

**OCENA PRZEBIEGU OSIADANIA POWIERZCHNI  
ORAZ STATECZNOŚCI ZBOCZY SKŁADOWISKA  
ODPADÓW KOMUNALNYCH W KAMIENIU KRAJEŃSKIM**

**GPS \ 21 \ 1 \ 2020**

**Numer zlecenia: 20000651\_0**



OPRACOWANIE:

SGS Polska Sp. z o.o.

Marek Brzozowski

Pszczyna, luty 2020 r.

**SPIS TREŚCI**

- 1. Wstęp**
- 2. Zakres i opis wykonanych prac**
- 3. Przebieg osiadania powierzchni składowiska**
- 4. Ocena stateczności zboczy**
- 5. Omówienie wyników**

## 1. WSTĘP

Niniejsze opracowanie to sprawozdanie z przeprowadzonych pomiarów i analiz osiadania powierzchni i stateczności zboczy wykonanych na składowisku odpadów komunalnych w Kamieniu Krajeńskim w lutym 2020 roku.

### Podstawa formalna i cel opracowania

Badania na składowisku odpadów komunalnych w Kamieniu Krajeńskim wykonane zostały na mocy umowy z dnia 2.01.2019 r. zawartej pomiędzy Zakładem Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej w Kamieniu Krajeńskim Sp. z o.o., ul. Strzelecka 16; 89 - 430 Kamień Krajeński; a SGS Polska Sp. z o.o.; ul. Jana Kazimierza 3, 01-248 Warszawa.

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

Teren objęty pomiarami stanowi składowisko odpadów komunalnych w Kamieniu Krajeńskim.

### **3. PRZEBIEG OSIADANIA POWIERZCHNI SKŁADOWISKA**

#### **3.1. Przebieg osiadania składowiska odpadów.**

Badania przebiegu osiadania stanowią podstawowy element interpretacji zjawisk zachodzących w trakcie eksploatacji składowiska odpadów oraz po ich zakończeniu.

Pomiary przeprowadzono przy wykorzystaniu techniki Geograficznego Systemu Pozycjonowania Satelitarnego (GPS). W celu uzyskania geodezyjnych dokładności zastosowano odbiornik Stonex S9 GNSS pracujący w trybie RTK (Real Time Kinematic), pobierając poprawki z systemu precyzyjnego pozycjonowania ASG - EUPOS. Pomiary wykonano 10 lutego 2020 roku.

W celu realizacji powyższego zadania wykonano następujące czynności:

- Badania terenowe

Polegające na wyznaczeniu rzędnych wysokościowych opartych na pomiarze przeprowadzonym przy wykorzystaniu techniki Geograficznego Systemu Pozycjonowania Satelitarnego (GPS).

W czasie prac terenowych na składowisku nie zlokalizowano punktów reperowych, które oznaczone są jako Rp1 oraz Rp2 najprawdopodobniej zostały uszkodzone podczas prac rekultywacyjnych, zostały zmierzone rzędne w trzech lokalizacjach na czaszy składowiska Rp1Rob, Rp2Rob oraz Rp3Rob, które będą przedstawiać dynamikę zmian podczas rekultywacji składowiska.

Sesję pomiarową wykonano metodą czasu rzeczywistego RTK w trakcie której, odbiornik – „rover” będący w ruchu wykonywał pomiar punktów w określonych punktach na terenie mierzonego obiektu. Odbiornik GPS połączony jest za pomocą sieci GSM/GPRS z serwisem czasu rzeczywistego NAWGEO. Zastosowanie takiego rozwiązania umożliwia przesyłanie w sposób ciągły poprawek ze stacji referencyjnej GPS (fot.1) do „rovera”, gdzie stale prowadzone są obliczenia. Powyższa procedura umożliwia uzyskanie geodezyjnych dokładności odczytu. Rzędne punktów monitoringu osiadania – reperów – zostały zmierzone wykorzystując metodę statyczną (fot. 2). W trakcie tej metody odbiornik ruchomy umieszczany jest na nieruchomości nad mierzonym punktem. Następnie dokonywana jest akwizycja sygnału satelitarnego i pomiar rzędnej punktu.



