

Mariusz BIAŁY*
Politechnika Śląska

ANALIZA NUMERYCZNA UKŁADU FUNDAMENT PIERŚCIENIOWY– PODŁOŻE SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNE POD OBCIĄŻENIEM CIĄGLYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono symulację numeryczną fundamentu pierścieniowego obciążonego ciągle i symetrycznie, posadowionego na podłożu uwarstwionym. Celem pracy jest stworzenie modelu obliczeniowego fundamentu pierścieniowego na podłożu uwarstwionym oraz porównanie wartości parametrów odkształcenia i naprężenia w dowolnym podłożu dla modelu gruntu sprężystego i sprężysto- plastycznego CAP.

NUMERICAL ANALYSIS OF RING FOUNDATION ON ELASTO-PLASTIC SUBSOIL FOR A COUNTINUOUS LOAD

Summary. The paper presents descriptions of numerical simulation of concrete ring foundation on Elastic and Cap subsoil to compare them. Results of numerical simulation are also presented.

1. Wstęp

Dotychczasowe próby opisu współdziałania fundamentów pierścieniowych z podłożem gruntowym bazowały na jednowarstwowych sprężystych modelach przy założeniu uproszczonego schematu fundamentu prostoliniowego, ze względu na małą wartość stosunku wymiaru poprzecznego fundamentu do jego promienia. Takie uproszczenie nie daje pełnego obrazu pracy fundamentu pierścieniowego w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Utworzony w niniejszej analizie schemat obliczeniowy to fundament pierścieniowy o przekroju prostokątnym, posadowiony na poziomo uwarstwionym podłożu.

Zarówno geometria układu, jak przekazywane z nadbudową obciążenie równomiernie rozłożone na powierzchni pierścienia kształtują osiowo symetryczne warunki pracy układu.

Innowacją w niniejszej analizie, obok osiowej symetrii zagadnienia, jest uwzględnienie poziomego uwarstwienia podłoża oraz przypisanie gruntowi izotropowego wzmocnienia

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Maciej Gryczmański

plastycznego z wszystkimi jego konsekwencjami, w postaci fizycznej nieliniowości i wrażliwości na historię obciążenia.

Celem przedstawionego artykułu jest zbadanie wpływu wprowadzonej innowacji na rozkłady przemieszczeń i naprężeń w układzie „fundament- podłoże”.

2. Numeryczny model układu

Realizacja postawionego celu na drodze obliczeniowej wymaga zastosowania metody elementów skończonych. Dyskretyzacja układu elementami powinna w rozważanym przypadku zadośćuczynić następującym zasadom podanym w publikacji [4]:

- wykorzystanie osiowej symetrii, polegające na dyskretyzacji połówki pionowego przekroju środkowego,
- dostosowanie podziału na elementy układu do warstwowej budowy podłoża - brzegi elementów powinny pokrywać się z granicami warstw,
- wspólny podział na elementy podłoża i fundamentu,
- zagęszczenie siatki elementów w rejonie styku fundamentu z podłożem, gdzie występują największe zaburzenia w rozkładzie naprężeń.

Zastosowana dyskretyzacja pokazana jest na rys. 2, a jej powiększenie na rys 3.

W analizie zastosowano układ złożony z izoparametrycznych elementów ośmiowęzłowych oraz z sześciowęzłowych trójkątnych elementów przejściowych.

Opis modelu numerycznego dopełniają związki „naprężenie- odkształcenie” zdefiniowane w dowolnym punkcie obszaru. Jak już wspomniano, do opisu zachowania się podłoża przyjęto sprężysto- plastyczny model o izotropowym wzmocnieniu. Wybrano w tym celu znany amerykański model nasadkowy („cap”), zaproponowany przez Sandlera i Di Maggio[8] (porównaj też Chen i Baladi [2]). Będzie on pokrótce opisany w rozdziale 3. Żelbet fundamentu traktowany jest jak izotropowy materiał liniowo sprężysty.

