

**KONFERENCJA ŚRODOWISKOWA
SEKCCI MECHANIKI GRUNTÓW I SKAŁ ORAZ FUNDAMENTOWANIA
KOMITETU INŻYNIERII LĄDOWEJ I WODNEJ PAN
"GEOTECHNIKA W OŚRODKU GLIWICKIM"**

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

1995

Seria: BUDOWNICTWO z. 80

Nr kol. 1288

Stanisław MAJEWSKI
Katedra Inżynierii Budowlanej
Politechnika Śląska

**NIEKTÓRE PROBLEMY MODELOWANIA GRUNTU NA TERENACH
PODLEGAJĄCYCH WPLYWOM EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ**

Streszczenie. W pracy przedstawiono dyskusję podstawowych problemów, modelowania gruntu, jakie wynikają z deformacji terenu spowodowanych eksploatacją górnictwem. Przyjęty sposób ich rozwiązania zilustrowano wynikami analiz numerycznych.

**SOME PROBLEMS OF SOIL MODELLING IN REGIONS SUBJECTED TO MINING
SUBSIDENCE**

Summary. Some crucial problems for modelling of soil in mining regions are discussed. The adopted solution is illustrated by the results of numerical analysis.

**EINIGE PROBLEME DER MODELLIERUNG DES UNTERLAGE UNTERWORFEN
DEN EINFLÜSSEN DER BERGBAUDEFORMATION DES GELÄNDES**

Zusammenfassung. In der vorliegenden Arbeit wurde das Problem einer Modellierung des Bodens, unterworfen den Einflüssen einer Bergbaudeformation, dargestellt. Die Methode wird in numerischen Beispielen illustriert.

1. WSTĘP

Realistyczny opis zachowania materiału pod obciążeniem jest warunkiem koniecznym powodzenia każdej analizy. W teoretycznie ścisłych rozważaniach opis ten musi być uproszczony, gdyż przyjęcie bardziej złożonych związków konstytutywnych prowadzi do trudności matematycznych, które niejednokrotnie uniemożliwiają uzyskanie zamkniętego rozwiązania

problemu. Jedną z zalet analizy numerycznej wykorzystującej algorytm przyrostowo-iteracyjny jest możliwość jej dostosowania do rzeczywistego przebiegu zjawiska. Warunkiem wszakże jest przyjęcie modelu materiałowego maksymalnie zbliżonego do rzeczywistości.

Grunt nie należy do materiałów łatwych do modelowania, nawet jeżeli ograniczymy się do opisu kontynualnego, który sam w sobie jest znacznym uproszczeniem. Jest to jednak uproszczenie konieczne, jeżeli w analizie zamierzamy stosować aparat mechaniki ośrodków ciągłych. Ważne jest, by uproszczenie nadmiernie nie wypaczało analizowanych zjawisk.

Na obecnym etapie rozwoju wiedzy można uznać, że najlepsze możliwości realistycznego modelowania podłoża stwarza sprężysto-plastyczna teoria konsolidacji gruntu. W pracy [9] przedstawiono prosty, sprężysto-plastyczny model nasadkowy, uzasadniając jego powstanie celowością budowy zunifikowanego modelu do opisu różnych materiałów występujących w zagadnieniach współpracy budowli z podłożem. Model ten zastosowano do analizy układu budynek-podłoże poddanego wpływowi górniczych deformacji terenu, nie dyskutując jednak szczegółowo problemów wynikających z modelowania gruntu w rejonach narażonych na tego rodzaju oddziaływania. Dyskusja tych problemów jest przedmiotem niniejszej pracy.

2. CHARAKTERYSTYKA ODDZIAŁYWAŃ SPOWODOWANYCH EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ I AKTUALNEGO SPOSOBU ICH MODELOWANIA.

Eksploatacja podziemnych pokładów węgla powoduje rozluźnienie górotworu, które manifestuje się powstaniem na powierzchni terenu deformacji ciągłych lub nieciągłych (najczęściej w miejscu anomalii geologicznych oraz przy płytkiej eksploatacji) oraz zjawisk parasejsmicznych. W dalszym ciągu będziemy się zajmować wyłącznie deformacjami ciągłymi.

