

Poznań
20.01.2023 r.

Czym oddychamy? Jakość powietrza w mieście

dr **Bartosz Czernecki**

Zakład Meteorologii i Klimatologii



Smog i zanieczyszczenia powietrza

Definicja: kombinacja zanieczyszczeń powietrza obejmująca wszystkie chemiczne, fizyczne lub biologiczne czynniki zmieniające naturalny skład atmosfery (Wikipedia)

Składniki:

- pyły zawieszane zawierające różne związki chemiczne (np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne lub metale ciężkie)
- Gazy:
 - tlenki azotu, dwutlenek siarki, ozon, tlenek węgla



Smog nad [Nową Rudą](#)

(https://pl.wikipedia.org/wiki/Smog#/media/Plik:2017_Smog_nad_Now%C4%85_Rud%C4%85.jpg)

Rodzaje smogu:

Smog typu londyńskiego (*smog = smoke+fog*):

- chłodna połowa roku, umiarkowane szerokości geograficzne
- inwersja termiczna, cyrkulacja antycyklonalna
- głównie powodowany **emisją z niepełnego spalania paliw** (ogrzewanie, ale także transport i procesy produkcyjne)
- Skład: SO₂, NO_x, CO, sadza i **pyły zawieszone**



www.history.com%2Fnews%2Fthe-killer-fog-that-blanketed-london-60-years-ago

Smog typu Los Angeles (smog fotochemiczny):

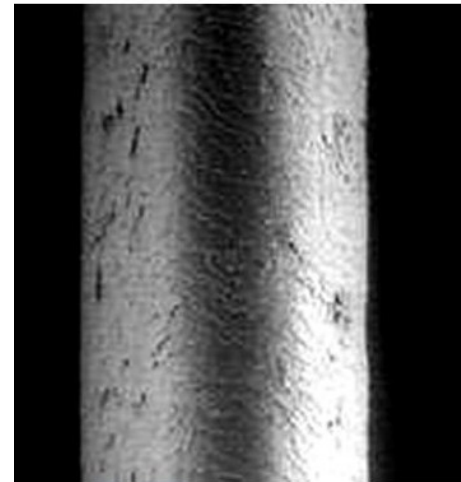
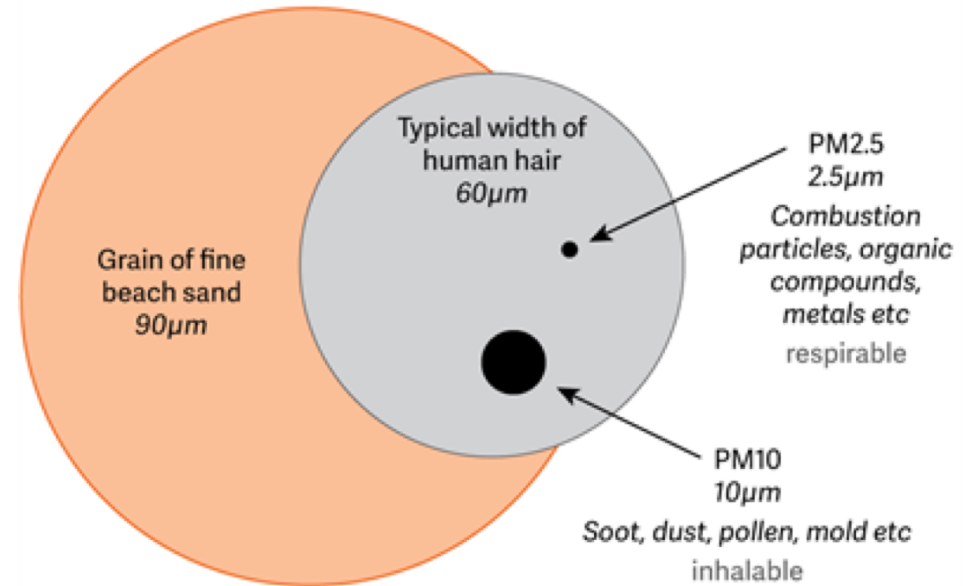
- Strefy subtropikalne, ciepła połowa roku (VI-IX)
- Słoneczne, upalne dni (24-35°C) z niską prędkością wiatru
- głównie powodowany emisją **z transportu** (może być wspomagany procesami przemysłowymi)
- Skład: **NO_x**, tlenki węgla i **węglowodory**, które następnie podlegają przemianom fotochemicznym (powstaje m.in. ozon i formaldehydy, ...)



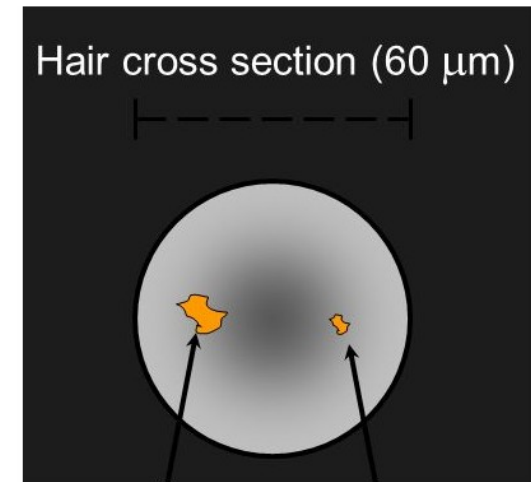
<https://www.latimes.com/local/la-me-air-pollution-0428-pictures-photogallery.html>

Pył zawieszony

- **Pyłowe zanieczyszczenia powietrza** (ang. *Particulate matter, PM*) są definiowane jako **zawieszona w powietrzu mieszanina cząsteczek stałych i ciekłych**.
- Wydzielane są 3 grupy zanieczyszczeń pyłowych:
 - grube (**$10\mu\text{m}$ - $2.5\mu\text{m}$**) -> osiadają b. szybko
 - drobne i submikronowe (średnica $0.1 - 2.5\mu\text{m}$)
 - ultradrobny (średnica $<0.1\mu\text{m}$)
-> pozostają w atmosferze najdłużej
- **Perspektywa:**
 - Włos ludzki – średnica ok. $50-70\mu\text{m}$
 - Ziarno piasku – średnica $90\mu\text{m}$



Human Hair



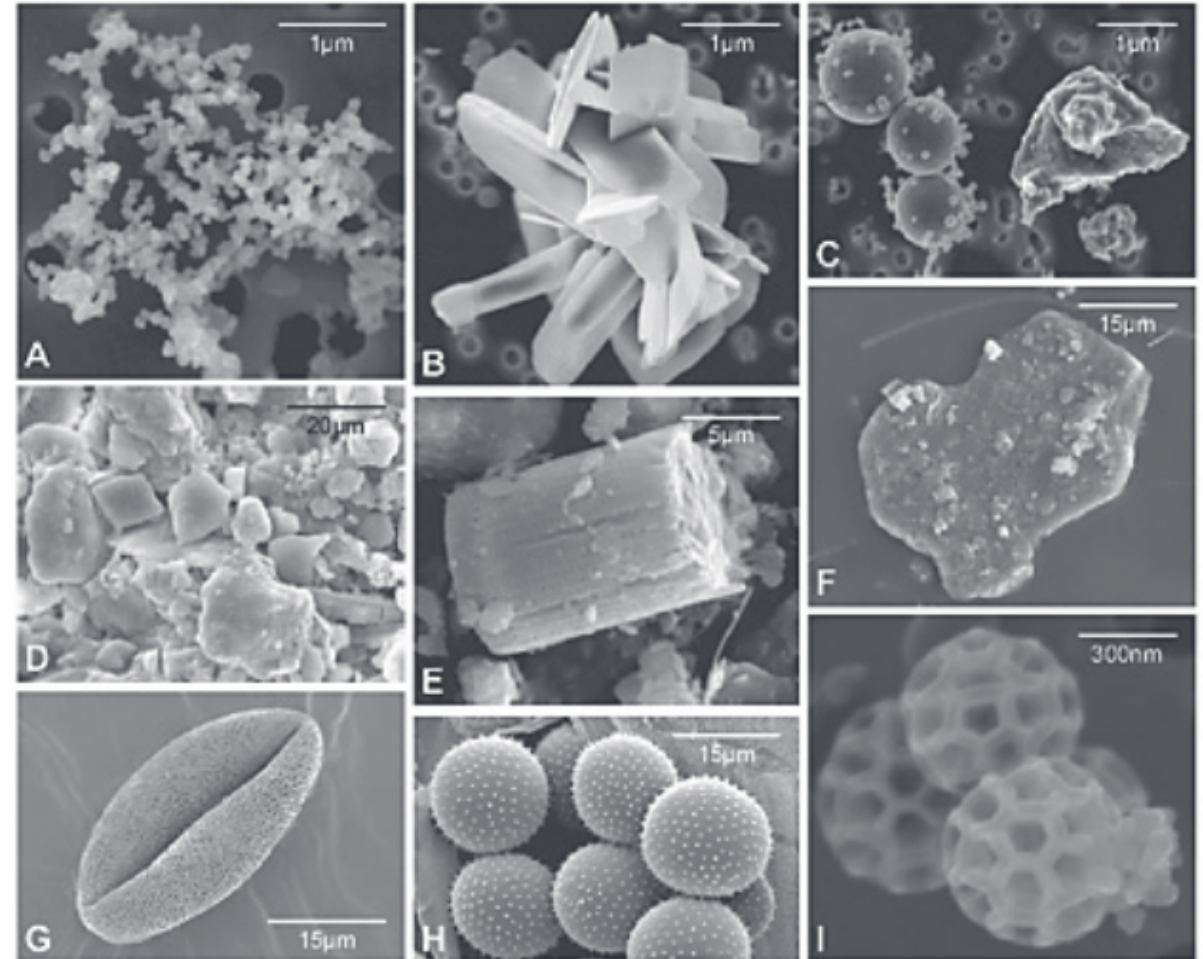
Właściwości fizyczne i chemiczne

Właściwości PM_x różnią się w zależności od ich pochodzenia:

- PM_x nie są jednorodne chemicznie (nie stanowią “jednej substancji”)
- Morfologia cząstek pyłu determinuje sposób:
 - interakcji z komórkami nabłonkowymi płuc,
 - wpływa także na ich właściwości optyczne i fizyczne (np. higroskopijność, czas depozycji)

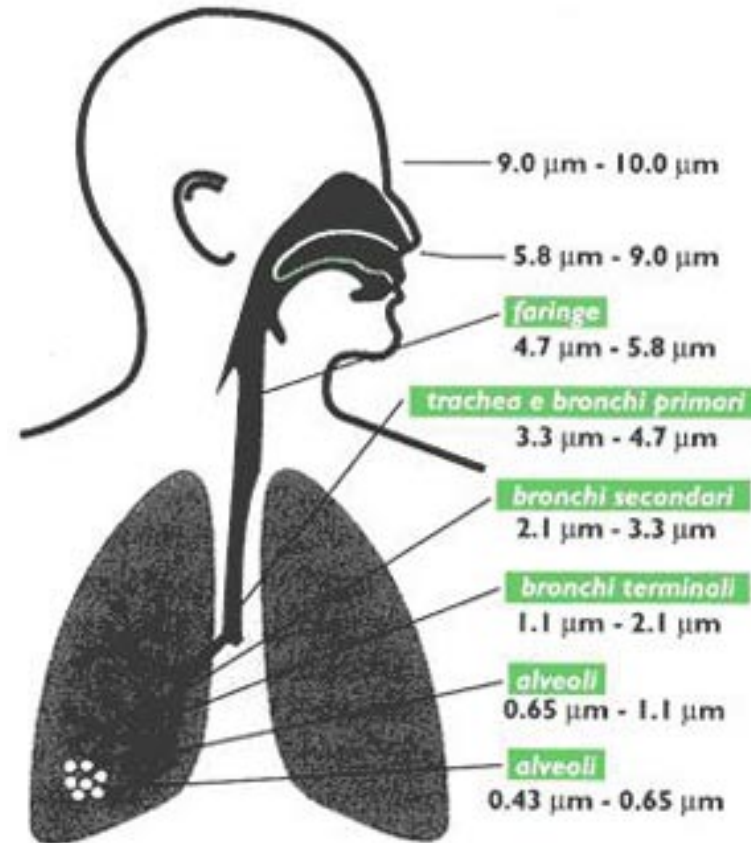
Zdjęcia cząstek pyłu wykonane mikroskopem skaningowym:

A-C – pyły antropogeniczne; A – skupiska sadzy, C – cząstki plagioklazu i kuliste cząstki magnetytu (pochodzące ze spalania), D-F – pył saharysjki; G – pyłek krzewu, H – spory pszenicy; I – aglomerat brochosomów (owady)



Zagrożenia zdrowotne związane ze smogiem

1. PM₁₀ (lub 2.5) stanowi znaczny odsetek zanieczyszczeń pyłowych, które dostają się do płuc (większe cząstki filtrowane przez górne drogi oddechowe [nos, usta, gardło])
2. Najbardziej narażone układy: oddechowy + krwioobieg
3. PM_x docierając do najgłębszych partii płuc może je uszkadzać w sposób mechaniczny oraz rozpuszczać substancje chemiczne dla których jest nośnikiem
4. Wg WHO zanieczyszczenia pyłowe **powodują problemy zdrowotne na świecie bardziej niż jakiegokolwiek inne zanieczyszczenia.**
5. Powodują **44,000 zgonów rocznie w Polsce oraz 440,000 w UE**



Skutki chwilowe	Skutki chroniczne
Reakcje zapalne (płuca)	Obniżenie wydajności oddechowej płuc
Krótkotrwałe trudności oddechowe (u dorosłych)	Obniżenie funkcjonalności systemu oddechowego dzieci
Zwiększenie liczby wizyt w szpitalach	Zwiększenie prawdopodobieństwa bezdechu i chorób płuc
Zwiększenie śmiertelności	Zmniejszenie długości życia

Efekty zdrowotne związane z działaniem PM_x
Źródło: *Health aspects of air pollution (WHO, 2004)*

Wielki smog londyński (1952)

(tzw. "the great smog of London" „killer fog”, „big smoke”)

WORSE THAN 1866 CHOLERA

Deaths After Fog

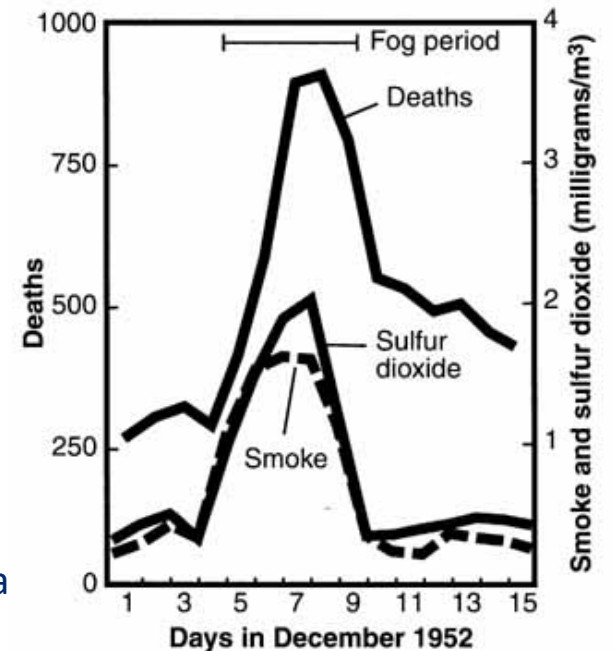
The rise in deaths in the week after London's great fog early in December was greater than that in the worst week of the cholera epidemic in 1866. This is disclosed in a report of the health

