ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: BUDOWNICTWO z.104 Nr kol.1695

Szymon DAWCZYŃSKI*
Politechnika Śląska

ANALIZA NUMERYCZNA WSPÓŁPRACY FUNDAMENTU Z PODŁOŻEM GÓRNICZYM Z UWAGI NA POZIOME DEFORMACJE TERENU

Streszczenie. Fundamenty obiektów budowlanych znajdujących się w obrębie górniczej niecki obniżeniowej narażone są na dodatkowe obciążenia, wynikające z poziomych odkształceń terenu. W artykule zaprezentowano model numeryczny opisujący powyższe zagadnienie, uwzględniający sprężysto-plastyczne właściwości materiałowe betonu (kryterium Willama-Warnke) i podłoża gruntowego (Druckera-Pragera).

NUMERICAL ANALYSIS OF INTERACTION OF THE FOUNDATION LOCATED ON MINING SUBSOIL WITH RESPECT TO HORIZONTAL DEFORMATION

Summary. Foundations of structures located within subsiding coal basin are threatened with additional loading resulting from horizontal deformations of the area. This paper presents numerical model describing the above referred problem taking into account elastic-plastic material properties of concrete (Willam-Warnke criterion) as well as subsoil properties (Drucker-Prager criterion).

1. Wprowadzenie

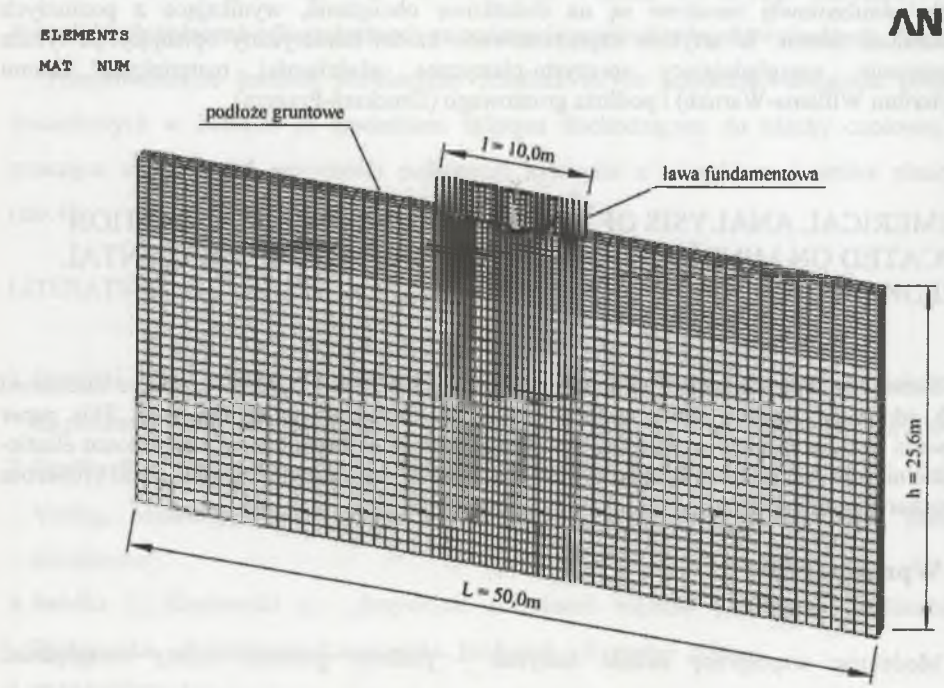
Modelując współpracę układu budynek – podłoże górnicze należy uwzględniać najniekorzystniejsze usytuowanie takiego obiektu względem frontu podziemnej eksploatacji [3]. Dotychczasowe analizy oparte były głównie na jednorodnych modelach sprężystych (głównie liniowo sprężystych). Tymczasem dynamiczny proces kształtowania się górniczej niecki obniżeniowej wymaga podejścia znacznie nowocześniejszego (zaprezentowanego w niniejszym artykule), m.in. uwzględniającego wpływ historii obciążenia na wartości odkształceń i naprężeń oraz plastyczne właściwości poszczególnych materiałów.

