

Wojciech TARASIUK*, Bazyli KRUPICZ**

WPLYW SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO ZAGĘSZCZANEJ MIESZANKI WAPIENNO- -PIASKOWEJ NA WSPÓŁCZYNNIK TARCIA ZEWNĘTRZNEGO

THE EFFECT OF MIXTURES GRANULOMETRIC COMPACTED SAND-LIME ON THE COEFFICIENT OF EXTERNAL FRICTION

Słowa kluczowe:

współczynnik tarcia, zagęszczanie, skład granulometryczny

Key words:

friction coefficient, consolidation, granulometric composition

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wpływu składu granulometrycznego mieszanki wapienno-piaskowej na współczynnik tarcia występujący pomiędzy ścianką matrycy a zagęszczaną mieszanką. Analiza prowadzona była na podstawie danych doświadczalnych uzyskanych w procesie zagęszczania wyselekcjonowanych frakcji granulometrycznych z jednoczesnym pomiarem nacisków

* Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, e-mail: w.tarasiuk@pb.edu.pl, tel. (85) 746 93 12.

** Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, e-mail: b.krupicz@pb.edu.pl, tel. (85) 746 93 05.

bocznych. Do ich opisu posłużono się modelem Amontonsa-Coulomba. Dla wybranych frakcji granulometrycznych wyznaczono średnie wartości współczynników tarcia podczas zagęszczania przy ciśnieniu 20 MPa, tj. zbliżonym do ciśnienia występującego w praktyce.

WPROWADZENIE

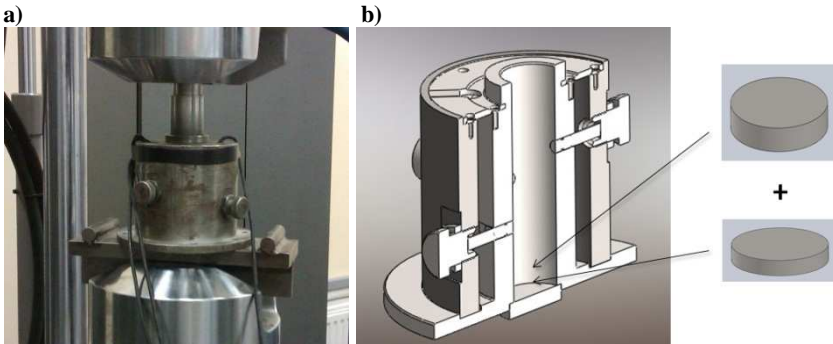
Proces zagęszczania ośrodków sypkich jest szeroko rozpowszechniony i wykorzystywany w wielu dziedzinach przemysłu [L. 1, 3, 6]. Znajduje on zastosowanie przy wytwarzaniu wyrobów budowlanych, farmaceutycznych, przy wytwarzaniu brykietów oraz w metalurgii proszków. Badania dotyczące właściwości wyrobów wytwarzanych z użyciem zagęszczania materiału wstępnie sypkiego wskazują na ich niejednorodny rozkład w całej jego objętości [L. 7]. Powoduje to nierównomierne zużycie matryc lub ich opłytowania [L. 10].

Kluczowe znaczenie ma tu znajomość sił tarcia i współczynnika tarcia pomiędzy zagęszczanym ośrodkiem a ścianką matrycy [L. 4]. Współczynnik ten w zależności od ciśnienia zagęszczania będzie miał różne wartości. Nie będzie on stały również na wysokości matrycy. Na podstawie pomierzonych nacisków na ścianki boczne matrycy można wyznaczyć jego średnie wartości.

PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Badania doświadczalne dotyczyły pomiaru rozkładu nacisków bocznych na wysokości matrycy, przy ciśnieniu zagęszczania $p_a = 20$ MPa. Zagęszczaniu poddano mieszankę wapienno-piaskową o wyselekcjonowanych frakcjach. Skład granulometryczny mieszanki bazowej pobranej z linii produkcyjnej mieścił się w przedziale od 0 do 5 mm. Około 80% masy mieszanki stanowiły frakcje o ziarnach nieprzekraczających średnicy 0,6 mm.

