

mgr inż. Małgorzata Jończyk^{1)*}
 mgr inż. Klaudia Jendrysik¹⁾
 ORCID: 0000-0002-6699-2423
 dr inż. Piotr Kanty¹⁾

Stabilizacja masowa jako nowoczesna metoda wzmocnienia podłoża

Mass stabilization – as a modern method of strengthening the ground

DOI: 10.15199/33.2020.02.03

Streszczenie. W artykule przedstawiono stabilizację masową jako technologię wzmocnienia gruntu. Wyróżniane są dwa rodzaje solidyfikacji – na sucho lub mokro. Dobór technologii uzależniony jest od rodzaju gruntów oraz zawartości wody w miejscu wzmocnienia. Opisane realizacje stabilizacji „na sucho”, to droga S5 odcinek Korzeńsko – Widawa, zespół basenów odkrytych w Oławie, obwodnica Szczecinka. Przedstawiono również pierwsze wzmocnienie „na mokro” wykonane pod segment Galerii Wiślanki w Żorach. Analiza przytoczonych realizacji pokazała, że technologia ta nadaje się do stosowania pod obiekty różnego rodzaju. Ze względu na wykorzystywanie materiału zastanego in situ ważną rolę odgrywają szczegółowe badania geologiczne oraz wykonanie zarobów próbnych przed przystąpieniem do realizacji. Niewątpliwą zaletą kontroli jakości solidyfikacji na mokro jest przeprowadzenie jej analogicznie do dobrze znanej technologii DSM.

Słowa kluczowe: geotechnika; wzmocnienie podłoża; solidyfikacja.

Abstract. The aim of the paper is to show on of the soil strengthening technologies – mass mixing. Two variations are to be distinguish – dry and wet type. The application of each type is dependent of the type of soil and its moisture content. The paper describes case studies of dry type: S5 road in the section Korzeńsko – Widawa, open pool complex in Oława, Szczecinek bypass. Wet type case study is described as well – part of the “Wiślanka” gallery in Żory. The analysis of mentioned case studies has shown that the technology can be used in all type of civil engineering objects. While it is one of the technologies which is based on mixing of the existing soil, it is especially important to do comprehensive soil investigation and trial mixes before the start of the jobsite. On of the advantages is that the quality control in case of wet mass mixing is made similarly to DSM.

Keywords: geotechnics; soil strengthening; mass mixing.

Stabilizacja masowa nazywana inaczej solidyfikacją to technologia wzmocnienia, która polega na zwiększeniu wytrzymałości gruntu przez wymieszanie go z czynnikiem wiążącym. Jest to z reguły wzmocnienie typu objętościowego, którego celem jest poprawa parametrów mechanicznych i odkształceniowych gruntu. Metoda polega na wprowadzeniu w podłoże mieszadła o specjalnej konstrukcji, które niszczy strukturę gruntu oraz miesza go z podawaną w tym samym czasie substancją wiążącą (rysunek 1). Stabilizację masową należy podzielić na 2 rodzaje – solidyfikację na mokro oraz na sucho.

Solidyfikacja na mokro polega na mieszaniu gruntu z czynnikiem wiążącym lub cementowo-popiołowym. Technologię stosuje się do wzmocnienia gruntów spoiwystych o małej wy-

trzymałości na ścinanie w warunkach bez drenażu oraz do gruntów niespoistych. Efektywność wzmocnienia sprawdza się, wykonując badanie jednoosiowego ściskania na próbkach walcowych lub kostkowych (jak w DSM). Kontrola jakości w przypadku stabilizacji masowej na mokro i DSM jest praktycznie taka sama [3].

Solidyfikacja na sucho polega na mieszaniu gruntu z czynnikiem wiążącym (np. cementem, popiołem, mieszalinami cementowo-popiołowymi) bez dodatkowego udziału wody. Zabieg ten pozwala na osuszenie gruntu, wywołane procesem hydratacji, a następnie jego związanie. Technologię stosuje się do wzmocnienia gruntów organicznych oraz spoiwystych małej wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez drenażu. Dodatkowym warunkiem jest wilgotność naturalna gruntu, której wartość musi być większa niż 60%. W tym przypadku efektywność stabilizacji mierzy się, określając wytrzymałość na ściskanie próbek sześciennych. Wytyczne projektowe ujęto w [1], natomiast praktyczne wskazówki dotyczące badania materiału stabilizowanego masowo w [2].

