

Testowanie bezzałogowych statków powietrznych do monitorowania zanieczyszczeń w środowisku

Streszczenie: W ramach badań prowadzonych przez nas w latach 2016-2017 monitorowano stężenie pyłu zawieszonego (PM10) na stanowisku pomiarowym zbudowanym na kampusie uniwersyteckim Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza położonym na północnych obrzeżach Poznania. Wyniki porównywano z danymi uzyskiwanymi ze stacji pomiarowych umieszczonych w centrum Poznania. Zaobserwowano wyraźny wzrost stężenia pyłu w okresie jesienno-zimowym. Główną przyczyną tego zjawiska jest występowanie sezonu grzewczego i pojawianie się tak zwanej niskiej emisji. Alternatywą do stacjonarnych punktów pomiarowych mogą być bezzałogowe statki powietrzne (BSP), zaopatrzone w specjalistyczną aparaturę pomiarową i urządzenia do pobierania próbek z miejsc trudno dostępnych.

Abstract: As a part of the research conducted by us in 2016-2017, the concentration of particulate matter (PM10) was monitored on the campus of the Adam Mickiewicz University located in the northern part of Poznań. The results were compared with the data obtained from the measurement stations located in the Poznań city center. A significant increase in the PM10 concentration during the autumn and winter time has been observed. The main reason for this phenomenon is occurrence of the heating season and the appearance of the so-called low emission. Unmanned aerial vehicles (UAV) equipped with specialized measuring systems, can be an alternative to monitoring in the stationary points. **(Testing of unmanned aerial vehicles for monitoring of environmental pollution).**

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie powietrza, pyły PM2,5 i PM10, smog, monitoring środowiska, bezzałogowy statek powietrzny, aparatura kontrolno-pomiarowa, mapowanie stref zagrożenia

Keywords: air pollution, particulate matter PM2,5 and PM10, smog, environmental monitoring, unmanned aerial vehicle, control and measurement equipment, hazard zone mapping

Wprowadzenie

Powietrze w Polsce należy do najbardziej zanieczyszczonych w Europie, liczbę przedwczesnych zgonów związanych z tym problemem szacuje się na blisko 45 tysięcy rocznie [1]. Zanieczyszczenie powietrza przyczynia się głównie do chorób górnych dróg oddechowych takich jak przewlekłe zapalenie oskrzeli, niewydolność oddechowa, choroby o podłożu alergicznym a także może prowadzić do rozwoju chorób układu sercowo-naczyniowego.

Do niepożądanych związków chemicznych przedostających się do atmosfery należą: tlenki azotu (N_xO_y), dwutlenek siarki (SO_2), siarkowodór (H_2S), tlenek i dwutlenek węgla (CO , CO_2) oraz lotne związki organiczne (LZO) [2]. Część związków emitowanych do atmosfery ma charakter rakotwórczy, np. benzen i benzo(a)piren z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Mogą one przedostawać się do powietrza atmosferycznego wraz ze spalinami samochodowymi oraz ze spalinami z pieców i kotłów grzewczych (tak zwana emisja niska). Ze względu na ich toksyczność dopuszczalne stężenie benzenu i benzo(a)pirenu zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia nie powinno przekraczać w powietrzu odpowiednio $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $1 \text{ng}/\text{m}^3$ [3]. Niebezpieczne dla zdrowia jest również oddychanie powietrzem o podwyższonym stężeniu tzw. pyłów zawieszonych o średnicy cząstek poniżej $10 \mu\text{m}$ (PM10), a szczególnie uciążliwe są pyły o średnicy poniżej $2,5 \mu\text{m}$ (PM2.5), które mogą przedostawać się bezpośrednio do krwioobiegu. Pyły są nośnikami szeregu zanieczyszczeń, ponieważ łatwo adsorbują się na nich substancje chemiczne. Unia Europejska określiła dopuszczalną wartość dobową dla pyłów PM10 jako $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (przez co najwyżej 35 dób w ciągu roku) a średnią roczną wartość dobową jako maksymalnie $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W okresie pojawiania się bezwietrznej pogody i zamglenia, zanieczyszczenie powietrza (smog) staje się szczególnie uciążliwe. Systematyczne monitorowanie poziomu zanieczyszczeń i przede wszystkim ustalanie jego źródeł staje się bardzo istotne w walce o czyste powietrze. W chwili obecnej w Polsce pomiary jakości powietrza są wykonywane przez

