

Monitoring air quality around a cattle farm using a mobile measurement system

Monitoring jakości powietrza wokół fermy bydła za pomocą mobilnego systemu pomiarowego

DOI: 10.15199/62.2024.7.3

The content of NH_3 and H_2S as well as particulate matter $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} in the air of a cattle farm was studied using an unmanned aerial vehicle equipped with measurement sensors. The analyzed pollutants did not pose a threat to the environment.

Keywords: pollutants, cattle farm, environment

W celu określenia zasięgu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń gazowych prowadzono badania w fermie bydła z wykorzystaniem mobilnego systemu pomiarowego. Wykonano pomiary koncentracji amoniaku, siarkowodoru i pyłu zawieszonego. Analizowane zanieczyszczenia nie stwarzały zagrożenia dla środowiska.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia, hodowla bydła, środowisko

Poprawa jakości powietrza wymaga poszukiwania nowych rozwiązań do identyfikacji różnych źródeł zanieczyszczeń, w tym źródeł rozproszonych. Dotychczas wykorzystywane do tego celu systemy pomiarowe charakteryzował ograniczony zasięg przestrzenny. Rozwój technologii sprawił, że pojawiły się platformy eksperymentalne w postaci bezzałogowych statków powietrznych UAV (*unmanned aerial vehicle*). Obecnie systemy UAV są wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu oraz w rekreacji. Wykorzystuje się je m.in. w budownictwie, geodezji, rolnictwie zarówno do badania terenu, jak i diagnozowania zasadności prowadzenia oprysków roślin¹⁻⁴). Istotnym aspektem korzystania z tych urządzeń jest możliwość dotarcia do trudnych, często niebezpiecznych miejsc przy równoczesnym prowadzeniu obserwacji i pomiarów. UAV wyposaża się w sensory zanieczyszczeń, czujniki wilgotności i temperatury, połączone z modułami pomiarowymi zbierającymi dane i przetwarzającymi algorytmy. Taki układ sensorów pozwala na zbieranie danych w czasie rzeczywistym i tworzenie map jakości powietrza z uwzględnieniem lokalizacji emitorów

i wysokości prowadzonych pomiarów. Wykorzystanie pomiarów UAV do badania rozkładu zanieczyszczeń powietrza w warstwie granicznej atmosfery jest coraz częściej stosowane, jednak istotny jest odpowiedni dobór urządzeń do planowanych pomiarów^{1, 2, 4, 5}). Inwentaryzacja zanieczyszczeń i ich wizualizacja tradycyjnymi metodami wymaga podejmowania trudnych decyzji co do przyjęcia właściwego modelu badań^{6, 7}). Szybki rozwój technologii doprowadził do pojawienia się bezzałogowych systemów monitoringu. Wykorzystanie ich zwiększa możliwości wykrywania zanieczyszczeń z różnych źródeł, a zwłaszcza trudno dostępnych^{8, 9}). W przypadku ferm istotne jest określenie emitorów, szorstkości aerodynamicznej terenu i monitorowanie zanieczyszczeń w smudze w określonych warunkach meteorologicznych, co w wielu przypadkach stwarza problemy z ustaleniem współczynników emisji. Zastosowanie różnych kombinacji czujników do oceny jakości powietrza z UAV pozwala na niskokosztowe zdiagnozowanie stanu środowiska bez obecności człowieka. W tym celu wykorzystano bezzałogowe monitorowanie zanieczyszczeń uwalnianych w fermie.



Sebastian JAGUSZEWSKI jest studentem na kierunku bezpieczeństwo i higiena pracy na Wydziale Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.



Maciej WILK jest studentem na kierunku bezpieczeństwo i higiena pracy na Wydziale Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

Część doświadczalna

Metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone na fermie krów mlecznych w południowo-wschodniej części Polski. Na terenie fermy obok budynków znajdowały się wybiegi dla zwierząt. Do monitorowania terenu fermy wytypowano emitory, które objęto badaniami za pomocą mobilnego systemu pomiarowego. System wyposażono w zestaw sensorów (amoniak NH_3 , siarkowodor H_2S , frakcje $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10}), uprzednio skalibrowanych, zamontowanych w komorze pomiarowej. Wykorzystano moduł do pomiaru amoniaku o zakresie pomiarowym 0–100 ppm, z dokładnością 0,1 i rozdzielczością 0,01. Zastosowany moduł siarkowodoru miał zakres pomiaru 0–50 ppm, z dokładnością 0,1 i rozdzielczością 0,01. Moduły do pomiaru $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} miały zakres pomiaru 0–999, z dokładnością +/- 15 i rozdzielczością 1.

