

## WYZNACZENIE PARAMETRÓW GEOTECHNICZNYCH STOSOWANYCH DO OKREŚLANIA JAKOŚCI ZAGĘSZCZENIA NASYPÓW Z GRUNTÓW NIESPOISTYCH

Agnieszka Dąbska, Stanisław Pisarczyk

Politechnika Warszawska

**Streszczenie.** W referacie, na podstawie literatury i badań własnych, omówiono parametry zagęszczalności gruntów niespoistych oraz sposoby ich wyznaczania i zależności między nimi. Dla piasków i gruntów gruboziarnistych przedstawiono zależności pomiędzy następującymi parametrami: maksymalną gęstością objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) i wilgotnością optymalną ( $w_{opt}$ ) – metoda standardowa i zmodyfikowana Proctora, wskaźnikiem jednorodności ( $C_u$ ), średnicą zastępczą ( $d_{10}$ ), średnicą maksymalną ( $d_{max}$ ) i średnią ważoną średnicę ziaren ( $d_{sr.waż.}$ ) oraz minimalną i maksymalną gęstością objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$  i  $\rho_{dmax}$ ).

**Słowa kluczowe:** grunty niespoiste, zagęszczalność, wskaźnik zagęszczenia, korelacje między parametrami geotechnicznymi

### WSTĘP

Jakość zagęszczenia nasypów z gruntów niespoistych (drobnoziarnistych i gruboziarnistych według klasyfikacji zgodnie z PN-88/B-04481) określa się na podstawie wskaźnika zagęszczenia ( $I_S$ ) lub stopnia zagęszczenia ( $I_D$ ). Wskaźnik zagęszczenia wyznacza się ze wzoru:

$$I_S = \frac{\rho_d}{\rho_{ds}} \geq I_{SW} \quad (1)$$

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Agnieszka Dąbska, Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, e-mail: agnieszka.dabska@is.pw.edu.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

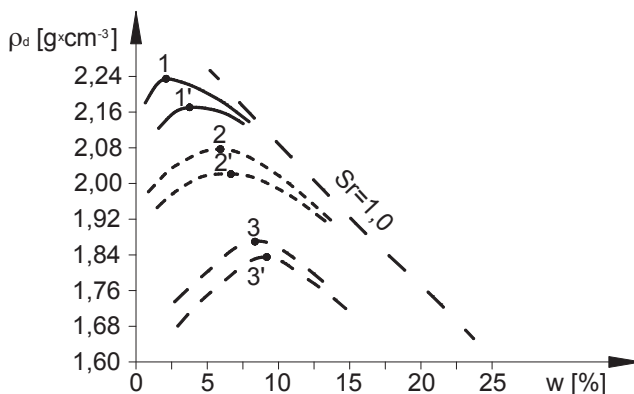
gdzie:  $\rho_d$  – gęstość objętościowa szkieletu gruntowego w badanym nasypie [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ],  
 $\rho_{ds}$  – maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego przy wilgotności optymalnej ( $w_{\text{opt}}$ ) [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ],  
 $I_{SW}$  – wymagany wskaźnik zagęszczenia gruntu w nasypie.

Parametry zagęszczalności: maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) oraz wilgotność optymalną ( $w_{\text{opt}}$ ) wyznacza się na podstawie badań laboratoryjnych zgodnie z PN-88/B-04481.

W dotychczasowej praktyce laboratoryjnej [PN-88/B-04481] stosowane są dwie podstawowe metody określania parametrów zagęszczalności przez ubijanie w cylindrze:

- metoda standardowa (energia zagęszczania  $E_1 = 0,59 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-3}$ ),
- metoda zmodyfikowana (energia zagęszczania  $E_2 = 2,65 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe wyniki badań zagęszczalności gruntu gruboziarnistego, piasku średniego i piasku drobnego metodą standardową i zmodyfikowaną Proctora. Z wykresów wynika, że zagęszczalność (maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego,  $\rho_{ds}$  i wilgotność optymalna,  $w_{\text{opt}}$ ) gruntów niespoistych metodami ubijania zależy od grubości uziarnienia gruntu (średnica ziaren  $d_{\text{max}}$ ) oraz energii ubijania/zaęszczenia ( $E_1$  i  $E_2$ ). Badanie parametrów zagęszczalności gruntów metodami ubijania jest bardzo pracochłonne, stąd poszukuje się metod określania maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) i wilgotności optymalnej ( $w_{\text{opt}}$ ) na podstawie innych parametrów geotechnicznych zbadanych metodami mniej uciążliwymi [Dąbska i Pisarczyk 2012].



