

**OKREŚLENIE STATECZNOŚCI GEOTECHNICZNEJ SKARP KWATERY  
NR 2 SKAŁDOWISKA ODPDÓW INNYCH NIŻ NIEBEZPIECZNE I OBOJĘTNE  
NA TERENIE ZAKŁADU UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH  
„ORLI STAW”  
SYMULACJA STATECZNOŚCI DLA RZĘDNEJ SKŁADOWANIA 162.5 [m] n.p.m.**

**GPS \ 298 \ IV \ 2024**

**Numer zlecenia: 24034852**



Opracowanie:

SGS Polska Sp. z o.o.

mgr inż. Damian Świątłoch

mgr inż. Wojciech Plewa

Pszczyna, październik 2024 r.

**SPIS TREŚCI**

- 1. Wstęp**
- 2. Zakres i opis wykonanych prac**
- 3. Ocena stateczności zboczy składowiska odpadów**

## 1. WSTĘP

Niniejsze opracowanie to sprawozdanie z przeprowadzonych pomiarów, symulacji i analiz stateczności zboczy wykonanych dla skarp składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne na terenie Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych „Orli Staw”.

### Podstawa formalna i cel opracowania

Badania na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne na terenie Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych „Orli Staw” wykonane zostały na mocy zlecenia 18/UI/AM/2024 z dnia 3.09.2024r. zawartego pomiędzy: Związek Komunalny Gmin "Czyste Miasto, Czysta Gmina" , pl. św. Józefa 5, a SGS Polska Sp. z o.o., Al. Jerozolimskie 146A; 02-305 Warszawa.

## **2. ZAKRES I OPIS WYKONANYCH PRAC**

Teren objęty pomiarami stanowi składowisko odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne na terenie Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych „Orli Staw”.

Prace rozpoczęto od wizji lokalnej wraz z wywiadem terenowym dnia 8.10.2024.

Wraz z przedstawicielami zlecniodawcy ustalono, aby kąty składowania odpadów przyjąć z pomiaru sytuacyjnego zastanych skarp składowiska. Na zamkniętej kwaterze nr 1 składowiska wskazano docelowy profil skarpy wraz z materiałem okrywającym zbocze. Zlecający deklaruje kontynuowanie zastanego sposobu składowania w tym sposobu profilowania zboczy.

Tego samego dnia zostały wykonane pomiary geodezyjne skarp, dokonano pomiaru wilgotności w odwiertach geotechnicznych oraz pobrano próbki materiału okrywającego zbocza. Wykonano 2 profile pomiarowe w części zachodniej składowiska ( jeden na zamkniętej kwaterze 1, jeden na eksploatowanej części kwatery 2), 2 profile w części północnej składowiska ( nie eksploatowana część kwatery 2), dwa profile w części zachodniej składowiska (oba na kwaterze 2, część eksploatowana).

Wywiad w terenie, wykonane pomiary, wizja terenowa pozwoliły na zgromadzenie niezbędnych informacji do wykonania symulacji metodą zgodną z poniższym opisem (patrz pkt.3).

