

**Badanie innowacyjnych mieszanek do wykonania form gipsowych dla odlewów artystycznych**

**The research of innovative mixtures for plaster moulds used for artistic castings**

*Zdzisław Żółkiewicz<sup>1</sup>, Stanisław Młodnicki<sup>1</sup>, Jacek Krokosz<sup>1</sup>, Rafał Pabiś<sup>1</sup>, Ryszard Ćwiklak<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Instytut Odlewnictwa, Centrum Projektowania i Prototypowania, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*

<sup>1</sup>*Foundry Research Institute, Design and Prototyping Center, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*

*E-mail: [zdzislaw.zolkiewicz@iod.krakow.pl](mailto:zdzislaw.zolkiewicz@iod.krakow.pl)*

**Streszczenie**

*Przeprowadzono badania właściwości technologicznych opracowanych w Instytucie Odlewnictwa doświadczalnych mieszanek gipsowych. Opracowano mieszanki masy ceramicznej, w których podstawowym materiałem jest gips syntetyczny. Składniki opracowanej mieszanki badano w celu określenia podstawowych właściwości technicznych i użytkowych. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach.*

*Słowa kluczowe: odlew artystyczny, forma, forma ceramiczna, gips, odlew ze stopów metali nieżelaznych*

**Abstract**

*Research was carried out on the technological properties of plaster mixtures developed at the Foundry Research Institute. Developed were mixtures of ceramic compounds in which the basic material was synthetic plaster. The components of the developed compound were examined in order to determine basic technical and commercial properties. The test results are presented in the figures.*

*Key words: artistic casting, casting mould, ceramic casting mould, plaster, non-ferrous metal casting*

**1. Wstęp**

Założonym celem badań było opracowanie składu ekotechnicznych mieszanek mas ceramicznych – gipsowych, które będzie można zastosowywać do wykonania form dla odlewów artystycznych z metali nieżelaznych.

Zalanie stopu metalu do formy wykonanej z czystego gipsu, minerału z grupy siarczanów, napotyka na znaczne trudności. Związane chemicznie dwie cząsteczki wody z siarczanem wapnia powodują, że materiał ten pod wpływem gwałtownego działania temperatury ciekłego metalu, traci 1½ cząsteczki wody. Wydzielona para wodna oddziałuje na ciekły płynący metal, tworzą się pęcherze gazowe i w konsekwencji następuje niepełne odwzorowanie kształtu odlewu. Otrzymuje się odlew zagazowany, porowaty.

**2. Opracowanie wytycznych technologicznych wykonywania odlewów w formach gipsowych**

Założono, że opracowane zostaną mieszanki masy ceramicznej, w których podstawowym mate-

**1. Introduction**

The aim assumed by the research was to develop a eutectic composition of mixtures of ceramic-plaster compounds which would be applied for making casting moulds for artistic castings of non-ferrous metals.

Pouring metal alloy into a casting mould made of pure plaster, a mineral from the group of sulphates encounters considerable problems. Two molecules of water chemically connected with calcium sulphate cause this material, under the influence of a sudden impact of temperature of liquid metal, to lose 1½ molecules of water. The produced steam affects the flowing molten metal, gas cavities are created and consequently the shape of the casting does not completely represent the model. Gas porosity is created.

**2. Developing technological guidelines for making castings in plaster casting moulds**

It was assumed that mixtures of ceramic compound would be developed in which the basic

rialem jest gips syntetyczny. Składniki masy oraz opracowane mieszanki badano w celu określenia podstawowych właściwości technicznych, do których zaliczono:

- ciekłość, charakteryzującą dokładność odwzorowania, często skomplikowanego modelu,
- czas wstępnego utwardzania, pozwalającego na usunięcie oprzyrządowania (obudowy),
- wytrzymałość na ściskanie, istotną w każdym etapie wykonywania form, to jest: usuwania masy modelowej, suszenia, wypalania i zalewania ciekłym metalem,
- skurcz liniowy.

Zaproponowany zakres badań właściwości mas gipsowych pozwolił na dobór ich składu ze względu na:

- jakość i ilość spoiwa gipsowego oraz materiałów wypełniających,
- granulację poszczególnych składników,
- stosunek masowo-wodny,
- dodatki regulujące czas wiązania,
- stopień wytopienia masy modelowej,
- wytrzymałość na ściskanie wytopionych, suszonych i wypalonych w różnej temperaturze próbek gipsowych,
- skurcz liniowy suszonych i wypalonych próbek gipsowych,
- chropowatość powierzchni próbek wypalonych w różnej temperaturze.