Inspekcję Ochrony Środowiska na podstawie Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (Dz. Urz. UE L 152 z 11.06.2008, str.1) [4] oraz rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2012 r. poz. 1032). Pomiary wykonywane są w stacjach pomiarowych przy użyciu urządzeń pomiarowych działających w oparciu o referencyjne metodyki pomiarowe, lub metodyki równoważne zatwierdzone przez Krajowe Laboratorium Referencyjne i Wzorcujące GIOŚ. Jednakże stacje pomiarowe Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska (WIOŚ) działają tylko w niektórych miastach i dzielnicach. Większa ilość danych pomiarowych z pewnością umożliwiłaby precyzyjniejsze ustalenie poziomu zagrożenia i jego źródła w określonym czasie i przestrzeni.

W naszych badaniach postanowiliśmy do pomiarów zanieczyszczenia powietrza przystosować bezzałogowe statki powietrzne, zwane potocznie dronami, które dzięki swojej mobilności, mogą służyć do przenoszenia aparatury kontrolno-pomiarowej i zbierania danych w czasie rzeczywistym z wielu punktów, jako uzupełnienie pomiarów stacjonarnych. Drony mogą być pomocne w tworzeniu map zanieczyszczeń na terenach specjalnie zagrożonych smogiem.

Pomiary stacjonarne zanieczyszczeń powietrza w Poznaniu

Badania prowadzone przez nas w latach 2016-2017 polegały na monitorowaniu stężenia pyłu zawieszonego PM10 na stanowisku pomiarowym zbudowanym na dachu budynku Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu przy ul. Umultowskiej 89B (o współrzędnych geograficznych $52^{\circ}28'N$, $16^{\circ}55'E$). Budynek ten (tzw. Chemicum Novum) znajduje się na terenie kampusu uniwersyteckiego Morasko, który jest położony przy północnej granicy miasta. Na północ od Wydziału Chemii znajdują się pola uprawne, lasy oraz niewielkie osiedla willowe, natomiast od południa graniczy on z dużą

dzielnicą zabudowaną wielopiętrowymi blokami i dworcem dla autobusów miejskich. W pobliżu jest zlokalizowana północna, towarowa obwodnica kolejowa (Rys.1).

Pomiary stężenia pyłu zawieszonego i jego frakcji wykonywano pyłomierzem DustTrack DRX 8533 z fotometrem laserowym (Rys. 2), wykorzystującym prawo Lamberta-Beer'a o pochłanianiu promieniowania elektromagnetycznego przez ośrodek absorbujący (im więcej jest pyłu, tym mniej światła laserowego przechodzi przez strugę powietrza).



Rys. 1. Położenie punktu pomiarowego (PM10) przy Wydziale Chemii UAM w Poznaniu



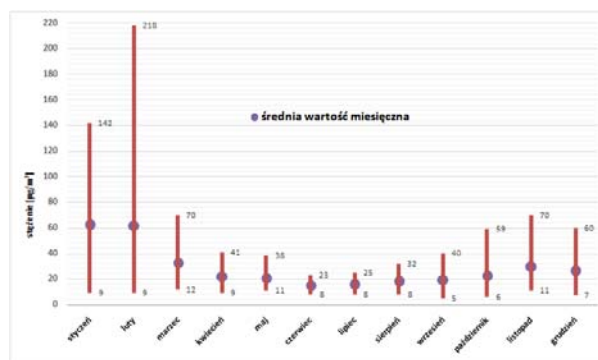
Rys. 2. Zainstalowany pyłomierz w punkcie pomiarowym na Morasku

