OCENA: 6

Sprawozdanie

PRZEBIEG CZASOWY ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA W KRAKOWIE

Stacja Kraków, ul. Bulwarowa, rok 2015

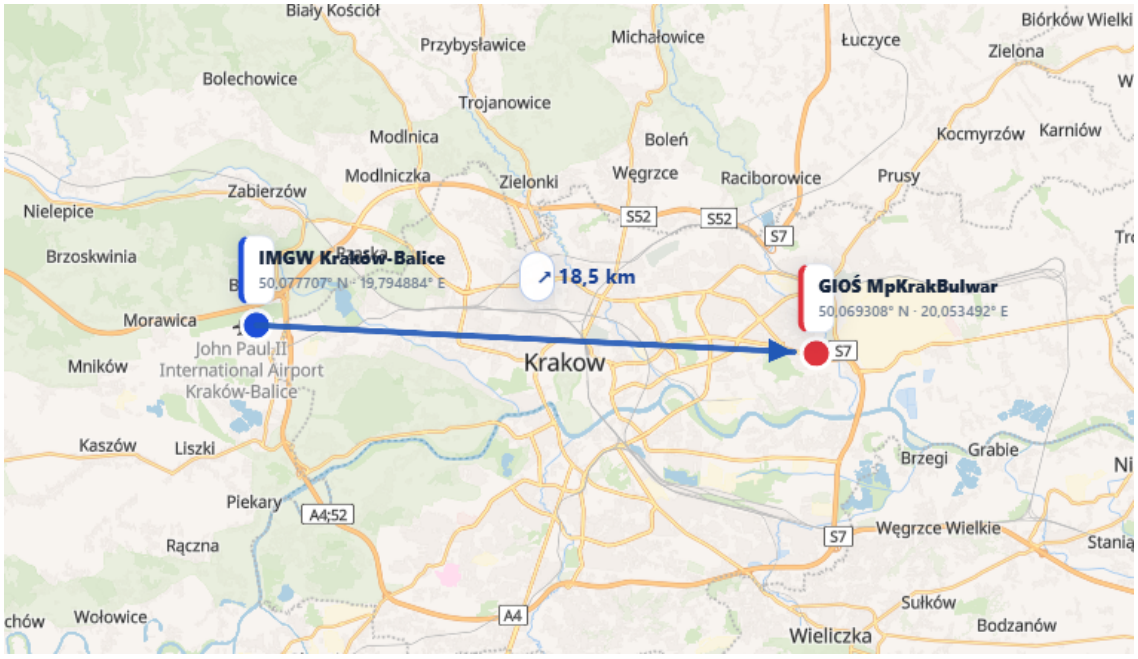
Paweł Szczeszek, HMiK inż. D2

1. Cel i dane

W ćwiczeniu sprawdzono, jak zmieniały się stężenia SO_2, NO_2 i pyłu PM10. Porównano miesiące, pory dnia oraz sezon grzewczy i pozagrzewczy. W części dodatkowej zbadano związek stężeń z temperaturą, wiatrem, wilgotnością powietrza.

Stężenia pochodzą z danych dla stacji o oznaczeniu MpKrakBulwar z 2015 r. Źródłem pomiarów jest GIOŚ [1]. Dane pogodowe pobrano z IMGW przez pakiet R `climate` [2, 3]. Wybrano stację Kraków-Balice.

Stacje Kraków-Balice i Kraków, ul. Bulwarowa (o oznaczeniu MpKrakBulwar) to dwa różne miejsca (Rysunek 1). Dane pogodowe nie pokazują dokładnie pogody przy stacji zanieczyszczeń.



Rysunek 1: Lokalizacja stacji IMGW Kraków-Balice oraz stacji GIOŚ MpKrak-Bulwar. Odległość między stacjami wynosi ok. 18,5 km w linii prostej.

2. Jak wykonano obliczenia?

Dane godzinowe o stężeniach zanieczyszczeń zestawiono z danymi meteorologicznymi według daty i godziny pomiaru. Ponieważ dane IMGW były zapisane w UTC, przeliczono je na stały czas CET (UTC+1). Po dopasowaniu uzyskano 8759 wspólnych terminów godzinowych.

W danych GIOŚ występowały dodatkowo braki pomiarów poszczególnych zanieczyszczeń, których nie uzupełniano ani nie zastępowano zerami.

Średnie dobowe obliczano dla dni z co najmniej 18 dostępnymi pomiarami godzinowymi. Średnie miesięczne i roczne wyznaczono na podstawie dostępnych pomiarów. Wszystkie stężenia podano w $\mu g/m^3$. Tabela 1 przedstawia liczbę pomiarów, ich dostępność w stosunku do 8760 godzin roku oraz

średnie, minimalne i maksymalne stężenia.

