



GLÓWNY INSPEKTORAT OCHRONY ŚRODOWISKA



**Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy**

**Analiza wpływu warunków meteorologicznych
na stężenia zanieczyszczeń na obszarze miasta
Kędzierzyn-Koźle**



**Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej**

Praca wykonana na podstawie umowy nr DM/12/2020/F z dnia 14 września 2020 r. zawartej pomiędzy Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska a Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytutem Badawczym sfinansowanej ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Warszawa 2020

Opracowano w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym (przez zespół w składzie: dr Ewa Krajny, dr Leszek Ośródka, mgr Anna Ryszkowska, mgr Katarzyna Szeplińska, dr Marek Wojtylak), na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, na podstawie danych meteorologicznych gromadzonych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy oraz wyników pomiarów prowadzonych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS).

Przy cytowaniu danych należy podawać źródło danych:

Państwowy Monitoring Środowiska – Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

Spis treści

Wprowadzenie.....	6
Charakterystyka warunków klimatycznych badanego obszaru ze szczególnym uwzględnieniem wentylacji atmosfery (obejmuje co najmniej okres prowadzonych pomiarów PMŚ)	7
Opis fizycznogeograficzny obszaru badań.....	7
Lokalizacja stacji monitoringu jakości powietrza PMŚ/GIOŚ	10
Lokalizacja stacji meteorologicznych IMGW-PIB	10
Tereny przemysłowe w okolicach Kędzierzyna-Koźła, na których zlokalizowane zakłady mogą posiadać profil działalności mający wpływ na jakość powietrza w Kędzierzynie-Koźlu, ze szczególnym uwzględnieniem benzenu.....	11
Warunki klimatyczne badanego obszaru.....	13
Warunki tła klimatycznego	13
Zarys warunków klimatu miasta	21
Podsumowanie	22
Warunki wentylacyjne atmosfery sprzyjające wysokim koncentracjom zanieczyszczeń, w tym benzenu, w okolicach Kędzierzyna-Koźła	22
Warunki wentylacyjne atmosfery	22
Klasy stratyfikacji termicznej atmosfery	24
Ocena warunków wentylacyjnych atmosfery w okolicach Kędzierzyna-Koźła – metodyka.	31
Wyniki badań nad warunkami wentylacyjnymi okolic Kędzierzyna-Koźła dla okresu 2015–2019	32
Statystyczne związki zanieczyszczeń powietrza z warunkami meteorologicznymi w ujęciu wieloletnim (2010–2019)	33
Jakość powietrza a poszczególne elementy meteorologiczne.....	33
Zależności od widzialności:.....	34
Zależności od prędkości wiatru:	37
Różne zanieczyszczeń	41
Zależność od temperatury powietrza	42
Zależność od innych elementów meteorologicznych	45
Podsumowanie	45

Charakterystyka zależności od zespołu warunków meteorologicznych wybranych stężeń zanieczyszczeń w Kędzierzynie-Koźlu i Zdieszowicach	45
Średnie stężenia benzenu w klasach poszczególnych elementów meteorologicznych.....	45
Zanieczyszczenie powietrza a współczynnik wentylacji.....	48
Porównanie stężeń wybranych zanieczyszczeń wszystkich danych pomiarowych na stacjach Kędzierzyn-Koźle i Zdieszowice.....	52
Wnioski z analizy danych	55
Identyfikacja epizodów wysokich stężeń benzenu (i innych wskazanych zanieczyszczeń) i ich związek z warunkami meteorologicznymi w latach 2018–2019.....	55
Definicja epizodu wysokich stężeń benzenu.....	56
Charakterystyka synoptyczna wybranych epizodów	56
Założenia metodyczne wyznaczania trajektorii wstecznych.....	57
Epizod 10 stycznia 2018 roku	57
Epizod 10 lutego 2018 roku	60
Epizod 6 marca 2018 roku	63
Epizod 9 i 10 października 2018 roku.....	66
Epizod 17 października 2018 roku.....	69
Epizod 20 stycznia 2019 roku	72
Epizod 22 stycznia 2019 roku	75
Epizod 25 listopada 2019.....	78
Epizod 19 grudnia 2019	81
Epizod 17 stycznia 2020	84
Podsumowanie epizodów benzenu w latach 2018–2020	87
Szczegółowa charakterystyka zdarzeń w okresie badań specjalnych.....	87
Metodyka wyznaczania epizodów w okresie badań specjalnych.....	87
Epizody na stacjach badawczych. Stężenia benzenu na stacji badawczej wyższe niż PM ₁₀ KK..	88
15–16.04.2020 r.	89
31.07 – 01.08.2020 r.	92
13–14.08.2020 r.	96
12–13.09.2020 r.	99

14–15.09.2020 r.	103
Epizody odwrotne.	106
Wnioski	116
Wnioski z analizy meteorologicznej	116
Bibliografia.....	122
Spis rysunków	123
Spis tabel	127

Wprowadzenie

Opracowanie zostało wykonane zgodnie z przedmiotem zamówienia: **Analiza wpływu warunków meteorologicznych na stężenia zanieczyszczeń na obszarze miasta Kędzierzyn-Koźle** na zlecenie GIOŚ (Zamawiającego: DM/12/2020/F Wykonawcy: WH/K/6132/W/1/2020 z dnia 14.09.2020r.)

Zakres opracowania obejmował:

1. Charakterystyka warunków klimatycznych badanego obszaru ze szczególnym uwzględnieniem wentylacji atmosfery (obejmuje co najmniej okres prowadzonych pomiarów PMŚ).
2. Warunki wentylacyjne atmosfery sprzyjające wysokim koncentracjom zanieczyszczeń, w tym benzenu.
3. Statystyczne związki zanieczyszczeń powietrza z meteorologią w ujęciu wieloletnim.
4. Identyfikacja epizodów wysokich stężeń benzenu (i innych wskazanych zanieczyszczeń) i ich związek z warunkami meteorologicznymi.
 - charakterystyka standardowa (różne zanieczyszczeń, stratyfikacja, analiza synoptyczna, trajektorie https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php dostęp 10.11.2020 etc.),
 - charakterystyka wielowymiarowa.
5. Szczegółowa charakterystyka zdarzeń w okresie badań specjalnych.
6. Wnioski z analizy meteorologicznej.

Wszystkie dane meteorologiczne, o ile nie zaznaczono w tekście inaczej, pochodzą z IMGW-PIB, a dane pomiarowe dotyczące stężeń zanieczyszczeń z GIOŚ.

Charakterystyka warunków klimatycznych badanego obszaru ze szczególnym uwzględnieniem wentylacji atmosfery (obejmuje co najmniej okres prowadzonych pomiarów PMŚ)

Opis fizycznogeograficzny obszaru badań

Kędzierzyn-Koźle położony jest w południowo-wschodniej części województwa opolskiego, w powiecie kędzierzyńsko-kozielskim, tworząc wraz z 6 gminami gminę miejsko-wiejską o łącznej powierzchni 624,3 km². Sąsiaduje z siedmioma gminami: od północy z gminą Zdzeszowice i Leśnica, od północnego wschodu z gminą Ujazd, od wschodu z gminą Rudziniec (która stanowi jednocześnie granicę województwa opolskiego z województwem śląskim), od południa z gminą Bierawa i Cisek, od zachodu z gminą Reńska Wieś. Obszar miasta obejmuje powierzchnię 123,7 km² i wyniesiony jest na około 182 m n.p.m. nad Odrą, do której dopływają rzeka Kłodnica oraz Kanał Gliwicki i Kanał Kędzierzyński. Miasto leży w sąsiedztwie większych ośrodków miejskich, takich jak położone w odległości 42 km miasto Opole, Katowice w województwie śląskim (65 km w linii prostej) oraz oddalony o około 140 km Wrocław leżący na Dolnym Śląsku. Miasto stanowi ważny ciąg komunikacyjny poprzez bezpośrednie połączenie pomiędzy obszarem GOP-u na Górnym Śląsku a obszarami przemysłowymi powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego. Przez Kędzierzyn-Koźle przebiega droga krajowa nr 40 oraz drogi wojewódzkie nr 408, 410, 423 i 426. Około 7,5 km na północ od północnej granicy Kędzierzyna-Koźla przebiega autostrada A4.

Pod względem klasyfikacji fizycznogeograficznej, gmina zawiera się prawie w całości w obszarze makroregionu Niziny Śląskiej (318.5), w środkowej części mezoregionu Kotlina Raciborska (318.59). Niewielkim wschodnim fragmentem, stanowiącym środkową i południową część wsi Sławięcice, obejmuje Obniżenie Bojszowa (341.16) na Wyżynie Śląskiej (341.1)¹.

Nizina Śląska stanowi rozległą równinę rozciągającą się po obu stronach Odry. Rzeźba terenu Niziny Śląskiej ukształtowana została w czasie zlodowacenia odrzańskiego (środkowopolskiego), co uwidacznia się w występowaniu w obrębie jednostki ostańców, ozów, kemów i wzgórz morenowych. Kędzierzyn-Koźle zawiera się w Dolinie Odry o charakterze pradolinny, o szerokości od 8 do 12 km z łąkowym tarasem zalewowym i wyższymi tarasami piaszczystymi. Jej dno obniża się od około 180 m na południowym wschodzie do 90 m na północnym zachodzie. W obrębie Doliny zawiera się, przebiegająca wzdłuż jej biegu, Kotlina Raciborska stanowiąca najdalej na południe wysuniętą część Niziny Śląskiej. Usytuowana jest pomiędzy Płaskowyżem Rybnickim na wschodzie a Płaskowyżem Głubczyckim na zachodzie i Równiną Niemodlińską na północnym-zachodzie. W tutejszym krajobrazie zaznacza się wyraźny charakter wyżyny lessowej. Rzeźba terenu Kotliny jest mało urozmaicona.

¹ Solon, Jerzy. Autor, i in., 2018. *Physico-Geographical Mesoregions of Poland: Verification and Adjustment of Boundaries on the Basis of Contemporary Spatial Data*. IGIPZ PAN, Warszawa

Przeważają obszary równinne, o różnicach wysokości względnych nie przekraczających 3 m. Urozmaiceniem terenu są zagłębienia jakie tworzą meandryczne starorzecza wypełnione wodą lub podmokłe.²

Miasto Kędzierzyn-Koźle pod względem geologicznym leży w obrębie rowu tektonicznego o głębokości 400–500 m, który wypełniony jest osadami trzeciorzędowymi w postaci ilów morskich przykrytych seriami ilów i piaskowców. Na podłożu trzeciorzędowym leżą utwory czwartorzędowe, które w brzegowych częściach doliny tworzą neoplejstocénskie mułki, piaski i żwiry rzeczne, a w głębi terenu piaski i żwiry wodnolodowcowe. Wschodnią część gminy oddaloną od doliny tworzą sporadycznie występujące torfy, a w części północno-wschodniej rozciąga się rozległe podłoże lessowe. O ile rzeźba terenu Kędzierzyna-Koźla nie jest zbyt urozmaicona, o tyle pokrywa glebowa wykazuje dość silne zróżnicowanie. W poszczególnych częściach miasta wstępują następujące typy gleb:

- ✓ brunatne – w północnej części miasta (Cisowa, Miejsce Kłodnickie, Sławięcice);
- ✓ bielcowe – w południowo-wschodniej części miasta, na obszarach zalesionych między osiedlem awaryjnym Azoty i Stara Kuźnia;
- ✓ płowe, wytworzone z piasków zaglinionych i glin zwałowych lekkich oraz bielcowe wytworzone z piasków i żwirów (w rejonie Sławięcic);
- ✓ rdzawe, wytworzone z piasków luźnych na obszarze zalesionym pomiędzy Cisową, a połączeniem Kanału Gliwickiego z Odrą;
- ✓ mady – w dolinach Odry i Kłodnicy.

Najlepszy stopień bonitacyjny kędzierzyńskich gleb wykazują mady określane glebami ornymi „dobrymi” i „średnio dobrymi” w dolinie Odry i glebami ornymi średniej jakości w dolinie Kłodnicy. Najlepiej klasyfikowanymi są gleby brunatne właściwe w północnej części miasta, określone jakościowo jako „bardzo dobre”. Nie występują na terenie gminy gleby I jakości, natomiast jedynie na obszarach rolnych wyróżnia się gleby klasy II i III stanowiące niecałe 22% takich powierzchni. W pozostałej części użytków rolnych gminy stanowią gleby klasy IV, V i VI.

Kędzierzyn-Koźle należy do XXV Przedsudeckiego Regionu Hydrogeologicznego, podregionu 4. Kędzierzyńskiego, w którym występują dwa zasadnicze poziomy wodonośne nawiązujące do podłoża geologicznego: trzecio- i czwartorzędowy.

Poziom wodonośny trzeciorzędowy, który budują piaski drobne, posiada dużą wydajność dzięki czemu stanowi podstawę zaopatrzenia miasta w wodę pitną i przemysłową. Zbiornik wodny trzeciorzędowy zasilany jest bezpośrednio przez opady atmosferyczne, a ciśnienie hydrostatyczne wód dochodzi do 688 m słuza wody. Izolowanie wód łłami trzeciorzędowymi umożliwia utrzymanie ich jakości chroniąc przed bezpośrednim ich zanieczyszczeniem.

Poziom wodonośny czwartorzędowy zawiera się w obszarze doliny kopalnej Odry, który cechują bardzo dobre parametry hydrauliczne, przez co uznawany jest za perspektywiczne źródło

² Kondracki J., 2011. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa

dużych ilości dobrych jakościowo wód podziemnych, mogących służyć jako baza zaopatrzeniowa wielu inwestycji przemysłowych i komunalnych tego rejonu.

Najważniejszym ciekim w gminie jest Odra, przepływająca przez zachodnią część miasta z południa na północ. Od strony zachodnich brzegów zasilana jest jedynie drobnymi ciekami Lineta i Golka. Wschodnie, prawobrzeżne dopływy stanowią rzeka Kłodnica wraz z kanałami Kłodnickim i Gliwickim. W granicach gminy, najważniejszym ciekim jest rzeka Młynówka stanowiąca dopływ Kłodnicy oraz mniejszy Potok Lenartowicki (Cisowa). Zlewnię Odry cechuje w górnym biegu po granicę czesko-polską górski charakter a poniżej wpływa na obszar pofałdowanych wyżyn tworząc wyraźną dolinę. Na skutek letnich rozlewnych opadów w obszarze miasta występuje istotne zagrożenie powodziowe, które jest zdecydowanie groźniejsze niż wezbrania podczas wiosennych roztopów.

Kłodnica stanowi prawobrzeżny dopływ Odry i jest rzeką o charakterze podgórskim o dużym spadku i znacznej zmienności przepływu. Jej źródła znajdujące się w południowej części Katowic są obszarami chronionymi należącymi do zespołu Przyrodniczo-Krajobrazowego „Źródła Kłodnicy”. Płaskie i podmokłe dno Kłodnicy ma formę zbliżoną do naturalnej, natomiast ze względu na duże zanieczyszczenie wód dopływowych w górnym biegu tej rzeki, jej wody są ciemne i zamulone. W dolnym biegu natomiast woda ta nieco oczyszcza się, również dzięki utworzonemu zbiornikowi wodnemu Dzierżno Duże poprawiające jakość tych wód.

Kanał Kłodnicki, służący do końca XIX wieku jako przede wszystkim miejsce żeglugi, przekształcony został na początku XX wieku w teraźniejszy Kanał Gliwicki, który tworzy 6 śluz komorowych, z czego połowa z nich należy do obszaru Kędzierzyna-Koźla. Źródłem zasilania tego kanału jest Kłodnica.

Do Kanału Gliwickiego dołączony został 4,5-kilometrowy odcinek Kanału Kędzierzyńskiego, obsługującego niewielki port przy Zakładach Azotowych.

Warunki klimatyczne badanego rozdziału omówiono w osobnym rozdziale.

Lokalizacja stacji monitoringu jakości powietrza PMŚ/GIOŚ

Badania dotyczące wpływu warunków meteorologicznych na stężenia głównie benzenu w Kędzierzynie-Koźlu i okolicy oparto o sieć stacji pomiarowych GIOŚ (PMŚ i stacje dedykowane).

Tab. 1 Stacje PMŚ i stacje GIOŚ dedykowane opracowaniu.

Typ stacji	Lokalizacja	Zakres pomiarowy	Okres prowadzenia pomiarów (w tym z punktu widzenia analizy)
<i>Pomiary w ramach PMŚ/GIOŚ</i>			
PMŚ/GIOŚ sieć regularna	Kędzierzyn-Koźle (KK) ul. Bolesława Śmiałego 50°20'58.6"N 18°14'11.7"E	benzen NO ₂ SO ₂ PM10 PM2.5	2005–2020 (2018–2020)
	Zdzieszowice (Zdz) Osiedle Piastów 50°25'24.7"N 18°07'14.7"E	benzen NO ₂ SO ₂ PM10	2018–2020 (2005–2020)
<i>Pomiary GIOŚ dedykowane pracy</i>			
Stacja GIOŚ stacje dedykowane	Kędzierzyn-Koźle ul. Szkolna	benzen inne pochodne benzenu	5.03 – 12.05.2020
		PM10 PM2.5	5.03 – 21.05.2020
	Kędzierzyn-Koźle ul. Broniewskiego	benzen inne pochodne benzenu PM10 PM2.5	21.05 – 31.10.2020

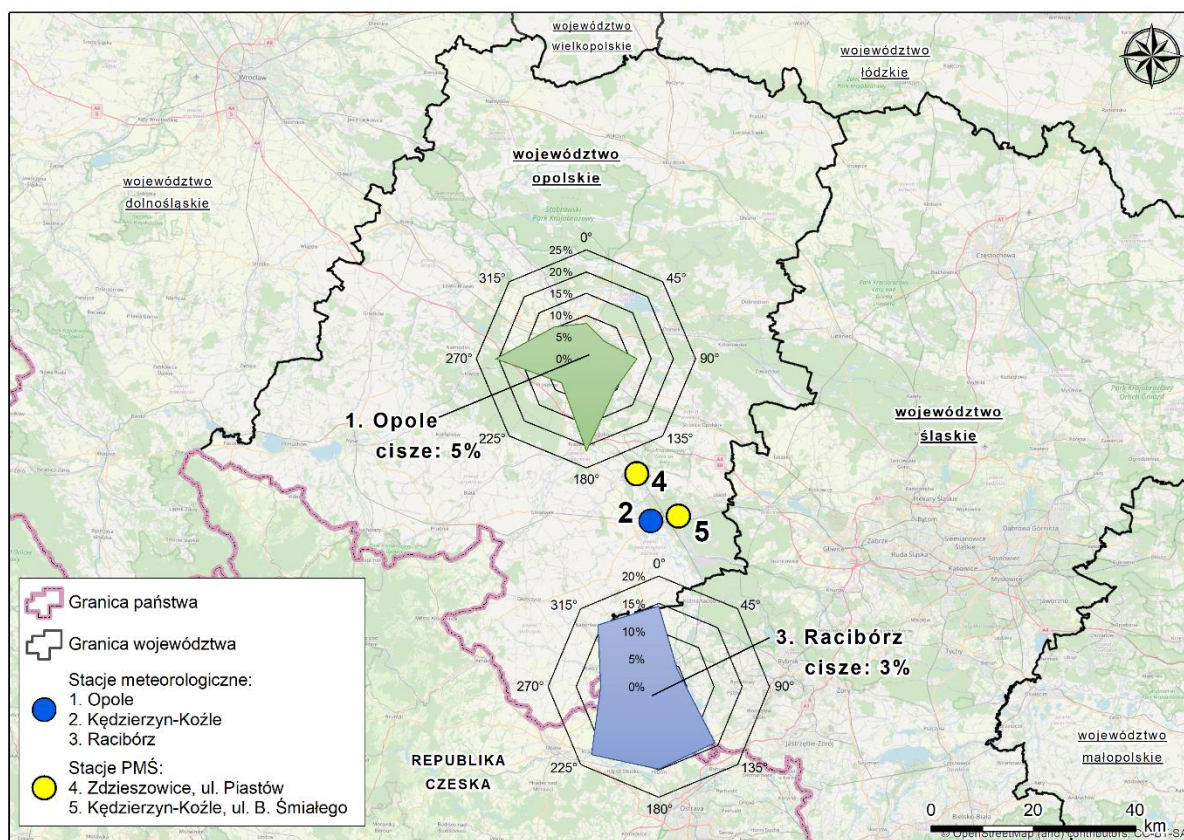
Lokalizacja stacji meteorologicznych IMGW-PIB

W niniejszym rozdziale przedstawiono lokalizację stacji pomiarowych IMGW-PIB, których dane w różnym stopniu zastały wykorzystane w analizie. Zakres ich wykorzystania przedstawiono w Tab. 2.

Tab. 2 Stacje meteorologiczne dedykowane opracowaniu tła wpływu warunków meteorologicznych na wysokie stężenia zanieczyszczeń oraz do określenia tła meteorologicznego.

Typ stacji	Lokalizacja	Zakres pomiarowy	Okres prowadzenia pomiarów/ zakres wykorzystania
meteorologiczna IMGW-PIB	Kędzierzyn-Koźle, ul. Xawerego Dunikowskiego 14 50°20'27"N 18°09'39"E	prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza, wilgotność względna inne pomiary wykorzystywane pomocniczo	2015–2020 Analiza danych 2018–2020 Analiza danych bieżących
	Opole, ul. Przeskok 4 50°37'34"N 17°57'29"E	prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza, wilgotność względna inne pomiary wykorzystywane pomocniczo	2005–2020 Analiza wieloletnia
	Racibórz, ul. Broniewskiego 2 50°03'39"N 18°11'42"E	prędkość, kierunek wiatru, temperatura powietrza, wilgotność względna, radiometr inne pomiary wykorzystywane pomocniczo	2005–2020 Radiometr 2017–2020 Analiza wieloletnia i za okres 2018–2020

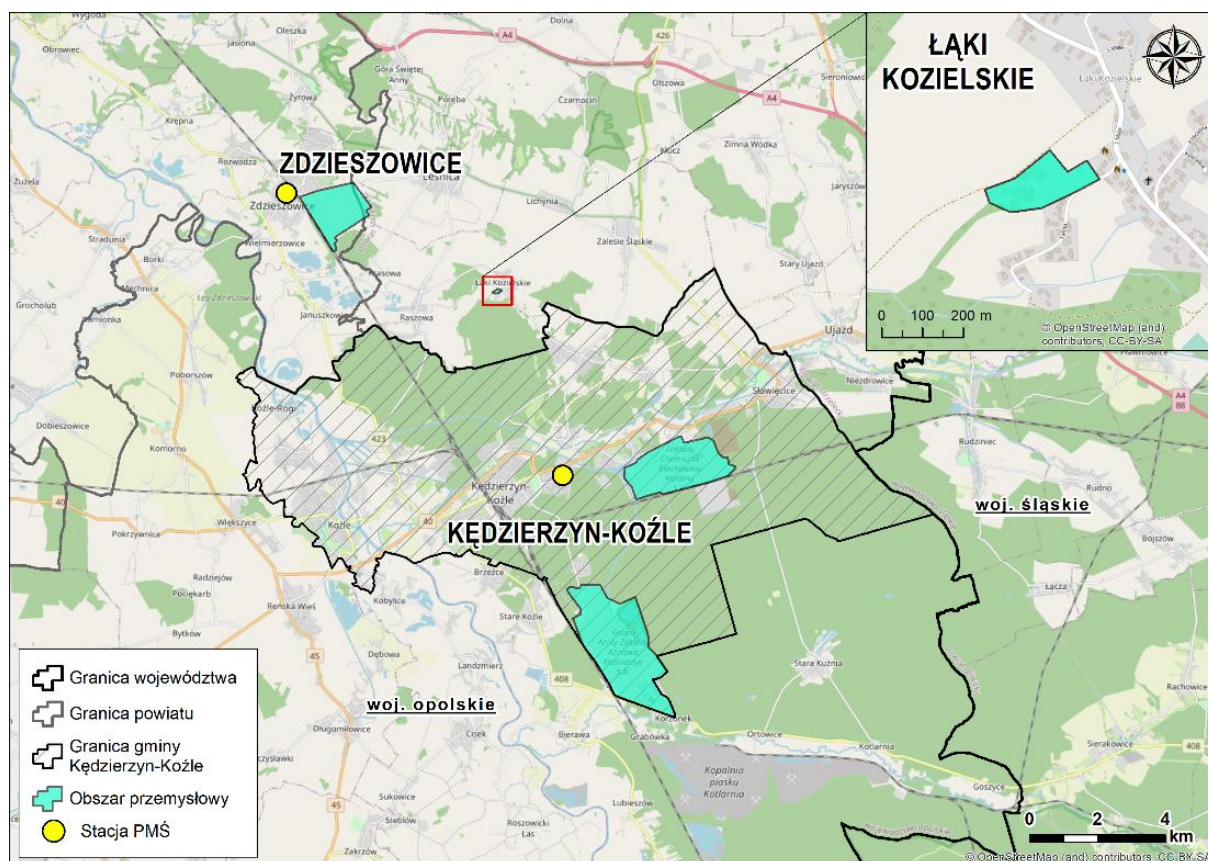
Pomiary meteorologiczne dla okresu 2005–2020 służyły do określenia związków stężeń zanieczyszczeń vs warunki meteorologiczne ze szczególnym uwzględnieniem stopnia wentylacji atmosfery. Dane o zanieczyszczeniach pochodzą z wcześniej wymienionych stacji PMŚ/GIOŚ.



Rys. 1 Obszar badań z lokalizacją głównych stacji pomiarowych (wraz z różami prędkości wiatru na stacjach synoptycznych IMGW-PIB 2005–2019)

Tereny przemysłowe w okolicach Kędzierzyna-Koźla, na których zlokalizowane zakłady mogą posiadać profil działalności mający wpływ na jakość powietrza w Kędzierzynie-Koźlu, ze szczególnym uwzględnieniem benzenu

Tereny przemysłowe na których mogą funkcjonować zakłady wpływające na jakość powietrza w Kędzierzynie-Koźlu przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2 Główne obszary przemysłowe Kędzierzyna-Koźla i okolic.

Jak widać z przedstawionej mapy (Rys. 2) zwarte tereny przemysłowe, których oddziaływanie może mieć wpływ na jakość powietrza w Kędzierzynie-Koźlu położone są głównie na wschód od stacji pomiarowej PM₁₀ w tym mieście i tym samym na wschód od centrum miasta. Drugim dużym terenem przemysłowym jest teren Grupy Azoty położony na południowy wschód od stacji PM₁₀, wreszcie trzecim, oddalonym o kilka km na północny zachód są tereny przemysłowe Zdzieszowice. Istnieje jeszcze mały obszar przemysłowy na NW od stacji PM₁₀ poza granicami miasta (Łąki Kozielskie), który ze względu na powierzchnię a także znaczne oddalenie od miasta prawdopodobnie nie oddziałuje na stężenia zanieczyszczeń w mieście.

Tab. 3 Odległości i azymuty terenów przemysłowych od stacji PM₁₀ w Kędzierzynie-Koźlu.

Teren przemysłowy	Odległość od stacji PM ₁₀ [km]	Azymut od stacji PM ₁₀ [° od N]
Blachownia	3,37	85,25°
Zakłady Azotowe	5,32	160,83°
Zdzieszowice	10,27	319,04°
Łąki Kozielskie	5,76	339,84°

Warunki klimatyczne badanego obszaru.

Warunki tła klimatycznego

Warunki klimatyczne badanego obszaru przedstawiono na podstawie danych wieloletnich z okresu 2005–2019. Zmienność warunków meteorologicznych z roku na rok powoduje, że wiarygodniejsze dane klimatologiczne uzyskuje się z jak najdłuższych serii pomiarowych. Zalecenia WMO sugerują, aby seria taka była co najmniej 30-letnia. W badanym przypadku wykorzystano najdłuższą z homogenicznych serii dla terenu, tj. blisko 15-letnią. Uzyskane wyniki są reprezentatywne dla tła klimatycznego Kędzierzyna-Koźla.

Pod względem fizycznogeograficznym miasto Kędzierzyn-Koźle i okolice leżą na styku dwóch krain geograficznych:

- ✓ północnym krańcu Kotliny Raciborskiej,
- ✓ Niziny Śląskiej.

Wynika stąd, że warunki klimatyczne tego obszaru są charakterystyczne dla klimatu tych krain.

Kotlina Raciborska to najbardziej na południowy wschód wysunięta część Niziny Śląskiej [Kondracki, 1977]. Sąsiaduje ona z jednostkami geograficznymi znacznie wyniesionymi ponad dno Kotliny, ma więc wyraźnie i ostro zaznaczone granice. Od północy ogranicza ją wzniesienie Chełmu, wchodzące w skład sąsiedniej Wyżyny Śląskiej, osiągające wysokość 400 m n.p.m. (Góra Świętej Anny). Od wschodu styka się z Płaskowyżem Rybnickim (280–310 m n.p.m.) również należącym do Wyżyny Śląskiej. Z przeciwległej, zachodniej strony graniczy z Płaskowyżem Głubczyckim leżącym na wysokości 250–300 m. n.p.m. Jedynie na południu jest ona otwarta i poprzez przełomową kotlinę Górnej Odry łączy się z Kotliną Ostrawską. Dno doliny o szerokości 4–5 km leży średnio 100–200 m poniżej wierzchołków przyległych płaskowyży. W kierunku północnym Kotlina Raciborska rozszerza się, przybierając kształt trójkąta równobocznego. Omawiana kotlina należy do obszaru nizin w regionie śląsko-wielkopolskim. Występuje tu klimat ciepły, o długim lecie, o temperaturze stycznia około -2°C , a lipca około 18°C . Zima trwa 60–80 dni, a lato około 100 dni. Opady atmosferyczne wynoszą średnio 600–700 mm. Klimat Kotliny Raciborskiej kształtuje się pod wpływem ciepłych mas powietrza napływających z południa poprzez Bramę Morawską oraz z zachodu znad ciepłej Niziny Śląskiej. Kotlinę Raciborską charakteryzują więc stosunkowo łagodne warunki meteorologiczne, jest tu cieplej niż w otaczających ją krainach geograficznych, zwłaszcza niż na Wyżynie Śląskiej. Silny wpływ na taką modyfikację warunków klimatycznych, szczególnie zaś anemologicznych, ma ukształtowanie Kotliny. Rzutuje to przede wszystkim na tzw. warunki wentylacyjne.

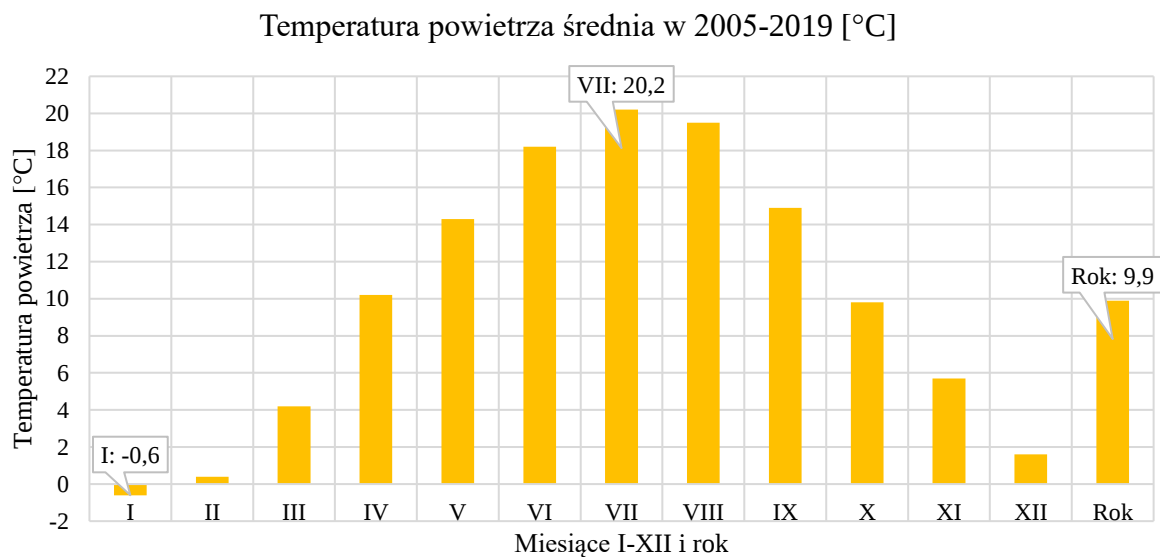
ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹLE

Tab. 4 Charakterystyka najważniejszych elementów klimatologicznych dla obszaru okolic Kędzierzyna-Koźla w okresie 2005–2019 r.

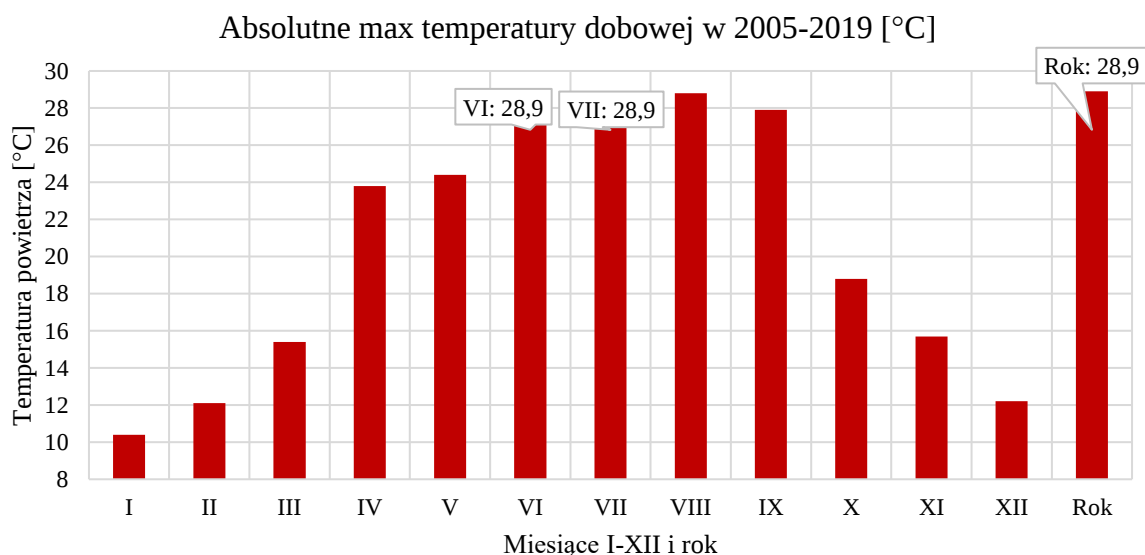
MM / ROK	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
	Kędzierzyn-Koźle												
Temperatura powietrza średnia w 2005-2019 [°C]	-0,6	0,4	4,2	10,2	14,3	18,2	20,2	19,5	14,9	9,8	5,7	1,6	9,9
Absolutne max temperatury dobowej w 2005-2019 [°C]	10,4	12,1	15,4	23,8	24,4	28,9	28,9	28,8	27,9	18,8	15,7	12,2	28,9
data YYYY-MM-DD	21.01.2008	22.02.2016	26.03.2010	29.04.2012	29.05.2005	26.06.2019	28.07.2013	08.08.2013	01.09.2015	14.10.2019	05.11.2010	20.12.2019	26.06.2019
Absolutne min temperatury dobowej w 2005-2019 [°C]	-20,9	-17,1	-9,5	-0,9	2,7	9,4	11,7	11,7	5,8	-1,7	-8,4	-15,5	-20,9
data YYYY-MM-DD	23.01.2006	03.02.2012	01.03.2018	01.04.2013	03.05.2011	05.06.2009	06.07.2005	31.08.2010	30.09.2010	31.10.2019	30.11.2010	19.12.2009	23.01.2006
Absolutne max temperatury w 2005-2019 [°C]	15,8	18,7	22,4	29,3	32,6	36	37,1	37,9	35,4	25,7	21,9	15,1	37,9
data YYYY-MM-DD	19.01.2007	24.02.2008	17.03.2012	29.04.2012	30.05.2005	30.06.2019	28.07.2013	08.08.2013	01.09.2015	04.10.2011	05.11.2008	20.12.2019	08.08.2013
Absolutne min temperatury w 2005-2019 [°C]	-24,9	-22,7	-15,9	-5,9	-2,3	3,9	7,8	5,3	-0,6	-4	-10,5	-19,8	-24,9
data YYYY-MM-DD	23.01.2006	11.02.2012	04.03.2018	09.04.2012	04.05.2011	02.06.2006	14.07.2017	31.08.2011	30.09.2018	31.10.2019	30.11.2010	19.12.2009	23.01.2006
Ciśnienie atmosferyczne średnie n.p.m. w 2005-2019 [hPa]	1017,8	1017,5	1015,7	1015,6	1015,2	1015,4	1014,5	1015,7	1017,9	1019,2	1016,2	1018,8	1016,6
Ciśnienie atmosferyczne średnie n.p.s. w 2005-2019 [hPa]	997,2	996,9	995,5	995,8	995,7	996,1	995,4	996,5	998,4	999,3	996,1	998,3	996,8
Prędkość wiatru średnia w 2005-2019 [m/s]	3	2,8	2,9	2,7	2,4	2,2	2,1	2,1	2,1	2,4	2,8	2,9	2,5
Prędkość wiatru śr dobową min w 2005-2019 [m/s]	0,6	0,5	0,4	0,6	0,9	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4
data YYYY-MM-DD	25.01.2009	05.02.2006	04.03.2011	27.04.2007	22.05.2007	15.06.2010	31.07.2010	01.08.2010	21.09.2011	07.10.2008	28.11.2012	27.12.2009	01.08.2010
Udział cisz w 2005-2019 [%]	3	3,6	3,5	4,9	4,8	5,9	6,3	6,3	8	6	3,6	2,7	4,9
Suma opadu atmosferycznego w 2005-2019 [mm]	37,9	27,8	33,6	35,8	69,8	69,2	76,3	51,6	54,8	35,4	36,9	32,9	562
Suma opadu atmosferycznego max dobową w 2005-2019 [mm]	12,9	14,5	16,1	22,4	40,7	45,6	52,6	51,8	65,1	33,8	21,4	16,6	65,1
data YYYY-MM-DD	20.01.2005	03.02.2019	26.03.2015	28.04.2019	12.05.2010	21.06.2007	23.07.2010	15.08.2008	01.09.2018	22.10.2014	05.11.2006	30.12.2005	01.09.2018
Liczba dni z opadem atmosferycznym w 2005-2019	16,5	12,3	13,5	10	13,1	12,2	12,5	11,1	10,9	11,4	12,9	14,7	151,1
Liczba dni z pokrywą śnieżną w 2005-2019	17	12	4,8	0,5	0	0	0	0	0	0,2	2,6	6,3	43,4
Wilgotność względna powietrza średnia w 2005-2019 [%]	84,5	81,7	74,7	67,7	71,6	70,8	69,3	71,2	77,4	81,7	84,7	85,8	76,8
Liczba dni z mgłą w 2005-2019	4,8	3,3	3,9	3,1	2,9	1,9	0,9	1,5	4,7	8,6	7,4	4,5	47,5
Usłonecznienie suma w 2005-2019 [godz.]	52,9	74,6	137,1	212,7	240,4	253,4	269	251,7	181,2	130,5	72,3	53,7	1929,5
Liczba dni z usłonecznieniem powyżej 10 godzin w 2005-2019	0	0	3,3	10,7	13,3	13,2	13,8	12,5	6,1	0,7	0	0	73,5
Usłonecznienie dobowe max w 2005-2019 [godz.]	8,5	9,7	11,8	13,9	14,8	15,8	15,8	14,2	12,5	10,7	9,1	7,3	15,8
data YYYY-MM-DD	27.01.2017	28.02.2011	28.03.2017	28.04.2009	31.05.2011	28.06.2011	02.07.2006	02.08.2012	04.09.2019	01.10.2017	02.11.2015	06.12.2015	02.07.2006
Liczba dni z średnią dobową prędkością wiatru <2 m/s w 2005-2019	3,2	3,5	1,9	2,6	2,5	4,5	4,7	5,4	6,8	6,7	4,1	2,6	48,6

Opracowano na podstawie danych meteorologicznych stacji w Raciborzu i Opolu przy wykorzystaniu danych stacji Kędzierzyn-Koźle.

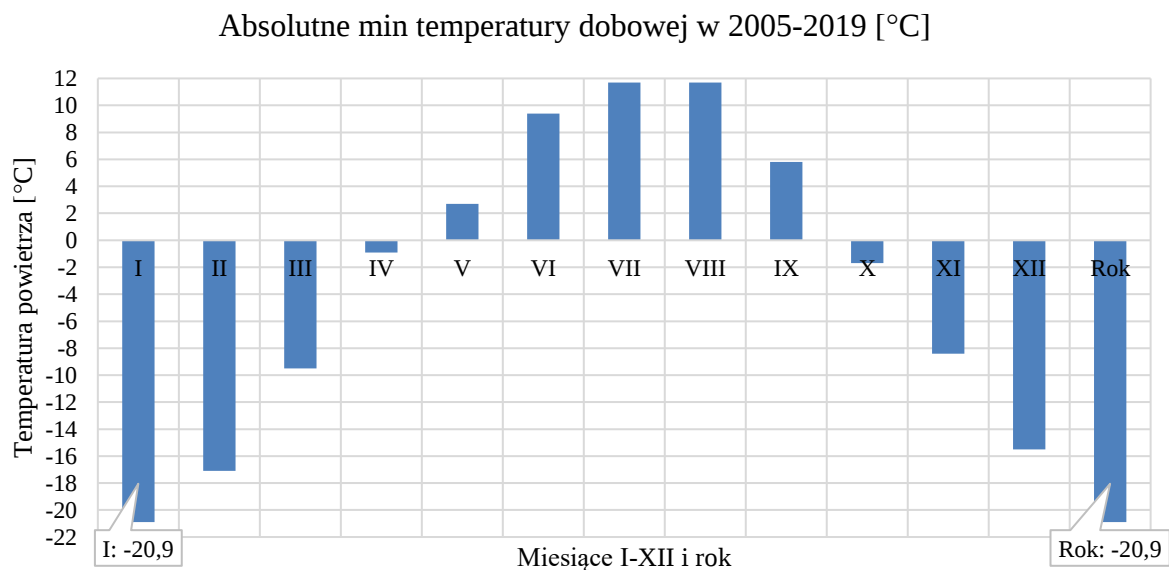
W Tab. 4 dobrano takie charakterystyki klimatologiczne badanego obszaru, które są najbardziej przydatne dla prawidłowej oceny tła meteorologicznego warunków jakości powietrza w mieście i okolicy. Z uwagi na fakt, że stacja meteorologiczna w Kędzierzynie-Koźlu posiada stosunkowo krótki okres obserwacyjny do analizy tła klimatycznego oraz ze względu na jej status stacji specjalnej, charakterystyki przygotowano w oparciu o dane stacji synoptycznych IMGW-PIB w Raciborzu i Opolu (patrz uwaga pod Tab. 4). Uzupełnieniem tabeli jest wizualizacja przebiegów miesięcznych wybranych elementów klimatu reprezentatywnych dla Kędzierzyna-Koźła (Rys. 3 – Rys. 14).



Rys. 3 Przebieg miesięczny uśrednionych wartości temperatury.

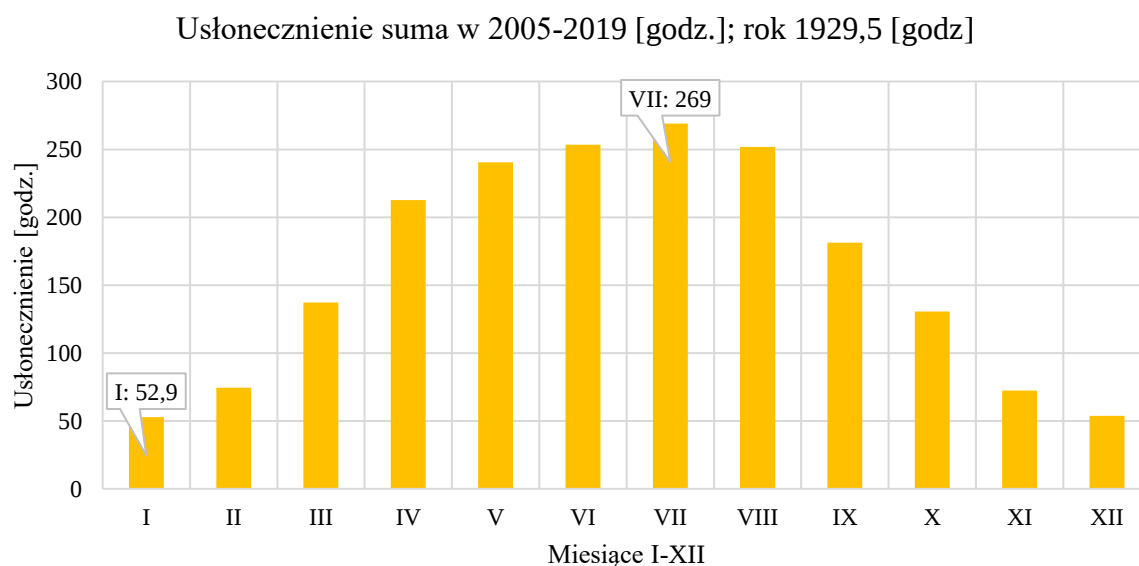


Rys. 4 Przebieg miesięczny maksymalnych wartości temperatury.



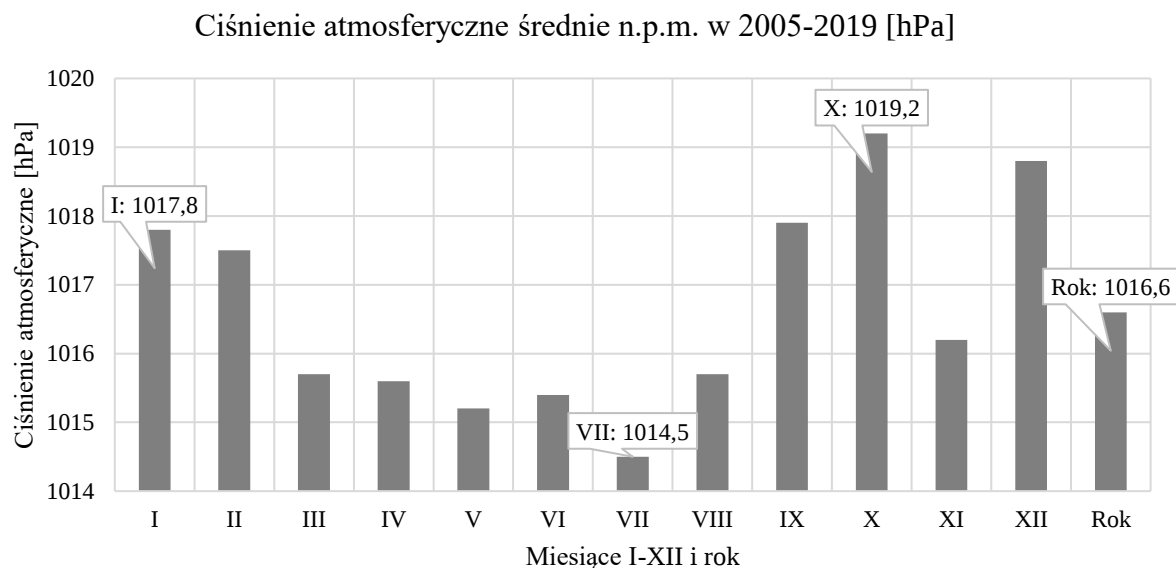
Rys. 5 Przebieg miesięczny minimalnych wartości temperatury.

Przebieg miesięczny temperatury powietrza w okolicach Kędzierzyna-Koźła jest typowy dla obszarów znajdujących się pod wpływem klimatu umiarkowanego przejściowego. Klimatologicznie najcieplejszym miesiącem jest lipiec, a najzimniejszym styczeń. Najwyższe wartości temperatury maksymalnej obserwowane są także w lipcu, a najniższe minimalne w styczniu. Odbiega to nieznacznie od obszaru np. Wyżyny Śląskiej, gdzie najniższe temperatury obserwuje się w lutym, a najwyższe w sierpniu. Podsumowując należy stwierdzić, że podział roku na sezon chłodny (październik – marzec) i ciepły (kwiecień – wrzesień) ma uzasadnienie termiczne.



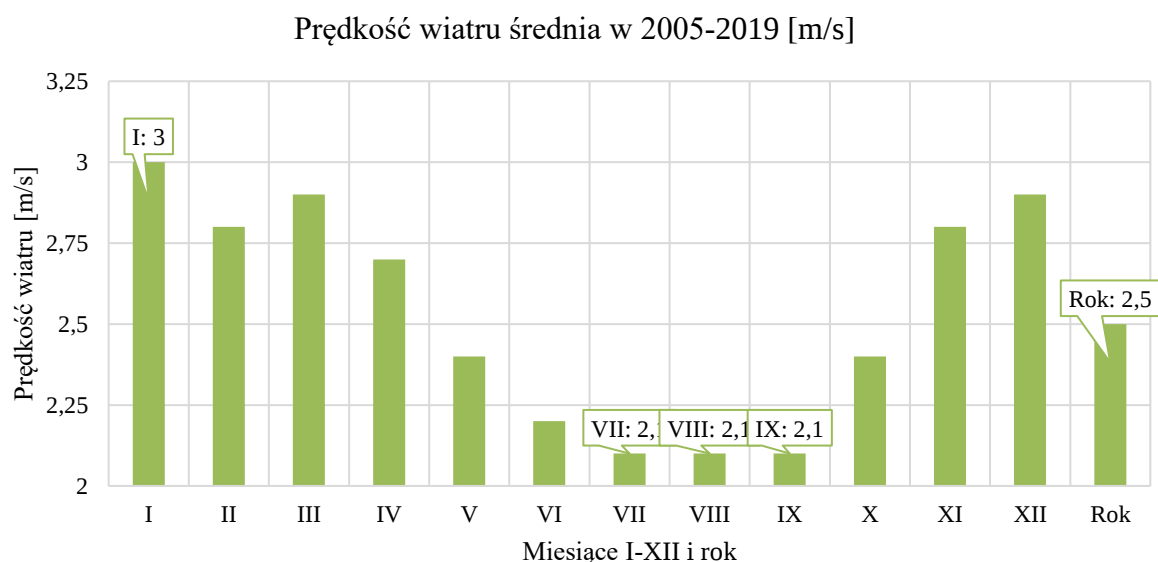
Rys. 6 Przebieg miesięczny średnich wartości usłonecznienia w godzinach.

Uśredniony czas trwania usłonecznienia w godzinach jest zależny od długości dnia i zachmurzenia ogólnego. Stąd najwyższe wartości obserwowane są w lipcu, a najmniejsze w grudniu.



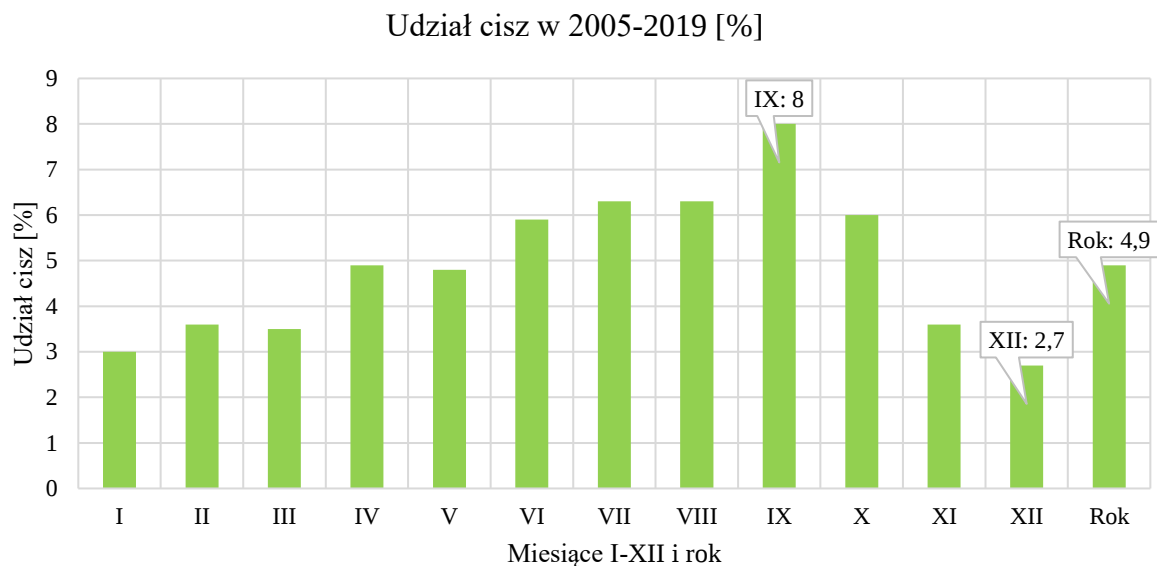
Rys. 7 Przebieg miesięczny średnich wartości ciśnienia zredukowanego do poziomu morza.

Miesięczny przebieg w roku średnich wartości ciśnienia jest typowy dla klimatu umiarkowanego przejściowego. Najwyższe wartości ciśnienia w październiku wynikają z częstego występowania w tym regionie długotrwałych układów wyżowych. Ma to swoje reperkusje w warunkach wentylacji atmosfery.



Rys. 8 Przebieg miesięczny średnich prędkości wiatru.

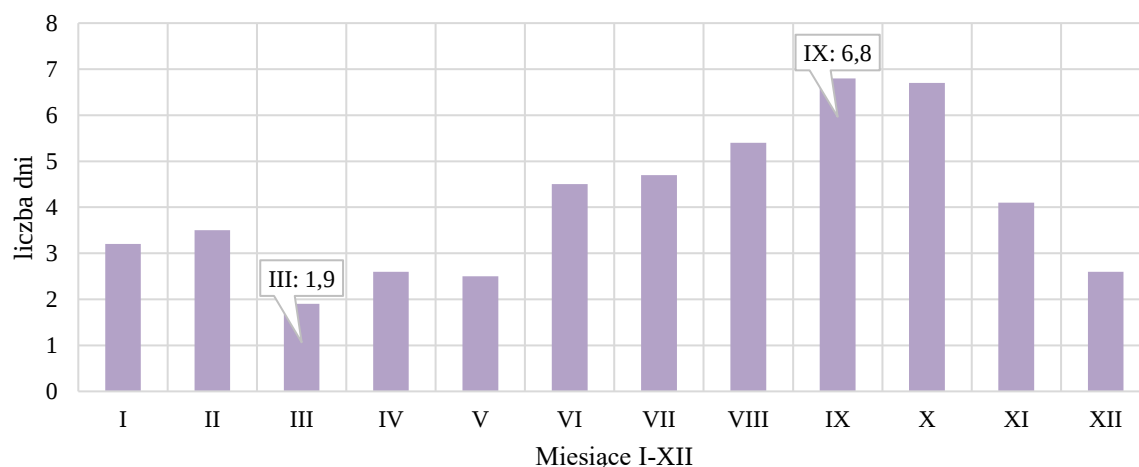
Przebieg średnich miesięcznych prędkości wiatru odzwierciedla typowe warunki anemologiczne dla obszarów znajdujących się pod wpływem klimatu umiarkowanego przejściowego o cechach kontynentalnych.



Rys. 9 Przebieg miesięczny ciszy atmosferycznej (prędkość wiatru < 0.5 m/s).

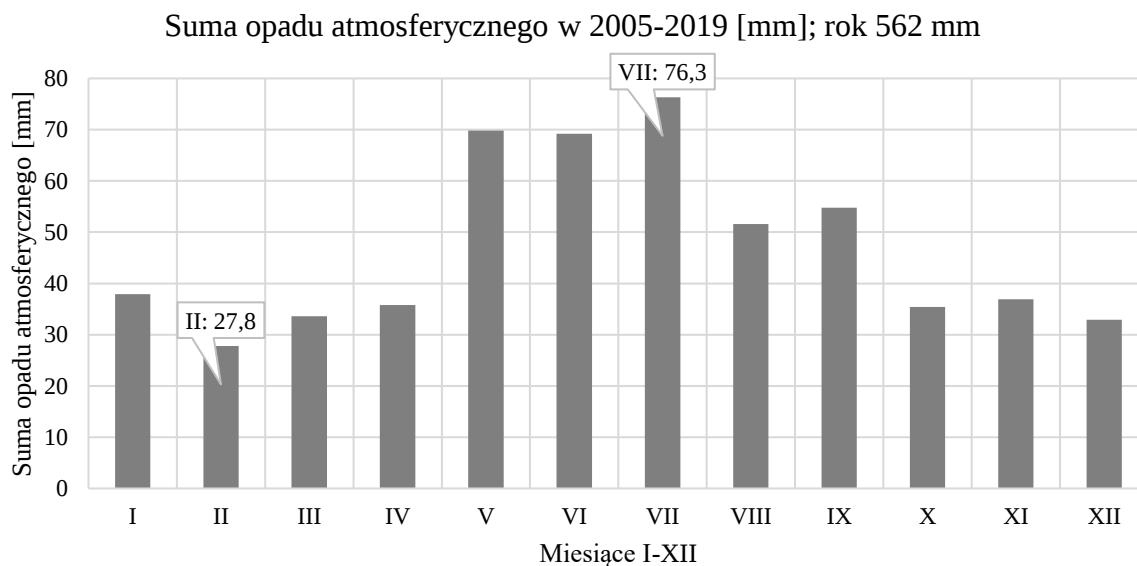
Udział ciszy w przebiegu miesięcznym w roku wskazuje, że w żadnym miesiącu nie przekracza on 10% czasu trwania. Widoczne są stosunkowo duże udziały ciszy we wrześniu. Przekłada się to na warunki wentylacyjne.

