

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Typ dokumentu	Dokumentacja projektowa		
Numer dokumentu	A24705-S700-K208_v2		
			
Ocena wpływu realizacji zadania pn. „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (mierzonej ekwiwalentem CO₂), zanieczyszczeń gazowych oraz cząstek stałych			
Nazwa projektu	Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach		
Numer Umowy	Umowa 87/DDA/2019 z dn. 08.08.2019 r.		
	Imię i Nazwisko	Data	Podpis
Zatwierdził		09.2023	
Opracował	INFAIR Dominik Kobus Biuro Studiów i Pomiarów Proekologicznych EKOMETRIA Sp. z o.o.		

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Spis treści

1. Cel i założenia pracy	5
2. Metodyka modelowania.....	7
2.1. Preprocesor CALMET i model meteorologiczny WRF	8
2.2. Model CALPUFF	10
2.3. Parametryzacja modelu	11
2.4. Metoda wyznaczenia stężeń dwutlenku azotu ze stężeń tlenków azotu	13
3. Baza emisyjna zastosowana do modelowania w roku bazowym 2021.....	15
3.1. Emisja punktowa.....	15
3.2. Emisja powierzchniowa.....	16
3.3. Emisja liniowa	18
3.4. Emisja z rolnictwa	24
4. Analiza podstawowych elementów i zjawisk meteorologicznych na badanym obszarze w 2021 roku	26
4.1. Prędkość i kierunek wiatru	26
4.2. Temperatura powietrza	33
4.3. Opady atmosferyczne	35
4.4. Wilgotność względna powietrza.....	37
4.5. Miąższość warstwy mieszania	39
4.6. Klasy równowagi atmosfery	42
5. Wyniki ewaluacyjnego modelowania stężeń zanieczyszczeń na badanym obszarze w 2021 roku	45
5.1. Dwutlenek oraz tlenki azotu.....	45
5.2. Tlenek węgla.....	55
5.3. Pyły zawieszone PM10 oraz PM2,5.....	57
6. Ocena jakości wyników modelowania	67
6.1. Dwutlenek azotu.....	69
6.2. Pył zawieszony PM10.....	72
7. Ocena efektu ekologicznego wdrożenia systemu ITS	76
8. Analizy uzupełniające	89
8.1. Pomiary wykonywane w ramach dedykowanej sieci monitoringu.....	89

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

8.2.	Pomiary referencyjne tła zanieczyszczeń	90
8.3.	Metoda obliczeń	90
8.4.	Wyniki obliczeń.....	91
9.	Streszczenie	92
10.	Słownik skrótów i terminów.....	96

1. Cel i założenia pracy

Celem opisywanej w niniejszym dokumencie pracy jest określenie wpływu realizacji projektu „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” (dalej w skrócie: „ITS w Tychach”) na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (mierzony ekwiwalentem CO₂), zanieczyszczeń gazowych oraz cząstek stałych w stosunku do stanu istniejącego. Inwestorem projektu jest Gmina Miasto Tychy działająca przez Miejski Zarząd Ulic i Mostów, natomiast generalnym wykonawcą – firma Siemens Mobility Sp. z o.o.

Jednym ze wskaźników skuteczności działania budowanego systemu ITS w Tychach jest jego wpływ na poprawę stanu środowiska poprzez ograniczenie pochodzącej z transportu samochodowego emisji do powietrza atmosferycznego gazów cieplarnianych oraz innych zanieczyszczeń gazowych i pyłowych (cząstek stałych). Jako próg, który powinien zostać osiągnięty wskutek funkcjonowania systemu, określono wartość redukcji emisji o 5,5% w stosunku do stanu przed inwestycyjnego. Według wymagań stawianych w dokumentacji inwestycji, na potrzeby określenia wartości wskaźnika i „rozpoznania aktualnych danych dotyczących emisji zanieczyszczeń” Wykonawca winien przeprowadzić niezbędne pomiary stężeń. Zgodnie z dalszymi zapisami „pomiary należy przeprowadzić w trybie ciągłym co najmniej w okresie jednego roku. Pomiary należy rozpocząć nie później niż 6 miesięcy od daty podpisania Umowy na inwestycję ITS Tychy. Wyniki pomiarów stanowić będą podstawę do wyznaczenia wyżej wymienionych wskaźników.”

Mając na uwadze różnorodne czynniki wpływające na jakość powietrza w określonym rejonie i w konsekwencji na wyniki pomiarów stężenia zanieczyszczeń, o których mowa powyżej, w opracowanej i przekazanej wcześniej metodologii obliczenia wskaźników zaproponowano zobjektywizowany sposób oszacowania zmienności emisji substancji do powietrza, wykorzystujący pomiary mechanizmy matematycznego modelowania przemian i transportu substancji w atmosferze. Pozwala on na wyeliminowanie oddziaływania zjawisk zewnętrznych, jak np. zmienności warunków meteorologicznych w różnych okresach poddanych analizie. Zaproponowana metoda jest zbieżna z innymi rozwiązaniami stosowanymi np. przy ocenie oddziaływania inwestycji na środowisko, analizie scenariuszy funkcjonowania różnego typu rozwiązań technologicznych lub organizacyjnych czy planowaniu działań naprawczych w programach ochrony powietrza. Metoda ta ma oparcie zarówno w aktualnej wiedzy naukowej, jak i szerokich doświadczeniach praktycznych na tym polu.

Podstawą przeprowadzonych analiz są wyniki pomiarów ruchu wykonane w stałych punktach przed inwestycją oraz po uruchomieniu i skalibrowaniu systemu ITS. Dane te były wykorzystane również przy określaniu części z pozostałych wskaźników efektywności systemu. Dodatkowo wykorzystano dane z pomiarów stężenia zanieczyszczeń powietrza zrealizowanych za pomocą dedykowanej komunikacyjnej sieci pomiarowej systemu ITS, a także na referencyjnej stacji pomiarowej tła miejskiego, należącej do głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Dane te posłużyły na przykład do oceny sprawdzalności modelu, do

wyznaczania profili zmienności czasowej ruchu, a także jako podstawa analiz uzupełniających opisanych w niniejszej dokumentacji.

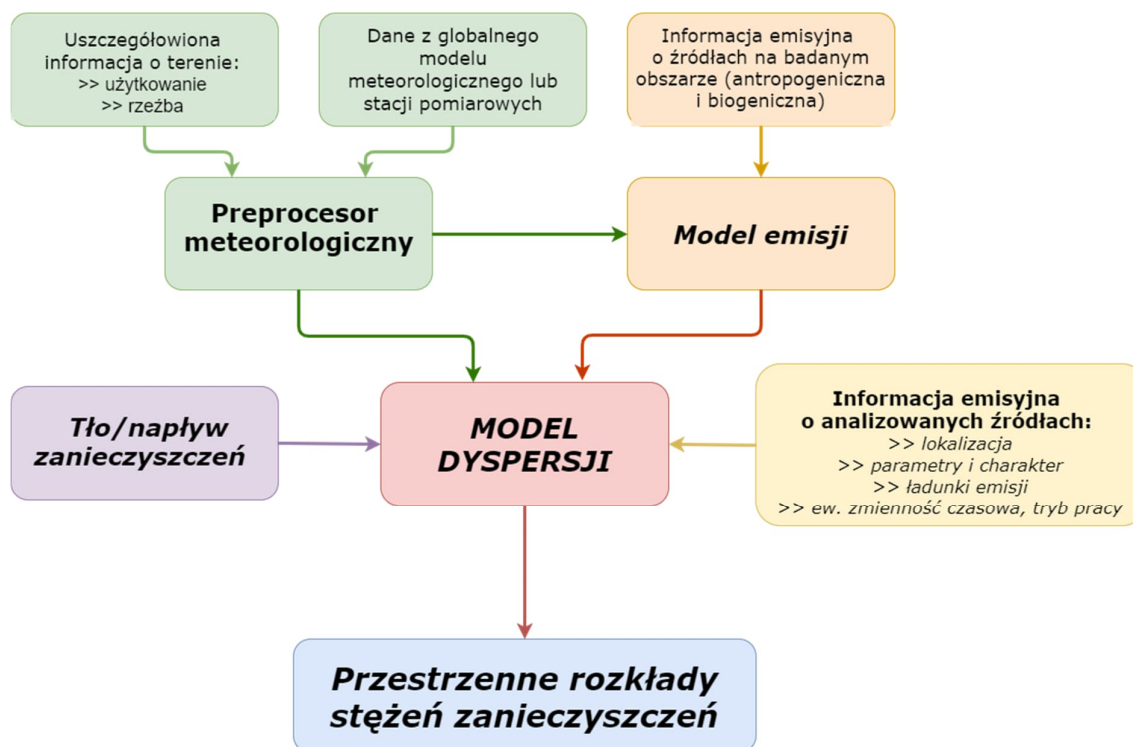
Jako okres przed-inwestycyjny uwzględniono rok 2019 (wskaźniki liczone z uwzględnieniem badań ruchu wykonanych we wrześniu 2019 r.), natomiast jako okres po-inwestycyjny - rok 2023 (wskaźniki na podstawie pomiarów ruchu wykonanych po uruchomieniu i skalibrowaniu ITS w Tychach, w maju 2023 roku). W analizach oraz niniejszym opracowaniu dużo uwagi poświęcono badaniu oraz przedstawieniu sytuacji w roku 2021, który został potraktowany, jako referencyjny do kontroli jakości modelowania i jego sprawdzalności. Jest to szczególnie istotne w tego typu analizach dla udowodnienia użyteczności zastosowanego modelu i jego parametryzacji na potrzeby zastosowanej metodyki określania efektu ekologicznego inwestycji. Rok ten charakteryzował się np. przeciętnymi (na przestrzeni ostatnich lat) warunkami meteorologicznymi i brakiem np. ekstremalnych zjawisk klimatyczno-pogodowych, które mogłyby radykalnie wpłynąć na poziom zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym i zakłócić prowadzenie analiz. Warunkom tym poświęcono stosowne opisy w dokumencie. Kolejnym czynnikiem wpływającym na wybór tego roku był mniejszy (niż np. w roku 2020) wpływ ograniczeń w mobilności wynikających z restrykcji związanych z pandemią Covid-19, które mogłyby znacząco zakłócić analizy. Inne badania prowadzone przez autorów niniejszego opracowania oraz powszechnie dostępne materiały wskazują na znaczące różnice w poziomach rejestrowanych stężeń tzw. zanieczyszczeń “komunikacyjnych”, czyli związanych bezpośrednio z sektorem transportu samochodowego, w okresach wprowadzania ograniczeń oraz bez nich. Znalazło to odzwierciedlenie również w parametrach rocznych określanych dla tych zanieczyszczeń.

Przeprowadzone badania potwierdziły prawidłowość doboru modelu poprzez spełnienie kryteriów jakościowych wymaganych przepisami krajowego i europejskiego prawa (kryteria wykorzystania modeli na potrzeby oceny jakości powietrza). Informacje dotyczące przeprowadzonych testów znalazły się w opracowaniu.

Najistotniejszą częścią dokumentu jest prezentacja osiągniętego efektu ekologicznego – poprzez przedstawienie (za pomocą przestrzennych wizualizacji mapowych oraz tabelarycznie) różnic w poziomach stężenia poszczególnych badanych zanieczyszczeń w okresie przed- i po- inwestycyjnym. Różnice wskazano dla poszczególnych rejonów miasta (mapy), a także wyznaczono je i zaprezentowano, jako wskaźniki ogólne, obejmujące całe miasto. Przedstawiono zarówno dane dotyczące emisji zanieczyszczeń bezpośrednio pochodzących z procesów spalania paliw w samochodach, jak i obliczone parametry stężenia, tzw. imisji substancji w powietrzu. Zaprezentowane wyniki analiz wskazują na osiągnięcie zakładanego efektu – poziomu redukcji zanieczyszczeń wskutek budowy i uruchomienia systemu ITS w Tychach. Podobne wnioski można wyciągnąć na podstawie zamieszczonej w opracowaniu tzw. analizy uzupełniającej, opartej bezpośrednio na podstawie wyników pomiarów zarejestrowanych w dedykowanej sieci monitoringu powietrza, zbudowanej i funkcjonującej w ramach ITS Tychy oraz referencyjnej stacji pomiarowej tła miejskiego, należącej do Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska.

2. Metodyka modelowania

Uniwersalnym narzędziem wykorzystywanym w ocenie oddziaływania na jakość powietrza jest modelowanie matematyczne. W tym celu firma Ekometria opracowała system modelowania opartego o kilka modeli, z których główny to model dyspersji II generacji CALPUFF służący do oceny oddziaływania w skali lokalnej, (poniżej schemat systemu modelowania).



Rysunek 2-1 Schemat systemu modelowania zastosowany w opracowaniu

Źródło: opracowanie własne

Aby wyniki modelowania można było uznać za wiarygodne w modelu dyspersji powinny zostać uwzględnione przynajmniej podstawowe procesy fizyczne, które są ściśle związane ze zmiennymi warunkami meteorologicznymi, a w przypadku niektórych zanieczyszczeń również przemiany chemiczne. Istotny wpływ na rozkład stężeń ma również ukształtowanie oraz użytkowanie terenu. Szczególnie ważna w modelowaniu (szczególnie ze względu na normy krótkookresowe) jest możliwość określenia zmienności stężeń w czasie jest, dlatego istotne jest, aby model posiadał opcję uwzględnienia zmienności czasowej emisji.

Obecnie jednym z lepszych dostępnych modeli dyspersji dla obliczeń w skali lokalnej jest system CALMET/CALPUFF, opracowany przez Sigma Research Corporation (SRC) z Kalifornii. CALMET/CALPUFF jest zaawansowanym systemem modelowania składającym

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone."

się z trójwymiarowego preprocesora meteorologicznego – CALMET oraz modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń – CALPUFF, który jest wielowarstwowym, niestacjonarnym modelem w układzie Lagrange'a, przygotowanym do obliczania stężeń wielu substancji. Wyznacza on wpływ pól meteorologicznych zmiennych w czasie i w przestrzeni na transport, przemiany i depozycję zanieczyszczeń. Możliwość przyjmowania przez model danych zmiennych w czasie i przestrzeni oraz uwzględnienie takich elementów jak depozycja czy przemiany chemiczne powoduje, że opis procesu dyspersji jest zdecydowanie dokładniej odwzorowany niż przy zastosowaniu obecnie obowiązującej metodyki referencyjnej. Właśnie ta cecha, decyduje o zasięgu modelu określanym od kilkudziesięciu metrów nawet do kilkudziesięciu kilometrów odległości źródło – receptor. Kod programu jest dostępny¹ do pobrania, dlatego możliwe jest jego dostosowywanie do konkretnego przypadku. Efektem obliczeń modelowych są pola stężeń zanieczyszczeń/odorów, których wizualizacja jest wykonywana z wykorzystaniem technologii GIS.

Stosując narzędzia modelowania matematycznego należy pamiętać jednak, że warunkiem uzyskania wiarygodnej informacji o przestrzennym rozkładzie stężeń jest przygotowanie przede wszystkim:

- dokładnej bazy danych o emisji z analizowanego obiektu lub obszaru,
- sekwencyjnych szeregów czasowych danych meteorologicznych (pochodzących z pomiarów lub z modelu meteorologicznego w większej skali) pozwalających na pełne wykorzystanie preprocesora meteorologicznego CALMET (Scire i in., 2000a; Earth Tech, 2006b),
- aktualnych warstw GIS z informacjami o terenie (m.in. rzeźba i użytkowanie terenu) w odpowiedniej rozdzielczości.

2.1. Preprocesor CALMET i model meteorologiczny WRF

Częścią systemu modelowania CALMET/CALPUFF, odpowiedzialną za przygotowanie na potrzeby modelu CALPUFF uszczegółowionej informacji o terenie oraz danych meteorologicznych jest preprocesor CALMET. Obliczenia parametrów meteorologicznych odbywają się w określonej przez użytkownika regularnej siatce (gridzie), obejmującej przede wszystkim obszar z emisją. Użytkownik określa również rozmiar pola siatki, które powinno być dostosowane do skali przestrzennej obszaru badań. Na podstawie odpowiednich danych wejściowych CALMET tworzy lub modyfikuje (uszczegóławia) dwu- lub trójwymiarowe pola parametrów niezbędnych w obliczeniach dyspersji zanieczyszczeń. W tym celu wykorzystuje:

- 1) Pliki z informacją o rzeźbie terenu oraz o użytkowaniu w klasach podanych w instrukcji modelu.

¹ <http://www.src.com/calpuff/calpuff1.html>

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

- 2) Dane meteorologiczne pochodzące bądź z wyników pomiarów ze stacji meteorologicznych (zarówno naziemnych jak i z sondaży aerologicznych) lub z modelu mezometeorologicznego (pola trójwymiarowe), obejmujące następujące parametry:
- a. jako 2-wymiarowe pola w pierwszej warstwie modelu: prędkość wiatru, kierunek wiatru, temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, ilość i rodzaj opadu (śnieg lub deszcz), zachmurzenie wraz z określeniem podstawy chmur niskich
(w stopach nad poziomem morza) oraz ciśnienie;
 - b. jako profil lub pola 3-wymiarowe: wysokość geopotencjalna, prędkość wiatru, kierunek wiatru, temperatura oraz wilgotność względna.

Trójwymiarowe pola tworzone są dla temperatury oraz składowych wiatru (U, V oraz W). Parametry takie jak: klasa równowagi atmosfery, długość Monina-Obuchowa, wysokość warstwy inwersji, prędkość tarcia, prędkość konwekcyjna oraz wskaźnik opadu zapisywane są w formie pola dwuwymiarowego. Jako pola dwuwymiarowe podawane są również wartości: temperatury, gęstości powietrza, promieniowania krótkofalowego, wilgotności względnej oraz kod opadu.

Pozyskanie danych meteorologicznych wejściowych do modelu CALMET jest istotnym problemem. Sieć pomiarowa parametrów meteorologicznych na terenie Polski, w szczególności sondaży aerologicznych, jest dość rzadka i opieranie się wyłącznie na wynikach pomiarów dawałoby zniekształcony obraz pól meteorologicznych, co niewątpliwie nie pozostałoby bez wpływu na wyniki obliczeń dyspersji zanieczyszczeń. Dlatego też, przewidziano możliwość zasilenia preprocesora informacją z modelu meteorologicznego. System opracowany przez firmę Ekometria wykorzystuje dane z amerykańskiego modelu meteorologicznego - WRF (NCAR, 2008). Model ten może dostarczać dane zarówno dla klasycznych modeli dyspersyjnych II generacji jak i dla modeli fotochemicznych.

Model WRF - NCAR Weather Research and Forecasting - jest mezoskalowym numerycznym modelem dynamicznym z asymilacją danych - zaprojektowanym do symulacji i prognozowania cyrkulacji atmosferycznej. Jako dane wejściowe stosowana jest informacja pochodząca z ogólnodostępnego projektu NCEP/NCAR Reanalysis, które to dane uwzględniają wszelkie informacje pomiarowe z sieci pomiarów naziemnych, aerologicznych i opadowych oraz dane z sondaży i obserwacji satelitarnych w skali globu. Dane te są zwalidowane, przez co są obarczone znacznie mniejszym błędem niż dane prognostyczne. W oparciu o nie, następnie wykonywane są obliczenia modelem WRF w mniejszej skali, tzn. obejmujące obszar centralnej Europy w siatce o rozdzielczości 15 km oraz obszar Polski w zagnieżdżonej siatce o rozdzielczości 5 km. Dopiero te ostatnie stanowią dane wejściowe do preprocesora CALMET. Preprocesor CALMET jest dostosowany do pobierania informacji z modelu WRF poprzez odpowiednio zaprojektowaną nakładkę, która przygotowuje dane z modelu WRF w formacie odpowiednim do wykorzystania przez CALMET.

2.2. Model CALPUFF

CALPUFF jest zaawansowanym gaussowskim modelem obłoku II generacji. Odznacza się dużą wrażliwością na przestrzenne charakterystyki środowiska oraz zmienność pola meteorologicznego. Posiada wbudowane moduły umożliwiające m.in. uwzględnienie transportu zanieczyszczeń nad obszarami wodnymi oraz wpływu dużych zbiorników wodnych (morza), omywania budynków, suchej i mokrej depozycji, prostych przemian chemicznych, rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w złożonym terenie oraz uwzględniania warunków brzegowych. Model CALPUFF przyjmuje między innymi informacje o emisji ze źródeł:

- punktowych – źródła wprowadzane do modelu z określonymi parametrami technicznymi (wysokość, średnica prędkość i temperatura wyrzutu gazów),
- powierzchniowych – źródła opisywane w postaci poligonu z podaną wysokością oraz rozmiarem pionowym uwolnionego obłoku zanieczyszczeń,
- objętościowych – źródła podawane w formie punktu z określoną wysokością, który stanowi punkt uwolnienia obłoku o określonych wymiarach.
- drogowych – źródła wprowadzane do modelu jako kompilacja źródeł objętościowych i liniowych.

Dla wszystkich typów źródeł użytkownik może zastosować współczynniki zmienności czasowej emisji - w tym dobowe (współczynnik dla poszczególnych godzin w dobie - 24) czy miesięczne (współczynnik dla poszczególnych 12 miesięcy). Model dopuszcza również przygotowanie informacji emisyjnej w postaci cogodzinnych szeregów czasowych dla dłuższego okresu.

Uproszczenie przemian chemicznych w modelu pozwala na przeprowadzanie obliczeń osobno dla każdego rodzaju typu emisji np. powierzchniowej i punktowej lub nawet dla pojedynczych źródeł, a następnie sumowanie wyników z poszczególnych jego przebiegów.

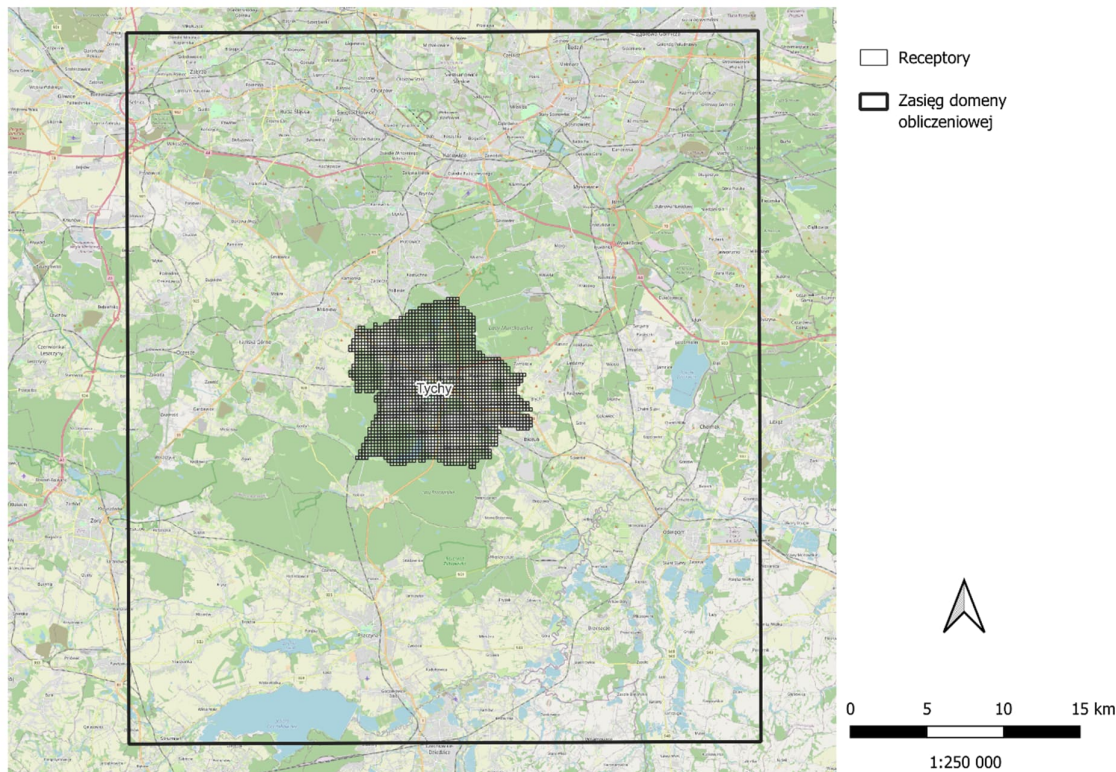
Model CALPUFF wyznacza stężenia zanieczyszczeń w tym odorów w regularnej siatce pola obliczeniowego (tzw. gridzie) lub w receptorach dyskretnych, zdefiniowanych przez użytkownika jako ciągi wartości cogodzinnych. Oznacza to, że w każdym polu siatki (receptory) określone są cogodzinne szeregi czasowe parametrów meteorologicznych i stężeń zanieczyszczeń, a każdy taki ciąg uzyskanych w wyniku modelowania stężeń można dowolnie przetwarzać przy pomocy dedykowanego postprocesora CALPOST lub wielofunkcyjnego programu przygotowanego na potrzeby projektu, ułatwiającego wyznaczenie niezbędnych charakterystyk statystycznych. Wszystkie obliczenia po przetworzeniu są wizualizowane w środowisku GIS.

2.3. Parametryzacja modelu

Ze względu na konieczność uwzględnienia dynamiki procesów zachodzących w atmosferze do obliczeń dyspersji wykorzystano roczne ciągi parametrów meteorologicznych zmiennych w czasie i przestrzeni za rok 2021.

Pola zmiennych parametrów meteorologicznych określono w promieniu około 20 km od miasta Tychy. Dla tego obszaru przygotowano domenę obliczeniową o rozdzielczości 1 x 1 km obejmującą obszar 40 km x 45 km. W domenie tej przygotowano uszczegółowioną informację o użytkowaniu i rzeźba terenu, gdyż oba te parametry odgrywają bardzo istotną rolę w procesie dyspersji zanieczyszczeń.

Obliczenia stężeń zanieczyszczeń wykonano natomiast w receptorach dyskretnych opartych o siatkę w rozdzielczości 200 m obejmujących całe miasto Tychy.



Rysunek 2-2 Zasięg domeny obliczeniowej oraz położenie receptorów

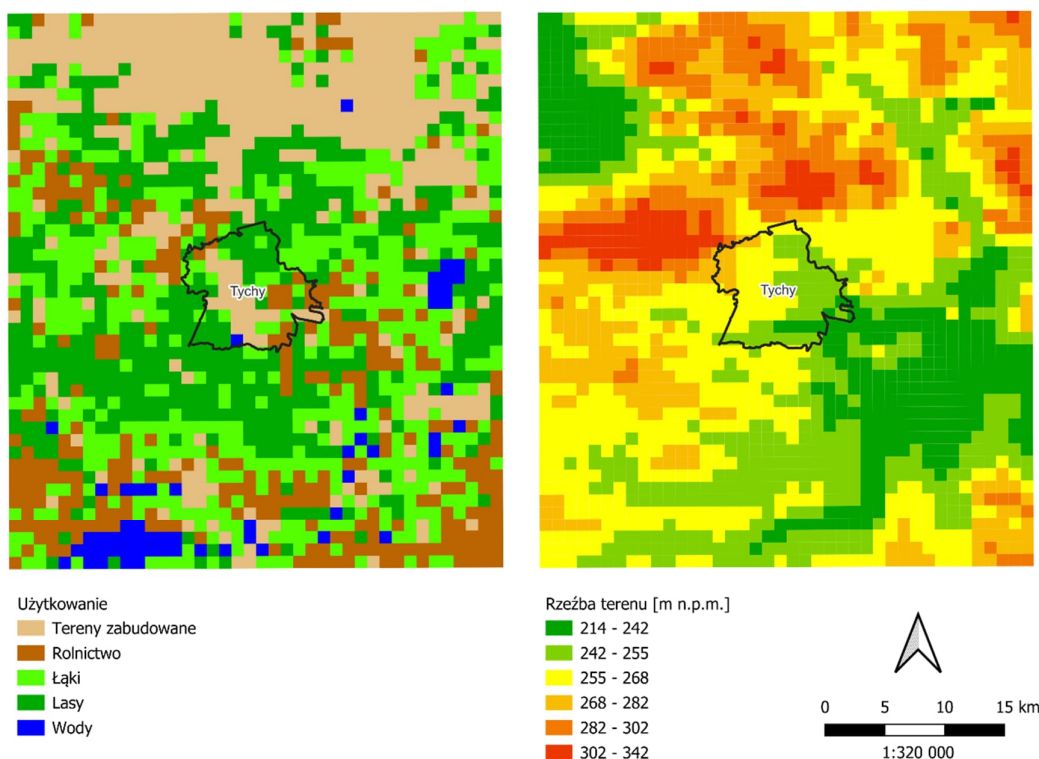
Źródło: opracowanie własne

Rzeźba terenu modyfikuje głównie kształt smugi zanieczyszczeń oraz warunkuje kierunki przepływu powietrza w skali lokalnej. Użytkowanie terenu poza kształtowaniem smugi zanieczyszczeń wpływa również na ich depozycję. Użytkowanie terenu dla obszaru analiz wyznaczono w oparciu o klasyfikację wykorzystywaną w modelu CALMET. Poniżej Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

przedstawiono rzeźbę terenu uwzględnioną oraz użytkowanie terenu – dane użyte w modelowaniu.

W centrum domeny obliczeniowej położone jest miasto Tychy. Tychy leżą w południowej części Górnos Śląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP). Od północy Tychy graniczą z Katowicami, stąd w północnej części domeny obliczeniowej przeważają tereny zabudowane. W centralnej jej części przeważają lasy (od południa, wschodu i zachodu miasto otaczają Lasy Pszczyńskie, będące pozostałością dawnej Puszczy Pszczyńskiej, a na północ od miasta znajdują się Lasy Katowicko-Murckowskie, będące fragmentem południowej części leśnego pasa ochronnego GOP) i łąki, natomiast w południowej części tereny rolnicze. W południowej części domeny położony jest duży zbiornik wody – Zbiornik Goczałkowicki, a w we wschodnio-centralnej również znaczący, ale mniejszy – Zbiornik Dzieńkowice.



Rysunek 2-3 Rzeźba oraz użytkowanie terenu w domenie obliczeniowej

Źródło: opracowanie własne

Omawiany obszar położony jest w obrębie megaregionu Karpackiego, prowincji Karpaty Zachodnie z Podkarpaciem Zachodnim i Północnym, obejmując m.in. fragment Kotliny Oświęcimskiej. Jest to centralna część województwa śląskiego, leżąca na pograniczu Kotliny Oświęcimskiej i Wyżyny Śląskiej. Rzeźba omawianego terenu jest zróżnicowana z wysokościami pomiędzy 214 a 342 m n.p.m., a więc różnica wysokości wynosi prawie 130 m.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.

Najwyżej położone tereny położone są na północ i zachód od miasta, natomiast najniżej na południowy-wschód od Tych.

Obliczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń wykonane zostały na obszarze całego miasta Tychy, w receptorach dyskretnych opartych na siatce o rozdzielczościach 200 m.

2.4. Metoda wyznaczenia stężeń dwutlenku azotu ze stężeń tlenków azotu

W obliczeniach modelowych zastosowany został schemat przemian chemicznych MEZOPUFF II. W schemacie tym uwzględnione są przemiany chemiczne tlenków azotu jako sumy dwutlenku i tlenku azotu, dlatego też wynikiem modelowania są pola stężeń tlenków azotu. W przypadku modeli drugiej generacji, w których stosowane są proste schematy przemian, jest to dość powszechny problem. Dlatego firma EKOMETRIA opracowała metodykę konwersji NO_x do NO₂ na podstawie analiz wielu stosowanych na świecie metodyk. Metodyka ta została zwalidowana na przestrzeni lat w systemach ocen jakości powietrza w strefach na terenie Polski. W celu określenia stężeń dwutlenku azotu z tlenków azotu stosowane są różne sposoby konwersji, w zależności od sposobu i temperatury spalania paliw.

Dla źródeł związanych z emisją komunikacyjną konwersja wykonywana jest w oparciu o założenia niemieckiego planu badawczego (UFOPLAN 200 42 265), opracowanego przez Niemieckie Ministerstwo Środowiska. Metoda ta polega na określeniu funkcji NO₂=f(NO_x) wyłącznie na podstawie pomiarów wykonywanych w stanowiskach typowo komunikacyjnych. W oparciu kilkuletnie serie pomiarowe NO₂ i NO_x dla stacji komunikacyjnych w miastach m.in. województw dolnośląskiego, mazowieckiego, małopolskiego oraz śląskiego (w tych województwach przez wiele lat funkcjonują stacje komunikacyjne) wyznaczono algorytm dla wartości jednogodzinnych. Algorytm ten jest uaktualniany corocznie o nowe dane o stężeniach. Wyznaczona funkcja stosowana jest dla jednogodzinnych wartości stężeń całkowitych, z których później wyznaczone są odpowiednie charakterystyki.

W przypadku energetycznego spalania paliw zastosowano sposób konwersji zaproponowany przez US-EPA, który polega na uzależnieniu powstawania dwutlenku azotu od stężeń ozonu w otaczającym powietrzu - Ozone Limiting Method (OLM). Metoda ta zakłada, że 10% NO_x u wylotu komina jest od razu utleniane do NO₂, natomiast pozostałe 90% to tlenek azotu (NO). Po opuszczeniu komina, spaliny mieszają się z wolnym powietrzem, w wyniku czego NO wchodzi w reakcje z ozonem (O₃) formując NO₂ oraz tlen cząsteczkowy (O₂). Zgodnie z tą metodą, ilość utlenianego NO jest proporcjonalna do zawartości O₃ w powietrzu. Jeśli koncentracja O₃ jest mniejsza niż koncentracja NO, ilość utworzonego NO₂ jest ograniczona, natomiast jeśli koncentracja ozonu jest większa lub równa koncentracji NO, wówczas całość NO jest utleniana do NO₂. Równocześnie należy pamiętać, iż metoda OLM pomija implementację dwóch istotnych przy przemianach NO_x reakcji: niszczenia NO₂ przez promieniowanie słoneczne (fotodysocjacja) oraz utleniania NO przez reaktywne węglowodory. Szereg analiz wykonywanych przez BSiPP „Ekometria” w ramach różnorodnych prac na

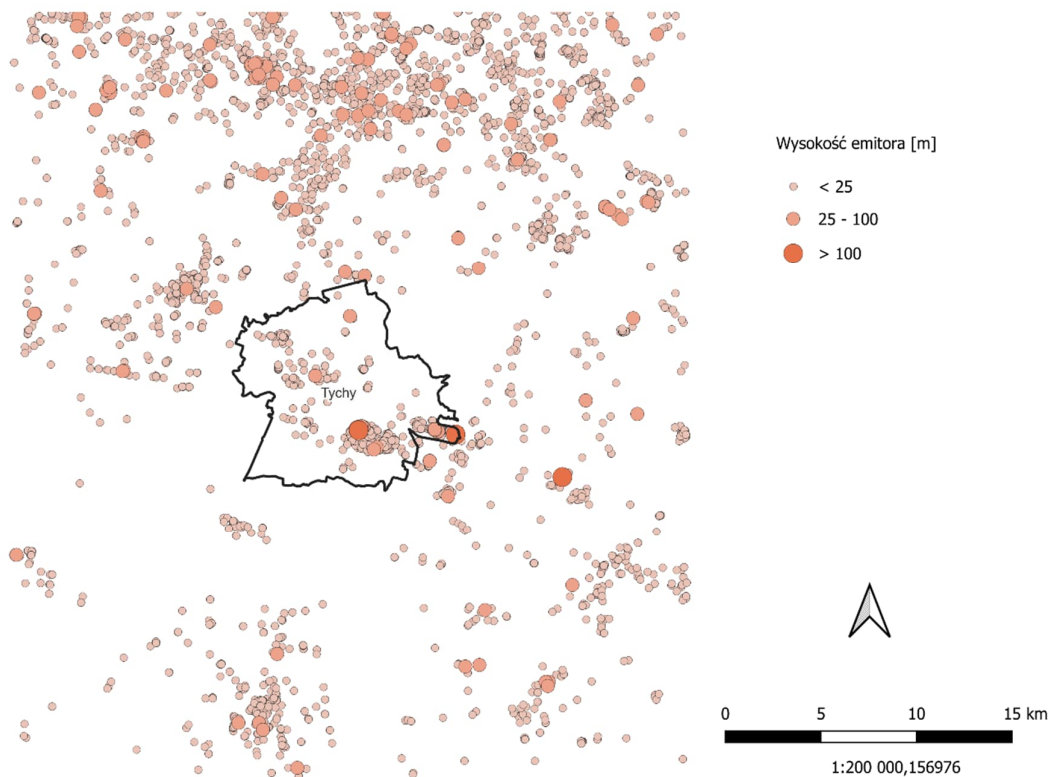
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

terenem Polski wymusił modyfikację ww. algorytmu i określenie specyficznych warunków dla jego zastosowania w przypadku stężeń pochodzących z emisji z ogrzewania indywidualnego. Dużo niższa sprawność urządzeń grzewczych stosowanych w indywidualnych systemach grzewczych na terenie kraju w połączeniu z analizami stężeń dwutlenku azotu pochodzących z pomiarów wykonywanych z monitoringu, pozwoliły na stwierdzenie, iż w przypadku emisji z ogrzewania indywidualnego dużo większa ilość NO_x jest natychmiast utleniania do NO₂. Implementację metody OLM przeprowadza się na wartościach jednogodzinnych.

3. Baza emisyjna zastosowana do modelowania w roku bazowym 2021

3.1. Emisja punktowa

Baza emisji przemysłowej obejmuje emitory przemysłowe i energetyczne położone w obrębie domeny obliczeniowej. Informacja została udostępniona przez Krajowy Ośrodek Bilansowania Emisji Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE). Poniżej zaprezentowano rozmieszczenie emitentów przemysłowych w obszarze obliczeniowym w rok 2021.