Rys. 1. Przykładowe krzywe zagęszczenia gruntów niespoistych drobnziarnistych według PN-88/B-04481 i gruntu gruboziarnistego w aparacie wielkowymiarowym (metoda Proctora): 1 i 1' – grunt gruboziarnisty  $d_{\text{max}} = 20\div 80$  mm, 2 i 2' – piasek średni, 3 i 3' – piasek drobny; 1, 2 i 3 – metoda zmodyfikowana, 1', 2' i 3' – metoda standardowa

Fig. 1. Examples of density curves for fine-grained soils according to PN-88 / B-04481 and coarse soil in the large apparatus (Proctor methods): 1 and 1' – coarse soil  $d_{\text{max}} = 20\div 80$  mm, 2 and 2' – medium sand, 3 and 3' – fine sand; 1, 2 and 3 – modified Proctor method, 1', 2' i 3' – standard Proctor method

Stan zagęszczenia gruntów niespoistych określa się na podstawie stopnia zagęszczenia, który wyznacza się ze wzoru:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{\rho_{d\max}(\rho_d - \rho_{d\min})}{\rho_d(\rho_{d\max} - \rho_{d\min})} \quad (2)$$

gdzie:  $e_{\max}$  – maksymalny wskaźnik porowatości przy najluźniejszym ułożeniu ziaren,  $\rho_{d\min}$ ,  
 $e_{\min}$  – minimalny wskaźnik porowatości przy najgęstszym ułożeniu ziaren,  $\rho_{d\max}$ ,  
 $e$  – wskaźnik porowatości gruntu w nasypie,  $\rho_d$ ,  
 $\rho_{d\max}$  – gęstość nasypowa szkieletu przy najgęstszym ułożeniu ziaren [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ],  
 $\rho_{d\min}$  – gęstość nasypowa szkieletu przy najluźniejszym ułożeniu ziaren [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ],  
 $\rho_d$  – gęstość objętościowa szkieletu gruntowego gruntu w nasypie [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ].

Stopień zagęszczenia gruntów ( $I_D$ ) niespoistych drobnoziarnistych można zbadać metodą laboratoryjną lub sondowania dynamicznego.

Parametry geotechniczne gruntów drobnoziarnistych według klasyfikacji PN-86/B-02480 do wzorów (1) i (2) wyznacza się według PN-88/B-04481. W przypadku gruntów gruboziarnistych według klasyfikacji PN-86/B-02480 (grubo okrucowych) do określenia wymienionych parametrów brakuje ustaleń normowych. Parametry te można wyznaczyć przy użyciu specjalistycznej aparatury wielkowymiarowej, stosując odpowiednią metodykę badań [Pisarczyk 2015].

Celem artykułu jest pokazanie, że parametry zagęszczalności gruntów niespoistych: maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) oraz wilgotność optymalna ( $w_{\text{opt}}$ ) zależą od parametrów opisujących uziarnienie gruntu: wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ), średnicy zastępczej ( $d_{10}$ ), średnicy maksymalnej ( $d_{\max}$ ) i średniej ważonej średnicy ziaren ( $d_{\text{sr.waż.}}$ ) oraz od minimalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{d\min}$  i  $\rho_{d\max}$ ). Wyznaczając te parametry geotechniczne (mniej uciążliwymi i pracochłonnymi metodami), można dla celów praktycznych określić parametry zagęszczalności.

## PRZEGLĄD LITERATURY

Pomiędzy wskaźnikiem zagęszczenia ( $I_S$ ) i stopniem zagęszczenia ( $I_D$ ) dla gruntów drobnoziarnistych niespoistych została ustalona empiryczna zależność [Pisarczyk 1975]:

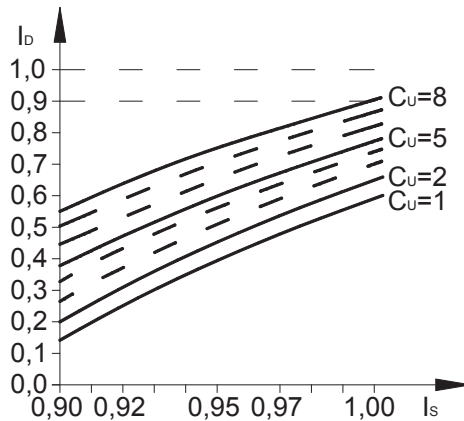
$$I_S = 0,855 + 0,165I_D \quad (3)$$

Natomiast dla gruntów gruboziarnistych (grubo okrucowych) zależność ta wynosi [Pisarczyk 2015]:

$$I_S = 0,78 + 0,33I_D \quad (4)$$

Znając wskaźnik jednorodności gruntu  $\left(C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}\right)$  i stopień zagęszczenia ( $I_D$ ), można wyznaczyć wskaźnik zagęszczenia ( $I_S$ ) z nomogramu (rys. 2), lub znając stopień zagęszczenia ( $I_D$ ) ze wzoru (3) lub z nomogramu (rys. 2) i znając dodatkowo wskaźnik jednorodności ( $C_U$ ), można wyznaczyć wskaźnik zagęszczenia ( $I_S$ ) [VEB Bau... 1975].

