



Tomasz Dembiczak

*Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie
al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa,
e-mail: t.dembiczak@ajd.czyst.pl*

OKREŚLENIE KORELACJI POMIĘDZY ZAGĘSZCZALNOŚCIĄ A PŁYNNOŚCIĄ MAS FORMIERSKICH POD WYSOKIM CIŚNIENIEM

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań mających na celu określenie korelacji pomiędzy zagęszczalnością a płynnością mas formierskich pod wysokim ciśnieniem prasowania. Zakres przeprowadzonych pomiarów obejmował: oznaczenie płynności, zagęszczalności, przepuszczalności, wytrzymałości na ściskanie.

Słowa kluczowe: płynność metodą Orłowa, zagęszczalność, przepuszczalność, wytrzymałość na ściskanie.

THE DETERMINATION OF CORRELATION BETWEEN COMPACTIBILITY AND LIQUIDITY OF MOLDING COMPOUNDS UNDER HIGH PRESSURES

Abstract: The paper presents results to determine the correlation between compactibility and liquidity of molding compounds under high pressures. The scope of the research includes: liquidity, compactibility, permeability, compressive strength.

Keywords: liquidity by Orlov, compactibility, permeability, compression strength.

Wprowadzenie

Stan powierzchni odlewu, gładkość, dokładność wymiarowa warunkowane są przez właściwości wytrzymałościowe i technologiczne mas formierskich. W celu uzyskania odlewów bez wad należy zwrócić szczególną uwagę na zawartość spoiwa w masie, ponieważ od niej zależą właściwości wytrzymałościowe mas formierskich [1–5]. Celem przeprowadzonych badań było

określenie korelacji pomiędzy zagęszczalnością a płynnością mas formierskich pod wysokim ciśnieniem prasowania. Oceny tej zależności dokonano na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych w Katedrze Odlewnictwa Politechniki Częstochowskiej.

Metodyka badań

Do sporządzenia masy formierskiej z dodatkiem 12% mieszanki bentonitowej użyto następujących składników:

- piasku kwarcowego – 5280 g,
- mieszanki bentonitowej – 720 g,
- wody: dla pierwszej masy 180 ml, dla drugiej – 230 ml, dla trzeciej – 280 ml.

Wykonanie masy formierskiej przebiegało w trzech etapach.

W etapie pierwszym mieszano składniki do uzyskania masy formierskiej w mieszarce bębnowej przedstawionej na rysunku 1. Czas mieszania wynosił 6 minut:

- w pierwszej fazie mieszano suche składniki przez 2 minuty,
- w drugiej fazie do mieszarki wprowadzono połowę wody przewidzianej dla danej masy i mieszano przez następne 2 minuty,
- po upływie czasu mieszania do masy wprowadzono drugą połowę wody i mieszano przez 2 minuty.

W etapie drugim masa formierska została umieszczona w szczelnie zamkniętym naczyniu, na 2 godziny, w celu ujednoludnienia wilgotności.

W etapie trzecim przesiano masę formierską przez sito w celu rozbicia grudek i zlepów, tzw. spulchnienie.

Po wykonaniu wszystkich zabiegów masa była gotowa do prowadzenia badań. Dokładnie tak samo postępowano z każdą masą.

Na przygotowanej masie formierskiej dokonano następujących pomiarów:

- wilgotności – dla pierwszej masy wyniosła 3%, dla drugiej 3,83% natomiast dla trzeciej 4,66%,
- płynności metodą Orłowa – wykonano dla trzech mas o zmiennych zawartościach wilgoci i o zmiennym nacisku ciśnienia prasowania,
- zagęszczalności – wykonano dla trzech mas o zmiennych zawartościach wilgoci i zmiennym nacisku ciśnienia prasowania,
- przepuszczalności – wykonano dla masy pierwszej o zawartości wilgoci 3% i zmiennym nacisku ciśnienia prasowania,
- wytrzymałości na ściskanie – wykonano przy zmiennym nacisku ciśnienia prasowania dla masy pierwszej o zawartości wilgoci 3%.



