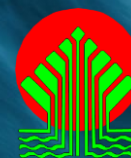


ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ NA OBSZARZE MIASTA KĘDZIERZYN-KOŹŁE

*Praca wykonana na zlecenie GIOŚ w ramach umowy nr DM/12/2020/F z dnia 14.09.2020 r.
sfinansowana ze środków NFOŚiGW
(sprawozdanie końcowe listopad/grudzień 2020 r.)*



Leszek Ośródka, Ewa Krajny

Wideokonferencja 22/11/2021



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl

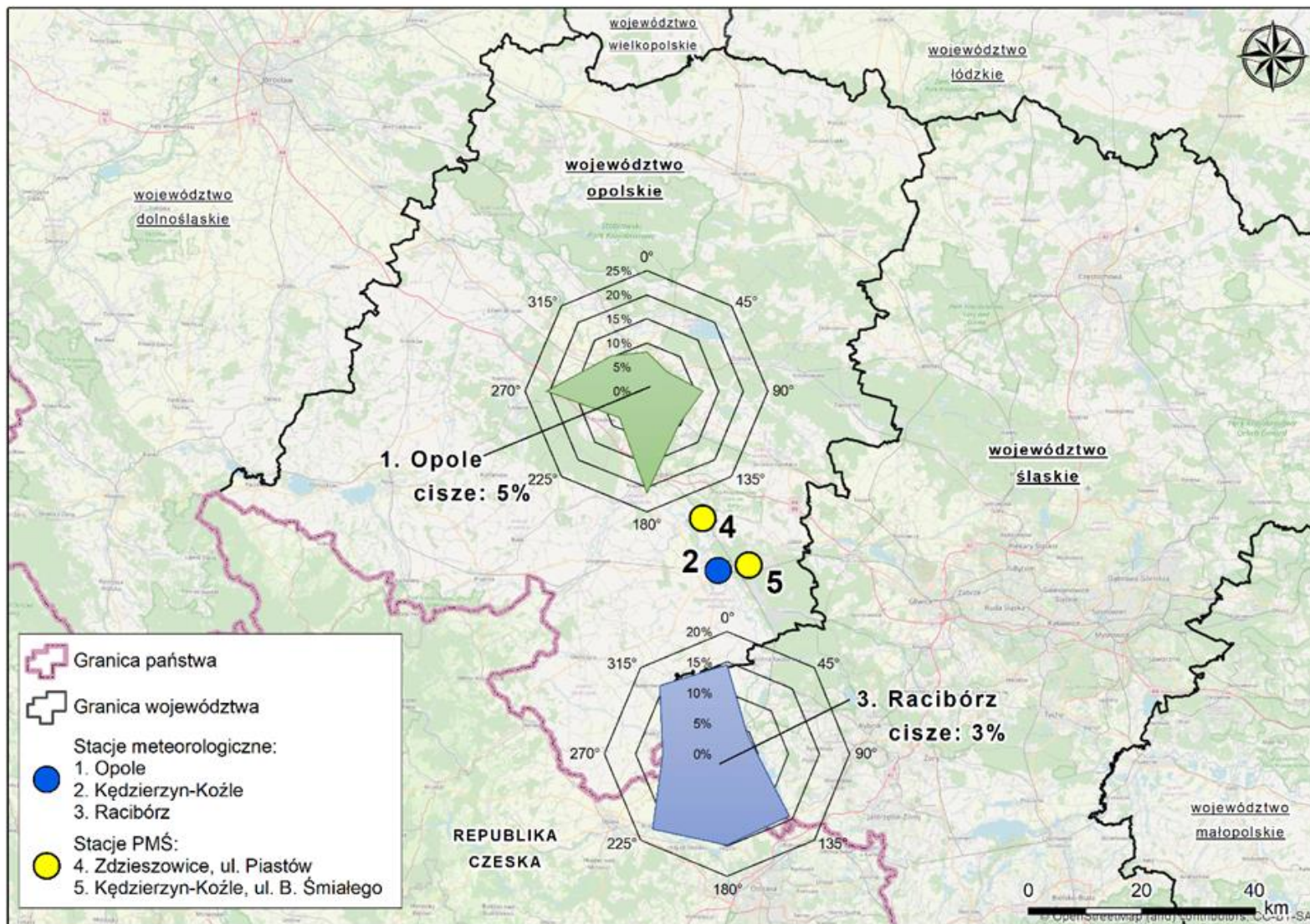
Zakres opracowania ze strony IMGW-PIB:

1. Charakterystyka warunków klimatycznych badanego obszaru ze szczególnym uwzględnieniem wentylacji atmosfery (obejmuje co najmniej okres prowadzonych pomiarów GIOŚ/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 C_6H_6 (i innych wskazanych zanieczyszczeń) i ich związek z warunkami meteorologicznymi.
 - charakterystyka standardowa (różne zanieczyszczeń, stratyfikacja atmosfery, analiza synoptyczna, trajektorie wsteczne https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php),
 - charakterystyka wielowymiarowa.
5. Szczegółowa charakterystyka zdarzeń w okresie badań specjalnych.
6. Wnioski z analizy meteorologicznej.

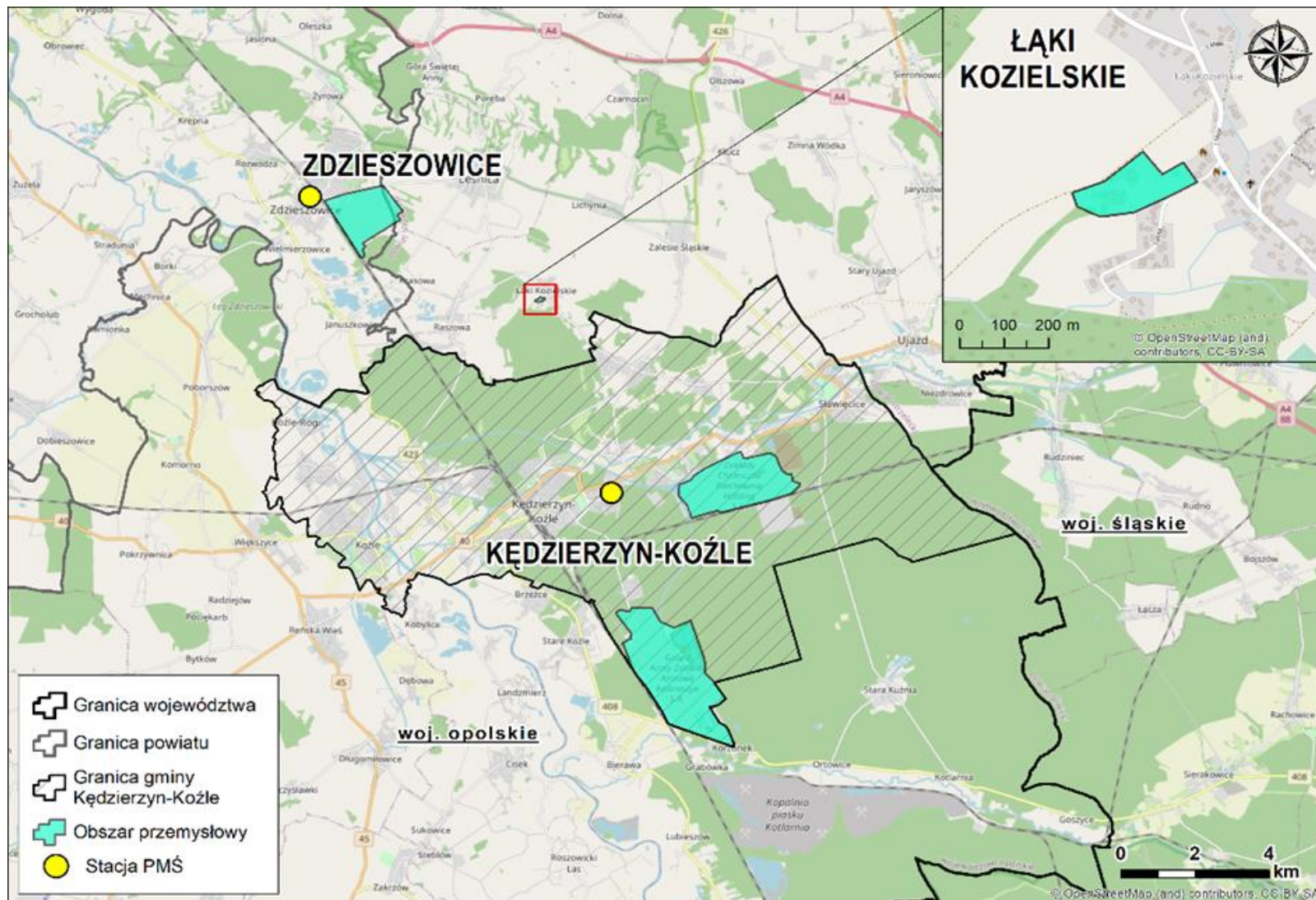
Obszar badań z lokalizacją głównych stacji pomiarowych Zanieczyszczeń powietrza GIOŚ/PMŚ wraz z różami prędkości wiatru na stacjach synoptycznych IMGW-PIB w latach 2005–2020



