

Wykorzystanie metody elementów skończonych w projektowaniu posadowienia zapory ziemnej na gruntach organicznych

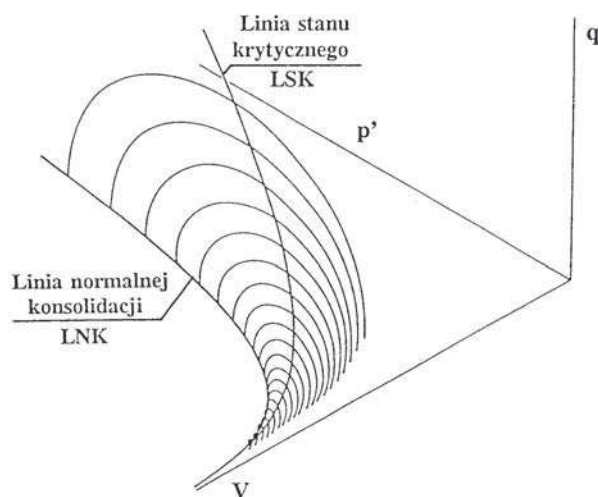
Dr inż. Simon Rabarijoely, SGGW, Warszawa

1. Charakterystyka programu SAGE-CRISP

Program SAGE-CRISP jest trójwymiarową analizą konsolidacji podłoża i stateczności budowli, opartą na metodzie elementów skończonych. Może on być wykorzystywany do przewidywania zachowania się konstrukcji (budynków, mostów, budowli ziemnych), zmian parametrów mechanicznych i fizycznych gruntów obciążonych budowlami. Obliczenia mogą być wykorzystane do projektowania budowli ziemnych na podłożach słabonośnych zarówno w warunkach z odpływem (drenażem), jak i bez drenażu podłoża gruntowego. Obliczenia przy użyciu programu SAGE-CRISP wykonywane są z wykorzystaniem wielu modeli odwzorowujących zachowanie się gruntu pod obciążeniem, takich jak: jednorodny (izotropowy) liniowo-sprężysty, anizotropowy liniowo-sprężysty, niejednorodny liniowo-sprężysty (zmiana parametrów w profilu gruntowym), liniowo-sprężysty – idealnie plastyczny, opartych na warunkach zniszczenia wg Von Mises'a, Tresca, Druckera-Pragera i Coulomba-Mohra, modelu stanu krytycznego Cam-Clay i zmodyfikowanego Cam-Clay.

2. Charakterystyka sprężysto-plastycznego modelu Cam-Clay

Model Cam-Clay zaproponowany przez Roscoe'a i Burlanda (1968)

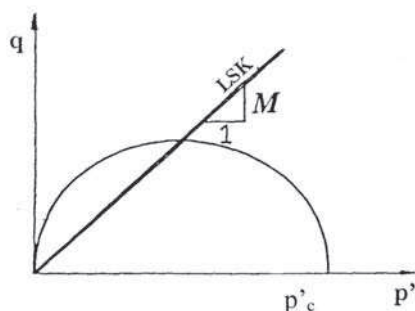


Rys. 1. Powierzchnia stanu granicznego oraz charakterystyki modelu Cam-Clay w przestrzeni q - p' - V

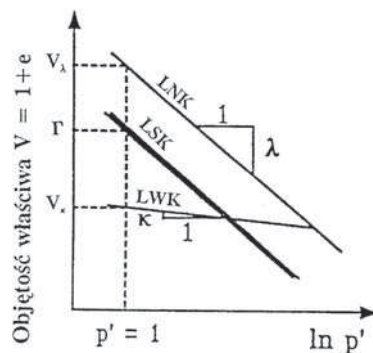
[7], Wroth'a (1977) [8] jest modelem sprężysto-plastycznym opartym na teorii stanu krytycznego z jednoparametrowym izotropowym wzmocnieniem gęstościowym. Powierzchnię stanu granicznego oraz charakterystyki modelu Cam-Clay przedstawia rysunek 1.

Charakterystycznymi krzywymi leżącymi na powierzchni stanu granicznego w przestrzeni „dewiator” naprężenia (q) – średnie naprężenie efektywne (p') – objętość właściwa (V) są: linia normalnej konsolidacji (LNK) oraz linia stanu krytycznego (LSK).

