

SKŁADOWISKO W BRZOSZOWIE – ANALIZA STATECZNOŚCI SKARPY PRZY ZMIENNYCH WARTOŚCIACH SPÓJNOŚCI ODPADÓW KOMUNALNYCH

DUMPING SITE IN BRZOSZÓW – STABILITY ANALYSIS OF THE SLOPE AT CHANGEABLE VALUES OF COHESION OF MUNICIPAL WASTES

Mariusz Cholewa, Tymoteusz Zydrón

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Artykuł przedstawia wyniki badań i obliczeń mających na celu określenie wpływu zmiany wartości spójności odpadów komunalnych na obliczone metodą Felleniusa wartości współczynnika bezpieczeństwa. Opisane prace dotyczyły rekultywowanego składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Brzozowie. Analizę oparto na własnych badaniach i obliczeniach oraz istniejącej dokumentacji dotyczącej składowiska. Obliczeniowa część pracy objęła sprawdzenie stateczności skarp w dwóch wybranych przekrojach. Założono również możliwość wystąpienia zewnętrznego obciążenia naziomu skarpy pochodzącego od maszyny zagęszczającej. W zależności od przyjętego przekroju i schematu obliczeniowego wykazano, że nawet gdy wartość spójności wynosi 22 kPa, obliczony współczynnik bezpieczeństwa wskazuje na ryzyko utraty stateczności.

Abstract. The paper presents the results of tests and calculations aiming at the determination of the influence of changes of the values of municipal wastes cohesion on the values of safety factor calculated with the use of Fellenius method. The described works were performed for the reclaimed dumping site for wastes other than dangerous and neutral in Brzozów. The analysis was based on the own research, calculations and the existing documentation concerning the dumping site. The computational part of the work included checking the slopes stability in two chosen cross-sections. The possibility of an external load on a surcharge coming from a compaction machine was also assumed. Depending of the assumed cross-section and the calculation scheme, it was stated, that even for the cohesion equal 22 kPa the calculated safety factor indicates the risk of stability loss.

Słowa kluczowe: składowiska odpadów, stateczność zboczy, spójność, współczynnik bezpieczeństwa

Key words: dumping sites, slope stability, cohesion, safety factor

WSTĘP

Projektowanie, budowa i utrzymanie obiektów inżynierskich, jakimi są składowiska odpadów komunalnych, wymagają spełnienia warunków określonych w odpowiednich aktach prawnych – Ustawie o odpadach [Ustawa... 2001] oraz szczegółowych Rozporządzeniach Ministra Środowiska [Rozporządzenie... 2002, 2003]. Zalecenia dotyczące tego zagadnienia dostępne są również w fachowej literaturze [np. Sikora i Dembicki 1995, Wysokiński 2009]. W Polsce większość eksploatowanych składowisk spełnia obowiązujące standardy względnie próbuje jak najszybciej uzupełnić lub poprawić nieprawidłowo wykonane elementy (szczelna izolacja, system odgazowania, ukształtowanie bryły).

Odpady deponowane na składowiskach to materiały bardzo zróżnicowane i niejednorodne [d’Obyrn i Szalińska 2005]. Oszacowanie parametrów geotechnicznych jest tu trudne, z czego wynika problem wiarygodnej oceny stateczności. Skarpy i zbocza można zaliczyć do najtrudniejszych do zbadania elementów budowli ziemnych i składowisk [Handy i Spangler 2006]. Zaleca się, aby nachylenie skarp mieściło się w granicach od 1 : 3,0 do 1 : 2,5, co zapewnia ogólną stateczność oraz ułatwia ułożenie warstw przykrycia powierzchni [Wysokiński 2009]. W przypadku starych składowisk nachylenia skarp zwykle nie były kontrolowane i często występują na nich osuwiska powodujące ekspansję odpadów.

CELE I ZAKRES ARTYKUŁU

Badania dotyczące właściwości geotechnicznych odpadów komunalnych są stosunkowo trudne do wykonania w skali laboratoryjnej. Wartości parametrów ustala się najczęściej na podstawie doświadczeń. Cechy geotechniczne zależą od rodzaju odpadów komunalnych oraz ich wieku. Przykładowo wartość spójności może się wahać od 0 do 30 kPa [Mąkinia 1999, Wysokiński 2009].