Rysunek 3-4 Rozmieszczenie emitentów punktowych w obszarze obliczeniowym

Źródło: opracowanie własne

W bazie KOBiZE inwentaryzowane są nie wszystkie zanieczyszczenia, udostępniona informacja obejmowała dwutlenek siarki oraz azotu, tlenek węgla, pyły zawieszone PM10 oraz PM2,5 a także niemetanowe lotne związki organiczne (NMLZO). Poniżej w tabeli zestawiono bilanse emisji przemysłowej z analizowanego obszaru dla ww. zanieczyszczeń.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Tabela 3-1 Bilas emisji z przemysłu dla domeny obliczeniowej w 2021 r.

Zanieczyszczenie	Tychy	Reszta domeny obliczeniowej	Suma
SO ₂ [Mg/rok]	839,25	2 686,25	3 525,5
NO ₂ [Mg/rok]	532,80	1 972,24	2 505,04
CO [Mg/rok]	656,63	233,67	890,3
PM10 [Mg/rok]	53,67	489,64	543,31
PM2,5 [Mg/rok]	33,995	292,81	326,81
NMLZO [Mg/rok]	814,57	454,47	1 269,04

Źródło: opracowanie własne na podstawie KOBIZE

Na terenie miasta Tychy największy ładunek emisji przemysłowej zanotowano dla dwutlenku siarki oraz NMLZO. Podczas, gdy emisja dwutlenku siarki związana jest głównie z procesami spalania, emisja NMLZO wynika w głównej mierze z procesów przemysłowych w tym związanych ze stosowaniem rozpuszczalników czy farb. Niewielkie ładunki emisji dotyczą zanieczyszczeń pyłowych. W przypadku pozostałego obszaru analizy największy ładunek emisji dotyczy dwutlenku siarki oraz dwutlenku azotu.

3.2. Emisja powierzchniowa

Najistotniejszym źródłem zanieczyszczeń zidentyfikowanym w ostatnich latach jest tzw. emisja niska związana z ogrzewaniem indywidualnym budynków mieszkalnych. Zastosowanie danego typu ogrzewania związane jest przeważnie z typem zabudowy i stopniem zurbanizowania terenu, tzn. zupełnie inaczej ogrzewane są budynki w zabudowie rozproszonej w obszarach podmiejskich czy wiejskich, gdzie dominuje ogrzewanie indywidualne, a inaczej w zabudowie zwartej czy wysokiej w rejonach śródmiejskich – częściej podłączane do sieci ciepłowniczej. Dlatego przy określaniu emisji najważniejsze jest wyróżnienie poszczególnych typów zabudowy oraz dowiązanie do nich odpowiedniego sposobu ogrzewania, ale również struktury paliw. Dla określenia sposobu ogrzewania w Tychach wykorzystano przekazaną przez Urząd Miejski informację o budynkach i sposobach ich ogrzewania, którą uaktualniono w oparciu o dane statystyczne. W przypadku pozostałych gmin wchodzących w obszar analiz informację o budynkach pozyskano z Open Street Map, a oprócz danych statystycznych wykorzystano dostępne publicznie dokumenty takiej jak plany (założenia do planów) zaopatrzenia w ciepło i paliwa gazowe czy studia kierunków i zagospodarowania przestrzennego. Podstawę do określenia bilansów emisji stanowiła mapa powierzchni ogrzewanych indywidualnie z uwzględnieniem sposobu ogrzewania i rodzaju paliwa, a obliczenia wykonano w oparciu o poniższe wskaźniki emisji.

Tabela 3-2 Wskaźniki emisji dla analizowanych podstawowych

[kg/rok/m ²]	Węgiel	Drewno	Gaz	Olej	Ekogroszek	Pelety	LPG
SO ₂	0,4140800	0,0680000	0	0,0570000	0,2981200	0,0052920	0,0017640
NO ₂	0,1509635	0,0600000	0,0320000	0,0650000	0,2180800	0,0325080	0,1058210

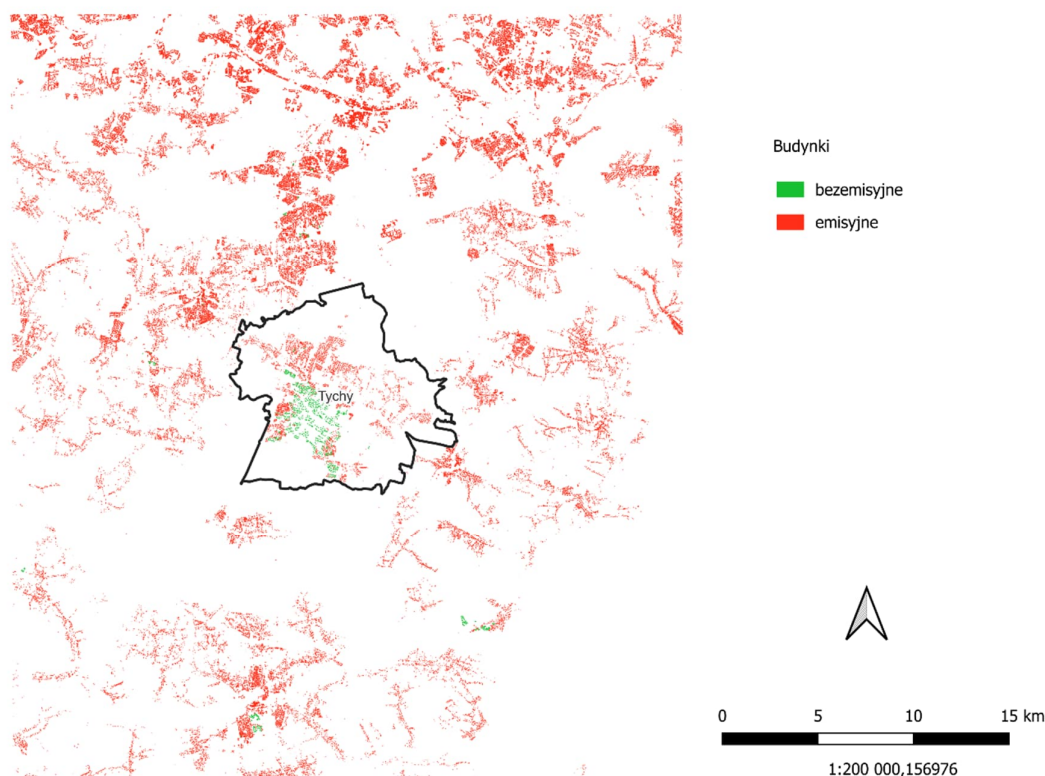
Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

[kg/rok/m2]	Węgiel	Drewno	Gaz	Olej	Ekogroszek	Pelety	LPG
CO	4,9216867	1,0000000	0,0197791	0,0295181	0,3124498	0,0337349	0,0650602
PM10	0,4890052	0,6500000	0,0001680	0,0162000	0,0373980	0,0036290	0,0004410
PM2,5	0,3667539	0,6296880	0,0001680	0,0162000	0,0355281	0,0035150	0,0004410
LZO	0,5793600	0,1472450	0,0025370	0,0027710	0,0000000	0,0164220	0,0035310
WWA	0,0003649	0,0013160	0	0,0000002	0,0002320	0	0
CO ₂	227,827	171,221	104,192	60,865	205,414	103,442	126,24

Źródło: opracowanie własne

Poniższa mapa przedstawia rozmieszczenie budynków na analizowanym obszarze ze wskazaniem sposobu ogrzewania. Budynki oznaczone kolorem czerwonym są to ogrzewane z wykorzystaniem indywidualnych źródeł grzewczych i dla nich zostały określone wielkości emisji.



Rysunek 3-5 Rozmieszczenie emitorów powierzchniowych w analizowanym obszarze

Następnie w oparciu o ww. rozmieszczenie budynków, do obliczeń modelowych stworzono katastry emisji o rozdzielczości 250 m dla miasta Tychy oraz 500 m dla obszarów pozostałych. Poniższa tabela przedstawia bilanse emisji wyznaczone w całym obszarze obliczeniowym.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Tabela 3-3 Bilans emisji z ogrzewania indywidualnego dla domeny obliczeniowej w 2021 r.

Zanieczyszczenie	Tychy	Reszta domeny obliczeniowej	Suma
SO ₂ [Mg/rok]	136,28	3 098,79	3 235,07
NO ₂ [Mg/rok]	83,55	1 337,51	1 421,07
CO [Mg/rok]	910,72	37 022,37	37 933,09
PM10 [Mg/rok]	148,54	6 595,00	6 743,54
PM2,5 [Mg/rok]	116,74	5 222,19	5 338,93
NMLZO [Mg/rok]	99,92	4 415,58	4 515,50
WWA [Mg/rok]	0,15	5,13	5,28
CO ₂ [Mg/rok]	87 500,67	2 290 530,80	2 378 031,47

Źródło: opracowanie własne

Zdecydowanie większy bilans emisji określono dla obszarów poza miastem Tychy, emisja w mieście jest nawet kilkadziesiąt razy niższa. Największe ładunki dotyczą dwutlenku węgla tlenku węgla oraz dwutlenku siarki i zanieczyszczeń pyłowych.

3.3. Emisja liniowa

Baza emisji z transportu określona została w oparciu o mapę sieci dróg, która zawiera informacje o klasie i kategorii drogi. W bazie wyróżniamy następujące klasy dróg:

- A - autostrady
- S - drogi ekspresowe
- GP - drogi główne ruchu przyspieszonego
- G - drogi główne
- Z - drogi zbiorcze
- L - drogi lokalne
- D - drogi dojazdowe
- I - (inna) nie znamy klasy drogi.

Kategorie drogi natomiast to: drogi krajowe, wojewódzkie, powiatowe, gminne i inne.

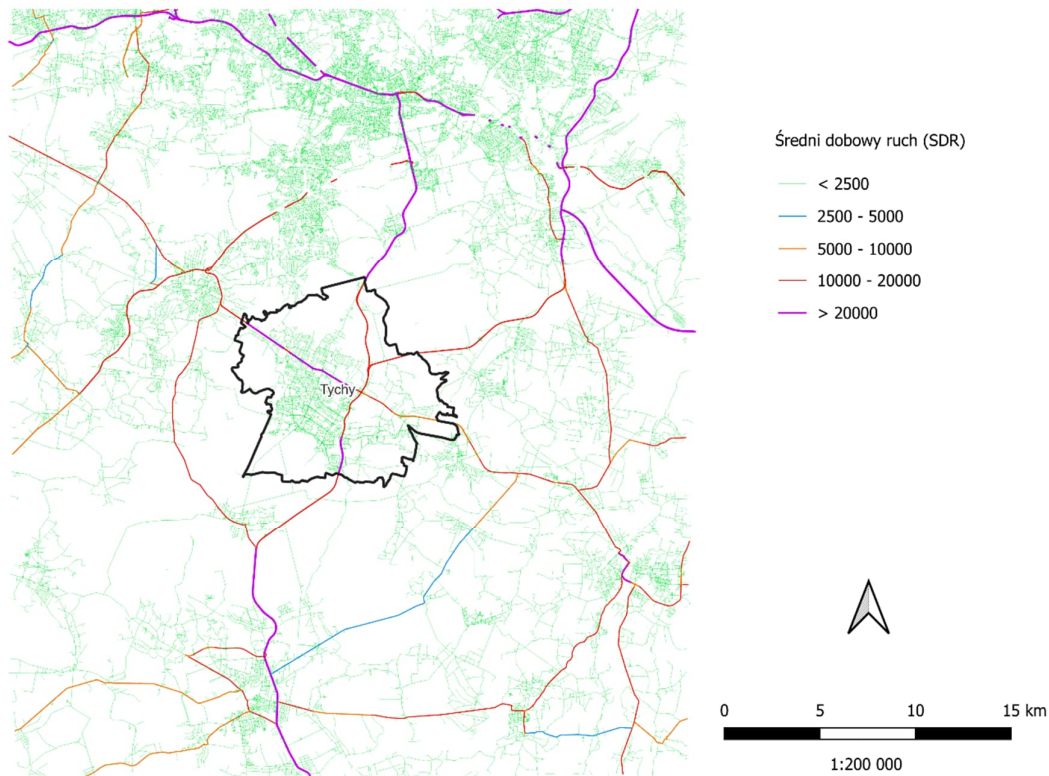
Główną informacją o aktywności na podstawie, której obliczana jest wielkość emisji są dane o natężeniu i strukturze ruchu. Dane takie mogą pochodzić z kilku źródeł. Podstawowym, ogólnodostępnym źródłem są „Generalny pomiar ruchu w 2020 r.” oraz „Pomiar ruchu na drogach wojewódzkich w 2020 roku”. Natomiast na obszarze miasta wykorzystano przede wszystkim dane z badania ruchu pochodzące z Projektu „Inteligentnego Systemu Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”. Dane te zaktualizowano do roku bazowego w oparciu o założenia do prognoz ruchu określone przez GDDKiA². Na odcinkach, na których nie były prowadzone pomiary ruchu, ilość pojazdów określono w oparciu o szacunki, z uwzględnieniem klasy drogi oraz strumieni ruchu na sąsiadujących drogach. Poniżej zaprezentowano

² <https://www.gov.pl/web/gddkia/zalozenia-do-prognoz-ruchu> (dostęp lipiec 2023)

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

rozmieszczenie emitorów drogowych branych pod uwagę w obliczeniach wraz z informacją o średnim dobowym ruchu wykorzystanym do obliczeń emisji.



Rysunek 3-6 Rozmieszczenie emitorów liniowych w analizowanym obszarze

Źródło: opracowanie własne

Dla określenia wielkości emisji bardzo ważne jest również określenie struktury pojazdów dla danego odcinka drogi, ponieważ od niej zależy wartość zastosowanego wskaźnika, przyjęta w modelu emisji prędkość czy waga pojazdu. Wyróżnia się następujące kategorie pojazdów: samochody osobowe (O), dostawcze (D), ciężarowe (C), Ciężarowe z przyczepą (CP) autobusy dalekobieżne (A) oraz miejskie (AM) a także motocykle (M).

Wielkość emisji komunikacyjnej z danego odcinka drogi określa się w oparciu o poniższy wzór:

$$E = S SDR_t \times W_t \times l_d, \text{ gdzie:}$$

SDR_t – wartość średniego dobowego ruchu dla poszczególnych kategorii pojazdów,

W_t – współczynniki dla poszczególnych typów emisji komunikacyjnej dla zależne od kategorii pojazdów,

l_d – długość drogi pokonana przez pojazd.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone."

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Przyjmuje się, że emisja z transportu jest wynikiem bezpośrednich emisji z w postaci spalin z silnika, emisji wtórnej ze zużycia hamulców i opon, a także ścierania nawierzchni jezdni (warstwy ścieralnej) oraz emisji z powtórnego zawieszenia (resuspensji) materiałów sypkich zalegających na nawierzchni drogi.

Przy określeniu wielkości emisji ze spalania w silniku wykorzystano wskaźniki przygotowane przez KOBIZE na potrzeby inwentaryzacji w ramach programów ochrony powietrza, a udostępnione przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska. W przypadku dwutlenku węgla skorzystano z zasobu wskaźników bazy COPERT. Wielkości wskaźników uzależnione są od kategorii oraz prędkości pojazdów wg poniższej tabeli.

Tabela 3-4 Wskaźniki emisji dla spalania w silniku

Kategoria	V [km/h]	SO ₂ [g/s]	NO _x [g/s]	CO [g/s]	PM ₁₀ [g/s]	PM _{2,5} [g/s]	NMLZO [g/s]	CO ₂ [g/s]
O	10	0,0031003	0,7106014	4,7462360	0,0524975	0,0424396	0,6049520	320,3891
	20	0,0024686	0,6051903	3,6271465	0,0487846	0,0387061	0,4656534	226,4234
	30	0,0021875	0,5351843	2,6335167	0,0446173	0,0344470	0,3372970	177,1846
	40	0,0020081	0,4843261	1,8269630	0,0394526	0,0296527	0,2300679	152,277
	50	0,0018436	0,4473439	1,2329206	0,0338504	0,0250077	0,1488046	139,4256
	60	0,0016961	0,4248610	0,8495623	0,0287717	0,0213370	0,0940360	132,2248
	70	0,0015998	0,4195086	0,6567182	0,0250761	0,0192308	0,0630170	128,1945
	80	0,0015837	0,4332386	0,6247944	0,0232223	0,0188494	0,0507652	127,1451
	90	0,0016516	0,4658391	0,7236929	0,0231688	0,0199078	0,0510969	129,8506
	100	0,0017801	0,5146500	0,9317300	0,0244765	0,0218391	0,0576634	137,0298
	110	0,0019355	0,5754811	1,2445561	0,0266126	0,0241378	0,0649873	148,6366
	120	0,0021077	0,6447309	1,6840748	0,0294552	0,0268830	0,0694986	163,4574
D	10	0,0024962	1,5223369	5,0943295	0,1298358	0,1149809	0,4285620	332,5779
	20	0,0021105	1,3406589	3,5493462	0,1055728	0,0900575	0,3547369	244,6463
	30	0,0017813	1,1700347	2,3806057	0,0872551	0,0719871	0,2736608	204,822
	40	0,0015228	1,0297224	1,5463933	0,0742903	0,0599890	0,1948221	185,8394
	50	0,0013434	0,9337115	1,0049945	0,0660863	0,0532824	0,1281423	175,3396
	60	0,0012458	0,8907228	0,7146948	0,0620509	0,0510865	0,0808509	169,494
	70	0,0012271	0,9042083	0,6337797	0,0615919	0,0526206	0,0556463	168,3053
	80	0,0012786	0,9723517	0,7205345	0,0641170	0,0571040	0,0501447	172,5866
	90	0,0013858	1,0880675	0,9332448	0,0690342	0,0637558	0,0576161	182,6173
	100	0,0015289	1,2390020	1,2301960	0,0757513	0,0717953	0,0690078	198,4767
	110	0,0016820	1,4075326	1,5696736	0,0836759	0,0804418	0,0762547	222,0553
	120	0,0018135	1,5707681	1,9099629	0,0922159	0,0889144	0,0768774	260,743
C+CP	10	0,0097810	11,550363	3,3111994	0,4088404	0,3655704	0,8321989	1466,311
	20	0,0068449	8,0927073	2,2373830	0,3067674	0,2632471	0,5083944	936,8021
	30	0,0055558	6,2618992	1,6398639	0,2498627	0,2060904	0,3431834	740,3999
	40	0,0050331	5,3474663	1,3325841	0,2168539	0,1746777	0,2663289	694,1297
	50	0,0047045	4,8517569	1,1784980	0,1933627	0,1553704	0,2278558	675,8513
	60	0,0043064	4,4899398	1,0895723	0,1719041	0,1403143	0,1980504	642,0245
	70	0,0038837	4,1900047	1,0267858	0,1518871	0,1274396	0,1674606	612,8798
	80	0,0037898	4,0927622	1,0001295	0,1396145	0,1204606	0,1468958	624,9937

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Kategoria	V [km/h]	SO ₂ [g/s]	NO _x [g/s]	CO [g/s]	PM10 [g/s]	PM2,5 [g/s]	NMLZO [g/s]	CO ₂ [g/s]
	90	0,0046866	4,5518433	1,0686067	0,1482826	0,1288758	0,1674267	651,2711
M	10	0,0009090	0,2115060	15,990890	0,0308360	0,0258418	2,8136594	225,0482
	20	0,0007163	0,1991012	11,856850	0,0308503	0,0258452	2,1615556	142,8797
	30	0,0006036	0,2014849	9,5380617	0,0309424	0,0258914	1,7100355	113,3974
	40	0,0005495	0,2157514	8,5041573	0,0305961	0,0257325	1,4120922	104,4661
	50	0,0005357	0,2392684	8,3491441	0,0296924	0,0253120	1,2287679	100,757
	60	0,0005474	0,2696770	8,7716300	0,0283631	0,0246935	1,1283307	97,33051
	70	0,0005729	0,3048919	9,5550541	0,0268671	0,0240004	1,0854527	94,58502
	80	0,0006039	0,3431010	10,547914	0,0254885	0,0233665	1,0803879	94,57204
	90	0,0006353	0,3827658	11,643998	0,0244568	0,0228980	1,0981496	98,67772
	100	0,0006653	0,4226212	12,762610	0,0238882	0,0226464	1,1276885	106,6707
	110	0,0006953	0,4616756	13,828800	0,0237501	0,0225923	1,1610700	117,1164
	120	0,0007301	0,4992109	14,753594	0,0238471	0,0226409	1,1926525	129,1571
A+AM	10	0,0112374	16,970172	5,0129326	0,5380137	0,4987108	1,2588460	1699,724
	20	0,0077111	10,833802	3,0918701	0,3716623	0,3327872	0,7480178	1267,829
	30	0,0062183	7,9102714	2,1562456	0,2925837	0,2525013	0,4940591	1048,578
	40	0,0055446	6,6693923	1,6894240	0,2476237	0,2092759	0,3772811	938,8886
	50	0,0050688	6,1076756	1,4334850	0,2149565	0,1812059	0,3225294	869,4412
	60	0,0045910	5,6889999	1,2781388	0,1884043	0,1605602	0,2892978	804,685
	70	0,0041611	5,2460481	1,1812731	0,1669685	0,1451616	0,2618428	742,8352
	80	0,0039075	4,8425066	1,1211324	0,1495742	0,1336475	0,2392976	715,8738
	90	0,0038652	4,5960269	1,0801277	0,1350264	0,1246077	0,2257861	789,5494

Wskaźniki emisji pyłowych ze ścierania opon i hamulców oraz warstwy ściernalnej jezdni są uzależnione od wielu czynników, wśród nich można wymienić wagę pojazdu, styl jazdy, ustawienia zbieżności kół, jakość i wiek opon, jakość i wiek drogi oraz czynniki pogodowe. Metodyka wyznaczania tego typu emisji z wyłączeniem resuspensji wcześniej naniesionego materiału określona została w opracowaniu „EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook”. Do obliczeń emisji w ramach niniejszego projektu zastosowano zestaw wskaźników uszczegółowionych, które w przypadku emisji z opon i hamulców uzależnione są od prędkości pojazdów.

Wskaźnik całkowity emisji ze ścierania (W) jest sumą poszczególnych wskaźników określonych dla ścierania opon, okładzin oraz nawierzchni jezdni w g/km wyznaczonych według wzoru:

$$W = W_{TSP} \times f \times S(V) \quad W = W_{TSP} \times f \times S(V), \text{ gdzie:}$$

W_{TSP} – wskaźnik emisji pyłu całkowitego ze ścierania wg typów pojazdów:

kategoria	wskaźnik W_{TSP} [g/km]						
	O	D	C	CP	A	AM	M
Ścieranie opon	0,0107	0,0169	0,02764	0,05528	0,02764	0,05528	0,0046
Ścieranie hamulców	0,0075	0,0117	0,03924	0,03924	0,03924	0,03924	0,0037

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

kategoria	wskaźnik W_{TSP} [g/km]						
	O	D	C	CP	A	AM	M
Ścieranie nawierzchni	0,0150	0,0150	0,07600	0,07600	0,07600	0,07600	0,006

f – współczynnik zawartości danej frakcji pyłu:

kategoria	PM10
Ścieranie opon	0,6
Ścieranie hamulców	0,98
Ścieranie nawierzchni	0,5

S(V) – współczynnik korekcyjny zależny od prędkości pojazdu, który dla prędkości pojazdu V_p w zakresie 40-90 km/h wyznaczony jest wg wzoru: $S(V) = V_1 \cdot V_p + V_2$, gdzie V_1 i V_2 to współczynniki korekcyjne:

kategoria	Współczynniki korekcyjne V_1 i V_2 gdy $40 \leq V_p \leq 90$		Współczynnik korekcyjny $S(V)$	
	V_1	V_2	$V_p < 40$	$V_p > 90$
Ścieranie opon	-0,00974	1,39	0,902	1,78
Ścieranie hamulców	-0,027	1,67	0,185	2,75
Ścieranie nawierzchni	0	0	0	1

Ostatnią składową emisji komunikacyjnej jest emisja pyłów z powtórnego zawieszenia (resuspensji) materiałów sypkich zalegających na nawierzchni drogi, dzieje się to wówczas, gdy równowaga pomiędzy depozycją materiału, a procesem jego usuwania z jezdni zostaje zaburzona. Może to mieć miejsce np. podczas stosowania materiałów sypkich do utrzymywania jezdni w okresie zimowym, nanoszenie na powierzchnię jezdni zabrudzeń w rejonie wykonywanych prac budowlanych czy depozycja materiału pochodzącego z erozji nieustabilizowanych obszarów w pobliżu dróg. Z wykonywanych na przestrzeni wielu lat analiz wynika, że w dużych miastach, przy drogach o dużym natężeniu ruchu emisja tego typu stanowi istotny odsetek stężeń, szczególnie zanieczyszczeń pyłowych większych frakcji (PM10). Utrzymanie równowagi pomiędzy depozycją, a procesem usuwania materiału z jezdni zależy od wielu czynników. Jako podstawowe podaje się średnią prędkość pojazdów podróżujących po drodze, średni dobowy ruch (SDR), liczbę jezdni, odsetek ciężkich pojazdów oraz obecność krawężników i kanalizacji burzowej.

Wskaźniki emisji pochodzącej z resuspensji materiału zalegającego na jezdni zostały opracowane przez United State Environmental Protection Agency (US-EPA) w ramach Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors – rozdział 13 „Źródła Różne” (Miscellaneous Sources) – podgrupa 13.2 „Wprowadzenie do Źródeł Emisji Pyłu Unoszonego” (Introduction to Fugitive Dust Sources) (US-EPA 2012) i jest opisany wzorem:

$$WE = k(sL)^{0,91}(W)^{1,02} \quad WE = k(sL)^{0,91}(W)^{1,02}, \text{ gdzie:}$$

WE – wskaźnik emisji pyłu o dowolnym rozmiarze cząstki, w g/km,

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

k – współczynnik zależny od wielkości cząstki, dla PM₁₀ $k = 0,62$ g/km/pojazd,

sL – „silt loading” - wskaźnik nanosu materiału o średnicy równej lub mniejszej 75 mikrometrów na powierzchnię jezdni w g/m²,

W – średnia waga pojazdu w tonach amerykańskich, wyznaczana dla danego odcinka drogi (emitora).

Według źródeł amerykańskich wskaźnik sL zmienia się w bardzo szerokich granicach: od 0,03 do 400 g/m². Na potrzebę niniejszego opracowania uzależniono wskaźnik sL oraz średnią masę pojazdu (W) od średniego dobowego ruchu (SDR) oraz od charakteru drogi.

Tabela 3-5 Przyjęte średnie wartości współczynnika sL oraz średnia waga (W) pojazdów w zależności od typu drogi oraz średniego dobowego ruchu

Wartość SDR	drogi lokalne i inne		drogi główne przelotowe	
	sL	W [Mg]	sL	W [Mg]
0-500	0,60	1,22	0,6	1,65
500-5000	0,20	1,92	0,12	5,89
5000-10000	0,06	3,01	0,04	6,93
>10000	0,03	5,89	0,02	8,01

Średnie emisje pyłu z zabrudzenia jezdni są odwrotnie proporcjonalne do wielkości opadu, dlatego roczny bilans emisji powinien być korygowany w oparciu sumę opadu. Jednak ze względu na zmienność tego parametru w przestrzeni możliwe jest to do wykonania dopiero na poziomie tworzenia pliku wejściowego do modelu dyspersji. Stopień redukcji emisji z zabrudzenia można wyznaczyć natomiast szacunkowo ze wzoru:

$$W_K = \left(1 - \frac{P}{4N}\right), \text{ gdzie:}$$

W_K – wskaźnik korygujący,

P – liczba dni z opadem o wysokości co najmniej 0.254 mm, w badanym okresie,

N – liczba dni w badanym okresie np. 365 (lub 366) dla roku.

W oparciu o ww. informacje, do obliczeń modelowych stworzono katastry emisji o rozdzielczości 250 m dla miasta Tychy oraz 500 m dla obszarów pozostałych. Poniższa tabela przedstawia bilanse emisji wyznaczone w całym obszarze obliczeniowym.

Tabela 3-6 Bilas emisji z transportu dla domeny obliczeniowej w 2021 r.

Zanieczyszczenie	Tychy	Reszta domeny obliczeniowej	Suma
SO ₂ [Mg/rok]	1,11	11	12,11
NO ₂ [Mg/rok]	487	5 211	5 698

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Zanieczyszczenie	Tychy	Reszta domeny obliczeniowej	Suma
CO [Mg/rok]	331	3 438	3 769
PM10 [Mg/rok]:	185	1 909	2 094
spalanie	9,73	102	111,73
ścieranie	34,1	352	386,1
unos	141	1 455	1 596
PM2,5 [Mg/rok]:	62,6	645	707,6
spalanie	9,73	102	111,73
ścieranie	18,7	191	209,7
unos	34,1	352	386,1
NMLZO [Mg/rok]	16,8	196	212,8
WWA [Mg/rok]	3,68	42,7	46,38
CO ₂ [Mg/rok]	220 349	2 183 744	2 404 093

Źródło: opracowanie własne

Obszar poza miastem odznacza się znacznie większą emisją, przy czym zdecydowanie największy bilans określono dla dwutlenku węgla. Istotna emisja dotyczy również dwutlenku azotu oraz tlenku węgla. W przypadku zanieczyszczeń pyłowych najistotniejszy udział jest związany z emisją z unosu.

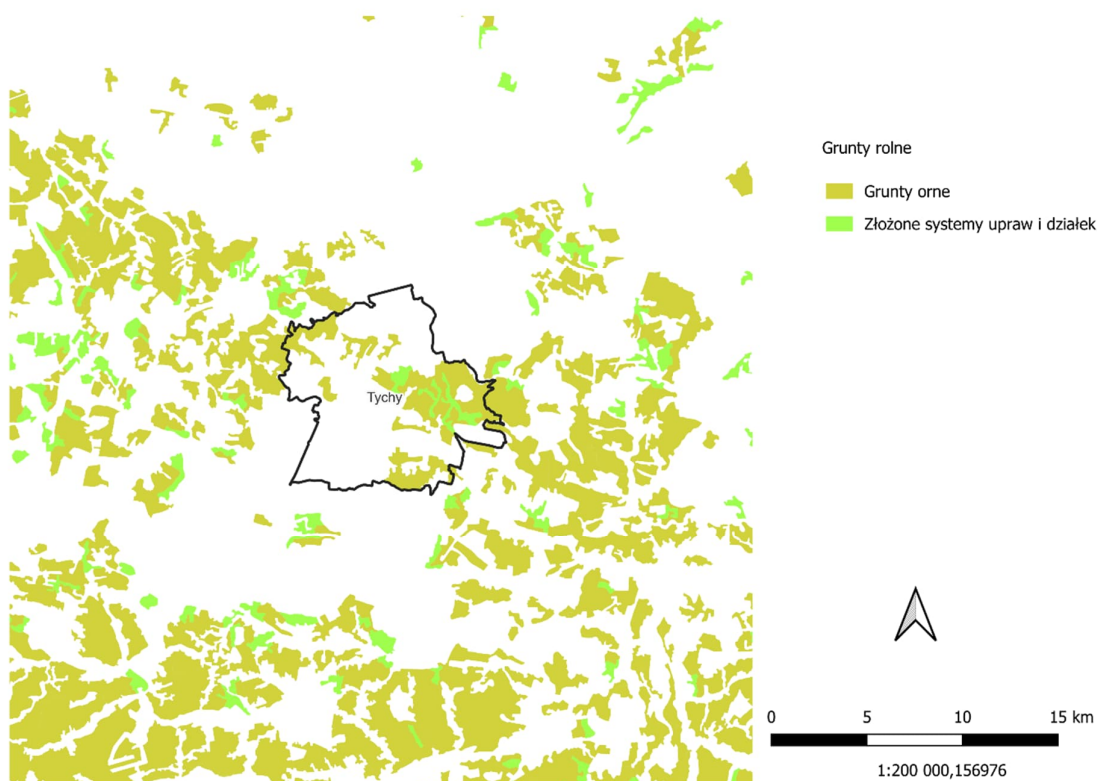
3.4. Emisja z rolnictwa

Podstawą do wyznaczenia emisji z działalności rolniczej jest głównie mapa użytkowania terenu pochodząca z projektu z CORINE Land Cover, informacja o rozmieszczeniu małych miejscowości oraz dane ze spisów rolnych GUS. Na tej podstawie wyznaczono obszary aktywne rolniczo, do których przywiązano wyznaczoną w oparciu o wskaźniki pochodzące z „EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook” emisję. Jako bazy aktywności służące do wyznaczenia emisji wykorzystano:

- dla emisji pochodzącej upraw polowych w tym z nawożenia sztucznego (m.in. PM10 oraz PM2,5) powierzchnię użytków rolnych,
- dla emisji pochodzącej z maszyn rolniczych (m.in. PM10 oraz PM2,5, ale także SO₂, NO_x, CO) ilości pojazdów rolniczych w każdej gminie (wielkości emisji dowiązano do powierzchni użytków rolnych).

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 3-7 Rozmieszczenie użytków rolnych w analizowanym obszarze

Źródło: opracowanie własne

W oparciu o ww. informacje, do obliczeń modelowych stworzono katastry emisji o oczku 500 m bez obszarów miejskich. Poniższa tabela przedstawia bilanse emisji wyznaczone w całym obszarze obliczeniowym.

Tabela 3-7 Bilas emisji z rolnictwa dla domeny obliczeniowej w 2021 r.

Zanieczyszczenie	Maszyny rolnicze	Uprawy	Suma
NO ₂ [Mg/rok]	183,85	85,67	269,51
CO [Mg/rok]	61,19		61,19
PM10 [Mg/rok]:	10,21	54,75	64,96
PM2,5 [Mg/rok]:	10,21	2,11	12,31
NMLZO [Mg/rok]	18,90	30,18	49,08
CO ₂ [Mg/rok]	16 860,18		16 860,18

Źródło: opracowanie własne

Biorąc pod uwagę ogół emisji, emisja z rolnictwa stanowi niewielki odsetek, co wskazuje, że jej udział w stężeniach jest niewielki. Największy bilans określono dla dwutlenku węgla i azotu, przy czym jest to emisja związana ze spalaniem paliw w silnikach maszyn rolniczych.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

4. Analiza podstawowych elementów i zjawisk meteorologicznych na badanym obszarze w 2021 roku

Analizę podstawowych elementów i zjawisk meteorologicznych wykonano dla pól meteorologicznych uzyskanych za pomocą modeli WRF/CALMET dla roku 2021. Omówiono rozkłady prędkości i kierunku wiatru, temperatury, opadów atmosferycznych, wilgotności względnej, klas równowagi atmosfery i wysokości warstwy inwersji, czyli parametrów, które mają istotny wpływ na dynamikę procesów zachodzących w atmosferze, a co za tym idzie na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w powietrzu. Poza ogólną charakterystyką warunków meteorologicznych całego miasta wzięto również pod uwagę ewentualne różnice w obrębie skrzyżowań, na których wdrożono system ITS.

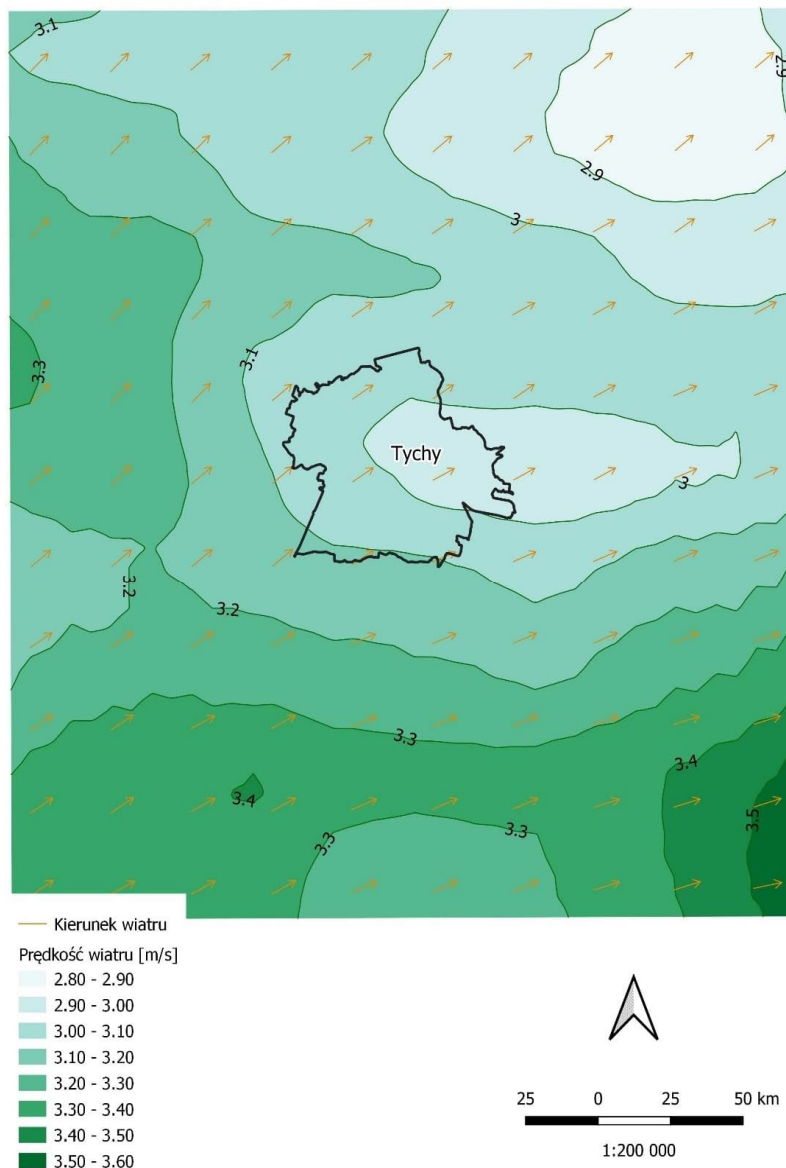
4.1. Prędkość i kierunek wiatru

Jednym z istotniejszych parametrów mających bardzo duży wpływ na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń są prędkość oraz kierunek wiatru. Cisze wiatrowe i małe prędkości wiatru pogarszają poziomą wentylację powietrza, co przyczynia się do wzrostu stężeń. Wzrost ten ma jednak charakter lokalny. Wraz ze wzrostem prędkości wiatru zanieczyszczenia przemieszczają się w kierunku zgodnym z kierunkiem wiatru. Z drugiej strony układ pola wiatru kształtowany jest również przez lokalne warunki terenowe takie jak np. ukształtowanie terenu, czy obecność przeszkód, w tym kształt zabudowy. Występowanie gęstej zabudowy sprzyja kumulacji zanieczyszczeń, szczególnie zanieczyszczeń związanych z transportem. Wynika to z charakteru emisji komunikacyjnej – nisko usytuowane emitory (pojazdy mechaniczne), w dużej ilości, często emitujące duży ładunek zanieczyszczeń.

