

Mechanika gruntów – lab_01

07.10.2021

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
AGH University of Science and Technology



Stateczność skarp

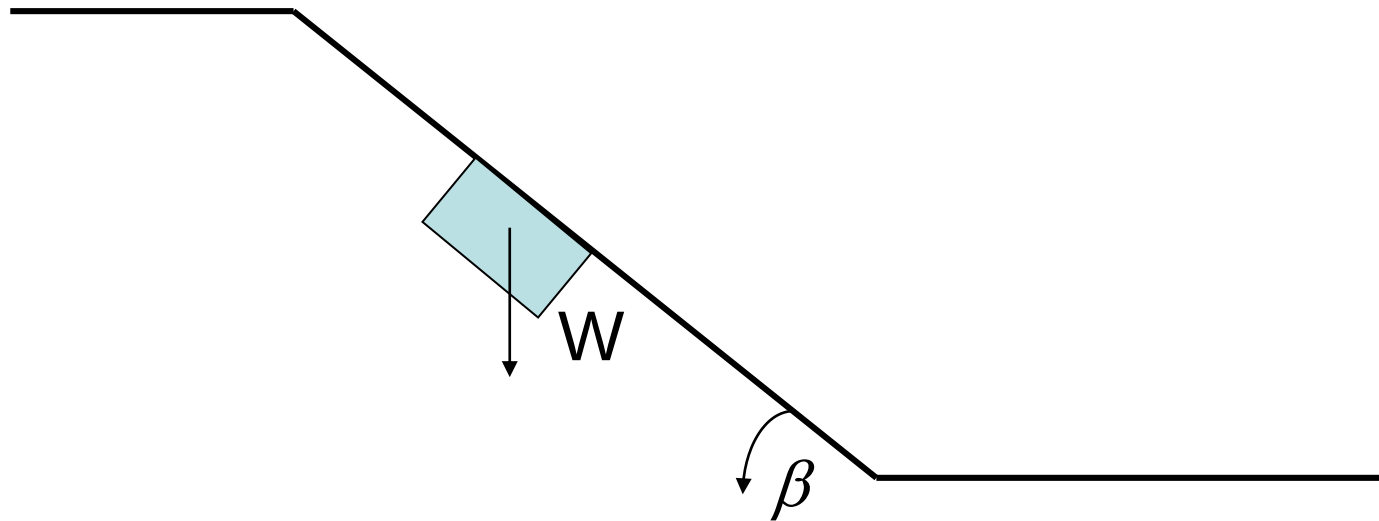
Stateczność budowli – zdolność do zachowania jej kształtu i położenia wbrew działającym siłom, dążącym do zmiany istniejącego stanu.

Stateczność budowli ziemnych – **trwałość**. Im budowla ważniejsza tym powinna być trwalsza.

