

WYDZIAŁ GEOINŻYNIERII, *Instytut Geodezji i Budownictwa,*
Katedra Inżynierii Budowlanej, Zespół Geotechniki
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

„Projektowanie geotechniczne na podstawie obliczeń”

Temat ćwiczenia:

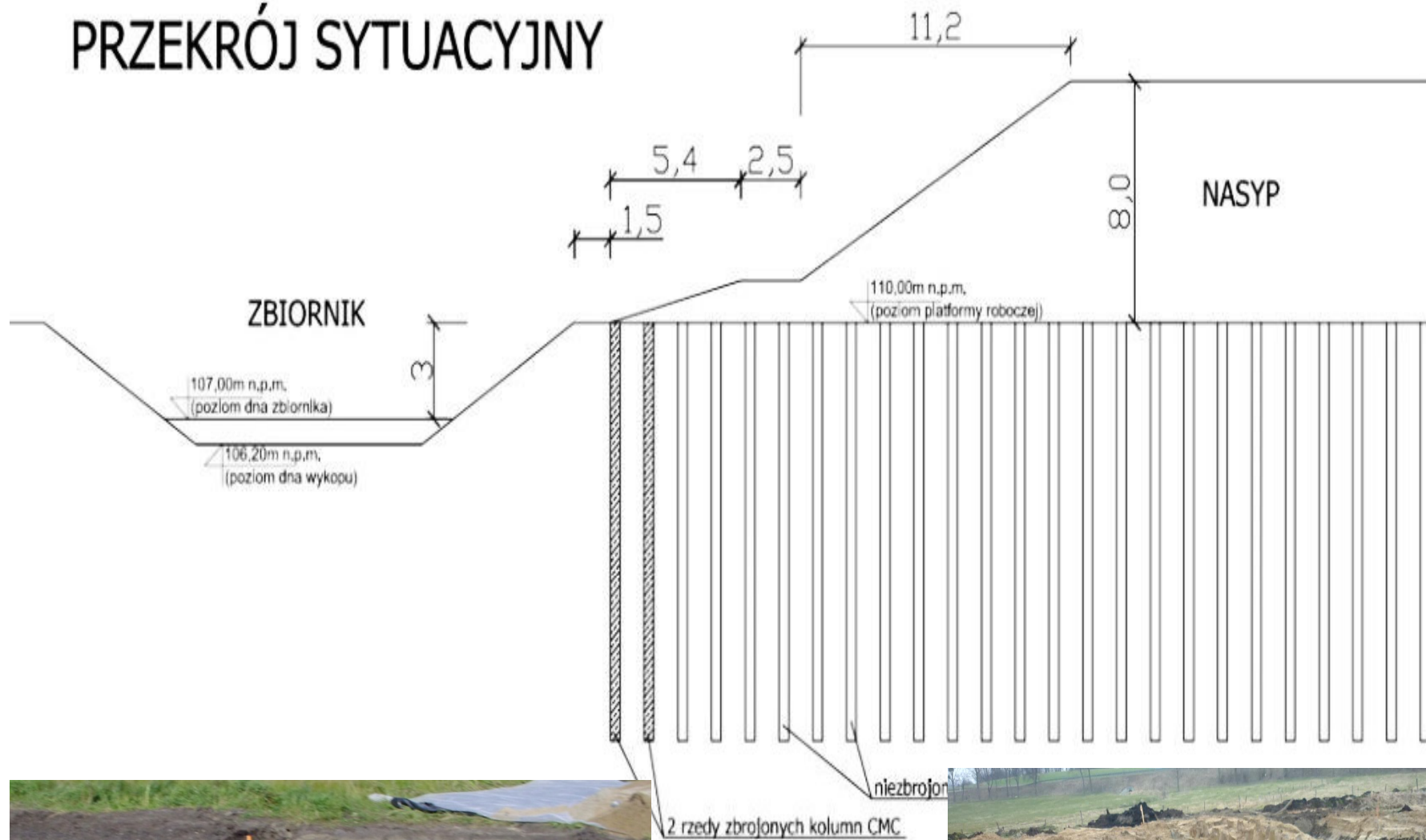
Stateczność skarp i zboczy

dr inż. Ireneusz Dyka – pok. 3.32 [ul. Heweliusza 4]

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

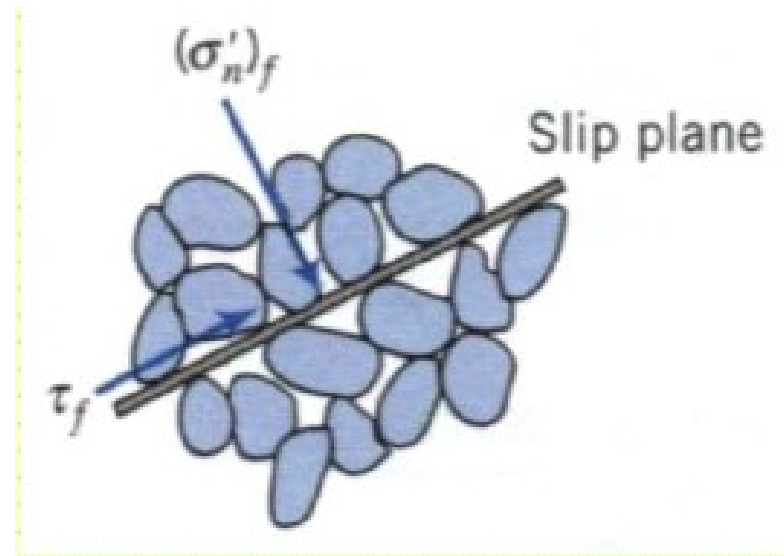
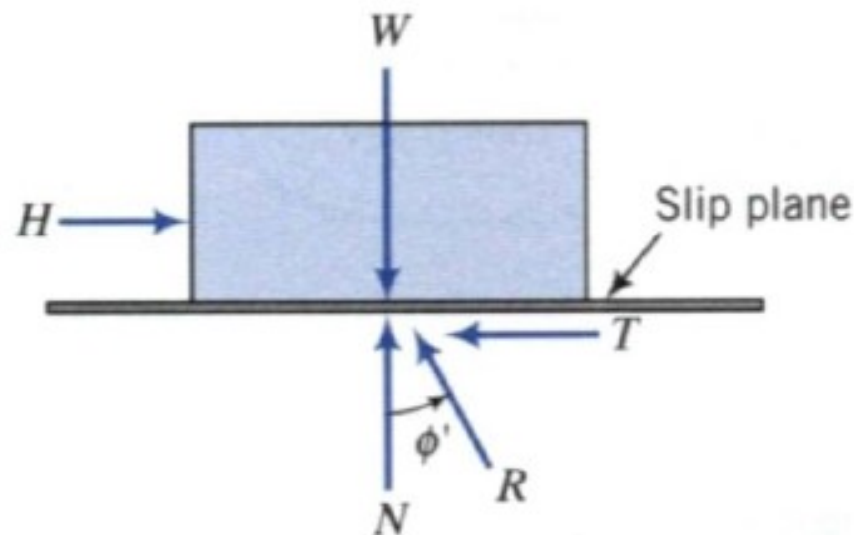
e-mail: i.dyka@uwm.edu.pl

PRZEKRÓJ SYTUACYJNY



Wytrzymałość gruntu na ścinanie

- opór, jaki stawia grunt naprężeniom stycznym w rozpatrywanym punkcie ośrodka;
- po pokonaniu oporu ścinania następuje poślizg pewnej części gruntu w stosunku do pozostałej.



