

OCENA ZACHOWANIA SIĘ NASYPU HYDROTECHNICZNEGO NA PODŁOŻU ORGANICZNYM W OKRESIE BUDOWY I EKSPLOATACJI

Dariusz Kiziewicz

Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie

Streszczenie. W dobie mających ostatnio miejsce również w Polsce powodzi szczególną uwagę zwraca się na obiekty gospodarki wodnej. Jednym z nich jest zapora czołowa zbiornika Nielisz, którego jednym z głównych zadań jest ochrona przed wezbrzeniami powodziowymi dorzecza górnego Wieprza. Artykuł przedstawia wyniki obliczeń numerycznych zachowania się zapory zbiornika Nielisz przy wykorzystaniu programu Plaxis i zastosowaniu modelu Modified Cam-Clay dla zalegającego poniżej namułu. Przeprowadzona analiza pozwoliła na określenie kształtu i rozmiarów stref koncentracji przemieszczeń oraz kątów obrotu kierunków naprężeń głównych, które można tam zaobserwować. Dostępność urządzeń pozwalających na rozpoznanie anizotropii właściwości mechanicznych gruntów jest obecnie wyraźnie ograniczona. Rozwiązaniem wydaje się określenie proporcji między wartościami parametrów wytrzymałościowych uzyskanych z badań trójosiowych przy standardowej ścieżce obciążenia z wartościami tych parametrów przy innych ścieżkach naprężenia lepiej odwzorowujących warunki *in situ*.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na ścinanie, grunty organiczne, obrót kierunków naprężeń głównych

WSTĘP

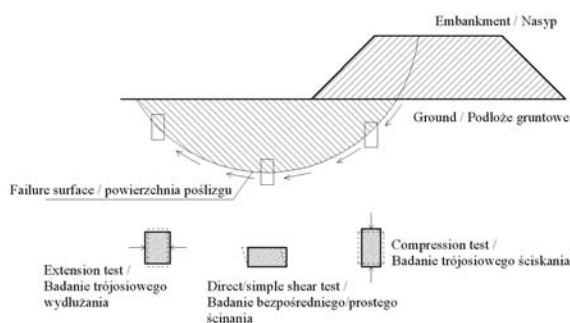
W dobie mających ostatnio miejsce również w Polsce powodzi szczególną uwagę zwraca się na obiekty gospodarki wodnej. Nierzadko obiekty te wznoszone były na podłożu słabonośnym. Jednym z nich jest zapora czołowa zbiornika Nielisz, którego jednym z głównych zadań jest ochrona przed wezbrzeniami powodziowymi dorzecza górnego Wieprza.

Wybudowanie każdego rodzaju konstrukcji wywołuje w ośrodku gruntowym zmianę stanu naprężenia oraz związaną z nim zmianę stanu odkształcenia. Zależność między

zmianą stanu naprężenia i odkształcenia jest funkcją wielu czynników, których jednoczesne uwzględnienie w matematycznym opisie tego zjawiska jest bardzo trudne. Stąd też wymagane jest przyjęcie szeregu uproszczeń. Wykorzystywana w obliczeniach inżynierskich metoda stanów granicznych zakłada, iż mobilizowana wzdłuż powierzchni zniszczenia wytrzymałość na ścinanie jest jednakowa, a więc że grunt, na którym posadawiany jest obiekt charakteryzuje się izotropowymi właściwościami mechanicznymi [Zdravković i in. 2002].

Powszechnie w praktyce inżynierskiej przyjmuje się w obliczeniach dla danego rodzaju gruntu jeden zestaw wartości parametrów wytrzymałościowych. Ich wartości charakterystyczne wyznacza się bezpośrednio z badań laboratoryjnych i/lub terenowych, lub też na podstawie istniejących zależności korelacyjnych. Należy wspomnieć, iż norma Eurokod 7 faworyzuje podejście pierwsze i jako zasadę wprowadza ustalanie charakterystycznych wartości parametrów geotechnicznych na podstawie wyników i wartości wyprowadzonych z badań laboratoryjnych i terenowych. Ponadto według tej normy rozpoznanie podłoża ma zazwyczaj większe znaczenie dla spełnienia podstawowych wymagań niż dokładność modeli obliczeniowych czy zastosowanie współczynników częściowych. Wobec tego większej wagi nabiera poprawność odwzorowania w badaniach laboratoryjnych warunków *in situ*.

