

Mariusz BIAŁY*

Politechnika Śląska, Gliwice

NIELINIOWA ANALIZA WSPÓŁPRACY MOSTU O KONSTRUKCJI ZAMKNIĘTEJ Z GRUNTEM

Streszczenie. W pracy przedstawiono symulację numeryczną żelbetowego mostu o konstrukcji zamkniętej zagłębionego w gruncie jednorodnym. Celem pracy jest porównanie wielkości i rozkładu naprężeń w gruncie na styku konstrukcja-podłoże uzyskanych w analizie MES przy zastosowaniu modeli gruntów Coulomba-Mohra, „cap” i stosowanych powszechnie obliczeń na podstawie normy PN-88/B-02014.

NONLINEAR ANALYSIS INTERACTION OF CLOSED-CONSTRUCTION BRIDGE WITH SUBSOIL

Summary. The paper presents numerical simulation of closed-construction concrete bridge and homogenous subsoil system. The purpose of the work is comparison of value and stress distribution on the construction – subsoil connection of numerical FEM analysis for models Coulomb-Mohr, “cap” and widely used calculations based on the PN-88/B-02014.

1. Wstęp

Stosowane w praktyce inżynierskiej metody wymiarowania konstrukcji żelbetowych mostów o konstrukcji zamkniętej bazują na sprężystych modelach gruntu i uproszczonych liniowych schematach obciążenia ścian tych obiektów parciem i odporem gruntu. Takie uproszczenie nie daje prawdziwego obrazu obciążenia i pracy tej konstrukcji w warunkach rzeczywistych, gdyż nie są to obciążenia, lecz wzajemne oddziaływanie gruntu i konstrukcji.

Utworzony w niniejszej analizie schemat obliczeniowy – to żelbetowy most o konstrukcji zamkniętej, zagłębiony w gruncie jednorodnym.

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

Innowacją w niniejszej analizie jest uwzględnienie współpracy konstrukcji z podłożem oraz dobór odpowiedniego modelu gruntu, który umożliwia przypisanie gruntowi izotropowego wzmocnienia plastycznego z wszystkimi tego konsekwencjami, w postaci fizycznej nieliniowości i wrażliwości na historię obciążenia.

Celem przedstawionego artykułu jest porównanie wielkości i rozkładu naprężeń w gruncie na styku konstrukcja-podłoże przy zastosowaniu modeli Coulomba- Mohra i „cap” w analizie MES oraz wyników obliczeń na podstawie normy PN-88/B-02014 – „Obciążenia budowli – Obciążenie gruntem”.

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]:

- dostosowanie podziału na elementy do geometrii mostu,
- wspólny podział na elementy podłoża i mostu,
- zagęszczenie siatki elementów w rejonie styku konstrukcji mostu z podłożem, gdzie występują największe zaburzenia w rozkładzie naprężeń,
- zastosowanie elementów kontaktowych na styku grunt-konstrukcja mostu.

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

W analizie zastosowano układ złożony z 3992 izoparametrycznych elementów czterowęzłowych.

Opis modelu numerycznego dopełniają związki „naprężenie-odkształcenie” zdefiniowane w dowolnym punkcie obszaru. 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 [7] (porównaj też Chen i Baladi [2]). Będzie on pokrótce opisany w rozdziale 3. W celach porównania rozkładu naprężeń przy zastosowaniu różnych modeli obliczeniowych symulacje numeryczną przeprowadzono również dla modelu Coulomba-Mohra. Żelbet mostu 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:

$$F(p', q, e^p) = \begin{cases} q - 3p' - I_{1T} = 0 \\ q - M_{psa} \frac{p' + c \operatorname{ctg} \phi}{p'_{cs} + c \operatorname{ctg} \phi} = 0 & , p'_o < p < p'_{cs} \\ q^2 + \frac{M^2}{(R-1)^2} (p' + p'_c)(p' + p'_c - 2p'_{cs}) = 0 & , p'_c \geq p_{cs} \end{cases} \quad (1)$$

