

*Mariusz Cholewa\*, Beata Mankiewicz\**

## STATECZNOŚĆ ZBOCZY DRUGIEJ KWATERY SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH W CHEŁMKU

---

### 1. Wprowadzenie

Deponowanie na składowiskach to nadal najpopularniejsza forma gospodarowania odpadami w Polsce. Mimo stosowania zabezpieczeń składowisk – takich jak uszczelnienie dna i korony składowiska, drenaż wód odciekowych, systemy odgazowania – budowle te są potencjalnym źródłem zanieczyszczeń gleb, wód i powietrza [11]. Po zakończeniu eksploatacji składowiska zdewastowane i zdegradowane tereny wymagają rekultywacji [1, 14], czyli przywrócenia im wartości użytkowych i przyrodniczych oraz walorów estetycznych. Zgodnie z obowiązującymi przepisami po zakończeniu eksploatacji kwatery porządkuje się powierzchnię jej korony oraz skarp i wykonuje odpowiednią okrywą rekultywacyjną, uzależnioną od właściwości odpadów [7, 8]. Następnie należy między innymi ocenić stateczność zboczy tak zamkniętej kwatery, posługując się metodami geotechnicznymi [9, 10].

Celem opisanych w niniejszej pracy badań jest określenie stateczności zboczy zrehabilitowanej kwatery II składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Chełmku. To dzikie niegdyś składowisko uprawomocniło swoją działalność w latach 70. ubiegłego wieku i przyjmowało odpady z terenu gminy Chełmek do 2009 roku. Obecnie jest obiektem zamkniętym, na którym prowadzona jest rekultywacja techniczna i biologiczna. W artykule przeanalizowano wartość kohezji odpadów komunalnych w kontekście jej wpływu na uzyskiwane wartości współczynnika bezpieczeństwa określonego metodą Felleniusa. Przygotowując dane do obliczeń, wykorzystano istniejącą dokumentację dotyczącą składowiska, a w celu pełnego rozpoznania analizowanej kwatery wykonano badania terenowe na obiekcie. Z pobranych w terenie próbek wykonano w laboratorium oznaczenia podstawowych parametrów geotechnicznych gruntów podłoża składowiska oraz warstwy rekultywacyjnej.

---

\* Uniwersytet Rolniczy, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Kraków

## 2. Opis składowiska odpadów komunalnych w Chełmku

### 2.1. Budowa geologiczna podłoża

Rekultywowane składowisko usytuowane jest w północnej części Chełmka, w odległości około 3,5 km od centrum, przy drodze wojewódzkiej relacji Chełmek–Jaworzno.

Analizowany teren leży w dolinie rzeki Przemszy, którą budują utwory czwartorzędowe. Zalegają one bezpośrednio na utworach triasu. Do głębokości 5 m zalegają piaski średnie, wśród których występują soczewki gruntów organicznych. Utwory triasowe to przede wszystkim ility pylaste, twaroplastyczne i półzwarte. Mają one miąższość około 70 m [13]. Zwierciadło wody gruntowej w okresie letnim stabilizuje się na poziomie 1,8 m poniżej powierzchni terenu, w okresie wiosennym teren ten jest często podtapiany.

### 2.2. Charakterystyka składowanych odpadów

Na składowisku gromadzone były odpady komunalne wywożone z terenu gminy Chełmek. Były to odpady o charakterze gospodarczo-bytowym, pochodzące z obszarów zabudowy mieszkaniowej, oraz odpady wielkogabarytowe.

Na podstawie badań prowadzonych na obszarach o podobnym charakterze [12] przyjęto średnie wskaźniki nagromadzenia odpadów i parametry geotechniczne:

- dla miasta Chełmek:  $1,20 \text{ m}^3/\text{mieszkańca}/\text{rok}$ , średni ciężar nasypowy  $180 \text{ kg}/\text{m}^3$ ;
- dla terenów wiejskich:  $0,84 \text{ m}^3/\text{mieszkańca}/\text{rok}$ , średni ciężar nasypowy  $235 \text{ kg}/\text{m}^3$ ;
- wartość parametrów mechanicznych:  $c = 6\text{--}12,5 \text{ kPa}$ ,  $\phi = 21,5^\circ$ , gęstość  $1,10 \text{ Mg}/\text{m}^3$ .

