

## DEFORMACJA CIEPLNA RDZENI ODLEWNICZYCH Z POWŁOKAMI OCHRONNYMI

*Jarosław JAKUBSKI<sup>1</sup>,  
Stanisław DOBOSZ<sup>2</sup>*

*Wydział Odlewnictwa  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica*

*Petr JELINEK<sup>3</sup>*

*Katedra Odlewnictwa,  
Uniwersytet Techniczny w Ostrawie,*

### 1. Wprowadzenie.

Wysokie wymagania stawiane obecnie odlewniom dotyczące jakości otrzymywanych wyrobów sprawiają, że prowadzone są poszukiwania nowych materiałów na formy i rdzenie odlewnicze, które sprostają oczekiwaniom odbiorców dotyczących jakości powierzchni i dokładności otrzymanych odlewów. Inną metodą poprawy właściwości mas, a co za tym idzie i odlewu jest zastosowanie odpowiednich powłok ochronnych.

Stosowane obecnie powłoki można podzielić pod względem oddziaływania na stop odlewniczy na pasywne, aktywne, wzmacniające i adsorbujące. Powłoki aktywne mają na celu zmianę właściwości powierzchniowej warstwy odlewu poprzez wprowadzenie do tej warstwy określonego składnika. Powłoki pasywne, zwane również ochronnymi, nie powinny powodować zmiany składu chemicznego wierzchniej warstwy odlewu. Ich zadaniem jest umożliwienie uzyskania gładkiej powierzchni odlewu oraz zabezpieczenie przed powstawaniem przypaleń i wżarć [1].

Jako kryterium oceny wpływu rodzaju powłoki na zachowanie rdzeni zastosowano badanie parametru hot distortion określanego na aparacie DMA.

Parametr hot distortion symuluje zachowanie się gotowych rdzeni w trakcie zalewania [2]. W czasie oddziaływania cieplnego w rdzeniach zachodzi wiele różnych zjawisk, jak na przykład deformacja cieplna (rozszerzanie i kurczenie), termoplastyczność, destrukcja cieplna i mechaniczna, które w sumie decydują o końcowym kształcie odlewu, jego dokładności wymiarowej i gładkości powierzchni a ostatecznie o jakości produkowanych odlewów. W próbie hot distortion kształtka masy jest umieszczona na wsporniku i silnie nagrzana na środku po jednej stronie. W wyniku różnicy w rozszerzalności cieplnej pomiędzy nagrzaną i zimną powierzchnią, kształtka odkształca się od źródła ciepła. Ta wielkość odkształcenia jest mierzona i rejestrowana na wykresie. Do wolnego końca kształtki przykładany jest czujnik, który rejestruje zmiany odkształcenia. Na skutek termoplastycznej natury wiązania podczas nagrzewania osiągnąony jest punkt, gdzie utwardzona masa nie może się dłużej odkształcać przy obciążeniu, po czym następuje odkształcenie w przeciwnym kierunku. Wielkość tego przeciwnego odkształcenia także jest mierzona i rejestrowana na wykresie. Ostatecznie dalszy rozkład spoiwa objawia się całkowitą utratą wytrzymałości i uplastycznieniem kształtki [4, 5].

<sup>1</sup> mgr inż. jjakubski@o2.pl

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

<sup>3</sup> prof. dr hab. inż. petr.jelinek@vsb.cz

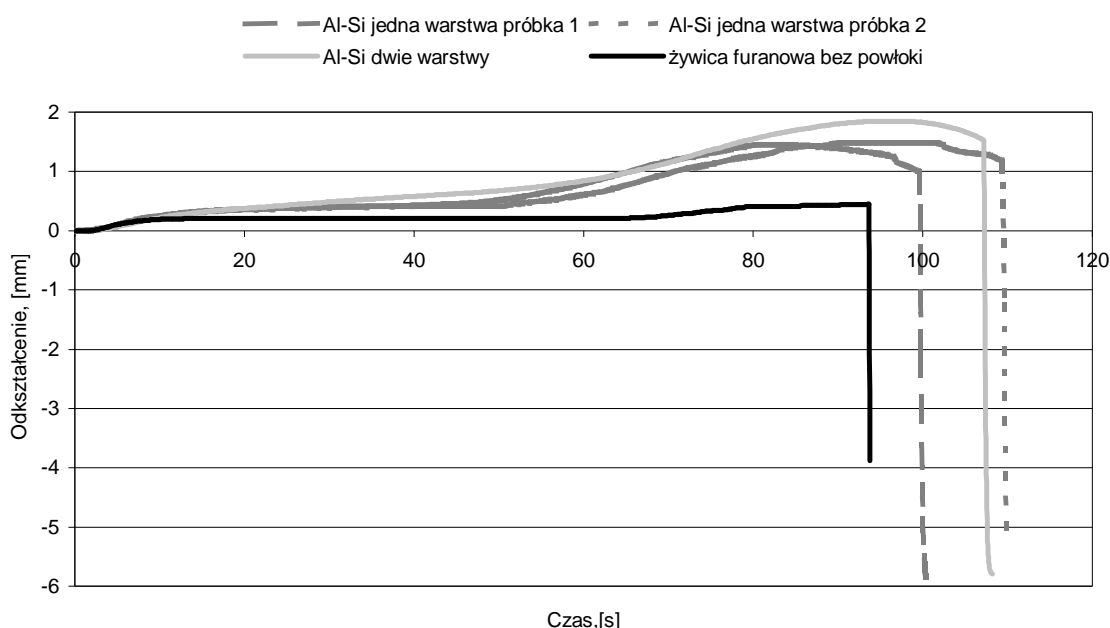
## 2. Badania własne.

Przeprowadzone zostały badania wpływu rodzaju powłoki ochronnej na zachowanie się mas w czasie odkształcenia cieplnego. Kształtki do badania wykonano z sypkich mas samoutwardzalnych z żywicą furfurylową. Na wykonane kształtki naniesiono następujące powłoki:

- powłoka grafitowa;
- powłoka aluminiowo-krzemowa;
- powłoka korundowa;
- powłoka cyrkonowa.

Powłoki nanoszono przez malowanie pędzlem. Wykonano badania kształtek pokrytych podwójną warstwą powłoki. W każdym przypadku rozcieńczalnikiem był alkohol. Na wykresach przedstawiono porównanie zachowań kształtki bez powłoki oraz z pojedynczą i podwójną warstwą powłoki.

Na rysunku 1 przedstawione są wyniki badań parametru hot distortion dla powłoki glinowo-krzemowej. Przebieg odkształcenia kształtki bez powłoki jest charakterystyczny dla tego rodzaju materiałów [6]. W początkowym etapie nagrzewania nie występują z zasadzie widoczne zmiany w zachowaniu kształtki. Z upływem czasu nagrzewania badana kształtka odkształca się ku górze. Po niewielkim odkształceniu następuje gwałtowne załamanie kształtki spowodowane całkowitą destrukcją spoiwa. Zastosowanie powłoki glinowo-krzemowej nie zmienia zasadniczo samej charakterystyki krzywej odkształcenia. W przypadku powłoki pojedynczej wykonano dwa pomiary. Krzywe mają zbliżony przebieg. W stosunku do kształtki bez powłoki daje się zaobserwować, że wzrasta zarówno wielkość, jak i czas, w którym zachodziło odkształcenie.



Rys. 1 Deformacja cieplna rdzeni z powłoką Al-Si.

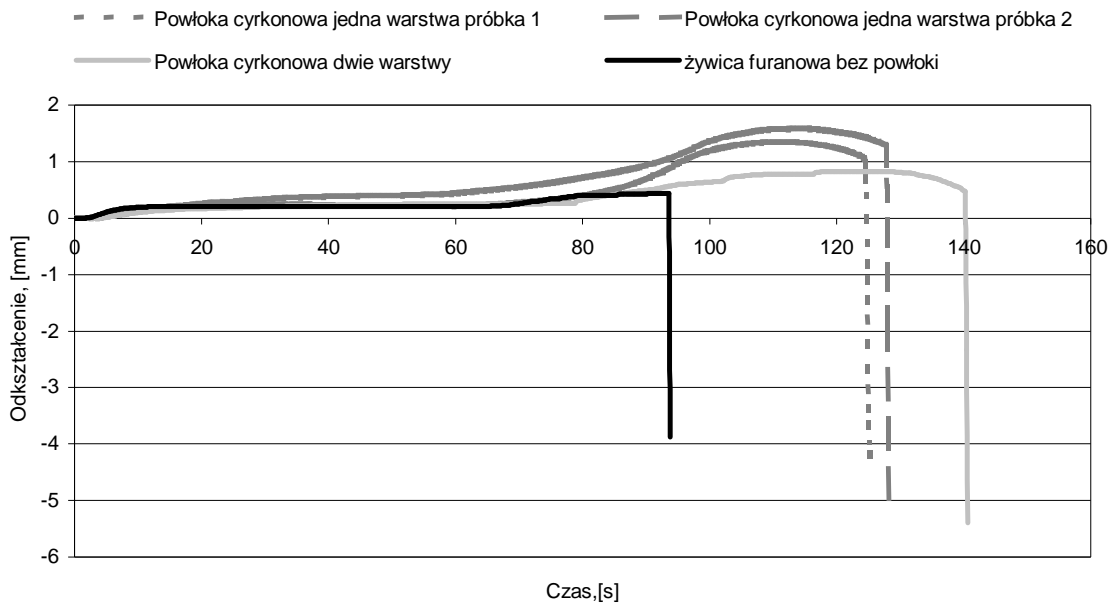
Fig. 1 Thermal deformation of core sands with silicate aluminum coating.

Nie można jednoznacznie określić jak grubość powłoki wpływa na wytrzymałość cieplną, ponieważ porównanie wyników uzyskanych dla pojedynczej i podwójnej warstwy pokazuje, że odkształcenia są podobne w obu przypadkach.

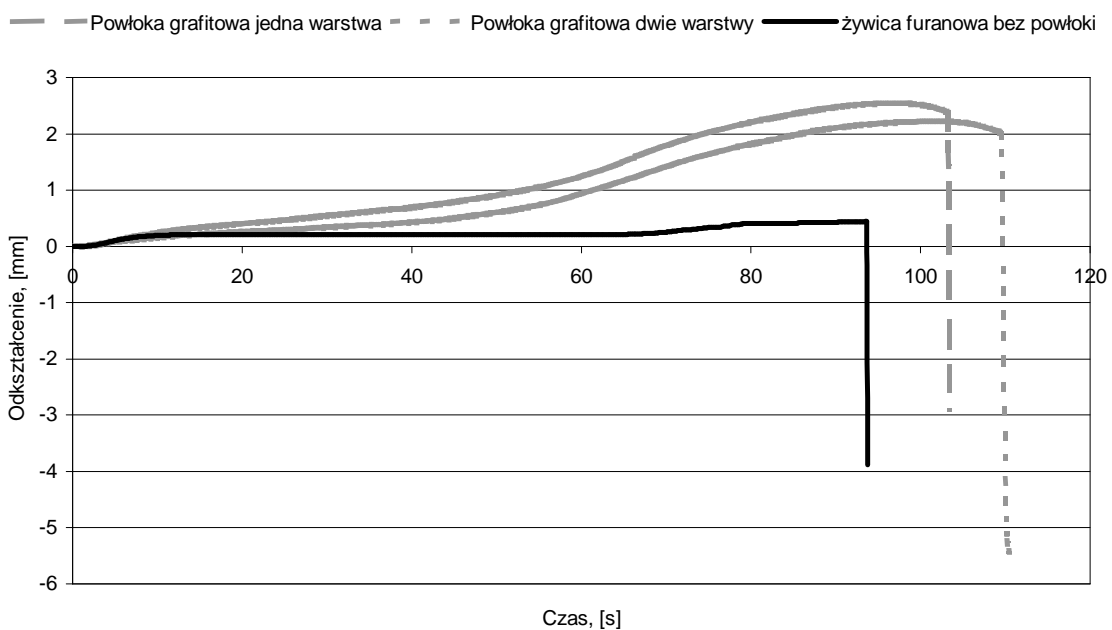
W przypadku powłoki cyrkonowej (rys. 2) daje się zaobserwować zdecydowany wpływ ilości nałożonej warstwy na zachowanie kształtek. Zastosowanie powłoki polepsza

odporność termiczną kształtki. W przypadku nałożenia pojedynczej warstwy wydłużenie wytrzymałości jest jednak związane z prawie trzykrotnym wzrostem odkształcenia. Podwójna powłoka działa zdecydowanie lepiej. Polepsza się wytrzymałość na oddziaływanie cieplne, natomiast zmiana wielkości odkształcenia jest niewiele wyższa niż dla kształtki bez powłoki.

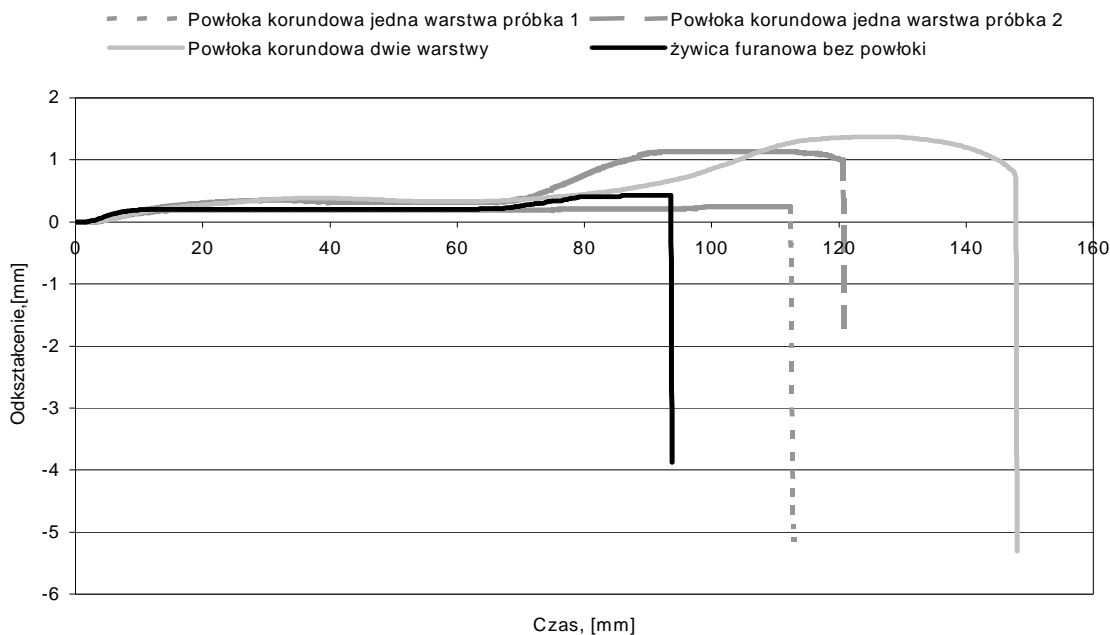
Zastosowanie powłoki grafitowej powoduje niewielką poprawę wytrzymałości termicznej (czas destrukcji wzrasta o około 14sekund) zdecydowanie zwiększa się wielkość odkształcenia. Jest to zjawisko niekorzystne ze względu na możliwość pojawienia się niedokładności wymiarowych, czy dodatkowych naprężeń w odlewie. Nie zaobserwowano wpływu grubości powłoki na zachowanie masy w czasie nagrzewania.



Rys. 2 Deformacja cieplna rdzeni z powłoką cyrkonową.  
Fig. 2 Thermal deformation of core sands with zirconium coating.

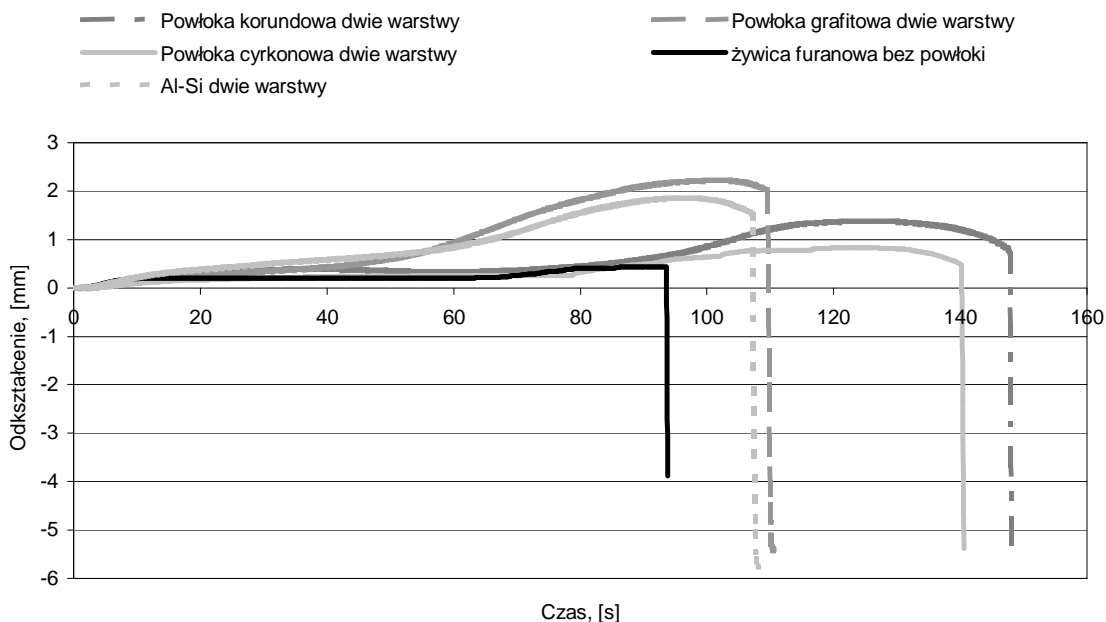


Rys. 3 Deformacja cieplna rdzeni z powłoką grafitową.  
Fig. 3 Thermal deformation of core sands with graphite coating.



Rys. 4 Deformacja cieplna rdzeni z powłoką korundową.  
Fig. 4 Thermal deformation of core sands with corundum coating.

Wyniki uzyskane dla powłok korundowych trudno jednoznacznie zinterpretować. Analizując krzywe widoczne na rysunku 4 można tylko stwierdzić, że stosowanie powłoki korundowej poprawia wytrzymałość termiczną. Rozbieżne wyniki otrzymane dla kształtek pokrytych pojedynczą warstwą uniemożliwiają stwierdzenie jak grubość warstwy wpływa na wielkość odkształcenia masy z powłoką.



Rys. 5 Deformacja cieplna rdzeni z podwójną warstwą powłoki.  
Fig. 5 Thermal deformation of core sands with double layer of coating.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki odkształcenia cieplnego kształtek pokrytych podwójną warstwą powłok. Zastosowanie powłok polepsza właściwości rdzeni poprzez zwiększenie odporności na oddziaływanie termiczne – czas potrzebny do całkowitej destrukcji spoiwa ulega wydłużeniu. Kształtki pokryte powłokami korundową i cyrkonową charakteryzują się poza tym mniejszym stopniem deformacji.

### **3. Wnioski końcowe.**

Przeprowadzone badania pokazują, że w zależności od zastosowanej powłoki deformacją cieplną masy może przebiegać w różny sposób. Nie chodzi o sam charakter odkształcania, ale o czas potrzebny do destrukcji spoiwa, czy wielkość odkształcenia. Najlepszy wpływ na zachowanie rdzeni ma powłoka cyrkonowa.

**Praca jest finansowana przez Komitet Badań Naukowych  
w ramach projektu nr 3 T08B 037 28**

### **4. Literatura.**

1. Lewandowski J. L.: Tworzywa na formy odlewnicze, Kraków, Akapit, 1997
2. Jakubski J., Dobosz St. M.: Badanie zjawisk wysokotemperaturowych w rdzeniach odlewniczych, DOKSEM, 2001, s. 55 – 59
3. Hot-distortion Tester for Bonded Sands – Instruction Manual
4. Morgan D., Fashman E. W.: The BCIRA Hot Distortion Tester for Quality in Production of Chemically Bonded Sands, AFS Transaction, 1975, nr 91, s. 73 – 80
5. Keil M. J., Rodriguez J., Ramrattan S. N.: Thermal Distortion of Shell and Nobake Binder System, AFS Transaction, 2000, nr 99, s. 71 – 74
6. Jakubski J., Dobosz St. M.: Analiza deformacji cieplnej mas z zastosowaniem aparatu DMA, Archiwum Odlewnictwa, 2003, vol. 3, nr 9, s. 246 – 251

## DYNAMIKA GŁOWICY IMPULSOWEJ Z SAMOCZYNNYM, PNEUMATYCZNYM ZAWOREM IMPULSOWYM

*Tadeusz MIKULCZYŃSKI<sup>1</sup>*

*Daniel NOWAK<sup>2</sup>*

*Zdzisław SAMSONOWICZ*

*Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej*

### 1. Wstęp.

Obecnie do zagęszczania klasycznych, bentonitowych mas formierskich są stosowane niemal wyłącznie metody dynamicznego prasowania. Można do nich zaliczyć – zagęszczanie impulsowe oraz dynamiczne prasowanie płytą lub głowicą [1]. Cechą charakterystyczną tej grupy metod jest dynamiczne oddziaływanie (w bardzo krótkim czasie, rzędu kilku ms) czynnika zagęszczającego – strumienia sprężonego powietrza lub płyty prasującej – na masę formierską.

Dynamiczne prasowanie masy pozwala na uzyskiwanie bardzo duże szybkości deformacji masy i w rezultacie jej efektywnego zagęszczania. Taki sposób zagęszczania umożliwia wykorzystanie tiksotropowych właściwości kwarcowo-iłowych mas formierskich do osiągnięcia bardzo wysokiego stopnia ich zagęszczania. Podstawową zaletą metod dynamicznego zagęszczania mas formierskich jest wysoki i jednorodny stopień zagęszczenia masy formierskiej w całej objętości formy.

Ocena dynamiki i optymalizacja konstrukcji głowic impulsowych oraz do dynamicznego prasowania płytą wymaga przede wszystkim znajomości ich modeli matematycznych oraz wyników badań symulacyjnych tych modeli.

Ta praca jest poświęcona prezentacji głowicy impulsowej z samoczynnym, pneumatycznym zaworem impulsowym, która została opracowana w Laboratorium Podstaw Automatyzacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej.

W Laboratorium Podstaw Automatyzacji opracowano także model matematyczny dynamiki tej głowicy [2,3]. Wyniki badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych dynamiki omawianej głowicy impulsowej świadczą o jej bardzo dużej dynamice wewnętrznej, o której decyduje przede wszystkim dynamika pneumatycznego zaworu impulsowego.

Poniżej zaprezentowano głowicę impulsową z samoczynnym, pneumatycznym zaworem impulsowym, jej model matematyczny oraz wyniki badań eksperymentalnych i symulacyjnych.

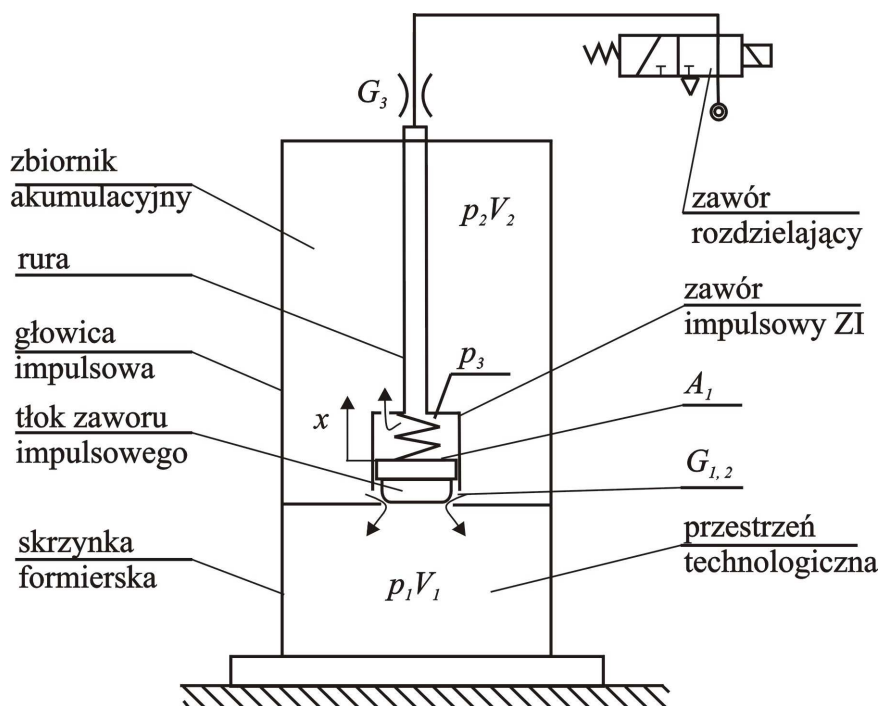
### 2. Zasada działania głowicy impulsowej z samoczynnym, pneumatycznym zaworem impulsowym.

Schemat głowicy impulsowej z samoczynnym, pneumatycznym zaworem impulsowym przedstawiono na rys. 1.

---

<sup>1</sup> Prof. dr hab. inż.

<sup>2</sup> st. technik



Rys.1. Schemat jednostopniowego procesu impulsowego.

Głowica impulsowa składa się z następujących podzespołów:

- zbiornika akumulacyjnego sprężonego powietrza,
- zaworu impulsowego ZI,
- zaworu sterującego (rozdzielającego).

Głównym podzespołem głowicy impulsowej jest zawór impulsowy, który jest zbudowany z następujących elementów:

- cylindra,
- tłoka dwustopniowego,
- tłumika sprężynowego.

Cylinder zaworu ZI ma na swoim obwodzie otwory wylotowe, przez które następuje wylot sprężonego powietrza ze zbiornika akumulacyjnego do przestrzeni technologicznej. Cylinder ma ponadto otwory w dnie, przez które następuje napełnianie zbiornika akumulacyjnego głowicy impulsowej.

Dwustopniowy tłok zaworu ZI spełnia dwie funkcje:

- stanowi element zamykający króciec wylotowy głowicy,
- pozwala na gwałtowne otwarcie otworu wylotowego głowicy.

Przygotowanie do pracy głowicy impulsowej polega na doprowadzeniu sprężonego powietrza za źródła, poprzez zawór rozdzielający i przewód rurowy do komory cylindra zaworu ZI, i dalej przez otwory w dnie cylindra do zbiornika akumulacyjnego. Osiągnięcie w zbiorniku akumulacyjnym zadanej wartości ciśnienia  $p_0$  sprężonego powietrza oznacza stan gotowości głowicy do pracy.

W kolejnej fazie procesu impulsowego może zostać zainicjowana praca głowicy, która rozpoczyna się po przesterowaniu zaworu rozdzielającego. Zmiana jego położenia

powoduje połączenie komory cylindra zaworu ZI z atmosferą. W następstwie tego następuje gwałtowny spadek ciśnienia w przewodzie rurowym i komorze cylindra zaworu ZI, co powoduje, że na tłok zaworu zaczyna oddziaływać siła  $F=p_0(SB-SA)$ , gdzie: SA i SB – powierzchnie stopni tłoka. W wyniku oddziaływania siły F tłok zaczyna się przemieszczać w górę komory cylindra zaworu ZI. Minimalne odejście tłoka z pozycji wyjściowej powoduje zmianę wartości siły oddziaływującej na tłok. W tym momencie wartość siły oddziaływującej na tłok jest równa  $F=p_0SB$ , co oznacza gwałtowny przyrost wartości siły na tłoku. W efekcie prowadzi to do bardzo dużego przyspieszenia tłoka i niemal natychmiastowego otwarcia wylotu zbiornika akumulacyjnego głowicy impulsowej.

W trzeciej fazie pracy głowicy impulsowej następuje wyrównanie ciśnień sprężonego powietrza w zbiorniku akumulacyjnym i przestrzeni technologicznej. Samoczynne zamknięcie zaworu impulsowego powoduje ustanie sygnału (impulsu) sterującego zawór rozdzielający.

### 3. Model matematyczny głowicy impulsowej.

Głowica impulsowa jest urządzeniem pneumatycznym, dlatego model jej dynamiki powinien stanowić układ równań różniczkowych opisujących: przemiany gazowe w poszczególnych komorach, zachodzące podczas jej pracy oraz równanie ruchu tłoka zaworu impulsowego.

Model matematyczny dynamiki głowicy impulsowej sformułowano przyjmując następujące założenia upraszczające:

- powietrze jest gazem doskonałym,
- procesy termodynamiczne mają charakter quasi statyczny,
- nie ma wymiany ciepła między gazem znajdującym się w komorach głowicy i otoczeniem,
- opory tarcia w uszczelnieniach są pomijalnie małe,
- temperatura powietrza w komorach głowicy jest stała.

Uwzględniając powyższe założenia upraszczające, dynamikę głowicy impulsowej można opisać następującym układem równań różniczkowych:

$$A_1(p_2 - p_3) - c \cdot (x + y_0) - m_1 \cdot g = m_1 \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (1)$$

$$\frac{\kappa \cdot R \cdot T \cdot G_1}{V_1} = \frac{dp_1}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{-\kappa \cdot R \cdot T \cdot G_2}{V_2} = \frac{dp_2}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{\kappa}{s-x} \cdot \left( p_3 \cdot \frac{dx}{dt} - \frac{G_3 \cdot R \cdot T}{A_1} \right) = \frac{dp_3}{dt} \quad (4)$$



w którym:

$m_1$  – masa elementów ruchomych zaworu impulsowego,

$x$  – współrzędna położenia tłoka zaworu ZI,

$y_0$  – ugięcie wstępne (montażowe) sprężyny zaworu impulsowego,

$c$  – sztywność sprężyny,

$p_1, p_2, p_3$  – ciśnienie absolutne, odpowiednio w komorach: zbiorniku akumulacyjnym, przestrzeni technologicznej i powrotnej zaworu impulsowego

$A_1$  – pole powierzchni tłoka,

$s$  – skok tłoka,

$g$  – przyspieszenie ziemskie,

$\kappa$  – wykładnik adiabaty,

$G_i$  – natężenie wypływu powietrza z  $i$ -tej komory,

$R$  – stała gazowa powietrza,

$T$  – temperatura powietrza zawartego w przestrzeni technologicznej i zbiorniku akumulacyjnym.

$V_1$  – objętość przestrzeni technologicznej,

$V_2$  – objętość zbiornika akumulacyjnego,

Zależność określająca natężenie  $G_i$  wypływu powietrza z  $i$ -tej komory ma następującą postać:

$$G_i = K \cdot \alpha_i \cdot f_i \cdot p_i \cdot \sqrt{\frac{1}{R \cdot T_i}} \cdot \varphi(\varepsilon_i)$$

w której:

$\alpha_i$  – współczynnik natężenia przepływu powietrza,

$f_i$  – powierzchnia przekroju poprzecznego otworu wylotowego z  $i$ -tej komory.

$$\varepsilon_i = \frac{p_a}{p_i}, \quad K = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1}}$$

$p_i$  – ciśnienie powietrza w  $i$ -tej komorze,

$p_a$  – ciśnienie atmosferyczne.

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

Poszczególne równania różniczkowe opisują:

- równanie (1) jest równaniem ruchu tłoka zaworu ZI,
- równania (2)-(4) stanowią modele przemian gazowych, odpowiednio w komorach zbiornika akumulacyjnego, komorze roboczej zaworu impulsowego, przestrzeni technologicznej.

Ocenę dynamiki oraz dobór optymalnych warunków pracy głowicy impulsowej można dokonać na podstawie wyników badań symulacyjnych, przedstawionego wyżej jej modelu matematycznego – układu równań różniczkowych (1)-(4)

Rozwiązując układ równań (1)-(4) można określić osiągi głowicy impulsowej oraz wielkości charakteryzujące optymalne warunki jej pracy. Ponadto, wyniki badań symulacyjnych mogą służyć do projektowania i optymalizacji konstrukcji głowic impulsowych z pneumatycznymi zaworami impulsowymi.

#### 4. Badania symulacyjne i eksperymentalne dynamiki głowicy impulsowej.

Badania realizowano w następujących etapach:

- w pierwszym etapie przeprowadzono badania symulacyjne opracowanego modelu matematycznego głowicy impulsowej,
- w następnym etapie wykonano badania eksperymentalne dynamiki głowicy impulsowej,

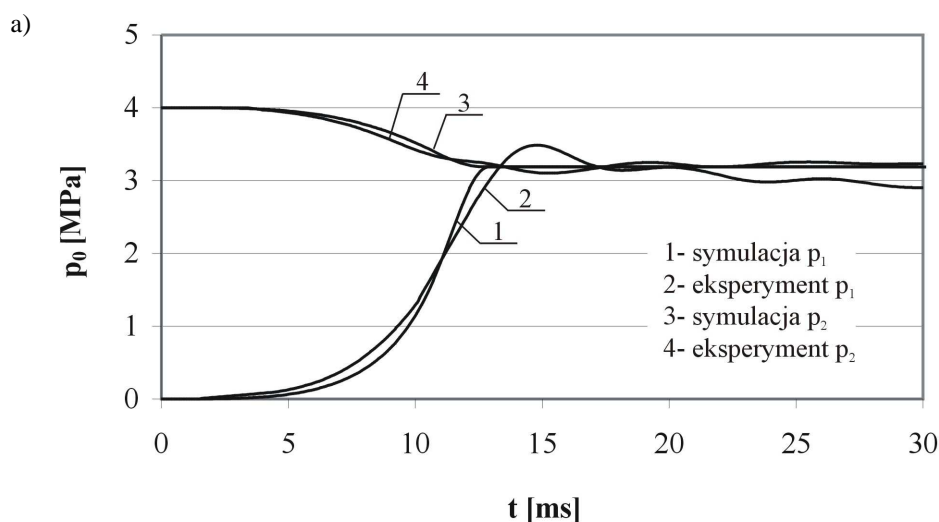
Badania symulacyjne dynamiki głowicy impulsowej zrealizowano dla głowicy, którą charakteryzują następujące parametry:

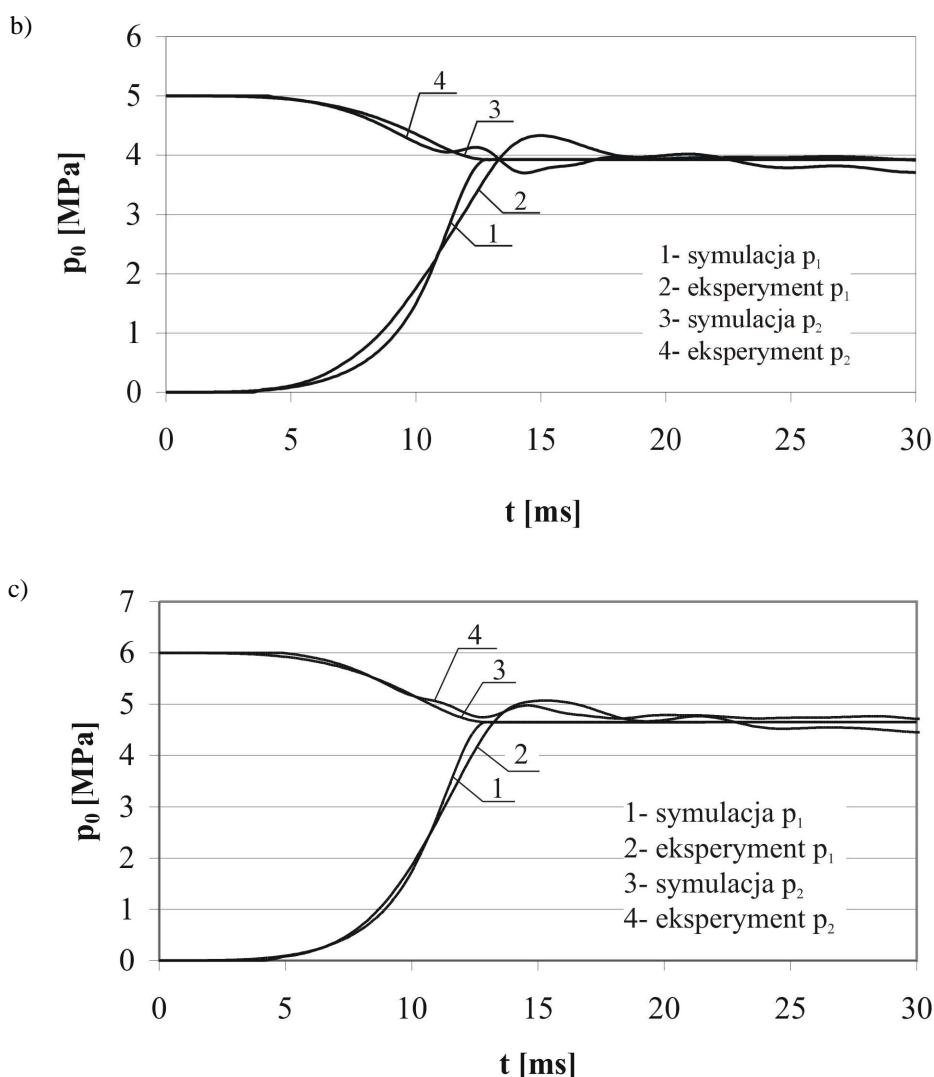
- objętość zbiornika akumulacyjnego  $V_0=50 \text{ dcm}^3$ ,
- skok tłoka zaworu impulsowego  $s=50 \text{ mm}$ ,
- masa elementów ruchomych zaworu impulsowego  $m_1=1,9 \text{ kg}$ ,
- średnica otworu wylotowego zaworu impulsowego  $d_1=12 \text{ mm}$
- średnica otworu wylotowego głowicy impulsowej  $d_2=100 \text{ mm}$

Badania symulacyjne modelu matematycznego dynamiki głowicy impulsowej przeprowadzono w środowisku Matlab-Simulink, przyjmując następujące warunki początkowe:

- współczynnik przepływu powietrza  $\alpha_i=1$ ,
- wykładnik adiabaty  $\kappa=1,4$ ,
- temperatura powietrza i-tej komory  $T_i=298 \text{ K}$ ,
- stała gazowa powietrza  $R=287 \text{ m}^2/\text{s}^2\text{K}$
- przyspieszenie ziemskie  $g=9,81\text{m}/\text{s}^2$ .

Badania symulacyjne zrealizowano przyjmując trzy różne wartości ciśnienia początkowego  $p_0=0,4-0,5-0,6 \text{ MPa}$  w zbiorniku akumulacyjnym głowicy, oraz objętość przestrzeni technologicznej  $V_1=10 \text{ dcm}^3$ .





Rys.2. Zależności zmian ciśnień w przestrzeni technologicznej  $p_1$  i w zbiorniku akumulacyjnym  $p_2$  wyznaczone podczas badań symulacyjnych i eksperymentalnych z użyciem różnych wartości ciśnienia  $p_0$ : 0,4 MPa (a), 0,5 MPa (b), 0,6 MPa (c).

Na rysunku 2 zaprezentowano zależności zmian ciśnień: w przestrzeni technologicznej  $p_1$  i w zbiorniku akumulacyjnym  $p_2$  uzyskane podczas badań symulacyjnych modelu matematycznego dynamiki głowicy impulsowej zrealizowanych z użyciem różnych wartości ciśnienia początkowego  $p_0$  sprężonego powietrza w zbiorniku akumulacyjnym. Na rysunku 2 zamieszczono także wyniki badań eksperymentalnych.

Na podstawie uzyskanych wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych dynamiki głowicy impulsowej z samoczynnym, pneumatycznym zaworem impulsowym można stwierdzić, że opracowany model matematyczny dynamiki głowicy bardzo dobrze opisuje jej dynamikę. Świadczą o tym różnice, nieprzekraczające kilku procent, wartości przebiegu zmian ciśnienia w przestrzeni technologicznej w funkcji czasu wyznaczone na podstawie badań symulacyjnych i eksperymentalnych.

## 5. Zakończenie.

Zaprezentowany model matematyczny dynamiki głowicy impulsowej z samoczynnym, pneumatycznym zaworem impulsowym, który stanowi układ równań różniczkowych, stanowi podstawę do badań symulacyjnych dynamiki głowicy. Wyniki badań symulacyjnych opracowanego modelu matematycznego umożliwiają wyznaczenie wpływu podstawowych parametrów podzespołów głowicy – zaworu impulsowego, zbiornika akumulacyjnego, itp. – na jej dynamikę. Mogą zatem stanowić podstawę do projektowania

i optymalizacji konstrukcji głowic impulsowych maszyn formierskich.

Jakość opracowanego modelu matematycznego zweryfikowano na podstawie analizy wyników badań symulacyjnych tego modelu oraz badań eksperymentalnych dynamiki głowicy. Stwierdzono, że model matematyczny bardzo dobrze, dla praktyki, opisuje dynamikę głowicy impulsowej. Świadczą o tym nieznaczne, mieszczące się w zakresie kilku procent, różnice wartości przebiegów zmian ciśnienia sprężonego powietrza w wybranych komorach głowicy.

Opracowany model matematyczny głowicy impulsowej może stanowić podstawę do opracowania modelu matematycznego procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich.

## 6. Literatura.

1. GREGORASZCZUK M., Maszynoznawstwo odlewnicze, Kraków, AGH, 2002.
2. BOGDANOWICZ J., MIKULCZYŃSKI T., Influence of selected factors on effectiveness of air impulse moulding, *Archiwum Budowy Maszyn*, 1999, vol. 46, nr 3.
3. MIKULCZYŃSKI T., BOGDANOWICZ J., The assessment of effectiveness of moulding sands of a single-valve impulse head, *Acta Metalurgica Slovaca*, 1998, 2.

# KONCEPCJA OPROGRAMOWANIA MONITORUJĄCEGO POBÓR MOCY MASZYN I URZĄDZEŃ ODLEWNICZYCH

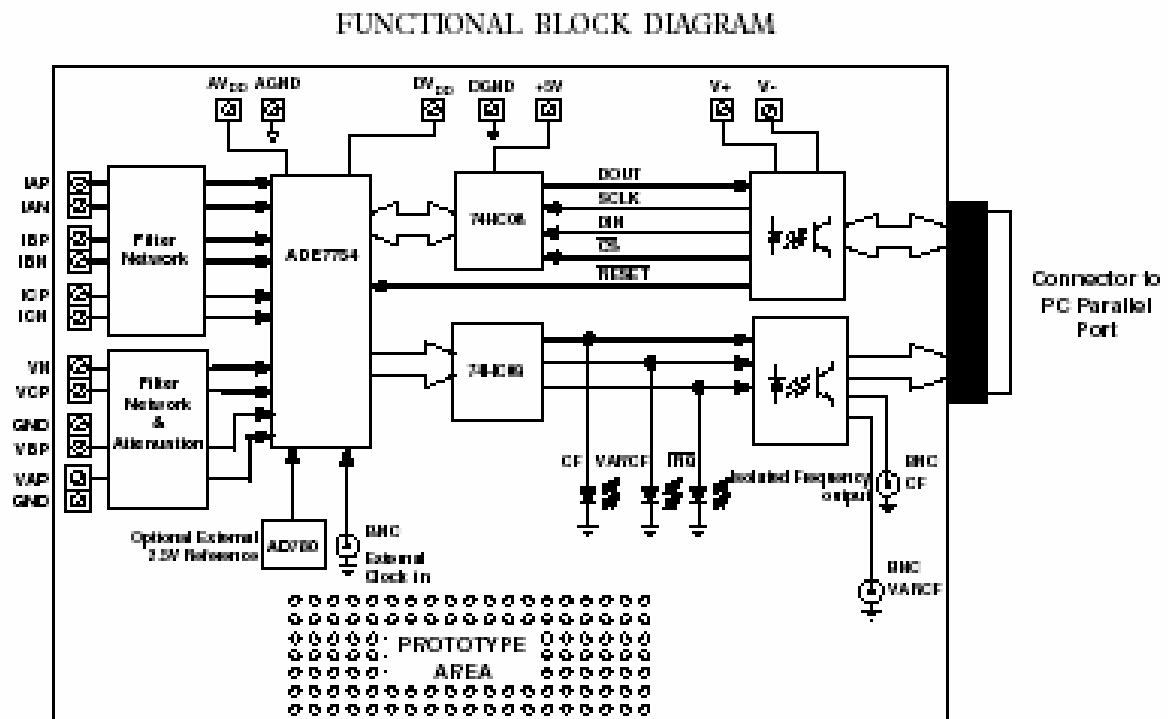
Eugeniusz ZIÓŁKOWSKI,<sup>1</sup>  
Roman WRONA<sup>2</sup>  
Wydział Odlewnictwa AGH

## 1. Wprowadzenie.

Monitorowanie poboru mocy maszyn i urządzeń odlewniczych może w istotny sposób przyczynić się do oceny technicznej i ekonomicznej procesu technologicznego w odlewni. W publikacji [1] przedstawiono wybrane możliwości zastosowania ciągłego pomiaru poboru wszystkich składników mocy w maszynach i urządzeniach napędzanych silnikami prądu przemiennego. W opracowaniu [3] omówiono podstawowe trójfazowe układy pomiarowe oraz podzespoły, za pomocą których można zrealizować komputerowy system monitoringu poboru mocy. W niniejszym opracowaniu przedstawiono koncepcję funkcjonalną oprogramowania sterującego komputerowym systemem wykonanym w Katedrze Mechanizacji i Automatyk Odlewni na Wydziale Odlewnictwa AGH.

## 2. Realizacja techniczna systemu pomiarowego.

Komputerowy system pomiaru mocy zrealizowano w oparciu o moduł rozwojowy EVAL-ADE7754EB firmy Analog Devices [5]. Na rysunku 1 przedstawiono schemat funkcjonalny tego modułu, natomiast na rysunku 2 pokazano schemat aplikacyjny tego modułu.



