

Jerzy SĘKOWSKI
Andrzej SOCZAWA

ZAGĘSZCZALNOŚĆ GRUNTÓW RODZIMYCH I ANTROPOGENICZNYCH METODĄ WIBRACYJNĄ

Streszczenie. W pracy zaprezentowano wyniki porównawczych badań wpływu wybranych czynników (amplituda, czas wibracji i wilgotność) na zagęszczalność mineralnych gruntów rodzimych (żwir i piasek średni) oraz odpadów kopalnianych o różnym stopniu przepalenia. Badania zagęszczalności wykonano metodą wibracyjną przy zastosowaniu znanych lecz odpowiednio przystosowanych aparatów badawczych.

1. WPROWADZENIE

Szybki rozwój techniki determinuje m.in. poważny wzrost obiektów inżynierskich, takich jak: nasypy drogowe i kolejowe, groble, zapory i różnego rodzaju obwałowania. Budowa takich obiektów wiąże się najczęściej z masowymi robotami ziemnymi. Materiałem, który obok rodzimych gruntów mineralnych (głównie niespoistych) znajduje coraz powszechniejsze zastosowanie w tego typu konstrukcjach ziemnych, są odpady kopalniane [1].

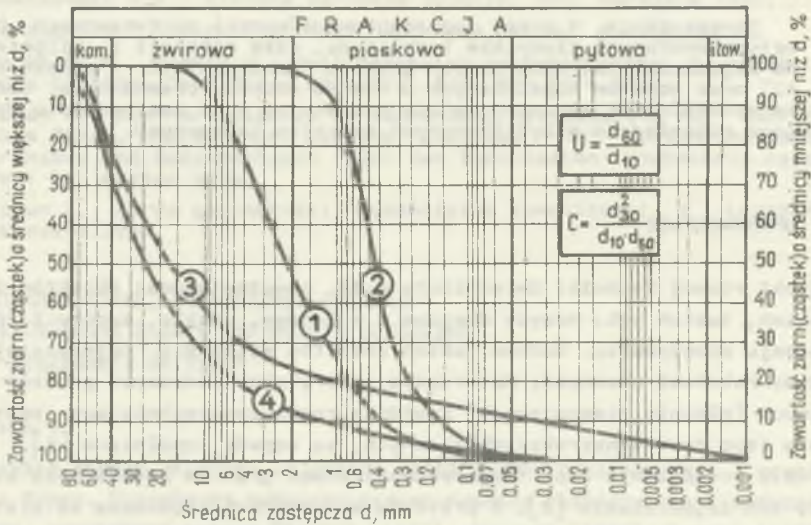
W celu polepszenia cech fizykomechanicznych gruntów powszechnie stosuje się ich zagęszczanie [2]. W praktyce wykonawczej stosowane są statyczne, uderowe i wibracyjne metody zagęszczania gruntów [2], [3]. W myśl aktualnie obowiązującej normy (PN-75/B-04481) parametry zagęszczenia gruntów określone są w oparciu o wyniki badań w aparacie Proctora. W literaturze krajowej istnieją propozycje w zakresie laboratoryjnych metod wibracyjnych badania zagęszczalności gruntów rodzimych [4], [5]. W odniesieniu do gruntów antropogenicznych, jakimi są odpady kopalniane, pomimo pewnych prób w tym kierunku (np. [6]), problem pozostaje nadal otwarty. Nie można bowiem, jak się wydaje, stosować znanych metod badań gruntów rodzimych w odniesieniu do tego rodzaju gruntów antropogenicznych w sposób automatyczny pomimo wyraźnego niekiedy podobieństwa obydwu rodzajów gruntów [7].

W pracy zaprezentowane zostaną wyniki porównawczych badań wpływu wybranych czynników (amplituda, wilgotność gruntu i czas wibracji) na zagęszczalność mineralnych gruntów rodzimych (żwir i piasek średni) oraz odpadów kopalnianych (przepalonych i nieprzepalonych). Badania zagęszczalności wykonano metodą wibracyjną w odpowiednio przystosowanej do tego celu aparaturze badawczej.

