

Zagęszczanie gruntów niespoistych i kontrola zagęszczenia w budownictwie drogowym

Zagęszczanie zwane również stabilizacją mechaniczną to jeden z najważniejszych procesów technologicznych stosowanych w budownictwie, w celu wzmacniania gruntów i kruszyw. Oczekiwany efektem zagęszczania gruntów jest poprawa nośności i zmniejszenie odkształcalności.

Wstęp

Zagęszczenie ma na celu lepsze i szczelniejsze rozmieszczenie ziaren, zmniejszenie zawartości wolnych przestrzeni w gruncie (porów) i w konsekwencji zwiększenie gęstości objętościowej gruntu.

W budownictwie drogowym w zależności od rodzaju gruntu, frontu robót oraz grubości zagęszczanej warstwy, najczęściej stosowane do zagęszczania są walce i zagęszczarki płytowe o zróżnicowanych masach:

- walce stalowe i gumowe (wibracyjne, gładkie, okołkowane, statyczne) o masie od 0,5 do 25 ton
- stopy i zagęszczarki wibracyjne o masie od 50 do 800 kg.

W zależności od zastosowanego sprzętu, wykonuje się od kilku do kilkunastu przejazdów po jednym śladzie maszyny – obecnie maszyny są wyposażone w mierniki zagęszczenia. Nie określają one wskaźnika czy stopnia zagęszczenia, ale na skali przyrządu wyświetlają, czy grunt jest nadal podatny na zagęszczenie i dalej go zagęszczać, czy osiągnął już maksimum możliwego zagęszczenia.

Stosowane są również inne specjalistyczne metody takie jak: mikrowybuchy, udary o dużej energii, szczególnie przydatne do głębokiego zagęszczenia i wzmocnienia gruntów – stanowią one jednak odrębne zagadnienie.



Fot. Cylinder o stałej objętości [8]



Fot. Objętościomierz wodny [8]

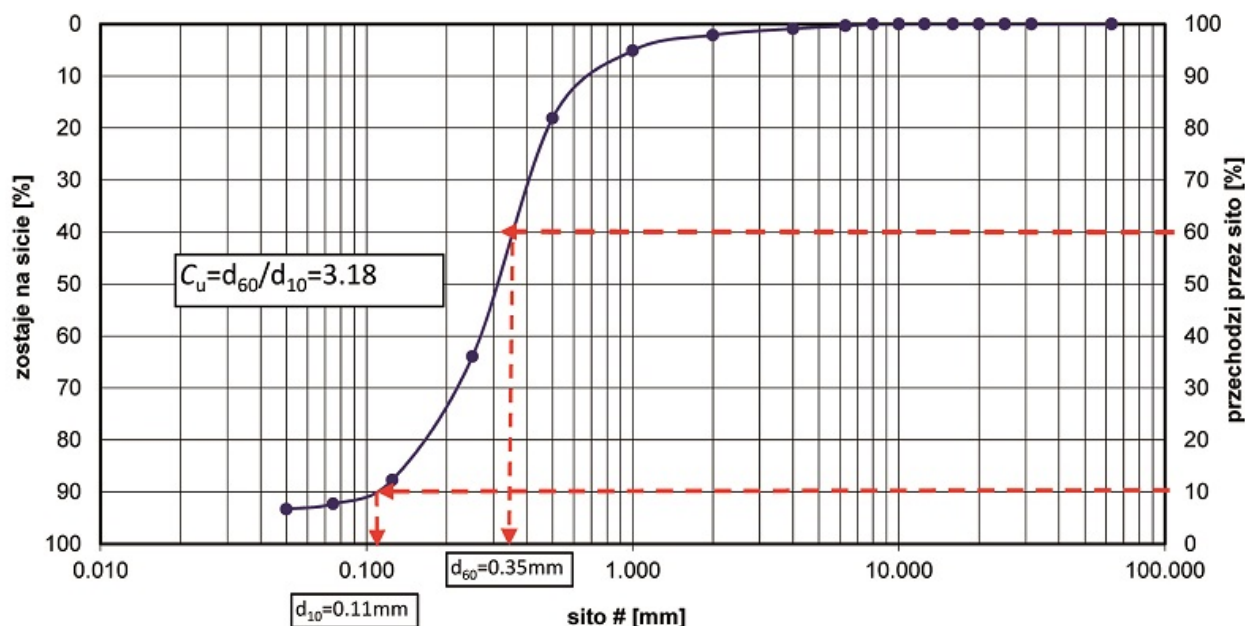


Fot. Objętościomierz piaskowy [8]

Zagęszczalność gruntów

O podatności gruntu na zagęszczenie można dowiedzieć się z krzywej przesiewu, która w sposób graficzny przedstawia rozkład poszczególnych frakcji gruntów na sitach (rys. 1).