W celu określenia wpływu składu granulometrycznego na współczynnik tarcia wyselekcjonowano mieszanki o wielkości ziarna: $0 \div 0,25$ mm, $0,25 \div 0,6$ mm, $0,6 \div 1,2$ mm. Przygotowane porcje mieszanki poddano zagęszczaniu w matrycy zamkniętej z jednoczesnym pomiarem nacisków bocznych. Zagęszczanie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej MTS 322 przy użyciu matrycy wyposażonej w czujniki tensometryczne (Rys. 1). Sygnał z czujników był przekazywany do mostka pomiarowego Spider 8 i za pomocą dedykowanego oprogramowania zapisywany do pliku danych.



Rys. 1. Stanowisko do badania zagęszczania mieszanki wapienno-piaskowej [L. 2]: a) zamocowanie matrycy pomiarowej, b) widok rozmieszczenia czujników tensometrycznych w matrycy

Fig. 1. The research station of compacting sand-lime mixture [L. 2]: a) fixing the measurement matrix, b) view of distribution of sensor strain gauge in the matrix

WYNIKI BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

Z analizy danych (**Rys. 2÷4**) wynika, że niezależnie od wielkości ziaren rozkład nacisków na ścianki matrycy jest jakościowo podobny. Różnice występują w wartościach nacisków.

W celu wyznaczenia średnich współczynników tarcia, na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej [L. 5–9, 12], zastosowano model Amontonsa-Coulomba. Założono, że oddziaływania molekularne pomiędzy zagęszczaną mieszanką wapienno-piaskową a ścianką matrycy są bardzo małe i je pominięto. A więc model Amontonsa-Coulomba wyraża zależność $\tau = fq$, gdzie: f – współczynnik tarcia zewnętrznego, q – nacisk boczny. Założono również proporcjonalność nacisku bocznego q do ciśnienia zagęszczania $p(z)$, $q = \xi p(z)$ [L. 7], gdzie: ξ – współczynnik nacisku bocznego. Przy warunku brzegowym $p(z=H)=p_a$, wzór na naciski boczne ma postać

$$q(z) = \xi p_a e^{-\frac{4f\xi}{D}H} e^{\frac{4f\xi}{D}z} \quad (1)$$

gdzie: p_a – ciśnienie zagęszczania, D – średnica matrycy, H – wysokość zagęszczanej mieszanki.

Oznacza to, że w przypadku modelu Amontonsa-Coulomba wyniki $q(z)$ powinny układać się wokół krzywej eksponentialnej. Krzywa ta z kolei w układzie półlogarytmicznym jest linią prostą. Po obustronnym zlogarytmowaniu równania (1) otrzymano:

$$\ln q(z) = \left(\ln \xi p_a + \frac{4f\xi}{D}H \right) + \frac{4f\xi}{D}z \quad (2)$$

Przyjmując
$$a = \ln \xi p_a + \frac{4f\xi}{D} H \quad (3)$$

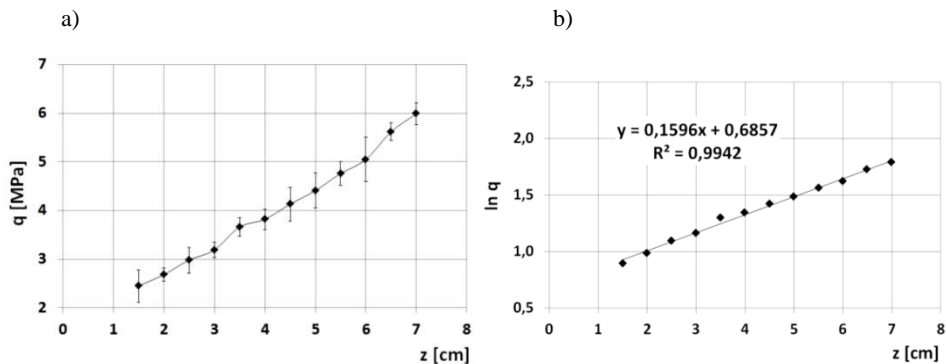
$$b = \frac{4f\xi}{D} \quad (4)$$

otrzymano
$$\ln q(z) = a + bz \quad (5)$$

Jest to równanie typu $y = a + bz$, gdzie $y = \ln q(z)$. Stąd równanie (1) otrzymuje postać [L. 11]:

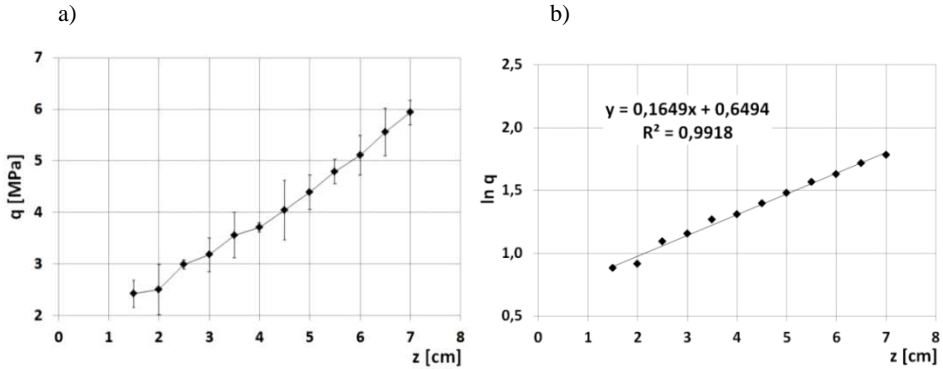
$$q(z) = e^{a+bz} \quad (6)$$

Zakres aproksymacji danych doświadczalnych według wzoru (5) ustalono na podstawie analizy wartości współczynnika regresji R^2 . Wyznaczone odcinki charakteryzowały się najwyższą wartością R^2 . Otrzymane współczynniki a , b i R^2 przedstawiono wraz z liniami aproksymacyjnymi na **Rys. 2** – ziarnistość 0÷0,25 mm, 3 – ziarnistość 0,25÷0,6 mm, 4 – ziarnistość 0,6÷1,2 mm.



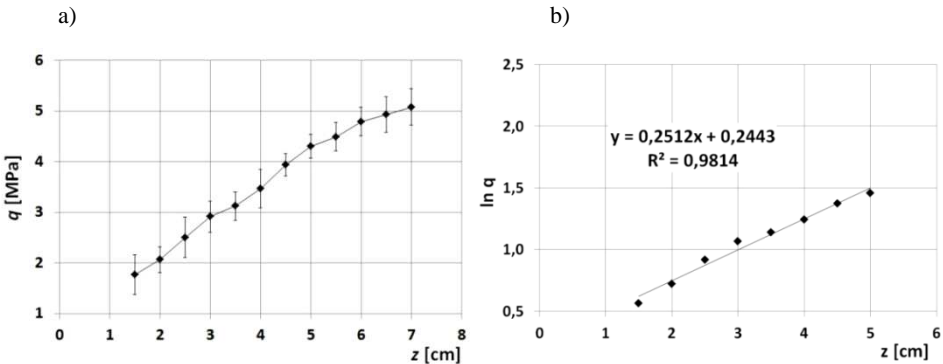
Rys. 2. Rozkład nacisku bocznego q : a) dane doświadczalne $q(z)$ (mieszanka o ziarnistości 0÷0,25 mm; ciśnienie zagęszczenia $p_a = 20$ MPa), b) zlogarytmowane wartości nacisku bocznego aproksymowane linią prostą

Fig. 2. The distribution of lateral pressure q : a) experimental data for $q(z)$ (a mixture of grain size 0 to 0,25 mm, compaction pressure $p_a = 20$ MPa), b) logarithm of data lateral pressure values approximated by a straight line