3. Model materiałowy- CAP

Modele typu „cap” są przykładem kompromisu między idealną plastycznością a wzmocnieniem izotropowym. Tu przyjęto wersję zaproponowaną przez Sandlera i Di Maggio. Podstawą modelu jest powierzchnia plastyczności o ewoluującej ze zmianą plastycznego wskaźnika porowatości nasadką (rys.1).

Funkcje określające tę powierzchnię przyjmują postać:

$$F(p', q, e^p) = \left\{ \begin{array}{l} q - 3p' - I_{1r} = 0 \\ q - M_{pcr} \frac{p' + c \operatorname{ctg} \phi}{p_{cs} + c \operatorname{ctg} \phi} = 0 \\ q^2 + \frac{M^2}{(R-1)^2} (p' + p_c)(p' + p_c - 2p_{cs}) = 0 \end{array} \right. \quad , \begin{array}{l} p_o' < p < p_{cs}' \\ p_c' \geq p_{cs}' \end{array} \quad (1)$$

Prawo wzmocnienia wyznacza równanie:

$$p_c' = p_{c0}' \exp\left(\frac{\Delta e^p}{\lambda - \chi}\right) \quad \Delta e^p = (1 + e_0) \epsilon_e^p$$

gdzie:

p_c - ciśnienie prekonsolidacji (parametr izotropowego wzmocnienia), (2)

p_{cs} - ciśnienie w stanie krytycznym,

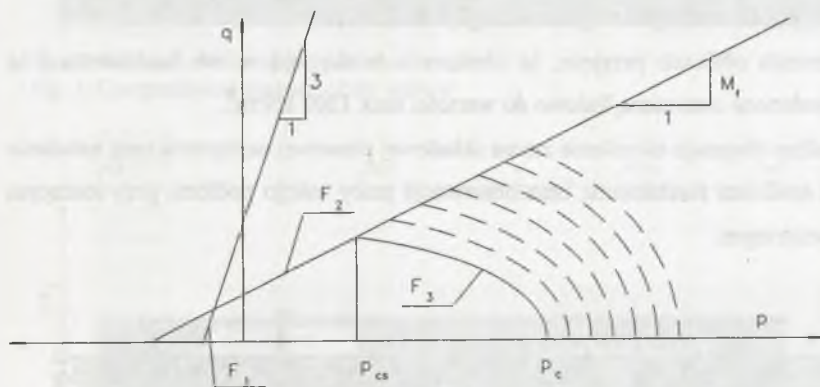
p_{c0} - ciśnienie prekonsolidacji w danym punkcie podłoża pod fundamentem

w momencie rozpoczęcia budowy obiektu,

R - parametr określający kształt powierzchni plastycznej,

Δe^p - całkowita plastyczna zmiana wskaźnika porowatości,

M - nachylenie linii stanu krytycznego.



Rys. 1. Powierzchnia plastyczna modelu „Cap”
 Fig. 1. Yield surface of Cap model

4. Dane do analizy

W symulacji przyjęto schemat podłoża złożonego z trzech warstw o zróżnicowanych parametrach, zakładając możliwość dowolnego doboru tych parametrów w zależności od rzeczywistego uwarstwienia podłoża w wybranym terenie.

Do przeprowadzenia analizy porównawczej przyjęto trzy warstwy gruntu o następujących parametrach:

Warstwa 1: Gлина piaszczysta

$E=11000 \text{ kN/m}^2$; $\nu=0,32$; $\gamma=20 \text{ kN/m}^2$; $\phi=10^\circ$; $c=9 \text{ kN/m}^2$; $I_L=0,5$; $\lambda=0,2$; $K_0=1-\sin\phi=0,83$

Warstwa 2: Piasek średni

$E=80000 \text{ kN/m}^2$; $\nu=0,25$; $\gamma=17,5 \text{ kN/m}^2$; $\phi=33^\circ$; $c=0 \text{ kN/m}^2$; $I_D=0,5$; $\lambda=0,2$; $K_0=0,46$

Warstwa 3: Piasek gliniasty

$E=22000 \text{ kN/m}^2$; $\nu=0,29$; $\gamma=21,5 \text{ kN/m}^2$; $\phi=17,5^\circ$; $c=30 \text{ kN/m}^2$; $I_L=0,5$; $\lambda=0,2$; $K_0=0,7$