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl



Główne obszary przemysłowe Kędzierzyna-Koźła i okolic



Odległości i azymuty terenów przemysłowych od stacji GIOŚ/PMŚ w Kędzierzynie-Koźlu



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl

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

Dla oceny wpływu warunków meteorologicznych na stężenia zanieczyszczeń opracowano tzw. indeks wentylacji, który łączy warunki termiczne z prędkością wiatru

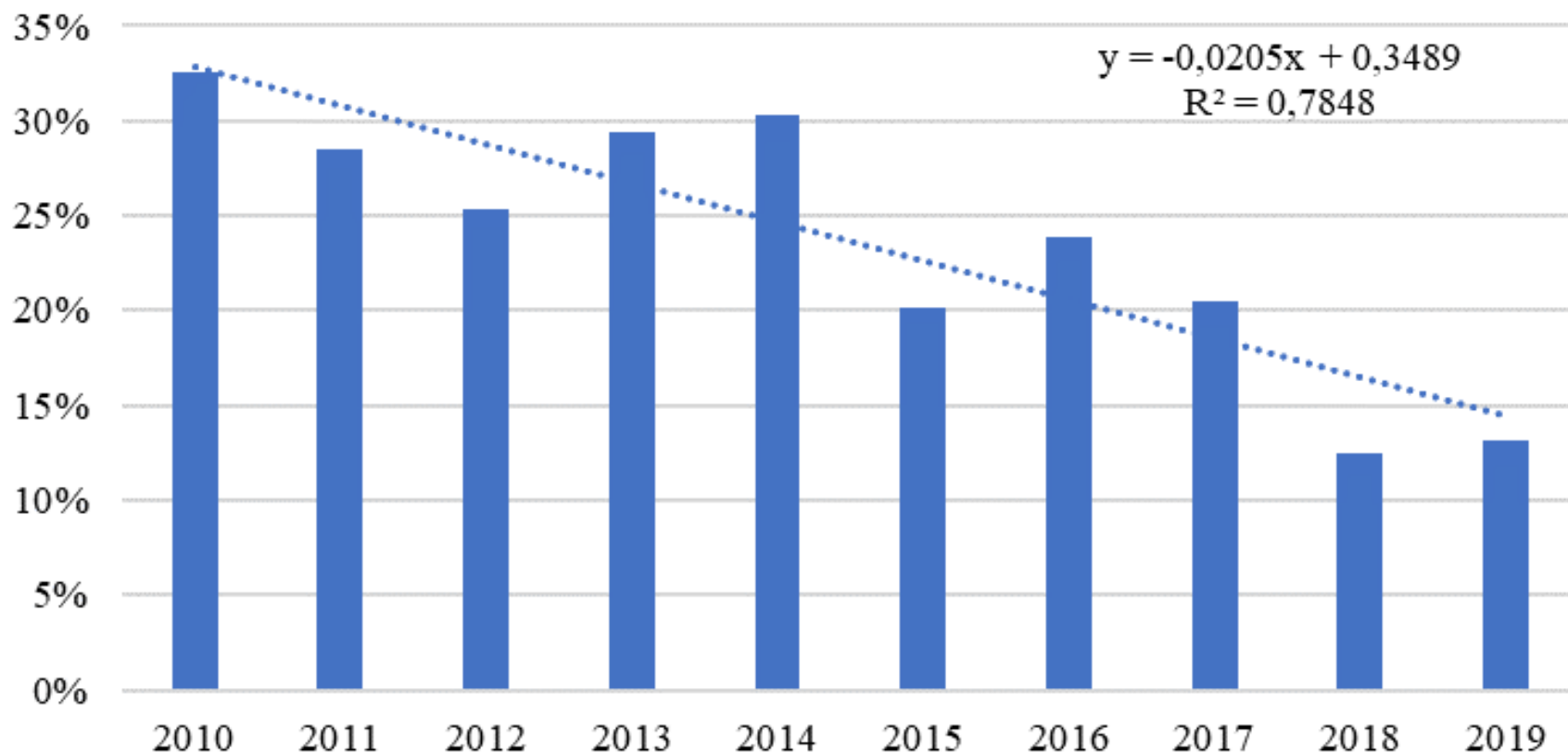
Wartość indeksu IWW	Charakterystyka	Klasa wentylacji
0	brak spełnionych warunków do oceny wentylacji	1 (A)
1–3	dobre warunki wentylacyjne	2 (B)
4–6	umiarkowane warunki wentylacji	3 (C)
7–8	słabe warunki wentylacji	4 (D)
>9	złe warunki wentylacji	5 (E)

Charakterystyka warunków klimatycznych badanego obszaru ze szczególnym uwzględnieniem wentylacji atmosfery



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl

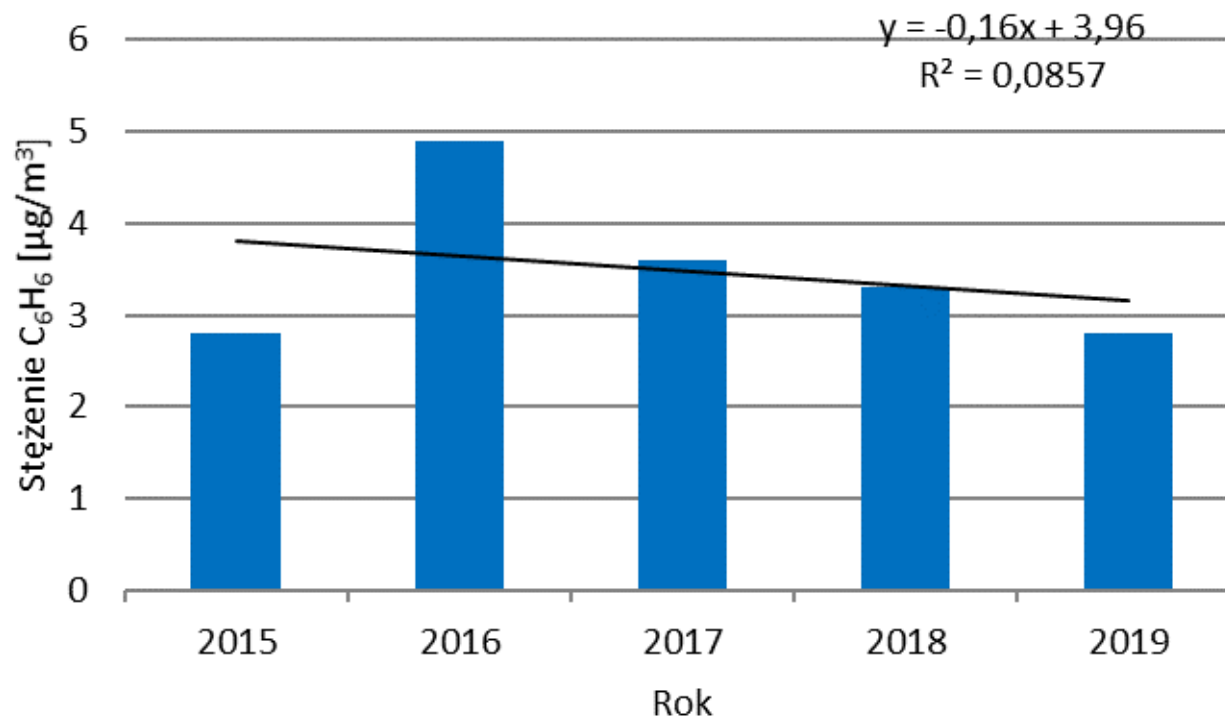
Udział sytuacji ze złymi warunkami wentylacji w latach
2010 -2019



