

Mariusz R. RZAŚA

KATEDRA TECHNIKI CIEPLNEJ I APARATURY PRZEMYSŁOWEJ, POLITECHNIKA OPOLSKA

Jan SAWICKI

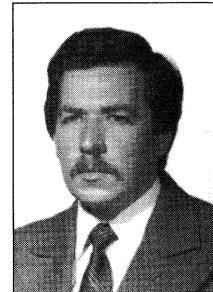
PRZEMYSŁOWY INSTYTUT ELEKTRONIKI

Pomiar ilości gazu wydzielającego się z mas formierskich**Dr inż. Mariusz R. RZAŚA**

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Opolskiej o specjalności Automatyka i metrologia elektryczne. Zatrudniony na w Katedrze Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej Politechniki Opolskiej oraz Zespole Szkół Elektrycznych w Opolu. Doktorat obronił z specjalności Budowa i Eksploatacja Maszyn. Zajmuje się pomiarami przepływów dwufazowych a w szczególności tomografią procesową.

**Mgr inż. Jan SAWICKI**

Absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej. Pracuje w Przemysłowym Instytucie Elektroniki w Warszawie. Zajmuje się opracowywaniem i badaniem urządzeń cieplno-chemicznych.

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono przepływomierz do pomiaru bardzo małych przepływów gazu, rzędu kilku do kilkunastu ml/min. Metoda polega na zliczaniu małych objętości elementarnych gazu. Objętości elementarne są wytwarzane w postaci pęcherzyków gazu unoszących się w cieczy. Pomiar objętości pęcherzyków polega na przeswietlaniu pionowej kolumny jednorodną wiązką światła, a następnie detekcji strumienia świetlnego za pomocą układu detektorów światłowodowych. Detekcja polega na określeniu, w której części pola widzenia detektora znajduje się pęcherzyk, co stanowi informację o jego wymiarze. Następnie sygnały z detektorów są zamieniane na sygnały elektryczne w przetworniku pomiarowym, skąd są rejestrowane na komputerze.

Abstract

Small The group of measurement in industry and laboratory contains measurement of gas flow. The measurement of gas capacity is generally marking capacity of test pool. Because capacity types of gasses different methods and measurement devices are used.

In the paper constructive solution of measurement flow-device for the measurement of the flow of gasses from a few to several ml/h was introduced. This method refers to counting a small amounts of elementary capacities of gas. Elementary capacities are produced in the shape of gas bubbles flowing in the liquid. Bubbles are produced by the help of nozzle placed in the bottom of measurement container which is fulfilled with liquids. The bubbles flowing is registered on the computer. Then, on this basis are their capacity is calculated and the sum of the capacity of the given unit of five is the basis for calculation of stream flow.

Measurement of bubbles is the ray of vertical column whit light wave and then detection of the light way by the detectors. The detection of light ray is depicting the section of detector where the bubble is. The detector signals are changed on electric signals in interface from where they are registered on the computer.

In the paper is presented detailed algorithm of measurement capacity and the gas flow and the results of the test are her presented.

Słowa kluczowe: metody optyczne, pomiary przepływu, przepływ gaz-ciecz

Keywords: gas flow, optical method. gas-liquid flows

1. Wstęp

Rosnące wymagania jakościowe, stawiane produktom stosowanym w przemyśle metalurgicznym, powodują konieczność jednoznacznego określenia ich parametrów. Jednym z komponentów mających zasadniczy wpływ na chropowatość powierzchni odlewów metalowych jest masa formierska. Do każdego rodzaju procesu odlewniczego konieczne jest zastosowanie masy formierskiej lub rdzeniowej o ściśle dobranych właściwościach fizykochemicznych

Jednym z bardzo ważnych parametrów masy formierskiej jest ilość i dynamika wydzielających się gazów podczas procesu odlewania. Zastosowanie mas formierskich o małych zawartościach gazów ma szczególne znaczenie przy odlewach o znacznym stopniu złożoności

np. przy odlewach głowic, lub bloków silników spalinowych. Odlewy skomplikowane, przy niedużych otworach odpowietrzających i dużym stopniu wypełnienia wnętrza rdzeniami z mas piaskowych wymagają doboru materiałów wiążących i ustalenia technologii wykonania rdzeni powiązanych z pomiarami ilości wydzielanych gazów. W przypadku nadmiernego wydzielania gazów, istnieje możliwość przetestowania innych komponentów, lub modyfikacji cyklu suszenia mas formierskich. Praktycznie każda odlewnia metali powinna być wyposażona w urządzenie do oznaczania ilości wydzielanych gazów z masy formierskiej.