The maximum frictional resistance is T (maximum static friction).
As $H > T$, the slip is initiated.

$$H = \mu W \quad T = \mu N$$

$$\phi' = \arctan \mu$$

$$\tau = \sigma'_n \tan \phi'$$

Wytrzymałość na ścinanie w gruntach

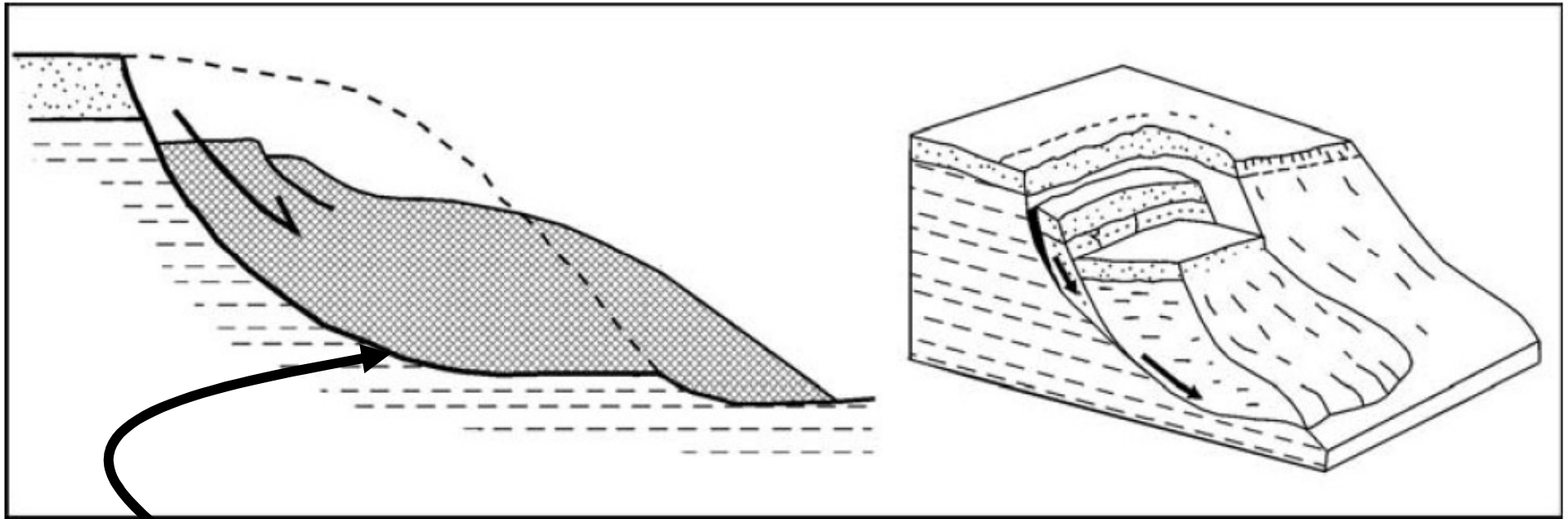




Kłodne (gm. Limanowa) - czerwiec 2010

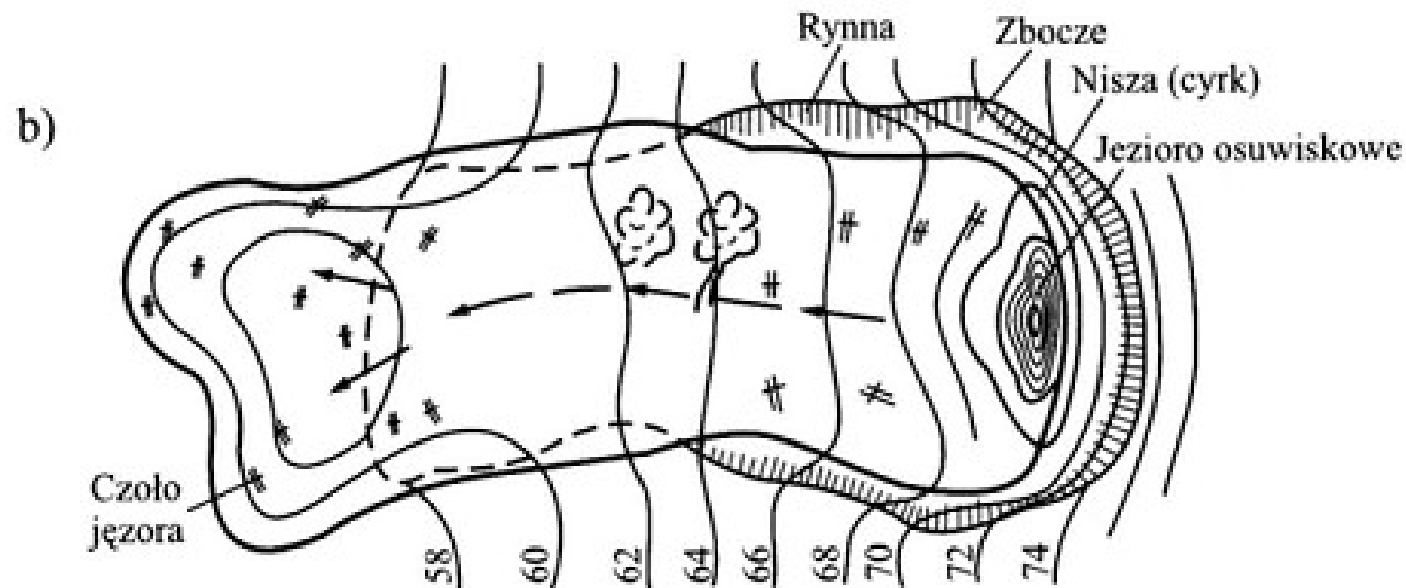
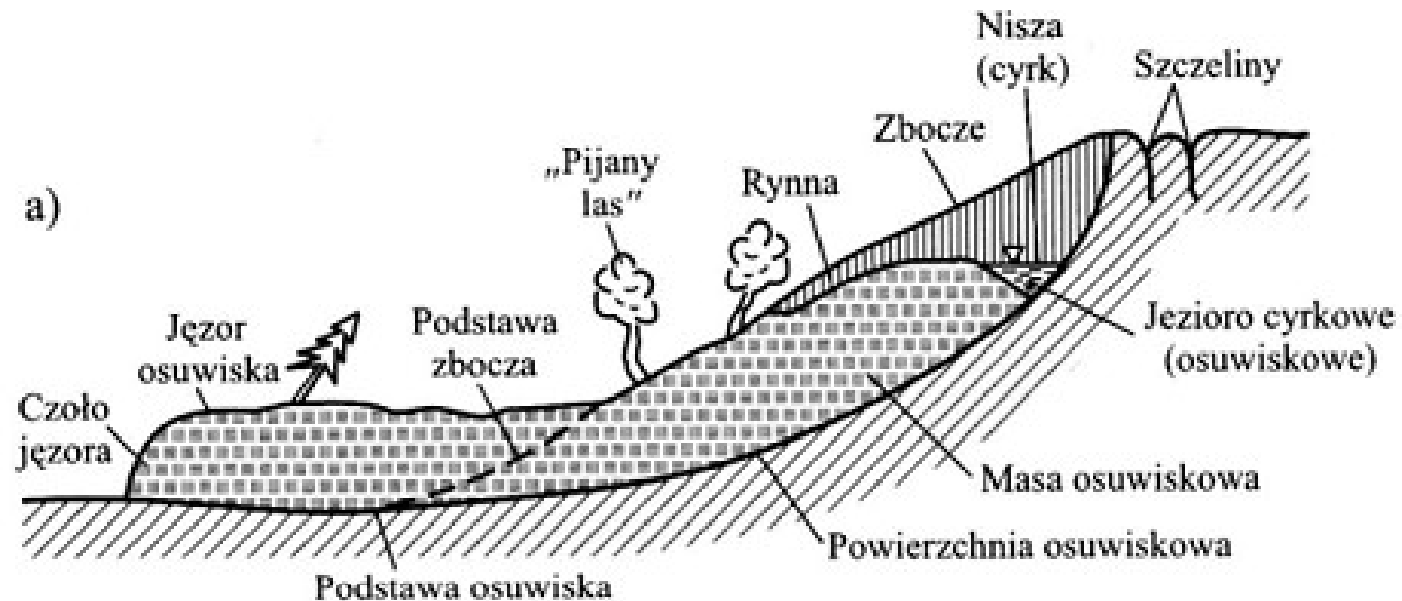


Osuwisko – przemieszczenie się mas gruntowych, mas skalnych i powierzchniowej zwietrzeliny wzdłuż powierzchni poślizgu spowodowane siłami natury lub działalnością człowieka w wyniku przekroczenia nośności ośrodka na ścinanie

