

TADEUSZ NITECKI\*

## Rozkład odkształceń gruntu w walcowej próbce poddanej ściskaniu trójosiowemu

### 1. Wstęp

Jedną z metod określania cech mechanicznych gruntu niespoistego jest badanie laboratoryjne. Typowym badaniem jest próba, polegająca na ściskaniu walcowej próbki w aparacie trójosiowego ściskania, w wyniku której uzyskujemy charakterystyki materiałowe w postaci typowych zależności pomiędzy naprężeniem a odkształceniem (Lambe i Whitman 1977). Na podstawie analizy przebiegu tych zależności przyjęto określać interesującą badacza właściwość mechaniczną gruntu.

Sprawą interesującą jest sposób deformacji próbki, a w szczególności rozkład odkształceń w jej wnętrzu. Znajomość tego rozkładu przyczynić się może do wyjaśnienia zjawisk zachodzących w próbce utworzonej z ośrodka dyskretnego. Odkształcenia te można podzielić na liniowe, postaciowe i będące z nimi w zależności odkształcenia objętościowe. Odkształcenia liniowe próbki, liczone w kierunku pionowym lub poziomym, oblicza się najczęściej w stosunku do całkowitych wymiarów pierwotnych próbki. Dokładne obserwacje, dotyczące tych odkształceń, wskazują iż rozkład ich jest nierównomierny w różnych częściach próbki (Kirkpatrick, Belshaw 1968), (Meissner 1971).

Odkształcenia objętościowe, nazywane dylatacją, charakteryzują się tym, że w pierwszej fazie odkształcenia osiowego próbka ulega zagęszczeniu (zmniejszenie objętości), następnie obserwuje się wyraźne rozluźnienie (wzrost objętości). Najczęściej określa się zmiany objętości na podstawie ilości wypływającego powietrza lub wody, w stosunku do całkowitej objętości próbki. Ten sposób pomiaru nie pozwala na określenie rozkładu odkształcenia objętościowego wewnątrz próbki. Należy podkreślić, iż znajomość rzeczywistego rozkładu omawianych odkształceń przyczynić się może do weryfikacji związków pomiędzy dylatacją a naprężeniem (Rowe 1962).

W artykule zamierza się przedstawić wyniki badań dotyczących rozkładu odkształceń liniowych i objętościowych wewnątrz próbki. Rozkład tych odkształceń wyznaczono wykorzystując metodę rentgenowską.

\*Mgr inż. Tadeusz NITECKI, Wyższa Szkoła Inżynierska w Koszalinie, 75-620 Koszalin, ul. Raclawicka 15/17

## 2. Przegląd wybranych prac

W literaturze spotkać można wiele opisów, które dotyczą metod pomiaru odkształceń walcowej próbki poddanej ścisnaniu trójosiowemu. Większość autorów przedstawia wyniki badań dotyczących pomiaru zewnętrznego kształtu próbki. Jankowski (1987) opisuje sposób dotyczący badania odkształcenia metodą fotogrametryczną. Polega ona na tym, że na powierzchnię boczną próbki nanosi się siatkę, a następnie dla kolejnych faz odkształcenia osiowego określa się jej deformację. Stanowi to podstawę do analizy odkształcenia próbki. Metoda ta nie pozwala jednak na wyznaczenie rozkładu odkształcenia wewnątrz próbki.

Ostaficzuk i Pinińska (1984) wykorzystują podobną metodę do określenia rzeczywistego stanu odkształcenia w próbce cylindrycznej. Podają jednocześnie przykładowy rozkład niektórych parametrów, np. współczynnika Poissona, współczynnika parcia spoczynkowego itp. w próbce poddanej trójosiowemu ścisnaniu. Barański i Wolski (1981) przedstawiają sposób pomiaru odkształcenia zewnętrznego próbki przy zastosowaniu ultradźwięków, a wyniki wykorzystują do określenia współczynnika Poissona.

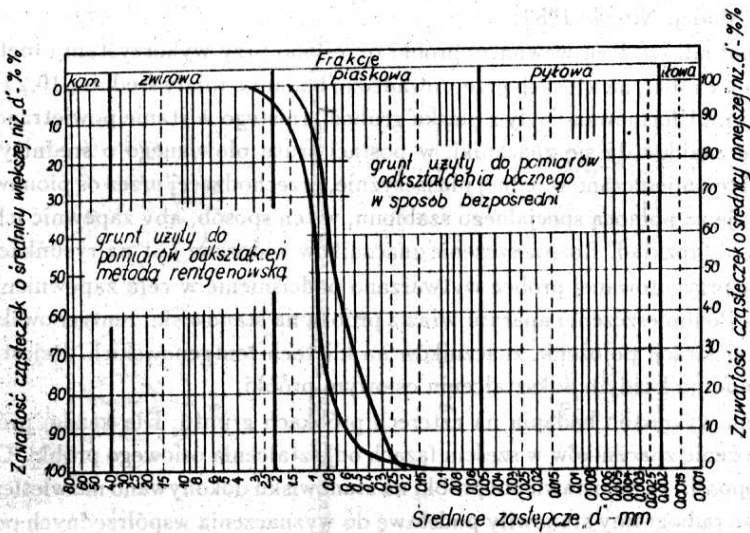
Odrębną grupą metod, pozwalającą na ocenę rzeczywistego rozkładu odkształcenia wewnątrz próbki, jest sposób polegający na wprowadzeniu do ośrodka gruntowego elementów, które nie powodują zmiany jego właściwości, a następnie na określeniu ich położenia w przyjętym układzie współrzędnych. Wyniki dotyczące określania przemieszczeń wewnątrz próbki, przy zastosowaniu metody rentgenowskiej, przedstawili w swojej pracy Kirkpatrick i Belshaw (1968). Dotyczą one rozkładu odkształceń liniowych wewnątrz próbki.

## 3. Badania laboratoryjne

Badania laboratoryjne przeprowadzono na gruncie niespoistym, którym był piasek gruboziarnisty, pochodzący z plaży w Mielnie. Użyto dwóch rodzajów piasku gruboziarnistego nieznacznie różniących się między sobą składem granulometrycznym. Krzywe uziarnienia tego gruntu przedstawiono na rysunku 1, a wybrane cechy fizyczne w tabeli 1. Analizowany grunt znajdował się w stanie powietrzno-suchym. Charakterystyki wytrzymałościowe wyznaczono w aparacie trójosiowego ścisnania, w badaniu przy stałej prędkości odkształcenia osiowego. Prędkość ta wynosiła 11,8 mm/h.

