

Marek Cała, Justyna Adamczyk*, Michał Kowalski**

PRZESTRZENNA ANALIZA STATECZNOŚCI SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH ZONIÓWKA II

1. Wprowadzenie

Składowisko odpadów komunalnych „Zoniówka II” w Zakopanem jest obiektem geotechnicznym typu stokowego. W budowlach tego rodzaju często pojawiają się problemy związane z ich statecznością. W tym przypadku, głównym elementem konstrukcyjnym stabilizującym składowisko miał być wał oporowy, który zabezpieczałby skarpe z odpadami przed osunięciem się do pobliskiego potoku „Zoniówka”. Kolejne zabezpieczenie to odpowiedni profil ostatecznej skarpy z odpadami.

W drugiej połowie lipca 2004 roku, w wyniku długotrwałych i intensywnych opadów atmosferycznych, nastąpiło nawodnienie gliniastego gruntu, z którego zbudowane było obwałowanie składowiska. Doprowadziło to do uszkodzenia wału oporowego i w konsekwencji do zsunięcia się jego zewnętrznej skarpy [7–9, 11]. W momencie wystąpienia osuwiska, spód obwałowania znajdował się około 3,5 m, natomiast korona wału około 12 m powyżej dna potoku. Spadek skarpy zewnętrznej w tym miejscu wynosił 67,7% i był zgodny z projektowanym nachyleniem (1:1,5).

Przeprowadzone dotychczas analizy stateczności wykonywane były w oparciu o dwuwymiarowe metody równowagi granicznej, tutaj zaś przedstawiono wyniki trójwymiarowej analizy stateczności składowiska odpadów z wykorzystaniem programu Metod Różnic Skończonych FLAC3D 4.0.

2. Warunki geologiczno–inżynierskie analizowanego obszaru

Analizowany obszar położony jest w obrębie fliszu karpackiego, zbudowanego z naprzemiennie zalegających warstw skał osadowych pochodzenia morskiego, składających się

* Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

z ławic i na przemian ułożonych zlepieńców, piaskowców, mułowców i margli. Uwarstwienie fliszu odznacza się kumulacją grubego materiału skalnego w dolnej części warstwy oraz etapowym przechodzeniem w materiał drobnouziarniony, aż do osadów ilastych w górnej części warstwy [8, 10. 12].

Trzeciorzędowe warstwy skalne występujące na badanym terenie, charakteryzują się spękaniem i są zaburzone tektonicznie. Kompleksy szarych łupków poprzedzielane są cienkimi warstwami piaskowca o miąższości 1–15 cm. Warstwy osadowe charakteryzuje rozciągłość zbliżona do równoleżnikowej o upadach pod kątami 15–30° w kierunkach N, NE i NW. Strop łupków ustalono na głębokości 1,1–3,6 m.

Bezpośrednio nad utworami fliszu podhalańskiego występują wietrzliny o charakterze in situ, których miąższość waha się w granicach 0,3–1,6 m. Odłamki skalne tego typu zachowują orientację zgodną z biegiem i upadem warstw.

Utwory czwartorzędowe, zalegające powyżej warstw fliszowych, występują głównie w postaci glin, glin zwięzłych, ilów oraz rumoszków i wietrzelin gliniastych. Ich miąższość uzależniona jest od skalnego wykształcenia warstw fliszowych.

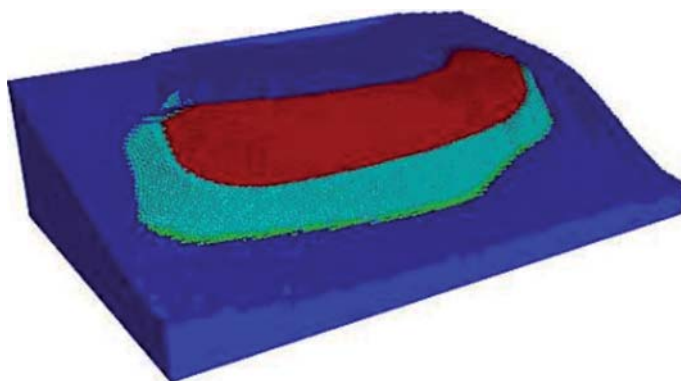
Na analizowanym terenie wody podziemne występują w postaci czwartorzędowych wód gruntowych w rejonie pokryw deluwialno–zwietrzelinowych oraz w postaci trzeciorzędowych wód szczelinowo–porowych w obrębie utworów fliszowych.

