

Mobilna platforma monitoringu wybranych parametrów niskiej emisji z wykorzystaniem dronów

Adam Szade¹, Adam Hamerla², Krystian Kadlewicz¹, Marcin Głodniok^{1*}

¹ Główny Instytut Górnictwa, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice

² Górnośląska Agencja Przedsiębiorczości i Rozwoju Sp. z o.o., ul. Wincentego Pola 16, 44-100 Gliwice

* Autor do korespondencji: mglodniok@gig.eu

STRESZCZENIE

W Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach opracowano platformę będącą odpowiedzią na rosnącą potrzebę szybkiego określania zmiennych parametrów fizyko-chemicznych niskiej emisji z budynków jednorodzinnych, a także niewielkich lokalnych kotłowni i zakładów produkcyjnych. Kluczowe znaczenie odgrywa tu zastosowanie drona jako mobilnego nośnika platformy pomiarowej, która zapewnia jednoczesny pomiar „in situ” podstawowych parametrów niskiej emisji uzupełniony o obraz z kamery i dane telemetryczne GPS. Zaprezentowano platformy pomiarowe wybranych parametrów niskiej emisji montowane na dronie. Na platformie z autonomicznym zasilaniem znajduje się pyłomierz laserowy dla analizy udziału frakcji PM10, PM2,5 i PM1 pyłów zawieszonych oraz aspirator grawimetryczny z membraną filtracyjną dla pomiaru stężenia pyłu całkowitego (jako referencyjny). Aspirator stosowany może być również do poboru próbek gazowych poprzez rurki sorpcyjne bądź do specjalnych worków. Umożliwia to badania stężeń pyłów, składu ziarnowego pyłów, składu chemicznego pyłów i gazów pobranych ze strugi spalin nad badanym emitorem w laboratoriach instytutu. Pyłomierze najkorzystniej uzupełniane są czujnikiem stężenia tlenku węgla jako sygnalizatora złego spalania węgla. Opracowano również platformę do szybkiej inwentaryzacji stężenia i rozkładu ziarnowego pyłów oraz stężenia CO i CO₂ w postaci jednego laserowego modułu pomiarowego. Przedstawiono przykład pomiaru niskiej emisji w godzinach porannych w jednej z dzielnic miasta Bytom.

Słowa kluczowe: środowisko, niska emisja, dron, platforma pomiarowa

Mobile flying platform for monitoring of households smoke emission selected parameters

ABSTRACT

The Central Mining Institute in Katowice has developed a measuring platform in response to the growing need for rapid determination of variable physicochemical, smoke emission from of single-family buildings, as well as from small local heating and production plants. The key role here is the application of a drone as a mobile media for measuring devices, which provides simultaneous in situ measurement of basic parameters of household smoke emission supplemented by images from cameras and GPS telemetry data. The presented Platform Measurement parameters were mounted on a drone. The platform is supported with self-powered laser for dust meter analysis of PM10, PM2.5 and PM1 particulate matter share fractions and the gravimetric aspirator with membrane filter for measuring the concentration of total dust (as a baseline measurement). The used aspirator can also provide gas sampling by the gas sorption tube or special bags. It allows to study the concentrations of dust, grain dust composition, the chemical composition of dust and gas collected exhaust gas over the test emitter in the laboratories. Dust monitors, most preferably, are supplemented by carbon monoxide sensor as an indicator of improper coal burning. The developed platform also allows to conduct quick inventory of the concentration and size of dust and the concentrations of CO and CO₂ in the form of single laser measurement module. An example of measuring household emissions in the morning in one of the districts of the City of Bytom was described in the paper.

