

Andrzej GŁUCHOWSKI

Katedra Geoinżynierii, SGGW

Department of Geotechnical Engineering, WULS – SGGW

Zastosowanie aparatu CBR do badań cyklicznych i wyznaczenia cyklicznego modułu sprężystości (M_R) Application of CBR apparatus to cyclic test and resilient modulus (M_R) estimation

Słowa kluczowe: CBR, cykliczne obciążanie, cykliczny moduł sprężystości (M_R), cCBR, stabilizacja gruntów

Key words: CBR, cyclic loading, resilient modulus (M_R), cCBR, soil stabilization

Wprowadzenie

Wraz z przyśpieszeniem budowy dróg w kraju w ciągu ostatnich lat, zwiększa się zapotrzebowanie na kruszywo do podbudów niezwiązanych. Wzrost zainteresowania różnego rodzaju materiałami do budowy dróg, coraz częściej powoduje zainteresowanie gruntami nasypowymi. Jednak właściwości mechaniczne tych kruszyw które nadal nie są do końca zrozumiane, są główną przeszkodą do szerokiego ich zastosowania. Zastosowanie dotychczas dostępnej aparatury badawczej stosowanej w budownictwie komunikacyjnym nie dało wyników zgodnych z obserwowana-

nymi w terenie (Aurstad i in. 2006). Badacze wielokrotnie sygnalizowali brak odpowiedniej metody badawczej którą cechuje szybkość i łatwość otrzymania wyników wytrzymałościowych (Araya i in. 2011, Sas, Głuchowski 2012). Jednocześnie wraz ze wzrostem wiedzy na temat zachowanie się podłoża gruntowego oraz betonu asfaltowego w wyniku cyklicznych obciążeń, dotychczasowa metody projektowania dróg będąca metodami empirycznymi ustępuje na rzecz podejścia empiryczno-mechanistycznego oraz podejścia mechanistycznego.

Ważnym elementem tych metod jest odejście od dotychczas stosowanej metody badania CBR nośności podłoża i zastąpienie jej badaniem trójosiowym w aparatach trójosiowych przy cyklicznym obciążaniu (Nazarian i in. 1996). Parametrem otrzymywanym z tych badań jest cykliczny moduł sprężystości – M_R oraz moduł Younga – E , który

używany jest następnie do obliczeń odkształcenia podłoża gruntowego (Sas i Głuchowski 2012).

Precyzyjne określenie tych parametrów wydaje się być jednocześnie odpowiedzą na określenie dotychczas nie do końca zrozumianych właściwości gruntów nasypowych, takich jak destrukty betonowy, destrukty asfaltowy, popioły i żużel różnego pochodzenia oraz stabilizowane chemicznie gliny.

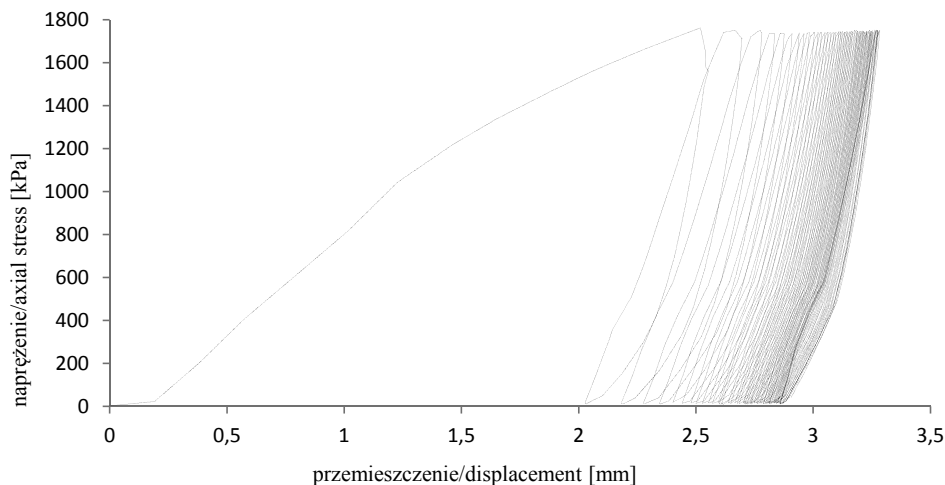
Mając na uwadze fakt, iż aparatura pomiarowa do badań cyklicznych jest droga i słabo rozpowszechniona, podjęto próbę adaptacji sprzętu do badań CBR do przeprowadzenia badań cyklicznych z jednoczesnym zachowaniem sprzętu i procedury w jak najbardziej niezmięnionej formie.