2. CHARAKTERYSTYKA GEOTECHNICZNA MATERIAŁÓW UŻYTYCH DO BADAŃ

Badania zagęszczalności wykonano na czterech rodzajach gruntu. Dwa z nich stanowiły mineralne grunty rodzime w postaci żwiru ① i piasku średnioziarnistego ②. Grunty antropogeniczne reprezentowały nieprzepełnione ③ i przepełnione ④ odpady kopalniane pochodzące ze zwałów Kopalni Węgla Kamiennego "Lenin" w Mysłowicach-Wesołej. Pod względem uziarnienia odpady nieprzepełnione odpowiadały żwirom gliniastym, natomiast odpady przepełnione żwirom.

Na rys. 1 przedstawiono uśrednione krzywe uziarnienia, w tabelicy 1 zestawiono podstawowe parametry geotechniczne badanych gruntów.



Typ gruntu	Rodzaj gruntu	d_{60}	d_{30}	d_{10}	U	C
①	Ż	2,5	1,1	0,37	6,76	1,31
②	Ps	0,49	0,34	0,20	2,45	1,18
③	Żg	22,0	4,1	0,03	733,3	25,5
④	Ż	30,0	11,5	1,4	21,4	3,1

Rys. 1. Uśrednione krzywe uziarnienia badanych gruntów

Tablica 1

Podstawowe parametry geotechniczne gruntów użytych do badań

Lp.	Parametr	Rodzime grunty mineralne		Odpady kopalniane	
		Żwir ①	Piasek średni ②	Nieprze- palone ③	Prze- palone ④
1	Gęstość właściwa ρ_s , gcm^{-3}	2,65	2,65	2,34	2,69
2	Wilgotność optymalna w_{opt} , %	9,6	13,5	8,8	17,0
3	ρ_{ds} , gcm^{-3}	2,00	1,74	1,85	1,78
4	$\rho_{d \text{ min}}$, gcm^{-3}	1,36	1,39	0,86	0,96
5	Porowatość n , 1 dla ρ_{ds} dla $\rho_{d \text{ min}}$	0,25	0,34	0,22	0,34
		0,49	0,47	0,64	0,64
6	Współczynnik filtracji k_{10} , cm/s	10 ± 10^{-1}	$10^{-1} \pm 10^{-2}$	$< 10^{-4}$	$\sim 2,2 \cdot 10^{-3}$

3. OPIS I WYNIKI PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

3.1. Metodyka badań

● Badania zagęszczalności rodzimych gruntów mineralnych oraz odpadów kopalnianych (materiał spreparowany - $d_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$) wykonywano na stole wibracyjnym typu VT.355/580-CY produkcji Tonindustrie Prüftechnik GmbH Berlin. Podstawowe parametry stołu wibracyjnego wynosiły:

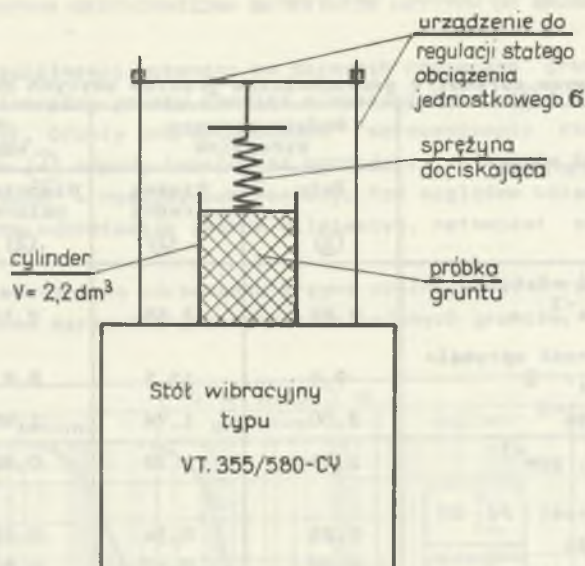
- częstotliwość $f = 50 \text{ Hz}$ (3000 drgań/min),
- amplituda $A = 0 \pm 1 \text{ mm}$.

Grunty wibrowano w małym - $V = 1 \text{ dm}^3$ (piasek średni) lub dużym - $V = 2,2 \text{ dm}^3$ (pozostałe grunty) cylindrze aparatu Proctora, co pozwoliło na zachowanie warunku [5]:

$$\frac{d_{\text{próbki}}}{d_{\text{max}}} > 5.$$

Na powierzchnię próbki podczas wibrowania wywierany był stały nacisk równy 15 kPa. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 2.