Przebieg i przyczyny:

- 5-9. grudnia 1952
- Napływ chłodnej masy powietrza związanej z antycyklonem = brak wiatru
- Duża emisja zanieczyszczeń pyłowych – głównie wynikająca z użycia węgla do ogrzewania

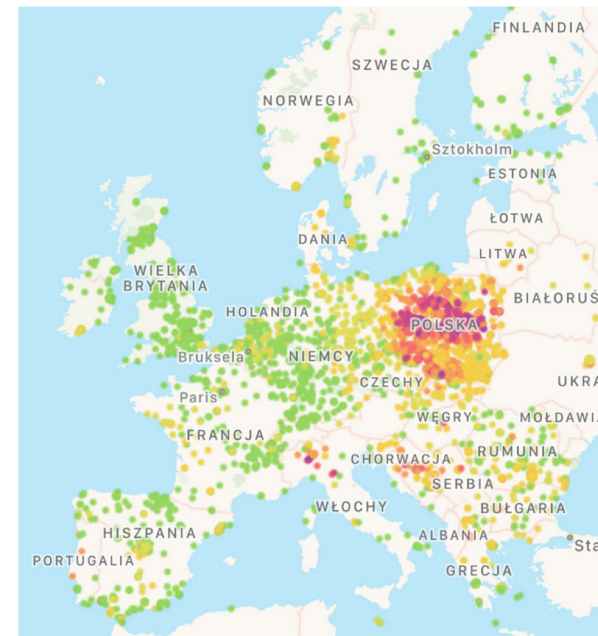
Według szacunków ministerstwa zdrowia ponad **1,000 zgonów na dobę** w bezpośrednio związanych z oddziaływaniem smogu oraz **100,000 zachorowań** związanych z wpływem smogu na układ oddechowy. Łączna liczba zgonów ~**4,000-12,000 (!!!)**

Zmiana sposobu myślenia o zanieczyszczeniach powietrza. Implementacja nowego prawa (*Clean air act, 1956*) i systemu monitoringu



Nauka i wnioski innych krajów

Dlaczego w miastach Europy Zachodniej nie jest tak źle jak u nas – okoliczności przyrodniczo-geograficzne tak bardzo nas nie różnią?

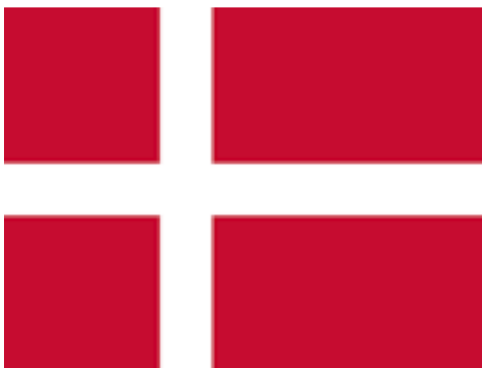


Dania:

- W praktyce wprowadzono zakaz instalowania pieców i obowiązek przyłączania domów do sieci ciepłowniczej (W latach 90. w Kopenhadze zakazano kupna pieców)
- 98 % domów w mieście jest ogrzewanych ciepłem systemowym
- 2 % to nieruchomości znajdujące się poza zasięgiem miejskiej sieci ogrzewane OZE
- Zamiast 200 tys. palenisk 3 elektrociepłownie + 1 spalarnia produkująca ciepło i elektryczność
- Problem niskiej emisji praktycznie nie istnieje

Poznań:

- Zwiększenie liczby podłączeń do ciepłownika (>50%)
- Programy Kafka, Kafka BIS, ...
- W najbliższych 2-3 latach zniknąć mają stare piece (klasy 3-4)
- Do 2028 również te nieco nowsze
- Darmowa komunikacja w dniu po przekroczeniu poziomu informowania



Regulacje prawne

W krajach członkowskich UE obowiązuje rozbudowany system legislacji w zakresie standardów ochrony zdrowia przed zanieczyszczeniami pyłowymi:

Zanieczyszczenie	Koncentracja	Okres uśredniania	Data wejście w życie aktu prawnego	Dopuszczalna (na rok) liczba przekroczeń
PM _{2.5}	25 uq/m ³	1 rok	1.1.2015	-
PM ₁₀	50 uq/m ³ (WHO 45 uq/m ³)	24 godz	1.1.2005	35
PM ₁₀	40 uq/m ³ (WHO 15 uq/m ³)	1 rok	1.1.2005	-

<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

Poziom alarmowy w Polsce dla PM₁₀ – 150uq/m³ przy 24h okresie uśredniania

Poziom informowania dla PM₁₀ – 100uq/m³

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U z 2012 r., poz. 1031)

Monitoring jakości powietrza

- Kraje **UE ustawowo** realizują monitoring jakości powietrza:
 - Odpowiedzialność spoczywa na ministerstwach lub władzach lokalnych
 - Dodatkowe regulacje dla poszczególnych gałęzi przemysłu
 - Brak ujednoliceń na poziomie międzynarodowym = brak homogenicznych serii pomiarowych = brak możliwości przeprowadzenia 100% wiarygodnej analizy porównawczej pomiędzy krajami
- **Polska:**
 - **Monitoring operacyjny:** Główny Inspektor Ochrony Środowiska i jednostki mu zależne
 - **~150 stacji** w całej Polsce (głównie duże miasta)
 - Standard: (www.gios.gov.pl/artykuly/126/Badania-tla-zanieczyszczenia-atmosfery-wg-programow-miedzynarodowych)
 - Dla miasta wielkości Poznania wymagane 2-3 stacje



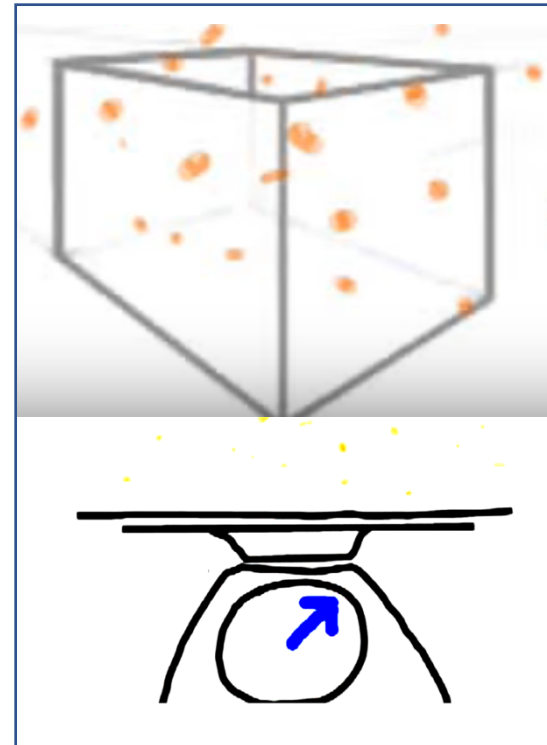
Jak mierzymy PM_x

Mierzenie koncentracji PM_x sprowadza się do oszacowania:

- ile gramów znajduje się w danej objętości powietrza (np. $\mu g/m^3$)
- liczby cząsteczek w danej objętości powietrza (laserowe skaterometry lub optyczne wykrywacze cząstek)
- Istotne jest także uwzględnienie roli higroskopijności cząsteczek pyłu

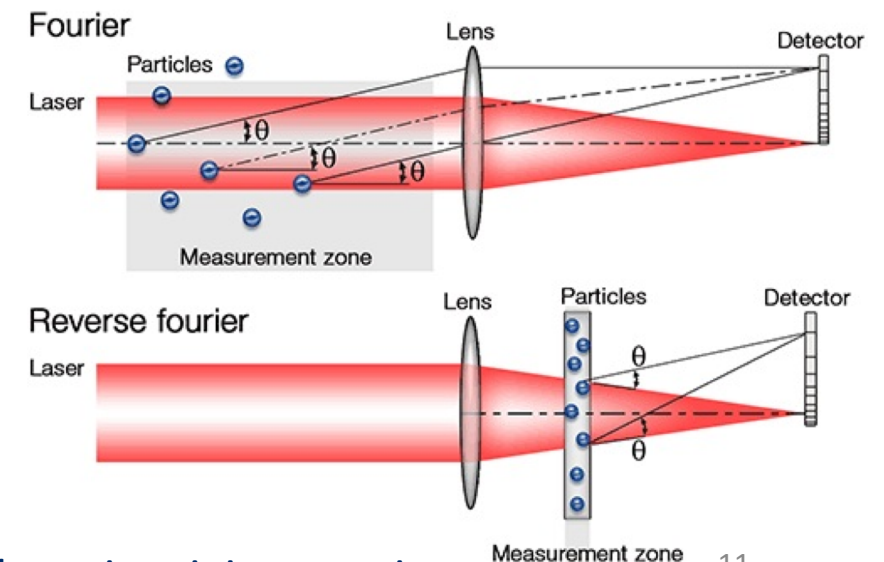
Żadna z tych metod nie mówi nam nic o **składzie chemicznym pyłów!**

(do tego potrzebne są analizy chemiczne)



Metoda sączkowa:

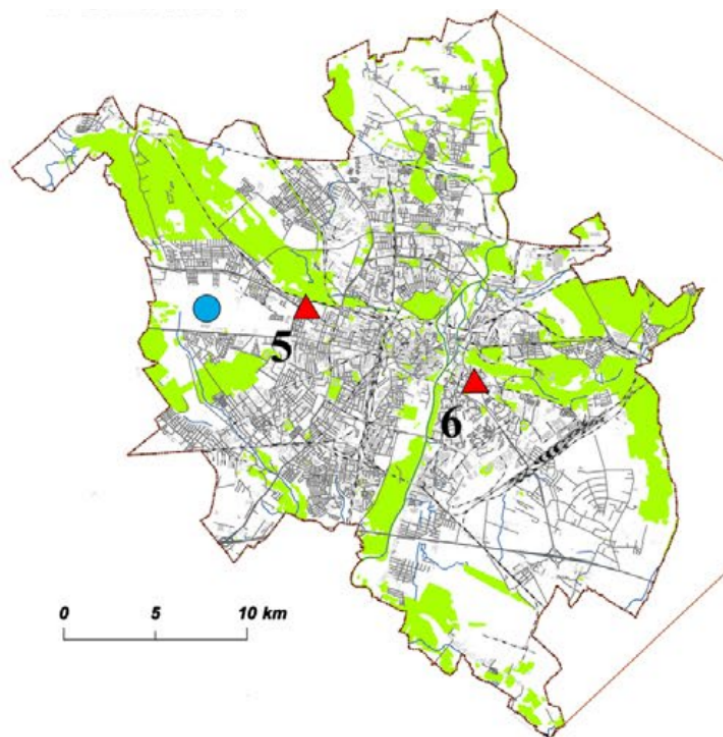
- oficjalna
- (najdokładniejsza)
- droga
- praco- i czasochłonna
- pomiary najczęściej co dobę



Metoda laserowa: szybka, ale droga i mniej precyzyjna

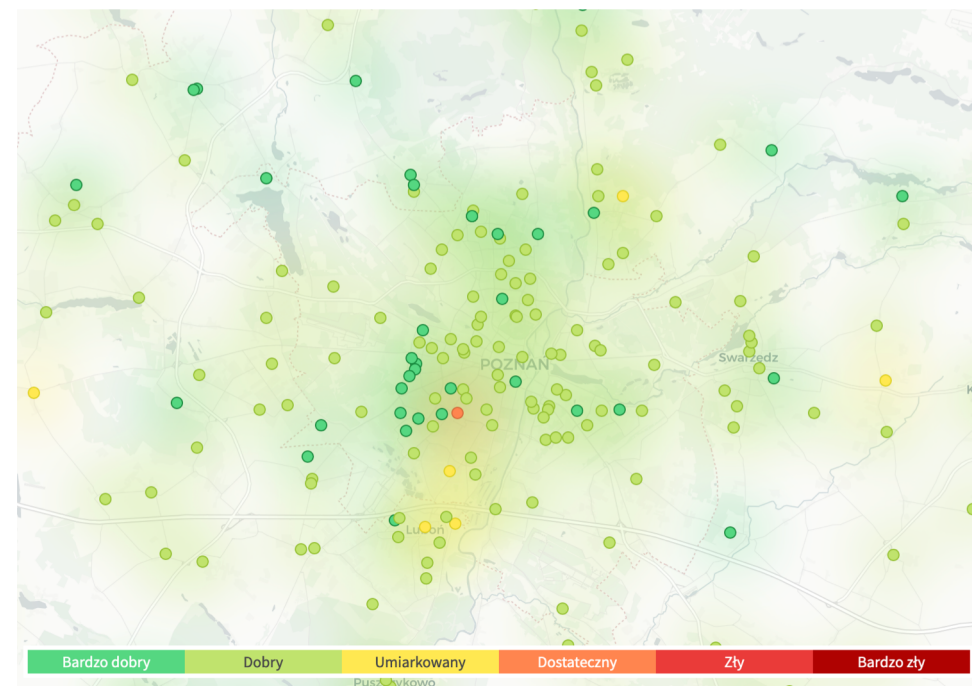
WiOŚ

- 2-3 profesjonalne stacje automatyczne
- 2-3 manualne (pomiary z opóźnieniem)



ESA NASK

- 1200 stacji (w tym kilkadziesiąt w samym Poznaniu)