Warstwa kontaktowa:

$\phi=10^\circ$; $c=9 \text{ kN/m}^2$

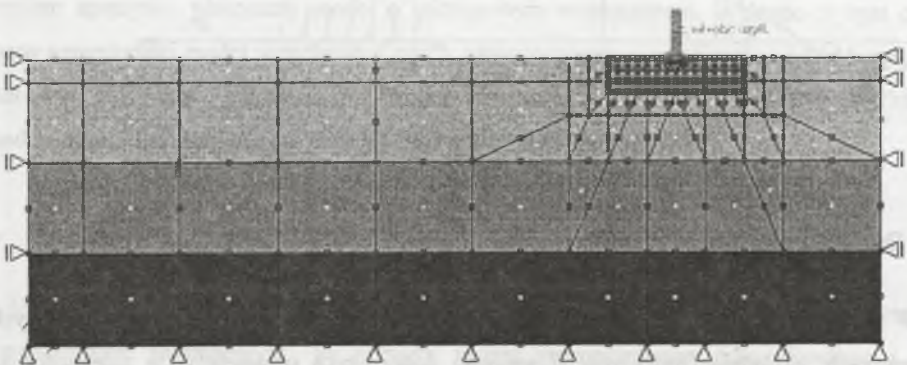
Parametry betonu dla fundamentu:

$E=30000000 \text{ kN/m}^2$; $\nu=0,167$; $\gamma=25,0 \text{ kN/m}^2$

Jako reprezentatywny przykład przyjęto fundament żelbetowy zbiornika wody o promieniu $R=40 \text{ m}$ z oddylatowaną płytą dna, przejmujący obciążenia od ciężaru własnego płaszcza zbiornika i części obciążenia użytkowego (wypełnienia wodą), przypadającą na rozpatrywany fundament. Fundament żelbetowy o promieniu $R=40 \text{ m}$ i przekroju prostokątnym o wymiarach $0,7 \times 3,6 \text{ m}$ posadowiony jest w gruncie na głębokości 1 m .

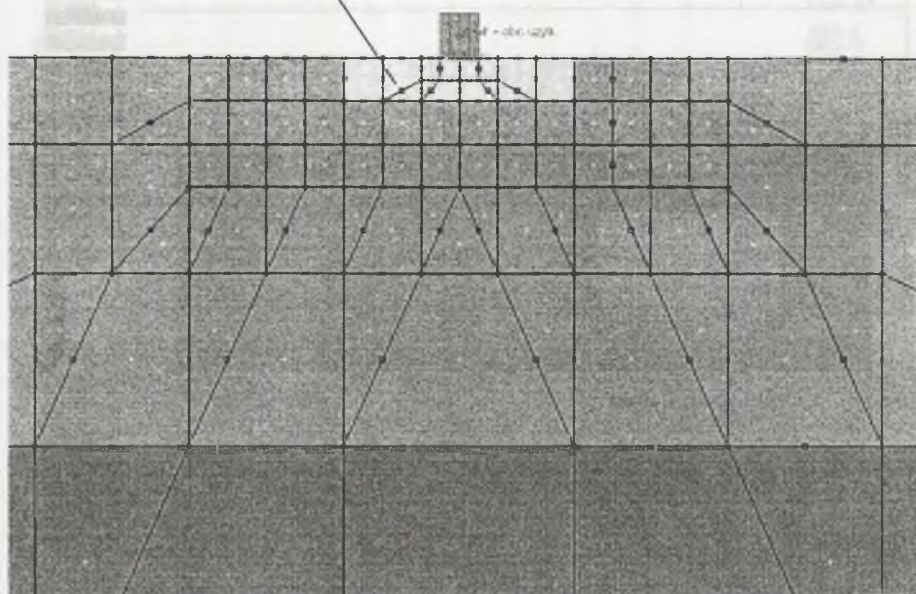
Dla uproszczenia obliczeń przyjęto, że obciążenia te działają w osi fundamentu i są symetrycznie rozłożone oraz rosną liniowo do wartości $\max 1200 \text{ kN/m}^2$.

