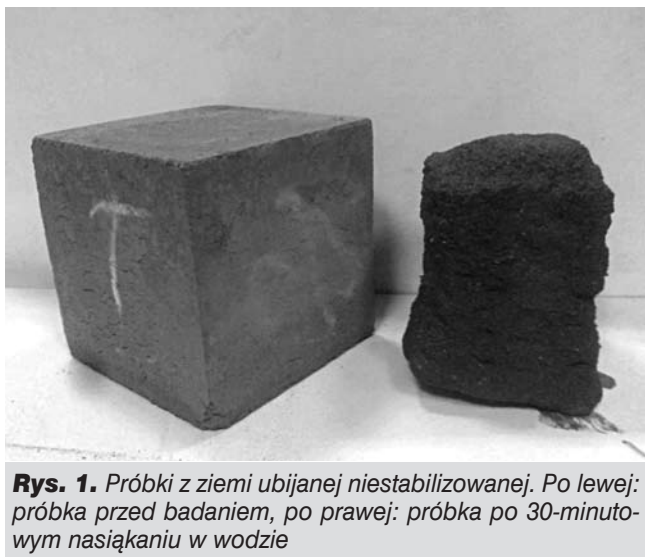


# Ziemia ubijana stabilizowana cementem jako materiał konstrukcyjny – ocena nasiąkliwości

Mgr inż. Piotr Leon Narloch, dr hab. inż. prof. PW Piotr Woyciechowski, Łukasz Rosicki, inż. Damian Cichocki, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

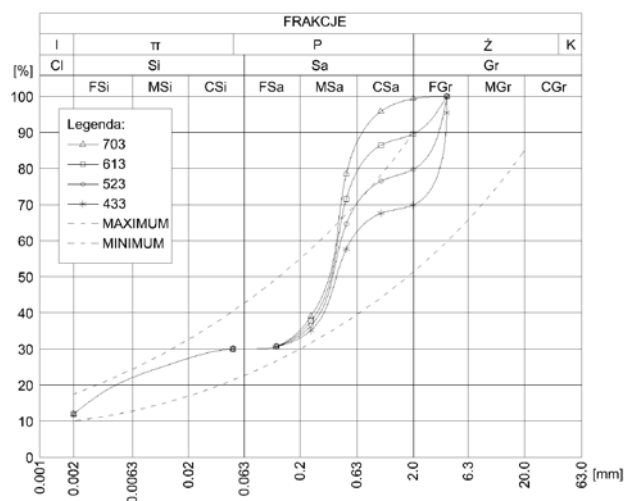
## 1. Wprowadzenie

W dotychczasowych badaniach autorów dowiedziano, że ziemia ubijana niestabilizowana może z powodzeniem zostać zastosowana jako materiał do wznoszenia nośnych monolitycznych przegród pionowych ze względów wytrzymałościowych [1]. O konieczności zastosowania dodatku stabilizującego do mieszanki ziemi w klimacie umiarkowanym decydować będzie natomiast odporność ziemi na czynniki atmosferyczne. Badania rozpoznawcze wykazały, że próbki ziemi ubijanej niestabilizowanej łatwo rozmiękają w wodzie. Na rysunku 1 pokazano destrukcję próbki z ziemi ubijanej niestabilizowanej po upływie 30 minut kąpieli wodnej.



**Rys. 1.** Próbki z ziemi ubijanej niestabilizowanej. Po lewej: próbka przed badaniem, po prawej: próbka po 30-minutowym nasiąkaniu w wodzie

W niniejszym artykule przeanalizowano nasiąkliwość ziemi ubijanej stabilizowanej różną ilością cementu CEM I 42,5 R. Do badań wytypowano cztery mieszanki ziemi o stosunku masowym frakcji ilowej i pyłowej do frakcji piaskowej i żwirowej wynoszącym 3 do 7. Taki stosunek według [2] zapewnia najwyższą wytrzymałość na ściskanie. Poszczególne mieszanki ziemi różniły się między sobą stosunkiem frakcji piaskowej i żwirowej.



**Rys. 2.** Krzywe uziarnienia poszczególnych mieszanek ziemi użytych w badaniu

Wykresy uziarnienia wszystkich mieszanek pokazano na rysunku 2. Każdą z mieszanek przygotowano w dwóch wariantach – z dodatkiem cementu wynoszącym 6% oraz 9% masy suchej gliny i kruszywa.