Zaletą solidyfikacji jest zastosowanie lekkiego sprzętu, co pozwala na prowadzenie realizacji w miejscach niedostępnych dla tradycyjnych maszyn. Dodatkowo jest to technologia przyjazna środowisku, gdyż nie powstają odpady konieczne do wywożenia z placu budowy. Ograniczeniem metody jest głębokość, na jakiej można przeprowadzić wzmocnienie (maksymalna wynosi ok. 6 m).



Rys. 1. Schemat wzmocnienia podłoża metodą solidyfikacji
 Fig. 1. Scheme of ground strengthening by the solidification method

¹⁾ Menard Polska Sp. z o.o.

^{*)} Adres do korespondencji: mjonczyk@menard.pl

Przykłady solidyfikacji na sucho

W pierwszych w Polsce realizacjach, wykonywanych w latach 2016 – 2018 przez Menard Polska, wykorzystywana była solidyfikacja na sucho. Przykładem takiej inwestycji jest wzmocnienie obszaru za przyczółkiem obiektu inżynierskiego w ciągu drogi S5 na odcinku Korzeńsko – Widawa (fotografia 1). Stabilizacja została wykonana zgodnie z następującym schematem: do głębokości jednego metra poniżej poziomu terenu wymieszano 100% gruntu, natomiast poniżej 1 m do głębokości zalegania warstwy nośnej wymieszano 50% gruntu. Na tym poziomie grunt wymieszany ze spoiwem tworzył pasy o szerokości 1 m rozdzielone względem siebie metrowymi pasami gruntu niewymieszanego.



Fot. 1. Realizacja wzmocnienia podłoża za obiektem inżynierskim w ciągu drogi S5

Photo 1. Realization of ground strengthening behind the engineering object along the national road S5

Kolejną realizacją, w której wykorzystano metodę stabilizacji masowej do wzmocnienia podłoża, była budowa zespołu basenów odkrytych w Oławie. Zakres wzmocnienia obejmował łącznie ok. 600 m² powierzchni. Głębokość wzmocnienia wahała się od 0,7 do 2,5 m. Ze względu na dużą wilgotność gruntu solidyfikacja miała za zadanie nie tylko wzmocnić grunt, ale również go osuszyć.

Inną inwestycją, gdzie zastosowano technologię stabilizacji masowej, była budowa obwodnicy Szczecinka. Solidyfikację zastosowano na jednym z obszarów w zamian za wymianę gruntu, co pozwoliło na uniknięcie zabezpieczania wykopu w okolicy stacji elektroenergetycznej (fotografia 2). Podczas prowadzonych prac platforma robocza została podzielona na prostokąty o wymiarach 2 x 3 m, gdzie rejestrowano średnią głębokość, jaką osiągało narzędzie w czasie mieszania. Zabieg ten miał poprawić kontrolę jakości wykonywanego wzmocnienia.

Solidyfikacja na mokro

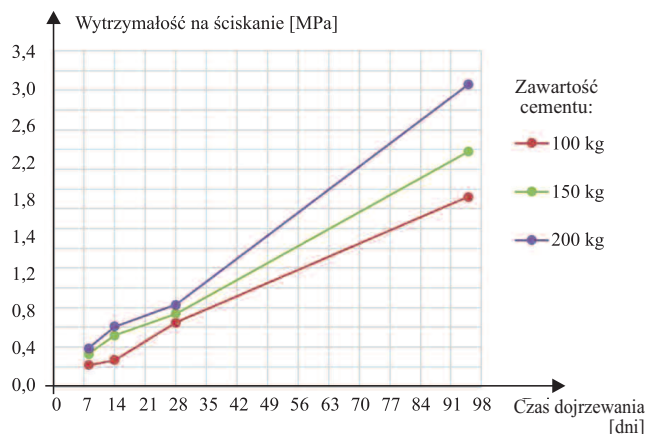
We wrześniu 2019 r. wykonano wzmocnienie gruntu w technologii wgłębego mieszania pod segment budynku handlowego Galerii Wiślanki w Żorach oraz drogę dojazdową pro-



Fot. 2. Realizacja wzmocnienia podłoża na obwodnicy Szczecinka
Photo 2. Realization of ground strengthening in ring road for Szczecinek

wadzącą do obiektu. Doświadczenia zebrane na wcześniejszych budowach w technologii „na sucho” pozwoliły na pierwsze wykorzystanie solidyfikacji „na mokro”.