Prawo wzmocnienia wyznacza równanie:

$$p'_c = p'_{c0} \exp\left(\frac{\Delta e^p}{\lambda - \chi}\right), \quad \Delta e^p = (1 + e_0) \varepsilon_v^p \quad (2)$$

gdzie:

p'_c - ciśnienie prekonsolidacji (parametr izotropowego wzmocnienia),

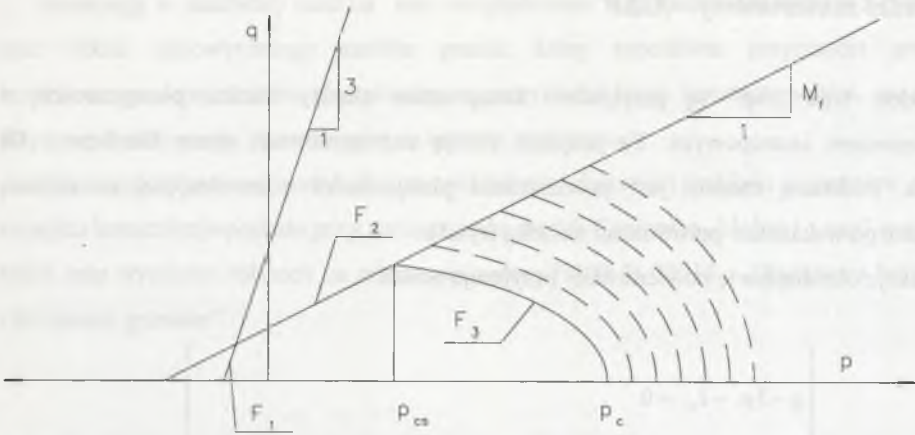
p'_{cs} - ciśnienie w stanie krytycznym,

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 jednorodnego o następujących parametrach:

$E=30000 \text{ kN/m}^2$; $\nu=0,3$; $\gamma=20 \text{ kN/m}^2$; $\phi=30^\circ$; $c=45 \text{ kN/m}^2$; $J_L=0,25$; $\lambda=0,5$;
 $K_0=1-\sin\phi = 0,5$; $p_{c0}=200 \text{ kPa}$; $R=2$.

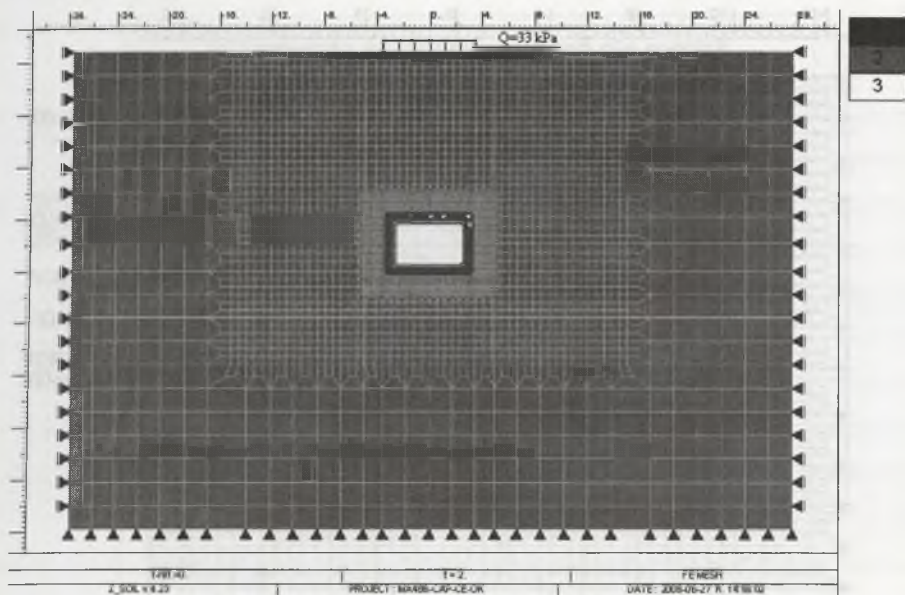
Warstwa kontaktowa:

$\phi=20^\circ$; $c=30 \text{ kN/m}^2$

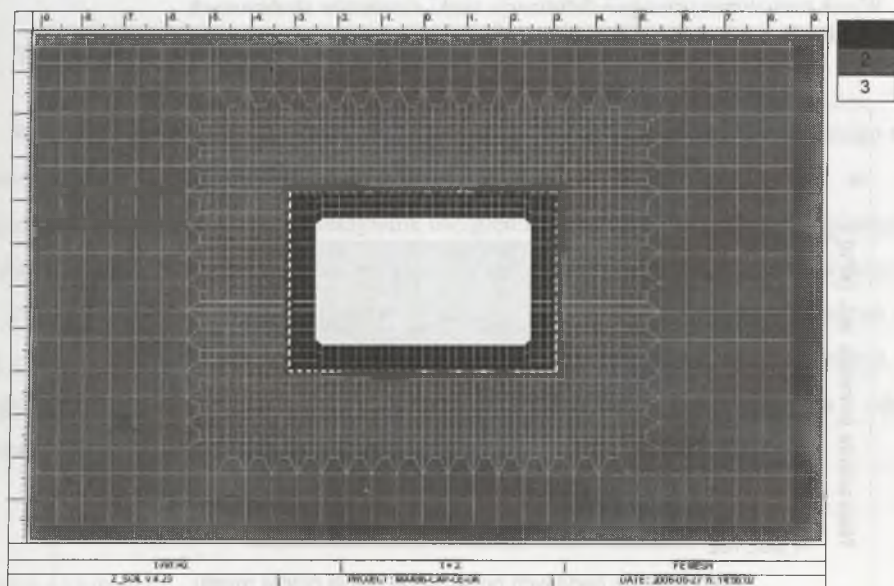
Parametry dla betonu dla fundamentu:

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

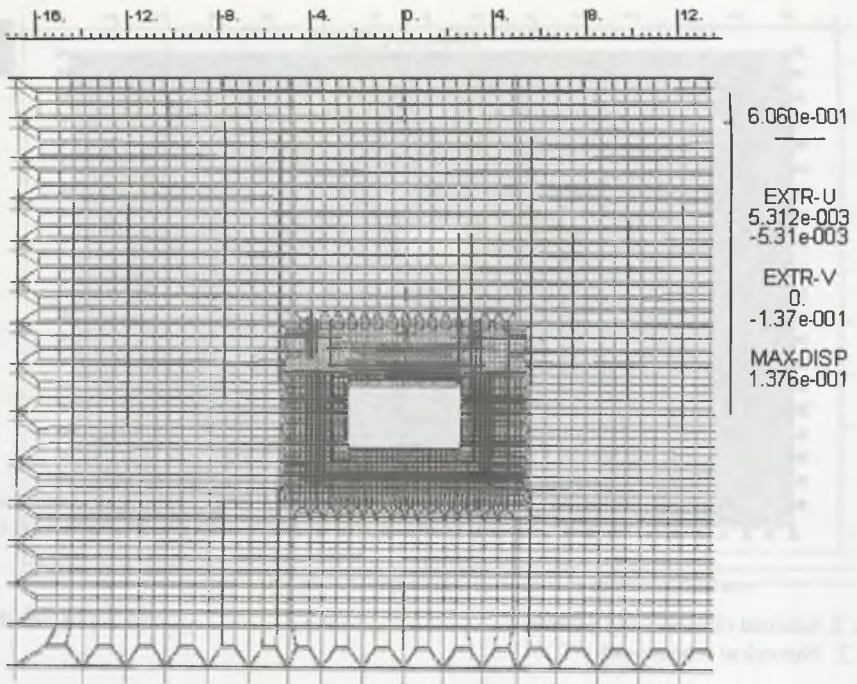
Utworzony w niniejszej analizie model – to most żelbetowy o konstrukcji zamkniętej o wymiarach w świetle $3,0 \times 5,0 \text{ m}$; grubość ścian, płyty górnej i dolnej równe są $0,6 \text{ m}$; górna płyta mostu znajduje się na głębokości $12,6 \text{ m}$ pod powierzchnią terenu. Obciążenie zewnętrzne mostu – to nacisk pionowy od ciężaru własnego warstw jezdni i gruntu zalegającego ponad górną płytą mostu wraz z obciążeniem użytkowym od ruchu pojazdów po jezdni.