Celem badań opisanych w niniejszym artykule było określenie wpływu zmiany wartości spójności odpadów komunalnych na uzyskane wartości współczynnika bezpieczeństwa obliczone metoda Felleniusa. Analiza dotyczyła rekultywowanego składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Brzozowie. Oparto ją na własnych badaniach i obliczeniach oraz istniejącej dokumentacji dotyczącej składowiska. Prace terenowe objęły obmiar geodezyjny, wykonanie wierceń penetracyjnych, pobór prób o strukturze naruszonej do analiz laboratoryjnych oraz badania makroskopowe gruntu podłoża składowiska. Prace laboratoryjne objęły oznaczenie parametrów geotechnicznych gruntów podłoża i warstwy rekultywacyjnej. Obliczeniowa część pracy objęła sprawdzenie stateczności skarp w dwóch wybranych przekrojach. Ze względu na dużą rozpiętość parametrów mechanicznych odpadów komunalnych starano się określić, jak zmiany wartości spójności wpływają na wartość współczynnika bezpieczeństwa.

SKŁADOWISKO ODPADÓW KOMUNALNYCH W BRZozOWIE

Składowisko znajduje się na granicy miasta Brzozowa (woj. podkarpackie) w odległości 2,2 km (w kierunku południowo-zachodnim) od centrum miasta. Otoczone jest przez tereny rolne niezabudowane oraz tereny leśne [Projekt... 1992, Instrukcja... 2001]. Całkowita powierzchnia składowiska wynosi 1,5 ha, a powierzchnia użytkowa – 0,74 ha.

Teren, na którym zlokalizowano wysypisko, usytuowany jest w naturalnym zagłębieniu o głębokości 3–6 m. Pod względem geologicznym teren położony jest w Karpatach, w obrębie jednostki śląskiej, w rozległej synklinie Brzozowa wypełnionej trzeciorzędowymi, oligoceńskimi warstwami krośnieńskimi dolnymi. W podłożu składowiska stwierdzono występowanie glin i pyłów podścielonych ilami będącymi produktem wietrzenia *in situ* skał podłoża [Dokumentacja... 2004].

Charakterystyka składowanych odpadów

Składowisko przyjmowało odpady bytowo-gospodarcze z terenu miasta Brzozów oraz okolicznych wsi. Eksploatacja kwatery prowadzona była następująco: zebrane odpady dowożono samochodami, wysypywano i rozprowadzano za pomocą spycharki, formując warstwy o grubości 0,5–1,0 m. Warstwy zagęszczano poprzez kilkukrotny przejazd spycharki. Badania terenowe oraz laboratoryjne nie obejmowały cech geotechnicznych odpadów komunalnych, dlatego potrzebne w obliczeniach wartości parametrów mechanicznych ($\varphi = 25^\circ$ oraz $\rho = 1,10 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$) przyjęto w oparciu o wytyczne do projektowania [Wysokiński 2009].

Aktualny stan obiektu

Składowisko od roku 2008 jest w fazie rekultywacji, którą podzielono na dwa etapy. Etap I obejmował przykrycie odpadów wyrównawczą warstwą gruntu mineralnego o grubości 0,5 m. Etap II przeprowadzono w roku 2011, wykonując właściwą rekultywację techniczną i biologiczną.

OBLICZENIA STATECZNOŚCI

Obliczenia stateczności wykonano metodą Felleniusa (uwzględniającą pionowe i poziome oddziaływanie sąsiednich pasków), w której przy założeniu kołowo-cylindrycznej powierzchni poślizgu analizowany jest stosunek sił wynikający z podziału i właściwości przedstawionych na płaszczyźnie bloków gruntowych.

Stateczność skarp zbadano na przykładzie dwóch najbardziej charakterystycznych przekrojów poprzecznych, których lokalizację przedstawia rys. 1. Przekrój B–B jest z punktu widzenia stateczności najmniej korzystny w skali całego obiektu. Nachylenie wynosi 1 : 1,43, przy wysokości 8,8 m. Skarpa nie ma ławeczki. Przekrój D–D ma nachylenie charakterystyczne dla większości skarp niższej części składowiska. Wysokość części nadpoziomowej wynosi 6,7 m, przy stosunku wysokości do długości 1 : 2,31. Dla tych dwóch nachyleń wykonano obliczenia stateczności, sprawdzając, jak zmiany wartości spójności wpływają na wartość współczynnika bezpieczeństwa. Zakres przy-

mowanych wartości spójności mieścił się w przedziale 0–30 kPa. Obliczenia dla każdego z przekrojów przeprowadzono w następujących wariantach:

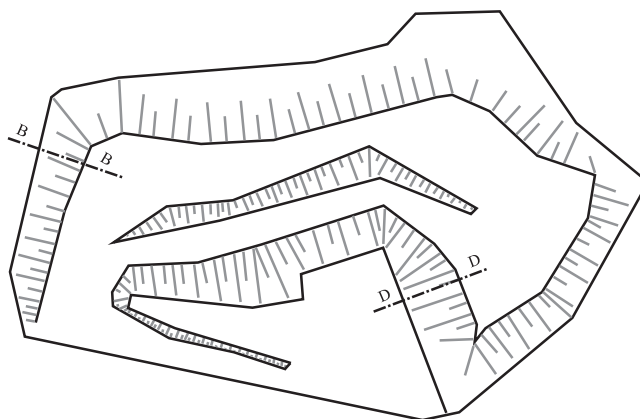
- gdy nie występują dodatkowe siły lub obciążenia zewnętrzne,
- gdy na wierzchołku składowiska zadano obciążenie powierzchniowe o wartości $200 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ (maszyna zagęszczająca).

Podstawowe parametry fizyczne gruntów podłoża oznaczono laboratoryjnie zgodnie z normami PN-EN ISO 14688-1:2006, PN-EN ISO 14688-2:2006 i PN-EN ISO 22475-1:2006 (tab. 1). Parametry mechaniczne gruntów podłoża i warstwy rekultywacyjnej przyjęto wg PN-03020, natomiast parametry odpadów komunalnych przyjęto za Wysokińskim [Wysokiński 2009].

Tabela 1. Charakterystyka geotechniczna gruntów podłoża

Table 1. Geotechnical characteristics of subsoil layers

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Wartość Value
Nazwa wg PN-B-02481:1998 Name according to PN-B-02481:1998	–	G_{π}
Nazwa wg PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 Name according to PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009	–	sasiC1
Wskaźnik różnoziarnistości Uniformity coefficient	–	7
Gęstość właściwa Specific density	$\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$	2,67
Wilgotność optymalna Optimum moisture content	%	16,2
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu Maximum dry density by Proctor's method	$\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$	1,82



Rys. 1. Część nadpoziomowa kwatery składowiska w Brzozowie, lokalizacja przekrojów obliczeniowych

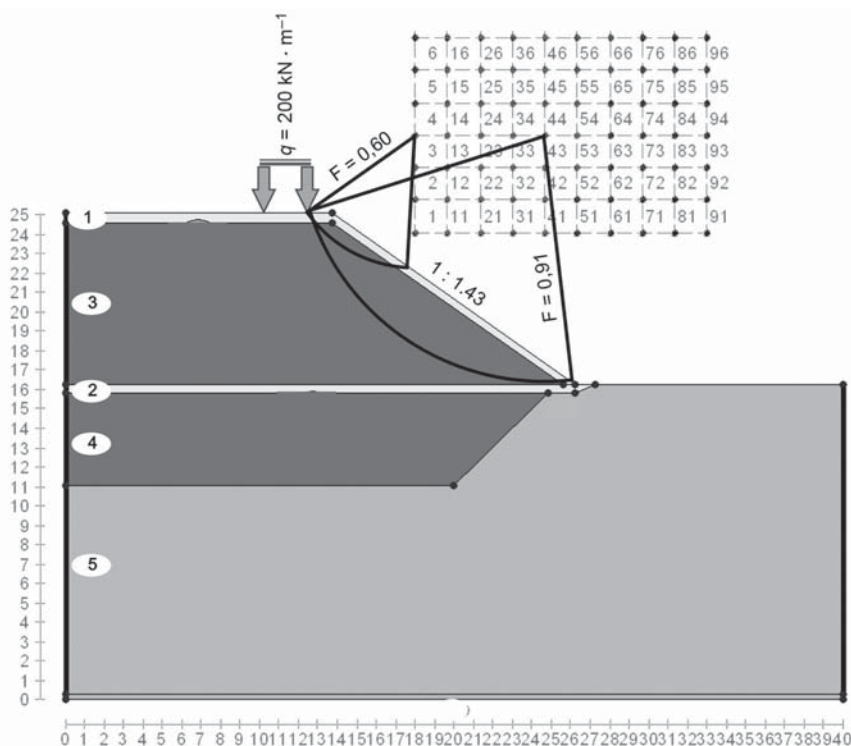
Fig. 1. Above ground level part of the Brzozów dumping site quarter, location of computational cross-sections

Przekrój obliczeniowy B–B

Schemat obliczeniowy (rys. 2) uwzględnia parametry geotechniczne (tab. 2) warstwy wyrównującej (1, 2), podłoża gruntowego (5) oraz przyjęte na podstawie literatury parametry odpadów komunalnych (3, 4). Dla najbardziej niekorzystnego dla całego obiektu nachylenia skarpy (1 : 1,43) – przy założeniu wartości spójności dla odpadów bliskiej zero – obliczony współczynnik bezpieczeństwa wynosi 0,91.