Pomiary ilości i strumienia przepływających gazów należą do grupy pomiarów najczęściej wykonywanych w laboratoriach i przemyśle. Objętość gazu jest funkcją ciśnienia i temperatury, dlatego zwykle zmierzona objętość redukuje się do warunków normalnych (273,15 K i 0,1013 MPa). Pomiar objętości gazu w zasadzie sprowadza się do oznaczania objętości zbiornika. Ze względu na różne rodzaje gazów stosuje się odpowiednie metody i przyrządy pomiarowe.

Opisane w pracy [1] metody pomiarowe nie nadają się do pomiaru zagazowania mas formierskich, ze względu na małą objętość wydzielonego gazu (10 do 40 dm³/g badanej próbki) oraz konieczność wykonania pomiaru pod ciśnieniem atmosferycznym (bez sprężania mierzonego gazu).

Obecnie stosuje się do oznaczania ilości wydzielania gazów urządzenie, opisane w normie BN-76/4024-05 „Odlewnicze materiały i masy formierskie. Oznaczanie ilości wydzielanych gazów”. Urządzenie to składa się z piecyka, koniecznego do podgrzania próbki do temperatury 1000°C i biurety pomiarowej, do której zbiera się wydzielany gaz. Biureta pomiarowa dołączona jest układem naczyń połączonych do zbiornika wyrównującego ciśnienie mierzonego gazu do ciśnienia atmosferycznego. Oprócz całkowitej ilości gazu, bardzo ważna jest dynamika jego wydzielania w funkcji czasu. Wymaga to odczytu poziomu cieczy w biurecie pomiarowej co 5 sekund, przez czas pomiaru około 5 do 10 minut, przy jednoczesnym przesuwaniu zbiornika wyrównującego ciśnienie. Ponieważ oznaczenie takie jest obciążone dużymi błędami odczytu, w każdym cyklu wykonuje się trzy oznaczenia i do wyniku bierze średnią arytmetyczną. Powyższa metoda nie nadaje się do automatyzacji pomiaru, ponieważ nie można w prosty sposób przetworzyć zmian poziomu cieczy w biurecie (przy spełnieniu warunku braku sprężania mierzonego gazu) na sygnał elektryczny i jego zapis.

2. Idea metody pomiaru automatycznego

Metoda polega na zliczaniu małych objętości elementarnych gazu. Objętości elementarne są wytwarzane w postaci pęcherzyków gazu unoszących się w cieczy (rys. 1). Pęcherzyki wytwarza się za pomocą dyszy umieszczonej w dnie naczynia wypełnionego cieczą. Przepływ pęcherzyków przepływających swobodnie w nieruchomej cieczy jest

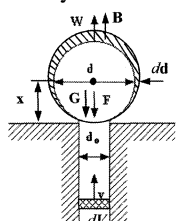
rejestrowany na komputerze. Następnie na tej podstawie jest obliczana ich objętość a suma objętości w danej jednostce czasu stanowi podstawę do obliczenia natężenia przepływu.

Pomiar objętości pęcherzyków polega na prześwietlaniu pionowej kolumny jednorodną wiązką światła, a następnie detekcji strumienia świetlnego za pomocą układu detektorów światłowodowych [7]. Detekcja promieniowania światła polega na określeniu, w której części pola widzenia detektora znajduje się pęcherzyk. Sygnały z detektorów są zamieniane na sygnały elektryczne w przetworniku pomiarowym, skąd są rejestrowane na komputerze.