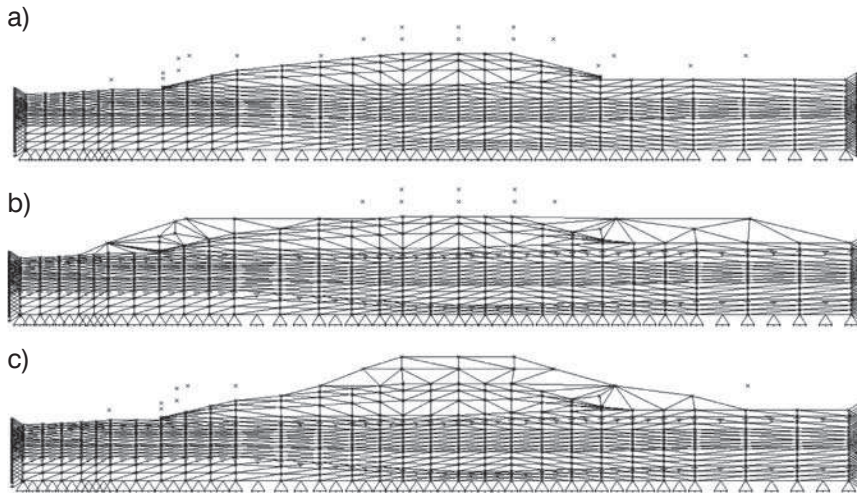
a)



b)



Rys. 2. Charakterystyki modelu Cam-Clay na płaszczyźnie: a) q - p' , b) V - $\ln p'$



Rys. 4. Dyskretyzacja korpusu i podłoża dla potrzeb obliczeń MES: 4a – stan początkowy, 4b – I etap budowy, 4c – II etap budowy

dowie korpusu istniejącej niższej zapory zbiornika suchego. Przekrój poprzeczny zapory czołowej Nielisz przedstawiono na rysunku 3. Podłoże zapory czołowej tworzy kompleks utworów czwartorzędowych o zróżnicowanej miąższości i litologii, zalegający na wyerodowanej powierzchni margli i opoki kredowej. Warstwy słabonośne podłoża tworzą holocenijskie namuły, lokalnie torfy oraz pyły i pyły piaszczyste w stanie miękkoplastycznym [3, 4, 5, 6].

Typowy układ podłoża stanowi warstwa pyłu piaszczystego zalegającego na warstwie namułu organicznego (z przewarstwieniem pyłu) podścielonego warstwą piasku. Najstabszą warstwę podłoża stanowią namuły organiczne o zawartości części organicznych $I_{om} = 10\text{--}20\%$ i $I_{om} = 21\text{--}30\%$, charakteryzujące się wilgotnością naturalną $w_n = 110\text{--}130\%$ i $w_n = 130\text{--}150\%$ przy gęstości objętościowej gruntu $\rho = 1,30\text{--}1,40 \text{ t/m}^3$ i $\rho = 1,25\text{--}1,30 \text{ t/m}^3$. Występujące

grunty słabonośne są lekko prekonsolidowane o współczynniku prekonsolidacji $OCR = 2\text{--}3$. Miąższość słabonośnego podłoża wynosi od 3 do 5 m.

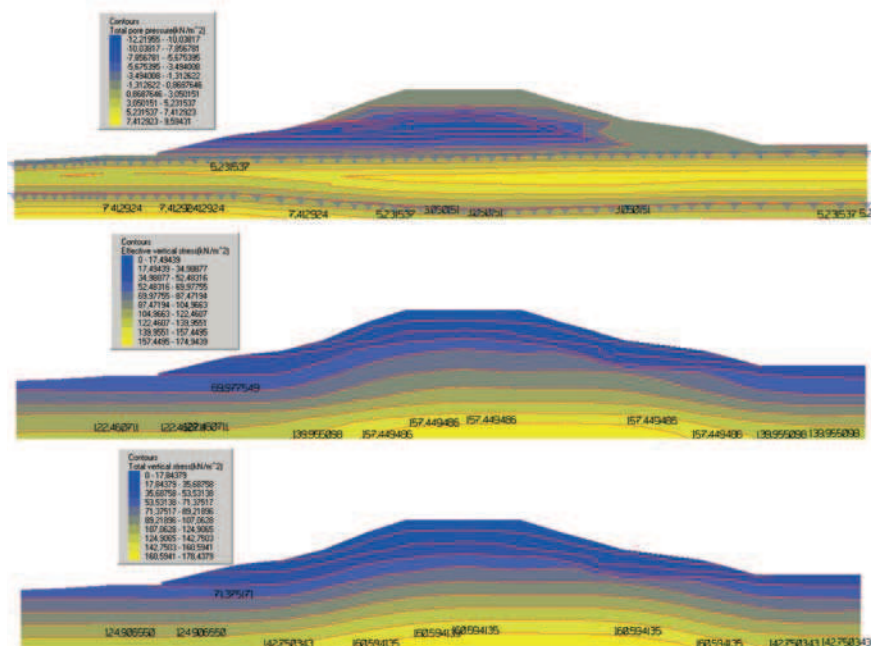
Ze względu na przyjęty 3-letni okres realizacji zbiornika i związaną z tym konieczność wcześniejszego rozpoczęcia uszczelnienia i zabezpieczenia skarp zapory oraz wykonania drenażu zapory zdecydowano się na 2-etapową budowę z zastosowaniem dodatkowych nasypów przeciążeniowych (rys. 3).