Program analizy obejmuje określenie zmian składowej pionowej naprężenia oraz osiadania mierzone pod środkiem fundamentu, oraz obserwację pracy całego podłoża, przy rosnącym obciążeniu zewnętrznym.

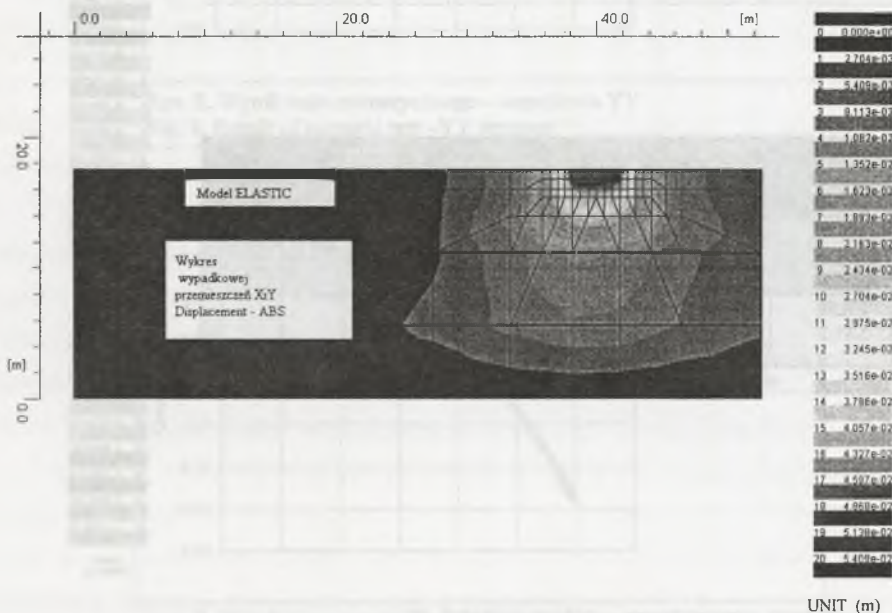


Rys. 2. Schemat obliczeniowy podłoża
Fig. 2. Computational diagram of the subsoil

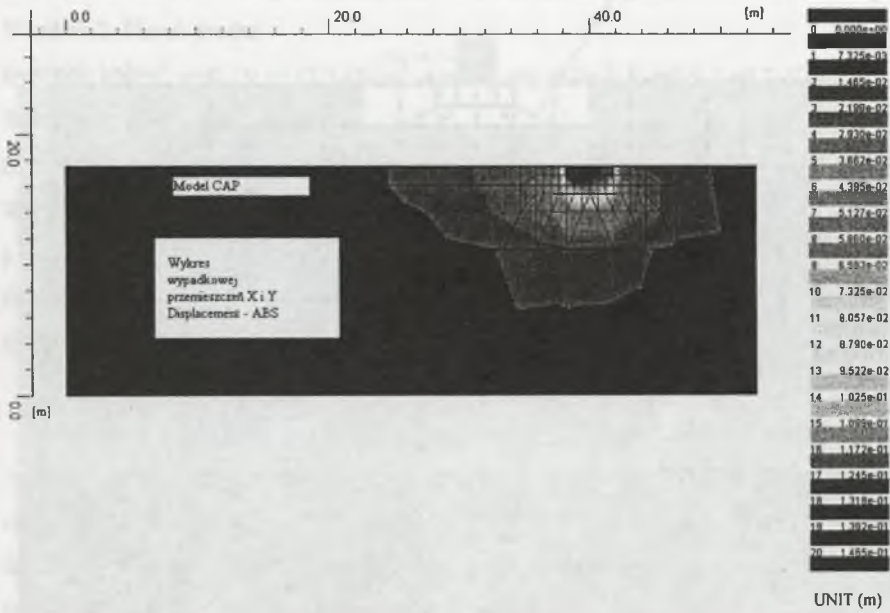
Zelbetowy fundament pierścieniowy
Concrete ring foundation



