

## WYTRZYMAŁOŚĆ STABILIZOWANEJ CEMENTEM GYTII WAPIENNEJ NA JEDNOOSIOWE ŚCISKANIE

Szymon TOPOLIŃSKI<sup>1</sup>

### 1. WSTĘP

Budowa obiektów inżynierskich na podłożu organicznym jest jednym z trudniejszych problemów geotechnicznych. Wynika to z faktu, że grunty organiczne, a przede wszystkim gytie charakteryzują się niską wytrzymałością i dużą ścisłością, co skutkuje długotrwałymi i znacznymi osiadaniami. Kolejną trudnością jest budowa geologiczna i występujący prawie zawsze wysoki poziom wód gruntowych.

Zastosowanie metody wglębnego mieszania DSM (Deep Soil Mixing), przy odpowiednim dobraniu rodzaju i proporcji spoiwa jest skutecznym sposobem wzmocnienia słabonośnego podłoża organicznego zbudowanego z gytii. Warunkiem efektywnej stabilizacji przy użyciu tej metody jest właściwa ocena warunków wodno-gruntowych, takich jak: układ warstw, miąższość czy położenie stropu gruntów organicznych względem powierzchni terenu. Na jej podstawie wybiera się odpowiednią technologię mieszania gruntu.

Praca ta jest kontynuacją prowadzonych przez autora badań i dotyczy zmian wytrzymałości gytii wapiennej stabilizowanej cementem na jednoosiowe ściskanie w zależności od ilości dodanego stabilizatora.

### 2. CHARAKTERYSTYKA ZŁOŻA GYTII WAPIENNEJ

Próbki gytii do badań wytrzymałościowych pobrano w Toruniu w dzielnicy Przedmieście przy ulicy Żwirki i Wigury. Teren znajduje się na tarasie erozyjno-akumulacyjnym Wisły, miejscami nadbudowany jest holoceniowymi wydymami. W przeszłości obszar ten zajmowały ogrody, a w chwili pobrania próbek są to nieużytki.

Podłoże do głębokości około 4,0 m p.p.t., z jakiej pobrano próbki, to utwory czwartorzędowe – holoceniowe i plejstoceniowe. Wierzchnią warstwę stanowią w większości utwory antropogeniczne (nasypy piaszczyste i grunty próchnicze). Poniżej występują osady akumulacji rzecznej i limnicznej. Stropowe partie tych gruntów zaliczono do osadów eolicznych. Próbki zostały pobrane ze wschodniej części terenu, gdzie na osadach piaszczystych zalega seria osadów organicznych wykształconych jako torfy i gytie.

---

<sup>1</sup> mgr inż., Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

W miejscu pobrania próbek gytii, jej miąższość była największa na całym obszarze. Grubość warstwy wynosiła co najmniej 1 m i sięgała do 3,5 m p.p.t. [1].

### 3. METODYKA I PROGRAM BADAŃ

W badaniach przyjęto własną metodykę, ponieważ brak jest standardowego podejścia wobec receptury wzmocnienia podłoża organicznego przy użyciu spoiw. Wpływa na to ogromna różnorodność gruntów organicznych. Takie cechy jak struktura czy skład mineralny zależą przede wszystkim od genezy gruntu, charakterystycznej dla danego rejonu [2]. Gytia jest osadem powstałym w wyniku akumulacji biogenicznej. Różnorodność składników i sposobów jej akumulacji nie pozwala na stworzenie uniwersalnej metody jej wzmocnienia. Do każdego przypadku należy podejść indywidualnie.

Badania miały na celu uzyskanie optymalnego pod względem wytrzymałościowym kompozytu danej gytii ze stabilizatorem dla racjonalnego ulepszenia podłoża pod projektowanym obiektem inżynierskim. Grunt stabilizowano cementem metodą na sucho. Wybrano ten rodzaj spoiwa ze względu na jego dostępność oraz powszechność stosowania.

Wstępne proporcje mieszanki oraz metodykę badań dobrano w oparciu o badania i doświadczenia zawarte w pracach naukowych z poprzednich lat prowadzonych w Katedrze Geotechniki UTP w Bydgoszczy [3].

Badania laboratoryjne kompozytu miały na celu określenie zmiany wytrzymałości próbek na jednoosiowe ściskanie w zależności od ilości stabilizatora.