Rys. 1. Mieszarka bębnowa znajdująca się w laboratorium Katedry Odlewnictwa Politechniki Częstochowskiej

Oznaczenie zawartości wilgoci przy użyciu suszarki pośpiesznej

Do oznaczenia zawartości wilgoci użyto wykonanej masy formierskiej. Do trzech naczynek wagowych odważono po 50 g masy, z dokładnością do 0,01 g. Następnie naczynka umieszczono w laboratoryjnej suszarce pośpiesznej typu Laps, przedstawionej na rysunku 2, w której czas suszenia wynosił 15 minut. Temperatura suszenia wynosiła ok. 250÷300°C. Wysuszone próbki chłodzono w temperaturze pokojowej, a następnie ważono. Zawartość wilgoci w badanych próbkach obliczono wg wzoru [1]:

$$W = \frac{(a-b)}{a} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie: a – masa próbki przed suszeniem (wilgotna) [g], b – masa próbki po suszeniu (sucha) [g].

Za wynik przyjęto średnią arytmetyczną z trzech oznaczeń.

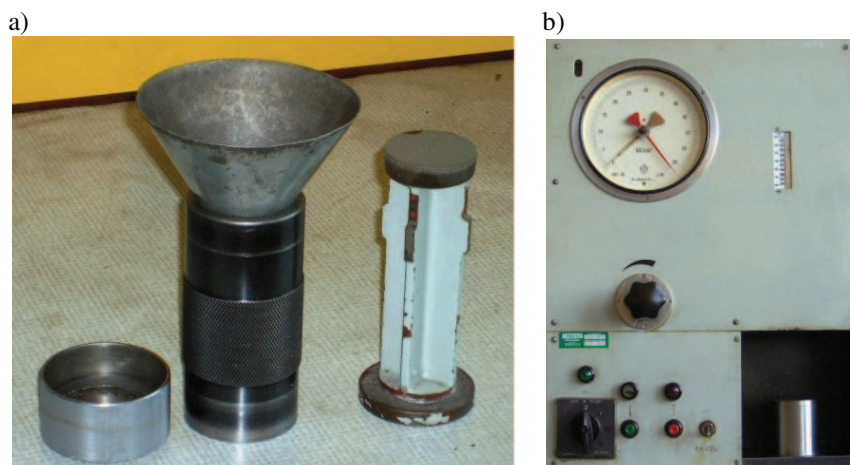


Rys. 2. Suszarka pośpieszna trójstanowiskowa typu LAPS

Wykonanie próbek z masy formierskiej do badań

Szereg własności technicznych mas formierskich określa się na kształtkach laboratoryjnych. Kształtki walcowe służą do oznaczenia przepuszczalności, płynności, wytrzymałości na ściskanie [6].

Wykonanie kształtek walcowych przebiegało następująco: przygotowaną masę formierską wsypano do tulejki niedzielonej przy użyciu lejka (rys. 3a), następnie tulejkę wstawiono do gniazda roboczego w otwór centrujący praski typu LPr, przedstawionej na rysunku 3b. Praska ta jest przeznaczona do wykonania znormalizowanych kształtek walcowych o średnicy $50 \times 50 \pm 1$ mm przy zmiennych naciskach jednostkowych w zakresie do 3 MPa, a przy zastosowaniu specjalnych podstawek do tulejek również do oznaczenia zagęszczalności mas i płynności.



Rys. 3. Wykonanie próbek z masy formierskiej: a) zespół oprzyrządowania do wykonania kształtek walcowych, b) praska typu LPr do wykonania kształtek

Oznaczenie płynności metodą Orłowa

Pomiar polegał na wciskaniu penetratora (kulki, stożka) w powierzchnię zagęszczonej masy badanej [6, 7]. Za miarę płynności przyjęto procentowy stosunek twardości powierzchni B do twardości powierzchni C badanej kształtki wg równania 2.

$$P_o = \frac{T_B}{T_C} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

gdzie: P_o – płynność masy formierskiej, T_B – twardość powierzchni B badanej kształtki, T_C – twardość powierzchni C badanej kształtki.



Rys. 4. Tuleja i podstawka do pomiaru płynności metodą Orłowa

Oznaczenie zagęszczalności

Oznaczenie zagęszczalności opiera się na pomiarze zmniejszenia wysokości słupa luźno nasypanej do tulejki masy pod wpływem stałego nacisku prasującego. Za wynik pomiaru przyjęto średnią arytmetyczną trzech oznaczeń.