Stateczność skarp

Grunty niespoiste

$$\varphi \neq 0, \quad c = 0$$



Stateczność skarp

Grunty niespoiste

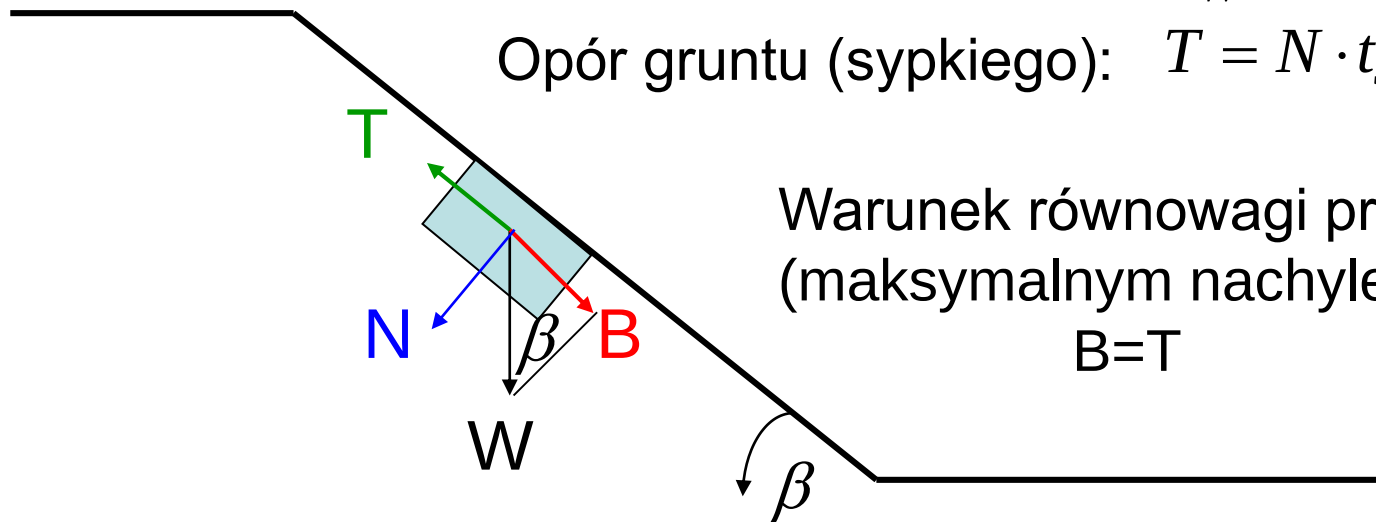
$$\varphi \neq 0, \quad c = 0$$

$$\sin \beta = \frac{B}{W} \Rightarrow B = W \cdot \sin \beta$$

$$\cos \beta = \frac{N}{W} \Rightarrow N = W \cdot \cos \beta$$

Opór gruntu (sypkiego): $T = N \cdot \operatorname{tg} \varphi$

Warunek równowagi przy
(maksymalnym nachyleniu skarpy):
 $B = T$



$$W \cdot \sin \beta_{\max} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad \Rightarrow \quad W \cdot \sin \beta_{\max} = W \cdot \cos \beta_{\max} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$\operatorname{tg} \beta_{\max} = \operatorname{tg} \varphi$$

Stateczność skarp

Grunty niespoiste

$$\varphi \neq 0, \quad c = 0$$

$$FS = \frac{B_{gr}}{B}$$

$$B_{gr} = T_{gr} = W \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$B = W \sin \beta$$

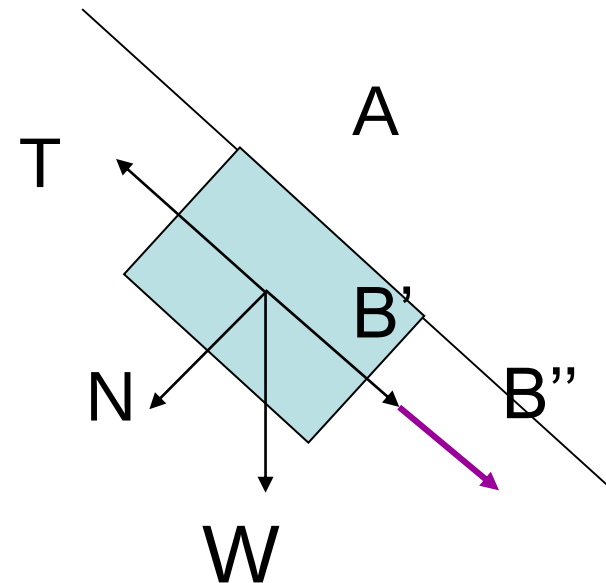
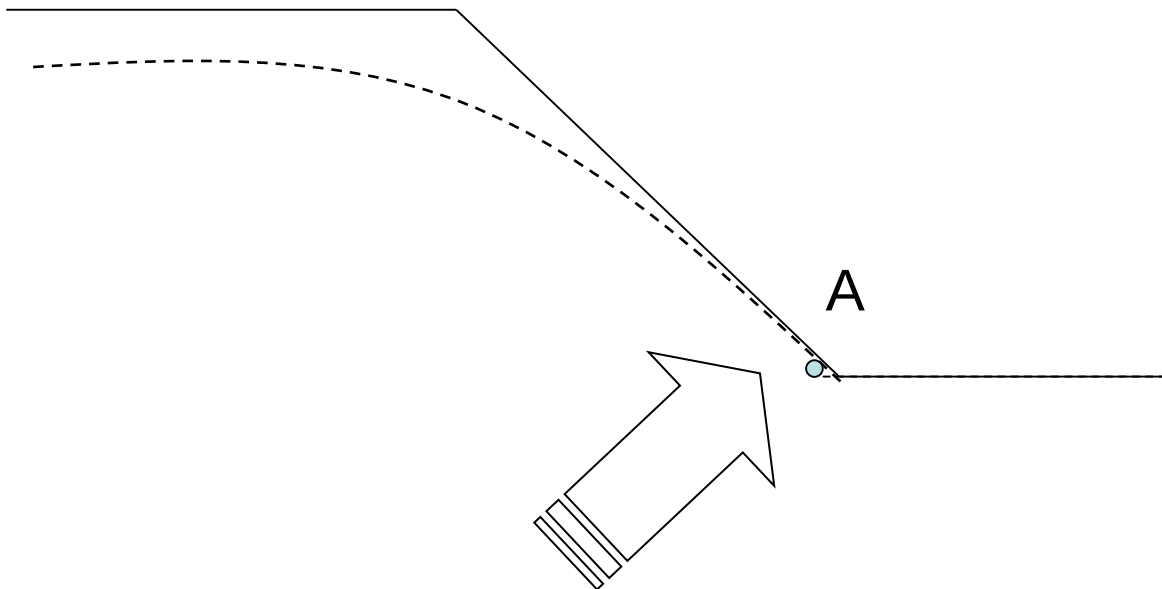
$$FS = \frac{W \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{W \cdot \sin \beta} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \beta}$$