Przegląd literatury

Cykliczne obciążanie gruntu jest zjawiskiem do końca nie wyjaśnionym i skomplikowanym. Nawet wysoce wyrafinowane modele nie do końca oddają charakterystykę zachowania się gruntu w wyniku tego typu obciążeń (O'Reilly i Brown 1991).

Grunt obciążany wielokrotnie tą samą siłą odpowiada w postaci odkształcenia jego powierzchni w charakterystyczny sposób. Na rysunku 1 przedstawiono wynik badań przeprowadzonych w cyklicznym aparacie CBR (cCBR) na glinie piaszczystej stabilizowanej dodatkiem 8-procentowego wapna hydratyzowanego.

Wraz z kolejnymi cyklami obciążania-odciążania próbki dochodzi do stop-



RYСУNEK 1. Wynik badań gliny piaszczystej stabilizowanej wapnem hydratyzowanym po 30 dniach od stabilizacji przeprowadzony w aparacie cyklicznym CBR

FIGURE 1. Results of cyclic CBR test conducted on sandy clay 30 days after stabilization with hydrated lime

niowego zmniejszania się udziału odkształceń plastycznych w pojedynczych cyklach. Jednak w przypadku dużej liczby cykli (od 100 000 do 1 000 000), suma wszystkich odkształceń plastycznych może być bardzo duża (Wu i Chen 2010, Sas i in. 2012).

Tego typu charakterystyka obciążeń, jest właściwa dla ruchu drogowego i powstających od niego naprężeń w konstrukcji drogi. Szczególnie podatne na wyżej opisane zjawisko są grunty słabe, a więc grunty niespoiste zalegające do 2 m poniżej powierzchni terenu. Na terenie Polski w przewarżającej mierze są to gliny brązowe, które były wykorzystane w badaniach cyklicznego obciążania wykonanych w aparacie CBR.

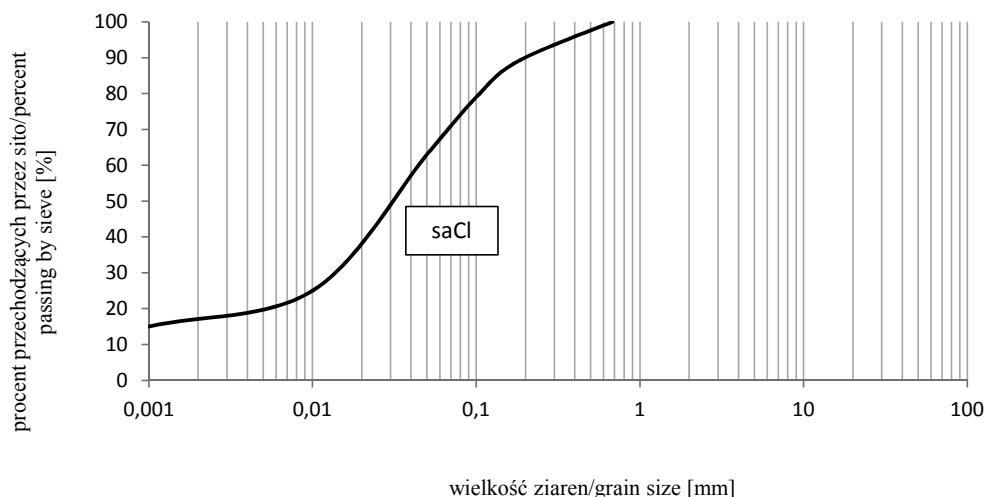
Materiały i metodyka badań

Materiał użyty do badań został poddany badaniu uziarnienia. Zgodnie z normą Eurokod 7 (PN-EN 1997-