Z modelu meteorologicznego otrzymuje się trójwymiarowe pola zawierające informacje o zmiennym w czasie wektorze prędkości wiatru, jednak należy pamiętać, że w stosunku do pomiarów lokalnych mają one charakter bardziej ogólny.

Na całym badanym obszarze w 2021 roku średnia roczna prędkość wiatru była bardzo zbliżona i wahała się w granicach od 2,8 m/s w północno-wschodniej części do 3,6 m/s w części południowo-wschodniej tego obszaru. Przy czym na terenie miasta średnie prędkości wiatru wynosiły około 3,0 m/s. Na całym analizowanym obszarze dominował wiatr z kierunku zachodniego.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 4-1 Przestrzenny rozkład średnich rocznych wartości prędkości wiatru oraz przeważającego kierunku w 2021 r.

Źródło: opracowanie własne

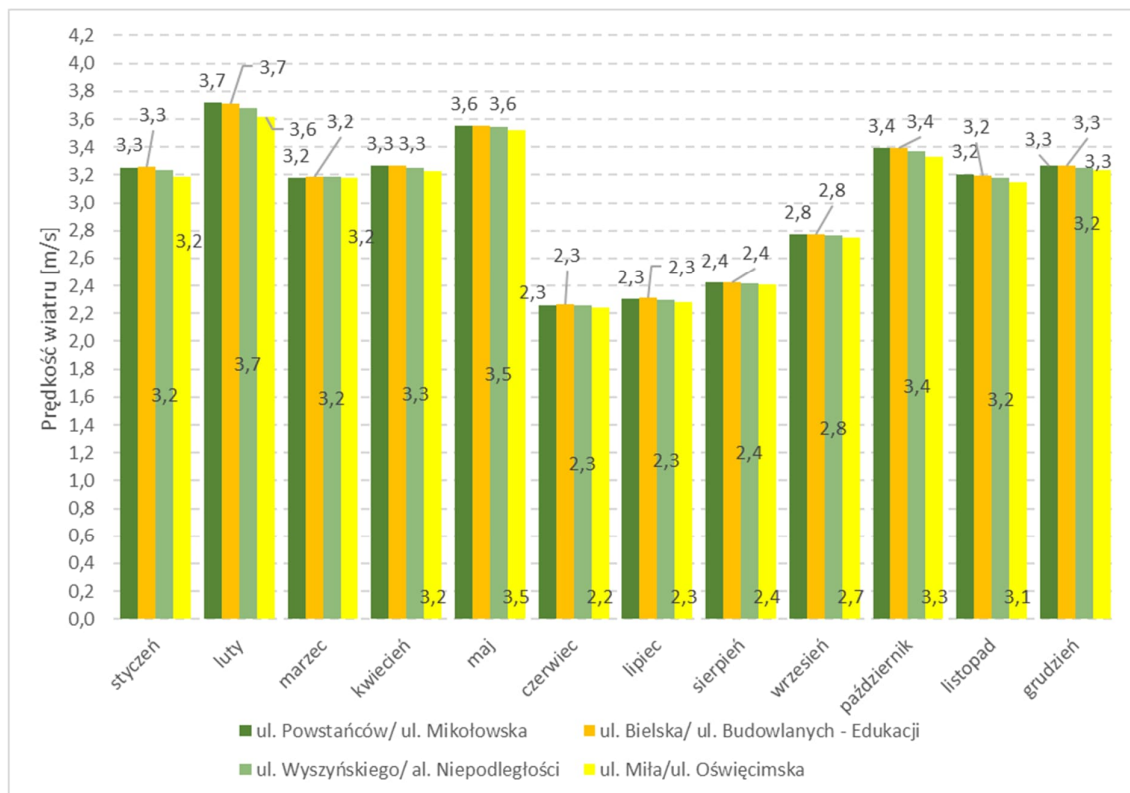
Biorąc pod uwagę przebiegi średnich miesięcznych prędkości wiatru w okolicach poszczególnych skrzyżowań, można stwierdzić nieznaczne różnice między nimi (rzędu 0,1 m/s), przy czym okolice skrzyżowania ul. Powstańców i Mikołowskie oraz ul. Wyszyńskiego i al. Niepodległości charakteryzują się nieznacznie lepszym przewietrzaniem.

Generalnie wyższe prędkości wiatru charakteryzowały okres jesienno-zimowy (październik-grudzień – ze średnią prędkością wiatru około 3,3 m/s). Najwyższe średnie

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

prędkości wiatru w skali roku notowano w lutym i maju (około 3,6 m/s), natomiast najniższe charakteryzowały okres letni (czerwiec-sierpień), przyjmując wartości 2,3-2,4 m/s, czyli znacznie poniżej średniej (3,0 m/s).

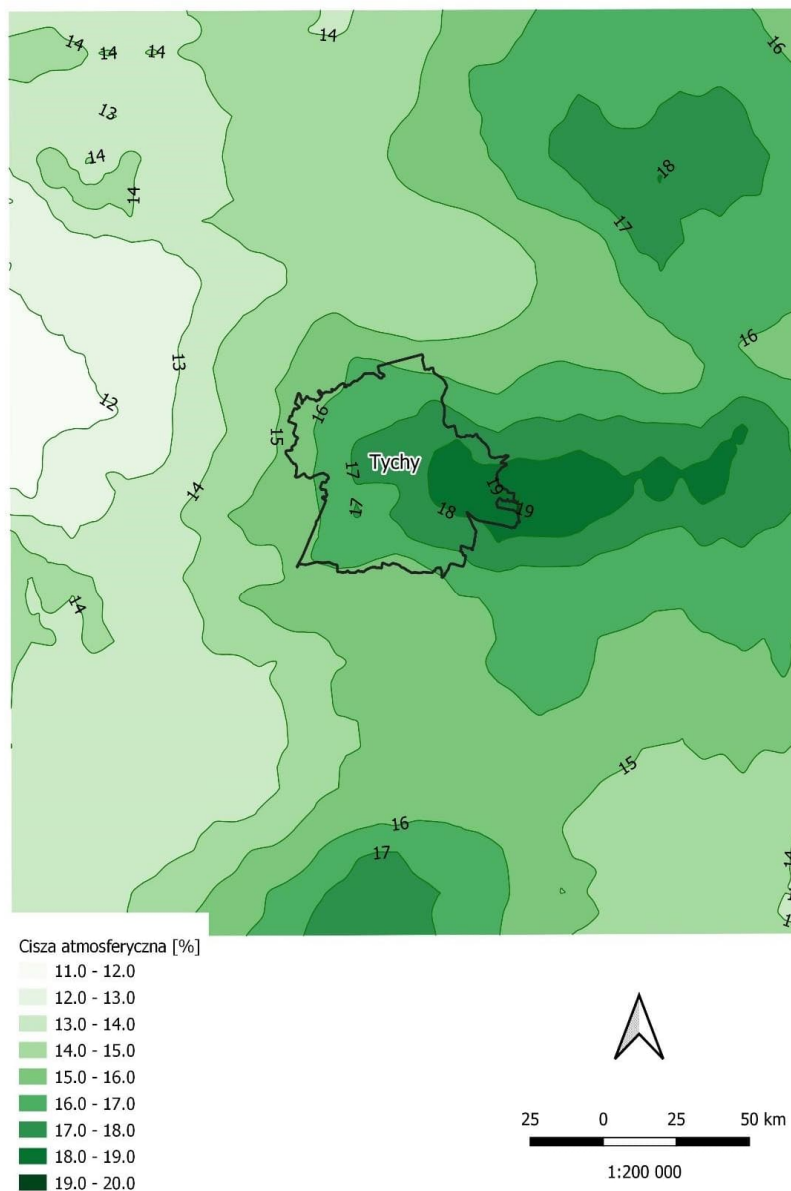


Rysunek 4-2 Przebieg średnich miesięcznych wartości prędkości wiatru w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

Źródło: opracowanie własne

Rozkład przestrzenny częstości występowania bardzo słabych wiatrów i ciszy atmosferycznych, czyli sytuacji z wiatrem o prędkości poniżej 1,5 m/s, wskazuje największy ich udział w środkowo-wschodniej części analizowanego obszaru (wschodnia część miasta Tychy). Wskaźnik częstości występowania bardzo słabych wiatrów na tym terenie wynosił od 18 – 20% godzin w ciągu 2021 roku. Na terenie miasta Tychy współczynnik udziału ciszy atmosferycznych w 2021 r. wyniósł 17,5%.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 4-3 Przemysłowy rozkład częstości występowania bardzo słabych wiatrów oraz cisz atmosferycznych ($v < 1,5$ m/s) w 2021 r.

Źródło: opracowanie własne

Do szczegółowej analizy w skali roku przyjęto następującą klasyfikację³ prędkości wiatru:

- 0 - 1,5 m/s – cisza i bardzo słaby wiatr,

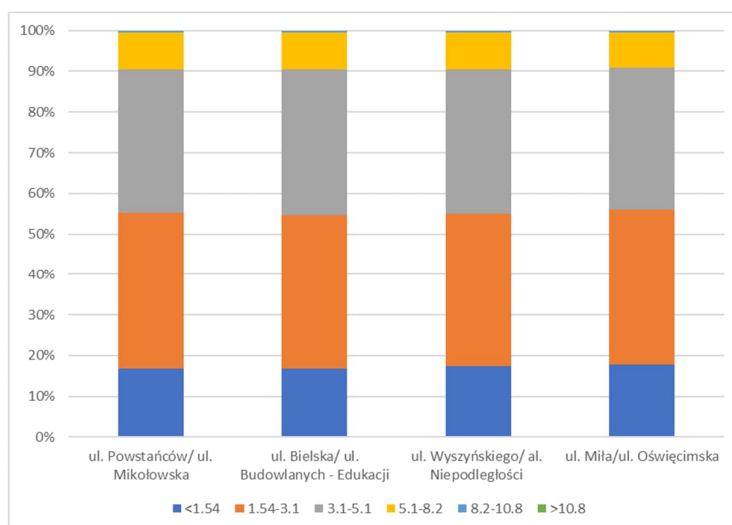
³ Klasy wiatru określone na podstawie ustawień modelu CALPUFF

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone."

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

- 1,5 – 3,1 m/s – słaby wiatr,
- 3,1 – 5,1 m/s – łagodny wiatr,
- 5,1 – 8,2 m/s – umiarkowany wiatr,
- 8,2 – 10,4 m/s – dość silny wiatr,
- >10,4 m/s – silny wiatr.

W okolicy omawianych skrzyżowań w 2021 roku najczęściej występowały wiatry o prędkościach z zakresów 1,5 – 3,1 m/s (średnio ok. 38%) określane, jako słaby wiatr. Z podobną częstotliwością występował tzw. łagodny wiatr (3,1 – 5,1 m/s), który wiał średnio z częstością 35%. Z kolei umiarkowany wiatr (5,1 - 8,2 m/s) występował dla ok. 9% przypadków w 2021 roku, natomiast cisze i bardzo słaby wiatr w ok. 17% przypadków. Niewielki udział – ok. 0,5% miały wiatry o wysokich prędkościach 8,2 – 10,4 m/s określane jako dość silny wiatr. Z kolei wiatr silny o prędkościach powyżej 10,8 m/s w rejonie analizowanych skrzyżowań nie występował w 2021 r.



Rysunek 4-4 Procentowy rozkład występowania prędkości wiatru [m/s] w określonych przedziałach w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

Biorąc pod uwagę wpływ prędkości wiatru na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń na badanym terenie, można stwierdzić, iż charakteryzuje się on małą zmiennością warunków wietrznych, z przewagą wiatrów słabych, co generalnie nie ułatwia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

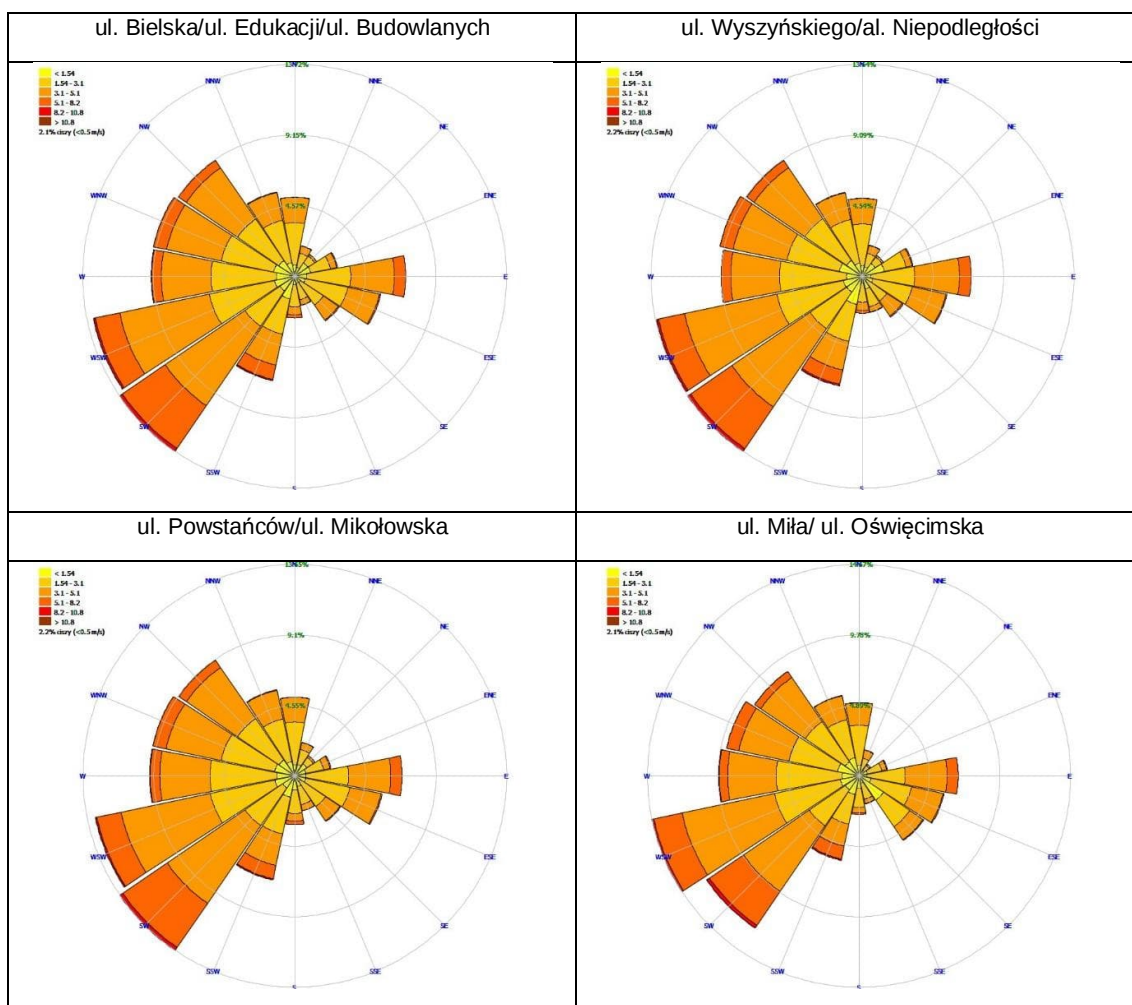
Dla wybranych pól siatki meteorologicznej obejmujących lokalizację omawianych skrzyżowań, przeprowadzono dodatkową analizę z wykorzystaniem róż wiatrów w podziale na rok oraz sezony letni i zimowy.

Niezależnie od analizowanego okresu zdecydowanie dominujące są wiatry z sektora zachodniego. Z tego sektora można było się również spodziewać wiatrów o wyższych prędkościach. Najmniejsza frekwencja dotyczy wiatrów z sektora południowego i północnowschodniego. Różnice w kształcie rocznych róż pomiędzy analizowanymi

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

skrzyżowaniami jest niewielka. Podczas gdy skrzyżowania ul. Bielska/ul. Edukacji/ul. Budowlanych oraz ul. Powstańców/ul. Mikołowska są praktycznie takie same, w przypadku skrzyżowania ul. Wyszyńskiego/al. Niepodległości w stosunku do pozostałych skrzyżowań wyraźnie mniejszy jest udział wiatrów z sektora południowego, a w przypadku skrzyżowania ul. Miła/ ul. Oświęcimska – południowo zachodniego, natomiast zwiększył się udział sektora południowo - wschodniego.

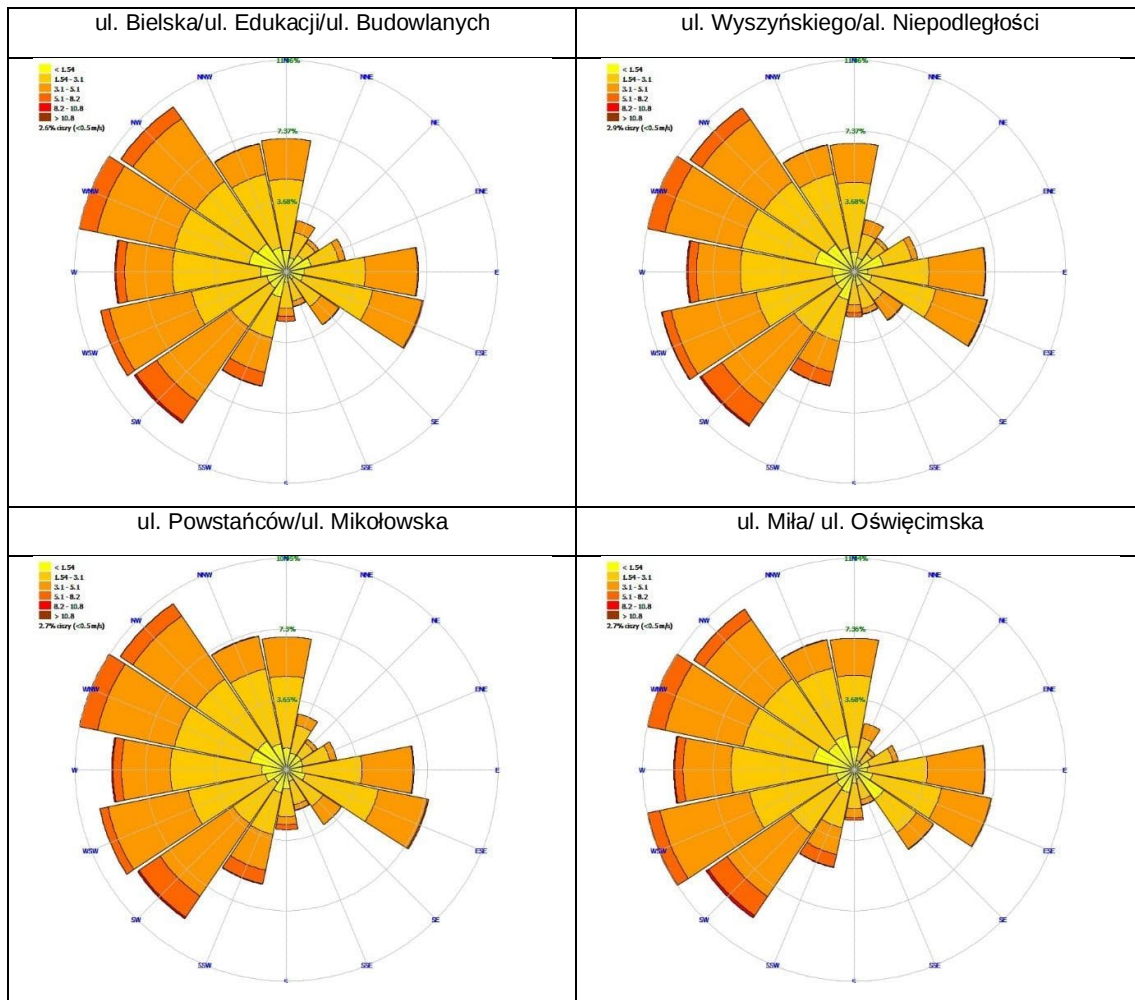


Rysunek 4-5 Roczne róże wiatru w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „**Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach**”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

W okresie letnim, w rejonie wszystkich omawianych skrzyżowań, obserwowana jest większa różnorodność kierunków wiatrów, ze wzrostem udziału sektora północnego. Dodatkowo notowane średnie prędkości są niższe niż zimą, większy udział cisz (2,7%), co może wskazywać na częstsze występowanie warunków stabilnych niekorzystnych dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

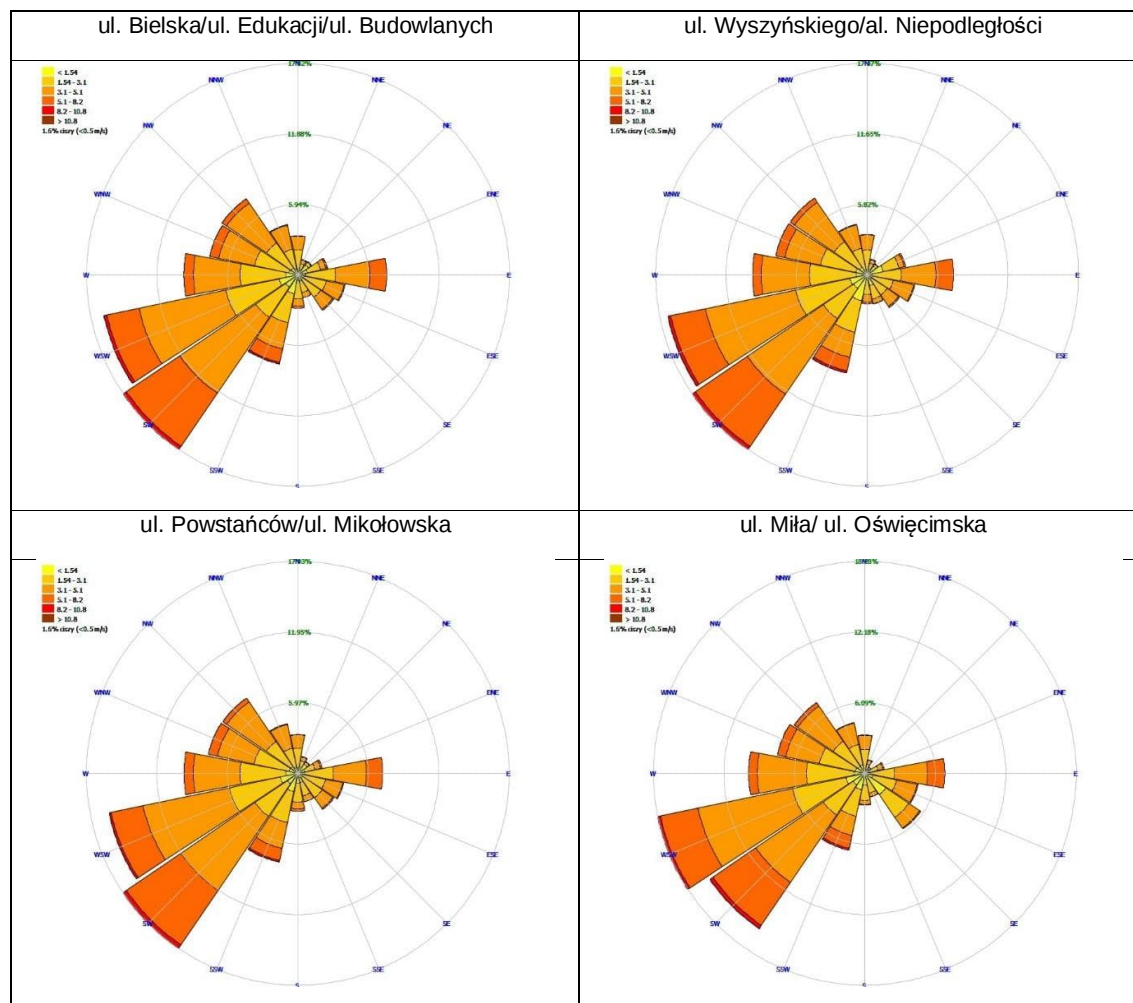


Rysunek 4-6 Różnice wiatru dla sezonu letniego w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone."

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

W okresie zimowym zdecydowanie dominującym kierunkiem wiatrów jest sektor zachodni z najczęstszym wiatrem południowo-zachodnim, dla którego notowane są najwyższe prędkości. Wyraźnie zaznacza się również udział wiatrów z sektora wschodniego.



Rysunek 4-7 Róże wiatru dla sezonu zimowego w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

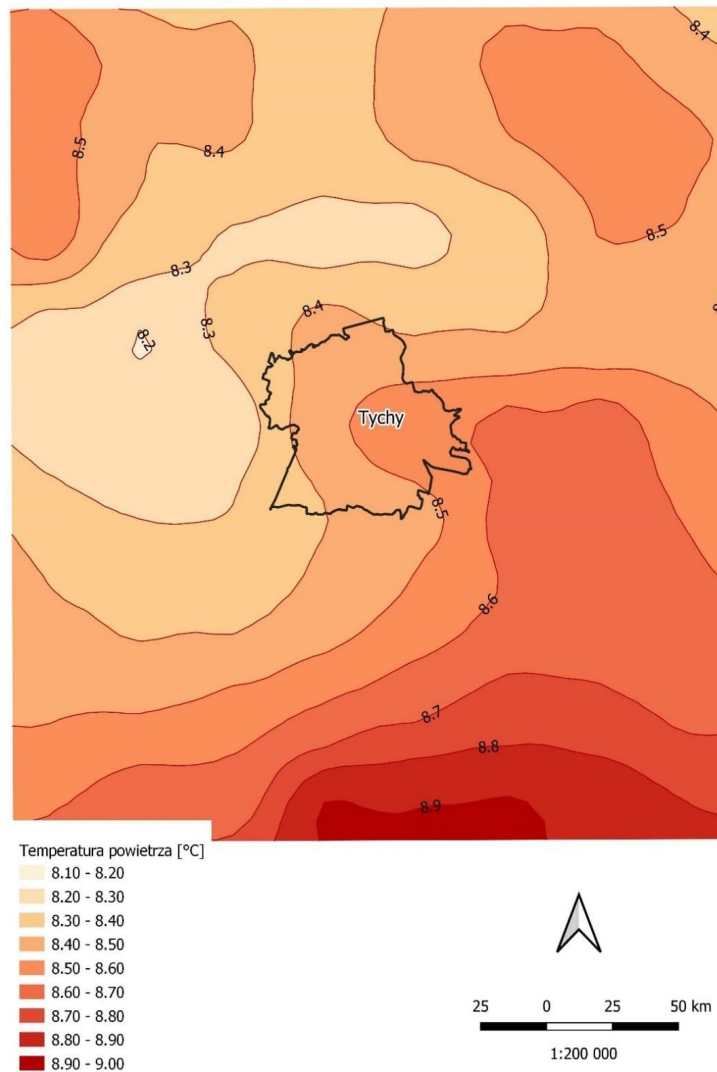
4.2. Temperatura powietrza

Temperatura wpływa pośrednio, na jakość powietrza np. podczas letnich upałów, na skutek zmniejszenia pionowego gradientu, może utrudniać dyspersję zanieczyszczeń. Zimą w pośredni wpływa na emisję z indywidualnych systemów grzewczych.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Wg Biuletynu monitoringu klimatu Polski⁴, rok 2021 pod względem termicznym był rokiem normalnym, ostatnim takim był rok 2008. Średnia roczna temperatura powietrza w roku 2021 dla analizowanego obszaru rozkładała się pasmowo, ale jej zróżnicowanie było nieznaczne - wahała się od około 8,1°C w centralno-zachodniej części do około 9,0°C w południowej jego części. W Tychach średnia roczna temperatura powietrza wyniosła ok. 8,5°C.



Rysunek 4-8 Przestrzenny rozkład średnich rocznych wartości temperatury powietrza w 2021 r.

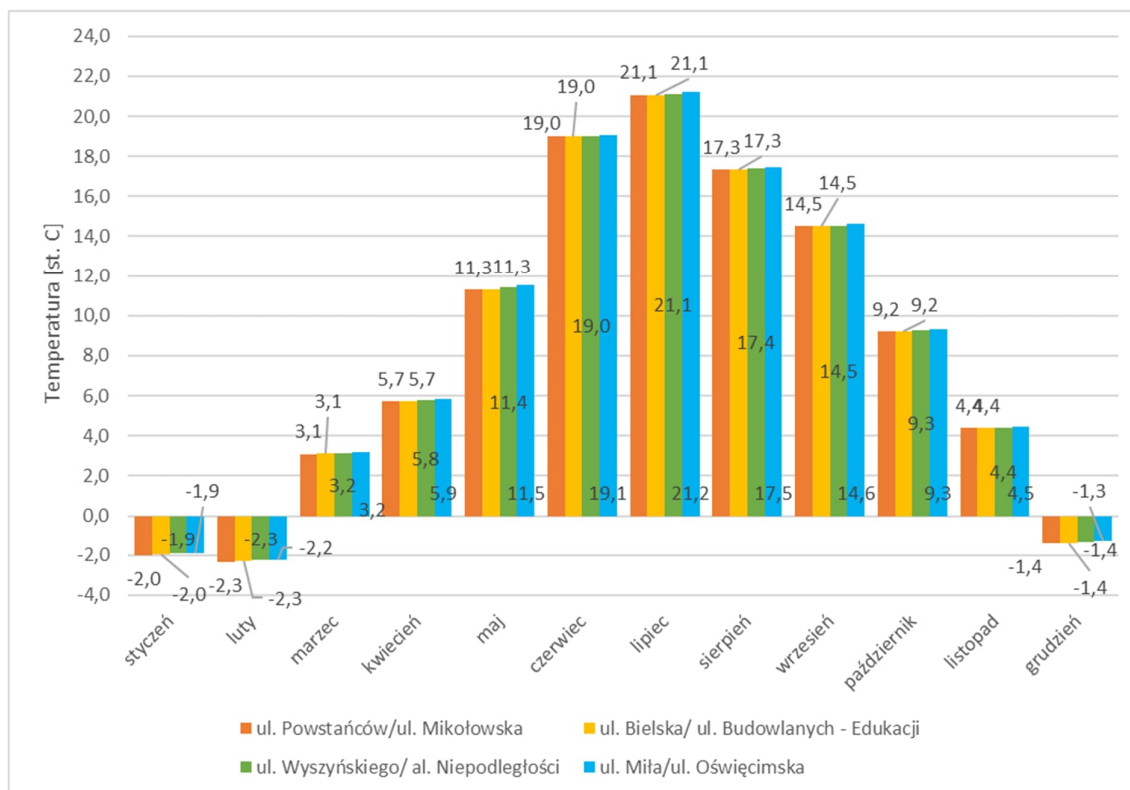
Analiza średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza wskazuje, że najchłodniejszymi miesiącami w 2021 roku był styczeń, luty i grudzień ze średnią miesięczną

⁴ Biuletyn monitoringu klimatu Polski, rok 2022, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, ISSN 2391-6362

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

temperaturą poniżej 0°C – średnio ok. -2°C w styczniu i lutym oraz -1,4°C w grudniu. Najcieplejszym miesiącem 2021 roku był lipiec, gdy średnia temperatura wyniosła ok. 21°C. Dość chłodne były miesiące wiosenne – marzec ze średnią temperaturą ok. 3°C, kwiecień – ok. 5,7°C i maj – ok. 11,4°C, a także sierpień (ok. 17,4°C). Również w przypadku temperatury zróżnicowanie pomiędzy analizowanymi obszarami nie jest duże (rzędu 0,2°C), przy czym cieplejszy jest rejon skrzyżowania ul. Miłej i ul. Oświęcimskiej.



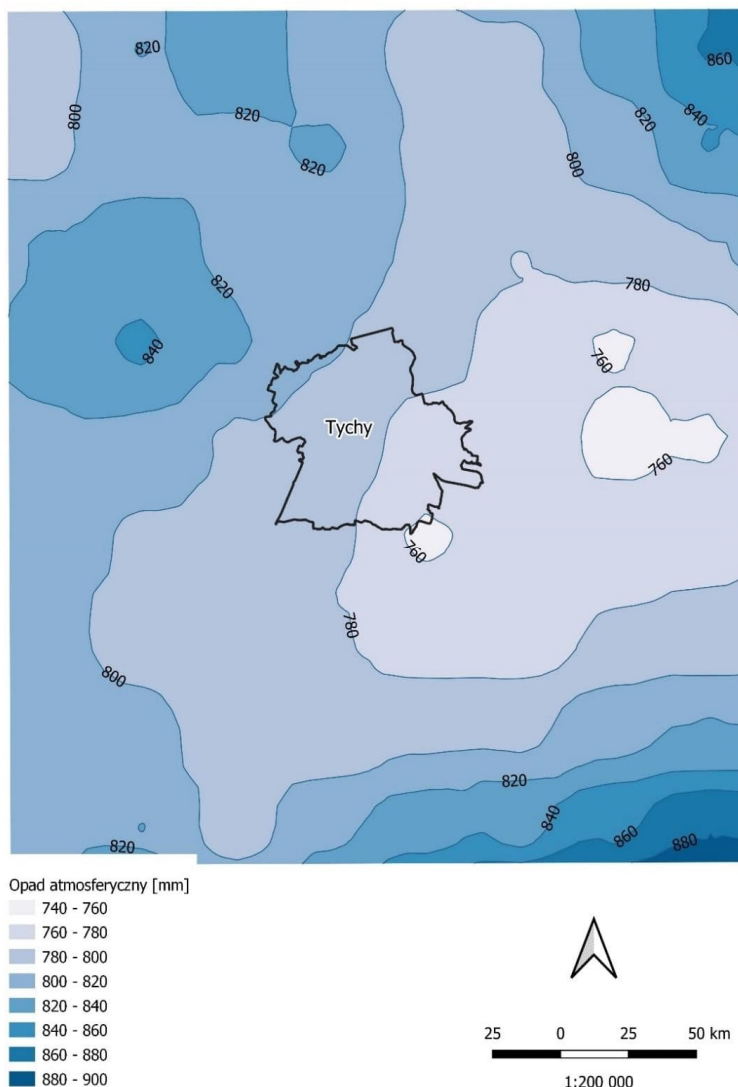
Rysunek 4-9 Przebieg średniej miesięcznej wartości temperatury powietrza w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

4.3. Opady atmosferyczne

Rok 2021 pod kątem sumy opadów atmosferycznych, nie odbiegał zbytnio od średniej wieloletniej. Przestrzenny jej rozkład na analizowanym obszarze pokazuje wartości w przedziale od około 740 mm w centralno - wschodniej jego części do ponad 880 mm w części południowo-wschodniej. W Tychach roczna suma opadów wyniosła około 790 mm.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

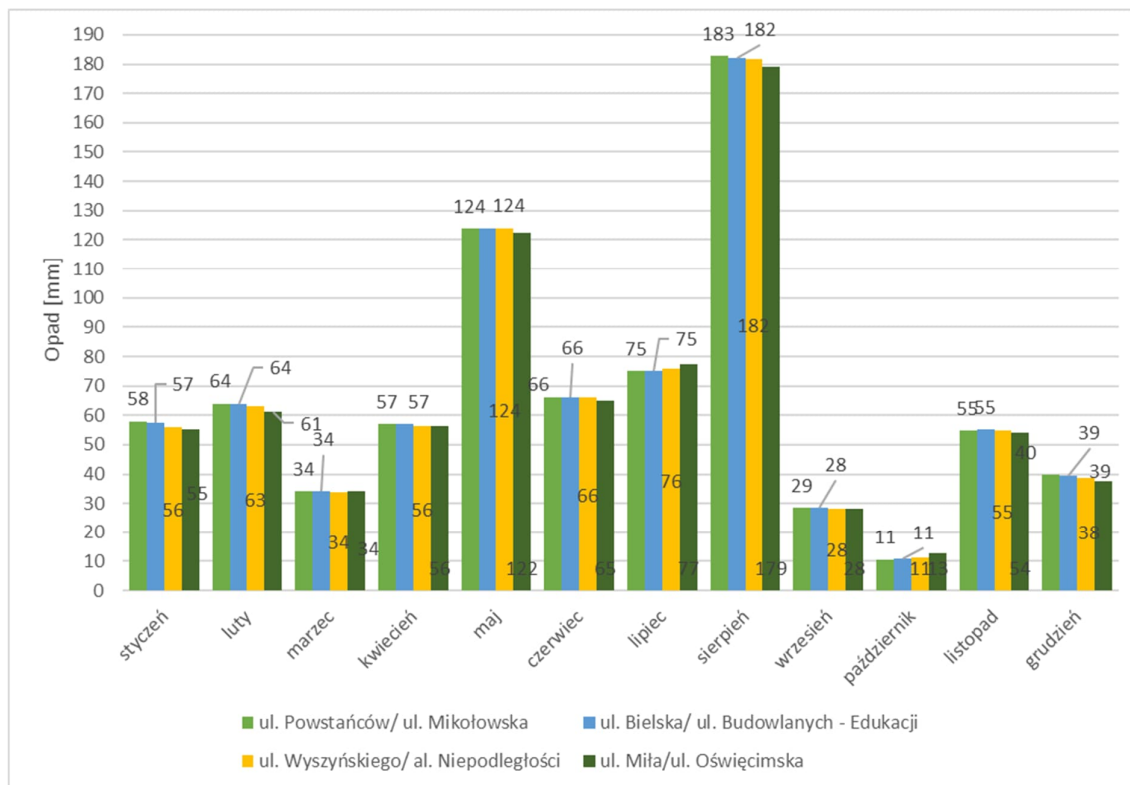


Rysunek 4-10 Rozkład rocznej sumy opadów atmosferycznych w 2021 r.