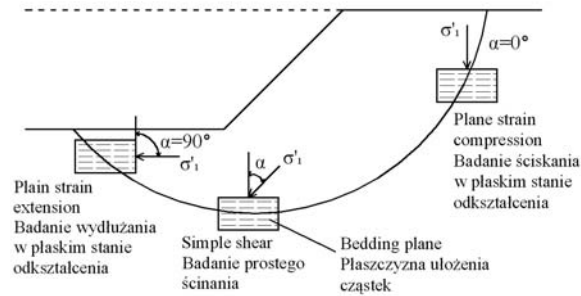
Badania wykazały, iż w podłożu obciążonym nasypem występuje więcej niż jeden mechanizm zniszczenia struktury gruntu (rys. 1). Przyjęcie więc, iż reprezentatywnymi wartościami parametrów wytrzymałościowych są spójność (c') i kąt tarcia wewnętrznego (ϕ') lub wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu (τ_{fu}) uzyskane przy konkretnej ścieżce naprężenia, zwanej standardową, którą powszechnie wykorzystuje się w aparacie trójosiowym, nie jest do końca poprawne (rys. 2). W tym przypadku wartość dewiatora naprężenia wzrasta na skutek zwiększania się wartości naprężenia pionowego, przy stałym naprężeniu poziomym.



Rys. 1. Mechanizmy zniszczenia struktury gruntu w poszczególnych strefach potencjalnej powierzchni poślizgu [Bjerrum 1973]

Fig. 1. Soil structure failure mechanisms in different zones of potential failure surface

W przypadku nasypu taki mechanizm zniszczenia jest charakterystyczny jedynie dla strefy gruntu znajdującej się w okolicach osi symetrii (rys. 1 i 2). W pobliżu wychodni potencjalnej powierzchni poślizgu całkowita wytrzymałość na ścinanie gruntu jest mobilizowana w wyniku wzrostu naprężenia poziomego przy niezmiennym się naprężeniu pionowym. Obszarowi, gdzie płaszczyzna poślizgu jest styczna do linii poziomej, można

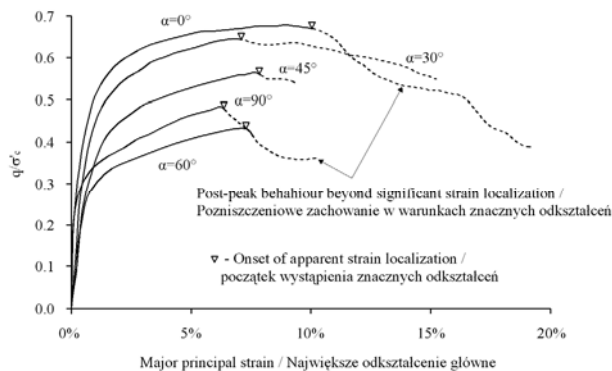


Rys. 2. Mechanizmy zniszczenia struktury gruntu w poszczególnych strefach potencjalnej powierzchni zniszczenia [Tatsuoka i in. 1988]

Fig. 2. Soil structure failure mechanisms in different zones of potential failure surface

przypisać mechanizm zmian stanu naprężenia obserwowany w aparacie bezpośredniego ścinania [Bjerrum 1973]. Każdemu z wymienionych mechanizmów zniszczenia odpowiada inny kąt obrotu kierunków naprężeń głównych α , który wynosi odpowiednio 0° , 90° oraz około 45° .

Prowadzone w ostatnich dziesięcioleciach badania w cylindrycznym aparacie skrętnym HCA (Hollow Cylinder Apparatus) wykorzystującym próbki cylindryczne, w których przy zastosowaniu odpowiednich systemów zadawania obciążenia oraz pomiaru odkształceń i ciśnień istnieje możliwość uzyskania kontrolowanego kąta obrotu kierunków naprężeń głównych (α), pokazują, iż wartość ta wpływa w istotny sposób na uzyskiwaną wytrzymałość na ścinanie (rys. 3) [Lin i Penumadu 2005]. Można powiedzieć, iż z większością ścieżek naprężenia obserwowanych w warunkach *in situ* związane jest zjawisko obrotu kierunków naprężeń głównych [Hight i in. 1983]. Przy czym wpływ tego zjawiska na stateczność budowli zdaje się zależeć od procentowego udziału w potencjalnej powierzchni poślizgu poszczególnych stref o różnym kącie nachylenia kierunków naprężeń głównych w momencie zniszczenia.