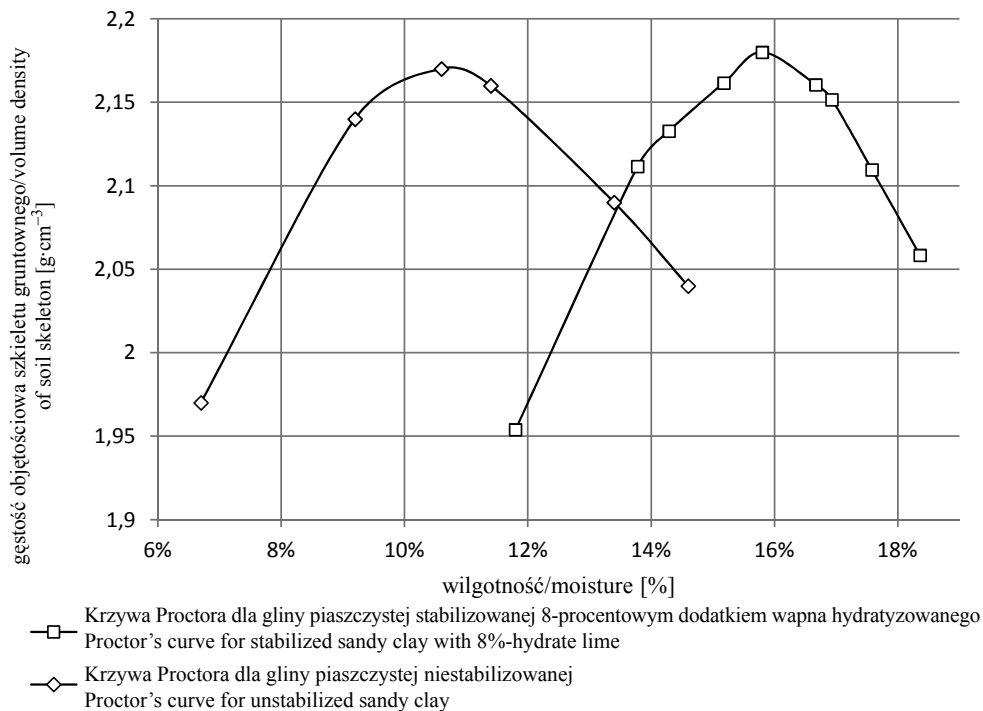
-2:2009) grunt został rozpoznany jako glina piaszczysta, a wyniki badań przedstawiono na rysunku 2.

W celu określenia wilgotności optymalnej przeprowadzono badanie Proctora dla gruntu niestabilizowanego oraz po stabilizacji. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 3. Dla gliny piaszczystej niestabilizowanej otrzymano wilgotność optymalną (w_{opt}) wynoszącą 10,6%. Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_{ds} wyniosła $2,17 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Grunt stabilizowany miał wilgotność optymalną równą 15,8%, gęstość objętościowa szkieletu gruntowego uzyskana w wilgotności optymalnej wyniosła $2,18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Próbki do badań CBR przygotowano zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie PN-S-96011:1998. Wykonano badania na gruncie niestabilizowanym i stabilizowanym po 1 godzinie oraz po 14 i 30 dniach. Próbki przechowywano w komorze stałej wilgotności powietrza w celu utrzymania stałej wilgotności



RYSUNEK 2. Krzywa uziarnienia gruntu użytego do badań
FIGURE 2. Gradation curve for tested soil



RYSUNEK 3. Krzywe zagęszczalności uzyskane metodą Proctora
 FIGURE 3. Compaction curves obtained by Proctor's test



RYSUNEK. 4. Widok aparatury badawczej
 FIGURE 4. View on test equipment

gruntu. Na rysunku 4 przedstawiono sprzęt użyty do badań CBR.

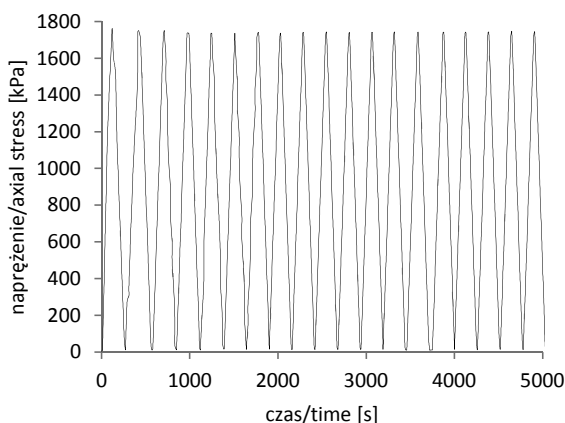
Procedura badań polegała na wykonaniu badania CBR do głębokości penetracji trzpienia równej 2,54 mm. Następnie próbkę odciążono do wartości naprężenia wynoszącej 10 kPa. Osiągnięta wartość naprężenia dla głębokości 2,54 mm była wartością maksymalną dla kolejnych cykli. Naprężenie dla próbki wynosiło w fazie odciążania poszczególnych cykli 10 kPa. Procedurę powtarzano aż do osiągnięcia stosunku odkształceń plastycznych do odkształceń sprężystych równego lub mniejszego niż 3%. Szczegółowy opis znajduje się w pracy Sasa i innych (2012).

Wyniki

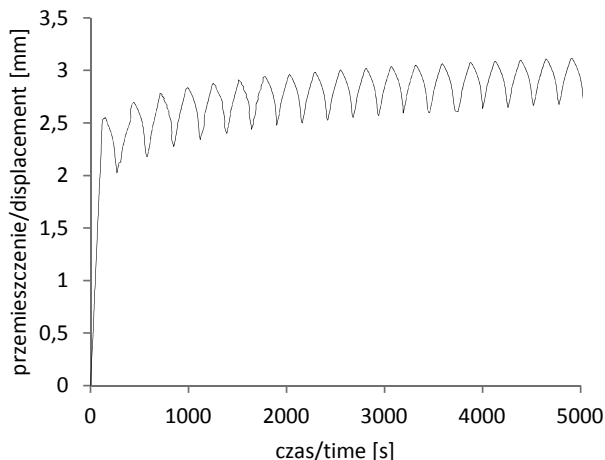
Przeprowadzone badania miały na celu wykazanie, iż zastosowanie cyklicznej aparatury CBR umożliwia uzyskanie wyników wytrzymałościowych dla obciążeń cyklicznych w badaniach trójosiowych przy obciążeniu cyklicznym.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono charakterystykę kolejnych cykli w zależności od siły i przemieszczenia do czasu badania.

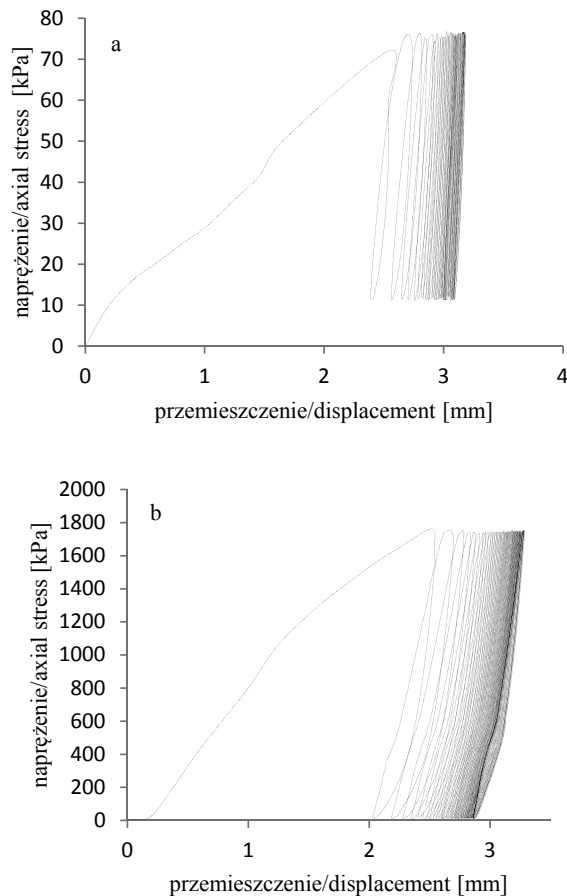
Na rysunku 7 przedstawiono wyniki badań gliny piaszczystej w funkcji naprężenie – przemieszczenie. Przeprowadzone badanie wykazało, iż glina po stabilizacji chemicznej zwiększa swoje parametry wytrzymałościowe. Jednak w przypadku badania cyklicznego poza wartością wskaźnika nośności, obliczanego z fazy obciążenia pierwszego cyklu, dysponuje się dodatkowo wielkością przemieszczenia powierzchni próbki po badaniu.



RYSUNEK 5. Wykres zależności naprężenie od czasu podczas badania cCBR (Sas i in. 2012)
FIGURE 5. Plot of axial stress and time during cCBR test (Sas et al. 2012)



RYSUNEK 6. Wykres zależności przemieszczenia od czasu podczas badania cCBR (Sas i in. 2012)
FIGURE 6. Plot of axial displacement and time during cCBR test (Sas et al. 2012)



RYSUNEK 7. Wykres zależności naprężenie do przemieszczenia dla gliny piaszczystej: niestabilizowanej – a; stabilizowanej po 30 dniach – b (Sas i in. 2012)

FIGURE 7. Plot of axial stress and axial displacement for sandy clay: non-stabilized – a; stabilized after 30 days – b (Sas et al. 2012)

kilkudziesięciu powtórzeniach obciążenia – odciążenia.

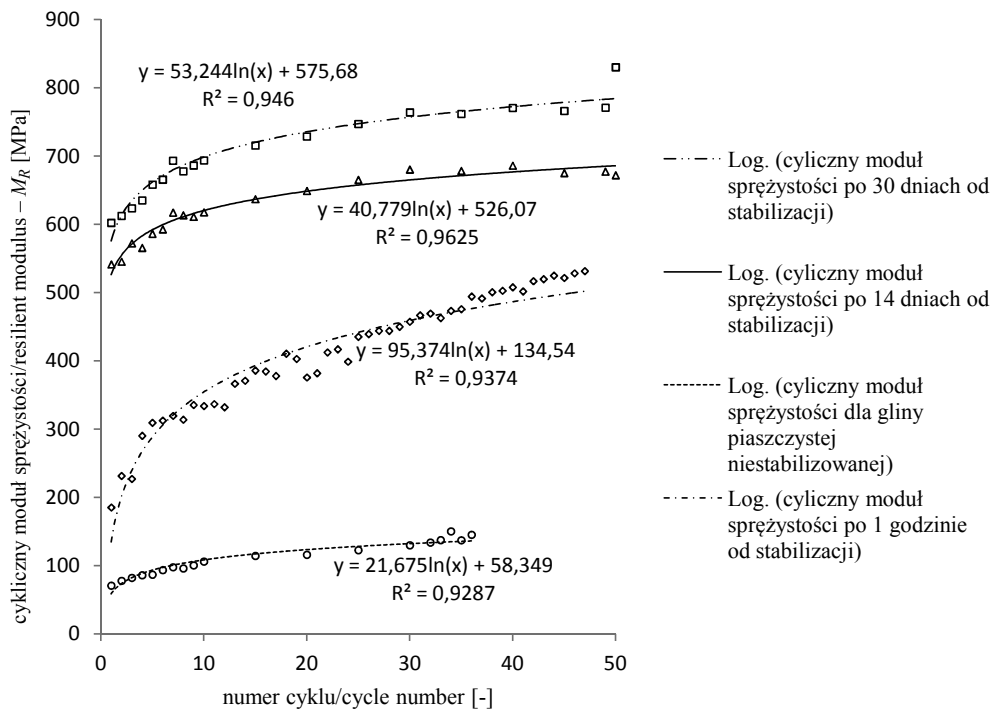
Wartości wskaźnika nośności dla gliny piaszczystej z badania statycznego CBR wynosiły odpowiednio 6, 24 i 26%, dla próbek badanych po godzinie oraz po 14 i 30 dniach.

Wartości cyklicznego modułu sprężystości wynoszą: 145,26, 531,48, 671,92 i 830,09 MPa, odpowiednio dla gliny niestabilizowanej oraz stabilizo-

wanej po godzinie oraz po 14 i 30 dniach od stabilizacji.

Stosunek wskaźnika nośności CBR dla gliny stabilizowanej po godzinie do wskaźnika nośności CBR po 30 dniach wzrósł 4,33 razy. Ten sam stosunek cyklicznych modułów sprężystości (M_R) wzrósł 1,56 razy.

W celu porównania wyników, otrzymanych za pomocą badania cCBR, wykonano cykliczne badania jednoosiowego ściskania (cUCS) na tym samym



RYSunek 8. Wyniki obliczeń cyklicznego modułu sprężystości (M_R) dla poszczególnych cykli badań gliny w różnej fazie stabilizacji (Sas i in. 2012)
 FIGURE 8. Resilient modulus (M_R) upshot for various number of cycles in various stage of stabilization process, for sandy clay (Sas et al. 2012)

gruncie godzinę po stabilizacji. Porównano całkowite odkształcenia w poszczególnych cyklach, które przedstawiono na rysunku 9.

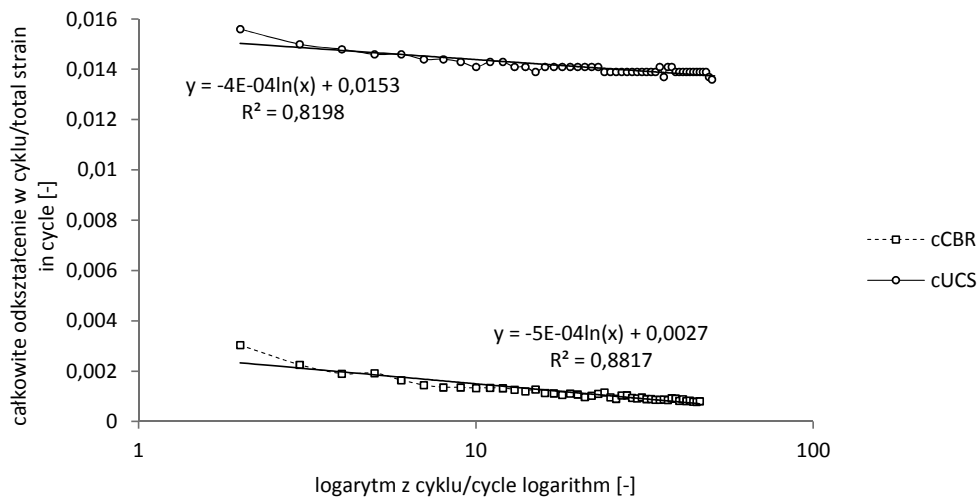
Dla otrzymanych wyników ustalono linię trendu. Współczynniki kierunkowe ($a_{cCBR} = -5 \cdot 10^{-4}$ i $a_{cUCS} = -4 \cdot 10^{-4}$) przy wartościach R^2 równych kolejno 0,8817 i 0,8198 sygnalizują, że dla tego samego gruntu, przy różnych poziomach obciążenia (kolejno 0,75 kN dla cCBR i 0,15 kN dla cUCS), przy tym samym stopniu zagęszczenia postać histerezy obciążeń cyklicznych jest taka sama. Wniosek ten wymaga dalszych badań, jednak jest zgodny z wynikami badań przedstawionymi w literaturze (O'Reilly i Brown

1991). Oznacza to również, że badania cCBR mogą być łatwo porównywalne z badaniami jednoosiowego ściskania.

Wnioski

Uzyskane wyniki pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Cykliczny aparat CBR może być z powodzeniem stosowany jako aparatura badawcza służąca do wyznaczenia cyklicznego modułu sprężystości (M_R).
2. Gliny stabilizowane charakteryzują się m.in. wzmocnieniem strukturalnym, spowodowanym procesem



RYSUNEK 9. Wyniki badań cCBR i cUCS dla gliny piaszczystej stabilizowanej po 1 godzinie
 FIGURE 9. Results of cCBR and cUCS test for sandy clay after 1 hour from stabilization

stabilizacji w czasie, który przez statyczne badanie CBR jest niewłaściwie wyznaczony.

3. Między badaniami cCBR i cUCS istnieje zależność która pozwala na łatwą interpretację wyników, jednak wymagane jest dalsze prowadzenie badań w celu dokładnego wyznaczenia owej korelacji.

Literatura

- ARAYA A.A. i in. 2011: Integrating traditional characterization techniques in mechanistic pavement design approaches. In: Eds. S.L. Al-qadi, S. Murrel, T&di congress 2011 integrated transportation and development for a better tomorrow. Reston, USA: 596–606.
- AURSTAD J. i in. 2006: Unbound crushed concrete in high volume road – a field and laboratory study. Proceedings of the 5th international conference on research and practical applications using wastes and secondary materials in pavement engineering, Liverpool: 160–174.
- NAZARIAN S. i in. 1996: Testing Methodology for Resilient Modulus on Base Materials, raport badawczy 1336-1, Center for Geotechnical and Highway Materials Research. University of Texas, El Paso.
- O'REILLY M.P., BROWN S.F. 1991: Cyclic loading of soils: From theory to design. Van Nostrand Reinhold Blackie, New York.
- PN-S-96011:1998. Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych.
- PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- SAS W., GŁUCHOWSKI A., SZYMAŃSKI A. 2012: Determination of the resilient modulus M_R for lime stabilized clay obtained from repeated loading CBR tests. *Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam.* 44 (2): 143–153.
- SAS W., GŁUCHOWSKI A. 2012: Metodyka wyznaczania modułów sprężystości (E i M_r) na podstawie badania CBR pod obciążeniem cyklicznym. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.* 57: 171–181.
- WU Z., CHEN X. 2010: Finite element sensitivity analysis of permanent deformation under accelerated loading. Proceedings of GeoFlorida-Advances in Analysis, Modeling & Design, West Palm Beach, Florida.

Streszczenie

Zastosowanie aparatu CBR do badań cyklicznych i wyznaczenia cyklicznego modułu sprężystości (M_R). W artykule przedstawiono wyniki badań wykonanych za pomocą cyklicznego aparatu CBR w celu wyznaczenia cyklicznego modułu sprężystości. Zaproponowano zastosowanie aparatury CBR do badań cyklicznych oraz przedstawiono wyniki badań cyklicznego modułu sprężystości (M_R). Porównano wyniki badań cCBR oraz badań cyklicznych jednoosiowego ściskania.

Summary

Application of CBR apparatus to cyclic test and resilient modulus (M_R) estimation. In this article results of tests conducted

with cyclic CBR apparatus were presented. The main aim of paper was estimation of resilient modulus. Application of cyclic CBR test were proposed and result of resilient modulus (M_R) estimation was presented. Test results of cCBR were also compared with cyclic unconfined compressive strength test results.

Author's address:

Andrzej Głuchowski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Geoinżynierii
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa
e-mail: andrzej_gluchowski@sggw.pl