Iloraz siły granicznej
potrzebnej do wywołania
ruchu do aktualnie
działającej siły

Stateczność skarp

Grunty niespoiste

$$\varphi \neq 0, \quad c = 0$$



$$FS \approx \frac{\operatorname{tg} \varphi}{2 \operatorname{tg} \beta}$$

Stateczność skarp

Określenie stateczności w gruntach spoistych jest bardzo trudne, ze względu na:

- » Możliwą niejednorodność ośrodka,
- » Zmienność cech wytrzymałościowych gruntu z upływem czasu,
- » Duży wpływ wody gruntowej na warunki stateczności,
- » Brak dokładnych analitycznych metod obliczeniowych.

Stateczność skarp

Najogólniej zasady sprawdzania stateczności w gruntach spoistych są następujące:

- » Przyjmuje się kształt powierzchni poślizgu (grunty jednorodne krzywoliniowe, niejednorodnych – płaszczyzny łamane)
- » Dla założonej powierzchni poślizgu wyznacza się wartość wskaźnika stateczności
- » Poszukuje się powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku pewności.

Stateczność skarp

Metoda Felleniusa (szwedzka)

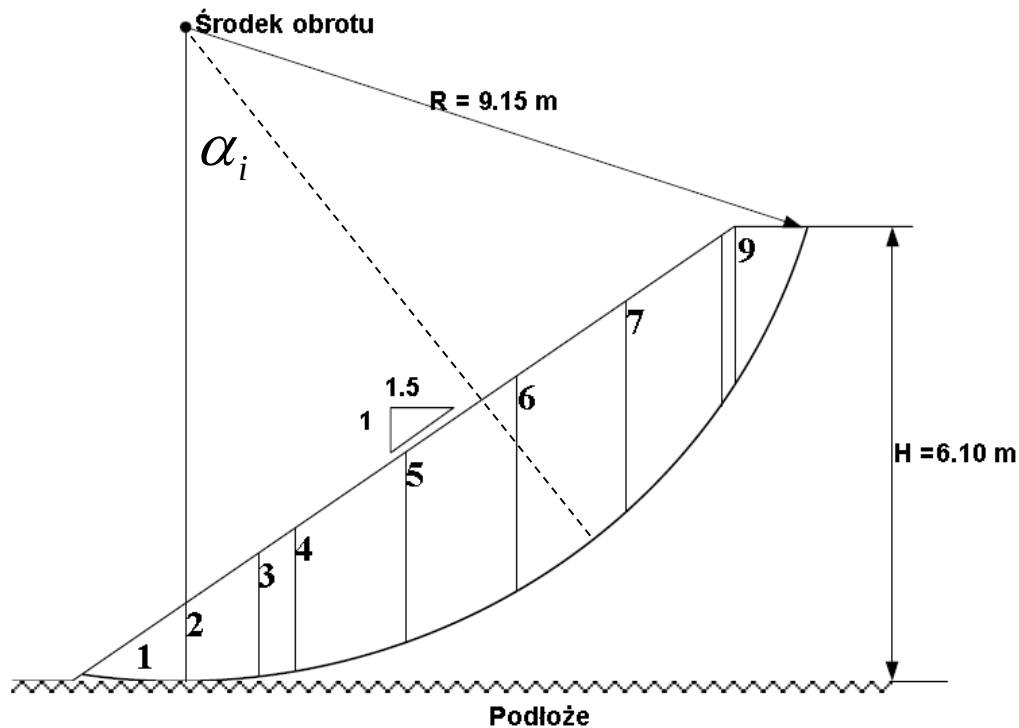
Katastrofy osuwiskowe w Szwecji stały się impulsem do powołania **Royal Commision of Swedish State Railway w 1913 r.** (Statens Järnvägar, 1922).

