

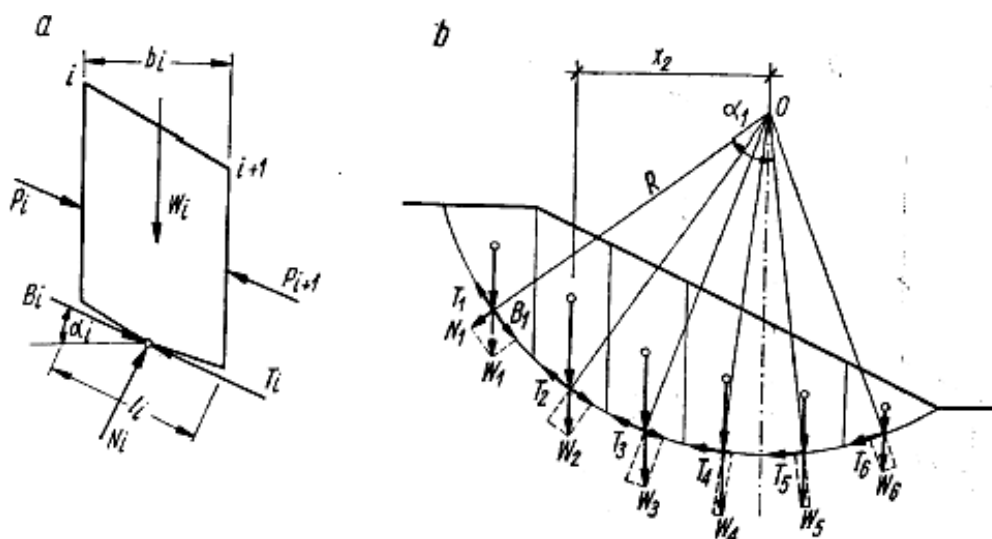
Stateczność skarpy

Metoda Felleniusa (1925 r.) - opis

Metoda Felleniusa jest najstarszą z metod, które umożliwiają przeprowadzenie analizy stateczności dla różnych od prostoliniowej powierzchni poślizgu. Opracowana ona została na podstawie wyników badań Szwedzkiej Komisji Geotechnicznej, której prace prowadzone były w latach 1916-1925. Metoda ta wykorzystuje podział potencjalnej bryły osuwiskowej na bloki (paski) pionowe. Z powyższych względów metoda ta znana jest również pod nazwą metody Pettersona-Felleniusa lub metody szwedzkiej.

W metodzie Felleniusa przyjęto następujące założenia:

- **powierzchnia poślizgu ma kształt walca cylindrycznego,**
- siły oddziaływania pomiędzy blokami są równoległe do podstawy bloku i nie wpływają na wartość reakcji normalnej do podstawy bloku oraz wartość sił oporu ścinania,
- wskaźnik stateczności definiowany jest jako stosunek momentów sił biernych (utrzymujących równowagę) i sił czynnych (zsuwających).



Rys. 1. Schemat sił działających na oddzielny blok i na całą bryłę osuwiskową

(WILUN 1976)

Przyjmuje się, że dla danego konturu zbocza (skarpy) istnieje jedna najbardziej niebezpieczna powierzchnia poślizgu, charakteryzująca się najmniejszym współczynnikiem pewności. Zakłada się przy tym najczęściej możliwość poślizgu w powierzchniach walcowych przechodzących przez dolną krawędź skarpy. Położenie środka obrotu, wokół którego może powstać poślizg skarpy o najmniejszym współczynniku bezpieczeństwa, w najogólniejszym przypadku należy wyznaczyć na podstawie prób.

Obliczenia te są bardzo czasochłonne. W ramach ćwiczeń z przedmiotu Mechanika Gruntów i Fundamentowanie, w celu ograniczenia nakładu pracy sprawdzenie stateczności skarpy w każdym przypadku zostanie przeprowadzone tylko dla jednej powierzchni poślizgu, której położenie należy wyznaczyć, korzystając z zaleceń Z. Wiłuna „Zarys Geotechniki”, str. 338.

Bryłę dzieli się na pionowe paski (bloki) (minimum = 10 pasków, maksimum = 20 pasków). Paski mogą być o różnej szerokości b_i ale szerokości te powinny być zbliżone do siebie. Na każdy pasek (blok) badanej bryły osuwiskowej działają następujące siły:

W_i – ciężar bloku i ;

P_i i P_{i+1} – siły o nieznannej wartości, działające na pionowe ścianki bloku i , równoległe do podstawy bloku i ;

$N_i = W_i \cos \alpha_i$ – składowa normalna siły W_i ;

$B_i = W_i \sin \alpha_i$ – składowa styczna siły W_i ;

$T_i = N_i \operatorname{tg} \Phi + l_i c_i$ – siła oporu tarcia i kohezji gruntu (spójności), przeciwstawiająca się sile zsuwającej.

Przyjęcie równoległości sił P_i do podstaw bloków umożliwia wyznaczenie sił N_i . Wypadkowa sił oddziaływania pomiędzy blokami wywołuje wprawdzie moment przy analizie pojedynczego bloku, ale uważając je za siły wewnętrzne osuwającej się bryły pomija się siły boczne P_i . Przy rozpatrywaniu warunków równowagi całego splezającego masywu moment sił dla całej bryły względem dowolnego punktu powinien być równy zeru.

Moment sił obracających bryłę względem punktu O jest równy.

$$M_{ob} = \sum_{i=1}^n W_i x_i = \sum_{i=1}^n W_i R \sin \alpha_i = R \sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i$$

Moment sił utrzymujących bryłę względem punktu O :

$$M_u = \sum_{i=1}^n T_i R = R \sum_{i=1}^n (N_i \operatorname{tg} \phi_i + l_i c_i) = R \sum_{i=1}^n (W_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + l_i c_i)$$

Współczynnik pewności (bezpieczeństwa) wyznacza się jako stosunek M_u do M_{ob} :

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

Analiza stateczności skarpy (zbocza) o danym konturze i z gruntu jednorodnego powinna więc sprowadzać się do ustalenia drogą kolejnych prób takiej powierzchni poślizgu, która dawałaby najmniejszy współczynnik pewności F_{\min} :

$$F_{\min} \geq F_{\text{dop}}$$

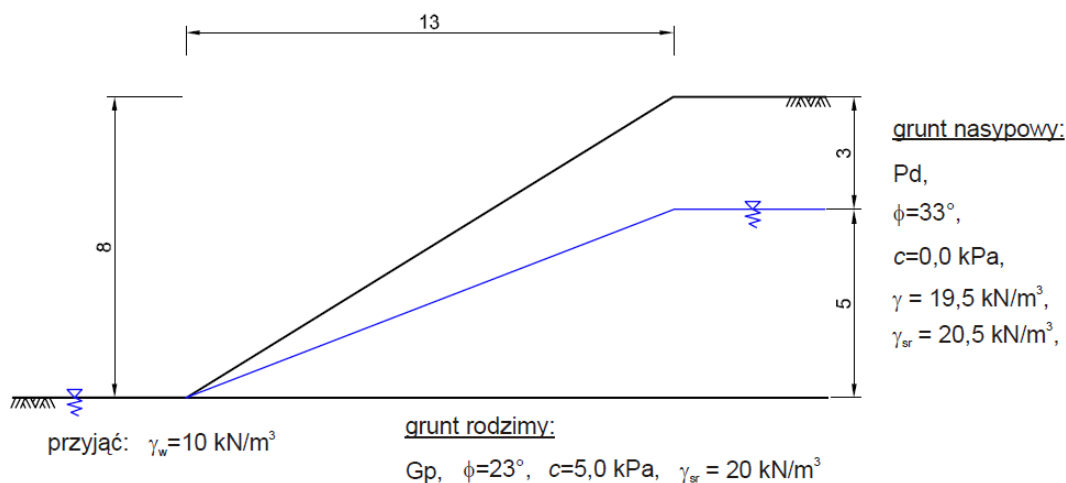
Wartości F_{dop} przy stosowaniu metody Felleniusa przyjmuje się w granicach 1,1 do 1,3.

