

## ***Słowo Wstępne***

Oddajemy do Państwa rąk „BIULETYN KONFERENCYJNY” wydany z okazji kolejnej już **VI Konferencji Odlewniczej TECHNICAL 2003**.

Tytuł obecnej konferencji jest::

**„ Odlewnictwo XXI wieku – technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”**

Konferencja podobnie jak w poprzednich latach została zorganizowana wspólnie z Wydziałem Odlewnictwa Akademii Górniczo–Hutniczej w Krakowie

Niniejszy „BIULETYN KONFERENCYJNY” podobnie jak biuletyny poprzednie ma za zadanie podzielenie się z Państwem nowymi osiągnięciami i doświadczeniami naukowymi oraz technicznymi w zakresie technologii odlewniczych, i nowych rozwiązań dotyczących technik wytwarzania. Celem autorów referatów zebranych w niniejszym Biuletynie jest: utwierdzenie posiadanej przez Państwa wiedzy, oraz rozszerzenie jej o kolejne nowe elementy. Biuletyn ten może też być również pomocny w planowaniu i modernizacji odlewni. Biuletyn kierowany jest do kadry naukowej ośrodków akademickich, studentów, oraz kadry technicznej odlewni.

Tematyka VI Konferencji Odlewniczej obejmuje zagadnienia: nowoczesnych technologii oraz technik stosowanych w odlewnictwie, w tym: nowoczesnych technik formowania, nowoczesnych technik przerobu mas formierskich, chłodzenia mas formierskich, oceny efektów formowania, zagadnień związanych ze strumieniowo-ścierną obróbką powierzchni, redukcji emisji gazów i innych zagadnień spełniających wymagania nowoczesnych odlewni XXI wieku.

Przedstawione w biuletynie nowe rozwiązania techniczne i konstrukcyjne stanowią kontynuację tendencji określanych hasłem:

### ***Nowa Sól – Maszyny Odlewnicze***

Konferencja ta jest również okazją do wzajemnej niezwykle cennej wymiany wzajemnych doświadczeń pomiędzy uczestnikami konferencji.

Mamy nadzieję, że spełnimy Państwa oczekiwania w zakresie nowych wiadomości oraz informacji prezentowanych w niniejszym wydawnictwie.

Wszystkim uczestnikom konferencji życzymy miłego pobytu.

ZARZĄD  
**P.P.P. „TECHNICAL”** Sp. z o. o.  
Nowa Sól

*Tadeusz Piosik      Czesław Rudy*

## NOWOCZESNE TECHNIKI FORMOWANIA STOSOWANE W ODLEWNICTWIE

P. Gruber<sup>1</sup>  
Cz. Rudy<sup>2</sup>  
I. Izdebska-Szanda<sup>3</sup>  
F. Pezarski<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Przedsiębiorstwo Projektowo Produkcyjne „TECHNICAL” Sp. z o.o.-Nowa Sól  
<sup>3,4</sup> Instytut Odlewnictwa - Kraków

### Wstęp

Odlewnictwo stanowi branżę gospodarki opierającą się w coraz to większym stopniu na ugruntowanych podstawach naukowych. Korzystając z rozwoju wielu dyscyplin nauki opracowywane są nowe techniki formowania, które pozwalają na uzyskanie dobrych efektów technologicznych, dających dużą dokładność odwzorowania skomplikowanych modeli, wysoki stopień zagęszczenia oraz korzystny jego rozkład, co w ostatecznym bilansie sprzyja dokładności wymiarowej form odlewniczych.

Najczęściej stosowaną technologią wykonywania form jest technologia mas bentonitowych, dlatego wiele firm pracuje nad unowocześnieniem technik formowania i oferuje nowoczesne maszyny formierskie.

### Przegląd nowoczesnych metod formowania

Pracujące nadal klasyczne maszyny formierskie wstrząsowo-prasujące ustępują powoli miejsca maszynom formierskim realizującym nowoczesne techniki zagęszczania masy. Wynika to z konieczności poprawy warunków pracy (hałas, wibracja) w odlewni. Wprowadzone do praktyki odlewniczej maszyny formierskie nowej generacji spełniają wymagania bezpieczeństwa pracy i zapewniają wysoką wydajność, a przede wszystkim gwarantują otrzymanie dobrego zagęszczenia w całej formie nawet przy stosowaniu bardzo trudnych technologicznie modeli. W ciągu ostatnich kilkunastu lat największy rozwój nastąpił w metodach formowania wykorzystujących energię strumienia powietrza, bezpośrednio działającego na masę formierską oraz w metodach dynamicznego prasowania (George Fischer, BMD, HWS, Foundry Automation, Künkel Wagner, Formtec, Loramendi, Savelli, Technical).

**Formowanie impulsowe** (Foundry Automation) charakteryzuje się korzystnymi efektami zagęszczania. Klasyczna metoda impulsowa polega na jednostopniowym procesie dynamicznego zagęszczania masy strumieniem powietrza, przy czym dynamiczny proces polega na szybkim narastaniu ciśnienia, który w technologii impulsowej realizowany jest przy gradiencie ciśnienia powyżej 10 MPa/s i dochodzi do 300 MPa/s. Tak szybki przyrost ciśnienia powoduje, że impuls sprężonego powietrza posiada wystarczającą dynamikę, aby w bardzo krótkim czasie zagęścić masę formierską przy bardzo małym zużyciu sprężonego powietrza. Dlatego zawory impulsowe maszyn formierskich cechują się dynamicznym otwarciem i natychmiastowym jego zamknięciem. W efekcie ilość sprężonego powietrza zdolna zagęścić formę jest bardzo mała.[1]

<sup>1</sup> mgr inż.; p.gruber@technical.com.pl

<sup>2</sup> mgr inż. Prezes TECHNICAL, zarzad@technical.com.pl

<sup>3</sup> mgr inż.; fpez@iod.krakow.pl

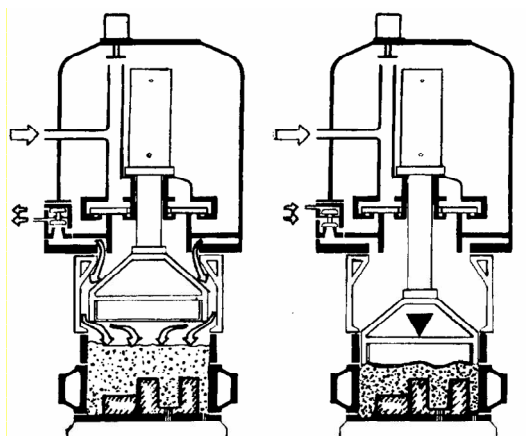
<sup>4</sup> mgr inż.

W metodzie impulsowej istotne jest bezpośrednie oddziaływanie sprężonego powietrza na powierzchnię zagęszczanej masy, powodujące występowanie współzależności pomiędzy parametrami technologicznymi a parametrami maszyny. Bardzo dobre zagęszczenie masy można uzyskać nawet stosując skomplikowane modele. Rozkład gęstości pozornej masy i odpowiadającej jej twardości jest równomierny wzdłuż wysokości formy, nawet w smukłych szczelinach. Możliwe jest stosowanie małych pochyleń modeli, a tym samym uzyskanie mniejszych nakładów na obróbkę mechaniczną odlewów.

W jednostopniowej metodzie impulsowej warunkiem uzyskania dobrze zagęszczonej formy jest dostosowanie parametrów procesu oraz maszyny do zmiennych warunków technologicznych. Dlatego metoda impulsowa została wzbogacona w ostatnim okresie o nowe warianty, mające na celu eliminację ograniczeń procesu (słabego zagęszczenia masy w górnych rejonach formy i niewystarczającego czasami stopnia zagęszczenia masy w wąskich i smukłych szczelinach) modeli lub pomiędzy modelami i ścianą skrzynki formierskiej.

Podstawowe odmiany formowania impulsowego stosowane w przemyśle to proces formowania za pomocą podwójnego impulsu oraz proces Vario-Impuls. Formowanie podwójnym impulsem powietrza polega na wykorzystaniu standardowej maszyny impulsowej, w której zmieniono sposób doprowadzenia powietrza zagęszczającego do masy. Pomiedzy pierwszym i drugim zagęszczaniem impulsowym następuje uzupełnienie masy w skrzyni formierskiej.

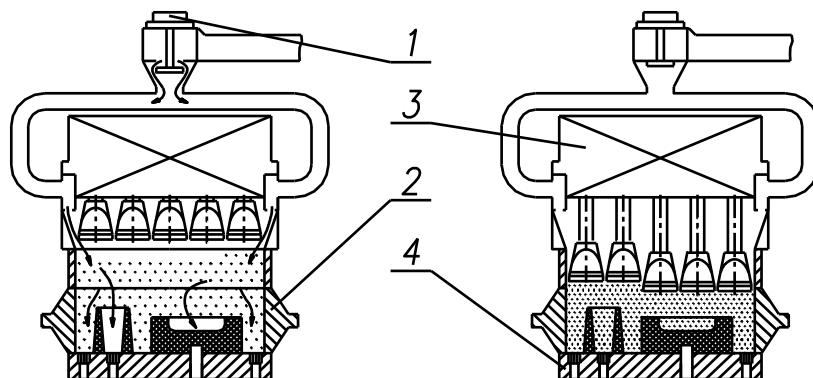
**Impact Multi System** (rys. 1) jest innym rozwiązaniem formowania impulsowego, w którym dwa zawory impulsowe o zróżnicowanej powierzchni i dynamice działania umożliwiają kształtowanie przebiegu ciśnienia sprężonego powietrza nad powierzchnią masy. Sposób zmiany ciśnienia, a zwłaszcza zróżnicowanie mocy impulsu w poszczególnych fazach procesu stwarza lepsze warunki zagęszczania w krytycznych rejonach formy.



Rys.1. Głowica impulsowa Impact Multi System firmy GEORG FISCHER DISA.[2,3]

**Formowanie strumieniem powietrza z doprasowaniem** (HWS) jest procesem trójfazowym, obejmującym: spulchnienie wraz z narzuceniem masy do skrzyni formierskiej oraz dwie fazy zagęszczania masy – I faza to zagęszczenie masy strumieniem sprężonego powietrza, II faza to doprasowanie masy na całej wysokości skrzyni za pomocą hydraulicznego zespołu prasującego z udziałem głowicy sztywnej, przeponowej lub głowicy wielotłoczkowej. Schemat głowicy strumieniowo-prasującej przedstawiono na rysunku 2.

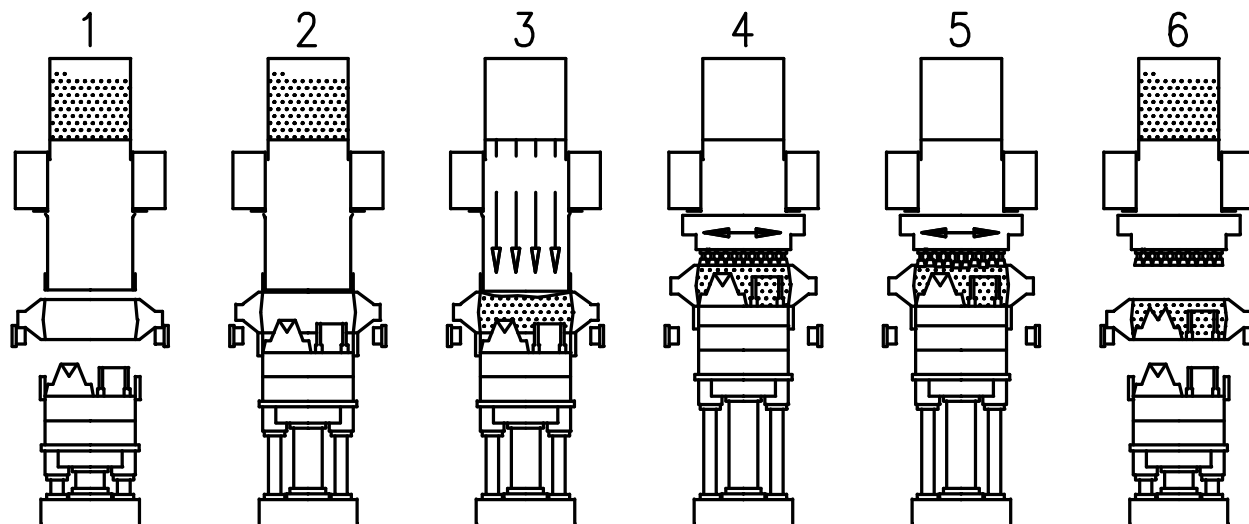
Cały proces składający się z trzech faz jest zależny od siebie i żadna z dwóch faz formowania nie może występować samoistnie.



Rys.2. Schemat głowicy strumieniowo-prasującej maszyny formierskiej firmy HWS: 1 - zawór strumieniowy, 2 - skrzynka formierska, 3 - głowica prasująca, wielotłoczkowa, 4 - płyta modelowa z otworami odpowietrzającymi [2,3]

Dynamika przepływu powietrza występująca w formowaniu strumieniem powietrza wyrażona szybkością narastania ciśnienia w przestrzeni nad masą wynosi poniżej 1 MPa/s i jest 10-cio krotnie niższa niż w procesie impulsowym. W związku z tym wymagania stawiane zespołom zaworowym są przy procesie Seiatsu (wykorzystywanym w procesie HWS) znacznie mniejsze. Z punktu widzenia efektów formowania ważne jest jednak prawidłowe sterowanie pracą zespołu zaworowego, a także odpowiednie rozmieszczenie otworów odpowietrzających w płycie modelowej.

**Formowanie z wprasowywaniem modelu – dynamiczne prasowanie** (FORMIMPRESS – Savelli) polega na zapełnianiu przestrzeni technologicznej masą o ściśle określonej ilości i nadaniu jej wstępnego zagęszczenia poprzez grawitacyjny zasyp masy do skrzynki formierskiej. Następnie ma miejsce prasowanie płytą modelową. Ta technika wytwarzania spotykana jest przy formowaniu bezskrzynkowym o pionowej płaszczyźnie podziału, jak również w formowaniu skrzynkowym. Przykład realizacji formowania w skrzynkach i zagęszczania masy poprzez zasypywanie grawitacyjne przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Przebieg pracy formierek FORMIMPRESS firmy Savelli; 1- pozycja wyjściowa, 2- osunięcie skrzynki formierskiej z płytą modelową do głowicy zasypowej, 3- zasypanie skrzynki porcją masy formierskiej (nastawy dozownika wagowego), 4- przesunięcie głowicy prasującej do pozycji nad skrzynką, 5- prasowanie, 6-oddzielenie formy poprzez opuszczenie stołu z płytą modelową [2,3]

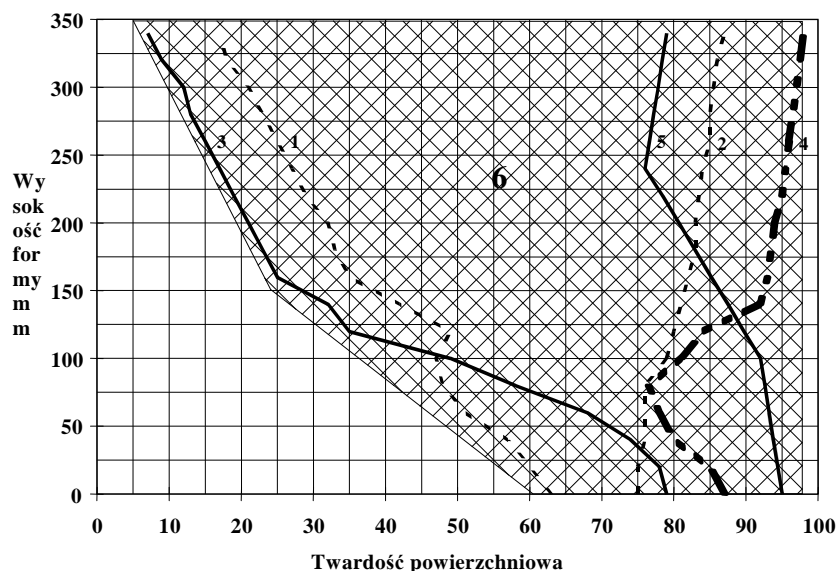
Podstawową zaletą tej metody formowania jest prostota samego procesu formowania oraz możliwość stosowania tej techniki formowania w maszynach, które mogą być rozbudowywane zależnie od zapotrzebowania o dodatkowe urządzenia pomocnicze do mechanicznego lub półautomatycznego centrum formierskiego, jak również linii formierskiej.

**Formowanie impulsowo-prasujące (TECHNICAL Nowa Sól)**, jest jedną z nowocześniejszych technik formowania, które polega na wstępnym zagęszczeniu masy formierskiej strumieniem sprężonego powietrza oraz dogęszczeniu za pomocą hydraulicznego zespołu prasującego (rys.7c, d).

Podstawową zaletą tej metody formowania jest stworzenie "elastycznego" sterowania procesem zagęszczania masy formierskiej, niezależnego od stopnia skomplikowania modelu; uzyskuje się to stosując odpowiedni wariant procesu oraz dobór jego parametrów. Elastyczność sterowania procesem polega na możliwości nastawiania ciśnienia statycznego impulsu sprężonego powietrza i płynnej regulacji siły prasowania oraz prędkości oddzielania formy od modelu.

W procesie formowania szczególnie ważna jest możliwość osiągnięcia równomiernego, wysokiego zagęszczenia w całej formie, szczególnie przy zastosowaniu skomplikowanych technologicznie modeli.

Na rysunku 4 przedstawiono efekty zagęszczania techniką impulsowo-prasującą na tle innych metod zagęszczania.



Rys.4. Wartości twardości (wskazania twardościomierza firmy +GF+) w formach: 1 -zagęszczanie masy wstrząsaniem, 2 - wstrząsaniem z doprasowaniem, 3 - strumieniem powietrza, 4 - strumieniowo-prasujące(Seiatsu), 5 - poprzez zagęszczające zasypywaniem grawitacyjnym z doprasowaniem - proces FORMIMPRESS, 6 - impulsowo- prasujące TECHNICAL Nowa Sól

### Porównanie metod zagęszczania strumieniowego z doprasowaniem (SEIATSU) i impulsowego z doprasowaniem (TECHNICAL).

Najbardziej efektywnymi i nowoczesnymi technologiami zagęszczania form są technologie zagęszczania dwustopniowego:  
impulsowego z doprasowaniem,  
strumieniowego z doprasowaniem.

Doprasowanie pozwala na odpowiednie kształtowanie rozkładu zagęszczenia masy poprawiając jego równomierność wzdłuż wysokości formy

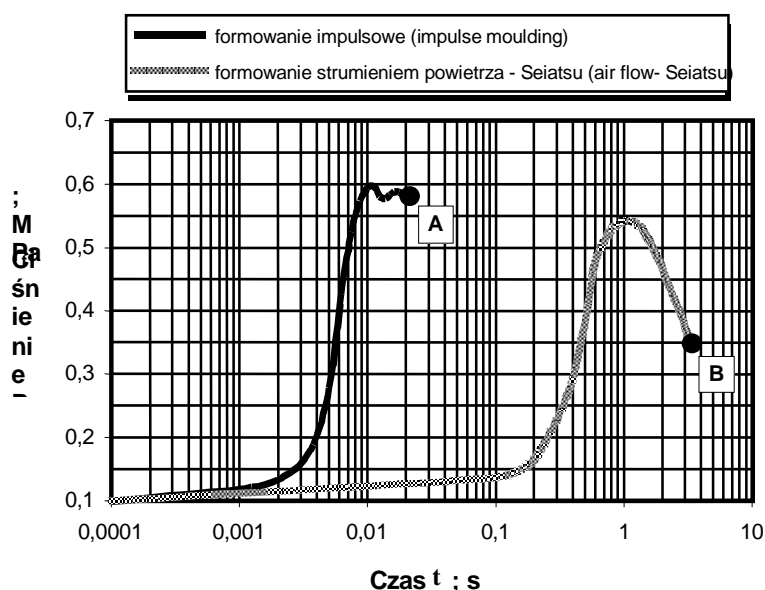
Zasadnicza różnica między formowaniem strumieniowym a formowaniem impulsowym polega na innej intensywności oddziaływania sprężonego powietrza na luźno usypaną masę formierską, usytuowaną w szczelnej komorze technologicznej. Dynamika procesu formowania wyraża się szybkością narastania ciśnienia w przestrzeni nad masą formierską oraz czasem jego trwania. Drugą bardzo istotną różnicą między tymi technikami formowania jest zależność strumieniowego zagęszczania masy od doprasowania.

W technice formowania impulsowego z doprasowaniem, każda z operacji może stanowić samodzielną technikę formowania [4], a łączne stosowanie obu tych technik jest najczęstsze w przypadku bardzo skomplikowanych form odlewniczych (np. korpusy silników).

Na rysunku 5 zaznaczono głównie fazę napełniania przestrzeni technologicznej (przerwanie przebiegu w punktach końcowych A i B). Poza wartością maksymalnego ciśnienia osiąganego w przestrzeni technologicznej (porównywalnego dla obu metod: Seiatsu i Technical) jako drugi parametr charakteryzujący przebieg wymienia się szybkość narastania ciśnienia. W procesie Seiatsu jest ona rzędu kilku MPa/s; w procesie impulsowym rzędu kilkudziesięciu MPa/s.

W maszynach realizujących obie metody z reguły istnieje możliwość zmiany ciśnienia wyjściowego w zbiorniku powietrza (głowicy impulsowej). Jednak do sterowania przebiegiem procesu zagęszczania wykorzystywana jest ona głównie w procesie impulsowym, stwarzającym pod tym względem większe możliwości.

W procesie strumieniowym o małej dynamice sterowanie przebiegu zagęszczania odbywa się głównie przez dobór umiejscowienia i wielkości odpowietrzeń (pełniących kluczową rolę w tej metodzie zagęszczania). W klasycznej metodzie impulsowej odpowietrzeń nie są wymagane lub są znacznie mniejsze [1].



Rys.5. Przebiegi czasowe ciśnienia  $p_t$  w przestrzeni nad masą formierską w procesach formowania impulsowego (Technical) – A oraz strumieniem powietrza (Seiatsu) – B. [1]

Proces formowania strumieniowego realizowany jest przy szybkości narastania ciśnienia do około 1 MPa/s. Podczas formowania strumieniowego zawór impulsowy działa dłużej (do 1,2 s), przepuszczając do formy znacznie większą ilość sprężonego powietrza. Zwiększona dawka powietrza, przeciskając się przez masę formierską po najmniejszej linii oporu, działa na nią zagęszczająco. Po dojściu w obszar płyty modelowej powietrze uchodzi do atmosfery przez odpowietrzniki.

Dla skutecznej realizacji formowania strumieniowego należy stosować znaczne odpowietrzenie płyty modelowej, aby odprowadzić do atmosfery bardzo duże ilości zużytego powietrza. W

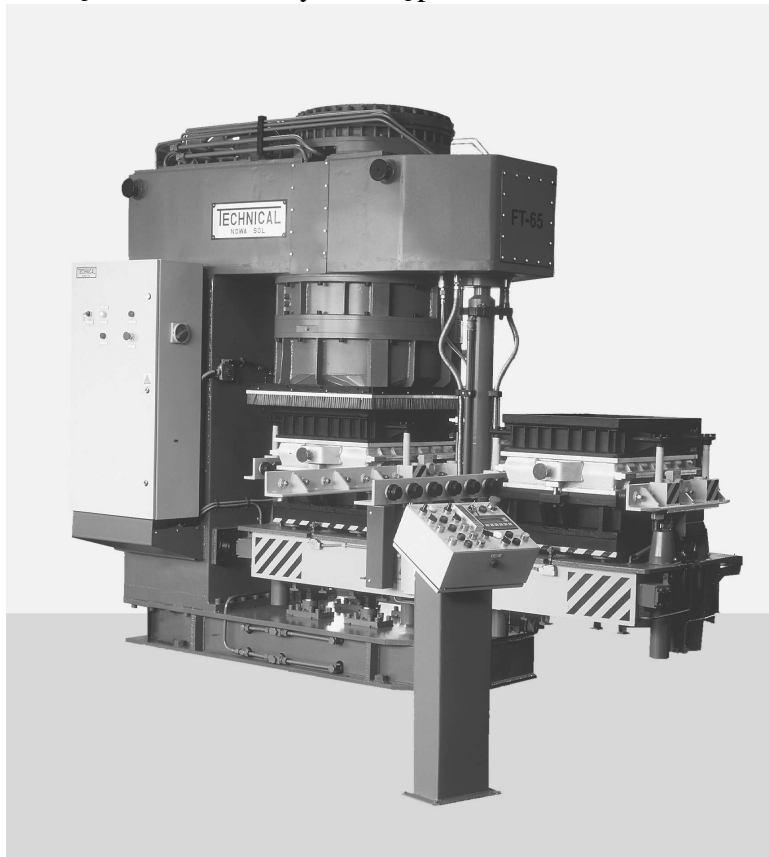
praktyce, podczas formowania strumieniowego z udziałem skomplikowanych modeli, stosuje się odpowietrzanie płyty modelowej dochodzące do 8% powierzchni skrzynki formierskiej. Formowanie impulsowe nie wymaga tak dużej powierzchni odpowietrzającej. W praktyce, dla modeli średnio skomplikowanych, odpowietrzanie formy sprowadza się do zamontowania odpowietrzników w „martwym” polu formy, w pobliżu wewnętrznych ścianek skrzyni formierskiej [4,5]. Stanowi to przeważnie powierzchnię około 1% powierzchni formy i maleje wraz ze wzrostem wielkości skrzynki formierskiej.

Porównanie obydwóch technologii formowania pozwala na sformułowanie następujących twierdzeń:

zagęszczanie oboma technologiami jest bardzo skuteczne, formowanie strumieniowe (proces SEIATSU) wymaga dodatkowego dogęszczania formy w zakresie średnich i wysokich nacisków jednostkowych; tzw. „przeprasowanie” odbywa się na całej wysokości formy. Wymaga to dodatkowo wykonywania w formie otworów odpowietrzających dla odgazowywania jej w czasie procesu zalewania ciekłym metalem. Doprasowanie na całej wysokości formy wiąże się również bezpośrednio ze zwiększoną energochłonnością maszyny oraz trudniejszym procesem wypychania formy ze skrzynki formierskiej, formowanie strumieniowe cechuje się dużym zużyciem sprężonego powietrza i znaczną powierzchnią odpowietrzania, ze względu na dużą ilość zużywanego sprężonego powietrza w procesie SEIATSU wymagany jest obok maszyny dodatkowy zbiornik sprężonego powietrza, co w przypadku procesu Technical nie występuje – ze względu na bardzo małe zużycie sprężonego powietrza zbiornik jest zdecydowanie mniejszy i zabudowany wewnątrz maszyny, formowanie impulsowe z doprasowaniem (Technical) jest procesem dwufazowym, I faza to formowanie impulsowe które jest formowaniem zasadniczym i może występować samoistnie, II faza to dogęszczanie za pomocą prasy hydraulicznej w zakresie niskich nacisków jednostkowych, które zaleca się najczęściej w przypadku bardzo skomplikowanych modeli, formowanie impulsowe nie wymaga zbyt dużej powierzchni odpowietrzania, a w niektórych przypadkach odpowietrzanie jest zbędne, co pozwala na lepsze wykorzystanie powierzchni modelowej, formowanie impulsowo-prasujące pozwala uzyskać najwyższą twardość formy w strefie przymodelowej i dogęszczenie górnych warstw formy za pomocą prasy [4]; dzięki tak wykonanej formie ułatwione jest ujście gazów w trakcie zalewania ciekłym metalem, a do wypychania odlewu z pakietu skrzynek formierskich wystarcza małe użycie siły.

### Formierka impulsowo-prasująca typu FT

Połączenie dwóch procesów: zagęszczania impulsowego i prasowania, zostało zrealizowane w maszynach formierskich impulsowo – prasujących typu FT, produkcji TECHNICAL - Nowa Sól (rys. 6), które dają możliwość wielowariantowej realizacji procesu zagęszczania masy formierskiej z regulowaną elektronicznie dynamiką procesu.

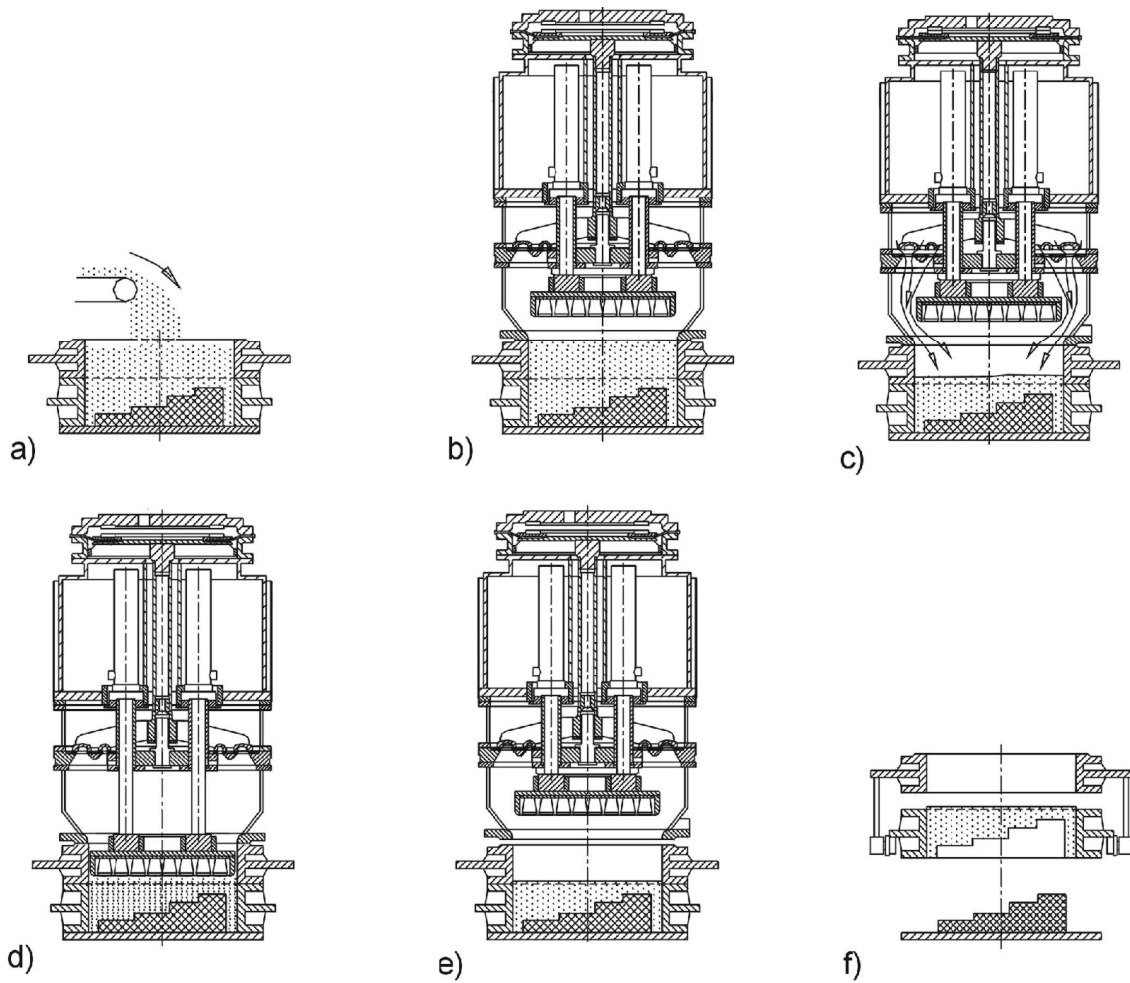


Rys. 6. Formierka impulsowo – prasująca typu FT, produkcji TECHNICAL.

Technika zagęszczania form stosowana w maszynach formierskich impulsowo – prasujących typu FT zapewnia bardzo dobre efekty technologiczne produkowanych odlewów. Wysoka jakość form pozwala między innymi zwiększyć dokładność wymiarową odlewów, otrzymać dobrą jakość ich powierzchni. W wielu wypadkach stwarza możliwość wyeliminowania rdzeni oraz lepszego wykorzystania powierzchni płyty modelowej, tak jak w przypadku formowania bezrdzeniowego korpusów silników elektrycznych w odlewni Fabryki Silników Elektrycznych „TAMEL” – Tarnów.

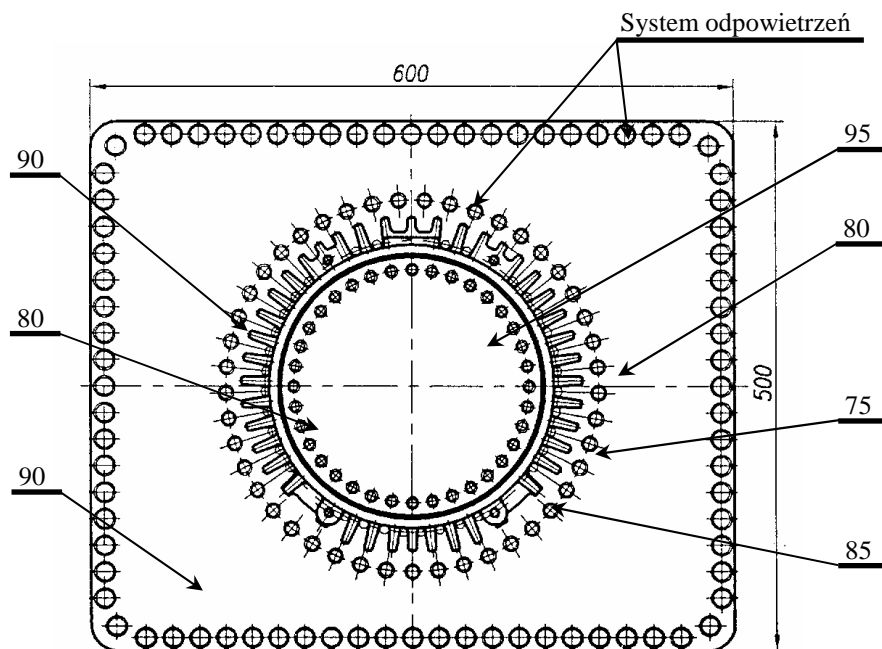
Etapy procesu wykonania formy na maszynie impulsowo – prasującej typu FT przedstawia rys 7 [6]. Maszyna formierska wykonuje dolne i górne półformy, zastępując parę klasycznych formierek. Operacja dozowania masy (rys. 7a) oraz oddzielania modelu od formy (rys.7f) odbywają się na stanowisku przed formierką, pozostałe operacje (rys.7b,c,d,e) przeprowadzane są na stanowisku znajdującym się w obrysie maszyny.





Rys.7. Proces formowania maszyny formierskiej impulsowo-prasującej typu FT firmy TECHNICAL a) dozowanie masy, b) zwieranie zestawu: skrzynka formierska - ramka nadmiarowa z głowicą impulsowo-prasującą i płytą modelową, c) zagęszczanie impulsowe, d) doprasowanie, e) rozwieranie układu, f) oddzielanie modelu od półformy [6].

Na rysunkach 8 i 9 podano wyniki badań rozkładu zagęszczenia formy dla korpusu silnika elektrycznego i zdjęcia gotowych odlewów.



Rys. 8. Wyniki zagęszczania uzyskane na formierce typu FT-65A (korpus silnika elektrycznego o wielkości mechanicznej Sg 160). (wskazania twardościomierza firmy +GF+)



Rys.9. Zdjęcie korpusów silników o wielkości mechanicznej Sg71 i Sg160, których formy wykonywane są na maszynie formierskiej FT-65A

Podkreślenia wymaga uniwersalność maszyny formierskiej, dzięki nowoczesnemu układowi sterowania (sterownik PLC), możliwy jest wybór wariantu formowania:  
 impuls sprężonego powietrza;  
 impulsowy z doprasowaniem;  
 prasowanie (siła prasowania 0-20 MPa).

Maszyna formierska typu FT posiada możliwość bezstopniowego nastawiania wartości siły prasowania, ciśnienia impulsu sprężonego powietrza (0,2÷0.6 MPa) oraz czasu działania nacisku płyty prasującej. Parametry te są nastawialne z pulpitu operatorskiego przez operatora maszyny formierskiej, odpowiednio do asortymentu produkowanych odlewów.

Wdrożenie tej technologii formowania w odlewniach o bardzo zróżnicowanym asortymencie potwierdziło duże możliwości technologiczne formierki impulsowo-prasującej typu FT-65.

#### LITERATURA:

1. . Smyksy K.: Porównanie metod formowania strumieniowego. Materiały V Konferencji TECHNICAL'2002. Nowa Sól, 2002, s. 112-119
2. . Materiały reklamowe: DISA, FORMTEC, GEORG FISCHER DISA, HEINRICH WAGNER SINTO, KÜNKEL WAGNER, SAVELLI, TECHNICAL.
3. . A. Fedoryszyn, K. Smyksy, J. Dańko :Techniki formowania stosowane w odlewnictwie światowym. Materiały II Konferencji TECHNICAL'99. Nowa Sól, 1999, s. 7-18.
4. . F Pezarski, I. Izdebska-Szanda i in.: Analiza wyników badań i prób nowej formierki impulsowo - prasującej FT-65. Materiały II Konferencji TECHNICAL'99. Nowa Sól, 1999, s. 54-65.
5. . F Pezarski, I. Izdebska-Szanda i in.: Nowe linie formierskie do produkcji odlewów z zastosowaniem formierek impulsowo-prasujących FT-65. Materiały V Konferencji TECHNICAL'2002. Nowa Sól, 2002, s. 88-93
6. . C Rudy., W Soliński.: Mechanizacja procesu formowania w odlewni. Materiały III Konferencji TECHNICAL`2000, Nowa Sól, 2000, s. 55-72

## Nowoczesna technologia przerobu mas formierskich SPM –45 w odlewni WSK PZL Rzeszów

Cz. Rudy<sup>1</sup>,  
W. Nizioł<sup>2</sup>

Przedsiębiorstwo Projektowo Produkcyjne „TECHNICAL” Sp. z o.o.  
Nowa Sól

### 1. Wstęp.

Chcąc poprawić jakość i konkurencyjność swych wyrobów odlewnia WSK-"PZL Rzeszów" od kilku lat konsekwentnie wdraża nowe technologie produkcyjne oraz modernizuje przestarzałe stanowiska pracy.

Stacja przerobu mas i związane z nią obiegi masy należały do najbardziej zaniedbanych inwestycyjnie i trudnych do prowadzenia oddziałów odlewni. Zbudowana w latach sześćdziesiątych centralna stacja przerobu mas, wyposażona w sześć mieszarek pobocznicowych typu MP-050 przygotowywała masę dla wszystkich stanowisk formierskich w odlewni. Scentralizowany system sporządzania mas formierskich, zależny w znacznym stopniu od człowieka i niezawodności przestarzałych maszyn i urządzeń, nie zapewniał dostatecznych dostaw masy o całkowicie jednorodnych właściwościach wymaganych dla poszczególnych maszyn formierskich.

W 2002 roku podjęto decyzję o modernizacji tego sektora produkcyjnego. Jako pierwsze zadanie przyjęto budowę nowej stacji przerobu mas o wydajności 45t/h wytwarzającej masę dla potrzeb automatycznej linii formierskiej FA-87 spełniającej następujące wymagania: nowoczesność, niezawodność i ekonomiczność.

Realizację tego zadania powierzono firmie TECHNICAL-Nowa Sól określając jego wykonanie terminem " pod klucz". Inwestycję przekazano do eksploatacji we wrześniu 2002 roku.

Obecnie firma TECHNICAL realizuje kolejne zadanie w odlewni WSK-"PZL Rzeszów"- budowę nowej stacji przerobu mas formierskich o wydajności 90t/h współpracującej z formiernią odlewów ciężkich.

### 2. Węzły technologiczne stacji przerobu mas formierskich bentonitowych SPM-45 w WSK „PZL Rzeszów” (rys.1).

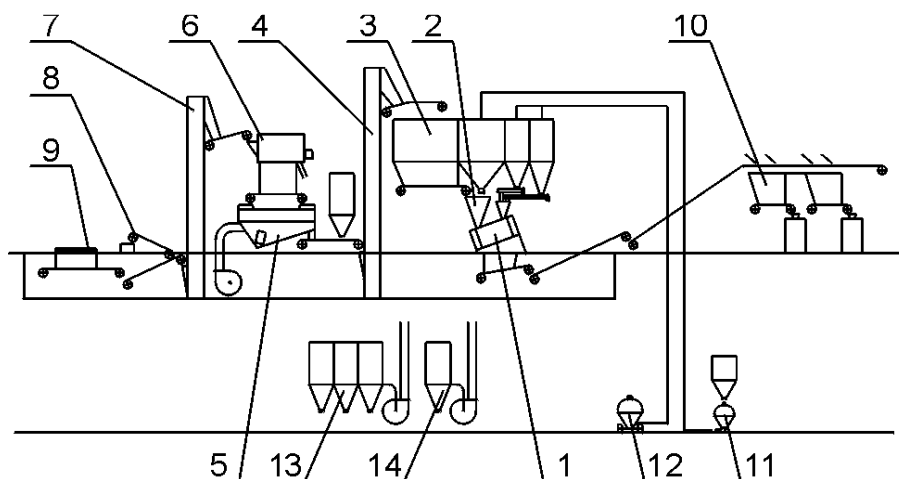
Odlewanie do form wykonanych z mas bentonitowych jest najszerszej stosowaną metodą odlewania. Konkurencyjność tej metody wynika przede wszystkim z niskich kosztów materiałowych. W przypadku zmechanizowanej i zautomatyzowanej produkcji odlewów stosuje się jednolitą masę odświeżoną w każdym obiegu technologicznym dodatkiem piasku świeżego, bentonitu i pyłu węglowego lub mieszanki bentonitowej zawierającej nośniki węgla.

Masa obiegowa przed odświeżaniem musi być poddana obróbce technologicznej tj .oczyszczeniu z zanieczyszczeń oraz schłodzeniu co ma to duże znaczenie przy częstych obiegach masy .

Na przykładzie nowej stacji przerobu mas formierskich SPM-45 wybudowanej w odlewni WSK-PZL Rzeszów rys.31, poniżej zostanie przedstawiona i omówiona technologia, główne węzły technologiczne, system sterowania i pomiaru z regulacją wilgotności masy formierskiej.

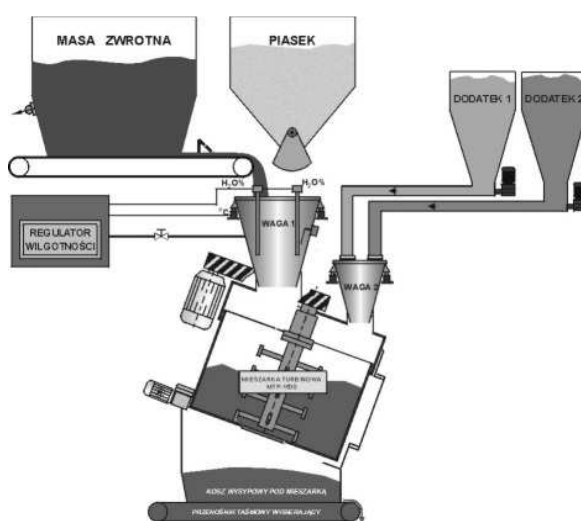
<sup>1</sup> mgr inż. Prezes TECHNICAL, zarzad@technical.com.pl

<sup>2</sup> mgr inż. Kierownik Pracowni Przygotowania Mas Formierskich



Rys.1. Schemat technologiczny stacji przerobu mas formierskich SPM-45 WSK „PZL Rzeszów”:  
1-mieszarka turbinowa, 2-zespół dozowania składników, 3-bateria zbiorników,  
4-podajnik kubetkowy, 5-chłodziarka wibracyjno fluidyzacyjna, 6-przesiewacz obrotowy,  
7-podajnik kubetkowy, 8-oddzielnik elektromagnetyczny, 9-krata wybijająca, 10-zbiornik  
masy świeżej, 11-transport pneumatyczny piasku, 12-linia przesyłowa, 13-układ odpylania  
SPM,, 14-układ odpylania chłodziarki

## 2.1. System sporządzania mas formierskich bentonitowych (rys.2)



Rys.2. Schemat technologiczny systemu sporządzania mas formierskich bentonitowych

System sporządzania mas formierskich bentonitowych rys.2 został zaprojektowany i wykonany jako układ modułowy, w skład systemu wchodzi następujące urządzenia i zespoły:

- mieszarka turbinowa MTP-1500
- elektroniczna waga dozująca masę zwrotną WTM-1500,
- elektroniczna waga dozująca mieszankę i piasek świeży WTD-150,
- dozownik śrubowy mieszanki DS,
- dozownik taśmowy masy zwrotnej DT,
- zbiornik magazynujący masę zwrotną, piasek świeży, mieszankę wraz z sondami poziomów napełnienia zbiorników,
- aparatura kontrolno-pomiarowa do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej, umożliwiającą uzyskanie zadanej wilgotności masy formierskiej,

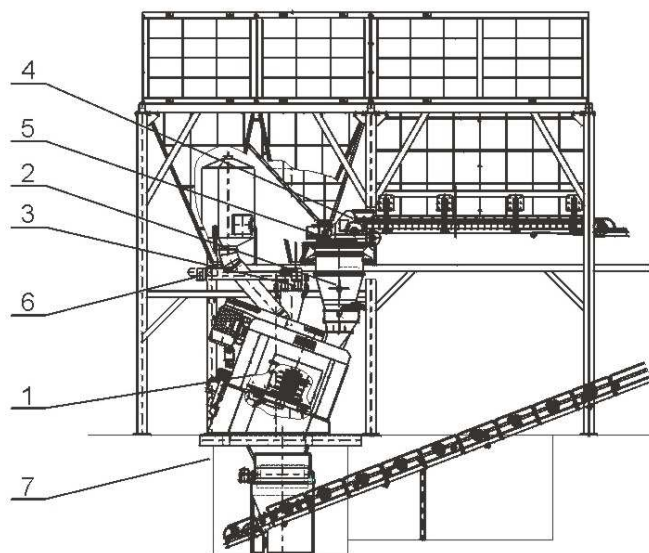
- system sterowania elektronicznego z wizualizacją, umożliwiający pracę SPM-45, programowanie parametrów technologicznych oraz receptur sporządzanych mas.

### Mieszarka turbinowa MTP-1500 (rys.3).

Mieszarki turbinowe typu MTP produkowane przez TECHNICAL należą do nowej generacji maszyn odlewniczych przeznaczonych do sporządzania syntetycznych mas formierskich bentonitowych.

W mieszarce turbinowej MTP wykorzystuje się proces dynamicznego przemieszczania cząstek masy realizowany przez trzy elementy robocze: ruchomą misę, szybkoobrotową turbinę, zespół lemieszki kierujących.

Zjawisko dynamicznego przemieszczania cząstek masy realizowane przez szybkoobrotową turbinę intensyfikuje proces mieszania oraz ujednoczenia składu masy i rozprowadzenia spoiwa na powierzchni ziaren piasku.



Rys.3. Zabudowa mieszarki turbinowej MTP-1500 :1-mieszarka turbinowa MTP-1500, 2-waga tensometryczna masy, 3-waga tensometryczna dodatków WTD-150, 4-dozownik masy zwrotnej, 5-dozownik piasku, 6-dozownik śrubowy dodatków, 7-kosz wysypowy masy świeżej

Główne zespoły mieszarki turbinowej MTP-1500 to:

- **Misa z napędem:** składa się z walcowej komory roboczej posadowionej na łożysku wieńcowym napędzanej motoreduktorem. W dolnej części misy, centralnie, wykonany jest otwór wysypowy masy formierskiej,
- **Turbina z napędem:** składa się z sześciokątnego wału oraz łopatek przykręconych na jego powierzchniach bocznych, na całej wysokości wg linii śrubowej połączonego z silnikiem poprzez koło pasowe oraz zespół pasów klinowych.
- **Kłapa wysypowa:** umieszczona jest w otworze wysypowym misy.
- **Lemiesz wygarniający:** umieszczony jest wewnątrz misy przy jej ścianie bocznej, połączony z cylindrem hydraulicznym przemieszczającym lemiesz wygarniający w kierunku otworu wysypowego,
- **Konstrukcja nośna:** składa się z ramy górnej, dwóch ram bocznych oraz podstawy,

- **Instalacja centralnego smarowania:** składa się z pompy smarującej, połączonej z poszczególnymi punktami smarnymi: łożyska wieńcowego oraz łożyska turbiny. Instalacja centralnego smarowania pracuje automatycznie
- **Instalacja wodna, instalacja hydrauliczna.**

### **Tensometryczne wagi WTM-1500 oraz WTD-150 ( rys. 2).**

System naważania składników masy formierskiej bentonitowej stacji przerobu mas formierskich SPM-45 w WSK „PZL Rzeszów” S.A. przedstawia ( rys.2). W celu dokładnego naważenia poszczególnych składników masy formierskiej do mieszarki turbinowej MTI-1500 zastosowano dwie wagi tensometryczne:

**Waga tensometryczna masy zwrotnej i piasku WTM-1500**, zbiornik wagi wykonany jest z blachy nierdzewnej. Niewielkie pochylenie ścian, zaokrąglone naroża, zastosowanie wibratora pneumatycznego eliminują zjawisko przywierania masy do ścian bocznych zbiornika wagowego. Zamykanie i otwieranie zbiornika realizowane jest cylindrem pneumatycznym.

**Waga tensometryczna mieszanki WTD-150**, zbiornik wagi wykonany jest z blachy nierdzewnej i zakończony zamknięciem motylkowym napędzanym cylindrem pneumatycznym.

### **Dozowniki masy formierskiej zwrotnej, mieszanki oraz piasku świeżego (rys. 2).**

System dozowania składników masy formierskiej bentonitowej stacji przerobu mas formierskich SPM-45 w WSK „PZL Rzeszów” S.A. przedstawia ( rys.2).

Podawanie składników do zbiorników wagowych realizowane jest przez:

- masa zwrotna podawana jest dozownikiem taśmowym,
- mieszanka podawane jest podajnikiem śrubowym dwubiegowym,
- piasek świeży (suchy) podawany jest podajnikiem grawitacyjnym dwustopniowym.

### **Pomiar i regulacja wilgotności masy formierskiej (rys. 2).**

System sterowania SPM-45 umożliwia regulację wilgotności masy formierskiej z dokładnością +/- 0,1% H<sub>2</sub>O od wartości zadanej.

Bazuje on na pomiarze podstawowych własności fizycznych masy obiegowej takich jak wilgotność, temperatura i ciężar usypowy. Pomiarów tych dokonuje się podczas dozowania masy zwrotnej do wagi (rys. 12).

Pomiaru wilgotności dokonują sondy (kondensatory prętowe) zanurzone w masie i zabudowane we wnętrzu zbiornika wagowego. Metoda pomiaru bazuje na wychwyceniu stałej dielektrycznej materiału. Ponieważ stała dielektryczna mieszaniny piasku kwarcowego z dodatkami jest dużo mniejsza od stałej dielektrycznej wody możliwe jest precyzyjne określenie wilgotności mierzono materiału.

Pomiaru temperatury dokonują czujniki zamontowane na ściankach zbiornika również zanurzone w masie obiegowej.

Temperatura masy ma duże znaczenie w sytuacji, gdy odległość stacji przerobu mas od stanowisk formierskich jest znaczna i następuje utrata wilgotności przez odparowanie. Strata ta jest każdorazowo kompensowana przez system. Zmierzone wartości przekazywane są do urządzenia centralnego wilgotnościomierza, który oblicza wymaganą ilość wody, jaką należy podać do mieszarki podczas procesu mieszania dla uzyskania właściwej wilgotności.

### **2.2. System chłodzenia masy formierskiej zwrotnej (rys. 4).**

Podstawowymi parametrami masy formierskiej dla uzyskania dobrej jakości odlewów są między innymi jej temperatura i wilgotność. Problem dobrego chłodzenia masy występuje z reguły w odlewniach posiadających automatyczne linie formierskie w których wymiana masy następuje zbyt szybko co nie pozwala na przebieg naturalnego procesu chłodzenia.

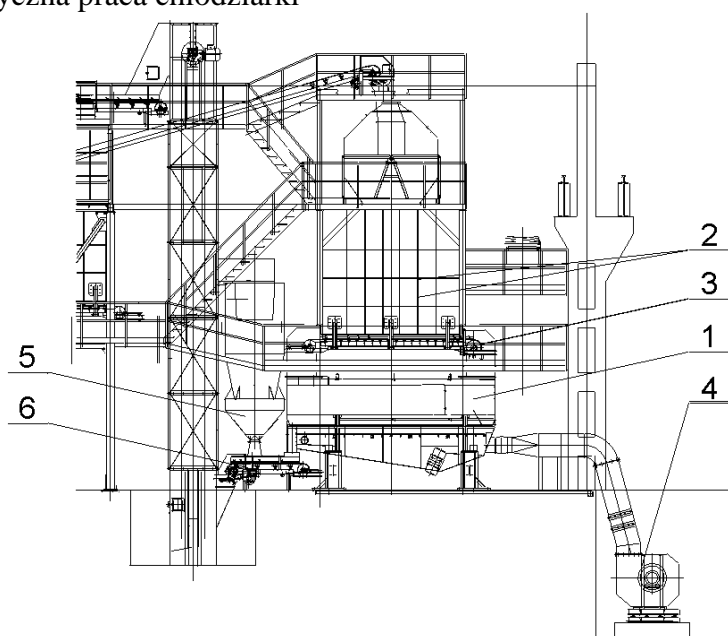
Chłodziarka wibracyjno – fluidyzacyjna CFM-4515 zbudowana na bazie przenośnika wibracyjnego posiada rozwiniętą powierzchnię sitową umożliwiającą znaczne upłynnienie masy formierskiej w procesie fluidyzacji co wiąże się z uzyskaniem większego efektu chłodzenia wyparowego..

Chłodziarka gwarantuje intensywne schłodzenie masy formierskiej zwrotnej z temperatury ok. 120<sup>0</sup>C do temperatury ok. 10<sup>0</sup>C powyżej temperatury otoczenia. Odbywa to się dzięki współdziałaniu wibracji dna i dmuchu powietrza powodujących zjawisko fluidyzacji warstwy masy formierskiej, a tym samym intensywne odprowadzenie wody zawartej w masie formierskiej zwrotnej oraz zadozowanej w procesie chłodzenia fluidyzacyjnego.

Istotną cechą chłodziarka wibracyjno – fluidyzacyjna CFM-4515 jest krzyżowy przepływ strumienia masy formierskiej i powietrza

Do zalet procesu chłodzenia fluidyzacyjnego można zaliczyć:

- ujednorodnienie masy formierskiej z równoczesną jej homogenizacją,
- odpylenie nieaktywnych cząstek bentonitu i innych przepalonych cząstek
- automatyczna praca chłodziarki



Rys. 4. Zabudowa chłodziarki wibracyjno – fluidyzacyjnej CFM-4515: 1-chłodziarka wibracyjno-fluidyzacyjna, 2-zbiornik pośredni masy, 3-dozownik taśmowy rewersyjny, 4-wentylator nadmuchowy, 5-cyklon, 6-przenośnik odbiorczy

**Chłodziarkę wibracyjno - fluidyzacyjną typu CFM-4515** składa się z następujących podstawowych zespołów:

**Podajnik wibracyjny** składa się z konstrukcji spawanej, która w dolnej części stanowi komorę powietrzną zamkniętą od góry sitem fluidyzacyjnym. Sito łącznie ze ścianami bocznymi tworzy rynną transportową chłodzonego materiału. Na bocznych ścianach podajnika zamocowane są dwa elektrowibratory. Na końcu rynny przykryty jest wysyp, w którym znajduje się pokrywa inspekcyjna. Od strony wlotu powietrza znajdują się dwa okrągłe króćce łączące komorę powietrzną z instalacją dmuchu. Cały podajnik położony jest na czterech amortyzatorów zamocowanych na dwóch stojakach zamocowanych do fundamentu.

**Komora odciągu powietrza** stanowi szczelną konstrukcję spawaną, na jednej ścianie znajdują się drzwi wjazdowe. W górnej części komora posiada króciec łączący z instalacją odpylającą. Komora wsparta jest na czterech podporach mocowanych do stojaków stanowiących konstrukcję wsporczą podajnika wibracyjnego.



Komora połączona jest szczelnie z podajnikiem wibracyjnym za pomocą elastycznego fartucha.

**Instalacja dmuchu** składa się z wentylatora wyposażonego w kierownicę do regulacji wlotu powietrza oraz z przewodu powietrznego połączonego elastycznie z wylotem wentylatora i z komorą powietrzną chłodziarki.

#### Zasada działania:

masa zwrotna ze zbiornika buforowego podawana jest dozownikiem taśmowym na sito fluidyzacyjne podajnika wibracyjnego chłodziarki.

System nawilżania masy w chłodziarce posiada 3 stopnie zraszania. Stopnie zraszania 1 i 2 są sterowane termometrem na wlocie, termometr w środku steruje stopniem 3, a termometr na wylocie służy do kontroli efektu schładzania.

Wszystkie stopnie sterowane są niezależnie od siebie, pracują w sposób ciągły między dolną wartością graniczną temperatury a górną wartością graniczną. Przy temperaturach poniżej min. stopień 1 i 2 zostaje całkowicie wyłączony, dla temperatur ponad max. następuje ciągłe zraszanie. Wartości graniczne są zaprogramowane w systemie sterowania.

Dopływ wody do 3 stopnia regulowany jest poprzez nastawy wartości żądanej wilgotności końcowej.

Zimne powietrze, tłoczone przez wentylator do komory powietrznej, przepływa przez otwory przegrody fluidyzacyjnej i przez warstwę transportowanego materiału.

Podgrzane i zanieczyszczone powietrze, po przejściu przez warstwę chłodzonego materiału, odciągane jest przez króciec wylotowy do cyklonu celem wstępnego oczyszczenia.

### 2.3. Systemy transportowe materiałów w SPM-45.

#### System transportu masy formierskiej świeżej i zwrotnej

Dobór odpowiedniego systemu transportu w stacjach przerobu mas formierskich jest zagadnieniem równie ważnym jak np. dobra mieszarka, układ sterowania i inne.

W stacji przerobu mas formierskich SPM-45 jest to realizowane poprzez skojarzenie systemu transportu i materiału transportowanego w następujący sposób:

- masa zwrotna - elewatory i przenośniki taśmowe,
- masa świeża - przenośniki taśmowe.

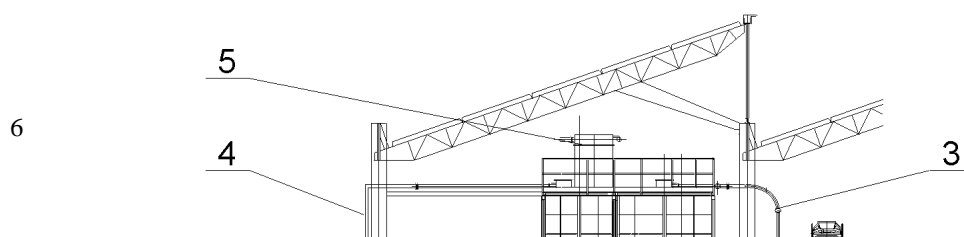
Dla zapewnienia niezawodności działania wszystkie urządzenia systemów transportowych wyposażone są w elementy kontrolujące, jak:

- indukcyjne czujniki ruchu do kontroli i poślizgu taśm dozowników i przenośników taśmowych i kontroli ruchu mechanizmów obrotowych, w szczególności bębnow biernych, przekazujące sygnały do centralnego systemu sterowania SPM-45.

Konstrukcja, skrobaki taśm grawitacyjno - sprężynowe, osłony BHP, odciąg wylotowy wentylacyjny nowoczesne napędy oraz system sterowania gwarantuje niezawodną i bezobsługową pracę systemów transportowych oraz całej stacji przerobu mas formierskich.

#### System transportu piasku suchego i mieszanki (rys. 5).

Mając na uwadze ograniczenie emisji pyłów na odlewni podawanie szczególnie pyłogennych materiałów takich jak mieszanka bentonitowa oraz suchy piasek odbywa się transportem pneumatycznym. Mieszanka bentonitowa bezpośrednio z cysterny samochodowej przesyłana jest do zbiorników nad mieszarką. Zbiornik mieszanki wyposażony jest w indywidualny odpylacz pulsacyjny. Piasek suchy podawany jest do zbiorników podajnikiem komorowym z centralnej linii transportu piasku na odlewnię.



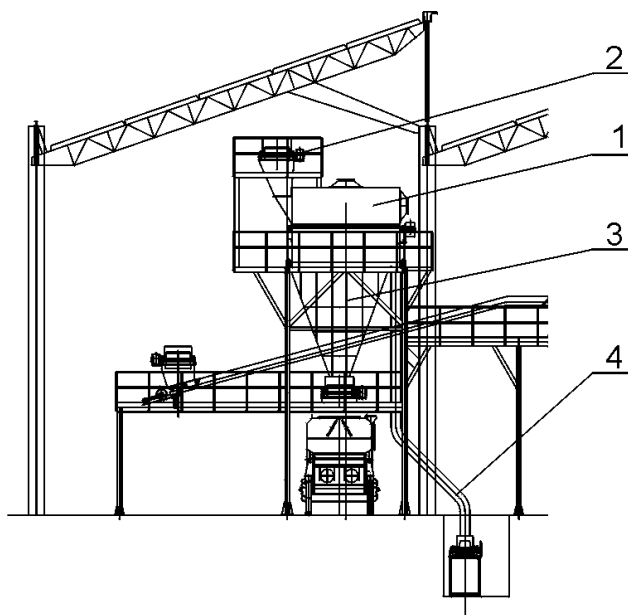
Rys. 5. System transportu piasku świeżego i mieszanki: 1-zbiornik pośredni piasku, 2-podajnik komorowy, 3-linia przesyłowa piasku, 4-linia przesyłowa mieszanki, 5-filtr tkaninowy pulsacyjny, 6-cysterna samochodowa

#### 2.4. Oczyszczanie masy formierskiej zwrotnej z zanieczyszczeń.

##### Oddzielanie od masy formierskiej zwrotnej rdzeni oraz innych zanieczyszczeń (rys. 6).

Do przesiewania masy wybitej powszechnie stosowane jest sito poligonalne, które w sposób ciągły oddziela od masy zwrotnej kawałki rdzeni oraz inne zanieczyszczenia powodując równocześnie częściowe rozbijanie zbrylonej masy obiegowej.

Zabudowę sita poligonalnego przedstawia (rys. 6).



Rys.6.Zabudowa sita poligonalnego wielobocznego w SPM-45.1-przesiewacz obrotowy sitowy POS-60, 2-przenośnik taśmowy masy, 3-zbiornik, 4-rynna spustowa odsiewek

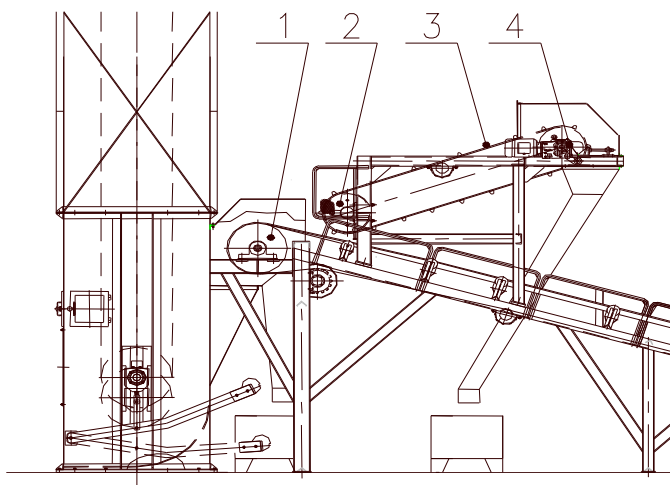
##### Oddzielanie części metalowych od masy formierskiej zwrotnej (rys. 7).

Dla oddzielania części metalowych zainstalowane zostały dwa oddzielacze magnetyczne, w ciągu technologicznym transportu masy zwrotnej:

- oddzielacz bębnowo - taśmowy współbieżny z taśmą przenośnika, wychwytuje on części metalowe z górnych warstw transportowanej przenośnikiem warstwy masy formierskiej zwrotnej.

- oddzielnicy bębnowy, wbudowany w głowicy napędzającej przenośnik taśmowy, wychwytuje on części metalowe z dolnych warstw tej samej warstwy masy formierskiej zwrotnej.

Zastosowanie dwóch oddzielaczy zapewnia w zupełności oczyszczenie masy wybitej z części metalowych. Zabudowę oddzielaczy magnetycznych przedstawia (rys. 7).



*Rys.7. Zabudowa oddzielaczy w SPM-45: 1-bęben elektromagnetyczny napędowy. 2-bęben magnetyczny, 3-taśma progowa, 4-bęben napędowy*

### **2.5. Odpylanie stacji przerobu mas formierskich SPM-45.**

W odpylaniu stacji przerobu mas najważniejsze są cztery zagadnienia:

- wysoka sprawność instalacji odpylającej wyróżniająca się niską emisją pyłów z filtra,
- maksymalne ograniczenie wielkości emisji pyłów z urządzeń do wewnątrz hali
- możliwe najmniejsze porywanie wraz z odciąganiem powietrzem aktywnego betonitu z masy
- możliwie najmniejsze koszty wykonania instalacji odpylającej oraz jej eksploatacji przy zachowaniu wysokiej sprawności

Wszystkie punkty pyłogenne stacji przerobu mas podłączone są do instalacji odpylającej. Zapyłone powietrze odciągane jest rurociągami przy pomocy wentylatora do filtra suchego pulsacyjnego DF/2,5/6,0/2,3, gdzie następuje jego oczyszczenie. Chłodziarka wibracyjno – fluidyzacyjna posiada oddzielny zespół odpylania oparty o filtr suchy pulsacyjny DF/2,5/2,0/2,3.

Filtry regenerowane są impulsem sprężonego powietrza, gwarantują maksymalną emisję pyłów z filtra na poziomie do  $5\text{mg}/\text{m}^3$ .

## **3. System sterowania, wizualizacji oraz regulacji wilgotności stacji przerobu mas formierskich SPM-45 w WSK „PZL Rzeszów”.**

### **3.1. System sterowania stacji przerobu mas formierskich SPM-45**

Wyposażony jest w aparaturę zabezpieczającą, sterowniczą, sygnalizacyjną oraz kontrolno – pomiarową, zasadniczym elementem układu sterowania jest sterownik swobodnie programowalny firmy GE-Fanuc serii 90-30.

System obejmuje swoim zakresem sterowanie nie tylko napędami i mechanizmami mieszarki, ale również sterowanie dozownikami składników masy formierskiej jak i całego systemu dystrybucji masy. Wynikiem jego działania są odpowiednie sygnały uruchamiające obwody wyjściowe sterowania (cewki styczników, zaworów, elementy sygnalizacji).

Integralną częścią składową programu sterowania jest system kontroli poprawności działania wszystkich obwodów sterowanych i mechanizmów. W tym celu poszczególne urządzenia wyposażone są w odpowiednie elementy kontroli:

- indukcyjne czujniki zbliżeniowe do kontroli położenia mechanizmów ruchomych,
- czujniki kontaktronowe do kontroli położenia mechanizmów ruchomych napędzanych siłownikami pneumatycznymi z systemem BSPT (bezstykowa sygnalizacja położenia tłoczków cylindrów),
- indukcyjne czujniki ruchu do kontroli ruchu i poślizgu taśm dozowników i przenośników taśmowych i kontroli ruchu mechanizmów obrotowych,
- czujniki i sondy poziomu (pojemnościowe i rezystancyjne) do kontroli poziomu załadowania zbiorników.

System sterowania umożliwia:

- bezobsługową pracę całej stacji przerobu mas formierskich,
- utrzymanie stabilnych zadanych parametrów masy formierskiej,
- wizualizację i kontrolę procesu z kabiny sterowniczej linii formierskiej,
- rejestrację parametrów technologicznych,
- możliwość pracy na kilku dowolnie wybranych recepturach masy formierskiej,
- możliwość przyporządkowania numeru modelu do odpowiedniej receptury masy formierskiej,
- bieżącą analizę stanów pracy poszczególnych urządzeń i mechanizmów z natychmiastową lokalizacją ewentualnych przyczyn awarii.

### 3.2. Pulpit sterowniczy z systemem wizualizacji SPM-45.

System sterowania stacji przerobu mas wyposażony jest w pulpit sterowniczy umieszczony w sterowni linii formierskiej FA-87, na pulpicie zamontowane są elementy pulpitu takie, jak:

- lampki sygnalizacyjne informujące bezpośrednio o załączonym napięciu sterowania, o awaryjnym wyłączeniu, braku składników do wykonania masy itp.,
- przyciski sterownicze i łączniki umożliwiające ręczne sterowanie pracą całej stacji przerobu, przeprowadzenie ręczne całego cyklu z zachowaniem niezbędnych blokad wzajemnych, zabezpieczających przed uszkodzeniem napędów i mechanizmów. Tryb ten stosuje się w celach remontowych, rozruchowych, prób mechanizmów,
- procesory wagowe ze wskazaniem aktualnego obciążenia zbiorników wagowych,
- graficzny panel operatorski z kolorowym ekranem dotykowym z zainstalowanym systemem wizualizacji pracy całej stacji przerobu mas.

### 3.3. System wizualizacji PM-45 :

System wizualizacji składa się z czterech zasadniczych części:

1. Ekran synoptyczny z graficzną animowaną prezentacją procesu, będącą w pewnym stopniu uproszczenia odzwierciedleniem całej stacji przerobu mas jak i jej poszczególnych węzłów, sygnalizującą pracę poszczególnych napędów, położenie mechanizmów, stopień napełnienia zbiorników, stan wyłączników awaryjnych itp.,
2. System ekranów (okien) alarmowych ze słownymi komunikatami informującymi o nieprawidłowościach pracy poszczególnych urządzeń i mechanizmów,
3. System ekranów (okien) umożliwiających nastawę parametrów procesu przygotowania masy, w szczególności:
  - programowanie receptur masy
  - przyporządkowanie receptur do modeli
  - nastawę czasów technologicznych procesu

- nastawę innych parametrów pracy urządzeń.

#### 4. System rejestracji zużytych materiałów.

Ekran panelu pokryty jest matrycą dotykową. Umożliwia ona komunikację operatora z systemem wizualizacji poprzez dotyk odpowiednio zdefiniowanych obszarów ekranu.

#### 4. Podsumowanie.

Jakość odlewów zależy w dużej mierze od jakości wytwarzanych mas formierskich. W procesie wytwórczym aby uzyskać masę o jednorodnych właściwościach decydującą rolę odgrywają trzy zasadnicze parametry: wysoka jakość powleczenia ziarn piasku lepiszczem, dostatecznie niska temperatura masy, całkowita powtarzalność procesu przygotowania masy.

Wybudowana wg technologii TECHNICAL stacja przerobu mas SPM-45 oraz obecnie realizowana stacja SPM-90 dzięki zastosowaniu nowoczesnych maszyn i urządzeń w pełni spełnia powyższe kryteria.

Obydwie stacje przerobu mas formierskich wyposażone są w nowoczesne mieszarki turbinowe MTP-1500 ( wyd. 45 t/h ) oraz MTI-4000 ( wyd. 90 t/h ), systemy elektronicznego naważenia składników masy formierskiej, automatyczne systemy pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej oraz systemy chłodzenia masy formierskiej w chłodziarkach wstrząsowo fluidyzacyjnych typ CFM-4516 ( wyd. 45 t/h ) oraz CFM – 5520 ( wyd. 90 t/h ).

#### 5. Literatura.

- [1] Fedoryszyn A. Parametry pracy chłodziarek wibrofluidyzacyjnych: Acta Metalurgica Slovaca 3/2001, str.128-133.
- [2] A.Fedoryszyn, K.Smyksy, J.Dańko: Urządzenia do homogenizacji i chłodzenia masy formierskiej, materiały Konferencji TECHNICAL'2001, str.59-68.
- [3] Chudzikiewicz R.: Mechanizacja Odlewni. WNT. Warszawa, 1974
- [4] Ciamaga E., Nizioł W.: Mieszarki turbinowe MTI do mas formierskich bentonitowych. Materiały Konferencji TECHNICAL'98 „ Nowoczesne Techniki Przygotowania Mas Formierskich”. Nowa Sól, 1998, s. 16÷38.
- [5] Gregoraszczyk M.: Maszynoznawstwo Odlewnicze. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne. Kraków, 2002.
- [6] Lewandowski J.L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wyd.”Akapit”. Kraków, 1997.
- [7] Pezarski F., Smoluchowska E., Izdebska-Szanda I., Nizioł W.: Badanie wpływu sposobu mieszania na jakość sporządzanych mas formierskich. Materiały Konferencji TECHNICAL'98 „ Nowoczesne Techniki Przygotowania Mas Formierskich”. Nowa Sól, 1998, s. 40÷56.
- [8] Rudy C., Piosik T.: Katalog „Maszyny Odlewnicze”. PPP. TECHNICAL. Nowa Sól, 1998.

## OCENA WYBRANYCH PARAMETRÓW CHŁODZIAREK WIBROFLUIDYZACYJNYCH

*Aleksander FEDORYSZYN<sup>1</sup>*  
*Krzysztof SMYKSY<sup>2</sup>*

*Wydział Odlewnictwa*  
*Akademia Górniczo –Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie*

### Wstęp

Względy techniczno-ekonomiczne uzasadniają posługiwanie się minimalną ilością masy obiegowej o stabilnych, określonych właściwościach technologicznych. Konieczne jest więc stosowanie surowców wyjściowych o odpowiedniej jakości oraz odpowiednie przygotowanie masy wybitej oraz jej odświeżanie [6, 8÷13]. Jedną z ważnych operacji przygotowania masy używanej jest jej chłodzenie [1, 3, 7, 14÷16]. Konieczność chłodzenia używanej masy formierskiej uzasadniona jest wieloma czynnikami. Pierwsza ich grupa obejmuje pogorszenie szeregu właściwości technologicznych masy związane z podwyższeniem jej temperatury [12], a tym samym zwiększenie prawdopodobieństwa występowania wad odlewów. Druga grupa wynika z możliwości występowania zakłóceń w przebiegu procesów technologicznych (m.in.: składowania, transportu, formowania) również związanych z podwyższoną temperaturą masy. Celowość stosowania urządzeń do chłodzenia masy podkreślana jest w licznych opracowaniach [5,10÷14]. Właściwy wybór chłodziarki, a także dobór parametrów jej pracy pozwala zminimalizować wymienione, niekorzystne zjawiska.

### Ogólna charakterystyka urządzeń do chłodzenia masy obiegowej

Masa wybita charakteryzuje się dużą zmiennością temperatury, wilgotności oraz zawartości frakcji pyłowych. Intensywność procesu chłodzenia masy zachodzącego w trakcie przerobu i transportu masy w klasycznych urządzeniach linii zwrotu masy (urządzeniach do wybijania, kruszarkach, przesiewaczach, mieszarkach, urządzeniach transportowych) jest zwykle niewystarczająca. Przyjmuje się, że już przy ilości cykli obiegu masy rzędu 8 na zmianę należy stosować specjalistyczne chłodziarki. Dopuszczalna temperatura masy związana jest z temperaturą i wilgotnością powietrza w odlewni i nie powinna przekraczać temperatury otoczenia o więcej niż 8<sup>0</sup>C [12].

Stosowane obecnie urządzenia do chłodzenia charakteryzują się różnorodną konstrukcją. Duża grupa chłodziarek masy obejmuje urządzeniami zbudowane na bazie przenośników (np. taśmowych, aeracyjnych, wibracyjnych) [6,7,17]. Umożliwiają one uzyskanie rozwiniętej powierzchni kontaktu, ułatwiającej wymianę ciepła i wilgoci pomiędzy masą a przepływającym powietrzem chłodzącym. Zastosowane systemy dozowania wody umożliwiają efektywne chłodzenie wyparne (związane z dużym ciepłem parowania wody). Natężenie strumienia wody chłodzącej sterowane jest z reguły automatycznie [12÷15]. Wśród grupy chłodziarek przenośnikowych rozwiązaniami szczególnie godnymi polecenia są urządzenia wibrofluidyzacyjne.

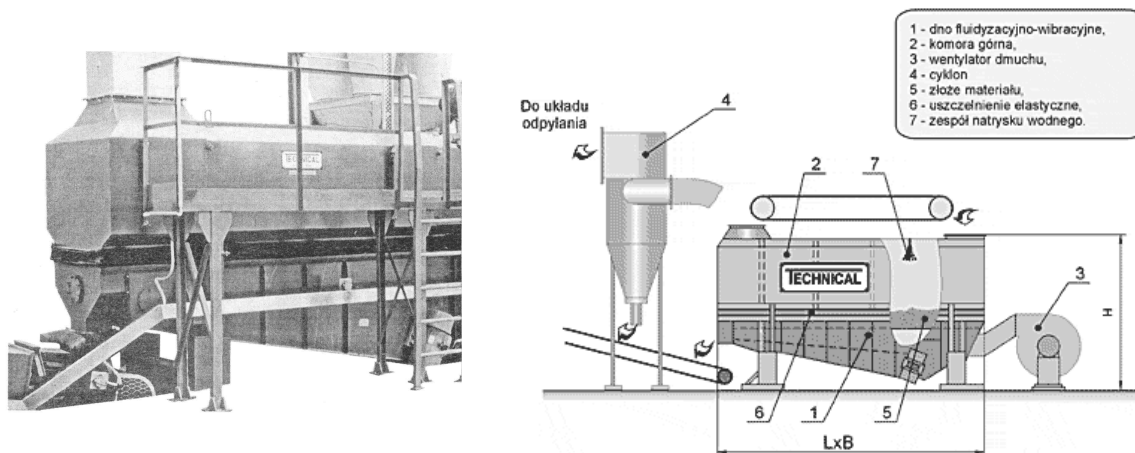
<sup>1</sup> dr hab.inż., prof. AGH [alfa@uci.agh.edu.pl](mailto:alfa@uci.agh.edu.pl)

<sup>2</sup> dr inż. [ksmyksy@uci.agh.edu.pl](mailto:ksmyksy@uci.agh.edu.pl)

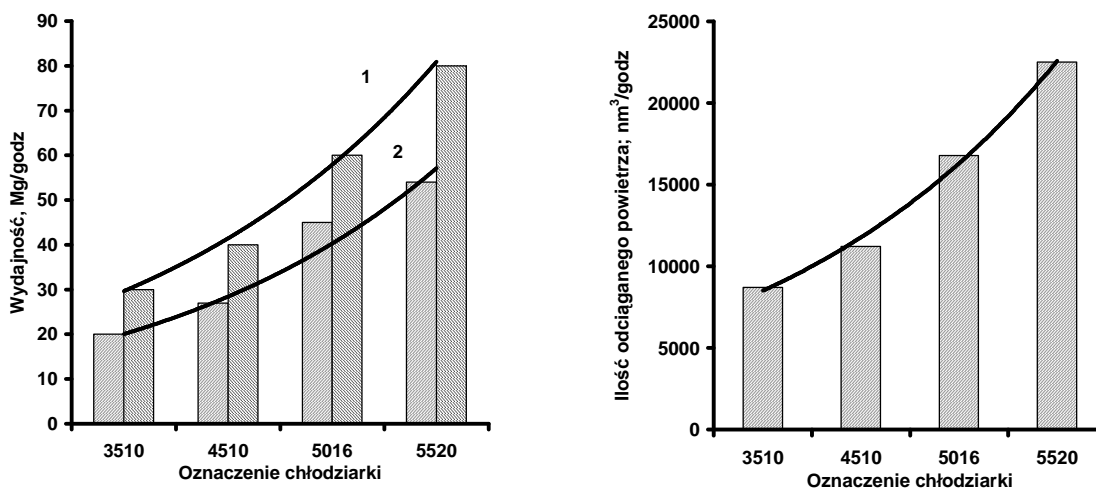
## Chłodziarki wibrofluidyzacyjne

Chłodziarki wibrofluidyzacyjne są oferowane przez wielu dostawców maszyn i urządzeń odlewniczych (m.in. TECHNICAL, JÖST-KÜTTNER, UHDE- KÜTTNER, SPACE). Na rysunku 1 przedstawiono widok i schemat chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CFM (CWFM) firmy P.P.P. TECHNICAL- Nowa Sól. [17]. Na rysunku 1b zamieszczono natomiast ich podstawową charakterystykę.

a)



b)



Rys.1. Widok i schemat chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CFM (CWFM) firmy TECHNICAL Nowa Sól a); 1 - komora robocza, 2 - komora separacji, 3 - wentylator podmuchowy, 4 - dysze wodne, 5 - dno perforowane oraz ich podstawowa charakterystyka, b); 1 - chłodzenie masy w zakresie temperatur  $120^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$ , 2 -  $80^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$  [18]

Podstawowymi zaletami chłodziarek wibrofluidyzacyjnych, w stosunku do innych chłodziarek przenośnikowych, jest:

- uzyskiwanie upłynnienia złoża wilgotnej i spoistej masy formierskiej oraz rozwinięcie powierzchni kontaktu sprzyjające wymianie masy i ciepła,
- łatwość regulacji parametrów transportu masy i intensywności wymiany ciepła; nie bez znaczenia jest możliwość oddzielnego (w pewnym zakresie) sterowania przebiegiem tych operacji,
- prosta i zwarta konstrukcja,
- dobre warunki pracy (cicha praca, brak pylenia) oraz nie uciążliwa obsługa.

Wprowadzenie wibracji:

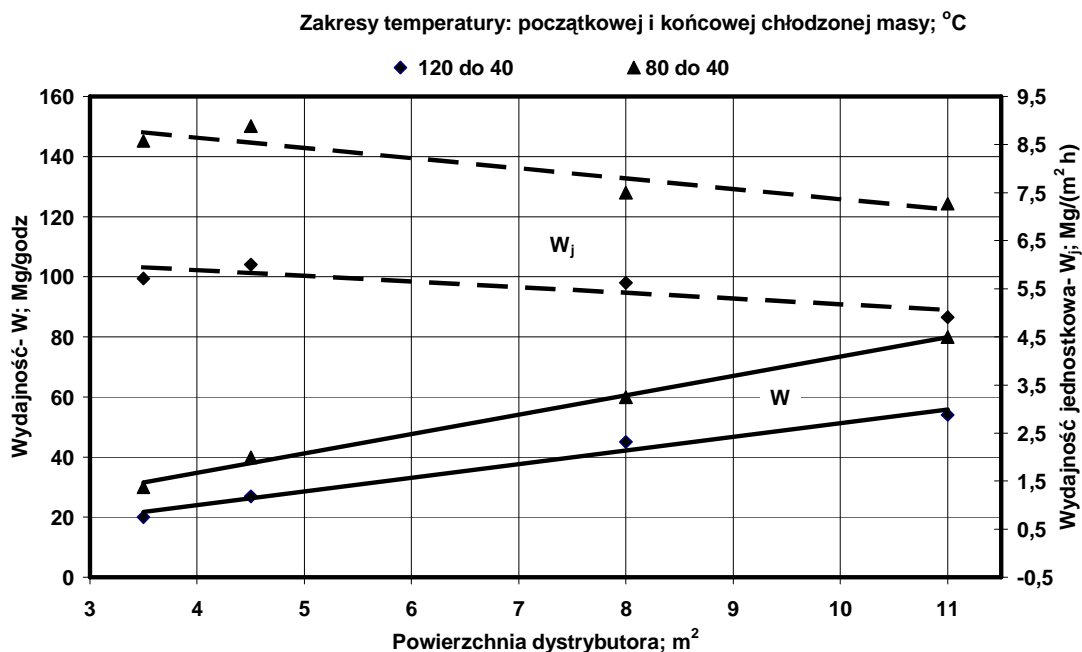
- zwiększa zakres upłynnienia złoza; upłynnienie jest uzyskiwane przy prędkościach czynnika fluidyzującego nawet poniżej wartości minimalnej prędkości fluidyzacji, co wiąże się z ograniczoną elutriacją pylistych składników masy,
- pozwala uzyskiwać założoną prędkość przemieszczania nosiwa, w zależności od parametrów drgań, niezależnie od prędkości czynnika fluidyzującego, którego ilość może wynikać tylko z założonej intensywności wymiany ciepła.

### Parametry chłodziarek wibrofluidyzacyjnych

W celu ułatwienia wstępnej analizy charakterystyk chłodziarek przeprowadzono porównanie parametrów rzutujących na przebieg transportu wibrofluidyzacyjnego oraz parametrów wpływających na proces chłodzenia. W rzeczywistości zachodzące w urządzeniu procesy transportu i chłodzenia przenikają się wzajemnie i są, w jakimś stopniu, współzależne.

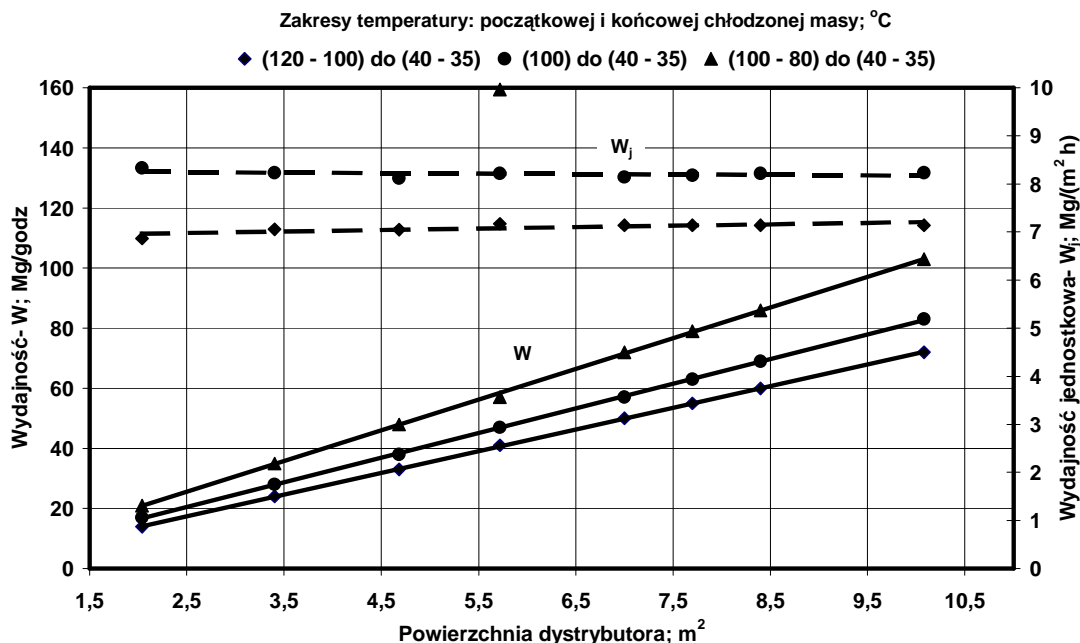
Analizie poddano materiały ofertowe firm: TECHNICAL Nowa Sól- typoszereg CFM (CWFM) i JÖST- typoszereg DFM. W analizie uwzględniono typoszereg urządzeń tych obu firm ze względu na porównywalne zakresy wydajności. Firma JÖST jest kooperantem w zakresie urządzeń wibracyjnych m.in. firm KÜTTNER, UHDE. Dokładność przeprowadzonej analizy uwarunkowana jest oczywiście zakresem udostępnionych danych [17].

Wydajność maszyn zarówno typoszeregu CFM jak i DFM jest w przybliżeniu liniową funkcją powierzchni dystrybutora powietrza (rys.2 i 3). Wykonane obliczenia wskazują, że projektanci firmy JÖST przyjęli w swoich rozwiązaniach praktycznie stałą dla każdej maszyny typoszeregu wydajność jednostkową (wydajność całkowita odniesiona do powierzchni dystrybutora) – rys. 3. W chłodziarkach firmy TECHNICAL parametr ten maleje wraz ze wzrostem powierzchni dystrybutora (wymiarów maszyny). Różnice w wydajności jednostkowej nie przekraczają jednak 20%. W obu typoszeregach producenci uzależniają wydajność jednostkową od początkowej temperatury masy poddawanej procesowi chłodzenia (rys.2 i 3). Wydajność jednostkowa przyjmuje średnio wyższe wartości w rozwiązaniach firmy JÖST (przy porównywalnych efektach chłodzenia).



Rys.2. Charakterystyka wydajności typoszeregu chłodziarek wibrofluidyzacyjnych CFM (CWFM) P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól





Rys.3. Charakterystyka wydajności chłodziarek wibrofluidyzacyjnych DFM firmy KÜTTNER-JÖST

Z danych dotyczących ilości powietrza wyznaczyć można wartości średniej prędkości powietrza. Ilość powietrza odciganego z przestrzeni roboczej przekracza ilość podawanego, co powoduje pracę w warunkach niewielkiego podciśnienia. Wartości średniej prędkości (odniesionej do całkowitej powierzchni dystrybutora) przepływu powietrza w urządzeniach TECHNICAL wynoszą od 0,57 do 0,69 m/s. W chłodziarkach JÖST wartość prędkości jest praktycznie stała  $v_{\text{sr.}} = 0,485$  ( $\sigma = 0,002$ ) dla każdej maszyny typoszeregu. Zakres prędkości odpowiada maksymalnym wartościom przy fluidyzacji masy o granicznej wilgotności 1,5÷1,7%.

Wydajność przenośników wibrofluidyzacyjnych oraz fluidyzacyjnych określa zależność [2,4]:

$$W = v \times A \times \rho = v \times B \times H \times \rho = v_{\text{wf}(f)} \times B \times H_{\text{wf}(f)} \times [\rho_{\text{wf}(f)} \times (1 - \varepsilon) + \rho_g \times \varepsilon],$$

w której:

- $v$  – prędkość liniowa strugi materiału wzdłuż powierzchni dna, odpowiednio rynny fluidyzacyjnej  $v_f$  oraz wibrofluidyzacyjnej  $v_{\text{wf}}$  w m/s,
- $B, H$  – wymiary warstwy, odpowiednio  $BH_f$  i  $BH_{\text{wf}}$  w m<sup>2</sup>,
- $\rho$  – gęstość warstwy nosiwa, odpowiednio podczas fluidyzacji  $\rho_f$  oraz wibrofluidyzacji  $\rho_{\text{wf}}$  w kg/m<sup>3</sup>,
- $\rho_g$  – gęstość czynnika fluidyzującego (powietrza).

Do zasadniczych czynników mających wpływ na przebieg procesu i wydajność należą [2,4]:

- natężenie oddziaływania rozluźniającego warstwę, czyli intensywność przepływu czynnika określona liczbą fluidyzacji LF oraz intensywność drgań  $k_d = a \times \omega^2 / g$ ,
- kierunek drgań  $\alpha$ ,
- natężenie zasilania rynny  $A_{\text{pod}}$ , determinujące wysokość warstwy  $H$ ,
- kąt pochylenia dna podajnika  $\beta$ .

Prędkość przemieszczania się strugi materiału mieści się w szerokich granicach  $v_f = 0.01 \div 0.43$  m/s przy wysokościach warstwy  $H_f = 0.048 \div 0.19$  m [4]. Wartość średnia prędkości

przemieszczania ziaren materiałów w urządzeniach wibrofluidyzacyjnych zwiększa się 1,5÷3 razy w porównaniu z wibracyjnymi.

Zgodnie z, podanym powyżej, zapisem na wydajność można wpływać przez zmianę prędkości transportowania. Sposób ten umożliwi zmianę wydajności jedynie w ograniczonym zakresie. Według badań [4] powyżej wartości prędkości powietrza wynoszącej 0,5 m/s dalszy jej wzrost nie prowadzi do istotnych zmian wydajności przenośnika wibrofluidyzacyjnego. Najprostszym sposobem zwiększenia wydajności przenośnika wibrofluidyzacyjnego jest zwiększenie wysokości warstwy masy. Można to osiągnąć zmieniając prędkość podawania masy do urządzenia. W przypadku chłodziarek wibrofluidyzacyjnych należy mieć jednak na uwadze prawidłowy przebieg procesu chłodzenia – zbyt duża wysokość warstwy masy może być przyczyną powstawania znacznego gradientu temperatury i wilgotności wzdłuż wysokości warstwy, co należy ocenić jako zjawisko niekorzystne. W przytoczonych badaniach [4] przy poziomych przenośnikach wibrofluidyzacyjnych prędkość przemieszczania strugi nie przekraczała 0,25 m/s. Przyjmując porowatość warstwy 0,5 oraz prędkość transportu 0,25 m/s można wyznaczyć zakresy wysokości warstwy masy poddanej wibrofluidyzacji od 4,3 do 6,3 cm ( $t_p$  masy 120°C) oraz od 6,7 do 8,9 cm ( $t_p$  masy 80°C) uwzględniając podane wydajności typoszeregu chłodziarek firmy TECHNICAL. Podobne obliczenia przy założeniu średniej prędkości transportowania 0,1 m/s dają wyniki odpowiednio 11 do 15 cm ( $t_p$  masy 120°C) oraz 17 do 22 cm ( $t_p$  masy 80°C). Obliczenia dla danych wydajności chłodziarek firmy JÖST dają wartości od 3,7 do 6,4 cm ( $t_p$  masy 120°C) oraz od 5,5 do 9,1 cm ( $t_p$  masy 80°C) przy  $v_t=0,25$  m/s, a przy średniej prędkości transportowania 0,1 m/s odpowiednio 9,1 do 16 cm ( $t_p$  masy 120°C) oraz 14 do 23 cm ( $t_p$  masy 80°C).

W przypadku typoszeregu porównywanych urządzeń smukłości warstwy masy  $H_{wf}/B$  mają wartości poniżej 0,2 (maksymalnie 0,22 dla CFM 4510 oraz 0,26 w przypadku DWF 1300x3600). Charakterystyczne jest duże podobieństwo uzyskanych w obliczeniach wartości dla rozwiązań obu firm, co sugeruje podobieństwo przyjętych do projektowania założeń i danych wyjściowych. Zdaniem autorów obliczenia powyższe wskazują na stosunkowo łatwą możliwość osiągnięcia większych wydajności w rozwiązaniach firmy TECHNICAL (w porównaniu z danymi ofertowymi).

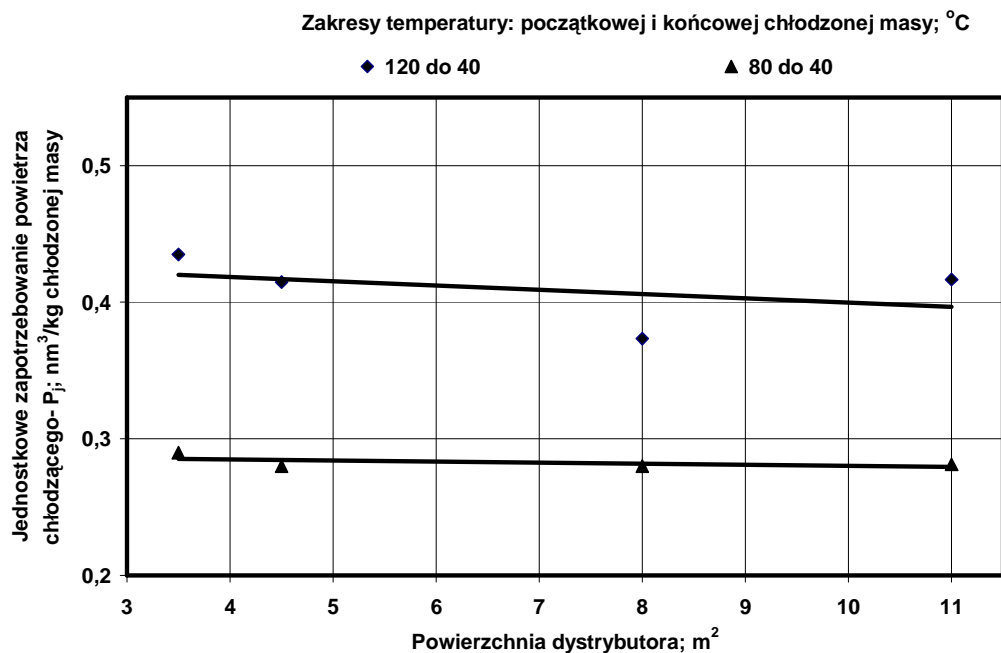
Porównując rozległość dystrybutorów chłodziarek obu firm wyrażoną wartością ilorazu  $B/L$  można stwierdzić wyższe wartości w przypadku rozwiązań firmy JÖST - maksymalna wartość 0,44 w porównaniu z wartością 0,36 w przypadku CFM 5520 - TECHNICAL. Parametr ten ma związek z wyższymi wartościami wydajności jednostkowej podanymi w materiałach ofertowych firmy JÖST.

Dla porównania wymiary dystrybutorów odlewniczych urządzeń określone ich rozległością wynoszą [4]:

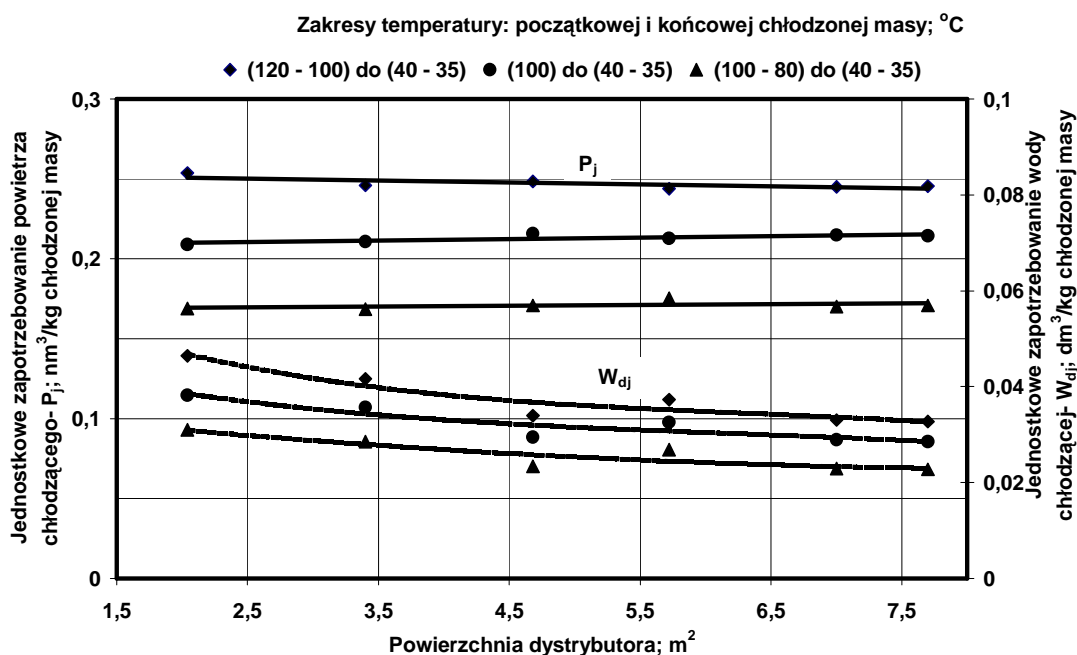
- $B/L = 0.13\div 0.15$  w chłodziarkach fluidyzacyjnych piasku o wydajności 2,5÷30 Mg/godz.,
- $B/L = 0.24\div 0.27$  w chłodziarkach fluidyzacyjnych masy o wydajności 25÷50 Mg/godz.,
- $B/L = 0.21\div 0.53$  w chłodziarkach wibrofluidyzacyjnych masy o wydajnościach 14,5÷200 Mg/godz.,
- $B/L = 0.32$  w wibrofluidyzacyjnym separatorze zanieczyszczeń o wydajności 50 Mg/godz.

W wymienionych urządzeniach szerokość komory roboczej (dystrybutora) wynosi:  $B=500\div 2750$  mm.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wyniki obliczeń charakteryzujących jednostkowe zapotrzebowanie powietrza chłodzącego (TECHNICAL, JÖST) i wody uzupełniającej (JÖST) w typoszeregach analizowanych chłodziarek [17].



Rys.4. Charakterystyka jednostkowego zapotrzebowania powietrza chłodzącego dla typoszeregu chłodziarek wibrofluidyzacyjnych P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól.



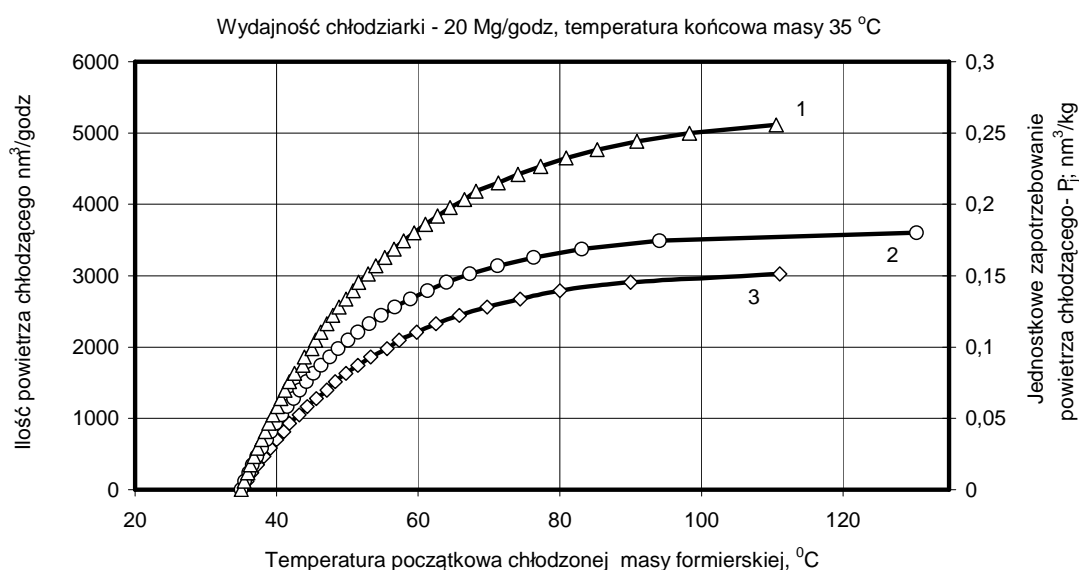
Rys.5. Charakterystyka jednostkowego zapotrzebowania powietrza chłodzącego i wody uzupełniającej dla typoszeregu chłodziarek wibrofluidyzacyjnych DFW firmy KÜTTNER-JÖST

Na rysunkach 6 oraz 7 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń symulacyjnych procesu chłodzenia w chłodzarce przenośnikowej o założonej wydajności 20 Mg masy/godzinę. Obliczenia wykonano według metodyki i algorytmu zawartego w pracach [14,15]. Celem obliczeń było porównanie wartości parametrów pracy chłodziarki, określonych numerycznie na podstawie bilansu wymiany ciepła i wilgoci, z danymi ofertowymi. Przedstawione wyniki obliczeń umożliwiają również ocenę wpływu parametrów powietrza chłodzącego na efekty chłodzenia. Należy podkreślić dobrą zgodność otrzymanych wyników obliczeń z danymi prospektowymi. Przykła-

dowo dla chłodziarki DFW 850×2400 przy średniej temperaturze początkowej masy 90°C jednostkowe zapotrzebowanie powietrza wynosi 0,169 nm<sup>3</sup>/kg masy (rys.5). Obliczeniowa wartość tego wskaźnika wynosi 0,145÷0,172 nm<sup>3</sup>/kg w zależności od parametrów powietrza chłodzącego (rys.6).

Zakres wskaźnika dotyczącego jednostkowego zapotrzebowania wody chłodzącej (w zakresie wartości temperatury początkowej chłodzonej masy podanych w ofercie firmy JÖST) obejmuje wartości 0,023÷0,046 dm<sup>3</sup>/kg. Obliczeniowe wartości tego wskaźnika wynoszą natomiast 0,018÷0,046 dm<sup>3</sup>/kg masy (rys.7). Również w tym przypadku zgodność obliczeń i danych technicznych należy uznać za zadawalającą.

Zaletą opracowanych programów symulacyjnych jest możliwość analizy wpływu parametrów powietrza dolotowego oraz ilości wody uzupełniającej na przebieg i efekty procesu chłodzenia, a także ocenę parametrów powietrza po procesie chłodzenia (odlotowego).

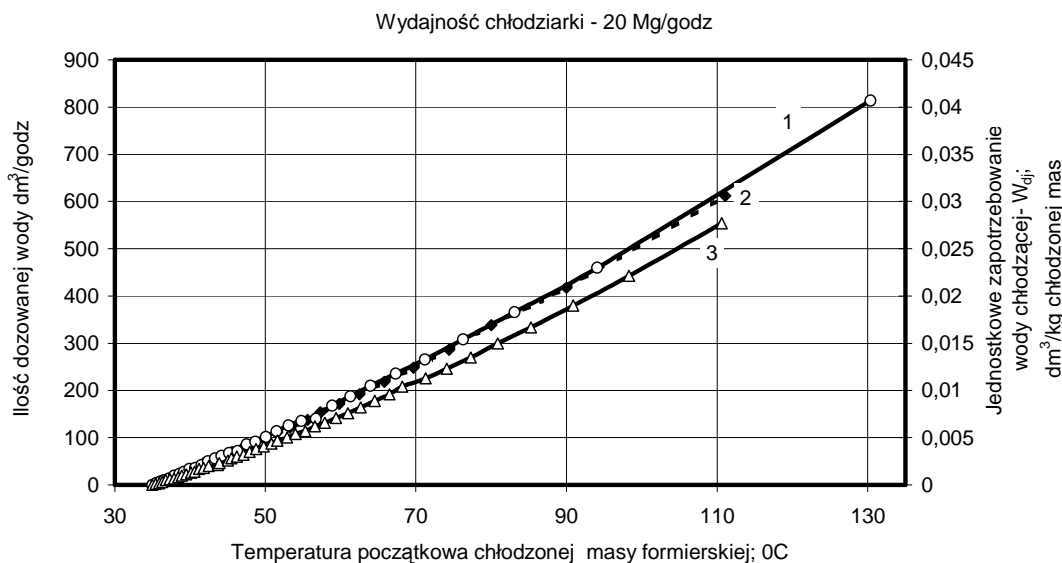


Rys.6. Przykładowe wyniki obliczeń numerycznych ilości powietrza chłodzącego; założona temperatura końcowa masy formierskiej  $t_k=35^{\circ}\text{C}$ , temperatura oraz wilgotność początkowa i końcowa powietrza: 1-  $t_p=10^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_p=0,6$ ,  $\varphi_k=1,0$ , 2-  $t_p=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_p=0,7$ ,  $\varphi_k=1,0$ , 3-  $t_p=10^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_p=0,8$ ,  $\varphi_k=1,0$

## Podsumowanie

Chłodziarki wibrofluidyzacyjne wyróżniają się ewidentnymi zaletami w porównaniu z innymi typami chłodziarek przenośnikowych. Przepływ wibrofluidyzacyjny charakteryzuje się wysokimi wartościami wydajności, niższymi prędkościami inicjacji upłynnienia i rozwinięcia powierzchni kontaktu faz, w sumie więc korzystnymi warunkami wymiany ciepła i masy.

Wyniki analizy porównawczej chłodziarek, jak również obliczenia, wskazują na przyjęcie w rozwiązaniach firmy TECHNICAL większego marginesu bezpieczeństwa w zaprojektowanych urządzeniach (związanego na przykład z niekorzystnymi warunkami zewnętrznymi np. wysoką temperaturą i wilgotnością powietrza chłodzącego). Można przypuszczać, że w przeciętnych warunkach eksploatacji chłodziarki te mogą osiągać większą efektywność chłodzenia w stosunku do podawanej przez producenta.



Rys.7. Przykładowe wyniki obliczeń numerycznych ilości wody chłodzącej; założona temperatura końcowa masy formierskiej  $t_k=35^{\circ}\text{C}$ , temperatura oraz wilgotność początkowa i końcowa powietrza: 1-  $t_p=10^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_p=0,6$ ,  $\varphi_k=1,0$ , 2-  $t_p=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_p=0,7$ ,  $\varphi_k=1,0$ , 3-  $t_p=10^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_p=0,8$ ,  $\varphi_k=1,0$

Wymaga podkreślenia konieczność prawidłowego doboru zakresu wartości parametrów urządzeń do chłodzenia masy formierskiej. Ułatwieniem w tym względzie są opracowane programy obliczeniowe uwzględniające podstawowe wielkości technologiczne, istotne dla przebiegu omawianych procesów: parametry masy formierskiej, odlewów, powietrza chłodzącego itd.

Wyniki obliczeń mogą być wykorzystane do doboru parametrów konstrukcyjnych na etapie projektowania nowych urządzeń, jak również stanowić bazę opracowania algorytmów sterowania pracą urządzeń istniejących. Ostatnie zagadnienie jest szczególnie ważne z uwagi na znaczne wahania parametrów masy na wejściu do urządzeń, wynikające ze specyfiki technologicznej.

Przeprowadzona analiza wskazuje na celowość rozszerzenia oferty chłodziarek firmy TECHNICAL o powierzchni dystrybutora w zakresie 6 do 6,5 m<sup>2</sup> lub zwiększenie rozmiarów dystrybutora w drugiej maszynie typoszeregu CFM 4510. Uzyskiwane parametry wydajności dwóch pierwszych chłodziarek typoszeregu są bardzo sobie bliskie.

*Opracowano w ramach projektu celowego KBN nr 6 T08 137 2002 C/5600*

## Literatura

- [1]. Brümmer E.: Jahresübersicht Formstoffe. Giesserei 86, nr 11, 1999, s. 80.
- [2]. Czubak A., Michalczyk J.: Teoria transportu wibracyjnego. Politechnika Świętokrzyska. Kielce, 2001
- [3]. Drews B.: Gleichzeitiges Mischen und Kühlen von Formsand unter Vakuum. Giesserei 86, nr 6, 1999, s. 138.
- [4]. Fedoryszyn A.: Analiza rozdziału ziarn materiałów w odlewniczych urządzeniach fluidyzacyjnych. Rozprawy Monografie nr 87, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 1999.
- [5]. Fedoryszyn A., Smyksy K., Gregoraszczyk M., Bast J.: Problematyka badań wibrofluidyzacyjnych chłodziarek masy formierskiej. Acta Metallurgica Slovaca, 5, 1999, s. 93÷97.

- 
- [6]. Fedoryszyn A., Dańko J., Smyksy K.: Analiza wyposażenia linii przygotowania masy używanej. Materiały III Konferencji TECHNICAL-2000: „Postęp techniczny w odlewniach”, Nowa Sól, 2000, s. 79÷95.
- [7]. Fedoryszyn A., Smyksy K., Dańko J.: Urządzenia do homogenizacji i chłodzenia masy formierskiej. Materiały IV Konferencji TECHNICAL-2001: „Odlewnictwo XXI wieku - technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”. Nowa Sól, 2001, s. 59÷68.
- [8]. Grefhorst C., Kleimann W.: Bentonitgebundene Formstoffe – Stand der Technik und Erwartungen für die Zukunft. Giesserei 86, nr 6, 1999, s.145.
- [9]. Gregoraszczyk M., Fedoryszyn A., Smyksy K.: Charakterystyka bębnowych urządzeń do oddzielania odlewów oraz przygotowania formierskiej masy używanej. Acta Metallurgica Slovaca, 5, 1999, s. 104÷108.
- [10]. Hohl B.: System of Computer-assisted Quality Assurance in Molding Sand Preparation Plants. Casting Plant + Technology, nr 1, 1994, s. 8.
- [11]. Krysiak M.B.: New Conditioning Practice Improves Sand Performance. Modern Casting, 2, 2000, s. 40.
- [12]. Lewandowski J. L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wyd. Akapit. Kraków, 1997.
- [13]. Samsonowicz Z.: Automatyzacja procesów odlewniczych. WNT. Warszawa, 1985.
- [14]. Sztefko F.: Analiza procesów przygotowania formierskiej masy używanej w aspekcie ich mechanizacji. Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, nr 139, Kraków, 1991.
- [15]. F. Sztefko, K.Smyksy: Numerical Interpretation of the Process of Cooling Return Sand. Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, tom 9, z.4, 1983.
- [16]. Żurawski L., Dańko J.: Aktualny stan oraz tendencje rozwojowe w zakresie konstrukcji urządzeń nawilżająco-homogenizujących. Materiały VI Sympozjum Naukowego z okazji Dnia Odlewnika. IT i MO AGH. Kraków, 1980, s. 55.
- [17]. Prospekty firm: JÖST, KÜTTNER, TECHNICAL, UHDE.

## BADANIA SYMULACYJNE PROCESU IMPULSOWEGO ZAGĘSZCZANIA MAS FORMIERSKICH

W. Kollek<sup>1</sup>  
T. Mikulczyński<sup>2</sup>  
D. Nowak<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej  
<sup>2,3</sup>Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej

### STRESZCZENIE

Zaprezentowano model matematyczny procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich. Sformułowano warunki badań symulacyjnych opracowanego modelu. Stwierdzono, że badania symulacyjne umożliwiają wyznaczenie parametrów określających dynamikę procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich. Do oceny dynamiki procesu impulsowego przyjęto powszechnie stosowaną szybkość narastania ciśnienia w przestrzeni technologicznej. Na podstawie wyników badań symulacyjnych określono wpływ stosunku objętości zbiornika akumulacyjnego głowicy impulsowej do objętości przestrzeni technologicznej na szybkość narastania ciśnienia w przestrzeni technologicznej. Wykazano, że optymalny stosunek analizowanych objętości wynosi 2,5.

### 1. WSTĘP

Podstawową technologią stosowaną w wytwarzaniu odlewów jest niezmiennie, ze względu na swoje zalety, odlewanie w formach piaskowych. Spośród metod stosowanych do wytwarzania form odlewniczych z klasycznych bentonitowych mas formierskich podstawowe znaczenie ma zagęszczanie mas przez prasowanie.

Wciąż rosnące wymagania co do jakości wytwarzanych odlewów spowodowały, że w ostatnich latach nastąpił znaczący rozwój nowych odmian prasowania, do których można zaliczyć: zagęszczanie impulsowe oraz dynamiczne prasowanie.

Złożoność zjawisk zachodzących podczas impulsowego zagęszczania mas formierskich powodowała, że dotychczas nie opracowano modelu matematycznego w pełni opisującego proces impulsowego zagęszczania mas formierskich, który można by wykorzystać w praktycznych zastosowaniach, chociaż próby modelowania podejmowało wielu badaczy na całym świecie, między innymi D. Boenisch i K. Daume [1], G.M. Orlov [2], I.V. Matviejenko [3],[4] i J. Bast [5].

W Laboratorium Podstaw Automatykacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej są prowadzone od kilku lat badania nowej głowicy impulsowej z samoczynnym zaworem pneumatycznym i procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich [6-8]. Ich efektem jest opracowanie modelu matematycznego procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich, którego wybrane badania symulacyjne zostaną przedstawione poniżej.

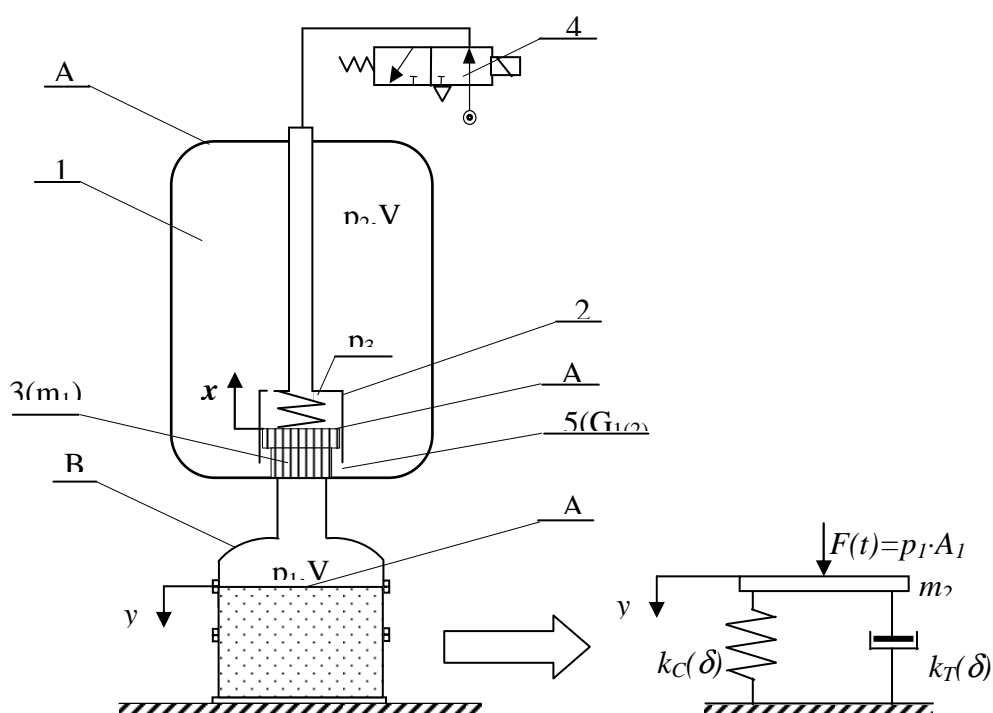
<sup>1</sup> Prof. dr hab. inż. Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej;

<sup>2</sup> Prof. dr hab. inż. Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej

<sup>3</sup> mgr inż. Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej

## 2. MODELOWANIE PROCESU IMPULSOWEGO ZAGĘSZCZANIA MAS FORMIERSKICH

Schemat procesu impulsowego zagęszczania masy formierskiej został przedstawiony na rys.1. Zamodelowanie procesu impulsowego zagęszczania masy formierskiej wymaga, ze względu na konieczność znajomości wymuszenia  $F(t)$  powodującego odkształcanie i zagęszczanie masy formierskiej, łącznego rozpatrywania modeli matematycznych głowicy impulsowej oraz procesu deformacji i zagęszczania masy.



Rys.1. Schemat procesu impulsowego zagęszczania masy formierskiej: głowica impulsowa (A): zbiornik akumulacyjny (1), samoczynny zawór impulsowy (2), tłok zaworu (3), zawór rozdzielający (4), otwór wylotowy (5); skrzynka formierska (B)

Uwzględniając model dynamiki głowicy impulsowej oraz model reologiczny masy formierskiej proces impulsowego zagęszczania masy można opisać następującym układem równań różniczkowych:

$$p_1 \cdot A_1 = m_2 \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + k_T(\delta) \cdot \frac{dy(t)}{dt} + k_C(\delta) \cdot y(t) \quad (1)$$

$$A_2(p_2 - p_3) - c \cdot x - m_1 \cdot g = m_1 \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (2)$$

$$\frac{\kappa \cdot R \cdot T \cdot G_1}{V_1} = \frac{dp_1}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{-\kappa \cdot R \cdot T \cdot G_2}{V_2} = \frac{dp_2}{dt} \quad (4)$$

przyjmując, że proces zagęszczania masy formierskiej następuje wtedy gdy:  $k_C > 0$  i  $k_T > 0$  w którym:  $k_T = f(\delta)$  - współczynnik tłumienia w funkcji stopnia zagęszczenia,  $k_C = f(\delta)$  - współczynnik sprężystości w funkcji stopnia zagęszczenia,  $p_1$  - ciśnienie absolutne powietrza w



przestrzeni technologicznej,  $p_2$  - ciśnienie absolutne powietrza w zbiorniku akumulacyjnym,  $p_3$  - ciśnienie absolutne powietrza w komorze zaworu impulsowego,  $A_2$  - pole powierzchni tłoka,  $c$  - stała sprężyny w zaworze impulsowym,  $g$  - przyspieszenie ziemskie,  $V_1$  - objętość w przestrzeni technologicznej,  $V_2$  - objętość w zbiorniku akumulacyjnym,  $m_1$  - masa tłoka samoczynnego zaworu impulsowego,  $m_2$  - masa zagęszczanej masy formierskiej,  $s$  - skok tłoka,  $x$  - współrzędna położenia tłoka,  $y$  - współrzędna położenia górnej warstwy masy formierskiej,  $\kappa$  - wykładnik adiabaty,  $G_{I(2)}$  - natężenie przepływu powietrza ze zbiornika akumulacyjnego do przestrzeni technologicznej,  $R$  - stała gazowa powietrza,  $T$  - temperatura powietrza zawartego w przestrzeni technologicznej i zbiorniku akumulacyjnym,  $\alpha$  - współczynnik natężenia przepływu powietrza ze zbiornika do przestrzeni technologicznej,  $f_1(x)$  - powierzchnia przepływu powietrza ze zbiornika do przestrzeni technologicznej.

Przedstawiony układ równań opisuje: (1) - proces odkształcania masy formierskiej, (2) - ruch tłoka, (3) - przemianę gazową w przestrzeni technologicznej, (4) - przemianę gazową w zbiorniku akumulacyjnym.

Natężenie  $G_{I(2)}$  wypływu powietrza ze zbiornika akumulacyjnego do przestrzeni technologicznej, można określić z zależności

$$G_{I(2)} = K \cdot \alpha \cdot f_1(x) \cdot p_{1(2)} \cdot \sqrt{\frac{1}{R \cdot T}} \cdot \varphi(\varepsilon) \quad (5)$$

w której:

$$\varepsilon = \frac{p_1}{p_2}, \quad K = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1}}$$

$$\varphi(\varepsilon) = \begin{cases} 0,2588 & \text{dla } 0 < \varepsilon \leq 0,53 \\ \sqrt{\varepsilon^{2/\kappa} - \varepsilon^{\kappa+1/\kappa}} & \text{dla } 0,53 < \varepsilon \leq 1. \end{cases}$$

Do rozwiązania układu równań różniczkowych (1)-(4), opisujących proces impulsowego zagęszczania mas formierskich, niezbędna jest znajomość parametrów charakteryzujących własności reologiczne masy, tzn.  $k_C = f(\delta)$  i  $k_T = f(\delta)$ . Współczynniki określające własności lepkie i sprężyste masy formierskiej można wyznaczyć z następujących zależności [9]:

$$k_T(\delta) = 0,6 \cdot A_p \cdot \rho(\delta) \cdot c(\delta) \quad (6)$$

$$k_C(\delta) = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_p}{\pi}} \cdot E(\delta) \cdot (1 - \nu^2)$$

w których:  $c = f(\delta)$  - prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w masie formierskiej w funkcji stopnia zagęszczenia,  $E = f(\delta)$  - moduł sprężystości masy formierskiej w funkcji stopnia zagęszczenia,  $A_p$  - pole przekroju poprzecznego skrzynki formierskiej,  $\rho(\delta)$  - gęstość masy formierskiej w funkcji stopnia zagęszczenia,  $\nu$  - współczynnik Poissona.

Na podstawie analizy zależności (6) można stwierdzić, że współczynniki  $k_C = f(\delta)$  i  $k_T = f(\delta)$  można określić na drodze badań eksperymentalnych wykonując pomiary prędkości fali sprężystej w funkcji stopnia zagęszczenia masy formierskiej oraz modułu sprężystości w funkcji stopnia zagęszczenia masy formierskiej. Zatem do określenia  $k_C = f(\delta)$  i  $k_T = f(\delta)$  niezbędne jest wykonanie pomiarów prędkości rozchodzenia się np. fali ultradźwiękowej w funkcji stopnia zagęszczenia oraz pomiarów modułu sprężystości

w funkcji stopnia zagęszczenia masy formierskiej. Wielkości  $c = f(\delta)$  i  $E = f(\delta)$  można wyznaczyć metodami które opisano w pracy [10].

### 3. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH.

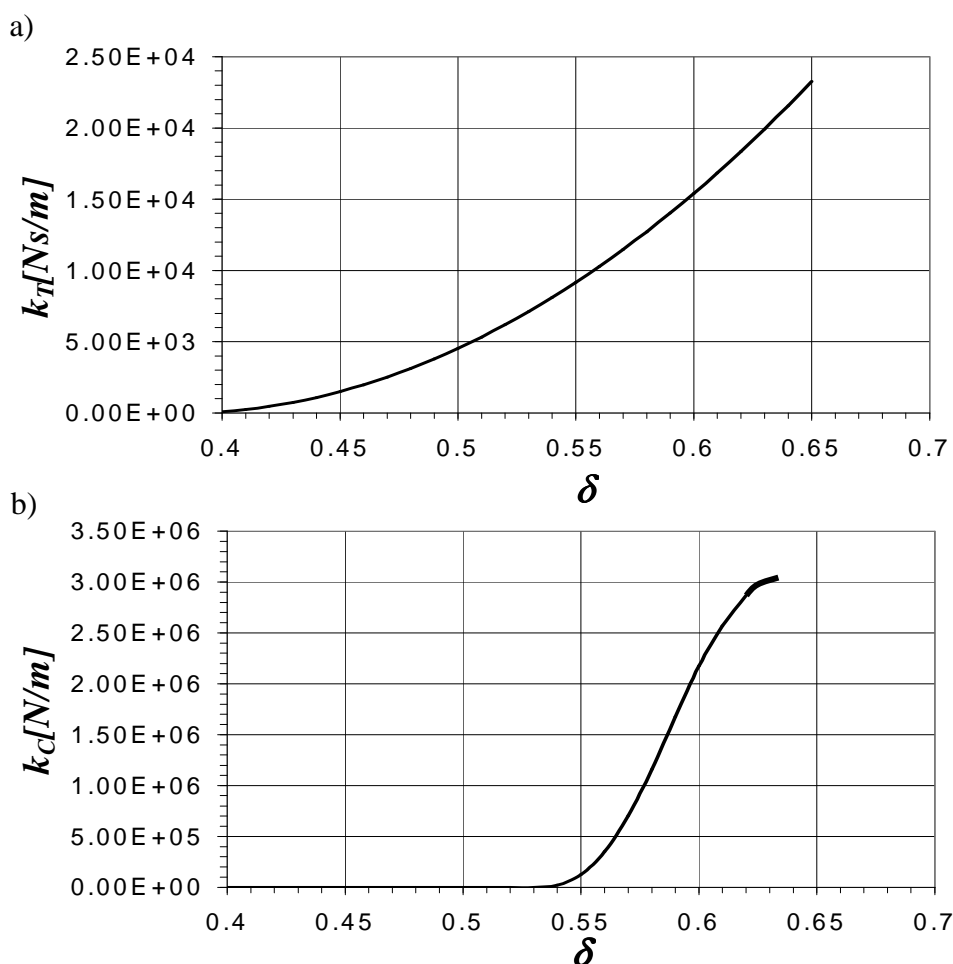
Wyniki badań symulacyjnych modelu matematycznego procesu impulsowego zagęszczenia mas formierskich uzyskano w wyniku symulacji cyfrowej modelu w środowisku Matlab-Simulink, stosując sygnał wymuszający  $u(t) = p_3 \cdot \mathbf{1}(t)$ , w którym

$$p_3 = p_{3S} \cdot \left( \frac{s}{s-x} \right)^k \quad (7)$$

gdzie:  $p_{3S}$  - ciśnienie początkowe w komorze samoczynnego zaworu impulsowego.

Badania symulacyjne procesu impulsowego zagęszczenia zrealizowano przykładowo z użyciem masy formierskiej z 7% bentonitu Bentomak i wilgotności  $W=2,25\%$ .

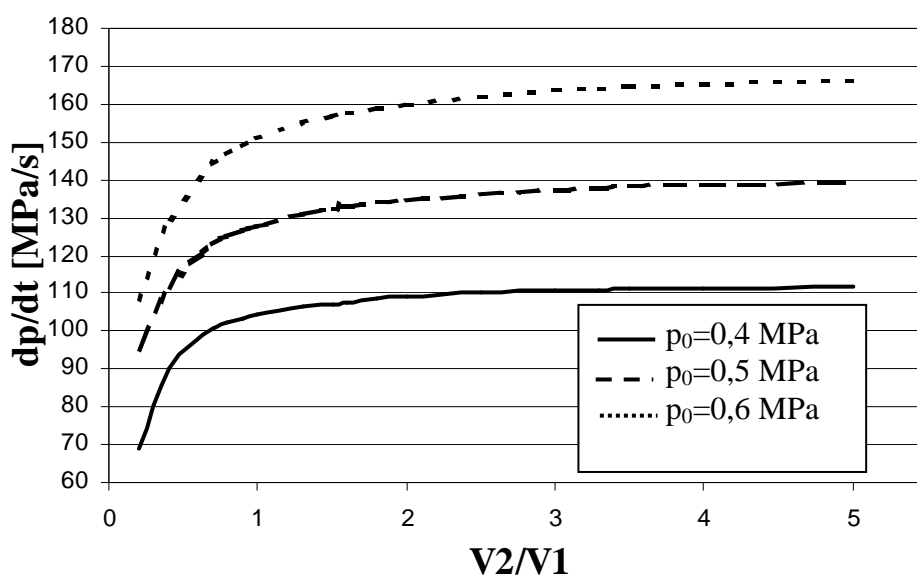
Zależności opisujące  $k_C = f(\delta)$  i  $k_T = f(\delta)$  uzyskano na podstawie aproksymacji krzywych pokazanych na rys.2, które wyznaczono na podstawie eksperymentalne wyników z pomiarów  $c(\delta)$  oraz  $E(\delta)$ , dla masy formierskiej z bentonitem Bentomak.



Rys.2. Zależności  $k_C = f(\delta)$  (a) i  $k_T = f(\delta)$  (b) wyznaczone dla masy formierskiej z 7% bentonitu Bentomak i wilgotności  $W = 2,25\%$

Badania dynamiki procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich, wykonane w oparciu o model matematyczny, pozwoliły m.in. na ocenę szybkości narastania ciśnienia w przestrzeni technologicznej – która decyduje zdaniem wielu badaczy [11],[12] o dynamice i efektach procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich.

Na podstawie badań symulacyjnych przedstawionego powyżej modelu matematycznego można obliczyć przebieg zmian ciśnienia  $p(t)$  w przestrzeni technologicznej, który służy do wyznaczenia maksymalnej wartości szybkości narastania ciśnienia, którą reprezentuje tangens kąta nachylenia stycznej do krzywej  $p(t)$  w punkcie jej przebiegu. Na rysunku 3 pokazano zależności zmian szybkości narastania ciśnienia w przestrzeni technologicznej w funkcji stosunku objętości zbiornika akumulacyjnego do objętości przestrzeni technologicznej, wyznaczone podczas symulacji procesu impulsowego zagęszczania masy formierskiej.



Rys.3. Maksymalne wartości szybkości narastania ciśnienia  $dp/dt$  w przestrzeni technologicznej nad masą uzyskane dla różnych wartości stosunku objętości głowicy –  $V_2$  do objętości przestrzeni technologicznej –  $V_1$ , oraz dla zmiennych ciśnień początkowych  $p_0$

Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że szybkość narastania ciśnienia nad masą formierską w procesie impulsowego zagęszczania rośnie wraz ze wzrostem stosunku objętości głowicy  $V_2$  do objętości przestrzeni technologicznej  $V_1$  oraz, że przebieg ten nie jest liniowy. Obserwuje się znaczny wpływ stosunku objętości  $V_2/V_1$  na szybkość narastania ciśnienia w przestrzeni technologicznej gdy ma on wartości mniejsze od 2,5 natomiast w zakresie wartości wynoszących powyżej 2,5 nie obserwuje się istotnych zmian w narastaniu szybkości ciśnienia.

Innym parametrem, istotnie wpływającym na szybkość narastania ciśnienia, jest wartość ciśnienia początkowego sprężonego powietrza w zbiorniku akumulacyjnym głowicy impulsowej. Na podstawie analizy zależności  $dp/dt=f(V_2/V_1)$  można stwierdzić, że wartość szybkości narastania ciśnienia wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia początkowego  $p_0$ . Przykładowo dla stosunku  $V_2/V_1=2$  wartość szybkości narastania ciśnienia wynosi  $dp/dt=160$  MPa/s przy ciśnieniu początkowym  $p_0=0,6$  MPa.

#### 4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowano opracowany model w Laboratorium Podstaw Automatykacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej model matematyczny procesu impulsowego zagęszczenia mas formierskich oraz wybrane wyniki badań symulacyjnych tego modelu.

Wykazano, że badania symulacyjne pozwalają na ocenę dynamiki głowic formierek impulsowych oraz procesu deformacji i zagęszczenia mas formierskich.

Opracowany model matematyczny procesu impulsowego można zastosować do projektowania i optymalizacji głowic maszyn impulsowych oraz do projektowania i optymalizacji procesu impulsowego zagęszczenia mas formierskich.

Zastosowanie modelu do opisu procesu impulsowego zagęszczenia mas formierskich zilustrowano na podstawie oceny wpływu stosunku objętości  $V_1$  zbiornika akumulacyjnego głowicy impulsowej do objętości  $V_2$  przestrzeni technologicznej na dynamikę procesu impulsowego. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że dla stosunku objętości  $V_2/V_1$  w zakresie do 1:2,5 występuje znaczny wzrost, natomiast powyżej tego zakresu nie obserwuje się istotnych zmian w szybkości narastania ciśnienia.

#### Literatura:

- [1] Boenisch D., Daume K.: Formstoffe, Formmaschinen und Formstoffprüfung zur Optimierung. Giesserei, 1984, Nr. 10.
- [2] Orlov G.M.: Matematičeskoje modelirovanije procesa impulsnogo uplotnienija form. Lit. Proizv., 1985, nr 11.
- [3] Matviejenko I.V.: Reologičeskaja koncepcij i trebovanija k ACY TII smiesieprigotovljenija i formobrazovanija. Lit. Proizv, 1990, nr 10.
- [4] Matviejenko I.V.: Reologičeskije vjaskouprugije charakteristiki formovočnych smiesi. Lit. Proizv., 2001, nr 12.
- [5] Bast J.: Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundlagen der pneumatischen Verdichtungsverfahren., Giessereiforschung, 45, 1993, Nr. 1.
- [6] Mikulczyński T., Bogdanowicz J.: The assessment of effectiveness of moulding sands of a single-valve impulse head, Acta Metallurgica Slovaca, 1998, 2.
- [7] Mikulczyński T., Bogdanowicz J., Ocena skuteczności formowania jednozaworową głowicą impulsową, Acta Metallurgica Slovaca, 1998, Roc. 4, spec. iss. 2.
- [8] Bogdanowicz J., Mikulczyński T., Influence of selected factors on effectiveness of air impulse moulding, Archiwum Budowy Maszyn, 1999, vol. 46 nr 3.
- [9] Śniadkowski Z. Maszyny do zagęszczenia podłoża, Warszawa, WNT 1987.
- [10] Mikulczyński T. Zastosowanie metody ultradźwiękowej do badania mas i materiałów formierskich, Prace Naukowe PW, Wrocław 1994.
- [11] Matviejenko I.V.: Oborudovanije litiejnych ciechov. Mašinostrojenije. Moskva 1985.
- [12] Orlov G.M.: Pieskoduvno-impulsnyj sposob uplotnienija litiejnych form. Technologia avtomobilostrojenija. Moskva 1983, nr 8, s. 4-7.

## ZAGADNIENIE OCENY EFEKTÓW FORMOWANIA

*K. SMYKSY<sup>1</sup>*  
*J. DAŃKO<sup>2</sup>*  
*A. FEDORYSZYN<sup>3</sup>*

*Wydział Odlewnictwa*  
*Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie*

### **Wstęp**

Odpowiednia gęstość form i jej korzystny rozkład, w połączeniu z odpowiednimi właściwościami masy formierskiej sprzyjają dokładności wymiarowej form oraz dobremu odwzorowaniu kształtu modeli. Każda z technik zagęszczania ma swoje specyficzne cechy, a porównanie osiąganych efektów formowania ma duże znaczenie praktyczne. Porównywanie efektów nie jest jednak łatwe z powodu zróżnicowanego sposobu przedstawiania wyników, stosowania różnych przyrządów pomiarowych, a i często wskutek braku podania warunków prowadzenia badań.

W niniejszym opracowaniu zestawiono przykładowe rezultaty formowania, przedstawiane w różnorodnej formie w literaturze technicznej, oraz przeprowadzonych przez autorów. Omówiono skrótowo przyrządy pozwalające w warunkach ruchowych określić wartości wielkości charakteryzujących zagęszczenie masy. Przedstawiono wyniki badań efektów formowania, przeprowadzonych przy pomocy omawianych przyrządów, oraz zalecenia dotyczące ich prawidłowego użytkowania.

### **Sposoby przedstawiania efektów formowania**

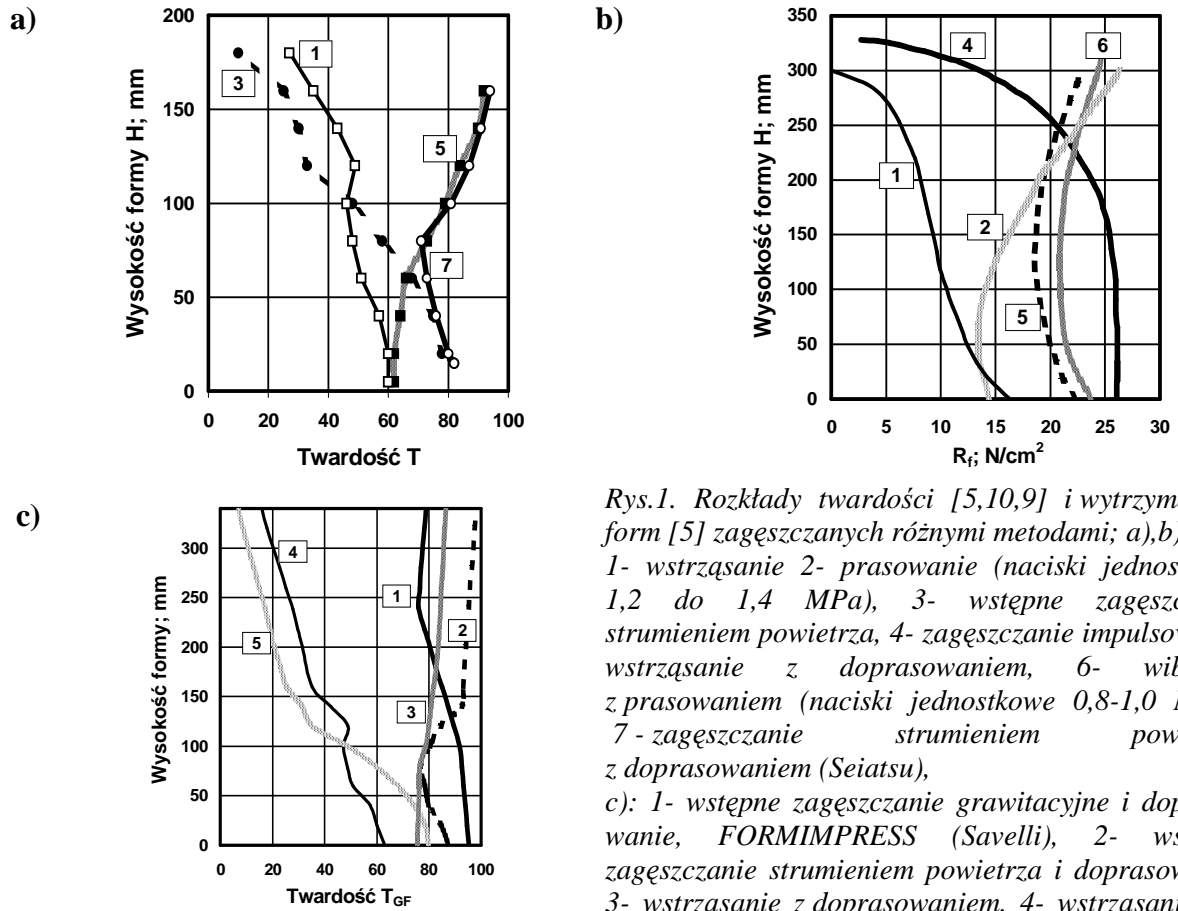
Najpopularniejszym sposobem prezentacji efektów formowania są rozkłady wartości gęstości pozornej masy lub twardości powierzchniowej wzdłuż wysokości formy (rys. 1, 2). Rozkłady te są bardzo często prezentowane w materiałach ofertowych producentów maszyn. Analiza materiałów źródłowych pozwala stwierdzić, że obecnie za korzystny uważa się równomierny rozkład gęstości (twardości) przy relatywnie wysokich jej wartościach. Potwierdzają ten pogląd wykresy zestawione na rysunku 1. Rozkład tego typu jest charakterystyczny dla dwustopniowych metod zagęszczania. Pozornym odstępstwem jest rozkład otrzymywany w przypadku formowania impulsowego (rys.1b). W przypadku tej metody górne warstwy, słabiej zagęszczonej masy są ścinane lub dogęszczane prasowaniem [4,12].

Ilościowa ocena efektów formowania oparta jedynie na analizie rozkładów jest niepełna, ze względu na to, że są stosowane różne przyrządy pomiarowe, a warunki prowadzenia testów z reguły nie są w pełni określone (nie są podawane parametry maszyn, właściwości masy formierskiej itp.). Pod uwagę również należy brać fakt, że przedstawiane wyniki mają eksponować zalety oferowanej maszyny formierskiej; stąd też trudno oprzeć się wrażeniu o ich nie obiektywności. Podawane dane literaturowe dotyczące efektów formowania, nawet przy tej samej technice zagęszczania, mogą różnić się od siebie.

<sup>1</sup> dr inż. [ksmyksy@uci.agh.edu.pl](mailto:ksmyksy@uci.agh.edu.pl)

<sup>2</sup> prof. dr hab. inż. [jd@uci.agh.edu.pl](mailto:jd@uci.agh.edu.pl)

<sup>3</sup> dr hab.inż., prof. AGH [alfa@uci.agh.edu.pl](mailto:alfa@uci.agh.edu.pl)

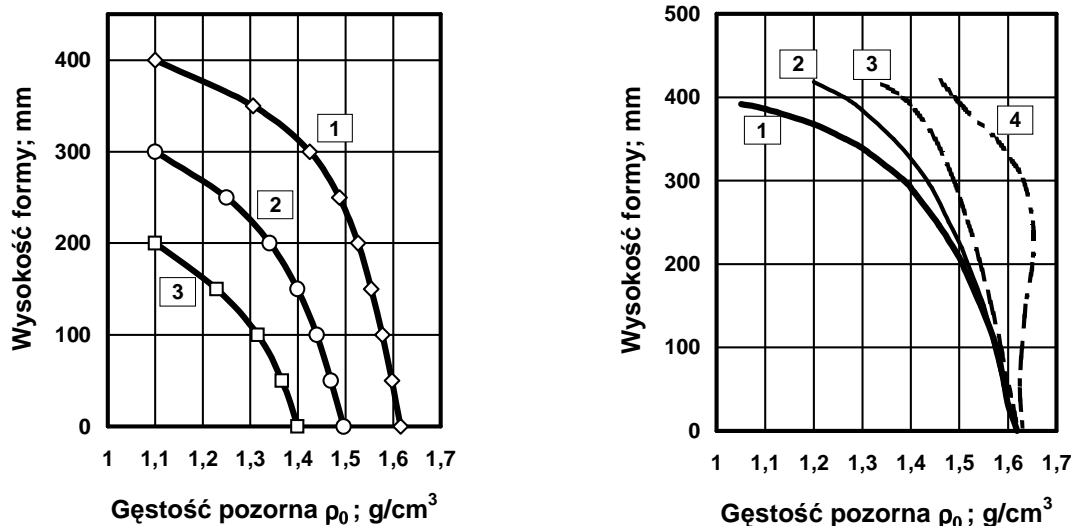


Rys.1. Rozkłady twardości [5,10,9] i wytrzymałości form [5] zagęszczanych różnymi metodami; a),b):

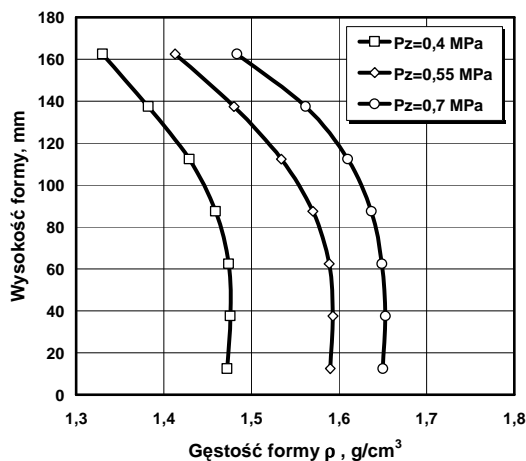
1- wstrząsanie 2- prasowanie (naciski jednostkowe 1,2 do 1,4 MPa), 3- wstępne zagęszczanie strumieniem powietrza, 4- zagęszczanie impulsowe, 5- wstrząsanie z doprasowaniem, 6- wibracja z prasowaniem (naciski jednostkowe 0,8-1,0 MPa), 7- zagęszczanie strumieniem powietrza z doprasowaniem (Seiatsu),

c): 1- wstępne zagęszczanie grawitacyjne i doprasowanie, FORMIMPRESS (Savelli), 2- wstępne zagęszczanie strumieniem powietrza i doprasowanie, 3- wstrząsanie z doprasowaniem, 4- wstrząsanie, 5- zagęszczanie strumieniem powietrza

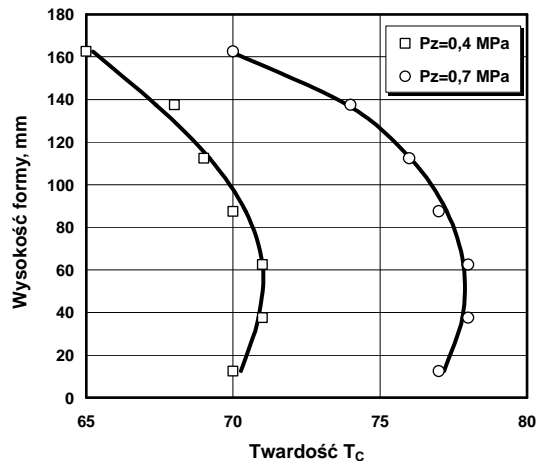
Interesujące są zapisy efektów zagęszczania przedstawione również w formie rozkładów ale wraz z podaniem wpływu zmian parametrów procesu formowania (parametrów maszyny)- rys.2, 3 i 4. Wyniki te mogą być pomocne przy racjonalnym użytkowaniu maszyn formierskich.



Rys.2. Rozkłady gęstości w formach zagęszczanych wstrząsaniem oraz wstrząsaniem z doprasowaniem [5]; a- wstrząsanie: wysokość form: 1- 400 mm, 2- 300 mm, 3- 200 mm; b- wstrząsanie oraz wstrząsanie z prasowaniem: 1- wstrząsanie, 2- wstrząsanie z płytą obciążającą ułożoną na powierzchni zagęszczanej masy, 3- wstrząsanie z następnym doprasowaniem (naciski jednostkowe 0,2 do 0,3 MPa), 4- wstrząsanie z następnym doprasowaniem (naciski jednostkowe 0,3 do 0,5 MPa)

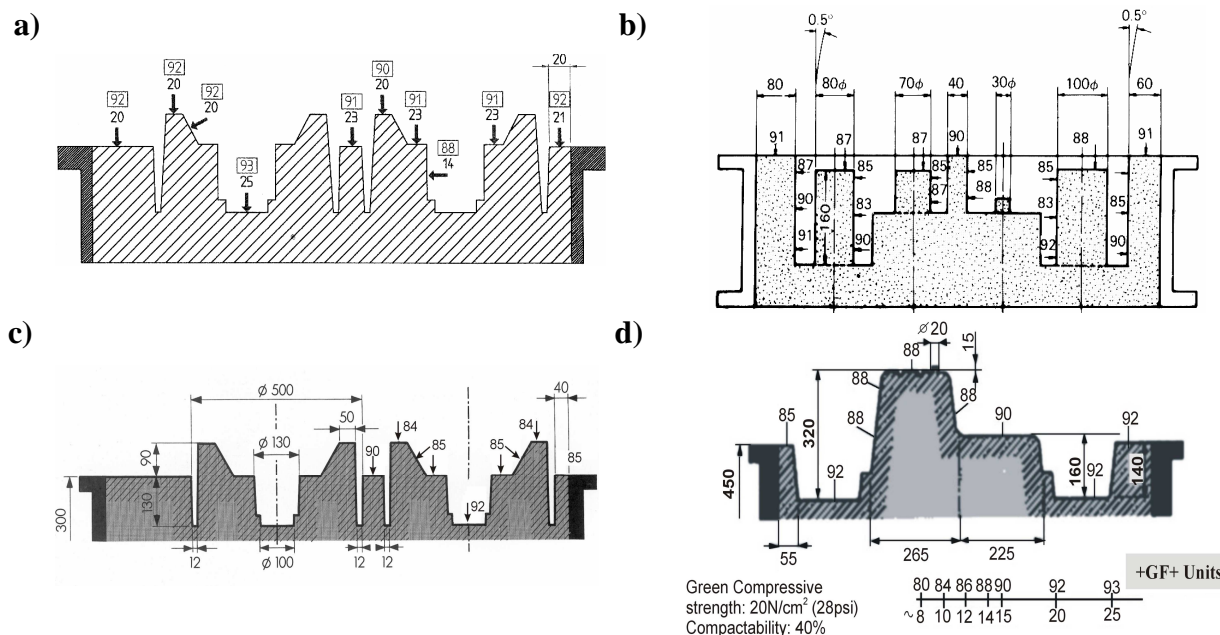


Rys.3. Rozkłady gęstości w formach zagęszczanych impulsowo; wysokość początkowa warstwy masy  $H_0 = 240$  mm,  $P_z$ - ciśnienie wyjściowe w głowicy impulsowej (wartość absolutna)



Rys.4. Rozkłady twardości w formach zagęszczanych impulsowo; wysokość początkowa warstwy masy  $H_0 = 240$  mm,  $P_z$ - ciśnienie wyjściowe w głowicy impulsowej (wartość absolutna)

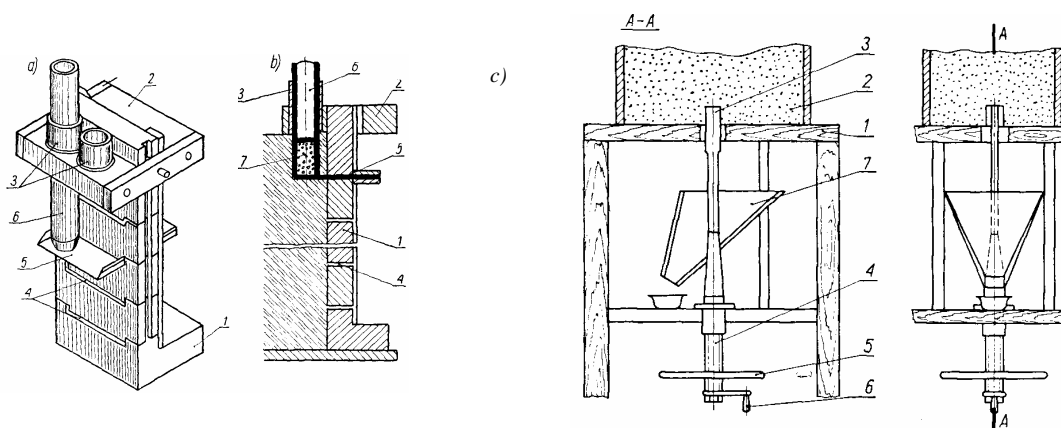
Cennym uzupełnieniem informacji o danej metodzie formowania, zwłaszcza dla technológów, są wyniki pomiarów wielkości charakteryzujących efekty zagęszczania, w formach wykonanych dla konkretnego asortymentu odlewów. Ten sposób prezentacji efektów formowania ilustruje rysunek 5. Zamieszczone na rysunku dane potwierdzają osiągnięcie przez współczesne maszyny wysokich wartości stopnia zagęszczenia, również w trudnych technologicznie obszarach formy (wnęki o dużej smukłości, pionowe powierzchnie formy, obszary pomiędzy modelami i skrzynią formierską). Podobnie, jak w przypadku wykresów zamieszczonych rysunkach 1 i 2, bezpośrednie porównanie rezultatów formowania utrudnia stosowanie podczas testów różnych przyrządów pomiarowych.



Rys. 5. Przykłady efektów formowania różnymi metodami: a) wstępne zagęszczanie grawitacyjne i doprasowanie (FORMIMPRESS, Savelli [9]), b) strumieniem powietrza z doprasowaniem (SEIATSU, Heinrich Wagner Sinto [7,9]), c), d) impulsowe (IMPACT-AIR-PLUS, DISA Georg Fischer +GF+[9])

### Przyrządy do oceny efektów formowania

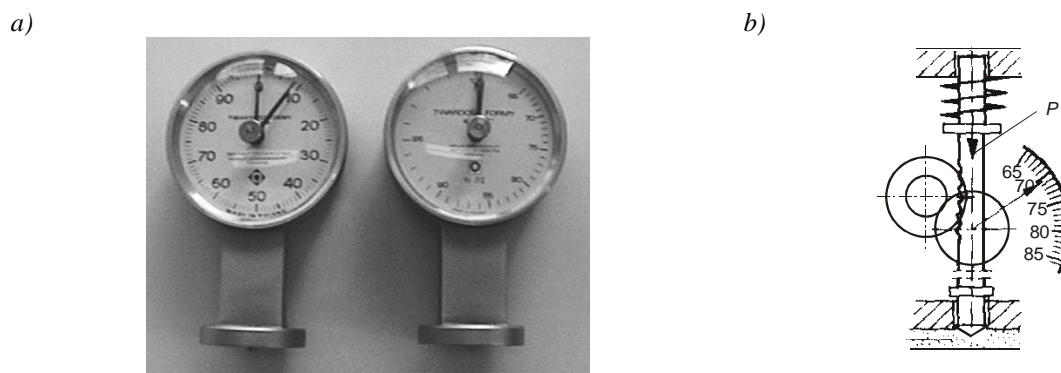
Gęstość form można określić jedynie metodami pośrednimi. Najprostsze metody polegają na ważeniu wyciętych z formy próbek o określonej objętości (rys.6a,b) lub ważeniu masy pobranej z formy – przy znanych wymiarach wyfrezowanej wnęki (rys. 6c -metoda Czunajewa). Ze względu na pracołłonność pomiarów metody te są stosowane głównie w warunkach laboratoryjnych.



Rys.6. Przyrządy do określania gęstości form różnymi metodami: a,b- sondowanie rurką cienkościenną [1]; 1- podstawa, 2- płyta przewodnic, 3- przewodnice sondy, 4- szczeliny prowadzące nóż poziomy, 5- poziomy nóż odcinający, 6- sonda cienkościenna, 7- próbka masy, c- nawiercanie formy (metoda Czunajewa) [11]; 1-stół, 2- badana forma, 3- wiertło, 4- śruba pociągowa, 5- koło napędu ręcznej śruby, 6- rękojeść, 7- lejek

Znane są również inne metody pośrednie, między innymi: rentgenograficzna, ultradźwiękowa, pojemnościowa. Wymagają one wzorcowania, umożliwiającego skorelowanie mierzonej wielkości z gęstością pozorną zagęszczonej masy.

W warunkach ruchowych nadal najczęściej stosowanymi przyrządami do szybkiej oceny efektów zagęszczania są różnego typu twardościomierze – rys.7 [9, 11, 13].

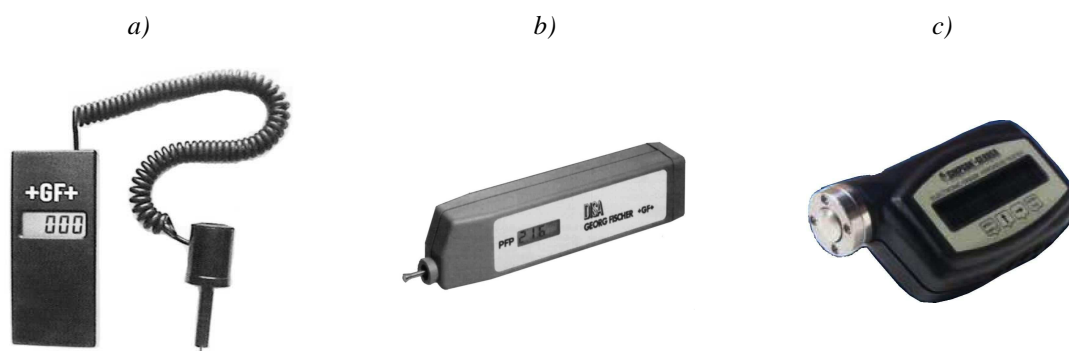


Rys.7. Widok twardościomierzy typu A i C produkcji Zakładu Doświadczalnego Instytutu Odlewnictwa w Krakowie: a) widok, b)- schemat wyjaśniający działanie twardościomierza

W tej grupie przyrządów można zaobserwować tendencję wypierania przyrządów mechanicznych przez przyrządy elektroniczne. Przedstawione na rysunku 8 przyrządy mają również swoje odpowiedniki mechaniczne. Należy podkreślić łatwość posługiwania się nimi – wygodny odczyt, duża czułość, zapamiętywanie wartości maksymalnej, a nawet możliwość przesyłania danych do komputera osobistego (np. twardościomierz firmy SIMPSON-GEROSA). Przyrządy, z rysunku 8a,b, są oparte na przetwornikach odpowiednio tensometrycznym i piezokwarcowym; przyrząd z



rysunku 8c posiada przetwornik przemieszczenia wgłębnika. Duży zakres pomiarowy przyrządu PVP (rys.8a) w przypadku mas wilgotnych z bentonitem praktycznie nie jest wykorzystywany. Zakres przyrządu PFP jest tak dobrany, że obejmuje w przybliżeniu zakres wytrzymałości na ściskanie, możliwy do osiągnięcia przy masach przeznaczonych do formowania na wilgotno [9,13]. W stosunku do tradycyjnych twardościomierzy charakterystyczne są małe wymiary wgłębników przyrządów PVP i PFP, pozwalających na pomiary „punktowe”. Testery te są również mniej wrażliwe na krzywiznę powierzchni, na której dokonywany jest pomiar. Przy pomiarze należy zwracać uwagę na miejsce jego przeprowadzenia. W przypadku pomiarów dobrze zagęszczonych form lub kształtek autor [12,13] stwierdził oddziaływanie sposobu prowadzenia pomiaru (uwidacznia się wpływ ukształtowania sąsiednich obszarów formy). Dokonywanie pomiarów na kształtkach znajdujących się w tulei (jak pokazano to na zdjęciu w [2]) prowadziło do osiągania wyższych wartości wytrzymałości w porównaniu z pomiarami na kształtkach wyjętych (swobodnych). Podobnie jak w przypadku tradycyjnych twardościomierzy pomiar należy wykonać statycznie.



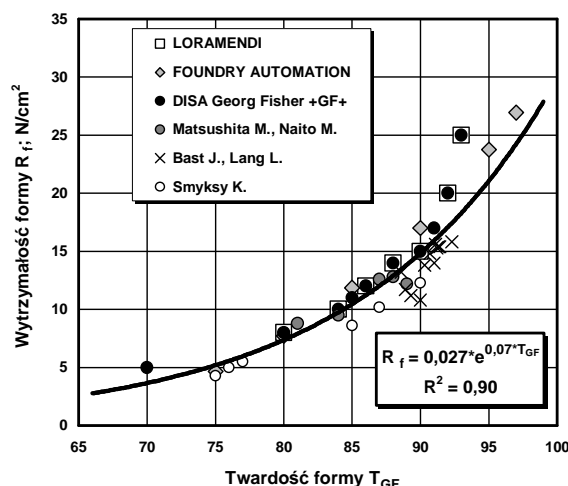
Zakres pomiarowy: 40-1592 N/cm<sup>2</sup>;  
wymiary: 138×60×25,  
masa:~ 434g

Zakres pomiarowy: 0,2-34,5  
N/cm<sup>2</sup>; wymiary : 130×30×22,  
masa 125 g

Zakres pomiarowy :100 jednostek;  
wymiary : 102×64×32,masa 170  
g

Rys.8. Przenośne przyrządy pomiarowe do określania - wytrzymałości form firmy DISA GEORG FISHER +GF+(mould strength tester)[9,13]: a)- typu PVP, b)- typu PFP oraz - twardości form firmy SIMPSON-GEROSA (mould hardness tester) [9]: c)- model 42142.

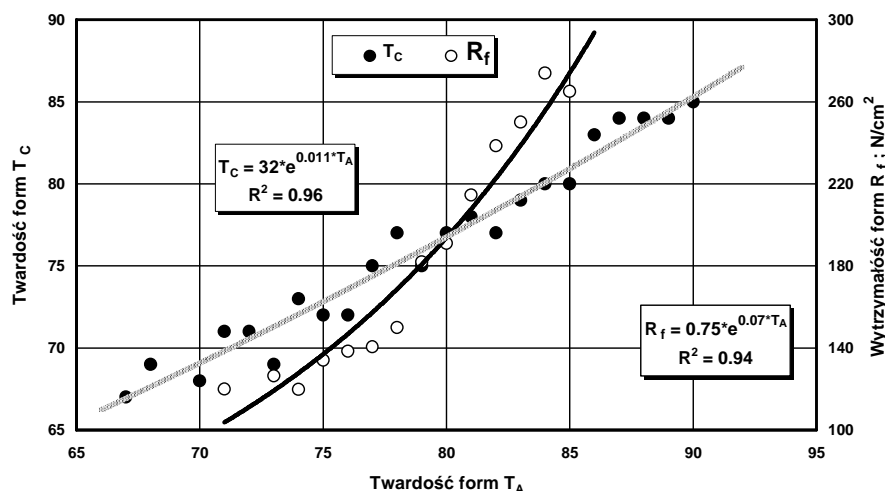
Na rysunku 9 zestawiono dane pozwalające w przybliżony sposób porównywać efekty formowania wyrażone wytrzymałością form – tester PFP z twardością powierzchniową – twardościomierz +GF+ (A). W badaniu efektów konkretnych metod formowania [3,5,12] obserwuje się większe rozrzuty wyników w stosunku do zależności podawanych w prospektach (np. rys.5d).



Rys.9. Zależność pomiędzy wytrzymałością form  $R_f$  a twardością form  $T_{GF}$  (przyrząd PFP i twardościomierz firmy +GF+)[13]

Na rysunku 10 zestawiono dane pochodzące z serii wielu badań efektów zagęszczania (różne metody formowania)- punkty na wykresie reprezentują wartości średnie. Wykres pozwala na przybliżone przeliczenie rezultatów pomiarów, dokonywanych twardościomierzami typu A i C (ZD IO w Krakowie), na wartość wytrzymałości formy wyznaczanej testerem PVP. Podobne oszacowanie dla przyrządów : twardościomierza typu C (ZD IO) - pomiar  $T_C$  oraz testera PFP – pomiar  $R_f$ , można dokonać za pomocą poniższej zależności:

$$R_f = 0,014 \cdot e^{0,076 \cdot T_C}$$

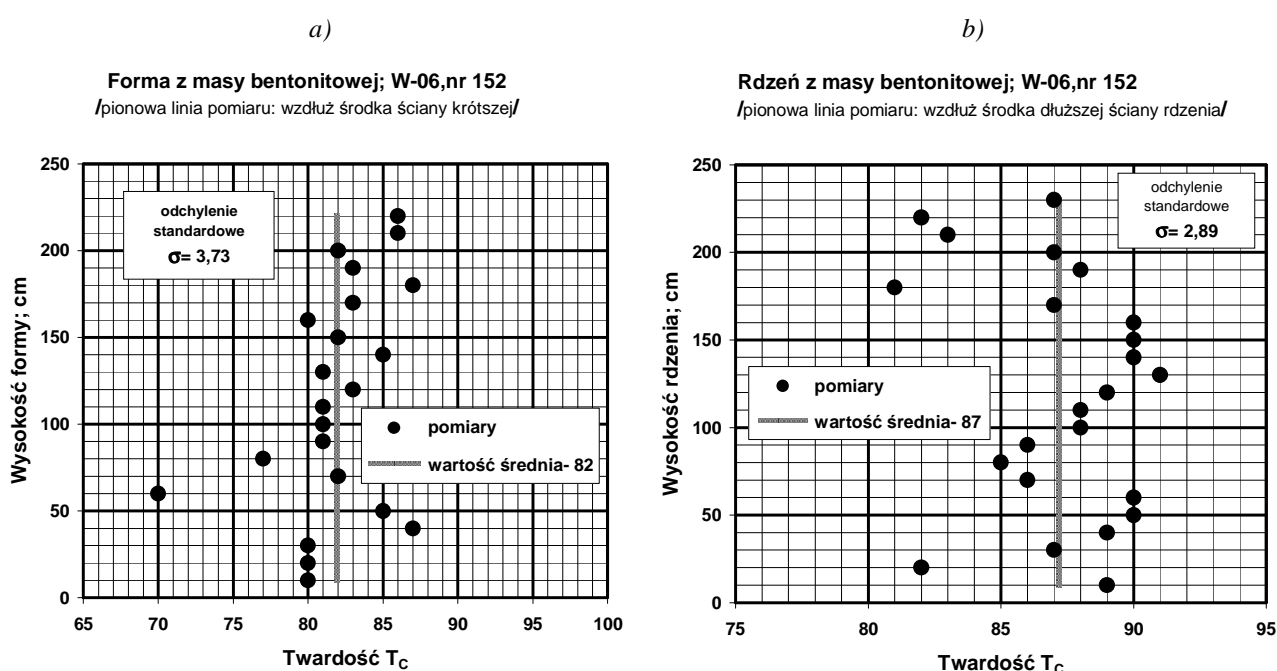


Rys.10. Zależność pomiędzy twardością form  $T_C$  i  $T_A$  (twardościomierze ZD IO Kraków) oraz wytrzymałością form  $R_f$  (przyrząd PVP firmy +GF+)[13]

Podane zależności opracowano na podstawie analizy wyników zagęszczania mas z bentonitem metodą statycznego prasowania ( $R^2 > 0,9$ ). Występuje oczywiście zależność twardości powierzchniowej (wytrzymałości formy) od właściwości masy formierskiej [5,8,11]. Jednak w przypadku mas syntetycznych o wytrzymałości  $R_c^w$  powyżej 0,1 MPa i dobrze zagęszczonych formach (kształtkach) o osiągniętych wartościach  $T$  i  $R_f$  decyduje głównie ich gęstość pozorną.

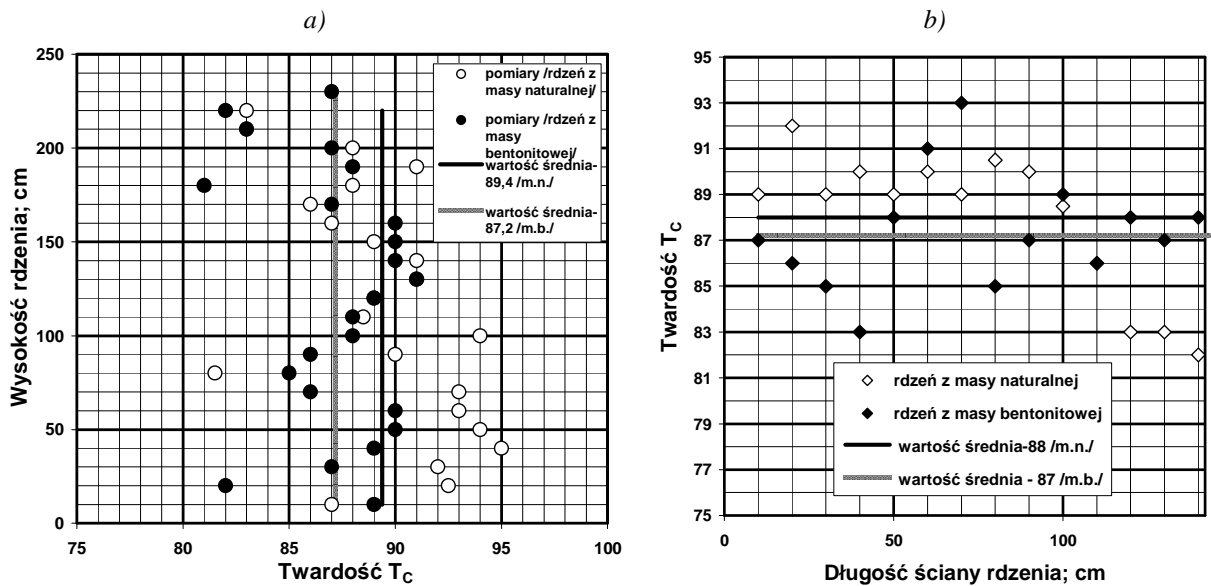
## Przykładowe wyniki pomiarów z praktyki przemysłowej

Opisane powyżej przyrządy są proste w użyciu i niezawodne. Jednak nawet przy wykorzystaniu w pomiarach typowych twardościomierzy mechanicznych można uzyskać wiele informacji o efektach formowania. Niezbędne jest jednak zastosowanie odpowiedniej metodyki badań i staranne opracowanie otrzymanych rezultatów. Zagadnienie to opisano w zarysie na przykładzie badań przeprowadzonych w jednej z krajowej odlewni, w której formy są wykonywane z syntetycznej masy z bentonitem w miejsce, dotychczas stosowanej, masy naturalnej. Zmiana technologii wymagała więc kompleksowej oceny- również pod względem osiąganych efektów zagęszczenia. Formy masywnych odlewów wykonywane są ręcznie przy użyciu ubijaków pneumatycznych, przy czym wymagania co do stopnia zagęszczenia masy w formie są wysokie ze względu na znaczne wymiary form i związane z tym wysokie ciśnienie metalostatyczne. Ewentualne straty z tytułu nie uzyskania odpowiednio dużej wytrzymałości formy i rdzenia mogą być bardzo znaczne



Rys.11. Przykładowe wyniki efektów zagęszczenia formy i rdzenia wlewnicy hutniczej

Ze względu na ukształtowanie formy – wnęka o dużej smukłości, jest ona znacznie trudniejsza do wykonania w porównaniu z rdzeniem, co uwidacznia się relatywnie gorszymi efektami zagęszczenia masy w formie – rys.11. Świadczy o tym także wartość średnia twardości oraz większa wartość odchylenia standardowego. Przy zagęszczaniu masy ubijakami pneumatycznymi wyniki mają oczywiście charakter przypadkowy, ale w serii pomiarów wykonanej na wielu formach i rdzeniach stwierdzono wyraźną powtarzalność zaobserwowanych tendencji.



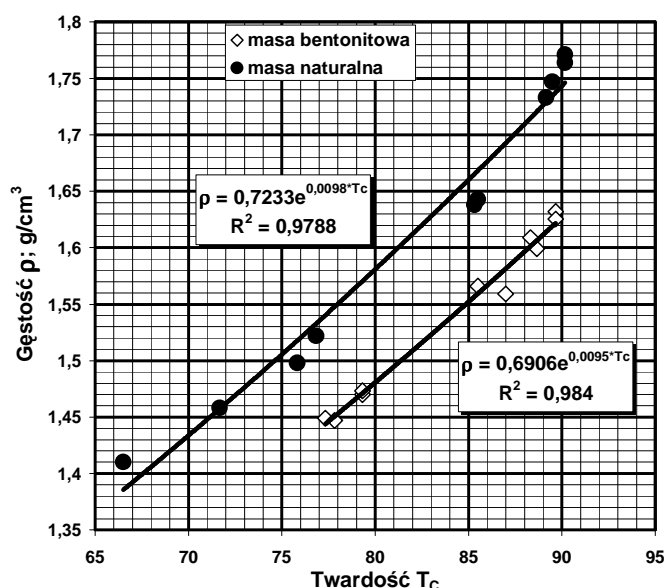
12. Porównanie przykładowych efektów zagęszczania w rdzeniach z masy bentonitowej i naturalnej (wlewnica W-06); pionowa linia wzdłuż środka ściany dłuższej rdzenia, pozioma linia wzdłuż środka ściany dłuższej na wysokości ok. 120 cm

Na podstawie pomiarów twardości w formach wilgotnych można pośrednio ocenić efekty formowania - zagęszczone formy i rdzenie podlegają suszeniu, w związku z czym wytrzymałość ich wzrasta. Pomiar twardości form i rdzeni suszonych natomiast nie jest miarodajny w większości pomiarów uzyskiwane są rezultaty w końcowym zakresie skali twardościomierza typu C, od 95 do 100 jednostek. Przeprowadzone pomiary przyrządem PVP firmy +GF+ wykazały również bardzo wysokie wartości - od 880 do 1562 N/cm<sup>2</sup>, przy czym w niektórych punktach pomiarowych przekroczony został zakres pomiarowy przyrządu (rys. 8). Szeroki zakres osiąganych tym przyrządem rezultatów świadczy jednak o niejednorodności właściwości formy. Użytkowanie przyrządu PVP w górnym zakresie pomiarowym sprawia również trudności w użytkowaniu przyrządu z powodu dużych oporów wciskania wglębniaka (pomimo jego małej powierzchni czołowej). Wydaje się, że w wypadku form suszonych celowe jest raczej stosowanie przyrządów do badania rdzeni (masy ze spoiwami) na przykład wykorzystujących metodę frezowania - są one także obecnie dostępne w wersji elektronicznej [9]. Można również wykorzystać metody ultradźwiękowe [5,14]. Przeprowadzenie odpowiednich badań laboratoryjnych pozwala jednak skorelować wyniki pomiarów twardości w kształtkach z masy wilgotnej z innymi właściwościami, na przykład gęstością (rys. 13), wytrzymałością na ściskanie w stanie wilgotnym a także wysuszonym lub przepuszczalnością. Wyniki tych badań pozwalają na pośrednią ocenę form po suszeniu. Niezbędnym warunkiem jest oczywiście w miarę możliwości zachowanie podobieństwa warunków badań do parametrów procesu technologicznego.

## Podstawowe parametry mas:

a) bentonitowej -  $W=6,2\%$ ,  $R_c^w = 0,089$  MPa,  $P^w = 283 \cdot 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/Pa\*s,  $T_c^{3x} = 85$

b) naturalnej -  $W=5,7\%$ ,  $R_c^w = 0,087$  MPa,  $P^w = 272 \cdot 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/Pa\*s,  $T_c^{3x} = 84$



Rys. 13. Przykładowe wyniki badań obrazujące związek twardości  $T_c$  z gęstością pozorną  $\rho$ . Każdy punkt pomiarowy odpowiada średniej z trzech pomiarów

Na podstawie badań jest możliwe określenie warunków granicznych, w tym dopuszczalne, najmniejsze wartości twardości powierzchniowej w powiązaniu z częstością występowania określonych wad odlewów. W przypadku omawianych odlewów margines dolnych wartości powinien być podwyższony (ze względu na koszty braków). Wartości najniższe twardości określone w formach czy rdzeniach wilgotnych powinny być wyższe od podawanych w literaturze [8] dla typowego asortymentu odlewów wykonywanych w formach wilgotnych. Tym bardziej, że jak wynika z zamieszczonych wykresów realne jest uzyskiwanie twardości średniej form rzędu 85 jednostek, a rdzeni w zakresie 85÷90 jednostek. W przypadku przyjętej technologii form suszonych zmniejszenie przepuszczalności nie odgrywa takiej roli jak w formach zalewanych na wilgotno (w których para wodna jest głównym czynnikiem – ilościowo, odprowadzanych w głąb formy gazów).

Wynikiem analizy są również zalecenia dotyczące zwiększenia stopnia zagęszczenia masy w dolnych rejonach form i rdzeni, ze względu na oddziaływanie większego ciśnienia metalostaticznego, a także dynamicznego oddziaływania strugi metalu podczas zalewania.

## Podsumowanie

Aktualna oferta przyrządów przeznaczonych do oceny efektów formowania jest bardzo szeroka. Wykorzystywanie ich wymaga opracowania i stosowania odpowiedniej metodyki badań uwzględniającej specyfikę przyrządu, a także specyfikę zastosowanej techniki zagęszczania.

Odpowiednie opracowanie wyników oraz ich prawidłowa interpretacja umożliwia uzyskanie wartościowych rezultatów analizy nawet w przypadku zastosowania stosunkowo prostych przyrządów.

Obiektywna ocena różnych metod formowania wymaga prowadzenia badań porównawczych w ściśle określonych, jednakowych warunkach uwzględniających aspekty technologiczne.

Opracowane i przedstawione korelacje dają możliwość porównywania wyników pomiarów wielkości charakteryzujących zagęszczenie, realizowanych przy użyciu różnych przyrządów.

Opracowano częściowo w ramach projektu celowego KBN nr10 T08 011 2000 C/5214

## Literatura

- [1]. Błaszowski K.: Technologia formy i rdzenia. WS i P. Warszawa, 1979.
- [2]. Boenisch D., Daume K.: Formstoffe, Formmaschine und Formstoffprüfung zur Optimierung der Impulsverdichtung. Giesserei, 1984, nr 10, s. 381÷393.
- [3]. Egen H. W., Döpp R., Flemming E.: Beitrag zur quantitativen Bewertung der Verdichtung tongebundener Formsande. Giessereiforschung, 1998, nr 2, s.37÷49.
- [4]. Fedoryszyn A., Smyksy K., Dańko J.: Techniki formowania stosowane w odlewnictwie światowym. Mat. II Konf. TECHNICAL'1999: „Nowoczesne techniki formowania”. Nowa Sól, 1999, s. 7÷18.
- [5]. Fleming E., Tilch W.: Formstoffe und Formverfahren. DVG, Leipzig-Stuttgart, 1993.
- [6]. Grefhorst C., Kleimann W.: Bentonitgebundene Formstoffe – Stand der Technik und Erwartungen für die Zukunft. Giesserei 86, nr 6, 1999, s.145.
- [7]. Grolla H.: Ergebnisse und Einsatz des Luftstrom-Pressformverfahrens. Giesserei, 1989, nr 4, s.105÷109.
- [8]. Lewandowski J.L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Akapit. Kraków, 1997.
- [9]. Materiały prospektowe firm: DISA GEORG FISHER, FOUNDRY AUTOMATION, GEORG FISHER, HEINRICH WAGNER SINTO, LORAMENDI, SAVELLI, SIMPSON-GEROSA.
- [10]. Matsushita M., Naito M.: The New Generation of Flaskless Molding Machines. 63<sup>rd</sup> World Foundry Congress. Budapeszt, 1998, ref. 33.
- [11]. Praca zbiorowa: Teoria procesów technologicznych w odlewnictwie metali. (*Łempicki J.: Zagęszczanie masy formierskiej za pomocą maszyn -rozdz.V.*). WNT. Warszawa, 1965
- [12]. Smyksy K.: Porównanie metod formowania strumieniowego. Mat. V Konf. TECHNICAL'2002 „Odlewnictwo XXI w. -- technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”. Nowa Sól, 2002, s. 112÷119.
- [13]. Smyksy K.: Wybrane aspekty oceny efektów formowania. Acta Metallurgica Slovaca, R. 8, spec. iss. 2 (1/2), 2002, s. 155÷160.
- [14]. Zych J.: Określanie gęstości pozornej mas formierskich metodą ultradźwiękową . Acta Metallurgica Slovaca. UT Koszyce. R. 8, spec. iss. 2 (1/2), 2002, s. 155÷160.

## ZNACZENIE HOMOGENIZACJI W PROCESIE PRZYGOTOWANIA MASY UŻYWANEJ

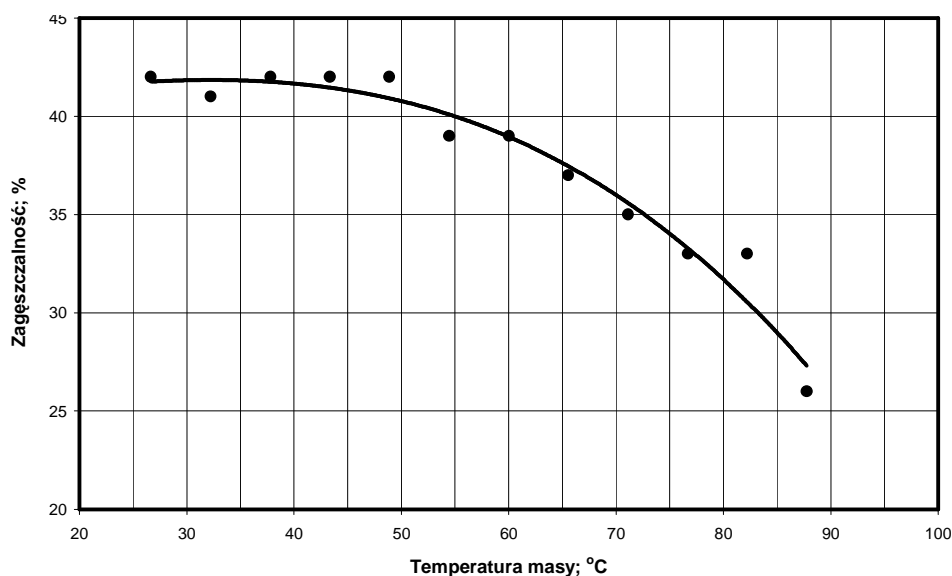
J. DAŃKO<sup>1</sup>  
K. SMYKSY<sup>2</sup>  
A. FEDORYSZYN<sup>3</sup>

Wydział Odlewnictwa  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

### 1. Wstęp

W zmechanizowanych odlewniach stosuje się zwykle jednolitą masę formierską. W każdym obiegu technologicznym masa używana jest odświeżana dodatkiem świeżego piasku oraz bentonitu, a w odlewniach żeliwa także dodatkiem pyłu węglowego lub innego nośnika węgla błyszczącego. Masa używana przed odświeżeniem musi być odpowiednio przygotowana. Przygotowanie polega na usunięciu zanieczyszczeń oraz uśrednieniu stanu masy- homogenizacji i chłodzeniu. Oddziaływanie ciekłego metalu i stygnących w formie odlewów powoduje wzrost temperatury masy obiegowej. Podwyższona temperatura masy ma duży wpływ na jej właściwości, na proces przeróbki oraz na zachowanie się masy podczas składowania, transportu i formowania.

Negatywny wpływ podwyższonej temperatury masy na jej właściwości podkreślany jest w wielu publikacjach [1,5,14,17÷19]. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładowe dane dotyczące ujemnego wpływu temperatury masy na jej zagęszczalność oraz wytrzymałość na ściskanie [18].



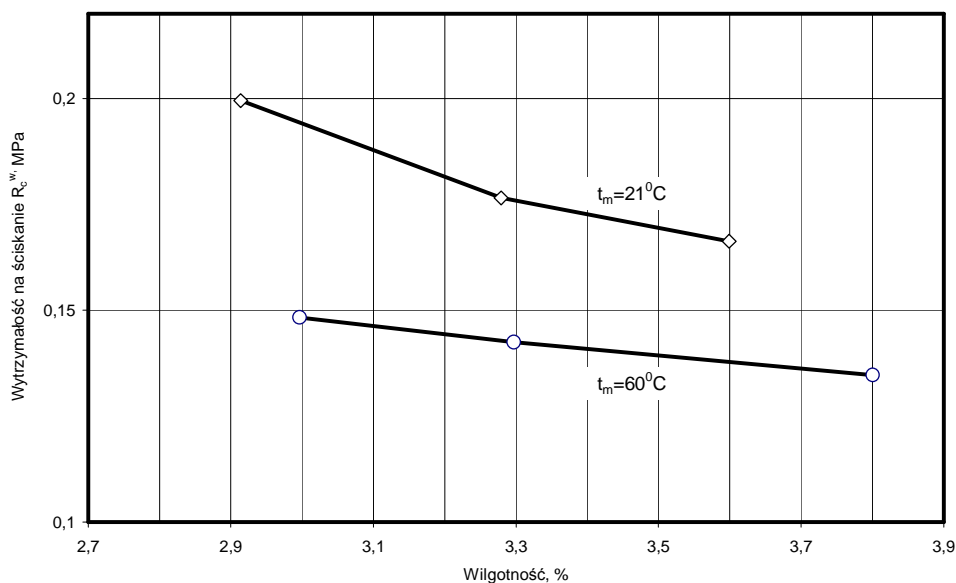
Rys.1. Wpływ temperatury masy na zagęszczalność (wg. Volkmar-1979) [18]

<sup>1</sup> prof. dr hab. inż. [jd@uci.agh.edu.pl](mailto:jd@uci.agh.edu.pl)

<sup>2</sup> dr inż. [kmyksy@uci.agh.edu.pl](mailto:kmyksy@uci.agh.edu.pl)

<sup>3</sup> dr hab. inż., prof. nadzw. [alfa@uci.agh.edu.pl](mailto:alfa@uci.agh.edu.pl)

Wartość wskaźnika zagęszczalności wyraźnie maleje poczynając od temperatury masy wynoszącej około 49° C [18]. Wytrzymałość masy gorącej o temperaturze 60 ° C jest wyraźnie niższa od wytrzymałości masy o temperaturze 21° C , w szerokim zakresie zmian wilgotności-rys. 2. Według [17,18] wartość temperatury masy 49°C uważana jest za graniczną. Powyżej tej temperatury masa jest uważana za nieprzydatną do wykonywania form.



Rys.2. Wpływ temperatury masy na wytrzymałość na ściskanie (wg.Schumachera i in.[17])[18].

Według innych źródeł [13,19] przyjmuje się, że temperatura masy nie powinna być wyższa od 30°C lub nie powinna przekraczać temperatury otoczenia o więcej niż 8°C. W praktyce dopuszczalna wartość powinna być związana również z wilgotnością powietrza w odlewni. W nowoczesnych odlewniach wymaga się zawsze, aby masa formierska posiadała stabilne, wysokie właściwości technologiczne. W związku z powyższym bardziej celowe jest przyjęcie niższych wartości dopuszczalnych temperatury masy. Przy intensywnych obiegach masy (ok. 8 na zmianę) zaleca się stosowanie urządzeń do homogenizacji i chłodzenia masy obiegowej [6,7,13,14,19,20].

## 2. Charakterystyka urządzeń do homogenizacji i chłodzenia masy obiegowej

Korzystny wpływ stosowania urządzeń do homogenizacji i chłodzenia masy podkreślany jest w wielu opracowaniach [1,7,14,18÷20] dotyczących aspektów teoretycznych, jak i zagadnień praktycznych. Właściwy dobór parametrów pracy tych urządzeń pozwala zminimalizować wymienione we wstępie niekorzystne zjawiska, wpływające bezpośrednio na jakość form odlewniczych oraz zakłócające przebieg operacji technologicznych. Efektem homogenizacji powinno być uśrednienie stanu masy zwrotnej w zakresie temperatury i wilgotności.

Procesy homogenizacji oraz chłodzenia masy zachodzą samoistnie w trakcie przerobu i transportu masy w klasycznych urządzeniach linii zwrotu masy: urządzeniach do wybijania, kruszarkach, przesiewaczach, mieszarkach, urządzeniach transportowych. Zwykle zakres uśrednienia parametrów masy i obniżenia jej temperatury zachodzący w tych urządzeniach jest niewystarczający. Obecnie stosuje się różnorodne urządzenia do homogenizacji i chłodzenia. Podział pomiędzy homogenizatorami i chłodziarkami masy obiegowej jest umowny ze względu na wzajemne przenikanie się tych procesów [20,22].

Homogenizatory powinny zapewniać ujednorodnienie, nawilżenie i wstępne ochłodzenie masy. Z reguły charakteryzują się stosunkowo dużym zasobem masy przy małym rozwinięciu jej



powierzchni. Wyróżnia się dwie podstawowe grupy: homogenizatory zbudowane na bazie mieszarek misowych lub korytowych (o działaniu okresowym lub ciągłym) oraz homogenizatory bębnowe, przelotowe lub nieprzelotowe, o działaniu ciągłym [2,7,22].

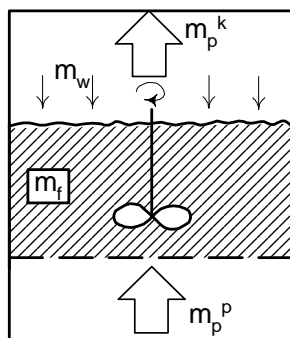
Klasyczne chłodziarki masy są urządzeniami zbudowanymi z reguły na bazie przenośników (np. taśmowych, aeracyjnych, wibracyjnych) [2,7,8,16]. Zapewniają one uzyskanie rozwinętej powierzchni masy ułatwiającej wymianę ciepła i wilgoci pomiędzy masą a przepływającym powietrzem chłodzącym.

Zarówno w homogenizatorach, jak i chłodziarkach jest realizowane efektywne chłodzenie wyparne (związane z dużym ciepłem parowania wody [2,7,14]) dzięki nawilżaniu nadawy. Dozowanie wody chłodzącej jest sterowane automatycznie.

Możliwość intensywnej realizacji procesów homogenizacji i chłodzenia występuje w nowoczesnych mieszarkach wirnikowych, wyposażonych w instalację podciśnieniową [4,7]. Z technologicznego punktu widzenia operacje te najkorzystniej jednak realizować bezpośrednio po wybiciu odlewów (lub równocześnie) [18,19].

### 2.1. Zarys teorii homogenizatorów

Do grupy homogenizatorów przyjęto zaliczać urządzenia, w których występuje zasób masy- rys.3. Homogenizacja masy zachodzi w wyniku „zatapiania” ciągłej strugi w odpowiednio dużym stałym zasobie tej masy z równoczesnym nieprzerwanym mieszaniem. Dodatkowo nawilżanie, prowadzące do odparowania wody, ochładza homogenizowaną masę. Jeśli temperatura masy zwrotnej będzie wyższa od 100°C, to odparowanie 1% wody (w stosunku do masy piasku) spowoduje spadek temperatury masy obiegowej wynoszący ok. 25°C [16]. Intensywność chłodzenia zwiększa się przez przedmuchiwanie zasobu powietrzem. Przedmuchiwanie realizowane po nawilżeniu jest bardzo skuteczne, gdyż powoduje wymuszanie odparowania pozostałości wody przy wartościach temperatury poniżej punktu wrzenia.



Rys.3. Ogólny schemat urządzenia do homogenizacji masy używanej;  $m_f$  zasób masy formierskiej w homogenizatorze,  $m_p$  – strumień powietrza (indeksy górne: p- przed procesem, k- parametry po procesie),  $m_w$  – strumień wody uzupełniającej

W urządzeniach do homogenizacji i chłodzenia zachodzą złożone, nieustalone procesy wymiany ciepła i masy. W kategoriach automatyki urządzenia te należy uznać za nieliniowe obiekty wielowymiarowe (o wielu wejściach i wyjściach) [10]. Opracowanie optymalnych układów sterowania dla tego typu obiektów jest zagadnieniem złożonym i wymaga stosowania zaawansowanych metod matematycznych. W zakresie podstaw teorii homogenizacji i chłodzenia masy używanej bazuje się na modelach uproszczonych [2,19,20].

Przykładowo homogenizator traktuje się jako obiekt inercyjny pierwszego rzędu [2,19]. Wymaga to przyjęcia szeregu założeń upraszczających; m.in. zakłada się idealne wymieszanie w zasobie, doskonałą izolację cieplną urządzenia [3]. Dla obiektu inercyjnego I rzędu obowiązuje równanie różniczkowe i odpowiadająca mu transmitancja:

$$T \times \frac{d\Delta y(\tau)}{d\tau} + \Delta y(\tau) = k \times \Delta x(\tau), \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{\Delta Y(s)}{\Delta X(s)} = \frac{k}{T \times s + 1} \quad (2)$$

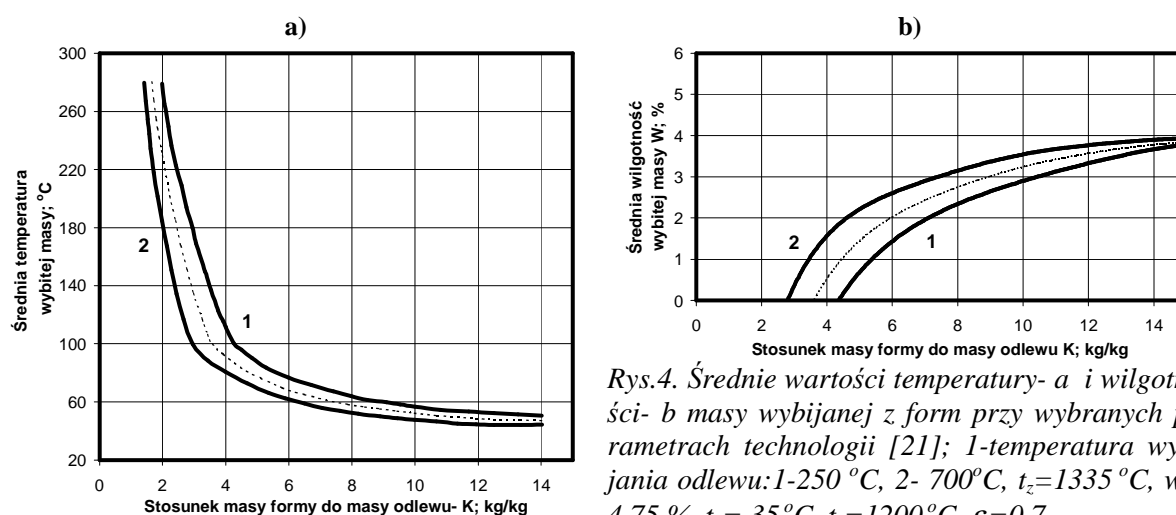
W równaniach wartości chwilowe wielkości: wejściowej  $x(\tau)$  i wyjściowej  $y(\tau)$  celowo zastąpiono ich przyrostami  $\Delta x(\tau)$ ,  $\Delta y(\tau)$ . W procesie homogenizacji interesujące są bowiem odchylenia wartości od przyjętego poziomu odniesienia. Ponadto operowanie przyrostami ułatwia analizę ze względu na możliwość uzyskania zerowych warunków początkowych. Pod pojęciem wielkości  $x(\tau)$ ,  $y(\tau)$  w przypadku procesu homogenizacji należy rozumieć wilgotność masy (odpowiednio na wejściu i wyjściu urządzenia) lub temperaturę masy (również w strumieniu wejściowym i wyjściowym). Charakterystyczne jest, że dla obu procesów uśredniania, zarówno wilgotności jak i temperatury, można (przy pewnych założeniach dodatkowych) uzyskać tę samą wartość stałej czasowej-  $T$  w odpowiednich transmitancjach. Wartość tej stałej czasowej jest związana z parametrami charakteryzującymi homogenizator następująco:

$$T = \frac{G}{W} \quad (3)$$

W powyższym wzorze  $G$  oznacza zasób masy w homogenizatorze w kg, a  $W$  wydajność w kg/s.

W warunkach pracy ustalonej homogenizatora pod pojęciem  $G$ ,  $W$  należy rozumieć wartości odpowiadające określone punkty pracy na charakterystyce statycznej. Przy wykorzystaniu powyższego modelu do analizy parametrów konstrukcyjnych na etapie projektowania nowego urządzenia wartości te określałyby raczej wielkości nominalne. Przyjmując określoną wartość gęstości pozornej masy można wielkość zasobu wyrazić w jednostkach objętości, a wydajność przykładowo w  $m^3/h$ .

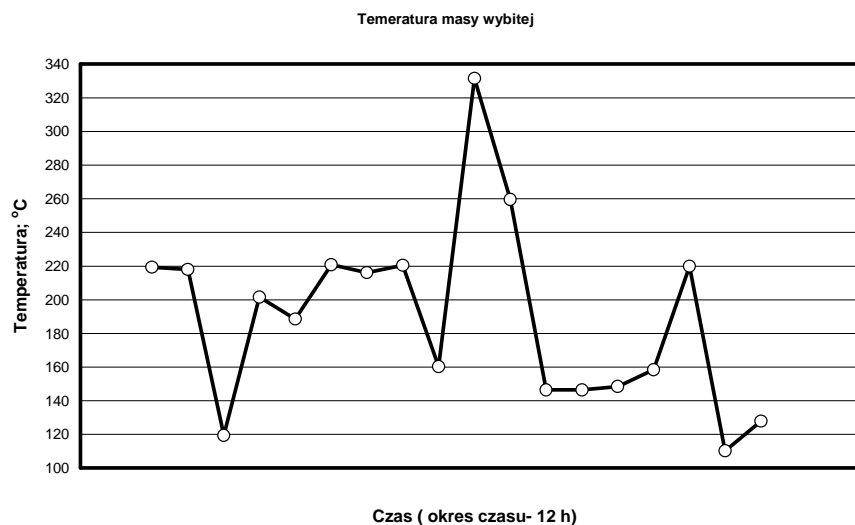
Podstawowym problemem sterowania przebiegiem procesu homogenizacji jest szeroki zakres zmian wielkości wejściowych (oczywisty w praktyce odlewniczej). Możliwość występowania dużych wahań wartości temperatury i wilgotności masy wynika z parametrów technologii. Wartości średnie analizowanych wielkości, wyznaczone z analizy opartej o uproszczone równanie bilansu ciepła i wilgoci, zestawiono w formie wykresu na rysunku 4 [21].



Rys.4. Średnie wartości temperatury- a i wilgotności- b masy wybijanej z form przy wybranych parametrach technologii [21]; 1-temperatura wybijania odlewu: 1-250 °C, 2- 700°C,  $t_z=1335$  °C,  $w_p=4,75$  %,  $t_p=35$  °C,  $t_k=1200$  °C,  $\epsilon_f=0,7$

Zmiany temperatury poszczególnych porcji masy wybitej będą jeszcze większe ze względu na występowanie określonego rozkładu temperatury w formie. Przykładowe wyniki pomiarów okresowych temperatury masy wybitej (dokonane w dużej odlewni żeliwa) potwierdzają możliwość dużych wahań tego parametru [18]. Charakter zmian temperatury strumienia masy wybitej zmienia się ze względu na wpływ wielu czynników: parametry technologii, cykl pracy i rodzaj zastosowanych urządzeń, warunki zewnętrzne itp. Liczne dane z praktyki przemysłowej i analizy

materiałów źródłowych wskazują na występowanie cyklicznych zmian w wartościach tego parametru, zarówno w przebiegach krótkookresowych jak i dobowych, czy nawet tygodniowych.



Rys.5. Zmiany temperatury masy wybitej [18]

W celu analizy wpływu odchyłeń strumienia masy wejściowej na dobór podstawowego parametru homogenizatora- wielkości zasobu, Sztefko F. [19,20] zaproponował przybliżenie przebiegu czasowego temperatury przebiegiem sinusoidalnym, uzależniając częstotliwość przebiegu sinusoidalnego od częstotliwości wybijania form ( $f$ ) oraz współczynnika zwiększającego ( $k$ ), zależnego od sposobu oddzielania masy od odlewu, jej kruszenia i przesiewania, a także ilości przesypów na związanych z tymi operacjami odcinku transportu

. Przyjęcie powyższych założeń umożliwiło klasyczne rozwiązanie równania (1), przy założeniu wymuszenia sinusoidalnego o określonych parametrach [19,20]. Ideą rozważań jest taki dobór wielkości zasobu w stosunku do wydajności aby nastąpiło tłumienie odchyłeń temperatury homogenizowanego strumienia masy.

Podobną analizę opartą na powyższych założeniach (przebieg sinusoidalny) i postać transmitancji określona wzorem (2) można przeprowadzić w oparciu o transmitancję widmową:

$$G(j\omega) = \frac{k}{T \times j\omega + 1}, \quad (4)$$

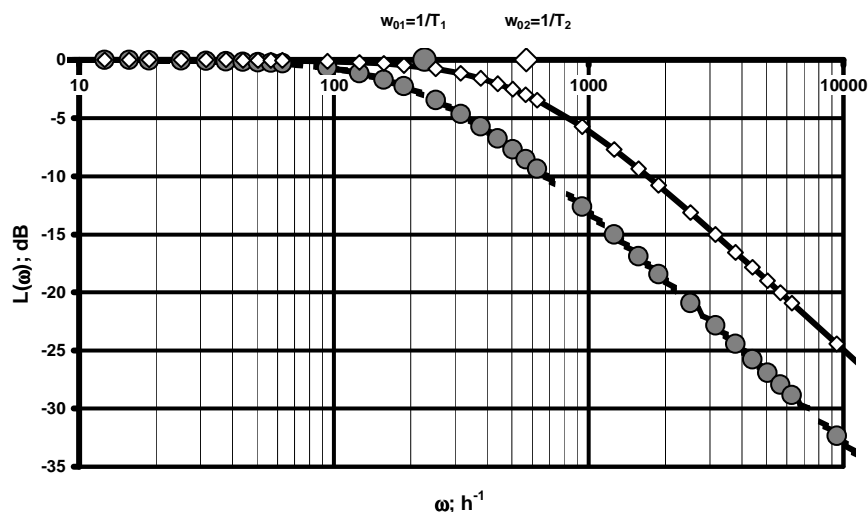
gdzie:

$$\omega = 2 \times \pi \times f_c = 2 \times \pi \times k \times f,$$

stanowiącą podstawę do sporządzenia charakterystyk częstotliwościowych: amplitudowych i fazowych; przy czym bardziej interesująca jest charakterystyka amplitudowa:

$$L(\omega) = 20 \times \log \frac{k}{\sqrt{T^2 \times \omega^2 + 1}} \quad (5)$$

W analizowanym przykładzie jednoznacznie określa ona charakterystykę fazową, ponieważ mamy do czynienia z członem minimalnofazowym.



Rys.6. Przykładowe charakterystyki amplitudowe dla homogenizatorów o transmitancji członu inercyjnego I rzędu; wydajność homogenizatorów:  $W=56,75$  Mg oraz zasób homogenizatorów:  $G_1=0,25$  Mg,  $G_2=0,1$  Mg.

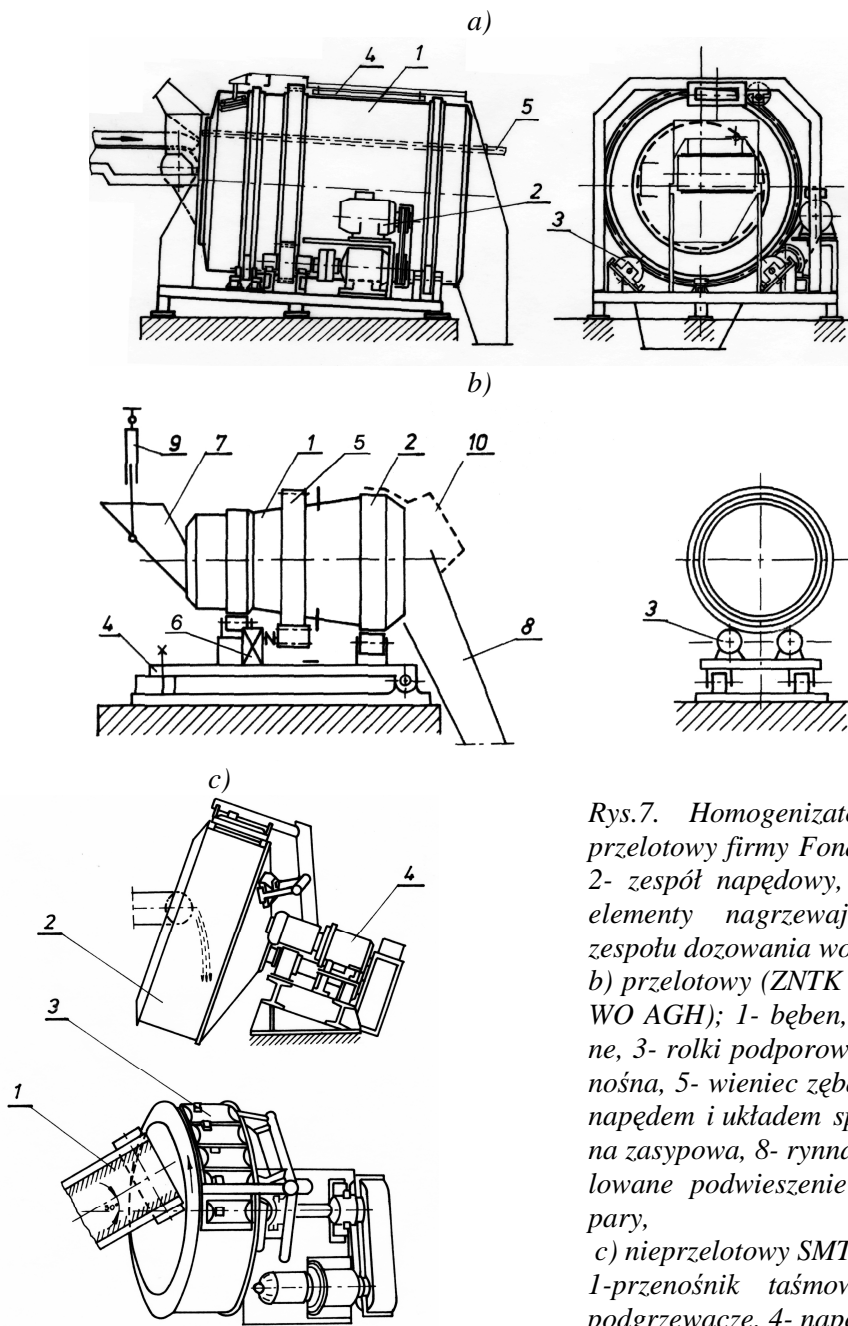
Do sporządzenia charakterystyk wykorzystano graniczne dane wyjściowe przyjęte do obliczeń w przywołanej już pracy Sztefki F. [19]. Charakterystyki ilustrują zarówno wpływ częstotliwości zmian wielkości wejściowej na jej tłumienie przy homogenizatorze o określonym zasobie, jak również wpływ wielkości zasobu homogenizatora na jego zdolność do tłumienia zmian wielkości wejściowej (temperatury lub wilgotności). Na charakterystykach zaznaczono punkty ilustrujące częstości graniczne (punkt przecięcia na charakterystyce asymptotycznej), będące odwrotnością stałej czasowej homogenizatora  $T$  (zgodnie z wzorem (3)). Wybór wielkości zasobu homogenizatora o zadanej wydajności jest zawsze kompromisem pomiędzy jego dobrą zdolnością do tłumienia wahań wielkości wejściowej (w szerokim paśmie częstotliwości), a pożądanym ograniczeniem wymiarów urządzenia.

Homogenizator o odpowiednio dobranych parametrach niewątpliwie wpływa korzystnie na stabilizację właściwości masy obiegowej. Strumień masy o wyrównanych właściwościach: pod względem temperatury i wilgotności łatwiej poddaje się procesowi dalszego ochłodzenia w chłodziarce masy.

## 2.2. Przegląd rozwiązań homogenizatorów

Homogenizatory bębnowe. W tej grupie występują zarówno urządzenia przelotowe (rys.7a,b), jak i nieprzelotowe (rys7c). Z reguły urządzenia te przeznaczone są do współpracy z chłodziarkami typu przenośnikowego.

Klasycznym przykładem jest bęben firmy +GF+ typu SMT współpracujący z chłodziarkami typu SC (system Bührrera). Urządzenia te mogą osiągać duże wydajności- SMT-32 ok. 450 t/h. Charakterystyczne jest stosunkowo niewielkie wykorzystanie objętości bębna. Pod tym względem pozytywnie można ocenić prototypowe rozwiązanie z rys. 1b (AGH)- w którym przez pochYLENIE pobocznicy uzyskano zwiększenie zasobu. Cyrkulację masy w tych homogenizatorach należy ocenić jako umiarkowaną. Wpływa to oczywiście na osiąganе efekty homogenizacji i chłodzenia masy. Jak wspomniano wcześniej urządzenia te raczej nie pracują samodzielnie, a wraz z chłodziarką tworzą bardzo efektywne systemy chłodzenia.



Rys.7. Homogenizatory bębnowe: a)-przelotowy firmy Fondetec[15]; 1- bęben, 2- zespół napędowy, 3- rolki toczone, 4- elementy nagrzewające, 5- elementy zespołu dozowania wody, b) przelotowy (ZNTK Bydgoszcz, prototyp WO AGH); 1- bęben, 2- pierścienie toczone, 3- rolki podporowe, 4- odchylna rama nośna, 5- wieniec zębany, 6- przekładnia z napędem i układem sprzęgłowym, 7- rynna zasypowa, 8- rynna odbiorcza, 9- regulowane podwieszenie rynny, 10- odciąg pary, c) nieprzelotowy SMT, firmy +GF+[15]: 1-przenośnik taśmowy, 2- bęben, 3- podgrzewacze, 4- napęd

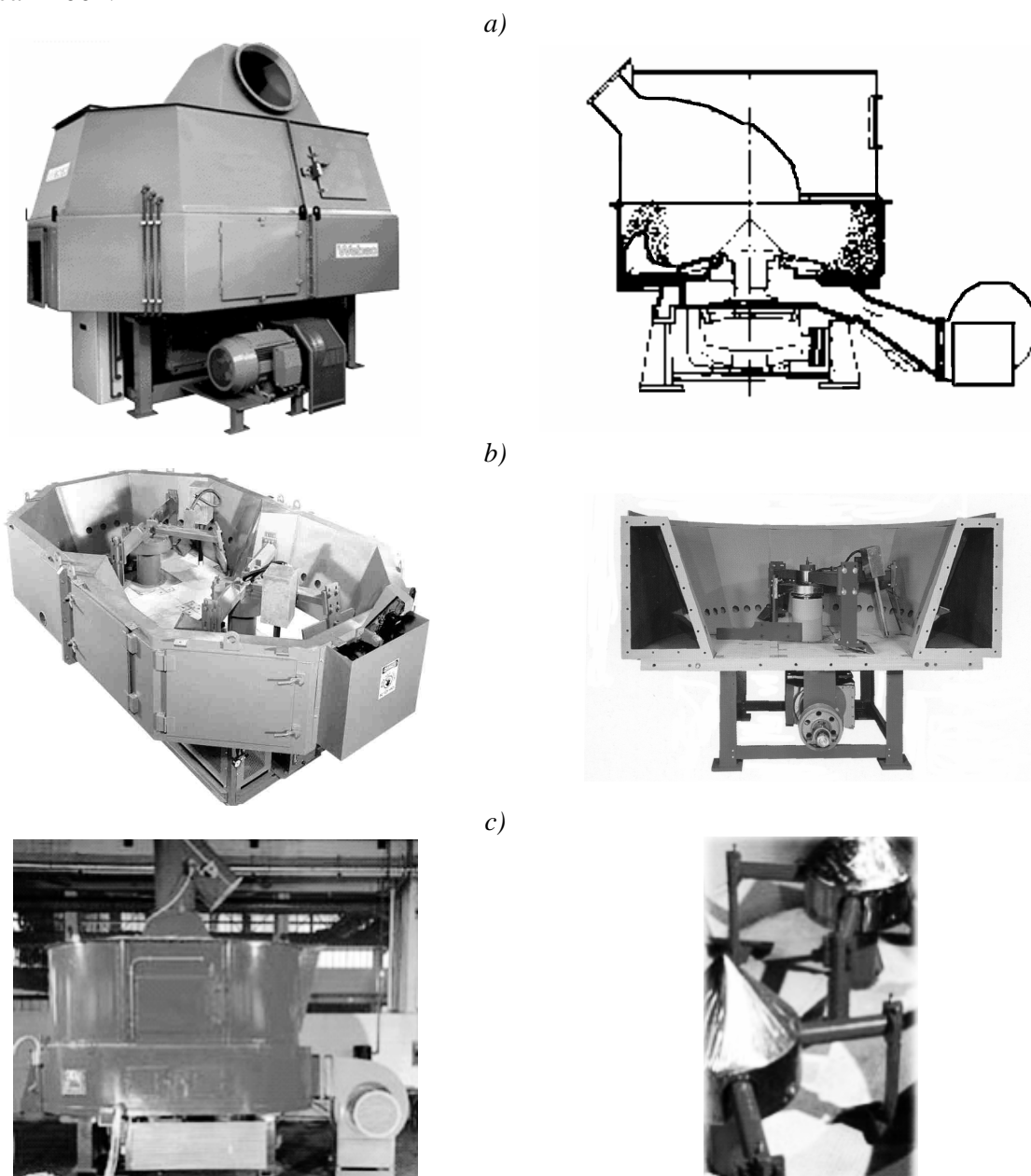
Homogenizatory zbudowane na bazie mieszarek. Historycznie pierwsze rozwiązania tych urządzeń powstały w firmach oferujących mieszarki, na których bazie powstały homogenizatory. Zakres ich obecnego rozpowszechnienia jest największy i można stwierdzić, że wyodrębniły się one w grupę samodzielnych, bardzo efektywnych urządzeń spełniających równocześnie funkcję homogenizatora i chłodziarki (rys.8). Analizując, przedstawione na rysunku 8, rozwiązania można zauważyć wzorowanie się firm na rozwiązaniu Simpson Multi-Cooler, firmy SIMPSON Technologies, o pracy ciągłej (rys. 9). Podwójny układ mieszający wydłuża drogę przemieszczania masy przy intensywnej jej cyrkulacji i aeracji. Gorąca masa formierska po wprowadzeniu do misy jest nawilżana i przedmuchiwana podczas procesu homogenizacji. Powietrze użyte do przedmuchiwania warstwy masy doprowadzane jest przez przepuszczalne wkładki ścian bocznych oraz przez dno misy. Powyższe rozwiązanie konstrukcji sprzyja więc procesowi chłodzenia. Wydajności oferowanych urządzeń wynoszą od 25 do 300 Mg/godz. W urządzeniach tych moż-

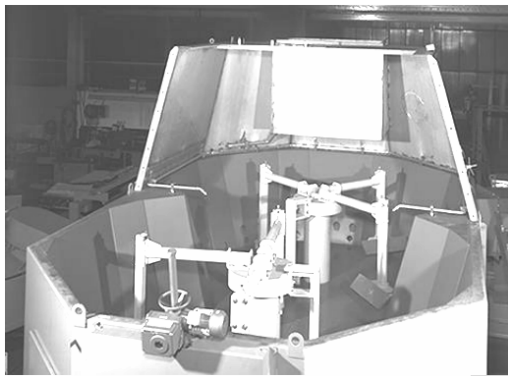
liwe jest więc osiągnięcie podobnych efektów pracy jak w klasycznym systemie homogenizator-chłodziarka.

W grupie homogenizatorów zbudowanych na bazie mieszarek można również spotkać urządzenia oparte na mieszarkach korytowych (rys. 10). Badania tego typu oryginalnego urządzenia [2] dowodzą, że można go również zakwalifikować jako urządzenie homogenizująco-chłodziące.

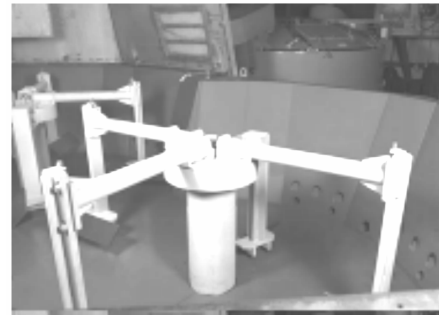
Interesującym rozwiązaniem w zakresie homogenizatorów bazujących na mieszarkach było urządzenie Mixcoolair (oparte na mieszarce łopatkowej o pionowej osi układu mieszającego) stanowiące uzupełnienie znanych chłodziarek przesypowych Cooleveyor firmy Bonvillain-Ronceray [7,15].

Omawiając metody homogenizacji i chłodzenia masy, należy wspomnieć o propozycji połączenia chłodzenia i mieszania masy w jednym urządzeniu [4,7]. Mieszarko-chłodziarki wyposażone są w instalację podciśnieniową intensyfikującą proces chłodzenia masy. Charakterystykę tego typu urządzeń autorzy przedstawili w referacie [7] wygłoszonym w ramach Konferencji Technical' 2001.

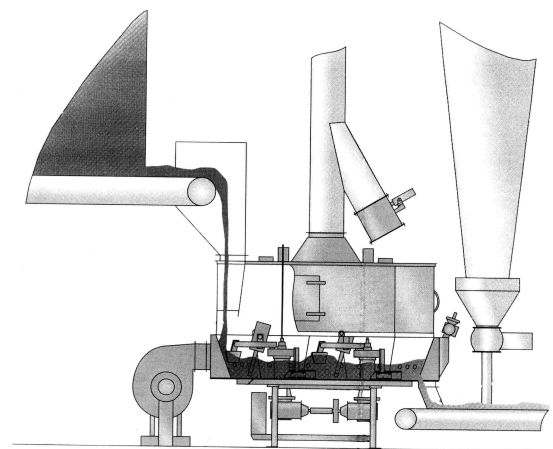
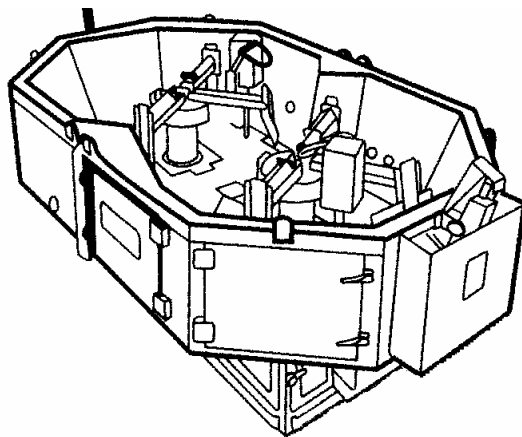




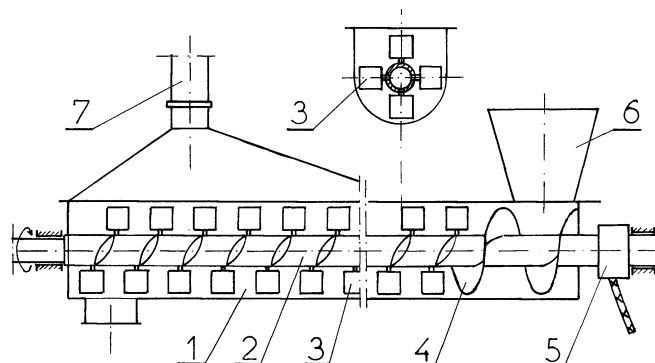
d)



Rys.8. Homogenizatory zbudowane na bazie mieszarek [15]; a- Wask, firmy Webac; b- Simpson Multi-Cooler firmy SIMPSON Technologies, c- firmy Savelli, d- ASK, firmy Künkel Wagner



Rys.9. Schematy urządzenia do homogenizacji i chłodzenia masy typu Simpson Multi-Cooler firmy SIMPSON Technologies[15]; a)- schemat urządzenia, b)- zabudowa

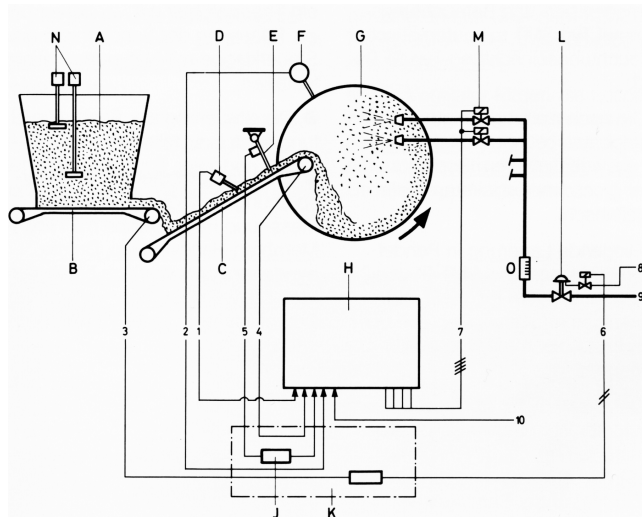


Rys. 10. Schemat prototypowego urządzenia do homogenizacji i chłodzenia z przedmuchem powietrza przez wał i łopatki [2,7]: 1- koryto, 2- wał, 3- elementy mieszające, 4- ślimak, 5- kolektor powietrza, 6- zbiornik masy, 7- króciec zespołu odpylającego

### 2.3. Sterowanie pracą homogenizatorów

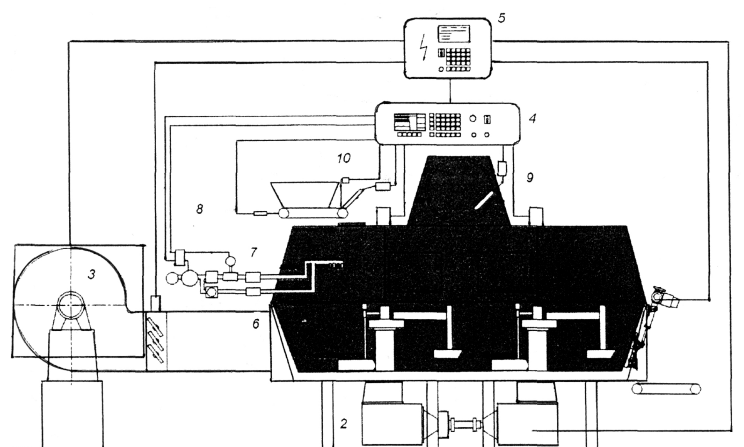
Porównując układy sterowania w urządzeniach homogenizujących znanych od wielu lat (rys.11) i współczesnych (rys.12) można stwierdzić, że pod względem koncepcji sterowania procesem, z punktu widzenia technologicznego, nie uległy one zasadniczym zmianom. Przykładowo ideę sterowania pracą homogenizatora bębnowego wykorzystującą wiele sygnałów wejściowych ( m.in. sygnał poboru mocy przez napęd bębna [15]) należy ocenić bardzo wysoko. Niewątpliwie

natomiast postęp w zakresie elementów i układów automatyki oraz oprogramowania stwarza nowe możliwości sterowania procesem. Podkreślenia wymaga łatwość sterowania obecnie zespołami napędowymi. W przypadku urządzeń homogenizująco-chłodzących można wymienić napęd główny zespołu mieszającego, napęd wentylatora, napęd podajnika masy- bezstopniowa regulacja prędkości napędów stwarza bardzo duże możliwości w zakresie doboru optymalnego punktu pracy systemu, nawet w warunkach bardzo dużych zmian parametrów masy formierskiej – co w praktyce może często występować (rys.4,5). Wzrosła również z pewnością niezawodność układów sterowania, rozszerzenie zakresu realizowanych funkcji (nadzór, diagnostyka) oraz ich funkcjonalność [11].



Rys.11. Układ sterowania pracą homogenizatora bębnowego SMT firmy Georg Fischer AG [15].

A- zasobnik masy używanej, B, C- podajniki taśmowe, D- czujnik temperatury, E- czujnik wskazujący obecność masy na podajniku, F- przetwornik temperatury (pomiar temperatury poboczniczy homogenizatora), G- homogenizator bębnowy nieprzelotowy, H- blok centralny układu sterowania, J- element opóźniający, K-sterownik, L- membranowy zawór proporcjonalny, M-elektrozawór, N- czujniki poziomu, O- przepływomierz; Sygnały: 1-temperatury masy, 2- mocy czynnej napędu, 3- wydajności podajnika (50 i 100%), 4-ruchu podajnika, 5-obecności masy na podajniku, 6- strumienia wody (50 i 100%), 7-sterowania dyszami natryskowymi; instalacje: 8- instalacja sprężonego powietrza, 9- instalacja wody przemysłowej, 10- sieć elektryczna



Rys.12 . Układ sterowania pracą homogenizatora ASK firmy Künkel – Wagner [15]; 1- homogenizator, 2- zespół napędowy, 3- wentylator, 4- układ regulacji wilgotności i sterowania urządzeniem, 5-sterownik zespołów wykonawczych, 6- czujniki wilgotności, 7- zespół dozowania wody 9obejmujący zawory, przepływomierze, dysze natryskowe), 8- licznik impulsów prędkości taśmy podajnika taśmowego (pomiar prędkości podawania masy, 9- czujnik temperatury, 10- czujnik obecności masy na podajniku



### 3. Podsumowanie

Aktualny stan w zakresie oferty urządzeń do homogenizacji i chłodzenia masy obiegowej stwarza możliwości wyboru wśród kilku wariantów rozwiązań: klasycznego układu homogenizator- chłodziarka, urządzenia homogenizująco-chłodzącego (np. typu Multi-Cooler, irmy Simpson), mieszarko- chłodziarki ( Evacotherm, irmy Eirich). W zależności od konkretnej struktury linii przerobu masy używanej i wydajności odlewni akceptowalnym rozwiązaniem jest też zastosowanie jedynie chłodziarki masy. Zastosowanie urządzeń do homogenizacji masy, odpowiednio dobranych parametrach z punktu widzenia technologicznego, powinno dawać zawsze korzystne rezultaty. Świadczy o tym wiele przykładów z praktyki [1,12,15]. Homogenizacja stabilizuje właściwości masy formierskiej, ułatwia pracę kolejnych urządzeń linii (np. chłodziarek masy, mieszarek, układów regulacji wilgotności masy formierskiej). Rozwój konstrukcji homogenizatorów ukierunkowany jest obecnie na rozwiązania bazujące na mieszarkach masy. Przy czym zastosowanie w tych układach przedmuchiwania zasobu powietrzem, instalacji nawilżającej oraz nowoczesnych systemów sterowania stwarzają konieczność ich zakwalifikowania do grupy urządzeń homogenizująco- chłodzących. Potwierdzają to również osiągnięte w tych urządzeniach parametry wyjściowe masy używanej.

Celowe jest rozszerzenie oferty krajowej o omawiane urządzenia, tym bardziej, że badania prototypów opartych na oryginalnych, krajowych rozwiązaniach wykazały ich bardzo efektywną pracę. [2,19]. Istotny jest prawidłowy dobór parametrów urządzeń do homogenizacji z uwagi na znaczne wahania parametrów masy, na wejściu do urządzeń, wynikające ze specyfiki technologicznej. Aktualny wysoki poziom techniki w zakresie układów sterowania znacznie ułatwia rozwiązanie powyższego problemu technicznego.

*Opracowano w ramach projektu celowego KBN nr 6 T08 137 2002 C/5600  
oraz projektu celowego KBN nr 10 T 08 011 2000/5214*

### Literatura

- [1] Bärthel G.: Homogenization and Cooling of Used Sand- a Major Factor in the Reduction of Mould and Foundry Scrap. BCIRA International Conference 1996, ref. Nr 20, s.1 – 4.
- [2] Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych. Maszyny do przygotowania materiałów i mas formierskich. Skrypt AGH nr 919, Wyd. AGH, 1984
- [3] Campbell D.P.: Dynamika procesów. PWP, Warszawa, 1962
- [4] Drews B.: Gleichzeitiges Mischen und Kühlen von Formsand unter Vakuum. Giesserei 86, nr 6, 1999, s. 138
- [5] Dzwonnik I.: Formierskie masy bentonitowe- technologia przygotowania. Materiały Konferencji TECHNICAL-2000, s.73-78.
- [6] Fedoryszyn A., Dańko J., Smyksy K.: Analiza wyposażenia linii przygotowania masy używanej. Materiały Konferencji TECHNICAL-2000, s.79-96.
- [7] Fedoryszyn A., Dańko J., Smyksy K.: Urządzenia do homogenizacji i chłodzenia masy formierskiej. Materiały Konferencji TECHNICAL-2001, s.59-68.
- [8] Fedoryszyn A., Smyksy K., Gregoraszczyk M., Bast J.: Problematyka badań wibrofluidyzacyjnych chłodziarek masy formierskiej. Acta Metallurgica Slovaca, 5, 1999, s. 93÷97.
- [9] Grefhorst C., Kleimann W.: Bentonitgebundene Formstoffe – Stand der Technik und Erwartungen für die Zukunft. Giesserei 86, nr 6, 1999, s.145

- [10] Gregoraszczyk M., Smyksy K., Ziółkowski E.: Analiza wybranych procesów odlewniczych w aspekcie ich mechanizacji i automatyzacji. Mat. Konf. Naukowej z okazji Dnia Odlewnika '97, 27-28.XI.1997 Kraków, Wyd. Odlewnictwa AGH, s.61-67.
- [11] Hohl B.: System of Computer-assisted Quality Assurance in Molding Sand Preparation Plants. Casting Plant + Technology, nr 1, 1994, s. 8
- [12] Krysiak M.B.: New Conditioning Practice Improves Sand Performance. Modern Casting, nr 2, 2000, s. 40
- [13] Lewandowski J. L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wyd. Akapit. Kraków, 1997
- [14] Lewandowski J. L.: Znaczenie temperatury dla właściwości używanej masy wiązanej bentonitem. Przegląd Odlewnictwa nr 4, 2002, s.130- 134.
- [15] Prospekty firm: Bonvillain-Ronceray, Eirich, Fondetec, Georg Fischer, SIMPSON Technologies ([www.simpsongroup.com](http://www.simpsongroup.com)), TECHNICAL, Webac ([www.webac-gmbh.de](http://www.webac-gmbh.de)), Künkel Wagner ([www.kuenkel-wagner.com.de](http://www.kuenkel-wagner.com.de)), Savelli ([www.savelli.it](http://www.savelli.it))
- [16] Samsonowicz Z.: Automatyzacja procesów odlewniczych. WNT. Warszawa, 1985
- [17] Schumacher S. I in.: Why Does Hot Sand Cause Problems- Parts 1 and 2. AFS Transactions, Vol. 82, 1974, s. 181÷188, Vol. 83, 1975, s. 441÷446.
- [18] Strobl S.M., Silby D.V.: Controlling Hot Sand to Ensure Mold, Casting Quality. Modern Casting, Februar 2001, s. 42÷44].
- [19] Sztefko F.: Analiza procesów przygotowania formierskiej masy używanej w aspekcie ich mechanizacji. Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, nr 139, Kraków, 1991
- [20] Sztefko F.: Proces homogenizacji masy używanej. Archiwum Technologii Budowy Maszyn z.10, 1992, s.113-121.
- [21] Sztefko F., Smyksy K.: Analiza wpływu parametrów technologicznych na stopień przegrzania mas używanych. IX Sympozjum Naukowe z okazji Dnia Odlewnika. IT i MO AGH. Kraków, 1983, s. 55-63.
- [22] Żurawski L., Dańko J.: Aktualny stan oraz tendencje rozwojowe w zakresie konstrukcji urządzeń nawilżająco-homogenizujących. Materiały VI Sympozjum Naukowego z okazji Dnia Odlewnika. IT i MO AGH. Kraków, 1980, s. 55.

## MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MONITORINGU POBORU MOCY W MASZYNACH ODLEWNICZYCH Z NAPIĘDEM ELEKTRYCZNYM

E. ZIÓŁKOWSKI<sup>1</sup>  
R. WRONA<sup>2</sup>

Wydział Odlewnictwa  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono możliwości realizacji monitoringu poboru mocy przez trójfazowe silniki asynchroniczne, stosowane w maszynach i urządzeniach odlewniczych. Proponowane rozwiązanie automatycznej kontroli poboru mocy pozornej, biernej i czynnej wraz z pomiarami i rejestracją innych parametrów badanej maszyny odlewniczej może stanowić element systemu oceny jakości jej pracy, a także dostarczać niezbędnych danych dla układów sterowania procesem technologicznym, realizowanym za pomocą tej maszyny.

### WPROWADZENIE

Znaczna większość maszyn i urządzeń odlewniczych, w których są stosowane silniki elektryczne, wykorzystuje trójfazowe silniki asynchroniczne. Silniki asynchroniczne dzieli się na:

- silniki asynchroniczne z wirnikiem fazowym, zawierające w wirniku uzwojenie trójfazowe podobne do uzwojenia stojana. Końcówki faz uzwojenia połączone są ze sobą, tworząc gwiazdę, zaś początki faz połączone są za pośrednictwem pierścieni ślizgowych i szczotek z opornikiem rozruchowym lub regulatorem prędkości obrotowej,
- silniki asynchroniczne z wirnikiem zwartym (silnik indukcyjny klatkowy). Wirnik zwarty ma uzwojenie w postaci klatki wykonanej z nieizolowanych prętów, połączonych na swoich końcach pierścieniami zwierającymi.

W silnikach asynchronicznych różnica między prędkością synchroniczną  $n_1$  a prędkością wirnika  $n$ , odniesiona do prędkości synchronicznej jest nazywana poślizgiem. Jeżeli wirnik maszyny indukcyjnej jest zahamowany, to jego prędkość obrotowa jest równa zero. Jeżeli wirnik wiruje synchronicznie z polem magnetycznym (co jest możliwe tylko wówczas, gdy jest on napędzany z zewnątrz), to poślizg jest równy zero.

Podstawową charakterystyką każdego silnika jest zależność prędkości obrotowej od momentu obrotowego  $n=f(M)$  w całym zakresie pracy silnika od biegu jałowego do zahamowania [1]. Ze względu na występowanie w silniku asynchronicznym poślizgu, charakterystykę  $n=f(M)$  zastępuje się często charakterystyką  $M=f(s)$ . Zależności  $n=f(M)$  oraz  $M=f(s)$  nazywa się charakterystykami mechanicznymi silnika asynchronicznego. Obszerna analiza stanów pracy silnika asynchronicznego jest zawarta w wielu publikacjach, między innymi w [1, 2].

<sup>1</sup> dr inż., ez@agh.edu.pl

<sup>2</sup> prof. dr hab. inż., rwrwna@agh.edu.pl

Badanie zachowania się silnika asynchronicznego, napędzającego układ mechaniczny maszyny odlewniczej (na przykład mieszarki) można przeprowadzić dokonując ciągłego pomiaru wartości wszystkich składników mocy pobieranej przez ten silnik. Poniżej zostanie przedstawiony jeden z wariantów systemu pozwalającego na ciągły monitoring poboru mocy przez silnik asynchroniczny.

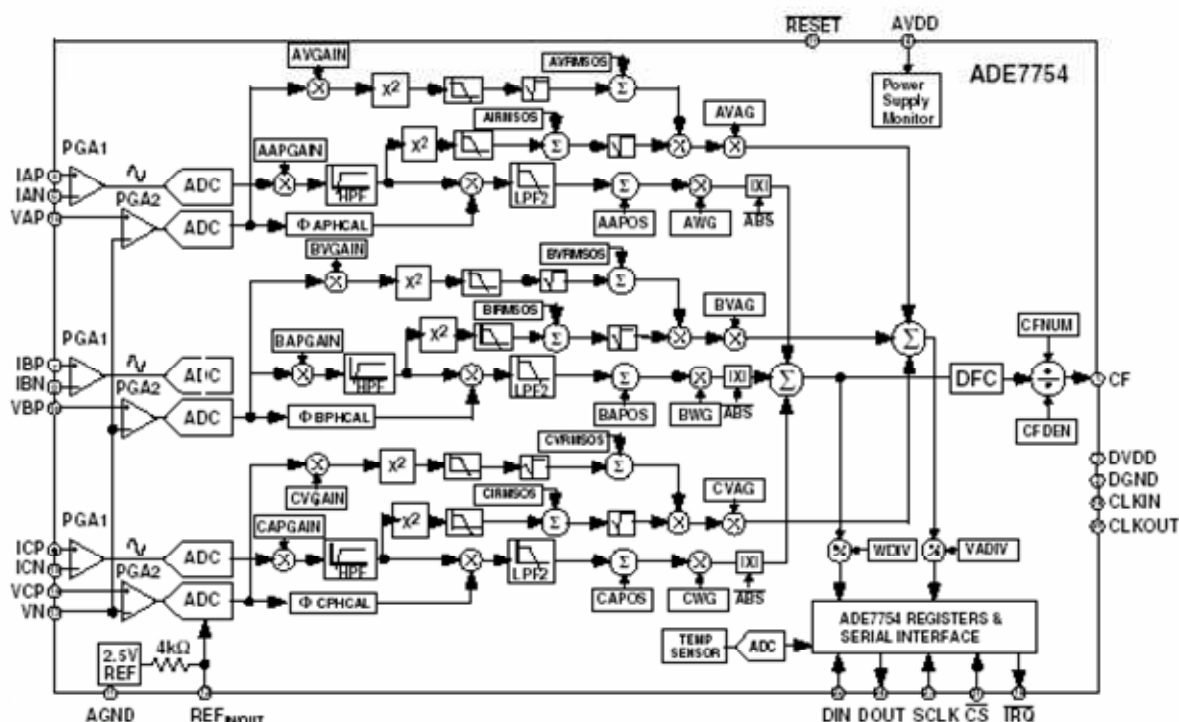
## SKRÓCONA CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU MONITOROWANIA POBORU MOCY

Silniki asynchroniczne trójfazowe są zasilane z sieci energetycznej trójfazowej. Jako urządzenia o charakterze indukcyjnym pobierają moc pozorną będącą wektorowym złożeniem mocy czynnej i mocy biernej indukcyjnej. Proporcja wartości mocy biernej indukcyjnej do wartości mocy czynnej określa wartość  $\text{tg}\varphi$ , natomiast w wartość mocy czynnej w proporcji do wartości mocy pozornej pozwala wyznaczyć wartość  $\text{cos}\varphi$ .

Projektując system monitoringu pracy urządzenia odlewniczego, napędzanego trójfazowym silnikiem asynchronicznym, należy założyć ciągły pomiar zarówno wartości mocy czynnej, jak i biernej, pobieranych w obwodzie każdej fazy przez zasilane urządzenie.

Firma Analog Devices oferuje specjalizowany układ scalony ADE7754, który jest przeznaczony do budowy mierników poboru mocy i liczników energii elektrycznej. Układ ten może być stosowany do pomiaru mocy pozornej, biernej i czynnej w obwodach trójfazowych.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat funkcjonalny tego układu scalonego.



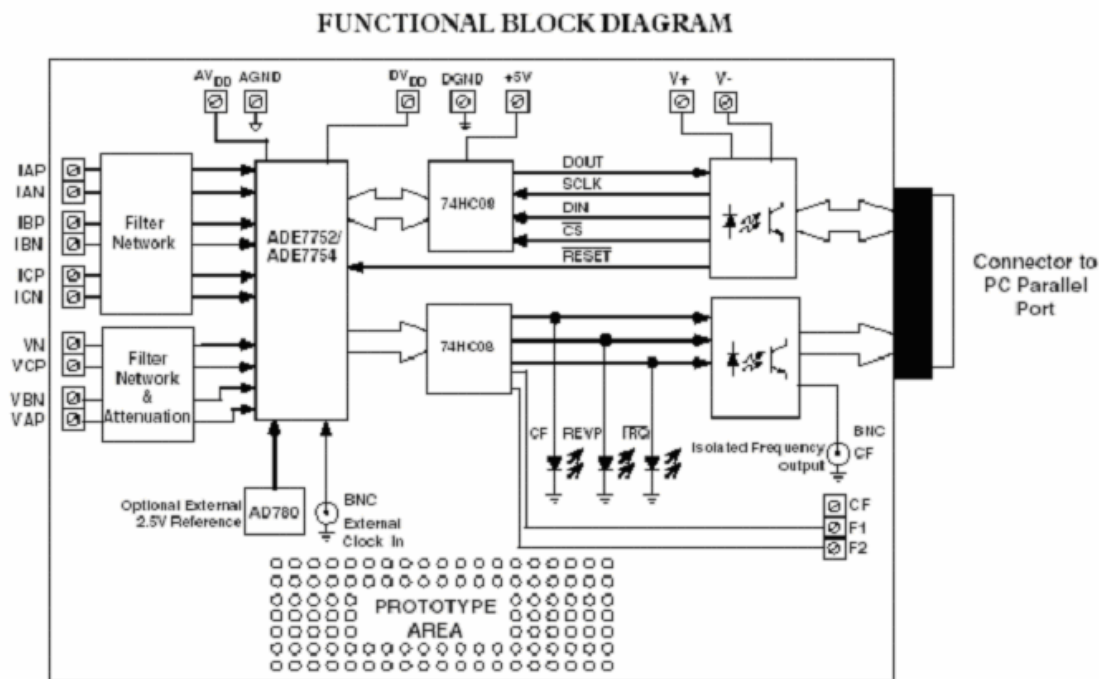
Rys. 1. Schemat funkcjonalny układu scalonego ADE7754 firmy Analog Devices [3].

Układ ADE7754 posiada sześć 16-bitowych przetworników analogowo-cyfrowych. Trzy z tych przetworników służą do przetwarzania i pomiaru wartości prądu, pobieranego w każdej fazie oddzielnie, natomiast trzy pozostałe do pomiaru wartości napięcia panującego w każdej fazie. Omawiany układ scalony jest skomplikowanym układem mikroprocesorowym, programowalnym przez użytkownika z zewnątrz poprzez interfejs szeregowy. Programowanie tego układu polega na wpisywaniu odpowiednich poleceń i wartości parametrów do odpowiednich rejestrów mikroprocesora oraz na dokonywaniu odczytu zmierzonych

i obliczonych wartości poszczególnych składników mocy. Wartości rzeczywiste zmierzonego prądu i napięcia w obrębie każdej fazy są mnożone, natomiast końcowa wartość mierzonego składnika mocy jest efektem sumowania wartości z trzech faz.

Układ ten może być stosowany zarówno w sieciach trójfazowych 3-żyłowych, jak i 4-żyłowych. Typowa wartość błędu pomiaru mocy czynnej wynosi 0.1%. Do każdego z wejść przetworników analogowo-cyfrowych należy doprowadzić sygnał mierzony o maksymalnej amplitudzie  $\pm 500$  mV, co oznacza konieczność stosowania dodatkowych wejściowych dzielników napięcia oraz przekładników prądowych. Minimalna wartość impedancji każdego z wejść pomiarowych wynosi 400 k $\Omega$ .

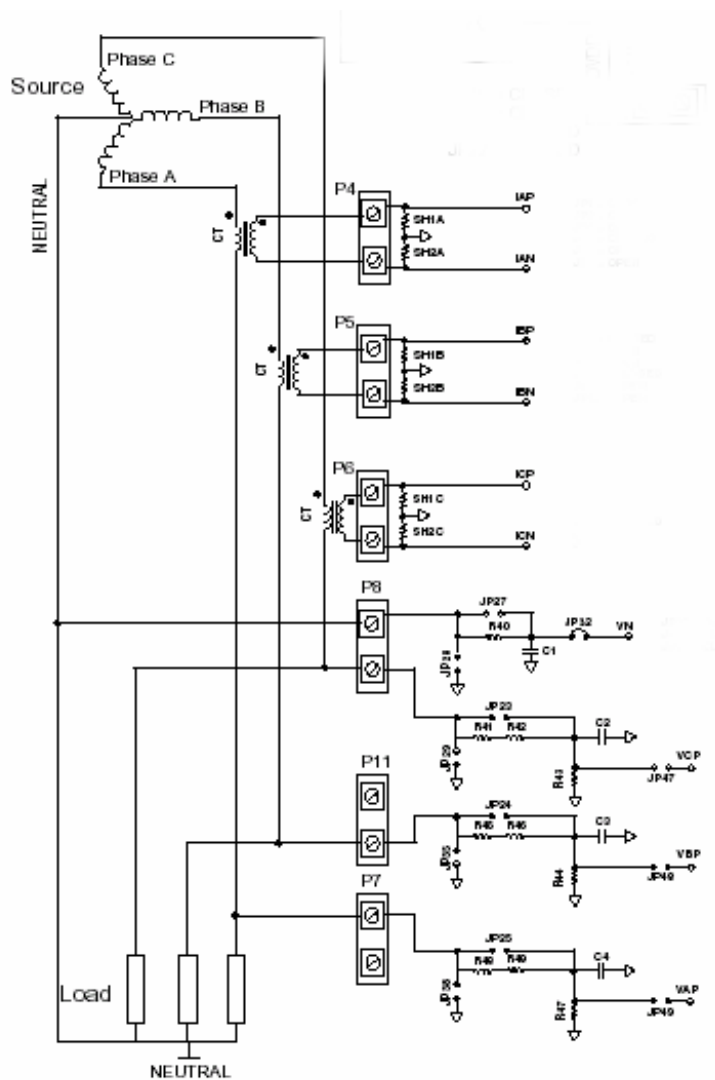
Opisany powyżej układ scalony ADE7754 można wykorzystać do budowy własnej konstrukcji mierników mocy i liczników pobieranej energii. Istnieje także możliwość wykorzystania tak zwanej płytki rozwojowej (ang. *evaluation board*) o symbolu EVAL-ADE7754 oferowanej przez firmę Analog Devices. Na rysunku 2 przedstawiono diagram funkcjonalny modułu EVAL-ADE7754.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny modułu rozwojowego EVAL-ADE7754 firmy Analog Devices [3].

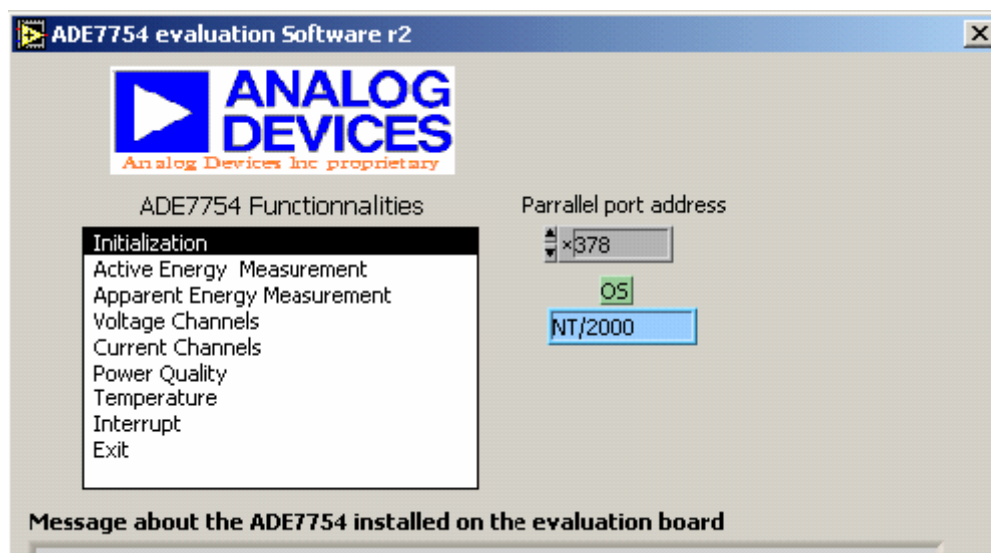
Na rysunku 3 pokazano przykładowy schemat podłączenia urządzenia trójfazowego do przyłączy wejściowych modułu rozwojowego.

Moduł ADE7754 posiada przyłącza dla wejść prądowych i napięciowych z sieci trójfazowej. Do poszczególnych przetworników analogowo-cyfrowych można dołączyć mierzone wielkości za pośrednictwem filtrów wejściowych. Programowanie układu scalonego ADE7754 oraz odczyt uzyskanych wyników pomiarów odbywa się za pomocą oprogramowania zainstalowanego w komputerze klasy IBM PC. Moduł rozwojowy posiada optoizolowane przyłącze, które za pomocą odpowiedniego przewodu jest dołączane do wejścia równoległego komputera. Moduł posiada także niewielki obszar z punktami lutowniczymi, na którym można we własnym zakresie montować dodatkowe dzielniki napięć, obwody filtrów wejściowych lub własne zewnętrzne źródło napięcia odniesienia.



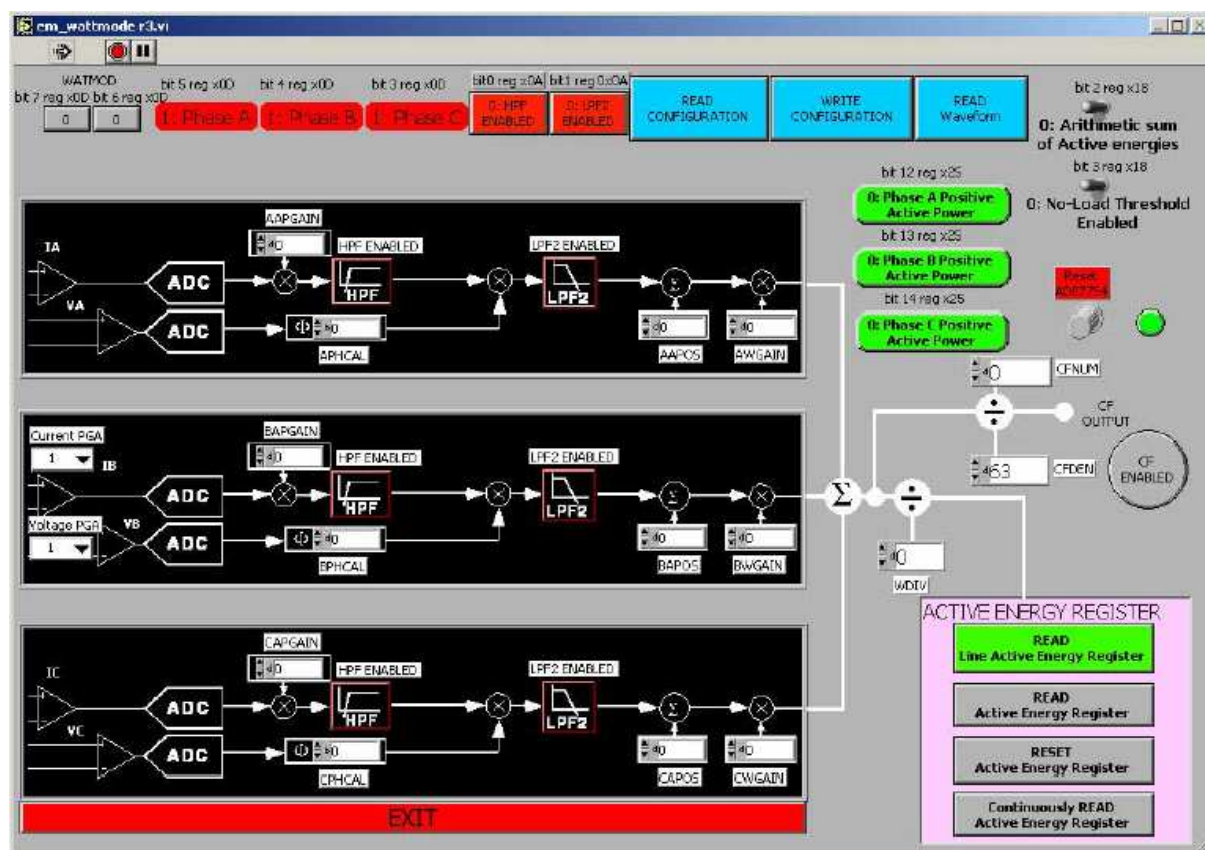
Rys.3 Przykładowy schemat podłączenia urządzenia trójfazowego do modułu rozwojowego EVAL-ADE7754 firmy Analog Devices [3].

Wraz z modułem rozwojowym EVAL-ADE7754 firma Analog Devices dostarcza program „ADE7754 evaluation Software” (rys. 4), który pozwala na wygodne ustawienie wszystkich niezbędnych wartości parametrów oraz odczyt mierzonych wielkości.



Rys. 4. Ekran startowy programu obsługi modułu rozwojowego EVAL-ADE7754 firmy Analog Devices [3].

Program ten wymaga zainstalowania dodatkowej biblioteki uruchomieniowej firmy National Instruments (*LabView run-time engine*), również dołączonej do oprogramowania dostarczonego z modułem. Na rysunku 5 pokazano przykładowy wydruk ekranu programu *ADE7754 evaluation Software* obsługi modułu rozwojowego.



Rys. 5. Przykładowy wydruk ekranu programu *ADE7754 evaluation Software* firmy Analog Devices [3].

## MONITORING PRACY URZĄDZENIA ODLEWNICZEGO NAPĘDZANEGO SILNIKIEM ASYNCHRONICZNYM

Przedstawiona powyżej skrócona charakterystyka układu scalonego ADE7754 oraz modułu rozwojowego EVAL-ADE7754 firmy Analog Devices potwierdzają możliwość ich zastosowania w budowie systemu monitorowania rzeczywistego poboru mocy pozornej, biernej i czynnej przez trójfazowy silnik asynchroniczny, napędzający badane urządzenie odlewnicze.

Pomiar poboru mocy może być szczególnie cenny w ocenie efektywności pracy badanego urządzenia odlewniczego (na przykład mieszarki do sporządzania mas formierskich) oraz do wszelkich analiz poprawności konstrukcji układów obrotowych tego urządzenia. W wielu maszynach odlewniczych diagnozowanie efektywności ich pracy, analiza awaryjności lub zużycia niektórych elementów układu obrotowego jest bardzo utrudniona. W tych maszynach odlewniczych, które są napędzane silnikami asynchronicznymi, poprzez ciągły pomiar pobieranej mocy (nie tylko czynnej lecz także pozornej i biernej indukcyjnej) istnieje możliwość precyzyjnego przeanalizowania poszczególnych etapów pracy badanej maszyny (rozruch, faza produkcyjna, hamowanie). Określenie zależności pomiędzy zmianą wartości niektórych parametrów regulacyjnych badanej maszyny i przez to wpływem tej zmiany na wartość pobieranej mocy, pozwala na uzyskanie informacji, które mogą się przyczynić do poprawy parametrów konstrukcyjnych maszyny lub układu sterowania jej pracą.

Pomiar rzeczywistych wartości składników pobieranej przez urządzenie mocy jest lepszym rozwiązaniem, niż pomiar na przykład wyłącznie prędkości obrotowej układu obrotowego maszyny odlewniczej, gdyż ta ostatnia może wynikać nie tylko z obciążenia mechanicznego tego układu, lecz także z wahań wartości parametrów sieci energetycznej.

### PODSUMOWANIE

Badanie efektywności pracy maszyny odlewniczej napędzanej silnikiem trójfazowym asynchronicznym można zrealizować za pomocą mierników poboru mocy pozornej, czynnej i biernej indukcyjnej w układach trójfazowych, wykorzystując do tego celu na przykład specjalizowany układ scalony ADE7754 lub moduł rozwojowy EVAL-ADE7754 firmy Analog Devices.

Pomiar pobieranej przez badane urządzenie mocy pozwala także na diagnozowanie ewentualnych nieprawidłowości funkcjonowania tego urządzenia.

W Katedrze Mechanizacji, Automatyzacji i Projektowania Odlewni na Wydziale Odlewnictwa AGH są prowadzone badania kilku typów mieszarek mas formierskich z zastosowaniem mikroprocesorowego systemu monitoringu poboru mocy, zaprojektowanego i wykonanego w oparciu o układ scalony ADE7754 firmy Analog Devices.

*Opracowano w ramach realizacji pracy nr 10.10.170.56.*

### LITERATURA

- [1] Koziej E., Sochoń B.: Elektrotechnika i elektronika. PWN, Warszawa 1986.
- [2] Plamitzer A.M.: Maszyny elektryczne. Wyd. 2, WNT, Warszawa, 1963.
- [3] [www.analog.com](http://www.analog.com)



## DECYZJE INWESTYCYJNE NA TLE STUDIÓW PROJEKTOWYCH

R. Wrona<sup>1</sup>

Wydział Odlewnictwa  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

### Wprowadzenie

W zmieniającym się otoczeniu rynkowym jednym z warunków sukcesu odlewni jest racjonalne podejmowanie efektywnych ekonomicznie decyzji w obszarze działań inwestycyjnych. Odlewnictwo jest tą gałęzią przemysłu, w którym szybkość obrotu kapitałów inwestycyjnych jest niewielka. Realizowane inwestycje są przeznaczone do działania przez wiele lat. W warunkach szybkiego postępu technicznego, zjawiska starzenia zagrażają im bardziej niż urządzeniom o krótszej spodziewanej długości życia. Chęć powiększenia potencjału odlewni i zajęcie poważniejszego miejsca na rynku prowadzi do inwestycji rozwojowych, natomiast zużywanie się i starzenie urządzeń wymaga inwestycji odtworzeniowych; jest to odnowienie, często określane pojęciem rekonstrukcja.

Wśród nowo wprowadzanych tematów z zakresu rekonstrukcji, w centrum uwagi pozostaje **orientacja strategiczna planowania biznesu** jako podstawa opracowania projektów inwestycyjnych. Planowanie, jako jedna z istotnych funkcji zarządzania uważane jest za **narzędzie sterowania procesami** zachodzącymi w systemach o złożonej strukturze. Do takich systemów zalicza się także odlewnie.

Dotychczas planowanie było, a także jest jeszcze **prognozowaniem**, a nie wyborem określonej strategii działania. W takim planowaniu wyraźnie dominują **zadania rzeczowe** nad stroną ekonomiczno-finansową. Planowanie tak realizowane ma charakter pasywny, a nie innowacyjny. Większość odlewni uznaje, że podstawą planowania jest **analiza zdolności produkcyjnej** często prowadzona w oderwaniu od otoczenia gospodarczego w jakim odlewnia działa.

Systemowa teoria wyraźnie podkreśla, że otoczenie systemu (odlewni) determinuje realizację celów i zadań planu. Stąd prawidłowe plany rozwoju strategicznego powinny być kontynuowane w dwóch kierunkach: działania zmierzające do poprawy bieżącej działalności i efektywności funkcjonowania odlewni, przygotowanie prognozy perspektywicznej. W obu tych kierunkach powinno dążyć się do udoskonalenia istniejącej bazy technicznej, organizacyjnej, do zmian technologicznych i rozszerzenia działań inwestycyjnych.

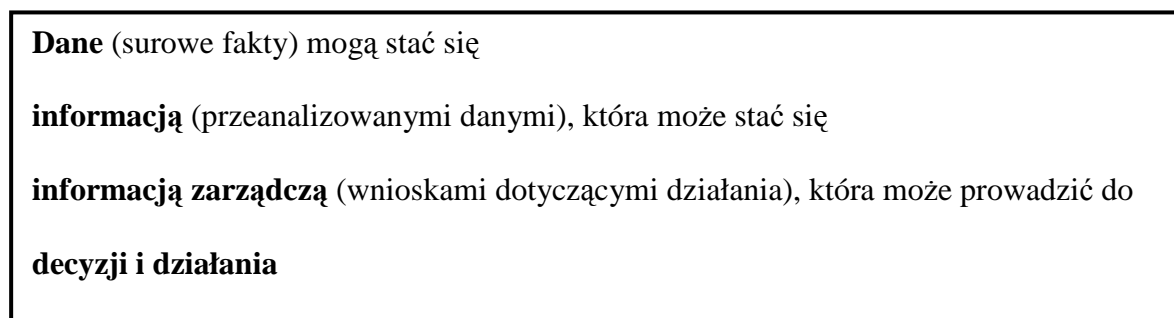
### Proces inwestycyjny i znacznie informacji w podejmowaniu decyzji

Decyzja inwestycyjna jest jedną z najbardziej krytycznych inicjatyw podejmowanych przez odlewnie, ponieważ inwestycje angażują zasoby finansowane na relatywnie długi okres czasu w warunkach ciągłych zmian. Z ekonomicznego punktu widzenia każda inwestycja, która gwarantuje osiągnięcie założonych celów w okresie jej życia ekonomicznego może być uważana za właściwą. Istotne jest zrozumienie, że podstawowym celem projektów inwestycyjnych nie jest maksymalizacja produkcji, minimalizacja kosztów czy też wydajność technologiczna lub maksymalizacja zysku. Kombinacja wszystkich elementów technicznych i ekonomicznych w jeden optymalny cel jest podstawą długookresowego planowania biznesu.

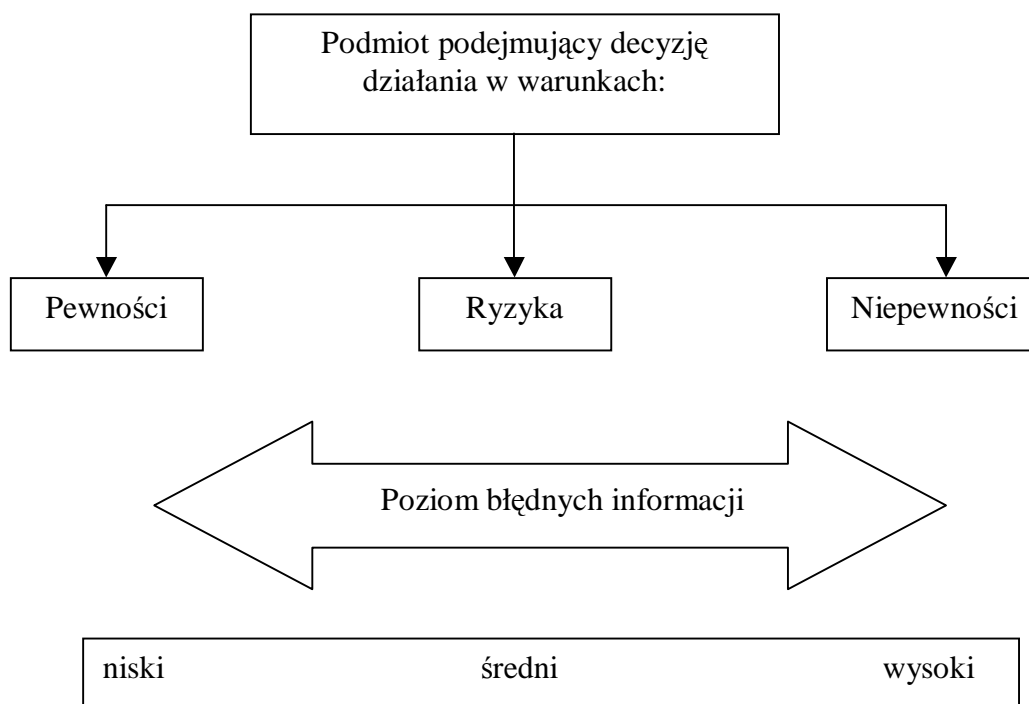
<sup>1</sup> Prof. dr hab. inż. rwrone@agh.edu.pl

Informacje uważa się za jeden z kluczowych czynników sukcesu i istotne źródło władzy. Rola informacji w decyzjach inwestycyjnych polega na redukcji niepewności, oszacowaniu wielkości ryzyka oraz ocenie szans i zagrożeń związanych z wprowadzeniem zmian w wyniku procesu inwestycyjnego. Odlewnie w zmieniającym się dynamicznie otoczeniu muszą posiadać aktualne, dokładne informacje, muszą posiadać pewną **infrastrukturę informacyjną** polegającą na określeniu kategorii informacji, źródeł i metod ich pozyskiwania tych informacji, a także zasad ich przetwarzania, przepływu i udostępniania.

Rolę informacji w podejmowaniu decyzji podaje rysunek 1.



Ważnym aspektem procesu podejmowania decyzji są warunki w jakich decyzje muszą być podejmowane. Klasyfikację warunków podaje rysunek 2.



Rys. 2. Warunki podejmowania decyzji

Podjęcie prawidłowej decyzji zależy najczęściej od następujących czynników: prawidłowego i precyzyjnego sformułowania problemu, dysponowanych zasobów informacji, jakości kanałów informacji.

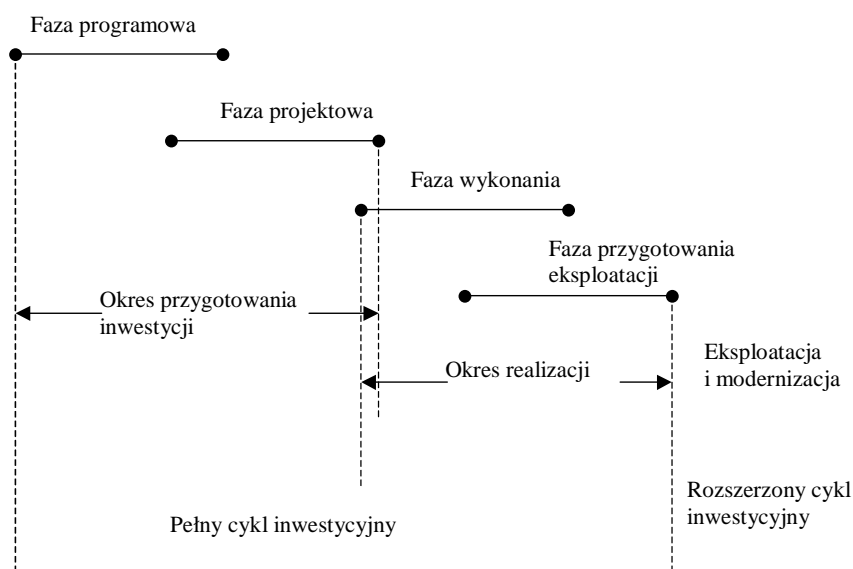
Funkcjonowanie wymienionych czynników zależy od **systemu informacyjnego** czyli struktury charakteryzującej relację pomiędzy nadawcą a odbiorcą. Coraz częściej w społeczeństwach rozwiniętych przyjmuje się, że systemy informacyjne obok ziemi, kapitału

i pracy są czwartym czynnikiem produkcji. System informacyjny powinien spełniać kilka wymagań, które można sprecyzować następująco:  
 dostosowany do potrzeb i obejmować wszystkie dziedziny działalności odlewni, wszystkie szczeble kierowania i poziomy decyzyjne,  
 dostarczyć informacji kompleksowych i aktualnych, aby odlewnie mogły reagować na zmianę warunków wewnętrznych i zewnętrznych,  
 zapewnić efektywne i selektywne wykorzystanie informacji,  
 umożliwić badanie silnych i słabych stron odlewni,  
 zapewnić wymianę informacji pomiędzy jednostkami organizacyjnymi odlewni.

### Zasady Przygotowania Studiów Projektowych

W świetle dynamicznych zmian techniczno-ekonomicznych, głównym warunkiem rozwoju procesów inwestycyjnych jest uporządkowanie procesu projektowego i decyzyjnego.

Projektowanie jako początkowa czynność każdej świadomej pracy powinno mieć na celu rozwiązywanie praktycznych zadań poprzez posługiwanie się metodami i według określonych procedur. Dotychczasowe formy ujmowania projektów w postaci założeń techniczno-ekonomicznych i projektu technicznego, które dotyczą przede wszystkim postaci w jakiej tworzona jest dokumentacja techniczna, są niewystarczające i nieefektywne. Pomimo, że proces projektowo-inwestycyjny był podzielony na fazy (rys. 3) to w efekcie końcowym **projekty** nie generowały nadwyżek pieniężnych. Z tego powodu w zakładach, także odlewniach występował niedostateczny poziom akumulacji finansowej.

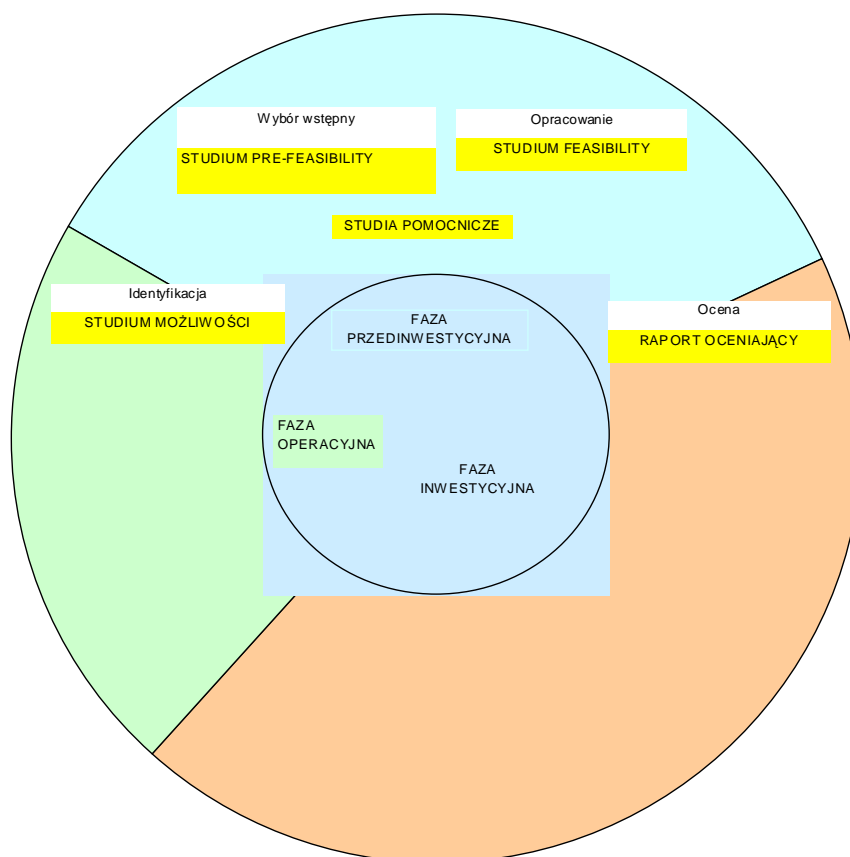


Rys. 3. Fazy w procesie projektowo-inwestycyjnym

Pod pojęciem projektu występował zbiór dokumentacji rysunkowej i opisowej na podstawie której „tworzono inwestycję”. Nowoczesne spojrzenie na projektowanie określa **Projekt** jako całokształt **orientacji strategicznej** na podstawie **zintegrowanej analizy finansowej i ekonomicznej**.

Wskazane jest aby orientacja strategiczna projektu budowana była na etapie **strategii planowania biznesu** w zakresie nowych inwestycji, rekonstrukcji, modernizacji, nowych technologii itp.

Rozwój **Projektu** bez względu na treść tematyczną jest ujmowany w postaci cyklu z podziałem na trzy fazy: przedinwestycyjną, inwestycyjną i operacyjną. Z kolei każda faza dzieli się na etapy (rys. 4)



Rys. 4. Etapowy rozwój Projektu

Spośród trzech faz rozwoju **Projektu** główny nacisk należy położyć na fazę przedinwestycyjną, ponieważ sukces lub porażka projektu inwestycyjnego zależy przede wszystkim od badań marketingowych, technicznych, finansowych i ekonomicznych.

W fazie tej poszczególne etapy mają następującą treść merytoryczną:

*studia możliwości* – uzyskanie informacji na temat nowych zidentyfikowanych potrzeb inwestycyjnych. Ze zbioru informacji gromadzonych w trakcie studium, powinno wynikać czy perspektywy inwestowania są na tyle atrakcyjne, aby przejść do następnego etapu przygotowania projektu. Często jest to etap gromadzenia środków finansowych.

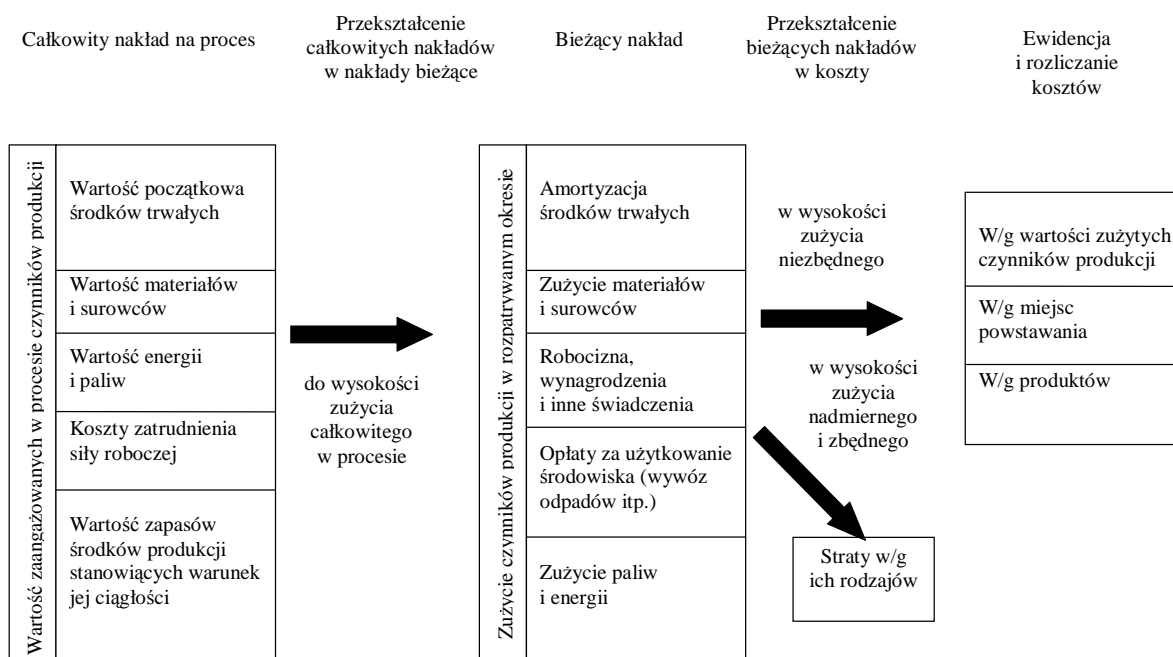
*Wstępne studia przedrealizacyjne* – studium pre-feasibility ma na celu ukazanie czy: zbadane zostały wszystkie warianty projektu, koncepcja projektu uzasadnia przeprowadzenie analizy w formie feasibility, na podstawie dostępnych informacji można uznać projekt albo za niemożliwy do realizacji albo za dość atrakcyjny.

*Studium ostateczne – feasibility* – zakres jest podobny do wstępnego o większym stopniu dokładności z uwzględnieniem ryzyka handlowego i finansowego przedsięwzięcia. W konsekwencji **Projekt** powinien uwzględnić możliwe strategie rynkowe, zdolności produkcyjne, lokalizację, istniejące zapotrzebowanie materiałowe, odpowiednią technologię, wyposażenie itp. Część finansowa studium powinna określać wielkość nakładów inwestycyjnych wraz z potrzebnym kapitałem obrotowym, koszt produkcji i sprzedaży i stopę zwrotu zainwestowanego kapitału.

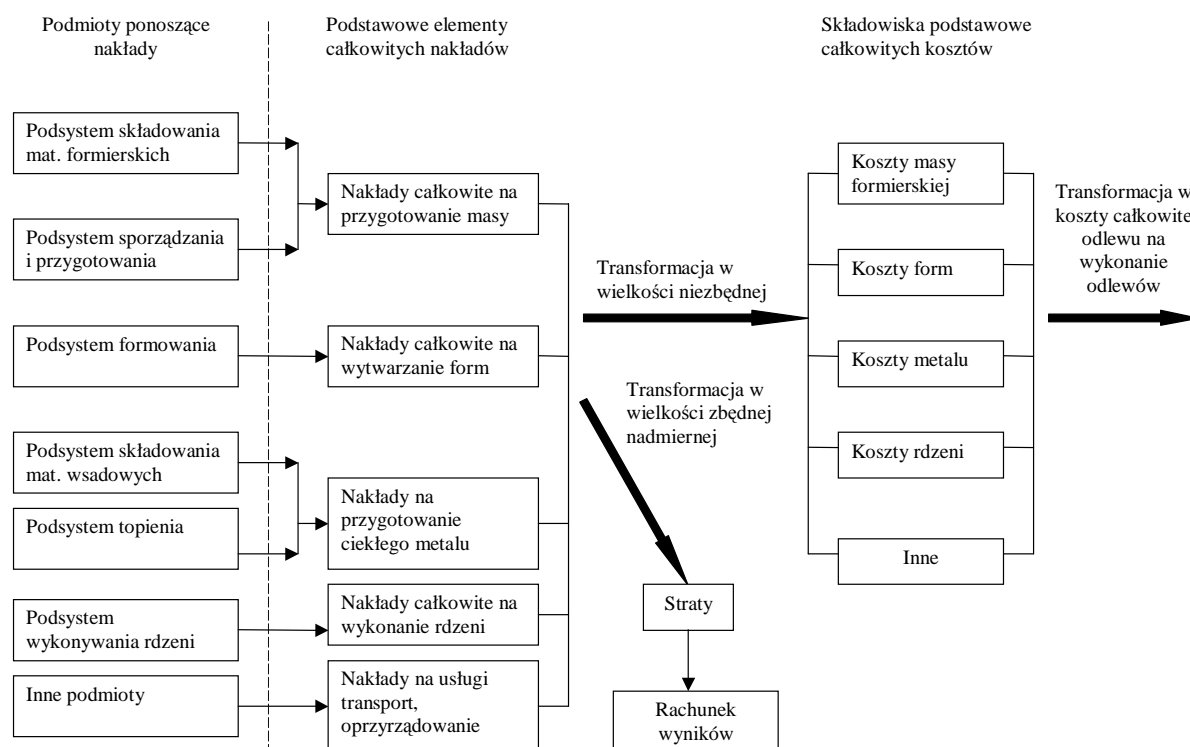
## System kosztów, a decyzje inwestycyjne

W tej ocenie zmierza się do określenia na ile obowiązujące zasady ewidencji i rozliczania kosztów zapewniają: ustalenie rzeczywistej wysokości poniesionych nakładów w poszczególnych etapach procesu inwestycyjnego, całkowitą i zgodną z przebiegiem transformację nakładów w ujęciu według faz procesu i jednostek organizacyjnych w koszty i straty, pozwalają na określenie rzeczywistego poziomu kosztów w przeliczeniu na jednostkę dobrych odlewów.

Procedurę przekształcania nakładów w koszty uważanych za miernik poniesionych kosztów podano na rysunku 5, natomiast powiązania pomiędzy podstawowymi składnikami tworzącymi strukturę kosztów podaje rysunek 6.



Rys.5. Procedura przekształcania nakładów w koszty jako miernik poniesionych nakładów. (opracowanie własne na podstawie [4]).



Rys. 6. Powiązania pomiędzy podstawowymi składnikami tworzącymi strukturę kosztów w powiązaniu z nakładami

Ostatnim etapem w fazie przedinwestycyjnej jest ocena w której szczególną uwagę przywiązuje się do efektów. Rozliczenie nakładów i efektów podaje rysunek 7.

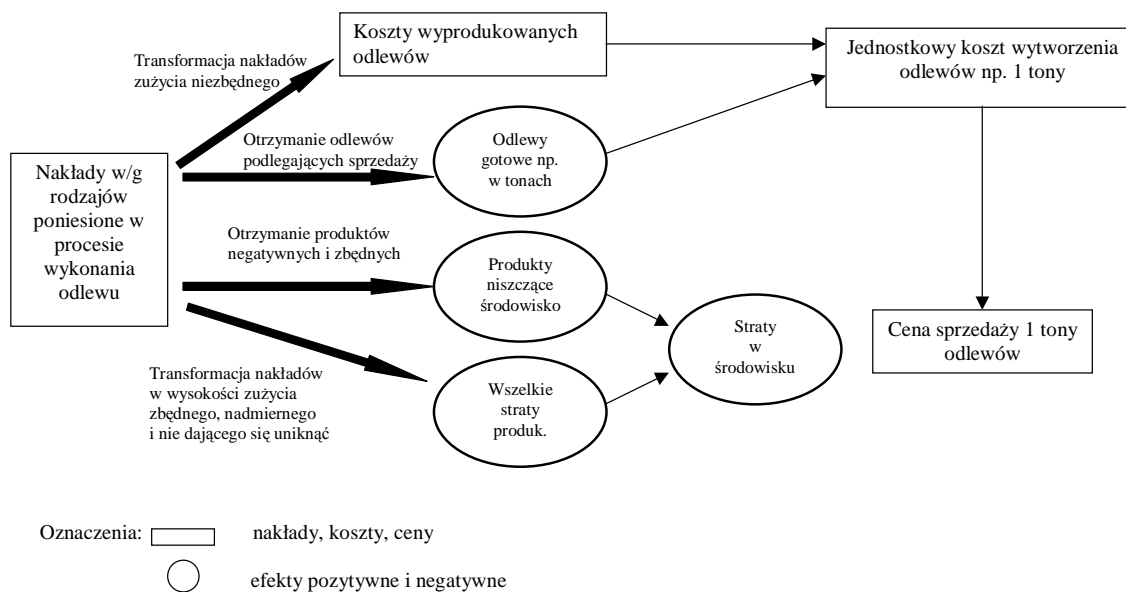
Z przytoczonych rozważań można określić następujące wnioski:

każdy koszt nie powinien być wiązany z kategorią nakładów,

żaden koszt nie powinien zawierać w swoim składzie strat lub korzyści nie związanych z nakładami,

straty nie zredukowane poniesionymi nakładami obciążają nie rachunek kosztów, lecz rachunek wyników,

koszt jest pojęciem węższym niż nakład. Oznacza to, że nie każde zużycie nakładu stanowi zużycie niezbędne. Zużycie nadmierne oraz nie przynoszące założonego efektu stanowi stratę, koszty powstają w procesie transformacji niezbędnych nakładów wydatkowanych na zużyte czynniki produkcji.



Rys. 7. Rozliczenie nakładów i efektów (opracowanie własne na podstawie [4])

## Literatura

- Stoner J. A. F., Wankel C.: „Kierowanie”. PWN, W-wa 1992  
 Sern J. A.: „Information Systems in Management“ Wadsworthca 1990  
 Griffin R. W.: „Podstawy zarządzania organizacjami“. PWN, W-wa 1996  
 Książyk M.: „Systemy kosztów, metodyka ustalania kosztów”. Kraków 1994  
 Behrens W.: „Przewodnik przygotowania przemysłowych studiów feasibility”. United Nations Industrial Development Organization, W-wa 1993

## CHARAKTERYSTYKA METOD POMIARU TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI MAS FORMIERSKICH

E. ZIÓŁKOWSKI<sup>1</sup>  
A. FEDORYSZYN<sup>2</sup>

Wydział Odlewnictwa  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

### Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono klasyfikację metod pomiaru wilgotności. Omówiono wybrane charakterystyki czujników przeznaczonych do pomiaru temperatury i wilgotności masy formierskiej oraz powietrza. Stosowane są one w systemach pomiaru i automatycznej regulacji procesu sporządzania (odświeżania) oraz chłodzenia masy.

### Wprowadzenie

W liniach przerobu, stacjach sporządzania i odświeżania masy są stosowane systemy automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności. Realizowane są przy tym różne zasady pomiaru przede wszystkim takich parametrów jak temperatura i wilgotność, zarówno masy jak i powietrza.

Wilgotność masy formierskiej może być wyznaczana w oparciu o pomiary pośrednie: stratności dielektrycznej lub przenikalności dielektrycznej, przewodności właściwej, gęstości pozornej, zagęszczalności, formowalności itd. [1].

Podobnie wilgotność i temperaturę powietrza, zarówno odciąganego jak i podawanego do komory roboczej chłodziarki, wyznacza się również metodami pośrednimi drogą wyznaczania właściwości elektrycznych, a obecnie w oparciu o wskazania czujników cyfrowych.

Urządzenia P.P.P. TECHNICAL, takie jak mieszarki wirnikowe typu MTI oraz chłodziarki wibrofluidyzacyjne CWFM są wyposażane w nowoczesne systemy pomiaru i regulacji oparte o firmowe rozwiązania, własne jak i adoptowane, w tej liczbie rozwiązania SPACE - PGF [2] oraz FOUNDRY CONTROL - FSE 19  $\mu$ C i FS-CC6-PLC [3]

### Klasyfikacja metod pomiaru wilgotności mas formierskich

Na rysunku 1 przedstawiono klasyfikację metod bezpośrednich pomiaru wilgotności mas formierskich. Rysunek 2 zawiera klasyfikację metod pośrednich pomiaru wilgotności mas formierskich.

Metody bezpośrednie są to takie metody, w których jest w sposób bezpośredni mierzona ilość wody w badanym materiale sypkim. Metody pośrednie opierają się na pomiarze pewnej wielkości (na przykład przewodności elektrycznej lub pojemności) i dopiero na podstawie określonych zależności funkcyjnych jest wyznaczana wilgotność badanego materiału sypkiego.

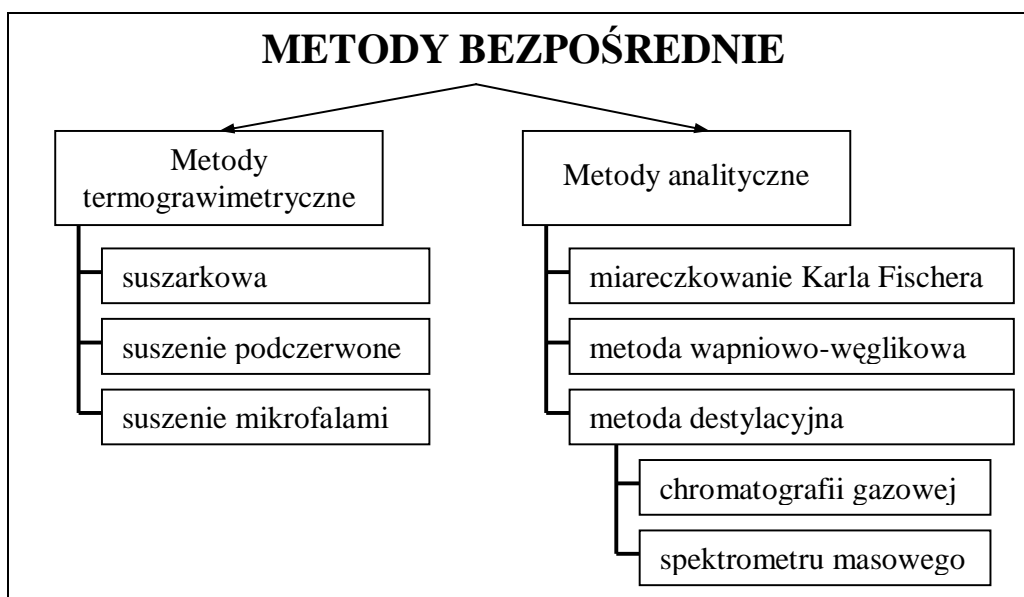
Metody pośrednie pomiaru wilgotności nie nadają się do zastosowań w zautomatyzowanych systemach pomiarowych. Wynika to z faktu, iż zarówno metody termogravimetryczne, jak i metody analityczne wymagają pobrania próbek materiału i wykonania czynności na stanowisku laboratoryjnym zwykle odległym od mieszarki, w której znajduje się sporządzana i badana masa formierska.

<sup>1</sup> dr inż., ez@agh.edu.pl

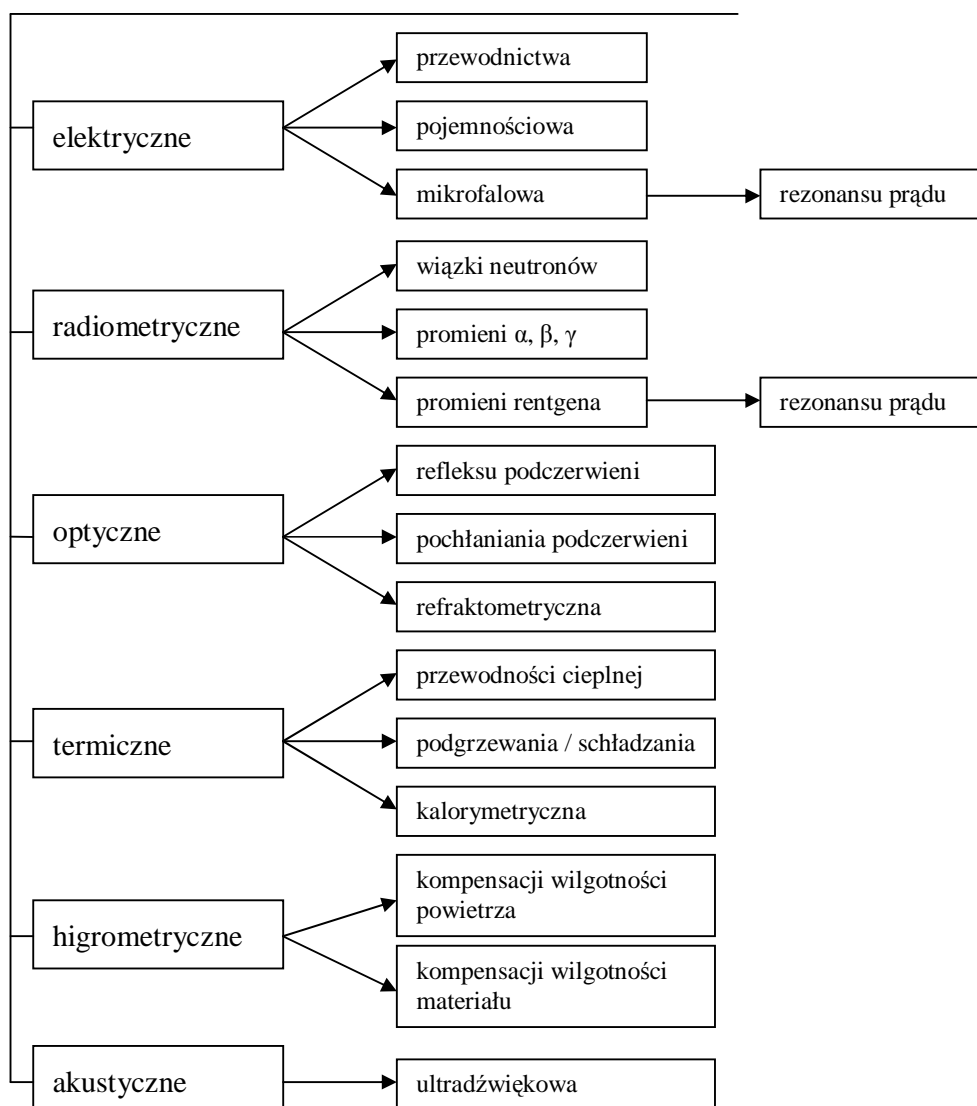
<sup>2</sup> dr hab. inż. prof. nadzw. AGH, alfa@agh.edu.pl



W systemach zautomatyzowanego pomiaru wilgotności masy formierskiej są stosowane w zasadzie tylko wybrane metody z grupy metod elektrycznych i metod akustycznych.



Rys. 1. Klasyfikacja bezpośrednich metod pomiaru wilgotności mas formierskich [4].

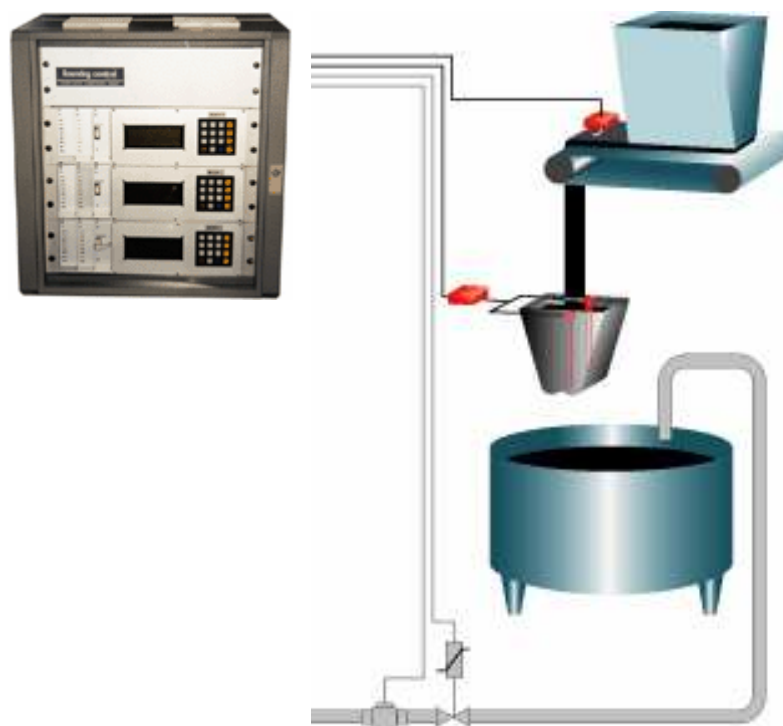
**METODY POŚREDNIE POMIARU WILGOTNOŚCI**

Rys. 2. Klasyfikacja metod pośrednich pomiaru wilgotności mas formierskich [4].

**Przykłady systemów pomiaru wilgotności mas formierskich**

Systemy automatycznego wyznaczania wilgotności mas formierskich oferują między innymi firmy FOUNDRY CONTROL [3,8] oraz Michenfelder Elektrotechnik [6].

Rozwiązanie firmy FOUNDRY CONTROL bazuje na metodzie opracowanej przez firmę LIPPKE. W tym systemie oznaczonym symbolem *FSE-19 mikro* pomiar wilgotności odbywa się za pomocą metody wyznaczania stałej dielektrycznej, czyli metodą pojemnościową. Jak podaje firma FOUNDRY CONTROL uzyskuje się dokładność pomiaru rzędu  $\pm 0.1 \div 0.2$  % H<sub>2</sub>O.



Rys. 3. Ogólny schemat oferowanego przez firmę *FOUNDRY CONTROL* systemu ciągłego pomiaru wilgotności mas formierskich [8]

System ten można stosować równolegle dla kilku równocześnie pracujących mieszarek. Oprócz pomiaru wilgotności, układ mikroprocesorowy wyznacza niezbędną ilość wody, którą automatycznie dozuje się do komory mieszarki.

Firma Michenfelder Elektrotechnik oferuje system oznaczony symbolem *MICOMP UNI type G-CH*, który może być stosowany w ciągach technologicznych wykorzystujących dowolne mieszarki odlewnicze okresowego lub ciągłego działania [6]. W tym systemie pomiar wilgotności masy formierskiej jest realizowany albo czujnikami mierzącymi przewodność (czujniki typu HF-A zasilane sygnałem wysokiej częstotliwości) albo za pomocą czujników mikrofalowych typu MW-FS 430-1. Czujniki te mogą być montowane w podstawie lub na ściankach komory zawierającej badaną masę formierską. Oferowane są także wersje stykowe tych czujników.

System *MICOMP UNI type G-CH* (rys. 4) posiada komputer z mikroprocesorem X86, pracującym w systemie operacyjnym DOS, czytelny w trudnych warunkach przemysłowych wyświetlacz graficzny, kilka wyjść szeregowych do podłączenia systemu na przykład do zewnętrznego komputera, 8 wejść pomiarowych analogowych, 28 wejść/wyjść cyfrowych oraz 1 wyjście analogowe. Do jednostki centralnej można także podłączyć drukarkę. System oprócz realizacji pomiarów dokonuje także obliczenia ilości wody, którą należy dozować do mieszarki w celu zmiany aktualnej wartości wilgotności masy formierskiej na żadaną.



Rys. 4. Widok płyty czołowej jednostki centralnej systemu *MICOMP UNI type G-CH* firmy Michenfelder Elektrotechnik [6]

## Pomiar temperatury masy formierskiej

Pomiar temperatury masy formierskiej jest ułatwiony, w porównaniu do pomiarów wilgotności, gdyż można go dokonać metodą bezpośrednią, stosując odpowiednio dobrany czujnik. Z uwagi na fakt stosunkowo niewielkiego zakresu wartości mierzonych temperatur (zwykle do maksymalnie 120 °C), obecnie coraz częściej stosuje się czujniki elektroniczne półprzewodnikowe. Są to czujniki wykonane w postaci specjalizowanego układu scalonego (w technologii krzemowej), które przetwarzają wartość mierzonej temperatury na odpowiednią wartość napięcia lub prądu wyjściowego (czujniki analogowe), albo generującego wynik w postaci cyfrowej (czujniki cyfrowe). Układy scalone takich czujników są oferowane albo w tradycyjnych obudowach układów przeznaczonych do montażu przewlekane, albo w technologii SMD. Gabaryty tych układów są na tyle małe, iż bez problemu można wykonać we własnym zakresie sondy pomiarowe w wersjach styku punktowego lub powierzchniowego.

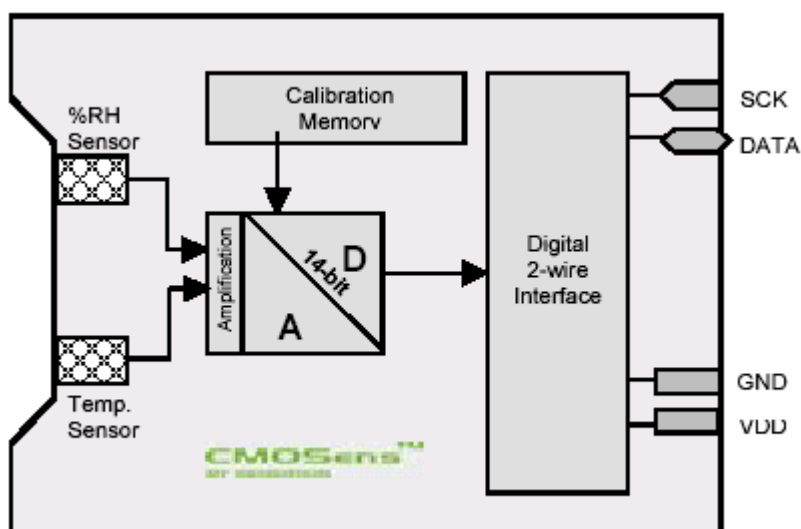
Scalone czujniki temperatury pozwalają na realizację pomiarów z dokładnością do 0.1 C. Istotną zaletą takich czujników (przede wszystkim cyfrowych) jest to, iż nie wymagają one okresowej kalibracji, gdyż są fabrycznie odpowiednio skalibrowane i skompensowane. Dodatkowo fakt, iż generują one wynik w postaci cyfrowej a nie analogowej pozwala uniknąć przekłamań wyniku na drodze przesyłania informacji. Niezależnie od długości i parametrów przewodu łączącego czujnik z układem odbioru informacji (systemem mikroprocesorowym) uzyskany wynik pomiaru będzie taki prawidłowy.

Typowym przykładem scalonego czujnika cyfrowego, przeznaczonego do realizacji pomiaru temperatury jest układ DS1820 firmy Dallas Semiconductor [5]. Układ ten jest oferowany w kilku wersjach wykonania (dodatkowe oznaczenia). Zakres mierzonych temperatur wynosi –55÷125 °C. Układ posiada wewnętrzny 9-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy, zapewniający finalną dokładność pomiaru rzędu 0.1 °C. Maksymalny czas konwersji wynosi 750 ms. Układ wyposażono w szeregowy interfejs 1-Wire<sup>®</sup>, który pozwala na równoległe dołączenie na dwużyłowym przewodzie nawet kilkudziesięciu czujników. Układ DS1820 jest wewnętrznie skompensowany i generuje wynik bezpośrednio w stopniach Celsjusza. Szybę danych tego układu scalonego dołączyć należy do odpowiednio wybranego wejścia cyfrowego mikroprocesora odpowiedzialnego za przetwarzanie, wyświetlanie i gromadzenie wyników pomiaru.

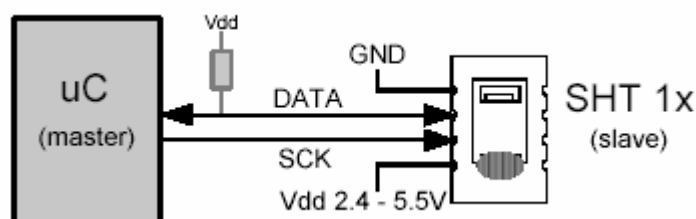
Wykonane (z wykorzystaniem na przykład wyżej opisanych układów DS1820) sondy pomiarowe można umieścić w wejściowym układzie transportu składników do mieszarki, wewnątrz mieszarki, oraz na taśmie odbierającej sporządzoną masę formierską.

## Czujniki do jednoczesnego pomiaru temperatury i wilgotności powietrza w komorach roboczych urządzeń

Pomiar temperatury i wilgotności powietrza wewnątrz komór chłodziarek, homogenizatorów i mieszarek odlewniczych można przeprowadzać między innymi z wykorzystaniem specjalizowanych cyfrowych układów scalonych, które dokonują jednocześnie pomiaru obu wielkości. Przykładami takich czujników mogą być układy firmy SENSIRION typu SHT11, SHT15, SHT71 lub SHT75 [7]. Czujniki te są skomplikowanymi układami scalonymi (rys. 5) dokonującymi pomiaru temperatury powietrza w zakresie –40÷123 °C z rozdzielczością 0.01 C i powtarzalnością wyników wynoszącą 0.1 °C. Pomiar wilgotności jest realizowany w zakresie 0÷100% RH. Bardzo dobrą liniowość i powtarzalność wyniku uzyskuje się w zakresie 10÷90% RH. Wymienione wyżej czujniki charakteryzują się stosunkowo krótkim czasem konwersji, który dla pomiaru temperatury wynosi 5÷30 s, natomiast dla pomiaru wilgotności typowo 4 s. Czujniki te posiadają wbudowany interfejs transmisji zgodny ze standardem I<sup>2</sup>C. Uproszczony schemat połączenia z systemem mikroprocesorowym pokazano na rysunku 6.



Rys. 5. Schemat budowy wewnętrznej scalonych czujników typu SHT1x/SHT7x firmy Sensirion [7]



Rys. 6. Uproszczony schemat podłączenia czujnika do systemu mikroprocesorowego [7]

Standard I<sup>2</sup>C umożliwia podłączenie dużej liczby czujników do jednej dwużyłowej instalacji, jednocześnie zapewniając przesłanie do mikroprocesora niezniekształconych wyników pomiaru z każdego czujnika. Ma to szczególnie istotne znaczenie w przypadku precyzyjnego pomiaru temperatury masy formierskiej znajdującej się w różnych miejscach ciągu technologicznego.

## Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym artykule wybrane rozwiązania pomiaru wilgotności stanowią aktualną ofertę niemieckich firm FOUNDRY CONTROL i Michenfelder Elektrotechnik.

Z analizy proponowanych rozwiązań wynika, że ciągły i zautomatyzowany pomiar wilgotności masy formierskiej jest najczęściej realizowany za pomocą pośrednich metod elektrycznych, szczególnie metody pojemnościowej i metody z wykorzystaniem mikrofal. Nadal trudnym do ostatecznego rozwiązania jest problem powtarzalności uzyskiwanych wyników. Oddzielnym zagadnieniem pozostaje problem kalibracji systemu pomiarowego i uniezależnienie wyników pomiaru od niektórych czynników zakłócających, występujących w procesie sporządzania mas formierskich. Obie wyżej wymienione firmy oferują swoje systemy nie tylko dla przemysłu odlewniczego, ale także dla innych gałęzi przemysłu, na przykład w zakładach produkcji betonu, materiałów ceramicznych, zakładach produkujących mieszanki różnych materiałów sypkich.

Znacznie łatwiej jest zrealizować, także we własnym zakresie pomiar temperatury masy formierskiej, czy temperatury i wilgotności powietrza w komorach mieszarek, chłodziarek i homogenizatorów odlewniczych. Postęp w produkcji specjalizowanych cyfrowych czujników temperatury oraz kombinowanych czujników cyfrowych do jednoczesnego pomiaru temperatury i wilgotności powietrza jest tak znaczący, iż w chwili obecnej wykonanie mikroprocesorowego

systemu pomiarowego, charakteryzującego się dużą dokładnością i powtarzalnością uzyskanych wyników pomiaru jest łatwe i stosunkowo tanie. Zastosowanie czujników w wersji cyfrowej umożliwia uzyskanie dokładnych wyników, niezależnie od długości przewodów łączących te czujniki z układami mikroprocesorowymi. Ważną zaletą jest możliwość dołączania równoległego (w instalacji dwuprzewodowej) niemal dowolnej liczby czujników.

*Opracowano w ramach realizacji pracy nr ROW-143-2002 Zespołu FSNT-NOT*

## LITERATURA

- [1] Samsonowicz Z.: Automatykacja Procesów Odlewniczych. WNT. Warszawa, 1985
- [2] Ciamaga E.: Nowoczesne stacje przerobu mas formierskich. Materiały Konferencji „Tendencje Rozwojowe w Mechanizacji Procesów Odlewniczych”. AGH. Kraków, 1994, s. 105÷110.
- [3] Boschmann P.: Regulacja wilgotności masy formierskiej w mieszarce turbinowej. Materiał Konferencji „Nowoczesne Techniki Przygotowania Mas Formierskich”. P.P.P. TECHNICAL. Nowa Sól, 1999, s. 73÷78
- [4] Vorstellung Geeigneter Methoden für die Formsansung. Giesserei- Erfahrungsaustausch, 08/2002.
- [5] <http://www.dalsemi.com>
- [6] <http://www.michenfelder.com>
- [7] <http://www.sensirion.com>
- [8] [http://www.sensor-control.de/e\\_foundry/formsand/formsa.htm](http://www.sensor-control.de/e_foundry/formsand/formsa.htm)

## OCENA STANU FORM WILGOTNYCH I SUSZONYCH METODĄ ULTRADŹWIĘKOWĄ

J. Zych<sup>1</sup>

Wydział Odlewnictwa  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

### 1. Wprowadzenie

Stan formy odlewniczej przygotowanej do zalewania to zespół cech, opisujących jej: wytrzymałość, odporność na działanie ciekłego metalu, zdolność do odprowadzenia gazów, odprowadzenia ciepła, sprężystość itp. Wszystkie te cechy zależą od: rodzaju masy formierskiej (jej składu chemicznego i sposobu przygotowania) i stopnia jej zagęszczenia. Niekiedy stan form ulega istotnym zmianom w wyniku dodatkowych zabiegów technologicznych, do których można zaliczyć suszenie. Stopień zagęszczenia masy w formie można prognozować jedynie z dużym przybliżeniem w oparciu o jej właściwości technologiczne wyznaczone w znormalizowany sposób. Zależy on od rodzaju masy, jej zagęszczalności, techniki formowania, kształtu i rozłożenia modeli na płycie modelowej itp. Rozkład zagęszczenia w formie określa się poprzez pomiar jej gęstości lub pomiar twardości formy. Klasyczny i równocześnie pracochłonny pomiar gęstości polega na pobieraniu i ważeniu próbek masy z formy. Daje on stosunkowo duże rozrzuty wyników. Innym sposobem oceny stopnia zagęszczenia jest pomiar twardości na powierzchni formy. Jest to jednak ocena przybliżona, która zawiera jedynie informacje o zagęszczeniu masy w warstwach przypowierzchniowych formy.

Jako rozszerzenie metod pomiaru gęstości masy proponuje się zastosowanie do tego celu techniki ultradźwiękowej [1÷4]. Z badań przeprowadzonych na wielu rodzajach mas wilgotnych wynika, że prędkość fali ultradźwiękowej jest proporcjonalna do gęstości pozornej masy; przy zagęszczeniu powyżej 1,25 g/cm<sup>3</sup> istnieje liniowa zależność. Im wyższa gęstość tym większa prędkość [1÷4]. Podobną zależność obserwuje się również w masach utwardzanych chemicznie.

Znając rozkład gęstości masy w formie można, w stopniu wystarczającym dla celów technologicznych, opisywać jej stan i podejmować działania technologiczne ograniczające możliwość powstawania szeregu wad, takich jak: chropowatość powierzchni, rzadziny i porowatość, pęcherze czy zabielenia w przypadku odlewów żeliwnych.

### 2. Badania własne

Badania własne składają się z dwóch obszarów, laboratoryjnego i przemysłowego. Celem ich było określenie empirycznych zależności oraz weryfikacja przydatności opracowanej metody do badań w warunkach przemysłowych.

#### 2.1. Badania mas w warunkach laboratoryjnych

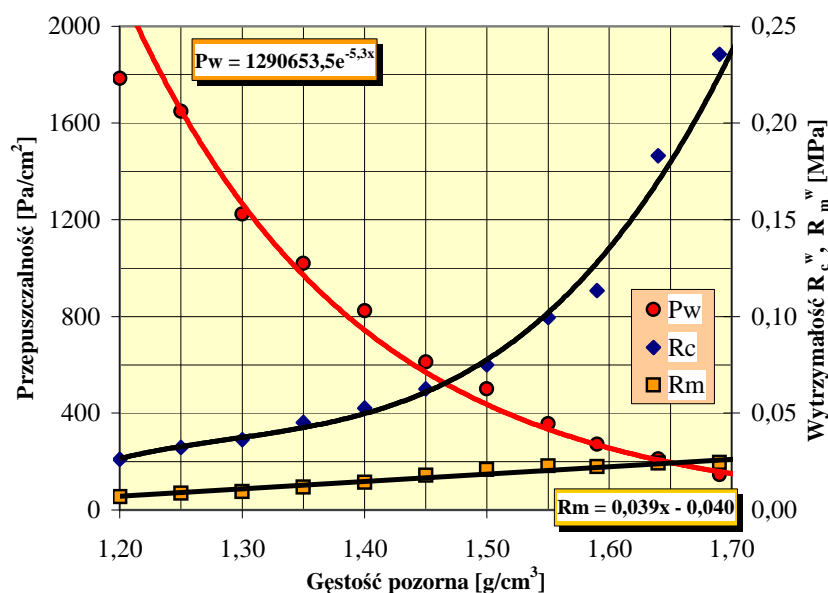
##### Masa wilgotna

Badania prowadzone w warunkach laboratoryjnych miały na celu wyznaczenie zależności istniejących pomiędzy gęstością pozorną masy i prędkością fali ultradźwiękowej oraz gęstością a właściwościami technologicznymi, w tym głównie zależności:  $R_c^w=f(\rho_o)$ ;  $R_m^w=f(\rho_o)$ ;  $P^w=f(\rho_o)$ ;

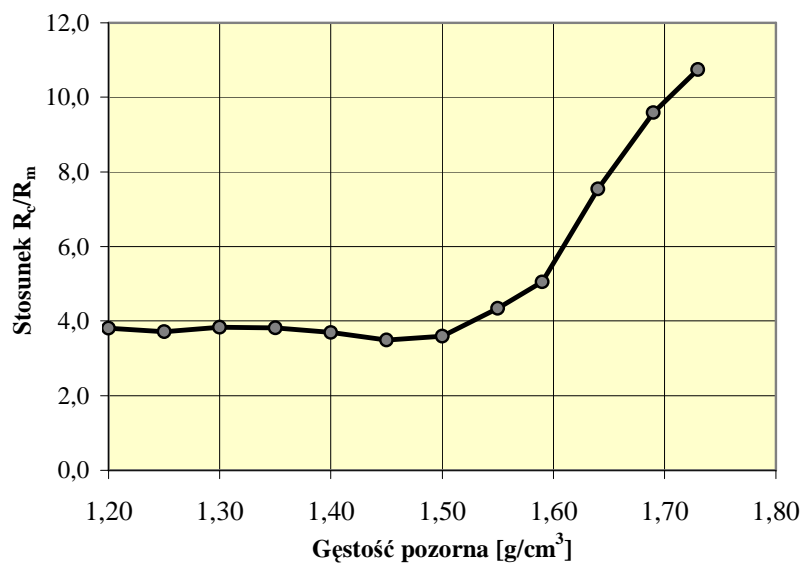
---

<sup>1</sup> Dr inż. [jzych@agh.edu.pl](mailto:jzych@agh.edu.pl)

$R_c^s=f(\rho_o)$ . Badania dotyczyły masy nowo sporządzonej, nie używanej w procesie technologicznym. Masa oparta na osnowie kwarcowej Szczakowa zawierała poszczególne składniki w proporcji: osnowa kwarcowa 1000g, bentonit Specjal 8%, pył węglowy 5%, woda około 4%. Wyznaczone zależności przedstawiono na kolejnych rysunkach 1÷3. Zwiększenie zagęszczenia prowadzi do zmian właściwości technologicznych masy w powszechnie znanym kierunku. Każdą z zależności można opisać empiryczną zależnością, z której w dalszej kolejności można korzystać przy obliczaniu wartości danej właściwości np.  $P^w$  w oparciu o zmierzoną gęstość pozorną. Z przeprowadzonych badań wynikają interesujące charakterystyki zależności  $R_c^w=f(\rho_o)$  oraz  $R_m^w=f(\rho_o)$ ; pierwsza jest funkcją expotencjalną, druga liniową.



Rys. 1 Wpływ gęstości pozornej masy ( $\rho_o$ ) na: przepuszczalność, wytrzymałość na ściskanie  $R_c^w$  i wytrzymałość na rozciąganie  $R_m^w$

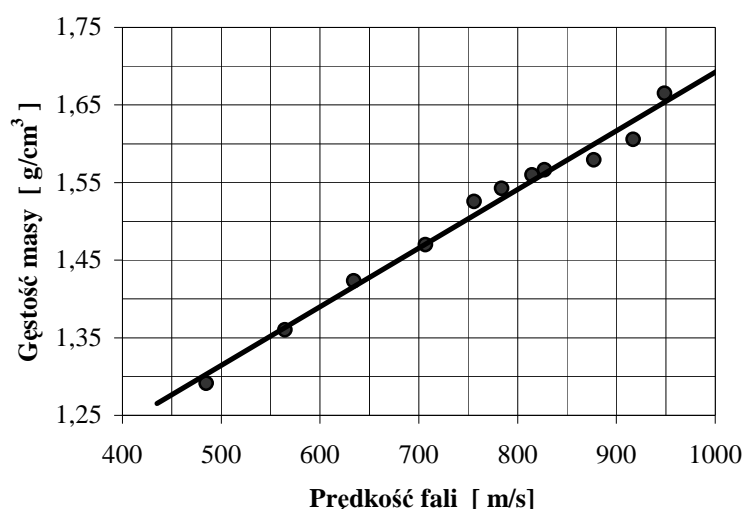


Rys. 2 Wpływ gęstości pozornej masy ( $\rho_o$ ) na stosunek: wytrzymałości na ściskanie  $R_c^w$  do wytrzymałości na rozciąganie  $R_m^w$  masy bentonitowej



Zagęszczanie masy powyżej gęstości nasypowej suchej osnowy ( $\rho_{\text{osnowy}}=1,55\text{g/cm}^3$ ) prowadzi do dużych przyrostów wytrzymałości na ściskanie masy i niewielkich przyrostów wytrzymałości na rozciąganie. Konsekwencją tego jest istotna zmiana (zwiększenie) stosunku wytrzymałości na ściskanie do wytrzymałości na rozciąganie (rys.2). Oznacza to, że stan formy przy silnym zagęszczaniu ulega istotnej zmianie, a dodatkowe zagęszczanie masy nie jest kierunkiem działań, jaki należy podejmować przy próbie ograniczania takich zjawisk jak np. obrywanie wystających elementów formy (tzw. garbów) podczas oddzielania zespołu modelowego od formy. Natomiast dogęszczanie jest właściwym kierunkiem działań, jeśli dąży się do ograniczenia zjawiska rozpychania formy na skutek działania ciśnienia pochodzącego od ciekłego i krzepnącego metalu.

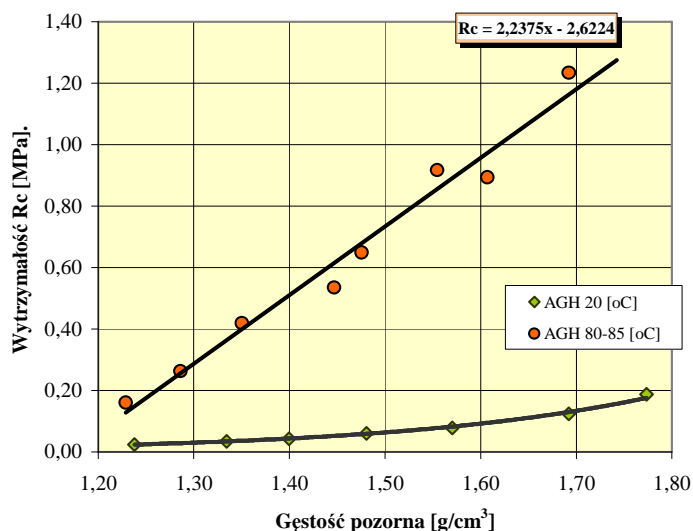
Wyznaczanie gęstości pozornej oparte na pomiarach ultradźwiękowych wykorzystuje zależność  $\rho_o = f(v)$ , którą dla opisywanej masy przedstawiono na rysunku 3.



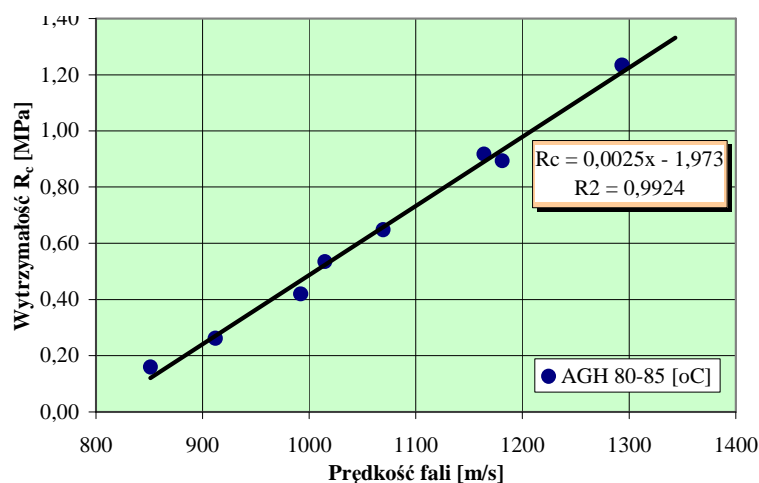
Rys. 3. Zależność pomiędzy prędkością fali ultradźwiękowej i gęstością pozorną wilgotnej masy bentonitowej na osnowie Szczakowa

### Masa po wysuszeniu

Suszenie masy w warunkach przemysłowych prowadzone jest dla zwiększenia jej doraźnej wytrzymałości i stosowane jest przy wykonywaniu dużych odlewów. Chodzi tu głównie o zwiększenie wytrzymałości na ściskanie. Również i w tym przypadku wytrzymałość  $R_c^s$  będzie zależeć od stopnia zagęszczenia, a więc gęstości pozornej. Dla opisanej masy wyznaczono zależność  $R_c^s = f(\rho_o)$ , którą przedstawiono na rysunku 4. Masa po wysuszeniu zwiększyła ogólnie swoją wytrzymałość kilkakrotnie. Wytrzymałość jej jest nadal uzależniona bardzo silnie od zagęszczenia. Po wysuszeniu masa utraciła swoje lepko-plastyczne właściwości, stała się krucha i sprężysta. Dlatego zależność  $R_c = f(\rho_o)$  zmieniła swój charakter i stała się zależnością liniową, której współczynnik kierunkowy ma wartość powyżej  $a > 2,2$ . Jeśli w formie odlewniczej wykonanej z badanej masy zostanie określona gęstość pozorna w stanie wilgotnym, to na podstawie zależności 4 można określić wytrzymałość masy w gotowej formie po jej wysuszeniu. Na podstawie badań ultradźwiękowych wykonanych „wprost” na formie po wysuszeniu można również określić jej wytrzymałość, w miejscach gdzie dokonano pomiarów. Dla testowanej masy zależność ta ma charakter pokazany na rysunku 5.



Rys.4. Wpływ gęstości pozornej masy na jej wytrzymałość na ściskanie w stanie na wilgotno i po jej wysuszeniu

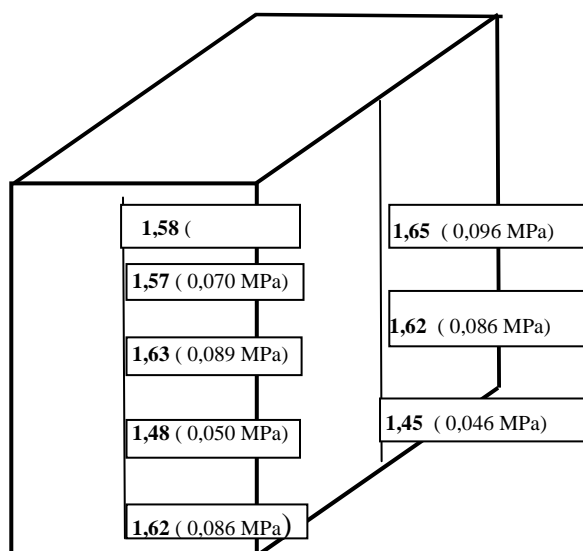


Rys. 5. Zależność pomiędzy prędkością fali w masie bentonitowej po wysuszeniu jej w temperaturze 80-85°C, a wytrzymałością na ściskanie.

## 2.2. Rozkład gęstości pozornej w wilgotnej formie

Badania przemysłowe prowadzono w jednej z odlewni wytwarzających masywne wlewnice, w której wprowadzono masę syntetyczną z bentonitem; odświeżaną przy użyciu mieszarki wirnikowej MTI 500 P.P.P. TECHNICAL.

Pomiary stopnia zagęszczenia form wlewnic wykonano metodą ultradźwiękową, opierającą się na liniowej zależności pomiędzy prędkością fali i gęstością pozorną masy. Z form w stanie wilgotnym pobierano specjalnym próbnikiem niewielkie porcje zagęszczonej masy. Następnie wyznaczano prędkość fali w masie pozostającej w próbniku. Pobierano próbki z miejsc położonych w osiach symetrii ścian rdzenia i formy położonych na różnych wysokościach od dolnej powierzchni formy. Miejsca pobierania próbek masy z rdzenia formy wlewnicy zaznaczonych na rysunku 6. W laboratorium wyznaczono zależność pomiędzy prędkością fali i gęstością pozorną masy stosowanej na formy wlewnic. Przeprowadzone badania pozwoliły wyznaczyć gęstość w wybranych miejscach formy i rdzenia. Wyniki zamieszczono na rysunku 6. Obok gęstości podano również wytrzymałość na ściskanie, którą wyznaczano w oparciu o wyniki badań uzyskane w laboratorium.



Rys. 6 Gęstość pozorna i odpowiadająca jej wytrzymałość na ściskanie w wybranych miejscach rdzenia wlewnicy; pomiar na głębokości 2,5÷3,0 cm od powierzchni rdzenia

### 3. Podsumowanie

Przedstawione badania pokazują metodykę postępowania przy wyznaczaniu techniką ultradźwiękową wybranych właściwości technologicznych mas formierskich po zagęszczeniu w formie. Forma może być w stanie „na wilgotno” lub po wysuszeniu. Badania wykonane „na formie” muszą być poprzedzone badaniami laboratoryjnymi, w trakcie których określone są zależności pomiędzy gęstością pozorną a prędkością propagacji fal oraz wybranymi właściwościami technologicznymi masy np.  $R_c$ ,  $P^w$  itp. Poznany rozkład gęstości pozornej masy w formie i związany z nim rozkład wartości właściwości technologicznych stanowi podstawę do pełnej oceny stanu formy. Znajomość tych właściwości zagęszczonej w formie masy jest ważna np. w badaniach nad ustaleniem przyczyn powstawania wielu wad, między innymi takich jak: wypchnięcie (mała sztywność formy), porowatość gazowa (mała przepuszczalność), zabielenia w odlewach żeliwnych (nadmierna przewodność związana ze zbyt sinym zagęszczeniem) itp. W oparciu o pomiar gęstości można, z wystarczającym dla celów technologicznych dokładnością, ocenić te właściwości zagęszczonej w formie masy. Do tego celu może zostać wykorzystana opisana metoda ultradźwiękowa [5].

Opracowano w ramach projektu celowego KBN nr10 T08 011 2000 C/5214

### Literatura

1. Zych J.: „Sposób pomiaru gęstości pozornej wilgotnych mas formierskich” Zgłoszenie patentowe P-326 810.
2. Zych J.: „Ultradźwiękowa, pośpieszna metoda oceny gęstości pozornej wilgotnych mas formierskich” Konf. Naukowa z Okazji Dnia Odlew. 98 . Kraków, 1998, s.13÷18.
3. Zych J.: „Estimation of Bulk Density of Sand by Ultrasonic Methods” Acta Metallurgica Slovaca; Koszyce 2/1999, R.5, s. 169÷172
4. Zych J.: “Bestimmung der scheinbaren eines Naßformsanden mit Ultraschallverfahren“ Giesserei – Rundschau. T 46 (1999), Nr 9/10, s.14÷19.
5. Zych J.: „Ultradźwiękowa metoda oceny stanu form wykonywanych z wilgotnych mas klasycznych” Przegląd Odlewnictwa, T.50,(2000), Nr 3, s.97÷100.

## ANALIZA ROZWIĄZAŃ ZESPOŁU WIRNIKA RZUTOWEGO W OCZYSZCZARKACH STRUMIENIOWO-ŚCIERNYCH

P. ZYZAK<sup>1</sup>

Wydział Odlewnictwa  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

### Wprowadzenie

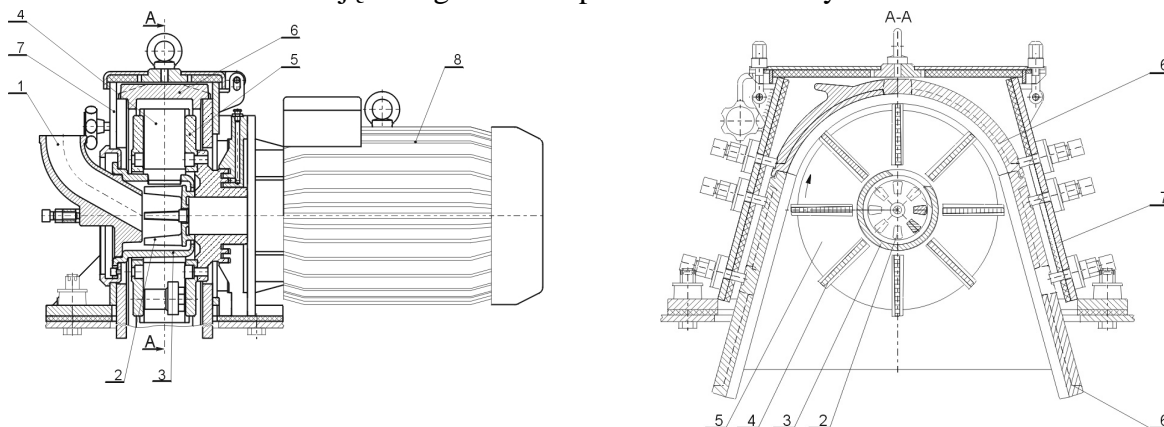
Oczyszczanie strumieniowo-ścierne jest metodą powszechnie stosowaną przy obróbce powierzchni wyrobów metalowych, w tym odlewów. Stosowane są przy tym oczyszczarki z zespołem wirnika rzutowego (lub zespołami), miotającego strumień śrutu.

Efekty pracy oczyszczarek zależą przede wszystkim od parametrów strumienia śrutu, wartości prędkości i energii kinetycznej oraz jej rozkładu. Parametry te zależą od rozwiązań zespołu rzutowego. Nie bez znaczenia jest również żywotność elementów wirnika.

Analizy i badania z wymienionego zakresu są realizowane w ramach współpracy pomiędzy Katedrą Mechanizacji, Automatyzacji i Projektowania Odlewni Wydziału Odlewnictwa AGH w Krakowie, a P.P.P. TECHNICAL w Nowej Soli.

### Charakterystyka zespołu rzutowego

Zadaniem wirnika rzutowego jest zmiana kierunku przepływu śrutu i nadanie jemu odpowiedniej prędkości wylotowej. Najczęściej stosowany jest wirnik 8. łopatkowy z mechanicznym rozdziałem śrutu. Konstrukcję takiego wirnika przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Wirnik rzutowy konstrukcji P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól [1]

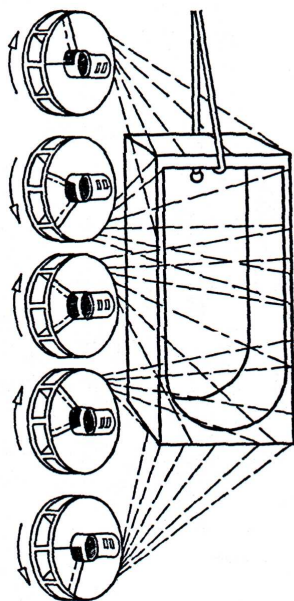
Głównymi elementami składowymi wirnika rzutowego są [1]:

- korpus (7) wykonany z grubościennych blach,
- wyłożenie wewnętrzne korpusu (7) wykonane z trudnościeralnych materiałów, najczęściej specjalnego żeliwa stopowego chromowo-molibdenowego o bardzo znacznej odporności na ścieranie,

<sup>1</sup> mgr inż.; pzyzak@uci.agh.edu.pl

- tarcze koła rzutowego (5) wykonane ze stopów odpornych na ścieranie, najczęściej obrabianych cieplnie blach,
- łopatki rzutowe (4) w ilości 8 sztuk, zamocowane między tarczami koła rzutowego; łopatki wykonywane są z materiałów szczególnie odpornych na ścieranie - najczęściej jest to żeliwo stopowe o znacznej zawartości chromu – twardość obrobionych cieplnie łopatek nie jest z reguły niższa od 64 HRC,
- tuleja regulacyjna (3) wykonywana najczęściej z tego samego żeliwa stopowego jak łopatki rzutowe,
- wirnik rozdzielczy (2) połączony z wałem silnika napędowego; wirnik podobnie jak tuleja i łopatki rzutowe wykonany jest z materiałów szczególnie odpornych na ścieranie o twardości z reguły nie mniejszej jak 64 HRC,
- lej połączony z korpusem (7),
- silnik napędowy wirnika (8); silnik ten jest w wykonaniu specjalnym o pogrubionym wale napędowym i wzmocnionym łożyskowaniu.

Efektywność obróbki powierzchniowej odlewów zależy przede wszystkim od pracy zespołów rzutowych, miotających strumień śrutu. Czyściwo jest doprowadzane na łopatki rzutowe przez szczeliny wirnika rozdzielającego, w strefie ustalonej odpowiednim położeniem otworu tulei regulacyjnej. Kierunek, w jakim jest wyrzucany strumień śrutu, zależy od położenia, ustawienia tulei regulacyjnej, otworu. Uzyskiwany kierunek strumienia śrutu przy zmianie położenia otworu w tulei regulacyjnej przedstawiono na rysunku 2 [2].



Rys. 2. Schemat oczyszczania strumieniem śrutu wyrzucanym wirnikiem łopatkowym i kierowanym przez zmianę położenia otworu tulei regulacyjnej

Wirniki są rozmieszczone w przestrzeni roboczej, lub też i wzdłuż trasy urządzenia transportującego odlewy. Ilość wirników rzutowych dobiera się w zależności od rozległości komory roboczej [1,3].

W jeden wirnik rzutowy są wyposażone najczęściej oczyszczarki wirnikowe, taśmowe o objętości załadunku  $0,12 \div 0,4 \text{ m}^3$  [1,4]. Wirniki rzutowe (o mocy 7,5 i 11,0 kW) miotają śrut staliwny, kulisty w ilości  $120 \div 180 \text{ kg/min}$ . Wydajność stosowanych w tego typu oczyszczarkach urządzeń odpylających wynosi  $0,2 \div 1,66 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Oczyszczarki wirnikowe, stołowe o objętości załadunku wynoszącej  $0,05 \div 3,4 \text{ m}^3$  są wyposażone w 1 oraz 2 wirniki rzutowe. Moc napędu wirników wynosi 5,5 i 11 kW. Ilość wyrzucanego śrutu wynosi  $120 \div 180 \text{ kg/min}$ . Zużycie śrutu staliwnego, kulistego o granulacji  $0,8 \div 1,4 \text{ mm}$  wynosi  $1,0 \div 3,0 \text{ kg/godz.}$

W skład oczyszczarek wchodzi typowe zespoły wirników rzutowych oraz dodatkowe wyposażenie. Są to urządzenia transportu (obiegu) śrutu, separatory czyściwa i urządzenia odpylające, a ponadto zespoły przemieszczania odlewów wewnątrz komory roboczej. Zmiany położenia odlewów podczas czyszczenia, w stosunku do strumienia miotanego śrutu, uzyskuje się przez obroty stołu roboczego, bębnow, przemieszczanie taśmy (gumowej, metalowej) tworzącej nieckę, zastosowanie przenośników (rolkowych, walcowych-samotokowych, wibracyjnych) oraz użycie kolejki z zawieszkami przenośnika podwieszzonego lub elektrowiązgu [1,3÷8].

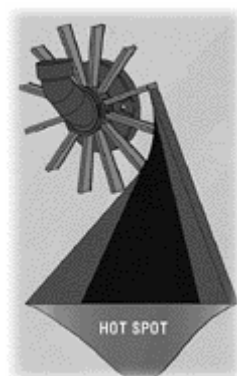
### Parametry strumienia śrutu

Wyrzucany strumień śrutu jest charakteryzowany takimi parametrami jak: prędkość i energia kinetyczna śrutu oraz rozkład wartości tych wielkości.

Kształt strugi, wielkości wymiarowe strugi i koncentracja ziaren śrutu są wielkościami charakterystycznymi dla określonego wirnika rzutowego [16].

Analizowane parametry zależą od rozwiązań konstrukcyjnych zespołu wirnika rzutowego oraz parametrów jego pracy.

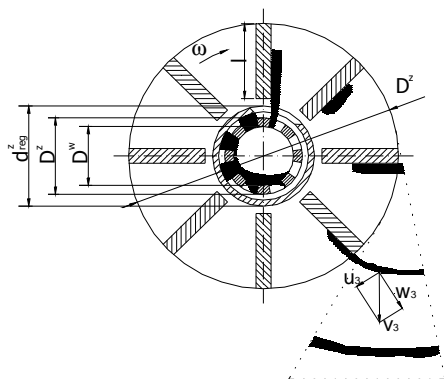
Wirniki rzutowe rozwiązywane są jako jedno i dwutarczowe [2]. Początkowo budowano wirniki jednotarczowe z dwiema łopatkami. Charakteryzowały się one małą wydajnością 25 kg/min śrutu, przy tarczy  $\Phi$  300 mm do 60 kg/min śrutu, przy tarczy  $\Phi$  500 mm. Obecnie są stosowane wyłącznie wirniki dwutarczowe, wielołopatkowe, najczęściej ośmiołopatkowe, które odznaczają się znacznie większą wydajnością. Ośmiołopatkowe wirniki wyrzucają od 100 kg/min śrutu przy tarczy  $\Phi$  300 mm do 350 kg/min śrutu, przy tarczy  $\Phi$  500 mm [2]. Są oferowane również wirniki z 12. łopatkami (rys. 3) [9].



Rys.3. Wirnik dwunastołopatkowy z zaznaczonym obszarem intensywnego oddziaływania śrutu(hot spot)

Bazując na teorii procesu roboczego oczyszczarek wirnikowych, opracowanej przez Akcjonową P.N. [10] można wyznaczyć prędkość oraz rozrzut strumienia. Analiza teoretyczna obejmuje kolejne fazy ruchu ziaren: w wirniku rozdzielającym, tulei regulacyjnej oraz na łopatkach rzutowych (rys. 4).

Opracowany opis matematyczny pozwala wyznaczyć zachowanie się ziaren śrutu od momentu podania do wirnika, aż do jego wylotu.



Rys.4. Schemat ruchu ziaren śrutu w elementach wirnika rzutowego

Uwzględniając siły działające na ziarna tzn.

— odśrodkową:

$$F_0 = m \times \omega^2 \times r \quad (1)$$

ze składowymi: działającej wzdłuż łopatki:

$$F_0 \times \cos \gamma = m \times \omega^2 \times x \quad (1a)$$

oraz działającej w kierunku prostopadłym do łopatki:

$$F_0 \times \sin \gamma = m \times \omega^2 \times r_n \quad (1b)$$

— Coriolisa:

$$F_C = 2 \times m \times \omega \times \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

— tarcia ziaren o powierzchnię łopatki

$$F_{tar} = f \times (F_C - F_0) = f \times \left( 2 \times m \times \omega \times \frac{dx}{dt} - m \times \omega^2 \times r \right) \quad (3)$$

$$F_{tar} = m \times f \times \left( 2 \times \omega \times \frac{dx}{dt} - \omega^2 \times r \right)$$

gdzie  $f$  oznacza współczynnik tarcia cząstki o łopatkę, zapisuje się następujące równanie:

$$m \times \frac{d^2x}{dt^2} = F_0 - F_{tar} \quad (4)$$

Zapis powyższy dotyczy sił działających na ziarna śrutu znajdujących się na prostej powierzchni krawędzi szczeliny wirnika rozdzielającej oraz powierzchni łopatki rzutowej (rys. 5a). W równaniu ruchu wzdłuż łopatki pomija się siłę ciężkości ziaren śrutu ze względu na jej niewielką wartość w porównaniu z pozostałymi siłami.

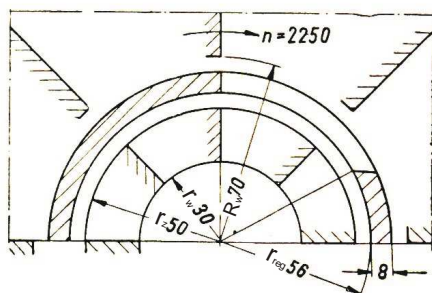
Rozwiązanie liniowego równania różniczkowego (4) ze stałymi współczynnikami oraz ze stałą częścią drugą ma postać:

$$x = \frac{\omega \times x_1 \times (\sqrt{f^2 + 1} + f) + w_1}{2 \times \omega \times \sqrt{f^2 + 1}} \times e^{a \times t \times (\sqrt{f^2 + 1} - f)} + \frac{\omega \times x_1 \times (\sqrt{f^2 + 1} - f) - w_1}{2 \times \omega \times \sqrt{f^2 + 1}} \times e^{-a \times t \times (\sqrt{f^2 + 1} + f)} \quad (5)$$

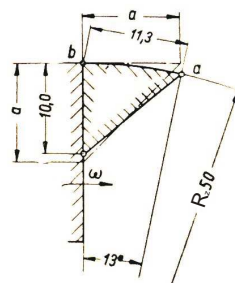
Wzór (5) jest równaniem drogi. Różniczkując to równanie, uzyskuje się zapis na prędkość ziaren wzdłuż łopatki względem czasu:

$$w = \frac{\omega \times x_1 + w_1 \times (\sqrt{f^2 + 1} - f)}{2 \times \sqrt{f^2 + 1}} \times e^{\omega \times t \times (\sqrt{f^2 + 1} - f)} - \frac{\omega \times x_1 - w_1 \times (\sqrt{f^2 + 1} + f)}{2 \times \sqrt{f^2 + 1}} \times e^{-\omega \times t \times (\sqrt{f^2 + 1} + f)} \quad (6)$$

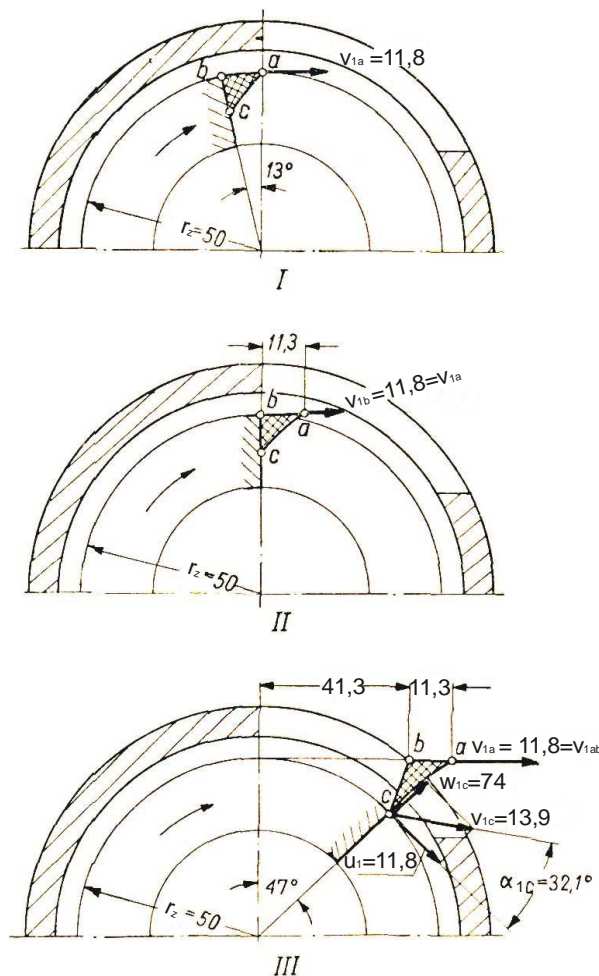
Zapisy powyższe dotyczą konstrukcji wirnika rozdzielczego z łopatkami (szczelinami) promieniowymi. Przyjmując do obliczeń dane, zestawione na rysunku 5a, kolejne fazy zejścia porcji śrutu z wirnika rozdzielczego opisano wartościami prędkości (rys. 6) [10].



Rys. 5a. Wymiary wirnika rozdzielczego i tulei regulacyjnej – dane do obliczeń



Rys. 5b. Kształt i wymiary porcji śrutu



Rys. 6. Kolejne fazy ruchu porcji śrutu w wirniku rozdzielczym

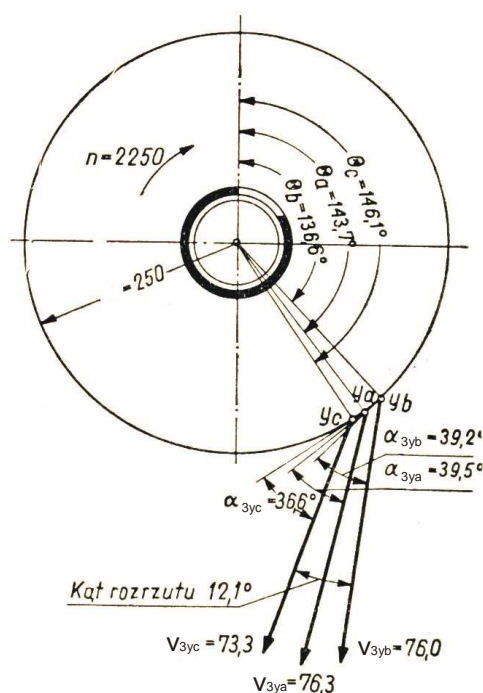
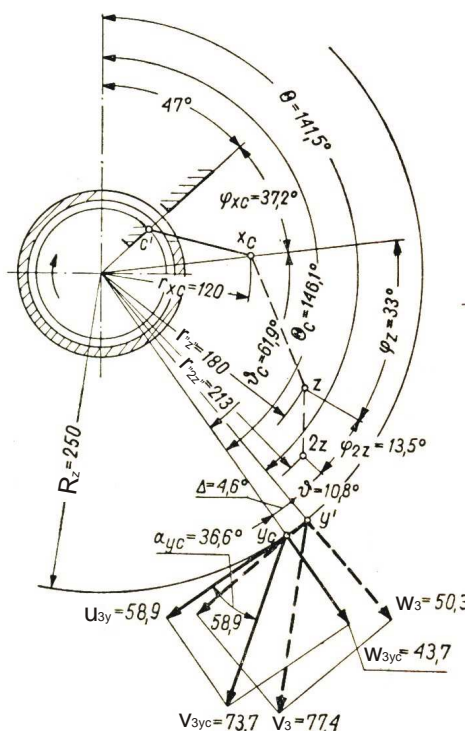
Podobnie opisywany jest ruch ziaren śrutu poruszających się wzdłuż łopatki rzutowej. Uwzględnia się przy tym parametry wyjściowe tzn. kąt podawania i prędkość śrutu po wyjściu z wirnika rozdzielczego. Tory ziaren schodzących z wirnika rozdzielczego są prostymi, których



współczynniki kierunkowe są uzależnione od kąta położenia tulei regulacyjnej oraz zajmowanego położenia w rzucanej porcji. Dane z teoretycznych obliczeń przedstawiono na rysunkach 7a i 7b [10].

W oparciu o podaną teorię [10] wyznaczono optymalne warunki współpracy wirnika rozdzielającego, tulei regulacyjnej i łopatek rzutowych; określono optymalne ustawienie wirnika rozdzielającego względem łopatek rzutowych [11, 12]. Optymalne ustawienie wirnika rozdzielczego względem łopatek roboczych pozwala uzyskać max. prędkości zejścia śrutu z łopatki rzutowej oraz większy kąt rozrzutu.

Wyniki obliczeń (rys. 7b) wskazują, że zakres rozrzutu wynosi  $12,1^\circ$  [10]. Rozrzut rzeczywisty strumienia śrutu jest znacznie większy (rys. 8 i 9). Spowodowany jest, w niewielkim stopniu, odbijaniem się od powierzchni łopatek rzutowych ziaren śrutu podawanych pod niewielkimi kątami. Główną przyczyną jest wzajemne zderzanie się ziaren, przemieszczających się wzdłuż łopatki, z ziarnami odbitymi. Wskutek tych zderzeń, prędkość ziaren oraz kierunek ich ruchu znacznie się zmieniają, a strumień śrutu rozprasza się i zwiększa się jego rozrzut.



Rys. 7a. Parametry ruchu ziaren w wirniku rzutowym

Rys. 7b. Teoretyczny rozrzut ziaren śrutu

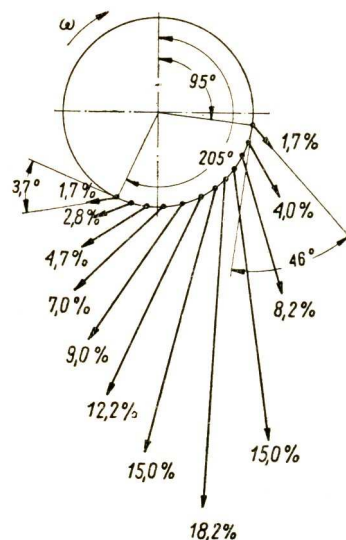
Na rozpraszanie strumienia śrutu wpływa również kształt ziaren oraz uderzanie o powierzchnię łopatki rzutowej porcji śrutu podawanej wirnikiem rozdzielczym. Rozpraszaniu śrutu sprzyjają nierówność i chropowatość powierzchni łopatek rzutowych wskutek zużycia. Istotne znaczenie ma również rozkład wielkości ziaren śrutu; w miarę ilości obiegu wzrasta rozdrobnienie śrutu [10].

Badania własne [13,14], prowadzone przy użyciu kamery do szybkich zdjęć, potwierdzają duże zróżnicowanie prędkości ziaren śrutu w strumieniu oraz wpływ omówionych czynników na rozrzut. Badania prowadzono przy użyciu kamery PHOTRON FASTCAM Super 10K (model 3000/3000C) współpracującej z komputerem. Zapisuje ona obraz cyfrowy z szybkością 30, 60, 125, 250, 500, 1000, 2000 i 3000 klatek/sekundę. Badania prowadzono na stanowisku badawczym turbiny rzutowej TR-100 f-my P.P.P. TECHNICAL w Nowej Soli (rys. 10).

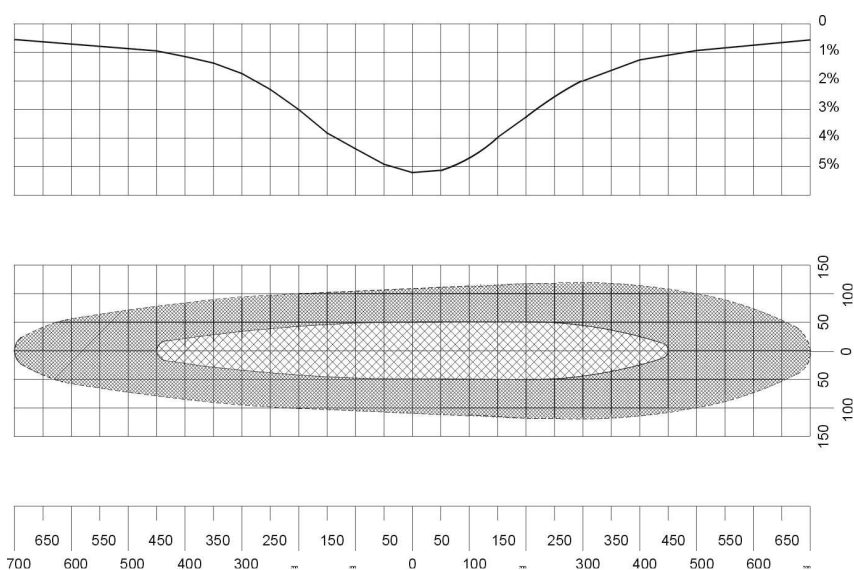
### Przykładowe rozwiązania zespołów rzutowych

Badania mające na celu poprawę efektywności oczyszczania odlewów, żywotności oraz wydajności zespołów rzutowych doprowadziły do powstania dużej różnorodności rozwiązań.

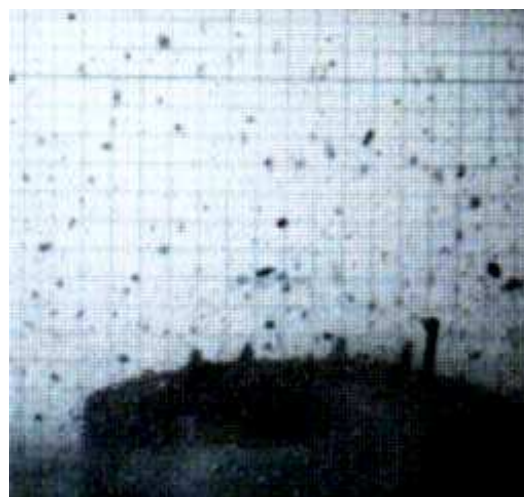
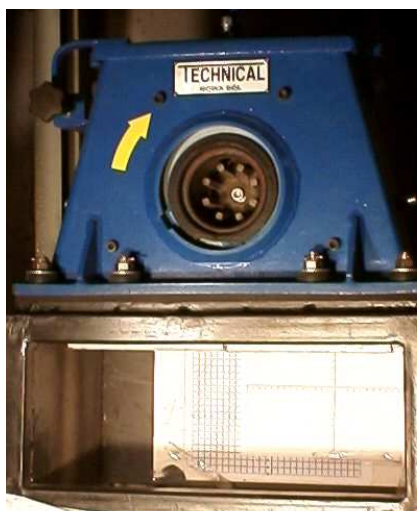
Jednym z oryginalnych rozwiązań zespołu rzutowego jest wirnik składający się z, co najmniej, jednej tarczy z zamocowanymi w niej łopatkami rzutowymi.



Rys. 8. Rozrzut śrutu w % całkowitej ilości wyrzucanego śrutu [10]

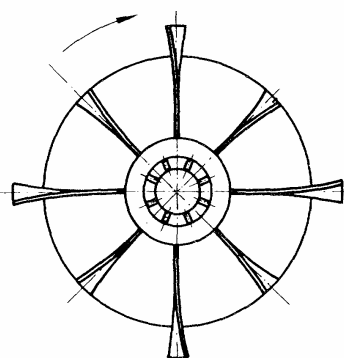


Rys. 9. Charakterystyka strugi śrutu emitowanego przez wirnik rzutowy o średnicy koła rzutowego 305 mm i obrotach koła  $3000 \text{ min}^{-1}$  [1]

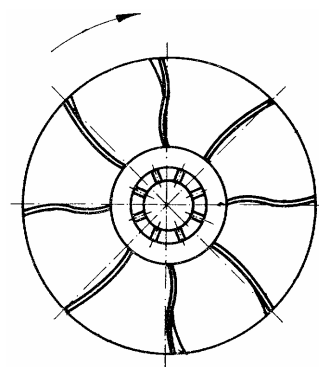


Rys. 10. Widok stanowiska badawczego

Charakteryzuje się tym, że posiada cztery łopatki krótsze i cztery łopatki dłuższe (rys. 11). Łopatki takiej samej długości są umieszczone naprzeciw siebie. Stosuje się w tym wirniku również łopatki o różnych kształtach, są to najczęściej łopatki o powierzchni roboczej płaskiej, wklęsłej lub wklęsło wypukłej. Mogą być także zwichrowane w prawo lub lewo (rys. 12). Konstrukcja wirnika zapewnia zwiększenie kąta rozrzutu śrutu w płaszczyźnie wirowania łopatek i w płaszczyźnie do niej prostopadłej. Taka konstrukcja umożliwia ponadto zwiększenie obszaru o jednokowej gęstości śrutu, oraz zwiększonej wydajności pracy w porównaniu z oczyszczarkami wyposażonymi w wirnik dotychczas stosowanymi.



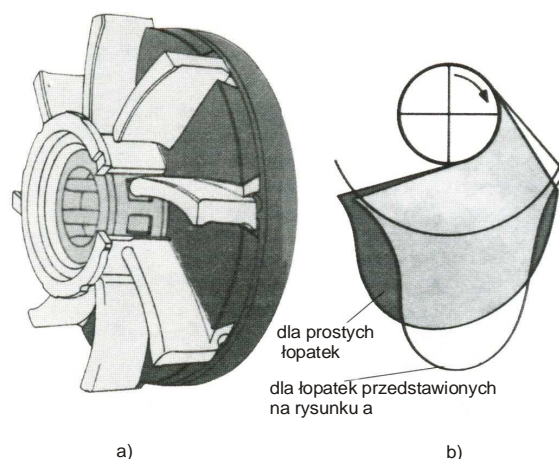
Rys. 11. Wirnik z łopatkami kształtowymi o różnej długości, zwichrowanymi [15]



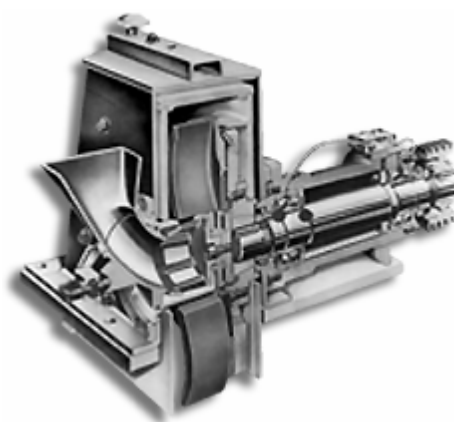
Rys. 12. Wirnik z łopatkami kształtowymi zwichrowanymi, zagiętymi do przodu i tyłu [15]

Firma PANGBORN EUROPE ma w swojej ofercie oczyszczarkę z wygiętymi w kierunku obrotu łopatkami wirnika (rys. 13) [9,16]. Takie rozwiązanie zapewnia bardziej zwarty strumień śrutu [16].

Dwa modele łopatek rzutowych wygiętych, dla swoich wirników rzutowych (typu 180-3 i 180-4) zapewniają rozszerzenie lub koncentrację strumienia śrutu. Możliwy jest również wybór układu zasilającego, co pozwala na regulację wielkości pola rzutowego oraz kierowanie strumienia czyszczywa w określone miejsca [9]. Widok wirnika rzutowego z wygiętymi łopatkami przedstawiono na rysunku 14 [9].



a) b)  
Rys. 13. Wirnik rzutowy firmy PANGBORN



Rys. 14. Widok wirnika rzutowego z wygiętymi łopatkami firmy PANGBORN

## Podsumowanie

Rozwiązania konstrukcyjne wirników różnią się głównie systemem mocowania łopatek do tarcz wirnika, szczególnie konstrukcyjnymi łopatkami rzutowymi wirników rozdzielczych oraz tulei regulacyjnych. Z przeglądu danych literaturowych wynika, że udoskonalenia w konstrukcji i warunkach pracy zespołu rzutowego dotyczą:

- łopatek koła rzutowego, w tym ich kształtu, konstrukcji, ilości i rozmieszczenia; proponowane zmiany mają na celu zwiększenie ich trwałości, poprawę efektywności czyszczenia oraz poprawę warunków pracy (obniżenie hałaśliwości),
- rozwiązania łopatek rzutowych o różnych kształtach i zróżnicowanej długości pozwalają zmieniać zasięg oddziaływania (rozrzutu strumienia) oraz zakres uzyskiwanych prędkości śrutu,
- elementów zespołu kierowania śrutu na łopatki rzutowe, celem zwiększenia efektywności oczyszczania, obniżenia energochłonności oraz zwiększenia trwałości łopatek; w nowych rozwiązaniach stosuje się koło rozdzielające umożliwiające wstępne przyspieszenie śrutu wprowadzanego na łopatki, wirnik rozdzielający,
- ciągłej regulacji obrotów wirnika i zmiany ich położenia, w zależności od wielkości odlewów i tworzywa.

Wprowadzenie wymienionych rozwiązań prowadzi, między innymi, do zwiększenia wydajności oczyszczania, zmniejszenia zużycia śrutu, a przez to znaczące zmniejszenie kosztów oraz poprawę warunków pracy.

Opracowano w ramach realizacji pracy 11.11.170.109

## Literatura

- [1] Piosik T.: *Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo – ścierne*. Materiały Sympozjum „Metody i środki do strumieniowo-ściernego przygotowania podłoża metali pod powłoki ochronne”. Instytut Mechaniki Precyzyjnej. Hajnówka, 2001, s. 89.
- [2] Chudzikiewicz R.: *Mechanizacja Odlewni*. WNT. Warszawa, 1980
- [3] *Katalogi i prospekty producentów maszyn i urządzeń odlewniczych*: TECHNICAL, Georg Fischer Disa, Tilghman Wheelabrator, Wheelabrator Alleverd oraz producentów śrutu.
- [4] Łempicki J., Paradysz J.: *Oczyszczanie i wykańczanie odlewów żeliwnych i stalowych*. WNT. Warszawa, 1979.
- [5] Piosik T.: *Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo – ścierne*. Biuletyn Konferencji TECHNICAL'02. Nowa Sól, 2002, s.62.
- [6] Van den Hoogen F.: *Wirtschaftlich Strahlen durch effektive Separierung*. Giesserei-Praxis, nr. 23/24, 1992, s. 21
- [7] Waninger D.: *GIFA'99- Einrichtungen für die Putzerei*. Giesserei, t.86, nr. 12, 1999, s. 46.
- [8] Waninger D.: *Jahresübersichy Putzverfahren und – einrichtungen (36. Folge)*. Giesserei, t.87, nr. 1, 2000, s. 65.
- [9] Strony internetowe producentów urządzeń do oczyszczania powierzchni odlewów: [www.pangborn.com](http://www.pangborn.com)., [www.technical.com.pl](http://www.technical.com.pl).
- [10] Aksjonow P.N.: *Wybrane zagadnienia z teorii maszyn odlewniczych*. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice, 1965
- [11] Niedźwiecki Z., Aślanowicz M.: *Analiza pracy wirnika rzutowego oczyszczarek śrutowych*. Eksploatacja Urządzeń Odlewniczych. Prace Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo – Technicznej. Uniejów 1985, s.55.
- [12] Niedźwiecki Z., Jopkiewicz A.: *Ustawienie wirnika i łopatek oczyszczarki*. Materiały IV Konferencji Odlewniczej TECHNICAL'01, Nowa Sól, 2001, s.49.
- [13] Fedoryszyn A., Zyzak P.: *Charakterystyka podstawowych zespołów oczyszczarek strumieniowo-ściernych*. Materiały Konferencji TECHNICAL'02. Nowa Sól, 2002, s.102.
- [14] Fedoryszyn A., Zyzak P.: *Parametry pracy separatorów śrutu w oczyszczarkach wirnikowych*. Acta Metallurgica Slovaca, nr 2, rocznik 8. Košice, 2002, tom 1, s. 319.
- [15] Opisy patentowe: *Urządzenie wirnikowe miotające materiał ziarnisty 142 881; Oczyszczarka wirnikowa 156 792; Pozioma śrutowa oczyszczarka wirnikowa 131 988; Wirnik rzutowy oczyszczarki śrutowej 142 099; Łopatka wirnika rzutowego oczyszczarki 92 264 i 94 815; Łopatka rzutowa wirnika oczyszczarki śrutowej 141 554 i 141 555*.
- [16] Dudniczenko W.B.: *Oborudowanie dla drobnietnoy oczystki otliwok*. Litiejszczik Rosiji. Moskwa nr 7/8, 2002 s. 71÷75.

## KONCEPCJA ELASTYCZNEGO TRANSPORTU W FORMIERNI

I.DZWONNIK<sup>1</sup>

*Zakład Automatykacji Procesów Produkcyjnych i Inżynierii Jakości  
Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją Wydział Mechaniczny  
Uniwersytet Zielonogórski*

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono koncepcję elastycznego systemu transportu formierni w oparciu o transmator z podnośnikiem hydraulicznym i przenośników wałkowych napędzanych.

### 1. WSTĘP

W obecnej fazie rozwoju transportu w formierni, gdzie wykonuje się formy piaskowe w skrzynkach, szczególnie z mas do formowania na wilgotno, dominuje transport form przy pomocy przenośników płytowych poruszających się po obwodzie zamkniętym, napędzanych łańcuchami. Przenośnik ten może działać w sposób ciągły lub dobranym takcie czasowym [3].

Bardziej współczesne rozwiązanie transportu polega na zastosowaniu przenośników wózkowych poruszających się po prostych dwu i więcej torach pozwalających na regulowanie czasu stygnięcia odlewów. Napęd wózków odbywa się przy pomocy popychaczy hydraulicznych. Komunikacja pomiędzy tymi torami realizowana jest przy pomocy przesuwnic przemieszczających formy w linii prostopadłej do linii torów wraz z wózkami, na wybrany tor. Dla uzupełnienia wymogów przemieszczania obiektów, wynikających z nakazu realizacji procesu technologicznego, stosuje się transport podwieszony. Wykorzystywany jest on do transportu i zalewania form ciekłym metalem, również do zmechanizowanego dostarczania rdzeni z rdzeniarni do stanowiska montażu form i inne [2, 3].

Najbardziej zbliżone do doskonałości rozwiązanie transportu form piaskowych zrealizowano w automatycznych liniach formierskich skonstruowanych przez firmę Disamatic- Disa- BMD wykorzystując mechanizm zagęszczania, do transportu (przepychania) form [2]. Z punktu oceny odporności na awaryjność, linia wg projektu Disa charakteryzuje się najniższą z rozpatrywanych linii formierskich, tzn. że jakakolwiek awaria urządzeń lub elementów linii, powoduje jej zatrzymanie. Podobnie niską odpornością na awaryjność charakteryzują się linie z przenośnikami płytowymi.

Próbę rozwiązania problemu podwyższenia elastyczności transportu wewnętrznego w formierni, przedstawiono w niniejszym opracowaniu.

### 2. WPROWADZENIE

Elastyczny system produkcji, jaki rozwija się coraz szerzej w wielu dziedzinach wytwarzania, wymusza również w odlewnictwie na szersze stosowanie tego systemu.

W elastycznym systemie produkcji ważną rolę odgrywa elastyczny system transportu. Charakteryzuje się on łatwością zmiany sposobu i trasy przemieszczania ładunku, wynikający z wymuszonych zmian procesu technologicznego. System ten w całości powinien posiadać wysoką odporność na zakłócenia wywoływane awarią jego elementów. Można to osiągnąć przez odpowiedni dobór urządzeń transportowych pozwalających zastępować uszkodzone urządzenia, urządzeniami sprawnymi pracującymi w innym obszarze formierni. Modułowa budowa wózków i elementów torów pozwalają na łatwe przystosowanie przebiegu trasy do potrzeb.

Elastyczność transportu w odlewni postanowiono osiągnąć przez zastosowanie w szerszym zakresie niż dotychczas, transportu podwieszonoego z wykorzystaniem transmatorów [1]. Są to no-

<sup>1</sup> dr hab. inż. prof. UZ., I.Dzwonnik@iizp.uz.zgora.pl

wczesne środki transportu bliskiego przystosowane do bezkolizyjnego przemieszczania ładunków w procesie produkcyjnym całkowicie zautomatyzowanym. Obecnie produkowane wózki poruszają się z prędkością 10 do 80 m/min i o udźwigu do 1500kg [1]. Stosowane w nich zespoły kontrolno-sterujące umożliwiają:

- zatrzymanie wózka na trasie w określonym miejscu,
- zwolnienie prędkości zgodnie z wymogami technologii,
- adresowanie wózka do jednego lub kilku miejsc wcześniej określonych,
- posłanie wózka z trasy głównej na boczną lub na trasę w innej pętli
- jazdę wsteczną na określonym odcinku trasy.

### 3. OPIS BUDOWY I DZIAŁANIA SYSTEMU TRANSPORTU

W przedstawionym systemie transportu elastycznego występują dwie grupy najważniejszych urządzeń transportowych, wózki transmatorów i przenośniki wałkowe napędzane.

Zaproponowany wózek transmatora rys.1 porusza się po podwieszonym torze dwuteowym (4) na dwóch parach kół jezdnych (3) wraz z przymocowanym do niego dwucylindrowym podnośniku hydraulicznym (9). Posiada własny napęd jezdny składający się z silnika (1) i przekładni (2), oraz napęd silnikiem (6) pompy hydraulicznej (5) zasilanych trolejowo poprzez szynę prądową (13) i zbieraka (14). Działanie transmatora odbywa się zgodnie z ustalonym programem wprowadzonym do sterownika (12). W projektowanym wózku (rys.1.) istnieje możliwość podnoszenia i opuszczania półformy lub formy złożonej (10) przy pomocy chwytaków (11) i cylindrów hydraulicznych (9), w określonych wcześniej i zaprogramowanych miejscach. Przekładnia (2) układu jezdnego i układu napędowego (6) pompy hydraulicznej (5) są zamknięte w korpusach bocznych wózka (7) i (8).

Całość powierzchni formierni i rozmieszczonych urządzeń transportowych podzielono na pięć obszarów technologicznych:

- A- obszar formowania, rdzeniowania i składowania form. W tym obszarze znajdują się dwie formierki, (Fg, Fd) dla górnych (11) i dolnych półform (12) i obracarki półform dolnych (13), oraz przenośników wałkowych (9 i 10) zamkniętych przenośnikiem wałkowym, (14) na którym dokonuje się operacji wkładania rdzeni, składania form i składowania złożonych form odlewniczych – ZF na trzech przenośnikach (1, 2, 3) z napędzanymi wałkami przesuwającymi formy – ZF w kierunku pokazanym strzałkami. Długość przenośników jest tak dobrana, aby pomieściły godzinną produkcję form w obszarze –A. Zastosowanie kilku przenośników do składowania złożonych form odlewniczych dodatkowo pozwala na gromadzenie form z różnymi odlewami wymagającymi różnych czasów stygnięcia.
- B- obszar zalewania form metalem, znajdujących się na pierwszym odcinku napędzanych przenośników wałkowych (4, 5, 6) następnie chłodzonych w tunelu. Formy podczas zalewania są nieruchome, zalewacz wraz z podwieszoną kadzią zbliża się do formy i wykonuje operację zalewania. Podczas jednego podejścia zalewacz dokonuje zalania trzech form znajdujących się na początku przenośników (4, 5, 6). W końcowym odcinku przenośników wałkowych znajdują się formy gotowe do operacji wybijania. Długość przenośników wałkowych zapewnia możliwość pomieszczenia form z godzinowej produkcji w obszarze – B.
- C- obszar topienia metalu i dostarczanie ciekłego metalu do stanowiska zalewania form przenośnikiem podwieszonym napędzanym ręcznie lub transmotorem.
- D- obszar wybijania form, rozdzielania i czyszczenie skrzynek formierskich. Rozdzielone i oczyszczone skrzyńki formierskie są dostarczane transmatorami podwieszonymi na torze obejmującym trasę nad obszarami A i E
- E- obszar stacji transmatorów jest obszarem przechowywania transmatorów uszkodzonych lub oczekujących na wykorzystanie.

Obszar B stanowi magazyn buforowy dla złożonych form w ilości godzinnej produkcji, oczekujących na zalanie W przypadku wystąpienia awarii w obszarze –A zmagazynowane formy umożliwiają zabezpieczenie ciągłości pracy odlewni. W tym obszarze dokonuje się również klamrowanie lub obciążenie form. Operacje te można wykonywać na wejściu lub na wyjściu do magazynu.

#### 4. UKŁAD TRANSPORTOWY W FORMIERNI

Transport w formierni obejmuje głównie przemieszczenie form złożonych, zalanych oraz skrzynek formierskich po operacji wybijania. Dokonuje się w płaszczyznach głównie poziomej w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach i w płaszczyźnie pionowej przez podnoszenie i opuszczanie ładunku na wysokość około  $\pm 500$  mm. W jednej płaszczyźnie poziomej przemieszczanie półform w obszarze –A oraz złożonych i zalanych form dokonuje się za pomocą przenośników wałkowych z niektórymi napędzanymi elektrorolkami. Dotyczy to przenośników (1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10) rys 2.

Transport w płaszczyźnie poziomej, ale o kierunku prostopadłym do poprzedniego dokonuje się przy pomocy transmotorów z podnośnikami hydraulicznymi podwieszonymi na torach uformowanych w dwóch pętłach. Pierwsza pętla trasy obejmuje następujące obszary, obszar A w obrębie, którego dokonuje się składania form i następnie przetransportowanie ich na przenośniki (1, 2, 3) do strefy B. Transmotory po złożeniu form na przenośnikach wędrują puste do ich początkowego położenia gdzie zabierają formy z przenośników (1, 2, 3) i przemieszczają je do obszaru C i D gdzie zostaną zalane. Transmotory po złożeniu form na przenośnikach wałkowych, wędrują puste do strefy A.

Druga pętla transportu podwieszonoego obejmuje obszary A E i częściowo F. Puste transmotory poruszające się z obszaru A zabierają formy z przenośników (4, 5, 6) formy przeznaczone do wybijania (ZFO) są przemieszczane nad urządzenia do wybijania (7), następnie zabierają puste skrzynki i przewożą je do urządzeń rozdzielających i czyszczących następnie dostarczają je do przenośników (9, 10). Po tej operacji transmotory udają się po formy, aby je dostarczyć do urządzeń wybijających.

Dla umożliwienia przemieszczania transmotorów pomiędzy pętlami zaprojektowano dodatkowe odcinki torów (linie przerywane cienkie) do realizacji tych potrzeb.

#### 5. PODSUMOWANIE

Potrzeba wzmożenia rozwoju produkcji elastycznej w odlewni jest podyktowany wymogami rynku. Elastyczny system produkcji umożliwia znalezienie kontrahentów składających zamówienia na odlewy. Realizacja elastycznej produkcji wymaga stosowania elastycznych systemów transportu. Przedstawiona propozycja transportu z wykorzystaniem transmotorów jako bardzo nowoczesnych środków transportu podwieszonoego pozwala na osiągnięcie wysokiej elastyczności transportu w odlewni. Zastosowanie transmotorów z hydraulicznym podnoszeniem ładunku pozwala na ich przemieszczanie w kierunku pionowym bez konieczności zmiany poziomu podwieszonoego toru.

Natomiast zastosowanie przenośników wałkowych napędzanych eliminuje konieczność użycia popychaczy hydraulicznych i przesuwnic. Zdają sobie w pełni sprawę, że przedstawiona propozycja rozwiązania transportu wewnętrznego w formierni wymaga dalszej analizy technicznej i ekonomicznej.



---

**LITERATURA**

- [1] Z. Korzeń: *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania*.  
Tom 1 Infrastruktura informacja Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań (1980).
- [2] M. Gregoraszcuk: *Maszynoznawstwo Odlewnicze*.  
Wydanie trzecie uzupełnione i poprawione. Wyd. AGH Kraków (1994).
- [3] R. Chudzikiewicz: *Mechanizacja i automatyzacja odlewni*.  
Wyd. N.T Wa-wa (1980).
- [4] Pezarski i inni: *Nowe linie formierskie do produkcji odlewów z zastosowaniem formierek impulsowo-prasujących*.  
Biuletyn Konf. V Konferencji Odlewniczej Technikal 2002 Nowa Sól (2002).
- [5] Katalog *Maszyny odlewnicze* Technical Nowa Sól (2002).

## CHARAKTERYSTYKA PROCESU MIESZANIA I MIESZAREK TURBINOWYCH DO SPORZĄDZANIA MASY FORMIERSKIEJ

Cz. Rudy<sup>1</sup>,  
A. Fedoryszyn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> - Przedsiębiorstwo Projektowo Produkcyjne „TECHNICAL” Sp. z o.o.-Nowa Sól

<sup>2</sup> - Wydział Odlewnictwa -Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

### 1. Wstęp

Obecnie we wszystkich odlewniach stosuje się masy formierskie syntetyczne z bentonitem sporządzane z płukanego piasku kwarcowego, bentonitu oraz innych dodatków jak: pył węglowy, dekstryna itp.

O tak dużym zastosowaniu mas klasycznych decyduje wiele korzystnych ich cech, z których najważniejsze to:

- dostępność i względnie niska cena podstawowych surowców,
- duża trwałość i praktycznie nieograniczona żywotność mas,
- dostateczna wytrzymałość mas – tak w stanie wilgotnym, jak i po wysuszeniu,
- mała szkodliwość dla otoczenia.

Proces mieszania jest istotny w przypadku mas syntetycznych. Wymaga się aby w wyniku mieszania uzyskać jednorodną mieszankę oraz aby spowodować dobre połączenie (adhezyjne) substancji wiążącej (mieszanki gliny z wodą) z powierzchnią ziaren osnowy piaskowej. Podczas mieszania nawilżonej masy cząsteczki gliny przylepiają się do powierzchni ziaren osnowy zwykle w postaci aglomeratów. Proces mieszania musi doprowadzić do deformacji i rozdrobnienia tych aglomeratów, do równomiernego rozłożenia substancji wiążącej na powierzchni ziaren oraz aktywacji nałożonej powłoki [9,10]. Aktywacja dotyczy otoczek substancji wiążącej na ziarnach masy odświeżanej.

Obecnie, zarówno do sporządzania masy jak i jej odświeżania są stosowane mieszarki wirnikowe (turbinowe), które charakteryzując się wysokimi walorami eksploatacyjnymi pozwalają uzyskać masę formierską o wysokich właściwościach technologicznych.

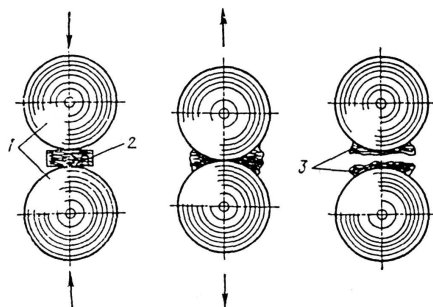
Proces mieszania masy w mieszarkach dynamicznych (turbinowych) jest od szeregu lat przedmiotem badań i analiz, prowadzonych również przez konstruktorów i producentów.

### 2. Charakterystyka procesu mieszania składników masy

Powlekanie ziaren oraz aktywacja naniesionej powłoki jest realizowane na drodze elementarnych zdarzeń ściskania i rozrywania ziaren połączonych aglomeratami substancji wiążącej (rys.1) [7]. Podczas ściskania ziarna osnowy są włączane w warstwę mieszanki gliny z wodą. Niszczenie wiązania podczas rozrywania zachodzi zwykle w wyniku przewyciężania sił kohezji (spójności samej substancji wiążącej). Dlatego też na wszystkich ziarnach pozostaje substancja wiążąca. Wielokrotne ściskanie i rozrywanie prowadzi do naniesienia substancji wiążącej na powierzchnię boczną wszystkich ziaren. W wyniku przemiennego ściskania i rozrywania ziarna osnowy są pokrywane warstwą mieszanki gliny z wodą o grubości  $g$ :

<sup>1</sup> mgr inż., prezes P.P.P. TECHNICAL, [zarzad@technical.com.pl](mailto:zarzad@technical.com.pl)

<sup>2</sup> dr hab. inż., prof. AGH, [alfa@uci.agh.edu.pl](mailto:alfa@uci.agh.edu.pl)



Rys.1. Schemat nanoszenia substancji wiążącej na powierzchnię ziaren; 1- ziarna ściskane, 2- nawilżona glina, 3- warstewki gliny po rozerwaniu

Grubość warstwy mieszaniny gliny z wodą wyznacza się z zależności [10]:

$$g = \frac{R \times G}{300 \times W_k (1 + 2,65 \times SW)}, \quad (1)$$

w której: R - promień ziarna osnowy piaskowej; mm,  
G - zawartość gliny w masie;  
W<sub>k</sub> - wskaźnik kształtu ziaren osnowy,  
SW - stosunek wodno-glinowy, czyli stosunek wagowy wody i gliny w masie

Wartość średnia grubości warstewki substancji wiążącej na ziarnach masy wynosi 2 μm (przy R=0,08mm i G= 8%). Grubość warstwy molekularnej nawilżonego montmorylonitu wynosi 2×10<sup>-3</sup> μm, czyli „pokrycie” na ziarnach piasku zawiera średnio 10<sup>3</sup> warstewek gliny [9,10]. O ile w każdym elementarnym zdarzeniu oddzielanie ma miejsce na jednej warstwie więc ilość możliwości w zakresie aktywacji powłoki jest duża.

Podczas ściskania ziarna są wtłaczane do warstwy nawilżonej gliny. Warstwa ta przemieszcza się (rozpływa), a powierzchnia ziaren pokryta substancją zależy od wielkości nacisku oraz wielkości ziaren. Siła potrzebna do rozłączenia (rozerwania) ziaren zależy od kohezji mieszaniny gliny z wodą oraz od wartości powierzchni styku [10].

Kinetyka nanoszenia pokrycia wyraża się zależnością wielkości pokrytej powierzchni ziaren od ilości elementarnych operacji: ściskania i rozrywania [7÷9]. Podczas każdego ściskania i rozrywania nowa część powierzchni ziaren pokrywana jest nawilżoną gliną. Przyrost powierzchni powleczonej substancją wiążącą wynosi [7]:

$$i \times (A_z - A) = A / n \quad (2)$$

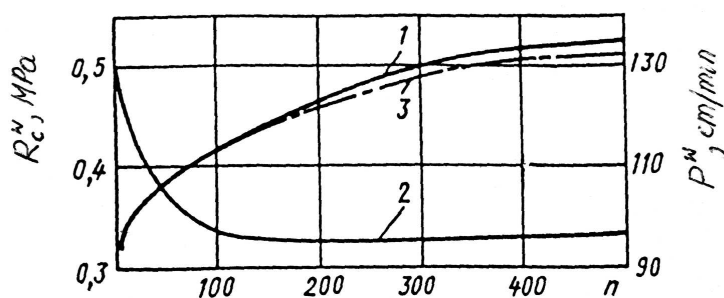
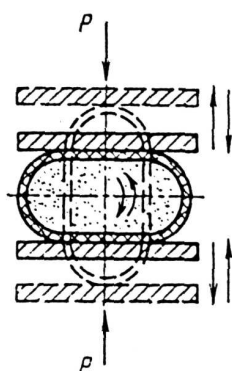
gdzie: A<sub>z</sub> - sumaryczna powierzchnia wszystkich ziaren,  
i - współczynnik intensywności powlekania,  
n - ilość elementarnych oddziaływań: ściskania i rozrywania.

Zależność właściwości wytrzymałościowych masy od stopnia pokrycia powierzchni ziaren warstwą nawilżonej gliny została w pełni potwierdzona. Teoretycznie i eksperymentalnie wykazano, że wytrzymałość na ściskanie masy syntetycznej jest proporcjonalna do wielkości pokrytej powierzchni ziaren. Maksymalne wartości wytrzymałości uzyskuje się przy pokryciu substancją wiążącą całkowitej powierzchni ziaren. Wytrzymałość masy na ściskanie w stanie wilgotnym i stopień powleczenia powierzchni ziaren substancją wiążącą zapisuje się podobną zależnością typu [7]:

$$R = \frac{R_{\max} \times i \times n}{1 + i \times n} \quad (3)$$

w której  $R_{\max}$  oznacza maksymalną wartość wytrzymałości na ściskanie lub maksymalną sumaryczną powierzchnię ziaren pokrytych nawilżoną gliną.

W badaniach Iwakina R.I. [7] oraz Jerszowa M.Ju. [9] wyznaczono wpływ ilości elementarnych oddziaływań ściskająco-rozrywających na właściwości masy. Eksperymenty polegały na przemiennym ściskaniu próbki masy w dwóch kierunkach prostopadłych (rys.2). Masę do badań nawilżono i w szczelnym opakowaniu przetrzymywano przez 16 godzin. Wyniki cytowanych badań przedstawiono na rysunku 3. Linią przerywaną zaznaczono wyniki obliczeń wg wzoru (3), przy  $R_{c,\max} = 52,4$  kPa oraz  $i = 0,0367$ .



Rys.2. Ilustracja prowadzonych operacji na próbce masy pomieszczonej w elastycznym pokrowcu [7]

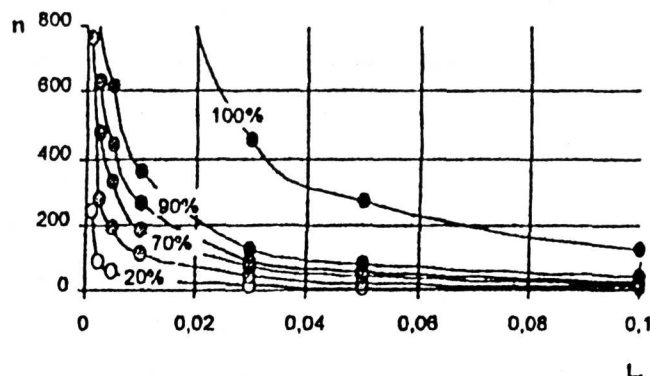
Rys.3. Wyniki badań właściwości masy: 1- wytrzymałość  $R_c^w$ , 2- przepuszczalność  $P^w$ , 3- wartości wyznaczone [7]

Współzależność omawianych parametrów wyznaczono również w oparciu o model teoretyczny, w którym określano wielkość pokrytej powierzchni ziaren w zależności od ilości wtłoczeń ziarna do substancji wiążącej, zajmującej określoną powierzchnię [7]. Ilość wtłoczeń wynikała z powierzchni odcisku kuli (ziarna) w stosunku do powierzchni nawilżonej gliny. Powierzchnię odcisku określała względna głębokość wtłoczenia ( $L = h/R$ ), zależna od siły nacisku. Dane z analizy wskazują, że ilość elementarnych oddziaływań jest odwrotnie proporcjonalna do głębokości wtłaczania i wprost proporcjonalna do wielkości pokrytej powierzchni. Z danych, przedstawionych na rysunku 4 wynika, że ilość elementarnych oddziaływań jest niewspółmierna z przyrostem powierzchni pokrytej. Jeżeli w przedziale 70÷80% i 80÷90% pokrycia powierzchni jest wymagane zwiększenia ilości oddziaływań o mniej niż 1,5 to pokrycie pozostałych 10 %, z przedziału 90÷100%, wymaga wzrostu ilości oddziaływań więcej niż 3. krotnego.

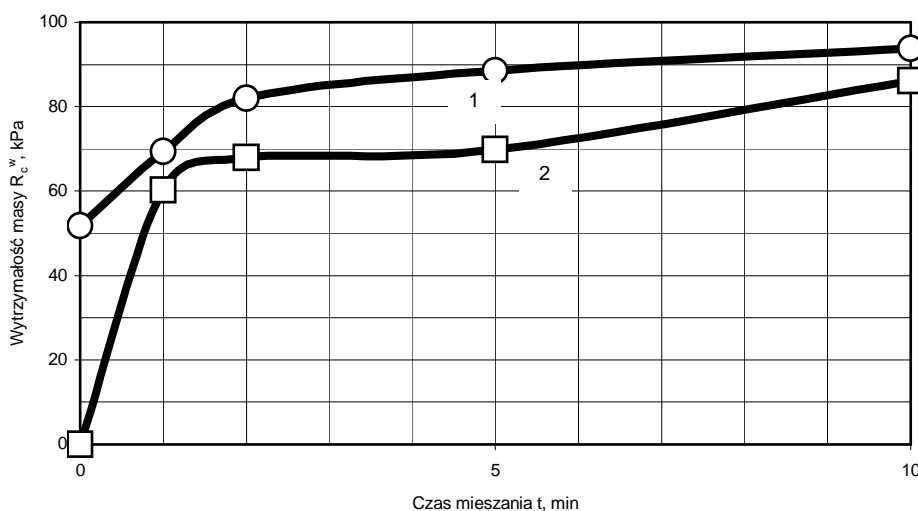
Rolę aktywacji uformowanej już powłoki substancji wiążącej ilustrują dane doświadczalne [8] prowadzone z użyciem masy obiegowej, do której wprowadzano 10% dodatków odświeżających. Można było przypuszczać, że masa wymagała tylko nawilżenia. Stwierdzono również, że ziarna masy były powleczone lepiszczem. Eksperyment polegał na wyznaczeniu i porównaniu wytrzymałości masy na rozrywanie po nawilżeniu i mieszaniu w mieszarce krążnikowej (45 1/min.), przy czym jedna porcja była nawilżona bezpośrednio przed podaniem do mieszarki, druga zaś po nawilżeniu pozostawała w hermetycznym pojemniku przez 72 godziny. Masa pobrana do badań zawierała 8% lepiszcza i 4% aktywnej gliny.

Wyniki cytowanych badań (rys. 5) wskazują, że w obu przypadkach istotna była rola aktywacji - wytrzymałość wzrosła dwukrotnie. Samo nawilżenie nie prowadziło do poprawy wytrzymałości masy. Z danych wynika również fakt, że nie ma specjalnego znaczenia czas

nawilżania masy; uzyskano podobne właściwości zarówno masy nawilżonej wcześniej, jak i nawilżanej tuż przed mieszaniem.



Rys. 4. Wyniki analizy modelowego procesu pokrywania ziaren nawilżoną gliną podczas  $n$ -krotnych operacji elementarnych w zależności od stopnia pokrycia powierzchni w % i względnej głębokości wtłoczenia ziarna ( $h$ - głębokość wgłębienia -odcisku,  $R$ - promień kuli- ziarna) [8]



Rys.5. Zmiana wytrzymałości masy zwrotnej w wyniku mieszania: 1- po nawilżeniu i odstaniu przez 72 godziny, 2- nawilżenie tuż przed mieszaniem [8]

Efekt wymieszania składników masy oraz powleczenia ziaren osnowy lepiszczem uzyskuje się w wyniku oddziaływań mechanicznych na zasób mieszający się w komorze mieszarki. Analizując przebieg procesu mieszania Pelczarski S. [3,13,18] wyróżnił operacje zestawione poniżej.

**Przerzucanie**, które ma za zadanie ujednorodnienie składu masy. Przerzucanie wywoływane jest mieszadłem (o kształcie łopatki, lemiesza lub talerza) napierającym i powodującym znaczne przemieszczanie masy. Wzajemne ruchy cząstek towarzyszące tym przemieszczeniom umożliwiają wymieszanie składników mieszaniny. Zasięg operacji przerzucania jest większy, niż ugniatania i rozcierania. Wywołuje on cyrkulację przyrządzanej mieszaniny i występuje jako podstawowa operacja w mieszarkach łopatkowych i bębnowych, natomiast jako współdziałająca we wszystkich innych typach mieszarek.

**Ugniatanie** realizowane przez toczące się krążniki, które przez proces „rozwałcowywania” masy wciskają ziarna piasku w bryłki gliny powodując pokrycie ich otoczką gliny. W wyniku ugniatania następuje wciskanie ziaren w skupiska lepiszcza (mieszaniny lepiszcza z wodą), co

stanowi przygotowanie do późniejszego warstwowego rozprowadzenia lepiszcza po powierzchni ziaren. Rozcieranie prowadzi do rozprowadzenia lepiszcza i towarzyszy ugniataniu.

**Rozcieranie**, zachodzące dzięki różnicy prędkości występującej między dwoma powierzchniami poruszającymi się w przeciwnych kierunkach, powoduje toczenie i obracanie się cząsteczek masy i w efekcie pokrywanie ich otoczką ciastowatej gliny znajdujących się w przestrzeniach międzyziarnowych mieszaniny,

**Rozgęszczanie (spulchnianie)** ma za zadanie sporządzenie masy o najmniejszej gęstości pozornej, w wyniku spulchnienia masy następuje rozdzielanie grudek masy z zachowaniem otoczek gliniastych na powierzchniach ziaren. Rozgęszczanie ma na celu rozdrabnianie zagęszczonych skupisk przyrządzanej masy. Ruch mieszadła powoduje zabieranie i przerzucanie masy, a przez to kruszenie i rozdrabnianie zbryleń.

Dla prawidłowego przebiegu procesu mieszania konieczne jest poddanie składników masy wielokrotnemu działaniu wszystkich w/w operacji. Dla mieszarek krążnikowych i pobocznicowych przyjmuje się liczbę elementarnych operacji w zakresie  $100 \div 300$ , natomiast dla mieszarek łopatkowych zalecane jest stosowanie do 760 operacji.

### 3. Przegląd i charakterystyka mieszarek

Mieszarki klasyfikowane są ze względu na szereg kryteriów [1,3,4,6,12,18,19]. Schematy mieszarek przedstawiono na rysunku 6.

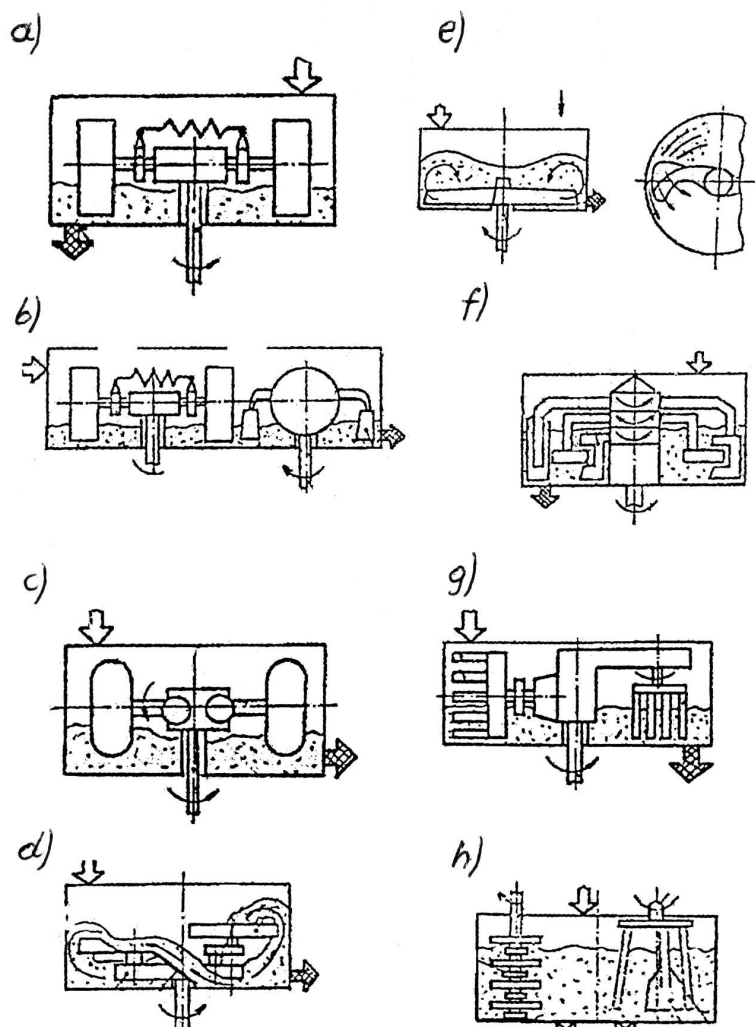
W zależności od koncepcji realizacji procesu i konstrukcji zespołu mieszającego notuje się różnorodne oddziaływanie podczas mieszania składników masy. Analizę wyróżnionych oddziaływań przedstawiono poniżej w oparciu o dane literaturowe, przede wszystkim opracowanie zespołu AGH [3].

W mieszarkach krążnikowych typu Simpson (rys.6a oraz 6b), o ilości obrotów  $20 \div 50$  1/min., ma miejsce proces mieszania w oparciu o wszystkie cztery wyróżnione oddziaływania. Są one szczególnie przydatne do sporządzania wyjściowych mas z lepiszczem. Ugniatanie i rozcieranie dokonuje się pod działaniem krążników, przerzucanie i rozgęszczanie – pod działaniem lemieszki.

Ugniatanie jest operacją typową dla mieszarek krążnikowych o poziomej i pionowej osi obrotu krążników. W przypadku mieszarek krążnikowych rozcieranie jest wywoływane poślizgami, zarówno obwodowymi jak i osiowymi wskutek „wykorbenia” krążników. W mieszarkach krążnikowych krążniki ugniatają masę swoim ciężarem lub ich nacisk jest wspomagany układem dociążającym (sprężyny, siłowniki).

Rozcieranie w mieszarkach krążnikowych występuje podczas pionowego ścinania warstwy masy przy natarciu na nią krążnika. W przypadku ażurowej powierzchni toczonej krążników występowało rozcieranie jako rezultat przeciskania się masy przez szczeliny.

Ugniatające oddziaływanie krążników na masę jest wynikiem nacisków, pochodzących od ich ciężaru oraz od efektu żyroskopowego, wywołanego krążeniem wokół osi pionowej i toczeniem się po masie. W celu podwyższenia wydajności omawianych mieszarek zaczęto stosować krążniki o zmniejszonej wadze (krążniki ażurowe) oraz zwiększano prędkości obrotowe. W przypadku mieszarek szybkobieżnych (rys. 6 c) z gumowymi krążnikami i z naciskiem sprężyn prędkości obrotowe wynosiły  $100 \div 180$  obr/min (mieszarki firmy BMD).



Rys.6. Schematy mieszarek: a) krążnikowa typu Simpson, b) zdwojona, „ósemkowa”, c) szybkobieżna, d) pobocznikowa, e) łopatkowa, „skrzydełkowa”, f) wirnikowa pozioma, g) wirnikowa z zespołem spulchniającym, h) wirnikowa, „turbinowa”

W mieszarkach pobocznikowych (rys. 6 d) krążniki, zamocowane wahliwie na obracającym się poziomym wirniku ugniatają masę rozpostartą na pobocznicy misy pod wpływem siły odśrodkowej. Cykl sporządzania masy wynosił  $60 \div 120$  s. Wykazano jednak, że obecność krążników w mieszarkach pobocznikowych nie wpływa na rezultaty. Po zdjęciu krążników otrzymywano masę o podobnych właściwościach technologicznych [1].

Mieszarki łopatkowe (rys.6 e) o cyklu  $3 \div 6$  minut należą do jednych z najstarszych typów mieszarek, przeznaczonych do przygotowania mas rdzeniowych. Zamontowany zespół mieszający (skrzydełka) realizuje operację przerzucania jako podstawową oraz operację rozcierania. Przerzucanie prowadzi do kierowania masy przez mieszadło ku ścianie. Masa spiętrza się, ma miejsce ruch masy ku górze komory pierścieniową struga przyścienną. Przerzucanie wywołuje cyrkulację całej objętości masy. Rozcieranie przebiega również w całej objętości misy, efektywnie zachodzi jednak w obszarze ruchu mieszadła, gdzie wzajemnie przemieszczając się warstwy zagęszczonej masy wywierają na siebie znaczny nacisk, pochodzący od naporu ramion mieszadła.

W 1982 r. firma BMD wprowadziła mieszarki „Kontramix” (rys. 6 f) z wirnikami o prędkości obrotowej 15 i 30 obr/min.

Z końcem lat 60 firma Stots wprowadziła mieszarki (rys. 6 g) z jednym krążnikiem (prędkość obrotu 30÷40 obr/min) i jednym wirnikiem o prędkości < 200 obr/min.

Mieszarki turbinowe (rys.6 h) wprowadzono z początkiem lat 70 (firma GF i Eirich). W kraju mieszarki tego typu nazwano turbinowymi (mieszarki MTP i MTI). W mieszarkach tego typu prędkość turbiny wynosi do 600 obr/min

Pierwsze prace z zakresu wprowadzenia nowoczesnych rozwiązań realizacji procesu mieszania podjęła firma TECHNICAL-Nowa Sól wprowadzając do konstrukcji mieszarek pobocznicowych zespoły wysokoobrotowych turbin.

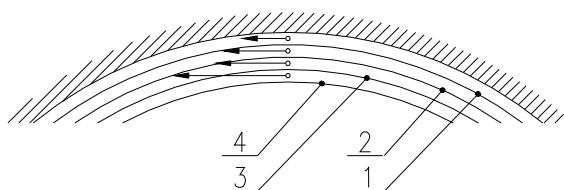
#### 4. Mieszarki pobocznicowe z wysokoobrotową turbiną

##### a) mieszarki pobocznicowe

W mieszarkach pobocznicowych, znanych pod nazwą „speedmullor” (mieszarki szybkie) proces mieszania realizowany jest przez obracający się w dolnej części nieruchomej misy wirnik posiadający dwa lemiesz, jeden lemiesz z kątem nachylenia  $45^{\circ}$ , drugi  $60^{\circ}$ . Na wykorbieniu wirnika umocowanie są dwa krążniki o pionowych osiach obrotu. Siła odśrodkowa, powstająca wskutek obrotu, odchyła je w kierunku pobocznic misy.

Składniki masy ładowane do mieszarki od góry spadają na obracający się wirnik, który odrzuca je pod działaniem siły odśrodkowej do przestrzeni pierścieniowej między wirnikiem a poboczną misy. Lemiesz podnoszą tę masę z dna misy w tej pierścieniowej przestrzeni. Masa podnosi się do góry wzdłuż lemieszka i schodzi z niego w postaci strugi pod odpowiednim kątem ( $45^{\circ}$  lub  $60^{\circ}$ ) do poziomu.

Struga (strumień) masy, skierowana przez lemiesz w kierunku pobocznic, jest zmuszona poruszać się wzdłuż krzywizny pobocznic. Przez szczelinę pomiędzy układem mieszającym a ścianą misy przeciska się klin masy. Podczas takiego ruchu okrężnego powstają w masie siły odśrodkowe inercji, które przyciskają ją do gumowej powierzchni pobocznic. W skutek silnego hamowania przylegającej do gumy warstwy granicznej strumienia masy powstaje znaczny gradient prędkości na przekroju strumienia (rys.7), gdzie elementarne warstwy masy przesuwają się względem siebie w wyniku czego ma miejsce rozcieranie.



Rys.7. Ruch strumienia masy wzdłuż pobocznic misy mieszarki pobocznicowej. 1 ÷ 4 - warstwy elementarne strumienia masy,  $V_1 < V_2 < V_3 < V_4$  - prędkości ich ruchu

Rozcieranie jest głównym elementem procesu zachodzącego w mieszarce pobocznicowej. Zapewnia dużą jakość wymieszania i powlekania ziarenek piasku w masie warstwą nawilżonej gliny (bentonitu). Rola krążników w tej mieszarce jest podrzędna, ponieważ pomiędzy toczącymi się krążnikami a ścianą pobocznic nie zachodzą poślizgi; mogą one w najlepszym przypadku przejeżdżać po strugach masy w małym stopniu realizując operację ugniatania

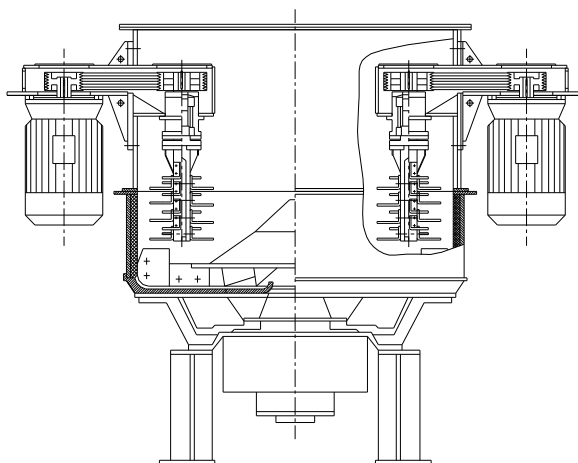
Niewielka rola krążników w mieszarce pobocznicowej była zbadana doświadczalnie przez Zacharowicza I.Z.[1], który uruchamiał mieszarkę po zdjęciu krążników. Jakość masy formierskiej oraz wszystkie parametry technologiczne tej masy nie pogorszyły się od tego.



**b) mieszarki pobocznicowe z wysokoobrotową turbiną**

Stale dążenie do poprawy warunków procesu oraz zwiększenia intensywności mieszania składników masy formierskiej doprowadziły do powstania nowej konstrukcji mieszarki pobocznicowej. Mieszarka pobocznicowa po zdemontowaniu krążników została wyposażona w wysokoobrotowe turbiny z własnym napędem (rys.8).

Mieszarki pobocznicowe o mniejszej wydajności, jak: MP-030, MP-060 zostały wyposażone w pojedyncze turbiny, natomiast większe mieszarki MP-120, MP-240 w dwie turbiny.



Rys.8. Mieszarka pobocznicowa typu MP z zamontowanymi wysokoobrotowymi turbinami.

Zamontowanie turbin przy istniejącym zespole mieszającym mieszarki pobocznicowej nie przyniosło oczekiwanych rezultatów, ponieważ ilość masy formierskiej podawanej pod turbiny przez obracający się wirnik z lemieszami nie była wystarczająca do pełnego wykorzystania mocy silników napędzających turbiny. Turbiny przez cały cykl mieszania pracowały na biegu jałowym, praktycznie bez obciążenia, a tym samym efektywność ich pracy była niewielka.

Próby procesu mieszania w mieszarce pobocznicowej z zamontowanymi dwiema wysokoobrotowymi turbinami przeprowadzono w „Odlewni Żeliwa – Śrem”. Wirnik mieszarki został całkowicie zdemontowany i na jego osi zostało zamontowane dodatkowo dno obrotowe z systemem lemieszów.

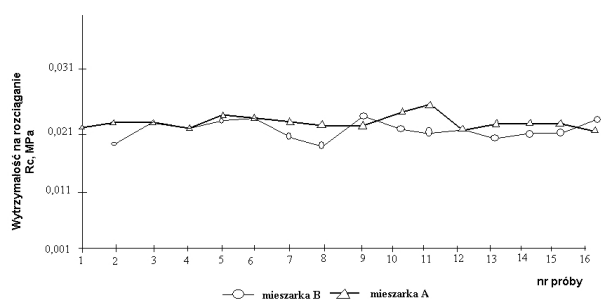
Masa formierska w czasie prób była w sposób ciągły podawana pod turbinę przez obracające się dno obrotowe, zwiększyła się wysokość warstwy masy podawanej przez dno obrotowe pod turbinę; turbina została w pełni obciążona, co znacząco wpłynęło na intensywność procesu mieszania.

Uzyskane efekty potwierdziły przyjęte założenia, że zainstalowana wysokoobrotowa turbina intensyfikuje proces mieszania składników masy formierskiej, a w szczególności proces rozcierania poszczególnych warstw masy formierskiej.

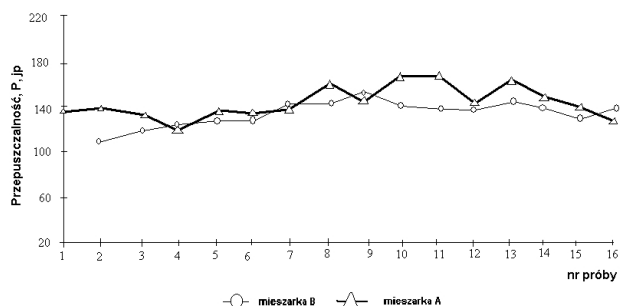
Wyposażenie mieszarki pobocznicowej w wysokoobrotowe turbiny pozwoliło na znaczne polepszenie właściwości technologicznych masy. Uzyskano zwiększenie:

- jednorodności mieszaniny,
- ujednorodnienia składu masy formierskiej (w czasie ok. 5 s),
- rozprowadzenia wody w masie (ok. 5 s), co pozwala na dłuższy czas mieszania składników z wodą,
- intensywności przebiegu procesu rozcierania, a tym samym dobrą jakość powleczenia ziaren piasku warstwą lepszczą.

Modernizacja mieszarek pobocznicowych przez wyposażenie ich w wysokoobrotowe turbiny potwierdziła prawidłowość przyjętych założeń. Uzyskane wyniki technologiczne były w pełni zadowalające; potwierdzają to uzyskane wyniki [14], przedstawione na (rys.9 ÷10).



Rys.9. Wartości wytrzymałości masy na rozrywanie dla mieszarek pobocznicowych: A- z zamontowanymi turbinami, B – bez turbin z krążnikami



Rys.10. Wartości przepuszczalności masy dla mieszarek pobocznicowych: A- z zamontowanymi turbinami, B – bez turbin z krążnikami

Dalszy rozwój nowych technologii mieszania mas formierskich nie mógł jednak opierać się na modernizacji starych konstrukcyjnie i wyeksploatowanych mieszarek pobocznicowych, typu MP, ze względu na:

- montowanie wysokoobrotowych turbin do mieszarek pobocznicowych wymagało wykonania nowego płaszcza ze względu na znaczne obciążenia dynamiczne turbin,
- stare rozwiązania konstrukcyjne, duża ilość części technologicznego zużycia (wysoki koszt eksploatacji),
- stare systemy sterowania elektrycznego, nie pozwalające na automatyzację,
- problem z czyszczeniem pobocznic misy w czasie procesu mieszania,
- niedociążenie przekładni głównej napędzającej wirnik mieszarki, zdemontowanie krążników zmniejszyło znacznie obciążenie przekładni głównej,
- zamontowanie dodatkowego silnika napędu turbiny i niedociążenie silnika napędu głównego spowodowało, że mieszarka stała się energetycznie nieekonomiczna,
- trudności zabudowy (instalacji) wag tensometrycznych składników masy formierskiej,
- trudności zabudowy (instalacji) automatycznych systemów pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej.

Powyższe względy oraz fakt, że konstrukcja mieszarek pobocznicowych była opracowana w latach sześćdziesiątych spowodowało wdrożenie nowo opracowanej mieszarki, spełniającej wszystkie wymagania technologiczne oraz techniczne dotyczące mechanizacji, kosztu eksploatacji oraz niezawodności działania.

## 5. Mieszarki turbinowe (wirnikowe)

W ostatnich latach powstało wiele nowych konstrukcji mieszarek okresowego i ciągłego działania. Mieszarki o pracy cyklicznej (do 120 s) to przede wszystkim mieszarki turbinowe [5,11]:

1. z obrotową misą o pionowej ( lub pochyłej ) osi obrotu, stałym lemieszem oraz jedną (lub dwoma ) wysokoobrotową turbiną zamontowaną na stałe do korpusu mieszarki – producent: EIRICH - Niemcy, TECHNICAL - Polska,
2. ze stałą misą o pionowej osi obrotu, obrotowym lemieszem oraz jedną (lub dwoma) wysokoobrotową turbiną wykonującą ruch obrotowy wokół osi środka misy – producent: GEORG FISCHER - Szwajcaria,

3. z obrotową misą o pionowej osi obrotu, stałym lemieszem, jedną wysokoobrotową turbiną zamontowaną na stałe do korpusu mieszarki oraz wolnoobrotowym zespołem lemieszy zamontowanym na stałe do korpusu mieszarki – producent: SPACE - Italia.

Oferowane są również mieszarki pobocznicowe:

4. ze stałą misą o pionowej osi obrotu, jedną (lub dwoma) wysokoobrotową turbiną zamontowaną na stałe do pobocznicy mieszarki – producent: SAVELLI - Italia,
5. typu „speedmullor” firm: SIMPSON – Irlandia oraz GOSTOL - Chorwacja.

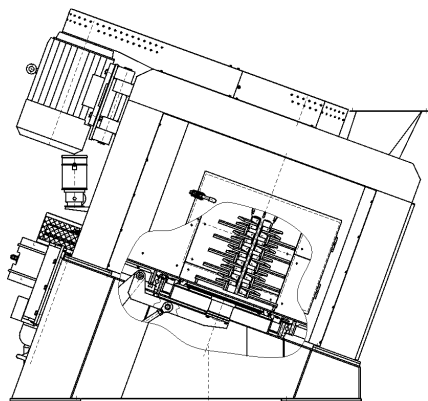
oraz mieszarki przeznaczone do ciągłej pracy:

6. ze stałą misą o poziomej osi wzdłuż której usytuowany jest wał wolnoobrotowy z zamontowanymi promieniowo lemieszami (łopatami), w dnie płaszcza misy na jego stycznej zamontowane są małe wysokoobrotowe turbiny – producent: FOUNDRY AUTOMATION - Italia.

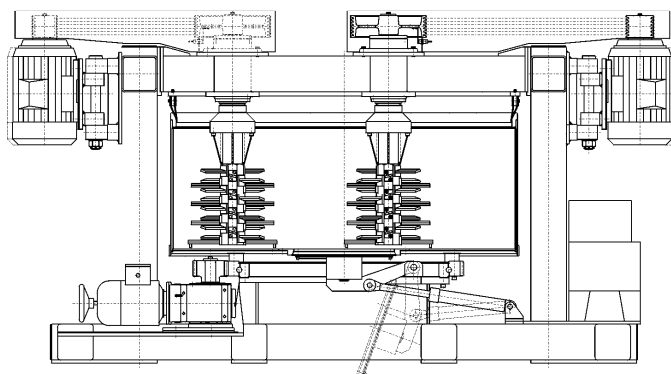
Mieszarki turbinowe typu MTI oraz MTP produkowane przez P.P.P. TECHNICAL w Nowej Soli należą do nowej generacji maszyn odlewniczych przeznaczonych do sporządzania syntetycznych mas formierskich bentonitowych [5,15÷17]. Zjawisko dynamicznego przemieszczania cząstek masy, dzięki zastosowaniu szybkoobrotowej turbiny intensyfikuje proces ujednoczenia składu masy i rozprowadzenia lepiszcza na powierzchni ziaren.

TECHNICAL produkuje mieszarki turbinowe o różnej wydajności, związanej z wielkością misy (załadunku):

- z obrotową misą o pochylej osi obrotu, stałym lemieszem oraz jedną wysokoobrotową turbiną zamontowaną na stałe do korpusu mieszarki, mieszarki MTP-250, MTP-500, MTP-1000, MTP-1500 (rys.11)
- z obrotową misą o pionowej osi obrotu, stałym lemieszem oraz dwoma wysokoobrotowymi turbinami zamontowanymi na stałe do korpusu mieszarki, mieszarki MTI-2500, MTI-3000, MTI-4000, MTI-5000 (rys.12)



Rys.11. Mieszarka turbinowa MTP (z obrotową misą o pochylej osi obrotu) prod. TECHNICAL – Nowa Sól



Rys.12. Mieszarka turbinowa MTP (z obrotową misą o pionowej osi obrotu) prod. TECHNICAL – Nowa Sól

## 6. Podsumowanie

W omówionych typach mieszarek ma miejsce różnorodne oddziaływanie mechaniczne na masę w celu ujednorodnienia jej składu, nawilżenia i powleczenia ziaren piasku substancją wiążącą oraz jej aktywacji. Intensywność oddziaływań, takich jak: ugniatanie, rozcieranie, przerzucanie i rozgęszczanie (spulchnianie) masy jest zależne od:

- stosowanych układów mieszających,

- prędkości obrotowych układów mieszających (turbin i lemieszy),
- kątów pochylenia lub ustawienia łopatek turbin i lemieszy,
- wzajemnych kierunków obrotu misy, turbin lub zespołu lemieszy,
- wysokości warstwy masy formierskiej w misie (średnicy misy),
- kąta pochylenia misy oraz usytuowania układów mieszających.

Dla każdego typu mieszarki charakterystyczna jest ilość i intensywność (stopień penetracji) przebiegu wyróżnionych elementarnych operacji, polegających na ścisaniu i rozrywaniu ziaren pokrywanych substancją wiążącą pozostającą w przestrzeniach międzyziarnowych.

Ilość elementarnych operacji w czasie cyklu mieszania w mieszarkach krążnikowych jest kilka (rzędu 2÷4) razy mniejsza niż pobocznicowych oraz kilkudziesięciu (rzędu 60÷80) razy mniejsza niż w turbinowych, co objaśnia się charakterystyczną dla każdego typu mieszarki względną głębokością wtłaczania ziaren do gliny.

Mieszarki turbinowe są niezastąpione przy odświeżaniu masy obiegowej. Wynikająca z dużych obrotów wirnika ilość elementarnych oddziaływań powoduje aktywację warstwy nawilżonej gliny, co w rezultacie prowadzi do uzyskiwania maksymalnych wartości właściwości wytrzymałościowych. Mieszarki turbinowe spełniają właściwą rolę również podczas sporządzania masy ze świeżych składników. Ilość elementarnych oddziaływań powoduje właściwe rozłożenie substancji wiążącej na ziarnach osnowy piaskowej. W mieszarkach tych również ma miejsce rozproszczenie - powleczenie ziaren, zintensyfikowane oddziaływaniami podczas transportu, składowania, zagęszczania itp.

Mieszarki turbinowe na trwałe wpisały się w proces technologiczny sporządzania i odświeżania syntetycznej masy z bentonitem. Wprowadzenie ich wynika z konsekwentnego rozwoju konstrukcji mieszarek mającego na celu skrócenia cyklu technologicznego dzięki intensyfikacji oddziaływań na masę.

Niezawodność pracy mieszarek turbinowych, niewielkie zużycie części technologicznych, niezawodność działania i prosta ich obsługa eksploatacyjna umożliwia budowę nowoczesnych stacji przerobu mas formierskich (SPM) z jedną mieszarką turbinową o odpowiednio dobranej wydajności. System sporządzania mas formierskich oparty na jednej mieszarce turbinowej jest układem najprostszym a zarazem najtańszym, biorąc pod uwagę koszty inwestycyjne, jak i eksploatacyjne.

## Literatura.

- [1] Aksjonow P.N.: Wybrane zagadnienia z teorii maszyn odlewniczych. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice, 1965.
- [2] Bodzoń L.: Analiza teoretyczna i doświadczalna zjawiska poślizgów w mieszarkach krążnikowych. Praca doktorska. Wydział Odlewnictwa AGH. Kraków, 1968.
- [3] Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych. Skrypt AGH nr 919. Kraków, 1984.
- [4] Chudzikiewicz R.: Mechanizacja Odlewni. WNT. Warszawa, 1974
- [5] Ciamaga E., Nizioł W.: Mieszarki turbinowe MTI do mas formierskich bentonitowych. Materiały Konferencji TECHNICAL'98 „Nowoczesne Techniki Przygotowania Mas Formierskich”. Nowa Sól, 1998, s. 23÷45.
- [6] Gregoraszczyk M.: Maszynoznawstwo Odlewnicze. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne. Kraków, 2002.
- [7] Iwakin R.I.: Mechanizm i kinetyka processa obwołakiwanija pri smieszivanii pещano-glinistych formowocznych materialow. Litiejnoje Proizvodstvo, nr. 10, 1982, s. 14÷15

- [8] Jerszow M.Ju., Ksenofontow S.A.: Eksperymentalnaja prowierka razczetnogo metoda opredelenija dlitilnosti cikła smieszivanja. Materiały Międzynarodowej Naukowo-Technicznej Konferencji „Progressiwnyje technologiczeskije processy i oborudowanie w litiejnom proizwodstwie. MAMI, Moskwa, 2002, s 27÷32.
- [9] Jerszow M.Ju.: Rol aktywacji w processie prigotowlenija formowocznych smiesiej. Materiały Międzynarodowej Naukowo-Technicznej Konferencji „Progressiwnyje technologiczeskije processy i oborudowanie w litiejnom proizwodstwie. MAMI, Moskwa, 2002, s 27÷32.
- [10] Lewandowski J.L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wyd.”Akapit”. Kraków, 1997.
- [11] Materiały reklamowe producentów mieszarek
- [12] Matwiejenko I.W., Tarskij W.L.: Oborudowanie litiejnych cechow. Wyd. „Maszynostrojenie”. Moskwa, 1976.
- [13] Pelczarski S.: Teoretyczne podstawy procesu ciągłego mieszania. Praca zbiorowa. Skrypt AGH, Studia Podyplomowe, Materiały nr. 20. Kraków, 1972, s. 17÷21.
- [14] Pezarski F., Smoluchowska E., Izdebska-Szanda I., Nizioł W.: Badanie wpływu sposobu mieszania na jakość sporządzanych mas formierskich. Materiały Konferencji TECHNICAL’98 „Nowoczesne Techniki Przygotowania Mas Formierskich”. Nowa Sól, 1998, s. 47÷65.
- [15] Rudy C., Piosik T.: Katalog „Maszyny Odlewnicze”. PPP. TECHNICAL. Nowa Sól, 1998.
- [16] Rudy Cz., Zapalski A., Legierski J.: Technologia sporządzania mas ze spoiwem alkidowym. Biuletyn Konferencji Odlewniczej TECHNICAL’2002. PPP TECHNICAL, AGH. Nowa Sól, 2002, s. 12÷23.
- [17] Soliński W.: Nowoczesne stacje przerobu mas formierskich. Materiały Konferencji TECHNICAL’98 „Nowoczesne Techniki Przygotowania Mas Formierskich”. Nowa Sól, 1998, s. 1÷15,
- [18] Sztefko F.: Opracowanie podstaw teoretycznych mieszarki krążnikowej o pracy ciągłej. Praca doktorska. Wydział Odlewnictwa AGH. Kraków, 1973.
- [19] Zajgerow I.B.: Maszyny i awtomatizacija litiejnogo proizwodstwa. Wyd. „Wyszejszaja Szkoła” Mińsk, 1969.

## REDUKCJA EMISJI GAZÓW POPRZEZ ZASTOSOWANIE NOWEJ GENERACJI SPOIW ORGANICZNYCH W ODLEWNIACH

A. Serghini<sup>1</sup>  
S. Bieda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>HUTTENES ALBERTUS Düsseldorf  
<sup>2</sup>HUTTENES ALBERTUS Polska Sp. z o.o.

### WSTĘP

Współcześnie, warunkiem zastosowania spoiwa do produkcji seryjnej rdzeni jest : wysoka wytrzymałość przy niskim zużyciu materiałów, duża wydajność oraz opłacalność, wysoka odporność termiczna, oraz dobra wybijalność przy odlewaniu metali nieżelaznych.

Dodatkowo nowoczesne spoiwa odlewnicze powinny spełniać założone wymagania ekologiczne. W przyszłości znajdą zastosowanie na rynku europejskim tylko takie spoiwa, które oprócz niskiej emisji szkodliwych substancji przy produkcji rdzeni oraz po zalaniu, będą charakteryzować się również niską emisją zapachu i dymu oraz niską kondensacją.

Nowoczesne systemy cold-box, oprócz ulepszonych właściwości technicznych procesu, oferują również poprawę własności dotyczących ochrony środowiska. Na przestrzeni lat proces cold-box zmieniał się bardzo istotnie w kierunku poprawy ochrony środowiska (rys. 1). Poprzez zmianę stosowanych dotychczas rozpuszczalników w składzie żywic i aktywatorów doprowadzono do znacznej redukcji emisji substancji szkodliwych (1. i 2. generacja - rys. 1).

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>1 GENERACJA</b> | <i>Zmiana aromatycznych rozpuszczalników na olej rzepakowy, a przez to zminimalizowanie emisji szkodliwych substancji przy produkcji rdzeni oraz w procesie zalewania (BTX*).</i>                      |
| <b>2 GENERACJA</b> | <i>Zastosowanie zmodyfikowanego estru metylowego kwasu tłuszczowego w celu redukcji emisji gazu powstającego w procesie utwardzania rdzeni oraz w procesie zalewania w porównaniu do 1. generacji.</i> |
| <b>3 GENERACJA</b> | <i>Redukcja zawartości wolnego fenolu w żywicy, w celu poprawy możliwości składowania masy odwałowej oraz dalsze zmniejszenie emisji substancji szkodliwych.</i>                                       |
| <b>4 GENERACJA</b> | <i>Zastosowanie rozpuszczalnika na bazie krzemianu etylu w celu redukcji emisji gazów oraz redukcji dymów i kondensacji po procesie zalania form.</i>  |

Rys. 1: Chronologiczny rozwój nowych generacji procesu cold-box z uwzględnieniem ochrony środowiska

\*BTX – sumaryczna emisja benzenu, toluenu i ksylenu

Odlewnie, obok redukcji emisji szkodliwych substancji przy produkcji odlewów, borykają się również z problemem dotyczącym innych rodzajów emisji. Geograficzne położenie zakładów produkcyjnych w pobliżu obszarów zamieszkałych przez ludzi oraz ciągle rosnąca świadomość

<sup>1</sup> mgr inż.

społeczeństwa odnośnie ochrony środowiska prowadzi do większej wrażliwości mieszkańców na takie czynniki jak hałas i dym, a przede wszystkim - zapach.

Istnieją tutaj dwie drogi rozwiązywania problemów:

1. **Metody wtórne:** urządzenia do oczyszczania gazów odlotowych takie jak np. filtry biologiczne oraz urządzenia do termicznego spalania pokazały w przeszłości, że możliwa jest poprawa jakości powietrza w odlewni. Środki te jednak są niestety kosztowne, a poza tym nie wszystkie mają wystarczający stopień skuteczności.
2. **Metody pierwotne:** w ostatnich latach chemia odlewnicza intensywnie zajmowała się problematyką emisji zapachu. Opracowano mianowicie nową generację spoiw, charakteryzujących się zredukowaną emisją gazów i zapachów w procesie odlewania.

## PROBLEM EMISJI ZAPACHU I PRÓBY JEGO ROZWIĄZANIA

### 1.1. Źródła emisji gazów w odlewni

W odlewniach mamy do czynienia z różnymi źródłami emisji gazów i zapachów. Poniżej przedstawione zostaną najważniejsze źródła tych emisji pod względem ich narastającej intensywności.

#### 1.1.1. Rdzeniarnia

Decydujący wpływ na powstawanie emisji zapachów ma proces zachodzący przy produkcji rdzeni. Podczas gdy przy utwardzaniu szkła wodnego lub rezolu dwutlenkiem węgla, proces produkcji rdzeni postępuje bezzapachowo, to np. w przypadku poliuretanowego procesu cold-box, w zależności od stosowanej aminy trzeciorzędowej lub składu rozpuszczalnika, emisja zapachu kształtuje się na poziomie od słabego do bardzo mocnego.

Zastosowanie pokryć na bazie alkoholu podwyższa dodatkowo emisję zapachu do otoczenia.

Pokrycia wodne nowej generacji poddaje się procesowi suszenia w piecu.

Podczas suszenia dochodzi do odparowania części rozpuszczalnika zawartych w spoiwie, co jest przyczyną powstawania nieprzyjemnego zapachu. Intensywność zapachu zależy w dużej mierze od temperatury wrzenia i ciśnienia pary stosowanego rozpuszczalnika oraz od temperatury rdzenia i jego geometrii.

#### 1.1.2. Topialnia

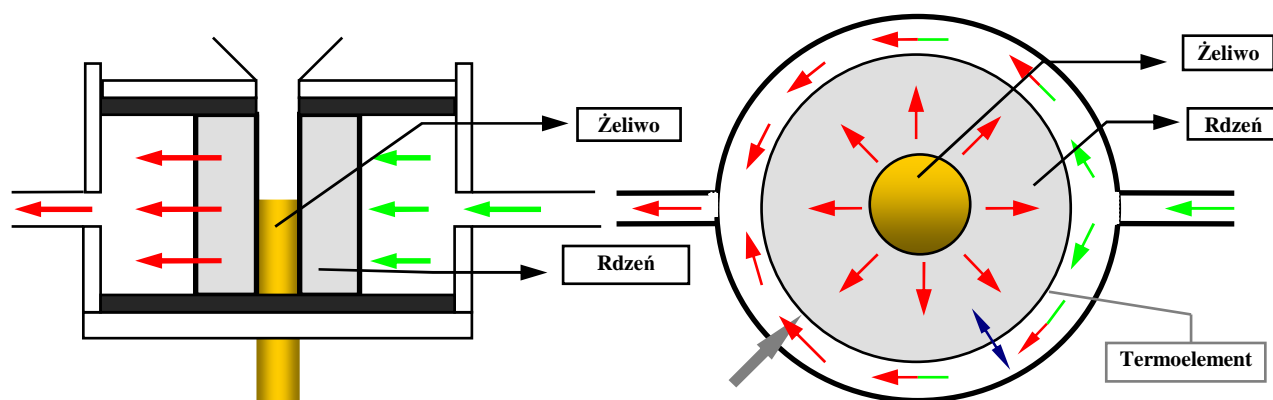
W odlewniach żeliwa szarego stosowane są najczęściej żeliwiaki. Materiały wsadowe emitują znaczne ilości nieprzyjemnych zapachów. Nieprzyjemne gazy emitowane są również przy topieniu w piecach elektrycznych.

#### 1.1.3. Linia formierska

W przypadku linii formierskiej główne obciążenie zapachem powstaje podczas zalewania oraz fazy chłodzenia odlewów. Intensywność zapachu zależy od rodzaju procesu (rys. 3).

W formie z mas bentonitowych z rdzeniami, część zapachu emitowana jest poprzez zawarte w masie nośniki węgla błyszczącego. Największa emisja następuje jednak z rdzeni wiązanych chemicznie. Całkowita emisja zapachu zależy tutaj od stosunku ciężaru masy formierskiej do ciężaru rdzenia, obciążenia termicznego i stosowanego procesu przy produkcji rdzeni. Podczas gdy emisję zapachu powstającego przy wykonywaniu rdzeni z żywic rezolowych utwardzanych dwutlenkiem węgla można pominąć, to nasilenie zapachu powstającego przy zalewaniu odlewów jest większe niż w przypadku innych znanych procesów produkcji rdzeni.

## 1.2. Metody pomiaru emisji gazów



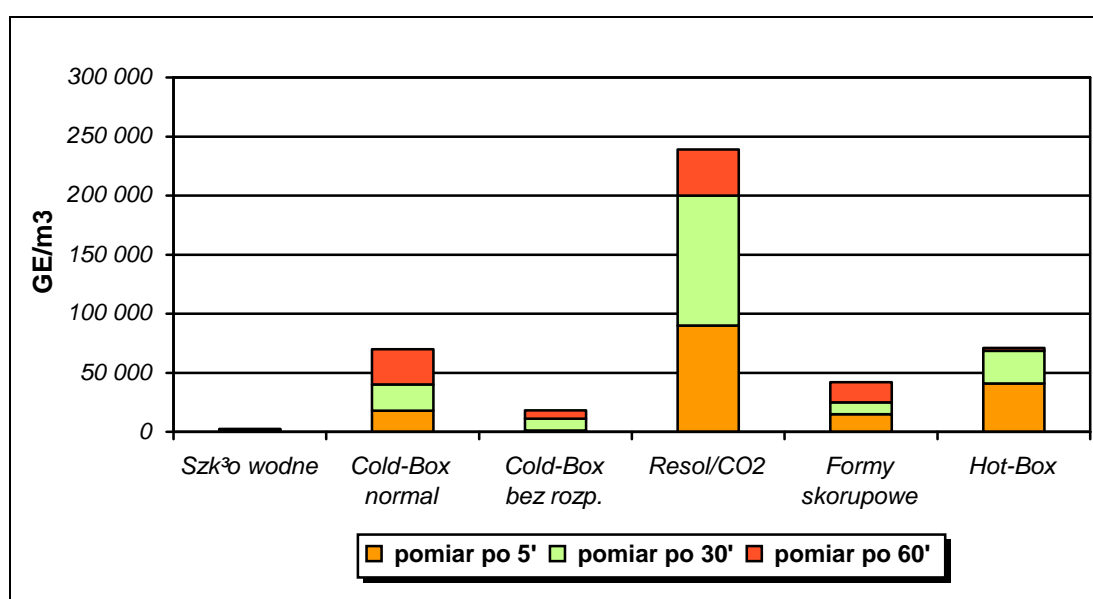
Rys. 2: Szkic próby pirolizy

W celu przeprowadzenia symulacji dotyczącej zachowania różnych technologii produkcji form i rdzeni po zalaniu, opracowano, w ramach projektów badawczych wspieranych ze środków UE we współpracy z IfG (*Instytutem Odlewnictwa*), bliską praktyce metodę badawczą dotyczącą pomiaru emisji zapachów.

Forma wykonana z poddanego badaniu spoiwa została umieszczona w środku pojemnika, a następnie hermetycznie zamknięta. Przez powstały kanał pomiędzy pojemnikiem, a rdzeniem przepuszczono strumień gazu o określonym natężeniu. Strumień ten porywa gaz emitowany przez zalany rdzeń i transportuje do urządzenia pomiarowego, np. olfaktometru. Natężenie zapachu i jego ekspansja w czasie jest wyrażona w  $GE/m^2$  (jednostka zapachu/iłość wyssanego powietrza).

## 1.3. Redukcja emisji zapachów przy poliuratanowym procesie cold-box

Metoda IfG ma w odlewnictwie praktyczne zastosowanie do pomiaru emisji zapachu przy utwardzanych chemicznie spoiwach, jak również przy pracach badawczych związanych z nowymi, przyjaznymi dla środowiska spoiwami (rys.3)

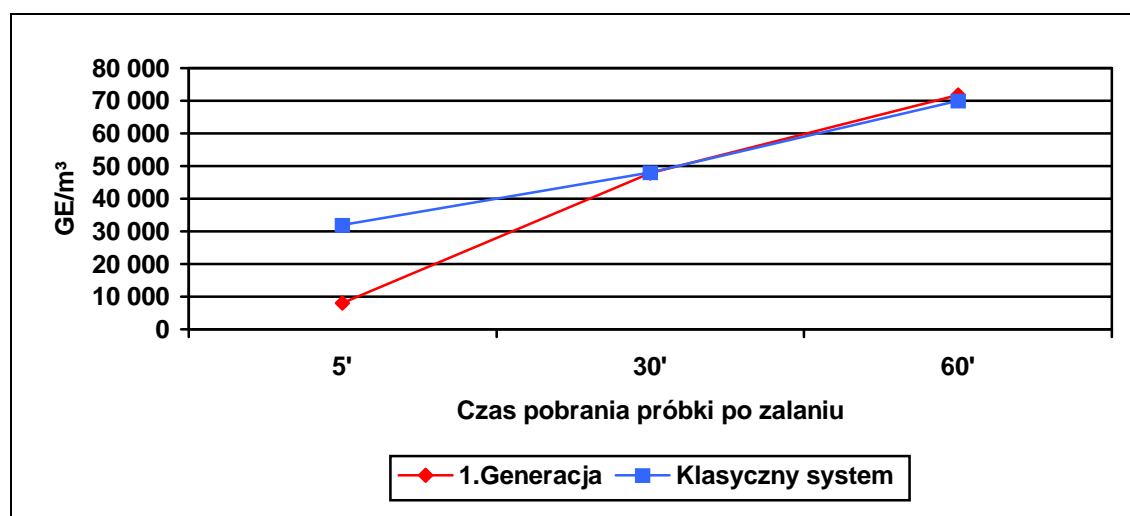


Rys. 3: Specyficzna emisja zapachu w różnych procesach wytwarzania rdzeni



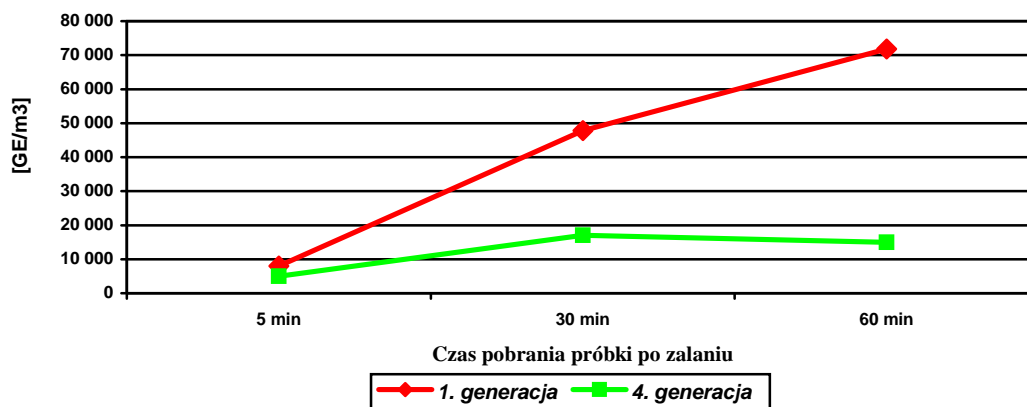
### 1.3.1. Wpływ rozpuszczalników

Wpływ rozpuszczalnika na wydzielanie substancji szkodliwych mógł być wyjaśniony na przykładzie 1. i 2. generacji nowego procesu cold-box. Obserwacja różnicy natężenia zapachu pomiędzy tradycyjnym systemem cold-box bazującym na aromatycznych węglowodorach jako rozpuszczalnikach, a tym samym systemem ale bez rozpuszczalnika (rys.3) pokazuje jednoznacznie, że to właśnie rozpuszczalnik ma decydujący wpływ na emisję zapachu. W emisji całkowitej procesu należy jednak rozróżnić emisję substancji szkodliwych oraz emisję zapachu. Wprowadzenie nowego systemu cold-box 1. generacji oferuje znaczną redukcję substancji szkodliwych (BTX) w porównaniu z klasycznym systemem cold-box, jednak biorąc pod uwagę emisję zapachu – w obu przypadkach jest prawie tak samo wysoka (rys. 4).



Rys. 4: Emisja zapachu przy zalewaniu rdzeni wykonanych w różnych systemach cold-box. Pomiar został przeprowadzony wg metody badawczej IfG.

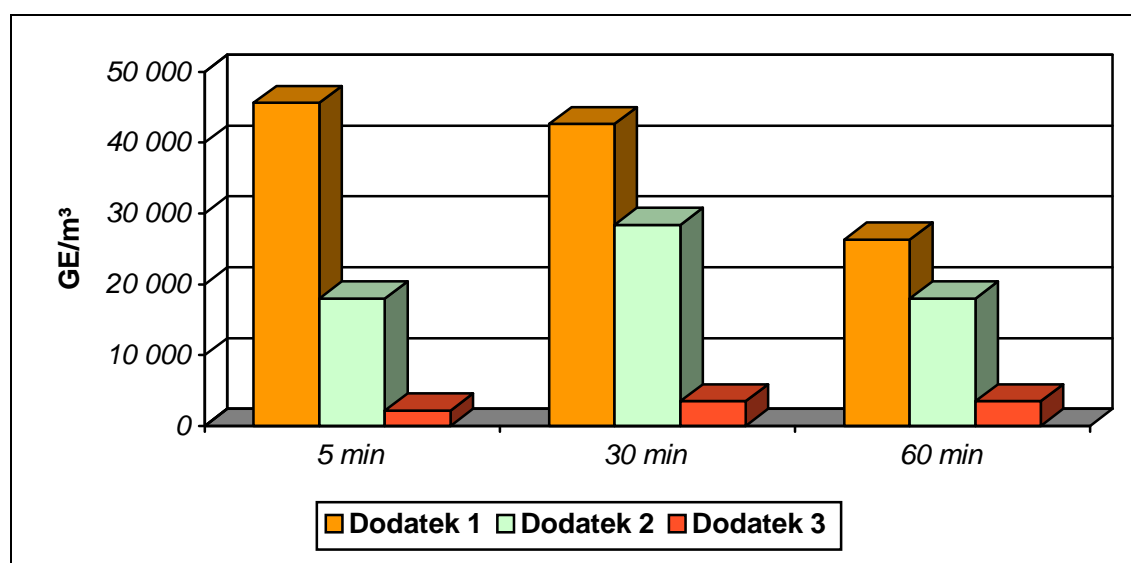
Jest jasne, że rozwiązanie problemu „emisji zapachu” przy poliuretanowym systemie cold-box leży w znalezieniu odpowiednich rozpuszczalników o niskim natężeniu zapachu, które charakteryzowałyby się, podobnie jak procesy utwardzania szkła wodnego, słabym zapachem (patrz rys. 3) o charakterze nieorganicznym. Rozpuszczalniki o takich właściwościach można odnaleźć w grupie estrów kwasu krzemowego, które to właśnie od lat stosowane są w odlewniach do produkcji odlewów precyzyjnych (rys. 5). Odpowiedzialne za emisję zapachu są przede wszystkim związki węglowodorów grupy alkenów i alkynów. Krzemiany etylu poddane działaniu termicznemu ulegają częściowemu przekształceniu w amorficzny związek  $\text{SiO}_2$ . Związki te nie posiadają zapachu oraz wykazują inne techniczne zalety.



Rys. 5: Zastosowanie krzemianu etylu jako rozpuszczalnika w poliuretanowym procesie cold-box prowadzi do drastycznej redukcji emisji zapachów po zalewaniu. Pomiaru dokonano zgodnie z metodą badawczą IfG.

### 1.3.2. Wpływ dodatków

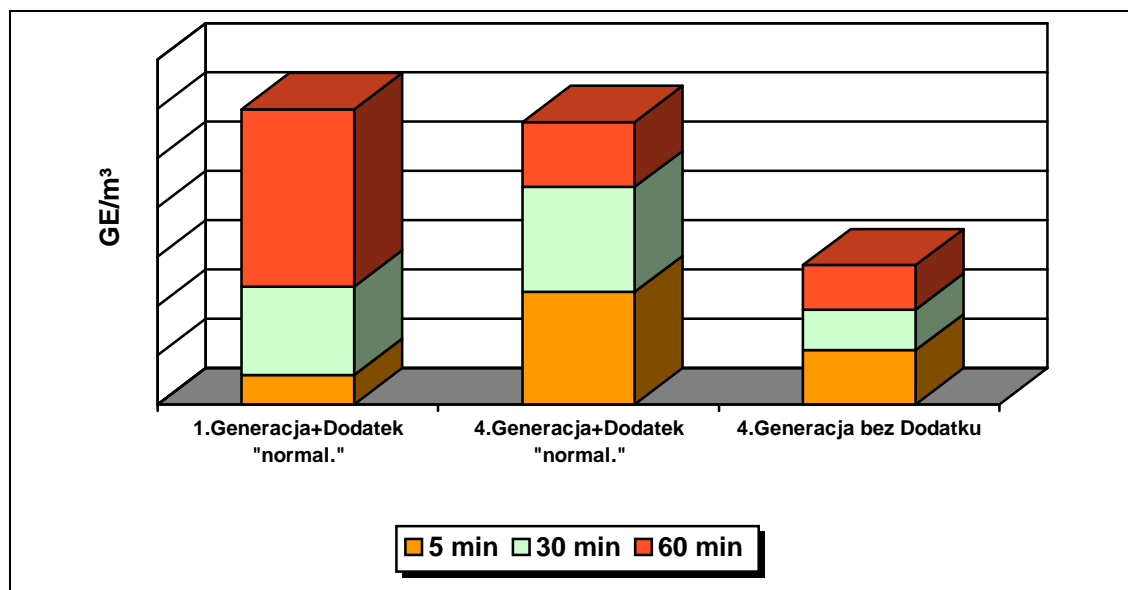
W celu uniknięcia wad wynikających z rozszerzalności liniowej ziaren piasku, przy odlewach żeliwnych stosuje się substancje pomocnicze (rozluźniacze), które składają się głównie z trocin (impregnowanych żywicą z systemu cold-box) - i są z reguły stosowane jako znaczący dodatek do mas rdzeniowych. Udział żywicy do impregnacji tych substancji pomocniczych wynosi z reguły >10% w stosunku do zawartych w dodatku domieszek. Ten stan faktyczny objaśnia, dlaczego tak ogromny jest wpływ dodatków na intensywność zapachu masy rdzeniowej (rys.6).



Rys. 6: Wpływ różnych dodatków przy stosowaniu systemu cold-box, charakteryzującego się słabym zapachem. Pomiaru dokonano zgodnie z metodą badawczą IfG.

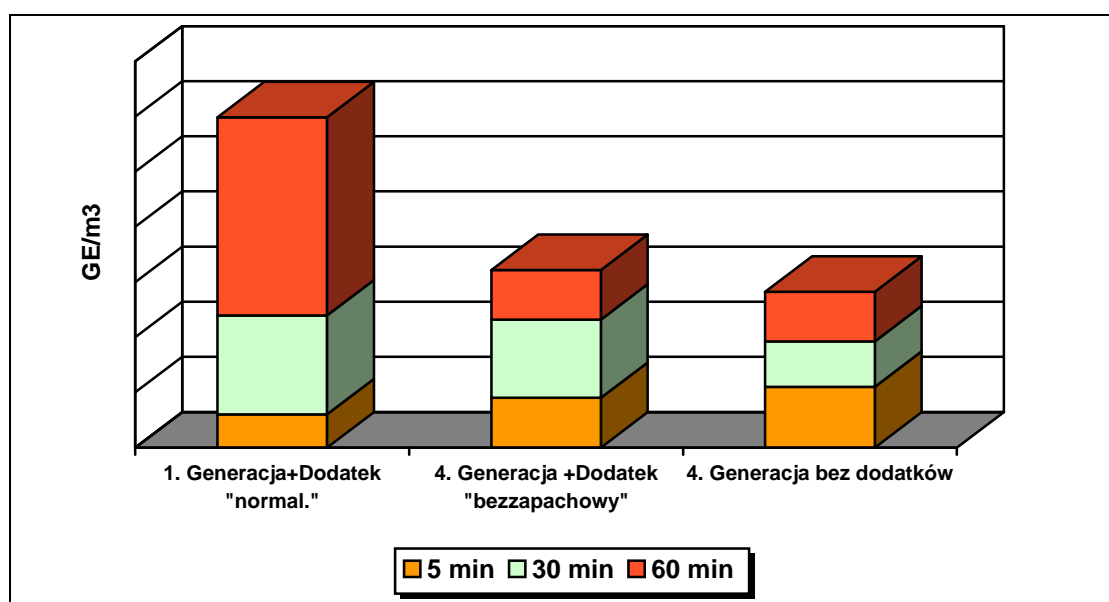
Rysunek nr 7 obrazuje wpływ dodatków organicznych po dodaniu 2,5% Feranexu. Pierwszy słupek składający się z trzech pomiarów spoiwa 1. generacji przedstawia emisję zapachu, przy zastosowaniu tradycyjnego dodatku.

Ostatni, trzeci słupek przedstawia intensywność zapachu systemu 4. generacji – bez dodatku. Środkowy słupek pokazuje nam wyraźnie, że dodanie tradycyjnego dodatku w ilości 2,5%, drastycznie pogarsza dobre właściwości nowego systemu. Potencjał zapachu jest tutaj o wiele niższy, niż w przypadku starego systemu. Przyczyny można szukać w żywicy użytej do impregnacji.



Rys. 7: Wpływ dodatku na emisję zapachu. Pomiaru dokonano zgodnie z metodą badawczą IfG.

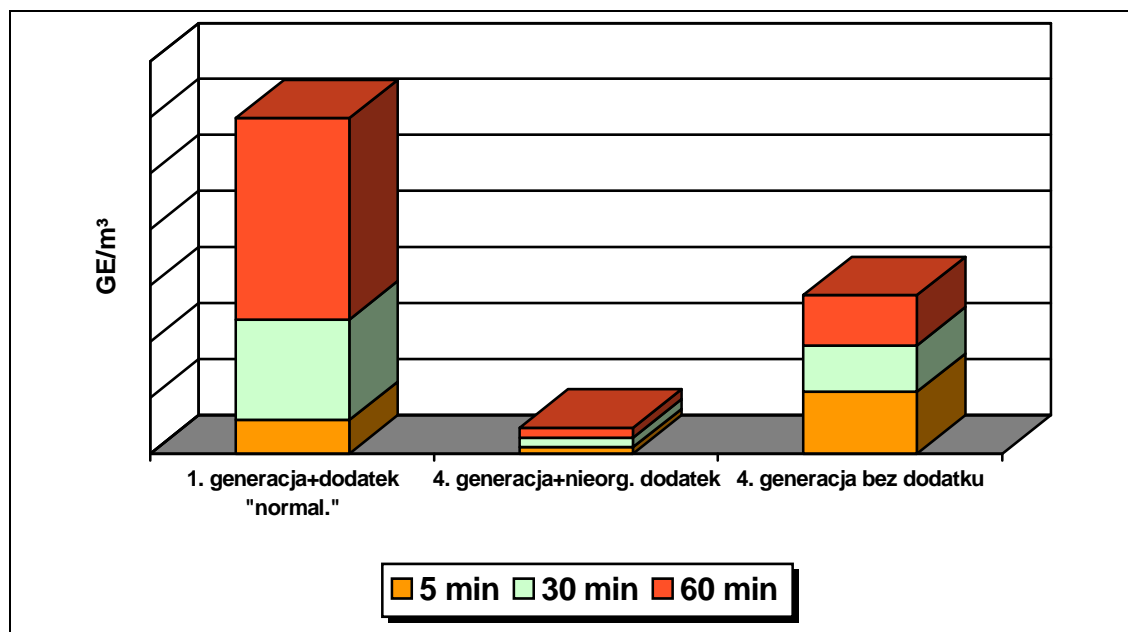
W przypadku zastosowania żywicy do systemu cold-box o słabym zapachu (4. generacji) do impregnacji rozluźniacza, widoczna jest wyraźna różnica w porównaniu z tradycyjnym systemem cold-box (rys. 8). Dzięki zawartości związków krzemu w nowym systemie cold-box, posiada on po części nieorganiczny charakter.



Rys. 8: Wpływ dodatków na emisję zapachu. Pomiaru dokonano zgodnie z metodą badawczą IfG.

Właściwość ta oraz jej działanie na intensywność zapachu mogą służyć jako wskazówka przy rozwoju nieorganicznych dodatków.

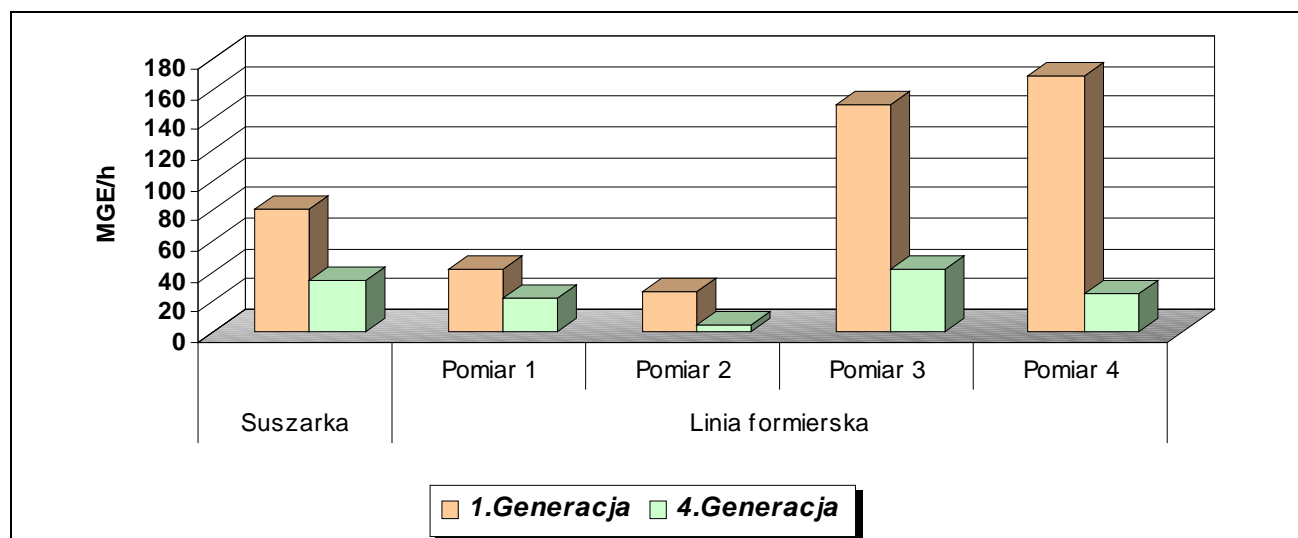
Prace nad nowym nieorganicznym dodatkiem doprowadziły w sposób bardzo istotny do dalszego obniżenia emisji zapachu. Można to wyjaśnić po części absorbcyjnymi właściwościami niektórych składników dodatków.



Rys. 9: Wpływ dodatków na emisję zapachu. Pomiaru dokonano zgodnie z metodą badawczą IfG.

### 1.3.3. Pomiar emisji zapachów na stanowisku pracy

Przed zmianą i po wprowadzeniu nowego systemu cold-box sprawdzono natężenie zapachu zarówno w piecu do suszenia pokryw jak też w rurach odciągowych linii formierskiej. Otrzymane wyniki pomiaru pokryły się z ustalonym olfaktometrycznym badaniem w IfG. Dzięki zastosowaniu nowego spoiwa uzyskano redukcję 76% całkowitej emisji zapachu na linii formierskiej.



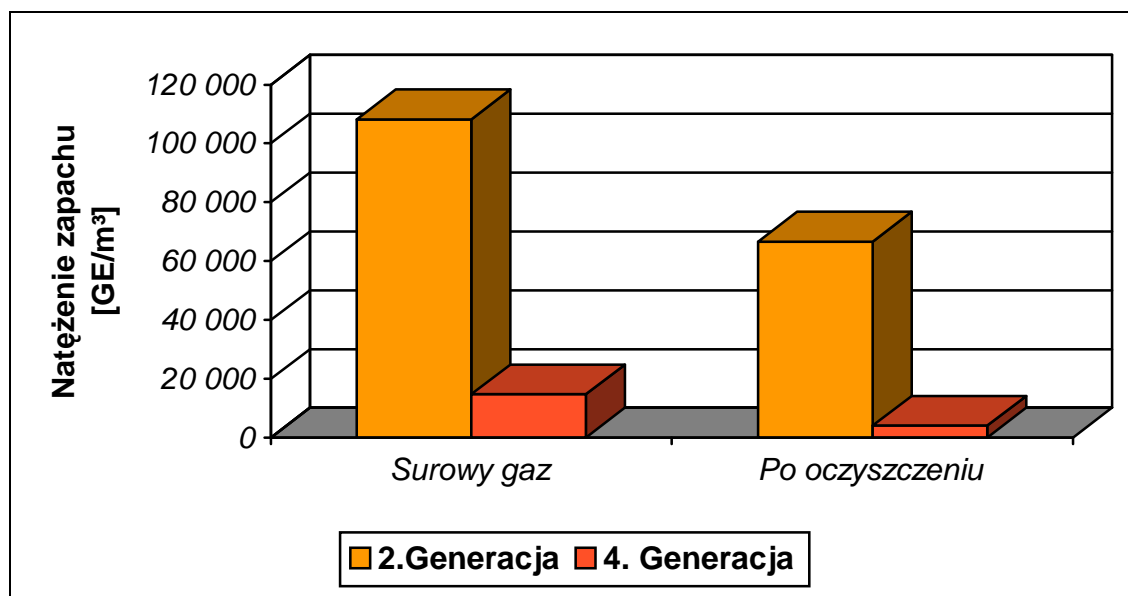
Rys. 16: Natężenie zapachu w piecu i na linii formierskiej. Pomiarów dokonano przed zmianą i po jej wprowadzeniu systemu cold-box 4. generacji.

## 1.4. Doświadczenia w dziedzinie odlewania z metali nieżelaznych oraz metali lekkich

### 1.4.1. Zmniejszanie emisji gazów

W celu zredukowania emisji zapachu przy odlewaniu w masach bentonitowych, gdzie zastosowano rdzenie wykonane w systemie cold-box na bazie estru metylowego kwasu tłuszczowego

jako rozpuszczalnika, wprowadzono przeciwnie do gazów odlotowych. Zastosowanie wtórnych metod doprowadziło wprawdzie do 40%-owej redukcji emisji zapachu, jednak obciążenie zapachem można było zmniejszyć dopiero po wprowadzeniu cold-boxu 4. generacji. Redukcja wyniosła 85% (rys.17). Pomiary wykonane w odlewni kokilowej po zastosowaniu cold-boxu nowej generacji pokazały znaczący spadek emisji zapachu.



Rys. 17: Emisja zapachu w odlewni aluminium w masach bentonitowych po zastosowaniu pierwotnych i wtórnych metod.

#### 1.4.2. Minimalizowanie emisji dymu oraz emisji substancji szkodliwych

W porównaniu do klasycznego systemu cold-box na bazie węglowodorów aromatycznych, wprowadzenie procesu cold-box opartego na bazie estru metylowego kwasu tłuszczowego (pomimo poprawy technologicznych oraz istotnych dla środowiska właściwości) nie jest możliwe w kokilowej odlewni aluminium. Powodem tego jest powstawanie dużej ilości czarnego dymu podczas zalewania i przede wszystkim po otwarciu kokili.

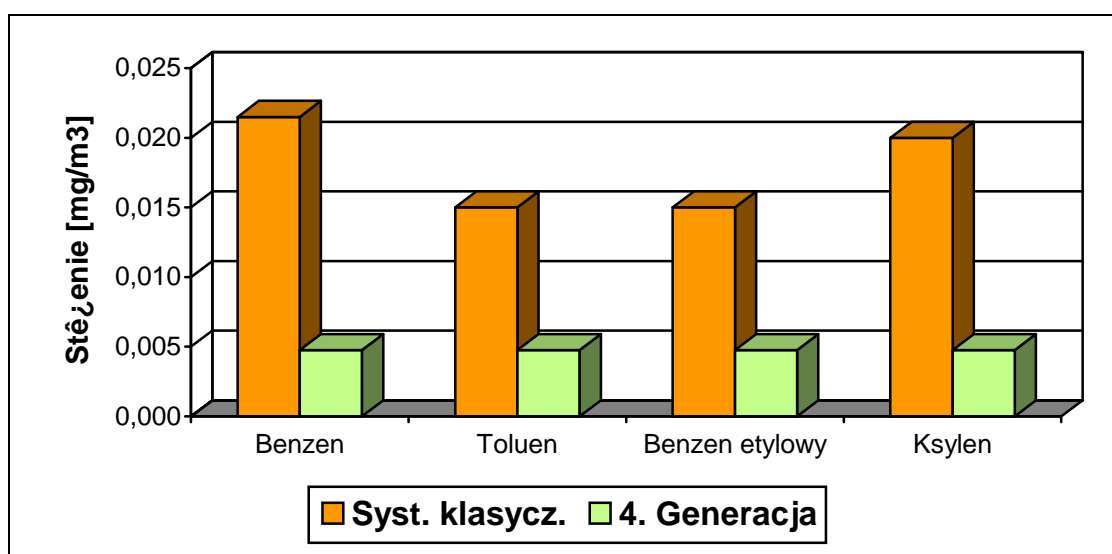
Nowe systemy cold-box, bazujące na krzemianie etylu jako rozpuszczalniku stanowią nowoczesne rozwiązanie, gdyż obok redukcji dymu (rys. 18 i 19), zastosowanie nowego systemu prowadzi do wyraźnej redukcji szkodliwych substancji, które w odlewaniu kokilowym są emitowane w postaci nie przefiltrowanej (w przeciwieństwie do odlewni piaskowych). Redukcja emisji substancji szkodliwych leży w strukturze rozpuszczalnika, który tworzy wiązania chemiczne z krzemem. Powstawanie substancji szkodliwych podczas procesu rozkładu wymaga obecności węgla. Rysunek 20 pokazuje porównanie pomiędzy BTX i systemem cold-box zawierającym aromatyczne rozpuszczalniki.



Rys. 18: System cold-box 4. generacji



Rys. 19: System cold-box 2. generacji



Rys. 20: Pomiar MAK\* wykonane na jednej kokili przy zastosowaniu dwóch różnych systemów cold-box

### 1.4.3. Redukcja kondensacji

W odlewaniu kokilowym formy odlewnicze posiadają różną temperaturę, w celu uzyskania lokalnej modyfikacji struktury odlewu. Szczególnie w strefach chłodniejszych osadzają się produkty pirolizy spoiwa cold-box i powstają kondensaty. Osadzenie się kondensatu na elementach formy może szybko prowadzić do niedokładności wymiarowych odlewów.

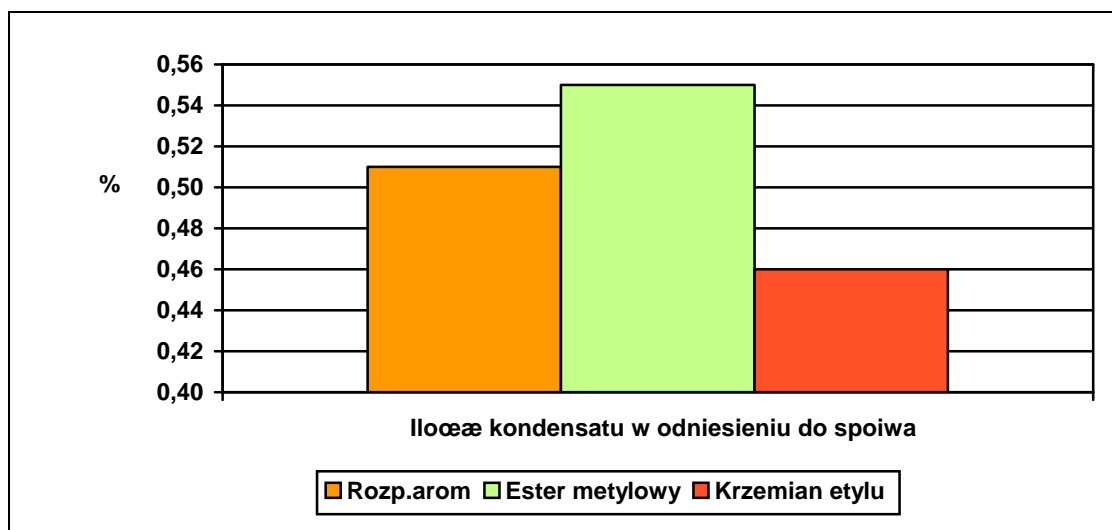
W celu uniknięcia tych problemów, kokila powinna być co pewien okres czyszczona, co powoduje obniżenie wydajności.

Kondensaty powstające w starym systemie cold-box składają się w przeważającej części ze związków organicznych. Związki krzemu zawarte w nowych rozpuszczalnikach ulegają rozkładowi pod wpływem temperatury, co powoduje powstanie amorficznego SiO<sub>2</sub>.

Przez to ilość kondensatów jest wyraźnie mniejsza.

\*MAK – największe stężenie na stanowisku pracy

Rysunek 21 obrazuje kondensację w zależności od ilości spoiwa i rodzaju rozpuszczalników.



Rys. 21: Zdolność kondensacji w systemie cold-box w zależności do ilości spoiwa oraz rodzaju rozpuszczalnika.

## PODSUMOWANIE

Odlewnie, obok problemu redukcji emisji szkodliwych substancji przy produkcji odlewów, stoją obecnie przed kolejnymi wyzwaniem dotyczącymi innych rodzajów emisji. Geograficzne położenie zakładów produkcyjnych w pobliżu obszarów zamieszkałych przez ludzi oraz ciągle rosnąca świadomość społeczeństwa odnośnie ochrony środowiska prowadzi do większej wrażliwości mieszkańców na takie czynniki obciążeniowe jak hałas, a przede wszystkim - zapach. Odlewnik musi postępować zgodnie z zachowaniem socjalnego przyzwolenia odlewni z uwzględnieniem emisji zapachów. Nowy system cold-box poza drastyczną redukcją emisji zapachu po zalaniu, oferuje również inne techniczne zalety w dziedzinie odlewania metali lekkich i żeliwa.

Obecnie wiele odlewni wprowadza system ISO 14001. System ten dotyczy ochrony środowiska i zobowiązuje odlewnie do obniżenia emisji ilości substancji szkodliwych oraz do zagospodarowania odpadów w odlewni. Do odpadów w przemyśle odlewniczym należy masa obiegowa, którą można wykorzystać w przy budowie dróg oraz przy robotach ziemnych. Warunkiem jest tutaj m.in. indeks fenolowy - od 0,1 do 1 mg/l elutalu (tj. wyciągu wody) wg LAGA (Laenderarbeitsgemeinschaft Abfall).

System cold-box 3. Generacji rozwinięto w celu poprawy problematyki emisji fenolu po procesie zalania oraz możliwości ponownego użycia masy w odlewniach.

## LITERATURA

- [1]. Slovaca. UT Koszyce. R. 8, spec. iss. 2 (1/2), 2002, s. 155÷160.