Celem komisji było: przeprowadzenie badań geologicznych na wybranych odcinkach linii kolejowych i oceny czy istnieje zagrożenie przemieszczeń materiału, bądź wystąpienie osuwisk lub zjawisk pokrewnych. W przypadku gdy istniało podejrzenie wystąpienia ruchu materiału budującego podtorze Komisja miała przedstawić procedury ochrony linii kolejowych.

Komisja przeprowadziła badania w 300 lokalizacjach, przeanalizowano łącznie 2.400 przekrojów, blisko 70 miejsc było rozważanych jako potrzebujących takiego czy innego sposobu wzmocnienia.

Stateczność skarp

Sprawdzenie stateczności skarpy metodą Felleniusa (szwedzką) – grunty spoiste, bez filtracji



$$\gamma = 20 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\varphi = 15^\circ$$

$$c = 10 \text{ kPa}$$

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^m (G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \varphi + c \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^m G_i \cdot \sin \alpha_i}$$

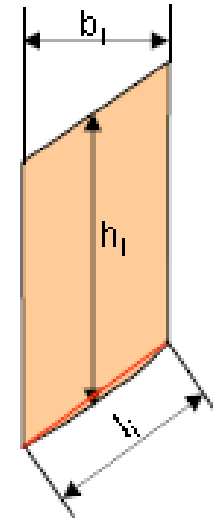
Stateczność skarp

Metoda Felleniusa (szwedzka)

Grunty spoiste, bez filtracji

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^m (G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^m G_i \cdot \sin \alpha_i}$$

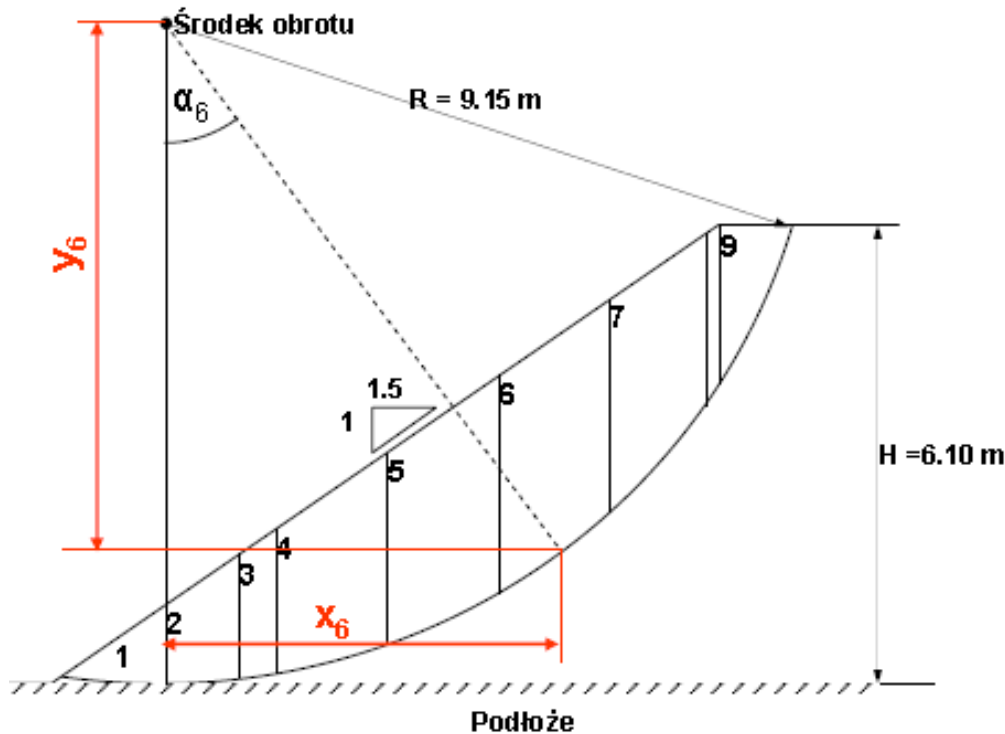
G_i	ciężar bloku obliczeniowego [kN],
α_i	kąt zawarty pomiędzy prostą pionową przechodzącą przez środek obrotu a prostą łączącą środek obrotu ze środkiem podstawy bloku obliczeniowego,
φ	kąt tarcia wewnętrznego gruntu [$^{\circ}$],
c	spójność gruntu [kPa],
$l_i = \frac{b_i}{\cos \alpha_i}$	długość podstawy bloku obliczeniowego [m],
b_i	szerokość bloku [m],
i	numer bloku obliczeniowego,
m	ilość bloków obliczeniowych.



