

Uniwersytet Wrocławski
Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego

Modelowanie matematyczne rozkładu przestrzennego stężeń dwutlenku azotu dla wartości stężeń jednogodzinnych i średniorocznych na obszarze miasta Wrocław wraz z analizą wyników i wskazaniem uwarunkowań dla określenia obszaru strefy czystego transportu we Wrocławiu.

Autorzy:

mgr Paweł Porwisiak

dr hab. Małgorzata Werner, prof. UWr

dr hab. Maciej Kryza, prof. UWr

Zamawiający:

Biuro Zrównoważonej Mobilności, Urząd Miejski Wrocławia

Data i miejsce sporządzenia raportu:

17 grudnia 2024 r. Wrocław



Zakres prac:

- Przeprowadzenie modelowania matematycznego oraz prezentacja graficzna rozkładu przestrzennego stężeń dwutlenku azotu (NO_2) dla wartości stężeń jednogodzinnych na obszarze miasta Wrocław.
- Przeprowadzenie modelowania matematycznego oraz prezentacja graficzna rozkładu przestrzennego stężeń dwutlenku azotu dla wartości stężeń średniorocznych na obszarze miasta Wrocław.
- Porównanie stężeń dwutlenku azotu z pomiarami przeprowadzanymi przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (zwanego dalej: „GIOŚ”).
- Oszacowanie przekroczeń norm stężeń dwutlenku azotu dla wartości stężeń średniorocznych oraz jednogodzinnych dla standardów wyznaczonych w DYREKTYWIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2024/2881 z dnia 23 października 2024 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy.
- Analiza narażenia mieszkańców Wrocławia na ponadnormatywne stężenia dwutlenku azotu w rozdzielczości 50 m w oparciu o wyniki przeprowadzonego modelowania w zestawieniu z przekazanymi danymi o rozmieszczeniu ludności (zameldowani na pobyt stały i czasowy) w mieście. Graficzna prezentacja wyników.

Dane i metody

Model ADMS-Urban

Model dyspersji zanieczyszczeń ADMS-Urban (<https://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-Urban-model.html>), jest dedykowany obliczeniom stężeń zanieczyszczeń w skali miasta w wysokiej rozdzielczości przestrzennej. Model jest wykorzystywany w analizach stężeń zanieczyszczeń gazowych, w tym NO_2 oraz pyłu zawieszonego dla różnych miast w Europie oraz na świecie (np. Londyn, Sofia, Kowno, Pekin, Wrocław) (Biggart et al. 2020, Dedele et al. 2013, Dimitrova et al. 2021, Hood et al. 2018, Porwisiak et al. 2024).

Dane wejściowe do modelu ADMS:

- Emisje zanieczyszczeń (wszystkie sektory poza transportem drogowym) dla aktualnie dostępnego roku (2022), udostępnione przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE) – Instytut Ochrony Środowiska - PIB.
- Emisja z sektora drogowego: obliczona z wykorzystaniem modelu COPERT (Calculations of Emissions from Road Transport, <https://copert.emisia.com/>), z wykorzystaniem danych z modelu ruchu dla Wrocławia, przygotowanych przez Zleceniodawcę.
- Dane meteorologiczne: godzinowe ciągłe dane meteorologiczne dla roku 2022 ze stacji pomiarowej Zakładu Klimatologii i Ochrony Atmosfery Uniwersytetu Wrocławskiego.

Model ADMS został uruchomiony dla obszaru Wrocławia. Receptory (punkty, dla których obliczane są stężenia) zostały zlokalizowane co 50 m, a stężenia obliczono dla wysokości 2 m nad poziomem gruntu. Wyniki modelu (stężenia NO_2) zapisywano do plików z rozdzielczością czasową 1 godziny. Obliczenia wykonano dla roku 2022 ze względu na dostępną (najbardziej aktualną) dla tego roku bazę emisji zanieczyszczeń z KOBIZE oraz aktualny dla tego roku model ruchu drogowego, przygotowany przez Zleceniodawcę.

Porównanie modelu z pomiarami

Godzinowe pomiary stężeń NO_2 we Wrocławiu pobrano z Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska dla roku 2022 (Tabela 1), poprzez stronę <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives> (pobrano: 04.11.2024).

Tabela 1. Stacje pomiaru stężeń NO₂ we Wrocławiu w 2022 roku.

Nazwa stacji	Współrzędne	Typ stacji	Kompletność pomiarów [% obserwacji godzinowych w roku]
Bartnicza	Φ 51.12N, λ 17.14E	Tła podmiejskiego	98.5
Conrada-Korzeniowskiego	Φ 51.13N, λ 17.03E	Tła miejskiego	98.7
Wiśniowa	Φ 51.09N, λ 17.01E	Komunikacyjna miejska	99.1

Tabela 2. Miary statystyczne zastosowane do weryfikacji modelu. (M – wartość stężenia z modelu, O – wartość stężenia z obserwacji/pomiaru, N – liczba wszystkich par model-obserwacja).

Nazwa	Formuła	Zakres	Wartość oczekiwana
Średnie odchylenie; Mean Bias (MB)	$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)$	$[-\bar{O}, +\infty]$	0
Średnie odchylenie znormalizowane; Normalized Mean Bias (NMB)	$NMB = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)}{\sum_{i=1}^N O_i}$	$[-1, +\infty]$	0
Błąd średniokwadratowy; Root Mean Square Error (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{N}}$	$[0, +\infty]$	0
Współczynnik korelacji Pearsona; Pearson Correlation Coefficient (R)	$R = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})(O_i - \bar{O})}{\{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2\}^{\frac{1}{2}}}$	$[-1, 1]$	1
Ułamek prognoz mieszczących się w granicach dwukrotności; Factor of Two (FAC2)	Udział danych spełniających warunek: $0.5 \leq \frac{M_i}{O_i} \leq 2.0$	$[0, 1]$	1

Wskaźnik jakości modelowania obliczono zgodnie z Dyrektywą AAQD 2024/2881 jako stosunek pierwiastka z błędów średniokwadratowych między wynikami modelowania a pomiarami do pierwiastka kwadratowego sum kwadratów niepewności modelowania i pomiaru w całym okresie oceny. Zgodnie z informacją z GIOŚ, przyjęto, że niepewność pomiarów wynosi 25% (<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/show/1000919>). Wg Dyrektywy wskaźnik jakości modelowania powinien być mniejszy lub równy 1.

Narażenie ludności na stężenia NO₂

Do oceny narażenia ludności na obecność NO₂ w atmosferze wykorzystano rozkład przestrzenny zameldowanych na pobyt stały i czasowy mieszkańców Wrocławia, udostępniony przez Urząd Miejski Wrocławia. Informacja o zameldowanych została połączona ze stężeniami NO₂ z modelu wg wzoru:

$$PWMC = \frac{\sum (P_i \times C_i)}{\sum P_i}$$

PWMC – średnie stężenie ważone liczbą ludności [µg/m³]

C_i – średnie roczne stężenie w obszarze i

P_i – liczba zameldowanej ludności w obszarze i

Stężenie ważone liczbą ludności uwzględnia, przy obliczaniu średniego stężenia zanieczyszczeń, liczbę mieszkańców w obszarze odniesienia. Taki sposób analizy pozwala scharakteryzować ekspozycję ludności na zanieczyszczenia, co jest szczególnie istotne w kontekście ochrony zdrowia publicznego oraz efektywnego planowania działań na rzecz poprawy jakości powietrza. Stężenie obszarowe zanieczyszczeń, nie uwzględniające zróżnicowania rozmieszczenia ludności, może prowadzić do niedoszacowania lub przeszacowania wpływu zanieczyszczeń w obszarach o różnej gęstości zaludnienia.

