Magiczny Kraków

Jak zmierzymy, czy Strefa Czystego Transportu działa

2026-09-24

Pytanie wydaje się proste: czy po wprowadzeniu Strefy Czystego Transportu (SCT) jakość powietrza w Krakowie się poprawiła? Sam spadek stężeń nie wystarczy za odpowiedź, bo na stężenia zanieczyszczeń oddziałuje jednocześnie wiele czynników, a strefa jest tylko jednym z nich. Ten tekst wyjaśnia, jak oddzielić jej wpływ od reszty.

Poniżej — co zaburza pomiar, jak się to rozlicza i czego ocena zlecona przez Zarząd Dróg Miasta Krakowa nie rozstrzygnie.

Czym pogoda zaburza pomiar

Wniosek „stężenia spadły, więc strefa działa” może prowadzić do błędnych interpretacji. Stężenie dwutlenku azotu (NO_2) może wykazywać znaczną zmienność nawet przy niezmienionym poziomie emisji. O obserwowanych wartościach decydują m.in. warunki meteorologiczne.

Prędkość wiatru jest jednym z kluczowych czynników wpływających na poziom stężeń zanieczyszczeń powietrza. Wraz ze wzrostem prędkości wiatru intensywniejsza jest wymiana powietrza, a wraz z nią rozpraszanie się zanieczyszczeń, co na ogół prowadzi do obniżenia ich stężeń. Opady atmosferyczne wymywają część zanieczyszczeń z powietrza. Zimą w Kotlinie Krakowskiej często zdarza się natomiast, że warstwa cieplejszego powietrza zalega nad chłodniejszym — nazywa się to inwersją temperatury — i zatrzymuje zanieczyszczenia tuż nad ziemią.

W rezultacie porównanie stężeń zanieczyszczeń pomiędzy kolejnymi latami może być obarczone wpływem zmienności warunków meteorologicznych. Rok z łagodniejszą i bardziej wietrzną zimą będzie sprzyjał skuteczniejszemu rozpraszaniu zanieczyszczeń, co może prowadzić do niższych obserwowanych stężeń w porównaniu z rokiem cechującym się częstszym występowaniem warunków stagnacyjnych, nawet przy zbliżonym poziomie emisji związanych z ruchem samochodowym.

Co jeszcze zaburza obraz

Pogoda nie jest jedynym czynnikiem ubocznym. Do rozliczenia trzeba wziąć także:

- wieloletni trend emisyjny — flota wymienia się sama, niezależnie od regulacji, bo stare samochody są złomowane, a nowe spełniają ostrzejsze normy
- zmiany natężenia ruchu — wynikające z cen paliwa, z inwestycji drogowych, ze zmian w komunikacji miejskiej
- napływ zanieczyszczeń spoza miasta — inne niezależne od lokalnych uwarunkowań źródła emisji
- skutki pandemii — okresy ograniczonej mobilności wciąż zaburzają szeregi czasowe z lat 2020–2022
- zmiany w sieci pomiarowej — przeniesienie stacji albo zmiana metody zmienia wynik bez zmiany powietrza.

Magiczny Kraków

Ocena, która tych czynników nie rozlicza, mierzy je wszystkie naraz i przypisuje strefie.

Normalizacja meteorologiczna

Normalizacja meteorologiczna jest procesem statystycznym mającym na celu eliminację wpływu warunków meteorologicznych na obserwowane stężenia zanieczyszczeń w powietrzu. Dzięki temu analiza zmian stężeń w czasie koncentruje się na zmianach emisji oraz innych czynnikach niezwiązanych z pogodą.

Schemat postępowania jest następujący. Algorytm uczenia maszynowego jest trenowany na wieloletnich danych historycznych, ucząc się zależności pomiędzy stężeniami zanieczyszczeń w powietrzu a warunkami meteorologicznymi oraz zmiennymi zależnymi od czasu. Opracowany model umożliwia następnie prognozowanie stężeń zanieczyszczeń dla zadanych warunków meteorologicznych.

Nauczony model wielokrotnie oblicza (jest to tak zwana predykcja), jakie byłoby stężenie w danej godzinie, gdyby panowały różne warunki pogodowe wylosowane z całego badanego okresu. Średnia z tych obliczeń to wartość znormalizowana meteorologicznie — czyli taka, z której usunięto wpływ pogody, zostawiając to, co wynika ze zmian emisji.

Metoda ta staje się standardem w recenzowanych badaniach naukowych skuteczności stref. Zastosowano ją między innymi w ocenach Londynu, Birmingham, Madrytu i Barcelony.

Dlaczego metoda ma znaczenie — przykład Londynu

Londyn pokazuje, że wybór metody zmienia wynik. Badanie z 2021 roku, uwzględniające długoterminowe trendy i warunki meteorologiczne, wykazało, że czysty efekt pierwszego etapu strefy ultraniskiej emisji był niewielki: średnia redukcja znormalizowanego stężenia dwutlenku azotu wyniosła poniżej 3 procent.

