

WIRELESS SYSTEM FOR AIR DUST CONCENTRATION MONITORING

SYSTEM MONITORINGU ZAPYLENIA POWIETRZA

**Adrian Jakowiuk, Edward Świstowski, Piotr Urbański, Jan Pieńkos,
Bronisław Machaj, Jerzy Salwa^{*)}**

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa
a_jakowiuk@ichtj.waw.pl

^{*)} Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska,
AL. IX Wieków Kielc 3, 25-955 Kielce

Summary

Frequently there is a need to collect measuring data of dust pollution from monitoring stations placed many kilometers away from the environment control centre. Such situation inclined for development of wireless monitoring system enabling direct communication between the environment supervision and control centre and the monitoring stations. An example of such solution can be the seat of the Inspectorate of Environment Protection in Kielce and the monitoring stations located in Starachowice and in Ostrowiec Świętokrzyski.

Streszczenie

Często zachodzi konieczność zbierania wyników pomiaru zapylenia powietrza ze stacji pomiarowych ulokowanych wiele kilometrów od ośrodka kontroli środowiska. Sytuacja ta skłoniła do opracowania bezprzewodowego systemu monitoringu pozwalającego na bezpośrednią łączność pomiędzy ośrodkiem centralnym nadzoru i kontroli środowiska a stacjami pomiarowymi. Przykładem może być siedziba Inspektoratu Ochrony Środowiska w Kielcach a mierniki zapylenia powietrza ulokowane w Starachowicach i Ostrowcu Świętokrzyskim.

1. Zasada pomiaru zapylenia powietrza

Zasada pomiaru zapylenia powietrza polega na pomiarze masy pyłu osadzonego na filtrze powietrza od znanej objętości powietrza i obliczeniu zapylenia powietrza jako stosunku masy pyłu do objętości powietrza. Obrótowy układ pomiarowy zawierający źródło promieniowania beta Pm-147 sprzężone mechanicznie z detektorem promieniowania (licznik GM) i fragment układu pneumatycznego, pozwala na osadzanie pyłu na filtrze i na pomiar filtru przed i po osadzeniu na nim pyłu [1].

Szybkość liczenia impulsów promieniowania beta r_x docierającego do detektora dane jest zależnością:

$$r_x = r_o e^{-k m_x}$$

- r_o - szybkość liczenia impulsów promieniowania po przejściu przez filtr niezapyłony ($m_x=0$)
 k - współczynnik osłabiania promieniowania
 m_x - masa osadzonego pyłu

Stąd:

$$m_x = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_x}\right)}{k}$$

Szybkość liczenia impulsów korygowana jest o straty na skutek czasu martwego toru pomiarowego. Na skutek zmian strukturalnych filtra pod wpływem strumienia powietrza, osłabienie promieniowania jest zawyżone i jest równoznaczne masie pyłu m_o . Celem kompensacji błędu pomiaru na skutek zmian ciśnienia i temperatury powietrza atmosferycznego, gdy cykl pomiarowy trwa dłużej niż 3 godz., na początku i na końcu cyklu pomiarowego dokonywany jest pomiar szybkości liczenia impulsów promieniowania beta N_1 i N_2 po przejściu przez inny nie zapyłony odcinek filtra powietrza. Zapylenie powietrza jako stosunek masy pyłu do objętości powietrza, oraz błąd standardowy zapylenia wyliczane są z zależności:

$$z = \frac{\ln\left(\frac{R_o N_2}{R_x N_1}\right) / k - m_o}{Q t}$$

$$s(z) = \frac{\sqrt{(1/R_o + 1/R_x + 1/N_1 + 1/N_2)}}{k Q t}$$

- z - zapylenie powietrza $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
 $s(z)$ - podstawowy, błąd standardowy zapylenia, $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
 Q - wydajność pompy powietrza, m^3/godz .
 t - czas pompowania powietrza, godz.
 R_o, R_x, N_1, N_2 - są liczbami zliczeń impulsów w czasie 5 min.

Gdy cykl pomiarowy jest krótszy od 3 godz., zapylenie i błąd standardowy zapylenia wyliczany jest z takich samych zależności w których pominięto człony N_1 i N_2 . Wielkość błędu standardowego zależy od masy pyłu osadzonego na filtrze. Dla zapewnienia błędu względnego pomiaru nie przekraczającego 10% należy na filtrze osadzić co najmniej 100 μg pyłu przez dobór odpowiedniego czasu pompowania powietrza przez filtr.

Oslabianie promieniowania beta zachodzi głównie na skutek oddziaływania cząstek beta z elektronami atomów pyłu, tzn. zależy ono od stosunku liczby atomowej do masy atomowej Z/A . Dla pierwiastków najczęściej wchodzących w skład pyłu takich jak: O, N, Mg, Al, Si, P, K, Ca stosunek Z/A zmienia się w granicach 0.500 do 0.482 i można uważać że praktycznie jest on stały i błąd na skutek zmiany składu chemicznego pyłu jest pomijalnie mały w stosunku do błędu podstawowego. W przypadkach gdy w skład pyłu będą wchodzić pierwiastki ciężkie, w znacznych ilościach (ponad 20%), jak np.: Cr, Cd, Pb dla których stosunek Z/A waha się na poziomie ok. 0.4 błąd

systematyczny może być znaczący. Gdy pył SiO₂ zawiera 10 % Pb, Cr, lub Cd błąd systematyczny pomiaru zapylenia powietrza wynosi 0.3%, 0.7% i 1.1% odpowiednio [2]. Pomiar wykazały, że stosunek masy: piasku, dolomitu, popiołu, cementu oraz węgla brunatnego wyznaczonej przez pomiar osłabiania promieniowania beta Pm-147 do masy oznaczonej wagowo wynosi: 0.999, 0.997, 1.015, 1.028 oraz 1.023 odpowiednio [3]. Oznacza to że względny błąd systematyczny w najgorszym przypadku nie przekracza 2.8%. Stały przepływ powietrza przez filtr 1 m³/godz. utrzymywany jest przez regulator przepływu powietrza z dokładnością nie gorszą niż 1.5% niezależnie od stopnia zapylenia filtru.

Czas trwania cyklu pomiarowego, i związany z tym czas osadzania pyłu na filtrze jest programowalny w granicach od ½ godz. do 24 godz. w 7 podzakresach, co pozwala na pomiar stężenia zapylenia powietrza w granicach 5-5000 µg/m³. Jeśli w trakcie pomiaru występuje nadmierne zapylenie filtru i jego zatykanie, pomiar zostaje skrócony oraz wyliczone zostaje zapylenie powietrza. Następny cykl pomiarowy zostaje automatycznie skrócony gdy zaprogramowany jest automatyczny cykl pomiarowy. Podobnie gdy na filtrze osadzona została masa pyłu niższa niż 100 µg następny cykl pomiarowy zostaje automatycznie wydłużony. Gdy zaprogramowany zostaje cykl ciągły (nie automatyczny) kolejne cykle pomiarowe nie są automatycznie skracane lub wydłużane.

Miernik standardowo wyposażony jest w czujniki meteorologiczne do pomiaru ciśnienia, wilgotności i temperatury powietrza atmosferycznego. Opcjonalnie miernik może być wyposażony w czujniki kierunku i szybkości wiatru.

2. Schemat blokowy i konstrukcja miernika

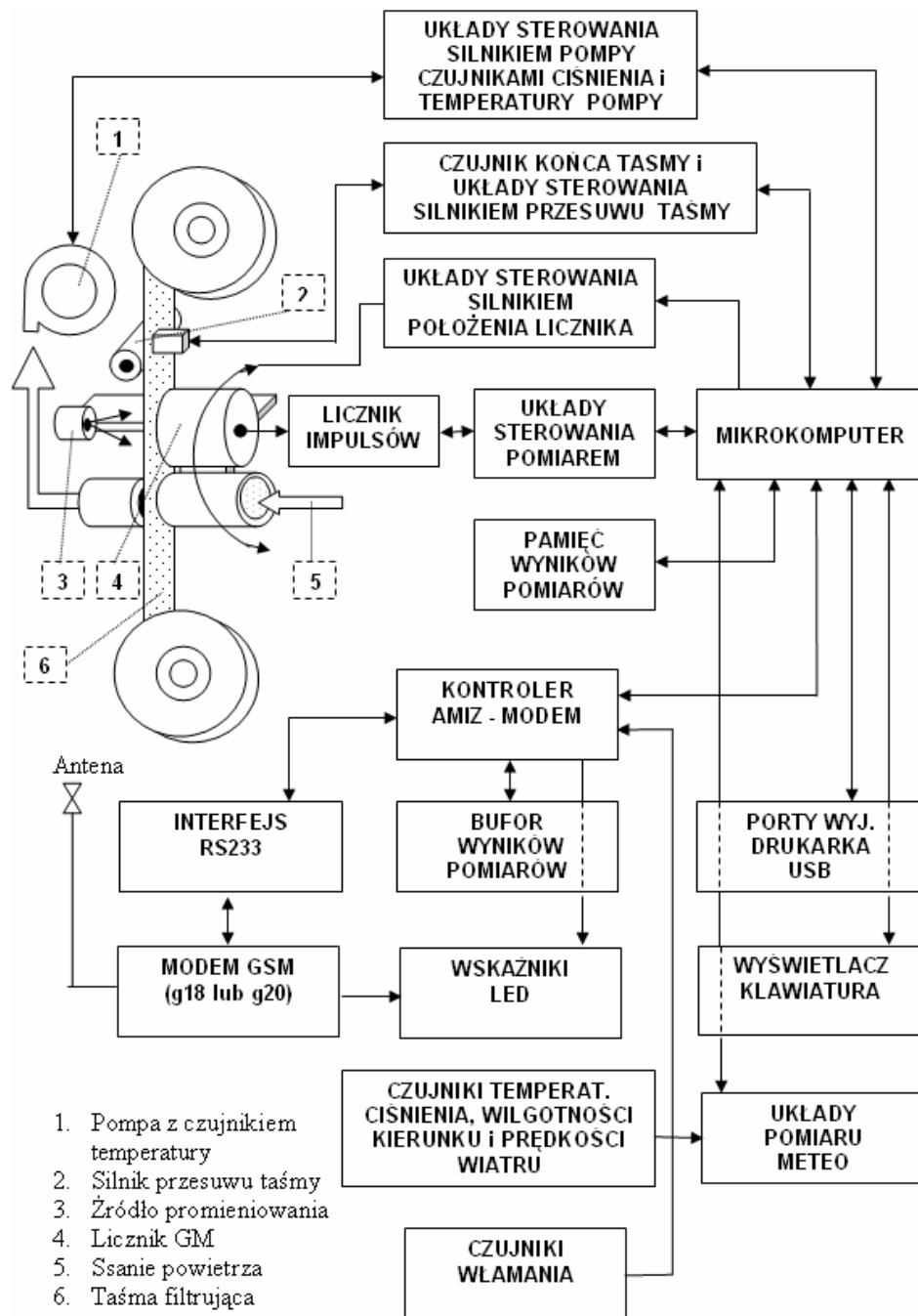
Schemat blokowo-funkcjonalny miernika przedstawia rysunek 1. Praca miernika odbywa się pod kontrolą układu mikroprocesorowego. Układ mikroprocesorowy oprócz sterowania cyklem pomiarowym, przetwarza cyfrowo sygnał z głowicy pomiarowej i oblicza zapylenie powietrza. Rejestruje również dane z czujników meteorologicznych oraz dokonuje obliczeń parametrów meteorologicznych. Wyniki wyświetlane są na lokalnym wyświetlaczu, zapisywane w pamięci miernika oraz przesyłane do ośrodka kontroli celem ich archiwizacji, i prezentacji w formie tablic, wykresów lub raportów. Przesyłanie wyników jak i zdalna komunikacja z ośrodkiem kontroli dokonywana jest bezprzewodowo z wykorzystaniem sieci telefonii komórkowej GSM. Miernik umożliwia również bezpośredni wydruk wyników pomiaru za pomocą drukarki podłączonej do gniazda drukarki CENTRONICS.

Miernik jest skonstruowany w postaci wolno stojącego urządzenia w obudowie standardu eurokarty i składa się z następujących podzespołów:

- Głowica pomiarowa, układy przetwarzania sygnału, kontroli i transmisji danych.
- Pompa powietrza.
- Standardowy wlot powietrza
- Zestaw czujników temperatury, ciśnienia i wilgotności względnej powietrza

Opcjonalnie, na życzenie użytkownika, miernik może być wyposażony w:

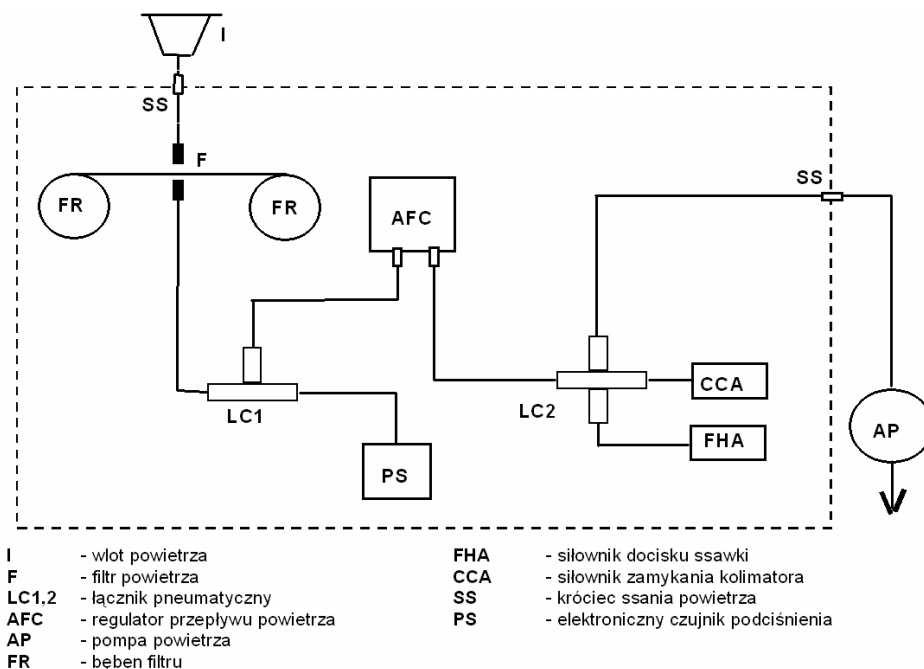
- Zespół do pomiaru szybkości i kierunku wiatru
- Drukarkę do wydruku wyników pomiarów
- Czerpnia powietrza PM-10 lub PM-2,5 odcinający cząsteczki pyłu o średnicy większej niż 10 µm lub 2.5 µm
- Zasilacz awaryjny UPS (zalecane)
- Czujniki antywłamaniowe (trzy tory do dowolnego zastosowania)



Rysunek 1. Schemat blokowo-funkcyjny miernika AMIZ 2004G
Functional block diagram of AMIZ-2004G monitor

3. Działanie układu pneumatycznego

Schemat blokowy układu pneumatycznego miernika AMIZ-2004G jest pokazany na rysunku 2. Przepływ powietrza przez filtr F jest wymuszony pompą AP która wytwarza podciśnienie w liniach układu pneumatycznego. Stały przepływ powietrza przez filtr $1 \text{ m}^3/\text{h} \pm 2\%$ zapewnia automatyczny regulator przepływu AFC. Stały przepływ powietrza jest utrzymywany w taki sposób, że wytwarzane jest pewne podciśnienie w stosunku do ciśnienia atmosferycznego.



Rysunek 2. Schemat blokowy układu pneumatycznego
Block diagram of pneumatic system

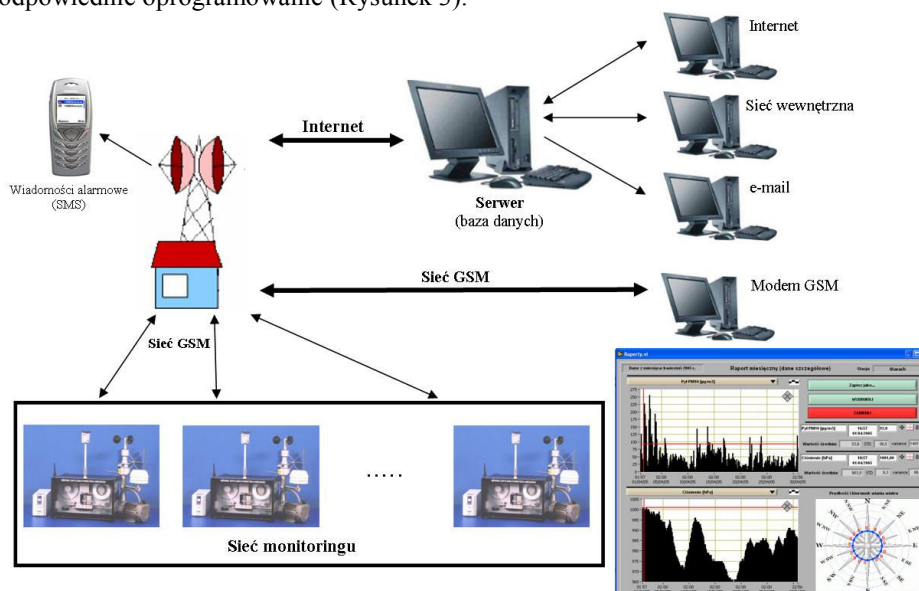
Podciśnienie rośnie w miarę osadzania się coraz grubszej warstwy pyłu na filtrze. Podciśnienie jest mierzone za pomocą elektronicznego czujnika ciśnienia PS. W przypadku gdy masa osadzonego na filtrze pyłu wzrośnie tak, że podciśnienie potrzebne do podtrzymania stałego przepływu powietrza wzrasta do 50 kPa, wysyłany jest sygnał do kontrolera, wyłączana jest pompa powietrza i skracany jest cykl pomiarowy. Dwa pneumatyczne siłowniki FHA docisku ssawki i CCA zamykania kolimatora są uruchamiane przez podciśnienie wytwarzane przez pompę powietrza AP. Pierwszy z siłowników uszczelnia pneumatyczne połączenie pomiędzy przewodem zasysania powietrza a filtrem, drugi zamyka kolimator (otwór) w podstawie układu radiometrycznego.

Podciśnienie poniżej filtru powietrza jest ciągle monitorowane i jest wskazywane na wyświetlaczu miernika. Podciśnienie wytwarzane przez pompę może być monitorowane przez czujnik podciśnienia podłączony do króćca AS na tylnej ścianie miernika. Podciśnienie wytwarzane przez pompę powietrza jest wskaźnikiem zużycia grafitowych łopatek pompy. Wlot do pompy winien być podłączony do króćca ssania powietrza umieszczonego na tylnej ścianie miernika.

4. Opis systemu bezprzewodowej transmisji wyników

Współczesna transmisja danych zapewnia stworzenie kanału informacyjnego, w którym możliwe jest przesyłanie wyników z urządzeń pomiarowych do miejsca, gdzie dane te są gromadzone i przetwarzane oraz kanału zwrotnego umożliwiającego sterowanie systemem pomiarowym. Obecnie typowe rozwiązania transmisji bezprzewodowej polegają na wykorzystaniu istniejącej infrastruktury i usług operatorów telefonii komórkowej. Dane przy pomocy modemów GSM są przesyłane pomiędzy urządzeniami monitorującymi i komputerem centralnym.

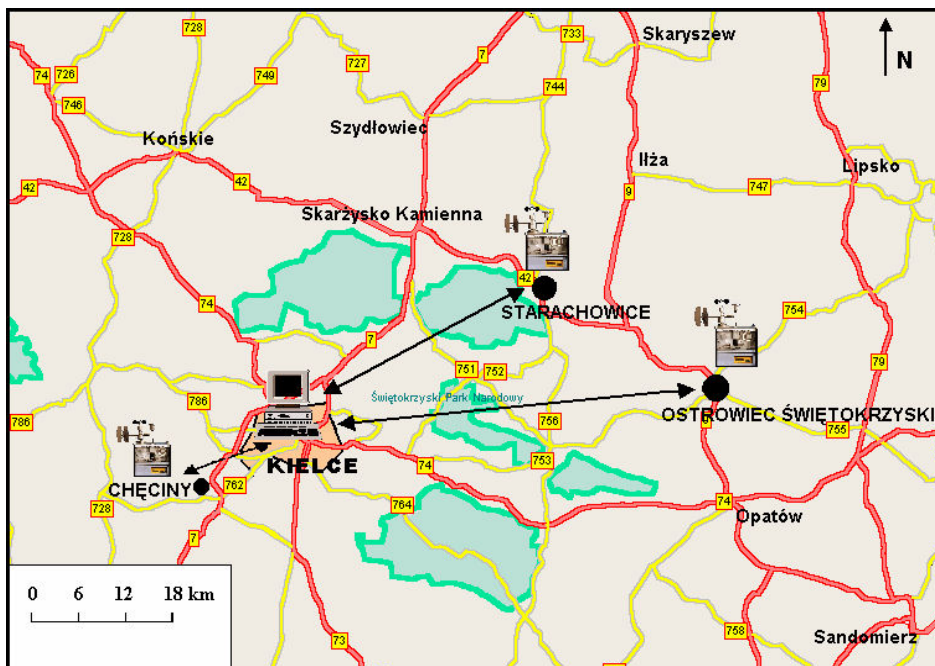
Miernik zapylenia powietrza AMIZ 2004 jest zazwyczaj instalowany w terenie – w miejscu, w którym nie zawsze można zapewnić przewodowe łącze komunikacyjne – co utrudnia pobieranie wyników wykonanych pomiarów.[4] Dzięki wyposażeniu miernika w modem GSM stworzono możliwość zdalnej komunikacji z miernikiem AMIZ 2004, a także możliwość zbudowania sieci monitoringu wykorzystujących większą liczbę mierników – dane pomiarowe ze wszystkich mierników w sieci można teraz gromadzić na jednym centralnym komputerze wyposażonym w modem GSM i odpowiednie oprogramowanie (Rysunek 3).



Rysunek 3. Schemat sieci monitoringu zapylenia powietrza
Monitoring net of dust pollution

W chwili obecnej jest uruchomiona sieć monitoringu w okolicach Kielc. Na sieć tę składają się dwa Mierniki Zapylenia Powietrza AMIZ 2004G. Dane pomiarowe z tych mierników pobierane są przez komputer centralny umiejscowiony w Wojewódzkim Inspektoracie Ochrony Środowiska w Kielcach. Pierwszy z mierników znajduje się w Starachowicach oddalonych o około 25km. Drugi zaś w Ostrowcu Świętokrzyskim odległym o około 60km (Rysunek 4).

Stworzony system oferuje ponadto, oprócz pobierania wyników pomiarów z mierników AMIZ 2004G, także odczyt danych z dwóch innych stacji pomiarowych. W stacjach tych dokonywane są pomiary: NOX, NO2, NO, SO2 [5].

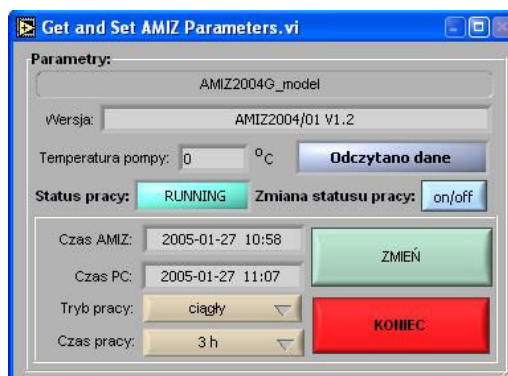


Rysunek 4. Sieć monitoringu zapylenia powietrza w okolicach Kielc
Dust pollution monitoring net in the neighbourhood of Kielce

5. Możliwości oprogramowania obsługi miernika

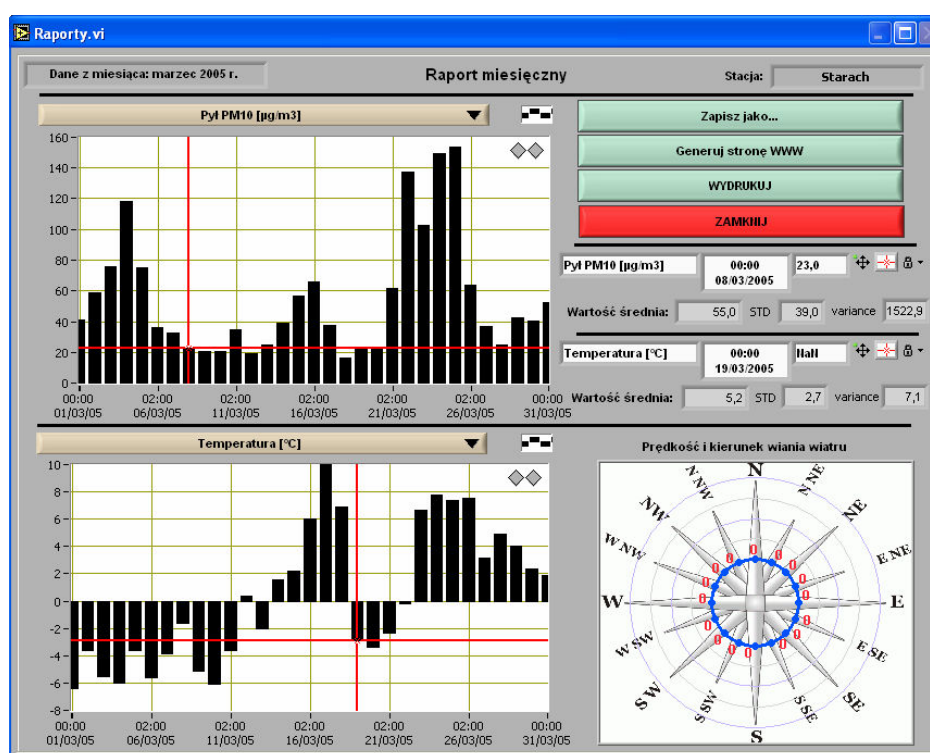
Program do obsługi miernika AMIZ 2004G umożliwia:

- Pobieranie danych za pomocą sieci GSM z miernika AMIZ 2004G
- Pobieranie danych z wielu stacji pomiarowych
- Odczyt danych z wszystkich urządzeń znajdujących się w stacji pomiarowej
- Przeglądanie wyników pomiarów z różnych mierników
- Przeglądanie wyników pomiarów w zewnętrznej bazie danych
- Odczyt i zmiana parametrów pomiaru
- Zmiana ustawień wiadomości alarmowych (SMS)



Rysunek 5. Zmiana parametrów pracy miernika AMIZ 2004G
Parameter settings of AMIZ-2004G monitor

- Odczyt temperatury pracy pompy
- Włączenie i wyłączenie miernika
- Synchronizacja zegara miernika
- Zmiana trybu pracy miernika (ciągła, automatyczna, pojedynczy pomiar)
- Zmiana czasu pomiaru (od 30 minut do 24 godzin)
- Wyświetlanie wartości średnich dobowych zapylenia, temperatury wilgotności i ciśnienia
- Przedstawienie prędkości i kierunku wiania wiatru za pomocą róży wiatrów
- Wyświetlenie wartości średnich dobowych innych mierzonych w stacji pomiarowej wartości
- Szczegółowe wartości pomiarów z wybranego dnia
- Wydruk raportu podsumowującego mierzone parametry w stacji pomiarowej
- Szczegółowe wartości wykonanych pomiarów w ciągu wybranego miesiąca
- Sprawdzenie wartości pomiarów w wybranym dniu
- Wydruk raportu podsumowującego wybrany miesiąc
- Generowanie raportów miesięcznych w postaci strony WWW



Rysunek 6. przykładowe okno zawierające raport miesięczny
Example windows presenting monthly report

Wnioski

Dzięki zastosowaniu komunikacji bezprzewodowej w miernikach AMIZ 2004G stało się możliwe tworzenie rozległych sieci monitoringu zapylenia powietrza. Mierniki składające się na sieć monitoringu mogą być umieszczane w dowolnym miejscu w kraju – nieważna jest odległość pomiędzy nimi. Jedynym ograniczeniem, co do odległości

między miernikami a centrum zbierającym dane, jest dostępność sygnału GSM w danym rejonie. Nie stanowi to jednak problemu, ponieważ w chwili obecnej sygnał ten jest dostępny prawie w każdym miejscu w kraju.

Kolejnym plusem, w porównaniu z poprzednimi wersjami miernika, jest to, że użytkownik nie musi jechać do niego, żeby pobrać wyniki pomiarów (jak to robił dotychczas). Ze względu na to, że mierniki te często umiejscowiono są w stacjach pomiarowych znacznie oddalonych od centrum gromadzenia danych takie rozwiązanie zmniejsza koszty utrzymania miernika.

Literatura

- [1] B. Machaj, P. Urbański, J. Strzałkowski, J. Harasimczuk. Automatyczny monitor emisji zapylenia atmosfery; Ochrona Powietrza rok XXVI, nr. 2, 148, (1992)
- [2] B. Machaj, B. Krawczyńska. Błędy kalibracji miernika zapylenia powietrza. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Pedagogicznej im. Powstańców Śląskich w Opolu., Chemia XVI, artykuły doświadczalne, 107-114, (1993)
- [3] B. Machaj, B. Krawczyńska, J. Strzałkowski. Ocena parametrów radioizotopowego miernika zapylenia powietrza. Krajowe Sympozjum Technika Jądrowa w Przemśle, Medycynie, Rolnictwie i Ochronie Środowiska. Warszawa 24-27 kwietnia 1995, str.261-267.
- [4] Jakowiuk A.: Wizualizacja danych pomiarowych miernika zapylenia powietrza AMIZ 2000 przy użyciu programu LabVIEW. Raporty IChTJ. Seria A nr 1/2002, t.2, s. 525-532
- [5] <http://www.kielce.pios.gov.pl/wios/wios0.htm> Wojewódzki Inspektor Ochrony Środowiska w Kielcach