Na jakość odlewów wpływa reżim suszenia i wypalania form, który w zależności od składu mas ustalano w trakcie badań. Podczas obróbki cieplnej z form musi zostać usunięta woda niezwiązana i związana chemicznie oraz resztki masy modelowej. Dobór właściwych parametrów, takich jak ciśnienie i temperatura pary wodnej i czas ich wytapiania określono w trakcie badań.

Wyniki badań właściwości form gipsowych i właściwości technologicznych próbek mas gipsowych pozwalają określić:

- stopień odwzorowanie kształtu,
- zakres termicznego zastosowania formy.

Założono, że odlewy lub ich elementy do tej pory produkowane w formach wykonanych z mas ceramicznych lub z gipsowych wykonywane będą w masach z udziałem gipsu syntetycznego.

### 3. Badanie dostępnych materiałów gipsowych

Jak wynika z przeprowadzonego rozeznania, na rynku sprzedaży mas gipsowych istnieje pewna ilość firm zajmujących się produkcją i sprzedażą mate-

rialu, który byłby syntetycznym gipsem. Składniki masy oraz opracowane mieszanki badano w celu określenia podstawowych właściwości technicznych, do których zaliczono:

- ciekłość, charakteryzującą precyzję odwzorowania kształtu, w wielu przypadkach często komplikującą model,
- czas początkowego utwardzania, umożliwiające usunięcie oprzyrządowania (obudowy),
- wytrzymałość na ściskanie, istotną na każdym etapie wykonywania form, to jest: usuwania masy modelowej, suszenia, wypalania i zalewania ciekłym metalem,
- skurcz liniowy.

Zaproponowany zakres badań właściwości mas gipsowych pozwolił na dobór ich składu ze względu na:

- jakość i ilość spoiwa gipsowego oraz materiałów wypełniających,
- granulację poszczególnych składników,
- stosunek masowo-wodny,
- dodatki regulujące czas wiązania,
- stopień wytopienia masy modelowej,
- wytrzymałość na ściskanie wytopionych, suszonych i wypalonych w różnej temperaturze próbek gipsowych,
- skurcz liniowy suszonych i wypalonych próbek gipsowych,
- chropowatość powierzchni próbek wypalonych w różnej temperaturze.

Na jakość odlewów wpływa reżim suszenia i wypalania form, który w zależności od składu mas ustalano w trakcie badań. Podczas obróbki cieplnej z form musi zostać usunięta woda niezwiązana i związana chemicznie oraz resztki masy modelowej. Dobór właściwych parametrów, takich jak ciśnienie i temperatura pary wodnej i czas ich wytapiania określono w trakcie badań.

Wyniki badań właściwości form gipsowych i właściwości technologicznych próbek mas gipsowych pozwalają określić:

- stopień odwzorowanie kształtu,
- zakres termicznego zastosowania formy.

Założono, że odlewy lub ich elementy do tej pory produkowane w formach wykonanych z mas ceramicznych lub z gipsowych wykonywane będą w masach z udziałem gipsu syntetycznego.

### 3. The research of available plaster materials

As it results from the conducted overview of the market of plaster compounds, there is a certain number of companies which deal with production and

riałów gipsowych dla odlewnictwa, w szczególności do wykonywania form odlewniczych.

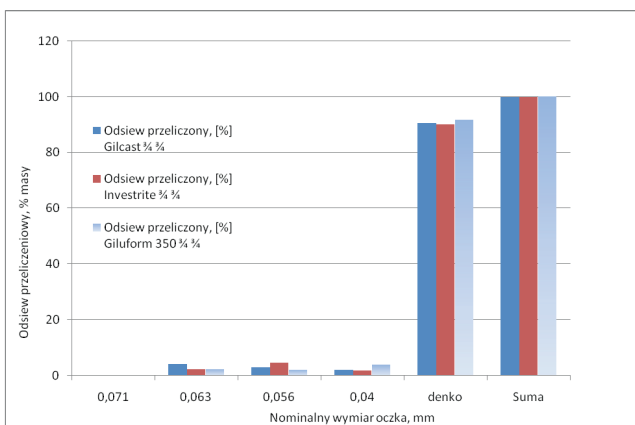
Najbardziej znanymi są mieszanki gipsowe Satincast, Supercast firmy Kerr, Giluform i Gilcast firmy BK Giulini Chemie, Investrite angielskiej firmy Hoben Davies Ltd., a także produkty firm rosyjskich czy czeskich. Oprócz tego firma Norgpol oferuje odlewniczą masę Aurum do wyrobów jubilerskich.

Przeprowadzono badania właściwości technologicznych powyższych mieszanek (rys. 1–5). Badano ciekłość, czas utwardzania, skurcz liniowy, przepuszczalność i wytrzymałość na ściskanie po 24 godzinach od momentu wykonania próbek oraz po ich wypaleniu w temperaturze 730°C.

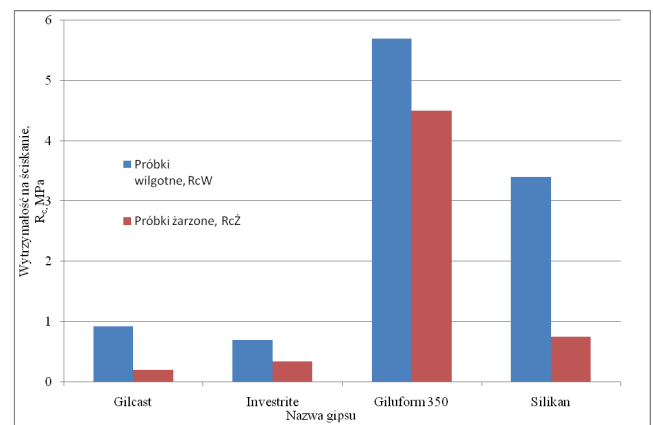
sales of plaster materials for the foundry industry, and especially for making casting moulds.

The most well-known are plaster mixtures Satincast, Supercast by Kerr, Giluform and Gilcast by BK Giulini Chemie, Investrite by Hoben Davies Ltd., as well as products made by Russian and Czech companies. Besides these materials Norgpol has on offer Aurum compound for jewellery products.

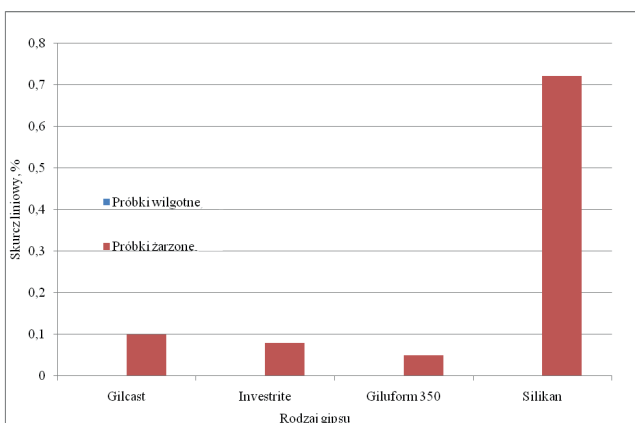
The research of the technological properties of the above-mentioned mixtures was conducted (Figs. 1–5). Examined was fluidity, time of hardening, linear contraction, permeability and compressive strength after 24 hours from the moment of making samples and after their firing at 730°C.



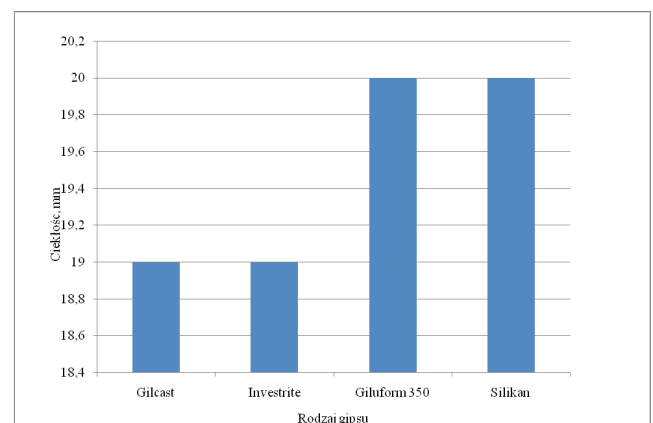
Rys. 1. Analiza sitowa mieszanek gipsowych  
Fig. 1. The sieve analysis of plaster mixtures



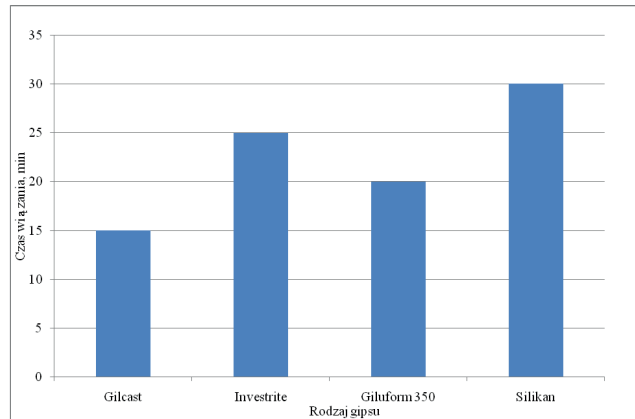
Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie, Rc badanych firmowych mieszanek z gipsem syntetycznym  
Fig. 2. Compressive strength, Rc of examined branded mixtures with synthetic plaster



Rys. 3. Skurcz liniowy badanych gipsów, próbki wilgotne niemierzalne  
Fig. 3. Linear contraction of examined plaster materials, wet samples non-measurable



Rys. 4. Ciekłość badanych gipsów  
Fig. 4. The fluidity of examined plaster materials



Rys. 5. Czas wiązania badanych gipsów

Fig. 5. The time of binding for examined plaster materials

Oznaczanie ciekłości wykonywano wg normy BN-70/4024-34. Czas utwardzania określano wg BN-74/4024-33 przy użyciu aparatu Vicata. Wytrzymałość na ściskanie badano na standardowych próbkach walcowych  $\phi 50 \times 50$  mm wg PN-H-11073:1983P. Przepuszczalność określano również na standardowych próbkach walcowych wg PN-H-11072:1980P. Skurcz liniowy badano na standardowych próbkach  $22,5 \times 22,5 \times 185$  mm z odcinkiem pomiarowym 100 mm wg PN-H-11082:1991P. Analizę sitową wg PN-H-11007:1991P wykonywano dla indywidualnych zastosowanych w badaniach materiałów sypkich. Wykonano analizę sitową ziarnową wybranych mieszanek gipsowych (rys. 1).

#### 4. Dobór składów mas gipsowych na podstawie badań ich właściwości technologicznych

Właściwości technologiczne badanych mieszanek, głównie wytrzymałość, skurcz liniowy, warunki wypalania formy, mają zasadniczy wpływ na jakość form. Niewłaściwe parametry technologiczne wpływają na otrzymanie formy i odlewu z wadami wewnętrznymi i zewnętrznymi, które często dyskwalifikują odlew. Występowanie tych wad w poważnym stopniu ogranicza możliwość wykorzystania form gipsowych do wykonania odlewu, minimalizacji grubości jego ścianek, a także możliwość wykonania odlewów o dużym stopniu skomplikowania.

Do badań właściwości technologicznych badanych mas zastosowano opracowaną w Instytucie Odlewnictwa metodykę.

Cykl badań właściwości mas obejmował oznaczenie:

- ciekłości,
- czasu utwardzania,
- wytrzymałości na ściskanie Rc,
- przepuszczalności P,

The determination of fluidity was made according to the standard BN-70/4024-34. The time of hardening was determined according to BN-74/4024-33 with the use of Vicata apparatus. Compressive strength was tested on standard cylindrical samples  $\phi 50 \times 50$  mm according to PN-H-11073:1983P. Permeability was determined also on standard cylindrical samples according to PN-H-11072:1980P. Linear contraction was determined on standard samples  $22.5 \times 22.5 \times 185$  mm with a measurement section 100 mm according to PN-H-11082:1991P. The sieve analysis according to PN-H-11007:1991P was individually applied to the research in bulk materials. Also carried out was the grain sieve analysis of selected plaster mixtures (Fig. 1).

#### 4. The selection of plaster compounds on the basis of tests of their technological properties

Technological properties of examined mixtures, mainly strength, linear contraction, conditions of casting mould firing have a significant impact on the quality of casting moulds. Improper technological properties influence the resulting mould and casting with internal and external casting defects, which frequently disqualify a casting as a sound one. The occurrence of these defects remarkably limits the possibility to utilise plaster casting moulds for making castings, minimise the thickness of their walls and the possibility to make castings with a high degree of complexity.

The methodology developed at the Foundry Research Institute was applied to the tests of technological properties of examined compounds.

The test cycle of properties of compounds included the determination of:

- fluidity,
- the time of hardening,
- compressive strength Rc,
- permeability P,

- skurczu liniowego S,
- ziarnistości materiałów sypkich.

Badania wykonywano zgodnie z normami: BN-70/4024-34, BN-74/4024-33, PN-H-11073:1983P, PN-H-11072:1980P, PN-H-11082:1991P, PN-H-11007:1991P.

Analizując uzyskane wyniki, zwłaszcza ciekłość, skurcz, wytrzymałość, odporność na działanie temperatury ciekłego metalu oraz wpływ wydzielenia gazowych na właściwości ciekłego metalu, stwierdzono, że dostępne mieszanki gipsowe nie spełniają wymogów technicznych niezbędnych do wykonywania odlewów artystycznych ze stopów miedzi.

## 5. Badanie właściwości technologicznych opracowanych mas gipsowych

Badano właściwości technologiczne mieszanek gipsowych o założonym składzie oraz procentowej zawartości poszczególnych składników mieszanki [10]. Opracowane mieszanki gipsowe różniły się między sobą rodzajem i zawartością wypełniaczy, ilością dodawanej wody, środków zwilżających oraz środków regulujących czas wiązania. Wykonano próbki do badania wytrzymałości, przepuszczalności i skurczu liniowego. Badano również ciekłość mas doświadczalnych.

Próbki badano po 24 h odstania w temperaturze otoczenia oraz po ich wypaleniu. Próbki suszono i wypalono w oporowym piecu tyrystorowym z programowanym regulatorem temperatury i czasu Linn Elektronik.

Wyniki badań zaprezentowano w formie wykresów słupkowych (rys. 6–15). Pozycje od 1 do 7 przedstawiają wyniki badań właściwości mieszanek gipsowych z dwoma wypełniaczami o założonej zawartości oraz stosunku wodno-gipsowym. Pozycje od 7 do 10 – wyniki badań właściwości dwóch mieszanek gipsowych z wypełniaczem o założonej zawartości i stosunku wodno-gipsowym. Natomiast pozycje od 11 do 17 obrazują wyniki badań mieszanek gipsowych z różnymi wypełniaczami oraz o założonym stosunku wodno-gipsowym.

Otrzymane wyniki badań właściwości mieszanek gipsowych różnią się między sobą w zależności od składu badanej mieszanki.

## 6. Wnioski

Analizując uzyskane wyniki, stwierdzono, że badane mieszanki od 1 do 17 charakteryzują się zerowym skurczem oraz przepuszczalnością próbek wilgotnych. Natomiast po wyprażeniu próbek, w założonej temperaturze i czasie uzyskano przepuszczalność badanych mieszanek mieszczącą się w przedziale od 0,6 do  $3,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Pa}\cdot\text{s}$  (rys. 6). Skurcz

- linear contraction S,
- granularity of bulk materials.

The tests were carried out according to the following standards: BN-70/4024-34, BN-74/4024-33, and PN-H-11073:1983P, PN-H-11072:1980P, PN-H-11082:1991P, PN-H-11007:1991P.

After the analysis of the achieved results, especially fluidity, contraction, strength, and resistance to the impact of liquid metal it was stated that available plaster mixtures do not meet technical requirements necessary to produce artistic castings of copper alloys.

## 5. The research of technological properties of developed plaster compounds

Examined were technological properties of plaster mixtures with a complex composition and percentage content of particular ingredients in the mixture [10]. Developed plaster mixtures differed with respect to the type and content of fillers, the amount of added water, wetting agents and agents regulating binding time. Samples were made for strength tests, permeability tests and linear contraction tests. What is more, the fluidity of experimental compounds was examined.

The samples were examined after 24 h in ambient temperature and after their firing. The samples were dried and fired in an induction furnace with programmable temperature and time regulator Linn Elektronik.

The results of tests are presented in a form of bar charts (Figs. 6–15). Items 1 to 7 show test results of properties of plaster mixtures with two fillers with complex composition and the water-plaster ratio. Items 7 to 10 show test results of properties of two plaster mixtures with complex composition and the water-plaster ratio. Whereas items 11 to 17 show test results of plaster mixtures with different fillers and a complex water-plaster ratio.

The obtained test results of properties of plaster mixtures differ depending on the composition of the examined mixture.

## 6. Conclusions

After the analysis of the results it was stated that the examined mixtures 1 to 17 were characterised by zero contraction and permeability of wet samples. However, after annealing the samples, at the assumed temperature and time permeability of examined mixtures was within the range  $0.6$  to  $3.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Pa}\cdot\text{s}$  (Fig. 6). The contraction of examined



badanych próbek w zależności od składu mieszanki mieścił się w przedziale od 0,1% do 1,7% (rys. 7). Istotnymi parametrami technicznymi są ciekłość oraz czas wiązania badanych mieszanek. Wyniki przedstawiono na rysunkach 8 i 9. Ciekłość mieszanki w powiązaniu z czasem wiązania wpływa na stopień odwzorowania kształtu modelu.

W trakcie badań różnych mieszanek uzyskano znaczną rozpiętość otrzymanych wyników wytrzymałości na ściskanie zarówno na próbkach wilgotnych, jak i wyżarzanych (rys. 10–11). Związane jest to ze składem mieszanki.

Wszystkie te mieszanki przeznaczone są do jednorazowego użycia.

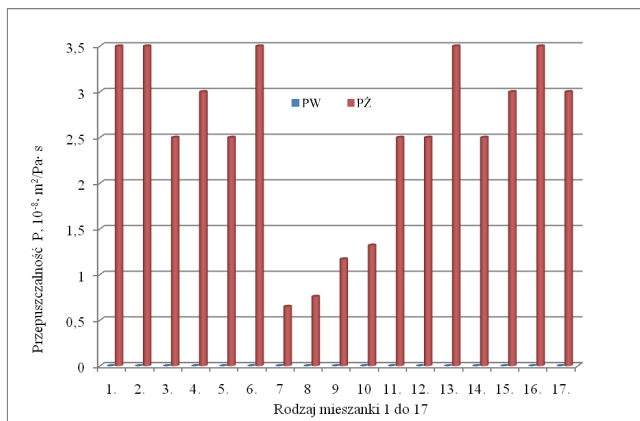
Wyniki badań wykorzystane zostały do wykonania form doświadczalnych dla odlewów artystycznych.

samples depending on the composition of the mixture was within the range 0.1% to 1.7% (Fig. 7). Significant technical parameters of the examined mixtures are fluidity and binding time. The results are presented in Figures 8 and 9. The fluidity of a mixture in connection with binding time influences the degree of a model's shape representation.

During the tests of different mixtures a considerable discrepancy of the results was achieved regarding compressive strength both with wet and annealed samples (Figs. 10–11). This is related to the composition of the mixture.

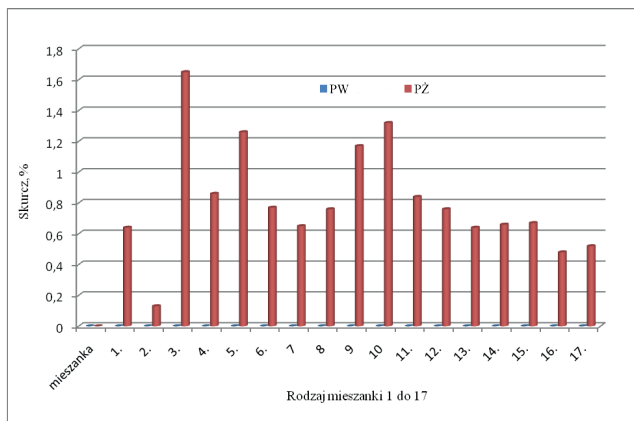
All these mixtures are designated for single use only.

The test results were used for making experimental casting moulds for artistic castings.



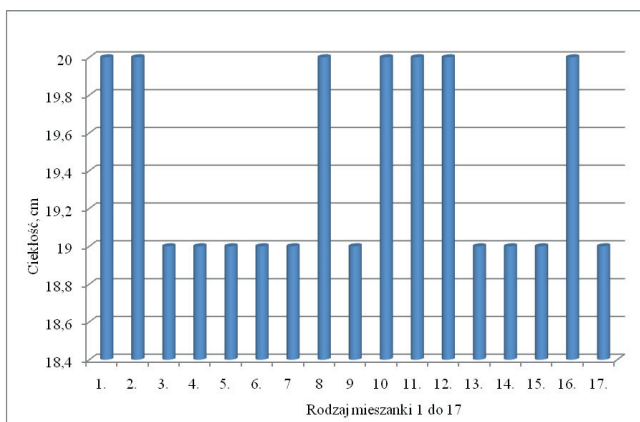
Rys. 6. Badanie przepuszczalności doświadczalnych mas gipsowych 1–17; PW – próbka wilgotna, PZ – próbka wyżarzona

Fig. 6. The research of permeability of experimental plaster compounds 1–17; PW – wet sample, PZ – annealed sample



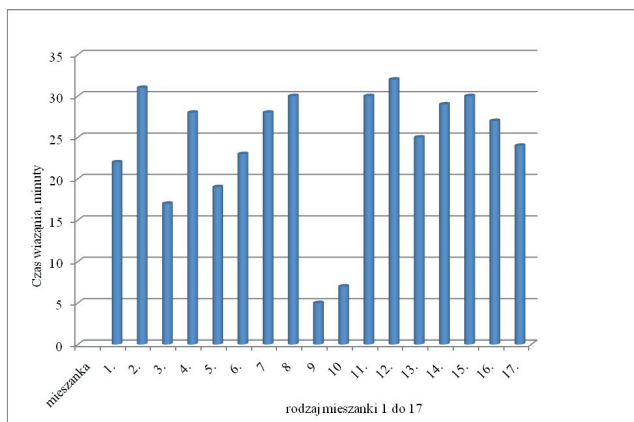
Rys. 7. Badanie skurczu doświadczalnych mas gipsowych 1–17; PW – próbka wilgotna, PZ – próbka wyżarzona

Fig. 7. The research of contraction of experimental plaster compounds 1–17; PW – wet sample, PZ – annealed sample



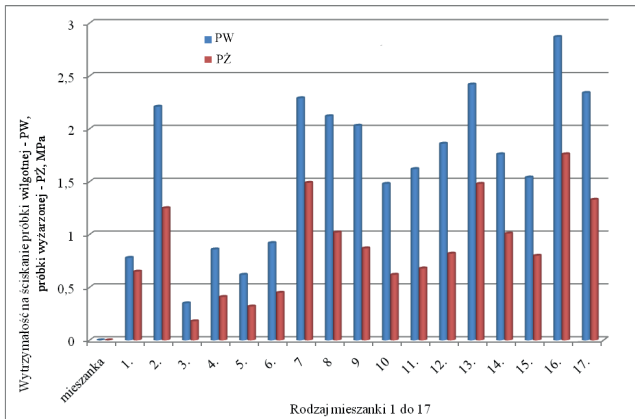
Rys. 8. Badanie ciekłości doświadczalnych mas gipsowych 1–17

Fig. 8. The research of fluidity of experimental plaster compounds 1–17



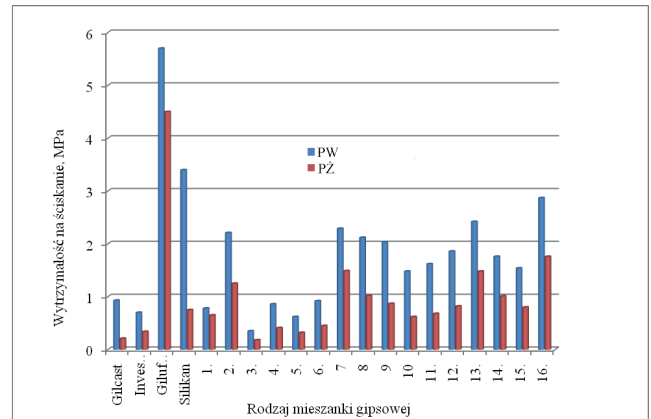
Rys. 9. Badanie czasu wiązania doświadczalnych mas gipsowych 1–17

Fig. 9. The research of binding time for experimental plaster compounds 1–17



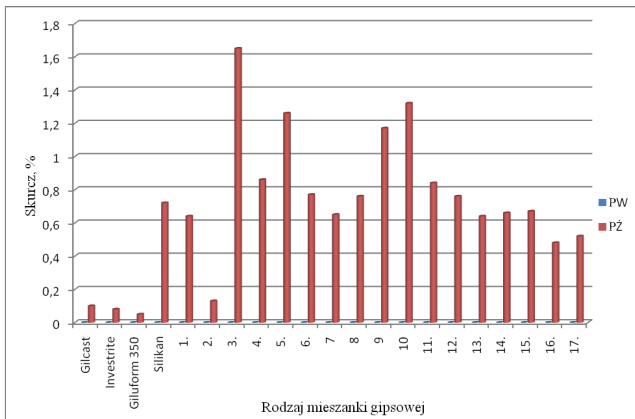
Rys. 10. Badanie wytrzymałości na ściskanie próbek wilgotnych mieszanek gipsowych 1–17; PW – próbka wilgotna, PZ – próbka wyżarzona

Fig. 10. The research of compressive strength of wet samples made of plaster mixtures 1–17; PW – wet sample, PZ – annealed sample



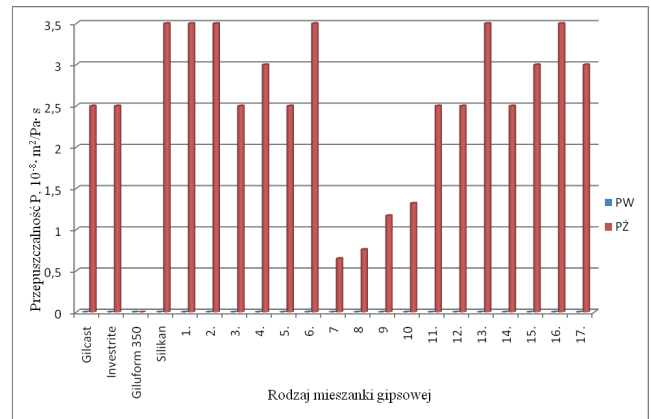
Rys. 11. Porównanie wytrzymałości na ściskanie próbek wilgotnych – PW, wyżarzonych – PZ, firmowych oraz opracowanych mieszanek gipsowych 1–17

Fig. 11. The comparison of compressive strength of wet samples – PW, annealed samples – PZ, branded and developed plaster mixtures 1–17



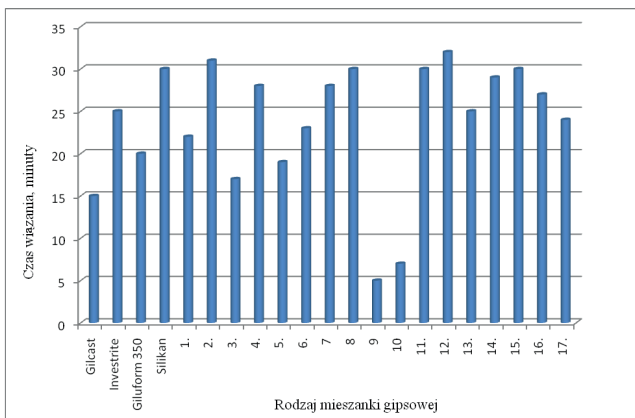
Rys. 12. Porównanie skurczu próbek wilgotnych – PW, wyżarzonych – PZ, firmowych oraz opracowanych mieszanek gipsowych 1–17

Fig. 12. The comparison of compressive strength of wet samples – PW, annealed samples – PZ, branded and developed plaster mixtures 1–17



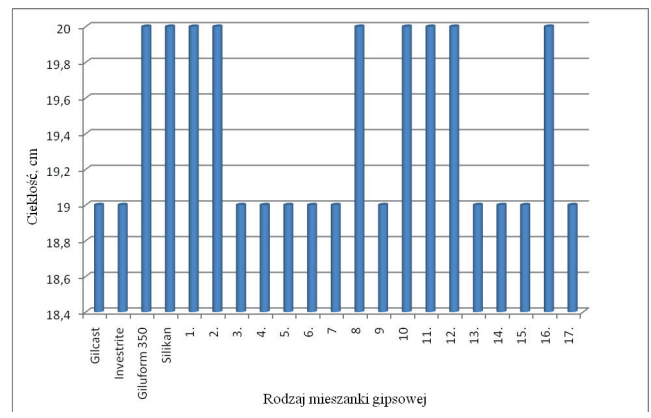
Rys. 13. Porównanie przepuszczalności próbek wilgotnych – PW, wyżarzonych – PZ, firmowych oraz opracowanych mieszanek gipsowych 1–17

Fig. 13. The comparison of permeability of wet samples – PW, annealed samples – PZ, branded and developed plaster mixtures 1–17



Rys. 14. Porównanie czasu wiązania próbek firmowych oraz opracowanych mieszanek gipsowych 1–17

Fig. 14. The comparison of time of binding of branded samples and developed plaster mixtures 1–17



Rys. 15. Porównanie ciekłości próbek firmowych oraz opracowanych mieszanek gipsowych 1–17

Fig. 15. The comparison of fluidity of branded samples and developed plaster mixtures 1–17

## Podziękowanie

Publikacja powstała w oparciu o wyniki badań wykonanych w ramach realizacji w 2012 roku pracy statutowej pt.: „Rozwój technologii wykonywania odlewów precyzyjnych” (zlec. 2009/00).

## Acknowledgements

This publication was created on the basis of test results within the framework of the execution of statutory work in 2012 entitled: ‘The development of technologies for producing precision castings’ (project no. 2009/00).

## Literatura/References

1. Haratym R., Lewiński J., Biernacki R., Kowaluk T. (2012). Anizotropia właściwości fizycznych form ceramicznych wpływających na ekologiczne wytwarzanie aluminiowych odlewów precyzyjnych. *Archives of Foundry Engineering* 12(1), 53–56.
2. Karwiński A., Pysz S., Krokosz J. (2006). Komputerowe projektowanie procesu wykonania odlewów dla motoryzacji przy zastosowaniu nowej generacji ciekłych mas ceramicznych. *MOTROL* 8, 101–109.
3. Materiały firmy Kerr, BK Giulini Chemie, Hoben Davies Ltd., Norgpol, firm rosyjskich i czeskich.
4. Murgas M., Belica E. (2005). Sadrove zmezi na baze anhydritu  $\text{CaSO}_4$ . *Slévárství* 53(9), 407–410.
5. Normy: PN-H-11073:1983P, PN-H-11072:1980P, PN-H-11082:1991P, PN-H-11007:1991P.
6. Peth W.S. (1980). Das gipsformverfahren, sein platz in der druckgussindustrie. *Giesserei-Prax.* (5–6), 77–80.
7. Tamazaki Y. (1977). On the surface of copper-base alloy castings poured into plaster mold. *Imono* 49(1), 14–19.
8. Znamenskij L.G. (2002). Vakuumno-ul'trazvukovaja degazacija gipsovykh smesej tochnom lit'e. *Lit. Proiz.* 51(10), 26–27.
9. Żółkiewicz Z. i in. (2012). Sprawozdanie z realizacji pracy statutowej pt. „Opracowanie technologii wykonywania odlewów artystycznych z wykorzystaniem mas gipsowych” (zlec. 2009/00).