Przyjętą metodę badań charakteryzuje podobieństwo z metodą amerykańską USBR [2] oraz metodami opisanymi w pracach [5] i [6]. W badaniach skoncentrowano się na ocenie wpływu amplitudy (A), wilgotności (w) oraz czasu



Rys. 2. Ogólny schemat stanowiska badawczego

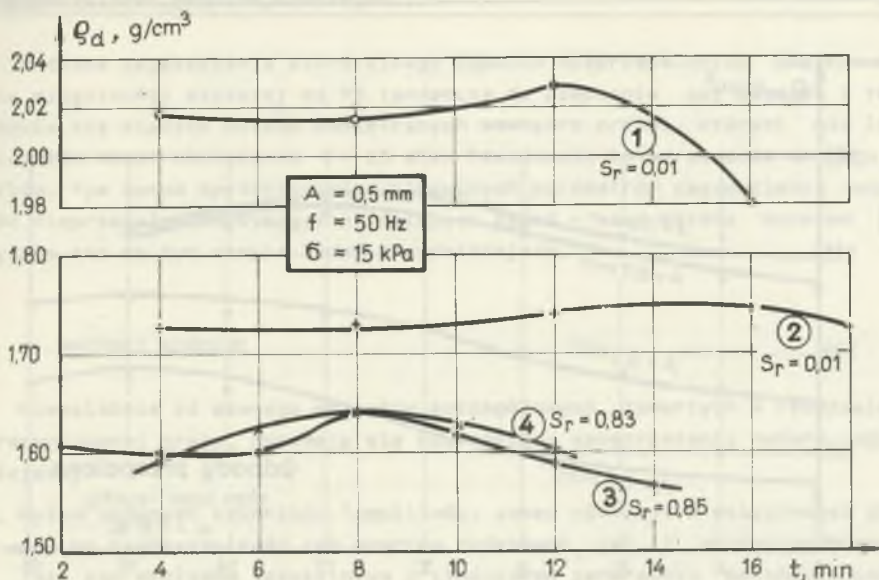
wibracji (t) na zagęszczalność badanych gruntów. Podobnej analizy dokonano ponadto w odniesieniu do uziarnienia gruntów oraz stopnia przepalenia odpadów kopalnianych. Porównano efekty zagęszczenia metodami: wibracyjną i normową [8].

● Badania prowadzono stosując stałe poziomy amplitudy $A = 0,3$ mm; 0,5 mm; 0,7 mm; 0,9 mm oraz 1,0 mm. Dla poziomu amplitudy $A = 0,5$ mm (poziom wiodecy) przyjęto pięć poziomów wilgotności (w) dla gruntów antropogenicznych oraz cztery poziomy wilgotności dla gruntów rodzimych. Dla każdego poziomu wilgotności stosowano różną ilość poziomów czasu wibracji (t) – (7 dla odpadów przepalonych, 5 dla odpadów nieprzepalonych i po 4 dla gruntów rodzimych). Podobne badania wykonano dla pozostałych poziomów amplitud (wybrane poziomy w , t).

Poniżej zaprezentowano zasadnicze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań, ilustrując je wybranym materiałem graficznym.

3.2. Omówienie wyników badań

● Przeprowadzone badania wykazały istotną zależność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_d od wilgotności materiału zagęszczanego. Najlepsze zagęszczenie rodzimych gruntów mineralnych uzyskano dla stanu powietrzno-suchego ($S_r \approx 0$). Natomiast w przypadku odpadów kopalnianych dla wilgotności równej lub bliskiej wilgotności całkowitej, czyli stanu pełnego nasycenia ($S_r = 1,0$) (rys. 3).

