

Czym oddychamy - projekt szkolnego monitoringu jakości powietrza

Krzysztof Markowicz

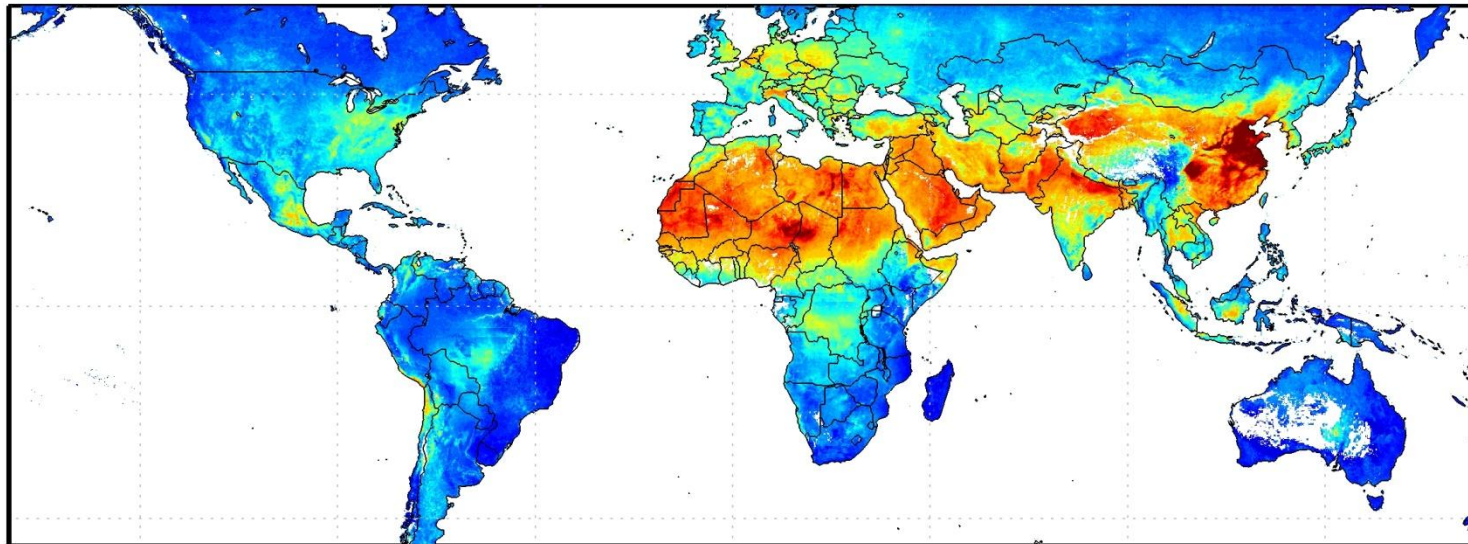
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki UW

kmark@igf.fuw.edu.pl

<http://edu.polandad.pl>

Problem jakości powietrza w Polsce i na świecie

- Dane bieżące <http://aqicn.org/map/world/>



0 5 10 15 20 50 80

Satellite-Derived PM_{2.5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Global satellite-derived map of PM_{2.5} averaged over 2001-2006. **Credit:** Dalhousie University, Aaron van Donkelaar

Źródła zanieczyszczeń powietrza

Naturalne:

- wybuchy wulkanów
- pożary
- burze piaskowe
- erozja gleb
- emisje biogeniczne
- emisja morską

Antropogeniczne:

- spalanie (paliw kopalnych w tym węgla, paliwa, oraz drewna)
- procesy przemysłowe

Rodzaje zanieczyszczeń powietrza

stałe:

- pyły w tym sadza
- pyłki roślin, zarodniki
- pył wulkaniczny
- pył pustylny

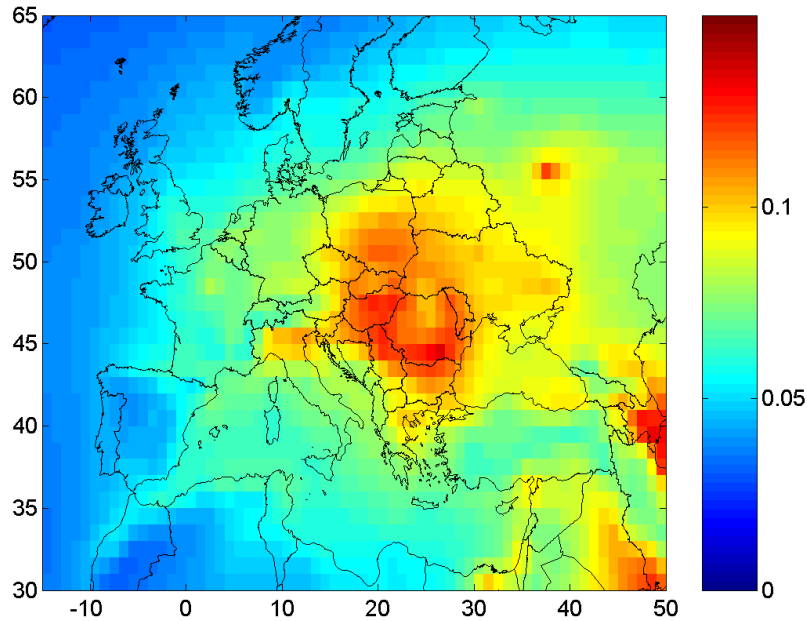
ciekłe:

- kropelki kwasów (siarkowego , azotowego)
- węglowodory aromatyczne (np. benzen)
- aerosol morski (sól)

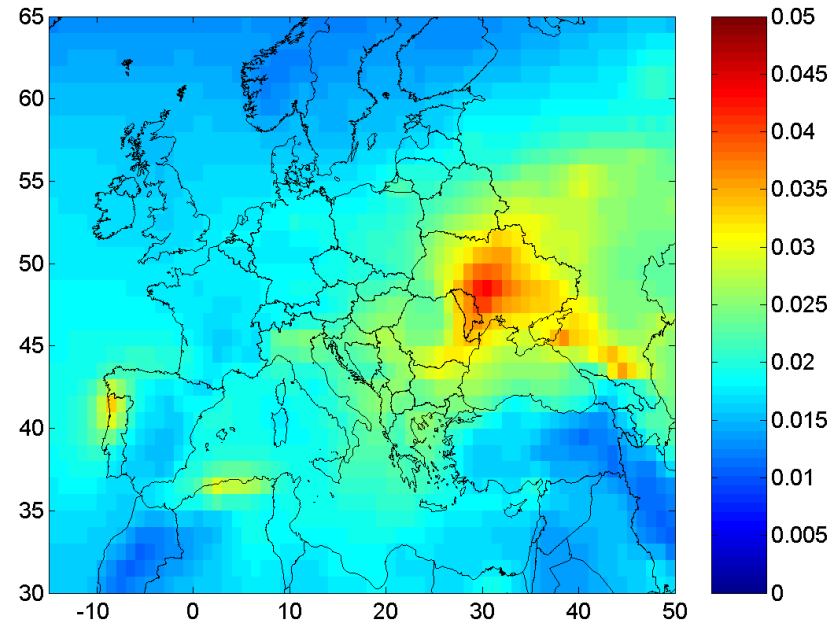
gazowe:

- związki siarki (tlenki siarki)
- związki azotu

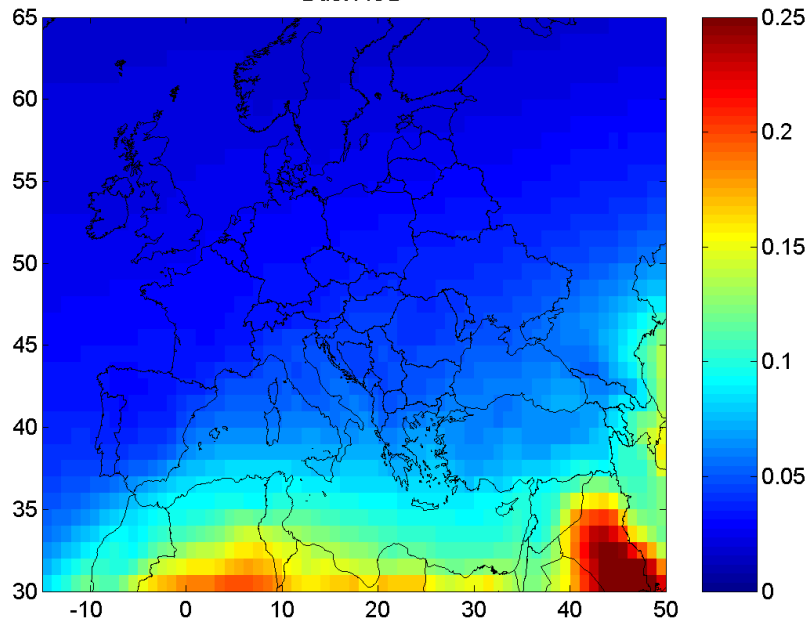
Sulfate AOD



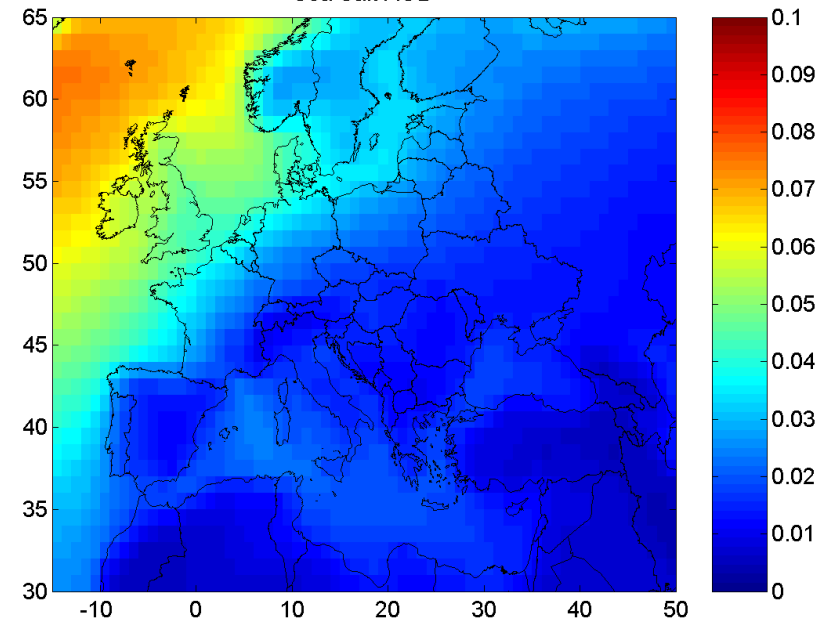
Smoke AOD



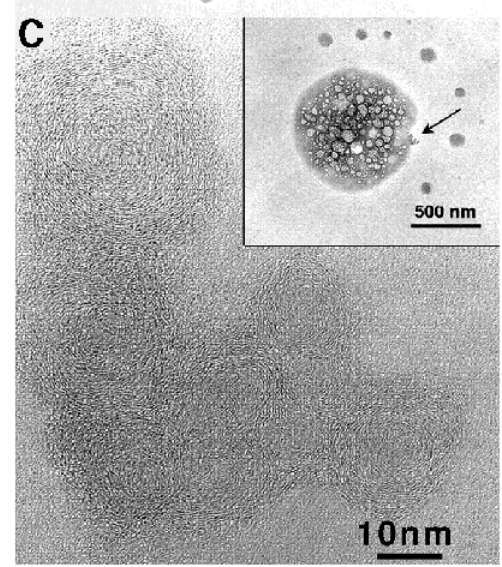
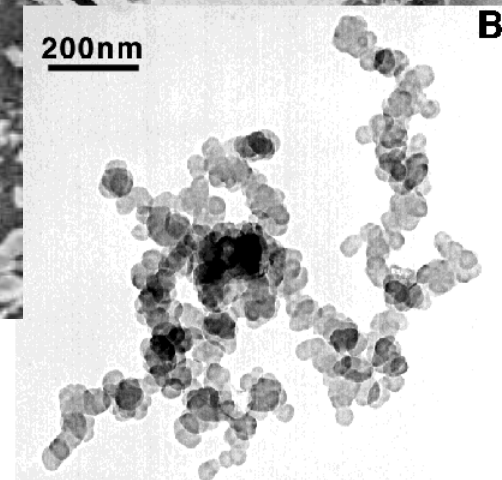
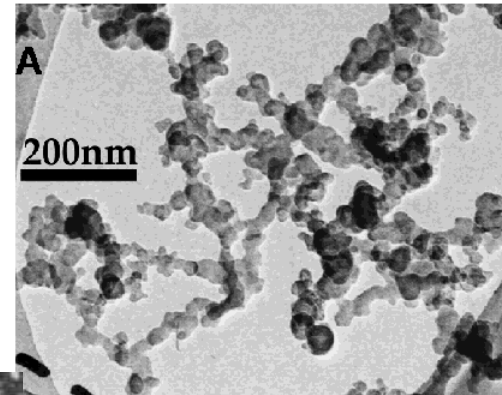
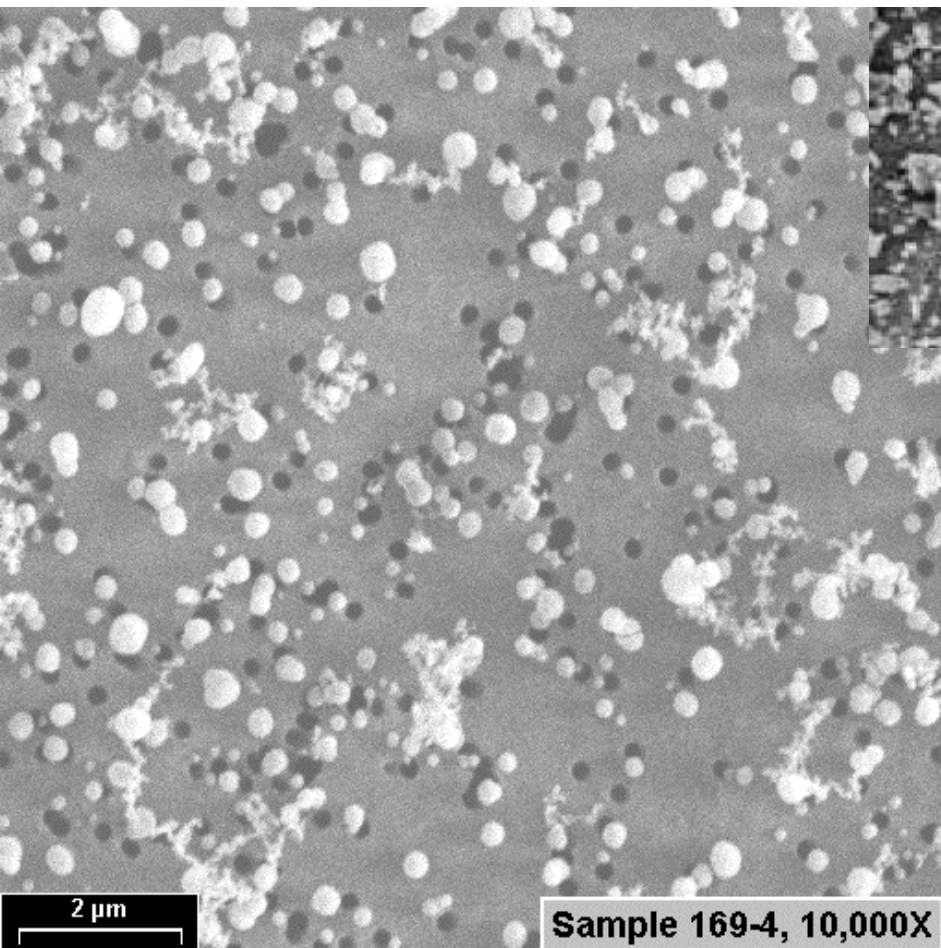
Dust AOD

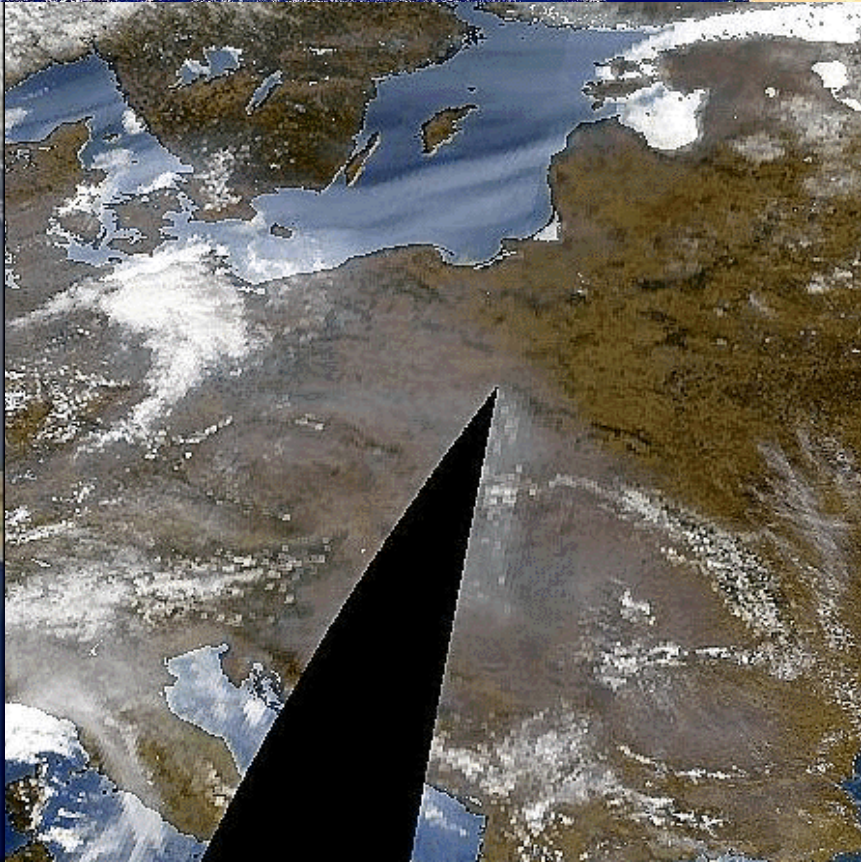


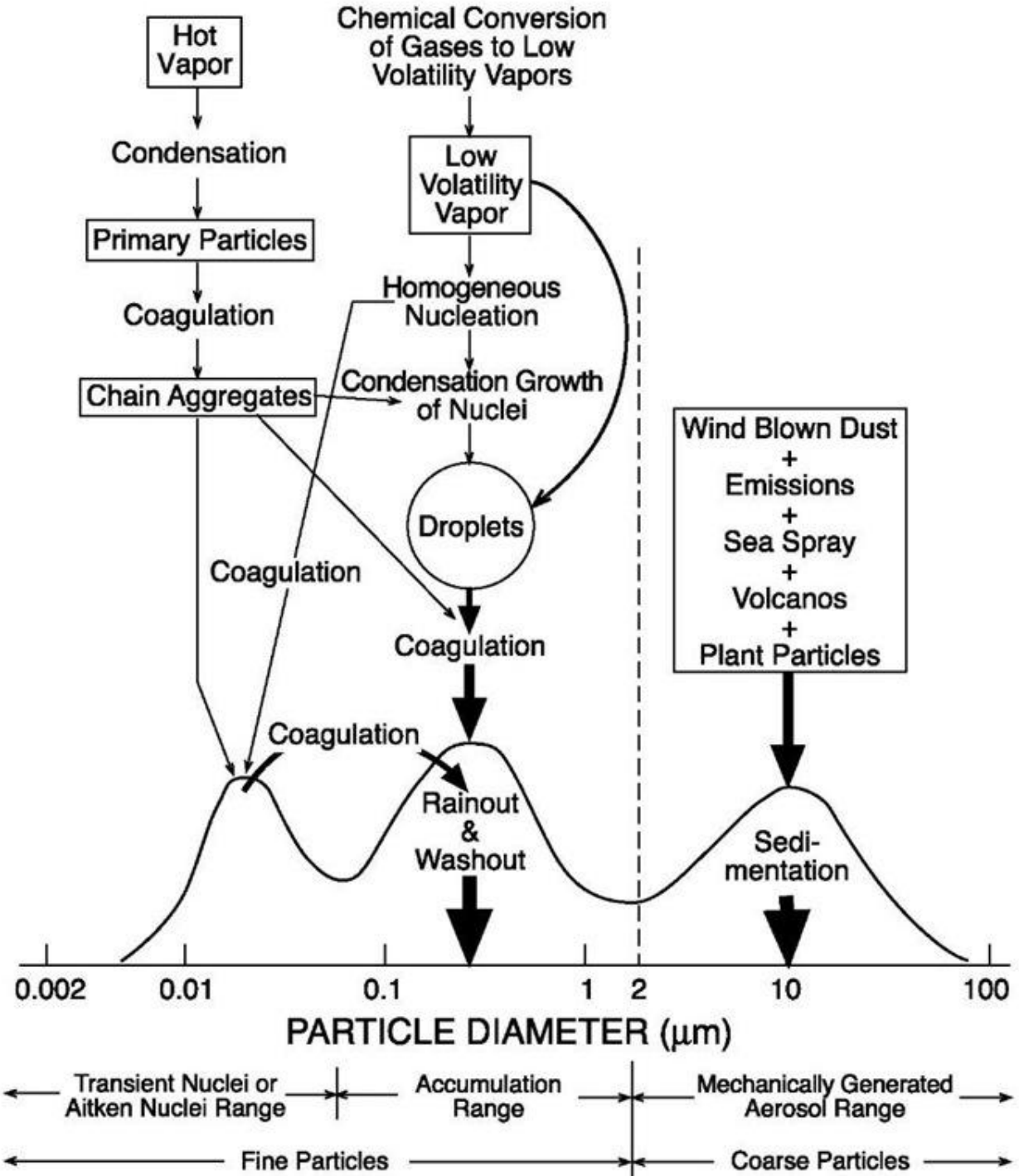
Sea Salt AOD



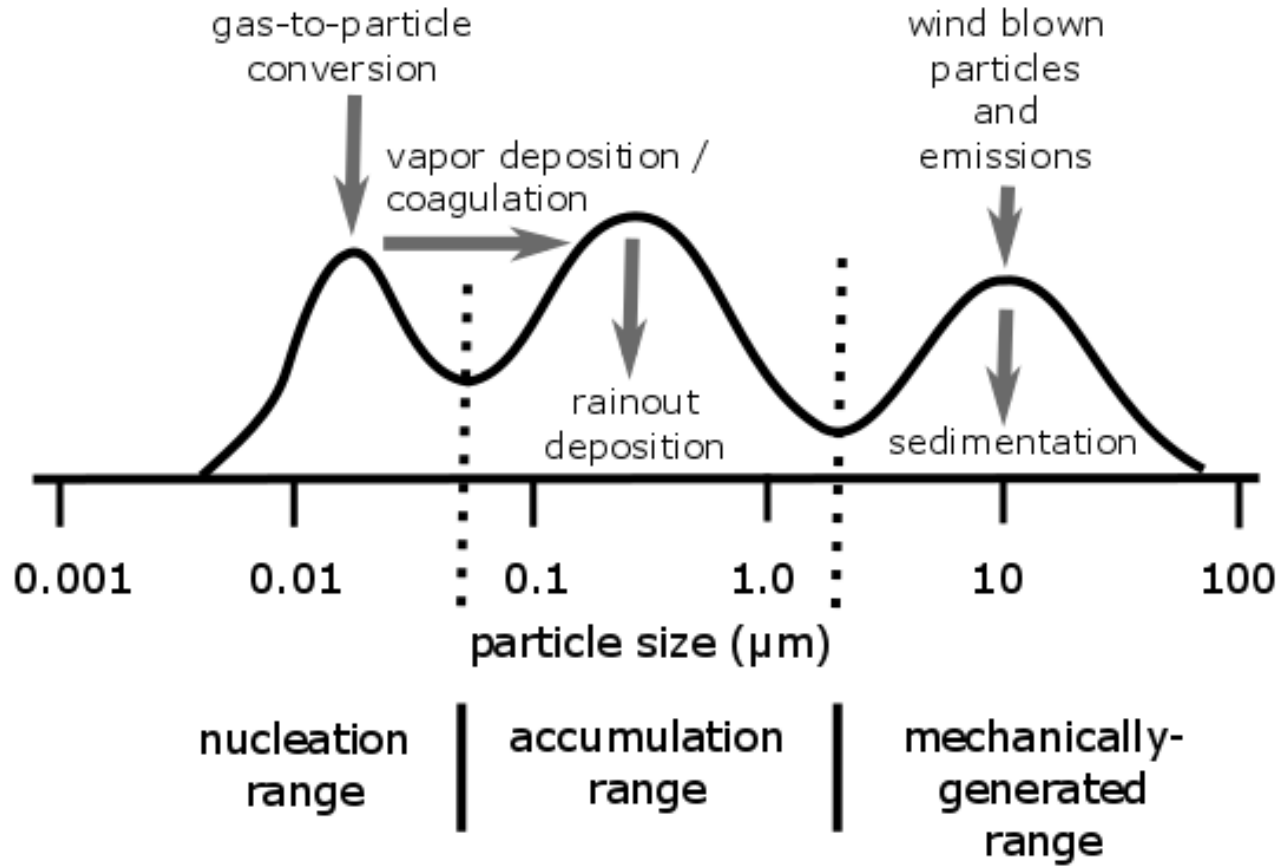
Wielkość i kształt aerozoli



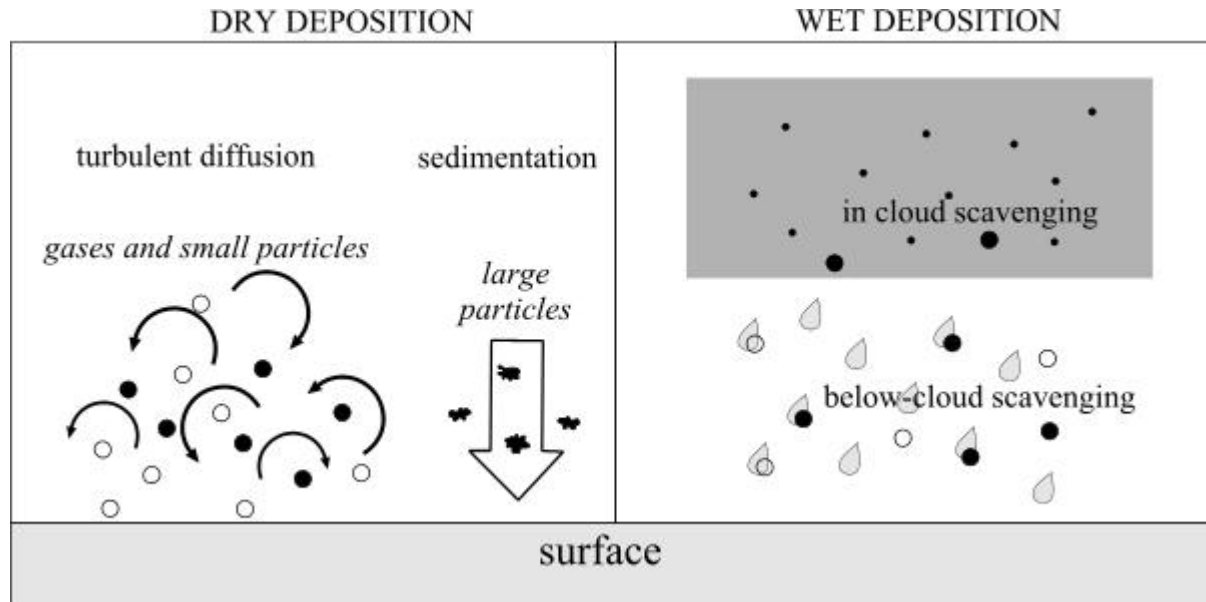




Procesy fizyczne związane z aerozolem



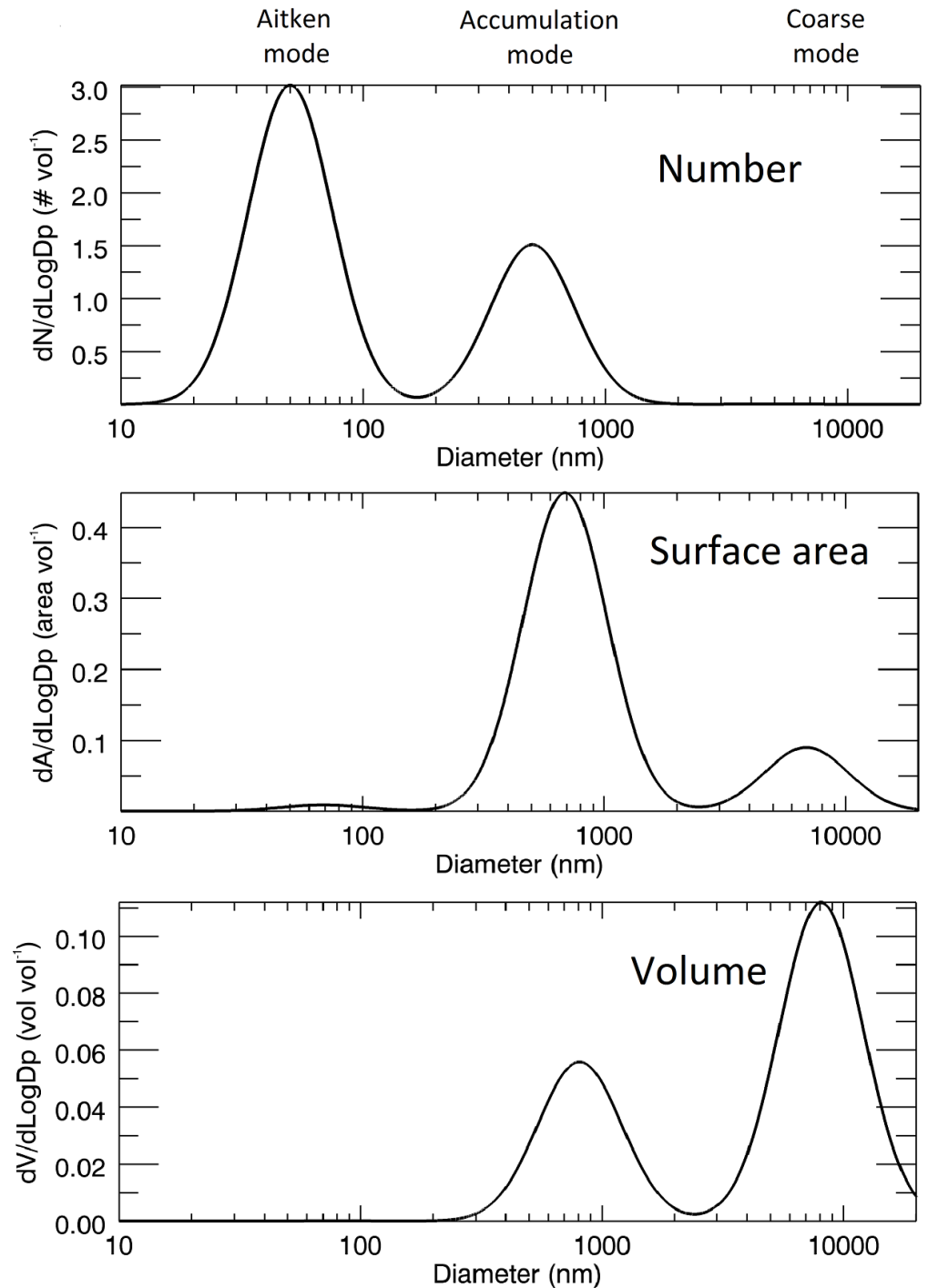
Usuwanie aerozolu z atmosfery



Co to jest PM10 i PM2,5 ?

- Koncentracja masy w [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] suchych ($\text{RH} < 55\%$) cząstek o rozmiarach mniejszych od $10 \mu\text{m}$ (PM10) i $2,5 \mu\text{m}$ (PM2,5)
- Limit dla PM10 wynosi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Limit dla PM2,5 określony jest dla wartości średnich dobowych na poziomie $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Rozkłady wielkości cząstek


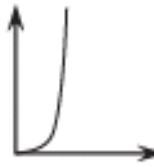







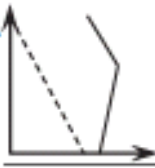


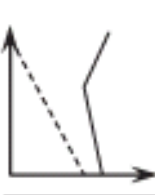







Rodzaje smogu

- Smog typu Londyńskiego (połączenie mgły i zanieczyszczeń). Występuje głównie w chłodnej porze roku (głównie wieczorem i nocą) podczas słabego wiatru oraz wysokiej wilgotności względnej powietrza.
- Smog typu Los Angeles (smog fotochemiczny). Występuje głównie latem oraz w ciągu dnia. Jego głównym wskaźnikiem jest poziom ozonu.

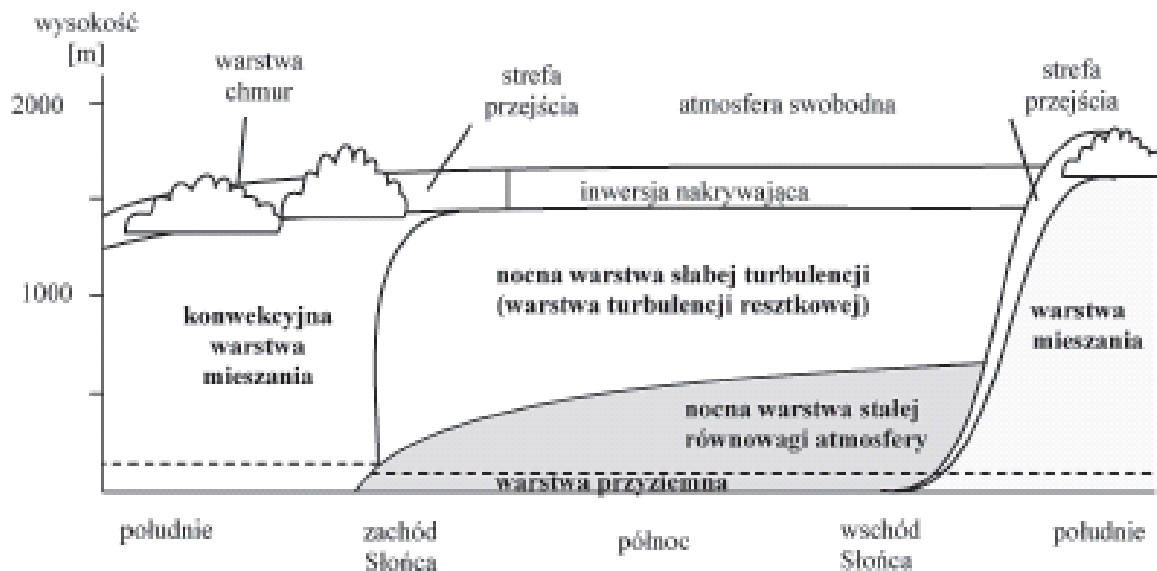
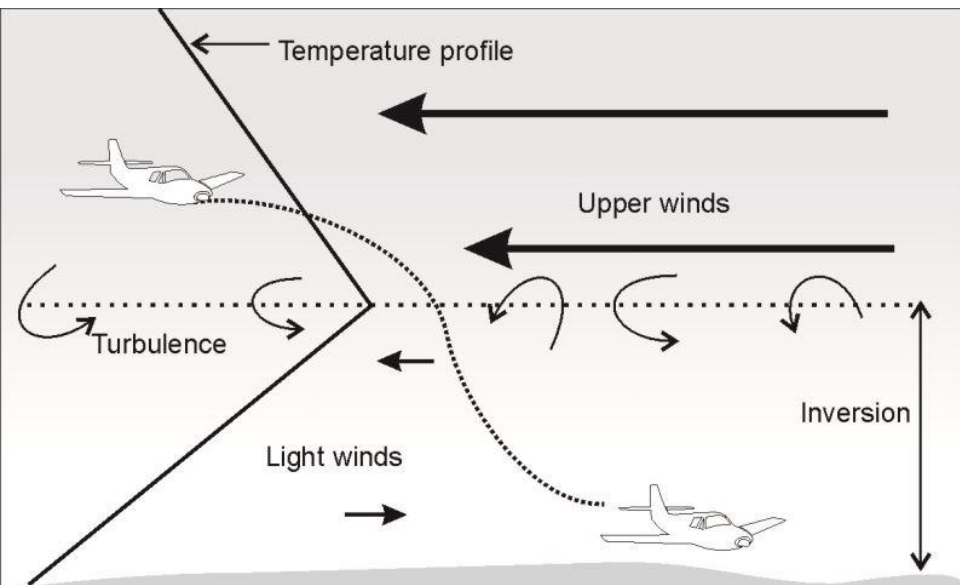
Przyczyny złej jakości powietrza w Polsce

- Niska emisja (komunikacyjna oraz z systemów centralnego ogrzewania)
- Emisje przemysłowe
- Transport transgraniczny
- **Niekorzystne warunki meteorologiczne**

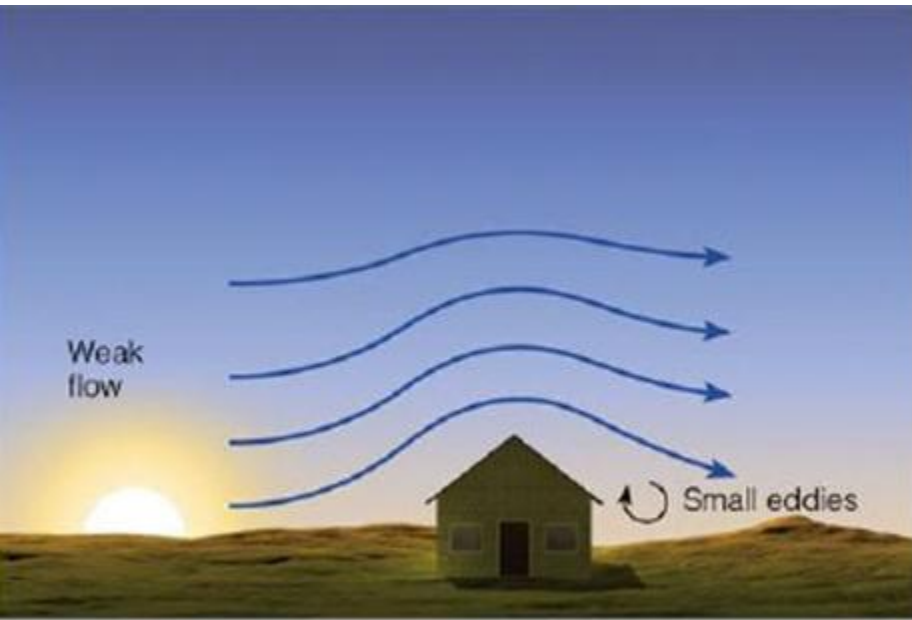
Klasa stabilności atmosfery	Temperatura powietrza	Prędkość wiatru	Kształt smugi dymu	Opis kształtu smugi dla danej klasy stabilności
chwiejna A, B, C				smuga zataczająca pętle (ang. <i>looping</i>)
obojętna D				smuga przyjmująca kształt stożka o podstawie elipsy (ang. <i>coning</i>)
stała E, F – smuga w zasięgu warstwy inwersyjnej				smuga rozprzestrzeniająca się wąską wstęgą o wyraźnie zaznaczonej granicy (ang. <i>fanning</i>)
stała E, F – smuga nad warstwą inwersyjną dolną				smuga nie dochodząca do powierzchni ziemi (ang. <i>lofting</i>)
stała E, F – smuga pod warstwą inwersyjną dolną				smuga rozprzestrzeniająca się w kierunku powierzchni ziemi (ang. <i>fumigation</i>)
stała E, F – smuga pod warstwą inwersyjną wzniesioną				smuga rozprzestrzeniająca się w kierunku powierzchni ziemi, ale nie dochodząca do niej (ang. <i>trapping</i>)

Wpływ stratyfikacji atmosfery na mieszanie pionowe powietrza

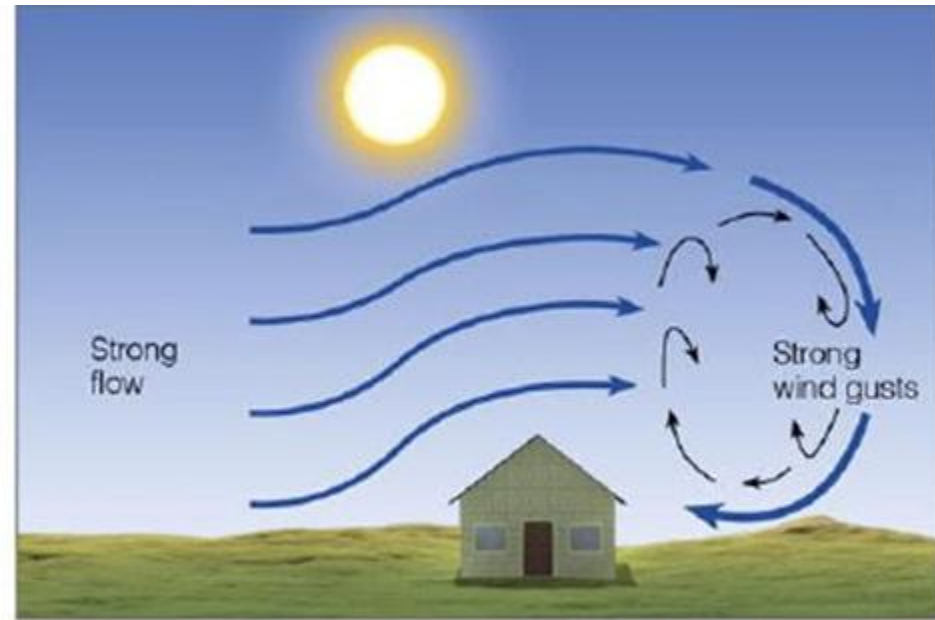
Wpływ inwersji na mieszanie pionowe



Konwekcja i mieszanie horyzontalne



(a) Stable air



(b) Unstable air

A CO JEST ŹRÓDŁEM ZANIECZYSZCZEŃ?

Średni procentowy udział poszczególnych źródeł emisji
w stężeniach monitorowanych substancji
w woj. mazowieckim

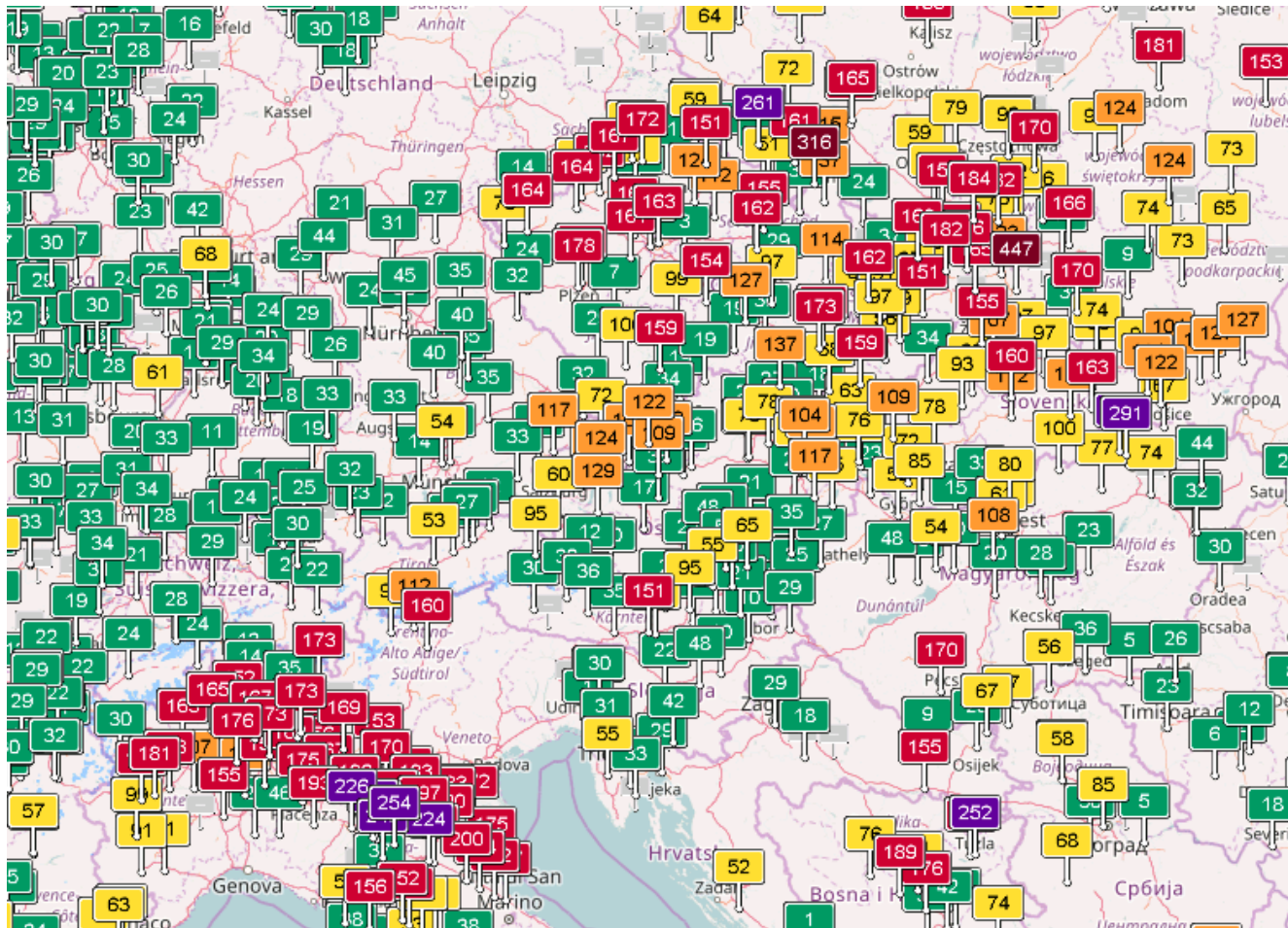
Substancja	Przemysł z wojew.	komunikacja samochodowa z wojew.	domy ogrzewane indywidualnie z wojew.	napływ spoza województwa	Inne z wojew.
	Średnia dla województwa				
PM10	1,5	11,4	23,3	61,3	2,5
PM2,5	1,5	4,8	25,1	68,2	0,4
NO ₂	0,6	40,4	5,3	52,6	1,1
B(a)P	1,1	3,3	48,4	47,2	0,0
	Średnia dla Warszawy				
PM10	1,7	55,5	17,0	25,4	0,4
PM2,5	2,0	29,4	29,1	39,2	0,3
NO ₂	0,5	81,9	5,9	11,5	0,2
B(a)P	2,2	22,5	52,4	22,9	0,0

Smog w małych miejscowościach

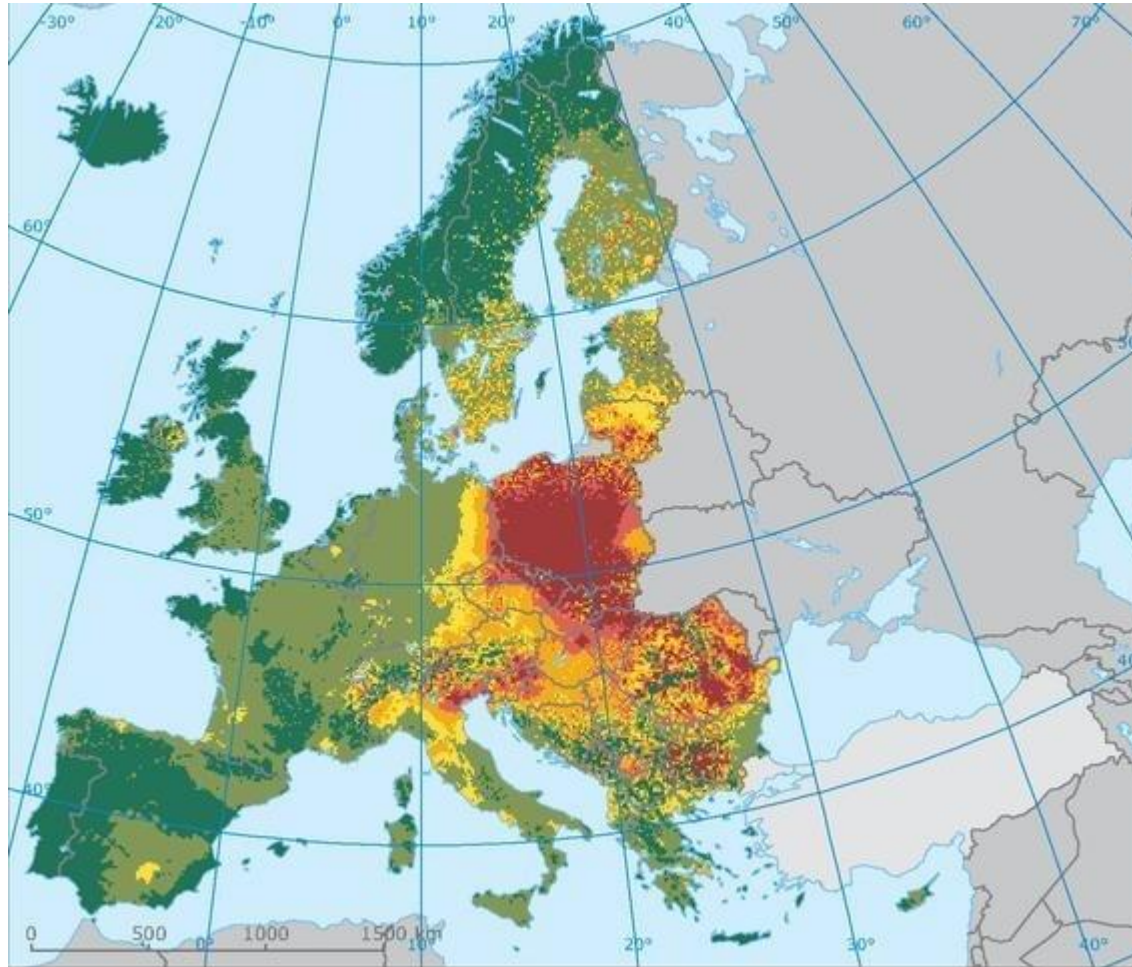
2017-01-26 07:00:51
SOLARAO7



Smog występuje nie tylko w Polsce...

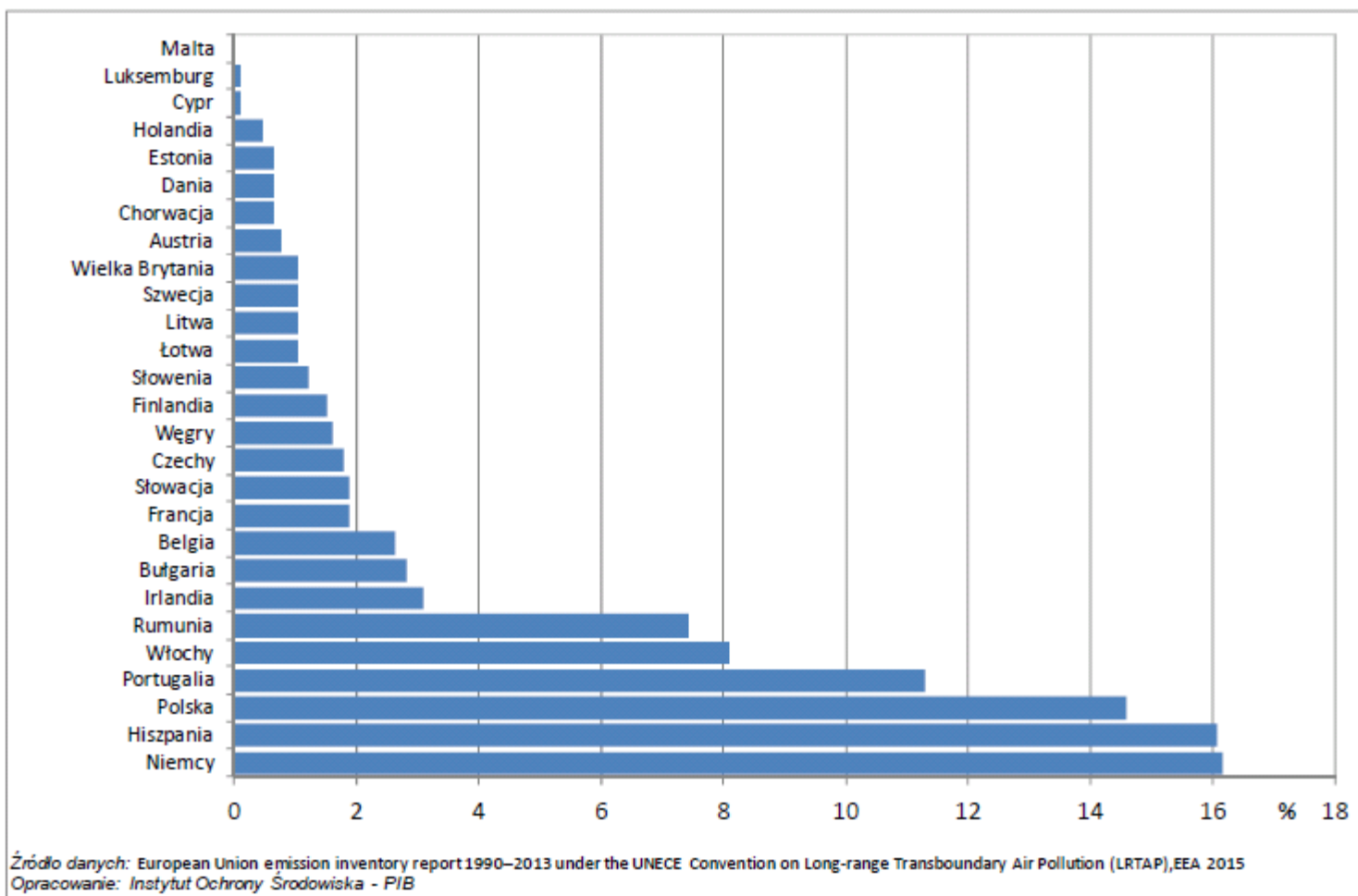


Benzo(a)piren w powietrzu



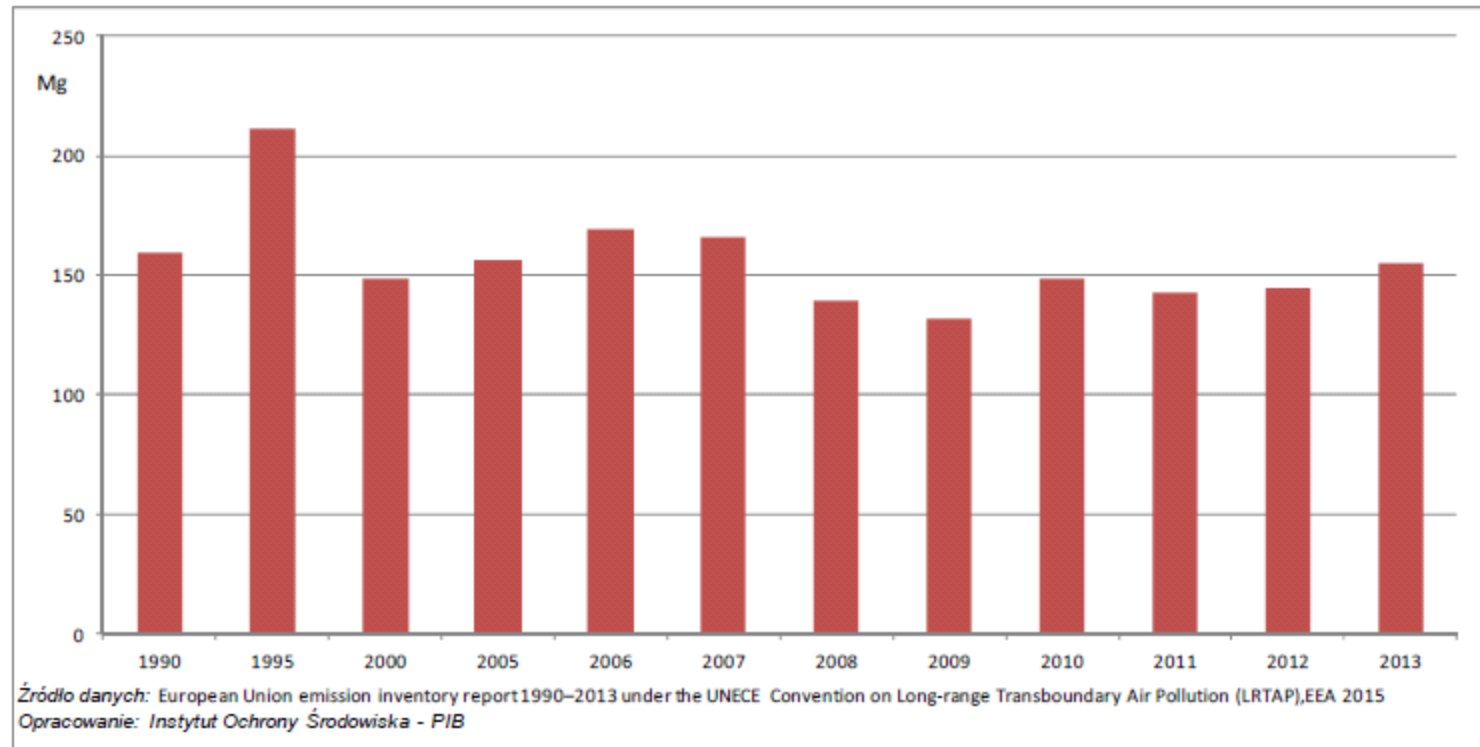
Stężenie benzo(a)pirenu w Europie w 2012 r. (Fot. European Environment Agency)
http://www.poradnikzdrowie.pl/zdrowie/uklad-oddechowy/benzopiren-w-powietrzu-wplyw-na-organizm-czlowieka_44396.html

Emisja Benzo(a)pirenu



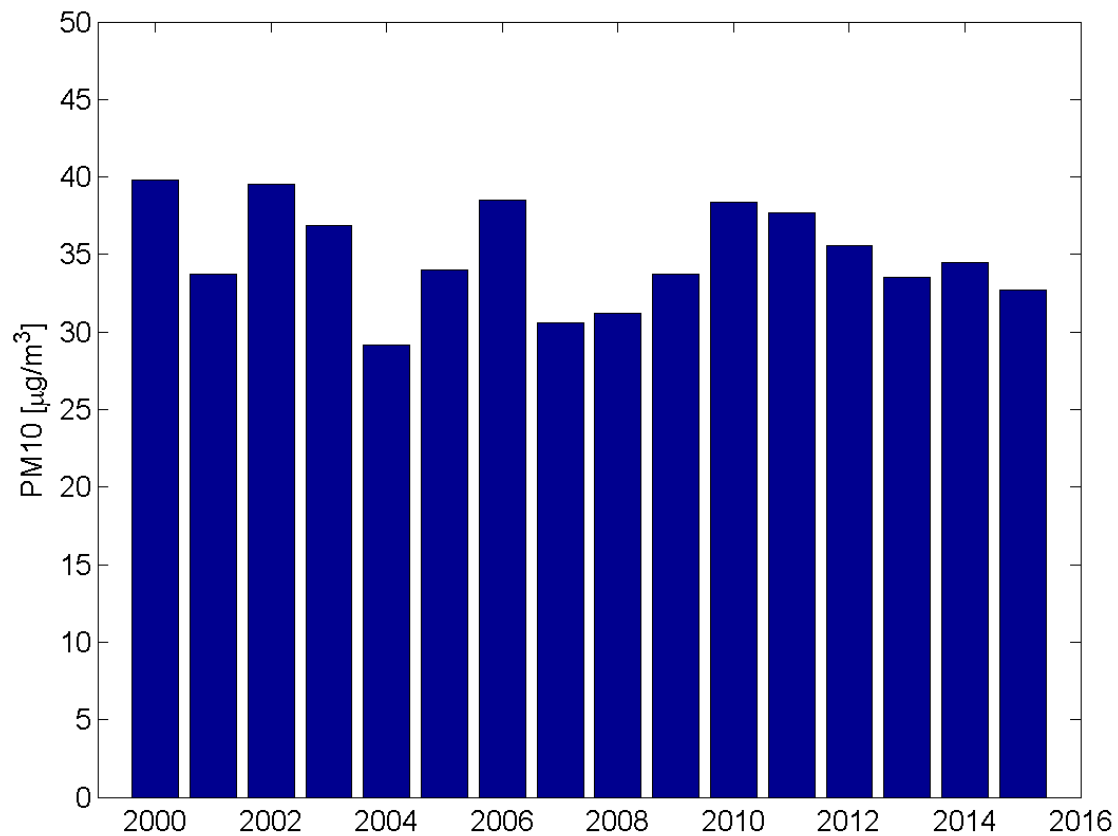
Rys. 2-2. Udział poszczególnych krajów w całkowitej emisji z Unii Europejskiej wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w 2013 r.

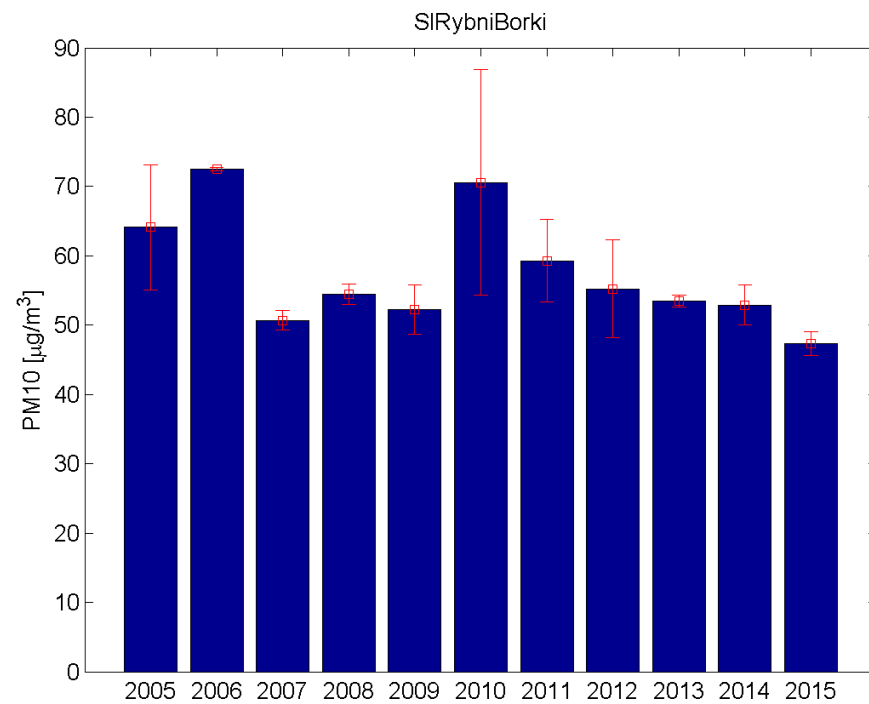
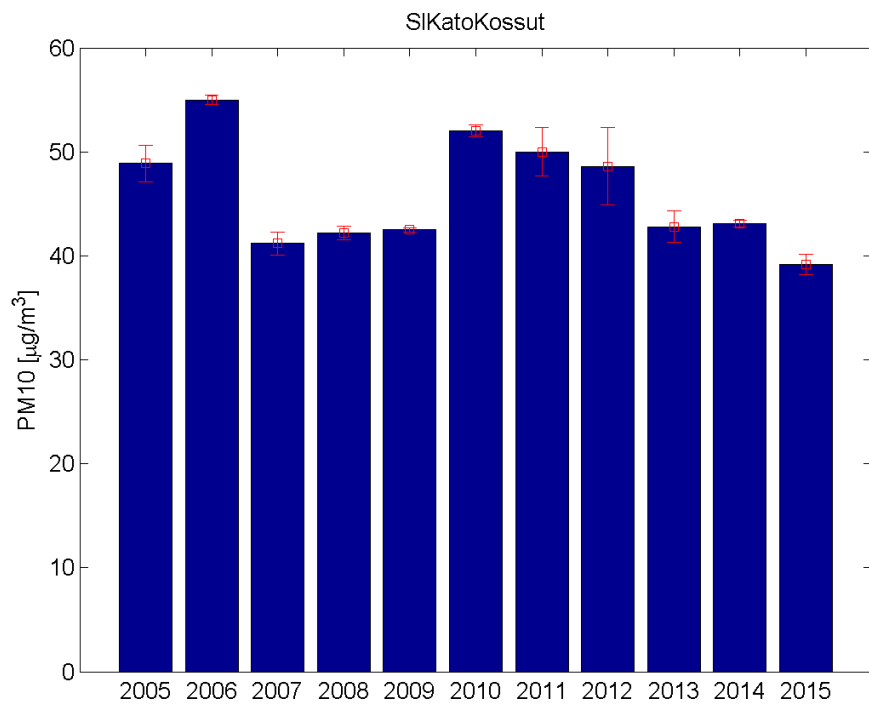
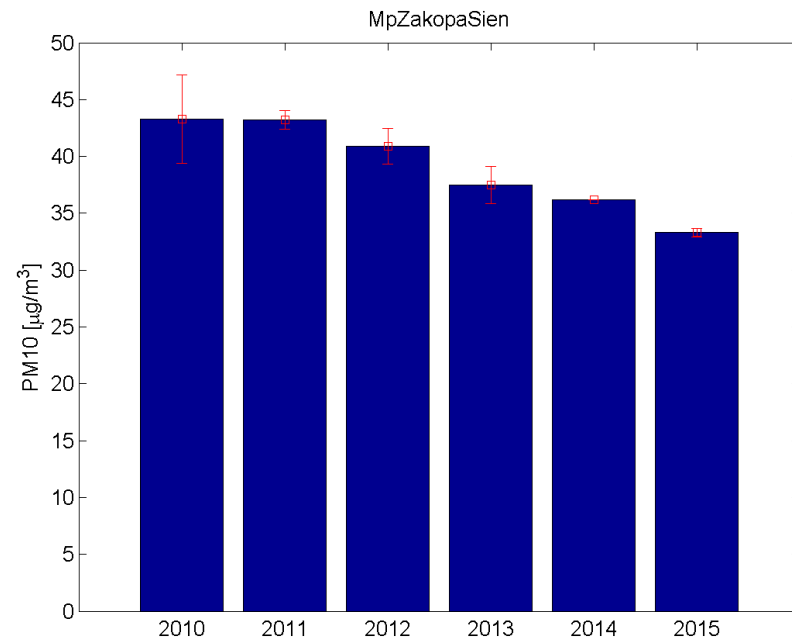
Roczne emisje Benzo(a)pirenu



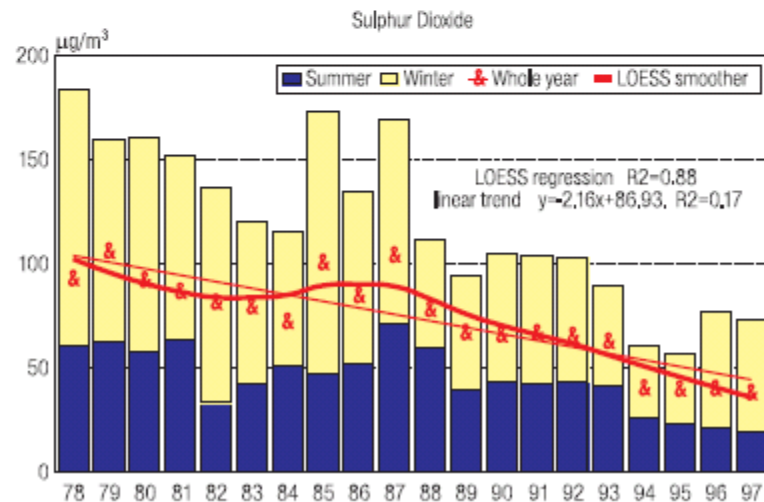
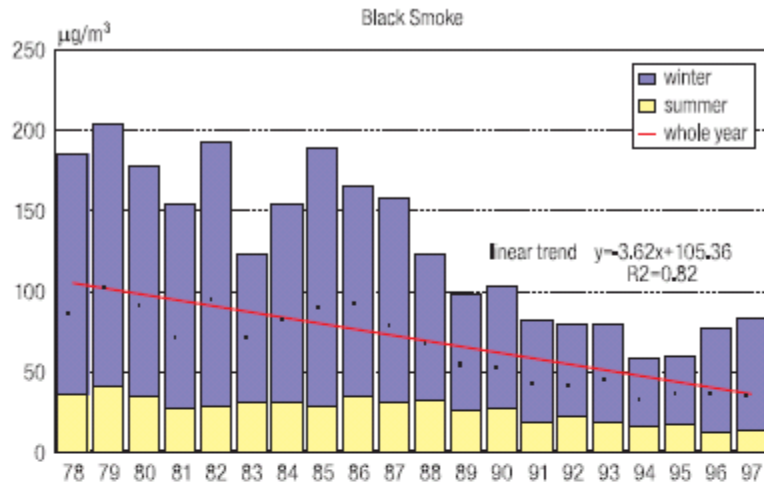
Rys. 2-1. Roczna sumaryczna emisja czterech wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych do powietrza z terenu Polski w latach 1990-2013

Średnie roczne wartości PM10 w Polsce



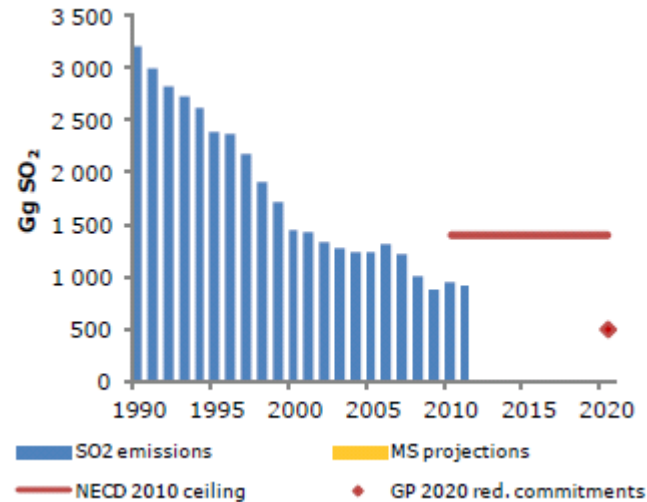


Zmiany emisji zanieczyszczeń w Polsce

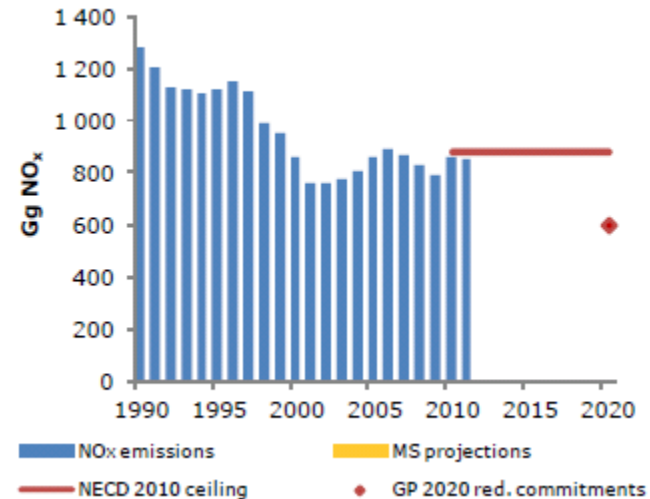


Kraków

SO₂ emissions and projections

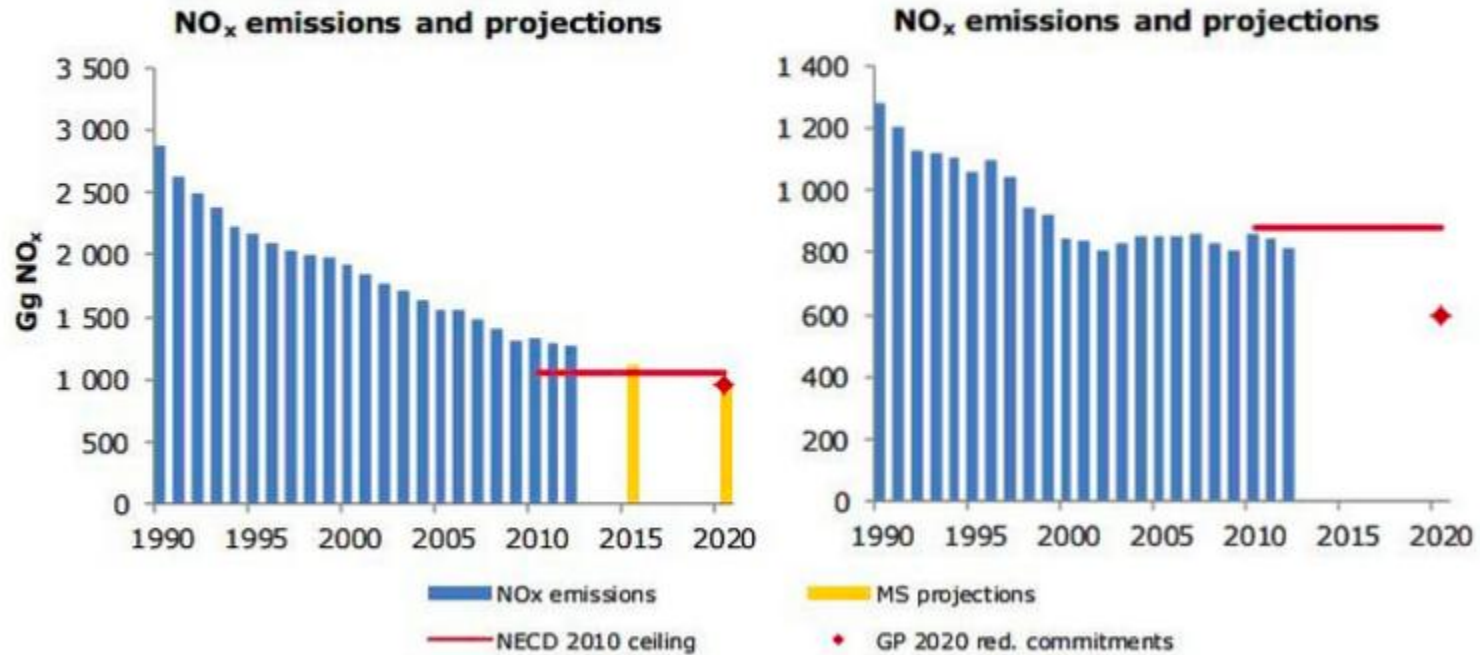


NO_x emissions and projections



Porównanie NOx Polska-Niemcy

Germany vs Poland



European Environment Agency, 2013

Wpływ aerozolu na klimat

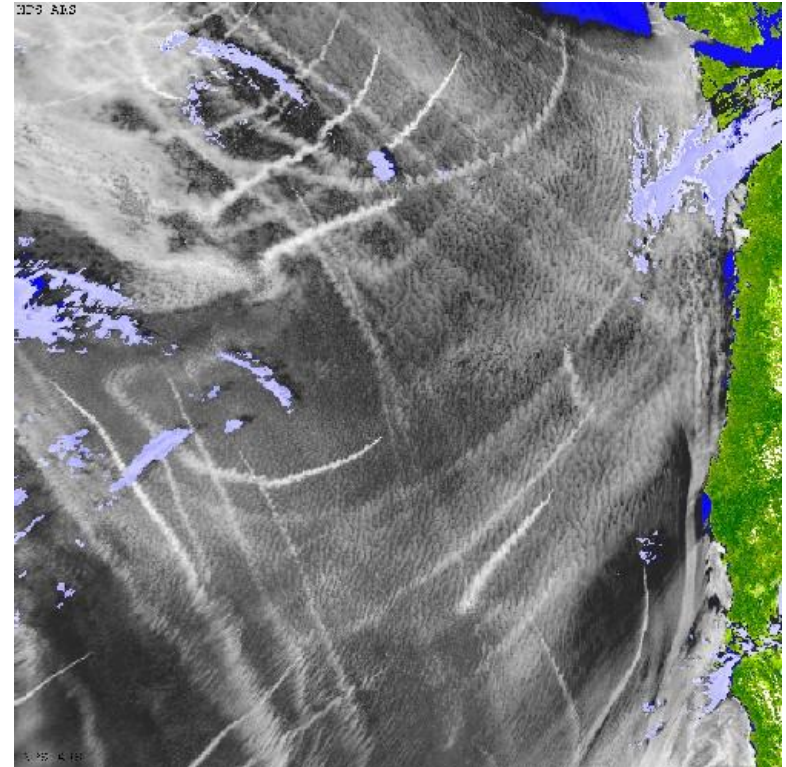
1) Efekt bezpośredni

poprzez rozpraszanie i pochłanianie promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi.



2) Efekt pośredni

oddziaływanie aerozolu na właściwości chmur oraz ich czas życia



Aerozole chłodzą klimat!

Bezpośredni wpływ aerozoli na klimat

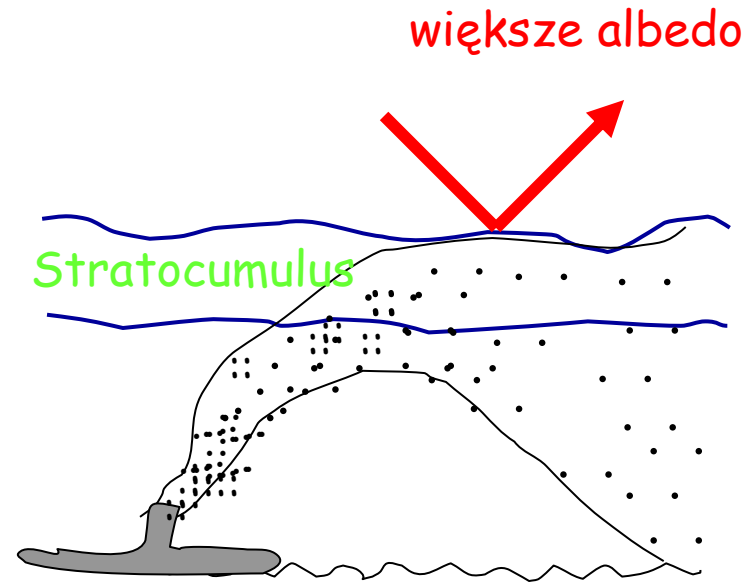
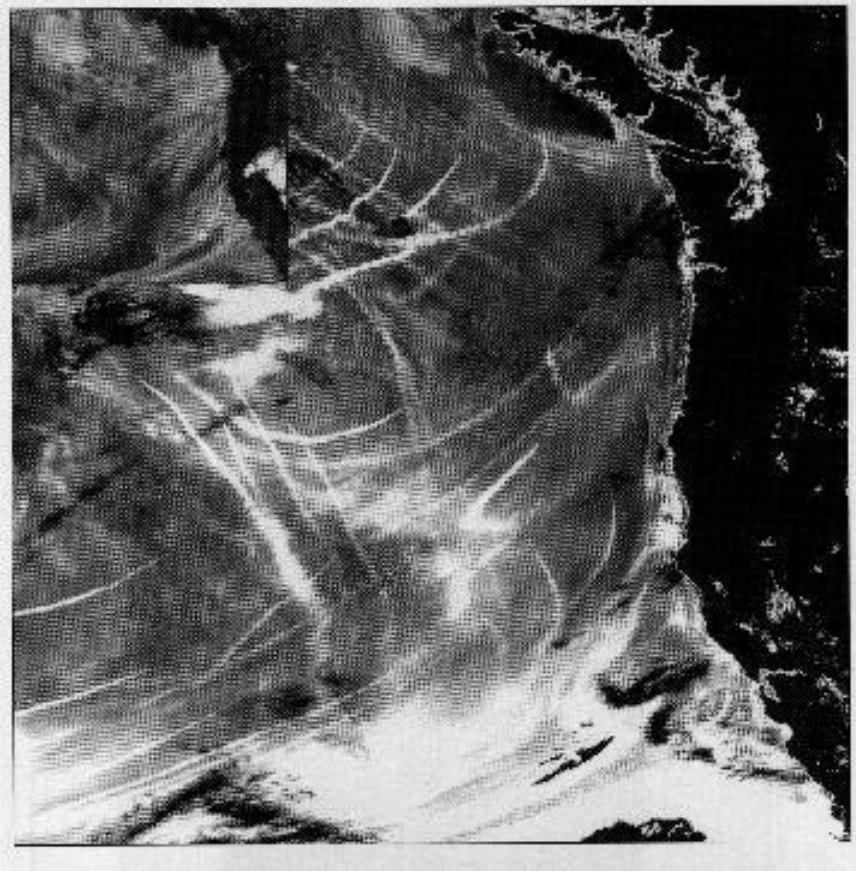
wzrost albedo planetarnego



wzrost absorpcji
w atmosferze

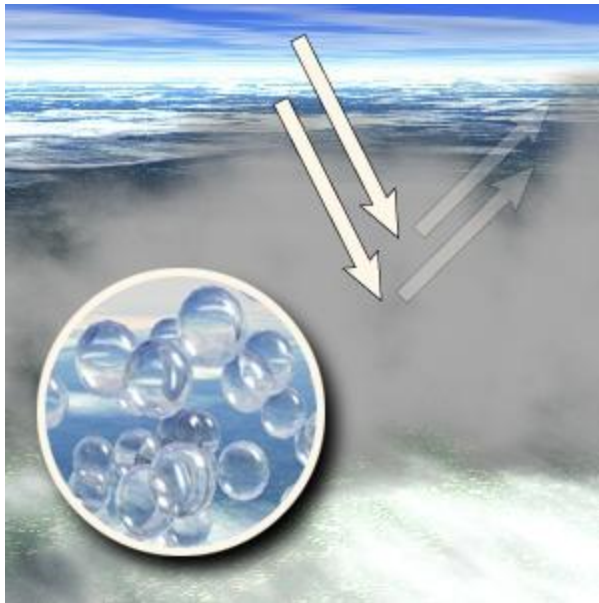
redukcja promieniowania słonecznego
dochodzącego do powierzchni ziemi

Pośredni wpływ aerozoli – ślady statków

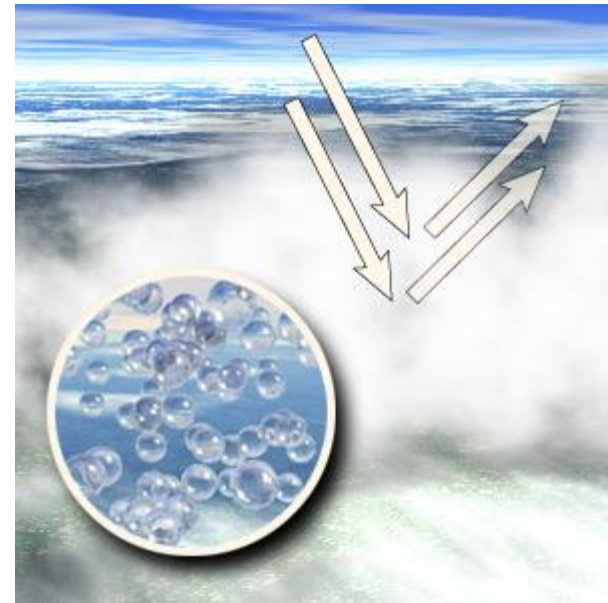


Większa koncentracja
kropel,
Mniejszy promień r_e

Pierwszy pośredni wpływ aerozoli Chmury 'czyste' i 'zanieczyszczone'



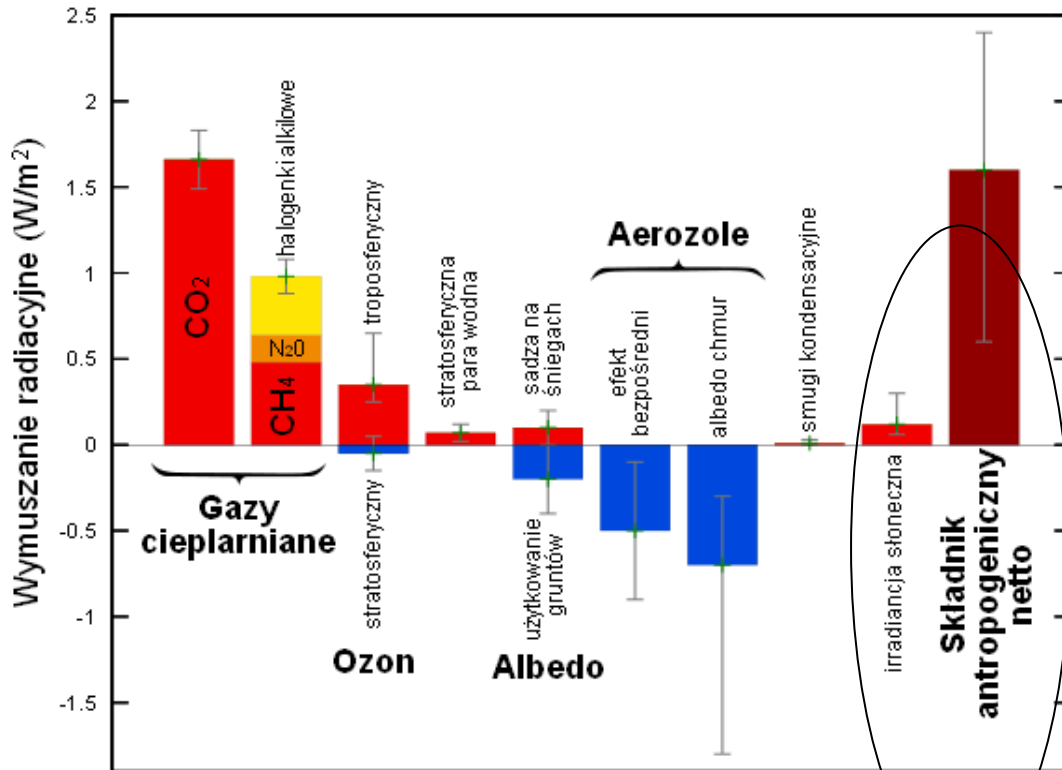
Czyste powietrze, mała ilość
jąder kondensacji.
Mała koncentracja.
Duże rozmiary kropelek.



Zanieczyszczone powietrze, duża
ilość jąder kondensacji.
Duża koncentracja.
Małe rozmiary kropelek.

Wpływ aerozolu na klimat

Składniki wymuszenia radiacyjnego



www.wikipedia.pl

1. W skali globalnej chłodzią klimat
2. Lokalnie mogą go ogrzewać
3. Efekt globalnego ochładzania przez aerozol jest mniejszy niż rosnący efekt cieplarniany.
4. Mało o nich wiemy...
5. Aerozole w przeciwieństwie do gazów cieplarnianych są bardzo nierównomiernie rozłożone w atmosferze co prowadzi do zróżnicowanego oddziaływania w zależności od lokalizacji i czasu.

Grubość optyczna atmosfery i aerozolu

- Promieniowanie bezpośrednio dochodzące do ziemi jest efektywnie osłabiane (poprzez procesy rozpraszania oraz absorpcji) zgodnie z prawem Lamberta-Beera.
- Dla horyzontalnie jednorodnej atmosfery mamy:

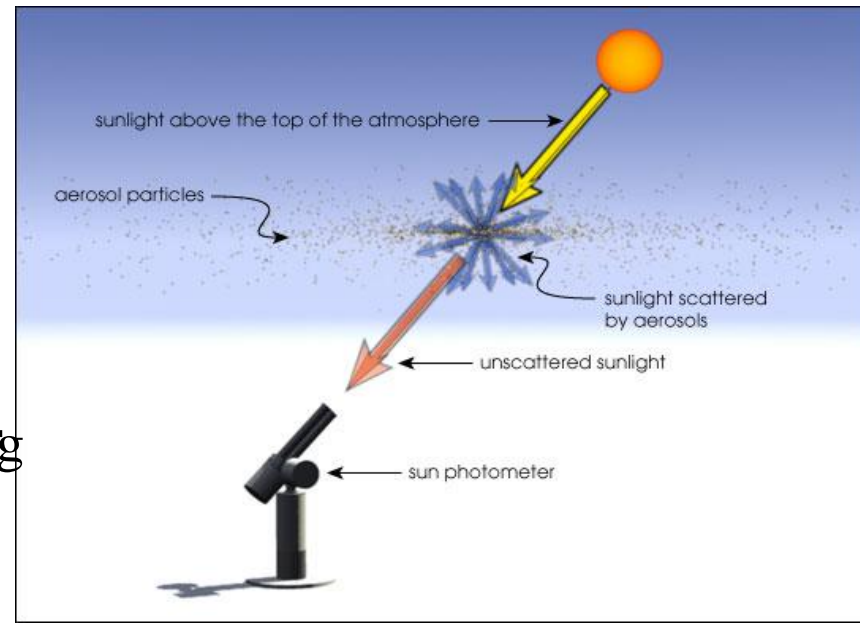
$$I(\lambda) = I_0(\lambda)e^{-m\tau}$$

$$\tau = \tau_{\text{RAY}} + \tau_{\text{A}} + \tau_{\text{O}_3} + \tau_{\text{H}_2\text{O}} + \tau_{\text{g}}$$

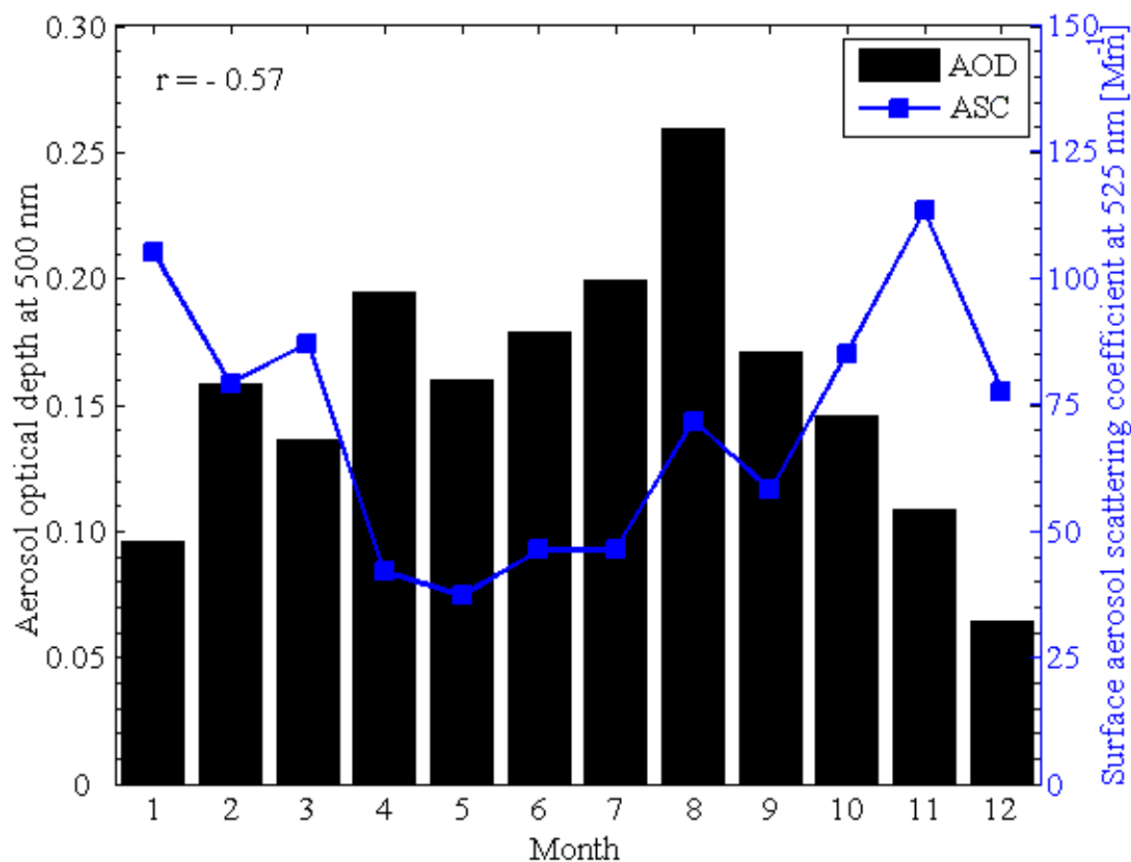
gdzie I_0 jest stała słoneczna, I - natężeniem promieniowania przy powierzchni Ziemi, m - masą optyczną atmosfery, τ - grubością optyczną

$$\tau_{\text{A}} = \frac{1}{m} \ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} - \tau_{\text{RAY}} - \tau_{\text{O}_3} - \tau_{\text{H}_2\text{O}} - \tau_{\text{g}}$$

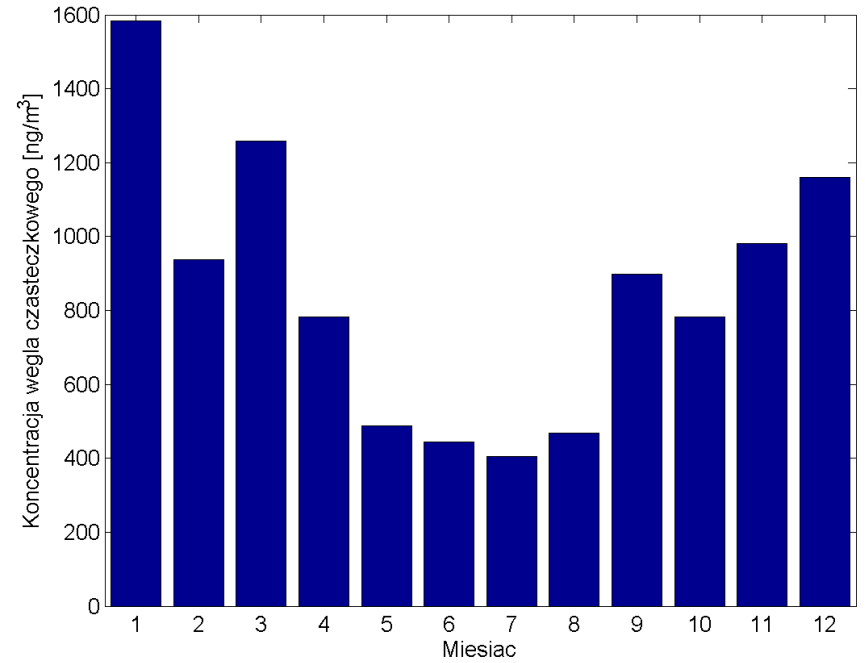
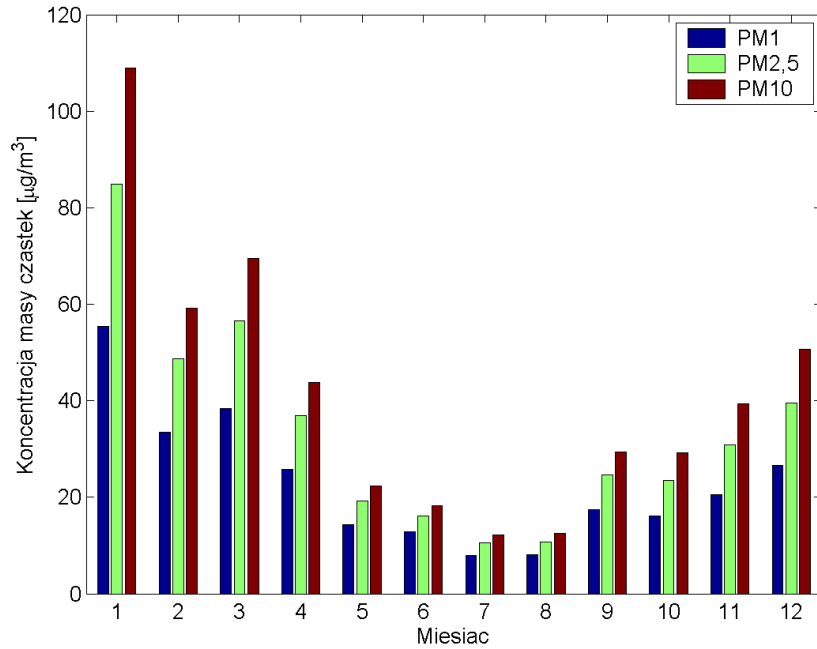
Grubość optyczna aerozolu



Porównanie zmian rocznych AOD i współczynnika rozpraszania na powierzchni ziemi.

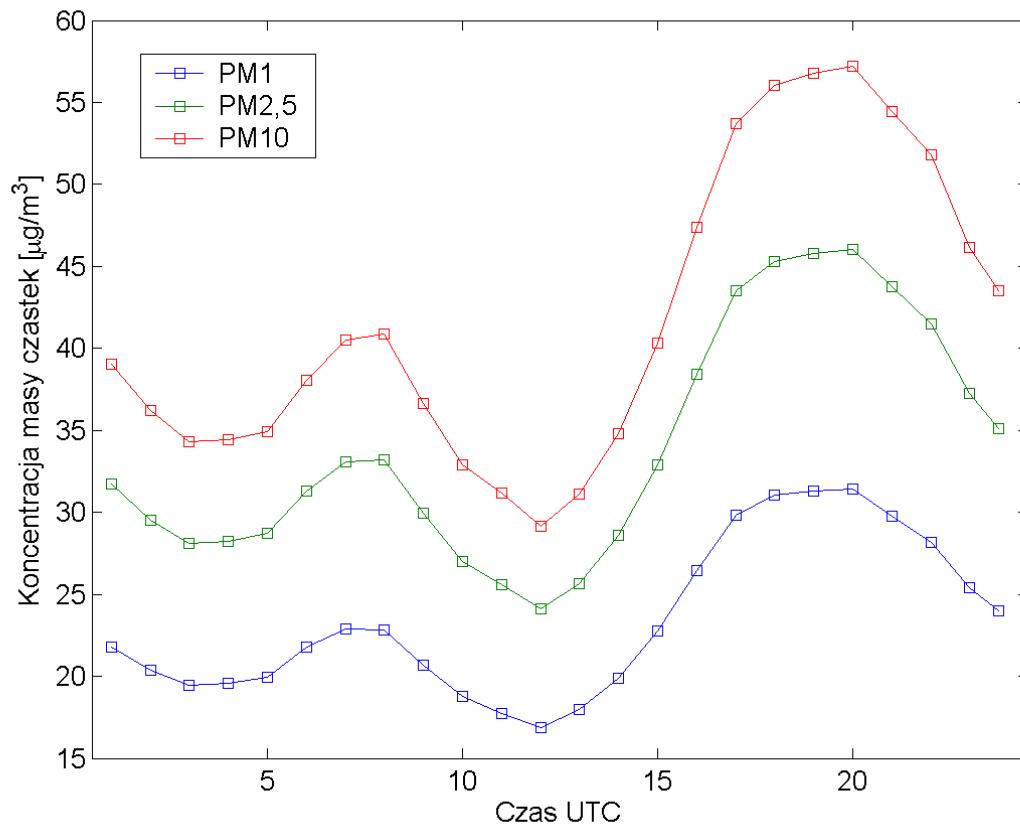


Zmiany roczne PM10/PM2,5

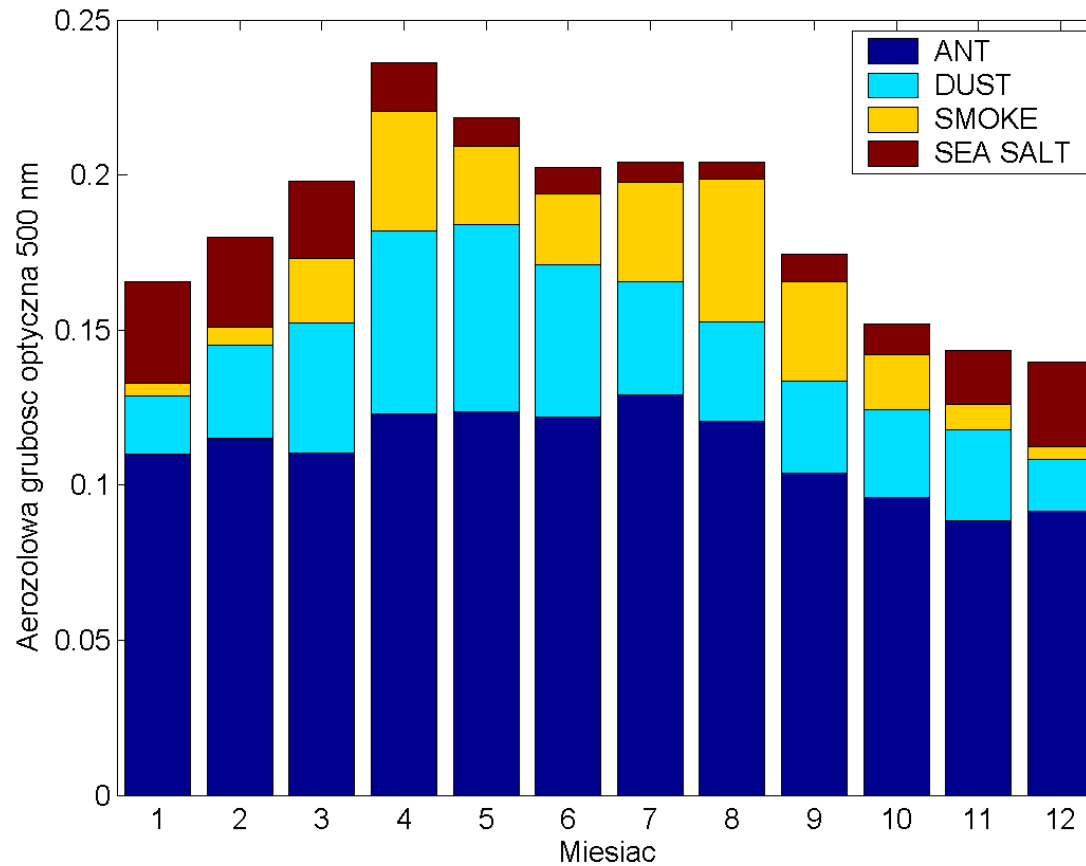


Dane ze stacji tła (SolarAOT) na Podkarpaciu

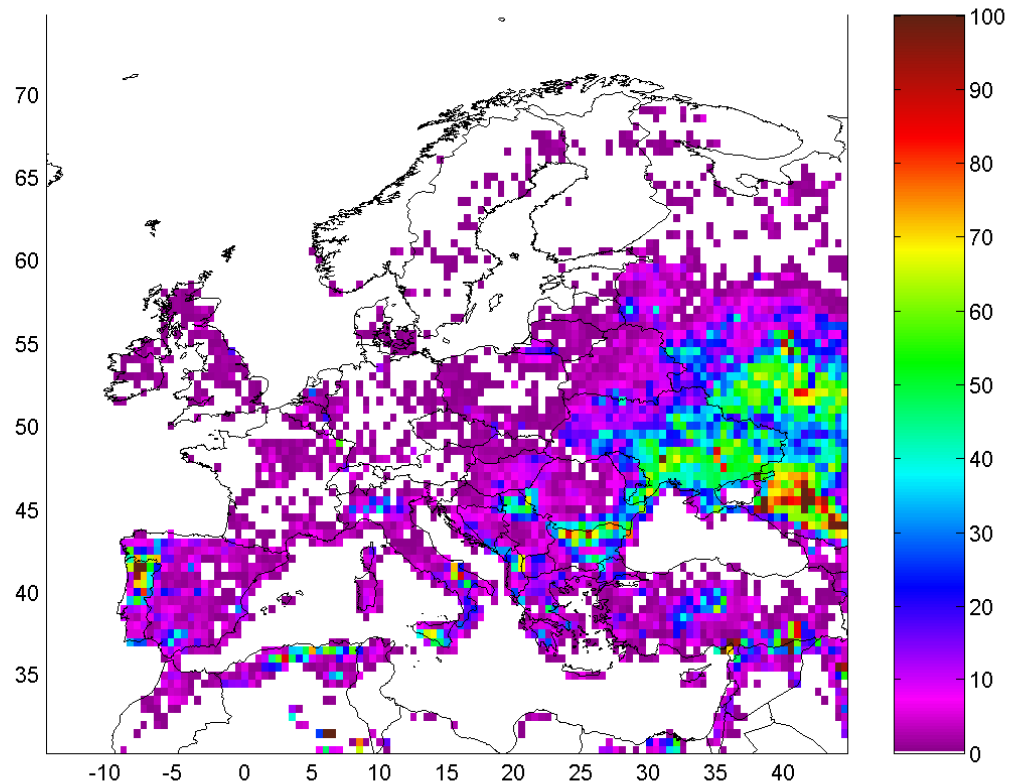
Zmiany dobowe



Jaki jest skład aerozolu nad Polską?

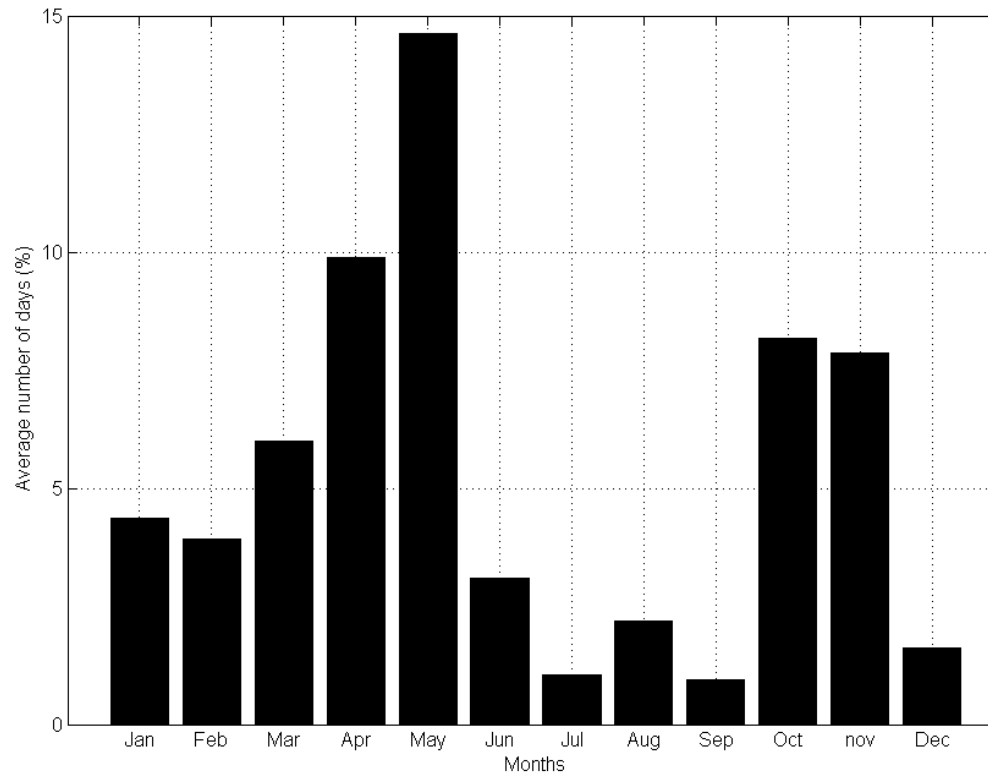


Średnia liczba pożarów obserwowanych na obszarze 60x60 km



MODIS, 2001-2015

Średnia procentowa liczba dni podczas, których występuje nad Polską aerozol pochodzenia pustynnego.



Cele projektu „Czym oddychamy”

- Poznanie stanu jakości powietrza w miejscowości w której mieszkamy
- Poznanie zmienności czasoprzestrzennej koncentracji aerozolu znajdującego się przy powierzchni ziemi i procesów fizykochemicznych prowadzących do zmian w koncentracji cząstek w różnych skalach czasoprzestrzennych.
- Wyniki pomiarów będą porównywalne z danymi pochodzącymi z modeli transportu zanieczyszczeń oraz z obserwacjami satelitarnymi celem ich walidacji.
- Efektem końcowym będzie raport na temat stanu jakości powietrza

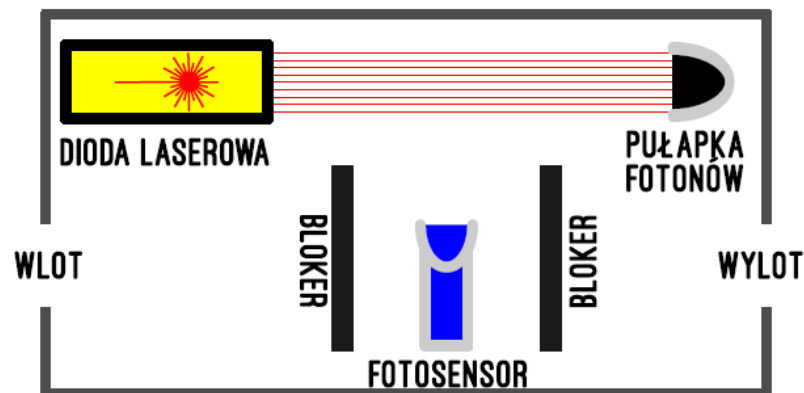
Etapy projektu

- Przygotowanie przyrządu pomiarowego
- Instalacja przyrządu i ciągły monitoring przez minimum rok czasu
- Wykonanie pomiarów i obserwacji dodatkowych
- Opracowanie ankiety o emisjach w rejonie szkoły
- Analiza zbieranych danych (porównanie pomiędzy szkołami oraz z danymi satelitarnymi)
- Przygotowanie raportu końcowego

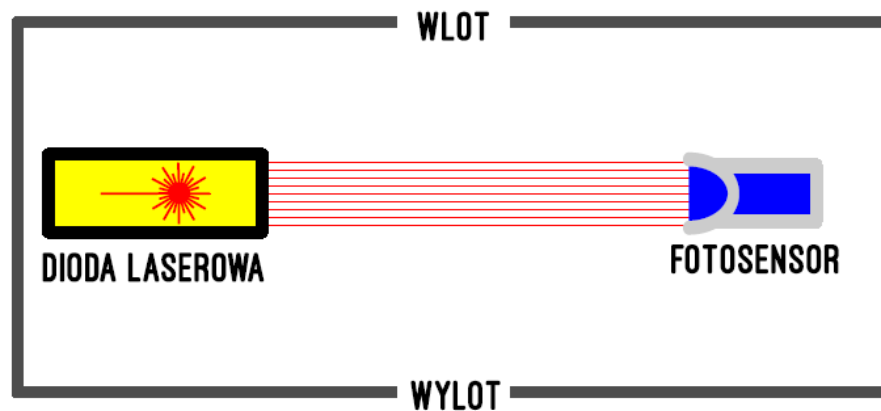
JAK DZIAŁA TAKI CZUJNIK?

Schematy najpopularniejszych konstrukcji

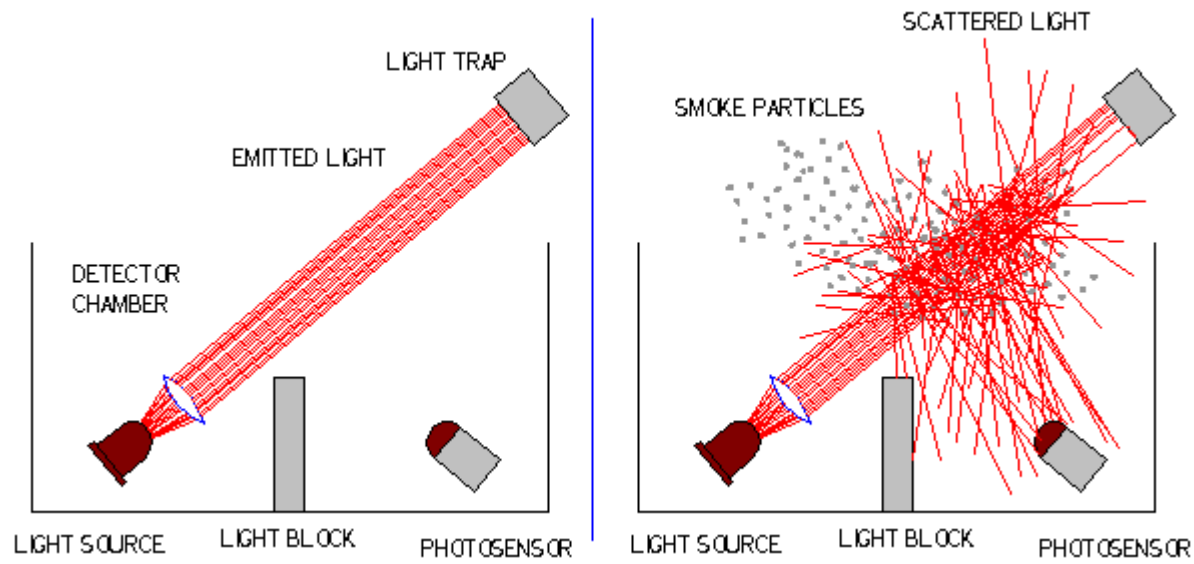
sensor 90°



sensor 180°

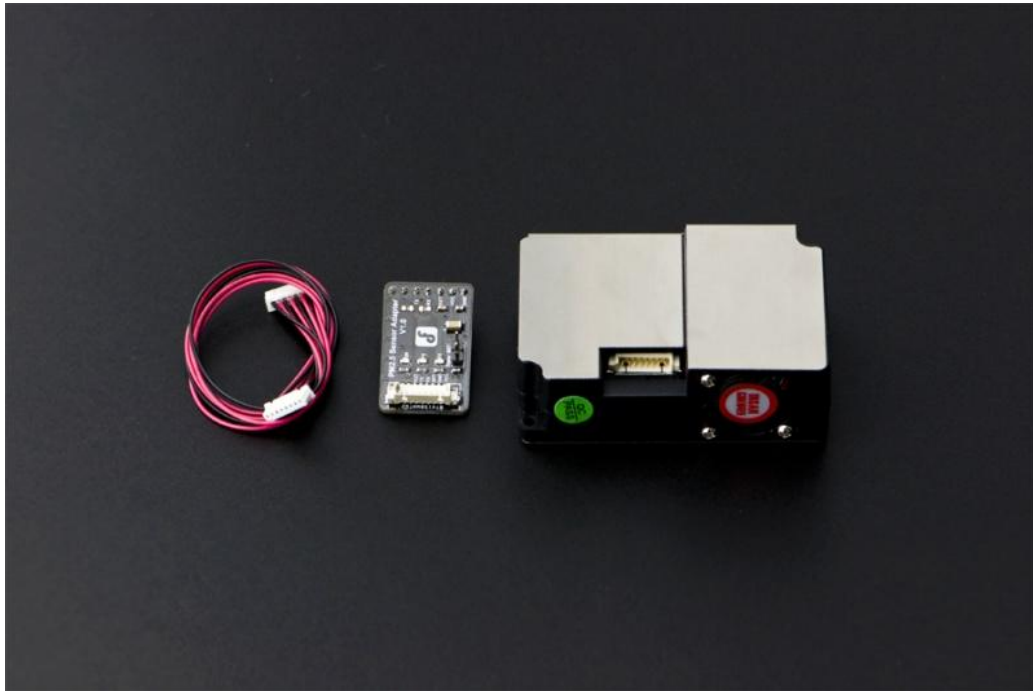


Pomiary PM przy pomocy prostego licznika cząstek



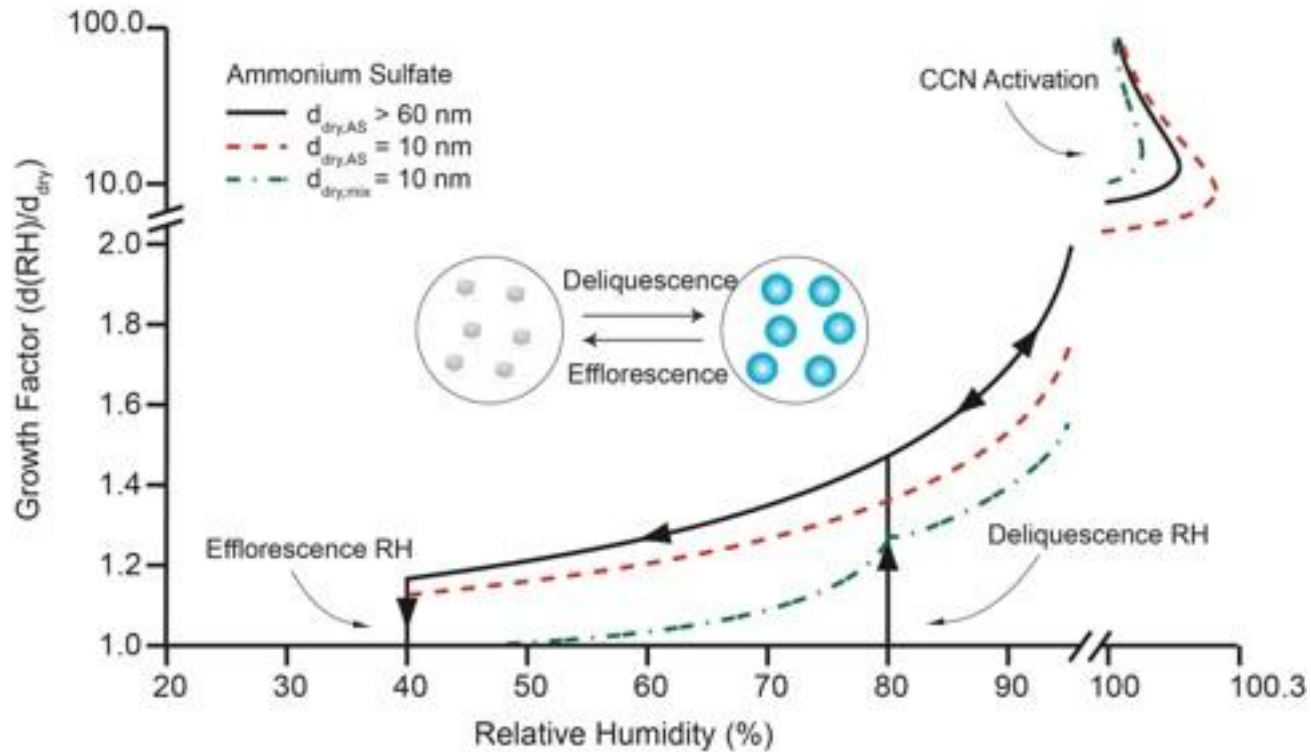
Natężenie światła rozproszonego zależy od koncentracji i wielkości cząstek.

Czujnik pyłu oraz obudowa

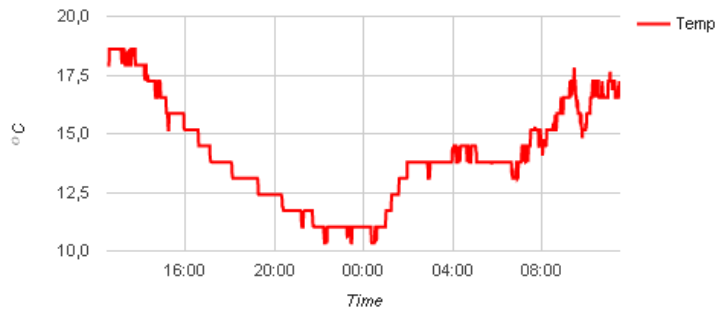
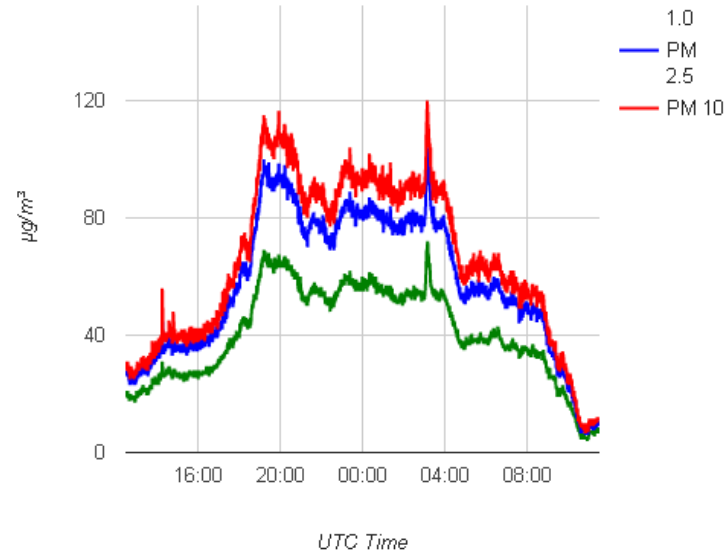


SEN0177

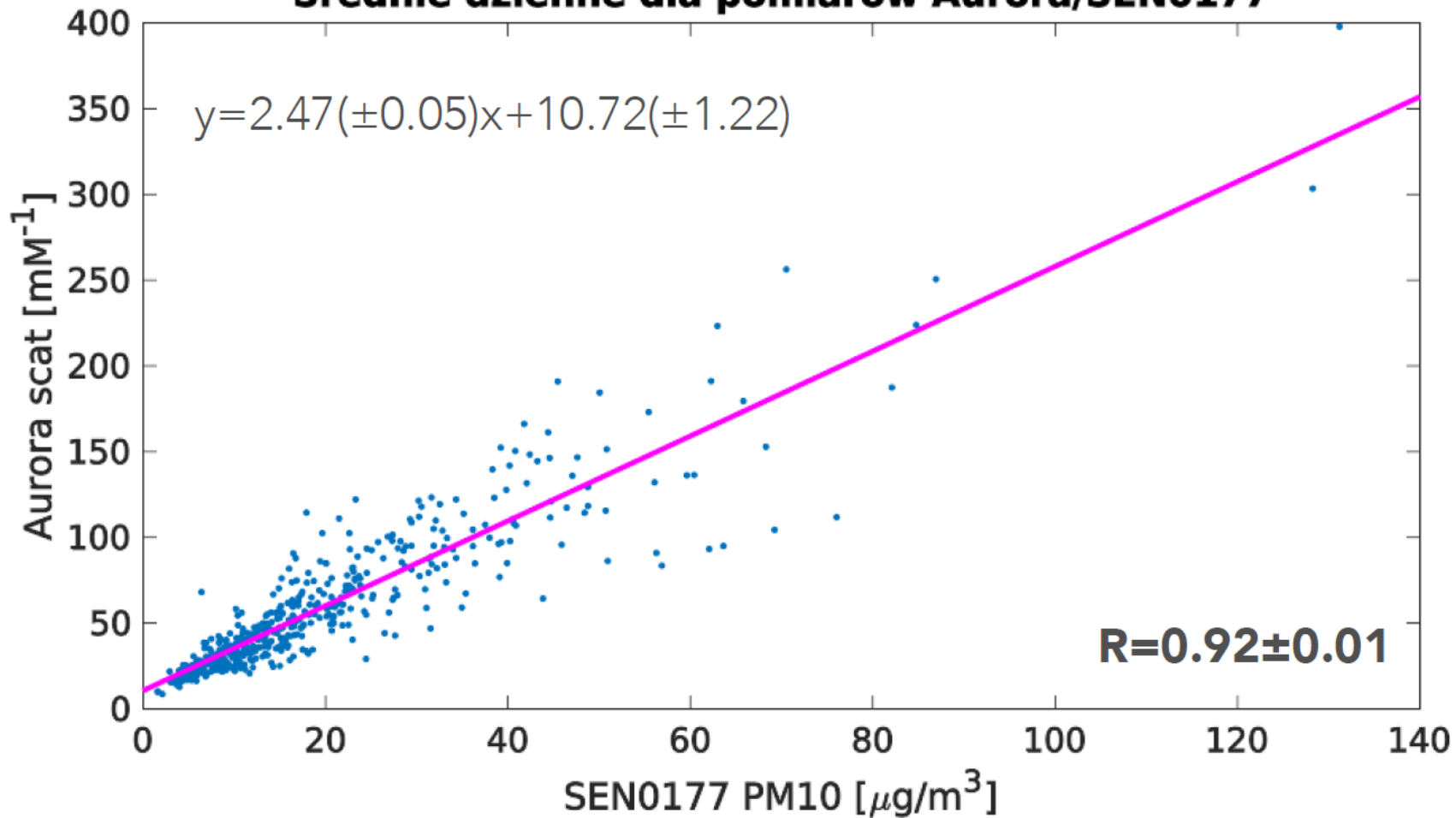
Problem wzrostu higroskopijnego cząstek



Przykładowe dane

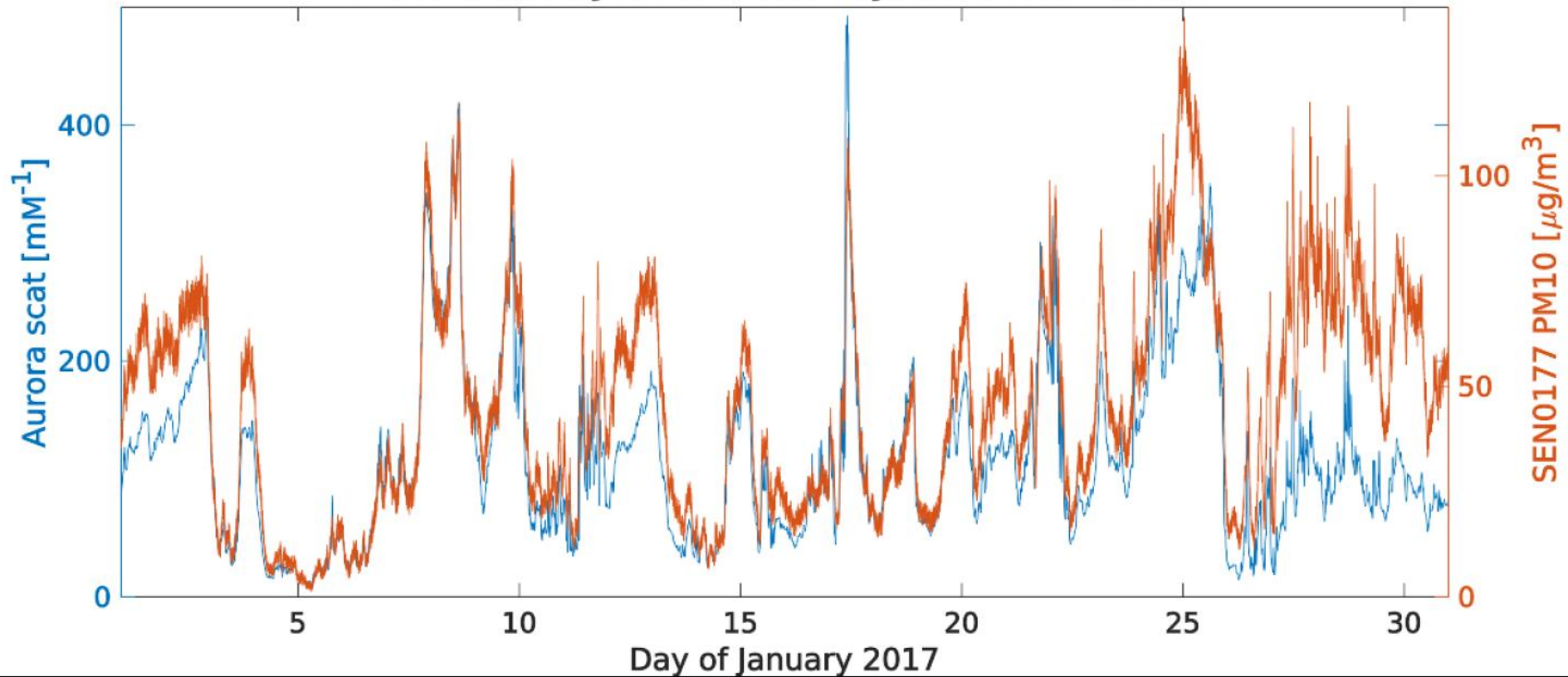


Średnie dzienne dla pomiarów Aurora/SEN0177

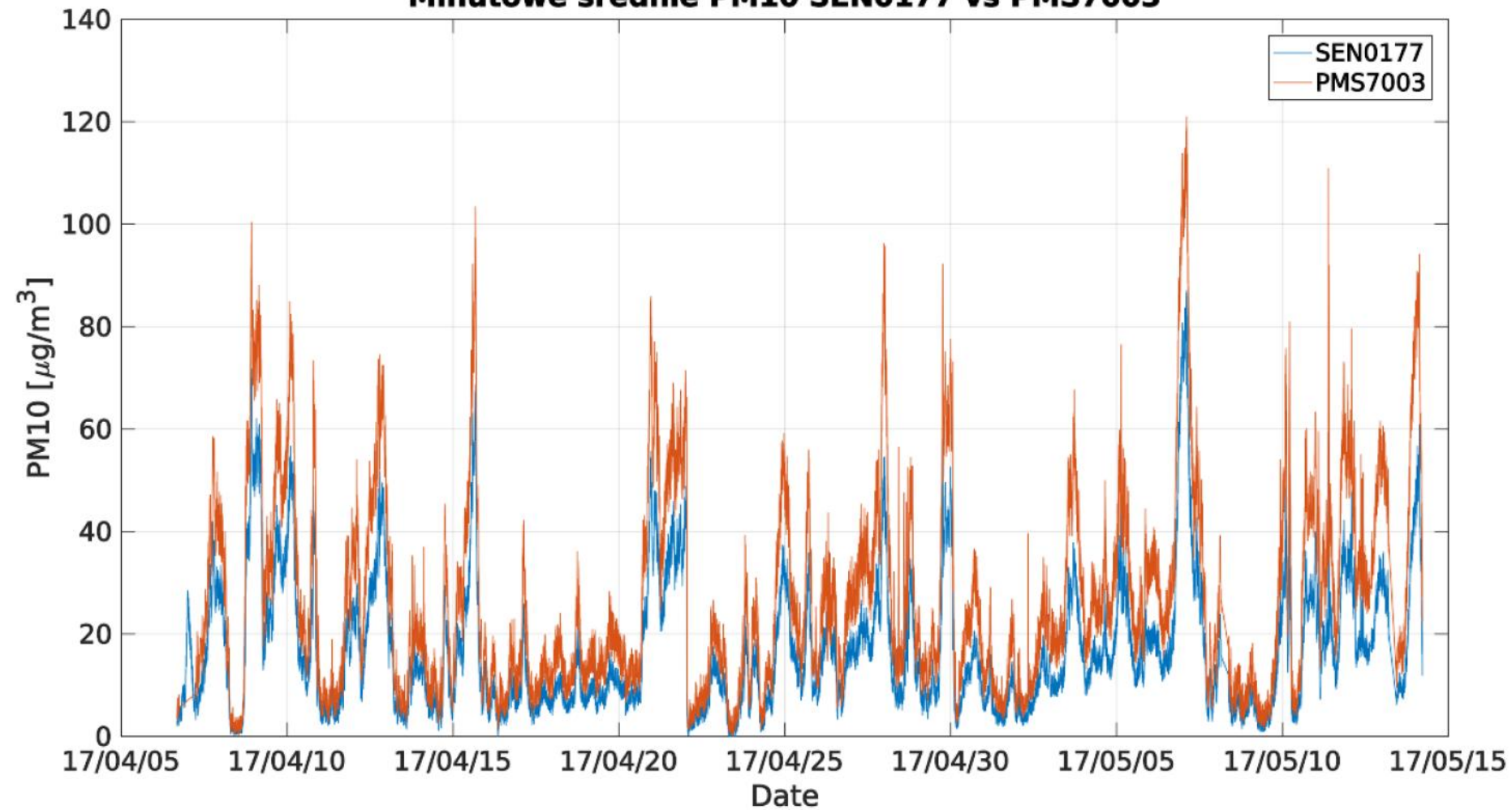


Mierzone wartości w styczniu 2017 r.

Porównanie wyników minutowych Aurora/SEN0177



Minutowe średnie PM10 SEN0177 vs PMS7003



Pomiary AOD przy użyciu fotometru słonecznego

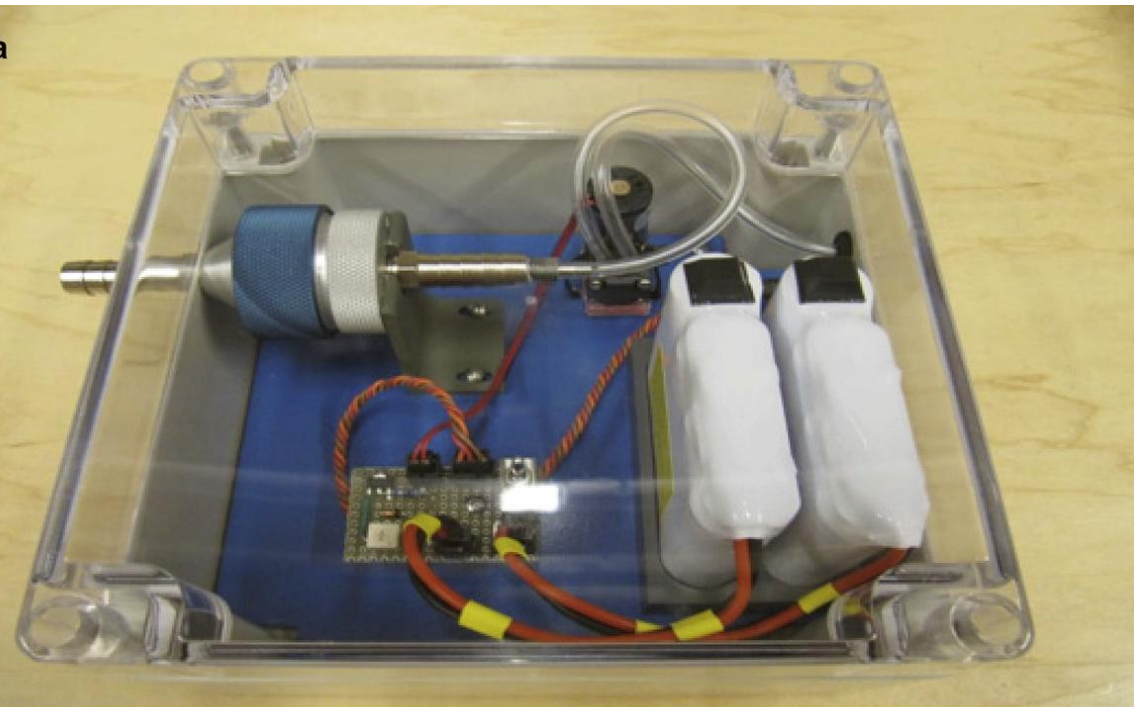


Fotometr Słoneczny

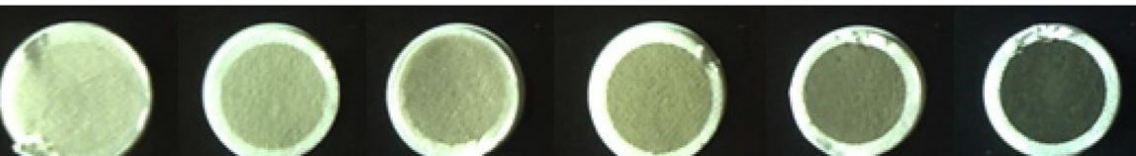
- Można go nabyć w GLOBE za około 130 \$ lub wykonać samemu.
- Kupiony w USA jest od razu wykalibrowany i gotowy do pomiarów
- Czujnikiem jest dioda świecąca LED, której cena wynosi 1-2 zł.
- Zamawianie przyrzędu:
https://www.cs.drexel.edu/~dbrooks/globe/order_form.htm



Aethalometr do pomiaru koncentracji aerozoli absorbujących



Sample Filters



System składa się:
- pompy powietrza
- zasilacza
- uchwytu do filtrów
- filtry
- aparat cyfrowy

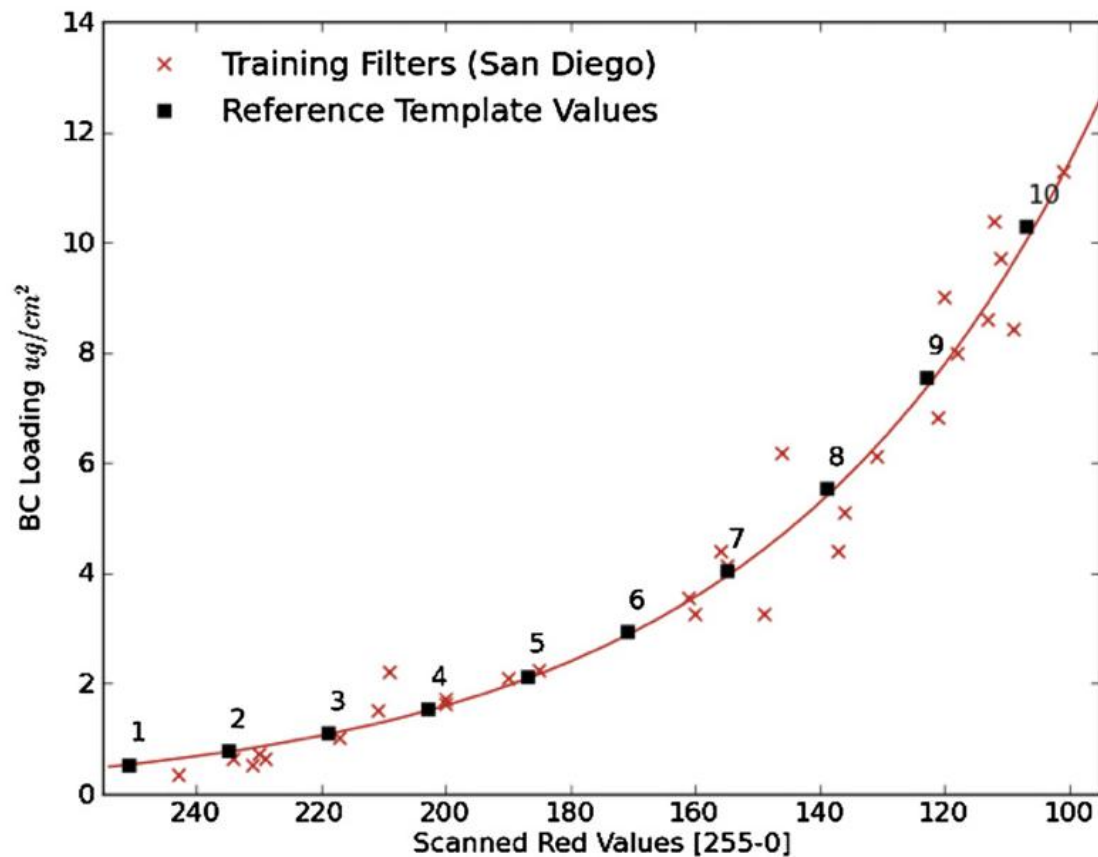
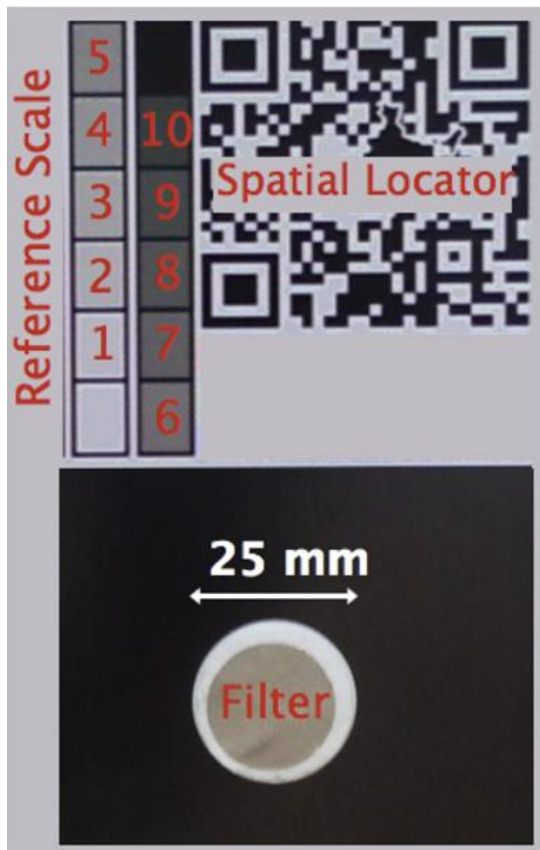
Pomiar polega na wykonaniu fotografii zabrudzonego filtra

Koszt przyrządu ok. 2 000 zł.

W celu zamówienia, proszę o kontakt:

kmark@igf.fuw.edu.pl

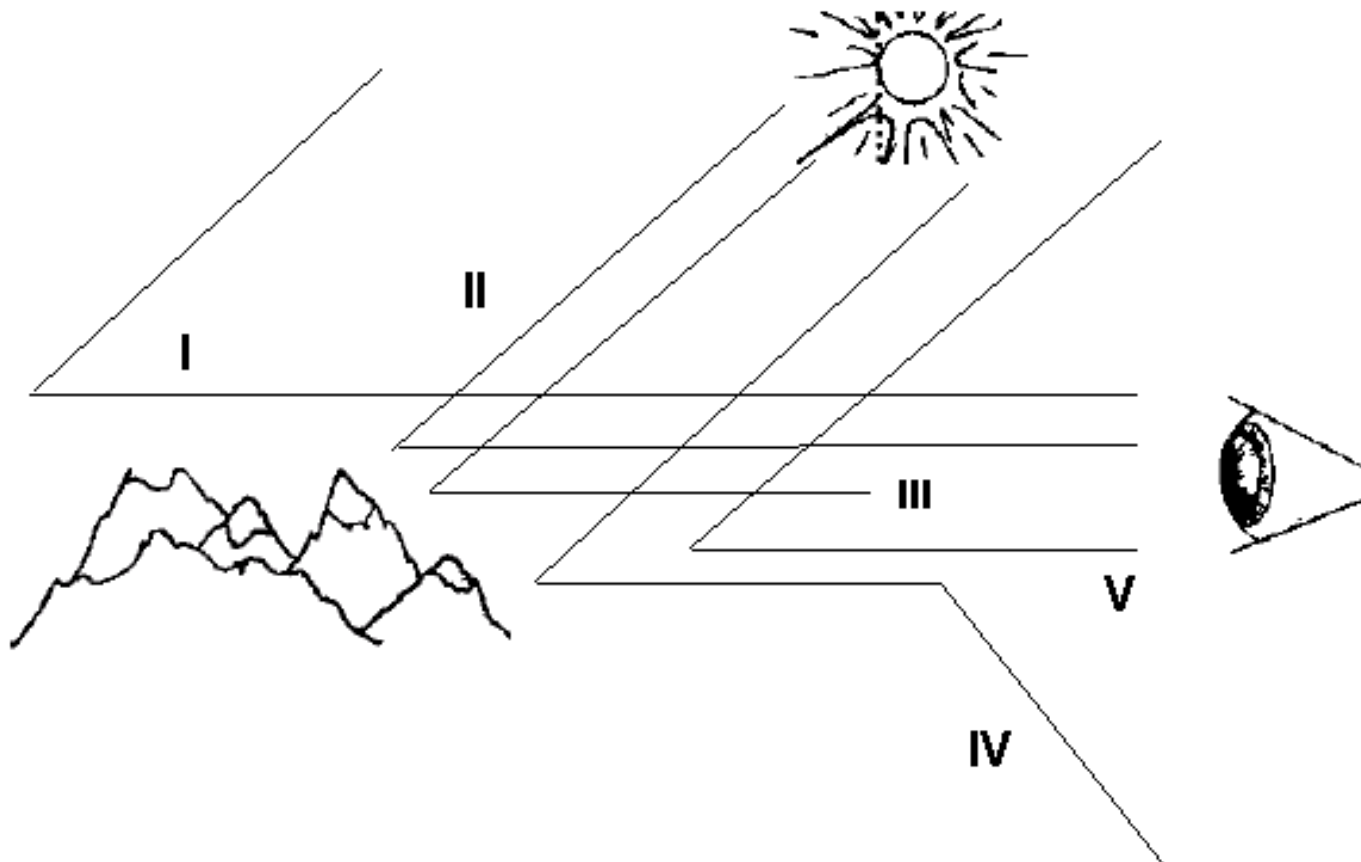
Wyznaczanie koncentracji aerozoli na podstawie stopnia szarości filtra



Szacowanie widzialności poziomej

- Aerozole osłabiają widzialność
- Znane są ekstremalne przypadki redukcji widzialności do kilku metrów podczas burz piaskowych. W Polsce tego typu zjawiska w zasadzie nie występują jednak znane są przypadki pożarów czy wypalania trawy gdy widzialność spada do podobnych wartości jak podczas burz piaskowych. Innym rodzajem zjawiska ograniczającego widzialność jest smog.
- Określamy widzialność (przejrzystość) powietrza wybierając na podstawie obserwacji horyzontu:
 - - bardzo dobra
 - - dobra
 - - umiarkowana
 - - słaba
 - - bardzo słaba.

Oslabienie widzialności poprzez rozpraszanie i absorpcję światła na molekułach powietrza i aerozolach



Szacowanie widzialności metoda reperów

numer repera	nazwa repera	odległość w [km]	kierunek względem szkoły
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Pomiary widzialności poziomej

- Pomiary widzialności wykonujemy przy użyciu aparatu cyfrowego.

Metoda I

- Wykonujemy zdjęcie oddalonego obiektu (lasu, wzniesienia, komina, itd.)
- W celu wykonania kalibracji musimy zrobić zdjęcie z bliższej odległości

Metoda II

- Wykonujemy jedno zdjęcie na który widoczne są dwa podobne obiekty znajdujące się w różnej odległości.
- Na stronie internetowej wczytujemy zdjęcia i zaznaczamy kursorem fotografowane obiekty (repery)
- Program wyznacza automatycznie kontrast pikseli i na ich podstawie widzialność współczynnik ekstynkcji.

Procedura wyznaczania widzialności

- Wykonujemy zdjęcie oddalonego obiektu (lasu, wzniesienia, komina, itd.)
- W celu wykonania kalibracji musimy zrobić zdjęcie z bliższej odległości (możemy robić to raz na jakiś czas)
- Używając programu komputerowego do czytania zdjęć w postaci cyfrowej odczytujemy wartości pikseli obiektu oraz otaczającego tła.
- Wyznaczamy kontrast dla dwóch odległości
- Wyznaczamy na podstawie map (np. <http://maps.google.com>) odległości od obiektu.
- Wyznaczamy widzialności i współczynnik ekstynkcji.

kontrast pikseli
w odległości r_1

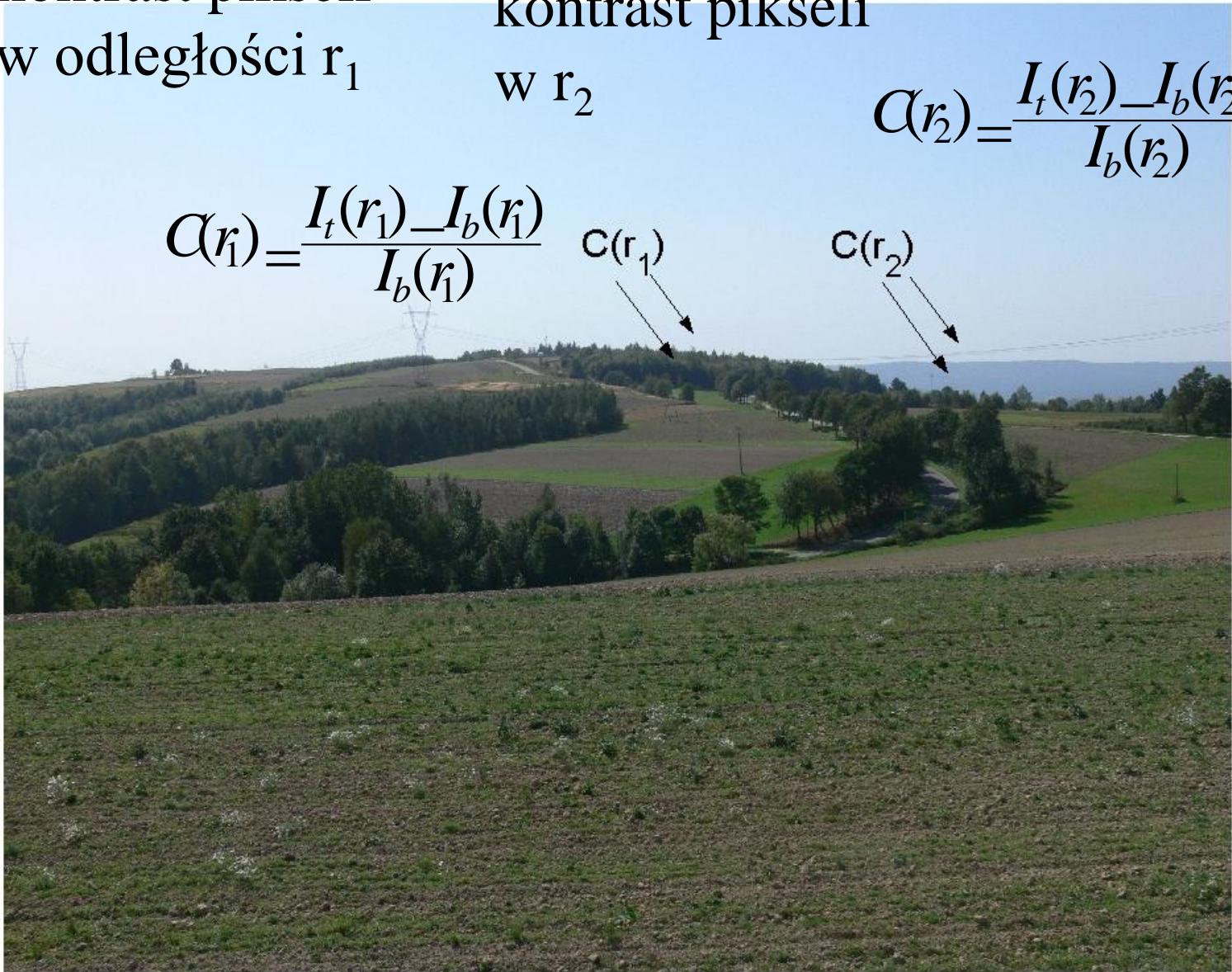
kontrast pikseli
w r_2

$$C(r_2) = \frac{I_t(r_2) - I_b(r_2)}{I_b(r_2)}$$

$$C(r_1) = \frac{I_t(r_1) - I_b(r_1)}{I_b(r_1)}$$

$C(r_1)$

$C(r_2)$



Widzialność a współczynnik ekstynkcji

$$VIS = \frac{\ln 50}{\sigma} \quad \text{Wzór Koschmiedera}$$

Współczynnik ekstynkcji jest skorelowany z koncentracją PM10

.

Pomiary temperatury bezchmurnego nieboskłonu przy użyciu pirometru



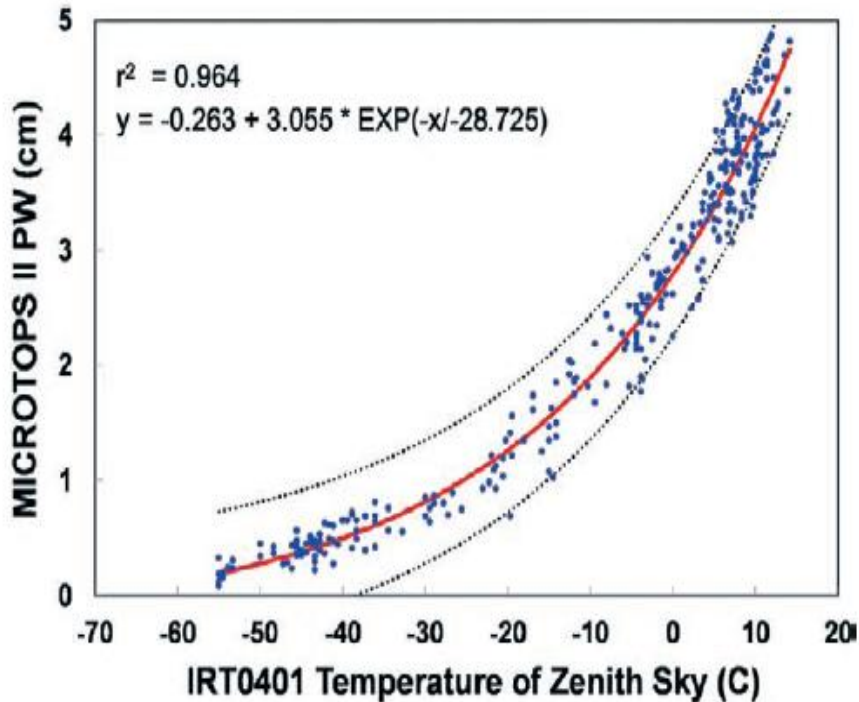
A \$20 infrared thermometer pointed at the cloud-free zenith sky can measure precipitable water vapor about as well as a sun photometer, and it can do so during the day or night.

Water vapor is the constituent of the atmosphere that is most responsible for weather, the hydrological cycle, and the maintenance of Earth's temperature within a range that supports life as we know it (Mockler 1995). Furthermore, water vapor condensed on sulfate and other hygroscopic aerosols can significantly increase the aerosol optical thickness of the atmosphere (Tang 1996).

The direct and indirect influence of water vapor on weather, climate, and the environment is so important

Temperatura nieboskłonu pozbawionego chmur zależy od zawartości pary wodnej oraz w drugiej kolejności od średniej temperatury atmosfery

Wyznaczanie zawartości pary wodnej na podstawie temperatury nieboskłonu



- Korelacja pomiędzy temperaturą nieboskłonu a zawartością pary wodnej

$$\langle T \rangle \approx f(T(z), q_{H_2O}(z), q_{CO_2}(z))$$

Podsumowanie

- Strona projektu <http://edu.polandaod.pl> – rejestracja do projektu, zamawianie przyrządu, wizualizacja i pobieranie danych
- Materiały dydaktyczne:
<http://www.igf.fuw.edu.pl/~kmark/PolandAOD/Badania.php>
- Strona sieci badawczej PolandAOD (www.polandaod.pl) w tym dane pomiarowe:
<http://www.igf.fuw.edu.pl/~kmark/PolandAOD/PolandAODdata.php>
- Prognoza jakości powietrza dla Polski www.ekoprogniza.pl
- Dane o pomiarach jakości powietrza
<http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current>