Keywords: environment, emission from households, drone, measuring platform

WPROWADZENIE

Terminem „niska emisja” określa się emisję zanieczyszczeń do powietrza, ze źródeł o wysokości emitorów (kominów) nie przekraczających 40 m. Zaliczamy do niej emisję z kominów w sektorze mieszkaniowym, szczególnie niebezpieczną ze względu na emisję substancji o charakterze toksycznym, zwłaszcza na obszarach gęsto zaludnionych (głównie przez nieodpowiedzialne spalanie odpadów komunalnych) jak również z lokalnych kotłowni węglowych czy pojazdów (emisja komunikacyjna). Emisja ta jest szczególnie niebezpieczna, z uwagi na bezpośrednie wdychanie zanieczyszczonego powietrza. Z problemem niskiej emisji mamy do czynienia szczególnie na obszarach gęsto zaludnionych z łatwym dostępem do węgla jako paliwa – a więc w południowej Polsce. Problemy związane z niską emisją wynikają głównie ze stosowania w mieszkalnictwie komunalnym i indywidualnym niskosprawnych, przestarzałych i w złym stanie technicznym urządzeń grzewczych, spalania złej jakości paliw energetycznych (o wysokiej zawartości siarki i popiołu, niskokalorycznych węgla, mułów węglowych, a także wszelkich odpadów z gospodarstw domowych). Istotne znaczenie dla wielkości emisji ma dbałość o stan techniczny i prawidłowa eksploatacja urządzeń grzewczych, nawet w skali mikro – jak piece kaflowe czy małe kotły węglowe. Istotne jest częste i dokładne czyszczenie palenisk, rusztów, kanałów spalinywych i przewodów dymowych oraz odpowiednia technika ich obsługi, szczególnie urządzeń grzewczych nie posiadających automatyki [Kaldewicz 2013].

Niska emisja jest źródłem wielu zanieczyszczeń powietrza, w tym pyłów zawieszonych PM (ang. *particulate matter*), oraz trwałych zanieczyszczeń organicznych, np. HCB, PCDD/F (polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i dibenzofura-

ny) czy WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne) np. rakotwórczy benzo(a)pirenu.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2014 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów wyszczególnia w zał. 7 substancje i związki jako kluczowe dla niskiej emisji [Dz.U. 2014, poz. 1546]. Są to: pył, substancje organiczne w postaci gazów i par, chlorowodór, dwutlenek siarki, tlenek węgla. Bardzo istotny dla poprawy stanu środowiska jest bieżący monitoring i wskazywanie głównych źródeł emisji zanieczyszczeń.

Poziomy dopuszczalne w powietrzu ze względu na ochronę zdrowia ludzi wynoszą w Polsce: dla PM10 - 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – dla okresu uśredniania 24 godziny i 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – dla roku kalendarzowego, dla PM2,5 - 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ średnio w roku oraz 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ CO średnio dla 8 godzin (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [Dz.U. 2012, poz. 1031]. Z kolei Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu [Dz.U. 2010 nr 16, poz. 87], wyszczególnia wartości odniesienia dla wybranych substancji emitowanych z emitorów punktowych (tab. 1).

MOBILNA PLATFORMA JAKO NARZĘDZIE DO MONITORINGU NISKIEJ EMISJI

Monitoring środowiska, konieczność gromadzenia dokładnych danych z pomiarów terenowych, prace inwentaryzacyjne i prognostyczne wymagają stosowania nowych technologii ułatwiających dotarcie czujników i detektorów w wybrane miejsca. Obecnie duże nadzieje pokłada się w zastosowaniu bezzałogowych platform

Tabela 1. Wartości odniesienia dla wybranych substancji emitowanych z emitorów punktowych

Oznaczenie numeryczne (CAS)	Nazwa substancji	Wartość odniesienia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) uśrednione dla okresu	
		1 godzina	rok kalendarzowy
10102-44-0	Dwutlenek azotu	200	40
7446-09-5	Dwutlenek siarki	350	20
-	Pył zawieszony PM-10	280	40
630-08-0	Tlenek węgla	30 000	-
7647-01-0	Chlorowodór	200	25
71-43-2	Benzen	30	5
50-32-8	Benzo(a)piren	0,012	0,001