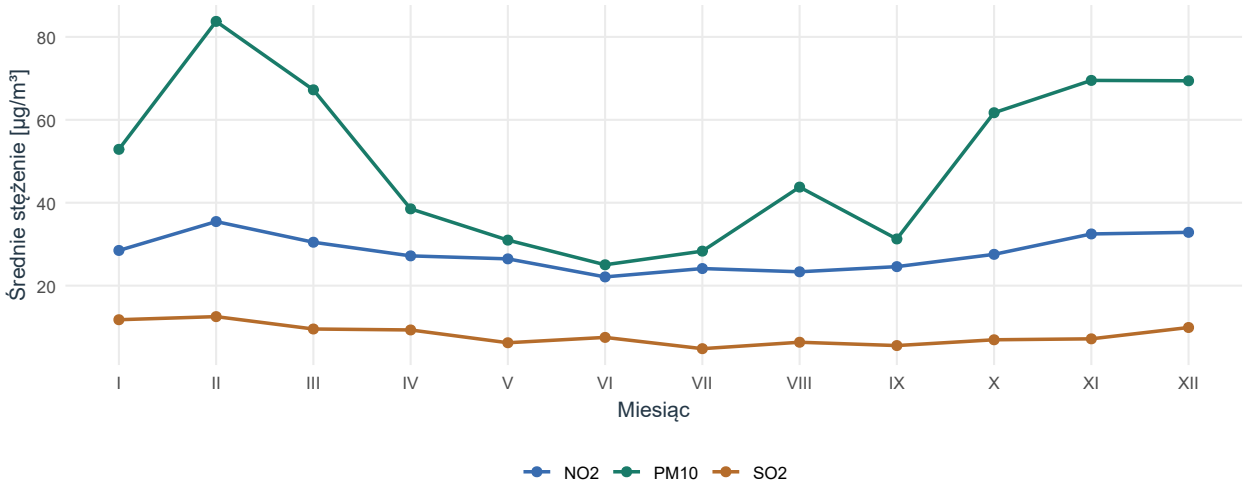
Tabela 1: Dostępność danych i statystyki godzinowe. Średnia, minimum i maksimum w $\mu g/m^3$.

Substancja	Godziny	Dostępność [%]	Średnia	Min.	Maks.
SO2	8459	96,6	8,09	0,97	123,15
NO2	8467	96,7	27,91	2,00	113,09
PM10	8318	95,0	50,22	3,00	580,17

Przyjęto sezon grzewczy obejmujący styczeń–marzec oraz październik–grudzień i pozagrzewczy kwiecień–wrzesień. Za godziny szczytu uznano przedziały 07–09 i 15–17 włącznie. Są to umowne przedziały czasowe. Analiza nie obejmuje bezpośrednich danych o natężeniu ruchu.

3. Zmiany w ciągu roku

Na rysunku 2 widać, że PM10 zmieniał się znacznie mocniej niż pozostałe substancje. Najwyższa średnia miesięczna PM10 wystąpiła w lutym. Wyniosła 83,74 $\mu g/m^3$. Najniższa była w czerwcu: 25,03 $\mu g/m^3$.



Rysunek 2: Średnie miesięczne stężenia.

3.1. Sezon grzewczy i pozostałe miesiące

W sezonie grzewczym średnie stężenia wszystkich trzech substancji były wyższe. Największa różnica dotyczyła PM10. Jego średnia była ponad dwa razy większa niż w pozostałych miesiącach.

Tabela 2: Porównanie średnich stężeń w $\mu g/m^3$. Wzrost obliczono względem miesięcy poza sezonem grzewczym.

Substancja	Sezon grzewczy	Pozostałe miesiące	Wzrost [%]
SO2	9,58	6,57	45,9
NO2	31,15	24,52	27,0
PM10	67,45	32,98	104,5

Wyniki mogą być powiązane z ogrzewaniem budynków oraz ograniczonego mieszania się powietrza spowodowanego warunkami pogodowymi występującymi w chłodnej części roku.

3.2. Najwyższe i najniższe pomiary

Najwyższe godzinowe PM10 wyniosło 580,17 μg/m^3. Zmierzono je 4 listopada o 17:00. Minimum wyniosło 3,00 μg/m^3 i wystąpiło 30 marca o 04:00.

Maksimum NO_2 wyniosło 113,09 μg/m^3 21 marca o 20:00. Minimum wyniosło 2,00 μg/m^3 24 maja o 15:00.

Maksimum SO_2 wyniosło 123,15 μg/m^3 18 czerwca o 10:00. Minimum wyniosło 0,97 μg/m^3 29 września o 08:00.

Letnie maksimum SO_2 pokazuje, że nie każdy wysoki pomiar wystąpił w sezonie grzewczym.

4. Zmiany w poszczególnych miesiącach

Tabela 3 zestawia średnie stężenia i liczbę dni z wysokim PM10. W lutym wszystkie trzy substancje miały najwyższą średnią miesięczną. Najniższa średnia NO_2 była w czerwcu. Dla SO_2 najniższy wynik wystąpił w lipcu.