Liczba dni z średnią dobową prędkością wiatru < 2 m/s
w 2005-2019; rok 48,6



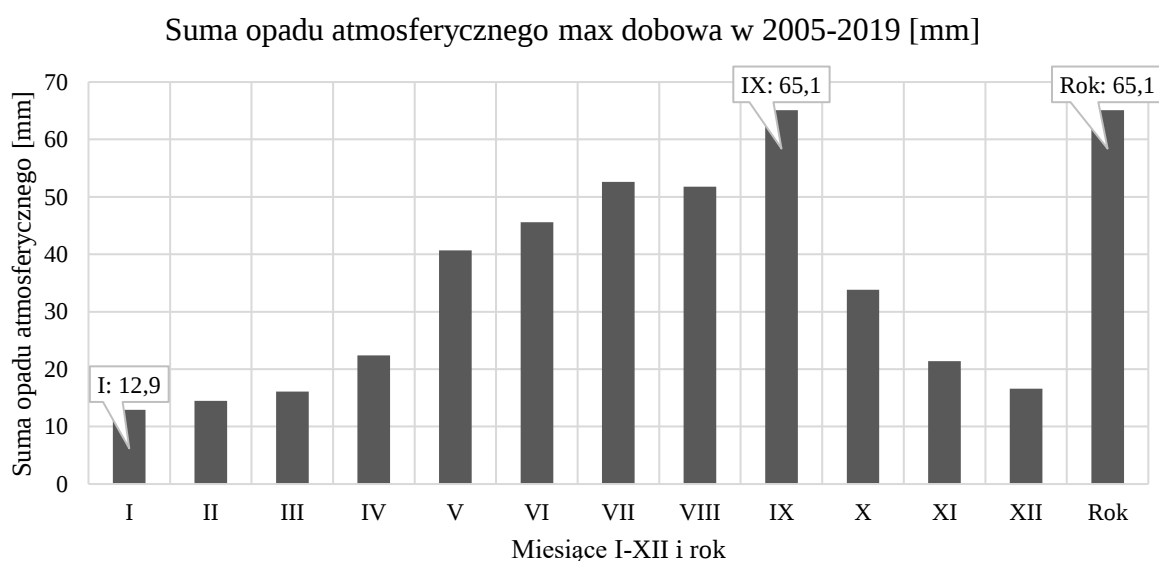
Rys. 10 Przebieg niskich prędkości wiatru (< 2 m/s – średnia dobową).

Liczba dni ze średnią dobową prędkością wiatru < 2 m/s występuje najczęściej we wrześniu i październiku. Wnioski jak wyżej.



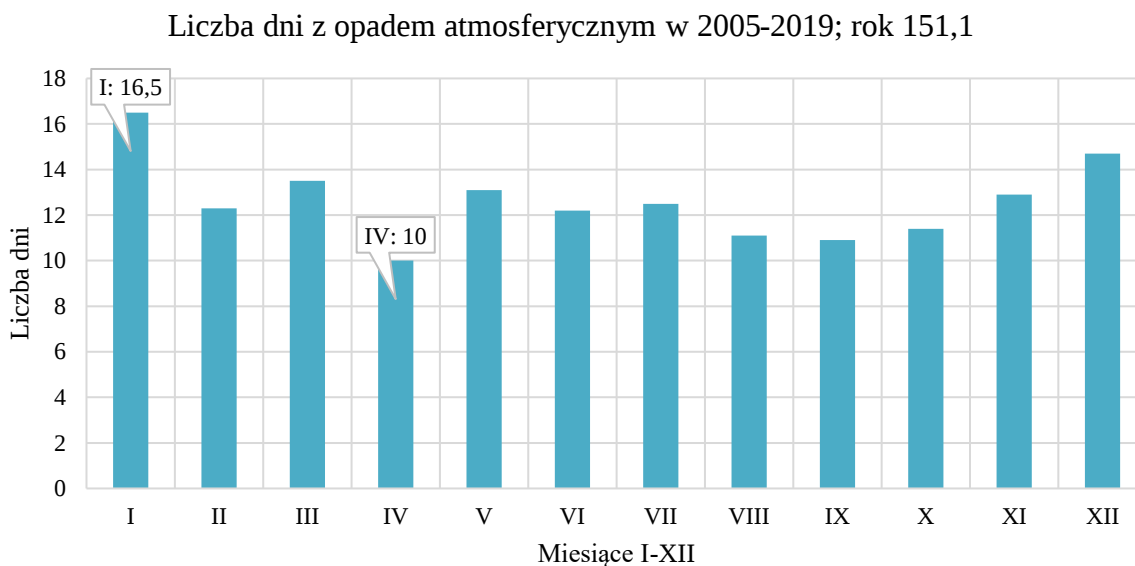
Rys. 11 Przebieg miesięczny sum opadu atmosferycznego.

Przebieg średnich miesięcznych sum opadów atmosferycznych w wieloleciu nawiązuje do typowego dla klimatu umiarkowanego przejściowego charakteru. Ujawniają się przy tym cechy klimatu kontynentalnego o najwyższych sumach opadów latem (opady konwekcyjne).



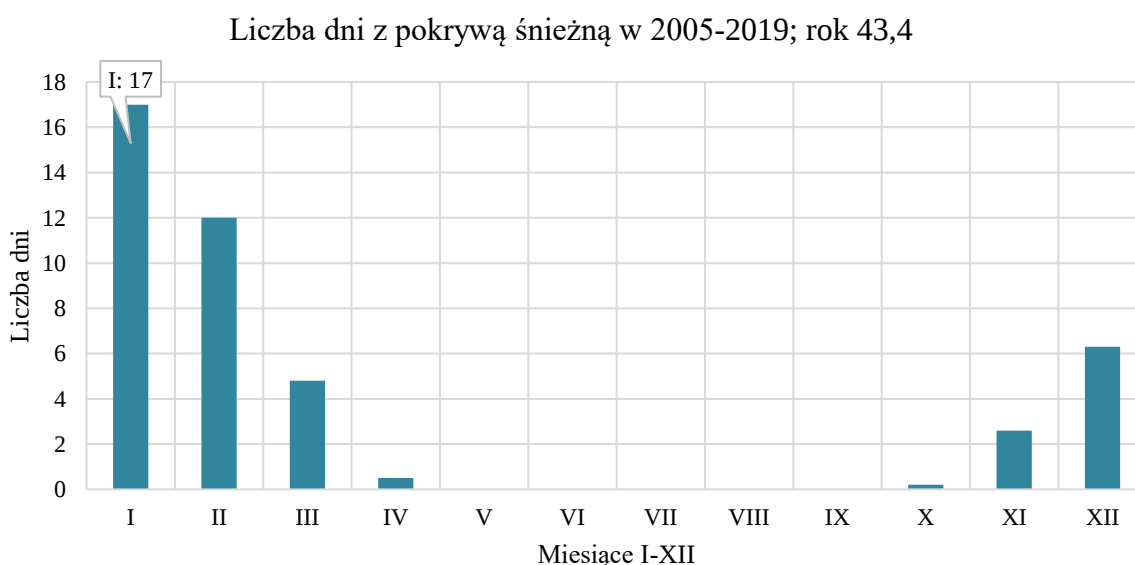
Rys. 12 Przebieg miesięczny maksymalnych dobowych sum opadu atmosferycznego.

Maksymalne dobowe sumy opadów atmosferycznych, na obszarach podobnych klimatycznie do omawianego, występują najczęściej w cieplej porze roku i związane są z zachmurzeniem konwekcyjnym. Co prawda stosunkowo rzadko występują one we wrześniu, ale biorąc pod uwagę stopniowe wydłużanie się okresów z wysoką temperaturą w latach ostatnich, nie należą do rzadkości także w innych regionach Polski.



Rys. 13 Przebieg miesięczny liczby dni z opadem atmosferycznym.

Liczba dni z opadem atmosferycznym (opad dobowy ≥ 0.1 mm w ciągu doby) jest typowa dla warunków klimatu umiarkowanego przejściowego. Najbardziej wilgotnym miesiącem pod względem liczby dni z opadem jest styczeń, a najmniej kwiecień.



Rys. 14 Przebieg miesięczny liczby dni z pokrywą śnieżną.

Uśredniona dla okresu wieloletniego liczba dni z pokrywą śnieżną wynosi rocznie 43,4 dnia, z czego najdłużej śnieg utrzymuje się w styczniu. Od maja do września brak jest dni z pokrywą śnieżną.

Zarys warunków klimatu miasta

Należy podkreślić, że obszar miasta Kędzierzyn-Koźle znajduje się pod bezpośrednim oddziaływaniem warunków klimatycznych Kotliny, choć jest dość znacząco modyfikowany poprzez oddziaływanie urbanizacji i przemysłu tej miejscowości. Kędzierzyn-Koźle, jako część aglomeracji kędzierzyńsko-zdzieszowickiej, jest obszarem o stosunkowo różnorodnym charakterze warstwy czynnej, co może się przedkładać na lokalne zróżnicowania topoklimatyczne.

Silne uprzemysłowienie i wyspowo występująca zwarta zabudowa powoduje, że wykształcają się tutaj specyficzne cechy klimatyczne charakterystyczne dla obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych. Jedną z podstawowych cech klimatu miejskiego jest wyraźne przegrzanie centrum miasta wyrażające się występowaniem „miejskiej wyspy ciepła” o średnim natężeniu około 0.7°C w skali roku (w ekstremalnych przypadkach temperatury minimalnej, przy ładnej, słonecznej i bezwietrznej pogodzie różnice te dochodzą do 3°C). Struktura miejskiej wyspy ciepła ma oczywiście charakter wielokomórkowy, a największe jej natężenie notuje się w okolicach najbardziej uprzemysłowionych i zurbanizowanych (centrum, północna przemysłowa część miasta).

Innym elementem meteorologicznym w sposób znaczący zmieniającym się pod wpływem postępującej degradacji środowiska przyrodniczego miasta jest opad atmosferyczny. W obszarze miejskim może występować zwiększona liczba dni z opadem małym; tłumaczona ona jest występowaniem zwiększonej ilości aerozolu, przyspieszeniem kondensacji pary wodnej i występowaniem opadów roszących zamiast zamglenia i mgły. Zwiększenie natomiast liczby dni z opadem dużym o charakterze burzowym, szczególnie w okolicach dużych emitorów ciepła sztucznego, dowodzi zwiększenia procesów konwekcyjnych nad nagrzanym miastem. Zjawisko to może być obserwowane nad dużymi zakładami przemysłowymi miasta lub okolic. Pod pojęciem opadu małego rozumie się taki, którego dobową sumę $\leq 1\text{ mm}$, natomiast pod pojęciem opadu dużego rozumie się opad o sumie dobowej $\geq 20\text{ mm}$.

Nie można także pominąć wpływu miasta na zmianę struktury wiatru w regionie. O ile ogólne warunki anemologiczne kotliny determinowane są przede wszystkim czynnikami ogólnocyrkulacyjnymi (przeważające kierunki wiatru z sektora NW w cieplej, a z sektora SW w chłodnej porze roku) i wymuszonym przepływem powietrza przez Bramę Morawską w około 40% okresu, o tyle struktura wiatru nad miastem jest modyfikowana czynnikami lokalnymi. Z teorii klimatu warstwy granicznej wynika, że struktura wiatru nad obszarami zabudowanymi jest silnie zmieniona. W pierwszym przybliżeniu mówi się o zmniejszeniu średniej prędkości wiatru spowodowanej znacznym tarcieniem mechanicznym. W warunkach Kędzierzyna-Koźla średnie osłabienie prędkości wiatru może dochodzić do około 20% prędkości pierwotnej. Inną modyfikacją struktury wiatru jest zwiększenie jego porywistości, występowanie lokalnych zwielokrotnień prędkości w kanionie ulic miasta spowodowanych tzw. efektem tunelowym. Zjawisko to szczególnie dobrze zaznacza się na terenie nowych, dużych osiedli mieszkaniowych o zabudowie równoległej (południowe dzielnice miasta).

Do innych ciekawych efektów anemologicznych wywołanych urbanizacją należy występowanie latem, przy ładnej pogodzie, tzw. bryzy miejskiej. Bryza miejska jest to cyrkulacja

powietrza skierowana dołem od terenów niezurbanizowanych ku centrum miast, a spowodowana różnicami termicznymi pomiędzy centrum miasta (wyspa ciepła) a terenami wiejskimi. Występowanie tego zjawiska jest wysoce prawdopodobne w Kędzierzynie-Koźlu szczególnie w dniach pogodnych, ciepłej pory roku, przy niskich prędkościach wiatru ogólnej cyrkulacji atmosfery < 3 m/s. W takich okolicznościach możliwe jest występowanie wiatru lokalnego, skierowanego ku terenom miejskim z zewnątrz miasta, o prędkości dochodzącej do 2 m/s.

Podsumowanie

Przeprowadzony wyżej wywód dotyczący charakterystyki klimatycznej badanego regionu dotyczy szeroko rozumianych „norm klimatycznych”, a więc uśrednionych dla dłuższego okresu przebiegu poszczególnych jego elementów. Charakterystyki te dobrze się nadają do oceny wieloobszarowej lub ponad regionalnej zakresów zmienności celu określenia średnich i zakresów zmienności elementów klimatu. Należy jednak mieć świadomość, że charakterystyki te nie mogą być wykorzystywane do oceny wpływu dowolnego elementu meteorologicznego na warunki jakości powietrza w danym roku.

Należy także stwierdzić, że mimo jawnych cech zmian klimatu charakterystycznych dla klimatu umiarkowanego przejściowego przebieg elementów meteorologicznych pozostał w zasadzie niezmienny.

Warunki wentylacyjne atmosfery sprzyjające wysokim koncentracjom zanieczyszczeń, w tym benzenu, w okolicach Kędzierzyna-Koźła

Warunki wentylacyjne atmosfery

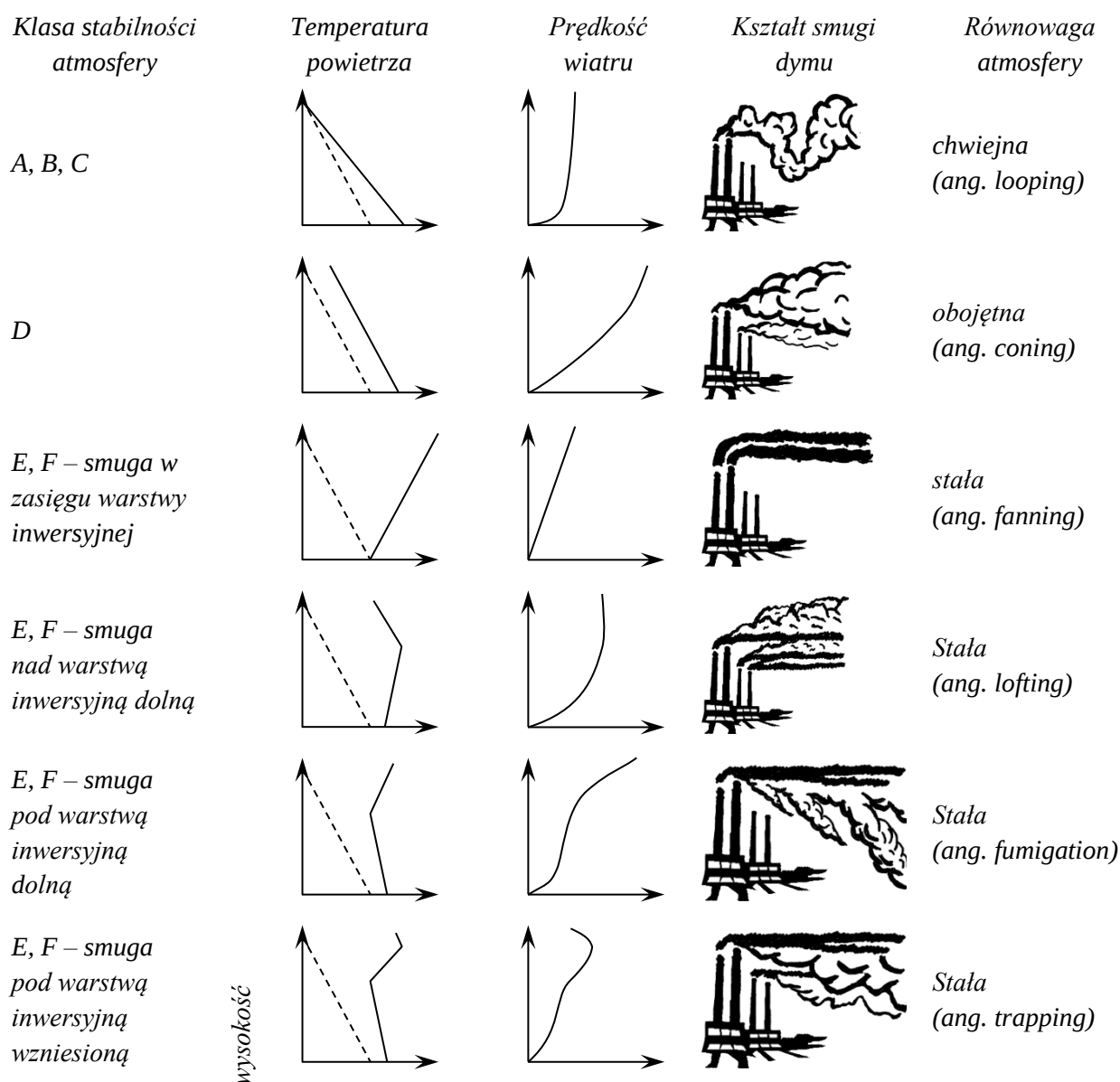
Pojęcie warunki wentylacyjne choć w nomenklaturze klimatologicznej istnieje długo, to dopiero od pewnego czasu nabrało szerszego znaczenia. Stwierdzono bowiem, że jest to niezły „syntetyczny” wskaźnik dla potrzeb charakteryzowania wpływu ogółu czynników dynamicznych i termicznych na jakość powietrza.

Pierwszą próbą skwantyfikowania warunków wentylacyjnych było wprowadzenie przez Pasquilla tzw. klas stabilności atmosfery, których wyznaczanie miało znaczenie dla oceny warunków dyspersji zanieczyszczeń. Klasy te wyznaczano na podstawie obserwacji naziemnych (prędkości wiatru, wielkości promieniowania słonecznego, temperatury) a każdej z nich przyporządkowywano inne właściwości dyspersji zanieczyszczeń. Tak więc na podstawie klas stabilności można było ocenić kształt smugi zanieczyszczeń, a w konsekwencji ocenić ich depozycję na powierzchnię ziemi. Mimo postępów w nauce klasy te są stosowane do dziś jako miara warunków dyspersji i szybka ocena możliwości np. występowania inwersji. W przyjętej w inżynierii środowiska praktyce najczęściej stosowana jest 6-stopniowa skala stabilności atmosfery oznaczana literami od A do F lub odpowiednio cyframi od 1 do 6.

- A i B – klasy wybitnie chwiejna i chwiejna, które charakteryzują warunki bardzo silnej i silnej konwekcji z dużym pionowym gradientem temperatury $>1,2^{\circ}\text{C}/100$ m;
- C – klasa lekko chwiejna, konwekcja umiarkowana, gradient temperatury $1-1,2^{\circ}\text{C}/100$ m;

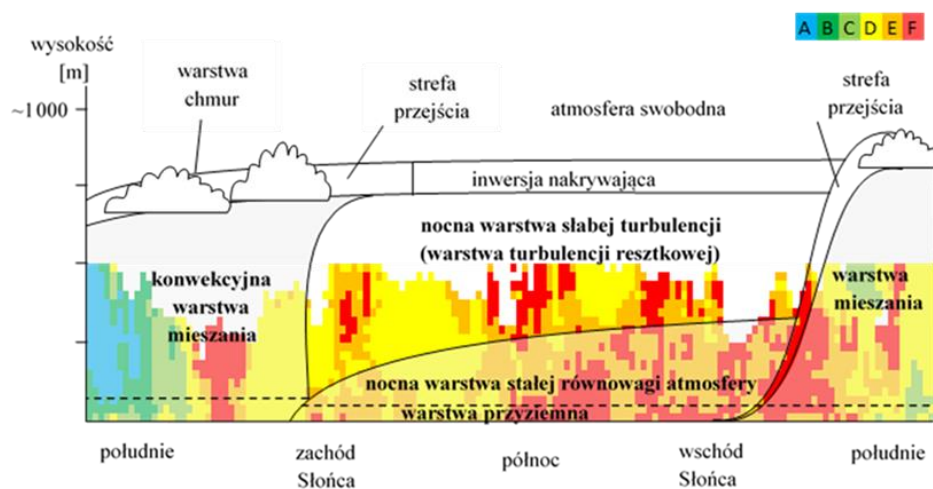
- D – klasa obojętna, brak konwekcji, gradient temperatury ok. $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$;
E – klasa stała, gradient temperatury ok. $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$;
F – klasa wybitnie stała (inwersja temperatury powietrza).

Z punktu widzenia warunków rozprzestrzeniania zanieczyszczeń powietrza klasy A – D odpowiadają za sytuacje meteorologiczne sprzyjające dobrej wentylacji, a klasy E – F za sytuacje ze słabą wentylacją atmosfery. Podział ten jest oczywiście dość uproszczony i oddaje tylko wpływ ogólnej charakterystyki dwóch elementów meteorologicznych na warunki przewietrzania: wiatru i temperatury powietrza. W meteorologii zanieczyszczeń powietrza jednym z parametrów charakteryzujących szybkość rozprzestrzeniania się w warstwie granicznej atmosfery (WGA) jest tak zwany współczynnik wentylacji. Wielkość ta definiowana jest jako iloczyn wysokości warstwy granicznej atmosfery (odpowiadającej wysokości warstwy mieszania) i średniej prędkości wiatru w tej warstwie.



Rys. 15 Schematyczne przedstawienia kształtu smugi dymu z emitora punktowego oraz pionowych profili temperatury powietrza i prędkości wiatru (linia przerywana przedstawia gradient suchoadiabatyczny) [źródło Zannetti, 1990, modyfikacja autorów rozdziału].

Należy także zaznaczyć, że dobowy przebieg klas stabilności atmosfery w warunkach niezakłóconych (pogoda insolacyjna radiacyjna) i dobowy przebieg stratyfikacji prezentuje dobrze Rys. 16.



Rys. 16 Schemat dobowego przebiegu struktury warstwy granicznej atmosfery na tle wyznaczonych za pomocą sodaru klas stabilności (opracowanie własne na podstawie Stulla [Zanetti,1990.]

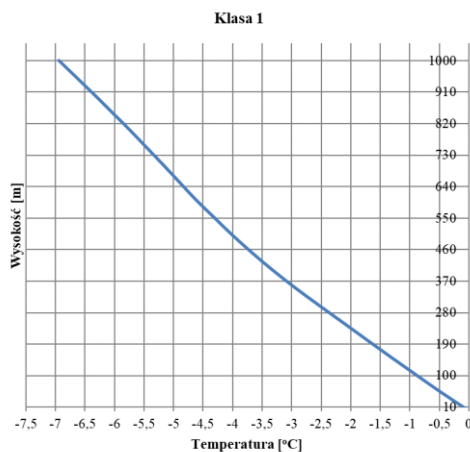
Klasy stratyfikacji termicznej atmosfery

Innym elementem obrazującym rozkład warunków termicznych w atmosferze są tzw. klasy stratyfikacji termicznej. Klasy te stanowią modelowy przebieg pionowego gradientu temperatury w warstwie przyziemnej atmosfery uzyskany z pomiarów za pomocą radiometru. Radiometr jest urządzeniem teledetekcyjnym pozwalającym na określenie profilu temperatury w atmosferze. Z uwagi na dostęp do takiego urządzenia – dzięki realizacji projektu współfinansowanego EU Interreg PL-Cz 2016-2020 AIR BORDER – w niniejszej pracy wykorzystano właśnie ten wskaźnik.

Na podstawie badań empirycznych wyodrębniono 5 takich klas. Poniżej przedstawiono wizualizację typowych profili klas stratyfikacji wyznaczonych za pomocą radiometru.

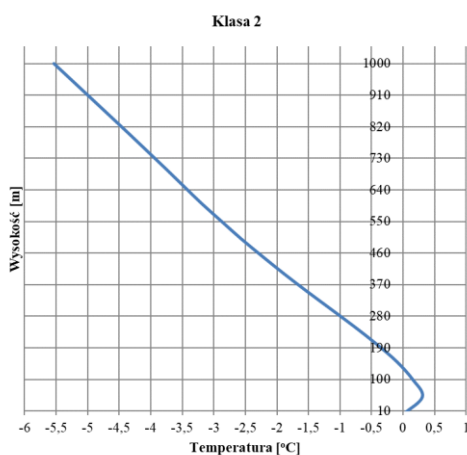
Klasa 1 – charakteryzuje się normalnym rozkładem temperatury wraz ze wzrostem wysokości.

Na żadnym poziomie nie występuje inwersja – klasa ta w przybliżeniu odpowiada stratyfikacji chwiejnej atmosfery.



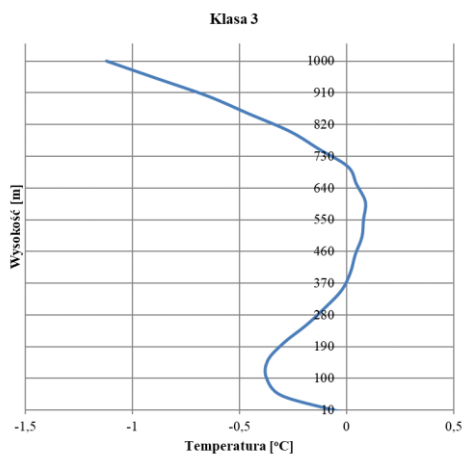
Rys. 17 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 1.

Klasa 2 – charakteryzuje się występowaniem małej warstwy inwersji od powierzchni Ziemi (około 50 m), później rozkładem normalnym temperatury.



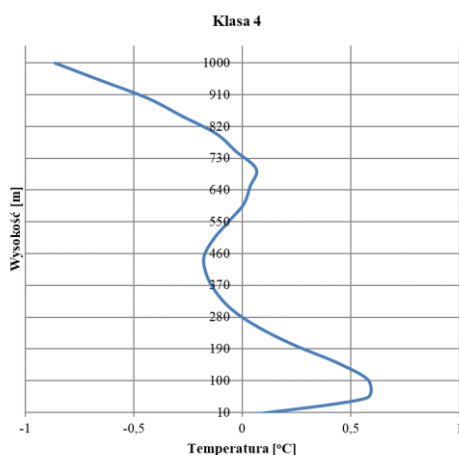
Rys. 18 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 2.

Klasa 3 – charakteryzuje się rozkładem normalnym temperatury w warstwie do około 100 m n.p.g., następnie inwersją o dość dużej miąższości (około 500 m), a potem rozkładem normalnym. Ten typ stratyfikacji mieszanej jest charakterystyczny dla tzw. przejścia porannego, gdy nagrzana przez promieniowanie słoneczne powierzchnia Ziemi oddaje swe ciepło warstwie przyziemnej atmosfery.



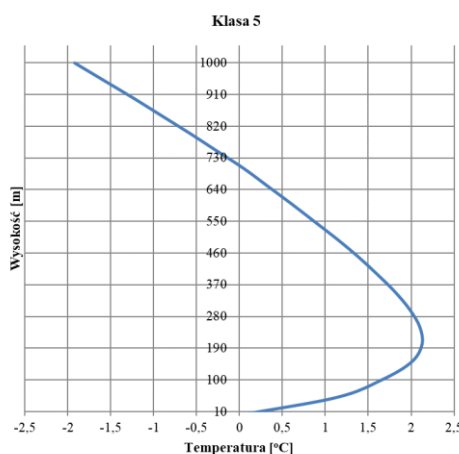
Rys. 19 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 3.

Klasa 4 – przyziemna inwersja o dość dużym skoku sięgająca wysokości około 50 m n.p.g., potem rozkład normalny temperatury na wysokości około 400 m, inwersja wzniesiona o miąższości około 300 m. Powyżej rozkład normalny.



Rys. 20 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 4.

Klasa 5 – silna inwersja od powierzchni Ziemi do wysokości około 100 m; charakteryzuje stratyfikację stałą przy powierzchni Ziemi.

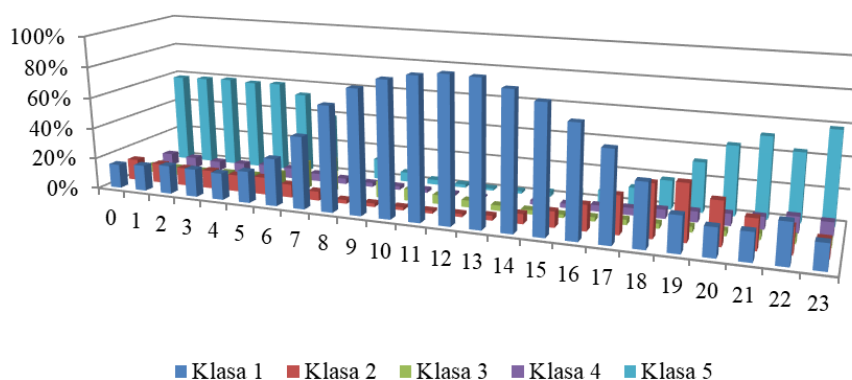


Rys. 21 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 5.

Tab. 5 Podział klas stratyfikacji termicznej na tle klasyfikacji Pasquilla.

Klasa stratyfikacji termicznej	Klasy stabilności wg Pasquilla	Typ klasy stabilności atmosfery w warstwie przypowierzchniowej	Pora doby (najczęstsze występowanie)
1	A, B	chwiejna	dzienna
2	C	obojętna	wieczorno-nocna
3	D	słabo stabilna	poranna
4	E	stabilna	nocna
5	F	silnie stabilna	nocna

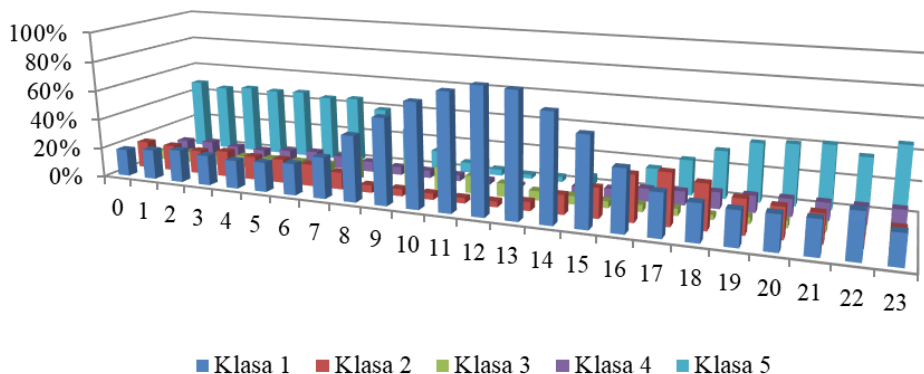
Przebieg klas w dobie w roku



Rys. 22 Schemat dobowego przebiegu klas stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry dla całego roku.

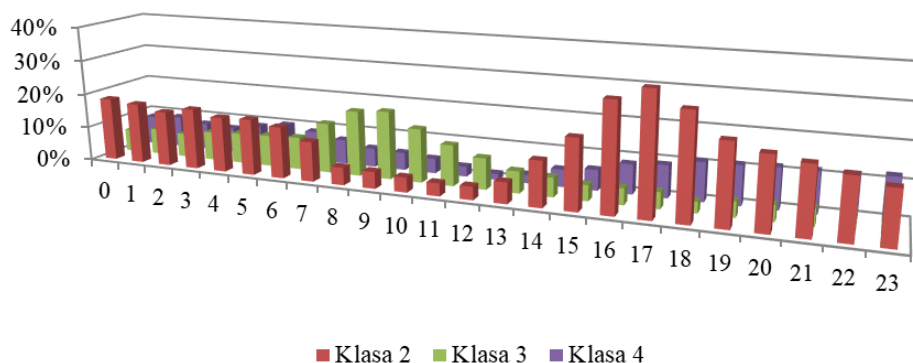
W przebiegu dobowym uśrednionym dla całego roku obserwuje się wyraźną dominację klasy 1 (normalny rozkład temperatury od powierzchni gruntu) w godzinach okołopołudniowych. W godzinach nocnych przewagę uzyskuje klasa 5 (głęboka inwersja przyziemna). Te dwie klasy dominują wyraźnie nad pozostałymi pozostając w zgodności z teorią ewolucji struktury warstwy granicznej Stulla.

Przebieg klas w dobie w zimie



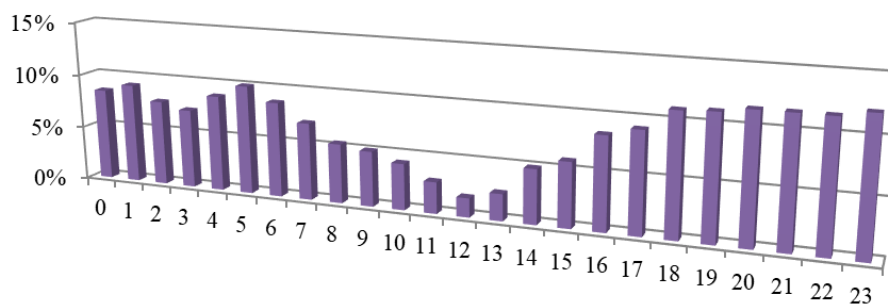
Rys. 23 Schemat dobowego przebiegu stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry w sezonie zimowym (chłodnym X–III).

Przebieg klas 2-4 w dobie w zimie



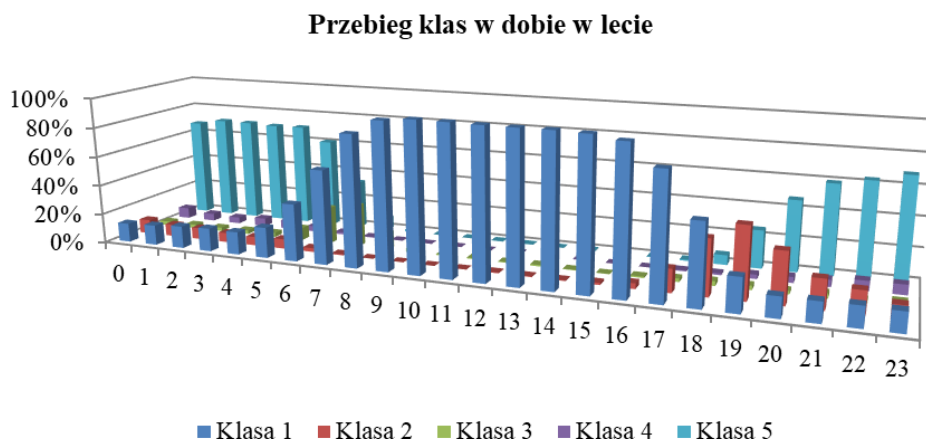
Rys. 24 Schemat dobowego przebiegu klas 2–4 stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry w sezonie zimowym (chłodnym X–III).

Klasa 4 w dobie w sezonie zimowym



Rys. 25 Schemat dobowego przebiegu klasy 4 stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry w sezonie zimowym (chłodnym X–III).

W sezonie zimowym dobowy przebieg klas termicznej stratyfikacji atmosfery (TSA) charakteryzuje się skróconym czasem trwania w ciągu doby klasy 1, a wzrostem udziału klas 2–4 przy prawie identycznym udziale klasy 5. Warty odnotowania jest fakt związku częstotliwości występowania klasy 5 z długością okresu nocnego.

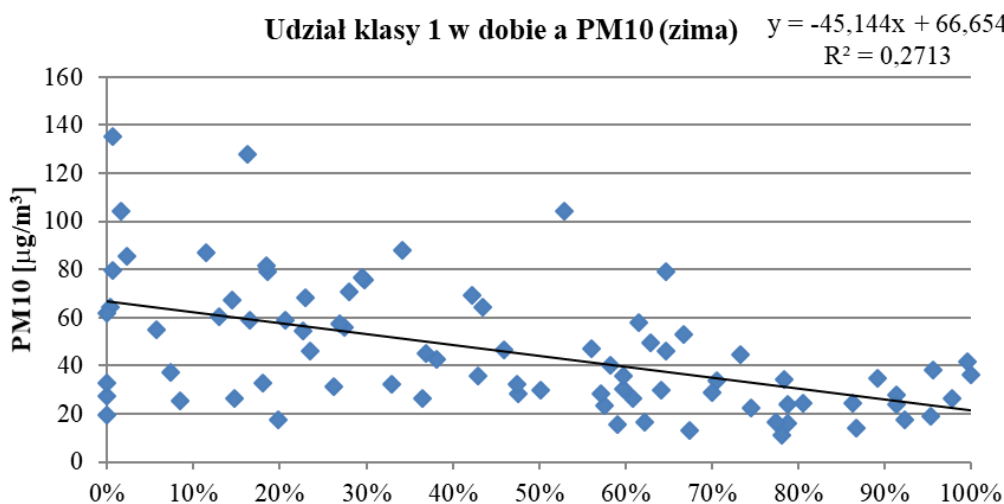


Rys. 26 Schemat dobowego przebiegu stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry w sezonie letnim (ciepłym IV–IX).

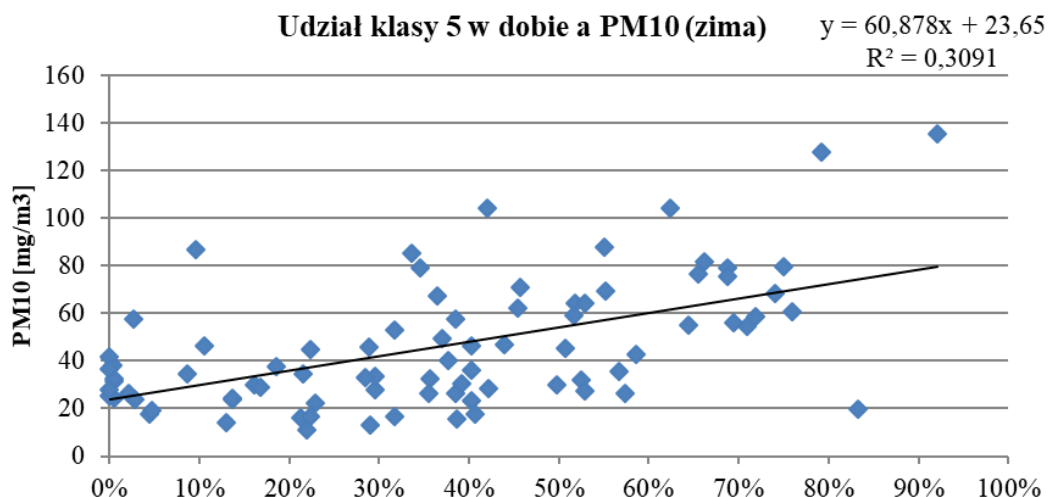
Jednym z ważniejszych elementów pracy było zbadanie wpływu typów stratyfikacji atmosfery na stężenia zanieczyszczeń. Najbardziej widoczne jest to dla pyłu PM₁₀, stąd do wizualizacji zależności przedstawiono to właśnie zanieczyszczenie.

Porównania przeprowadzono dla całych dób. Porównano średnie dobowe stężenie PM₁₀ z udziałem procentowym w danej dobie dla poszczególnych klas.

W pracy przytoczono wyniki badań własnych wykonywanych takich związków dla Raciborza. Stacja synoptyczna w Raciborzu dysponuje unikatową aparaturą do pomiaru warunków meteorologicznych w WGA, a ogólne wyniki są także reprezentatywne dla badanego obszaru (Krajny E., Ośródk L., 2020)



Rys. 27 Udział klasy 1 w dobie a dobowe stężenia PM₁₀ – zima (chłodna pora roku X–III).



Rys. 28 Udział klasy 5 w dobie a dobowe stężenia PM10 – lato (ciepła pora roku).

Z analizy wynika, że klasy 1 i 5 są istotnie związane ze stężeniem PM10. Im więcej w dobie jest klasy 1, tym stężenie PM10 jest niższe. Dla klasy 5 obserwuje się sytuację odwrotną.

W dalszej części obliczono korelacje stężenia PM10 oraz klasy stratyfikacji termicznej z radiometru i parametrów meteorologicznych mierzonych na stacji IMGW-PIB Racibórz Studzienna. Zależności rozpatrywane są w okresach dobowych:

Tab. 6 Stężenia zanieczyszczeń a stratyfikacja termiczna i warunki meteorologiczne w dobie.

Czynnik	Współczynnik korelacji z PM10
Klasa 1	−0,554
Klasa 2	−0,154
Klasa 3	0,183
Klasa 4	0,166
Klasa 5	0,496
T _{Max}	−0,335
T _{Min}	−0,464
T _{Srd}	−0,399
T _{MiG}	−0,458
Opad atmosferyczny	−0,113
Czas deszczu	−0,110
Czas opadu śniegu	0,188
Czas trwania mgły	0,567
Czas trwania zamglenia	0,613
Wilgotność względna	0,387
Prędkość wiatru	−0,354
Podstawa chmur	0,175
Widoczność	−0,718
Zachmurzenie całkowite	0,018

Źródło: obliczenia własne dla potrzeb pracy (Krajny E., Ośródk L., 2020)

Analiza wyników zawartych w tabeli wskazuje na silny związek dobowych stężeń pyłu PM10 w Raciborzu i klas TSA 1 (korelacja ujemna) i 5 (korelacja dodatnia) a nadto z następującymi elementami meteorologicznymi: charakterystyk termicznych i widoczności (korelacja ujemna), czasu trwania mgły i zamglenia (korelacja dodatnia). Nieco słabsze związki są obserwowane dla wilgotności względnej (korelacja dodatnia) i prędkości wiatru (korelacja ujemna). Czas trwania klas TSA 2–4 wykazuje słaby związek z dobowym stężeniem pyłu PM10.

Przeprowadzone analizy potwierdzają wnioski z dotychczasowych badań nad wpływem warunków meteorologicznych na stężenia pyłu. W przypadku występowania pogody stabilnej w rozumieniu małej zmienności typologicznej (reprezentowanej przez klasy 1 i 5), zależności pomiędzy warunkami meteorologicznymi a stężeniem pyłu są dobrze zachowane. W przypadku występowania pogody zmiennej reprezentowanej m.in. przez klasy TSA 2–4 zależności te są trudniejsze do uchwycenia.

Ocena warunków wentylacyjnych atmosfery w okolicach Kędzierzyna-Koźła – metodyka.

Przedstawione wyżej charakterystyki wentylacji atmosfery są możliwe do zastosowania w przypadku dysponowania radiometrem. Ponieważ jednak ocena dotyczy także okresu wcześniejszego należało zastosować jeszcze inne narzędzie, które bazowało na danych radiometrycznych z lat 2018–2020, ale można je było zastosować wstecz. W tym celu do oceny warunków wentylacyjnych atmosfery w okolicach Kędzierzyna-Koźła i wyodrębnienia epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń, w tym benzenu (ze szczególnym uwzględnieniem okresu 2018–2020), zastosowano elementy analizy wielowymiarowej (grupowanie, rzutowanie Sammona). Otrzymane w jej wyniku grupy z największymi wartościami stężeń zanieczyszczeń charakteryzowały się następującymi cechami:

- ✓ niska prędkość wiatru (średnia chwilowa < 2 m/s),
- ✓ mała widoczność, nie większa niż 1000 m,
- ✓ występowanie mgły lub zamglenia,
- ✓ pełna inwersja (klasa stratyfikacji termicznej TSA 5).

i nazwane zostały indeksem wentylacji (IWW)

Grupowano wektory godzinowych wartości elementów meteorologicznych i dla grup obliczano średnie stężenie zanieczyszczeń.

Dla uproszczenia w danej godzinie obserwacji sformułowano 5 cząstkowych indeksów:

$$I_1 = \begin{cases} 1 & \text{gdy prędkość wiatru} \leq 2 \text{ m/s} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$$I_2 = \begin{cases} 1 & \text{gdy prędkość wiatru} = 0 \text{ m/s} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$$I_3 = \begin{cases} 1 & \text{gdy widoczność} < 10 \text{ km} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$$I_4 = \begin{cases} 1 & \text{gdy występują mgły lub zamglenia} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$$I_5 = \begin{cases} 1 & \text{gdy klasa stratyfikacji} = 5 \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Wiatr występuje w dwóch indeksach w celu podkreślenia jego istotności. Cisa w danym terminie jest dodatkowym obciążeniem.

Sumaryczny indeks godzinowy obliczono ze wzoru:

$$I(h) = \sum_{k=1}^5 I_k(h)$$

Na poziom zanieczyszczeń wpływa również pewna przeszłość, zatem sformułowano indeks warunków wentylacyjnych:

$$IWW(h) = I(h) + I(h - 1) + I(h - 2)$$

jako suma indeksów godzinowych z trzech ostatnich terminów.

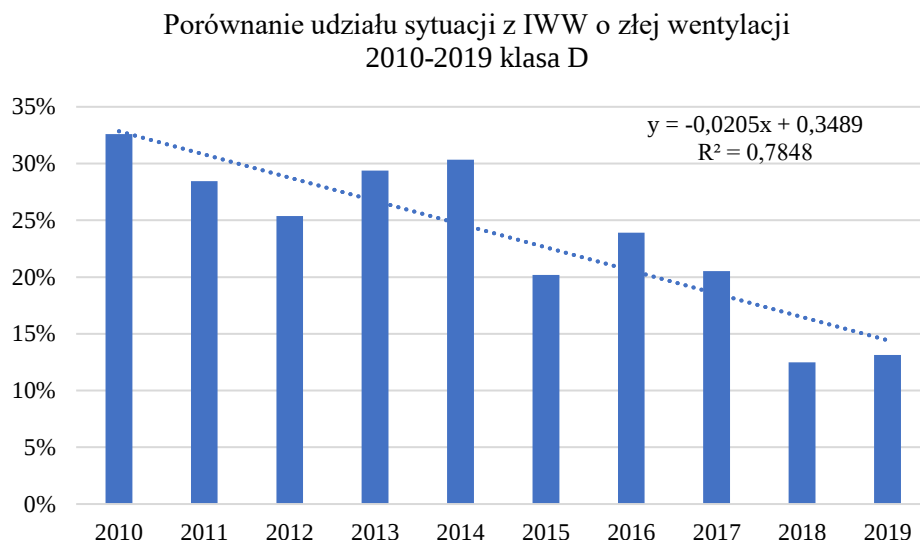
Tab. 7 Kwantyfikacja indeksu wentylacji (IWW)

Wartość indeksu IWW	Charakterystyka	Klasa wentylacji
0	brak spełnionych warunków do oceny wentylacji	brak klasy
1–3	dobre warunki wentylacyjne	A
4–6	umiarkowane warunki wentylacji	B
7–8	słabe warunki wentylacji	C
>9	złe warunki wentylacji	D

Wyniki badań nad warunkami wentylacyjnymi okolic Kędzierzyna-Koźła dla okresu 2015–2019

Zmienność indeksu wentylacji w latach 2015–2019

Po opracowaniu algorytmu, indeks warunków wentylacji można przedstawić dla dowolnego okresu. Poniżej przedstawiono jego zmienność dla lat 2010–2019, a uszczegółowiono dla okresu 2015–2019 (słabo zmienne warunki emisji).



Rys. 29 Udział sytuacji ze złą wentylacją w latach 2010–2019 w okolicach Kędzierzyna-Koźła.

Przedstawiony rysunek pokazuje, że indeks złej wentylacji z roku na rok wykazuje zmienność przy czym obserwowany jest jego ujemny trend. Oznacza to, że w ostatnich latach obserwuje się więcej sytuacji z większą dynamiką warunków meteorologicznych (mniej sytuacji inwersyjnych), a zatem mniej sytuacji sprzyjających wysokim koncentracjom zanieczyszczeń powietrza. Szczególnie dobrze jest to widoczne w latach 2015–2019 (najlepsza sytuacja w latach 2018 i 2019).

Statystyczne związki zanieczyszczeń powietrza z warunkami meteorologicznymi w ujęciu wieloletnim (2010–2019)

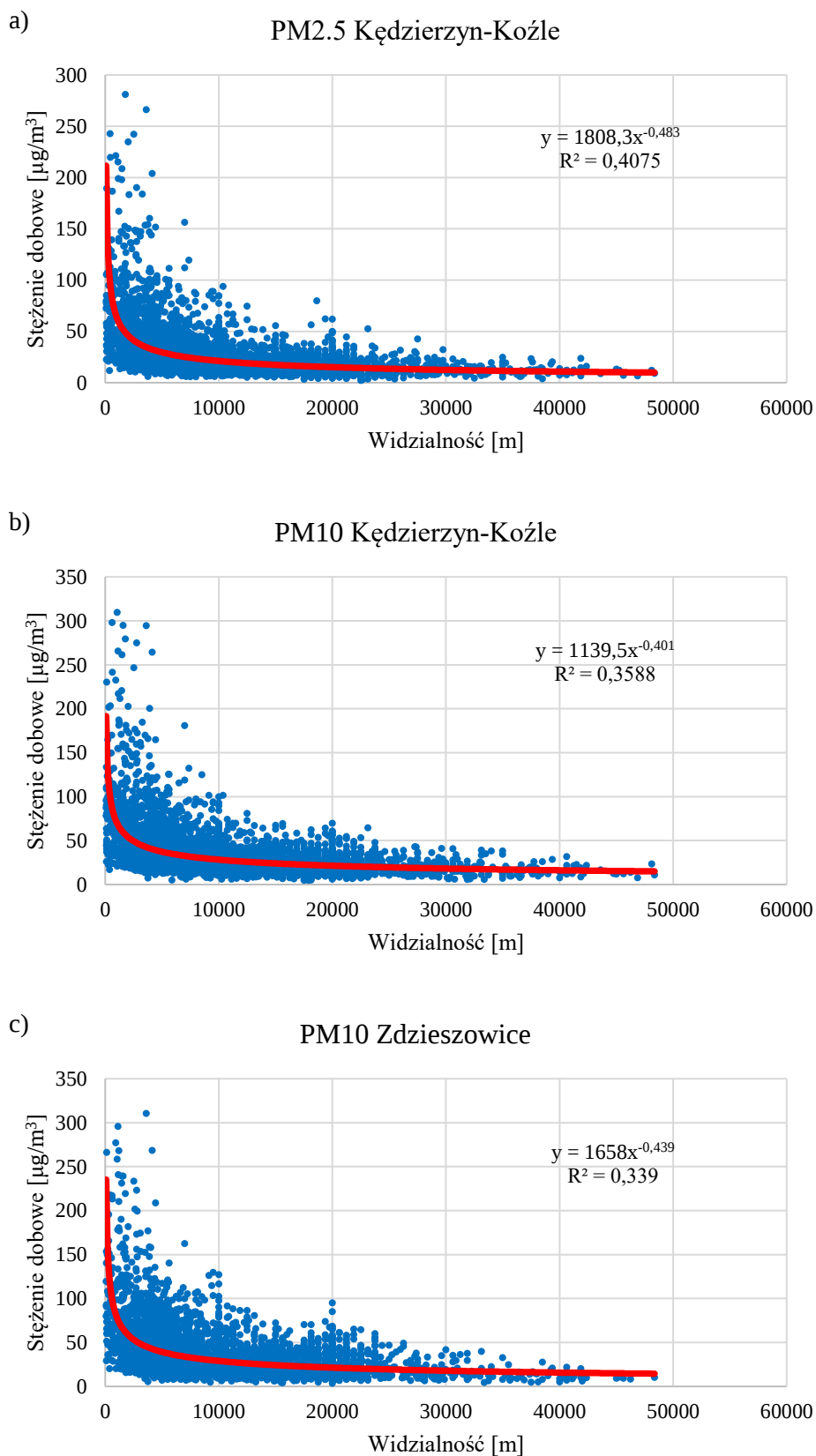
Jakość powietrza a poszczególne elementy meteorologiczne

Jak wiadomo jakość powietrza jest zależna od zespołu czynników meteorologicznych. O ile dla pojedynczych przypadków wystarczy identyfikacja czynników meteorologicznych w danym dniu zdarzenia (wykształcona warstwa inwersyjna, słaby wiatr, wysoka wilgotność powietrza, układ ciśnienia determinujący zstępujące ruchy powietrza [sytuacja stałogradientowa lub wyż atmosferyczny]), o tyle określenie wpływu zespołu tych czynników w sensie statystycznym (klimatologicznym) wymaga zastosowania innych metod. W tym przypadku wykazano, że nie istnieje prosta zależność liniowa pomiędzy zespołem elementów meteorologicznych kształtujących pogodę a jakością powietrza.

Ta część pracy miała na celu przedstawienie jak zespół elementów meteorologicznych wpływa na kształtowanie się stężeń poszczególnych badanych zanieczyszczeń przy wykorzystaniu prostych metod statystycznych (analiza regresji). Należy podkreślić, że zależności te wyznaczono dla całej populacji danych (2010–2019) włączając w to wszystkie dane pomiarowe.

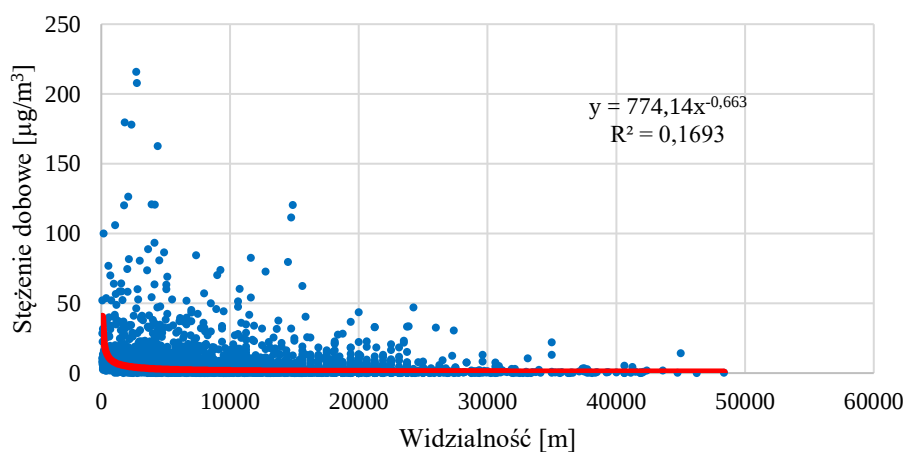
Na rysunkach poniżej przedstawiono zależności badanych średniodobowych stężeń zanieczyszczeń od warunków meteorologicznych dla stacji Kędzierzyn-Koźle i Zdzeszowice.