Rys. 5. Przystawka do przesiewania masy do badania zagęszczalności

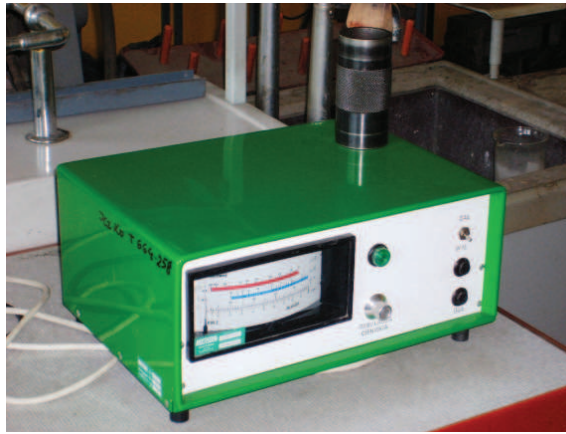
Oznaczenie przepuszczalności

Wskaźnik przepuszczalności charakteryzuje zdolność masy do odprowadzenia gazów wydzielających się podczas zalewania i po wypełnieniu formy ciekłym metalem. Jest on zależny bezpośrednio od kształtu, wielkości i ilości wolnych przestrzeni między ziarnami osnowy [8]. Współczynnik przepuszczalności zdefiniowano równaniem 3 [6, 7]:

$$P = \frac{V \cdot h}{F \cdot p \cdot \tau} \text{ [m}^2\text{/(Pa}\cdot\text{s)]} \quad (3)$$

gdzie: P – przepuszczalność [$\text{m}^2\text{/(Pa}\cdot\text{s)}$], V – objętość powietrza przepływającego przez znormalizowaną kształtkę walcową [m^3], h – wysokość kształtki [m], F – powierzchnia przekroju poprzecznego kształtki walcowanej [m^2], p – ciśnienie powietrza pod kształtką [Pa], τ – czas przepływu objętości powietrza V przez kształtkę [s].

Pomiar powtórzono trzykrotnie dla każdego parametru prasowania, po czym obliczono średnią wartość przepuszczalności.



Rys. 6. Aparat elektryczny typu LPIR do oznaczenia przepuszczalności

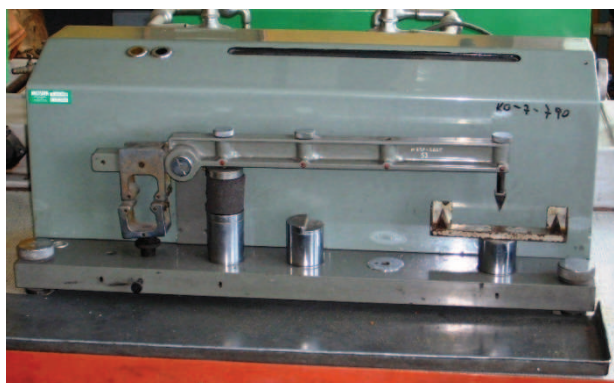
Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie

Własności wytrzymałościowe mas należą do najważniejszych parametrów warunkujących uzyskanie dobrych odlewów. Wymagania stawiane masom są rozmaite i zależą od rodzaju i jakości stopu, wielkości i stopnia skomplikowania odlewu oraz od technologii wykonania formy i rdzeni.

Zasada pomiaru polegała na wywieraniu na kształtce obciążenia zewnętrznego, aż do jej zniszczenia, a następnie odczytaniu lub obliczeniu wartości wytrzymałościowych (rys. 7). Wytrzymałość na ściskanie określono zgodnie z równaniem 4 [6, 7]:

$$R_C = \frac{F_C}{S_0} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_0^2} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

gdzie: F_C – siła ściskająca [N], S_0 – powierzchnia początkowa przekroju podłużnego kształtki walcowej [mm^2], d_0 – początkowa średnica kształtki [mm], h – wysokość kształtki [mm].



Rys. 7. Aparatura do oznaczenia wytrzymałości na ściskanie mas formierskich

Analiza wyników badań

Wykonane badania pozwoliły uzyskać informację o własnościach mas formierskich. Najważniejszą ich częścią było dokonanie pomiarów zagęszczalności i płynności metodą Orłowa. Dla tych własności przeprowadzono badania mas o trzech różnych wilgotnościach. Pomiary przeprowadzono przy zmiennych wartościach ciśnienia prasowania. W tabeli pierwszej przedstawiono uśrednione wyniki badań zagęszczalności i płynności metodą Orłowa.