Tabela 3: Średnie miesięczne w μg/m^3 oraz liczba dni z dobowym PM10 powyżej 50 μg/m^3. Liczono tylko doby z co najmniej 18 ważnymi pomiarami.

Miesiąc	SO_2	NO_2	PM10	Dni PM10 > 50
styczeń	11,78	28,49	52,88	13
luty	12,52	35,46	83,74	21
marzec	9,54	30,47	67,24	17
kwiecień	9,31	27,18	38,52	5
maj	6,22	26,46	30,98	1
czerwiec	7,51	22,11	25,03	0
lipiec	4,79	24,12	28,32	0
sierpień	6,35	23,34	43,77	8
wrzesień	5,54	24,58	31,26	1
październik	6,94	27,55	61,71	17
listopad	7,17	32,47	69,51	12
grudzień	9,90	32,86	69,41	19



W lutym odnotowano 21 dni z przekroczeniem dobowego progu PM10. W czerwcu i lipcu nie stwierdzono przekroczeń wśród ważnych średnich dobowych.

W sierpniu było 8 dni z przekroczeniem. Pokazuje to, że podwyższone PM10 pojawiało się również poza sezonem grzewczym.

4.1. Co pokazują przebiegi miesięczne?

Wykresy załączone w dodatku (7, 8, 9) pokazują duże zmiany z dnia na dzień. Krótkie wzrosty mogą być słabo widoczne w średniej miesięcznej. Dobrym przykładem jest listopad. Najwyższa średnia dobowa PM10 wyniosła wtedy 233,26 μg/m^3, a najniższa 8,73 μg/m^3. Wystąpiły one odpowiednio 4 i 15 listopada.

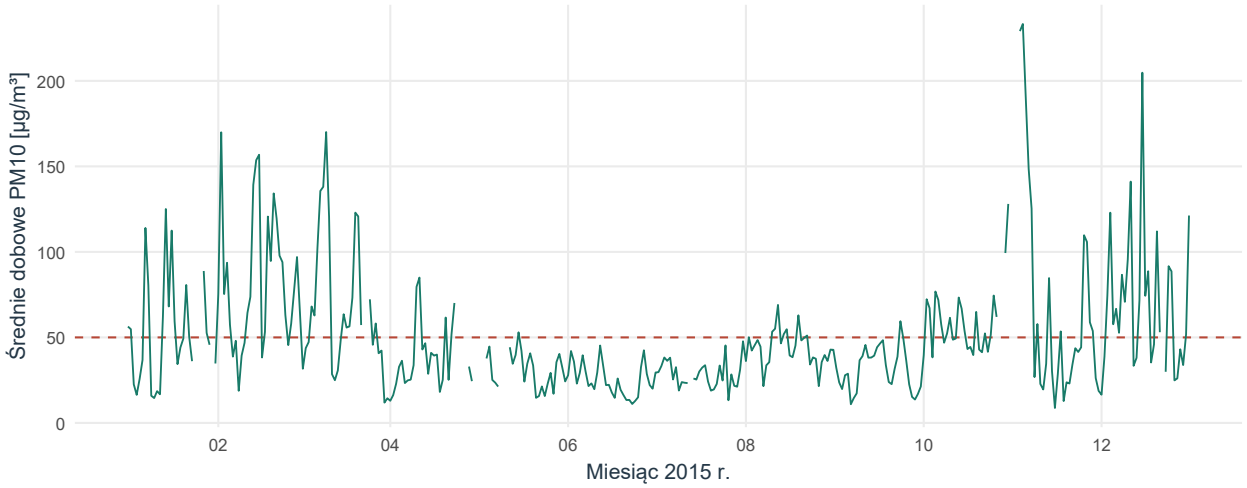
5. Czy przekroczono dopuszczalne poziomy?

Zastosowano poziomy ochrony zdrowia właściwe dla 2015 r. [4], określające dopuszczalne stężenia godzinowe, dobowe i roczne. Tabela 4 pokazuje progi godzinowe i dobowe oraz dozwoloną i stwierdzoną liczbę przekroczeń.

Tabela 4: Poziomy dopuszczalne i wyniki dla 2015 r. Dla norm godzinowych liczy się godziny, a dla dobowych – dni.

Substancja	Okres	Próg [μg/m^3]	Dopuszczalna liczba	Stwierdzono
SO_2	godzina	350	24	0
SO_2	doba	125	3	0
NO_2	godzina	200	18	0
PM10	doba	50	35	114

NO_2 miało średnią roczną 27,91 μg/m^3. Była ona niższa od poziomu 40 μg/m^3. Średnia roczna PM10 wyniosła 50,22 μg/m^3. Przekroczyła poziom 40 μg/m^3 o 10,22 μg/m^3, czyli o około 25,6%.