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Marian Kawulok, prof. Politechniki Śląskiej

2. Analiza numeryczna

2.1. Model obliczeniowy

W analizowanym przykładzie zarówno beton, jak i podłoże gruntowe zamodelowano za pomocą 8 węzłowych elementów bryłowych, o trzech stopniach swobody w każdym węźle (przemieszczenia na kierunkach głównych UX, UY, UZ). Do zamodelowania ławy fundamentowej wykorzystano 225 elementów SOLID65, a do podłoża gruntowego 8700 elementów SOLID45. Na rysunku 1 przedstawiono schemat modelu, wraz z dyskretyzacją na elementy skończone.



Rys. 1. Schemat modelu obliczeniowego (model MES)
Fig. 1. The scheme of computational model (FEM model)

Wielkość bryły współpracującego z fundamentem podłoża została wyznaczona zgodnie z [1], tj. wysokość bryły h powinna być 2,5-krotnie większa od długości fundamentu l ($h \approx 2{,}5 \cdot l = 25{,}6m$), a wymiar długości bryły gruntu L wynika z podwojenia jej wysokości h

($L \approx 2 \cdot h = 50{,}0m$). Inny sposób doboru wymiarów współpracującego podłoża można znaleźć w pracy [8].

2.2. Modele materiałowe

Podłoże gruntowe i beton – z pozoru dwa różniące się ośrodki materiałowe ze względu na swoją budowę makroskopową i sposób pracy pod obciążeniem – często określane są wspólnym terminem materiałów geologicznych (geomateriałów). W analizowanym przykładzie w celu lepszego odwzorowania wpływu zmiennych w czasie obciążeń górniczych zarówno beton, jak i grunt zamodelowano z uwzględnieniem sprężysto–plastycznych właściwości materiałowych.

Pięcioparametrowy model Willama–Warnke`a [9] przyjęto jako najlepiej odwzorowujący rzeczywisty charakter przestrzennej pracy elementów betonowych. Do jednoznacznego określenia powierzchni plastyczności i powierzchni zniszczenia konieczne jest zdefiniowanie następujących wartości:

- f_t – wytrzymałość betonu na jednoosiowe rozciąganie,
- f_c – wytrzymałość betonu na jednoosiowe ściskanie,
- f_{cb} – wytrzymałość betonu na dwuosiowe ściskanie,
- f_1 – wytrzymałość betonu na dwuosiowe ściskanie w stanie naprężenia hydrostatycznego
- f_2 – wytrzymałość betonu na jednoosiowe ściskanie w stanie naprężenia hydrostatycznego.

Ze względu na problemy z fizycznym wyznaczeniem trzech ostatnich parametrów w przykładzie obliczeniowym posłużono się wzorami empirycznymi (1), (2) i (3) zaproponowanymi przez Willama–Warnke`a [9]:

$$f_{cb} = 1{,}2 \cdot f_c \tag{1}$$

$$f_1 = 1{,}45 \cdot f_c \tag{2}$$

$$f_2 = 1{,}725 \cdot f_c \tag{3}$$

Sprężysto idealnie plastyczny model Druckera – Pragera [2], o stożkowej powierzchni plastyczności i kołowym przekroju dewiatorowym, zastosowano do opisu górniczego podłoża gruntowego. Plastyczna faza pracy materiału wymaga zdefiniowania tylko trzech stałych:

kohezji, kąta tarcia wewnętrznego i kąta dylatancji. Jeżeli miara tego ostatniego jest równa zero, to prawo płynięcia jest niestowarzyszone.

2.3. Parametry analizowanego układu

Do obliczeń przyjęto betonową ławę fundamentową o długości 10,0 m. Szerokość stopy ławy wynosi 1,20 m, a jej wysokość 0,40 m. Szerokość ściany fundamentowej to 0,4 m, a wysokość 2,4 m. Ława obciążona jest obciążeniem równomiernie rozłożonym o wartości $Q = 260\ kN/m^2$. Parametry betonu przyjętego do obliczeń odpowiadają betonowi klasy C12/15 [7]:

- moduł sprężystości $E = 27000\ MPa$,
- współczynnik Poissona $\nu = 0{,}2$,
- wytrzymałość na ściskanie w jednoosiowym stanie naprężenia $f_c = 12\ MPa$,
- wytrzymałość na rozciąganie w jednoosiowym stanie naprężenia $f_t = 1{,}1\ MPa$

Parametry podłoża gruntowego (grunt spoisty, twardoplastyczny) [6]:

- moduł odkształcenia gruntu $E = 30\ MPa$,
- współczynnik Poissona $\nu = 0{,}29$,
- spójność $c = 0{,}033\ MPa$,
- kąt tarcia wewnętrznego $\phi = 19°$,
- kąt dylatancji $\delta = 0°$.