### 2.3. Aktualny stan obiektu

Obiekt jest składowiskiem nadpoziomowym. Jego wierzchowina wznosi się około 4–5 m ponad otaczający teren i składa się z pięciu kwater (rys. 1), które nie są już eksploatowane – są zamknięte i podlegają rekultywacji.

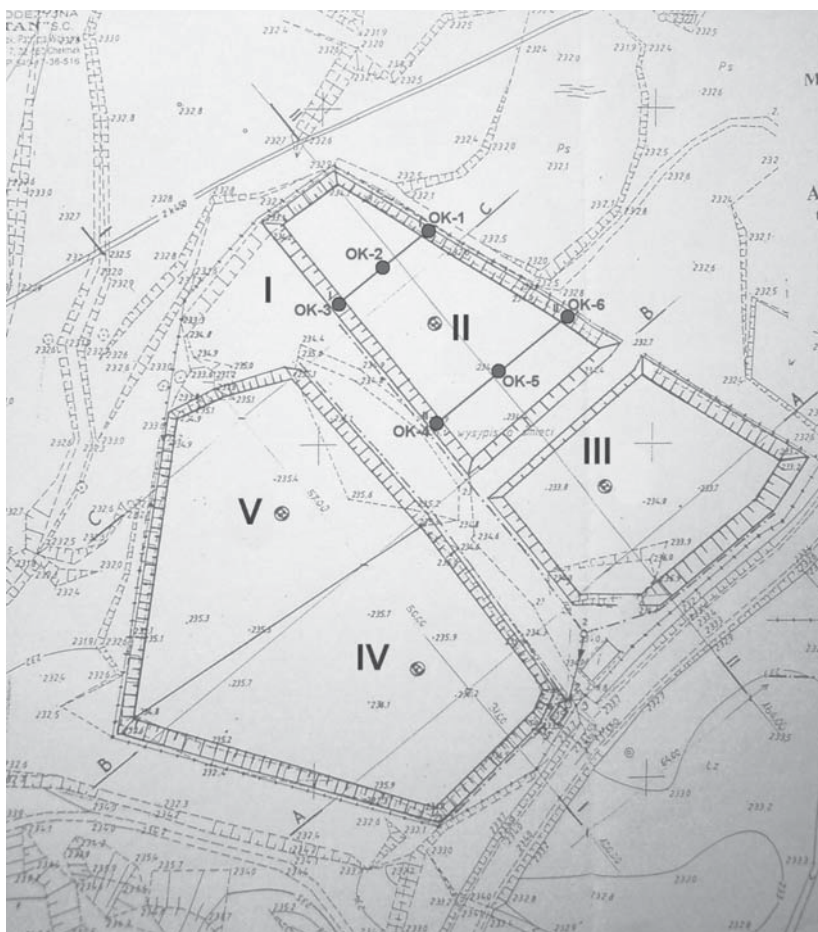
Eksploatacja kwater prowadzona była następująco: zebrane odpady dowożone były samochodami, wysypywane i rozprowadzane za pomocą spycharki i formowane w warstwy o grubości 0,5–1,0 m. Warstwy były zagęszczane przez kilkukrotny przejazd spychacza, uformowane warstwy przesypany gruntem w celu zmniejszenia uciążliwości zapachowych i ograniczenia roznoszenia przez wiatr lżejszych odpadów.

W artykule skupiono się na kwaterze II, gdyż jej eksploatacja zakończyła się stosunkowo niedawno – 31 grudnia 2009 roku. Rekultywację techniczną rozpoczęto w połowie roku 2010. Aktualnie trwają jeszcze prace związane z rekultywacją biologiczną.

### 2.4. Rekultywacja techniczna – założenia projektowe

Projekt rekultywacji technicznej przewiduje ukształtowanie wierzchowiny kwater ze spadkiem 1% na zewnątrz. Ma to na celu ułatwienie spływu wód opadowych. Skarpy będą miały nachylenie 1:1. Zakłada się, że w wyniku zabiegów rekultywacyjnych wierzchowina składowiska ukształtowana będzie na poziomie około 4,0–5,0 m powyżej rzędnej ota-

czającego terenu. Do uszczelnienia wierzchowiny i skarp składowiska nie można było zastosować folii HDPE, gdyż docelowym kierunkiem rekultywacji było zadrzewienie. W związku z tym przyjęto uszczelnienie mineralne wykonane z gruntu. Wierzchowina i skarpy pokryte będą warstwą gliny o grubości 0,35 m, a na tę warstwę zostanie nałożona warstwa ziemi urodzajnej (humus) o grubości 0,15 m. Łączna planowana grubość warstwy okrywowej to 0,5 m.