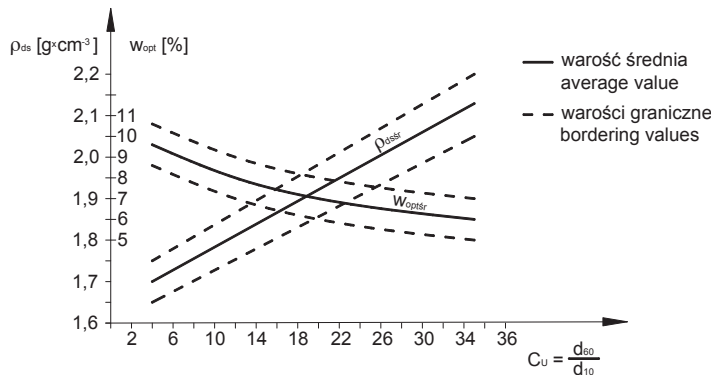
Z badań przedstawionych w literaturze wynika, że maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) gruntów niespoistych zależy od energii zagęszczania (metoda



Rys. 2. Zależność stopnia zagęszczenia ( $I_D$ ) od wskaźnika zagęszczenia ( $I_S$ ) dla gruntów niespójnych drobnoziarnistych w funkcji  $C_U$  [VEB Bau... 1975]

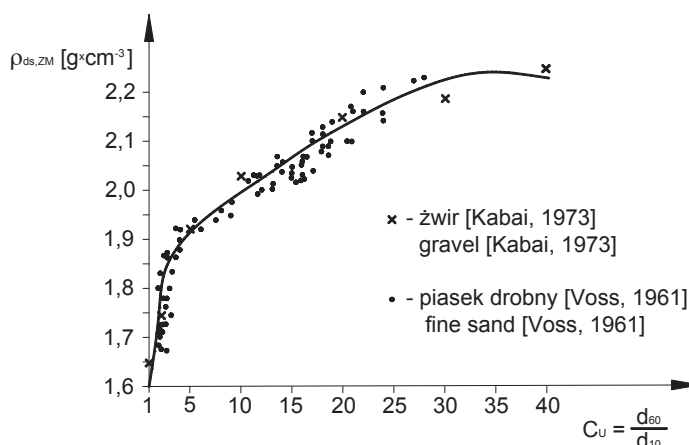
Fig. 2. The values of density index ( $I_D$ ) versus the values of degree of compaction ( $I_S$ ) for fine-grained non-cohesive soils created in the function of  $C_U$  [VEB Bau... 1975]

standardowa i metoda zmodyfikowana Proctora), grubości uziarnienia i wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ). Na rysunku 3 przedstawiono zależności maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) i wilgotności optymalnej ( $w_{opt}$ ) dla piasków i żwirów (metoda standardowa Proctora) od wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ) [Voss i Floss 1968], a na rysunku 4 – zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds,ZM}$ ) od wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ) dla piasków i żwirów (metoda zmodyfikowana Proctora) [Voss i Floss 1968, Kabai 1973]. Wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) dla piasków i żwirów wzrasta wraz ze zwiększaniem się ich różnoziarnistość, czyli wraz ze wzrostem wartości wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ).



Rys. 3. Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) i wilgotności optymalnej ( $w_{opt}$ ) dla piasków i żwirów (metoda standardowa Proctora) od wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ) [Voss i Floss1968]

Fig. 3. The values of maximum dry density ( $\rho_{ds}$ ) and optimum moisture ( $w_{opt}$ ) for sands and gravels (standard Proctor method) versus the values of uniformity coefficient ( $C_U$ )



Rys. 4. Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds,ZM}$ ) – metoda zmodyfikowana Proctora, od wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ) dla piasków i żwirów o ciągłym uziarnieniu

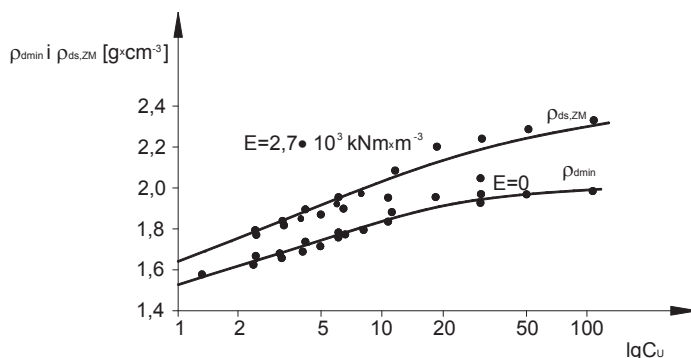
Fig. 4. The values of maximum dry density ( $\rho_{ds,ZM}$ ) – modified Proctor method versus the values of uniformity coefficient ( $C_U$ ) for the non-gapped sands and gravels

Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds,ZM}$ ) – metoda zmodyfikowana Proctora i minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ) od wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ) dla piasków i żwirów ustalił Kabai [Kabai 1973]. Badania maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds,ZM}$ ) według metody zmodyfikowanej Proctora oraz badania minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ) w stanie luźnym zostały wykonane dla 16 próbek piasków i żwirów o uziarnieniu  $d = 0,06 \div 20$  mm. Wyniki badań Kabai przedstawiono na rysunku 5 [Kabai 1973].

Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) i wilgotności optymalnej ( $w_{opt}$ ) od maksymalnej średnicy ziaren ( $d_{max}$ ) dla gruntu gruboziarnistego o naturalnym uziarnieniu po odrzuceniu ziaren większych od 7; 10; 20 i 80 mm przedstawiono na rysunku 6. Badania gruntów o uziarnieniu  $d_{max} = 20 \div 80$  mm wykonano w wielkośrednicowym aparacie typu Proctora, a gruntów o  $d_{max} = 7 \div 10$  mm – w cylindrze normowym według metody standardowej Proctora. Na rysunku 7 przedstawiono zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) od wilgotności optymalnej ( $w_{opt}$ ) dla gruntów gruboziarnistych ( $d_{max} = 20 \div 80$  mm) [Pisarczyk 2015]. Na podstawie literatury [Wiłun 2013, Pisarczyk 2015] można stwierdzić, że dla gruntów niespoistych wilgotność optymalna uzyskana z badań według metody zmodyfikowanej Proctora wynosi około  $w_{opt,ZM} = (0,7 \div 0,8)w_{opt}$ , a maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego według metody zmodyfikowanej Proctora wynosi odpowiednio  $\rho_{ds,ZM} = (1,03 \div 1,05)\rho_{ds}$ .

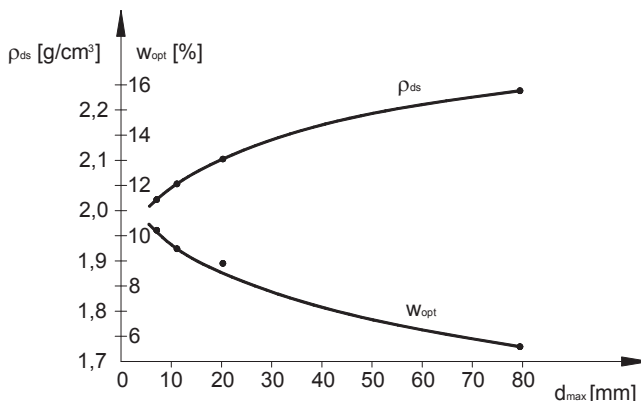
Dla gruntów gruboziarnistych o uziarnieniu: minimalna średnica ziaren  $d_{min} = 0,025 \div 5,0$  mm i maksymalna średnica ziaren  $d_{max} = 5 \div 80$  mm, oraz wskaźnika jednorodności  $C_U = 1,3 \div 46,6$  ustalono zależność [Pisarczyk 1975]:

$$\rho_{dmin}/\rho_{dmax} = 0,865 - 0,001C_U \quad (r = 0,75) \quad (5)$$



Rys. 5. Zależność minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ) – grunt luźno usypany, i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds,ZM}$ ) – metoda zmodyfikowana Proctora dla piasków i żwirów, od wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ) dla energii zagęszczenia  $E = 0$  i  $E = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kNm} \cdot \text{m}^{-3}$  [Kabai 1973]

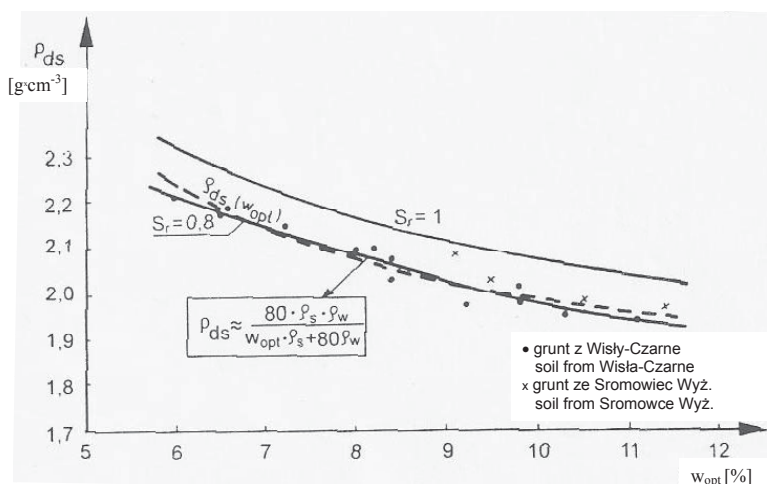
Fig. 5. The values of minimum dry density ( $\rho_{dmin}$ ) – loosely piled soil and maximum dry density ( $\rho_{ds,ZM}$ ) – modified Proctor method for sands and gravels versus the values of uniformity coefficient ( $C_U$ ) for compaction energy  $E = 0$  and  $E = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kNm} \cdot \text{m}^{-3}$  [Kabai 1973]



Rys. 6. Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) i wilgotności optymalnej ( $w_{opt}$ ) od maksymalnej średnicy ( $d_{max}$ ) gruntu gruboziarnistego (żwirowo-otoczkowego) [Pisarczyk 2015]

