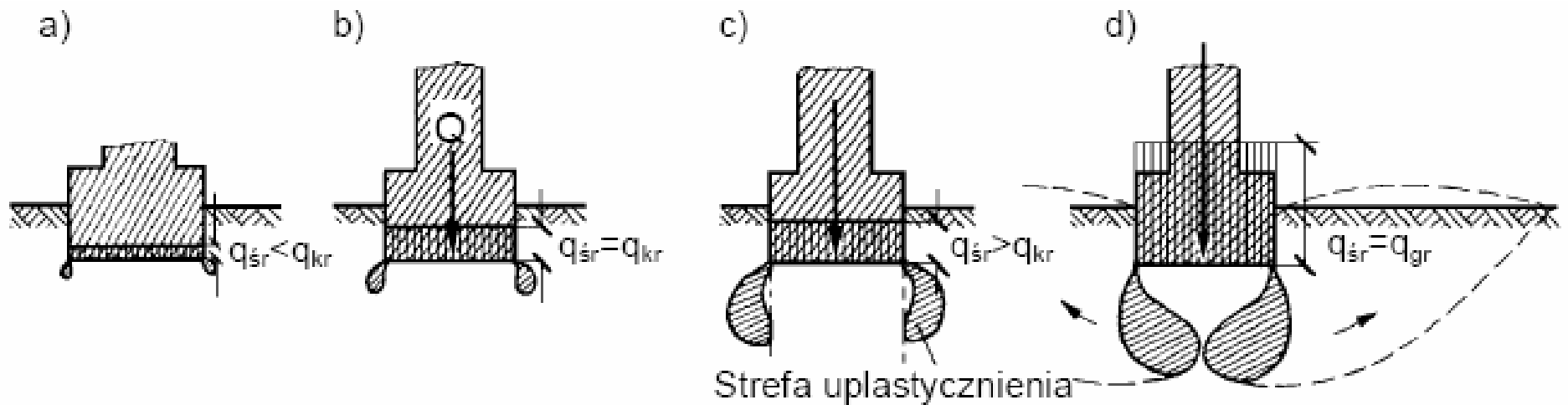
Opór graniczny w gruntach



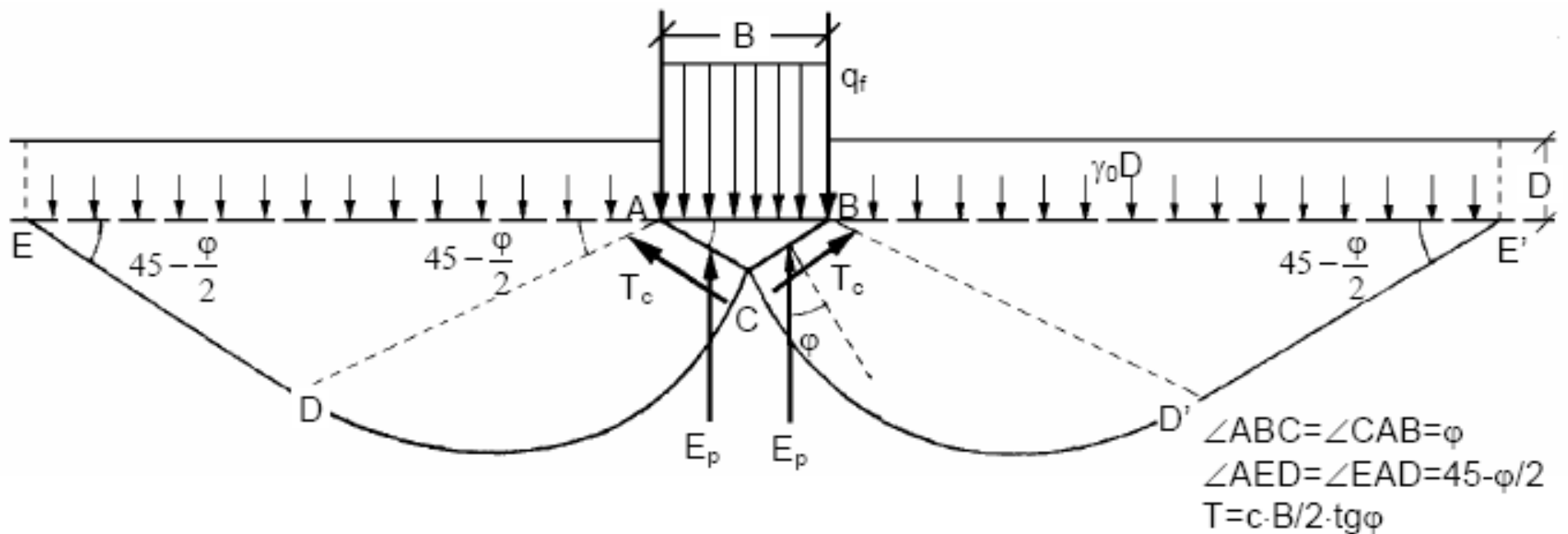
Opór graniczny w gruntach



Rozwój stref plastycznych pod fundamentem:



Teoria równowagi granicznej Terzaghiego:

