

## KONCEPCJA SYSTEMU REJESTRACJI TEMPERATURY W RENOWACYJNEJ KABINIE LAKIERNICZEJ

*Aby poprawnie zamodelować obiekt rzeczywisty jako obiekt sterowania automatycznego, należy zidentyfikować jego dynamikę. W przypadku identyfikacji dynamiki jego elementów składowych, wymagana jest rejestracja wielu zmiennych. W artykule przedstawiono koncepcję systemu pomiarów i rejestracji temperatury w renowacyjnej kabine lakierniczej. Rejestracja temperatury w wybranych punktach pozwoli na identyfikację dynamiki poszczególnych elementów kabiny lakierniczej jako obiektu sterowania temperaturą. Identyfikacja taka ułatwi utworzenie numerycznego modelu symulacyjnego w celu realizacji prac badawczo rozwojowych nad efektywnością energetyczną kabin lakierniczych.*

### WSTĘP

Pierwszym krokiem w procesie doboru odpowiedniej postaci i nastaw regulatora dla danego obiektu sterowania jest identyfikacja jego dynamiki. W wielu przypadkach dla sterowania temperaturą, stosowane są uniwersalne regulatory temperatury. W regulatorach tych, nastawy parametrów regulacji są zadawane przez użytkownika lub dobierane automatycznie poprzez regulator z wykorzystaniem funkcji autotunningu. Automatyczne dostrajanie parametrów regulatora nie zawsze daje zadawalające parametry sterowania, natomiast dobieranie nastaw regulatora przez użytkownika wymaga dokładnej identyfikacji dynamiki obiektu sterowania.

W przypadku układów regulacji temperatury w kabinach lakierniczych zazwyczaj stosowane są regulatory uniwersalne z funkcją autodostrajania lub wbudowane moduły regulacji w sterownikach PLC. Najczęściej są to regulatory PID.

Kabina lakiernicza jako obiekt sterowania temperaturą powietrza jest obiektem niestacjonarnym [1]. Niestacjonarność dynamiki kabiny lakierniczej jest związana z wieloma parametrami, między innymi: wolumenem masy wymianianego powietrza, temperaturą powietrza zewnętrznego, trybem pracy kabiny lakierniczej.

Autorzy podjęli prace nad identyfikacją dynamiki wybranej kabiny lakierniczej pod względem sterowania temperaturą oraz analizy niestacjonarności takiego obiektu sterowania.

Pomiary i rejestracja temperatury w wielu punktach kabiny pozwolą na identyfikację dynamiki elementów składowych oraz całej kabiny lakierniczej [3].

### 1. SYSTEM REJESTRACJI

Jak wspomniano powyżej założono rejestrację temperatury w kilku punktach w tym temperatury pobieranego świeżego powietrza oraz temperatury otoczenia kabiny lakierniczej. W celu poprawnej identyfikacji dynamiki wymagana jest rejestracja dodatkowych informacji, takich jak: tryb pracy kabiny lakierniczej (lakierowanie, suszenie, wentylowanie, stan gotowości), stan załączenia palnika (pierwszy drugi stopień), załączenie oświetlenia. Na podstawie rejestrowanych parametrów można pośrednio wnioskować inne zmienne np. na podstawie trybu pracy kabiny lakierniczej można wnioskować kilka innych parametrów, takich jak:

- ustawienia przepustnic powietrza,

- obieg powietrza,
- stan załączenia poszczególnych wentylatorów (nawiewnego i wywiewnego).

Dysponowanie obszerną biblioteką danych pomiarowych związanych z różnymi warunkami pracy w tym warunkami atmosferycznymi umożliwi nie tylko identyfikację dynamiki kabiny lakierniczej ale również zależność tych parametrów od warunków zewnętrznych. Wyniki pomiarów we wszystkich porach roku dadzą możliwość korelacji zmienności dynamiki kabiny lakierniczej z warunkami zewnętrznymi (zależność dynamiki od temperatury panującej na zewnątrz a także temperatury otoczenia na hali).

#### 1.1. Obiekt rejestracji oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych

Aby przeprowadzić rejestrację parametrów należy mieć zapewniony dostęp do obiektu rzeczywistego. Autorzy zaplanowali rejestrację w kabine lakierniczej udostępnionej przez partnera biznesowego [9]. Planowaną kabinę przedstawiono na rysunku 1.

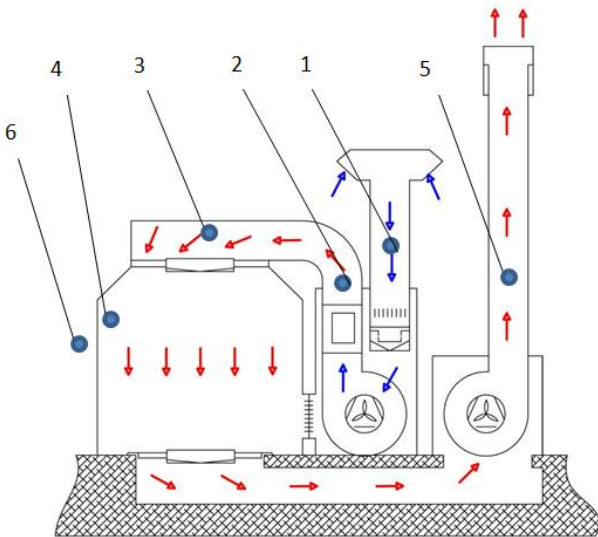


Rys. 1 kabina lakiernicza zaplanowana do rejestracji parametrów

W celu realizacji opisywanego powyżej układu pomiarów i rejestracji temperatur wraz z innymi parametrami, opracowano koncepcję systemu rejestracji w oparciu o istniejącą aparaturę (ze względów budżetowych projektu). Układ pomiarowy pozwala na sześciokanałową rejestrację temperatury oraz sześć wejść binarnych. W związku z powyższym zaplanowano pomiar temperatur w sześciu punktach kabiny lakierniczej:

- kanał nawiewnym,
- kanał wentylacyjny za wymiennikiem ciepła palnika olejowego,
- plenum (przestrzeń nad przestrzenią roboczą oddzielona filtrem sufitowym),
- przestrzeń robocza,
- kanał wentylacyjny wywiewny,
- otoczenie kabiny lakierniczej wewnątrz hali.

Na rysunku 2 przedstawiono obieg powietrza w kabine lakierniczej pracującej w trybie lakierowania oraz rozmieszczenie sześciu czujników pomiarowych temperatury.



**Rys. 2.** Rozmieszczenie punktów pomiarowych w kabine lakierniczej, 1- kanał nawiewny, 2 – punkt bezpośrednio za wymiennikiem ciepła, 3 – przestrzeń nawiewna (plenum), 4 – przestrzeń robocza, 5 – kanał wywiewny, 6 – otoczenie kabiny lakierniczej

Oprócz pomiaru temperatury, zaplanowano pobieranie z szafki sterowniczej kabiny kilku sygnałów o parametrach pracy:

- tryb pracy (lakierowanie, suszenie, wentylowanie, stan gotowości),
- praca palnika (załączenie, pierwszy/drugi stopień),
- załączenie oświetlenia.

Sygnały parametrów pracy pobierane są z różnych miejsc szafki sterowniczej: lampek informacyjnych na panelu operatorskim, przekaźników i styczników. Na rysunku 3 przedstawiono wnętrze szafki sterowniczej w kabine lakierniczej zaplanowanej do monitoringu.



**Rys. 3** Szafka sterownicza w kabine lakierniczej zaplanowanej do rejestracji parametrów pracy

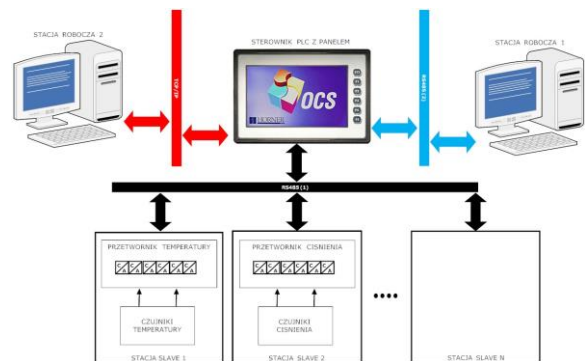
## 1.2. Struktura układu pomiarowego

Podstawowym elementem układu pomiarowego kabiny lakierniczej jest sterownik programowalny PLC zintegrowany z panelem operatorskim. Zastosowano urządzenie firmy Horner XLe7, które umożliwia stosunkowo łatwą rekonfigurację układu pomiarowego i jego rozwijanie na podstawie zmieniających się wymagań użytkownika, z wykorzystaniem dostępnych interfejsów komunikacyjnych (interfejsy szeregowy, TCP/IP, CAN). Jest to szczególnie istotne w przypadku kabiny lakierniczej, w której konieczność dokonywania pomiarów w wielu odległych od siebie punktach wymaga dużego rozproszenia czujników pomiarowych wraz z przetwornikami. W przypadku zastosowania przesyłania sygnałów w formie analogowej np. prądowej zdecydowanie zwiększałoby ilość okablowania strukturalnego oraz niebezpieczeństwo pojawiania się zakłóceń indukowanych w przewodach.

Uogólnioną strukturę układu pomiarowego przedstawiono na rys.4. Sterownik programowalny PLC z panelem stanowi stację typu master w sieci RS485 (1), wykorzystującej protokół Modbus RTU. W sieci tej każda stacja w trybie slave ma swój identyfikator, umożliwiający stacji master indywidualne odpytywanie każdej ze stacji slave. Odczytywane dane są następnie zapisywane w pamięci typu rejestrowego. Możliwe jest diagnozowanie sieci RS485 oraz poszczególnych stacji slave z poziomu jednostki master.

Istotną zaletą sterownika Horner XLe7 jest możliwość obsługi dodatkowej sieci RS485 (2), tak aby sterownik stał się źródłem danych dla systemów SCADA np. InTouch, iFix, Trace itp. W takim przypadku stacja robocza 1 pełni funkcję stacji master w sieci RS485 (2) i odbiera dane ze stacji slave z wykorzystaniem wybranego programu komunikacyjnego tzw. I/O drajwera. Istnieje również możliwość odczytywania mierzonych zmiennych za pomocą arkusza kalkulacyjnego np. Excel, Calc itp. Takie rozwiązanie umożliwia ponadto gromadzenie danych pomiarowych w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem przemysłowych baz danych np. Proficy Historian, InSQL itp. i dostęp do nich w trybie on-line lub offline.

W wielu rzeczywistych przypadkach nie ma możliwości, ze względu na warunki środowiskowe (wahania temperatury, zmienna wilgotność, zapylenie itp.) zastosowania dodatkowej stacji roboczej w celu rejestracji, archiwizowania i analizowania danych pomiarowych. Wówczas można zastosować zapis danych pomiarowych bezpośrednio w pamięci dyskowej typu flash sterownika programowalnego, przy czym użytkownik może decydować o częstotliwości zapisu i o nazwie pliku przechowywanego dane. Zakładając, że sterownik programowalny znajduje się w sieci TCP/IP (jak na rys.2), będzie możliwy zdalny odczyt i edycja pliku z danymi przy wykorzystaniu protokołu FTP po określeniu użytkownika i podaniu hasła dostępowego.



**Rys. 2** Uogólniony schemat układu pomiaru i rejestracji temperatury oraz ciśnienia w kabine lakierniczej

## PODSUMOWANIE

Pomiar temperatury w wybranych punktach umożliwi analizę zmian temperatury powietrza na poszczególnych etapach obiegu powietrza w kabinie lakierniczej. Wyniki pomiarów dają również możliwości określenia strat ciepła w różnych miejscach, na przykład w kanale podłogowym. Znajomość rozkładu temperatur powietrza pozwoli na lepsze zrozumienie zachodzących zmian. Poprawa wiedzy na ten temat pozwoli polepszenie jakości sterowania temperaturą z wykorzystaniem odpowiednich metod i scenariuszy sterowania [2,4,7,8] a także na poprawę rzetelności analiz wybranych zjawisk takich jak odzysk ciepła odpadowego przy użyciu rekuperatora [5,6].

Zastosowanie sterownika programowalnego w roli rejestratora daje duże możliwości skalowalności systemu rejestracji. Jak wyżej wspomniano do komunikacji w celu akwizycji danych pomiarowych wykorzystuje się protokoły komunikacyjne interfejsów szeregowych (lub innych). Taka komunikacja pozwala na szybkie rozszerzenie systemu o dodatkowe czujniki pomiarowe z wbudowanymi przetwornikami i interfejsami komunikacyjnymi poprzez przyłączenie do interfejsu sterownika, nadanie kolejnego adresu oraz zdefiniowanie w sterowniku nowej zmiennej dla wartości z czujnika. Układ ten można rozszerzyć nie tylko o czujniki temperatury ale również innych zmian procesowych lub właściwości fizycznych powietrza np. ciśnienia, prędkości przepływu powietrza, wilgotności itp.

## BIBLIOGRAFIA

1. Jaszczak S., Nikończuk P., A Model of The Refinishing Spray Booth as a Plant of Automatic Control, *Pomiary Automatyka Kontrola*
2. Jaszczak S., Nikończuk P., Synthesis of spray booth control software in programmable controller, *Przegląd Elektrotechniczny* 11/2015(1):182-185, doi:10.15199/48.2015.11.44
3. Jaszczak S., Pluciński M., Piegat A., Identyfikacja parametrów nieliniowego napędu systemu dynamicznego, *Konferencja Naukowo-Techniczna Współczesne Problemy w Budowie i Eksploatacji Maszyn*, Szczecin 1996
4. Nikończuk P., Evolutionary algorithms application for optimal controller design, *Polish Journal of Environmental Studies*, 2008, Vol. 17(4C):88-90
5. Nikończuk P., Study of Heat Recovery in Spray Booths, *Metal Finishing* Vol. 111 (6): 37-39,
6. Nikończuk P., Preliminary analysis of heat recovery efficiency decrease in paint spray booths, *Transactions of the Institute of Metal Finishing* 2014 VOL 92(5): 235-237
7. Ogonowski Z., Drying control system for spray booth with optimization of fuel consumption, *Applied Energy* 88 (2011) 158
8. Sacha K., *Projektowanie oprogramowania systemów sterujących*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1999
9. www.icrc.pl

### A concept of registration system of temperatures in spray booth

*In case to correct modeling of real object as the automatic control plant, its dynamic must be identified. If dynamics of the object's components are identified then many parameters records are necessary. The paper presents the concept of measurement and recording system of temperatures inside the refinishing spray booth. Data history of temperatures at the different points in spray booth will help to identify dynamics of spray booth components. The transfer functions describing dynamics of components will help to create a numerical model for simulations of spray booth operation. A model can be used at research and development work focused on spray booth's energy efficiency.*

Autorzy:

dr inż. **Piotr Nikończuk** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Katedra Klimatyzacji i Transportu Chłodniczego, e-mail: piotr.nikonczuk@zut.edu.pl.

dr inż. **Sławomir Jaszczak** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Informatyki, e-mail: slawomir.jaszczak@zut.edu.pl