Głównym ciekim powierzchniowym w rejonie składowiska jest potok „Zoniówka” (Orawców Potok). Jego koryto ograniczone wysokimi i stromymi zboczami jest głęboko wcięte we fliszowe łupki oraz posiada liczne zakręty i zakola, co związane jest z obecnością słabo rozwiniętych teras akumulacyjnych. Potok jest uregulowany poprzez żelbetową zabudowę koryt.

Materiał gruntowy występujący w badanym podłożu zaliczono do czterech warstw geotechnicznych. Warstwa I to plastyczne gliny, gliny zwięzłe i gliny z domieszką rumoszu łupka ilastego. Twardoplastyczne gliny, gliny pylaste zwięzłe i łyły z domieszką rumoszu piaskowca i łupka ilastego tworzą Warstwę II. Warstwa III to kamieniste wietrzliny, rumosze złożone ze zwietrzałego rumoszu łupka ilastego i piaskowca, gliny pylaste zwięzłe, łyły i łyły pylaste. Łupki przewarstwione piaskowcami budują warstwę IV. Partia stropowa jest mocno zwietrzała i spękana. Warstwie rekultywacyjnej przyporządkowano parametry charakterystyczne dla gruntów najczęściej wykorzystywanych do rekultywacji. Właściwości fizykomechaniczne poszczególnych warstw przyjęte do obliczeń zamieszczono w tabeli 1.

3. Zastosowanie metody redukcji wytrzymałości na ścinanie do analizy stateczności skarp składowiska

Dla składowiska wykonano 4 modele numeryczne, dwa dla pierwszej i dwa dla drugiej kwatery. Modele zbudowane zostały na bazie mapy sytuacyjno–wysokościowej analizowanego obszaru oraz pięciu przekrojów geotechnicznych, naniesionych na ww. mapę (3 przekroje dla kwatery I oraz 2 przekroje dla kwatery II). Na rysunku 1 przedstawiono przestrzenny model kwatery I składowiska, wygenerowany w programie FLAC 3D v.4.0. Obliczenia przeprowadzono traktując ośrodek jako sprężysto–plastyczny z warunkiem Coulomba–Mohra.



Rys. 1. Model numeryczny kwatery I składowiska Zoniówka II przed wystąpieniem osuwiska

Analiza stateczności przeprowadzona dla składowiska odpadów komunalnych „Zoniówka II” w Zakopanem dotyczyła następujących sytuacji:

- sytuacja I — przed powstaniem osuwiska (kwatery I),
- sytuacja IA — obliczenia dla wału oporowego znajdującego się w stanie miękkoplastycznym,
- sytuacja IB — obliczenia dla wału oporowego znajdującego się w stanie plastycznym,
- sytuacja IC — obliczenia dla wału oporowego znajdującego się w stanie twardoplastycznym,
- sytuacja II — po zamknięciu i rekultywacji kwatery I — obliczenia dla wału oporowego znajdującego się w stanie twardoplastycznym,
- sytuacja III — obliczenia dla wału oporowego kwatery II, przed rozpoczęciem eksploatacji tej części składowiska,
- sytuacja IV — dla wypełnionej kwatery II.

