

CHMURY ANTROPOGENICZNE, przyczyny powstawania i skutki dla klimatu

Dorota Matuszko¹, Arkadiusz Duda²

¹ Zakład Klimatologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

² Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej

CHMURY SZCZEGÓLNE (*genitus*)

flammagenitus



cataractagenitus



silvagenitus



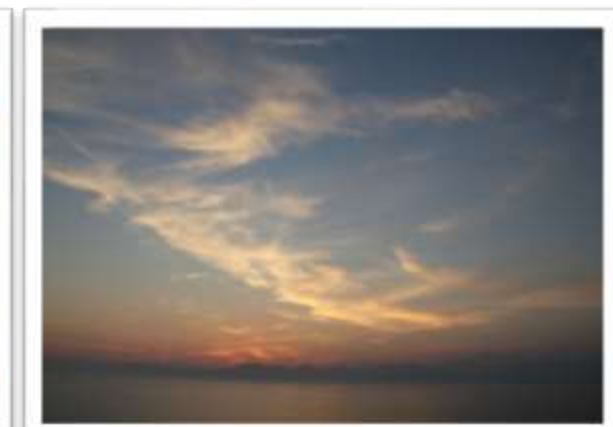
https://en.wikipedia.org/wiki/Pyrocumulus_cloud