Pomiar zmian objętości, określanej w trakcie badań wytrzymałościowych, wykonano za pomocą przystawki Bishopa (Bišop, Henkel 1961; Madej, Werno 1967). Przyrząd ten umożliwia pomiar zmian objętości w całej próbce, nie pozwala jednak na wyznaczenie rozkładu tych zmian wewnątrz próbki. Podczas badań mierzono także zmiany maksymalnej średnicy próbki w funkcji odkształcenia osiowego. Badania te przeprowadzono na próbkach o średnicy 6,2 cm i wysokości około 15,5 cm.

Sposób przykładania obciążenia pionowego charakteryzował się tym, że siła pionowa przekazywana była poprzez sztywny tłoczek, którego ruch możliwy był tylko w kierunku pionowym, a płaszczyzna pozioma była stale prostopadła do osi pionowej próbki. Taki sposób przekazywania siły pionowej powodował, iż obie płaszczyzny



Rys. 1. Krzywe uziarnienia gruntu

Tablica 1.

## Zestawienie wybranych cech fizycznych gruntu

Grunt użyty przy pomiarach rentgenowskich								
Rodzaj gruntu	Nr badania	$\rho_d$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$I_D$	$\rho_d$ min [g/cm <sup>3</sup> ]	$\rho_d$ max [g/cm <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$e_{min}$	$e_{max}$
Pr	3	1,80	0,88	1,55	1,84	2,65	0,44	0,71
-	4	1,79	0,85	-	-	-	-	-
-	5	1,67	0,45	-	-	-	-	-
-	6	1,69	0,53	-	-	-	-	-
Grunt użyty przy pomiarach odkształcenia boczego w sposób bezpośredni								
Rodzaj gruntu	$\rho_d$ min [g/cm <sup>3</sup> ]	$\rho_d$ max [g/cm <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$e_{min}$	$e_{max}$			
Pr	1,52	1,82	2,65	0,45	0,74			

(przechodzące przez podstawy próbki), były stale do siebie równoległe. Obserwacje zachowania się próbek wskazywały, że ten sposób przykładania siły powodował charakterystyczne zachowanie się próbek. Kształt ich w większości przypadków zbliżony był do beczki. Opis przyrządu i metodykę badań pomiaru maksymalnej średnicy opisano w pracy (Madej, Nitecki 1983).

Rozkład odkształceń wewnątrz próbki określono przy wykorzystaniu metody rentgenowskiej. Próbki, na których przeprowadzono badania, miały średnicę 10,2 cm i wysokość 22,0 cm. Uformowane były z piasku gruboziarnistego w stanie powietrzno-suchym. W próbce znajdowały się znaczniki, w postaci śrutu ołowianego o średnicy 2,5 mm. Znaczniki te umieszczano w jednej płaszczyźnie, przechodzącej przez oś pionową próbki. Układano je za pomocą specjalnego szablonu, w ten sposób, aby zapewnić ich w miarę równomierny rozkład. Rozmieszczenie znaczników widoczne jest na rysunkach 2-13.

W tak przygotowanej próbce wytwarzano podciśnienie w celu zapewnienia jej szczelności. Po umieszczeniu aparatu wraz z próbką na stanowisku rentgenowskim, dokonywano rejestracji położenia znaczników na kliszach rentgenowskich. Rejestracji tych dokonywano po każdym odkształceniu osiowym próbki.

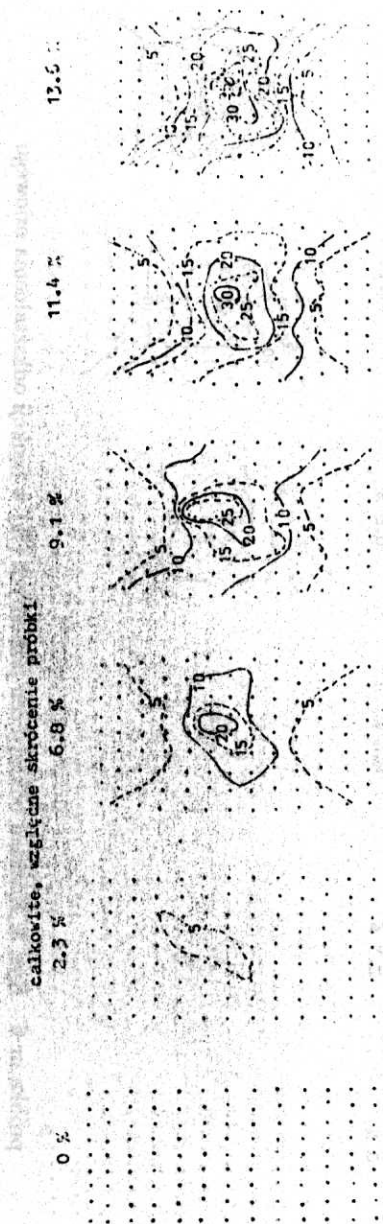
Ogółem wykonano badania na czterech próbkach gruntu. Dla każdej próbki określono położenie znaczników w sześciu fazach odkształcenia osiowego próbki. Osiągnięto to w ten sposób, że po ustawieniu próbki na stanowisku dokonywano naświetlenia błony, a uzyskane radiogramy stanowiły podstawę do wyznaczenia współrzędnych poszczególnych punktów. Pierwsze położenie znaczników określono jako fazę zerową. Następnie wymuszano, założone wcześniej, skrócenie osiowe próbki i ponownie naświetlano błonę, po uprzednim jej zmienienu na nową (nienaświetloną). Ten ostatni cykl powtarzano pięć razy, uzyskując w ten sposób kolejne fazy odkształcenia. Ostatnia faza odpowiadała przemieszczeniu względnemu, wynoszącemu około 14%.

W trakcie prześwietlania próbki promieniami Roentgena, źródło promieniowania umieszczano w odległości 83 cm od osi pionowej próbki, a błona, na której rejestrowano ślady znaczników, oddalona była od osi pionowej próbki o 7 cm. Środek lampy rentgenowskiej znajdował się na poziomie, odpowiadającym połowie wysokości próbki.