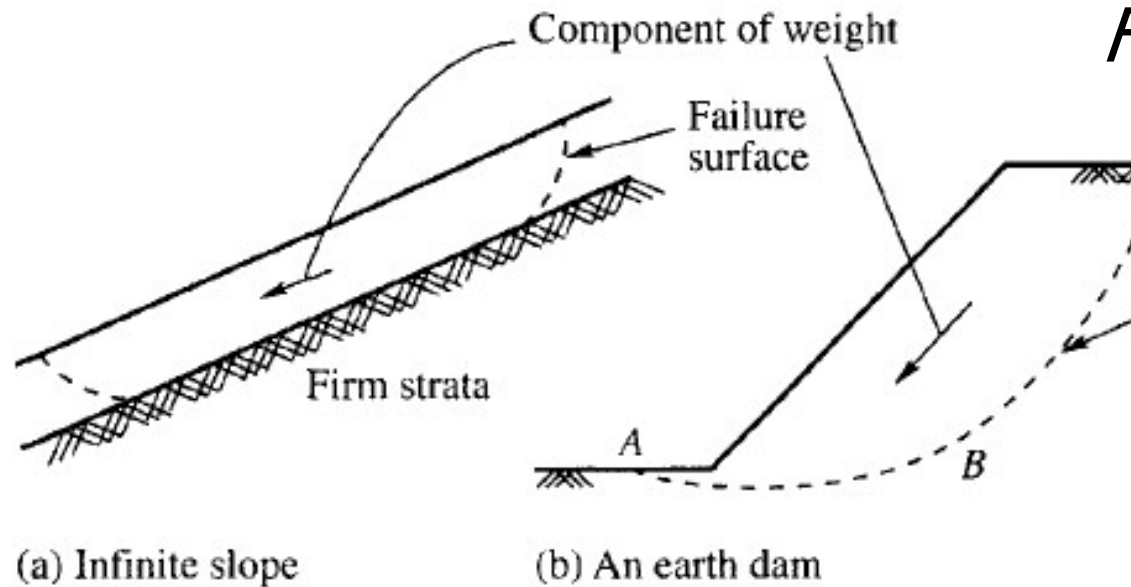


*Zniszczenie wskutek przekroczenia
wytrzymałości na płaszczyźnie ścinania*

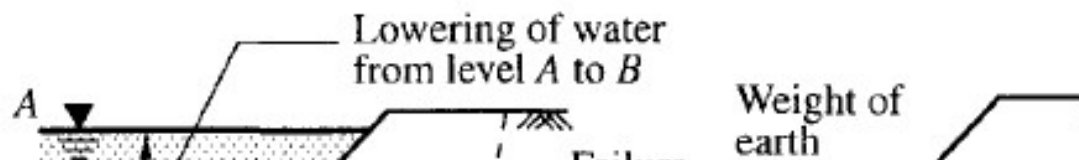
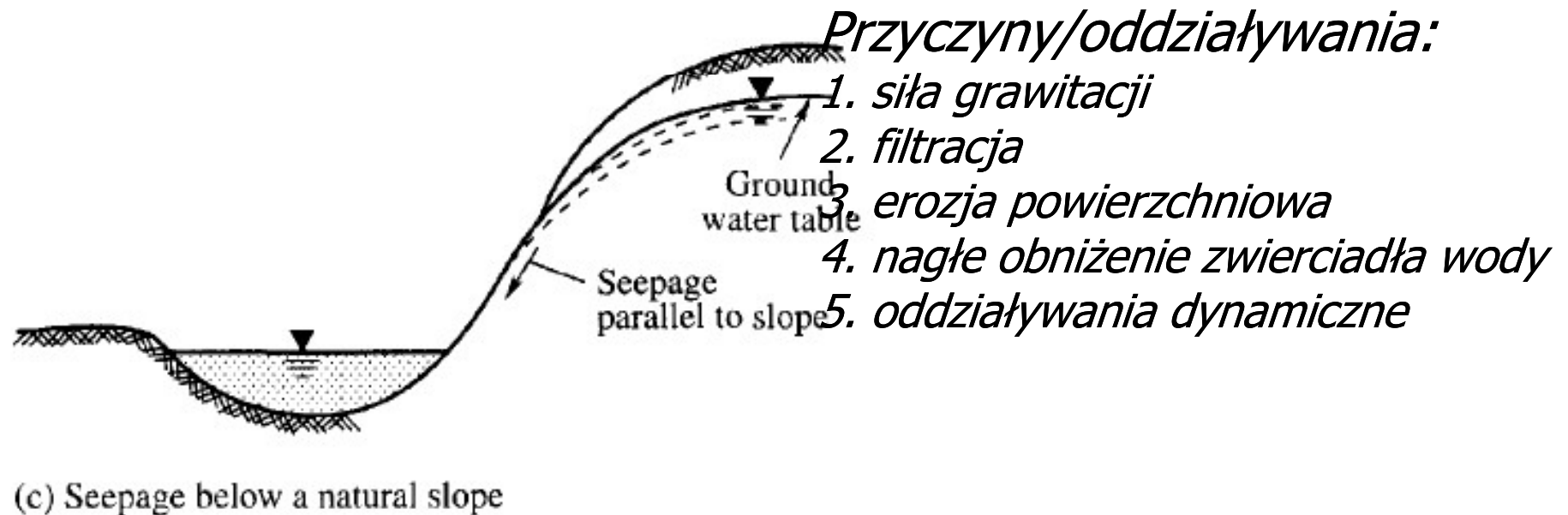
Przekrój morfologiczny osuwiska



Failure of *slopes*



- *natural;*
- *man-made*
- *infinite;*
- *finite*



Przyczyny osuwisk:

- *podmycie bądź podkopanie zbocza*
- *dodatkowe obciążenie zbocza*
- *wzrost wilgotności gruntu na skutek opadów atmosferycznych i roztopów*
- *wypełnienie spękań i szczelin wodą*
- *rozluźnienie i wietrzenie skał i gruntów*
- *wstrząsy dynamiczne spowodowane ruchem drogowym, wybuchami*
- *zmiana struktury gruntu na skutek przemarzania i rozmarzania*
- *istnienie powierzchni poślizgu na terenach dawnych osuwisk*
- *sufozja czyli wynoszenie drobinek z gruntu przez infiltrującą wodę*
- *eksploatacja kruszyw*
- *błędy w projektowaniu nachylenia skarpy nasypu lub wykopu*
- *trzęsienie ziemi*

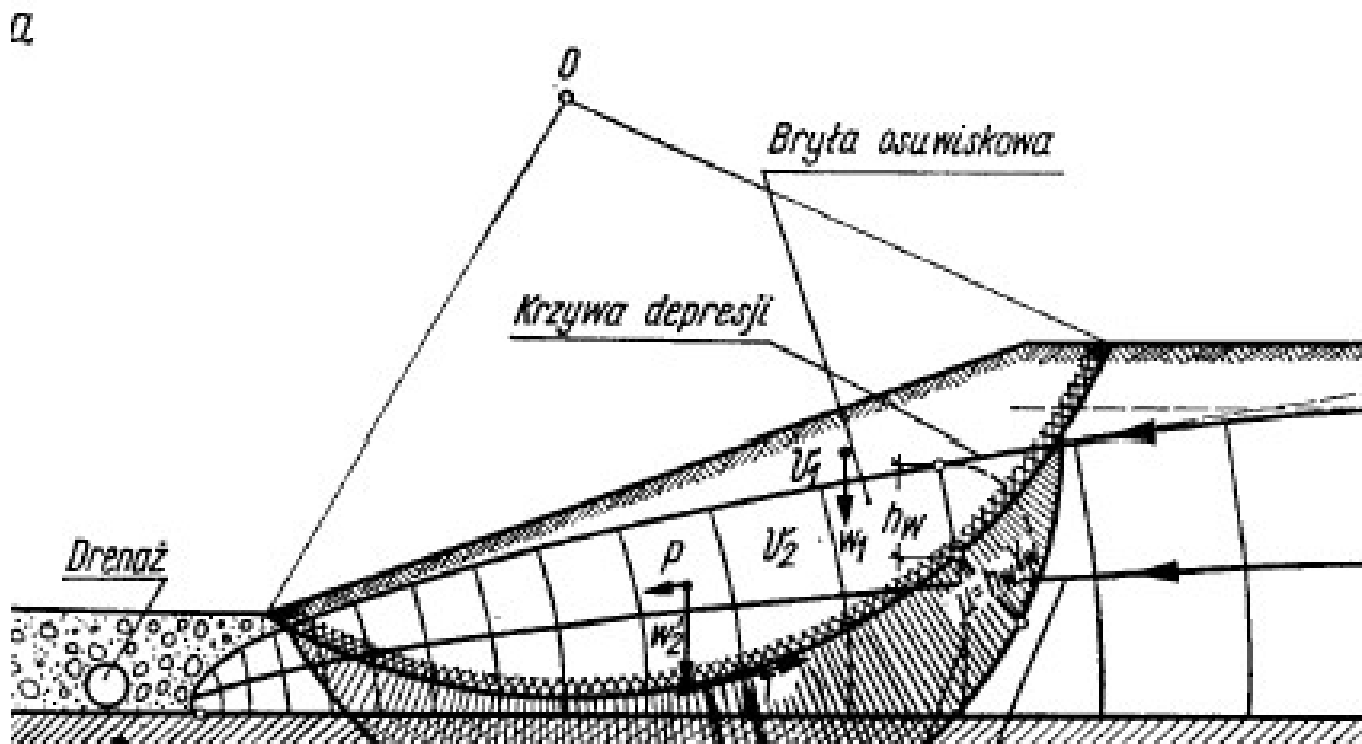
Przyczyny utraty stateczności nasypów drogowych:

- *nieprawidłowe użytkowanie,*
- *brak remontów,*
- *zmiana warunków hydrologicznych poprzez budowę obiektów hydrotechnicznych,*
- *obciążenie terenu,*
- *nieszczelności systemów kanalizacyjnych*

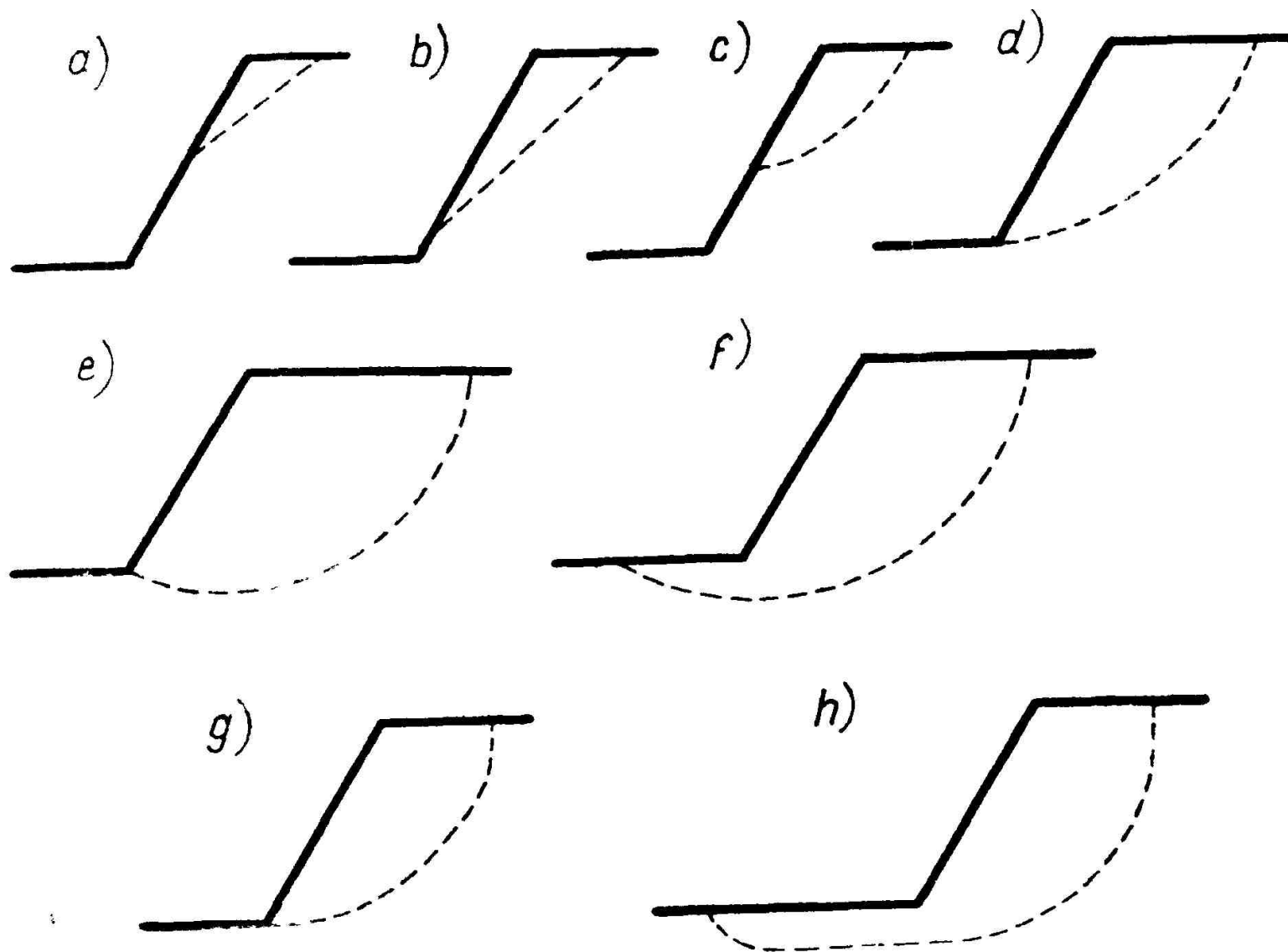


Najczęstszą przyczyną powstawania procesów osuwiskowych jest oddziaływanie wody:

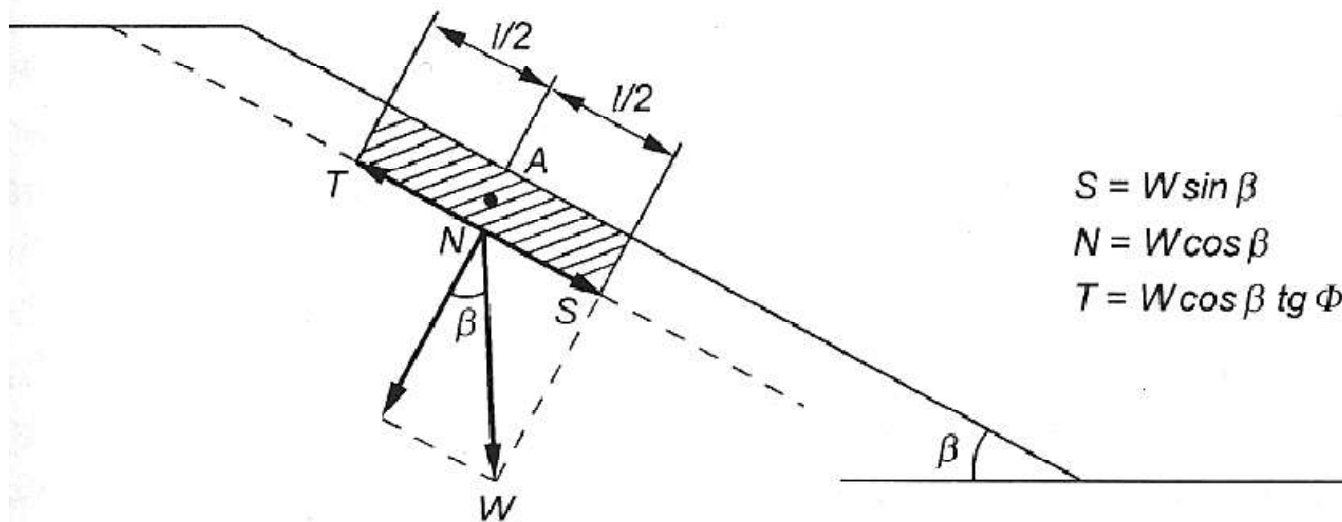
- zwiększenie sił zsuwających przez zwiększenie ciężaru gruntu,
- działanie ciśnienia spływowego,
- zmniejszenie sił utrzymujących stateczność masywu gruntowego przez wzrost ciśnienia porowego i parcia hydrostatycznego,
- chemiczne i fizyczne oddziaływanie wody na grunt, w następstwie czego zmniejsza się jego wytrzymałość na ścinanie,
- działanie erozyjne.



