

Wybrane procesy odlewnicze w aspekcie ich wpływu na ochronę środowiska

Selected casting processes in the aspect of their effect on the environment protection

Zdzisław Żółkiewicz¹

¹Instytut Odlewnictwa, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Polska

¹Foundry Research Institute, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Poland

*Corresponding author: zdzislaw.zolkiewicz@iod.krakow.pl

Received: 17.04.2018. Accepted in revised form: 30.09.2018.

© 2018 Instytut Odlewnictwa. All rights reserved.

DOI: 10.7356/iod.2018.08

Streszczenie

W artykule przedstawiono wpływ wybranych elementów procesu technologicznego wykonania odlewu na otoczenie na stanowisku pracy, jak również na środowisko zewnętrzne. Z wykonaniem odlewu powiązane są operacje technologiczne, które mogą w mniejszym lub większym stopniu wpływać na warunki panujące na stanowisku pracy i w otoczeniu zakładu. Stosowane procesy technologiczne do wykonywania odlewów związane są z występowaniem w procesach odlewniczych wielu zagrożeń, np.: zanieczyszczeń, skażeń, hałasu, wydzielalność gazów i innych czynników szkodliwych dla zdrowia i środowiska naturalnego. Wiele procesów technologicznych powiązanych jest z uciążliwością warunków pracy w odlewniach. Przedstawiono korzyści i zagrożenia wynikające ze stosowania do wykonania odlewów technologii modeli zgazowywanych (Lost Foam). W ostatnich latach technologia odlewania z wykorzystaniem modeli zgazowywanych znajduje szerokie zastosowanie w świecie nie tylko do odlewów z metali nieżelaznych, ale również do odlewów wykonywanych ze stopów żelaza. Wykonywane są skomplikowane odlewy np. dla przemysłu samochodowego (głowice samochodowe). Produkcja odlewów z wykorzystaniem modeli polistyrenowych jest znacznie mniej energochłonna i pracochłonna, aniżeli modeli z tradycyjnych tworzyw.

Technologia ta jest technologią innowacyjną, energooszczędną, charakteryzuje się wieloma technicznymi, ekologicznymi i ekonomicznymi korzyściami, a także pozytywnie wpływa na ochronę środowiska pracy.

Słowa kluczowe: środowisko, technologia wykonania odlewu, modele zgazowywane, polistyren, wydzielalność gazów

Abstract

The article discusses the impact of selected operations of the casting production technological process on the workplace environment, as well as on the external environment. The casting production is associated with technological operations that may have a greater or lesser impact on the conditions at the workplace and the environment of the industrial plant. Foundry processes applied in making castings are associated with the occurrence of many hazards, e.g. pollution, contamination, noise, gas emissions and other factors harmful to health and the natural environment. Many technological processes are related to the onerous working conditions in foundries. The benefits and threats of the Lost Foam technology for making castings are presented. In recent years, the casting technology using gasified models has been widely used for making castings in the world not only made from non-ferrous alloys, but also for iron-base alloys. Complicated castings could be made, e.g. car engine heads for the automotive industry. Castings production using polystyrene models is much less energy-intensive and labor-intensive than technology using models from traditional materials.

This technology is innovative, energy-saving, and is characterized by many technical, ecological and economic benefits, and also affects the protection of the workplace environment positively.

Keywords: environment, casting technology, gasified models, polystyrene, gas emissivity

1. Wstęp

Odlewnicze procesy technologiczne wykorzystują różne techniki oraz tworzywa do wykonania modelu, formy i odlewu charakteryzujące się różnorodnością ich składu chemicznego oraz właściwości. Stosowane w odlewniach procesy technologiczne wykonania odlewu mogą stwarzać zagrożenie dla środowiska. Większość stosowanych w praktyce procesów technologicznych stwarza problemy na stanowisku pracy oraz dla otoczenia związane z występowaniem: zanieczyszczeń, skażeń, hałasu i innych czynników szkodliwych dla zdrowia i środowiska naturalnego. Dla ograniczenia lub eliminacji ich wpływu na otoczenie prowadzi się badania zmierzające do opracowania nowych tworzyw oraz metod wykonania odlewu charakteryzujących się przyjaznymi warunkami pracy. Jednym z kierunków jest opracowanie nowych tworzyw i technologii wykonania odlewu np. zastosowanie modeli polistyrenowych. Metoda ta zaliczana jest do technik innowacyjnych. Charakteryzuje się ona wieloma zaletami technicznymi i ekologicznymi. Zastosowanie technologii modeli zgazowywanych w praktyce wymaga poznania zasad stosowania tej technologii przez kadrę techniczną zakładu. Wymaga to wprowadzenia w zakładzie nowego, innego wyposażenia technicznego wymaganego dla tej technologii.

Procesy odlewnicze zaliczane są do energochłonnych i pracochłonnych. Do podstawowych zagrożeń występujących na stanowisku pracy oraz dla otoczenia zaliczyć można: wysoką temperaturę, hałas, wibrację, zapylenie, wydzielalność gazów.

Prowadzone przez jednostki naukowe prace badawcze zmierzają do ograniczenia wpływu procesu technologicznego na środowisko przez modyfikacje istniejących lub opracowanie nowych, ekologicznych i energooszczędnych:

- technologii,
- tworzyw.

2. Wprowadzenie

W wielu dotychczasowych publikacjach [1–9,14], związanych z ochroną środowiska i warunkami pracy w odlewniach, przedstawiono ogólne i szczegółowe problemy związane z: zanieczyszczeniami, skażeniami, hałasem i innymi czynnikami szkodliwymi dla zdrowia i środowiska naturalnego oraz powodującymi uciążliwość warunków pracy w odlewniach. Poniżej wymieniono skrótowo najważniejsze z nich, dla porównania pewnych danych i wskaźników dla odlewni stosujących tradycyjne technologie formy oraz nową technologię – modeli zgazowywanych *Lost Foam*. W obu porównywanych procesach technologicznych występują po-

1. Introduction

Technological casting processes apply various techniques and materials for the preparation of the model, the mould and the cast, which characterize in a diversity of chemical compositions and properties. The technological casting processes applied at foundries may pose threats to the environment. Most of the practically applied technological processes create problems at the workstation as well as for the environment, which are connected with: impurities, contamination, noise as well as other factors harmful for the health and the natural environment. In order to limit or eliminate their effect on the environment, research is being conducted to develop new materials and casting methods characterizing in friendly working conditions. One of the research directions is the development of new materials and casting technologies, e.g. the use of polystyrene models. This method is included in the group of innovative techniques. It characterizes in many technical and ecological advantages. The application of the gasified model technology in practice requires the technical staff of the industrial plant to become familiarized with the principles of its use. This, in turn, requires the introduction of new different technical equipment needed for this technology.