Rys. 3. Rozkład nacisku bocznego q : a) dane doświadczalne $q(z)$ (mieszanka o ziarnistości 0,25÷0,6 mm; ciśnienie zagęszczenia $p_a = 20$ MPa), b) zlogarytmowane wartości nacisku bocznego aproksymowane linią prostą

Fig. 3. The distribution of lateral pressure q : a) experimental data for $q(z)$ (a mixture of grain size 0,25 to 0,6 mm, compaction pressure $p_a = 20$ MPa), b) logarithm of data lateral pressure values approximated by a straight line



Rys. 4. Rozkład nacisku bocznego q : a) dane doświadczalne $q(z)$ (mieszanka o ziarnistości 0,6÷1,2 mm; ciśnienie zagęszczenia $p_a = 20$ MPa), b) zlogarytmowane wartości nacisku bocznego aproksymowane linią prostą

Fig. 4. The distribution of lateral pressure q : a) experimental data for $q(z)$ (a mixture of grain size 0,6 to 1,2 mm, compaction pressure $p_a = 20$ MPa), b) logarithm of data lateral pressure values approximated by a straight line

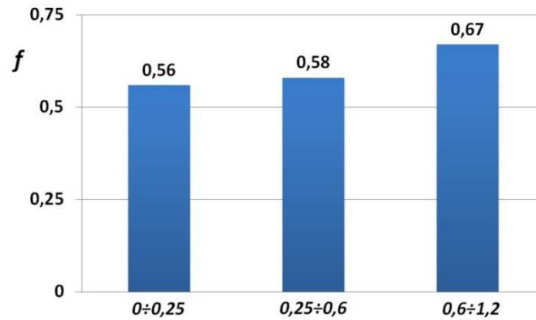
ANALIZA WYNIKÓW

W mieszankach o ziarnistości 0÷0,25 mm i 0,25÷0,6 mm można było w całym zakresie pomiarowym zastosować model Amontonsa-Coulomba. W mieszance o ziarnistości 0,6÷1,2 mm zakres ten wyznaczono, przyjmując kryterium najwyższej wartości R^2 . Objął on dane do wysokości 5 cm.

Przekształcając wzór (4), otrzymano zależność na współczynnik tarcia zewnętrzznego f :

$$f = \frac{bD}{4\xi} = \frac{bD}{4e^{a-\ln p_a + bH}} \quad (7)$$

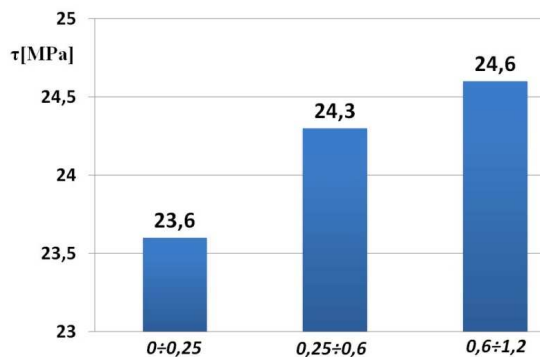
Wartości współczynników a i b wynikały z aproksymacji poszczególnych danych, według zależności (5). Uzyskane wartości współczynnika tarcia zewnętrznego f badanych frakcji granulometrycznych przedstawiono na **Rys. 5**.



Rys. 5. Współczynniki tarcia zewnętrznego f mieszanek o różnym składzie granulometrycznym; ciśnienie zagęszczenia $p_a = 20$ MPa

Fig. 5. External friction f of the varying granulometric composition; compaction pressure $p_a = 20$ MPa

Z danych przedstawionych na **Rys. 5** wynika, że wraz ze wzrostem średnicy cząstek zagęszczanych zwiększa się również współczynnik tarcia zewnętrznego f . Podstawiając do wzoru $\tau = fq$ maksymalne wartości nacisku bocznego q oraz średnie wartości współczynnika tarcia zewnętrznego f , otrzymano wartości naprężeń stycznych τ badanych mieszanek (**Rys. 6**).