**Fot. 1 Stacja referencyjna GPS (zdjęcie poglądowe).**



**Fot. 2 Pomiar metodą statyczną (zdjęcie poglądowe).**

Pomiary przeprowadzono w układzie współrzędnych PUW 2000, strefa 6 na elipsoidzie WGS 84. Uzyskane dane pomiarowe GPS w dniu 10 lutego 2020 roku, zostały automatycznie skorygowane przy wykorzystaniu poprawek ze stacji referencyjnej VRS. Zastosowanie takiej procedury pomiarowej umożliwiło uzyskanie niezwykle precyzyjnych danych tworzących układ lokalny. Zapewnia to jego spójność. W kolejnym etapie końcowe dane transformowano do lokalnego układu współrzędnych. Zapisane w pliku tekstowym TXT dane zostały poddane dalszej obróbce komputerowej.

Wartość wysokości ortometrycznej ( $H_{\text{ortometryczna}}$ ) prezentowanych punktów pomiarowych wyliczono odejmując od zmierzonej wartości wysokości elipsoidalnej ( $h_{\text{elipsoidalna}}$ ) wartość odstępstwa między elipsoidą, a geoidą. Wszystkie przeliczenia wykonano w programie TRANSPOL. Odstępstwo wynosi 31,19 [m].

**Charakterystyka składowiska odpadów komunalnych w Kamieniu Krajeńskim - punkty monitoringowe - repery**

Oznaczenie punktu	Easting	Northing	Wysokość elipsoidalna [m] 2020	Wysokość ortometryczna [m] n.p.m. 2020
<b>Rp1Rob*</b>	6468572,71	5932667,83	170,70	139,51
<b>Rp2Rob*</b>	6468525,08	5932686,81	171,90	140,71
<b>Rp3Rob*</b>	6468476,70	5932701,72	172,58	141,39

*\*Rzędne zmierzone jako punkty robocze na czas prac rekultywacyjnych, które będą przedstawiać dynamikę zmian. Nowe punkty robocze zostaną zastabilizowane po zakończeniu rekultywacji.*

#### **4. 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.

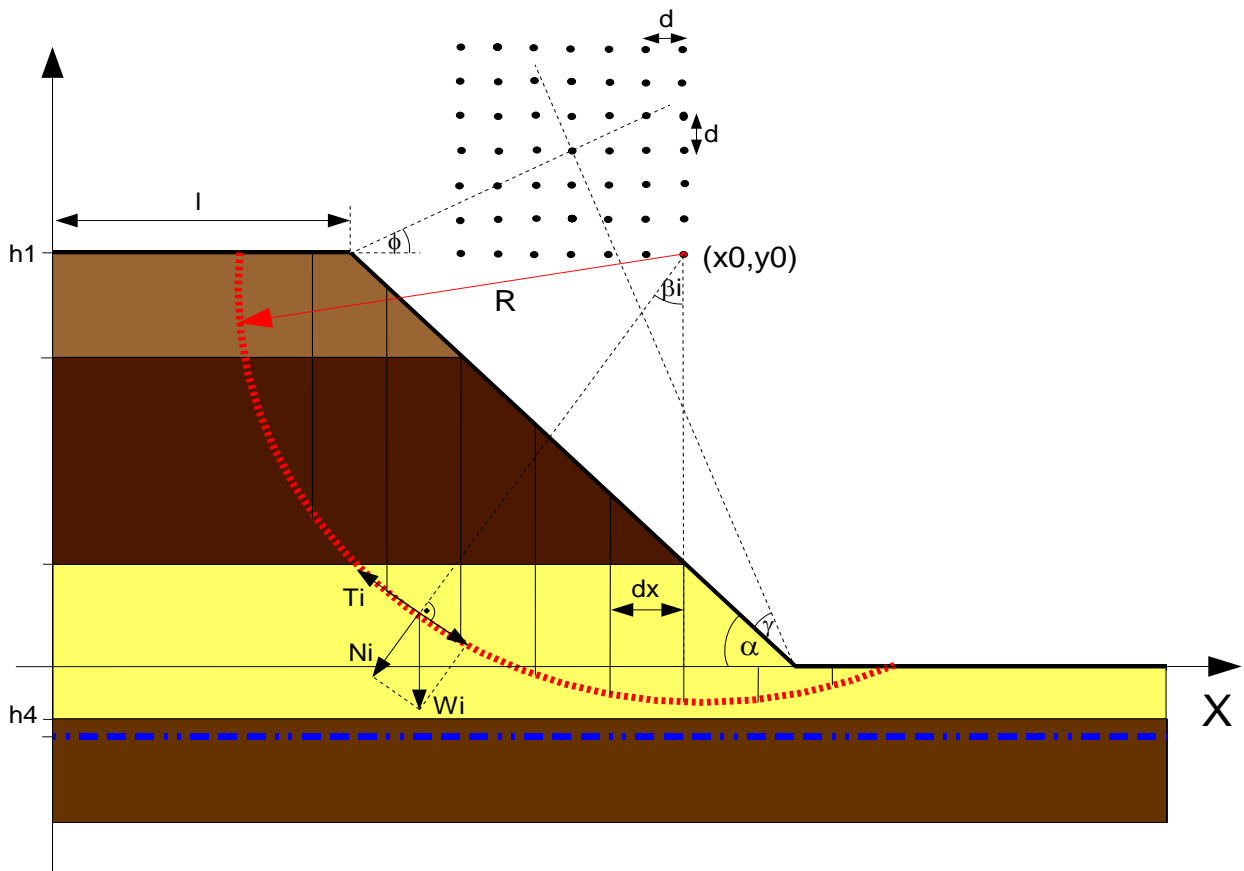
Podstawowym założeniem metody Felleniusa jest cylindryczny kształt powierzchni wzdłuż, której może nastąpić osunięcie skarpy. Wśród wielu możliwych powierzchni osunięć wybiera się taką dla której stosunek momentu sił utrzymujących bryłę osuwiskową (siły tarcia)  $M_s$  do momentu sił dążących do jej 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 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,