latających do zastosowań w inżynierii środowiska, głównie w obszarze fotometrii i teledetekcji, natomiast wraz z popularyzacją platform wzrastają też możliwości zastosowania [Igliński i Szymczak 2015]. Również w kwestii monitoringu niskiej emisji należy mieć na uwadze nowe rozwiązania technologiczne stąd jednym z pomysłów jest zastosowanie bezzałogowych platform latających zwanych także dronami [Villa i in. 2016]. W literaturze anglojęzycznej drony najczęściej określa się akronimem UAV (*unmanned aerial vehicle*) lub rzadziej *unpiloted aerial vehicle*, a także akronimem UAS (*unmanned aircraft systems*), który preferowany jest przez amerykańską *federal aviation administration*. W użyciu są też inne określenia drona, takie jak: *remotely piloted vehicle*, *remotely piloted aircraft* lub *remotely piloted air system* [Dalamagkidis i in. 2012]. Platformy takie mogą zostać wyposażone w urządzenia teledetekcyjne, kamery termiczne i aparaty fotograficzne, oraz inne dedykowane urządzenia pomiarowe. Znane są rozwiązania wykorzystujące drony dla przenoszenia platform pozwalających na bezpośredni pomiar gazów niskiej emisji bezpośrednio w sąsiedztwie źródeł - poszczególnych kominów - czy innych zagrożeń chemicznych [Neumann i in. 2013, Bartholmai i Neumann 2010]. Wykorzystywane są na nich oddzielne mierniki - katalityczne, elektrochemiczne (EC), tlenkowe (MOX) do pomiaru CO, CO₂, H₂S, NH₃, SO₂, PH₃, HCN, NO₂, Cl₂. Rozpatrywano również możliwość zastosowania komercyjnego, optoelektronicznego miernika IR gazów jak Dräger X-am 5600. Wymaga to jednak montowania na platformie pomiarowej oddzielnych, komercyjnych mierników, co może być ograniczone koniecznością stosowania ciężkich, kosztownych platform latających lub koniecznością prowadzenia wielokrotnych nalołów pomiarowych z wymiennymi miernikami.

Na potrzeby realizacji grantu własnego Głównego Instytutu Górniczego pod nazwą „Mobilna platforma monitoringu wybranych parametrów niskiej emisji z wykorzystaniem dronów” wykorzystano platformę TOOR 17 i autorski miernik laserowy umożliwiający szybki pomiar stężeń wybranych związków i substancji w powietrzu (rys. 1).

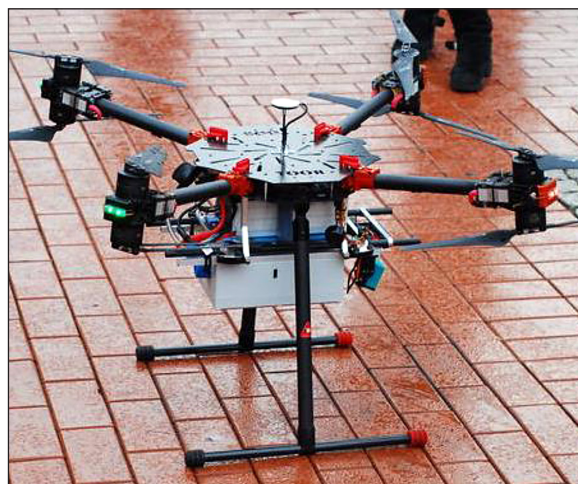
Platforma TOOR jest profesjonalnym produktem do zastosowań komercyjnych i badawczych. Dron zapewnia zawis do 30 minut, przy pakietach zasilających 6S/22 Ah. Zasięg operacyjny platformy to 1500 m. Dron został zbudowany w

oparciu o wytrzymałą i składaną czteroramienną ramę węglową TOOR 17 wyposażoną w osiem silników produkowane przez DJI (Shenzhen, Chiny) [Bartholmai i Neumann 2010]. Wymiary ramy wynoszą 900 mm szerokości i 420 mm wysokości, rozstaw silników 625 mm, a cała konstrukcja jest wykonana z węglowych materiałów kompozytowych. Wbudowany system tłumienia umożliwia montowanie wirników bez użycia dodatkowych ram z amortyzatorami. UAV waży 4,2 kg i jest w stanie wygenerować maksymalną siłę ciągu 31 kg. UAV używa baterii wielkości 22Ah, która zapewnia czas lotu około 30 min bez dodatkowego ładunku. Jednak czas lotu z ładunkiem stosowanych w tym badaniu została obliczona na około 12-13 min.

Charakterystyka techniczna platformy wykorzystanej do integracji z urządzeniem pomiarowym:

- dron TOOR 17 z maksymalnym ciągiem 8 silników do 30 kg,
- platforma pomiarowa o masie maksymalnej do 4,5 kg,
- czas lotu do 30 minut,
- tryb lotu: manual, ATTI, GPS.