Zależności od widzialności:



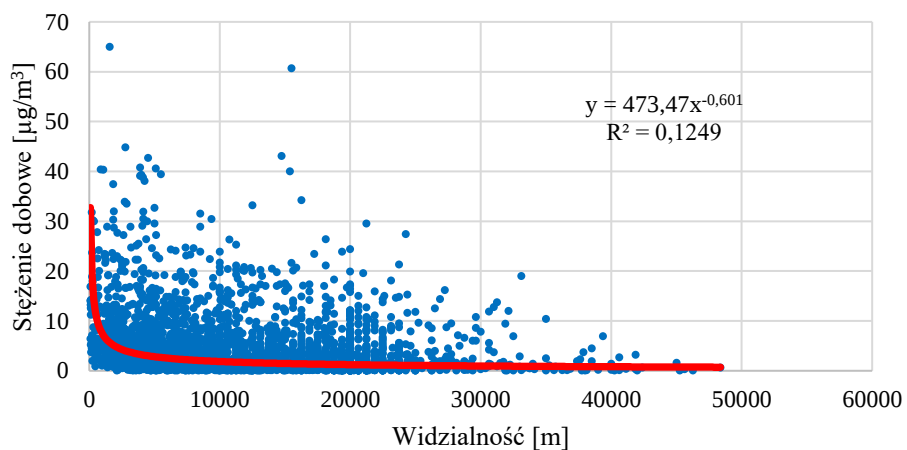
d)

C_6H_6 Kędzierzyn-Koźle



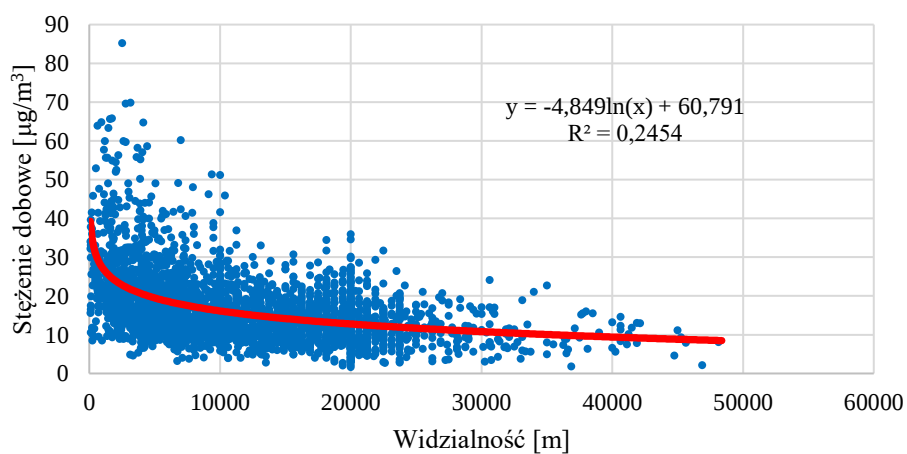
e)

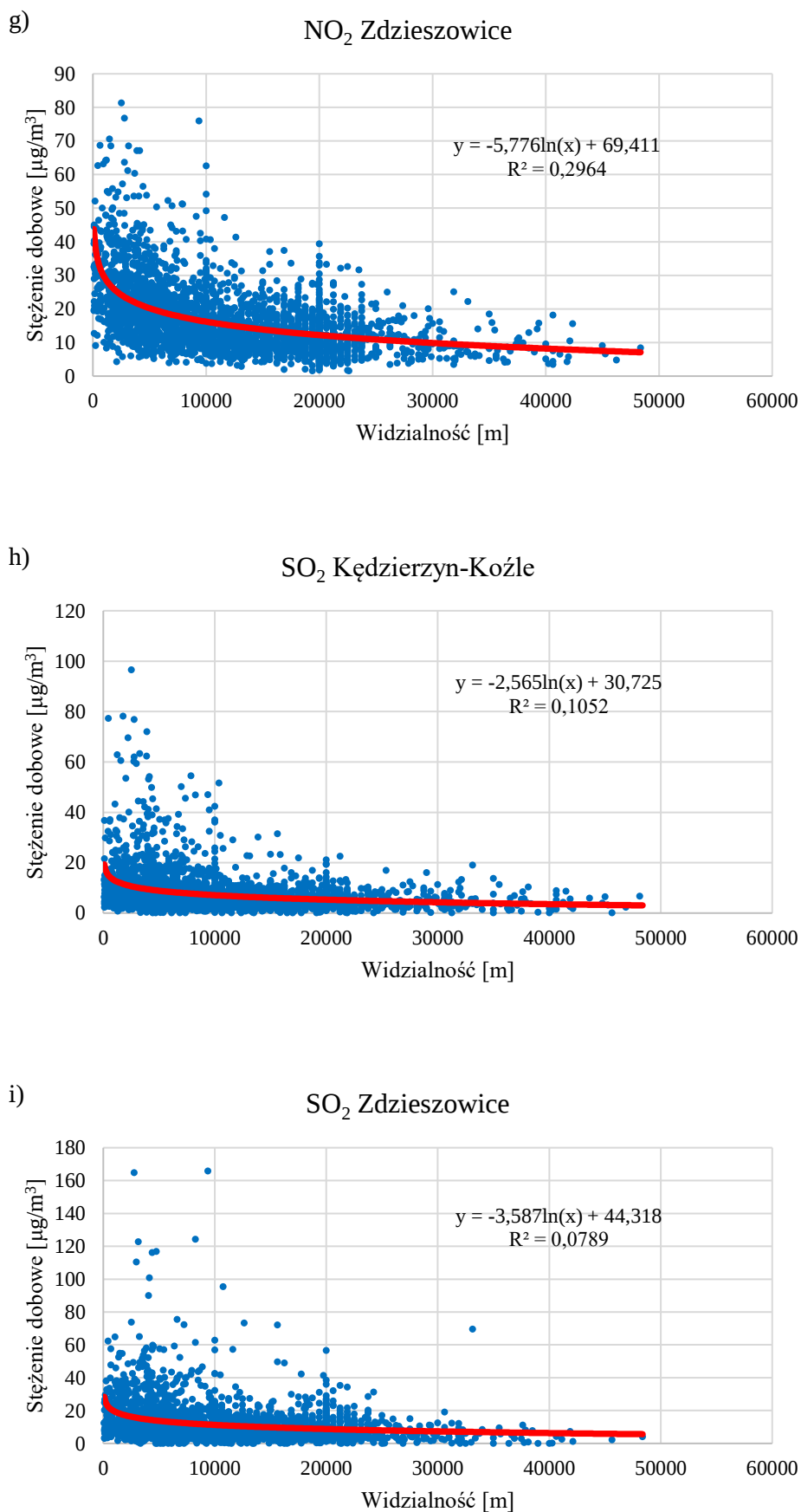
C_6H_6 Zdzeszowice



f)

NO_2 Kędzierzyn-Koźle

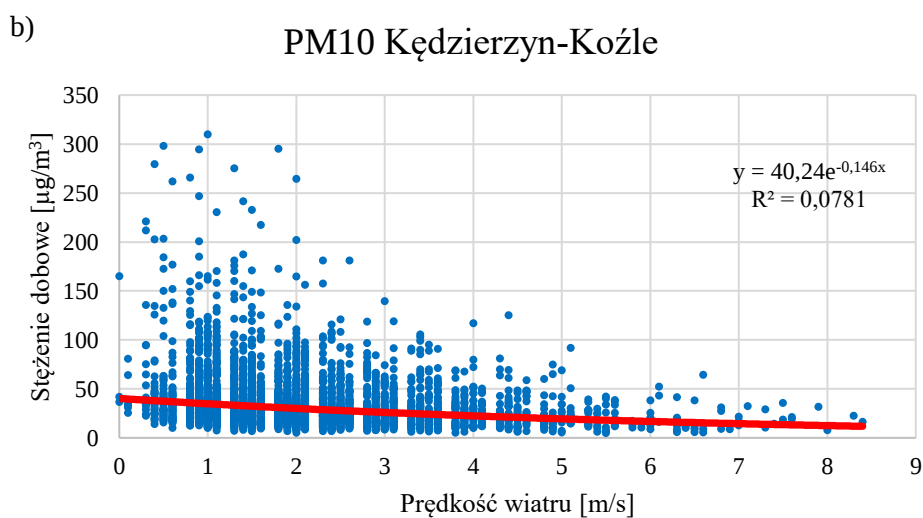
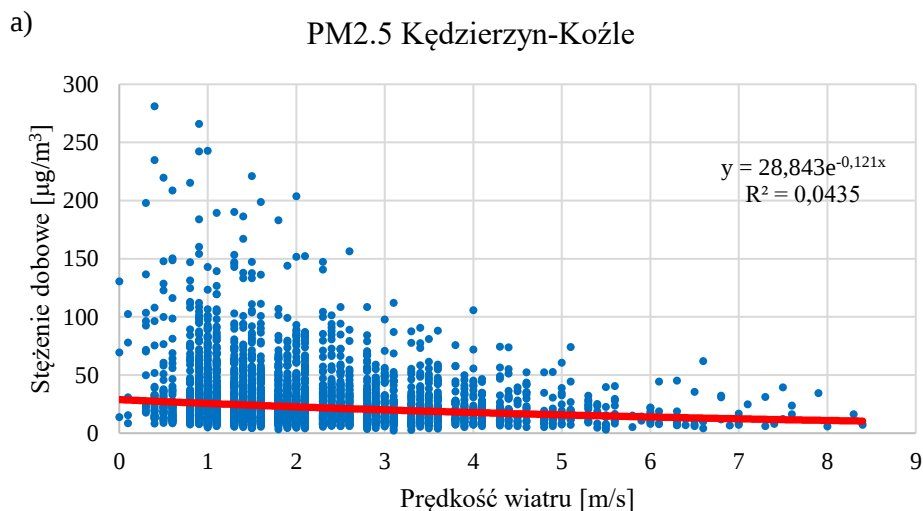




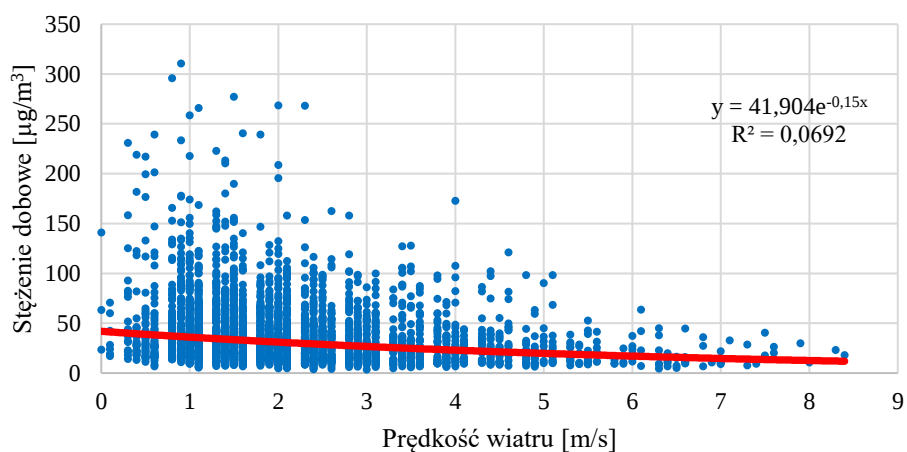
Rys. 30 (a–i) Zależność stężeń zanieczyszczeń mierzonych na stacjach w Kędzierzynie-Koźlu i Zdieszowicach od widzialności.

Na rysunkach powyżej przedstawiono współzależność stężeń wybranych zanieczyszczeń w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzeszowicach (stacje PMŚ) od widzialności poziomej. Jak widać na przedstawionych rysunkach zależność ta nie jest liniowa, dodatkowo bardzo słaba. Szczególnie jest to widoczne w stosunku do dwutlenku siarki.

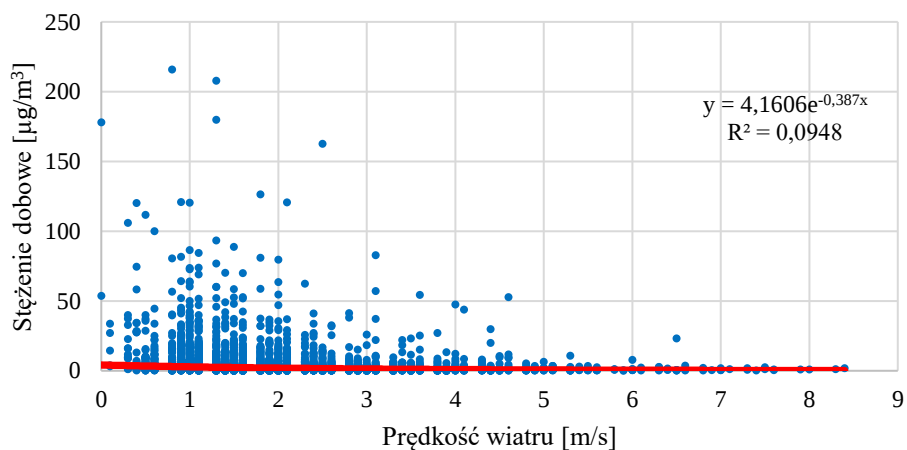
Zależności od prędkości wiatru:



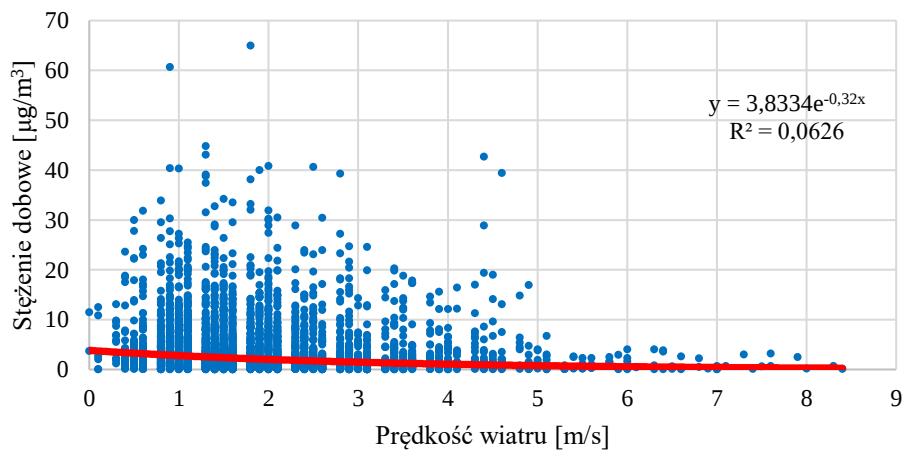
c) PM10 Zdzieszowice



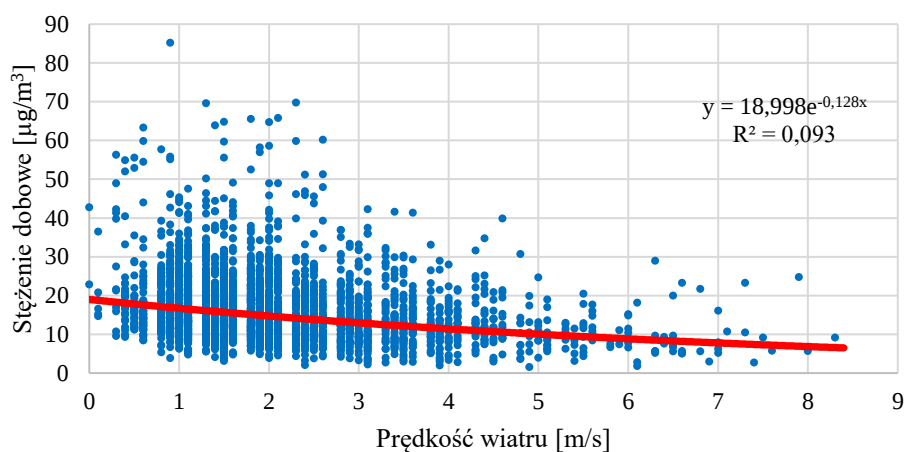
d) C_6H_6 Kędzierzyn-Koźle



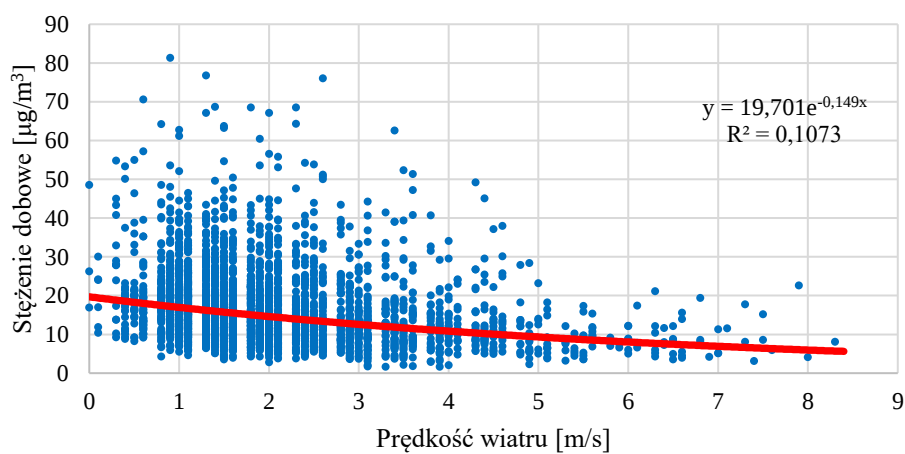
e) C_6H_6 Zdzieszowice



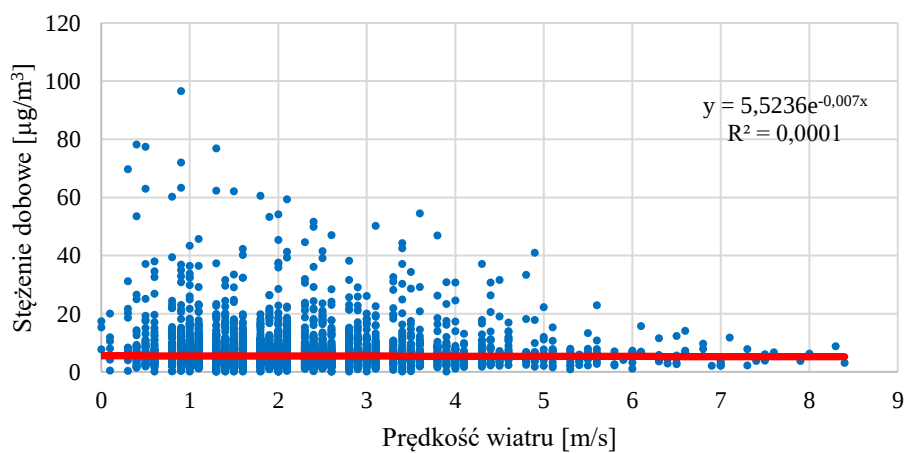
f) NO_2 Kędzierzyn-Koźle

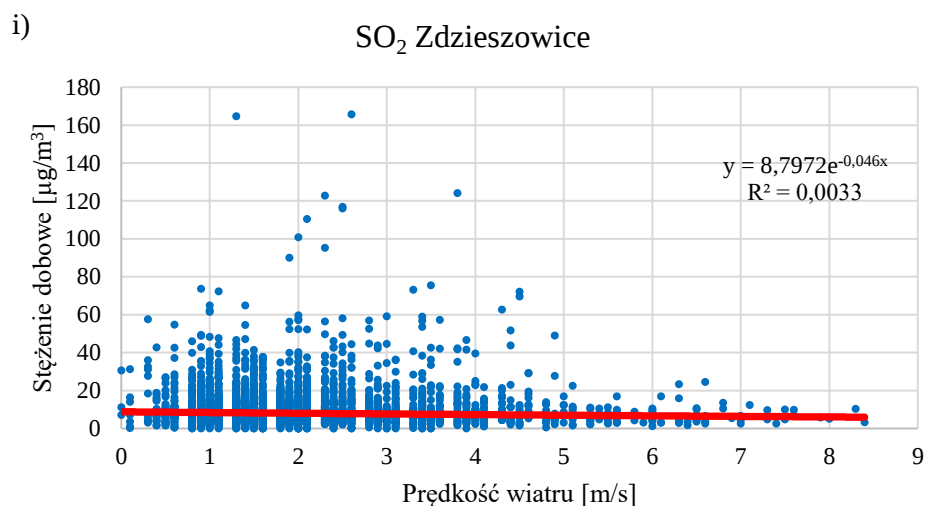


g) NO_2 Zdieszowice



h) SO_2 Kędzierzyn-Koźle

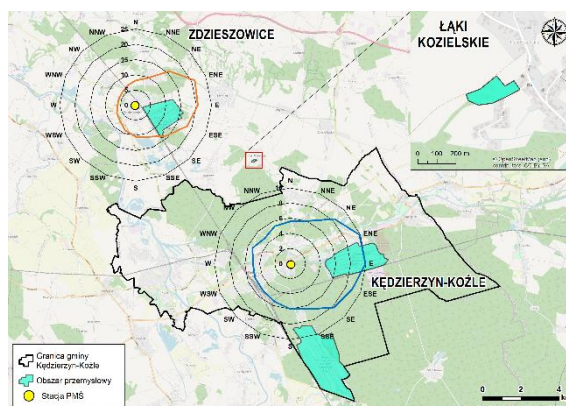
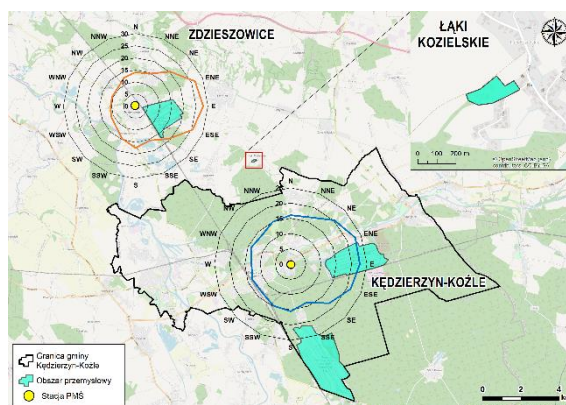
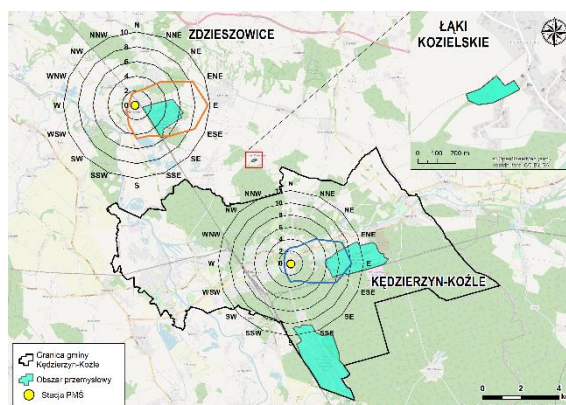
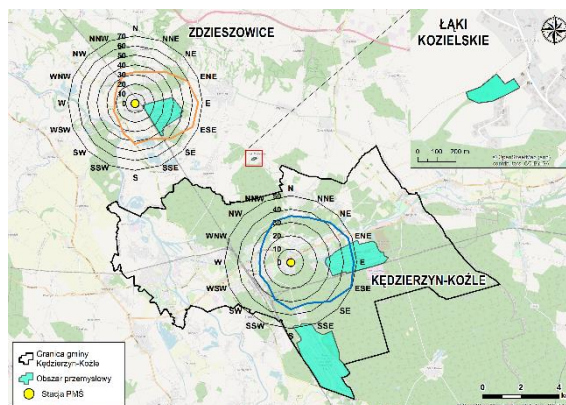
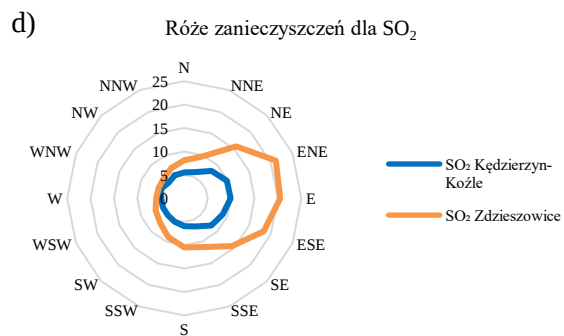
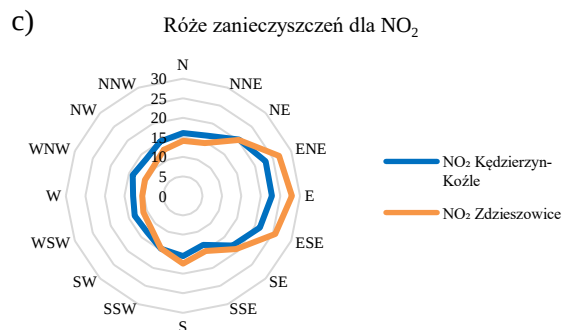
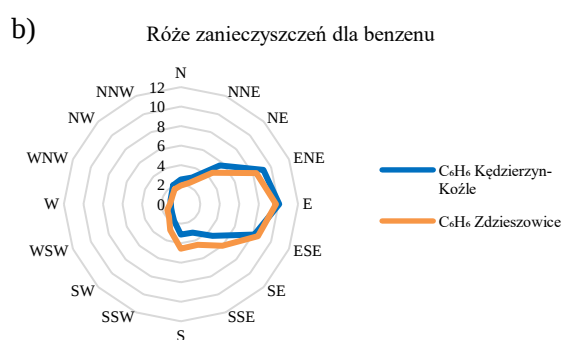
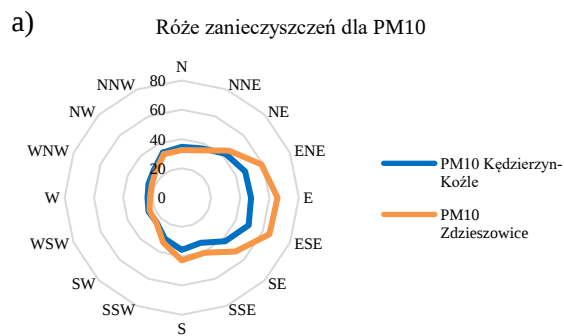




Rys. 31(a-i) Zależność stężeń zanieczyszczeń mierzonych na stacjach w Kędzierzynie-Koźlu i Zdieszowicach od prędkości wiatru.

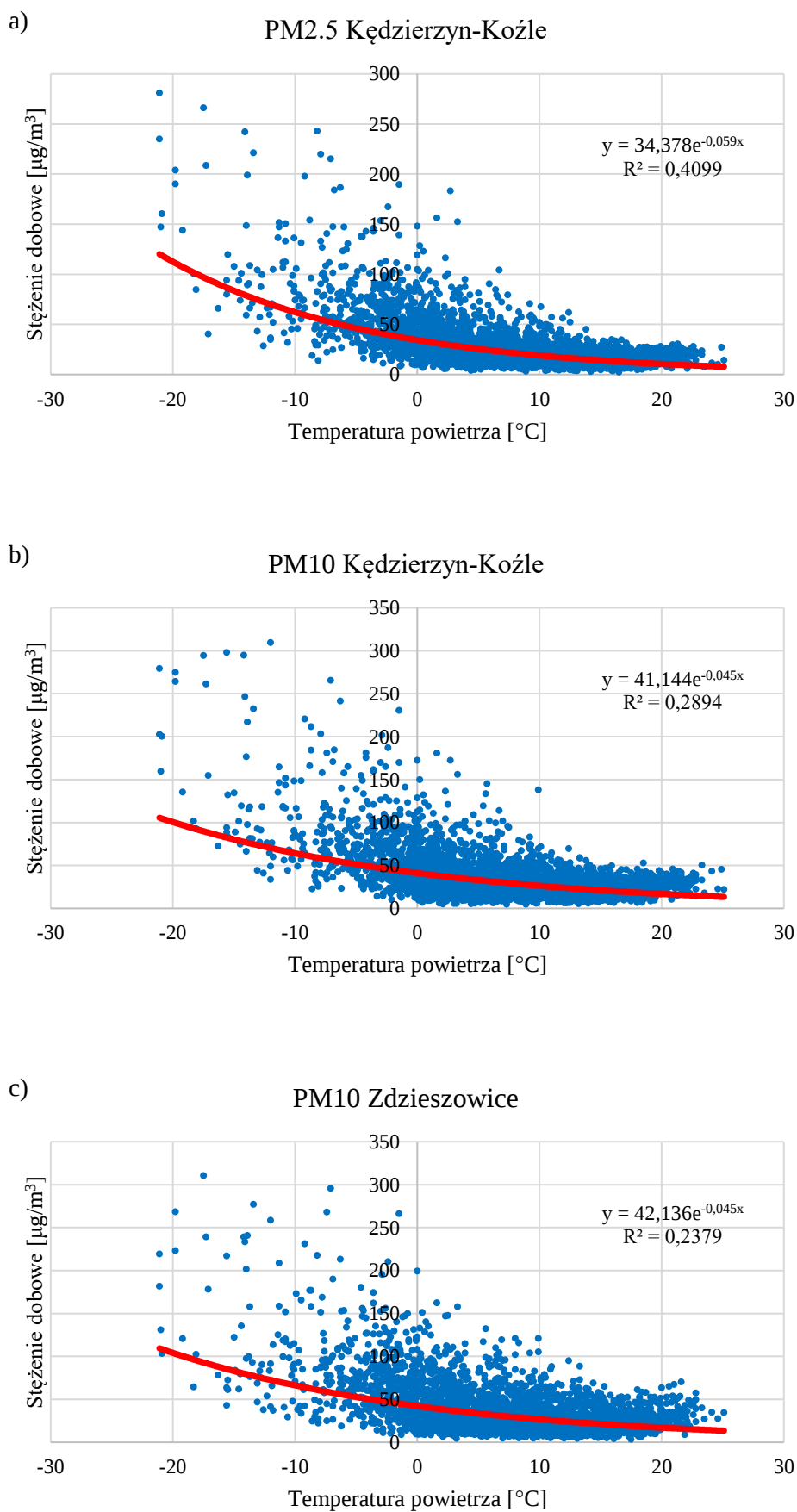
Na rysunkach przedstawiono współzależność stężeń wybranych zanieczyszczeń w Kędzierzynie-Koźlu i Zdieszowicach (stacje PMS) od prędkości wiatru. Jak widać na przedstawionych rysunkach zależność ta nie jest liniowa, dodatkowo bardzo słaba. Szczególnie jest to widoczne w stosunku do dwutlenku siarki.

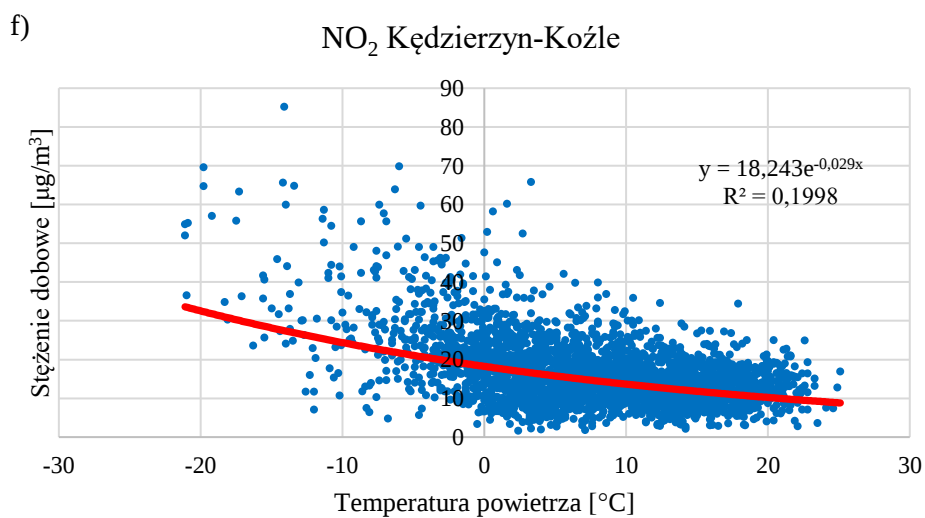
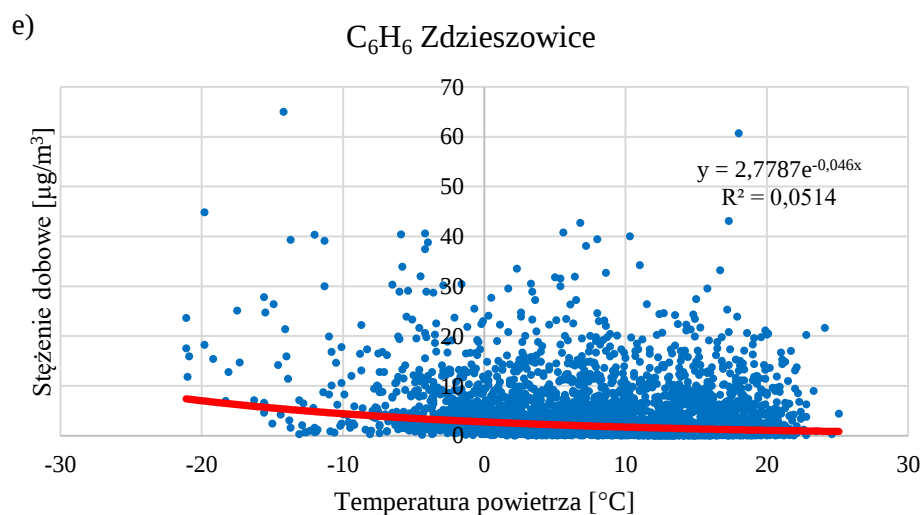
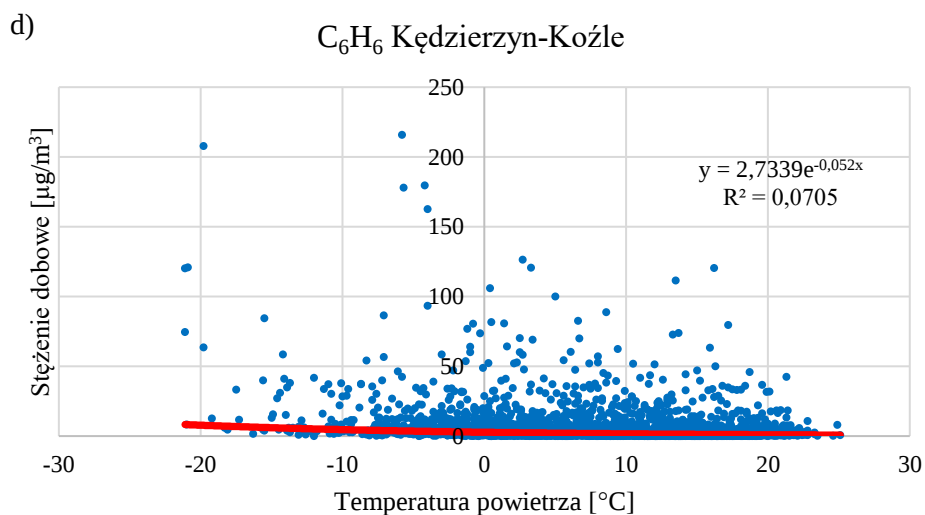
Róże zanieczyszczeń

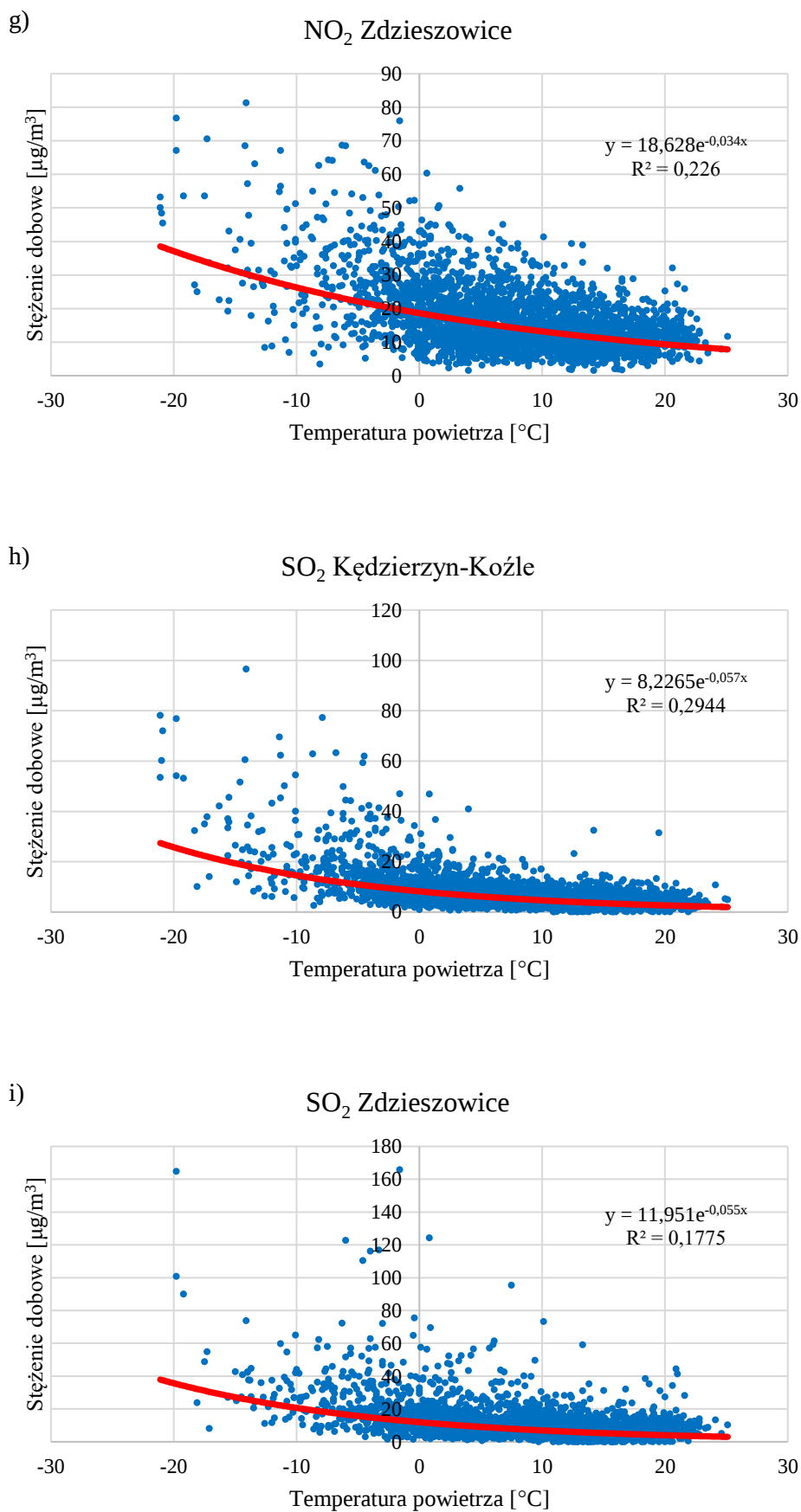


Rys. 32 Porównanie stężeń a) PM₁₀, b) C₆H₆, c) NO₂, d) SO₂ w Zdzeszowicach i Kędzierzynie-Koźlu w latach 2010–2019. Stężenia dobowe w µg/m³.

Zależność od temperatury powietrza







Rys. 33 (a–i) Zależność stężeń zanieczyszczeń mierzonych na stacjach w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzeszowicach od temperatury powietrza.

Na rysunkach przedstawiono współzależność stężeń wybranych zanieczyszczeń w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzeszowicach (stacje PM₁₀) od temperatury powietrza. Jak widać na przedstawionych rysunkach zależność ta nie jest liniowa, dodatkowo bardzo słaba. Co więcej, branie pod uwagę całej populacji danych może, ze względu na nierówną liczebność w poszczególnych przedziałach temperatur, prowadzić do błędnych wniosków o odwrotnie proporcjonalnym wpływie temperatury na stężenia zanieczyszczeń.

Zależność od innych elementów meteorologicznych

W opracowaniu brano pod uwagę także zależność stężeń zanieczyszczeń od innych elementów meteorologicznych (wilgotność względna, zamglenie, mgła, ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie pary wodnej) osiągając podobne rezultaty.

Podsumowanie

Przeprowadzona prosta analiza statystyczna nie wykryła żadnych istotnych zależności stężeń średniodobowych od warunków atmosferycznych. Oznacza to, że zależności te nie są liniowe i wymagają bardziej subtelnych metod (np. przedstawiona wyżej metoda indeksu wentylacji). Poza tym do prostej oceny wpływu warunków meteorologicznych na stężenia zanieczyszczeń należy starannie wyselekcjonować epizody takich sytuacji, biorąc jeszcze dodatkowo podobieństwo sytuacji meteorologicznej.

Niemniej jednak generalny wniosek z tych rozważań płynie, że stężenia zanieczyszczeń zależą od zespołu czynników meteorologicznych powiązanych nieliniowo. Dowiodła tego również przeprowadzona analiza wielowymiarowa.

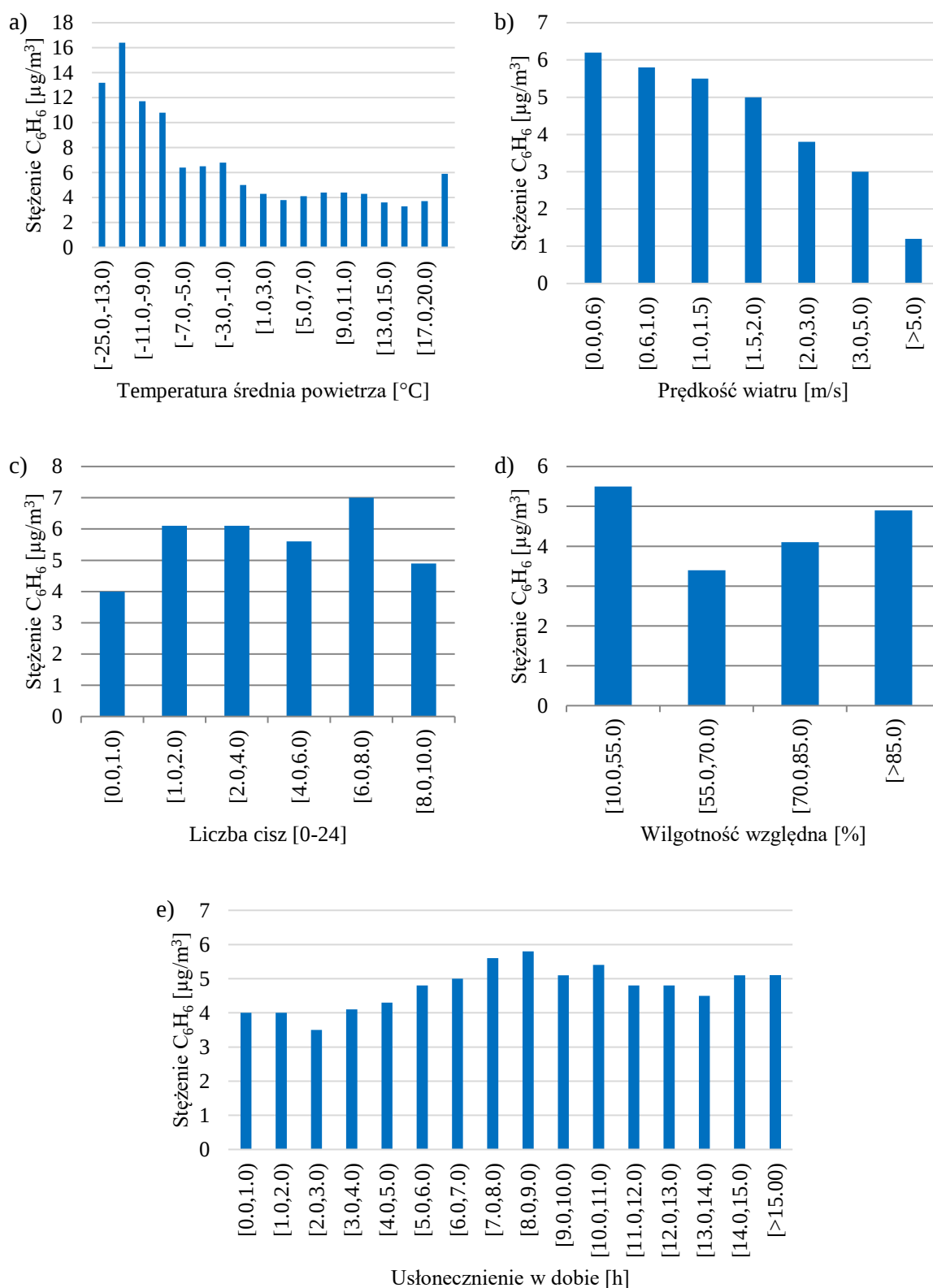
Jednak najważniejszym wnioskiem płynącym z przedstawionej wyżej analizy jest fakt, że do tego typu badań nie należy brać pod uwagę całej dostępnej populacji danych (tj. bez podziału na klasy stężeń i podobieństwo sytuacji meteorologicznej). Wnioskowanie bowiem przeprowadzone w ten sposób może być zawodne.

Charakterystyka zależności od zespołu warunków meteorologicznych wybranych stężeń zanieczyszczeń w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzeszowicach

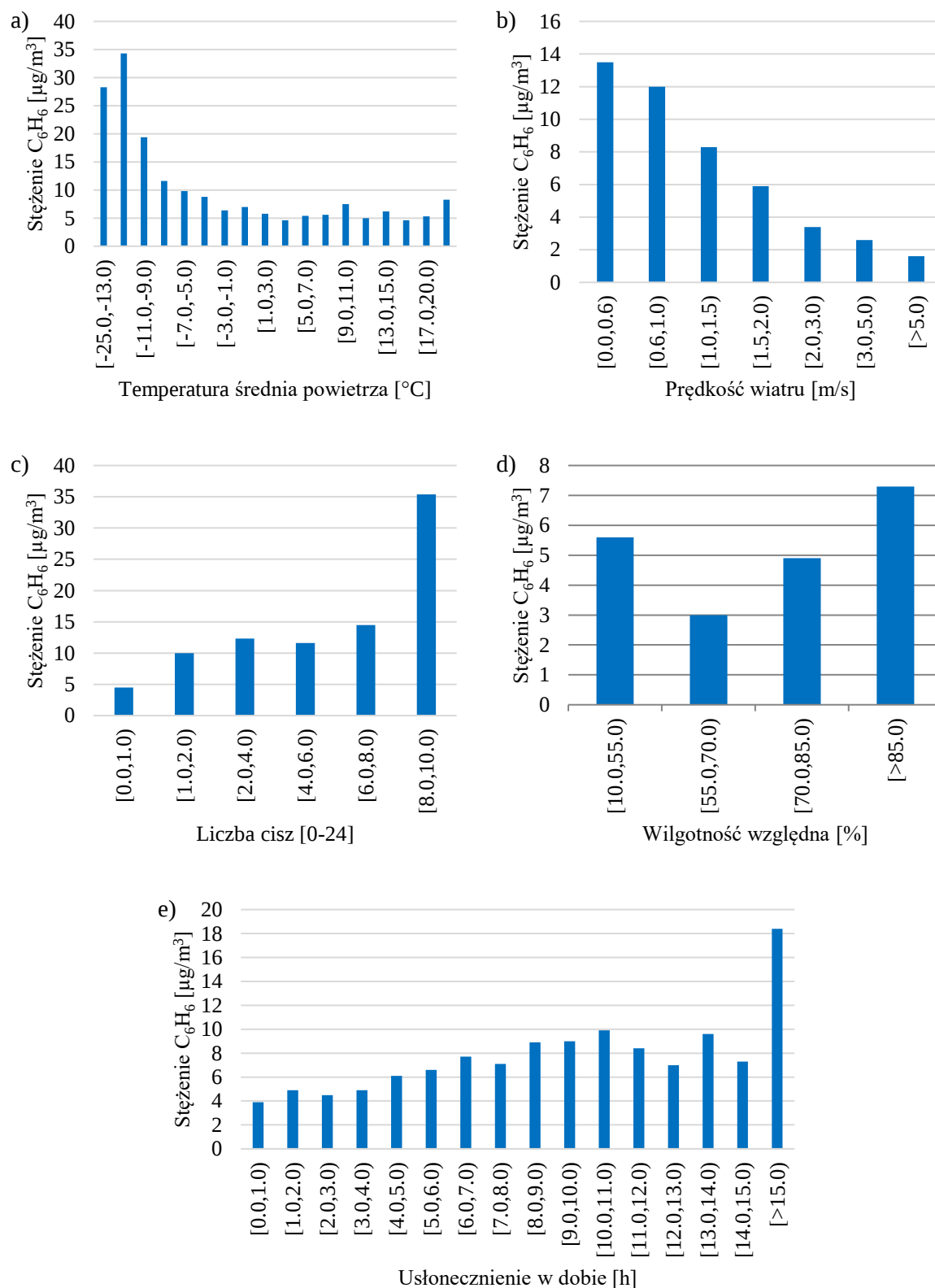
Poniższy rozdział ma na celu przedstawienie zależności istotnych statystycznie wybranych, zanieczyszczeń vs warunki meteorologiczne. Jak stwierdzono w poprzednim rozdziale, związki stężeń zanieczyszczeń powietrza z warunkami meteorologicznymi są widoczne po uprzedniej selekcji danych pod kątem podobnych warunków meteorologicznych i zanieczyszczeń powietrza.

Średnie stężenia benzenu w klasach poszczególnych elementów meteorologicznych

Poniżej przedstawiono średnie stężenie benzenu (jako przykładowej substancji zanieczyszczenia powietrza) w poszczególnych klasach wybranych elementów meteorologicznych. W tym celu zastosowano metodę grupowania (patrz metodyka). Każdy z badanych elementów meteorologicznych został zagregowany do przedziałów tak, aby uzyskane zależności były proste do identyfikacji.



Rys. 34 Zależność stężenia benzenu w Zdzeszowicach od a) temperatury powietrza, b) prędkości wiatru, c) liczby cisz, d) wilgotności względnej, e) liczby godzin usłonecznienia w latach 2005–2020. Stężenie średniodobowe benzenu w $\mu g/m^3$.



Rys. 35 Zależność stężenia benzenu w Kędzierzynie-Koźlu od a) temperatury powietrza, b) prędkości wiatru, c) liczby cisz, d) wilgotności względnej, e) liczby godzin uśłonecznienia w latach 2005–2020. Stężenie średniodobowe benzenu w $\mu g/m^3$.

Jak widać na przedstawionych rysunkach stężenie benzenu wykazuje umiarkowaną i nieliniową zależność od warunków meteorologicznych w poszczególnych przedziałach.

I tak:

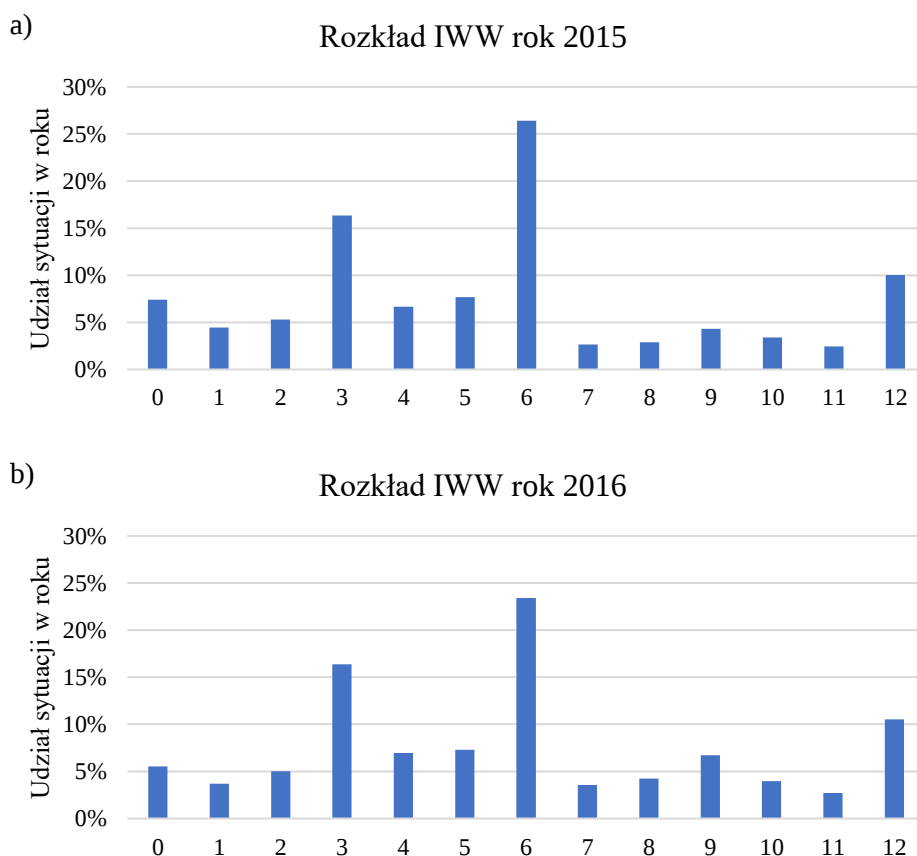
- ✓ dla obu stacji notuje się odwrotnie proporcjonalną zależność stężenia benzenu od temperatury z tym wyjątkiem, że dla przedziału najniższych temperatur powietrza stężenia benzenu maleją;
- ✓ odwrotnie proporcjonalną zależność stężeń benzenu od prędkości wiatru i wprost proporcjonalną w przypadku cisz anemologicznych;
- ✓ zależność stężeń benzenu od wilgotności względnej jest wprost proporcjonalna (nie licząc bardzo niskich wilgotności);
- ✓ brak wyraźnej zależności stężenia benzenu od usłonecznienia, choć wyraźnie zaznacza się wpływ dużego usłonecznienia na wysokie stężenia benzenu.

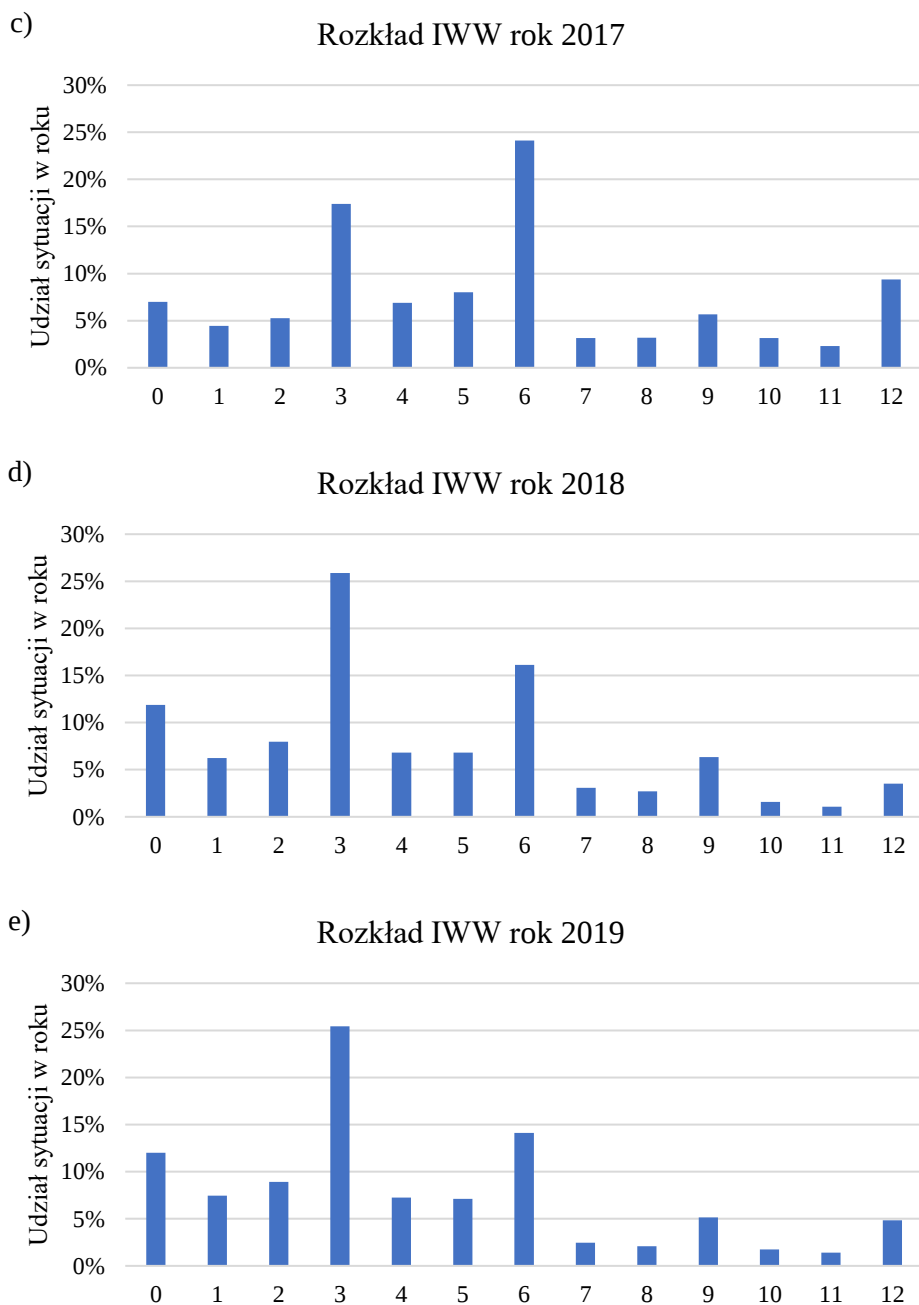
Z przeprowadzonej analizy wynika, że choć stężenia benzenu z poszczególnymi elementami meteorologicznymi są związane, to jednak trudno o wytypowanie jednego czynnika który za stężenia benzenu byłby odpowiedzialny (vide temperatura vs benzen, czy prędkość wiatru vs benzen).

Zanieczyszczenie powietrza a współczynnik wentylacji

Jak wywodzono powyżej bardzo obiecujące rezultaty dotyczące kompleksowego wpływu warunków meteorologicznych na jakość powietrza ma tzw. współczynnik wentylacji, którego metodę wyznaczania przedstawiono powyżej.

Na dalszych rysunkach pokazano warunki wentylacyjne w poszczególnych latach okresu 2015–2019.

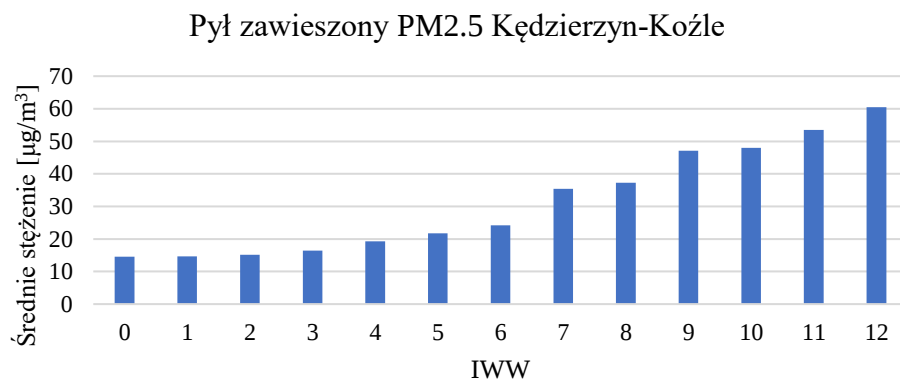




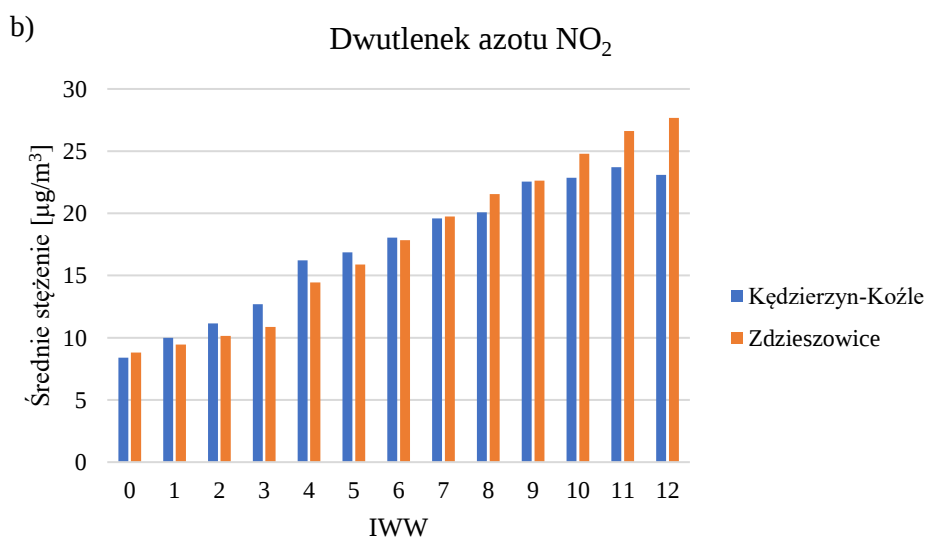
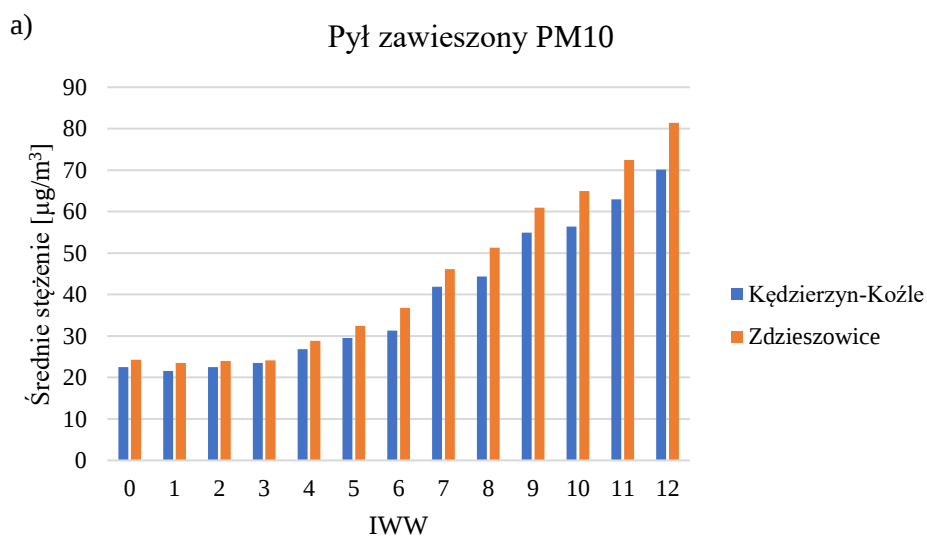
Rys. 36 (a–e) Rozkład wartości współczynnika wentylacji (IWW) w latach 2015–2019 dla Kędzierzyna-Koźla.
Oś pozioma wartości IWW z Tab. 7.

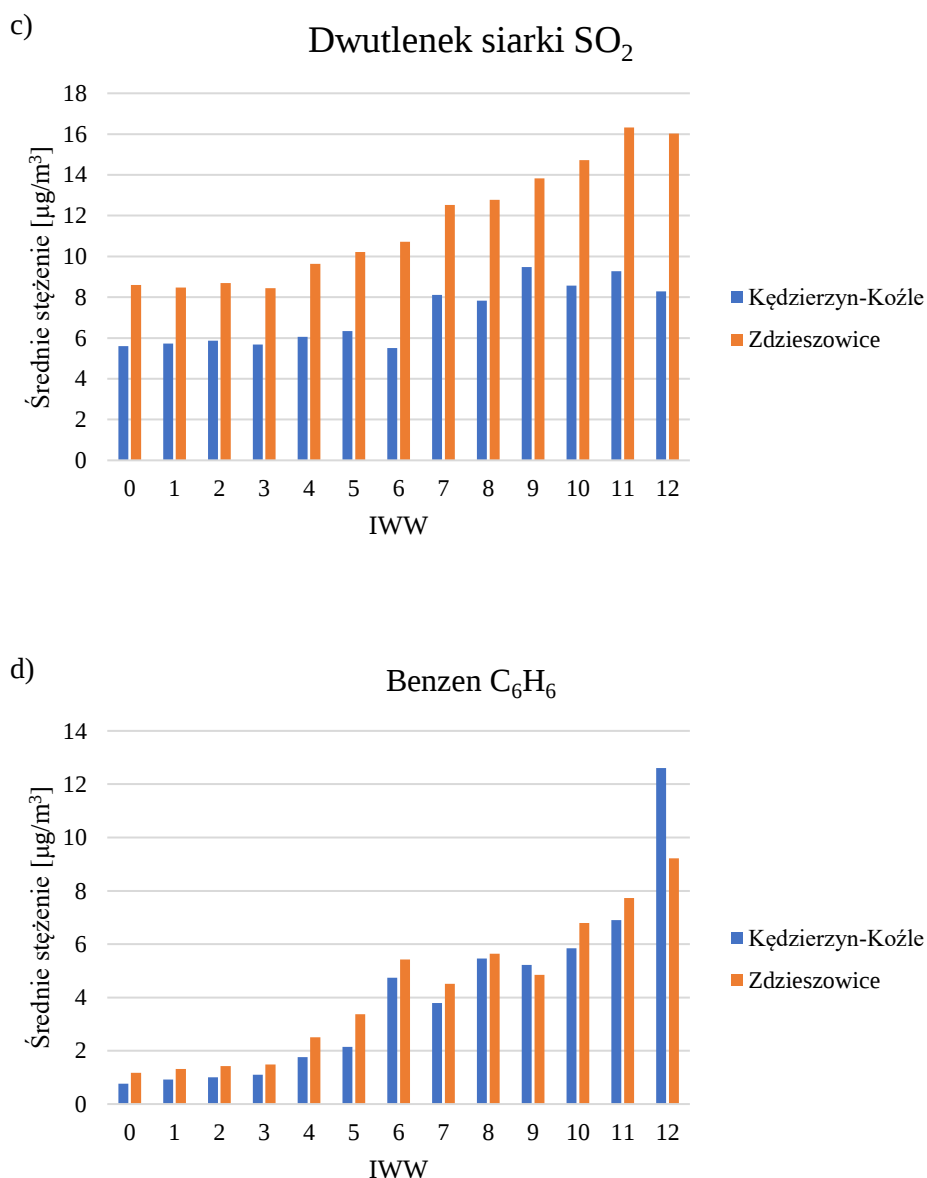
W poszczególnych latach dość często występowały raczej niskie wartości współczynnika wentylacji (wentylacja dobra lub umiarkowana). Najwyższe wartości współczynnika wentylacji IWW (zła wentylacja IWW > 9) obserwowano w kolejności w latach 2015–2018.

Wpływ IWW na jakość powietrza prezentują z kolei poniższe rysunki.



Rys. 37 Zależność stężeń PM_{2.5} w Kędzierzynie-Koźlu (stacja PMŚ) od współczynnika wentylacji. Oś pozioma wartości IWW z Tab. 7.





Rys. 38 (a–d) Zależność stężeń PM_{10} , NO_2 , SO_2 i benzenu w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzeszowicach (stacje PMŚ) od współczynnika wentylacji. Oś pozioma wartości IWW z Tab. 7.

Na rysunkach wyżej przedstawiono wizualizację zależności stężeń średniodobowych $\text{PM}_{2,5}$ (tylko dla Kędzierzyna-Koźła), PM_{10} , dwutlenku azotu, dwutlenku siarki i benzenu od indeksu wentylacji (IWW). W stosunku do wszystkich zanieczyszczeń istnieje istotna wprost proporcjonalna zależność badanych zanieczyszczeń od IWW. Wyjątek stanowi dwutlenek siarki dla stacji PMŚ w Kędzierzynie-Koźlu, przy czym, poza benzenem w Kędzierzynie, wartości stężeń zanieczyszczeń są wyższe dla klas wysokich $\text{IWW} > 9$ (d) dla Zdzeszowic. Oznacza to prawdopodobnie, że profil emisji w Zdzeszowicach jest bardziej skupiony, a z kolei emisja benzenu w Kędzierzynie-Koźlu wyższa.

Wnioski z oceny charakterystyki zależności od zespołu warunków meteorologicznych wybranych
stężeń zanieczyszczeń w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzeszowicach

1) Dla obu stacji obserwuje się zbliżoną zależność stężeń benzenu:

- od temperatury: im niższa temperatura, tym wyższe stężenia benzenu (cechą charakterystyczną jest maksymalne stężenie nie w przedziale najniższych temperatur, ale z zakresu -13°C do -11°C);
- od prędkości wiatru – im mniejsza prędkość wiatru, tym wyższe stężenia benzenu;
- od czasu trwania ciszy atmosferycznej (prędkość wiatru $< 0.5 \text{ m/s}$) – im dłuższy czas trwania ciszy, tym wyższe stężenia benzenu;
- od wilgotności względnej – im wyższa wilgotność względna, tym większe stężenia benzenu (wyjątek: powietrze bardzo suche $H < 55\%$, ale jest to raczej związane z małą liczbą takich zdarzeń, a przyczyną mogą być hipotetycznie napływy zanieczyszczeń z dużych odległości);
- od usłonecznienia – im większa liczba godzin słonecznych w dobie, tym wyższe stężenia benzenu (dotyczy to $>15 \text{ h}$, a zatem w zasadzie tylko bezchmurnych dni okresu letniego – a takie zdarzają się średnio kilka razy w sezonie).

2) Zachowanie się stężeń benzenu od warunków meteorologicznych nie odbiega znacząco od zachowania się innych zanieczyszczeń, choć trudno tu wykazać jakikolwiek związek liniowy.

3) Na podstawie powyższych analiz można określić wpływ poszczególnych czynników meteorologicznych na stężenia zanieczyszczeń (Tab. 8).

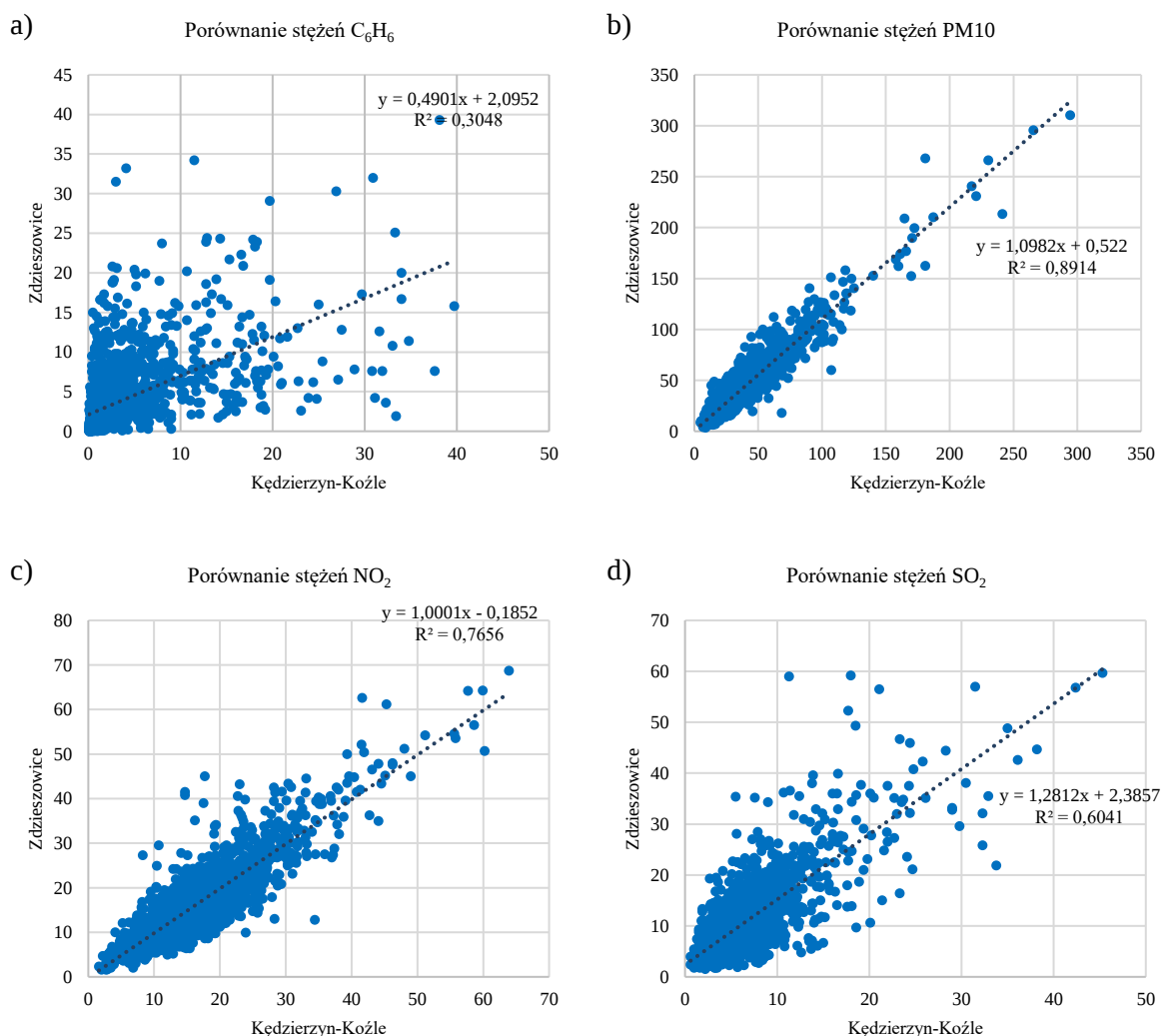
Tab. 8 Zależność wybranych zanieczyszczeń od niektórych elementów meteorologicznych w Zdzeszowicach i Kędzierzynie-Koźlu w latach 2015–2020.

Nazwa substancji	Element meteorologiczny				
	Temperatura powietrza	Prędkość wiatru	Wilgotność względna	Usłonecznienie	Inwersja / silna stabilność atmosfery
PM10	tak	tak	tak	brak	tak
PM2,5	tak	tak	tak	brak	tak
NO ₂	tak	tak	słaba	słaba	brak
SO ₂	słaba	słaba	słaba	słaba	brak
Benzen	tak	tak	tak	tak	tak

Porównanie stężeń wybranych zanieczyszczeń wszystkich danych pomiarowych na stacjach Kędzierzyn-Koźle i Zdzeszowice

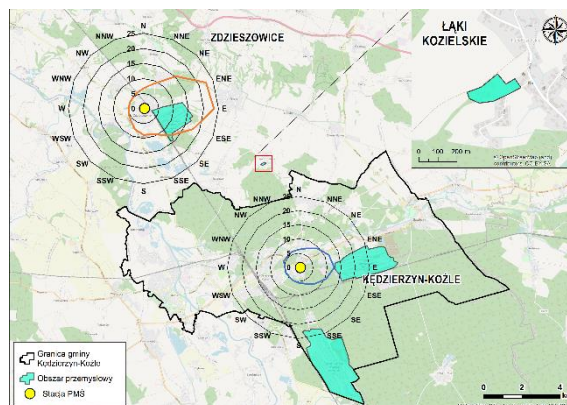
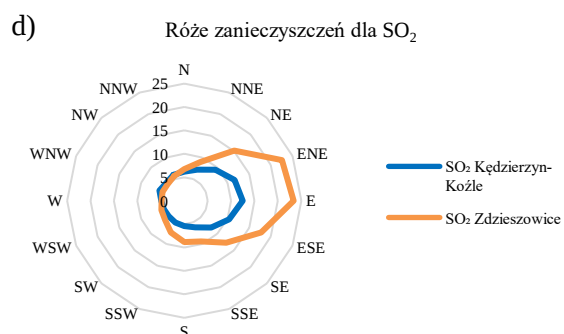
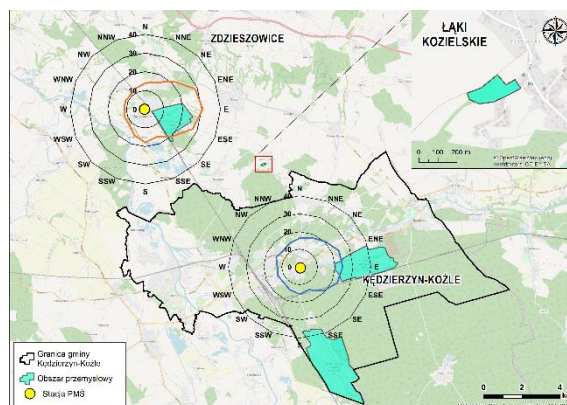
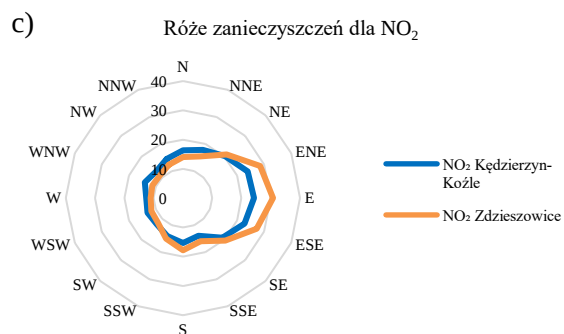
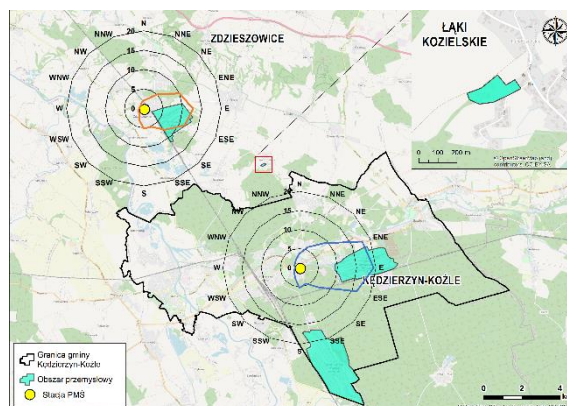
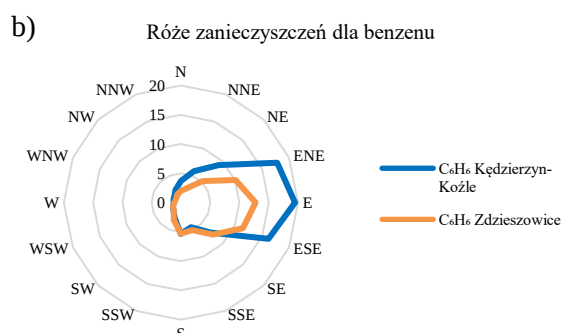
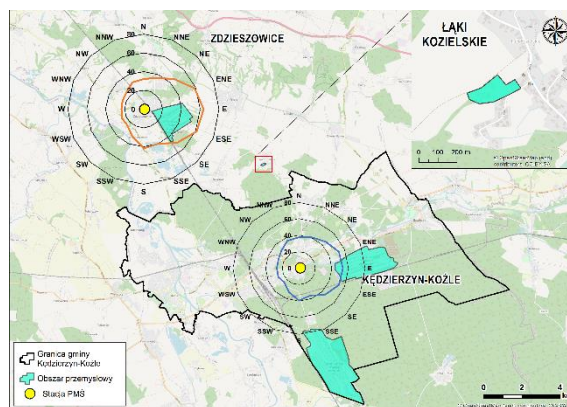
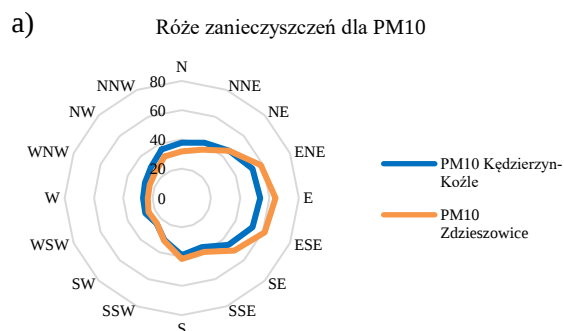
Poniżej na ilustracjach przedstawiono porównanie stężeń wybranych mierzonych zanieczyszczeń powietrza na stacjach PMŚ w Zdzeszowicach i Kędzierzynie-Koźlu w latach 2015–2020. Stężenia wszystkich zanieczyszczeń przedstawiono w $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Okres ten zawężono do wspomnianych wyżej lat z uwagi na fakt uzyskania jednorodności emisji – wcześniej na tym terenie emisja była dużo wyższa, co mogłoby zakłócać wnioski.



Rys. 39 Porównanie stężeń a) C_6H_6 , b) PM_{10} , c) NO_2 , d) SO_2 w Zdzeszowicach i Kędzierzynie-Koźlu w latach 2015–2019. Stężenia dobowe w $\mu g/m^3$.

Przedstawiony rysunek wizualizuje porównanie stężeń badanych zanieczyszczeń w latach 2015–2019 dla stacji Kędzierzyn-Koźle i Zdzeszowice. We wszystkich przypadkach istnieje duża korelacja pomiędzy stężeniami na obu stacjach. W przypadku wszystkich zanieczyszczeń stężenia są nieco wyższe w Zdzeszowicach niż w Kędzierzynie-Koźlu. Sytuacja jest odmienna w przypadku benzenu – stężenia tej substancji są o około 50% wyższe w Kędzierzynie niż w Zdzeszowicach. Wynika to z faktu prawdopodobnie większej emisji benzenu w okolicach Kędzierzyna-Koźla. Występujące w obu lokalizacjach odstępstwa od prostej regresji świadczą o istnieniu indywidualnych (lokalnych) epizodów benzenu.



Rys. 40 Porównanie stężeń a) PM₁₀, b) C₆H₆, c) NO₂, d) SO₂ w Zdzeszowicach i Kędzierzynie-Koźlu w latach 2005–2020. Stężenia dobowe w $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Zaprezentowane róże zanieczyszczeń wskazują, że w przypadku Kędzierzyna-Koźła dla wszystkich badanych substancji napływ zanieczyszczeń następuje ze wszystkich kierunków z wyraźną przewagą napływu ze wschodu. Ogólnie można powiedzieć, że za napływ benzenu nad stację PMŚ Kędzierzyn-Koźle odpowiada cały sektor ENE+E+ESE. Róże stężeń innych zanieczyszczeń mają podobne kształty. W przypadku stacji PMŚ Zdziechowice także dominuje napływ wschodni. Taki układ róż zanieczyszczeń świadczy niewątpliwie o wpływie obiektów przemysłowych położonych na wschód od Kędzierzyna-Koźła. Nie wyklucza się jednakże napływu z obszaru Górnego Śląska.

Wnioski z analizy danych

1. Dla NO_2 , SO_2 i PM_{10} współczynniki kierunkowe prostej regresji są prawie równe 1. Oznacza to, że ich wartości nie różnią się zbytnio i zanieczyszczenie tymi substancjami na tym obszarze jest podobne. Oznacza to, że potencjalne źródła emisji tych zanieczyszczeń są równomiernie rozproszone wokół stacji pomiarowych lub o równomiernym tle tych zanieczyszczeń. Z kolei wysoki współczynnik determinacji informuje, że podobne stężenia tych substancji są obserwowane na obu stacjach. Porównanie stężeń sugeruje, że pole emisji tych zanieczyszczeń wokół lokalizacji są niejednorodne. Stężenia C_6H_6 na stacji w Zdziechowicach stanowią około 50% stężeń w Kędzierzynie-Koźlu. Świadczy to o istnieniu istotnych emitorów tych zanieczyszczeń w pobliżu Kędzierzyna-Koźła (dzielnica Blachownia Śląska).
2. Wszystkie róże zanieczyszczeń są bardziej rozbudowane (wydłużone) od wschodu. Dla C_6H_6 róże istotnie się różnią. W przypadku benzenu kierunek napływu wskazuje jednoznacznie na tereny przemysłowe w dzielnicy Blachownia Śląska. Być może w tych sytuacjach, za wysokie stężenia benzenu z tego kierunku, odpowiada emisja z Górnego Śląska.

Identyfikacja epizodów wysokich stężeń benzenu (i innych wskazanych zanieczyszczeń) i ich związek z warunkami meteorologicznymi w latach 2018–2019

Jednym z elementów pracy była identyfikacja wysokich stężeń benzenu w ostatnim okresie, tj. w latach 2018–2019. Do analizy włączono także jedyny epizod z sezonu zimowego 2019/2020 – ze stycznia 2020. Choć wyżej wykazano ogólne zasady występowania podwyższonych stężeń benzenu w zależności od warunków meteorologicznych, to w niniejszym rozdziale, ze względu na silnie regionalny charakter problemu, próba jego rozwiązania o lokalne pomiary PMŚ i meteorologiczne wydała się zasadna.

Do typowania dni z epizodami, poza analizami stężeń zanieczyszczeń i synoptyczną do oceny klasy wentylacji, stosowano zaawansowane metody statystyczne (analiza wielowymiarowa). Szczegóły opisano w rozdziale „Ocena warunków wentylacyjnych atmosfery w okolicach Kędzierzyna-Koźła – metodyka”.

Definicja epizodu wysokich stężeń benzenu.

Podstawowym problemem dla identyfikacji epizodów wysokich stężeń benzenu w okresie historycznym (2018–2019) było określenie kryteriów takiej sytuacji. Po szczegółowej analizie danych określono poniższe kryteria:

- ✓ zanieczyszczenie – benzen C_6H_6 ,
- ✓ próg – $5 \mu g/m^3$ (poziom dopuszczalny dla roku),
- ✓ kryterium – na obu stacjach pomiarowych (Kędzierzyn-Koźle, Zdzeszowice) przez co najmniej 17 godzin w dobie (więcej niż 2/3 doby) stężenie zanieczyszczenia przekraczało próg (Tab. 9).

Kryteriom tym odpowiadało 11 epizodów; wszystkie dotyczyły sezonu chłodnego.

Analiza wyodrębnionych epizodów doprowadziła do wniosku, że 6 z nich dotyczyło roku 2018, 4 roku 2019 i 1 roku 2020. Potwierdza to tezę, że łagodne warunki meteorologiczne nie sprzyjały tego rodzaju zdarzeniom.

Tab. 9 Daty wystąpienia epizodów przestrzennych ze szczególnym uwzględnieniem benzenu oraz towarzyszące im stężenia średniodobowe innych zanieczyszczeń ($\mu g/m^3$) i wybrane elementy meteorologiczne.

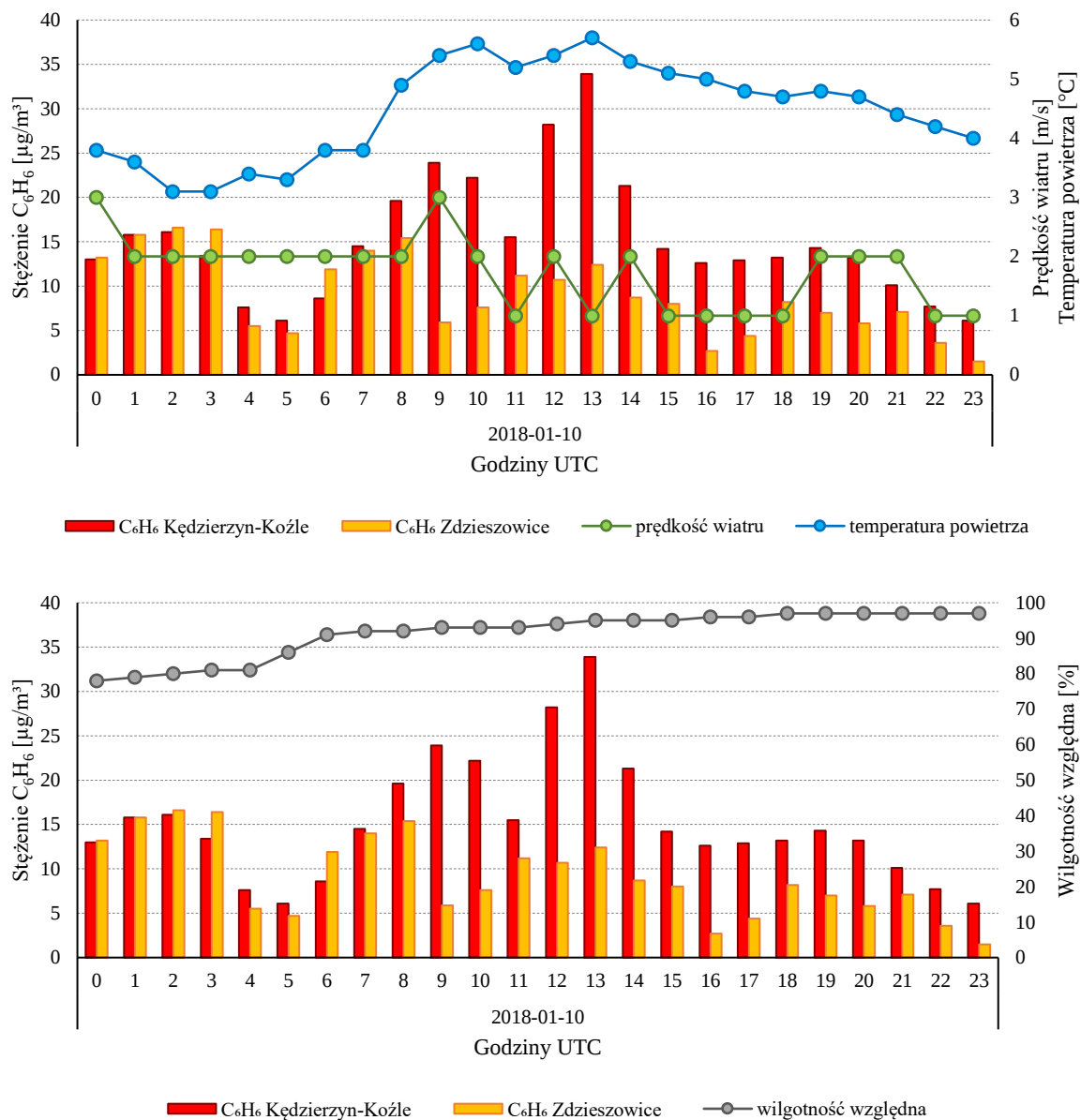
Data	Meteo Kędzierzyn-Koźle			Stężenia zanieczyszczeń [$\mu g/m^3$] Kędzierzyn-Koźle PMS					Stężenia zanieczyszczeń [$\mu g/m^3$] Zdzeszowice PMS			
	p.w [m/s]	Tp [°C]	H [%]	C_6H_6	NO_2	SO_2	PM10	PM2.5	C_6H_6	NO_2	SO_2	PM10
2018-01-10	1,75	4,46	91,30	15,70	37,60	14,10	97,30	86,90	9,10	33,0	25,60	97,20
2018-02-10	0,96	-4,67	82,67	11,25	48,90	20,49	218,61	195,00	5,84	44,6	28,20	22,80
2018-03-06	1,96	2,20	86,71	12,48	59,50	22,77	183,51	158,20	7,64	50,88	32,05	168,75
2018-10-09	1,08	10,50	84,29	14,09	28,76	9,48	68,52	62,65	12,37	41,10	bd	89,35
2018-10-10	1,75	13,91	78,17	17,49	30,81	8,50	59,51	53,35	12,64	39,18	bd	87,98
2018-10-17	2,29	14,67	63,83	12,12	32,57	7,18	69,28	61,72	24,27	40,32	27,39	99,16
2019-01-20	0,79	-5,31	83,29	16,36	43,05	20,61	159,78	127,82	9,07	46,32	35,24	169,08
2019-01-22	1,71	-6,89	88,96	12,34	60,25	31,16	178,30	138,63	8,89	64,92	39,45	267,19
2019-11-25	2,25	5,27	87,13	11,46	27,89	12,66	55,86	43,68	10,23	26,44	21,04	95,93
2019-12-19	2,46	6,35	85,33	12,65	32,62	12,19	77,53	59,29	10,65	35,09	16,80	92,95
2020-01-17	2,79	0,86	87,21	23,03	37,01	14,10	108,09	83,31	12,68	bd	bd	138,74

p.w – prędkość wiatru w m/s, Tp – temperatura powietrza w °C (średnie dobowe), H% – wilgotność względna, bd – brak danych

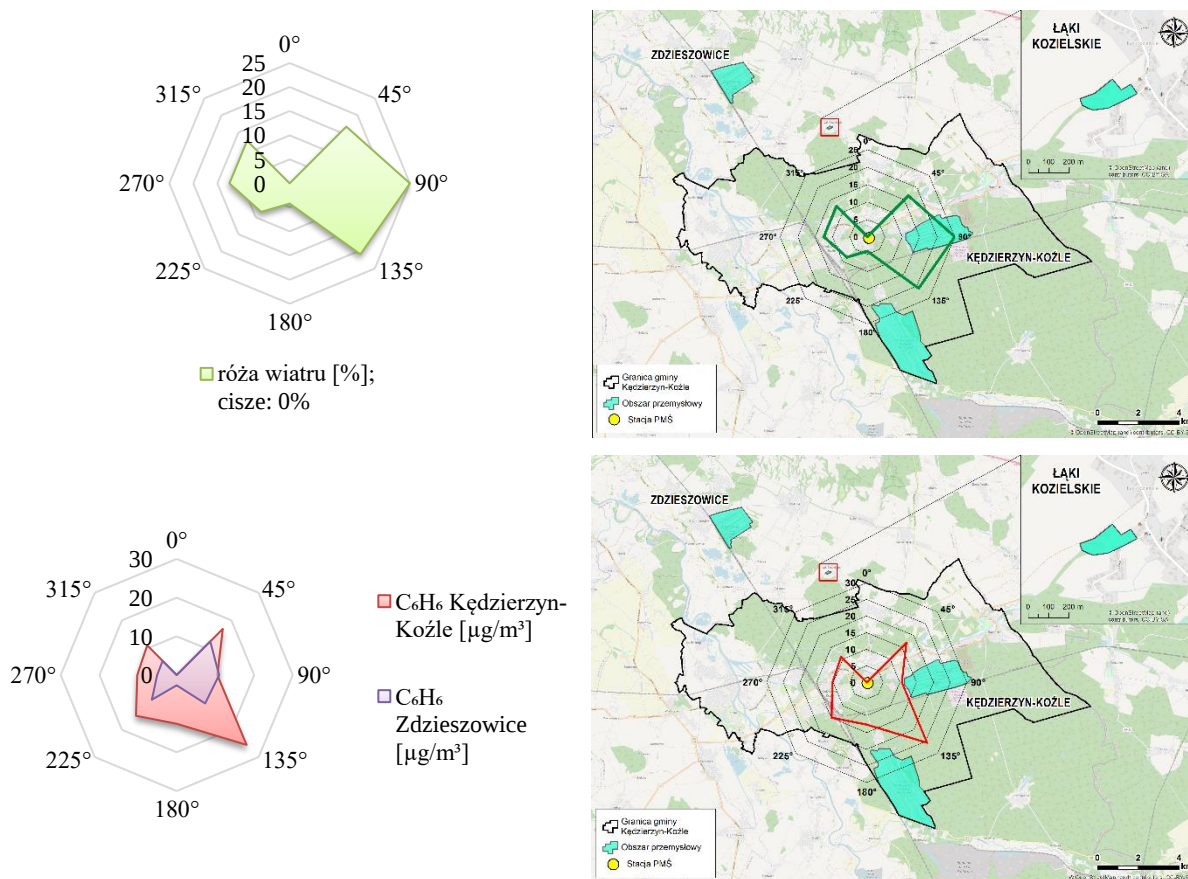
Większość zidentyfikowanych epizodów benzenu o charakterze regionalnym dotyczyła także pyłu PM10, a w Kędzierzynie-Koźlu PM2.5 (tam tylko był mierzony).

Charakterystyka synoptyczna wybranych epizodów

Analiza przedstawia charakterystykę sytuacji synoptycznej wraz z opisem stężeń benzenu w przebiegu godzinowym ze wskazaniem wpływu temperatury i wilgotności powietrza, od których jak wykazała analiza, chwilowe stężenia benzenu są silnie zależne.



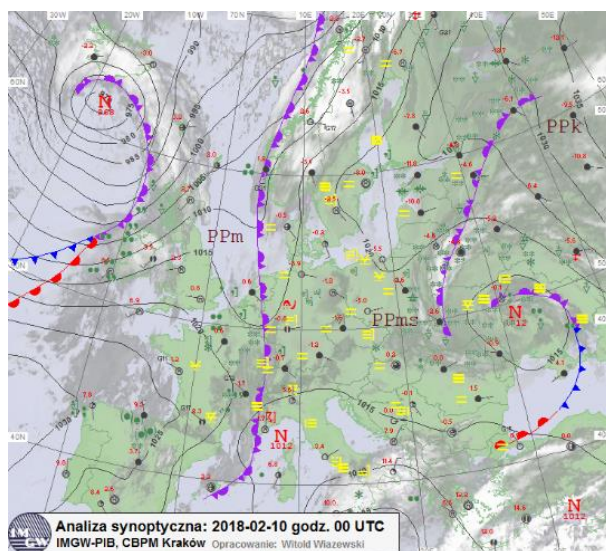
Rys. 43 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 10.01.2018 r.



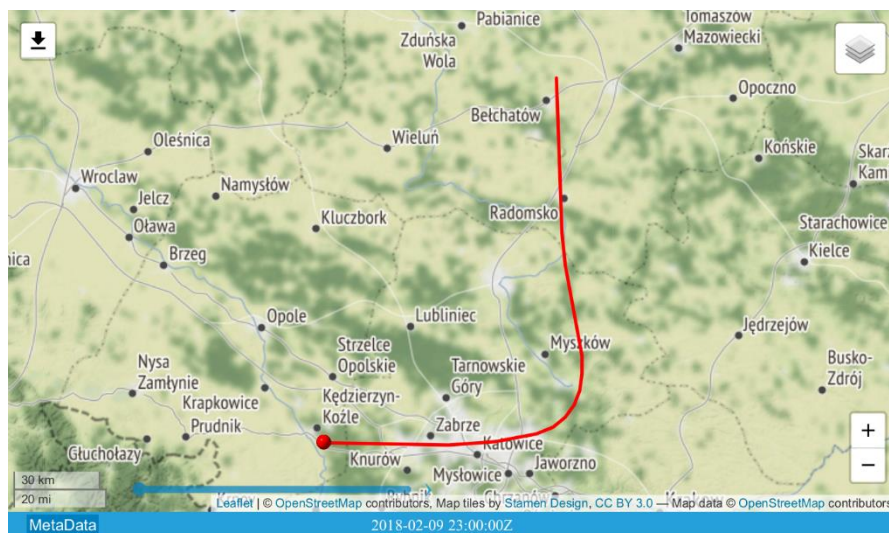
Rys. 44 Róża wiatru i róża C_6H_6 w dniu 10.01.2018 r.

Analiza mapy synoptycznej wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem słabogradientowego rozkładu wysokiego ciśnienia, od zachodu wkracza słabo zaznaczony front ciepły. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – południowy. Przed frontem występuje zamglenie i chmury warstwowe piętra niskiego i średniego, potem tylko chmury warstwowe. W ciągu dnia wiał słaby wiatr, w godzinach około południowych z prędkością < 1 m/s. Przeważający kierunek wiatru był ze wschodu, tak jak na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle. Dla porównania przeważający kierunek napływu benzenu był z kierunku 135°. Biorąc pod uwagę położenie obu stacji, napływ benzenu był prawdopodobnie spowodowany źródłami emisji z dzielnicy Blachownia Śląska. W ciągu epizodu obserwowano wysoką wilgotność powietrza ponad 90%. To właśnie wilgotność względna i prędkość wiatru są tu najsilniej powiązane ze stężeniami benzenu. Przez cały okres epizodu wyznaczona klasa wentylacji wynosiła 5, co oznacza inwersję od poziomu gruntu.

Epizod 10 lutego 2018 roku

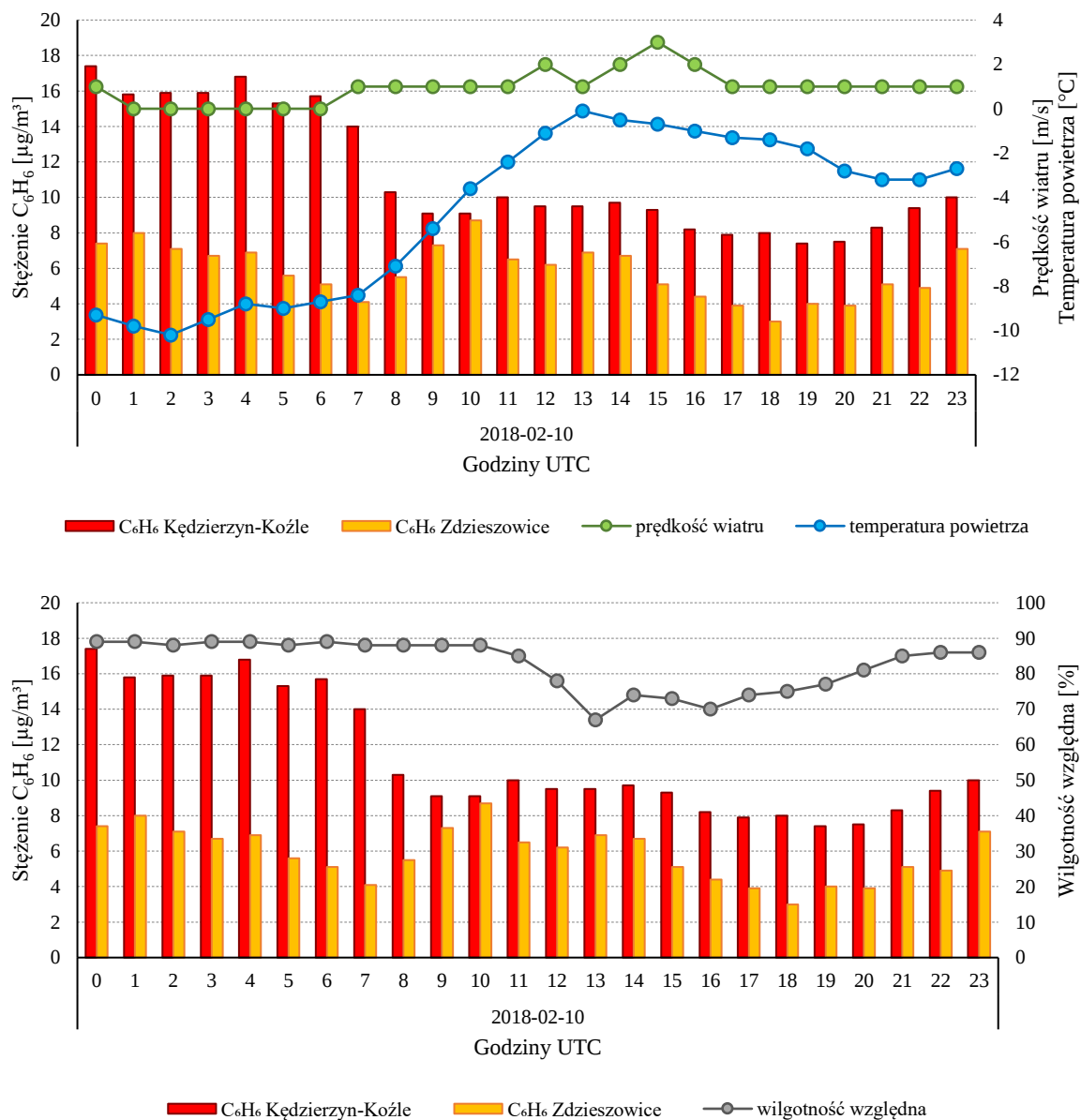


Rys. 45 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 10 lutego 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).

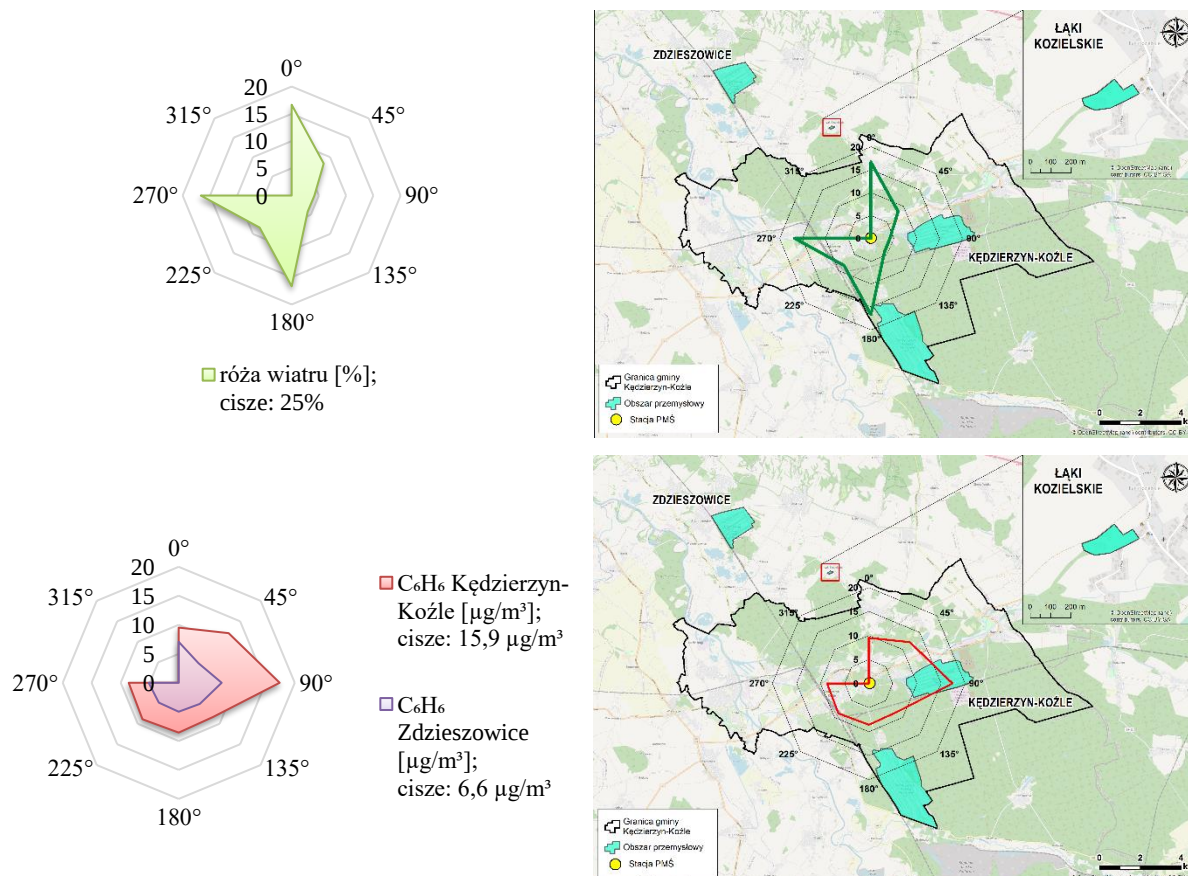


Rys. 46 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 10.02.2018 r.

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹLE



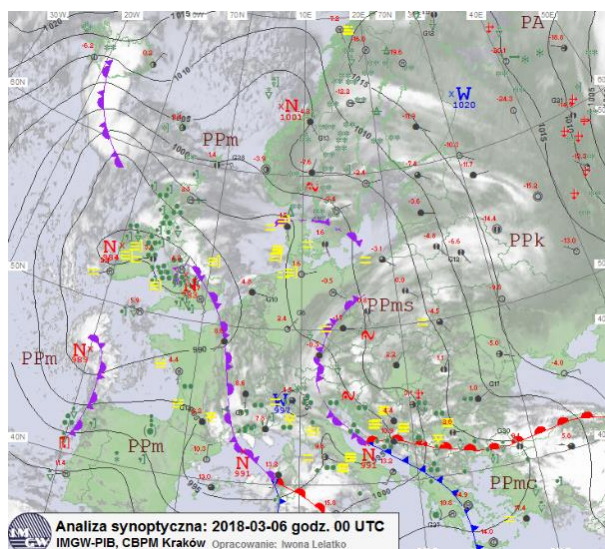
Rys. 47 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 10.02.2018 r.



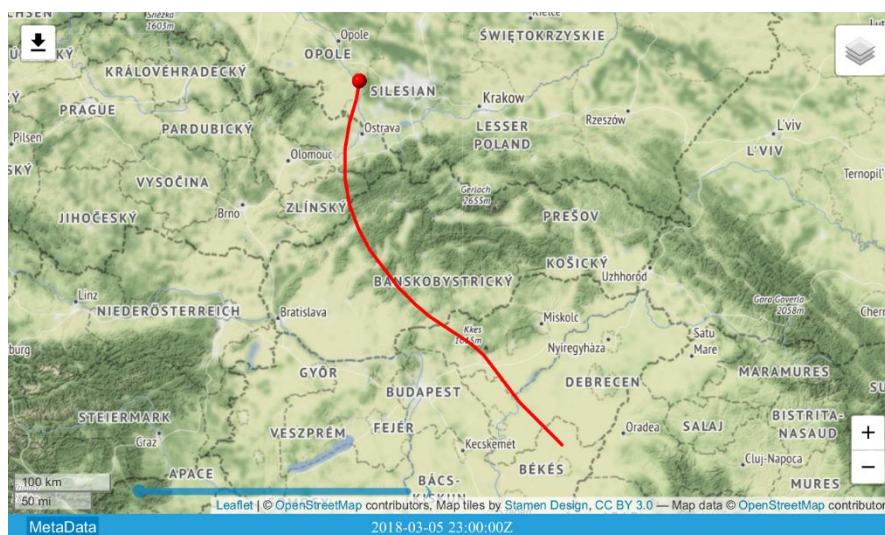
Rys. 48 Róża wiatru i róża C_6H_6 w dniu 10.02.2018 r.

Analiza mapy synoptycznej wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem słabogradentowego rozkładu wysokiego ciśnienia, w masie powietrza polarno-morskiego starego. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – wschodni. Taka sytuacja, tzw. „zgniłego wyżu”, charakteryzuje się występowaniem zamgleń i mgieł oraz warunków do występowania tzw. niskiej inwersji. Przed frontem występuje zamglenie i chmury warstwowe piętra niskiego i średniego, a za – tylko chmury warstwowe. W ciągu epizodu wiał słaby wiatr, z prędkością $< 1 \text{ m/s}$. Na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle obserwowano wiatr zmienny z przewagą kierunków S, W i NE. Tymczasem przeważający napływ benzenu był odnotowany z azymutu 90° . W ciągu epizodu obserwowano wysoką wilgotność powietrza ponad 90%, niską temperaturę i wysoką (%) klasę wentylacji. Implikowało to złe warunki wentylacyjne – inwersja od poziomu gruntu.

Epizod 6 marca 2018 roku

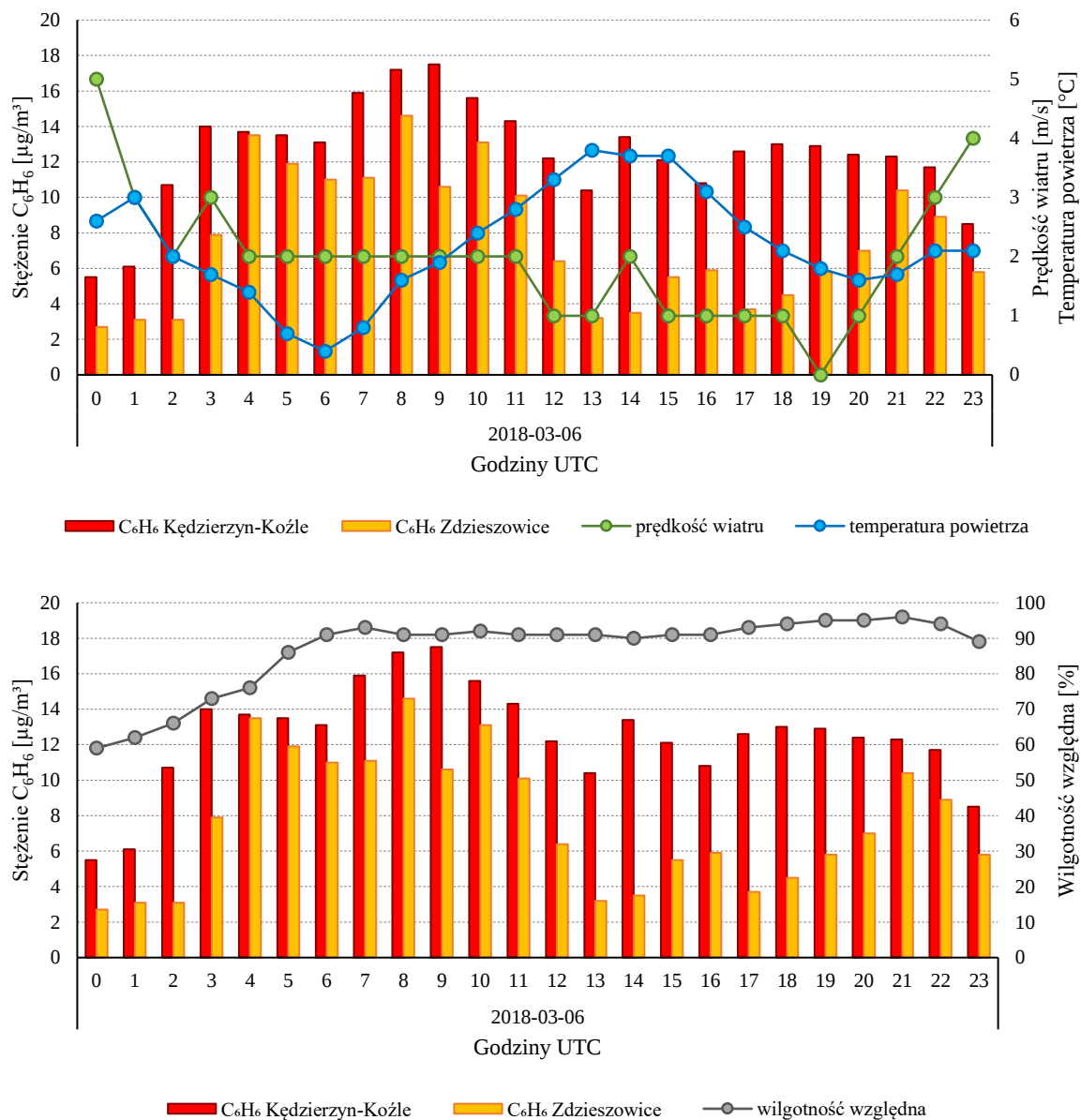


Rys. 49 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 6 marca 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).

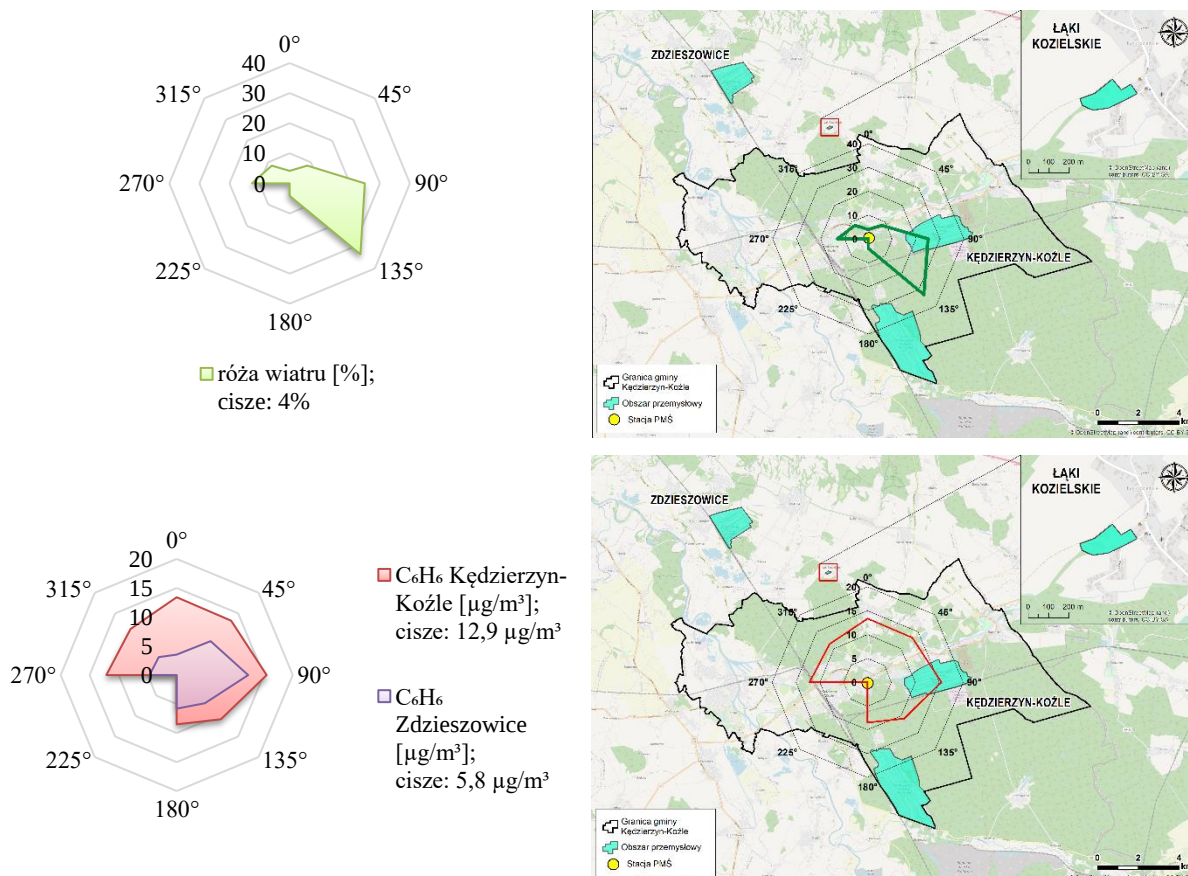


Rys. 50 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 6.03.2018 r.

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹLE



Rys. 51 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 6.03.2018 r.

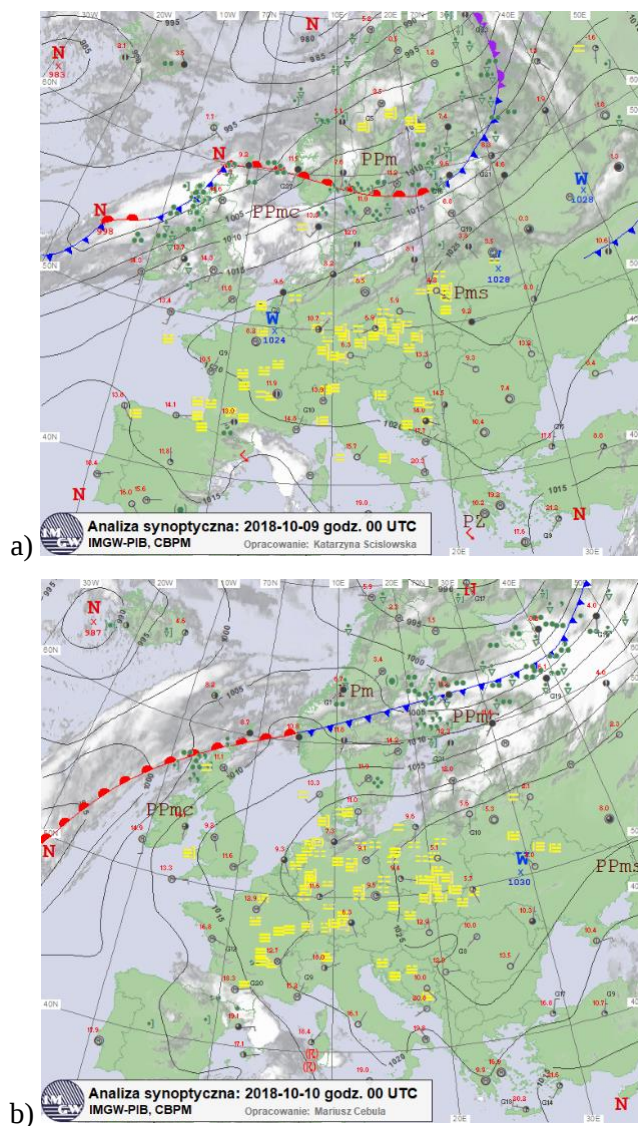


Rys. 52 Róża wiatru i róża C₆H₆ w dniu 6.03.2018 r.

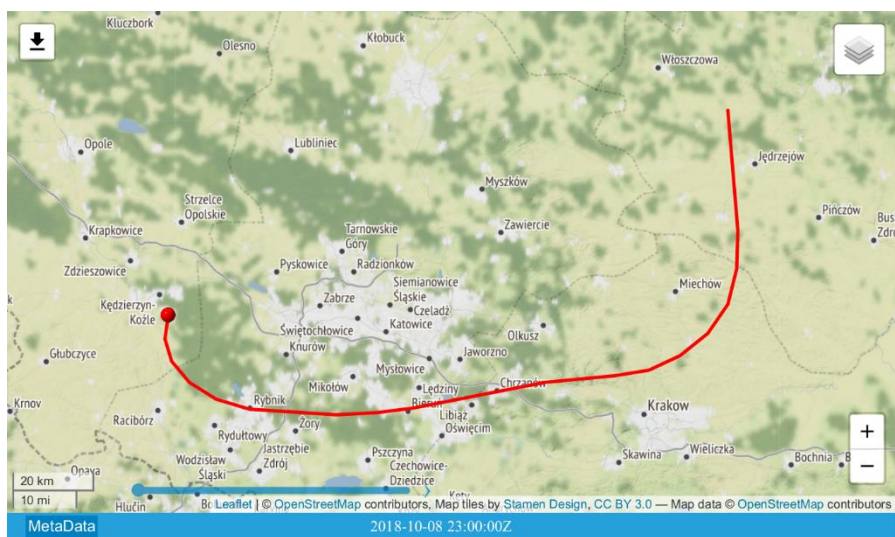
Analiza mapy synoptycznej wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem słabogradentowego rozkładu wysokiego ciśnienia, w masie powietrza polarno-morskiego starego ze słabo zaznaczonym frontem okluzji. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – południowy. Przez cały okres występowała niska inwersja temperatury. Występowały stosunkowo, jak na inne epizody, wysokie temperatury powietrza.

W ciągu epizodu wiał słaby wiatr, z prędkością ok. 2 m/s. Na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dominował wiatr z kierunku 135°, a przeważający napływ benzenu był odnotowany z azymutu 90°, choć wysokie stężenia notowano też z całego sektora od 270–135°. W ciągu epizodu obserwowano wysoką wilgotność powietrza ponad 90%. Wyznaczona klasa wentylacji równa 5, co świadczyło o złych warunkach wentylacyjnych od powierzchni ziemi (inwersja).

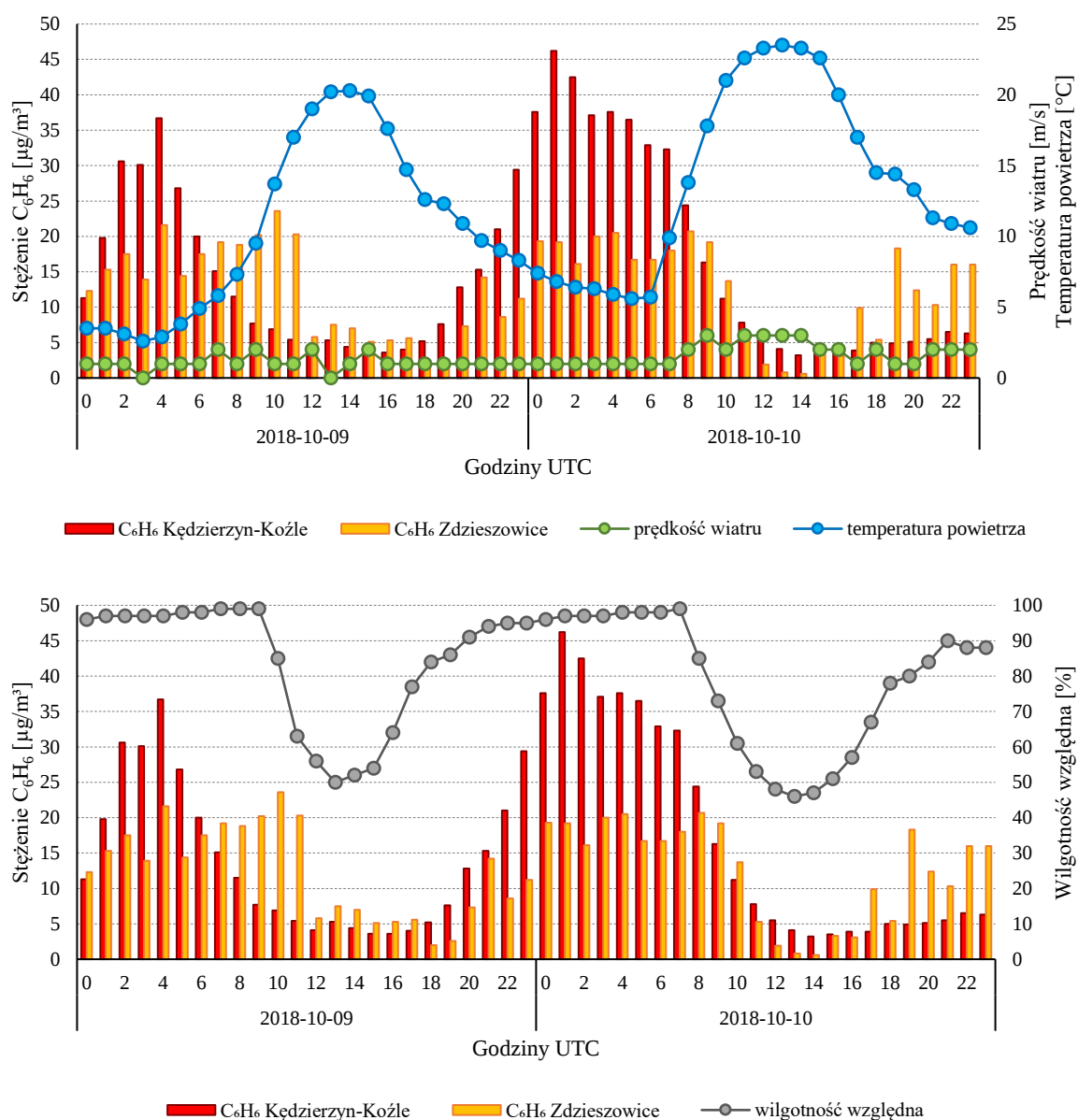
Epizod 9 i 10 października 2018 roku



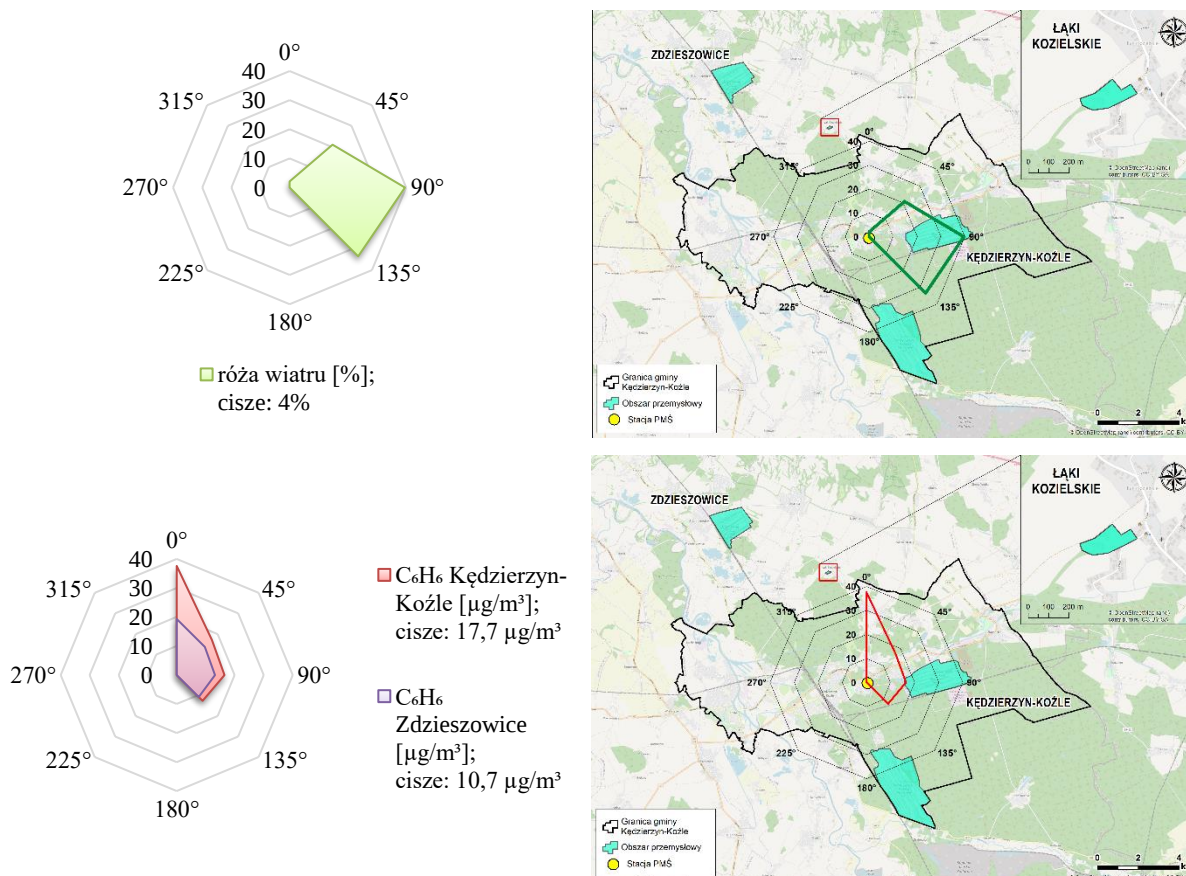
Rys. 53 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia a) 9 października 2018 r. godz. 0 UTC i b) 10 października 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).



Rys. 54 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 9 i 10.10.2018 r.



Rys. 55 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 9 i 10.10.2018 r.



Rys. 56 Róża wiatru i róża C_6H_6 w dniu 9 i 10.10.2018 r.

Analiza map synoptycznych wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem rozległego układu wyżowego, w masie powietrza polarno-morskiego starego. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – południowo-wschodni. Przez cały okres występowała niska inwersja temperatury. Przed cały epizod, szczególnie nocą, utrzymywały się silne mgły. Średnia dobową temperatura powietrza była dość wysoka i wynosiła odpowiednio dla 9 i 10 października 2018 r. – 10,5 i 13,9°C.

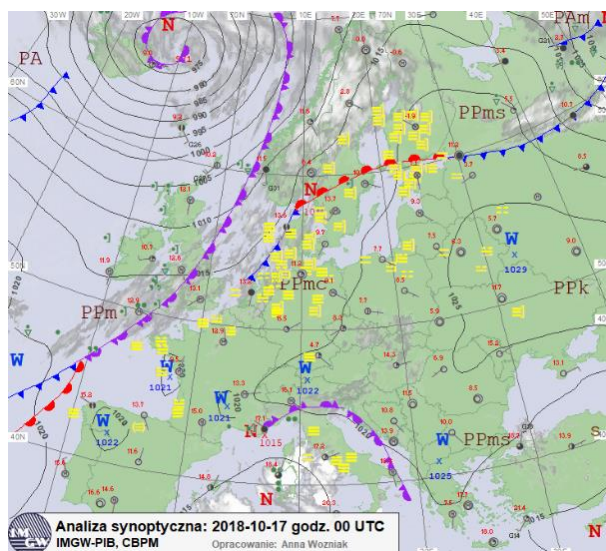
W ciągu epizodu, którego dominacja występowała w obu dniach w nocy, wiał bardzo słaby i słaby wiatr, z prędkością ok. 2 m/s. Na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dominował wiatr z kierunków 90–135,° a przeważający napływ benzenu był odnotowany z azymutu 0°.

Duża niezgodność róży wiatru i róży stężeń benzenu wynikała ze słabych warunków przewietrzania, a źródła emisji benzenu były dość wydajne i znajdowały się prawdopodobnie na N od stacji pomiarowych PMS.

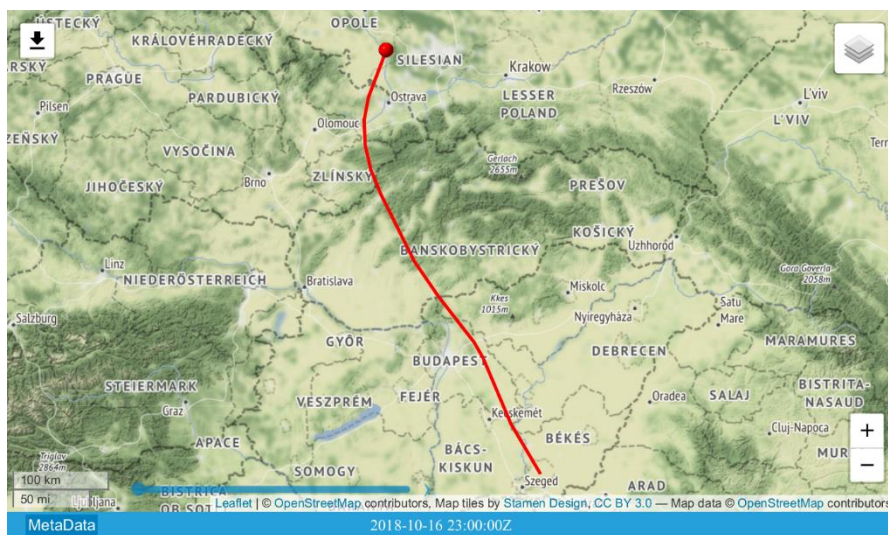
W ciągu epizodu obserwowano wysoką wilgotność powietrza ponad 90%. Wyznaczona klasa wentylacji 5. Złe warunki wentylacyjne – inwersja od poziomu gruntu.

Dominował benzen odnotowany w Kędzierzynie około 40 $\mu g/m^3$. W tym samym czasie stężenie benzenu w Zdzeszowicach wynosiło najwyżej 20 $\mu g/m^3$ (wartości godzinowe).

Epizod 17 października 2018 roku

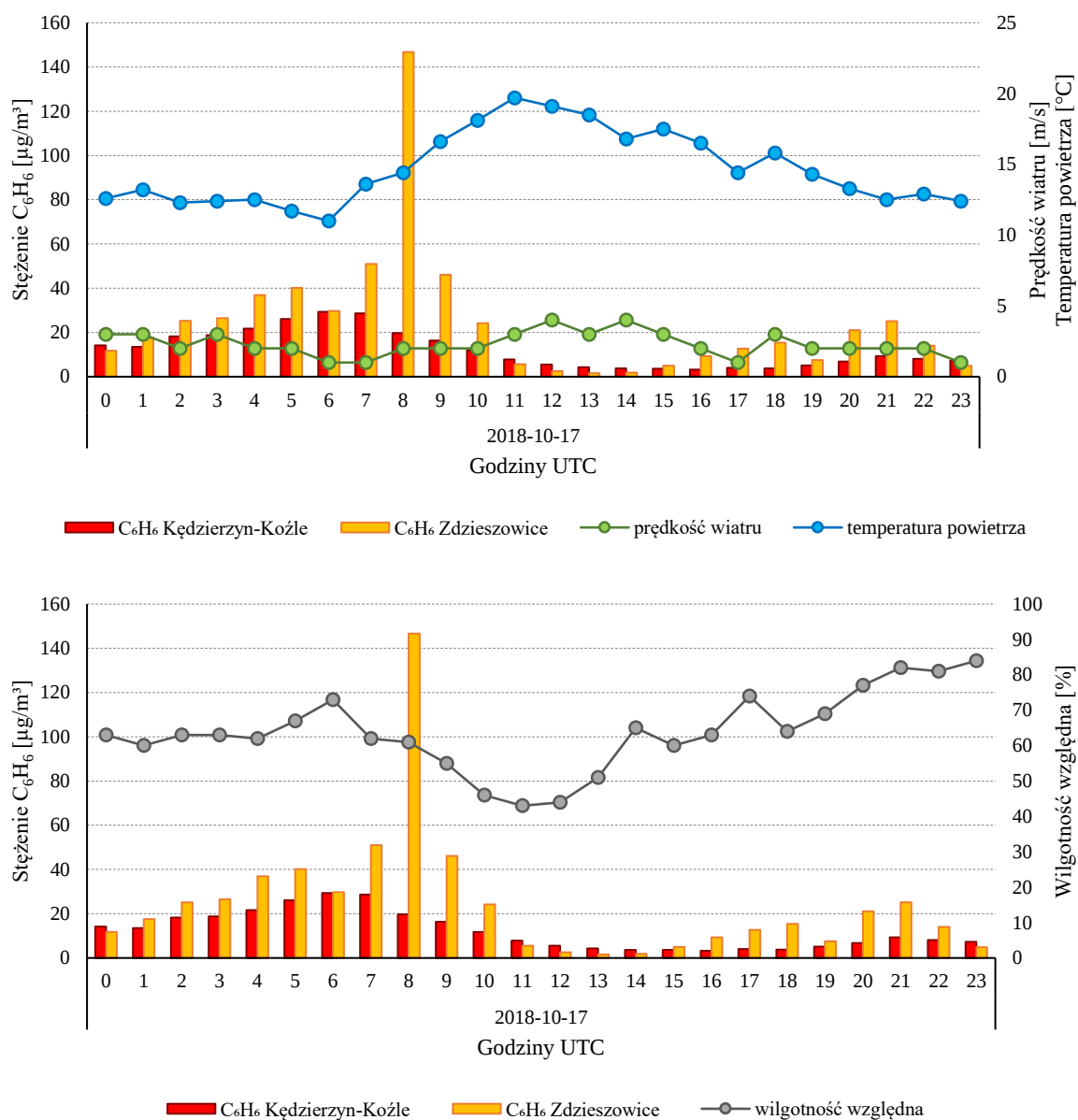


Rys. 57 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 17 października 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).

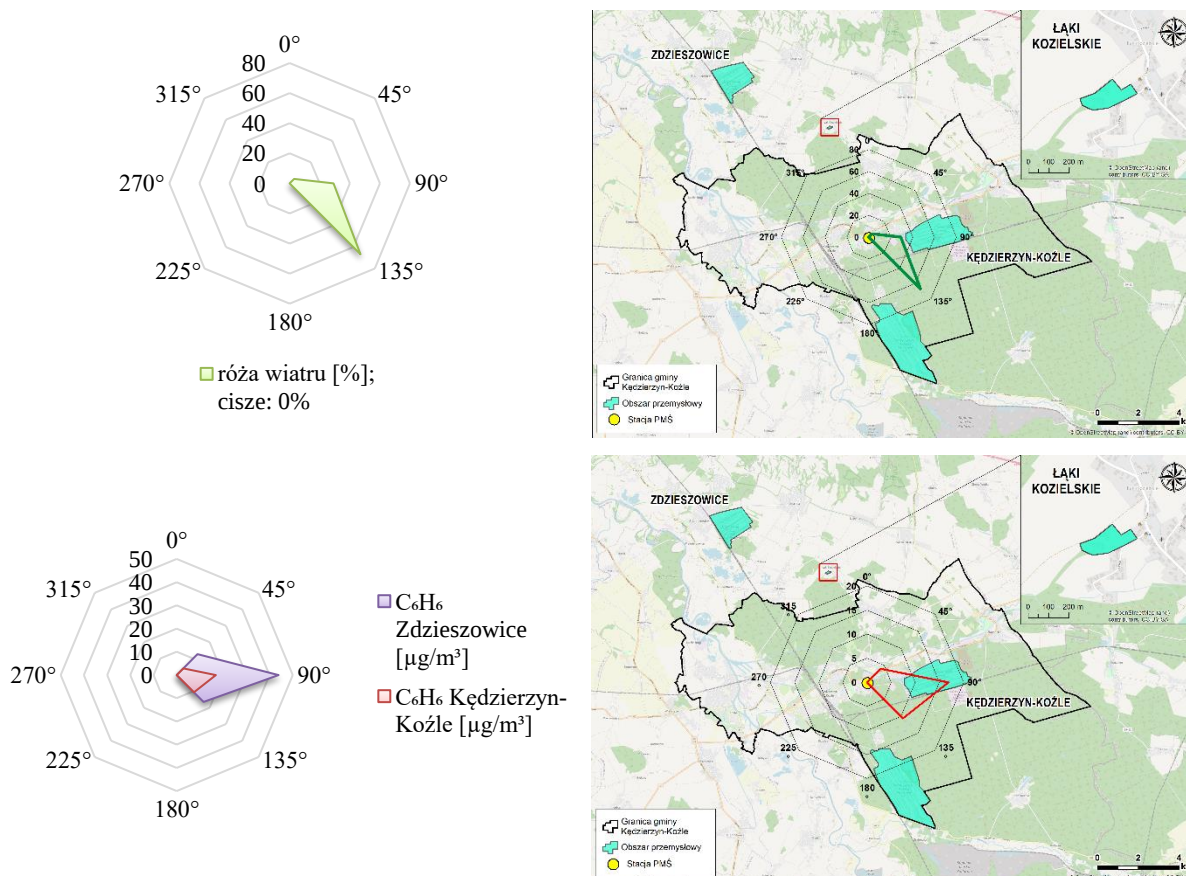


Rys. 58 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 17.10.2018 r.

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹLE



Rys. 59 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 17.10.2018 r.



Rys. 60 Róża wiatru i róża C_6H_6 w dniu 17.10.2018 r.

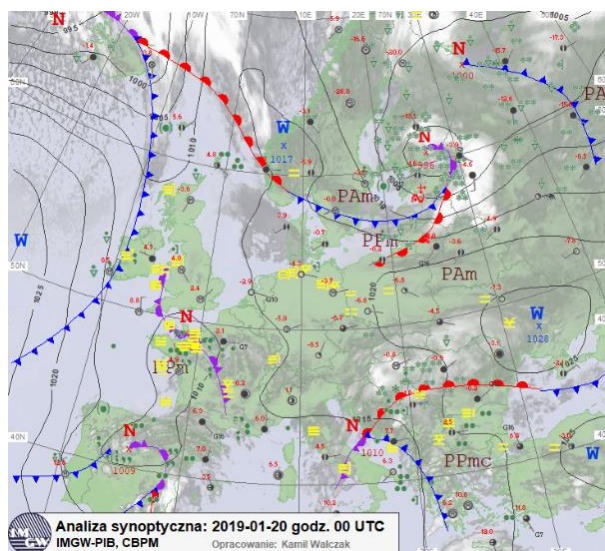
Analiza mapy synoptycznej wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem rozległego układu wyżowego w masie powietrza polarno-morskiego kontynentalnego. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – południowy. Przez cały okres występowała niska inwersja temperatury. Przez cały epizod, szczególnie nocą, utrzymywały się zamglenia. Średnia dobowa temperatura powietrza była dość wysoka i wynosiła $14,6^{\circ}C$.

W ciągu epizodu wiał bardzo słaby i słaby wiatr, z prędkością ok. 2 m/s. Na stacji w Kędzierzynie-Koźlu dominował wiatr z kierunku 135° , a przeważający napływ benzenu był odnotowany z azymutu 90° .

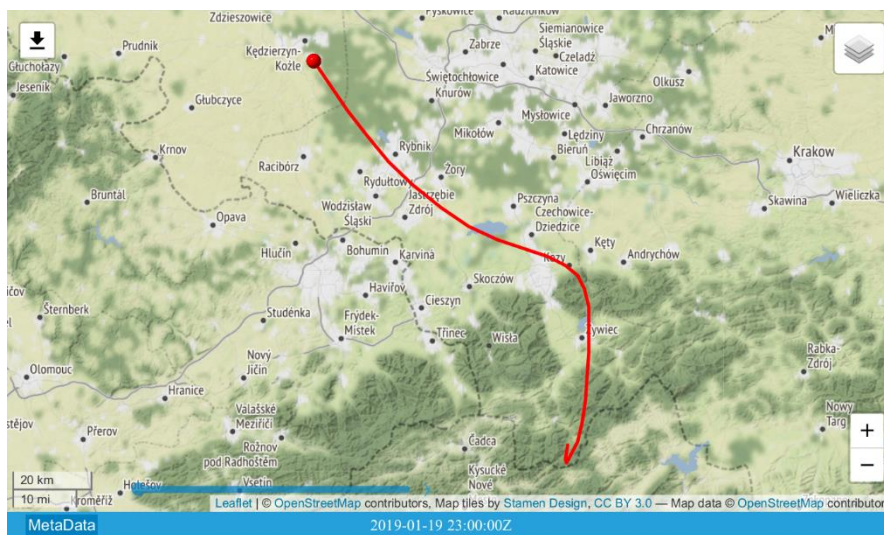
W ciągu epizodu obserwowano stosunkowo wysoką wilgotność powietrza ok. 80%. Wyznaczona klasa wentylacji 5. Złe warunki wentylacyjne – inwersja od poziomu gruntu.

Dominowało chwilowe stężenie benzenu pochodzącego ze Zdzeszowic ok. $140 \mu g/m^3$. W tym samym czasie stężenie benzenu w Kędzierzynie-Koźlu wynosiło najwyżej $20 \mu g/m^3$ (wartości godzinowe). To jest jedyny epizod ujawniony i opisywany, gdy stężenie benzenu na stacji PMŚ Zdzeszowice jest tak wysokie, podczas gdy epizod w Kędzierzynie-Koźlu był słabo zauważalny. Powodem tego incydentu może być np. krótkotrwała awaria instalacji w Zdzeszowicach.

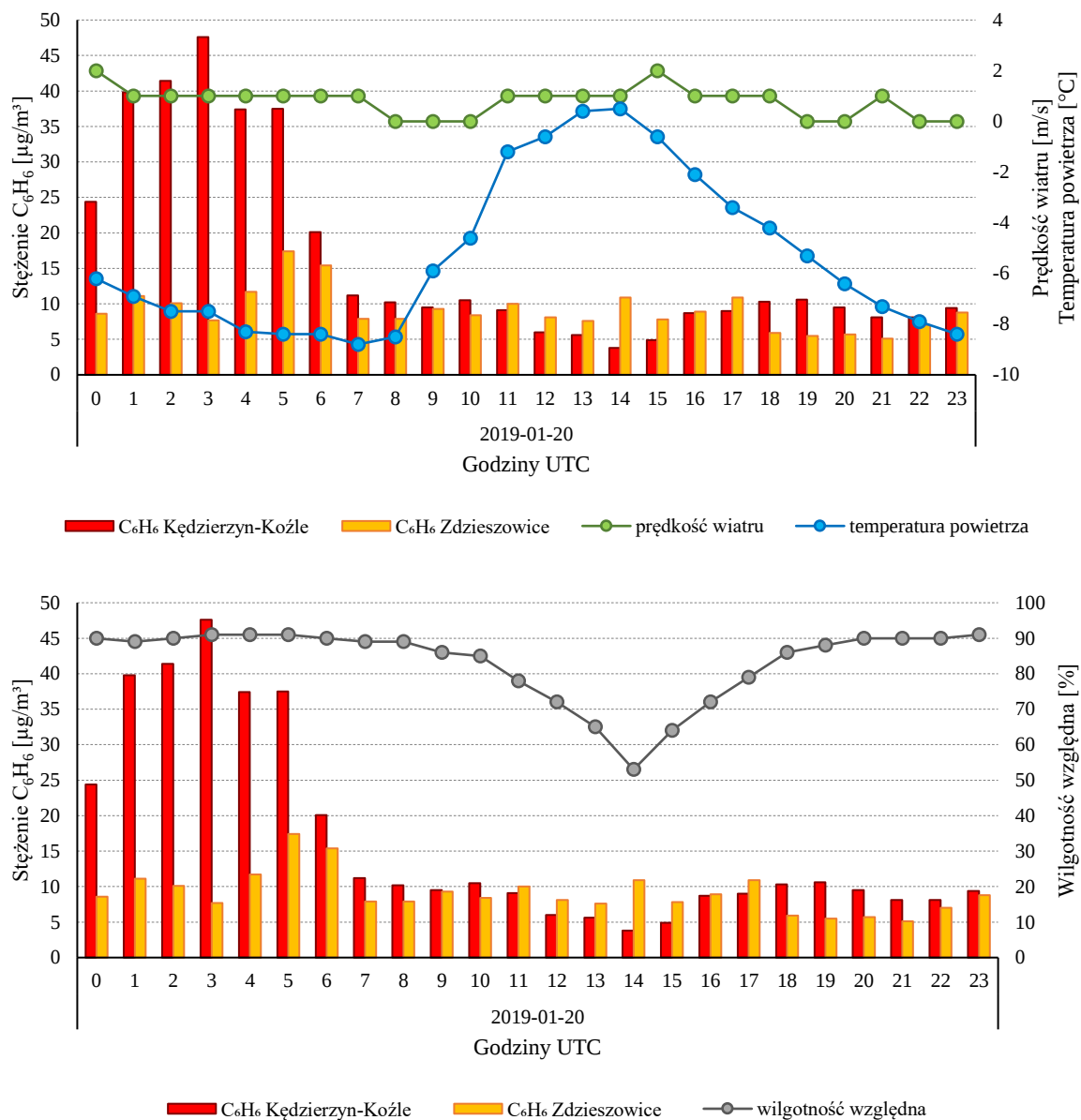
Epizod 20 stycznia 2019 roku



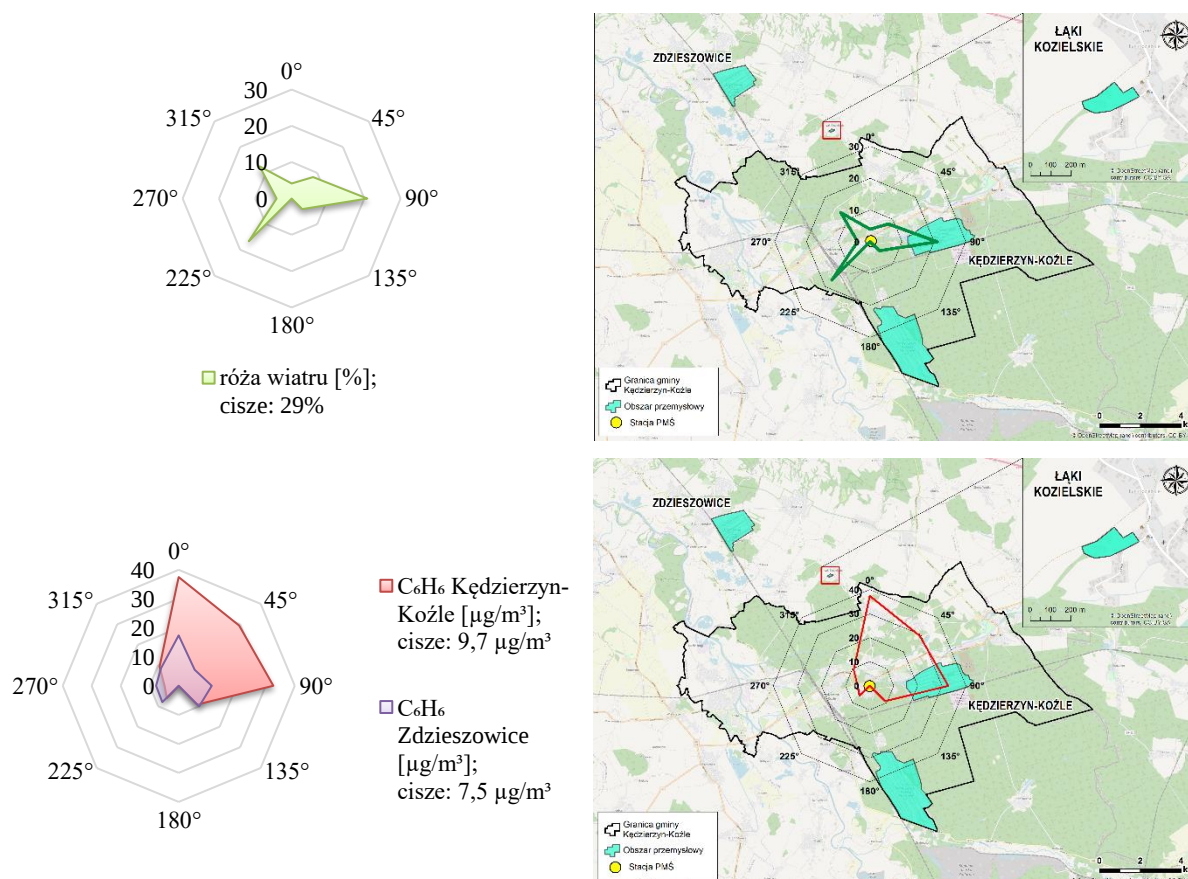
Rys. 61 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 20 stycznia 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).



Rys. 62 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 20.01.2019 r.



Rys. 63 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 20.01.2019 r.



Rys. 64 Róża wiatru i róża C₆H₆ w dniu 20.01.2019 r.

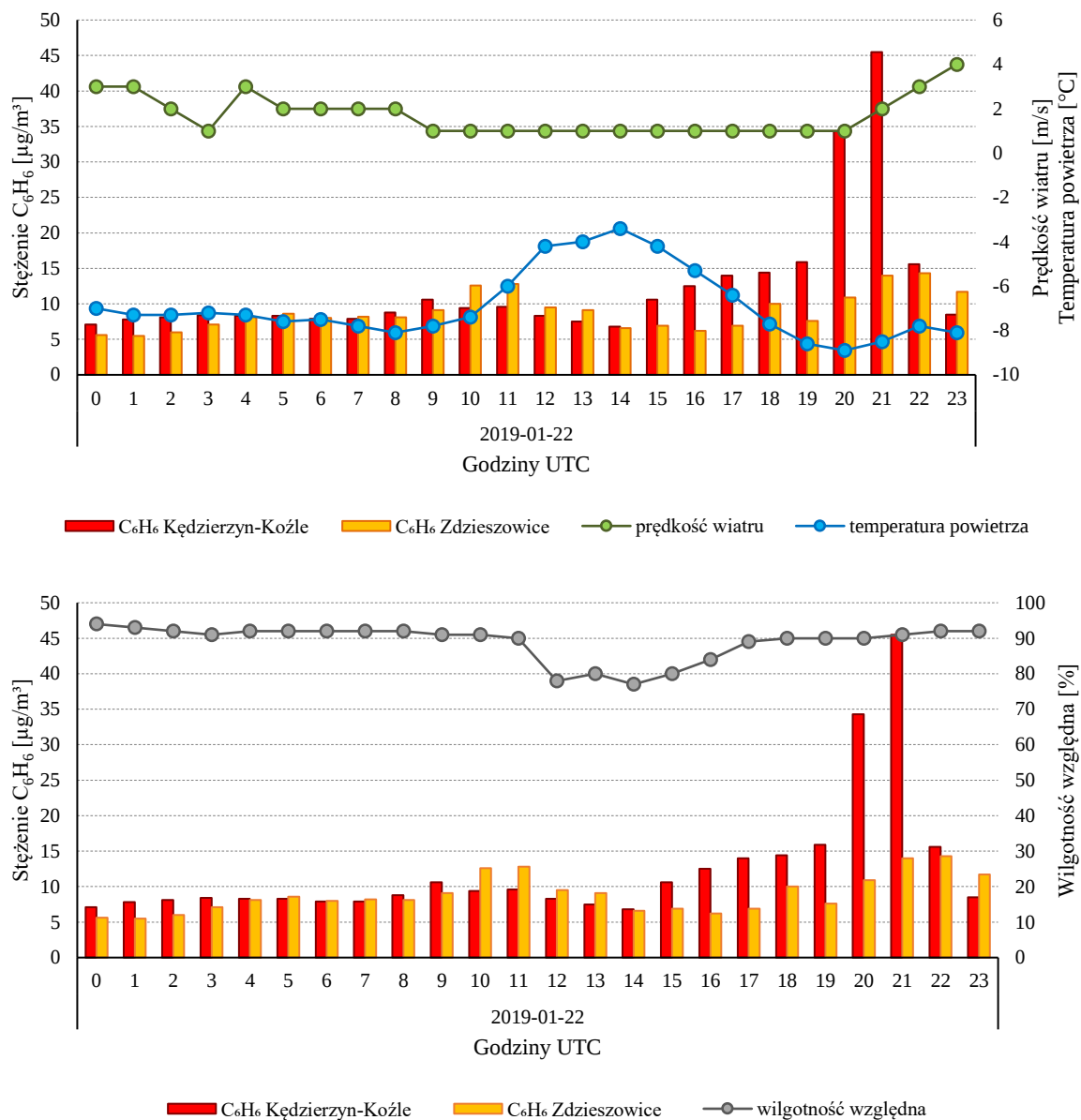
Analiza mapy synoptycznej wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem rozległego układu wyżowego z centrum nad Ukrainą w masie powietrza arktycznego morskiego. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – południowo-wschodni. W nocy występowała niska inwersja temperatury. Utrzymywały się też w nocy zamglenia. Średnia dobową temperatura powietrza była niska i wynosiła $-5,4^{\circ}\text{C}$. Najniższe temperatury notowano nocą i nad ranem ok. -8°C .

W ciągu epizodu wiał bardzo słaby i słaby wiatr, z prędkością ok. 1 m/s. Na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dominował wiatr z kierunku 90° , a przeważający napływ benzenu był odnotowany z azymutu $0-90^{\circ}$.

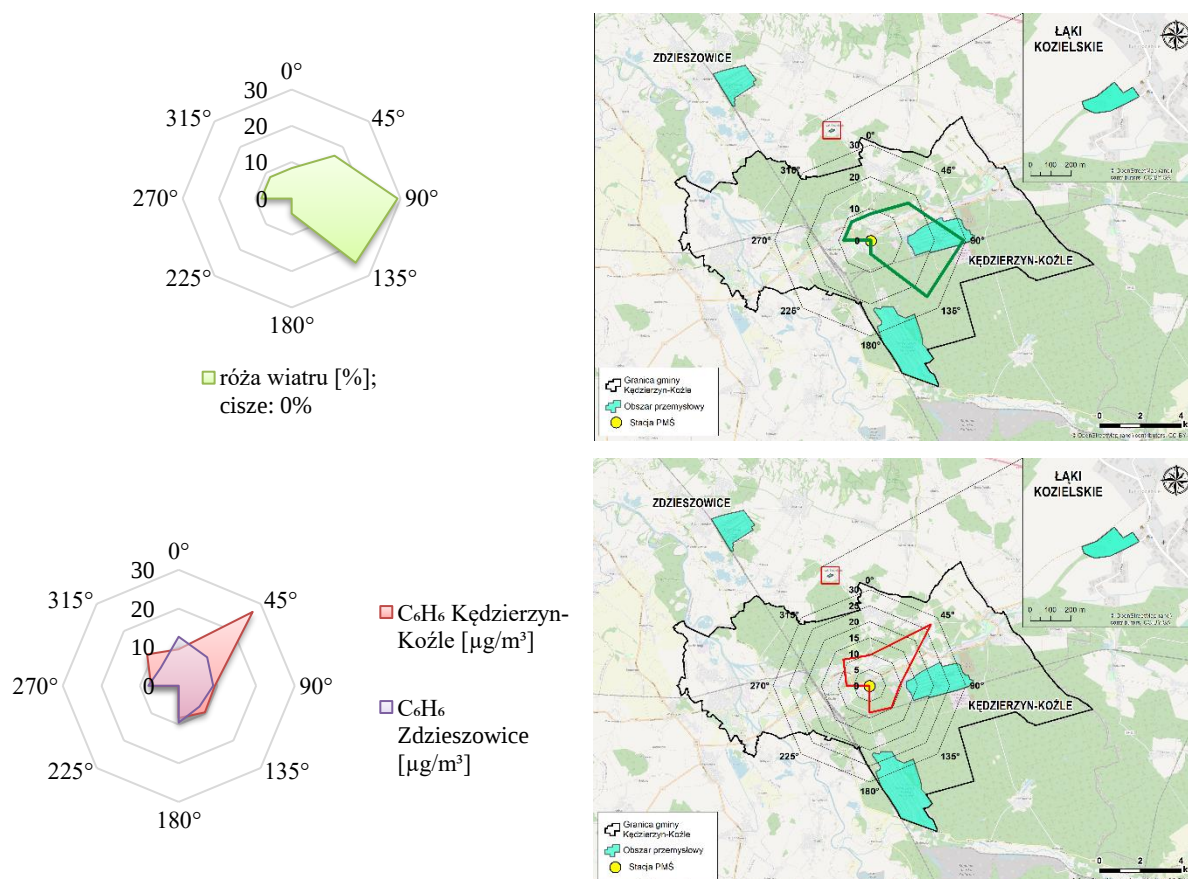
W ciągu epizodu obserwowano wysoką wilgotność powietrza ok. 90%. Wyznaczona klasa wentylacji 5. Złe warunki wentylacyjne – inwersja od poziomu gruntu.

Dominował benzen odnotowany z Kędzierzyna-Koźla (średnia dobową $16,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). W tym samym czasie stężenie benzenu w Zdzeszowicach wynosiło najwyżej $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maksymalne wartości godzinowe odpowiednio: $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹLE



Rys. 67 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 22.01.2019 r.



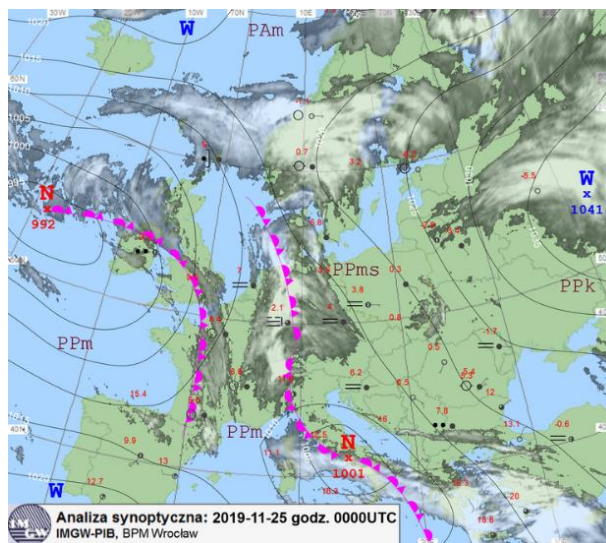
Rys. 68 Róża wiatru i róża C₆H₆ w dniu 22.01.2019 r.

Analiza mapy synoptycznej wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem rozległego układu wyżowego z centrum nad Ukrainą w masie powietrza polarno-morskiego starego. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – południowy. W nocy występowała niska inwersja temperatury i utrzymywały się zamglenia. Średnia dobową temperatura powietrza wynosiła $-6,8^{\circ}\text{C}$. Najniższe temperatury notowano nocą i wieczorem ok. -8°C .

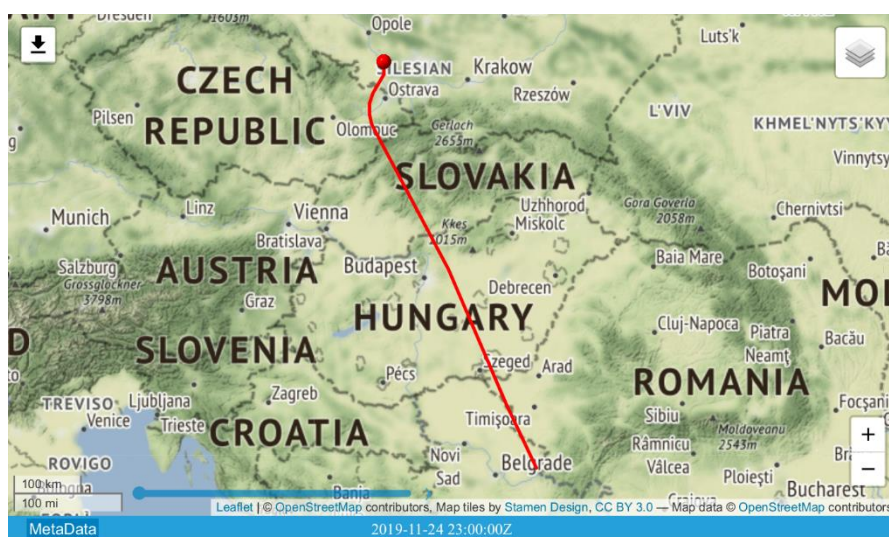
W ciągu epizodu wiał bardzo słaby i słaby wiatr z prędkością ok. 1 m/s. Na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dominował wiatr z kierunków 90–135°, a przeważający napływ benzenu był odnotowany z azymutu 45°. W ciągu epizodu obserwowano wysoką wilgotność powietrza ok. 90%. Wyznaczona klasa wentylacji 5. Złe warunki wentylacyjne – inwersja od poziomu gruntu.

Dominował benzen odnotowany z Kędzierzyna-Koźla (średnia dobową 12,3 µg/m³). W tym samym czasie stężenie benzenu w Zdzeszowicach wynosiło najwyżej 8,9 µg/m³. Maksymalne wartości godzinowe były odpowiednio: 45 µg/m³ i 14,3 µg/m³.

Epizod 25 listopada 2019

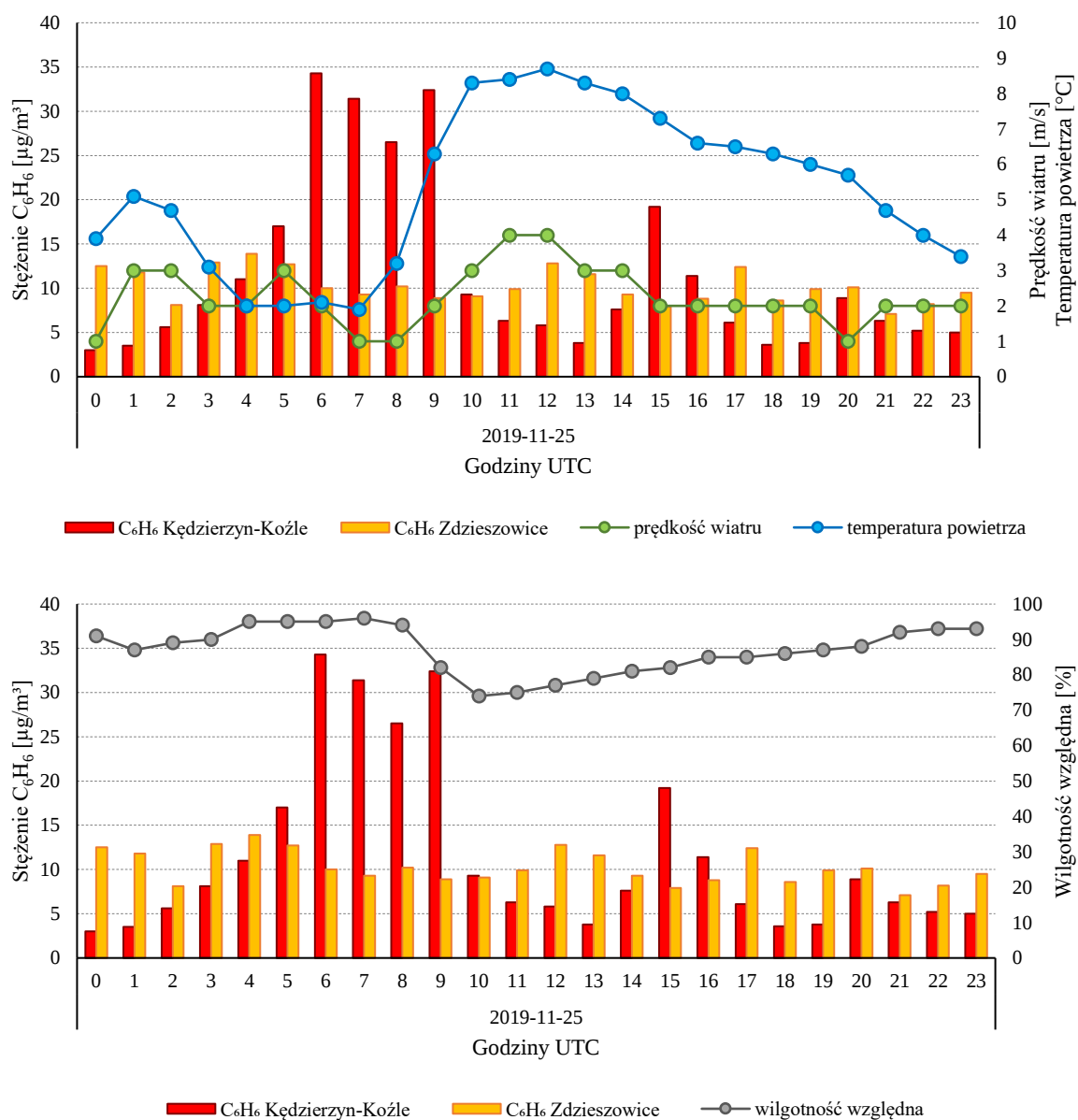


Rys. 69 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 25 listopada 2019 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).

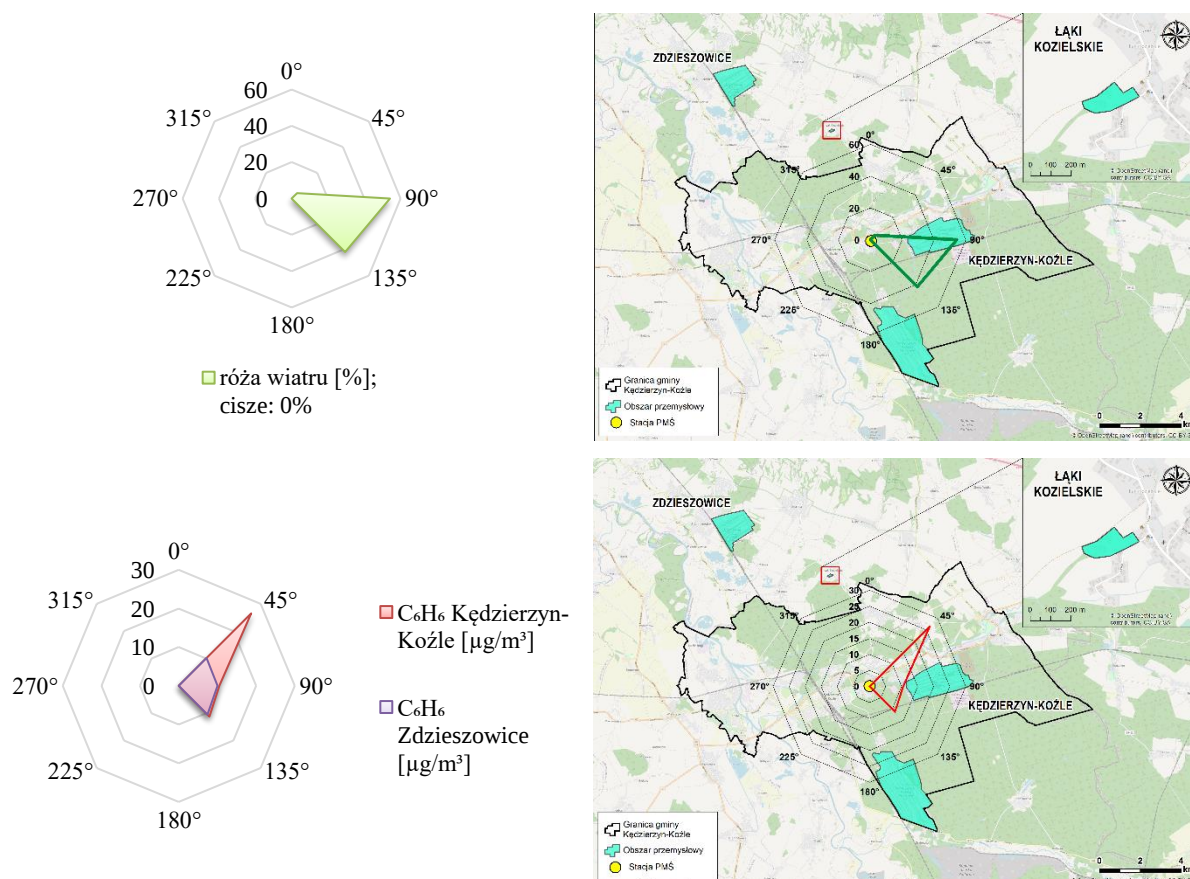


Rys. 70 Trajektorja wsteczna – epizod z dnia 25.11.2019 r.

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹLE



Rys. 71 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 25.11.2019 r.



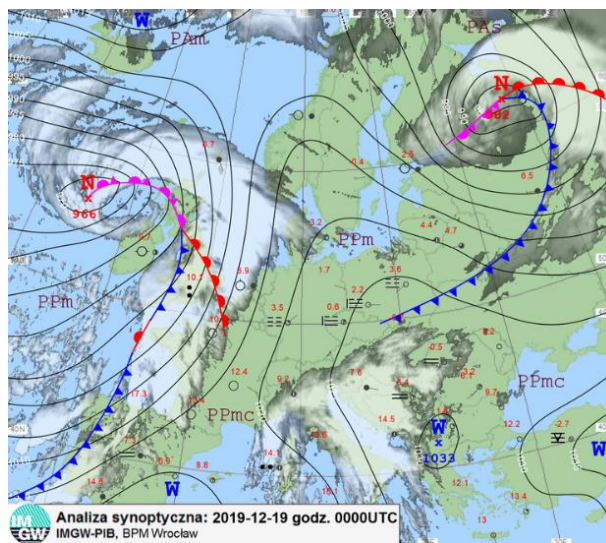
Rys. 72 Róża wiatru i róża C_6H_6 w dniu 25.11.2019 r.

Analiza mapy synoptycznej wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem rozległego układu wyżowego z centrum nad Rosją w masie powietrza polarno-morskiego kontynentalnego. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – południowy. W nocy występowała niska inwersja temperatury i utrzymywały się zamglenia. Średnia dobowa temperatura powietrza wynosiła $5,3^{\circ}C$. Najniższe temperatury notowano nocą i wieczorem ok. $2^{\circ}C$.

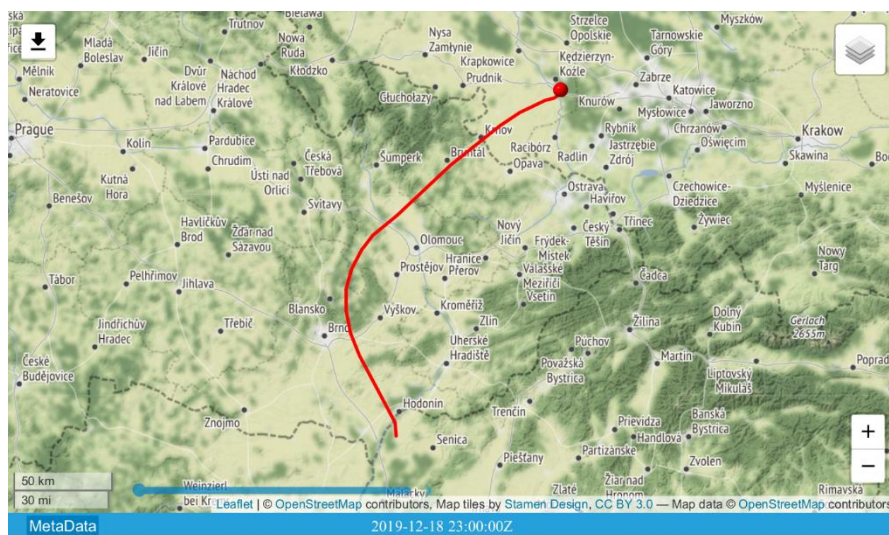
W ciągu epizodu wiał bardzo słaby i słaby wiatr, z prędkością ok. 2 m/s. Na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dominował wiatr z kierunków $90-135^{\circ}$, a przeważający napływ benzenu był odnotowany z azymutu 45° . W ciągu epizodu obserwowano wysoką wilgotność powietrza ok. 90%. Wyznaczona klasa wentylacji 5. Złe warunki wentylacyjne – inwersja od poziomu gruntu.

Dominował benzen odnotowany w Kędzierzynie-Koźlu – średnia dobowa $11,5 \mu g/m^3$. W tym samym czasie stężenie benzenu w Zdzeszowicach było najwyższe $10,2 \mu g/m^3$. Maksymalne wartości godzinowe odpowiednio: $34,3 \mu g/m^3$ i $13,9 \mu g/m^3$.

Epizod 19 grudnia 2019

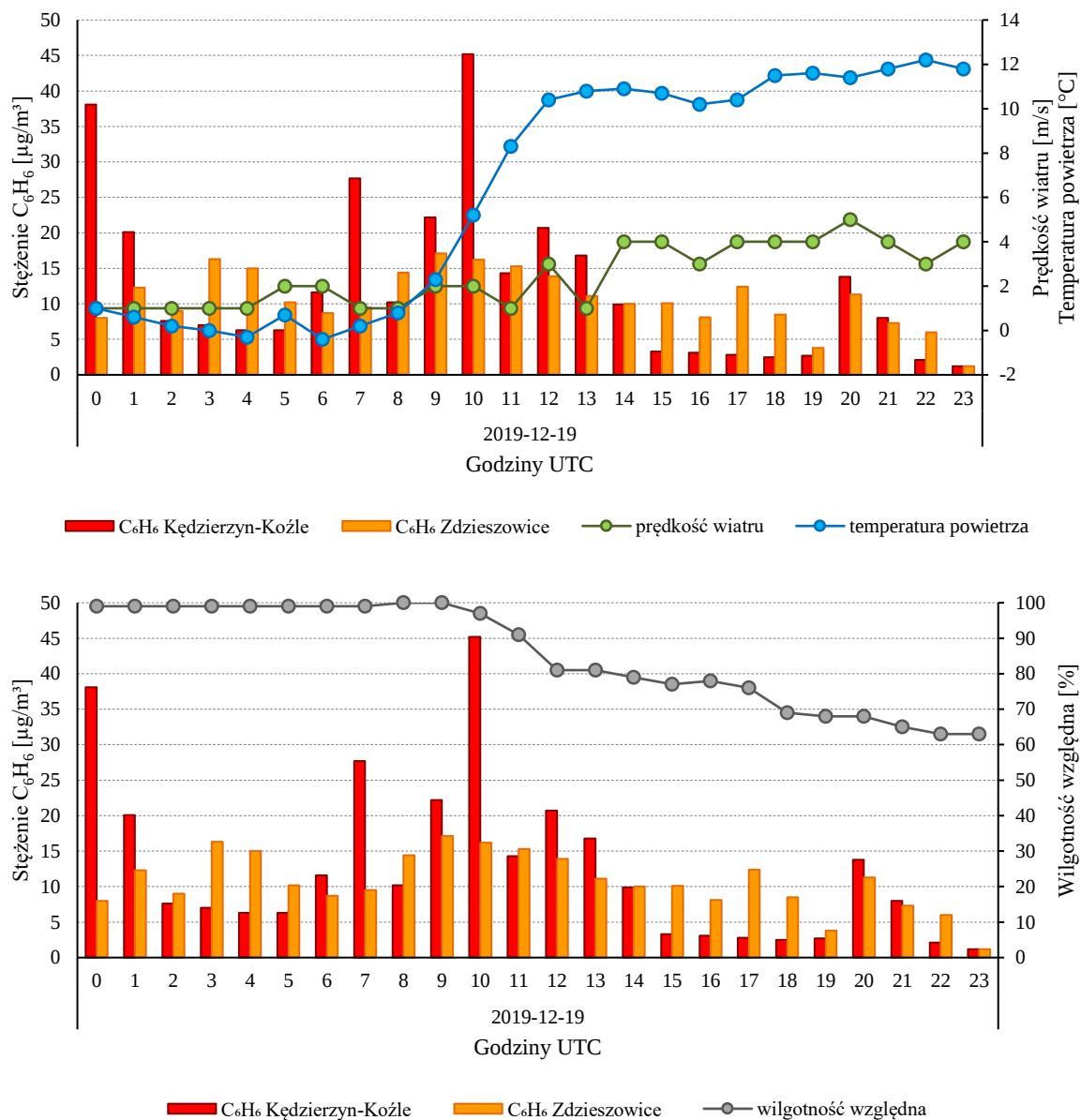


Rys. 73 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 19 grudnia 2019 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).

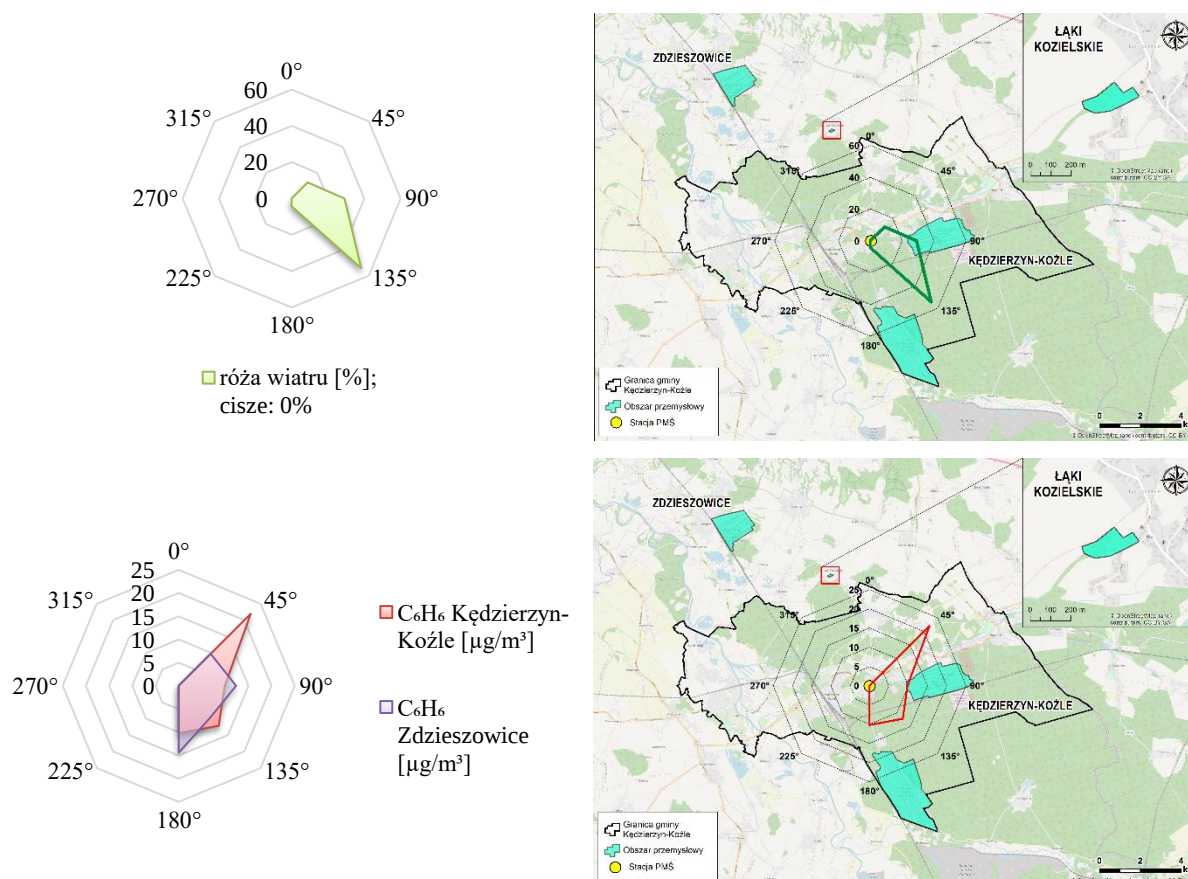


Rys. 74 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 19.12.2019 r.

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹLE



Rys. 75 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 19.12.2019 r.



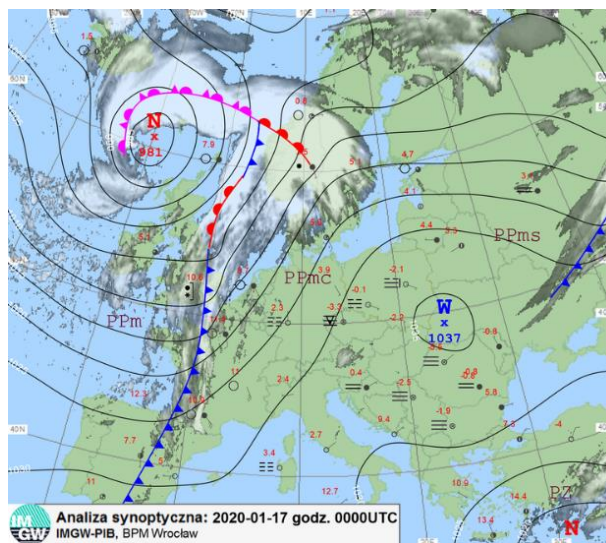
Rys. 76 Róża wiatru i róża C₆H₆ w dniu 19.12.2019 r.

Analiza mapy synoptycznej wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem rozległego układu wyżowego z centrum nad Bałkanami w masie powietrza polarno-morskiego ciepłego. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – południowo-zachodni. W nocy występowała niska inwersja temperatury i utrzymywały się chmury warstwowe piętra średniego i niskiego. Średnia dobową temperatura powietrza wynosiła 6,3°C. Najniższe temperatury notowano nocą i wieczorem ok. -0,4°C.

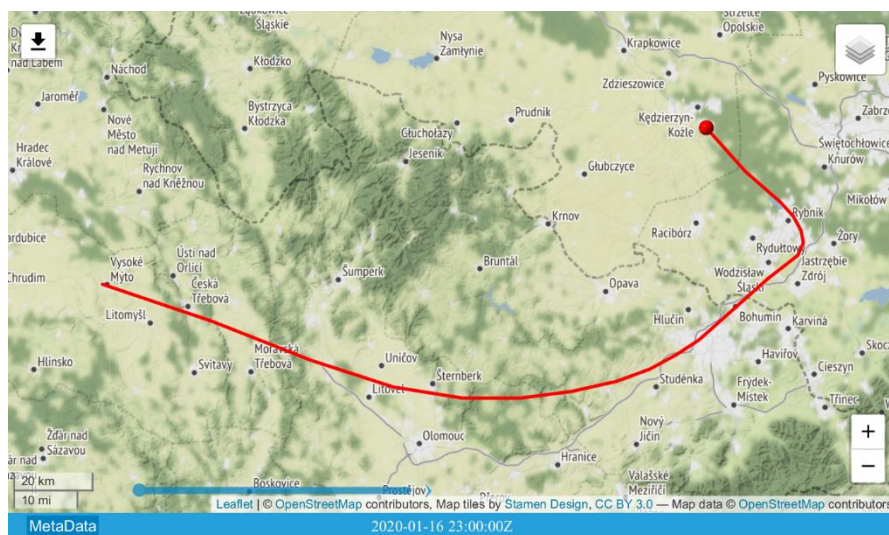
W ciągu epizodu wiał słaby wiatr z prędkością ok. 2 m/s. Na stacji meteorologicznej w Kędzierzynie-Koźlu dominował wiatr z kierunku 135°, a przeważający napływ benzeny był odnotowany z azymutu 45°. W ciągu epizodu obserwowano wysoką wilgotność powietrza ok. 90%. Wyznaczona klasa wentylacji 5. Złe warunki wentylacyjne – inwersja od poziomu gruntu.

Dominował benzen odnotowany w Kędzierzynie-Koźlu – średnia dobową 12,3 µg/m³. W tym samym czasie stężenie benzeny w Zdzeszowicach było najwyższe 8,9 µg/m³. Maksymalne wartości godzinowe odpowiednio: 45 µg/m³ i 14,3 µg/m³.

Epizod 17 stycznia 2020

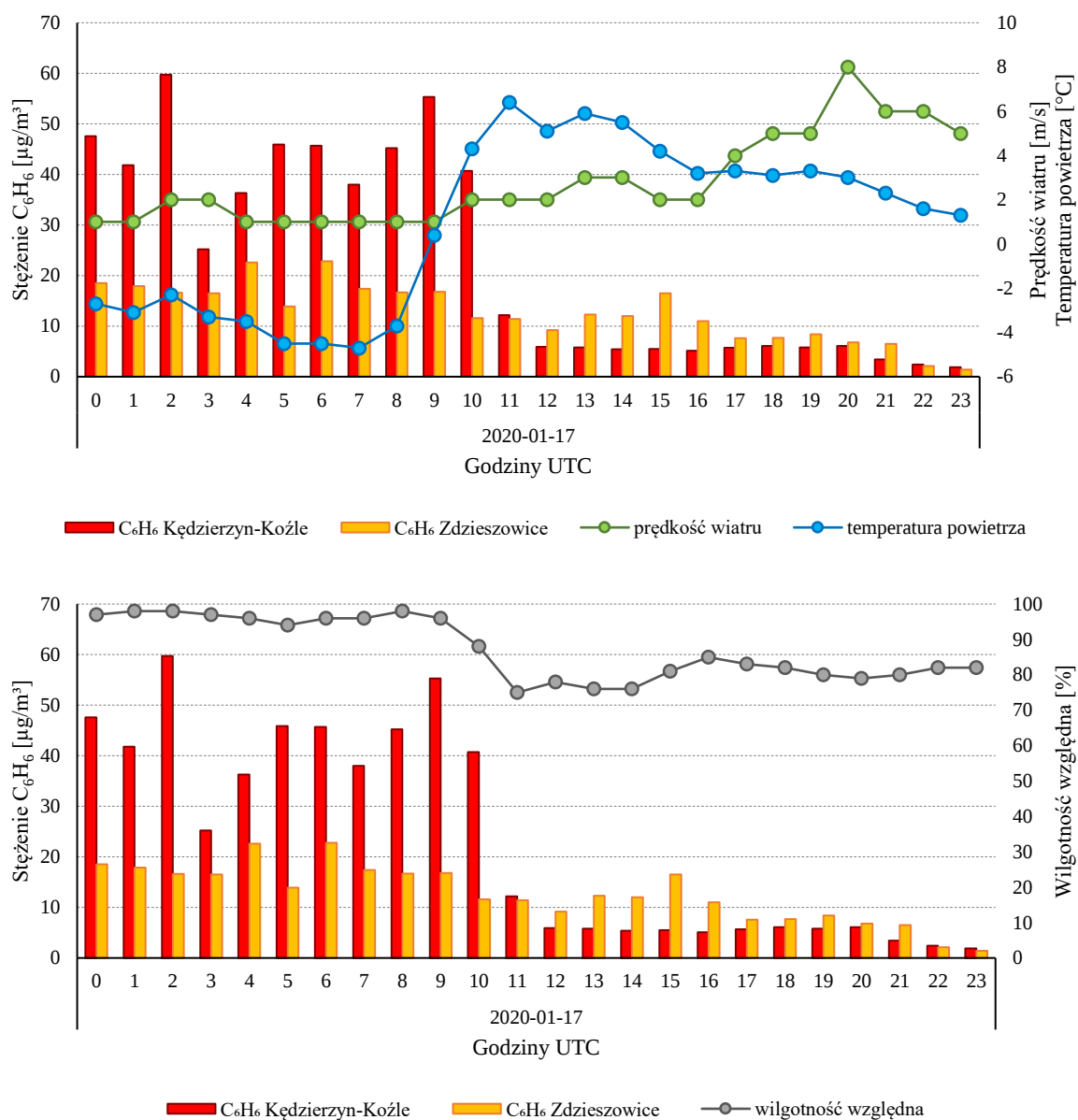


Rys. 77 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 17 stycznia 2020 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).

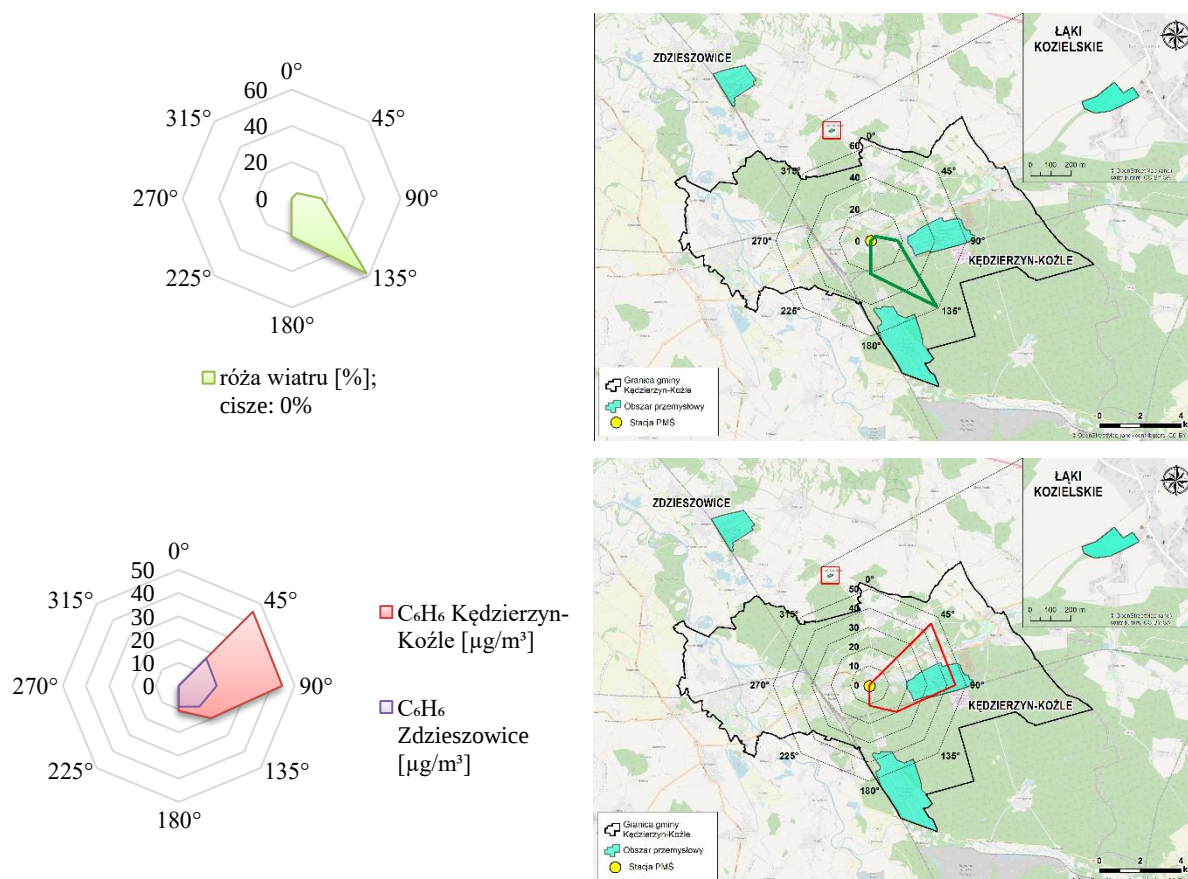


Rys. 78 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 17.01.2020 r.

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹLE



Rys. 79 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 17.01.2020 r.



Rys. 80 Róża wiatru i róża C_6H_6 w dniu 17.01.2020 r.

Analiza mapy synoptycznej wskazuje, że Polska Południowa znajduje się pod wpływem rozległego układu wyżowego z centrum nad Ukrainą w masie powietrza polarno-morskiego starego. Obserwowany napływ mas powietrza ponad warstwą inwersyjną – południowo-wschodni. W nocy występowała niska inwersja temperatury i utrzymywały się zamglenia. Średnia dobowa temperatura powietrza wynosiła $0,8^{\circ}C$. Najniższe temperatury notowano nocą i wieczorem ok. $-4,5^{\circ}C$.

Początkowo wiał bardzo słaby i słaby wiatr z prędkością ok. 2 m/s, wieczorem wzrastający do umiarkowanego. Na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dominował wiatr z kierunku 135° , a przeważający napływ benzenu był odnotowany z azymutu $45-90^{\circ}$. W ciągu epizodu obserwowano wysoką wilgotność powietrza ok. 90%. Wyznaczona klasa wentylacji 5. Złe warunki wentylacyjne – inwersja od poziomu gruntu.

Dominował benzen odnotowany w Kędzierzynie-Koźlu – średnia dobowa $23,0 \mu g/m^3$. W tym samym czasie stężenie benzenu w Zdzeszowicach było najwyżej $12,7 \mu g/m^3$. Maksymalne wartości godzinowe odpowiednio: $59,7 \mu g/m^3$ i $22,8 \mu g/m^3$.

Podsumowanie epizodów benzenu w latach 2018–2020

Przedstawione powyżej epizody wysokich stężeń benzenu w rejonie Zdzeszowic i Kędzierzyna-Koźla występują w warunkach sprzyjających wysokim stężeniom pyłu. Świadczy to o wspólnym mechanizmie meteorologicznym ich powstawania. Jednocześnie identyfikacja źródeł napływu benzenu jest zdecydowanie trudniejsza niż w przypadku pyłu.

Próba znalezienia cech wspólnych omawianych powyżej epizodów długotrwałych doprowadziła do wniosku, że istnieją pewne niezmiennie dla nich cechy wspólne.

Przede wszystkim należy podkreślić, że dla epizodów są ważne wnioski w tym zakresie zdefiniowane dla okresu 2005–2020. Ponadto należy zauważyć, że istnieją podobieństwa meteorologiczne dla wszystkich badanych epizodów:

- ✓ wyżowa lub słabogradientowa sytuacja synoptyczna,
- ✓ słaby wiatr,
- ✓ silna stabilność warstwy przyziemnej atmosfery,
- ✓ napływ cząstek powietrza (identyfikowany dolnymi trajektoriami) z południa.

Te cechy mają także epizody pyłowe, choć epizody benzenu wyróżnia dodatkowa cecha. Często występują przy wysokich wartościach usłonecznienia w ciągu dnia epizodu.

Szczegółowa charakterystyka zdarzeń w okresie badań specjalnych.

Podczas serii badań specjalnych (marzec – październik 2020 r.) wyodrębniono krótkoterminowe „piki” wysokich stężeń benzenu zaobserwowane na stacjach badawczych lub stacjach PMŚ.

Metodyka wyznaczania epizodów w okresie badań specjalnych

Wykonana analiza dotyczy dwóch rodzajów sytuacji:

- gdy stężenia na stacjach badawczych są wyższe niż na stacjach PMŚ (Tab. 10),
- gdy stężenia na stacjach PMŚ przewyższają stężenia na stacjach badawczych – epizody odwrotne (Tab. 11).

Wszystkie epizody noszą znamiona epizodów krótkotrwałych, kilkugodzinnych i są silnie ograniczone przestrzennie.

Za epizod godzinowy przyjęto, gdy na stacjach badawczych średnie godzinowe stężenie C_6H_6 przekraczało wartość $10 \mu g/m^3$. W praktyce ważne są okresy powyżej trzech godzin (Tab. 10). Do szczegółowego opisu wybrano jednak tylko epizody dłuższe – ponad 24 godzinne (Rys. 81 – Rys. 90).

Analiza epizodów odwrotnych ograniczyła się do wyznaczenia ich (Tab. 11) i typowych warunków meteorologicznych przy których one występują (Tab. 14).

Epizody na stacjach badawczych. Stężenia benzenu na stacji badawczej wyższe niż PMS KK

Tab. 10 Identyfikacja epizodów wysokich stężeń C₆H₆ na stacjach badawczych w okresie marzec – październik 2020 na tle danych ze stacji PMS Kędzierzyn-Koźle i Zdieszowice oraz stacji meteorologicznej IMGW-PIB i UM Kędzierzyn-Koźle. Stężenia benzenu w µg/m³.

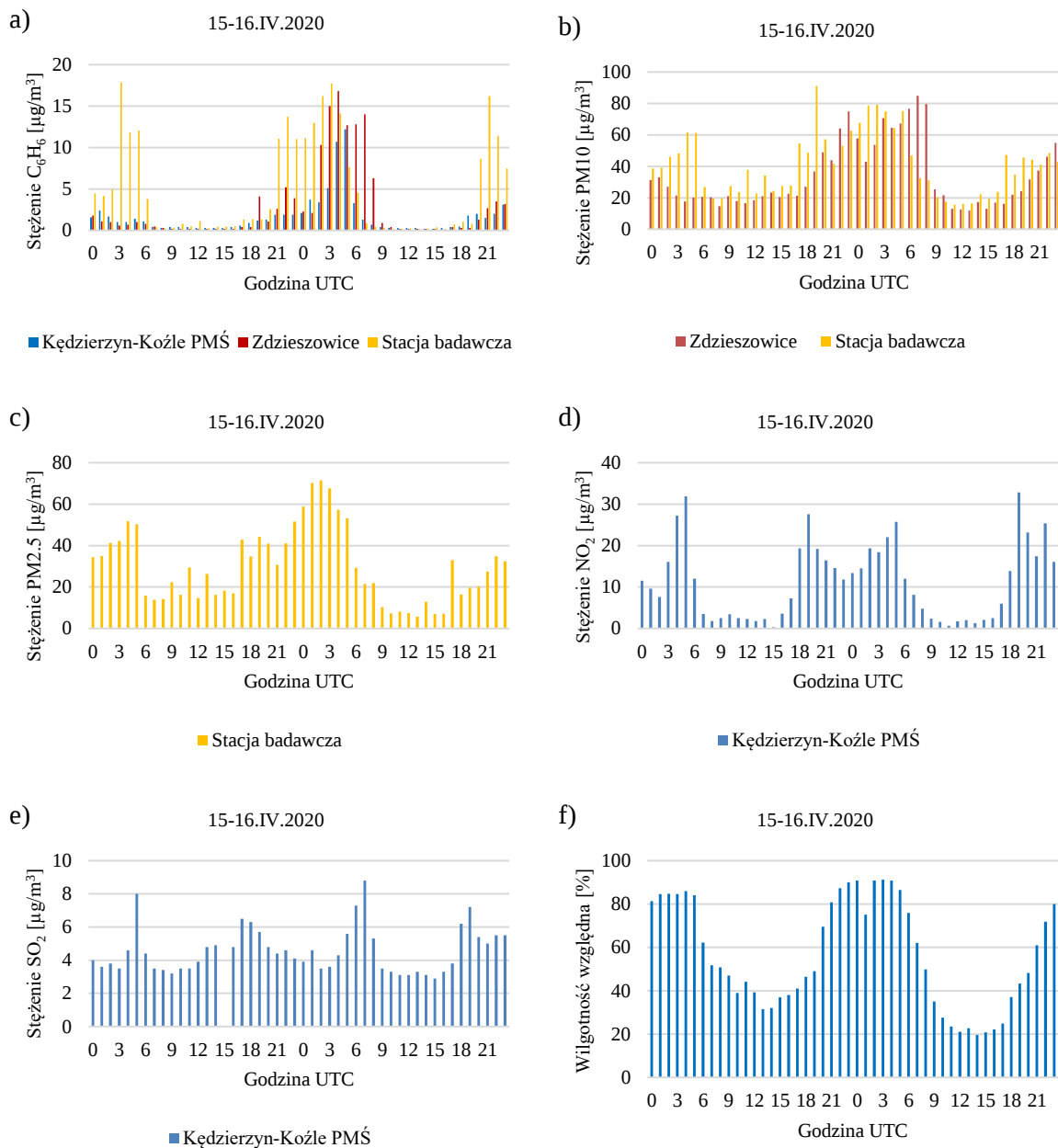
MC	DZ	GO	KW °	Tp °C	Prędkość wiatru m/s	H %	C ₆ H ₆ _KK µg/m ³	C ₆ H ₆ _Zdz µg/m ³	C ₆ H ₆ – pomiar specjalne µg/m ³	Klasa wentylacji
3	18	5	122	0,7	0,9	80,0	3,0	4,3	30,8922	5
4	4	2	109	0,5	0,8	83,5	1,7	1,2	37,2433	5
4	4	3	93	1,2	0,8	80,0	3,2	1,5	40,2712	5
4	4	4	126	1,5	0,5	80,0	2,1	2,4	31,0905	5
4	8	7	112	6,7	1,3	46,8	13,9	13,9	44,0735	5
4	25	1	313	7,3	1,3	69,1	0,8	1,0	33,9211	5
4	25	2	81	5,8	0,2	64,8	1,1	1,0	50,9023	5
5	22	4	100	1,5	0,7	89,7	23,2	0,9	31,3405	5
6	26	22	100	16,3	2,0	97,6	1,6	4,6	31,3663	5
7	1	3	84	12,3	0,7	96,5	29,5	1,6	32,8384	5
7	3	2	97	15,2	0,6	98,0	24,2	1,7	30,5884	5
7	23	6	0	14,4	0,0	84,4	42,2	1,0	32,1443	3
7	26	2	114	13,4	1,0	96,6	43,1	5,6	54,9438	5
7	26	5	105	15,1	1,1	92,5	52,0	9,6	31,8978	5
7	28	3	93	15,2	1,1	94,6	31,9	9,3	35,6180	5
7	31	22	123	12,9	0,1	90,8	2,3	0,7	106,977	5
7	31	23	158	11,9	0,1	95,0	87,2	0,4	296,027	5
8	1	0	314	11,4	0,3	95,4	84,2	0,3	84,7530	5
8	1	1	308	11,0	0,2	96,0	53,2	0,3	64,5624	5
8	1	2	243	10,8	0,8	95,6	153,4	0,2	41,0146	5
8	1	3	265	10,3	0,7	96,6	36,2	0,3	32,5636	5
8	7	3	210	14,4	0,1	98,0	70,5	2,1	40,2199	5
8	9	6	274	20,3	0,3	85,1	41,2	0,6	50,8192	3
8	28	2	75	7,3	0,5	96,1	12,3	1,7	37,7986	5
8	28	3	92	7,0	0,9	96,3	63,0	0,9	45,1139	5
9	3	23	90	10,0	0,7	97,4	131,9	5,6	48,8021	5
9	11	23	112,2	11,2	0,8	96,6	49,9	21,8	34,7706	5
9	12	2	97,3	10,0	0,7	97,3	18,7	8,8	52,3423	5
9	12	3	106,2	9,4	1,1	97,5	82,2	11,3	72,8568	5
9	14	21	74,9	15,9	0,8	96,1	9,9	7,4	34,8482	5
9	15	1	106,4	13,3	1,0	97,7	20,2	4,2	59,9049	5
9	15	4	118,2	12,0	0,9	97,9	78,7	16,6	32,6763	5
9	15	5	92,7	11,9	0,9	98,0	63,7	7,0	41,4915	5
9	20	4	97,1	7,3	0,6	80,8	15,4	1,5	32,0232	5

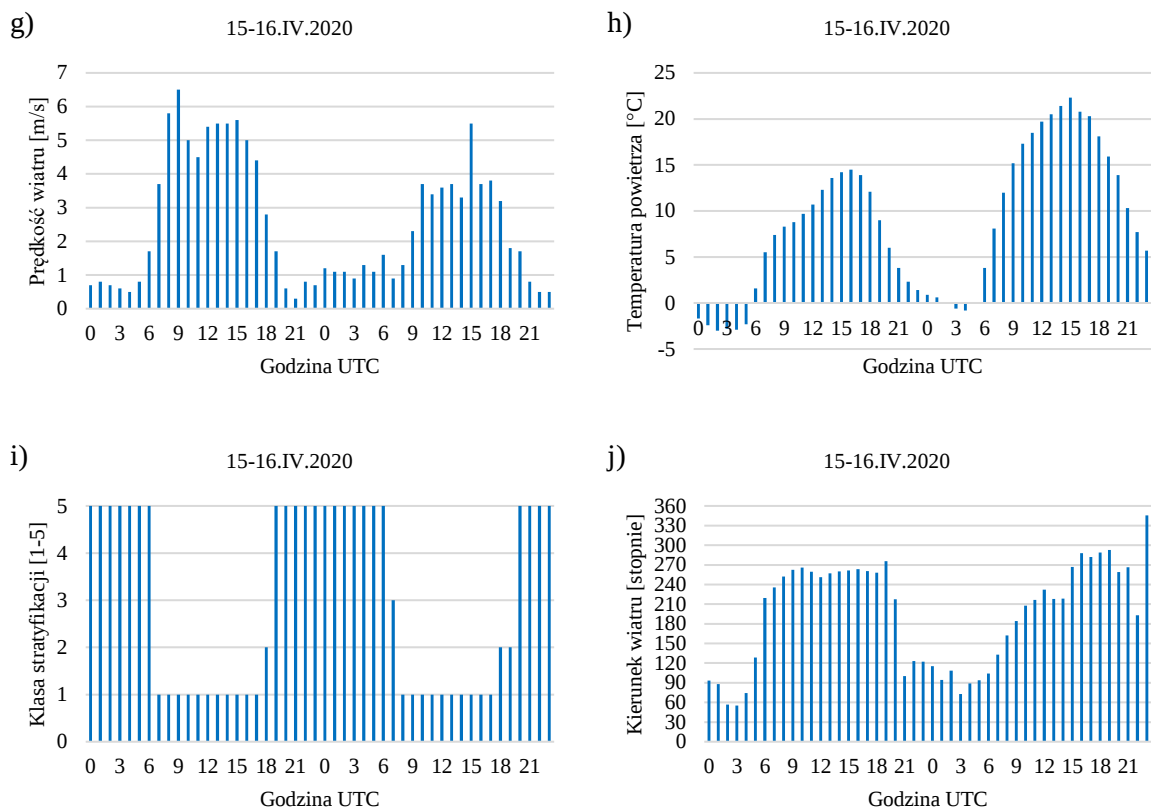
KW – kierunek wiatru, Tp – temperatura powietrza, H% – wilgotność względna

Poniżej przedstawiono charakterystykę wybranych (dłuższych niż 24 godziny) epizodów stężeń benzenu podczas pomiarów specjalnych dla sytuacji wystąpienia co najmniej 3 godzinnego przekroczenia wartości 10 µm/m³ na stacjach badawczych. Do opisu szczegółowego wybrano epizody o dłuższym czasie występowania i przy jednoczesnych wysokich jego stężeniach. W przypadku braku w legendzie którejś ze stacji oznacza to brak danych z tejże.

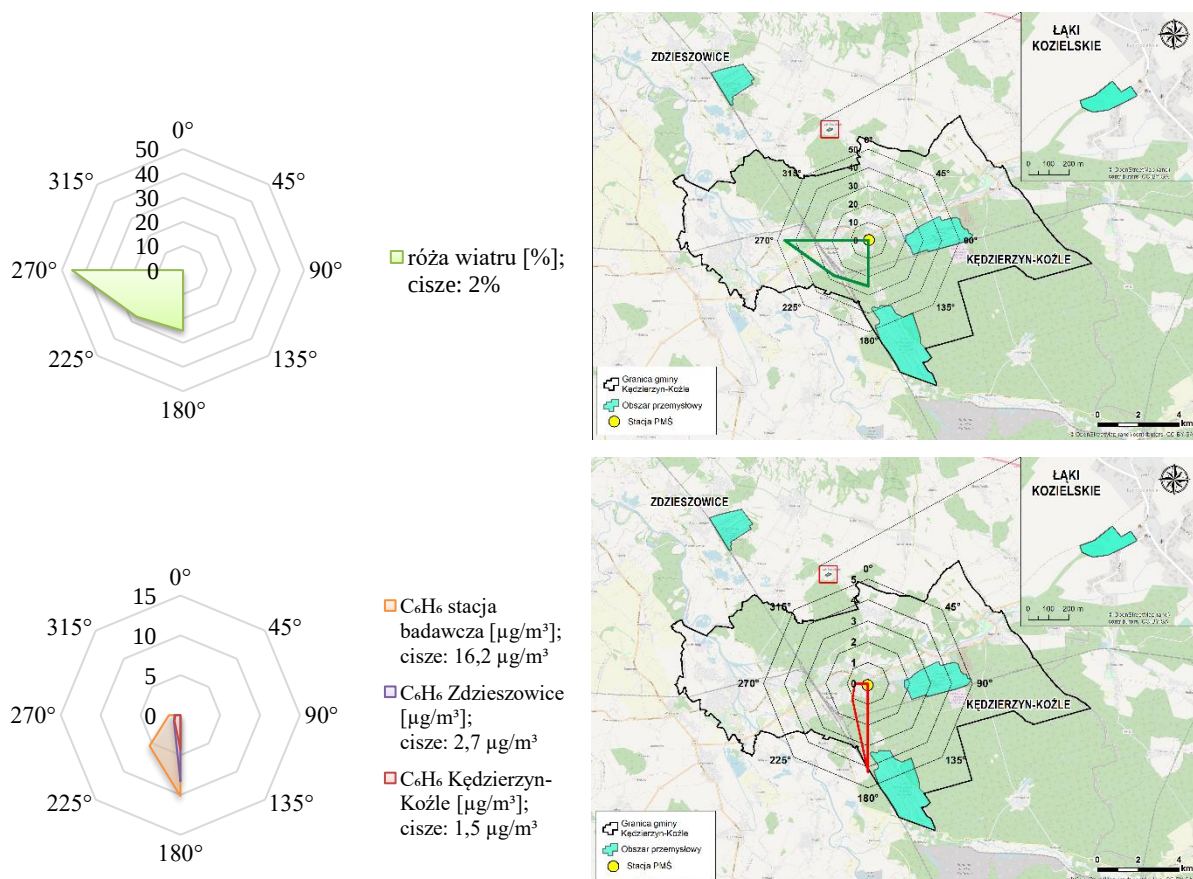
W wybranych do wizualizacji epizodach przedstawiono przebieg zanieczyszczeń dla obu stacji PMŚ Kędzierzyn-Koźle i Zdieszowice jednak na mapach, celem uniknięcia ich nieczytelności, różne przedstawiono dla Kędzierzyna-Koźla jako lokalizacji związanej bezpośrednio z tym miastem.

15–16.04.2020 r.

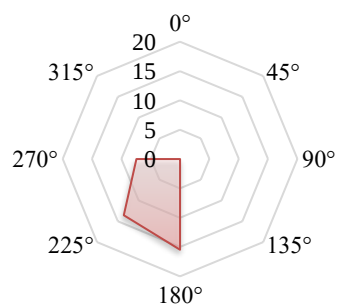




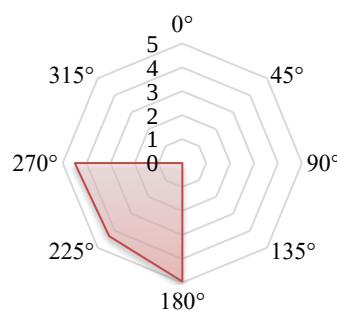
Rys. 81 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokiego stężenia benzenu w dniach 15–16.04.2020 r.



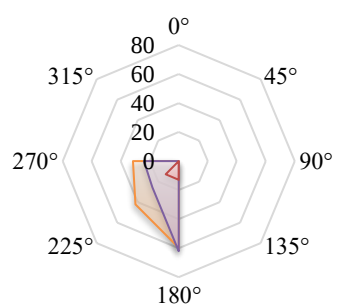
ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE



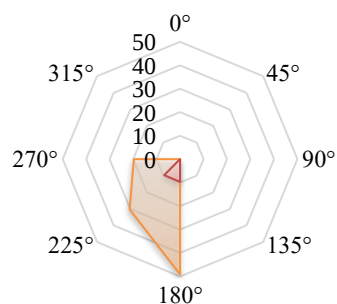
□ NO₂ Kędzierzyn-Koźle [µg/m³];
cisze: 17,4 µg/m³



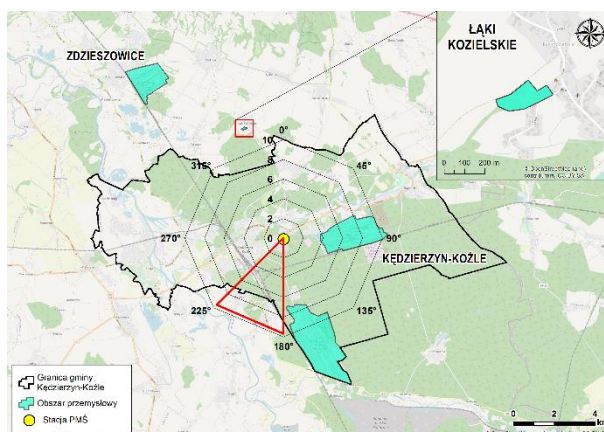
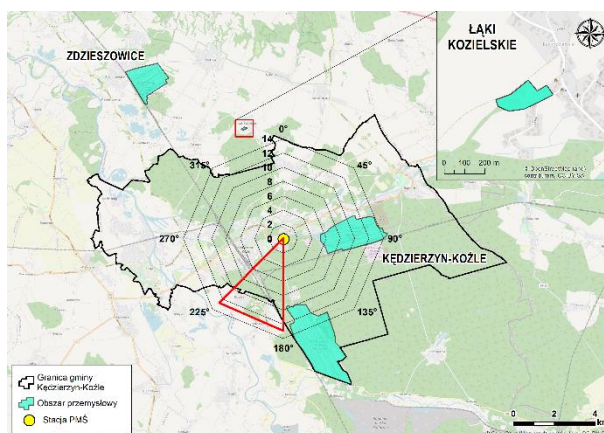
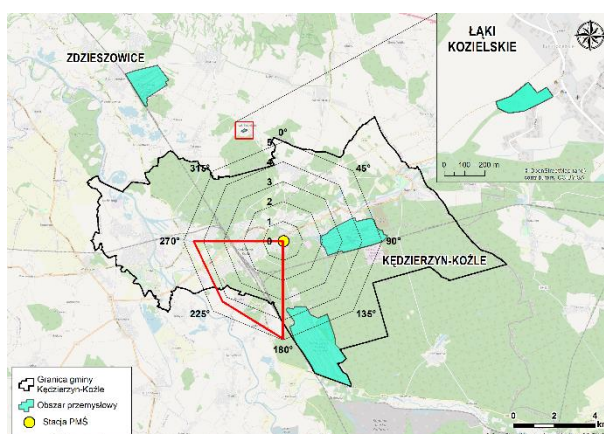
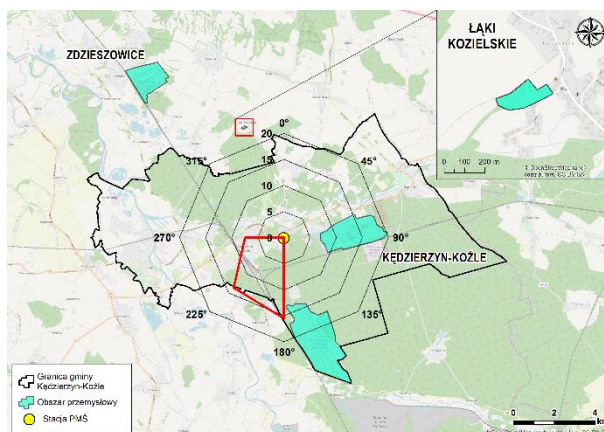
□ SO₂ Kędzierzyn-Koźle [µg/m³];
cisze: 5 µg/m³



□ PM10 stacja
badawcza [µg/m³];
cisze: 41 µg/m³
□ PM10 Zdzeszowice
[µg/m³];
cisze: 37,4 µg/m³
□ PM10 Kędzierzyn-
Koźle [µg/m³]



□ PM2.5 stacja
badawcza [µg/m³];
cisze: 27,5 µg/m³
□ PM2.5
Kędzierzyn-
Koźle [µg/m³]



Rys. 82 Róża wiatru i róża zanieczyszczeń w dniu 15–16.04.2020 r.

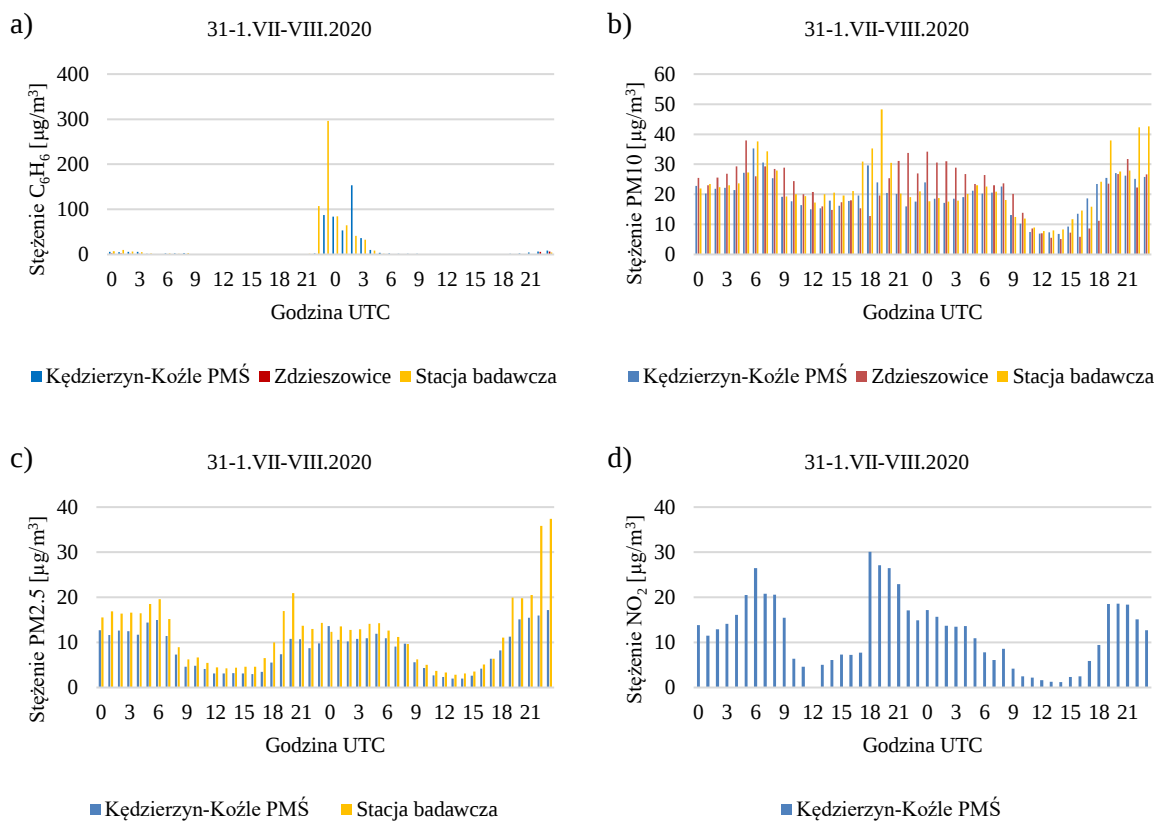
Epizod wystąpił w warunkach pogody słabogradientowej (wyżowej). Charakteryzował się stosunkowo małą prędkością wiatru (0.3–1.3 m/s). Dominujący kierunek wiatru był tu zachodni. Dominującym kierunkiem napływu zanieczyszczeń (w tym benzenu) był kierunek południowy. Podczas epizodu występowała temperatura oscylująca w zakresie -2.9 do 0.6°C . Wilgotność powietrza podczas epizodu była bliska 90%, a średnia ok. 70%. Klasa wentylacji w tym okresie wynosiła 5 (inwersja przyziemna). W okresie między epizodami (dzień) następował typowy dla pogody insolacyjno-radiacyjnej proces ewolucji warstwy granicznej.

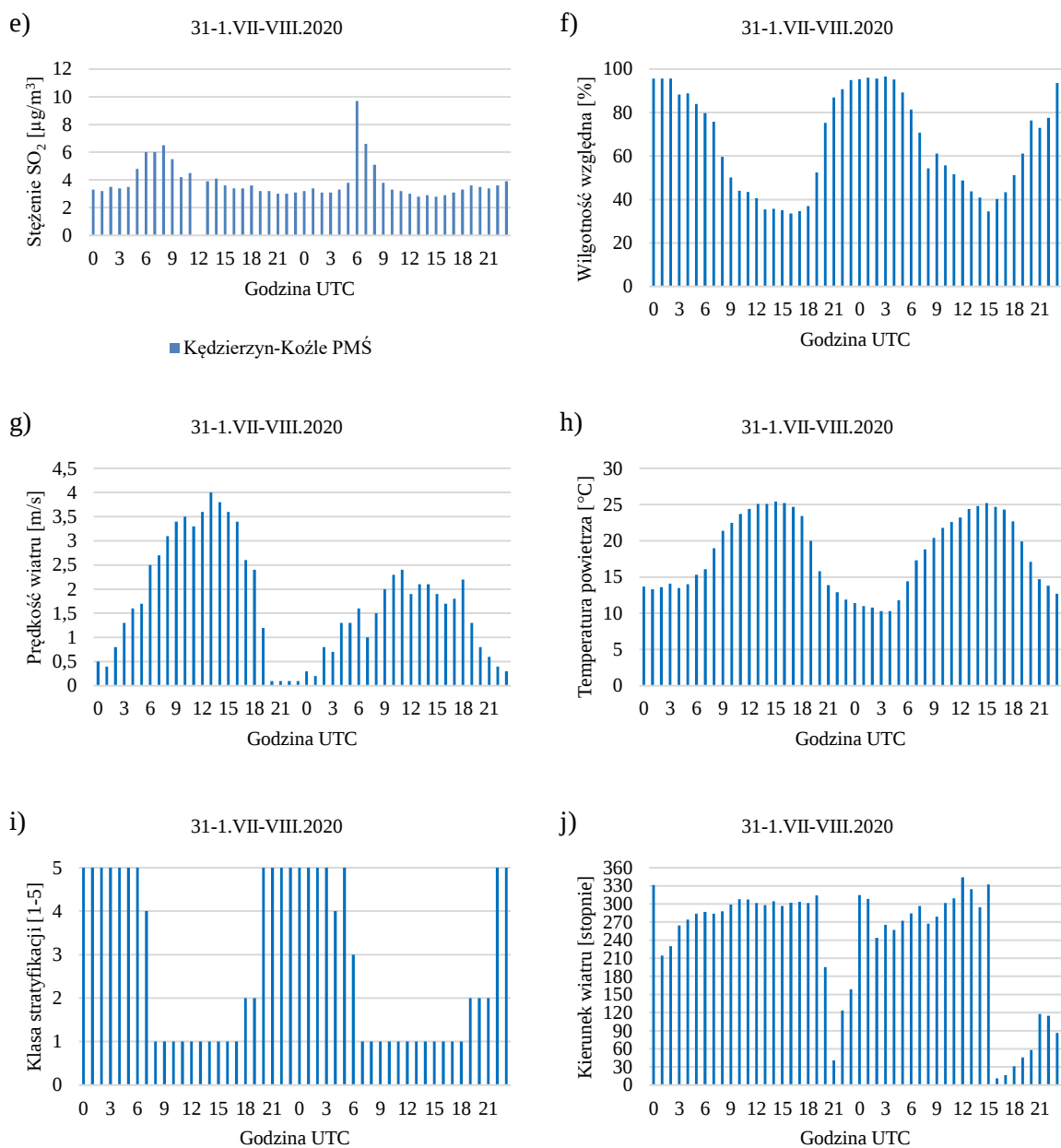
Stężenia chwilowe benzenu na stacji badawczej podczas szczytu epizodu $>15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – zbliżone także na stacji w Kędzierzynie-Koźlu.

Wniosek:

Laminarny napływ zanieczyszczeń w warstwie inwersyjnej z południa – dolina Odry.

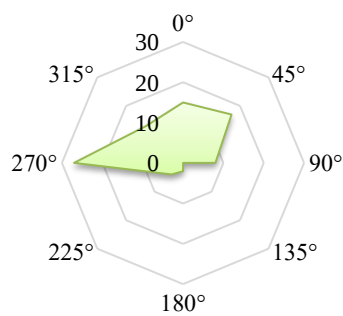
31.07 – 01.08.2020 r.



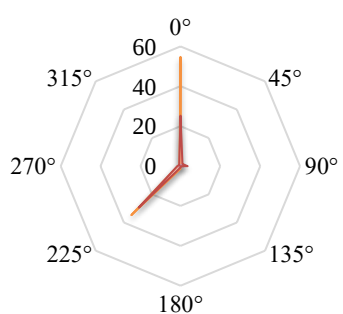
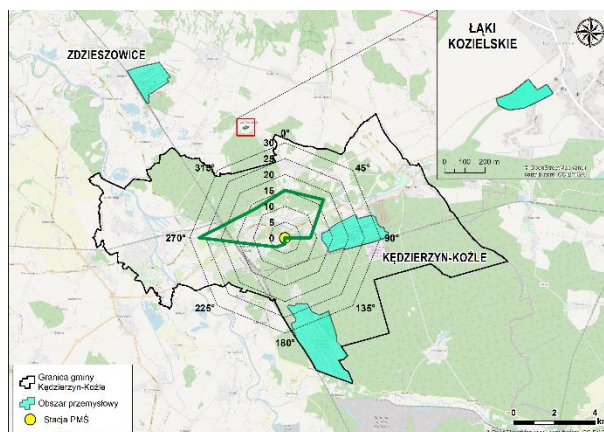


Rys. 83 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokich stężeń benzenu w dniach 31.07 – 1.08.2020 r.

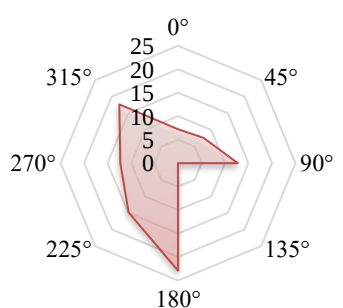
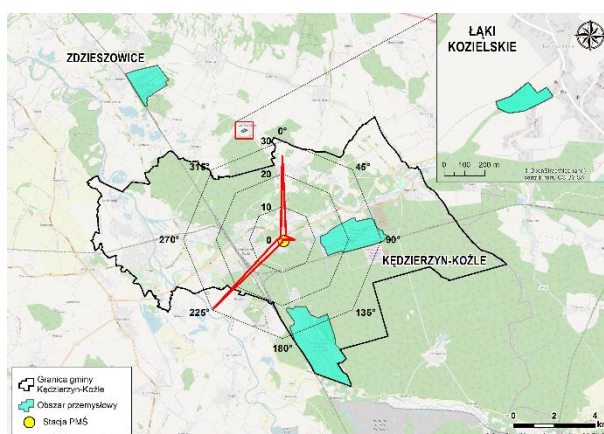
ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE



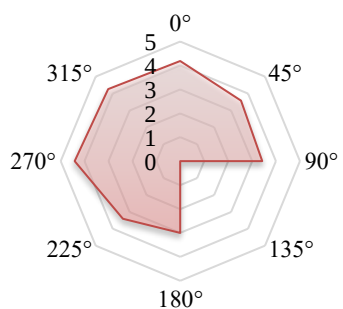
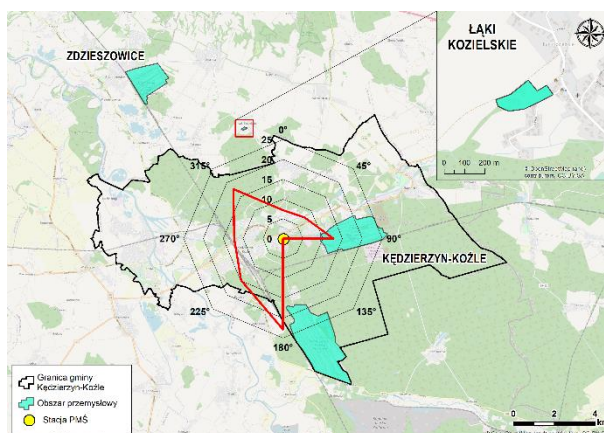
■ róża wiatru [%];
cisze: 2%



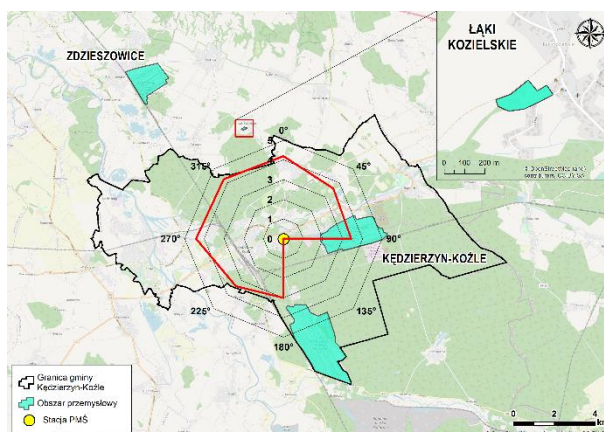
■ C₆H₆ stacja
badawcza [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
■ C₆H₆ Zdzeszowice
[$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 0,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
■ C₆H₆ Kędzierzyn-
Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 30,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

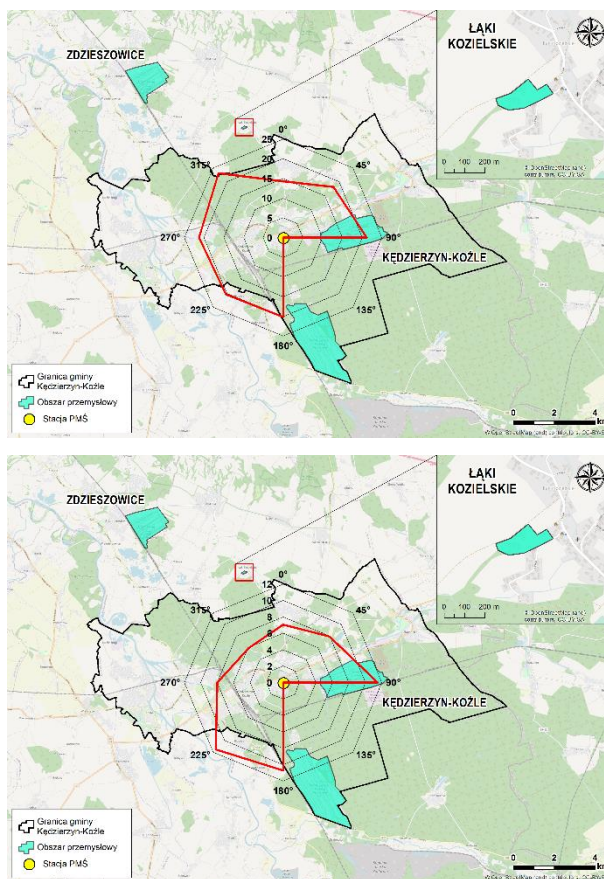
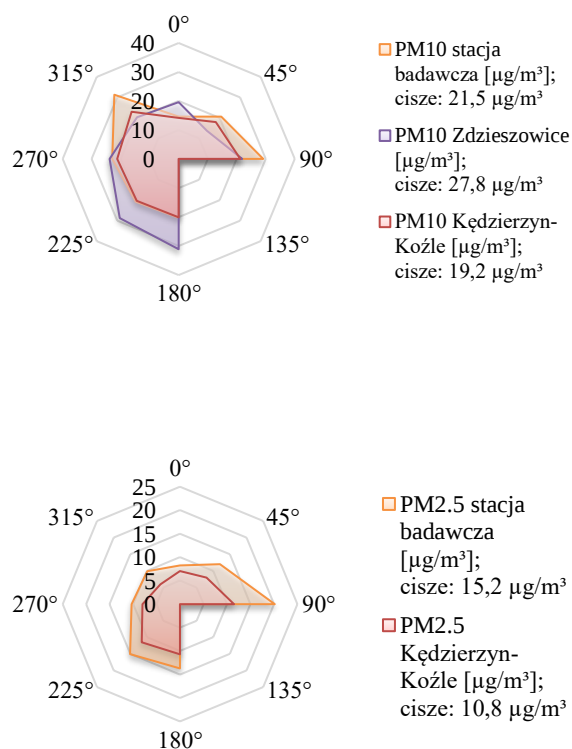


■ NO₂ Kędzierzyn-
Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 15,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



■ SO₂ Kędzierzyn-
Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 3,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$





Rys. 84 Róża wiatru i róża zanieczyszczeń w dniu 31.07 – 1.08.2020 r.