Stateczność skarp

Metoda Felleniusa (szwedzka) Grunty spoiste, bez filtracji

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^m (G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^m G_i \cdot \sin \alpha_i}$$



$$\sin \alpha_6 = \frac{x_6}{R}$$

$$\cos \alpha_6 = \frac{y_6}{R}$$

Stateczność skarp

Metoda Felleniusa (szwedzka)

Grunty spoiste, bez filtracji

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^m (G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^m G_i \cdot \sin \alpha_i}$$

Nr blok u	Szerokość bloku	Średnia wysokość bloku	Ciężar bloku G_i
	[m]	[m]	[kN]
1	1.40	0.50	13.65
2	1.00	1.30	25.35
3	0.50	1.80	17.55
4	1.50	2.30	67.28
5	1.50	2.70	78.98
6	1.50	2.80	81.90
7	1.30	2.60	65.91
8	0.20	2.00	7.80
9	1.00	1.20	23.40
Suma			381.81

Stateczność skarp

Metoda Felleniusa (szwedzka)

Grunty spoiste, bez filtracji

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^m (G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \varphi + c \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^m G_i \cdot \sin \alpha_i}$$

Nr bloku	Gi [kN]	$\sin \alpha_i$	$G_i \cdot \sin \alpha_i$ [kN]	$\cos \alpha_i$	$G_i \cdot \cos \alpha_i$	$l_i = \frac{b_i}{\cos \alpha_i}$
1	14.00	-0.07	-0.98	1	14	1.4
2	26.00	0.05	1.3	1	26	1
3	18.00	0.13	2.34	0.99	17.82	0.51
4	69.00	0.24	16.56	0.97	66.93	1.55
5	81.00	0.41	33.21	0.91	73.71	1.65
6	84.00	0.57	47.88	0.82	68.88	1.85
7	67.60	0.72	48.672	0.69	46.644	1.94
8	8.00	0.8	6.4	0.6	4.8	0.35
9	24.00	0.87	20.88	0.49	11.76	2.04
			176.26		330.54	12.29

Stateczność skarp

Metoda Felleniusa (szwedzka)

Grunty spoiste, bez filtracji

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^m (G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^m G_i \cdot \sin \alpha_i}$$

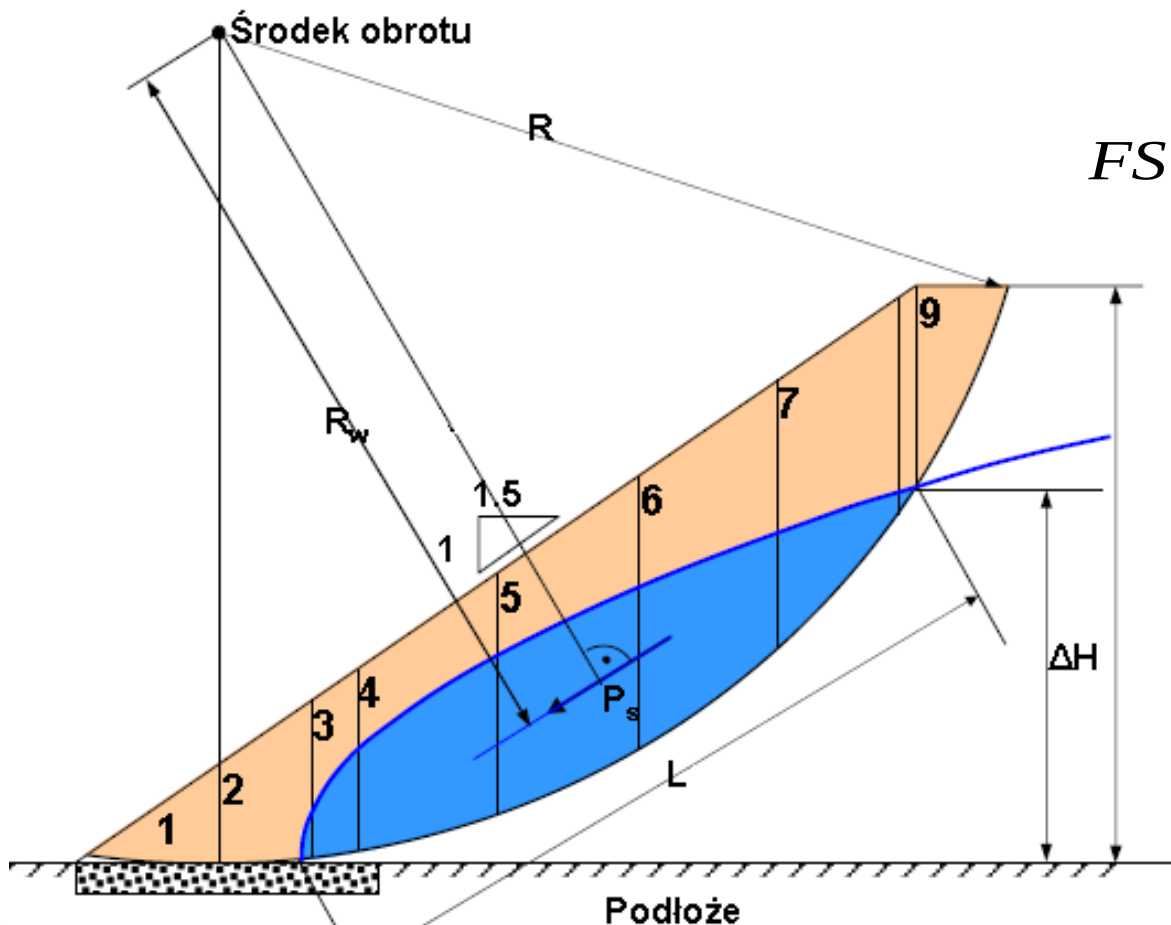
Nr bloku	G_i [kN]	$\sin \alpha_i$	$G_i \cdot \sin \alpha_i$ [kN]	$\cos \alpha_i$	$G_i \cdot \cos \alpha_i$	$l_i = \frac{b_i}{\cos \alpha_i}$
			176.26		330.54	12.29

