

Zależność parametrów zagęszczania od kształtu, stopnia obtoczenia i charakteru powierzchni ziarn kruszywa naturalnego na przykładzie utworów piaszczystych akumulacji eolicznej i fluwioglacjalnej

Dependence of compaction parameters on the shape, degree of coverage and the character of the surface of natural aggregate grains on the example of sandy formations of aeolic and fluvioglacial accumulation

dr Dorota Krawczyk (ORCID: 0000-0003-0089-5310), dr hab. Katarzyna Machowiak, prof. PP (ORCID: 0000-0002-6130-3385), inż. Natalia Mendyka, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.4891

Streszczenie: Zasoby kruszyw naturalnych o dobrych parametrach zagęszczalności coraz bardziej się kurczą. Dlatego też niezwykle istotne wydają się badania nad możliwością zagęszczania gruntów uznanych powszechnie za słabo zagęszczalne, a nawet niezagęszczalne, jakimi są w powszechnej teorii np. piaski eoliczne. Temat jest ważny w kontekście racjonalnego i zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych. Celem badań było przeanalizowanie wpływu cech genetycznych utworów piaszczystych na zagęszczalność kruszyw naturalnych. Przebadano dwa rodzaje gruntów – piaski eoliczne oraz fluwioglacjalne. Wykazano, że kruszywo pochodzenia wodnolodowcowego jest lepiej zagęszczalne, zwłaszcza ze względu na zawartość ziarn kanciastych i słabo obtoczonych we frakcji drobnopiaszczystej.

Słowa kluczowe: parametry zagęszczania, kruszywo naturalne, właściwości geotechniczne.

Abstract: Resources of natural aggregates with good compaction parameters are increasingly shrinking. Therefore, research on the possibility of compacting soils that are generally considered to be poorly compactable or even non-compactable, such as eolian sands, seems to be extremely important. The topic is important in the context of rational and sustainable use of natural resources. The aim of the research was to analyze the influence of genetic features of sandy formations on the compaction of natural aggregates. Two types of soil were examined – aeolian and fluvioglacial sands. It has been shown that aggregate of glacial-water origin is better compacted, especially due to the content of angular and poorly embedded grains in the fine-sand fraction.

Keywords: compaction parameters, natural aggregate, geotechnical properties.

1. Wprowadzenie

Jedną z geotechnicznych właściwości określającą przydatność gruntów do budowy nasypów jest ich zdolność do zagęszczania, a więc zagęszczalność. Właściwość ta według literatury przedmiotu oraz polskich norm [1–5] uzależniona jest jedynie od składu granulometrycznego. Tymczasem na zagęszczalność kruszyw naturalnych może mieć wpływ również wygląd poszczególnych ziaren, z których składa się osad [6]. Celem badań przeprowadzonych w ramach niniejszego artykułu było przeanalizowanie wpływu cech genetycznych utworów piaszczystych, takich jak kształt ziarn, stopień ich obtoczenia i charakter powierzchni na zagęszczalność kruszyw naturalnych. Badania prowadzone

były na dwóch grupach gruntów różniących się środowiskiem powstania, ale podobnych pod kątem uziarnienia, tak by móc ustalić wpływ wyglądu ziarn, a nie ich granulacji, na zagęszczalność kruszywa.

2. Materiał i metody badań

2.1. Materiał badawczy

Do badań wybrano piaski rzeczne i wodnolodowcowe z okolic miejscowości Rosko oraz piaski eoliczne występujące w okolicach Żabinka (Wielkopolska). Dobór materiału badawczego podyktowany był spodziewanymi różnicami w kształcie, stopniu obtoczenia i charakterze powierzchni ziarn wymienionych gruntów. Piaski formowane przez wiatr powinny

Uziarnienie

W celu scharakteryzowania uziarnienia badanych gruntów wykonano analizę granulometryczną metodą mechaniczną (analiza sitowa z przemywaniem). Zastosowano sита o następujących wymiarach oczek: 6,3; 4,0; 2,0; 1,0; 0,63; 0,50; 0,25; 0,20; 0,10; 0,063; 0,050 mm. Po wykreśleniu krzywych uziarnienia dla obu rodzajów gruntu (rys. 1) odczytano średnice miarodajne d_{10} , d_{30} , d_{50} i d_{60} , czyli średnice ziaren, które wraz z mniejszymi stanowią kolejno 10, 30, 50 i 60% masy próbki [17]. Odczytano granulometryczne nazwy gruntów, procentowe zawartości poszczególnych frakcji głównych oraz obliczono wskaźniki uziarnienia – C_U i C_C (tab. 1) ze wzorów (1) i (2).