Tabela 2. Charakterystyka warstw gruntowych w przekrojach obliczeniowych
Table 2. Characteristics of soil layers in the computational cross-sections

Nr No	Nazwa Name	Wskaźnik zagęszczenia Compaction index	Gęstość objętościowa Bulk density, $Mg \cdot m^{-3}$	Spójność Cohesion, kPa	Kąt tarcia wewnętrznego Angle of internal friction, °	Woda Water
1, 2	saciSi	0,20	1,95	16,00	14,70	Nie – No
3, 4	odpady komunalne municipal wastes	0,50	1,10	1,00	25,00	Nie – No
5	sasiCl	0,30	2,00	13,00	13,00	Nie – No

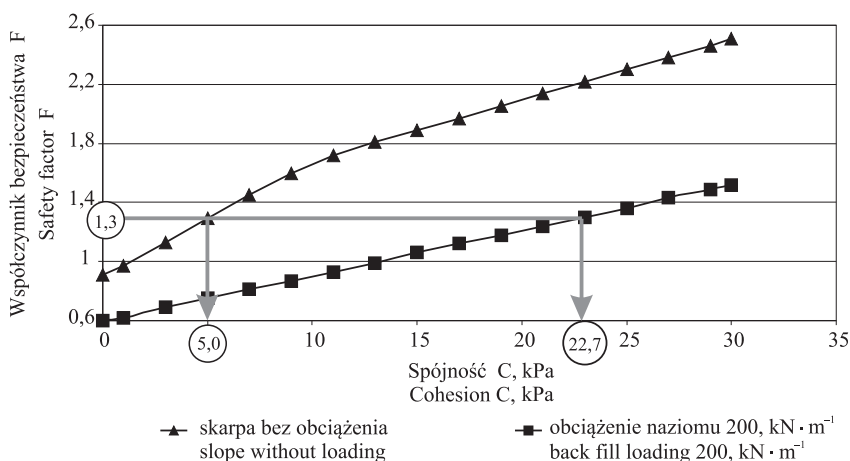


Rys. 2. Schemat obliczeniowy stateczności – przekrój B–B

Fig. 2. Stability calculation scheme – B–B cross-section

W rozpatrywanym przekroju – bez obciążenia naziomu – istnieje ryzyko utraty stateczności, gdy przyjmie się wartości spójności odpadów komunalnych w przedziale od około 0–5 kPa. Większe wartości spójności pozwalają uzyskiwać wartości współczynnika bezpieczeństwa ponad 1,3 (rys. 3). Wyliczona płaszczyna poślizgu obejmuje wyłącznie skarpe części nadpoziomowej składowiska, bez ingerencji w podłoże.

Przy założeniu pojawienia się na koronie nasypu maszyny do robót ziemnych, co przedstawiono w schemacie obliczeniowym jako obciążenie powierzchniowe o wartości $200 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$, dla przyjętej wartości spójności bliskiej zero, współczynnik bezpieczeństwa miał wartość 0,60. Spójność odpadów komunalnych w przedziale 0–22,7 kPa (rys. 3) nie umożliwia uzyskania w obliczeniach współczynnika bezpieczeństwa większego niż 1,3. W analizowanym przykładzie bryła zagrożona obsunięciem ma niewielką objętość i obejmuje górną część skarpy, do podstawy składowiska pozostaje około 5,0 m (rys. 2).