Charakterystyka warunków klimatycznych badanego obszaru ze szczególnym uwzględnieniem wentylacji atmosfery



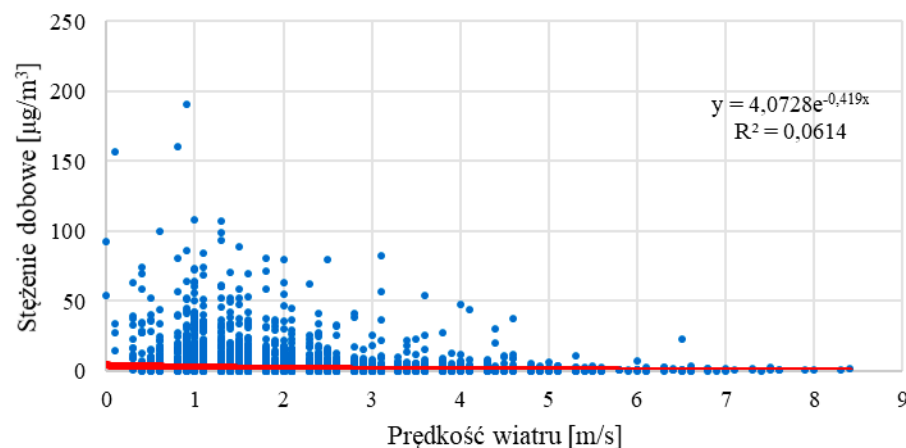
METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl



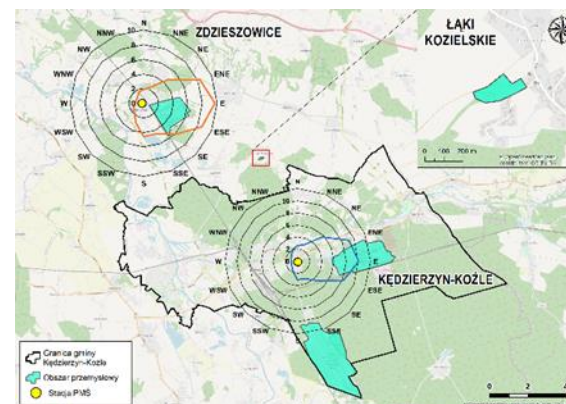
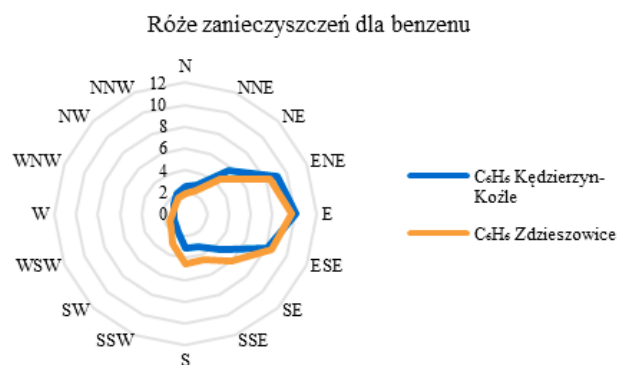
Zmiany średniorocznych stężeń benzenu w Kędzierzynie Koźlu

Warunki wentylacyjne atmosfery sprzyjające wysokim koncentracjom zanieczyszczeń, w tym benzenu – prędkość i kierunek wiatru

C₆H₆ Kędzierzyn-Koźle

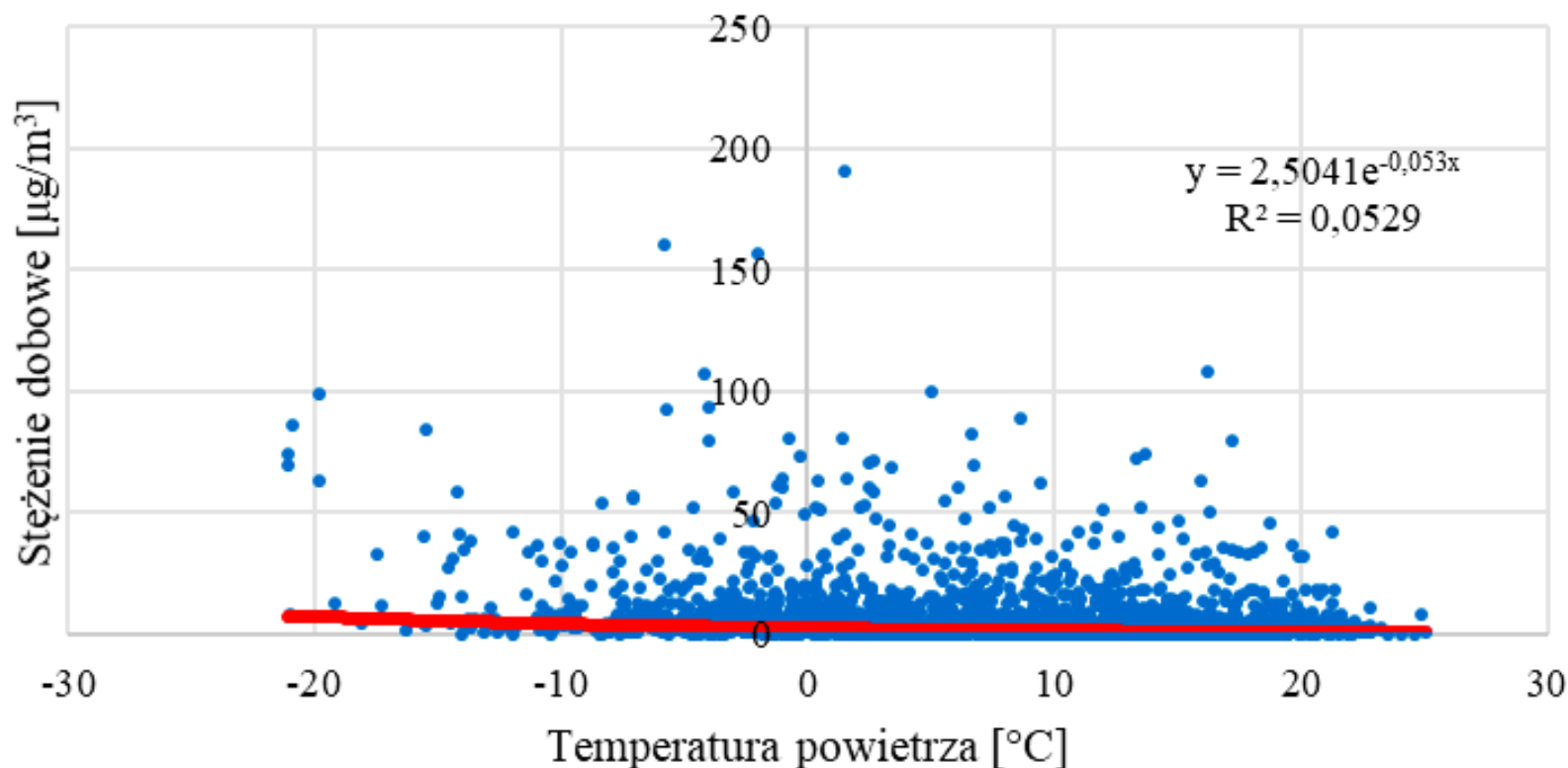


Zależność stężeń benzenu mierzonych na stacji w Kędzierzynie-Koźlu od prędkości wiatru



Porównanie stężeń benzenu w Kędzierzynie-Koźlu i Zdziezowicach w latach 2010–2019. Stężenia dobowe w $\mu\text{g}/\text{m}^3$