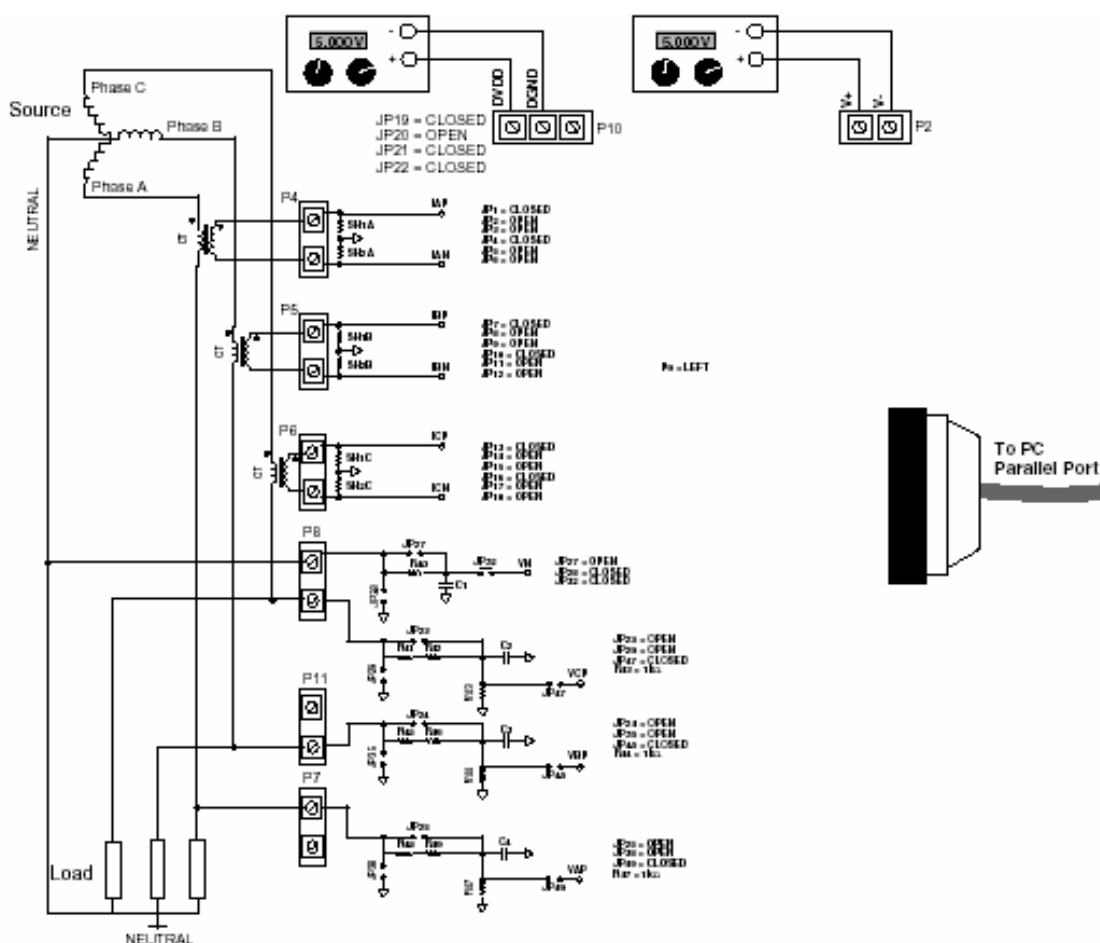
Rys. 1. Schemat modułu rozwojowego EVAL-ADE7754EB [5].

<sup>1</sup> dr inż.

<sup>2</sup> prof. dr hab. inż

Widok modułu EVAL-ADE7754EB oraz widok przekładników prądowych koreańskiej firmy TAEHWATRANS Co., zastosowanych w wykonanym systemie przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

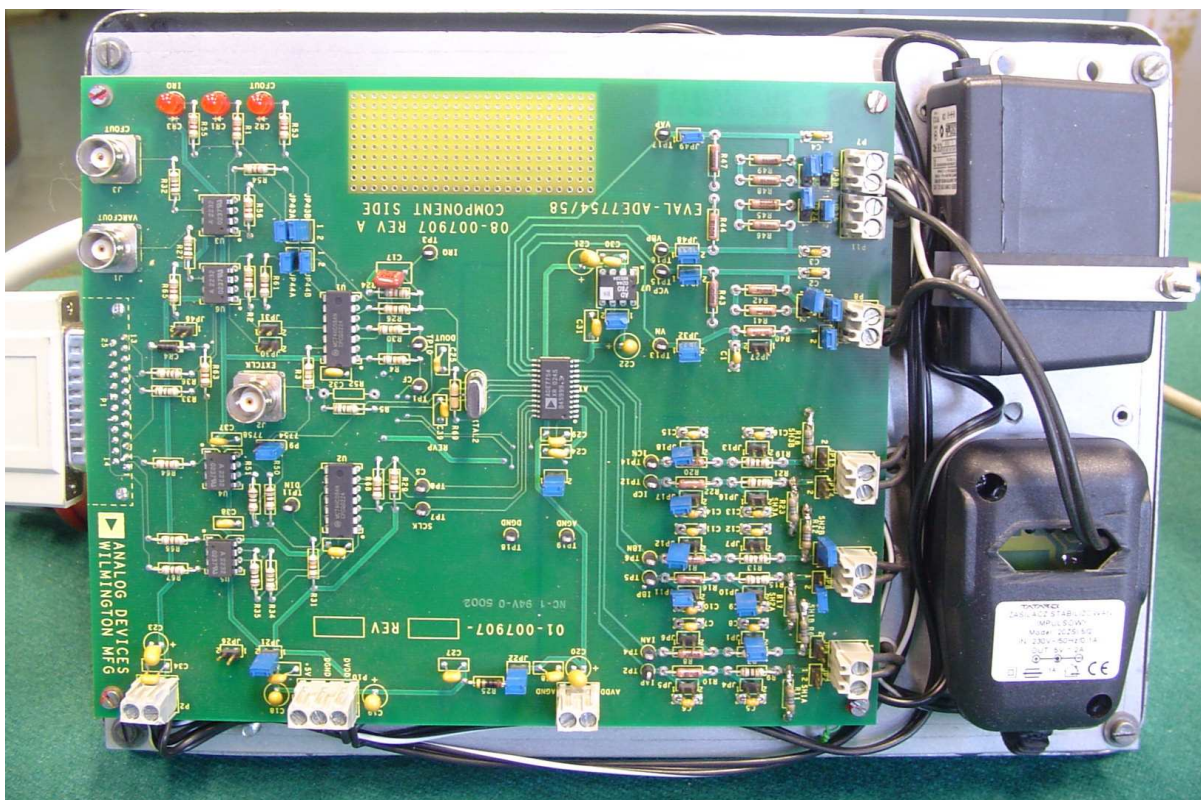
Moduł rozwojowy wraz z niezbędnymi elementami przyłączeniowymi, dedykowanymi zarówno do pomiaru mocy w układach jednofazowych i trójfazowych zmontowano we współpracy z pracownikami Katedry Maszyn i Urządzeń Odlewniczych.



Rys. 2. Schemat aplikacyjny układu pomiaru mocy [5].

### 3. Koncepcja oprogramowania systemu.

Firma Analog Devices wraz z modułem rozwojowym dostarcza oprogramowanie umożliwiające wykonanie kalibracji systemu pomiarowego oraz program komputerowy, którym można przetestować poprawność funkcjonowania modułu. Oba te programy bazują na „silniku” LABVIEW firmy National Instruments. Należy tutaj podkreślić, iż program testowy nie wyświetla na ekranie komputera wartości zmierzonych składników mocy w odpowiadających im jednostkach (kW, kVAr, kVA), lecz wyświetla stan zawartości wewnętrznych rejestrów przechowujących wyniki pomiarów w postaci 16-bitowych liczb.



Rys. 3. Widok modułu rozwojowego EVAL\_ADE7754EB firmy Analog [5].



Rys. 4. Widok zmontowanego urządzenia zawierającego moduł rozwojowy i niezbędne gniazda przyłączeniowe.



Rys. 5. Widok przekładnika prądowego firmy TAEHWATRANS Co., Ltd. [2].

Program komputerowy, który umożliwia pomiar i wyświetlanie rzeczywistych wartości zmierzonej mocy pozornej, biernej lub czynnej musi charakteryzować się następującymi cechami:

- umożliwiać pomiar mocy pozornej, biernej lub czynnej dla każdej fazy oddzielnie,
- przesyłać dwukierunkowo sygnały sterujące i dane w układzie moduł rozwojowy – komputer, z wykorzystaniem portu równoległego LPT,
- raportować status układu pomiarowego,

- gromadzić uzyskane wyniki pomiarów we wskazanym pliku dyskowym,
- wyświetlać w postaci wykresów graficznych na ekranie monitora zmiany poboru poszczególnych składników mocy,
- umożliwiać realizację pomiaru poboru energii elektrycznej.

Specjalizowany układ scalony ADE7754 posiada wewnętrzne rejestry, które służą do sterowania pomiarem oraz odczytywania wyników pomiaru. Szczegółowy opis tych rejestrów można znaleźć w nocie aplikacyjnej tego układu [5].

Program do obsługi modułu rozwojowego został napisany za pomocą kompilatora DELPHI firmy Inprise (dawniej Borland Int.). Pierwszym zadaniem było stworzenie procedur dwukierunkowej obsługi portu równoległego LPT. W środowisku Windows można tutaj zastosować dołączaną dynamicznie bibliotekę INP32.DLL, która posiada zaimplementowane uniwersalne procedury INP32() i OUT32(). Po odpowiednim skonfigurowaniu parametrów wywołania tych procedur, możliwa jest transmisja sygnałów z portu LPT komputera do portu równoległego modułu EVAL-ADE7754EB i odwrotnie.

Ponieważ rejestry wewnętrzne układu ADE7754 zawierają informacje w postaci liczb o różnym rozmiarze bitowym (niektóre liczby są 8-bitowe, 15-bitowe, 24-bitowe), należało stworzyć odpowiednie procedury pozwalające wysłać lub odebrać takie liczby poprzez port równoległy.

W tabeli 1 przedstawiono nazwy i przeznaczenie wybranych procedur, które umieszczono w programie obsługi systemu monitoringu.

**Tabela 1.** Opis wybranych procedur obsługi systemu.

<b>Nazwa procedury</b>	<b>Przeznaczenie</b>
<i>initiate_ADE7754</i>	<i>Inicjalizacja komunikacji komputera z układem scalonym ADE7754 poprzez port równoległy</i>
<i>setup_OPMODE</i>	<i>Ustawienie parametrów rejestru OPMODE, odpowiedzialnego między innymi za włączanie i wyłączanie filtrów dolno- i górnoprzepustowych we wszystkich kanałach pomiarowych</i>
<i>setup_MMODE</i>	<i>Ustawienie parametrów rejestru MMODE, określającego, w której fazie ma być realizowany pomiar częstotliwości</i>
<i>setup_WATMODE</i>	<i>Ustawienie parametrów rejestru WATMODE określającego między innymi postać wzoru do obliczania mocy całkowitej czynnej w układzie trójfazowym</i>
<i>setup_VAMODE</i>	<i>Ustawienie parametrów rejestru VAMODE określającego między innymi postać wzoru do obliczania mocy całkowitej pozornej w układzie trójfazowym</i>
<i>read_PERIOD</i>	<i>Odczyt wartości rejestru PERIOD, po przeliczeniu, której uzyskuje się wartość częstotliwości</i>
<i>read_RAENERGY</i>	<i>Odczyt rejestru RAENERGY, zawierającego wartość pomiaru mocy czynnej. Wartość tą należy po przeprowadzonej kalibracji odpowiednio przeliczyć do jednostek mocy czynnej (W)</i>
<i>read_RVAENERGY</i>	<i>Odczyt rejestru RVAENERGY, zawierającego wartość pomiaru mocy pozornej. Wartość tą należy po przeprowadzonej kalibracji odpowiednio przeliczyć do jednostek mocy pozornej (VA)</i>
<i>read_TEMPERATURE</i>	<i>Odczyt wartości rejestru TEMPERATURE, informującego o temperaturze struktury układu scalonego</i>

Układ scalony ADE7754 umożliwia także pomiar i odczyt wartości True RMS napięć i prądów dla poszczególnych faz, dlatego w programie zaimplementowano także procedury odczytu wartości tych wielkości.



Napisany w Katedrze Mechanizacji i Automatykacji program komputerowy sterujący pracą modułu rozwojowego realizuje wszystkie stawiane przed nim zadania związane z realizacją pomiarów. Obecnie prace programistyczne koncentrują się na stworzeniu funkcjonalnego interfejsu programu komputerowego. W zasadniczym okienku programu powinny być wyświetlane wykresy zmian wartości poszczególnych składników mocy, wartości True RMS napięć i prądów w poszczególnych fazach oraz wartość współczynnika  $\cos\phi$  i ewentualnie  $tg\phi$ . Tak duża liczba wyświetlanych informacji wymaga właściwego rozmieszczenia w oknie programu.

#### 4. Podsumowanie.

Wykonany przenośny system pomiarowy pozwala na realizację pomiaru poboru mocy przez maszyny i urządzenia odlewnicze zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i przemysłowych. Realizacja ciągłego pomiaru poboru mocy za pomocą opracowanego programu komputerowego stwarza możliwość precyzyjnej analizy technicznej, technologicznej i ekonomicznej badanego procesu technologicznego w odlewni. Niektóre aspekty ekonomiczne i ekologiczne nieprawidłowej kompensacji poboru mocy przez maszyny lub urządzenia odlewnicze szerzej omówiono w pracy [4].

**Praca naukowa realizowana w ramach umowy z KBN nr 11.11.170.252.**

#### 5. Literatura.

1. Wrona R., Ziółkowski E.: Możliwości zastosowania monitoringu poboru mocy w maszynach odlewniczych. Biuletyn Konferencyjny VI Konferencji Odlewniczej TECHNICAL 2003, Nowa Sól 2003, s. 64÷69.
2. Ziółkowski E., Wrona R.: Komputerowy system monitoringu poboru mocy w maszynach i urządzeniach odlewniczych. Archiwum Odlewnictwa. PAN O/Katowice, Rok 2004, Rocznik 4, Nr 11, Tom II, s. 300÷305.
3. Ziółkowski E.: Zastosowania wybranych układów scalonych w pomiarach poboru mocy maszyn i urządzeń odlewniczych. Biuletyn VII Konferencji Odlewniczej TECHNICAL 2004 n.t. „Odlewnictwo XXI wieku – technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”. Nowa Sól, 2004, s. 157÷162.
4. Ziółkowski E., Wrona R., Smyksy K.: Ekonomiczne i ekologiczne skutki nieprawidłowej kompensacji poboru mocy w maszynach i urządzeniach odlewniczych. Archiwum Odlewnictwa, PAN O/Katowice, Rok 2004, Rocznik 4, Nr 13, s. 247÷252.
5. [www.analog.com](http://www.analog.com) – strona WWW firmy Analog Devices.
6. [www.ni.com](http://www.ni.com) – strona WWW firmy National Instruments.

## ŁOPATKI RZUTOWE OCZYSZCZAREK STRUMIENIOWO-ŚCIERNYCH O ZWIĘKSZONEJ TRWAŁOŚCI

*Stanisław Rządkosz<sup>1</sup>*

*Leopold Staszczak<sup>2</sup>*

*Wiesław Jankowski<sup>3</sup>*

*Wydział Odlewnictwa*

*Akademia Górniczo-Hutnicza*

*im. Stanisława Staszica*

### 1. Wprowadzenie.

W konstrukcji oczyszczarek strumieniowo- ściernych występuje kilka elementów podlegających zużyciu wskutek oddziaływania śrutu. Najintensywniej zużywają się łopaty rzutowe. Na proces zużywania się elementów konstrukcyjnych w warunkach oddziaływania stałych cząstek ścierniwa wpływają czynniki materiałowe oraz warunki ścierania. W zakresie czynników materiałowych dużą rolę odgrywa stosunek twardości materiału elementu konstrukcyjnego do twardości materiału ścierniwa. Zużycie wzrasta wraz ze zwiększeniem twardości cząstek ścierniwa i odbywa się to nie stopniowo, lecz z nagłym przejściem od poziomu niskiego do wyższego. Mniejsze zużycie występuje, gdy twardość cząstek ścierniwa jest mniejsza od twardości materiału elementu konstrukcyjnego. Obszar przejściowy zaczyna się mniej więcej tam, gdzie twardości obu materiałów zrównują się. Twardość, wyznaczana zazwyczaj statystycznie, jest tylko w pewien sposób wskaźnikiem charakteryzującym dynamicznie przebiegające procesy zużycia.

Pełne przesłanki do wytypowania dobrego materiału konstrukcyjnego łopatek, dają jedynie próby eksploatacyjne w konkretnych warunkach pracy śrutownic. Obecnie na łopaty rzutowe stosuje się bardzo wiele stopów z grupy odpornych na ścieranie.

### 2. Zakres badań.

Badania dotyczyły łopatek wykonanych z odpornego na ścieranie żeliwa wysokochromowego o różnej zawartości węgla i chromu ( $2,8 \div 3,6$  % C oraz  $15,0 \div 25,5$  % Cr). Badane żeliwo zawierało także dodatki niklu ( $0,2 \div 1,8$  %) oraz molibdenu ( $0,15 \div 1,8$  %). Po odlaniu w łopatkach występuje mikrostruktura podeutektyczna, złożona z ferrytu chromowego i mieszaniny eutektycznej ferrytu oraz wydzielen węglikowych typu M7C3. Węglik tego typu charakteryzują się najwyższą mikrotwardością spośród wszystkich typów węglików żelaza i chromu oraz najkorzystniej wpływają na zużycie ścierne żeliwa.

Z powodu niekorzystnych właściwości odlewniczych omawianego żeliwa, odlewy wykazują wady w postaci jam skurczowych i rzadzin skurczowych; lokują się one przeważnie w pobliżu pogrubionej części odlewu tj. w miejscu zamka. Wymienione wady są często przyczyną urywania się łopatek w pobliżu zamka, pęknięć i ukruszeń, co w konsekwencji prowadzi do znacznych uszkodzeń innych elementów oczyszczarki. Ponadto, wobec utrudnionego zasilania, środkowe części łopatek mają mniej zwartą strukturę, czego konsekwencją jest niższa twardość żeliwa w tych częściach. W miejscach wad materiałowych, powierzchniowych i podpowierzchniowych (rzadzin, duża

<sup>1</sup> dr hab. inż. prof. nadzw.

<sup>2</sup> dr inż.

<sup>3</sup> dr inż.

chropowatość, kratery, pęcherze gazowe, większe wtrącenia egzogeniczne) występuje stosunkowo szybko lokalnie większe zużycie łopatek, potęgujące się z czasem eksploatacji. Nieprawidłowo dobrane warunki odlewania (temperatura przegrzania i odlewania) sprzyjają omówionym wadom i są przyczyną transkryystalicznej struktury w przekroju poprzecznym łopatek.

Przeprowadzone badania dotyczyły także możliwości poprawy właściwości łopatek poprzez obróbkę cieplną. Zadowalające efekty uzyskano w wyniku wygrzewania w temperaturach 950 - 1000<sup>0</sup>C z chłodzeniem na powietrzu. Większe szybkości chłodzenia prowadziły do pęknięć łopatek.

W celu poprawy niekorzystnych cech odlewów wykonywanych w formach z masy piaskowej przeprowadzono doświadczenia z odlewaniem łopatek z omówionego wyżej żeliwa w formach skorupowych. Uzyskane korzyści to: zmniejszenie wad materiałowych, dobra gładkość powierzchni oraz równomierny rozkład twardości na całej łopatce.

### 3. Wnioski.

Przeprowadzone badania można podsumować następująco:

- istotnymi czynnikami zapewniającymi większą trwałość eksploatacyjną łopatek rzutowych są: brak wad wewnętrznych i powierzchniowych w odlewie oraz jednorodność struktury w całej łopatce,
- mając na uwadze mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia w łopatkach rzutowych pęknięć, wykruszeń i wyłamań z zamka, należy eliminować łopatki wadliwe przed zamontowaniem w urządzeniu na drodze ich starannej kontroli i badania nieniszczące,
- skład chemiczny żeliwa wysokochromowego oraz technologia wytapiania i odlewania powinny zapewniać uzyskanie mikrostruktury podeutektycznej z eutektyką zawierającą węglík typu M7C3 oraz równomierne rozmieszczenie składników mikrostruktury w łopatce,
- właściwości użytkowe łopatek z żeliwa wysokochromowego poprawia obróbka cieplna; jej efekt polega przede wszystkim na zwiększeniu twardości w wyniku zmiany osnowy metalowej żeliwa; zmniejszają się również naprężenia własne w odlewie łopatki; efekt obróbki cieplnej wyraźnie zwiększa molibden,
- zastosowanie w przeprowadzonych badaniach technologii odlewania precyzyjnego pozwoliło na wyeliminowanie nieciągłości materiału łopatek, poprawę gładkości powierzchni oraz zwiększenie dokładności wymiarowej i wagowej.

# MASY SAMOUTWARDZALNE Z GEOPOLIMEROWYM UKŁADEM WIĄZĄCYM

Jiri NOVOTNY <sup>1</sup>

SAND-TEAM

Brno

## 1. Spoiwo geopolimerowe.

Geopolimery należą do alkalicznych glinokrzemianów. Chodzi o materiały zawierające krzem, glin oraz pierwiastek alkaliczny typu sodu lub potasu.

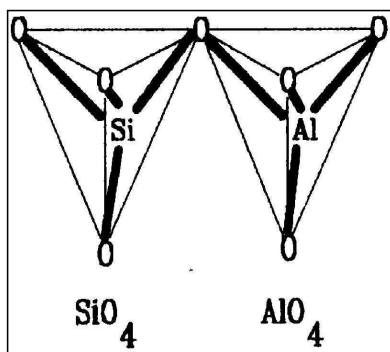
W przyrodzie występują takie materiały w postaci zeolitów. Geopolimery jednak nie powstają w wyniku procesów geologicznych, lecz otrzymywane są sztucznie. Geopolimerami są nazywane ze względu na fakt, że ich skład jest zbliżony do składu naturalnych minerałów.

Geopolimery znajdują się ostatnio w centrum uwagi wielu gałęzi przemysłu. Znaczną uwagę poświęca się tym alkalicznie aktywowanym glinokrzemianom przede wszystkim w przemyśle budowlanym. W razie takich zastosowań geopolimer powstaje w trakcie procesu. Geopolimer powstaje w ciągu reakcji między materiałem zawierającym krzem i glin (popioły lotne, żuźle) i aktywatorem alkalicznym. Okazało się, że proces ten całkowicie różni się od procesu hydratacji spoiw nieorganicznych. Produkt końcowy w porównaniu z klasycznymi materiałami odznacza się szeregiem zalet.

Materiał ten może być interesujący także dla odlewni. Już kilka lat temu pojawiło się we Francji spoiwo na bazie geopolimerów, przeznaczone do specjalnych zastosowań (rdzenie do odlewania ciśnieniowego, odlewy z wtopionymi częściami metalowymi itp.). Utwardzane za pomocą estrów masy samoutwardzalne z kwarcowymi dodatkami schudzającymi zawierały 6-7 % spoiwa.

Ostatnio obserwujemy w odlewnictwie ogólną tendencję do stosowania układów nieorganicznych, będącą reakcją na presję wymagań ekologicznych.

Aktualnie stworzono w Republice Czeskiej nowy nieorganiczny układ wiążący korzystający z nieorganicznego spoiwa geopolimerowego do mas samoutwardzalnych, które przeznaczone są do produkcji zwykłych form i rdzeni. Chodzi o polimer nieorganiczny na bazie krzemu i glinu. Polimery te nazywane są także „polisialatami”. Polimery te tworzone są przez łańcuchy tetraedrów  $\text{SiO}_4$  i  $\text{AlO}_4$  (rys. nr 1). Od proporcji tych składników i od sposobu przygotowania geopolimeru zależne są uzyskane właściwości spoiwa.



Rys. 1. Geopolimery generalnie tworzone są przez tetraedry  $\text{SiO}_4$  i  $\text{AlO}_4$ .

<sup>1</sup> ing.

Spoiwo geopolimerowe, będące obecnie do dyspozycji do przygotowywania mas samoutwardzalnych, jest klarowną lepka cieczą o niskim stopniu polimeryzacji. Na skutek działania utwardzacza rośnie stopień polimeryzacji i dochodzi do powstania polimeru o wysokiej zdolności wiążącej.

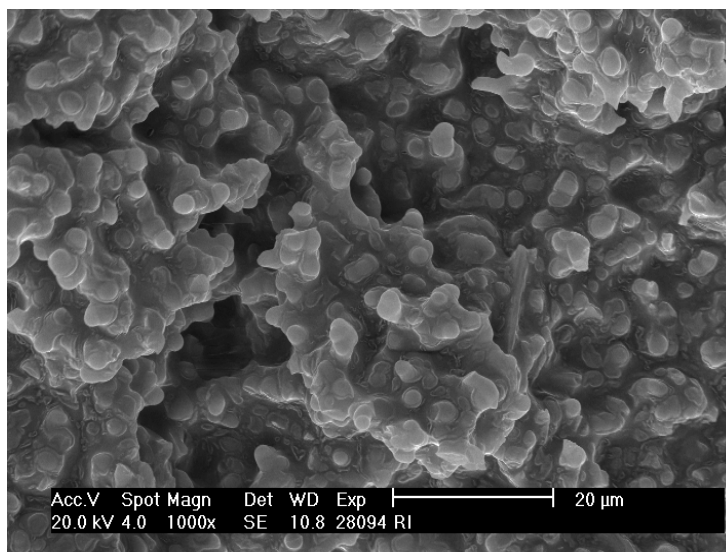
Do utwardzania mas samoutwardzalnych ze spoiwem geopolimerowym jest do dyspozycji od razu kilka utwardzaczy, które pozwalają na regulację urabialności mas samoutwardzalnych w zakresie od jednej do 90 minut.

Przebieg polimeryzacji tego spoiwa całkowicie odbiega np. od żelowania szkła wodnego.

Szkło wodne na skutek działania utwardzacza estrowego tworzy po upływie okresu inkubacyjnego praktycznie w tym samym momencie żel. W danym momencie powstaje stały elastyczny żel. W żelu zamknie się wszelka faza ciekła. W ciągu stania żelu dochodzi następnie do zjawiska oznaczanego jako synergeza, przy którym dochodzi do wydzielania się z żelu fazy ciekłej. Ilość uzyskanej przez cedzenie cieczy waha się w granicach 10-15 % i zależy od zawartości wolnej wody w roztworze koloidalnym.

W przypadku geospoiwa dochodzi na skutek działania utwardzacza do stopniowej polimeryzacji, co powoduje sukcesywny wzrost lepkości cieczy i jej przemianę w substancję stałą - polimer. Nie dochodzi do żadnej synergezy.

Wynikiem procesu polimeryzacji jest stały polimer nieorganiczny o charakterystycznej strukturze. (rys. nr 2 ).



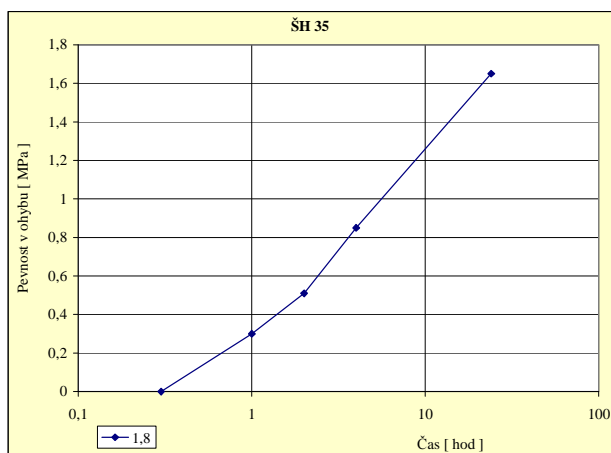
Rys. 2. Charakter utwardzonego geopolimeru. Elektronowy mikroskop rastrowy Philips XL 30, powiększono 1000 x .

## 2. Zachowanie się masy.

### ▪ Wytrzymałość mas.

Już w trakcie badań laboratoryjnych spoiwa geopolimerowego okazało się, że to nieorganiczne spoiwo ma wysoką zdolność wiążącą.

W przypadku stosowania mas samoutwardzalnych w odlewniach nagminnie używa się do nowego piasku w ramach produkcji rdzeni i do masy formierskiej mas o wytrzymałości na zginanie po 24 godzinach w granicach 1,6-1,8 MPa. Taką wytrzymałość można osiągnąć w przypadku spoiwa geopolimerowego przez dodanie 1,8 części wagowej spoiwa.

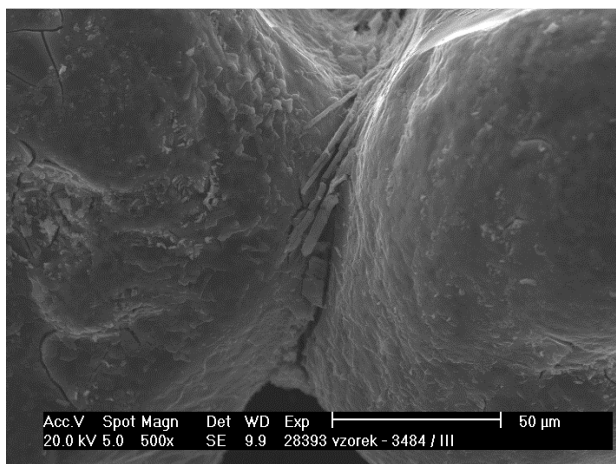


Rys. 3. Charakterystyczny przebieg wytrzymałości w zależności od czasu spontanicznego utwardzania masy zawierającej dodatek schudzający z miejscowości Šajdíkove Humence o średnim ziarnie 0,35 mm. Zawartość spoiwa geopolimerowego 1,8 %.

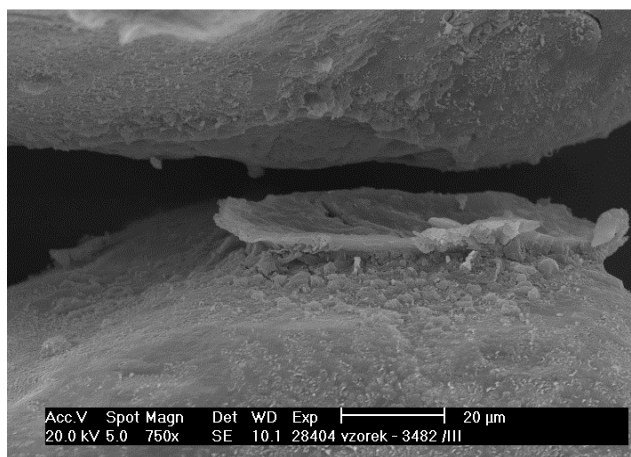
Na rys. nr 3 widać charakterystyczną zależność wytrzymałości masy samoutwardzalnej od czasu utwardzania. W przypadku takiej masy zależność tę charakteryzuje

- czas urabialności 18. min
- zależność liniowa między wytrzymałością i czasem w skali półlogarytmicznej
- osiągnięcie wytrzymałości na zginanie po 24 godzinach ca 1,7 MPa zgodnie z wymaganiami stawianymi masie rdzeniowej i formierskiej
- dozowanie spoiwa geopolimerowego 1,8 części wagowej na 100 części wagowych dodatku schudzającego.

Różnica pomiędzy geopolimerem a żelem szkła wodnego jest widoczna także w zakresie typu destrukcji osłony wiążącej. Żel szkła wodnego ma stosunkowo niską wytrzymałość a destrukcja osłony wiążącej ma charakter kohezyjny, dochodzi do nasuszenia wytrzymałości spoiwa (rys. nr 4). Geopolimer odznacza się zaś wysoką wytrzymałością, w przypadku obciążenia dochodzi do oderwania spoiwa od ziarna, przy czym nie dochodzi do naruszenia spoiwa w zakresie mostku wiążącego. Destrukcja ma charakter adhezyjny (rys. nr 5).



Rys. 4. Destrukcja kohezyjna osłony wiążącej charakterystyczna dla mas samoutwardzalnych ze szkłem wodnym i ciekłym estrem. Masa zawiera dodatek schudzający z miejscowości Šajdíkove Humence o średnim ziarnie 0,35 mm. Zawartość szkła wodnego 2,5 %. Elektronowy mikroskop rastrowy Philips XL 30, powiększono 500 x.



Rys. 5. Destrakcja adhezyjna osłony wiążącej charakterystyczna dla mas samoutwardzalnych ze spoiwem geopolimerowym. Masa zawiera dodatek schudzający z miejscowości Šajdkové Humence o średnim ziarnie 0,35 mm. Zawartość spoiwa 1,8 %.

Elektronowy mikroskop rastrowy Philips XL 30, powiększono 750 x .

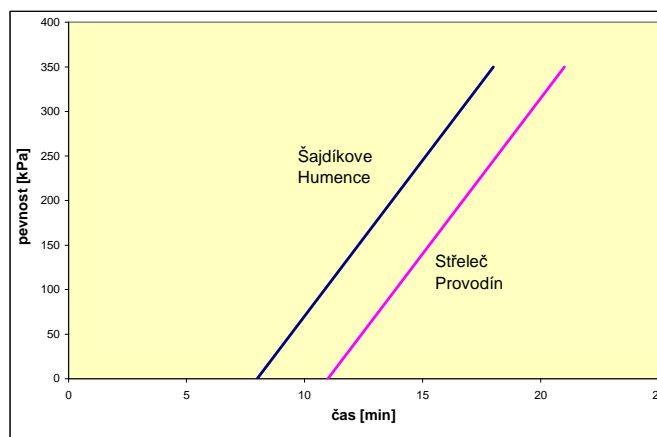
Możliwość niskiego dozowania spoiwa geopolimerowego do mas samoutwardzalnych potwierdzają także długotrwałe doświadczenia odlewni stosujących geopolimerowy układ wiążący. W przypadku mas zawierających nowy piasek dodaje się przy produkcji 1,6 – 1,8 części wagowych spoiwa, natomiast w przypadku mas zawierających 75 do 100 % regeneratu dodaje się 1,8 do 2,0 części wagowych spoiwa.

#### ▪ Urabialność i czas rozkładania.

W przypadku wszystkich mas samoutwardzalnych jest istotnym parametrem czas urabialności masy.

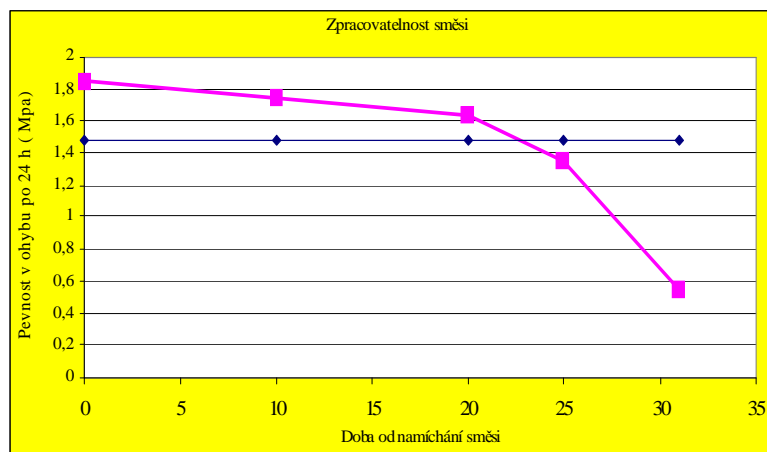
W przypadku laboratoryjnych i eksploatacyjnych pomiarów czasu urabialności jako bardzo praktyczna metoda sprawdziło się mierzenie za pomocą aparatu do pomiaru kohezji. W przypadku ciałek próbnych i konkretnych form lub rdzeni można w początkowych fazach utwardzania szybko i łatwo mierzyć wzrost wytrzymałości w zależności od czasu.

Na rys. nr 6 pokazano ową zależność wytrzymałości od czasu. Na podstawie tej zależności można łatwo ustalić czas urabialności a w dalszej kolejności także czas wyjmowania.



Rys. 6. Sposób oceny czasu urabialności masy samoutwardzalnej za pomocą aparatu do pomiaru kohezji.

W związku z tym przeprowadziliśmy szereg pomiarów, przy których obserwowaliśmy urabialność masy za pośrednictwem wytrzymałości po 24 godzinach. Po wymieszaniu pobierano masę w odstępach czasowych, wytworzono ciałka próbne i ustalono wytrzymałość po 24 godzinach. Rys. nr 7 pokazuje typowy przebieg wytrzymałości w zależności od czasu, który upłynął od wymieszania masy. Masa ta zawiera 1,8% spoiwa geopolimerowego. Wytrzymałość po 24 godzinach wynosi 1,85 MPa. Za masę urabialną produkcyjnie uważamy masę, której wytrzymałość spadnie o 20 % w stosunku do wytrzymałości chwilowej. W tym przypadku odpowiada to wartości 1,48 MPa na zginanie. Praktyczna urabialność tej masy wynosi więc 23 min.



Rys. 7. Obserwacja czasu urabialności za pomocą ustalenia wytrzymałości na zginanie w zależności od czasu wytworzenia ciałka próbnego od dodania do masy utwardzacza.

Za pomocą aparatu do pomiaru kohezji ustalono urabialność 29 min. Obowiązuje tu fakt, że praktyczna urabialność wynosi 80 % urabialności ustalonej za pomocą aparatu do pomiaru kohezji. Potwierdził to także szereg badań geopolimerowego układu wiążącego.

Czas urabialności mas samoutwardzalnych z geopolimerowym układem wiążącym można regulować za pomocą odpowiedniego utwardzacza. Obecnie jest możliwa regulacja urabialności w zakresie od jednej aż do 90 min.

Stosunek pomiędzy czasem urabialności i czasem wyjmowania w przypadku mas ze spoiwem geopolimerowym wynosi ca 1 : 1.

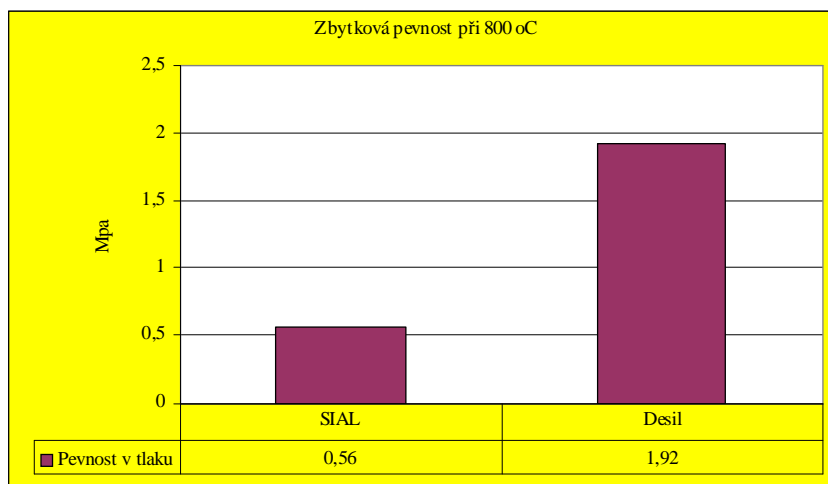
### 3. Właściwości po odlewie.

Ze względu na swój charakter geopolimerowa osłona ziarna zapewnia lepszą podatność na rozpad po odlewie niż np. masy zawierające szkło wodne.

W przypadku mas ze szkłem wodnym pojawia się tzw. pierwsze maksimum wytrzymałości resztkowej w temperaturze 200 do 300 °C. Spoiwo geopolimerowe nie wykazuje w tym zakresie temperatur żadnego wzrostu wytrzymałości.

Także w temperaturze 800 °C wykazuje spoiwo geopolimerowe niższe wytrzymałości resztkowe. Rys. nr 8 pokazuje przeciętne wartości z długoterminowej obserwacji eksploatacyjnej wytrzymałości resztkowej w temperaturze 800 °C oraz ich porównanie z wytrzymałością mas ze zwykłym szkłem wodnym. Wartość wytrzymałości resztkowej spoiwa geopolimerowego przedstawia w przybliżeniu jedną trzecią, co oznacza dużo lepszą podatność na rozpad.





Rys. 8. Porównanie wytrzymałości resztkowej w temperaturze 800 °C.

Oprócz wyżej opisanego spoiwa geopolimerowego są obecnie do dyspozycji nowo przygotowane typy tego układu wiążącego, które odznaczają się dalszym ulepszeniem podatności na rozpad w temperaturze 800 °C.

#### 4. Możliwość regeneracji masy zwrotnej.

Już w trakcie laboratoryjnego modelowania regeneracji mas zwrotnych ze spoiwem geopolimerowym okazało się, że ich regeneracja jest dużo prostsza niż regeneracja mas ze szkłem wodnym.

Eksploatacja następnie potwierdziła, że masę zwrotną z geopolimerowym układem wiążącym można z powodzeniem zregenerować za pomocą prostego urządzenia do regeneracji działającego na zasadzie ścierania wibracyjnego. (rys. nr 9 )



Rys. 9. Stosowana w eksploatacji regeneracja masy zwrotnej ze spoiwem geopolimerowym przez ścieranie mechaniczne (Omega, GB).

Z badań laboratoryjnych i wyników eksploatacji wynikają następujące wymogi, co do jakości regeneratu. Wartości tych nie należy przekraczać, o ile mają być dotrzymane dobre właściwości regeneratu.

Parametr		Wartość graniczna
Woda związana	%	0,80
Zawartość Na <sub>2</sub> O	%	0,12
Wilgotność	%	0,50
Fracja poniżej 0,125 mm	%	0,90

Doświadczenia z eksploatacji potwierdzają, że parametry te można osiągnąć przez regenerację wibracyjną, stosowaną w przypadku regeneracji mas zwrotnych ze spoiwem organicznym. Potwierdzono, że nie trzeba stosować utwardzania żelu, jak dzieje się to w przypadku regeneracji mas ze szkłem wodnym. Potrzebna jakość regeneratu jest zapewniona bez ogrzania masy zwrotnej.

W praktyce stosuje się następujące ilości regeneratu:

Skomplikowane rdzenie:	0% regeneratu
Proste rdzenie i masa formierska przymodelowa:	do 75 % regeneratu
Wypełniacze:	do 100 % regeneratu

## 5. Zakończenie.

Spoiwo geopolimerowe zawiera nieorganiczny polimer na bazie krzemu i glinu. Polimer ten po utwardzeniu odznacza się wysoką wytrzymałością, w przypadku mas dochodzi, więc do adhezyjnej destrukcji osłony wiążącej, co umożliwia niskie dozowanie spoiwa.

Okazało się również, że charakter osłony ziarna umożliwia przeprowadzenie regeneracji przez prostą wibrację mechaniczną.

Geopolimerowy układ wiążący eksploatowany jest obecnie w czterech czeskich odlewniach, w kolejnych sześciu przebiegają zaś badania pilotowe. Próby pilotowe rozpoczęto także w niemieckich i polskich odlewniach.

Oprócz podanych głównych zalet nieorganicznego układu wiążącego (niskie dozowanie spoiwa, możliwość regeneracji, podatność na rozpad) system ma także inne dodatnie cechy, które wynikają z doświadczeń naszych i zagranicznych odlewni:

- Dobra płynność masy
- Niska lepkość i łatwe czyszczenie
- Znacznie ograniczona niepodatność na formowanie w przypadku długich rdzeni
- Wyraźnie niższa wilgotność masy w porównaniu z masami zawierającymi szkło wodne

Geopolimerowy układ wiążący przynosi odlewniom kolejną możliwość wyboru ekologicznej i ekonomicznej produkcji rdzeni z mas samoutwardzalnych.

# METODY I ALGORYTMY AUTOMATYCZNEJ IDENTYFIKACJI WYBRANYCH PARAMETRÓW PROCESU TECHNOLOGICZNEGO

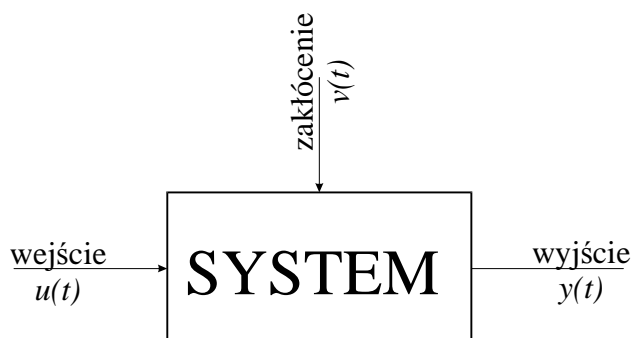
*Eugeniusz ZIÓŁKOWSKI<sup>1</sup>*

Wydział Odlewnictwa AGH

## 1. Wprowadzenie.

Identyfikacja systemów jest gałęzią modelowania systemów dynamicznych, w której model jest utworzony za pomocą danych eksperymentalnych [4]. System dynamiczny może być schematycznie przedstawiony tak, jak na rys. 1. Zachowanie układu wyznaczają sygnały wejściowe  $u(t)$  i zakłócenia  $v(t)$ , przy czym użytkownik może wpływać tylko na  $u(t)$ .

Istotnych informacji o układzie dostarcza sygnał wyjściowy. W systemach dynamicznych (tzw. sygnały dynamiczne przyczynowe) działanie sterujące w chwili  $t$  wpływa na sygnał wyjściowy w chwilach  $s > t$ .



Rys. 1. Układ dynamiczny z sygnałem wejściowym  $u(t)$ , wyjściowym  $y(t)$  i zakłóceniem  $v(t)$ , gdzie  $t$  oznacza czas [4].