Rys. 3. Zależność znormalizowanego naprężenia stycznego od odkształcenia przy różnych kątach obrotu kierunków naprężeń głównych [Lin i Penumadu 2005]

Fig. 3. Relation between normalized shear stress and strain depending on major stresses directions rotation angle

W artykule z uwagi na złożony charakter zjawiska oraz kłopotliwe określenie przebiegu stref, gdzie następuje koncentracja przemieszczeń, przeprowadzono analizę opartą na obliczeniach numerycznych. Obliczenia te pozwoliły na wydzielenie występujących wzdłuż powierzchni poślizgu stref, którym przyporządkowano konkretną wartość kąta α . Określono również wpływ filtracji w okresie eksploatacji na obrót kierunków naprężeń głównych oraz na zasięg obszaru, w którym on występuje.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU NIELISZ

Zbiornik Nielisz znajduje się w dorzeczu rzeki Wieprz, w województwie lubelskim, w powiecie zamojskim. Całkowita pojemność zbiornika wynosi około 19,5 mln m³. Widok zapory czołowej zbiornika Nielisz przedstawiono na rysunku 4. Początki budowy zbiornika sięgają lat sześćdziesiątych XX wieku, kiedy to powstały plany jego budowy. W pierwszym etapie wykonany został zbiornik, którego celem było okresowe gromadzenie wiosennych wód wezbraniowych [www.inzynierbudownictwa.pl]. Budowa zapory czołowej zbiornika Nielisz, rozpoczęta w latach dziewięćdziesiątych, wymagała specjalnego rozwiązania ze względu na posadowienie zapory na gruntach słabonośnych – namulach oraz torfach. Zastosowano metodę dwuetapowej budowy z przeciążeniem, której celem było przyspieszenie konsolidacji podłoża organicznego, a tym samym zmniejszenie osiadań podłoża na etapie eksploatacji oraz związane z nią zwiększenie wytrzymałości słabonośnych warstw podłoża [Lechowicz i in. 1996]. Pierwszy etap budowy polegał na rozebraniu istniejącego nasypu do rzędnej 194 m n.p.m. oraz wykonaniu korpusu zapory i nasypu przeciążeniowego do rzędnej 196 m n.p.m. W drugim etapie rozebrano nasyp przeciążeniowy od strony wody górnej oraz dolnej oraz podniesiono korpus zapory do rzędnej 199 m n.p.m. Zastosowana technologia pozwoliła na wykonanie całości inwestycji w ciągu trzech lat. Pierwszy etap rozpoczął się jesienią 1994 roku, a drugi wiosną roku następnego. Rok kolejny przeznaczony został na wykonanie uszczelnienia koryta oraz wykonanie drenażu korpusu zapory.



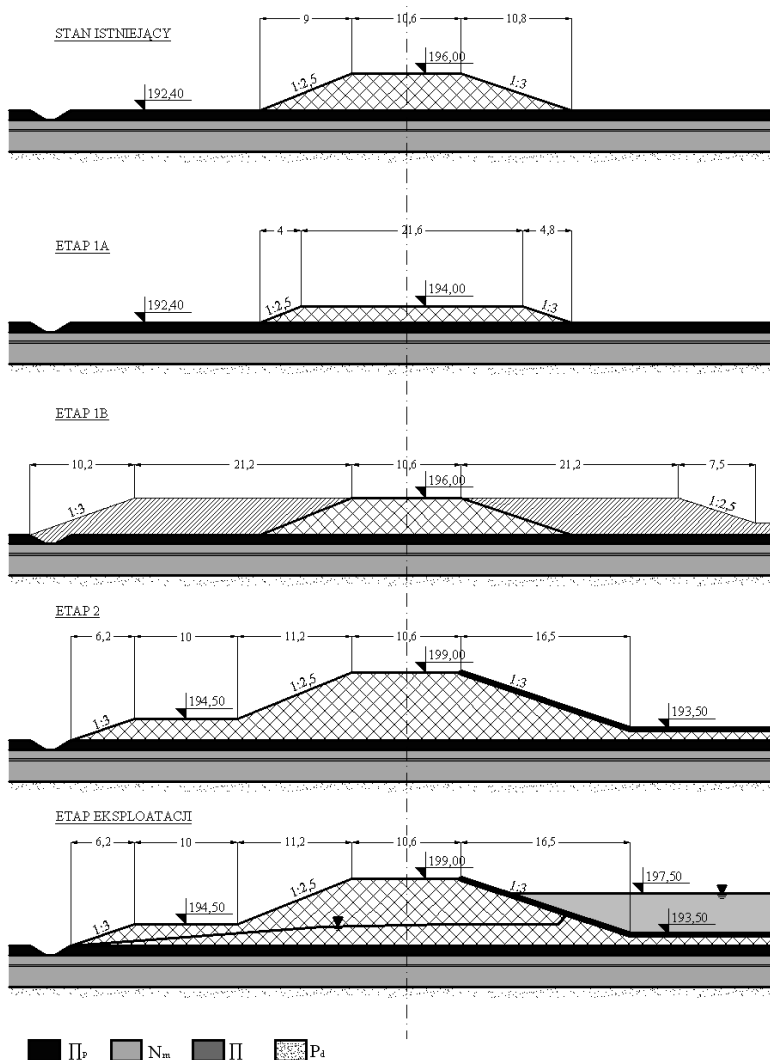
Rys. 4. Widok zapory czołowej zbiornika Nielisz od strony wody górnej [www.inzynierbudownictwa.pl]