Na platformie zainstalowano czujnik laserowy umożliwiający pomiar wybranych parametrów tzw. niskiej emisji. Urządzenie zainstalowano bezpośrednio pod pakietami zasilającymi na dedykowanych relingach umożliwiających szybki montaż dowolnego osprzętu. Platforma badawcza została sprawdzona i przetestowana podczas poligonowych badań niskiej emisji, gdzie jako źródło zadymienia wykorzystano tzw. świece dymne. Podczas prac polowych (rys. 2) testowa-



Rys. 1. Platforma TOOR 17 z zainstalowanym czujnikiem podczas testów w mieście Bytom



Rys. 2. Próby poligonowe czujnika z wykorzystaniem świec dymnych jako źródła dymu

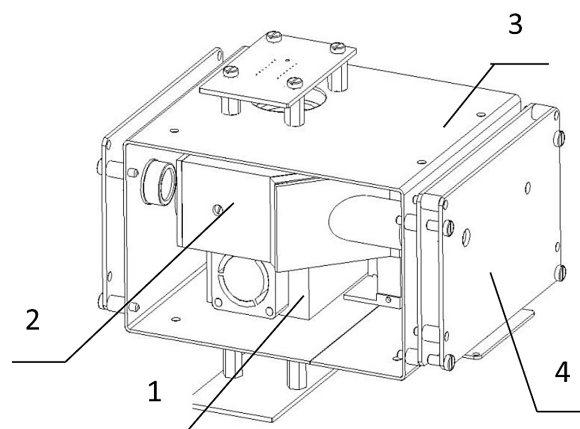
no pierwsze wersje scharakteryzowanego poniżej autorskiego laserowego miernika wybranych parametrów niskiej emisji.

PLATFORMY POMIAROWE WYBRANYCH PARAMETRÓW NISKIEJ EMISJI MONTOWANE NA DRONIE

W Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach opracowano modułowe rozwiązania umożliwiające szybki i precyzyjny monitoring niskiej emisji z wykorzystaniem, mobilnych platform latających (dronów). W pierwszej platformie, z autonomicznym zasilaniem, zainstalowano pyłomierz laserowy realizujący pomiar zapylenia dla stężeń do 5 mg/m^3 dla frakcji PM1, PM2,5 i PM10 oraz kontrolny, wymagany w rozporządzeniu [Dz.U. nr 2014, poz. 1542], referencyjny w emisji i równoważny do referencyjnego w imisji pomiar certyfikowanym aspiratorem powietrza (aspirator SKC AirChek model 224-52) z analizą wagową membrany filtracyjnej. Pomiar stężenia CO do 2000 ppm realizowano za pomocą czujnika tlenkowego MQ-7 (MOX) Gas Sensor. Platforma wyposażona jest ponadto w autonomiczną kamerę, system lokalizacji pomiaru (moduł GPS, niezależny od telemetrii drona), dalmierz akustyczny, mikroprocesorowy system sterowania, zapisu i transmisji danych.

W kolejnej platformie pomiarowej zastosowano własne optoelektroniczne rozwiązania, wykorzystujące postęp w technologiach generacji i detekcji monochromatycznego promieniowania VIS i IR. W konstrukcji, jak na modelu (rys. 3) zastosowano oryginalny (zastrzeżony zgłosze-

niem patentowym) sposób połączenia w zintegrowanym bloku pomiarowym optoelektronicznego miernika stężenia CO i CO₂, wyposażonego we wspólną komorę pomiarową, połączoną ponadto z niezależną komorą pomiarową laserowego pyłomierza. Taki hybrydowy miernik minimalizuje ilość części optycznych, mechanicznych i elektronicznych, co prowadzi do radykalnego zmniejszenia jego rozmiarów i wagi, czyniąc go przydatnym dla stosunkowo lekkich platform latających o relatywnie niewielkim udźwigu. Latające laboratorium cechuje ponadto niezawodność działania w trybie „on line” a parametry pomiaru, głównie ze względu na szybkość i dokładność pomiaru, wyróżniają je spośród innych, w tym półprzewodnikowych i elektrochemicznych czujników.



Rys. 3. Blok pomiarowy stężenia i składu ziarnowego pyłów oraz stężenia CO i CO₂: 1 – komora pyłomierza, 2 – komora pomiaru gazów, 3 – stelaż nośny, 4 – układ sterowania

Proponowana metoda pomiaru pozwala zarówno na ocenę gęstości zapylenia (stężeń) jak i rozkładu granulometrycznego pyłów, w szczególności w zakresie niebezpiecznych dla zdrowia, drobnych frakcji wdychalnych PM1, PM2,5 i PM10 jak i relacji stężeń CO do CO₂ w spalinach.