C_6H_6 Kędzierzyn-Koźle

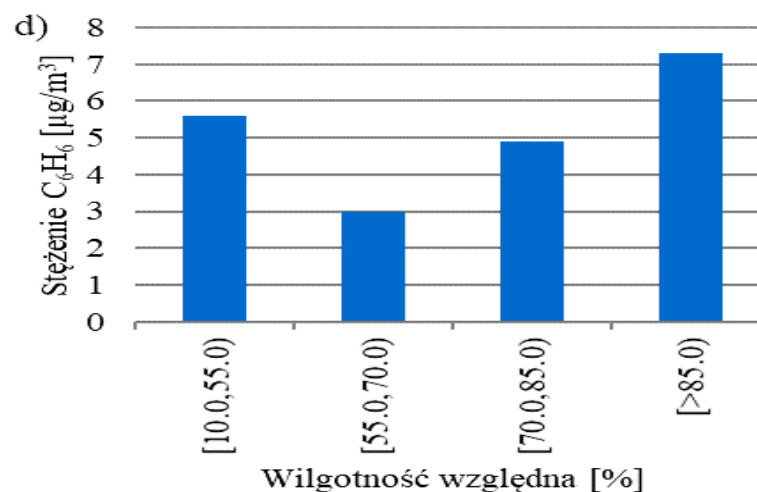
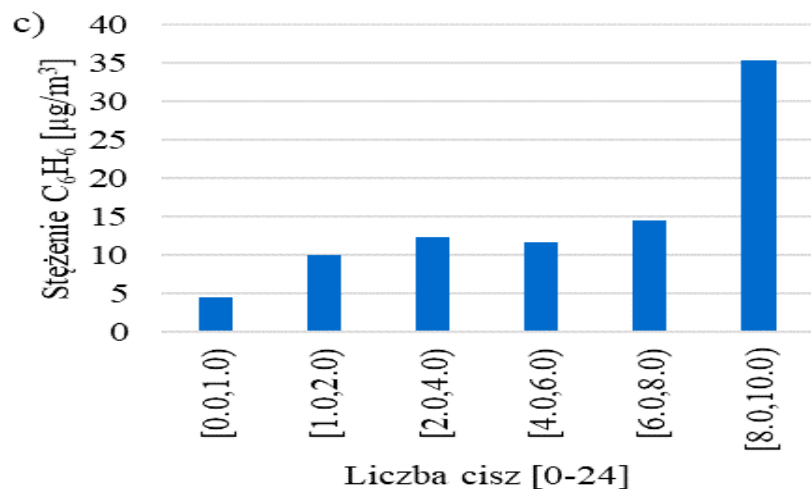
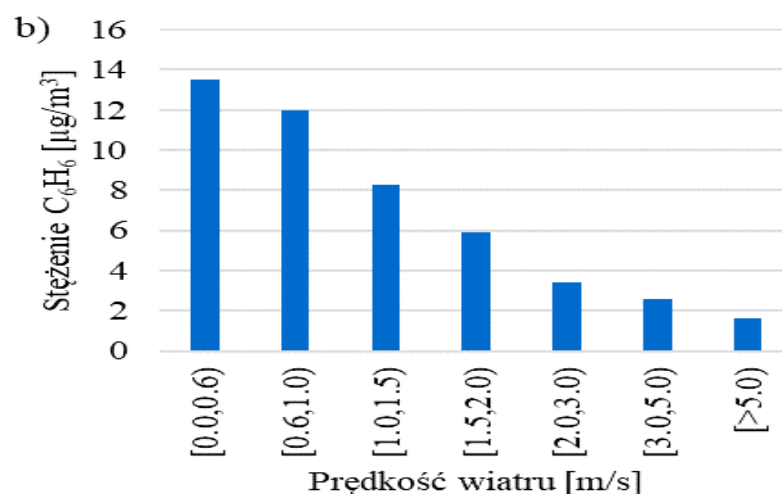
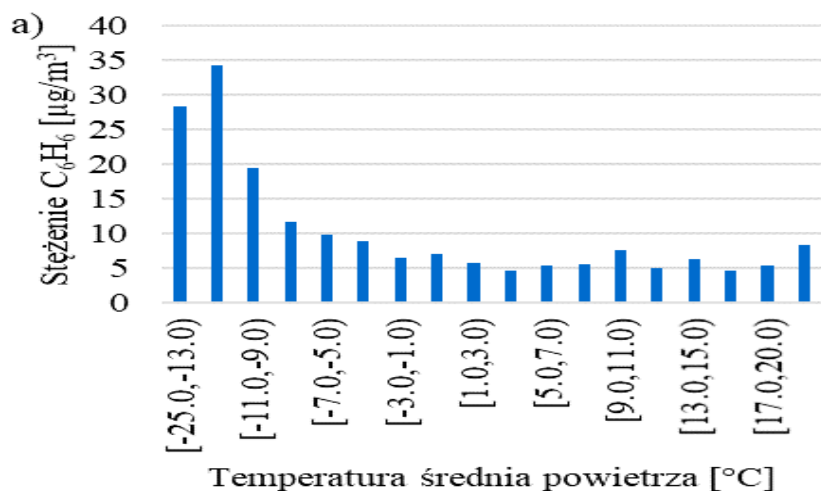


Zależność stężeń benzenu mierzonych na stacji w Kędzierzynie-Koźlu od temperatury powietrza

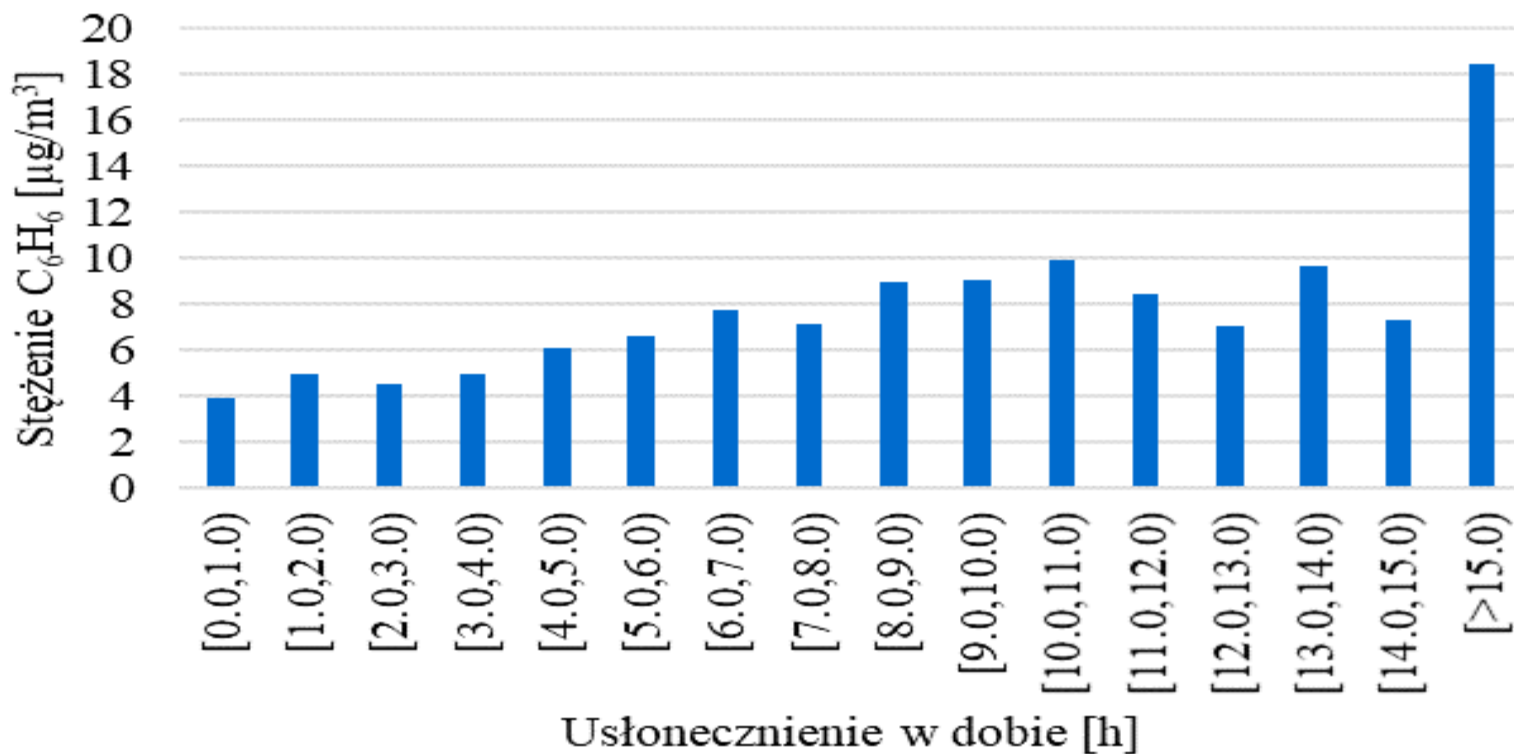
Statystyczne związki stężeń benzenu z meteorologią w ujęciu wieloletnim



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl



Zależność stężenia benzenu w Kędzierzynie-Koźlu od a) temperatury powietrza, b) prędkości wiatru, c) liczby cisz, d) wilgotności względnej powietrza w latach 2010–2020. Stężenie średniodobowe benzenu w $\mu g/m^3$



Zależność stężenia benzenu w Kędzierzynie-Koźlu liczby godzin usłonecznienia

Stężenie średniodobowe benzenu w $\mu g/m^3$

Wnioski z oceny charakterystyki zależności od zespołu warunków meteorologicznych stężeń benzenu w Kędzierzynie-Koźlu w okresie wieloletnim (2010-2020)

Dla obu stacji obserwuje się zbliżoną zależność stężeń benzenu:

- od temperatury: im niższa temperatura tym wyższe stężenia benzenu
- od prędkości wiatru – im mniejsza prędkość wiatru tym wyższe stężenia benzenu;
- od czasu trwania ciszy atmosferycznej (prędkość wiatru $< 0,5$ m/s)
– im dłuższy czas trwania ciszy tym wyższe stężenia benzenu;
- od wilgotności względnej – im wyższa wilgotność względna – tym większe stężenia benzenu
- od usłonecznienia – im większa liczba godzin słonecznych w dobie – tym wyższe stężenia benzenu

Zachowanie się stężeń benzenu od warunków meteorologicznych nie odbiega znacząco od zachowania się innych zanieczyszczeń

Definicja epizodu wysokich stężeń benzenu

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

Identyfikacja epizodów wysokich stężeń benzenu i ich związek z warunkami meteorologicznymi



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl

Data	Meteo Kędzierzyn-Koźle			Stężenia zanieczyszczeń [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] Kędzierzyn-Koźle PMŚ				
	p.w [m/s]	Tp [°C]	H [%]	C ₆ H ₆	NO ₂	SO ₂	PM10	PM2.5
2018-01-10	1,75	4,46	91,30	15,70	37,60	14,10	97,30	86,90
2018-02-10	0,96	-4,67	82,67	11,25	48,90	20,49	218,61	195,00
2018-03-06	1,96	2,20	86,71	12,48	59,50	22,77	183,51	158,20
2018-10-09	1,08	10,50	84,29	14,09	28,76	9,48	68,52	62,65
2018-10-10	1,75	13,91	78,17	17,49	30,81	8,50	59,51	53,35
2018-10-17	2,29	14,67	63,83	12,12	32,57	7,18	69,28	61,72
2019-01-20	0,79	-5,31	83,29	16,36	43,05	20,61	159,78	127,82
2019-01-22	1,71	-6,89	88,96	12,34	60,25	31,16	178,30	138,63
2019-11-25	2,25	5,27	87,13	11,46	27,89	12,66	55,86	43,68
2019-12-19	2,46	6,35	85,33	12,65	32,62	12,19	77,53	59,29
2020-01-17	2,79	0,86	87,21	23,03	37,01	14,10	108,09	83,31

p.w – prędkość wiatru w m/s,

Tp – temperatura powietrza w °C (średnie dobowe),

H – wilgotność względna w %

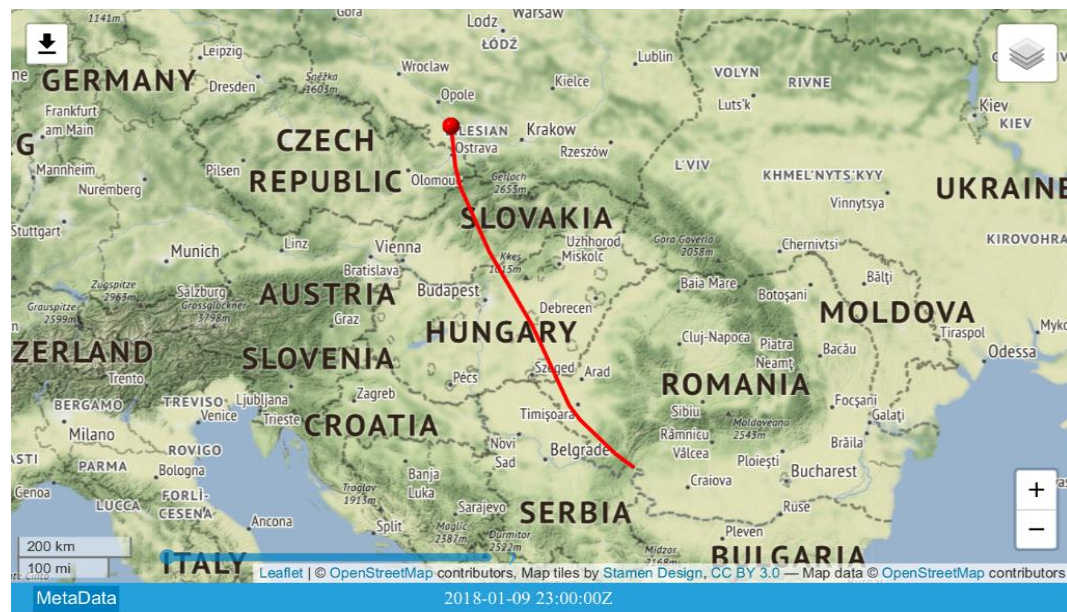
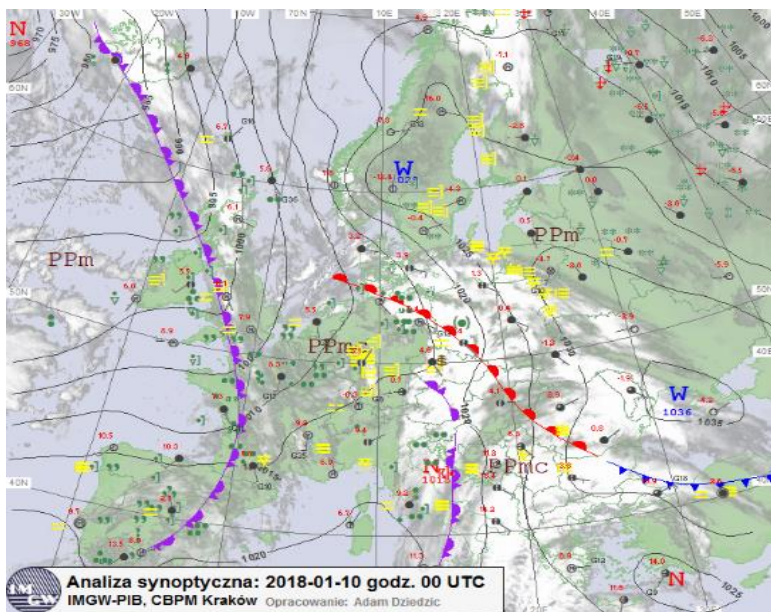
Daty wystąpienia epizodów przestrzennych ze szczególnym uwzględnieniem benzenu oraz towarzyszące im stężenia średniodobowe innych zanieczyszczeń ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i wybrane elementy meteorologiczne