Wykres uziarnienia



Rys. 1. Krzywa przesiewu gruntu

Kształt tej krzywej informuje, czy grunt jest łatwo zagęszczalny czy też nie. Miarą jego jest wskaźnik jednorodności uziarnienia (C_u), który informuje o podatności gruntu na zagęszczenie.

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

gdzie:

d_{60} , d_{10} - średnice oczek sita przez które przechodzi 60% i 10% gruntów, wyznaczone z krzywej przesiewu.

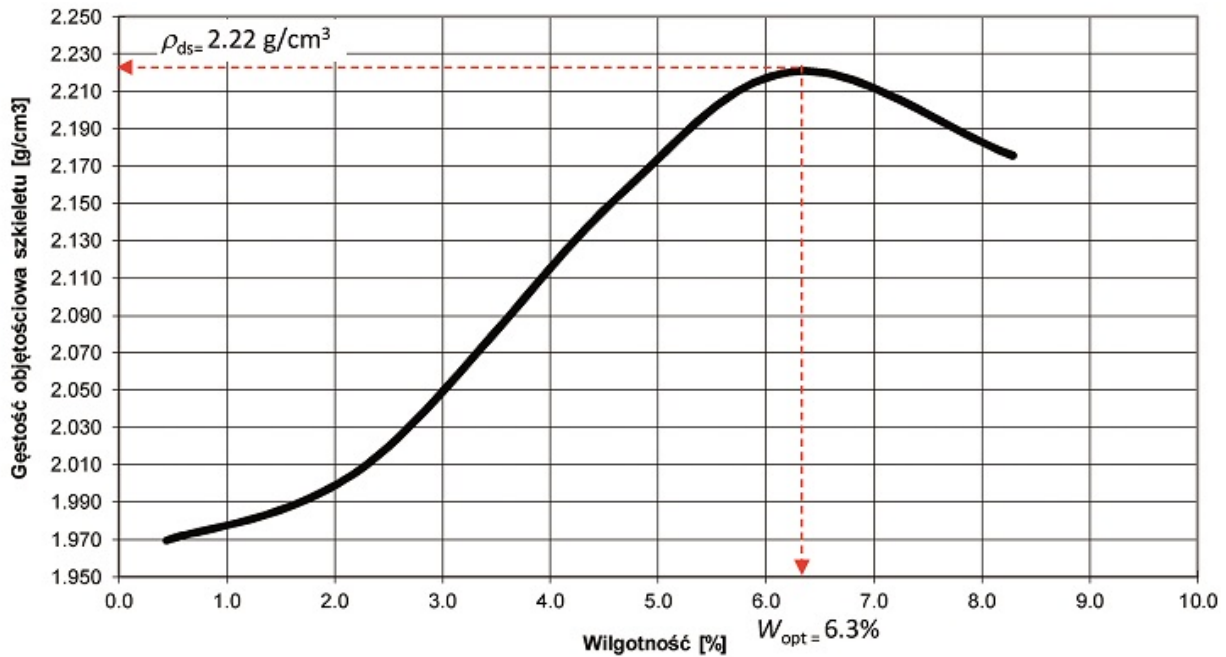
Im przebieg krzywej uziarnienia jest bardziej poziomy, tym wyższa jest wartość C_u , bardziej zróżnicowane jest uziarnienie gruntu, a grunt jest lepiej zagęszczalny. Jeżeli krzywa uziarnienia jest pionowa, mówimy o gruncie równoziarnistym o ograniczonej zagęszczalności.

W budownictwie drogowym przyjmuje się, że grunt jest dobrze zagęszczalny, gdy $C_u \geq 5$, średnio zagęszczalny $C_u = 3-5$ i trudno zagęszczalny $C_u < 3$.

Zagęszczalność gruntów związana jest bezpośrednio z jego wilgotnością. Żeby użyć jak najmniejszej energii, grunty należy zagęszczać przy odpowiedniej wilgotności tzw. wilgotności optymalnej (w_{opt}). Jest to wilgotność, przy której zagęszczanie jest najbardziej efektywne i uzyskiwana jest największa gęstość szkieletu gruntowego (ρ_{ds}). Wilgotność optymalną wyznacza się w badaniu laboratoryjnym Proctora (PN-EN 13286-2 [1], PN-B-04481 [2]), określając gęstość objętościową szkieletu gruntowego, przy stałej energii zagęszczania i dla różnych wilgotności (rys. 2).

