

# 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]

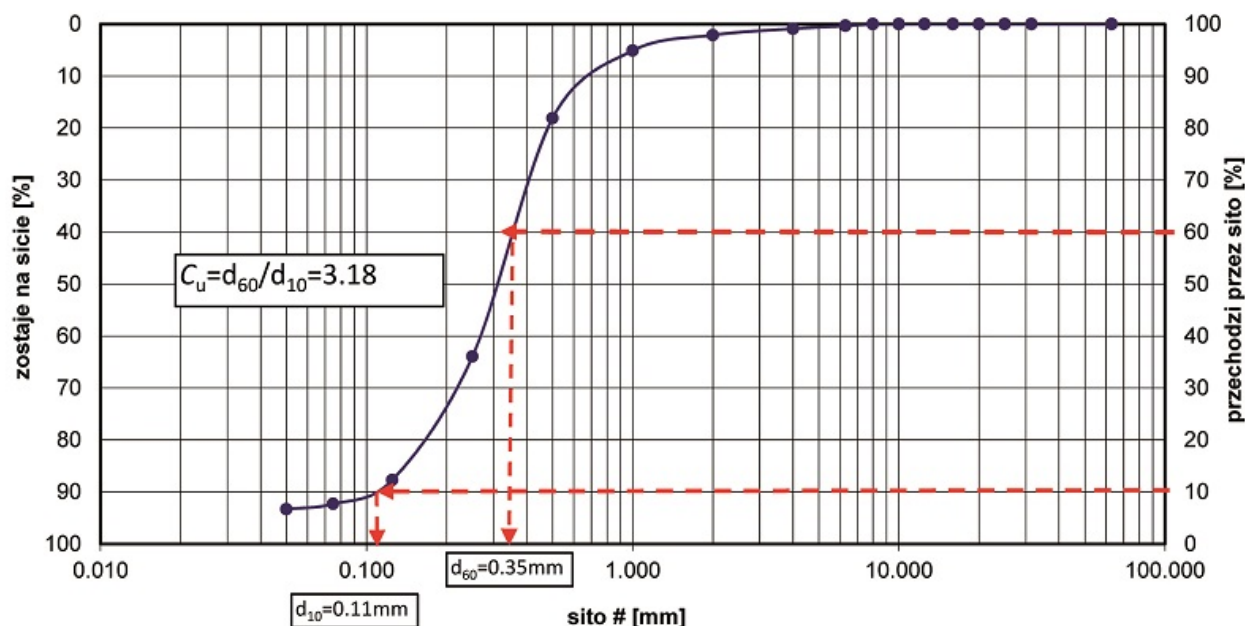


Fot. Objętościomierz piaskowy [8]

## 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.

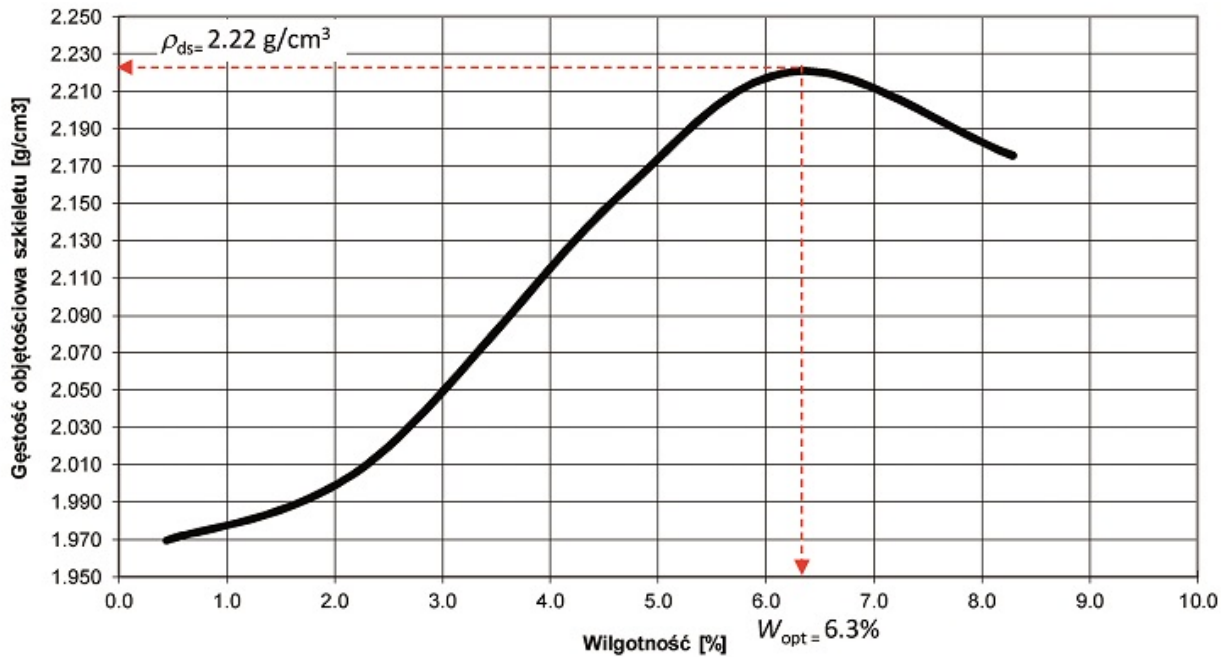
Im przebieg krzywej uziarnienia jest bardziej poziomy, tym wyższa jest wartość  $C_u$ , bardziej zróżnicowane jest uziarnienie gruntu, a grunt jest lepiej zagęszczalny. Jeżeli krzywa uziarnienia jest pionowa, mówimy o gruncie równoziarnistym o ograniczonej zagęszczalności.