Fig. 4. View of dam embankment of Nielisz reservoir from upstream side

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie [2007], zaporę ta zaliczona została do III klasy ważności stałych budowli hydrotechnicznych.

W podłożu zapory czołowej zalegają holocenijskie pyły, pyły piaszczyste, piaski pylaste oraz namuły pochodzenia jeziornego. Miąższość tych utworów wynosi od 3 do 5 m. Poniżej zalegają plejstocenijskie piaski średnie z dodatkiem żwiru, pospółki oraz żwiru pochodzenia lodowcowego.

W poszczególnych rejonach doliny, poniżej utworów holocenijskich, znajdują się warstwy utworów plejstocenijskich o miąższości do 3 m – pyłów, pyłów piaszczystych i glin pylastych o genezie zastoiskowej, oraz piasków drobnych i piasków pylastych pochodzenia rzeczno-jeziornego o miąższości do 2 m [Lechowicz i Rabarijoely 1996]. W artykule przyjęto jako reprezentatywny przekrój hm 4+50, który przedstawiony został na rysunku 5, wraz



Rys. 5. Etapy wykonania zapory czołowej w Nieliszu

Fig. 5. Building stages of Nielisz dam embankment

z kolejnymi etapami budowy. Najślabszą warstwą zalegającą w podłożu jest namuł, który przedzielony jest warstwą pyłu o niewielkiej miąższości. Wyniki badań edometrycznych pokazały, iż grunty te są prekonsolidowane, o współczynniku prekonsolidacji *OCR* wynoszącym 2–3. Wybrane właściwości gruntów podłoża przedstawione są w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane właściwości gruntów zalegających w podłożu w przekroju hm 4+50
Table 1. Selected characteristics of soils lying in subsoil in cross-section hm 4+50

Rodzaj gruntu Soil type	Wilgotność naturalna Natural moisture	Granice konsystencji Consistency limits		Gęstość gruntu Soil density		Zawartość części organicznych Organic matter content
	w_n [%]	w_p [%]	w_L [%]	ρ [t·m ⁻³]	ρ_s [t·m ⁻³]	I_{om} [%]
Pył piaszczysty Sandy silt	30–35	18–20	30–32	1,8–1,85	2,62–2,65	2–3
Namuł Organic mud	110–130	45–55	130–150	1,25–1,30	2,25–2,30	20–22
Pył Silt	35–38	20–22	40–42	1,8–1,85	2,62–2,65	2–3
Namuł Organic mud	105–120	40–45	110–130	1,3–1,35	2,25–2,3	18–20

OBLICZENIA NUMERYCZNE

Obliczenia numeryczne zostały wykonane z wykorzystaniem programu Plaxis w wersji 9, w warunkach płaskiego stanu odkształcenia, który umożliwia obserwację zmian kierunków naprężeń głównych w poszczególnych etapach obciążenia podłoża gruntowego. Dla namułu organicznego, stanowiącego najślabszą warstwę podłoża, przyjęto model Modified Cam-Clay. Użycie tego modelu miało kluczowe znaczenie dla rozpatrywanego zagadnienia ze względu na możliwość uwzględniania w nim zmiany parametrów mechanicznych gruntu wraz ze zmianą wartości naprężeń efektywnych. Dla pozostałych warstw gruntowych zastosowano model sprężysto-idealnie plastyczny z warunkiem uplastycznienia Coulomba-Mohra. Parametry modelu MCC wyznaczone zostały na podstawie badań laboratoryjnych przeprowadzonych przez Katedrę Geoinżynierii SGGW w latach dziewięćdziesiątych (tab. 2). Parametry dla pozostałych warstw wyznaczono z normy PN-81/B-03020 (tab. 3).