Tab. 1. Wyniki badań laboratoryjnych

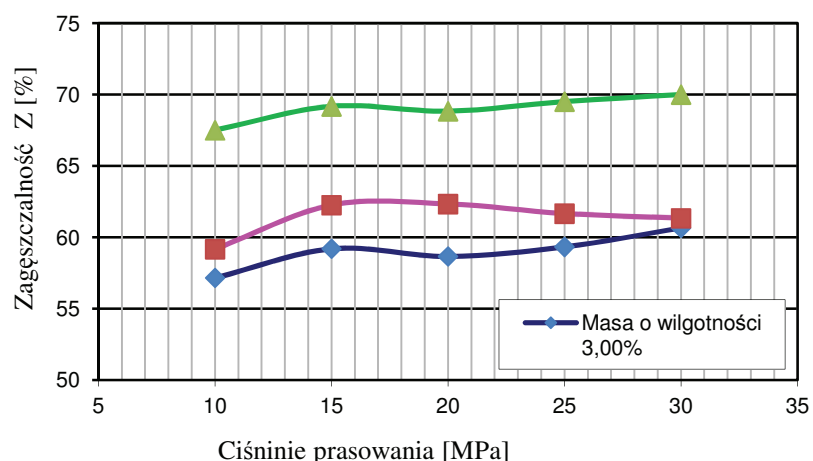
Nr. masy	Skład masy: piasek, bentonit, woda [kg]	Wilgotność [%]	Ciśnienie prasowania [MPa]	Płynność metodą Orłowa [%]	Zagęszczalność Z [%]
I	5,28 0,72 0,18	3	10	90,8	57,2
			15	91,4	59,2
			20	97,4	58,7
			25	96,5	59,3
			30	96,4	60,7
II	5,28 0,72 0,23	3,8	10	87,3	59,2
			15	88,2	62,3
			20	95,6	62,3
			25	94,9	61,7
			30	95,0	61,3
III	5,28 0,72 0,28	4,7	10	90,2	67,5
			15	90,6	69,2
			20	92,9	68,8
			25	92,9	69,5
			30	92,4	70

W tabeli drugiej przedstawiono wyniki pomiarów wytrzymałości na ściskanie oraz przepuszczalności dla masy pierwszej o zawartości wilgoci 3%.

Tab. 2. Pomiar wytrzymałości oraz przepuszczalności dla masy pierwszej

Ciśnienie prasowania [MPa]	Wytrzymałość R_c	Przepuszczalność $\times 10^{-8} m^2 / Pa \cdot s$
10	0,88	320
15	0,91	291
20	0,94	243
25	0,96	230
30	0,97	217

Zagęszczalność mas formierskich o zmiennych parametrach wilgotności oraz ciśnienia prasowania przedstawiono w postaci graficznej na rysunku 8.



Rys. 8. Zależność zagęszczalności od ciśnienia prasowania mas o różnych wilgotnościach

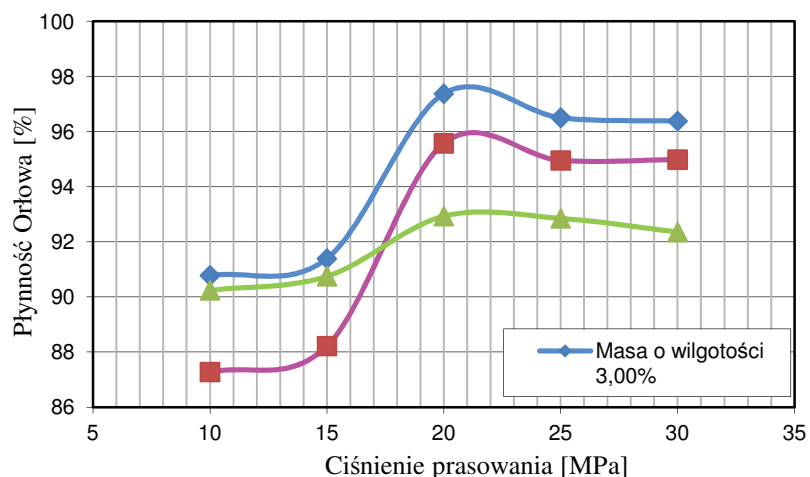
W przypadku badania zagęszczalności mas o różnych wilgotnościach (3%, 3,83% i 4,66%) przy zmiennych wartościach ciśnienia prasowania (10, 15, 20, 25, 30 MPa) zaobserwowano, że najmniejszy wzrost zagęszczalności wykazała masa o wilgotności 3% przy ciśnieniu prasowania 10 MPa, zagęszczalność wyniosła 57,2%, natomiast przy ciśnieniu prasowania 20 MPa odnotowano wzrost zagęszczalności do poziomu 58,7%. Przy wzroście ciśnienia prasowania do 30 MPa zaobserwowano największy wskaźnik zagęszczalności, tj. 66,7%.

