

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 57, 2012: 171–181  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 57, 2012)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 57, 2012: 171–181  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 57, 2012)

**Wojciech SAS, Andrzej GŁUCHOWSKI**

Laboratorium Centrum Wodne SGGW w Warszawie  
Water Center Laboratory WULS – SGGW

## **Metodyka wyznaczania modułów sprężystości ( $E$ i $M_r$ ) na podstawie badania CBR pod obciążeniem cyklicznym Methods of determination of the modulus of elasticity ( $E$ and $M_r$ ) from the repeated loading tests CBR**

**Słowa kluczowe:** CBR cykliczny, cykliczny moduł sprężystości pod obciążeniem cyklicznym  $M_r$ , moduł Younga, nośność konstrukcji drogowej

**Key words:** repeated loaded CBR, resilient modulus  $M_r$ , Young modulus, bearing capacity of pavement

### **Wprowadzenie**

Projektowanie i wykonawstwo nawierzchni drogowych, w tym podbudów zasadniczych i pomocniczych z mieszanek niezwiązanych (WT-4 2010) oraz związanych (WT-5 2010) oraz nośnego podłoża w budownictwie drogowym, opiera się na zagęszczeniu kruszywa lub gruntu w warunkach zbliżonych do wilgotności optymalnej, przez co uzyskuje duże wartości modułów sprężystości gwarantujące pracę konstrukcji bez odkształceń wpływających na wymagania

stawiane poszczególnym kategoriom ruchu drogowego.

Zgodnie z Wymaganiami Technicznymi nr 4 i 5 (2010) opracowanymi przez GDDKiA, podstawowym badaniem mającym na celu określenia nośności podłoża gruntowego jest badanie CBR (California Bearing Ratio). Przeprowadzane przez wielu inżynierów badania wskazują, że standardowa metoda CBR nie oddaje do końca specyficznych warunków sił ścinających działających na podbudowę (Vogrid i in. 2003, AASHTO 2008).

Wprowadzona przez AASHTO norma MEPDG-1 (2008) obliguje projektantów do mechaniczno-empirycznych metod projektowania, wykorzystując cykliczny moduł sprężystości ( $M_r$  – resilient modulus). Wartość  $M_r$  jest tu określana jest na podstawie cyklicznego badania trójosiowego, w którym mierzone jest wtórne odkształcenie osiowe. Cykliczny moduł sprężystości jest

w pełni akceptowalnym wynikiem, który oddaje mechaniczne właściwości materiału gruntowego pod obciążeniem osiowym. Jest to badanie będące realistycznym obrazem warunków oddziałujących na podbudowę drogi (AASHTO 2008). Jednak przygotowanie próbki jest czasochłonne, a aparatura potrzebna do badań jest w Polsce dostępna praktycznie w wyspecjalizowanych ośrodkach naukowych. Z tego powodu poszukuje się tańszych i szybszych metod określenia wartości cyklicznego modułu sprężystości określanego w badaniach cyklicznego obciążania. Jedną z metod jest zmodyfikowane cykliczne badanie CBR, które bazując na szeroko dostępnej i popularnej aparaturze (standardowy cylinder CBR) oraz adaptując stanowiska do badań wytrzymałościowych materiałów, pozwala na określenie poszukiwanej wartości modułów sprężystych gruntu lub kruszywa (Nazarian i in. 1996, Araya 2011).

W artykule zostały przedstawione podstawy teoretyczne oraz opis metodyki wraz z obliczeniem modułu Younga ( $E$ ) oraz cyklicznego modułu sprężystości ( $M_r$ ) wyznaczone na podstawie przeprowadzonych badań powtarzalnego CBR.

## Metody projektowania nawierzchni dróg

Nawierzchnia jest to warstwa lub zespół warstw, których zadaniem jest przeniesienie i rozkład obciążeń od ruchu na podłoże gruntowe – naturalne lub nasypowe. Zadaniem nawierzchni jest także zapewnienie jak największego komfortu jazdy (Piłat i Radziszewski 2010). Głównymi elementami konstrukcyjnymi nawierzchni dróg są kolejno: warstwa

ścieralna, warstwa wiążąca asfaltowa, podbudowa z kruszywa i/lub betonu.