Fig. 6. The values of maximum dry density from compaction test ( $\rho_{ds}$ ) and optimum moisture ( $w_{opt}$ ) versus the values of maximum grain diameter ( $d_{max}$ ) for the coarse (gravel-pebble) soils [Pisarczyk 2015]

Znając wartości minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ) i wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ) dla gruntów o podobnym uziarnieniu, można z zależności Pisarczyka (5) określić wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmax}$ ). Ślęzak w swojej pracy [Ślęzak 1961] zestawił około 1000 wyników badań maksymalnej i minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmax}$  i  $\rho_{dmin}$ )



Rys. 7. Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) od wilgotności optymalnej ( $w_{opt}$ ) dla gruntów gruboziarnistych ( $d_{max} = 20\div 80$  mm) [Pisarczyk 2015]

Fig. 7. The values of maximum dry density ( $\rho_{ds}$ ) versus the values of optimum moisture ( $w_{opt}$ ) for the coarse soils ( $d_{max} = 20\div 80$  mm) [Pisarczyk 2015]

gruntów niespoistych: od piasków drobnych do pospółek, w zakresie średnic zastępczych  $d_{10} = 0,05\div 0,24$  mm, i wskaźnika jednorodności w zakresie  $C_U = 1,36\div 13,0$  i na ich podstawie ustalił następujące zależności empiryczne (gdzie  $d_{10}$  w mm):

$$\rho_{dmax} = 1,662 + 1,29d_{10} \quad [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}] \quad (6)$$

$$\rho_{dmin} = 1,297 + 1,708d_{10} \quad [\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}] \quad (7)$$

Znając wartości średnicy zastępczej ( $d_{10}$ ), z zależności (6) i (7) można wyznaczyć minimalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$  i  $\rho_{dmax}$ ).

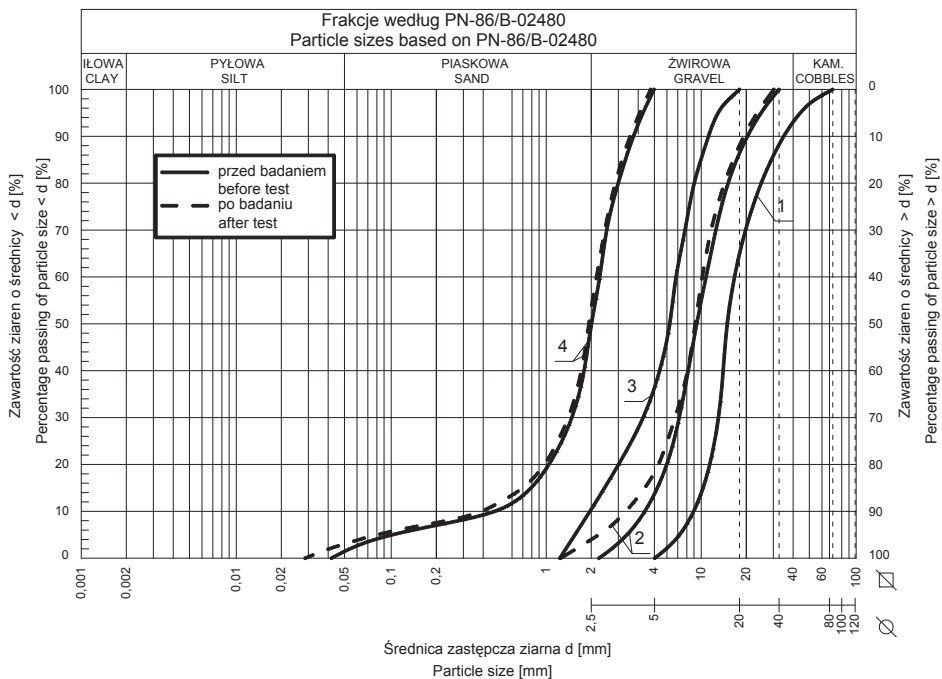
## METODYKA BADAŃ

### Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego z badań w aparacie Proctora ( $\rho_{ds}$ ) i wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ) oraz uziarnienie

Dla 55 próbek gruntów niespoistych: od piasków drobnych do żwirów w zakresie  $d_{10} = 0,01\div 0,30$  mm wykonano badania składu granulometrycznego metodą analizy sitowej zgodnie z normą PN-88/B-04481 oraz badania zęszczalności w aparacie Proctora (metoda standardowa) zgodnie z normą PN-88/B-04481. Na podstawie wykonanych badań dla każdego z gruntów określono średnicę zastępczą ( $d_{10}$ ) oraz maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) i wilgotność optymalną ( $w_{opt}$ ).

**Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmax}$ ) i minimalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ) oraz średnia ważona średnica ziaren ( $d_{sr.waż.}$ ) i maksymalna średnica ziaren ( $d_{max}$ )**

W celu określenia stopnia zagęszczenia ( $I_D$ ) gruntów niespoistych należy wyznaczyć graniczne wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego: maksymalną ( $\rho_{dmax}$ ) i minimalną ( $\rho_{dmin}$ ). Dla 4 próbek gruntów gruboziarnistych wykonano badania składu granulometrycznego metodą analizy sitowej zgodnie z normą PN-88/B-04481 oraz badania maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmax}$ ) metodą wibracyjną za pomocą wibratora powierzchniowego EWC-12b w cylindrze wielkowymiarowym i badania minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ). Na podstawie wyników analizy sitowej sporządzono wykresy uziarnienia przedstawione na rysunku 8 oraz określono maksymalne średnice ziaren ( $d_{max}$ ) i średnie ważone średnice ziaren ( $d_{sr.waż.}$ ).