Wiele procesów przemysłowych, musi być sterowanych tak, aby zapewnić ich bezpieczeństwo oraz efektywność. Projektowanie regulatorów wymaga znajomości modeli procesów. Modele te mogą różnić się od siebie pod względem rodzaju i stopnia złożoności. Konstrukcja optymalnego regulatora wymaga bardziej szczegółowego modelu, opisującego również właściwości zakłóceń oddziałujących na proces.

Modele matematyczne systemów dynamicznych są używane w wielu dziedzinach i mają wiele zastosowań. W zasadzie wyróżniamy dwa sposoby konstruowania takich modeli:

1. Modelowanie matematyczne. Jest to podejście analityczne. Dynamika zjawiska lub procesu wyprowadzana jest tu z podstawowych praw fizyki (takich jak praw Newtona czy zasada zachowania).
2. Identyfikacja systemów. Jest to podejście eksperymentalne. Po poddaniu systemu szeregowi doświadczeń, dobieramy parametry modelu w taki sposób, by pasował on do danych doświadczalnych.

<sup>1</sup> dr inż.

W wielu przypadkach procesy są tak skomplikowane, że nie jest możliwe zbudowanie modelu wyłącznie na podstawie znajomości fizyki procesu (stosując zasady zachowania, na przykład równania bilansowe). Musimy wówczas posłużyć się metodami identyfikacji. Często zdarza się również, że model wyprowadzony z zasad ogólnych zawiera dużą liczbę nieznanymi parametrów. Metody identyfikacji mogą być wówczas użyte do ich oszacowania.

Modele, uzyskane z identyfikacji, mają następujące cechy, odróżniające je od modeli matematycznych:

- ich stosowalność jest ograniczona (można je stosować w określonym punkcie pracy, dla określonego typu wejścia, dla niektórych procesów itp.),
- nie wyjaśniają one fizycznej istoty procesu, gdyż w większości przypadków parametry modelu nie mają bezpośredniej interpretacji fizycznej, innymi słowy, parametry te służą jedynie do uzyskania satysfakcjonujących zgodności modelu z danymi eksperymentalnymi,
- są stosunkowo łatwe do otrzymania i wykorzystania.

Identyfikacja nie jest niezawodną techniką, którą można używać bez współdziałania z użytkownikiem wyników identyfikacji [4]. Dzieje się tak, gdyż:

- trzeba znaleźć właściwą strukturę modelu - zadanie to nie jest łatwe, zwłaszcza gdy dynamika systemu jest nieliniowa,
- w rzeczywistym świecie nie istnieją „idealne dane” i w związku z tym trzeba zawsze uwzględnić obecność zakłóceń w danych,
- proces może zmieniać się w czasie, co powoduje trudności przy próbach zbudowania modeli niezmiennych w czasie,
- pomiar zmiennych w zasadniczym znaczeniu dla modelu może okazać się trudny bądź wręcz niemożliwy.

Eksperyment identyfikacji prowadzi się pobudzając system (za pomocą określonego sygnału wejściowego, np. schodkowego, sinusoidalnego czy losowego) i obserwując jego wejścia i wyjścia w pewnym przedziale czasu. Dane wejściowe i wyjściowe są z reguły gromadzone w pamięci masowej komputera w celu dalszego przetwarzania. Następnie próbujemy dopasować model parametryczny do zgromadzonych danych eksperymentalnych. Pierwszym krokiem w tym kierunku jest określenie stosownej postaci modelu (w typowej sytuacji jest to równanie różnicowe określonego rzędu). W następnym kroku estymujemy nieznanne parametry modelu (takie jak współczynniki równania różnicowego), wykorzystując w tym celu którąś z metod statystycznych. W praktyce estymacja struktury i parametrów modelu odbywa się często w sposób iteracyjny. Oznacza to wybór pewnej próbnej struktury i estymację jej parametrów.

Następnie otrzymany model jest testowany, aby sprawdzić, czy odpowiednio reprezentuje on prawdziwy system. Jeśli tak nie jest, należy wybrać bardziej złożoną strukturę, estymować jej parametry, sprawdzić otrzymany model itd.

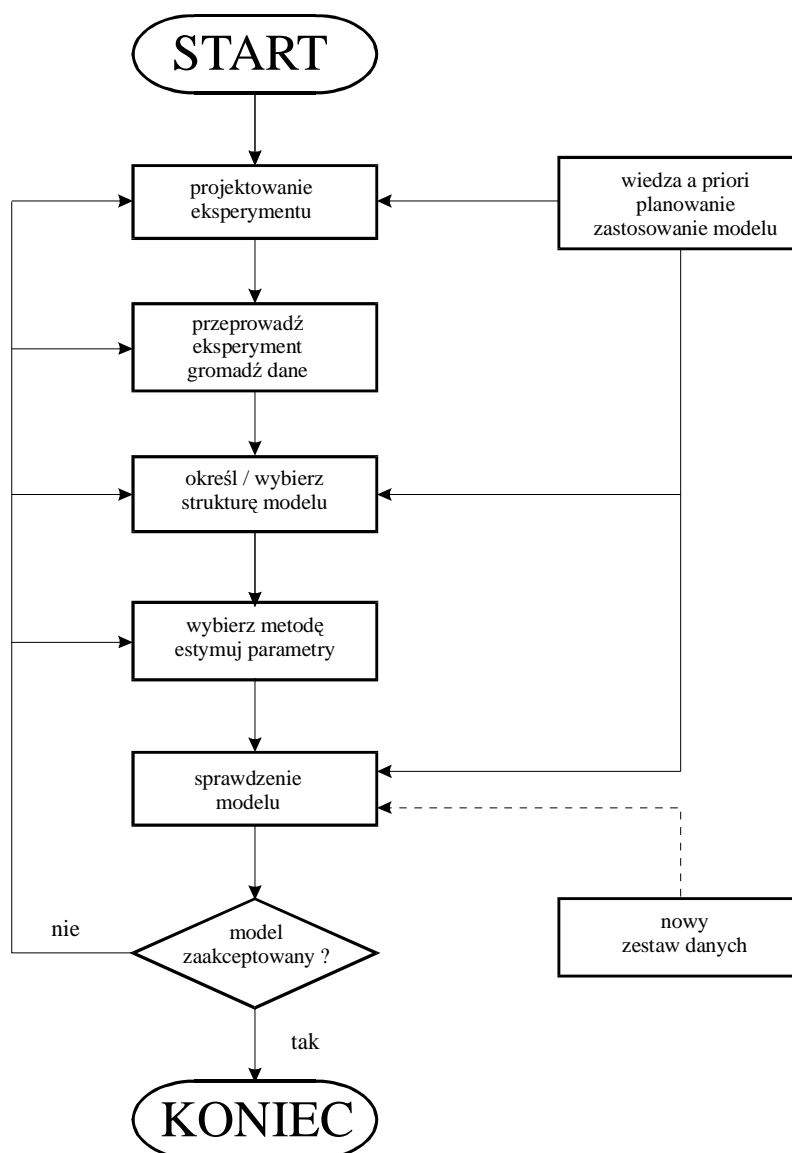
Omówiona procedura jest zilustrowana na rys. 2. Zauważmy, że warunek występujący po sprawdzeniu modelu nadaje tej procedurze charakter iteracyjny.

## 2. Metody identyfikacji.

Identyfikacją w automatyce nazywa się sporządzanie opisu matematycznego obiektu ze względu na technikę sterowania. Opis matematyczny obiektu sterowania jest często nazywany modelem matematycznym obiektu. Ewolucja pojęcia obiektu powoduje również ewolucję pojęcia identyfikacji. W przypadku obiektów jednowymiarowych i prostych wielowymiarowych należało wyznaczyć współczynniki równań różniczkowych lub transmitancji opisujących obiekt bądź też wyznaczyć charakterystyki czasowe lub

częstotliwościowe. W przypadku obiektów złożonych należy wstępnie określić dla obiektu [3]:

- strukturę;
- wielkości wejściowe i wyjściowe;
- miejsca oddziaływania zakłóceń;
- wskaźniki jakości.



Rys. 2. Schemat blokowy algorytmu identyfikacji systemu wybranym modelem matematycznym [4].

Identyfikacja własności procesu technologicznego jest niezbędna do racjonalnego sterowania tego procesu. Na ogół im większa jest do dyspozycji informacja początkowa o procesie, tym lepsze można uzyskać wskaźniki sterowania, i tym samym większe efekty ekonomiczne. Pewne zwiększenie informacji początkowej pozwala uniknąć urządzeń sterujących o złożonych algorytmach adaptacyjnych oraz strat związanych z niepotrzebną identyfikacją w trakcie sterowania. Jednocześnie należy wyraźnie zwrócić uwagę, że nadmierna informacja początkowa o procesie jest równie niekorzystna jak i zbyt mała.

Przed wszystkim zdobycie jej jest bardziej kosztowne. Prócz tego urządzenie sterujące, wykorzystujące dużą ilość informacji początkowej, jest skomplikowane.

Przy identyfikacji złożonych obiektów sterowania z reguły należy dokonywać bardzo dużo obliczeń. Przeprowadzenie identyfikacji jest bardzo kosztowne. Oczywiście nakłady na identyfikację i polepszenie sterowania nie mogą przewyższać korzyści, uzyskanych w wyniku poprawy procesu technologicznego, dzięki wprowadzeniu racjonalniejszego sterowania.

W technice systemów postępowanie prowadzące do projektu układu sterowania określonego obiektu przedstawia się jako ciąg złożony z następujących etapów:

- sformułowania zadania;
- ustalenie matematycznego modelu obiektu;
- wyznaczenie sterowania optymalnego;
- wybór struktury układu sterowania;
- optymalizacja układu sterowania.

Tok postępowania związany z etapem ustalenia matematycznego modelu obiektu i bezpośredniego sprzęgania maszyny z obiektem polega na opracowywaniu metodyki identyfikacji uwzględniającej następujące wymagania:

- prostotę realizacji algorytmu identyfikacji;
- ograniczony czas rozwiązywania zadania identyfikacji;
- skończony czas obserwacji procesu identyfikacji;
- minimalne naruszenie naturalnych warunków przebiegania procesu przy eksperymentach.

W związku z powyższym należy:

- maksymalnie ograniczyć liczbę zmiennych obiektu;
- maksymalnie uprościć postać równań obiektu;
- przyjąć możliwie małe częstotliwości próbkowania.

W przypadku obiektów prostych – na przykład zbiornika jako obiektu regulacji poziomu czy pieca jako obiektu regulacji temperatury – można na ogół zagadnienie ideatyfikacji rozbić na cztery etapy:

- opracowanie metodyki identyfikacji;
- zainstalowanie odpowiedniej aparatury pomiarowej;
- dokonanie pomiarów;
- opracowanie wyników.

W przypadku obiektów złożonych – na przykład całych procesów technologicznych – istotnie komplikuje się zagadnienie identyfikacji. Na ogół nie można opracować zupełnej metodyki identyfikacji. Przed wszystkim należy wykonać prace przygotowawcze obejmujące:

- ogólne zaznajomienie się z technologią obiektu automatycznego i sposobami oceny jakości;
- zaznajomienie się z możliwościami pomiarowymi określenia stanu obiektu;
- opracowanie wstępnej ogólnej koncepcji sterowania i optymalizacji obiektu na podstawie ogólnego opisu matematycznego obiektu.

Następnie przystępuje się do identyfikacji wstępnej złożonego obiektu obejmującej:

- opracowanie metodyki identyfikacji wstępnej;
- dokonanie pomiarów;
- opracowanie wyników.

Opierając się na wynikach identyfikacji wstępnej tworzy się wstępną koncepcję sterowania i sprawdza ją w praktyce. Z reguły ujawniają się istotne rozbieżności między rzeczywistym obiektem a modelem matematycznym, dla którego opracowano powyższą koncepcję sterowania. Należy wtedy powtórnie opracować nową metodę identyfikacji; dokonać pomiarów i opracować wyniki. Następnie należy stworzyć nową koncepcję sterowania i sprawdzić ją na obiekcie.

W przypadku obiektów złożonych na ogół nie udaje się oddzielić zagadnienia identyfikacji od zagadnienia algorytmu sterowania i dlatego identyfikację przeprowadza się iteracyjnie drogą kolejnych przybliżeń

Istniejące metody identyfikacji można ogólnie podzielić na metody identyfikacji własności statycznych i własności dynamicznych. Złożoność zagadnienia optymalizacji w przypadku obiektów o wielu wejściach zmusza w praktyce inżynierskiej do optymalizacji statycznej i dlatego metody identyfikacji własności statycznych nabierają szczególnego znaczenia.

Metody identyfikacji można ułożyć w porządku chronologicznym powstania w następujący sposób [4]:

- metody analityczne;
- metody czasowe;
- metody częstotliwościowe;
- metody korelacyjne;
- metody regresyjne;
- metody czynnikowe;
- metody aproksymacji stochastycznej;
- metody decyzji statystycznych.

Metody analityczne służą do znalezienia ogólnego opisu matematycznego procesu przed przystąpieniem do identyfikacji eksperymentalnej. Opierają się one na równaniach bilansu materiałowego i bilansu energetycznego. Znając dane konstrukcyjne aparatury technologicznej i parametry technologiczne procesu można w przypadkach prostszych określić nie tylko jakościowe, ale i ilościowe własności dynamiczne obiektu. Metody analityczne nabierają aktualnie coraz większego znaczenia w przypadku złożonych procesów technologicznych.

Metody czasowe służą do wyznaczenia odpowiedzi na skok jednostkowy (niekiedy również na impuls jednostkowy) na podstawie badań eksperymentalnych przebiegów przejściowych obiektu.

Metody częstotliwościowe służą do wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych obiektu na podstawie badań eksperymentalnych przebiegów ustalonych obiektu powstałych przy wymuszeniach sinusoidalnych (harmonicznych).

Metody czasowe i metody częstotliwościowe zostały opracowane w zasadzie dla obiektów jednowymiarowych, mogą one oddać również duże usługi przy badaniu obiektów wielowymiarowych. Należy jednak pamiętać, że umożliwiają one jedynie identyfikację modeli liniowych o stałych współczynnikach. Dlatego też w przypadku zadań optymalizacyjnych, a więc poszukiwania charakterystyk nieliniowych (ekstremalnych) metody te nie mogą być stosowane.

Metoda funkcji korelacji służy do wyznaczania charakterystyk dynamicznych na podstawie eksperymentu biernego, to znaczy obserwacji wejść i wyjść obiektu w czasie jego normalnej pracy.

Metoda analizy regresyjnej początkowo służyła wyłącznie do wyznaczania charakterystyk statycznych na podstawie eksperymentu biernego. Ostatnio stosuje się ją również do identyfikacji parametrów charakterystyk dynamicznych obiektów o działaniu dyskretnym.



Metoda analizy czynnikowej, opierająca się na metodzie analizy regresyjnej, służy do tworzenia planów eksperymentu, umożliwiającego szybką identyfikację nieznanymi parametrów charakterystyk statycznych.

Metoda aproksymacji stochastycznej podobnie jak metoda analizy regresywnej może być stosowana do identyfikacji zarówno parametrów charakterystyk dynamicznych jak i statystycznych.

Metoda decyzji statystycznych aktualnie może być stosowana wyłącznie do identyfikacji charakterystyk statycznych ze względu na złożony aparat matematyczny teorii decyzji statystycznych.

### 3. Identyfikacja za pomocą algorytmów optymalizacji statycznej lub dynamicznej.

Identyfikacja wartości parametrów określonego modelu procesu technologicznego może być realizowana za pomocą specjalizowanych algorytmów, na przykład algorytmu Levenberga-Marquardta [3], albo z wykorzystaniem algorytmów optymalizacji statycznej lub dynamicznej z ograniczeniami lub bez ograniczeń.

Metody minimalizacji statycznej bez ograniczeń dzieli się na dwie podstawowe grupy [1,2]:

- metody bezgradientowe,
- metody gradientowe.

Wybór metody jest tutaj uzależniony od możliwości zdefiniowania oraz obliczenia gradientów funkcji  $f(x)$ . Jeżeli dysponujemy algorytmem wyznaczającym wartość funkcji celu dla danego punktu  $x$ , a dodatkowo spodziewamy się, że nieregularny charakter funkcji  $f$  oraz błędy numeryczne przy wyznaczaniu wartości  $f(x)$  spowodują dużą niedokładność aproksymacji wartości gradientu tej funkcji ilorazami różnicowymi, wówczas konieczne jest zastosowanie jednej z odmian metod bezgradientowych.

W przypadku, gdy dysponujemy algorytmem wyznaczania wartości funkcji  $f(x)$  i gradient tej funkcji jest podany w postaci formuł analitycznych, celowe jest zastosowanie metod gradientowych.

Jeżeli dysponujemy jedynie algorytmem wyznaczania wartości funkcji  $f(x)$ , ale wartość gradientu, choć nie jest on dany w postaci formuł analitycznych, może być z dużą dokładnością przybliżana przez ilorazy różnicowe (estymacja gradientu), wówczas celowe jest rozwiązywanie zadania minimalizacji bez ograniczeń jedną z metod gradientowych, współpracujących z metodą estymacji gradientu.

Metody bezgradientowe można podzielić na [2]:

- metody poszukiwań prostych (na przykład metody: Hooke'a-Jeevesa, Rosenbrocka, Neldera-Meada, metoda losowa),
- metody poprawy (metody: Powella oraz Daviesa-Swanna-Campeya).

Do metod gradientowych zalicza się [2]:

- gradientowe metody poprawy metodą gradientu sprzężonego,
- metody zmiennej metryki (na przykład metody: Davidona-Fletcher-Powella, Broydena-Fletcher-Goldfarba-Shanno i Fletcher).

Identyfikacja parametrów procesu technologicznego może być również realizowana za pomocą algorytmów optymalizacji funkcji celu z ograniczeniami [10]. W modelach matematycznych szeregu procesów technologicznych, występowanie ograniczeń jest powszechne, stąd celowe jest wykorzystanie metod optymalizacji z ograniczeniami. W przypadku liniowej funkcji celu oraz ograniczeń w postaci funkcji liniowych, można zastosować jedną z wielu metod programowania matematycznego liniowego, na przykład

metodę sympleksów. Jeżeli funkcja celu ma postać funkcji nieliniowej, zaś ograniczenia mają postać funkcji liniowej to zadanie optymalizacji można rozwiązać metodami:

- programowania kwadratowego (funkcja celu kwadratowa),
- gradientu sprzężonego z rzutowaniem,
- zmiennej metryki z rzutowaniem.

W przypadku nieliniowej postaci funkcji celu i nieliniowych ograniczeń można wyróżnić następujące grupy metod optymalizacji:

- metoda aproksymacji kwadratowych
- bezgradientowa metoda przesuwanej funkcji kary,
- metody gradientowe:
  - przesuwanej funkcji kary,
  - przesuwanej funkcji kary z rzutowaniem,
  - przesuwanej funkcji kary z modyfikacją quasi-newtonowską.

Bardzo istotne znaczenie ma możliwość zastosowania wybranej metody programowania matematycznego nieliniowego do rozwiązywania zadania identyfikacji dynamicznych procesów technologicznych. Przykład rozwiązywania pewnej klasy zadań optymalizacji dynamicznej z zastosowaniem metod programowania nieliniowego bez ograniczeń przedstawiono w pracy [2].

W dobie coraz powszechniej stosowanego podejścia rozmytego do wielu zagadnień z dziedziny sterowania procesami technologicznymi należy zauważyć, iż w wielu przypadkach praktycznych optymalizację rozmytą można realizować za pomocą metod programowania matematycznego nieliniowego.

#### 4. Wnioski.

Tworzenie oprogramowania komputerowych systemów identyfikacji i sterowania wybranymi procesami technologicznymi, także odlewniczymi, wymaga zaimplementowania odpowiednio dobranej metody optymalizacyjnej. Prowadzone w Katedrze Mechanizacji, Automatyzacji i Projektowania Odlewni prace mają na celu wykonanie biblioteki procedur optymalizacyjnych, które można zastosować w różnych wersjach oprogramowania identyfikacyjnego i sterującego. W pracach [5÷9] przedstawiono niektóre przykłady aplikacyjne algorytmów identyfikacji wybranych procesów odlewniczych.

**Praca naukowa realizowana w ramach umowy z KBN nr 10.10.170.56.**

#### 5. Literatura.

1. Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN, Warszawa 1980.
2. Kręglewski T., Rogowski T., Ruszczyński A., Szymanowski J.: Metody optymalizacji w języku FORTRAN. PWN, Warszawa 1984.
3. Marquardt D.: An Algorithm for Least Squares Estimation of Nonlinear Parameters. SIAM, 1963, pp. 431-442.
4. Söderström T., Stoica P.: Identyfikacja systemów. PWN, Warszawa 1997.
5. Ziółkowski E.: The Algorithm of the Automatic Identification of Dynamic Technological Foundry Processes. Acta Metallurgica Slovaca 2/1998, Košice, Slovakia, pp. 122-125.

6. Ziółkowski E.: Komputerowe systemy identyfikacji automatycznej oporowych i indukcyjnych pieców odlewniczych. *Acta Metallurgica Slovaca*, 2/1999, Košice, Slovakia, pp. 549-554.
7. Ziółkowski E.: Algorytm identyfikacji statystycznej systemów dynamicznych wyższych rzędów. *Mat. II Międzynarodowej Konferencji n.t.: „Tendencje rozwojowe w mechanizacji procesów odlewniczych”*. Kraków, 1999, s. 139-1144.
8. Ziółkowski E.: Program komputerowej automatycznej identyfikacji wybranych dynamicznych procesów odlewniczych. *Mat. XXIV Konferencji Naukowej z okazji Święta Odlewnika 2000*. Kraków, 2000, s. 151-155.
9. Ziółkowski E.: Koncepcja modelowego stanowiska do automatycznej identyfikacji elektrycznego pieca oporowego. *Mat. XXVI Konferencji Naukowej z okazji Święta Odlewnika 2002*. Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 2002, str. 59÷64.
10. Ziółkowski E.: Zastosowania programowania kwadratowego w identyfikacji parametrów procesu technologicznego. *Mat. XI Międzynarodowej Konferencji Odlewników Polskich, Czeskich i Słowackich „WSPÓŁPRACA 2005”*. Zakopane-Kościelisko, 2005, s. 189÷193.

## NOWOCZESNE SYSTEMY TRANSMISJI DANYCH W AUTOMATYCE PRZEMYSŁOWEJ

*Paweł NASKRET<sup>1</sup>*  
*Waldemar BOJANOWSKI<sup>2</sup>*  
*Krzysztof PAWLAK<sup>3</sup>*

### 1. Wstęp.

Automatyka ciągle podlega zmianom i innowacjom. Nie tak dawno zmiany te odnosiły się tylko do obszaru samej produkcji w zakładzie. Dziś zastosowanie technologii sieciowych wprowadziło rewolucyjne zmiany polegające na przekształceniu systemu centralnego na system rozproszony, umożliwiający zarówno komunikację jak i pełną integrację z systemami zarządzania zakładem. Ten kierunek rozwoju spowodował, że automatyka przemysłowa wkroczyła w świat sieci biurowej, powodując głębokie zmiany i nowe trendy w systemach obsługi, monitoringu i zarządzania. Dodatkowo stworzono nowe możliwości w zakresie komunikacji pomiędzy systemami automatyki. Najnowsze technologie sieciowe pozwalają również na podłączenie systemów automatyki do ogólnodostępnej sieci internetowej. Pozwala to na ogromne możliwości pod względem zarówno zarządzania procesem, jak i serwisu na odległość.

### 2. Przegląd nowoczesnych metod przesyłania danych.

Dostępne dziś nowoczesne metody komunikacji i przesyłania danych dają ogromne, nowe możliwości w procesach automatyzacji linii technologicznych. Systemy komunikacji sieciowej w zastosowaniach przemysłowych pozwalają na decentralizację (rozproszenie) systemu automatyki i zarządzania na poszczególne bloki posiadające własne układy sterowania. Informacje wymieniane są za pośrednictwem sieci przemysłowych, sieci komputerowych lokalnych, sieci radiowych czy też sieci komputerowej globalnej. Możliwość łączenia, za pośrednictwem takich mediów komunikacyjnych: sterowników, modułów wejść/wyjść rozproszonych, przetworników, przemienników częstotliwości, paneli operatorskich czy wreszcie komputerów PC zainstalowanych lokalnie lub też gdziekolwiek na świecie otwiera przed nami możliwość pełnej integracji rozległych, rozproszonych procesów przemysłowych.

Aktualnie najczęściej stosowanymi standardami w realizacji przemysłowych połączeń przesyłania danych są:

1. Szeregowe sieci przemysłowe ProfiBus (PROcess Field BUS),
  - a) Standard FMS (Fieldbus Message Specification),
  - b) Standard DP (Decentralized Periphery),
  - c) Standard PA,
2. Sieci komputerowe Ethernet,
3. ModBus,
4. Genius,
5. Device-Net,
6. Radiomodemy,

---

<sup>1</sup> inż. [p.naskret@technical.com.pl](mailto:p.naskret@technical.com.pl)

<sup>2</sup> inż. [w.bojanowski@technical.com.pl](mailto:w.bojanowski@technical.com.pl)

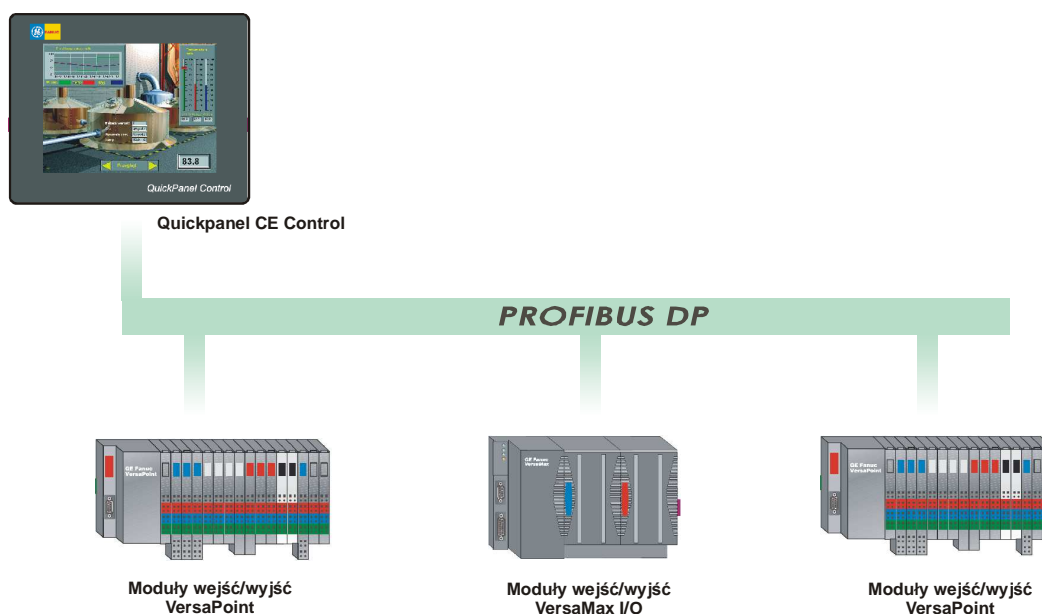
<sup>3</sup> inż. [k.pawlak@technical.com.pl](mailto:k.pawlak@technical.com.pl)

7. Sieci GSM (Global System for Mobile Communications),
  - a) Wiadomości SMS (Short Message Service),
  - b) Pakietowa transmisja danych GPRS (General Packed Radio Services).

W niniejszym artykule skoncentrujemy się na, naszym zdaniem, najlepszych rozwiązaniach.

#### **Ad. 1 Szeregowe sieci przemysłowe ProfiBus.**

Do najpopularniejszych rozwiązań komunikacji typowo przemysłowej należą szeregowe sieci ProfiBus. Jednym z największych jego dostawców w automatyce przemysłowej na naszym rynku jest firma SIEMENS, jednak ze względu na jego popularność urządzenia zgodne z tym standardem są wytwarzane przez wielu innych producentów. Protokół komunikacyjny Profibus na dobre zadomowił się już w systemach automatyki w całej Europie a także i na świecie, stając się rozwiązaniem standardowym. Swoją popularność zyskał dzięki szczegółowemu określeniu standardu (niemiecki standard DIN 19245 oraz standard europejski EN 50170) oraz istnieniu instytucji certyfikującej zgodność urządzeń wielu producentów z tymże standardem (organizacja PNO – Profibus NutzerOrganisation). Choć w praktyce nie jest to rozwiązanie technicznie tanie czy też bardzo proste w zastosowaniu, to łatwy dostęp do dokumentacji i gotowych układów scalonych oraz profesjonalny marketing sprawiły, że twórcom systemu udało się odnieść sukces – producenci różnych urządzeń, takich jak: sterowniki, przetworniki, mierniki, liczniki itp., są często proszeni przez klientów o zaoferowanie produktu z interfejsem Profibus.



Rys. 1. Przykład sieci Profibus DP.

Sieć Profibus może być używana do szybkiej transmisji danych pomiędzy sterownikiem a modułami wejść/wyjść oraz do zapewnienia kompleksowej komunikacji pomiędzy sterownikami. Transmisja danych odbywa się szeregowo z wykorzystaniem kabla ekranowanego dwużyłowego, czy światłowodu w standardzie elektrycznym RS485. Prędkość działania sieci wynosi do 12 Mb/s, co pozwala na praktyczne pominięcie czasu cyklu sieci, w stosunku do innych czasów procesu (np. czas cyklu programu, reakcja układów wejść/wyjść). Została ona podzielona, na kilka standardów, co pozwoliło na

pokrycie praktycznie 100% wymagań i oczekiwań, jakie zostały postawione sieci przez użytkowników. Są to mianowicie standardy FMS, DP oraz PA.

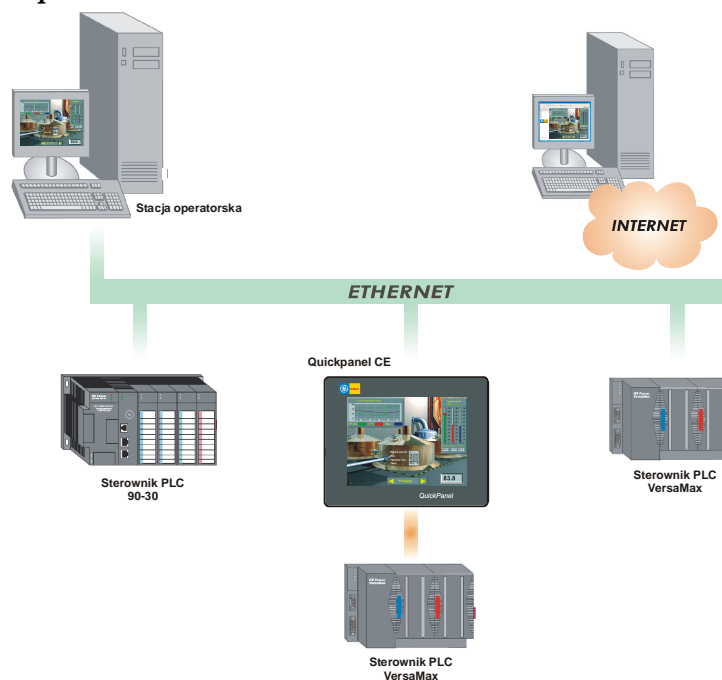
*Standard FMS* w swych założeniach i praktyce służy do przesyłania większej liczby danych procesowych pomiędzy stacjami, takimi jak sterowniki, stacje operatorskie, programatory, urządzenia zabezpieczające oraz komputery PC. Opiera się na strukturze Client-Server (Token passing), co powoduje że w jednej sieci może komunikować się ze sobą większa ilość stacji (struktura multimaster). FMS zawiera warstwę aplikacyjną z dostępnymi usługami komunikacyjnymi. Usługi te umożliwiają dostęp do zmiennych, przesyłanie programów, kontrolę wykonywania programu, jak i przesyłanie zdarzeń. Profibus FMS definiuje model komunikacyjny, w którym rozdzielone procesy mogą jednoczyć się we wspólny proces przy użyciu związków komunikacyjnych.

*Standard DP* oraz *PA* pełnią nieco inne zadanie jak FMS. Mianowicie głównym ich zadaniem jest decentralizacja, rozproszenie wejść, wyjść, sygnałów analogowych, umieszczenie kart sterowniczych blisko obiektu. Struktura sieci oparta jest na idei stacja główna, zarządzająca (Master), która zarządza siecią oraz dołączone do niej stacje podrzędne (Slave). Stacją Master najczęściej jest sterownik lub stacja operatorska PC, natomiast stacje typu Slave tworzy bogata gama różnych produktów i układów, do których należą przede wszystkim karty wejść/wyjść dwustanowych, analogowych, napędy, siłowniki, falowniki, zabezpieczenia silników, panele operatorskie, przetworniki, moduły wagowe, inteligentne stacje sterownikowe, komputery itp.

Mimo, że Profibus liczy już kilkanaście lat, a rozwiązania na bazie Internetu odgrywają coraz istotniejszą rolę, standard ten jest ciągle dynamicznie rozwijany. Do najważniejszych rozszerzeń ostatnich lat należą między innymi takie rozwiązania jak:

- PROFIsafe – umożliwiający łączenie przycisków bezpieczeństwa oraz skanerów zabezpieczających za pośrednictwem sieci komunikacyjnej,
- PROFINet – umożliwiający łączenie Internetu z Profibus'em a tym samym dający dostęp do urządzeń obiektowych przez standardowe narzędzie Internetu, jakim jest przeglądarka WWW.

## Ad. 2 Sieci komputerowe Ethernet



Rys. 2. Przykład sieci Ethernet.

Przez niemal 30 lat swego istnienia sieć Ethernet stała się powszechnym elementem informatycznego „krajobrazu” na całym świecie, zadomowiła się już w biurach większości zakładów pracy. W efekcie dynamicznego rozwoju tej sieci, dziś trudno wyobrazić sobie bardziej rozpowszechniony, stabilny i popularny standard niż Ethernet. Przez długi jednak czas był on mocno niedoceniany w zastosowaniach przemysłowych. Ethernet miał opinię sieci niegwarantującej niezawodności przepływu informacji – niedeterministycznej.

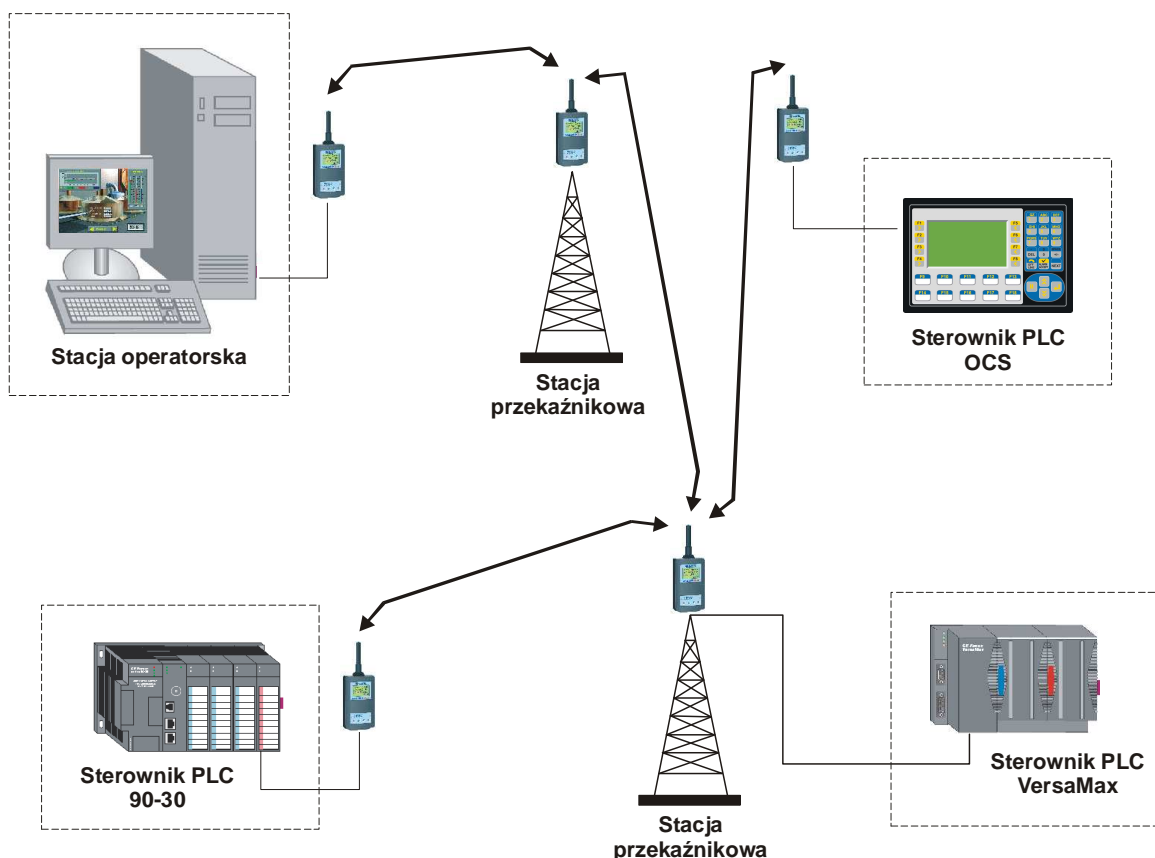
W ostatnich latach sytuacja bardzo się zmieniła. Dynamiczny rozwój komputeryzacji (w tym technologii komunikacyjnych) oraz nieustanne zwiększanie jakości i funkcjonalności komponentów sieciowych spowodowały zmianę w ocenie sieci Ethernet. Producenci i użytkownicy systemów automatyki zaczęli coraz bardziej doceniać jej zalety. Dla nich bodaj najistotniejszą jest możliwość zbudowania w zakładzie przemysłowym jednolitej platformy wymiany danych pomiędzy poszczególnymi systemami, zarówno informatycznymi, jak i automatyki przemysłowej. W dobie sieci o szybkości 100 Mb/s oraz nowoczesnych inteligentnych switch’y, dotychczasowe wady Ethernetu przestały mieć praktyczne znaczenie. W związku z tą sytuacją Ethernet coraz śmieiej toruje sobie także drogę w zastosowaniach automatyki wypierając często tak typowo przemysłowe standardy, jakim jest Profibus.

Duży wzrost znaczenia sieci Ethernet w systemach automatyki wynika z ekonomicznych i technicznych aspektów budowania takiej sieci i zarządzania nią. Podstawowe zalety sieci Ethernet to przede wszystkim:

- prostota budowy oraz rozbudowy już działających systemów,
- łatwość łączenia sieci przemysłowej z siecią informatyczną oraz z Internetem,
- duża elastyczność,
- popularność,
- duża prędkość przesyłu danych, nawet przy obszernych pakietach – do 100 Mb/s,
- duża różnorodność medium komunikacyjnego (sieci kablowe miedziane, światłowody, sieci bezprzewodowe, łącza satelitarne itp.),
- łatwy dostęp do niezbędnych podzespołów służących do jej budowy, jak również do wiedzy na ten temat,
- oszczędność czasu pracy, łatwość serwisowania – wszystkie sterowniki można serwisować za pomocą jednego komputera w sieci (programowanie, podgląd danych),
- łatwość udostępniania danych ze sterowników systemom zarządzania, służbom technologicznym, itp.,
- możliwość łatwego i logicznego połączenia rozproszonych systemów sterowania na terenie całego zakładu. Umożliwia to współdzielenie danych przez różne sterowniki czy też systemy wizualizacji,
- możliwość udostępniania wizualizacji procesu technologicznego w typowej przeglądarce WWW.

Od pewnego czasu większość firm oferuje karty komunikacji Ethernet dla swoich modeli sterowników. Z uwagi na stale rosnące moce obliczeniowe średniej klasy sterowników i coraz większe instalacje, które mogą obsłużyć, okazuje się, że istnieje potrzeba szybkiej komunikacji pomiędzy sterownikami średniej klasy, jak i sterownikami a systemami wizualizacyjnymi.

Jedną z firm, która bardzo wcześnie dostrzegła, że sieć Ethernet ma przed sobą dużą przyszłość na rynku automatyki przemysłowej jest firma GE Fanuc Automation, w efekcie czego obecnie każdy oferowany przez tego producenta sterownik PLC może zostać do niej włączony.

**Ad. 3 Radiomodemy.**

Rys. 3. Przykład sieci wykorzystującej radiomodemy.

W systemach automatyki przemysłowej najczęściej stosowanym sposobem łączenia urządzeń kontrolno-pomiarowych jest kabel szeregowy, którego położenie nie zawsze jest opłacalne lub czasami wręcz niemożliwe. Problem ten pojawia się najczęściej wtedy, gdy istnieje potrzeba monitorowania odległych systemów automatyki, które pracują autonomicznie. W takim przypadku bardzo korzystnym rozwiązaniem okazują się bezprzewodowe sieci szeregowe, pozwalające na przesyłanie danych pomiędzy urządzeniami wyposażonymi w porty szeregowy za pośrednictwem fal radiowych na bardzo duże odległości (nawet do 80 km). W systemach rozproszonych popularnością cieszą się radiomodemy Satelline – 3AS(d)/3AS(d) EPIC fińskiej firmy SATEL Oy. Podstawowymi zaletami opartej na nich bezprzewodowej sieci są:

- niezależność od operatora,
- obsługa dużej liczby urządzeń,
- możliwość użycia w aplikacjach mobilnych,
- łatwa diagnostyka systemu,
- komunikacja w trybie online,
- niskie koszty eksploatacji,
- wysoka niezawodność transmisji,

Urządzenia te charakteryzują się przezroczystością wobec stosowanych protokołów transmisji. Pozwala to na łatwe tworzenie sieci opartych na dowolnym protokole szeregowym.

Radiomodemy Satelline-3AS(d) EPIC (moc max. 10 W) są w pełni kompatybilne z radiomodemami Satelline-3AS(d) (moc max. 1 W), dlatego można je łączyć w jednej sieci radiowej, optymalizując tym samym koszty danej instalacji. Aby zwiększyć zasięg



transmisji wszystkie radiomodemy Satelline-3AS(d)/3AS(d) EPIC mogą pracować w trybie stacji retransmisyjnej. Pracują one w wielu systemach, w trudnych warunkach przemysłowych (zdalne sterowanie i monitoring sieci wodno-kanalizacyjnych, węzłów ciepłowniczych, telemetria w gazownictwie, sieć telemetrycznego monitoringu hydrologiczno-metrologicznego realizowana w ramach projektu pod nazwą „System Monitoringu i Osłony Kraju” – około 550 urządzeń Satelline). W Polsce zostało zainstalowanych już ponad 2000 radiomodemów Satelline.

#### Ad. 4 Sieci GSM.

Szybki rozwój technologii GSM również otwiera przed nami nowe możliwości zastosowań już nie tylko do rozmów telefonicznych, czy wysyłania krótkich komunikatów tekstowych, ale również do zupełnie nowych celów, jakimi są telemetria, monitoring czy sterowanie przy użyciu wiadomości SMS lub pakietowej transmisji danych GPRS.

#### Wiadomości SMS



Rys. 4. Komunikacja za pośrednictwem SMS-ów.

Technologia ta jest wykorzystywana przede wszystkim do komunikacji za pomocą SMS-ów. Wymaga ona zastosowania albo telefonów komórkowych z możliwością komunikacji po RS-232, albo innych urządzeń w technologii GSM zdolnych do wysyłania krótkich wiadomości tekstowych. Komunikacja może odbywać się dwukierunkowo, zatem możliwe jest zarówno zbieranie danych z obiektów, jak i zdalne sterowanie. Metoda ta umożliwia duży zasięg komunikacji, natomiast nie daje gwarancji, że przesyłany SMS dotrze niezwłocznie, co może powodować znaczne opóźnienia w wykrywaniu awarii na obiektach i ograniczać możliwości sterowania.

Przykładem tego typu urządzenia jest SMS Switch Butler firmy ASTAT umożliwiający poprzez wysłanie z telefonu komórkowego SMS-a załączanie lub wyłączenie różnego rodzaju urządzeń (np. ogrzewania w domku letniskowym). Niezależnie od siebie mogą być załączone lub wyłączone 4 różne urządzenia. Wykonanie tych czynności potwierdzone jest zwrotnym SMS-em.

Oprócz tego, wykorzystując dodatkowe cyfrowe wejścia, Butler może nadzorować do 8 różnych urządzeń. Każda zmiana stanu w nadzorowanym urządzeniu jest przekazywana SMS-em do użytkownika (np. załączenie i wyłączenie: urządzenia alarmowego, ogrzewania, drzwi wejściowych, pompy itp.).

Zależnie od oferowanych usług przez operatora telefonii komórkowej SMS-y mogą być także przekierowane na faks lub e-mail.

Specjalne oprogramowanie umożliwia kilka dodatkowych wygodnych dla użytkownika rozwiązań takich jak:

- zmianę ustawionych fabrycznie tekstów SMS,
- określenie, który z użytkowników przy jakim zdarzeniu powinien być zaalarmowany,

- określenie kto jest uprawniony do załączania urządzeń,
- ustawienie sekwencyjnego alarmowania,
- zdalne załączanie i wyłączanie urządzeń, kontrola i nadzór nad nimi za pomocą SMS-a,
- Butler może załączyć lub wyłączyć kilka urządzeń,
- wykorzystując cyfrowe wejścia można nadzorować kilka różnych urządzeń,
- możliwość potwierdzenia wszystkich wykonanych operacji zwrotnym SMS-em.

### Pakietowa transmisja danych GPRS



Rys. 5. Moduł MT-102 umożliwiający komunikację za pomocą pakietowej transmisji danych GPRS.