Identyfikacja epizodów wysokich stężeń benzenu (i innych wskazanych zanieczyszczeń) i ich związek z warunkami meteorologicznymi

epizod 10 stycznia 2018 roku



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl



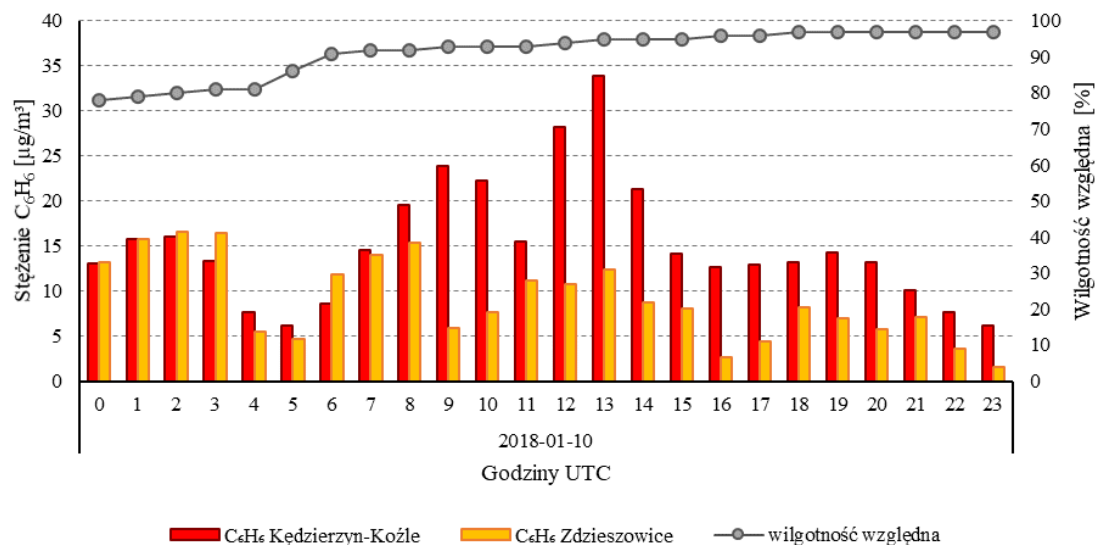
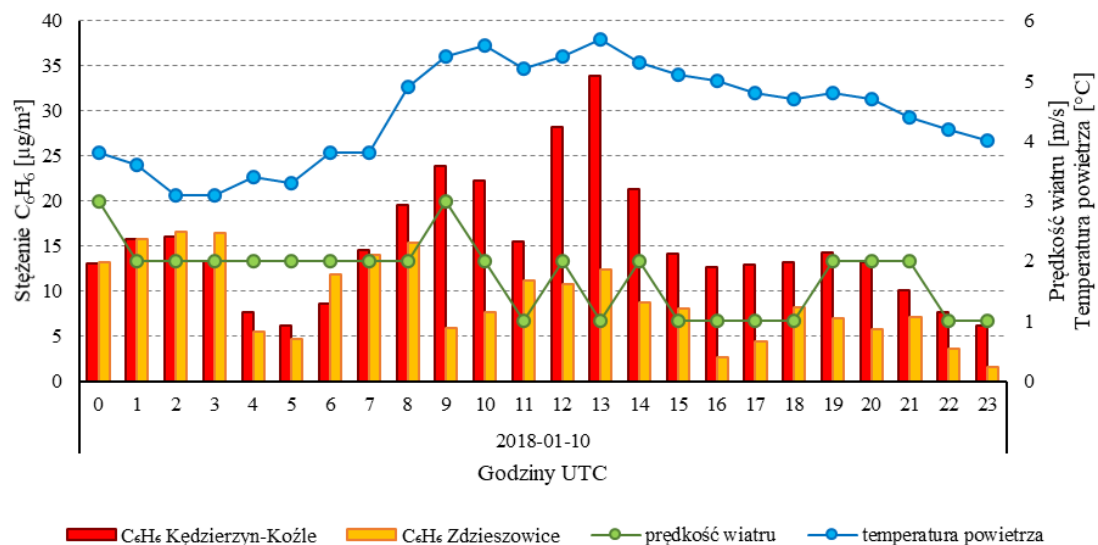
Mapa sytuacji synoptycznej z dnia
10 stycznia 2018 r. godz. 0 UTC
(źródło IMGW-PIB).

Trajektoria wsteczna – epizod z dnia 10.01.2018 r.

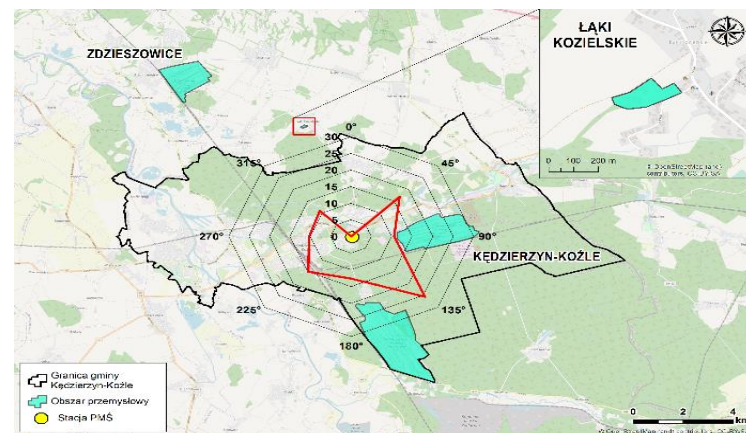
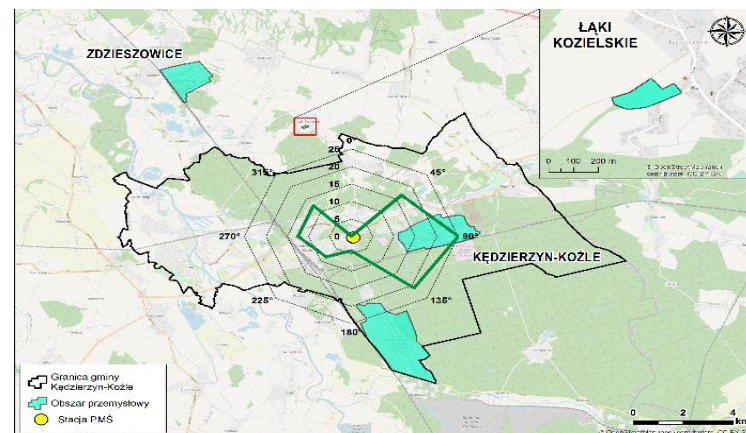
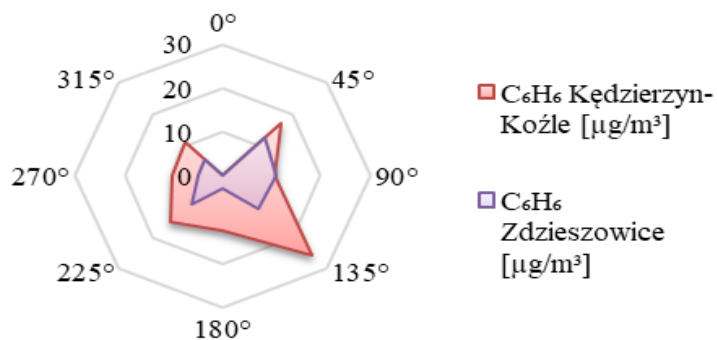
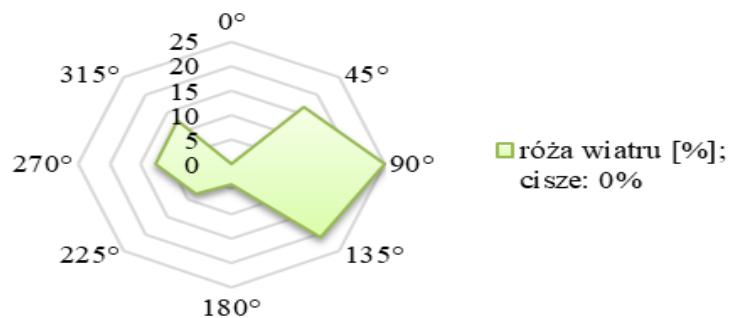
Identyfikacja epizodów wysokich stężeń benzenu (i innych wskazanych zanieczyszczeń) i ich związek z warunkami meteorologicznymi



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl



Identyfikacja epizodów wysokich stężeń benzenu (i innych wskazanych zanieczyszczeń) i ich związek z warunkami meteorologicznymi - epizod 10 stycznia 2018 roku c.d.