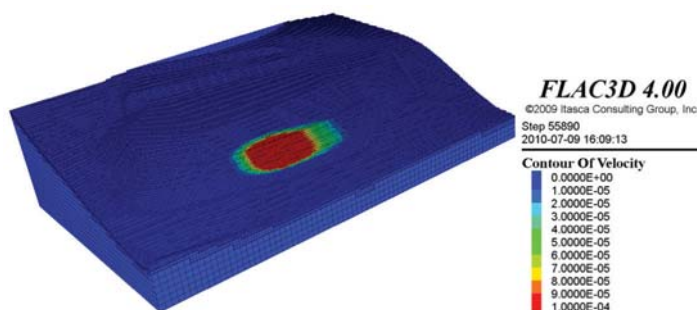
TABELA 1

Parametry fizykomechaniczne warstw geotechnicznych przyjęte do obliczeń

Warstwy geotechniczne	Wartości parametrów	
Warstwa I + II	$\rho = 2190 \text{ kg/m}^3, \varphi = 10,8^\circ, c = 31,5 \text{ kPa}$	
Warstwa III	$\rho = 2270 \text{ kg/m}^3, \varphi = 10,8^\circ, c = 46,8 \text{ kPa}$	
Warstwa IV	$\rho = 2420 \text{ kg/m}^3, \varphi = 36,0^\circ, c = 63,0 \text{ kPa}$	
Wał oporowy	$\rho = 2150 \text{ kg/m}^3, \varphi = 7,2^\circ, c = 14,4 \text{ kPa}$	Sytuacja IA
	$\rho = 2260 \text{ kg/m}^3, \varphi = 13,5^\circ, c = 23,4 \text{ kPa}$	Sytuacja IB
	$\rho = 2370 \text{ kg/m}^3, \varphi = 18,0^\circ, c = 31,50 \text{ kPa}$	Sytuacja IC, Sytuacja II
	$\rho = 2090 \text{ kg/m}^3, \varphi = 11,7^\circ, c = 18,0 \text{ kPa}$	Sytuacja III, Sytuacja IV
Odpady	$\rho = 209 \text{ kg/m}^3, \varphi = 11,7^\circ, c = 18,0 \text{ kPa}$	

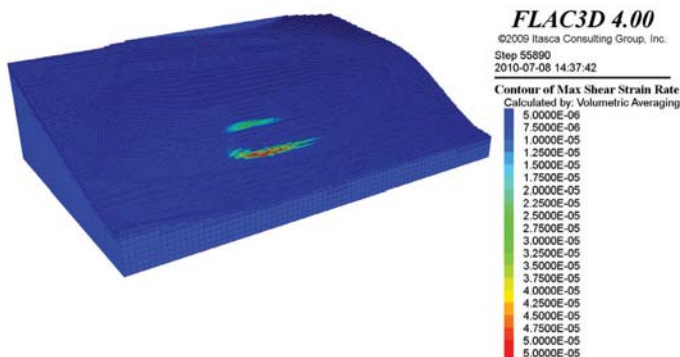
3.1. Analiza stateczności składowiska — kwatery I — sytuacja IA

W oparciu o rzeczywisty obszar osuwiska, wyznaczono zakres przemieszczeń oraz wartość ich prędkości, dla których obwiednia uszkodzenia w modelu numerycznym była zgodna z faktycznym zasięgiem osuwiska. Rysunek 2 przedstawia prędkości przemieszczeń dla wartości wskaźnika stateczności $FS = 0,99$. Najlepsza zgodność lokalizacji uszkodzenia występuje dla prędkości przemieszczeń około 10^{-4} m/s.



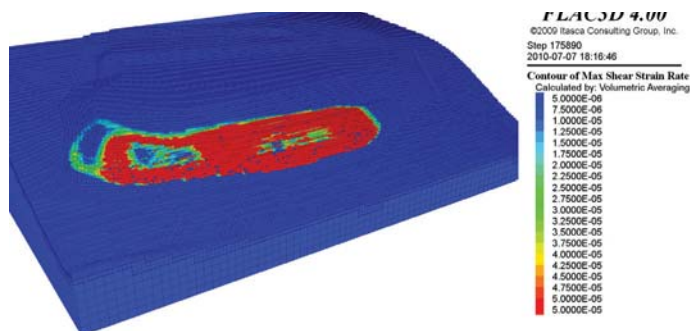
Rys. 2. Zoniówka II, kwatery I. Rozkład prędkości przemieszczeń, $FS = 0,99$