Kolejny krok w postępie komunikacji to system GPRS, czyli pakietowy przesył danych. Zasadniczo różni się on od pozostałych metod tym, że opłaty są pobierane za ilość przesłanych danych, a nie za czas trwania połączenia, co jest szczególnie cenne przy długotrwałych połączeniach. W przypadku systemów automatyki ten sposób transmisji można wykorzystać np. do programowania sterowników na odległość. Jeżeli natomiast korzystając z systemu GPRS chcemy odpytywać sieć urządzeń, musimy każdorazowo połączyć się z modemem GPRS na danym obiekcie. Oznacza to, że bez względu na ilość danych przesyłanych z obiektu operator pobierze opłatę za każdy rozpoczęty pakiet danych (np. 100 kb).

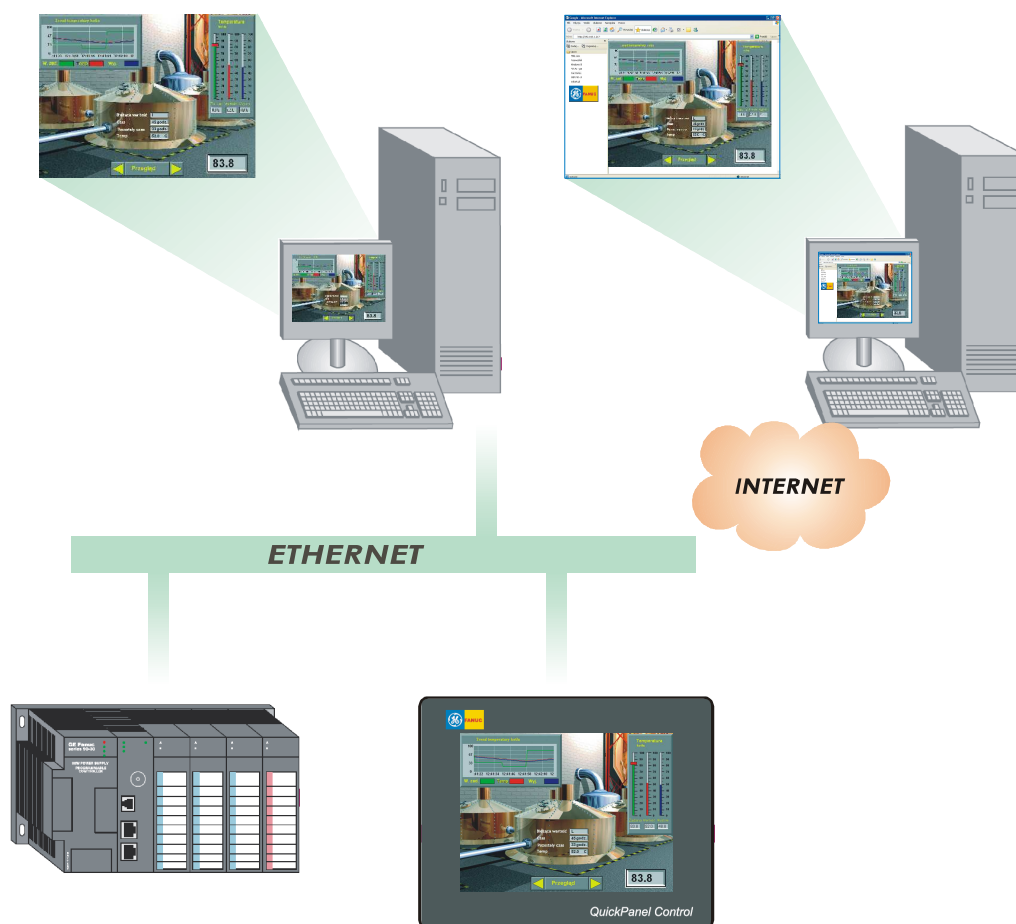
Dotychczasowy burzliwy rozwój telefonii komórkowej stymulowany był wyłącznie technologiami wykorzystującymi przesyłanie głosu oraz krótkich wiadomości tekstowych SMS. Sytuacja ta zmieniła się jednak wraz z wprowadzeniem przez operatorów usługi GPRS (General Packet Radio Services), umożliwiającej pakietową transmisję danych w standardowym środowisku GSM. Dzięki Modułom Telemetrycznym, oferowanym między innymi przez firmę AB-MICRO, możliwe stało się efektywne wykorzystanie technologii GSM/GPRS w nowoczesnych systemach telemetrii i telematyki, będących atrakcyjną alternatywą dla starszych rozwiązań opartych na radiomodemach. Bezprzewodowa transmisja danych za pomocą Modułów Telemetrycznych GSM/GPRS nie wymaga specjalnych zezwoleń, rozbudowanych systemów antenowych, ani dużych nakładów inwestycyjnych. Jest możliwa z dowolnego miejsca, na dowolną odległość, w dowolnej topologii sieci.

Pokazany na rysunku moduł telemetryczny MT-102 firmy AB-MICRO wykorzystuje najnowsze zdobycze technologii GSM. Moduł Telemetryczny MT-102 jest dedykowanym, profesjonalnym urządzeniem udostępniającym możliwość monitoringu i sterowania z wykorzystaniem integralnych wejść/wyjść, transmisję danych w sieci GSM w trybie transmisji pakietowej GPRS, wysyłanie wiadomości tekstowych SMS oraz wydzwanianie.

Zwarta konstrukcja urządzenia, integralny modem GSM i odpowiednio dobrane parametry techniczne gwarantują, że urządzenie może znaleźć zastosowanie zarówno w zaawansowanych systemach profesjonalnych, jak i w małych systemach telemetry i nadzoru na użytek osób prywatnych.

### 3. Sieci przemysłowe w aplikacjach firmy TECHNICAL.

W dorobku firmy TECHNICAL już od jakiegoś czasu pojawiają się aplikacje wykorzystujące nowoczesne systemy komunikacji sieciowej. Jako jeden z ostatnich przykładów ilustrujący tę technologię może posłużyć nam Linia Piasków Otaczanych LPO-4, zmontowana i uruchomiona przez firmę TECHNICAL w Lublinie. System sterowania w tej aplikacji opiera się na urządzeniach firmy GE Fanuc a jego poglądową budowę widzimy na ilustracji.



Rys. 6. Aplikacja z wykorzystaniem sieci Ethernet w wykonaniu TECHNICAL.

Głównym założeniem przy projektowaniu tego tematu, ze względu na sporą odległość naszej firmy od klienta, było zapewnienie możliwości zdalnego serwisu, szybkiej diagnostyki, a co za tym idzie krótkiego czasu reakcji w sytuacjach awaryjnych.

Efekt, o którym mowa, osiągnięto podłączając system sterowania poprzez lokalną sieć Ethernet do Internetu.

Aby zastosować komunikację Ethernet ze sterownikiem, należało zamontować w nim standardowy moduł komunikacyjny TCP/IP Ethernet, dostarczany przez firmę GE Fanuc i podłączyć go do routera sieci internetowej. Dzięki odpowiednim protokołom, zaimplementowanym w module komunikacyjnym, zyskujemy możliwość między innymi: programowania sterownika, diagnostykę czy też wizualizację procesu technologicznego przez globalną sieć komputerową (np. przeglądarka WWW). Odpowiednie skonfigurowanie oprogramowania narzędziowego takiego jak np. Cimplicity Machine Edition pozwala na komunikowanie się ze sterownikiem poprzez standardową sieć internetową. Warunkiem uzyskania takiej komunikacji jest, aby sterownik był pełnoprawnym węzłem sieci internetowej i posiadał unikalny numer IP.

W efekcie wykonanej instalacji do sterownika możemy się podłączyć z oprogramowaniem narzędziowym poprzez standardowe łącze internetowe z dowolnego miejsca na świecie. Wówczas sterownik, oddalony o setki czy nawet tysiące kilometrów, jest pod naszą pełną kontrolą. Mamy możliwość obserwowania pracy programu sterującego, a więc również diagnostykę, w razie potrzeby korektę programu i załadowanie jego nowej wersji w ciągu kilku minut bez potrzeby organizowania wyjazdu do klienta. Wszystko działa jak na kablu dwumetrowym!

#### **4. Podsumowanie zalet sieci przemysłowych.**

Co sprawia, że sieci przemysłowe, a w szczególności sieci: Ethernet czy też Profibus zyskały tak na popularności w ostatnich latach?

Składa się na to kilka czynników. Przede wszystkim obniżenie kosztów okablowania, łatwość wyboru i standaryzacja produktów, prosta i szybka instalacja, krótki czas uruchomienia i rozruchu obiektu, pewność działania i duża wydajność obiektu.

W sieci kolejne stacje połączone są ekranowanym, pojedynczym kablem lub światłowodem. Jak pokazuje praktyka oszczędności kosztów okablowania mogą sięgać nawet kilkudziesięciu procent dzięki zmniejszeniu ilości kabla obiektowego, listew zaciskowych i przyłączy, liczby szaf i miejsca w szafach, a przede wszystkim czasu montażu i instalacji.

Ponadto stosowanie sieci pozwala na skuteczne zabezpieczenie przed zakłóceniami (szczególnie elektromagnetycznymi), np. poprzez stosowanie światłowodów, a w przypadku sygnałów analogowych (np. w przypadku wag) na pewny i bezpieczny odczyt wartości mierzonej. Pozwala to również na znaczne zmniejszenie czasu montażu i uruchomienia całego obiektu. Daje nam możliwość szybkiej fizycznej diagnostyki i usuwania błędów montażowych, precyzyjną lokalizację miejsca awarii.

W celach prostej i szybkiej diagnostyki oraz procesu uruchamiania programu istnieje możliwość pracy i wprowadzania zmian w programie z dowolnego miejsca sieci. Daje to duże możliwości szybkiego i pewnego uruchomienia oraz bezpośredniego kontaktu z obiektem. W celach serwisowych istnieją również możliwości diagnostyki i kontroli obiektu za pośrednictwem sieci GSM czy Internetu praktycznie z dowolnego miejsca na świecie.

#### **LITERATURA:**

1. „PROFIBUS Technologie i Aplikacje, Maj 2004” – materiały informacyjne firmy PROFIBUS PNO Polska,
2. „PROFIBUS Sieć przemysłowa Profibus, Standard światowy” – publikacja w ISE.pl, 16.01.2002r., źródło Dariusz Germanek, SIEMENS Katowice,

3. „Profibus dla sterowników GE Fanuc” – Informator techniczny GE Fanuc nr 5, grudzień 2000,
4. „Ethernet a sterowniki GE Fanuc” – Biuletyn Automatyki nr 29 (3/2001), Piotr Merwart - ASTOR Kraków,
5. „Ethernet w sterownikach GE Fanuc” – Biuletyn Automatyki nr 34 (4/2002), Mateusz Pierzchała – ASTOR Poznań,
6. „Komunikacja Ethernet dla sterowników serii 90” – Biuletyn Automatyki nr 6 (4/1995), Michał Wojtulewicz – ASTOR Kraków,
7. Materiały reklamowe: ASTOR, ASTAT, AB-MICRO.

# ROZWÓJ SPOIW NIEORGANICZNYCH DO DEHYDRATACYJNEGO UTWARDZANIA MIKROFALOWEGO

*PETR Jelínek<sup>1</sup>*

**Słowa Kluczowe:** zmodyfikowane krzemiany alkaliczne, utwardzanie mikrofalowe, dehydratacja fizyczna, właściwości rdzeni, rozwiązanie przechowywania rdzeni, podatność na rozpad.

## 1. Wstęp.

Zaostrzające się normy w dziedzinie środowiska pracy i środowiska naturalnego zmuszają nas do zastanawiania się nad nowymi kompozytami odlewniczych mas formierskich, które zastąpiłyby obecnie najczęściej stosowane spoiwa rdzeniowe – żywice syntetyczne. Okazuje się, że dalszy rozwój zmierza ku nieorganicznym układom spajającym o wysokiej zdolności wiążącej, krótkim czasie produkcji i wysokiej podatności na rozpad oraz ekonomicznej regenerowalności materiałów schładzających.

W tym kierunku przeprowadzono badania nowej generacji spoiw nieorganicznych na bazie krzemianów alkalicznych, zwłaszcza do utwardzania na podstawie procesów dehydratacji (utwardzanie mikrofalowe). Przyjęto wytyczne do masowej produkcji rdzeni (przemysł samochodowy):

- Czas utwardzania do 40 sek.
- Wytrzymałość na zginanie min. 2,0 MPa.
- Przechowywanie rdzeni do 16 godz., bez istotnego obniżenia właściwości mechanicznych.
- Dobra podatność na rozpad po odlewie.

Wytworzono nieorganiczne spoiwa szeregu DESIL-J (producent Vodní sklo Brno, a.s., Dornych 47, 656 16 Brno, CZ), które stosuje się w warunkach eksploatacyjnych odlewni w RC jako masy samoutwardzalne – ester i CO<sub>2</sub>-proces.

## Struktura, właściwości i sposoby utwardzania krzemianów alkalicznych

Roztwory krzemianów alkalicznych (sodowych) należą do roztworów koloidalnych. Układ dyspersyjny (zól) charakteryzuje się dużą liczbą elementów o ograniczonej powierzchni (dużej energii powierzchniowej), a co za tym idzie także niemalą niestabilnością termodynamiczną. Podstawę przedstawiają micelle znajdujące się w międzymicelarnym środowisku wodnym [1]. Właściwości zolu są ograniczane przez: solwatację, rozmiary cząsteczek – ich dystrybucję i ładunek. W przypadku krzemianów sodowych jony Na<sup>+</sup> znajdują się w warstwie adsorpcyjnej i dyfuzyjnej micel oraz w środowisku międzymicelarnym (o ile mowa o module krzemianowym SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O<2). Także woda występuje w trzech formach, i to jako woda wolna w środowisku międzymicelarnym (W<sub>w</sub>), silnie związana w wewnętrznej warstwie adsorpcyjnej liosfery (W<sub>1</sub>) oraz woda związana w zewnętrznej warstwie dyfuzyjnej (W<sub>2</sub>). Całkowita zawartość wody :  $W = W_1 + W_2 + W_w$

<sup>1</sup> prof. ing. Petr Jelínek VŠB- Uniwersytet Techniczny Ostrava

Na przykład całkowita zawartość wody w szkło wodnym o module  $M = 2,3$  wynosi:

$$W_1 = 7,8 \%$$

$$W_2 = 38 \%$$

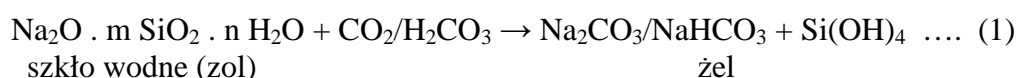
$$W_w = 9,5 \%$$

Jeżeli krzemiany alkaliczne mają być wykorzystane jako spoiwo odlewnicze, to należy przeprowadzić konwersję roztworu koloidalnego zol  $\rightarrow$  żel. Można ją przeprowadzić na podstawie procesu:

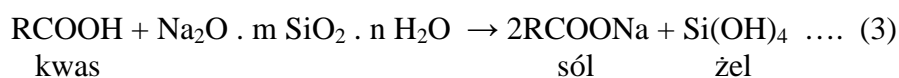
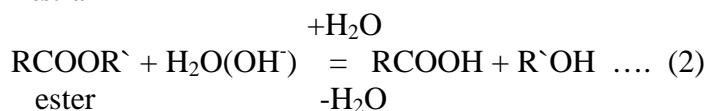
**1. Utwardzania chemicznego:** powstanie żelu na podstawie reakcji nieodwracalnych

**2. Utwardzania fizycznego:** powstanie żelu na podstawie reakcji odwracalnych

ad. 1. Podstawę utwardzania stanowi reakcja chemiczna z **ciekłym CO<sub>2</sub>** (patent L. Petrzela [2], twórca chemizacji produkcji form i rdzeni) :

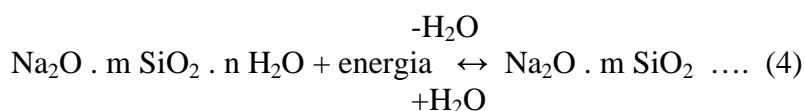


z estrami



ze sproszkowanymi utwardzaczami hydraulicznymi (żuźle C2S, cementy C3S), zawierającymi dwu i trójkrzemian wapnia.

ad. 2. Podstawę stanowi dehydratacja z powstawaniem cienkich szklistych bezwodnych filmów-żelów krzemianu sodowego na ziarnach materiałów schładzających:



Zaletą odwracalnych procesów dehydratacji jest osiągnięcie wysokiej wytrzymałości mas, o wiele wyższej niż w przypadku procesów utwardzania chemicznego (tab.1):

**Tabela. 1.**

Masa	Proces utwardzania	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
100 części wag. piasek kwarcowy 4 cz. wag. szkło wodne (M = 2,2)	dehydratacja	10-11
	CO <sub>2</sub>	1,0-1,2
	ester/4h	1,6-2,2
	żuźel C2S/4h	0,8-1,3

Zaletę tę wykorzystuje się przy utwardzaniu fizycznym, pozwalającym na osiągnięcie wysokich wytrzymałości przy minimalnym zużyciu spoiwa (min. zawartość Na<sub>2</sub>O). Z tego faktu wynika także lepsza podatność rdzeni na rozpad po odlewie.

Drugą istotną różnicą w porównaniu z utwardzaniem chemicznym jest odwracalność procesu dehydratacji. Rezultatem jest tu tendencja do rehydratacji utwardzonych rdzeni i obniżenie właściwości mechanicznych w trakcie przechowywania rdzeni w wilgotnym środowisku.

Z tego punktu widzenia nowej generacji spoiwa nieorganiczne na bazie krzemianów alkalicznych dążą właśnie do podwyższonej wytrzymałości na rehydratację w razie potrzeby dłuższego przechowywania rdzeni, a na odwrót do rehydratacji w przypadku rdzeni z krótkim reżymem przechowywania (por. zlecenia przemysłu samochodowego), gdzie popiera się proces spontanicznego oddzielania się rdzeni od odlewów w kąpieli wodnej (rozpad rdzeni w wodzie, regeneracja dodatków schładzających).

Dehydracyjną technologię produkcji rdzeni można przeprowadzić przez:

1. Suszenie (gorące powietrze)
2. Zastosowanie gorącej rdzennicy (Hot-Box, Warm-Box)
3. Ogrzewanie mikrofalowe

## 2. Utwardzanie mikrofalowe.

Fale elektromagnetyczne o częstotliwości  $10^8 - 10^{12}$  Hz i długości fali 0,03-300 cm nazywamy mikrofalami. Przez działanie wielkiej częstotliwości zmiennego pola elektrycznego dochodzi w nieelektrycznym lub słabo przewodzącym materiale do ogrzewania dielektrycznego. Asymetryczne dipolowe molekuly wody pod wpływem pola elektrycznego polaryzują się i drgają. Jeżeli uzyskają dostateczną energię kinetyczną, uwolnią się z układu wiążącego ulegającego dehydratacji, przy czym powstaje szklisty film krzemianowy.

Część promieniowania odbija się a część jest pochłaniania, zmieniając się na ciepło. Każdy materiał ma inną przenikalność fal elektromagnetycznych, a tym samym także inną zdolność do ogrzewania mikrofalowego.

$$\text{Moc absorbowana: } P = \omega E^2 \cdot \epsilon'' \tan \delta \dots (5)$$

gdzie:  $\omega$  – częstotliwość kątowna

$E$  – natężenie pola elektromagnetycznego

$\epsilon''$  - stała dielektryczna

$\tan \delta$  – współczynnik straty

Moc absorbowana powoduje wzrost temperatury materiału w zależności od jego gęstości i pojemności cieplnej.

$$P = \Delta T \cdot \rho \cdot c \dots (6)$$

gdzie:  $\Delta T$  – wzrost temperatury materiału

$\rho$  – gęstość materiału

$c$  - pojemność cieplna materiału

Przez porównanie równań (5) i (6) uzyskamy relację wzrostu temperatury ogrzewanego materiału:

$$\Delta T = \omega \left( \frac{1}{\rho} \right) \left( \frac{1}{c} \right) E^2 \cdot \epsilon'' \cdot \tan \delta \dots (7)$$



Materiały „chętnie“ absorbujące mikrofałe mają wysoką wartość  $\epsilon'' = (\epsilon' \times \tan \delta)$ . Ten współczynnik straty wynosi w przypadku wody  $\epsilon'' = 10$ , węgla  $\epsilon'' > 30$ . Na odwrót polistyren ( $\epsilon'' = 0,001$ ), polietylen ( $\epsilon'' = 0,0001$ ) ew. teflon są przezroczyste i nie można ich odgrzewać. Z tego powodu nadają się do produkcji rdzennic.

W przypadku technologii „gorących rdzennic“ energia cieplna przenoszona jest na rdzenie w sposób bezpośredni przez prowadzenie z gorącej powierzchni na chłodniejszą warstwę wewnętrzne. W razie mikrofalowego ogrzewania ciepło przedostaje się do głębi, tzn. że w tym samym czasie nagrzej się większa objętość rdzenia. Ciepło powstaje w cienkich filmach spoiw na ziarnach dodatku schładzającego.

Do technologii produkcji rdzeni zastosowano **magnetron** o mocy w granicach 0,8-6 kW przy częstotliwości 2450 MHz. Konstrukcja może być wsadowa (taką zastosowano w przypadku naszych doświadczeń) lub ciągła, która jednocześnie może stanowić rozwiązanie intensywnego osuszania powłok wodnych.

### 3. Zawartość i podział wody w roztworach krzemianów alkalicznych.

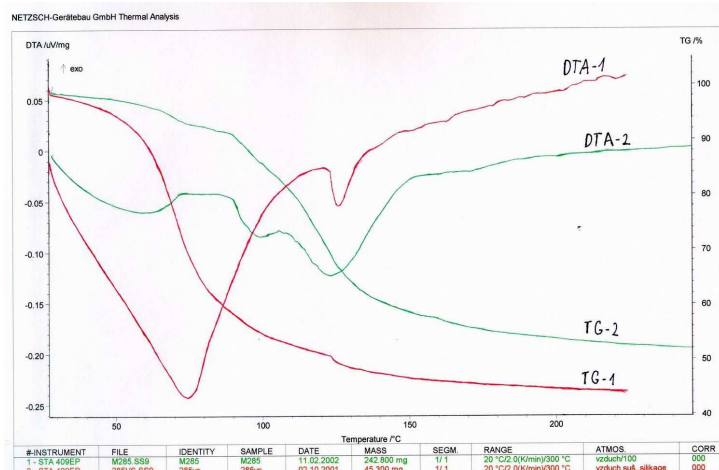
Utwardzanie mikrofalowe a generalnie wszystkie procesy dehydratacyjne są zależne od zawartości i podziału wody w spoiwie. Do ustalenia zawartości wolnej wody użyto metody reakcji szkła wodnego z czystym etanolem, gdy przy wydzielaniu się wody molekularnej powstaje koacerwat, którego lepkość sprawdzono za pomocą kubka Forda ( $\varnothing 6$  mm).

Tabela.2.

Moduł spoiwa	Próg koagulacji [%Na <sub>2</sub> O]	W [%] [ woda wolna ]	Lepkość koacerwatu [s]
1,97	7,32	14,2	21
2,39	5,26	16,3	174
	4,89	21,3	324
2,67	3,77	nie można ustalić	$8 \times 10^4$
2,85	3,11	nie można ustalić	nie można ustalić
3,35	2,24	nie można ustalić	nie można ustalić

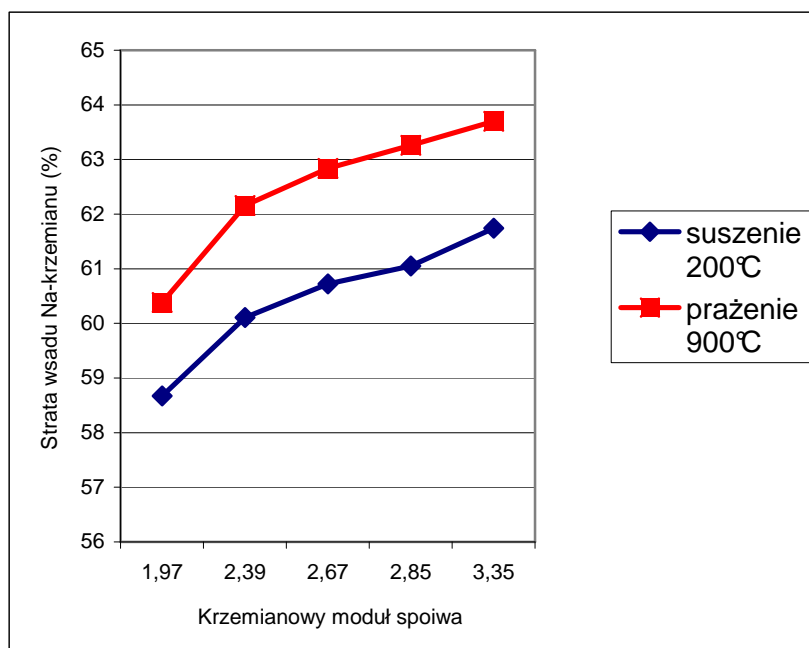
KP – próg koagulacji odpowiada stężeniu solwatowanych Na<sup>+</sup> jonów w warstwie dyfuzyjnej.

Z tab. 2. wynika, że zawartość wolnej wody w spoiwie krzemianowym jest przede wszystkim funkcją progu koagulacyjnego. Po usunięciu wolnej wody z układu spoiwa krzemianowego powstaje **koacerwat**, zawierający tylko wodę związaną. W celu identyfikacji luźno lub silnie związanej wody zastosowano analizę termiczną (DTA i TG).



Rys. 1. DTA i TG analiza szkła wodnego  $M = 2,67$  (DTA-1, TG-1) oraz właściwego koacerwatu (DTA-2, TG-2).

Wyraźny pik endotermiczny w zakresie do 100 °C (wolne ogrzewanie) powoduje odparowywanie wolnej i luźno związanej wody z układu. Nie dotyczy to jednak koacerwatu (DTA-2). Zakres 120-130 °C odpowiada początkowi wydzielania się silnie związanej wody z warst adsorbcyjnych micel. Okazuje się, że nawet przy 200 °C (temperatura technologii dehydracyjnych – Hot-Box, utwardzanie mikrofalowe) nie dochodzi do usunięcia wszystkiej wody z układu (przeprowadzono kontrolę wody resztkowej przez prażenie w 900 °C).



Rys. 2. Całkowita zawartość wody w roztworach krzemianów sodowych.

Wraz ze spadkiem modułu krzemianowego rośnie wytrzymałość rdzeni, lekko rośnie także zawartość wody szczątkowej w żelu (tab.3).

**Tabela 3.**

Moduł szkła wodnego	Zawartość wolnej wody [%]	Zawartość wody resztkowej w żelu [%]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	
			Koacerwat	Szkło wodne
2,40	22	4,35	0,63	2,27
2,10	18	4,58	2,50	3,37
1,90	15	5,07	2,73	3,67

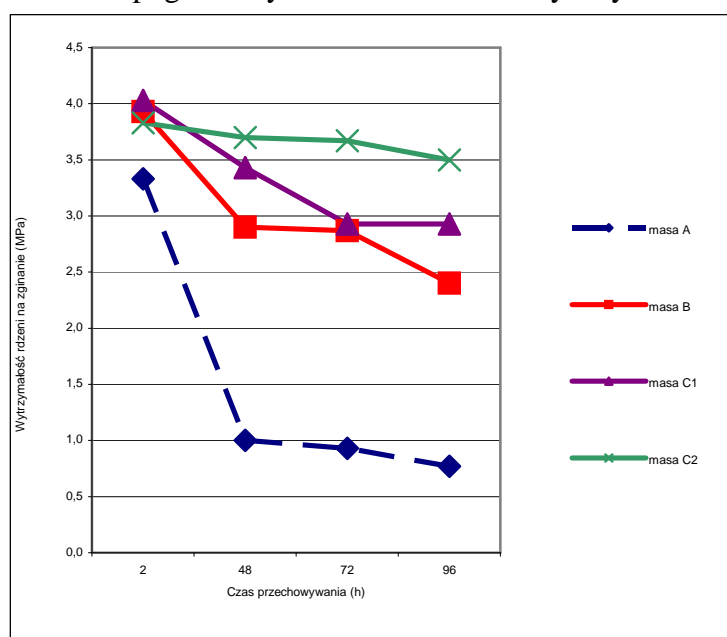
Ponad 4-5 % wody szczątkowej daje żelowi optymalne właściwości w zakresie wytrzymałości, bez powstawania naprężeń i pęknięć, prowadząc nawet do wzrostu właściwości mechanicznych rdzeni. Fakt ten odnosi się zresztą do obu metod dehydratacji – Hot-Boxu, utwardzania mikrofalowego.

Tabela 3, porównująca wytrzymałość w przypadku zastosowania koacerwatu a odpowiedniego szkła wodnego w razie identycznej zawartości spoiwa, wskazuje także na znaczenie wolnej wody w spoiwie krzemianowym.

#### 4. Zmodyfikowane spoiwa krzemianów alkalicznych szeregu DESIL-J.

Długoletnie badania stopnia polikondensacji krzemianów alkalicznych z punktu widzenia wielkości cząsteczek oraz ich dystrybucji [3] w celu osiągnięcia maksymalnych właściwości wiążących wskazały możliwości regulowania jakości krzemianów alkalicznych formą sterowania ich przygotowaniem. Jako modyfikatory stosuje się mieszanki glucitolu i mannitolu, produkty redukcji niecyklicznych monosacharydów, a w specjalnych celach krzemiany organiczne [4]. Zmodyfikowane spoiwa szeregu DESIL-J produkuje się zarówno do chemicznych, jak i dehydratacyjnych (fizycznych) metod produkcji rdzeni o podwyższonej specyficznej wytrzymałości (MPa/1% spoiwa), wysokiej podatności na rozpad i przedłużonym czasie przechowywania w pogorszonych warunkach klimatycznych.

Na rys. 3 pokazano wpływ modyfikatorów na wytrzymałość i możliwość przechowywania rdzeni w pogorszonych warunkach klimatycznych.

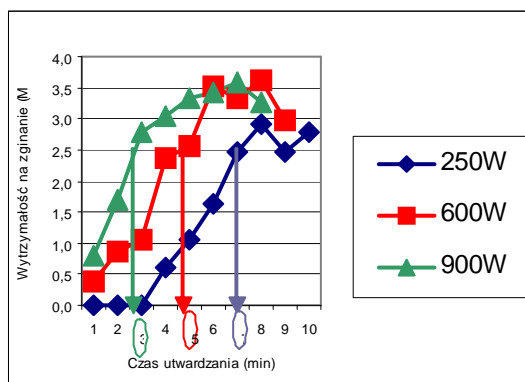


Rys. 3. Możliwości przechowywania rdzeni (25 °C, 81 % RW).

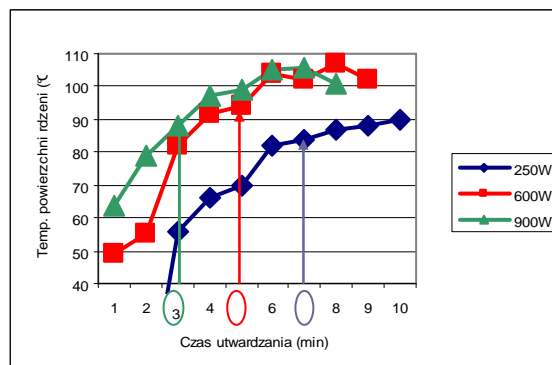
Niezmodyfikowane spoiwo (masa A) silnie zareagowało na podwyższoną wilgotność (RW), na skutek rehydratacji doszło do obniżenia czasu przechowywania rdzeni poniżej 48 godz.

Modyfikacja spoiwa DESIL-J za pomocą D-glucitolu podwyższyła wytrzymałość na zginanie, która w ciągu 96 godz. nie spadła poniżej 3,0 MPa (masa B). Masy C1 i C2 zmodyfikowano za pomocą specjalnych silanów organicznych, co spowodowało wysoką stabilność masy.

Jak wynika z równania (7), ogrzewanie rdzeni ( $\Delta T$ ) w razie utwardzania mikrofalowego jest wprost proporcjonalne do natężenia pola elektromagn. (E2). Dokumentują to rysunki 4 i 5.

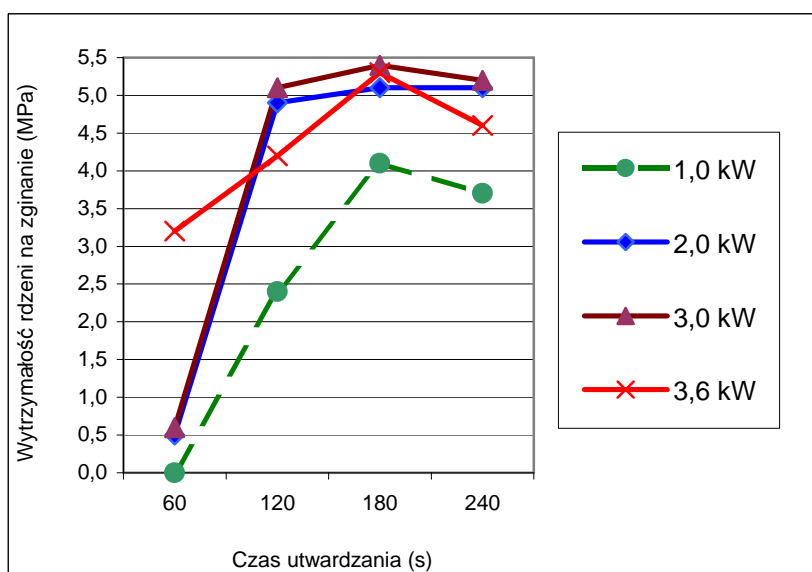


Rys. 4. Charakterystyka utwardzania rdzeni w zakresie wytrzymałości.



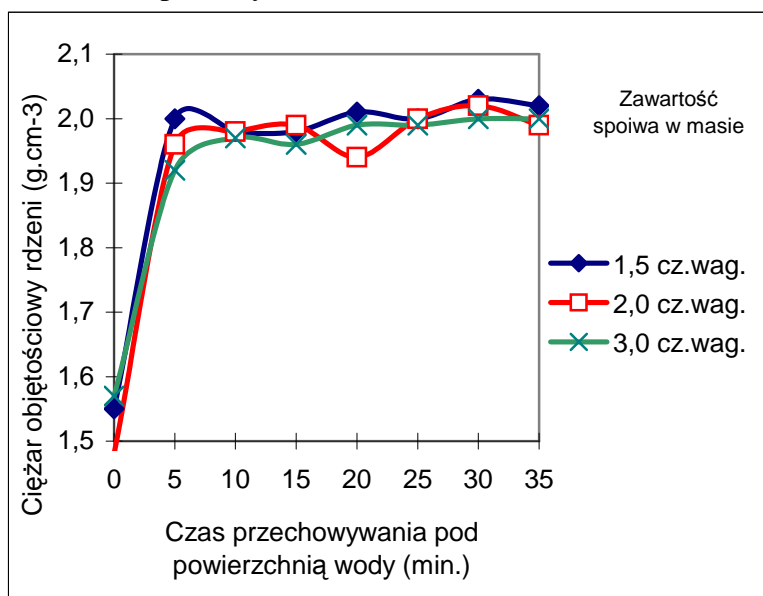
Rys. 5. Charakterystyka powierzchni rdzeni w zakresie temperatury w przypadku utwardzania mikrofalowego (temp. mierzono bezdotykowo Thermo-HunterPT-3LF, Japan).

Jeżeli zamierzamy osiągnąć tę samą wytrzymałość na zginanie (2,5 MPa), osiągniemy ją po względnie długim czasie (od 3 do 7 min), i to proporcjonalnie do mocy urządzenia do utwardzania. W przypadku takich czasów utwardzania osiąga się jednak tylko temperaturę powierzchni 85÷95 °C. Przez podwyższenie mocy jednostki do utwardzania aż do 3,6 kW (rys. 6) osiągniemy istotne przyspieszenie utwardzania rdzeni o tym samym składzie oraz wyraźny wzrost wytrzymałości.

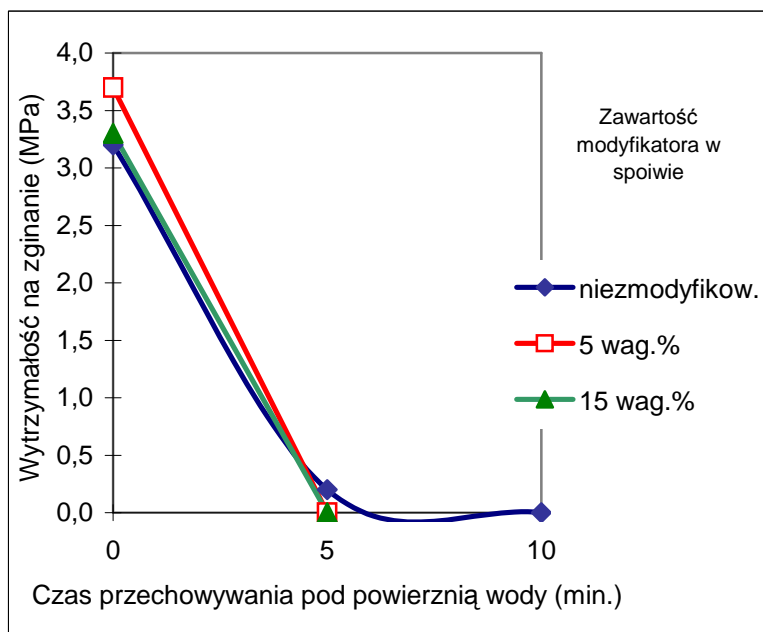


Rys. 6. Wpływ mocy jednostki na wytrzymałość na zginanie, w zależności od czasu utwardzania (3 hm.d. DESIL-J, M = 2,36; KP = 5,98 % Na<sub>2</sub>O).

Po 120 sec. osiągniemy wytrzymałość na zginanie ponad 5,0 MPa, która w przypadku mocy powyżej 2,0 kW pozwala na wyraźne obniżenie zawartości spoiwa do 1,5÷2 części wag. Z tym jest związana także dużo lepsza podatność rdzeni na rozpad po ekspozycji na działanie temperatury.



Rys. 7. Przebieg czasowy ciężarów objętościowych rdzeni w ciągu przechowywania pod powierzchnią wody.



Rys. 8. Wytrzymałość na zginanie rdzeni przechowywanych pod powierzchnią wody (2 części wag. spoiwa Desil-J)

Bezwodny żel kwasu krzemowego (210 °C) absorbuje wodę, powodując wzrost ciężaru objętościowego rdzeni w zależności od ilości spoiwa (wzrost z 1,5-1,55 do 1,95-2,0 g.cm-3) (rys. 7). Na skutek rehydratacji i adsorpcji wody obniża się wytrzymałość a po 5 min. od namoczenia rdzenie osiągają niemal zerową wytrzymałość (rys. 8).

## 5. Zakończenie.

Zmodyfikowane krzemiany alkaliczne produkowane pod nazwą DESIL-J są odpowiednią nieorganiczną alternatywą do produkcji rdzeni z zastosowaniem technologii dehydratacyjnych, zwłaszcza utwardzania mikrofalowego. Osiągnięcie specyficznej wytrzymałości z regulacją stabilności na rehydratację i krótkiego czasu utwardzania przy niskim stężeniu  $\text{Na}_2\text{O}$  przynosi dobrą podatność na rozpad rdzeni po ekspozycji na działanie temperatury. Rdzenie te spełniają warunki do ich masowej produkcji. Pod uwagę przychodzi także zastosowanie alternatywnego składu w celu rozwiązania problemu podatności na rozpad i regenerowalności materiałów schładzających w kąpeli wodnej.

## 6. Literatura.

1. Jelínek, P. : Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí. Ostrava 2004, 241 stran, ISBN 80-239-2188-6.
2. Petržela, L. : Čs. Patent č. 81931, z 12. prosince 1947.
3. Jelínek, P. – Balinski, A. : Slévárenství, 2002, č. 5/6, s. 188-193.
4. Jelínek, P. a kol. : Pojivo slévárenských formovacích směsí pro výrobu pískových forem a jader. UV, 2001-12026.

# TECHNOLOGIA SPORZĄDZANIA MAS FORMIERSKICH BENTONITOWYCH W MIESZARKACH TURBINOWYCH

Czesław RUDY<sup>1</sup>

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

## 1. Wstęp.

W zmechanizowanej i zautomatyzowanej produkcji odlewów stosuje się jednolitą masę formierską bentonitową odświeżoną w każdym obiegu technologicznym dodatkiem piasku świeżego, bentonitu i pyłu węglowego lub mieszanki bentonitowej zawierającej nośniki węgla.

Jakość odlewów zależy w dużej mierze od jakości wytwarzanych mas formierskich. Obecnie w wielu odlewniach proces mieszania, realizowany jest w mieszarkach dynamicznych turbinowych, które dają możliwość zwiększenia stopnia wykorzystania obiegowej (używanej) masy klasycznej do poziomu 95% ÷ 97%.

W procesie produkcyjnym odlewni, aby uzyskać masę o jednorodnych właściwościach decydującą rolę odgrywają trzy zasadnicze parametry:

- wysoka jakość powleczenia ziaren piasku lepiszczem,
- całkowita powtarzalność procesu przygotowania masy.
- dostatecznie niska temperatura masy.

Projektowane i wykonywane przez TECHNICAL stacje przerobu mas formierskich SPM w pełni spełniają powyższe kryteria dzięki zastosowaniu nowoczesnych mieszarek turbinowych oraz innych maszyn, urządzeń oraz nowoczesnych systemów sterowania.

## 2. Charakterystyka procesu sporządzania mas.

Mieszarki turbinowe umożliwiają wytworzenie jednorodnej mieszanki oraz dobrego połączenia (adhezyjnego) substancji wiążącej (mieszanki gliny z wodą) z powierzchnią ziaren osnowy piaskowej. Podczas dynamicznego mieszania nawilżonej masy formierskiej 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. Aktywacja dotyczy otoczek substancji wiążącej na ziarnach masy odświeżanej.

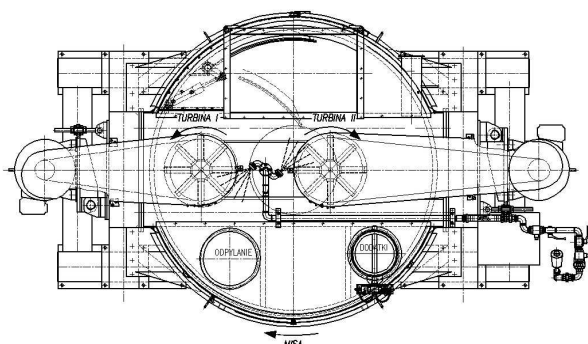
Wszystkie operacje procesu mieszania zachodzące w mieszarkach turbinowych przebiegają podobnie w mieszarkach z pochyłą osią obrotu miski typ MTP oraz pionową osią obrotu miski typ MTI.

Operacje procesu mieszania zachodzące w mieszarkach turbinowych scharakteryzowane są poniżej:

**Przerzucanie**, ujednorodniające skład masy formierskiej, przedstawia (rys.1, rys.2), realizowane jest przez szybkoobrotową turbinę i nieruchome lemiesze: jeden, zamocowany wzdłuż pobocznic miski oraz drugi, na dnie miski.

<sup>1</sup> mgr inż., Prezes P.P.P. TECHNICAL Sp. z o.o. Nowa Sól, e-mail: cz.rudy@technical.com.pl

W czasie obrotu miski masa spoczywająca na jej dnie poddawana jest oddziaływaniu wysokoobrotowej turbiny, obracającej się w przeciwnym kierunku. Strumień masy kierowany jest ku górze, poczynając od powierzchni dolnych łopatek turbiny. Pochylona powierzchnia łopatek tworząca powierzchnię śrubową „podnosi” masę w kierunku pionowym, nadając jednocześnie cząstkom masy prędkość obrotową. Turbina „wysysa” masę z dna miski i rozrzuca ją we wszystkich kierunkach zgodnie z oddziaływaniem siły odśrodkowej. Część masy trafia ponownie w strefę działania wirnika, a pozostała część masy trafia w strefę działania lemieszki. Masa, doprowadzana przez obrotową miskę w kierunku lemieszki, zostaje przez nieprzerzucana. Wywołana cyrkulacja sporządzanej mieszaniny oraz wzajemne ruchy ziaren, towarzyszące tym przemieszczeniom, umożliwiają wymieszanie składników mieszaniny.

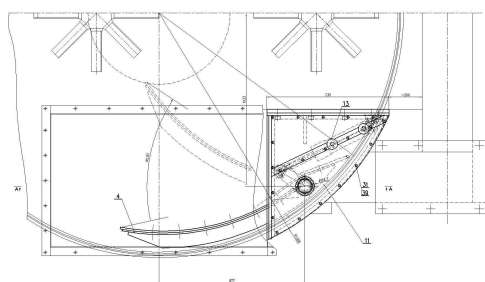


Rys.1. Szybkobieżna turbina i nieruchome lemieszki w mieszarce turbinowej MTI-4000.



Rys.2. Szybkobieżna turbina i nieruchome lemieszki w mieszarce turbinowej MTP-1500.

**Ugniatanie** wynika z oporu lemieszki (rys.3, rys.4). Przyczynia się to do włączania ziaren piasku w bryłki gliny powodując pokrycie ich otoczką. Duże znaczenie w procesie ugniatania ma również turbina, która wyrzuca cząstki masy z dużą energią kinetyczną.



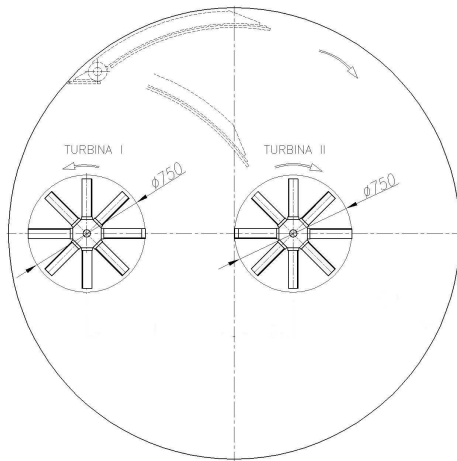
Rys.3. Lemieszki w mieszarce turbinowej MTI-4000.



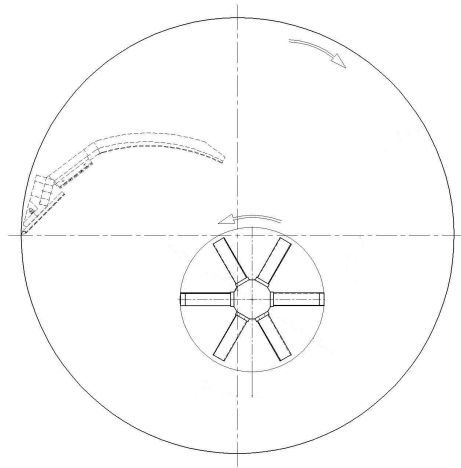
Rys.4. Lemieszki w mieszarce turbinowej MTP-1500.

**Rozcieranie** jest realizowane dzięki dużej różnicy prędkości występującej między dwoma powierzchniami poruszającymi się w przeciwnych kierunkach (rys.5, rys.6). Pobocznica miski obracająca się z prędkością 9-12 obr/min, a wysokoobrotowy wirnik w kierunku przeciwnym z prędkością 450-600 obr/min. Tak znaczne różnice w prędkości oraz kierunków obrotów miski i turbiny powodują toczenie i obracanie się cząsteczek masy a w efekcie pokrywanie ich otoczką gliny.



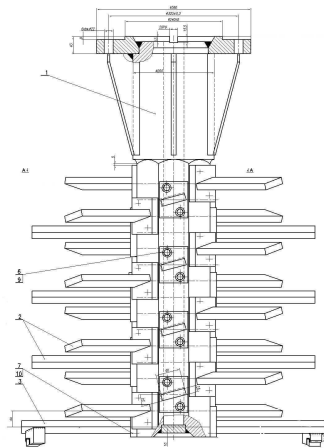


Rys.5. Kierunki obrotów zespołów mieszających w mieszarce turbinowej MTI-4000.

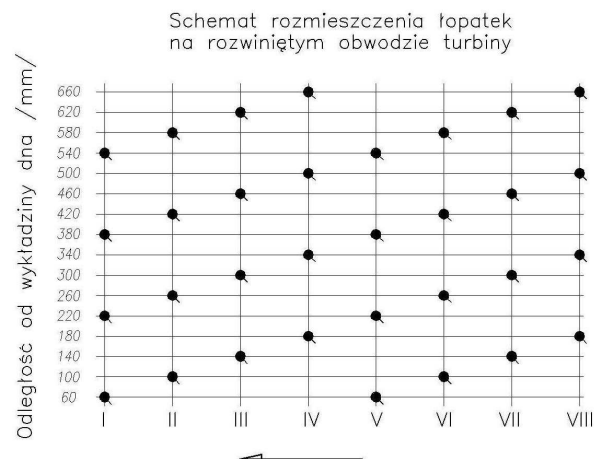


Rys.6. Kierunki obrotów zespołów mieszających w mieszarce turbinowej MTP-1500.

**Rozgęszczanie (spulchnianie)** prowadzi do uzyskania przez masę najmniejszej gęstości pozornej. Szybkoobrotowa turbina z zamocowanymi łopatkami, tworzącymi linię śrubową, uderza z dużą prędkością w bryły masy powodując ich rozbitcie (rys.7). Pojedyncze cząstki masy zostają unoszone do góry dzięki „powierzchni śrubowej” łopatek. Wirujące z dużą prędkością łopatki nadają cząstkom masy znaczną prędkość ruchu w kierunku pionowym oraz prędkość obrotową. Siła odśrodkowa powoduje wyrzucanie ziaren masy we wszystkich możliwych kierunkach, wzdłuż całej wysokości oddziaływania turbiny. Duża dynamika pracy wirnika powoduje znaczne rozdrobnienie aglomeratów ziaren masy, a tym samym wysoki stopień spulchnienia masy.



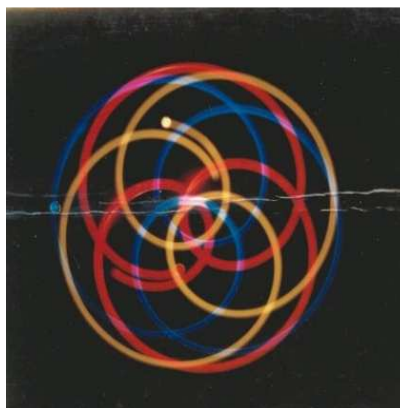
Rys.7. Szybkobieżna turbina w mieszarce turbinowej MTP-1500.



W mieszarkach wirnikowych z misą poziomą, typu MTI, operacje procesu mieszania przebiega podobnie jak w mieszarkach z pochyloną misą typu MTP (rys.8, 9). Mieszarki turbinowe MTI ze względu na dużą pojemność misy wyposażane są w dwa zespoły szybkoobrotowych turbin, co umożliwia uzyskanie podobnej intensywności procesu mieszania w czasie cyklu mieszania, wynoszącego 90-120 s.

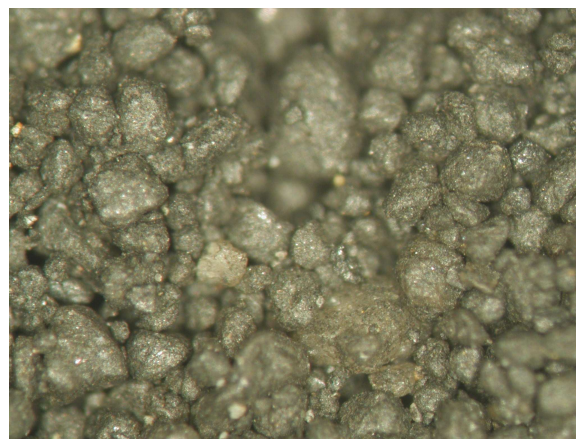
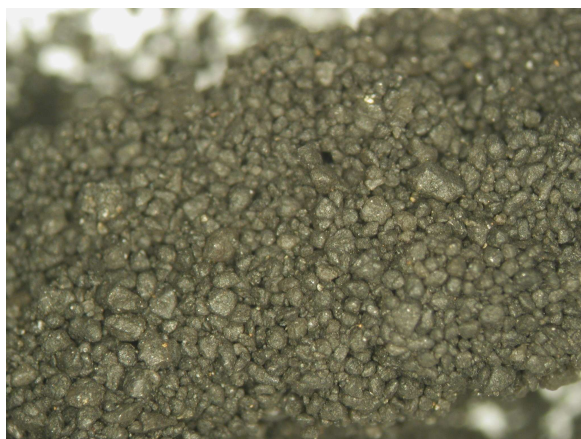


Rys.8. Przemieszczanie się cząstek masy w mieszarce turbinowej.



Rys.9. Trajektorie ruchu cząstek masy w mieszarce turbinowej po 3 sek.

Przebieg omówionych zjawisk prowadzi do dynamicznego (intensywnego) wymieszania składników masy oraz powleczenia ziaren osnowy lepiszczem (rys. 10).



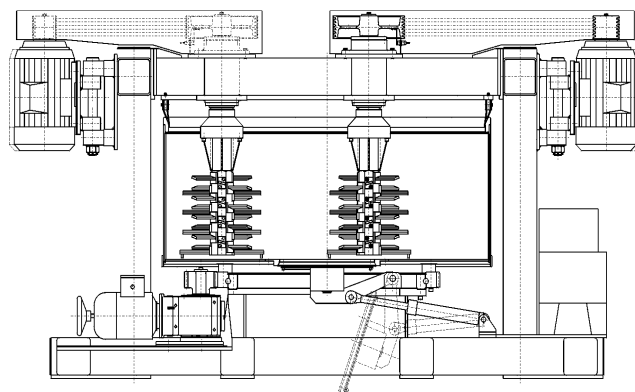
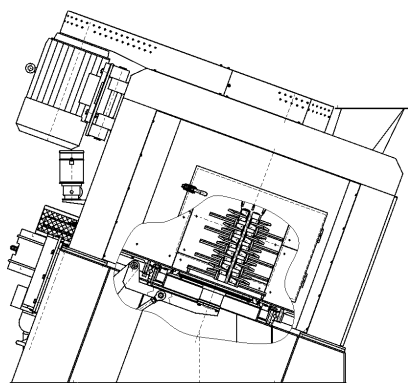
Rys.10. Ziarna osnowy otoczone lepiszczem w mieszarce turbinowej MTI-2500 (powiększone pod mikroskopem) – zdjęcie wykonano w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy).

### 3. Mieszarki turbinowe MTP oraz MTI produkowane przez P.P.P. TECHNICAL – Nowa Sól.

Mieszarki turbinowe typu MTI oraz MTP produkowane przez P.P.P. TECHNICAL - Nowa Sól należą do nowej generacji maszyn odlewniczych przeznaczonych do sporządzania syntetycznych mas formierskich bentonitowych.

P.P.P. TECHNICAL- Nowa Sól produkuje mieszarki turbinowe o różnej wydajności, związanej z wielkością misy (wielkością załadunku):

- z obrotową misą o pochyłej osi obrotu, stałym lemieszem oraz jednym szybkoobrotowym wirnikiem; są to mieszarki MTP-250, MTP-500, MTP-1000, MTP-1500, MTP-2000 (rys.11),
- z obrotową misą o pionowej osi obrotu, stałym lemieszem oraz dwoma wysokoobrotowymi wirnikami; mieszarki MTI-2500, MTI-3000, MTI-4000, MTI-5000 (rys.12).



Rys.11. Mieszarka turbinowa z obrotową misą o pochylej osi obrotu typu MTP.

Rys.12. Mieszarka turbinowa z obrotową misą o pionowej osi obrotu typu MTI.

Program produkcyjny mieszarek turbinowych z obrotową misą o pochylej osi obrotu typ MTP oraz z obrotową misą o pionowej osi obrotu typ MTI produkowanych przez P.P.P.TECHNICAL- Nowa Sól przedstawiają tab. 1 oraz tab. 2.

		MTP-250	MTP-500	MTP-1000	MTP-1500	MTP-2000
Jednorazowy załadunek	litr	250	500	1000	1500	2000
	kg	400	800	1600	2400	3200
Moc napędu misy	kW	7,5	11	15	2x11	2x15
Moc napędu turbiny max	kW	7,5-37	11-45	11-55	22-75	30-90
Średnica misy	mm	1350	1600	1850	2100	2350

Tabela nr 1. Mieszarki turbinowe z obrotową misą o pochylej osi obrotu produkowane przez TECHNICAL.

		MTI-2500	MTI-3000	MTI-4000	MTI-5000
Jednorazowy załadunek	litr	2500	3000	4000	5000
	kg	4000	4800	6400	8000
Moc napędu misy	kW	22	22	30	30
Moc napędu turbiny max	kW	2 x 55 do 2 x 90	2 x 75 do 2 x 110	2 x 90 do 2 x 132	2 x 110 do 2 x 160
Średnica misy	mm	2385	2600	2860	2860

Tabela nr 2. Mieszarki turbinowe z obrotową misą o pionowej osi obrotu produkowane przez TECHNICAL.

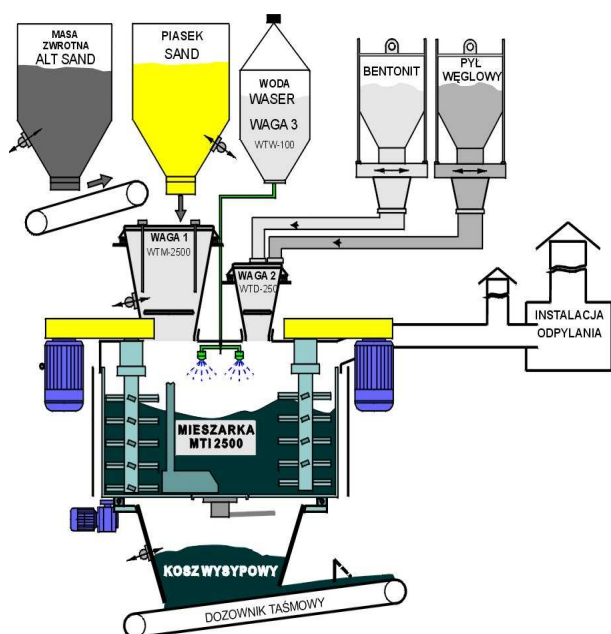
W mieszarkach turbinowych typu MTP szybkoobrotowe turbiny obracają się przeciwnie do kierunku obrotu miski. Taki układ kinematyczny wykazuje większą dynamikę procesu mieszania. Masa napływająca w zasięg działania turbiny (doprowadzana przez obrotową miskę) jest przez przeciwbieżną turbinę odrzucana z dużą prędkością w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu miski. Masa ciągle podawana przez obrotową miskę pod turbinę spiętrza się, w szczególności przed turbiną i wokół niej. Cała turbina jest zanurzony w masie, realizując proces mieszania kolejno tych samych porcji masy.

Przemieszczanie cząstek masy w mieszarkach turbinowych realizowane jest głównie przez jeden lub dwa zespoły szybkoobrotowych turbin o prędkościach obrotowych wynoszących  $450 \div 600$  obr/min.

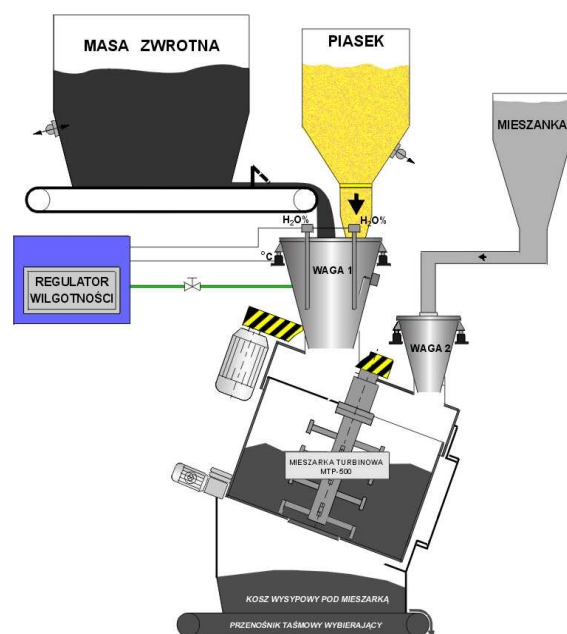
#### 4. System sporządzania mas formierskich bentonitowych.

Stacje przerobu mas formierskich, P.P.P. TECHNICAL-Nowa Sól projektuje i realizuje wg własnej technologii kompleksowo „pod klucz”.

Schematy technologiczne SPM pracującej w odlewni ŠKODA – Młada Boleslaw (Czechy) oraz odlewni WSK PZL RZESZÓW, przedstawiają (rys.13, rys.14).



Rys.13. Schemat technologiczny systemu sporządzania mas formierskich bentonitowych w mieszarce turbinowej MTI-2500 w odlewni ŠKODA – Młada Boleslaw (Czechy).



Rys.14. Schemat technologiczny systemu sporządzania mas formierskich bentonitowych w mieszarce turbinowej MTP-1500 w odlewni WSK PZL RZESZÓW.

System sporządzania mas formierskich SPM jest niezależny od zastosowanego typu mieszarki turbinowej MTP czy MTI, uwarunkowany jest głównie od sposobu zabudowy mieszarki oraz sposobu dozowania składników.

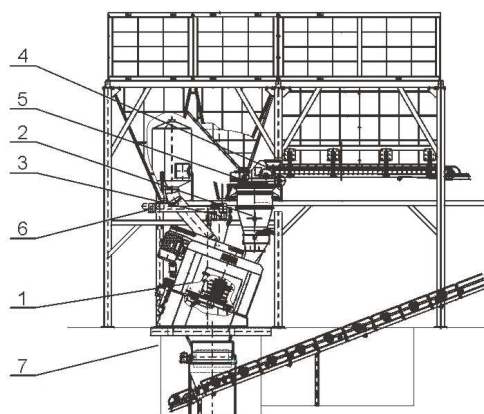
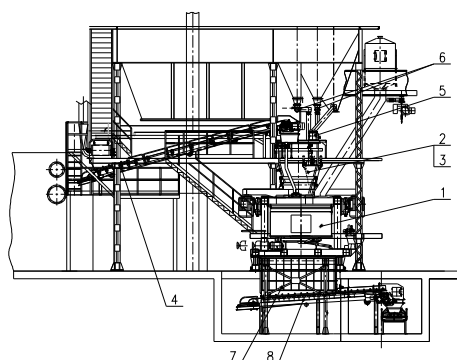
System sporządzania mas formierskich bentonitowych rys.13 oraz rys.14 został zaprojektowany i wykonany jako układ modułowy, w skład obu przedstawionych systemów wchodzi następujące urządzenia i zespoły:

- mieszarka turbinowa MTP,
- elektroniczna waga dozująca masę zwrotną WTM,
- elektroniczna waga dozująca mieszankę i piasek świeży WTD,
- 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, umożliwiająca uzyskanie zadanej wilgotności masy formierskiej,
- system sterowania elektronicznego z wizualizacją, umożliwiający pracę SPM, programowanie parametrów technologicznych oraz receptur sporządzanych mas.

#### **4.1 Zabudowa mieszarki turbinowa MTI oraz MTP.**

- a) Sposób zabudowy mieszarki MTP-2500 w nowoczesnej stacji przerobu mas formierskich zrealizowanej dla odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy) przedstawia (rys.15). Mieszarka turbinowa MTI-2500 o jednorazowym ładunku 2.500 kg umożliwia uzyskanie wydajności 60 t/h.
- b) Sposób zabudowy mieszarki MTP-1500 w nowoczesnej stacji przerobu mas formierskich zrealizowanej dla odlewni WSK PZL RZESZÓW przedstawia (rys.16). Mieszarka o jednorazowym ładunku 1500 kg umożliwia uzyskanie wydajności 45 t/h.



Rys.15. Zabudowa mieszarki turbinowej  
MTI-2500 w odlewni  
ŠKODA – Mlada Boleslaw (Czechy):



Rys.16. Zabudowa mieszarki turbinowej MTP-1500  
w odlewni WSK PZL RZESZÓW:

## 5. System chłodzenia masy formierskiej zwrotnej.

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.

System nawilżania masy w chłodziarce posiada 3 stopnie zraszania. Wszystkie stopnie sterowane są niezależnie od siebie.

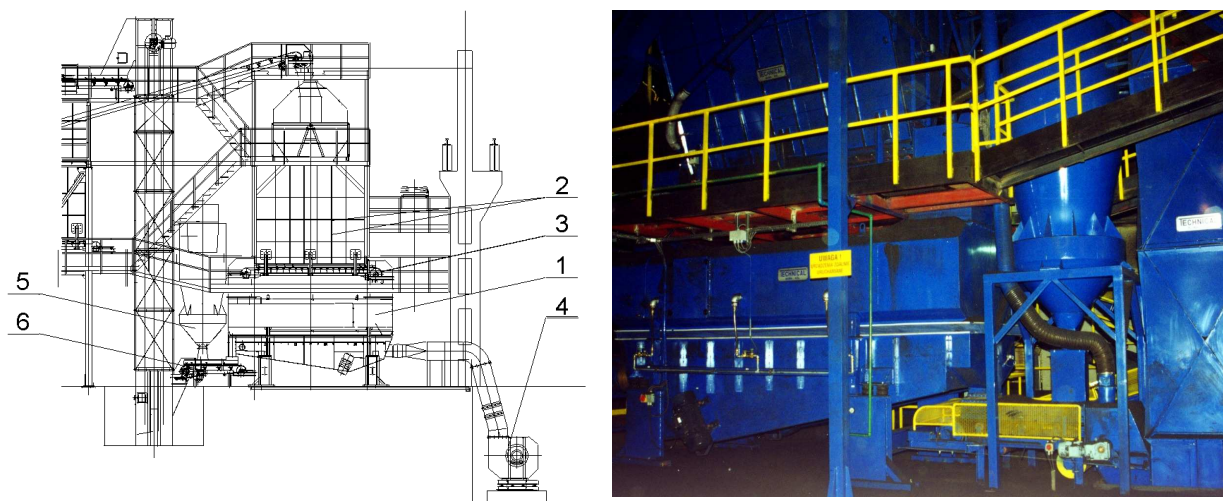
Zimne powietrze, tłoczone przez wentylator do komory powietrznej, przepływa przez otwory przegrody fluidyzacyjnej i przez warstwę transportowanego materiału.

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

Chłodziarka (rys.17) gwarantuje intensywne schłodzenie masy formierskiej zwrotnej z temperatury ok. 80°C do 120°C do temperatury ok. 15°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.

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. 17. 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

## 6. Pomiar i regulacja wilgotności masy formierskiej w mieszarce turbinowej MTP-1500 w odlewni WSK PZL RZESZÓW.

System sterowania SPM-45 umożliwi regulację wilgotności masy formierskiej z dokładnością  $\pm 0,1\%$  H<sub>2</sub>O od wartości zadanej. (rys.18).

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

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 mierzonego materiału.

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

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.

## 7. Pomiar i regulacja wilgotności oraz parametrów masy formierskiej w mieszarce turbinowej MTI-2500 w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy) (rys.19).

Do automatycznego pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej produkowanej przez mieszarkę turbinową MTI-2500 firmy P.P.P.TECHNICAL Sp. z o.o. zostały zastosowane dwa systemy produkcji MICHENFELDER ELEKTROTECHNIK GmbH (Niemcy) (rys.19):

- a) system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH
  - system gwarantuje uzyskanie dokładności wilgotności gotowej masy formierskiej: 0,1% H<sub>2</sub>O ( $\pm 0,05\%$  H<sub>2</sub>O).
  - umożliwia ciągle monitorowanie procesu mieszania oraz działania mieszarki.
- b) automatyczny system VEDIMAT do badania masy w czasie pracy
  - w pełni zautomatyzowane urządzenie do bezpośredniej kontroli zagęszczalności masy formierskiej. Połączony jest z urządzeniem MICOMP UNI – masa formierska może być przygotowywana nie tylko wg wymaganej wilgotności, ale również zgodnie z parametrami zagęszczalności.
  - jest to automatyczny system badania i kontroli zagęszczalności masy formierskiej (i utrzymywania jej w bardzo małych tolerancjach) oraz mierzenia wytrzymałości na ściskanie i obliczanie zawartości benonitu bezpośrednio przed stanowiskiem formierskim. Tak więc wszystkie czynniki mające wpływ na masę formierską na jej drodze z mieszarki do formierki będą wykryte i wyrównane.

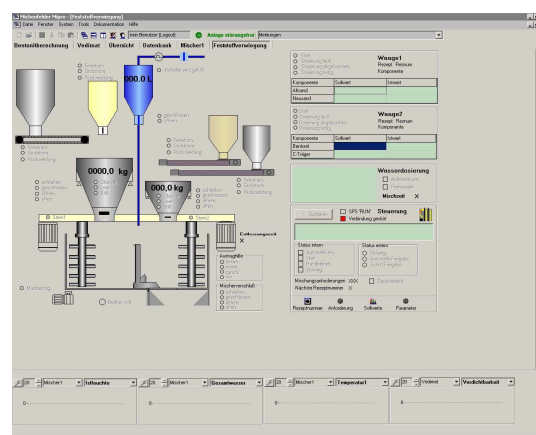
### Sposób działania:

Odpowiednią ilość wody ustala się na podstawie różnicy pomiędzy docelową a rzeczywistą zagęszczalnością. System do obliczeń bierze pod uwagę wagę wsadu i istniejące warunki wilgotności. Elektroniczny system dozowania zapewnia wtedy dodawanie właściwej ilości wody do mieszanki.

Optymalna ilość bentonitu jest obliczana na podstawie różnicy pomiędzy docelową i rzeczywistą wytrzymałością formy. Właściwa wielkość bentonitu jest dodawana do kolejnego wsadu. System zbiera wszystkie dane i uzyskane wyniki badań. Mogą one być następnie wyświetlone na ekranie i wydrukowane w postaci graficznej lub numerycznej.



Rys.18. Ekran synoptyczny mieszarki turbinowej MTP-1500 w odlewni WSK PZL RZESZÓW.



Rys.19. Ekran synoptyczny mieszarki turbinowej MTI-2500 w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy).

## 8. Podsumowanie.

Mieszarki turbinowe na trwale 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.



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. 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.

Sporządzanie masy w mieszarkach turbinowej przebiega bardzo intensywnie. Intensywność oddziaływań, takich jak: ugniatanie, rozcieranie, przrzucanie i rozgęszczanie masy zapewniają stosowane szybkoobrotowe zespoły mieszające. Sprzyja temu również odpowiednie pochylenie miski oraz ustawienie łopatek zespołu wirnika.

Oferowane przez P.P.P. TECHNICAL - Nowa Sól rozwiązania mieszarek turbinowych w pełni sprawdziły się w przemyśle. Charakteryzują się niezawodnością działania. Stanowią podstawowe wyposażenie nowoczesnych stacji przerobu mas formierskich. Dodatkowe wyposażenie oraz zastosowane systemy automatycznej kontroli i regulacji parametrów pracy mieszarek w pełni zaspakajają wymagania eksploatatorów.

Dodatkowe wyposażenie oraz zastosowane systemy automatycznej kontroli i regulacji wilgotności oraz parametrów masy formierskiej w pełni zaspakajają wymagania odlewni.

## 9. Literatura:

1. Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych. Skrypt AGH nr 919. Kraków, 1984
2. Lewandowski J.L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wydawnictwo Akapit. Kraków, 1997.
3. Materiały reklamowe producentów mieszarek
4. Pelczarski S.: Teoretyczne podstawy procesu ciągłego mieszania. Praca zbiorowa. Skrypt AGH, Studia Podyplomowe, Materiały nr. 20. Kraków, 1972, s. 17÷21
5. Rudy Cz., Fedoryszyn A.: Charakterystyka procesu mieszania i mieszarek turbinowych do sporządzania masy formierskiej. Materiały Konferencji Odlewniczej TECHNICAL 2003. PPP TECHNICAL, AGH. Nowa Sól, 2003, s. 106÷117.
6. Cz. Rudy, A. Fedoryszyn – „Mieszarki wirnikowe do sporządzania masy odświeżonej” – *Odlewnictwo Nauka i Praktyka*, nr 5/2003.
7. Cz. Rudy „Sporządzanie mas formierskich bentonitowych w mieszarkach turbinowych” symposium „Nowoczesne technologie i maszyny odlewnicze”- Zrenjanin (Serbia i Czarnogóra), 2003 r.
8. Cz. Rudy, Jiří Novotný „Úprava benonitových formovacích směsí ve vířivých rychlomísčích” – *Slévarenství*, nr 1/2004, str.14÷19.
9. Cz. Rudy, „Mieszarki wirnikowe do odświeżania obiegowej masy formierskiej” *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji 2004 – Komisja Budowy Maszyn PAN vol. 24 nr 3.*
10. Cz. Rudy, „Mieszarki wirnikowe do odświeżania obiegowej masy formierskiej” *III Międzynarodowa Konferencja pt. „Tendencje rozwojowe w mechanizacji procesów odlewniczych”* – Kraków - Szyce 17÷18.11.2004 r.

## URZĄDZENIA FORMIERSKIE LINII WYTWARZANIA ODLEWÓW W FORMACH PIASKOWYCH, BEZSKRZYNKOWYCH

*Aleksander FEDORYSZYN<sup>1</sup>*  
*Wydział Odlewnictwa*  
*Akademia Górniczo-Hutnicza*  
*im. Stanisława Staszica*

### 1. Wprowadzenie.

Formowanie bezskrzynekowe jest najbardziej ekonomiczną metodę seryjnej i masowej produkcji form dla większości odlewów drobnych i średnich. Wytwarzanie odlewów w formach bezskrzynekowych dotyczy technologii form piaskowych, zalewanych na wilgotno, której udział w produkcji odlewów wynosi około 80% i w najbliższych latach nie ulegnie istotnej zmianie [1].

O powszechności stosowania automatów decydują zarówno techniczne, jak i ekonomiczne ich walory, a szczególnie [2,3]:

- wyeliminowanie skrzynek formierskich, które w liniach do formowania skrzynekowego, ze względu na dużą precyzję wykonania, stanowią ok. 50% całkowitych kosztów inwestycyjnych,
- uproszczenie konstrukcji automatów w wyniku niewystępowania obiegu skrzynek,
- mała powierzchnia potrzebna do zainstalowania automatu oraz całej linii odlewniczej,
- zazwyczaj duża możliwość zmiany grubości pakietu (bloku) formy w zależności od gabarytu wykonywanych odlewów,
- niższe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne automatu.

Obecnie można jeszcze dodać istotne cechy linii z automatami do formowania bezskrzynekowego [4,5]:

- ciągłe doskonalenia konstrukcji i wyposażenia automatyki sterowania i dozoru,
- możliwość zmiany wymiarów komory formowania; wykonywania form o różnych wymiarach (szerokość i wysokość pakietu) przy użyciu jednej maszyny,
- możliwość łatwego i szybkiego przezbierania; zmiany oprzyrządowania modelowego,
- trwałość i funkcjonalność.

Linie odlewnicze z automatami do formowania bezskrzynekowego charakteryzują się szerokim zakresem stosowania do produkcji odlewów z żeliwa, stopów aluminium oraz miedzi w piaskowych formach.

W automatach do formowania bezskrzynekowego zagęszczanie masy formierskiej jest realizowane dwustopniowo. Wstępny stopień zagęszczenia uzyskuje się metodami dmuchowymi, w tym także metodą podciśnieniową lub przez zasypywanie grawitacyjne masy do komory formowania. Ostateczne zagęszczenie uzyskuje się przez prasowanie masy pod średnimi lub wysokimi naciskami, za pomocą płyt prasujących lub płyt modelowych.

Szybki rozwój technologii formowania pod wysokimi naciskami przyczynił się między innymi do opracowania wielu konstrukcji automatów formierskich. Połączenie metod wstępnego zagęszczenia oraz następnego prasowania masy, z punktu widzenia wydajności formowania, jest rozwiązaniem optymalnym.

---

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

Po wprowadzeniu metody formowania przy użyciu wysokiego nacisku (w końcu lat pięćdziesiątych) stosowano duże naciski jednostkowe nawet powyżej 3,2 MPa. Obecnie stosuje się znacznie mniejsze naciski jednostkowe. Stwierdzono [6], że najintensywniejszy wzrost gęstości pozornej masy następuje do wartości nacisku jednostkowego wynoszącego 0,7 MPa. Dalszy wzrost nacisku jednostkowego powoduje tylko niewielkie zwiększenie gęstości pozornej masy w formie. Zwiększeniu nacisku w zakresie  $0,7 \div 1,4$  MPa towarzyszy zjawisko szybszego wzrostu wymaganej, końcowej gęstości pozornej masy. Tym też można wyjaśnić dużą wydajność formowania przy użyciu wysokiego nacisku.

Formowanie przy użyciu wysokiego nacisku zapewnia dużą wydajność. Polepsza jakość powierzchni i dokładność wymiarową odlewów, pozwala zmniejszyć grubość ścianki odlewów [6].

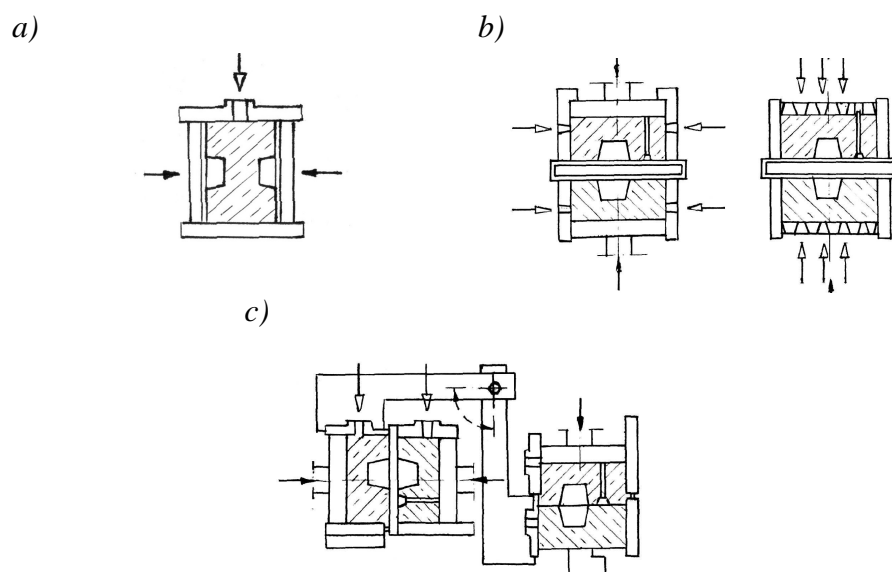
## 2. Klasyfikacja automatów formierskich.

Klasyfikacja automatów do formowania bezskrzynkowego dotyczy kierunku zapełniania masą przestrzeni technologicznej, zorientowania siły prasowania oraz położenia komór formowania podczas wykonywania bloków form (rys.1). Wyróżnia się urządzenia do wytwarzania form o pionowej i poziomej płaszczyźnie podziału. Odmiennymi są rozwiązania automatów, gdzie formy wykonuje się w układzie pionowym, a składa i zalewa w układzie poziomym.

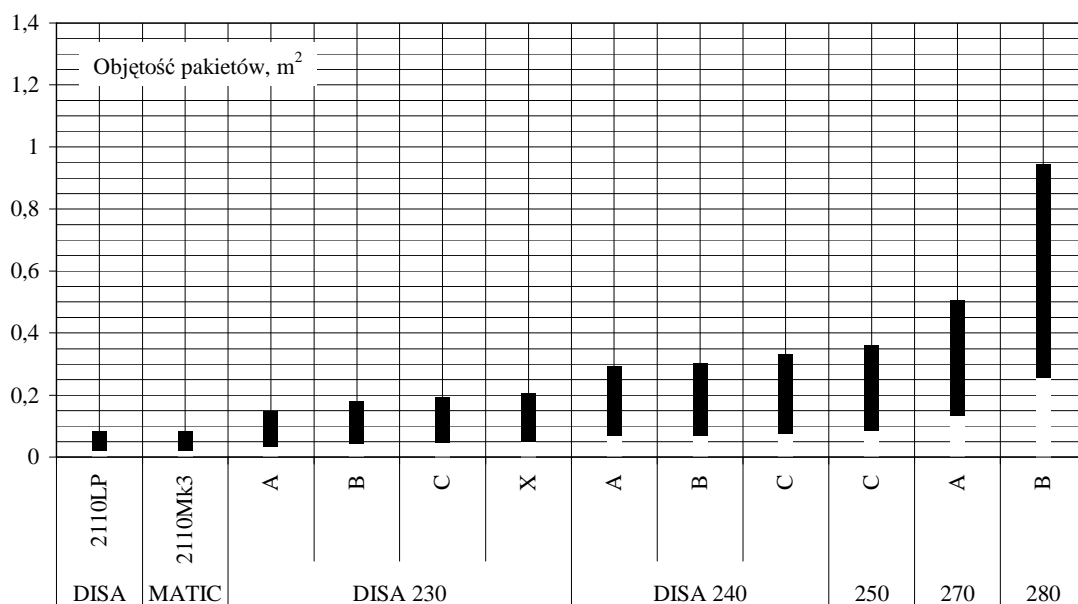
## 3. Automaty do wykonywania form o pionowej płaszczyźnie podziału.

Oferowane obecnie automaty o pionowej płaszczyźnie podziału to: DISAMATIC firmy DISA Dansk Industri Syndikat A/S, automaty systemu Foundry Automation - KOYO oraz LORAMATIC firmy LORAMENDI, S.A. [7]. Dane dotyczące wielkości (objętości) pakietów wytwarzanych przez automaty DISA przedstawiono na rysunku. 2 [7÷9].

Automaty firmy DISA reprezentują nowe pokolenie maszyn, mimo że mają wszystkie cechy znanych automatów DISAMATIC.



Rys.1. Schematy urządzeń do wytwarzania form: pionowo dzielonych (a),  
poziomo dzielonych form (b),  
z obrotowymi zespołami komór formowania [4,5]



Rys.2. Objętość pakietów wytwarzanych przy użyciu automatów DISAMATIC 2110 i DISA [7].

Zmiany polegają na [7,9]:

- wyposażeniu strzelarki w dwa zawory strzałowe, co przy nowej konstrukcji otworu (szczeliny) strzałowego pozwala na lepsze zapełnienie i zagęszczenie masy w takim stopniu, że prasowanie prowadzi do zmniejszenia grubości pakietu o ok. 17% (dla wcześniejszych rozwiązań stopień doprasowania kształtował się na poziomie 25%),
- wspomaganie próżniowym zapełniania masy wstrzeliwaniem w strefie płyty prasującej i przeciwprasującej, obrotowej; wymagana pompa próżniowa jako wyposażenie dodatkowe,
- zastosowaniu dwóch pomp hydraulicznych (w miejsce dotychczas stosowanej jednej) tak, że obie płyty mogą poruszać się niezależnie,
- zwiększeniu sztywności maszyny dzięki skróceniu prowadnic głównych; dodatkowe usztywnienie zapewniają trzy jarzma: przednie, środkowe i tylne.

Automaty są wyposażone w systemy komputerowego zarządzania produkcją CIM (Computer Integrated Manufacturing). Zintegrowany system CIM kontroluje zarówno pracę automatu formierskiego jak i urządzeń do zalewania, chłodzenia odlewów oraz przerobu masy, pracujących w cyklu automatycznym.

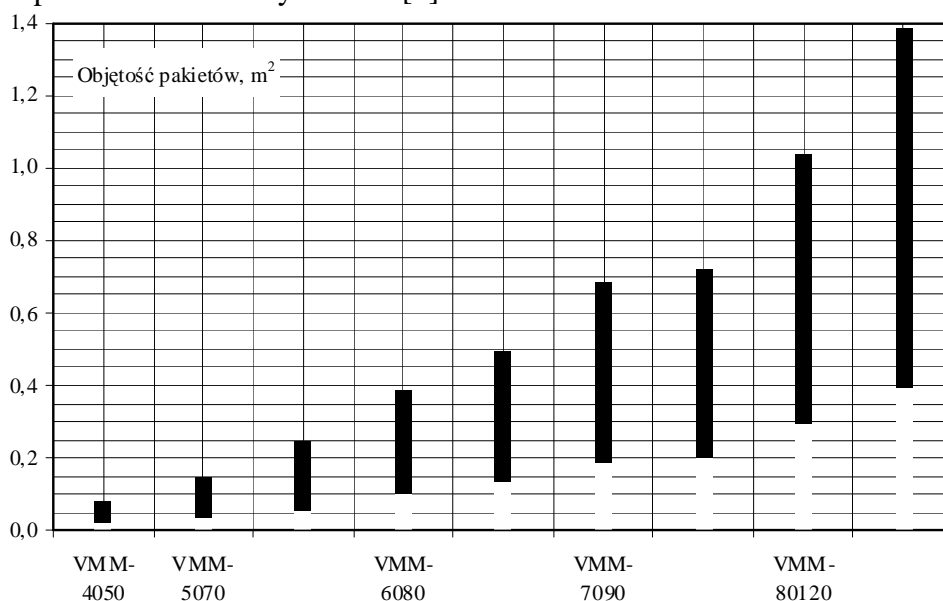
Specjalistyczne oprogramowanie pozwala na prowadzenie [8,9]:

- nadzoru i diagnostyki przestojów,
- zapobiegawczego systemu obsługi technicznej polegającego na kontroli okresów między przeglądami, smarowaniem, regulacją, czyszczeniem oraz wymianą zużytych części,
- automatycznego wczytywania pełnych parametrów technologicznych dla każdego kompletu oprzyrządowania (pojemność 10 000 danych),
- bieżącej informacji o aktualnym stanie produkcji, przesyłanej do wewnętrznej sieci PC.

Automaty firmy KOYO Ltd. Kumamoto, stanowią konkurencję dla produktów DISA na dalekim wschodzie [7,10,11]. Oferowane są modele od SM-50 V o wielkościach pakietu 400 × 500 × (110 ÷ 330) mm aż do SM-90 V o pakietach 700 × 850.

Automaty LORAMATIC dają możliwość nie tylko zmianę grubości pakietów (głębokość komory) ale również pozostałe wymiary poprzez zmianę wielkości komory formowania). Pojęcie zmiennej komory formowania oznacza, że ta sama maszyna

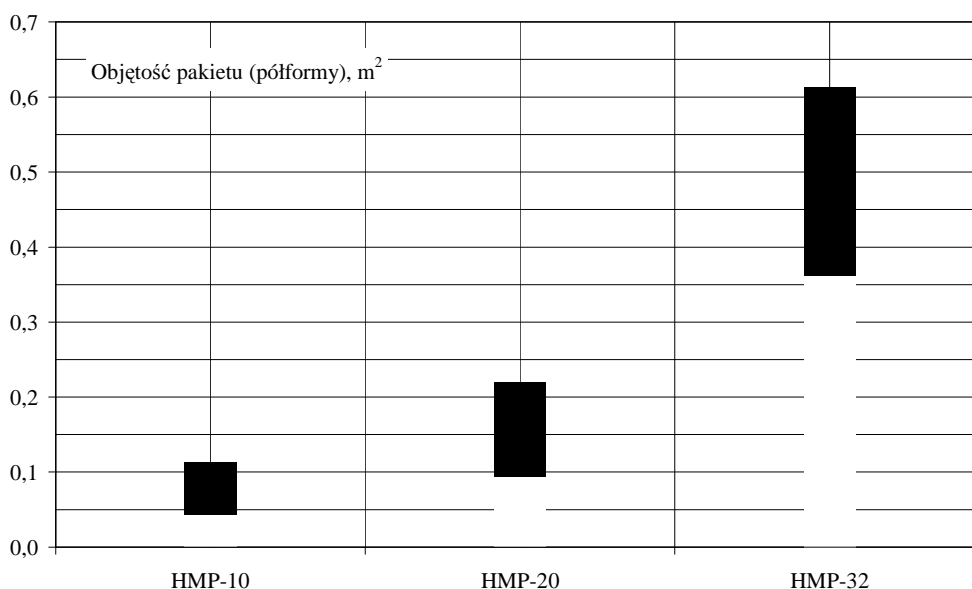
formierska może pracować przy różnych rozmiarach form [12]. Zakres możliwości w tym względzie przedstawiono na rysunku 3 [7].



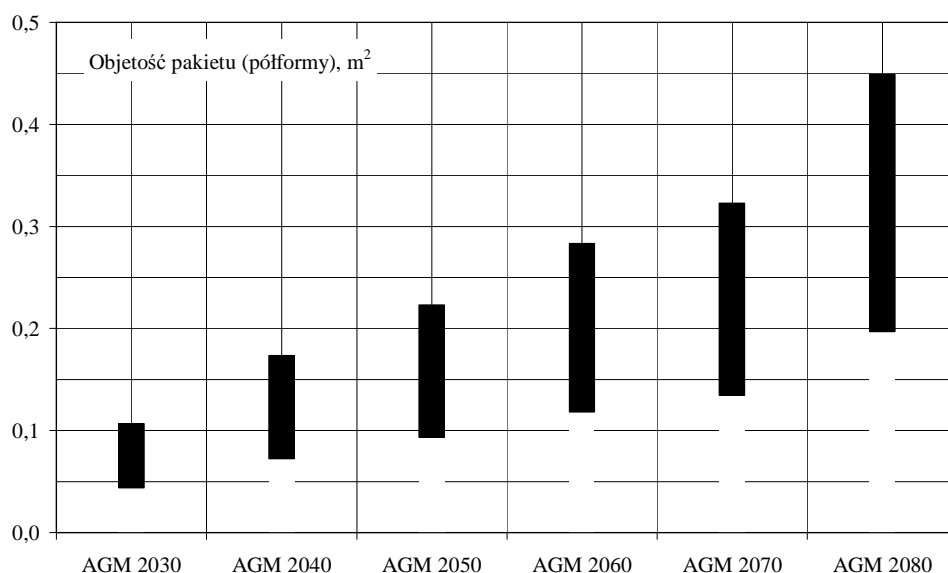
Rys. 3. Zakres wielkości (objętości) pakietów wykonywanych przy użyciu automatów LORAMATIC [7].

#### 4. Automaty do wykonywania form o poziomej płaszczyźnie podziału.

Charakterystykę automatów formierskich, wyróżnionych w klasyfikacji przedstawionej na rysunku 1 b) i c) omówiono na podstawie danych firm Hunter Automated Machinery Corporation, AGM Achinger Giessereimaschinen GmbH, HEINRICH WAGNER SINTO Maschinenfabrik GmbH. [9]. Dane automatów typu HMP serii G & H, Haflinger 2000 (Ecoline)-AGM oraz FBO przedstawiono na kolejnych rysunkach 4 ÷ 6.



Rys. 4. Wielkości pakietów wykonywanych przy użyciu automatów MPM f-my HUNTER [13].