Poziomy dopuszczalne stężeń NO₂

Jakość powietrza w Unii Europejskiej regulowana jest od wielu lat przepisami Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r (Dyrektywa CAFE, Clean Air for Europe), która określa dopuszczalne poziomy stężeń zanieczyszczeń w powietrzu. Dotychczasowe wartości dopuszczalne stężeń NO₂ wynoszą 40.0 µg/m³ dla wartości średniorocznych oraz 200 µg/m³ dla stężeń jednogodzinnych (maksymalnie 18 godzin z przekroczeniami w ciągu roku). Najnowsza Dyrektywa AAQD 2024/2881 z dnia 23 października 2024 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy zaostrza dotychczasowe normy, w tym również dla stężeń NO₂. Nowe dopuszczalne poziomy stężeń NO₂ wg AAQD 2024/2881 zostały przedstawione w Tabeli 3. Wyznaczone normy zaczną obowiązywać od 2030 roku. Zgodnie z założeniami zadania, wyniki stężeń z modelu odniesiono do poziomów dopuszczalnych wg AAQD 2024/2881.

Tabela 3. Poziomy dopuszczalne stężeń NO₂ wg Dyrektywy AAQD 2024/2881 z dnia 23 października 2024 r. oraz dla porównania normy obecnie obowiązujące (Dz. U.2021.845).

Zanieczyszczenie	Okres uśredniania	Poziom dopuszczalny [µg/m ³]	źródło
NO ₂	rok	20.0	Dyrektywa 2024 [2030*]
NO ₂	1 h	200.0 [3 godziny/rok]	Dyrektywa 2024 [2030]
NO ₂	24 h	50.0 [18 dni/rok]	Dyrektywa 2024 [2030]
NO ₂	rok	40.0	Dz.U.2021.845 t.j. [obowiązujący]
NO ₂	1 h	200.0 [18 godzin/rok]	Dz.U.2021.845 t.j. [obowiązujący]

* Termin implementacji przepisów

Wyniki

Porównanie wyników modelowania z pomiarami

W celu weryfikacji uzyskanych z modelu stężeń NO₂ we Wrocławiu, porównano wyniki modelowania z pomiarami przeprowadzonymi w roku 2022 na trzech stacjach monitoringu jakości powietrza we Wrocławiu: przy ulicy Conrada-Korzeniowskiego, Bartniczej i al. Wiśniowej. Porównanie to oparto na analizie statystycznej w ujęciu dobowym, której wyniki przedstawiono w Tabeli 4.

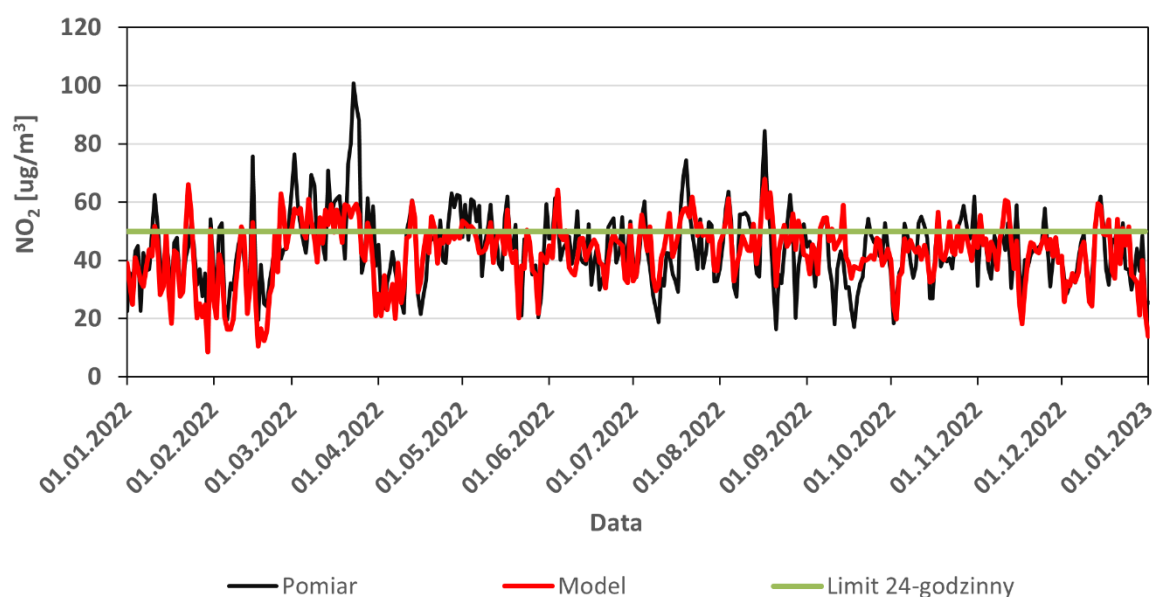
Tabela 4. Statystyki z porównania stężeń NO₂ modelu z pomiarami w oparciu o dane dobowe dla roku 2022.

Statystyka [jednostka]	Średnia - wszystkie stacje	Conrada-Korzeniowskiego	Bartnicza	Wiśniowa
R [-]	0.76	0.76	0.86	0.66
MB [µg/m ³]	2.70	4.04	5.34	-1.17
NMB [-]	0.21	0.22	0.43	-0.03
RMSE [µg/m ³]	7.98	7.53	6.30	9.96
FAC2 [-]	0.91	0.92	0.84	0.99
Wskaźnik jakości modelowania [-]	0.63	0.67	0.84	0.38

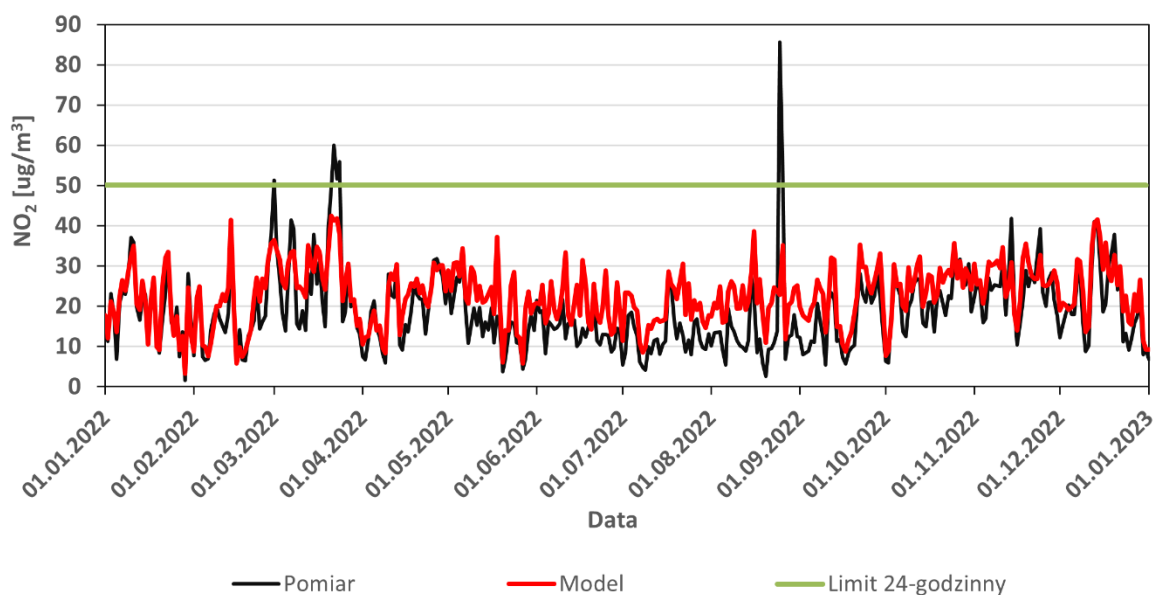
Wskaźnik jakości modelowania, wyliczony zgodnie z metodyką Dyrektywy AAQD 2024/2881, wynosi od 0.38 na stacji Wiśniowa do 0.84 na stacji Bartnicza, co jest akceptowalnym poziomem, ponieważ zgodnie z wytycznymi maksymalna dopuszczalna wartość wskaźnika wynosi 1.

