

MONITORING PRACY CENTRALI KLIMATYZACYJNEJ

W artykule został przedstawiony system monitorowania centrali klimatyzacyjnej. System ten składa się z kilku elementów pomiarowych (ciśnienie, temperatura, wilgotność, energia, itp. czujników) połączonych za pomocą sieci szeregowej RS485. Sygnały pomiarowe są źródłem danych dla środowiska SCADA. Pierwszy etap rozwoju był związany z wyborem urządzeń pomiarowych i budowy sieci szeregowej. Autorzy opisali również jak wprowadzić dane do sieci TCP / IP. W pierwszej części artykułu przedstawiono centralę klimatyzacyjną jako obiekt monitoringu. Następnie autorzy opisali podstawy teoretyczne, które są potrzebne dla obliczania wydajności chłodniczej, grzewczej i efektywności odzysku ciepła w centrali. Po tym została omówiona struktura systemu z wybranymi szczegółami odnośnie integracji sprzętowej i implementacji oprogramowania SCADA. W końcowej części zostały przedstawione wybrane rzuty ekranu, aby pokazać typowe tryby pracy centrali oraz skuteczność opracowanego systemu monitorującego.

WSTĘP

Współczesny człowiek spędza blisko 90% życia w zamkniętych pomieszczeniach, narażając się na działanie toksycznych substancji wydzielających się z materiałów budowlanych i wyposażenia wewnątrz [2]. Z uwagi na coraz większą hermetyzację pomieszczeń oraz rosnące zanieczyszczenie powietrza, szczególnego znaczenia nabiera zapewnienie ludziom odpowiedniego mikroklimatu w pomieszczeniach, w których spędzają większość czasu. Wpływ warunków komfortu cieplnego na samopoczucie, zdrowie i wydajność pracy człowieka jest istotny [5].

W klimatyzacji komfortu dąży się do stworzenia optymalnych warunków do pracy i wypoczynku w przestrzeniach zamkniętych, w których przebywają ludzie. Wymaga to zastosowania systemu klimatyzacji, który zapewni odpowiednie odświeżenie i czystość powietrza oraz regulację jego temperatury i wilgotności.

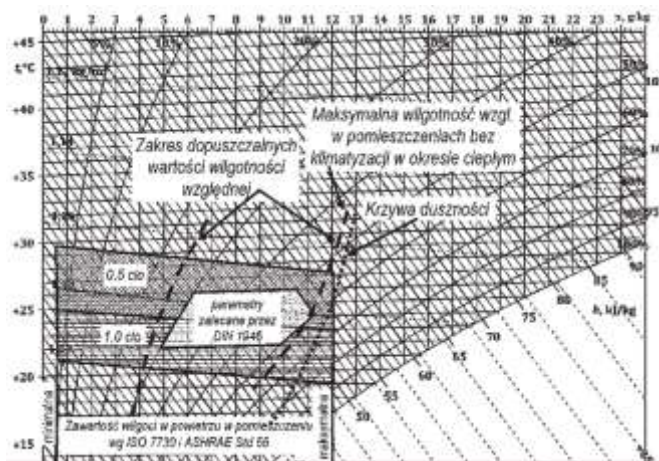
System klimatyzacji powinien realizować następujące procesy:

- dostarczenie odpowiedniego strumienia powietrza zewnętrznego,
- filtracja powietrza,
- ogrzewanie lub chłodzenie powietrza,
- nawilżanie lub osuszanie powietrza,
- automatyczna regulacja parametrów.

Dodatkowo musi być zapewnione:

- odpowiednia prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi,
- odpowiednia temperatura powierzchni otaczających,
- ograniczony hałas,
- odpowiedni ładunek elektrostatyczny powietrza i powierzchni,
- brak przenoszenia zapachów,
- energooszczędna praca systemu.