Rys. 6. Zestawienie naprężeń stycznych τ od składu granulometrycznego, ciśnienie zagęszczenia $p_a = 20$ MPa

Fig. 6. Dependence of tangential stress τ of the granulometric composition, compaction pressure $p_a = 20$ MPa

Mieszanka o ziarnistości $0,6 \div 1,2$ mm charakteryzuje się najwyższym współczynnikiem tarcia oraz najwyższą wartością naprężenia stycznego. Im ziarna zagęszczanej mieszanki są mniejsze, tym współczynnik tarcia zewnętrznego f i naprężenie styczne τ są mniejsze.

WNIOSKI

- Model tarcia Amontonsa-Coulomba może być zastosowany w celu wyznaczenia średniej wartości współczynnika tarcia zewnętrznego f podczas zagęszczania mieszanki wapienno-piaskowej.
- Wraz ze wzrostem średnicy ziarna zagęszczanej mieszanki wapienno-piaskowej rośnie średnia wartość współczynnika tarcia zewnętrznego f oraz wartość naprężenia stycznego τ .
- Z uwagi na najmniejszy współczynnik tarcia i najniższe naprężenie styczne odpowiadające mieszance o najmniejszej wielkości ziaren należy się spodziewać mniejszego zużycia matrycy. Wniosek ten wymaga weryfikacji eksploatacyjnej.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010–2012 jako projekt badawczy nr N N504 085538 (grant promotorski).

LITERATURA

1. Барсуков В., Крупиц Б., Трибомеханика дисперсных материалов. Технологические приложения. Гродно 2004.
2. Demianiuk L., Stanowisko do rejestracji sił występujących podczas brykietowania w komorze zamkniętej. VIII Konferencja Naukowo-Techniczna Budowa i Eksploatacja Maszyn Przemysłu Spożywczego. Białystok – Białowieża, 2–4 września 1998, s. 67–74.
3. Drzymała Z., Podstawy inżynierii procesu zagęszczania i prasowania materiałów, PWN, Warszawa 1988.
4. Drzymała Z., Hryniewicz M., Kostrukiewicz B., Badania zmienności tarcia zewnętrznego w procesie zagęszczania materiałów drobnoziarnistych. Mechanika, nr 11/2, 1992, s. 135–144.
5. Hebda M., Procesy tarcia, smarowania i zużywania maszyn. ITeE, Warszawa – Radom 2007.
6. Hejft R., Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Białystok, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Maszyn, 2002.
7. Krupicz B., Tarasiuk W., Naciski na ścianki formy zamkniętej podczas zagęszczania mieszanki wapienno-piaskowej. Tribologia, nr 6, 2011, s. 125–131.
8. Lawrowski Z., Tribologia: tarcie, zużywanie i smarowanie.: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.
9. Szczerek M., Wiśniewski M., Tribologia i tribotechnika. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2000.

10. Tarasiuk W., Krupicz B., Analiza zużycia płyt formy cegły wapienno-piaskowej. Tribologia, nr 4, 2008. s. 155–163.
11. Tarasiuk W., Krupicz B., Analiza sił tarcia w procesie zagęszczania mieszanki wapienno-piaskowej. Tribologia, nr 3, 2009, s. 273–283.
12. Wu C.Y., Ruddy O.M., Bentham A.C., Hancock B.C., Best S.M., Elliott J.A., Modelling the mechanical behavior of pharmaceutical powders during compaction. Powder Technology, No 152, 2005, s. 107–117.

Summary

The article presents an analysis of a granulometric sand-lime mixture on the coefficient of friction that occurs between the wall matrix and thickened mixture. The analysis was conducted based on experimental data obtained in the compaction of selected granulometric fraction with simultaneous measurement of lateral pressure. For their references, the Amontons-Coulomb model was used. For selected granulometric fraction, the average values of coefficients of friction during compaction at a pressure of 20 MPa were determined. This pressure is close to the pressure occurring in practice.