$$\gamma = 20 \text{ kN} / \text{m}^3, \quad \varphi = 15^\circ, \quad c = 10 \text{ kPa}$$

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^m (G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^m G_i \cdot \sin \alpha_i} = \frac{330.54 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ + 10 \cdot 12.29}{176.26} = 1,199$$

Stateczność skarp

Analiza stateczności skarpy w gruncie spoistym – metoda Felleniusa z uwzględnieniem sił filtracji



$$FS = \frac{R \sum_{i=1}^m (G'_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l_i)}{R \sum_{i=1}^m G'_i \cdot \sin \alpha_i + M_w}$$

$$M_w = R_w \cdot P_s$$

$$P_s = V_w \cdot p_s$$

$$p_s = i \cdot \gamma_w$$

Stateczność skarp

Miarą stateczności jest

wskaźnik stateczności FS (Factor of safety) definiowany jako stosunek sił utrzymujących równowagę do sił zmierzających do destrukcji lub jako iloraz zmobilizowanych naprężeń stycznych związanych z wytrzymałością na ścinanie ośrodka oraz naprężeń ścinających wywołanych przez **siły ciężkości** oraz inne oddziaływania występujące w ośrodku gruntowym.

Wartość obliczonego wskaźnika stateczności powinna być większa niż wartość dopuszczalnego wskaźnika FS_{dop} dla danej metody.

Stateczność skarp

Wskaźnik stateczności (synonim: współczynnik stateczności, wskaźnik stanu równowagi). Warunek pierwszego stanu granicznego:

$FS < 1.0$ – skarpa (zbocze) **niestateczna**

$FS = 1.0$ – **stan równowagi chwiejnej**

$FS > 1.0$ – skarpa (zbocze) **stateczna**

Uważa się, że nadwyżka wartości wskaźnika ponad $FS = 1$ określa **zapas bezpieczeństwa**.

Stateczność skarp

Zgodnie z zaleceniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. Dz.U.99.43.430 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie:

„Pochylenia skarp nasypów i wykopów powinny być zgodne z wymaganiami, o których mowa w § 42. Wskaźniki stateczności skarp i zboczy określone indywidualnie metodami podanymi w Polskich Normach nie powinny być mniejsze niż 1,5.”

Stateczność skarp

Wysokiński L., Instrukcja ITB (Instytutu Techniki Budowlanej) nr 304, Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy, Ministerstwo Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa – Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 1991.

Wysokiński L., Instrukcja ITB nr 424/2006, Ocena stateczności skarp i zboczy, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2006.