Koncepcja wizualizacji i opracowania pozyskanych danych została oparta na rozwiązaniach dostarczanych poprzez wolne oprogramowanie GIS z otwartym kodem źródłowym (open source). Założono że narzędzie wizualizacji danych powinno posiadać następujące cechy:

- łatwy import danych z urządzenia pomiarowego,
- możliwość prezentacji danych na różnym stopniu generalizacji (np. dom, ulica, osiedle...) w formie kartograficznej,
- możliwość selekcji i ekstrakcji informacji (np. hotspoty),
- możliwość badania relacji z informacjami z innych źródeł,
- możliwość wyznaczanie stref wielkości stężeń zanieczyszczeń,
- możliwość śledzenia historii zmian (trend zmian wielkości emisji w danym obszarze, monitoring redukcji zanieczyszczeń).

Ponadto założono, że wybrane oprogramowanie posiadać będzie mechanizm importu i aktualizacji danych w powiązaniu z danymi zewnętrznymi.

Finalnie zdecydowano się na wykorzystanie oprogramowania QGIS w wersji 2.14.3. QGIS jest licencjonowanym na warunkach GNU General Public License. QGIS oficjalnym projektem Open Source Geospatial Foundation (OSGeo).

Działa na systemach Linux, Unix, Mac OSX, Windows i Android. Obsługuje wiele funkcji i formatów: wektorowych, rastrowych i bazodanowych. Zaletą wybranego oprogramowania są:

- duża popularność w Polsce,
- bardzo duży zestaw tzw. wtyczek umożliwiających przeprowadzanie analiz przestrzennych na różnym poziomie złożoności,
- możliwość opracowania i wykorzystania autorskiej wtyczki dostosowanej do potrzeb,
- możliwość instalacji oprogramowania w języku polskim,
- dostęp do wsparcia komercyjnego dla firm.

PRZYKŁAD POMIARU W OBSZARZE NISKIEJ ZABUDOWY

Badania przeprowadzono w dzielnicy miasta Bytom, na podstawie umowy między Miastem i Instytutem, w obrębie 3 ulic charakteryzujących się niską zabudową przeważnie jednorodziną w godz. 8–9 rano. 30 listopada rano warunki meteo były korzystne dla pomiaru: temperatura powietrza $T = -1$ °C, wiatr zachodni $v = 0,9-1,8$ m/s, bez opadów, ciśnienie baryczne 988 = hPa. Efektywny czas pomiaru wynosił 18 min. i 53 s i był ograniczony czasem pracy akumulatorów zasilających drona. Etap I obejmował przelot nad posesjami ok. 1,5 km i pomiar nad widocznymi czynnymi emitorami. II etap obejmował 4 minutowe okresy pomiaru w strudze dymu z komina budynku na jednej z posesji oraz kolejne 4 min., na zachód od tego miejsca, po stronie zawietrznej, poza terenem zabudowanym, gdzie nie była widocz-



Rys. 4. Przykład nalotu nad wybrane emitory

na żadną emisję punktową. W tabeli 2 dokonano zestawienia średnich poziomów stężenia pyłów i tlenku węgla dla 1133 s pomiaru oraz wartości odniesienia wg. rozporządzenia MŚ [Dz.U. 2010 nr 16, poz. 87], a w tabeli 3 uwiidoczniono chwilowe minimalne i maksymalne wartości pomiaru w odniesieniu do najbliższej stacjonarnej stacji monitoringu powietrza przy ul. Curie-Skłodowskiej w Zabrze.

Wyniki pomiaru stężenia pyłów oraz tlenku węgla w funkcji czasu pomiaru z zaznaczeniem wybranych obiektów (posesji), opisanych kolejną numeracją przedstawione są na kolejnych rysunkach (rys. 5 i rys. 6). Dane mogą być przypisane bezpośrednio do obiektu jak i uśrednione – tworząc tzw. mapy chwilowej emisji. Wizualizacja danych pomiarowych przeprowadzana jest z wykorzystaniem narzędzi GIS, co dla naszego przykładu ilustrują mapy rozkładu frakcji PM_{2,5} (rys. 7). Jako podkładu mapowego wykorzystano: Open Street Map, a do wykonania map uży-

to oprogramowania: QGIS Desktop 2.18.1 with GRASS 7.0.5.

