

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Mikulczyński  
Dr inż. Rafał Więclawek  
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej  
Dr inż. Marian Bogdan  
Instytut Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej

## MIKROPROCESOROWY SYSTEM POMIARU WILGOTNOŚCI MAS FORMIERSKICH

*W pracy zaprezentowano nową metodę pomiaru wilgotności mas formierskich. Opisano budowę stanowiska pomiarowego i zasadę wykonywania pomiarów. Przedstawiono także budowę i zasadę działania systemu mikroprocesorowego sterującego procesem pomiaru.*

### MICROPROCESSOR-CONTROLLED SYSTEM FOR MEASUREMENTS OF MOULDING SANDS HUMIDITY

*The paper presents a new method of measurement of moulding sands humidity. Construction of a measuring stand and measurement principle are described. Structure and operation principle of a microprocessor system to control the measurement process are presented*

#### 1. WSTĘP

Właściwości technologiczne masy formierskiej decydują o jakości wykonywanych form a tym samym o jakości wytwarzanych odlewów. Stąd niezmiernie ważnymi w odlewnictwie są pomiary i regulacja podstawowych właściwości technologicznych mas formierskich. Szczególnie istotne znaczenie ma stabilizacja wilgotności masy na zadanym poziomie, gdyż jej zmiany mają znaczny wpływ na inne właściwości masy, takie jak np. wytrzymałość lub przepuszczalność.

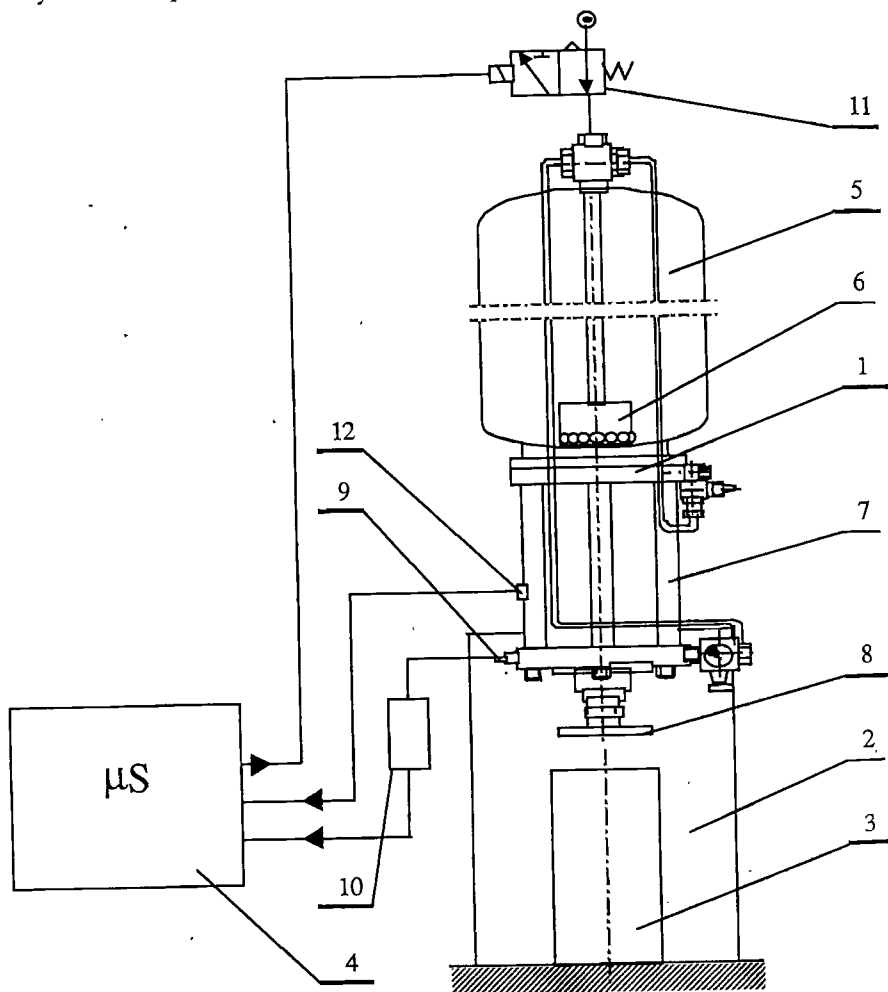
Znane i stosowane metody pomiaru wilgotności mas formierskich mają wady i ograniczenia [1,2]. Laboratoryjne metody są długotrwałe, metody chemiczne mało dokładne, większość metod fizycznych i elektrycznych jest bardzo wrażliwa na zmiany składu masy formierskiej, podobnie jak metody jądrowe czy ultradźwiękowe [4,5]. Stąd wciąż poszukiwane są nowe metody pomiaru wilgotności masy [3], które charakteryzowałyby się krótkim czasem i dużą dokładnością pomiaru oraz nieznaczną wrażliwością na zmiany składu masy.