5. Obliczone i pomierzone wartości osiadań

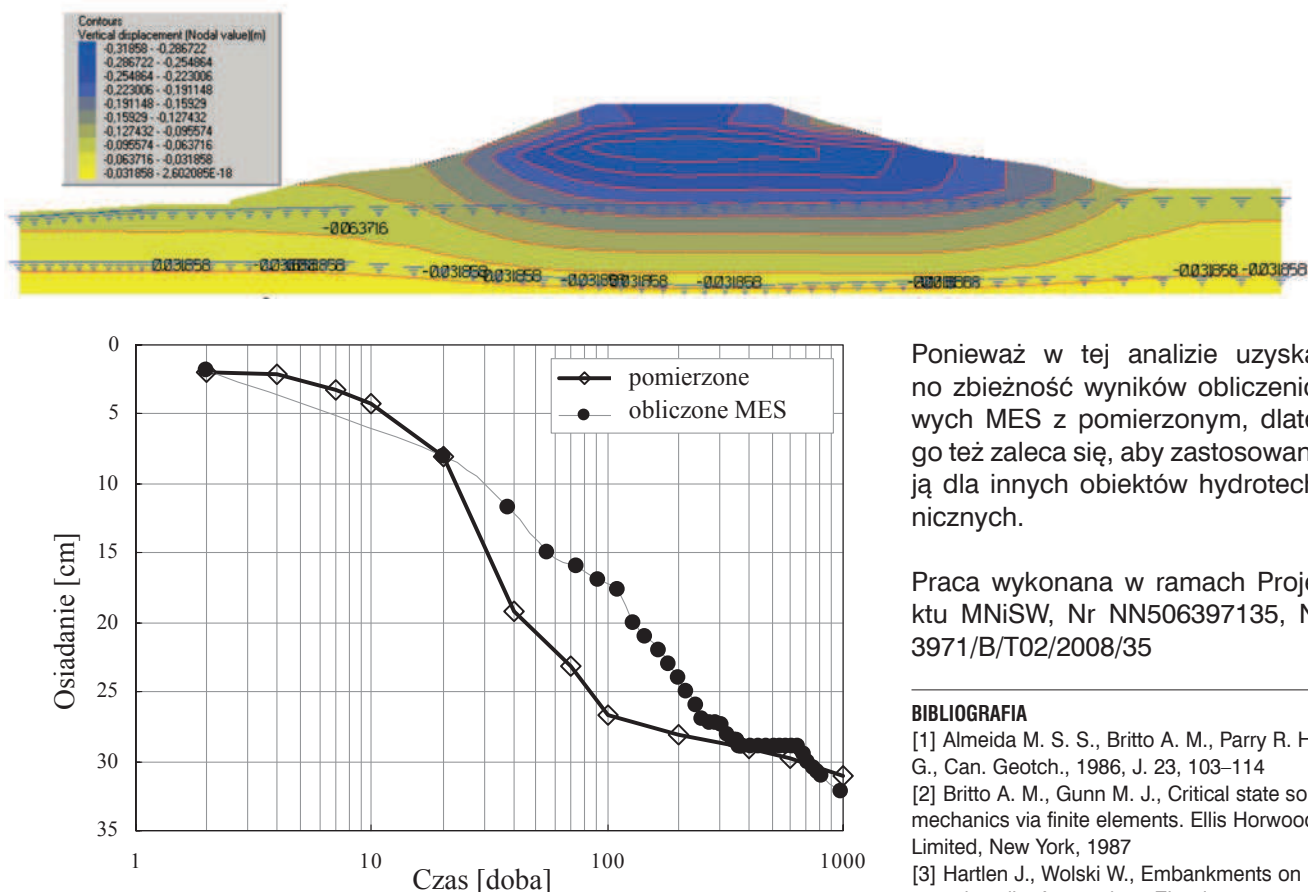
W obliczeniach programem SAGE-CRISP, podłoże i nasyp zostały dyskretyzowane na 532 węzły, 1520 elementów. Z nasypu, z pierwszego etapu, po zakończeniu konsolidacji, ze strefy WD i WG zostało zdjęte w sumie 58 elementów, przy czym elementy te były wykorzystane do podniesienia rzędnej nasypu w koronie zapory na 199 m n.p.m. do końca drugiego etapu (rys. 4).

Obliczony wzrost nadwyżki ciśnienia wody w porach Δu zauważany był na początku każdego etapu budowy. Na początku pierwszego etapu wartość Δu w strefie podłoża od WG była minimalnie niższa od Δu ze strefy podłoża od WD, pod koroną zapory nadwyżki te nie występowały (rys. 5a). Na końcu drugiego etapu budowy średnia wartość nadwyżki ciśnienia wody w porach Δu wynosiła 10 kPa w podłożu pod koroną zapory.