Średnie poziome stężenia pyłów i tlenku węgla dla 1133 s pomiaru, przedstawione w tabeli 2, wykazują, że zarówno dla frakcji wdychalnych (suma wartości pomiarowych laserowego miernika w 3 przedziałach efektywnej średnicy pyłów 0.5–1 μm, 1–2,5 μm, 2,5–10 μm, średni poziom stężenia: 655 μg/m³) jak i dla pyłu całkowitego (aspirator wagowy) wartości zmierzone przekraczały o 234% wartość odniesienia uśrednionej dla 1 h (280 μg/m³) [Dz.U. 2010 nr 16, poz. 87] dla pyłu PM₁₀ emitowanego z emitorów punktowych. Średnie stężenie tlenku węgla (2236 μg/m³) nie przekraczało wartości odniesienia uśrednionej dla 1 h.

Minimalna wartość chwilowa stężenia pyłu PM₁₀ (położona w obszarze na zachód od zabudowań, teren zielony, punkt 6 na wykresach) wynosiła 214 μg/m³, a najwyższa – 2 m nad kominem jednej z posesji przy ulicy

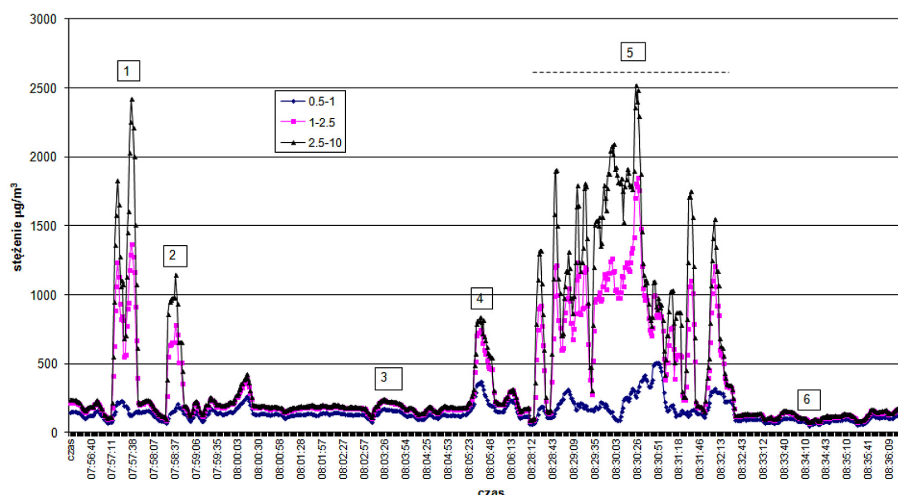
Tabela 2. Średnie poziome stężenia pyłów i tlenku węgla dla 1133 s pomiaru oraz wartości odniesienia

Sposób pomiaru	PM [μg/m ³]	CO [μg/m ³]	Wartości odniesienia 1 h [μg/m ³]
Laser PM (0.5-10)	654,53	-	280,00
Aspirator wagowy PM (TSP*)	778,60	-	280,00
Mq-7 co gas sensor	-	2 236	30 000

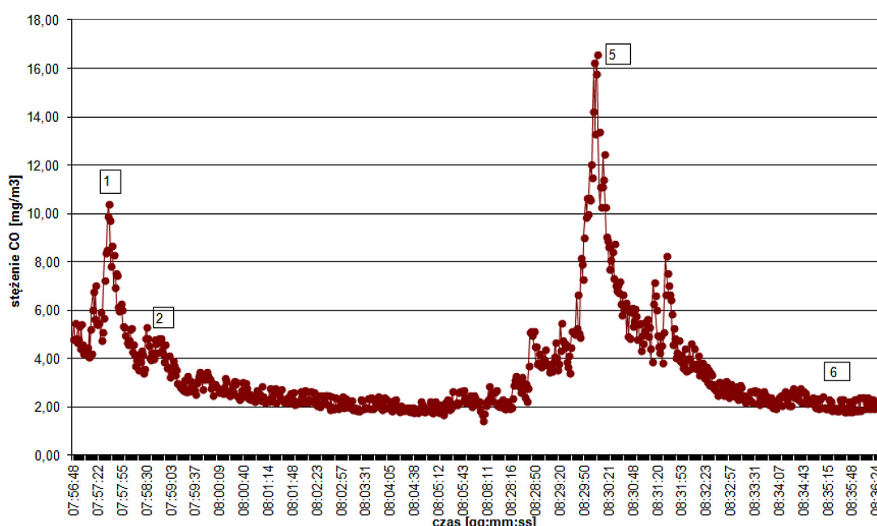
* Total suspended particulates – całkowity pył zawieszony.