Potencjalne kształty powierzchni poślizgu



Analiza stateczności w gruntach niespoistych



ϕ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu,

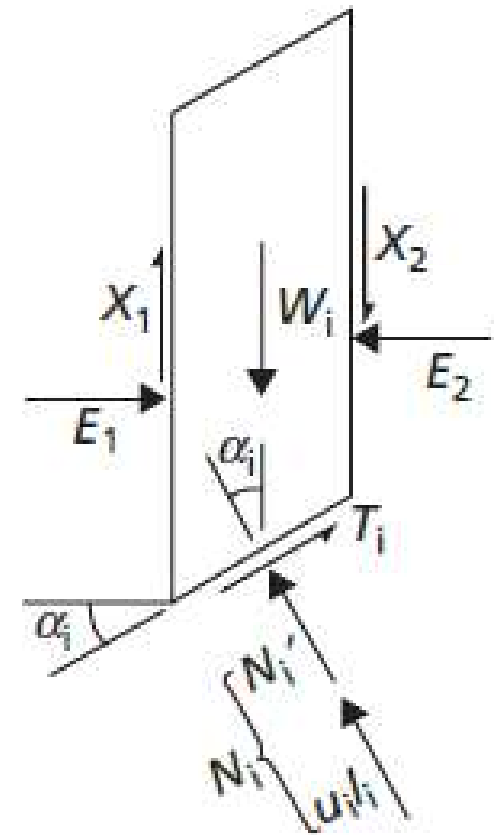
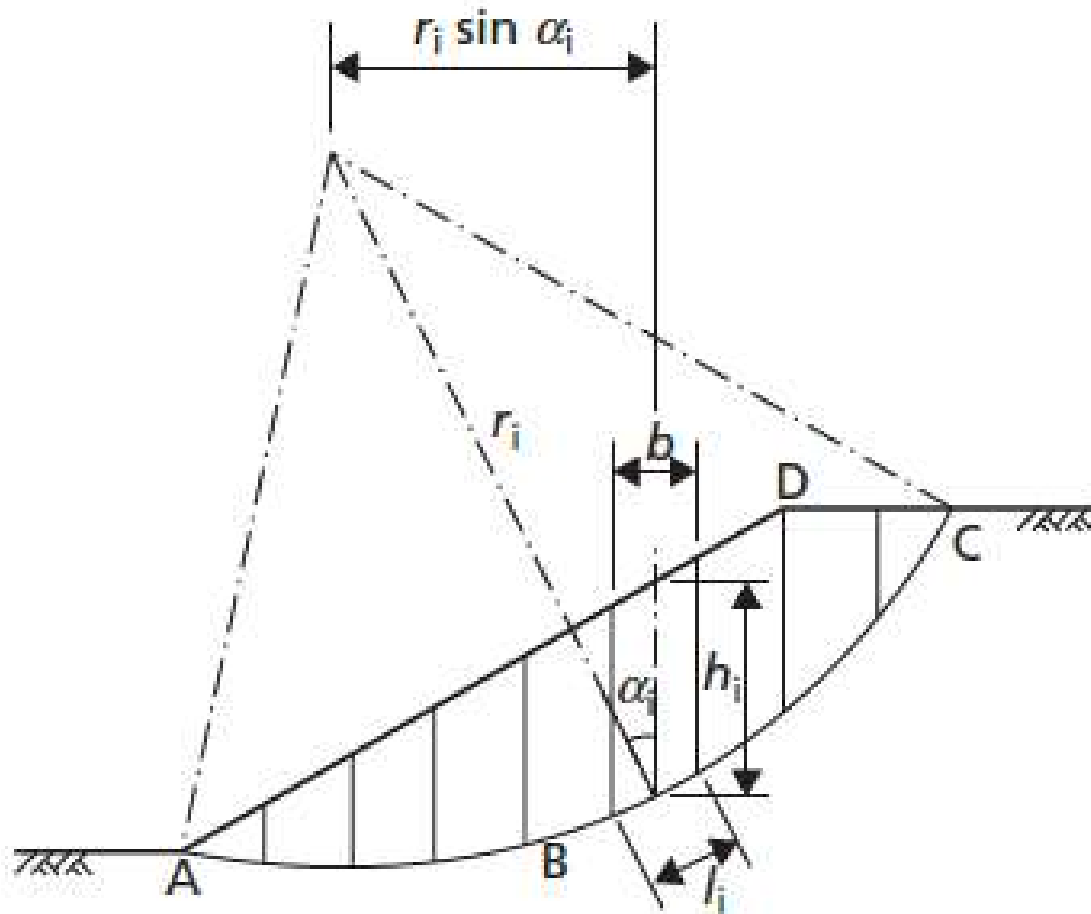
β - kąt nachylenia zbocza do poziomemu,

W - ciężar gruntu,

S - siła styczna, powodująca zsuwanie gruntu zbocza,

T - siła tarcia, która zgodnie ze wzorem Coulomba wynosi $T = N \times \tan \phi$

Obliczanie stateczności w gruntach spoistych i gruntach uwarstwionych – metoda „pasków”



Współczynnik stanu równowagi – F (*factor of safety*)

$$F = \frac{\sum U_i}{\sum Z_i}$$

U_i – uogólnione siły utrzymujące, wywołane tarciem i spójnością materiału

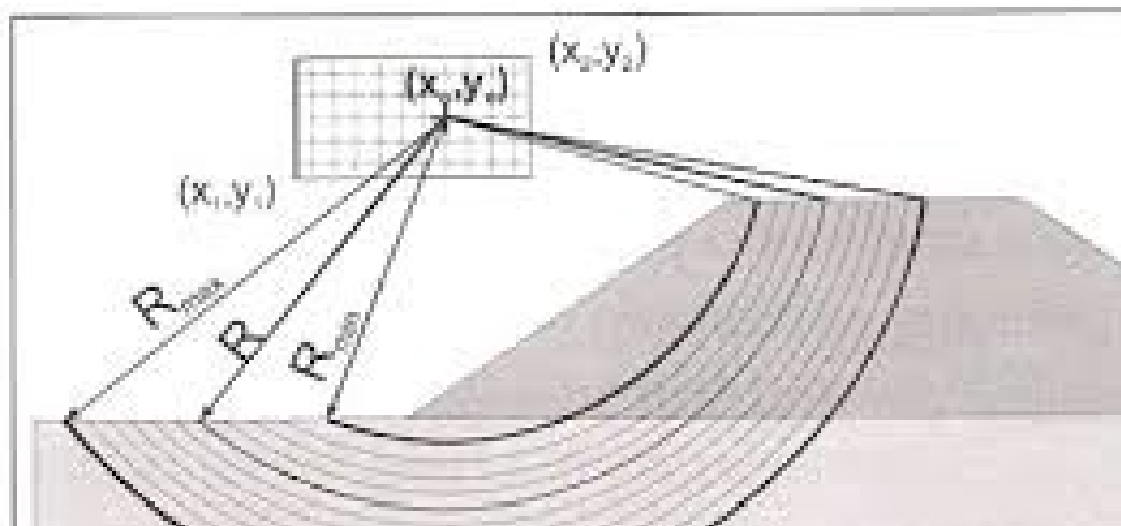
Z_i – uogólnione siły zsuwające wywołane siłami grawitacji, siłami filtracji oraz obciążeniami zewnętrznymi

Ryzyko wystąpienia osuwiska:

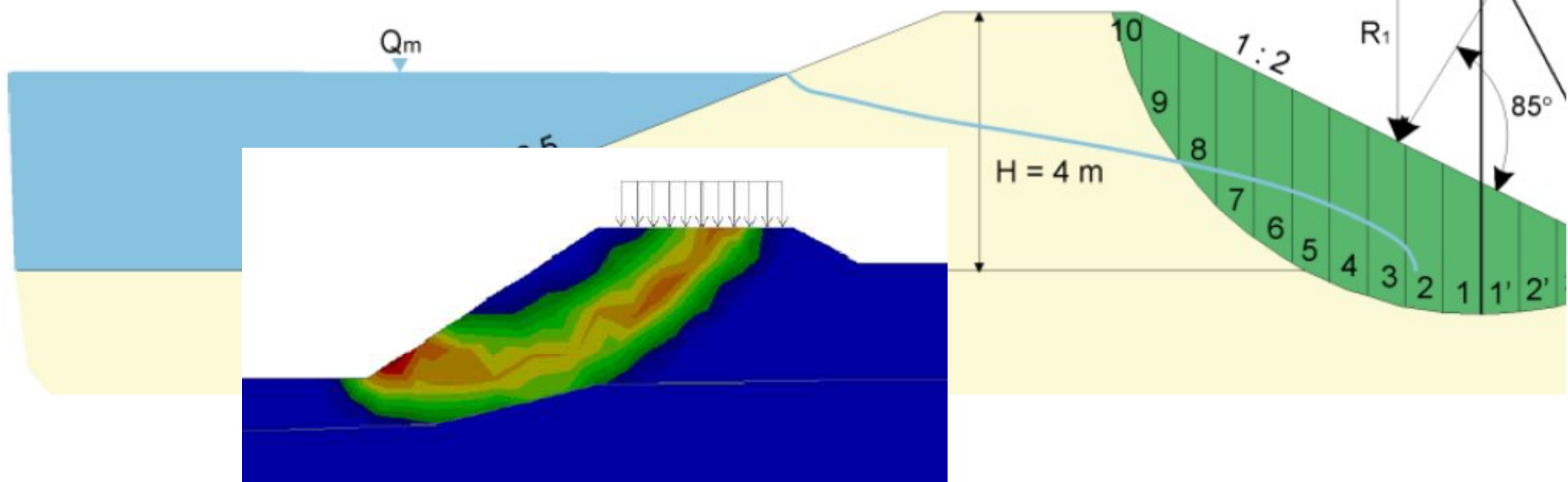
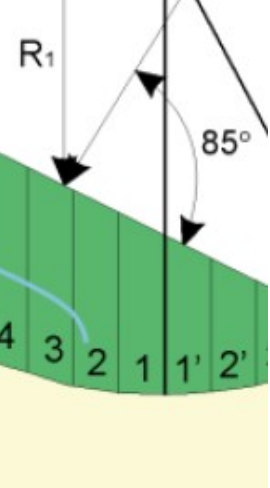
- bardzo mało prawdopodobne $F > 1,5$
- mało prawdopodobne $1,3 < F \leq 1,5$
- prawdopodobne $1,0 < F \leq 1,3$
- bardzo prawdopodobne $F \leq 1,0$

$$F = \frac{\sum U_i}{\sum Z_i} = \frac{\sum M_u}{\sum M_{ob}} = \frac{R \sum T_i}{R \sum B_i}$$