W obrębie niecki osiadania mamy do czynienia z poziomymi i pionowymi przemieszczeniami punktów położonych na powierzchni terenu. Nierównomierny rozkład tych przemieszczeń powoduje powstanie poziomych odkształceń rozluźniających (w początkowej fazie niecki) i zagęszczających (w fazie końcowej) oraz krzywizny terenu. Obydwa te oddziaływania przekazują się poprzez grunt na budowle, powodując niejednokrotnie ich uszkodzenia. Rozpoznanie analityczne ich wpływu na budynki wiąże się z przyjęciem odpowiedniego modelu obliczeniowego, którego zasadniczym elementem jest model materiałowy gruntu.

Aktualna wiedza na temat skutków deformacji górniczych dla samego gruntu i dla budynków jest efektem obserwacji obiektów naturalnych, modelowych badań laboratoryjnych oraz rozważań teoretycznych. Te ostatnie przyjmują za podstawę na ogół mocno uproszczone modele analogowe podłoża. Złożone zjawisko równoczesnego wpływu deformacji poziomych i krzywizny terenu górniczego rozpatrywane bywa przy założeniu niezależnego oddziaływania każdego z tych wpływów. Dla określenia skutków krzywizny terenu przyjmuje się zwykle liniowo sprężysty model podłoża Winklera lub jego modyfikacje polegające na uzmiennieniu cech sprężystych podłoża [4-8]. Sama konstrukcja tego modelu - nie powiązane ze sobą pio-

nowe sprężyny - wyklucza jego zastosowanie do analizy wpływu deformacji poziomych terenu. Do tego celu bywa przyjmowany model, który można określić jako rozciągana pod budynkiem, liniowo sprężysta warstwa. Poziome siły przekazywane z podłoża na budynek, będące efektem sprężystych odkształceń tej warstwy, są ograniczone jej wytrzymałością na ścinanie. Wnioski wynikające z obszernych badań laboratoryjnych [2,5] wprowadzają współczynniki korekcyjne do tak obliczonych sił.

Mimo praktycznej przydatności takich modeli trudno je traktować jako podstawę do spójnego opisu złożonych zjawisk zachodzących zarówno w samym podłożu poddanym wpływowi deformacji górniczych, jak i w styku podłoża z fundamentem obiektów budowlanych. Można zaryzykować twierdzenie, że nie da się zbudować modelu analogowego, który mógłby wszystkie te zjawiska w sposób zbliżony do rzeczywistości opisać. Rozwiązania problemu należy poszukiwać wśród modeli masywu gruntowego, poczynając od półprzestrzeni sprężystej poprzez modele hyposprężyste aż do najbardziej wyrafinowanych modeli sprężysto-plastycznych i sprężysto-lepko-plastycznych. Te ostatnie mogą być zastosowane w praktycznych analizach jedynie w połączeniu z metodami numerycznymi MES lub MEB.

3. SPECYFIKA MODELOWANIA GRUNTU W TERENACH GÓRNICZYCH

W typowych zagadnieniach współpracy fundamentu z podłożem mamy zwykle do czynienia z pracą gruntu w warunkach trójosiowego ściskania. Jest to jedyny stan naprężenia, w którym zachowanie podłoża gruntowego może być stosunkowo łatwo opisane w kategoriach mechaniki ośrodków ciągłych. Dla silnie prekonsolidowanych gruntów niespoistych można tu uzyskać zbliżony do rzeczywistości opis zachowania gruntu nawet za pomocą modeli sprężystych (półprzestrzeń sprężysta).

Dwa czynniki muszą być uwzględniane przy modelowaniu gruntu w terenach objętych wpływem deformacji górniczych. Pierwszym z nich jest rozluźnienie znacznych obszarów podłoża związane z powstaniem odkształceń rozciągających w początkowej fazie tworzenia się niecki górniczej. Podawana w prognozach deformacji wielkość tych odkształceń dla terenów niezabudowanych wynosi zwykle kilka mm/m. Szytwe inkluzje, jakimi dla podłoża gruntowego są obiekty budowlane, silnie zakłócają prognozowany, równomierny rozkład odkształceń, co sprawia, że w niektórych miejscach ich wielkość będzie wielokrotnie większa. Powstanie w gruncie znacznych odkształceń rozciągających zmienia parametry decydujące o jego podatności i wpływa zasadniczo na przyjmowane kryteria zniszczenia. Można się również spodziewać, że w tej fazie deformacji wystąpią w gruncie odkształcenia trwałe, co przesądza o **koniczności wyboru modeli sprężysto-plastycznych**, gdyż modele sprężyste oraz hyposprężyste takich odkształceń nie ujawniają.

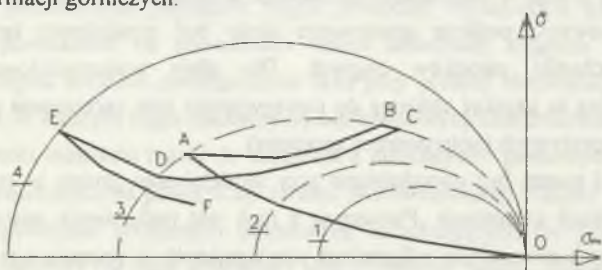
Drugim czynnikiem, który w istotny sposób wpływa na zachowanie gruntu i współpracujących z nim obiektów budowlanych, jest przebieg deformacji górniczych w czasie.

Wspomniane wyżej rozluźnienie i związane z nim odkształcenia trwałe oraz zmiany właściwości gruntu występują w początkowej fazie rozwoju niecki. Każda próba analizy pełnego cyklu deformacji górniczych musi uwzględniać wpływ tych zmian na dalsze zachowanie podłoża gruntowego. Przyjmowany w takiej analizie model gruntu powinien więc uwzględniać zależność jego zachowania od przebiegu ścieżki naprężeń.

Jest jeszcze trzeci czynnik, który może wywierać istotny wpływ na zachowanie gruntu w warunkach oddziaływania deformacji pochodzenia górniczego, zwłaszcza dla nawodnionych gruntów spoistych. Tym czynnikiem są zjawiska reologiczne związane z przepływem wody w porach w trakcie zmieniających się w czasie deformacji górniczych.

Tak więc przy modelowaniu gruntów poddanych wpływowi deformacji górniczych zbliżony do rzeczywistości opis mogą zapewnić modele sprężysto-lepko-plastyczne lub przynajmniej sprężysto-plastyczne. W dalszym ciągu ograniczymy się do tych ostatnich.

W modelach sprężysto-plastycznych kryterium zniszczenia wyznacza w przestrzeni naprężeń powierzchnię plastyczności, która oddziela obszary sprężystej i plastycznej pracy materiału. Powierzchnia ta może być stała, lub też może zmieniać swój kształt stosownie do przyjętego prawa wzmocnienia/osłabienia, które określa jej ewolucję w przestrzeni naprężeń. Na rysunku 1 przedstawiono tworzącą obrotowej (niezależnej od kąta Lodego) powierzchnię plastyczności w płaszczyźnie południkowej oraz przebieg ścieżki naprężeń przy zwykłym występującym, pionowym obciążeniu budynku oraz przy pełnym cyklu przechodzących pod budynkiem deformacji górniczych.



Rys. 1. Powierzchnia plastyczności i ścieżka naprężeń

Fig. 1. The yield surface and the stress-path

Odcinek O-A ścieżki naprężenia odpowiada obciążeniu budynku. W gruntach normalnie skonsolidowanych może się to wiązać z rozwojem powierzchni plastyczności od położenia początkowego 1 do położenia 3. Wejście pod budynek niecki górniczej powoduje zwrot w przebiegu ścieżki naprężenia (gałąź A-B-C) i przebicie powierzchni plastyczności w punkcie B. Kolejny zwrot (gałąź C-D-E) następuje po wejściu niecki w fazę poziomych odkształceń ściskających. Może się to wiązać z dalszą ewolucją powierzchni plastyczności do położenia 4. Ostatnia faza to kolejne rozluźnienie podłoża. Końcowe położenie ścieżki naprężenia w punkcie F nie pokrywa się z położeniem A przed wystąpieniem deformacji górniczych.

4. CHARAKTERYSTYKA SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNEGO MODELU GRUNTU NA TERENACH GÓRNICZYCH

W pracy [9] przedstawiono opis sprężysto-plastycznego modelu ze wzmocnieniem lub osłabieniem izotropowym, który zastosowano do opisu gruntu, strefy kontaktu oraz betonu. W przestrzeni naprężeń określonej przez naprężenie średnie σ_m i "intensywność naprężenia" $\bar{\sigma}$ model ma gładką powierzchnię plastyczności złożoną ze stożkowej powierzchni Druckera-Pragera oraz dwóch stycznych do niej nasadek: kulistej w strefie rozciągania i elipsoidalnej w strefie dużych naprężeń ściskających. Równania poszczególnych powierzchni mają postać:

- dla stożka:

$$F_1 = \bar{\sigma} + (3\alpha\sigma_m - \beta) \cdot Y(\kappa) = 0, \\ \alpha = \frac{2 \sin \Phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \Phi)}, \quad \beta = \frac{6 \cos \Phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \Phi)} c \quad (1)$$

- dla nasadki kulistej:

$$F_2 = \bar{\sigma}^2 + (\sigma_m - 3\alpha\beta Y_\kappa^2) - R^2 = 0, \quad R = \beta Y_\kappa \sqrt{1 + 9\alpha^2 Y_\kappa^2} \quad (2)$$

- dla nasadki elipsoidalnej:

$$F_3 = \frac{4\bar{\sigma}^2}{(2\beta Y - 3\alpha Y p_c)^2} + \frac{[2\sigma_m - p_c(2 - \gamma)]^2}{(p_c \gamma)^2} - 1 = 0, \quad \gamma = \frac{4\beta - 9p_c \alpha}{4\beta - 12p_c \alpha} \quad (3)$$

We wzorach (1) - (3) Φ oznacza kąt tarcia wewnętrznego gruntu, c jest współczynnikiem kohezji, a p_c ciśnieniem prekonsolidacji.

W pracy [9] zrezygnowano z modelowania wzmocnienia lub osłabienia w obszarze powierzchni stożkowej oraz nasadki kulistej w strefie rozciągania, przyjmując tu założenie o idealnej plastyczności. Dla analizy zagadnień związanych z deformacjami górniczymi terenu obszar ten jest szczególnie istotny, gdyż wystąpienie poziomych odkształceń rozluźniających wiąże się z naruszeniem kryterium zniszczenia właśnie w obrębie tych powierzchni. Przyjęcie tutaj osłabienia materiałowego rodzi problemy numeryczne związane ze zbieżnością procesu iteracyjnego, które w fazie rozluźnienia i bez tego są wystarczająco kłopotliwe.

Funkcję osłabienia można przyjąć w postaci:

$$Y(\kappa) = C_4 + (1 - C_4)(C_2 \kappa + 1) \exp(-C_2 \kappa), \quad (4)$$

gdzie parametrem jest plastyczna część "intensywności odkształcenia":

$$\kappa = \bar{\varepsilon}_{pl} = \sqrt{\frac{1}{3} \left[(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + \frac{3}{2} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) \right]} \quad (5)$$

Trudno dziś cokolwiek powiedzieć na temat wartości współczynników C_2 i C_4 .

Elipsoidalna nasadka w strefie ściskania jest podobna do odpowiedniej części powierzchni plastyczności modelu Modified Cam Clay. Dla nasadki tej przyjęto identyczne jak w modelu MCC prawo wzmocnienia, które przy stosowanych tam oznaczeniach wyrazi się zależnością:

$$p_c = \bar{p}_c \exp\left(\frac{\varepsilon_{vol}^{pl}}{\lambda - \kappa}\right) \quad (6)$$

Parametrem wzmocnienia jest plastyczna część odkształcenia objętościowego.

W obszarze sprężystym w pracy [9] przyjęto zmodyfikowaną postać hyposprężystego modelu Duncana-Changa, uzależniając macierz sprężystości od modułów ściśliwości i ścinania, których początkowe wartości są dane wzorami:

$$K = K_o p_o \left(\frac{\sigma_m}{p_o} \right)^m, \quad G_i = G_o p_o \left(\frac{\sigma_m}{p_o} \right)^n \quad (7)$$

Wprowadzany do macierzy sprężystości styczny moduł ścinania zależy od stosunku naprężenia $\bar{\sigma}$ do granicznej wartości tego naprężenia σ_f przy aktualnym poziomie naprężenia średniego i wynosi:

$$G = G_i \left(1 - \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_f} r_f \right)^2 \quad (8)$$

We wzorach tych p_o jest ciśnieniem atmosferycznym, K_o i G_o bezwymiarowymi parametrami materiałowymi, wykładniki m i n parametrami określającymi charakter zależności modułów od naprężeń średnich, a r_f kolejnym parametrem modelu Duncana-Changa.

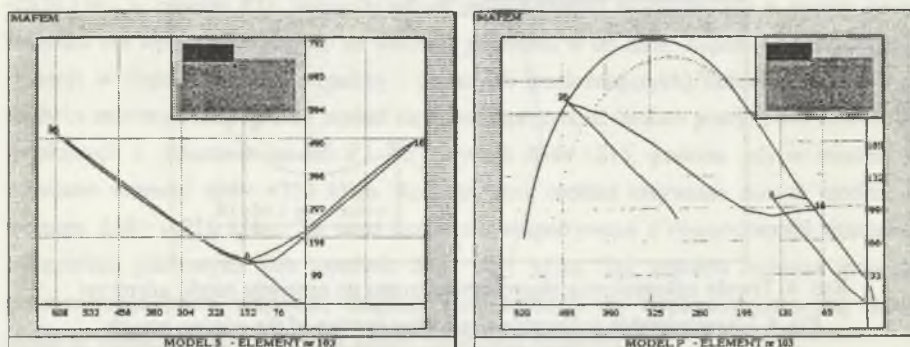
Uzależnienie obydwu modułów od naprężenia średniego σ_m pozwala uwzględnić zwiększenie podatności gruntu w fazie rozluźnienia i jego "usztynienie" w obszarze poziomych odkształceń ściskających. Ta zależność dotyczy głównie obszarów położonych poza strefą "kotwiącego" oddziaływania budynku, gdzie poziome odkształcenia rozluźniające powodują spadek naprężenia średniego σ_m . Pod budynkiem, gdzie ścieżki naprężeń mają przebieg dewiatorowy, ten spadek jest mniej wyraźny.

5. PRZYKŁADOWE WYNIKI ANALIZ NUMERYCZNYCH

Wyniki obszernych analiz numerycznych współpracującego układu budynek-podłoże przedstawiono w pracy [9]. W tym miejscu omówiono te z nich, które ilustrują sygnalizowane w punkcie 3 zjawiska decydujące o specyfice modelowania gruntu na terenach górniczych.

Na rysunku 2 przedstawiono ścieżki naprężeń dla elementu podłoża położonego w rejonie krawędzi budynku, dla modelu sprężystego (model S) i sprężysto-plastycznego (model P). W punktach zwrotnych tych ścieżek oznaczono numery kroków przyrostowo-iteracyjnego algorytmu, (6 - zakończenie procesu obciążenia budynku, 16 - faza ekstremalnego rozluźnienia, 36 - faza największych deformacji ściskających). W modelu sprężystym zwraca uwagę duża wartość średniego naprężenia rozciągającego w fazie rozluźnienia, w rzeczywistości niemożliwa do zrealizowania w gruncie. Po przejściu pełnego cyklu deformacji górniczych ścieżka naprężeń w tym modelu wraca do punktu wyjścia. W modelu sprężysto-plastycznym zaznaczono ślad powierzchni plastyczności w płaszczyźnie południkowej. Gałąź odpowiadająca fazie rozluźnienia (6-16) jest bardzo krótka, gdyż prawie na początku tej fazy ścieżka naprężeń weszła na powierzchnię plastyczności, gdzie utrzymywała się aż do kroku szesnastego. Wzrost naprężeń ściskających wraz z pewnym "popchnięciem" nasadki elipsoidalnej nastąpił w fazie

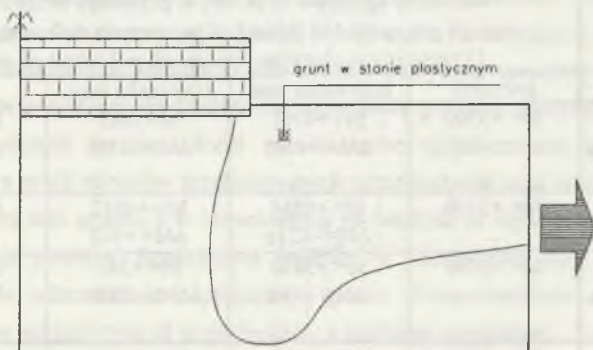
poziomych odkształceń zagęszczających. Końcowe położenie ścieżki naprężenia w modelu sprężysto-plastycznym różni się znacznie od położenia wyjściowego.



Rys. 2. Ścieżki naprężeń w modelu sprężystym i sprężysto-plastycznym

Fig.2. Stress paths in elastic and elasto-plastic model

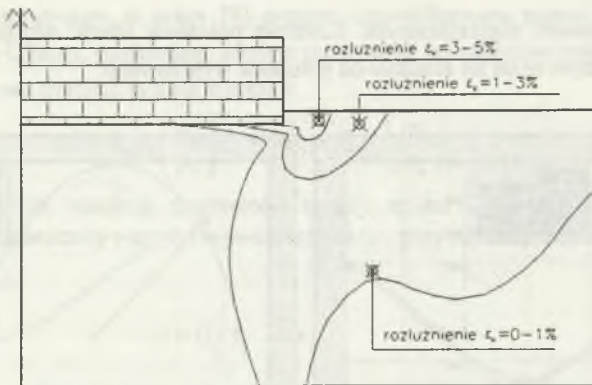
Krótką gałąź ścieżki w fazie rozluźnienia oznacza, że występującym w tej fazie odkształceniom nie towarzyszyły proporcjonalne do nich zmiany stanu naprężenia. Odkształcenia miały głównie charakter odkształceń plastycznych. Zakres obszaru uplastycznienia gruntu w stadium ekstremalnego rozluźnienia dla jednego z analizowanych modeli pokazano na rysunku 3.



Rys 3. Zakres uplastycznienia gruntu w fazie ekstremalnego rozluźnienia

Fig.3. Plastic area in soil in the phase of extreme tensile deformation

Pewne odkształcenia trwale wystąpiły również w fazie deformacji ściskających, jednak były znacznie mniejsze niż w stadium rozluźnienia. W konsekwencji po przejściu pod budynkiem pełnej niecki osiadania w gruncie pozostaje duży obszar trwałego rozluźnienia (rys. 4). Taki stan gruntu wiąże się z nieodwracalną zmianą jego właściwości. Przy późniejszych analizach dotyczących tego samego rejonu stan ten powinien być przyjmowany jako stan wyjściowy.



Rys. 4. Trwałe odkształcenia objętościowe gruntu po przejściu niecki górniczej

Fig. 4. Unrecoverable volumetric strain after passing of the mining trough

Potwierdzeniem zależności uzyskiwanych z analizy wyników od przebiegu ścieżki naprężenia są momenty zginające w budynku obliczone od osobno rozpatrywanych wpływów deformacji poziomych terenu i jego krzywizny oraz od łącznego wpływu obydwu tych oddziaływań (tablica 1).

Tablica 1

Momenty zginające w środkowym przekroju budynku w charakterystycznych położeniach niecki oraz ich przyrosty wywołane górniczą deformacją terenu

Model	Momenty zginające M [kNm] w przekroju środkowym oraz ich przyrosty ΔM [kNm] od poziomych deformacji terenu i krzywizny w charakterystycznych położeniach niecki			
	początek	krzywizna min.	krzywizna max.	koniec
plastyczny P1 wpływ deformacji poziomych	$M = +3100$	$M = +4101$ $\Delta M = +1001$	$M = -665$ $\Delta M = -3765$	$M = +2494$ $\Delta M = -616$
plastyczny P2 wpływ krzywizny	$M = +3100$	$M = +1884$ $\Delta M = -1216$	$M = +4012$ $\Delta M = +912$	$M = +3113$ $\Delta M = +13$
plastyczny P3 deformacje poziome + krzywizna	$M = +3100$	$M = +3810$ $\Delta M = +710$	$M = +241$ $\Delta M = -2859$	$M = +2733$ $\Delta M = -367$
sprężysty S wpływ krzywizny	$M = +2550$	$M = -2616$ $\Delta M = -5166$	$M = +7694$ $\Delta M = +5144$	$M = +2557$

Sama krzywizna terenu praktycznie nie powoduje uplastycznienia gruntu. Silne uplastycznienie towarzyszące deformacjom poziomym w sposób zasadniczy zmienia obraz sił wewnętrznych w budynku uzyskiwany od wpływu krzywizny. Ilustrują to dane zestawione w tablicy 1. Dla porównania w ostatnim wierszu podano wartości momentów zginających od krzywizny terenu uzyskane dla modelu sprężystego.

Gdyby zastosować wykorzystywaną w analizach liniowo sprężystych zasadę superpozycji, to suma sił z modeli P1 i P2 powinna dać siłę w modelu P3. Tak jest w przypadku momentu w fazie krzywizny wklęsłej i odkształceń ściskających ($\Delta M = -3765 + 912 = -2853$ wobec -2859 kNm w modelu P3). Niewielki zasięg uplastycznienia zlokalizowany w rejonie naroża budynku nie wpływa decydująco na wielkość momentu w tej fazie. Zupełnie inaczej wygląda sytuacja w fazie krzywizny wypukłej i dodatnich (rozluźniających) deformacji poziomych, kiedy to znaczny obszar gruntu znalazł się w pozasprężystym stadium pracy. Suma momentów uzyskanych z obliczenia modeli P1 i P2 wynosi $\Delta M = -215$, podczas gdy w modelu P3 uzyskano moment $\Delta M = +710$ kNm. Rozpatrywana osobno krzywizna dała w modelu P2 moment $\Delta M = -1216$ kNm. Ta sama krzywizna rozpatrywana z równoczesnym działaniem odkształceń poziomych dała zaledwie $\Delta M = -291$ kNm. Tak znaczna redukcja momentu generowanego przez krzywiznę znajduje wytłumaczenie we wspomnianym wyżej dużym obszarze uplastycznienia gruntu na skutek deformacji poziomych.

Warto jeszcze odnotować wielokrotnie większe wartości momentów uzyskiwanych od wpływu krzywizny terenu w modelu sprężystym.

6. WNIOSKI

W pracy sformułowano warunki, jakie powinien spełniać realistyczny model gruntu poddanego wpływom deformacji terenu wywołanych eksploatacją górniczą. Za pracą [9] podano równania określające kryteria zniszczenia oraz podstawowe zależności opisujące zachowanie modelu w fazie sprężystej. Liczne wyniki analiz numerycznych, których wybrane fragmenty przedstawiono w punkcie 5, potwierdziły, że opisany sprężysto-plastyczny model materiałowy dobrze reprezentuje rzeczywiste zachowanie gruntu w specyficznych warunkach deformacji górniczych terenu. Model ujawnia silne uplastycznienie obszarów gruntu położonych poza strefą nacisków przekazywanych przez budynek oraz znaczący wpływ tego uplastycznienia na stan gruntu, a w konsekwencji na wielkość sił wywoływanych w budynku przez deformacje podłoża. Rozluźnienie podłoża w początkowej fazie niecki górniczej wywołuje trwałe odkształcenia objętościowe gruntu. Przeprowadzone analizy wykazały znaczną redukcję wartości tych sił w porównaniu z modelem sprężystym.

LITERATURA

- [1] Chen W.F., Baladi G.Y.: Soil plasticity. Theory and Implementation. Elsevier, Amsterdam 1985.
- [2] Glinko H.: Rozpełzanie gruntu w świetle jego reologicznych własności. Rozprawa doktorska, GIG, Katowice 1973.

- [3] Gryczmański M.: Sprężysto-lepko-plastyczne modele szkieletu gruntowego. Wyd. WSI Opole, Studia i monografie, z.2, 1983.
- [4] Kwiatek J. i inni: Badania terenowe wpływu podziemnej eksploatacji górniczej na budowle eksperymentalne. Prace GIG, Komunikat nr 620, Katowice 1974.
- [5] Kwiatek J.: Wpływ poziomego rozluźnienia podłoża na budowle. Ochrona Terenów Górniczych, nr 35, 1976.
- [6] Kwiatek J.: Pionowe oddziaływania między budowlą a podłożem górniczym poziomo rozluźnionym. Ochrona Terenów Górniczych, nr 36, 1976.
- [7] Kwiatek J.: Niesprężyste winklerowskie podłoże górnicze. Ochrona Terenów Górniczych, nr 49, 1979.
- [8] Kwiatek J.: Wybrane problemy geotechniki terenów górniczych. Wyd. PAN, 1984.
- [9] Majewski S.: Sprężysto-plastyczny model współpracującego układu budynek-podłoże poddanego wpływowi górniczych deformacji terenu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z.79, Gliwice 1995.

Recenzent: Dr hab. Zbigniew Sikora
Profesor Politechniki Gdańskiej

Wpłynęło do Redakcji 1.05.1995 r.

Abstract

Modelling of soil subjected to the influence of mining ground subsidence is discussed in the paper. The main feature created by this type of action arises from the influence of tensile strains in the initial part of mining trough. These strains introduce large areas of subsoil in to the critical state and significantly and irreversibly change some properties of soil. Therefore elasto-plastic model should be applied for realistic description of soil behaviour in this conditions. Simple model of this type and some results of numerical analysis of soil-structure interactive system also are presented.