Obliczenia podzielone zostały na kilka etapów, o określonym czasie trwania, tak aby odpowiadały one rzeczywistemu harmonogramowi prac na budowie. W pierwszym etapie usunięta została wierzchnia warstwa istniejącego nasypu, a następnie wykonane zostały nasypy dociążające. W drugim etapie rozebrane zostały nasypy dociążające oraz wykonany został nasyp docelowy. W trzecim etapie wykonany został uszczelniający ekran

Tabela 2. Parametry modelu Modified Cam-Clay dla namułu

Table 2. Modified Cam-Clay model parameters for organic mud

Rodzaj gruntu Soil type	Parametry – Parameters								
	γ_{unsat} [kN·m ⁻³]	γ_{sat} [kN·m ⁻³]	k_x [m·s ⁻¹]	k_y [m·s ⁻¹]	λ [-]	κ [-]	ν [-]	e [-]	M [-]
Namuł – Organic mud	13	13,25	1·10 ⁻⁹	1·10 ⁻⁹	0,35	0,06	0,31	3	1,2

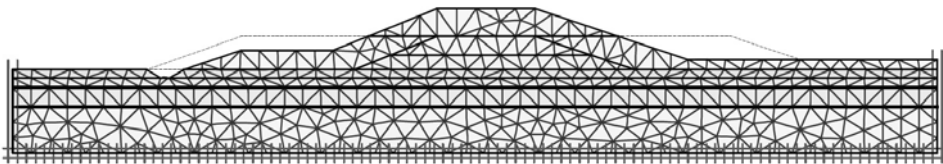
Tabela 3. Parametry modelu sprężysto-idealnie plastycznego z warunkiem uplastycznienia Coulomba-Mohra dla poszczególnych warstw

Table 3. Elastic – perfectly plastic with Coulomb-Mohr failure criterion model parameters for specific soil layers

Rodzaj gruntu Soil type	Parametry – Parameters							
	γ_{unsat} [kN·m ⁻³]	γ_{sat} [kN·m ⁻³]	k_x [m·s ⁻¹]	k_y [m·s ⁻¹]	E [MPa]	ν [–]	c' [kPa]	φ' [°]
Pył / pył piaszczysty Silt / Sandy silt	18,5	18,6	1·10 ⁻⁸	1·10 ⁻⁸	12	0,29	8	12
Piasek drobny (zalegający w podłożu) Fine sand (lying in the subsoil)	20	20,2	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	90	0,3	0	32
Piasek drobny (nasyp istniejący) Fine sand (existing embankment)	16,5	19,8	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	55	0,3	0	30
Piasek drobny (nasyp projektowany) Fine sand (planned embankment)	17	20	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	80	0,3	0	32

z membrany poprzez zastosowanie tzw. closed flow boundary, czyli elementu liniowego, stanowiącego granicę dla filtrującej wody. Etapy te oddzielone były dwiema przerwami technologicznymi.

Kolejnym etapem było piętrzenie zwierciadła wody w zbiorniku. W obliczeniach przyjęto, iż podczas etapu napełniania zbiornika ciśnienie wody w porach w słabo przepuszczalnych warstwach podłoża utrzymywało się na dotychczasowym poziomie. Natomiast ciśnienie wody w porach zalegającego poniżej namułu, piasku wzrastało wraz z podnoszącym się zwierciadłem wody w zbiorniku. W ostatnim etapie, symulującym etap eksploatacji, nastąpiła rozłożona w długim okresie stabilizacja ciśnienia wody w porach zgodna z przepływem wody od skarpy odwodnej do drenażu od strony odpornej. Rysunek 6 pokazuje podział nasypu i podłoża na elementy skończone na etapie wykonania nasypu docelowego.



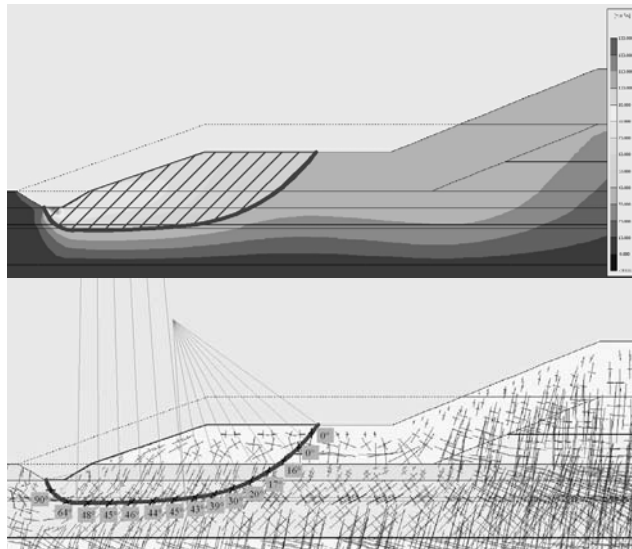
Rys. 6. Siatka elementów skończonych na etapie wykonania docelowego nasypu