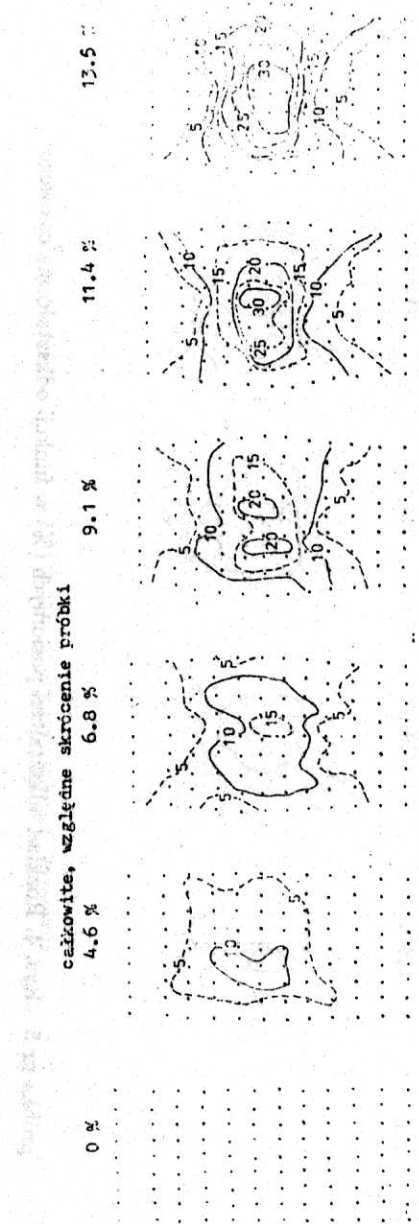
#### 4. Wyznaczenie współrzędnych znaczników

Sposób rejestracji położenia znaczników przedstawiony został w poprzednim rozdziale. Podstawą do określenia współrzędnych znaczników było ich ułożenie, a następnie określenie współrzędnych każdego punktu w układzie kartezjańskim. Znaczniki, w początkowej fazie, umieszczone były w węzłach mniej więcej regularnej siatki, na którą składało się 12-13 rzędów i 9 kolumn. Odległość pomiędzy poszczególnymi rzędami i kolumnami wynosiła odpowiednio w przybliżeniu 1,7 i 1,2 cm.

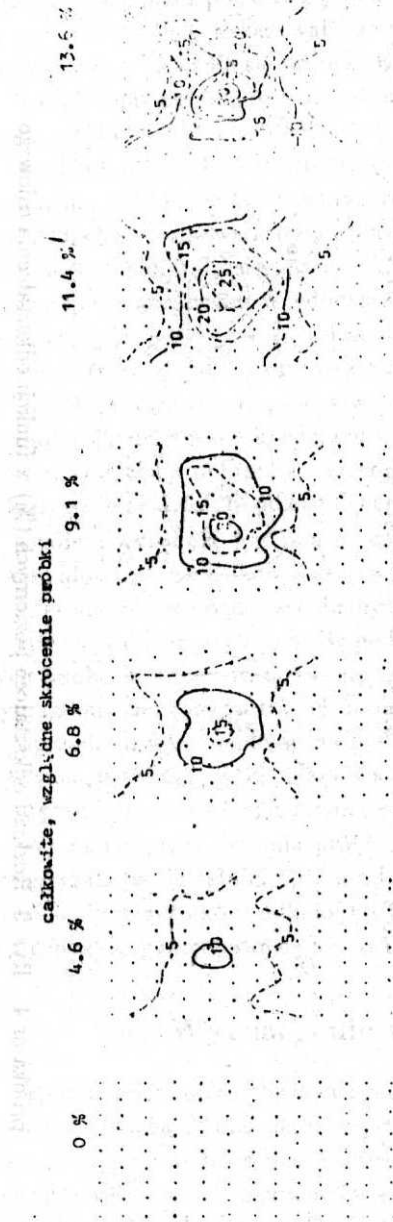
Współrzędne znaczników określono po wywołaniu naświetlonych klisz rentgenowskich. Przed wywołaniem błon naniesiono na nie metodą fotograficzną regularną siatkę układu współrzędnych. Pozwoliło to w każdej fazie odkształcenia utrzymać jednakową skalę siatki współrzędnych. Tak przygotowane błony poddawano analizie, mającej na



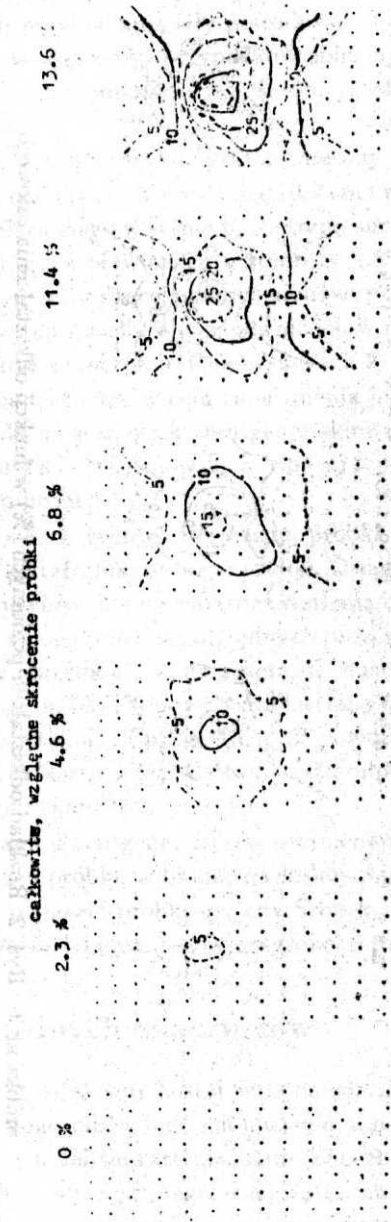
próbka nr 3 Rys. 2. Rozkład odkształceń poziomych (%) w funkcji odkształcenia osiowego



