

Problematyka badawcza maszyn i wyposażenia do technologii odlewniczych

Research problematics of casting technology machines and equipment

Józef Dańko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

<sup>1</sup> AGH – University of Science and Technology, Faculty of Foundry Engineering, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland

E-mail: jd@agh.edu.pl

Received: 27.04.2016. Accepted in revised form: 30.09.2016.

© 2016 Instytut Odlewnictwa. All rights reserved.

DOI: 10.7356/iod.2016.12

**Streszczenie**

Artykuł dotyczy problematyki badawczej maszyn i wyposażenia do technologii odlewniczych z uwzględnieniem tematyki badań prowadzonych w Polsce w drugiej połowie ubiegłego wieku w głównych ośrodkach uniwersyteckich kraju oraz w Instytucie Odlewnictwa. Dokonano charakterystyki ogólnej tematyki badań, ze wskazaniem efektów, które stymulowały intensywny wówczas rozwój polskiego odlewnictwa, którego wyposażenie stanowiły maszyny odlewnicze i wyposażenie technologiczne produkowane w kraju. Poddano analizie niektóre aspekty stanu polskiego odlewnictwa ze wskazaniem czynników ograniczających rozwój i produktywność małych oraz średnich przedsiębiorstw odlewniczych, dominujących w krajowym odlewnictwie. Na tle syntezy wcześniejszych badań krajowych oraz stopnia zaawansowania badań oraz wdrożeń technologii odlewniczych do przemysłu w przodujących krajach zachodnich, wskazano na potrzebę rozwoju produkcji nowych generacji maszyn i wyposażenia w celu pewnego uniezależnienia krajowych przedsiębiorstw w dostępie do wiedzy służącej zwiększeniu wydajności i poprawie jakości produkcji odlewniczej. Przedstawiono przykładowe badania w zakresie naukowego wspomaganie modernizacji maszynowego wyposażenia odlewni prowadzone na Wydziale Odlewnictwa w Akademii Górniczo-Hutniczej.

**Słowa kluczowe:** odlewnictwo, maszyny i wyposażenie technologiczne, badania, modernizacja konstrukcji

**Abstract**

The article discusses the research problematics of machines and equipment for casting technologies, with the consideration of the scope of research performed in Poland in the second half of the twentieth century at main domestic university facilities as well as at the Foundry Research Institute in Kraków. General characteristics of the research were performed, with the determination of the effects stimulating the, then, intensive development of the Polish foundry, whose equipment was constituted by domestically produced casting machines and technological apparatus. An analysis was conducted of selected aspects of the condition of the Polish foundry, with the indication of the factors limiting the development and productivity of small and medium casting enterprises, which dominate in the domestic foundry industry. Against the background synthesis of earlier domestic research and the advancement of investigations and technological implementations into the industry in leading Western countries, the need for developing the production of new generation machines and equipment was pointed out, with the purpose to autonomize the domestic enterprises in respect of access to the knowledge aimed at improving efficiency and quality of the casting production. Exemplary investigations were presented, in the scope of a scientific aid in modernizing the foundry machine equipment, conducted at the Faculty of Foundry Engineering of AGH University of Science and Technology in Kraków.

**Keywords:** casting, machines and technological equipment, research, construction modernization

## 1. Wprowadzenie

Odlewnictwo jest ważnym i trwałym elementem rozwoju cywilizacyjnego naszej epoki i jego znaczenie nie maleje pomimo stale podnoszącego się poziomu dziedzin technologicznych, środków produkcji, wprowadzania nowych tworzyw i technik przetwarzania. Aktualnie, obok innych czynników, elementami napędowymi intensywnego rozwoju odlewnictwa są następujące przesłanki [1]:

- ponad 90% wszelkich komponentów maszyn i urządzeń stanowią odlewy,
- odlewnictwo jest kręgosłupem całego przemysłu w wielu wiodących krajach świata, przykładowo: odlewnictwo europejskie kreuje 150 mld EUR przychodów w pokrewnych obszarach przemysłu, a jedno miejsce pracy w odlewnictwie UE kreuje 20 miejsc pracy w sektorze obsługi i łańcuchu poddostawców,
- odlewnictwo w wielu krajach uznawane jest za strategiczną gałąź gospodarki.

Pomimo znacznego postępu w unowocześnianiu branży polskiego odlewnictwa, który nastąpił praktycznie w ostatnich dwóch dekadach i dotyczył zakładów o większym potencjale wytwórczym, pozyskujących dotacje w ramach programów Unii Europejskiej, można wskazać ograniczenia hamujące rozwój małych i średnich odlewni, które nadal stanowią prawie 90% zakładów. Spośród czynników ograniczających modernizację i konkurencyjność na rynku tej grupy odlewni na pierwszy plan wysuwa się ich słaba kondycja ekonomiczna, co nie wymusza a praktycznie ogranicza rozwój polskich wytwórni maszyn odlewniczych, reprezentujących wysoki poziom techniczny, adekwatny do aktualnego stanu wiedzy i techniki [2,3].

O ile pod względem strukturalnym i technologicznym rozwój odlewnictwa w Polsce podąża we właściwym kierunku, to pod względem poprawy produktywności znacznie odstaje od wskaźników europejskich.

Średnia roczna wydajność produkcji na jednego pracownika zatrudnionego w odlewni jest w Polsce na poziomie 43 ton, ale warto uwzględnić fakt, że taka wartość jest osiągnięta dzięki wkładowi do ogólnego bilansu kilkunastu bardzo dużych i nowoczesnych odlewni zawiązujących średnią [1].

Dla porównania średnia europejska wartość omawianego wskaźnika produktywności wynosi aktualnie prawie 94 tony na jednego pracownika/rok wykracza poza zasięg możliwości naszych średnich, a zwłaszcza małych odlewni, realizujących zróżnicowane pod względem ilości i asortymentu zamówienia, w dużym stopniu dla firm zagranicznych.

Po roku 2000 odlewnictwo polskie odnotowuje bardzo intensywny wzrost produkcji odlewów z metali nieże-

## 1. Introduction

Casting is an important and constant element of the civilizational development of our epoch, and its significance has not decreased, despite the rising standard of technologies, means of production, as well as implementation of new materials and processing techniques. At present, next to other factors, the driving forces of the intense development of casting are the following premises [1]:

- Over 90% of all components of machines and devices are constituted by casts,
- Casting is the spine of all industries in many leading countries in the world, e.g.: European casting creates a 150 billion EUR revenue in the related industrial fields, and one work place in a EU foundry creates 20 work places in the service sector and the sub-supplier chain,
- Casting is considered a strategic branch of the economy in many countries.

Despite significant progress in the modernization of the Polish foundry, which has practically taking place in the last two decades, applying to plants of big production potential, that receive funds within European Union programs, we can point to the limitations of the development of small and medium foundries, which still constitute almost 90% of all enterprises. The leading factor hindering the modernization and competitiveness of this group of foundries is their weak economic condition, which does not enforce but practically limits the development of the Polish factories of casting machines of a high technical standard, adequate to the current state of knowledge and technology [2,3].

While, structurally and technologically, the development of the Polish foundry is proceeding in the right direction, it significantly deviates from the European indexes in respect of production improvement.

The average annual productivity per worker employed at a Polish foundry is at the level of 43 tones, but it should be noted that such a value is achieved owing to the contribution to the general balance of a few very large and modern foundries, which overstate the average [1].

In comparison, the mean European value of the discussed productivity index currently equals almost 94 tones per worker per year. This exceeds the capabilities of our medium, and above all, small foundries, which diversified in respect of the amount and assortment of orders, largely for companies from outside the country.

After 2000, the Polish foundry exhibited a very intense increase in the production of non-ferrous metal casts. As it is reported in the study of the Foundry Research

lanych. Jak podano w opracowaniu Instytutu Odlewnictwa [1], w ostatnim dziesięcioleciu produkcja odlewów ze stopów aluminium wzrosła ponad trzykrotnie, a w odniesieniu do roku 2010 – o blisko 27%.

Aktualnie Polska znajduje się w grupie państw o największym udziale produkcji odlewów z metali nieżelaznych w ogólnej ich ilości, który w roku 2012 wynosił w naszym kraju 33,6% [1,4]. Dla porównania: Włochy – 43%, Francja – 20,25%, Niemcy – 17,8%, Japonia 28,2%, Korea Południowa – 21,6%, USA – 9,7%. Skalę oddziaływania odlewnictwa na gospodarkę krajową ilustruje wartość produkcji odlewni (rok 2012 – 1 036 800 ton), która wynosiła 2,515 mld USD, z czego na odlewy ze stopów metali nieżelaznych przypadło 1,391 mld USD (ponad 55%). Średnia wartość produkcji 1 kg odlewów ze stopów metali nieżelaznych (4,14 USD) była prawie 2,6 razy większa od średniej wartości produkcji odlewów ze stopów żelaza (1,60 USD/kg).

Można sformułować tezę, że warunkiem pewnego uniezależnienia sektora małych i średnich odlewni w dostępie do wiedzy służącej zwiększeniu wydajności i poprawie jakości produkcji odlewniczej jest wykorzystanie własnych osiągnięć już przeprowadzonych w kraju prac poznawczych i podstawowych oraz badania wspomagające konstrukcję i produkcję maszyn i urządzeń dla tego sektora.

## 2. Charakterystyka ogólna problematyki badań maszyn i wyposażenia do technologii odlewniczych

Warto przypomnieć, że w powojennej historii Polski największy postęp został zanotowany latach 1960–1985 w zakresie badań urządzeń i maszynowego wyposażenia odlewni dla klasycznej technologii wytwarzania odlewów w piaskowych formach odlewniczych. W tym okresie w Polsce ta problematyka badawcza była uprawiana praktycznie w większości szkół wyższych o profilu politechnicznym z tym, że w różnym zakresie tematycznym, wynikającym zasadniczo ze specyfiki oraz z pewnej tradycji danego środowiska naukowo-badawczego [5]. Warto dla zachowania pamięci historycznej wymienić nazwiska liderów zespołów ważnych dla rozwoju i efektów tych badań.

W Akademii Górniczo-Hutniczej w profilu specjalności Odlewnictwo tematyka naukowo-badawcza maszyn i wyposażenia do technologii odlewniczych była kontynuowana najpierw w ramach Katedry Maszyn i Urządzeń Odlewniczych, której inicjatorem i wieloletnim kierownikiem Katedry był prof. Stanisław Pelczarski, a następnie w wyodrębnionych jednostkach w randze katedr, zakładów i pracowni. Trzeba zaznaczyć, że wiele prac badawczych z zakresu maszyn i wyposażenia do technologii odlewniczych było wówczas w AGH realizowanych we współpracy z Instytutem Odlewnictwa w Krakowie.

Institute [1], in the last decade, the production of aluminium alloy casts has increased over three times, as referred to in 2010 – by nearly 27%.

At present, Poland is included in the group of countries with the largest participation of non-ferrous metal cast production in the total amount of casts, which, in 2012, in Poland, equaled 33.6% [1,4]. In comparison: Italy – 43%, France – 20.25%, Germany – 17.8%, Japan 28.2%, South Korea – 21.6%, the USA – 9.7%. The scale of influence of the casting industry on the domestic economy is illustrated by the value of the foundry production (2012 – 1 036 800 tones), which equaled 2.515 billion USD, of which 1.391 billion USD (over 55%) corresponded to non-ferrous metal casts. The average value of the production of 1 kg non-ferrous metal casts (4.14 USD) was almost 2.6 times higher than the average value of the production of ferrous metal casts (1.60 USD/kg).

We can formulate a thesis that the condition for a certain automatization of the small and medium foundry sector in the access to knowledge aiming at improving efficiency and quality of the casting production is the use of the achievements of the domestically performed basic and cognitive research as well as investigations aiding the production of machines and devices for this sector.

## 2. General characteristics of the research on casting machine and equipment

It is worth noting that, in the post-war history of Poland, the greatest development was observed between 1960 and 1985, in the scope of the research on foundry devices and machines for the classic sand mould casting technology. At that time, in Poland, these research issues were worked on in most of the academic institutions of the technological profile, yet within different thematic scopes, resulting basically from the specifics and tradition of the given research development environment [5]. For the sake of historical memory, we should mention the names of the leaders of the research teams which were important for the development and results of this research.

At the Faculty of Foundry Engineering of AGH University of Science and Technology, the research and development subject area of casting machines and equipment was first investigated within the work of the Department of Foundry Machines and Equipment, whose initiator and many-year Department director was prof. Stanisław Pelczarski, and later, at separated units of departments, the research was continued at the scale of institutes and laboratories. It should be noted that many scientific works within the scope of casting machines and equipment were then realized at AGH in cooperation with the Foundry Research Institute in Kraków.

Tematyka badań realizowanych w kilku zespołach dotyczyła generalnie:

- mechanizacji, automatyzacji i projektowania odlewni (prof. Mirosław Gregoraszczyk, prof. Roman Wrona, prof. Aleksander Fedoryszyn, dr hab. inż. Franciszek Stefko, dr inż. Krzysztof Smyksy),
- teorii, konstrukcji i pomiarów maszyn odlewniczych oraz konstrukcji odlewów (doc. Leszek Żurawski, prof. Józef Dańko, dr inż. Leszek Bodzoń, prof. Aleksander Siemieniec, prof. Waław Stachurski, dr inż. Maria Maj),
- podstaw automatyzacji odlewni, piece odlewnicze (doc. Jerzy Szopa, dr inż. Marek Pęc).

Plonem tych prac były liczne publikacje krajowe i zagraniczne, podręczniki dydaktyczne oraz monografie tematyczne, związane często ze zdobywaniem kolejnych stopni i tytułów naukowych pracowników Wydziału Odlewnictwa.

W Instytucie Odlewnictwa w Krakowie problematyka badań prowadzonych w analizowanym zakresie tematycznym i czasowym dotyczyła tematyki realizowanej na potrzeby przemysłu odlewniczego, obejmując między innymi:

- mieszarki, maszyny formierskie i rdzeniowe do technologii mas klasycznych oraz chemoutwardzalnych (CMS, SMS), urządzenia do regeneracji (zespoły: prof. Jan Wertz, doc. Jerzy Łempicki, prof. Tadeusz Olszowski, dr inż. Adam Nawrocki, dr inż. Andrzej Pająk),
- maszyny do odlewania w formach trwałych (kokilowe, odśrodkowe, ciśnieniowe) (zespoły: prof. Zbigniew Górny, prof. Andrzej Białobrzęski).

W Politechnice Śląskiej w Gliwicach, pod kierownictwem prof. Waław Sakwy, prowadzone były zaawansowane prace badawcze oraz liczne wydawnictwa monograficzne, połączone z cyklicznymi międzynarodowymi konferencjami o tematyce dotyczącej m.in. transportu pneumatycznego i jego aplikacji w odlewnictwie (zespoły: prof. prof. Zbigniew Piątkiewicz, Józef Gawroński, dr inż. Henryk Szlumczyk, następnie prof. Jan Szajnar, dr hab. inż. Krzysztof Janerka, dr hab. inż. Jan Jezierski).

W Politechnice Wrocławskiej, pod kierownictwem prof. Zdzisława Samsonowicza, prowadzono badania nad implementacją nowoczesnej aparatury badawczej dla odlewnictwa (wraz z Instytutem Odlewnictwa), automatyzacją procesów odlewniczych, a następnie w rozszerzonym zespole badania nowatorskich technik wytwarzania form metodą impulsową, których efektem były publikacje, wydawnictwa książkowe, dysertacje

The subject area of the research realized in several teams generally referred to:

- mechanization, automatization and designing of foundries (prof. Mirosław Gregoraszczyk, prof. Roman Wrona, prof. Aleksander Fedoryszyn, Franciszek Stefko, PhD, Eng., Krzysztof Smyksy, PhD, Eng.),
- theories, construction and measurements of casting machines and construction of casts (Leszek Żurawski AP, prof. Józef Dańko, PhD, Eng., Leszek Bodzoń, prof. Aleksander Siemieniec, prof. Waław Stachurski, Maria Maj, PhD, Eng.),
- basics of foundry automatization, casting furnaces (Jerzy Szopa AP, Marek Pęc, PhD, Eng.).

The results of these works were numerous domestic and foreign publications, didactic textbooks and thematic monographs, often connected with acquiring successive academic degrees and titles by the employees of the Foundry Research Institute.

At the Foundry Research Institute in Kraków, the subject area of the research performed within the analyzed thematic and time scope referred to the issues realized for the purposes of the casting industry, including the following:

- mixers, moulding and core machines for classic and chemo-hardenable moulding sands (CMS, SMS), regeneration devices (teams: prof. Jan Wertz, Jerzy Łempicki AP, prof. Tadeusz Olszowski, Adam Nawrocki, PhD, Eng., Andrzej Pająk, PhD, Eng.),
- machines for casting in permanent moulds (gravity die, centrifuge, pressure) (teams: prof. Zbigniew Górny, prof. Andrzej Białobrzęski).

At the Silesian University of Technology in Gliwice, prof. Waław Sakwa supervised advanced research and numerous monograph publications combined with periodical international conferences in the area of: pneumatic transport and its applications in the foundry industry (teams: prof. Zbigniew Piątkiewicz, prof. Józef Gawroński, Henryk Szlumczyk, PhD, Eng., and then prof. Jan Szajnar, Krzysztof Janerka, PhD, Eng., Jan Jezierski, PhD, Eng.).

At Wrocław University of Science and Technology, prof. Zdzisław Samsonowicz supervised research on the implementation of modern casting research equipment (together with the Foundry Research Institute), automatization of casting processes and then, in a larger team, investigations of innovative mould production techniques with the use of the pulse method, the effect of which were publications, books, as well as doctorate and assistant professor dissertations

doktorskie i habilitacyjne (prof. Tadeusz Mikulczyński, dr inż. Dawid Nowak i inni).

Politechnika Warszawska zdobyła ugruntowaną pozycję w środowisku naukowym i inżynierskim odlewników polskich dzięki osiągnięciom, publikacjom i podręcznikom poświęconym tematyce wyposażenia i oprzyrządowania technologicznego odlewni, projektowania inżynierskiego, systemów wspomaganie komputerowego procesów odlewniczych (zespoły: prof. prof. Michała Skarbińskiego, Pawła Murza-Mucha, później prof. prof. Marcina Perzyka, Mieczysława Kaczorowskiego i innych).

Politechnika Częstochowska to prace badawcze i cykliczne, w latach 70. konferencje z zakresu odlewnictwa ciśnieniowego „KONCISOD” (prof. Z. Piłkowski) oraz inne badania aplikacyjne procesu odlewania ciśnieniowego w zastosowaniu do kompozytów (zespół prof. Zbigniewa Konopki, prof. Katarzyna Braszczyńska-Malik).

Politechnika Łódzka: tematyka wyposażenia i oprzyrządowania technologicznego odlewni, piece i żeliwiaki, nowoczesne procesy formowania (zespoły: prof. prof. Janusza Szreniawskiego, Andrzeja Jopkiewicza, później Tadeusza Pacyniaka i innych).

Politechnika Szczecińska – publikacje oraz kluczowe dla odlewnictwa wydanie w kilku edycjach pozycji prof. Ryszarda Chudzikiewicza „Mechanizacja i automatyzacja odlewni”.

Dokonując pewnej syntezy wcześniejszych badań krajowych oraz kierunków, stopnia zaawansowania badań oraz wdrożeń technologii odlewniczych postrzeganych z perspektywy przemysłu USA, Japonii i Europy (tab. 1 [6]), można zauważyć różnice w ocenie w tych krajach poszczególnych priorytetów badawczych. Dominują zagadnienia dotyczące przygotowania metalu, rodzaju stopu i sposobu odlewania, oceny jakości wyrobu czy komputerowego wspomaganie technologii. Natomiast zagadnienia teoretyczne oraz badawcze, związane z konstrukcją i badaniem zespołów funkcjonalnych w konkretnych rozwiązaniach maszyn odlewniczych, są niezbyt często tematem publikacji eksponowanych w czasopiśmie naukowych, pomimo tego że z konieczności dotyczą wszystkich technologii odlewniczych.

Widoczny w literaturze niedobór informacji badań dotyczących stopnia maszynowego oprzyrządowania odlewni ma zapewne kilka przyczyn, spośród których można wskazać na konieczność zaangażowania zbyt znacznych sił i środków do przeprowadzania szerokich badań, aby ich wyniki ujawniać potencjalnej konkurencji w formie publikacji. Producenci urządzeń chronią także wyniki badań dotyczące funkcjonowania swoich konstrukcji, a informacje podawane w oficjalnych katalogach są z tych względów niepełne, eksponując raczej dane, które są atrakcyjne ze względów marketingowych.

(prof. Tadeusz Mikulczyński, Dawid Nowak, PhD, Eng. and others).

Warsaw University of Technology has gained its strong position in the scientific and engineering circles of the Polish foundry owing to its achievements, publications and textbooks devoted to technological equipment and instrumentation in foundries, engineering design and computer aid systems for casting processes (teams: prof. Michał Skarbiński, Paweł Murza-Mucha, later prof. prof. Marcin Perzyk, Mieczysław Kaczorowski and others).

Czestochowa University of Technology conducted research and organized periodical conferences in the area of pressure casting „KONCISOD” in the 1970s (prof. Z. Piłkowski) as well as other investigations of the pressure casting applications for composites (team: prof. Zbigniew Konopka, prof. Katarzyna Braszczyńska-Malik).

Lodz University of Technology: technological equipment and instrumentation in foundries, furnaces and cupolas, modern moulding processes (teams: prof. Janusz Szreniawski, prof. Andrzej Jopkiewicz, later prof. Tadeusz Pacyniak and others).

West Pomeranian University of Technology – publications as well as key foundry issues issued by prof. Ryszard Chudzikiewicz’s „Mechanization and Automation of Foundries”, published in a few editions.

In an analysis of the earlier domestic research as well as the directions, advancement and implementations of casting technologies seen from the perspective of the American, Japanese and European industry (Tab. 1 [6]), one can notice a difference in the evaluation of the particular research priorities in those countries. The issues concerning metal preparation, alloy type and casting technique, as well as evaluation of the product quality and computer aiding of the technology are dominant. On the other hand, the theoretical and research issues, connected with the construction and investigation of functional systems in specific casting machine solutions, are an infrequent subject of publications found in scientific magazines, despite the fact that, by necessity, they concern all casting technologies.

The selection of information on the research concerning the degree of mechanization in foundries, visible in the literature, is probably determined by a few issues, such as the necessity of engaging too significant forces as well as resources to perform extensive research so that the results could be revealed to the potential competition in the form of publications. The producers of devices also protect the research results concerning the operation of their constructions, and the information provided in the official catalogues are, for this reason, incomplete, focusing on the data which is attractive in the aspect of marketing.

Tabela 1. Porównanie dotyczące kierunków, stopnia zaawansowania badań oraz wdrożeń do przemysłu technologii odlewniczych w USA, Japonii i Europie. Większej liczbie oznaczeń X odpowiada w przyjętej hierarchii oceny wyższa pozycja danego aspektu badań [6]

Table 1. Comparison of directions, advancement and industrial implementations of casting technologies in the USA, Japan and Europe. In the assumed evaluation hierarchy, a higher number of X means a higher position of the given aspect of research [6]

TECHNOLOGIA/TECHNOLOGY	USA	JAPONIA/JAPAN	EUROPA/EUROPE
1. Topienie i przygotowanie metalu / Metal melting and preparation	XX	XXX <sup>^</sup>	X
2. Stopy, inne materiały / Alloys and other materials			
– stopy krzepnące w zakresie wysokiego gradientu temperatury / alloys solidifying in a high temperature gradient range	XX	XXX <sup>^</sup>	XX
– kompozyty metalowe / metal composites	XX <sup>^</sup>	XXX <sup>^</sup>	XX
3. Odlewanie w formach metalowych / Casting in metal moulds			
– kokilowe grawitacyjne / gravity die	XX	XX	XXX
– ciśnieniowe/pressure	XXX	XXXX	XXX
– w stanie częściowej krystalizacji / partial crystallization	XXX <sup>^</sup>	XX	XXX <sup>^</sup>
– prasowanie w stanie ciekłym / liquid state pressing	XX	XXXX	XX
4. Odlewanie precyzyjne / Precision casting	XXXX <sup>^</sup>	XX	XX
5. Odlewanie w formach piaskowych / Sand mould casting	XXX	XX	XXXX <sup>^</sup>
6. Ochrona środowiska i energii / Environment and energy protection	XX	XXXX <sup>^</sup>	XXX
7. Nowoczesność procesów wytwarzania / Modernity of production processes	XXX <sup>^</sup>	XX	XXXX
8. Poprawa jakości wyrobów / Improvement of product quality	XX	XX	XX
9. Komputerowe wspomaganie, modelowanie i symulacja / Computer aiding, modeling and simulation	XXXX <sup>^</sup>	X	XXX <sup>^</sup>
10. Stopień maszynowego oprzyrządowania odlewni / Degree of mechanization in foundries	XXX	XXX <sup>^</sup>	XXX <sup>^</sup>
<sup>^</sup> sygnalizuje tendencję wzrostową badań prowadzonych w danym temacie / <sup>^</sup> it signalizes an upward trend of the research performed in the specific subject			

### 3. Badania w zakresie naukowego wspomaganie modernizacji maszynowego wyposażenia odlewni

W Akademii Górniczo-Hutniczej w profilu specjalności Odlewnictwo tematyka naukowo-badawcza maszyn i wyposażenia do technologii odlewniczych obejmuje między innymi problematykę, którą można określić ogólnie jako *Teoria procesów roboczych w maszynach i urządzeniach odlewniczych oraz badania realizowane pod kątem optymalizacji istniejących urządzeń i syntezy nowych rozwiązań*. W tej tematyce można wyodrębnić trzy następujące obszary problemowe:

- badania procesów roboczych w maszynach i urządzeniach odlewniczych w aspekcie ich optymalizacji,

### 3. Research on the scientific aid in the modernization of machine equipment in foundries

At the Faculty of Foundry Engineering of AGH University of Science and Technology, the research and development subject area of machines and equipment for casting technologies includes the issue which can be generally defined as *Theory of working processes in casting machines and devices and research on the optimization of the existing devices as well as synthesis of new solutions*. In this subject matter, we can distinguish between the following three problem areas:

- research on the working processes in casting machines and equipment in the aspect of their optimization,

- konstrukcja maszyn i urządzeń odlewniczych, a przede wszystkim ich elementów, bezpośrednio wpływających na przebieg i skuteczność procesów roboczych,
  - diagnostyka ruchowa doświadczalnych oraz prototypowych rozwiązań maszyn i urządzeń odlewniczych oraz ich eksploatacji.
- construction of casting machines and equipment, especially their elements, directly influencing the course and effectiveness of the working processes,
  - movement diagnostics of experimental and prototype solutions of casting machines and devices as well as their operation.

Podejmowane, autorskie badania w zakresie naukowego wspomaganie modernizacji maszynowego wyposażenia technologii odlewniczych dotyczą dwóch zasadniczych kierunków [2,3]:

- aplikacji wyników prac badawczych prowadzących do rozwoju maszynowego wyposażenia odlewni, w ramach klasycznej metody wytwarzania odlewów w jednorazowych formach odlewniczych, realizowanej za pomocą nowoczesnych środków technicznych,
  - wykorzystania nowych osiągnięć wynikających z badania procesów, materiałów i maszyn do wdrażania alternatywnych technologii odlewniczych, spełniających określone wymagania stawiane odlewom oraz warunkom i skutkom ich wytwarzania.
- application of the results of the research leading to the development of machine equipment in foundries, within the classic casting method technology in disposable casting moulds, realized by means of modern technical resources,
  - use of the new achievements resulting from investigations of the processes, materials and machines for the implementation of alternative casting technologies fulfilling the specific requirements faced by casts as well as conditions and effects of their production.

Pierwszy kierunek obejmuje tematykę naukowo-badawczą maszyn i wyposażenia do technologii odlewniczych, która jest kontynuowana na Wydziale Odlewnictwa w Akademii Górniczo-Hutniczej od wielu lat, obejmując urządzenia i wyposażenie technologiczne do produkcji odlewów ze stopów żelaza (staliwo, żeliwo i jego nowoczesne odmiany). Uogólniony zakres problematyki badawczej maszyn i wyposażenia do technologii form klasycznych (piaskowych) podano w tabeli 2.

Drugi kierunek badań koncentruje się głównie na problematyce badawczej maszyn i wyposażenia stosowanego w technologiach odlewania ciekłego metalu do form trwałych (odlewanie: kokilowe, odśrodkowe, ciągłe i półciągłe).

### 3.1. Procesy i urządzenia do przygotowania materiałów i tworzyw formierskich

Prowadzono zespołowe badania w celu doskonalenia konstrukcji urządzeń stosowanych w obiegu klasycznej masy z lepiszczem w odlewni [5,7].

Opracowano podstawy teoretyczne obliczania mieszarek o specjalnie ukształtowanym profilu krążników, a także obliczanie kształtu zarysu powierzchni roboczej mieszadła w mieszarkach łopatkowych do mas formierskich i rdzeniowych. Wyniki badań przyczyniły się do ulepszenia konstrukcji typoszeregu mieszarek krążnikowych produkowanych w Polsce. W ostatnim

Original research undertaken in the scope of scientific aid to the modernization of the machine equipment of casting technologies concerns two basic directions [2,3]:

The first direction includes the research and development subject area of machines and equipment for casting technologies, which has been continued at the Faculty of Foundry Engineering of AGH University of Science and Technology for many years now, including the technological devices and equipment for the production of iron alloy casts (cast steel, cast iron and its modern variations). The generalized scope of the scientific issues of the machines and equipment for classic (sand) mould casting technologies is presented in Table 2.

The second direction concentrates mainly on the scientific issues of the machines and equipment used in the casting of liquid metal into permanent moulds (die casting, centrifugal casting, continuous and semi-continuous casting).

### 3.1. Processes and devices for moulding material preparation

Collaborative research was conducted aimed at perfecting the construction of the devices used in the circulation of classic sand with the binder in a foundry [5,7].

Theoretical basics were elaborated for the calculation of the mixers of a specifically shaped roller profile, as well as the calculation of the shape of the working surface outline of the stirrer in blade mixers for moulding and core sands. The results contributed to the improvement of the construction of the series of types of roll mixers produced in Poland. Recently, research

Tabela 2. Problematyka badawcza maszyn i wyposażenia do technologii form klasycznych (piaskowych)  
 Table 2. Research problematics of machines and equipment for classic (sand) mould technologies

<b>A. Procesy i urządzenia do przygotowania materiałów i tworzyw formierskich /                      A. Processes and devices for moulding material preparation</b>	<b>B. Procesy technologiczne i maszyny do sporządzania form oraz rdzeni /                      B. Technological processes and machines for the making of moulds and cores</b>	<b>C. Wyposażenie do wybijania, oczyszczania i wykańczania odlewów /                      C. Equipment for the knocking out, cleaning and finishing of casts</b>	<b>D. Procesy i urządzenia gospodarki odpadami technologicznymi /                      D. Processes and devices for technological waste management</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Badania diagnostyczne i eksploatacyjne suszarek oraz chłodziarek fluidyzacyjnych do piasków formierskich. / Diagnostic and performance tests on driers and fluidized refrigerators for moulding sands.</li> <li>– Sita i przesiewacze wibracyjne. / Vibrating sieves and screens.</li> <li>– Mieszarki masy formierskiej i rdzeniowej. / Mixers of moulding and core sands.</li> <li>– Badania chłodzenia i homogenizacji masy w urządzeniach nawilżająco-chłodzących – synteza nowych rozwiązań. / Tests on sand cooling and homogenization in humidifying and cooling devices – synthesis of new solutions.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diagnostyka i optymalizacja formierek oraz automatów formierskich. / Diagnostics and optimization of moulding machines and automatic moulding devices.</li> <li>– Linie odlewnicze do formowania bezskrzynkowego oraz w skrzynkach. / Casting lines for flask and flaskless moulding.</li> <li>– Teoria procesów roboczych w nadmuchiwarach i strzelarkach do rdzeni – synteza nowych rozwiązań procesu. / Theory of working processes in core blowers and shooters – synthesis of new process solutions.</li> <li>– Rozszerzony model obliczania zespołów pneumatycznych maszyn dmuchowych. / Expanded model of calculating the pneumatic sets in blowing machines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Badania diagnostyczne chłodziarko-wybijarki w aspekcie optymalizacji konstrukcji. / Diagnostic tests on a cooling and knocking out machine in the aspect of construction optimization.</li> <li>– Systemy wybijania oraz chłodzenia masy i odlewów. / Knocking out and cooling systems for sands and casts.</li> <li>– Oczyszczarki śrutowe do odlewów. / Shot-blasting machines for casts.</li> <li>– Kraty wstrząsowe – badanie procesu kruszenia pakietów masy. / Grating shake-outs – tests on the process of sand package crushing.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Separatory i oddzielacze elektromagnetyczne. / Electromagnetic classifiers and separators.</li> <li>– Badania procesu segregacji i separacji fluidyzacyjnej zanieczyszczeń masy – konstrukcja oddzielacza wibrofluidyzacyjnego. / Tests on the process of segregation and fluidized separation of sand impurities – construction of a vibrofluidized separator.</li> <li>– Systemy i urządzenia do regeneracji osnowy masy zużytej – synteza nowych rozwiązań regeneratorów mechanicznych (wibracyjny płaski, odśrodkowy, łopatkowy i kolumnowy). / Systems and devices for regeneration of waste mass matrix – synthesis of new mechanical regenerator solutions (vibration, flat, centrifugal, blade and column regenerators).</li> </ul>

okresie badania prowadzone we współpracy z przemysłem [7] skupiały się na analizie procesu mieszania w mieszarkach wirnikowych (turbiniowych) nowej generacji, które umożliwiają szybkie uzyskanie przez bentonit jego maksymalnych właściwości wiążących i stanowią wyposażenie nowoczesnych obiegów masy. Ich charakterystyczną cechą jest wielokrotne ścinanie warstw masy przez ostre krawędzie łopatek wirnika, zastępujące rozcieranie, wprowadzanie masy w stan intensywnej cyrkulacji w misie, jej spulchnianie i niewystępowanie efektu ugniatania masy.

Nowoczesne obiegi masy charakteryzuje wprowadzenie urządzeń nawilżająco-chłodzących (homogenizatorów) oraz chłodziarek masy używanej, które w połączeniu z mikroprocesorowymi systemami sterowania i wizualizacją czynności realizowanych w obiegu masy, przyczyniają się do znacznej stabilizacji parametrów masy formierskiej, a tym samym do poprawy jakości form i odlewów. Opracowano urządzenie nawilżająco-

has been conducted in cooperation with the industry [7] and it has focused on the analysis of the mixing process in new generation rotor (turbine) mixers, which enable the bentonite to quickly obtain its maximal binding properties and constitute the equipment of modern mass circulations. Their characteristic properties are: multiple shearing of the sand layers by the sharp edges of the rotor blades, which replaces grinding, introducing the sand into the state of intensive circulation in the pan, its aeration and no presence of the effect of sand kneading.

The modern sand circulations characterize in introducing humidifying and cooling devices (homogenizers) as well as waste mass refrigerators, which, in combination with microprocessor control systems and visualization of the tasks realized within the mass circulation, contribute to a significant stabilization of the moulding sand parameters, and thus to the improvement of the mould and cast quality. A humidifying and homogenizing



-homogenizujące w postaci przenośnika ślimakowego z doprowadzeniem powietrza do chłodzonej masy formierskiej przez elementy mieszające, co zwiększyło skuteczność chłodzenia z jednoczesnym zmniejszeniem poboru mocy wskutek aeracji masy. Ponadto w oparciu o badania własne opracowano wytyczne do konstrukcji homogenizatora bębnowego, przelotowego do warunków zainstalowania w jednej z krajowych odlewni.

### 3.2. Procesy technologiczne i maszyny do sporządzania form i rdzeni

W zakresie maszynowego wyposażenia nowoczesnej rdzeniarni badania dotyczyły przede wszystkim technologii wstrzeliwania rdzeni, utwardzanych czynnikami gazowymi w temperaturze otoczenia z mas nowej generacji, która praktycznie zdominowała wcześniejsze sposoby wstrzeliwania rdzeni, utwardzanych w technologii hot-box.

Optymalizacja procesu wytwarzania rdzeni przez wstrzeliwanie obejmuje dobór parametrów roboczych samego procesuapełnienia rdzennicy i zagęszczenia masy, ale także sposoby utwardzania masy za pomocą czynników gazowych czy termicznych [8,9]. Czynniki optymalizacji jest usystematyzowanie teorii procesów wykonywania rdzeni metodami dmuchowymi oraz badania modelowe i symulacyjne [11,12]. Wprowadzone w wyniku tych badań nowe metody pomiaru wielkości procesowych w opisie teoretycznym procesu pozwalają na znaczne uproszczenie struktury wzorów, przeznaczonych do obliczeń pneumatycznych oraz technologicznych procesu.

Szeroki kompleks zagadnień związanych z badaniem procesu dmuchowego znalazł odzwierciedlenie w monografiach [9,10] oraz w licznych publikacjach krajowych i zagranicznych [6,9,13].

Opracowano model teoretyczny [9,12] umożliwiający obliczenia numeryczne przepływu strumieni powietrza w zespole funkcjonalnym maszyn dmuchowych. W zależności od założonych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych maszyny (pojemność komory nabojuowej i rdzennicy, powierzchnia zaworu strzałowego i szybkość narastania ciśnienia, powierzchnia otworów dmuchowych oraz odpowietrzających, ciśnienie robocze powietrza) uzyskuje się możliwość wpływania na proces zagęszczania masy w przestrzeni technologicznej.

Zostały opracowane podstawy teoretyczne i patenty (Polska, Niemcy, Anglia) całkowicie niekonwencjonalnej odmiany metody procesu dmuchowego, pozwalające na wykonywanie rdzeni dwuwarstwowych w jednym cyklu wstrzeliwania dwóch rodzajów masy o selektywnie dobranych właściwościach pod względem technologicznym i ekonomicznym [8,13].

Podobne rozwiązania, po przeszło 40 latach od chwili opublikowania i opatentowania w Polsce, są obecnie przedmiotem sygnalizowanych w literaturze zagranicznej badań (Japonia, Francja), z zastosowaniem nowocze-

device was designed in the form of a screw conveyor with air supplied to the moulding sand cooled by the mixing elements, which increased the cooling effectiveness and reduced the power consumption as a result of sand aeration. What is more, based on their own research, guidelines were elaborated for the construction of a drum pass and non-pass homogenizer for the conditions of installation in one of the Polish foundries.

### 3.2. Technological processes and machines for mould and core preparation

In the scope of machine equipment of a modern core shop, the research mostly referred to the core shooting technology, the cores being hardened by gas factors at ambient temperature from new generation sands, which has practically dominated the older core shooting methods, where the cores were hardened by the hot-box technology.

The optimization of the core production process by way of shooting includes the selection of the working parameters of the process of filling the core box and sand densification, as well as the ways of sand hardening by means of gas or thermal factors [8,9]. Optimization means systematization of the theory of core manufacture processes by means of blowing methods as well as model and simulation tests [11,12]. The new methods of measuring the process values in a theoretical description of the process, introduced as a result of this research, make it possible to significantly simplify the structure of the models used for the pneumatic and technological calculations of the process.

The wide range of issues connected with the examination of the blowing process has been reflected in monographs [9,10] as well as numerous domestic and foreign publications [6,9,13].

A theoretical model has been developed [9,12] allowing numerical calculations of the air stream flow in the functional unit of blowing machines. Depending on the assumed construction and performance parameters (capacity of cartridge chamber and core box, surface of the blast valve and rate of pressure increase, surface of the blowing and venting holes, air working pressure), it obtained the possibility of influencing the sand densification process in space technology.

Theoretical basics and patents have been developed (Poland, Germany, England) of a completely unconventional variant of the blowing method, allowing the making of two-layer cores in one cycle involving the shooting of two types of sand of selectively chosen properties in the technological and economical aspect [8,13].

Similar solutions, after over 40 years since their publication and patent in Poland, are at present the subject of the research reported in the foreign literature (Japan, France), with the use of computerized measuring systems, which excellently facilitate the mastering of the

snych skomputeryzowanych systemów pomiarowych, znakomicie ułatwiających opanowanie metod pomiaru oraz interpretacji szybkozmiennych procesów zachodzących w maszynach dmuchowych.

### 3.2.1. Badania modelowe procesów dmuchowych

Podstawę opracowania mechanizmu procesów dmuchowych (nadmuchiwanie, wstrzeliwanie masy) stanowiły badania ruchu określonej masy rdzeniowej w komorze nabojewej i w rdzennicy, w zmiennych warunkach odwzorowujących określone sytuacje technologiczne odnośnie do wartości: ciśnienia, średnicy otworów strzałowych (dmuchowych) oraz ilości i usytuowania odpowietrzeń.

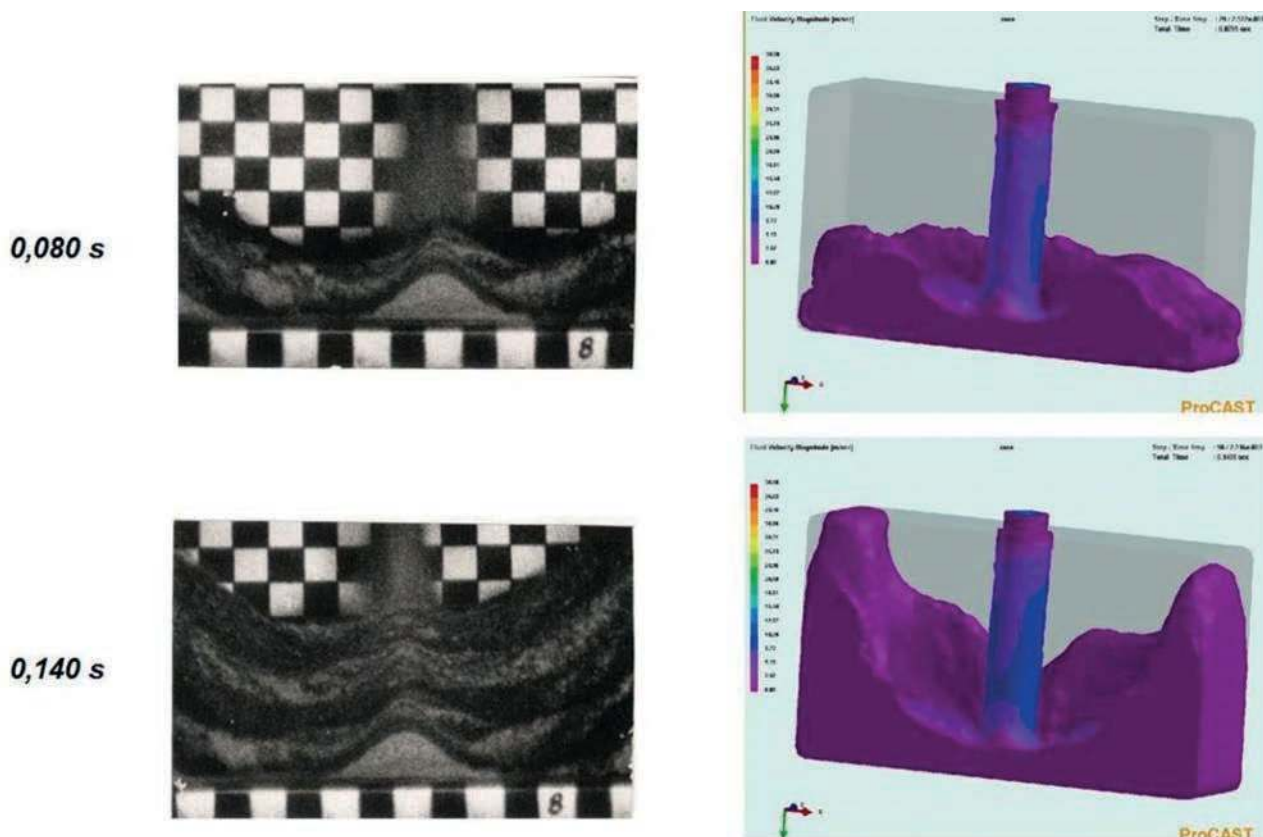
Wizualnej analizie oraz rejestracji szybkozmiennych procesów obecnie dokonuje się za pomocą kamer cyfrowych, natomiast wcześniej, od końca lat 60. stosowane było filmowanie analogowe za pomocą nowoczesnych wówczas kamer optycznych Pentazet 16. Przy szybkości 3000 klatek na sekundę i wprowadzonego znacznika czasu na perforacji filmu (co jedna tysięczna sekundy) była możliwa analiza ruchu masy w rdzennicy.

measuring method and the interpretation of the fast changeable effects occurring in blowing machines.

### 3.2.1. Modelling investigations of blow processes

The basis for the elaboration of the blow mechanism process (sand blowing, shooting) were the investigations of the movement of the particular core sand in the cartridge chamber and the core box, under changeable conditions corresponding to specific technological situations in reference to the value of the pressure and the diameter of the shooting (blowing) holes as well as the number and location of the air vents.

A visual analysis and registration of fast changeable processes are at present performed by means of digital cameras, whereas before, until the end of the 1960s, analogue filming was applied using modern, optical cameras – the Pentazet 16. At the rate of 3000 frames per second, with the introduced time marker on the film perforation (every one thousandth of second), it was possible to analyze the sand movement in the core box.



Rys. 1. Badania symulacyjne ruchu masy w rdzennicy doświadczalnej. Fazy procesu wypełniania rdzennicy masą rdzeniową z pokostem lnianym oznaczoną Ol. Średnica otworu strzałowego  $d = 15$  mm, ciśnienie strzału  $p = 0,6$  MPa (5 atm) [9, 11]

Fig. 1. Simulation tests on the sand movement in an experimental core box. The phases of the process of filling the core box with the core sand with linseed oil varnish denoted as Ol. Shot hole diameter  $d = 15$  mm, shot pressure  $p = 0.6$  MPa (5 atm) [9, 11]

Na **rysunku 1** przedstawiono wybrane kadry z rzeczywistego przebiegu wypełnienia rdzennicy i stan wypełnienia dla tego samego czasu i warunków procesu, uzyskany przez symulację z wykorzystaniem pakietu obliczeniowego PROCAST. Widoczne są rozbieżności, które wynikają z braku precyzji szeregu danych charakteryzujących obliczany przebieg pod kątem właściwości masy rdzeniowej (lepkość, gęstość, współczynnik tarcia pomiędzy ściankami rdzennicy a masą rdzeniową) oraz parametrów strzelarki (ciśnienia, średnicy otworu strzałowego, powierzchni odpowietrzeń), które są wprowadzane do okna dialogowego programu.

Utylitarnym efektem badań naukowo-badawczych, prowadzonych w ostatnim okresie [14], była konstrukcja, wykonanie i uruchomienie produkcji nowej generacji uniwersalnych strzelarek do wytwarzania rdzeni z mas wiązanych najnowszymi, proekologicznymi systemami spoiw<sup>1</sup>.

### 3.2.2. Czynniki określające parametry strugi dwufazowej: powietrze – faza stała

Przeprowadzone badania procesu wypełniania rdzennicy strumieniem piaskowo-powietrznym, pozwoliły ujawnić quasi-hydrauliczne właściwości strugi dwufazowej (powietrze – faza stała), wykazać odmienną formowania się i płynięcia strumienia masy wywołaną przez materiał wiążący (spoiwo żywiczne lub lepiszcze gliniaste), a także opracować metodykę pomiaru głównych czynników oraz tzw. pochodnych czynników charakteryzujących te właściwości, a zarazem determinujących efekty tego procesu. Wykazano, że głównymi czynnikami są:

- natężenie wypływu fazy stałej,
- wartość siły oddziaływania (naporu) dynamicznego strumienia dwufazowego.

Jak wykazano w pracach [8–9,11–13], wymienione wielkości wpływają na uzyskane zagęszczenie masy i strukturę jego rozmieszczenia w rdzennicy oraz na rzeczywisty czas procesu wypełniania wnęki technologicznej.

Wielkościami, które umownie nazwano pomocniczymi, a które reprezentują inne parametry strumienia mieszaniny powietrze – faza stała, analizowane w kategoriach transportu pneumatycznego są:

- gęstość strumienia dwufazowego lub wielkości bezpośrednio związane z gęstością (koncentracja lub stężenie objętościowe bądź ciężarowe fazy stałej, porowatość),

**Figure 1** shows selected frames of an actual course of core box filling and the level of filling for the same time and process conditions, obtained by way of simulation with the use of the calculation packet PROCAST. Discrepancies are visible, which result from the lack of accuracy of a number of data characterizing the calculated course in respect of the core sand properties (viscosity, density, coefficient of friction between the core box and the core sand) as well as the core shooter parameters (pressure, shot hole diameter, air vent surface area), which are introduced in the program's dialogue box.

A utilitarian effect of the research and development activities performed in recent years [14], has been the design, construction and initiation of production of new generation universal core shooters for the making of cores from sand bound by the latest pro-ecological binder systems<sup>1</sup>.

### 3.2.2. Factors determining the two-phase stream parameters: air – solid phase

The performed research on the process of filling the core box with a sand-air stream made it possible to reveal the quasi-hydraulic properties of the two-phase stream (air – solid phase), prove the distinctness of the formation and flow of the mass stream caused by the binding material (resinoid bond or clay binder), as well as elaborate the methodology of measuring the main factors and the, so called, derivative factors characterizing these properties, at the same time determining the effects of this process. It was demonstrated that the main factors are:

- intensity of the solid phase outflow,
- value of the dynamic impact (pressure) of the two-phase stream.

As exhibited in the studies [8–9,11–13], the mentioned quantities affect the obtained mass densification and the structure of its distribution in the core box as well as on the actual time of the process of filling the technological cavity.

The following are the quantities which were conventionally named as auxiliary and which represented other parameters of the air-solid phase mixture stream, analyzed in respect of the pneumatic transport:

- density of the two-phase stream or quantities directly connected with density (concentration or volume/mass fraction of the solid phase, porosity),

<sup>1</sup> Projekt w ramach Programu INNOTECH w ścieżce programowej IN-TECH. Wykonawca: Ferro-Masz T. Fulko i Wspólnicy sp.j., Współwykonawca: AGH, Wydział Odlewnictwa (2012).

<sup>1</sup> Project within the frames of the INNOTECH Program, in the IN-TECH path. Implemented by: Ferro-Masz T. Fulko & Co. GP, Co-implemented by: AGH, Faculty of Foundry Engineering (2012).

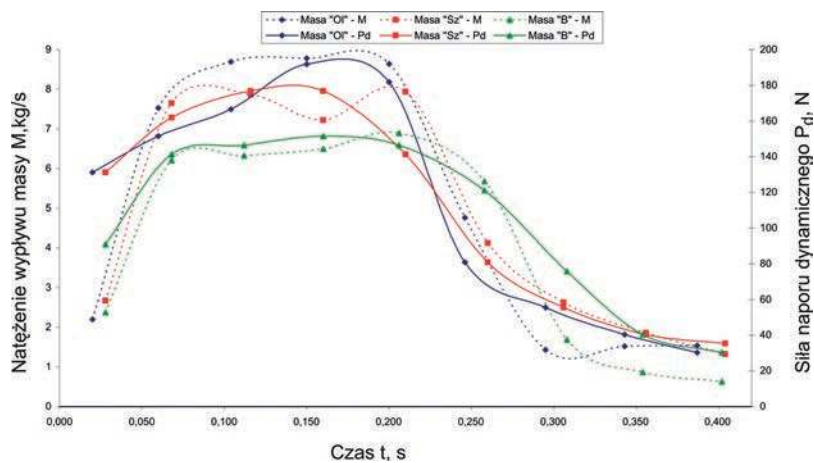
- uśredniona prędkość obu faz składowych strumienia piaskowo-powietrznego,
- prędkość poślizgu fazy stałej oraz wzajemny stosunek prędkości fazy stałej i gazowej w strumieniu wypływającym z komory nabojojowej do rdzennicy.
- averaged rate of both component phases of the sand-air stream,
- rubbing speed of the solid phase and solid and gas phase speed ratio in the stream flowing out of the cartridge chamber into the core box.

Na **rysunku 2** przedstawiono wyznaczone doświadczalnie przebiegi siły naporu dynamicznego  $P_d$  strumienia piaskowo-powietrznego i natężenia wypływu  $M$  dla otworu strzałowego  $d_1 = 25$  mm i ciśnienia w sieci  $p_s = 0,65$  MPa (masa oznaczona „Ol”).

Dane te posłużyły do określenia przebiegów czasowych wielkości pochodnych procesu przedstawionych na **rysunku 3**, które dla rdzenia o danej masie [kg] są nieodzowne do określenia takich parametrów procesu dmuchowego, jak: jednostkowe natężenie wypływu masy  $q$  [ $\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ], sumaryczna powierzchnia otworów doprowadzających masę do rdzennicy [ $\text{cm}^2$ ] i czas zapełniania rdzennicy [s].

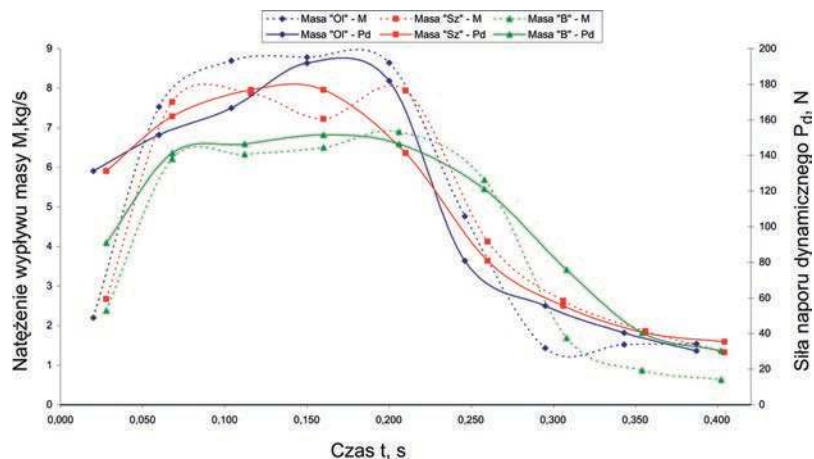
**Figure 2** shows the experimentally determined courses of the dynamic impact  $P_d$  of the sand-air stream and the outflow concentration  $M$  for the shot hole  $d_1 = 25$  mm and the pressure in the network  $p_s = 0.65$  MPa (denoted as „Ol”).

This data was used to determine the time courses of the process derivatives presented in **Figure 3**, which, for a core of given mass [kg], are necessary for the determination of such parameters of the blow processes as: unit mass outflow concentration  $q$  [ $\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ], total surface area of the holes through which the mass is transported into the core box [ $\text{cm}^2$ ] and time of core box filling [s].



Rys. 2. Wyznaczone doświadczalnie przebiegi siły naporu dynamicznego  $P_d$  strumienia piaskowo-powietrznego i natężenia wypływu  $M$  w strzałarce SR-3D,  $p_r = 0,6$  MPa,  $d_o = d_1 = 25$  mm [10,15]

Fig. 2. Experimentally determined courses of the dynamic impact  $P_d$  of the sand-air stream and the outflow concentration  $M$  in the core shooter SR-3D,  $p_r = 0.6$  MPa,  $d_o = d_1 = 25$  mm [10,15]



Rys. 3. Przebiegi czasowe prędkości  $c_m$  strumienia piaskowo-powietrznego i jego koncentracji objętościowej  $\mu_v$  [10,15]

Fig. 3. Time courses of the speed of the sand-air stream  $c_m$  and its volume fraction  $\mu_v$  [10,15]

W zależności od wielkości i stopnia skomplikowania można dla przykładu podać następujące grupy wielkości  $q$ , do obliczania parametrów głowicy dmuchowej dla rdzeni wykonywanych z masy zawierającej dwuskładnikową żywicę fenolową utwardzaną związkami aminy, podawanymi w postaci gazowej:

- rdzenie masywne proste:  $q = 2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$ . Odpowiada to wymaganej powierzchni otworu dmuchowego wynoszącej  $0,5 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  rdzenia,
- rdzenie masywne, mające przewężenia i zasilane przez kilka otworów dmuchowych:  $q = 1,0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$  ( $1,0 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  rdzenia),
- rdzenie o średniej masywności, którym stawia się wymagania dokładnego odwzorowania powierzchni:  $q = 0,5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$  ( $2 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  rdzenia),
- rdzenie skomplikowane, cienkościenne:  $q = 0,2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$  ( $5 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  rdzenia),
- rdzenie bardzo skomplikowane cienkościenne, odtworzające na przykład systemy chłodzenia wodnego w silnikach spalinowych:  $q = 0,143 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$  ( $7 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  rdzenia).

Depending on the degree of complication, we can point to exemplary quantity groups  $q$ , for the calculation of the blow head, for the cores made of a mass containing two-component phenolic resin hardened with amine compounds, applied in the gas form:

- straight massive cores:  $q = 2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$ . This corresponds to the required surface of the blowing hole equaling  $0.5 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  core,
- massive cores with a necking, powered by several blowing holes:  $q = 1.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$  ( $1.0 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  core),
- medium-massive cores, required to accurately represent the surface:  $q = 0.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$  ( $2 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  core),
- complicated, thin-walled cores:  $q = 0.2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$  ( $5 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  core),
- highly complicated thin-walled cores, recreating e.g. water cooling systems in combustion engines:  $q = 0.143 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$  ( $7 \text{ cm}^2/1 \text{ kg}$  core).

### 3.3. Systemy i urządzenia do regeneracji osnowy masy zużytej – synteza nowych rozwiązań regeneratorów mechanicznych

Przeprowadzone badania systemów i urządzeń do regeneracji osnowy masy zużytej [16–20] pozwoliły na opracowanie kilku doświadczalnych stanowisk badawczych do regeneracji: mechanicznej, mechaniczno-kriogenicznej i termicznej, a także na zaprojektowanie i zbudowanie prototypowego, nowoczesnego regeneratora wibracyjnego o specjalnej konstrukcji, pozwalającego na realizację zarówno regeneracji wstępnej, jak i finalnej, w układzie sprzężonym z pneumatycznym klasyfikatorem chłodząco-odpylającym.

Na [rysunku 4](#) przedstawiono widok regeneratora prototypowego na stanowisku badawczym z symbolicznym zaznaczeniem realizowanych prób i analiz, którym jest poddawana masa zużyta oraz produkty regeneracji [18,20].

Urządzenie charakteryzuje się innowacyjną metodą zmiany intensywności obróbki regeneracyjnej przez automatyczną zmianę parametrów wibracji dostosowanych do wymagań danej masy zużytej. Opracowany w ramach projektu regenerator wibracyjny jest przedmiotem zgłoszeń patentowych w Polsce, krajach UE, a także w USA, gdzie patent już został przyznany. Właścicielem patentu jest Akademia Górniczo-Hutnicza.

### 3.3. Systems and devices for waste mass matrix regeneration – synthesis of new solutions for mechanical regenerators

The performed research on the systems and devices for the regeneration of the waste mass matrix [16–20] made it possible to develop several test stands for mechanical, mechanic-cryogenic and thermal regeneration, as well as to design and construct a prototype modern vibration regenerator of a special construction, which makes it possible to perform both preliminary and final regeneration, in a system coupled with a cooling and dedusting pneumatic classifier.

[Figure 4](#) shows a view of the prototype regenerator at a test stand, with a symbolic marking of the realized trials and tests performed on the waste mass and the regeneration products [18,20].

The device characterizes in an innovative method of changing the intensity of the regeneration treatment by way of an automatic change of the vibration parameters, adjusted to the requirements of the given waste mass. The vibration regenerator developed within the project has been patent pending in Poland and the UE, whereas in the USA, the patent has been already granted. The owner of the patent is AGH University of Science and Technology.



Rys. 4. Widok regeneratora prototypowego na stanowisku badawczym z symbolicznym zaznaczeniem realizowanych prób i analiz [18,20]

Fig. 4. View of the prototype regenerator at the test stand with a symbolic marking of the realized trials and analyses [18,20]

#### 4. Procesy i maszyny do technologii form trwałych

W zakresie maszyn do odlewania w formach trwałych badania prowadzone na Wydziale Odlewnictwa AGH koncentrują się przede wszystkim na optymalizacji technologii odlewnictwa ciśnieniowego we współpracy z krajowymi odlewniami. Została przeprowadzona analiza teoretyczna i symulacja komputerowa przemieszczania ciekłego metalu w komorze prasowania, która stała się podstawą do zbudowania w innej jednostce organizacyjnej AGH<sup>2</sup>, cennego stanowiska modelowego i opracowania algorytmu sterowania prędkością przemieszczania tłoka, w celu ograniczenia znanego, niekorzystnego zjawiska „okluzji” pęcherzy powietrza przez ciekły metal w komorze prasowania [21,23].

W badaniach modelowych [22], zrealizowanych w ramach projektu badawczego KBN nr 3TO8B 025, zastosowano model fizyczny formy ciśnieniowej o kształcie prostokątnej wnęki o wymiarach: 280 mm (wysokość) × 190 mm (szerokość) × 10 mm (głębokość). Wykonano trzy wersje kształtu wnęki roboczej, w której umieszczano elementy kształtujące przepływ cieczy modelowej o różnej lepkości.

#### 4. Processes and machines for permanent mould technologies

In the scope of machines for permanent mould casting, the research conducted at the Faculty of Foundry Engineering of AGH are mostly concentrated on the optimization of the pressure casting technology in cooperation with domestic foundries. A theoretical analysis and a computer simulation were performed of the shift of the liquid metal in the pressing chamber, which became the basis for the construction of a valuable model stand at another organizational unit of AGH<sup>2</sup>, as well as for the elaboration of an algorithm for controlling the speed of the piston shift, in order to limit the known disadvantageous phenomenon of ‘occlusion’ of the air bubbles by the liquid metal in the pressing chamber [21,23].

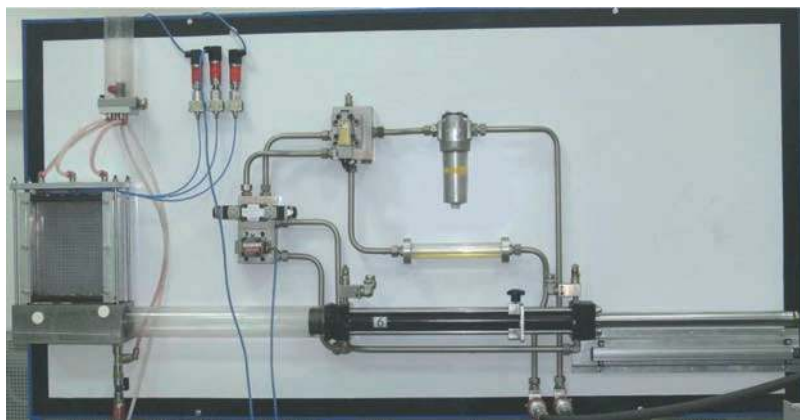
In the model tests [22], realized within the KBN (State Committee for Scientific Research) research project no. 3TO8B 025, a physical model of the pressure chamber of the shape of a cuboidal cavity and the dimensions of: 280 mm (height) × 190 mm (width) × 10 mm (depth) was applied. Three shape variants of the working cavity were prepared, in which the elements shaping the model liquid flow of different viscosities were placed.

<sup>2</sup> Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

<sup>2</sup> Faculty of Mechanical Engineering and Robotics

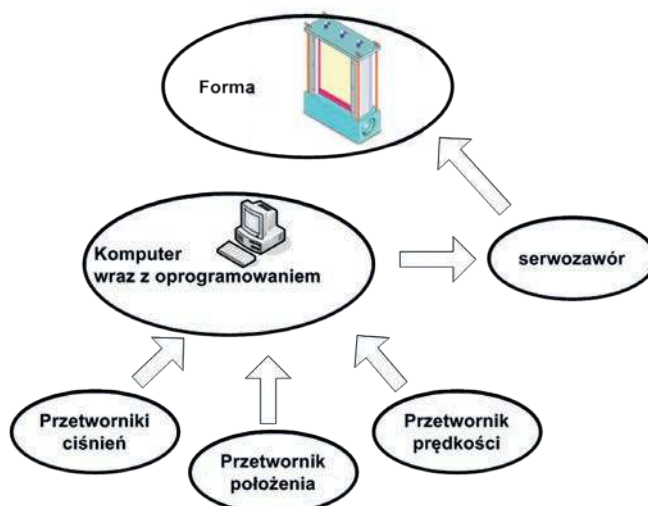
Widok stanowiska przedstawiono na [rysunku 5](#), natomiast na [rysunku 6](#) podano schemat konfiguracji układu pomiarowo-sterującego stanowiska.

A view of the test stand is shown in [Figure 5](#), whereas [Figure 6](#) presents a diagram of its measuring and control system configuration.



Rys. 5. Widok stanowiska do badań modelowych właściwości hydrodynamicznych strugi metalu i zapelnienia form w ciśnieniowych maszynach zimnokomorowych [22]

Fig. 5. View of the model test stand for the hydrodynamic properties of the metal stream and the filling of the moulds in cold-chamber machines [22]



Rys. 6. Schemat ideowy konfiguracji układu pomiarowo-sterującego stanowiska [21,22]

Fig. 6. Schematic diagram of the stand's measuring and control system configuration [21,22]

Opracowana monografia *Maszyny i urządzenia do odlewania pod ciśnieniem. Podstawy teorii – Konstrukcja – Pomiary i eksploatacja* [21] stanowi kompendium wiedzy o podstawach teoretycznych odlewania ciśnieniowego, łącząc metody odlewania pod wysokim ciśnieniem oraz pod niskim ciśnieniem (w tym również z przeciwcisnieniem). Zawarte w opracowaniu relacje ilościowe różnych parametrów stanowią pomoc dla użytkowników maszyn w zakresie konstrukcji i eksploatacji urządzeń ciśnieniowych lub ich zespołów funkcjonalnych.

Monograph *Machines and devices for pressure casting were developed. Theoretical basics – Construction – Measurements and performance* [21] constitutes a compendium of knowledge of the pressure casting theoretical basics, by combining high and low pressure (including counter-pressure) casting methods. The quantitative relations of different parameters included in this study constitute an aid for machine users in respect of the construction and operation of pressure devices and their functional units.

## 5. Podsumowanie

Warunkiem rozwoju polskiego odlewnictwa jest ciągle wprowadzanie nowoczesnych technologii i związanych z nimi urządzeń zmniejszających pracochłonność i zużycie materiałów, a przez to także obniżających koszty produkcji odlewów w całym sektorze gospodarki, pozwalając jednocześnie na elastyczne stosowanie wielu odmian technologii, stosownie do stawianych im wymagań technicznych. W perspektywie malejących dotacji unijnych, których beneficjentami były dotychczas głównie odlewnie duże, przeznaczające większość uzyskanych środków na zakup maszyn i wyposażenia zagranicznego, należy stworzyć techniczne warunki rozwoju maszynowego wyposażenia dla małych i średnich odlewni w oparciu o własne, krajowe rozwiązania maszyn. Na pierwszy plan wysuwa się potrzeba odbudowy polskich wytwórni maszyn odlewniczych, o dobrym poziomie technicznym, odpowiadających potrzebom i możliwościom finansowym małych i średnich odlewni, nadal dominujących w ogólnej ich liczbie w Polsce.

Omówiona fragmentarycznie tematyka prac poznawczych i badań podstawowych już przeprowadzonych w AGH oraz osiągnięcia wspomagające konstrukcję, a także produkcję krajowych maszyn są przykładem oferowanych możliwości wspomagania naukowo-badawczego inicjatyw służących doskonaleniu wyposażenia maszynowego dla technologii odlewniczych.

## Podziękowania

Autor pragnie skorzystać z możliwości podziękowania Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za stworzenie warunków sprzyjających do realizacji całokształtu badań oraz materialnego ich wspomagania w ramach:

1. Indywidualnych oraz zespołowych badań własnych i statutowych realizowanych na Wydziale Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w latach 1985–2005.
2. Projektu badawczego KBN Nr 3TO8B 025 28 pt.: „Badania modelowe właściwości hydrodynamicznych strugi metalu i wypełnienia form w ciśnieniowych maszynach zimnokomorowych” realizowanego w latach 2003–2006.
3. Projektu POIG pt.: „Wykorzystanie nowoczesnych technologii regeneracji zużytych mas formierskich do opracowania koncepcji i wykonania innowacyjnego regeneratora wibracyjnego”, Nr umowy o dofinansowanie UDA-POIG. 01.03.01-12-007/09-04, realizowanego w latach 2009–2012.

## 5. Conclusions

A condition for the development of the Polish foundry is the continuous introduction of new technologies and related devices, which can reduce labour consumption and wear of materials, and thus, also, the cast production costs in the whole economical sector, at the same time, allowing for flexible use of many technology variations, according to the placed technological requirements. In view of decreasing UE subsidies, from which mostly large foundries have benefitted so far by assigning the majority of the obtained resources to the purchase of foreign machines and equipment, technical conditions should be created for the development of machines in small and medium foundries based on our own domestic solutions. A priority seems to be the need for the reconstruction of the Polish casting machine manufactures, ensuring their good technical standard, corresponding to the needs and financial capabilities of small and medium foundries, which are still dominant in Poland.

Discussed fragmentary themes of work cognition and basic research already conducted at the AGH as well as the achievements supporting the construction and production of domestic machines are an example of the offered possibilities of research and development assistance in the initiatives aimed at perfecting machine equipment for casting technologies.

## Acknowledgements

The author would like to thank the Ministry of Science and Higher Education for providing favourable conditions for the realization of the whole research and for its financial support:

1. Individual and team studies, own and statutory, realized at the Faculty of Foundry Engineering of the AGH University of Science and Technology in Kraków, in 1985–2005.
2. The research project KBN Nr 3TO8B 025 28, entitled: “Model studies of the hydrodynamic properties of the metal stream and the filling of moulds in pressure cold-chamber die-casting machines”, realized in 2003–2006.
3. The POIG project, entitled: “Application of modern technologies of regenerating used moulding sands to elaborate a concept and construction of an innovative vibration regenerator”. Co-financing agreement no. UDA-POIG. 01.03.01-12-007/09-04, realized in 2009–2012.



## Literatura/References

1. Sobczak J.J. 2013. „Stan obecny i perspektywy rozwojowe przemysłu odlewniczego”. Konferencja Komitetu Metalurgii PAN „Polska Metalurgia w Unii Europejskiej 2005–2013, Przemysł – Badania – Kształcenie”. Przegorzały, 17–18 czerwca 2013.
2. Dańko J. 1998. „Nowoczesne wyposażenie maszynowe warunkiem rozwoju polskich odlewni”. *Przegląd Odlewnictwa* 48 (9) : 261–267.
3. Dańko J. 2004. „Odnova maszynowego wyposażenia odlewni jako główny czynnik rozwoju polskiego odlewnictwa w ramach Unii Europejskiej”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* 24 (3) : 45–51.
4. „47th Census of World Casting Production Dividing Up the Global Market”. 2014. *Modern Casting* (January/February) : 26–33.
5. Górny Z., J. Dańko. 2001. Badania dla odlewnictwa prowadzone w Polsce w ostatnim dziesięcioleciu. W *III Polski Kongres Odlewnictwa: polskie odlewnictwo w zintegrowanej Europie*, Warszawa 13–14 października 2000, red. M. Perzyk, A. Kocharński, 18–43. Warszawa: Zakład Odlewnictwa Politechniki Warszawskiej, 2001.
6. WTEC Panel Report. 1998. *Advanced casting technologies in Japan and Europe*. World Technology Evaluation Center.
7. Rudy C. 2009. *Analiza procesów zachodzących w mieszarkach wirnikowych*. Rozprawa doktorska. Kraków: Wydział Odlewnictwa AGH.
8. Dańko J. 1985. Technological and economical aspects of core shooting. W *34 Annual Convention Institute of Indian Foundrymen*, 36–48. Bombay.
9. Dańko J. 1992. *Proces wytwarzania rdzeni i form odlewniczych metodami dmuchowymi. Badania i teoria*. Rozprawa habilitacyjna. Kraków: Wydział Odlewnictwa AGH.
10. Dańko R. 2009. Teoretyczne i technologiczne aspekty dmuchowych procesów wytwarzania rdzeni odlewniczych. W *Postępy teorii i praktyki odlewniczej*, red. J. Szajnar, 71–86. Katowice: Polska Akademia Nauk, Oddział Katowice, Komisja Odlewnicza.
11. Dańko J., R. Dańko, A. Burbelko, M. Skrzyński. 2012. „Parameters of the two-phase sand-air stream in the blowing process”. *Archives of Foundry Engineering* 12 (4) : 25–30.
12. Dańko R., J. Dańko, A. Burbelko, M. Skrzyński. 2014. „Core blowing process – assessment of core sands properties and preliminary model testing”. *Archives of Foundry Engineering* 14 (1) : 25–28.
13. Dańko J. 2000. „Podstawy teoretyczne technologii wstrzeliwania dwuwarstwowych form i rdzeni”. *Krzepnięcie Metali i Stopów* 2 (43) : 115–122.
14. Aślanowicz M., J. Dańko, R. Dańko, A. Fedoryszyn, T. Fulko. 2013. „Conceptual design of a core making system”. *Archives of Foundry Engineering* 13 (sp.is. 1) : 13–16.
15. Górski S., T. Sowa T. 2008. *Główne parametry robocze maszyn dmuchowych i nowe metody ich pomiaru*. Praca dyplomowa inżynierska. Kraków: Wydział Odlewnictwa AGH.
16. Bodzoń L., J. Dańko, L. Żurawski. 1989. „Elements of the process of waste sand dry reclamation”. *Archives of Metallurgy and Materials* 34 (3) : 405–416.
17. Dańko J., M. Łucarz. 1997. „Analiza symulacyjna parametrów bezударowego regeneratora odśrodkowego”. *Przegląd Odlewnictwa* (7–8) : 230–234.
18. Dańko J., R. Dańko, M. Holtzer, K. Matuszewski. 2012. „Universal mechanical vibratory reclaimer for recycling of spent sands matrices”. *Archives of Foundry Engineering* 12 (sp.is. 1) : 15–20.
19. Kowal J., J. Dańko, J. Stojek. 2013. „Quantitative and qualitative methods for evaluation of measurement signals on the example of vibration signals analysis from the corps of prototype reclaimer REGMAS”. *Archives of Metallurgy and Materials* 5 (3) : 827–831.
20. Dańko R., J. Dańko, M. Holtzer. 2013. Used foundry sand reclamation in new vibratory unit. W *TMS 142<sup>nd</sup> Annual Meeting & Exhibition "Linking Science and Technology for Global Solutions"*. Supplemental Proceedings, 609–616. San Antonio, Texas: The Minerals, Metals & Materials Society.
21. Dańko J. 2000. *Maszyny i urządzenia do odlewania pod ciśnieniem. Podstawy teorii – Konstrukcja – Pomiar i eksploatacja*. Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne.
22. Dańko J., J. Stojek, R. Dańko. 2007. „Model Testing of Casting Process in Cold-Chamber Die Casting Machine”. *Archives of Metallurgy and Materials* 52 (3) : 503–513.
23. Dańko J., R. Dańko, J. Stojek, M. Górny. 2010. „Filling the model die casting mould – analysis by means of the LEICA QWIN 2.2 program”. *Archives of Metallurgy and Materials* 55 (3) : 779–785.