Biorąc pod uwagę średnie wyniki dla wszystkich stacji, model przeszacowuje mierzone stężenia NO₂, co pokazują dodatnie wartości MB (średnia dla wszystkich stacji wynosi 2.70 µg/m³). Przeszacowania na stacjach Bartnicza i Conrada-Korzeniowskiego wynoszą odpowiednio 5.34 µg/m³ i 4.04 µg/m³, natomiast dla stacji komunikacyjnej przy al. Wiśniowej stężenia są niedoszacowane (MB = -1.17 µg/m³). Średnia wartość FAC2 dla wszystkich stacji wynosi 0.91, co oznacza, że ponad 91% wyników mieści się w zakresie ±50% wartości pomiarowych, wskazując na wysoką wiarygodność modelu.

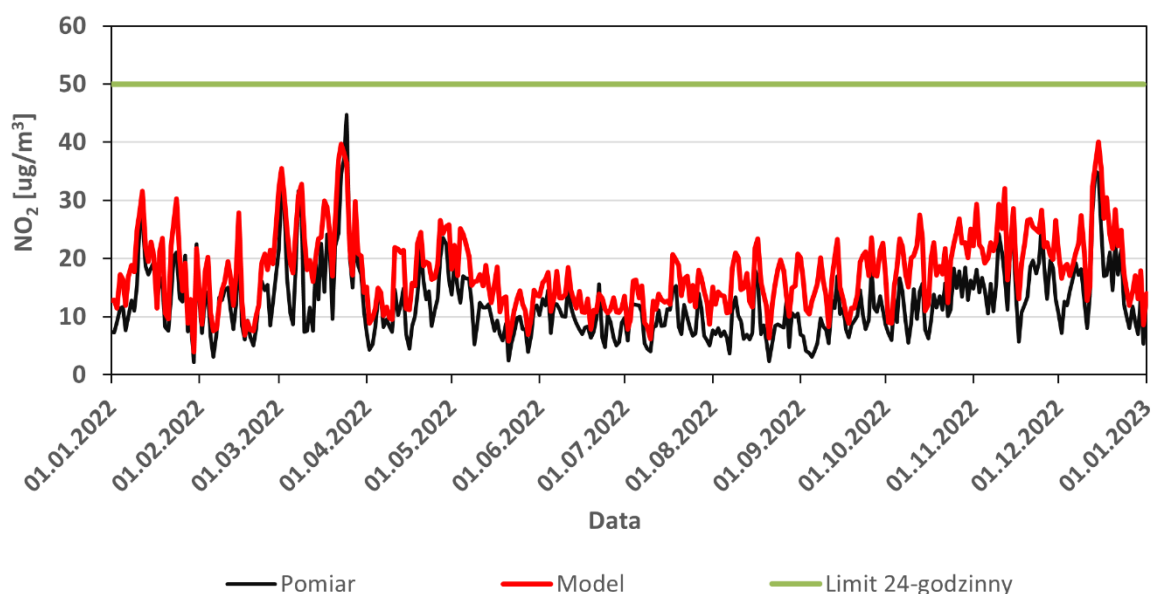
Dobowy przebieg stężeń z pomiaru oraz z modelu dla lokalizacji stacji pomiarowych pokazano na rycinach 1-3. Najwyższe mierzone i modelowane wartości stężeń dotyczą stacji komunikacyjnej przy al. Wiśniowej, gdzie według modelu dla 84 dni w roku przekraczają poziom dopuszczalny 50.0 µg/m³. Biorąc pod uwagę wyniki pomiarów, takich dni było 108 w 2022 roku. Na stacji tła miejskiego (Conrada-Korzeniowskiego) stężenia są zdecydowanie niższe. Według pomiarów poziom dopuszczalny dla doby został tam przekroczony 6 razy w roku, natomiast model nie wskazał stężenia powyżej 50 µg/m³. Na stacji Bartnicza zarówno wg modelu i pomiarów stężenie dopuszczalne nie zostało przekroczone.



Rycina 1. Modelowane i mierzone dobowe stężenia NO₂ na stacji Wiśniowa.



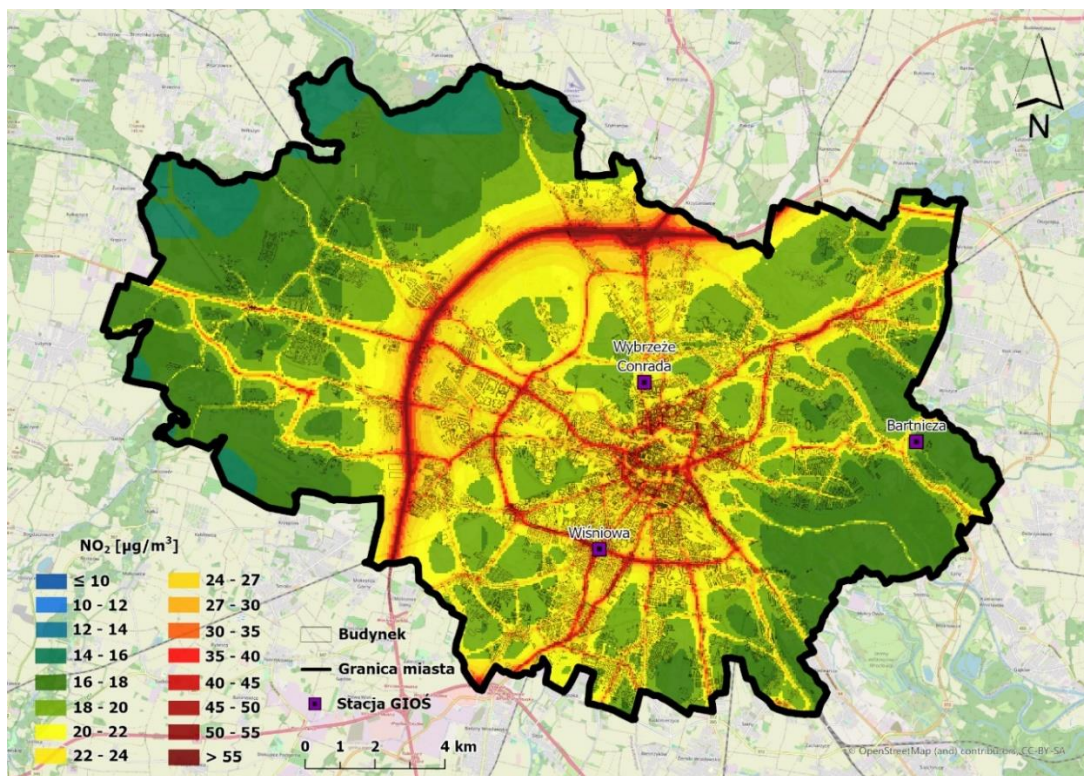
Rycina 2. Modelowane i mierzone dobowe stężenia NO₂ na stacji Conrada-Korzeniowskiego.