- » **FS = 1.3÷1.5: osuwisko mało prawdopodobne, zbocze stateczne – nie ma przeciwwskazań do lokalizacji typowych obiektów budowlanych;**
- » **FS = 1.0÷1.3: osuwisko prawdopodobne, zbocze o potencjalnej możliwości wystąpienia osuwiska lub zsuwu, zabudowa możliwa wyłącznie po uprzednim przeprowadzeniu zabiegów poprawiających ogólną stateczność zbocza.**

Stateczność skarp

Wśród czynników przyczyniających się do utraty stateczności skarp wymienić można:

- » warunki atmosferyczne
- » budowa geologiczna
- » orientacja warstw
- » parametry wytrzymałościowe warstw budujących skarpe
- » kształt i wymiary skarpy
- » właściwości podłoża skarpy
- » obciążenia dynamiczne
- » czynniki hydrogeologiczne
- » wpływy biologiczne i chemiczne

Stateczność skarp

Metody analizy stateczności skarp i zboczy

Określenie kształtu
profilu statecznego

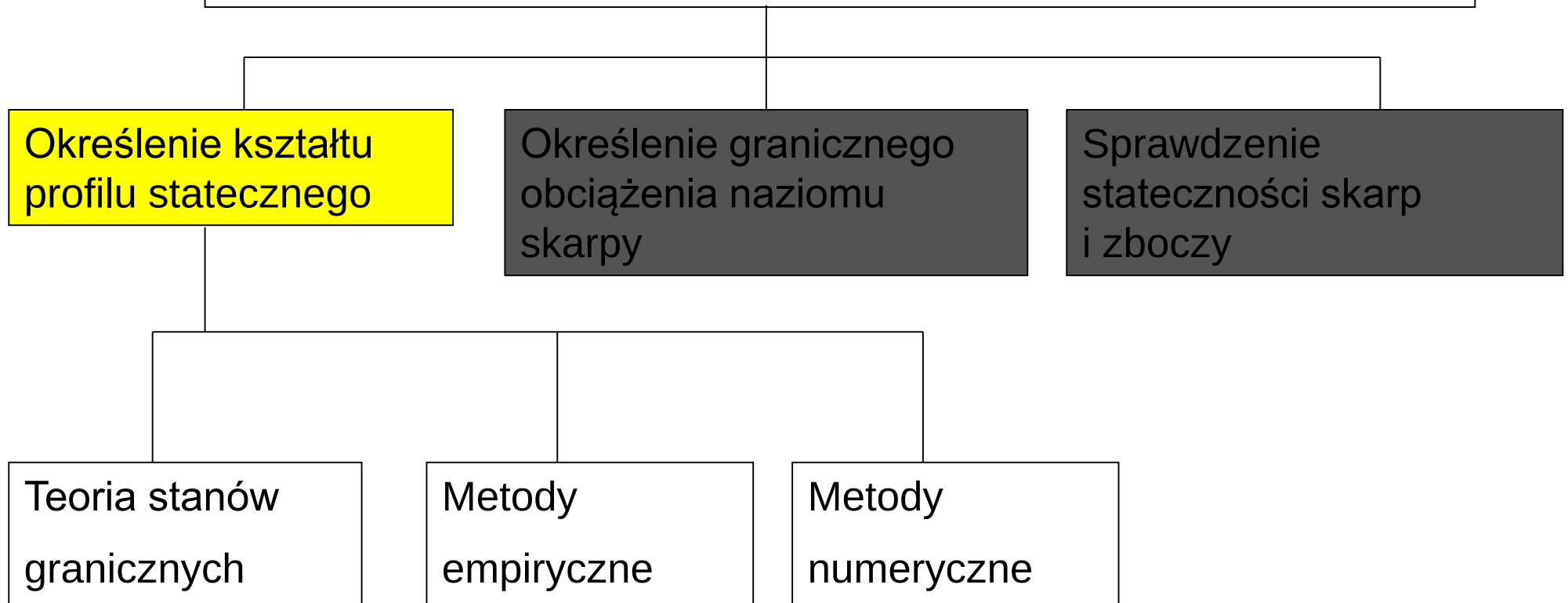
Określenie granicznego
obciążenia naziomu
skarpy

Sprawdzenie
stateczności skarp i
zboczy

Kryterium: ZADANIE I CEL

Stateczność skarp

Metody analizy stateczności skarp i zboczy



Stateczność skarp

Metody analizy stateczności skarp i zboczy

Określenie kształtu
profilu statecznego

Określenie granicznego
obciążenia naziomu
skarpy

Sprawdzenie
stateczności skarp
i zboczy

Teoria stanów
granicznych

Metody
numeryczne

Stateczność skarp

Metody analizy stateczności skarp i zboczy

Określenie kształtu
profilu statecznego

Określenie granicznego
obciążenia naziomu
skarpy

Sprawdzenie
stateczności skarp
i zboczy

Metody
numeryczne

Metody
równowagi
granicznej

Stateczność skarp

Metody analizy stateczności skarp i zboczy

Określenie kształtu
profilu statecznego

Określenie granicznego
obciążenia naziomu
skarpy

Sprawdzenie
stateczności skarp
i zboczy

Metody
numeryczne

Metody
równowagi
granicznej

Stateczność skarp

METODY RÓWNOWAGI GRANICZNEJ

Metody równowagi granicznej to grupa metod, których zadaniem jest określenie czy zbocze o zadanej budowie geologicznej i geometrii będzie stateczne.