$T_i = N_i \cdot \operatorname{tg} \Phi_i + dx \cdot c_i / \cos(\beta_i)$  – 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 zwięzłe)	1,32	20	30	0,51	0,36	5,8
Gπz (gliny pylaste zwięzłe)	1,32	17	25	0,51	0,36	5,8
Gz (gliny zwięzłe)	1,32	20	30	0,51	0,36	5,8
Iπ (iły pylaste)	1,3	14	30	0,51	0,36	5,8
I,Ip (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  $\phi = 36 [^\circ]$ ,  $\gamma = 26 [^\circ]$  (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  $R_{max}$  ustalane są tak aby promień  $R$  był większy od minimalnej odległości pomiędzy skarpą 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.

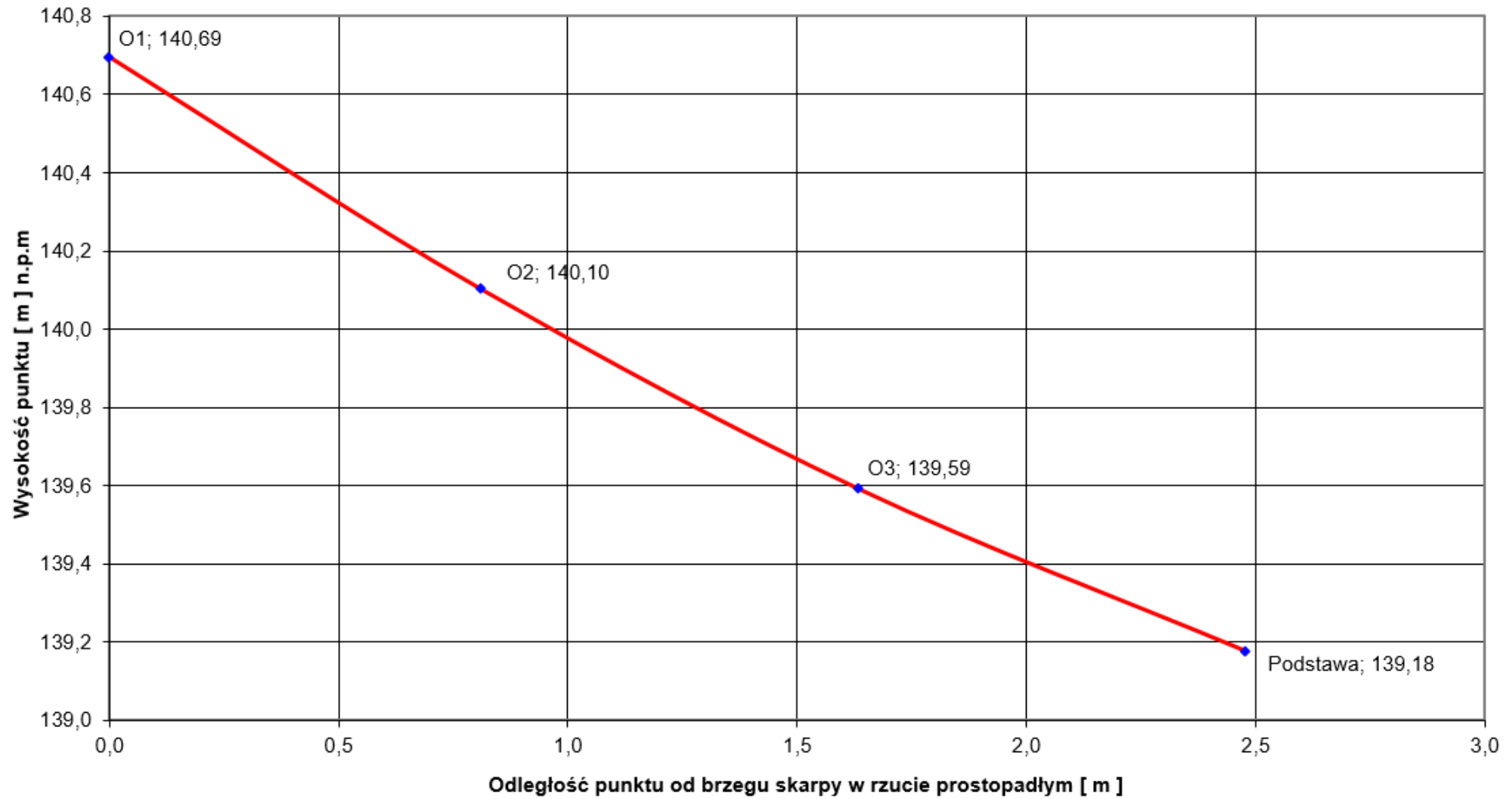
W wyniku pomiarów właściwości skarpy profilu składowiska w miejscowości Kamień Krajeński  
uzyskano następujące wartości:

Nr pkt. / miąższość warstwy	Podgrupa granulometryczna*	Rodzaj gruntu <sup>+</sup>
O1 0-0,5 m	pgl	Pd
O2 0-0,5 m	pgl	Pd
O3 0-0,5 m	pgl	Pd

\* - pgl – piasek gliniast lekki

+ - Pd – piasek drobny,

## Graficzna prezentacja badanego profilu skarpy



---

Na terenie składowiska w miejscowości Kamień Krajeński wykonano linię odwiertów w celu określenia stateczności skarpy.

Skarpa była analizowana przy założeniu, że jej nachylenie jest stałe. Kąt nachylenia skarpy wynosi  $\alpha = 31,46$  [°] uzyskano metodą regresji liniowej. W programie obszar potencjalnej bryły osuwiskowej podzielono na 50 pasków. Spośród przeanalizowanych 900 położzeń osi obrotu, najniższy współczynnik pewności dla skarpy,  $F = 1,22$  uzyskano dla osi o współrzędnych:

$$\alpha = 31,46 \text{ [°]}$$

$$x_0 = 5,34 \text{ [m]}$$

$$y_0 = 1,52 \text{ [m]}$$

$$R = 1,62 \text{ [m]}$$

$$F = 1,22$$

## 5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Dla badań przeprowadzonych w bieżącym roku określono w sposób bardzo precyzyjny lokalizację każdego punktu. Mając na uwadze dokładne przeprowadzenie pomiarów, badanie osiadania ograniczono do obszarów wokół punktów pomiarowych. Stanowią one punkt odniesienia do przeprowadzonych obliczeń.

Analiza i porównanie punktów monitoringu osiadania możliwa będzie podczas kolejnej sesji pomiarowej.

Pomiary z wykorzystaniem nowoczesnych technik pozycjonowania geograficznego umożliwiają wykonanie pomiarów rzędnych wysokościowych z dokładnością do 5 centymetrów. Metody tradycyjnie stosowane – geodezyjne – mogą być nieprecyzyjne i być obciążone błędem pomiarowym. Wynika to ze sposobu wykonywania pomiarów. W trakcie wykonywania prac możemy natrafić na problemy związane z odniesieniem się do prawidłowego punktu na składowisku. Punkty osnowy geodezyjnej znajdujące się na składowisku mogą zostać zniszczone bądź zlikwidowane i niemożliwym stanie się przeprowadzenie interpretacji zjawiska osiadania.

Wykonanie w przeszłości dodatkowego zabezpieczenia np. przed przemieszczaniem czy zminimalizowaniem uciążliwości odorowej składowiska, w postaci dostarczenia na powierzchnię kwatery składowiska materiału glebowego, może spowodować zmianę wartości osiadań i wartości wysokości poszczególnych punktów pomiaru.

W odniesieniu do badania stateczności zboczy, wykonane pomiary i obliczenia dla analizowanego profilu wskazują na stabilność skarpy, współczynnik bezpieczeństwa wynosi **1,22**. Zastosowany model obliczeń charakteryzuje się dużym zapasem bezpieczeństwa co znajduje potwierdzenie w braku ruchów masowych skarpy.

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 wskazań, 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.