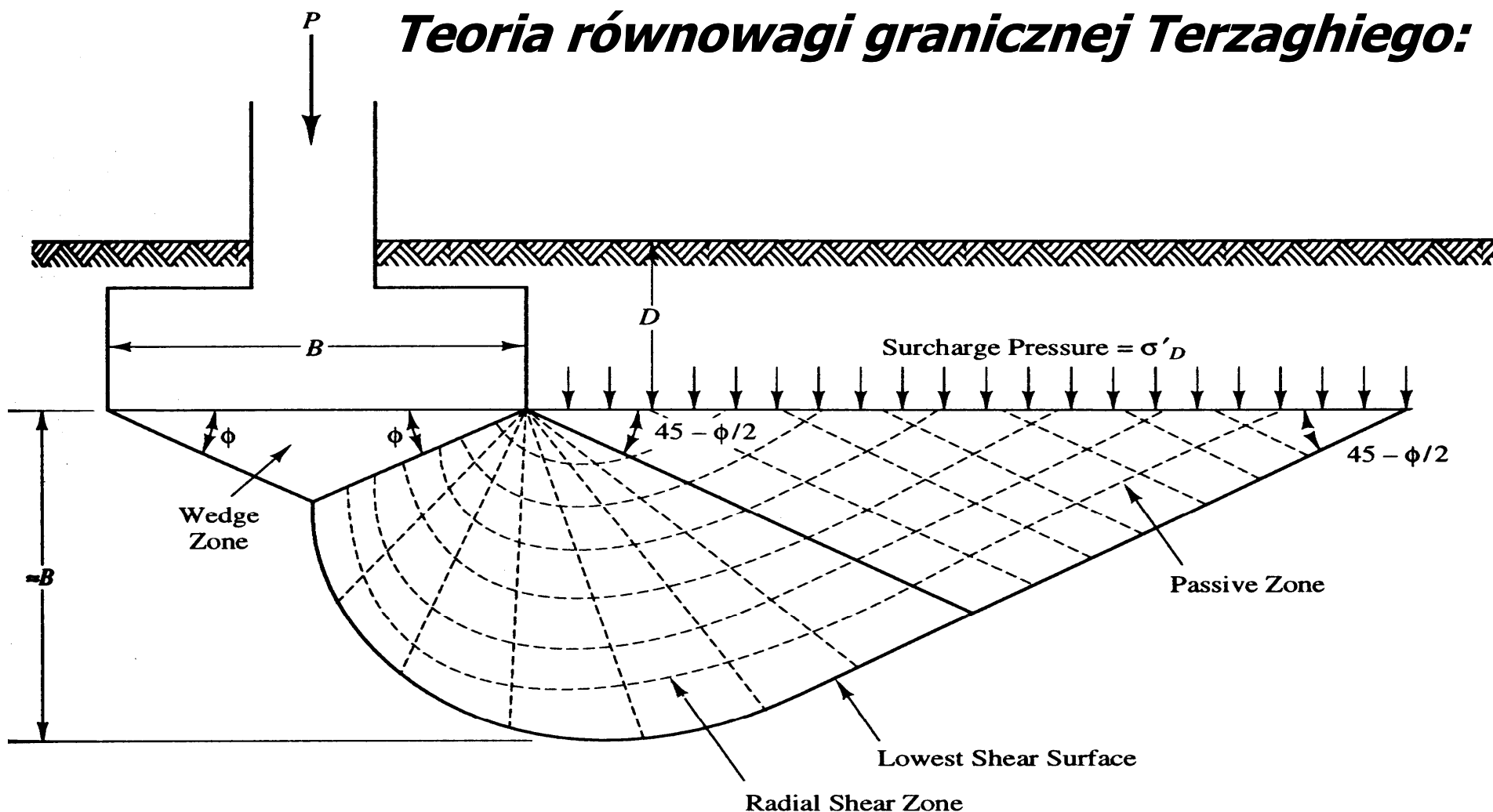


*Na klin gruntu oznaczony na rysunku literami **ABC** znajdujący się bezpośrednio pod rozpatrywanym fundamentem w warunkach równowagi granicznej działają następujące siły:*