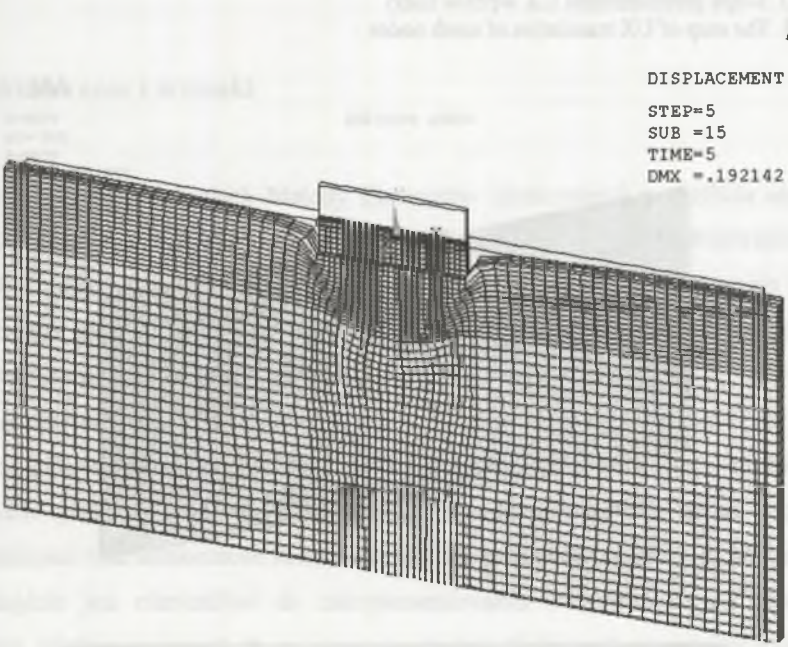
Założono, iż pod analizowanym układem fundament – warstwa podłoża prowadzona jest eksploatacja górnicza, która na powierzchni terenu skutkuje pełnym przejściem niecki obniżeniowej. Rozkład parametrów deformacji ciągłych terenu przyjęto zgodnie z założeniami teorii Budryka – Knothego [5]. W artykule pominięto wpływ krzywizny terenu na fundament. Natomiast szczegółowej analizie poddano wpływ poziomych odkształceń terenu (rozluźnienia i zagęszczenia) na konstrukcję. Charakterystyka zakładanej eksploatacji górniczej:

- miąższość pokładu $g = 2{,}0\ m$,
- głębokość zalegania pokładu $H = 440\ m$,
- tangens kąta zasięgu wpływów głównych $tg\ \beta = 2$,