W obliczeniach przyjmowane jest założenie płaskiego stanu naprężenia i odkształcenia.

Zakłada się, iż znany jest kształt oraz położenie powierzchni poślizgu, wzdłuż której spełnione są warunki stanu granicznego Coulomba-Mohra.

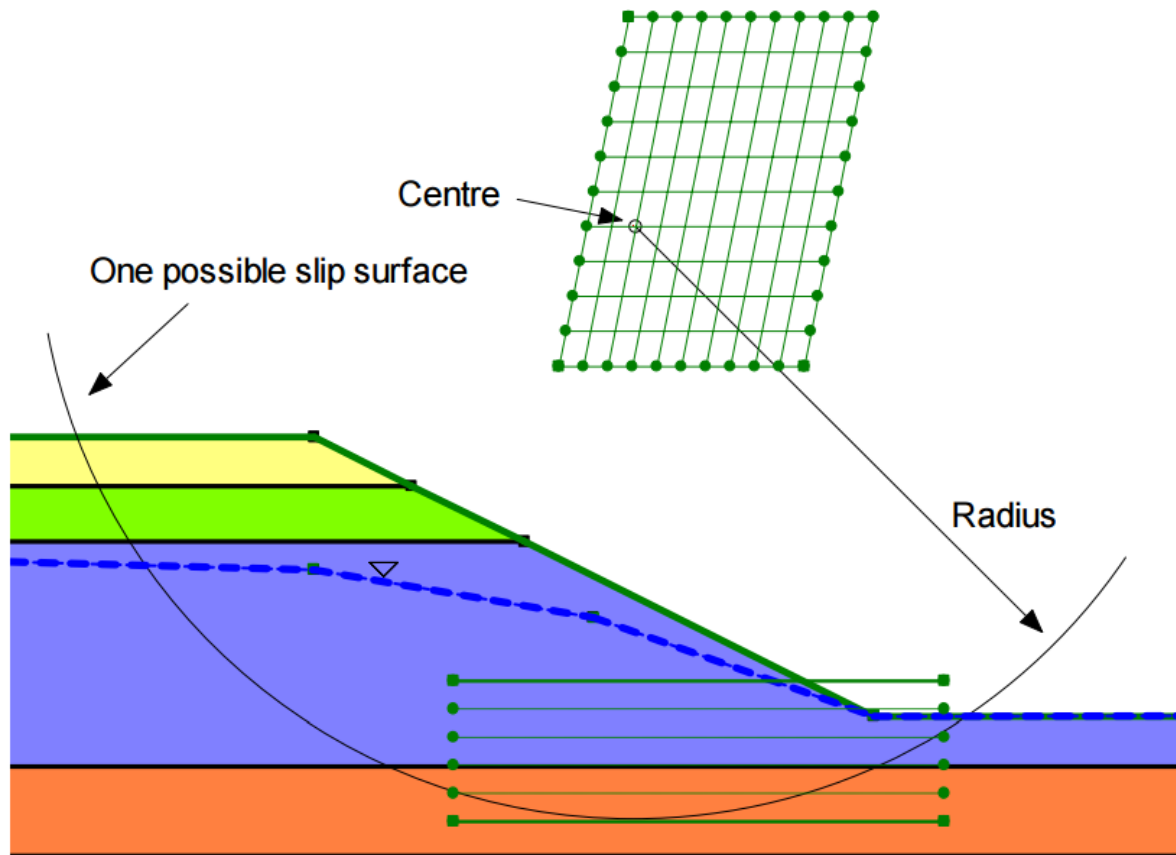
Stateczność skarp

Program SLOPE/W wchodzący w skład pakietu Geostudio firmy Geo-Slope International.

Jest to jeden z najbardziej znanych i najczęściej wykorzystywanych programów na świecie. Jego początki sięgają roku 1977 kiedy to powstała pierwsza wersja modułu do analizy stateczności skarp i nasypów.

Ze względu na długą historię program jest dobrze dopracowany pod względem stabilności numerycznej i jakości działania.

Stateczność skarp



Stateczność skarp

Program dostępny na:
www.geo-slope.com/