Fig. 6. Finite element mesh at final embankment building stage

ANALIZA WYNIKÓW OBLICZEŃ

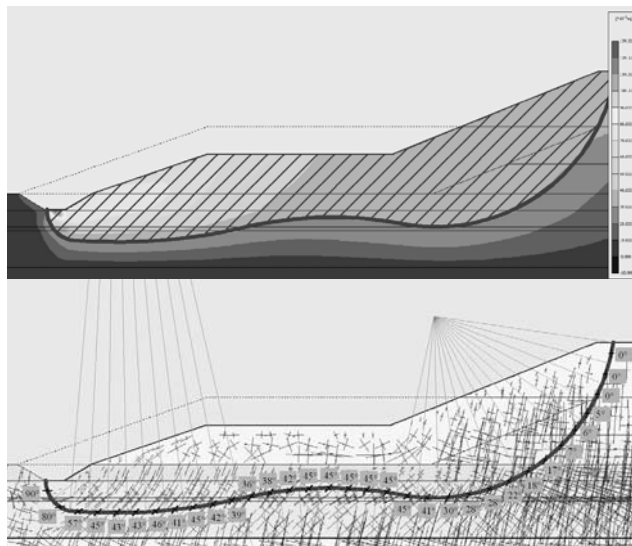
Obliczenia numeryczne wykazały, iż zaporą czołową zbiornika Nielisz jest konstrukcją stateczną. W związku z tym w podłożu nie wytworzyła się jedna wyraźna powierzchnia zniszczenia, a jedynie strefy koncentracji przemieszczeń. W artykule wydzielono dwie takie strefy, które poddano szczegółowej analizie. Pierwsza z nich obejmuje półkę skarpy odpornej wraz z przylegającym do niej rowem, druga natomiast obejmuje całą skarpy odpornej.

Rozpatrzono ponadto dwa przypadki – jeden na koniec etapu wznoszenia nasypu docelowego (rys. 7 i 9), czyli moment najbardziej krytyczny, oraz drugi – na etapie normal-



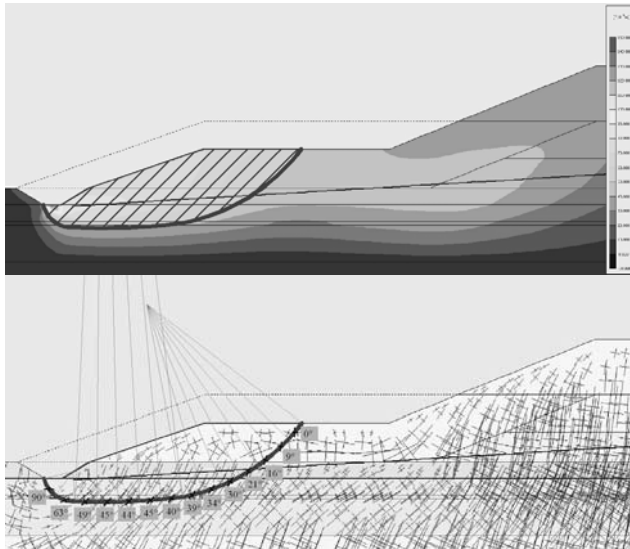
Rys. 7. Izolinie przemieszczeń całkowitych oraz kierunki naprężeń głównych skarpy odwodnicznej wraz ze strefą koncentracji przemieszczeń na koniec etapu wznoszenia nasypu docelowego – wariant 1

Fig. 7. Total displacement isolines and principal stress directions in downstream slope with displacement concentration zone at the end of final embankment execution – 1st variant