Na podstawie danych z modelu CALMET dla okolic omawianych skrzyżowań określono miesięczne sumy opadów. Zdecydowanie najbardziej deszczowym miesiącem w roku 2021 był sierpień ze średnią sumą ponad 179-183 mm. Wysokie sumy opadów notowano również w maju, wówczas średnia suma opadów atmosferycznych wyniosła ok. 124 mm. W okresie jesiennym (wrzesień-październik) wysokość opadów znacznie spadła. Najniższe sumy zanotowano wówczas w październiku – ok. 11-13 mm. Bardzo suchy był również marzec ze średnią sumą ok. 34 mm. W analizowanych obszarach obserwuje się nieznaczne różnice w wysokości opadu rzędu kilku mm, które najbardziej wyraźne są latem. Najniższe opady charakteryzują rejon skrzyżowania ul. Miłej i ul. Oświęcimskiej.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

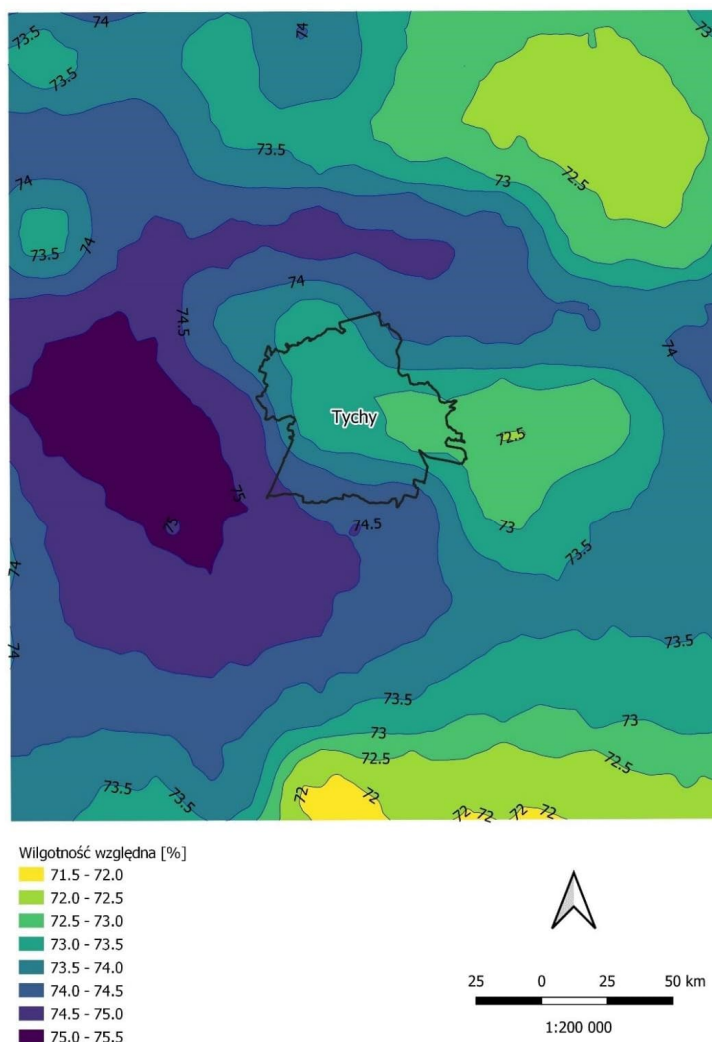


Rysunek 4-11 Przebieg miesięcznych sum opadów atmosferycznych [mm] w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

4.4. Wilgotność względna powietrza

Przestrzenny rozkład średniej rocznej wilgotności względnej powietrza w 2021 roku wskazuje na niewielką zmienność parametru w przedziale od 71,5% we wschodniej części obszaru analizy do 75,5% na zachód od miasta Tychy. W Tychach wilgotność względna w 2021 r. wynosiła ok. 73,5%.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

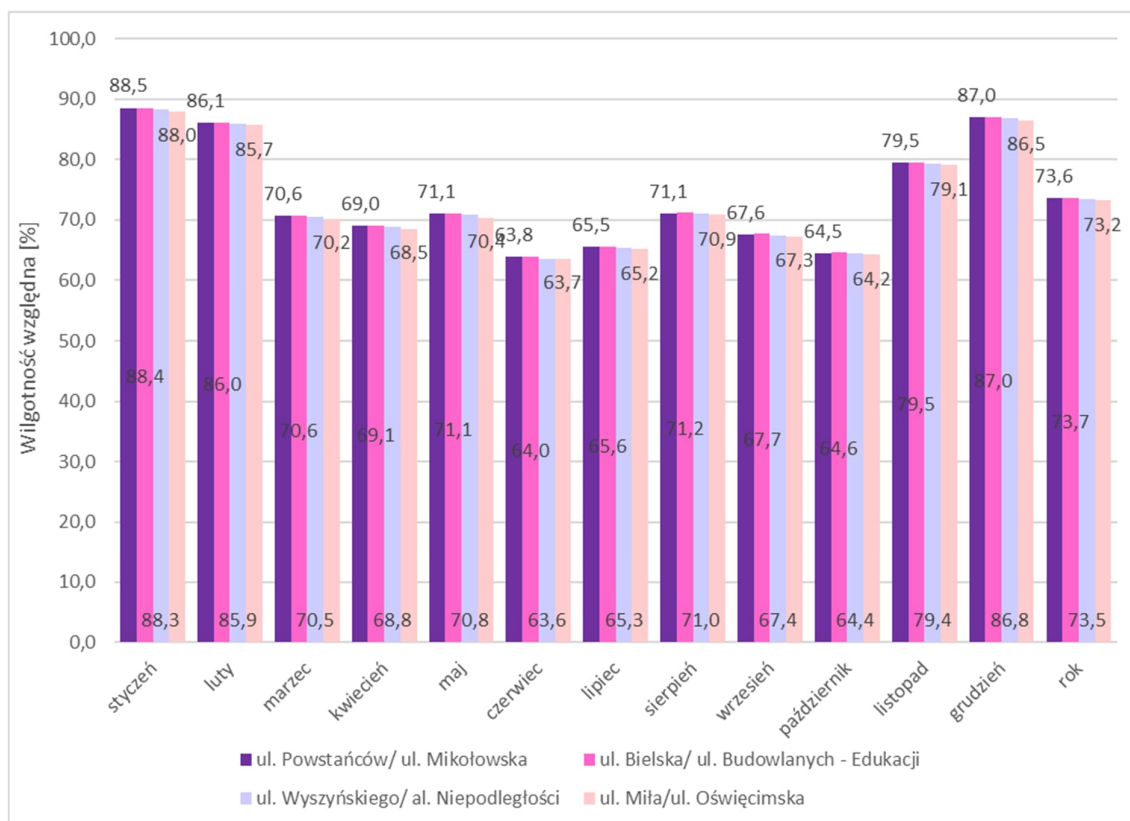


Rysunek 4-12 Przestrzenny rozkład średniej rocznej wartości wilgotności względnej powietrza w 2021 r.

Najniższą wilgotnością względną charakteryzował się okres od marca do października 2021 r., w okolicach omawianych skrzyżowań wynosiła ona od 71% do 64%. Najwyższa wilgotność względna występowała w okresie jesienno-zimowym: styczeń - luty i listopad-grudzień (średnio od 88% do 80%) z maksymalną wartością w styczniu – 88%. Wilgotność względna nie jest znacznie zróżnicowana pomiędzy analizowanymi obszarami obserwuje się nieznaczne różnice (nieprzekraczające 1%). Najniższa wilgotność charakteryzuje rejon skrzyżowania ul. Miłej i ul. Oświęcimskiej.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 4-13 Przebieg średnich miesięcznych wartości wilgotności względnej powietrza [%] w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

4.5. Miąższość warstwy mieszania

Warstwa mieszana to objętość atmosfery, w której substancje zanieczyszczające ulegają rozprzestrzenianiu. Niewielka miąższość warstwy mieszania wiąże się z niskim położeniem warstwy inwersyjnej atmosfery, co skutkuje utrudnieniem w dyspersji zanieczyszczeń, szczególnie tych pochodzących ze źródeł charakteryzujących się niską wysokością wyrzutu. Iloczyn miąższości warstwy mieszania (hgt m) i prędkości wiatru (V m/s) stanowi z kolei współczynnik przewietrzania ($VI \text{ m}^2/\text{s}$), czyli mówi o potencjale dyspersji zanieczyszczeń w danym okresie. Przy wyższych prędkościach wiatru i większej miąższości warstwy mieszania zanieczyszczania łatwo się rozpraszają i mają mniejszy wpływ na jakość powietrza w danym obszarze. Współczynnik ten jest klasyfikowany zgodnie z poniższą tabelą.

Tabela 4-1 Klasyfikacja współczynnika przewietrzania

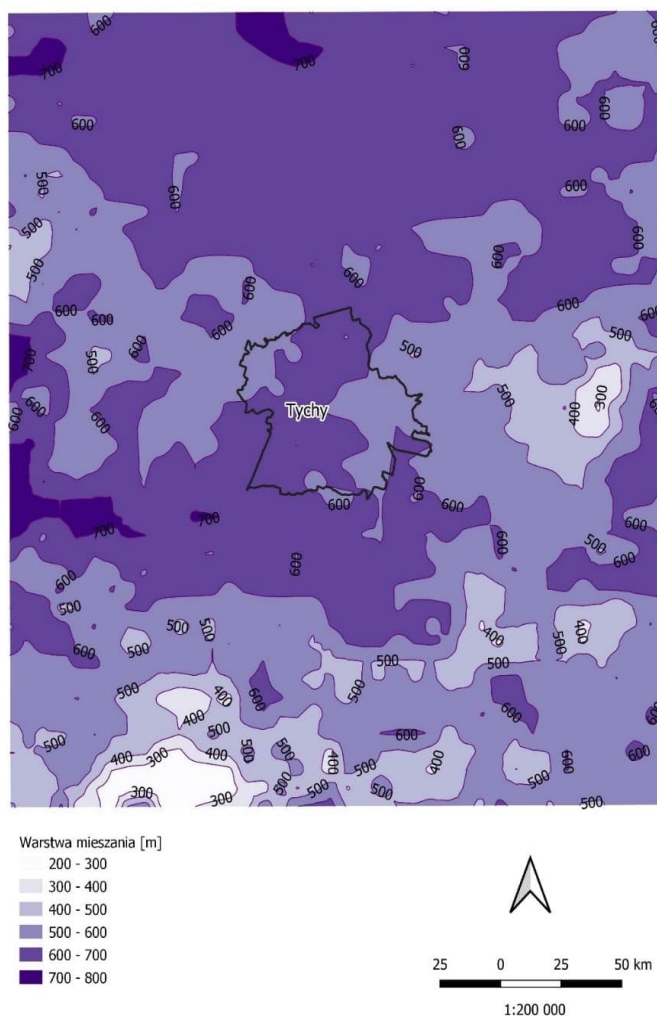
Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Współczynnik przewietrzania VI [m ² /s]	Klasyfikacja
0-235	Bardzo złe warunki dyspersji
235-2350	Złe warunki dyspersji
2350-4700	Dostateczne warunki dyspersji
>4700	Dobre warunki dyspersji

Źródło: <https://a.atmos.washington.edu/wrfrt/descript/definitions/vent.html> (dostęp marzec 2023)

Na analizowanym obszarze w 2021 roku średnia roczna miąższość warstwy mieszania była bardzo zróżnicowana i utrzymywała się na poziomie 200 – 800 m. Wyższe wartości analizowanego parametru występowały w północnej oraz w zachodniej (ok. 700 m) części analizowanego obszaru, najniższe (200-300 m) w części centralno-wschodniej i południowej.

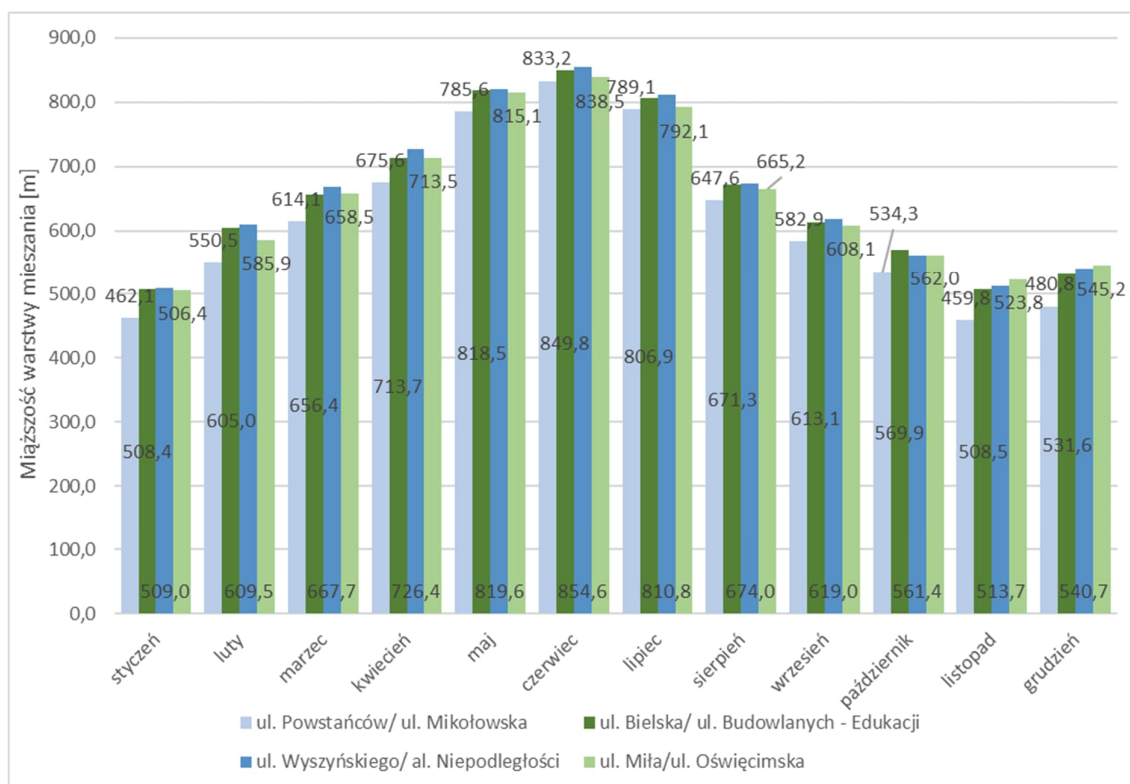


Rysunek 4-14 Rozkład średniej rocznej miąższości warstwy mieszania [m] w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Warstwa mieszania charakteryzuje się większą miąższością w okresie ciepłym i mniejszą w okresie zimowym. W 2021 roku najmniejsza średnia miesięczna wysokość warstwy na omawianych skrzyżowaniach wystąpiła w styczniu (462 m-509 m) i w listopadzie (460 m – 524 m), co może wskazywać, iż w tych miesiącach wystąpiły najmniej korzystne warunki do rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Z kolei największą miąższość warstwy mieszania odnotowano w czerwcu (średnio ok. 855 m – 833 m). W miesiącach wiosenno-letnich od kwietnia do sierpnia średnia miesięczna wysokość warstwy była wyższa niż w pozostałych miesiącach roku 2021, co zdecydowanie sprzyjało dyspersji zanieczyszczeń. W przypadku miąższości warstwy mieszania zaznaczają już się pewne różnice między poszczególnymi lokalizacjami. Różnice te z pewnością mogą lokalnie wpływać na warunki dyspersji. Niższe miąższości warstwy mieszania obserwowane są w obrębie terenów, na których dominuje zabudowa rozproszona lub tereny zielone. Najniższe wartości wskazano dla rejonu skrzyżowania ul. Powstańców i ul. Mikołowskiej.



Rysunek 4-15 Przebieg średnich miesięcznych wartości miąższości warstwy mieszania w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

Na podstawie średnich prędkości wiatru i średnich miąższości warstwy mieszania określono współczynnik przewietrzania w poszczególnych miesiącach, na analizowanych skrzyżowaniach dróg w Tychach.

Tabela 4-2 Wartości współczynnika przewietrzania w roku 2021 w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Skrzyżowanie	Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
ul. Powstańców/ ul. Mikołowska	Współczynnik przewietrzania VI [m ² /s]	1503	2046	1952	2205	2792	1882	1817	1568	1618	1811	1474	1569	1883
	klasa	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
ul. Bielska/ ul. Budowlanych - Edukacji	Współczynnik przewietrzania VI [m ² /s]	1655	2247	2093	2330	2909	1925	1863	1628	1703	1932	1626	1736	1995
	klasa	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
ul. Wyszyńskiego/ al. Niepodległości	Współczynnik przewietrzania VI [m ² /s]	1644	2244	2127	2361	2903	1929	1865	1629	1710	1893	1631	1759	1998
	klasa	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2
ul. Miła/ ul. Oświęcimska	Współczynnik przewietrzania VI [m ² /s]	1616	2121	2091	2301	2868	1879	1806	1603	1672	1873	1647	1765	1959
	klasa	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2

Wyznaczone w oparciu o dane z modelu CALMET wartości współczynnika przewietrzania wskazują, że w roku 2021 przeważnie przyjmował on klasę słabą (2) zatem nie był to rok sprzyjający dla dyspersji. Lepsze warunki dyspersji zanotowano jedynie w maju, a dla skrzyżowania ul. Wyszyńskiego i al. Niepodległości w kwietniu.

4.6. Klasy równowagi atmosfery

Bardzo istotnym parametrem dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń jest klasa równowagi atmosfery Pasquilla, która opisuje pionowe ruchy powietrza związane z gradientem temperatury i prędkością wiatru, które z kolei decydują o ruchu zanieczyszczonego powietrza w smudze. W zależności od różnicy temperatur powietrza wznoszącego się i powietrza otaczającego wyróżnia się w atmosferze trzy podstawowe stany równowagi: chwiejną, obojętną i stałą. Pomiedzy nimi określa się stany pośrednie. W ochronie środowiska powszechnie przyjęty jest podział na 6 klas równowagi atmosfery:

- klasa 1 – ekstremalnie niestabilne warunki (równowaga bardzo chwiejna),
- klasa 2 – umiarkowanie niestabilne warunki (równowaga chwiejna),
- klasa 3 – nieznacznie niestabilne warunki (równowaga nieznacznie chwiejna),
- klasa 4 – neutralne warunki (równowaga obojętna),
- klasa 5 – nieznacznie stabilne warunki (równowaga stała),
- klasa 6 – umiarkowanie stabilne warunki (równowaga bardzo stała).

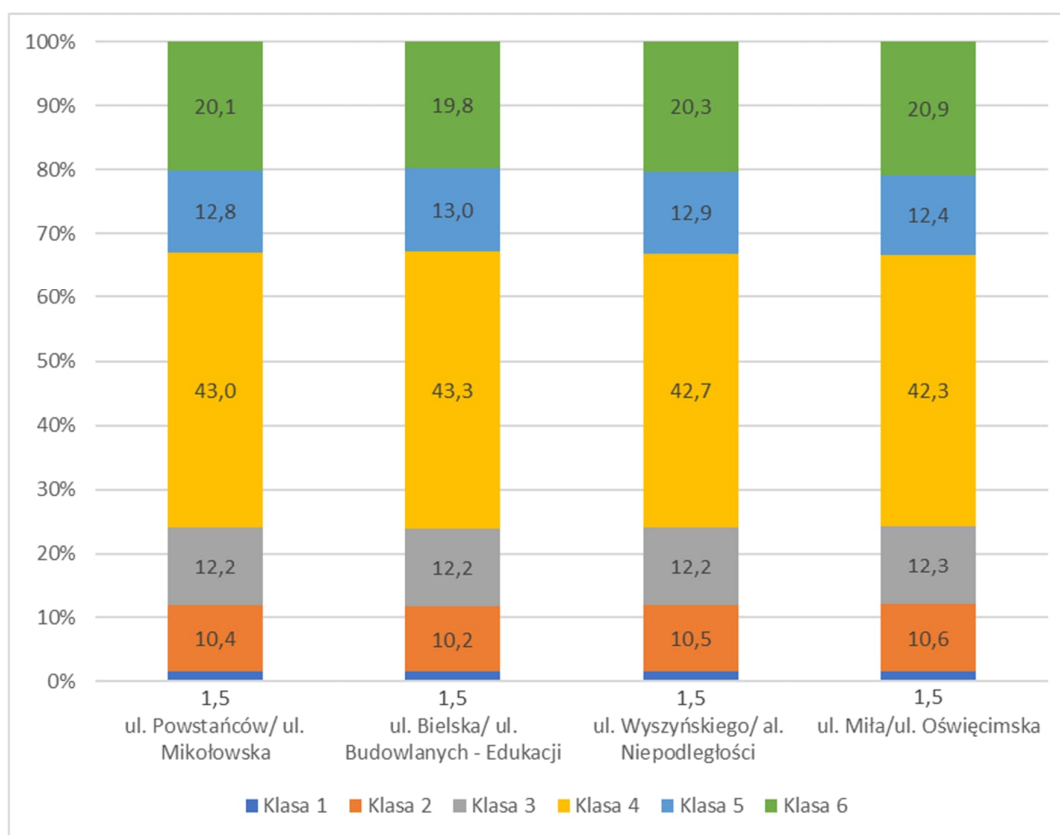
Klasy 1-3 są charakterystyczne dla konwekcji, klasa 4 odpowiada izotermii, natomiast klasy 5 i 6 odnoszą się do inwersji. Te ostatnie są bardzo niekorzystne dla dyspersji zanieczyszczeń, wówczas bowiem zanieczyszczenia utrzymują się na danym obszarze, ponieważ nie mają warunków do rozproszenia. Najczęściej w tym wypadku mamy do czynienia

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone."

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

z ograniczeniem prędkości wiatru oraz warunkami inwersyjnymi, które „pomniejszają objętość” warstwy, w której następuje rozpraszanie zanieczyszczeń. Ograniczenie tej objętości powoduje, że nawet przy stosunkowo niewielkich ładunkach emisji stężenie zanieczyszczeń może być znaczne. Najkorzystniejsze dla dyspersji są klasy 3 i 4, są one również najczęstsze w skali roku.

W okolicach omawianych skrzyżowań najczęściej w 2021 roku przeważała klasa równowagi atmosfery 4, która reprezentuje neutralne warunki (średnio ok. 43%). Najrzadziej występowała klasa 1 – 1,5% przypadków w roku. Niestety w 2021 r. spory zanotowano udział wystąpień klasy 6 (średnio ok. 20%) oraz klasy 5 (średnio z analizowanych skrzyżowań ok. 13%). Parametr nie jest znacząco zróżnicowany, biorąc pod uwagę analizowane lokalizacje.

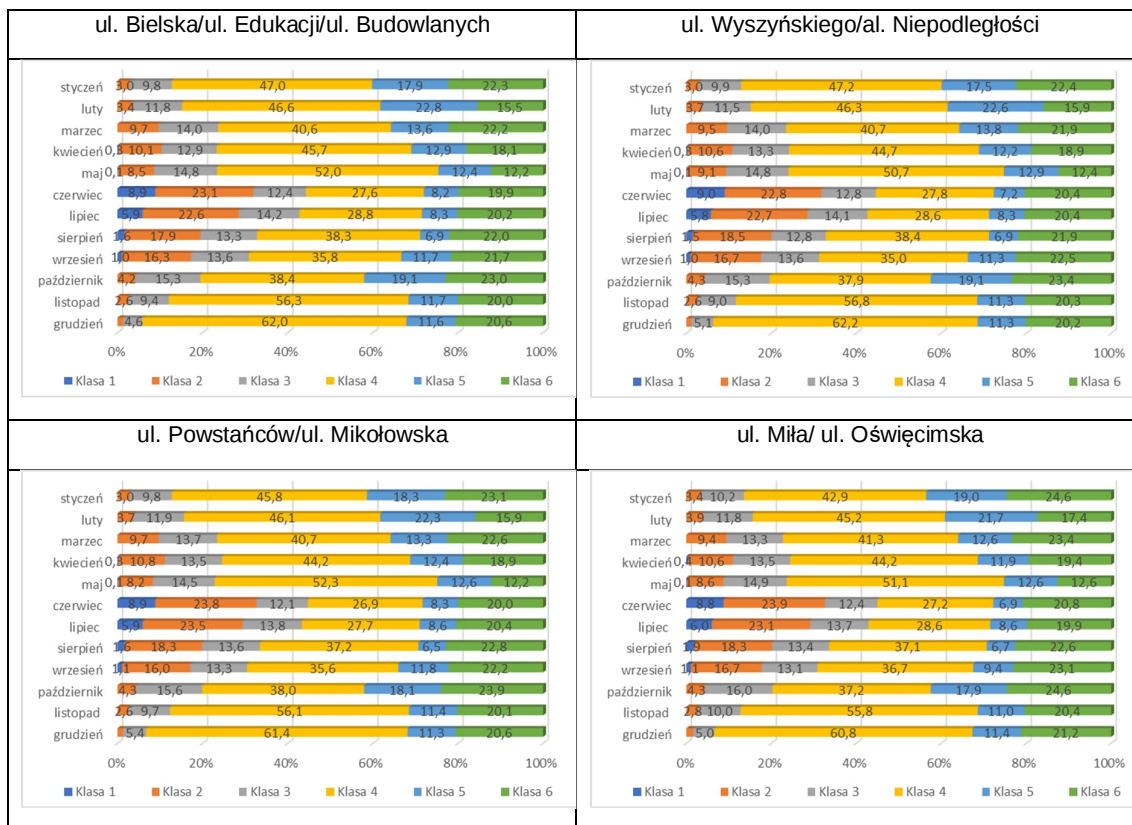


Rysunek 4-16 Udział klas równowagi atmosfery Pasquilla w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

Największym udziałem korzystnej dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń klasy 4 charakteryzują się miesiące zimowe (50-60%), udział ten latem zmniejsz się do ok. 30-40%. Latem (czerwiec – sierpień) zaznacza się spory udział klasy 2 i 1 – udział łączny obu klas z czterech skrzyżowań to średnio ok. 10-16% godzin, przy czym klasa 1, określana, jako ekstremalnie niestabilna występowała wyłącznie w okresie letnim. Największy łączny udział klas stabilnych (5 i 6 klasa), niekorzystnych dla dyspersji, zanotowano w styczniu, lutym i w październiku.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 4-17 Udział klas równowagi atmosfery Pasquilla w obrębie analizowanych skrzyżowań w Tychach, w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

5. Wyniki ewaluacyjnego modelowania stężeń zanieczyszczeń na badanym obszarze w 2021 roku

Wykonanie modelowania ewaluacyjnego ma na celu ocenę jakości zastosowanego systemu oraz ocenę jego przydatności przy określeniu efektu ekologicznego systemu. W oparciu o zebrane dane emisyjne oraz z wykorzystaniem omówionej wcześniej metodyki wykonano modelowanie jakości powietrza dla pełnego roku tzw. roku bazowego oraz zanieczyszczeń, które są normowane w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (tj. Dz.U. 2021 poz. 845) oraz są monitorowane w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Do analizy wybrano następujące zanieczyszczenia: dwutlenek azotu, tlenki azotu jako zanieczyszczenia, których największe ładunki związane są z emisją z transportu oraz tlenek węgla i pyły zawieszone PM₁₀ i PM_{2,5}. Poniżej zaprezentowano uzyskane wyniki w formie map i opisów.

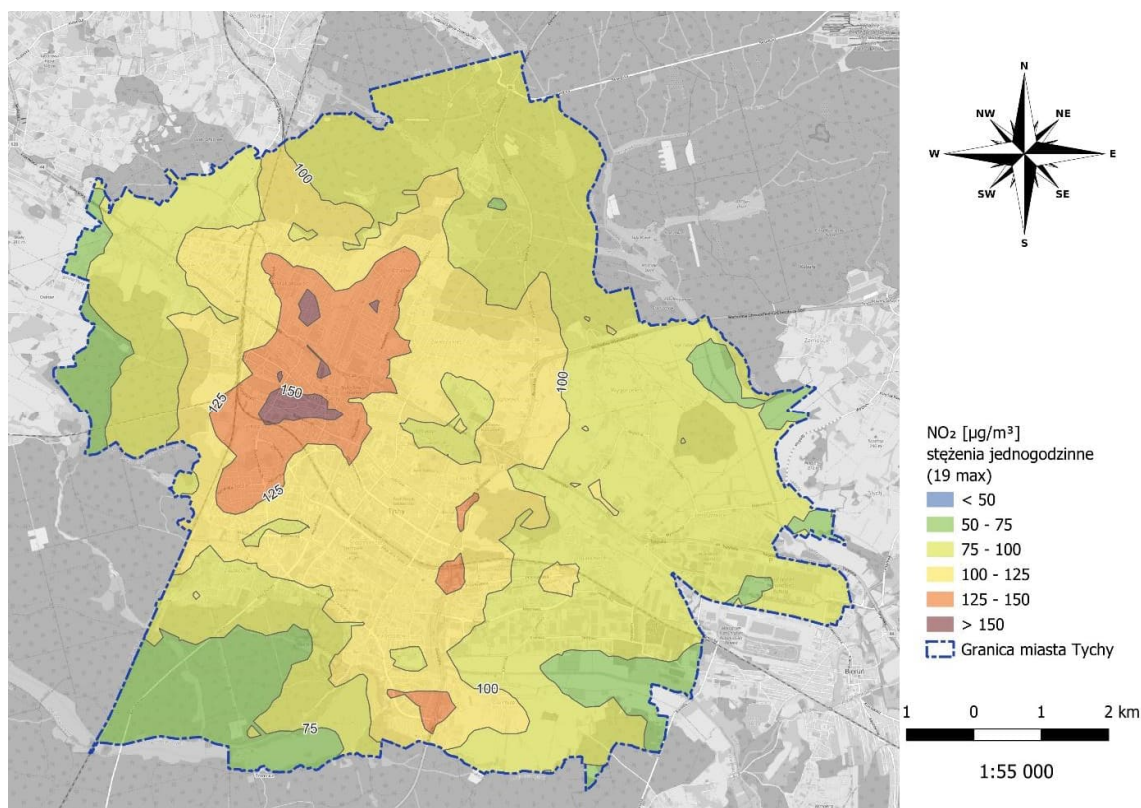
5.1. Dwutlenek oraz tlenki azotu

Dla dwutlenku azotu ustanowiono poziomy dopuszczalne (standardy jakości powietrza) dla stężeń jednogodzinnych i średniorocznych, natomiast dla tlenków azotu wyłącznie dla stężeń średniorocznych. Wynoszą one:

- NO₂ 1h – 200 µg/m³, dopuszczalna częstość przekraczania poziomu dopuszczalnego w roku kalendarzowym – 18 razy;
- NO₂ rok – 40 µg/m³;
- NO_x rok – 30 µg/m³, przy czym jest to poziom ustanowiony dla ochrony roślin.

Na terenie Tych w 2021 r. stężenia dwutlenku azotu zarówno krótkookresowe (1h), jak i długookresowe (średnioroczne) nie przekraczały poziomów dopuszczalnych. Liczba godzin z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego nie przekroczyła 6, a maksymalne stężenie średnioroczne dochodziło do 49,5% poziomu dopuszczalnego. Najwyższe stężenia NO₂ występowały w centralno-północnej części miasta (1h) oraz całej centralnej części (średnioroczne). W stężeniach jednogodzinnych dwutlenku azotu w północno-zachodniej części miasta przeważa emisja z ogrzewania indywidualnego, a w południowej i wschodniej emisja z transportu. Przy czym procentowy udział emisji z transportu dochodzi w tej części miasta miejscami nawet do 83%. W stężeniach średniorocznych NO₂ na większości terenu miasta przeważa emisja z napływu, jedynie w centralnej części, wzdłuż dróg przeważa emisja z transportu – dochodząc do 57% udziału w stężeniach ogółem wzdłuż drogi krajowej nr 1.