*- z góry: obciążenie z fundamentu oraz ciężar samego klina **ABC**,*

*- od dołu : siły oporu biernego gruntu E_p w obrębie brył **ACDE** i **BCD'E'** jak również opór spójności T_c w płaszczyznach **AC** i **BC**.*

Teoria równowagi granicznej Terzagiego:



wg Terzaghi'ego:

dla fundamentu ciągłego:

$$q_{ult} = c'N_c + \sigma'_{zD}N_q + 0.5\gamma'BN_\gamma$$

dla fundamentu kwadratowego:

$$q_{ult} = 1.3c'N_c + \sigma'_{zD}N_q + 0.4\gamma'BN_\gamma$$

dla fundamentu kołowego:

$$q_{ult} = 1.3c'N_c + \sigma'_{zD}N_q + 0.3\gamma'BN_\gamma$$

GEO – nośność podłoża pod stopą fundamentową

$$V_d \leq R_d$$

wg EN-1997-1, Annex D:

$$R = B' \cdot L' \left[s_c \cdot N_c \cdot c' \cdot i_c + s_q \cdot N_q \cdot q' \cdot i_q + 0,5 \cdot s_\gamma \cdot N_\gamma \cdot \gamma' \cdot B' \cdot i_\gamma \right]$$

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \phi'; \quad s_\gamma = 1 - 0,3 \frac{B'}{L'}; \quad s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{B}{L},$$

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \exp(\pi \tan \phi),$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi.$$

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

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \phi.$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \frac{B}{L}.$$

wg PN-81/B-03020:

$$R = B' \cdot L' \left[\left(1 + 0,3 \frac{B'}{L'} \right) \cdot N_c \cdot c' \cdot i_c + \left(1 + 1,5 \frac{B'}{L'} \right) \cdot N_D \cdot \gamma'_D \cdot D_{\text{min}} \cdot i_D + \left(1 - 0,25 \frac{B'}{L'} \right) \cdot N_B \cdot \gamma' \cdot B' \cdot i_B \right]$$

wg Vesica
(1973/75):

$$s_c = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \left(\frac{N_q}{N_c} \right)$$

$$s_q = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \tan \phi'$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \left(\frac{B}{L} \right)$$