Rysunek 3: Średnie dobowe PM10. Przerywana linia oznacza poziom 50 μg/m^3. Luki wynikają z braku pomiarów.

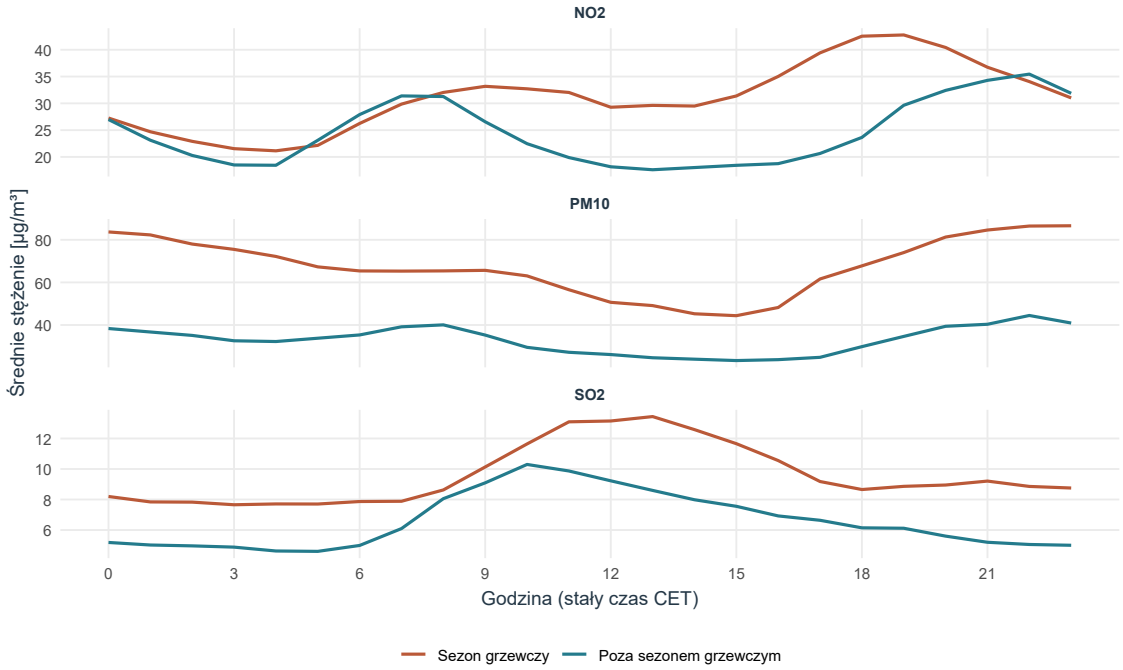
Próg dobowy PM10 przekroczono w 114 dniach. To o 79 dni więcej niż dopuszczalna liczba 35. Ważną średnią PM10 udało się obliczyć dla 341 dni. W pozostałych 24 dniach było za mało danych. Nie uwzględniono ich w analizie.

Dla SO_2 i NO_2 nie stwierdzono przekroczeń badanych progów. Dla NO_2 nie stosowano progu dobowego z uwagi na brak takich przepisów.

Nowa dyrektywa UE 2024/2881 [5] wprowadza dobowy limit NO_2: 50 μg/m^3, z możliwością przekroczenia przez maksymalnie 18 dni w roku. Ten poziom ma być osiągnięty od 1 stycznia 2030 r. Nie uwzględniono jej w analizie.

6. Zmiany w ciągu doby

Rysunek 4 pokazuje średnie stężenie o danej godzinie. Tabela 6 przedstawia średnie stężenia w szczycie oraz poza nim.



Rysunek 4: Średnie przebiegi dobowe w sezonie grzewczym i poza nim.

W profilu całorocznym:
NO_2 miało minimum o 04:00 (19,83 $\mu g/m^3$), a maksimum o 20:00 (36,51 $\mu g/m^3$).
PM10 miało minimum o 15:00 (33,91 $\mu g/m^3$), a maksimum o 22:00 (65,46 $\mu g/m^3$).
SO_2 miało minimum o 05:00 (6,17 $\mu g/m^3$), a maksimum o 11:00 (11,50 $\mu g/m^3$).

Tabela 5: Średnie stężenia w umownym szczycie i poza nim, w $\mu g/m^3$. Szczyt: 07–09 i 15–17 CET włącznie.

Substancja	Poza szczytem	W szczycie
SO2	7,94	8,55
NO2	27,52	29,07
PM10	52,05	44,76

W szczycie NO_2 było nieco wyższe niż poza nim. PM10 miało odwrotny wynik. Jego wysokie stężenia występowały także wieczorem i nocą. Mogło się to wiązać z ogrzewaniem oraz słabszym mieszaniem powietrza.

