

**Bazyli KRUPICZ\*, Wojciech TARASIUK\***

## **NACISKI NA ŚCIANKI FORMY ZAMKNIĘTEJ PODCZAS ZAGĘSZCZANIA MIESZANKI WAPIENNO-PIASKOWEJ**

**SIDE PRESSURE IN THE CLOSED FORM DURING  
THE COMPACTION PROCESS OF LIME-SAND MIXTURE**

### **Słowa kluczowe:**

materiały sypkie, zagęszczanie, naciski boczne

### **Key words:**

bulk materials, consolidation, side pressure

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono analizę wpływu zagęszczanych materiałów sypkich, na przykładzie mieszanki wapienno-piaskowej (stosowanej do produkcji wyrobów silikatowych), na ścianki boczne w formie zamkniętej. Na podstawie badań doświadczalnych wyznaczono współczynnik nacisków bocznych  $\zeta$ . Jego znajomość pozwala na wyliczenie nacisku bocznego ośrodka sypkiego na zakładanej wysokości, w zależności od zastosowanego ciśnienia zagęszczającego.

---

\* Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, e-mail: b.krupicz@pb.edu.pl, tel. (85) 746 93 05; e-mail: w.tarasiuk@pb.edu.pl, tel. (85) 746 93 12.

## WPROWADZENIE

Procesowi zagęszczania materiałów sypkich zawsze towarzyszy zużycie ściernie form. Powstające ubytki są zróżnicowane na wysokości formy [L. 1, 2]. Są one wynikiem panujących nacisków bocznych  $q$ . W mechanice gruntów przyjmuje się [L. 3, 4], że wartość nacisku  $q$  jest proporcjonalna do ciśnienia prasowania  $p$ , tj.:

$$Q = \xi \cdot p \quad (1)$$

gdzie:  $\xi$  – współczynnik nacisku bocznego,  $p$  – lokalne ciśnienie w ośrodku zagęszczanym.

Tak zdefiniowany współczynnik  $\xi$  jest wykorzystywany do opisu procesu zagęszczania proszków metali [L. 5, 6, 10] i granulatów tworzyw sztucznych. Wartość współczynnika  $\xi$  jest charakterystyczna dla danej formy i materiału zagęszczanego. Jest ona uwarunkowana tarciem zewnętrznym, tj. między ściankami formy i cząstkami materiału zagęszczanego, oraz tarciem wewnętrznym zachodzącym między poszczególnymi cząstkami. Do jego wyznaczenia przyjmuje się różne modele tarcia [L. 7, 8].

W niniejszej pracy określono wartości współczynnika nacisku bocznego  $\xi$  oraz współczynnika tarcia zewnętrznego  $f$  na podstawie modelu tarcia Coulomba.

## BADANIA DOŚWIADCZALNE I ANALIZA WYNIKÓW

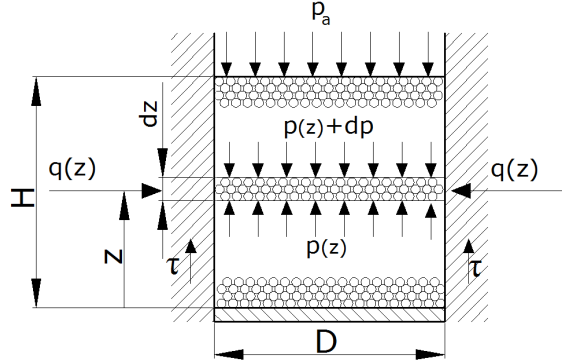
Do badań wytypowano mieszankę wapienno-piaskową o ziarnistości 0–1,2 mm i wilgotności 5%. Zagęszczanie przeprowadzono z użyciem maszyny wytrzymałościowej MTS na stanowisku opisanym w pracy [L. 9]. Wartości nacisków bocznych odczytano z czujników tensometrycznych za pomocą mostka pomiarowego Spider 8. Ciśnienie zagęszczające  $p_a = 10 \div 100$  MPa. Odczyty nacisków bocznych dokonywano w odstępach 0,5 cm. Pierwszy punkt pomiarowy znajdował się na wysokości 1,5 cm od dna formy, a ostatni na wysokości 7 cm. Na ich podstawie obliczono jednostkowe naciski  $q$ .

W pracy rozważono przypadek, gdy występuje tylko tarcie zewnętrzne, określone według modelu Coulomba [L. 2]:

$$\tau = fq \quad (2)$$

gdzie:  $\tau$  – siła tarcia odniesiona do jednostki powierzchni,  $f$  – współczynnik tarcia cząstek zagęszczanych o ścianki formy.