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych gruntu przedstawionych w tabeli 1 zdecydowano się zastosować metodę wglębnego mieszania gruntu na sucho. Na jej wybór przede wszystkim wpływ miała początkowa wysoka wilgotność  $w_n$  wzmocnianego gruntu, która wynosiła około 100%. W gruntach o wilgotności większej od 60% mieszanie na sucho jest skuteczniejsze niż mieszanie na mokro. Innymi korzyściami z zastosowania tej metody są mniejsze koszty jej wykonania, brak urobku, a także możliwość stosowania w obniżonej temperaturze.

Tabela 1. Zestawienie wyników badań laboratoryjnych gruntu

Głębokość pobrania		–	m p.p.t.	2,50
Podstawowe cechy fizyczne	wilgotność naturalna	$w_n$	%	109,23
	gęstość objętościowa	$\rho$	Mg/m <sup>3</sup>	1,38
	gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	$\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	0,66
	gęstość właściwa	$\rho_s$	Mg/m <sup>3</sup>	2,01
	porowatość	$n$	–	0,67
Konsystencja	granica plastyczności	$w_p$	%	57,53
	granica płynności	$w_L$	%	121,95
	wskaźnik plastyczności	$I_p$	%	64,42
	stopień plastyczności	$I_L$	–	0,80
Analiza uziarnienia	frakcja piaskowa	$f_p$	%	–
	frakcja pyłowa	$f_n$	%	81,85
	frakcja iltowa	$f_i$	%	4,81
Oznaczenie zawartości substancji organicznej	strata masy przy prażeniu	$I_{om}$	%	37,42

Spośród metod mieszania na sucho wybrano tzw. nordycką. Za wyborem tym przemawiało stosunkowo łatwe odwzorowanie tej metody w warunkach laboratoryjnych w oparciu o dostępne dane [4]. W technologii tej stosuje się tylko jedną żerdź mieszającą, a jako spoiwa używa się cementu. Dzięki założeniom metody nordyckiej możliwe było dobranie podobnego kształtem mieszadła do tych używanych w rzeczywistości, a także dobranie prędkości obrotowych mieszadła.

### 3.1. Założenia własnej metodyki badań

Wstępne założenia teoretyczne:

- do ulepszenia podłoża zastosowano metodę nordycką wglębnego mieszania na sucho,
- grunt stabilizowano na sucho cementem portlandzkim popiołowym klasy 32,5R-CEM II/B-V,
- wstępne proporcje mieszanki dobrano w oparciu o badania i doświadczenia zawarte w pracach naukowych z poprzednich lat [3] oraz wymagania metody nordyckiej zawarte w jej specyfikacji [4],
- przyjęto, iż w warunkach rzeczywistych kolumny cementogruntowe pracować będą na jednoosiowe ściskanie, zatem w warunkach laboratoryjnych badania wytrzymałościowe przeprowadzono tylko na jednoosiowe ściskanie.

Założenia do badań:

- ilość dodawanego cementu zgodna z założeniami technicznymi metody nordyckiej oraz własnej metodyki badań, obliczona na zasadzie wyznaczenia stosunku c/w,
- 4 receptury kompozytu,
- 12 próbek, po 3 dla każdego kompozytu,
- dwie wilgotności gruntu,
- kompozyty wykonane tą samą techniką mieszania,
- formy próbek: sześciennie o boku 15 cm,
- zbliżony sposób zagęszczania próbek w formach,
- badanie wytrzymałościowe na maszynie wytrzymałościowej ZD10/90, I kl. dokładności,
- czas badania próbek – po 7 dniach.

### 3.2. Projektowanie mieszanki

Skład mieszanek gytia – cement, przedstawiony w tabeli 2, opracowano w oparciu o wymagania metody nordyckiej [3, 4]. Jako główny parametr projektowania składu mieszanki przyjęto stosunek wagowy cementu do wody – c/w, analogicznie jak przy projektowaniu betonu.

Badano cztery mieszanki kompozytu: A, B, C, D. Dla mieszanek A i B założono stałą zawartość spoiwa przeliczoną z wymaganej ilości cementu na 1 m<sup>3</sup> gruntu w metodzie nordyckiej i dla niej obliczono stosunek c/w. Dla mieszanek C i D mieszanki założono stały stosunek c/w, charakterystyczny dla projektowania mieszanek betonowych, i na jego podstawie obliczono potrzebną ilość spoiwa.