Obliczanie stateczności w gruntach spoistych i uwarstwionych



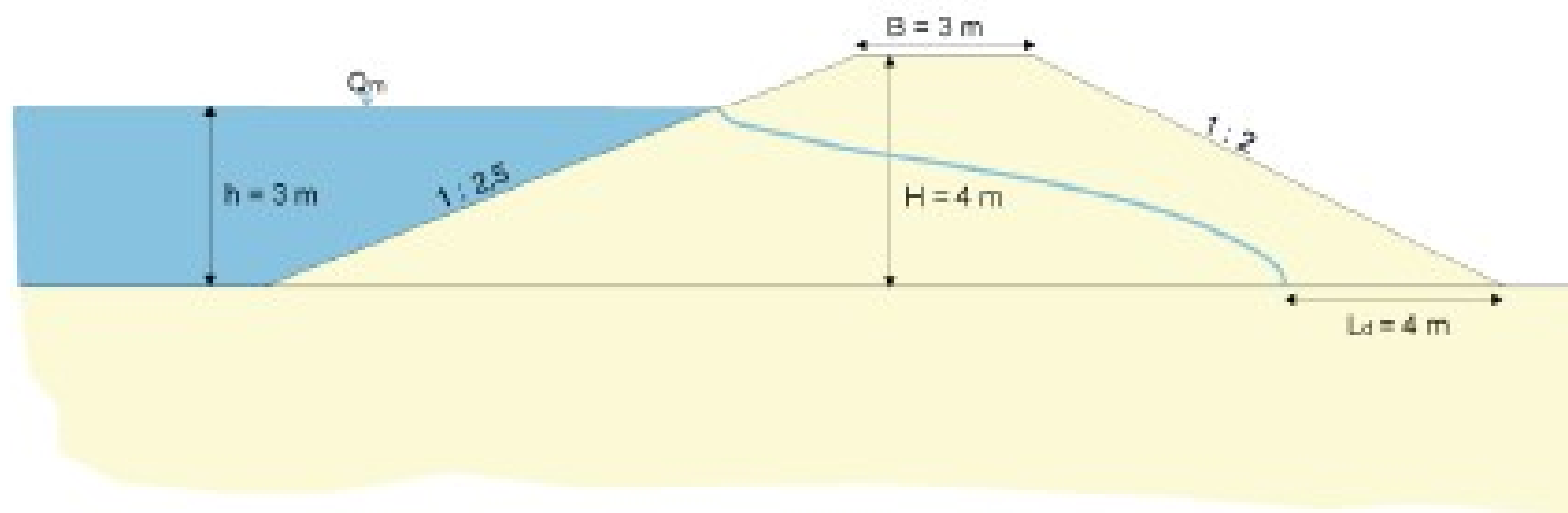
$R_2 = 1,75 l$



5.2 Ocena stateczności ogólnej wału

Najważniejszym parametrem konstrukcji wału jest jego stateczność. Musi być ona zachowana piętrzenia wody wezbraniowej. Warto zatem wiedzieć jak zmienia się współczynnik stateczności działania wody. Poniżej zostanie przedstawione porównanie zachowania stateczności w BENTOMATEm oraz wału o konstrukcji przepuszczalnej, posadowionym na podłożu przepuszczalnym.

Wał nieuszczelniony:

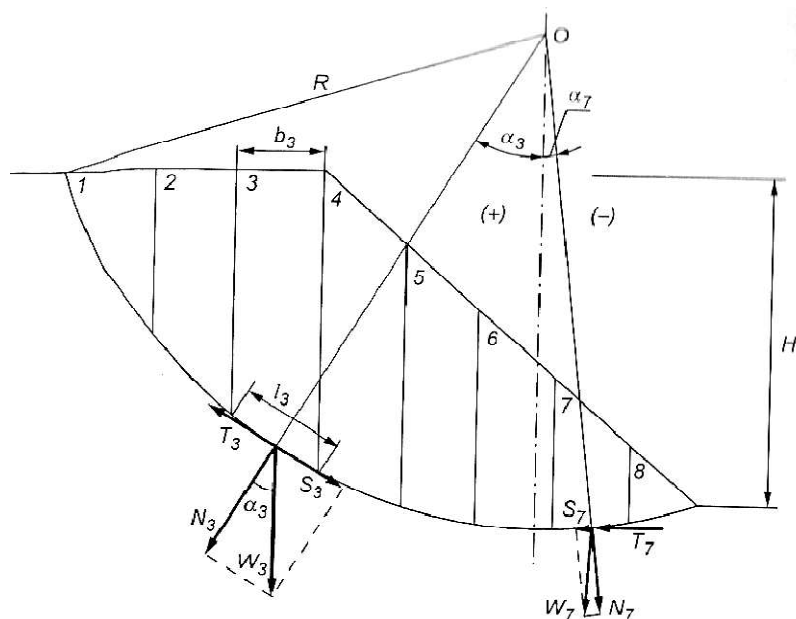


Do obliczeń położenia krzywej depresji przyjęto długość drenażu $L_d = 4 \text{ m}$. Wynikiem tych zwierciadła wrysowana w korpus wału na powyższym schemacie.

Wał uszczelniony BENTOMATEm:

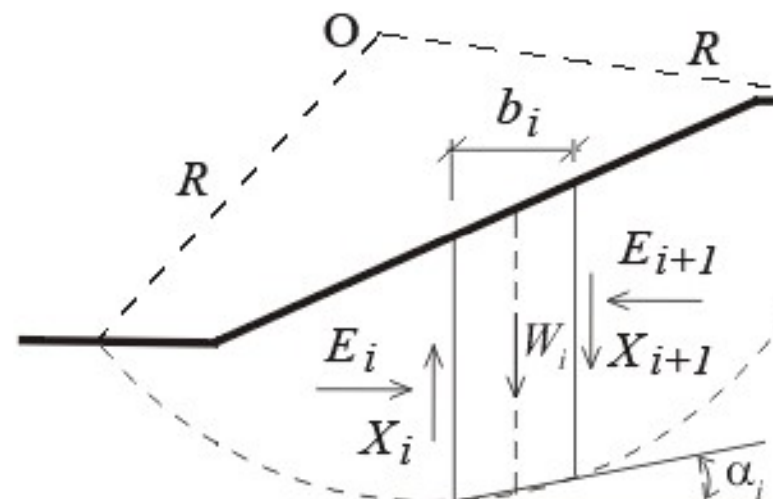
Obliczanie stateczności w gruntach spoistych