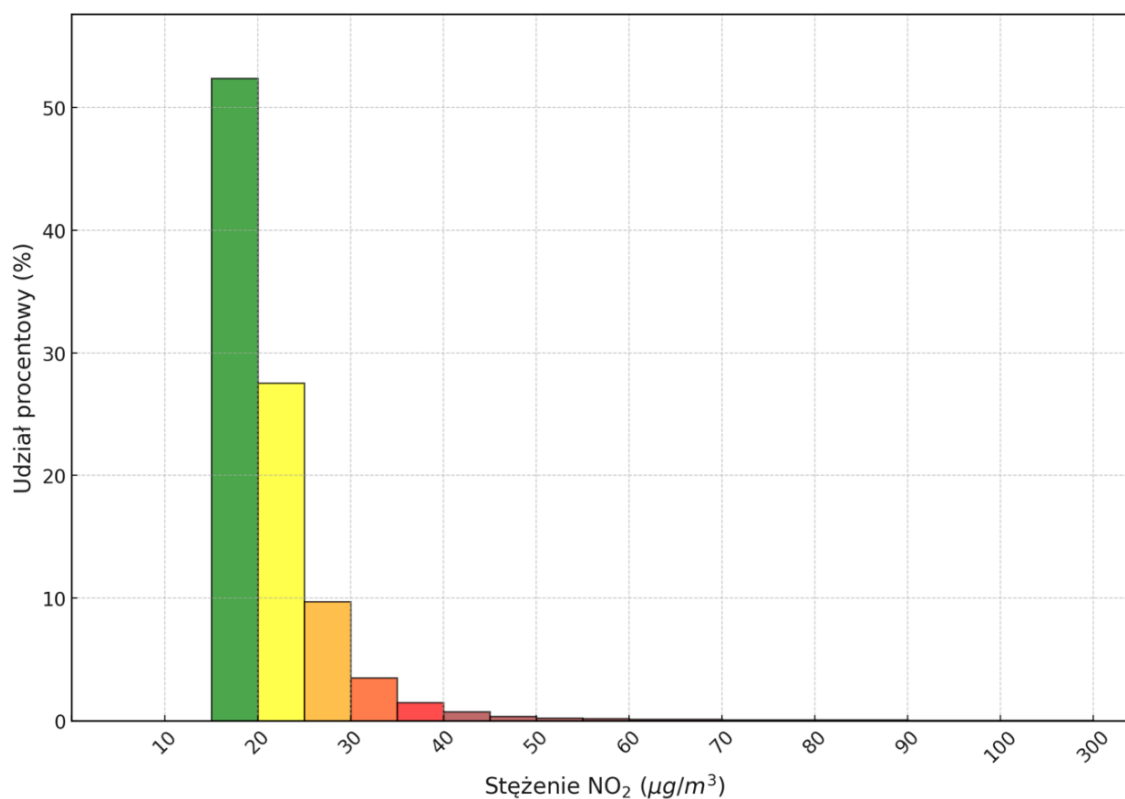
Rycina 3. Modelowane i mierzone dobowe stężenia NO₂ na stacji Bartnicza.

Stężenia średnioroczne

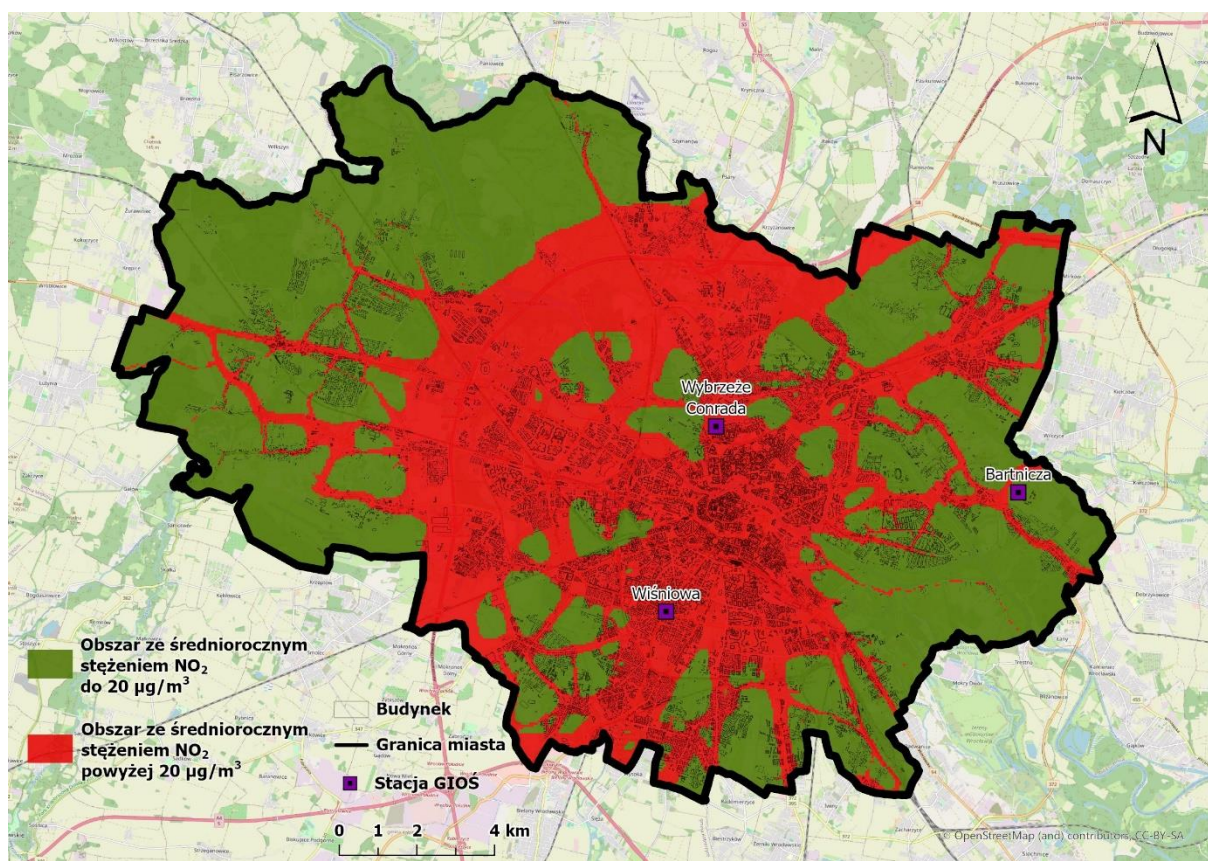
Rozkład przestrzenny średniorocznych stężeń NO₂ we Wrocławiu pokazano na Ryc. 4. Średnioroczne stężenie NO₂ dla Wrocławia wynosi 21.6 µg/m³, a najwyższe wartości, przekraczające 40.0 µg/m³ występują wzdłuż głównych szlaków komunikacji drogowej. Wzdłuż Autostradowej Obwodnicy Wrocławia stężenia osiągają wartość powyżej 100.0 µg/m³. Według modelu, na ponad połowie obszaru Wrocławia (52%) stężenie NO₂ nie przekroczyło poziomu dopuszczalnego wg normy na rok 2030 (20.0 µg/m³) (Ryc. 5). Około 27.5% powierzchni Wrocławia obejmują stężenia w przedziale od 20.0 do 25.0 µg/m³, będące już powyżej poziomu dopuszczalnego, a około 10% to obszary ze stężeniami przekraczającymi o ponad 5.0 µg/m³ wartość dopuszczalną. Przekroczenia dotyczą obszarów położonych w pobliżu szlaków komunikacyjnych, w tym centrum miasta z gęstą siecią dróg. Obszary, dla których wystąpiło przekroczenie poziomu 20 µg/m³ przedstawiono na Ryc. 6. Dodatkowo, na Ryc. 7 pokazano obszary, dla których stężenie NO₂ przekracza 40 µg/m³ (aktualnie obowiązująca norma).