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1)$$

$$C_C = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \cdot d_{10}} \quad (2)$$

C_U – wskaźnik różnoziarnistości,

C_C – wskaźnik krzywizny uziarnienia,

d_{60} – średnica ziarn (cząstek), których wraz z mniejszymi jest w gruncie 60% [mm],

d_{30} – średnica ziarn (cząstek), których wraz z mniejszymi jest w gruncie 30% [mm],

d_{10} – średnica ziarn (cząstek), których wraz z mniejszymi jest w gruncie 10% [mm].

Wartości wskaźników C_U i C_C charakteryzują kruszywa naturalne pod kątem ich różnoziarnistości oraz przydatności do budowy nasypów [1–5] (tab. 2).

Parametry zagęszczania kruszywa naturalnego

Za tytułowe parametry zagęszczania opisujące w sposób ilościowy zagęszczalność kruszyw naturalnych, zarówno w stanie suchym, jak i wilgotnym, przyjęto:

- maksymalną i minimalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego ρ_{dmax} i ρ_{dmin} badane na sucho oraz wartość różnicy pomiędzy nimi,
- maksymalny i minimalny wskaźnik porowatości gruntu e_{max} i e_{min} oraz wartość różnicy pomiędzy nimi,
- maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego ρ_{ds} przy wilgotności optymalnej gruntu w_{opt} .

a) ρ_{dmax} , ρ_{dmin} , e_{max} , e_{min}

W celu oznaczenia minimalnych i maksymalnych wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego oraz wskaźnika porowatości przeprowadzono badania na sześciu próbach wydzielonych z utworów eolicznych oraz sześciu z utworów fluwioglacjalnych. Z wartości tych wyciągnięto średnią arytmetyczną dla każdego rodzaju gruntu z osobna. Posłużono się metodą luźnego usypywania suchego gruntu w cylindrze oraz zagęszczania suchego gruntu przy pomocy widełek wibracyjnych [18].

Za parametr przydatny w ocenie zdolności danego gruntu do zagęszczania uznano również różnice pomiędzy maksymalnymi i minimalnymi wartościami gęstości objętościowej szkieletu gruntowego oraz wskaźnika porowatości obliczone osobno dla każdego rodzaju gruntu. Różnice te obrazują zakres zmienności poszczególnych parametrów w trakcie zagęszczania wibracyjnego, pokazując w jakim stopniu zmienia się zagęszczenie danego gruntu od stanu najluźniejszego do najbardziej zagęszczonego.

b) ρ_{ds} , w_{opt}

W celu oznaczenia maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_{ds} przy wilgotności optymalnej w_{opt} zastosowano dynamiczne ubijanie gruntu o różnej zawartości wody w aparacie Proctora [18]. Serię badań powtórzono sześciokrotnie dla obu rodzajów gruntu (z Roska i Żabinka). Po tak przeprowadzonych testach wykreślono wykresy zależności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od jego wilgotności, odczytano wartości ρ_{ds} i w_{opt} , a następnie wyciągnięto z nich średnią arytmetyczną. W ten sposób uzyskano miarodajne wartości wymienionych parametrów dla obu badanych rodzajów kruszyw naturalnych.

3. Wyniki badań i ich interpretacja

Luźno usypane piaski eoliczne wykazują niższą gęstość niż piaski fluwioglacjalne, a co za tym idzie mają zdecydowanie wyższą porowatość (tab. 3). Fakt ten jest najprawdopodobniej spowodowany uziarnieniem badanych utworów – eoliczne piaski z Żabinka wykształcone są w postaci piasków drobnych, a fluwioglacjalne piaski z Roska to piaski

Tabela 2. Charakterystyka gruntów ze względu na wartości wskaźników uziarnienia C_U i C_C według różnych źródeł