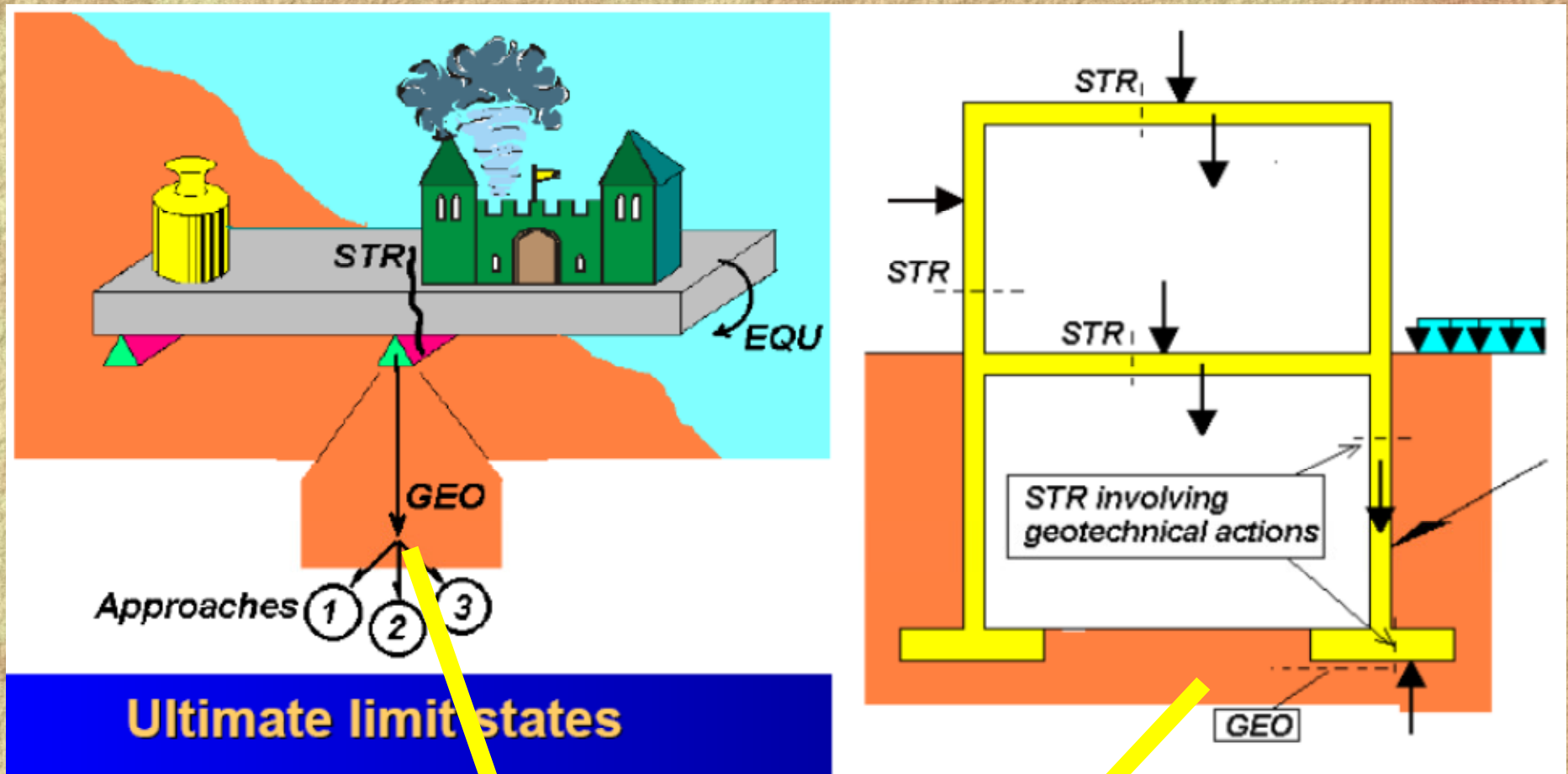
wg
Brinch-
Hansena
(1970)

Stany graniczne nośności w projektowaniu geotechnicznym

- EQU** – utrata równowagi budowli lub podłoża traktowanych jako sztywna bryła (w stanie tym wytrzymałość gruntu nie wpływa na nośność),
- STR** – wewnętrzne zniszczenie lub nadmierne odkształcenie konstrukcji lub jej elementów (np. fundamentów, ścian oporowych), na nośność znacząco wpływa wytrzymałość materiału konstrukcji,
- GEO** – zniszczenie lub nadmierne odkształcenie podłoża (na nośność znacząco wpływa wytrzymałość gruntu lub skały),
- UPL** – utrata równowagi budowli lub podłoża wskutek działania sił wyporu wody,
- HYD** – wyparcie hydrauliczne w podłożu spowodowane wpływem gradientów hydraulicznych (ciśnienia spływowego).

Stany graniczne nośności w projektowaniu geotechnicznym

STR i GEO



Ultimate limit states

Podejścia obliczeniowe (Design Approach – DA)

Wg EN 1997-1

Cztery metody projektowania:

na podstawie

- **obliczeń** analitycznych, pół-empirycznych oraz modeli numerycznych,
- **wymagań przepisów** (*prescriptive measures*) – np. *tablice oporów pali w DIN 1054:2003*,
- **modeli** doświadczalnych lub **próbnych obciążeń** elementów konstrukcji (zwłaszcza pali), modeli w skali naturalnej albo zmniejszonej,
- postępowania **metodą obserwacyjną**, w której projekt jest w sposób ciągły weryfikowany podczas budowy.

Stany graniczne nośności w projektowaniu geotechnicznym

STR i GEO

$$E_d \leq R_d$$

Wartość obliczeniowa efektów oddziaływań:

$$E_d = E\{\gamma_F F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\} \quad \text{lub} \quad E_d = \gamma_E E\{F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\}$$

Wartość obliczeniowa oporu (nośności):

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

F_{rep} – wartość reprezentatywna oddziaływania;

γ_F – częściowy współczynnik dla oddziaływania.