Głównym problemem w zastosowanej metodzie jest wytworzenie pęcherzyków o odpowiednich wymiarach oraz regularnym kształcie. Ma to wpływ na dokładność pomiaru. W celu dobrania odpowiednich parametrów urządzenia, do wytworzenia odpowiednich pęcherzyków, należy rozważyć zarówno proces tworzenia się pęcherzyków jak i ich ruch w cieczy.

2.1. Analiza procesu tworzenia się pęcherzyków gazu

Proces tworzenia się pęcherzyków gazu na końcówce dyszy można opisać za pomocą równania sił działających na pęcherzyk. Ponieważ pełny opis matematycznych obejmuje układ pięciu równań różniczkowych (równanie Naviera-Stoksa, równanie ciągłości i równanie stanu) zarówno do gazu jak i cieczy. Rozwiązanie analityczne często jest niemożliwe. Z tego względu niejednokrotnie stosuje się modele uproszczone pozwalające na określenie przybliżonych wartości średnicy pęcherzyków tworzących się na końcówce dyszy [3, 4].



W przepływie swobodnym pęcherzyki tworzą się na końcówce dyszy. Ich kształt jest zbliżony do kuli, ponadto pęcherze tworzą się w pojedynczym otworze kołowym, poziomym i unoszą się ku górze.

Rys. 1. Tworzenie się pęcherza w przepływie swobodnym
Fig. 1. Bubble formation in an unrestricted flow

W modelu tym zakłada się, że objętość jaka przepływa przez rurę spowoduje zwiększenie objętości pęcherzyka [12]. Pomija się natomiast w tym modelu siły związane ze ściśliwością gazu. Równanie bilansu sił układu pokazanego na rys. 1 ma następującą postać

$$W+B-G-F=0 \quad (1)$$

gdzie: W - siła wyporu, F - siła napięcia powierzchniowego, G - ciężar pęcherzyka, B - siła bezwładności.

Stąd wzór na średnicę pęcherzyka przyjmuje następującą postać:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \sigma d_0}{g (\rho_c - \rho_g)} + \frac{\rho_g}{(\rho_c - \rho_g)} \frac{d_0^2}{2g}} v \quad (2)$$

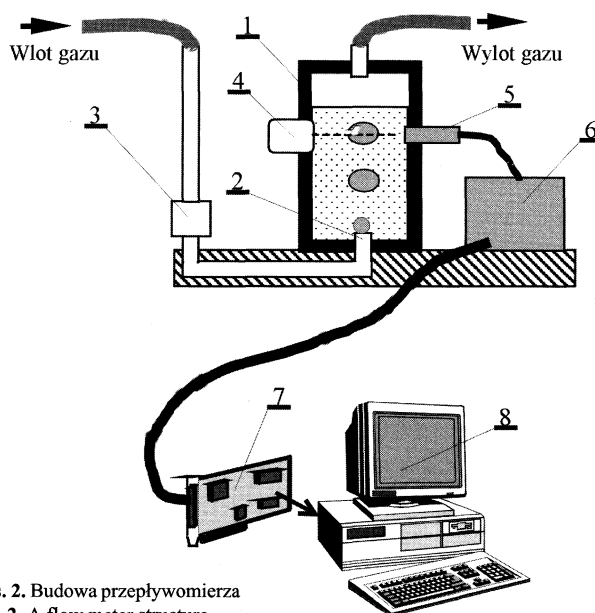
gdzie: ρ_c - gęstość cieczy, ρ_g - gęstość gazu, d_0 - średnica otworu, g - przyspieszenie ziemskie, v - prędkość wypływu gazu z dyszy, σ - współczynnik napięcia powierzchniowego cieczy.

Model ten jest słuszny dla dynamicznego tworzenia się pęcherzyków, jednakże prędkość wypływu musi być na tyle mała żeby nie powodowała deformacji pęcherzyka.