Przed przystąpieniem do realizacji wykonano wiele otworów badawczych oraz sondowań. Przypowierzchniowe warstwy wzmocnianego obszaru to głównie nienośne grunty organiczne, nienadające się do bezpośredniego posadowienia obiektu. W niektórych miejscach ich miąższość wynosiła ok. 2 m. Kolejną warstwę geologiczną tworzyły piaski drobne w stanie luźnym i średnio zagęszczonym oraz zwarta glina piaszczysta i pylasta. Ważnym punktem w procesie przygotowawczym było wykonanie przekopów próbnych, mających na celu potwierdzenie uzyskanych warunków gruntowych, weryfikację miąższości warstwy organicznej oraz określenie jej rodzaju. Przekopy umożliwiły również pobranie materiału do zarobów próbnych, tj. wykonanie cementogratu w warunkach laboratoryjnych z pobranego in situ gruntu oraz cementu. Wykonano 48 próbek, które były różnicowane pod względem sposobu pielęgnacji, ilości cementu oraz czasu dojrzewania. Wyniki badania w maszynie do jednoosiowego ściskania przedstawia rysunek 2. Zgodnie z przewidywaniami, naprężenia możliwe do przeniesienia przez materiał były wprost proporcjonalne do wzrostu zawartości cementu oraz czasu dojrzewania. Stwierdzono, że wzrost wytrzymałości jednoosiowej po 28 dniach jest nadal bardzo duży. Po 90

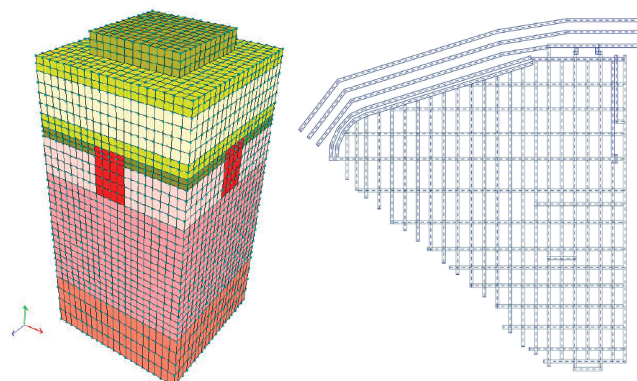


Rys. 2. Wyniki ściskania próbek zarobu próbnego

Fig. 2. The results of compressive tests for the laboratory samples

dniach uzyskana wytrzymałość była przeszło trzykrotnie większa niż wytrzymałość po 28 dniach.

Projekt zakładał wykonanie wzmocnienia w postaci rusztu (rysunek 3) do głębokości zalegania warstw nośnych oraz o szerokości 1 m. Pod słupami konstrukcji przewidziano skrzyżowanie poszczególnych pasm solidyfikacji. Wzmocnienie pod drogę zaprojektowano jako cztery równoległe pasma, których kierunek był zgodny z osią planowanego dojazdu. Do celów projektowych założono wytrzymałość materiału po 84 dniach równą 1,05 MPa. Obliczenia wykonano w programie numerycznym ZSoil. Przyjęto sprężysto-plastyczny model zniszczenia gruntu.