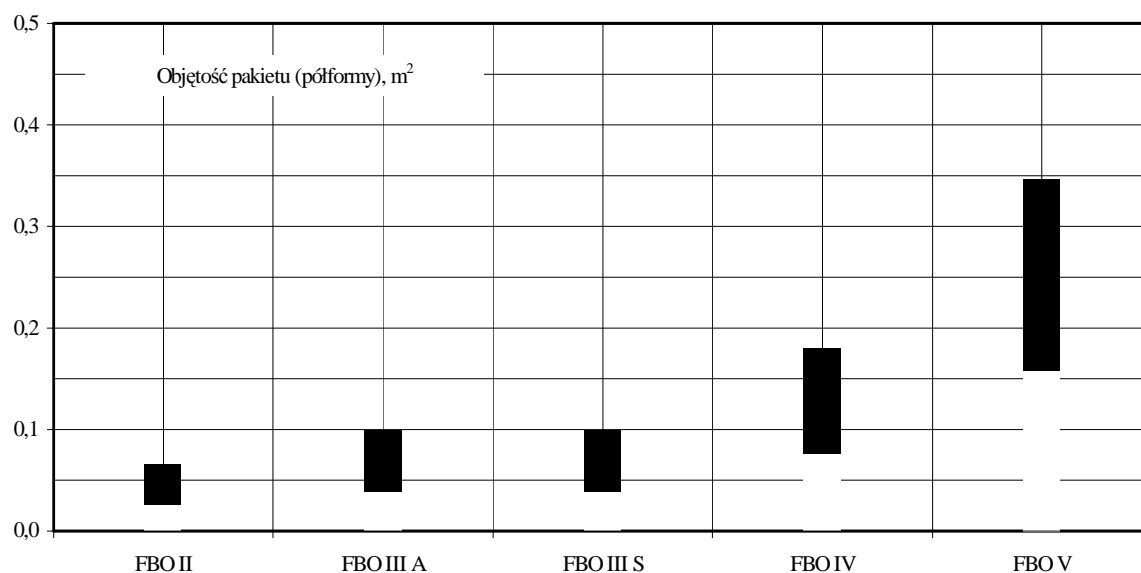


Rys. 5. Wielkości pakietów wykonywanych przy użyciu automatów AGM –Haflinger [13].

Zestawione powyżej dane dotyczą automatów, które w odmienny sposób realizują proces wykonywania form. W automatach HUNTER – trójstanowiskowych, masa jest zrzucona do usuwalnych skrzynek i zagęszczana prasowaniem przy użyciu płyty podformowej oraz płaskiej głowicy prasującej [13,14].

Omówione pozostałe automaty są jedno stanowiskowe masa jest podawana do komory formowania wskutek wytworzenia różnicy ciśnień - podciśnienia (Haflinger) oraz nadciśnienia FBO (HWS). W drugim etapie masa jest zagęszczana w obu przypadkach prasowaniem

Automaty FBO pracują według schematu przedstawionego na rysunku 1 c), tzn. pakiety są wykonywane w układzie pionowym, a składane w układzie poziomym.

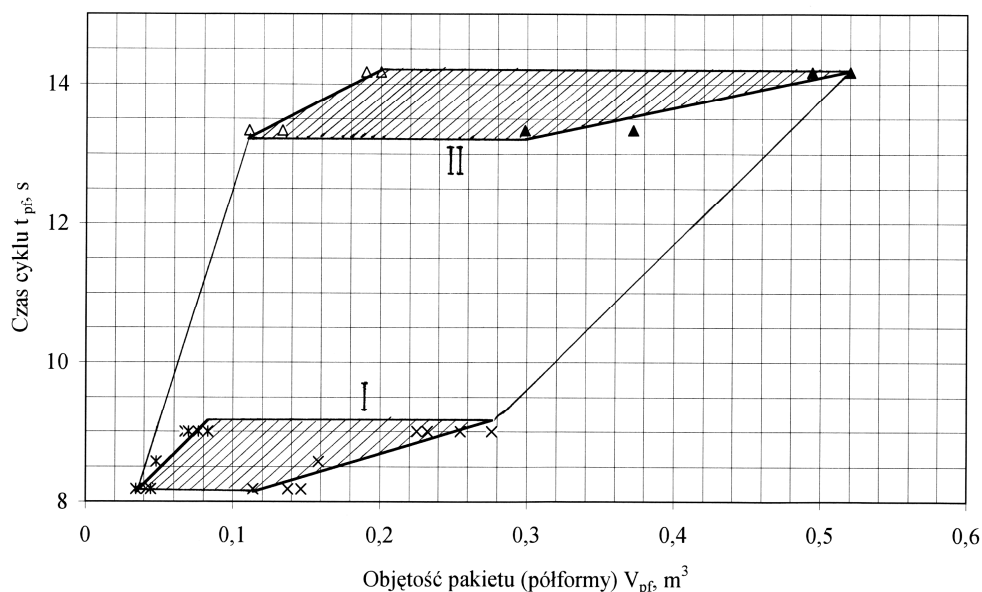


Rys. 6. Wielkości pakietów wykonywanych przy użyciu automatów AGM –Haflinger.

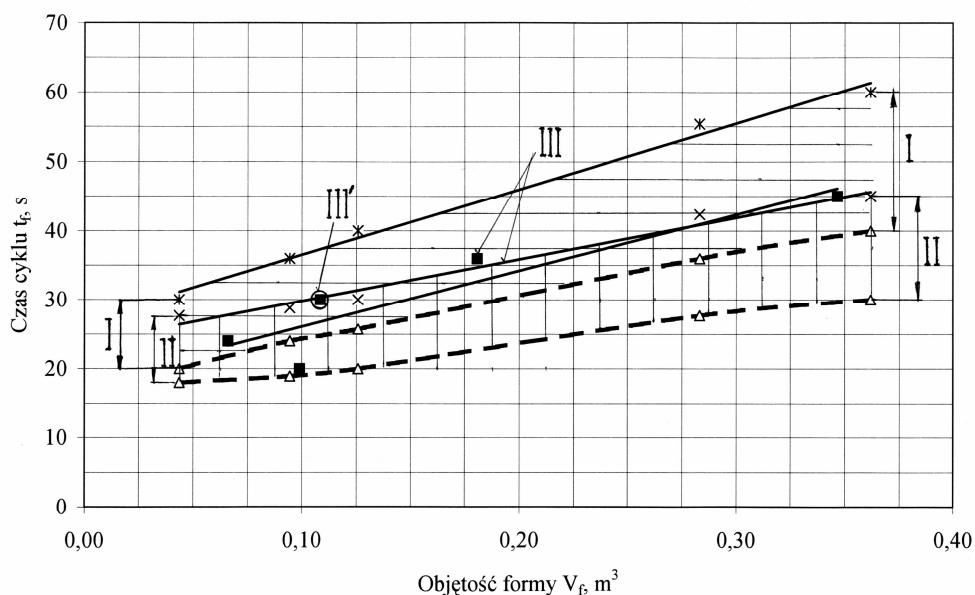
Automaty z obrotowymi komorami formierskimi to również DISA MATCH firmy DISA [7].

Porównanie wydajności (dane katalogowe) omawianych automatów przedstawiono na rysunku 7.

a)



b)



Rys.7. Czas trwania cyklu w zależności od objętości formy ;  
 a) DISA: I – 230, 240 i 250 przy grubości pakietu 200 mm, II – DISA 280  
 i DISAMATIC 2070 przy grubości pakietu 400 mm,  
 b) HUNTER: I – HMP – E, II – HMP – D; III – FBO, III' – DISA MATCH 130

## 5. Wnioski końcowe.

Automaty do formownia bezskrzynkowego umożliwiają wytwarzanie odlewów o bardzo dobrej jakości, zapewniając równocześnie wysoką wydajność. Wykonywane formy charakteryzują się dużą dokładnością odwzorowania modeli, wysoką wartością stopnia zagęszczenia masy oraz korzystnym rozkładem. Dokładność wymiarowa form, a w konsekwencji również odlewów, jest więc zwykle bardzo dobra.

Na podstawie analizy aktualnie oferowanych rozwiązań podano klasyfikację automatów do formowania bezskrzynkowego. Omówiono ich cechy charakterystyczne oraz zestawiono parametry charakteryzujące cykl pracy.

**Opracowano w ramach pracy naukowo – badawczej AGH nr 10.10.170.138****6. Literatura.**

1. Dańko J.: Nowoczesne wyposażenie maszynowe warunkiem rozwoju polskich odlewni. Przegląd Odlewnictwa, nr. 9, 1998, s. 262
2. Pelczarski S., Bodzoń L., Sztefko F., Dańko J., Sobieraj R., Szopa J.: Systemy mechanizacji i automatyzacji formiarni opartych na technologii form piaskowych. Skrypt AGH nr. 595. Kraków, 1977
3. Samsonowicz Z.: Automatyzacja Procesów Odlewniczych. WN-T. Warszawa, 1985
4. Fedoryszyn A.: Linie wytwarzania odlewów w formach piaskowych. Część I. Linie odlewnicze z automatami do wykonywania form bezskrzynekowych- w opracowaniu
5. Fedoryszyn A.: Fedoryszyn A.: Charakterystyka współczesnych bezskrzynekowych linii odlewniczych. Archiwum Odlewnictwa, nr. 11, zeszyt 4, 2004. PAN O/Katowice. Katowice, 2004, s. 140
6. Lewandowski L.: Przygotowanie form odlewniczych. Masy formierskie i rdzeniowe. Skrypty Uczelniane nr 883. AGH. Kraków, 1983
7. <http://www.disagroup.com>, <http://foundryautomation.com>, <http://www.loramendi.com>
8. Nowości w DISA TECHNOLOGIES. Przegląd Odlewnictwa nr. 2, 1995, s. 9.
9. Kofler C.: GFD DISA 230 – nowe pokolenie automatów DISAMATIC. Przegląd Odlewnictwa nr. 8-9, 1999, s. 328.
10. System KOYO. Foundry Trade Journal, nr 272, vol. 166, 1992, s. 272
11. Pavlik I.: Bezrámové stroje systému KOYO pro výrobu forem s vertikální dělicí rovinou. Slévárenství nr. 1, 1994, s. 13.
12. Olsen C.: Postęp w dziedzinie formowania z pionowym podziałem formy. Biuletyn Metals&Minerals, nr 1, Kraków, 2002, s. 14
13. <http://www.hunterauto.com>, <http://wagner-sinto.de>, <http://www.agm-haflinger.de>
14. Pawłowski T., Żakiewicz S.: Automaty i linie formierskie firmy HUNTER. Przegląd Odlewnictwa nr. 3, 1995, s. 111.



## URZĄDZENIA REALIZUJĄCE PROCES REGENERACJI MAS FORMIERSKICH

*Franciszek PEZARSKI<sup>1</sup>,  
Elżbieta SMOLUCHOWSKA<sup>2</sup>,  
Irena IZDEBSKA SZANDA,<sup>3</sup>  
ZBIGNIEW MANIOWSKI<sup>4</sup>*  
INSTYTUT ODLEWNICTWA – KRAKÓW

### 1. Wstęp.

Wywożenie odpadów na wysypiska potęguje zagrożenie środowiska i podnosi koszty produkcji odlewów. Dlatego dąży się w pierwszej kolejności do minimalizacji odpadów zużytych mas formierskich (technologie i urządzenia nowej generacji), następnie recyklingu mas wewnątrz odlewni lub stosowania na szeroką skalę procesu regeneracji, pozwalającego na ponowne wprowadzenie osnowy piaskowej (regeneratu) do procesu produkcyjnego

Celem wszystkich procesów regeneracji zużytej masy formierskiej i rdzeniowej jest usunięcie pozostałości spoiwa z powierzchni ziarn osnowy piaskowej, co realizowane jest różnymi metodami w różnego rodzaju urządzeniach.

Podstawowymi metodami regeneracji są: metoda sucha, cieplna i mokra. Oprócz tych podstawowych procesów regeneracji istnieją metody chemiczne, a także kombinowane, będące połączeniem metod podstawowych w różnych układach. Oprócz w/w metod regeneracji istnieje wiele sposobów wykorzystujących do oczyszczania ziarn piasku parę wodną, promieniowanie podczerwone, gorący gaz, powietrze wzbogacone w tlen, plazmowe źródło ciepła itp.

Proces regeneracji, niezależnie od metody sprowadza się w zasadzie do następujących operacji technologicznych :

- usunięcia masy z form i odlewów z zastosowaniem różnego rodzaju krat do wybijania,
- rozdrobnienia brył masy w urządzeniach kruszących, takich jak: kruszarki bębnowe, szczękowe, młotkowe, wibracyjne, bębny rozdrabniające itp.
- klasyfikacji rozdrobnionej masy na przesiewaczach (wibracyjnych, obrotowych),
- oddzielenia części metalowych przy użyciu separatorów magnetycznych umieszczonych w kilku miejscach ciągu technologicznego, sit, a także (w przypadku materiałów niemagnetycznych) w obrębie urządzenia wibracyjnego lub fluidyzacyjnego,
- częściowym odpyleniu masy w poszczególnych urządzeniach,
- podsuszeniu i ewentualnym ochłodzeniu masy - w zależności od rodzaju technologii, z której osnowa jest regenerowana i metody regeneracji

Analiza kosztów inwestycyjnych różnych metod regeneracji wskazuje, że regeneracja sucha mechaniczna wymaga najmniejszych kosztów inwestycyjnych, eksploatacyjnych i zużycia energii na tonę regeneratu [1]. jeżeli przyjąć, że dla każdej

---

<sup>1</sup> mgr inż.

<sup>2</sup> mgr inż.

<sup>3</sup> mgr inż.

<sup>4</sup> mgr inż.

z grup kosztów regeneracja sucha mechaniczna wynosi 100%, to koszty pozostałych rodzajów regeneracji przedstawiają się następująco :

- koszty inwestycyjne:	regeneracja mokra 625 - 660 % regeneracja cieplna 125 - 166 %
- koszty eksploatacyjne:	regeneracja mokra średnio 375 % regeneracja cieplna średnio 625 %
- energochłonność:	regeneracja mokra średnio 1000 % regeneracja cieplna 950 - 5000 %

Wg innych źródeł wskaźniki kosztów uzyskania regeneratu kształtują się porównawczo następująco:

a) regeneracja mechaniczna, jednostopniowa	70 %
b) regeneracja mechaniczna dwustopniowa,	100 %
c) regeneracja pneumatyczna	150 - 170 %
d) regeneracja cieplna	190 - 220 %
e) regeneracja mokra	220 - 300 %

## 2. Urządzenia umożliwiające zastosowanie różnych metod regeneracji.

### Regeneracja mechaniczna.

**Regeneracja metodą wibracyjną** – jest jedną z metod regeneracji suchej mechanicznej znajdującej coraz szersze zastosowanie. Zastosowanie do regeneracji właściwej kruszarek wibracyjnych pozwala na znaczne uproszczenie procesu regeneracji poprzez zmniejszenie liczby urządzeń pomocniczych (kruszarek, przenośników, oddzielaczy i przesiewaczy), bowiem w kruszarkach oprócz kruszenia materiału następuje jego rozdrobnienie, ocieranie, oddzielanie części metalowych i klasyfikacja materiału.

Producentami kruszarek wibracyjnych [2,3] są między innymi takie firmy jak: Kramer, Frank, Küttner (fot 1.), Richards, Simplicity Engineering Inc.USA, Baker Parkins, Trojan



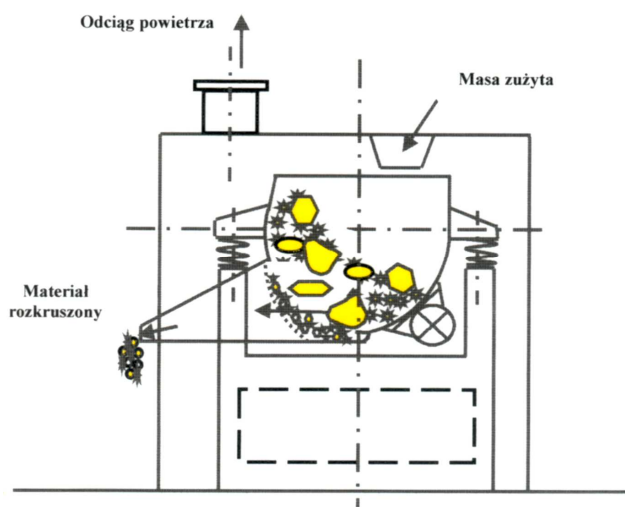
Fot 1. Kruszarka wibracyjna firmy Kutner.

Zasada działania kruszarek wibracyjnych jest podobna. Po wprowadzeniu masy do zbiornika następuje jej rozdrobnienie pod wpływem wibracji, wymuszonej przez elektrowibrator, zamocowany na ścianie zewnętrznej zbiornika. W procesie kruszenia pod wpływem wibracji, oprócz rozdrabniania kawałków masy następuje również intensywne

ocieranie z powierzchni ziarn spoiwa i innych zanieczyszczeń. W kruszarkach z dwoma sitami rozdrobione cząstki masy w postaci piasku przechodzą przez perforowany bok lub dno zbiornika do przestrzeni zamkniętej przez sito wymienne. W przestrzeni między sitem i perforowanym dnem zbiornika następuje dalsze rozdrobienie drobnych grudek masy, praktycznie do pojedynczych ziarn piasku. Rozdrobniony materiał przechodzi przez sito wymienne i dalej rynną zsypową podawane jest do kolejnego urządzenia, lub zbiornika rozkruszonego materiału.

Nierozdrobnione grudki masy i wtrącenia, np. metalowe, są okresowo usuwane z kruszarki przy użyciu bocznego otworu w zbiorniku zamykanego za pomocą siłownika pneumatycznego, lub mechanizmu śrubowego.

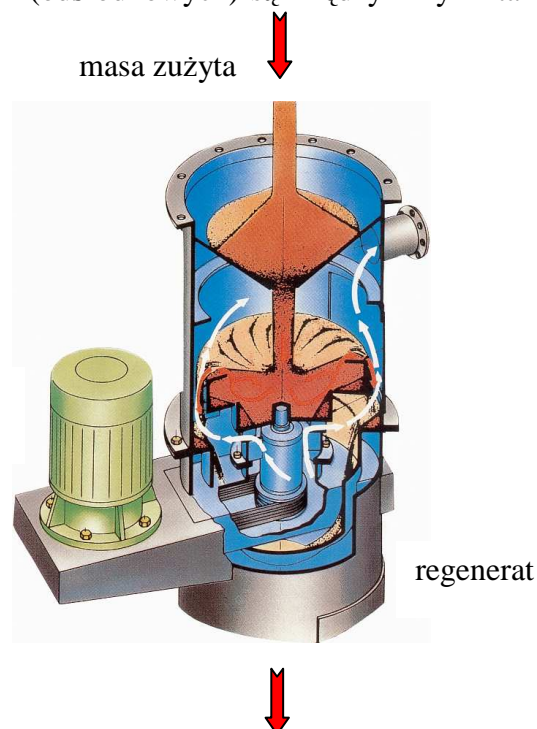
Instytut Odlewnictwa w ramach prowadzonych prac naukowo-badawczych i realizowanych projektów celowych opracował i wykonał kruszarki wibracyjne o wydajnościach nominalnych 1 i 10t/h. Schemat kruszarki przedstawiono na **rys.1**.



*Rys.1. Schemat kruszarki wibracyjnej produkcji krajowej.*

**Regeneracja z zastosowaniem urządzeń obrotowych ocierająco-ścierających** – jest realizowana w regeneratorach wirnikowych, wyposażonych w wirniki, w wirniki z łopatkami, lub w talerze, które na skutek siły odśrodkowej wyrzucają materiał regenerowany na pobocznice urządzenia, powodując jego ocieranie i rozkruszanie.

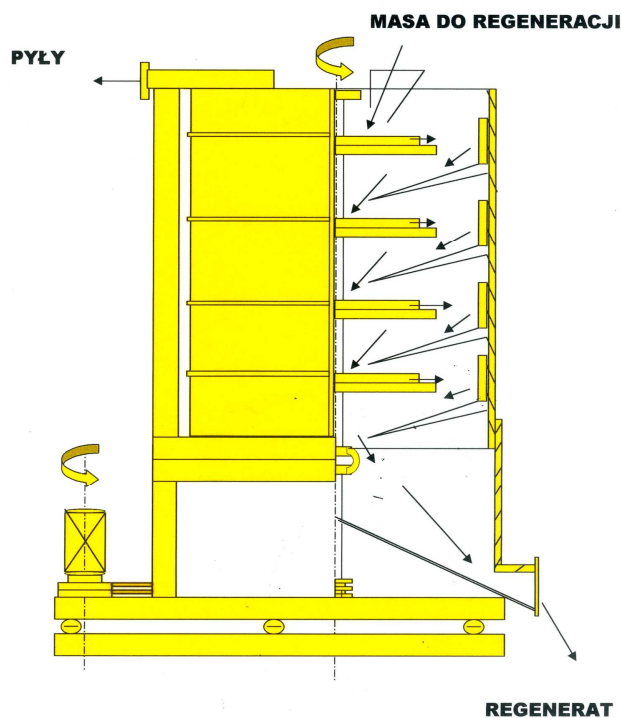
Producentami regeneratorów wirnikowych (odśrodkowych) są między innymi takie



*Rys.2. Schemat regeneratora firmy Klein.*

firmy jak: amerykańska firma Didion, Alb.Klein (rys.2.), GmbH, Eco Engineering GmbH, firma GFA Giesserei und Förderanlagen GmbH. [4]

Przykładem rozwiązania regeneratora wirnikowego opracowanego w Instytucie Odlewnictwa jest regenerator talerzowy RTL-10, który schematycznie przedstawiony został na rys.3. Wstępnie przygotowana (rozdrobiona i przesiana) masa zużyta podawana jest od góry urządzenia w pobliżu jego osi obrotu i przemieszczając się w dół odśrodkowo, trze o jego powierzchnię. Wyrzucona z talerza uderza o powierzchnię roboczą komory, a następnie odpowiednią kierownicą zostaje podana w pobliżu osi obrotu następnego talerza lub do wylotu urządzenia. Operacja zostaje powtórzona tyle razy, ile jest talerzy w wirniku. Oddzielony materiał wiążący zostaje odprowadzony do instalacji odpylającej w górnej części regeneratora

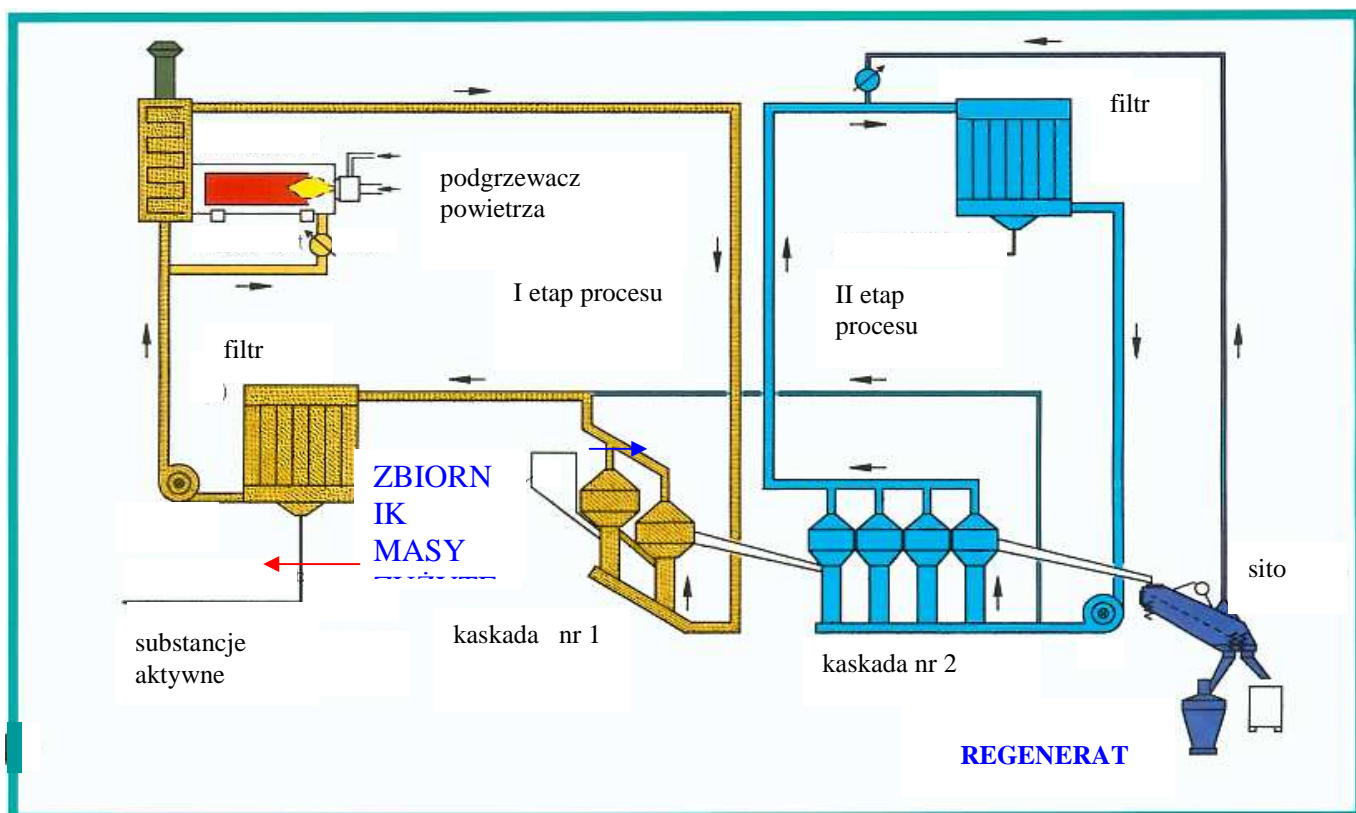


Rys.3. Schemat regeneratora talerzowego RTL-10.

**Regeneracja pneumatyczna** – urządzenia do regeneracji pneumatycznej charakteryzują się stosunkowo prostą budową i łatwością wbudowania do istniejących budynków. Pomimo konieczności instalowania rozbudowanego systemu odpylania (w porównaniu do regeneratorów wibracyjnych czy wirnikowych) i większego kosztu regeneracji nadal znajdują zastosowanie. W zależności od inwencji producenta, istnieje wiele konstrukcji regeneratorów pneumatycznych.

Jednym z przykładów może być system regeneracji pneumatycznej TURBO-DRY firmy Künkel Wagner [5] przedstawiony na rys.4.- przeznaczony głównie do regeneracji mas bentonitowych o dużej zawartości gliny i oolitycznych ziarnach. Polega on na przejściu zużytej masy przez kaskadę pionowych dysz przedmuchiwanym powietrzem o temperaturze 300oC. Pierwszy etap ocierania następuje w pierwszej kaskadzie. Ziarna masy wraz z powietrzem uderzają w stożek zamontowany na górze pierwszej kaskady (drugi etap ocierania). Ziarna opadają w strumieniu powietrza, który wychwytuje zanieczyszczenia i cząsteczki spoiwa i transportuje je do instalacji odciągowej. W procesie tym istnieje możliwość odzyskania bentonitu i pyłu węglowego. Powietrze po przejściu przez odpylacz suchy jest zawracane i podgrzewane. Po przejściu materiału przez pierwszą kaskadę materiał przechodzi przez dalszych 6 kaskad, gdzie

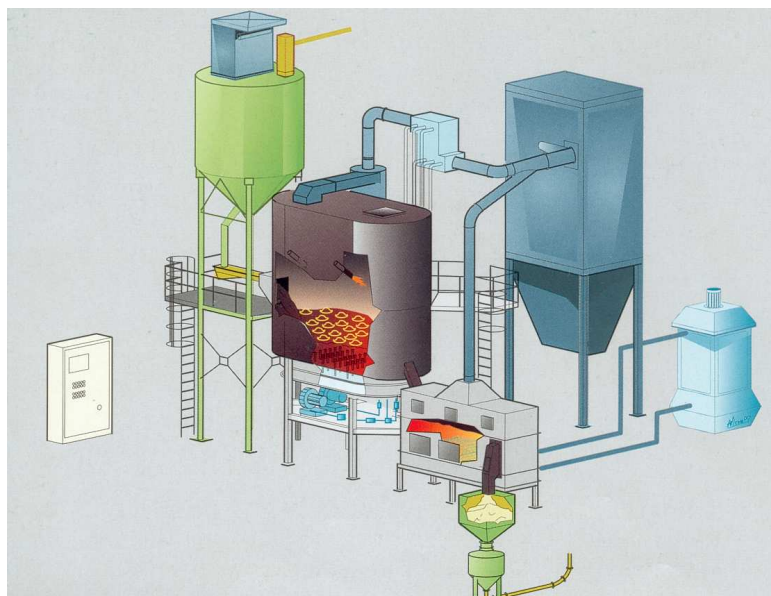
przedmuchiwany jest już zimnym powietrzem. Regenerat transportowany jest pneumatycznie z ostatniej kaskady do zbiorników



Rys.4. System regeneracji pneumatycznej TURBO-DRY firmy Künkel-Wagner.

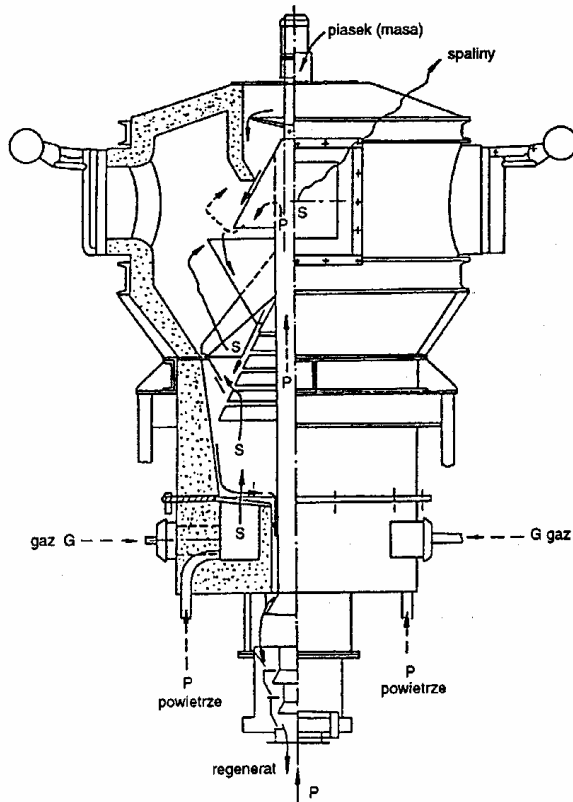
### Regeneracja termiczna.

**Regeneracja cieplna (termiczna)** - przykładem urządzenia do regeneracji termicznej może być regenerator fluidyzacyjny wyprodukowany przez firmę IMF (Włochy), w którym wstępnie przygotowana zużyta masa przechodzi przez ognioodporny cylinder, do którego doprowadzone są z boku na odpowiedniej wysokości dysze z mieszkanką powietrzno-gazową.



Rys.5. Stanowisko regeneracji termiczno-gazowej firmy IMF.

Mieszanka ta wytwarza w komorze temperaturę spalania około 700°C. Doprowadzone od dołu powietrze tworzy w dolnej części pieca dwa złoża fluidalne. Po fluidyzacji regenerat transportowany jest do chłodziarki i rozprowadzany transportem pneumatycznym. **rys.5.** Na **rys.6** przedstawiono schemat polskiego rozwiązania regeneratora termicznego RTP-4. Regenerator jest urządzeniem wysoce materiało i energo oszczędnym, o niskim stopniu fluidyzacji złoża.



Rys.6. Regenerator termiczny RTP-4.

W literaturze opisane jest również urządzenie do regeneracji termicznej włoskiej firmy IMF [3], w którym źródłem ciepła są promienie podczerwieni. Składa się on z dwóch złoż fluidalnych o odmiennym od istniejących obecnie sposobie fluidyzacji. W środkowej części regeneratora zainstalowane są emitery promieni podczerwieni. Przechodzący przez nie prąd wytwarza w czasie mniejszym niż 1 sekunda temperaturę 2200 ° C. Promieniowanie podczerwone przechodzi z emiterów do masy podgrzewając ją.

### Regeneracja mokra.

**Regeneracja mokra** – ze względu na duże koszty utylizacji szlamów i eksploatacji, wśród producentów urządzeń do regeneracji zauważa się małe zainteresowanie urządzeniami tego typu.

W kraju regeneracja mokra pracuje w Odlewni Żeliwa w Śremie [6]. Aktualnie zakład jest w trakcie modernizacji procesu regeneracji polegającej na zmianie technologii regeneracji z mokrej na suchą mechaniczną

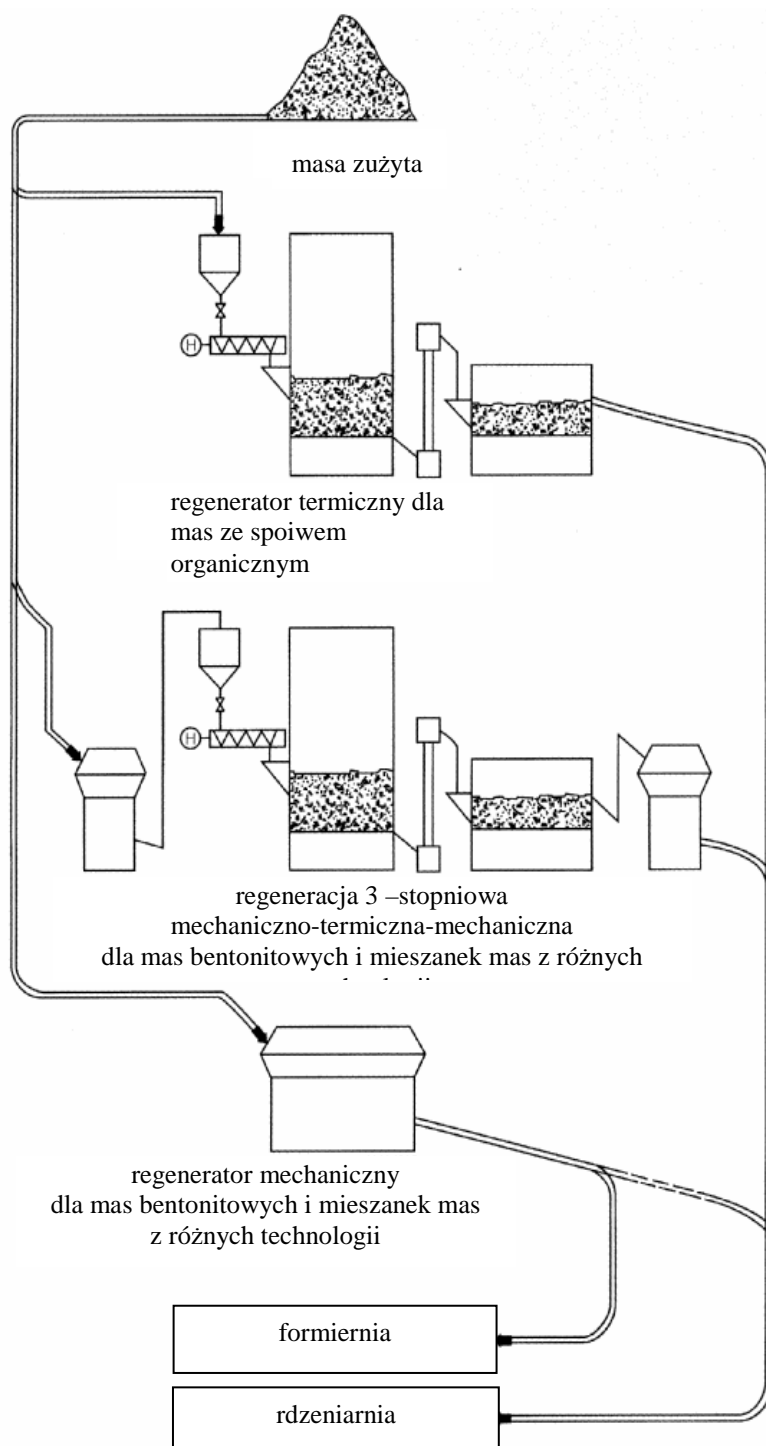
## Regeneracja kombinowana.

**Regeneracja kombinowana (wielostopniowa)** - przykładem urządzeń wykorzystywanych w regeneracji wielostopniowej (rys 7) jest stanowisko firmy KGT Giessereitechnik GmbH [4], będące połączeniem regeneracji mechanicznej i termicznej. W pierwszym etapie oddziela się mechanicznie aktywne lepiszcze, a w drugim etapie wypala się spoiwo organiczne w złożu fluidalnym. Trzeci etap regeneracji również mechanicznej umożliwia końcowe oczyszczenie ziarn

Na stanowisku regeneracji wielostopniowej [3] firmy Fataluminium wykorzystywane są dwa rodzaje urządzeń do regeneracji. Po wstępnej obróbce mechanicznej, następuje regeneracja pneumatyczna i termiczna w złożu fluidalnym w regeneratorze HOT-REG. Pierwszy stopień pneumatycznej regeneracji ma za zadanie częściowe starcie otoczki materiału wiążącego z powierzchni ziarn i odpylenie materiału. Drugi stopień regeneracji jest realizowany w regeneratorze Hot-Reg, w którym składniki organiczne spoiwa spalają się w złożu fluidalnym, nagrzanym do temperatury 700 - 900°C, w którym następuje usunięcie wilgotności higroskopijnej oraz całkowita dezaktywacja bentonitu i wypalenie spoiwa organicznego. Powtórna regeneracja pneumatyczna polega na ścieraniu i usuwaniu z powierzchni ziarn osnowy produktów spalania spoiwa organicznego oraz nieaktywnego lepiszcza .

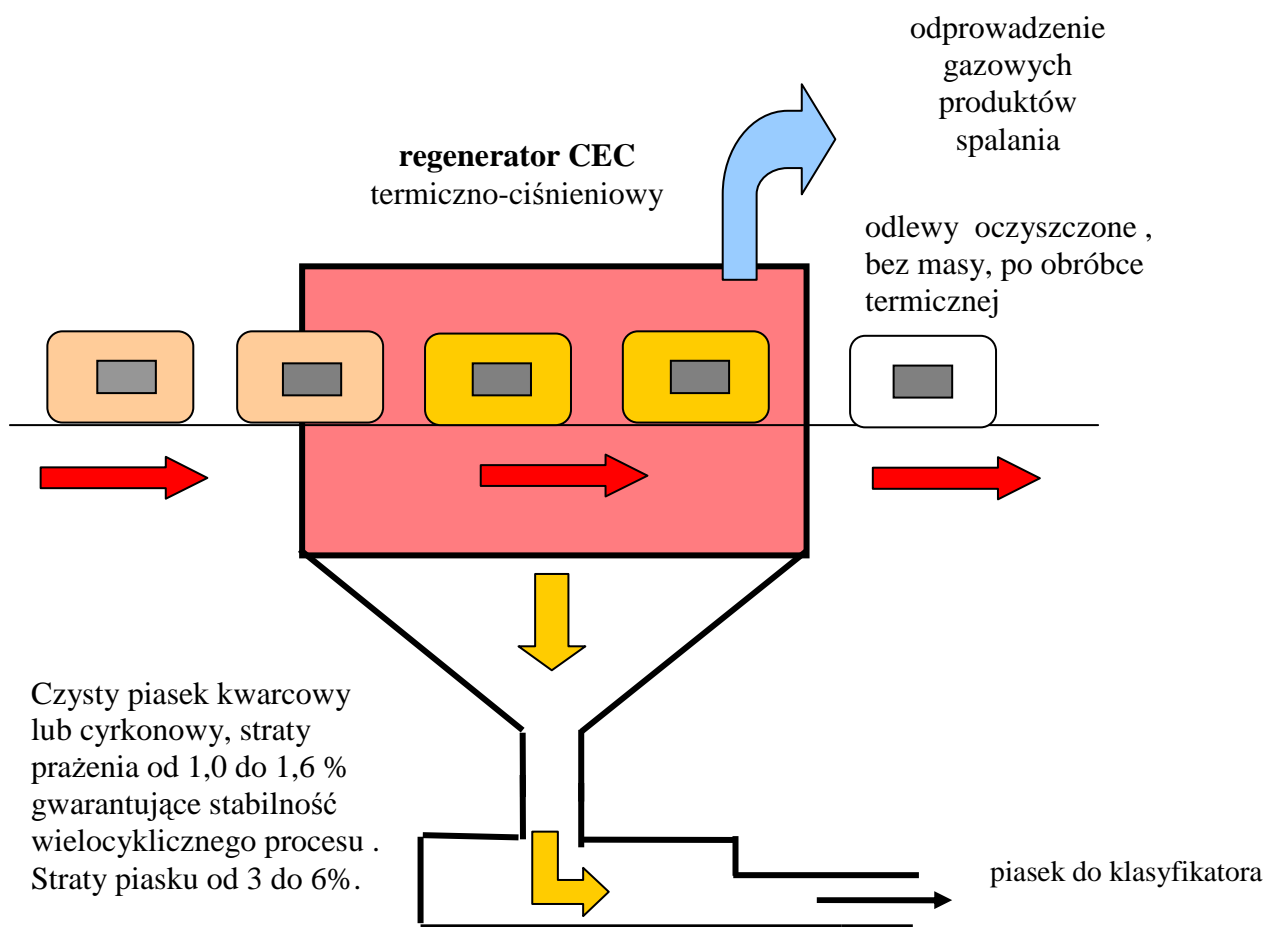
Ciekawym połączeniem regeneracji mechanicznej i pneumatycznej jest urządzenie fluidalne POHL`A. Poprzez dopływ powietrza od dołu urządzenia, wsypywanie masy od góry i poziomy ruch prętów wokół osi pionowej następuje intensywne ocieranie ziarn masy. Resztki spoiwa i zanieczyszczeń są usuwane z masy wraz z przedmuchującym ją powietrzem [7].

Przykładem komasowania urządzeń regenerujących w monobloki jest system COMPACT firmy CEC Sand Lion [8] obejmujący wybijanie masy, jej regenerację z równoczesną obróbką cieplną odlewów aluminiowych (rys.8.). Odlewy z linii zalewania transportowane są do urządzenia CEC, gdzie na skutek wysokiej temperatury i ciśnienia następuje wypalenie spoiwa i wybijanie masy (wydmuchanie) do zbiornika zamontowanego pod urządzeniem, skąd transportowana jest ona pneumatycznie do zbiorników. Równocześnie odlewy poddawane są obróbce cieplnej. Po opuszczeniu urządzenia odlewy są gotowe do czyszczenia i transportu.



Rys.7. Stanowisko regeneracji mechaniczno-termicznej firmy KGT.





Rys.8. System COMPACT łączący regenerację masy z obróbką cieplną odlewów aluminiowych firmy CEC Sand Lion.

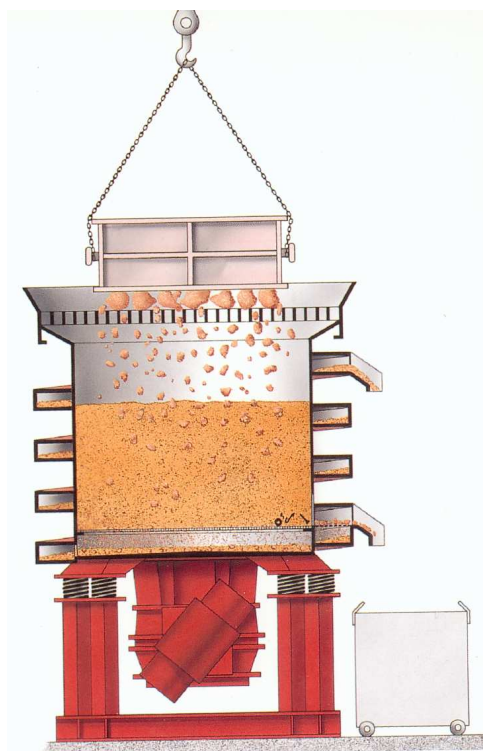
### 3. Tendencje rozwoju urządzeń do regeneracji.

Wśród podstawowych sposobów regenerowania osnowy mas nadal najtańszym, ze względu na najniższe nakłady inwestycyjne - w stosunku do piasku świeżego – pozostaje regenerat z regeneracji mechanicznej, a najdroższym regenerat pochodzący z regeneracji termicznej czy mokrej. Dlatego istnieje tendencja do stosowania różnych kombinacji metod regeneracji suchej przy ograniczaniu metod termicznych i mokrej.

W regeneracji suchej aktualnie stosowanymi urządzeniami wspomagającymi usuwanie spoiwa z powierzchni ziarn są kraty wibracyjne (rys.9)[2], kruszarki wibracyjne, urządzenia ocierające w wielostopniowych regeneratorach odśrodkowych, talerzowych, wirnikowych oraz spełniające tę rolę złoża fluidyzacyjne. Nowym urządzeniom stawiane są wymagania prostoty konstrukcji i obsługi, małych gabarytów, niezawodności działania, niskich kosztów eksploatacji i hermetyzacji procesu

**Powstawanie nowych technologii regeneracji wykorzystujących do oczyszczania ziarn parę wodną, promieniowanie podczerwone, gorący gaz, powietrze wzbogacone w tlen, plazmowe źródło ciepła, chłodzenie masy poniżej temperatury zamarzania itp. Pociąga za sobą projektowanie nowych urządzeń do regeneracji.**

**Godna odnotowania jest rozwijająca się za granicą tendencja budowania centralnych stacji regeneracji i przewoźnych systemów modułowych komasujących w monobloki kilka różnych urządzeń do regeneracji. Powstają one w krajach, gdzie reżim ochrony środowiska uniemożliwia wywożenie mas zużytych na wysypiska.**



*Rys. 9. Krata wibracyjna firmy Klein łącząca wybijanie odlewów ze wstępnym przygotowaniem masy do regeneracji.*

**Dzięki coraz lepszym możliwościom urządzeń oczyszczających masy zużyte, powiększa się zakres wykorzystywania regeneratów, nie tylko w przemyśle odlewniczym do wykonywania mas formierskich i rdzeniowych, ale również w przemyśle budowlanym i do rekultywacji terenów rekreacyjnych.**

#### **4. Literatura.**

1. Olszowski T. Koszty regeneracji piasku - Przegląd Odlewnictwa 1994 nr 5, s.175.
2. Küttner - Sympozjum pt. Odlewnicze technologie jutra.- Materiały Konferencyjne Instytut Odlewnictwa - Kraków 27.10.1994
3. MCombe C.: - New Horizons in Sand Reclamation, Part 1, The Foundryman, February 1995 s. 39
4. Maniowski Z. i inni - Regeneracja piasków z zużytych mas formierskich i rdzeniowych Wydawnictwo IO -GIFA 1994 - 8 Międzynarodowe Targi Odlewnicze, Düsseldorf
5. Reklamówka firmy Kunkel Wagner. Sand Reclamation Plants
6. Bilewski W. - Kierunki postępu technicznego w Odlewni Żeliwa w Śremie - Przegląd Odlewnictwa 1988, nr 5, s.149
7. Tordoff W.L. i inni :. Referat nr 49. Ciatf Technical Forum 99 s. 377
8. Gartner-Kaufmann - GIFA 94: Anlagen zur Regenerierung von MCombe C.: - The New Horizons in Reclamation - Part 2 - The Foundryman, March 1995.