Badanie z 2025 roku, oparte na podejściu przyczynowym z porównaniem do oszacowanego scenariusza bez regulacji, dało obraz inny: spadek o około 19,6 procent na stacjach komunikacyjnych i 8,2 procent na stacjach tła w pierwszych miesiącach po wprowadzeniu, przy czym efekt stabilizował się po około trzech miesiącach.

Oba badania są rzetelne. Mierzą jednak co innego: pierwsze — średnią zmianę w dłuższym okresie po odjęciu trendu, drugie — krótkoterminową różnicę wobec scenariusza bez regulacji.

Co obejmuje zlecenie ZDMK

Zarząd Dróg Miasta Krakowa zlecił ocenę wpływu wdrożenia Strefy Czystego Transportu na stężenia dwutlenku azotu (NO_2) z zastosowaniem normalizacji meteorologicznej, wraz z opracowaniem rekomendacji działań naprawczych. Wykonuje ją zespół naukowców z Katedry Kształtowania i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Równolegle modelowanie oddziaływania transportu drogowego na stężenia wykonuje Zakład Ochrony Atmosfery Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego; wyniki obu prac

będą poddane wspólnej analizie.

Celem realizowanego projektu jest ilościowa ocena wpływu wdrożenia Strefy Czystego Transportu (SCT) w Krakowie na stężenia dwutlenku azotu (NO_2), z wykorzystaniem zaawansowanych metod normalizacji meteorologicznej. Analiza ma na celu rozdzielenie wpływu warunków meteorologicznych od rzeczywistych zmian emisji związanych z funkcjonowaniem SCT.

Zakres badania obejmuje kompleksową analizę danych środowiskowych, meteorologicznych i transportowych dla obszaru miasta Krakowa w latach 2016–2026. Analizy będą prowadzone dla lokalizacji stacji monitoringu jakości powietrza, w tym przy Al. Krasińskiego, ul. Kamieńskiego, ul. Bujaka oraz ul. Bulwarowej. W ramach prac badawczych realizowane będą następujące komponenty analityczne:

- Analiza jakości powietrza – ocena poziomów stężeń NO_2 w odniesieniu do obowiązujących norm prawnych, w tym Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/2881 oraz zaleceń WHO, identyfikacja trendów długoterminowych
- Modelowanie normalizacji meteorologicznej – opracowanie modeli uczenia maszynowego dla poszczególnych lokalizacji pomiarowych, uwzględnienie danych godzinowych obejmujących stężenia NO_2 oraz zmienne meteorologiczne i mikroklimatyczne, wyznaczenie stężeń znormalizowanych odpowiadających uśrednionym warunkom atmosferycznym
- Analiza efektu SCT — porównanie okresów przed i po wdrożeniu SCT, ocena różnic w kontekście zmian struktury floty pojazdów oraz natężenia ruchu, identyfikacja efektu interwencji transportowej w danych znormalizowanych
- Analiza czynników wpływających na stężenia dwutlenku azotu — rozdzielenie wpływu głównych czynników i określenie udziału każdego z nich
- Walidacja i porównania pomiarowe – zestawienie wyników modelowania z pomiarami pasywnymi, ocena zgodności wyników w kontekście wymagań jakości danych środowiskowych.

Czego ta ocena nie rozstrzygnie

Ocena nie rozdzieli efektu strefy od naturalnej wymiany floty w sposób ostateczny, oba procesy zachodzą jednocześnie i częściowo się nakładają. W badaniach Barcelony autorzy wprost przypisują poprawę obu przyczynom łącznie.

Ocena nie da jednej liczby bez przedziału niepewności. Podanie wyniku bez tego przedziału byłoby nadużyciem.

Ocena nie odpowie też na pytanie, czy granica strefy jest właściwa. To pytanie o proporcjonalność ograniczenia, rozstrzygana na podstawie kolejnych rocznych ocen jakości powietrza (OJP) i programów ochrony powietrza (POP), a nie na podstawie jednego badania.

Kiedy i co zostanie ogłoszone

Wyniki analiz zostaną opublikowane po zakończeniu prac wraz ze szczegółowym opisem zastosowanej metodyki oraz oszacowaniem niepewności. Do tego czasu należy zachować ostrożność w interpretacji wartości pojawiających się w debacie publicznej, niezależnie od tego, czy wskazują one na poprawę,

czy pogorszenie jakości powietrza. Obserwowane stężenia mogą bowiem obniżać się lub wzrastać pod wpływem zmiennych warunków meteorologicznych, takich jak przebieg sezonu zimowego. Dopiero uwzględnienie wpływu pogody poprzez normalizację meteorologiczną pozwala wiarygodnie ocenić, w jakim stopniu zaobserwowane zmiany są efektem działań regulacyjnych, a w jakim wynikiem naturalnej zmienności warunków atmosferycznych.