Zastosowanie zmodyfikowanej metody redukcji wytrzymałości na ścinanie (MSSR) umożliwia określenie wskaźnika stateczności, przy którym nastąpi osunięcie całego wału, a nie tylko jego najsłabszej części [4–6]. Założono, że utrata stateczności ma miejsce, gdy wartość odkształceń postaciowych w dowolnym punkcie modelu składowiska osiągnie wartość $5 \cdot 10^{-5}$. Rysunek 3 pokazuje strefę w środkowej części wału, w której widoczne są odkształcenia postaciowe. Ich usytuowanie odpowiada rzeczywistemu miejscu uszkodzenia. Rysunek 3 ilustruje warunki miejscowej utraty stateczności, w wyniku której w lipcu 2004 roku nastąpiło uszkodzenie wału oporowego składowiska odpadów komunalnych Zoniówka II. Można na nim zauważyć tworzenie się dwóch stref odkształceń postaciowych, wyraźnie zaznacza się również powierzchnia poślizgu w miejscu faktycznej awarii obiektu.



Rys. 3. Zoniówka II, kwatery I. Rozkład odkształceń postaciowych, $FS = 0,99$

Dla wskaźnika stateczności większego od 1,08 odkształcenia postaciowe pokazują się również w południowej części wału oporowego. Propagacja zniszczenia w tej części składowiska zobrażowana jest dokładniej przez przyrost przemieszczeń. Na rysunku 4 widać, iż dla $FS = 1,12$ cały wał traci stateczność.



Rys. 4. Zoniówka II, kwatera I. Rozkład odkształceń postaciowych, $FS = 1,12$

Wartość wskaźnika stateczności uzyskana w analizie 3D jest wyższa od wyników dla tego składowiska, jakie zostały otrzymane we wcześniejszych analizach (tabela 2). Różnica ta wynika z faktu, iż w analizie przestrzennej uwzględniona została geometria obiektu.

TABELA 2

Zestawienie wyników analizy stateczności wału oporowego i składowiska odpadów [7, 9, 11]

Wskaźniki stateczności	Metoda Felleniusa	Metoda Bishopa	Metoda Janbu	Metoda Morgensterna – Prince'a
Całe składowisko — wariant (nasyp — stan miękkoplastyczny)	0,749	0,756	0,754	0,757

Najsłabsze ogniwo analizowanego modelu zostało wykryte na poziomie $FS = 0,99$, natomiast utrata stateczności dla $FS = 1,12$. Porównując te wielkości z minimalną wartością FS , dopuszczalną dla tego typu obiektów i wynoszącą 1,5, dochodzi się do tych samych wniosków, co autorzy wcześniejszych opracowań [7, 9, 11], iż niestateczność obiektu była wynikiem niewłaściwego stanu gruntów, z których wykonano wał oporowy.

3.2. Analiza stateczności składowiska — kwatera I — sytuacja IB i IC

Po wystąpieniu osuwiska, wał oporowy został wyremontowany, w celu zabezpieczenia stateczności skarp składowiska, a co za tym idzie zmniejszenia wilgotności gruntów budujących wał ochronny, zastosowano sieć drenaży przyporowych. W wyniku powyższych działań grunt budujący wał oporowy powinien przejść w stan plastyczny lub twardoplastyczny.

Tabela 3 przedstawia wartości wskaźnika stateczności obliczone dla stanu plastycznego i twardoplastycznego wału oporowego z wykorzystaniem metod równowagi granicznej (LEM) oraz przestrzennych obliczeń numerycznych. Autorzy pracy [9] stwierdzają, iż w przypadku prawidłowego wykonania wału oporowego zgodnie z projektem, wystąpienie procesów osuwiskowych byłoby mało prawdopodobne lub bardzo mało prawdopodobne. Zaznaczają także, iż obliczone wartości FS dla nasypu znajdującego się w stanie twardoplastycznym i składowiska mieszczą się w przedziale 1,3–1,5, jednocześnie podkreślając, iż minimalna wartość dla tego typu budowli wynosi 1,5, konkludując, że ...przyczyną wystąpienia osuwiska wału oporowego były błędy wykonawcze.