γ_E – częściowy współczynnik dla efektu oddziaływania.

X_k – wartość charakterystyczna właściwości materiału;

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

a_d – wartość obliczeniowa parametru geometrycznego.

Stany graniczne nośności: STR i GEO

$$E_d \leq R_d$$

Podejście obliczeniowe 1 (DA1)

DA1.1 → Kombinacja 1: A1”+”M1”+”R1

DA1.2 → Kombinacja 2: A2”+”M2”+”R1

Dla pali obciążonych osiowo oraz kotew gruntowych:

DA1.1 → Kombinacja 1: A1”+”M1”+”R1

DA1.2 → Kombinacja 2: A2”+”(M1 lub M2)”+”R4

Stany graniczne nośności: STR i GEO

$$E_d \leq R_d$$

Podejście obliczeniowe 2 (DA2)

Kombinacja: A1”+”M1”+”R2

Podejście obliczeniowe 3 (DA3)

Kombinacja: (A1* lub A2†)”+”M2”+”R3

*** - oddziaływania konstrukcyjne (STR)**

† - oddziaływania geotechniczne (GEO)

Stany graniczne nośności: STR i GEO

Współczynniki częściowe – Załącznik A

Table A.3 - Partial factors on actions (γ_f) or the effects of actions (γ_E)

Action		Symbol	Set	
			A1	A2
Permanent	Unfavourable	γ_G	1,35	1,0
	Favourable		1,0	1,0
Variable	Unfavourable	γ_Q	1,5	1,3
	Favourable		0	0

Table A.4 - Partial factors for soil parameters (γ_M)

Soil parameter	Symbol	Set	
		M1	M2
Angle of shearing resistance ^a	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Effective cohesion	γ_c	1,0	1,25
Undrained shear strength	γ_{cu}	1,0	1,4
Unconfined strength	γ_{qu}	1,0	1,4
Weight density	γ_f	1,0	1,0

^a This factor is applied to $\tan \phi'$

Table A.5 - Partial resistance factors (γ_R) for spread foundations

Resistance	Symbol	Set		
		R1	R2	R3
Bearing	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Sliding	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,1	1,0

Współczynniki częściowe – Załącznik A

Table A.6- Partial resistance factors (γ_R) for driven piles

Resistance	Symbol	Set			
		R1	R2	R3	R4
Base	γ_R	1,0	1,1	1,0	1,3
Shaft (compression)	γ_R	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combined (compression)	γ_R	1,0	1,1	1,0	1,3
Shaft in tension	$\gamma_{R,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Table A.7 - Partial resistance factors (γ_R) for bored piles

Resistance	Symbol	Set			
		R1	R2	R3	R4
Base	γ_R	1,25	1,1	1,0	1,6
Shaft (compression)	γ_R	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combined (compression)	γ_R	1,15	1,1	1,0	1,5
Shaft in tension	$\gamma_{R,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Table A.8 - Partial resistance factors (γ_R) for continuous flight auger (CFA) piles

Resistance	Symbol	Set			
		R1	R2	R3	R4
Base	γ_R	1,1	1,1	1,0	1,45
Shaft (compression)	γ_R	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combined (compression)	γ_R	1,1	1,1	1,0	1,4
Shaft in tension	$\gamma_{R,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Table A.13 - Partial resistance factors (γ_R) for retaining structures

Resistance	Symbol	Set		
		R1	R2	R3
Bearing capacity	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Sliding resistance	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,1	1,0
Earth resistance	$\gamma_{R,e}$	1,0	1,4	1,0