W trakcie pomiarów zbierano również dane do określenia parametrów mikroklimatu, takich jak temperatura i wilgotność. Każdy sensor był przeznaczony do określonego zanieczyszczenia i wytwarzał odmienne rodzaje sygnałów. Sygnały były odpowiedzią na stężenia zanieczyszczeń i były kalibrowane przed zastosowaniem.

Pomiary koncentracji zanieczyszczeń w powietrzu wykonano na efektywnej wysokości emitora nad terenem fermy. Sensory w komorze pomiarowej prowadziły pomiar ciągły stanu powietrza i przesyłały dane falami radiowymi do komputera, gdzie wykorzystano je do późniejszych analiz. Pomiary wykonano dwukrotnie w odmiennych warunkach mikroklimatycznych. Zebrane wyniki poddano analizie i przedstawiono na wykresach w postaci średniej arytmetycznej (rys. 1–3). Łącznie zebrano ok. 2,5 tys. danych dla każdego zidentyfikowanego parametru. Pomiary wykonywano w optymalnych warunkach pracy UAV, takich jak odpowiednie nasłonecznienie i brak opadów atmosferycznych.

Wyniki badań i ich omówienie

Pomiary badanych parametrów wykonano w siatce składającej się z 2500 punktów pomiarowych zlokalizowanych na terenie fermy. Na rys. 1–3 przedstawiono wizualizację uśrednionych wyników z przeprowadzonych oblotów fermy, z podziałem na mierzone zanieczyszczenia. Nie przedstawiono wizualizacji stężeń siarkowodoru, gdyż w trakcie prowadzenia pomiarów nie został on zidentyfikowany.

Przedstawiona mapa stężeń amoniaku w powietrzu fermy wskazuje na większą koncentrację tego zanieczyszczenia w pobliżu emitora. Średnia koncentracja amoniaku w powietrzu fermy wynosiła 0,13 ppm. Największe stężenie tego zanieczyszczenia (0,47 ppm) było poniżej wartości odniesienia. Przyjęta dla naszego kraju wartość odniesienia dla NH_3 w powietrzu dla 1 h wynosi $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,574 ppm), zaś dla 1 roku $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, z wyłączeniem obszarów ochrony¹⁰⁾.

Koncentracje $\text{PM}_{2,5}$ oraz PM_{10} w powietrzu badanej fermy były w granicach 0–27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a średnie wartości $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} wynosiły odpowiednio 3,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

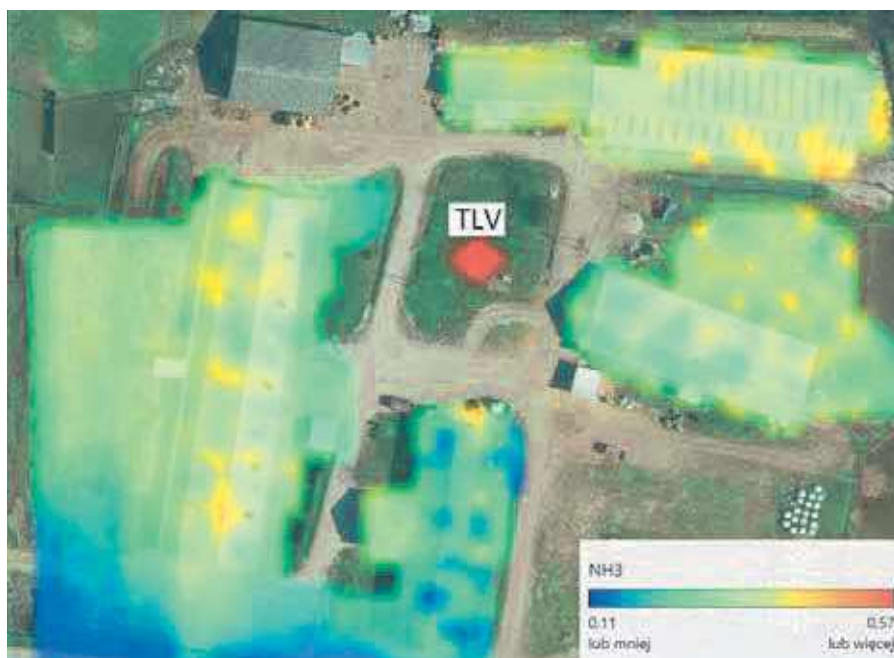


Fig. 1. Average concentration of ammonia in the farm air in relation to threshold limit value TLV (marked in red), ppm