TABELA 3

Zestawienie wyników analizy stateczności wału oporowego i składowiska odpadów [9]

Wskaźniki stateczności	Metoda Felleniusa	Metoda Bishopa	Metoda Janbu	Metoda Morgensterna–Prince’a	Obliczenia 3D
nasyp — stan twardoplastyczny	1,359	1,422	1,330	1,417	2,30
nasyp — stan plastyczny	1,169	1,203	1,161	1,198	1,94

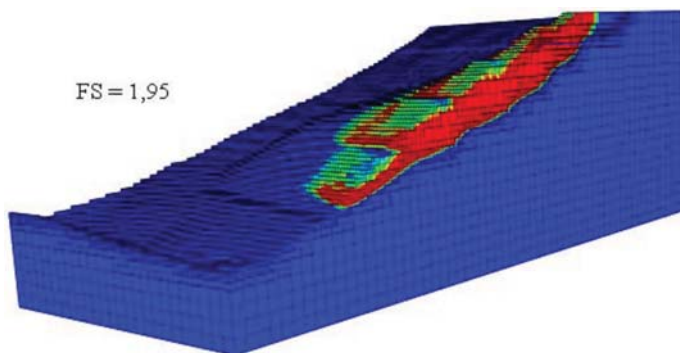
Przeprowadzona przestrzenna analiza numeryczna jest więc potwierdzeniem wniosków zawartych w pracy [9], iż wystąpienie procesów osuwiskowych byłoby mało lub bardzo mało prawdopodobne, gdyby nasyp wykonany był z gruntów spoistych w stanie twardoplastycznym. Różnice w wartości otrzymanych wskaźników stateczności wynikają m.in. stąd, że przestrzenny model daje możliwość wierniejszego odtworzenia budowy składowiska oraz zachodzących w nim procesów osuwiskowych.

3.3. Analiza stateczności składowiska — kwatery I — sytuacja II

W 2008 roku zakończona została eksploatacja pierwszej kwatery składowiska odpadów komunalnych Zoniówka II. Montaż sieci drenaży przyporowych, których celem była poprawa odwodnienia i zagęszczenia warstwy gruntów budujących wał ochronny, spowodował polepszenie stanu plastycznego obiektu. Do przeprowadzonej poniżej analizy stateczności przyjęto, iż wał oporowy znajduje się w stanie twardoplastycznym. Na rysunku 5 przedstawiono (w przekroju) rozkład odkształceń postaciowych, ilustrujący wyraźnie zarysowany kontur osuwiska (obwiednię osuwiska) dla wartości $FS = 1,95$.

Analiza stateczności I kwatery składowiska, przeprowadzona w pracach [9, 11] przed zamknięciem tej części obiektu, określiła wskaźnik stateczności, na poziomie ok. $FS = 1,5$. Dokładne wartości wskaźnika, w zależności od zastosowanej metody obliczeń zawiera tabela 4.

Pomimo, iż wskaźnik stateczności na poziomie $FS = 1,5$ mówi o małym prawdopodobieństwie wystąpienia osuwiska, w pracy [11] zalecono wykonanie drenażu odcinającego na poziomie trzeciorzędu, a następnie prowadzenie stałych obserwacji ilości i jakości wód odsączanych systemem drenaży przyporowych. Sugestia ta wynikła z faktu, iż nie zakończono jeszcze wówczas remontu kwatery I, rozpoczętego po uszkodzeniu wału w 2004 roku. Stąd istniała obawa, iż materiał budujący wał nie będzie zmieniał swojego stanu na twardoplastyczny.