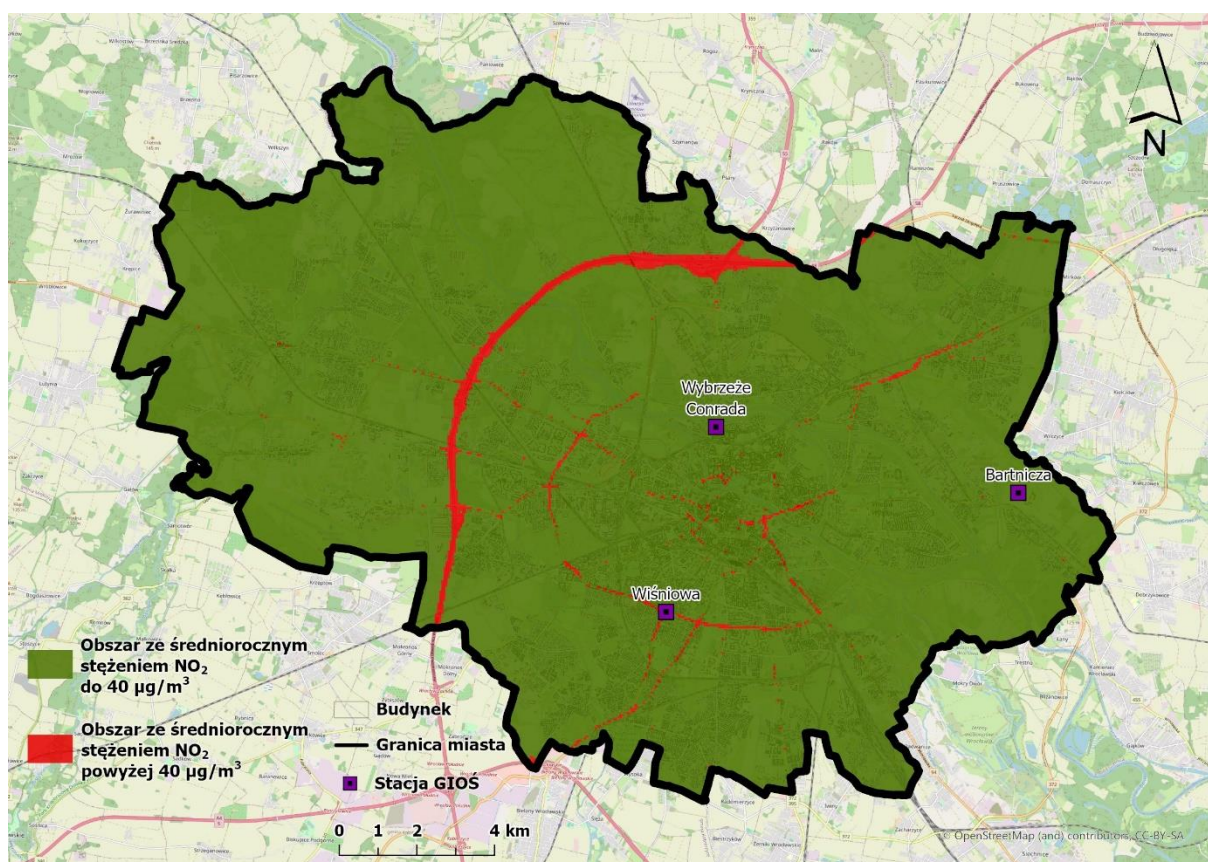
Rycina 4. Średnioroczne stężenia NO₂ we Wrocławiu w 2022 roku, modelowane z wykorzystaniem modelu ADMS-Urban.



Rycina 5. Histogram średniorocznych stężeń NO₂ we Wrocławiu w 2022 roku (udział procentowy powierzchni Wrocławia w poszczególnych klasach stężeń). Wartości przekraczające 100.0 μg/m³ (ostatnia klasa) wystąpiły na Autostradowej Obwodnicy Wrocławia.



Ryc. 6. Obszar ze średniorocznym stężeniem NO_2 powyżej $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ we Wrocławiu w 2022 roku.



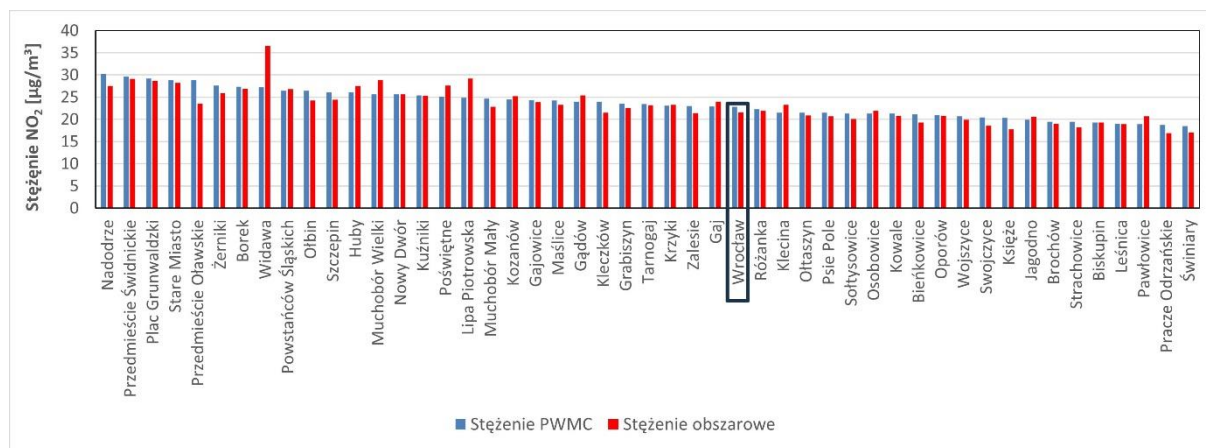
Ryc. 7. Obszar ze średniorocznym stężeniem NO_2 powyżej $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ we Wrocławiu w 2022 roku.