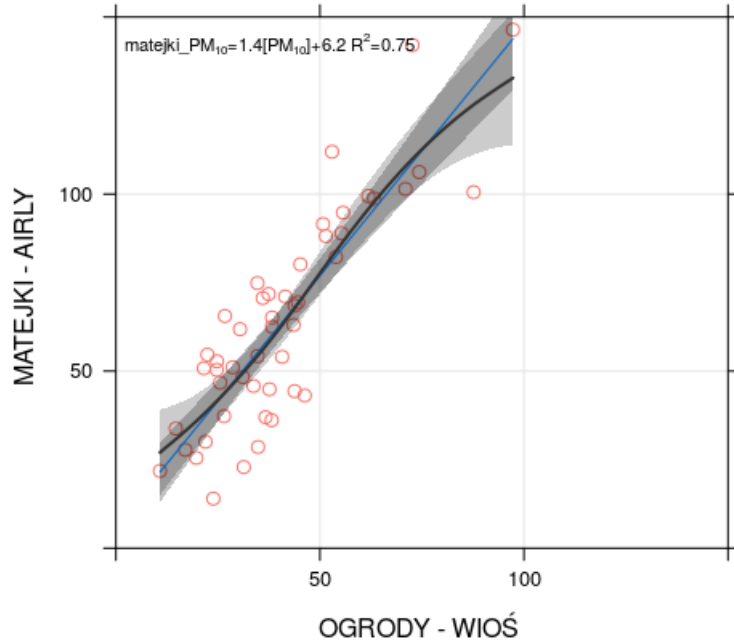
Informacja punktowa

Informacja obszarowa

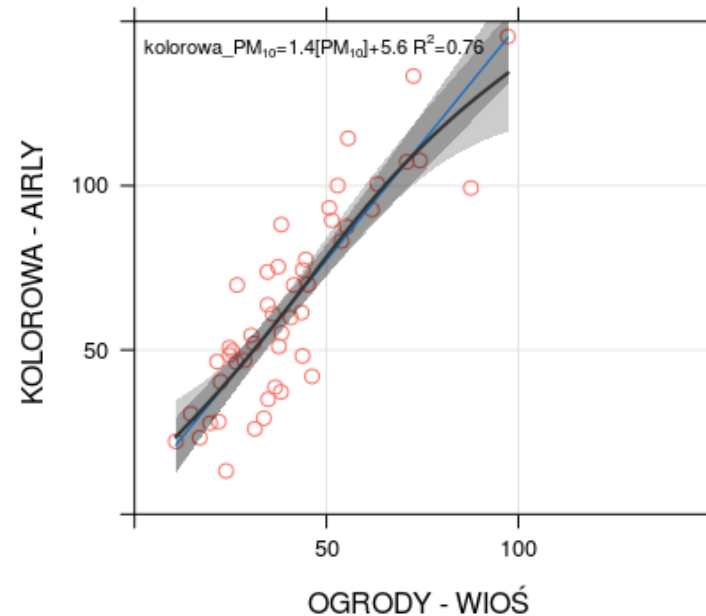


Airly vs. WIOŚ – przykładowe różnice

PM₁₀ (ŚR. DOBOWE) - 22.02 -- 20.04.2018



PM₁₀ (ŚR. DOBOWE) - 22.02 -- 20.04.2018

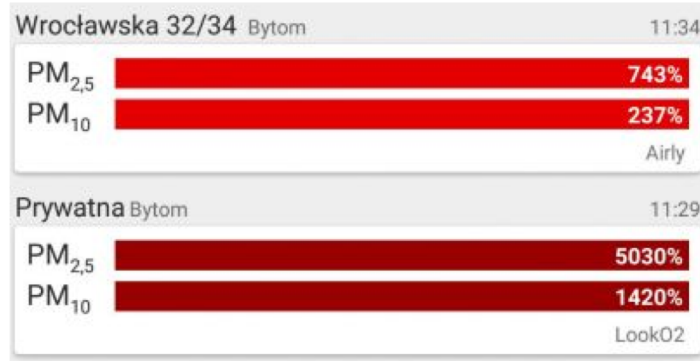


Wniosek:

O ile tendencja (kierunek zmian się zgadza w 85-88%) to zakres wartości może być przekłamany nawet o połowę

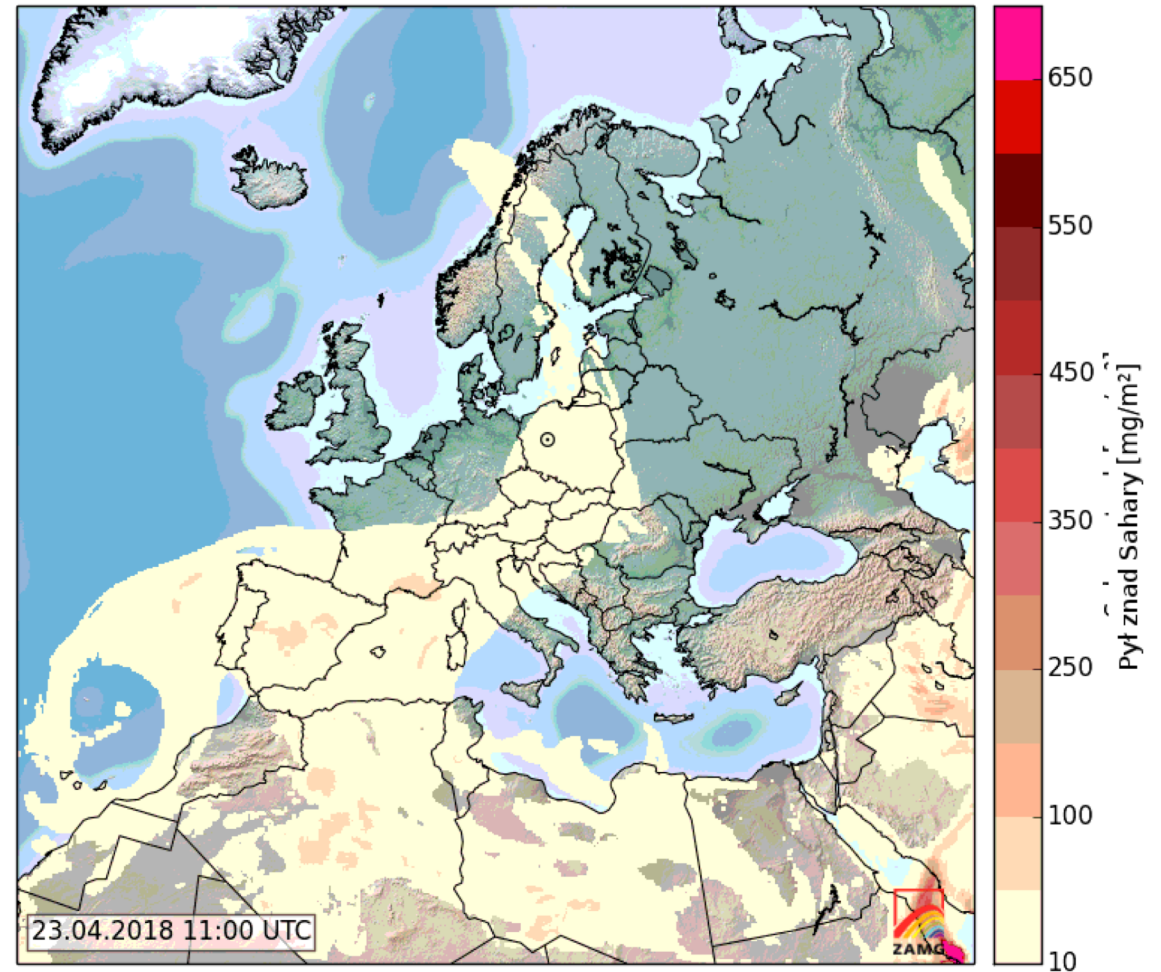
Średnia	Średnia	Liczba przekroczeń normy dobowej
Matejki – Airly PM ₁₀	64.8 uq/m ³	32
Kolorowa – Airly PM ₁₀	65.2 uq/m ³	30
Dąbrowskiego - WIOŚ PM ₁₀	41.3 uq/m ³	13

Znaczenie składu chemicznego PMx



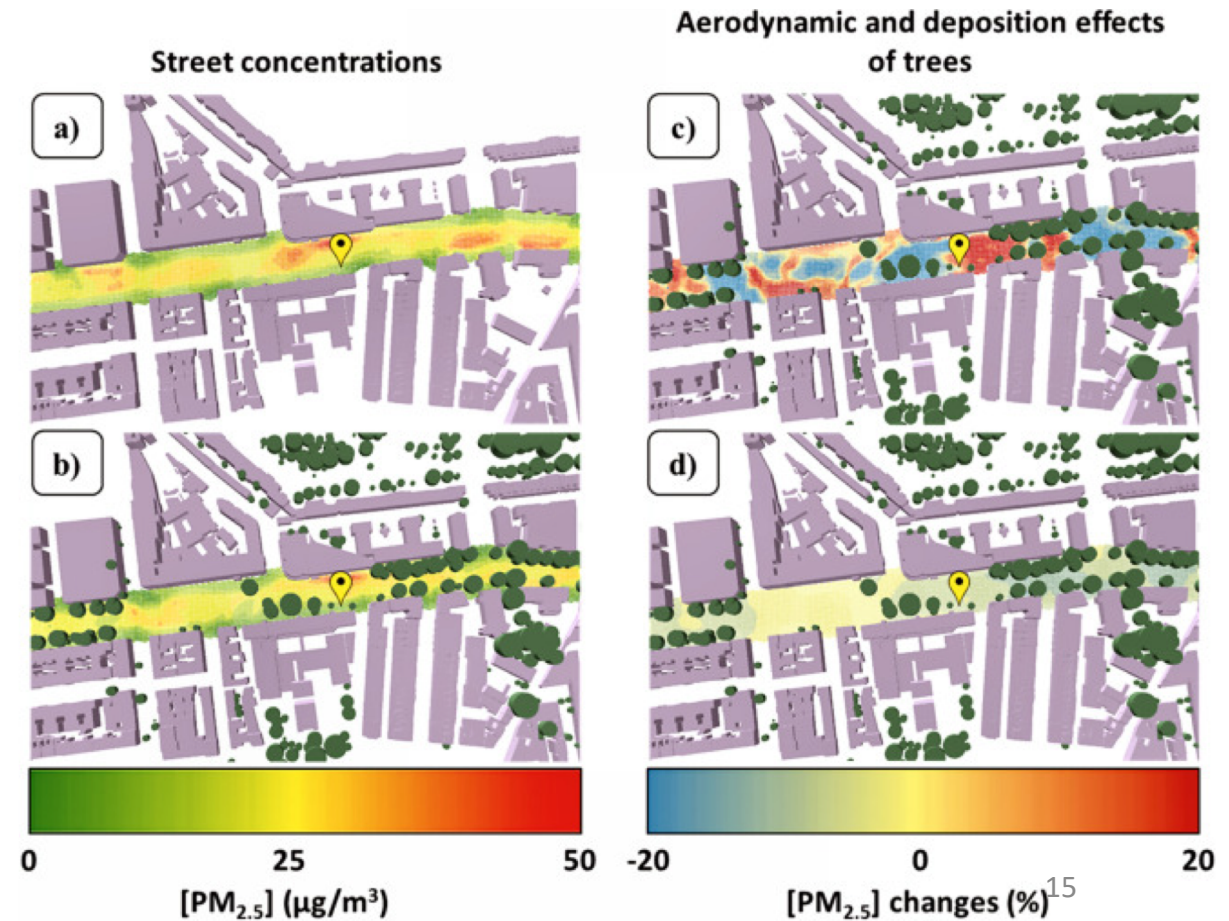
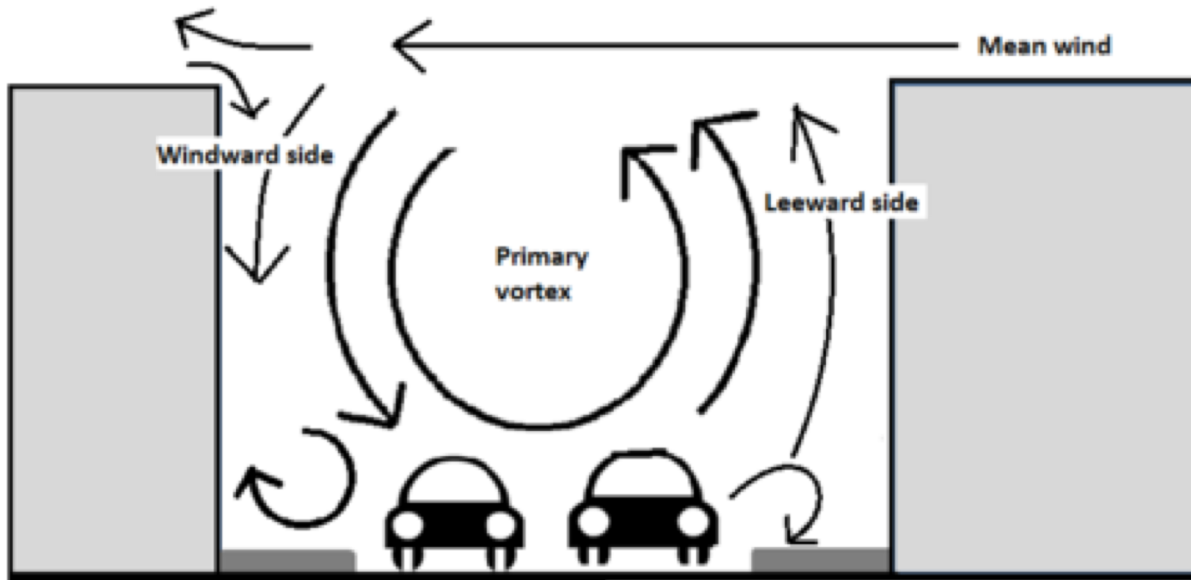
Większość aplikacji informujących o **smogu bierze pod uwagę masę/ilość cząsteczek pyłu:**

- Epizody z napływem pyłu saharyjskiego = wysoka koncentracja PMx = informacja o zagrożeniu smogowym
- Statystycznie ok. 1-2 x / rok (wiosna-jesień)
- Zagrożenie dla zdrowia znacznie niższe niż zimą



Problemy monitoringu vs dyspersja i depozycja

- Procesy dyspersji są niezwykle dynamiczne lokalnie i zależne od szeregu czynników
- Precyzyjny monitoring wymaga większej liczby stacji
- Lokalizacja musi być starannie przemyślana
- Dobre stacje są zwykle bardzo drogie (w zakupie i utrzymaniu)



Część 2

Klimatologia zanieczyszczeń powietrza

Jakość powietrza w polskich miastach

Polskie miasta mierzą się z problemem dużych koncentracji PM_x i co roku zajmują czołowe miejsca w rankingu najbardziej zanieczyszczonych miast

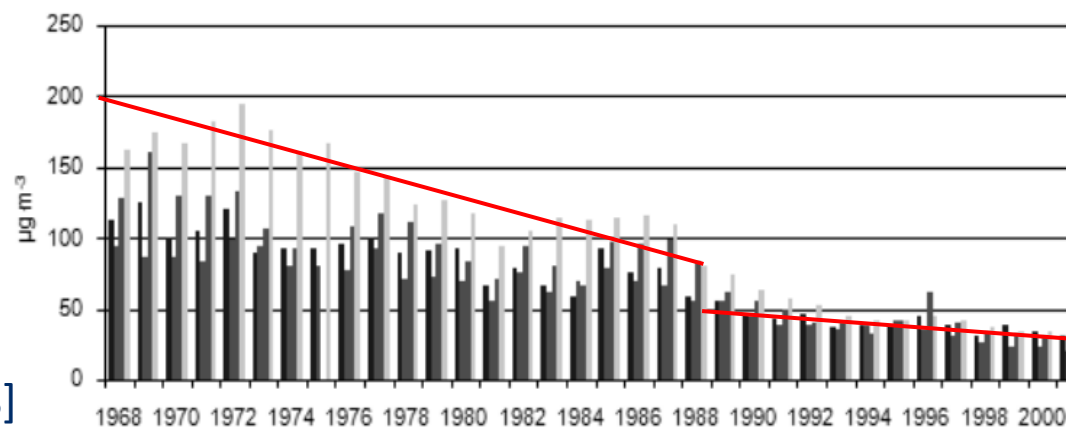
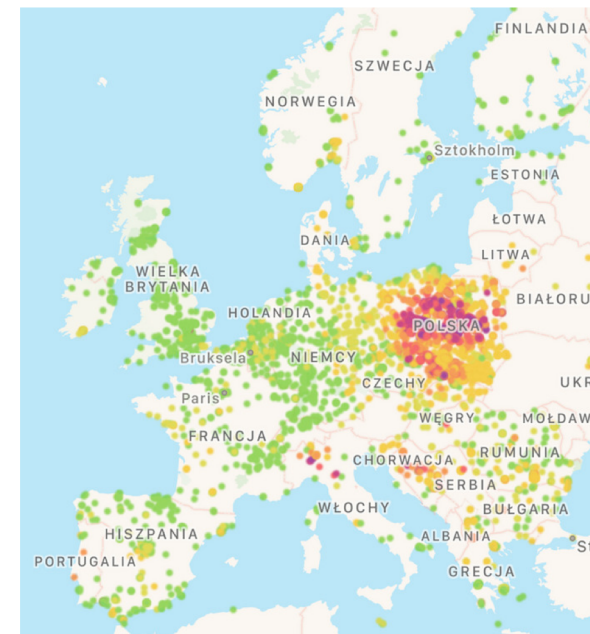
(Bokwa 2008, Juda-Rezler and Manczarski 2010; Krynicka and Drzeniecka-Osiadacz 2013; Rogula-Kozłowska et al. 2014; Rozbicka and Michalak 2015, European Environment Agency 2015).