Rys. 5. Zoniówka II, kwarta I. Rozkład odkształceń postaciowych

W przestrzennej analizie stateczności, dla przypadku zamykania kwatery I, założono, że remont został pomyślnie zakończony, czyli grunt wału zmienił swój stan na twardoplastyczny. Wskaźnik stateczności na poziomie 1,95 mówi o dużym stopniu bezpieczeństwa obiektu, dla takiej wielkości FS uważa się wystąpienie osuwiska za bardzo mało prawdopodobne.

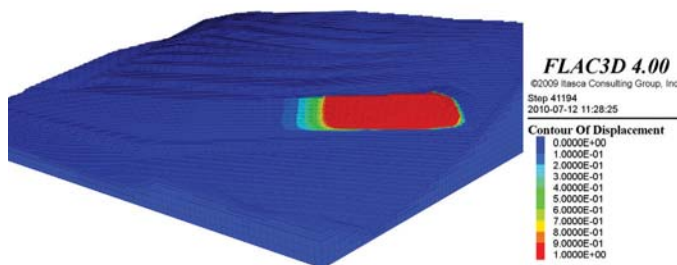
TABELA 4

Wyniki analizy stateczności dla metody Bishopa [11]

Rodzaj analizy	Wskaźniki stateczności dla metody Bishopa	
	wał oporowy $I_L = 0,25$	wał oporowy $I_L = 0,125$
Kołowa powierzchnia poślizgu	1,519	1,519
Metoda autolokalizacji powierzchni	1,470	1,498

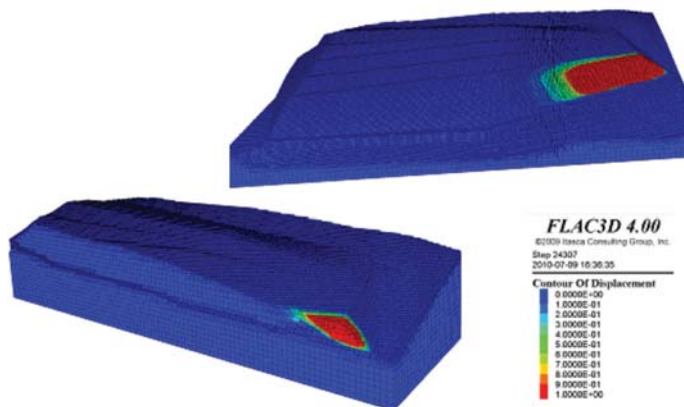
3.4. Analiza stateczności składowiska – kwarta II – sytuacja III i IV

Analiza stateczności samego wału oporowego drugiej kwatery składowiska odpadów, w sytuacji przed rozpoczęciem eksploatacji tej części obiektu pokazuje, iż dla wskaźnika $FS = 1,34$ w północnej części budowli występują przemieszczenia rzędu 1 m (rys. 6), jest to równoznaczne z bardzo dużym prawdopodobieństwem wystąpienia osuwiska w tym rejonie.



Rys. 6. Zoniówka II, kwarta II. Rozkład przemieszczeń, $FS = 1,34$, sytuacja III

W miarę eksploatacji kwatera II, jak również w okresie po jej zamknięciu, warunki stateczności obiektu mogą ulec zmianie. Związane jest to m.in. ze zmianą w czasie fizykomechanicznych właściwości odpadów (np. w wyniku zachodzących w nich procesów biodegradacji), jak również z wpływem ciężaru masy odpadowej, napierającego na nasyp. Analiza stateczności składowiska odpadów, po zakończeniu eksploatacji kwatera II daje wskaźnik stateczności o wartości 1,35, co oznacza, iż wystąpienie osuwiska jest prawdopodobne (rys. 7).



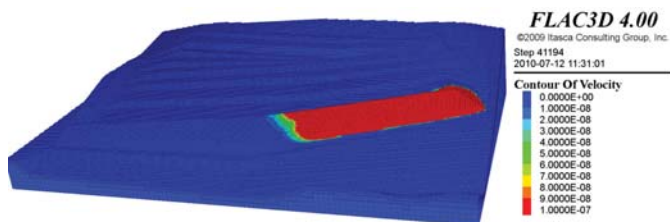
Rys. 7. Zoniówka II, kwatera II. Rozkład przemieszczeń, $FS = 1,35$, sytuacja IV

Przeprowadzona w pracy [7] analiza stateczności II kwatera tego składowiska dotyczyła sytuacji III i IV. Odnośnie sytuacji III uzyskane w pracy [7] wyniki potwierdzają analizę 3D — nasyp spełnia warunki długoterminowej stateczności.