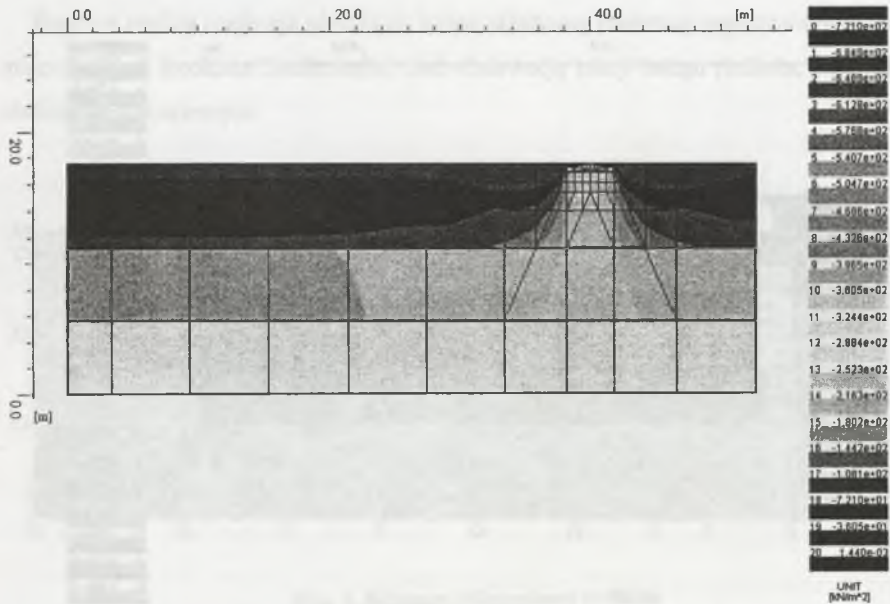
Rys. 3. Schemat obliczeniowy podłoża
Fig. 3. Computational diagram of the subsoil



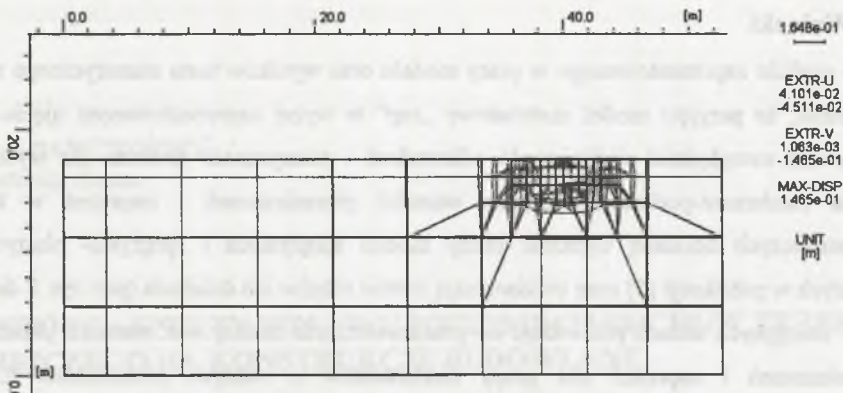
Rys. 4. Wynik testu numerycznego – izobary przemieszczeń wypadkowych XY dla modelu elastic
Fig. 4. Result of numeric test – isobars of XY displacement for the Elastic Model



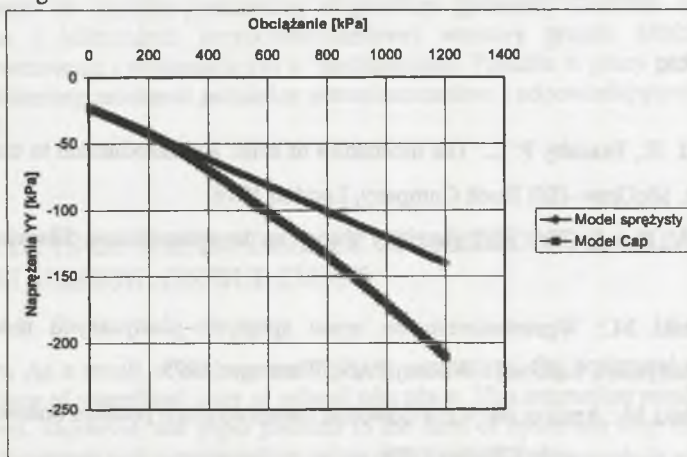
Rys. 5. Wynik testu numerycznego – izobary przemieszczeń wypadkowych XY- dla modelu „Cap”
Fig. 5. Result of numeric test – isobars of XY displacement for the Cap Model