Informacje na stronach WWW pracowników Katedry:

1. Ireneusz Dyka: <http://pracownicy.uwm.edu.pl/i.dyka/grunty.htm>
2. Piotr Srokosz: <http://www.uwm.edu.pl/edu/piotrsrokosz/mg2.htm>

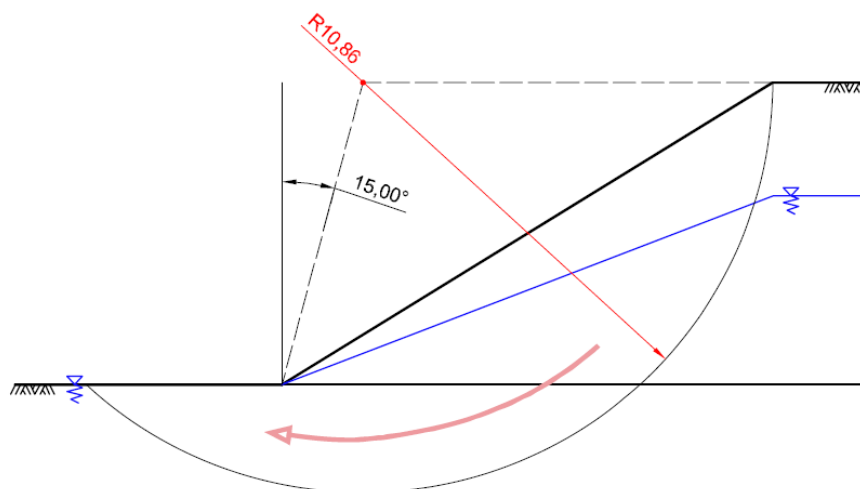
Przykład (dr inż. Marcin Cudny, Politechnika Gdańska)

Sprawdź współczynnik stateczności zbocza przedstawionego na rysunku metodą Felleniusa. W gruncie nasypowym oraz w podłożu naturalnym występuje woda gruntowa, której zwierciadło zaznaczono na rysunku. W celu uproszczenia obliczeń należy pominąć siłę spływową, natomiast obecność wody gruntowej uwzględnić tylko poprzez ciśnienie wody w porach.