Obszar zalecanych parametrów powietrza ilustruje rysunek 1. Temperatura powietrza w strefie przebywania ludzi powinna wynosić w zimie 20-22°C, w lecie 22-26°C. Optymalna wartość wilgotności względnej zawiera się w zakresie 40-60%, zimą jest dopuszczalna 30%. Granica obszaru zawartości wilgoci i temperatury szczególnie uciążliwego dla ludzi jest określona krzywą duszności. Prędkości powietrza w strefie przebywania ludzi powinny być rzędu 0,03-0,12 m/s w okresie zimy oraz 0,18-0,40 m/s w okresie lata [4].

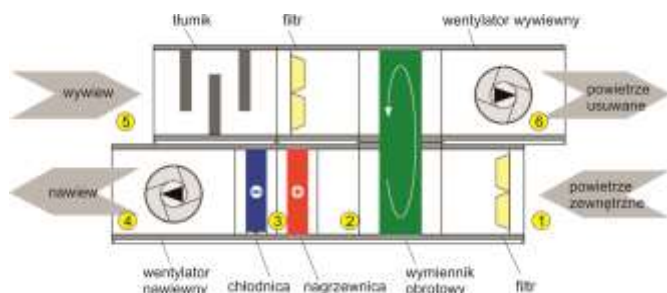


Rys. 1. Obszary zalecanych parametrów powietrza w pomieszczeniach wentylowanych i klimatyzowanych [4]

Monitoring i wizualizacja pracy systemu klimatyzacji umożliwia obserwację prawidłowości jego pracy, a także zmian parametrów powietrza i procesów obróbki ciepło-wilgotnościowej w czasie rzeczywistym. W dalszej części artykułu przedstawiony będzie opracowany system monitoringu pracy centrali klimatyzacyjnej, który realizuje funkcje zbierania danych z szeregu czujników i przetworników pomiarowych oraz prezentowania ich na schemacie instalacji oraz w formie wykresów. Możliwa jest też archiwizacja danych pomiarowych i ich obróbka z wykorzystaniem zewnętrznego oprogramowania, np. Excel, Matlab.

1. OPIS CENTRALI KLIMATYZACYJNEJ

Analizowany system klimatyzacji obsługuje dwa pomieszczenia: salę laboratoryjną i wykładową. Zbudowany jest w oparciu o centralę nawiewno wywiewną z odzyskiem ciepła typu VS-75-L-RHC/S firmy VTS, przedstawioną na rysunku 2. Podstawowe parametry centrali zestawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Schemat centrali klimatyzacyjnej: 1-6 punkty pomiaru parametrów powietrza [opracowanie własne]

Tab. 1. Parametry centrali klimatyzacyjnej [3]

Parametr	Jednostka	Wartość
Strumień powietrza nawiewanego	m ³ /h	5000
Strumień powietrza wywiewanego	m ³ /h	5000
Moc grzewcza	kW	20
Moc chłodnicza	kW	25
Sprawność temperaturowa odzysku ciepła w okresie zima/lato	%	82 / 83
Sprawność wilgotnościowa odzysku ciepła w okresie zima/lato	%	56 / 0

Powietrze zewnętrzne dopływające do centrali jest wstępnie oczyszczane w filtrze i trafia do regeneracyjnego wymiennika obrotowego, w którym jest podgrzane lub ochłodzone w wyniku odzysku ciepła z powietrza usuwanego z pomieszczeń. Następnie powietrze jest ogrzewane w nagrzewnicy lub chłodzone w chłodnicy w zależności od potrzeb. Wentylator nawiewny przetłacza uzdatnione powietrze do pomieszczeń klimatyzowanych. Powietrze zużyte jest usuwane z pomieszczeń przez część wywiewną centrali. Poprzez tłumik hałasu i filtr przepływa do wymiennika obrotowego, gdzie odzyskiwane jest z niego ciepło. Wentylator wywiewny przetłacza zużyte powietrze kanałem na zewnątrz obiektu.