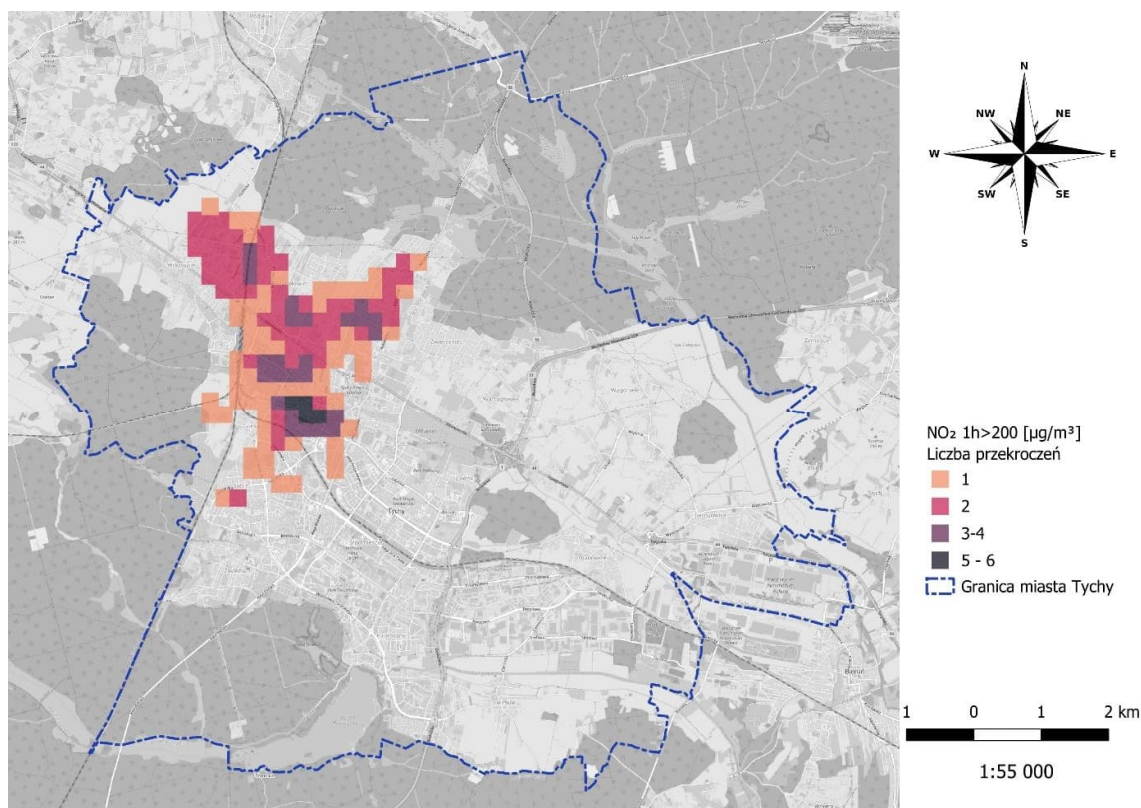
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-1 Stężenie średnie jednogodzinne dwutlenku azotu - 19 wartość maksymalna na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

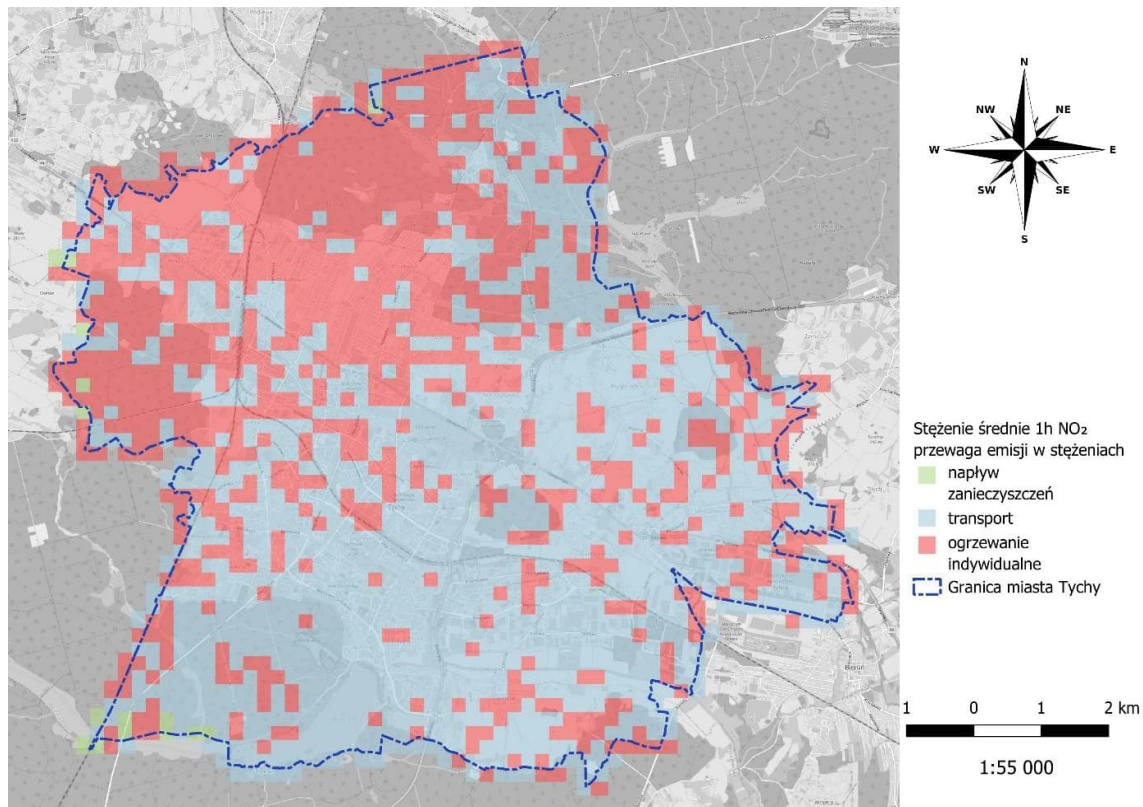
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-2 Liczba godzin z przekroczonym poziomem dopuszczalnym (200 µg/m³) dla stężenia średniego jednogodzinnego dwutlenku azotu na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

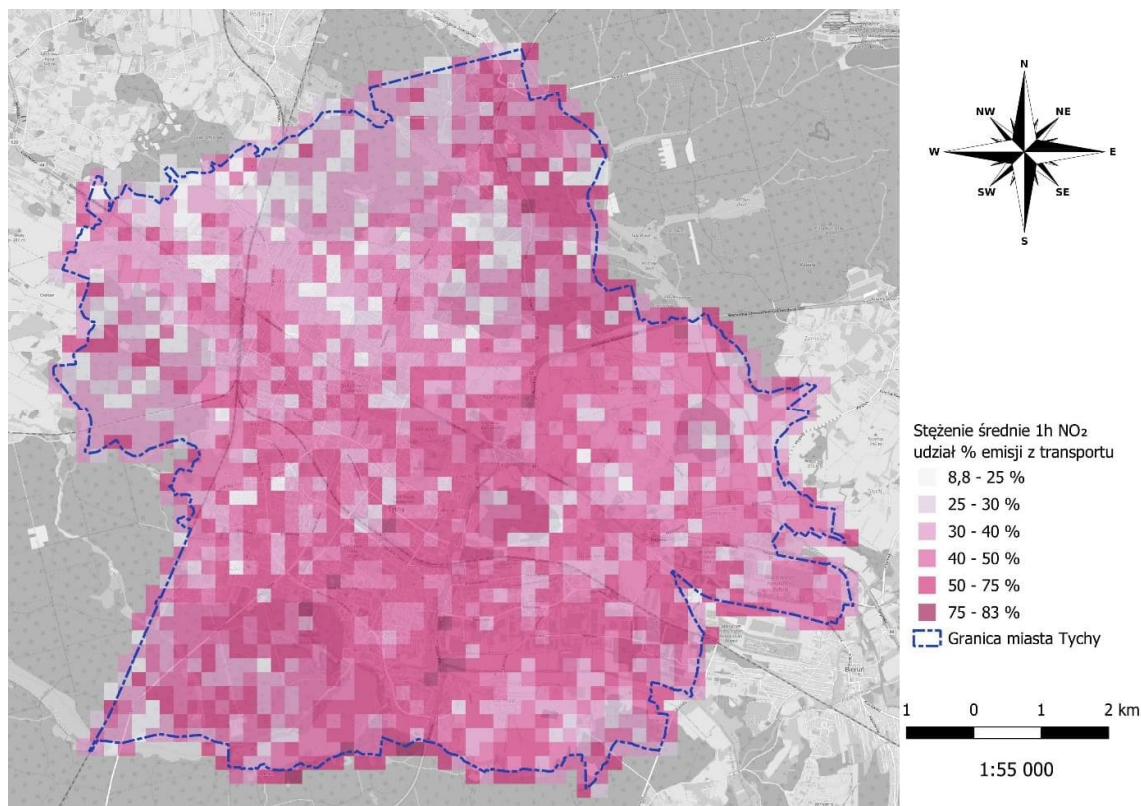
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-3 Udział poszczególnych typów emisji w stężeniu średnim jednogodzinnym dwutlenku azotu na terenie miasta Tychy w 2021 r. – przewaga

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

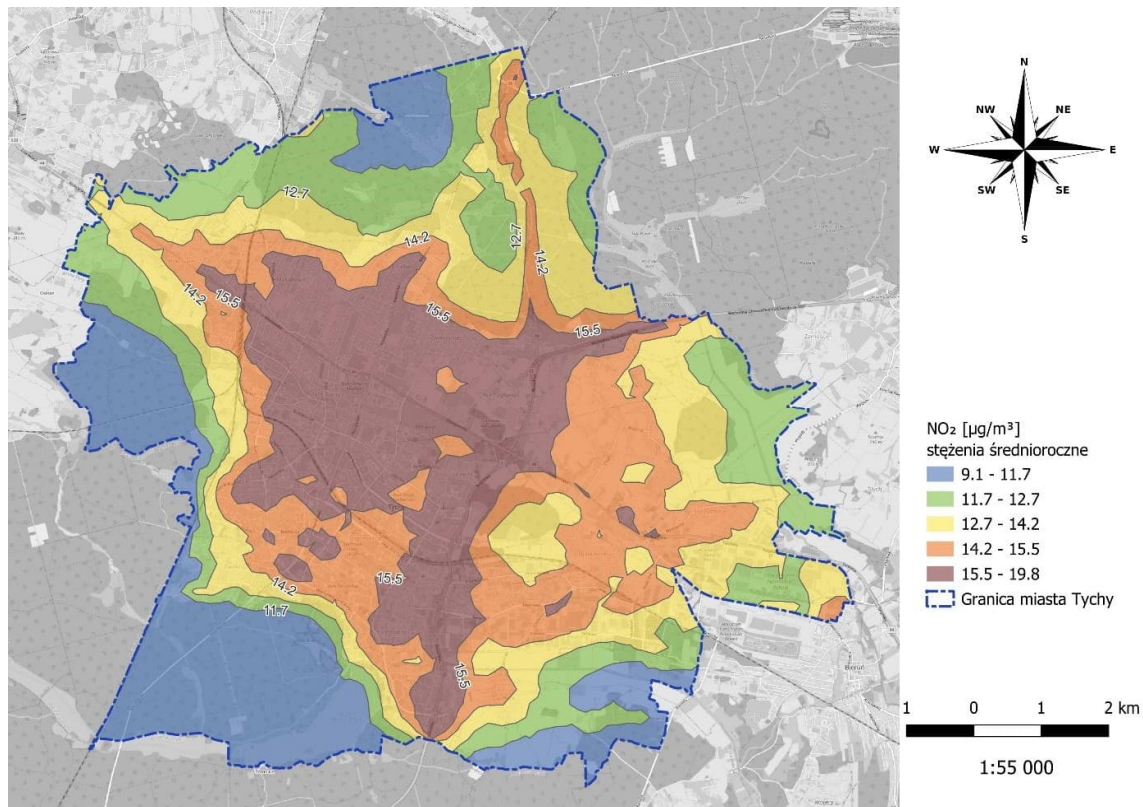
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-4 Procentowy udział emisji z transportu w stężeniu średnim jednogodzinnym dwutlenku azotu na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

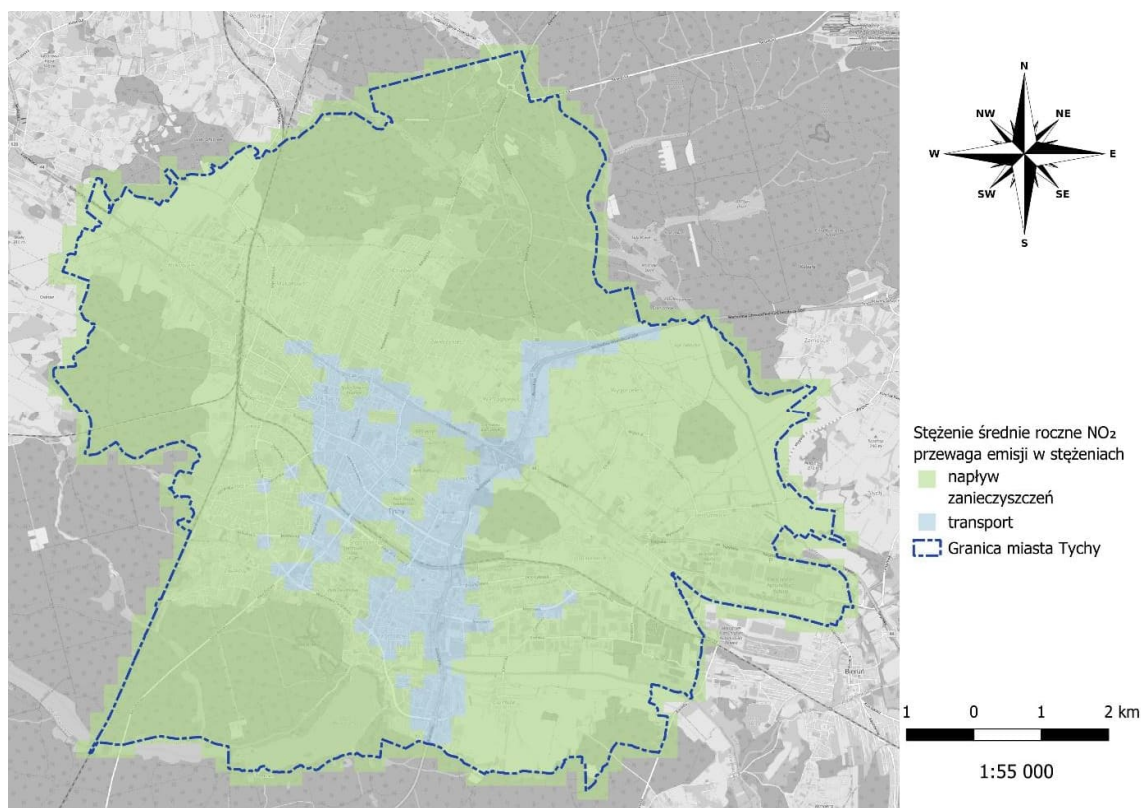
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-5 Stężenie średnie roczne dwutlenku azotu na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

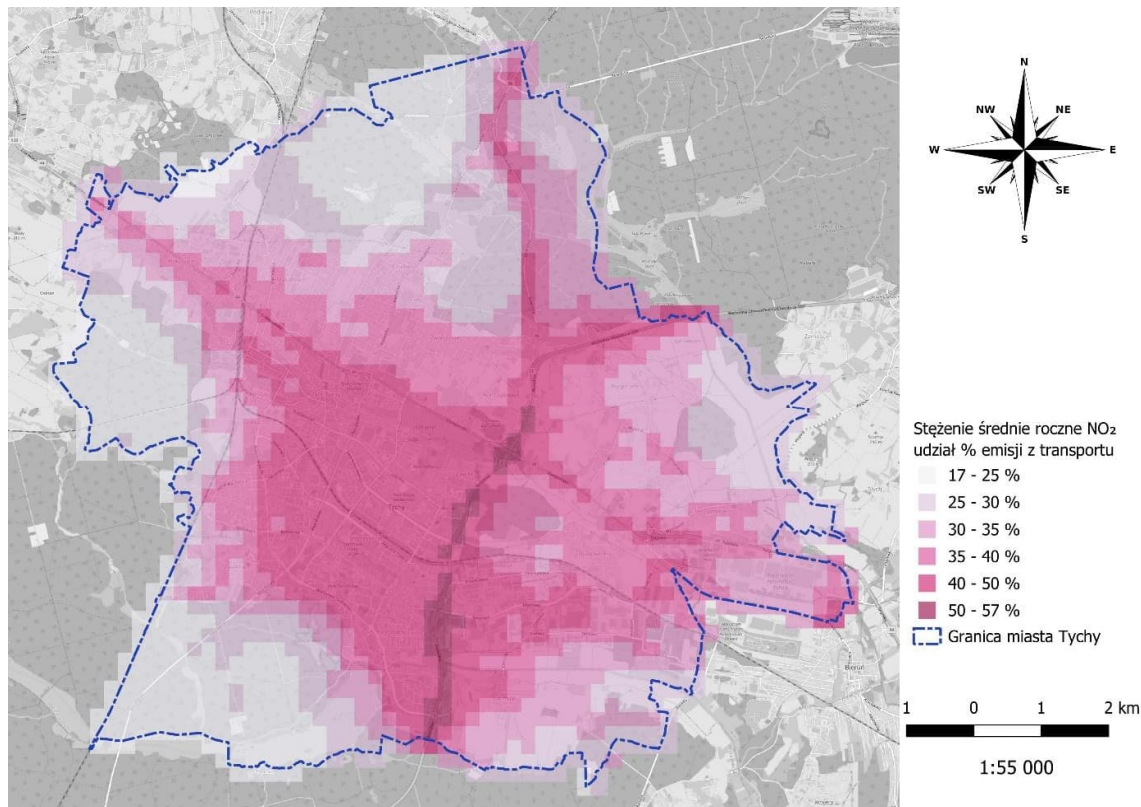
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-6 Udział poszczególnych typów emisji w stężeniu średnim rocznym dwutlenku azotu na terenie miasta Tychy w 2021 r. – przewaga

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

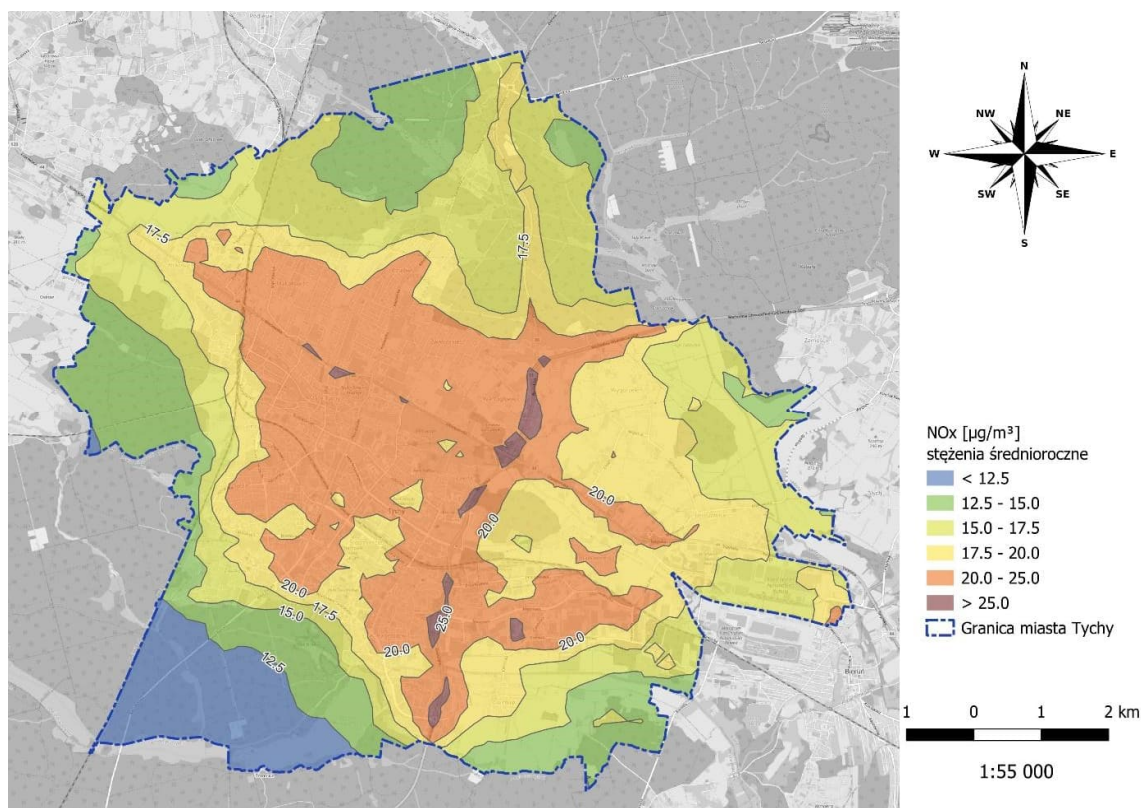
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-7 Procentowy udział emisji z transportu w stężeniu średnim rocznym dwutlenku azotu na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Poziom dopuszczalny tlenków azotu ustanowiony jest wyłącznie dla ochrony roślin, a więc nie obowiązuje na terenie miasta. Jednak na terenie Tych nie został on przekroczony, najwyższe stężenie wzdłuż drogi krajowej nr 1 dochodzi do 83,5% poziomu dopuszczalnego. Tak jak dla stężeń średniorocznych dwutlenku azotu, również w stężeniach tlenków azotu na większości obszaru miasta przeważają emisja z napływu, a w centralnej części emisja z transportu – do 58% udziału w stężeniach.

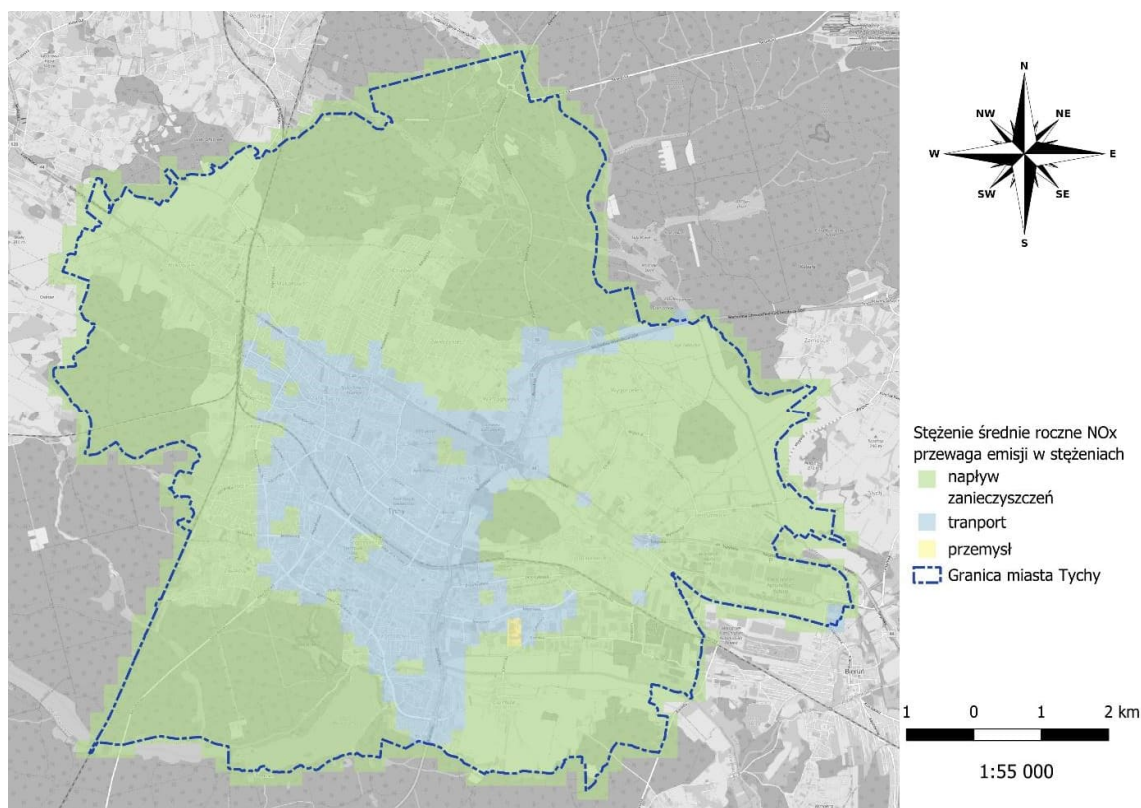
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-8 Stężenie średnie roczne tlenków azotu na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

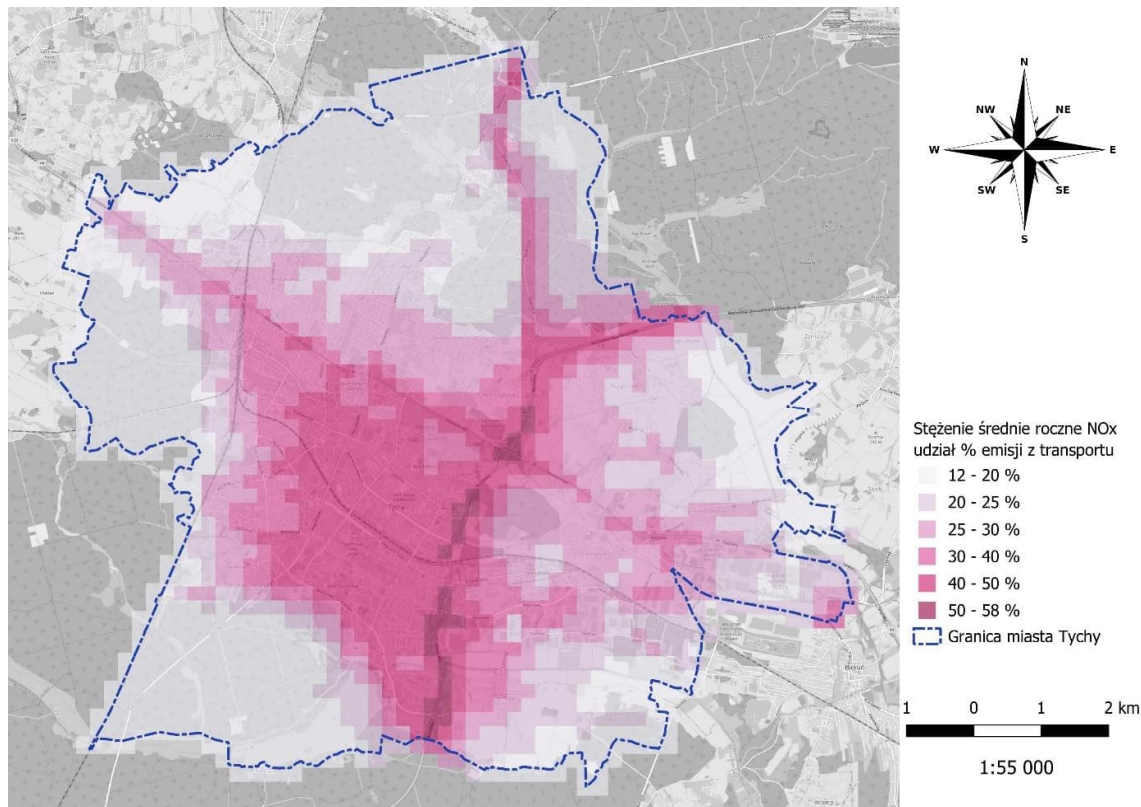
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-9 Udział poszczególnych typów emisji w stężeniu średnim tlenków azotu na terenie miasta Tychy w 2021 r. – przewaga

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-10 Procentowy udział emisji z transportu w stężeniu średnim tlenków azotu na terenie miasta Tychy w 2021 r.

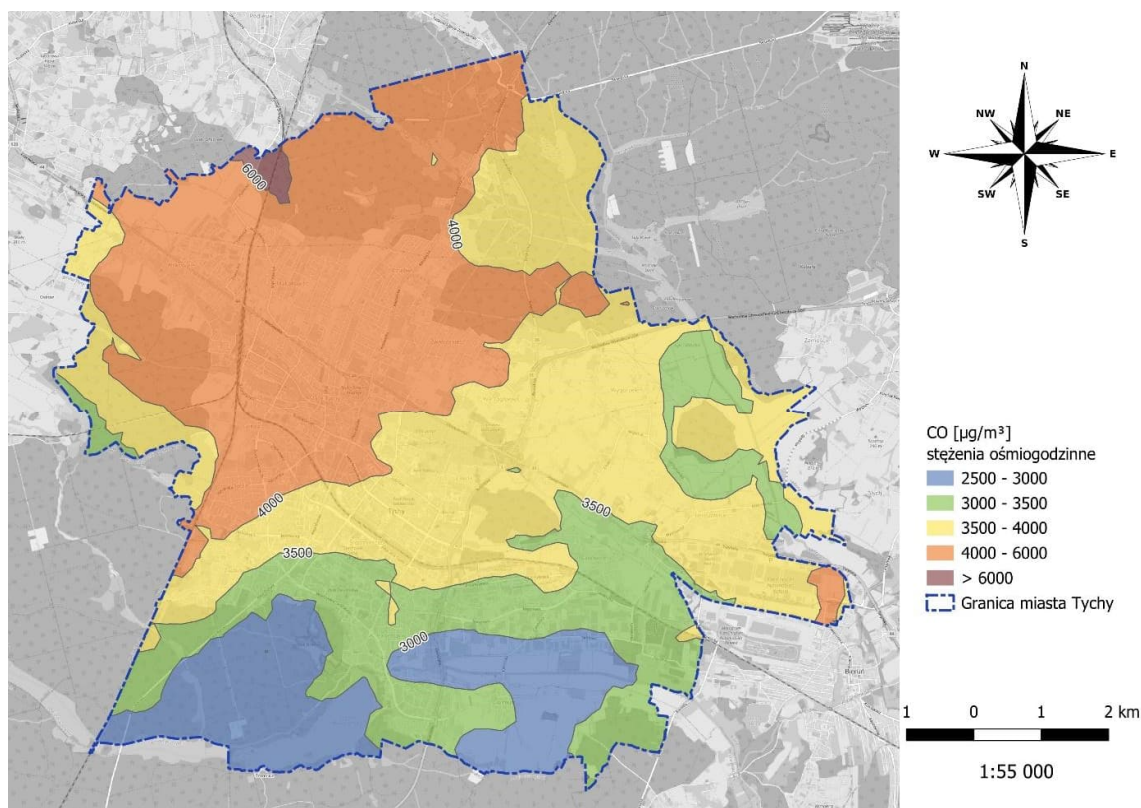
5.2. Tlenek węgla

Poziom dopuszczalny tlenku węgla wynosi $10\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla średniej ośmiogodzinnej (maksymalna średnia ośmiogodzinna, spośród średnich kroczących, obliczanych co godzinę z ośmiu średnich jednogodzinnych w ciągu doby. Każdą tak obliczoną średnią ośmiogodzinną przypisuje się dobie, w której się ona kończy; pierwszym okresem obliczeniowym dla każdej doby jest okres od godziny 17.00 dnia poprzedniego do godziny 1.00 danego dnia; ostatnim okresem obliczeniowym dla każdej doby jest okres od godziny 16.00 do 24.00 tego dnia czasu środkoeuropejskiego CET).

Poziom dopuszczalny CO w Tychach w 2021 r. nie został przekroczony. Najwyższe stężenia dochodzące do 60% poziomu dopuszczalnego wystąpiły w północno-centralnej części miasta, najniższe w południowej części. Na całym obszarze miasta w stężeniach średnich ośmiogodzinnych tlenku węgla przeważała emisja z ogrzewania indywidualnego.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

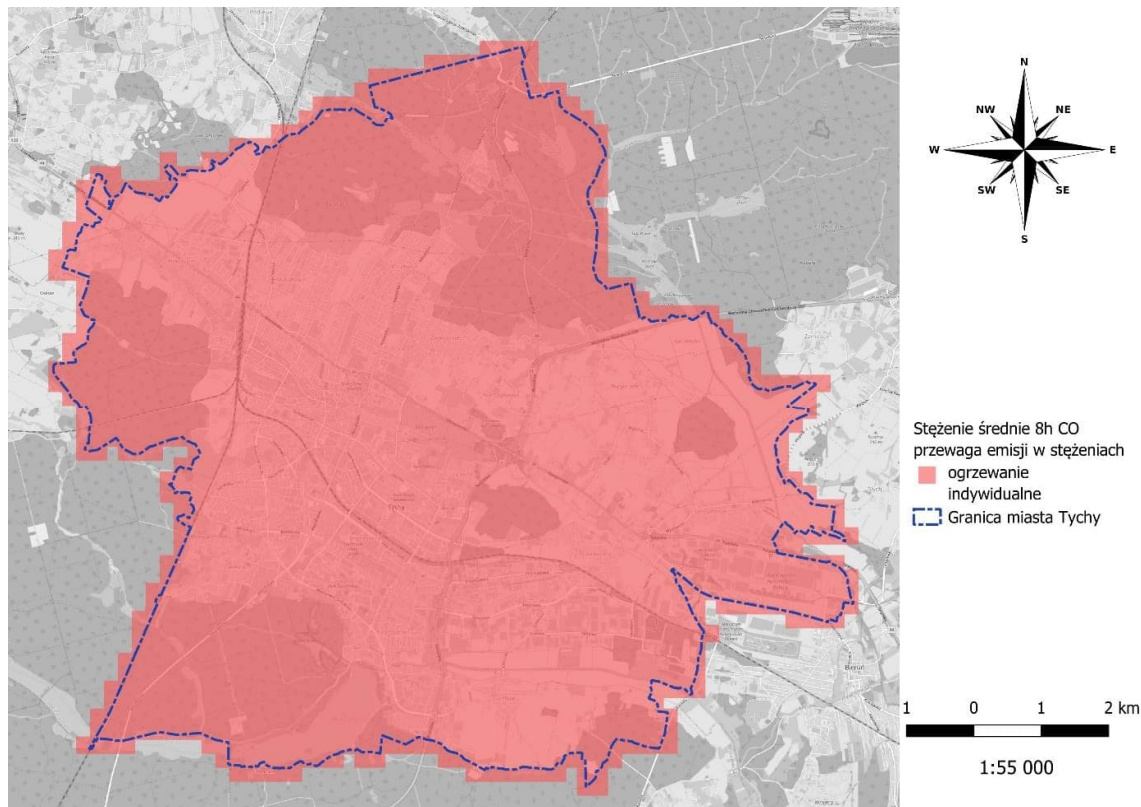
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-11 Stężenie średnie ośmiogodzinne, kroczące tlenu węgla - 1 wartość maksymalna na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-12 Udział poszczególnych typów emisji w stężeniu średnim ośmiogodzinnym, kroczącym tlenku węgla na terenie miasta Tychy w 2021 r. – przewaga

5.3. Pyły zawieszone PM₁₀ oraz PM_{2,5}

Dla pyłu zawieszonego PM₁₀ ustanowiono poziomy dopuszczalne (standardy jakości powietrza) dla stężeń średniodobowych i średniorocznych, natomiast dla pyłu zawieszonego PM_{2,5} wyłącznie dla stężeń średniorocznych. Wynoszą one:

- PM₁₀ 24h – 50 µg/m³, dopuszczalna częstość przekraczania poziomu dopuszczalnego w roku kalendarzowym – 35 razy;
- PM₁₀ rok – 40 µg/m³;
- PM_{2,5} rok – 20 µg/m³.

Dodatkowo dla pyłu PM₁₀ są ustanowione poziomy:

- informowania – 100 µg/m³ (wartość progowa informowania społeczeństwa o ryzyku wystąpienia przekroczenia poziomu alarmowego),
- alarmowy – 150 µg/m³.

Poziom informowania wg. definicji z ustawy Poś, to stężenie substancji w powietrzu, powyżej którego istnieje zagrożenie zdrowia ludzkiego wynikające z krótkotrwałego narażenia

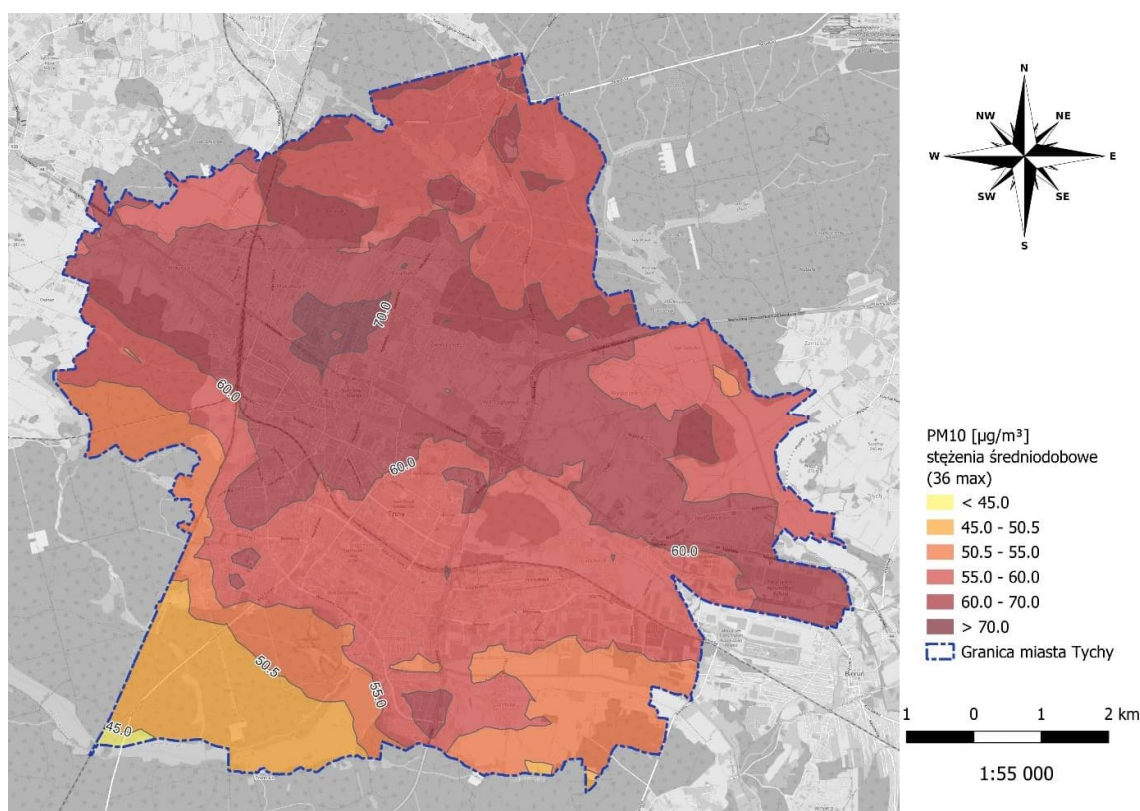
Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

na działanie zanieczyszczeń wrażliwych grup ludności, w przypadku którego niezbędna jest natychmiastowa i właściwa informacja.

Stężenia średniodobowe pyłu PM₁₀ w 2021 r. wg modelowania były bardzo wysokie – na większej części miasta przekraczały poziom dopuszczalny, a najwyższe stężenia powyżej 140% poziomu dopuszczalnego i powyżej 55 dni z przekroczeniami wystąpiły w centralnej części Tych. Liczba dni z przekroczonym poziomem informowania wahała się od 3 (w południowo-zachodniej części miasta) do 19 w centralnej części Tych, a liczba dni z przekroczonym poziomem alarmowym od 1 do 8. Na większości terenu miasta w stężeniach średniodobowych pyłu PM₁₀ przeważała emisja z napływu, jedynie na niewielkich obszarach (głównie w centrum) przeważała emisja z ogrzewania indywidualnego.

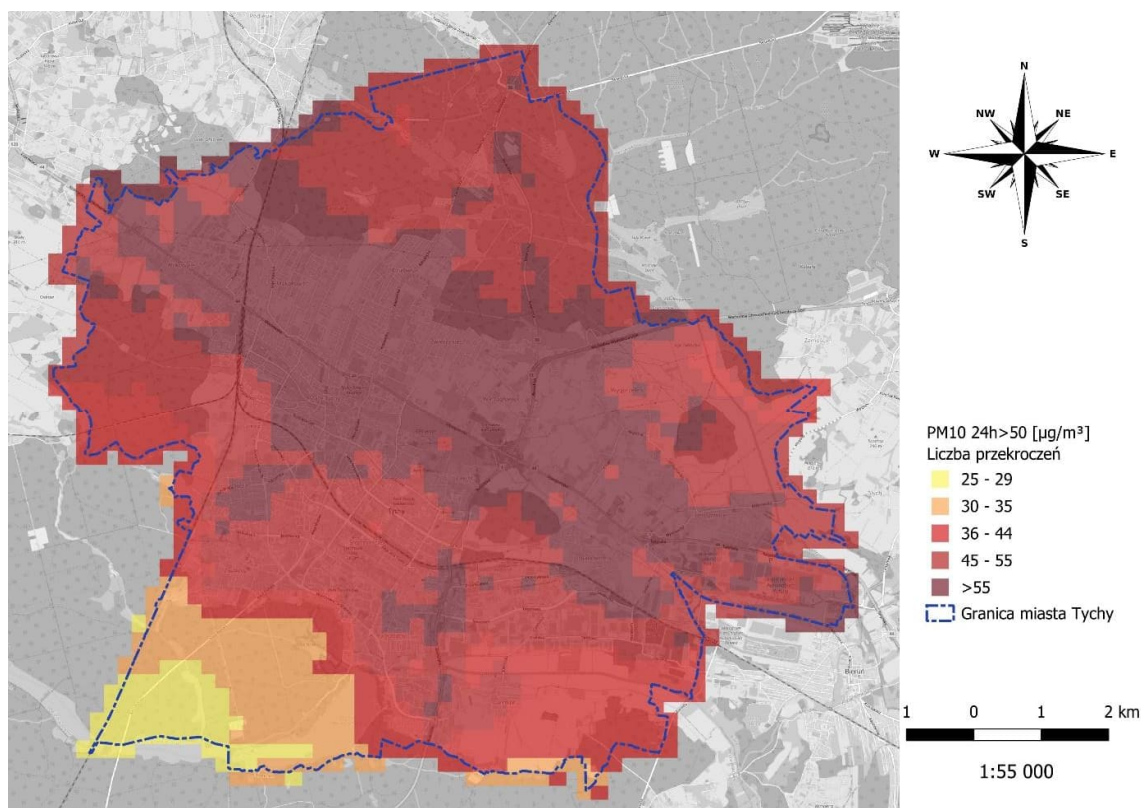
Stężenia średnioroczne pyłu zawieszonego PM₁₀ w 2021 r. nie przekraczały poziomu dopuszczalnego w Tychach, chociaż w centrum dochodziły do 88% tego poziomu. Na całym obszarze miasta w stężeniach średniorocznych pyłu PM₁₀ przeważała emisja z napływu spoza terenu Tych.