Do takich metod można zaliczyć nową metodę pomiaru wilgotności mas formierskich, która została opracowana w Laboratorium Podstaw Automatyzacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej. Ocena wilgotności nową metodą polega na wykorzystaniu wyników pomiarów ciśnienia w komorze powrotnej głowicy do dynamicznego prasowania mas formierskich podczas dynamicznego prasowania próbki badanej masy.

## 2. STANOWISKO POMIAROWE

Schemat stanowiska do pomiaru wilgotności mas formierskich nową metodą pokazano na rys. 1. W skład stanowiska wchodzi:

- głowica do dynamicznego prasowania mas formierskich (1),
- konstrukcja nośna (2),
- tuleja pomiarowa  $\varnothing 100 \times 250 \text{ mm}$  (3),
- system mikroprocesorowy (4),



Rys. 1. Schemat budowy stanowiska pomiarowego: głowica dynamicznie prasująca (1), konstrukcja nośna (2), tuleja pomiarowa (3), system mikroprocesorowy (4), zbiornik akumulacyjny (5), zawór impulsowy (6), siłownik pneumatyczny (7), płyta prasująca (8), piezoelektryczny czujnik ciśnienia (9), wzmacniacz ładunku (10), zawór rozdzielający (11), wskaźnik położenia (12)

Głowica do dynamicznego prasowania jest zbudowana z następujących podzespołów: siłownika pneumatycznego (7), zbiornika akumulacyjnego (5), samoczynnego zaworu impulsowego (6), płyty prasującej (8) i zaworu rozdzielającego (11).

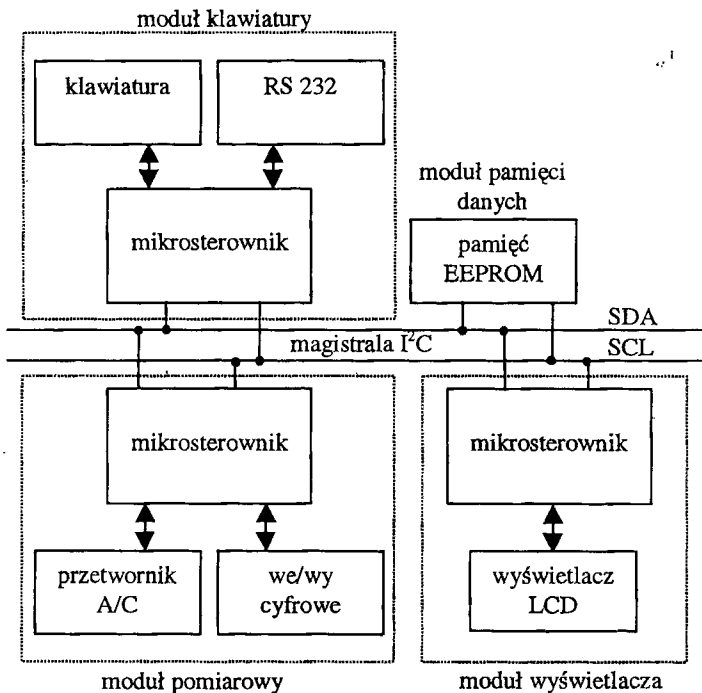
Stanowisko jest wyposażone w zestaw pomiarowy, przeznaczony do pomiaru ciśnienia w komorze powrotnej głowicy prasującej, który składa się z piezoelektrycznego czujnika ciśnienia (9) i wzmacniacza ładunku (10).