Rys. 8. Wykresy uziarnienia gruntów gruboziarnistych zagęszczonych wibratorem powierzchniowym EWC-12b

Fig. 8. Grain size distribution of the coarse soils compacted by the EWC-12b surface vibrator

Średnią ważoną średnicę ziaren próbki gruntu obliczono według wzoru:

$$d_{sr.waż.} = \frac{\sum p_i d_i}{100} \quad (8)$$

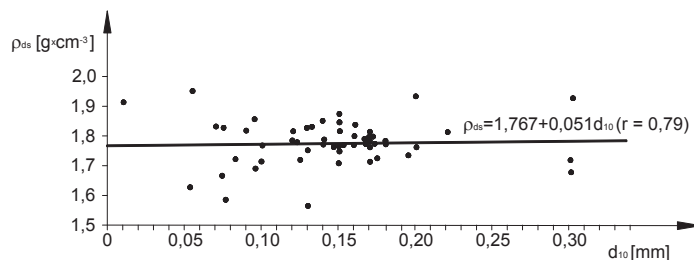
gdzie:  $d_i$  – średnia średnica rozpatrywanej frakcji próbki gruntu [mm],  
 $p_i$  – procentowa zawartość rozpatrywanej frakcji w próbce.



## WYNIKI BADAŃ

### Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego z badań w aparacie Proctora ( $\rho_{ds}$ ) i wilgotności optymalnej ( $w_{opt}$ ) od uziarnienia

Na podstawie badań wykonanych dla 55 próbek gruntów niespoistych: od piasków drobnych do żwirów w zakresie  $d_{10} = 0,01 \div 0,30$  mm ustalono zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) – metoda standardowa Proctora, od średnicy zastępczej  $d_{10}$  (rys. 9).



Rys. 9. Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) – metoda standardowa Proctora dla piasków i żwirów, od średnicy zastępczej ( $d_{10}$ )

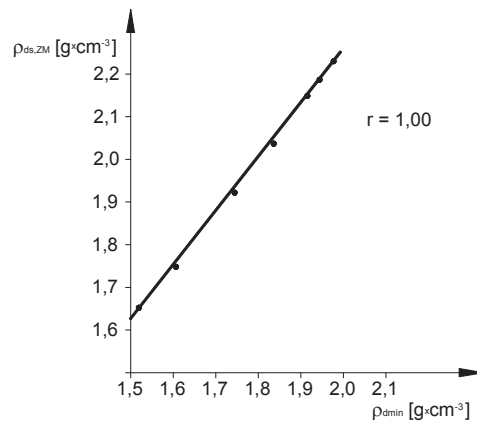
Fig. 9. The values of maximum dry density ( $\rho_{ds}$ ) – standard Proctor method for sands and gravels versus the values of grain diameter ( $d_{10}$ )

Z przeprowadzonych badań wynika, że istnieje korelacja pomiędzy maksymalną gęstością objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) – metoda standardowa Proctora, i średnicą zastępczą ( $d_{10}$ ) dla gruntów niespoistych od piasków do żwirów.

### Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego z badań w aparacie Proctora ( $\rho_{ds}$ ) od minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ) i zależność $\rho_{ds}/\rho_{dmin}$ od wskaźnika jednorodności ( $C_U$ )

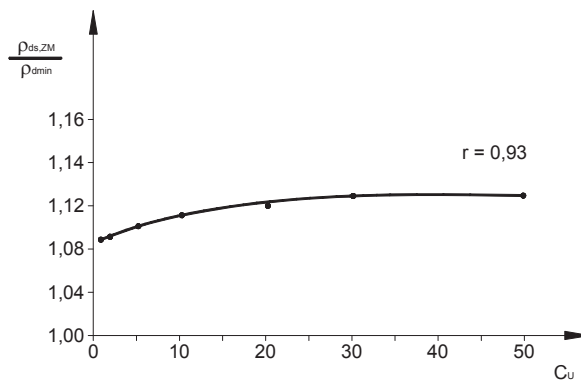
Na podstawie badań piasków i żwirów o uziarnieniu  $d = 0,06 \div 20$  mm (rys. 5) wykonanych przez Kabai [1973] autorzy, dla wartości średnich wyników badań, ustalili zależność  $\rho_{ds,ZM} = f(\rho_{dmin})$  (rys. 10) i  $\rho_{ds,ZM}/\rho_{dmin} = f(C_U)$  (rys. 11).