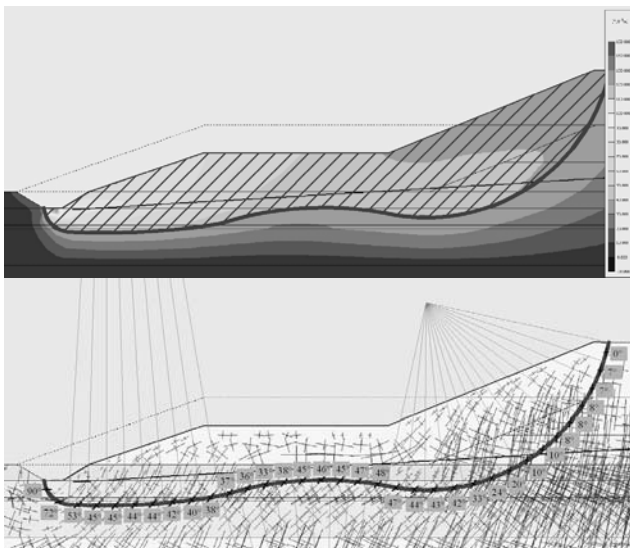
Rys. 8. Izolinie przemieszczeń całkowitych oraz kierunki naprężeń głównych skarpy odwodnicznej wraz ze strefą koncentracji przemieszczeń na koniec etapu wznoszenia nasypu docelowego – wariant 2

Fig. 8. Total displacement isolines and principal stress directions in downstream slope with displacement concentration zone at the end of final embankment execution – 2nd variant



Rys. 9. Izolinie przemieszczeń całkowitych oraz kierunki naprężeń głównych skarpy odpowietrznej wraz ze strefą koncentracji przemieszczeń na etapie eksploatacji – wariant 1

Fig. 9. Total displacement isolines and principal stress directions in downstream slope with displacement concentration zone during exploitation – 1st variant



Rys. 10. Izolinie przemieszczeń całkowitych oraz kierunki naprężeń głównych skarpy odpowietrznej wraz ze strefą koncentracji przemieszczeń na etapie eksploatacji – wariant 2

Fig. 10. Total displacement isolines and principal stress directions in downstream slope with displacement concentration zone during exploitation – 2nd variant

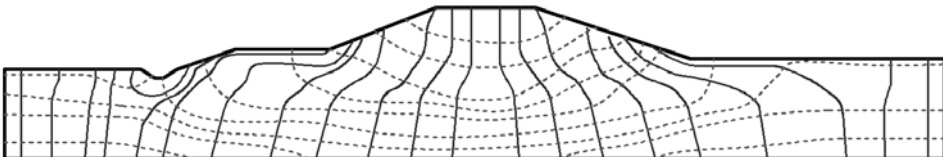
nego użytkowania (rys. 8 i 10). Kształty wyodrębnionych stref koncentracji przemieszczeń opisane zostały łukami. Strefy te mają dość płaski przebieg, co jest konsekwencją niewielkiej miąższości najsłabszej warstwy podłoża, zalegającej bezpośrednio pod nasypem. Stąd też warstwa ta jest naturalną strefą uprzywilejowanego poślizgu.

W każdym z przypadków linia opisująca potencjalną powierzchnię poślizgu podzielona została na odcinki o równej długości. Następnie w środku każdego z powstałych w ten sposób odcinków określony został kąt obrotu kierunków naprężeń głównych. Na załączonych rysunkach widać, iż kształt tych linii w różnych etapach pracy konstrukcji różni się w niewielkim stopniu, przy czym obserwuje się przyrost wartości przemieszczeń.

Analizując wykresy przedstawiające zmiany kierunków naprężeń głównych w strefie koncentracji przemieszczeń, okazuje się, iż w rozpatrywanych przypadkach dominującym kątem α jest kąt około 45° , czyli wartość obserwowana w przypadku badania bezpośredniego ścinania. W przypadku pierwszego wariantu tej strefy udział jej długości w strefie obrotu kierunków naprężeń głównych o około 45° w rozpatrywanych etapach wynosił odpowiednio 47 oraz 43%, natomiast w przypadku wariantu drugiego – 52 i 56%.

Dodatkowo przeanalizowany został przypadek awarii membrany uszczelniającej skarpe odwodną, co wiązało się z podniesieniem w krótkim czasie zwierciadła wody gruntowej w korpusie nasypu. W tym przypadku wyżej wymienione wartości procentowe wynosiły odpowiednio 43 oraz 64%. Należy zwrócić uwagę na tę drugą wartość, która wyraźnie się zwiększyła.

Rysunek 11, przedstawiający trajektorie naprężeń głównych, czyli linie powstałe z połączenia kierunków działania tych naprężeń, obrazuje w nasypie i podłożu zasięg strefy, gdzie następuje obrót kierunków naprężeń głównych.



Rys. 11. Trajektorie naprężeń głównych na etapie docelowego wykonania nasypu
Fig. 11. Principal stresses trajectories at the end of final embankment execution

PODSUMOWANIE

Analiza wyników przeprowadzonych obliczeń zachowania się nasypu hydrotechnicznego na słabonośnym podłożu w okresie budowy i eksploatacji pokazuje, iż wzdłuż potencjalnych powierzchni zniszczenia następuje istotna zmiana kąta α obrotu kierunków naprężeń głównych.