Róża wiatru i róża C_6H_6 w dniu 10.01.2018 r.

Warunki powstawania epizodów benzenu w latach 2018-2020

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

Definicja krótkotrwałych epizodów benzenu podczas badań specjalnych

Podczas serii badań specjalnych (marzec-październik 2020 r.) wyodrębniono krótkoterminowe „piki” wysokich stężeń benzenu zaobserwowane na tych stacjach.

Za epizod godzinowy przyjęto gdy na stacjach specjalnych godzinowe stężenie C_6H_6 przekraczało wartość $10 \mu g/m^3$

We wszystkich tych przypadkach średnia dobowa stężenia C_6H_6 przekraczała wartość $30 \mu g/m^3$

Szczegółowa charakterystyka zdarzeń w okresie badań specjalnych



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl

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

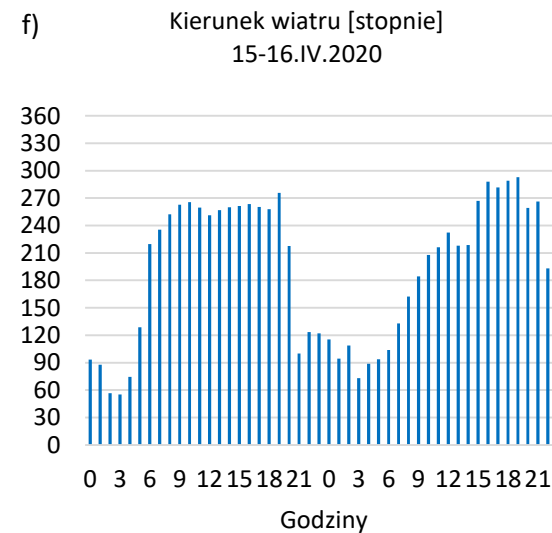
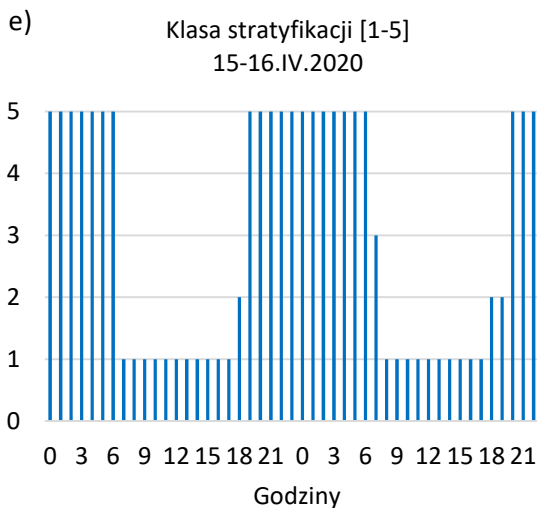
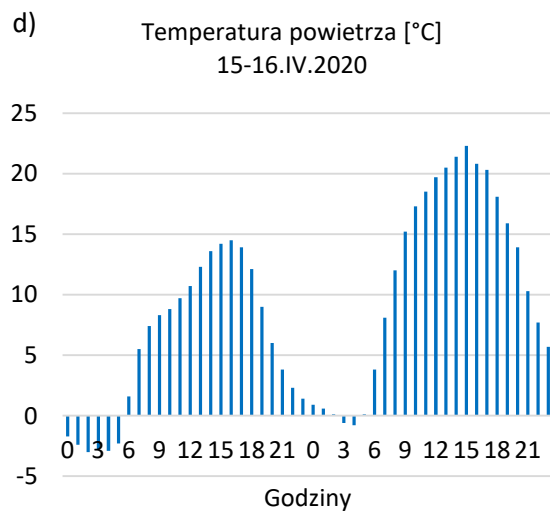
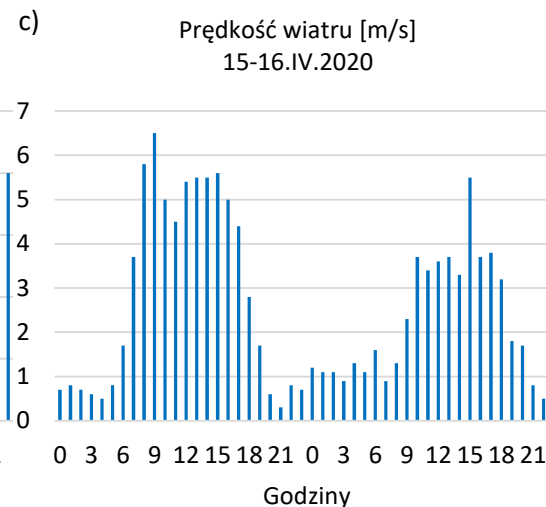
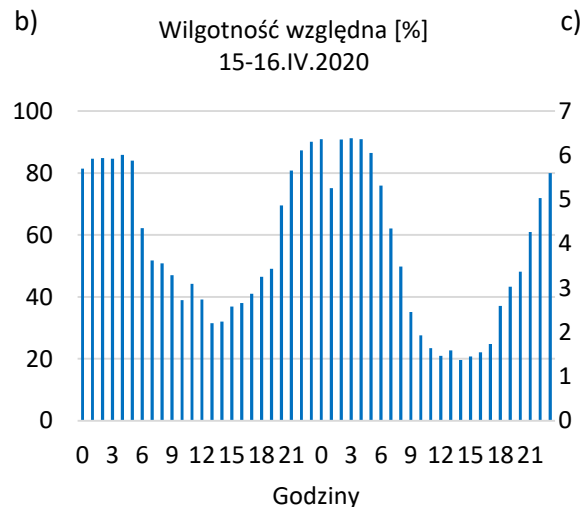
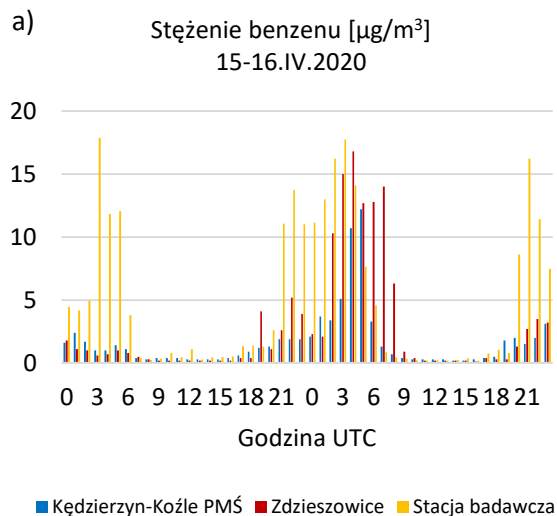
KW – kierunek wiatru,
Tp – temperatura powietrza,
H% – wilgotność względna

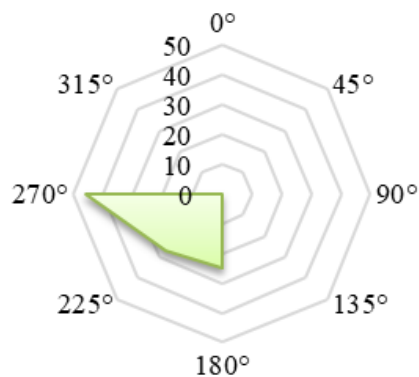
Identyfikacja epizodów wysokich stężeń C₆H₆ > 30 µg/m³ na stacji badawczej w okresie marzec – październik 2020 na tle danych ze stacji PMŚ oraz stacji meteorologicznej IMGW-PIB i UM Kędzierzyn-Koźle