Rys. 1. Średnia koncentracja amoniaku w powietrzu fermy w odniesieniu do najwyższego dopuszczalnego stężenia TLV (threshold limit value) (oznaczony na czerwono), ppm



Mateusz GANCARZ jest studentem na kierunku bezpieczeństwo i higiena pracy na Wydziale Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.



Martyna CENIAN jest studentką na kierunku bezpieczeństwo i higiena pracy na Wydziale Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

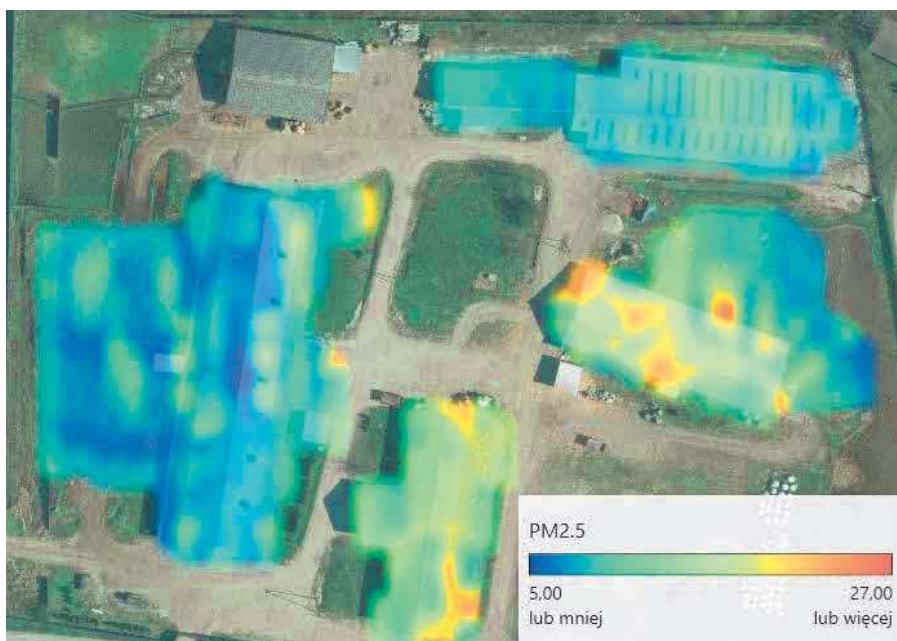


Fig. 2. Average concentration of PM2.5 in farm air, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Rys. 2. Średnia koncentracja PM2,5 w powietrzu fermy, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

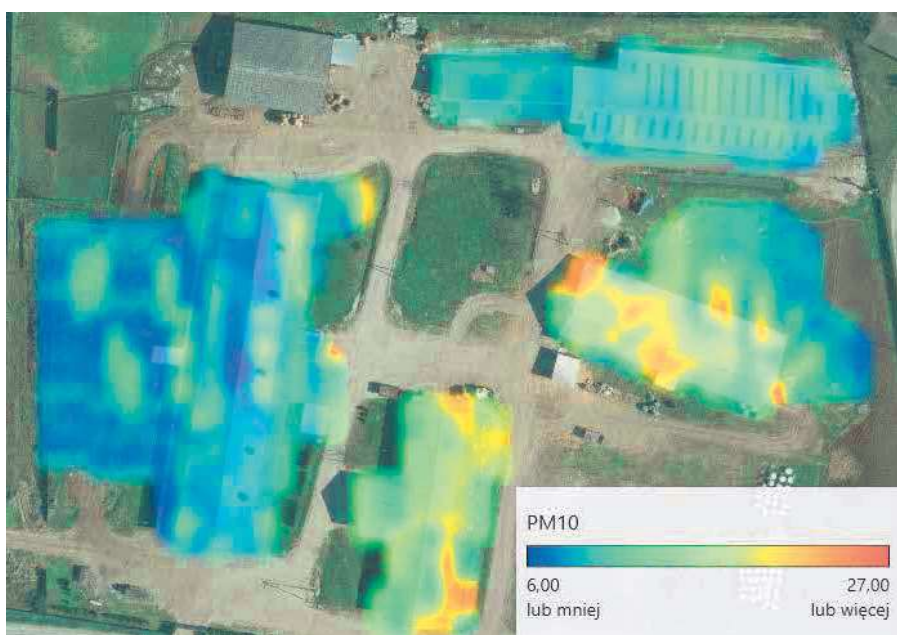


Fig. 3. Average concentration of PM10 in farm air, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Rys. 3. Średnia koncentracja PM10 w powietrzu fermy, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

i $4,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Przyjęta dla naszego kraju wartość odniesienia dla PM10 w powietrzu dla 1 h wynosi $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$, zaś dla roku kalendarzowego $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, z wyłączeniem obszarów ochrony¹⁰⁾. Wielkości te nie zostały przekroczone. WHO określiło bezpieczny poziom PM10 w powietrzu jako średnie dobowe stężenie nieprzekraczające poziomu $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w skali roku jako $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W przypadku PM2,5 WHO podaje średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego na poziomie $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a wartość odniesienia dla 1 roku oszacowano jako $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analiza wyników potwierdziła, że jakość powietrza w badanym obszarze kształtowana była również poprzez warunki meteorologiczne powodujące unos wtórny pyłu. W badanym obiekcie koncentracja pyłu nie wykazała przekroczeń, z wyjątkiem przypadku, gdzie nad wybiegiem i drogą zaobserwowano unos wtórny.

Przedstawienie modelu przestrzennego zidentyfikowanych zanieczyszczeń w powietrzu fermy pozwala określić faktyczną presję obiektów na środowisko. Wyznaczenie stężeń w granicach fermy pozwala dobrać odpowiednie środki zaradcze w celu minimalizowania ekspansji zanieczyszczeń⁸⁾.

W celu kontroli emisji zanieczyszczeń z ferm, prowadzenie monitoringu jakości powietrza w ofercie bezzałogowej wydaje się niezbędnym narzędziem. W obiektach fermowych należy dużą uwagę zwracać również na stężenie metanu i tlenu diazotu (podtlenek azotu), co pozwala obliczyć ekwiwa-



Mgr inż. Katarzyna KARPIŃSKA (ORCID: 0000-0001-6087-9457) w roku 2022 ukończyła studia na Wydziale Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Obecnie jest asystentem w Katedrze Higieny Zwierząt i Zagrożeń Środowiska tej samej uczelni. Specjalność – bezpieczeństwo i higiena pracy.



Prof. dr hab. Bożena NOWAKOWICZ-DĘBEK (ORCID: 0000-0003-2510-1062) w roku 1995 ukończyła studia na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie. Jest profesorem w Katedrze Higieny Zwierząt i Zagrożeń Środowiska tej uczelni. Specjalność – zoohigiena, ochrona środowiska.

*** Adres do korespondencji:**

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, tel.: (81) 445-69-98, e-mail: katarzyna.karpinska@up.lublin.pl

**** Adres do korespondencji:**

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, tel.: (81) 445-69-98, e-mail: bozena.nowakowicz@up.lublin.pl

lent ditlenku węgla dla produkcji. Poznanie wielkości śladu CO₂ pozwala określić faktyczne ilości gazów powstających podczas produkcji mleka. Ponadto bezzałogowy monitoring powietrza w strefie obiektów fermowych to kontrola obrazu zapachowego ferm, a w razie konieczności odpowiednie dostosowanie profilaktyki do ograniczenia emisji uciążliwych zapachów. W działalności rolniczej, a zwłaszcza produkcji zwierzęcej, obok pyłu zawieszonego PM_{2,5} i PM₁₀ występują gazowe zanieczyszczenia w postaci NH₃, NO_x i metanu^{8, 11}). Burgués i współpr.¹²), pobierając powietrze do worków umieszczonych przy dronach, wykonali po raz pierwszy mapowanie uciążliwych zapachów w terenie. Habib i współpr.¹³) monitorowali jakość powietrza na terenach rolniczych oraz w okolicy zakładów produkujących mleko. Jak podają autorzy, koncentracja amoniaku była w granicach dopuszczalnego poziomu 25 ppm. W badaniach własnych uzyskano zdecydowanie niższe poziomy amoniaku w badanej fermie bydła. Identyfikowanie zanieczyszczeń z bezzałogowym sterowaniem wymaga kontroli warunków meteorologicznych, gdyż warunkują one dokładność pomiaru¹⁴). Wykorzystanie modeli głębokiego uczenia się DL (*deep learning*) pozwala w krótkim czasie uzyskać powtarzalne pomiary¹⁵). Ważne jest jednak dobranie odpowiednich czujników, aby uzyskać poprawne wyniki pomiarów.

Podsumowanie

Wykonane pomiary miały na celu określenie zawartości w powietrzu gazów, takich jak amoniak (NH₃) i siarkowodór (H₂S) oraz zapylenia PM_{2,5}, PM₁₀. Poziom NH₃ wyniósł maksymalnie 0,47 ppm, zatem poziom dopuszczalny (0,574 ppm) nie został przekroczony. Siarkowodór nie został wykryty podczas wykonywania badań. Wartości PM_{2,5} oraz PM₁₀ wynosiły maksymalnie 27 µg/m³, co w przypadku PM₁₀ jest dalekie od wartości dopuszczalnych (280 µg/m³), a w przypadku PM_{2,5} poziom dopuszczalny został przekroczony, jednakże średnia z pomiarów

jest daleka od przekroczenia normy. Można stwierdzić, że powietrze na badanej fermie spełnia wymogi uregulowane przepisami.

Projekt finansowany ze środków budżetu państwa przyznanych przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach Programu „Studenckie Koła Naukowe Tworzą Innowacje” nr SSKN/SP/569532/2023.



Otrzymano: 19-05-2024

LITERATURA

- [1] S. Pochwała, A. Gardecki, P. Lewandowski, V. Somogyi, S. Anweiler, *Sensors* 2020, **20**, nr 12, 3582.
- [2] T.F. Villa, R.A. Brown, E.R. Jayaratne, L.F. Gonzalez, L. Morawska, Z.D. Ristovski, *Atmos. Meas. Tech.* 2019, **12**, nr 1, 691.
- [3] G. Pajares, *Remote Sensing* 2015, **81**, nr 4, 281.
- [4] J. Westerlund, M. Hallquist, Å.M. Hallquist, *Atmos. Environ.* 2015, **112**, 159.
- [5] Q.R. Gu, D. Michanowicz, C. Jia, *Sensors* 2018, **18**, nr 12, 4363.
- [6] B. Nowakowicz-Dębek, Ł. Wlazło, A. Szymula, M. Ossowski, M. Kasela, A. Chmielowiec-Korzeniowska, H. Bis-Wencel, *J. Atmos.* 2020, **11**, nr 8, 803.
- [7] Ł. Wlazło, B. Nowakowicz-Dębek, M. Kułazyński, W. Wnuk, M. Ossowski, *Przem. Chem.* 2018, **97**, nr 4, 645.
- [8] J. Jońca, M. Pawnuł, Y. Bezyk, A. Arsen, I. Sówka, *Sustainability* 2020, **14**, 11516.
- [9] R. Cichowicz, M. Dobrzański, *J. Atmos.* 2021, **12**, 62.
- [10] 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.
- [11] V.P. Aneja, W.H. Schlesinger, J.W. Erisman, *ES&T* 2009, **43**, 4234.
- [12] J. Burgués, M.D. Esclapez, S. Doñate, S. Marco, A. Rhinos, *Science* 2021, **24**, 103371.
- [13] M.R. Habib, E.J. Baticados, S.C. Capareda, [w:] ASABE Annual International Virtual Meeting, July 12–16, 2021, 2100355.
- [14] E. Altamira-Colado, D. Cuevas-González, M.A. Reyna, J.P. García-Vázquez, R.L. Avitia, A.R. Osornio-Vargas, *J. Atmos.* 2024, **15**, 515.
- [15] R.R. Hemamalini, R. Vinodhini, B. Shanthini, P. Partheeban, M. Charumathy, K. Cornelius, *Sustain. Cities Soc.* 2022, **85**, 104077.