Z przedstawionych danych wynika, że istnieje dobra korelacja pomiędzy maksymalną gęstością objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds,ZM}$ ) – metoda zmodyfikowana Proctora, i minimalną gęstością objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ), ustaloną w stanie suchym przy wilgotności  $w = 0\%$ , oraz pomiędzy  $\rho_{ds,ZM}/\rho_{dmin}$  i wskaźnikiem jednorodności ( $C_U$ ). Znając minimalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ) lub wskaźnik jednorodności ( $C_U$ ) gruntu, można określić maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds,ZM}$ ) – metoda zmodyfikowana Proctora. Ustalone zależności są ważne dla gruntów o ciągłych wykresach uziarnienia.



Rys. 10. Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds,ZM}$ ) – metoda zmodyfikowana Proctora, od minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ) dla piasków i żwirów

Fig. 10. The values of maximum dry density ( $\rho_{ds,ZM}$ ) – modified Proctor method versus the values of minimum dry density ( $\rho_{dmin}$ ) for sands and gravels

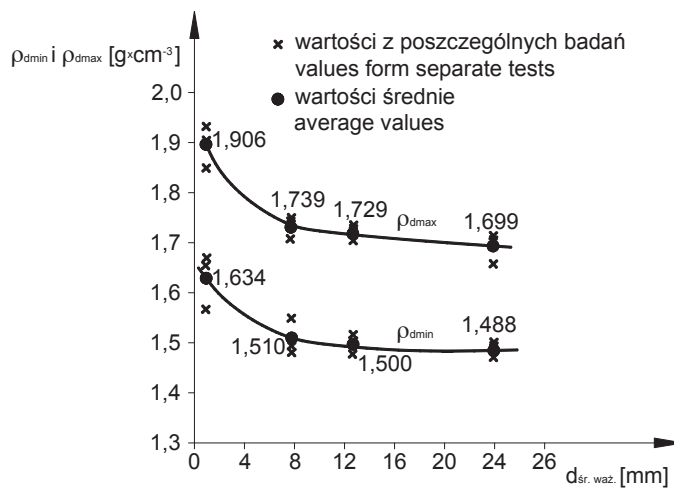


Rys. 11. Zależność  $\rho_{ds,ZM}/\rho_{dmin}$  od wskaźnika jednorodności ( $C_U$ ) dla piasków i żwirów

Fig. 11. The values of  $\rho_{ds,ZM}/\rho_{dmin}$  versus the values of uniformity coefficient ( $C_U$ ) for sands and gravels

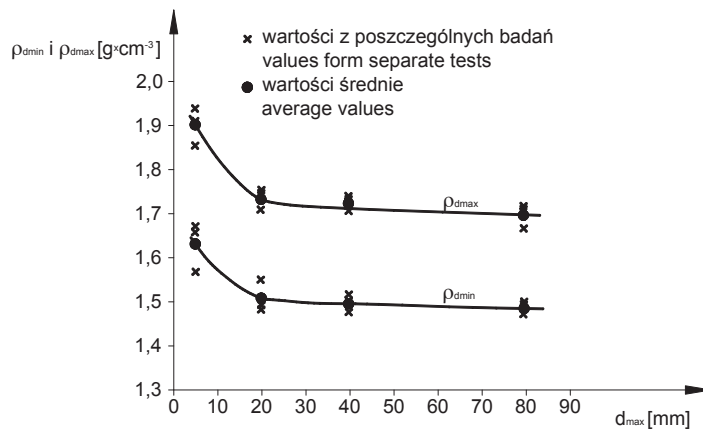
### Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmax}$ ) i minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$ ) od średniej ważonej średnicy ziaren ( $d_{sr.waż.}$ ) i maksymalnej średnicy ziaren ( $d_{max}$ )

Na podstawie badań wykonanych dla 4 próbek gruntów gruboziarnistych ustalono zależności gęstości objętościowych szkieletu gruntowego: maksymalnej ( $\rho_{dmax}$ ) i minimalnej ( $\rho_{dmin}$ ), od średniej ważonej średnicy ziaren ( $d_{sr.waż.}$ ) (rys. 12) i od maksymalnej średnicy ziaren ( $d_{max}$ ) (rys. 13). Z przedstawionych danych wynika, że wraz ze wzrostem grubości uziarnienia ( $d_{max}$  i  $d_{sr.waż.}$ ) znacznie maleją wartości maksymalnej i minimalnej



Rys. 12. Zależność minimalnej ( $\rho_{dmin}$ ) i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmax}$ ) od średniej ważonej średnicy ziaren ( $d_{sr.waz}$ ) dla gruntów jak na rys. 8

Fig. 12. The values of minimum ( $\rho_{dmin}$ ) and maximum dry density and ( $\rho_{dmax}$ ) versus the values of weighted average grain diameter ( $d_{sr.waz}$ ) for the soils from Fig. 8



Rys. 13. Zależność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmin}$  i  $\rho_{dmax}$ ) od średnicy maksymalnej ziaren ( $d_{max}$ ) dla gruntów jak na rys. 11

Fig. 13. The values of dry density ( $\rho_{dmin}$  and  $\rho_{dmax}$ ) versus the values of maximum grain diameter ( $d_{max}$ ) for the soils from Fig. 11

gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmax}$  i  $\rho_{dmin}$ ) dla maksymalnej średnicy ziaren  $d_{max} = 20$  mm, a dla maksymalnej średnicy ziaren  $d_{max} > 20$  mm wartości maksymalnej i minimalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{dmax}$  i  $\rho_{dmin}$ ) maleją bardzo nieznacznie i są prawie stałe. Ustalono także, że stosunek  $\rho_{dmin}/\rho_{dmax}$  wynosi  $0,86 \div 0,88$  (średnio 0,87).