# USTALENIA NORMY PN-EN 1248 DOTYCZĄCEJ WYMAGAŃ BEZPIECZEŃSTWA DLA URZĄDZEŃ DO OCZYSZCZANIA STRUMIENIOWO – ŚCIERNEGO

*Aleksander FEDORYSZYN<sup>1</sup>*

*Piotr ZYZAK<sup>2</sup>*

*Wydział Odlewnictwa  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica*

## 1. Wprowadzenie.

W ramach tzw. Nowego Podejścia (New Approach) opracowano nowe procedury wprowadzania dyrektyw dotyczących bezpieczeństwa wyrobów technicznych oraz ochrony pracy i zdrowia.

Dyrektywy Wspólnoty Gospodarczej zawierają jedynie podstawowe wymagania. Szczegółowe opracowanie wymagań ma natomiast miejsce w zharmonizowanych (z dyrektywami) normach europejskich, opracowanych na podstawie mandatu (zlecenia) przez CEN i CENELEC, a następnie wprowadzanych w niezmienionej formie przez krajowe jednostki normalizacyjne państw członkowskich UE.

Omawiana norma EN 1248 wspiera tzw. dyrektywę maszynową 98/37/EC, zmienioną przez dyrektywę 98/79/EC, a została opracowana przez Komitet Techniczny CEN/TC 202 „Maszyny Odlewnicze”, którego sekretariat jest prowadzony przez DIN. W opracowywaniu normy udział brali eksperci z Francji, Niemiec, Włoch, Szwecji i Wielkiej Brytanii.

Norma PN-EN 1248: 2001 została opracowana, przez Komitet Techniczny PKN nr.301 ds. Odlewnictwa, na podstawie tłumaczenia angielskiej wersji normy EN 1248:2001.

## 2. Cel i zakres normy.

Norma dotyczy producentów oczyszczarek strumieniowo-ściernych. Określa wymagania odnośnie, co do zabezpieczeń, pozwalających uniknąć przewidywalne, istotne zagrożenia podczas instalacji, rozruchu, eksploatacji, prac serwisowych i wycofywania z eksploatacji urządzeń do oczyszczania strumieniowo-ściernego.

Ustalenia normy dotyczą zespołów załadunku, transportu i rozładunku wyrobów oczyszczanych oraz oczyszczarek:

- wirnikowych o pracy okresowej, między innymi: oczyszczarki bębnowe, taśmowe i komorowe,
- wirnikowych o pracy ciągłej, oczyszczarki ze stołami obrotowymi, bębnowe, tunelowe lub karuzelowe,
- bębnowych lub taśmowych, w których wyroby oczyszczane ocierają się wzajemnie lub z użyciem ścierniwa,
- pneumatycznych, z dyszami sterowanymi ręcznie przez operatora wewnątrz komory roboczej, jak i zewnątrz.

Norma nie dotyczy oczyszczarek wirnikowych i pneumatycznych przejezdnych oraz hydrooczyszczarek.

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

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

Ustalenia normy dotyczą również użytkowników oczyszczarek strumieniowo-ściernych w zakresie szkolenia obsługi i wyposażenia w sprzęt ochronny.

Omawiana norma zawiera wykaz odpowiedników krajowych norm i dokumentów powołanych, zestawionych w poniższej tabelicy.

PN- EN 292- 1: 2000	Maszyny- Bezpieczeństwo- Pojęcia podstawowe i ogólne zasady projektowania- Podstawowa terminologia, metodologia
PN- EN 292- 2: 2000	Maszyny- Bezpieczeństwo- Pojęcia podstawowe i ogólne zasady projektowania- Zasady i wymagania techniczne
PN- EN 294-: 1994	Bezpieczeństwo maszyn- Odległości bezpieczeństwa uniemożliwiające sięganie kończynami górnymi do stref niebezpiecznych
PN- EN 349: 1999	Maszyny- Bezpieczeństwo- Minimalne odstępstwa zapobiegające zgnieceniu części ciała człowieka
PN- EN 418: 1999	Maszyny- Bezpieczeństwo- Wyposażenie do zatrzymywania awaryjnego; aspekty funkcjonalne- Zespoły projektowe
PN- EN 626- 1: 2001	Maszyny- Bezpieczeństwo- Zmniejszanie ryzyka dla zdrowia powodowanego substancjami niebezpiecznymi emitowanymi przez maszyny- Część 1: Zasady i wymagania dla producentów maszyn
PN- EN 953: 1999	Maszyny- Bezpieczeństwo- Osłony- Ogólne wymagania dotyczące projektowania i budowy osłon stałych i ruchomych
PN- EN 954: 2001	Maszyny- Bezpieczeństwo- Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem- Część 1: Ogólne zasady projektowania
PN- EN 999: 2002	Maszyny- Bezpieczeństwo- Umiejscowienie wyposażenia ochronnego ze względu na prędkości zbliżania części ciała człowieka
PN- EN 1037: 2001	Maszyny- Bezpieczeństwo- Zapobieganie niespodziewanemu uruchomieniu
PN- EN 1070: 2003	Maszyny- Bezpieczeństwo- Terminologia
PN- EN 1088: 2001	Maszyny- Bezpieczeństwo- Urządzenia blokujące sprzężone z osłonami- Zasady projektowania i doboru
PN- EN 1005- 3: 2002 (U)	Maszyny- bezpieczeństwo- Możliwości fizyczne człowieka- Część 3: Zalecane wartości graniczne sił przy obsłudze maszyn
PN- EN 982: 1998	Bezpieczeństwo maszyn- Wymagania bezpieczeństwa dotyczące układów hydraulicznych i pneumatycznych i ich elementów- Hydraulika
PN- EN 60204- 1: 2001	Bezpieczeństwo maszyn- Wyposażenie elektryczne maszyn- Część 1: Wymagania ogólne
PN- EN 775: 1998, PN- EN 775: 1998/AC: 2002 (U)	Roboty przemysłowe- bezpieczeństwo
PN- EN 620: 2002 (U)	Urządzenia i systemy transportu ciągłego- Wymagania bezpieczeństwa i EMC dotyczące przenośników taśmowych stałych do transportu materiałów masowych
PN- EN 60529: 2002 (U)	Stopnie ochrony zapewniane przez obudowy (kod IP)
PN-EN 271: 1998, PN-EN 271:1998/A1: 2002	Sprzęt ochronny układu oddechowego- Aparaty węzowe sprężonego powietrza wyposażone w kaptur do użycia podczas obróbki strumieniowo- ściernej. Wymagania, badanie, znakowanie
PN- EN 286- 1: 2001, PN- EN 286- 1: 2001/Ap 1: 2002	Proste nieogrzewane płomieniem zbiorniki ciśnieniowe ogólnego przeznaczenia
PN- EN 1265: 2002	Procedura badania hałasu maszyn i urządzeń odlewniczych
PN- EN ISO 11688- 1: 2002	Akustyka- Zalecany sposób postępowania przy projektowaniu maszyn i urządzeń o ograniczonym hałasie- Część 1: Projektowanie
PN- EN ISO 11124- 1: 2000	Przygotowanie podłoży stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów- Wymagania techniczne dotyczące metalowych ścierniw stosowanych w obróbce strumieniowo- ściernej- Część 1: Ogólne wprowadzenie i klasyfikacja
PN- EN ISO 11126- 1: 2000	Przygotowanie podłoży stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów- Wymagania techniczne dotyczące niemetalowych ścierniw stosowanych w obróbce strumieniowo- ściernej- Część 1: Ogólne wprowadzenie i klasyfikacja

W omawianej normie są podane wymagania odnośnie, co do stosowanego ścierniwa. Stwierdza się, że wytwórca powinien dostarczyć pisemne oświadczenie, że nie są przekroczone następujące stężenia szkodliwych substancji:

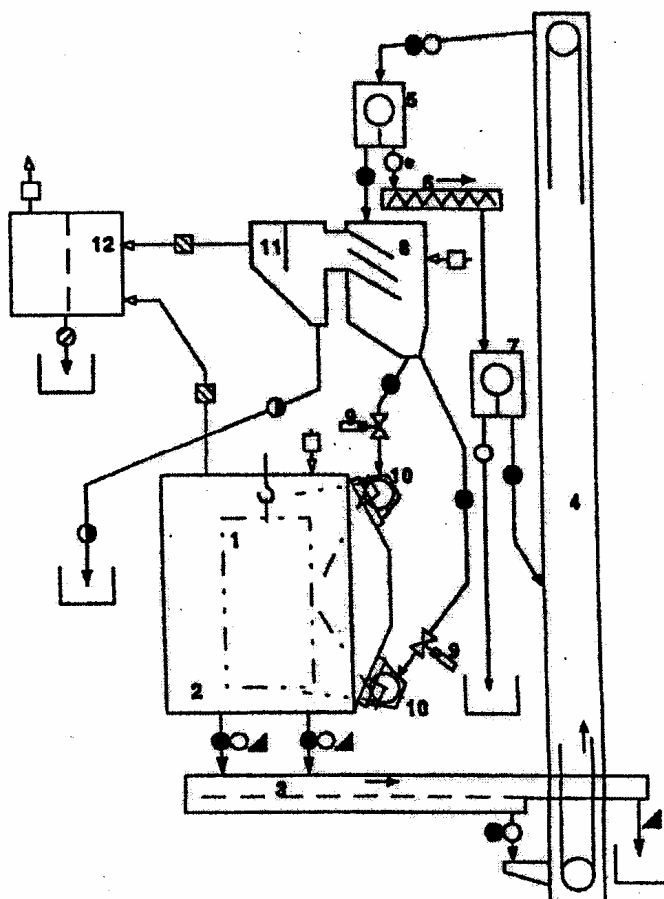
- antymon, ołów, kadm, cyna, arsen, beryl, chrom, kobalt, nikiel – razem 2 % części wagowych,
- arsen, beryl, chromiany ( $\text{CrO}_3$ ), kobalt i nikiel – razem 0,2 % części wagowych,
- beryl, chromiany, kobalt, kadm – oddzielnie 0,1 % części wagowych,
- krzemionki  $\text{SiO}_2$  – 2% części wagowych.

### 3. Ustalenia normy

W normie omówiono możliwe uszkodzenia ciała oraz zagrożenia zdrowia. Wymieniono sytuacje, w których mogą wystąpić omawiane zagrożenia wraz z podaniem środków bezpieczeństwa, zgodnie z powołanymi normami i/lub środkami specjalnymi.

Wymienione w normie wymagania bezpieczeństwa i/lub środki zapobiegawcze dotyczą zespołów (rys.1.):

- wirnika rzutowego,
- komory roboczej oczyszczarki wirnikowej i pneumatycznej,
- transportu ścierniwa i zanieczyszczeń,
- zasilania, napędu i sterowania,
- załadowniczych i rozładowniczych wyrobów oczyszczanych.



Rys.1. Schemat oczyszczarki: 1- zawieszka, 2- komora robocza, 3- podajnik wibracyjny, 4- przenośnik kubekowy, 5,7- oddzielacze magnetyczne, 6- podajnik śrubowy, 8- klasyfikator magnetyczny, 9 - zawory odcinające, 10- wirniki rzutowe, 11- komora rozprężna, 12- odpylacz

Środki bezpieczeństwa dotyczą ochrony głównie przed uszkodzeniem mechanicznym ciała obsługujących. Uwzględniono również zabezpieczenia przed możliwymi zagrożeniami elektrycznymi (porażenie prądem), hałasem, zatruciem substancjami szkodliwymi, pożarem i wybuchem.

Zabezpieczenia przed zagrożeniami powinni wprowadzić producenci urządzeń już na etapie projektowania konstrukcji. Do producentów należy także obowiązek wyposażenia i dostarczania następujących informacji:

*Znakowanie* – urządzenie powinno posiadać trwałą tabliczkę, z co najmniej następującymi danymi: nazwa maszyny, wytwórca i dostawca, typ, numer seryjny, rok budowy, udźwig urządzeń załadunku i rozładunku, pobór mocy (np. wyposażenia elektrycznego, instalacji sprężonego powietrza, hydraulicznej, wodnej, chłodzącej i smarowniczej) oraz inne dane, właściwe dla zastosowań specjalnych,

*Dane techniczne i opis bezpieczeństwa* – dokumentacja techniczna powinna podawać informacje dotyczące unikania zagrożeń, szkodliwych emisji dźwięku, wibracji, promieniowania, gazów i pyłów. Powinna też zawierać informacje, dotyczące urządzeń bezpieczeństwa i środków zapobiegawczych w zamierzonym użytkowaniu, transporcie, montażu i demontażu oraz informacje o zabezpieczeniach w przypadku zagrożeń zewnętrznych i awarii systemów.

*Instrukcja obsługi* – jest wymagane dostarczanie instrukcji działania oraz informowania użytkownika o obowiązku szkolenia obsługi.

*Szkolenie obsługi* – producent urządzeń powinien poinformować użytkownika o konieczności szkolenia obsługi i informowania o niebezpieczeństwach towarzyszących procesowi.

*Podręcznik serwisowy* – powinien być dostarczany nabywcy urządzeń; powinien zawierać instrukcje badań i przeglądów okresowych. W podręczniku serwisowym należy podać instrukcje: bezpieczeństwa, regulacji, wyważania wirników oraz oprzyrządowania pomiarowego. Ponadto powinien zawierać zalecenia dotyczące utrzymania ruchu wraz z listą części zamiennych, zużywających się oraz wymagania, co do osobistego wyposażenia ochronnego.

#### 4. Wnioski końcowe.

W omawianej normie określono wymagania dotyczące przewidywalnych, znaczących zagrożeń w odniesieniu do projektów, konstrukcji i instalacji, podczas rozruchu, działania, prac serwisowych i wycofywania z eksploatacji oczyszczarek strumieniowo- ściernych.

Ustalenia normy dotyczą oczyszczarek wirnikowych i pneumatycznych, wykorzystujących siłę odśrodkową lub sprężone powietrze jako czynnik napędzający ścierniwo.

Podano wszystkie przewidywalne, znaczące zagrożenia, które mogłyby się pojawić podczas użytkowania oczyszczarek.

*Opracowano w ramach pracy KBN nr 10.10.170.244*

#### 5. Literatura.

- [1] Pn- EN 1248: 2001. Maszyny Odlewnicze- Wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń do oczyszczania strumieniowo- ściernego

## WSTĘPNE BADANIA PROCESU PODCIŚNIENIOWEGO CHŁODZENIA MASY FORMIERSKIEJ

*Krzysztof Smyk<sup>1</sup>*  
*Piotr Szczurek<sup>2</sup>*  
*Marcin Ślęzyk<sup>3</sup>*  
*Mateusz Śmietana<sup>4</sup>*

*Wydział Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej  
im. Stanisława Staszica*

### 1. Wstęp.

W ramach poprzednich konferencji organizowanych przez firmę TECHNICAL [4] szeroko omówiono zagadnienia związane z problematyką procesów homogenizacji i chłodzenia masy formierskiej. Przedstawiono także analizę stanu mechanizacji powyższych procesów. Wyeksponowano techniczno-ekonomiczne aspekty uzasadniające celowość stosowania urządzeń homogenizująco- chłodzących. Korzystny wpływ omawianych urządzeń podkreślony jest w wielu publikacjach [1,2,4,5,7,21]. Ogólnie, można stwierdzić, że dzięki nim ułatwione jest utrzymanie stabilnych właściwości technologicznych masy formierskiej [4,15,21].

Jedną z możliwości intensyfikacji chłodzenia masy formierskiej jest obniżenie ciśnienia powietrza nad warstwą masy. Aktualnie jednak rozpowszechnienie powyższego wariantu chłodzenia w praktyce odlewniczej nie jest duże. Dostępne materiały źródłowe nie stwarzają podstaw do kompleksowej oceny powyższego procesu. W referacie przedstawiono opis stanowisk badawczych oraz rezultaty wstępnych badań procesu podciśnieniowego chłodzenia.

### 2. Współczesne urządzenia realizujące procesy homogenizacji i chłodzenia masy.

Homogenizacja polega na uśrednieniu stanu masy zwrotnej, głównie w zakresie temperatury i wilgotności. Chłodzenie powinno doprowadzić do obniżenia temperatury masy do zakresu poniżej 300C [4]. W praktyce dopuszczalna wartość jest związana z temperaturą i wilgotnością powietrza w odlewni. Przyjmuje się [21], że temperatura masy nie powinna przekraczać temperatury otoczenia o więcej niż 80<sup>0</sup>C. Procesy homogenizacji i chłodzenia najkorzystniej jest realizować w trakcie wybijania lub bezpośrednio po wybiciu odlewów.

Stosowane urządzenia do homogenizacji i chłodzenia masy obiegowej charakteryzują się dużą różnorodnością. Podział pomiędzy tymi dwoma grupami urządzeń jest umowny ze względu na równoczesne występowanie procesów homogenizacji i chłodzenia w każdym typie urządzenia. Rozróżnia się homogenizatory zbudowane są na bazie mieszarek oraz homogenizatory bębnowe. Urządzenia te zwykle charakteryzują się stosunkowo dużym zasobem masy przy małym rozwinięciu jej powierzchni. Chłodziarki masy są urządzeniami zbudowanymi zwykle na bazie przenośników. Charakterystyczna dla tej grupy urządzeń jest możliwość uzyskania rozwiniętej powierzchni masy

---

<sup>1</sup> *dr inż.*

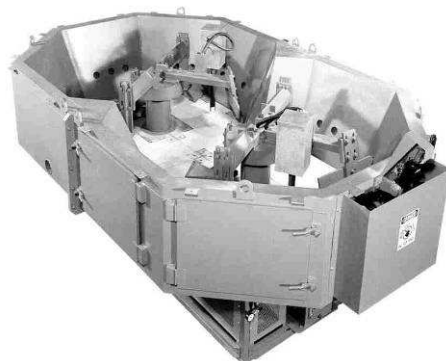
<sup>2</sup> *mgr inż.*

<sup>3</sup> *mgr inż.*

<sup>4</sup> *mgr inż.*

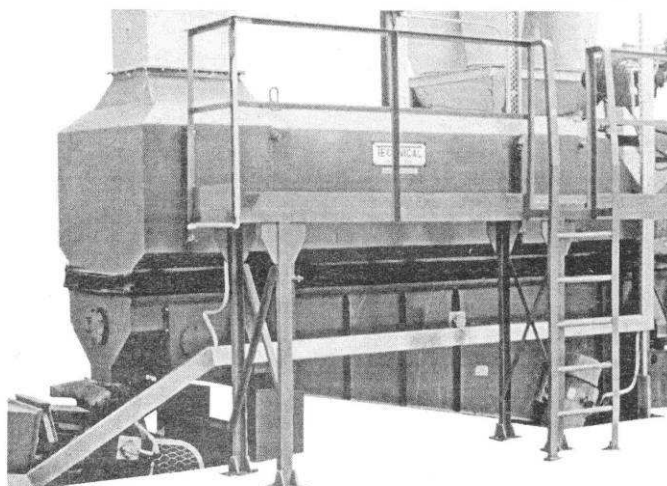
ułatwiającej wymianę ciepła i wilgoci pomiędzy masą a przepływającym powietrzem chłodzącym.

Przykładem urządzenia łączącego w sobie cechy homogenizatora i chłodziarki może być rozwiązanie firmy Simpson przedstawione na rysunku 1.



Rys 1. Urządzenie do homogenizacji i chłodzenia masy typu Simpson Multi-Cooler [15].

Rysunek 2 prezentuje przedstawiciela chłodziarek przenośnikowych – rozwiązanie firmy Technical z Nowej Soli

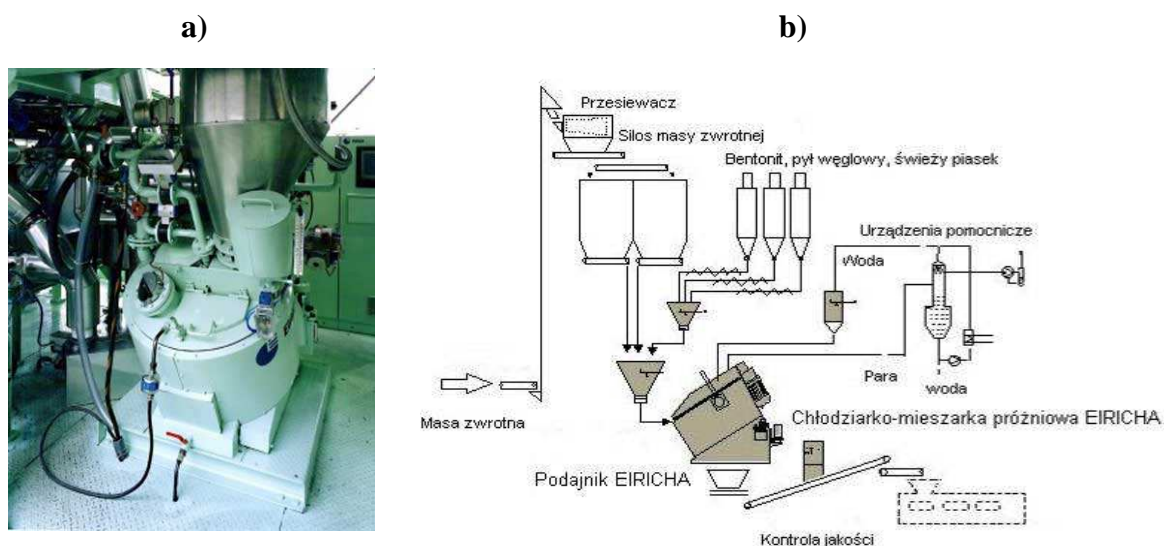


Rys 2. Chłodziarka wibrofluidyzacyjna CFM firmy TECHNICAL Nowa Sól [15].

Firma Eirich proponuje realizację chłodzenia podczas mieszania masy (rys. 3) [1,2,5,7]. Szczegółowy opis rozwiązania przedstawiono w ramach referatu [4] prezentowanego na jednej z poprzednich konferencji organizowanej przez firmę Technical [4].

Przestrzeń robocza mieszarki połączona jest z instalacją podciśnieniową. Podciśnienie intensyfikuje proces parowania wody stanowiącej wilgotność masy i dodawanej do niej, sprzyjając procesowi chłodzenia masy. Proces może być kontrolowany przez regulację szybkości obniżania ciśnienia. Porównując rozwiązania układów z klasyczną chłodziarką i mieszarką przystosowaną do chłodzenia podciśnieniowego, producent wskazuje [3,9,15] na oszczędności związane z uproszczeniem systemu obiegu masy. Wynika to ze stosowania urządzenia spełniającego równocześnie dwie funkcje oraz eliminacją niektórych urządzeń transportowych. W ciągu technologicznym unika się stosowania dodatkowych zasobników oraz instalacji odpylających.





Rys 3. System Evactherm firmy Eirich [9,15]:  
a – mieszarko-chłodziarka masy, b – schemat instalacji.

### 3. Zarys podstaw procesu chłodzenia.

Analiza procesu chłodzenia masy formierskiej jest bardzo trudna z uwagi na zachodzące równocześnie nieustalone procesy wymiany ciepła i masy. Ogólnie można stwierdzić, że występuje duża zbieżność zjawisk występujących w procesie chłodzenia i suszenia materiałów porowatych. Wynikają stąd możliwości stosowania pojęć zaczerpniętych z techniki suszenia materiałów do opisu procesów chłodzenia. Przykładowo w teorii chłodziarek masy formierskiej wykorzystuje się również do analizy procesu wykres  $i-x$  (Moliera) [1,19]. Analiza [21] oparta o wykres  $i-x$  zakłada warunki równowagi termodynamicznej i opiera się na równaniach bilansu ciepła i wilgoci [6]. Uwzględnienie w procesach chłodzenia masy kinetyki wymiany wilgoci napotyka na duże trudności i wymaga przeprowadzenia serii badań procesu wymiany wilgoci pomiędzy masą a powietrzem, prowadzonych najczęściej w warunkach izotermicznych. Powyższa metoda bazująca na izotermach sorpcji i desorpcji wilgoci opisana jest w pracy [17,21]. Należy zaznaczyć, że wyniki doświadczeń w tym zakresie odnoszące się do mas formierskich są bardzo skromne. W rzeczywistych warunkach proces chłodzenia ma charakter nieustalony.

W oparciu o wykres  $i-x$  można wykazać, że najbardziej efektywne jest chłodzenie wyparne wykorzystujące bardzo dużą wartość ciepła parowania wody [1,6,19,21]. Czynniki intensyfikujące proces odparowania wody będą zarazem czynnikami sprzyjającymi procesowi chłodzenia masy formierskiej. Jakościowy charakter powyższego wpływu można w uproszczeniu przeanalizować w oparciu o wzór Daltona [14] ujmujący strumień masowy wody odparowanej z powierzchni swobodnej:

$$W=(a+b*v)(p''-p_w)*A*p_o/p$$

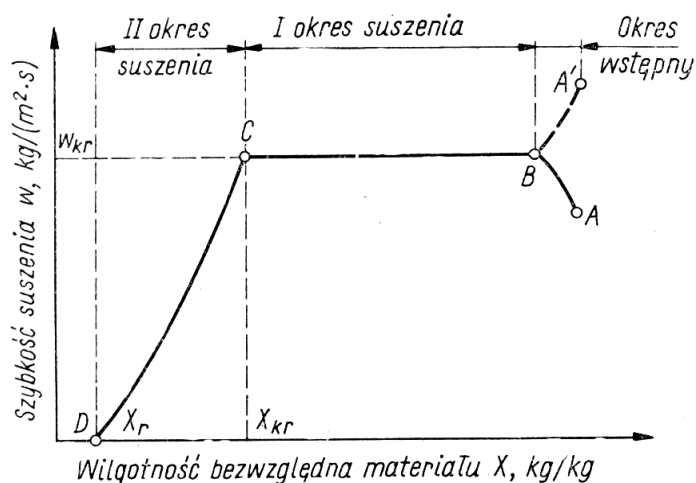
w którym:

- $a$ - współczynnik uwzględniający ruch grawitacyjny powietrza w zależności od temperatury powierzchni cieczy i temperatury powietrza,
- $b$ - współczynnik uwzględniający wpływ prędkości przepływu powietrza nad powierzchnią odparowania,

$v$ - prędkość przepływu powietrza nad powierzchnią odparowania,  
 $p''$ - ciśnienie cząstkowe pary wodnej w warstwie granicznej przy stanie nasycenia  
i temperaturze równej temperaturze powierzchni wody,  
 $p_w$ - ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu,  
 $A$ - powierzchnia odparowania,  
 $p_o$ - ciśnienie odniesienia ( $\sim 1013$  hPa),  
 $p$ - ciśnienie całkowite nad powierzchnią odparowania,

Analiza powyższego równania pozwala wymienić wśród czynników intensyfikujących proces odparowania: wzrost prędkości przepływu powietrza, niską temperaturę i wilgotność powietrza chłodzącego (wpływ na  $p_w$ ), zwiększenie powierzchni odparowania, a także zmniejszenie ciśnienia nad powierzchnią odparowania.

W stosunku do odparowania z powierzchni swobodnej ruch wilgoci w ciałach porowatych jest bardziej złożony i wiąże się z transportem wilgoci wewnątrz materiału. Charakter tych procesów można prześledzić na podstawie analizy tzw. krzywych szybkości suszenia [17].

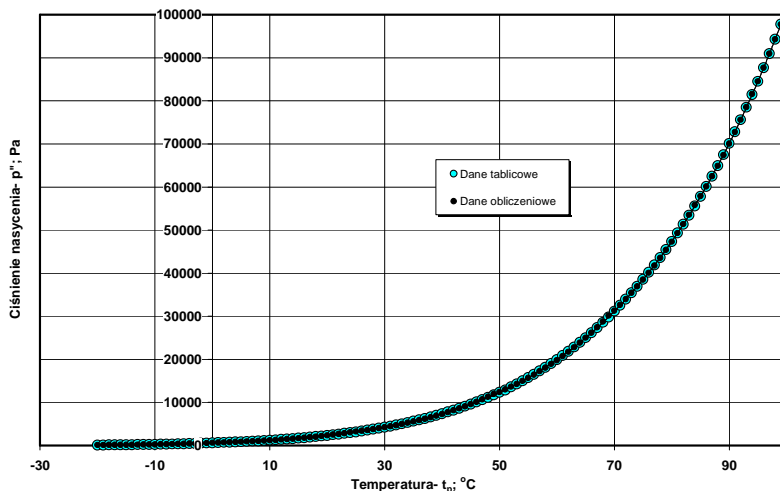


Rys 4. Krzywe szybkości suszenia materiału [17].

Okres stałej szybkości suszenia (BC) wiąże się z odparowaniem wody z powierzchni materiału („swobodnej”). Okres malejącej szybkości suszenia (CD) warunkowany jest ruchem wilgoci wewnątrz materiału. W procesie suszenia zwykle występuje przekazywanie ciepła od czynnika suszącego do materiału, ale nie jest to regułą. Na wykresie 4 linią przerywaną (A`B) zaznaczono odcinek wstępnego okresu suszenia, kiedy temperatura materiału jest wyższa od temperatury czynnika. Biorąc pod uwagę, że masa poddawana procesowi chłodzenia może posiadać zróżnicowany stopień homogenizacji lokalnie mogą występować obszary, w których ciepło niezbędne do odparowania wilgoci doprowadzane jest z zewnątrz a więc tak jak to ma zwykle miejsce w procesie suszenia. Kształt krzywej opisującej II okres suszenia wiąże się ze strukturą materiału [17]. Analizując literaturę z zakresu suszenia materiałów można stwierdzić, że opis procesów transportu wilgoci i ciepła w materiałach ziarnistych jest bardzo złożony, a scharakteryzowanie jego kinetyki nawet w warunkach ustalonych jest bardzo trudne. Powyższą uwagę można również odnieść do procesów chłodzenia masy formierskiej.

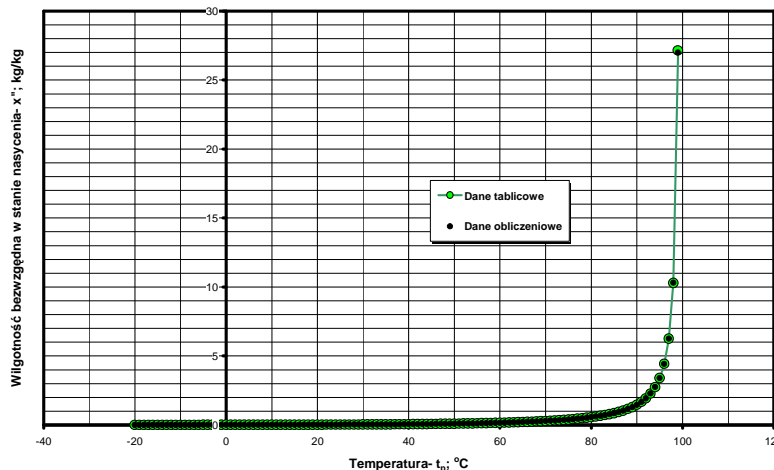
Efektywne wykorzystanie jako czynnika chłodzącego strumienia powietrza wiąże się z zapewnieniem takich warunków przebiegu procesu chłodzenia, aby stan powietrza po procesie był bliski stanowi nasycenia. Przy ciśnieniu atmosferycznym ciśnienie cząstkowe

pary wodnej odpowiadające stanowi nasycenia oraz bezwzględna zawartość wilgoci w tym stanie rośnie wraz z temperaturą - rys. 5, 6. Jednak jak wynika z rysunku 6 możliwość osiągnięcia dużych wartości wilgotności powietrza (woda w postaci pary) występuje przy stosunkowo wysokich jego temperaturach. W zakresie temperatury powietrza poniżej 600 C ciśnienie nasycenia ma stosunkowo małą wartość, w związku, z czym proces chłodzenia w tym zakresie jest utrudniony. Odwołując się do wzoru (1) można stwierdzić, że siła napędowa procesu odparowania określona różnicą odpowiednich ciśnień (wyrażenie w nawiasie) może stosunkowo szybko maleć, a efekty chłodzenia muszą być osiągnięte przy pomocy innych czynników - np. zwiększenie prędkości przepływu powietrza.



Rys 5. Zależność ciśnienia cząstkowego pary wodnej-  $p$  w powietrzu w stanie nasycenia od temperatury. Dane tablicowe wg [8].

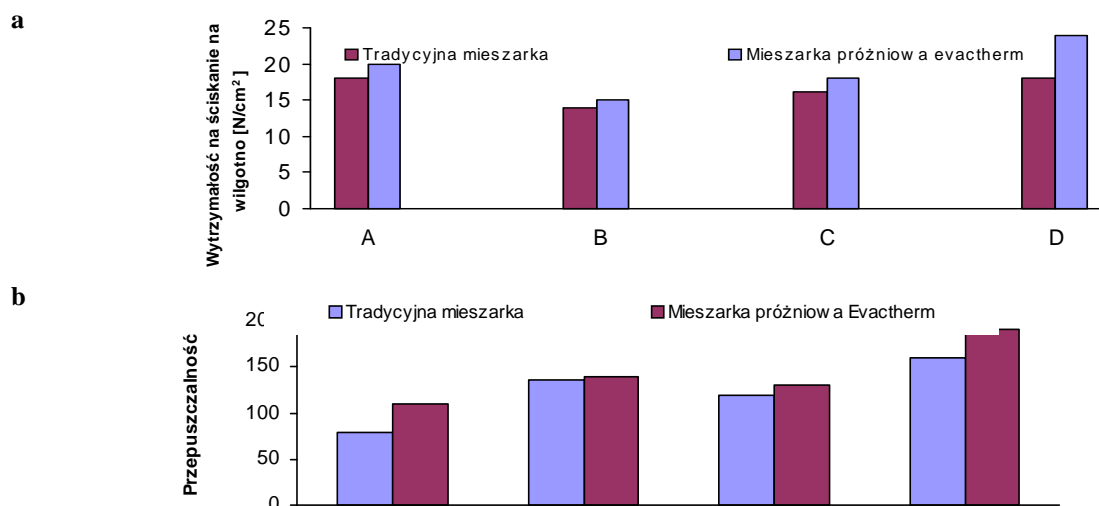
Zastosowanie w tym zakresie temperatury podciśnienia doprowadzi również do intensyfikacji procesu odparowania wilgoci z masy formierskiej, a tym samym poprawi efekty chłodzenia (zgodnie z prawem Daltona ciśnienie powietrza wilgotnego jest sumą ciśnienia cząstkowego pary wodnej i powietrza suchego). Wpływ ten ujmuje także wzór (1). Zmniejszanie ciśnienia zewnętrznego (całkowitego) powoduje obniżanie temperatury wrzenia wody (w której następuje intensywne parowanie w całej objętości). Charakter tej zależności oddaje krzywa z rysunku 5 po zamianie zmiennych (zamiana osi układu). Należy także dodać, że zmniejszenie ciśnienia powoduje zwiększenie bezwzględnej zawartości wilgoci w stanie nasycenia (przy danej temperaturze). Proces chłodzenia podciśnieniowego ma niewątpliwie uzasadnienie teoretyczne. Pośrednim dowodem jest także stosowanie metody podciśnieniowej w suszarnictwie [17].



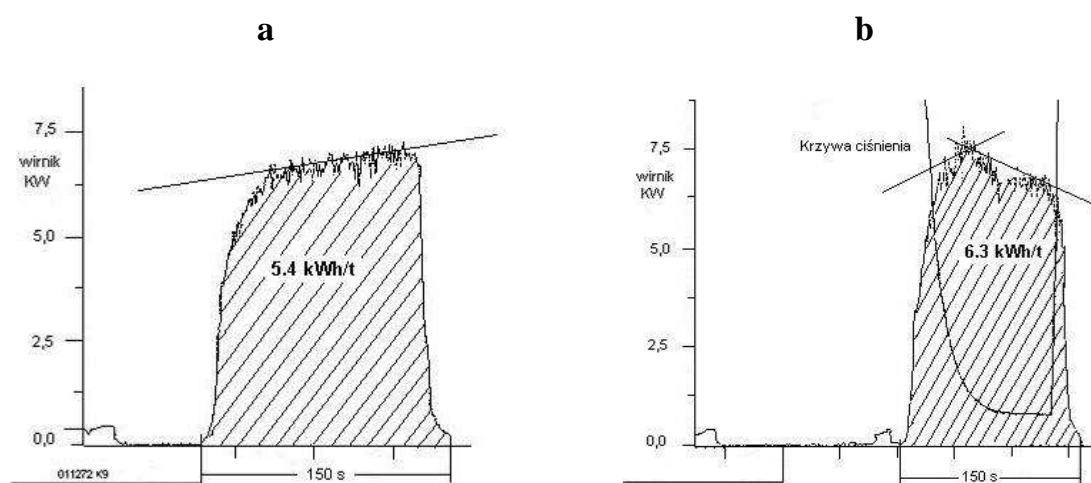
Rys 6. Zależność bezwzględnej wilgotności powietrza-  $x$  w stanie nasycenia od temperatury. Dane tablicowe wg [8].

#### 4. Efekty działania systemu Evactherm.

System Evactherm obejmuje procesy sporządzania i podciśnieniowego chłodzenia masy. Publikacje charakteryzujące rozwiązanie eksponują zalety systemu w aspekcie struktury systemu przygotowania masy oraz stabilizacji i poprawy właściwości technologicznych [3,9]. Dane tego typu [9] zamieszczono na rysunku 7.



Rys 7. Badania porównawcze różnych mas formierskich:  
a- wytrzymałość na ściskanie na wilgotno, b- przepuszczalność. [9].



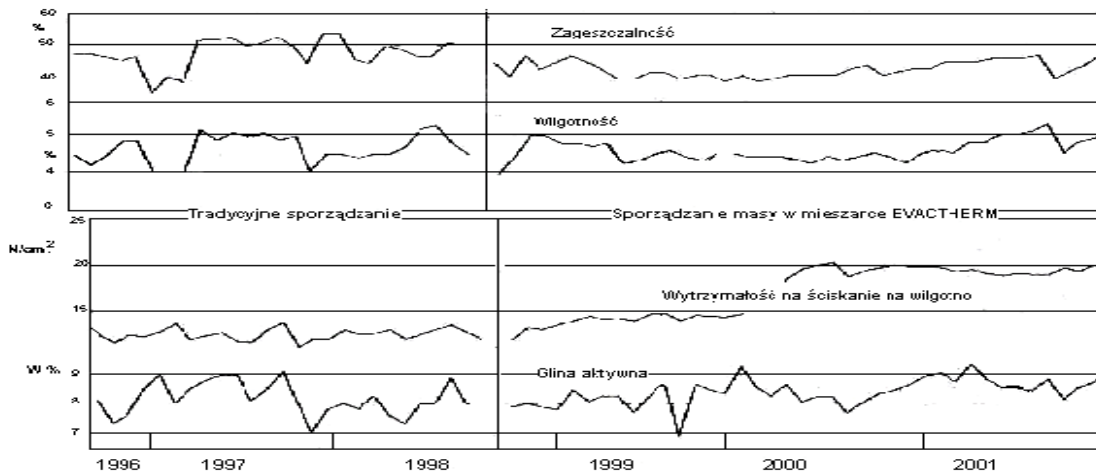
Rys 8. Energia mieszania a- uzyskana w tradycyjnej metodzie sporządzania masy,  
b- uzyskana w metodzie sporządzania masy EVACTHERM [9]

Prezentowane wskaźniki energetyczne odnoszą się jedynie do procesu sporządzania masy – rys. 8, nie mają charakteru kompleksowego oceniającego łączne nakłady związane z pracą całej instalacji.

Przedstawione efekty stabilizacji właściwości masy- rys. 9 dotyczą pracy dwóch różnych systemów przygotowania masy (przed i po modernizacji) - trudno więc wiązać otrzymane wyniki jednoznacznie z korzystnym wpływem realizacji procesu chłodzenia i sporządzania podciśnieniowego masy. W przytaczanych publikacjach brak jest również szerokich analiz procesu chłodzenia oraz danych charakteryzujących fizyczną stronę procesu.

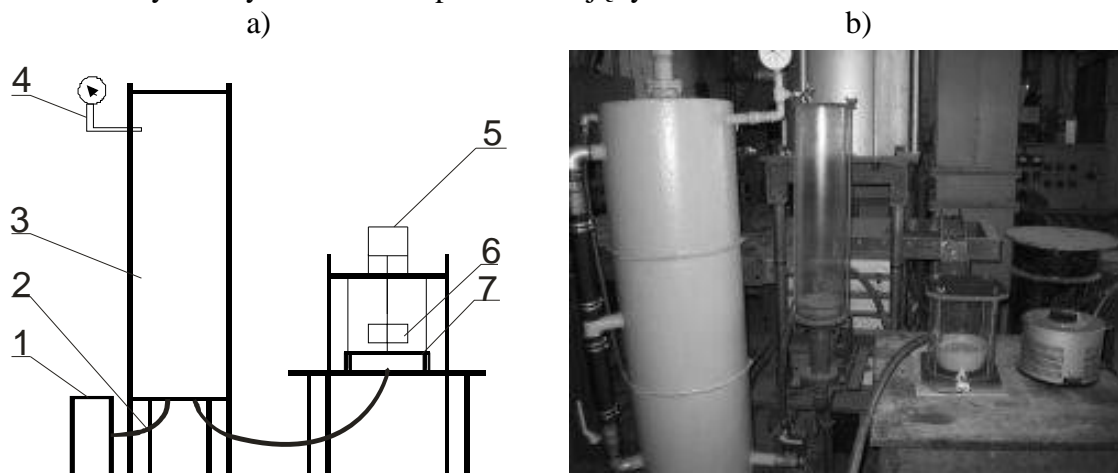
## 5. Wstępne badania procesu podciśnieniowego chłodzenia masy.

Uzyskanie danych charakteryzujących proces podciśnieniowego chłodzenia masy



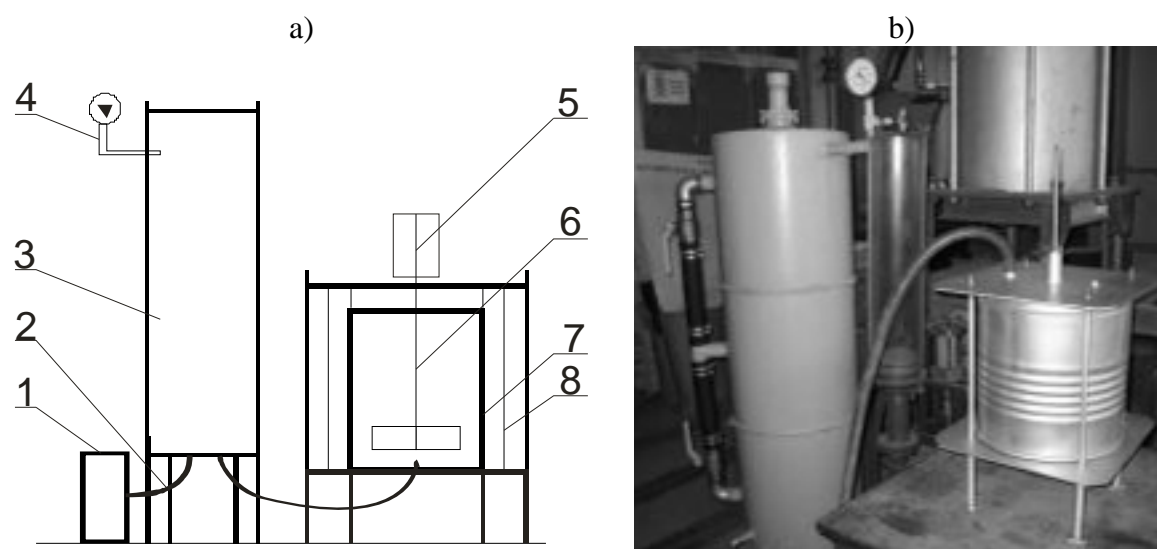
Rys. 9. Właściwości mas formierskich sporządzanych dwiema metodami [9].

wymaga prowadzenia badań w ściśle sprecyzowanych warunkach. Podobnie jak w przypadku większości pomiarów cieplnych opracowanie odpowiedniej metodyki pomiarowej oraz wykonanie stanowisk badawczych wymaga dużego nakładu pracy oraz środków. Na wydziale Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w ramach prac badawczych Katedry Mechanizacji, Automatyzacji i Projektowania Odlewni wykonano stanowiska badawcze oraz przeprowadzono serię pomiarów wstępnych procesów chłodzenia masy, w tym również chłodzenia podciśnieniowego. Schematy wraz z opisem oraz widok wykonanych stanowisk przedstawiają rysunki 10 do 12.