## **3. OCENA STATECZNOŚCI ZBOCZY SKŁADOWISKA ODPADÓW**

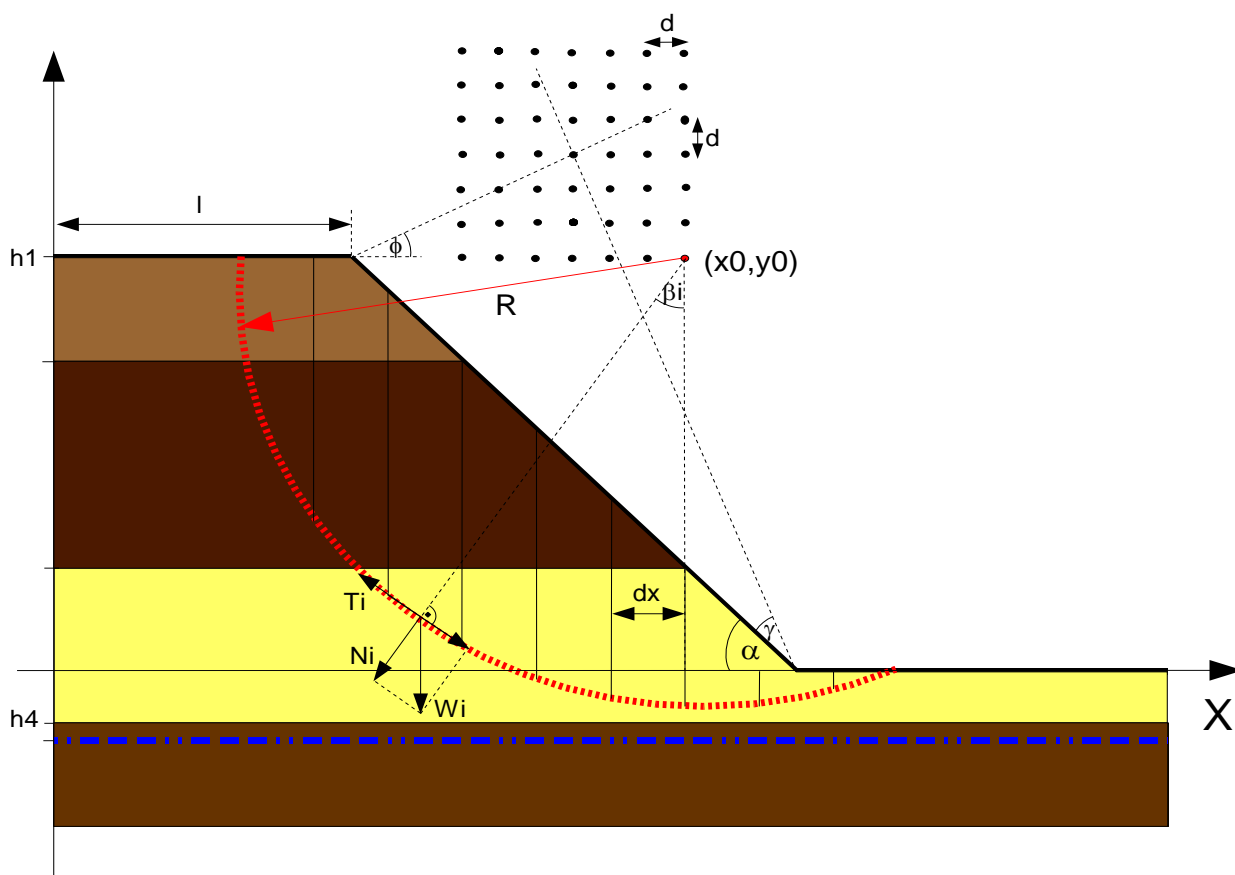
W badaniach stateczności skarp zastosowano metodę Felleniusa (szwedzką), zakładającą powstawanie kołowo-cylindrycznych powierzchni poślizgu. Metoda oprócz swej prostoty charakteryzuje się największym z pośród powszechnie używanych metod zapasem bezpieczeństwa. Często określana jest przez to jako metoda asekuracyjna i zalecana w przypadkach niedostatecznego rozpoznania budowy geologicznej i warunków wodnych analizowanego obiektu. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem własnego oprogramowania wykorzystującego poniżej opisane algorytmy.

Podstawowym założeniem metody Felleniusa jest cylindryczny kształt powierzchni wzdłuż, której może nastąpić osunięcie skarpy. Wśród wielu możliwych powierzchni osunięć wybiera się taką dla której stosunek momentu sił utrzymujących bryłę osuwiskową (siły tarcia)  $M_s$  do momentu sił dążących do jej obrotu  $M_r$  jest najmniejszy. Stosunek ten w technice budowlanej nosi nazwę współczynnika pewności (bezpieczeństwa):

$$F = \frac{M_s}{M_r}$$

Z powyższej definicji wynika, że skarpa dla której wartość współczynnika pewności wynosi 1 znajduje się w stanie równowagi nietrwałej. W praktyce przyjmuje się, że minimalna wartość współczynnika pewności wystarczająca do zagwarantowania skarpie stateczności winna zawierać się w przedziale od 1.1 do 1.3.