Fot. D. Matuszko

homogenitus



homomutatus



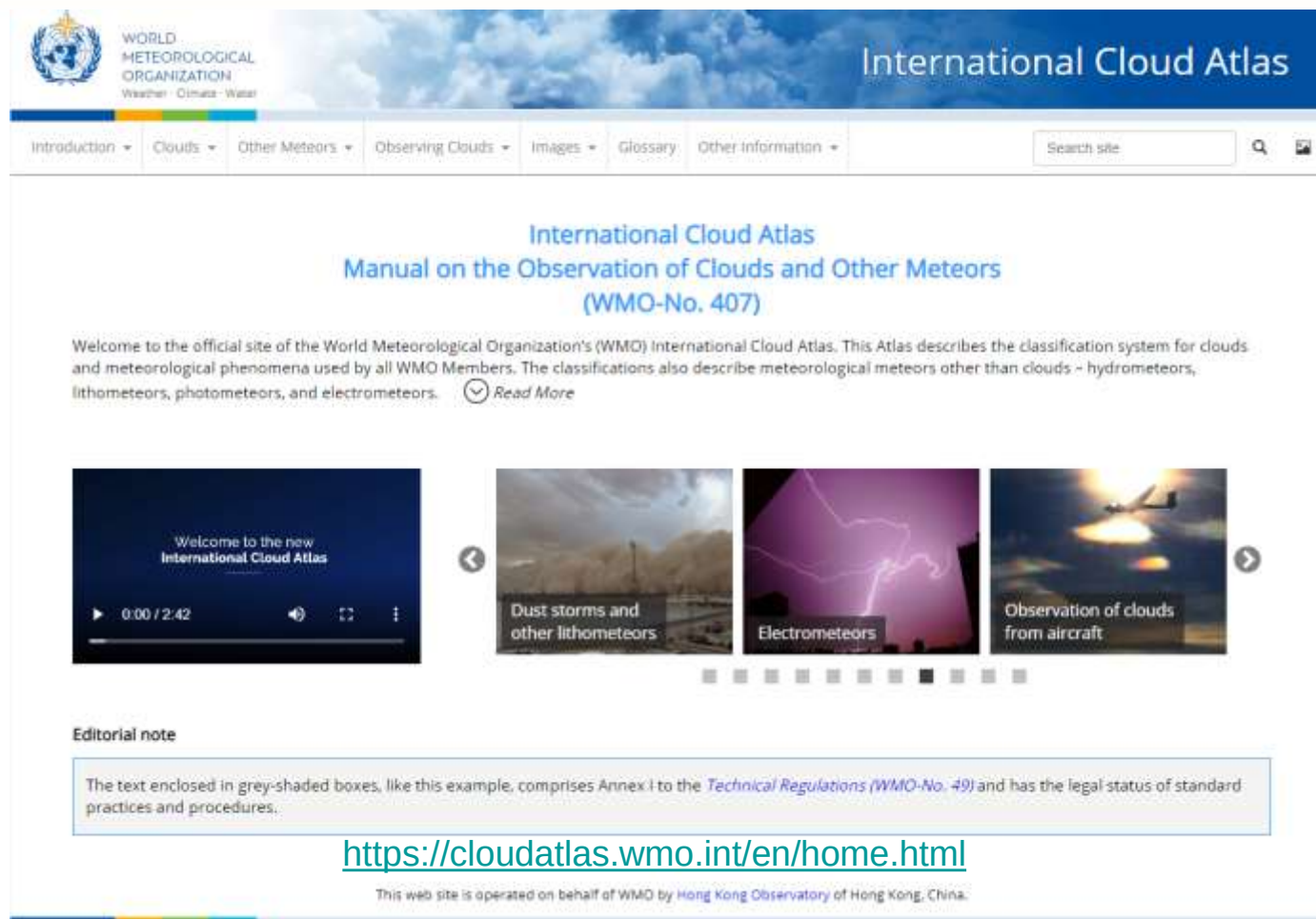
Fot. D. Matuszko

Zwrócenie uwagi na problem występowania chmur powstałych w wyniku działalności człowieka, ujętych w nowej Międzynarodowej Klasyfikacji Chmur (WMO 2017), jako chmury szczególne – ***homogenitus***.

Charakterystyka chmur ***homogenitus***, przyczyny ich powstawania i skutki występowania dla systemu klimatycznego.

Analiza przypadków chmur ***homogenitus*** na przykładzie obserwacji z Krakowa:
1/ powstałych z przekształcenia smug kondensacyjnych za samolotami
2/ rozwijających się nad kominami, w otoczeniu obszarów przemysłowych.





The screenshot shows the homepage of the International Cloud Atlas website. At the top, there is a blue header with the WMO logo and the text "WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION Weather - Climate - Water". To the right of the header, the title "International Cloud Atlas" is displayed. Below the header, there is a navigation bar with links: "Introduction", "Clouds", "Other Meteors", "Observing Clouds", "Images", "Glossary", and "Other Information". A search bar is also present. The main content area features the title "International Cloud Atlas Manual on the Observation of Clouds and Other Meteors (WMO-No. 407)" and a welcome message. Below this, there is a video player showing a welcome video. To the right of the video player, there are three image thumbnails: "Dust storms and other lithometeors", "Electrometeors", and "Observation of clouds from aircraft". Below the thumbnails, there is an "Editorial note" section with a text box. At the bottom, there is a URL link: <https://cloudatlas.wmo.int/en/home.html> and a note about the website being operated on behalf of WMO by Hong Kong Observatory of Hong Kong, China.

W badaniach wykorzystano dane z lat 2011-2020 ze stacji naukowej IGiGP UJ w Ogrodzie Botanicznym i ze stacji IMGW-PIB w Krakowie-Balicach oraz własne obserwacje i fotografie.

PRZYCZYNY powstawania chmur *homogenitus*

Smugi kondensacyjne

Są to produkty kondensacji pary wodnej powstające za samolotem odrzutowym lecącym w górnej warstwie troposfery lub dolnej stratosfery, na wysokości 7-15 km. Grubość smug waha się od 1,5 do 2 km, a długość wynosi kilka km.

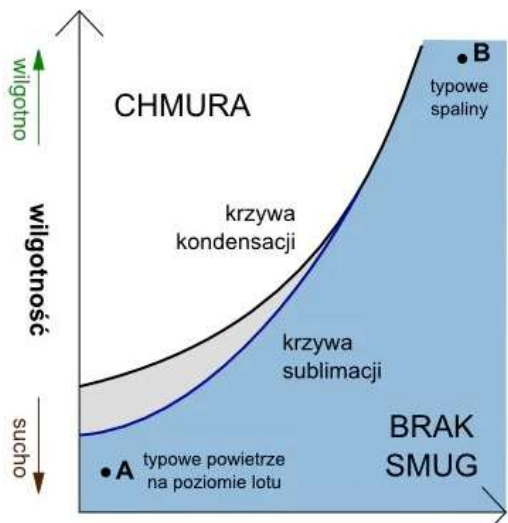
Warunki konieczne:

- dostatecznie niska temperatura, która dla produktów spalania nafty lotniczej mieści się w przedziale temperatury od -55 do -35°C
- wysoka wilgotność powietrza, konieczna do jego przesycenia i zapoczątkowania kondensacji pary wodnej,
- obecność jąder kondensacji lub krystalizacji.

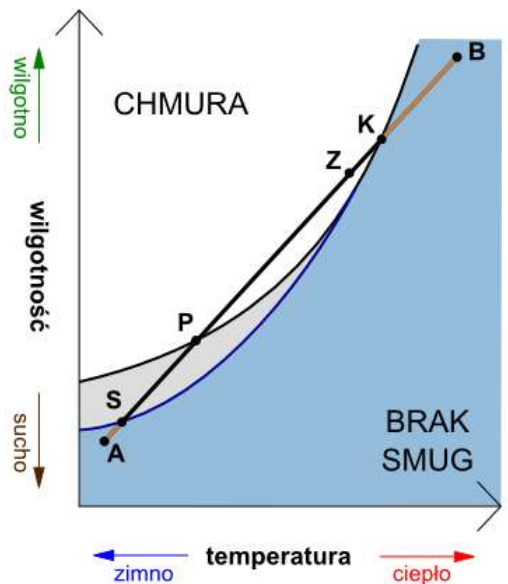


99% masy spalin samolotu stanowią para wodna i aerozole

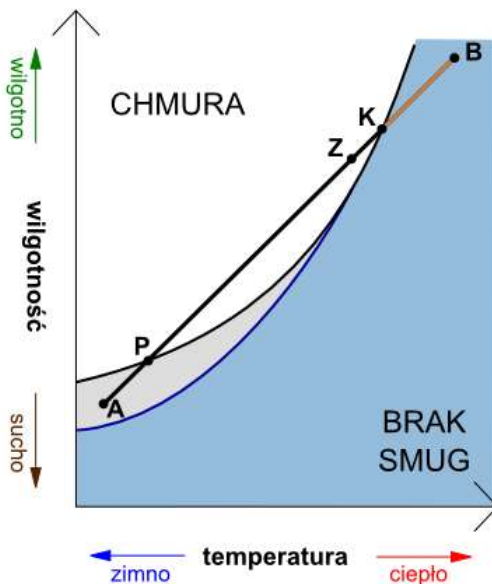
PRZYCZYNY powstawania chmur *homogenitus*



Cirrus homogenitus



Cirrus homomutatus



- (A) Powietrze w wyższych partiach troposfery jest chłodne i suche
- (B) spaliny są gorące i wilgotne
- (K) para wodna kondensuje
- (Z) kropelki chmurowe zamarzają
- (P) kryształki lodu się utrzymują
- (S) kryształki sublimują i smuga zanika

Jeśli powietrze zawiera dużą dawkę wilgoci punkt A leży bliżej krzywej sublimacji - czas życia smugi jest dłuższy (***Cirrus homogenitus***)

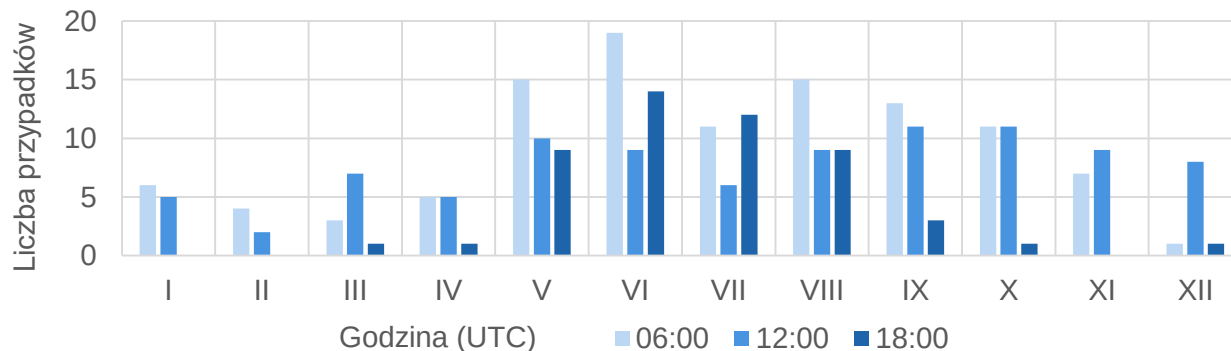
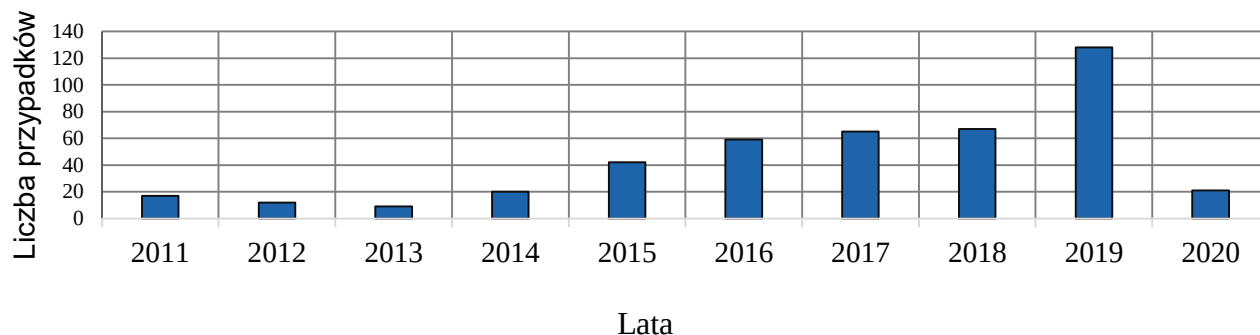
Jeśli punkt A leży pomiędzy krzywą sublimacji i kondensacji (powietrze jest na tyle wilgotne, by kryształki lodu w nim nie sublimowały), smuga utrzymuje się i rozrasta (***Cirrus homomutatus***)

Wg Dischla i in. 2022 najlepsze warunki do tworzenia się chmur *homogenitus* i *homomutatus* występują w Europie środkowej, jesienią i zimą na wysokościach od 9 do 12 km, przy nadchodzącym ciepłym froncie atmosferycznym.

Jednak w Polsce o tej porze roku obserwacja chmur wysokich ze stacji naziemnych jest utrudniona z powodu zasłonięcia ich przez chmury niższych pięter.

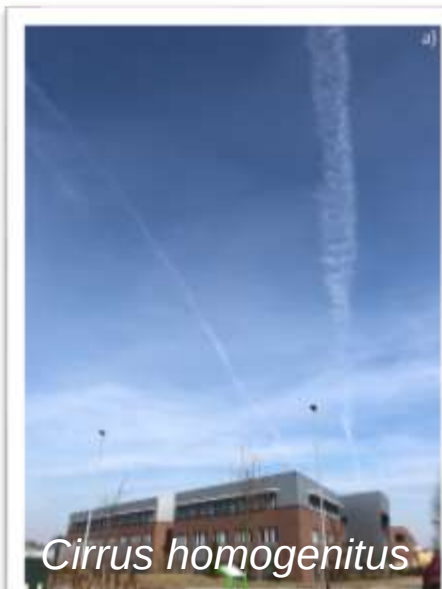


Liczba przypadków występowania chmur szczególnych powstałych w wyniku ruchu lotniczego w Krakowie w latach 2011-2020

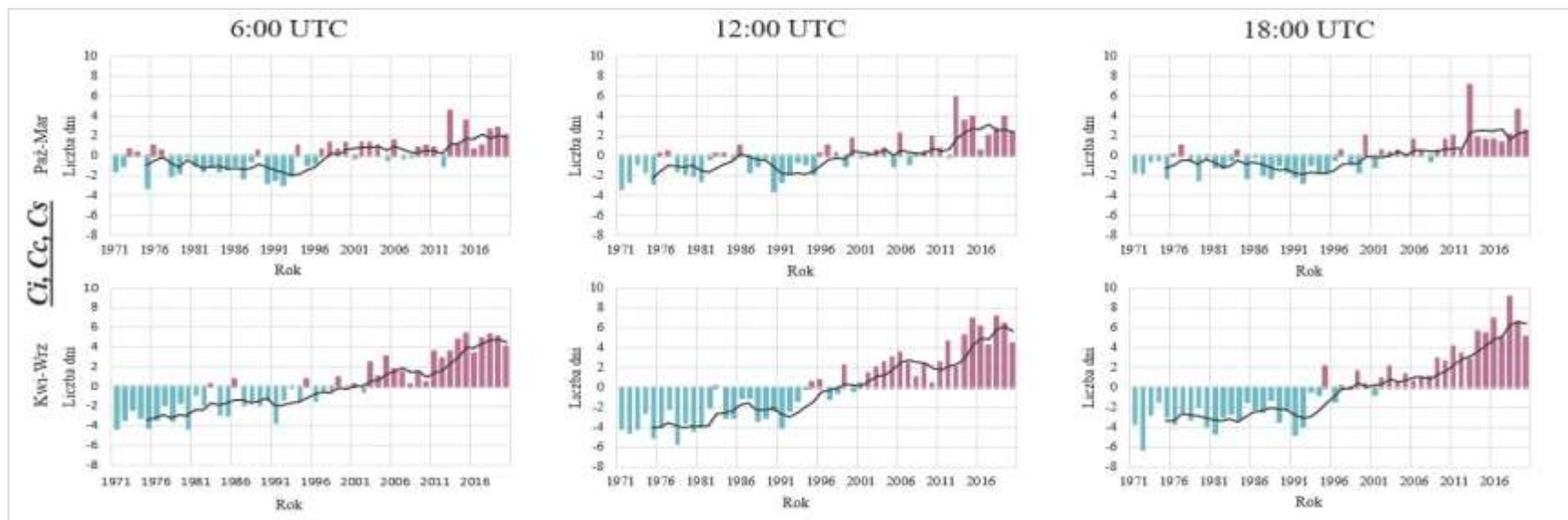


Przebieg roczny w terminach obserwacyjnych

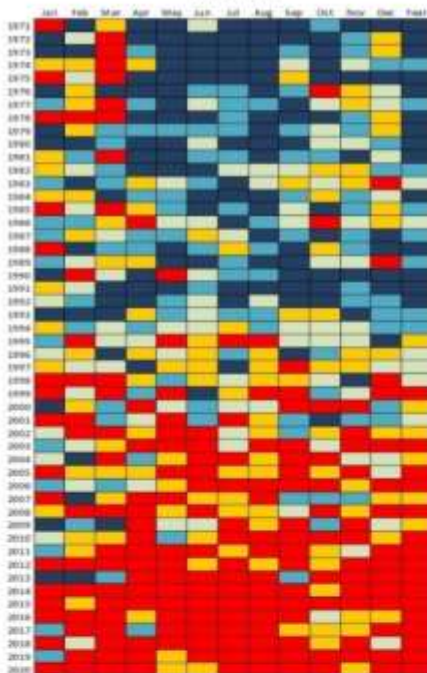
Fot. A. Duda



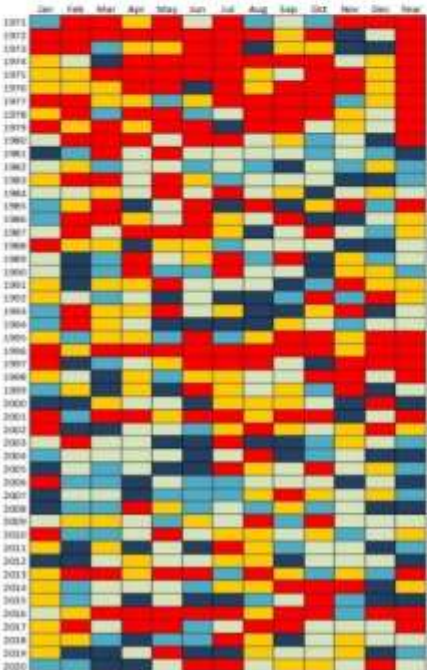
Przebieg wieloletni odchyleń liczby dni z chmurami $C_i + C_c + C_s$ w Krakowie



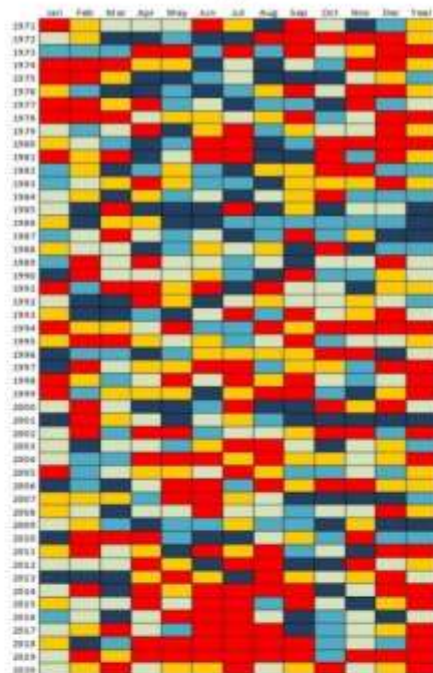
Cu/Ce/Cs



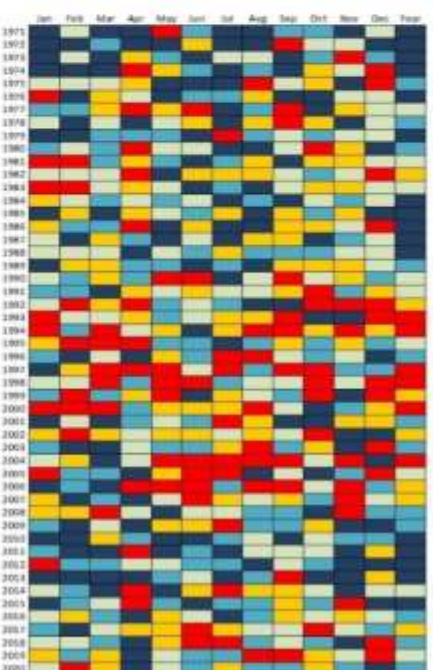
St



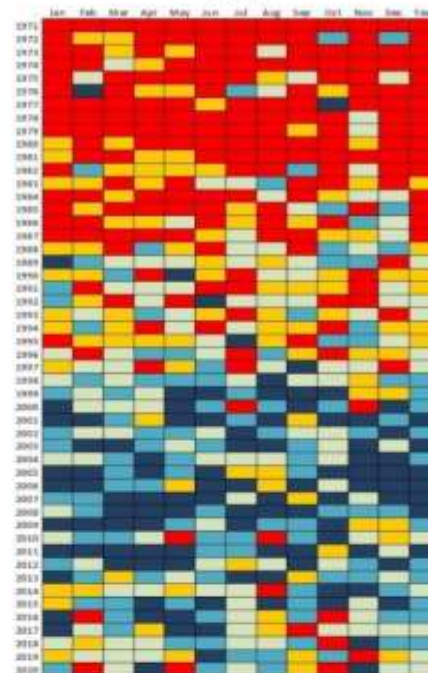
Ae



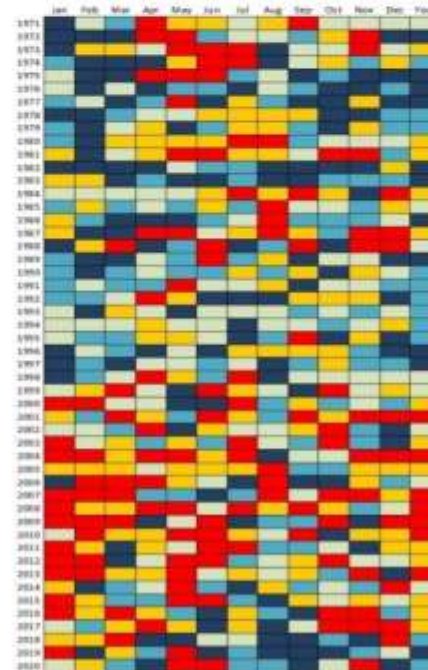
Cu/Cb



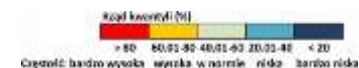
As/Ns



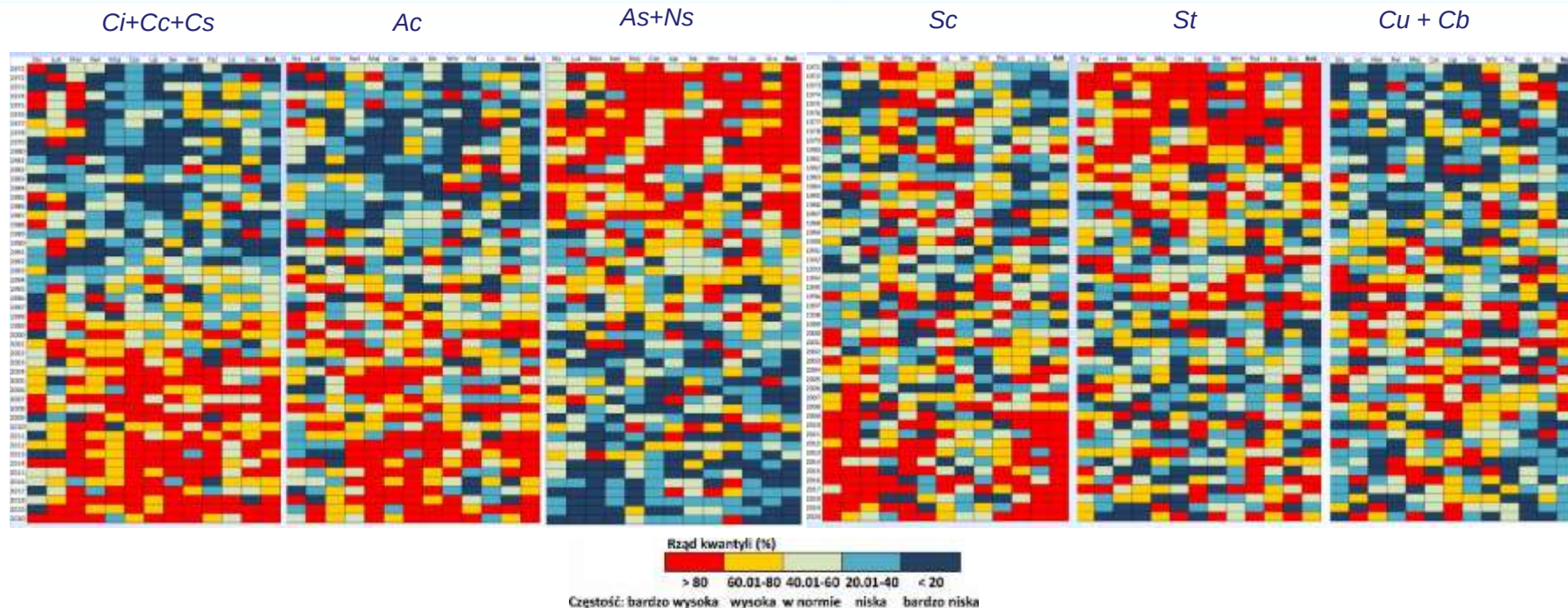
Se



Klasyfikacja kwantylowa
rodzajów chmur
w Krakowie-Balicach
(1971-2020)



Wieloletnia zmienność rodzajów chmur w Polsce (1971-2020)



Wielkość (liczba dni / 10 lat) i istotność statystyczna liniowych trendów czasowych średniej obszarowej częstości typów chmur

Termin	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok
6 UTC	1.41**	2.62**	3.98**	2.75**	10.74**
12 UTC	1.09**	2.63**	4.25**	2.92**	10.86**
18 UTC	1.46**	2.54**	3.83**	2.64**	10.46**

* - istotność statystyczna na poziomie $p < 0.05$; ** - $p < 0.01$

PRZYCZYNY powstawania chmur *homogenitus*

Wyziwy z kominów zakładów przemysłowych i elektrowni

Chmury te powstają, gdy unosząca się z emitora para wodna jest cieplejsza od otaczającego ją powietrza, dlatego szybko się wznosi i ochładza adiabatycznie.

Gdy para wodna osiągnie temperaturę punktu rosy skrapla się i chmura zaczyna być widoczna.

Tworzenie się chmury rozpoczyna się dopiero w pewnej odległości od wylotu komina, ponieważ mieszanina pary wodnej i powietrza musi być odpowiednio schłodzona, by osiągnąć poziom kondensacji.

Kondensację przyspiesza obecność zanieczyszczeń przemysłowych stanowiących jądra kondensacji.



Elektrociepłownia Łęg w Krakowie



11.01.2023



26.01.2023

Elektrociepłownia Łęg w Krakowie



10.02.2024



17.10.2023

WARUNKI WYSTĘPOWANIA chmur „kominowych”

Studium przypadków tworzenia się chmur antropogenicznych w otoczeniu elektrowni w Łęgu wskazuje, że chmury „kominowe” mogą tworzyć się w różnych porach roku, zarówno podczas cyrkulacji antycyklonalnej, jak i cyklonalnej oraz przy odmiennych cechach mas powietrza.

Sprzyjającym typem cyrkulacji było siodło baryczne, któremu towarzyszyły chmury *Stratocumulus*.

Korzystne warunki występowały przy:

- małych prędkościach wiatru
- dużej wilgotności w dolnej warstwie troposfery w pobliżu wylotu komina

Istotną rolę ogrywała praca elektrowni, a konkretnie wielkość emisji pary wodnej i zanieczyszczeń do atmosfery.



Chmury antropogeniczne wpływają na bilans radiacyjny Ziemi:

Cirrus homogenitus / *homomutatus*

- 1/ odbijają w przestrzeń kosmiczną krótkofalowe promieniowanie słoneczne, co ma efekt chłodzący;
- 2/ zatrzymują emitowane przez powierzchnię Ziemi długofalowe promieniowanie podczerwone, a to z kolei prowadzi do ocieplania klimatu.

Drugi z efektów jest silniejszy, więc wypadkowy wpływ smug kondensacyjnych i powstających z nich chmur jest **ocieplający**.

Chmury „kominowe” *Cumulus* i *Stratus fractus* zwiększają pokrycie nieba przez chmury piętra niskiego i obniżają ich podstawę.

- 1/w dzień działają chłodząco
- 2/w nocy – ocieplająco

Są to chmury o małej miąższości, więc samodzielnie ich wpływ jest niewielki ale jeśli towarzyszą naturalnym chmurom np. *Stratocumulus* działają modyfikująco na dopływ promieniowania słonecznego.

- Lokalizacja lotniska w pobliżu miasta oraz natężenie ruchu lotniczego wykazują korelację z występowaniem smug kondensacyjnych, które następnie przekształcają się w chmury szczególne *Cirrus homogenitus/homomutatus*.
- Od początku XXI wieku obserwuje się wyraźny wzrost częstości występowania chmur piętra wysokiego. Jedną z przyczyn mogą być chmury antropogeniczne, powstające z przekształcenia smug kondensacyjnych za samolotami.
- Na terenie Krakowa istniejące elektrownie i zakłady przemysłowe przyczyniają się do wzrostu pokrycia nieba przez chmury piętra niskiego i lokalnego obniżenia podstawy chmur pochodzenia antropogenicznego.

Obecny stan wiedzy na temat chmur antropogenicznych jest zbyt mały by
podać dane ilościowe.

Powodem jest brak standardowych obserwacji w tym zakresie.



*Dziękujemy
za uwagę*