7. Pogoda a zanieczyszczenia - część dodatkowa

Sprawdzono temperaturę powietrza, prędkość wiatru i wilgotność względną. Użyto tylko godzin, które miały zarówno pomiar stężenia, jak i pomiar pogody. Liczba par wyniosła 8459 dla SO_2, 8467 dla NO_2 i 8318 dla PM10.

7.1. Jak odczytać korelację?

W tabeli 6 przedstawiono współczynniki korelacji Spearmana, które przyjmują wartości od -1 do 1:

- 1: im większa jedna zmienna, tym większa druga,
- -1: im większa jedna zmienna, tym mniejsza druga,

- 0: brak zależności monotonicznej.

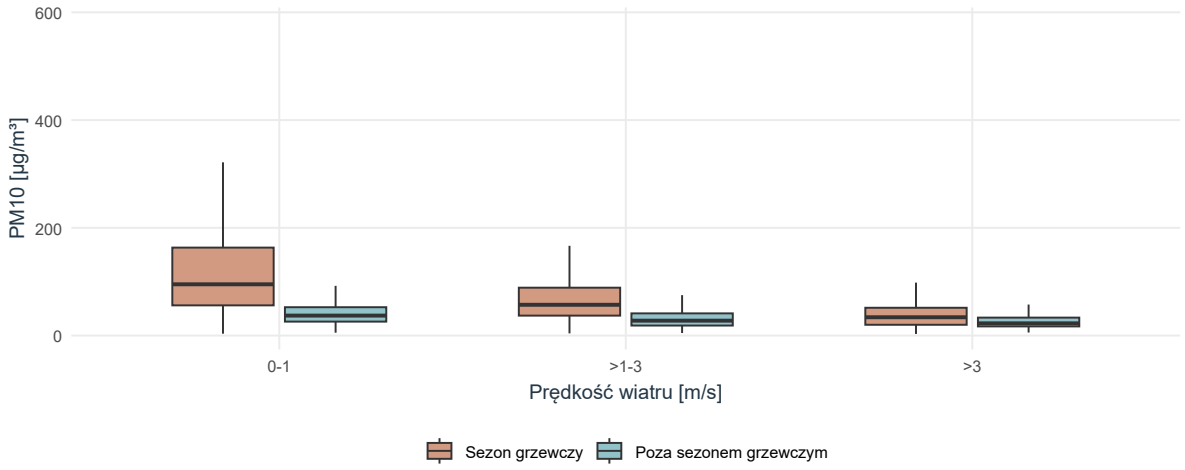
Im bliżej wartości −1 lub 1, tym silniejsza zależność między zmiennymi.

Tabela 6: Korelacje Spearmana dla pomiarów godzinowych z całego roku.

Substancja	Temperatura	Wiatr	Wilgotność
SO2	-0,19	0,22	-0,20
NO2	-0,19	-0,26	0,17
PM10	-0,38	-0,37	0,31

7.2. Wiatr

Dla PM10 i NO_2 korelacja z prędkością wiatru była ujemna. Przy silniejszym wietrze stężenia były zwykle niższe. Wynik jest zgodny z lepszym rozpraszaniem zanieczyszczeń.



Rysunek 5: PM10 w trzech przedziałach prędkości wiatru. Pozioma kreska to mediana. Pudełko obejmuje środkowe 50% wyników.

W sezonie grzewczym średnie PM10 wyniosło 112,26 $\mu g/m^3$ przy wietrze do 1 m/s.

Przy prędkości powyżej 3 m/s było to 38,77 $\mu g/m^3$.

Poza sezonem grzewczym wartości wyniosły odpowiednio 42,22 i 27,19 $\mu g/m^3$.

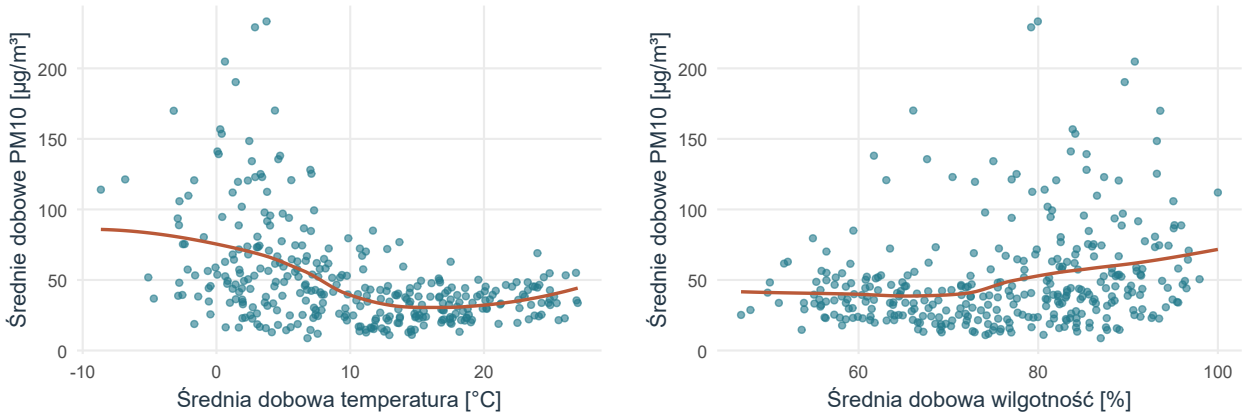
SO_2 miało słabą dodatnią korelację z wiatrem (0,22). Przy obliczeniach dla średnich dobowych wynik był już bliski zeru (0,04). Nie potwierdza to prostego założenia, że silniejszy wiatr zawsze oznacza mniej każdej substancji.

7.3. Temperatura i wilgotność

W całym roku PM10 miało ujemną korelację z temperaturą (−0,38). W chłodniejszych godzinach stężenia były zwykle wyższe. Po rozdzieleniu sezonów związek wyglądał inaczej. W sezonie grzewczym korelacja wyniosła −0,34. Poza nim była bliska zeru (0,05).

Tabela 7: Korelacje godzinowego PM10 z pogodą w różnych częściach roku.

Okres	Temperatura	Wiatr	Wilgotność
Cały rok	-0,38	-0,37	0,31
Sezon grzewczy	-0,34	-0,57	0,26
Pozostałe miesiące	0,05	-0,28	0,12



Rysunek 6: Średnie dobowe PM10 a temperatura i wilgotność. Pojedynczy punkt oznacza jedną dobę. Czerwona linia pokazuje ogólny przebieg zależności. Wykresy dotyczą 341 ważnych średnich dobowych.

Zależność między temperaturą a stężeniem PM10 w całym roku wynika częściowo z różnic między sezonem grzewczym a pozagrzewczym. W chłodniejszej części roku stężenia mogą być wyższe z powodu ogrzewania budynków. Dla NO_2 w sezonie grzewczym korelacja z temperaturą była bliska zeru ($-0{,}01$), czyli nie zaobserwowano wyraźnej zależności. Nie można więc przyjąć, że sam spadek temperatury powoduje wzrost stężenia każdej substancji.

7.4. Dodatkowe sprawdzenie

Porównałem też średnie dobowe. Dla PM10 korelacja z temperaturą wyniosła $-0{,}42$, z wiatrem $-0{,}39$, a z wilgotnością 0,24. Zależności były praktycznie takie same jak dla danych godzinowych.

7.5. Czego nie można ustalić z tych danych?

Uwzględnienie tylko temperatury, wilgotności i prędkości wiatru nie wystarcza, aby w pełni wyjaśnić zmiany stężeń zanieczyszczeń. Widać pewne zależności, ale nie są one jednakowe dla wszystkich substancji. Na wykresach występuje duży rozrzut punktów. Podobne warunki pogodowe nie zawsze oznaczały podobne stężenia PM10. Znaczenie mogą mieć także kierunek wiatru, opady, napływ zanieczyszczeń z innych obszarów oraz zmiany emisji.

Na stężenia może wpływać również inwersja temperatury. Utrudnia ona mieszanie powietrza i sprzyja gromadzeniu się zanieczyszczeń przy ziemi. W analizowanych danych nie uwzględniono pomiarów temperatury na różnych wysokościach.

8. Wnioski

1. Największy problem stanowił PM10. Jego średnia roczna wyniosła 50,22 $\mu g/m^3$. Próg dobowy 50 $\mu g/m^3$ przekroczono w 114 dniach. Przekroczono zarówno poziom roczny i dopuszczalną liczbę dni z wysokim stężeniem.

2. W sezonie grzewczym średnie stężenia były wyższe dla wszystkich trzech substancji. Największa różnica dotyczyła PM10. Jego średnia była ponad dwa razy większa niż w pozostałych miesiącach.

3. Słaby wiatr wiązał się z wyższym PM10. Związek był szczególnie widoczny w sezonie grzewczym.

4. Wyniki nie wyjaśniają w pełni przyczyn zanieczyszczeń. Pogodę mierzono w Balicach. Należałoby uwzględnić dane o lokalnej emisji, ruchu, pionowym rozkładzie temperatury i wilgoci.

Literatura

[1] GIOŚ, Bank danych pomiarowych. Stacja MpKrakBulwar, 2015 r.

`https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives`

[2] IMGW-PIB, archiwum danych terminowych SYNOP. Stacja Kraków-Balice, 2015 r.

`https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/dane_meteorologiczne/terminowe/synop/2015/`

[3] B. Czernecki, A. Głogowski, J. Nowosad, pakiet R `climate`, wersja 1.4.2. Dane pobrano funkcją `meteo_imgw`.

`https://bczernecki.github.io/climate/reference/meteo_imgw.html`

[4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu. Dz.U. 2012 poz. 1031, załącznik nr 1.