Projektowanie dróg może być wykonane następującymi metodami (Piłat i Radziszewski 2010):

- metodą mechanistyczną (Kukielka i Szydło 1986, Piłat i Radziszewski 2010),
- metodą projektowania konstrukcji według Katalogu typowych... (2001),
- metodą empiryczną (Rolla 1977, Kukielka i Szydło 1986, Piłat i Radziszewski 2010),
- metodą mechanistyczno-empiryczną (Rolla 1977, Kukielka i Szydło 1986).

Metody te wykorzystują podstawy mechaniki, stany naprężeń i odkształceń w warstwach konstrukcji nawierzchni, uwzględniają też natężenie ruchu oraz warunki klimatyczne. Na szczególne podkreślenie zasługuje metoda mechanistyczno-empiryczna uwzględniająca teoretyczne elementy mechaniki (wyznaczenie modułów sztywności) i wyniki badań doświadczalnych dotyczących materiałów użytych do budowy drogi i podłoża gruntowego.

Niezależnie jednak od założeń teoretycznych każdej z tych metod poszukuje się grubości poszczególnych warstw nawierzchni drogowej.

## Podstawy teoretyczne wyznaczenia modułów sprężystości – $E$ (moduł Younga) oraz $M_r$ (cykliczny moduł sprężystości)

Moduł sprężystości ( $M_r$ ) dla podbudów i podłoża określane jest na podstawie cyklicznego badania trójosiowego

(Nazarian i in. 1996, Vogrid 2003) poprzez umieszczenie próbki w komorze i zadanie powtarzalnego obciążenia osiowego. Po wielokrotnym obciążeniu próbki mierzy się wartość wtórnego odkształcenia osiowego i zadaną siłą odkształcającą próbkę. Moduł sprężystości oblicza się na podstawie wzoru:

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_a} \quad (1)$$

Parametr  $\sigma_d$  jest osiowym dziewięciom naprężeniem, który jest obliczany ze wzoru:

$$\sigma_d = \frac{P}{A_i} \quad (2)$$

gdzie  $P$  jest zadaną siłą, a  $A_i$  – polem przekroju poprzecznego próbki.

Parametr  $\varepsilon_a$  jest sprężystym odkształceniem osiowym próbki i jest obliczany jako:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta L}{L_i} \quad (3)$$

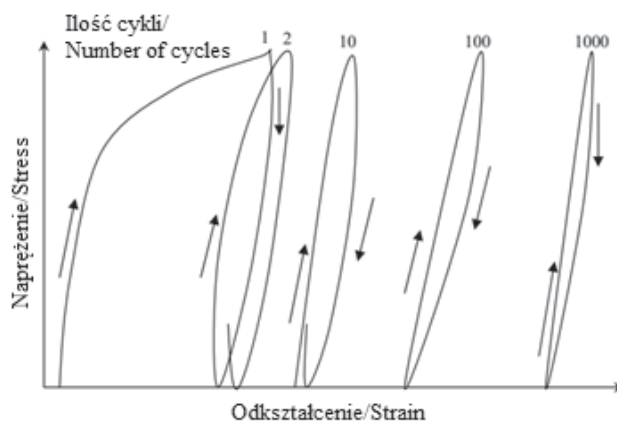
gdzie  $\Delta L$  jest wtórnym odkształceniem osiowym na głębokości  $L_i$  (Nazarian in. 1996, Hopkins in. 2004, Araya 2011).

Schematyczne zachowanie się materiału ziarnistego w wyniku obciążenia cyklicznego zobrazowane zostało na rysunku 1.

Całkowite odkształcenia każdej podbudowy drogi poddane cyklicznemu obciążeniu może być sumą trzech niezależnych odkształceń (rys. 7):

- czasowo niezależnych sprężystych odkształceń odwracalnych podczas zmniejszania się obciążenia (ED – elastic deformation, rys. 7),
- czasowo zależnych lepkosprężystych odkształceń odwracalnych po zmniejszeniu obciążenia (VD – visco-elastic deformation),
- plastycznych odkształceń podczas cyklu obciążania – odciążania, nieodwracalnych i zależnych od szybkości zadawanego obciążenia i jego wielkości oraz czasu (PD – plastic deformation).

Odkształcenie ED jest miarą chwilowego  $M_r$ , odkształcenie VD jest miarą lepkosprężystego modułu, natomiast od-



RYSUNEK 1. Schematyczne zachowanie się materiału ziarnistego w wyniku obciążenia cyklicznego  
FIGURE 1. Schematic behaviour of granular material under cyclic loading

kształcenie PD jest miarą plastycznego odkształcenia i charakterystyczną miarą zmęczenia materiału (Nazarian i in. 1996).

### Badanie California Bearing Ratio (CBR)

Badanie „statyczne” CBR jest bardzo rozpowszechnioną (empiryczną) metodą oceny nośności materiału ziarnistego konstrukcji nawierzchni drogowej oraz podłoża gruntowego (Araya 2011) i zalecaną przez AASHTO (2008) i krajowe WT-4 i WT-5 (2010).

Test CBR jest badaniem penetracji trzpienia o powierzchni przekroju 1935 mm<sup>2</sup> (średnica 49,63 mm), który jest wciskany w próbkę ze stałą prędkością 1,27 mm na minutę. Próbka jest umieszczona w stalowym cylindrze o średnicy 152,4 mm. Wartość CBR jest określana na podstawie zmierzonej siły na głębokości penetracji 2,54 mm (CBR<sub>2,5</sub>) i na głębokości 5,08 mm (CBR<sub>5,0</sub>) na podstawie wzoru:

$$\text{CBR}_{2,5} = \frac{F_a}{1935 \cdot 6,9} \cdot 100\% \quad (6)$$

$$\text{CBR}_{5,0} = \frac{F_b}{1935 \cdot 10,3} \cdot 100\% \quad (7)$$

gdzie:

$F_a, F_b$  – siła zmierzona na głębokości penetracji, odpowiednio 2,54 i 5,08 mm [N],

1935 – powierzchnia obciążanej próbki [mm<sup>2</sup>],

6,9 – naprężenie standardowej próbki kruszonego kamienia na głębokości penetracji 2,54 mm [MPa],

10,3 – naprężenie standardowej próbki kruszonego kamienia na głębokości penetracji 5,08 mm [MPa].

Z powodu popularności badania CBR wyznaczono także wiele wzorów empirycznych, mających na celu określenie wartości modułów mechanicznych, jak choćby moduł Younga ( $E$ ). Należy jednak zaznaczyć, że badane próbki odkształcają się lepkosprężysto. Dlatego w wyniku istnienia dwóch typów odkształcenia nie można wyznaczyć jednoznacznie zarówno modułów sprężystych, jak i plastycznego odkształcenia. Z tego powodu standardowe badanie CBR jest nieodpowiednie do wyznaczania takich parametrów jak czysto plastyczne lub czysto sprężyste (Hopkins i in. 2004, Araya 2011).

### Badanie CBR pod obciążeniem cyklicznym

W wyniku obciążania materiału ziarnistego część odkształceń jest typu plastycznego, a część jest odkształceniem wtórnym, czyli sprężystym. Podczas wielokrotnego obciążania tą samą wartością siły grunt dochodzi do stanu, gdzie praktycznie wszystkie odkształcenia są sprężyste. Podstawą cyklicznego testu CBR są wyjściowe warunki przeprowadzania testu statycznego CBR, z tym wyjątkiem, że test jest przeprowadzany do momentu, aż wszystkie odkształcenia w jednym cyklu obciążenie – odciążenie będą sprężyste. Przygotowanie próbki jest przeprowadzane zgodnie ze standardami określonymi w normie PN-S-02205. Następnie test jest wykonywany do osiągnięcia głębokości penetracji 2,54 mm, przy stałej

prędkości zagłębiania trzpienia 1,27 mm na minutę. Po osiągnięciu zadanej penetracji próbka jest odciążana do wartości około 10% wartości maksymalnej siły penetracji występującej na głębokości 2,54 mm. Gdy proces odciążania zakończy się, ponownie powtarza się całą procedurę obciążania – odciążania (jeden cykl). Test jest prowadzony do momentu, gdy odkształcenia w jednym cyklu osiągną stałą wartość. Zwykle potrzeba na to około 50–60 cykli (Araya 2011).

Przeprowadzone badania nad cyklicznymi badaniami CBR pozwoliły na estymację wzoru na moduł sprężystości materiału ziarnistego ( $E$ ). Na podstawie zadanego naprężenia ( $\sigma_0$ ), średniej siły zadanej przez trzpień i zmierzonego pionowego odkształcenia sprężystego ( $u$ ) w ostatnim cyklu badania aproksymowano rozwiązanie, bazując na metodzie elementów skończonych (Vogrid i in. 2003).

Dla rozwiązania tego problemu podjęto próbę ustalenia, w jaki sposób (pod jakim kątem) rozprzestrzenia się zadana

siła w próbce umieszczonej w cylindrze CBR (rys. 2). W jego wyniku próbkę ze względu na rozprzestrzenienie się w niej zadanej siły podzielono na część stożkową i część cylindryczną. Całkowite odkształcenie w wyniku przeprowadzonego rozumowania składało się z dwóch części (Vogrid i in. 2003, Araya 2011):

$$u = \frac{\sigma_0 \cdot H \cdot d}{E \cdot D} + \frac{\sigma_0 \cdot d^2 \cdot (L - H)}{E \cdot D^2} \Rightarrow \quad (8)$$

$$\Rightarrow E = \frac{\sigma_0 \cdot d}{u \cdot D} \left[ H + \frac{d(L - H)}{D} \right]$$

gdzie:

$u$  – odkształcenie sprężyste [mm],

$\sigma_0$  – średnie naprężenie zadane od trzpienia [MPa],

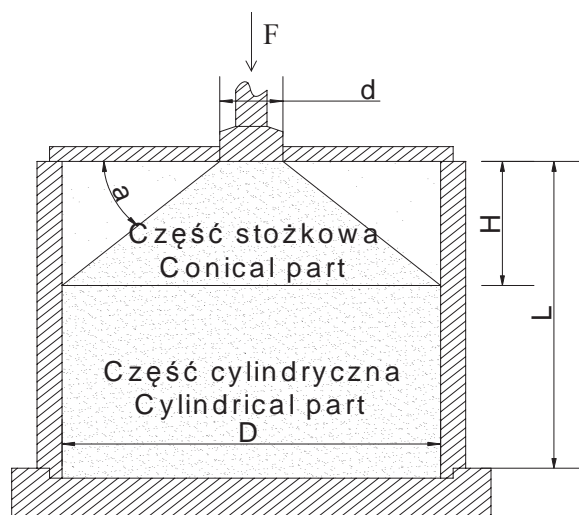
$d$  – średnica trzpienia [mm],

$H$  – wysokość stożkowej części cylindra [mm],

$E$  – moduł sprężystości [MPa],

$D$  – średnica próbki w cylindrze [mm],

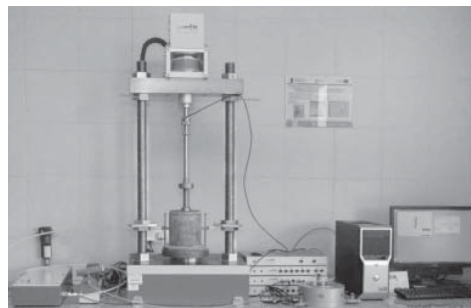
$L$  – wysokość całkowita cylindra [mm].



RYSUNEK 2. Stożkowy i cylindryczny podział cylindra w aproksymowanym wzorze  
FIGURE 2. Conical and cylindrical part of CBR cylinder in approximated equation

## Wyniki badań cyklicznego CBR

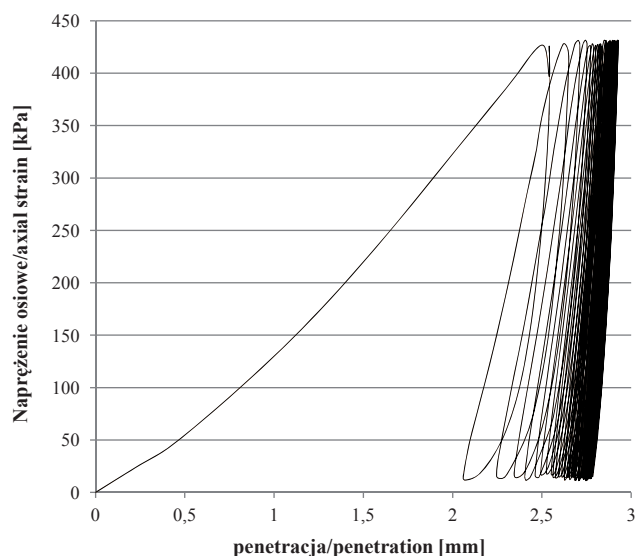
W celu udokumentowania metody badawczej oraz wyznaczenia parametrów nośności i odkształcalności materiału gruntowego przeprowadzono badania cyklicznego (powtarzalnego) CBR. Badania wykonano w Pracowni Badań Dynamicznych Gruntów i Skał zlokalizowanej w Laboratorium Centrum Wodne, będącej jednostką Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie. Do badań wykorzystano standardowy cylinder CBR oraz stanowisko do badań właściwości mechanicznych gruntów w warunkach obciążeń cyklicznych (rys. 3). Jako materiał badawczy posłużył materiał drobnoziarnisty – glina stanowiąca podłoże wielu konstrukcji nawierzchni na obszarze Polski. Badany grunt zawierał 37,5% frakcji piaskowej, 47,9% frakcji pyłowej oraz 14,6% frakcji iłowej. Próbkę do badań przygotowano metodą Proctora



RYSUNEK 3. Widok stanowiska badawczego  
FIGURE 3. View of test equipment

z zastosowaniem normalnej energii zagęszczania przy wilgotności optymalnej  $w_{opt} = 13\%$ .

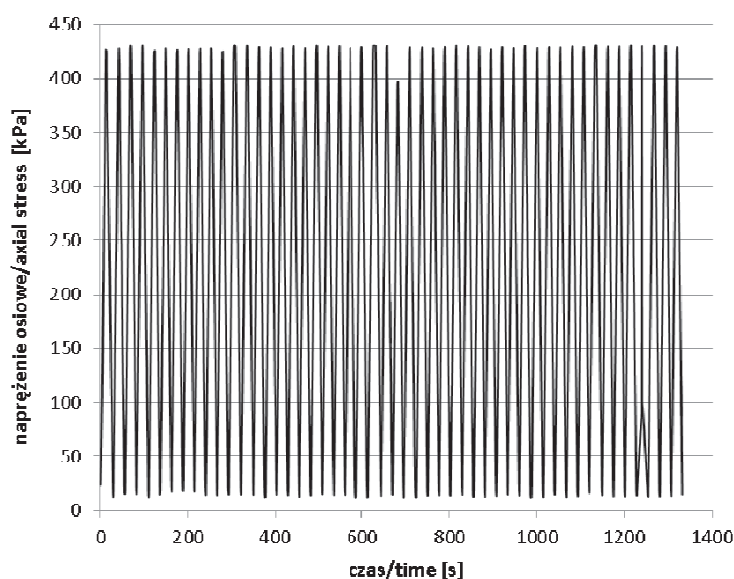
Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badania cyklicznego CBR. Próbkę w pierwszym etapie badań została poddana statycznemu zagłębianiu trzpienia ze stałą prędkością równą 1,27 mm na minutę do osiągnięcia penetracji na głębokości 2,54 mm. Wartość maksymalnego naprężenia pomierzonego na głębokości



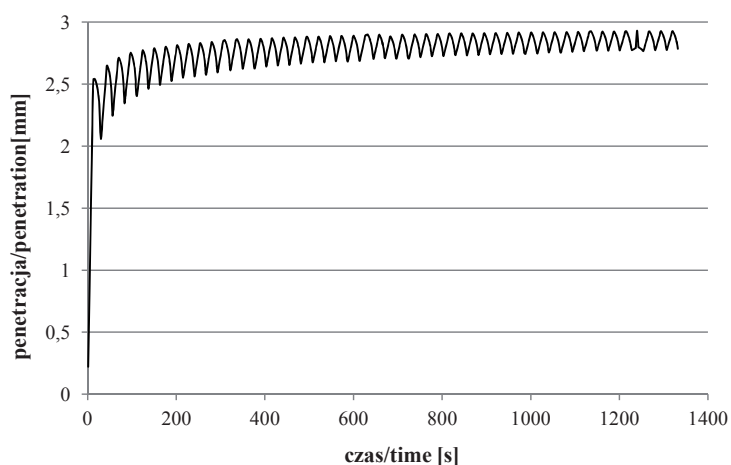
RYSUNEK 4. Wyniki badania cyklicznego CBR gliny w funkcji naprężenia i penetracji  
FIGURE 4. CBR test results as a function of cyclic stress and penetration for a clay sample

2,54 mm wynosiła 426 kPa. Przeliczeniowa wartość „statycznego” wskaźnika CBR wyniosła  $CBR_{2,54} = 10,8\%$ . W drugiej części badania próbkę odciążono do momentu osiągnięcia naprężenia 10 kPa i następnie poddano etapowi powtarzalnego cyklu obciążania i odciążania. Ob-

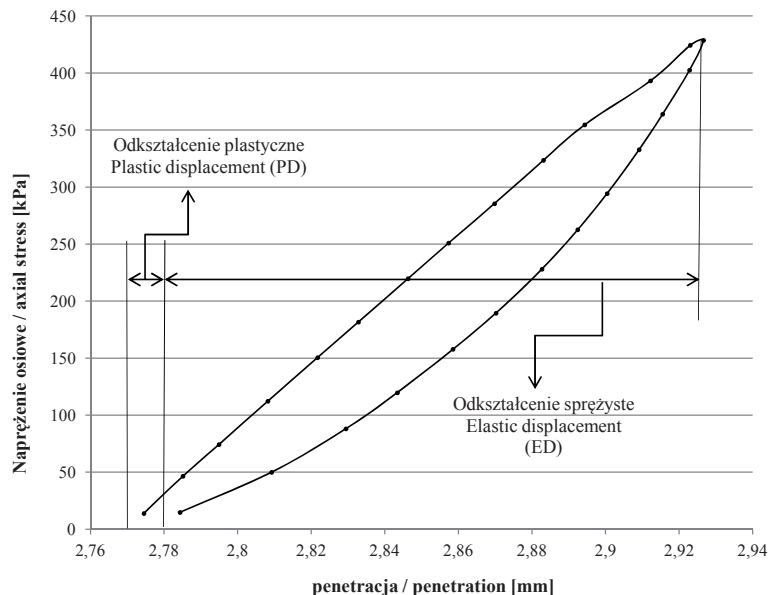
ciążanie próbki przeprowadzono równomiernie i w stałych odstępach czasu (rys. 5). Wynikiem bezpośrednim badania jest zależność pokazująca zmienność zagłębienia trzpienia w funkcji czasu, co przedstawione zostało na rysunku 6. Na wykresie można zauważyć, że pod-



RYSUNEK 5. Wyniki badania cyklicznego CBR gliny w funkcji naprężenia i czasu  
FIGURE 5. CBR test results as a function of cyclic stress and time for a clay sample



RYSUNEK 6. Wyniki badania cyklicznego CBR gliny w funkcji penetracji i czasu  
FIGURE 6. Test results as a function of penetration and time for a clay sample



RYSUNEK 7. Cykl pięćdziesiąty badania CBR próbki gliny  
 FIGURE 7. Fiftieth cycle of CBR repeated test for clay sample

czas kolejnego obciążania i odciążania odkształcenia stają się coraz mniejsze, co jest wynikiem zanikania odkształceń plastycznych między kolejnymi cyklami. W pierwszym cyklu próbka w 81,4% odkształciła się plastycznie, natomiast w 18,6% – sprężystie. Ostatecznie w cyklu nr 50 obciążana tą samą siłą próbka odkształciła się w 96,3% sprężystie, odkształcenia plastyczne stanowiły zaledwie 3,7% całego odkształcenia próbki. Przebieg etapu obciążenia – odciążenia próbki w pięćdziesiątym cyklu przedstawiono na rysunku 7.

### Obliczenie modułu sprężystości pod obciążeniem cyklicznym

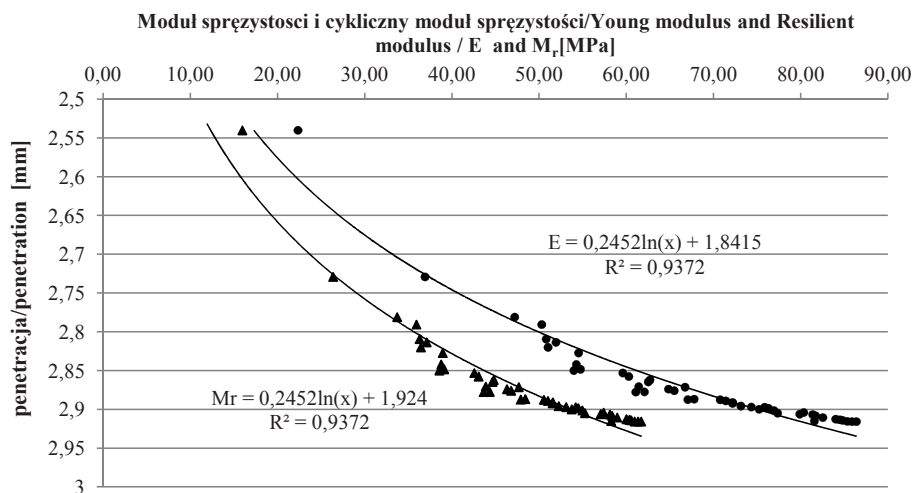
Zgodnie z pracą Vogrid (2003), wartość modułów sprężystości  $E$  i  $M_r$  jest sumą rozprzestrzeniania się siły w cylin-

drze w części stożkowej i cylindrycznej. Bazując na równaniu (8), wykonano obliczenia modułu sprężystości ( $E$ ). Do obliczeń przyjęto następujące warunki początkowe, zgodnie z prawem Hooke'a: kąt  $45^\circ$ ,  $H = 51,39$  mm,  $L = 169,4$  mm,  $D = 152,4$  mm,  $d = 49,63$  mm (rys. 2). Cykliczny moduł sztywności ( $M_r$ ) obliczono na podstawie zależności między modułem sprężystości  $E$  i współczynnikiem Poissona ( $\nu$ ) – dla badania przyjęto  $\nu = 0,3$  (Davich i in. 2004):

$$M_r = \frac{E}{2 \cdot (1 - \nu)} \quad (9)$$

Wyniki wartości modułów sprężystości  $E$  oraz  $M_r$  przedstawiono na rysunku 8. Wykonane badanie dowiodło, że wartości modułów sprężystości  $E$  nie są wielkością stałą oraz że ich zależność w funkcji zagłębienia trzpienia w prób-





RYSUNEK 8. Wykres zmiany wartości modułów sprężystości  $E$  i  $M_r$  w funkcji zagłębienia się trzpienia w próbkę gliny

FIGURE 8. The graph of changes the value of the  $E$  and  $M_r$  modulus depending on the penetration

kę w trakcie cyklicznego obciążania jest krzywoliniowa. Pokazane na wykresie zależności wskazują na ciągły wzrost wartości modułów, które w końcowej fazie badania (po osiągnięciu 50 cykli) dążą do stabilizacji wyniku. Wzrost ten ma charakter logarytmiczny, gdzie dla funkcji wartość  $R^2 = 0,9372$ . Świadczy to także o tym, że końcowe wyniki wskazują na osiągnięcie praktycznie fazy odkształceń sprężystych.

## Wnioski

W artykule podjęto ważną tematykę dotyczącą pozyskiwania parametrów materiałów ziarnistych stanowiących elementy konstrukcji nawierzchni drogowej. Parametry te w rezultacie przeliczane są na grubość warstw konstrukcyjnych, co z kolei przenosi się na nośność całej nawierzchni i koszty jej wykonania. Z przeglądu literatury wynika, że

w praktyce polskiej najpopularniejszym badaniem jest klasyczna metoda CRB. Jednakże w literaturze zagranicznej zdecydowanie wskazuje się na konieczność pozyskiwania parametrów materiałowych z badań w warunkach cyklicznego obciążania, które w sposób bardziej rzeczywisty oddają pracę obciążonej konstrukcji drogowej. Parametry te w postaci modułów sprężystości  $E$  oraz  $M_r$ , można pozyskać z badań cyklicznego obciążania w warunkach trójosiowego ściskania lub powtarzalnego – cyklicznego badania CBR. Ze względu na łatwość badania i częste ograniczenia aparaturowe w artykule główny nacisk postawiono na badania CBR. Wykonane badanie na próbce gliny wykazało zdecydowanie, że przy małej wartości „statycznego” CBR można wyznaczyć rozkład wzrostu modułów sprężystości w funkcji wielokrotnego obciążania i odciążania materiału konstrukcyjnego. W rezultacie badania wyznacza się moduły sprężystości przy

praktycznie wygaśnięciu odkształceń plastycznych, czyli doprowadzając do warunków zbliżonych do rzeczywistych w trakcie obciążania nawierzchni ruchem drogowym. Zastosowane formuły wyznaczone przy metodyce badań w warunkach cyklicznych badań trójosiowego ściskania z powodzeniem mogą być używane w analizie wyników powtarzalnego CBR. Możliwość wykorzystania standardowego cylindra CBR oraz stanowisk cyklicznego obciążania w laboratoriach wytrzymałościowych pozwala na szerokie stosowanie tej metody pozyskiwania parametrów.

Ze względu na empiryczność tej metody wskazane jest jednak ciągle poszukiwanie zależności korelacyjnych z innymi badaniami cyklicznymi oraz opracowywanie zależności sprężystych na podstawie podstawowych badań wskaźnikowych materiałów ziarnistych, co w rezultacie może posłużyć inżynierowi na budowie do szybkiej oceny jakości nawierzchni drogowej.

## Literatura

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 2008. Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice. AASHTO Designation: MEPDG-1.
- ARAYA A. 2011: Characterization of Unbound Granular Materials for Pavements. Ph Thesis, Delft.
- ARAYA A. i inni 2011: Integrating traditional characterization techniques in mechanistic pavement design approaches. T&Dl Congress: 596–606.
- DAVICH P. i inni 2004: Small strain and resilient modulus testing of granular soils. Technical report 39. University of Minnesota, Minneapolis.

- HOPKINS T. i inni 2004: Characterization of Unbound Granular Materials for Pavements. Kentucky.
- Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych 2001. IBDiM, GDDP, Warszawa.
- KUKIELKA J., SZYDŁO A. 1986: Projektowanie i budowa dróg. WKiŁ, Warszawa.
- NAZARIAN S. i inni. 1996: Testing Methodology for Resilient Modulus of Base Materials. The Center for Geotechnical and Highway Materials Research, University of Texas AT El Paso.
- PIŁAT J., RADZISZEWSKI P. 2010: Nawierzchnie asfaltowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- PN-S-02205 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- ROLLA S. 1977 Przełomy drogowe i wzmocnienia nawierzchni. WKiŁ, Warszawa.
- VOGRIG M. i inni 2003: A laboratory technique for estimating the resilient modulus of unsaturated soil specimens from CBR and unconfined compression test. Proc. 56<sup>th</sup> Canadian Geotechnical Conference.
- (WT-4) Wymagania Techniczne nr 4. Mieszanki związane do dróg krajowych 2010. Załącznik Nr 5 do zarządzenia Nr 102. GDDKiA, Warszawa.
- (WT-5) Wymagania Techniczne nr 5. Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych 2010. Załącznik Nr 4 do zarządzenia Nr 102. GDDKiA, Warszawa.

## Streszczenie

**Metodyka wyznaczania modułów sprężystości ( $E$  i  $M_r$ ) na podstawie badania CBR pod obciążeniem cyklicznym.** Projektowanie i wykonawstwo nawierzchni drogowych wiąże się z wyznaczeniem niezbędnych parametrów nośności oraz sztywności zastosowanych materiałów ziarnistych. Parametry w postaci modułów sprężystości  $E$  i  $M_r$ , według najnowszych światowych tendencji powinny być wyznaczone w laboratorium w warunkach cyklicznego przekazywania obciążeń na próbki. Podstawową metodą ich wyznaczania są cykliczne badania trójosiowe, ale stosowana jest również metoda

cyklicznego CBR. W niniejszym artykule została podana metodyka wykonania powtarzalnego badania CBR (cyklicznego) próbki gliny wraz z prezentacją i analizą uzyskanych wyników.

## Summary

**Methods of determination of the modulus of elasticity ( $E$  and  $M_r$ ) from the repeated loading tests CBR.** The aim of this paper is to prove that CBR repeated test is useful to give an adequate like Unconfined Cyclic Triaxial test parameters for design the pavement and subgrade soils. That parameters are the Modulus of Elasticity also called Young's modulus and the Resilient modulus ( $M_r$ ) which is the elastic modulus based on the recoverable strain under repeated load.

Modulus of elasticity ( $E$ ) can be determined for any solid material and represents the ratio of stress and strain (stiffness). Resilient modulus ( $M_r$ ), is an important parameter which characterizes the subgrade's ability to withstand repetitive stresses under traffic loadings. The 1986 AASHTO guide for design of flexible pavements recommends the use of  $M_r$ . In that paper both parameters  $E$  and  $M_r$  of the subgrade clayey soil by laboratory CBR repeated test were determined using for calculation formulas from triaxial cyclic test.

### Author's address:

Wojciech Sas  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Laboratorium Centrum Wodne  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: wojciech\_sas@wp.pl