Dla masy o wilgotności 3,83% przy ciśnieniu prasowania 10 MPa wskaźnik zagęszczalności wyniósł 59,2%, przy wzroście ciśnienia prasowania do

20 MPa odnotowano największy wskaźnik zagęszczalność, tj. 62,3%, natomiast przy zwiększonym ciśnieniu prasowania do 30 MPa przepuszczalność wskazuje tendencję spadkową do poziomu 61,3%.

Dla masy o wilgotności 4,66% zaobserwowano największą zagęszczalność spośród wszystkich zbadanych mas o różnych wilgotnościach. Przy ciśnieniu prasowania 10 MPa wskaźnik wyniósł 67,5%, zauważono również minimalny spadek zagęszczalności (68,8%) przy ciśnieniu prasowania 20 MPa w stosunku do ciśnienia 15 MPa gdzie wskaźnik wyniósł 69,2%. Przy wzroście ciśnienia do 30 MPa zagęszczalność była największa i wyniosła 70%.

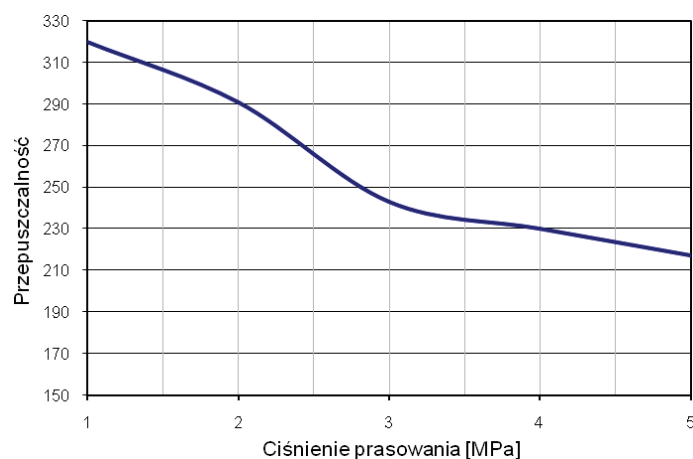
Na rysunku 9 przedstawiono płynność masy formierskiej metodą Orłowa względem zmiennych parametrów wilgotności oraz ciśnienia prasowania.



Rys. 9. Zależność płynności od ciśnienia prasowania mas formierskich o różnej wilgotności

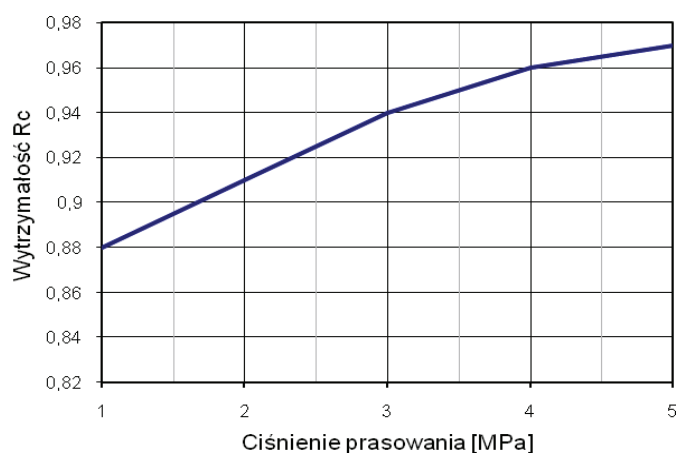
W przypadku badania płynności metodą Orłowa mas o różnych wilgotnościach i różnych ciśnieniach prasowania wykazano że masa o wilgotności 3% posiada najwyższy parametr płynności 97,4% przy ciśnieniu prasowania 20 MPa. Natomiast przy użyciu masy o wilgotności 3,8% najwyższy parametr płynności wynosi 95,6%, przy ciśnieniu prasowania 20 MPa. W przypadku mas o wilgotności 4,7% płynność wynosi 92,9%, przy ciśnieniu prasowania 20 MPa.