Rys. 3. $\rho_{d \max} = f(t)$

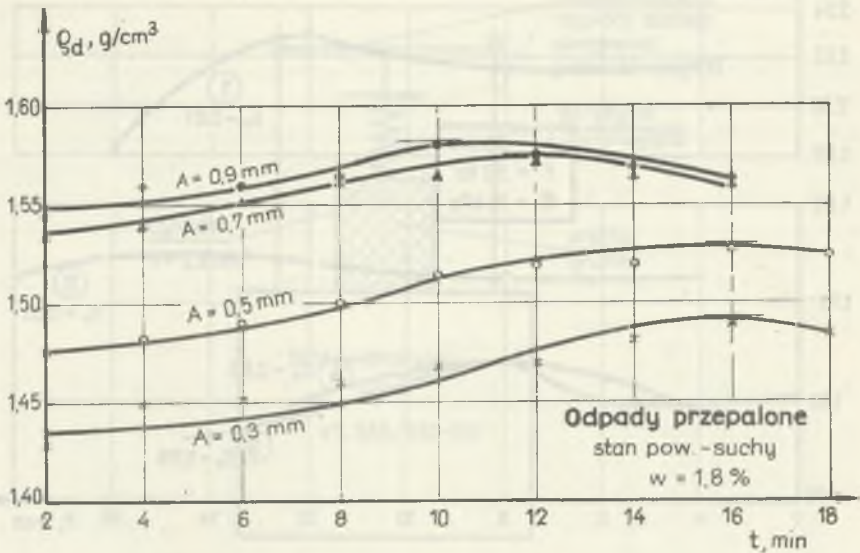
W przypadku gruntów rodzimych wartości ρ_d uzyskane dla stanu powietrzno-suchego są wyraźnie wyższe niż dla innych poziomów wilgotności (w tym również przy pełnym nasyceniu). Dla odpadów wartości ρ_d , uzyskane dla stanu pełnego nasycenia i stanu powietrzno-suchego, są zbliżone. Najmniejsze zagęszczenie dla wszystkich rodzajów gruntów uzyskano dla poziomów wilgotności odpowiadających przedziałowi $(0,5 \pm 1,0)w_{\text{opt}}$, przy w_{opt} określonej zgodnie z metodą normową [8].

Szerszego zbadania wymaga zjawisko obserwowane w odpadach kopalnianych przepalonych, a wyrażające się spadkiem wilgotności badanych próbek w trakcie wibracji. Zjawiska tego nie obserwowano praktycznie w pozostałych gruntach.

● Czas wibracji ma również istotne znaczenie w odniesieniu do parametrów zagęszczenia. Wraz ze wzrostem wilgotności próbki czas potrzebny do osiągnięcia maksymalnej wartości ρ_d generalnie zmniejsza się. Spostrzeżenie to najwyraźniej potwierdziły odpady przepalane. Dla odpadów nieprzepalonych natomiast czas ten był niezależny od wilgotności oraz amplitudy i ustalił się na stałym poziomie.

Największy przyrost zagęszczenia obserwowano w początkowym okresie wibracji, wynoszącym 1-3 minut. Dla wszystkich badanych gruntów maksymalne zagęszczenie uzyskano dla czasu wibracji $t = 8$ minut.

● Zwiększenie amplitudy z 0,5 do 0,9 mm powoduje kilkuprocentowy wzrost zagęszczenia i niewielki spadek czasu potrzebnego do uzyskania najwyższej wartości ρ_d . Przykładowo zilustrowano to na rys. 4.

Rys. 4. $\rho_d = f(t, A)$

Podobne zjawisko obserwowano w przypadku gruntów rodzimych, dla których górnym poziomem amplitudy była wartość $A = 1,0$ mm. Dla wszystkich gruntów najlepsze zagęszczenie uzyskano dla górnego poziomu amplitudy. W trakcie badań dysponowano stołem o stałej częstotliwości i ograniczonym zakresie amplitudy. Wydaje się, że zwiększenie częstotliwości, np. do 75 Hz, powinno pozwolić na osiągnięcie podobnych parametrów zagęszczenia przy amplitudzie obniżonej do ok. 0,5 mm, o czym przekonują podobne badania Pisarczyka [5].

● Porównując wartości maksymalnych gęstości objętościowych szkieletu gruntowego ρ_{ds} uzyskane metodami wibracyjną i normową, pomimo wyraźnych różnic w sposobie badania, warunkach wystąpienia ρ_{ds} (np. wilgotność) należy stwierdzić, że wartości te są bardzo podobne (tabl. 2).

Tablica 2

Zestawienie porównawcze wartości ρ_{ds} [g/cm^3] określonych metodą normalną Proctora i wibracyjną

Rodzaj materiału		Metoda normalna Proctora	Metoda wibracyjna
Żwir	①	2,00	2,052
Piasek średni	②	1,74	1,832
Odpady nieprzepalane	③	1,742	1,702
Odpady przepalane	④	1,726	1,732

Podczas zagęszczania wibracyjnego odpadów nieprzepalonych obserwowano dla wilgotności większej od 9% tendencję do zlepiania się cząstek i tworzenia się stałych pustek powietrznych wewnątrz próbki, których nie likwidowało nawet obciążenie $\sigma = 15$ kPa. Powodowało to odrzucenie szeregu wyników. Tym samym sprecyzowanie optymalnych parametrów zagęszczania odpadów nieprzepalonych wymagałoby dalszych badań - stąd metoda normowa [8] wydaje się na tym etapie badań przydatniejsza.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Niezależnie od szeregu wniosków szczegółowych, zawartych w rozdziale 3 prezentowanej pracy, nasuwają się następujące spostrzeżenia natury ogólniejszej:

1. Wpływ badanych czynników (amplitudy, czasu wibracji i wilgotności gruntu) na zagęszczalność tak gruntów rodzimych, jak i antropogenicznych jest pod względem jakościowym i ilościowym generalnie podobny. Poważniejsza i istotna różnica występuje przy ocenie wpływu wilgotności oraz w zachowaniu się odpadów kopalnianych w trakcie badań (tworzenie się pustek i spadek wilgotności podczas wibracji).
2. Maksymalne wartości gęstości objętościowych szkieletu gruntowego ρ_{ds} badanych gruntów uzyskano dla następujących parametrów wibracji:

$$t = 8 \text{ minut}; \quad f = 50 \text{ Hz}; \quad A = 0,9 \pm 1 \text{ mm}; \quad \sigma = 15 \text{ kPa}.$$

Wartości powyższe są zbieżne z wynikami i wnioskami prac [5], [6].

3. Konieczne wydaje się rozszerzenie badań zagęszczalności metodą wibracyjną na inne rodzaje odpadów kopalnianych, ze względu na ich zróżnicowanie w zakresie składu mineralogicznego i chemicznego [7] jak również objęcie badaniami innych czynników, determinujących zagęszczenie (a szczególnie amplitudy A , częstotliwości f i obciążenia σ). Konieczność ta uwarunkowana jest również przydatnością metody wibracyjnej w związku z często stosowanymi sposobami budowy nasypów przy użyciu sprzętu wibracyjnego.

LITERATURA

- [1] Kawalec B.: Odpady kopalniane jako grunt budowlany. Przegląd Budowlany 1974; nr 11, ss. 594-595 i 601.
- [2] Wiłun Z.: Zarys geotechniki. Wyd. II; Wyd. Kom. i łączn., Warszawa 1982.
- [3] Arque G.: Zagęszczanie. Drogi i pasy startowe. Wyd. Kom. i łączn., Warszawa 1980.
- [4] Grabowski Z. i in.: Kontrola zagęszczenia nasypów drogowych. Drogownictwo 1976, nr 10.

- [5] Pisarczyk S.: Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych. Praca habilitacyjna. Instytut Budowy Mostów, Warszawa 1977.
- [6] Bela M., Sękowski J., Soczawa S.: Próbne obciążenie podłoża zbudowanego z przepalonych łupków kopalnianych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Budownictwo 1980, nr 53, ss. 5-20.
- [7] Pieczyrak J.: Właściwości fizyczne oraz skład chemiczny i mineralny przepalonych odpadów kopalnianych. Ochrona Terenów Górniczych 1982, nr 62, ss. 30-38.
- [8] Polska Norma PN-75/B-04481. Grunty budowlane. Badania laboratoryjne.

УПЛОТНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ГРУНТОВ
ВИБРАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Резюме

В работе представлены результаты сравнительных исследований влияния избранных факторов (амплитуда, время вибрации и влажность) на уплотнение минеральных природных грунтов (гравий и средний песок) и шахтных отходов разной степени перегорения.

Исследования уплотнения были выполнены методом вибрации, применяя известную, но соответственно приспособленную исследовательскую аппаратуру.

COMPACTIBILITY OF SUBSOIL AND ANTHROPOGENIC SOIL
BY THE VIBRATORY METHOD

Summary

In the paper the results of comparative tests of the influence of some selected factors (amplitude, duration of vibration, humidity) on the compactibility of mineral virgin soils (gravel, medium sand) and colliery waste of various burning degree are presented.

The vibration tests have been carried out using known but suitably adapted testing equipment.