`https://api.sejm.gov.pl/eli/acts/DU/2012/1031/text.html`

[5] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/2881 z dnia 23 października 2024 r. w sprawie jakości powietrza i czystszego powietrza dla Europy (wersja przekształcona). Dz.U. UE L, 2024/2881, 20.11.2024, załącznik I.

`https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/pol`

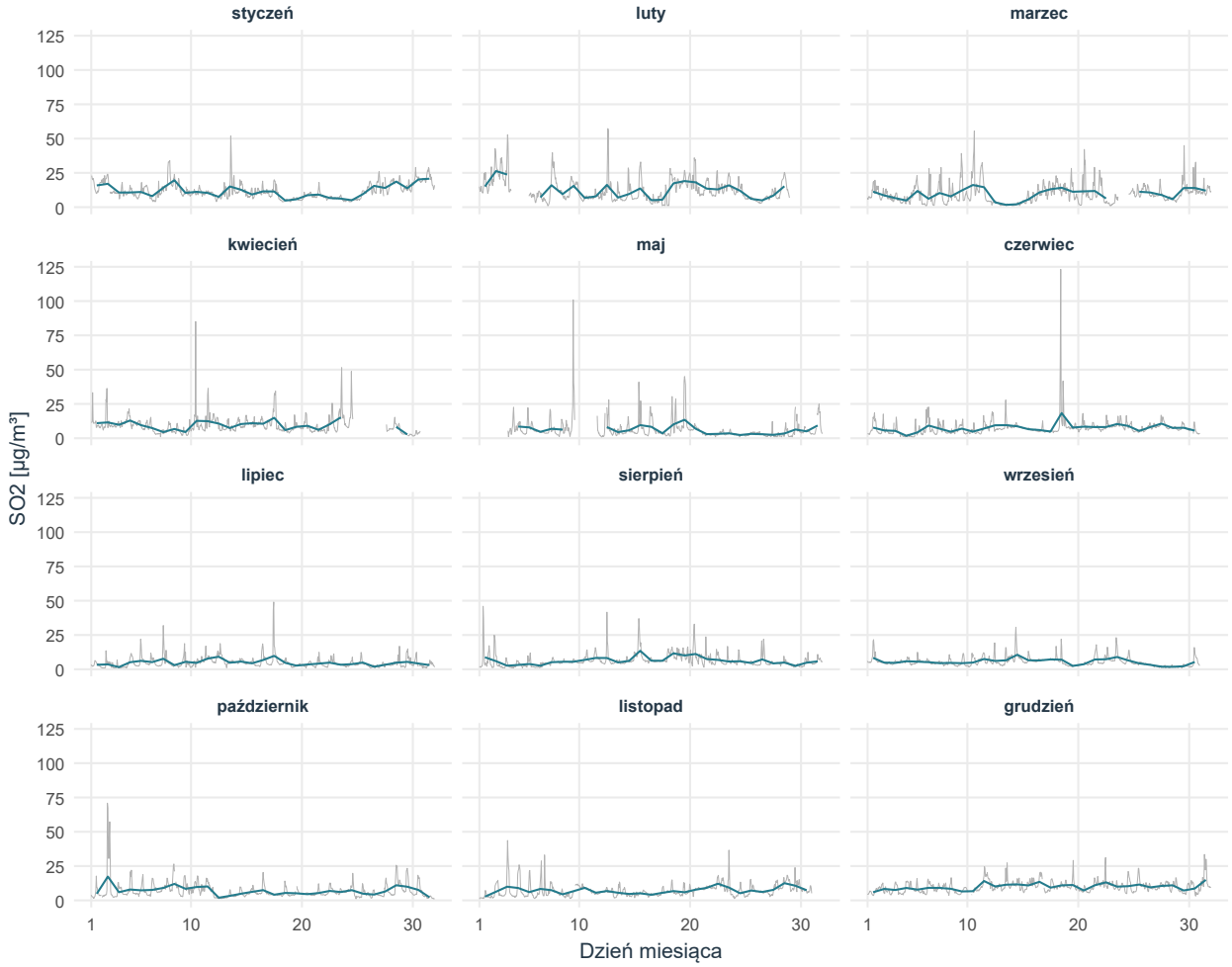
A. Przebiegi miesięczne

Tabela 8: Najniższe i najwyższe stężenia godzinowe w każdym miesiącu, w $\mu g/m^3$. W każdej komórce podano minimum–maksimum.