Dalsze rozważania oparte będą o poniższy schemat (rys. 1):



**Rys.1 Schemat skarpy przyjętej do przyjętej oceny geotechnicznej składowiska**

W omawianej metodzie bryła osuwiska podzielona zostaje na skończoną ilość bloków, każdy o szerokości  $dx$ . Na  $i$  – ty blok działają następujące siły:

$W_i$  – siła ciężkości,

$P_i$  oraz  $P_{i+1}$  – siły działające na ściany pionowe bloku, równoległe do jego podstawy; w analizie stateczności całości bryły osuwiskowej siły te są pomijane jako siły wewnętrzne,

$T_i = N_i \cdot \tan \Phi_i + dx \cdot c_i / \cos(\beta_i)$  – siła oporu tarcia i spójności gruntu;

gdzie:

$N_i = W_i \cdot \cos(\beta_i)$  jest składową siły ciężkości prostopadłą do podłoża,

$\Phi_i$  – jest kątem tarcia wewnętrznego gruntu,

$c_i$  – współczynnikiem spójności.

Stąd moment sił obracających bryłę ma postać:

$$Mr = \sum_{i=1}^n W_i R \sin \alpha_i$$

a moment sił utrzymujących liczony względem tej samej osi obrotu o współrzędnych (x0, y0) wynosi:

$$Ms = \sum_{i=1}^n T_i R$$

Współczynnik pewności ma wtedy wartość:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \left( W_i \cos \beta_i \operatorname{tg} \Phi_i + \frac{dx \cdot c_i}{\cos \beta_i} \right)}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \alpha)}$$

Siła ciężkości działająca na blok i jest sumą sił działających na jego składowe, tzn. poszczególne warstwy. W sytuacji gdy brak jest odpowiednich danych empirycznych ciężar poszczególnych warstw obliczany jest na podstawie ich gęstości (będącej w ścisłym związku ze składem granulometrycznym) oraz odległości danej warstwy od poziomu wody gruntowej. Teoretyczną podstawą takich obliczeń jest założenie że rozkład wilgotności gleby w skarpie jest rozkładem równowagowym tzn. siły ciężkości działające na wodę w kapilarach glebowych równoważone są przez siły kapilarne, przy czym potencjał wody w glebie jest taki aby jego poziom zerowy pokrywał się z pomierzonym poziomem wód gruntowych.

Potencjał wody w glebie obliczany jest na podstawie danych empirycznych opracowanych na podstawie publikacji Lipiec (1974) przy założeniu że postać funkcyjna zależności potencjał wody w glebie – wilgotność ma postać (Campbell, 1972):

$$\Psi = -a \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^{-b}$$

przyjęto że wartości współczynników gęstości, kąta tarcia wewnętrznego, spójności oraz a i b dla poszczególnych gruntów wynoszą:

Tab. 1 Charakterystyka mechaniczna gruntów

Rodzaj gruntu	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\Phi$ [°]	c [kPa]	$\Theta_s$	a [m]	b [m]
Ż, Żp (żwiry i pospółki)	1,9	38	0	0,36	0,12	2,5
Żg, Żpg (żwiry i pospółki gliniaste)	1,9	29	20	0,38	0,4	2,9
Pr, Ps (piaski grube i średnie)	1,64	36	0	0,36	0,12	2,5
Pπ (piaski pylaste)	1,64	30	0	0,36	0,12	2,5
Pd (piaski drobne)	1,75	32	0	0,38	0,3	2,3
Pg (piaski gliniaste)	1,67	22	20	0,39	0,39	2,9
Gp (gliny piaszczyste)	1,56	22	20	0,38	0,4	2,9
Gπ (gliny pylaste)	1,56	22	20	0,38	0,4	2,9
G (gliny)	1,56	18	20	0,38	0,4	2,9
Gpz (gliny piaszczyste zwarte)	1,32	20	30	0,51	0,36	5,8
Gπz (gliny pylaste zwarte)	1,32	17	25	0,51	0,36	5,8
Gz (gliny zwarte)	1,32	20	30	0,51	0,36	5,8
lπ (iły pylaste)	1,3	14	30	0,51	0,36	5,8
l, lp (iły oraz iły piaszczyste)	1,3	17	40	0,51	0,36	5,8
πp (pyły piaszczyste)	1,42	22	15	0,4	0,29	3,6
π (pyły)	1,3	20	15	0,49	0,48	3,4