### 1.1. Składniki

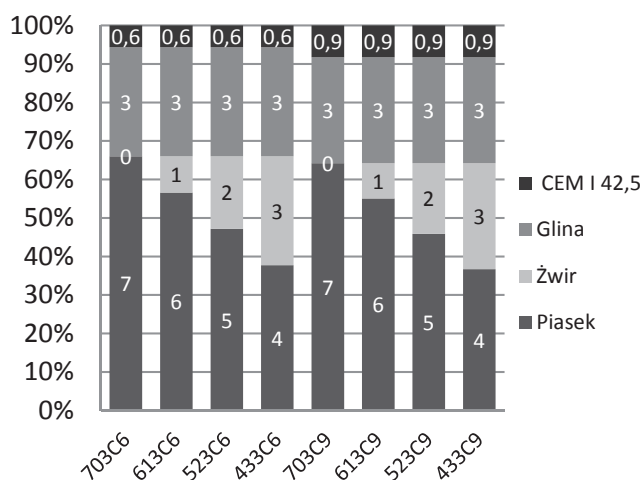
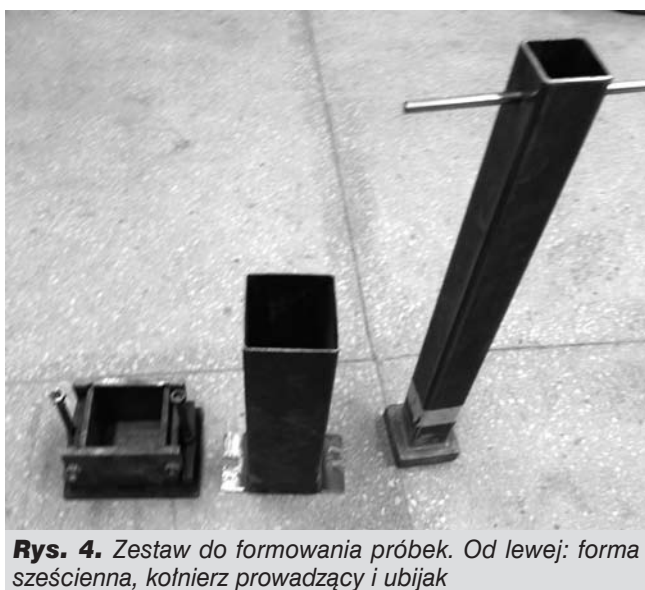
Do badań wykorzystano następujące składniki:

- glina górnortriasowa, pochodząca ze złoża w Szkucinie. Gлина została zmielona do postaci mączki o granulacji 0–1 mm. Producent podał skład mineralny, chemiczny oraz rozkład uziarnienia przed zmieleniem – wartości tych parametrów zestawiono w tabeli 1. Orientacyjne uziarnienie gliny zostało dodatkowo przebadane przez autorów. W tym celu przeprowadzono kilkakrotnie analizę areometryczną gliny w formie zbrylonej, jak również w postaci zmielonej mączki. Analizy te umożliwiły zakwalifikowanie użytej gliny jako ity pylastego;
- piasek wiślany o uziarnieniu 0–2 mm;
- żwir o uziarnieniu 2–4 mm.

Na rysunku 3 zestawiono składy poszczególnych mieszanek. Składniki były mieszane mechanicznie, aż

**Tabela. 1** Właściwości gliny użytej do badania – dane od producenta [4]

Skład chemiczny [%]		Skład mineralny [%]		Uziarnienie (przed zmieleniem)	
SiO <sub>2</sub>	55,00–62,14	kwarc	17–25	> 100 μm	< 2,4%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,70–17,70	kaolinit	3–10	< 60 μm	96,3–99,9%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,09–7,90	illit	3–10	< 40 μm	93,1–99,2%
TiO <sub>2</sub>	0,70–0,90	hematyt	3–5	< 20 μm	80,8–93,9%
K <sub>2</sub> O	2,90–3,50	plagioklaz	< 3	< 6 μm	49,3–72,8%
CaO	0,33–0,81	skaleń potasowy	< 3	< 2 μm	24,7–46,5%
MnO	0,04–0,17	goethyt	< 2	< 0,5 μm	9,3–20,2%
Na <sub>2</sub> O	0,06–0,26	anataz	< 5	< 0,2 μm	0,6–9,2%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05–0,18	minerały mieszanopaketowe	32–53		
MgO	2,20–3,20	faza amorficzna	15		