Rysunek 5-13 Stężenie średnie dobowe pyłu zawieszonego PM₁₀ - 36 wartość maksymalna na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

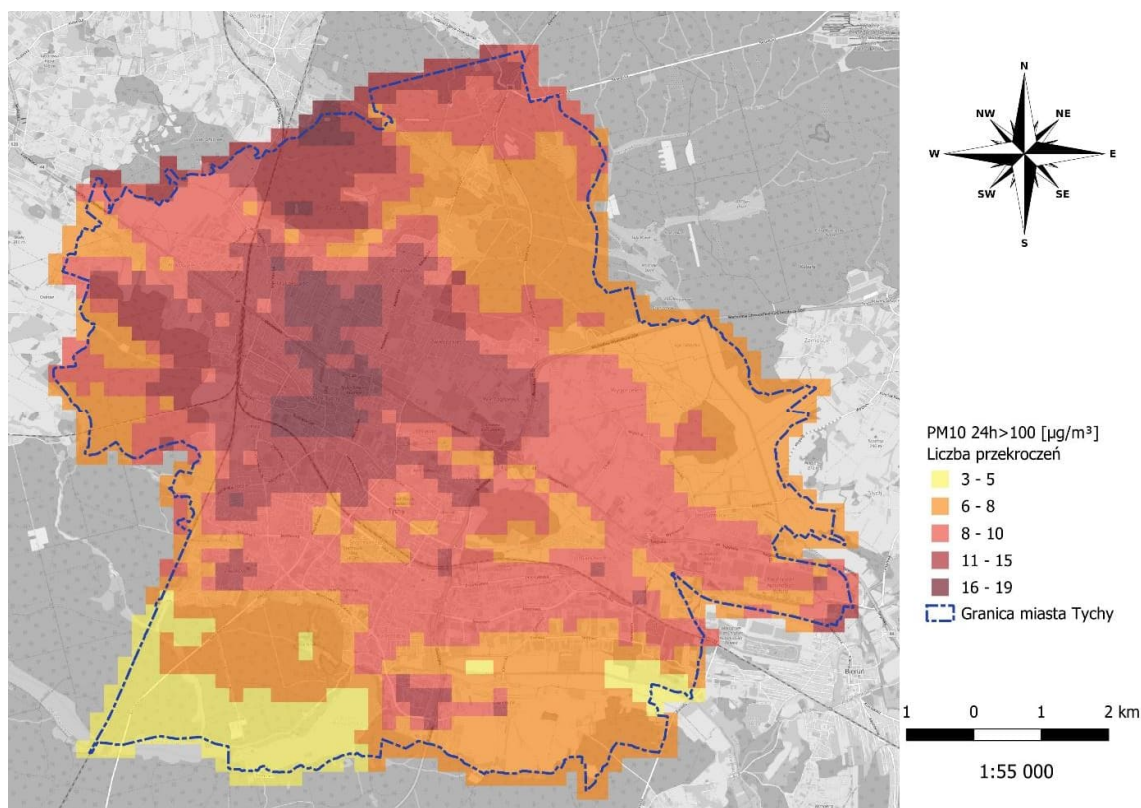
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-14 Liczba dni z przekroczonym poziomem dopuszczalnym ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dla stężenia średniodobowego pyłu zawieszonego PM10 na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

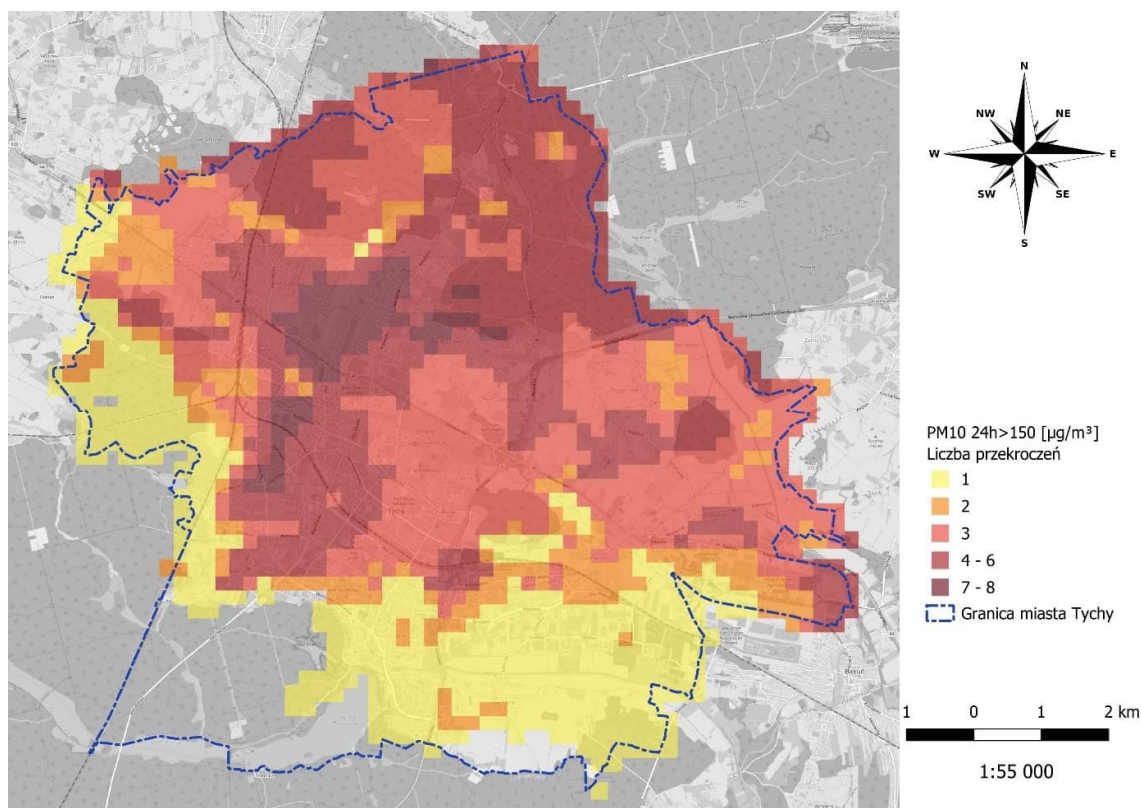
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-15 Liczba dni z przekroczonym poziomem informowania ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dla stężenia średniodobowego pyłu zawieszonego PM10 na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

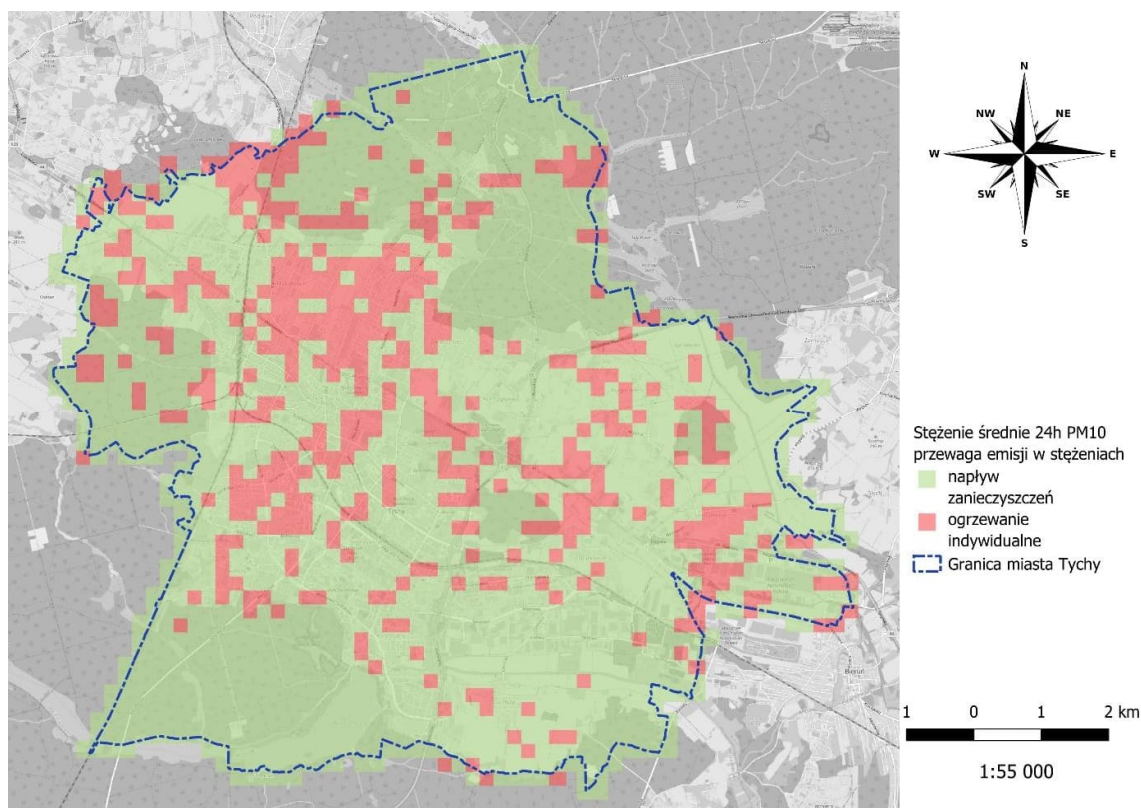
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-16 Liczba dni z przekroczonym poziomem alarmowym ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla stężenia średniodobowego pyłu zawieszonego PM10) na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

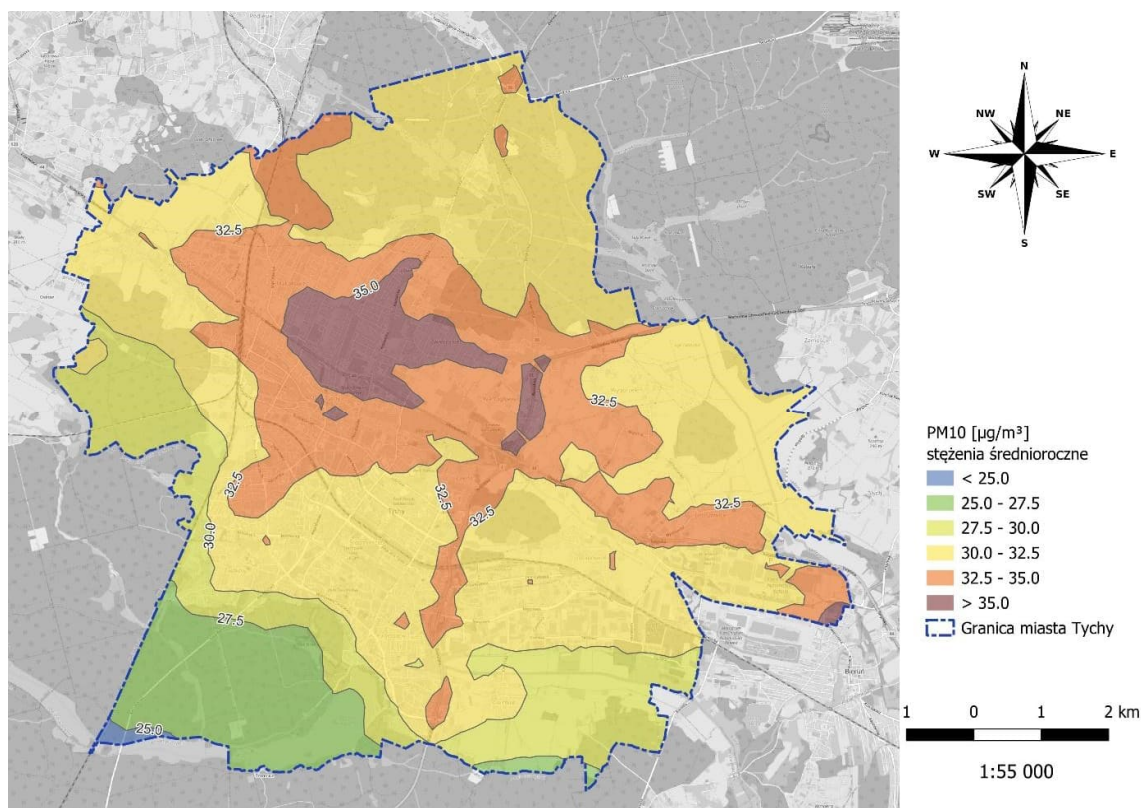
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-17 Udział poszczególnych typów emisji w stężeniu średnim dobowym pyłu zawieszonego PM10 na terenie miasta Tychy w 2021 r. – przewaga

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

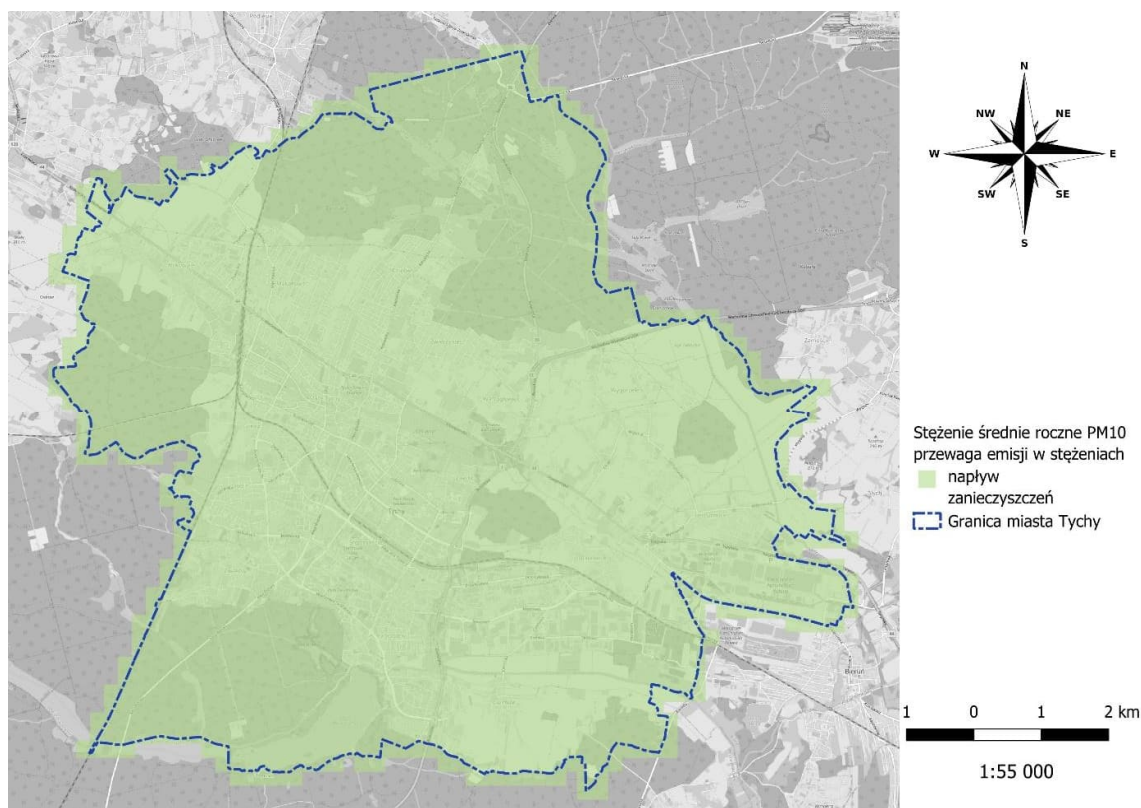
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-18 Stężenie średnie roczne pyłu zawieszonego PM10 na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

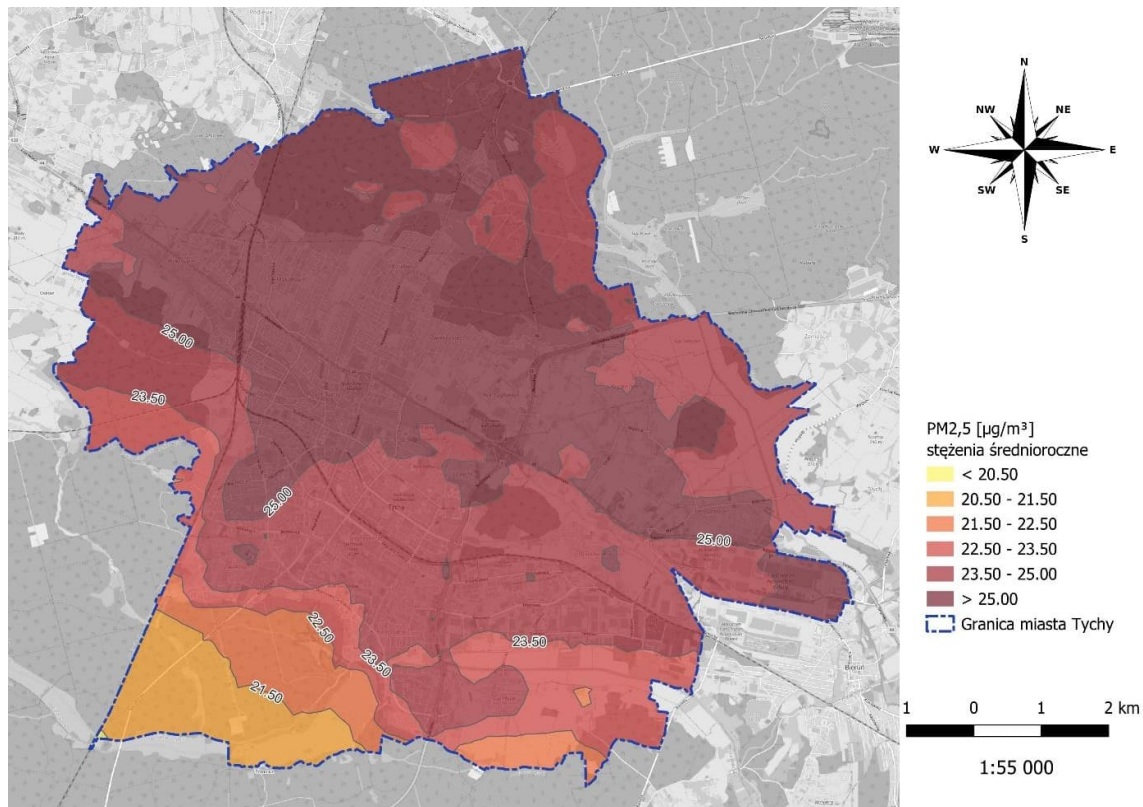
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-19 Udział poszczególnych typów emisji w stężeniu średnim rocznym pyłu zawieszonego PM10 na terenie miasta Tychy w 2021 r. – przewaga

Stężenia średnioroczne pyłu zawieszonego PM_{2,5} na całym terenie miasta przekraczały poziom dopuszczalny w 2021 r. – o od 2% (w części południowo-zachodniej) do 25% (w części północno-wschodniej) poziomu dopuszczalnego. Tak jak dla stężeń średniorocznych pyłu PM₁₀, na całym obszarze miasta w stężeniach średniorocznych pyłu PM_{2,5} przeważała emisja z napływu spoza terenu Tych.

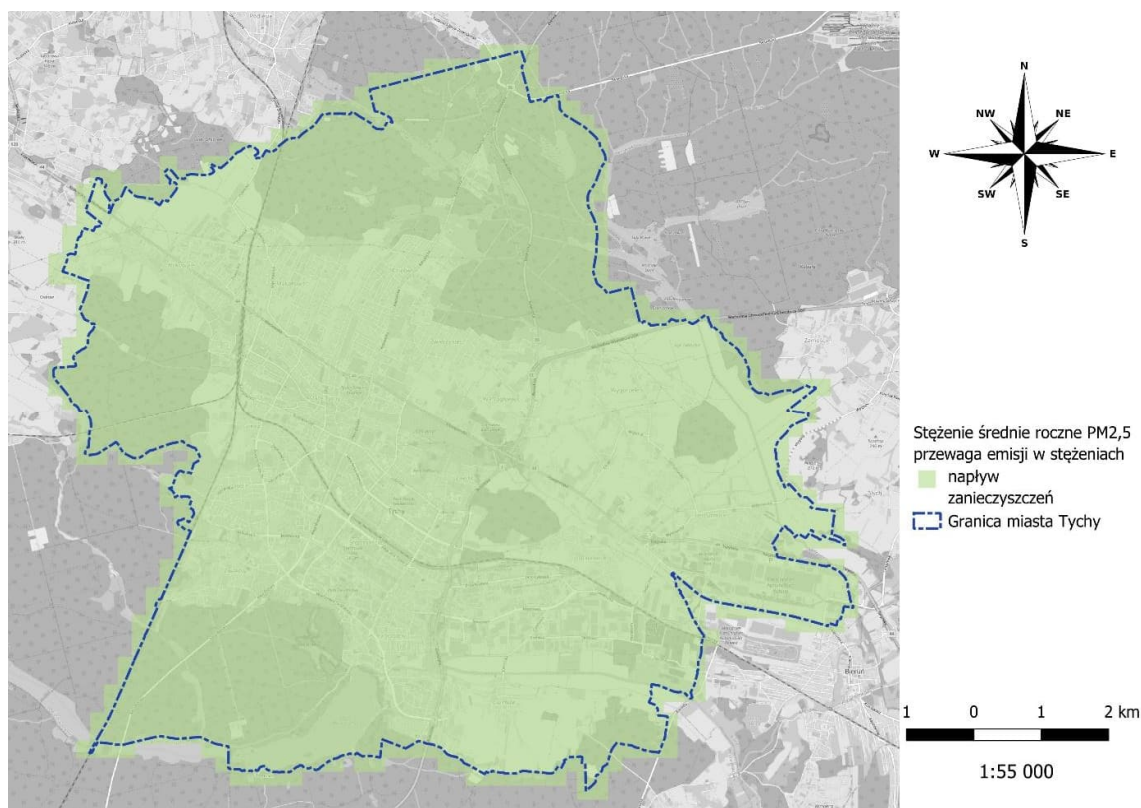
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-20 Stężenia średnie roczne pyłu zawieszonego PM2,5 na terenie miasta Tychy w 2021 r.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 5-21 Udział poszczególnych typów emisji w stężeniu średnim pyłu zawieszonego PM_{2,5} na terenie miasta Tychy w 2021 r. – przewaga

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

6. Ocena jakości wyników modelowania

Niepewność metod modelowania jest zdefiniowana jako maksymalne odchylenie wartości stężeń zmierzonych od obliczonych, dla 90% stanowisk pomiarowych, w okresie uśredniania przyjętym dla poziomu dopuszczalnego, docelowego lub celu długoterminowego, bez uwzględnienia czasu wystąpienia poszczególnych zdarzeń.

Ocena jakości modelowania wykonywana jest poprzez porównanie wyników modelowania oraz pomiarów wykonanych metodą referencyjną, a podstawową miarą w tym celu stosowaną jest błąd względny (B_w) – określony wzorem:

$$B_w = \frac{(S_{ma} - S_{pa})}{S_{pa}}, \text{ gdzie:}$$

S_{ma} – wartość parametru wyznaczona modelowo,

S_{pa} – wartość parametru wyznaczona pomiarowo.

Miara ta została ona określona w Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2020, Poz. 2279). Wymagania jakie powinny spełniać wyniki modelowania określone wartością błędu względnego pokazuje poniższa tabela.

Tabela 6-1 Wymagania, jakie powinny spełniać wyniki modelowania - niepewność.

Niepewność	SO ₂ , NO ₂ , NO _x	CO	C6H6	O ₃	pył PM10 i PM2,5, Pb	As, Cd, Ni	B(a)P
Stężenie średnie 1 – godzinne	50%	50%		50%			
Stężenie średnie 8 – godzinne	50%	50%		50%			
Stężenie średnie dobowe	50%	50%					
Stężenie średnie roczne	30%	30%	50%		50%	60%	60%

Źródło: Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2020, Poz. 2279)

Od wielu lat toczy się dyskusja na temat właściwej walidacji oraz oceny jakości wyników modelowania. W związku z tym powstało narzędzie DeltaTool opracowane przez Forum for Air Quality Modeling in Europe (FAIRMODE). Idea, która przyświecała powstaniu tego narzędzia polegała na ujednoliceniu sposobu weryfikacji i porównania wyników modelowania z pomiarami w krajach Unii Europejskiej. W ramach prac nad narzędziem stworzono zestaw kryteriów, które powinny spełniać wyniki modelowania, aby mogły być uznane za poprawne.

Podstawowym kryterium oceny jakości wyników modelowania sformułowanym przez FAIRMODE jest wskaźnik MQO (Model Quality Objective), który dla modelu dokładnie odwzorowującego pomiary jakości powietrza powinien być mniejszy od 0,5. Wówczas różnice pomiędzy modelowaniem oraz pomiarem mieszczą się w niepewności pomiaru. Jeżeli wskaźnik MQO jest mniejszy od jedności, to model także poprawnie odwzorowuje rzeczywistość, jednak można jeszcze poprawić niektóre elementy modelowania.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Wprowadzony wskaźnik MQO, który jednoznacznie określa czy stosowany model jest prawidłowy wyznaczony jest na podstawie zależności:

$$MQO = \frac{1}{2} \frac{RMSE}{RMS_U} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}}{2RMS_U} \leq 1$$

$$RMS_U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U(O_i))^2}$$

Dla średnich rocznych wyników współczynnik MQO upraszcza się do formy:

$$MQO = \frac{|BIAS|}{2U(\bar{O})} \leq 1 \quad \text{gdzie:}$$

$U(O_i)$ - niepewność pomiaru,

O_i - stężenie zmierzone,

M_i - stężenie wyznaczone modelowo.

Przyjmuje się następujące założenia dla oszacowania jakości modelowania:

- $MQO < 0,5$ – wyniki modelowania zawierają się w przedziale określającym niepewność pomiaru, nie jest możliwe poprawienie jakości modelowania poprzez wprowadzenie jakichkolwiek poprawek, model nie będzie doskonalszy niż jest.
- $0,5 < MQO < 1$ wyniki modelowania są prawidłowe, jednak można je poprawić,
- $1 < MQO$ – wyniki modelowania wymagają walidacji.

Zobrazowaniem kryterium MQO jest tzw. diagram celu (target plot), który prezentowany jest w postaci wielowymiarowego wykresu. Wykres jest tak skonstruowany, żeby wskazać jaki element modelowania należy poprawić, żeby otrzymać lepszą zgodność. Z prawej strony znajdują się stałe współczynniki, na podstawie których oszacowano niepewność pomiaru. Diagram celu na osi odciętych ma umieszczony znormalizowany błąd CRMSE ($CRMSE/2RMS_U$), a na osi rzędnych znormalizowany błąd BIAS ($BIAS/2RMS_U$). Odległość od początku układu współrzędnych do punktu reprezentującego stację równa jest wówczas znormalizowanemu błędowi RMSE, co wynika z zależności:

$$RMSE^2 = CRMSE^2 + BIAS^2$$

Diagram podzielony jest na cztery obszary, a każdy z nich reprezentuje główne źródło błędu jakim może być:

- dodatni błąd BIAS – górna część diagramu,
- ujemny błąd BIAS – dolna część diagramu,
- korelacja R – lewa strona diagramu,

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

- odchylenie standardowe SD – prawa strona diagramu.

O tym czy decydujący wpływ na błąd modelowania ma korelacja, czy odchylenie standardowe decyduje zależność:

$$\frac{\sigma_M - \sigma_O}{\sqrt{2\sigma_M\sigma_O(1-R)}} > 1 \Rightarrow SD < 1 \Rightarrow R$$

Przerywana linia ogranicza punkty spełniające zależność: $MQO = RMSE/RMSU < 0,5$, a ciągła linia: $MQO < 1$. Zatem można powiedzieć, że wyniki w obrębie zielonego pola diagramu zostały zwalidowane pozytywnie. Należy również zaznaczyć, iż analiza wyników ma sens wyłącznie dla stężeń bliskich poziomom normatywnym, gdyż przy niskich stężeniach niepewność pomiaru jest zbyt wysoka.

Na terenie miasta Tychy istnieje jedna stacja pomiarowa, która działa w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Stacja jest zlokalizowana przy ul. Tolstoja 1 (SITychyTolst) i jest to stacja tła miejskiego, tzn. została zlokalizowana tak, aby wskazywała ogólną jakość powietrza w mieście. Na stacji wykonywane są pomiary ciągłe zanieczyszczeń: tlenki azotu, dwutlenek azotu, tlenek azotu pył zawieszony PM10 oraz dwutlenek siarki. Pomiary są realizowane metodą automatyczną, z zapewnieniem jakości, dlatego mogą stanowić podstawę do walidacji uzyskanych wyników modelowania. Poniżej zaprezentowano wyniki walidacji dla dwóch analizowanych w ramach opracowania zanieczyszczeń – dwutlenku azotu oraz pyłu zawieszonego PM10. W przypadku stężeń krótkookresowych analizowana jest zgodność odpowiedniej wartości maksymalnej (percentyla) zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (tj. Dz. U. 2021 r. Poz. 845).

6.1. Dwutlenek azotu

W przypadku stężeń dwutlenku azotu Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2020, Poz. 2279) dopuszcza wartość błędu względnego dla średnich 1 – godzinnych na poziomie 50%, natomiast dla stężeń średniorocznych na poziomie 30%.

Tabela 6-2 Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania, dla średniego 1-godzinnego stężenia NO_2 w roku bazowym 2021 – określenie błędu względnego

Kod Stacji	Pomiar [$\mu g/m^3$]	Model [$\mu g/m^3$]	BW [%]
Stężenie średnie 1 godzinne	79,8	99,4	24,6
Liczba godzin z przekroczeniem PD	0	0	-
Stężenie średnie roczne	20,4	15,3	-25

Źródło: opracowanie własne

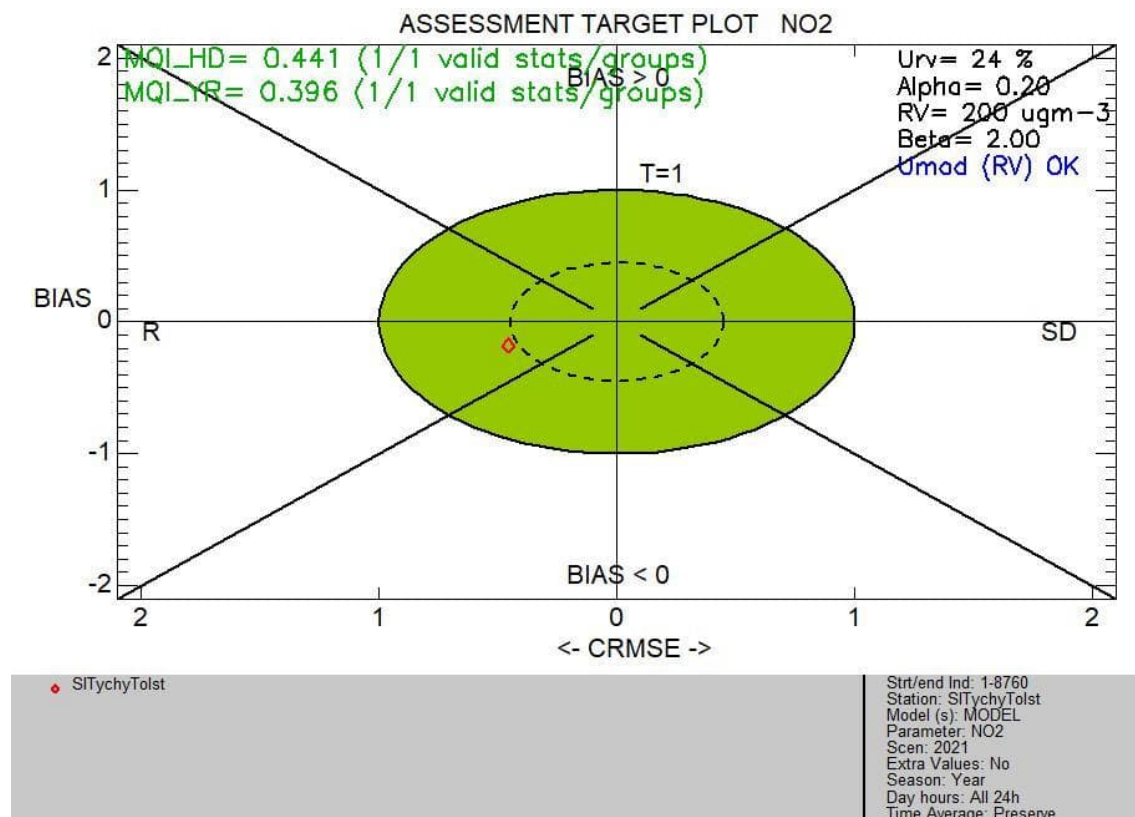
W przypadku stężeń krótkookresowych wyniki modelowania były wyższe niż pomiaru, natomiast dla średniej średniorocznej niższe. Przy czym w obu przypadkach błąd względny

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

wyniósł około lub 25%, co oznacza, że spełnione zostało kryterium narzucone rozporządzeniem.

Jakość wyników modelowania sprawdzono również z wykorzystaniem narzędzie DeltaTool poprzez analizę diagramu celu, porównanie przebiegów wartości jednogodzinnych z modelu oraz z pomiaru a także analizę wybranych, istotnych statystyk.

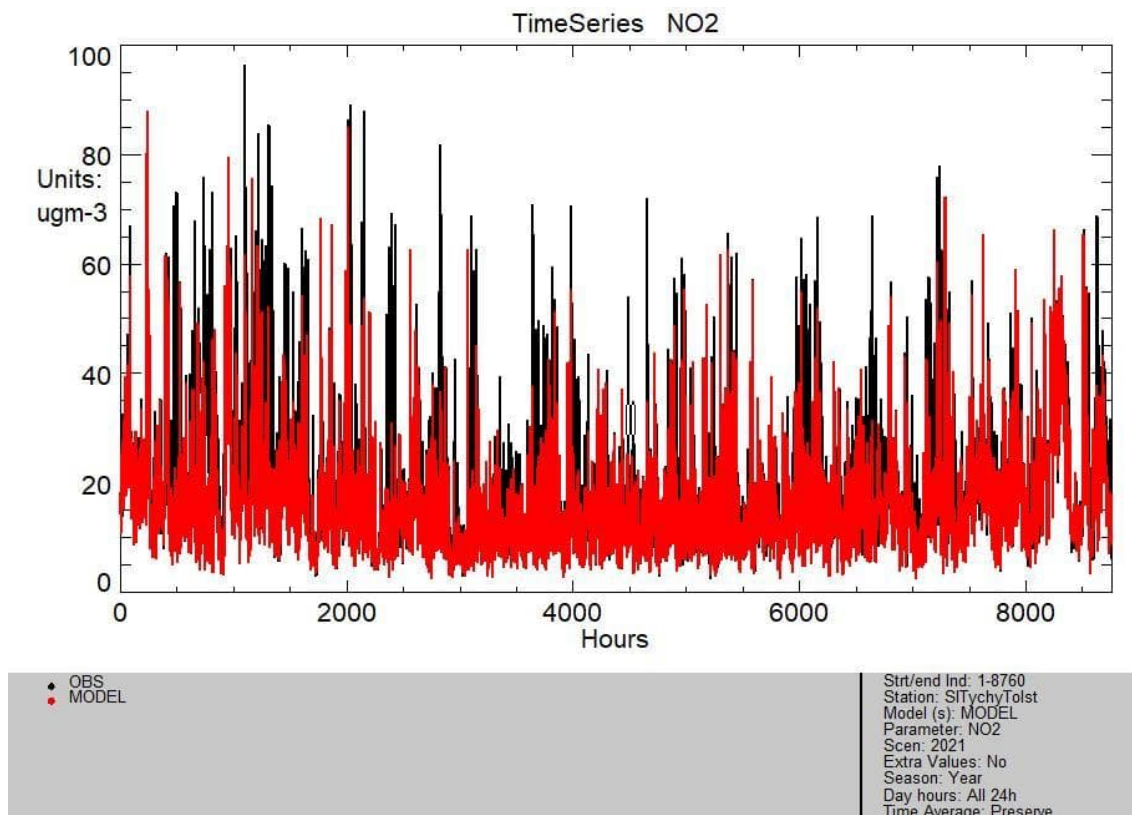


Rysunek 6-1 Diagram celu dla średnich godzinowych stężeń ditlenku azotu

Źródło: opracowanie własne w oparciu o narzędzie DeltaTool

Powyższy diagram wskazuje, że uzyskane wyniki modelowania spełniają kryterium MQO, które dla wartości krótkookresowych wyniosło 0,441, a dla wartości rocznej 0,396. Wartość taka wskazuje, że uzyskane wyniki są bardzo dobre i prawidłowo odzwierciedlają rzeczywistość. Ewentualna poprawa powinna objąć zmienności czasowe.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

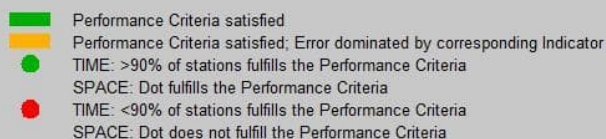
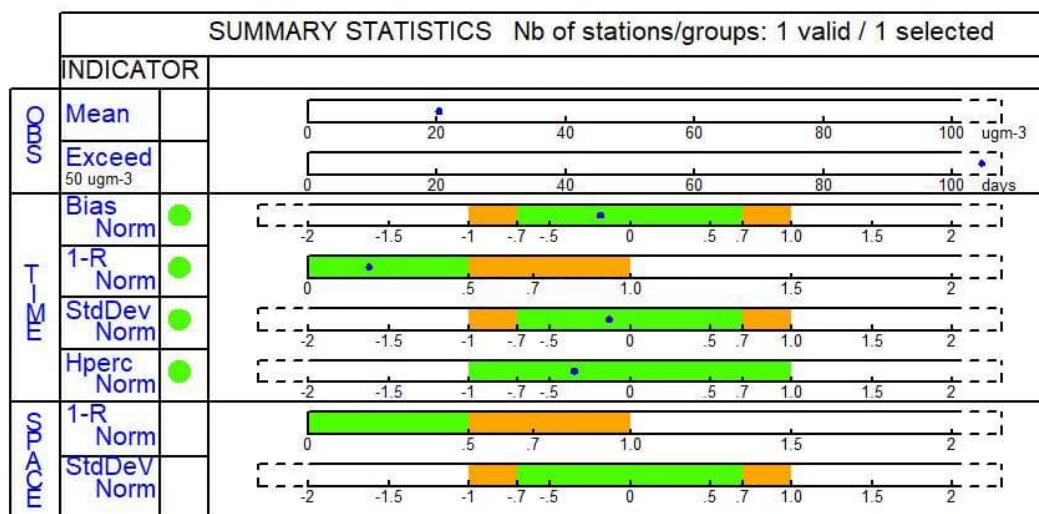


Rysunek 6-2 Porównanie serii czasowych wyników modelowania i pomiaru dla dwutlenku azotu

Źródło: opracowanie własne w oparciu o narzędzie DeltaTool

Również analiza przebiegu wartości jednogodzinnych pochodzących z modelowania oraz pomiaru wyraźnie wskazuje, że model bardzo dobrze nadąża, za pomiarami. Jednak w pewnych warunkach uzyskiwane stężenia mogą być nieco niższe.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 6-3 Podsumowanie statystyk dla stężeń dwutlenku azotu

Źródło: opracowanie własne w oparciu o narzędzie DeltaTool

Doskonałą jakość uzyskanych wyników modelowania potwierdza analiza statystyk określona dla obu przebiegów (model-pomiar). Wszystkie analizowane wskaźniki są zbliżone do 0.