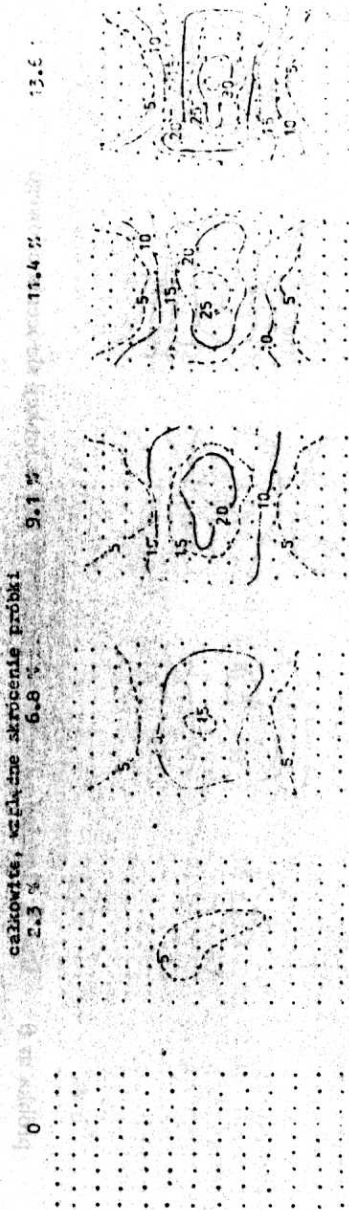
próbka nr 4 Rys. 3. Rozkład odkształceń poziomych (%) w funkcji odkształcenia osiowego



próbka nr 5 Rys. 4. Rozkład odkształceń poziomych (%) w funkcji odkształcenia osiowego

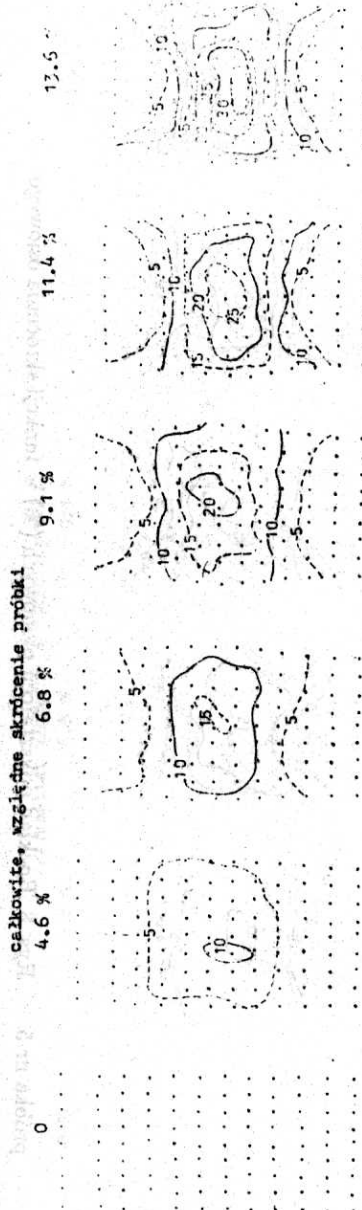


próbka nr 6 Rys. 5. Rozkład odkształceń poziomych (%) w funkcji odkształcenia osiowego



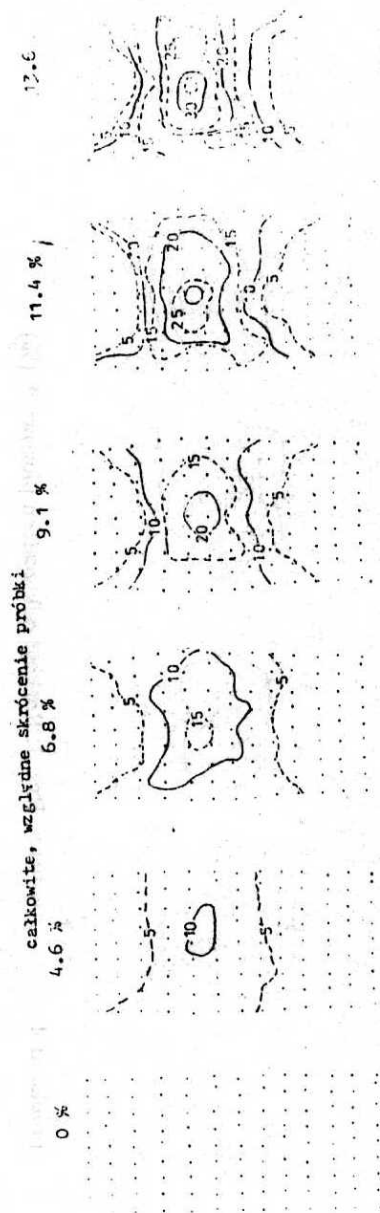
próbka nr 3

Rys. 6. Rozkład odkształceń pionowych (%)

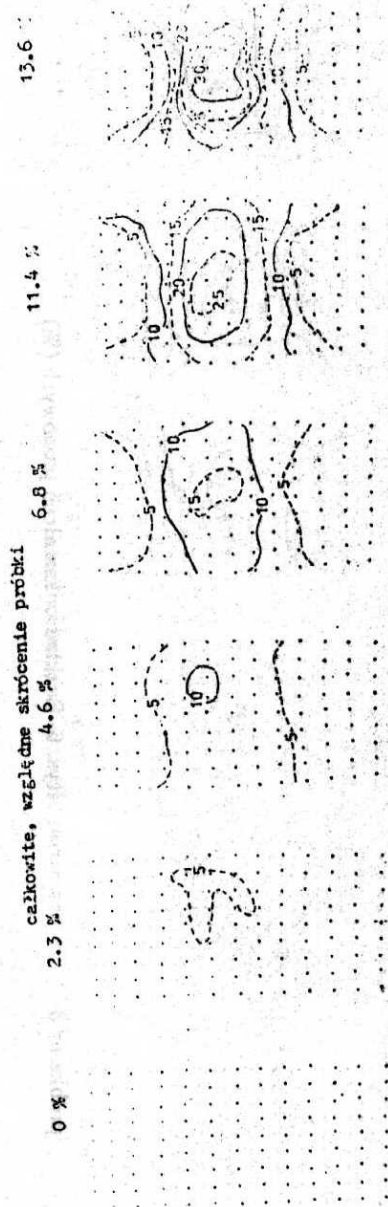


próbka nr 4

Rys. 7. Rozkład odkształceń pionowych (%)