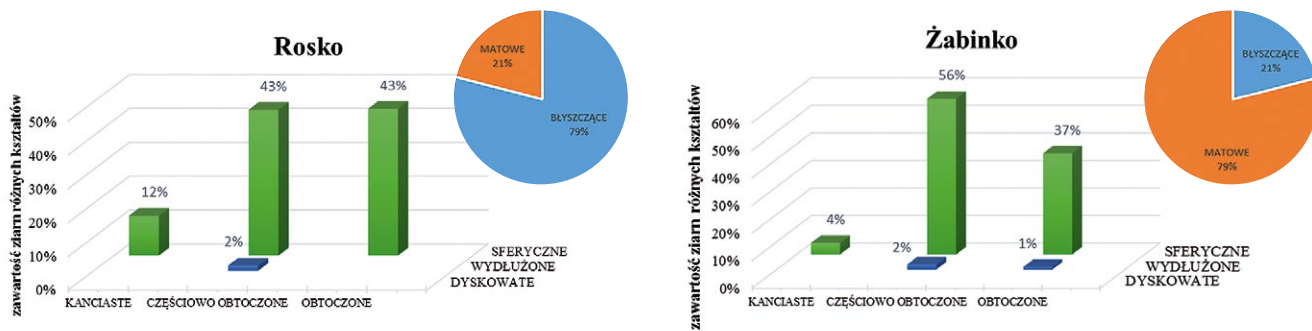
Grunt	C_U	C_C	Grunt	C_U	Grunt	C_U	C_C	Grunt	C_U
Wielofrakcyjny	> 15	1-3	bardzo różnoziarnisty	> 15	dobrze uziarnione (nadające się do budowy nasypów)	> 4 (żwiry) > 6 (piaski)	1-3	-	-
Średniouziarniony (kilkufrakcyjny)	6-15	< 1	różnoziarnisty	5-15	-	-	-	dobrze uziarniony	6-15
Równomiernie uziarniony (jednofrakcyjny)	< 6	< 1	równozarnisty	< 5	-	-	-	źle uziarniony	< 6
O nieciągłym uziarnieniu (źle uziarniony)	zwykle wysoki	różny (zwykle < 0,5)	-	-	-	-	-	-	-
[1]			[4]		[3, 5]			[2]	

Tabela 3. Zestawienie wyników badań w cylindrze z widelkami wibracyjnymi (wartości średnie minimalnej i maksymalnej gęstości objętościowej – ρ_{dmin} i ρ_{dmax} , maksymalnego i minimalnego wskaźnika porowatości – e_{max} i e_{min} oraz różnice pomiędzy nimi)

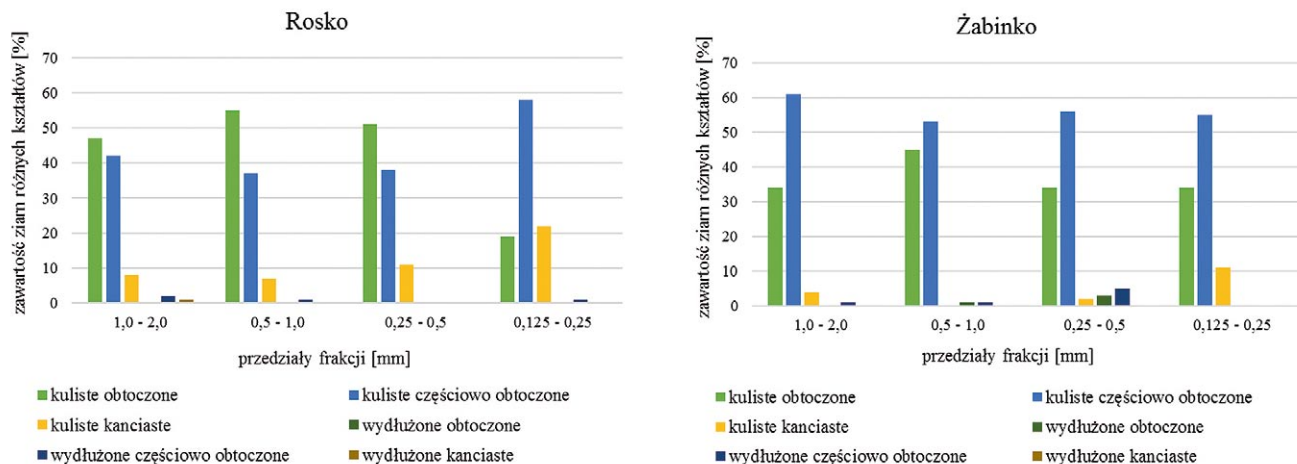
	Minimalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_{dmin}	Maksymalny wskaźnik porowatości gruntu e_{max}	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_{dmax}	Minimalny wskaźnik porowatości gruntu e_{min}	Różnica pomiędzy maksymalną a minimalną gęstością objętościową szkieletu gruntowego $\rho_{dmax} - \rho_{dmin}$	Różnica pomiędzy maksymalnym a minimalnym wskaźnikiem porowatości gruntu $e_{max} - e_{min}$
	[g/cm ³]	[-]	[g/cm ³]	[-]	[g/cm ³]	[-]
Rosko	1,59	0,67	1,84	0,44	0,25	0,23
Żabinko	1,52	0,75	1,81	0,46	0,29	0,29