Z uwagi na fakt, iż w przypadku badania trójosiowego przy $\alpha = 0^\circ$ uzyskuje się największą wartość parametrów wytrzymałościowych, przyjmowanie takiej wartości jako reprezentatywnej dla całej wyodrębnionej powierzchni zniszczenia może prowadzić do przeszacowania wartości oddziaływań utrzymujących skarpe. W analizowanym przypadku jedynie około 15% długości powierzchni poślizgu znajduje się w strefie, gdzie

występuje kąt $\alpha = 0^\circ$. Natomiast dla około 50% jej długości właściwy jest mechanizm zniszczenia przy $\alpha = 45^\circ$.

Pojawienie się dodatkowych sił związanych z filtracją na etapie eksploatacji oraz w przypadku awarii membrany uszczelniającej wywołuje zwiększenie udziału mechanizmu zniszczenia w powierzchni poślizgu w strefie obrotu kierunków naprężeń głównych o około 45° . Dzieje się to kosztem stref obrotu kąta α , wynoszącego około 30° , czyli wartości, przy której teoretycznie grunt wykazuje większą wytrzymałość – jest to kolejny, obok redukcji oddziaływań utrzymujących, czynnik zmniejszający stateczność skarpy.

Strefa obrotu kierunków naprężeń głównych w podłożu analizowanego nasypu rozciąga się w obie strony na odległość około 20 m oraz na około 15 m w głąb podłoża gruntowego.

Wobec braku w powszechnym użytku aparatury umożliwiającej uwzględnianie zależności właściwości mechanicznych gruntów od kąta obrotu kierunków naprężeń głównych niemożliwe jest uwzględnianie tego aspektu w przypadku większości zamierzeń budowlanych. Rozwiązaniem wydaje się określenie proporcji między wartościami parametrów wytrzymałościowych uzyskanych z badań trójosiowych przy standardowej ścieżce obciążenia a wartościami tych parametrów przy innych ścieżkach naprężenia, lepiej odwzorowujących warunki *in situ*.

PIŚMIENNICTWO

- Bjerrum L., 1973. Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally unstable soils (collapsible, expansive and others). Proc. 8th ICSMFE, Moscow 3, 109–159.
- Hight D., Gens A., Symes M., 1983. The development of a new hollow cylinder apparatus for investigating the effects of principal stress rotation in soils. Geotechnique 33, 4, 355–383.
- Lechowicz Z., Rabarjioly S., 1996. Zbiornik Nielisz – badania wzmocnienia słabonośnego podłoża. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 12, 33–44.
- Lechowicz Z., Mirecki J., Wolski W., 1996. Zbiornik Nielisz – etapowa budowa zapory. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 12, 303–314.
- Lin H., Penumadu D., 2005. Experimental investigation on principal stress rotation in Kaolin clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, May, 633–642.
- PN-81/B-03020 Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-EN 1997-1 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1. Zasady ogólne.
- Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz.U. z 2007 r., nr 86 poz. 579).
- Tatsuoka F., Pradhan T., Horii N., 1988. Simple shear testing on sand in a torsional shear apparatus. Soils and Foundations 28, 2, 95–112.
- Zdravković L., Potts D., Hight D., 2002. The effect of strength anisotropy on the behavior of embankments on soft ground. Geotechnique 52, 6, 447–457.

EVALUATION OF EMBANKMENT BEHAVIOUR ON ORGANIC SUBSOIL DURING CONSTRUCTION AND EXPLOITATION

Abstract. Nowadays, when floods devastate also our country special attention is put on hydrotechnical structures. One of them is dam embankment of Nielisz reservoir, which one of

major goal is to defend the upper Wieprz River basin from flood. This paper presents finite element analysis of dam embankment of Nielisz reservoir made with Plaxis using Modified Cam-Clay soil model for organic mud. Performed analysis allowed to define shape and size of displacement accumulation zones and rotations of principal stress directions which occurred in them. Use of devices which are capable to investigate anisotropy of soil mechanical properties is severely restricted, thus it is practically impossible to take into account this matter. Solution to this problem may be evaluation of proportions between values of shear strength parameters obtained from triaxial compression tests with standard stress path with values of these parameters obtained from tests in hollow cylinder apparatus with different stress paths, more adequate for in situ conditions.

Key words: shear strength, organic soils, rotation of principal stresses directions

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.12.2010