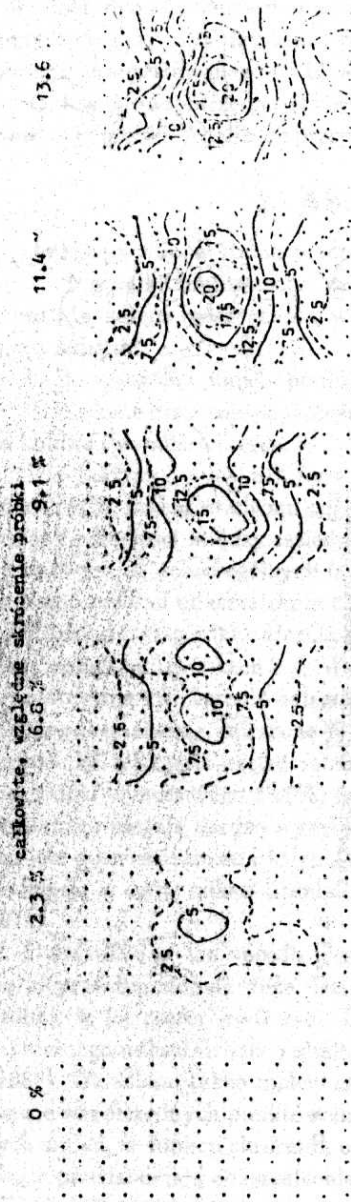


próbka nr 5      Rys. 8. Rozkład odkształceń pionowych (%) w funkcji skrócenia osiowego

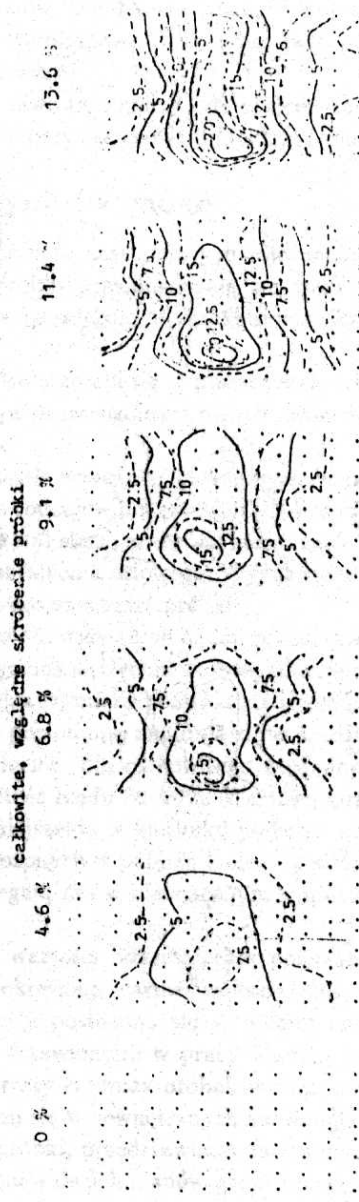


próbka nr 6      Rys. 9. Rozkład odkształceń pionowych (%) w funkcji skrócenia osiowego



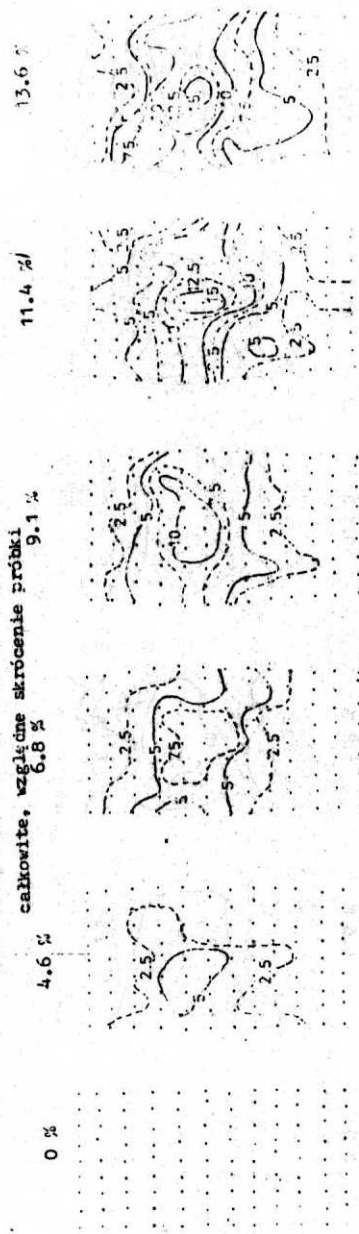


próbka nr 3      Rys. 10. Rozkład zmian objętości (%) w funkcji odkształcenia pionowego

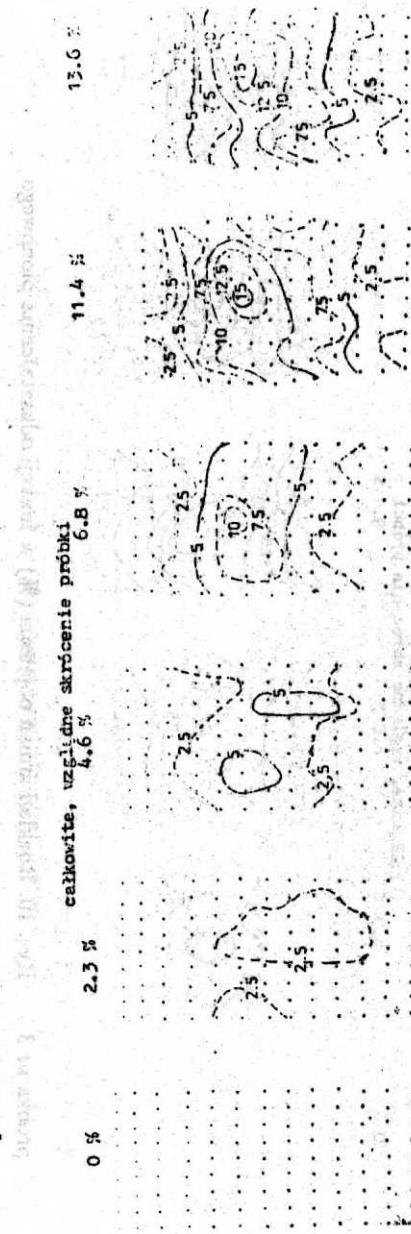


próbka nr 4      Rys. 11. Rozkład zmian objętości (%) w funkcji odkształcenia pionowego

Rys. 11. Rozkład zmian objętości (%) w funkcji odkształcenia osiowego



próbka nr 5 Rys. 12. Rozkład zmian objętości (%) w funkcji odkształcenia osiowego



próbka nr 6 Rys. 13. Rozkład zmian objętości (%) w funkcji odkształcenia osiowego

celu dokładne określenie położenia znaczników. Ustalenie wartości współrzędnych dokonywano przy wykorzystaniu rzutnika mikrofilmów, który umożliwia powiększenie obrazu, zarejestrowanego na blonach, o 6,5 razy.

Określone współrzędne stanowiły podstawę do analizy odkształceń zachodzących wewnątrz próbki. Analizę tę przeprowadzono przy zastosowaniu techniki komputerowej.

## 5. Analiza wyników badań

Analizę wyników badań przeprowadzono przy następujących założeniach:

1. Znaczniki umieszczone wewnątrz próbki przemieszczają się wraz z ziarnami gruntu, a zatem masa gruntu w obszarze ograniczonym sąsiednimi znacznikami nie ulega zmianie.

2. Poszczególne punkty pomiarowe przemieszczają się w płaszczyźnie ich ułożenia.

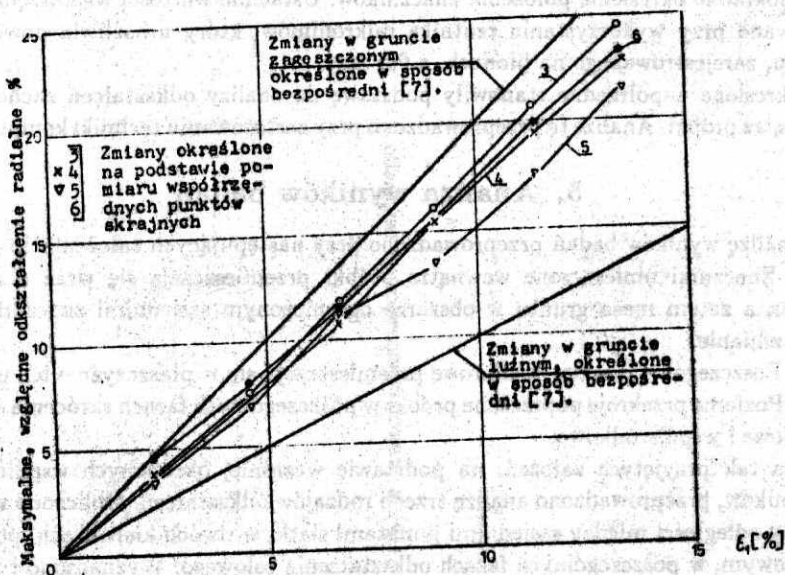
3. Poziome przekroje poprzeczne próbki w poszczególnych fazach skrócenia osiowego są kołowe i współśrodkowe.

Dla tak przyjętych założeń, na podstawie wcześniej określonych współrzędnych znaczników, przeprowadzono analizę trzech rodzajów odkształceń. Obliczono względne zmiany odległości między sąsiednimi punktami siatki w dwóch kierunkach, poziomym i pionowym, w poszczególnych fazach odkształcenia osiowego. Wyznaczono i przeanalizowano rozkład odkształcenia objętościowego wewnątrz próbki.

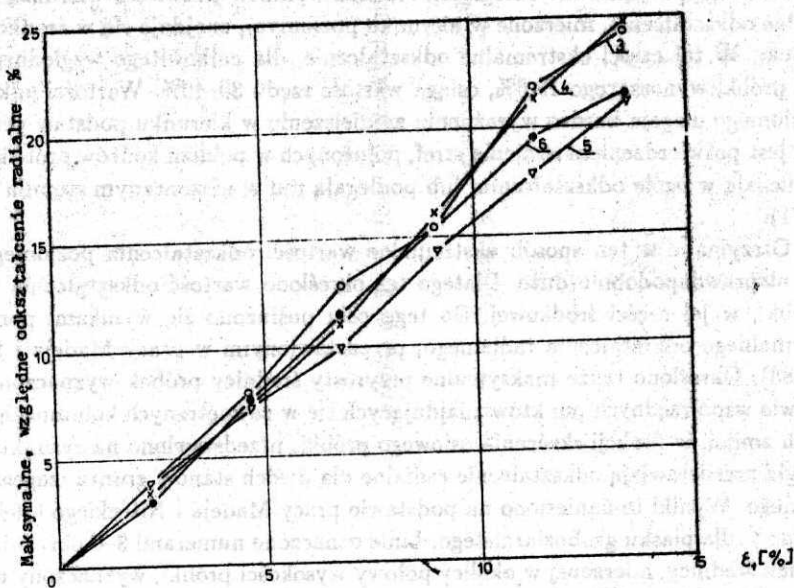
Rozkład zmian odkształcenia poziomego dla wszystkich badań przedstawiono w postaci izolinii na rysunkach 2-5. Wartości tego odkształcenia we wszystkich przypadkach przedstawiają zwiększenie odległości. Analiza wyników pozwala stwierdzić, że maksymalne odkształcenie, mierzone w kierunku poziomym, znajduje się w środkowej części próbki. W tej części ekstremalne odkształcenie, dla całkowitego względnego skrócenia próbki wynoszącego 13,6%, osiąga wartość rzędu 30-40%. Wartości odkształcenia poziomego ulegają bardzo wyraźnemu zmniejszeniu w kierunku podstaw próbki. Fakt ten jest potwierdzeniem istnienia stref, położonych w pobliżu końców próbki, które nie podlegają w ogóle odkształceniu, lub podlegają mu w nieznacznym stopniu (Meissner 1971).

Otrzymane w ten sposób ekstremalne wartości odkształcenia poziomego wydają się nieprawdopodobnie duże. Dlatego też określono wartość odkształcenia na brzegu próbki, w jej części środkowej. Do tego celu posłużono się wynikami pomiaru maksymalnego odkształcenia radialnego, przedstawionymi w pracy Madeja i Niteckiego (1983). Określono także maksymalne przyrosty średnicy próbek wyznaczone na podstawie współrzędnych punktów znajdujących się w zewnętrznych kolumnach. Przebieg tych zmian, w funkcji skrócenia osiowego próbki, przedstawiono na rysunku 14. Linie ciągle przedstawiają odkształcenie radialne dla dwóch stanów gruntu: zagęszczonego i luźnego. Wyniki te naniesiono na podstawie pracy Madeja i Niteckiego (1983), a używano je dla piasku gruboziarnistego. Linie oznaczone numerami 3-6 obrazują przebieg zmian średnicy, mierzonej w okolicy połowy wysokości próbki, wyznaczonej na podstawie znajomości współrzędnych punktów leżących w skrajnych kolumnach.

Uzyskane wyniki porównano z maksymalnym odkształceniem poziomym, obliczonym jako średnia ważona odkształcenia poziomego, przyjmując jako wagę odległości



Rys. 14. Odkształcenia radialne, określone w sposób bezpośredni



Rys. 15. Odkształcenia radialne, określone na podstawie izolinii

między punktami. Za podstawę obliczeń przyjęto rozkład tego odkształcenia, przedstawiony w postaci izolinii na rysunkach 2-5. Otrzymane w ten sposób wartości odkształcenia radialnego próbek nr 3-6, liczone w części środkowej, przedstawiono na rys. 15. Porównanie tych wyników z wartościami uzyskanymi w trakcie pomiarów bezpośrednich, przedstawionymi na rysunku 14, wskazują na dużą zgodność wyników. Pozwala to na wysunięcie wniosku, iż rozkład odkształcenia poziomego wewnątrz próbki, pomimo tak dużych wartości, jest wiarygodny.

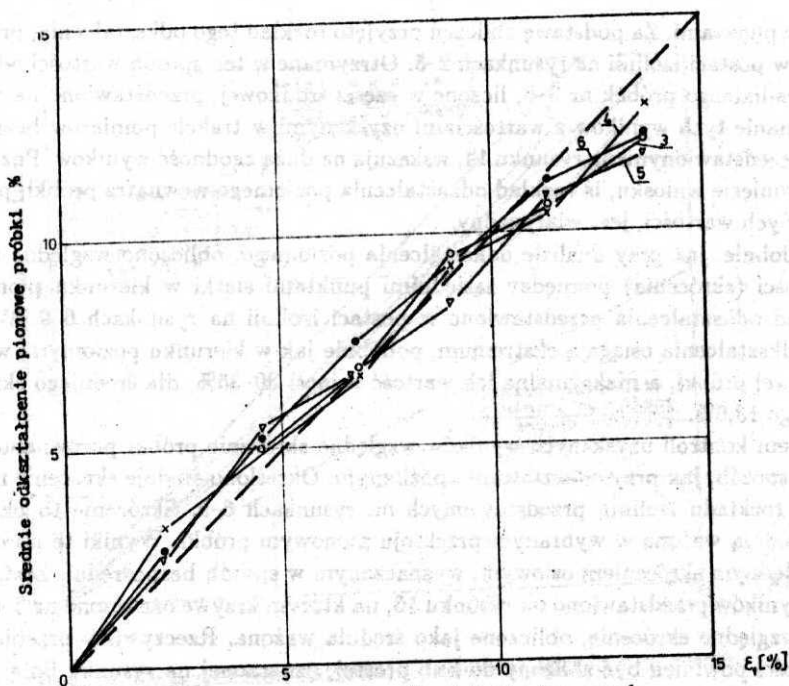
Podobnie, jak przy analizie odkształcenia poziomego, obliczono względne zmiany odległości (skrócenia) pomiędzy sąsiednimi punktami siatki w kierunku pionowym. Rozkład odkształcenia przedstawiono w postaci izolinii na rysunkach 6-9. Wartości tego odkształcenia osiągają ekstremum, podobnie jak w kierunku poziomym, w części środkowej próbki, a maksymalna ich wartość wynosi 30-35%, dla średniego skrócenia osiowego 13,6%.

Celem kontroli uzyskanych wyników względne skrócenie próbki porównano w podobny sposób, jak przy odkształceniu poziomym. Określono średnie skrócenie na podstawie rozkładu izolinii, przedstawionych na rysunkach 6-9. Skrócenie to określono jako średnią ważoną w wybranym przekroju pionowym próbki. Wyniki te porównano ze względnym skróceniem osiowym, wyznaczonym w sposób bezpośredni. Zestawienie tych wyników przedstawiono na rysunku 16, na którym krzywe oznaczone nr 3-6 oznaczają względne skrócenie, obliczone jako średnia ważona. Rzeczywisty przebieg tych zależności powinien być zbliżony do linii prostej, oznaczonej na rysunku linią przerywaną. Analiza otrzymanych wyników pozwala, pomimo pewnej niezgodności przebiegów obliczonych i oczekiwanych, na stwierdzenie, iż wyznaczony rozkład odkształcenia pionowego wewnątrz walcowej próbki jest zbliżony do rzeczywistego.

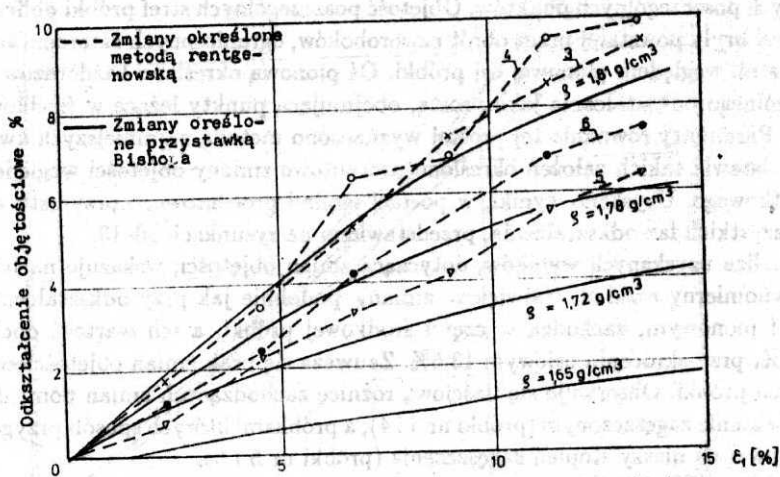
Rozkład odkształcenia objętościowego wyznaczono wykorzystując wartości współrzędnych poszczególnych punktów. Objętość poszczególnych stref próbki obliczono jako objętość bryły powstałej przez obrót czworoboków, ograniczonych czterema sąsiednimi punktami, względem pionowej osi próbki. Oś pionową określono każdorazowo dla poszczególnego odkształcenia jako prostą, obejmującą punkty leżące w środkowej kolumnie. Parametry równania tej prostej wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów. Na podstawie takich założeń określono procentowe zmiany objętości względem stanu początkowego. Uzyskane wyniki, w postaci izolinii procentowego przyrostu objętości, dla wszystkich faz odkształcenia, przedstawiono na rysunkach 10-13.

Analiza uzyskanych wyników, dotycząca zmian objętości, wskazuje na ich bardzo nierównomierny rozkład. Największe zmiany, podobnie jak przy odkształceniu poziomym i pionowym, zachodzą w części środkowej próbki, a ich wartość dochodzi do 15-20%, przy skróceniu osiowym 13,6%. Zauważa się brak zmian objętościowych przy końcach próbki. Obserwuje się ilościową różnicę zachodzących zmian pomiędzy próbkami w stanie zagęszczonym (próbki nr 3 i 4), a próbkami których sposób przygotowania wskazywał na niższy stopień zagęszczenia (próbki nr 5 i 6).

Na rysunku 17 przedstawiono zmiany objętości, obliczone dla całości próbki, określone dwoma sposobami. Linia ciągłą przedstawiono wyniki uzyskane z pomiarów przystawką Bishopa na próbkach gruntu o różnym stopniu zagęszczenia. Linia przerywana przedstawia procentowe zmiany objętości, dotyczące także całości próbki, określone



Rys. 16. Porównanie odkształceń pionowych



Rys. 17. Zmiany objętości próbki

na podstawie znajomości współrzędnych znaczników. Te ostatnie obliczono na podstawie sumowania elementarnych objętości. Pomiaru zmian objętości przystawką Bishopa przeprowadzono na próbkach o średnicy 6,2 cm i wysokości 15,5 cm, na tym samym gruncie, jaki użyto przy badaniu rentgenowskim. Należy podkreślić, iż technologia przygotowania próbki, wykorzystywanej w badaniu rentgenowskim, nie pozwoliła uzyskać minimalnego stopnia zagęszczenia. Omawiane wyniki dotyczą próbek o różnych wymiarach, lecz o zbliżonych proporcjach średnicy do wysokości próbki. Pomimo to, porównanie zależności przedstawionych na rysunku 17 pozwala na stwierdzenie, iż zmiany objętości, obliczone na podstawie wyników badań rentgenowskich, dla całości próbki są w przybliżeniu zgodne z analogicznymi zmianami, wyznaczonymi za pomocą przystawki Bishopa. W porównaniu z tymi zmianami, wartości maksymalne wyznaczone w części środkowej próbki są w przybliżeniu dwukrotnie większe, przy dużym odkształceniu osłowym próbki.

## 6. Podsumowanie i wnioski

Zastosowana metodyka badań, dotycząca wyznaczania rozkładu odkształceń walcowej próbki gruntu, pozwala w stopniu wystarczającym oszacować jakościowe zmiany zachodzące wewnątrz próbki. Otrzymane wyniki należy traktować jako pewne przybliżenie rzeczywistości. Wskazują one na niejednorodny rozkład analizowanych odkształceń, których maksymalne wartości zlokalizowane są w części środkowej próbki. Użyte dane doświadczalne potwierdzają istnienie na końcach próbki stref, w których występują minimalne odkształcenia.

Szczególnie należy zwrócić uwagę na znaczne zwiększenie objętości w części środkowej próbki. Pozwala to na wysunięcie hipotezy, że w przypadku ściskania próbki gruntu ziarnistego, wilgotnego o niewielkim współczynniku filtracji, wystąpi niekontrolowany spadek ciśnienia porowego wewnątrz próbki, spowodowany zwiększeniem się objętości. Przy braku pomiaru ciśnienia porowego, lub z jego niedokładnym określeniem, spodziewać się można niemiarodajnych wyników dotyczących określenia efektywnych parametrów wytrzymałościowych. Będzie to szczególnie wyraźne w fazie zaawansowanego ściskania.

Zdaniem autora, poprzez zwiększenie precyzji ułożenia znaczników i późniejsze dokładne wyznaczenie wartości współrzędnych, będzie możliwe określenie deformacji w sposób ilościowy.

## Literatura

- Barański T., Wolski W., 1981, *Zastosowanie ultradźwięków do wyznaczania współczynnika Poissona w aparacie trójosiowym*, VI KKMGI, s. 197-206, Warszawa.
- Bišop A., Henkel D., 1961, *Opredelenie svojstv gruntov v trechosnyh ispytañijach*, Moskva.
- Jankowski Cz., 1987, *Badania odkształceń próbki gruntu w aparacie trójosiowego ściskania metodą fotogrametryczną*, Zeszyty Naukowe AGH, nr 1100, Kraków.

- Kirkpatrick W. M., Belshaw D. J., 1968, *On the interpretation of the triaxial test*, Geotechnique 18 s. 336-350.
- Lambe T. W., Whitman R. V., 1977, *Mechanika gruntów*, Arkady, Warszawa.
- Meissner H., 1971, *Nichtlineares Kraft-Verformungsverhalten zylindrischer Körper aus rolligem Erdstoff*, Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana in Karlsruhe, zeszyt nr 45.
- Mądej J., Nitecki T., 1983, *Zmiany objętości i wytrzymałości piasku w procesie ścinania w aparacie trójosiowym*, Geotechnika w Ośrodku Koszalińskim, Materiały konferencyjne, s. 91-116, Koszalin.
- Mądej J., Werno M., 1967, *Zmiany objętości próbki suchego piasku w czasie przygotowania do ścinania w aparacie trójosiowym*, Archiwum Hydrotechniki t. XIV, zeszyt 1. PWN, Warszawa.
- Nitecki T., 1987, *Zastosowanie metody rentgenowskiej do wyznaczania odkształceń gruntu w badaniu trójosiowym*, VIII KKMGiF t. 1, s. 93-98, Wrocław.
- Ostaficzuk S., Pinińska J., 1984, *Ocena rzeczywistego stanu odkształceń w próbce cylindrycznej ściskanej w trójosiowym stanie naprężeń*, VII KKMGiF, t. 1, s. 303-309, Poznań.
- Rowe P.W., 1962, *The stress-dilatancy relation for static equilibrium of an assembly of particles in contact*, Proc. of the Royal Soc., vol. 269, s. 500-527, London.

### Summary

The subject of the paper is a way of determining deformations of noncohesive soil sample during the triaxial test. The knowledge in this matter may simplify an interpretation of the triaxial test results. Because of that some laboratory tests, leading to define the way of the sample deformations, were made.

The X-ray method was used. The lead shot markers were placed inside the soil sample. The pictures of the markers displacement were taken using the röntgenograms. It was made in several phases of the axial shortening. This observations were used to determine the distribution of the volumetric and linear deformations inside the sample.

The volume changes and linear deformations were presented in the form of isolines. The result analysis shows, that maximum values of deformations occur in the middle part of the sample. The value of volumetric deformation in this part of the sample is approximately two times higher than similar deformation calculated as the mean value for the whole sample.

The omitting of that in the interpretation of the shear test results can lead to wrong values of the shear strenght parameters. It concerns especially the saturated soils of low water permeability.