Stężenia ważone populacyjnie

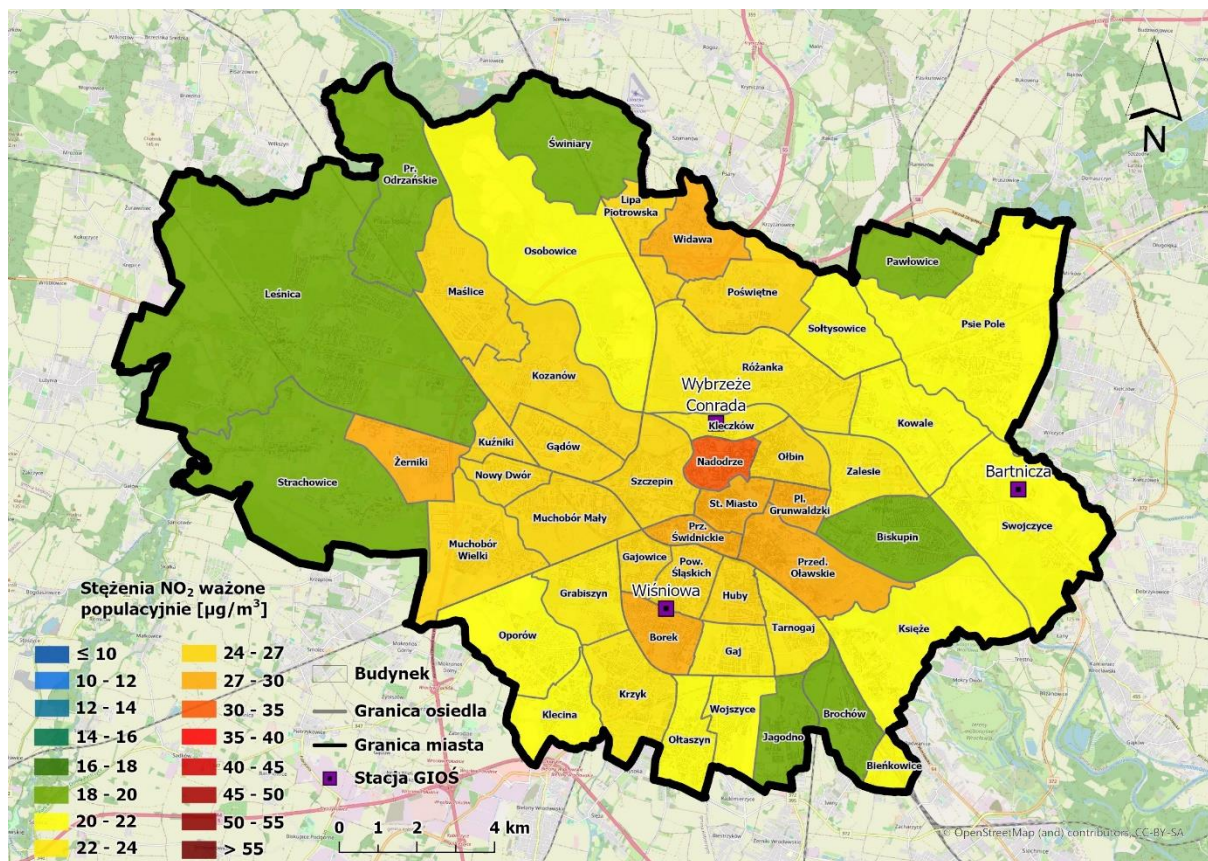
Jak podano powyżej w metodyce, do wyliczenia stężeń ważonych populacyjnie (PVMC) wykorzystano stężenia NO_2 z modelu obliczone dla 2 m nad poziomem gruntu oraz informację o zameldowanych na pobyt stały i czasowy mieszkańcach Wrocławia. Stąd, należy podkreślić, że analiza nie uwzględnia wysokości budynków (np. kondygnacji mieszkania), czy zmian lokalizacji ludności związanej z miejscem pracy czy innymi aktywnościami (np. centra handlowe).

Według modelu średnie PVMC dla całego Wrocławia wynosi $22.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ryc. 8, Ryc. 9), przy średnim stężeniu obszarowym (dla całego Wrocławia bez ważenia liczbą ludności) wynoszącym $21.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wysokie stężenia PVMC odnotowano w obszarach o dużej liczbie ludności oraz gęstej sieci dróg, tj. na: Nadodrze ($30.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Przedmieściu Świdnickim ($29.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Placu Grunwaldzkim ($29.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Starym Mieście ($28.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz Przedmieściu Oławskim ($28.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Stężenia powyżej $25.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ występują na: Żernikach, Borku, Widawie, Powstańców Śląskich, Ołbinie, Szczepinie, Hubach, Muchoborze Wielkim, w rejonie Nowego Dworu, Kuźniku i Poświętnym. Najniższe stężenia PVMC, poniżej $20.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, zanotowano w: Świniarach, Praczech Odrzańskich, Pawłowicach, Leśnicy, Biskupinie, Strachowicach, Brochowie oraz Jagodnie.

Największa ujemna różnica pomiędzy stężeniem PVMC, a stężeniem obszarowym (PVMC niższe od obszarowego) występują na osiedlu Widawa, gdzie PVMC wynosi $27.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a stężenie obszarowe $36.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podobna sytuacja ma miejsce w osiedlu Lipa Piotrowska, odpowiednio $24.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $29.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Są to dzielnice, przez które przechodzi Autostrada Obwodnica Wrocławia. Dla dużej części osiedli stężenie PVMC jest zbliżone lub o 1.0 - $3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wyższe od stężenia obszarowego (Ryc. 8). Największa dodatnia różnica (PVMC wyższe od obszarowego) występuje na Przedmieściu Oławskim, gdzie PVMC i stężenie obszarowe wynoszą odpowiednio 28.8 i $23.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rycina 8. Średnioroczne stężenia NO_2 oraz stężenia ważone populacyjnie (PVMC) w poszczególnych osiedlach Wrocławia i całego miasta w 2022 roku.