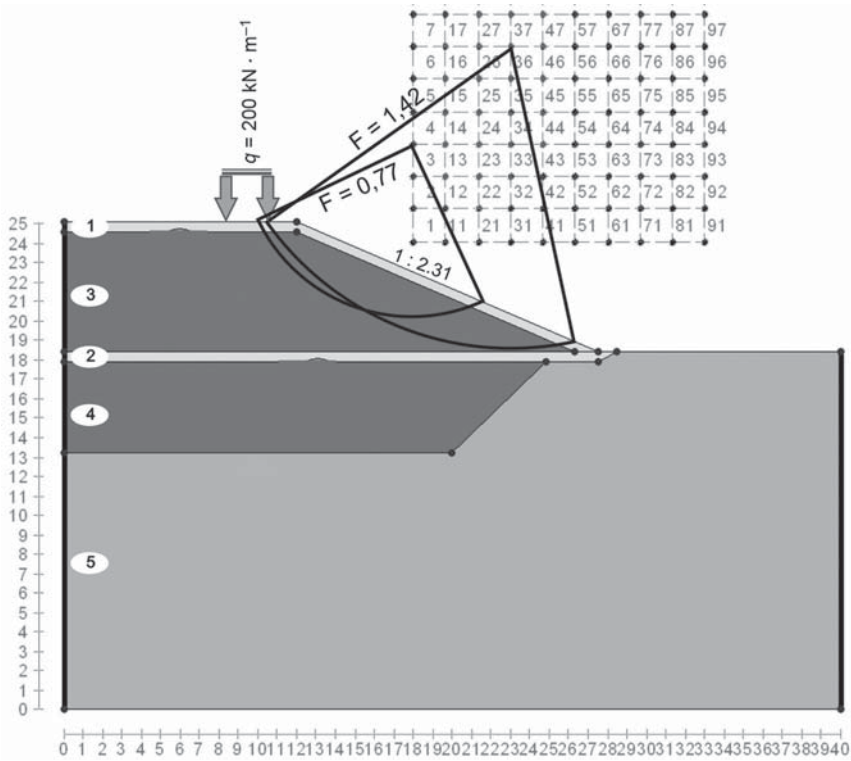
Rys. 3. Wykres zależności współczynnika bezpieczeństwa od spójności odpadów w przekroju B–B
Fig. 3. Relationship of the safety factor and the cohesion of the wastes in the cross-section B–B

Przekrój obliczeniowy D–D

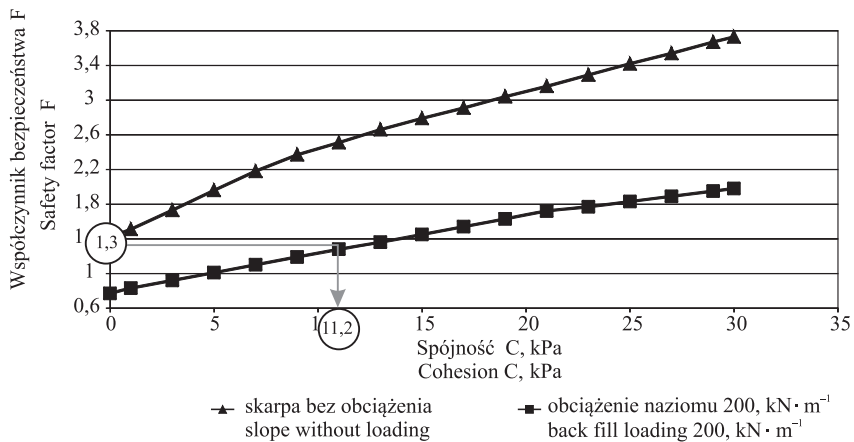
Schemat obliczeniowy uwzględnia warstwy i parametry geotechniczne podane w tabeli 2. Przekrój D–D (rys. 4) charakteryzuje się bardziej łagodnym nachyleniem (1 : 2,31) niż nachylenie w przekroju B–B.

W rozpatrywanym schemacie ryzyko utraty stateczności nie występuje nawet przy założeniu minimalnej wartości spójności dla odpadów komunalnych. Obliczony współczynnik bezpieczeństwa wynosi 1,42 i jest większy od wartości granicznej podawanej dla tego typu obiektów (1,30).

Przy uwzględnieniu w schemacie obliczeniowym obciążenia powierzchniowego wartość współczynnika bezpieczeństwa zmniejszyła się dwukrotnie (rys. 5). Przy założeniu wartości spójności bliskiej zero wyniosła ona 0,77. Krzywa poślizgu obejmuje górną część analizowanej skarpy, podłoże znajduje się 1,7 m poniżej. Aby w założonym schemacie współczynnik bezpieczeństwa wyniósł więcej niż 1,3, spójność powinna mieć wartości powyżej 11,2 (rys. 5).



