

Bogdan DZIADAK, Łukasz MAKOWSKI

POLITECHNIKA WARSZAWSKA, INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI TEORETYCZNEJ I SYSTEMÓW INFORMACYJNO POMIAROWYCH,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Mobilny monitoring zanieczyszczeń powietrza w aglomeracjach miejskich – koncepcja systemu

Dr inż. Bogdan DZIADAK

Bogdan Dziadak od 2010 roku jest adiunktem na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. W badaniach naukowych zajmuje się głównie rozproszonymi systemami pomiarowymi oraz sensorami wielkości nieelektrycznych. Jest autorem lub współautorem 30 artykułów z powyższej tematyki.



e-mail: bogdan.dziadak@ee.pw.edu.pl

Dr inż. Łukasz MAKOWSKI

Łukasz Makowski jest adiunktem na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Należy do IEEE oraz ISOC. Jego główne zainteresowania naukowe to rozproszone systemy pomiarowe a także transmisja oraz przetwarzanie danych w takich systemach. Jest autorem lub współautorem ponad 30 publikacji.



e-mail: lukasz.makowski@ee.pw.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiony jest projekt mobilnego systemu pomiarowego funkcjonującego w ramach koncepcji tak zwanego „inteligentnego miasta”. Jednym z kluczowych czynników kształtujących jakość życia na obszarze metropolii jest skład i parametry powietrza. Wiadomo, że w wielu polskich aglomeracjach, dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń powietrza są przekraczane. Powszechnie prowadzi to do licznych i poważnych problemów zdrowotnych wśród mieszkańców. Mobilny system rozproszony do pomiarów stanu powietrza byłby narzędziem do analizy źródeł tych problemów i mogłby pełnić rolę informacyjną zarówno dla lokalnej społeczności jak i dla władz miasta.

Słowa kluczowe: mobilne systemy pomiarowe, monitorowanie zanieczyszczenia atmosfery.

A concept of a mobile measurement system for air pollution monitoring in urban area

Abstract

A project of a mobile measurement system functioning as a part of a "smart city" is presented in this paper. One of the key factors shaping the quality of life in the urban area is composition and parameters of the air. It is widely known that in many Polish cities allowable concentrations of air pollutants are exceeded. Generally, it leads to numerous and serious health problems in the population [1]. In the concept presented, measurements of environmental factors are based on mobile, multisensor measurement devices. The measurements are simultaneously taken in many points. The mobility of measurement devices can be achieved by attaching them to public transportation or similar vehicles such as cabs or public (rented) bicycles (Fig. 2). The data processing should be done with IT back-end. Based on a data-centric approach it should provide features such as: gathering, integration, processing, modeling, visualization and providing insight to information about the state and changes of the air quality in the city. IT and a computational system by integrating data from mobile sources are a tool in decision making process performed by the authorities responsible for city development and current functioning. Thanks to deployment of this solution, strategic decisions could include actions aimed at improving the quality of life of city residents.

Keywords: mobile measurement system, air quality monitoring.

1. Wprowadzenie

Jednym z kluczowych czynników kształtujących jakość życia na obszarze metropolii jest skład i parametry powietrza. Na podstawie badań przeprowadzonych na zlecenie Ministerstwa Środowiska [1], czy badań przeprowadzonych przez Wojewódzkie Instytuty Ochrony Środowiska [2 – 4], wiadomo, że w większości polskich aglomeracji, dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń powietrza są przekraczane.

Powszechnie prowadzi to do licznych i poważnych problemów zdrowotnych wśród mieszkańców. Szczególnie zanieczyszczenia ze wpływają na rozwój chorób układu oddechowego takich jak astma i przewlekła obturacyjna choroba płuc [5, 6]. Badania te potwierdzają obserwacje Światowej Organizacji Zdrowia, która w raporcie z roku 2005 [7], informuje, że w skali globalnej, zanieczyszczenie powietrza jest przyczyną ponad miliona przedwczesnych zgonów rocznie.

Z przytoczonych danych wynika, że monitorowanie parametrów świadczących o jakości powietrza jest niezbędne zarówno przy ocenie jakości środowiska, jak również przy ocenie jakości życia czy śledzenia czynników chorobotwórczych. Informacje o aktualnym i historycznym poziomie zanieczyszczeń powietrza mogą być przydatne dla ludności miejskiej, przy podejmowaniu decyzji o miejscu zamieszkania czy wypoczynku, a także dla władz miejskich, jako narzędzie pomocnicze przy planowaniu urbanistycznym miasta.

W artykule przedstawiony jest projekt mobilnego systemu pomiarowego funkcjonującego w ramach koncepcji tak zwanego „inteligentnego miasta”. System przeznaczony jest do monitorowania kluczowych parametrów świadczących o jakości powietrza.

2. Monitoring parametrów powietrza miejskiego

Normy parametrów odnoszących się do jakości powietrza w Polsce przedstawione są w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [8], oraz w dyrektywach Parlamentu Europejskiego [9]. Przepisy zależne nakładają ustawowe obowiązki odnośnie sposobu monitorowania jakości powietrza, częstotliwości pomiarów, oraz konieczności dokonywania pomiarów przez wskazane instytucje. Instytucjami tymi są Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska, ale również zakłady przemysłowe, które ze względu na charakter działalności emitują gazy cieplarniane, pyły i związki zanieczyszczające do atmosfery. Monitoring parametrów świadczących o jakości powietrza jest obecnie prowadzony dość powszechnie za pomocą stacji umieszczanych na stałe w wybranych punktach miast. To podejście, chociaż wykorzystuje bardzo profesjonalny sprzęt, ma istotne ograniczenia. Przede wszystkim liczba stacji ze względu na ich koszt jest zbyt mała w stosunku do potrzeb. Jej zwiększenie jest trudne, ze względu na duży koszt jednostkowy stacji.

Dodatkowo należy zauważyć, że w coraz większej liczbie miast w Polsce głównym źródłem zanieczyszczeń powietrza nie jest emisja punktowa pochodząca od zakładów przemysłowych, a zanieczyszczenia generowane przez transport kołowy. W przypadku zakładów przemysłowych monitorowanie emitowanych przez nie pyłów i szkodliwych gazów jest relatywnie łatwe w realizacji. Jednak w przypadku źródeł liniowych, czyli transportu kołowego – brakuje odpowiednich narzędzi pomiarowych.

3. Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza i ich wpływ na zdrowie człowieka

Zestawienie substancji zanieczyszczających powietrze, mających największy wpływ na zdrowie człowieka, w wybranych miastach Polski zgodnie danymi z raportów WIOŚ, obrazuje tabela 1.

Tab. 1. Stężenie substancji zanieczyszczających powietrze w wybranych miastach Polski (w 2012r)

Tab. 1. Concentration of air pollution in selected cities of Poland (2012)

Nazwa Substancji	Poziom dopuszczalny substancji w powietrzu, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Warszawa	Kraków	Olsztyn
SO ₂	125	7	11	3,3
NO ₂	40	24	71	13,5
PM10	40	42	56	25
CO	10000	4700	4000	2300
Ozon	120	44	<120	<120
Benzen	5	1,74	3,3	0,7
Benzo(a)piren	1 [ng/m ³]	3,1	5,7	2,8

Poniżej zostaną syntetycznie przedstawione główne źródła zanieczyszczeń oraz ich wpływ na zdrowie człowieka.

Dwutlenek siarki SO₂ wytwarzany jest głównie przez paleniska przemysłowe i domowe spalające węgiel kamienny (zawierający siarkę). Gaz ten jest przemysłowo stosowany jako konserwant żywności o handlowej nazwie E220. Ponad normatywne stężenie SO₂ w powietrzu jest szkodliwe dla człowieka i może być przyczyną skurczu i zapalenia oskrzeli, a także astmy. Gaz ten niekorzystnie obniża ciśnienie i może powodować mutację genów.

Tlenki i dwutlenek azotu NO_x/NO₂ powstaje we wszystkich procesach spalania. Głównym źródłem wprowadzającym tlenki azotu do atmosfery jest komunikacja samochodowa oraz energetyka. Tlenki azotu są substancjami toksycznymi mogącymi powodować uszkodzenie pęcherzyków płucnych, co jest źródłem infekcji. Związki te mogą również przedostawać się do krwiobiegu i niebezpiecznie obniżać ciśnienie krwi.

Pyły w atmosferze mogą pochodzić z trzech zasadniczych grup[10]:

- naturalne: powstające w wyniku wietrzenia skał i wybuchów wulkanów;
- pierwotne: powstające w wyniku spalania
- wtórne: powstające w wyniku przemian chemicznych prekursorów takich jak tlenków azotu, dwutlenku siarki, amoniaku i lotnych związków organicznych.

Ze względu na rozmiar cząstki, pyły można podzielić w sposób następujący:

- TSP – pył całkowity, pyły o średnicy większej od 10 μm ;
- PM10 – pył inhalabilny o średnicy ziaren poniżej 10 μm , mogący docierać do górnych dróg oddechowych i płuc. Przyczynia się do zwiększenia zachorowalności na choroby układu oddechowego;
- PM2,5 pył respirabilny o średnicy aerodynamicznej ziaren poniżej 2,5 μm , mogący docierać w głąb płuc do pęcherzyków płucnych i przedostawać się do krwiobiegu. Powoduje zwiększenie zachorowalności na choroby układu oddechowego i krwionośnego;
- PM0,1 – pył o średnicy mniejszej niż 0,1 μm ;

Pyły są nośnikami toksycznych pierwiastków i substancji chemicznych takich jak kadm, arsen, nikiel, ołów oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych WWA w tym benzo(a)pirenu. Metale ciężkie w pyłach nie ulegają rozkładowi. Powyższe fakty oraz rozmiary pyłu sprawiają, że jest on poważnym czynnikiem chorobotwórczym. Pyły utrudniają wymianę gazową, poprzez zaleganie na ściankach pęcherzyków płucnych, co może prowadzić do zapalenia płuc, krtani, wywoływać choro-

by: alergiczne, obturacyjne i astmę, może być również przyczyną nowotworów: gardła, płuc i krtani.

Grupami szczególnie narażonymi na niekorzystne oddziaływanie pyłów są dzieci, osoby cierpiące na choroby układu krwionośnego i oddechowego, oraz osoby starsze.

Tlenek węgla CO powstaje w wyniku niepełnego spalania węgla. Głównym emitentem tlenku węgla do atmosfery jest transport kołowy oraz ciepłownictwo. Działanie niekorzystne na organizm człowieka polega na bardzo szybkim łączeniu się CO z hemoglobiną zawartą w krwi. Proces ten jest 200 razy szybszy niż łączenie się tlenu z hemoglobiną. Powoduje to znaczne zaburzenie transportu tlenu do tkanek, co prowadzi do ich niedotlenienia a w dłuższej perspektywie do obumierania. Najbardziej wrażliwymi układami na działanie CO są: układ krążenia i układ nerwowy.

Ozon jest zanieczyszczeniem wtórnym i powstaje w troposferze w wyniku procesów fotochemicznych prekursorów, którymi są tlenki azotu wytwarzane głównie w czasie pracy silników spalinyowych. Koncentracja stężenia ozonu notowana jest w pewnym oddaleniu od głównych szlaków komunikacyjnych. Ozon wpływa drażniąco na układ oddechowy może powodować podrażnienia gardła krtani a długotrwałe ekspozycje na ozon może doprowadzić do obrzęków i nieodwracalnych zmian w płucach i oskrzelach [11, 12].

Benzen wprowadzany jest do atmosfery w wyniku niepełnego spalania ropy naftowej i a w szczególności paliw wysokooktanowych. Do atmosfery wprowadzany jest głównie przez transport kołowy.

Benzo(a)piren to pochodna benzenu otrzymywana w warunkach niepełnego spalania paliw kopalnych. O ilości benzo(a)pirenu wprowadzonego do atmosfery świadczy temperatura spalania. Główne źródło emisji to piece grzewcze, ciepłownictwo i spalarnie odpadów.

Powyższe węglowodory do organizmu człowieka wprowadzane są w pyłe (PM10). Wielopierścieniowe Węglowodory Aromatyczne WWA, są czynnikami silnie rakotwórczymi i toksycznymi. Organami narażonymi szczególnie na zatrucie są mózg, wątroba, nerki, szpik kostny [13].

Zgodnie z opiniami WHO, w przypadku metali ciężkich oraz WWA nie ma bezpiecznego poziomu stężenia powyższych substancji w powietrzu. Każda, nawet śladowa obecność, jest dla człowieka niekorzystna, gdyż substancje te są wysoce kancerogenne.

Czynnikami antropogenicznymi powodującymi przekroczenia dopuszczalnych stężeń, substancji szkodliwych w powietrzu są emisje pochodzące z [2, 11]:

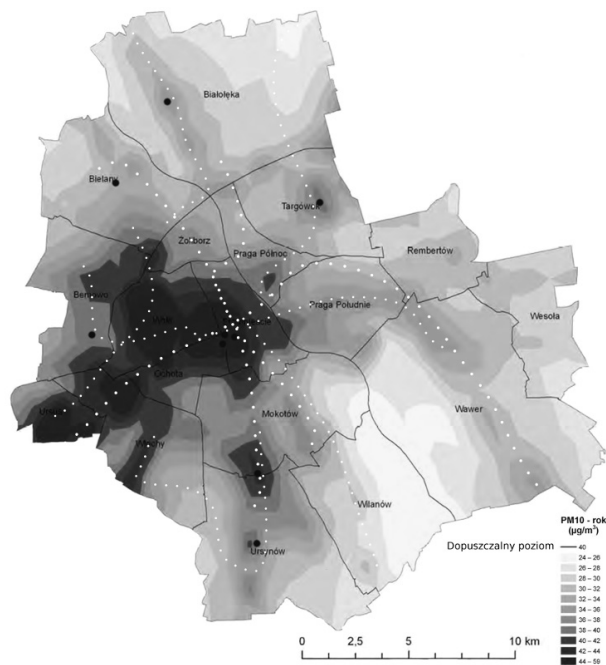
- transportu samochodowego;
- przemysłu ciężkiego, związane z przetwarzaniem węgla i ropy naftowej;
- przemysłu chemicznego, elektrotechnicznego, celulozowo-papierniczego, nawozów sztucznych;
- utylizacji odpadów i spalania paliw;
- palenisk domowych i nielegalnego spalania odpadów niebezpiecznych w tych paleniskach.

4. Prezentacja danych informujących o jakości powietrza

Dane z tabeli 1 są uśrednionymi danymi z punktowej stacji, umieszczonej w centrum miasta. Daje to pewną informację dotyczącą zanieczyszczeń w danym regionie, ale nie odzwierciedla charakteru przestrzennego mierzonych zanieczyszczeń. Próba rozwiązania tego problemu są mapy zanieczyszczeń publikowane raz do roku przez WIOŚ. Aktualnie mapy te są wynikiem analizy danych pochodzących ze wszystkich dostępnych stacji w danym regionie czy mieście oraz modelowania matematycznego rozkładu zanieczyszczeń.

Dla przykładu, w Warszawie działa 9 stacji monitorujących parametry powietrza, rozlokowanych zgodnie z celami WIOŚ (lokalizacja stacji zaznaczona jest czarnymi punktami na rysunku 1).

Na podstawie danych pomiarowych z tych stacji powstają modelowane mapy zanieczyszczeń. Mapa obrazująca średnioroczne zanieczyszczenie pyłu PM10 w aglomeracji warszawskiej za rok 2012, przedstawiona jest na rysunku 1.



Rys. 1. Rozkład stężeń pyłu PM10 na obszarze aglomeracji warszawskiej rok 2012 (źródło WIOŚ [2]). Linie punktowe odzwierciedlają gęstość terenową pomiarów w proponowanym systemie

Fig. 1. Concentration of PM10 dust, in Warsaw agglomeration (based on [2]). The dotted lines represent the density of terraced measurements in the proposed system

Do głównych zalet tak sporządzonych map należy zaliczyć:

- wiarygodne dane ze stacji wykorzystujących urządzenia pomiarowe wysokiej klasy, cechujących się wysoką rozdzielczością i małą niepewnością pomiaru;
 - bazowanie na zawansowanych modelach numerycznych, sprawdzonych przez szerokie grono odbiorców;
 - możliwość wykorzystania danych archiwalnych.
- Wadami aktualnie dostępnych map jest:
- niewystarczająca liczba stacji pomiarowych – co sprawia, że modele numeryczne nie dają efektywnych i miarodajnych wyników;
 - duża bezwładność czasowa map. O ile dane z punkowych stacji pomiarowych prezentowane są przez WIOŚ z opóźnieniem nie większym niż 60 minut, to mapy rozkładu zanieczyszczeń są udostępniane społeczeństwu w raportach rocznych.

Należy również zauważyć, że w miastach do 100 tys. mieszkańców, zazwyczaj występuje jedna stacja monitorująca. Na danych pomiarowych z takiej stacji szacowane jest zanieczyszczenie dla całego miasta a nawet regionu.

Autorzy uważają, że w celu zwiększenia użyteczności monitoringu powietrza dla społeczeństwa, bezwładność czasowa prezentacji pomiarów a w szczególności map przestrzennie obrazujących zanieczyszczenia, powinna być zmniejszona do minut. Biorąc pod uwagę fakt, że najbardziej szkodliwe zanieczyszczenia generowane są przez źródła liniowe, największą uwagę należy położyć na monitorowanie głównych szlaków komunikacyjnych w miastach.

5. Struktura mobilnego systemu do monitorowania parametrów powietrza w aglomeracjach miejskich

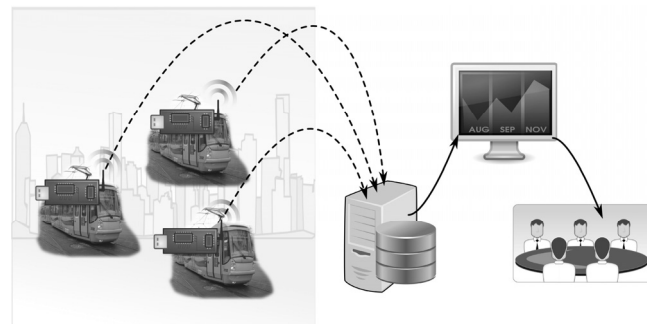
Bazując na własnych doświadczeniach związanych z projektowaniem i budową systemów monitorujących [14, 15] autorzy proponują koncepcję systemu, w której, pomiary parametrów

środowiska oparte są o mobilną sieć czujnikową. Idea proponowanego systemu w sposób graficzny przedstawiona jest na rysunku 2.

System przeznaczony do monitorowania parametrów świadczących o jakości powietrza w aglomeracjach składał się będzie z dwóch zasadniczych bloków:

- mobilnych urządzeń pomiarowych;
- platformy informatycznej.

Pomiary prowadzone będą w systemie rozproszonym, w wielu punktach jednocześnie. Mobilność urządzeń zapewnić można przez umieszczenie ich na pojazdach transportu publicznego lub podobnych (np.: taksówki, wozy patrolowe straży miejskiej).



Rys. 2. Ogólna struktura mobilnego systemu monitorującego jakość powietrza
Fig. 2. General structure of the mobile system for air quality monitoring

Stacja pomiarowa składa się z sensorów wielkości mierzonych. Paleta wielkości mierzonych obejmuje substancje z tabeli 1 (SO₂, NO₂, PM10, CO, O₃), z wyjątkiem WWA. Struktura mobilnej stacji pomiarowej przedstawiona jest na rysunku nr 3.

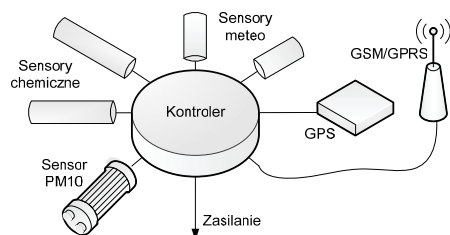
Większość sensorów to półprzewodnikowe sensory typu ChemFet. Bardzo ważnym elementem stacji będzie sensor optyczny umożliwiający mobilny pomiar stężenia pyłu PM10. Poza substancjami zanieczyszczającymi będą również mierzone podstawowe parametry meteorologiczne takie jak temperatura, wilgotność, ciśnienie, nasłonecznienie, opady. W związku z ciągłym przemieszczaniem się stacji bardzo istotna jest jej lokalizacja w terenie, którą będzie zapewniał odbiornik GPS bazujący na układzie SirtStar3. Oprócz danych lokalizacyjnych odbiornik GPS będzie dostarczać znacznika czasu używanego do datowania pomiarów

Procesem pomiarowym będzie sterował komputer przemysłowy oparty o mikrokontroler ARM. Zasoby pamięci nieulotnej zostaną tak dobrane, aby możliwa była awaryjna archiwizacja danych z całego dnia pracy (1440 rekordów pomiarowych zwierających odczyty ze wszystkich sensorów oraz znacznik czasu i lokalizacji). Zadaniem kontrolera oprócz procesu pomiarowego będzie nadzorowanie transmisji danych do serwera. Transmisja ta będzie realizowana z wykorzystaniem technologii GSM/GPRS i protokołów internetowych TCP/IP.

Zapotrzebowanie energetyczne całej stacji szacowane jest na poziomie 35W i będzie pozyskiwane z pojazdu transportującego stację.

Biorąc pod uwagę maksymalną (50km/h) i średnią prędkość pojazdu w mieście (30 – 35km/h), interwał czasowy między pomiarami będzie wynosił 60 sekund. Co przekłada się na terenową odległość między pomiarami na poziomie 500m. Przy uwzględnieniu multiplikowania się pomiarów z innych stacji na tej samej trasie, uzyska się nieporównywalną do warunków obecnych gęstość pomiarów. Sytuacja ta jest przedstawiona na rysunku 1, gdzie linie punktowe to symulacyjne trasy 9 stacji mobilnych poruszających się na pojazdach transportu publicznego. W zależności od potrzeb stacje mobilne można kierować na różne linie komunikacyjne obejmujące niemonitorowane regiony miast. Warto zwrócić uwagę, że dysponując tą samą liczbą stacji mobilnych co aktualnie używanych stacji stacjonarnych, uzyska się znacznie precyzyjniejszy, w znaczeniu przestrzennym, rozkład mierzonych zanieczyszczeń.

Przetwarzanie wyników będzie realizowane za pomocą platformy informatycznej. Jej zadaniem będzie: gromadzenie, integrowanie i przetwarzanie danych pochodzących z mobilnych urządzeń pomiarowych, jak również: modelowanie, wizualizacja i dostarczanie informacji o stanie i zmianach jakości powietrza w mieście. Modelowanie będzie przebiegać w czasie zbliżonym do rzeczywistego, dzięki czemu użytkownik otrzyma mapę rozkładu zanieczyszczeń korelującą z aktualnym natężeniem ruchu, czy warunkami meteorologicznymi.



Rys. 3. Struktura stacji pomiarowej przeznaczonej do monitorowania powietrza
Fig. 3. The mobile measurement station structure

6. Podsumowanie

Proponowany przez autorów system pomiarowy ma za zadanie dostarczyć aktualnych danych o zanieczyszczeniu powietrza i jego rozkładzie w przestrzeni miasta. Będzie to możliwe z wykorzystaniem sieci mobilnych stacji pomiarowych. Wizualizowane dane pomiarowe będą cennym źródłem informacji dla zwykłych mieszkańców miasta, chociażby przy planowaniu wypoczynku, zajęć rekreacyjnych, itp. Autorzy uważają, że wyniki pracy systemu będą pomocne również w podejmowaniu decyzji przez osoby odpowiedzialne za rozwój miasta i jego funkcjonowanie. Dzięki temu decyzje o znaczeniu strategicznym (takie jak budowy szkół, przedszkoli, osiedli mieszkaniowych, przebudowy ulic i skrzyżowań) mogłyby uwzględniać działania mające na celu poprawę jakości życia mieszkańców.

Autorzy mają świadomość ograniczeń, jakie niesie system, związanych głównie z precyzją i rozdzielczością wykonywanych pomiarów. Z założenia tania i mobilna stacja pomiarowa nie wykona pomiarów z precyzją stacji monitorujących będących w posiadaniu WIOŚ. Nie mniej istnieją na rynku sensory umożliwiające skonstruowanie stacji, których rozdzielczość i precyzja pomiarów będzie zadowalająca. A fakt dostarczanie użytkownikowi aktualnej informacji o jakości powietrza na terenie „całego miasta” jest istotniejszy niż wyższa dokładność.

Autorzy w ramach prac nad systemem zakładają porozumienie z Wojewódzkimi Inspektoratami Ochrony Środowiska, mające na celu wykorzystanie pomiarów realizowanych przez stacje WIOŚ,

jako swoistych punktów referencyjnych na podstawie, których możliwa by była korekta pomiarów stacji mobilnych.

7. Literatura

- [1] Ministerstwo Środowisk: Programy Ochrony Powietrza w Polsce (03.2014) url: https://www.mos.gov.pl/kategoria/2131_programy_ochrony_powietrza/
- [2] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie: Roczna ocena jakości powietrza w województwie Mazowieckim, Raport za rok 2012.
- [3] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie: Roczna ocena jakości powietrza w województwie Małopolskim, Raport za rok 2012.
- [4] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Olsztynie: Roczna ocena jakości powietrza w województwie Warmińsko-Mazurskim, Raport za rok za rok 2012.
- [5] Dabrowiecki P., Badyda, A.J., Chcialowski, A., Doboszynska, A., Swietlik, E., Gayer, A., Mucha, D.: Spirometry day: A means to enhance social knowledge on respiratory diseases. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol 788, s. 213 – 219, 2013.
- [6] Lubański W., Toczyska J., Chcialowski, Płusa T.: Influence of air pollution on pulmonary function in healthy young men from different Regions of Poland, *Ann Agric Environ Med*. s.1 – 4, 12/2005.
- [7] World Health Organization: Air Quality Guidelines Global Update 2005, WHO Regional Office for Europe Denmark, 2006.
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. Nr 47 poz. 281).
- [9] Dyrektywy 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy, 2008.
- [10] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie: Pyły zawieszane – broszura informacyjna, 2008.
- [11] Żelazko A., Mirosławski J.: Dolegliwości zdrowotne związane z narażeniem na ozon na podstawie subiektywnych opinii osób obsługujących kserokopiarki, *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach*, Nr 1 s.65 – 73, (8)/2012.
- [12] Frank-Piskorska A., Piskorski K.: Zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego- wpływ na układ oddechowy człowieka, *Przegląd Lekarski*, 2, 2002r.
- [13] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie: Metale i WWA w pyłe PM10 – broszura informacyjna, 2009.
- [14] Dziadak B., Michalski A.: Evaluation of the hardware for a mobile measurement station. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Volume 58, Issue 7, s. 2627-2635, 2011.
- [15] Makowski L., Michalski A.: Measurement systems as foundations for reliable decision support systems. *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, Volume 15, Issue 3, s. 48 – 52, 2012.

otrzymano / received: 10.06.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.08.2014

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Informacja redakcji dotycząca artykułów współautorskich

W miesięczniku PAK od numeru 06/2010 w nagłówkach artykułów współautorskich wskazywany jest autor korespondujący (Corresponding Author), tj. ten z którym redakcja prowadzi wszelkie uzgodnienia na etapie przygotowania artykułu do publikacji. Jego nazwisko jest wyróżnione drukiem pogrubionym. Takie oznaczenie nie odnosi się do faktycznego udziału współautora w opracowaniu artykułu. Ponadto w nagłówku artykułu podawane są adresy korespondencyjne wszystkich współautorów.

Wprowadzona procedura wynika z międzynarodowych standardów wydawniczych.