Tabela 3. Chwilowe (minimalne i maksymalne) wartości pomiaru w odniesieniu do najbliższej stacji monitoringu powietrza

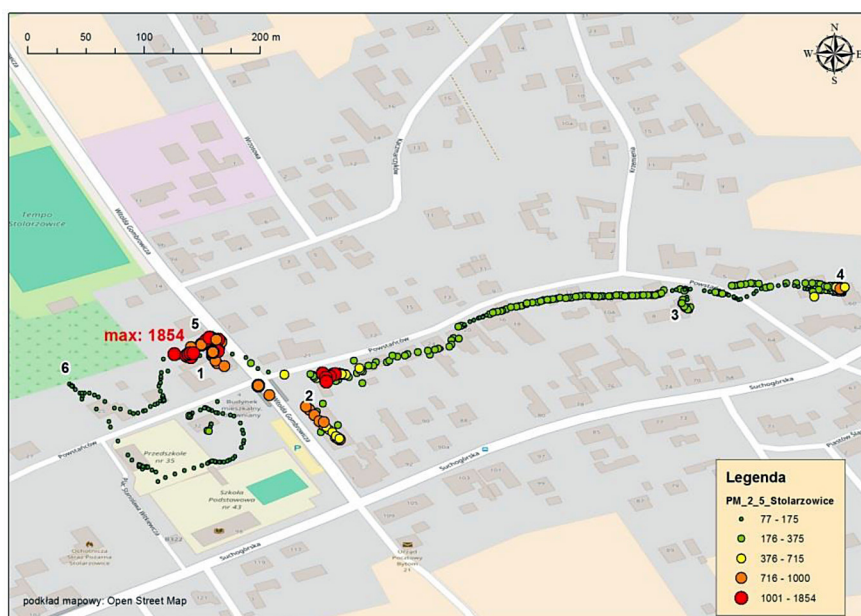
Czynnik	30.11.2016, 8:00–9:00	Wartości chwilowe (bytom)	IPIS PAN Zabrze
PM (0.5–10) laser [μg/m ³]	min. w punkcie 6	214 (poza zabudową)	64 – 76
PM (0.5–10) laser [μg/m ³]	max. w punkcie 5	4598 (w strudze emitora)	–
CO [μg/m ³]	min. – max.	1850 – 16500	709 – 969



Rys. 5. Wartości stężenia pyłów PM₁, PM_{2,5} i PM₁₀ w czasie trwania przelotu nad 3 ulicami z niską zabudową



Rys. 6. Wartości stężenia CO w czasie trwania przelotu nad 3 ulicami z niską zabudową



Rys. 7. Wynik mapowania rozkładu przestrzennego dla pyłu PM_{2,5}

(w punkcie 5): $4598 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tab. 3). Wartości chwilowe stężenia tlenku węgla zmieniały się w granicach $1850\text{--}16500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W kolumnie 4 tabeli 3 przedstawiono chwilowe minimalne i maksymalne wartości pomiaru wykazywane w stacjonarnej stacji monitoringu powietrza przy ul. Curie-klódowskiej w Zabrze.

Wszystkie wartości związane z pomiarem emisji nad kominami przekraczają wartość odniesienia uśrednioną dla 1 h wynikającą z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu [Dz.U. 2010 nr 16, poz. 87], a wartość średniego poziomu stężenia pyłów PM (0.5-10) poza nimi ($232 \text{ mg}/\text{m}^3$)

przekracza dopuszczalny poziom pyłu zawieszonego PM₁₀ w powietrzu ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ uśredniony dla 24 h), zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, (Dz. U. 2012 r. z dnia 18.09.2012 r., poz. 1031) [Dz.U. 2012, poz. 1031].