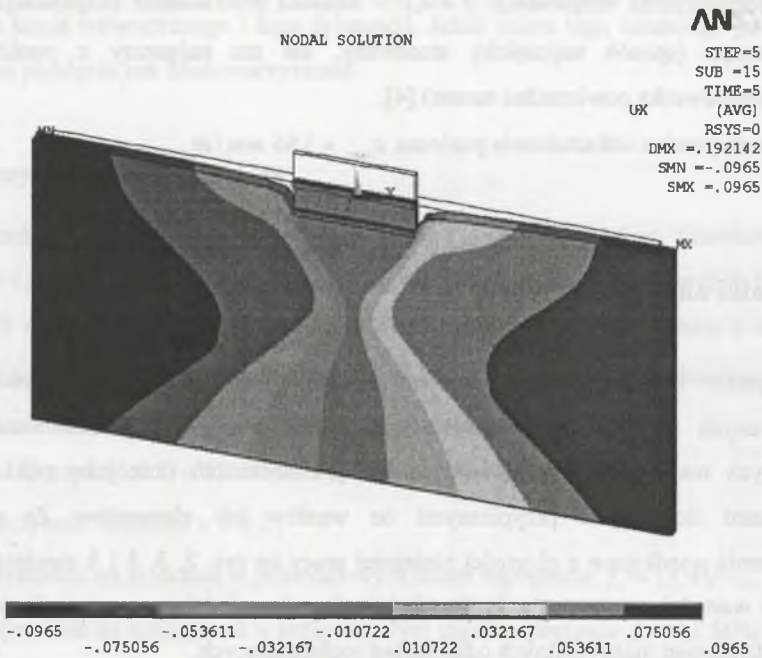
- współczynnik eksploatacji $\eta = 0{,}7$ – oznacza prowadzenie eksploatacji z zawałem stropu (sposób najczęściej stosowany, ale też najgorszy z punktu widzenia użytkownika powierzchni terenu) [4],
- maksymalne odkształcenie poziome $\varepsilon_{max} = 3{,}86\ mm/m$.

3. Wyniki analizy

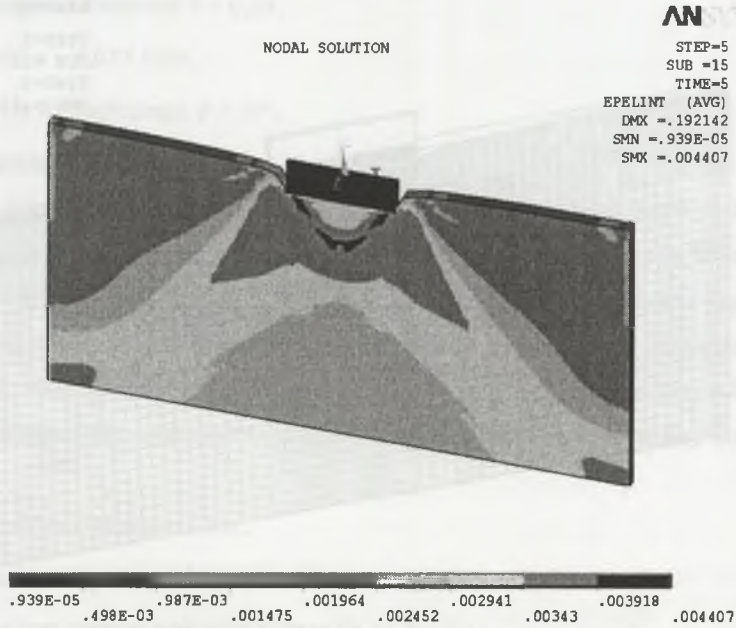
Wszystkie obliczenia wykonano za pomocą profesjonalnego programu do analiz numerycznych ANSYS. W programie tym wyniki mogą być prezentowane w formie kolorowych map naprężeń, odkształceń lub przemieszczeń oraz jako pliki tekstowe z wartościami liczbowymi przypisanymi do węzłów lub elementów. Ze względu na ograniczenia wynikające z objętości niniejszej pracy na rys. 2, 3, 4 i 5 zamieszczono tylko wybrane wartości otrzymane w kroku obciążenia, odpowiadającego wystąpieniu w podłożu pod fundamentem maksymalnych odkształceń rozluźniających.



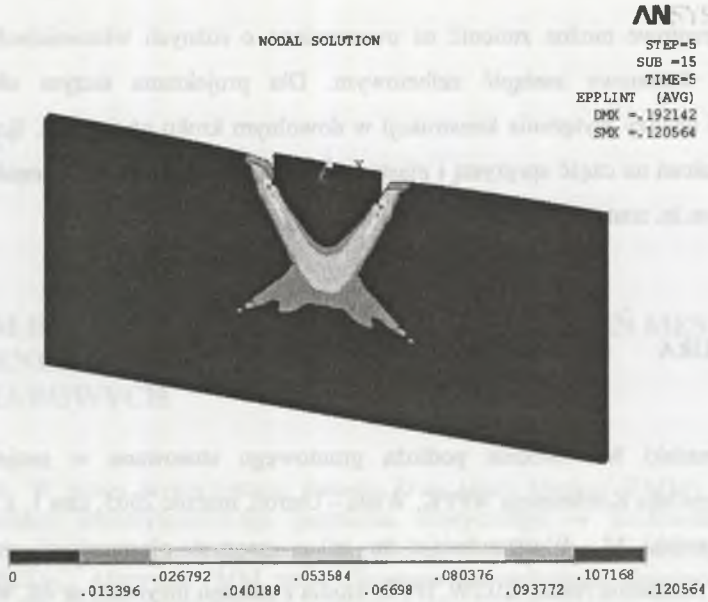
Rys. 2. Widok odkształconej siatki elementów modelu obliczeniowego
Fig. 2. The view of deformed mesh of finite elements of computational model