Omówienia wymaga ponadto metoda poszukiwania powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku pewności. Program rozpoczyna poszukiwania od wyboru początkowej osi obrotu, która staje się środkiem kwadratowej siatki w której węzłach odległych o  $d$  znajdują się współrzędne potencjalnych osi obrotu. Przyjmuje się że współrzędne początkowej osi obrotu można wyznaczyć jako miejsce przecięcia dwu prostych: jednej przechodzącej przez górną krawędź skarpy i nachyloną do poziomu pod kątem  $\phi$ , oraz drugą przechodzącą przez krawędź dolną i nachyloną do powierzchni stoku skarpy pod kątem  $\gamma$ . Przyjęto że  $\phi = 36$  [°],  $\gamma = 26$  [°] (Wiłun, 1987).

Obliczenia współczynnika pewności dla ustalonej osi obrotu wykonywane są dla wartości  $R$  zawierających się w przedziale ( $R_{min}$ ,  $R_{max}$ ). Wartości  $R_{min}$  oraz  $R_{max}$  ustalone są tak aby promień  $R$  był większy od minimalnej odległości pomiędzy skarpy a osią obrotu, a mniejszy od sumy współrzędnej pionowej osi obrotu oraz jednej trzeciej wysokości skarpy. Wśród wszystkich uzyskanych tym sposobem wartości współczynnika pewności wybiera się ten o wartości minimalnej, co oznacza że powiązane z nim współrzędne osi obrotu wraz z wartością promienia  $R$  określają cylindryczną powierzchnię poślizgu, dla której prawdopodobieństwo obsunięcia się skarpy jest największe.

Na terenie składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne na terenie Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych „Orli Staw”. wykonano 6 linii odwiertów w celu określenia stateczności skarp. Skarpy były analizowane przy założeniu, że ich nachylenie jest stałe. W wyniku przeprowadzonych obliczeń i analiz stwierdzono:

Kąty nachylenia  $[\alpha]$  uzyskane metodą regresji liniowej badanych skarp mieszczą się w zakresie od  $23,91[^\circ]$  do  $16,45[^\circ]$ . W programie obszar potencjalnej bryły osuwiskowej podzielono każdorazowo na 50 pasków. Spośród przeanalizowanych 900 położań osi obrotu dla każdego profilu, najniższy współczynnik pewności dla skarp mieści się w zakresie, od  $F = 1,26$  do  $F=2,01$  uzyskano dla osi o współrzędnych:

$$\alpha_{\max} = 23,91 [^\circ]$$

$$x_0 = 98,99 \text{ [m]}$$

$$y_0 = 47,96 \text{ [m]}$$

$$R = 47,96 \text{ [m]}$$

$$F = 1,26$$

$$\alpha_{\min} = 16,45 [^\circ]$$

$$x_0 = 90,63 \text{ [m]}$$

$$y_0 = 61,94 \text{ [m]}$$

$$R = 62,04 \text{ [m]}$$

$$F = 2,01$$

Wykonane pomiary i obliczenia wskazują na stabilność zastanych skarp na składowisku. Zastosowany model obliczeń charakteryzuje się dużym zapasem bezpieczeństwa, co znajduje potwierdzenie w braku ruchów masowych skarp. Niemniej w kolejnych pomiarach należy zwrócić uwagę na zmiany ukształtowania skarp na podstawie modelu terenu wykonanego z pomiarów reprezentatywnych dla rzeźby składowiska.