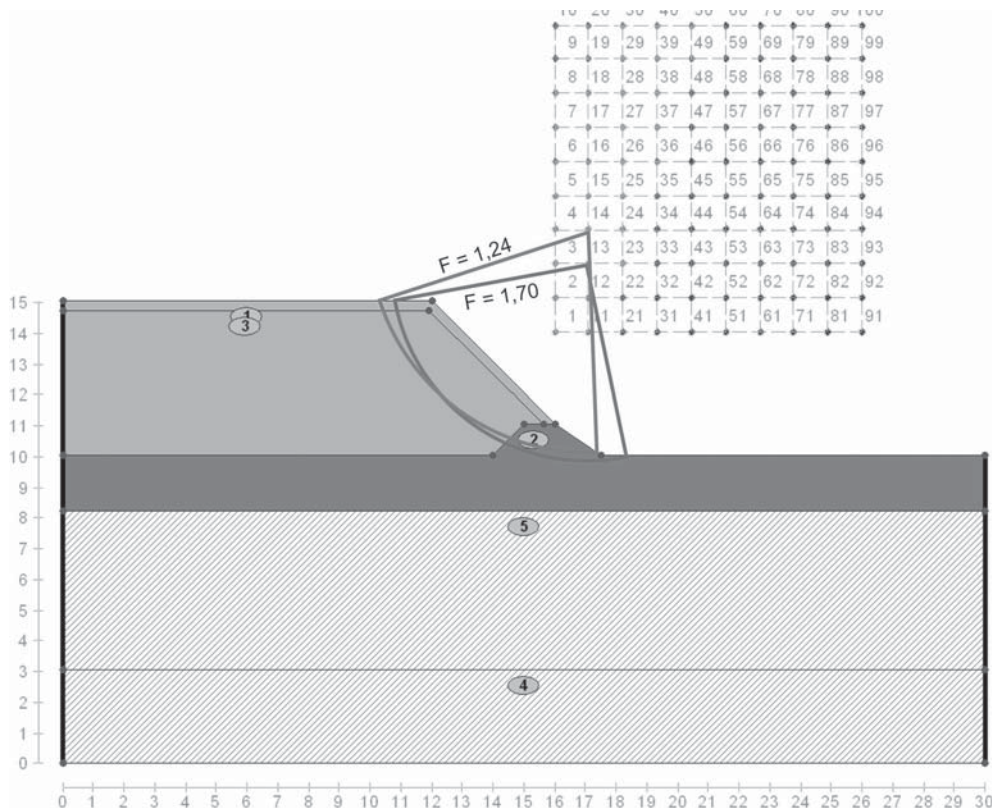
**Rys. 1.** Lokalizacja kwater oraz przekrojów badawczych na składowisku odpadów komunalnych w Chełmku

W kwadrze II wytyczono dwa przekroje badawcze (rys. 1), z których pobrano próbki gruntu warstwy rekultywacyjnej i podłoża [6] do analizy laboratoryjnej [4, 5], określając podstawowe parametry geotechniczne. Parametry odpadów komunalnych przyjęto, opierając się na danych dostępnych w opracowaniach [2, 3, 12].

### 3. Obliczenia stateczności

W obliczeniach stateczności zastosowano metodę Felleniusa liczenia równowagi skarpy, gdzie powierzchnia poślizgu jest kołowo-cylindryczna. Starano się ustalić, czy zmiana wartości kohezji oraz warunków wodnych w podłożu wpłynie na wartości wskaźnika stateczności skarpy o stosunkowo mało bezpiecznym nachyleniu wynoszącym 1:1. W schemacie obliczeniowym uwzględniono istnienie grobli ograniczającej w podstawie.