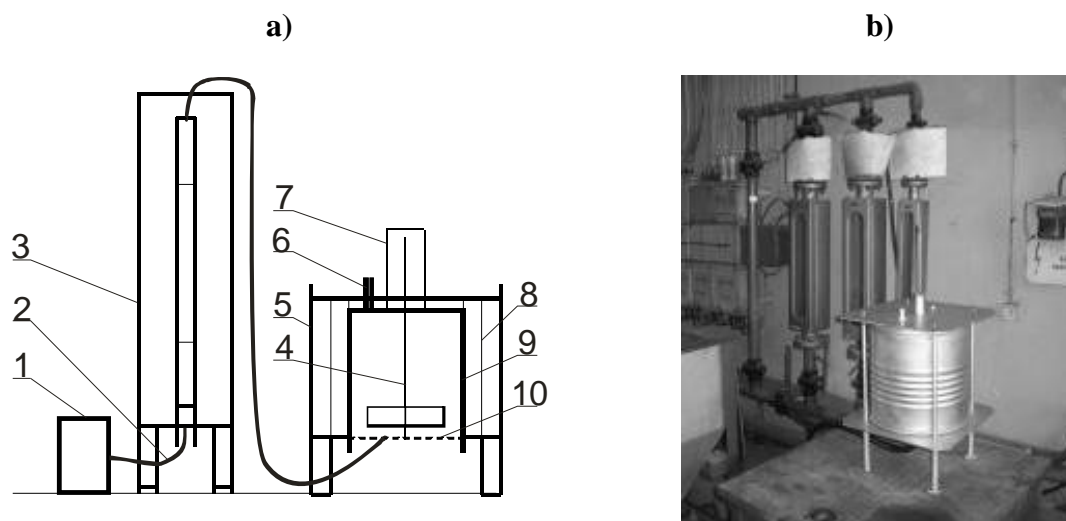
Rys. 10. Schemat- a i widok- b stanowiska badawczego: 1-pompa, 2- przewody doprowadzające, 3- zbiornik podciśnieniowy, 4- wakuometr, 5- silnik napędzający mieszadło, 6- mieszadło, 7- naczynie grzewcze.

Stanowisko do badań w małej skali- rys. 10, ma na celu określenie wielkości charakteryzujących materiał poddawane procesom suszenia i chłodzenia prowadzonym w różnorodnych warunkach. Przykładowo na rysunku 13,14 przedstawiono krzywe suszenia piasku formierskiego sporządzone w trakcie badań. Na stanowisku można realizować także proces suszenia czy chłodzenia podciśnieniowego. Przykładowy wpływ oddziaływania podciśnieniowego na zmianę wilgotności materiału obrazuje rysunek 15.

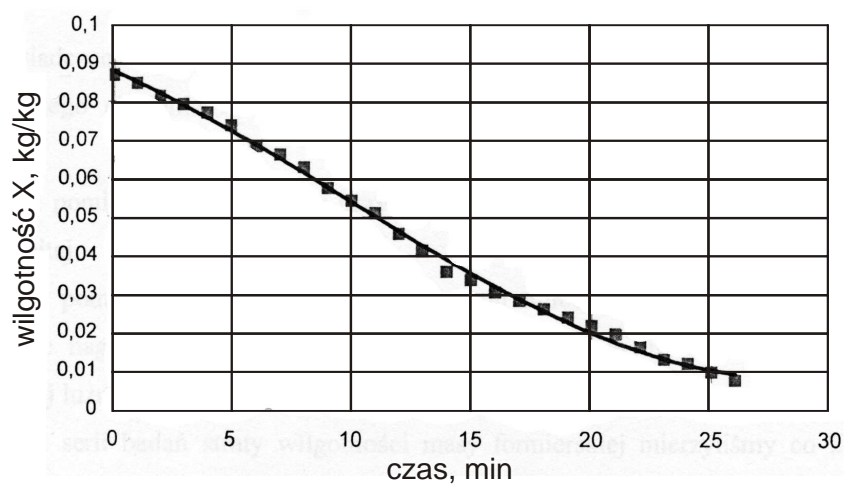


Rys. 11. Schemat- a i widok- b stanowiska badawczego: 1-pompa, 2- przewody doprowadzające, 3- zbiornik podciśnieniowy, 4- wakuometr, 5- silnik napędzający mieszadło, 6- mieszadło, 7- pojemnik z gorącą masą, 8- izolacja cieplna.

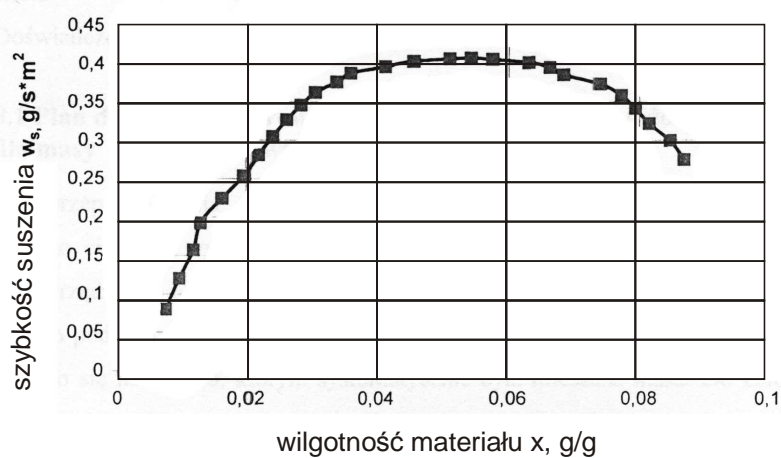
W skali laboratoryjnej wykonano model mieszarki wyposażonej w instalację podciśnieniową – rys.11. Układ jest izolowany cieplnie, w systemie istnieje możliwość regulacji prędkości obrotowej mieszadła oraz dobór parametrów procesu obniżania ciśnienia w przestrzeni technologicznej. Konstrukcja układu umożliwia współpracę z systemem nadciśnieniowego przedmuchiwania złoża strumieniem powietrza. Możliwe jest więc porównywanie efektów klasycznych procesów homogenizacji i chłodzenia masy z efektami osiągniętymi podczas chłodzenia podciśnieniowego. Przykładowe wyniki tego typu pomiarów zamieszczono na rysunku 16. Obecnie prowadzone są dalsze prace związane z wyposażeniem stanowisk w systemy pomiarowe ułatwiające automatyzację pomiarów.



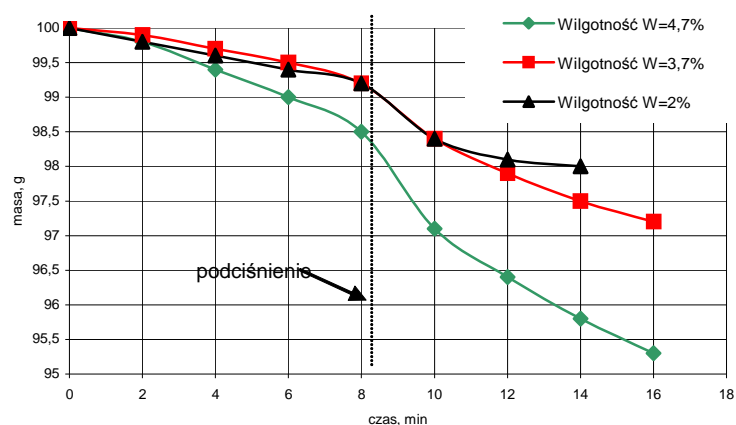
Rys. 12. Schemat- a i widok- b stanowiska badawczego: 1-pompa, 2- przewody doprowadzające, 3- rotametr, 4- mieszadło, 5- obudowa, 6- wylot powietrza, 7- silnik napędzający mieszadło, 8- izolacja cieplna, 9- pojemnik z gorącą masą, 10- dno perforowane.



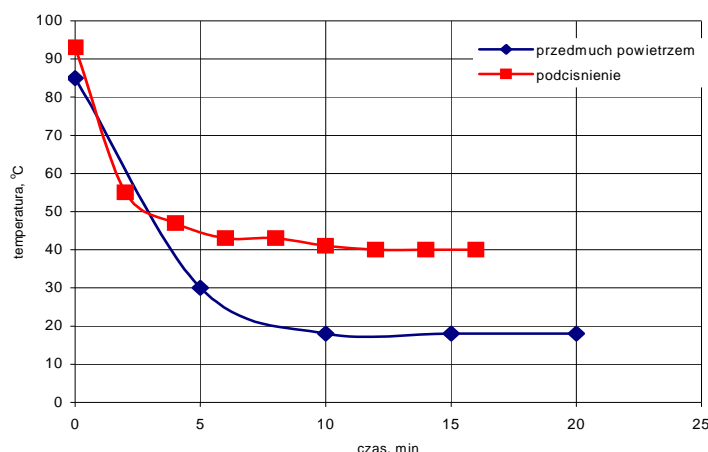
Rys. 13. Krzywa suszenia dla piasku formierskiego o  $W=8\%$ ,  $t=70^\circ\text{C}$ .



Rys. 14. Krzywa szybkości suszenia dla piasku formierskiego o  $W=8\%$ ,  $t=70^\circ\text{C}$ .



Rys. 15. Wpływ podciśnienia na zmianę wilgotności masy formierskiej  $T=50^\circ\text{C}$ .



Rys. 16. Porównanie efektów chłodzenia podciśnieniowego i klasycznego (strumieniem powietrza).

## 6. Podsumowanie.

Wstępne badania potwierdziły funkcjonalność wykonanych stanowisk badawczych. Zakończenie oprzyrządowania stanowisk oraz prac nad systemem pomiarowym umożliwi przeprowadzenie szerokich badań porównawczych dotyczących różnorodnych wariantów realizacji procesów chłodzenia masy formierskiej. Odpowiednio opracowane wyniki badań umożliwią bardziej miarodajną ocenę procesów w aspekcie ich efektywności oraz energochłonności w porównaniu z danymi aktualnie dostępnymi w literaturze technicznej. Planuje się także podobnie jak w przypadku klasycznych chłodziarek masy [6,20,21] opracowanie odpowiednich programów obliczeniowych uwzględniających podstawowe wielkości technologiczne, istotne dla przebiegu procesu podciśnieniowego chłodzenia masy. Efektem końcowym planowanych prac będzie stworzenie podstaw doboru optymalnych parametrów konstrukcyjnych i działania urządzeń realizujących omawiany proces. Uzyskane w trakcie badań wyniki mogą być wykorzystane także przy opracowywaniu układów sterowania pracą urządzeń.

## 7. Literatura.

1. Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych, Skrypt AGH nr 919, Kraków, 1984
2. Brümmer E.: Jahresübersicht Formstoffe. Giesserei 86, nr 11, 1999, s.80.
3. Drews B.: Gleichzeitiges Mischen und Kühlen von Formsand unter Vakuum. Giesserei 86, nr 6, 1999, s. 138.
4. Fedoryszyn A., Dańko J., Smyksy K.: Analiza wyposażenia linii przygotowania masy używanej. Materiały Konferencji TECHNICAL-2001.
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., Smyksy K.: Eksperymentalna weryfikacja charakterystyk procesu chłodzenia masy w złożu wibrofluidyzacyjnym, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, Vol. 24, numer 3 specjalny. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2004.
7. Grefhorst C., Kleimann W.: Bentonitgebundene Formstoffe – Stand der Technik und Erwartungen für die Zukunft. Giesserei 86, nr 6, 1999, s.145.



8. Häussler W.: Zastosowanie wykresu i-x w inżynierii sanitarnej. Arkady. Warszawa, 1970
9. Hohl B., Muller M., Tilch W., Grefhorst C.: Experiments with using the vacuum mixer Evactherm in the industrial conditions, Przegląd Odlewnictwa 02.2004, s. 159
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, nr 2, 2000, s. 40.
12. Lewandowski J. L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wyd. Akapit. Kraków, 1997.
13. Lewandowski J.L.: Znaczenie temperatury dla właściwości używanej masy wiązanej bentonitem. Przegląd Odlewnictwa, nr.2, 2002, s. 130
14. Malicki M.: Wentylacja i klimatyzacja, PWN. Warszawa, 1974.
15. Prospekty firm: Bonvillain-Ronceray, Eirich, General Kinematics, Georg Fischer, SIMPSON Technologies, TECHNICAL, Webac.
16. Samsonowicz Z.: Automatyzacja procesów odlewniczych. WNT. Warszawa, 1985.
17. Strumiłko Cz.: Podstawy teorii i techniki suszenia, WNT. Warszawa, 1983.
18. Szczurek P., Śmietana M.: Analiza i badania procesu podciśnieniowego chłodzenia masy formierskiej. Praca dyplomowa magisterska, WO AGH, Kraków 2004
19. Sztefko F., Dańko J.: Podstawy bilansu cieplnego współczesnych chłodziarek do obiegowych mas formierskich. Przegląd Odlewnictwa, nr.6, 1976, s. 145
20. Sztefko F., Smyksy K.: Numerical Interpretation of the Process of Cooling Return Sand. Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, T9, z.4, 1983
21. Sztefko F.: Analiza procesów przygotowania formierskiej masy używanej w aspekcie ich mechanizacji. Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, nr 139, Kraków, 1991.

## ZAGADNIENIE SELEKCJI MAS ZUŻYTYCH I JEJ WPLYW NA PROCES REGENERACJI

*Józef DAŃKO<sup>1</sup>*

*Rafał DAŃKO<sup>2</sup>*

*Adam SROCZYŃSKI<sup>3,4</sup>*

*Wydział Odlewnictwa*

*Akademia Górniczo-Hutnicza*

*im. Stanisława Staszica*

### 1. Streszczenie.

Po raz pierwszy w kraju przeanalizowano szczegółowo zagadnienie selekcji mas podczas wybijania odlewów z form. Zaproponowane metody i kryteria uwzględniają: czas studzenia odlewów po zalaniu formy, znaczenie skrócenia czasu studzenia dla ilości i jakości masy zużytej oraz dla średniej temperatury masy używanej (przeznaczonej do odświeżania). Te rozważania stały się podstawą do wyeksponowania zarówno systemu wstępnej selekcji masy przepalanej i/lub częściowo przepalanej, jak i specyficznych elementów regeneracji osnowy ze zużytej masy wiązanej bentonitem, ale zanieczyszczonej odpadami rdzeni.

### 2. Wstęp.

Stopień przepalenia, czyli deaktywacji minerałów grupy montmorillonitu zawartych w danym bentonicie, stanowiącym lepiszcze w masach klasycznych zależy od temperatury ciekłego stopu odlewniczego wlanego do wnęki formy oraz od czasu oddziaływania temperatury stopu na masę. Decyduje o tym grubość ścianki i masa odlewu oraz czas przebywania odlewu w formie po zapełnieniu wnęki formy ciekłym stopem odlewniczym (czas studzenia formy). Dla danej temperatury stopu oraz grubości ścianek i masy odlewu skrócenie czasu oddziaływania temperatury na masę jest możliwe tylko przez skrócenie czasu studzenia formy. Dane z literatury [1] wskazują, że jest możliwe wybijanie odlewów z żeliwa szarego i sferoidalnego nawet o temperaturze 1000 °C, przy czym dla uzyskania założonej struktury tworzywa trzeba zwykle zastosować kierowany sposób studzenia wybitych odlewów.

Obecnie znaczące zainteresowanie wzbudza selekcja klasycznych mas wiązanych bentonitem. Przez selekcję odniesioną do mas formierskich (i rdzeniowych), uzyskiwanych podczas wybijania odlewów z form, rozumie się zaplanowane wydzielanie rodzajów, odmian i części tych mas. Ideałem było by wydzielenie wszystkich rodzajów i odmian mas tworzących formę, z której wybija się odlew oraz dodatkowo wyodrębnienie mas o różnym stopniu przepalenia. Realizacja takiej idealnej selekcji jest w praktyce trudna i zwykle nieopłacalna ekonomicznie.

Opierając się o powyższe przeprowadzono w Odlewniach Polskich w Starachowicach pierwsze w Polsce systemowe próby selekcji klasycznej masy wiązanej bentonitem, uwzględniające wyraźne skrócenie czasu studzenia wybranego do badań odlewu. Drugi nurt badań dotyczył wpływu przepalenia masy na jej regenerowalność w różnych warunkach obróbki regeneracyjnej.

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

<sup>2</sup> mgr inż., [rd@uci.agh.edu.pl](mailto:rd@uci.agh.edu.pl)

<sup>3</sup> mgr inż.,

<sup>4</sup> W realizacji badań uczestniczyli ponadto: L. Bodzoń i G. Szczurek

### 3. Zakres i program realizowanych badań.

Badania procesu wybijania, połączonego z selekcją mas, przeprowadzono dla odlewów żeliwnych z tworzywa GG25 szczęki siodełka kolejowego (szczeka typu AS), o masie (łącznie z układem wlewowym) 37,5 kg. (5,5 dm<sup>3</sup> metalu), wykonanych w skrzynce o objętości około 120 dm<sup>3</sup>. Formy sporządzano z odświeżonej wilgotnej masy formierskiej z bentonitem (oznaczenie masy M/F/P1/30) - por. tab. 2).

Waga masy w skrzynce formierskiej bez nadstawek wynosi dla tego odlewu około 182 kg. Temperatura zalewania była każdorazowo mierzona i ustalana przez odstanie w kadzi na poziomie 1390<sup>0</sup>C.

Program badań realizowanych w dwóch seriach przedstawiał się następująco:

1. Wybicie odlewu z kolejnych form po czasie 30 min, 40 min, 60 min, 120 min, 240 min oraz po 1 dobie od chwili zalania. Dla wytypowanego odlewu wybicie w warunkach produkcyjnych następuje po czasie do 2 godz. od chwili zalania, zatem eksperymentalnie określono, iż w celu uzyskania odlewów o temperaturze w zakresie 700 – 900 <sup>0</sup>C czas ich pozostawiania w formie nie może być dłuższy od 1 godz.
2. W trakcie prób przemysłowych selekcji masy określono następujące dane dla każdej z wybijanych form:
  - ilość masy przepalanej i przywartej do odlewu [kg], którą do dalszych badań oznaczono jako MASA A,
  - ilość masy w strefie przewilżonej [kg], oznaczonej jako MASA B,
  - ilość masy zużytej nieprzepalanej [kg], oznaczonej jako MASA C,
  - temperaturę odlewu (mierzoną w kilku punktach odlewu oraz na styku odlewu z nadlewem [0C], oznaczoną jako TEMPERATURA A,
  - temperaturę warstwy masy przy odlewie (w odległości około 1 cm od odlewu] [0C], oznaczoną jako TEMPERATURA B,
  - średnią temperaturę masy przy ścianie skrzynki (około 50 mm nad dnem skrzynki), oznaczonej jako TEMPERATURA C.
3. W trakcie badań wpływu stopnia przepalenia masy na jej regenerowalność przeprowadzono regenerację mechaniczną poszczególnych mas w regeneratorze odśrodkowym, a następnie wykorzystano regenerat jako osnowę masy odświeżanej lub sporządzanej według receptury dla masy świeżej. Jako miarę regenerowalności (zdolności do regeneracji osnowy) masy przyjęto wartość straty prażenia i zawartości lepiszcza. Odlewy testowe (szczęki siodełka kolejowego) wybijano po 30, 45, 60, 90 i 120 minutach. Do regeneracji osnowy piaskowej 6 mas, a mianowicie:
  - I. – masa przywarta do odlewów studzonych w formie przez 30, 45 i 60 min,
  - II. – masa przywarta do odlewów studzonych w formie przez 90 i 120 min,
  - III. – masa przepalona nie przywarta do odlewów studzonych w formie przez 30, 45 i 60 min,
  - IV. – masa przepalona nie przywarta do odlewów studzonych w formie przez 90 i 120 min,
  - V. – masa nie przepalona po studzeniu odlewów w formie przez 30, 45 i 60 min,
  - VI. – masa nie przepalona po studzeniu odlewów w formie przez 90 i 120 min.

#### 4. Wyniki badań.

Wyniki pierwszej serii badań przedstawiono w tabeli 1 oraz graficznie na rysunku 1, dla przypadku określania ilości, temperatury oraz grubości warstwy masy znajdującej się w strefach: przepalanej, przewilżonej oraz nieprzepalanej.

W drugiej serii badano właściwości technologiczne masy poddanej odświeżaniu według receptury stosowanej w odlewni. Wyniki badań tej serii zamieszczono w tabelach 2 i 3.

Wybrane wyniki trzeciej serii, dotyczącej badań mas I – VI oraz regeneratów z tych mas, uzyskanych w wyniku: klasyfikacji (odpylania  $v = 1$  m/s) (K), pięciu cykli regeneracji w regeneratorze odśrodkowym (5R) oraz ponownej klasyfikacji (K), są przedstawione na rysunku 2.

**Tabela 1.** Przemysłowe wyniki prób selekcji mas zużytych w warunkach wdrożenia w Zakładzie Odlewnie Polskie S.A w Starachowicach.

Czas do wybicia Odlewu [min]	Masa A	Masa B	Masa C	Grubość warstwy A [mm]	Temperatura A	Temperatura B	Temperatura C
	[kg]	[kg]	[kg]		[°C]	[°C]	[°C]
30 min	28,5	4,5	148,7	30	1050	180	50
40 min	35,5	5	141,2	50	1000	250	60-65
60 min	54	5	122,7	60-70	750-800	250-300	70-75
120 min	90	5	86,7	120	650-700	300-350	70-100
240 min	Cała forma przesuszona				<u>Śr. 420</u>	<u>Śr. 250</u>	<u>Śr. 65</u>
po 24 g.	Cała forma przesuszona				<u>Śr. 60</u>	<u>Śr. 50</u>	<u>Śr. 30</u>

**Tabela 2.** Właściwości technologiczne masy formierskiej w poszczególnych strefach formy, uzyskane w trakcie przemysłowych prób selekcji.

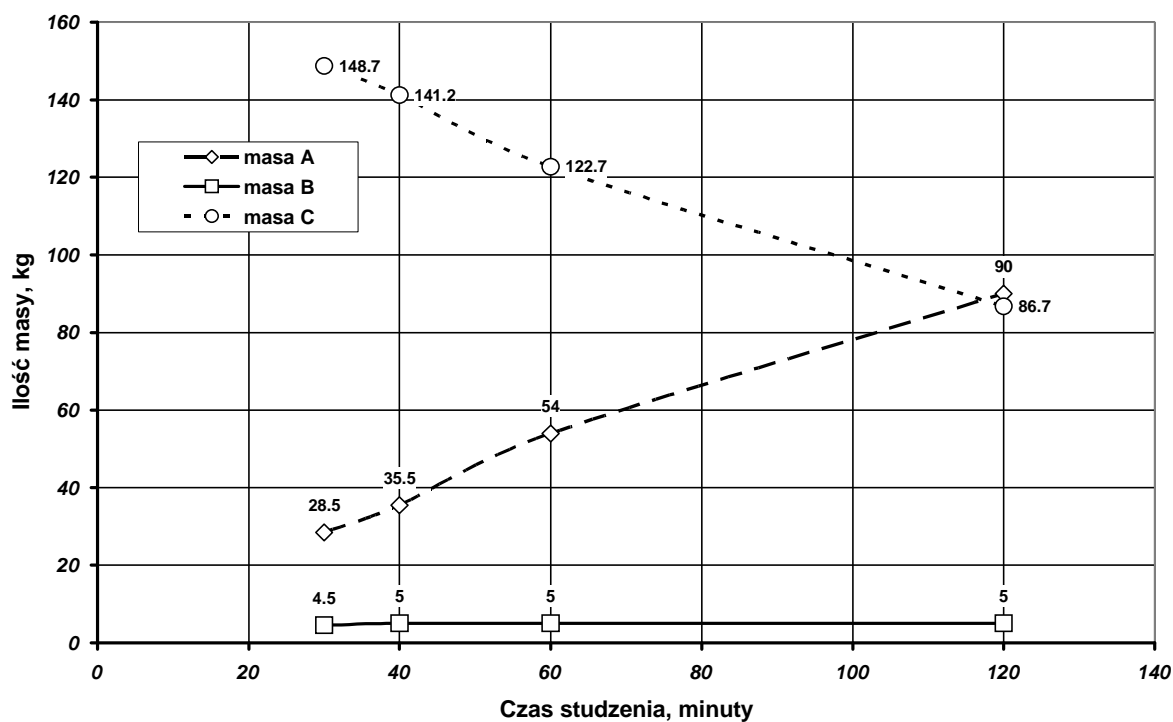
Rodzaj i parametry masy				
Masa	W [%]	P <sup>w</sup> [m <sup>2</sup> /Pa*s*10 <sup>-8</sup> ]	R <sub>c</sub> <sup>w</sup> [MPa]	S [%]
M/F/P1/30 (wyjściowa)	3,8	230	0,078	7,8
<b>Masa ze strefy zewnętrznej - odlew wybity po 1 godz.</b>				
M/F/P1/30	3,0	270	0,085	19,9
<b>Masa ze strefy zewnętrznej - odlew wybity po 1,5 godz</b>				
M/F/P1/30	3,1	260	0,079	20,6
<b>Masa ze strefy przy odlewie - odlew wybity po 1 godz.</b>				
M/F/P1/30	3,0		0,071	
<b>Masa ze strefy przy odlewie - odlew wybity po 1,5 godz</b>				
M/F/P1/30	3,2		0,068	
<b>Masa formierska ze strefy przewilżonej (odlew wybity po 24 godzinach)</b>				
M/F/P1/30	3,9	220	0,089	0,6

**Tabela 3.** Wyniki badań właściwości technologicznych masy klasycznej z bentonitem (masy I-VI) odświeżanej wg procedury stosowanej w odlewni.

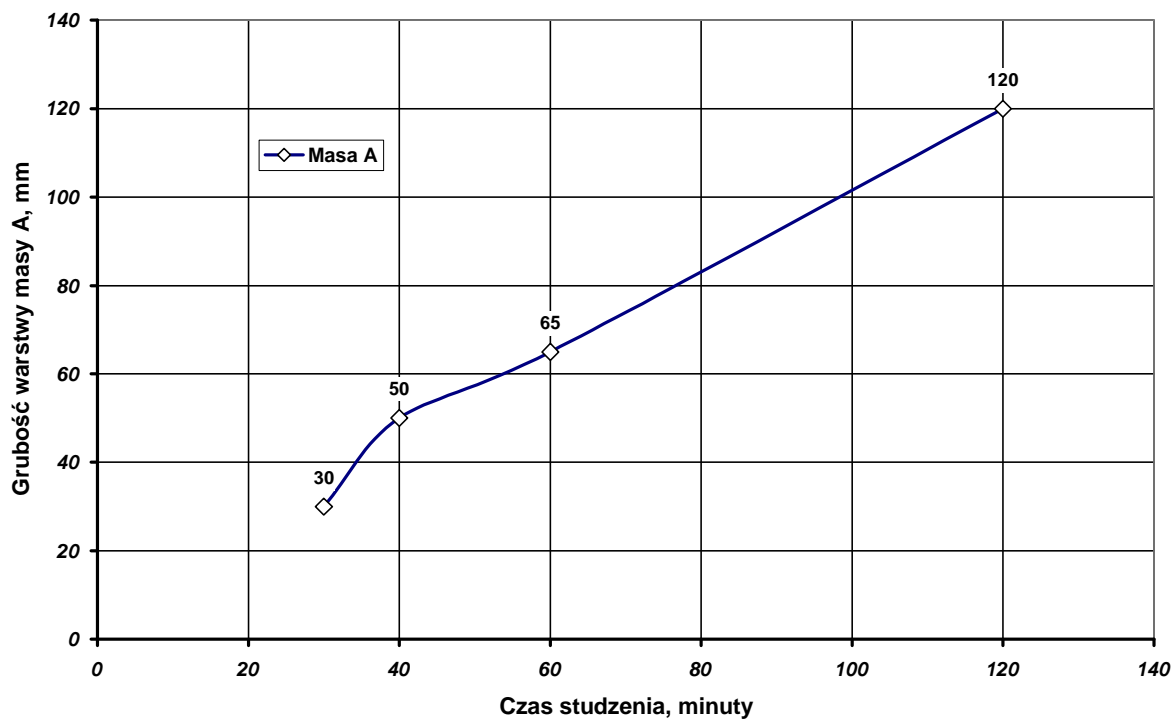
Rodzaj masy	Masa używana (W=3,50%)			Masa po regeneracji (K+10*+K) (W=3,46%)		
	R <sub>c</sub> <sup>w</sup>	P <sup>w</sup>	S <sup>1)</sup>	R <sub>c</sub> <sup>w</sup>	P <sup>w</sup>	S
Masa I	0,046	360	24	0,038	410	17,5
Masa II	0,044	350	24	0,037	405	18,5
Masa III	0,058	353	20	0,049	390	18,5
Masa IV	0,061	370	20	0,053	390	18,5
Masa V	0,065	363	17	0,057	395	16,5
Masa VI	0,067	383	16	0,059	400	20

S<sup>1)</sup>-ścieralność określona za pomocą aparatu LS-1.

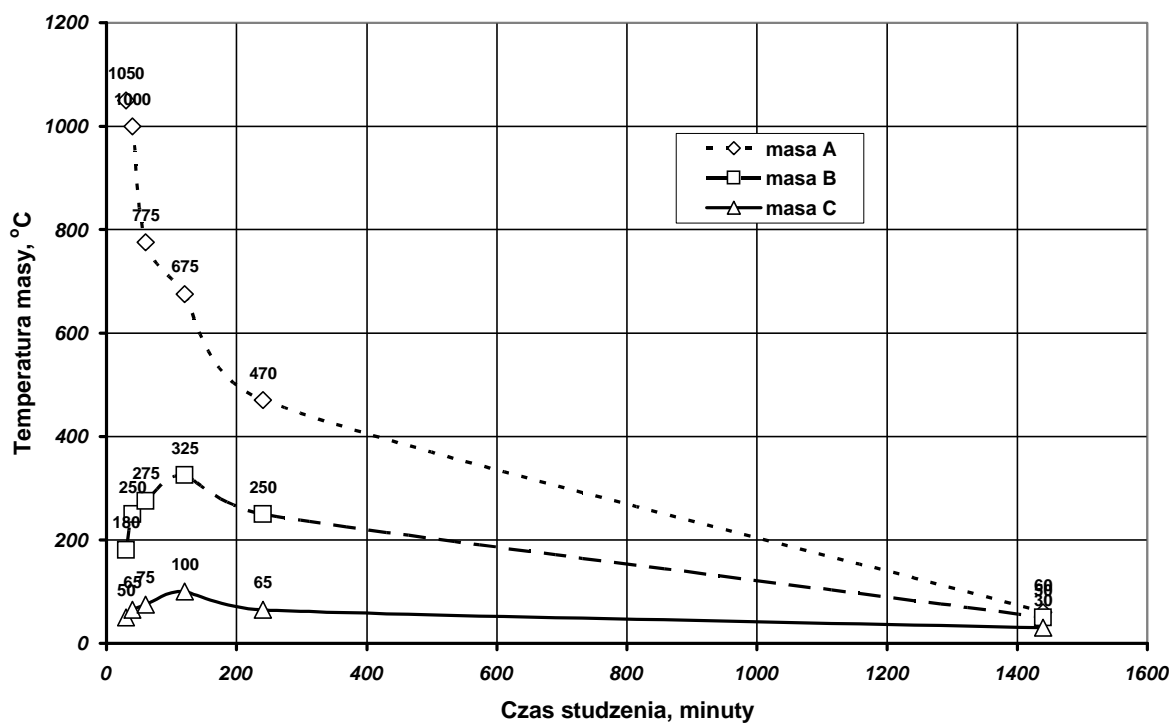
a)



b)

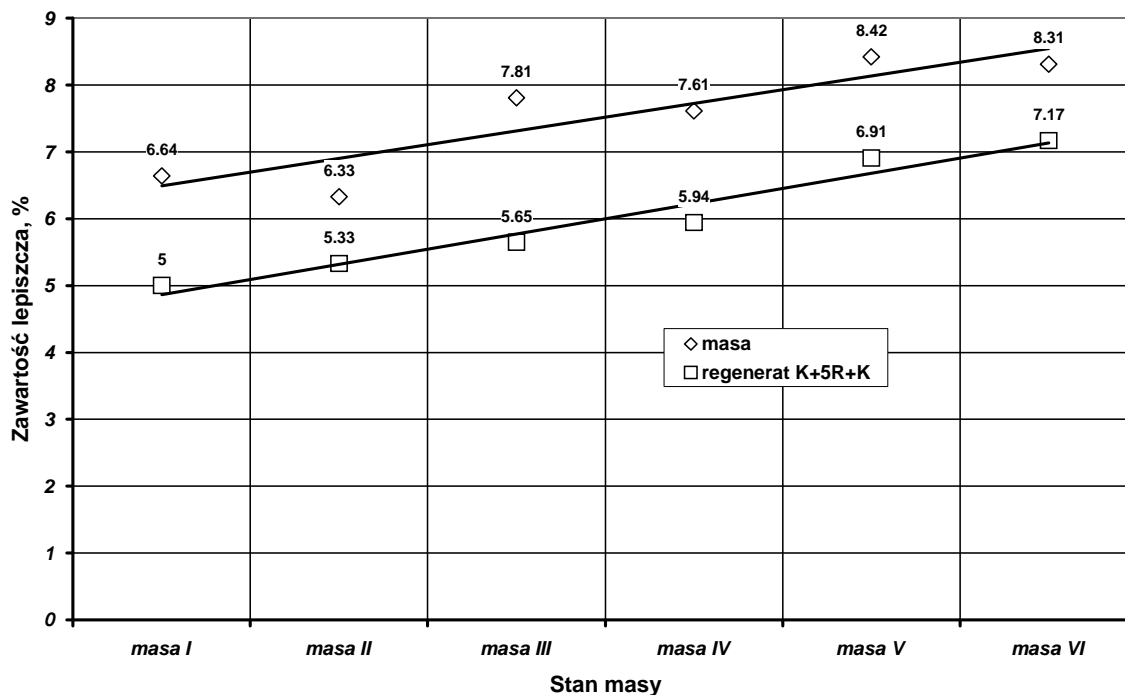


c)

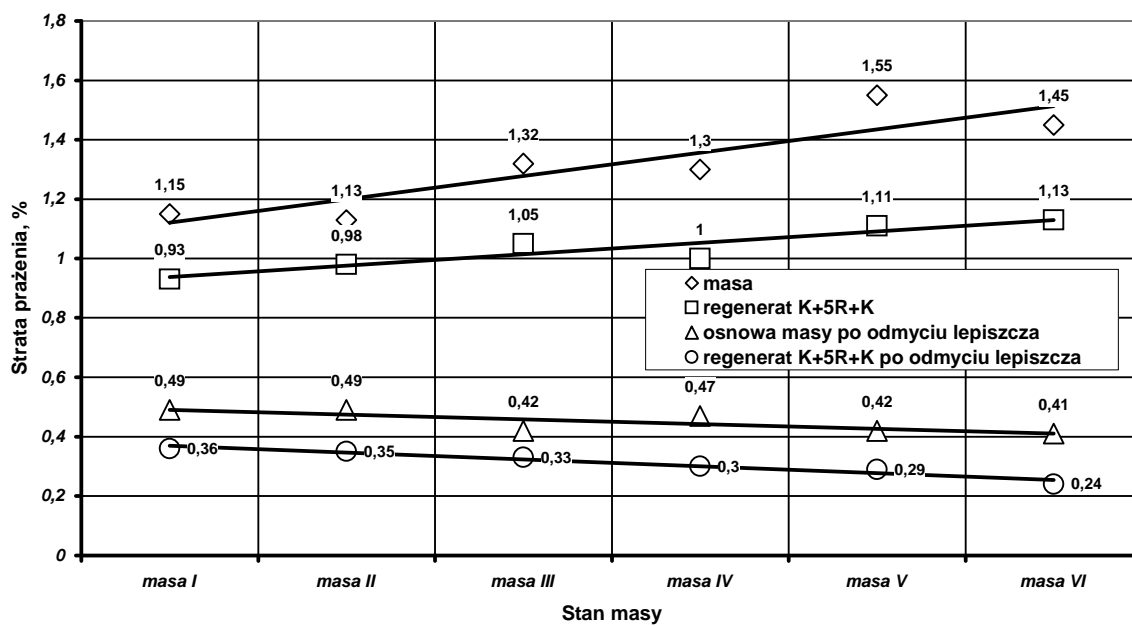


Rys. 1. Wpływ czasu studzenia odlewu w formie na ilość, grubość warstwy i temperaturę masy: A (przepalona), B (strefa przewilżona), C (nieprzepalona) oraz na grubość warstwy masy A. Temperatura żeliwa 1390°C.

a)



b)



Rys. 2. Wpływ stopnia przepalenia masy na stratę prażenia i zawartość lepiszcza w masie przed regeneracją i w regeneracie K+5R+K oraz na stratę prażenia dla masy i regeneratu po uprzednim odmyciu lepiszcza.

## 5. Analiza wyników badań.

Z danych na rysunku 1 wynika, że ilość masy przypalanej i przywartej do powierzchni odlewu (masa A) silnie zwiększa się wraz z upływem czasu studzenia odlewu w formie. Wydłużenie czasu studzenia z 30 minut do 60 minut zwiększa około dwukrotnie, a do 120 minut około trzykrotnie ilość masy przepalanej. Ze względów praktycznych, pozwalających na oddzielenie odlewu od masy przy temperaturze odlewu wynoszącej 750 – 800 °C czas upływający od zalania formy metalem może wynosić około 1 godziny, a więc około połowy przyjętego czasu krzepnięcia studzenia odlewu. W tym przypadku grubość warstwy masy przywartej do odlewu wynosi 60-70 mm a jej wagowy udział w formie osiąga wartość około 30% (54/182).

Przedłużenie czasu pozostawiania odlewu w formie do 2 godzin powoduje zwiększenie udziału masy „przepalanej” w formie do około 50%.

Analiza zmian temperatury warstw masy wskazuje na jej wyraźny spadek; dla masy przepalanej z wartości ok. 1050°C po 30 minutach studzenia do 675°C po 120 minutach studzenia (rys. 1c). Praktycznie nie zmienia się, zgodnie z przewidywaniem, ilość masy B czyli masy przewilżonej (w strefie przewilżonej). Silne zwiększenie się ilości masy przepalanej powoduje oczywiście wyraźne zmniejszenie się ilości masy między strefą przewilżoną, a ścianką skrzynki formierskiej, czyli masy nieprzepalanej (masa C), której temperatura nie przekroczyła 100°C. Wyniki badań zamieszczone na rys. 1 uzasadniają celowość wcześniejszego wybijania odlewów, gdyż zmniejsza się wyraźnie ilość masy przepalanej (masy A) zatem pozostaje więcej masy nieprzepalanej (masy C), która w zasadzie nie wymaga odświeżania. Wydzielenie w maksymalnym stopniu masy przepalanej (masy A) nie tylko zmniejsza ilość świeżych materiałów formierskich niezbędnych do odświeżenia pozostałej masy (mas B i C) lecz także zapewnia niższą temperaturę tej pozostałej masy. Idealnym układem byłoby dokonanie takiej selekcji, aby wydzielić całkowicie masę przepaloną i wtedy pozostała masa (masy B+C) praktycznie nie wymagałaby uprzedniej homogenizacji, a nawet studzenia, a wymagałaby ewentualnie tylko niewielkiego odświeżenia, a przede wszystkim nawilżenia do wymaganej wilgotności (wilgotności roboczej).

Wyniki badań mających celu ustalenie efektów regeneracji w zależności od stopnia przepalenia masy, które zostały przedstawione na rysunku 2 wskazują, że najlepsze właściwości ma regenerat uzyskany z masy przepalanej przywartej do powierzchni odlewu (masy I i II), a szczególnie przy krótkich czasach studzenia odlewów w formie (30, 45 i 60 minut) – masa I. Gorsze właściwości ma regenerat uzyskany z masy przepalanej nie przywartej do odlewu (masy III i IV), a najgorsze regenerat uzyskany z masy nieprzepalanej (masy V i VI). Jednak jakość regeneratu uzyskanego przy użyciu bezударowego regeneratora odśrodkowego, nawet przy zastosowaniu układu (K+5R+K) nie może być uznana za w pełni zadowalającą tak ze względu na dużą zawartość lepiszcza, jak i znaczną stratę prażenia.

Celem stwierdzenia jak na wartość strat prażenia wpływa ilość lepiszcza zawartego w regeneracie (i dla porównania w masie), zbadano straty prażenia w masach I-VI i w wykonanych z tych mas regeneratach, ale po odmyciu z tych mas i regeneratów lepiszcza. Wyraźne zmniejszenie wartości strat prażenia w masach i regeneratach po odmyciu z nich lepiszcza wskazuje, że przeważająca ilość składników powodujących straty prażenia jest zawarta w lepiszczu. Zatem celowe jest zastosowanie takiego procesu regeneracji, który zapewni nie tylko dobre otarcie ziaren osnowy, lecz spowoduje także usunięcie z regeneratu zawartego w nim lepiszcza.

Analizując dane zawarte w tabeli 3 można zauważyć, że masa z regeneratem, której skład odpowiada składowi masy odświeżanej zgodnie z praktyką stosowaną w odlewni ma właściwości gorsze od przeciętnych właściwości masy używanej w odlewni. Można to wytłumaczyć przede wszystkim usunięciem bentonitu aktywnego znajdującego się



w masie. Jeżeli jednak regenerat jest używany jako osnowa zamiast piasku w masie świeżo sporządzanej wówczas jej właściwości są lepsze średnio o około 30% w stosunku do masy na osnowie świeżego piasku (por. tab. 4). W tym drugim przypadku skład masy był następujący:

Regenerat	90,5%,
Bentonit „Geko S”	7,3%,
Pył węglowy	2,0%,
Dekstryna	0,2%,
Woda	3,5%

W=3,86%.

**Tabela 4.** Wyniki badań właściwości technologicznych masy klasycznej z bentonitem sporządzonej na zregenerowanej osnowie.

Rodzaj masy	Osnowa po regeneracji (K+10*+K) (W=3,46)		
	R <sub>c</sub> <sup>w</sup>	P <sup>w</sup>	S
Masa I	0,123	385	13,6
Masa II	0,121	370	13,4

## 6. Podsumowanie.

Niezależnie od ilościowej oceny wpływu czasu pozostawiania odlewu w formie na stopień przepalenia masy i stan jej termicznego zużycia można już wymienić, co najmniej kilka korzyści wynikających z krótszego przebywania odlewów w formie oraz z wprowadzenia selekcji mas zużytych. Jeżeli stworzy się warunki do takiego krótkiego przebywania odlewu w formie uzyskuje się bardzo korzystny układ masy w formie, a mianowicie:

- cienka jest warstwa masy całkowicie przepalanej, która zwykle przywiera ona do powierzchni odlewu i może być wyciągnięta wraz z odlewem i wyselekcjonowana.
- mniejsza jest grubość warstwy masy pośredniej, czyli masy zawierającej minerały grupy montmorillonitu o różnym stopniu deaktywacji (bentonit aktywny i częściowo lub całkowicie zdeaktywowany), co zmniejsza zużycie materiałów niezbędnych do odświeżenia masy,
- zwiększa się strefa masy zupełnie nieprzepalanej, czyli o właściwościach wyjściowych. Masa ta (poza dodatkiem wody) nie wymaga praktycznie odświeżania,
- zmniejsza się średnia temperatura masy wybitej, co zmniejsza niebezpieczeństwo występowania wad odlewniczych spowodowanych stosowaniem tzw. „gorącej masy”.
- masa całkowicie przepalona ma lepszą regenerowalność niż masa zawierająca nieprzepalony bentonit (minerały grupy montmorillonitu), a zatem wyselekcjonowanie tej masy stwarza korzystniejsze warunki przebiegu i efektów regeneracji,
- skrócenie czasu pozostawiania odlewów w formach pozwala na zwolnienie części powierzchni odlewni pod dalszą produkcję, stwarzając przesłanki do zwiększenia wydajności produkcji.

## 7. Literatura.

1. Pistol G., Hübner J.: Giesserei t.82, 1995, nr 22, s. 781 - 786.
2. Flemming E., Lewandowski J.L.: - Przegląd Odlewnictwa t.45, 1995, nr 4, s. 131 - 135.
4. Dańko J., Dańko R.: Systemy regeneracji osnowy z zużytych mas formierskich. Materiały IV Konferencji Odlewniczej „Odlewnictwo XXI w – technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”, Technical 2001, 24-25.05. 2001, Nowa Sól, s. 17 - 26.
5. Raport końcowy z pracy zrealizowanej w ramach projektu celowego 10 T08 036 2000/5061 nr umowy 2944/C T08 – 6/2001 pt. „Technologia i metoda regeneracji osnowy kwarcowej ze zużytych mas formierskich i rdzeniowych uwzględniająca selekcję masy podczas wybijania odlewów i wdrożenie tej metody oraz masy z regeneratem”.
6. Lewandowski J. L., Dańko J., Dańko R.: Selekcja mas zużytych w Zakładzie Odlewnie Polskie w Starachowicach. Materiały XXVII Konferencji Naukowej z okazji Święta Odlewnika 2003, Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 2003, s. 65-71.
7. Dańko J.: The general problems of evaluation of mechanical reclamation effectiveness in foundries”. Materials Science nr 2(9), 1999, Kaunas (Litwa), s. 54-57 oraz VIII-th International Baltic Conference „Materials Engineering-99”, September 23-24, 1999, Kaunas (Lithuania), s. 149-150.