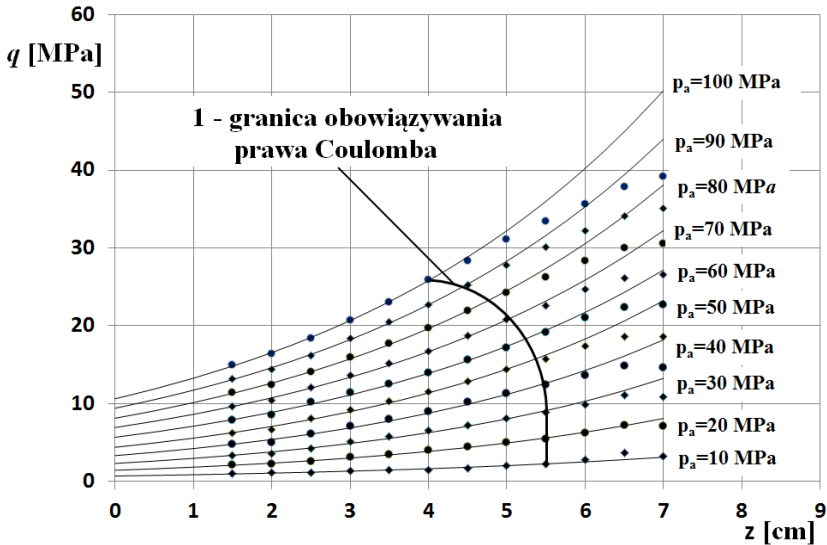
Do analizy wyników przyjęto schemat obliczeniowy pokazany na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat obliczeniowy do wyznaczenia nacisków bocznych podczas zagęszczenia ośrodka sypkiego

Fig. 1. Calculation scheme of lateral pressure during the compaction of granular materials

Uzyskane wyniki jednostkowych nacisków bocznych w zależności od odległości od dna formy przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Zależność nacisków bocznych  $q$  od jednostkowego nacisku tłoka  $p$ : punkty – dane doświadczalne, linie ciągłe – aproksymacja wg modelu Coulomba

Fig. 2. Dependence side pressure  $q$  of the pressure piston  $p_a$ : points – experimental data, solid lines – approximation by Coulomb model

Z warunku równowagi układu przedstawionego na **Rys. 1** wynika równanie różniczkowe:

$$\frac{dp}{dz} = \frac{4\tau}{D} \quad (3)$$

Uwzględniając: zdefiniowany współczynnik nacisku bocznego  $\xi$  wg wzoru (1), model tarcia Coulomba (2) oraz warunek brzegowy  $p(z = H) = p_a$ , otrzymano wyrażenie na naciski boczne:

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

W celu analizy danych doświadczalnych równanie (4) przekształcono do postaci:

$$q(z) = Ae^{Bz}, \text{ gdzie: } A = \xi p_a e^{-\frac{4f\xi}{D}H}, \quad B = \frac{4f\xi}{D}$$

$$\ln q(z) = \ln A + Bz.$$

Jest to równanie liniowe typu  $y = a + bx$ , gdzie

$$Y = \ln q(z), \quad b = \frac{4f\xi}{D}, \quad a = \ln A = \ln P_a + \ln \xi - bH \quad (5)$$

Stąd równanie (4) otrzymuje postać

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

Zakres aproksymacji danych doświadczalnych według wzoru (6) ustalono na podstawie analizy wartości współczynnika regresji  $R^2$ . Dane przedstawione na **Rys. 2** nieobjęte aproksymacją według modelu Coulomba zostały oddzielone krzywą (1). Dotyczą one warstw zagęszczonej mieszanki znajdujących się bliżej tłoka prasującego. W tych warstwach uzyskiwane naciski boczne są mniejsze od wynikających z przyjętego modelu.

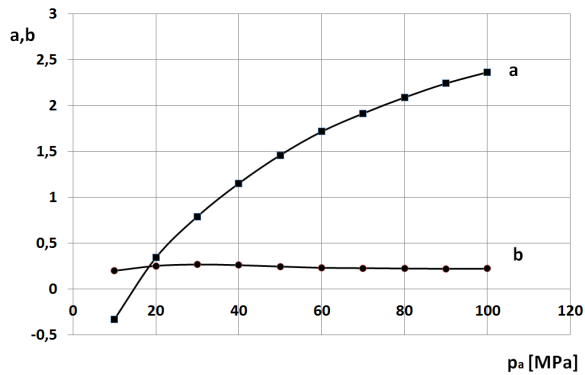
Z przekształceń wzorów (5) otrzymano współczynniki nacisku bocznego  $\xi$  i współczynnik tarcia zewnętrznego  $f$ :