Dwie z czterech mieszanek (A i C) zaprojektowano dla wilgotności naturalnej gruntu w dniu badania równej 98%. Dla pozostałych mieszanek (B i D) podwyższono wilgotność do 114%, dodając 1 litr wody na 12 kg gruntu.

Założenia stosunku c/w oraz ilości spoiwa są zgodne z założonymi w [3]. Zdecydowano się na przyjęcie tych samych założeń, aby możliwe było porównanie uzyskanych wyników badań wytrzymałościowych.

Tabela 2. Skład mieszanki kompozytu

Składniki		Kompozyt			
		A	B	C	D
Cement		3,00	3,00	8,91	10,41
Gytia wapienna	kg	12,00	12,00	12,00	12,00
Dodana woda		–	1	–	1
Wilgotność	%	98	115	98	115
Stosunek c/w	–	0,51	0,43	1,5	1,5

– założone wartości

#### 4. BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE

Próbki kompozytu poddano badaniu wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie. Ściskanie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej ZD10/90, I kl. dokładności, po 7 dniach dojrzewania. Ze względu na czas dojrzewania można przyjąć, że otrzymane wartości wytrzymałości na ściskanie stanowią około 70% wartości końcowych.

Głównym celem przeprowadzonych badań było określenie wartości naprężeń niszczących  $\sigma$  oraz odpowiadających im odkształceń  $\epsilon$ . Pomiar prowadzono do momentu osiągnięcia odkształcenia równego 4 mm.

Otrzymane wartości sił niszczących dla poszczególnych kompozytów nie różnią się więcej niż 10% wartości średniej. Biorąc pod uwagę, iż badaniami wytrzymałościowym poddane zostały próbki cementogruntu tworzonego na bazie gruntu organicznego, rozbieżność wyników jest na zadowalającym poziomie.

Jako miarodajne przyjęto dwie najbardziej do siebie zbliżone wartości sił niszczących dla każdego z kompozytów. W każdym przypadku były to dwie najniższe wartości z trzech oznaczeń dla każdej mieszanki. Na podstawie otrzymanych wyników badań wytrzymałościowych określono wartości naprężeń  $\sigma$ , odkształceń  $\epsilon$  oraz modułów odkształceń E (tab. 3).

Tabela 3. Zestawienie końcowe wyników badań wytrzymałościowych

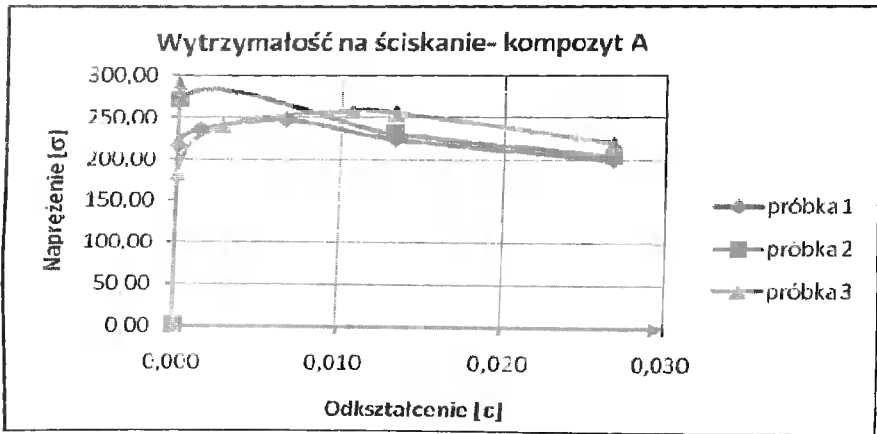
Kompozyt	Naprężenie niszczące	Odształcenie względne	Moduł odkształcenia E	Wartości średnie	
	$\sigma$	$\epsilon$		$\sigma$	E
	[kPa]	–	[MPa]	[kPa]	[MPa]
A	247,56	0,007	37,13	253,11	30,69
	258,67	0,011	24,25		
B	170,22	0,007	25,53	165,11	20,27
	160,00	0,011	15,00		
C	1973,33	0,000	– <sup>2</sup>	1851,11	–
	1728,89	0,000	–		
D	2386,67	0,003	795,56	2371,11	790,37
	2355,56	0,003	785,19		

<sup>2</sup> brak odkształceń wynika prawdopodobnie ze zbyt wysokiej prędkości ściskania w maszynie wytrzymałościowej