6.2. Pył zawieszony PM10

W przypadku stężeń pyłu zawieszonego PM10 Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2020, Poz. 2279) nie określa wartości błędu względnego dla średnich krótkookresowych, natomiast dla stężeń średniorocznych wynosi on 50%. Zatem można przyjąć, że jeśli dla stężeń krótkookresowych zostanie spełnione kryterium takie dla stężeń średniorocznych wyniki modelowania będą miały dobrą jakość.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

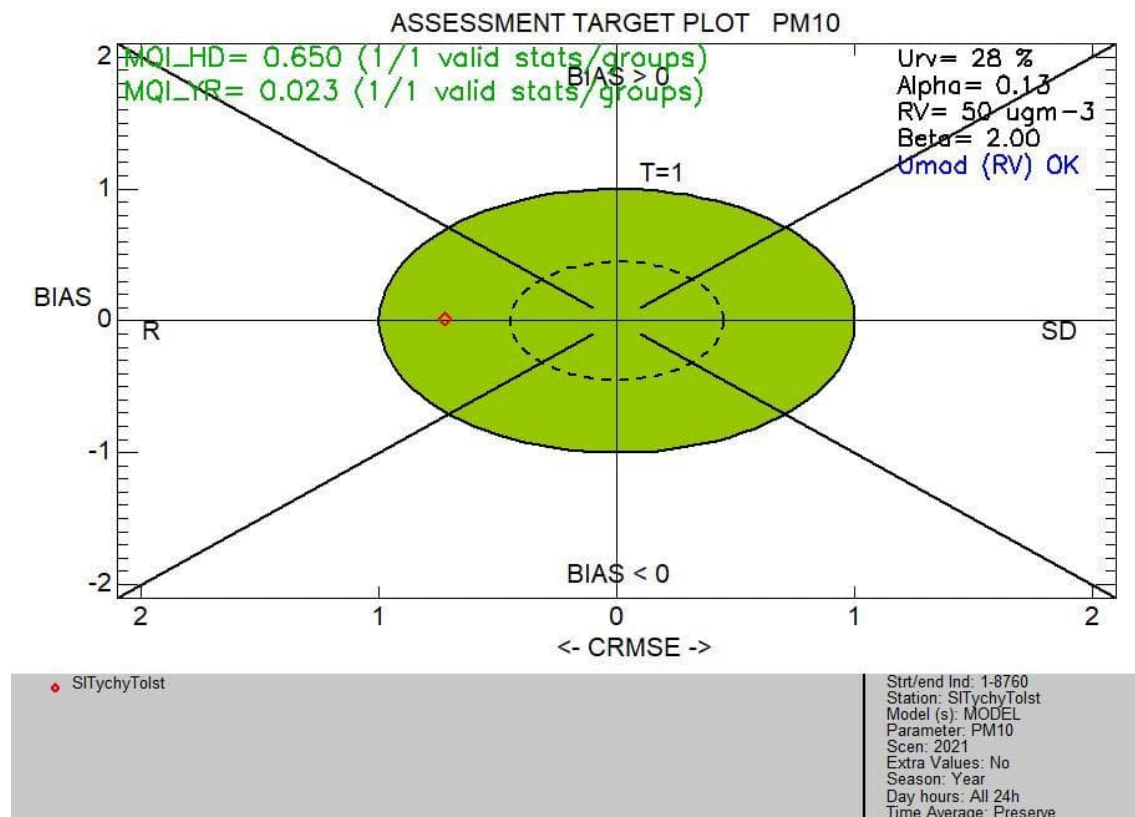
Tabela 6-3 Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania, dla średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM10 w latach 2015-2019.

Kod Stacji	Pomiar [µg/m³]	Model [µg/m³]	BW [%]
Stężenie średnie dobowe	56	55,7	-0,5
Liczba dni z przekroczeniem PD	46	48	-
Stężenie średnie roczne	29,2	30,6	4,8

Źródło: opracowanie własne

W przypadku stężeń krótkookresowych wyniki modelowania były nieznacznie niższe od pomiaru, błąd względny wyniósł 0,5%. Natomiast dla średniej średniorocznej wartość błędu względnego wyniosła 4,8%, przy czym model wskazał wartość nieco wyższą niż pomiar. W obu przypadkach jednak spełnione zostało kryterium narzucone rozporządzeniem.

Również w przypadku pyłu zawieszonego PM10 wykonano analogiczną jak w przypadku dwutlenku azotu analizę z wykorzystaniem narzędzia DeltaTool.



Rysunek 6-4 Diagram celu dla stężeń średnich dobowych pyłu zawieszonego

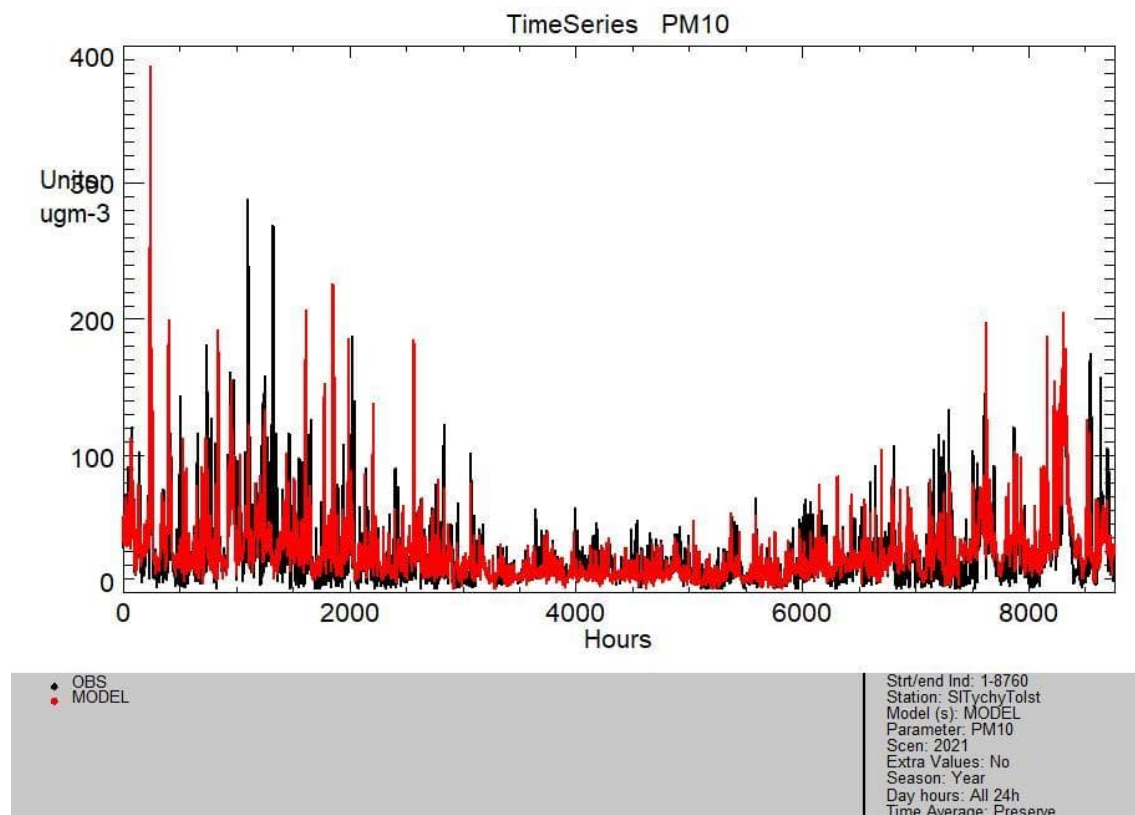
Źródło: opracowanie własne w oparciu o narzędzie DeltaTool

Powyższy diagram wskazuje, że uzyskane wyniki modelowania spełniają kryterium MQO, które dla wartości krótkookresowych wyniosło 0,65, a dla wartości rocznej 0,023.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Świadczy to, że w obu wypadkach prawidłowo odzwierciedlają rzeczywistość. Wartość dla średnich dobowych mieści się w przedziale $0,5 < MQO < 1$, co oznacza, że pomimo, iż wyniki modelowania są prawidłowe można je poprawić, a ewentualna poprawa powinna objąć zmienności czasowe.



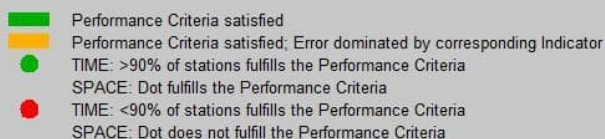
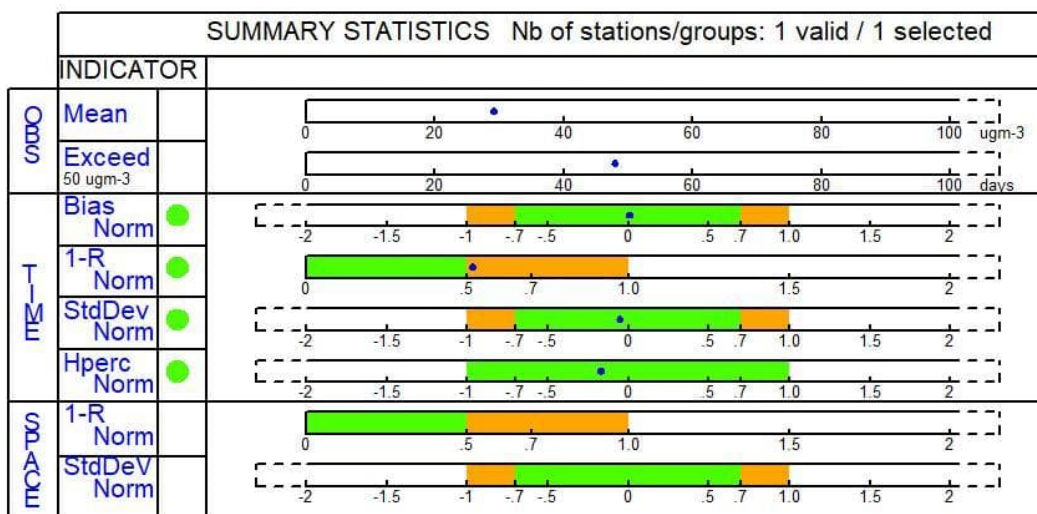
Rysunek 6-5 Porównanie serii czasowych wyników modelowania i pomiaru dla pyłu zawieszonego PM10

Źródło: opracowanie własne w oparciu o narzędzie DeltaTool

Analiza przebiegu wartości jednogodzinnych pochodzących z modelowania oraz pomiaru wyraźnie wskazuje, że model bardzo dobrze nadąża, za pomiarami. Jednak w pewnych warunkach uzyskiwane stężenia mogą być przeszacowane lub (częściej) niedoszacowane.

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 6-6 Podsumowanie statystyk dla pyłu zawieszonego PM10

Źródło: opracowanie własne w oparciu o narzędzie DeltaTool

W przypadku analizy statystyk, można stwierdzić spełnienie przez wyniki modelowania odpowiednich kryteriów, a większość analizowanych wskaźników jest zbliżona do 0. Wyjątek stanowi korelacja, której wartość wyniosła około 0,5, jednak oznacza to istotną zależność, dlatego również to kryterium zostało oznaczone jako spełnione.

7. Ocena efektu ekologicznego wdrożenia systemu ITS

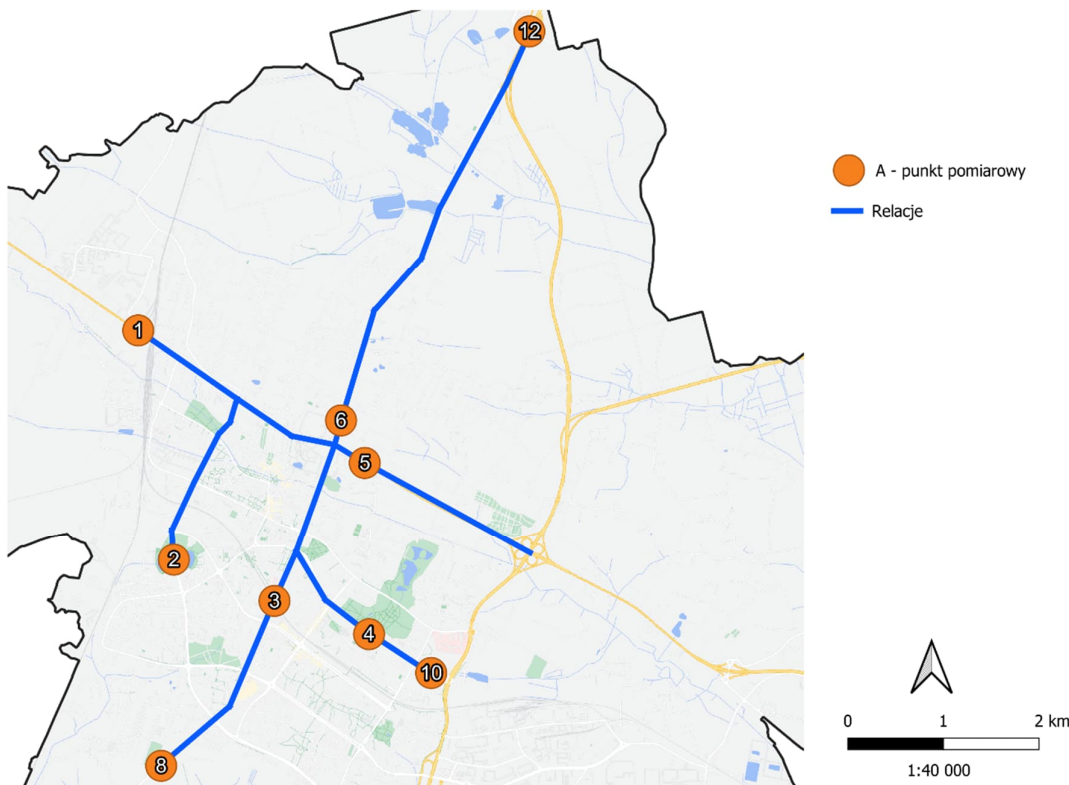
Głównym czynnikiem wpływającym na wielkości emisji jest prędkość pojazdów, z którą związana jest płynność ruchu, co z kolei związane jest ze sprawnością spalania paliwa w silniku.

Podstawę do oceny efektu ekologicznego stanowiła analizę zmian emisji związana ze skróceniem czasu przejazdu pomiędzy wybranymi punktami, w których realizowane były pomiary w ramach dwóch kampanii pomiarowych wykonywanych na potrzeby opracowania projektu „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowanego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020: wskaźniki efektywności funkcjonowania Inteligentnego Systemu Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach – stan przed inwestycyjny i po inwestycyjny”. Następnie na podstawie ww. danych emisyjnych oraz danych meteorologicznych wykonano modelowanie matematyczne stężeń zanieczyszczeń dla obu stanów i określono ich różnicę wskazującą na ostateczny efekt ekologiczny związany z wpływem inwestycji na jakość powietrza w mieście. W ocenie efektu ekologicznego wykorzystano metodykę modelowania omówioną w rozdziale 2 przy ustalonych na rok 2021 warunkach meteorologicznych. W ocenie efektu ekologicznego przyjęcie ustalonych wybranych zmiennych pozwala na uzyskanie lepszej porównywalności wybranych do oceny zjawisk.

Aby dokonać oceny efektu ekologicznego analizowanej inwestycji niezbędne było określenie emisji dla stanu sprzed jej realizacji oraz stanu po jej realizacji. W tym celu posłużono się danymi pochodzącymi z pomiarów ilości pojazdów w szczytach komunikacyjnych w wybranych 12 punktach miasta (1-12, oznaczenie A na rysunku 7-1) oraz w odniesieniu do 12 relacji, na których analizowano czas przejazdu. Dane te dostępne były zarówno dla okresu przed jak i po realizacji inwestycji. Do obliczenia wielkości emisji konieczne jest również uwzględnienie informacji o strukturze i zmienności dobowej ilości pojazdów – tą informację z kolei pozyskano z pomiarów realizowanych w 5 punktach (P1-P5, oznaczenie B na rysunku 7-1) i przyporządkowano ją punktom 1-12 przyjmując, że informacje z punktu P1 będą wyjaśniały zmienność i strukturę ruchu w punktach 1, 5, 7, 11, informacje z punktu P2 – w punktach 3, 6, 8, informacje z punktu P3 – w punkcie 2, informacje z punktu P4 – w punktach 4 i 10, a informacje z punktu P5 – w punktach 9 i 12. Z kolei te dane były dostępne wyłącznie dla okresu przed realizacją inwestycji i przeniesione zostały również na okres po realizacji inwestycji.

Rysunek 7-1 przedstawia rozmieszczenie punktów i odcinków pomiarowych stanowiących podstawę do ostatecznej oceny efektu ekologicznego.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 7-1 Rozmieszczenie punktów pomiarowych oraz odcinków, z których dane stanowiły podstawę do oszacowania wielkości emisji oraz wyznaczenia efektu ekologicznego inwestycji.

Tabela 7-1 Zastawienie analizowanych w opracowaniu relacji

Odcinek	Opis	Długość odcinka [km]
I	Odcinek pomiędzy punktami 1 i 2	2,94
II	Odcinek pomiędzy punktami 1 i 3	3,93
III	Odcinek pomiędzy punktami 1 i 4	4,53
IV	Odcinek pomiędzy punktami 1 i 5	2,64
V	Odcinek pomiędzy punktami 1 i 6	2,72
VI	Odcinek pomiędzy punktami 3 i 5	1,91
VII	Odcinek pomiędzy punktami 3 i 6	2,03
VIII	Odcinek pomiędzy punktami 3 i 8	2,19
IX	Odcinek pomiędzy punktami 4 i 10	0,95
X	Odcinek pomiędzy punktami 5 i 6	0,60
XI	Odcinek pomiędzy punktami 4 i 6	2,62
XII	Odcinek pomiędzy punktami 12 i 6	4,52

Z opracowania „Wskaźniki efektywności funkcjonowania Inteligentnego Systemu Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach – stan po inwestycyjny” pozyskano informację o zweryfikowanych czasach przejazdu pomiędzy poszczególnymi punktami przed i po realizacji systemu. Na tej podstawie wyznaczono średnie prędkości przejazdu po odcinkach. Następnie wykorzystując powyższe i następujące dane:

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

- uśrednione z okresu przed i po realizacji inwestycji ilości pojazdów przejeżdżających przez analizowane skrzyżowania (uśrednienie ilości pojazdów spowodowało, że ich liczba została przyjęta w ocenie jako wartość ustalona i nie spowodowała wprowadzenia zaburzenia w ocenie efektu ekologicznego),
- dopisaną skrzyżowaniom strukturę ruchu i zmienności czasowej ilości pojazdów w dobie (wartości niezmiennie dla stanu sprzed i po realizacji inwestycji),
- długości odcinków pomiarowych, dla których określono czas przejazdu przed i po realizacji inwestycji,

oraz w oparciu o wskaźniki emisji drogowej ze spalania paliw w silniku opracowane przez prof. Z. Chłopka na potrzeby programów ochrony powietrza⁵, wyznaczono wielkości emisji zanieczyszczeń (NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NMLZO, CO₂) dla poszczególnych odcinków drogi. Wielkość emisji określono w gramach na dany odcinek w ciągu doby. Następnie w oparciu o tak wyznaczone emisje obliczono wskaźniki efektu ekologicznego dla zmian emisji wg. wzoru:

$$EE = \left(1 - \frac{E_{z0}}{E_{z1}}\right) \times 100, \text{ gdzie}$$

EE - efekt ekologiczny odpowiadający procentowej zmianie emisji zanieczyszczeń

E_{z0} – emisja roczna danego zanieczyszczenia z analizowanego odcinka, przed inwestycją

E_{z1} – emisja roczna danego zanieczyszczenia z analizowanego odcinka, po inwestycji

Jeżeli wskaźnik efektu ekologicznego uzyskuje wartość dodatnią oznacza to redukcję emisji zanieczyszczeń, natomiast przy wartościach ujemnych wskaźnika następuje pogorszenie w stosunku stanu sprzed inwestycji.

Na większości odcinków uzyskano spadek emisji, nawet rzędu kilkudziesięciu procent. Spadek emisji uzyskano również globalnie, dla wszystkich skrzyżowań - największy dla tlenku węgla oraz NMLZO (rzędu 20%), najmniejszy dla dwutlenku węgla (rzędu 7%). Dla wszystkich zanieczyszczeń uzyskany efekt ekologiczny określony poprzez zmniejszenie wielkości emisji przewyższa zakładane 5,5%.

⁵ Kalkulator do obliczania rocznej wielkości emisji z transportu drogowego dla odcinka drogi

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Ruchem w Tychach”

realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Tabela 7-1 Zmiany wielkości emisji dla wybranych do analizy odcinków pomiarowych

Odc.	Przejazd	NOx			CO			PM10			PM2,5			SO ₂			NMLZO			CO ₂		
		Przed [kg /odc]	Po [kg /odc]	Zmiana [%]	Przed [kg /odc]	Po [kg /odc]	Zmiana [%]	Przed [kg /odc]	Po [kg /odc]	Zmiana [%]	Przed [kg /odc]	Po [kg /odc]	Zmiana [%]	Przed [g /odc]	Po [g /odc]	Zmiana [%]	Przed [kg /odc]	Po [kg /odc]	Zmiana [%]	Przed [Mg /odc]	Po [Mg /odc]	Zmiana [%]
I	od 1 do 2	5,1	4,3	15	12,6	8,4	33	0,309	0,265	14	0,247	0,206	17	11,5	10,3	11	1,66	1,10	34	1,19	0,99	17
	od 2 do 1	2,5	2,5	2	13,8	13,5	2	0,196	0,195	1	0,157	0,156	1	9,6	9,3	3	1,75	1,72	2	1,00	0,95	4
II	od 1 do 3	1,4	1,4	2	4,1	3,9	4	0,090	0,088	2	0,073	0,071	2	3,4	3,3	2	0,53	0,51	4	0,35	0,34	3
	od 3 do 1	1,1	1,1	0	5,7	5,6	2	0,079	0,079	0	0,064	0,064	1	3,8	3,8	0	0,73	0,72	2	0,35	0,41	-17
III	od 1 do 4	0,8	0,8	-1	2,5	2,5	-1	0,049	0,050	0	0,040	0,041	-1	1,9	1,9	0	0,32	0,32	-1	0,21	0,21	0
	od 4 do 1	1,2	1,2	3	4,1	3,9	3	0,068	0,067	2	0,057	0,056	2	2,9	2,8	2	0,54	0,52	3	0,32	0,31	4
IV	od 1 do 5	11,7	11,1	5	26,6	23,2	13	0,716	0,680	5	0,567	0,533	6	26,8	25,8	4	3,50	3,05	13	2,68	2,53	6
	od 5 do 1	14,9	15,0	-1	32,1	32,1	0	0,811	0,812	0	0,668	0,670	0	28,0	28,5	-2	4,31	4,29	0	3,12	3,24	-4
V	od 1 do 6	2,0	1,8	9	4,5	3,5	23	0,123	0,112	9	0,097	0,087	10	4,6	4,3	6	0,59	0,46	23	0,46	0,42	9
	od 6 do 1	1,4	1,5	-11	5,2	6,1	-17	0,096	0,102	-7	0,077	0,083	-8	4,0	4,4	-9	0,67	0,78	-17	0,41	0,48	-17
VI	od 3 do 5	0,4	0,4	6	2,4	2,1	12	0,031	0,030	4	0,025	0,024	5	1,5	1,4	8	0,30	0,26	12	0,14	0,12	17
	od 5 do 3	1,2	1,1	12	2,9	2,5	14	0,065	0,060	8	0,055	0,050	10	2,4	2,1	10	0,38	0,33	14	0,26	0,24	10
VII	od 3 do 6	1,8	1,8	3	8,6	8,1	6	0,139	0,136	2	0,110	0,107	2	6,3	6,1	2	1,10	1,04	6	0,62	0,59	4
	od 6 do 3	2,5	2,4	6	9,2	8,3	10	0,170	0,163	4	0,137	0,130	5	7,1	6,8	4	1,19	1,07	10	0,73	0,68	7
VIII	od 3 do 8	0,8	0,9	-9	3,6	4,3	-21	0,064	0,068	-6	0,050	0,054	-8	2,9	3,2	-8	0,46	0,55	-20	0,27	0,32	-17
	od 8 do 3	1,4	1,2	16	4,8	4,3	12	0,105	0,087	17	0,081	0,068	17	4,6	3,8	17	0,62	0,54	12	0,35	0,36	-3
IX	od 4 do 10	1,4	1,5	-4	4,1	4,4	-9	0,093	0,096	-3	0,074	0,077	-4	3,8	3,9	-3	0,53	0,58	-9	0,38	0,40	-6
	od 10 do 4	1,8	1,6	10	7,0	5,3	23	0,130	0,119	9	0,103	0,092	11	5,7	5,3	7	0,90	0,69	24	0,55	0,48	13
X	od 5 do 6	1,2	0,9	26	2,7	1,7	37	0,065	0,052	20	0,054	0,041	24	2,3	1,8	20	0,36	0,23	37	0,24	0,19	23
	od 6 do 5	0,9	0,8	9	3,4	3,1	9	0,053	0,051	5	0,044	0,042	6	2,4	2,2	9	0,43	0,40	9	0,24	0,21	13
XI	od 4 do 6	0,6	0,7	-3	2,5	2,6	-4	0,040	0,040	-2	0,033	0,033	-2	1,8	1,8	-3	0,32	0,34	-4	0,17	0,18	-6
XII	od 12 do 6	16,7	13,0	22	40,8	13,4	67	1,053	0,677	36	0,828	0,535	35	41,6	31,7	24	5,33	1,45	73	4,07	3,15	22
Suma dla wszystkich odcinków i przejazdów		72,9	66,8	8	203,0	162,7	20	4,54	4,03	11	3,64	3,22	12	179	165	8	26,53	20,94	21	18,13	16,80	7

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Na podstawie wielkości emisji określonej dla stanu sprzed i po inwestycji wykonano obliczenia modelowe stężeń następujących zanieczyszczeń: NO₂, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, niemetanowych lotnych związków organicznych (NMLZO) oraz CO₂ zgodnie z metodyką omówioną w rozdziale 2. Obliczenia wykonano wyłącznie dla emisji związanej z transportem drogowym pomijając tło zanieczyszczeń. Dzięki takiemu podejściu uwypuklono faktyczny wpływ skrócenia czasu przejazdu na jakość powietrza w mieście, w zakresie stężeń pochodzących z transportu drogowego. Wskaźniki efektu ekologicznego dla obniżenia stężeń określono wg wzoru:

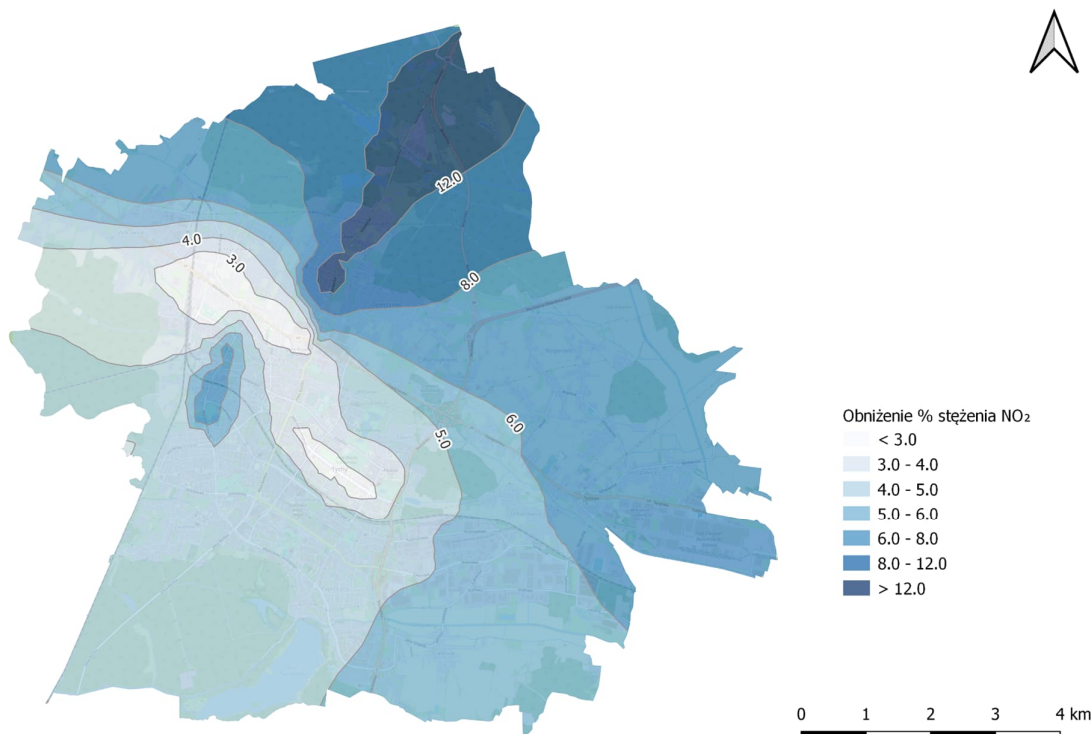
$$EE = (1 - \frac{C_{z0}}{C_{z1}}) \times 100, \text{ gdzie}$$

EE - efekt ekologiczny odpowiadający procentowej zmianie stężeń zanieczyszczeń

C_{z0} – stężenie średnie roczne danego zanieczyszczenia przed inwestycją

C_{z1} – stężenie średnie roczne danego zanieczyszczenia po inwestycji

Jeżeli wskaźnik ten uzyskuje wartość dodatnią oznacza to redukcję stężeń zanieczyszczeń, natomiast przy wartościach ujemnych wskaźnika następuje pogorszenie w stosunku stanu sprzed inwestycji. Poniższe rysunki przedstawiają zmiany stężeń średnich rocznych analizowanych zanieczyszczeń uzyskane w wyniku skrócenia czasu przejazdu.

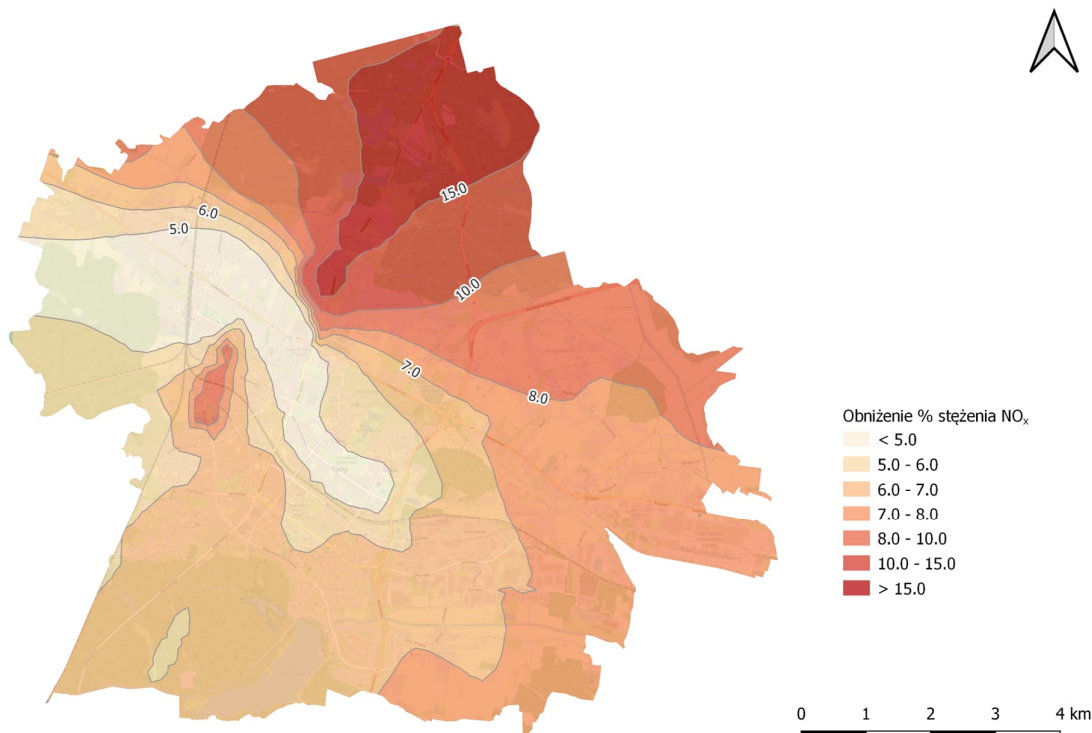


Rysunek 53 Zmiana średniego rocznego stężenia dwutlenku azotu po wdrożeniu systemu ITS

W przypadku średniego rocznego stężenia dwutlenku azotu zamiany stężeń w obszarze miasta oznaczają poprawę jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

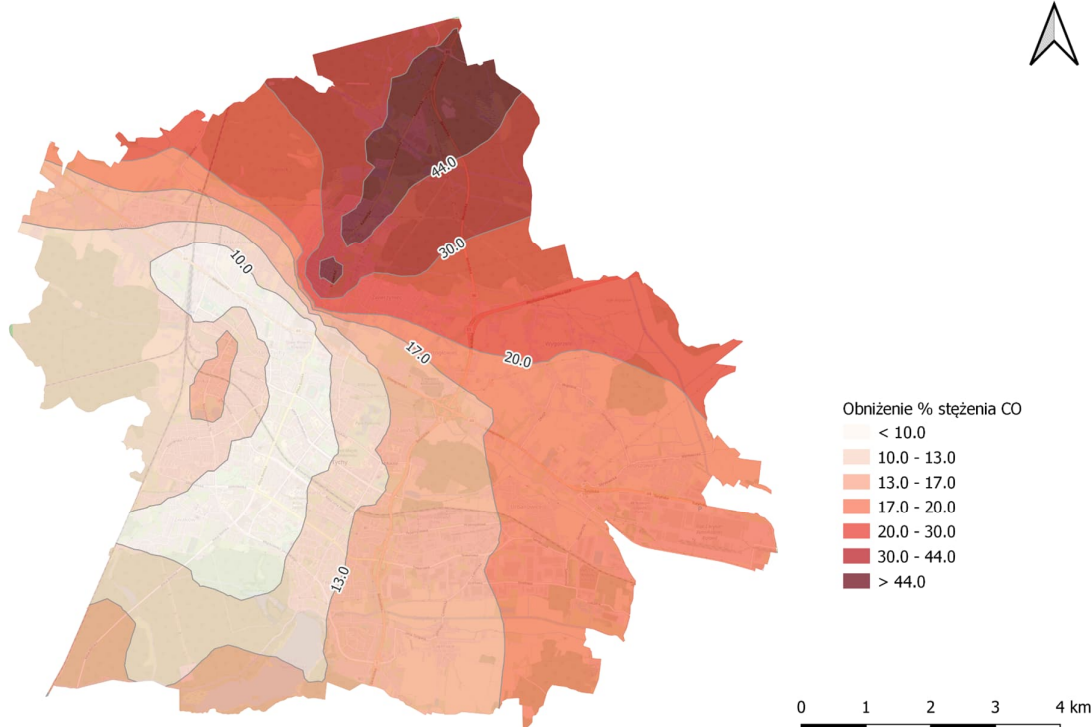
komunikacyjnych w zakresie od 3 do powyżej 12 %. Największego zysku można spodziewać się w ciągu ulicy Katowickiej, natomiast najniższy efekt ekologiczny określono dla ciągu DK44.



Rysunek 54 Zmiana średniego rocznego stężenia tlenków azotu po wdrożeniu systemu ITS

Z kolei w przypadku średniego rocznego stężenia tlenków azotu zamiany stężeń w obszarze miasta oznaczają poprawę jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie od 5 do powyżej 15 %. Również w tym przypadku największy efekt ekologiczny dotyczy ciągu ulicy Katowickiej, natomiast najniższy określono dla ciągu DK44.

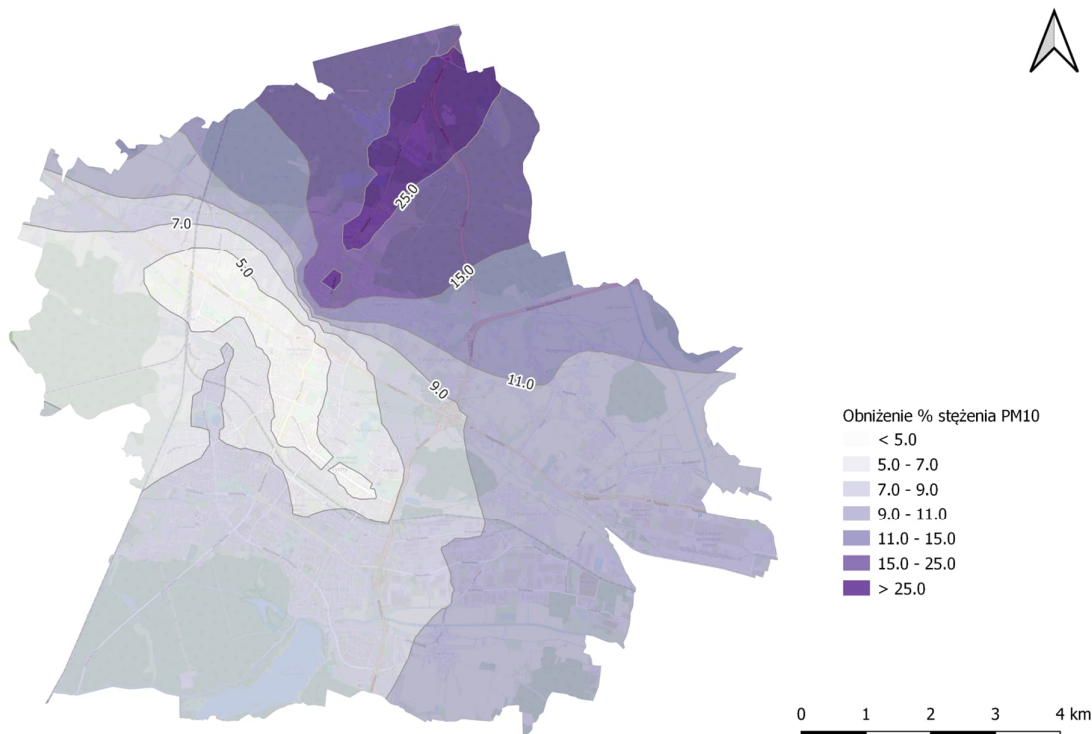
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 55 Zmiana średniego rocznego stężenia tlenku węgla po wdrożeniu systemu ITS

W przypadku średniego rocznego stężenia tlenku węgla zamiany stężeń w obszarze miasta oznaczają poprawę jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych są wysokie i wahają się w zakresie od 10 do powyżej 44 %. Największy efekt ekologiczny dotyczy okolic ulicy Katowickiej, natomiast najniższy efekt ekologiczny określono dla ciągu DK44 i ul. Bielskiej.

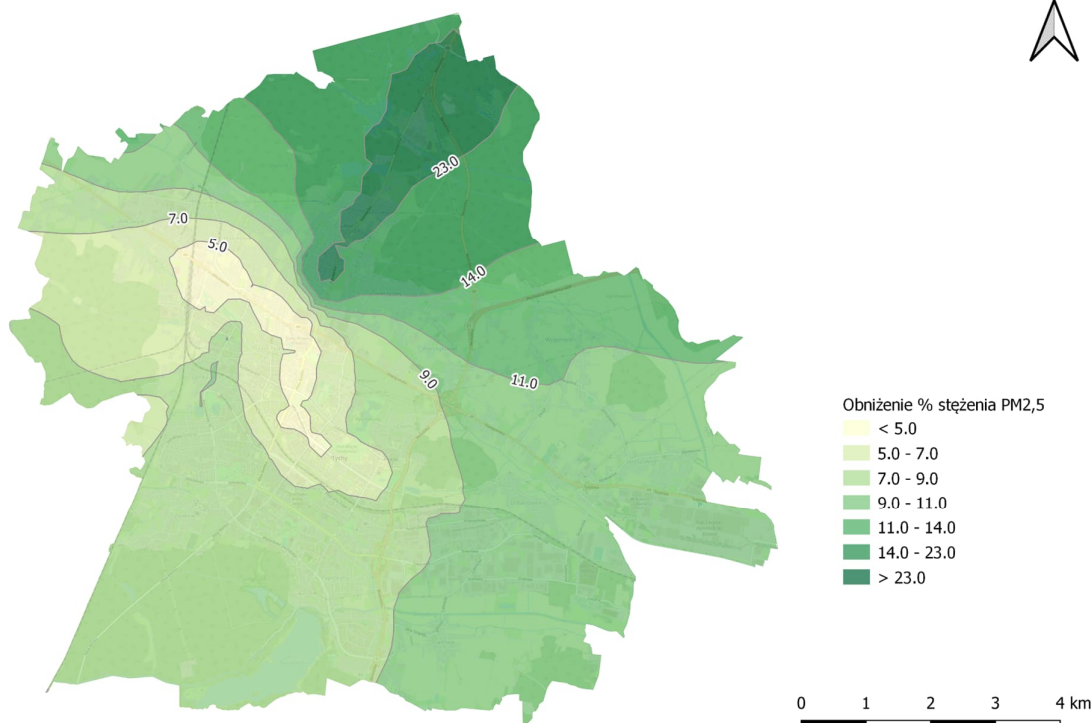
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 56 Zmiana średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10 po wdrożeniu systemu ITS

W przypadku średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10 zamiany stężeń w obszarze miasta oznaczają poprawę jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie od 5 do powyżej 25 %. Również jak było to w przypadku dwutlenku azotu, największy zysk ekologiczny uzyskano w ciągu ulicy Katowickiej, natomiast najniższy efekt ekologiczny określono dla ciągu DK44.

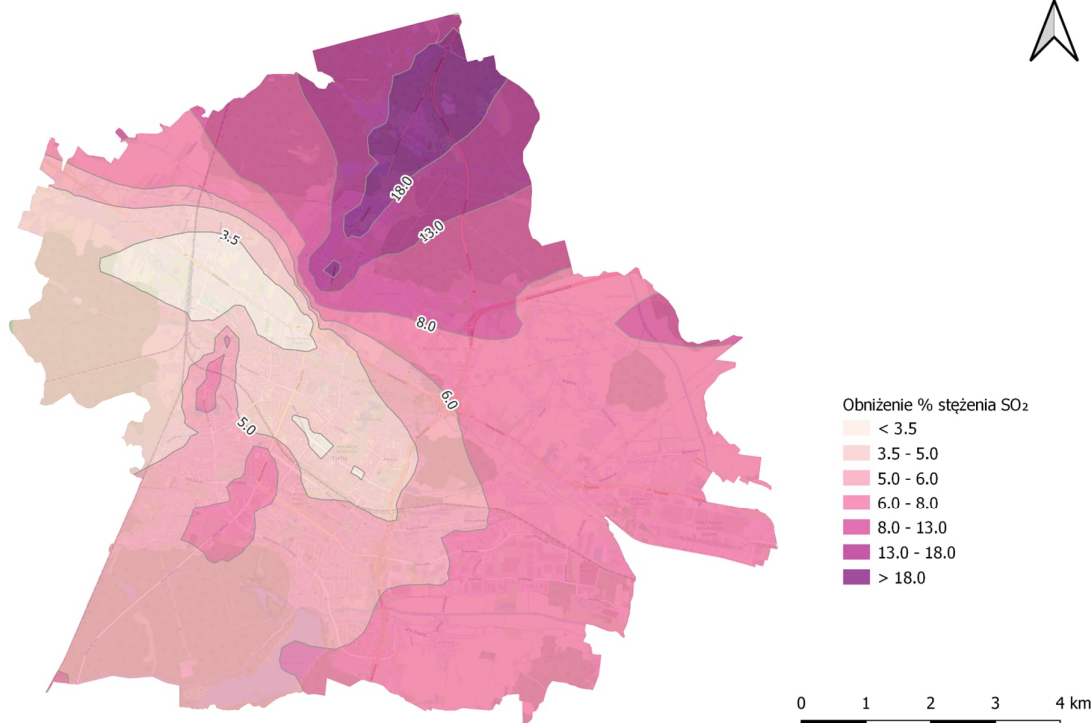
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 57 Zmiana średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} po wdrożeniu systemu ITS

W przypadku średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM_{2,5} zamiany stężeń w obszarze miasta oznaczają poprawę jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie od 5 do powyżej 23 %. Rozkład wskaźnika efektu ekologicznego dla stężeń pyłu zawieszonego PM_{2,5} jest identyczny jak dla PM₁₀.

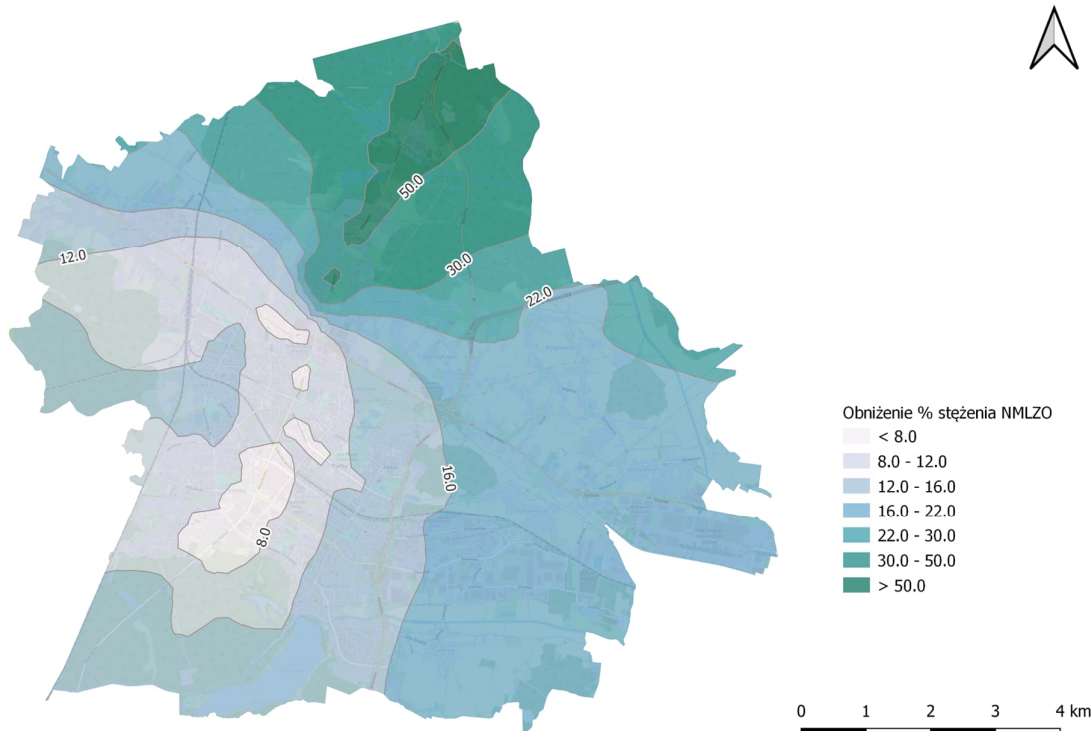
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 58 Zmiana średniego rocznego stężenia dwutlenku siarki po wdrożeniu systemu ITS

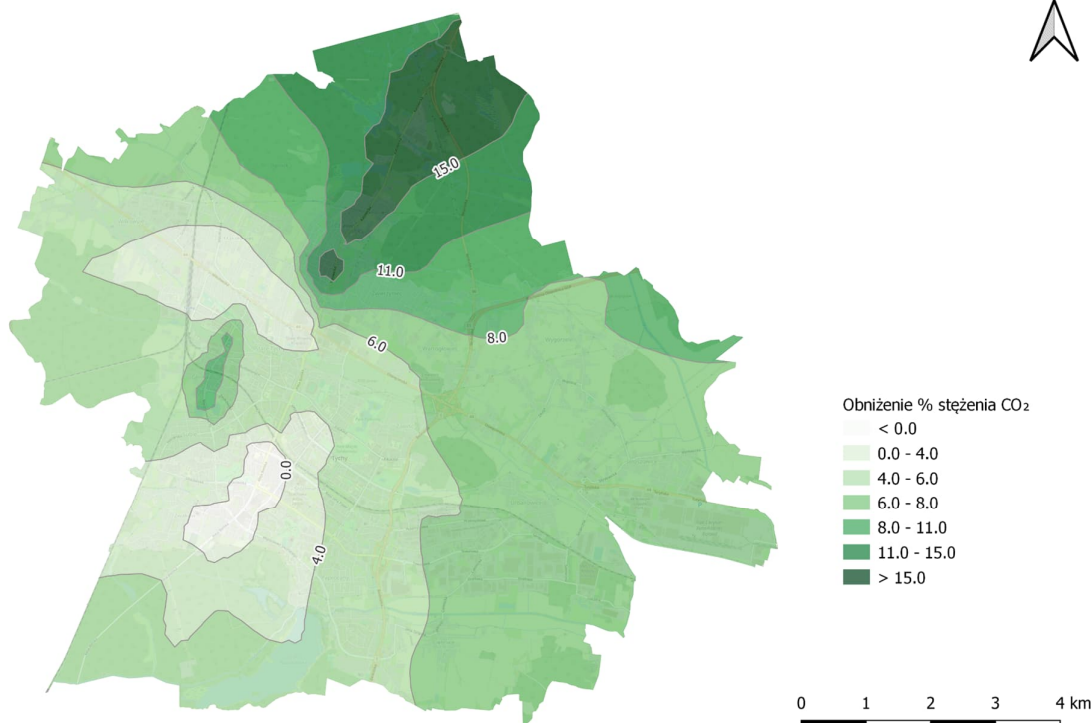
W przypadku średniego rocznego stężenia dwutlenku siarki zamiany stężeń w obszarze miasta oznaczają poprawę jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie od 3,5 do powyżej 18 %. Również dla dwutlenku siarki najwyższy efekt ekologiczny uzyskano w ciągu ulicy Katowickiej, natomiast najniższy dla ciągu DK44 oraz ul Niepodległości.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 59 Zmiana średniego rocznego stężenia NLMZO po wdrożeniu systemu ITS

W przypadku średniego rocznego stężenia NLMZO zamiany stężeń w obszarze miasta oznaczają poprawę jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie od 8 do powyżej 50 %. Najwyższy efekt ekologiczny określony na podstawie wyników modelowania określono w ciągu ulicy Katowickiej, natomiast najniższy efekt ekologiczny określono dla al. Białskiej.



Rysunek 60 Zmiana średniego rocznego stężenia dwutlenku węgla po wdrożeniu systemu ITS

W przypadku średniego rocznego stężenia dwutlenku węgla zamiany stężeń w obszarze miasta w przeważającej jego części oznaczają poprawę jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych do 15% w ciągu ul. Katowickiej. Pogorszenia można spodziewać się w ciągu ulicy Bialskiej pomiędzy al. Jana Pawła w kierunku południowym, jednak wzrost stężeń jest nieznaczny.

Ostateczną wartość wskaźnika efektu ekologicznego w postaci redukcji stężeń zanieczyszczeń określono w oparciu o roczną średnią obszarową stężenia dla poszczególnych zanieczyszczeń z całego miasta Tychy. Obliczone wartości zaprezentowano w tabeli 7-2.

Tabela 7-2 Wielkość efektu ekologicznego dla zmiany stężeń zanieczyszczeń

Zanieczyszczenie	Stężenie średnie roczne - obszarowe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Efekt ekologiczny – obniżenie % stężeń zanieczyszczeń
	przed	po	
NO ₂	0,355	0,332	6,41
NO _x	0,244	0,225	7,90
CO	0,858	0,697	18,75
PM ₁₀	0,0195	0,0175	10,54
PM ₂₅	0,0159	0,0142	10,80
SO ₂	0,00061	0,00057	7,41

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Zanieczyszczenie	Stężenie średnie roczne - obszarowe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Efekt ekologiczny – obniżenie % stężeń zanieczyszczeń
	przed	po	
NMLZO	0,112	0,0899	19,86
CO ₂	76,3	70,9	7,01

Jak widać najlepszy efekt ekologiczny w postaci obniżenia stężeń uzyskano dla tlenu węgla oraz lotnych związków organicznych, gdzie obniżenie sięga nawet około 18 - 20%. Dla pozostałych zanieczyszczeń obniżenie stężeń wynosi ok 6,4% dla dwutlenku azotu do nieco ponad 20% dla zanieczyszczeń pyłowych. Jednocześnie należy podkreślić, że we wszystkich wypadkach jest to efekt przewyższający zakładane 5,5%.

8. Analizy uzupełniające

8.1. Pomiary wykonywane w ramach dedykowanej sieci monitoringu

Na potrzeby analiz uzupełniających wykorzystano wyniki automatycznych pomiarów stężenia wybranych zanieczyszczeń, wykonanych za pomocą dedykowanej, zbudowanej w ramach ITS w Tychach, sieci Stacji Pomiaru Stężenia Zanieczyszczenia Powietrza i Hałasu (SPSZPiH). Sieć ta obejmuje 4 stacje pomiarowe.

Podsystem monitorowania środowiska i pomiaru hałasu będzie mógł wspierać bieżącą ocenę oddziaływania transportu drogowego na otoczenie, a dostarczane przez niego mogą być jednym z czynników podejmowania decyzji o organizacji ruchu w mieście realizowanej przez ITS w Tychach.

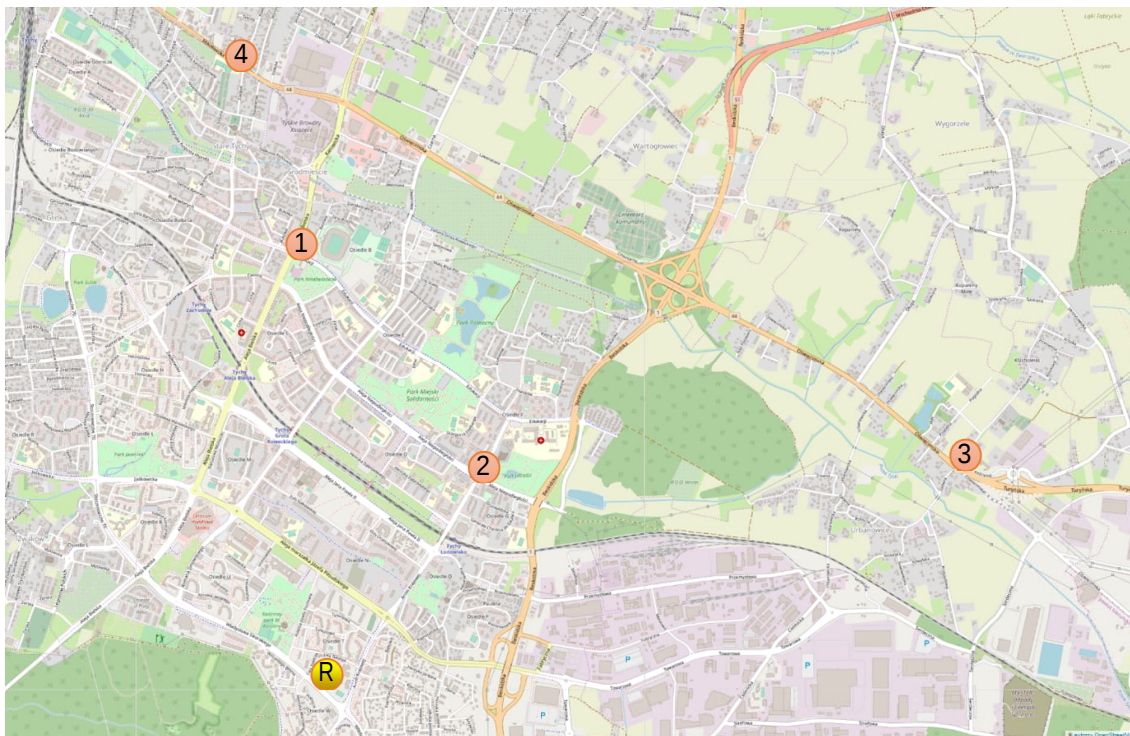
System pomiarowy dostarczał serie danych o uśrednieniu 1-godzinnym, które następnie były przetwarzane i agregowane dla uzyskania odpowiednich analizowanych charakterystyk jakości powietrza.

Poniższa tabela oraz mapa prezentują lokalizację stacji pomiarowych SPSZPiH w mieście (od 1 do 4), a także stacji referencyjnej tła miejskiego, należącej do Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (oznaczona symbolem R).

Tabela 7-1 Lokalizacja stacji pomiarowych

Nr stacji	Lokalizacja stacji
1	ul. Edukacji – Al. Bielska
2	ul. Wyszyńskiego – ul. Niepodległości
3	ul. Oświęcimska – ul. Kościelna
4	ul. Powstańców – ul. Mikołowska

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.



Rysunek 7-1. Lokalizacja stacji pomiarowych monitoringu powietrza na obszarze Tych

8.2. Pomiary referencyjne tła zanieczyszczeń

Na potrzeby analiz wykorzystano również wyniki pomiarów prowadzonych za pomocą metod referencyjnych na stacji tła miejskiego, należącej do Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Stacja ta, posiadająca kod krajowy SI_{TychyTolst} oraz kod międzynarodowy PL0240A, jest położona przy ulicy Tolstoja 1 (współrzędne Φ 50,099903, λ 18,990236, wysokość n.p.m. 252 m). Są na niej realizowane, między innymi, ciągłe automatyczne pomiary stężenia:

- dwutlenku azotu,
- tlenków azotu,
- pyłu zawieszonego PM₁₀,
- dwutlenku siarki.

Źródłem wyników pomiarów ze stacji był Portal Jakości Powietrza GIOŚ (<http://powietrze.gios.gov.pl>).

8.3. Metoda obliczeń

W ramach analiz uzupełniających utworzono wirtualne serie pomiarowe, złożone z danych 1-godzinnych będących uśrednieniem wyników pomiarów danego zanieczyszczenia, uzyskanych w określonej godzinie na stacjach wchodzących w skład dedykowanej sieci pomiarowej ITS Tychy.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

Następnie obliczono różnice – dla każdej godziny – pomiędzy wartością stężenia uśrednionego, a wartością pomiaru uzyskanego na referencyjnej stacji tła miejskiego.

Seria tych różnic poddana została agregacji – uśrednieniu dobowemu, miesięcznemu oraz kwartalnemu. Tak uzyskane wartości, porównywane w różnych okresach o zbliżonej charakterystyce meteorologicznej (podobne części roku kalendarzowego) mogą stanowić pewnego rodzaju pomocniczy wskaźnik oceny zmienności oddziaływania emisji transportowej pochodzącej z ruchu w rejonie lokalizacji stacji dedykowanego systemu pomiarowego ITS.

Przeprowadzenie obliczeń było uwarunkowane dostępnością danych pomiarowych spełniających kryteria kompletności, zarówno z sieci dedykowanej, jak i stacji referencyjnej GIOŚ. Z założenia uwzględniono przede wszystkim miesiące, w których mniejsze jest oddziaływanie innych, niż komunikacyjne, źródeł emisji zanieczyszczeń, głównie sektora komunalno-bytowego (ogrzewanie mieszkań).

8.4. Wyniki obliczeń

W tabeli zestawiono porównanie wykonane dla dwóch substancji gazowych oraz pyłu zawieszonego PM10 – wartości uśrednione dla okresów:

- kwiecień-maj 2022 – okres przed uruchomieniem skalibrowanego systemu ITS
- kwiecień-maj 2023 – okres po uruchomieniu skalibrowanego systemu ITS

Wskaźnik	Średnia wskaźników różnic dla NO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Średnia wskaźników różnic dla PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Średnia wskaźników różnic dla SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Średnia kwiecień – maj 2022	33,7	2,5	9,3
Średnia kwiecień – maj 2023	22,3	2,0	4,8
Wskaźnik korzyści	34%	19%	49%

9. Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu realizacji projektu „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” (dalej w skrócie: „ITS w Tychach”) na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (mierzony ekwiwalentem CO₂), zanieczyszczeń gazowych oraz cząstek stałych w stosunku do stanu istniejącego. Jako próg, który powinien zostać osiągnięty wskutek funkcjonowania systemu, określono wartość redukcji emisji o 5,5% w stosunku do stanu przed inwestycyjnego. Na potrzeby prac wykorzystano wyniki pomiarów oraz mechanizmy modelowania matematycznego, co pozwoliło na wyeliminowanie oddziaływania zjawisk zewnętrznych, jak np. zmienności warunków meteorologicznych w różnych okresach poddanych analizie. Przyjęta metoda jest zbieżna z innymi rozwiązaniami stosowanymi np. przy ocenie oddziaływania inwestycji na środowisko.

Podstawą przeprowadzonych analiz są wyniki pomiarów ruchu wykonane w stałych punktach przed inwestycją oraz po uruchomieniu i skalibrowaniu systemu ITS. Dodatkowo wykorzystano dane z pomiarów stężenia zanieczyszczeń powietrza zrealizowanych za pomocą dedykowanej komunikacyjnej sieci pomiarowej systemu ITS, a także na referencyjnej stacji pomiarowej tła miejskiego. Głównym wykorzystanym narzędziem był gaussowski model dyspersji II generacji CALPUFF służący do oceny oddziaływania w skali lokalnej, współpracujący z preprocesorem CALMET, który posłużył do określenia warunków meteorologicznych w analizowanym okresie. Jako bazowy dla meteorologii przyjęto w analizach rok 2021.

Do danych wejściowych wykorzystanych w pracy należały, między innymi:

- emisja punktowa udostępniona przez Krajowy Ośrodek Bilansowania Emisji Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE),
- emisja powierzchniowa, opracowana na podstawie udostępnionej przez Urząd Miasta w Tychach informacji o budynkach i sposobach ich ogrzewania, uaktualnionej w oparciu o dane statystyczne oraz z wykorzystaniem innych danych dla obszarów poza miastem,
- emisja liniowa, opracowana w oparciu o mapę sieci dróg oraz dane pomiarowe pozyskane w ramach wdrożenia ITS, uzupełnione innymi źródłami, np. z generalnego pomiaru ruchu; zastosowano wskaźniki emisji przygotowane przez KOBiZE oraz pochodzące z bazy COPERT (emisja ze spalania paliw); wielkości zanieczyszczeń pochodzących ze ścierania opon i hamulców, a także z wtórnego unosu z dróg określono z wykorzystaniem metodyk Europejskiej Agencji Środowiska oraz Agencji Ochrony Środowiska USA;
- emisja z rolnictwa, określona na podstawie bazy CORINE Land Cover z wykorzystaniem metodyk Europejskiej Agencji Środowiska.

W pracy szeroko przedstawiono wyniki analizy warunków i zjawisk meteorologicznych w roku bazowym 2021 na ocenianym obszarze miasta Tychy. Omówiono rozkłady prędkości i kierunku wiatru, temperatury, opadów atmosferycznych, wilgotności względnej, klas równowagi atmosfery i wysokości warstwy inwersji, czyli parametrów, które mają istotny wpływ na dynamikę procesów zachodzących w atmosferze, a co za tym idzie na rozprzestrzenianie

się zanieczyszczeń w powietrzu. Poza ogólną charakterystyką warunków meteorologicznych całego miasta wzięto również pod uwagę ewentualne różnice w obrębie skrzyżowań, na których wdrożono system ITS.

W ramach pracy wykonano modelowanie ewaluacyjne dla 2021 roku, co miało na celu analizę jakości zastosowanego rozwiązania oraz ocenę jego przydatności przy określeniu efektu ekologicznego ITS z uwzględnieniem poszczególnych zanieczyszczeń. Ponadto określono udziały poszczególnych kategorii emisji w stężeniach zanieczyszczeń występujących w poszczególnych rejonach miasta.

Ocenę efektu ekologicznego wdrożenia systemu ITS w Tychach oparto o analizę zmian emisji związaną ze skróceniem czasu przejazdu pomiędzy wybranymi punktami wykorzystując informacje pochodzące z pomiarów i ich opracowań, dotyczących stanu przed inwestycyjnego i po inwestycyjnego. Na podstawie danych emisyjnych oraz danych meteorologicznych wykonano modelowanie matematyczne stężeń zanieczyszczeń dla obu stanów i określono ich różnicę wskazującą na ostateczny efekt ekologiczny związany z wpływem inwestycji na jakość powietrza w mieście. Wykorzystano metodykę modelowania przy ustalonych na rok 2021 warunkach meteorologicznych, co pozwoliło na uzyskanie lepszej porównywalności wybranych do oceny zjawisk. Uwzględniono też uzyskane z pomiarów informacje o strukturze i zmienności dobowej liczby pojazdów w badanych obszarach. W oparciu o wskaźniki emisji drogowej ze spalania paliw w silniku wyznaczono wielkości emisji zanieczyszczeń (NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NMLZO, CO₂) dla poszczególnych odcinków drogi. Wielkość emisji określono w gramach na dany odcinek w ciągu doby. Następnie obliczono wskaźniki efektu ekologicznego dla zmian emisji po uruchomieniu i skalibrowaniu systemu ITS.

Na większości odcinków uzyskano spadek emisji, nawet rzędu kilkudziesięciu procent. Spadek emisji uzyskano również globalnie, dla wszystkich skrzyżowań - największy dla tlenku węgla oraz NMLZO (rzędu 20%), najmniejszy dla dwutlenku węgla (rzędu 7%). **Dla wszystkich zanieczyszczeń uzyskany efekt ekologiczny określony poprzez zmniejszenie wielkości emisji przewyższa zakładane 5,5%.**

Na podstawie wielkości emisji określonej dla stanu sprzed i po inwestycji wykonano obliczenia modelowe stężeń następujących zanieczyszczeń: NO₂, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, niemetanowych lotnych związków organicznych (NMLZO) oraz CO₂ zgodnie z przyjętą metodyką. Obliczenia wykonano wyłącznie dla emisji związanej z transportem drogowym, pomijając tło zanieczyszczeń. Dzięki takiemu podejściu uwypuklono faktyczny wpływ skrócenia czasu przejazdu na jakość powietrza w mieście, w zakresie stężeń pochodzących z transportu drogowego.

W przypadku średniego rocznego stężenia **dwutlenku azotu** zmiany stężeń w obszarze miasta oznaczają **poprawę jakości powietrza** w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie **od 3 do powyżej 12 %**. Z kolei w przypadku średniego rocznego stężenia **tlenków azotu** zmiany stężeń w obszarze miasta oznaczają **poprawę jakości powietrza** w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie **od 5 do powyżej 15 %**. W przypadku średniego rocznego stężenia **tlenku węgla** zmiany stężeń w obszarze miasta oznaczają **poprawę jakości powietrza** w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych są wysokie i wahają się **w zakresie od 10 do powyżej 44 %**. W przypadku średniego rocznego stężenia **pyłu zawieszonego PM₁₀** zmiany stężeń w obszarze miasta oznaczają **poprawę**

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

jakości powietrza w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie **od 5 do powyżej 25 %**. W przypadku średniego rocznego stężenia **pyłu zawieszonego PM_{2,5}** zmiany stężeń w obszarze miasta oznaczają **poprawę jakości powietrza** w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie **od 5 do powyżej 23 %**. W przypadku średniego rocznego stężenia **dwutlenku siarki** zmiany stężeń w obszarze miasta oznaczają **poprawę jakości powietrza** w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie **od 3,5 do powyżej 18 %**. W przypadku średniego rocznego stężenia **NLMZO** zmiany stężeń w obszarze miasta oznaczają **poprawę jakości powietrza** w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych w zakresie **od 8 do powyżej 50 %**. W przypadku średniego rocznego stężenia **dwutlenku węgla** zmiany stężeń w obszarze miasta **w przeważającej jego części** oznaczają **poprawę jakości powietrza** w zakresie zanieczyszczeń komunikacyjnych **do 15%**.

Ostateczne, uśrednione wyniki analiz przedstawia poniższa tabela.

Zanieczyszczenie	Stężenie średnie roczne - obszarowe [µg/m ³]		Efekt ekologiczny – obniżenie % stężeń zanieczyszczeń
	przed	po	
NO ₂	0,355	0,332	6,41%
NO _x	0,244	0,225	7,90%
CO	0,858	0,697	18,75%
PM ₁₀	0,0195	0,0175	10,54%
PM ₂₅	0,0159	0,0142	10,80%
SO ₂	0,00061	0,00057	7,41%
NMLZO	0,112	0,0899	19,86%
CO ₂	76,3	70,9	7,01%

W ramach pracy wykonano również analizy uzupełniające, w których wykorzystano wyniki automatycznych pomiarów stężenia wybranych zanieczyszczeń, wykonanych za pomocą zbudowanej w ramach ITS w Tychach sieci Stacji Pomiaru Stężenia Zanieczyszczenia Powietrza i Hałasu (SPSZPiH). System pomiarowy dostarczał serie danych o uśrednieniu 1-godzinny, które następnie były przetwarzane i agregowane dla uzyskania odpowiednich analizowanych charakterystyk jakości powietrza. Wykorzystano również wyniki pomiarów prowadzonych za pomocą metod referencyjnych na stacji tła miejskiego, należącej do Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Analizy wykonano dla tlenu azotu, pyłu zawieszonego PM₁₀ oraz dwutlenku siarki.

Utworzono wirtualne serie pomiarowe, złożone z danych 1-godzinnych będących uśrednieniem wyników pomiarów danego zanieczyszczenia, uzyskanych w określonej godzinie na stacjach wchodzących w skład dedykowanej sieci pomiarowej ITS Tychy. Następnie obliczono różnice – dla każdej godziny – pomiędzy wartością stężenia uśrednionego, a wartością pomiaru uzyskanego na referencyjnej stacji tła miejskiego. Seria tych różnic poddana została agregacji – uśrednieniu dobowemu, miesięcznemu oraz kwartalnemu. Tak uzyskane wartości, porównywane w różnych okresach o zbliżonej charakterystyce meteorologicznej (podobne części roku kalendarzowego) mogą stanowić pomocniczy wskaźnik oceny zmienności oddziaływania emisji transportowej pochodzącej z ruchu w rejonie lokalizacji stacji dedykowanego systemu pomiarowego ITS. Z założenia

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

uwzględniono przede wszystkim miesiące, w których mniejsze jest oddziaływanie innych, niż komunikacyjne, źródeł emisji zanieczyszczeń, głównie z sektora komunalno-bytowego (ogrzewanie mieszkań). Były to okresy:

- kwiecień - maj 2022 – okres przed uruchomieniem skalibrowanego systemu ITS
- kwiecień - maj 2023 – okres po uruchomieniu skalibrowanego systemu ITS.

Podobnie, jak analizy podstawowe, metoda uzupełniająca wskazała na **uzyskanie redukcji w zakresie wielkości stężeń uwzględnionych zanieczyszczeń, która przekraczała wymaganą wielkość 5,5%**. Wyniki przedstawia poniższa tabela.

Wskaźnik	Średnia wskaźników różnic dla NO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Średnia wskaźników różnic dla PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Średnia wskaźników różnic dla SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Średnia kwiecień – maj 2022	33,7	2,5	9,3
Średnia kwiecień – maj 2023	22,3	2,0	4,8
Wskaźnik redukcji	34%	19%	49%

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

10. Słownik skrótów i terminów

Dyrektywa CAFE	Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy
EMEP	model meteorologiczny transportu zanieczyszczeń w powietrzu, z ang. <i>European Monitoring and Evaluation Program</i>
EMISJA substancji do powietrza	wprowadzanie w sposób zorganizowany (poprzez emitery) lub niezorganizowany (z dróg, z hałd, składowisk, w wyniku pożarów lasów) substancji gazowych lub pyłowych do powietrza na skutek działalności człowieka lub ze źródeł naturalnych
EMISJA WTÓRNA	zanieczyszczenia pyłowe powstające w wyniku reakcji i procesów zachodzących podczas transportu na duże odległości gazów (SO ₂ , NO _x , NH ₃ , oraz lotnych związków organicznych) oraz reemisja tj. unoszenie pyłu z podłoża (szczególnie na terenie miast)
GDDKiA	Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
GIS	System Informacji Geograficznej, z ang. <i>Geographic Information System</i>
GIOŚ	Główny Inspektorat Ochrony Środowiska
GUS	Główny Urząd Statystyczny
IMGW	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
KOBIZE	Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami
Mg	megagram (1 Mg = 1 tona), 10 ⁶ g
msc	miejska sieć ciepłownicza
NFOŚiGW	Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej; od 1.01.2010 r. Państwowa osoba prawna w rozumieniu art. 9 pkt. 14 ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (Dz.U. z 2019 r., poz. 869)
ng	nanogram, 10 ⁻⁹ g
NMLZO inaczej VOC lub LZO	niemetanowe lotne związki organiczne, grupa związków organicznych o charakterystycznych właściwościach: z łatwością przechodzą w postać pary lub gazu, charakteryzują się wysoką prężnością par i niską rozpuszczalnością w wodzie, ich temperatura wrzenia mieści się w zakresie: 50–250 °C. W zakres LZO wchodzi między innymi węglowodory alifatyczne i aromatyczne również wielopierścieniowe (WWA).
NO ₂	ditlenek azotu
NO _x	tlenki azotu
O ₃	ozon
Poś	Ustawa Prawo ochrony środowiska
POZIOM DOPUSZCZALNY	poziom substancji, który ma być osiągnięty w określonym terminie i po tym terminie nie powinien być przekraczany. Poziom dopuszczalny jest standardem jakości powietrza
POZIOM DOCELOWY	poziom substancji, który ma być osiągnięty w określonym czasie za pomocą ekonomicznie uzasadnionych działań technicznych i technologicznych. Poziom ten ustala się w celu unikania, zapobiegania lub ograniczania szkodliwego wpływu danej substancji na zdrowie ludzi lub środowisko jako całość
POZIOM SUBSTANCJI W POWIETRZU	(imisja zanieczyszczeń) – ilość zanieczyszczeń pyłowych lub gazowych w środowisku; jest miarą stopnia jego zanieczyszczenia definiowaną jako stężenie zanieczyszczeń w powietrzu (wyrażane w jednostkach masy danego zanieczyszczenia, np. dwutlenku siarki, na jednostkę objętości powietrza lub w ppm, ppb) oraz jako opad (depozycja)

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”
realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020.

	zanieczyszczeń, ilość danego zanieczyszczenia osiadającego na powierzchni ziemi
WRF	mezoskalowy model meteorologiczny, z ang. <i>Weather Research & Forecasting Model</i>
µg	mikrogram, 10 ⁻⁶ g