**Rys. 3.** Mieszanki ziemne użyte do badania nasiąkliwości

**Rys. 4.** Zestaw do formowania próbek. Od lewej: forma sześcienna, kotłiczek prowadzący i ubijak

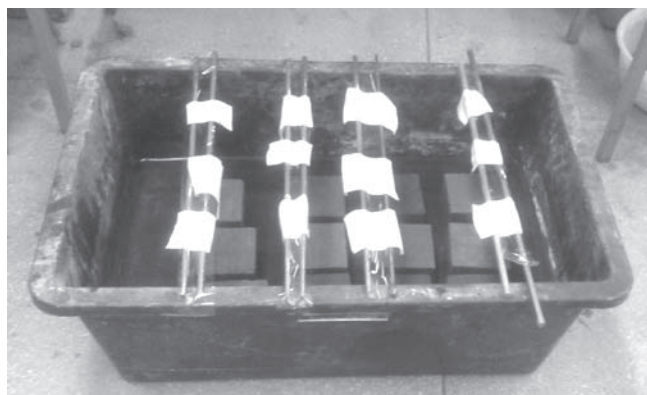
do uzyskania jednolitej konsystencji. Następnie dodawano do nich wodę, w ilości zapewniającej mieszance wilgotność zbliżoną do optymalnej. W tym celu przeprowadzono pomiary wskaźnika zagęszczenia metodą Proctora dla każdej z mieszanek, osobno z zawartością

cementu wynoszącą 6% i 9% masy ziemi. Do oznaczenia wilgotności optymalnej użyto tego samego ubijaka, którym później uformowano próbki do badania nasiąkliwości. Uzyskano wyniki wilgotności optymalnej wynoszące od 9% do 10,5% masy suchych składników (piasek, żwir, glina i cement). Sporządzano mieszanki, z których następnie formowano po 5 próbek. Z uwagi na wysychanie mieszanki podczas procesu formowania wilgotność próbek mogła wahać się w zakresie 1%. Z tego powodu, jak również z uwagi na nieduże zróżnicowanie w wartościach wilgotności optymalnych postanowiono, że wszystkie mieszanki zostaną zaprojektowane o tej samej wilgotności wynoszącej 10% masy suchych składników.

Warto zauważyć, że w warunkach budowy, precyzyjne określenie wilgotności optymalnej może być utrudnione. Podobny problem będzie się wiązać z utrzymaniem niezmiennego wilgotności mieszanki, na którą wpływ będą miały między innymi warunki atmosferyczne, często trudne do przewidzenia. Zjawisko to zostało prawdopodobnie dostrzeżone przez autorów normy nowozelandzkiej NZS 4298:1998, która dopuszcza stosowanie ziemi ubijanej o wilgotności niższej o nie więcej niż 3% i wyższej o nie więcej niż 5% od wilgotności optymalnej [3].

Formowanie próbek następowało poprzez ubijanie ziemi warstwami w sześciennych formach o wymiarach 100x100x100 mm (rys. 4). Do ubijania użyto 6,5-kilogramowego ubijaka o powierzchni podstawy 96 x 96 mm. Ubijak poruszał się w kotłiczku zapewniającym pionowy tor upadku.

Próbki były zagęszczane w trzech równych warstwach. Każdą warstwę ubijano 20 razy, poprzez swobodne opuszczenie ubijaka z wysokości 30 cm nad powierzchnią próbki. Energia zagęszczenia we wszystkich przypadkach wynosiła około 1148 J. Próbki sezonowano przez 28 dni w komorze klimatycznej o wilgotności względnej wynoszącej 95% ± 5% i temperaturze 20°C ± 1°C. Następnie wszystkie elementy zważono i podzielono na dwie grupy. Próbki-świadki zostały zniszczone od razu po skończeniu sezonowania, natomiast te przeznaczone do badania nasiąkliwości, zostały poddane



Rys. 5. Próbkki zanurzone w wodzie

namaczaniu w gumowych wannach. Przez pierwsze cztery godziny próbki stały na podkładkach, zanurzone w wodzie do połowy. Po upływie tego czasu zostały zalane wodą do poziomu równego 110% ich wysokości (rys. 5). Próbkki były co 12 godzin wyjmowane z wody, wycierane do sucha, a następnie ważone. Pomiary zakończono, gdy w dwóch kolejnych ważeniach różnica mas próbek nie przekraczała jednego grama.