Metoda Felleniusa



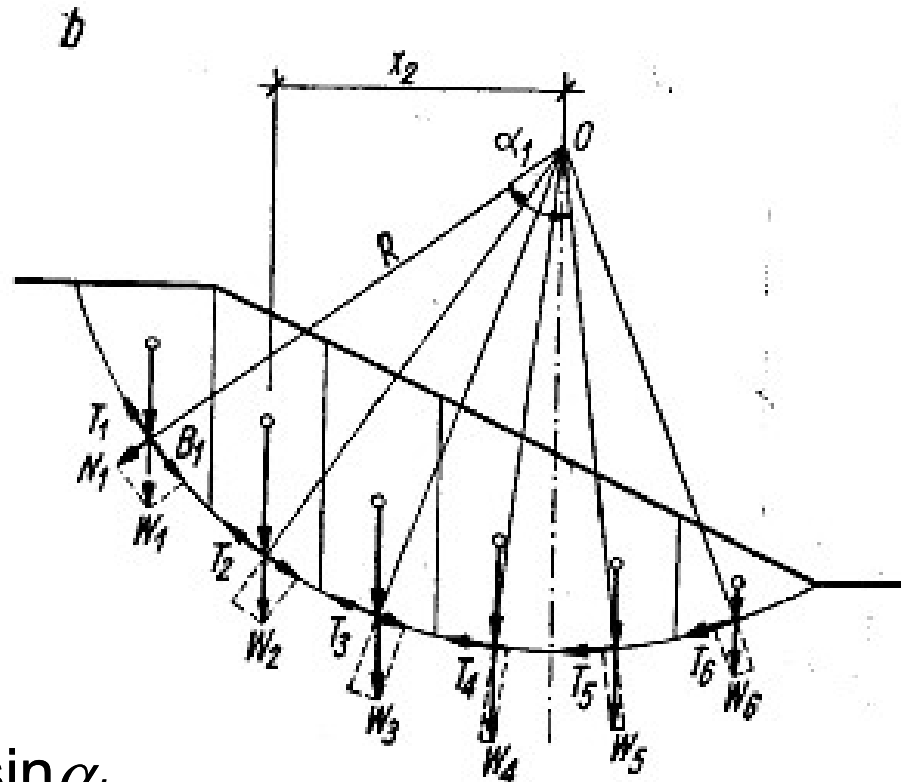
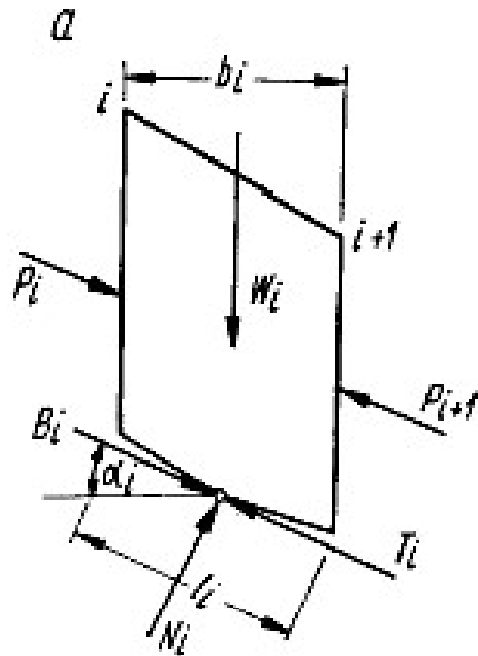
Podział bryły osuwiskowej na bloki i schemat sił działających na blok w metodzie Felleniusa

Metoda uproszczona Bishopa



$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \phi'_i + c_i}{m_{\alpha i}} \right]}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

Metoda Felleniusa – grunt „bez wody”



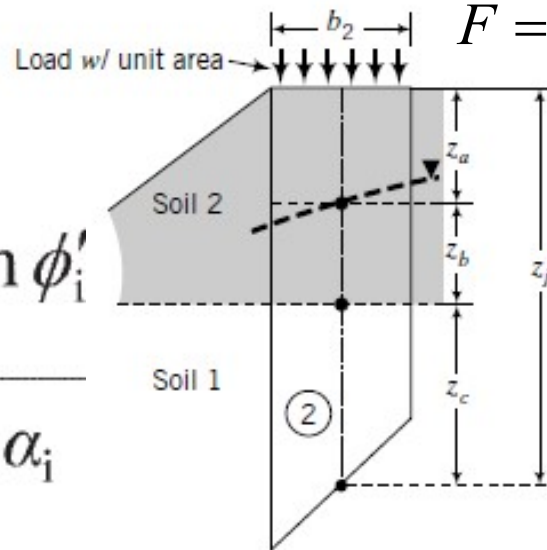
$$N_i = W_i \cos \alpha_i \quad B_i = W_i \sin \alpha_i$$

$$T_i = N_i \operatorname{tg} \phi_i + l_i c_i$$

$$F = \frac{\sum M_u}{\sum M_{ob}} = \frac{\sum T_i}{\sum B_i}$$

$$\frac{M_u}{M_{ob}} = \frac{R \sum_{i=1}^n (W_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + l_i c_i)}{R \sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + l_i c_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i}$$

A 5x5 grid of points. A label 'Grid' is placed to the right of the grid. A diagonal line is drawn from the top-right to the bottom-left, passing through the center point.



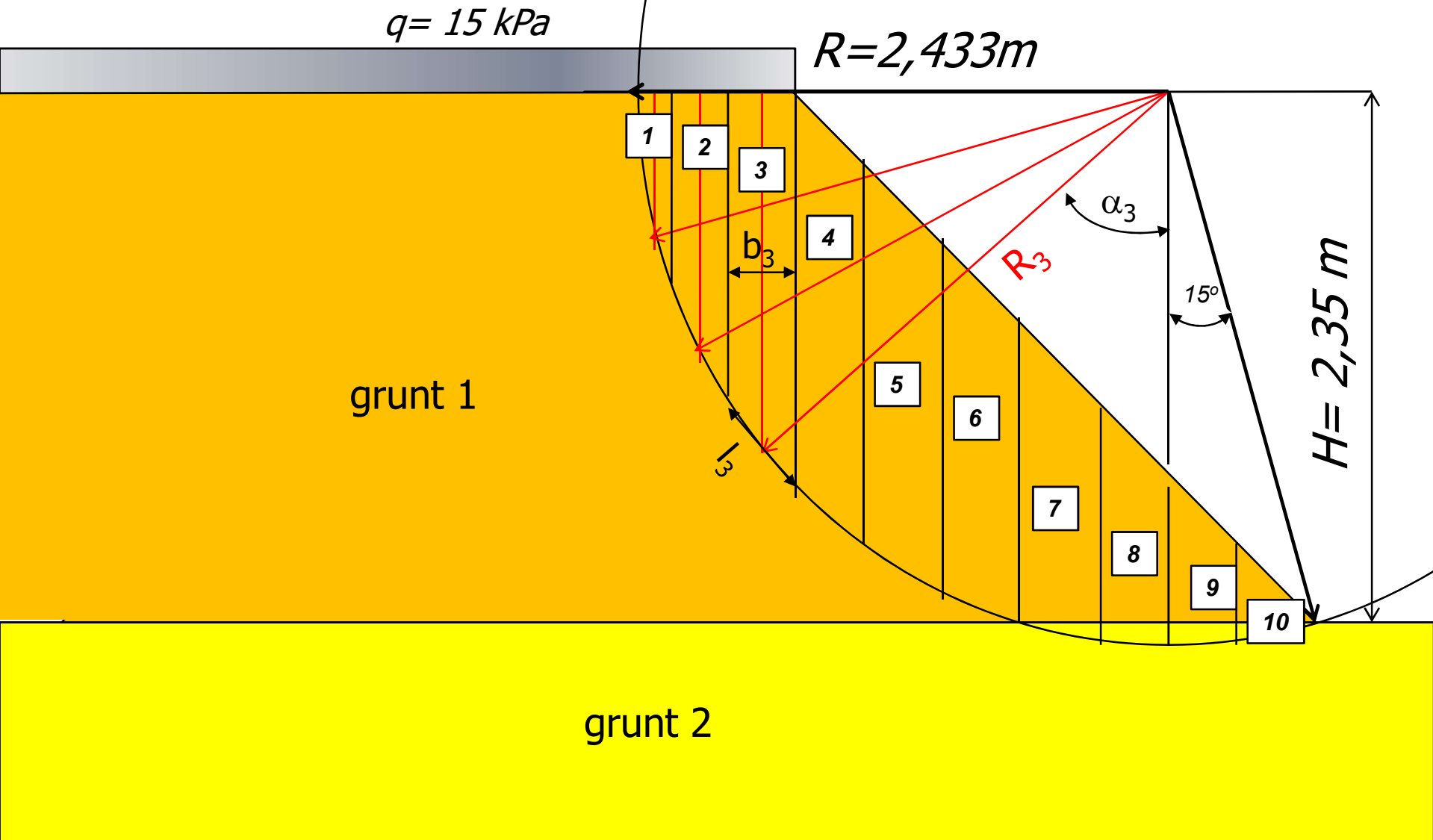
$$N'_j = W_j \cos \alpha_j - I_j u_j$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n [(W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \operatorname{tg} \phi'_i + l_i c'_i]}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i}$$

$$F = \frac{\sum_i (c'_i + \sigma'_i \tan \phi'_i)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

Stateczność skarpy

ϕ'_1 [deg]	c'_1 [kPa]	γ_1 [kN/m ³]	γ_{1sr} [kN/m ³]	ϕ'_2 [deg]	c'_2 [kPa]	γ_{2sr} [kN/m ³]	q [kPa]
18	10	19.5	21.5	29	0	20.5	15