Szczegółowa charakterystyka zdarzeń w okresie badań specjalnych

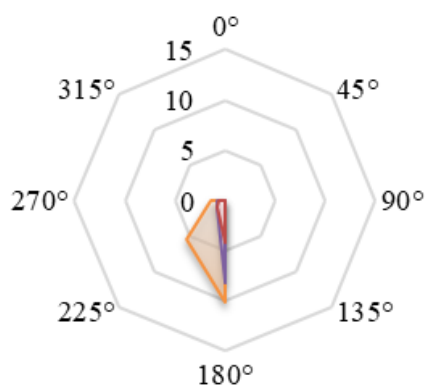
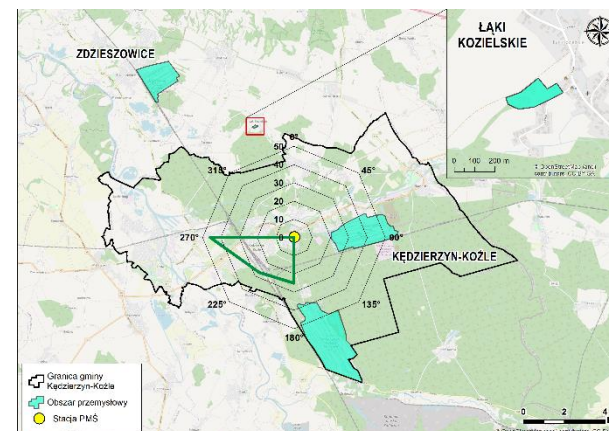


METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl

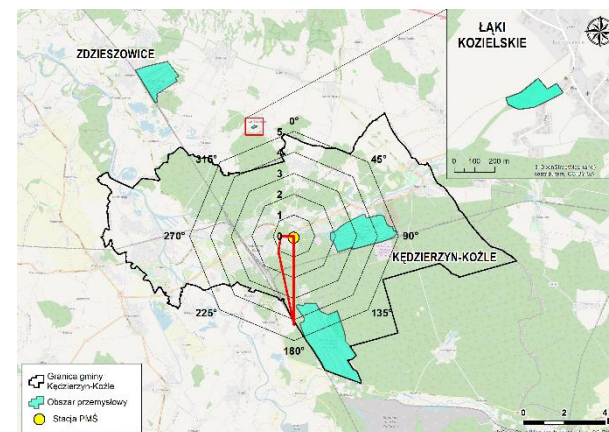




■ róża wiatru [%];
cisze: 2%



■ C₆H₆ stacja
badawcza [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 16,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
■ C₆H₆ Zdzieszowice
[$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
■ C₆H₆ Kędzierzyn-
Koźle [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
cisze: 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

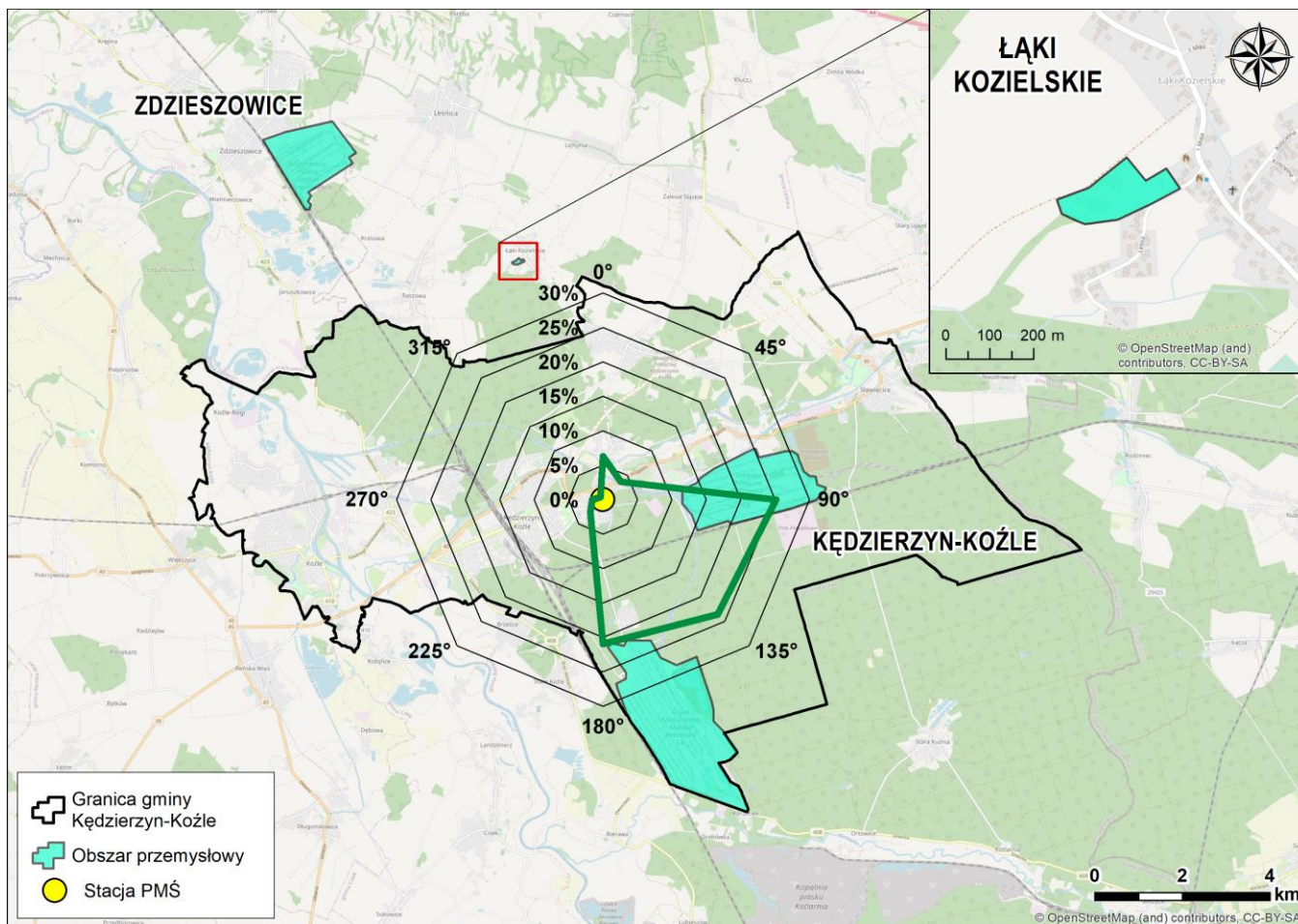


Róża wiatru i róże zanieczyszczeń w dniu 15–16.04.2020 r.

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.

W okresie badań specjalnych wystąpiło 191 przypadków takich epizodów.

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



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

Dla sytuacji epizodów kilkunastogodzinnych- obszarowych dokonano następujących spostrzeżeń:

- 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 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 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 osłonecznienie.
- Dla sytuacji gdy zwiększone stężenie benzenu obserwowane jest na stacjach PMS w Kędzierzynie-Koźlu i Zdzeszowicach 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-Koźla i 102° dla Zdzeszowic),
 - wysokiej wilgotności względnej $> 85\%$,
 - temperatura powietrza nie odgrywa tu znaczącej roli.

Skala czasowa i przestrzenna epizodu	Dane ogólne 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 PMŚ	tak	sytuacja synoptyczna, temperatura powietrza, prędkość i kierunek wiatru, opady atmosferyczne, usłonecznienie, klasa wentylacji	wyżowa lub słabo gradientowa 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

Rola czynników meteorologicznych w kształtowaniu się zanieczyszczeń powietrza

ze szczególnym uwzględnieniem benzenu w różnych skalach czasowych

Nazwa substancji	Element meteorologiczny				
	Temperatura powietrza	Prędkość wiatru	Wilgotność względna	Uśłonecznienie	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

Kierownik projektu w imieniu zespołu wykonawców pracy dziękuje
Inspektowi Ochrony Środowiska (GIOŚ) za udostępnienie danych uzyskanych w ramach realizacji
zadań Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ)
wykonywanych przez organy Inspekcji Ochrony Środowiska

<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives>

DZIĘKUJĘ za UWAGĘ

dr Leszek Ośródka

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

IMGW-PIB | 01-673 Warszawa, Podleśna 61 | www.imgw.pl

**Centrum Badań i Rozwoju
Zakład Meteorologii, Klimatologii i Ochrony Atmosfery**

**e-mail: leszek.osrodka@imgw.pl
40-045 Katowice, ul. Bratków 10**

**www.imgw.pl | serwis pogodowy: <https://meteo.imgw.pl/>
Media Office 24/7/365: Twitter @IMGWMeteo**

Znajdź nas: Facebook, Instagram, LinkedIn

**Należymy do Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) oraz
EUMETSAT**



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl