

Jacek PIECZYRAK

## STUDIUM PARAMETRYCZNE MODELU MCC W ZASTOSOWANIU DO INTERPRETACJI PRÓBNYCH OBCIĄŻEŃ PŁYTA

**Streszczenie.** W pracy zrealizowano studium parametryczne modelu MCC, który wybrano arbitralnie spośród konstytutywnych praw dla gruntów. Jego celem było określenie wpływu zmian poszczególnych parametrów modelu ( $\Gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ ,  $M$ ) na postać zależności konstytutywnej modelu oraz interpretacja wyników próbnego obciążenia na podstawie krzywej aproksymującej empiryczną zależność obciążenie – osiadanie. Oprócz czterech parametrów MCC zbadany został również wpływ niektórych parametrów geotechnicznych ( $G$ ,  $\gamma$ ,  $K_{\infty}$ ,  $q^*$ ).

## A PARAMETRIC STUDY FOR THE MCC MODEL IN APPLICATION TO THE LOADING PLATE TEST INTERPRETATIONS

**Summary.** In the paper a parametric study for the MCC model arbitrarily selected among the constitutive laws for soils has been realised. Its purpose was to evaluate an influence of changes of particular model parameters ( $\Gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ ,  $M$ ) on the form of constitutive model relationship and to interpret results of the loading plate test on the ground of the approximating curve for the empirical load – settlement relation. Beside of four MCC parameters an influence of some geotechnical ones ( $G$ ,  $\gamma$ ,  $K_{\infty}$ ,  $q^*$ ) has also been examined.

## ETUDE PARAMÉTRIQUE DU MODÈLE MCC APPLIQUÉ À L'INTERPRÉTATION DES CHARGES D'ESSAI DE PLAQUE

**Sommaire.** Dans l'ouvrage on a réalisé une étude paramétrique du modèle MCC choisi arbitrairement parmi les lois constitutives pour les sols. Son but était de déterminer l'influence des changements des paramètres particuliers du modèle ( $\Gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ ,  $M$ ) sur la forme de la dépendance constitutive du modèle et l'interprétation des résultats de la charge d'essai d'après la courbe approximant empiriquement la dépendance charge – affaissement. Outre ces quatre paramètres MCC on a également étudié l'influence de quelques paramètres géotechniques ( $G$ ,  $\gamma$ ,  $K_{\infty}$ ,  $q^*$ ).

## 1. WPROWADZENIE

Skomplikowaną i zmienną naturę gruntu idealizujemy za pomocą modeli. Opis właściwości gruntu za pomocą modelu jest na ogół tym wierniejszy, im dany model jest bardziej złożony, co oznacza, że zależy on od większej liczby parametrów. Jednakże zdrowy rozsądek (pragmatyzm) każe ograniczyć liczbę parametrów modelu do wartości umiarkowanej. Tak więc oddanie całej specyfiki gruntu zwykle nie jest możliwe. Od modelu gruntu niejednokrotnie oczekuje się, aby gładził on „biały szum” zachowań gruntu rzeczywistego, a nie wiernie do nich przystawał. Dla parametrów modelu staramy się znaleźć interpretację fizyczną, chociaż nie zawsze jest to możliwe. Zwykle parametr modelu jest po prostu współczynnikiem regresji aproksymanty związku konstytutywnego.

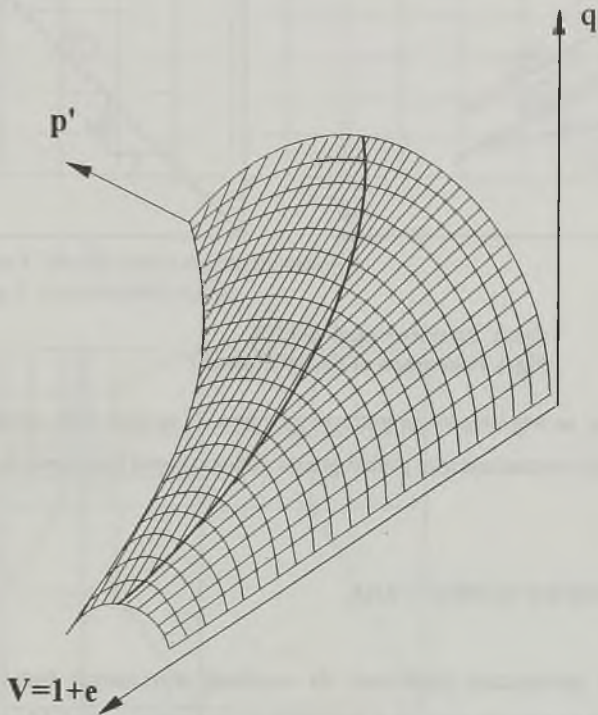
Niezależnie od charakteru parametru wymaga on swojego wyznaczenia. Tu jednak pojawia się następujący dysonans. Otóż parametry modelu wyznaczone w sterylnych warunkach laboratoryjnych z natury rzeczy nie mogą opisać zachowania się gruntu rzeczywistego pracującego w złożonych warunkach naturalnych i w innej, dużo większej skali zadania. Naśladowanie w laboratorium ścieżki naprężenia nie zawsze prowadzi do zadowalającego efektu. Jak się wydaje, przybliżenie rzeczywistej natury gruntu za pomocą danego modelu umożliwia studium parametryczne przeprowadzone na bazie analizy wstecznej [4].

W artykule przeprowadzi się studium parametryczne modelu MCC w zastosowaniu do interpretacji próbných obciążeń płytą wykonanych w warunkach laboratoryjnych (badanie typu plate test).

## 2. UZASADNIENIE PRZYJĘCIA MODELU MCC

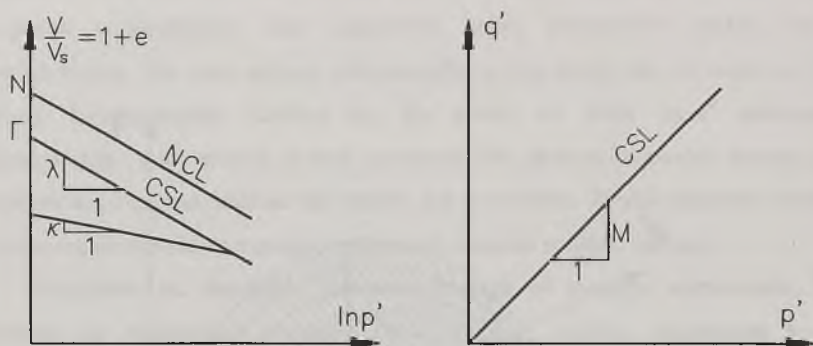
Model MCC, tj. Modified Cam-clay, jest podstawowym modelem teorii stanu krytycznego [5] i obecnie należy do modeli preferowanych w geotechnice. Jest to model czteroparametrowy ( $\Gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ ,  $M$ ), a więc ani za ubogi, ani zbytnio rozbudowany. Tym samym model ten jest przydatny do zademonstrowania trudów i efektów badań parametrycznych.

Parametry modelu MCC są, poza parametrem  $\Gamma$ , współczynnikami kierunkowymi prostych powstałych w wyniku rzutowania linii grzbietowej stałej granicznej powierzchni stanu, wyobrażonej w przestrzeni  $e p^* q$  (rys. 1), na płaszczyznę  $p'q$  — parametr  $M$  i na płaszczyznę  $e \ln p^*$  — parametr  $\lambda$ . Parametr  $\kappa$  jest odpowiednikiem parametru  $\lambda$  dla obciążenia wtórnego.



Rys. 1. Graniczna powierzchnia stanu  
Fig. 1. The state boundary surface

Parametr  $\Gamma$  ma wymiar wskaźnika porowatości w stanie krytycznym  $e_{cs}$  powiększonego o 1 i odpowiada rzędnej wykresu na płaszczyźnie  $e$  ln  $p'$  dla ln  $p' = 0$ . Wszystkie parametry dają się określić w badaniach trójosiowych (rys. 2).



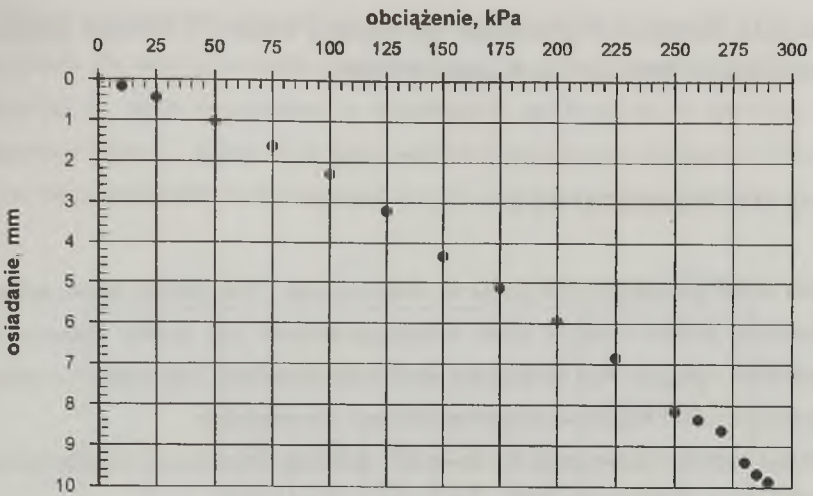
Rys.2. Parametry modelu MCC  
Fig.2. Parameters of the MCC model

Dodajmy, że współrzędne przestrzeni  $ep'q$  (rys. 1) są tymi wielkościami fizycznymi, które jednoznacznie determinują stan próbki gruntu podczas badań trójosiowych.

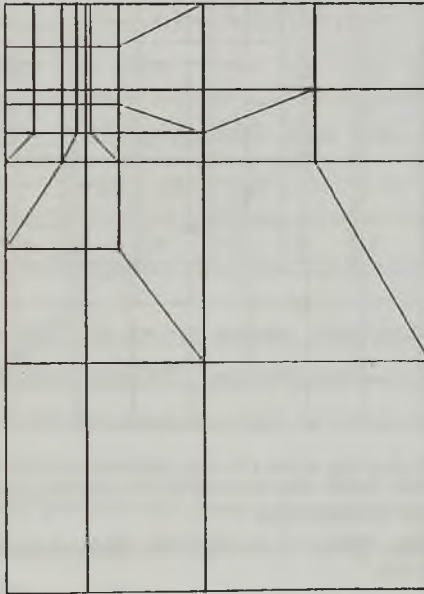
### 3. PROCEDURA NUMERYCZNA

Badania numeryczne odniesiono do wcześniej wykonanych badań eksperymentalnych [2,3,4]. Było to badanie typu plate test (próbne obciążenie w skali laboratoryjnej) z użyciem stempla o podstawie kołowej — a więc zadanie osiowo symetryczne. Empiryczną zależność  $q-s$  pokazano na rys. 3.

Jako narzędzie numeryczne użyto MES (metody elementów skończonych). Obszar rozważań, przekrój pionowy przez stempel i skrzynię pokryto siatką 51 izoparametrycznych elementów skończonych (rys. 4). Zastosowano zarówno elementy czworokątne, jak i trójkątne.



Rys.3. Wyniki badań eksperymentalnych  
 Fig.3. Experimental results



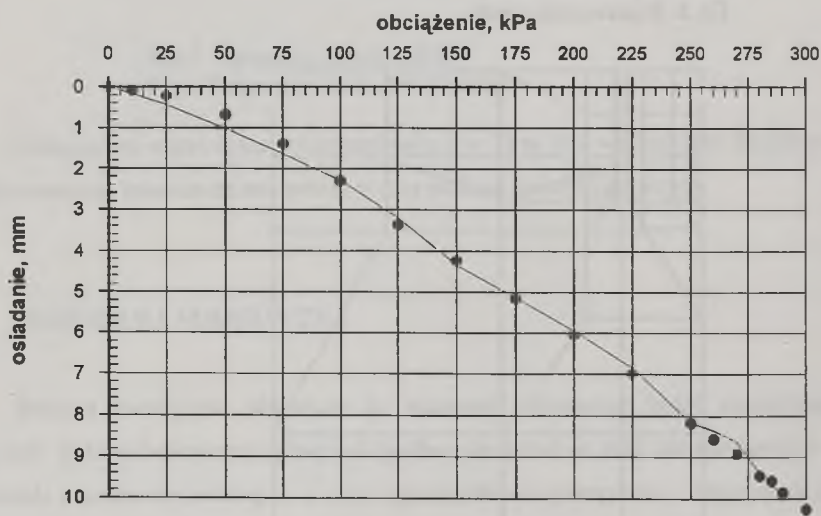
Rys. 4. Stosowana siatka elementów skończonych  
 Fig. 4. Applied finite element mesh

Obliczenia komputerowe prowadzono wg programu CRISP [1] będącego programem „stanu krytycznego” (CRITICAL State Program = CRISP).

#### 4. BADANIA PARAMETRYCZNE

Istota badań parametrycznych polega na obserwowaniu i analizowaniu zmian zależności konstytutywnej modelu w wyniku zmian wartości parametrów tego modelu. Natomiast sens badań parametrycznych polega na ustaleniu wrażliwości modelu na zmiany zarówno wartości jego parametrów, jak i stopnia ich równorzędności pod tym względem.

Stosując metodę heurystyczną, tak zmieniano parametry modelu, aby uzyskać najlepszą zgodność krzywej teoretycznej modelu z krzywą empiryczną (rys. 5).



Rys.5. Porównanie wyników badań eksperymentalnych (wykres punktowy) z wynikami badań numerycznych (wykres ciągły)

Fig.5. Comparison of the results of experimental (set of points) and numerical (continuous curve) test

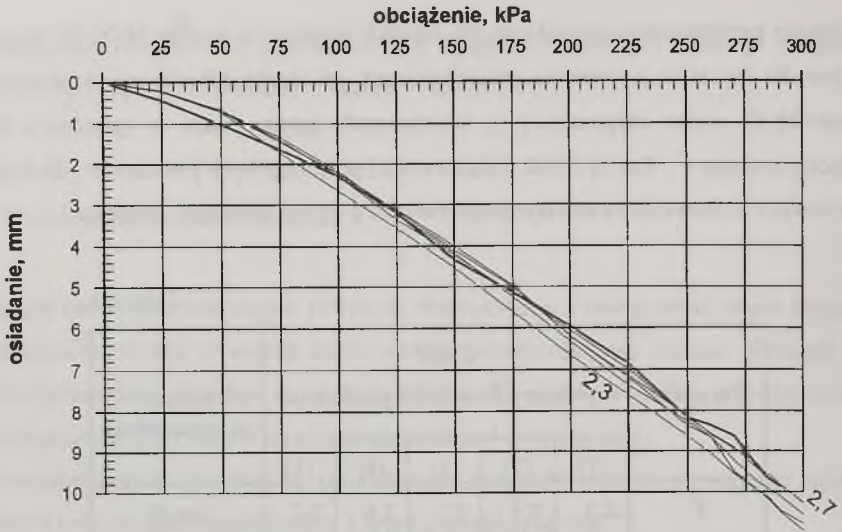
Badania parametryczne prowadzono dla czterech parametrów modelu MCC ( $\Gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ ,  $M$ ) oraz ponadto dla takich parametrów geotechnicznych, jak moduł odkształcenia postaciowego (Kirrhofa)  $G$ , ciężar objętościowy  $\gamma$ , współczynnik parcia gruntu w spoczynku  $K_0$ , i obciążenie erozyjne  $q^*$ . Zakres i krok zmian wartości poszczególnych parametrów, dla których obserwowano zachowanie się teoretycznego związku  $q$ - $s$ , przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

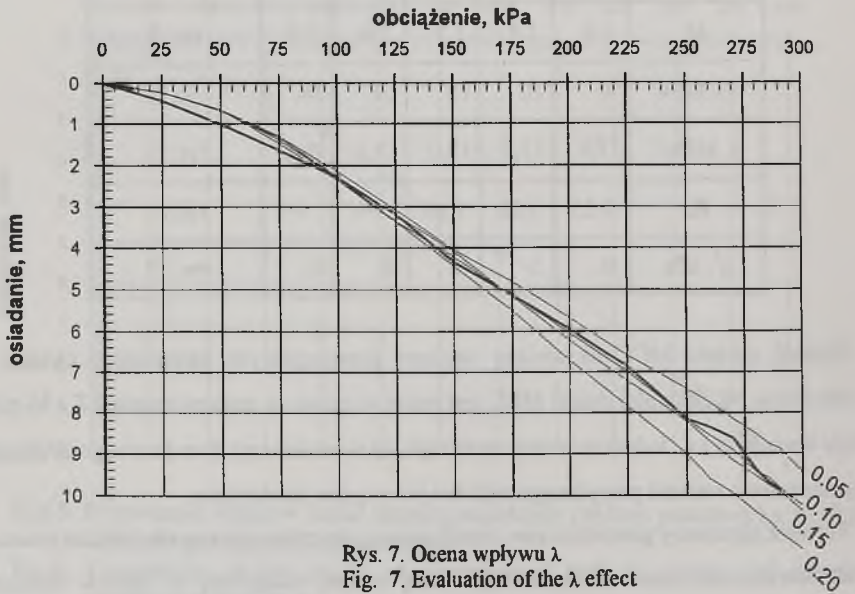
Parametr	Zbiór rozważanych wartości parametrów					Miejsce przedstawienia
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
$\Gamma$	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	rys. 6
$\lambda$	0,05	0,10	0,15	0,20	—	rys. 7
$\kappa$	0,001	0,002	0,005	0,010	0,020	rys. 8
$M$	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	rys. 9
$G$ , MPa	8	10	12	14	16	rys.10
$\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	17,8	17,9	18,0	18,1	18,2	rys. 11
$K_0$	0,25	1,00	1,25	—	—	rys.12
$q^*$ , kPa	0	1	2	4	6	rys. 13

Czułość modelu MCC na zmianę wartości poszczególnych parametrów okazała się zróżnicowana. W ogólności model MCC jest mniej wrażliwy na zmiany wartości  $\Gamma$  i  $M$  niż na zmiany wartości  $\lambda$  i  $\kappa$ . Jednakże należy zauważyć, że w odniesieniu do  $\kappa$  (z uwagi na silniejszą progresję zmian) wartość powyższego sądu nie jest w pełni obiektywna.

Również parametry geotechniczne charakteryzują się zróżnicowaną siłą oddziaływania na kształt teoretycznej zależności  $q$ - $s$ . Najbardziej istotny okazał się tu wpływ obciążenia erozyjnego  $q^*$  (rys. 13).