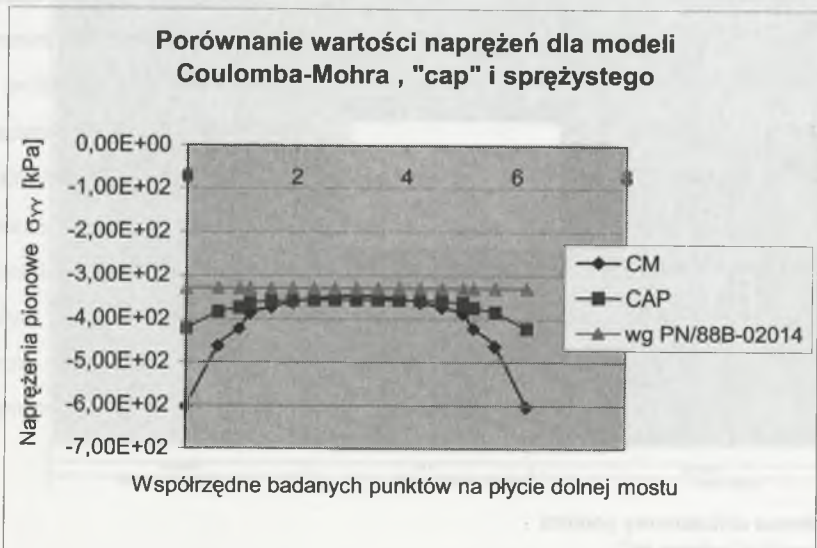
Rys. 2. Schemat obliczeniowy podłoża
 Fig. 2. Numerical scheme soil



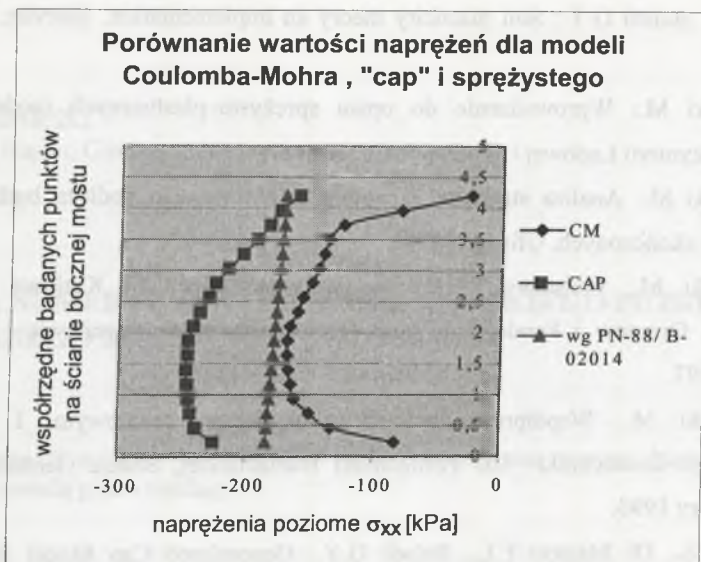
Rys. 3. Schemat obliczeniowy podłoża
 Fig. 3. Numerical scheme soil



Rys. 4. Wynik testu numerycznego – deformacja siatki elementów skończonych
 Fig. 4. Result of numeric test – deformation infinite elements mesh



Rys. 5. Wynik testu numerycznego – parcie gruntu na płytę dolną
 Fig. 5. Result of numeric test – pressure of soil on the bottom plate



Rys. 6. Wynik testu numerycznego – parcie gruntu na ścianę boczną
Fig. 6. Result of numeric test – pressure of soil on the side wall

5. Wnioski

Po analizie zaprezentowanego w pracy modelu oraz wyników testu numerycznego można stwierdzić, że przyjęte modele materiałowe Coulomba-Mohra oraz „cap” w wyżej zaprezentowanym ujęciu mogą efektywnie uwzględniać nieliniowość naprężeń i plastyczność podłoża dla wybranego układu most-podłoże. Uzyskane w wyniku analizy numerycznej oraz w obliczeniach wykonanych na podstawie normy PN-88/B-02014 wykresy naprężeń różnią się zarówno kształtem, jak i wartościami rzędnych. Dowodzi to tezy, że konstrukcja mostu współpracuje z gruntem, a poszczególne jego elementy obciążone są parciem i odporem gruntu o wartościach zmieniających się nieliniowo.

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 plasticity 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. XI Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania-Geotechnika w Budownictwie i Transporcie, Gdańsk 1997.
6. Gryczmański M.: Współpraca budowli z podłożem gruntowym. I Problemowa Konferencja Geotechniki –IIB Politechniki Białostockiej, Sekcja Geotechniki PAN i PKG, Wigry 1998.
7. Sandler J.S., Di Maggio F.L., Baladi G.Y.: Generalized Cap Model for geological materials. J. geotech. Eng – ASCI , 102, 1976, GT7, p. 683-699.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Gaszyński, prof. Politechniki Krakowskiej