W praktyce, zagęszczany grunt powinien mieć wilgotność zbliżoną do optymalnej. Jeżeli jest zbyt suchy to należy go nawilżyć, a jeżeli zbyt wilgotny - odczekać, aby uległ przesuszeniu lub doziarnić suchszym gruntem.

Badanie wilgotności optymalnej



Rys. 2. Badanie Proctora

Badanie zagęszczenia

W budownictwie drogowym miarą zagęszczenia jest wskaźnik zagęszczenia I_s [3], który służy do kontroli wykonanych robót ziemnych (nasypy, podłoże gruntowe) i warstw technologicznych i konstrukcyjnych. Wskaźnik zagęszczenia I_s oznaczany jest w badaniu laboratoryjnym wg zależności:

$$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{ds}}$$

gdzie:

ρ_d - gęstość objętościowa szkieletu gruntowego oznaczona w terenie, w badaniu bezpośrednim [g/cm^3]

ρ_{ds} - maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego oznaczona w badaniu Proctora [g/cm^3].

Najczęściej stosowaną wartością wskaźnika zagęszczenia I_s jest 1,00, co oznacza, że grunt jest zagęszczony do 100% wartości gęstości wg Proctora. Zazwyczaj wymagane wartości w drogownictwie mieszczą się w przedziale I_s od 0,95 do 1,03 w zależności od badanej warstwy, a precyzyjne wymagania podane są w Szczegółowych Specyfikacjach Technicznych SST. Im warstwa bardziej ważna, tym wymagana jest wyższa wartość wskaźnika I_s .

Badanie gęstości objętościowej wykonuje się w terenie najczęściej cylindrem o stałej objętości lub innym objętościomierzem, np. wodnym lub piaskowym wg BN-8931-12 [3]. Badanie polega na pobraniu próbki gruntu i określeniu jej objętości (jednym z objętościomierzy) oraz pomiarze masy suchej (po wysuszeniu w laboratorium). Następnie z tych danych obliczona zostaje gęstość szkieletu gruntowego (ρ_d), którą porównujemy do maksymalnej gęstości szkieletu wg Proctora (ρ_{ds}) i wyznaczamy wskaźnik zagęszczenia I_s .



Fot. Płyta statyczna VSS [8]

Fot. Płyta dynamiczna [8]

Fot. Sonda dynamiczna lekka DPL

W drogownictwie stan zagęszczenia i jego nośność może być również szacowany w badaniach pośrednich, tzn. może być wyprowadzony z innych parametrów, np. z E_{vd} (moduł dynamiczny), E_2/E_1 (moduł statyczny VSS) lub sondowań dynamicznych na podstawie zależności korelacyjnych. W niektórych krajach, np. w Anglii stosowane są nuklearne mierniki gęstości gruntu.

W geotechnice i geologii zagęszczenie gruntów rodzimych określane jest stopniem zagęszczenia I_D , który oznacza naturalny stan zagęszczenia gruntów niespoistych. I_D oblicza się wg PN-88/B-04481 [2] zgodnie ze wzorem:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

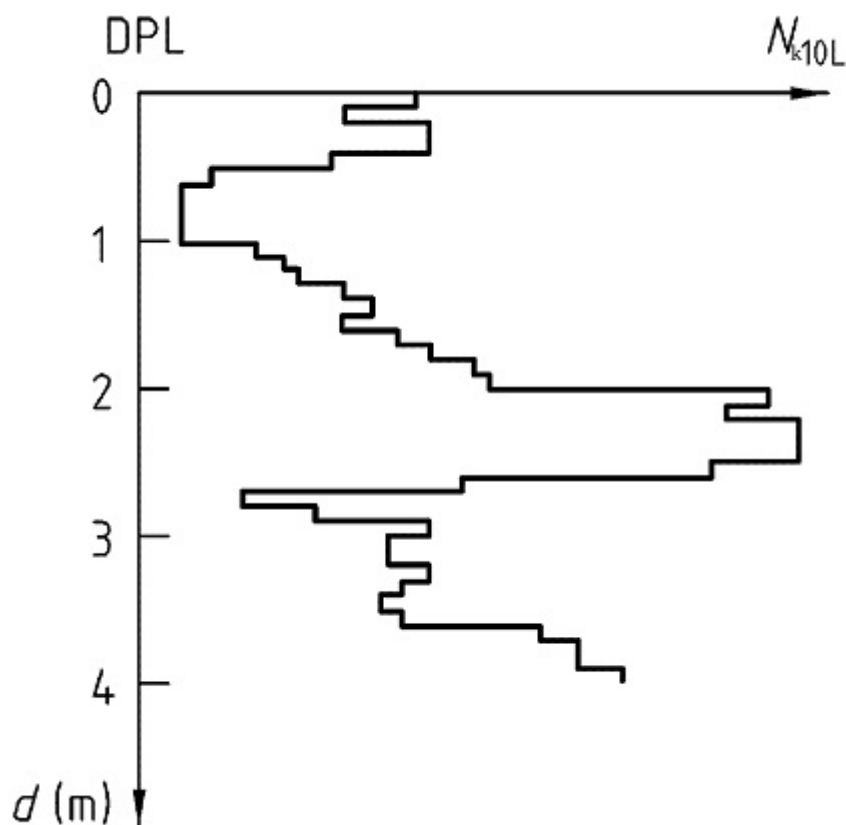
gdzie:

e_{\max} - wskaźnik porowatości gruntu maksymalnie zagęszczonego

e_{\min} - wskaźnik porowatości gruntu luźnego

e - wskaźnik porowatości w stanie naturalnym.

Stopień zagęszczenia I_D może być wyznaczany na podstawie sondowań udarowych sondą lekką, średnią, ciężką i bardzo ciężką (DPL, DPM, DPH, DPSH). W zależności od rodzaju sondy określa się ilość udarów N_k potrzebnych na pograżenie stożka na przyjętą głębokość.



Rys. 3. Wykres sondowania

sondą DPL wg PN-EN ISO 22476-2 [4]

W badaniu otrzymujemy wykres ilości uderzeń N_k w funkcji głębokości (rys. 3) i następnie wyznacza się stopień zagęszczenia I_D ze wzorów normowych.

Znane zależności normowe (PN-B-04452 [5], Eurokod 7 [6], Instrukcja [7]) pozwalają na wyznaczenie stopnia zagęszczenia I_D w badaniu sondą dynamiczną na podstawie wzorów empirycznych. Sondowanie może być stosowane, gdy mamy do czynienia z oceną stanu zagęszczenia gruntów w stanie naturalnym, gdzie przyjmuje się następujące stany zagęszczenia w zależności od wartości I_D :

- stan luźny
- średnio zagęszczony
- zagęszczony
- bardzo zagęszczony.

Sondowania dynamiczne mogą być stosowane do kontroli robót ziemnych, wychwycenia miejsc słabych lub jednorodności zagęszczenia. Natomiast przy ocenie stanu zagęszczenia na podstawie wskaźnika zagęszczenia I_s stosowanego w drogownictwie, należy podchodzić do sondowań z dużą ostrożnością i odpowiednio je interpretować, szczególnie przy ocenie badań wierzchnich warstw gruntów. Sondowania zaleca się interpretować dopiero od tzw. głębokości krytycznej, która wynosi od 0,6 m (DPL) do 1,5 m (DPSH). Problemem z interpretacją sondowań w drogownictwie jest to, że wartość wyprowadzona z sondowania to stopień zagęszczenia I_D , a nie wskaźnik zagęszczenia I_s . Istnieje zależność empiryczna pomiędzy tymi wartościami (Instrukcja [7]) pozwalająca na obliczenie wskaźnika I_s ze stopnia I_D :

$$I_s = \frac{0,818}{0,958 - 0,174 I_D}$$

Wyprowadzoną wartość wskaźnika zagęszczenia I_s należy traktować jako wartość przybliżoną, gdyż jest ona uzyskana z zastosowania podwójnej korelacji, raz z $I_D = f(N_k)$ i następnie $I_s = f(I_D)$.

dr inż. Cezary Kraszewski
Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Literatura

- 1. PN-EN 13286-2 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 2: Metody określania gęstości i zawartości wody - Zagęszczanie metodą Proctora.**
- 2. PN-B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntów.**
- 3. BN-8931-12:1997 Oznaczanie wskaźnika zagęszczenia gruntu.**
- 4. PN-EN ISO 22476-2 Rozpoznanie i badania geotechniczne - Badania polowe - Część 2: Sondowanie dynamiczne.**
- 5. PN-B-04452 Geotechnika - Badania Polowe.**
- 6. PN-EN 1997-2 Eurokod 7 - Projektowanie geotechniczne - Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.**
- 7. Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Część 2. Załącznik, IBDiM, 1998.**
- 8. www.infratest.net**