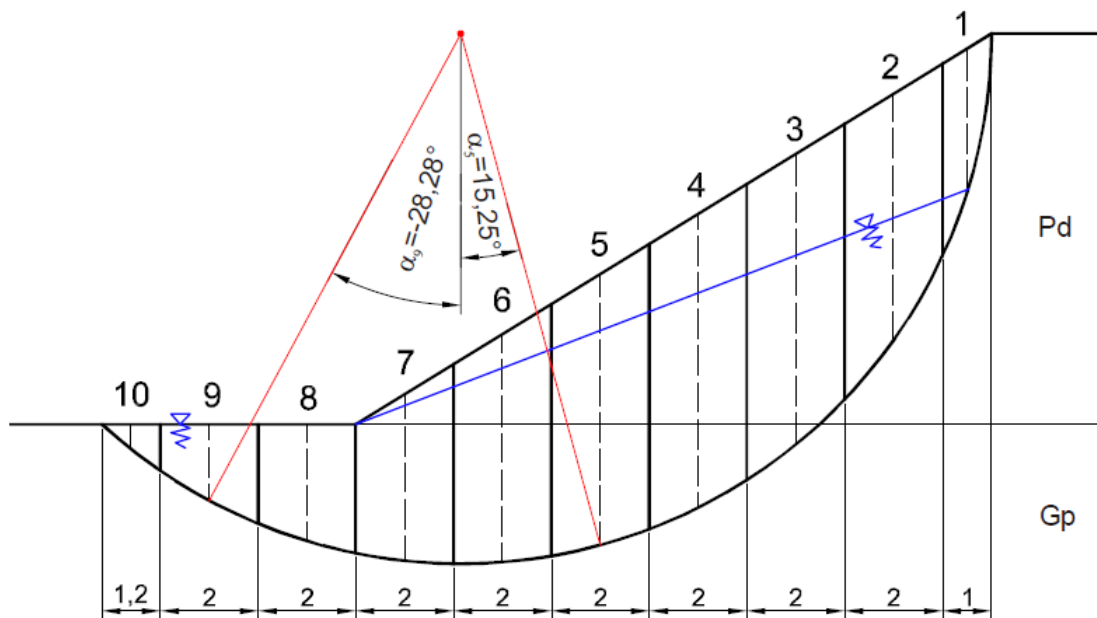


Przyjęcie środka obrotu oraz promienia walcowej bryły osuwiska w praktyce polega na wielokrotnym sprawdzaniu różnych konfiguracji, z których ostatecznie wybiera się tę dającą najniższą wartość współczynnika stateczności, czyli najbardziej niekorzystną z punktu widzenia bezpieczeństwa.

Wielokrotne obliczenia są bardzo pracochłonne i wykonuje się je przy pomocy programów komputerowych. W rozpatrywanym przykładzie zaleca się przyjęcie następującego walcowego mechanizmu utraty stateczności:



Przyjętą bryłę osuwiska dzieli się w modelu obliczeniowym na pewną liczbę pionowych pasków, których szerokość zależy głównie od komplikacji geometrii rozpatrywanego zagadnienia. Dokładność obliczeń jest oczywiście większa przy małej szerokości pasków i ich dużej liczbie, co jednak przy prostej metodzie realizacji obliczeń jest żmudne rachunkowo. Podział bryły osuwiska na paski obliczeniowe, przyjęty w rozpatrywanym przykładzie, przedstawiono na poniższym rysunku.



Nr	α_i [°]	b_i [m]	$l_i = b_i / \cos \alpha_i$ [m]	h_{wi} [m]	u [kPa]	W_i [kN/m]	ϕ_i [°]	c_i [kPa]	$c_i l_i + (W_i \cos \alpha_i - ul_i) \tan \phi_i$ [kN/m]	$W_i \sin \alpha_i$ [kN/m]
1	72.54	1.0	3.33	0.06	0.6	57.39	33	0.0	9.88	54.75
2	54.66	2.0	3.46	2.19	21.9	201.97	33	0.0	26.69	164.75
3	39.16	2.0	2.58	3.38	33.8	239.78	23	5.0	54.81	151.42
4	26.57	2.0	2.24	3.83	38.3	241.87	23	5.0	66.65	108.19
5	15.25	2.0	2.07	3.83	38.3	222.77	23	5.0	67.89	58.60
6	4.52	2.0	2.01	3.46	34.6	186.86	23	5.0	59.64	14.73
7	-6.05	2.0	2.01	2.80	28.0	136.55	23	5.0	43.79	-14.39
8	-16.83	2.0	2.09	2.39	23.9	95.60	23	5.0	28.09	-27.68
9	-28.28	2.0	2.27	1.56	15.6	62.40	23	5.0	19.64	-29.56
10	-38.39	1.2	1.53	0.51	5.1	20.40	23	5.0	11.13	-12.67
Σ									388.22	468.12

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{n=10} [(W_i \cos \alpha_i - ul_i) \tan \phi_i + c_i l_i]}{\sum_{i=1}^{n=10} W_i \sin \alpha_i} = \frac{388.22}{468.12} = 0.83$$