Na rysunku 10 zaprezentowano badania przepuszczalności dla masy o wilgotności 3%. Zaobserwowano, że przy wzroście ciśnienia prasowania, przepuszczalność maleje. Stopniowy spadek przepuszczalności następuje przy ciśnieniach prasowania 10÷15 MPa, gwałtowny przy zwiększeniu ciśnienia do 15÷20 MPa, przy dalszym zwiększaniu ciśnienia przepuszczalność stopniowo spada.



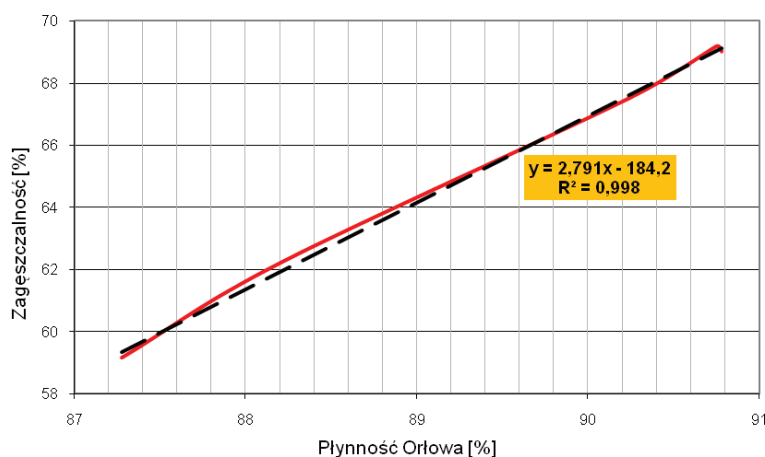
Rys. 10. Zależności przepuszczalności od ciśnienia prasowania masy przy wilgotności 3%

Na rysunku 11 przedstawiono zależność wytrzymałości na ściskanie od ciśnienia prasowania masy formierskiej o zawartości wilgoci 3%. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem ciśnienia prasowania wytrzymałość rośnie.



Rys. 11. Zależność wytrzymałości od ciśnienia prasowania masy przy wilgotności 3%

Na rysunku 12, w oparciu o przeprowadzone badania, przedstawiono korelację pomiędzy zagęszczalnością a płynnością, z wykorzystaniem programu Microsoft Excel 2007. Linia trendu wyznaczona za pomocą programu prawie idealnie pokrywa się z wartościami uzyskanych badań. Wyznaczenie linii trendu można opisać równaniem $y=2,791x-184,2$.



Rys. 12. Korelacja pomiędzy zagęszczalnością a płynnością Orłowa masy formierskiej

Wnioski

W celu określenia korelacji pomiędzy zagęszczalnością a płynnością dla mas formierskich wykonano badania laboratoryjne, które wykazały:

1. Największy wskaźnik zagęszczalności 70% otrzymano przy ciśnieniu prasowania 30 MPa dla masy o wilgotności 4,66%.
2. Najwyższy wskaźnik płynności otrzymano dla masy o wilgotności 3% przy ciśnieniu prasowania 30 MPa.
3. Najlepszą przepuszczalność uzyskano przy ciśnieniu prasowania 10 MPa.
4. Największą wytrzymałość na ściskanie $R_c=0,97$ MPa otrzymano przy ciśnieniu prasowania 30 MPa.
5. Porównanie zależności pomiędzy zagęszczalnością a płynnością wykazało, że wraz ze wzrostem płynności rośnie zagęszczalność i korelację między tymi parametrami można opisać równaniem liniowym.

Literatura

- [1] Lewandowski L., Materiały formierskie, Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa 1971.
- [2] Lewandowski L., Masy formierskie i rdzeniowe, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1991.
- [3] Lewandowski L., Tworzywa na formy odlewnicze, Wydawnictwo Akapit 1997 Kraków.

- [4] Perzyk M., Waszkiewicz S., Kaczorowski M., Jopkiewicz A., *Odlewnictwo*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2004.
- [5] Baranowski A., *Poradnik inżyniera. Odlewnictwo*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1986.
- [6] Sakwa W., Wachelko T., Janicki E., *Technologia i praktyka technologii materiałów formierskich*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1970.
- [7] Warchała T., *Technologia modelu i formy. Skrypt uczelniany*, Częstochowa 1984.
- [8] Wierzbicka B., Soński M.S., *Technologia odlewnictwa, Skrypt Politechniki Częstochowskiej 16*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej 1996.