Analiza sytuacji IV pokazuje już pewne różnice. W pracy [7] analizowano stateczność II kwatera na podstawie czterech przekrojów zbudowanych na podstawie projektu. W wyniku przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, iż *Zaprojektowany nasyp nie gwarantuje zachowania długookresowej stateczności składowiska odpadów, szczególnie dotyczy to części środkowej nasypu w rejonie przekroju C, gdzie wał jest najwyższy. Wartości wskaźników stateczności w tym przekroju są niższe od 1,3 co wskazuje, że powstanie procesów osuwiskowych jest prawdopodobne.* Analiza przedstawiona pracy [7] dała FS na poziomie 1,35, z tą różnicą, iż zagrożenie osuwiskowe wystąpiło w innej części składowiska — *de facto* nie analizowanej w poprzednich obliczeniach. W przypadku zagrożenia osuwiskiem w przekroju C, znajdującym się w środkowej części składowiska, wyniki analizy 3D pokazują, iż wystąpienie poślizgu w tym rejonie dla obliczonego wskaźnika stateczności na poziomie 1,35 jest mało prawdopodobne.

Sytuacja zmienia się (po zastosowaniu MSSR) dla $FS = 1,40$ (rys. 8). W tym przypadku powierzchnia poślizgu powstaje w środkowej części obiektu i ma kształt zbliżony do powierzchni poślizgu uzyskanej w pracy [7].

Różnice w powyższych analizach są efektem większej dokładności metody 3D, która daje możliwość zbadania całego obszaru składowiska, nie tylko jego wybranych przekro-



Rys. 8. Zoniówka II, kwatery II pełna, Rozkład prędkości przemieszczeń, $FS = 1,40$ (MSSR), sytuacja IV

jów. Umożliwia również wierniejsze odtworzenie budowy rozpatrywanego zbocza oraz daje możliwość dokładniejszej analizy zwiastunów wystąpienia osuwiska. Wskaźnik stateczności uzyskany w analizie przestrzennej, $FS = 1,40$ jest wyższy od wartości uzyskanych wcześniej, ale jego wartość pozwala na podobne stwierdzenie, iż wystąpienie osuwiska na analizowanym składowisku jest prawdopodobne.

4. Podsumowanie

Przestrzenna analiza stateczności skarp składowiska odpadów komunalnych Zoniówka II zawiera obliczenia numeryczne zarówno dla pierwszej jak i drugiej kwatery obiektu. Obliczenia rozpoczęto od wyznaczenia wskaźnika stateczności dla najsłabszego ogniwa analizowanego zbocza, co stanowiło punkt wyjścia do wskazania wartości tego parametru, przy której następuje utrata stateczności całego wału oporowego. Wyniki obliczeń wskazują, iż przyczyną niestateczności wału oporowego, która w konsekwencji spowodowała uszkodzenie składowiska, było zastosowanie niewłaściwego materiału gruntowego. Dalsze obliczenia pokazały, iż wykonanie nasypu z gruntów w stanie plastycznym lub twaroplastycznym zmniejszyłoby prawdopodobieństwo wystąpienia osuwiska, wskazując jednocześnie, iż drogą do zabezpieczenia stateczności składowiska jest zmniejszenie wilgotności materiału, z którego zbudowany jest wał ochronny. Analiza stateczności wypełnionej kwatery I wskazuje, że dla wału oporowego, zbudowanego z materiałów w stanie twaroplastycznym $FS = 1,95$, co jest równoznaczne z bardzo małym prawdopodobieństwem wystąpienia osuwiska.