Obliczony wzrost pionowego naprężenia efektywnego $\sigma'_{vo} = 168 \text{ kPa}$ i całkowitego $\sigma_{vo} = 178 \text{ kPa}$ obserwowany był na początku każdego etapu budowy. Na początku pierwszego etapu wartość $\sigma'_{vo} = 108 \text{ kPa}$ w strefie podłoża od WG była taka sama jak wartość od WD, $\sigma'_{vo} = 108 \text{ kPa}$, pod koroną zapory przyrost naprężenia nie pojawił się. (rys. 5b i c). Na końcu drugiego etapu budowy średnia wartość pionowego naprężenia efektywnego i naprężenia całkowitego wynosiła



Rys. 5. Izolinie obliczonych wartości nadwyżki ciśnienia wody w porach oraz pionowe i poziome przemieszczenia



Rys. 6. Obliczone i pomierzone przemieszczenie pionowe w pomiarowym przekroju

odpowiednio $\sigma'_{vo} = 123$ kPa, $\sigma_{vo} = 167$ kPa. Była to wartość największa, co spowodowało przemieszczenie pionowe o około 31,6 cm. Obliczenie osiadań przeprowadzono programem numerycznym, w którym przyjęto teorię konsolidacji zawartą w programie SAGE-CRISP [1]. Do obliczeń przyjęto schematy zapory i podłoża przedstawione na rysunkach 3 i 4. Wyniki obliczeń pokazano na rysunku 6. Wyniki te są zbieżne z pomierzonymi wartościami osiadań. Największe różnice osiadań sięgające 56%, stwierdzono w początkowym okresie konsolidacji drugiego etapu dla około 100 dni konsolidacji. Po dłuższym okresie konsolidacji różnice te zmniejszyły się do 1%.

6. Wnioski

Teorię konsolidacji zawartą w programie SAGE-CRISP można wykorzystać do etapowej budowy

nasypu posadzonego na słabo- i średnio-organicznych gruntach organicznych, takich jak np. namuły organiczne. Dobrą zgodność wyników uzyskano pomiędzy obliczonym i obserwowanym przemieszczeniem pionowym, poziomym oraz ciśnieniem wody w porach. Dobór modelu gruntowego jest bardzo ważny w projektowaniu geotechnicznym, a w tym przypadku dla nasypu wykorzystany był model liniowo-sprężysty, dla namułów organicznych podłoża – zmodyfikowany model Cam-Clay. Dwuetapowa budowa nasypu z przeciążeniem w przypadku zapory w Nieliszu była decyzją trafną. Dzięki temu osiągnięcie korony na rzędnej 199 m n.p.m. nie spowodowało utraty stateczności podłoża nasypu (warunek I stanu granicznego), szybciej też osiągnięto docelowe wartości osiadania podłoża (II stanu granicznego).

Ponieważ w tej analizie uzyskano zbieżność wyników obliczeniowych MES z pomierzonym, dlatego też zaleca się, aby zastosowano ją dla innych obiektów hydrotechnicznych.

Praca wykonana w ramach Projektu MNiSW, Nr NN506397135, Nr 3971/B/T02/2008/35

BIBLIOGRAFIA

- [1] Almeida M. S. S., Britto A. M., Parry R. H. G., Can. Geotech., 1986, J. 23, 103–114
- [2] Britto A. M., Gunn M. J., Critical state soil mechanics via finite elements. Ellis Horwood Limited, New York, 1987
- [3] Hartlen J., Wolski W., Embankments on organic soils. Amsterdam, Elsevier, 1996
- [4] Lechowicz Z., Współczesne kierunki badań gruntów organicznych. Wykład wprowadzający na Seminarium „Współczesne Problemy Geoinżynierii w Rejonie Szczecińskim”, Szczecin, 1996 1–18
- [5] Lechowicz Z., Rabarijoely S., Zbiornik Nielisz – badania wzmocnienia słabego podłoża. Przegl. Nauk. SGGW, 1996, 12: 33–44
- [6] Rabarijoely S., Wykorzystanie badań dylatometrycznych w wyznaczeniu parametrów gruntów organicznych obciążonych nasypem, praca doktorska, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska, SGGW, 2000
- [7] Roscoe K. H., Burland J. B., On the generalized behaviour of „wet” clay. In Engineering plasticity. Edited by J. Heyman, and F. Leckie. Cambridge University Press. London, England, 1968, p. 535–609
- [8] Wroth C. P., The predicted performance of soft clay under a trial embankment loading based on the Cam-clay model. In Finite elements in geomechanics. Edited by G. Gudebus. John Wiley&Sons, Chapt. 6, 1977, p. 191–208