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wykresy rocznych pomiarów stężenia pyłu PM10 ze stacji pomiarowych WIOŚ usytuowanych przy ul. Dąbrowskiego i ul. Polanka, czyli z dwóch różnych dzielnic Poznania. Na wykresach naniesiono wartości minimalne, maksymalne oraz średnie dla poszczególnych pomiarów z danego miesiąca. Obserwujemy wyraźny wzrost stężenia pyłu w okresie jesienno-zimowym. Główną przyczyną tego zjawiska jest występowanie w tym okresie sezonu grzewczego, czyli pojawianie się tak zwanej niskiej emisji, powstałej na skutek wzmożonego ogrzewania budynków mieszkalnych poprzez spalanie paliw stałych (np. węgla niskiej jakości lub niestety również odpadów). Dodatkowo występowanie zimą znacznie niższych opadów atmosferycznych niż latem, powoduje, że zanieczyszczenia dłużej utrzymują się w atmosferze (nie są z niej wymywane). Już od marca obserwuje się znaczący spadek pyłu PM10 i najmniejsze stężenia, nie przekraczające dopuszczalnych wartości, są notowane w miesiącach letnich.

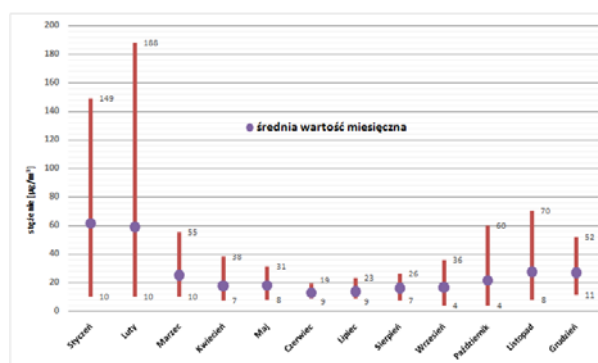
Analiza wyników zarejestrowanych przez pyłomierz umieszczony w kampusie uniwersyteckim Morasko również wykazała najwyższe stężenia pyłu PM10 w miesiącach zimowych (Rys. 5). Odnotowano 23 przypadki przekroczenia dopuszczalnej wartości dobowej $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wśród tych przekroczeń aż 6 razy odnotowano przekroczenie tzw. poziomu informowania, co oznacza, że

w tych dniach stężenie pyłu PM10 było większe niż $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

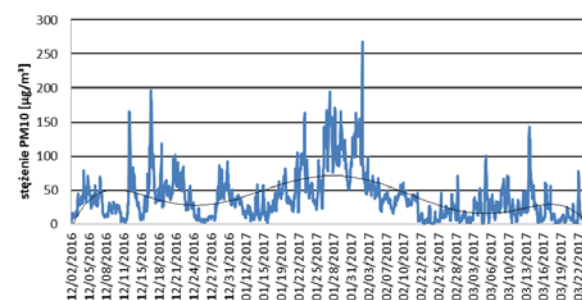
Zestawiając wyniki pomiarów z trzech badanych punktów monitorujących pył PM10 zauważyć można, że tendencja rozkładu stężeń pyłu jest taka sama we wszystkich trzech stacjach pomiarowych, natomiast występują różnice stężeń (Rys. 6). Najwyższy stężenie wystąpiło na stacji w centrum miasta przy ul. Dąbrowskiego (średnie dobowe stężenie pyłu PM10 osiągnęło $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Bardzo zbliżoną wartość średniej dobowej równą $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zarejestrowano w stacji Polanka. Pomiary przeprowadzone na dachu budynku Wydziału Chemii UAM, położonym przy północnej granicy miasta wykazały zdecydowanie niższy poziom stężeń PM10 (średnia dobowo wyniosła $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Rys. 3. Stężenie pyłu PM10 w 2017 r. - stacja pomiarowa WIOŚ Poznań, ul. Dąbrowskiego