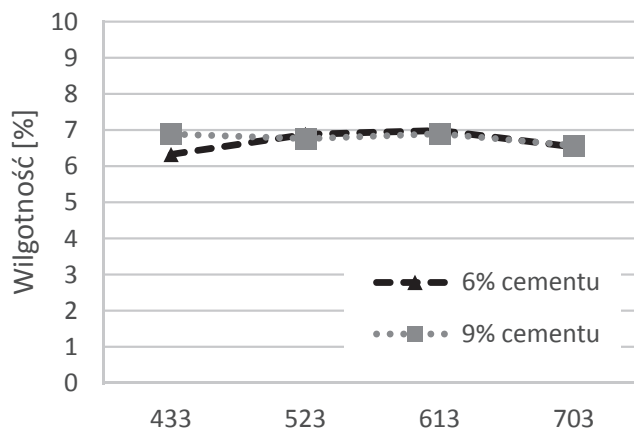
Następnie nasączone próbki poddano badaniu wytrzymałości na ściskanie. Wszystkie badania przeprowadzono zgodnie z kierunkiem formowania w celu zapewnienia odpowiedniego modelu zniszczenia zgodnego z teoretycznym modelem rozkładu naprężeń. Sposób umieszczania próbek w maszynie wytrzymałościowej jest odmienny, niż stosowany w przypadku próbek betonowych. Ziemia ubijana, układana i zagęszczana warstwowo, zachowuje strukturę warstwową zarówno w monolitycznej ścianie, jak i w formowanych próbkach. Można zatem przyjąć, że zarówno charakterystyka materiału, jak i techniki formowania sprawiają, że reprezentatywny do określenia nośności konstrukcji jest sposób badania wytrzymałości poprzez obciążenie próbki w kierunku jej formowania.

### 1.2. Wilgotność próbek

Fragmenty próbek były ważone, a następnie suszone aż do uzyskania stałej masy. Na tej podstawie obliczono średnie wilgotności poszczególnych serii próbek. Ich wartości były zbliżone i wynosiły od 6,3% do 7,0%. Szczegółowe wyniki zestawiono na wykresie – rysunek 6.

### 1.3. Próbkki

Wszystkie uzyskane próbki miały wymiary 100x100 x100 mm z milimetrową tolerancją wynikającą przede wszystkim z drobnych różnic w wymiarach między formami użytymi do badań. 95% populacji próbek osiągnęło objętość powyżej 1 dm<sup>3</sup>, którą norma betonowa, wskazuje jako minimalną w przypadku określania nasiąkliwości. Pęknięcia oraz ubytki na krawędziach i rogach próbek były minimalne i wynikały jedynie z odspojenia pojedynczych ziaren kruszywa z zewnętrznej powierzchni materiału.



Rys. 6. Średnie wilgotności próbek z poszczególnych mieszanek po sezonowaniu

Największe problemy w czasie badania powstawały w górnej powierzchni próbek. Ze względu na dynamiczny sposób formowania górne powierzchnie sześcianów miały liczne małe pęknięcia, rysy oraz drobne odspojenia i dziury. Aby zminimalizować powyższe problemy, próbki przygotowywano z około 3 mm zapasem wysokości, a nadmiar materiału ścinano. Dodatkowo w czasie niszczeń stosowano przekładki ze sklejkki, które umożliwiały dokładne przekazywanie siły na całą górną powierzchnię próbki.

### 1.4. Obserwacje

Dzięki zastosowanym reżimom technologicznym udało się uzyskać bardzo jednolite próbki. W ramach jednej serii pojawiały się minimalne odchylenia gęstości, masy i wymiarów. W czasie namaczania w wodzie nie dochodziło do żadnych widocznych uszkodzeń na powierzchni próbek. Na dnie naczynia zebrała się jedynie minimalna ilość piasku oraz pojedyncze ziarna żwiru. Zgodnie z przewidywaniami najbardziej szkodliwy dla próbek był sam proces formowania i rozformowywania. Duża kruchość materiału sprawiała, że właśnie wtedy powstawała największa liczba wad. Łączenia poszczególnych warstw w obrębie jednej próbki były niewidoczne, jednak próbne niszczenia po obrocie o 90 stopni wykazały, że w miejscach styku występuje obniżona wytrzymałość.

## 2. Uzyskane wyniki badań

Wyniki średnie badania nasiąkliwości zestawiono na rysunku 7. Dla każdej mieszanki uzyskano przynajmniej trzy miarodajne wyniki. Nasiąkliwość masową ( $N_m$ ) liczone według wzoru:

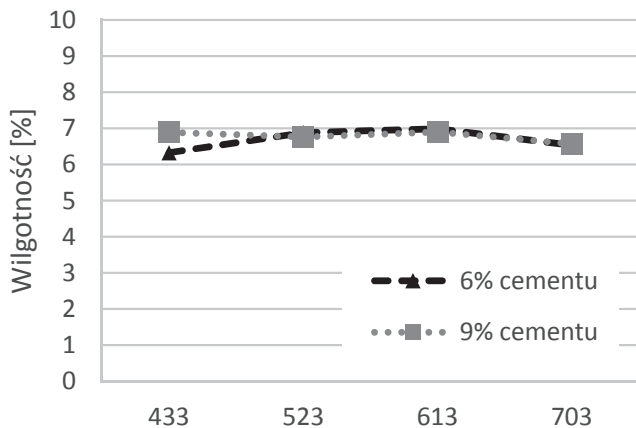
$$N_m = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$m_s$  – masa próbki w stanie suchym,

$m_n$  – masa próbki całkowicie nasyconej wodą.