średnie (tab. 1). Porowatość luźnych osadów okruchowych maleje wraz ze wzrostem wymiaru ziarn, z których są zbudowane [19]. Ponadto piaski z Żabinka są nieco bardziej równoziarniste niż grunty z Roska, co może dodatkowo przykładać się do większej porowatości w stanie luźnym (tab. 1). Po zagęszczeniu wibracyjnym, które ma symulować geologiczną kompaktację gruntu, badane utwory piaszczyste osiągają podobne wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wskaźnika porowatości (tab. 3). Oznacza to, że zdolność do naturalnego zagęszczania w stanie suchym

jest większa w gruntach eolicznych – wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wskaźnika porowatości zmieniają się w większym zakresie niż w przypadku gruntów fluwioglacjalnych (tab. 3). Powodem może być większa ilość ziarn kanciastych w utworach wodnolodowcowych (rys. 3 i 4). Ziarna te klinują się, ograniczając tym samym zagęszczanie całej próbki gruntu. Podczas badań w aparacie Proctora zdecydowanie lepsze zagęszczenie wykazało kruszywo z Roska (tab. 4). Wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego



Rys. 3. Procentowy udział ziaren określonego kształtu (kulistości, kanciastości i charakteru powierzchni) w gruncie fluwioglacjalnym z Roska oraz w gruncie eolicznym z Żabinka



Rys. 4. Procentowy udział ziaren określonego kształtu (kulistości, kanciastości) w gruncie fluwioglacjalnym z Roska oraz w gruncie eolicznym z Żabinka z podziałem na poszczególne frakcje gruntu

Tabela 4. Zestawienie wyników badań w aparacie Proctora (wartości średnie maksymalnej gęstości objętościowej – ρ_{ds} , wilgotności optymalnej – w_{opt} oraz zakresy wartości wilgotności optymalnej)

	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_{ds}	Wilgotność optymalna gruntu w_{opt}	Zakres wilgotności optymalnej gruntu w_{opt}
	[g/cm ³]	[-]	[g/cm ³]
Rosko	1,85	8,7	5,5 – 10,2
Żabinko	1,77	11,9	11,2 – 12,4

ρ_{ds} po dynamicznym ubijaniu na mokro wyniosła 1,85 g/cm³, a więc była o 4,3% wyższa niż w przypadku kruszywa z Żabinka. Fakt ten można by wytłumaczyć niewielką różnicą w uziarnieniu badanych kruszyw – piaski fluwioglacjalne są nieco bardziej różnoziarniste ze względu na domieszkę frakcji zwirowej oraz frakcji najdrobniejszych (tab. 1). Różnica ta nie spowodowała jednak lepszej zagęszczalności kruszywa z Roska podczas badań na sucho, przy użyciu widełek wibracyjnych. Powodem może być zatem różnica w wyglądzie ziarn gruntowych. Sferyczne ziarna kanciaste, o urozmaiconej rzeźbie powierzchni, stanowiące w badanym gruncie wodnolodowcowym aż 12% (rys. 3) mogą mieć większą powierzchnię styku z innymi ziarnami w porównaniu do ziarn obtoczonych. Podczas dynamicznego ubijania na mokro w próbce gruntowej zawierającej ziarna kanciaste może zachodzić zjawisko dopasowywania się ich kształtów, a nie zjawisko klinowania. Zwraca uwagę fakt, iż zawartość ziarn kanciastych w piaskach z Roska rośnie wraz ze zmniejszaniem się ich rozmiaru (rys. 4). Dwie najdrobniejsze z badanych frakcji (0,125–0,25 mm oraz 0,25–0,5 mm) stanowią łącznie około 66% gruntu fluwioglacjalnego (wagowo). Drobnie kanciaste ziarna piaszczyste mogą mieć zatem istotny wpływ na zachowanie gruntu w trakcie zagęszczania.