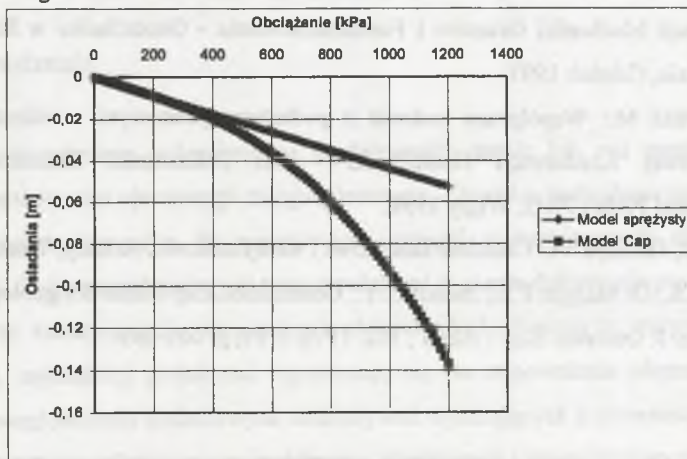
Rys. 6. Wynik testu numerycznego – izobary naprężeń σ_y
Fig. 6. Result of numeric test – isobars of normal stresses σ_y



Rys. 7. Wynik testu numerycznego – deformacja siatki elem. skończonych
 Fig. 7. Result of numeric test –deformation of finite elements mesh



Rys. 8. Wynik testu numerycznego – naprężenia YY
 Fig. 8. Result of numeric test –YY stresses



Rys. 9. Wynik testu numerycznego – przemieszczenia YY
 Fig. 9. Result of numeric test –YY displacement

5. Wnioski

Po analizie zaprezentowanego w pracy modelu oraz wyników testu numerycznego można stwierdzić, że przyjęty model materiałowy „cap” w wyżej zaprezentowanym ujęciu może efektywnie uwzględniać nieliniowość odkształceń i plastyczność podłoża dla wybranego układu fundament-podłoże. Uzyskane wartości przemieszczeń i naprężeń w testach porównawczych obrazują wyraźnie cechy modeli sprężystych i sprężysto- plastycznych opisanych w publikacji [5] oraz uwidaczniają istotne różnice ich działania (por. rys. 8 do 9).

W następnych testach przewiduje się przeprowadzenie analizy ww. wartości parametrów przemieszczeń i naprężeń dla grupy fundamentów o różnych promieniach R , przy uwzględnieniu stopnia prekonsolidacji podłoża.

LITERATURA

1. Atkinson J. H., Bransby P. L.: The mechanics of soils. An introduction to critical state soil mechanic. McGraw-Hill Book Company, London 1978.
2. Chen W.F., Baladi G.Y.: Soil placticity theory an implementation. Elsevier, Amsterdam 1985.
3. Gryczmański M.: Wprowadzenie do opisu sprężysto-plastycznych modeli gruntów. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 1995.
4. Gryczmański M.: Analiza statyczna dowolnie uwarstwionego podłoża budowli metodą elementów skończonych. Gliwice 1976.
5. Gryczmański M.: Podstawy teoretyczne w geotechnice -referat w ramach XI Krajowej Konferencji Mechaniki Gruntów i Fundamentowania - Geotechnika w Budownictwie i Transporcie, Gdańsk 1997.
6. Gryczmański M.: Współpraca budowli z podłożem gruntowym – referat w ramach I Problemowej Konferencji Geotechniki – IIB Politechniki Białostockiej. Sekcja Geotechniki PAN i PKG, Wigry 1998.
7. Ledwoń J., Golczyk M.: Chłodnie kominowe i wentylatorowe. Arkady, Warszawa 1967.
8. Sandler J.S., Di Maggio F.L., Baladi G. Y.: Generalized Cap Model for geological Materiale. J. Geotech. Eng – ASCI , 102, 1976, GT7, p. 683-699.