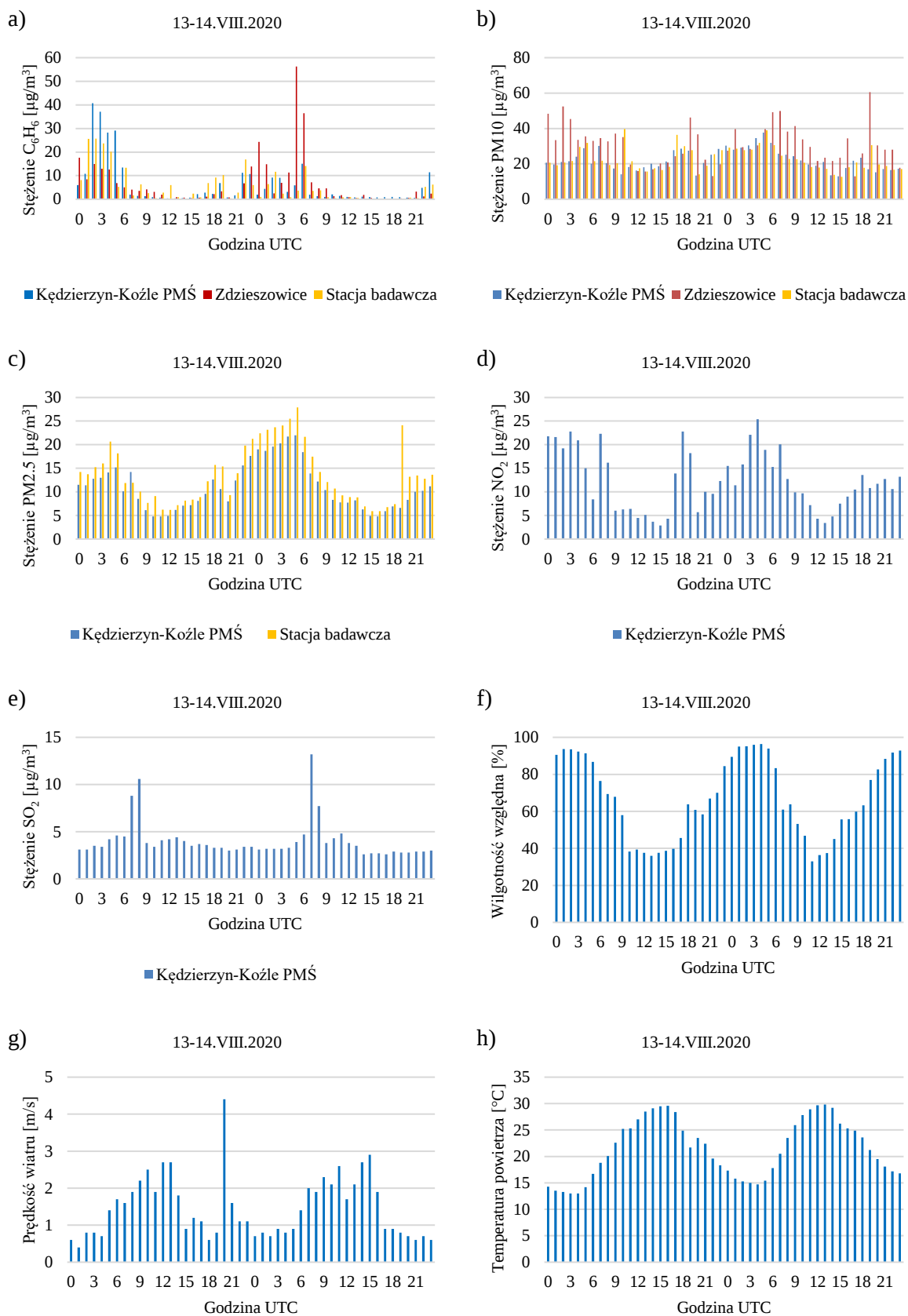
Epizod wystąpił w warunkach pogody słabogradientowej (wyżowej). Charakteryzował się stosunkowo małą prędkością wiatru (0,3–2,0 m/s). Dominujący kierunek wiatru był tu zachodni, a wtórny wschodni. Dominującym kierunkiem napływu benzenu był kierunek północny i południowo-zachodni. Zupełnie inaczej zachowywały się inne zanieczyszczenia – tu ich róża była bardziej jednorodna, napływ ze wszystkich kierunków z brakiem napływu od SE. Podczas epizodu występowała temperatura oscylująca z zakresu 13–25°C. Wilgotność powietrza podczas epizodu była bliska 90%, a średnia ok. 70%. Klasa wentylacji w tym okresie wynosiła 5 (inwersja przyziemna). W okresie między epizodami (dzień) następował typowy dla pogody insolacyjno-radiacyjnej proces ewolucji warstwy granicznej.

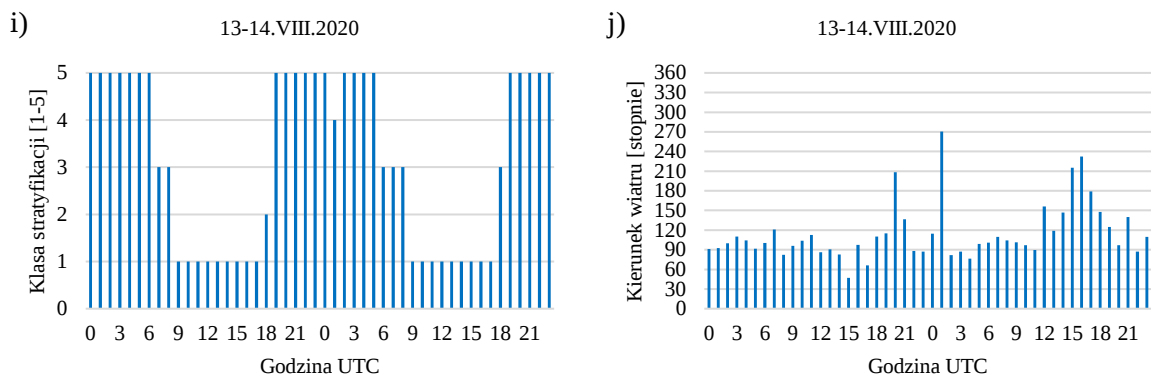
Stężenia chwilowe benzenu na stacji badawczej podczas szczytu epizodu ok. 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – w trzy godziny po incydencie około 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na stacji w Kędzierzynie-Koźlu.

Wniosek:

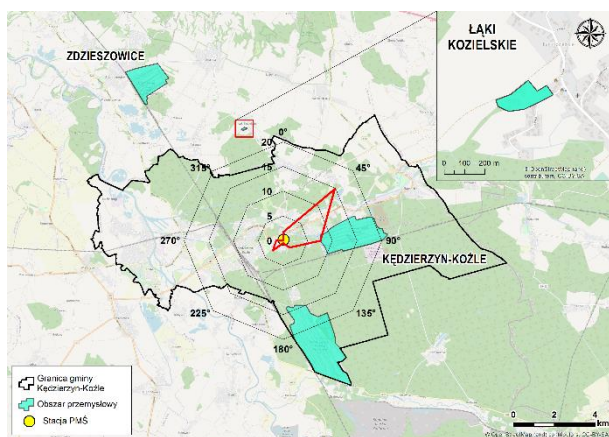
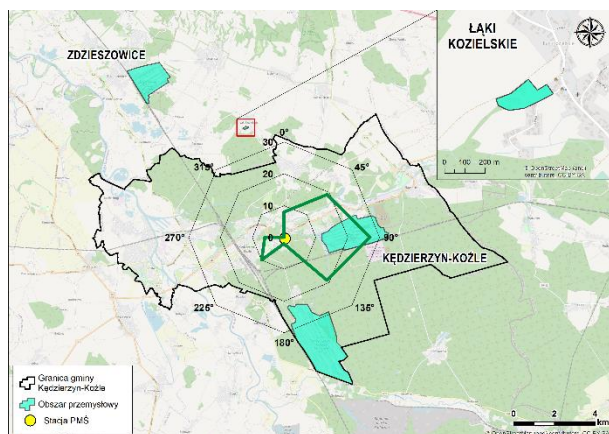
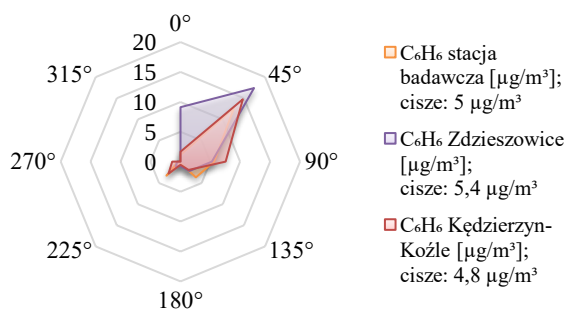
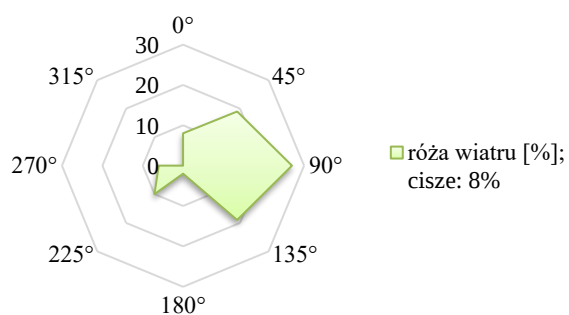
Kierunek napływu zanieczyszczeń benzenu uniemożliwia identyfikację źródła.

13–14.08.2020 r.

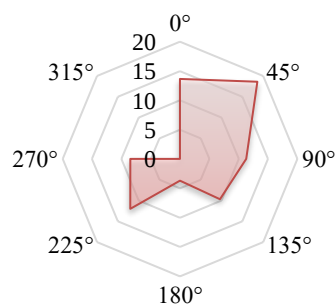




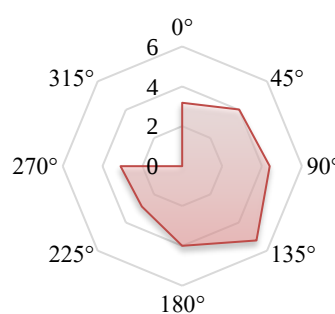
Rys. 85 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokich stężeń benzenu w dniach 13–14.08.2020 r.



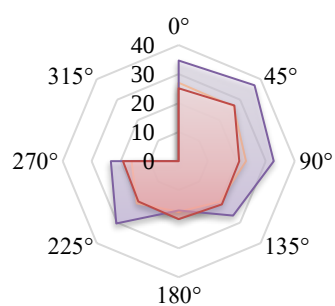
ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE



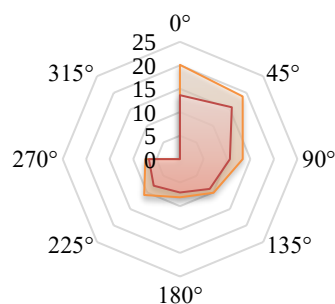
□ NO₂ Kędzierzyn-Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 12,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



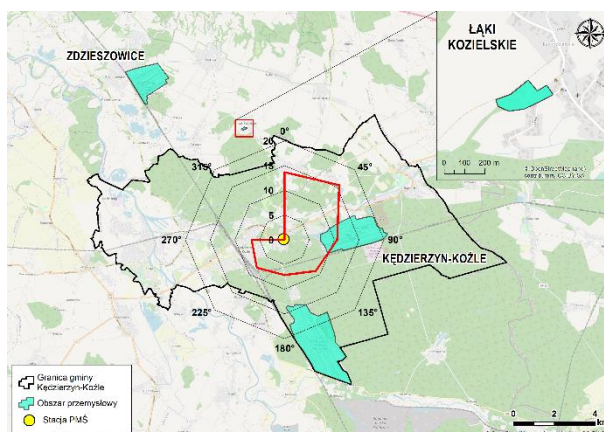
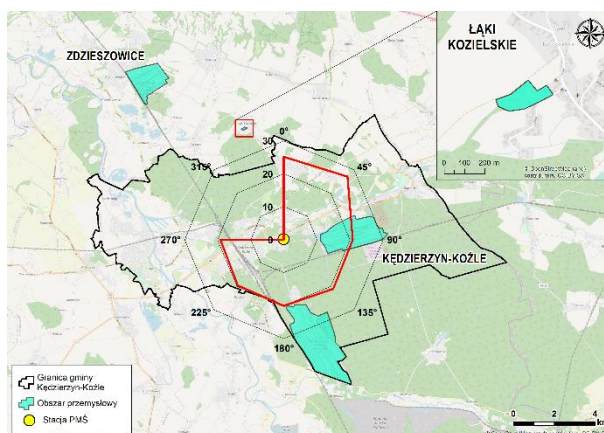
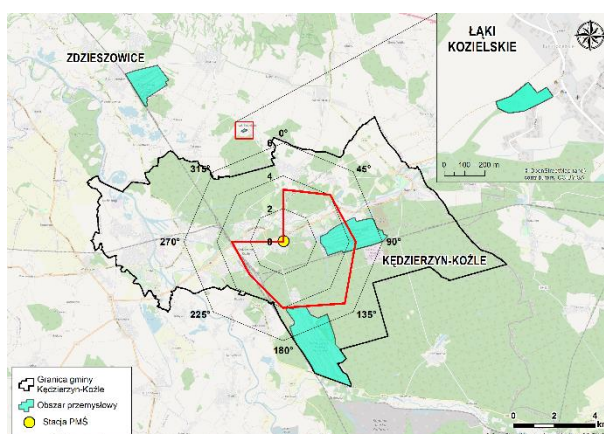
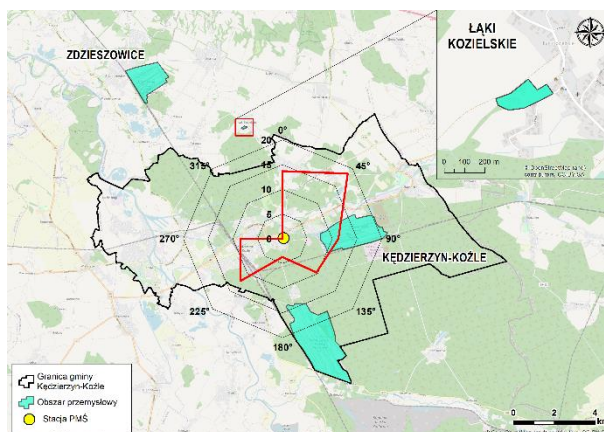
□ SO₂ Kędzierzyn-Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 3,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



□ PM10 stacja
badawcza [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 25,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
□ PM10 Zdzeszowice
[$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 27,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
□ PM10 Kędzierzyn-
Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 22,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



□ PM2.5 stacja
badawcza [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 15,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
□ PM2.5
Kędzierzyn-
Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 12,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



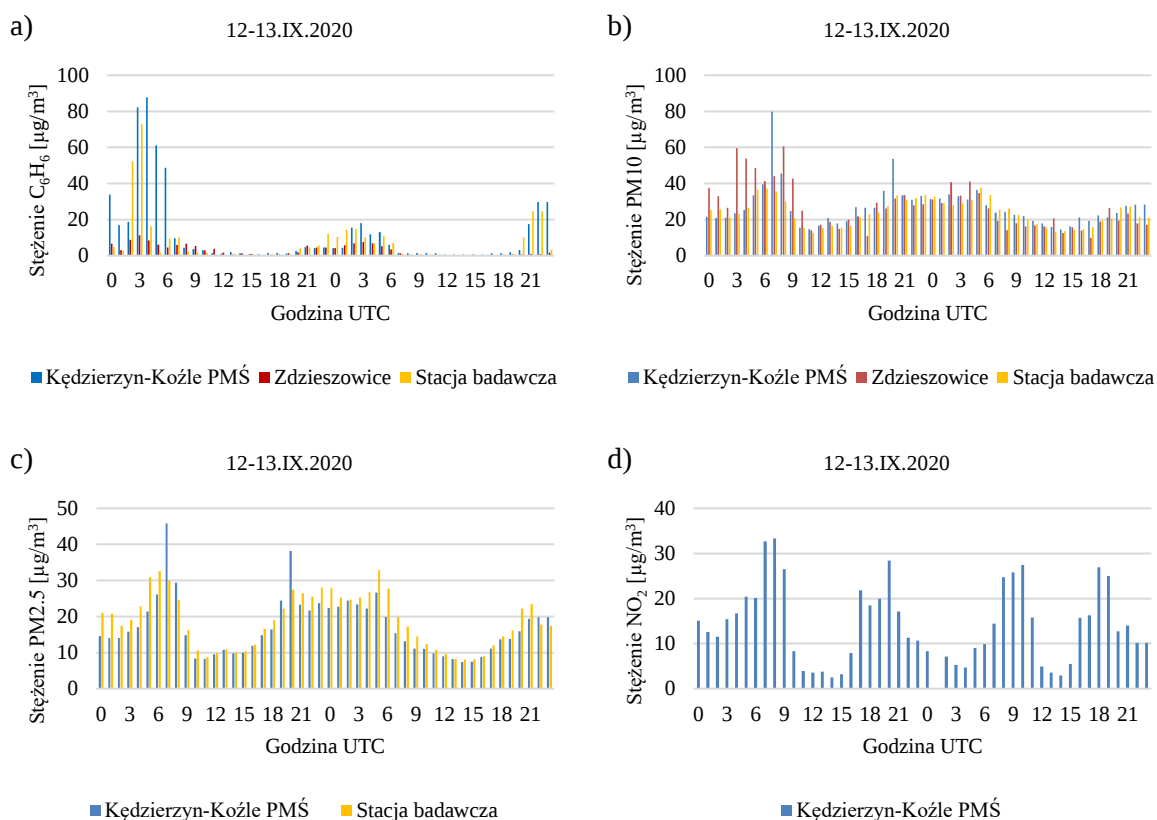
Rys. 86 Róża wiatru i róża zanieczyszczeń w dniu 13–14.08.2020 r.

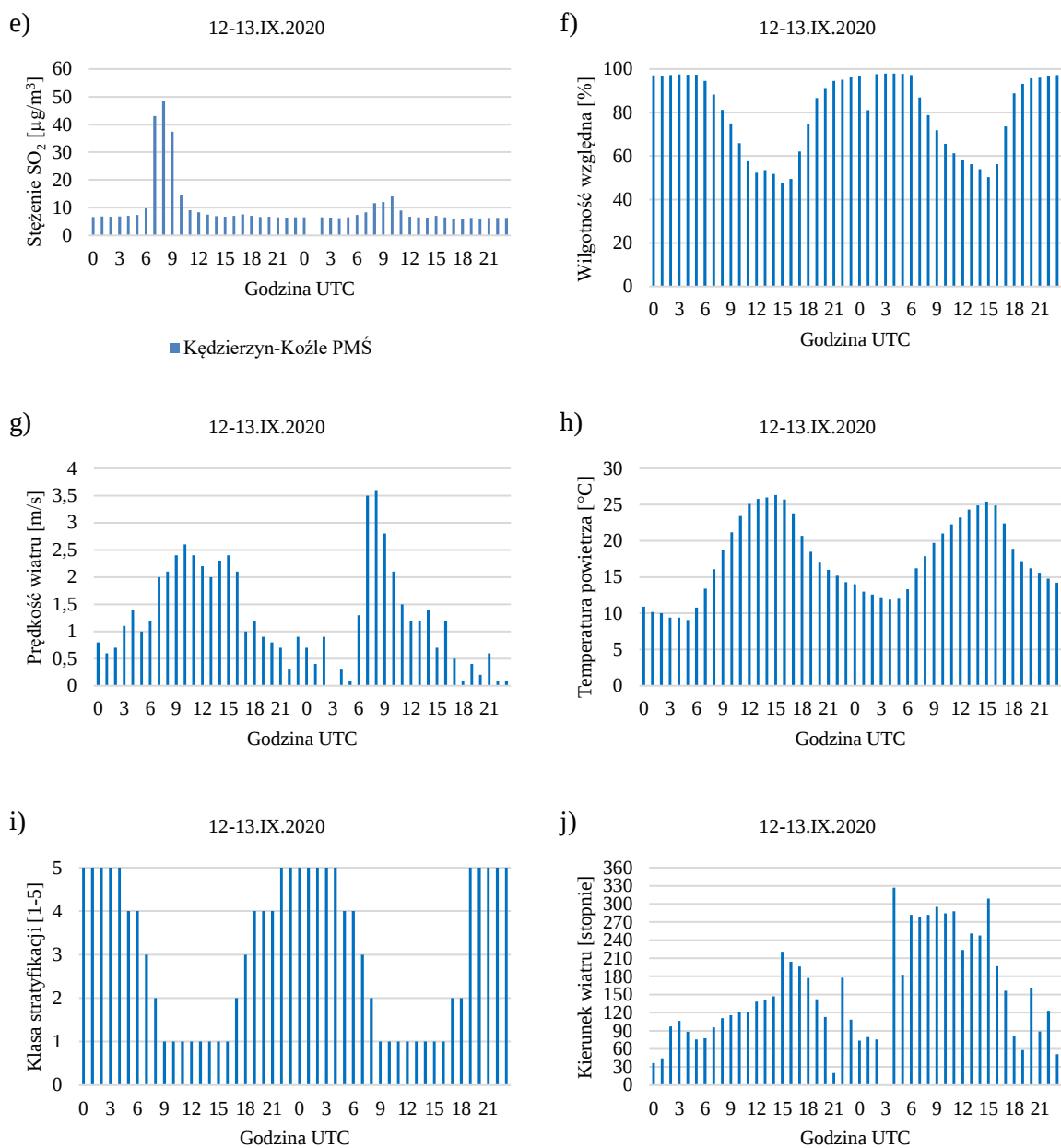
Epizod wystąpił w warunkach pogody wyżowej. Charakteryzował się niską prędkością wiatru (0.4–1.7 m/s). Dominujący kierunek wiatru był tu zachodni, a wtórny wschodni. Dominującym kierunkiem napływu benzenu był kierunek północno-wschodni. Dominujący kierunek napływu innych zanieczyszczeń – tu ich róża była bardziej jednorodna, napływ ze wszystkich kierunków z brakiem napływu od NW. Podczas epizodu występowała temperatura oscylująca z zakresu 13–29°C. Wilgotność powietrza podczas epizodu była bliska 90%, a średnia ok. 70%. Klasa wentylacji w tym okresie wynosiła 5 (inwersja przyziemna). W okresie między epizodami (dzień) następował typowy dla pogody insolacyjno-radiacyjnej proces ewolucji warstwy granicznej.

Wniosek:

Prawdopodobnie epizod wystąpił w Zdzeszowicach – choć napływ na stację PMS w Kędzierzynie-Koźlu był ewidentnie z NE, a wtórny z NW.

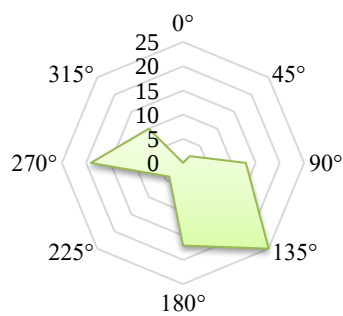
12–13.09.2020 r.



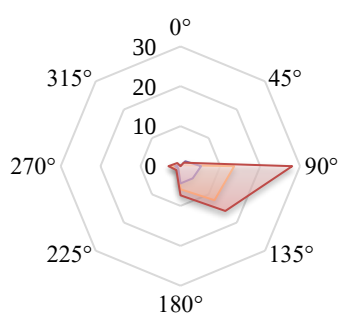
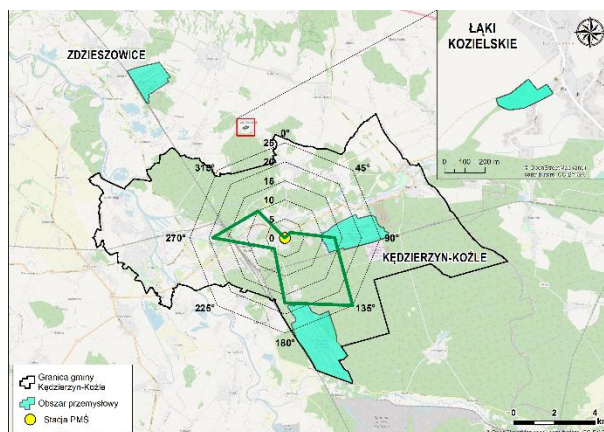


Rys. 87 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokich stężeń benzenu w dniach 12–13.09.2020 r.

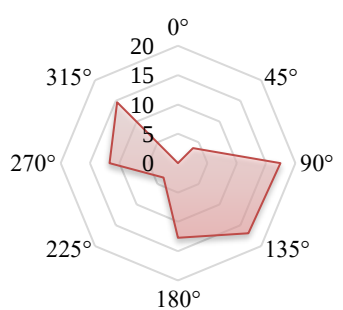
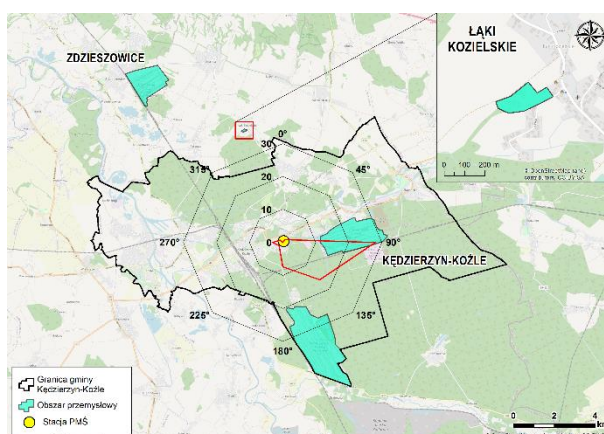
ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE



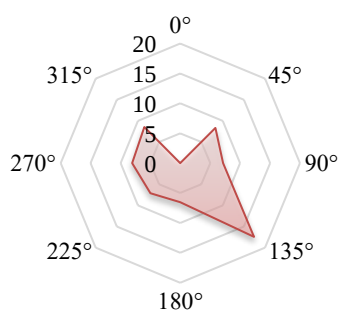
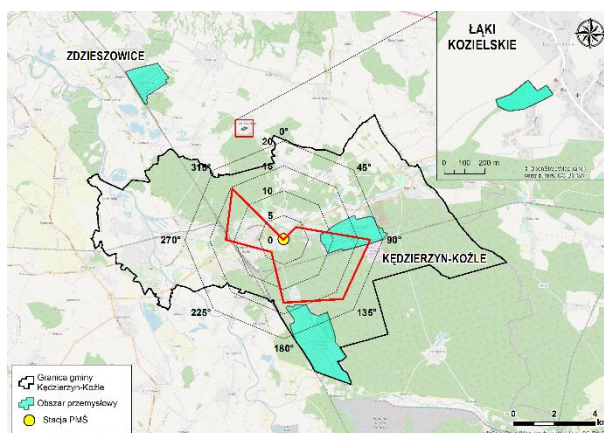
■ róża wiatru [%];
cisze: 10%



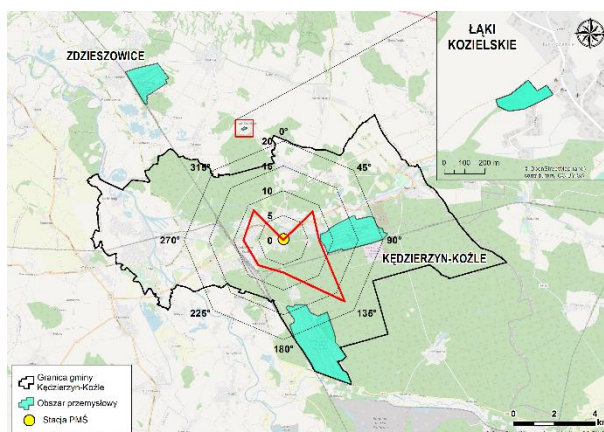
■ C₆H₆ stacja
badawcza [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 10,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
■ C₆H₆ Zdzeszowice
[$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 2,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
■ C₆H₆ Kędzierzyn-
Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 22,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

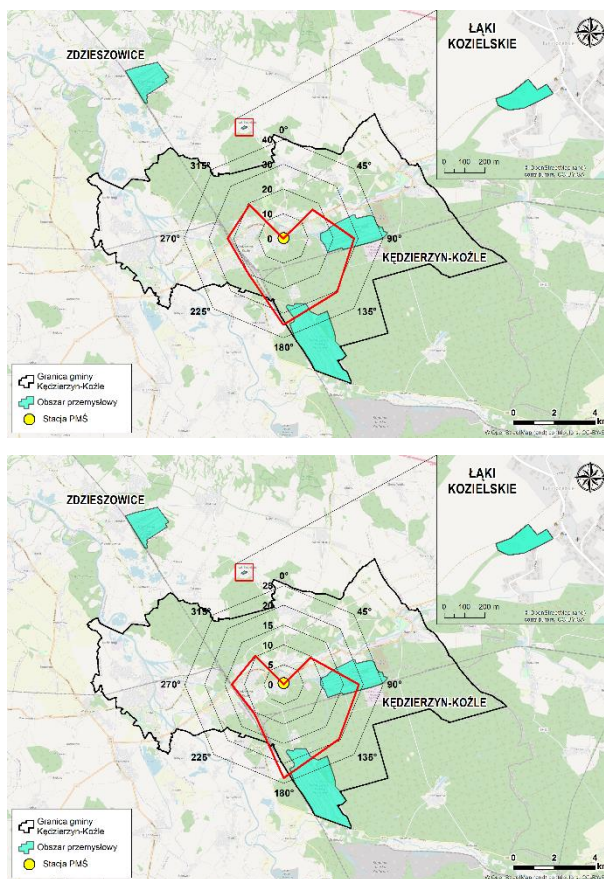
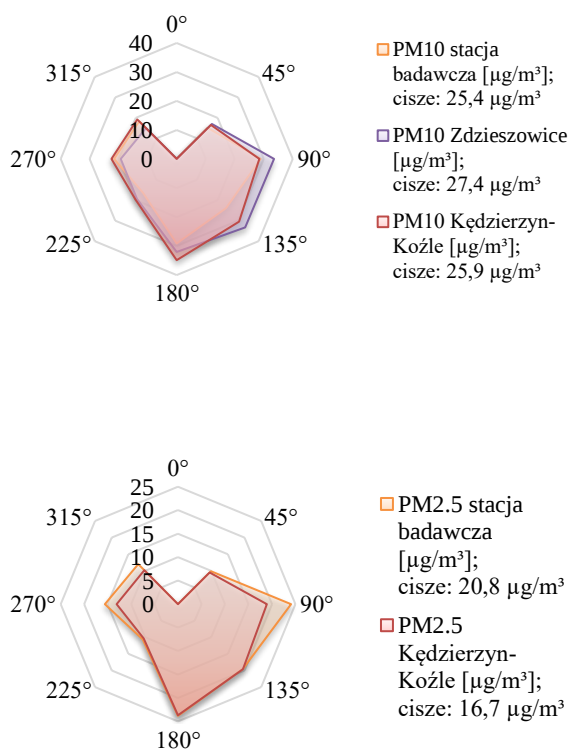


■ NO₂ Kędzierzyn-
Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 16,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



■ SO₂ Kędzierzyn-
Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 6,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$





Rys. 88 Róża wiatru i róże zanieczyszczeń w dniu 12–13.09.2020 r.

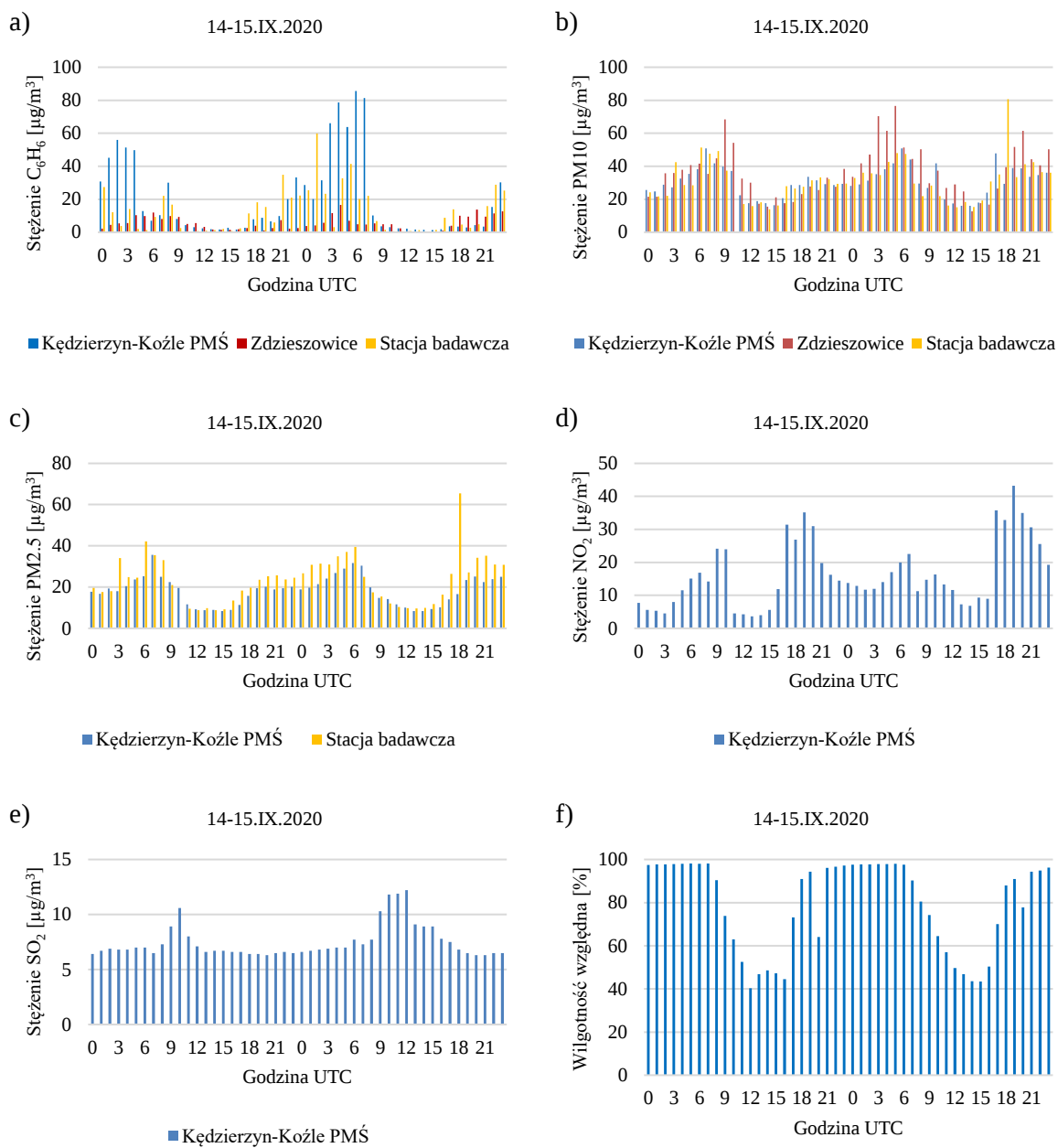
Epizod wystąpił w warunkach pogody wyżowej. Charakteryzował się niską prędkością wiatru (0,5–2,5 m/s). Dominujący kierunek wiatru był tu SE. Dominującym kierunkiem napływu benzenu był kierunek wschodni. Dominujący kierunek napływu innych zanieczyszczeń pokrywał się zasadniczo z różą wiatru. Podczas epizodu występowała temperatura oscylująca z zakresu 13–26°C. Wilgotność powietrza podczas epizodu była bliska 90%, a średnia ok. 70%. Klasa wentylacji w tym okresie wynosiła 5 (inwersja przyziemna). W okresie między epizodami (dzień) następował typowy dla pogody insolacyjno-radiacyjnej proces ewolucji warstwy granicznej.

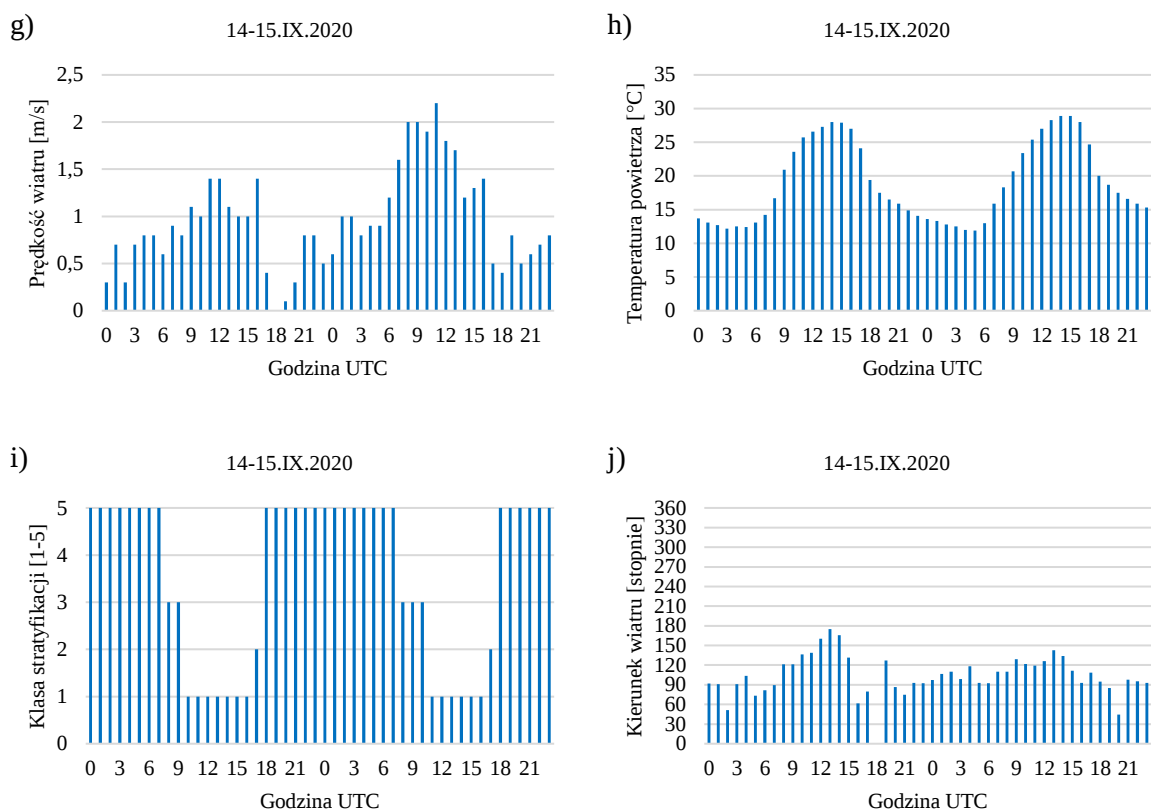
Stężenia chwilowe benzenu na stacji badawczej podczas szczytu epizodu pierwszej nocy o 3.00 UTC były około 73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (na stacji w Kędzierzynie-Koźlu około 88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Zdzieszowice bez większej reakcji.

Wniosek:

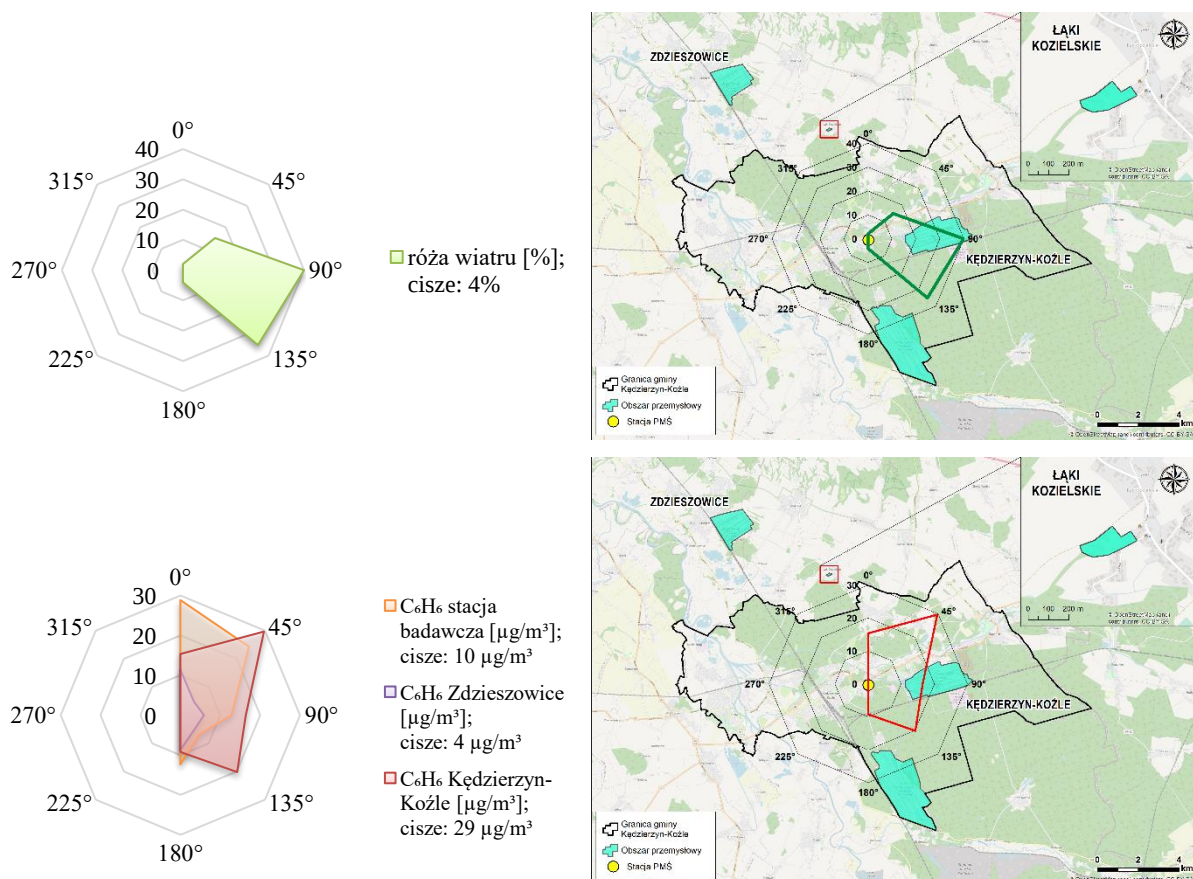
Napływ zanieczyszczeń w warstwie inwersyjnej z obszaru dzielnicy Blachownia Śląska w Kędzierzynie, dodatkowo inne trudne do identyfikacji źródła na wschód od stacji PMŚ.

14–15.09.2020 r.

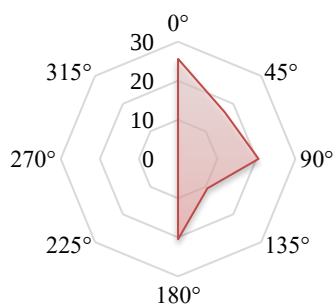




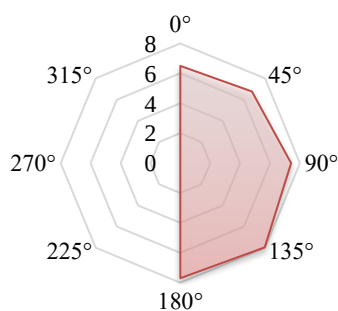
Rys. 89 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokich stężeń benzenu w dniach 14–15.09.2020 r.



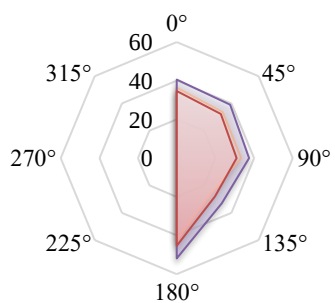
ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE



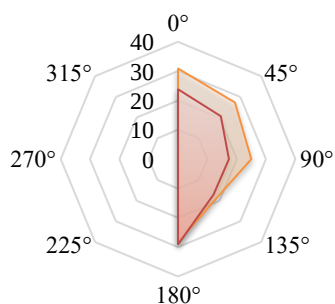
□ NO₂ Kędzierzyn-Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 17,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



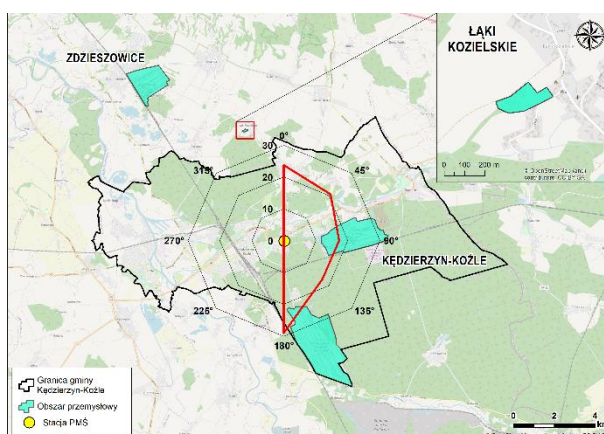
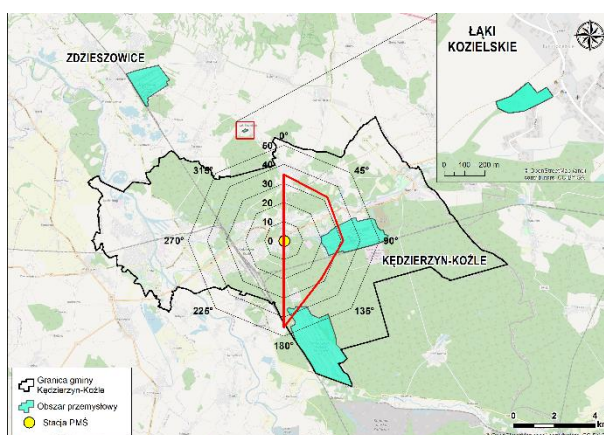
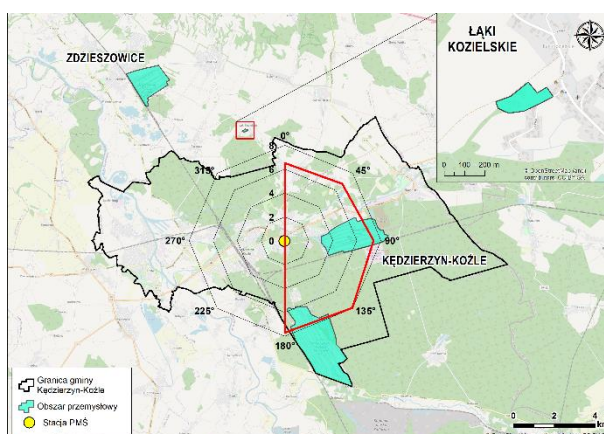
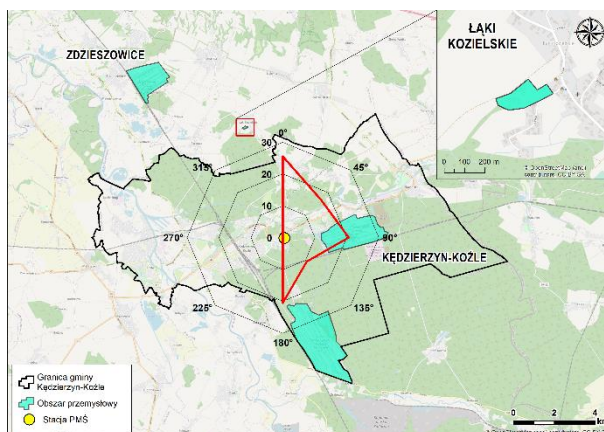
□ SO₂ Kędzierzyn-Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 6,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



□ PM10 stacja badawcza [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 37,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
□ PM10 Zdzieszowice [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 30,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
□ PM10 Kędzierzyn-Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 29,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



□ PM2.5 stacja badawcza [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 29,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
□ PM2.5 Kędzierzyn-Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 19,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Rys. 90 Róża wiatru i róża zanieczyszczeń w dniu 14–15.09.2020 r.

Epizod wystąpił w warunkach pogody wyżowej. Charakteryzował się niską prędkością wiatru (0.3–2.0 m/s). Dominujący kierunek wiatru był tu E i SE. Dominującym kierunkiem napływu benzenu był kierunek NE, a następnie SE. Dominujący kierunek napływu innych zanieczyszczeń rozkładał się w miarę równomiernie na sektory od N poprzez E po S. Podczas epizodu występowała temperatura oscylująca z zakresu 13–25°C. Wilgotność powietrza podczas epizodu była bliska 90%, a średnia ok. 70%. Klasa wentylacji w tym okresie wynosiła 5 (inwersja przyziemna). W okresie między epizodami (dzień) następował typowy dla pogody insolacyjno-radiacyjnej proces ewolucji warstwy granicznej.

Stężenia chwilowe benzenu na stacji badawczej podczas szczytu epizodu pierwszej nocy były około 60 µg/m³ o 1.00 UTC (na stacji w Kędzierzynie-Koźlu pięć godzin później było 86 µg/m³). Zdzeszowice bez większej reakcji.

Wniosek:

Napływ zanieczyszczeń w warstwie inwersyjnej z obszaru dzielnicy Blachownia Śląska w Kędzierzynie-Koźlu, dodatkowo inne trudne do identyfikacji źródła na wschód od stacji PMŚ.

Epizody odwrotne.

Pod pojęciem epizodów odwrotnych rozumie się występowanie chwilowych epizodów stężeń benzenu na stacjach PMŚ (Kędzierzyn-Koźle i Zdzeszowice) o stężeniach wyższych niż w tym czasie na stacjach badawczych.

Listę tych epizodów przedstawiono w Tab. 11.

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE

Tab. 11 Lista epizodów wysokich stężeń benzenu na stacjach PMŚ bez występowania epizodów na stacjach badawczych.