Przebiegiem procesu pomiarowego steruje opracowany system mikroprocesorowy, który zostanie opisany poniżej.

## 2.1. Budowa systemu mikroprocesorowego

Na rysunku 2 pokazano schemat budowy opracowanego systemu mikroprocesorowego. Jest to rozwiązanie sieciowe, w którym występuje podział realizowanych funkcji na cztery niezależne moduły: klawiatury, wyświetlacza, pamięci danych oraz moduł pomiarowy. Do komunikacji między modułami zastosowano magistralę I<sup>2</sup>C.

Głównym urządzeniem każdego modułu, za wyjątkiem modułu pamięci, jest 8-bitowy mikrosterownik AT89C4051 firmy Atmel. Urządzenie to jest wykonane w technologii CMOS, ma 4kB pamięci nieulotnej Flash i jest programowane zgodnie ze standardem MCS-51. Wszystkie zastosowane mikrosterowniki zostały oprogramowane w asemblerze, łącznie z procedurami obsługi magistrali I<sup>2</sup>C.



Rys. 2. Schemat blokowy mikroprocesorowego systemu pomiaru wilgotności

### 2.1.1 Magistrala I<sup>2</sup>C

Standard komunikacji I<sup>2</sup>C, opracowany przez firmę Philips, jest szeroko stosowany w urządzeniach audio-video, telekomunikacji i systemach elektroniki przemysłowej. Transmisja danych odbywa się szeregowo, w dwóch kierunkach, przy użyciu dwóch linii. Jedną z nich przesyłane są impulsy zegarowe synchronizujące transmisję, natomiast drugą linią przesyłane są dane w dwóch kierunkach. W transmisji danych uczestniczy układ nadrzędny (*master*) oraz jeden lub więcej układów podrzędnych (*slave*). Transmisja bloku danych musi być poprzedzona odpowiednim sygnałem start, natomiast koniec transmisji wskazuje sygnał stop. Długość przesyłanego bloku danych jest nieograniczona, przy czym odbiór każdego przesłanego bajtu musi być potwierdzony odpowiednim sygnałem.

Przemysłowa norma magistrali I<sup>2</sup>C zakłada możliwość taktowania transmisji sygnałem zegarowym o częstotliwości od 0 do 100kHz, natomiast liczba układów *slave* może być dowolna, pod warunkiem, że pojemność połączeń nie przekroczy maksymalnej wartości równej 400pF.

Dzięki stosowaniu interfejsu I<sup>2</sup>C w projektowanych układach elektronicznych, znacznie zmniejsza się liczba stosowanych przewodów i złączy pomiędzy modułami, dzięki czemu też wzrasta odporność na zakłócenia. Ponadto dodatkowe układy, korzystające z magistrali, mogą być dodawane lub wyłączane bez jakiegokolwiek ingerencji w połączenia pozostałych elementów z magistralą.

### 2.1.2. Moduł klawiatury

Moduł klawiatury, który jest układem nadrzędnym w systemie, stanowi element interfejsu urządzenie-użytkownik i służy do sterowania pracą pozostałych modułów systemu. Moduł ten jest zbudowany z mikrosterownika i przyłączonej do jego wyprowadzeń matrycy 16 przełączników (klawiszy). Każdemu klawiszowi została przyporządkowana odpowiednia wartość liczbowa lub funkcja. Mikrosterownik stale monitoruje stan wejść i w przypadku zmiany stanu któregośkolwiek z nich, identyfikuje naciśnięty klawisz i realizuje przypisane mu zadania.