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 ( $\rho_{ds}$ ). 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:

$\rho_d$  - gęstość objętościowa szkieletu gruntowego oznaczona w terenie, w badaniu bezpośrednim [ $\text{g/cm}^3$ ]

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

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 ( $\rho_d$ ), którą porównujemy do maksymalnej gęstości szkieletu wg Proctora ( $\rho_{ds}$ ) 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:

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

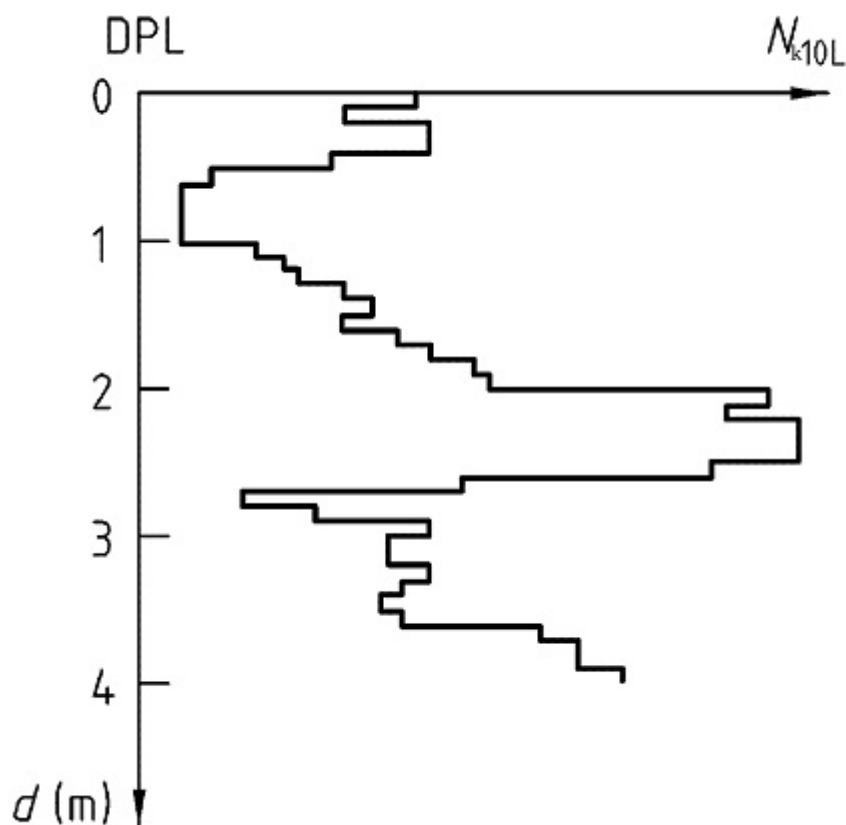
gdzie:

$e_{\max}$  - 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](http://www.infratest.net)**