Data i godzina epizodu (czas urzędowy)				Meteo Kędzierzyn-Koźle				PMŚ Kędzierzyn-Koźle					PMŚ Zdzieszowice		Stacja badawcza	Klasa went.
ROK	MC	DZ	GO	Tp	Vsr	H	V kier	C ₆ H ₆	NO ₂	SO ₂	PM10	PM2.5	C ₆ H ₆	PM10	C ₆ H ₆	
				st. C	m/s	%	st.									
2020	3	9	2	−1,1	2,1	87,4	90	30,9	25,6	5,9	71,5	55,4	10,1	94,4	1,86729	5
2020	3	17	22	4,6	0,7	87,4	210	32,9	35	8,9	46,9	31,3	10,5	108,3	2,69473	5
2020	3	17	23	3,6	0,3	90,4	270	41,4	36,2	7,7	67,9	46,8	8,1	98,1	3,14812	5
2020	3	18	0	2,7	0,2	92,3	270	30,3	35,2	6,1	50,4	35,3	6,3	92,2	5,20268	5
2020	3	19	2	2,6	1	95,2	170	22,6	22	5,2	60,3	44,7	2,8	73,4	3,29692	5
2020	3	19	3	1,8	1	95,7	180	69,5	20,3	5,1	61,2	46	5,1	70,7	3,02709	5
2020	3	19	4	1,7	0,9	95,9	170	21,3	20,5	6,4	70,6	53,7	11	64,4	2,88554	5
2020	3	19	5	1	0,9	95,6	180	17,3	20,3	5,9	80,3	60,6	9,6	70,8	2,99253	5
2020	3	19	8	8,7	1,6	76,6	180	20,4	25,3	9,3	53,4	37,6	9,1	74,4	2,48473	5
2020	3	26	2	−2,4	1,5	52,5	60	11	20,1	15,9	49	36,1	9,2	65,4	1,32794	5
2020	3	27	7	0,9	0,5	78,8	90	15,7	38,6	12,2	76,8	54,3	5,7	101,9	2,52979	3
2020	3	27	20	10,5	1,8	45,3	120	15	24,5	24,2	42,6	27,9	2,5	65,5	1,84771	2
2020	4	2	0	−3	1,2	78,6	190	13,1	19,6	6,5	52,3	39,8	8,7	73,1	7,28739	5
2020	4	2	1	−3,6	1,2	81,4	190	13,9	26,4	6,2	52,1	39,6	9,3	84,2	6,6163	5
2020	4	2	2	−4,2	1	83,5	200	16,1	28	5,3	56,5	43,1	9,8	78,9	4,42922	5
2020	4	2	3	−5	0,9	84,4	190	10,3	32,4	6,1	63,1	48,1	9,4	59,8	3,56355	5
2020	4	2	5	−5,8	0,9	85,3	180	13,9	38,7	7,5	59,8	44	6,4	52	4,78802	5
2020	4	2	6	−2,8	1,2	61,4	180	26,1	14,2	7,5	24,7	17,9	10,2	48,5	9,25115	5
2020	4	5	5	−3,2	0,4	78,3	70	17,2	18,2	7,9	41,1	29,2	3,8	70,2	2,09155	5
2020	4	6	4	−0,2	1,6	77,4	100	13,2	23,6	5,4	29,9	21,6	13,9	60	1,25472	5
2020	4	6	5	−0,1	1,5	60,5	110	31,3	42,9	9,1	42,5	26,7	14	61,1	1,42491	5
2020	4	6	6	2,9	1,4	62	100	19,5	23,1	12,1	26,5	18,7	14,8	62	1,77544	5
2020	4	7	23	4,7	1,3	59,3	220	23	24	9,9	43,5	31,1	9,8	83	5,50022	5
2020	4	8	0	3,4	1,2	56,2	160	33,2	20,5	8,9	41	30,1	9,4	64,5	4,90123	5
2020	4	8	1	2,4	1,1	68,2	110	15,3	18,1	7,5	45,9	33,6	11,8	64,5	3,67878	5
2020	4	8	2	1,3	1	65	120	11,3	23,1	6,4	44,1	32,9	13,9	74,9	3,13803	5
2020	4	8	3	0,7	0,8	77,4	100	13,4	21,7	5,5	43,7	32,1	16,7	78,3	2,50203	5

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE

Data i godzina epizodu (czas urzędowy)				Meteo Kędzierzyn-Koźle				PMŚ Kędzierzyn-Koźle					PMŚ Zdzieszowice		Stacja badawcza	Klasa went.
ROK	MC	DZ	GO	Tp	Vsr	H	V kier	C ₆ H ₆	NO ₂	SO ₂	PM10	PM2.5	C ₆ H ₆	PM10	C ₆ H ₆	
				st. C	m/s	%	st.									
2020	4	8	5	0,2	0,5	77,1	130	12,4	37,5	8,6	44,7	29,3	10,2	62	2,242	5
2020	4	8	6	2,8	0,9	67,7	150	35,6	28,3	9,2	37,8	24,4	10	73,3	7,31306	5
2020	4	8	22	4,5	1	69,4	180	11,4	29,4	6,5	28	19,6	8,2	59,7	3,01417	5
2020	4	8	23	3,9	0,7	67,5	200	35,4	21,2	7,1	29,1	20,5	8,5	67,3	4,26133	5
2020	4	9	0	2,6	1,2	76,3	0	106,2	22,4	6,2	29,3	21,1	8	64,9	3,85264	5
2020	4	9	1	2	1,2	73,3	130	106,7	21	5,5	32,4	24	12,2	57,1	3,72062	5
2020	4	9	2	1,1	1,4	79,6	120	18	25,7	5,2	34,4	25,5	13,7	88,5	2,99583	5
2020	4	9	6	3,6	1,8	67,3	170	14,8	31,1	8,9	28,6	18,2	11,7	75,4	6,87003	5
2020	4	10	22	3,4	0,3	66,7	120	12,5	21,6	6,2	14,6	10,9	6,5	68,7	2,65205	5
2020	4	10	23	2,1	0,8	77,8	0	37,4	16,1	6,3	17,9	13,8	5,6	60,5	3,16645	5
2020	4	11	0	0,7	0,6	77,3	90	10,3	16,4	6,1	20,9	16,1	4,2	52,8	2,66471	5
2020	4	11	1	0,2	0,4	80,7	0	13,7	15,5	5,3	17,5	13,5	4,4	44,7	2,89133	5
2020	4	11	2	−0,2	0,7	85,6	30	35,7	16,1	4,1	13,3	10,1	3,8	44,8	3,38366	5
2020	4	11	3	−0,9	0,7	75,7	250	44	19,3	4,2	13,8	10,6	3,3	46,2	4,51364	5
2020	4	11	4	−1,6	0,6	89,6	110	33,8	17,8	4,9	18,1	13,9	3,6	46,8	5,54704	5
2020	4	11	5	−1,5	0,3	72,6	180	23,4	16,1	5,4	19	14,5	3,8	40,9	3,84442	5
2020	4	11	23	2,3	0,5	66,7	0	13,1	18,1	5,8	13,9	10,5	4,7	52,4	3,24381	5
2020	4	12	0	2,1	0,3	83,7	160	36,2	10,9	5,9	10,1	7,5	5	53,6	3,2614	5
2020	4	12	1	1,4	1,1	72,5	120	96,2	9,6	6,9	10	7,7	4,8	53,2	2,25127	5
2020	4	12	2	0,7	1,1	90,3	160	105,4	11,7	7,2	12,2	9,4	13,6	64,4	2,20245	5
2020	4	12	3	0,5	1,4	69,6	80	104,1	13,8	7,1	13,5	10,5	15,5	96,3	2,12949	5
2020	4	12	4	0	1,4	87,1	70	104,4	14,7	5,5	14,2	11,1	15,8	101,4	2,1985	5
2020	4	12	5	0,2	1,4	85,2	120	87	15,6	8,4	16	12,4	13,4	82,8	2,53613	5
2020	4	16	5	0,1	1,1	86,5	180	12,2	25,7	5,6	bd	bd	12,7	67,2	7,63776	5
2020	4	17	2	3	0,5	89,7	10	19,7	17,6	4,5	bd	bd	1,8	50,6	6,63462	5
2020	4	17	3	1,9	0,2	93,4	350	16,8	22,3	4,1	bd	bd	1,6	41,2	8,92278	5
2020	4	17	4	1,7	0,4	95,4	0	21	23,7	5,1	bd	bd	2,2	43	7,20981	5
2020	4	17	5	1,8	1	92,6	350	15	25,4	5,8	bd	bd	2,8	47,1	8,38791	5
2020	4	18	0	3	0,4	72,4	60	10,6	19	5,3	bd	bd	4,8	63,2	3,21157	5

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE

Data i godzina epizodu (czas urzędowy)				Meteo Kędzierzyn-Koźle				PMŚ Kędzierzyn-Koźle					PMŚ Zdzieszowice		Stacja badawcza	Klasa went.
ROK	MC	DZ	GO	Tp	Vsr	H	V kier	C ₆ H ₆	NO ₂	SO ₂	PM10	PM2.5	C ₆ H ₆	PM10	C ₆ H ₆	
				st. C	m/s	%	st.									
2020	4	18	1	2,3	0,1	89,8	20	13,6	18	4,5	56,3	54,2	3,3	57,9	3,61935	5
2020	4	18	6	4,7	0,5	65	120	22,4	12,5	13,5	43	31,6	3,7	52,1	2,10872	5
2020	4	23	1	2,9	0,5	78	50	21,1	14,8	6,1	38,7	36,9	0,4	20,9	2,00851	5
2020	4	23	7	9,1	0,8	45,9	110	11,8	13,4	10,2	31,8	19,8	3,3	68,7	bd	3
2020	4	23	23	4,9	0,8	85,7	120	15,7	18,1	6,3	59,5	36,2	5,2	60,7	2,33434	5
2020	4	24	0	4,1	0,8	82,3	140	33,4	10,9	6,1	49,8	32	3,2	64,5	1,88522	5
2020	4	24	1	3,4	1,1	87,3	160	85,7	15,4	4,9	58,4	39,4	9,9	58,2	1,86408	5
2020	4	24	2	3,2	1,2	86,8	160	24,2	19,9	4,7	61,4	43,7	8,3	61,4	1,57971	5
2020	4	26	23	3,6	0,5	72,5	170	57,1	8	5,3	31,1	20,5	4,1	41,7	2,08828	5
2020	4	27	0	2,2	0,7	89	0	90,3	7,9	5,9	25,3	17,8	2,9	32,4	1,75302	5
2020	4	27	1	1,4	0,6	75,2	80	58,4	8	4,6	28,6	20,3	3,7	37,4	1,28348	5
2020	4	27	2	0,7	1	93,5	70	66,9	9,7	4,6	30,7	22,2	8,3	29,2	0,851121	5
2020	4	27	3	0,3	0,9	92,6	80	45,7	13,9	4,9	37,3	26,1	7,2	33,4	0,919607	5
2020	4	27	4	0,4	1,2	91,6	110	61,6	21	5,4	53,2	33	20,6	48,5	1,01492	5
2020	4	27	5	1,2	1,3	89,2	140	63,7	22,1	7,4	65,8	42	7,6	58,1	1,2964	5
2020	4	27	6	4,9	1,6	65,8	140	11,8	34,5	45,7	85,3	58	6,3	47,7	7,11653	5
2020	4	29	1	9,2	1,5	83,2	290	13,2	14,6	5,6	59,3	43	20	53,4	1,38934	5
2020	4	29	3	10,1	1,6	bd	160	11,1	19,3	5,9	53,2	38,2	21,2	68,6	0,875516	5
2020	4	29	4	9,6	1,3	82,2	210	29	29,9	5,8	70,8	46,3	19,2	49,4	1,44563	5
2020	4	29	5	10,4	0,6	81	220	22,8	30,7	6,5	57,3	34,8	10	48,3	8,30243	5
2020	4	30	21	11,6	1,1	85,6	120	11,8	13,5	4,2	38,5	26,7	17,9	32,7	1,05309	5
2020	5	1	20	10,2	1,6	85	140	11,4	15	3,7	24,4	18,4	6,9	26,5	0,916218	5
2020	5	1	21	8,8	1,3	91,6	140	15,2	14,6	3,6	27,2	20,6	7,1	24,9	1,04838	5
2020	5	1	22	7,7	0,9	95,7	150	15,2	14,4	3,5	33,1	25,1	13,2	27,4	1,34571	5
2020	5	8	21	9,5	0,5	79,5	0	11,1	26,5	4,6	36,4	23,9	6	37,5	3,22772	5
2020	5	8	22	8,2	0,7	84,8	190	17,8	28,7	4,8	43,8	30	4,5	35,3	2,12035	5
2020	5	8	23	7,1	0	89,4	60	20,7	26,5	4,8	46,9	33,9	6,2	43,1	2,15572	5
2020	5	9	1	6,1	1	93	130	16,6	28,1	5,3	48,5	36,1	2	29,7	1,30171	5
2020	5	9	2	5,7	0,8	92,1	170	20,1	21,3	4,9	47,5	35,2	6,2	32,1	1,13994	5

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE

Data i godzina epizodu (czas urzędowy)				Meteo Kędzierzyn-Koźle				PMŚ Kędzierzyn-Koźle					PMŚ Zdzieszowice		Stacja badawcza	Klasa went.
ROK	MC	DZ	GO	Tp	Vsr	H	V kier	C ₆ H ₆	NO ₂	SO ₂	PM10	PM2.5	C ₆ H ₆	PM10	C ₆ H ₆	
				st. C	m/s	%	st.									
2020	5	9	3	5,1	0,7	94,4	160	44,6	16,3	4,7	48	35,9	2,8	30,6	1,12746	5
2020	5	9	4	4,2	0,4	95,8	20	35,9	20,3	5,6	50,8	36,8	3,7	33,1	1,19719	5
2020	5	9	5	5,9	0,6	90,6	150	13,3	18,5	6,6	64,3	47,1	3,6	39	3,32513	5
2020	5	10	5	12,2	1,4	76,1	80	12,9	15,9	10,2	53,5	39	4	44,4	2,42869	4
2020	5	10	6	13,6	1,1	72,1	80	12,1	10,8	8,4	47,9	34,5	12,2	52,5	2,78145	4
2020	5	17	1	4	0,5	95,7	180	41,4	11,7	4,5	56,2	42,8	11,2	34,3	bd	5
2020	5	17	2	3,6	0,4	96,4	0	16,7	12,8	4,6	56,7	43,6	5	46,4	bd	5
2020	5	17	3	3	0,4	96,8	0	14,4	9,3	4,6	55,7	42,7	4,9	37,1	bd	5
2020	5	17	4	2,7	0,3	97	160	27,8	8,5	4,8	60,3	45,8	4,6	33,6	bd	5
2020	5	17	5	4,7	0,1	96,5	160	17,9	10,1	5,4	58,7	44,4	4,3	39,2	bd	4
2020	5	18	3	3	0,7	96,5	190	10,6	10,1	4,7	50,1	37,1	0,6	23,7	bd	5
2020	5	18	4	2,8	0	96,5	200	15,7	15,6	5	56,4	39,6	1,2	16,2	bd	5
2020	5	18	5	5,3	0,6	92,2	200	11,1	28,8	5,2	47,2	32,3	2	27,1	bd	4
2020	5	22	1	2	0,6	86,9	50	18,4	14	4,2	25,2	18,5	1,1	20,3	2,27883	5
2020	5	22	6	7,3	1	64,6	100	11,3	23,3	12,7	41,3	20,2	3,1	30,9	6,22866	4
2020	5	22	7	11,5	1,4	46,4	130	12,7	12,6	11,4	26,3	12	8,1	48	4,49458	3
2020	6	4	3	6,6	0,6	94,7	70	10,6	18,7	4,8	42,8	31,3	13,5	49,2	1,29515	5
2020	6	4	4	7	0,8	93,5	70	26,2	21,5	6,7	53,4	38,2	13,1	37,5	1,85422	5
2020	6	4	5	9,5	1,5	70,3	90	12,2	14,8	7	35,4	21,7	8,7	34,7	4,72918	3
2020	6	26	1	16,5	1	94,1	110	13	14,2	2,1	28,4	19,2	10,4	33	3,45928	5
2020	6	26	21	16,3	2,8	97,7	100	10,8	7	1,1	17,7	12,2	3,7	19,4	9,28139	4
2020	7	1	0	13,7	0,7	96,3	250	31,8	6,4	1,6	16,9	9,4	6,9	30,7	3,89516	5
2020	7	1	2	12,7	0,4	97	190	19,7	5,8	1,7	17,8	10,1	4,1	14,3	4,58555	5
2020	7	4	22	15,5	0,6	93,2	180	12,7	9,2	2,4	22,1	14,5	1,4	19,9	9,77654	5
2020	7	14	1	9,3	0,9	97,5	90	10,9	3,9	3,1	14,1	8,6	3,7	19,8	5,0897	5
2020	7	14	2	8,9	0,8	97,5	130	16	4,4	2,9	16,2	9,9	11,2	28,1	0,845595	5
2020	7	14	3	8,6	0,9	97,5	170	25	5,1	3,1	17,2	10,3	7,5	34	0,74169	5
2020	7	14	4	8,8	0,7	97,4	90	23,2	7,1	3,3	20,1	12,2	15,8	38,4	1,62906	5
2020	7	14	21	13,9	0,7	89,8	130	19	16	3,2	20,6	12,5	8	25,1	4,95041	5

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE

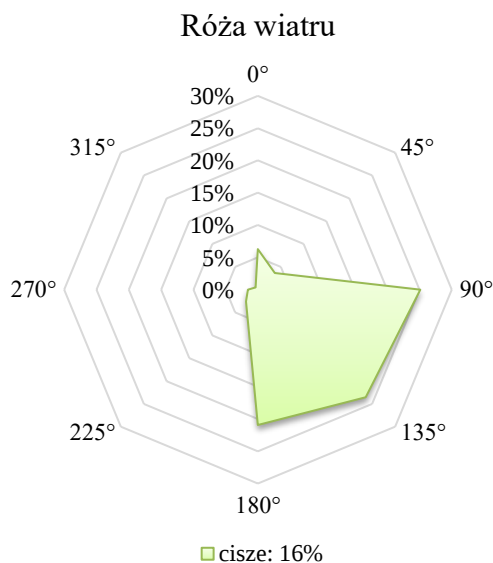
Data i godzina epizodu (czas urzędowy)				Meteo Kędzierzyn-Koźle				PMŚ Kędzierzyn-Koźle					PMŚ Zdzieszowice		Stacja badawcza	Klasa went.
ROK	MC	DZ	GO	Tp	Vsr	H	V kier	C ₆ H ₆	NO ₂	SO ₂	PM10	PM2.5	C ₆ H ₆	PM10	C ₆ H ₆	
				st. C	m/s	%	st.									
2020	7	14	22	12,9	1,1	92,9	120	13	14,4	3	20,4	12,7	13	34,1	4,02762	5
2020	7	23	1	10,6	0,2	96,5	0	13,6	13,6	2,8	16,6	9,8	0,4	22,3	9,21533	5
2020	7	23	8	18,6	0,5	62,8	310	16,2	19,9	6,9	23,9	9,9	11,6	31	7,64016	1
2020	7	24	5	11,8	0,7	93,7	90	27,5	19,6	5,5	28,9	16,7	3,1	20,6	2,96297	5
2020	7	26	3	13,1	1,3	96,3	130	31	11,4	3,6	25,9	17,4	4,9	28,2	4,37254	5
2020	7	26	4	13	1,4	96,6	150	36,5	10,8	4,1	31,1	20,9	8,1	31,8	4,95436	5
2020	7	27	22	18,8	0,9	69,8	120	18,2	15,7	3,1	17,4	10,5	12,1	22,4	6,78911	5
2020	7	28	4	14,7	1,3	79,7	160	59,7	16,3	4,5	29,7	19,8	6,8	38,3	7,6181	5
2020	7	28	5	16,8	2	88,9	150	26,7	19,3	6,9	26,8	16,8	8,2	37	8,45389	5
2020	8	1	4	10,3	1,3	95,2	0	10,2	13,6	3,3	19,1	10,9	0,3	26,8	8,72025	4
2020	8	2	0	12,2	0,7	94,3	200	15,4	16,3	3,6	25,4	16	2,5	26	3,92799	5
2020	8	2	4	10,3	0,8	97,1	110	27,1	9	4	23,4	15,7	5,5	28,9	5,83303	5
2020	8	2	5	11,5	1,1	94,2	80	49,8	10,1	5,6	28,1	18,9	10,6	30,6	6,86806	5
2020	8	7	0	15,5	0,3	81,4	70	15,8	8,7	3,4	36,8	25,3	2,5	39,7	6,70517	5
2020	8	10	6	20,6	1,5	83,7	70	18,4	18,2	2,7	28,7	15,6	1,8	bd	5,27496	3
2020	8	13	5	14,2	1,4	86,7	120	29,1	15	4,6	28,8	15,2	6,8	35,5	5,25299	5
2020	8	13	23	18,3	1,1	84,4	70	10,7	12,3	3,4	28,4	17,6	13,9	19,8	5,99753	5
2020	8	14	23	16,8	0,6	92,9	0	11,4	13,2	3	17,2	11,2	2,4	17,8	6,2522	5
2020	8	15	4	14,4	0,3	80,6	90	10,2	12,2	3,2	20,6	13,2	10,3	29,5	6,68599	5
2020	8	17	3	13,5	1	96,5	70	20,7	16,2	3,6	17	12,5	4,9	24	2,23683	5
2020	8	17	4	13,6	1	96,9	90	18,9	19	3,7	20,5	13,8	3,4	23,3	2,33263	5
2020	8	17	5	13,9	1,4	96,5	60	11,7	12,4	4,4	20,7	14,3	3,4	17	6,64226	5
2020	8	21	0	15,5	1,1	97,3	70	11,9	11,1	3,3	26,3	18	13,5	27,5	1,65029	5
2020	8	21	2	15,1	1,2	97,5	80	18,6	10,2	3,6	28,4	19,9	12	37,8	6,51651	5
2020	8	21	4	14,8	1,7	96,9	0	14	18,5	4,3	30	19,9	6,9	28,4	8,06427	5
2020	8	21	5	15,3	1,6	95,3	0	18,8	18,4	4,6	29,7	19,3	13,9	32	4,77155	5
2020	8	29	0	17,6	1,1	78,3	230	26,7	12,4	5,3	20,4	11,4	5,8	46,8	5,80371	5
2020	8	29	20	17,4	0,9	90,5	10	10,7	20,4	4	16,7	10,7	2,1	10,7	4,45841	2
2020	9	3	21	11,2	0,4	97,1	170	27,9	10,9	4,3	17,1	10,1	1,6	16	2,68402	5

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE

Data i godzina epizodu (czas urzędowy)				Meteo Kędzierzyn-Koźle				PMŚ Kędzierzyn-Koźle					PMŚ Zdzieszowice		Stacja badawcza	Klasa went.
ROK	MC	DZ	GO	Tp	Vsr	H	V kier	C ₆ H ₆	NO ₂	SO ₂	PM10	PM2.5	C ₆ H ₆	PM10	C ₆ H ₆	
				st. C	m/s	%	st.									
2020	9	3	22	10,7	0,7	97,4	170	51,8	6,6	4,6	14,9	8,9	3	14,2	6,30873	5
2020	9	4	1	9,5	1,6	97,7	190	60,5	6,9	4,1	21,3	14	8,9	41,1	3,96218	5
2020	9	4	2	9,1	1,5	97,7	180	38,9	10,6	4,4	21,8	14,4	10,2	34,6	6,32032	5
2020	9	4	3	9,1	1,6	97,5	180	11,8	14,6	4,6	22,9	14,5	9,3	41	3,24975	5
2020	9	8	1	8,1	0,6	82,1	180	15,6	5,8	5,4	20	12,3	0,3	11,1	8,19261	5
2020	9	11	2	7,4	0,2	97,5	60	32,4	9,3	6,4	16,4	10	1,1	13,7	9,54112	5
2020	9	11	7	12,2	0,6	79,4	70	10,6	29	14,5	29	14	1,7	13,5	3,54187	3
2020	9	11	8	15,1	0,6	68,9	70	12,7	14	12,3	20,9	9	2,4	17,6	4,59031	3
2020	9	12	0	10,9	0,8	97,1	110	33,8	15,1	6,6	21,5	14,6	6,7	37,6	4,66651	5
2020	9	12	1	10,2	0,6	97	130	17	12,6	6,8	20,8	14	3,2	32,9	2,59536	5
2020	9	12	5	9,1	1	97,4	110	61,1	20,4	7,4	33,5	21,4	6,1	48,6	1,74664	4
2020	9	12	6	10,8	1,2	94,5	120	48,8	20,1	9,7	39,5	26,1	4,6	41,2	9,44876	4
2020	9	13	4	11,9	0,3	97,9	190	11,9	4,7	6,2	31,1	22,2	6,9	41,1	6,89504	5
2020	9	13	23	14,2	0,1	81,2	170	29,7	10,2	6,3	28,3	19,8	1,7	17,1	3,36007	5
2020	9	14	2	12,7	0,3	81,5	160	56	5,3	6,9	28,8	19,3	5,3	35,8	3,70279	5
2020	9	14	4	12,5	0,8	98	130	49,7	8	6,8	32,5	20,5	10,3	37,8	2,00578	5
2020	9	14	5	12,4	0,8	98,1	140	12,9	11,5	7	35,4	23,7	9,9	40,7	1,26137	5
2020	9	15	3	12,5	0,8	97,9	120	66,1	12	6,9	35,2	24,2	11,6	70,3	3,05258	5
2020	9	15	8	18,3	2	80,5	160	10,1	11,3	7,7	29,5	19,9	5,4	50,3	6,71799	3
2020	9	16	1	14,6	0,7	97,4	100	91,4	12,3	7	36,7	26,2	5,8	44,5	1,1954	5
2020	9	16	3	13,7	0,7	97,7	130	47,5	11	7,1	32,2	23,2	9	55,9	2,34532	5
2020	9	16	4	13,2	0,6	97,9	130	90,9	13,1	7,3	33,2	23,2	14,4	58,3	1,52067	5
2020	9	16	5	13,1	0,2	82,3	120	21,3	19,7	7,5	32,1	22	8,7	48,1	1,72488	5
2020	9	16	8	21,1	1,8	72,5	170	11	20,7	11,7	39,2	19,3	6,5	54,1	5,53962	3
2020	9	18	22	6,5	0,6	95,5	130	13,2	16,9	6,7	18,7	11,1	2,1	18,3	3,31821	5
2020	9	19	4	4,1	0,6	97,3	60	10,9	8,8	6,8	17,7	11,9	2	36,7	2,66019	5
2020	9	19	5	3,4	0,5	97,4	130	17,2	9,9	7,1	19,8	12,4	2,1	22	0,624605	5
2020	9	19	8	10,8	1,4	76,1	110	16,6	15,8	9,7	30,8	17,9	2,5	25,9	4,40973	3
2020	9	20	1	7,9	0,4	96,3	80	18,4	18	7,1	30	21	2,6	33,6	2,22306	5

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STEŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE

Data i godzina epizodu (czas urzędowy)				Meteo Kędzierzyn-Koźle				PMŚ Kędzierzyn-Koźle					PMŚ Zdzieszowice		Stacja badawcza	Klasa went.
ROK	MC	DZ	GO	TP	Vsr	H	V kier	C ₆ H ₆	NO ₂	SO ₂	PM10	PM2.5	C ₆ H ₆	PM10	C ₆ H ₆	
				st. C	m/s	%	st.									
2020	9	20	3	7,4	0,1	96,8	50	12,6	12,7	7,2	27,5	19,1	2	24,8	1,04091	
2020	9	20	7	10	1,3	84,2	120	19,7	9,2	8,3	28,7	19,3	5,3	29,2	6,22507	3
2020	9	21	1	7,6	0,7	97,3	120	41,5	10,9	6,9	23	15,4	1,4	25,4	9,96849	5
2020	9	21	3	6,8	0,8	97,5	50	26,8	9,5	7,2	24,7	16,6	2,8	28,2	2,29049	5
2020	9	21	5	6,5	1	97,9	100	44,4	15,9	7,7	36,2	23,6	6,4	58,8	2,52854	5
2020	9	21	8	12,5	1,8	82,9	120	25,5	12,1	8,7	34,1	23,4	5,9	58,7	7,90393	5
2020	9	21	21	12,6	0,8	93,5	130	10,7	32,7	7,5	39,1	24,7	6,5	54,5	1,15139	5
2020	9	22	1	10	1,3	96,8	100	10,2	16,1	7	37,1	25,7	6,3	66,6	2,65506	5
2020	9	22	2	9,8	0,9	96,6	90	10,9	14,5	7,1	38,5	27,1	5,6	51,3	2,52968	5
2020	9	22	5	8,7	1,2	81,4	110	29,9	13,6	7,7	40,1	26,9	4	46,7	3,51113	5
2020	9	22	6	9,7	1,1	96,4	150	48,2	28,8	8,2	48,2	30,2	6,1	60	3,15272	5
2020	9	22	8	16	2,1	58,3	160	12,9	26	12,8	45,6	23,2	8,6	67,2	1,45509	5
2020	9	23	6	10,9	1	76	140	11,8	38	8	40,4	23,7	6,3	45,5	1,57888	5
2020	9	25	2	12,3	1,5	96,8	85	11,4	13,6	6,8	31,9	23,5	10	40	0,786737	5
2020	9	28	4	5,7	1,7	93,8	100	18,5	13,4	7,3	25,5	17,9	7,5	22,9	1,09322	5
2020	10	4	18	12	0,5	96,8	160	19,5	24,9	7,7	11,8	7,2	6,3	14,6	5,65889	5
2020	10	4	19	11,5	1,3	96,8	110	14,9	8,9	6,8	12,3	7,2	12,2	27,7	7,07936	5
2020	10	20	2	4	1,2	96,5	130	11	8,6	6,9	42,8	28,8	11,2	59,1	8,44038	5
2020	10	31	23	2,4	1,4	98,1	140	33,1	11,2	4,7	76,6	57,6	12,4	93,3	bd	5



Rys. 91 Róża wiatru na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dla epizodów odwróconych.

Tab. 12 Liczba przypadków i udział procentowy kierunków wiatru na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dla epizodów odwróconych.

Sektor kierunku wiatru	Liczba przypadków	Udział procentowy
0°	12	6%
45°	7	4%
90°	48	25%
135°	45	24%
180°	40	21%
225°	5	3%
270°	3	2%
315°	1	1%
cisza	30	16%

Tab. 13 Liczba epizodów odwróconych i ich charakterystyka pod względem prędkości wiatru dla stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle

Prędkości wiatru	Liczba przypadków	Udział procentowy
<0,5	30	16%
[0,5, 1)	73	38%
[1, 2)	83	43%
≥2	5	3%

Tab. 14 Uśrednione warunki meteorologiczne epizodów występujące tylko na stacji PMŚ Kędzierzyn-Koźle (KK) lub PMŚ Zdzeszowice (Zdz) w okresie badań specjalnych.

	V kier	Tp	Vsr	H%	Klasa went.
PMŚ KK	106,1	7,3	0,9	85,8	5
PMŚ Zdz	102,7	9,9	1,4	83,2	5

Analiza przedstawionych epizodów odwrotnych wykazała, że dominującym kierunkiem wiatru jest od E do S, przy czym średni kierunek napływu zanieczyszczeń podczas tych epizodów dla PMŚ KK wynosi ok. 106°, a na stacji PMŚ Zdz ok. 102°. Około 97% epizodów występuje przy prędkościach wiatru < 2 m/s, a 54% przy prędkościach do 1 m/s. Podobnie jak przy innych epizodach dominuje wysoka wilgotność względna > 85%. Ponieważ pomiary specjalne wykonywano w ciepłej porze roku średnia temperatura tych epizodów wynosiła 7.7–9.9°C. Zawsze epizodom tym towarzyszyła klasa wentylacji 5.

Epizody te nie były prawdopodobnie związane z konkretnymi źródłami emisji, ale były wynikiem „wyzwalania się tła” w sprzyjających meteorologicznie warunkach.

Wnioski

Dla sytuacji epizodów kilkunastogodzinnych- obszarowych dokonano następujących spostrzeżeń:

- Niewątpliwie problemem jest występowanie krótkotrwałych epizodów wysokich stężeń benzenu.
- Występują one na terenach przemysłowych np. dzielnicy Blachownia Śląska, zwłaszcza w rejonach instalacji, w których transportowane są produkty, które po uwolnieniu emitują benzen. Epizody wysokich stężeń benzenu (sięgające do 300 i więcej $\mu\text{g}/\text{m}^3$) przy sprzyjających warunkach są drogą dyspersji rozprzestrzeniane m.in. do Kędzierzyna Koźła.
- Należy jednak podkreślić, że obserwowane na stacji PMS/GIOŚ stężenia benzenu zaistniałe w wyniku epizodów są wielokrotnie niższe niż przy samej instalacji (patrz wyniki pomiarów stacji badawczej – pomiary specjalne).

Wnioski z analizy meteorologicznej:

- ✓ Epizody podwyższonych stężeń benzenu dla sytuacji krótkotrwałych z reguły powoduje zespół czynników słabo skorelowanych, a są to:
 - wiatr wschodni,
 - prędkość wiatru podczas „piku” epizodu $< 1 \text{ m/s}$, cisze (prędkość wiatru $< 0.5 \text{ m/s}$) w okresach 10 minutowych,
 - duża wilgotność względna $> 90\%$,
 - klasa stratyfikacji 5 (pełna inwersja),
 - temperatura powietrza nie odgrywa większej roli,
 - zwiększone usłonecznienie.
- ✓ Dla sytuacji gdy zwiększone stężenie benzenu obserwowane jest na stacjach PMS w Kędzierzynie-Koźlu i Zdieszowicach a brak ich na stacjach badawczych wpływają poniższe wnioski:
sytuacje te zdarzają się przy:
 - klasie wentylacji 5 (silna inwersja),
 - przeważającemu kierunkowi wiatru z sektora wschodniego (azymut 106° – dla Kędzierzyna-Koźła i 102° dla Zdieszowic),
 - wysokiej wilgotności względnej $> 85\%$,
 - temperatura powietrza nie odgrywa tu znaczącej roli.

Wnioski z analizy meteorologicznej

Problem zanieczyszczenia powietrza jest wątkiem, który od pewnego czasu zajmuje dużą część świadomej ekologicznie części społeczeństwa. Zanieczyszczenie powietrza bowiem, pomimo podejmowania przez Unię Europejską (UE) ciągłych działań (nadrzędne strategie: „Strategia

tematyczna UE dotycząca zanieczyszczenia powietrza”, „Pakiet polityki czystego powietrza UE”) oraz wdrożeniu wielu instrumentów prawnych (jak na przykład: *Dyrektywa w sprawie jakości powietrza*” *Dyrektywa w sprawie krajowych poziomów emisji*”) w celu poprawy jakości powietrza, pozostaje nadal jednym z problemów mających niebagatelny wpływ na stan zdrowia populacji europejskiej [<https://www.imgw.pl/badania-nauka/publikacje-ksiazkowe/wplyw-zanieczyszczenia-powietrza-na-zdrowie-ludnosci-w-obszarze> dostęp 16.11.2020]

Badania naukowe przynoszą coraz więcej dowodów na temat negatywnego wpływu zanieczyszczenia powietrza na zdrowie ludności, zarówno w wyniku bezpośredniego narażenia oraz pośredniego w wyniku narażenia na zanieczyszczenia akumulujące się w roślinach, glebie czy wodzie [<https://www.imgw.pl/badania-nauka/publikacje-ksiazkowe/wplyw-zanieczyszczenia-powietrza-na-zdrowie-ludnosci-w-obszarze> dostęp 16.11.2020]

Jakość powietrza atmosferycznego ze względu na obecność takich zanieczyszczeń jak ołów (Pb), dwutlenek siarki (SO₂) czy benzen (C₆H₆) stopniowo ulega poprawie. Natomiast nadal znaczny odsetek ludności miejskiej pozostaje pod wpływem ponadnormatywnych poziomów zanieczyszczeń takich jak pył zawieszony (PM Ø 10, 2,5), dla którego nie ustalono dotychczas dolnej wartości granicznej wpływającej na stan zdrowia, ozon w warstwie przyziemnej atmosfery (O₃), dwutlenek azotu (NO₂) czy wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), na przykład jak benzo(a)piren (BaP). Przyczyną złej jakości powietrza negatywnie oddziałującej na zdrowie jest emisja substancji zarówno ze źródeł naturalnych jak i antropogenicznych. Zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza takimi substancjami jak cząstki stałe i ozon, ze względu na transgraniczny charakter, wymaga działań w zakresie ograniczenia emisji ich prekursorów zarówno w skali krajowej jak i międzynarodowej.

W ostatnich latach coraz częściej podnoszony jest negatywny i bezpośredni efekt zdrowotny wpływu zanieczyszczeń, szczególnie pyłowych na zdrowie mieszkańców regionów szczególnie zanieczyszczonych. W środowisku ekologicznym, a także w społeczeństwie, głośnie są wyniki badań, które wykonało Śląskie Centrum Chorób Serca i Śląski Uniwersytet Medyczny, a których celem było wykazanie bezpośrednich związków pomiędzy zanieczyszczeniem powietrza a zaostrzeniem przebiegu chorób układu oddechowego i serca (źródło: <http://healpolka.pl/aktualnosci/smog-w-sercu-czyli-dlaczego-slascy-lekarze-naukowcy-zajmuja-sie-zanieczyszczonym-powietrzem/> dostęp 10.11.2020). Wykazano tam, że epizody zaostrzenia wyżej wspomnianych dolegliwości, w tym także śmierci pacjentów z tego powodu, zdarzają się szczególnie często w kilka dni po wystąpieniu tzw. epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń (zwłaszcza pyłowych). Od lat udowodniony jest także wpływ oddziaływań długoterminowych na zachorowalność i zgony z powodu występowania ponadnormatywnych stężeń tych substancji.

Podobnych wniosków dostarcza także wykonana w ramach projektu HEALTHAIR finansowanego programu INTERREG VA PL-Cz 2016-2020 analiza epidemiologiczna wpływu zanieczyszczeń na zdrowie (źródło: <https://www.imgw.pl/badania-nauka/publikacje-ksiazkowe/wplyw-zanieczyszczenia-powietrza-na-zdrowie-ludnosci-w-obszarze> dostęp 16.11.2020).

Poza wspomnianymi zanieczyszczeniami uciążliwość zdrowotną i dyskomfort powodują inne substancje zanieczyszczające występujące przede wszystkim na terenach przemysłowych i ich okolicy. Jedną z takich substancji jest niewątpliwie benzen, którego uciążliwość jest przedmiotem zaniepokojenia władz samorządowych i mieszkańców okolic Kędzierzyna-Koźła.

Właśnie dlatego niniejsza praca stara się odpowiedzieć na pytanie o wpływ warunków meteorologicznych na jakość powietrza w Kędzierzynie-Koźlu i okolicy ze szczególnym uwzględnieniem benzenu.

Wiadomo bowiem, że za stężenia zanieczyszczeń, poza emisją, istotny wpływ mają warunki meteorologiczne. Warunki meteorologiczne jak wiadomo mogą oddziaływać zarówno długofalowo obszarowo, jak też i w krótszych okresach i lokalnie.

W rejonie Kędzierzyna-Koźła nie notuje się znaczących przekroczeń stężeń mierzonych substancji. Wyjątek stanowią przekroczenia dobowych wartości dopuszczalnych pyłu PM10 oraz podwyższone, ale w 2019 roku nie przekraczające normy dobowe stężenia benzenu (źródło: http://www.opole.pios.gov.pl/wms/Pliki/2020/Wyniki_pomiarow_jakosci_powietrza_2019.pdf dostęp 14.11.2020). Sytuacje takie spowodowane są przede wszystkim uwarunkowaniami lokalnymi (w tym meteorologią).

Stąd do oceny jakości powietrza, ze szczególnym uwzględnieniem benzenu zastosowano podejście wielozadaniowe.

Po pierwsze wyznaczono wieloletnie tło klimatologiczne badanej okolicy w oparciu o dane sieci pomiarowej IMGW-PIB z lat 2005–2019. Po przeprowadzeniu stosownych analiz zauważono, że: charakterystyki klimatyczne badanego regionu dotyczą szeroko rozumianych „norm klimatycznych”, a więc uśrednionych dla dłuższego okresu przebiegu poszczególnych jego elementów. Charakterystyki te dobrze się nadają do oceny wieloobszarowej lub ponad regionalnej zakresów zmienności w celu określenia średnich i zakresów zmienności elementów klimatu. Należy jednak mieć świadomość, że charakterystyki te nie mogą być wykorzystywane do oceny wpływu dowolnego elementu meteorologicznego na warunki jakości powietrza w danym roku.

Należy także stwierdzić, że mimo jawnych cech zmian klimatu typowy dla klimatu umiarkowanego przejściowego przebieg elementów meteorologicznych pozostał w zasadzie niezmienny.

Po drugie przeprowadzono bardziej szczegółowe badania stężeń zanieczyszczeń, w tym benzenu w okolicach Kędzierzyna-Koźła opracowywane dla trzech horyzontów czasowych.

Okresu 2015–2019 – badania warunków wentylacyjnych atmosfery oraz statystyczne związki zanieczyszczeń powietrza z warunkami meteorologicznymi, meteorologią w ujęciu wieloletnim doprowadziły do wniosku, że prosta analiza statystyczna nie wykryła żadnych istotnych zależności stężeń średniodobowych od warunków atmosferycznych. Oznacza to, że zależności te nie są liniowe i wymagają bardziej subtelnych metod (np. przedstawiona wyżej metoda indeksu wentylacji). Poza tym z oceny wpływu warunków meteorologicznych na stężenia zanieczyszczeń należy starannie

wyselekcjonować epizody takich sytuacji biorąc jeszcze dodatkowo podobieństwo w sytuacji meteorologicznej.

Niemniej jednak generalny wniosek z tych rozważań płynie, że stężenia zanieczyszczeń zależą od zespołu czynników meteorologicznych powiązanych nieliniowo. Dowiodła tego również przeprowadzona analiza wielowymiarowa. Czynnikiem meteorologicznym które wpływają na jakość powietrza są:

- ✓ temperatura powietrza,
- ✓ prędkość i kierunek wiatru,
- ✓ wilgotność względna,
- ✓ klasa stabilności atmosfery.

W tym miejscu należy zaznaczyć, że pewnym, zdaniem autorów niniejszej pracy, doskonalszym narzędziem do oceny warunków wentylacyjnych jest zaproponowany indeks wentylacji IWW w formie dyskretnej przyjmujący klasy o podobnym znaczeniu co uproszczony schemat Pasquilla. Szczegółowo indeks ten opisano w początkowych rozdziałach pracy.

Przedstawione czynniki meteorologiczne, które wpływają na jakość powietrza są równoważne do różnych skali czasowych zjawiska począwszy od okresów wieloletnich (warunek: niezmienna lub słabozmienna emisja), poprzez analizę kilkunastogodzinnych i obszarowych epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń (w niniejszej pracy analizowano głównie benzen) po analizę epizodów chwilowych (kilkugodzinnych) na małym obszarze.

Jednocześnie zaobserwowano, że statystycznie cechą charakterystyczną epizodów benzenu bez względu na skalę jest zależność:

- ✓ od temperatury – im niższa temperatura, tym wyższe stężenia benzenu (cechą charakterystyczną jest maksymalne stężenie nie w przedziale najniższych temperatur, ale z zakresu -13°C do -11°C) nie oznacza to jednak, że dla pojedynczych epizodów temperatura powietrza może nie mieć znaczenia ;
- ✓ od prędkości wiatru – im mniejsza prędkość wiatru, tym wyższe stężenia benzenu;
- ✓ od czasu trwania ciszy atmosferycznej (prędkość wiatru $< 0.5 \text{ m/s}$) – im dłuższy czas trwania ciszy, tym wyższe stężenia benzenu;
- ✓ od wilgotności względnej – im wyższa wilgotność względna, tym większe stężenia benzenu (wyjątek: powietrze bardzo suche $H < 55\%$, ale jest to raczej związane z małą liczbą takich zdarzeń, a przyczyną mogą być hipotetycznie napływy zanieczyszczeń z dużych odległości);
- ✓ od usłonecznienia – im większa liczba godzin słonecznych w dobie, tym wyższe stężenia benzenu (dotyczy to $>15 \text{ h}$, a zatem w zasadzie tylko bezchmurnych dni okresu letniego, a takie zdarzają się średnio kilka razy w sezonie).

Okresu 2018–2020 – badania te dotyczą sytuacji epizodów kilkunastogodzinnych-obszarowych. W wyniku ich przeprowadzenia wyciągnięto następujące wnioski: istnieją wyraźne podobieństwa meteorologiczne z sytuacjami epizodów pyłowych:

- ✓ wyżowa lub słabogradientowa sytuacja synoptyczna,
- ✓ słaby wiatr,
- ✓ silna stabilność warstwy przyziemnej atmosfery,
- ✓ napływ cząstek powietrza (identyfikowany dolnymi trajektoriami) z południa,
- ✓ dodatkowo istotne znaczenie ma problem usłonecznienia, który w przypadku epizodów pyłowych nie gra roli.

Okresu marzec – październik 2020 roku – badania dotyczą sytuacji epizodów kilkunastogodzinnych przy wykorzystaniu danych stacji badawczych. Dla sytuacji epizodów kilkunastogodzinnych- obszarowych dokonano następujących spostrzeżeń:

- Niewątpliwie problemem jest występowanie krótkotrwałych epizodów wysokich stężeń, benzenu.
- Występują one na terenach przemysłowych np. w dzielnicy Blachownia Śląska zwłaszcza w rejonach instalacji, w których transportowane są produkty, które po uwolnieniu emitują benzen. Epizody wysokich stężeń benzenu (sięgające do 300 i więcej $\mu\text{g}/\text{m}^3$) przy sprzyjających warunkach są drogą dyspersji rozprzestrzeniane m.in. do Kędzierzyna Koźła.
- Należy jednak podkreślić, że obserwowane na stacji PMŚ/GIOŚ stężenia benzenu zaistniałe w wyniku epizodów są wielokrotnie niższe niż przy samej instalacji (patrz wyniki pomiarów stacji badawczej – pomiary specjalne).

Wnioski z analizy meteorologicznej:

- ✓ Epizody podwyższonych stężeń benzenu dla sytuacji krótkotrwałych z reguły powoduje zespół czynników słabo skorelowanych, a są to:
 - wiatr wschodni,
 - prędkość wiatru podczas „piku” epizodu $< 1 \text{ m/s}$, cisze (prędkość wiatru $< 0.5 \text{ m/s}$) w okresach 10-minutowych,
 - duża wilgotność względna $> 90\%$,
 - klasa stratyfikacji 5 (pełna inwersja),
 - zwiększone usłonecznienie
- Warto także zauważyć, że dla tego typu epizodów temperatura powietrza nie odgrywa większej roli,

Dla sytuacji, gdy zwiększone stężenie benzenu obserwowane jest na stacjach PMŚ w Kędzierzynie-Koźlu i Zdieszowicach a brak ich na stacjach badawczych wpływają poniższe wnioski:

Sytuacje te zdarzają się bez wyjątku przy:

- ✓ klasie wentylacji 5 (silna inwersja),

- ✓ przeważającemu kierunkowi wiatru z sektora wschodniego (azymut 106° – dla Kędzierzyna-Koźla i 102° dla Zdzeszowic),
- ✓ wysokiej wilgotności względnej > 85%,

Warto także zauważyć, że dla tego typu epizodów temperatura powietrza nie odgrywa większej roli,

Tab. 15 Rola czynników meteorologicznych w kształtowaniu się zanieczyszczeń powietrza ze szczególnym uwzględnieniem benzeny w różnych skalach czasowych

Skala czasowa i przestrzenna epizodu	Dane okólne klimatyczne	Badane charakterystyki meteo	Wpływ badanych charakterystyk meteo na zanieczyszczenia powietrza w trakcie epizodów	Wpływ badanych charakterystyk meteo na zanieczyszczenia benzenem w trakcie epizodów
Epizody długoterminowe obszarowe	tak	sytuacja synoptyczna, trajektorie, temperatura powietrza, prędkość i kierunek wiatru, opady atmosferyczne, usłonecznienie, klasa wentylacji	temperatura powietrza – wpływ odwrotnie proporcjonalny, prędkość i kierunek wiatru – wpływ odwrotnie proporcjonalny, wysoka wilgotność względna, wysoka klasa wentylacji atmosfery	temperatura powietrza, prędkość i kierunek wiatru, wilgotność względna, klasa stabilności atmosfery
Epizody krótkoterminowe miejscowe na stacjach PMS	tak	sytuacja synoptyczna, temperatura powietrza, prędkość i kierunek wiatru, opady atmosferyczne, usłonecznienie, klasa wentylacji	wyżowa lub słabogradientowa sytuacja synoptyczna, słaby wiatr, silna stabilność warstwy przyziemnej atmosfery	wyżowa lub słabogradientowa sytuacja synoptyczna, słaby wiatr, silna stabilność warstwy przyziemnej atmosfery, dodatkowo usłonecznienie
Epizody z udziałem badań specjalnych	tak	sytuacja synoptyczna, temperatura powietrza, prędkość i kierunek wiatru, opady atmosferyczne, usłonecznienie, klasa wentylacji	wiatr wschodni, prędkość wiatru podczas „piku” epizodu < 1 m/s, cisze (prędkość wiatru < 0.5 m/s) w okresach 10-minutowych, duża wilgotność względna > 90%, klasa stratyfikacji 5 (pełna inwersja), temperatura – wpływ odwrotnie proporcjonalny	wiatr wschodni, prędkość wiatru podczas „piku” epizodu < 1 m/s, cisze (prędkość wiatru < 0.5 m/s) w okresach 10-minutowych, duża wilgotność względna > 90%, klasa stratyfikacji 5 (pełna inwersja), temperatura powietrza nie odgrywa większej roli, zwiększone usłonecznienie

Przeprowadzona analiza dowiodła, że problem wpływu warunków meteorologicznych na jakość powietrza, choć znany od lat i wielokrotnie opisywany, nie jest prosty do skwantyfikowania. Każde zdarzenie o charakterze epizodu może mieć inną genezę emisyjną; warunki meteorologiczne choć często z dużym przybliżeniem porównywalne dla wszystkich epizodów mogą się różnić w szczegółach. Dlatego do oceny wpływu warunków meteorologicznych na jakość powietrza nie są wystarczające metody statystyki opisowej a np. analiza wielowymiarowa.

Praca dowiodła dodatkowo, że ponad wszelką wątpliwość wszystkie zdarzenia o charakterze epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń występują przy sytuacji inwersyjnej, szczególnie wtedy, gdy inwersja rozpoczyna się już od samego podłoża.

Bibliografia

1. Kondracki J., 2011. Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa
2. Krajny E., Ośródka L. , 2020, Sprawozdanie z realizacji zadań statutowych DS.-M3/2019
Opracowanie modułu emisji stężeń zanieczyszczeń powietrza Wykorzystanie wybranych metod
teledetekcji naziemnej doskonalenia diagnozy i prognozy jakości powietrza, IMGW-PIB Warszawa
(maszynopis)
3. Solon, Jerzy, , i in., 2018. Physico-Geographical Mesoregions of Poland: Verification and
Adjustment of Boundaries on the Basis of Contemporary Spatial Data. IGiPZ PAN, Warszawa
4. Toczko i in., 2015, Pyły drobne w atmosferze, GIOŚ Warszawa
5. Zannetti, 1990, Air Pollution Modeling Theories, Computational Methods and Available Software
Editors: Zannetti, Paolo (Ed.), , Springer, London
http://www.opole.pios.gov.pl/wms/Pliki/2020/Wyniki_pomiarow_jakosci_powietrza_2019.pdf dostęp
14.11.2020
https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php dostęp 10.11.2020
[https://www.imgw.pl/badania-nauka/publikacje-ksiazkowe/wplyw-zanieczyszczenia-powietrza-na-
zdrowie-ludnosci-w-obszarze](https://www.imgw.pl/badania-nauka/publikacje-ksiazkowe/wplyw-zanieczyszczenia-powietrza-na-zdrowie-ludnosci-w-obszarze) dostęp 16.11.2020

Spis rysunków

Rys. 1 Obszar badań z lokalizacją głównych stacji pomiarowych (wraz z różami prędkości wiatru na stacjach synoptycznych IMGW-PIB 2005–2019).....	11
Rys. 2 Główne obszary przemysłowe Kędzierzyna-Koźła i okolic.	12
Rys. 3 Przebieg miesięczny uśrednionych wartości temperatury.....	15
Rys. 4 Przebieg miesięczny maksymalnych wartości temperatury.	15
Rys. 5 Przebieg miesięczny minimalnych wartości temperatury.	16
Rys. 6 Przebieg miesięczny średnich wartości usłonecznienia w godzinach.	16
Rys. 7 Przebieg miesięczny średnich wartości ciśnienia zredukowanego do poziomu morza.....	17
Rys. 8 Przebieg miesięczny średnich prędkości wiatru.....	17
Rys. 9 Przebieg miesięczny ciszy atmosferycznej (prędkość wiatru < 0.5 m/s).	18
Rys. 10 Przebieg niskich prędkości wiatru (< 2 m/s – średnia dobową).	18
Rys. 11 Przebieg miesięczny sum opadu atmosferycznego.	19
Rys. 12 Przebieg miesięczny maksymalnych dobowych sum opadu atmosferycznego.....	19
Rys. 13 Przebieg miesięczny liczby dni z opadem atmosferycznym.	20
Rys. 14 Przebieg miesięczny liczby dni z pokrywą śnieżną.	20
Rys. 15 Schematyczne przedstawienia kształtu smugi dymu z emitora punktowego oraz pionowych profili temperatury powietrza i prędkości wiatru (linia przerywana przedstawia gradient suchoadiabatyczny) [źródło Zannetti, 1990, modyfikacja autorów rozdziału].	23
Rys. 16 Schemat dobowego przebiegu struktury warstwy granicznej atmosfery na tle wyznaczonych za pomocą sodaru klas stabilności (opracowanie własne na podstawie Stulla [Zanetti,1990.].....	24
Rys. 17 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 1.	24
Rys. 18 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 2.	25
Rys. 19 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 3.	25
Rys. 20 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 4.	26
Rys. 21 Wizualizacja przebiegu stratyfikacji termicznej dla Klasy 5.	26
Rys. 22 Schemat dobowego przebiegu klas stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry dla całego roku.....	27
Rys. 23 Schemat dobowego przebiegu stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry w sezonie zimowym (chłodnym X–III).....	27
Rys. 24 Schemat dobowego przebiegu klas 2–4 stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry w sezonie zimowym (chłodnym X–III).....	28
Rys. 25 Schemat dobowego przebiegu klasy 4 stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry w sezonie zimowym (chłodnym X–III).....	28
Rys. 26 Schemat dobowego przebiegu stratyfikacji termicznej w dolinie Górnej Odry w sezonie letnim (ciepłym IV–IX).	29

Rys. 27 Udział klasy 1 w dobie a dobowe stężenia PM10 – zima (chłodna pora roku X–III).....	29
Rys. 28 Udział klasy 5 w dobie a dobowe stężenia PM10 – lato (ciepła pora roku).	30
Rys. 29 Udział sytuacji ze złą wentylacją w latach 2010–2019 w okolicach Kędzierzyna-Koźła.....	33
Rys. 30 (a–i) Zależność stężeń zanieczyszczeń mierzonych na stacjach w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzieszowicach od widzialności.	36
Rys. 31(a–i) Zależność stężeń zanieczyszczeń mierzonych na stacjach w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzieszowicach od prędkości wiatru.....	40
Rys. 32 Porównanie stężeń a) PM10, b) C ₆ H ₆ , c) NO ₂ , d) SO ₂ w Zdzieszowicach i Kędzierzynie-Koźlu w latach 2010–2019. Stężenia dobowe w µg/m ³	41
Rys. 33 (a–i) Zależność stężeń zanieczyszczeń mierzonych na stacjach w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzieszowicach od temperatury powietrza.	44
Rys. 34 Zależność stężenia benzenu w Zdzieszowicach od a) temperatury powietrza, b) prędkości wiatru, c) liczby cisz, d) wilgotności względnej, e) liczby godzin usłonecznienia w latach 2005–2020. Stężenie średniodobowe benzenu w µg/m ³	46
Rys. 35 Zależność stężenia benzenu w Kędzierzynie-Koźlu od a) temperatury powietrza, b) prędkości wiatru, c) liczby cisz, d) wilgotności względnej, e) liczby godzin usłonecznienia w latach 2005–2020. Stężenie średniodobowe benzenu w µg/m ³	47
Rys. 36 (a–e) Rozkład wartości współczynnika wentylacji (IWW) w latach 2015–2019 dla Kędzierzyna-Koźła. Oś pozioma wartości IWW z Tab. 7.	49
Rys. 37 Zależność stężeń PM2.5 w Kędzierzynie-Koźlu (stacja PMS) od współczynnika wentylacji. Oś pozioma wartości IWW z Tab. 7.	50
Rys. 38 (a–d) Zależność stężeń PM10, NO ₂ , SO ₂ i benzenu w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzieszowicach (stacje PMS) od współczynnika wentylacji. Oś pozioma wartości IWW z Tab. 7.	51
Rys. 39 Porównanie stężeń a) C ₆ H ₆ , b) PM10, c) NO ₂ , d) SO ₂ w Zdzieszowicach i Kędzierzynie-Koźlu w latach 2015–2019. Stężenia dobowe w µg/m ³	53
Rys. 40 Porównanie stężeń a) PM10, b) C ₆ H ₆ , c) NO ₂ , d) SO ₂ w Zdzieszowicach i Kędzierzynie-Koźlu w latach 2005–2020. Stężenia dobowe w µg/m ³	54
Rys. 41 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 10 stycznia 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB)....	57
Rys. 42 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 10.01.2018 r.....	57
Rys. 43 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 10.01.2018 r.....	58
Rys. 44 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 10.01.2018 r.	59
Rys. 45 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 10 lutego 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).....	60
Rys. 46 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 10.02.2018 r.....	60
Rys. 47 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 10.02.2018 r.....	61
Rys. 48 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 10.02.2018 r.	62

Rys. 49 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 6 marca 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).	63
Rys. 50 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 6.03.2018 r.	63
Rys. 51 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 6.03.2018 r.	64
Rys. 52 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 6.03.2018 r.	65
Rys. 53 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia a) 9 października 2018 r. godz. 0 UTC i b) 10 października 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).	66
Rys. 54 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 9 i 10.10.2018 r.	66
Rys. 55 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 9 i 10.10.2018 r.	67
Rys. 56 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 9 i 10.10.2018 r.	68
Rys. 57 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 17 października 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).	69
Rys. 58 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 17.10.2018 r.	69
Rys. 59 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 17.10.2018 r.	70
Rys. 60 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 17.10.2018 r.	71
Rys. 61 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 20 stycznia 2018 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).	72
Rys. 62 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 20.01.2019 r.	72
Rys. 63 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 20.01.2019 r.	73
Rys. 64 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 20.01.2019 r.	74
Rys. 65 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 22 stycznia 2019 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).	75
Rys. 66 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 22.01.2019 r.	75
Rys. 67 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 22.01.2019 r.	76
Rys. 68 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 22.01.2019 r.	77
Rys. 69 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 25 listopada 2019 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB). .	78
Rys. 70 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 25.11.2019 r.	78
Rys. 71 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 25.11.2019 r.	79
Rys. 72 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 25.11.2019 r.	80
Rys. 73 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 19 grudnia 2019 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB).	81
Rys. 74 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 19.12.2019 r.	81
Rys. 75 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 19.12.2019 r.	82
Rys. 76 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 19.12.2019 r.	83

Rys. 77 Mapa sytuacji synoptycznej z dnia 17 stycznia 2020 r. godz. 0 UTC (źródło IMGW-PIB)....	84
Rys. 78 Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 17.01.2020 r.....	84
Rys. 79 Przebieg godzinowy stężeń benzenu na tle parametrów meteorologicznych w dniu 17.01.2020 r.....	85
Rys. 80 Róża wiatru i róża C ₆ H ₆ w dniu 17.01.2020 r.	86
Rys. 81 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokiego stężeń benzenu w dniach 15–16.04.2020 r.....	90
Rys. 82 Róża wiatru i róża zanieczyszczeń w dniu 15–16.04.2020 r.....	91
Rys. 83 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokich stężeń benzenu w dniach 31.07 – 1.08.2020 r.....	93
Rys. 84 Róża wiatru i róża zanieczyszczeń w dniu 31.07 – 1.08.2020 r.....	95
Rys. 85 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokich stężeń benzenu w dniach 13–14.08.2020 r.....	97
Rys. 86 Róża wiatru i róża zanieczyszczeń w dniu 13–14.08.2020 r.....	98
Rys. 87 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokich stężeń benzenu w dniach 12–13.09.2020 r.....	100
Rys. 88 Róża wiatru i róża zanieczyszczeń w dniu 12–13.09.2020 r.....	102
Rys. 89 Wizualizacja przebiegu podstawowych elementów meteorologicznych podczas epizodu wysokich stężeń benzenu w dniach 14–15.09.2020 r.....	104
Rys. 90 Róża wiatru i róża zanieczyszczeń w dniu 14–15.09.2020 r.....	105
Rys. 91 Róża wiatru na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dla epizodów odwróconych.	114

Spis tabel

Tab. 1 Stacje PMŚ i stacje GIOŚ dedykowane opracowaniu.....	10
Tab. 2 Stacje meteorologiczne dedykowane opracowaniu tła wpływu warunków meteorologicznych na wysokie stężenia zanieczyszczeń oraz do określenia tła meteorologicznego.	10
Tab. 3 Odległości i azymuty terenów przemysłowych od stacji PMŚ w Kędzierzynie-Koźlu.	12
Tab. 4 Charakterystyka najważniejszych elementów klimatologicznych dla obszaru okolic Kędzierzyna-Koźla w okresie 2005–2019 r.	14
Tab. 5 Podział klas stratyfikacji termicznej na tle klasyfikacji Pasquilla.....	26
Tab. 6 Stężenia zanieczyszczeń a stratyfikacja termiczna i warunki meteorologiczne w dobie.	30
Tab. 7 Kwantyfikacja indeksu wentylacji (IWW).....	32
Tab. 8 Zależność wybranych zanieczyszczeń od niektórych elementów meteorologicznych w Zdieszowicach i Kędzierzynie-Koźlu w latach 2015–2020.	52
Tab. 9 Daty wystąpienia epizodów przestrzennych ze szczególnym uwzględnieniem benzenu oraz towarzyszące im stężenia średniodobowe innych zanieczyszczeń ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i wybrane elementy meteorologiczne.	56
Tab. 10 Identyfikacja epizodów wysokich stężeń C_6H_6 na stacjach badawczych w okresie marzec – październik 2020 na tle danych ze stacji PMŚ Kędzierzyn-Koźle i Zdieszowice oraz stacji meteorologicznej IMGW-PIB i UM Kędzierzyn-Koźle. Stężenia benzenu w $\mu\text{g}/\text{m}^3$	88
Tab. 11 Lista epizodów wysokich stężeń benzenu na stacjach PMŚ bez występowania epizodów na stacjach badawczych.	107
Tab. 12 Liczba przypadków i udział procentowy kierunków wiatru na stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle dla epizodów odwróconych.....	114
Tab. 13 Liczba epizodów odwrotnych i ich charakterystyka pod względem prędkości wiatru dla stacji meteorologicznej Kędzierzyn-Koźle	114
Tab. 14 Uśrednione warunki meteorologiczne epizodów występujące tylko na stacji PMŚ Kędzierzyn-Koźle (KK) lub PMŚ Zdieszowice (Zdz) w okresie badań specjalnych.	114
Tab. 15 Rola czynników meteorologicznych w kształtowaniu się zanieczyszczeń powietrza ze szczególnym uwzględnieniem benzenu w różnych skalach czasowych	121