Dzięki modułowi klawiatury użytkownik może wydawać systemowi polecenia: pomiaru wilgotności, pomiaru ciśnienia, odczytu i zapisu danych do pamięci EEPROM.

### 2.1.3. Moduł wyświetlacza

W module wyświetlacza zastosowano ciekłokrystaliczny wyświetlacz alfa-numeryczny LCD 2x16 znaków, oparty na popularnym sterowniku HD44780 (firmy Hitachi). Pracą wyświetlacza steruje mikrosterownik, który odbiera komunikaty wysyłane przez moduł klawiatury oraz moduł pomiarowy i przetwarza je na postać zrozumiałą dla wyświetlacza. Dzięki zastosowaniu wyświetlacza, system zapewnia użytkownikowi prostą, intuicyjną obsługę, na bieżąco informuje o stanie urządzenia oraz prezentuje wyniki pomiarów.

### 2.1.4. Moduł pomiarowy

Moduł pomiarowy zbudowany jest z 8-bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego ADC0804, którego pracą steruje mikrosterownik. Przetwornik jest monolitycznym układem CMOS, zawierającym 8-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy i logiczne układy sterujące. Konwersja analogowo-cyfrowa jest realizowana metodą kolejnych przybliżeń.

Ponadto do dwóch wyprowadzeń mikrosterownika, poprzez izolację galwaniczną, zostały podłączone: jedno wejście i jedno wyjście cyfrowe.

Moduł pomiarowy, poprzez podanie sygnału na wyjście cyfrowe, inicjuje proces zagęszczania masy i rejestruje maksymalną wartość ciśnienia w komorze powrotnej głowicy. Po odebraniu, na wejściu cyfrowym, sygnału zakończenia procesu zagęszczania masy, następuje obliczenie wartości wilgotności. Wynik obliczeń jest przesyłany do modułu wyświetlacza.

#### 2.1.5. Moduł pamięci

Moduł pamięci stanowi układ scalony 24LC02B o pojemności 4 Kb. Zapis i odczyt danych jest realizowany poprzez magistralę I<sup>2</sup>C.

W module pamięci jest przechowywana tablica wartości funkcji  $p_m=f(W)$  (rys. 4), która przedstawia korelację: maksymalna wartość ciśnienia w komorze powrotnej głowicy – wilgotność masy formierskiej. Zależność ta służy do obliczania wartości wilgotności na podstawie zmierzonej wartości ciśnienia w komorze powrotnej głowicy podczas zagęszczania badanej próbki masy formierskiej.

### 2.2. Obsługa systemu

Dzięki opracowanemu systemowi, wykonywanie pomiarów wilgotności zostało uproszczone do minimum. Po wydaniu polecenia „Pomiar wilgotności” system automatycznie uruchamia proces zagęszczania masy formierskiej i rejestruje przebiegi zmian ciśnienia w komorze powrotnej głowicy. Po zagęszczeniu materiału następuje wycofanie tłoczyska siłownika, a na wyświetlaczu prezentowany jest wynik pomiaru wyrażony w procentach zawartości wody. Proces pomiarowy, nie licząc czasu przygotowania próbki badanej masy, trwa około 5 sekund. System zapewnia także możliwość pomiaru maksymalnej wartości ciśnienia, którą można wykorzystać do określenia charakterystyki wzorcowej dla nowego rodzaju materiału. Użytkownik może także, w razie potrzeby, zmieniać wartości zależności  $p_m=f(W)$ .

## 3. WYKONYWANIE POMIARÓW

Pomiar wilgotności może być zainicjowany, gdy są spełnione następujące warunki:

- płyta prasująca znajduje się w pozycji wyjściowej (wsunięte tłoczysko siłownika),
- ciśnienie w zbiorniku akumulacyjnym uzyska zadaną wartość (0,6MPa),
- tuleja pomiarowa jest wypełniona badanym materiałem.

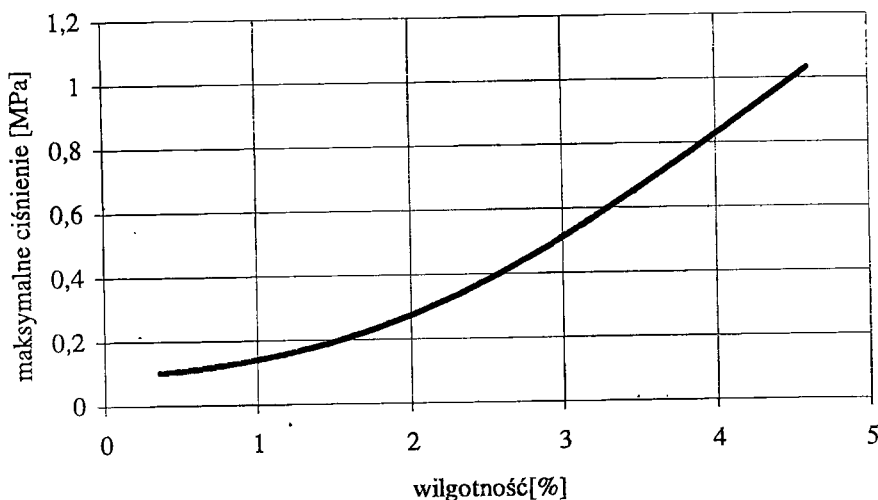
Przebieg wykonywania pomiarów na stanowisku pokazanym na rys. 1 jest następujący: system podaje sygnał napięciowy na cewkę elektromagnetyczną zaworu rozdzielającego, powodując jego przesterowanie. Zmiana położenia zaworu powoduje nagłe otwarcie wylotu zbiornika akumulacyjnego i duże przyspieszenie tłoka siłownika oraz płyty prasującej. Podczas prasowania masy system rejestruje maksymalną wartość ciśnienia w komorze powrotnej głowicy prasującej. Gdy wskaźnik (12) zasygnalizuje położenie dolne tłoczyska siłownika, system przerywa zasilanie cewki zaworu rozdzielającego i następuje samoczynny wsuw tłoczyska siłownika.

Jak wykazano w pracy [6], do oceny wilgotności masy formierskiej można wykorzystać zależność  $p_m=f(W)$ , która przedstawia zależność: maksymalna wartość ciśnienia

w komorze powrotnej głowicy – wilgotność masy formierskiej. Zależność tą, pokazaną na rys. 3, można aproksymować wielomianem

$$p_m = -0.00036W^5 + 0.003W^4 - 0.012W^3 + 0.064W^2 - 0.015W + 0.099 \quad (1)$$

który obowiązuje dla masy formierskiej o składzie: piasek kwarcowy, bentonit Bentomak - 6%, pył węglowy - 1,5%, woda - 0,3+4,6%.



Rys. 3. Zależność  $p_m=f(W)$  dla masy formierskiej z bentonitem Bentomak

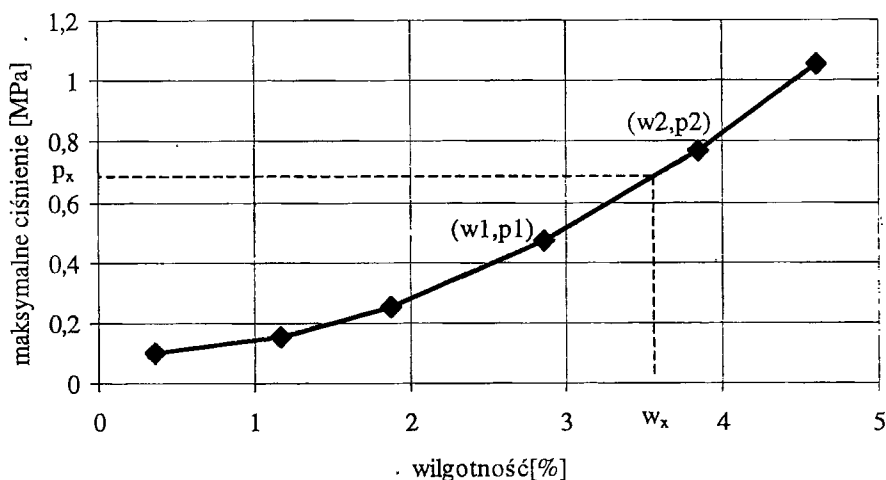
Na podstawie zależności (1) i zmierzonej wartości ciśnienia można obliczyć wartość wilgotności badanej próbki masy formierskiej. Jednakże, ze względu na trudności w implementacji takiego algorytmu obliczeniowego w programie mikrosterownika 8-bitowego, zdecydowano się na inne rozwiązanie. Zależność (1) jest reprezentowana w systemie w postaci tabeli wartości funkcji  $p_m=f(W)$  dla wybranych wartości wilgotności. W rezultacie takiego uproszczenia, do obliczeń jest stosowana charakterystyka, którą pokazano na rys 4. Przykładowo, dla zmierzonej wartości ciśnienia  $p_x$ , system obliczy wartość wilgotności według zależności

$$w_x = \frac{(w_2 - w_1)}{(p_2 - p_1)} \cdot (p_x - p_1) + w_1 \quad (2)$$

przy czym błąd obliczeń spowodowany tym uproszczeniem jest znacznie mniejszy od błędu metody.

Rezultat obliczeń jest przesyłany do wyświetlacza LCD i po wyświetleniu zmierzonej wartości wilgotności system jest gotowy do wykonania następnych pomiarów.

Przeprowadzone badania wykazały, że maksymalny błąd pomiaru wynosi 0,2% zawartości wody. W warunkach przemysłowych taka dokładność jest wystarczająca.



Rys. 4. Reprezentacja zależności  $p_m=f(W)$  w systemie mikroprocesorowym

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że opracowany mikroprocesorowy system pomiaru wilgotności ma szereg zalet, do których można zaliczyć:

- bardzo krótki czas pomiaru (około 50ms, nie licząc czasu przygotowania próbki),
- dużą dokładność wyników pomiaru, rzędu  $\pm 0,2\%$ ,
- małą wrażliwość na zmiany składu badanej masy formierskiej,
- prostą obsługę.

Dzięki nowoczesnej architekturze systemu, a co się z tym wiąże, wysokiej stabilności i odporności na zakłócenia, system ten może mieć zastosowanie nawet w tak trudnych warunkach przemysłowych, jakie panują w odlewni.

#### LITERATURA

1. Lewandowski L., *Przygotowanie form odlewniczych: masy formierskie i rdzeniowe*, WNT Warszawa, 1983.
2. Lewandowski L., *Masy formierskie i rdzeniowe*, WNT Warszawa, 1991.
3. Wiederhold P.R., *Water vapor measurement. Methods and Instrumentation*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1997.
4. Mikulczyński T., *Zastosowanie metody ultradźwiękowej do badania mas i materiałów formierskich*, Prace Naukowe Inst. Technol. Masz. i Autom. PWr., Nr 54, Seria: Monografie Nr 12, Wrocław 1994.
5. Samsonowicz Z., Mikulczyński T., *Ultrazvukové měření některých vlastností formovací směsi*, Slévárnství 1986, R. 34, Nr 5.
6. Mikulczyński Tadeusz, Samsonowicz Zdzisław, Więctawek Rafał, *Nowa metoda pomiaru wilgotności mas formierskich*, Arch. Odlew. 2002 R. 2 nr 5.