Stateczność skarpy – bez wody

ϕ'_1 [deg]	c'_1 [kPa]	γ_1 [kN/m ³]	γ_{1sr} [kN/m ³]	ϕ'_2 [deg]	c'_2 [kPa]	γ_{2sr} [kN/m ³]	q [kPa]
18	10	19.5	21.5	29	0	20.5	15

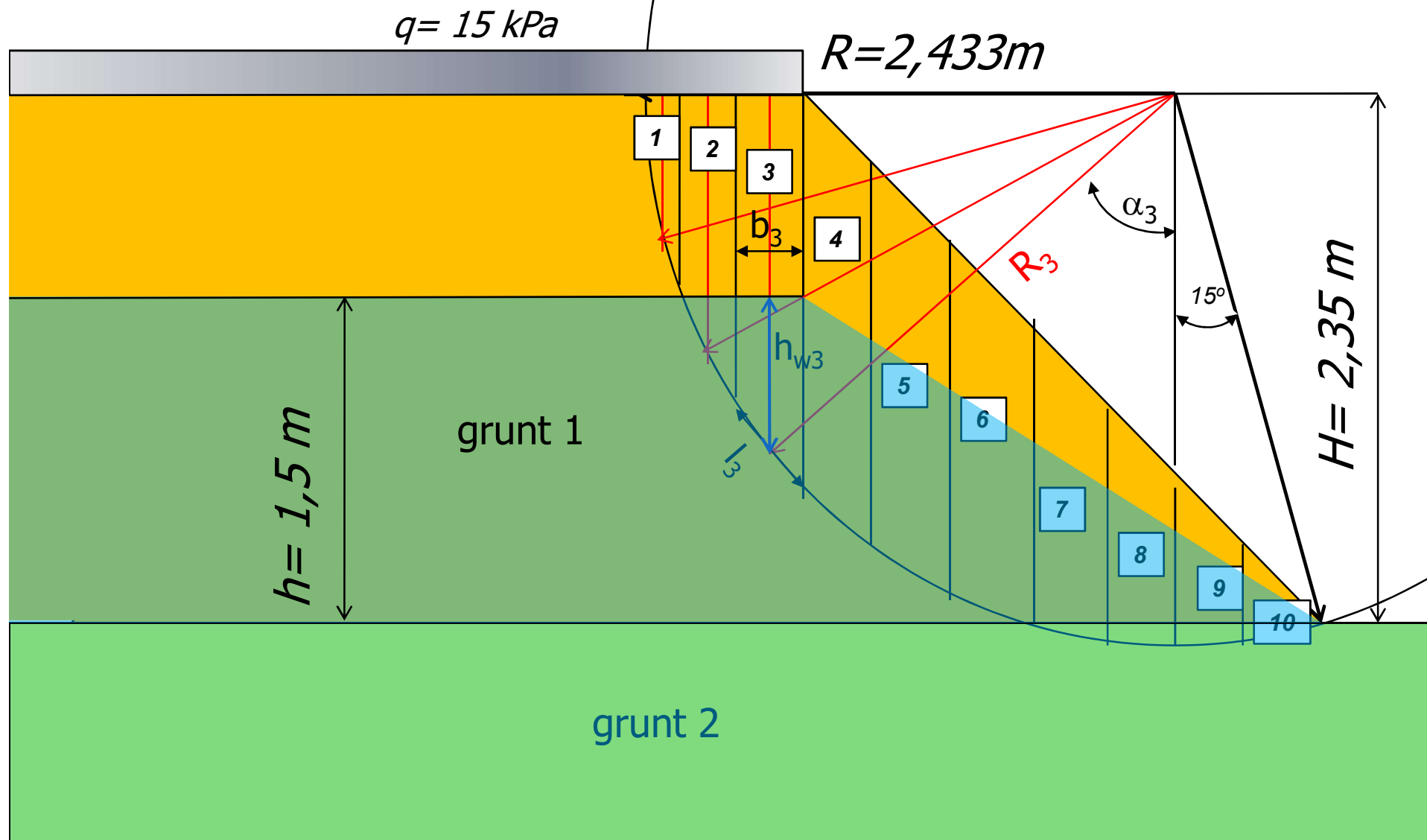
Nr paska	b [m]	q [kPa]	A1	γ_1	A2	γ_{2sr}	Ciężar paska W [kN/m]	kąt α	ϕ'	c' [kPa]	l [m]	$c'l$	B [kN/m]	N [kN/m]	T [kN/m]
1	0.20	15	0.1341	19.5	0	20.5	5.62	74	18	10	0.726	7.256	5.398	5.341	8.991
2	0.35	15	0.4386	19.5	0	20.5	13.80	59	18	10	0.680	6.796	11.831	13.127	11.061
3	0.35	15	0.5915	19.5	0	20.5	16.78	46	18	10	0.504	5.038	12.074	15.963	10.225
4	0.25	0	0.4414	19.5	0	20.5	8.61	39	18	10	0.322	3.217	5.417	8.187	5.877
5	0.30	0	0.5184	19.5	0	20.5	10.11	29	18	10	0.343	3.430	4.901	9.614	6.554
6	0.30	0	0.4759	19.5	0	20.5	9.28	20	18	10	0.319	3.193	3.174	8.826	6.060
7	0.40	0	0.52	19.5	0.015	20.5	10.45	11	29	0	0.407	0.000	1.995	9.143	5.068
8	0.35	0	0.3238	19.5	0.027	20.5	6.87	4	29	0	0.351	0.000	0.479	6.005	3.329
9	0.35	0	0.2013	19.5	0.027	20.5	4.48	-4	29	0	0.351	0.000	-0.312	3.916	2.171
10	0.40	0	0.08	19.5	0.015	20.5	1.87	-11	29	0	0.407	0.000	-0.358	1.639	0.909
													44.599		60.244

F= 1.35

$$F_{\min} = 1,3$$

Stateczność skarpy – z wodą (filtracja ustalona)

ϕ'_1 [deg]	c'_1 [kPa]	γ_1 [kN/m ³]	γ_{1sr} [kN/m ³]	ϕ'_2 [deg]	c'_2 [kPa]	γ_{2sr} [kN/m ³]	q [kPa]
18	10	19.5	21.5	29	0	20.5	15



Stateczność skarpy – z wodą (filtracja ustalona)

$$F = \frac{\sum [(W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \phi' + c' l_i]}{\sum W_i \sin \alpha_i} \geq F_{\min}$$

Nr paska	b [m]	q [kPa]	A1 [m ²]	γ1	A1sr [m ²]	γsr1	A2sr	γsr2	W [kN/m]	kąt α	φ'	c' [kPa]	l [m]	c'l	hw	u	u'l	B [kN/m]	N [kN/m]	R [kN/m]
1	0.20	15	0.1341	19.5	0	21.5	0	20.5	5.62	74	18	10	0.726	7.256		0	0	5.398	5.341	8.991
2	0.35	15	0.3091	19.5	0.13	21.5	0	20.5	14.06	59	18	10	0.680	6.796	0.37	3.63	2.4666	12.053	10.907	9.538
3	0.35	15	0.308	19.5	0.284	21.5	0	20.5	17.35	46	18	10	0.504	5.038	0.81	7.946	4.0036	12.482	12.499	7.799
4	0.25	0	0.1939	19.5	0.248	21.5	0	20.5	9.10	39	18	10	0.322	3.217	0.99	9.712	3.1242	5.729	5.533	4.000
5	0.30	0	0.2124	19.5	0.306	21.5	0	20.5	10.72	29	18	10	0.343	3.430	1.02	10.01	3.4322	5.197	6.764	4.513
6	0.30	0	0.1939	19.5	0.282	21.5	0	20.5	9.84	20	18	10	0.319	3.193	0.94	9.221	2.944	3.367	6.418	4.321
7	0.40	0	0.1953	19.5	0.325	21.5	0.015	20.5	11.10	11	29	0	0.407	0.000	0.85	8.339	3.3978	2.119	6.313	1.616
8	0.35	0	0.1022	19.5	0.222	21.5	0.027	20.5	7.31	4	29	0	0.351	0.000	0.71	6.965	2.4437	0.510	3.949	0.834
9	0.35	0	0.0602	19.5	0.141	21.5	0.027	20.5	4.76	-4	29	0	0.351	0.000	0.48	4.709	1.6521	-0.332	2.511	0.476
10	0.40	0	0.0153	19.5	0.065	21.5	0.015	20.5	2.00	-11	29	0	0.407	0.000	0.20	1.962	0.7995	-0.382	0.953	0.085
																		46.140		42.173
																			F=	0.91

< F_{min} = 1,3 → warunek stateczności przekroczony!