Centrala realizuje następujące podstawowe tryby pracy:

- wentylacja (bez załączania nagrzewnicy i chłodnicy),
- ogrzewanie,
- chłodzenie i osuszanie powietrza.

2. WYZNACZANIE PARAMETRÓW PRACY CENTRALI

Rzeczywiste parametry pracy centrali są wyznaczone według poniższych zależności [1], na podstawie wyników pomiarów parametrów powietrza w punktach zaznaczonych na rysunku 2.

Wydajność chłodniczą i grzewczą określają zależności:

$$Q_{ch} = \dot{V} \cdot \rho \cdot (h_3 - h_4) \quad (1)$$

$$Q_g = \dot{V} \cdot \rho \cdot (h_3 - h_2) \quad (2)$$

gdzie:

Q_{ch} – wydajność chłodnicza, kW;

Q_g – wydajność grzewcza, kW;

\dot{V} – strumień objętościowy powietrza, m³/s;

ρ – gęstość powietrza, według zależności (3), kg/m³;

h – entalpia właściwa powietrza, według zależności (8), kJ/kg.

Gęstość powietrza może być wyznaczona ze wzoru:

$$\rho = \frac{p \cdot (1 + x)}{(287,04 + 461,4 \cdot x) \cdot T} \quad (3)$$

gdzie:

x – zawartość wilgoci, według zależności (4), kg/kg p.s.;

T – temperatura bezwzględna powietrza [K];

p – ciśnienie bezwzględne powietrza [Pa].

Zawartość wilgoci wyznaczana jest ze wzoru:

$$x = 0,621945 \cdot \frac{P_w}{p - P_w} \quad (4)$$

gdzie:

p_w – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu, według zależności (5), Pa;

p – ciśnienie bezwzględne powietrza [Pa].

Ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu wyznaczane jest z zależności:

$$P_w = \varphi \cdot P_{ws} \quad (5)$$

gdzie:

P_{ws} – ciśnienie nasycenia pary wodnej, według zależności (6) lub (7), Pa;

φ – wilgotność względna powietrza, -.

Ciśnienie nasycenia nad lodem dla temperatur w zakresie $-100 \div 0^\circ\text{C}$ określa zależność:

$$\ln P_{ws} = C_1/T + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6T^4 + C_7 \ln T \quad (6)$$

gdzie:

T – temperatura bezwzględna powietrza [K];

$C_1 = -5,6745359 \text{ E}+03$;

$C_2 = 6,3925247 \text{ E}+00$;

$C_3 = -9,6778430 \text{ E}-03$;

$C_4 = 6,2215701 \text{ E}-07$;

$C_5 = 2,0747825 \text{ E}-09$;

$C_6 = -9,4840240 \text{ E}-13$;

$C_7 = 4,1635019 \text{ E}+00$;

Ciśnienie nasycenia nad wodą dla temperatur w zakresie $0 \div 200^\circ\text{C}$ określa zależność:

$$\ln P_{ws} = C_8/T + C_9 + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13} \ln T \quad (7)$$

gdzie:

$C_8 = -5,8002206 \text{ E}+03$;

$C_9 = 1,3914993 \text{ E}+00$;

$C_{10} = -4,8640239 \text{ E}-02$;

$C_{11} = 4,1764768 \text{ E}-05$;

$C_{12} = -1,4452093 \text{ E}-08$;

$C_{13} = 6,5459673 \text{ E}+00$;

Entalpię właściwą powietrza wilgotnego wyznacza się ze wzoru:

$$h = 1,006 \cdot t + (2501 + 1,86 \cdot t) \cdot x \quad (8)$$

gdzie:

t – temperatura powietrza, $^\circ\text{C}$.

Całkowita sprawność odzysku ciepła w wymienniku obrotowym z powietrza usuwanego wyznaczana jest ze wzoru:

$$\eta_c = \frac{\dot{m}_1 \cdot (h_2 - h_1)}{\dot{m}_5 \cdot h_5 - \dot{m}_1 \cdot h_1} \cdot 100\% \quad (9)$$

gdzie:

\dot{m} – strumień masowy powietrza, kg/s;

1 – powietrze zewnętrzne przed wymiennikiem odzysku ciepła;

2 – powietrze nawiewane za wymiennikiem odzysku ciepła;

3 – powietrze wywiewane przed wymiennikiem odzysku ciepła.

Sprawność temperaturowa odzysku ciepła z powietrza usuwanego wyznaczana jest ze wzoru:

$$\eta_t = \frac{t_2 - t_1}{t_5 - t_1} \cdot 100\% \quad (10)$$

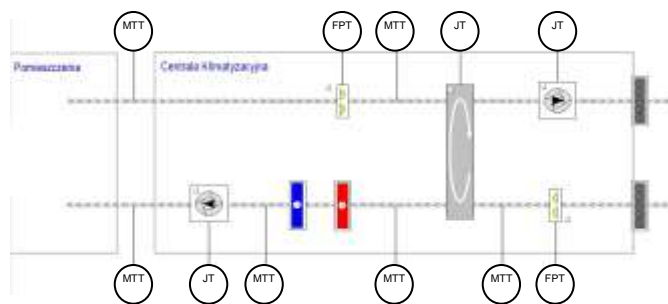
3. OPRACOWANIE SYSTEMU MONITORINGU

Z uwagi na gabaryty centrali klimatyzacyjnej oraz stopień rozproszenia, zaplanowanych punktów pomiarowych zdecydowano o zastosowaniu rozwiązania sieciowego tj. magistrali szeregowej RS485 do połączenia wszystkich elementów pomiarowych i i protokołu Modbus RTU do przesyłania danych pomiarowych, co przedstawiono na rys.3 . Tego typu rozwiązanie gwarantuje minimalizację długości okablowania i umożliwia swobodną rozbudowę systemu pomiarowego w przyszłości.

Opierając się na założeniach wstępnych, odnośnie liczby punktów pomiarowych oraz oczekiwanego czasu próbkowania, autorzy skonfigurowali :

- cztery liczniki energii i mocy czynnej (PRO380-Mod firmy Astat).
- sześć przetworników temperatury i wilgotności (P18 firmy Lumei)
- dwa przetworniki ciśnienia i przepływu (DPT-Mod firmy HK-Instruments).

Rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawiono na schemacie PiA – rys.4.



Rys. 4. Schemat PiA centrali klimatyzacyjnej [opracowanie własne]

W celu zapewnienia bezproblemowej komunikacji, wszystkie urządzenia pomiarowe powinny być skonfigurowane w taki sam sposób, w oparciu o założone parametry sieci szeregowej RS485 tj.:

prędkość (ang.baudrate) – 9600 kbps, parzystość (ang. Parity) – None, bit stopu (ang. Bit stop) – 8. Mierzone parametry są przechowywane w określonych rejestrach, przedstawionych w tabeli 2. System adresowania jest oparty o oryginalną specyfikację standardu Modbus RTU.

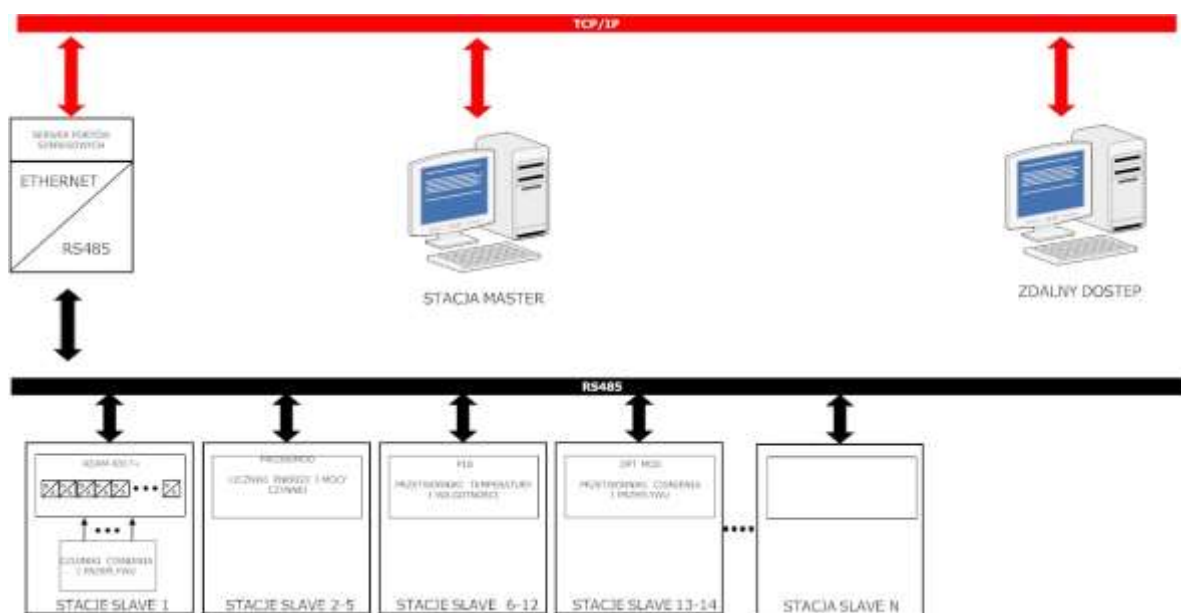
Poza konfiguracją poszczególnych stacji slave istotne jest ich powiązanie z unikalnymi identyfikatorami tzw. ID. Odczyt konkretnego parametru wymaga odwołania do adresu, który stanowi numer rejestru przechowującego wartość parametru. W tabeli 2 przedstawiono zakresy adresów i odpowiadające im zmienne.

Tab. 2. Zakresy adresów i odpowiadające im zmienne

Urządzenie	Adres	Typ zmiennej	Zakres/jednostka
Adam 4017+	40001-40007	INT	4-20 /[mA]
PRO380-Mod	408321	-	-/kW
	408324	-	-/kWh
P18	412289	-	-/kWh
	412289	-	-/kWh
P18	47501 – 47503	UINT	-20-60/[oC]
	47504 – 47505	UINT	0-100[%]
DPT-Mod	30002	UINT	0-7000 [Pa]
	30003	UINT	0-30000 [m3/s]

Zarówno numery ID oraz adresy mają podstawowe znaczenie dla poprawnej wymiany danych pomiędzy stacją Master i stacjami Slave. Zgodnie z rysunkiem sieć RS485 może być rozbudowywana o dodatkowe stacje Slave w funkcji urządzeń pomiarowych, ale również w funkcji urządzeń wykonawczych, umożliwiających oddziaływanie na instalację np. załączanie zaworu itp. Z praktycznego punktu widzenia istotnym ograniczeniem w przypadku rozbudowy sieci szeregowej RS485 jest odczuwalny spadek jej wydajności przy niskich założonych prędkościach. Przejawia się to we wzroście czasu opóźnienia odczytu poszczególnych stacji, co ma istotne znaczenie w przypadku rejestrowania sygnałów szybkozmiennych jak moc czynna czy przepływ powietrza. Problem rozwiązuje wyższa prędkość sieci RS485, ale w tym przypadku należy zwrócić uwagę na dokładność wykonania sieci RS485 tj. okablowanie typu CAN-BUS, łączenie stacji Slave w magistralę i terminowanie sieci z wykorzystaniem rezystorów terminujących na stacjach Master i ostatniej stacji Slave.

W proponowanym rozwiązaniu stacją Master stanowi dowolny komputer połączony z siecią RS485 bezpośrednio lub poprzez sieć Ethernet. W pierwszym przypadku konieczne jest zastosowanie

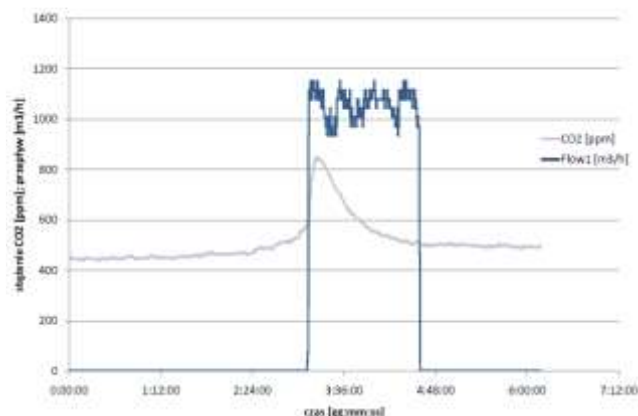


Rys. 3. Uogólniona struktura sieci szeregowej RS485 z elementami typu Slave [opracowanie własne]

sprzętowego konwertera RS485->USB lub RS485->RS232c, co w praktyce wymaga zastosowania lokalnego komputera na stałe, związanego ze stanowiskiem. W drugim przypadku elementy pomiarowe, połączenie w sieć RS485 należy włączyć do sieci Ethernet z wykorzystaniem np. serwera portów szeregowych Nport5130 firmy Moxa. Tego typu konfiguracja umożliwia swobodny dostęp do monitorowanej instalacji z dowolnego komputera włączonego do sieci lokalnej TCP/IP z zainstalowanym oprogramowaniem typu SCADA. Aby zapewnić dostęp do wybranej zmiennej należy skonfigurować serwer sieci Modbus RTU, który jest tzw. programem komunikacyjnym. Konfiguracja obejmuje zadeklarowanie kanału (ang. Channel), zgodnie z ustawieniami sprzętowymi sieci RS485, urządzeń (ang. Device) w sieci zgodnie z ID, przydzielonymi na etapie konfiguracji stacji Slave oraz bloku danych tj. adresu, zgodnie ze wskazaniem producentów. Poprawnie skonfigurowany serwer I/O stanowi podstawę prawidłowego odczytu i zapisu danych w procesowej bazie danych, ponieważ adres zmiennej procesowej bezpośrednio odwołuje się do nazwy kanału i adresu. Przykładowo dla odczytu temperatury (T1_P18_1) z przetwornika P18 (ID15) adres zmiennej procesowej to P18_1:47502, gdzie P18_1 stanowi nazwę kanału, natomiast 47502 to numer rejestru przechowującego wartość temperatury.

Aplikacja SCADA umożliwia monitorowanie instalacji w czasie rzeczywistym poprzez szereg okien synoptycznych, które mogą być wywoływane z poziomu okna głównego (rys.5), przedstawiającego uproszczony widok instalacji klimatyzacyjnej. Każda zmienna jest zapisywana do procesowej bazy danych, co określony, zadeklarowany czas, natomiast dostęp do zmiennych jest możliwy poprzez arkusz kalkulacyjny w programie Excel. Użytkownik może również przeprowadzić diagnostykę sieci RS485 i poprawności działania protokołu Modbus RTU, poprzez bezpośredni odczyt mierzonej zmiennej w oknie serwisowym.

Każda zmienna może być ponadto przedstawiona i analizowana na wykresie 2D (rys.6). Dzięki opcji eksportu danych pomiarowych do aplikacji zewnętrznych, np. Excel, możliwa jest ich dalsza obróbka i prezentacja (rys.7).



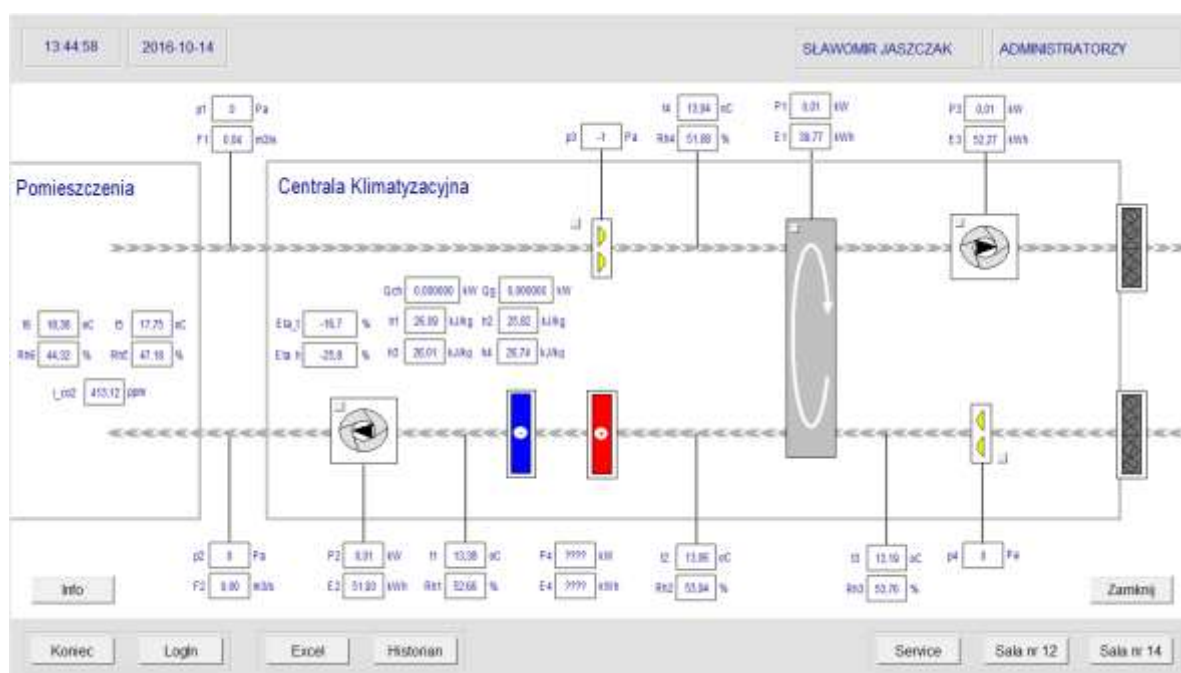
Rys. 7. Wykres zmienności stężenia CO₂ i przepływu powietrza wentylacyjnego [opracowanie własne]

PODSUMOWANIE

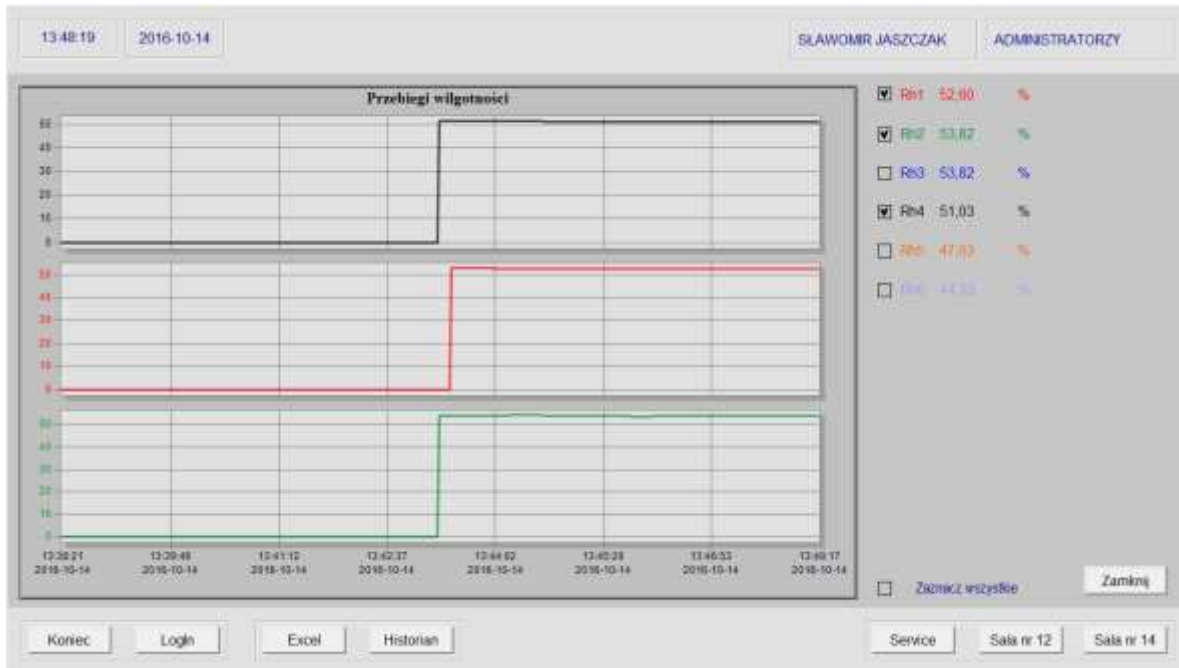
Prezentowany system monitorowania centrali klimatyzacyjnej składa się z czujników pomiarowych połączonych za pomocą sieci szeregowych RS485. Sygnały pomiarowe są źródłem danych dla środowiska SCADA. W pierwszej części artykułu przedstawiono centralę klimatyzacyjną jako obiekt monitoringu. Następnie opisano zależności potrzebne do wyznaczania wydajności chłodniczej, grzewczej i efektywności odzysku ciepła w centrali. Po tym została omówiona struktura systemu z wybranymi szczegółami odnośnie integracji sprzętowej i implementacji oprogramowania SCADA. W końcowej części zostały przedstawione wybrane zrzuty ekranu, ukazujące funkcjonalność systemu monitorującego.

BIBLIOGRAFIA

1. ASHRAE Handbook Fundamentals 2013
2. Chmielowski M., Filin S., Łokietek T., [i in.], *Chłodnictwo i klimatyzacja: Podręcznik, Tom I*, pod red. B. Zakrzewskiego. Astropoint, Odessa, 2015.
3. Dokumentacja techniczna centrali klimatyzacyjnej
4. Systemair, *Materiały pomocnicze*, Systemair, 2014.
5. Zespół chorego budynku: ocena parametrów środowiska pracy, red. E. Jankowska, M. Pośniak. CIOP, Warszawa, 2007.



Rys. 5. Okno główne monitoringu instalacji klimatyzacyjnej [opracowanie własne]



Rys. 6. Widok okna przebiegów wybranych zmiennych procesowych. [opracowanie własne]

Monitoring of the Air Handling Unit operation

In the article a monitoring system of the Air Handling Unit (AHU) was presented. This system consists of several measurement elements e.g. (pressure, temperature, humidity, energy, etc. sensors) connected using a serial RS485 network. A measurement level is a source of data for a SCADA environment. The first stage of the development was related to the selection of measurement devices and a construction of the serial network. Authors also described how to introduce the data into TCP/IP network. In the first part of the article the AHU was presented as a subject of the monitoring. Then authors described a theoretical background, which is needed for a calculation of cooling and heating capacity, heat recovery efficiency. After that a structure of the system was pre-

sented with selected details about a hardware integration and a SCADA software implementation. In the final part several screenshots were presented to show typical working modes of the AHU and to proof efficiency of the developed monitoring system.

Autorzy:

dr inż. **Tomasz Łokietek** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, e-mail: Tomasz.Lokietek@zut.edu.pl

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