## Założenia symulacji podniesienia rzędnej składowania do 162,5 [m] n.p.m.

Jednym z podstawowych zagadnień zakresu geotechniki jest stateczność skarp nasypów. Zasadniczo zagadnienie to dotyczy utworów pochodzenia naturalnego, ale w niektórych przypadkach zasady mechaniki gruntów stosowane są dla utworów gruntopodobnych, które stanowią m.in. odpady komunalne. Dlatego do modelu obliczeniowego wprowadzono odpowiedniki gruntów.

Zgodnie z ustaleniami do modelu wprowadzono kąty, które zastano w trakcie pomiarów. Wynik symulacji oparto na przedłużeniu najstromej zastanej skarpy części eksploatowanej.

Wilgotność warstwy wierzchniej w dzień pomiarów zawierała się w przedziale 15-23% i wartości w wyżej wymienionym przedziale wprowadzono do modelu obliczeniowego.

Symulacja przedłużonej skarpy była analizowana przy założeniu, że jej nachylenie jest stałe. Kąt nachylenia skarpy wynosi  $\alpha \sim 24 [^\circ]$  uzyskany metodą regresji liniowej punktów pomiarowych w symulowanym profilu stateczności. W programie obszar potencjalnej bryły osuwiskowej podzielono na 50 pasków. Spośród przeanalizowanych 900 położeń osi obrotu, najniższy współczynnik pewności dla skarpy, **F = 1,2** uzyskano dla osi o współrzędnych:

$$\begin{aligned}\alpha &= 24 [^\circ] \\ x_0 &= 139,1 \text{ [m]} \\ y_0 &= 58,7 \text{ [m]} \\ R &= 62,5 \text{ [m]} \\ \mathbf{F} &= \mathbf{1,2}\end{aligned}$$

### Wnioski:

Wynik  $F=1,2$  wskazuje na małe prawdopodobieństwo wystąpienia niestabilności skarp kwatery 2 składowiska podniesionej do rzędnej 162,5 [m] przy zachowaniu warunków zastanych w dniu wykonanych pomiarów i zgodnych z przeprowadzonym wywiadem w terenie. Symulacja nie uwzględnia zaistnienia najmniej korzystnych warunków, które mogą wystąpić jedynie w przypadku stałego występowania i gromadzenia się odcieków na składowisku. Uwzględniając powyższe można przyjąć podniesienie rzędnej do wysokości 162,5 [m] jako rozwiązanie bezpieczne.

Należy prowadzić systematyczną obserwację zboczy składowiska w tym coroczne geotechniczne badanie stateczności skarp.

Niniejszy dokument został wystawiony zgodnie z Ogólnymi Warunkami Świadczenia Usług (OWŚU stanowią element oferty, dostępne są na stronie: <http://www.sgs.analizysrodowiska.pl/podstrona/uslugi>), w oparciu o które zrealizowano usługę. Należy zwrócić szczególną uwagę na zagadnienia dotyczące odpowiedzialności, odszkodowań i jurysdykcji zawarte w OWŚU. Usługę zrealizowano w czasie i zakresie przedstawionym w niniejszym dokumencie, zgodnie z ustaleniami poczynionymi ze Zleceniodawcą i według Jego wskazówek, jeśli takowe zostały podane. SGS Polska Sp. z o.o. ponosi odpowiedzialność jedynie przed Zleceniodawcą; niniejszy dokument nie zwalnia stron z realizowania praw i obowiązków wynikających z zawartych porozumień. Wszelkie nieautoryzowane zmiany niniejszego dokumentu, podrabianie i fałszowanie jego treści, formy i wyglądu jest niezgodne i podlega ściganiu w świetle prawa. Dokument może być wykorzystywany i kopiowany w całości, kopiowanie częściowe jest dopuszczalne po uzyskaniu pisemnej zgody. Wszystkie wyniki badań i pomiarów zestawione w niniejszym dokumencie odnoszą się tylko do badanych próbek. W przypadku, gdy w dokumencie zaznaczono, że próbki zostały pobrane przez przedstawiciela Zleceniodawcy, SGS Polska Sp. z o.o. nie ponosi odpowiedzialności za pochodzenie, sposób pobrania i reprezentatywność próbek.