#### 3.1. Wariant I – podstawowe warunki gruntowo-wodne w podłożu składowiska



Rys. 2. Schemat obliczeniowy stateczności nr I – podstawowe warunki gruntowo-wodne w podłożu składowiska

Przy uwzględnieniu przeciętnych warunków gruntowo-wodnych w podłożu składowiska (rys. 2, tab. 1.):

- gdy wartość kohezji odpadów jest równa 6,0 kPa, obliczony wskaźnik stateczności (1,24) jest mniejszy od założonej wartości dopuszczalnej wynoszącej 1,3;
- gdy przyjmujemy wartość kohezji odpadów równą 12,5 kPa, obliczony najbardziej niekorzystny wskaźnik stateczności wyniesie 1,70.

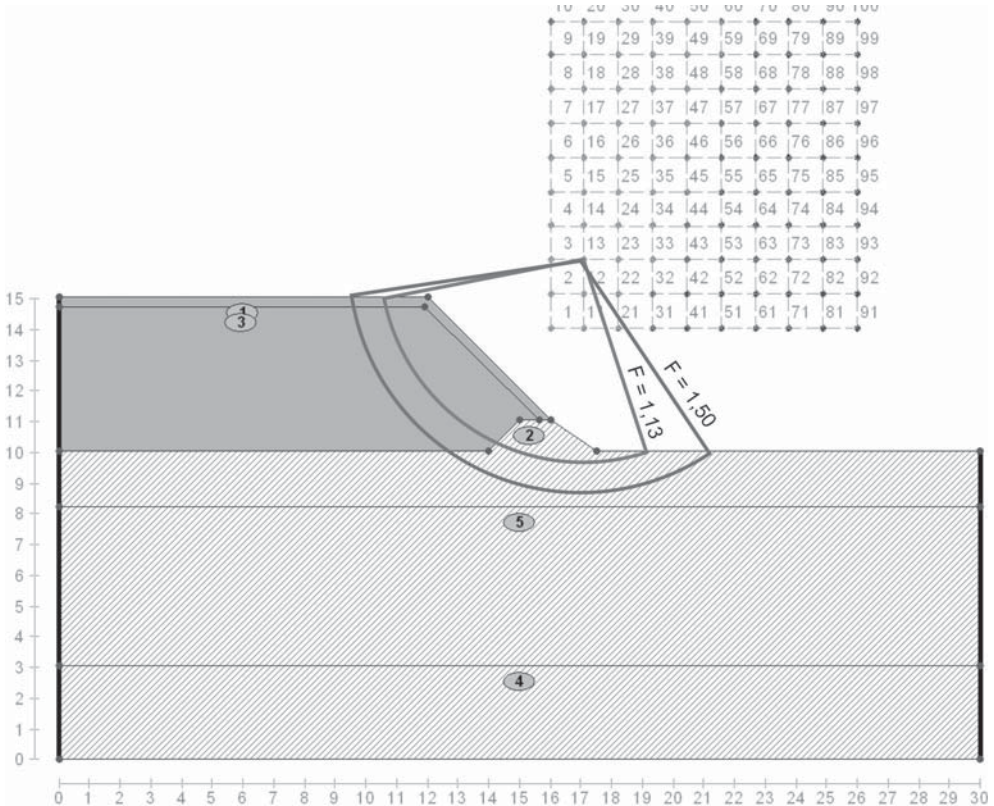
TABELA 1

Charakterystyka warstw gruntowych w I schemacie obliczeniowym

Nr warstwy	Rodzaj gruntu	$I_L / I_d$	$\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [kPa]	$\phi$ [°]	Zawodnienie warstwy
1	SiCl	0,20	1,95	16,00	14,70	nie
2	FSa	0,20	1,70	0	29,00	nie
3	odpady komunalne	0,50	1,10	6,00/12,5	21,50	nie
4	Cl	0,25	1,95	15,00	14,00	tak
5	FSa	0,20	1,70	0	29,00	tak

Obie powierzchnie poślizgu nie wchodzą w podłoże składowiska, natomiast obejmują groblę ograniczającą.