Casting processes are energy-consuming and labour-consuming. The basic threats for the workstation and the environment include: high temperature, noise, vibration, dustiness, gas emissivity.

The studies conducted by research plants aim at limiting the effect of the technological process on the environment through a modification of the existing, or elaboration of new ecological and energy-saving:

- technologies,
- materials.

2. Lead-in

Many existing publications [1–9,14] related to the protection of the environment and the workstation at foundries discuss the general as well as detailed problems connected with: impurities, contaminations, noise as well as other factors harmful to the health and the natural environment and causing arduousness of the working condition at casting houses. Listed below are the most important of them, in comparison with some data and indexes for foundries applying traditional mould technologies as well as the new gasified model technology, *Lost Foam*. Both compared technological processes involve the performance of similar operations,

dobne operacje, których nie analizowano np. topienie i uszlachetnianie ciekłych stopów odlewniczych.

Przyjęto, że dokonane zostanie porównanie pozostałych etapów procesu, a więc:

- wytwarzanie modeli,
- wykonywanie form i rdzeni,
- zalewanie form,
- wybijanie i oczyszczanie odlewów,
- usuwanie układu wlewowego, oczyszczanie i obróbka wykańczająca odlewy.

W artykule porównano dwa różniące się procesy technologiczne, a mianowicie tradycyjną technologię wykonywania odlewów w masach formierskich oraz technologię stosującą modele zgazowywane do wykonywania odlewu. Takie porównanie może dać przesłanki do zastępowania w odlewniach tradycyjnych technologii formy nowymi, ekologicznymi procesami wykonania odlewu.

3. Czynniki szkodliwe i uciążliwe w odlewni stosującej tradycyjne technologie wykonania formy

W pracach [2–9] sklasyfikowano dziewięć najważniejszych problemów z zakresu ochrony środowiska w odlewniach, stosujących masy formierskie do wykonania formy.

Najpoważniejszy problem stanowią:

- odpady masy formierskiej i rdzeniowej,
- składniki organiczne występujące w odpadach masy formierskiej i rdzeniowej,
- zanieczyszczenia metaliczne występujące w odpadach masy formierskiej i rdzeniowej,
- związki chemiczne stosowane w procesach odlewniczych,
- hałas,
- wibracja,
- zapylenie,
- wydzielalność gazów,
- temperatura.

which have not been analyzed, such as melting and purification of liquid casting alloys.

It was assumed that a comparison of the other stages of the process would be performed, which included:

- Preparation of the models,
- Preparation of the moulds and cores,
- Casting into the moulds,
- Knocking-out and cleaning of the casts,
- Removal of the gating system, cleaning and finishing treatment of the casts.

The article compares two deferring technological processes, that is the traditional technology of producing casts in moulding sands and the technology applying gasified models for the cast preparation. Such a comparison can provide premises for the foundries to replace the traditional mould technologies by new ecological casting processes.

3. Harmful and arduous factors at a foundry applying traditional mould preparation technologies

The studies [2–9] classify the nine most important problems in the scope of environment protection at foundries which apply moulding sands to prepare the mould.

The most serious problem is constituted by:

- Moulding and core sand waste material,
- Organic components present in moulding and core sand waste material,
- Metallic impurities present in moulding and core sand waste material,
- Chemical compounds used in the casting processes,
- Noise,
- Vibration,
- Dustiness,
- Gas emissivity,
- Temperature.

Ważnym problemem występującym na stanowisku pracy jest emisja gazów w czasie formowania, wykonywania rdzeni, zalewania form, wybijania odlewów. Gazy są stałym elementem występującym podczas topienia i odlewania metalu do formy.

Zapylenie występuje podczas przerobu mas, formowania, wykonywania rdzeni, wybijania, oczyszczania i wykańczania odlewów – to następnym ważnym problemem. Głównym składnikiem pyłów jest wolna krzemionka krystaliczna, której negatywne skutki oddziaływania na organizmy narażonych pracowników trzeba oceniać przede wszystkim z punktu widzenia medycznego. Według [7–9] 68% pyłu kwarcowego występuje w postaci frakcji <2 µm, 32% w postaci frakcji 2–10 µm.

Konsekwencją nasilonego występowania tych problemów może być zanieczyszczenie wód i powietrza, sięgające skutkami poza teren odlewni [2–9].

Poza wymienionymi problemami dochodzi czynnik w postaci: dużej pracochłonności i uciążliwości przy wykonywaniu wielu operacji [1,4,8] procesu technologicznego wykonania odlewu, np. regeneracji i przerobu mas formierskich i rdzeniowych, formowaniu ręcznym, topieniu, zalewaniu formy ciekłym metalem, wybijaniu, oczyszczaniu i wykańczaniu odlewów.

W pracy [8] podjęto próbę sklasyfikowania mas formierskich i rdzeniowych pod względem ich toksyczności. Z przedstawionych danych wynika, że w prowadzonych badaniach najbardziej szkodliwa była masa ze spoiwem fosforanowo-gipsowym, najmniej szkodliwa – masa bentonitowa.

W pracy [1] przeprowadzono badania zmierzające do określenia wpływu badanych dodatków do masy bentonitowej na wydzielalność gazów w zakresie temperatury od 30°C do 1000°C. Określono emisję gazów: CO₂, SO₂ oraz węglowodory monoaromatyczne: benzen, toluen, etylobenzen, styren i izomery ksylenu, nazywane w skrócie BTEX.

Rodzaj wydzielonych gazów i ich skład zależy od składu masy formierskiej, stosowanych powłok, temperatury. W temperaturze pokojowej mogą się wydzielać lotne składniki z rozpuszczalników spoiwa. W wysokiej temperaturze następuje rozkład substancji chemicznych, wydzielanie się substancji, które w składzie wyjściowym np. w spoiwie nie występowały. Stosując masy formierskie, w zależności od składu chemicznego i rodzaju stosowanych żywic, należy się liczyć z wydzielalnością wielu gazów, np. CO, CO₂, formaldehyd, fenol, benzen, toluen, etylobenzen, węglowodory i inne.

Porównanie różnych technologii wykonania odlewu może dać przesłanki do zastępowania w odlewniach niektórych tradycyjnych technologii formy nowymi ekologicznymi procesami. Alternatywą może być technologia modeli zgazowywanych umożliwiającą zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska i znaczną poprawę warunków pracy. W technologii modeli zgazowywanych nie stosuje się mas formierskich i rdzeniowych. Eliminuje się

An important problem present at the workstation is the gas emission during the process of moulding, core preparation, casting into the mould sand knocking-out of the casts. Gases are a constant component present during the melting and casting of the metal into the mould.

Dustiness occurs during the moulding sand processing, the core preparation, as well as the knocking-out, cleaning and finishing of the casts. This is another crucial problem. The main component of the dusts is free crystalline silica, whose negative effect on the organisms of the exposed workers should be mainly evaluated from the medical point of view. According to [7–9], 68% of quartz dust is present in the form of fraction <2 µm, and 32% in the form of fraction 2–10 µm.

A consequence of the intensified presence of the above problems can be impurification of the water and the air, which reach beyond the premises of the foundry [2–9].

Beside the mentioned problems, there is also the factor of high labour-consumption and arduousness connected with the performance of many operations [1,4,8] being part of the casting technological process, e.g. regeneration and processing of the moulding and core sands, manual moulding, melting, casting of the liquid metal into the mould, as well as knocking-out, cleaning and finishing of the casts.

The study [8] attempts at classifying moulding sands and core sands in respect of their toxicity. The presented data suggest that, in the performed research, the sand with a phosphate-gypsum binder was the most harmful, while the bentonite sand – the least harmful.

The paper [1] presents studies aiming at determining the effect of the examined bentonite sand additions on the gas emissivity in the temperature scope of 30°C to 1000°C. The emission of the following was determined: CO₂, SO₂ and monoaromatic hydrocarbons: benzene, toluene, ethylbenzene, styrene and xylene isomers, called BTEX in short.

The type of the emitted gases and their composition depend on the composition of the moulding sand, the applied coatings and the temperature. At room temperature, the volatile components of the binder solvents can be released. At high temperatures, we observe decomposition of chemical substances as well as precipitation of substances which were not present in the initial composition, e.g. the binder. In the use of moulding sands, depending on the chemical composition and the applied resins, we should take into account the gas emissivity of e.g. CO, CO₂, formaldehyde, phenol, benzene, toluene, ethylbenzene, hydrocarbons and others.

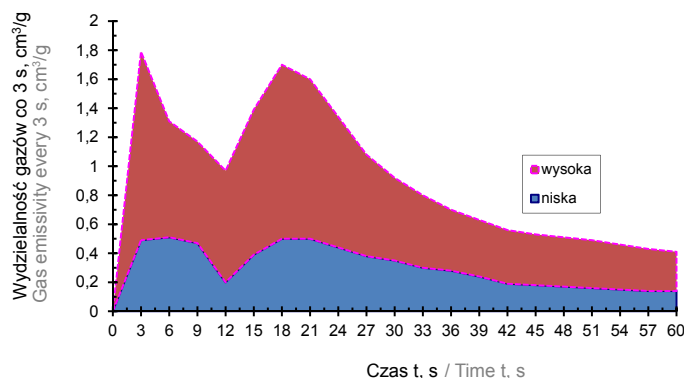
Comparing different casting technologies can provide a basis for the foundries to replace some of the traditional mould technologies by new ecological processes. An alternative can be the gasified model technology, which makes it possible to reduce the environmental pollution and significantly improve the working conditions. The gasified model technology does not involve the use of moulding sands or core sands, thus eliminating

więc występowanie na stanowiskach pracy wymienione powyżej związki chemiczne.

Bowiem, mimo pewnych koniecznych zmian techniczno-technologicznych, proces modeli zgazowywanych przynosi korzyści techniczne, ekonomiczne, środowiskowe.

C. Walter i W. Siefer [16,17,18] przeprowadzili badania wydzielalności gazów z masy furanowej oraz z modelu polistyrenowego. Stwierdzili, że objętość wydzielonych gazów w procesie zgazowywania modelu polistyrenowego jest od 6 do 12 razy większa od objętości gazów wydzielonych z formy wykonanej przy zastosowaniu modeli drewnianych. Badając kinetykę wydzielania się gazów, stwierdzono, że największa wydzielalność (objętość wydzielonych gazów z 1 g próbki) gazów występuje w pierwszych 30 s.

Przeprowadzone przez autorów w temperaturze 1000°C badania szybkości wydzielania się gazów z masy furanowej, o niskiej i wysokiej zawartości spoiwa, wykazały występowanie dwóch ekstremów wydzielania się gazów; w przypadku wysokiej zawartości spoiwa wystąpiły wyraźne ekstrema, pierwsze w 3 s, drugie w 18 s. Różnica wydzielalności gazów z masy o maksymalnej o minimalnej zawartości spoiwa sięgała 160% (rys. 1).



Rys. 1. Wydzielalność gazów w temperaturze 1000°C mierzona, co 3 s, (cm³/g) z masy furanowej o niskiej i wysokiej zawartości spoiwa [16,17,18]

Fig. 1. Gas emissivity at 1000°C measured every 3 s, (cm³/g) from furane sand of a low and high binder content [16,17,18]

4. Zagadnienie emisji gazów w procesie zgazowywanych modeli

W procesie modeli zgazowanych (EPS) ciekły metal wlany do formy zgazowuje model styropianowy (polistyren spieniony), odtwarzając go doskonale w postaci odlewu. Efektem przetransformowania się modelu jest powstanie często gotowego odlewu. W trakcie procesu wydzielają się gazowe produkty destrukcji cieplnej modelu polistyrenowego, które przechodzą przez powłokę ogniotrwałą i piasek na zewnątrz formy [11,22,24,25,26].

the presence of the mentioned chemical compounds at the workstations.

Despite certain necessary technical and technological changes, the process of gasified models brings technical, economical and environmental benefits.

C. Walter and W. Siefer [16,17,18] performed research of the gas emissivity from furane sand and from a polystyrene model. They established that the volume of the emitted gases in the process of polystyrene model gasification is 6 to 12 times higher than the volume of the gases emitted from a mould made with the use of wooden models. In the investigations of the gas emission kinetics, it was stated that the highest emissivity (volume of emitted gases from 1 g of sample) occurs in the first 30 s.

The tests performed by the authors at 1000°C of the rate of the gas emission from a furane sand of a low and high binder content showed the presence of two extremes of gas emission; in the case of a high binder content, clear extremes occurred – in the 3rd s and in the 18th s. The difference in the gas emissivity from the sand with the maximal and the minimal binder content reached 160% (Fig. 1).

4. Gas emissivity in the gasified model process

In the process of gasified models (EPS), the liquid metal cast into the mould gasified the EPS model (foamed polystyrene), recreating it perfectly in the form of a cast. The effect of the model's transformation is often the formation of a ready cast. During the process, the gaseous products of the thermal destruction of the polystyrene model are released. The products formed as a result of the thermal destruction of the polystyrene model go through the refractory coating and the sand to the outside of the mould [11,22,24,25,26].

We wnęce formy wypełnianej przez ciekły metal zachodzą procesy wzajemnego oddziaływania na siebie: ciekłego metalu – produktów transformacji modelu polistyrenowego – materiału formy. Przechodzenie modelu polistyrenowego ze stanu stałego w stan gazowy, pod wpływem temperatury ciekłego metalu, ma znaczenie technologiczne i ekologiczne.

Kinetyka rozpadu modelu polistyrenowego, jego skład i gęstość, przepuszczalność formy i ceramicznej powłoki ochronnej mogą wpływać na występowanie:

- wad odlewniczych typu: niedolewy, nakłucia, pęcherze, zapiaszczenia, przypalenia,
- wydzielania gazów.

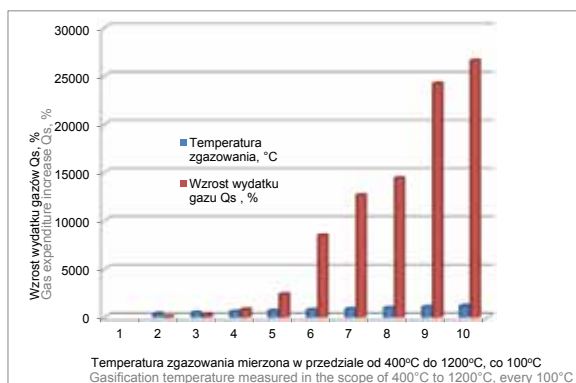
Niezależnie od rodzaju polistyrenu spienionego użytego do badań, całkowita ilość wydzielających się gazów w trakcie jego destrukcji cieplnej zależy przede wszystkim od temperatury tego procesu; ilość ta wzrasta wyraźnie ze wzrostem temperatury (rys. 2, 3).

In the mould cavity filled with the liquid metal, processes of interactions occur: liquid metal – polystyrene model transformation products – mould material. The transformation of the polystyrene model from the solid state into the gaseous state, under the effect of the liquid metal temperature, has a technological and ecological significance.

The kinetics of the polystyrene model disintegration, its composition and density, the permeability of the mould and the ceramic protective coating can affect the presence of:

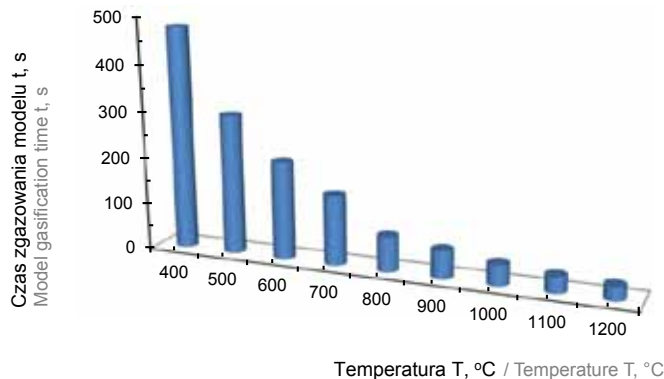
- Casting defects, such as: misruns, punctures, blisters, sand holes, burn-ons,
- Gas emission.

Regardless of the type of the foamed polystyrene used for the tests, the total amount of gases during its thermal destruction depends mainly on the temperature of the process; this amount clearly increases with the temperature increase (Figs. 2, 3).



Rys. 2. Wzrost wydzielalności (wydatek) gazów ze zgazowywanego doświadczalnego modelu polistyrenowego w zależności od temperatury zgazowywania w zakresie temperatury od 400°C (1) do 1200°C (10) badana co 100°C [22,24,26]

Fig. 2. Increase of gas emissivity (expenditure) from an experimental gasified polystyrene model depending on gasification temperature in the scope of 400°C (1) to 1200°C (10) examined every 100°C [22,24,26]



Rys. 3. Zależność czasu zgazowania modelu testowego styropianowego o masie 1 g i gęstości 20 kg/m³ od temperatury T [18,20,21,23,26]

Fig. 3. Dependence of the gasification time of a test EPS model, mass 1 g and density 20 kg/m³ on temperature T [18,20,21,23,26]

Głównymi składnikami produktów zgazowywania są: wodór, tlenek węgla, dwutlenek węgla, metan, acetylen, etylen, etan, propylen, benzen, toluen, styren, etylobenzen.

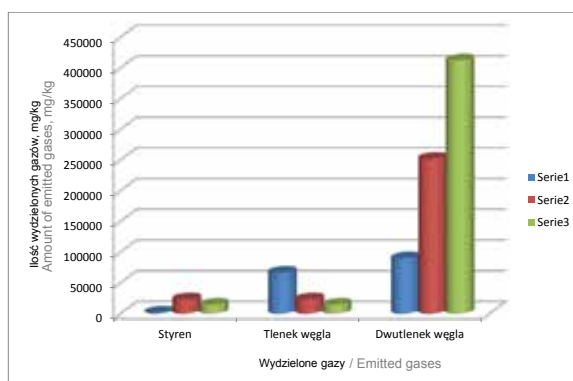
Występowanie poszczególnych składników i ich udział procentowy zależy od temperatury i atmosfery zgazowywania (rys. 4, 5). Wydzielające się stałe produkty zgazowywania modelu, przemieszczając się wraz z lustrem ciekłego metalu, mogą wchodzić z nim w reakcje chemiczne i przechodzić do warstw powierzchniowych odlewu lub przechodzić wraz z gazami do osnowy piaskowej i osadzać się częściowo na jej ziarnach. Natomiast składniki gazowe wydzielające się podczas destrukcji cieplnej modelu mogą wchodzić w reakcje z innymi składnikami gazowymi, przedostawać się do ciekłego metalu lub przez powłokę ochronną i osnowę piaskową wydostawać się na zewnątrz formy, w tym również do atmosfery.

Z punktu widzenia ekologii najciekawsze wydaje się porównanie gazotwórczości w procesie zgazowywanych

The main components of the gasification products are: hydrogen, carbon monoxide, carbon dioxide, methane, acetylene, ethylene, ethane, propylene, benzene, toluene, styrene, ethylbenzene.

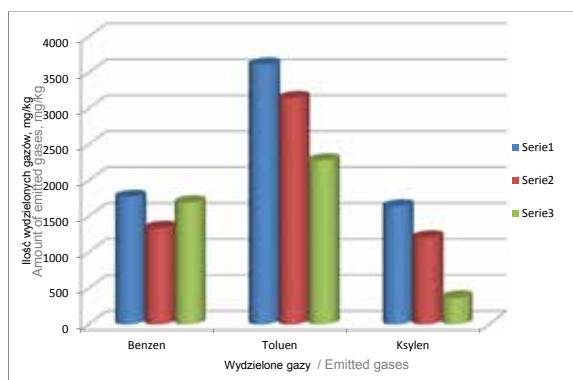
The presence of the particular components and their percentage depends on the temperature and atmosphere of gasification (Figs. 4, 5). The precipitating solid products of model gasification, shifting together with the mirror of the liquid metal, can undergo chemical reactions and be transferred into the cast surface layers or into the sand matrix together with the gases and be partially deposited on its grains. In turn, the gaseous components emitted during the thermal destruction of the model can interact with the other gaseous elements, penetrate the liquid metal or go through the protective coating and the sand matrix to the outside of the mould, including the atmosphere.

From the point of view of ecology, it seems highly interesting to compare the gas productivity in the gasified model process with that of the traditional mould



Rys. 4. Zawartość niektórych składników wydzielonych ze zgazowanego modelu polistyrenowego – Ovipian, seria 1 – 400°C, seria 2 – 750°C, seria 3 – 1150°C [13]

Fig. 4. Content of selected elements released from a gasified polystyrene model – Ovipian, series 1 – 400°C, series 2 – 750°C, series 3 – 1150°C [13]



Rys. 5. Zawartość niektórych składników wydzielonych ze zgazowanego modelu polistyrenowego – Ovipian, seria 1 – 400°C, seria 2 – 750°C, seria 3 – 1150°C [13]

Fig. 5. Contents of selected elements released from a gasified polystyrene model – Ovipian, series 1 – 400°C, series 2 – 750°C, series 3 – 1150°C [13]

modeli z gazotwórczością tradycyjnych technologii formy, przy wytwarzaniu takich samych (lub podobnych) odlewów. W pracach [7–9] dokonano porównania gazotwórczości, przy odlewaniu głowic i tulei silników, z zastosowaniem procesu modeli zgasowywanych i odlewania w formach piaskowych z zastosowaniem rdzeni. Rdzenie wykonywane były z masy z żywicą syntetyczną, o zawartości 1%. Objętość wydzielających się gazów podczas zalewania, ochładzania i wybijania odlewów była w obu przypadkach mniejsza; w procesie technologii zgasowywanych modeli: dla odlewu głowicy – 2-krotnie, a w przypadku tulei silnika – ponad 10-krotnie. W badaniach tych pominięto gazotwórczość form piaskowych. Także toksyczność tych gazów była kilkakrotnie mniejsza w procesie zgasowywanych modeli.

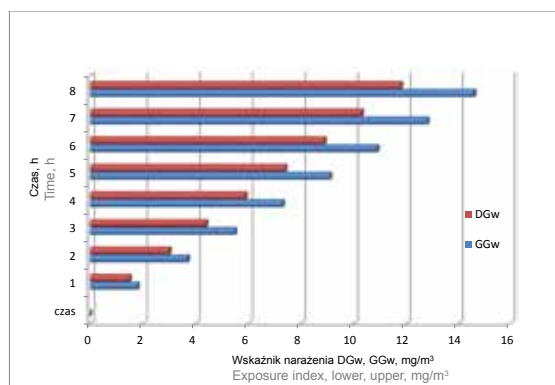
Przeprowadzono badania pomiarów stężeń związków chemicznych [12,19] na doświadczalnym stanowisku pracy, badano i podano wskaźniki narażenia, tj. górną GGw i dolną DGw granicę przedziałów ufności stężeń średnich ważonych, średnią ważoną średnich geometrycznych Xgw (dla 8 h pracy). Wyniki badań podano na rysunkach 6, 7, 8 i 9. Na stanowisku zalewania form żeliwem według technologii zgasowywanych modeli stwierdzono przekroczenie NDS benzenu oraz NDS tlenku węgla dla przyjętego czasu pracy w ciągu 8-godzinnej zmiany roboczej. Dla pozostałych związków chemicznych, tj. toluenu i styrenu, nie stwierdzono przekroczeń wartości NDS. Na stanowisku tym nie zostało przekroczone najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSch) dla żadnego z oznaczanych związków chemicznych [12,19].

W procesie zgasowywanych modeli 60% gazów wydziela się w czasie zalewania, 15% w czasie ochładzania odlewów, a pozostała ilość – w czasie ich wybijania [9]. Pozwala to efektywnie wychwytywać znaczną część gazów wydzielających się w czasie zalewania formy z modelem zgasowywanym, stygnięcia odlewu, stosowanemu podciśnieniu w skrzynce formierskiej, ukierunkowanego odprowadzenia wydzielonych gazów

technologies, in the production of the same (or similar) casts. The studies [7–9] performed a comparison of the gas productivity during the casting of engine heads and bushings, with the application of the process of gasified models and casting into sand moulds with the use of cores. The cores were made of sand with synthetic resin, content 1%. The volume of the emitted gases during the casting, cooling and knocking-out of the casts was lower in both cases; in the full-cast moulding process: for the head cast – twice as low, for the engine bushing – over ten times lower. In those studies, the gas productivity of the sand moulds was omitted. Also, the toxicity of those gases was a few times slower than that in the gasified model process.

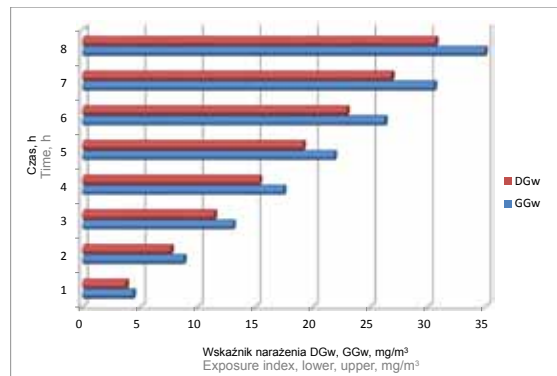
Measurements of the chemical compound concentrations [12,19] were performed on an experimental workstation. The exposition indexes were examined and determined, i.e. the upper and lower explosive limit of the confidence intervals of the weighted average concentrations and the weighted average of the geometrical mean values Xgw (for 8 h of work). The test results have been provided in Figures 6, 7, 8 and 9. At the workstation for iron casting performed according to the gasified model technology, the MAC for benzene and carbon monoxide was exceeded for the assumed working time during an 8-hour shift. For the remaining chemical compounds, i.e. toluene and styrene, the MAC was not exceeded. The short term exposure limit was not exceeded for any of the examined chemical compounds [12,19].

In the gasified model process, 60% of gases are released during the casting, 15% – during the cooling of the casts, and the remaining amount – during their knock-out [9]. This makes it possible to effectively trap a significant amount of gasses emitted during the filling of the mould with a gasified model, as well as the cooling of the cast, the applied negative pressure in the moulding box, a directed gas release of the gases emitted from the mould. These gases, before they escape into the atmosphere, can be absorbed (e.g. active carbon)



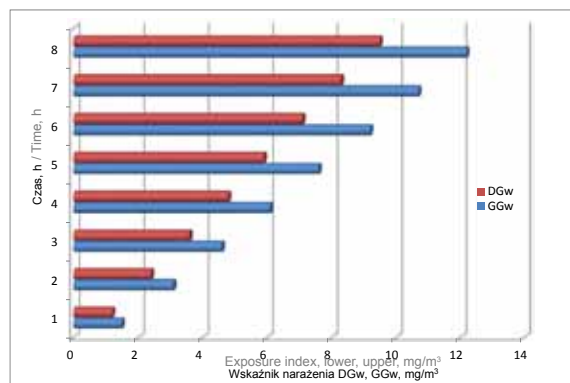
Rys. 6. Wskaźnik narażenia GGw i DGw dla wydzielalności benzenu podczas zalewania form z modelami zgasowanymi na stanowisku doświadczalnym w Instytucie Odlewnictwa

Fig. 6. Upper and lower MAC exposure index for the emissivity of benzene during casting with gasified models at the experimental workstation of Foundry Research Institute



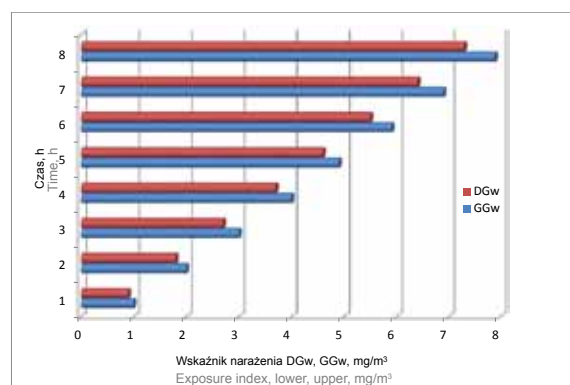
Rys. 7. Wskaźnik narażenia GGw i DGw dla wydzielalności CO podczas zalewania form z modelami zgazowanymi na stanowisku doświadczalnym w Instytucie Odlewnictwa

Fig. 7. Upper and lower MAC exposure index for the emissivity of CO during casting with gasified models at the experimental workstation of Foundry Research Institute



Rys. 8. Wskaźnik narażenia GGw i DGw dla wydzielalności toluenu podczas zalewania form z modelami zgazowanymi na stanowisku doświadczalnym w Instytucie Odlewnictwa

Fig. 8. Upper and lower MAC exposure index for the emissivity of toluene during casting with gasified models at the experimental workstation of Foundry Research Institute



Rys. 9. Wskaźnik narażenia GGw i DGw dla wydzielalności styrenu podczas zalewania form z modelami zgazowanymi na stanowisku doświadczalnym w Instytucie Odlewnictwa

Fig. 9. Upper and lower MAC exposure index for the emissivity of styrene during casting with gasified models at the experimental workstation of Foundry Research Institute

z formy. Gazy te przed ujściem do atmosfery mogą być następnie pochłaniane (np. przez węgiel aktywny) lub dodatkowo spalane. Istnieje zatem rzeczywista możliwość efektywnej ochrony stanowisk pracy i atmosfery. W przypadku stosowania tradycyjnych form piaskowych główna ilość gazów wydziela się w czasie ochładzania odlewów i jest rozciągnięta w czasie, co praktycznie uniemożliwia ich neutralizację.

5. Odpady w odlewni

Procesy odlewnicze generują wiele zagrożeń występujących zarówno na stanowisku pracy, jak i dla otoczenia [14]. Wykorzystywane w procesach produkcyjnych masy formierskie i rdzeniowe, których podstawowym składnikiem jest piasek kwarcowy oraz lepiszcze organiczne lub chemiczne, po ich zużyciu przekazywane są na składowiska mas zużytych odlewni, a następnie na wydzielone składowiska odpadów. Ponieważ masy takie często w swoim składzie zawierają związki chemiczne nieobojętne dla środowiska, składowiska takie wymagają szczególnych zabezpieczeń. Zakład ponosi dodatkowe koszty związane ze składowaniem zużytych mas oraz opłatami z tytułu degradacji środowiska naturalnego, dlatego jednostki naukowe prowadzą badania zmierzające do ograniczenia ilości zużytych mas przez ich regenerację lub wprowadzanie nowych przyjaznych dla otoczenia technologii. Prowadzone są też prace przemysłowego wykorzystania zużytych mas w innych działach gospodarki.

W procesie modeli zgazowywanych do wykonania formy wykorzystywany jest niezwiązany, sypany piasek kwarcowy o założonej ziarnistości. W tym procesie technologicznym wykonania odlewu do wykonania formy nie stosuje się lepiszcza tak organicznego, jak i chemicznego.

6. Poprawa warunków pracy i zmniejszenie zagrożenia środowiska w wyniku zastosowania technologii modeli zgazowywanych

Stosowany w procesie modeli zgazowywanych materiał formierski w odróżnieniu od klasycznych metod wykonania formy nie zawiera spoiwa czy też lepiszcza. Z reguły nie stosuje się też rdzeni ani pochyłych odlewniczych [10]. Wnęki i otwory odlewu w formie odtwarzane są przez polistyrenowy model. Materiał wiążący zawiera jedynie cienką (o grubości zwykle do 1 mm) ceramiczną powłokę ochronną nanoszona na zestaw modelowy. Stosowane do formowania polistyrenowych zestawów modelowych niezwiązane lepiszczem piaski są wielokrotnie stosowane. Po ich kilkudziesięcym użyciu do formowania modeli polistyrenowych poddaje się je regeneracji na mokro (usuwanie produktów zgazowywania

oraz dodatkowo burnt. And so, there is the real possibility to effectively protect the workstations as well as the atmosphere. In the case of applying the traditional sand moulds, the main amount of gases is emitted during the cooling of the casts and is expanded in time, which practically makes their neutralization impossible.

5. Waste material at the foundry

Casting processes generate many threats both for the workstation and the environment [14]. The moulding and core sands used in the production processes, whose main element is quartz sand or an organic or chemical binder, after their use, are transported to the foundry waste sand storage and then to the assigned waste dumps. As such sands often contain chemical compounds which are not neutral to the environment, those waste dumps require special safety measures. The plant incurs additional costs connected with the storage of the waste sands and the charges related to natural environment degradation, so the scientific centres are performing research aiming at limiting the amount of waste sands through regeneration or an introduction of new environment-friendly technologies. Works are also conducted in the scope of the industrial use of waste sands in other branches of economy.

In the gasified model process, for the preparation of the mould, unbounded, loose quartz sand of complex granularity is applied. In this technological process of producing a cast, no organic or chemical binder is used to prepare the mould.

6. Improvement of working conditions and reduction of environmental threat as a result of applying the gasified model technology

The moulding material used in the gasified model process, as opposed to the classic moulding methods, does not contain a binder. As a rule, casting cores or drafts are also not applied [10]. The openings of the cast in the mould are recreated by the polystyrene model. The binding material is present only in the thin (usually 1 mm) ceramic protective coating applied onto the model set. The sands used to mould polystyrene model sets, which are not bound by a binder, are applied multiple times. After they have been used a few tens of times to mould the polystyrene models, they undergo wet regeneration (removal of polystyrene model gasification products), followed by drying, and then they are added

modeli polistyrenowych), suszy i dodaje w pewnych proporcjach do piasków świeżych [11, 15, 20, 25]. W pracy [22] przedstawiono wyniki badań określenia stopnia zanieczyszczenia piasku kwarcowego stosowanego w procesie technologii zgazowywanych modeli. Badania przeprowadzono porównawczo na próbkach: piasku kwarcowego czystego i piasku po 35 zalaniach. Zanieczyszczenia określano wskaźnikiem ChZT według PN-74/C-0457803. Wartość tego wskaźnika po serii zalań była dla piasku większa o 61,5%. Następuje zatem istotne zminimalizowanie problemu odpadów masy formierskiej i rdzeniowej. W procesie tym nie jest potrzebny przerób mas formierskich i rdzeniowych. Prawdłowo zaprojektowany, niedzielony model polistyrenowy eliminuje zalewki i przestawienia, ograniczając w poważnym stopniu ręczne wykańczanie odlewów oraz ograniczając (lub nawet eliminując) ich obróbkę mechaniczną. W wyniku tego znacznie zmniejsza się zapylenie w odlewni, a szczególnie na stanowiskach przerobu mas, wybijania, oczyszczania i wykańczania odlewów. Na stanowiskach formowania również obserwuje się zmniejszenie zapylenia. Generalnie w procesie technologii zgazowywanych modeli stosuje się wysokowydajne wyciągi pod skrzynkami formierskimi i przy wybijaniu odlewów. Znakomicie zmniejszony jest poziom hałasu i wibracji w przypadku zastosowania procesu technologii zgazowywanych modeli. Wprowadzenie do zagęszczania piasku w skrzynkach formierskich stosuje się wibratory, jednakże czas i poziom emitowanych przez nie czynników szkodliwych i uciążliwych (hałasu i wibracji) jest znacznie mniejszy niż w przypadku maszyn stosowanych do formowania w technologii tradycyjnej. Równocześnie eliminuje się hałas na stanowiskach przerobu mas formierskich i poważnie ogranicza na stanowiskach wybijania i oczyszczania odlewów.

Modele z polistyrenu spienionego są wykonywane w wyspecjalizowanych wytwórniach, co oznacza, że nie zawsze wytwarza się je w modelarni odlewni. Równocześnie należy podkreślić, że zarówno poziom zapylenia, jak i stężenia substancji toksycznych i szkodliwych jest znacznie mniejszy przy wytwarzaniu modeli z polistyrenu spienionego. Nie występują bowiem operacje szlifowania oraz wykańczania powierzchni modeli przy użyciu farb, lakierów i rozpuszczalników, jak ma to miejsce w przypadku modeli drewnianych.

Osobnym zagadnieniem występującym przy stosowaniu tej techniki wytwarzania odlewu jest występowanie produktów zgazowania modelu polistyrenowego. Efektem przetransformowania się modelu jest powstanie gazowych produktów destrukcji cieplnej.

Składniki gazu wydzielające się podczas destrukcji cieplnej modelu polistyrenowego są odciągane na zewnątrz, przez powłokę ochronną i osnowę piaskową wydostają się na zewnątrz formy – do odciągu.

in certain proportions to fresh sands [11, 15, 20, 25]. The study [22] provides the results of research conducted with the purpose to determine the level of impurities of the quartz sand used in the full-cast moulding process. It was performed in a comparative way on samples of: pure quartz sand and sand after 35 tasks. The impurities were determined by means of the COD index according to PN-74/C-0457803. The value of this index after a series of castings for the sand was higher by 61.5%. And so, we observe a significant minimization of the problem of moulding and core sand waste. Here, processing of the moulding and core sands is not necessary. A properly designed, non-sectional polystyrene model eliminates flashes and mould shifts, thus significantly limiting the manual finishing of the casts as well as limiting (or eliminating) their mechanical treatment. As a result of this, the dustiness of the foundry is greatly reduced, especially at the station of sand processing, cleaning and finishing of the casts. At the moulding stations, a significant dustiness reduction is also observed. In general, in the full-cast moulding process, high-efficiency lifters under the moulding sands and during the knocking-out of the casts are used. The level of noise and vibration is greatly limited in the case of applying the full-cast moulding process. While vibrators are used to condense the sand in the moulding sands, the time and level of the harmful and arduous factors emitted by them (noise and vibration) is much lower than in the case of the machines used in the traditional moulding technology. At the same time, the noise is also eliminated at the moulding sand processing stations and it is significantly limited at the cast cleaning and knocking-out stations.

Foamed polystyrene models are made in specialized production plants, which means that they are not always produced in the foundry's pattern shop. At the same time, it should be noted that both the level of dustiness and toxic and harmful substance concentration is much lower than in the case of producing foamed polystyrene model. It is so because this case does not involve the operations of grinding and finishing of the model surfaces with the use of paints, varnishes and solvents, as was the case of the wooden models.

A separate issue existing in the application of this cast producing technique is the presence of polystyrene model gasification products. The effect of the model's transformation is the formation of gaseous products of thermal destruction.

The components of the gas which are emitted during the polystyrene model's thermal destruction are pulled to the outside of the mould through the protective coating and the sand matrix, and into the extraction system.

7. Wnioski

Proces modeli zgazowywanych pozwala nie tylko zwiększyć dokładność wymiarową wytwarzanych odlewów, wpływa także w istotnym stopniu na eliminację występowania w atmosferze toksycznych substancji. Można powiedzieć, że przy prawidłowo rozwiązanych zagadnieniach technologicznych, proces ten może być przyjazny zarówno dla załogi odlewni, jak też dla otaczającego środowiska.

Przedstawione w artykule ekologiczne zalety procesu technologii zgazowywanych modeli mogą przyczynić się w poważnym stopniu do humanizacji pracy w odlewniach. Zainteresowanie wielu światowych firm tym procesem, poza przedstawionymi aspektami ekologicznymi, wynika przede wszystkim ze znacznej obniżki kosztów wytwarzania, zapewnienia otrzymania żądanej jakości odlewów, poprawy warunków pracy, warunków środowiskowych.

Literatura/References

1. Bobrowski M., M. Holtzer. 2009. „Analiza gazów wydzielających się z mieszanek bentonit – nośnik węgla stosowanych w odlewnictwie w zakresie temperatury 30–1000°C”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* 29 (1) : 11–20.
2. Holtzer M. 1993. Ogólna charakterystyka źródeł zanieczyszczeń w odlewni. W *Materiały XIX Sympozjum Naukowego WO AGH*, Cz. I, 273–278. Kraków: AGH.
3. Holtzer M. 1997. „III Konferencja «Wspólnie dbajmy o czyste powietrze»”. *Przegląd Odlewnictwa* 47 (3) : 83–85.
4. Holtzer M., K. Kowalski. 1997. „Szkodliwe dla zdrowia czynniki w środowisku pracy w odlewniach staliwa”. *Przegląd Odlewnictwa* 47 (2) : 37–40.
5. Holtzer M., I. Kargulewicz, K. Olendrzyński. 2008. „Oszacowanie emisji procesowej CO₂ z produkcji odlewów ze stopów żelaza”. *Przegląd Odlewnictwa* 58 (5–6) : 314–318.
6. Holtzer M. 2007. „Regulacje prawne w Unii Europejskiej w zakresie krzemionki krystalicznej”. *Przegląd Odlewnictwa* 57 (7–8) : 358–361.
7. Lewandowski J.L., W. Solarski. 1996. Zanieczyszczenia powietrza związane z technologią formy. W *Materiały II Sympozjum Naukowo-Szkoleniowego WO AGH pt.: „Ochrona środowiska w odlewnictwie”*, 19–27. Kraków: AGH.
8. Lewandowski J.L., W. Solarski, M. Kilarska, J. Zawada. 1994. „Klasyfikacja mas formierskich i rdzeniowych pod względem toksyczności”. *Przegląd Odlewnictwa* 44 (4) : 115–123.
9. Lewandowski J.L., W. Solarski, Z. Pawłowski. 1993. „Klasyfikacja mas formierskich i rdzeniowych pod względem gazotwórczości”. *Przegląd Odlewnictwa* 43 (5) : 143–148.
10. Maniowski Z., M. Młyński, Z. Sierant, Z. Żółkiewicz. 2010. “Selected aspects of the piece production of iron alloy castings in terms of their environmental impact”. *Archives of Foundry Engineering* 10 (3) : 163–166.
11. Pacyniak T. 2013. *Metoda pełnej formy. Wybrane aspekty*. Politechnika Łódzka.
12. Perszewska K., J. Faber, M. Żmudzińska, Z. Maniowski, Z. Żółkiewicz. 2012. „Badania laboratoryjne nad minimalizacją emisji zapachowych zanieczyszczeń organicznych wydzielanych podczas zgazowywania modeli styropianowych”. *Prace Instytutu Odlewnictwa / Transactions of the Foundry Research Institute* 52 (1) : 43–53.

7. Conclusions

The gasified model process makes it possible not only to increase the accuracy of the produced casts but also to significantly eliminate the presence of toxic substances in the atmosphere. It can be stated that, with the properly solved technological issues, this process can be friendly both to the foundry staff and the surrounding environment.

The ecological advantages of the full-cast moulding process presented in the article can significantly contribute to the humanization of the work performed at foundries. The interest of many global companies in this process, beside the presented ecological aspects, results mostly from its possibility to significantly reduce the production costs, to ensure the required cast quality, as well as to improve the working and environmental conditions.

13. Piech K. 1994. „Technologia wykonywania odlewów z zastosowaniem modeli z polistyrenu spienionego”. *Prace Instytutu Odlewnictwa / Transactions of the Foundry Research Institute* 44 (3) : 202–216.
14. Stępniewski M. 1996. Wpływ skażeń środowiska pracy odlewni i zakładów metalurgicznych na stan zdrowia ich pracowników. W *Materiały II Symposium Naukowo-Szkoleniowe WO AGH pt.: „Ochrona środowiska w odlewnictwie”*, 69–75. Kraków: AGH.
15. Šuljak V.S., Šinskij Ju.I., Chvostuchin Ju.I. 1993. „Ekologičeskie aspekty litia po gazificirujemym modelam”. *Litejnoje Proizvodstvo* (7) : 17–19.
16. Walter Ch., Siefer W. 1995. „Einfluss der Gasentwicklung in kaltharzgebundenen Vollvormen auf Putzaufwand und Gussfehler. Teil 1. Ursachen für Gussfehler und hohen”. *Giesserei* 82 (2) : 62–66.
17. Walter Ch., Siefer W. 1995. „Einfluss der Gasentwicklung in kaltharzgebundenen Vollvormen auf Putzaufwand und Gussfehler. Teil 2. Einfluss der Schlichte und des Schlichtens auf die Gaskonzentration beim Vollformgiessen”. *Giesserei* 82 (3) : 91–95.
18. Walter Ch., Siefer W. 1995. „Einfluss der Gasentwicklung in kaltharzgebundenen Vollvormen auf Putzaufwand und Gussfehler. Teil 4. Folgen hoher Gaskonzentration im Formhohlraum beim Vollformgiessen”. *Giesserei* 82 (6) : 185–189.
19. Żmudzińska M., J. Faber, K. Perszewska, Z. Żółkiewicz, Z. Maniowski. 2011. „Badania emisji produktów zgazowania modelu styropianowego w technologii *lost foam* w aspekcie środowiska pracy”. *Prace Instytutu Odlewnictwa / Transactions of the Foundry Research Institute* 51 (1) : 23–33.
20. Żółkiewicz Z., M. Maniowski, Z. Sierant, M. Młyński. 2010. „Ecological aspects of the use of lost foam patterns”. *Archives of Foundry Engineering* 10 (3) : 159–162.
21. Żółkiewicz Z., A. Baliński, M. Żółkiewicz. 2017. „Charakterystyka procesu termicznego zgazowywania modeli / Characteristics of the thermal process of polystyrene model gasification”. *Prace Instytutu Odlewnictwa / Transactions of the Foundry Research Institute* 57 (3) : 201–210.
22. Żółkiewicz Z., Z. Pączek. 1992. *Określenie zjawisk zachodzących w trakcie zgazowania modeli z polistyrenu spienionego oraz określenie zdolności odgazowania jego kształtu w zależności od wybranych parametrów fizykochemicznych*. Praca naukowo-badawcza Instytutu Odlewnictwa, zlec. 9004/20. Kraków: Instytut Odlewnictwa.
23. Żółkiewicz Z., W. Jankowski. 1998. „Modele z polistyrenu spienionego realną szansą humanizacji odlewni i ochrony środowiska”. *Prace Instytutu Odlewnictwa / Transactions of the Foundry Research Institute* 48 (1–2) : 135–141.
24. Żółkiewicz Z. 2001. *Lost Foam Process – Destruction of Polystyrene Pattern in Mould*. 38. Foundry Days, Konferencja pt. Progresywnymi Technologiami Do Pristiho Tisicileti, Brno, Czechy, czerwiec 2001.
25. Żółkiewicz Z., A. Karwiński, M. Żółkiewicz, S. Król. 2005. *Ökologische und ökonomische aspekte des einatzes von lost foam-verfahren statt des wachsausschmelzverfahrens*. 8. Międzynarodowa Konferencja „Moulding Materials and Cost Reductions for Casting”, Brno, Czechy, 2005.
26. Żółkiewicz Z., W. Jankowski, Z. Waclawik. 1999. „Effect of temperature on the volume and rate of gas emission from polystyrene pattern evaporated in the full mould process”. *Archives of Metallurgy* 44 (1) : 111–118.