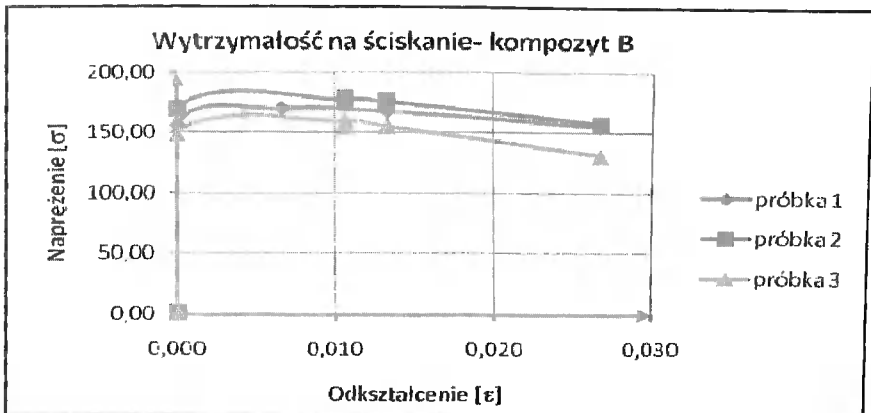
## 5. ZALEŻNOŚCI KORELACYJNE MIĘDZY ILOŚCIĄ STABILIZATORA A WYTRZYMAŁOŚCIĄ KOMPOZYTU NA JEDNOOSIOWE ŚCISKANIE

Uzyskane wyniki wytrzymałości próbek kompozytu na jednoosiowe ściskanie mają charakter poglądowy i należy je traktować jako wstęp do dalszych dokładniejszych badań.

Na podstawie wyników badań wytrzymałościowych sporządzono wykresy powstałych naprężeń do odkształceń przedstawione na rysunkach 1÷4. Kompozyty A i B charakteryzują się niewielką plastycznością przed osiągnięciem naprężeń niszczących. Mimo tej samej zawartości spoiwa na jednostkę gruntu, dodanie wody (kompozyt B) powoduje zmniejszenie wytrzymałości próbek na jednoosiowe ściskanie. Wynika to z obniżenia stosunku  $c/w$ .



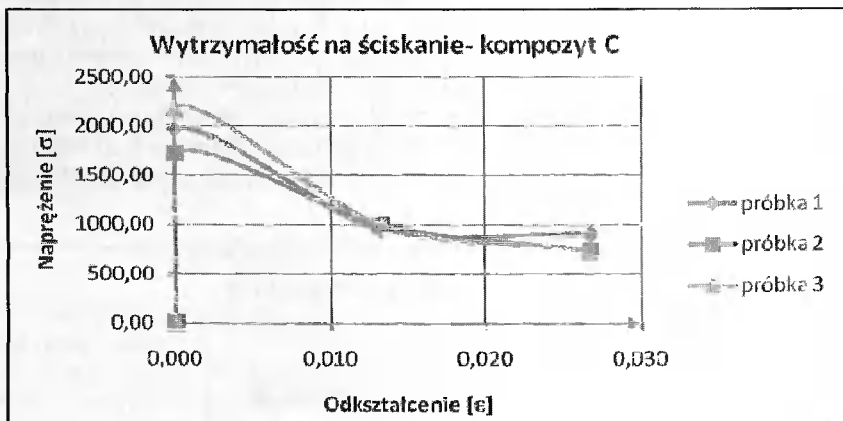
Rys. 1. Wykres zależności  $\sigma - \epsilon$  dla kompozytu A



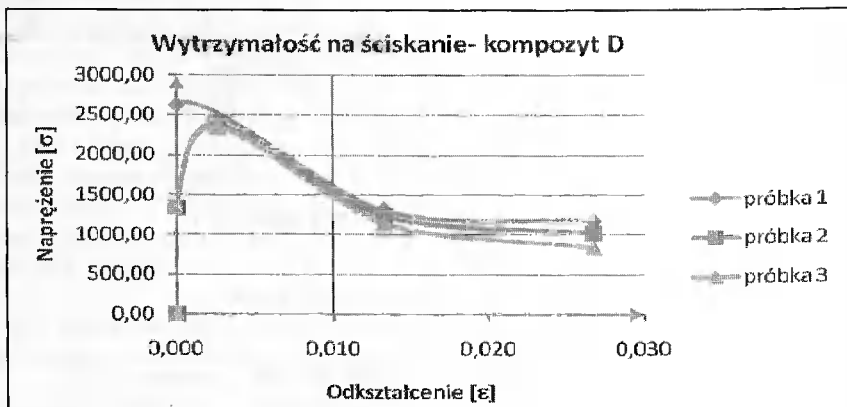
Rys. 2. Wykres zależności  $\sigma - \epsilon$  dla kompozytu B

