

Mgr inż. Piotr Paweł Sekuła

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH

Katedra Zastosowań Fizyki Jądrowej

## Streszczenie rozprawy doktorskiej „Rola warunków meteorologicznych w kształtowaniu zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym $PM_{10}$ w obszarach zurbanizowanych o zróżnicowanej rzeźbie terenu na przykładzie Krakowa”

Jakość powietrza wywiera znaczący wpływ na warunki życia człowieka, kondycję ekosystemów oraz procesy związane ze zmianami klimatu. Poziom zanieczyszczenia powietrza mierzonego w dolnej warstwie troposfery zależy od oddziaływań trzech głównych czynników: 1) emisji zanieczyszczeń, 2) ich przemian fizyko–chemicznych oraz 3) warunków ich dyspersji w atmosferze. Warunki dyspersji zależą zarówno od sytuacji synoptycznej, ale również od lokalnego ukształtowania terenu. Ponadnormatywne stężenia pyłu zawieszonego stanowią istotny problem zarówno w Europie jak i na obszarze Polski. Niestety w Polsce problem złej jakości powietrza występuje od wielu lat, na co wskazuje m.in. podwyższona średnia roczna wartość stężenia pyłów  $PM_{10}$  w wielu aglomeracjach w Polsce w stosunku do średniej rocznej wyznaczonej dla miast w Unii Europejskiej w okresie 2000–2019. Obszar południowej Polski (województwa śląskie i małopolskie) pod względem złej jakości powietrza wyróżnia się szczególnie na tle Europy. Niniejsza praca koncentruje się na warunkach dyspersji kształtowanych przez procesy atmosferyczne modyfikowane przez rzeźbę oraz zagospodarowanie terenu. Omawiana rozprawa doktorska ma formę zbioru pięciu artykułów powiązanych tematycznie opublikowanych w czasopismach naukowych znajdujących się na liście Journal Citation Reports.

Głównym celem pracy doktorskiej jest ilościowe określenie wpływu warunków pogodowych (o charakterze lokalnym i regionalnym) na rozkład czasowy i zróżnicowanie przestrzenne zanieczyszczenia powietrza  $PM_{10}$  w dużym obszarze zurbanizowanym położonym we wklęsłej, aczkolwiek nieco zróżnicowanej formie terenu jaki stanowi aglomeracja krakowska. Analiza została wykonana

z wykorzystaniem współczesnych technik pomiarowych i metod badawczych. Badania naukowe zostały wykonane z wykorzystaniem pomiarów meteorologicznych i jakości powietrza tak naziemnych jak i w profilu pionowym, wyników prognoz numerycznych modeli meteorologicznych, reanaliz atmosferycznych oraz typów cyrkulacji atmosfery.

Pierwsze wyniki badań zaprezentowane w **publikacji A1** pozwoliły na ilościowe porównanie różnych konfiguracji modeli numerycznych prognoz pogody pod względem prognozowanej temperatury powietrza a także stratyfikacji pionowej atmosfery dla obszaru o dużym zróżnicowaniu terenu. Badania umożliwiły wyodrębnienie charakterystycznych sytuacji synoptycznych towarzyszących zawyżeniu prognozowanej temperatury powietrza a także pozwoliły na weryfikację hipotezy dotyczącej poprawy jakości prognoz poprzez zmianę rozdzielczości siatki obliczeniowej (rozdzielczość przestrzenna i pionowa modelu). Niestety problem reprezentacji stabilnej warstwy atmosfery w operacyjnych modelach numerycznych okazał się bardziej złożony i wymaga dalszych prac rozwojowych.

Analiza warunków meteorologicznych oraz jakości powietrza towarzyszących wystąpieniu wiatru fenowego w okresie chłodnym zaprezentowana w **publikacji A2** pozwoliła na dokonanie oceny roli wiatru fenowego w kształtowaniu dynamiki miejskiej warstwy granicznej w Krakowie. Badania

potwierdziły, że w przypadku Krakowa kluczowym czynnikiem modyfikującym warunki pogodowe w skali lokalnej jest rzeźba terenu. Wpływa ona na oddziaływanie wiatru fenowego na miejską warstwę graniczną powodując poprawę lub pogorszenie warunków dyspersji zanieczyszczenia w mieście. Hipoteza, przedstawiona w pracy mówiąca, że adwekcja ciepłych mas powietrza z sektora południowego negatywnie wpływa na warunki dyspersji w Krakowie nie jest w pełni słuszna. Zrealizowane badania pozwoliły na wyróżnienie trzech rodzajów transportu wiatru fenowego zależne od lokalnych warunków atmosferycznych oraz charakterystyki fenu (intensywność zjawiska i kierunek przemieszczania powietrza): 1) przepływu powietrza nad doliną; 2) wniknięcia wiatru do doliny od wschodu lub południa; 3) wystąpienia fal grawitacyjnych towarzyszących wiatrowi fenowemu powodując zróżnicowanie przestrzenne turbulencji w obrębie miasta.

W ramach realizowanych prac naukowych zostały wykonane badania metodyki profilowania pionowego z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych celem udoskonalenia tej metody pomiarowej oraz identyfikacji jej mocnych i słabych stron. Wyniki badań zaprezentowane w **publikacji A3** stanowiły podstawę do realizacji dalszych badań w profilu pionowym atmosfery.

Wyniki balonowej kampanii pomiarowej dla obszaru Krakowa zaprezentowane w **publikacji A4** umożliwiły identyfikację czynników atmosferycznych kształtujących dyspersję pionową zanieczyszczenia w zurbanizowanej dolinie. W ramach powyższych badań została zweryfikowana hipoteza mówiąca, że wystąpienie ścinania wiatru nad doliną przyczynia się do pogorszenia warunków aerosanitarnych poprzez modyfikację wysokości warstwy mieszania. Badania wskazały, że wystąpienie silnego ścinania wiatru może powodować wzrost wysokości warstwy mieszania, usuwanie zanieczyszczenia przy zaniku ruchów konwekcyjnych, ale również ograniczenia rozwoju warstwy mieszania poprzez separację mas powietrza w dolinie i ponad nią (ściananie wiatru powyżej warstwy inwersyjnej).

**Publikacja A5** stanowiąca podsumowanie zrealizowanych badań miała na celu dokonanie ilościowej oceny wpływu cyrkulacji atmosferycznej na jakość powietrza w Krakowie i możliwości ich zastosowania do prognozowania jakości powietrza w mieście. Wyniki badań pozwoliły na ilościowe określenie zależności pomiędzy poszczególnymi elementami pogody a poziomem zanieczyszczenia w mieście. Badania zrealizowane z wykorzystaniem modelu Random Forests wskazały, że prócz parametrów, dobrze poznanych takich jak temperatura powietrza, prędkość wiatru oraz gradient pionowy temperatury powietrza, kluczowymi czynnikami determinującymi poziom stężenia zanieczyszczenia  $PM_{10}$  są gradient pionowy względnej wilgotności powietrza oraz uskok wiatru w najniższej warstwie troposfery.

Powyższe badania nie wyczerpują w pełni przedstawionego problemu badawczego. Ich wyniki mogą być jednak wykorzystane w dalszych pracach nad wpływem zjawisk atmosferycznych na jakość powietrza w obszarach miejskich charakteryzujących się znaczącym zróżnicowaniem rzeźby terenu. Mogą również stanowić znaczący wkład do modelowania warunków dyspersji zanieczyszczeń, w tym zwłaszcza prognoz jakości powietrza.

Kraków, 10.05.2022r

*Piotr Alkwiś*