$$\ln \xi = a - \ln P_a + bH, \quad \xi = e^{a - \ln P_a + bH} \quad (7)$$

$$f = \frac{bD}{4\xi} \quad (8)$$

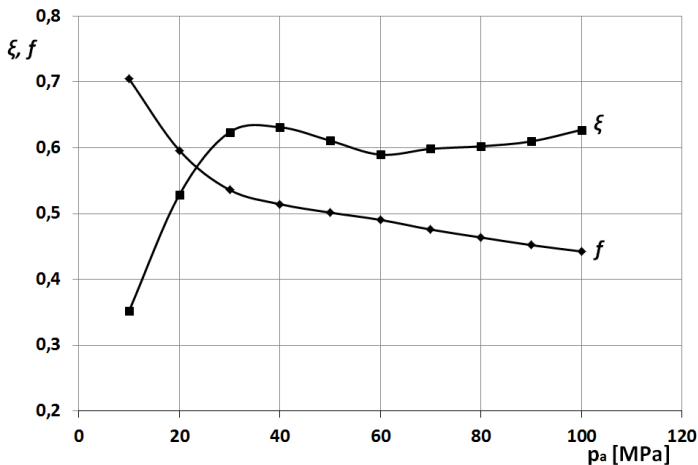
Zależność współczynników  $a$  i  $b$  od nacisku tłoka  $p_a$  przedstawiono na **Rys. 3**. Należy zwrócić uwagę na zmienność współczynnika  $b$ , którego wartość stabilizuje się powyżej ciśnienia rzędu 60 MPa, natomiast osiąga maksimum przy ciśnieniu 20 MPa.

Zależność współczynników  $\xi$  i  $f$  od nacisku tłoka  $p_a$ , wyznaczonych na podstawie wzorów (7, 8) przedstawiono na **Rysunku 4**.



**Rys. 3.** Zależność współczynników  $a$  i  $b$  od nacisku tłoka  $p_a$

Fig. 3. Dependence of coefficients  $a$  and  $b$  of the pressure piston  $p_a$



**Rys. 4.** Zależność współczynnika nacisku bocznego  $\xi$  i współczynnika tarcia zewnętrznego  $f$  od nacisku tłoka  $p_a$

Fig. 4. Dependence of side pressure coefficient  $\xi$  and external friction  $f$  of the pressure piston  $p_a$

## WNIOSKI

- Model tarcia Coulomba ma zastosowanie do obliczeń nacisku bocznego  $q$  i tym samym współczynnika nacisku bocznego  $\xi$  oraz współczynnika tarcia zewnętrznego  $f$  w warstwach nieprzylegających do tłoka prasującego.
- W zagęszczanej mieszance wapienno-piaskowej współczynnik nacisku bocznego  $\xi$  intensywnie wzrasta w zakresie nacisku tłoka do 50 MPa. Dla wyższych nacisków stabilizuje się na poziomie  $\xi \approx 0,65$ .
- Współczynnik tarcia zewnętrznego  $f$  maleje wraz ze wzrostem ciśnienia prasowania.

*Badania wykonano w ramach projektu: W/WM/26/2011.*

## LITERATURA

1. Tarasiuk W., Krupicz B.: Analiza zużycia płyt formy cegły wapienno-piaskowej, Tribologia nr 4–2008, s. 155–163.
2. Борсуков В., Крупич Б.: Трибомеханика дисперсных материалов, технологические приложения, Монография, Гродно 2004.
3. Demianiuk L.: Analiza współczynnika tarcia w roboczym układzie brykietującym, Masinostvo, nr 11/12 – 2004, s. 46–50.
4. Друянов Б.А.: Прикладная теория пластичности пористых тел, машиностроение, 1989.
5. Greenwood J.A., Williamson J.B.P.: Contact of nominal flat surface, Proceedings of the Royal Society of London A295 (1966).
6. Jeng-Haur Horng, Chin-Chung Wei, Hung-Jung Tsai, Bai-Chiuan Shiu: A study of surface friction and particle friction between rough surfaces. Wear 267 (2009), s. 1257–1263.
7. Mroz Z., Stupkiewicz S.: Constitutive model of adhesive and ploughing friction in metal-forming processes., Int. J. Mech. Sci. Vol. 40. No. 2–3, s. 281–303.
8. Tarasiuk W., Krupicz B.: Analiza sił tarcia w procesie zagęszczania mieszanki-wapienno-piaskowej, Tribologia nr 3–2009, s. 273–283.
9. Tarasiuk W., Krupicz B.: Doświadczalne określenie rozkładu nacisków bocznych w formie podczas zagęszczania mieszanki wapienno-piaskowej, Tribologia nr 6–2010, s. 117–122.
10. Жданович Г.М.: Теория прессования металлических порошков, Металлургия, 1969, s. 264.

**Recenzent:**  
**Ryszard MOSZUMAŃSKI**

**Summary**

**The article presents an analysis of the impact of compacted granular materials, for example, lime-sand mixture (used in the manufacture of lime-sand brick), the side walls in a closed form. Based on experimental studies, the side pressure coefficient  $\xi$  was determined. Its value allows the calculation of the side pressure on the projected bulk medium height, depending on the applied compaction pressure.**