PODSUMOWANIE

Najistotniejszym zadaniem platform pomiarowych zamontowanych na dronie jest poprawny i szybki pomiar stężeń drobnych pyłów wdychalnych i respirabilnych, w szczególności

frakcji PM₁₀ i PM_{2,5} ze względu na znaczne przekroczenia wartości dopuszczalnych. Na lotnych drobinach pyłu powstałych w wyniku spalania węgla, drewna czy odpadów osadzony jest ponadto rakotwórczy benzo(a)piren. Dlatego też na platformie z autonomicznym zasilaniem zbudowanej w GIG znajduje się pyłomierz laserowy dla analizy udziału tych frakcji wdychalnych oraz zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Ministra Środowiska [Fellner 2013] aspirator gravimetryczny membranowy dla pomiaru stężenia pyłu całkowitego (jako pomiar referencyjny). Aspirator może być stosowany również do poboru próbek gazowych z wykorzystaniem rurek sorpcyjnych nazywanych również adsorpcyjnymi czy sorbentowymi, wypełnionych różnymi sorbentami, np. węglem aktywnym, żelem krzemionkowym, żywica XAD, bądź specjalnych worków do próbek gazowych. Umożliwi to badania stężeń i składów ziarnowych pyłów oraz składu chemicznego pyłów i gazów pobranych ze strugi spalin nad badanym, indywidualnym emitorem. W próbkach pyłu pobranego na filtry można oznaczyć zawartość metali ciężkich. Pyłomierze najkorzystniej uzupełniane są czujnikami stężenia tlenu węgla jako sygnalizatora złego spalania węgla. Z kolei zastrzeżony zgłoszeniem patentowym prototyp hybrydowego laserowego modułu pomiarowego niskiej emisji zapewnia natomiast szybką analizę stężeń pyłu i gazów w trakcie przelotu sprawdzającego – inwentaryzacyjnego niskiej emisji – nad kolejnymi emitarami z uwzględnieniem dostępnego czasu przelotu, ograniczony czasem pracy akumulatorów zasilających drona.

Pierwsze badanie niskiej emisji w obszarze, na którym dominuje zabudowa jednorodzinna i paleniska c.o. na węgiel wykazała przydatność zastosowanej metodologii pomiaru zarówno dla pomiaru inwentaryzacyjnego (przelot nad szeregiem posesji), jak i dla dłuższej analizy w strudze dymu z wybranego emitora – kominna. Ten drugi wariant umożliwi pobór próbek, z wykorzystaniem aspiratora, dla chemicznych analiz w laboratoriach Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach.

Wykrywanie „in situ” nad emitorem potencjalnego spalania węgla wraz z odpadami będzie możliwe po opracowaniu szybkiego i czułego, najkorzystniej laserowego miernika stężenia charakterystycznego produktu, jakim jest na przykład przy spalaniu PCV chlorowódor.

LITERATURA

1. Bartholmai M., Neumann P., 2010, Micro-drone for gas measurement in hazardous scenarios via remote sensing, measurement and testing technology. Selected Topics in Power Systems and Remote Sensing, 10th WSEAS/IASME International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines (Power'10), 6th WSEAS International Conference on Remote Sensing (Remote'10), publ. by WSEAS Press, Japan, October 4-6, 149-152.
2. Dalamagkidis K., Valavanis K.P., Piegł L.A., 2012. On integrating unmanned aircraft systems into the national airspace system: Issues, challenges, operational restrictions, certification and recommendations, 2nd ed. Springer-Verlag, Dordrecht, Heidelberg – London – New York.
3. Fellner R., 2013. Uwarunkowania prawne związane z działaniem bezzałogowych aparatów latających w aspekcie monitoringu środowiska. Współczesne Problemy Ochrony Środowiska, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska.
4. Igliński H., Szymczak M., 2015. Rola bezzałogowych statków powietrznych w funkcjonowaniu zwrotnych łańcuchów dostaw. Studia Oeconomica Posnaniensia, vol. 3, no. 6.
5. Kadlewicz K., 2013, Niska emisja – przyczyny, zagrożenia i możliwości redukcji. Biuletyn wdrożeń Czystej Produkcji, GIG, nr 8.
6. Neumann P.P., Asadib S., Hernandez Bennettsb V., Lilienthalb A.J., Bartholmaia M., 2013. Monitoring of CCS areas using Micro Unmanned Aerial Vehicles (MUAVs). Energy Procedia, 37, 4182–4190.
7. Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012, poz. 1031).
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2012, poz. 1032).
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26.01.2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2010 nr 16, poz. 87).
10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2014 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody (Dz.U. nr 2014, poz. 1542).
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2014 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów (Dz.U. 2014 poz. 1546).
12. Villa T., F., Salimi F., Morton K., Morawska L., Gonzalez F., 2016. Development and validation of a UAV based system for air pollution measurements sensors. Sensors, 16, 2202.