Analizy stateczności dla kwatery II pokazały istotne różnice wyników pomiędzy obliczeniami 3D i 2D. Różnice te są efektem większej precyzji metody 3D, która daje możliwość wiernego odtworzenia budowy rozpatrywanego zbocza i co jest z tym bezpośrednio związane, lepszą ocenę zwiastunów wystąpienia osuwiska.

Przestrzenne analizy stateczności składowiska pozwalają na śledzenie etapów rozwoju powierzchni poślizgu i umożliwiają określenie kształtu, zakresu i objętości przewidywanego osuwiska. Wierne odtworzenie budowy rozpatrywanego zbocza pozwala na uwzględnienie wpływu zmienności parametrów w przestrzeni na wyniki uzyskiwanych obliczeń. Są one jednak bardziej pracochłonne i wymagają komputerów o dużej mocy obliczeniowej oraz zastosowania specjalistycznego oprogramowania.

Analiza stateczności składowisk odpadów jest zagadnieniem aktualnym bo odpady są efektem ubocznym ludzkiej egzystencji i produkujemy ich coraz więcej. Obecnie nie dysponujemy technologiami wykorzystującymi lub utylizującymi odpady, aby ich deponowanie stało się przeszłością, stąd problematyka stateczności składowisk odpadów jest i będzie bardzo ważnym elementem ochrony środowiska.

LITERATURA

- [1] *Cala M.*: Numeryczne metody analizy stateczności zboczy. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2007
- [2] *Cala M., Flisiak J.*: Analiza stateczności skarp i zboczy w świetle obliczeń analitycznych i numerycznych. [w:] XXIII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, Wydawnictwo KGBiG, AGH, Kraków, 2000
- [3] *Cala M., Flisiak J.*: Slope Stability Analysis with FLAC and Limit Equilibrium Methods. *FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics* — 2001, edited by D. Billiaux, X. Rachez, Ch. Detournay, R. Hart, A.A. Balkema Publishers, 2001, pp. 111–114.
- [4] *Cala M., Flisiak J.*: Complex Geology Slope Stability Analysis by Shear Strength Reduction. *FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics* — 2003, edited by R. Brummer, P. Andrieux, Ch. Detournay, R. Hart, A.A. Balkema Publishers, 2003, pp. 99–102
- [5] *Cala M., Flisiak J.*: Analiza stateczności skarp i zboczy z zastosowaniem zmodyfikowanej metody redukcji wytrzymałości na ścinanie. *Geotechnika w budownictwie i górnictwie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003, s. 348–354
- [6] *Cala M., Flisiak J., Tajduś A.*: Slope Stability Analysis with FLAC in 2D and 3D. *FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics* — 2006, edited by P. Varona, R. Hart, Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis, 2006, pp. 11–14
- [7] *Cala M., Olesiak S.*: Analiza stateczności zboczy drugiej kwatery nowego składowiska odpadów komunalnych w Zakopanem. *Górnictwo i Geoinżynieria*, z. 3, 2007, s. 57–69
- [8] Dokumentacja warunków hydrologicznych i geologiczno inżynierskich terenu przeznaczonego pod budowę wysypiska odpadów „Zoniówka II” dla Zakopanego. „Dempol”, Gorlice, lipiec 1997
- [9] *Flisiak J., Olesiak S.*: Analiza warunków stateczności wału oporowego składowiska odpadów komunalnych oraz propozycje jego stabilizacji. *Górnictwo i Geoinżynieria*, z. 3/1, 2005, s. 207–215
- [10] Mapa sytuacyjno-wysokościowa Zakładu Utylizacji Odpadów Komunalnych „Zoniówka” Zakopane. ARKA Konsorcjum S.A
- [11] *Olesiak S.*: Składowisko odpadów komunalnych w Zakopanem — od awarii do zamknięcia I kwatery. *Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych uczonych*, AGH, Kraków, 2007, s. 325–333
- [12] Przekroje poprzeczne (A–E) kwater nowego składowiska „Zoniówka” Zakopane, ARKA Konsorcjum S.A.