**3.2. Wariant II – przypadek wysokiego zwierciadła wód gruntowych w podłożu składowiska (rys. 3)**



Rys. 3. Schemat obliczeniowy stateczności nr II – przypadek wysokiego zwierciadła wód gruntowych w podłożu składowiska

TABELA 2

**Charakterystyka warstw gruntowych w II schemacie obliczeniowym**

Nr warstwy	Rodzaj gruntu	$I_L / I_d$	$\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [kPa]	$\varphi$ [°]	Zawodnienie warstwy
1	SiCl	0,20	1,95	16,00	14,70	nie
2	FSa	0,20	1,70	0	29,00	tak
3	odpady komunalne	0,50	1,10	6,00/12,5	21,50	nie
4	Cl	0,25	1,95	15,00	14,00	tak
5	FSa	0,20	1,70	0	29,00	tak

W przypadku wysokiego zwierciadła wód gruntowych przyjęto dane uwzględniające mniej korzystne warunki gruntowo-wodne, co wpłynęło na uzyskane wartości współczynnika  $F$ :

- dla wartości kohezji odpadów równej 6,0 kPa wartość wskaźnika stateczności wyniosła 1,13;
- gdy przyjmimy wartość kohezji odpadów 12,5 kPa, skarpa okaże się samostateczna, a obliczony najbardziej niekorzystny wskaźnik stateczności wyniesie 1,50.

Krzywe poślizgu obejmują znaczne fragmenty podłoża (rys. 3) sięgające głębokości 1,5 m.

## 4. Podsumowanie i wnioski

Rekultywacja kwatery II składowiska odpadów komunalnych w Chełmku jest prowadzona od roku i wymaga jeszcze ukształtowania wierzchowiny ze spadkiem 1% na zewnątrz, co ułatwi odpływ wody opadowej i ograniczy erozję wodną. Zagęszczanie typowych odpadów komunalnych odbywało się przy użyciu spychacza gąsienicowego, co uniemożliwia uzyskanie wysokich wskaźników kompaktacji, a w efekcie wyklucza możliwość przyjęcia wysokich parametrów  $i$   $c$ .

Założone parametry geotechniczne odpadów zostały przyjęte na podstawie danych dostępnych w literaturze, jednak parametry te charakteryzują się bardzo dużą indywidualnością dla każdego składowiska, dlatego bezpiecznie jest przyjmować w obliczeniach znacznie niższe wartości  $\varphi$  i  $c$ , jeśli współczynniki materiałowe wynoszą 1.

Wykonane obliczenia odnoszące się do opisywanego składowiska wskazują na możliwość utraty stateczności w przypadku zaistnienia pewnych określonych wartości parametrów geotechnicznych oraz warunków gruntowo-wodnych.

### LITERATURA

- [1] *d'Obyrn K., Szalińska E.*: Odpady komunalne. Zbiórka, recykling, unieszkodliwianie odpadów komunalnych i komunalnopodobnych. Kraków, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2005
- [2] *Handy R. L., Spangler M.G.*: Geotechnical Engineering. Soil and Foundation Principles and Practice. New York, McGraw-Hill Professional Publishing 2006

- [3] *Oh W.T., Vanapalli S.K.*: Influence of Rain Infiltration on the Stability of Compacted Soil Slopes. Computers and Geotechnics, Volume 37, Issue 5, 2010, s. 649–657
- [4] PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów – Część 1: Oznaczanie i opis
- [5] PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów – Część 2: Zasady klasyfikowania
- [6] PN-EN ISO 22475-1:2006 Rozpoznanie i badania geotechniczne – Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych – Część 1: Techniczne zasady wykonania
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz. U. 2003 nr 61 poz. 549)
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 lutego 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz. U. 2009 nr 39 poz. 320)
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 grudnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz.U. 2010 nr 238 poz. 1588)
- [10] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz. U. 2002 nr 220 poz. 1858)
- [11] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz. U. 2001 nr 62 poz. 628 z późn. zm.)
- [12] *Wysokiński L.*: Zasady budowy składowisk odpadów. Warszawa, Instytut Techniki Budowlanej 2009
- [13] *Z.W.O.Ś. „WASTE”*. Projekt techniczny rekultywacji składowiska odpadów komunalnych w miejscowości Chełmek, 2003 (maszynopis)
- [14] *Zadroga B., Olańczuk-Neyman K.*: Ochrona i rekultywacja podłoża gruntowego. Aspekty geotechniczno-budowlane. Gdańsk, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej 2001