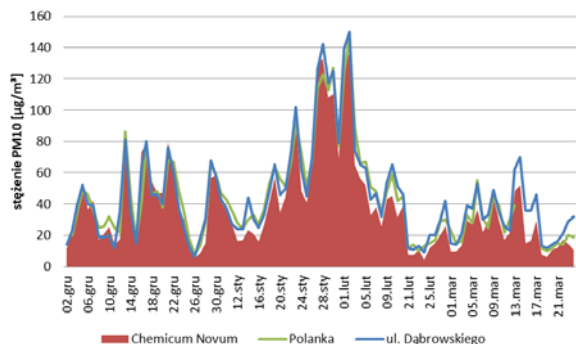
Rys. 4. Stężenie pyłu PM10 w 2017 r. - stacja pomiarowa WIOŚ Poznań, ul. Polanka



Rys. 5. Średnio-godzinne stężenie pyłu PM10 monitorowane w kampusie uniwersyteckim Morasko w okresie od 2 grudnia 2016 do 25 marca 2017

Koncentracja zanieczyszczeń pyłowych oprócz warunków meteorologicznych (temperatury powietrza, wilgotności, siły i kierunku wiatru, opadów atmosferycznych) w dużej mierze zależy od topografii terenu, rozmieszczenia emitorów oraz rodzaju zabudowy. Bliskie położenie ruchliwych dróg i zwarta zabudowa w centrum miasta są

czynnikami sprzyjającymi kumulacji pyłów w powietrzu atmosferycznym. Z pewnym przybliżeniem można wnioskować, że stężenie pyłu w centrum miasta będzie wyższe niż na jego obrzeżach. Jednak dokładne pomiary zanieczyszczeń w konkretnie wyznaczonych miejscach łatwiej jest ocenić przy pomocy mobilnych stacji pomiarowych, które mogą być umieszczone na bezzałogowych statkach powietrznych.



Rys. 6. Porównanie poziomu średniobodowych stężeń pyłu PM10 zarejestrowanych w kampusie uniwersyteckim Morasko oraz na stacjach pomiarowych przy ul. Dąbrowskiego i Polanka w okresie od 2.12.2016 do 25.03.2017

Bezzałogowe statki powietrzne jako platforma do przenoszenia aparatury pomiarowo-kontrolnej.

Realizując program Wzmocnienie Monitoringu Środowiska oraz Działań Kontrolnych testujemy przydatność bezzałogowego statku powietrznego (BSP) do monitorowania i pobierania próbek do badań z miejsc szczególnie trudno dostępnych. Bezzałogowy statek powietrzny (popularnie nazywany dronem) może być pilotowany zdalnie przez operatora lub wykonywać wstępnie zaplanowane loty w sposób autonomiczny. Dużym atutem są jego niewielkie wymiary, stabilność lotu oraz możliwość zawisu w określonym punkcie na dowolnym pułapie. Precyzyjną kontrolę nad urządzeniem umożliwiają czujniki dostarczające odpowiednich danych (kierunku, położenia) kontrolerowi lotu sterującemu silnikami. Tymi czujnikami są najczęściej żyroskopy i akcelerometry, a dodatkowo również magnetometry i odbiornik GPS, który z pomocą sygnału z satelitów krążących nad Ziemią pozwala ustalić dokładną pozycję drona.



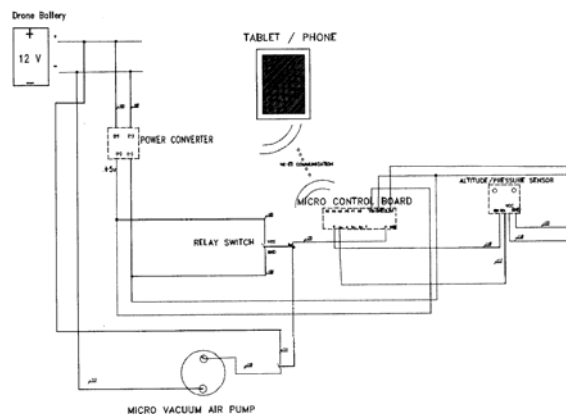
Rys. 7. Dron z podwieszoną aparaturą kontrolno-pomiarową do poboru i analizy próbek powietrza

