Magiczny Kraków

Dlaczego stężenia nie idą za ruchem samochodowym

2026-09-28

Wydawałoby się, że obszary o największym ruchu powinny mieć najgorsze powietrze: im więcej samochodów, tym wyższe stężenia. Tak jednak nie jest. Dwa miejsca w tym samym mieście potrafią różnić się stężeniem dwutlenku azotu niemal dwukrotnie. Różnicę robi coś, o czym rzadko się mówi — przewietrzanie, czyli wymiana powietrza.

To rozróżnienie nie jest akademickie. Od niego zależy odpowiedź na pytanie, które budzi w Krakowie największe emocje: dlaczego granica Strefy Czystego Transportu biegnie tak, a nie inaczej.

Cztery pojęcia, które trzeba rozdzielić

Emisja to ilość substancji wprowadzana do powietrza ze źródła w jednostce czasu. Wyraża się ją w jednostkach masy na jednostkę czasu i przypisuje źródłu, nie miejscu. Silnik pojazdu emituje niezależnie od tego, gdzie stoi.

Stężenie to ilość substancji zawarta w jednostce objętości powietrza w oznaczonym miejscu i czasie. Wyraża się je w mikrogramach na metr sześcienny i przypisuje miejscu pomiaru, nie do źródła emisji. Standardy jakości powietrza — poziomy dopuszczalne — odnoszą się właśnie do stężeń zanieczyszczeń w powietrzu, którym oddychamy.

Dyspersja to proces rozpraszania zanieczyszczeń w atmosferze, wynikający z transportu i mieszania się mas powietrza. Przy tej samej wielkości emisji im intensywniejsza jest dyspersja, tym niższe są stężenia zanieczyszczeń w powietrzu.

Przewietrzanie to zdolność obszaru do wymiany powietrza z otoczeniem. Zależy od geometrii zabudowy, ukształtowania terenu i warunków meteorologicznych. Obszar słabo przewietrzany będzie miał wyższe stężenia przy takiej samej emisji niż obszar o wysokiej zdolności przewietrzania.

Zestawienie tych czterech pojęć potwierdza, że rozkład stężeń zanieczyszczeń w powietrzu nie odpowiada rozkładowi wielkości emisji zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza.

Kanion uliczny

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, wskazując przyczynę przekroczenia w aglomeracji krakowskiej, podał: „oddziaływanie emisji związanej z ruchem pojazdów na głównej drodze leżącej w pobliżu stacji". Przyczyna ma charakter lokalny i korytarzowy.

Chodzi o zjawisko nazywane kanionem ulicznym. Gdy po obu stronach jezdni stoi zwarta, wielokondygnacyjna zabudowa, powietrze nad ulicą często krąży w zamkniętym wirze, o ograniczonej zdolności wymiany z otoczeniem. Emitowane zanieczyszczenia do powietrza cyrkulują i akumulują się w obrębie kanionu, tam, gdzie oddychają wszyscy użytkownicy ulicy: mieszkańcy okolicznych budynków, piesi, rowerzyści, pasażerowie czekający na przystankach i kierowcy — niezależnie od

tego, czy jadą pojazdem spełniającym wymagania strefy, czy takim, który ich nie spełnia.

Aleja Krasińskiego jest takim kanionem podręcznikowym: duży ruch, wąski przekrój między pierzejami, słaba wentylacja naturalna. Stąd przekroczenia notowane tam corocznie od początku pomiarów, przy stężeniach wyraźnie niższych — od 22 do 26 mikrogramów na metr sześcienny w 2025 roku — na stanowiskach oddalonych o kilka kilometrów.

Ile wynosi różnica — dane z projektu MONIT-AIR

Warunki przewietrzania Krakowa opisano w „Atlasie pokrycia terenu i przewietrzania Krakowa", wykonanym przez Gminę Miejską Kraków wspólnie z Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytutem Badawczym w ramach projektu MONIT-AIR. Dane przestrzenne udostępnia Miejski System Informacji Przestrzennej, w siatce o boku stu metrów.

W środkowej, najgęściej zabudowanej części miasta wiatr wieje średnio z prędkością 2,84 metra na sekundę, a poza Strefą — 3,25. Różnica wygląda na drobiazg, a jej skutek jest wyraźny: powierzchni bardzo słabo przewietrzanej, na której wiatr nie osiąga 2,5 metra na sekundę, jest w centrum ponad trzy razy więcej niż na obrzeżach — 22,3 procent wobec 6,6.

Atlas wskazuje, że wymiana powietrza między miastem a otoczeniem zachodzi w obszarach o średniej rocznej prędkości wiatru powyżej 2,5 metra na sekundę. Zanieczyszczenia z obszarów słabiej przewietrzanych przedostają się tam wskutek mieszania — ale wolniej, niż powstają.

Jeden zwarty obszar, a nie kilka rozproszonych miejsc

Najważniejsze ustalenie dotyczy kształtu. Obszar najsłabszego przewietrzania, wyznaczony progiem 2,75 metra na sekundę, tworzy jeden zwarty płat o powierzchni około 12,5 kilometra kwadratowego. W 94,9 procentach pokrywa się on z centrum miasta — tym samym obszarem, w którym notowane są najwyższe stężenia dwutlenku azotu.

Miejsca o podobnie niskiej prędkości wiatru położone poza tym obszarem tworzą osobne, mniejsze obszary, niestykające się z częścią centralną.

Jedno zastrzeżenie. Zabudowa Krakowa od czasu wykonania atlasu się zagęściła, a zagęszczenie zabudowy wymianę powietrza ogranicza. Można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że obecny stan przewietrzania miasta Kraków nie jest lepszy od opisywanego.

Co z tego wynika

Wniosek może wydawać się nieintuicyjny. Skoro różnice stężeń między gęsto zabudowanym centrum miasta a jego obrzeżami wynikają nie tylko z natężenia ruchu, lecz także z warunków przewietrzania, to skuteczność działań ograniczających zanieczyszczenie powietrza zależy zarówno od wielkości emisji, jak i od sposobu rozpraszania zanieczyszczeń w atmosferze.

Emisje powstające na obszarach dobrze przewietrzanych mają zwykle mniejszy wpływ na lokalne stężenia, ponieważ zanieczyszczenia są tam intensywniej rozpraszane i odprowadzane. Inaczej jest w

kanionach ulicznych, gdzie ograniczona wymiana powietrza sprzyja kumulacji zanieczyszczeń. W efekcie podobna emisja może prowadzić do znacząco różnych stężeń w zależności od warunków lokalnych.

Dlatego przy ocenie zasadności oraz zasięgu działania środków naprawczych analizuje się przede wszystkim przestrzenny rozkład stężeń zanieczyszczeń, a nie tylko zmienność emisji. Emisja tlenków azotu ze źródeł liniowych występuje bowiem na całej sieci drogowej, również tam, gdzie dzięki korzystnym warunkom dyspersyjnym obserwowane stężenia pozostają stosunkowo niskie.

Potwierdzenie z zewnątrz

Ustalenie to nie jest krakowskim wynalazkiem. Badania stref w Londynie i Birmingham wykazały zjawisko nazywane efektem rozproszenia korzyści (*spillover effect*): poprawa jakości powietrza nie kończyła się na granicy strefy. W Birmingham po roku spadki stężeń dwutlenku azotu na stanowiskach komunikacyjnych poza strefą — 5,14 i 6,56 procent — przewyższały spadki wewnątrz niej.

Z drugiej strony rozszerzenie strefy londyńskiej na cały Londyn w 2023 roku nie przyniosło już mierzalnej dalszej poprawy jakości powietrza. Autorzy wiążą to z wcześniejszym wysokim stopniem dostosowania floty pojazdów do wymogów i mniejszym potencjałem dalszej redukcji.

Oba ustalenia prowadzą w tę samą stronę: oddziaływanie strefy nie zatrzymuje się na jej granicy, a przyrost skuteczności nie jest wprost proporcjonalny do przyrostu powierzchni.

Czego ten tekst nie rozstrzyga

Badania miast europejskich nie są podstawą prawną rozstrzygnięcia o granicy. Podstawą są roczne oceny jakości powietrza i program ochrony powietrza. Opracowania naukowe mogą być wykorzystane wyłącznie przy ocenie proporcjonalności przyjętych rozwiązań — czyli przy odpowiedzi na pytanie, czy ograniczenie nie jest nadmierne wobec celu.

Nie rozstrzyga też sporu o zasięg Strefy Czystego Transportu — nie jest to spór, który rozstrzyga się jednym krótkim artykułem. Wskazuje natomiast, wokół czego taka rozmowa powinna się toczyć: wokół poziomów stężeń zanieczyszczeń w powietrzu i warunków, w jakich powstają, a nie tylko wokół samego natężenia ruchu.

Dane przestrzenne, na których oparto ten tekst, są dostępne w Miejskim Systemie Informacji Przestrzennej (msip.krakow.pl) w zbiorze „Atlas pokrycia terenu i przewietrzania Krakowa” z projektu MONIT-AIR.

Informacji o Strefie Czystego Transportu udziela Krakowskie Centrum Kontaktu pod numerem 12 616 55 55. Zasady i wnioski znajdziesz na stronie sct.zdmk.krakow.pl.