Często w mediach można usłyszeć stwierdzenie, że mimo wszystko jakość powietrza się poprawia... sprawdźmy liczby

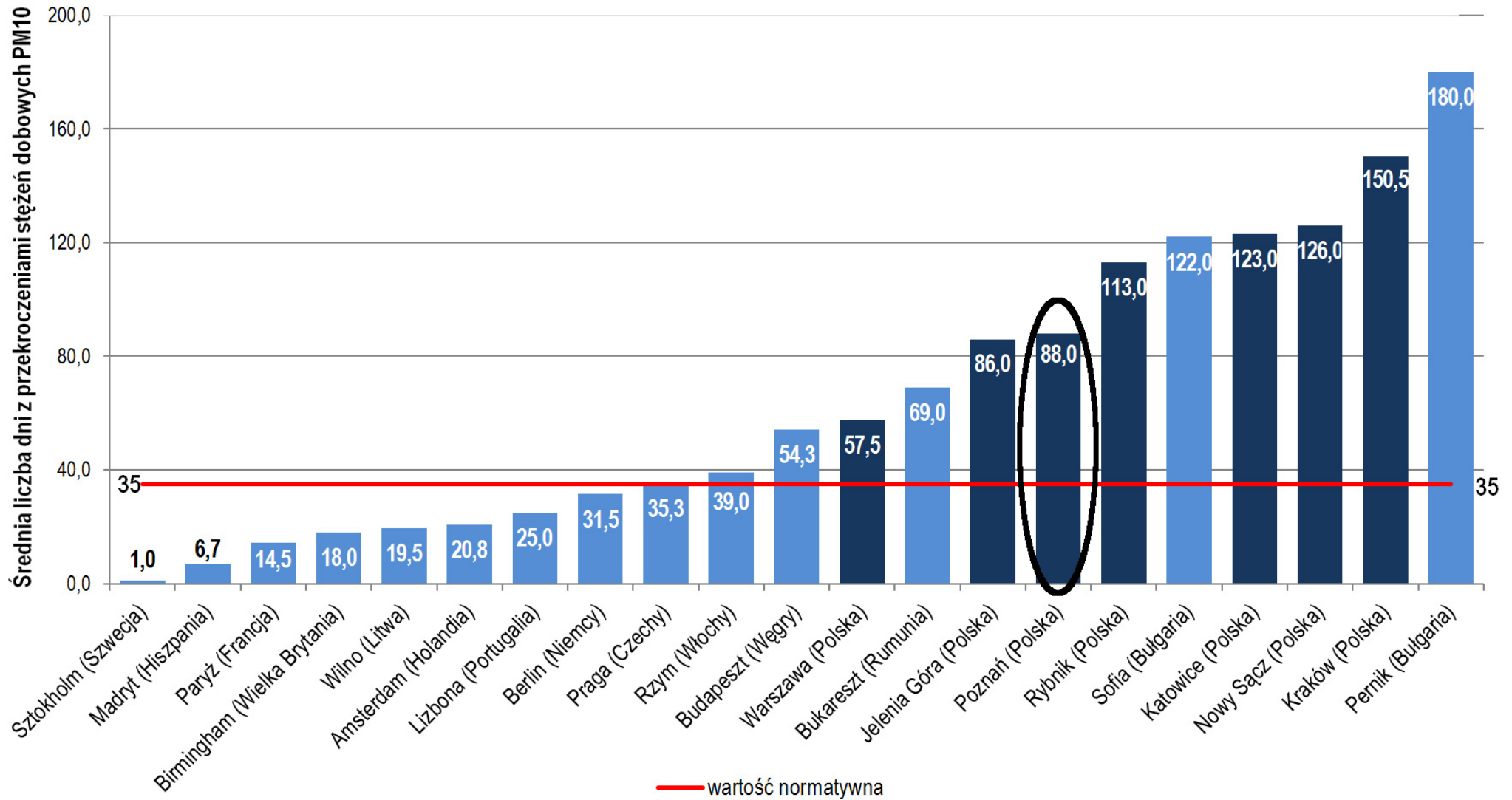
Dane historyczne:

- 1968-2001- SANEPID
- Od końca lat 90.- WIOŚ

[A. Bokwa 2008]



Przeciętna liczba dni z przekroczeniami stężeń dobowych PM₁₀* w wybranych miastach Europy w 2011 r. na tle wartości normatywnej



* PM₁₀ (PM – ang. particulate matter) pył zawieszony, może zawierać substancje toksyczne i powodować lub pogłębiać choroby płuc i układu krążenia, zawał serca i arytmie, może też powodować choroby nowotworowe.

Zmiana jakości powietrza 2006-2022

Duża zmienność średniej rocznej koncentracji PMx

- Min. (2020) 21.2
- Max. (2011) 39.2

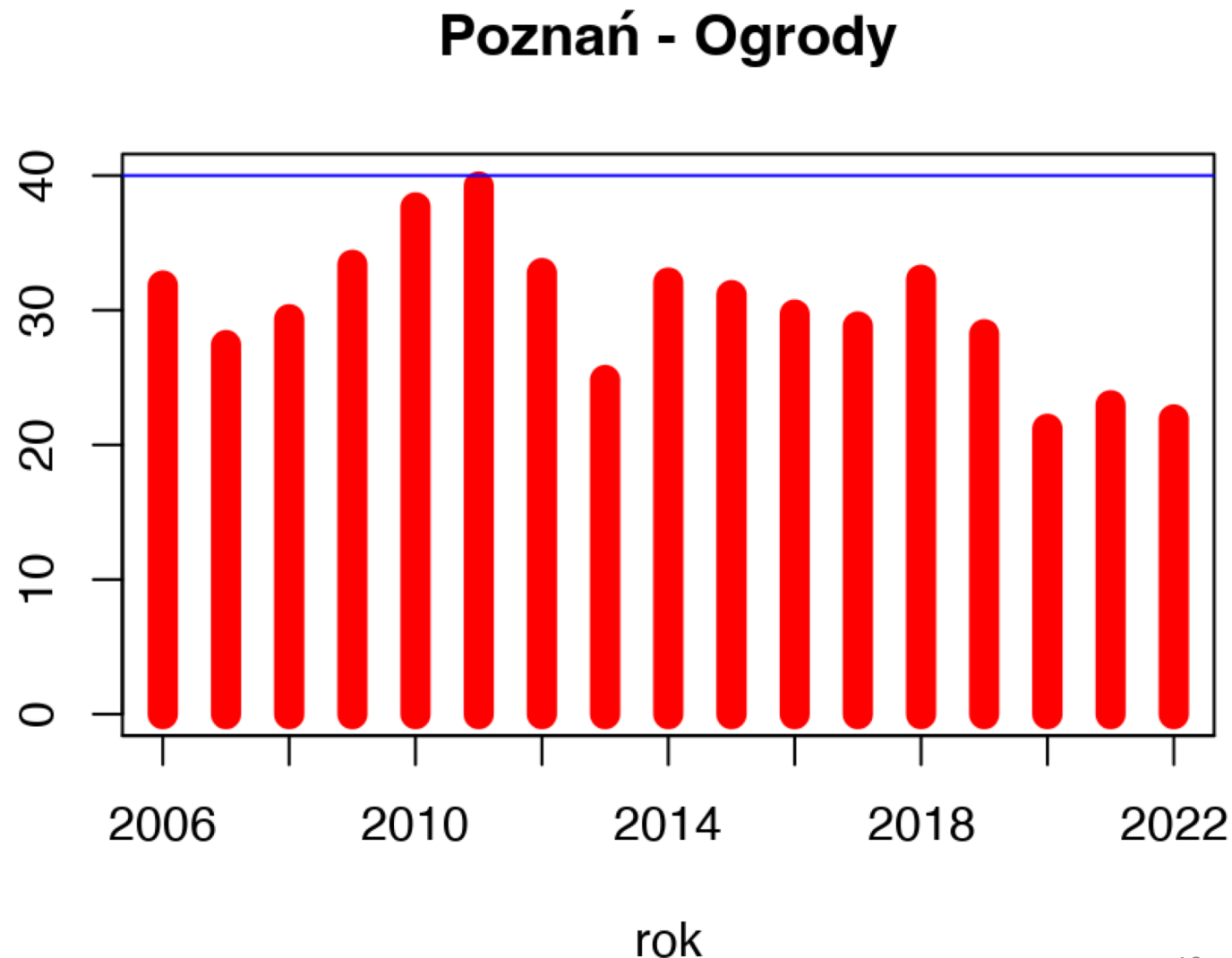
Widoczny, choć niezbyt silny trend zmian

(-0.58 uq/rok)

Nowe normy WHO (2022) –
15uq/m³

W obecnym tempie dotrzemy do norm WHO w Poznaniu za
ok. 30 lat

Średnia roczna koncentracja PM10



Liczba dni z przekroczeniem dobowym dla PM_{10}

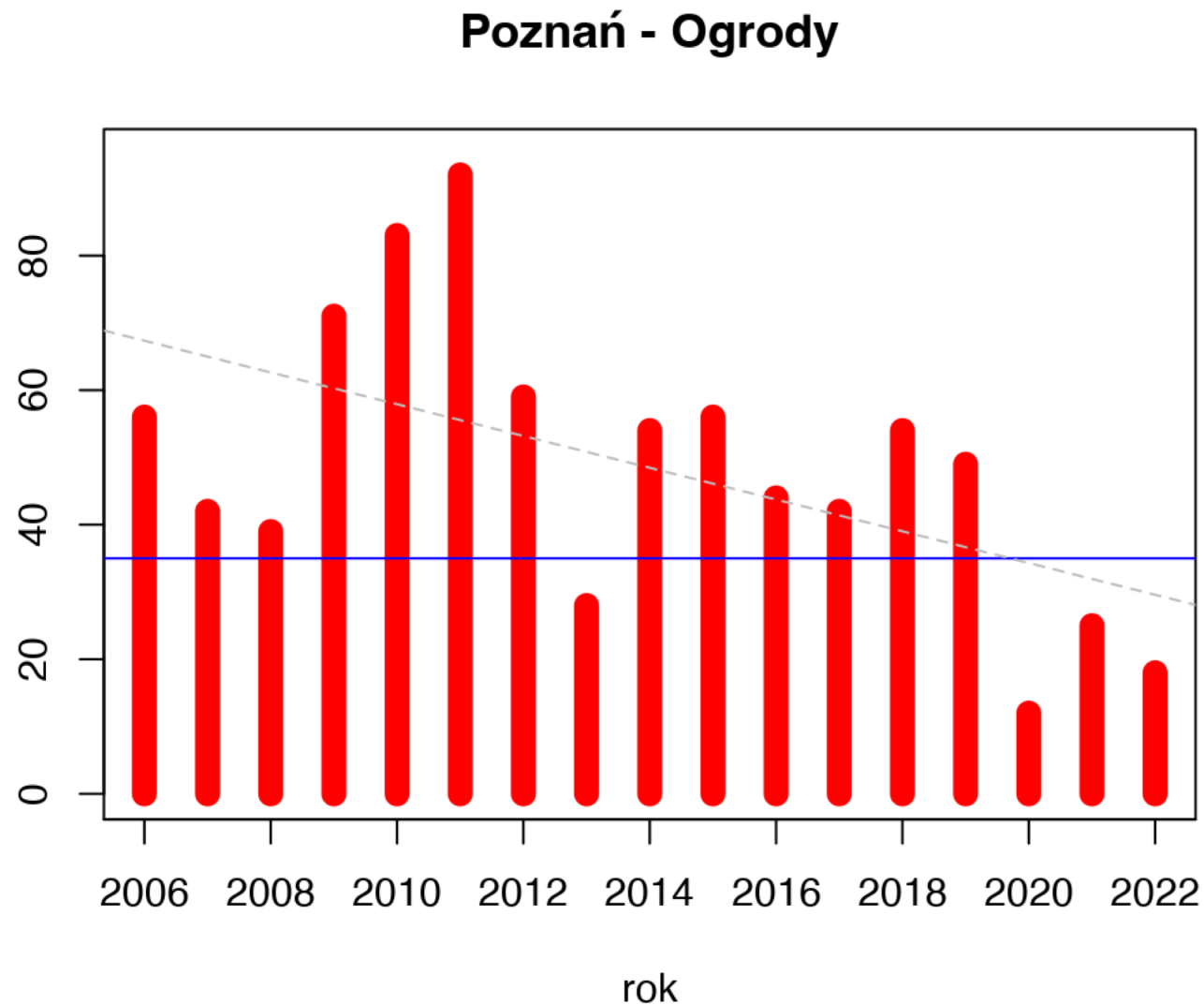
**Zdecydowana poprawa
w ostatnich kilku latach**

- (-2.3 dnia/rok)

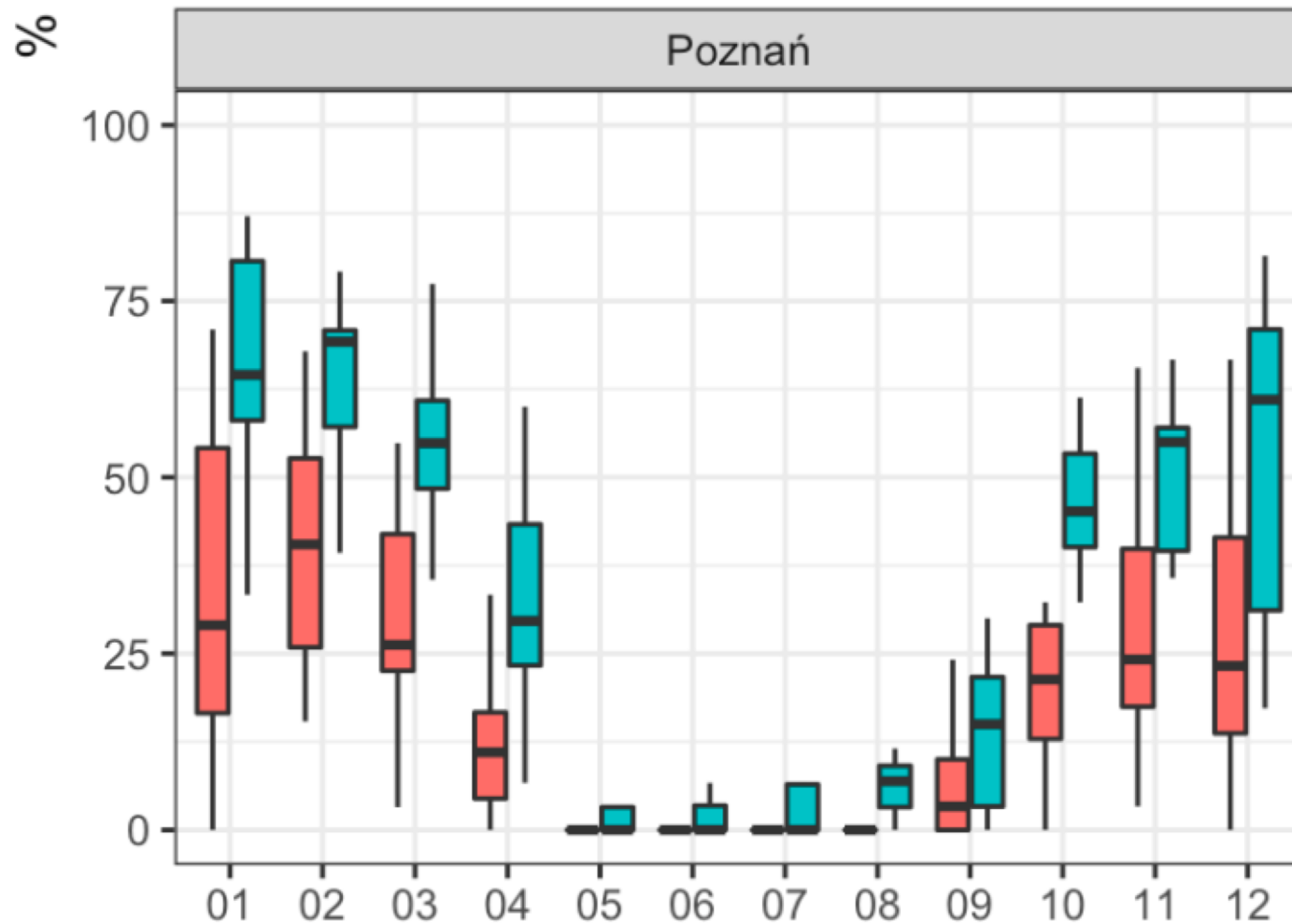
Średnia 2006-2022:

- 48.5 dnia

Liczba dni z przekroczeniem dobowej normy PM_{10}



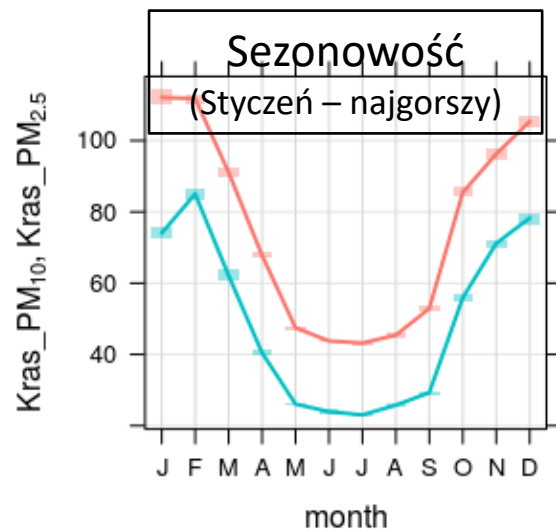
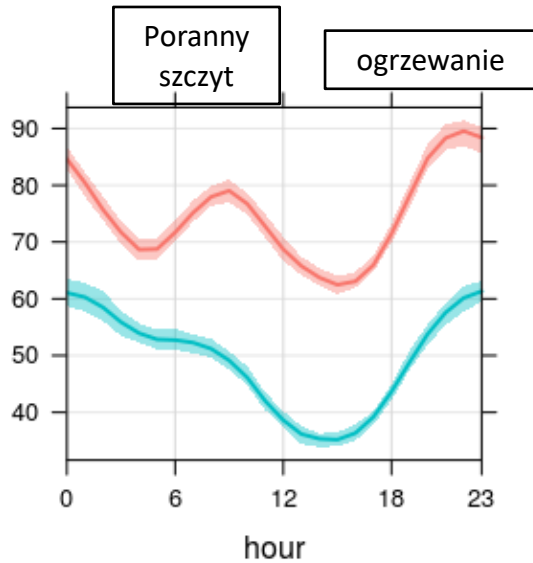
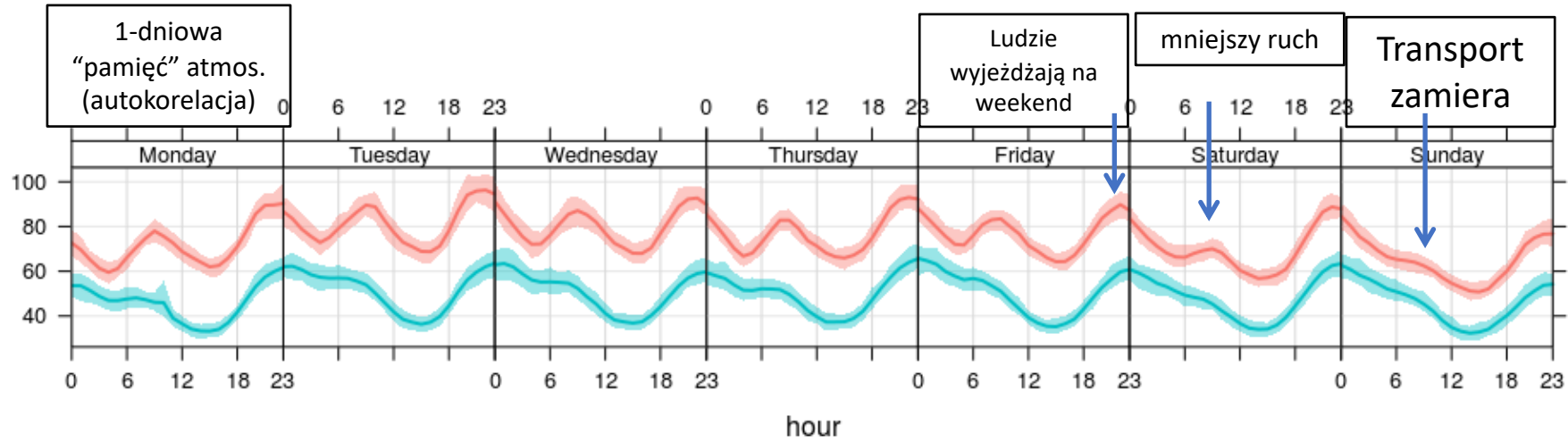
Udział dni z przekroczeniem dobowym dla PM_x



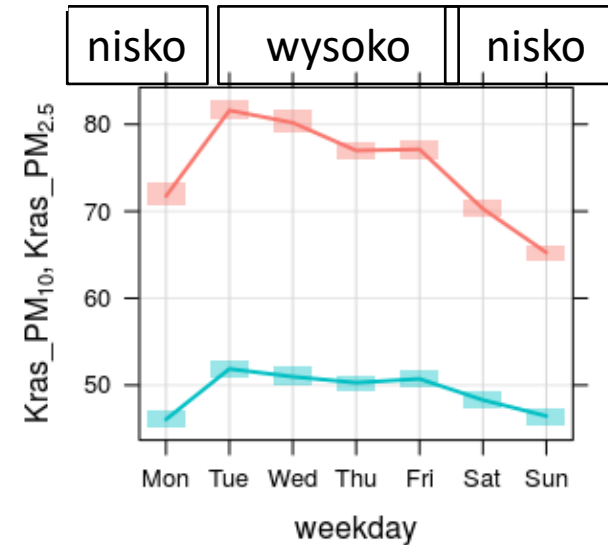
Udział przekroczeń średnich dobowych
 $PM_{10} > 50 \mu\text{g m}^{-3}$ (czerwony)
oraz $PM_{2.5} > 25 \mu\text{g m}^{-3}$ (niebieski), 2006–2016

[Czernecki et al. 2021 https://doi.org/10.4209/aaqr.200586](https://doi.org/10.4209/aaqr.200586)

Zmienność czasowa smogu – różne skale czasu



mean and 95% confidence interval in mean

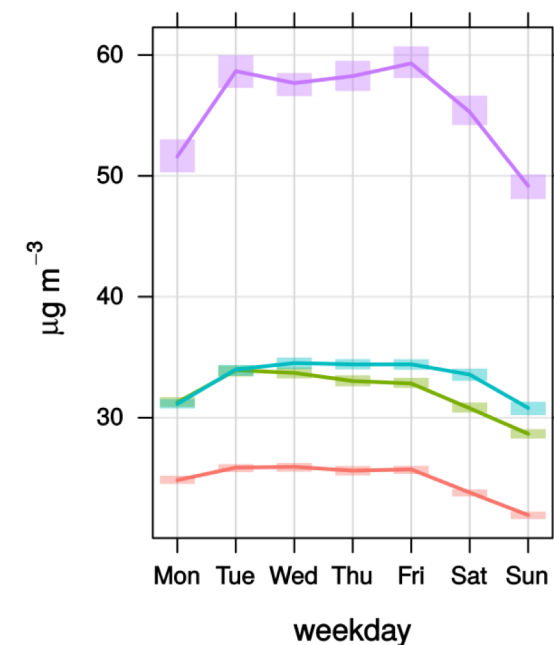
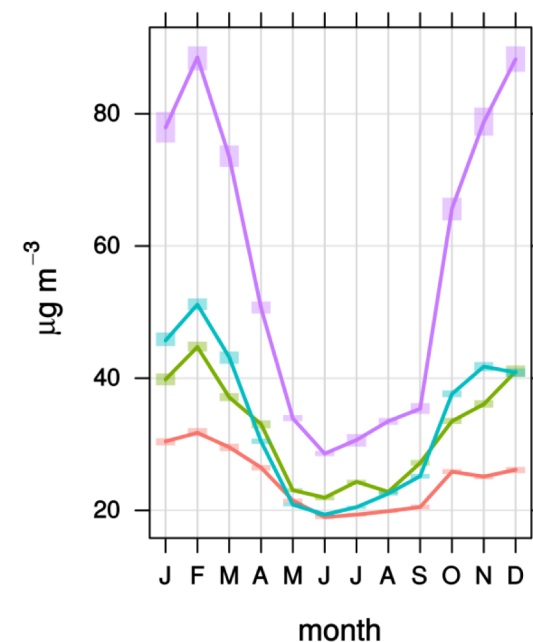
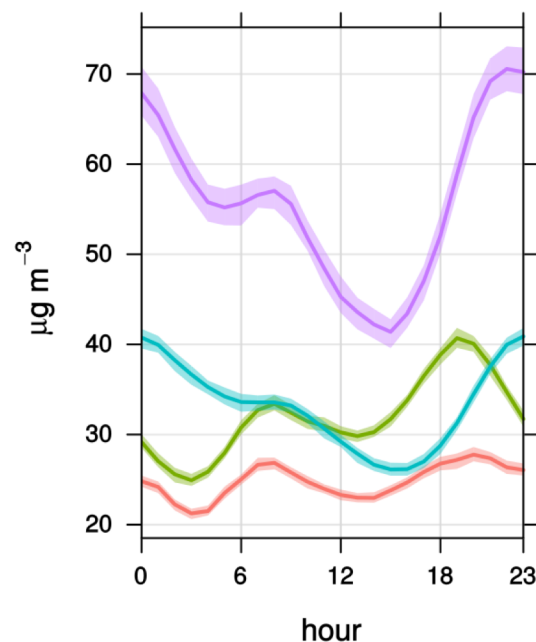
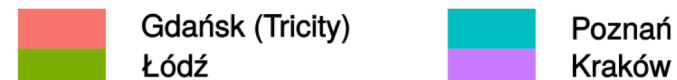


Jak wypada Poznań na tle innych miast tej zbliżonej wielkości?

+ Nie tak źle jak w Krakowie

- Nie tak dobrze jak w Trójmieście

Na niektórych stacjach przebieg dobowy "przesunięty" (różne lokalizacje stacji pomiarowych)



mean and 95% confidence interval in mean

[Czernecki et al. 2021 https://doi.org/10.4209/aaqr.200586](https://doi.org/10.4209/aaqr.200586)

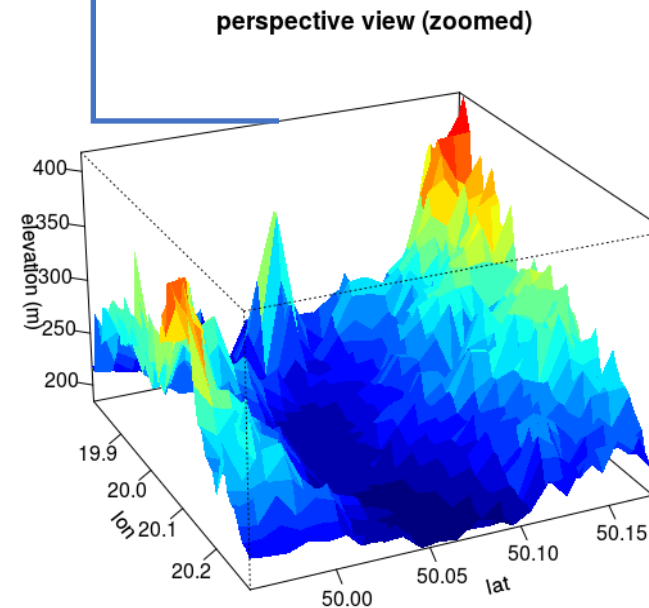
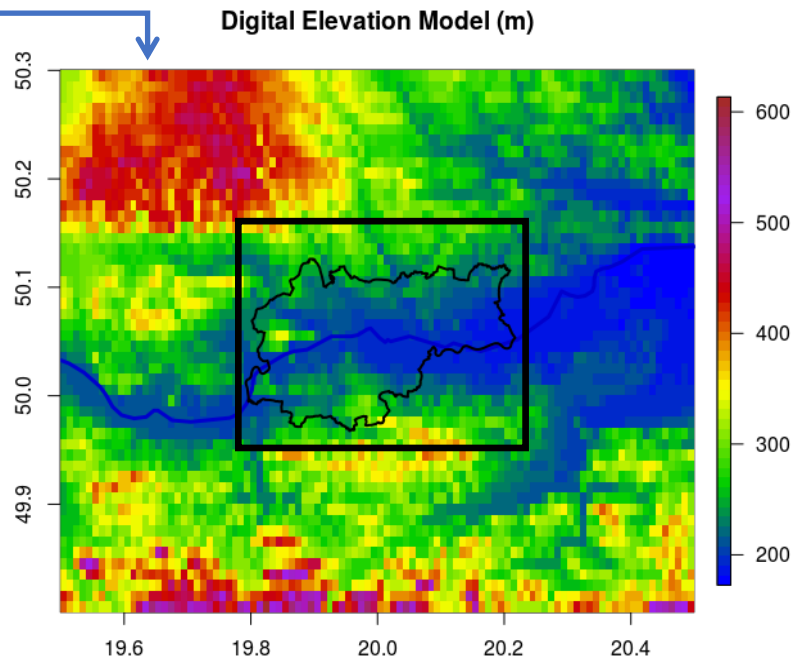
Przyczyny różnic jakości powietrza między miastami

Wg podręczników średnio w ~70% smog warunkują czynniki naturalne:

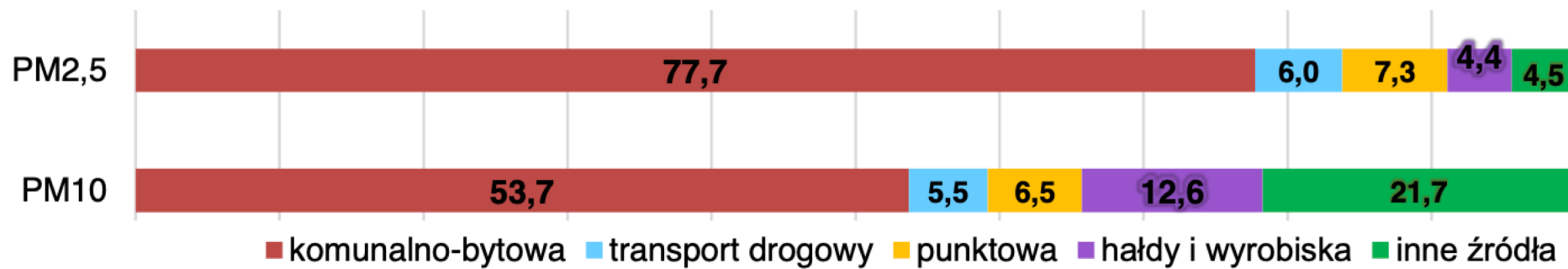
- Warunki meteorologiczne (wiatr, warstwa mieszania (graniczna))
- Uwarunkowania geograficzne
- Obie kategorie silnie współzależne

Pozostałe 20-30% to działalność człowieka:

- Ciepłownictwo i energetyka
- Transport
- Przemysł



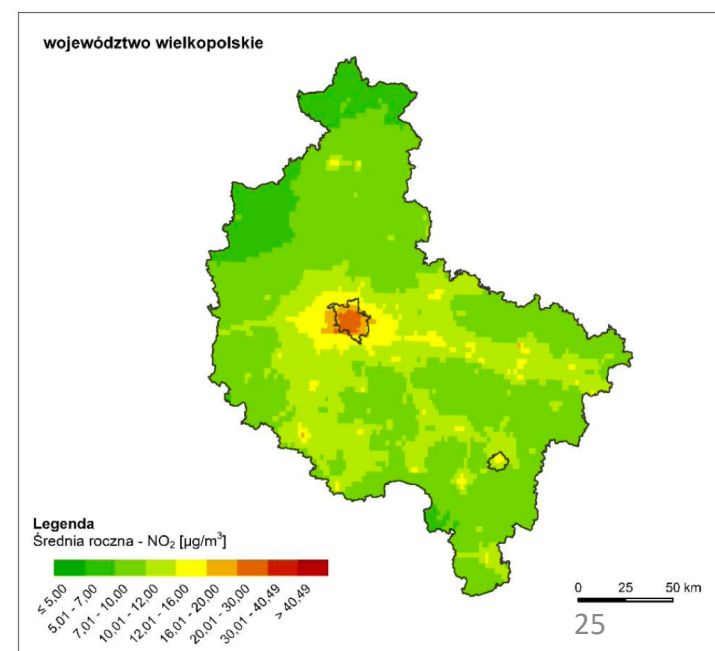
W jaki sposób tworzymy smog?



Rysunek 6.1. Udziały źródeł emisji w poszczególnych zanieczyszczeniach powietrza w województwie wielkopolskim (źródło danych: KOBiZE)

Źródło: Roczna ocena jakości powietrza w województwie wielkopolskim. Raport za 2019r

Nazwa strefy	Kod strefy	Powierzchnia [km ²]	Emisja PM10 [kg/rok]					Suma emisji
			Komunalno-bytowa	Transport drogowy	Punktowa	Hałdy i wyrobiska	Inne	
Aglomeracja Poznańska	PL3001	262	488 864	148 052	144 577	17 152	25 200	823 846
miasto Kalisz	PL3002	69	267 375	25 843	48 998	1 928	15 167	359 311
strefa wielkopolska	PL3003	29495	18 394 414	1 778 845	2 134 298	4 457 146	7 707 395	34 472 097
województwo wielkopolskie		29826	19 150 653	1 952 740	2 327 873	4 476 226	7 747 761	35 655 254
Polska		312 705	216 661 387	18 082 043	26 047 752	30 859 354	56 829 323	348 479 858



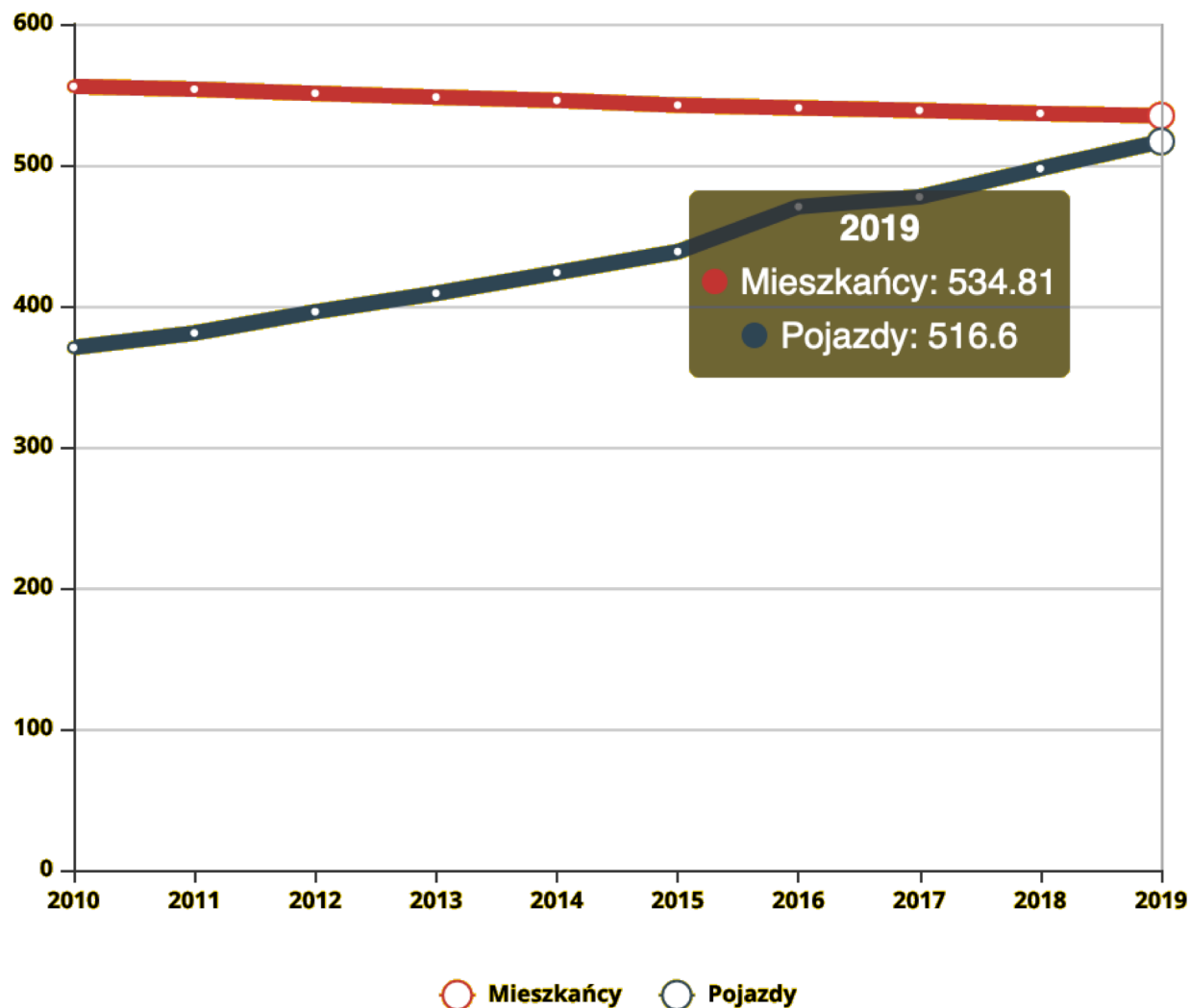
-VS-



77:23

92:8

Znaczenie transportu indywidualnego



W 2019 r. liczba wszystkich pojazdów zarejestrowanych w Poznaniu wyniosła **516,6 tys.**

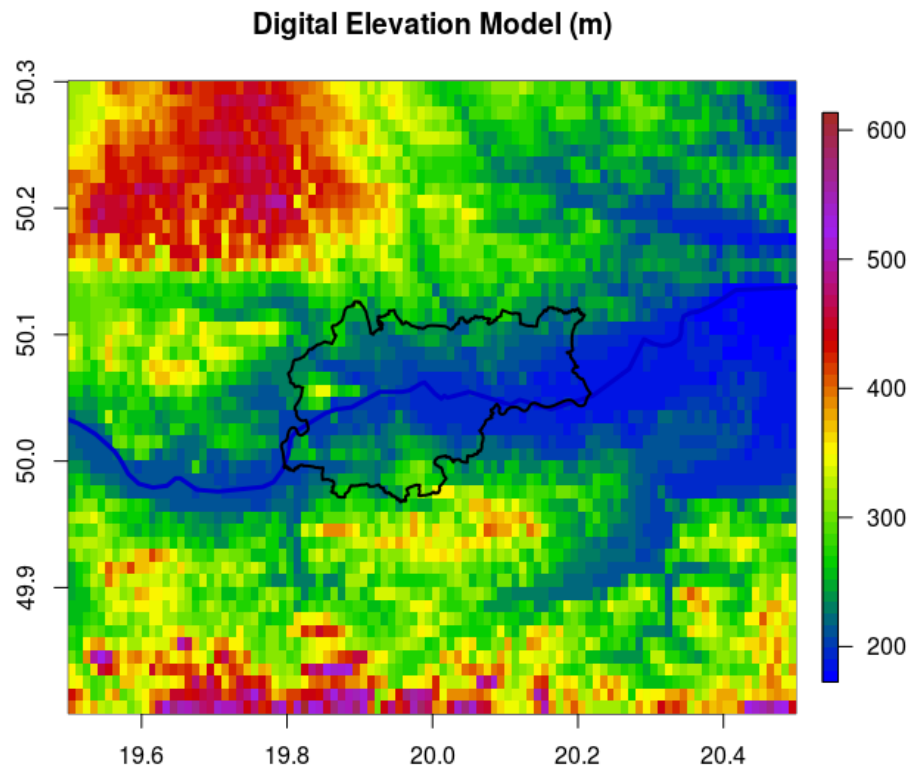
Na 1000 mieszkańców przypadało 756 samochodów osobowych zarejestrowanych w Poznaniu (725 w 2018 r.).

Berlin (2017) - 334, Lipsk 385, Hamburg 426

<https://badam.poznan.pl/2019-transport-w-poznaniu/>

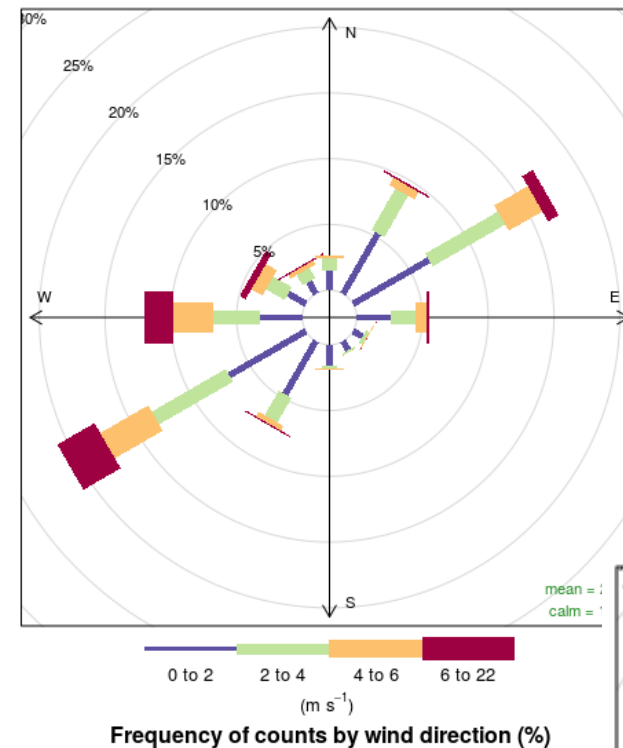
Dlaczego Poznań ma lepsze powietrze niż Kraków

- Znaczenie meteorologii i topografii

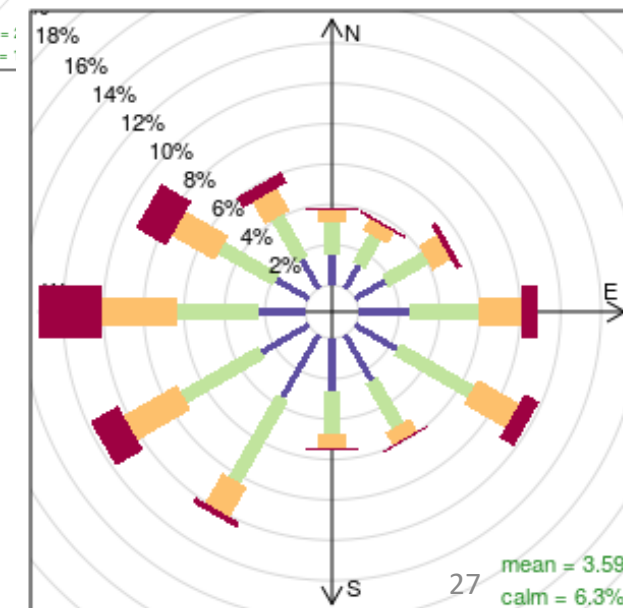


Przewietrzanie miasta:

- Położenie w dolinie Wisły
- Jedna z najniższych prędkości wiatru w Polsce (~30% niższa od śred.)
- Duży udział cisz wiatrowych (wiatr < 1m/s)
- Struktura kierunkowa nawiązuje do przebiegu doliny Wisły



Kraków

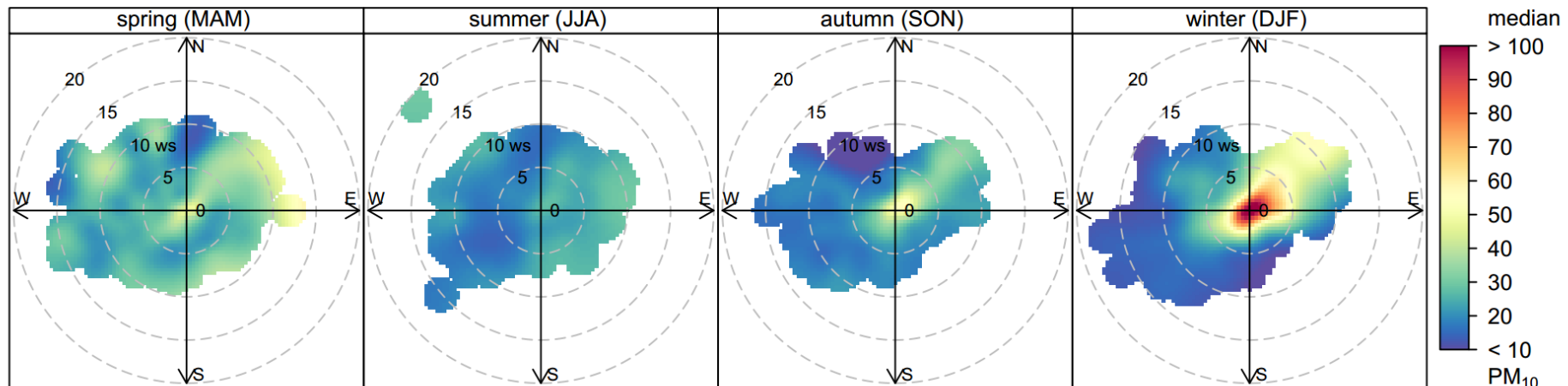
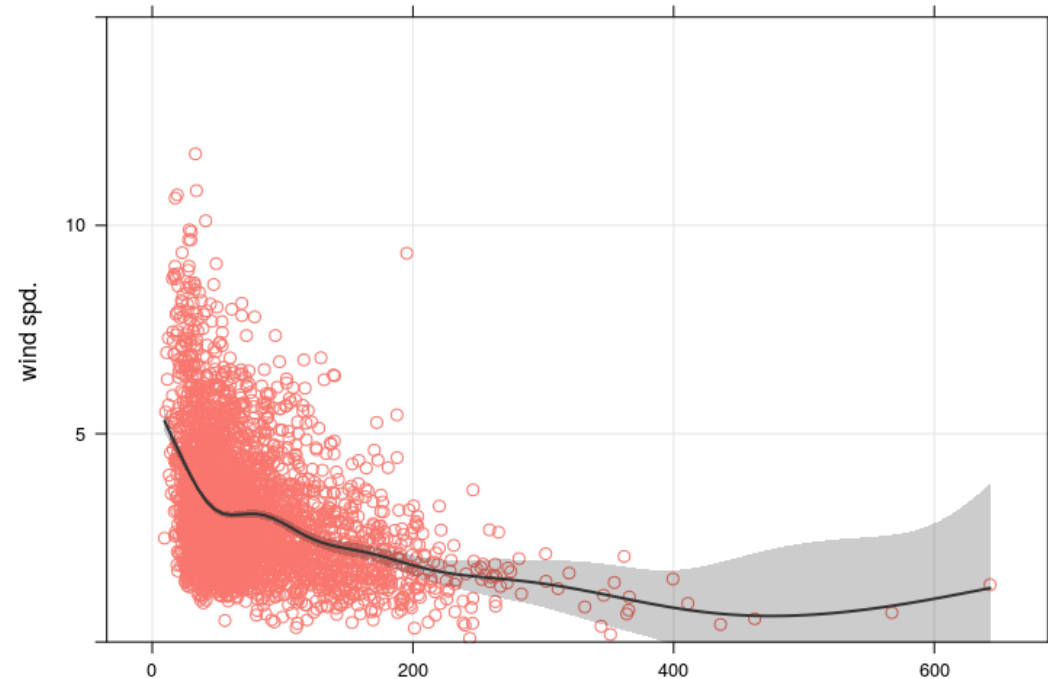


Poznań

Intensywność smogu a prędkość wiatru

**Smog występuje tylko przy
b. niskich prędkościach
wiatru**

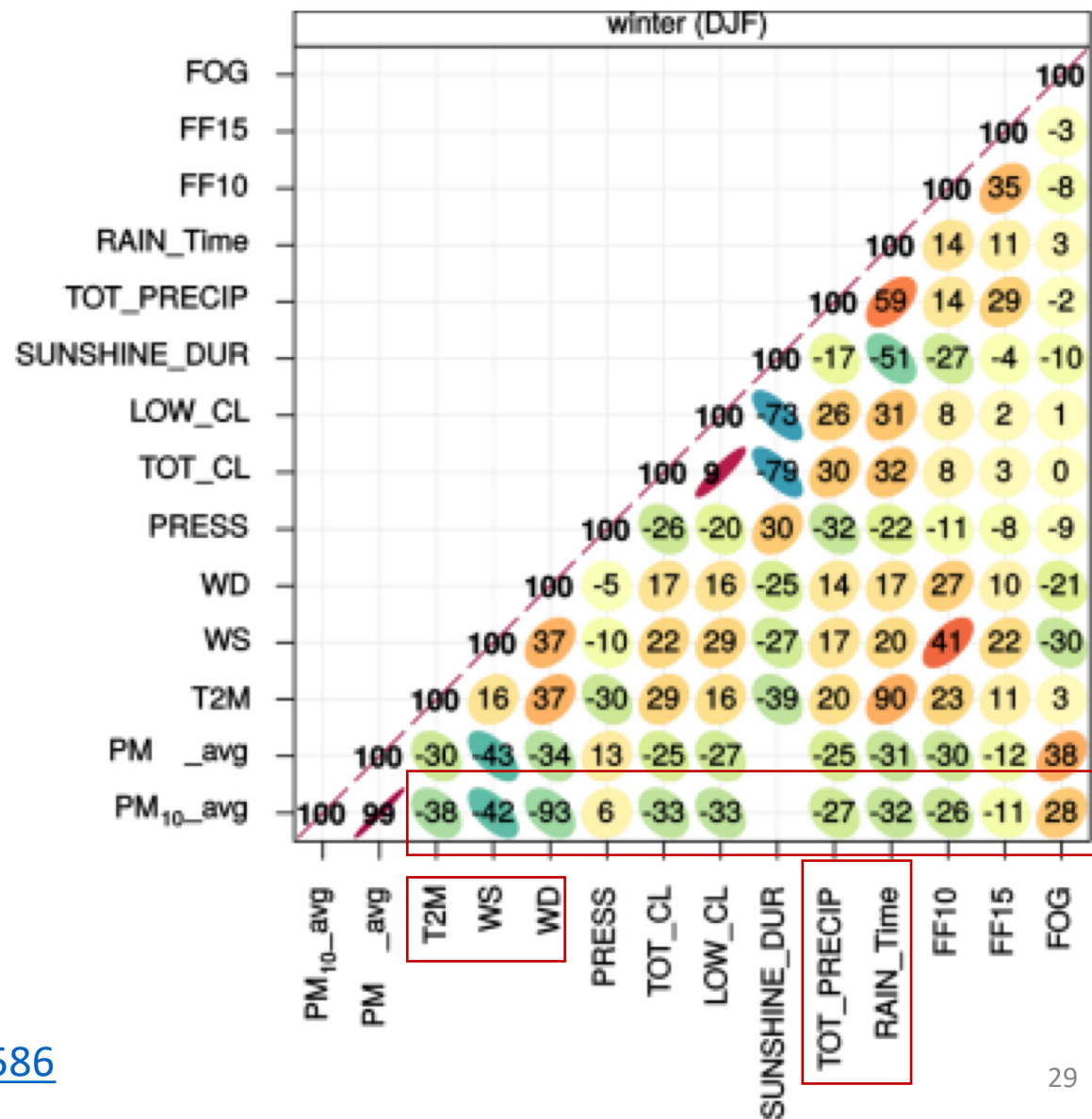
**Prędkość wiatru > 5 m/s
przewietrza miasto
(w ciągu kilku godzin)**



Jaki inne elementy wpływają na smog

Analiza korelacji:

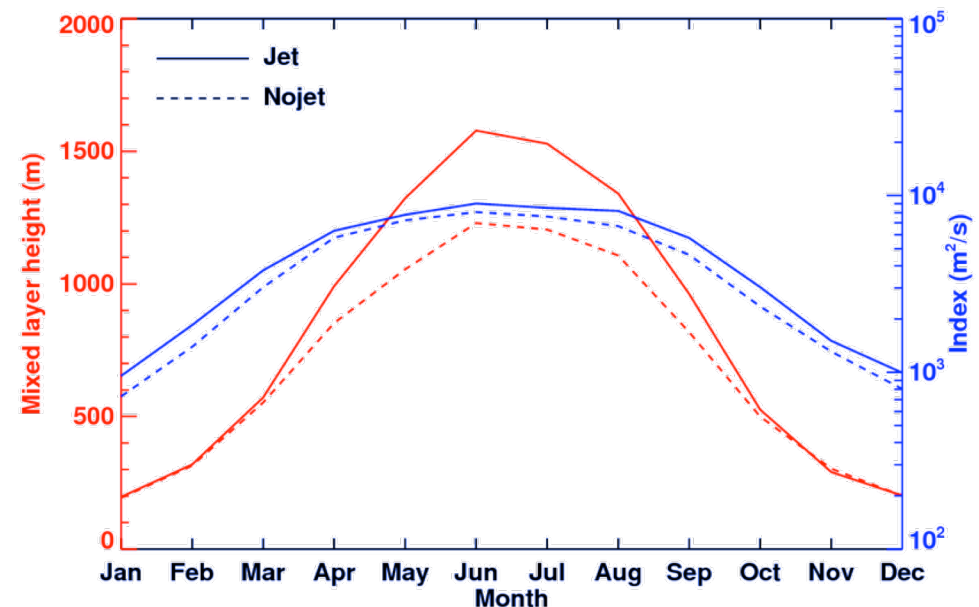
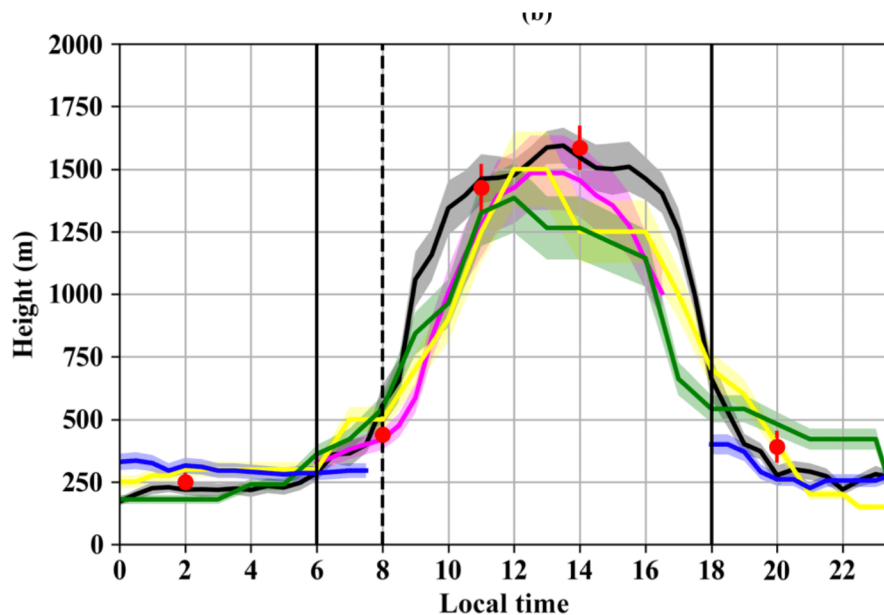
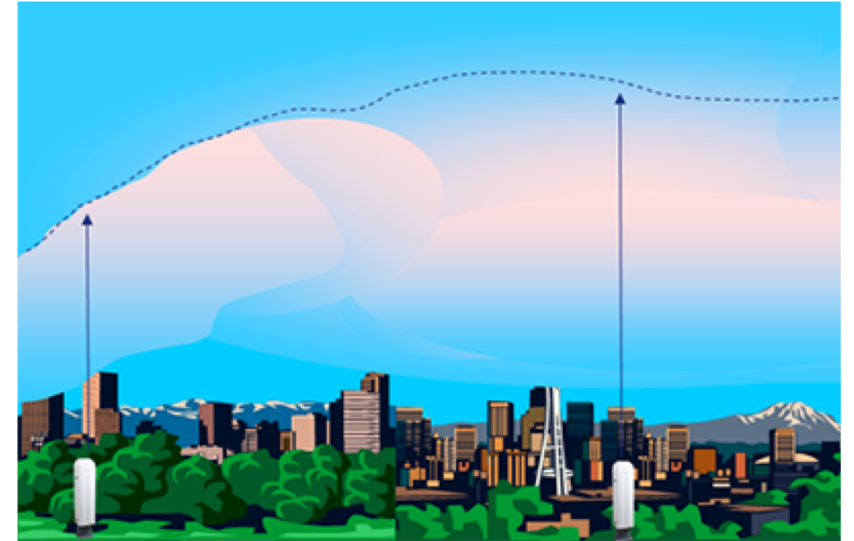
- Warstwa graniczna atmosfery
- Prędkość i kierunek wiatru
- Temperatura
- Opad atmosferyczny



Dyspersja zanieczyszczeń w obrębie warstwy mieszania (Atmospheric/Planetary boundary layer (PBL))

W normalnych warunkach w atmosferze temperatura spada wraz z wysokością ($\sim 0.65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)

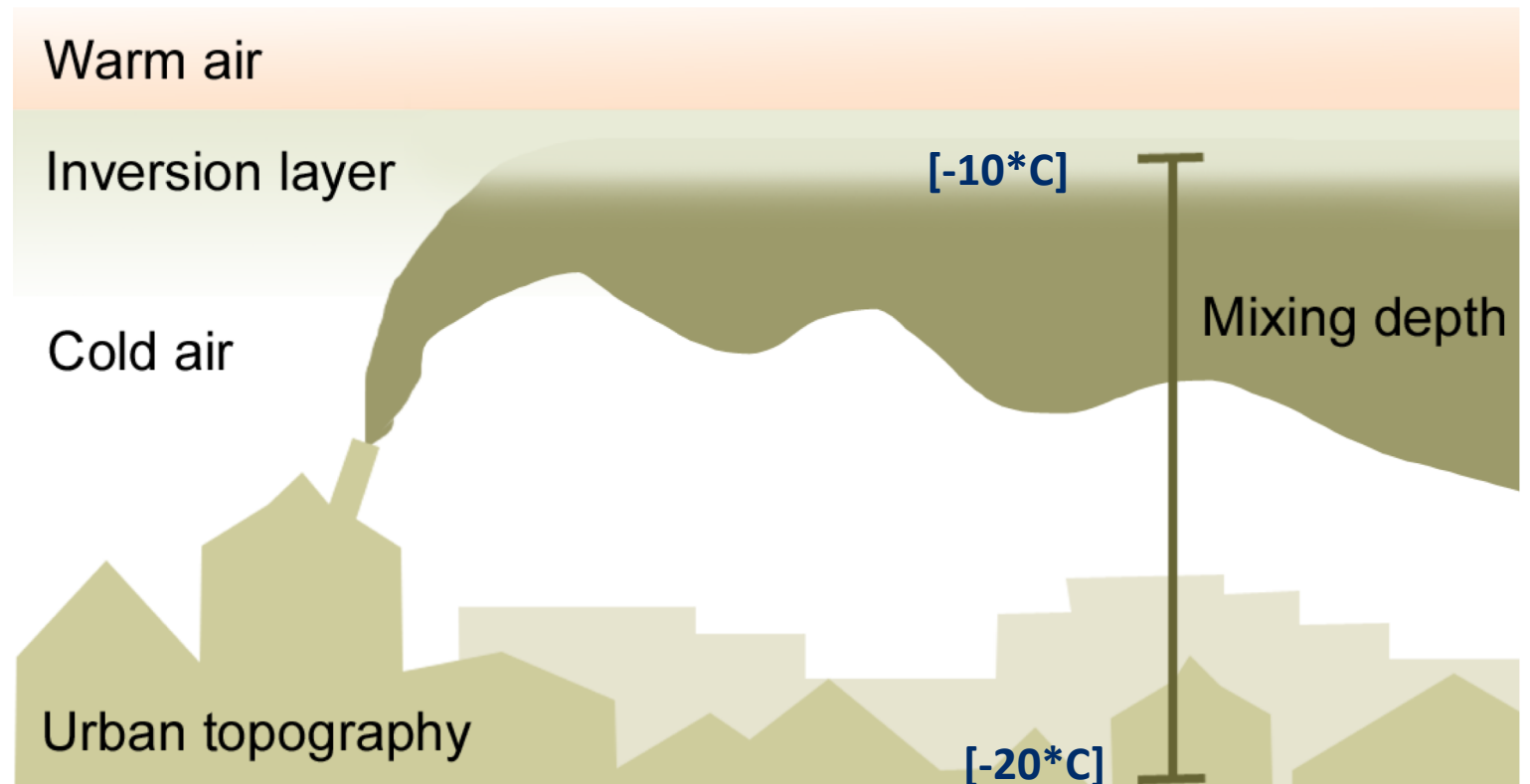
Zanieczyszczenia mogą się wówczas swobodnie mieszać w obrębie tzw. warstwy mieszania (średnio do ok. 1. km [w zależności od pory dnia i roku]):



Dyspersja zanieczyszczeń w obrębie warstwy mieszania (Atmospheric/Planetary boundary layer (PBL))

Zimą częste są sytuacje tzw. inwersji termicznej (tj. temperatura **wzrasta** wraz z wysokością). Im silniejsza różnica temperatur tym silniejsze “blokowanie”.

- Występuje zwłaszcza przy b. niskich temperaturach
- W sytuacjach wyżowych (o niskiej dynamice)
- Przy niemal bezwietrznej pogodzie





Jak prognozować/badać wysokość warstwy granicznej

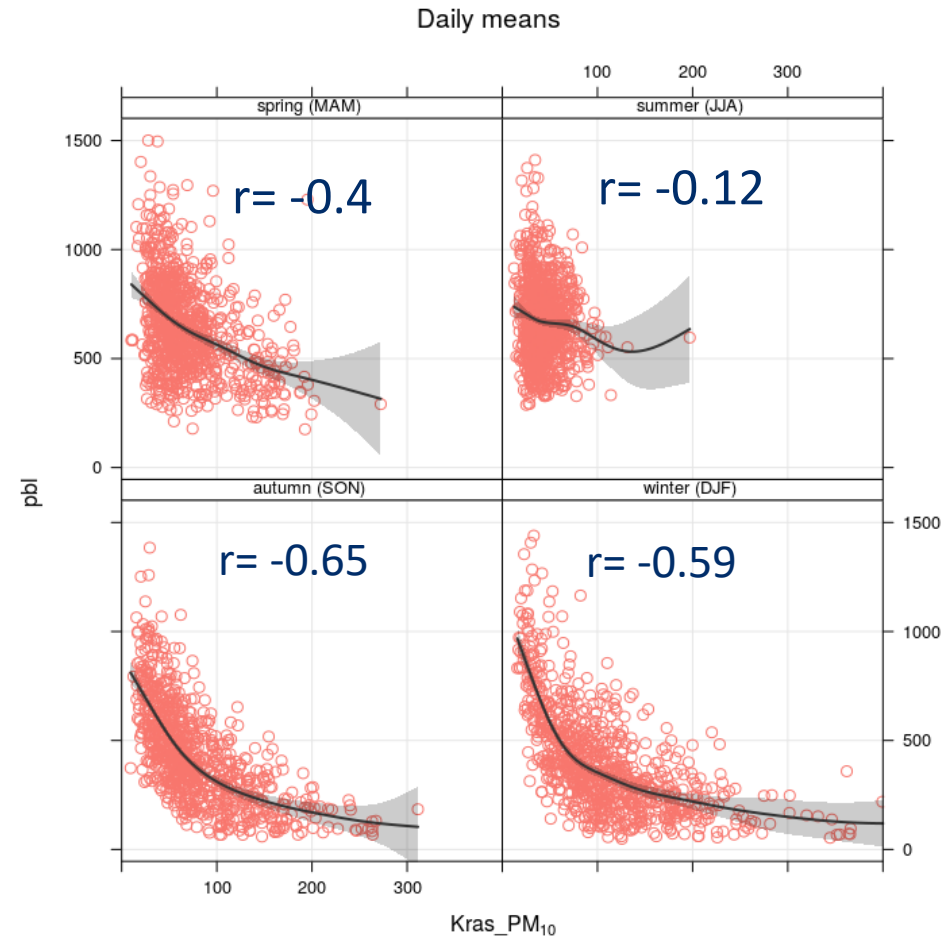
(żeby móc lepiej prognozować smog)

- **Balony meteorologiczne**
(00 and 12 UTC, 3 lokalizacje w PL)
- **Pomiary sodarowe i drony**



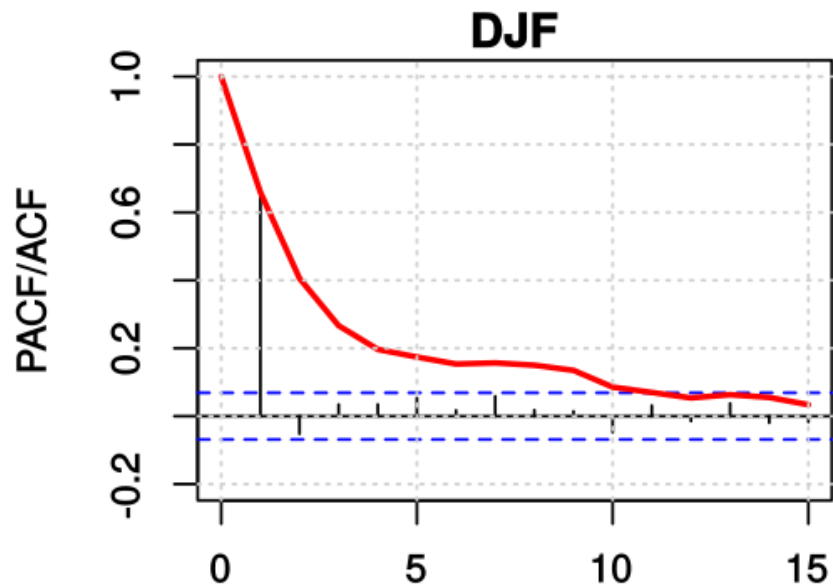
Jak bardzo powiązane?

> roczna korelacja ($r = -0.59$)



Epizody smogowe

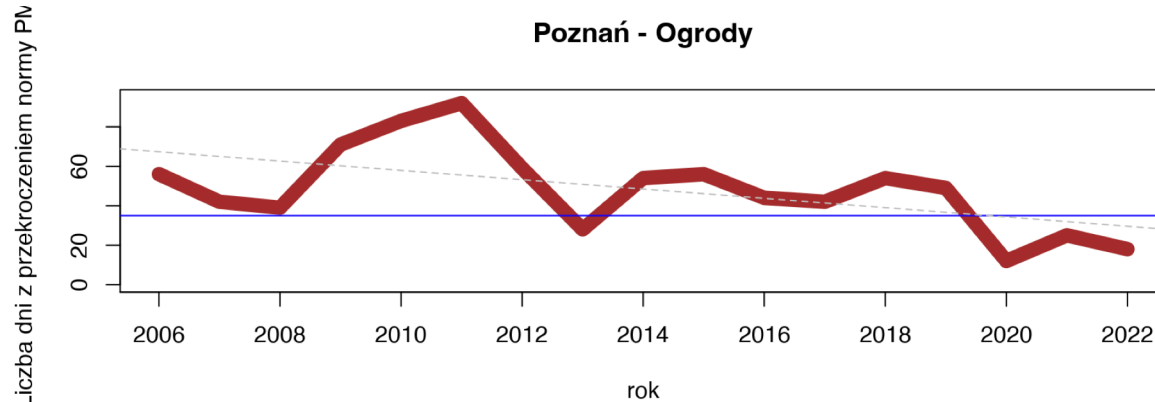
- Dni ze smogiem występują najczęściej w ciągach kilku dni "pod rząd"
- Jeśli smog się już pojawi to trudno się go pozbyć bez nagłej zmiany warunków meteorologicznych
- Siłę tego związku opisuje tzw. autokorelacja:



PM₁₀ in 2018



Co jest powodem poprawy jakości powietrza w ostatnich latach?

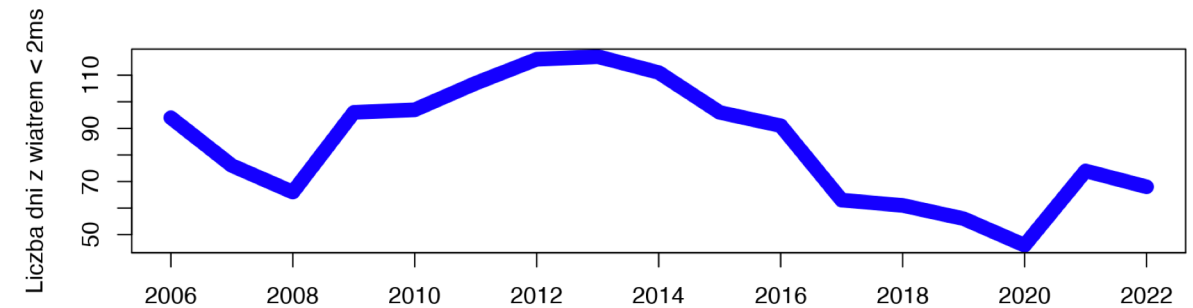
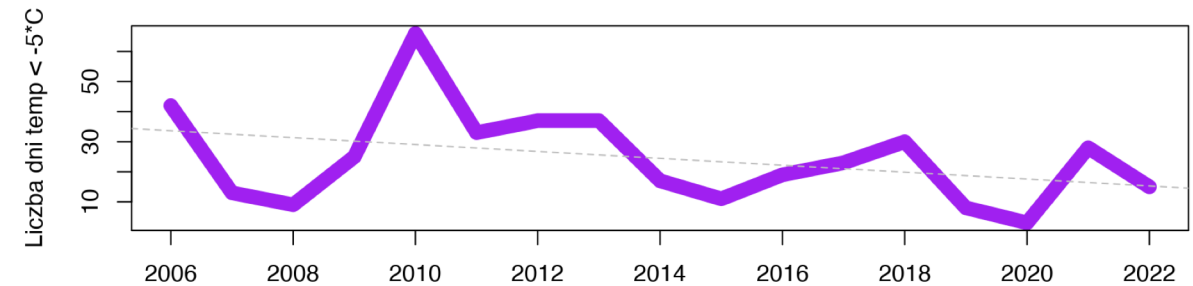
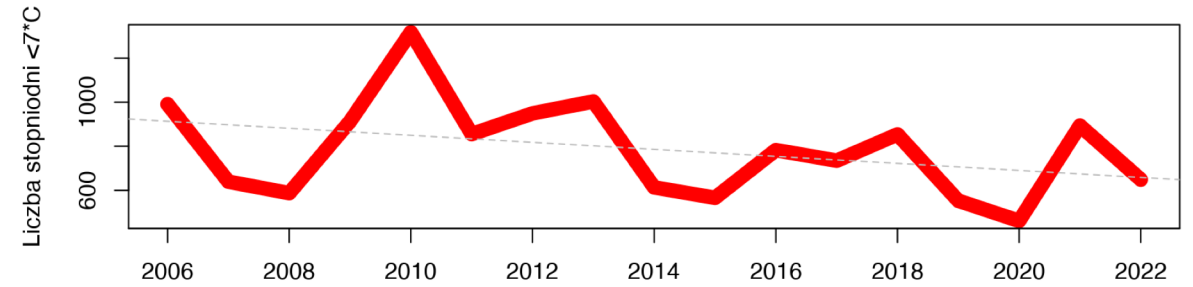


Co pomaga:

- **Zmiana klimatu:**
 - Liczba dni z $T_{min} < -5$ °C spada o 1.2/rok
 - Więcej deszczu (zamiast śniegu) efektywniej deponuje ("wymywa") zanieczyszczenia
 - Mniejsze potrzeby grzewcze
- **Działania miasta:**
 - Wymiana pieców (choć dość wolna ~5k pieców wymienionych)
 - Ograniczenia dla kominków
 - Wspieranie transportu niskoemisyjnego

Co hamuje:

- **Wzrost liczby samochodów**
- **Ceny niskoemisyjnych technologii grzewczych**
- **Wysokość mandatów i egzekucja prawa**



Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa w ramach programu
Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą
Spółeczna odpowiedzialność nauki – Popularyzacja nauki i promocja sportu,
nr projektu SONP/SP/546432/2022,
kwota dofinansowania 112 920,00 zł, całkowita wartość projektu 125 640,00 zł.



Ministerstwo
Edukacji i Nauki



UNIwersYTET
IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU



Wydział Nauk
Geograficznych i Geologicznych