Warto zauważyć, że wyniki oznaczenia nasiąkliwości obejmują zarówno wodę zawartą wyjściowo w próbce,



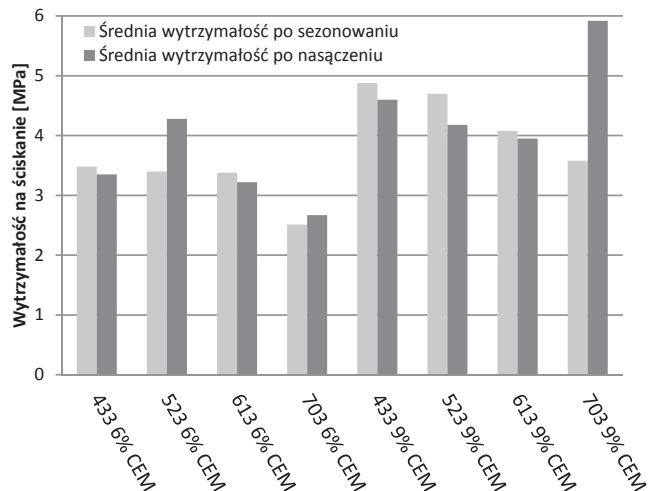
Rys. 7. Wyniki badania nasiąkliwości

jak i wodę pochłoniętą w trakcie badania. Wilgotność próbek przed nasyceniem wynosiła ok. 6,5%. Porównano również wytrzymałości na ściskanie próbek nasączonych wodą, z wytrzymałością próbek-świadków. Wyniki zestawiono na rysunku 8.

### 3. Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania pozwalają sformułować następujące wnioski:

- nasiąkliwość masowa wszystkich serii kształtowała się na podobnym poziomie i nie przekraczała 8%;
- należy pamiętać o wysokiej wilgotności pierwotnej badanych próbek. Uwzględniając wilgotność początkową badanych próbek i traktując nasiąkliwość jako przyrost zawartości wody w badanej próbce osiągnięto na zbliżonym poziomie wynoszącym 0,7–0,9%;
- próbki wykonane z mieszanek o zawartości masowej cementu 6% i 9% wykazały zbliżone nasiąkliwości. Nieznacznie większą nasiąkliwość uzyskały próbki z większą zawartością cementu;
- spadek wytrzymałości na ściskanie próbek w pełni nasączanych wodą był nie większy niż 0,52 MPa;
- dla niektórych serii próbek po nasączeniu wodą odnotowano wzrost wytrzymałości na ściskanie.



Rys. 8. Średnie wytrzymałości na ściskanie próbek po sezonowaniu i po nasączeniu wodą

### 4. Podsumowanie

Podsumowując, można stwierdzić, że pochłanianie wody przez stwardniałe próbki z ziemi ubijanej stabilizowanej cementem jest niewielkie, co pozytywnie rokuje co do trwałości materiału, zwłaszcza w świetle wyników, które wskazują, że nasycenie wodą ziemi ubijanej stabilizowanej cementem nie pogarsza znacząco jej wytrzymałości. Świadczy to o tym, że nasączenie wodą nie ma istotnego wpływu na wytrzymałość ziemi ubijanej stabilizowanej cementem, a zmienność wyników związana jest przede wszystkim ze zróżnicowaną chropowatością górnej powierzchni próbek.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Narloch P. L., Woyciechowski P., Bieliński Ł., Kostro R., Kruszyński A., Wytrzymałość na ściskanie ziemi ubijanej niestabilizowanej do wzniesienia ścian monolitycznych, Materiały Budowlane 4/2015
- [2] Hall M., Djerbib Y., Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency. Construction and Building Materials 18 (4), 281-286, 2004
- [3] Standards New Zealand. NZS 4298: 1998 Materials and Workmanship for Earth Buildings Standards New Zealand, Wellington, New Zealand (1998)
- [4] <http://www.ceradbud.pl/glina-surowa>

# Uwaga!

Członkowie PZITB i PIIB prenumeratę na rok 2015 mogą zamówić także przez Okręgowe Izby Inżynierów Budownictwa.

Prenumerata – 252 zł

Studencka – 126 zł

Ulgowa – 126 zł

Elektroniczna – 75 zł

Zapraszamy do zakupu prenumeraty „Przeglądu Budowlanego”