Miesiac	SO_2	NO_2	PM10
styczeń	4,00–52,00	4,00–91,00	4,00–246,00
luty	0,98–57,33	5,60–106,15	9,35–309,12
marzec	1,02–55,58	7,01–113,09	3,00–321,56
kwiecień	1,04–85,10	4,31–104,66	6,15–214,12
maj	1,00–100,94	2,00–84,32	7,89–174,37
czerwiec	1,00–123,15	2,65–86,34	4,71–120,53
lipiec	1,00–49,03	3,06–64,30	7,67–111,50
sierpień	1,00–45,98	2,91–86,66	7,06–181,84
wrzesień	0,97–30,68	3,19–100,51	5,61–309,99
październik	1,08–70,87	5,57–82,91	8,34–285,69
listopad	1,05–43,68	4,90–100,13	3,45–580,17
grudzień	3,12–33,49	6,60–83,49	3,10–293,65

Zestawienie pokazuje zakres pojedynczych pomiarów.

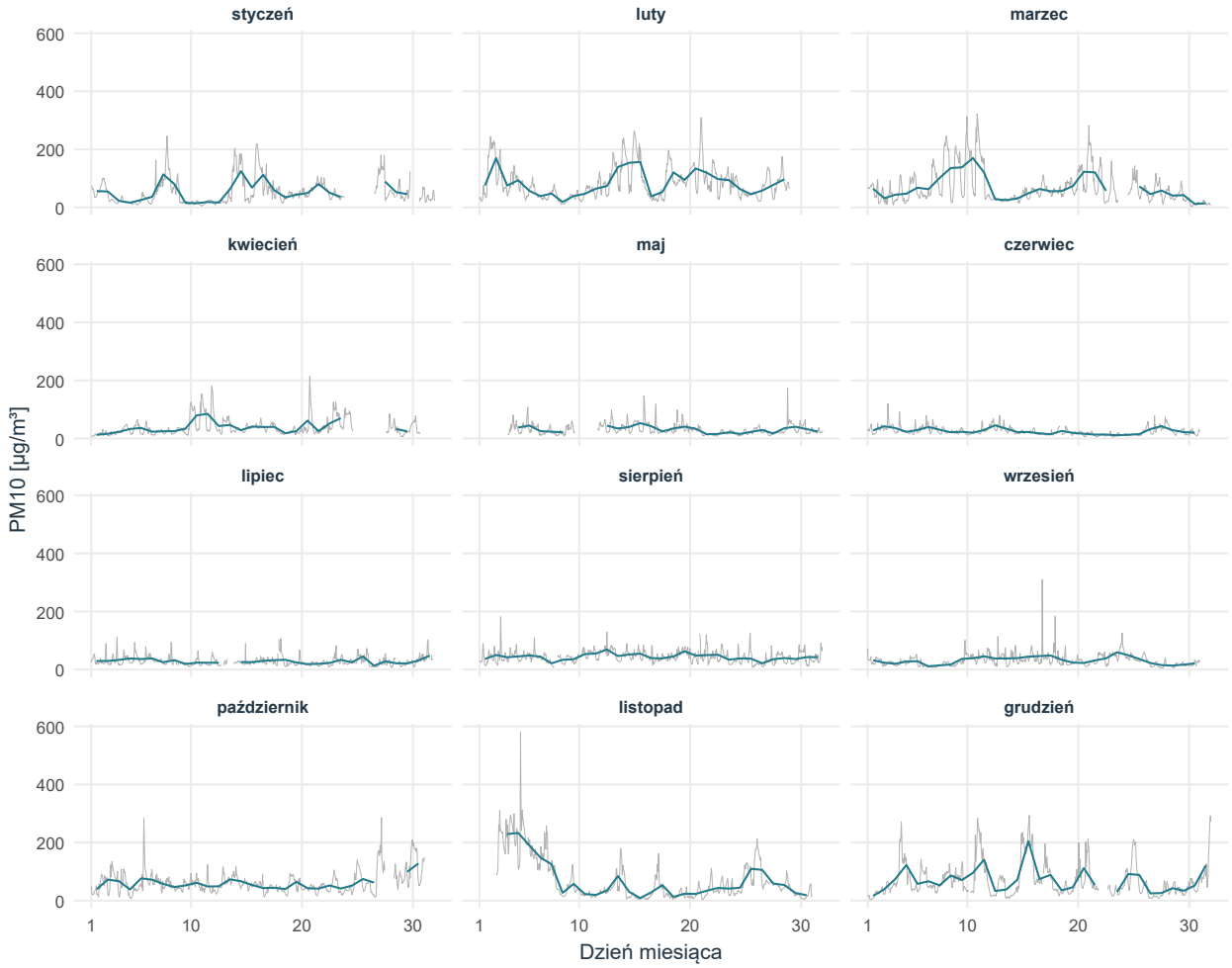
Na poniższych wykresach (7, 8, 9) szare linie pokazują stężenia godzinowe. Niebieskie linie pokazują średnie dobowe. Zachowano wszedzie taką samą skalę. Luki oznaczają brak danych.



Rysunek 7: Przebieg SO_2 w poszczególnych miesiącach.



Rysunek 8: Przebieg NO_2 w poszczególnych miesiącach.



Rysunek 9: Przebieg PM10 w poszczególnych miesiącach.