Rys. 4. Schemat obliczeniowy stateczności – przekrój D–D
 Fig. 4. Stability calculation scheme – D–D cross-section



Rys. 5. Wykres zależności współczynnika bezpieczeństwa od spójności odpadów w przekroju D–D
 Fig. 5. Relationship of the safety factor and the cohesion of the wastes in the cross-section D–D

PODSUMOWANIE

Założone parametry geotechniczne odpadów zostały przyjęte na podstawie danych dostępnych w literaturze, jednak w rzeczywistości charakteryzują się one bardzo dużym zróżnicowaniem w zależności od rodzaju odpadów i wieku.

Analiza stateczności wybranych przekrojów składowiska w Brzozowie oparta jest na przyjętym zakresie zmian wartości spójności, przy założeniu niezmienności pozostałych parametrów geotechnicznych. Dla przekroju obliczeniowego B–B wyniki wskazały na zagrożenie utraty stateczności w przypadku przyjęcia dla odpadów komunalnych wartości spójności poniżej 5 kPa lub 22,7 kPa, gdy naziom zostanie obciążony. Powierzchniowe obciążenie skarpy przyczynia się do zmniejszenia współczynnika stateczności o 40%.

Dla przekroju D–D, który ma nachylenia znacznie bezpieczniejsze w kontekście zachowania stateczności, minimalne wartości współczynnika bezpieczeństwa uzyskane w obliczeniach wynosiły więcej niż 1,4. Można przyjąć, że dla najbardziej typowych nachyleń skarp składowiska w Brzozowie ryzyko utraty stateczności skarp jest znikome. Dotyczy to nawet minimalnych wartości spójności dla odpadów komunalnych budujących rozpatrywane skarpy. Powierzchniowe obciążenie skarpy w przekroju D–D pochodzące od maszyny zagęszczającej lub wykonującej warstwę rekultywacyjną powoduje, że uzyskiwane współczynniki bezpieczeństwa są o ok. 50% mniejsze.

W przypadku występowania obciążeń powierzchniowych pochodzących od sprzętu zagęszczającego oprócz ciężaru maszyny należy brać pod uwagę wibracje zespołu napędowego. Odpady komunalne nie są zapewne gruntem, któremu grozi upłynnienie, z pewnością jednak pewna redukcja parametrów wytrzymałościowych nastąpi.

Ogólnie można stwierdzić, że składowisko odpadów w Brzozowie jest obiektem, w którym ryzyko utraty stateczności może wystąpić na najbardziej stromych skarpach nasypu przy niekorzystnie małej wartości spójności.

PIŚMIENNICTWO

- d'Obryn K., Szalińska E., 2005. Odpady komunalne. Zbiórka, recykling, unieszkodliwianie odpadów komunalnych i komunalnopodobnych. Wyd. Politechniki Krakowskiej Kraków.
- Dokumentacja hydrogeologiczna z wykonania piezometrów do monitorowania jakości wody podziemnej w rejonie składowiska odpadów stałych w Brzozowie, 2004. GOLIN – Usługi Geologiczne, Doradztwo Inwestycyjne Krosno.
- Handy R., Spangler M., 2006. Geotechnical Engineering. Soil and Foundation Principles and Practice. McGraw-Hill Professional New York.
- Instrukcja eksploatacji. Wysypisko odpadów komunalnych w Brzozowie, 2001. EKOPROJEKT – Zakład projektowo-usługowy Brzozów.
- Mąkinia B., 1999. Osiadanie i stateczność masywu odpadów komunalnych w składowisku. Rozprawa doktorska. Politechnika Gdańska Gdańsk.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 Badania geotechniczne – Badania laboratoryjne gruntów — Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego.
- PN-81/B-03020: Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-B-02481:1998 Geotechnika – Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.

- PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów – Część 1: Oznaczanie i opis.
- PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów – Część 2: Zasady klasyfikowania.
- 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.
- Projekt techniczno-technologiczny wysypiska odpadów stałych dla miasta Brzozów, 1992. SIGMA – Biuro Realizacji Zleceń Technicznych Jasło.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów. Dz.U. z 2002 r. Nr 220, poz. 1858 ze zm.
- 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. z 2003 r. Nr 61, poz. 549 ze zm.
- Sikora Z., Dembicki E., 1995. Uszczelnienie składowisk odpadów. Inż. Mor. Geotech. 3, 124–127.
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach. Tekst jednolity. Dz.U. z 2001 r. Nr 62, poz. 628 ze zm.
- Wysokiński L., 2009. Zasady budowy składowisk odpadów. ITB Warszawa.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 11.04.2013