Kompozyty C i D charakteryzują się znacznie większą wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie od kompozytów A i B. Przy tym samym założonym współczynniku  $c/w$

zwiększenie wilgotności (kompozyt D) obliuguje do dodania większej ilości spoiwa, co znacznie zwiększa wytrzymałość. Kompozyt C zachowuje się jak materiał bardzo kruchy, do momentu zniszczenia nie występują odkształcenia. Obie mieszanki cechuje proporcjonalność odkształceń do powstałych naprężeń.



Rys. 3. Wykres zależności  $\sigma - \epsilon$  dla kompozytu C



Rys. 4. Wykres zależności  $\sigma - \epsilon$  dla kompozytu D

## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań wytrzymałościowych potwierdzona została skuteczność stosowania cementu jako spoiwa do wzmocnienia organicznego podłoża słabonośnego, jakim jest badana gytia wapienna, metodą wglębnego mieszania „na sucho”. Istotą jest odpowiednie dobranie rodzaju spoiwa oraz metody mieszania w zależności od wilgotności gruntu. Przy właściwym zaprojektowaniu stosunku c/w można skutecznie zwiększyć nośność analizowanego podłoża.

Otrzymane wyniki pokazują, że dodanie dużej ilości cementu ( $c/w = 1,5$ ) (kompozyty C i D) prowadzi do radykalnego zwiększenia wytrzymałości na ściskanie przy nie-

wielkich odkształceniach, co wbrew pozorom nie jest oczekiwanym zjawiskiem przy stosowaniu kolumn DSM. W odróżnieniu od pali betonowych kolumny te z zasady nie przenoszą obciążeń bezpośrednio na głębiej położone warstwy nośne. Ich rola polega przede wszystkim na zeskaleniu gruntu zalegającego w ich obrębie, tworząc odpowiednio wzmocniony blok gruntu. W praktyce nośność pojedynczych kolumn powinna być tak dobrana, aby osiadanie przyległego gruntu zbliżone było do ścisłości kolumn [5].

W planach są dalsze badania nad zwiększaniem wytrzymałości gruntów organicznych za pomocą odpowiednio dobranych spoiw. Należałoby rozszerzyć badania o inne grunty organiczne, zwiększyć ilość mieszanek kompozytu oraz udoskonalić symulowany w warunkach laboratoryjnych proces wgłębnego mieszania gruntów, zbliżając go do warunków *in situ*.

Powinno się:

- znaleźć taki stosunek c/w kompozytu, który zapewniłby znaczny wzrost wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie bez osiagania cech materiału kruchego,
- sprowadzić sposób mieszania i zagęszczania gruntu oraz sposób obciążenia w warunkach laboratoryjnych do tych przeprowadzanych w rzeczywistości,
- przeprowadzić badania z odciążeniem próbek, w celu dokładnego określenia zakresu sprężystego odkształceń kompozytu podczas próby jednoosiowego ściskania,

## LITERATURA

- [1] Dokumentacja geologiczno-inżynierska dotycząca budowy sklepu Brico-Depot wraz z parkingami w Toruniu przy ulicy Żwirki i Wigury, Toruń, październik 2006.
- [2] Myślińska E., 2001. Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania. WN PWN Warszawa.
- [3] Kumor Ł., 2006. Badania gytii stabilizowanej metodą mechanicznego mieszania na sucho. Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Budownictwo 9, 97-106.
- [4] Topolnicki M., 2003. Wzmacnianie i uszczelnianie gruntu metodą mieszania *in situ* (Soil Mixing). Inżynieria Morska i Geotechnika 6, 385-398.
- [5] Najder T., Najder A., 2005. Stabilizacja gruntów spoistych i organicznych metodą kolumn wapienno-cementowych. Materiały Budowlane 2, 30-32.

## UNIAXIAL COMPRESSION STRENGTH OF STABILIZED CALCAREOUS GYTTJA

The paper contains analysis of the changes of uniaxial compression strength test of calcareous gytja composite dependent on amount of added stabilizer (cement). The results obtained in the investigations showed that use of dry deep mixing method to improve gytja gave a composite with profitable mechanical parameters