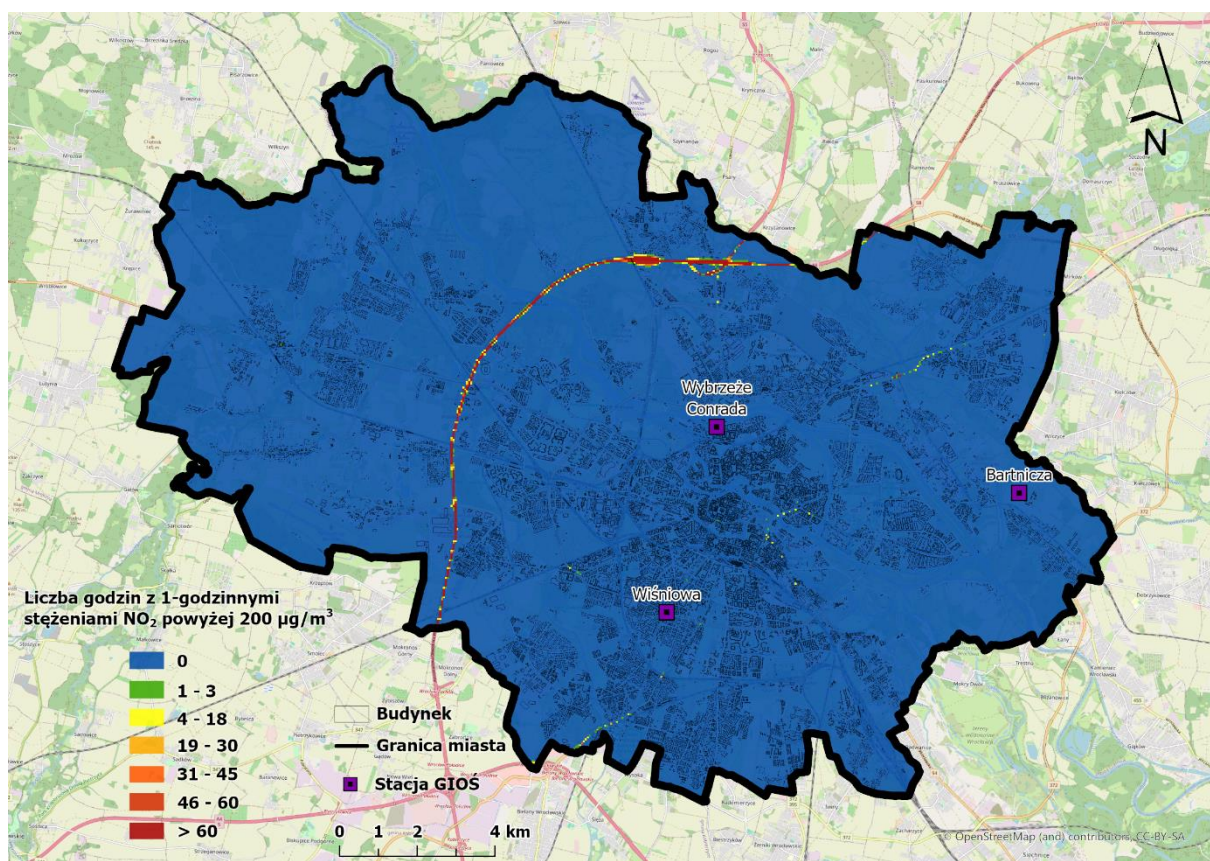


Rycina 9. Średnioroczne stężenia NO₂ ważone populacyjnie we Wrocławiu w 2022 roku.

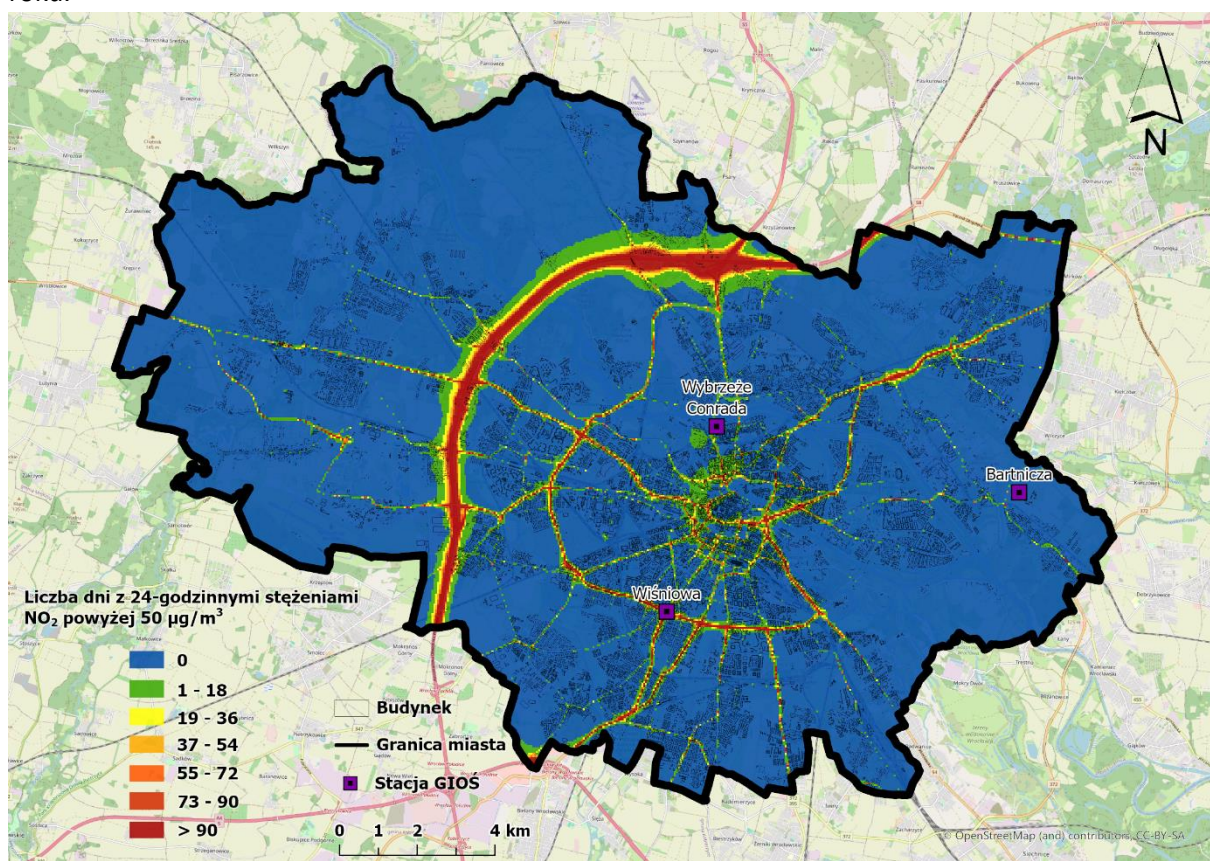
Stężenia dobowe i godzinowe

Według Dyrektywy AAQD 2024/2881, 1-godzinna wartość stężenia NO₂, wynosząca 200.0 µg/m³ nie może być przekroczona więcej niż trzy razy w roku. Wyniki modelu wskazują na kilka-kilkanaście (4-18) w ciągu roku przekroczeń wskazanej wartości w kilku lokalizacjach w mieście (centrum miasta, południe, północny-wschód) związanych z przebiegiem dróg. Największa liczba przekroczeń wartości 200.0 µg/m³ występuje wzdłuż autostradowej obwodnicy Wrocławia i sięga kilkudziesięciu godzin w ciągu roku (Ryc. 10).

W przypadku wartości średnich dobowych Dyrektywa mówi o wartości 50.0 µg/m³, która nie powinna być przekroczona więcej niż 18 dni w ciągu roku. Według modelu wskazana wartość została przekroczona ponad 18 razy w ciągu roku wzdłuż głównych szlaków komunikacyjnych (Ryc. 11). Maksymalna liczba przypadków ze stężeniami ponad 50.0 µg/m³ przekracza tam 70 dni w ciągu roku.



Rycina 10. Liczba godzin z 1-godzinnyimi stężeniami NO₂ powyżej 200.0 µg/m³ we Wrocławiu w 2022 roku.



Rycina 11. Liczba dni z 24-godzinnyimi stężeniami NO₂ powyżej 50.0 µg/m³ we Wrocławiu w 2022 roku.

Wyniki modelowania w kontekście raportu GIOŚ

Wyniki zastosowania modelowania numerycznego do oceny stężeń zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym, w tym NO₂, dla Wrocławia w 2022 roku zostały przedstawione w raporcie GIOŚ "Jakość powietrza na obszarze Wrocławia" (GIOŚ 2023a, dalej: raport GIOŚ). Wyniki modelowania przedstawione w raporcie GIOŚ zostały oparte na obliczeniach z regionalnym chemicznym modelem transportu zanieczyszczeń GEM-AQ. Założenia modelu oraz dane wejściowe opisane są m.in. w opracowaniu "Roczna ocena jakości powietrza z województwie dolnośląskim" (GIOŚ 2023b). Zastosowany przez GIOŚ model GEM-AQ oraz zastosowany w tym opracowaniu model ADMS-Urban są innymi typami modeli i różnią się istotnie pod względem m.in. realizacji procesów fizycznych i chemicznych. Ponadto w modelach wykorzystano różne dane wejściowe oraz uruchomiono je w różnych rozdzielczościach przestrzennych. Wyniki modelu GEM-AQ zostały zapisane w siatce 500 m x 500 m a wyniki ADMS-Urban dla receptorów stanowiących siatkę 50 m x 50 m.

