

TRÓJOSIOWE OBCIĄŻENIA CYKLICZNE PODŁOŻA GRUNTOWEGO W BUDOWNICTWIE DROGOWYM

Wojciech SAS*, Andrzej GŁUCHOWSKI

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

Streszczenie: Wzrost inwestycji drogowych w Polsce wiąże się ze wzrostem zapotrzebowania na materiały budowlane i z poszukiwaniem alternatywnych metod wykonania konstrukcji drogowej. Wraz z rozwojem budownictwa drogowego obserwuje się zwiększenie natężenia ruchu drogowego. Istotnym odsetkiem pojazdów drogowych są samochody dostawcze, których liczba rośnie wraz z rozwojem transportu. Ciężkie samochody mogą przewozić ograniczoną ilość towaru, ze względu na obciążenie osi pojazdu. Może się okazać, że wkrótce trzeba będzie dostosować drogi ekspresowe i autostrady do zwiększonego obciążenia osi. Dotychczasowe badania empiryczne oraz Katalog typowych nawierzchni półsztywnych i sztywnych będą w związku z tą sytuacją zastąpione lub aktualizowane. W artykule przedstawiono weryfikację własnych badań nad obciążeniami cyklicznymi gruntów według PN-EN 13286-7 (2004).

Słowa kluczowe: obciążenia cykliczne, teoria dostosowania, cykliczne badania trójosiowe, mieszanki niezwiązane.

1. Wstęp

W pracy Bonda i Harrisa (2008) zaznaczono, że Eurokod 7 (PN-EN 1997-2:2009 *Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne - Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego*) nie zajmuje się tematyką obciążeń cyklicznych. Jednak to obciążenia cykliczne są w mechanice materiałów powodem zmęczenia materiału, któremu grunt także podlega. Brak jest jednak odpowiednich norm, które systematyzowałyby badania oraz ich interpretację dla celów drogowych oraz posadowień innych budowli obciążonych cyklicznie, takich jak: morskie turbiny wiatrowe, konstrukcje portowe, fundamenty obciążane mimośrodowo (Randolph i Gouvernec, 2011).

Projektowanie konstrukcji drogowych na przestrzeni lat zmieniło swoje podejście z empirycznego (na przykład metoda PJ-ITB) na mechanistyczno-empiryczne, które w procesie projektowania uwzględniło dodatkowe parametry geotechniczne w postaci modułu Younga E oraz współczynnika Poissona ν . Owe właściwości można określać w laboratorium oraz *in situ* za pomocą płyty sztywnej (Piłat i Radziszewski, 2004). Metoda mechanistyczna, wykorzystuje w projektowaniu elementy teorii sprężystości i zakłada, że podbudowa drogowa jest ciałem sprężysto-idealnie plastycznym, które w wyniku obciążenia zachowuje się sprężysto do granicznej wartości obciążenia, gdy następuje utrata właściwości mechanicznych materiału i jego zniszczenie (Ullidtz i Peattie, 1980).

Obserwacje przeprowadzone przez badaczy zajmujących się obciążeniami cyklicznymi przedstawiają obraz problemu powtarzalnego obciążania gruntu. Pomimo, iż grunt podlega naprężeniu ściskającemu, które nie przekroczyło dopuszczalnej wartości naprężenia oznaczającego zniszczenie materiału, występują w nim odkształcenia plastyczne. Odkształcenia plastyczne mogą doprowadzić do powstania jednego z dwóch stanów granicznych określonych w sposób następujący (Piłat i Radziszewski, 2004):

- wartość modułu sztywności G stanowi mniej niż 50% wartości początkowej tego modułu,
- spękania zmęczeniowe nawierzchni asfaltowej o szerokości rozwarcia rys równej 2 mm stanowią co najmniej 20% powierzchni nawierzchni.

Kryteria te są uzależnione od pracy wszystkich warstw konstrukcyjnych drogi, przez co jakość każdej warstwy należy zaprojektować i dostosować do warunków eksploatacji.

Przyjęte dla podbudów niezwiązanych kryteria w świetle empiryczno-mechanistycznego podejścia projektowego nie uwzględniają powstania odkształceń plastycznych we wszystkich warstwach konstrukcji i podłożu gruntowym, które w ujęciu inżynierskim są nazywane koleinami.

Obciążenia cykliczne powodują w gruncie nienasyconym wzrost modułu sprężystości. Ma to związek z plastycznym wzmocnieniem gruntu, który w wyniku kolejnych cykli działania tego samego naprężenia odpowiada zmniejszaniem się odkształceń plastycznych a zwiększeniem się odkształceń sprężystych (Araya, 2011;

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: wojciech_sas@sggw.pl

Sas i Głuchowski, 2013). W celu scharakteryzowania tego zjawiska wprowadzono cykliczny moduł sprężystości gruntu, nazywany „resilient modulus” a oznaczany jako M_r (często w literaturze polskiej oznaczany również jako M_R). Definicja tego modułu określona jest jako stosunek amplitudy naprężenia $\Delta\sigma_p$ w danym cyklu do odkształcenia sprężystego ε_r gruntu (O'Reilly i Brown, 1991):

$$M_r = \frac{\Delta\sigma_p}{\varepsilon_r} \quad (1)$$

Norma PN-EN 13286-7:2004 *Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym – Część 7: Próba cyklicznego obciążania trójosiowego mieszanek niezwiązanych* definiuje cykliczny moduł sprężystości jako E_r w warunkach stałego mniejszego naprężenia głównego $\sigma_3 = 0$ jako iloraz przedstawiony w równaniu (1), oznaczając składowe w inny sposób:

$$E_r = \frac{\sigma_1^r}{\varepsilon_1^r} \quad (2)$$

gdzie: $\sigma_1^r = \sigma_{1max} - \sigma_{1min}$ jest amplitudą naprężenia w N-tym cyklu, a $\varepsilon_1^r = L_r(N) / L_0$ jest odkształceniem sprężystym w N-tym cyklu wyrażonym jako stosunek zmiany wysokości próbki $L_r(N)$ w cyklu N do początkowej wysokości próbki L_0 przed badaniem. Wartość cyklicznego modułu sprężystości w artykule dalej będzie oznaczana jako M_r . Określenie wartości cyklicznego modułu sprężystości M_r jest potrzebne w przypadku budownictwa drogowego, ze względu na charakterystykę mechaniczną gruntu na zadane obciążenia od poruszającego się pojazdu.

Obciążenia cykliczne charakteryzuje częstotliwość od 0 do 1 Hz, występują wtedy odkształcenia plastyczne, a siły bezwładności są zaniedbywalne (Peralta i Achmus, 2010).

Obciążenia cykliczne będące powodem powstawania kolein w gruncie z punktu widzenia mechaniki gruntu są odkształceniami plastycznymi. Badania gruntów niespoistych doprowadziły do odkrycia zmiennego zachowania się gruntu przy różnych poziomach naprężenia (Goldscheider, 1977; Werkmeister i in., 2001). Tego typu odpowiedź materiału na obciążenie cykliczne opisuje teoria dostosowania (*shakedown theory*). Dla materiału sprężysto-idealnie plastycznego istnieje pięć możliwych odpowiedzi na zadane obciążenie cykliczne (Werkmeister i in., 2001):

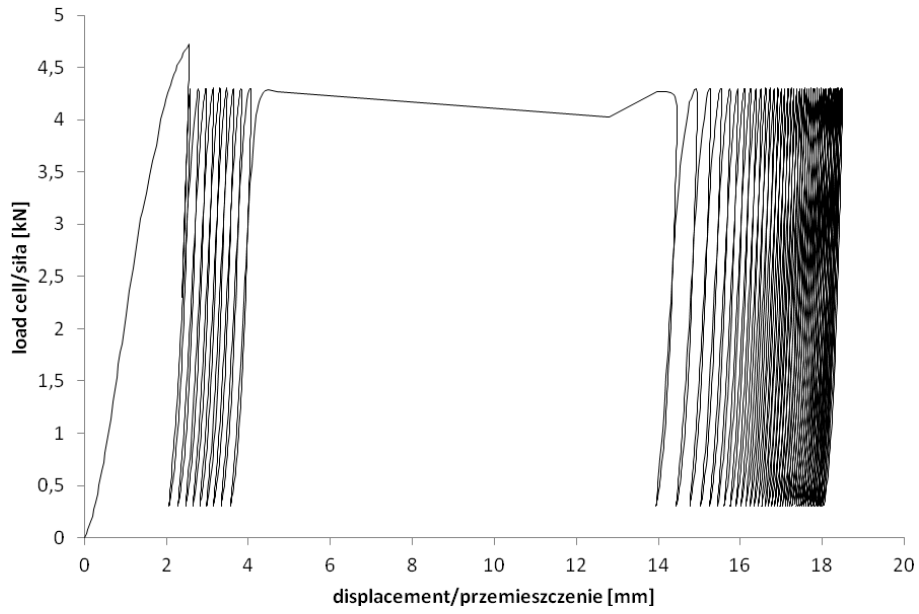
1. Odpowiedź sprężysta, przy obciążeniu cyklicznym mniejszym niż granica sprężystości – wtedy odkształcenia plastyczne przy obciążeniu cyklicznym nie pojawiają się w żadnym cyklu.
2. Klasyczne zniszczenie – w wyniku wysokiej amplitudy naprężenia cyklicznego nośność gruntu zostaje przekroczona a zniszczenie następuje natychmiast w wyniku przyrostu nadmiernych odkształceń plastycznych.
3. Zniszczenie w wyniku zmęczenia zachodzi podczas cyklicznego obciążenia materiału amplitudą mniejszą

niż w przypadku 2, a przyrost odkształceń plastycznych w każdym cyklu ma znak dodatni (obciążenie klasyczne) i nigdy nie wygasa; w wyniku zjawiska przyrostu nieskończenie dużej liczby odkształceń plastycznych materiałów po odpowiednio dużej liczbie cykli przekracza stan graniczny przydatności do użytkowania.

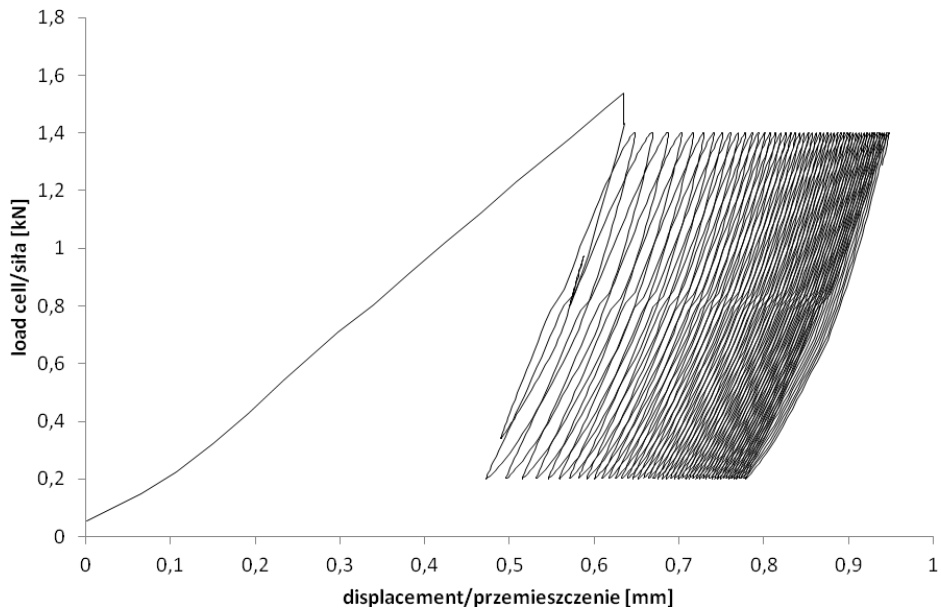
4. Alternatywna plastyczność – powstaje w wyniku cyklicznego obciążania materiału jak w przypadku 3, jednak przyrost odkształceń plastycznych zmienia znak (ściskanie i rozciąganie). Alternatywna plastyczność zachodzi wówczas, gdy przyrost odkształceń plastycznych przy ściskaniu (+) zostanie zmniejszony bądź wyrównany przez przyrost odkształceń plastycznych przy rozciąganiu (-). Termin alternatywna plastyczność odnosi się do zjawiska, gdy pomimo bardzo małego (lub braku) przyrostu odkształceń plastycznych materiał ulega zjawisku uplastycznienia zarówno podczas ściskania, jak i rozciągania. Cykliczny moduł sprężystości przy kolejnych cyklach obciążenia nie jest stały, a praca plastyczna gruntu wzrasta wraz z kolejnymi cyklami, co może doprowadzić do zniszczenia w wyniku zmęczenia.
5. Dostosowanie, ostatnia możliwa odpowiedź materiału na obciążenia cykliczne, zachodzi przy niższych amplitudach naprężenia cyklicznego niż w punktach 2, 3, 4. Początkowo dochodzi do powstania odkształceń plastycznych, lecz ich przyrost w czasie kolejnych cykli jest coraz mniejszy, co prowadzi do stabilizacji materiału poprzez zanik odkształceń plastycznych a odpowiedź na zadaną amplitudę jest sprężysta. Ważną cechą tego zjawiska są resztkowe naprężenia wewnątrz materiału, które wyrównują się wzajemnie i są stałe w kolejnych cyklach po wygaśnięciu odkształceń plastycznych.

Na podstawie powyższej teorii, dokonano analizy odpowiedzi gruntu na zadaną amplitudę obciążeń cyklicznych. Rysunki 1, 2 i 3 przedstawiają teorię dostosowania dla różnych gruntów. Są to wykresy otrzymane z badania dla różnych gruntów (Głuchowski, 2014; Sas i in., 2012). Badania zostały wykonane przy pomocy cyklicznego aparatu trójosiowego oraz maszyny do jednoosiowego ściskania. Aparatura do badań trójosiowych określa przed badaniem sztywność gruntu w celu wykonania dalszych etapów badań. Charakterystyczne piki w pierwszym cyklu na rysunkach 1 i 2 są wynikiem tego procesu.

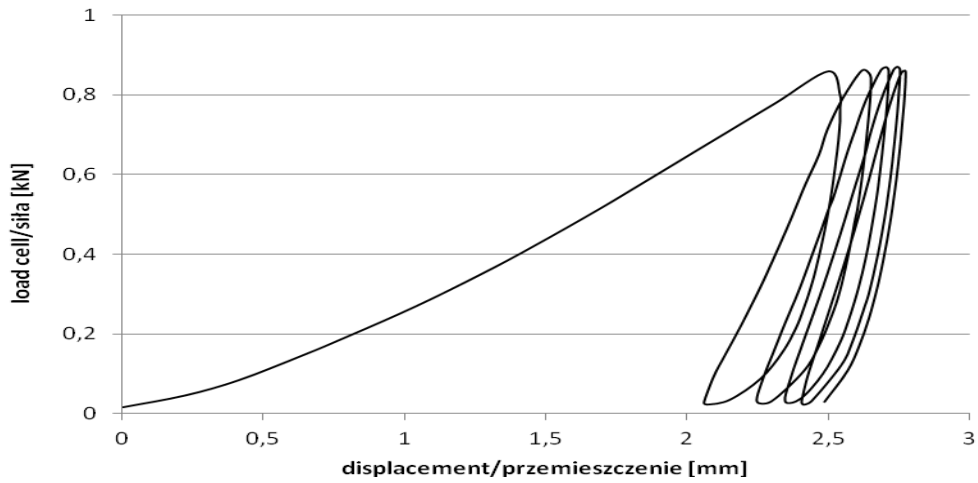
Rysunek 1 przedstawia przykład utraty nośności gruntu określony jako przypadek 2 oraz 3. Grunt obciążony został nadmierną amplitudą siły, która spowodowała powstanie nadmiernych odkształceń plastycznych – w materiale w trakcie ośmiu cykli obciążenia doszło do utraty nośności gruntu. Na rysunku 2 przedstawiono odmienną charakterystykę – dla gruntu w warunkach wilgotności optymalnej i przy odpowiednio małej amplitudzie siły wraz z kolejnymi cyklami dochodzi do dostosowania się gruntu do działającego cyklicznie naprężenia. W tym przypadku grunt ma w zakresie działających naprężeń stały cykliczny



Rys. 1. Utrata nośności gruntu pod wpływem obciążeń cyklicznych (Głuchowski, 2014)



Rys. 2. Dostosowanie gruntu do cyklicznej amplitudy naprężeń (Głuchowski, 2014)



Rys. 3. Stabilizacja odkształceń plastycznych w gruncie

moduł sprężystości M_r , a przyrost odkształceń plastycznych zmniejsza się do zera. Rysunek 3 przedstawia proces stabilizacji odkształceń plastycznych (stopniowy spadek ich przyrostu). Ten przypadek obciążenia cyklicznego jest istotny ze względu na duży przyrost odkształceń plastycznych oraz wolne tempo ich wygaszania wraz z kolejnymi cyklami obciążenia. Jeśli grunt, w określonym zakresie naprężeń, będzie akumulował dużą liczbę przemieszczeń permanentnych, dojdzie do przekroczenia stanu granicznego użyteczności przed pojawieniem się zjawiska dostosowania.

Rysunek 4 ilustruje zjawiska różnej odpowiedzi gruntu na obciążenie cykliczne. Wykres przedstawia przyrost odkształceń plastycznych w kolejnych cyklach (Shajarati i in., 2012). To samo zjawisko przedstawia rysunek C.1 w normie PN-EN 13286-7 (2004).

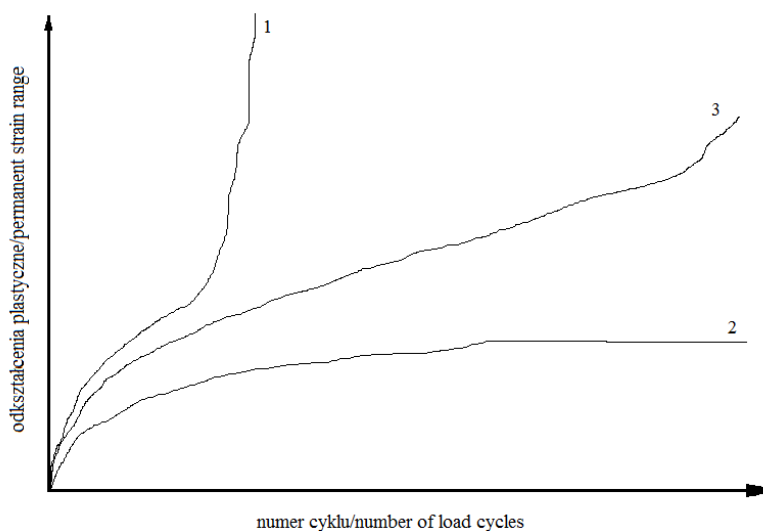
Celem pracy była prezentacja i analiza wyników badań cyklicznego trójosiowego ściskania próbki gruntu

spoiстого oraz porównanie z dotychczasową literaturą i normą PN-EN 13286-7 (2004).

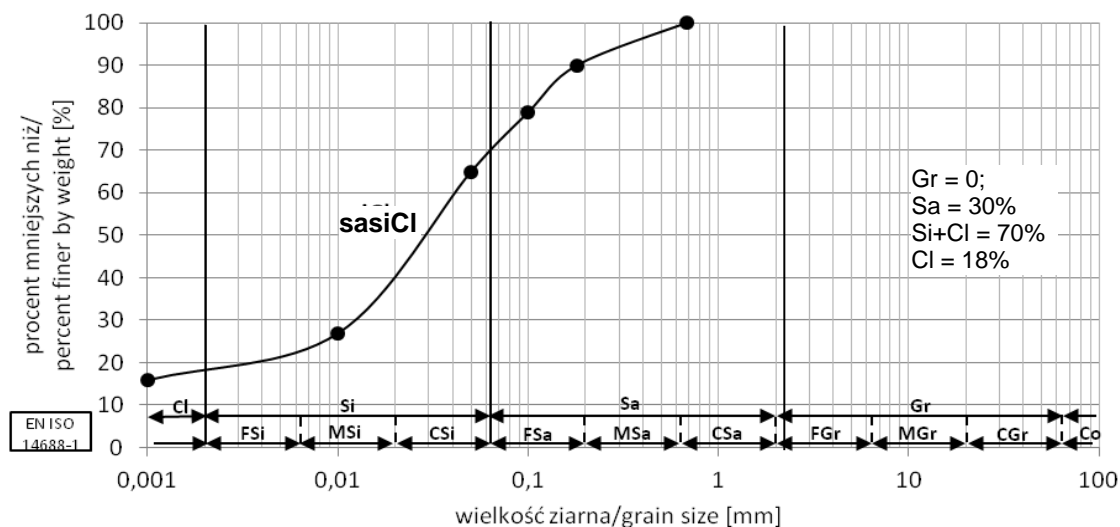
2. Materiały i metody

Materiałem użytym do badań był grunt spoiisty, który pobrany został z placu budowy konstrukcji drogowej z głębokości 1,5 m. Na podstawie analizy sitowej według PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 *Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego* określono krzywą uziarnienia. Wynik analizy sitowej przedstawiono na rysunku 5. Grunt rozpoznano jako il z pyłem sasiCl zgodnie z PN-EN ISO 14688-2:2006 *Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikacja gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania*.

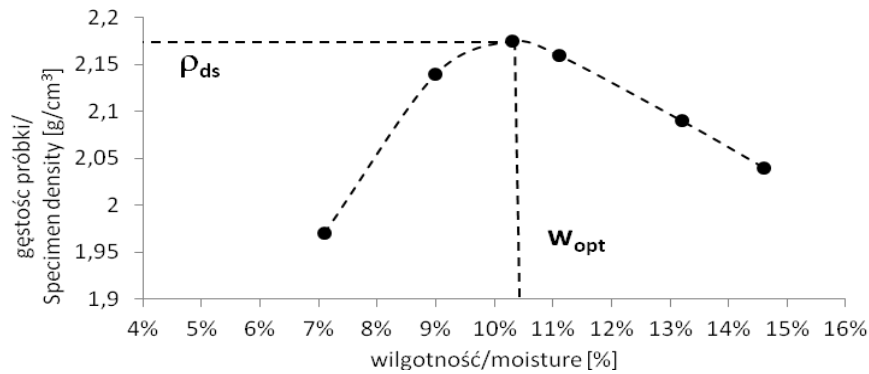
Ponadto wykonano badanie Proctora według PN-88/B-04481 *Grнты budowlane. Badania próbek gruntu* gdzie ustalono: wilgotność optymalną $w_{opt} = 10,4\%$, maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego $\rho_{ds} = 2,18 \text{ g/cm}^3$. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 4. Schemat odpowiedzi gruntu na obciążenie cykliczne (PN-EN 13286-7:2004):
1 – stopniowa utrata nośności, 2 – dostosowanie, 3 – stabilizacja



Rys. 5. Krzywa uziarnienia badanego gruntu



Rys. 6. Wyniki badań gruntu standardową metodą Proctora

Badanie przeprowadzono w cyklicznym aparacie trójosiowym. W pracy przedstawiono wyniki badań dwóch próbek gruntu siCl zagęszczonego metodą Proctora przy wilgotności optymalnej. Następnie z próbki zagęszczonego gruntu spoistego został wycięty walec o wymiarach charakterystycznych: średnica $d = 7$ cm, wysokość $h = 14$ cm (smukłość próbki równa 2) i umieszczony w komorze aparatu trójosiowego ściskania. Po etapach nasączenia (parametr Skemptona $B > 0,90$) przeprowadzono konsolidację próbki pod naprężeniem 275 kPa (badanie 1) oraz 210 kPa (badanie 2). Obie próbki były obciążone siłą 0,1 kN przez 100 cykli. Amplituda działającej siły wynosiła 0,01 kN a częstotliwość obciążania 0,1 Hz. Badanie wykonano w warunkach bez odpływu. Celem badania miało być symulowanie szybkiego przyrostu cyklicznego obciążenia, gdy możliwa odpowiedź gruntu poprzez rozproszenie nadwyżki ciśnienia w porach nie była możliwa.

3. Wyniki badań i analiza wyników

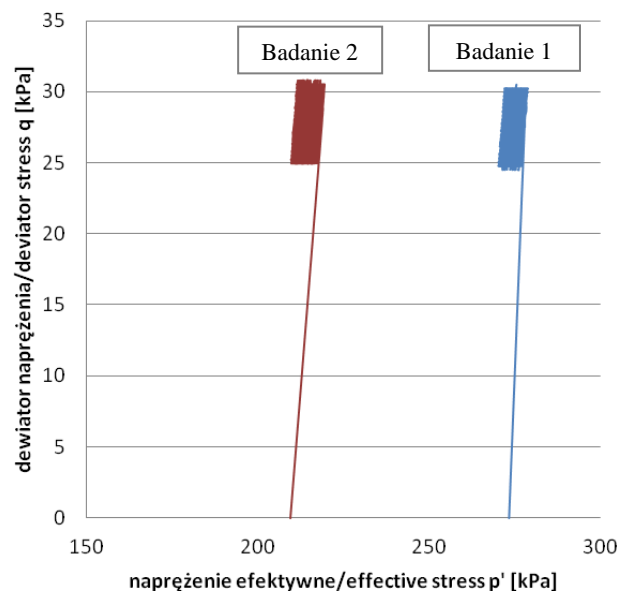
Na rysunkach 7, 8, 9, 10 przedstawiono wyniki badań. Na rysunku 7 pokazano przebieg badania – na osi poziomej zaznaczono naprężenie efektywne $p' = 1/3(\sigma'_1 + \sigma'_3)$, a na osi pionowej dewiator naprężenia $q = \sigma'_1 - \sigma'_3$.

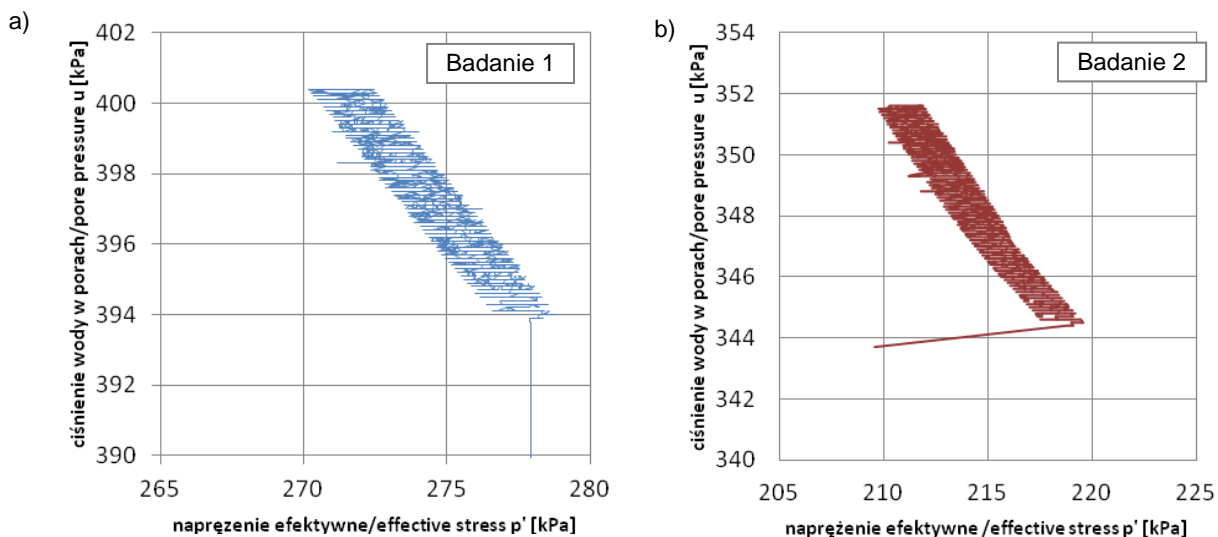
Badanie wykonane w warunkach bez odpływu charakteryzuje się ścieżką naprężenia, w której naprężenie efektywne p' spada wraz z kolejnymi cyklami obciążenia. Jest to spowodowane zwiększaniem się ciśnienia wody w porach, które przejmuje część działającego na próbkę cyklicznie dewiatora naprężenia q . W badaniu 1 i 2 również zaobserwowano to zjawisko, niemniej jednak wzrost ten nie jest ograniczony i nie doprowadził do zniszczenia próbki po 100 cyklach. Odpowiedź gruntu w postaci wzrostu ciśnienia porowego została przedstawiona na rysunku 8. Wzrost ciśnienia porowego spowodowany był przejmowaniem przez wodę w porach gruntu naprężenia pionowego. Po 100 cyklach ciśnienie porowe wzrosło w przypadku badania 1 o 6,5 kPa, a w przypadku badania 2 o 7,0 kPa.

Rysunki 9 i 10 przedstawiają zmianę odkształcenia osiowego ε_1 w badaniu 1 i 2. Największy przyrost odkształcenia plastycznego zaobserwowano w przypadku pierwszego cyklu, gdy obciążenie pionowe zostało zadane po raz pierwszy. Odkształcenie w pierwszym cyklu

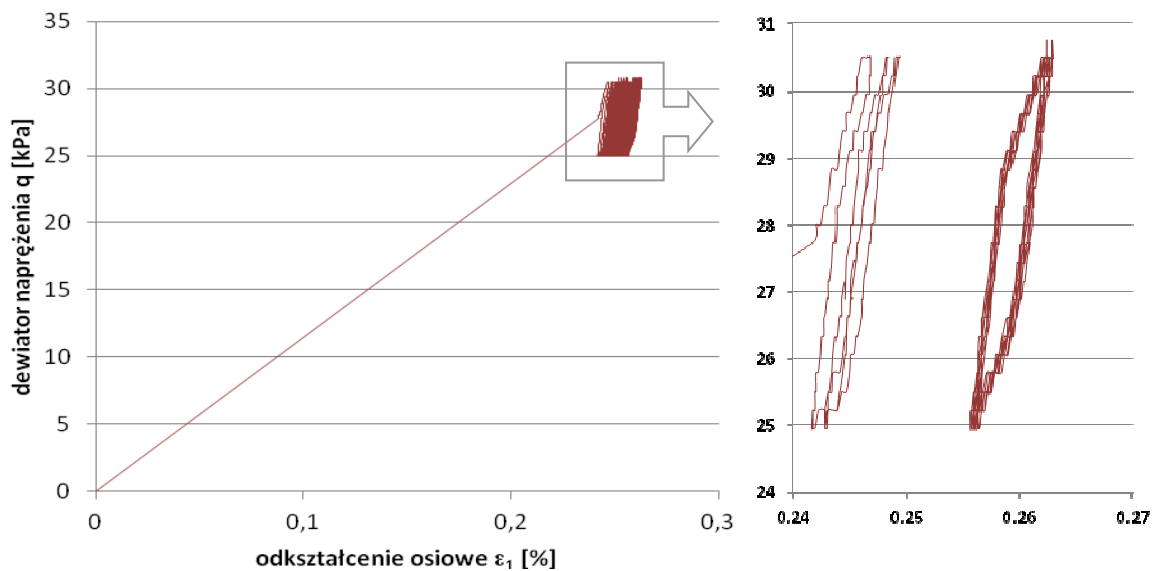
w badaniu 1 wynosiło 0,13% i w badaniu 2 0,24%, w setnym cyklu odkształcenie dla badania 1 wyniosło 0,14% a w badaniu 2 0,26%. Pomimo dwukrotnej różnicy wielkości odkształcenia, różnica w wartości ciśnienia porowego nie jest tak duża. Oznacza to, że grunt ulega nadal stopniowemu zagęszczeniu. Odkształcenia wywołane są poprzez działanie dewiatora naprężeń na szkielet gruntowy, który akumuluje odkształcenia. Wraz z kolejnymi cyklami obciążenia ciśnienie wody w porach tylko częściowo przejmuje wartość działającego dewiatora naprężenia. Grunt obciążony tym samym dewiatorem, ale znajdujący się pod wpływem innego naprężenia efektywnego, zachowuje się w przypadku zwiększenia nadwyżki ciśnienia wody w porach w ten sam sposób.

Rysunki 9 i 10 przedstawiają cykle 2 – 4 oraz cykle 90 – 100. Po wykonaniu pełnego badania, które obejmowało 100 cykli, odkształcenia były mniejsze niż te podane w normie PN-EN 13286-7:2004 czyli $\varepsilon_1^p \leq 0,25\%$, przy czym należy zaznaczyć że ε_1^p oznacza różnicę odkształceń plastycznych pomiędzy ostatnim a przedostatnim cyklem.

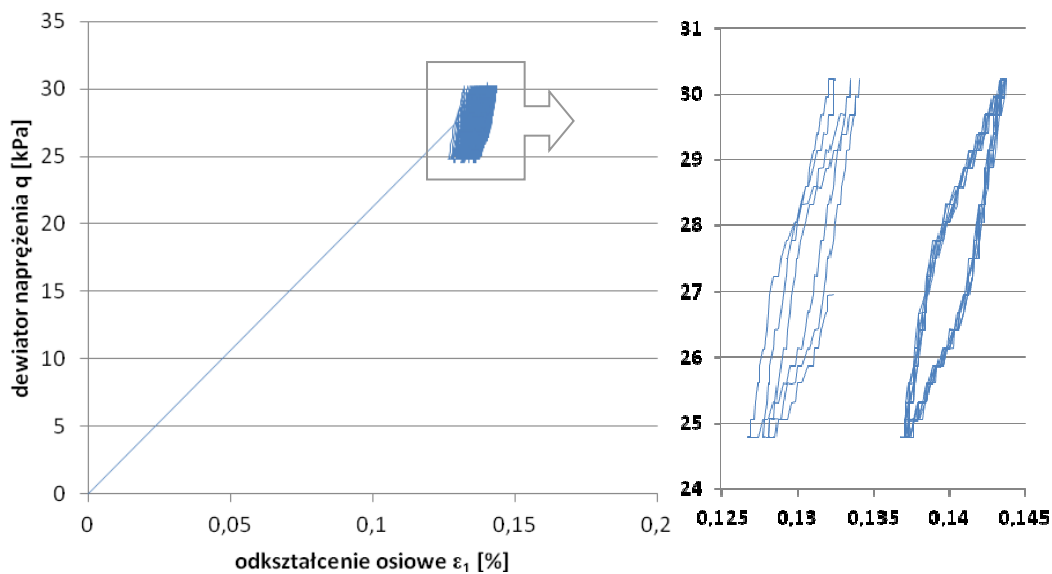
Rys. 7. Wyniki cyklicznego badania trójosiowego dla naprężenia: 1) $\sigma_3 = 210$ kPa, 2) $\sigma_3 = 275$ kPa



Rys. 8. Wykres zmiany ciśnienia porowego u i naprężenia efektywnego p' a) w badaniu 1, b) w badaniu 2



Rys. 9. Wykres zmiany odkształcenia osiowego ε_1 do zmiany dewiatora naprężenia q w badaniu 2



Rys. 10. Wykres zmiany odkształcenia osiowego ε_1 do zmiany dewiatora naprężenia q w badaniu 1

Wykorzystując wzór (1) obliczono cykliczny moduł sprężystości M_r gruntu w badaniach 1 i 2. W przypadku naprężenia $\sigma_3 = 275$ kPa otrzymano wartość modułu $M_r = 83$ MPa, a dla $\sigma_3 = 210$ kPa – wartość $M_r = 5,6$ MPa. Tak duża różnica wartości M_r spowodowana jest większą wartością odkształceń sprężystych w badaniu 2. Oznacza to, że pomimo osiągnięcia przez materiał stanu dostosowania się, może on ulegać nadmiernym odkształceniom sprężystym. Należy to mieć na uwadze w trakcie procesu projektowania konstrukcji drogowej. Konstrukcje podatne opierają się na zasadzie pracy wszystkich warstw drogi, nadmierne odkształcenia powodować mogą nierównomierne rozłożenie naprężenia a przez to uplastycznienie się niektórych warstw konstrukcyjnych. W efekcie prowadzi to do zmniejszenia trwałości konstrukcji.

4. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w artykule wyniki badania cyklicznego trójosiowego ściskania i analiza literatury oraz normy PN-EN 13286-7:2004 pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Badanie gruntu spoistego przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 13286-7:2004, w świetle której grunt nie spełnia wymogów stawianych gruntem stanowiącym niezwiązaną podbudowę drogi. Badania te można traktować jako porównanie właściwości gruntów spoistych do wymogów stawianych gruntem budowlanym w celu podkreślenia niskich parametrów wytrzymałościowych i w celu zaprezentowania charakterystyki odkształceń.
2. Wykonano 100 cykli obciążenia o częstotliwości 0,1 Hz które spowodowały reakcję gruntu na zadane obciążenie cykliczne w postaci dostosowania się tego materiału do działającego dewiatora naprężeń zgodnie z teorią dostosowywania.
3. Przeprowadzone badania były badaniami CU; wzrost ciśnienia porowego występował wraz z kolejnymi cyklami, a jego przyrost w stosunku do naprężenia konsolidacji był mały i wynosił $\Delta u = 6,5$ kPa i 7 kPa dla naprężenia odpowiednio 275 kPa i 210 kPa.
4. Na podstawie wyników badań obliczono cykliczny moduł sprężystości M_r który wynosił odpowiednio 83 MPa i 5,6 MPa dla naprężenia konsolidacyjnego σ_3 równym 275 kPa i 210 kPa; są to wartości niskie, różniące się między sobą.
5. Wielkość odkształceń całkowitych gruntu spoistego normalnie skonsolidowanego zależy w dużej mierze od naprężenia konsolidacji. Ten sam grunt może dostosować się do działającego dewiatora, jednak wielkość odkształceń sprężystych będzie większa dla mniej skonsolidowanego gruntu, przez co odkształcenia gruntu w wyniku cyklicznie działającej siły będą większe.

Literatura

- Araya A.A. (2011). Integrating traditional characterization techniques in mechanistic pavement design approaches. W: *T&di congress 2011 integrated transportation and development for a better tomorrow*, Al-qadi s.l. & Murrel S. (Eds.). Reston, USA, 596-606.
- Bond A., Harris A. (2008). Decoding Eurocode 7. *Taylor and Francis*, London.
- Głuchowski A. (2014). Estimating of shakedown limit for cohesive soils under cyclic loading from cCBR test. *Wiedza i Eksperymenty w Budownictwie, Monografia*, 61-61.
- Goldscheider M. (1977). Shakedown and incremental collapse of structures in dry sand bodies. W: *Proceedings of Dynamical Methods in Soil and Rock, Plastic and Long-Term Effects in Soils*.
- O'Reilly M.P., Brown S.F. (1991). Cyclic loading of soils. *Blackie and son*, London.
- Peralta, P., Achmus, M. (2010). An experimental investigation of piles in sand subjected to lateral cyclic loads. W: *Proceedings of 7th International Conference on Physical Modeling in Geotechnics*, Zurich, Switzerland.
- Piłat J., Radziszewski P. (2004). Nawierzchnie asfaltowe. *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności*, Warszawa.
- Randolph M., Gouvernec S. (2011). Offshore geotechnical engineering. *Spon Press*, New York.
- Sas W., Głuchowski A., Szymański A. (2012). Determination of Resilient modulus MR for the lime stabilized Clay obtained from the repeated loading CBR test. *Annals of Warsaw University of Life Sciences*, 44, 143-153.
- Sas W., Głuchowski A. (2013). Application of cyclic CBR test to approximation of subgrade displacement in road pavement. *Acta Scientiarum Polonorum-Architectura*, 12, 51-61.
- Shajarati A., Sorensen K.W., Nielsen S.K., Ibsen L.B. (2012). Behaviour of cohesionless soils during cyclic loading. *DCE Technical Memorandum*, 14, 1-8.
- Ullidtz P., Peattie K.R. (1980). Pavement analysis by programmable calculators. *Transportation Engineering Journal*, ASCE, 106.
- Werkmeister S., Dawson A.R., Wellner F. (2001). Permanent deformation behaviour of granular materials and the shakedown theory. *Journal of Transportation Research Board*, 1757, 75-81.

CYCLIC TRIAXIAL TESTS OF SUBGRADE SOILS IN ROAD CONSTRUCTION

Abstract: Increase of road infrastructure investments in Poland is related to increase of unbound material demand and therefore alternative methods of road design are developed. With growth of road constructions, increase of traffic is observed. Important percentage of all road traffic is heavy transport. Limits of transported capacity regulates maximum load capacity on vehicle axle. This situation results in development of new design guides and today Catalogue of Typical Pavement Structures will be updated or replaced. In this article verification of laboratory tests was confronted with European Code 13286-7 (2004).