Rys. 3. Mapa przemieszczeń UX węzłów siatki
Fig. 3. The map of UX translation of mesh nodes



Rys. 4. Mapa intensywności odkształcenia sprężystego
Fig. 4. The map of elastic strain intensity



Rys. 5. Mapa intensywności odkształcenia plastycznego
Fig. 5. The map of plastic strain intensity

4. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie w obliczeniach Metody Elementów Skończonych umożliwia otrzymanie dużej ilości dokładnych wyników w każdym z węzłów siatki elementów. Oczywiście stopień dokładności rozwiązania zależy głównie od poprawnego zamodelowania układu, odpowiedniego zagęszczenia elementów oraz od sposobu odwzorowania rzeczywistych obciążeń w badanym zagadnieniu.

Zaprezentowana w pracy analiza modelu numerycznego fundamentu na podłożu górniczym potwierdza słuszność modelowania betonu i gruntu jako materiałów o własnościach sprężysto – plastycznych. Należy sobie zdawać sprawę, że ze względu na stopień trudności oraz konieczność korzystania z profesjonalnych programów obliczeniowych takie podejście jest niemożliwe do zaimplementowania w uproszczonych algorytmach normowych. Wydaje się jednak, iż w miarę rozwoju technik komputerowych i powszechności metod numerycznych będzie ono coraz częściej stosowane.

Podstawową zaletą opisanego modelu numerycznego jest możliwość wykonania ponownych obliczeń dla innych parametrów materiałowych lub geometrycznych. Jednorodne

podłoże gruntowe można zmienić na uwarstwione o różnych własnościach fizycznych, a fundament betonowy zastąpić żelbetowym. Dla projektanta dużym ułatwieniem jest możliwość analizy wytężenia konstrukcji w dowolnym kroku obciążenia. Rozkład naprężeń lub odkształceń na część sprężystą i plastyczną wskazuje miejsca uplastycznienia betonu lub gruntu, co m.in. zostało przedstawione w niniejszej pracy.

LITERATURA

1. Gryczmański M.: Modele podłoża gruntowego stosowane w projektowaniu. XX Ogólnopolska Konferencja WPPK, Wisła – Ustroń, marzec 2005, tom 1, s. 159-208.
2. Gryczmański M.: Wprowadzenie do opisu sprężysto-plastycznych modeli gruntów. Polska Akademia Nauk, KILiW, IPPT, Studia z zakresu inżynierii nr 40, Warszawa 1995.
3. Kawulok M.: Projektowanie posadowień obiektów budowlanych na terenach górniczych. XX Ogólnopolska Konferencja WPPK, Wisła – Ustroń, marzec 2005, tom 2, s. 147-170.
4. Kwiatek J.: Podstawy budownictwa na terenach górniczych. Wydawnictwa AGH, Kraków 2004.
5. Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Praca zbiorowa pod kierunkiem J. Kwiatka. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1998.
6. PN-81/B-03020 Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
7. PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
8. Starosolski W.: O modelowaniu wpływu górniczej niecki obniżeniowej na budynki przy zastosowaniu podręcznych programów obliczeniowych. Budownictwo Górnicze i Tunelowe nr 3/2003, s. 18-28.
9. Willam K.J., Warnke E.D.: Constitutive model for the triaxial behavior of concrete. IABSE Seminar in Bergamo, Italy 1974, IABSE Proceedings vol. 19, 1975, p. 1-30.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek