

LUDZIE CZY POGODA

CO POPRAWIA JAKOŚĆ POWIETRZA?

ANALIZY Z WYKORZYSTANIEM
MODELU NORMALIZUJĄCEGO
STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA
Z WYKORZYSTANIEM
DANYCH METEOROLOGICZNYCH

PILOTAŻ

AUTORZY:

ŁUKASZ ADAMKIEWICZ
DOMINIKA MUCHA
MAGDALENA CYGAN

RECENZJA KRYTYCZNA:

DR ANETTA DRZENIECKA-OSIADACZ,
ZAKŁAD KLIMATOLOGII I OCHRONY ATMOSFERY
UNIwersytet Wrocławski

WARSZAWA, MARZEC 2021



EUROPEAN
CLEAN
AIR
CENTRE

SPIS TREŚCI

1	WSTĘP	3
2	WNIOSKI	5
3	METODYKA I ŹRÓDŁA DANYCH	6
3.1	Dane dotyczące stężeń zanieczyszczeń powietrza	6
3.2	Dane meteorologiczne	6
3.3	Metodyka	7
4	WYNIKI	8

1 » WSTĘP

Gdy jedna strona mówi: *Mamy poprawę jakości powietrza*, a druga odpowiada: *Tak, ale to tylko dlatego, że zima była łagodna i ludzie nie palili tak w piecach*, pojawia się pytanie: **kto ma rację?** Aby odpowiedzieć na to pytanie autorzy niniejszego opracowania postanowili przyjrzeć się wpływowi czynników meteorologicznych na zmiany w jakości powietrza obserwowane w ostatnich latach. Przy użyciu zaawansowanego modelu statystycznego (random forest model¹) określono jaki jest udział warunków pogodowych, a jaki działań człowieka w poprawie jakości powietrza. Do analiz wykorzystano godzinowe stężenia pyłu PM10 z bazy GIOŚ² oraz dane meteorologiczne z bazy IMGW³. Wybrano lokalizacje, które posiadały najdłuższą, kompletną serię pomiarową od roku 2008 do 2019 zarówno w zakresie stężeń PM10, jak i parametrów pogodowych. Wyniki prezentujące redukcję stężeń pyłu PM10 pomiędzy latami 2010 a 2019 przedstawiono w Tabeli 1, w podziale na: » uwzględniające jedynie działania ludzi, po wyeliminowaniu wpływu czynników meteorologicznych (kolumna c); » rzeczywiste pomiary, uwzględniające zarówno czynniki pogodowe, jak i działania ludzi (kolumna d).

Największą redukcję dzięki działaniom ograniczającym wielkość emisji (po wyeliminowaniu wpływu czynników meteorologicznych) uzyskano dla dwóch stacji w Krakowie: 22,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 22,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Z kolei najgorsze wyniki uzyskano dla dwóch stacji w Gdańsku i jednej w Warszawie, gdzie aktywność ludzi przyczyniła się do zwiększenia stężeń.

TABELA 1.

ZBIORCZE WYNIKI DLA ANALIZOWANYCH LOKALIZACJI, RÓŻNICA POMIĘDZY STĘŻENIEM ŚREDNIOROCZNYM PYŁU PM10 W 2010 I 2019 ROKU

STACJA POMIAROWA	TYP STACJI, OKOLICA	REDUKCJA NIEZALEŻNA OD POGODY DZIAŁANIA LUDZI [µg/m ³]	REDUKCJA WG POMIARÓW RZECZYWISTYCH ZALEŻNA OD POGODY [µg/m ³]
a	b	c	d
Kraków Al. Krasińskiego	komunikacyjna, główna arteria	22,9	29,5
Kraków ul. Bulwarowa	przemysłowa, budynki wielorodzinne	22,6	32,4
Zakopane ul. Sienkiewicza	tło miejskie, centrum miasta, park	13,4	21,3
Katowice ul. Kossutha*	tło miejskie, budynki wielorodzinne	8,8	17,7
Warszawa Al. Niepodległości	komunikacyjna, główna arteria	5,6	15,1
Gdańsk ul. Kaczeńce	tło miejskie, budynki jednorodzinne, ogródki działkowe	4,7	6,5
Bielsko-Biała, ul. Kossak-Szczuckiej**	tło miejskie, budynki wielorodzinne, ogródki działkowe	3,4	14,9
Szczecin ul. Andrzejewskiego	tło miejskie, budynki wielorodzinne	2,4	8,6
Gdańsk ul. Powstańców Warszawskich	tło miejskie, budynki jedno- i wielorodzinne	-1,0	4,1
Warszawa ul. Wokalna*	tło miejskie, budynki wielorodzinne	-3,3	-0,5
Gdańsk ul. Wyzwolenia	tło miejskie, budynki wielorodzinne	-5,1	-0,9

*porównanie 2010 do 2018

**porównanie 2012 do 2019

2 » WNIOSKI

Spośród analizowanych lokalizacji **największą poprawę jakości powietrza wynikającą wyłącznie z działań podjętych przez człowieka odnotowano w Krakowie**. Stężenie pyłu PM10 na obu przeanalizowanych stacjach poddanych ocenie, niezależnie od pogody, zmniejszyło się o 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pomiędzy rokiem 2010 a 2019. Ten zauważalny spadek zanieczyszczeń stanowi **mocny dowód na skuteczność przeprowadzonej w stolicy Małopolski eliminacji spalania paliw stałych w paleniskach gospodarstw domowych oraz obowiązującej na terenie województwa uchwały antysmogowej wprowadzającej szereg obostrzeń i nakazów**. Zwłaszcza obowiązek wymiany pozaklasowych pieców przynosi pozytywne skutki również w innych miejscowościach jak na przykład w Zakopanem, gdzie redukcja zanieczyszczeń niezależna od czynników meteorologicznych wyniosła 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Taki rezultat można przypisać działaniom mieszkańców i samorządowców oraz dużemu udziałowi (40%) produkcji ciepła z nieemisyjnego źródła energii (geotermii).

Niestety są też miasta w Polsce, gdzie nie zanotowano poprawy, a wręcz pogorszenie jakości powietrza jeśli odejmiemy pozytywny wpływ warunków meteorologicznych. **W latach 2016-2019 w Krakowie zlikwidowano 18,4 tys. kotłów, a w Warszawie tylko 1,7 tys.**⁴. Ambitna uchwała antysmogowa dla Krakowa zakazująca stosowania paliw stałych przyczyniła się do znaczącej poprawy jakości powietrza. **W Warszawie** na ul. Wokalnej (dzielnica Ursus) **działalność człowieka spowodowała wzrost stężenia o 3,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . **W Gdańsku** w dzielnicy Nowy Port na stacji przy ul. Wyzwolenia nastąpił wzrost o 5,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Prawdopodobnie stało się to na skutek wysokiego **natężenia działalności portu morskiego**, który generuje zanieczyszczenia i w tym przypadku możemy mówić o przykładzie negatywnego wpływu przemysłu.

Wyniki niniejszego opracowania pokazują wprost, że skuteczne działania mogą niezależnie od pogody przyczynić się do poprawy jakości powietrza. Biorąc pod uwagę działania, które doprowadziły do osiągnięcia najlepszego rezultatu w tej analizie, czyli likwidacja palenisk na paliwa stałe w Krakowie, należy zwiększyć wysiłki w tempie wymiany kotłów w całym kraju.

3 » METODYKA I ŹRÓDŁA DANYCH

Analiza została wykonana przy wykorzystaniu ogólnie dostępnego modelu *rmweather*, który służy do normalizacji stężeń czynnikami meteorologicznymi, **czyli podzieleniu wyników pomiarów na zależne i niezależne od pogody**. Skrypt, który wykorzystuje metodę lasu losowego (random forest), można pobrać jako pakiet programu R. Wykorzystana metoda bazuje na „maszynowym uczeniu”, dziedzinie sztucznej inteligencji, która w oparciu o znalezione relacje w danych buduje odpowiedni, najlepiej dopasowany model.

W analizie wykorzystano dwa zestawy danych dla lat 2008-2019:

- » stężenia jednogodzinne pyłu PM10,
- » dane meteorologiczne – jednogodzinne parametry pogodowe.

3.1 » DANE DOTYCZĄCE STĘŻEŃ ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA

Źródłem informacji o jakości powietrza wykorzystanych w analizach był bank danych pomiarowych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska⁵. W badaniu zostały wykorzystane informacje o jednogodzinnych stężeniach pyłu zawieszonego PM10 z okresu 2008-2019. Rokiem końcowym był 2019 jako, że jest to ostatni zweryfikowany rocznik (w momencie przeprowadzania analiz). Uzyskano w ten sposób zbiór danych o stężeniach zawierający 105 912 rekordów dla 254 stacji. Następnie przyjęto kryterium kompletności serii pomiarowych na poziomie minimum 85%, tak aby wykorzystać dane do dalszych obliczeń. Po tej wstępnej analizie jakościowej do dalszego etapu opracowania zostały wybrane 54 stacje pomiarowe, których liczba została ograniczona w późniejszym etapie m.in. z uwagi na brak danych meteorologicznych.

3.2 » DANE METEOROLOGICZNE

Dane meteorologiczne pochodziły ze stacji synoptycznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB⁶. W bazie synop znajdują się konieczne do przeprowadzenia analizy (wymagane przez zastosowany model) jednogodzinowe wartości parametrów meteorologicznych. Baza zawiera 107 kategorii, z których wybrano następujące:

- » temperatura powietrza [°C],
- » ciśnienie atmosferyczne [hPa],
- » wysokość podstawy chmur [m],
- » wilgotność względna [%],
- » kierunek wiatru [°],
- » prędkość wiatru [m/s],
- » porywy wiatru [m/s].

Decyzja dobrania tych parametrów została podyktowana analizą prac naukowych, w których został wykorzystany model lasu losowego. Baza danych synop posiada ograniczoną liczbę stacji (tylko 67), co uniemożliwia możliwość analiz dla wszystkich lokalizacji i miast. W związku z powyższym do dalszego etapu wybrano 13 miast, co oznacza, że dane z pojedynczej stacji meteo w niektórych miastach zostały wykorzystane do wielu stacji mierzących stężenia zanieczyszczeń powietrza.

3.3 > METODYKA

Uzyskano 19 lokalizacji w Polsce, które spełniały kryteria kompletności pomiarów zanieczyszczeń powietrza oraz meteorologicznych w obszarze miasta. Wykonano analizy jakościowe i ostatecznie do modelowania wybrano 11 lokalizacji. Zrezygnowano z tych, dla których występowały znaczące sezonowe braki w danych. Oprócz informacji o stężeniach godzinowych pyłu PM10 i parametrach pogodowych do modelu wykorzystano:

- » dzień roku (1-366),
- » godzinę (1-24),
- » dzień tygodnia (1-7).

Użyty w analizie model działa na zasadzie „uczenia się” jak wybrane parametry wpływają na stężenia zanieczyszczeń powietrza. W dużym uproszczeniu skrypt odpowiada na pytanie – jeśli temperatura wynosi -10°C , wiatr 2 m/s i jest godzina 10:00 drugiego stycznia, itd. to ile będzie wynosić stężenie PM10? Model porównuje wynik z rzeczywistym pomiarem i „uczy się” do momentu, aż rezultat z modelu będzie jak najlepiej opisywał mierzone stężenia. Co więcej zaletą tego modelu jest oddzielne wyliczanie wskaźników dla każdego z parametrów pogody np. temperatury. Czyli określenie jakie byłoby stężenie gdyby temperatura wynosiła -10°C , albo jakie byłoby stężenie gdy prędkość wiatru wynosi 1 m/s . Dzięki temu przewiduje jakwie wartość stężenia pyłu PM10 powinny występować przy danej pogodzie. Przyjmując, że każdego dnia o każdej godzinie jest „przeciętna pogoda”, wyklucza się wpływ meteorologii na jakość powietrza. Ten proces jest właśnie normalizowaniem stężeń danymi meteorologicznymi. **Analizując długi okres pomiarów odpowiedzieliśmy na pytanie: Ludzie czy pogoda – co poprawia jakość powietrza? Model pokazuje o ile spadły stężenia pyłu PM10 dzięki działaniom ludzi, niezależnym od pogody.**

Wynikiem analizy prezentowanym w tabeli 1 jest redukcja stężenia średniorocznego pyłu wyrażonego w $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w roku 2019 względem 2010 na każdej z analizowanych 11 stacji dzięki działaniom ludzi, niezależnie od pogody.

4 » WYNIKI

Do prezentacji bardziej szczegółowych wyników wybrano dwie stacje komunikacyjne: zlokalizowaną w Warszawie przy Al. Niepodległości oraz w Krakowie przy Al. Krasińskiego. Przy wyborze kierowano się tym, że obie stacje są tego samego typu i znajdują się w największych polskich miastach. Na obu stacjach wyniki pomiarów wskazują na spadek stężeń PM10 w analizowanym okresie, ale jest on na różnym poziomie, dla Warszawy było to 15,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a dla Krakowa 29,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pomiędzy rokiem 2010 a 2019. Zastosowanie modelu lasu losowego wskazało, że po wyeliminowaniu wpływu zmiennych w czasie warunków meteorologicznych (cieplejszych i bardziej wietrznych zim) to zmniejszenie stężeń kształtuje się na poziomie 5,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla Warszawy i 22,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla Krakowa odpowiednio (Tab. 2 i Tab. 3).

TABELA 2.

ŚREDNIOROCZNE STĘŻENIE PM10 DLA KRAKOWA – AL. KRASIŃSKIEGO:
WYNIKI MODELU I RZECZYWISTEGO POMIARU STĘŻEŃ NA STACJI GIOŚ

ROK	MODEL [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	POMIARY [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
2008	80,6	80,8
2009	78,8	78,6
2010	79,1	79,0
2011	73,5	76,6
2012	69,6	65,8
2013	66,2	59,7
2014	65,4	63,9
2015	66,8	67,8
2016	62,4	56,7
2017	58,1	55,3
2018	57,0	56,6
2019	56,2	49,5
	Działania ludzi	Sumarycznie (warunki pogodowe i działania ludzi)
Różnica stężeń pomiędzy rokiem 2010 a 2019	22,9	29,5

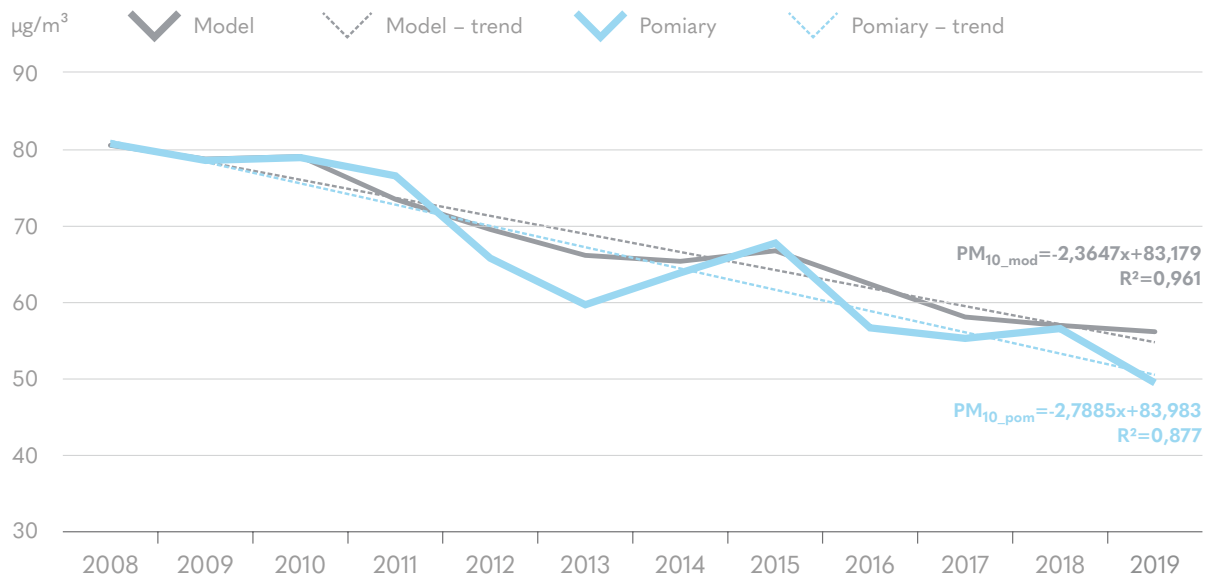
TABELA 3.**ŚREDNIOROCZNE STĘŻENIE PM10 DLA WARSZAWY – AL. NIEPODLEGŁOŚCI:
WYNIKI MODELU I RZECZYWISTEGO POMIARU STĘŻEŃ NA STACJI GIOŚ**

ROK	MODEL [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	POMIARY [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
2008	52,6	41,4
2009	49,4	50,4
2010	48,4	52,4
2011	46,5	49,1
2012	41,8	38,6
2013	40,3	39,7
2014	41,6	41,7
2015	42,7	41,1
2016	43,5	41,6
2017	43,9	42,1
2018	47,3	42,9
2019	42,9	37,3
	Działania ludzi	Sumarycznie (warunki pogodowe i działania ludzi)
Różnica stężeń pomiędzy rokiem 2010 a 2019	5,6	15,1

Poniższe rysunki (Rysunek 1 i Rysunek 2) przedstawiają obliczone i zmierzone średnioroczne stężenia pyłu PM10. Umieszczono też linię trendu dla wyników modelu i pomiarów, czyli określenie szybkości zmian stężeń w analizowanym okresie. Analiza trendu wskazuje na stałą tendencję spadkową stężenia PM10, zarówno dla danych rzeczywistych (przeciętny spadek o $2,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na rok, $R^2=0,8771$), jak i dla danych uzyskanych z modelu – po usunięciu wpływu zmieniających się parametrów meteorologicznych (przeciętny spadek o $2,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na rok, $R^2=0,9603$).

RYСУNEK 1.

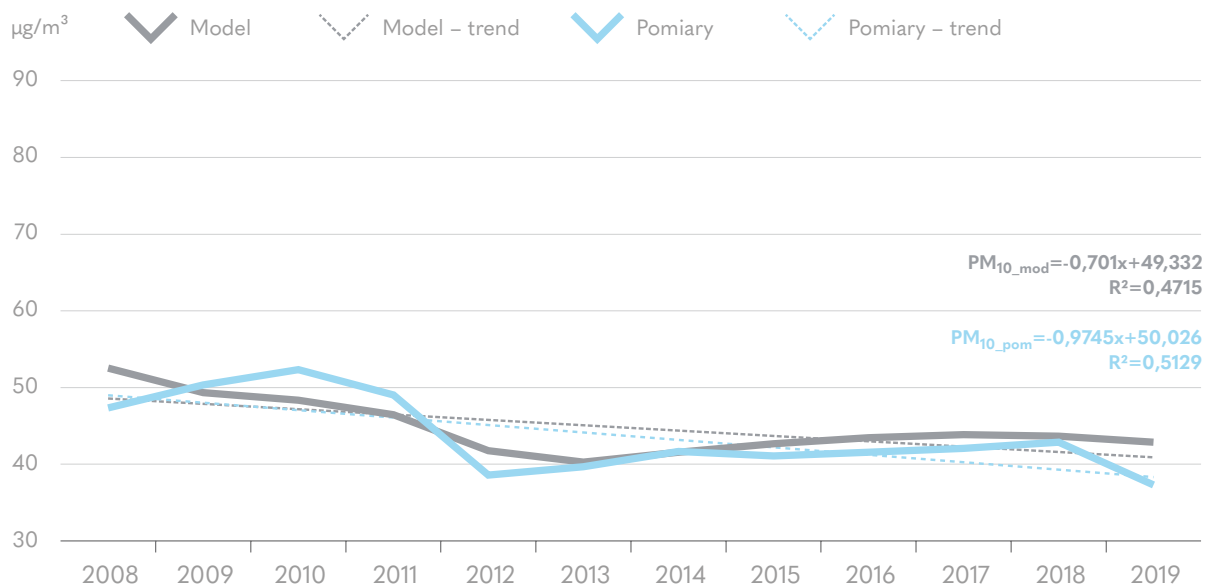
TREND DLA POMIARU I MODELU STĘŻEŃ ŚREDNIOROCZNYCH PYŁU PM10 DLA KRAKOWA – AL. KRASIŃSKIEGO



W Warszawie, linia trendu zarówno dla pomiarów ($R^2=0,5132$), jak i wartości skorygowanych ($R^2=0,4753$) stanowi raczej niezadowalające odwzorowanie, co nie pozwala stwierdzić czy trend jest jednoznacznie spadkowy.

RYСУNEK 2.

TREND DLA POMIARU I MODELU STĘŻEŃ ŚREDNIOROCZNYCH PYŁU PM10 DLA WARSZAWY – AL. NIEPODLEGŁOŚCI



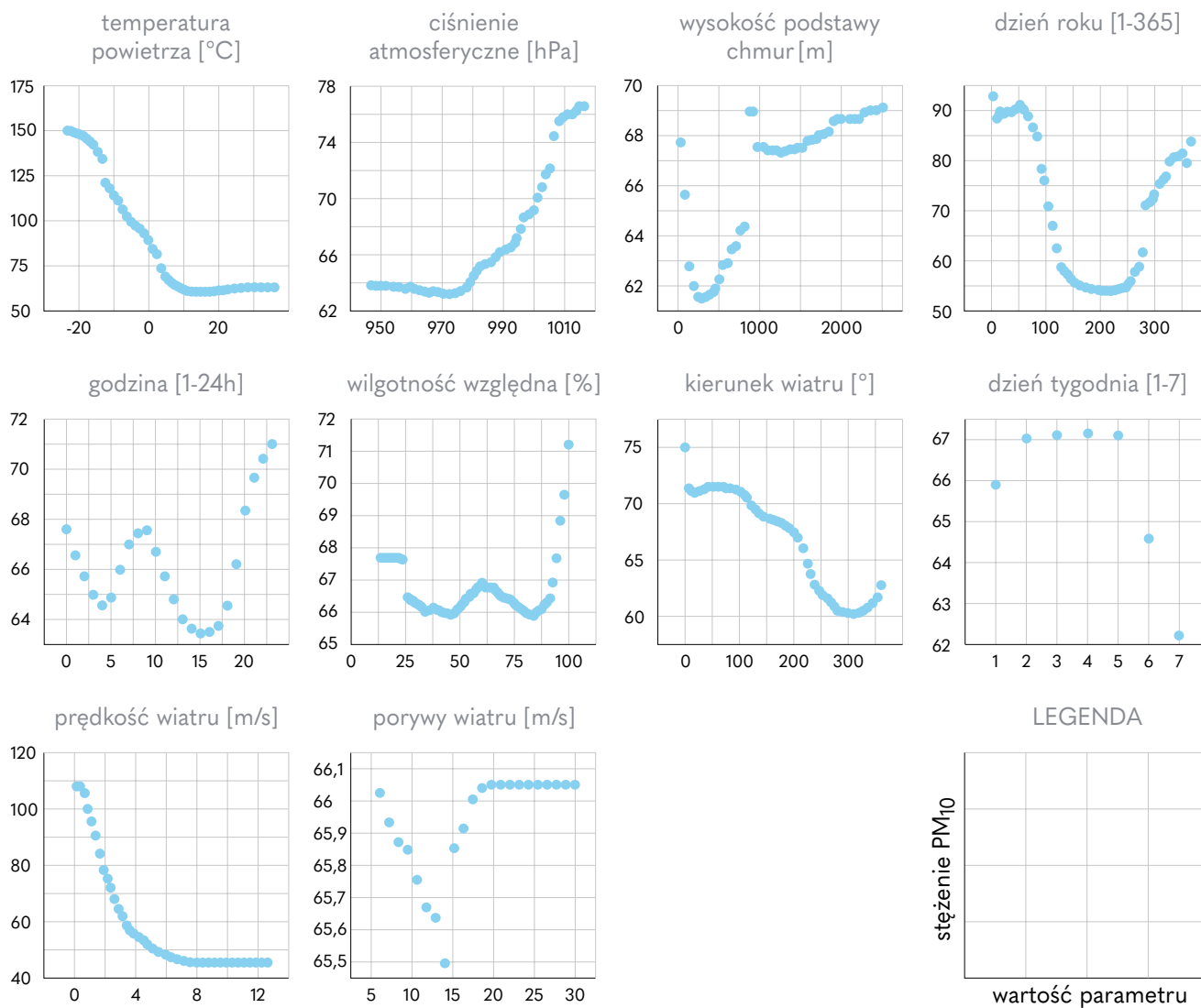
Poniższy zbiór wykresów (Rysunek 3 i Rysunek 4) opisuje to, w jakim stopniu poszczególne składowe modelu (meteorologia, dni w roku, godzina) wpływają na wysokość stężeń zanieczyszczeń, które są obliczane przez algorytm. Każdy czynnik meteorologiczny wpływa w różny sposób na stężenia pyłu PM10. Oglądając wykresy należy zwrócić uwagę na to, że każdy z nich ma inną skalę dla osi Y, tj. wartości stężenia PM10. Jest to bezpośrednio związane z tym, jaki wpływ ma dany parametr pogody na wynik modelu (wartość stężeń).

Do czynników, które w największym stopniu wpływają na jakość powietrza należą temperatura powietrza (air_temp) oraz prędkość wiatru (ws). Spadek temperatury poniżej 5°C wpływa na wzrost stężenia pyłu. Jest to przede wszystkim związane ze wzrostem wielkości emisji pochodzącej z tzw. niskiej emisji (spalanie paliw na cele grzewcze) wraz ze spadkiem temperatury. Ponadto pogoda mroźna w Polsce związana jest z pogodą wyżową, a co z tym związane pogorszenie warunków dyspersji (mniejsza prędkość wiatru i inwersje temperatury). Przy bardzo niskich temperaturach (-20°C) występują stężenia na poziomie 150 µg/m³ w Krakowie, a ponad 60 µg/m³ w Warszawie. Powyżej 5°C wpływ termiki jest prawie niezauważalny. Drugim istotnym czynnikiem meteorologicznym wpływającym na stężenie zanieczyszczeń jest prędkość wiatru określająca warunki dyspersji. Zależność ta ma charakter wykładniczy, a istotny wzrost stężenia zaznacza się wraz ze spadkiem prędkości poniżej 3 m/s. W przypadku oceny wpływu ciśnienia atmosferycznego (atmospheric_pressure) na stężenie pyłu należy uwzględnić efekty pośrednie. Z układami niżowymi (niskie ciśnienie) związana jest pogoda charakteryzująca się dużą prędkością wiatru oraz opadami deszczu/śniegu, częstą wymianą mas powietrza, co sprzyja dobrej jakości powietrza. Układy wyżowe charakteryzują się mniejszym gradientem ciśnienia i tym samym niższą prędkością wiatru oraz występowaniem inwersji temperatury, co sprzyja kumulowaniu zanieczyszczeń w niedalekiej odległości od źródeł emisji.

Część z tych zależności jest podobna dla wszystkich lokalizacji. Generalnie wpływ czynników meteorologicznych w większości analizowanych przypadków będzie na podobnym poziomie. Dla przykładu stężenie pyłu przy -10°C w każdej lokalizacji będzie średnio większe niż przy +10°C, chociaż dla każdej lokalizacji będzie to inna wartość. Podobne wyniki uzyskano dla dni tygodnia (weekday), gdzie te powszednie wskazywały na bardziej zanieczyszczone powietrze niż weekendy. Jednak dla niektórych zmiennych będą występowały znaczne różnice pomiędzy poszczególnymi lokalizacjami, dotyczy to m.in. składowych opisujących czas (kolejny dzień roku - day_julian czy godzina dnia - hour). Odmienne czasowe profile emisji związane z aktywnością mieszkańców na danym obszarze będą wpływały na zróżnicowany ich udział w kształtowaniu jakości powietrza. Jako przykład można podać natężenie ruchu samochodowego (kongestia może występować w konkretnych godzinach albo ruch może być rozłożony równomierny w ciągu dnia) czy dominujący sposób ogrzewania (tam, gdzie jest więcej indywidualnych źródeł ciepła, wpływ sezonu grzewczego w zimie na stężenia zanieczyszczeń będzie znaczący). W Warszawie stężenia PM10 są podwyższone dość równomiernie od godziny 10 do końca dnia, natomiast w Krakowie bardziej wyraźnie rysuje się poranny szczyt komunikacyjny (około godz. 9) oraz wzrost w porze wieczornej (po godz.20). Parametrem znacząco różnicującym lokalizacje jest kierunek wiatru (wd). Wiatr wiejący z północy ma kierunek określany jako 0° (360°), a wiatr wiejący ze wschodu ma kierunek określany jako 90° itd. W Krakowie najwyższe stężenia występują dla sytuacji z wiatrem z północnego-wschodu, a w Warszawie z południa.

RYСУNEK 3.

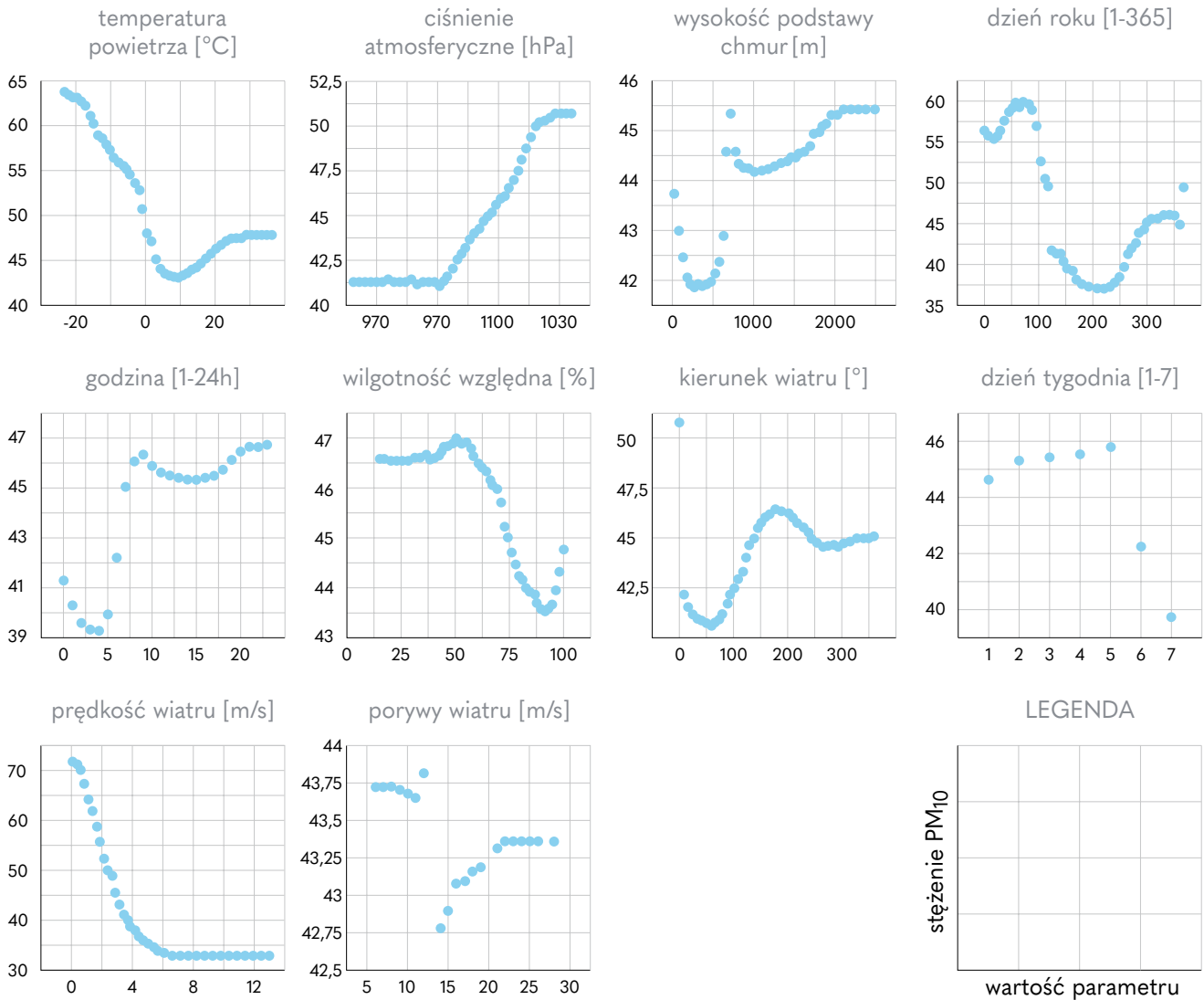
WYKRESY CZĘŚCIOWYCH ZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW MODELU ZE STĘŻENIAMI JEDNODZINNYMI PYŁU PM10 DLA KRAKOWA – AL. KRASIŃSKIEGO



Legenda: air_temp – temperatura powietrza [°C], atmospheric_pressure – ciśnienie atmosferyczne [hPa], cloud – wysokość podstawy chmur, day_julian – dzień roku [1-365d], hour – godzina [1-24h], rh – wilgotność względna [%], wd – kierunek wiatru [°], ws – prędkość wiatru [m/s], ws_max – porywy wiatru [m/s]

RYСУNEK 4.

WYKRESY CZĘŚCIOWYCH ZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW MODELU ZE STĘŻENIAMI JEDNODZINNYMI PYŁU PM10 DLA WARSZAWY – AL. NIEPODLEGŁOŚCI

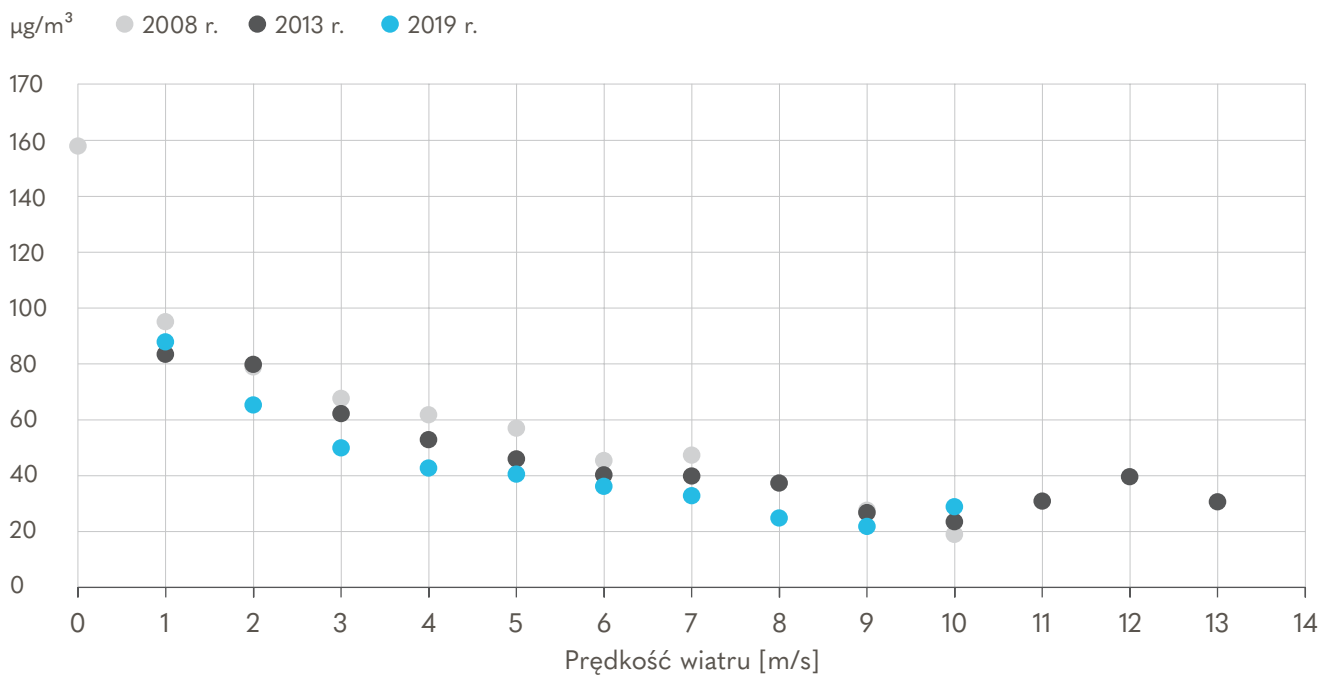


Legenda: air_temp – temperatura powietrza [°C], atmospheric_pressure – ciśnienie atmosferyczne [hPa], cloud – wysokość podstawy chmur, day_julian – dzień roku [1-365d], hour – godzina [1-24h], rh – wilgotność względna [%], wd – kierunek wiatru [°], ws – prędkość wiatru [m/s], ws_max – porywy wiatru [m/s]

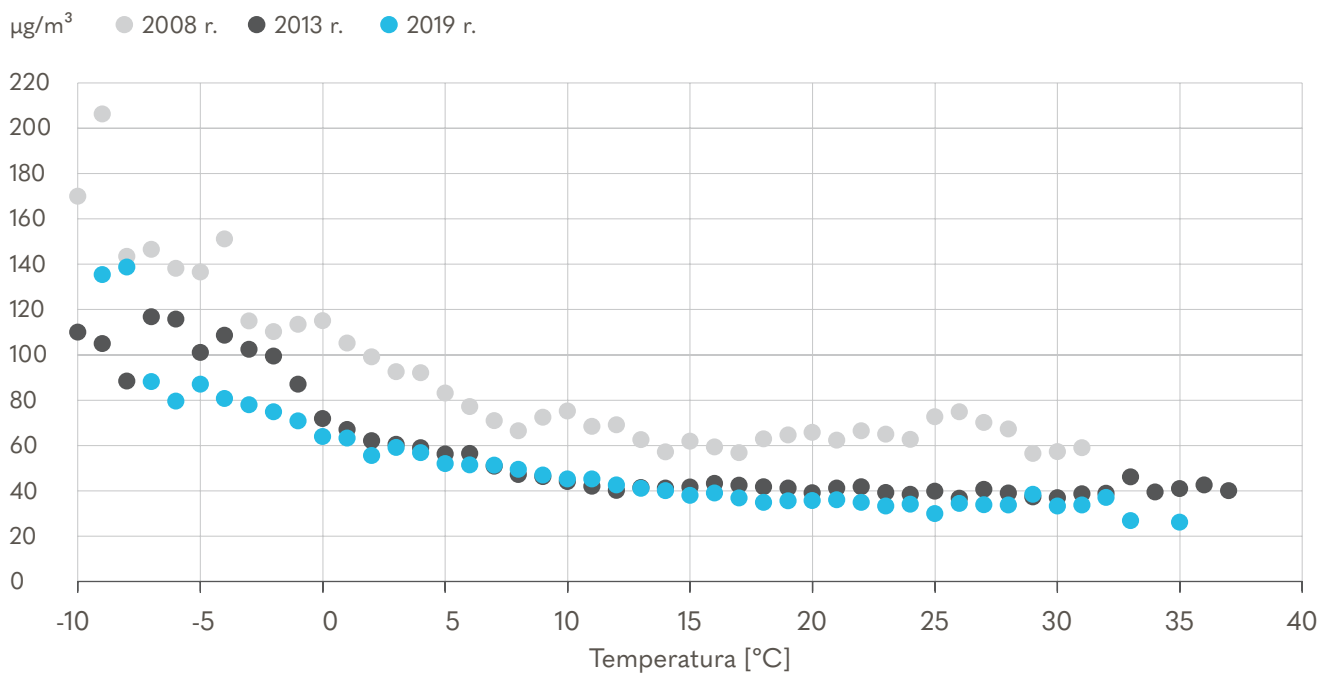
Analiza bezpośredniego związku pomiędzy stężeniami pyłu a parametrami meteorologicznymi dla wybranych lat (przykładowe wyniki dla danych z Krakowa zaprezentowane na rysunku 5 i 6), potwierdza też wyniki uzyskane na podstawie modelu random forest. Przy takich samych wartościach parametrów meteorologicznych rejestrowane są w kolejnych latach niższe stężenia pyłu. Potwierdza to, że ładunek zanieczyszczeń, który dostaje się do atmosfery jest w ostatnich latach coraz mniejszy.

RYSUNEK 5.

ŚREDNIE STĘŻENIA PM10 ZALEŻNE OD PRĘDKOŚCI WIATRU DLA LAT 2008, 2013 I 2019 NA STACJI W KRAKOWIE (AL. KRASIŃSKIEGO)



RYSUNEK 6.

ŚREDNIE STĘŻENIA PM10 ZALEŻNE OD TEMPERATURY POWIETRZA
DLA LAT 2008, 2013 I 2019 NA STACJI W KRAKOWIE (AL. KRASIŃSKIEGO)

ŹRÓDŁA:

¹ Model: <https://github.com/skgrange/rmweather>. Przykłady obliczeń autora modelu: Grange, S. K., Carslaw, D. C., Lewis, A. C., Boleti, E., and Hueglin, C. (2018). Random forest meteorological normalisation models for Swiss PM10 trend analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics* 18.9, pp. 6223--6239. [dostęp 22.01.2021]

² Główny Inspektorat Ochrony Środowiska – <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives> [dostęp 22.01.2021]

³ Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej https://dane.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/dane_meteorologiczne/terminowe/synop/ [dostęp 22.01.2021]

⁴ <https://krakowskialarmsmogowy.pl/2020/12/29/kryzys-w-wymianie-kopciuchow-raport-polskiego-alarmu-smogowego/>; <https://www.polskialarmsmogowy.pl/polski-alarm-smogowy/aktualnosci/szczegoly,likwidacja-kopciuchow-stoi-w-miejsu---pas-podsumowuje-programy-wymiany-kotlow,1403.html> [dostęp: 10.03.2021r.]

⁵ Bank danych pomiarowych GIOŚ: <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives>

⁶ Dane publiczne IMGW-PIB: <https://danepubliczne.imgw.pl/>



**E U R O P E A N
C L E A N
A I R
C E N T R E**

EUROPEJSKIE CENTRUM CZYSTEGO POWIETRZA

www.cleanaircentre.eu

+48 792 468 018

office@cleanaircentre.eu

WARSZAWA, MARZEC 2021