BSP może być wykorzystywany jako platforma umożliwiająca przeniesienie aparatury kontrolno-badawczej do określonego punktu (Rys 7), np. bezpośredniego źródła emisji zanieczyszczenia lub innych miejsc trudno

dostępnych. Aby było to możliwe musi on posiadać odpowiednie parametry udźwigu gwarantujące możliwość wykonania lotu z podwieszoną aparaturą kontrolną w czasie wystarczającym na dokonanie pomiaru.

Aparatura przenoszona za pomocą drona może służyć do pobierania próbek do dalszej analizy w laboratorium stacjonarym lub może być dostosowana do analizy próbek w czasie rzeczywistym. Aparatura do poboru próbek (Rys. 8) jest zbudowana z: próżniowej mini pompy powietrza, mikrokontrolera, przekaźnika, konwertera DC-DC (zasilanie z baterii LiPo 12V), oraz czujnika ciśnienia atmosferycznego. Obudowa zawiera rurkę próbnikową oraz podwieszony worek próbnikowy. Łączność oraz kontrola mini pompy próżniowej odbywa się poprzez sygnał radiowy z nadajnika, którego funkcję pełni tablet/smartfon z wgraną aplikacją.

Drugi rodzaj aparatury umożliwiający pomiar zanieczyszczeń w czasie rzeczywistym wyposażony jest dodatkowo w zestaw czujników elektro-chemicznych lub detektorów wykorzystujących przykładowo technologie promieniowania w zakresie światła widzialnego i podczerwonego (VIS i IR). Za ich pomocą powietrze analizowane jest w regularnych odstępach czasu, natomiast informacja dotycząca określonych związków wysyłana jest na bieżąco do operatora na ziemi. Zgromadzone dane mogą być również rejestrowane w pamięci w celu dalszej analizy lub dokonania mapowań stref szczególnie zanieczyszczonych. Rodzaj monitorowanych związków chemicznych uzależniony jest od wybranego zestawu czujników.



Rys. 8. Schemat przedstawiający obwód elektryczny zastosowany w aparaturze do poboru próbek powietrza

Podsumowanie

Opracowanie szczegółowych map zagrożeń smogowych może być wartościowym źródłem informacji zarówno dla odpowiednich służb, samorządów, decydentów jak i samych mieszkańców monitorowanych obszarów. Przystosowanie BSP do prawidłowego pobierania próbek i dokonywania pomiarów zgodnie z obowiązującymi normami jest ważnym zadaniem, aby móc je wykorzystywać powszechnie do badań środowiskowych i uznawać pomiary wykonywane w czasie lotów za wiarygodne.

Praca wykonywana jest w Programie Operacyjnym PL03 Wzmocnienie Monitoringu Środowiska oraz Działań Kontrolnych w ramach Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego, nr 309/2015/Wn15/MN-xn-03/D pt. „Kompleksowy rozwój metod monitorowania jakości powietrza oraz informowania i edukacji, Stacja Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Różany Potok UAM w Poznaniu”.

Autorzy: mgr inż. Michał Adamski Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Chemii, ul. Umultowska 89b, 61-614 Poznań, prof. UAM dr hab. Włodzimierz Urbaniak Politechnika Poznańska, Wydział Informatyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, dr hab. inż. Agata Dąbrowska Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Chemii, ul. Umultowska 89b, 61-614 Poznań, prof. dr hab. Adam Dąbrowski Politechnika Poznańska, Wydział Informatyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań

LITERATURA

- [1] W. Urbaniak, *Problemy monitorowania zanieczyszczeń powietrza*, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, ISBN 978-83-64959-00-4, Poznań 2017.
- [2] *Systemy ochrony powietrza*, Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowe - Dydaktyczne AGH im. S. Staszica, 2004.
- [3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. Nr 47, poz. 28).
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 w sprawie jakości powietrza i czystego powietrza dla Europy.