W przypadku danych wejściowych do modeli, podstawową informację stanowi emisja zanieczyszczeń do powietrza. Emisja dla sektorów innych niż transport drogowy pochodzi w obu opracowaniach z Centralnej Bazy Emisyjnej dla Polski przygotowanej przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami - IOŚ-PIB. Sumy emisji w obu opracowaniach mogą się jednak różnić ze względu na to, że w tym opracowaniu zastosowano bazę zaktualizowaną dla roku 2022, a w opracowaniu GIOŚ dla roku 2021. Emisja dla sektora drogowego została przygotowana z wykorzystaniem modelu ruchu dla Wrocławia i modelu emisji COPERT oraz wprowadzona do modelu w wysokiej rozdzielczości (w postaci liniowej dla lokalizacji dróg). Kolejną różnicą między opracowaniem GIOŚ a tym raportem są dane meteorologiczne. Model GEM-AQ jest modelem zintegrowanym online, co oznacza, że warunki meteorologiczne i stężenia powietrza są modelowane równolegle. W przypadku modelu ADMS-Urban wykorzystano dane meteorologiczne z obserwacji. Zarówno różna rozdzielczość obu modeli, jak i różne emisje z sektora drogowego będą wpływały na wartości modelowanych stężeń NO₂. Ponadto, opracowania odnoszą się do innych wartości dopuszczalnych. Raport GIOŚ odnosi się do obowiązujących w czasie jego publikacji wartości dopuszczalnych (stężenia średnioroczne: 40.0 µg/m³, godzinowe: 200.0 µg/m³ (maksymalna liczba przekroczeń to 18 dni)). W tym opracowaniu odniesiono się do wytycznych najnowszej Dyrektywy (dopuszczalne stężenia średnioroczne: 20.0 µg/m³, godzinowe: 200.0 µg/m³ (maksymalna liczba przekroczeń to 3), dobowe: 50.0 µg/m³ (maksymalna liczba dni z przekroczeniami to 18)).

Wg modelowania GIOŚ stężenia średnioroczne w mieście wahały się od 11.0 do 44.0 µg/m³. Zaprezentowana w raporcie GIOŚ mapa stężeń wskazuje, że dużą część miasta obejmują stężenia w zakresie od 20.0 do 25.0 µg/m³ co jest zbliżone do wyników z tego raportu. Podstawowa różnica pomiędzy raportem GIOŚ i tym opracowaniem dotyczy szlaków komunikacyjnych i obszarów przyległych, gdzie model ADMS-Urban wskazuje wyższe stężenia, przekraczające 50.0 µg/m³. Zróżnicowanie przestrzenne stężeń z modelu ADMS-Urban jest większe, co wynika, jak wyjaśniono powyżej, między innymi z wyższej rozdzielczości modelu oraz innej emisji z transportu drogowego.

Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu przeprowadzono matematyczne modelowanie przestrzennego rozkładu stężeń NO₂ na obszarze miasta Wrocławia dla wartości jednogodzinnych, dobowych i średniorocznych z wykorzystaniem modelu dyspersji zanieczyszczeń ADMS-Urban. Celem było również porównanie uzyskanych wyników z pomiarami Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ) oraz oszacowanie przekroczeń norm stężeń NO₂ zgodnie z nową Dyrektywą Ambient Air Quality Directive (AAQD) 2024/2881 z dnia 23 października 2024 r. Dodatkowo, dokonano analizy narażenia mieszkańców na ponadnormatywne stężenia NO₂ z uwzględnieniem rozkładu zameldowanej populacji. Wyniki pokazują, że model ADMS-Urban przeszacowuje mierzone stężenia NO₂ na stacjach tła oraz

niedoszacowuje na stacji komunikacyjnej, na co wskazują odpowiednio dodatnie oraz ujemne wartości średniego odchylenia (MB). Wskaźnik jakości modelowania mieści się w akceptowalnym zakresie zgodnie z Dyrektywą AAQD 2024/2881, co świadczy o wiarygodności uzyskanych wyników. Wyniki modelowania wskazują na przekroczenia dopuszczalnych stężeń obszarowych NO₂ zarówno dla wartości średniorocznych, dobowych i godzinowych. Średnioroczne stężenia NO₂ ważone populacyjnie są wyższe niż średnia obszarowa dla Wrocławia, wskazując na nieco większe narażenie NO₂ populacji niż wynika to ze stężeń obszarowych. Wysokie stężenia NO₂ są najczęściej obserwowane w obszarach o dużym natężeniu ruchu, więc uzasadnione jest wykonanie scenariuszy zmian emisji, mających na celu wypracowanie najbardziej skutecznej drogi redukcji poziomu stężeń do wartości wskazanych w Dyrektywie.

Stosowane skróty

ADMS-Urban: Atmospheric Dispersion Modelling System – Urban, Model dyspersji zanieczyszczeń

COPERT: Computer Program to calculate Emissions from Road Transport, program do obliczeń emisji z sektora drogowego

AAQD: Ambient Air Quality Directive, Dyrektywa w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy

FAC2: Fraction of predictions within a factor of two, Ułamek prognoz mieszczących się w granicach dwukrotności

GIOŚ: Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

KOBIZE: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami

MB: Mean Bias, Średnie odchylenie

NMB: Normalised Mean Bias, Znormalizowane średnie odchylenie

R: Współczynnik korelacji Pearsona

RMSE: Root Mean Square Error, Błąd średniokwadratowy

Materiały

Biggart, M., Stocker, J., Doherty, R. M., Wild, O., Hollaway, M., Carruthers, D., Li, J., Zhang, Q., Wu, R., Kotthaus, S., Grimmond, S., Squires, F. A., Lee, J., and Shi, Z., 2020. Street-scale air quality modelling for Beijing during a winter 2016 measurement campaign, Atmos. Chem. Phys., 20, 2755–2780, <https://doi.org/10.5194/acp-20-2755-2020>.

Dedele, A., Miskinyte, A., 2013. The application of ADMS-urban model to estimate nitrogen dioxide concentrations in cold and warm seasons in Kaunas city. Biologija 59. <https://doi.org/10.6001/BIOLOGIJA.V59I4.2830>.

Dimitrova, R., Velizarova, M., 2021. Assessment of the contribution of different particulate matter sources on pollution in Sofia City. Atmosphere 12, 423. <https://doi.org/10.3390/ATMOS12040423>.

GIOŚ, 2023a. Jakość powietrza na obszarze Wrocławia. Informacja za rok 2022 na podstawie Państwowego Monitoringu Środowiska. Opracowano w Regionalnym Wydziale Monitoringu Środowiska we Wrocławiu Departamentu Monitoringu Środowiska Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska.

GIOŚ 2023b. Roczna ocena jakości powietrza a województwie dolnośląskim. Raport wojewódzki za rok 2022. Raport opracowany w Regionalnym Wydziale Monitoringu Środowiska we Wrocławiu Departamentu Monitoringu Środowiska Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska.

Hood, C., MacKenzie, I., Stocker, J., Johnson, K., Carruthers, D., Vieno, M., and Doherty, R, 2018. Air quality simulations for London using a coupled regional-to-local modelling system, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 11221–11245, <https://doi.org/10.5194/acp-18-11221-2018>.

Porwisiak, P., Werner, M., Kryza, M., ApSimon, H., Woodward, H., Mehlig, D., Gawuc, L., Szymankiewicz, K., Sawiński, T., 2024. Application of ADMS-Urban for an area with a high contribution of residential heating emissions - model verification and sensitivity study for PM_{2.5}. *Science of the Total Environment*, 907, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168011>.