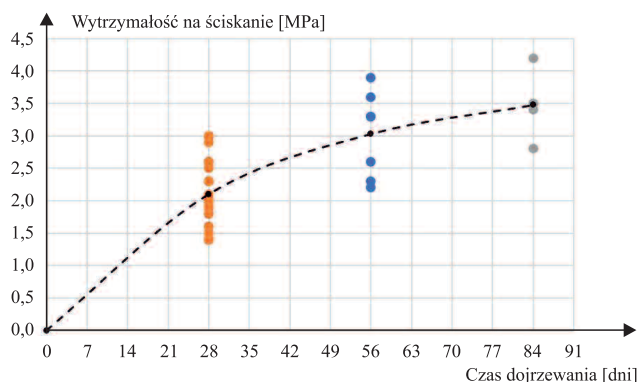


Rys. 3. Koncepcja projektowa wzmocnienia
Fig. 3. Design concept of ground strengthening

Do realizacji wzmocnienia użyto koparki głównej, która wyposażona była w bęben penetrująco-mieszający oraz koparki pomocniczej (fotografia 3). Zaplecze przygotowania zaczynu stanowiły dwa silosy służące do przechowywania cementu CEM II B – V 32,5, dwa zbiorniki na wodę oraz mieszalnik. Zaczyn transportowano przez ok. 500 m za pomocą pompy oraz węży przesyłowych. Po wytyczeniu geodezyjnym poszczególnych pasm solidyfikacji każde z nich dzielono na odcinki o długości 5 m. Operator obserwując parametry pracy rejestrowane przez system, mógł sprawować kontrolę nad tym, jaka objętość zaczynu podawana jest na poszczególne sekcje. System pozwalał także pośrednio obserwować stopień



Fot. 3. Realizacja solidyfikacji na mokro w Żorach
Photo 3. Wet solidification in Żory



Rys. 4. Wyniki ściskania próbek pobranych na budowie
Fig. 4. The results of compressive tests for the samples taken on building site

wymieszania gruntu. Większość wzmocnienia wykonano przy użyciu zaczynu o gęstości 1,4 – 1,5 g/cm³.

Kilka razy dziennie przeprowadzano kontrolę zaczynu (system zapewnienia jakości jest analogiczny jak w DSM). Codziennie raportowano postęp prac – mierzono pasma wykonane danego dnia. W przypadku każdej pięciometrowej sekcji uzyskano raport, na którym zamieszczona była ilość zaczynu w całej sekcji, głębokość oraz czas pracy. Pobierano również materiał do badań laboratoryjnych. Każdego dnia wykonywano 3 próbki, które dojrzewały w warunkach laboratoryjnych przez 28 dni. Co trzeci dzień zlecano dodatkowe badania po 56 i 84 dniach. Jak pokazują wyniki (rysunek 4), już po 28 dniach wszystkie próbki osiągnęły wytrzymałość większą niż 1,05 MPa, a zatem założenie projektowe zostało spełnione.

Analogia do DSM w kontekście kontroli jakości sprawiała, że każdy uczestnik procesu budowlanego był w stanie śledzić wyniki i z łatwością stwierdzić zgodność rezultatów z wymaganiami projektowymi.

Podsumowanie

Technologię stabilizacji masowej można z powodzeniem stosować pod różnego rodzaju obiektami (drogi, zbiorniki, budynki usługowe). W zależności od warunków gruntowych (głównie wilgotności i rodzaju gruntu) należy dobrać wariant technologii (mokry lub suchy) oraz adekwatny system zapewnienia jakości. Szczegółowe rozpoznanie podłoża oraz wykonanie wstępnych badań laboratoryjnych pozwala na optymalne zaprojektowanie wzmocnienia w technologii solidyfikacji. Analogiczne warunki odbioru prac w przypadku stabilizacji na mokro oraz popularnej w kraju technologii DSM powinny ułatwić kontrolę osobom znającym drugą ze wspomnianych technologii.

Literatura

- [1] Euro Soil Stab, 2002, Development of Design and Construction Methods to Stabilize Soft Organic Soils: Design Guide for Soft Soil Stabilization. CT97-0351.
- [2] Nowak Grzegorz, Piotr Kanty. 2019. Mass Stabilization as reinforcement of organic soils, E3S Web of Conferences 97, 04046 DOI: 10.1051/e3sconf/20199704046.
- [3] Topolnicki Michał. 2018. „Zasady stosowania i projektowania wzmocnienia gruntu metodą wglębnego mieszania na mokro (DSM)”. *Inżynieria i Budownictwo* no 1.

Przyjęto do druku: 22.01.2020 r.