2.2. Budowa przepływomierza

Budowę przepływomierza przedstawiono na rysunku 2. Gaz doprowadzony jest do dyszy 2 zamontowanej w dolnej części zbiornika pomiarowego 1 wypełnionego cieczą o lepkości rzędu $\mu_c = 0,2$ Pa·s i napięciu powierzchniowym w granicach $\sigma = 0,07$ N/m. Proponuje się zastosowanie oleju silnikowego MOBIL 1 5W/50, którego gęstość wynosi $\rho_c = 864,7$ kg/m³. Zawór zwrotny 3 zabezpiecza przed wylewaniem się oleju, a także przed zassaniem oleju w przypadku powstania podciśnienia w układzie pomiarowym. Gaz wydostający się z dyszy unosi się w cieczy wypełniającej zbiornik w postaci pęcherzyków. Przy

odpowiednim doborze średnicy dyszy można uzyskać pęcherzyki o regularnym kształcie i wydostające się w stałych odstępach czasu. Stanowi to podstawę do pomiaru objętości unoszących się pęcherzyków. Pomiar pęcherzyków realizowany jest na zasadzie skanowania przekroju badanego i detekcji obecności w nim pęcherzyka gazu. Przekrój badany prześwietlany jest wiązką światła spójnego, emitowanego ze źródła 4. W przypadku natrafienia wiązki światła na pęcherzyk gazu ulega ona roztrzęsieniu na kilka składowych w wyniku czego następuje osłabienie wiązki światła docierającej do detektora światłowodowego 5. Sygnały świetlne z detektora zamieniane są w przetworniku pomiarowym 6 na sygnał elektryczny o standardzie TTL. Jako przetwornik proponuje się zastosowanie odbiornika TORX173 ze złączem TOCP155 firmy TOSHIBA. Sygnał z przetwornika rejestrowany jest na komputerze 8 wyposażonym w 48 wejściową kartę pomiarową firmy AMBEX o symbolu PIO 055.

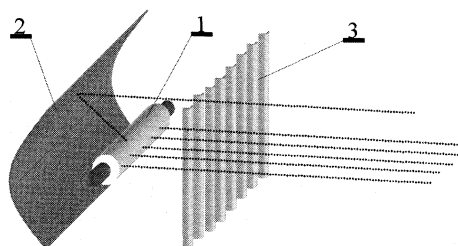


Rys. 2. Budowa przepływomierza
Fig. 2. A flow meter structure

Średnicę dyszy oblicza się na podstawie zależności 2 dla maksymalnego przepływu gazu przy założeniu, że średnica pęcherzyka nie przekracza połowy długości detektora. W modelowym rozwiązaniu zastosowano dyszę o średnicy 3 mm, co pozwala na uzyskanie pęcherzyków rzędu 6-10 mm przy długości detektora 24 mm.

2.2.1. Źródło światła

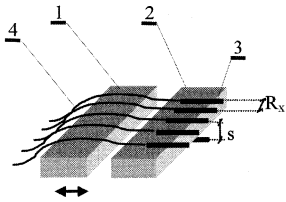
Źródło światła stanowi żarówka włóknowa umieszczona w ognisku zwierciadła wklęsłego z układem soczewek korygujących (rys. 3). Żarówka powinna mieć kształt walca o długości większej od długości detektora. Tego typu kształt zapewnia uzyskanie równomiernego natężenia wiązki światła wzdłuż przekroju oświetlanego. Umieszczenie żarówki 1 w ognisku zwierciadła 2 gwarantuje uzyskanie wzajemnie równoległych promieni świetlnych w kierunku pionowym. W celu lepszego ukierunkowania wiązki w kierunku poziomym zastosowano szereg mini soczewek 3.



Rys. 3. Budowa źródła światła
Fig. 3. Light source

2.2.2. Detektor

Budowę detektora przedstawiono na rys. 4. Składa się on z rzędu światłowodów 4 umieszczonych w tulejach kolimacyjnych 3. Zastosowanie w pionie dodatkowego czujnika w środkowej części detektora umożliwia pomiar prędkości ruchu pęcherzyka, co z kolei umożliwia wyznaczenie jego średnicy pionowej. Dla modelowego rozwiązania odległość ta wynosi $s=4\text{mm}$. Rozdzielczość układu zależy od odstepu R_x pomiędzy światłowodami oraz pola widzenia detektora, które można regulować długością szczeliny kolimacyjnej czujnika światłowodowego, która wynosi 0,5 mm, co pozwala uzyskać dokładność pomiaru rzędu 5%. Regulację osiąga się poprzez przesunięcie płytki ruchomej 1 z zamocowanymi na stałe światłowodami względem nieruchomej płytki 2 z zamocowanymi tulejkami kolimacyjnymi.

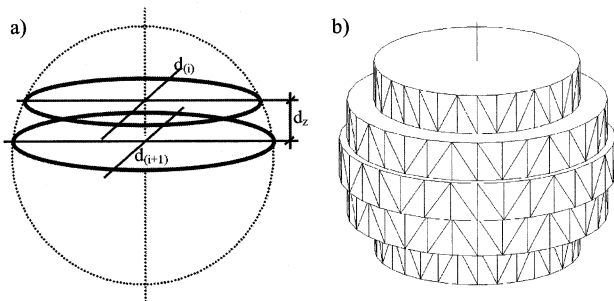


Rys. 4. Detektor światłowodowy
Fig. 4. Wave guide detector

2.2.3. Oprogramowanie

Do rekonstrukcji obrazu zastosowano algorytm inteligentny oparty na sieciach neuronowych. Umożliwia to uzyskanie obrazu o dobrej jakości, przy optymalnym czasie obliczeń.

Rekonstrukcja polega na przybliżeniu kształtu pęcherzyka szeregiem walców (rys. 5) [8]. Określenie kształtu pęcherzyka jest realizowane poprzez wyznaczenie objętości walcami o wysokości d_z .



Rys. 5. Przybliżenie kształtu pęcherzyka: a) idea, b) przybliżenia walcami
Fig. 5. Approximation of a bubble shape a) idea, b) approximation by cylinders

Obliczenie objętości pęcherzyka polega na zsumowaniu objętości walców składających się na pęcherzyk, wzór na objętość przyjmuje następującą postać:

$$V_w = \sum_{i=1}^{n-1} V_i = \frac{d_z \pi}{4} \sum_{i=1}^{n-1} d_{(i)}^2 \quad (3)$$

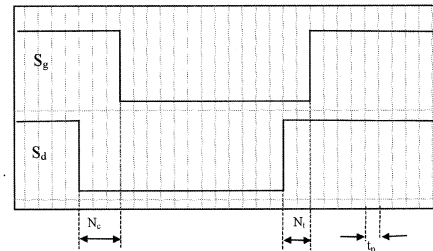
gdzie: V_i - objętość składowa jednego plastra, $d_{(i)}$ - średnice walca i-tego plastra, d_z - wysokość plastra, n - liczba plasterów składających się na pęcherzyk.

Wyznaczenie przesunięcia d_z pomiędzy poszczególnymi elipsami polega na obliczeniu drogi przebytej przez pęcherzyk pomiędzy kolejnymi pomiarami. Jest ona uzależniona od prędkości poruszania się pęcherzyka oraz od czasu próbkowania, zgodnie ze wzorem

$$d_z = w_n t_p \quad (4)$$

gdzie: t_p - czas próbkowania, w_n - prędkość pęcherzyka.

Wyznaczenie prędkości poruszania się pęcherzyka następuje na drodze analizy przebiegów sygnałów pomiarowych pochodzących z odpowiednich sond optycznych znajdujących się w górnej i dolnej warstwie detektora pokazanych na rys. 4. Typowy przebieg sygnału wyjściowego z przetwornika pomiarowego, pochodzącego z dwóch sond optycznych przedstawiono na rys. 6. Przebieg S_g pochodzi z sondy znajdującej się w górnej warstwie, a przebieg S_d z sondy znajdującej się w osi poniżej w warstwie dolnej.