## WNIOSKI

Na podstawie przytoczonych z literatury badań oraz wyników badań własnych parametrów zagęszczalności gruntów niespoistych (wilgotności optymalnej,  $w_{opt}$  i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego,  $\rho_{ds}$ ) i parametrów określających jakość zagęszczenia nasypów (wskaźnika zagęszczenia,  $I_S$ , stopnia zagęszczenia,  $I_D$ ) oraz praktyki można sformułować następujące wnioski:

1. Z praktyki wiadomo, że badania parametrów zagęszczalności ( $w_{opt}$  i  $\rho_{ds}$ ) metodą ubijania według Proctora są bardzo uciążliwe i czasochłonne, stąd poszukuje się innych metod określania tych parametrów.

2. Dla gruntów niespoistych parametrami wiodącymi do określenia wilgotności optymalnej ( $w_{opt}$ ) i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) są parametry uziarnienia gruntu: maksymalna średnica ziaren ( $d_{max}$ ), średnia ważona średnica ziaren ( $d_{sr.waż.}$ ), średnica zastępcza ( $d_{10}$ ) i wskaźnik jednorodności ( $C_U$ ).

3. Cytowane w artykule zależności mogą służyć do określania dla gruntów niespoistych parametrów niezbędnych do wyznaczenia wskaźnika zagęszczenia ( $I_S$ ) i stopnia zagęszczenia ( $I_D$ ) niewysokich nasypów ziemnych (do 3,0 m) i zasypek wykopów. Do oceny jakości zagęszczenia odpowiedzialnych budowli ziemnych wilgotność optymalną ( $w_{opt}$ ) i maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds}$ ) należy wyznaczać na podstawie bezpośrednich badań laboratoryjnych.

## PIŚMIENNICTWO

- Dąbska, A., Pisarczyk, S. (2012). Wyznaczenie parametrów zagęszczalności na podstawie innych parametrów geotechnicznych. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 4, 320–324.
- Kabai, J. (1973). The effect of grading on the compactibility of coarse-grained soils. Department of Geotechnique, Technical University, Budapeszt.
- Pisarczyk, S. (1975). Zależność między wskaźnikiem zagęszczenia i stopniem zagęszczenia gruntów niespoistych. *Inżynieria i Budownictwo*, 5, 213–216.
- Pisarczyk, S. (2015). Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- PN-86/B-02480. Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- Ślęzak, A. (1961). Określenie zagęszczenia ziemnych zapór wznoszonych metodą hydromechanicznej w świetle doświadczeń budowy elektrowni Koronowo. Praca doktorska. Maszynopis. PAN IBW – Gdańsk. Kraków – Gdańsk.
- VEB Bau und Montagekombinat Ost Betrieb Industriebau Schwedt (1975). Überprüfung der Lagerungsdichte von Erdstoffen-Prüfungen in Feld. Schwedt. Oder.
- Voss, R., Floss, R., (1968). Die Bodenverdichtung im Straßenbau. Werner – Verlag, Düsseldorf.
- Wiłun, Z. (2013). Zarys geotechniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.

## ESTIMATION OF GEOTECHNICAL PARAMETERS USED FOR DETERMINING THE QUALITY OF COMPACTION OF EMBANKMENTS CONSTRUCTED FROM NON-COHESIVE SOILS

**Abstract.** The paper discusses the parameters of non-cohesive soils' compaction and methods of their determination and the relationships between them. For sands and coarse-grained soils there are presented the relationship between the following parameters: maximum dry density of soil from compaction test ( $\rho_{ds}$ ) and optimum moisture ( $w_{opt}$ ) – standard and modified Proctor method, uniformity coefficient ( $C_U$ ), grain diameter ( $d_{10}$ ), maximum grain diameter ( $d_{max}$ ) and weighted average grain diameter ( $d_{sr.wa\acute{z}}$ ), minimum and maximum dry density of soil ( $\rho_{dmin}$  and  $\rho_{dmax}$ ).

**Key words:** non-cohesive soils, compaction, degree of compaction, correlation between geotechnical parameters

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 26.07.2016

Cytowanie: Dąbska, A., Pisarczyk, S. (2016). Wyznaczenie parametrów geotechnicznych stosowanych do określania jakości zagęszczenia nasypów z gruntów niespoistych. Acta Sci. Pol. Architectura, 15(3), 3–15.