Table A.14 - Partial resistance factors (γ_R) for slopes and overall stability

Resistance	Symbol	Set		
		R1	R2	R3
Earth resistance	$\gamma_{R,e}$	1,0	1,1	1,0

Projektowanie fundamentów bezpośrednich

Współczynniki częściowe

<i>Podejście obliczeniowe</i>		DA1.1	DA1.2	DA2	DA3		PN
<i>Współczynniki dla oddziaływań:</i>	γ_F	A1	A2	A1	A1	A2	
<i>Niekorzystne oddziaływania stałe</i>	γ_G	1.35	1.00	1.35	1.35	1.00	1.10
<i>Korzystne oddziaływania stałe</i>		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90
<i>Niekorzystne oddziaływania zmienne</i>	γ_Q	1.50	1.30	1.50	1.50	1.30	1.30
<i>Korzystne oddziaływania zmienne</i>		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Współczynniki materiałowe:</i>		γ_M	M1	M2	M1	M2	metoda B
ϕ'	$\gamma_{\phi'}$	1.00	1.25	1.00	1.25		1.11
c'	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.25		1.11
c_u	γ_{c_u}	1.00	1.40	1.00	1.40		1.11
q_u	γ_{q_u}	1.00	1.40	1.00	1.40		1.11
γ	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00		1.11
<i>Współczynniki dla oporów:</i>		γ_M	R1	R1	R2	R3	metoda B
<i>opór graniczny podłoża</i>	$\gamma_{R;v}$	1.00	1.00	1.40	1.00		1.23
<i>poślizg</i>	$\gamma_{R;h}$	1.00	1.00	1.10	1.00		1.39

Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i
Administracji z dnia 24 września 1998 r. na podstawie
art. 34 ust. 6 pkt 2 ustawy z 7 lipca 1994 r.

**w sprawie ustalania geotechnicznych warunków
posadawiania obiektów budowlanych**

(Dz. U. Nr 126/1998, poz. 839)

Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i
Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r.

**w sprawie ustalania geotechnicznych warunków
posadawiania obiektów budowlanych**

(Dz. U. RP z 27 kwietnia 2012 r., poz. 463)

6.5.2 Nośność podłoża

GEO – nośność podłoża pod stopą fundamentową wg PN-EN 1997-1:2008:

6.5.2.1 Postanowienia ogólne

(1)P Należy sprawdzić, czy dla wszystkich stanów granicznych nośności spełniona jest poniższa nierówność:

$$V_d \leq R_d \quad (6.1)$$

(2)P Wartość R_d należy wyliczyć zgodnie z 2.4.

(3)P Wartość V_d powinna zawierać ciężar fundamentu i materiału zasypowego oraz parcia gruntu, jako siły korzystne lub niekorzystne. Ciśnienia wody nie spowodowane naciskiem fundamentu należy włączyć do obliczeń jako oddziaływania.

6.5.2.2 Metoda analityczna

(1) Zaleca się stosowanie ogólnie uznanych metod analitycznych.

UWAGA Dopuszcza się stosowanie analitycznej metody obliczania nośności, której przykład podano w Załączniku D.

(2)P Przy analitycznym określaniu nośności R_d należy uwzględniać zarówno sytuacje krótkotrwałe, jak i długotrwałe, zwłaszcza w gruntach drobnoziarnistych.

(3)P Jeżeli masyw gruntu lub skały pod fundamentem tworzy określony system warstwowania lub innych nieciągłości, to w założonym mechanizmie zniszczenia oraz przy wyborze parametrów wytrzymałościowych i parametrów odkształceniowych należy uwzględniać strukturalną charakterystykę podłoża.

(4)P Przy wyznaczaniu obliczeniowej nośności fundamentu posadowionego na podłożu zbudowanym z warstw, których właściwości znacznie różnią się między sobą, wartości obliczeniowe parametrów podłoża należy określić dla każdej warstwy.

(5) W przypadku gdy utwory nośne zalegają poniżej warstwy słabej, nośność można obliczać z zastosowaniem parametrów wytrzymałościowych utworów słabych. W przeciwnym przypadku, gdy słaby grunt znajduje się pod mocnym, zaleca się sprawdzić możliwość zniszczenia przez przebicie mocnej warstwy.

(6) W sytuacjach obliczeniowych opisanych w 6.5.2.2(3)P, 6.5.2.2 (4)P i 6.5.2.2 (5) metody analityczne są często nieprzydatne. W takich przypadkach zaleca się stosować procedury numeryczne, aby stwierdzić, jaki jest najbardziej niekorzystny mechanizm zniszczenia.

(7) Można też stosować obliczenia stateczności ogólnej opisane w Rozdziale 11.

			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					
		korzystne	1,0					
	zmienne	niekorzystne	1,5					
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			
		trwale			1,1			
	ściany oporowe	wyparcie			1,4			
		opór ze względu na poślizg			1,1			
		odpór graniczny			1,4			
	skarpy	opór graniczny						1,0

GEO – nośność podłoża pod stopą fundamentową

wg PN-EN 1997-1:2008, wzór 6.1:

$$V_d \leq R_d$$

wg PN-EN 1997-1:2008, Załącznik D (warunki z odpływem):

$$q_f^{EC7} = \frac{R}{A'} = c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