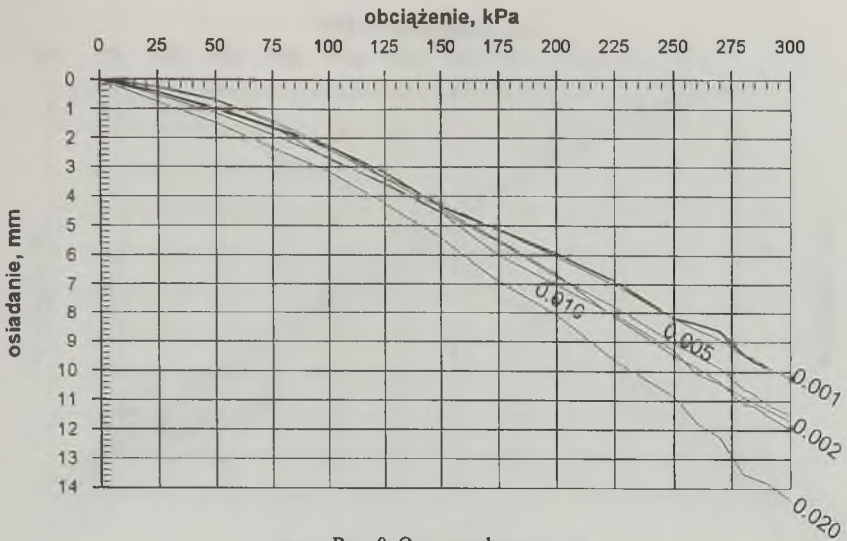


Rys. 6. Ocena wpływu  $\Gamma$   
Fig. 6. Evaluation of the  $\Gamma$  effect

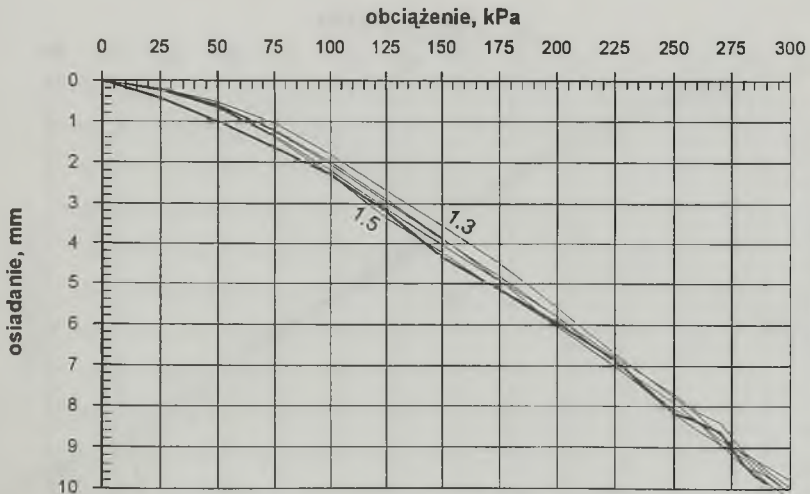


Rys. 7. Ocena wpływu  $\lambda$   
Fig. 7. Evaluation of the  $\lambda$  effect

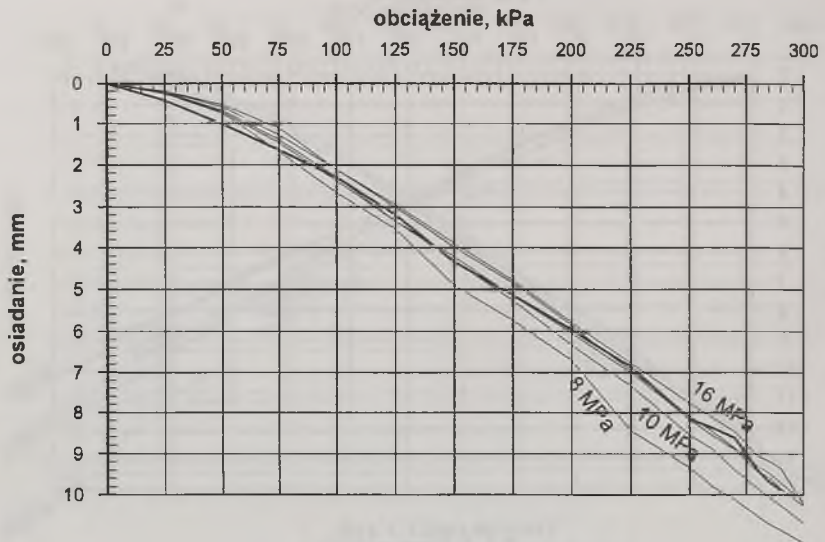




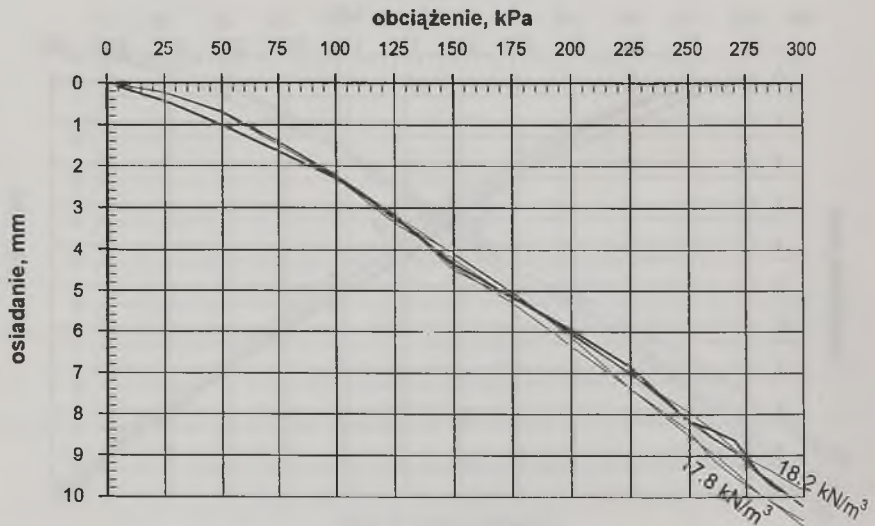
Rys. 8. Ocena wpływu  $\kappa$   
 Fig. 8. Evaluation of the  $\kappa$  effect



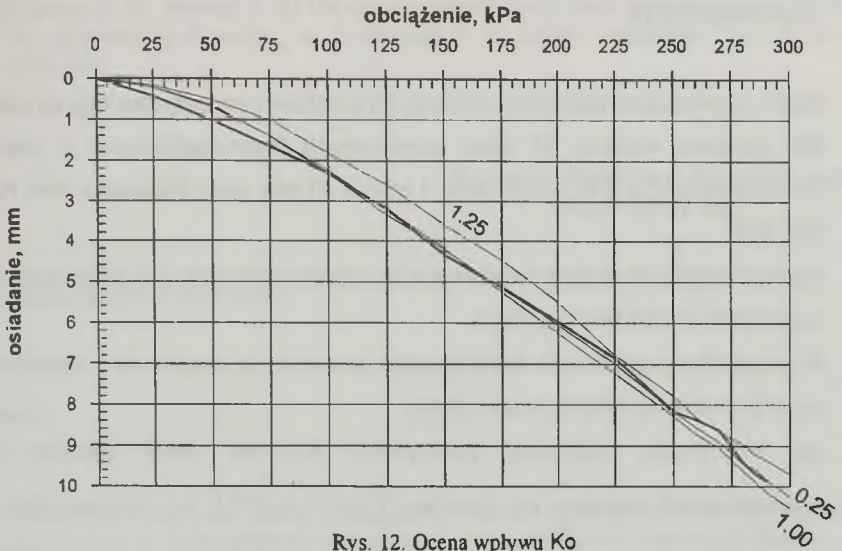
Rys. 9. Ocena wpływu  $M$   
 Fig. 9. Evaluation of the  $M$  effect



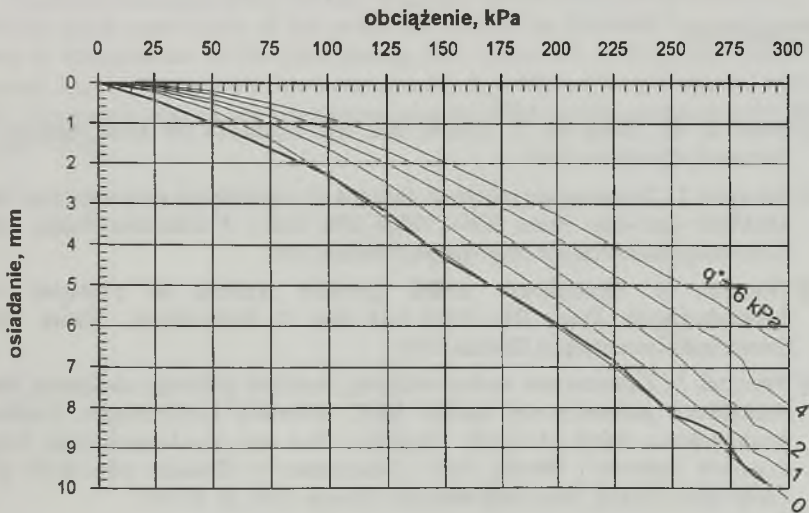
Rys. 10. Ocena wpływu G  
Fig. 10. Evaluation of the G effect



Rys. 11. Ocena wpływu  $\gamma$   
Fig. 11. Evaluation of the  $\gamma$  effect



Rys. 12. Ocena wpływu  $K_o$   
 Fig. 12. Evaluation of the  $K_o$  effect



Rys. 13. Ocena wpływu obciążenia erozyjnego  $q^*$   
 Fig. 13. Evaluation of the erosion load  $q^*$  effect

## 5. SPOSTRZEŻENIA

- Dzięki współczesnym technikom obliczeniowym badania parametryczne stają się możliwe. Dla uzyskania wyników 37 badań numerycznych (wyszczególnionych w tablicy 1) potrzebowano  $37 \times 2'40''$ , czyli około 1 godz. i 40 min. pracy komputera IBM PC 486 DX-2/50.
- Punktem wyjścia do studium parametrycznego nie musi, ale może być zestaw parametrów uzyskanych z badań laboratoryjnych.
- W przypadku postępowania heurystycznego potrzebne są cierpliwość i doświadczenie osoby prowadzącej badania parametryczne.
- Jak się wydaje, najbardziej obiektywnym kryterium oceny wyników badań parametrycznych powinien być warunek  $\sum_i (y_i^{teoret.} - y_i^{empir.})^2 \leq \varepsilon$  uzyskany jako efekt odpowiedniego programu optymalizacyjnego.

## LITERATURA

- [1] Britto A. M., Gunn M. J.: Critical state soil mechanics via finite elements. Ellis Horwood, Chichester 1987.
- [2] Pieczyrak J.: Zastosowanie próbnych obciążeń do identyfikacji parametrycznej modelu Modified Cam-clay. Praca BW-350/RB-2/93 Zad.5. Politechnika Śląska, Instytut Konstrukcji Budowlanych (maszynopis) Gliwice 1993.
- [3] Pieczyrak J.: Specyfikacje modeli gruntów podłoża na podstawie badań doświadczalnych. Praca BK-73/RB-3/94 Zad. 1. Politechnika Śląska, Katedra Geotechniki (maszynopis) Gliwice 1994.
- [4] Pieczyrak J.: Zastosowanie analizy wstecznej wyników próbnego obciążenia płytą do identyfikacji parametrycznej modelu MCC. Materiały konferencyjne: Konferencja Środowiskowa Sekcji Mechaniki Gruntów i Skał oraz Fundamentowania Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN „Geotechnika w Ośrodku Gliwickim” Z.N.80 Politechniki Śląskiej. Seria Budownictwo, Gliwice 1995, ss. 65-76.

- [5] Roscoe K. H., Burland J. B.: On the generalized stress-strain behaviour of „wet” clay. In „Engineering Plasticity”, ed. J. Heyman, F. A. Leckie, Cambridge Univ. Press, ss. 535-609.

Recenzent: Dr hab. inż. Alojzy Szymański  
Prof. SGGW AR

Wpłynęło do Redakcji: 6.06.1995 r.

### Abstract

Complex and variable soil nature is idealised by means of constitutive models. For their parameters we try to find a physical interpretation and a method of empirical evaluation. So formulated task makes the classical approach and it is very that parameters of soil models are not material constants.

The present computational technique makes possible to estimate soil model parameters by way of numerical investigations by the back analysis of global results of empirical testing.

In the paper some results of the parametric study of the Modified Cam -clay model as applied to interpretation of the plate loading tests carries cut in laboratory scale [2] are presented. This study comprises four parameters ( $(\Gamma, \lambda, \kappa, M)$ ) and for geotechnical ones ( $(G, \gamma, K_s, q^*)$ ). Numerical analyses were performed using the FEM and the microcomputer IBM PC 486 DX - 2/50.