Rys. 6. Typowe przebiegi czasowe zarejestrowane za pomocą karty pomiarowej
Fig. 6. Typical time courses registered with a measuring card

Na zarejestrowanych przebiegach czasowych obserwuje się przesunięcie czasowe związane z ruchem pęcherzyka pomiędzy sondami pomiarowymi (N_c i N_t). Jest to czas potrzebny na przebycie przez pęcherzyk odległości L pomiędzy dolną a górną warstwą czujników. Ponieważ pomiar czasu jest obciążony błędem, niekoniecznie odpowiednie czasy (N_c , N_t) są sobie równe. Z tego względu we wzorach na prędkość uwzględnia się wartości średnie arytmetyczne czasów [9].

$$w_n = \frac{s}{\frac{1}{2}(N_c + N_t) t_p} \quad (5)$$

gdzie: s - odległość pomiędzy warstwami detektorów, N_c , N_t - liczba taktów zegara świadcząca o czasie przelotu czola i tyłu pęcherzyka pomiędzy sondami S_g i S_d , t_p - czas próbkowania.

Prędkości średnie wyznacza się na podstawie obliczenia średniego czasu przesunięcia pomiędzy przebiegami S_g i S_d

$$w_s = \frac{s}{n_z t_p} \quad (6)$$

gdzie n_z - średnia liczba taktów zegara.

Liczba taktów zegara n_z została określona metodą korelacyjną. Poprzez określenie liczby n dla której wartość funkcji korelacji osiąga wartość maksymalną:

$$K_{\max} = \sum_{n_z \rightarrow N_p}^{N_p - n_z} d_i^1 d_{i+n_z}^2 \quad (7)$$

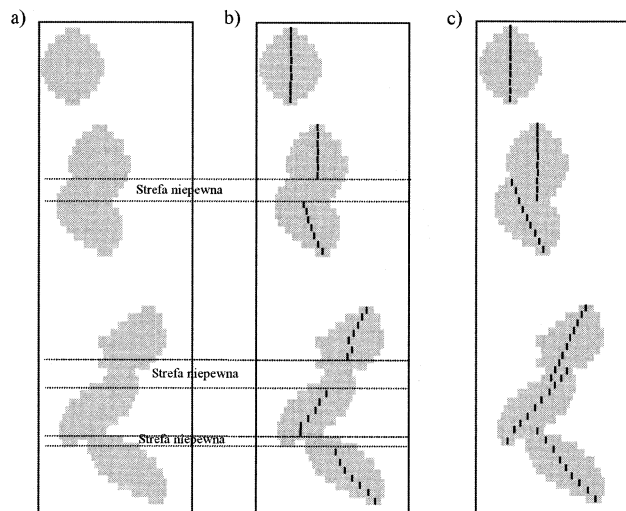
gdzie: d^1 - dane pomiarowe pochodzące od czujnika dolnego, d^2 - dane pomiarowe pochodzące od czujnika górnego, N_p - całkowita liczba próbek badanych sygnałów.

Proces rekonstrukcji obrazu polega na tym że dane z pomiaru po wstępnym przetworzeniu na postać binarną są gromadzone w pamięci komputera. Po zarejestrowaniu całej sekwencji pomiarów następuje segmentacja danych, mająca na celu wydzielenie tych danych które mają znaczący wpływ na rekonstruowany obraz. Na tej podstawie wydzielane są cechy obiektu w oparciu o które, za pomocą odpowiedniego algorytmu, rekonstruuje się obraz pęcherzyków.

Analiza obrazu przebiega w oparciu o algorytm decyzyjny [8, 11]. Polega on na wyłonieniu ze zbioru uczącego takiego obiektu, którego cechy są w największym stopniu zbliżone do cech wyznaczonych na podstawie danych pomiarowych. W zależności od klasy obiektu konieczne jest zastosowanie odpowiednich cech charakteryzujących daną klasę. Wybór cech odbywa się w oparciu o odpowiednie reguły, znajdujące się w zbiorze reguł. Cechy powinny być zdyskryminowane, tzn. różne klasy obiektów powinny posiadać różne cechy. W obrębie danej klasy cechy powinny być podobne. Ponadto, cechy nie powinny być ze sobą skorelowane.

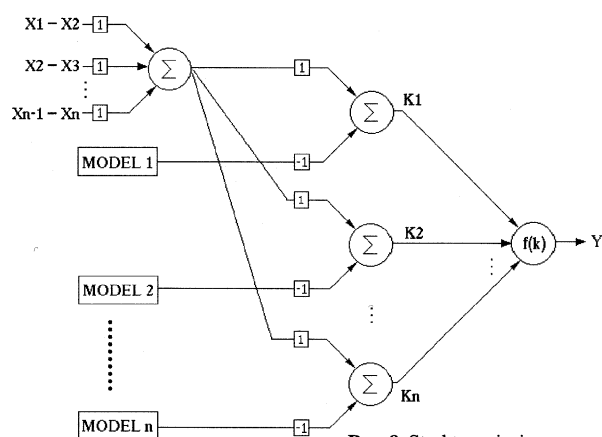
Typowe obrazy pęcherzyków przedstawiono na rys. 7. Obrazy pochodzą z dwóch detektorów ustawionych pod kątem prostym względem siebie. Linia przerywana określa granicę obrazu z poszczególnych detektorów. W etapie segmentacji dokonuje się wydzielenia z obrazu stref niepewnych. Strefy niepewne to takie, w których liczba pęcherzyków dla obu przekrojów pomiarowych jest różna (rys. 7a). Następnie przeprowadza się wyznaczenie średnic geometrycznych dla

przekroji pewnych (rys. 7b). Ponieważ wyniki pomiaru są obciążone błędem, konieczne jest skorygowanie średnic w oparciu o odpowiedni model matematyczny obrazu pęcherzyka. Przyporządkowanie pęcherzykowi odpowiedniego modelu jest realizowane w oparciu o sieć neuronową. W ostatnim kroku następuje przedłużenie średnic pęcherzyków w oparciu o odpowiednie modele w obszarach stref niepewnych (rys. 7c). Dla tak przygotowanych danych następuje uszeregowanie pęcherzyków w kolejności przepływu oraz przyporządkowanie poszczególnym pęcherzykom odpowiednich wartości parametrów opisujących ich kształt.



Rys. 7. Dane wejściowe otrzymane z pomiaru
Fig. 7. Input data from measurements

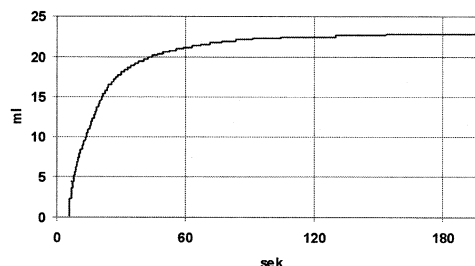
W celu skorygowania otrzymanych obrazów oraz uzupełnienia obrazu o brakujące średnice w przekrojach niepewnych opracowano algorytm analizy obrazu w oparciu o jednowarstwową sieć neuronową Kohonena [2, 13]. Strukturę tej sieci przedstawiono na rys. 8. Wartościami wejściowymi są charakterystyczne parametry dla modeli pęcherzyków. Wyłonienie neuronu zwycięzcy oparte jest na znalezieniu minimum wartości wyjściowej z poszczególnych neuronów [5, 6, 10].



Rys. 8. Struktura sieci neuronowej
Fig. 8. The structure of neural network

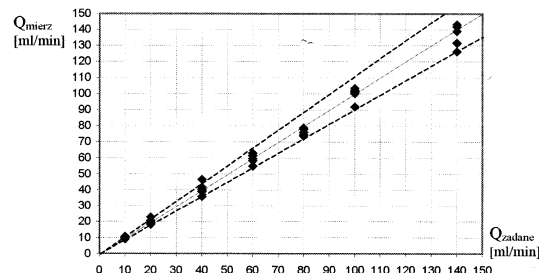
3. Podsumowanie

W oparciu o powyższą metodę zbudowano model urządzenia do pomiaru ilości i dynamiki wydzielania gazów z masy formierskiej. Przeprowadzone badania wykazały pełną przydatność opracowanej metody pomiarowej. Na rys. 9 pokazano przykładowo zarejestrowany pomiar gazu wydzielanego z masy formierskiej o masie 2 g. Dla przedstawionego przykładu dynamika zmian przepływu waha się od 60 ml/min do 2 ml/min. W badaniach testowych stwierdzono, że zakres pomiarowy modelowego urządzenia zawierał się w granicach od 0,1 ml/min do 100 ml/min.



Rys. 9. Przykładowy pomiar gazu wydzielanego z 2 g próbki masy formierskiej
Fig. 9. Exemplary measurement of gas coming from 2 g moulding sand

W celach testowych przeprowadzono szereg badań, polegających na podawaniu stałego strumienia gazu z pompy dyfuzyjnej, którego wartość została ściśle określona, a następnie zmierzeniu przepływu za pomocą przepływomierza. Porównanie wyników przedstawiono na rys. 10. Przeprowadzono sześć pomiarów dla każdej wartości przepływu, co pozwala na oszacowanie niepewności pomiaru. Punkty pomiarowe aproksymowano linią prostą. Linią przerywaną oznaczono odchyłkę rzędu $\pm 10\%$.



Rys. 10. Zależności przepływu zmierzonego w zależności od zadanego
Fig. 10. The measured flow versus the APPLIED FLOW

Przetastawione rozwiązanie przepływomierza może znaleźć zastosowanie nie tylko w badaniu mas formierskich, ale także w wszelkiego rodzaju procesach suszenia, gdzie intensywność wydzielającego się gazu jest informacją o przebiegu procesu.

4. Literatura

- [1] Bakiniowska K. i inni; *Pomiary cieplne cz.1*; WNT Warszawa 1995r.
- [2] Korbicz J., Obuchowicz A., Uciński D.: „*Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy i zastosowania*”, PLJ, Warszawa 1994
- [3] Orzechowski Z.: *Przepływy dwufazowe jednowymiarowe ustalone adiabatycznie*, PWN Warszawa 1990
- [4] Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*, WNT Warszawa 1997r.
- [5] Osowski S.: *Sieci neuronowe i logika rozmyta*; Metrologia Wspomagana Komputerowo, Tom 1 s.49-90, Zegrze k/Warszawy 1997
- [6] Osowski S.: *Sieci neuronowe w metrologii i w przetwarzaniu sygnałów*; Metrologia Wspomagana Komputerowo, Tom 1 s.89-118, Rynia k/Warszawy 1999
- [7] Rząsa M.R.: *Koncepcja komputerowego tomografu do badania procesu aeracji cieczy*, XXIX Międzyuczelniana Konferencja Metrologów, Lublin 10-12 września 1997
- [8] Rząsa M.R.: *Rekonstrukcja kształtu pęcherzy powietrza przy zastosowaniu metody optycznej*, Krajowy Kongres Metrologii, Gdańsk wrzesień 1998
- [9] Rząsa M.R.: *Optyczna metoda pomiaru prędkości miejscowych pęcherzyków gazu w kolumnie wypełnionej cieczą*; XVIII Międzynarodowe Sympozjum Naukowe Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Zielona Góra, kwiecień 1996
- [10] Rząsa M.R., Dobrowolski B.: *Zastosowanie sieci neuronowej do rekonstrukcji kształtu pęcherzyków gazu*; Metrologia i Systemy Pomiarowe, Tom VI, z.4/1999
- [11] Rząsa M.R., Dobrowolski B.: *Evaluation of Accuracy of Reconstruction of Air Bubbles Shape in The Computer-Assisted Optical Tomograph for Tests of Liquid Aeration*, 1st International Symposium on Process Tomography in Poland, Jurata 2000
- [12] Terasaka K., Tsuge H.: *Bubble Formation Under Constant-Flow Conditions*; Chemical Engineering Science, Vol.48, No. 19, 1993, s. 3417-3422
- [13] Żuranda J., Barski M., Jędruch W.: *Sztuczne sieci neuronowe*, PWN, Warszawa 1996

Title: Measurements of gas coming from moulding sands

Artykuł recenzowany

Artykuł dofinansowany przez Przemysłowy Instytut Elektroniki (reklama PIE - str. 23)