Średnia wartość wilgotności optymalnej badanego gruntu wodnolodowcowego jest o prawie 27% wyższa niż gruntu eolicznego (tab. 4), pomimo że minimalny wskaźnik porowatości obu gruntów jest podobny (tab. 3). Przyczyny tego zróżnicowania można więc upatrywać w zdecydowanej różnicy charakteru powierzchni ziarn gruntowych. Ziarna piasków eolicznych są w większości matowe (rys. 2), a więc ich powierzchnia musi być chropowata i mikroporowata. Być może do pokrycia takiej powierzchni potrzebna jest większa ilość wody, by umożliwić poszczególnym ziarnom swobodne przemieszczanie się względem siebie.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analizy na dwóch rodzajach piasków naturalnych o różnych genezach wykazały, że ich możliwości zagęszczenia widełkami wibracyjnymi na sucho są

porównywalne, z niewielkim wskazaniem na piaski eoliczne. Sytuacja zmienia się przy badaniach zagęszczalności na mokro metodą Proctora. Tutaj lepszą zagęszczalnością wykazały się piaski fluwioglacjalne z Roska. Jest to zrozumiałe ze względu na zawartość w mniejszych frakcjach dużej ilości ziaren kanciastych, które „wpasowują” się w przestrzenie międzyziarnowe powodując potencjalny wzrost ich zagęszczalności. Poruszane w publikacji zagadnienia charakteryzujące dwa rodzaje odmiennych genetycznie gruntów naturalnych są zaledwie wstępem do badań zagęszczalności nie tylko różnych genetycznie piasków, ale i badań nad możliwościami prostego preparowania gruntów budowlanych. Jest to z pewnością możliwe poprzez ich mieszanie z materiałem (niekoniecznie stricte naturalnym) o innych, bardziej kanciastych kształtach ziaren. Wydaje się jednak bardzo istotne, by taka domieszka stanowiła drobniejszą frakcję niż grunt macierzysty, aby ziarna wchodzące w przestrzenie międzyziarnowe gruntu rodzimego, zwiększały możliwość jego dogęszczenia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN ISO 14688-2:2018-05P: Rozpoznanie i badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania, Warszawa, 2018
- [2] PN-EN 1997-2. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego, Warszawa, 2009
- [3] Czyżewski E., Wolski W., Wójcicki S., Żabikowski A., 1973. Zapory ziemne, Wydawnictwo Arkady, Warszawa
- [4] Wiłun Z., Zarys geotechniki, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2000
- [5] Pisarczyk S., Gruntoznawstwo inżynierskie Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001
- [6] Parylak K., Charakterystyka kształtu cząstek drobnoziarnistych gruntów niespoistych i jej znaczenie w ocenie wytrzymałości, Zeszyty Naukowe. Budownictwo/Politechnika Śląska, 90, 2000, str. 3–130
- [7] Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R., Sedymentologia. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1976
- [8] Biju-Duval B., Sedimentary Geology. Sedimentary Basins. Depositional Environments. Petroleum Formation, Editions Technip, Paris, 2002
- [9] Middleton G.V., Encyclopedia of Sediments and Sedimentology, Springer, 2003
- [10] Mizerski W., 2018. Geologia dynamiczna – nowe wydanie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- [11] Wągorowski A., Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz 352 – Siedlisko (N-33-117-B), 2006
- [12] Chachaj J., Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz 507 – Mosina (N-33-142-B), 1991
- [13] Zieliński P., Sokołowski R. J., Fedorowicz S., Jankowski M., Stratigraphic position of fluvial and aeolian deposits in the Żabinko site (in Poland) based on TL dating. Goechronometria 38(1)2011, str. 64–71
- [14] Wadell H., Volume, shape, and roundness of rock particles, The Journal of Geology, 40(5)1932, str. 443–451
- [15] Cailleux A., Les actions éoliennes périglaciaires en Europe, tom 46, Société géologique, 1942
- [16] Mendyka N., Zależność parametrów zagęszczania od stopnia obtoczenia i kształtu ziaren kruszywa naturalnego na przykładzie piasków i zwirow fluwioglacjalnych z okolic Wielenia, praca inżynierska, 2023
- [17] Sulewska M. J., Nowe normy badań w celu klasyfikacji gruntów. Drogoznawstwo, 2017
- [18] PN-88/B-04481: Grunty budowlane. Badania próbek gruntu, Warszawa, 1988
- [19] Jeż J., Gruntoznawstwo budowlane, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2004