



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskie.wunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Meteorologia w ochronie atmosfery

Jerzy W. Zwoździak

International Institute of Technology

Małgorzata Paciorek

Ekometria Sp. z o.o.



Projekt finansowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego
dla Województwa Pomorskiego na lata 2007 – 2013

Nauki atmosfery

- Meteorologia
- Klimatologia
- Fizyka atmosfery
- Chemia atmosfery

- Meteorologia warstwy granicznej
- Meteorologia mezoskalowa
- Meteorologia synoptyczna
- Meteorologia globalna
- Meteorologia dynamiczna
- Meteorologia awiacyjna
- Meteorologia rolnicza (agrometeorologia, hydrometeorologia)



Trochę historii



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

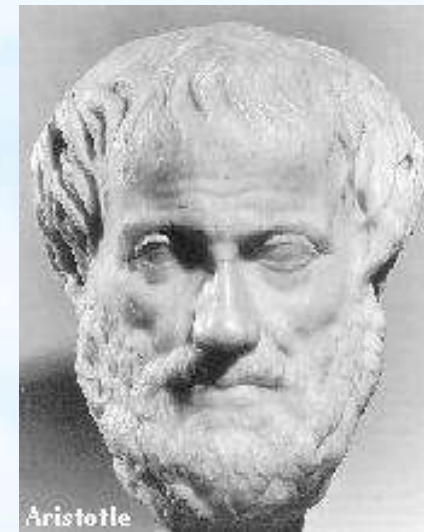


Arystoteles (384-322 BC)

- ❑ Był mistrzem w zadawaniu pytań.
- ❑ Napisał pierwszą książkę o meteorologii „Something in the air”

Praca dotyczyła różnych zjawisk meteorologicznych i pochodzenia komet

*Chociaż był wspaniałym myślicielem,
to jednak nie najlepszym obserwatorem,
np.. Uważał, że błyskawica pojawia się po grzmocie.*



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Galileo Galilei (1564–1642)

- Sformułował prawo o spadaniu ciał, poparte bardzo wnikliwymi pomiarami
- Skonstruował teleskop, przez który obserwował kraterzyce na Księżycu oraz opisał 4 księżyce Jowisza
- Uważa się go za wynalazcę termometru



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Evangelista Torricelli (1608–1647)

- Uczeń Galileusza. Skonstruował barometr



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

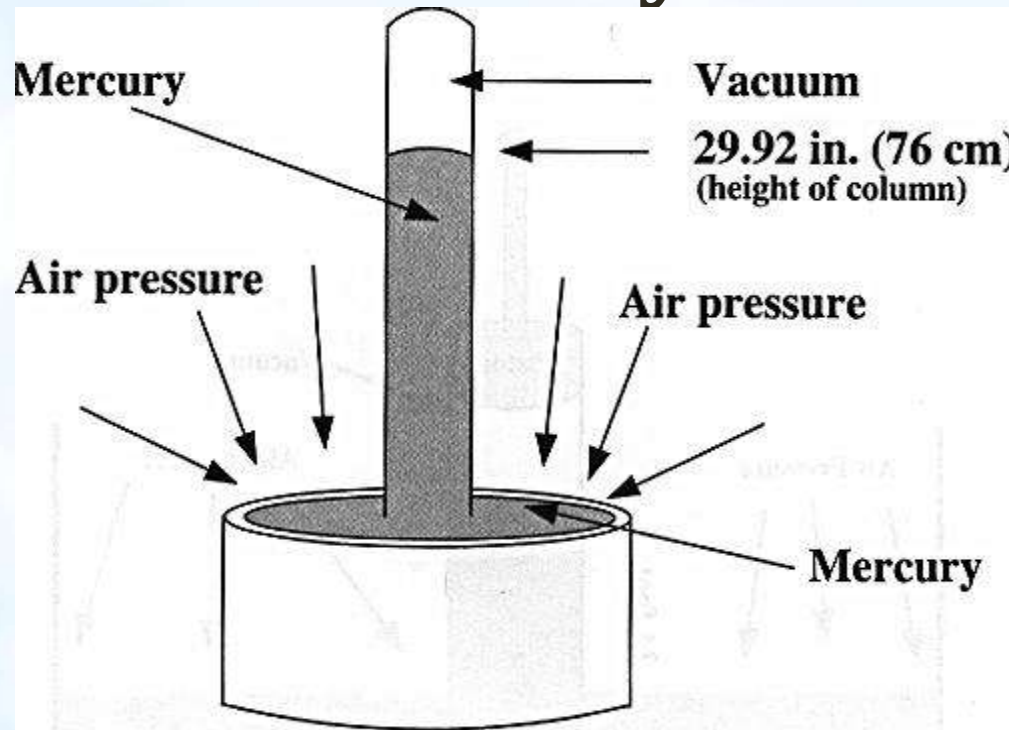


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Ciśnienie barometryczne



Zależność między wysokością kolumny rtęci a stanami pogody została szybko zauważona.

Isaac Newton (1642-1727)



Sir Isaac Newton
(1642-1727)

Największy naukowiec świata.

- **Ustanowił podstawy dynamiki.**
- Sformułował prawo grawitacji
- Stworzył podstawy równań różniczkowych
- Miał duże osiągnięcia w optyce



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Edmund Halley (1656–1742)



Przyjaciół Newtona, co było dużym osiągnięciem, gdyż Newton nie miał wielu przyjaciół!

On namówił Newtona, by opublikować „Principia Mathematica”.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Halley i jego kometa



Analiza Halleya o powrotach komety (76 lat), nazwanej kometa Halleya, jest wspaniałym przykładem metod naukowych w działaniu.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Ciekawe pytanie

Jeżeli astronomowie mogą przewidzieć coś, co wydarzy się za 76 lat, to dlaczego nie mogą tego meteorolodzy?

➤ Skala problemu:

➤ W ruchu komet wystarczy dynamika, natomiast atmosfera jest ośrodkiem ciągłym z nieskończoną liczbą zmiennych – kłania się termodynamika;

➤ Porządek kontra chaos

➤ Równania opisujące system słoneczny są całkowalne, a ruch jest regularny.

➤ Równania atmosfery są nieliniowe, a ruch jest chaotyczny



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

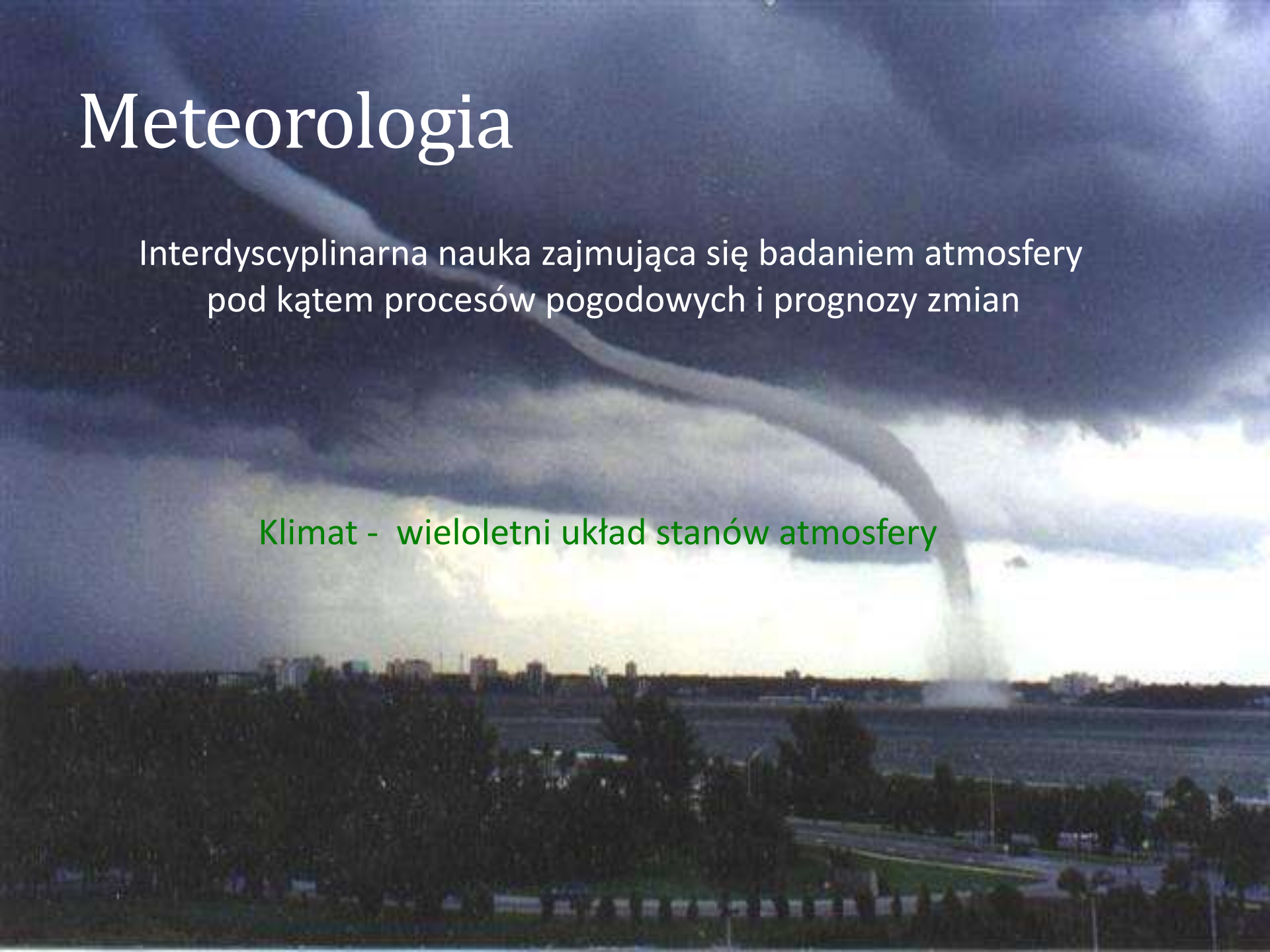
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

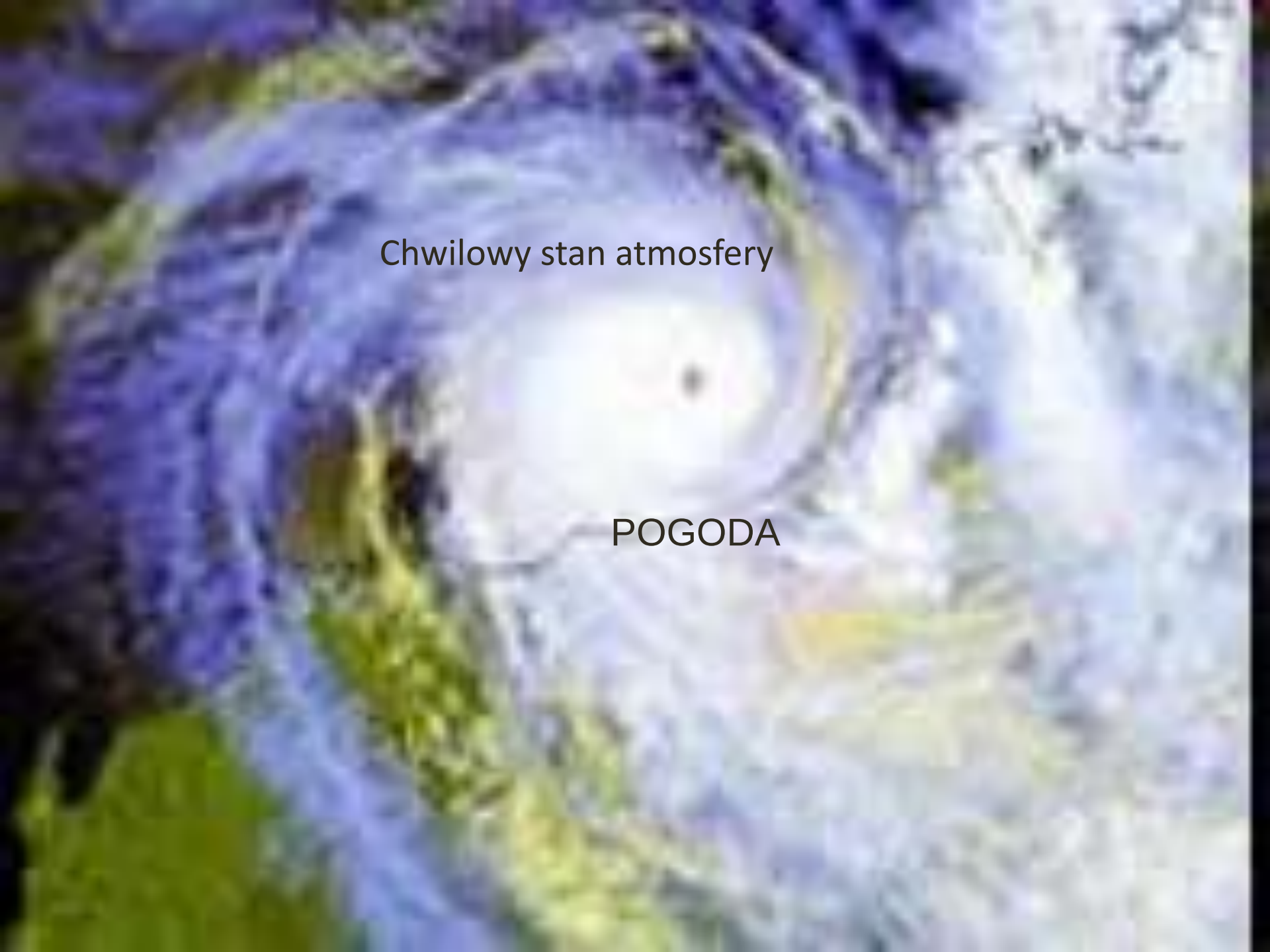


Meteorologia

Interdyscyplinarna nauka zajmująca się badaniem atmosfery
pod kątem procesów pogodowych i prognozy zmian

Klimat - wieloletni układ stanów atmosfery





Chwilowy stan atmosfery

POGODA

Ważniejsze matematyczne i fizyczne pojęcia

Parametry fizyczne – np.: ciśnienie, temperatura, stężenie.

Wartości te są funkcjami czasu i położenia

$$P = p(t, x, y, z); c = c(t, x, y, z).....$$

Funkcję $k(t, x, y, z)$ opisująca wartość parametru “k” w konkretnym czasie w przestrzeni określamy **polem parametru “k”**.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



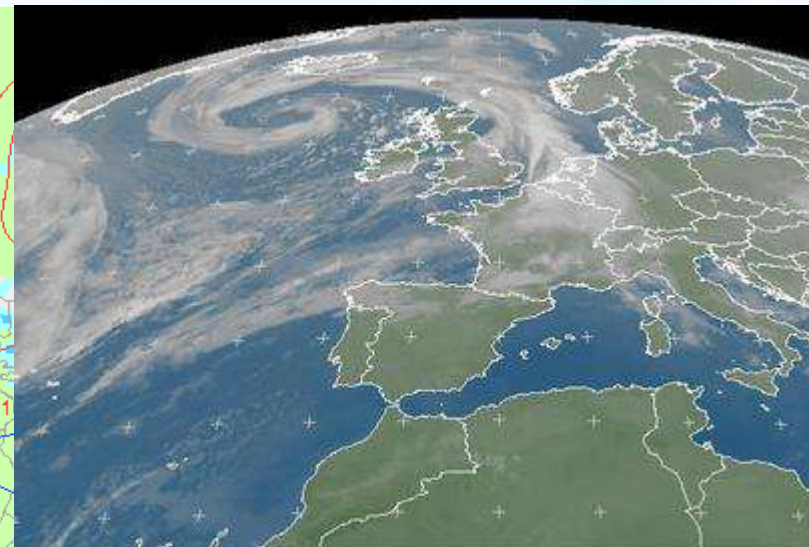
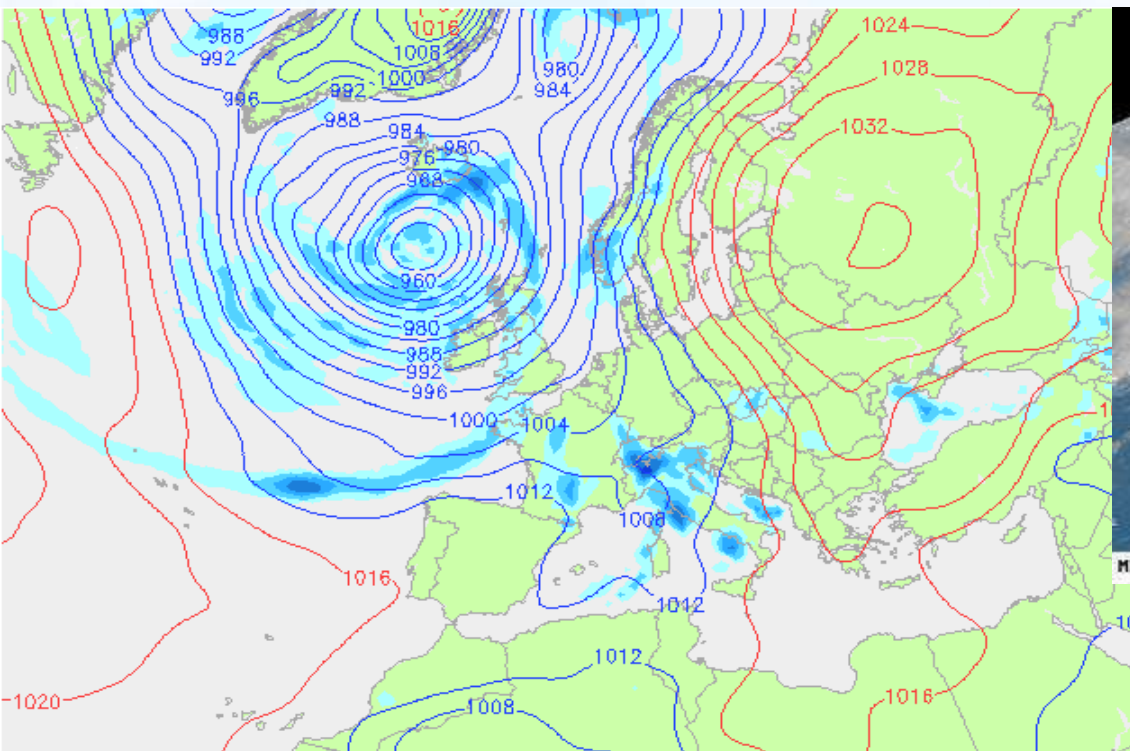
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Pola parametrów - Mapa synoptyczna, mapa pogody.

- Obecny stan pogodowy na większym obszarze.
- Mogą być powierzchniowe i górne.



MET9 IR188 2010-10-01 23:00 UTC

EUMETSAT

Precipitation GFS (mm)
0.5 2 5 10 20 30 40 50 100

Mon 04/10/2010 21..24GMT (Mon 12+12)
©weatheronline.co.uk



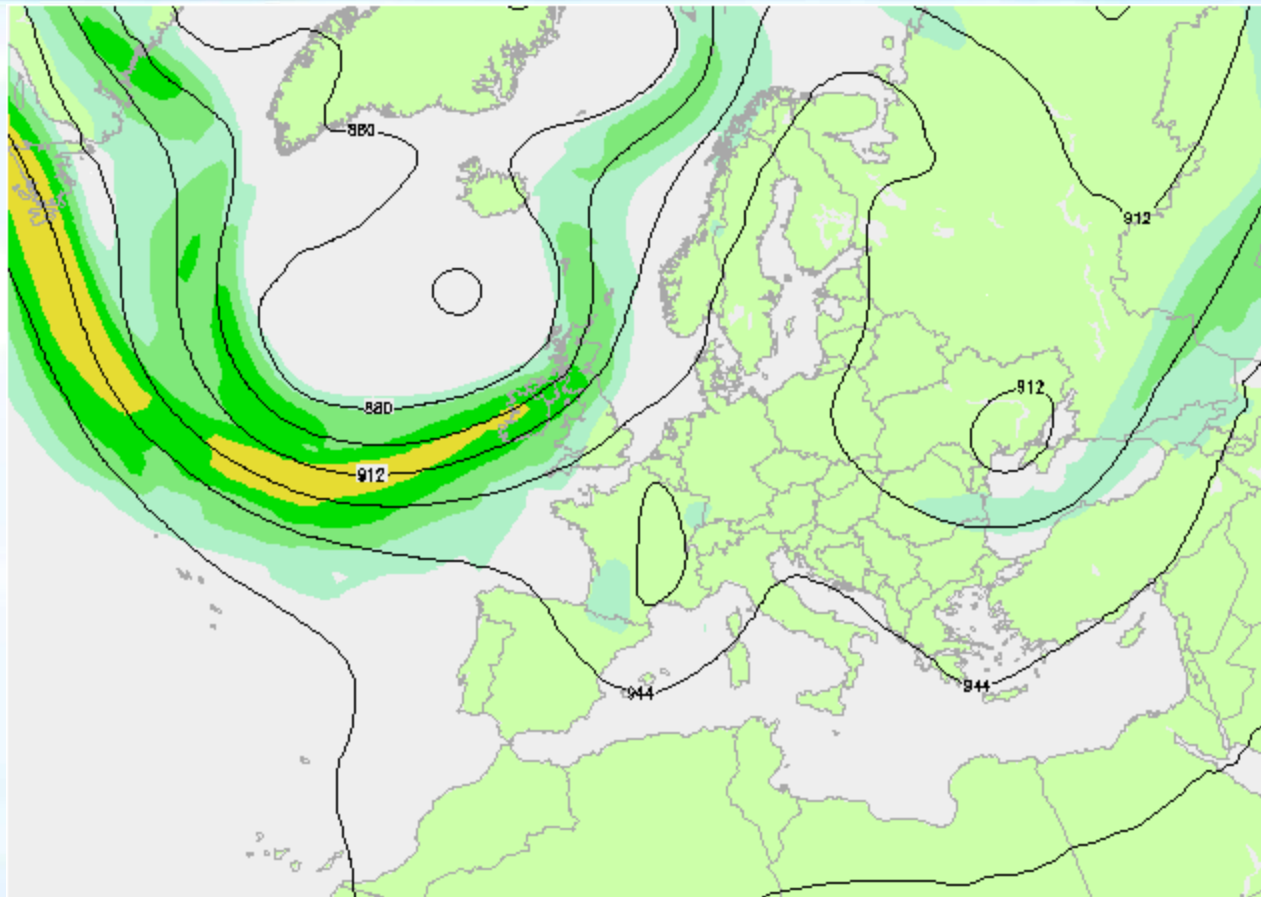
**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO





Polar Jet Stream 300 hPa GFS (kts)
60 80 100 120 140 160 180

Tue 05/10/10 00GMT (Mon 12+12)
©weatheronline.co.uk



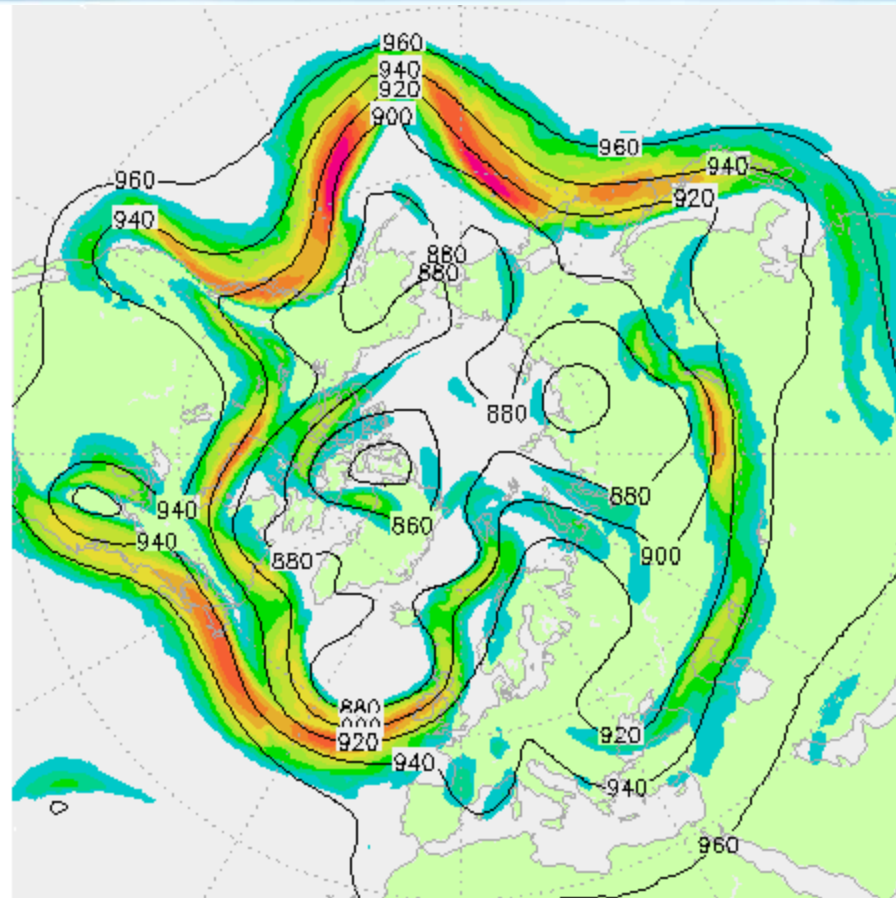
**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO





Wind 300 hPa GFS (kts)
50 70 90 110 130 150

Tue 05/10/10 00GMT (Mon 12+12)
©weatheronline.co.uk



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Atmosfera

- Troposfera - 0-12 km. Zawiera 75% gazów. Spadek temperatury: ok. $-6,5$ °C/1000 m.
- Tropopauza – izotermia, prąd strumieniowy

Stratosfera

12-50 km, niżej izotermia, wyżej
wzrost temperatury; warstwa ozonowa



Mezosfera

50-80 km. Temperatura spada do ok. - 70 °C (–100°C).
Najzimniejszy region atmosfery. Chroni Ziemię przed meteorami. Ciśnienie ok. 1 hPa. Obłoki świecące lub srebrzyste.



Termosfera

Powyżej 80 km. Wysoka temperatura wynika z absorpcji promieniowania UV (zamiana na ciepło). Niższa część: jonosfera - zjonizowana warstwa atmosfery - zorze polarne (oddziaływanie wiatru słonecznego na magnetosferę Ziemi); wyżej – egzosfera.



Magnetosfera

Rozciąga się powyżej atmosfery (>1000 km).
Strefa oddziaływania ziemskiego pola
magnetycznego.

Ochrona powietrza

- Historia nauk o atmosferze rozpoczyna się z chwilą obserwacji i przepowiadania pogody. Nauka o zanieczyszczeniu powietrza jest znacznie krótsza.
- Do XX wieku zanieczyszczenie powietrza nie traktowano jako naukę, ale jako problem do uregulowania. Doprowadziło to do rozwoju technologii ograniczających emisję zanieczyszczeń do powietrza.



- 1905 rok – opisano połączenie mgły z dymem w wielu miastach Wielkiej Brytanii i nazwano je smogiem.
- W latach 1850-1960 smog zabił tysiące ludzi, a najgorszy przypadek miał miejsce w Londynie w 1952 roku i spowodował ponad 4000 zgonów. Smog londyński. Symulacja przebiegu w oparciu o model skrzynkowy w 50-tych latach.
- 30-te lata w USA – Smog kalifornijski. Skład jego został określony dopiero w 1951 roku.

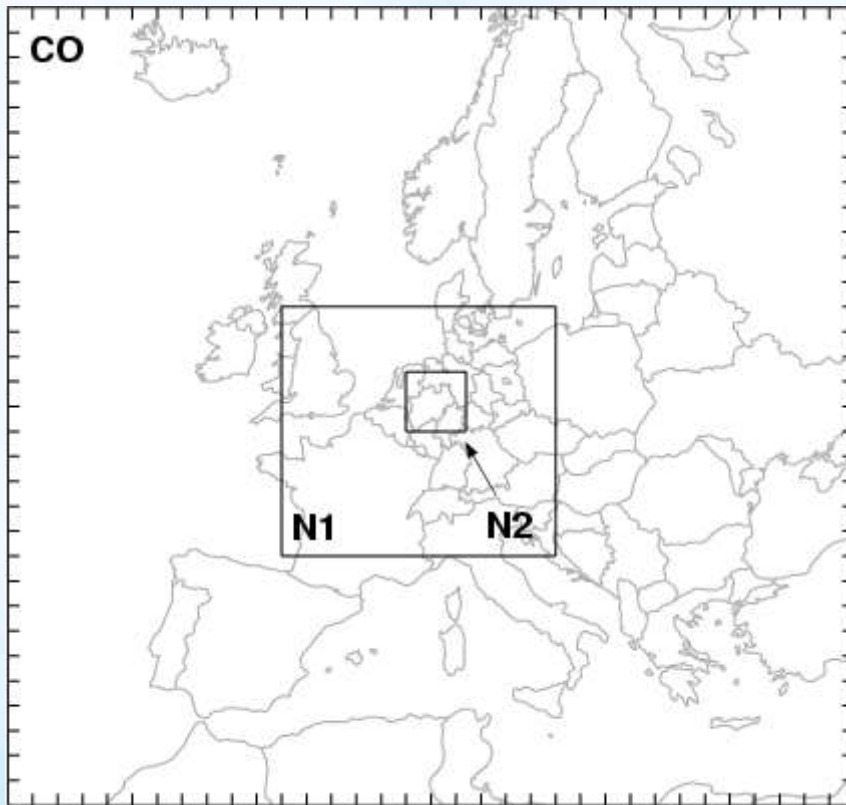


- 60- i 70-te lata – rozwój modeli jakości powietrza, dwu i trzywymiarowych. Większość modeli stosowała jako dane wejściowe interpolowane pola parametrów meteorologicznych.
- 70-te i dalej – rozpoznano wiele problemów związanych z zanieczyszczeniem atmosfery (lokalne, regionalne i globalne). Zaczęto wykorzystywać pola parametrów meteorologicznych wyznaczanych w czasie rzeczywistym. Obecnie modele włączają chemię atmosfery i meteorologię dynamiczną.



Przykład systemu modelowania EURAD

Rhenish Institute for Environmental Research



Ustalenie pól parametrów meteorologicznych i przejście z siatek większych (1deg x 1deg) na mniejsze (skala regionalna)



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

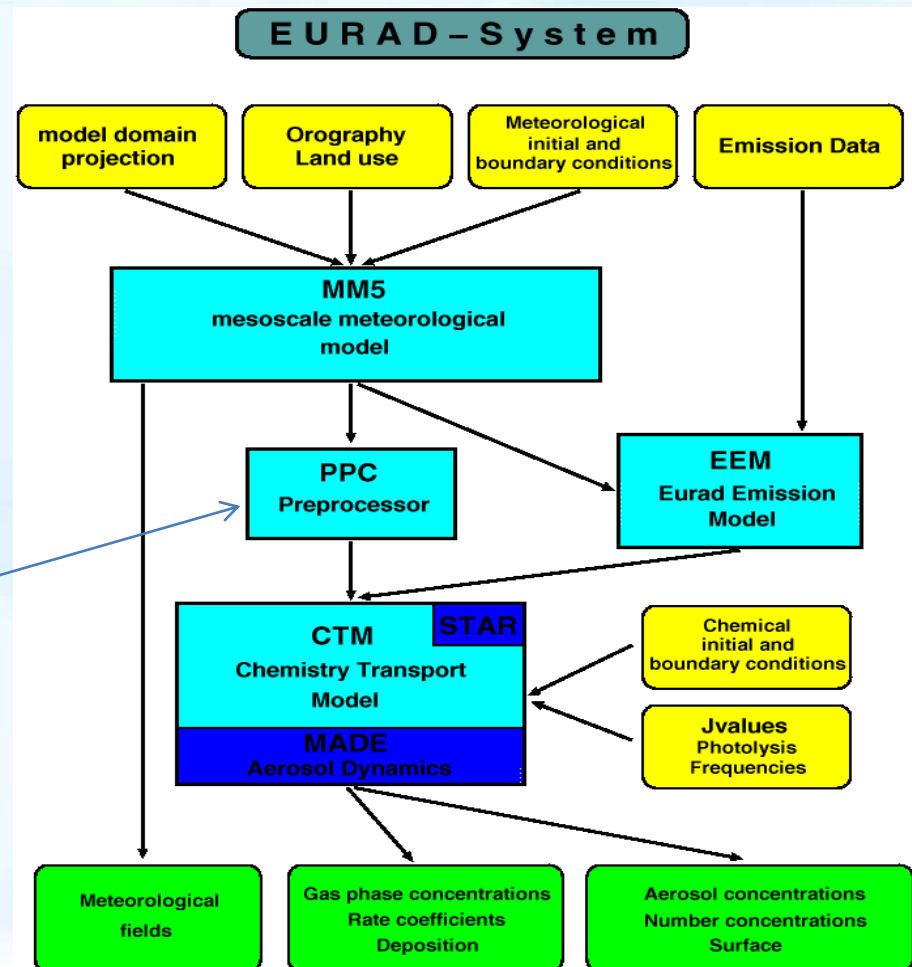


wejścia

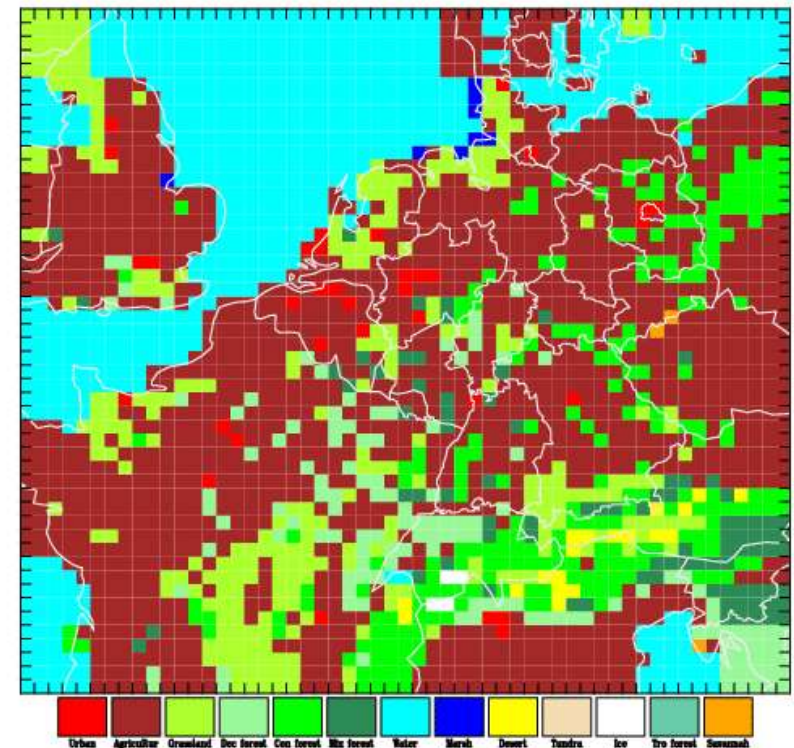
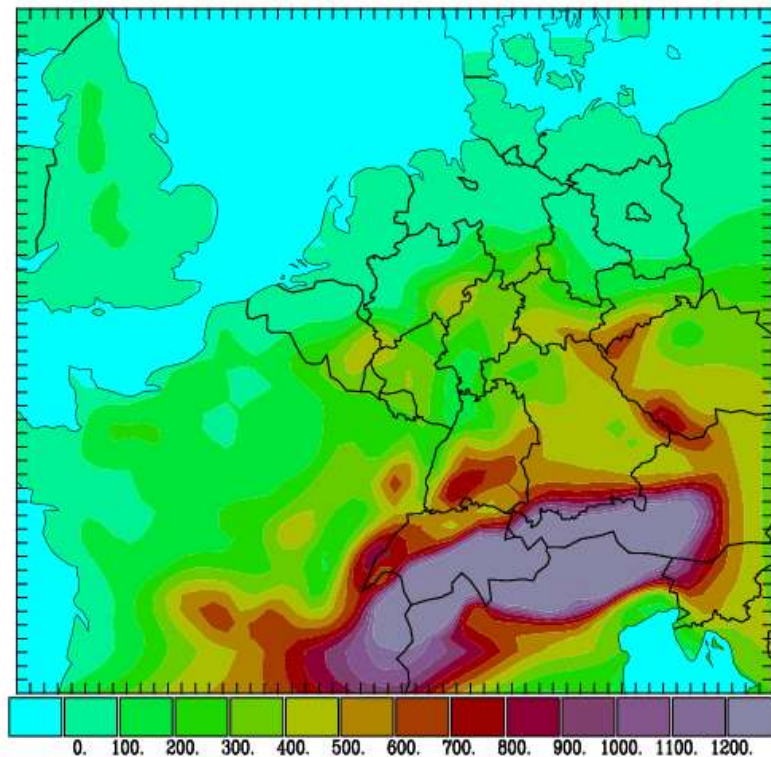
modele

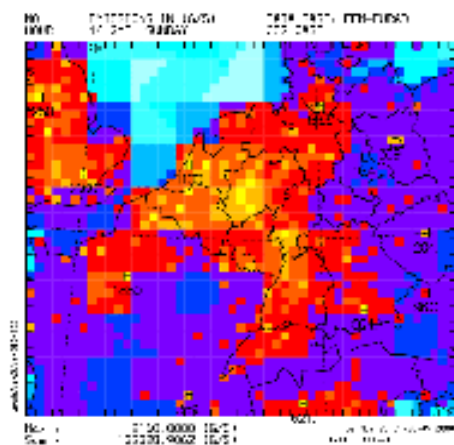
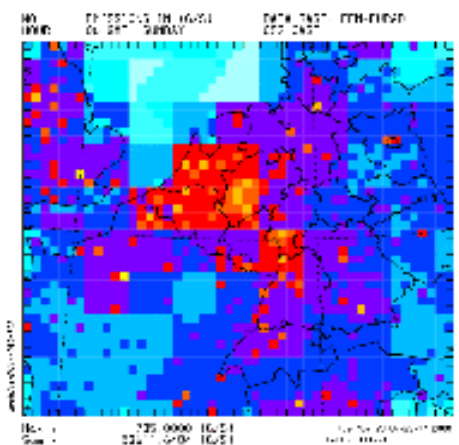
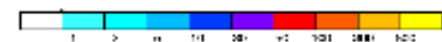
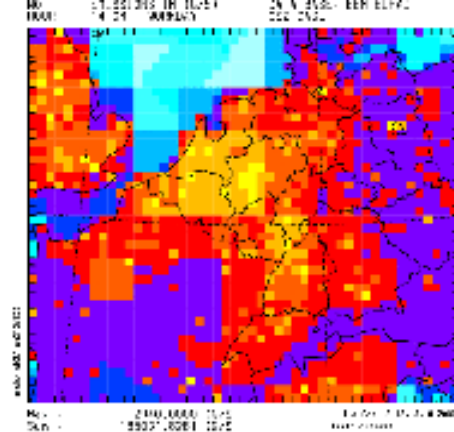
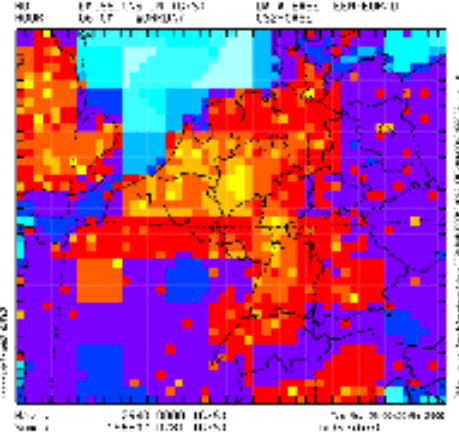
wyjścia

Przygotowuje dane meteo dla modelu Chemicznego, wyznacza wysokość warstwy mieszania, prędkości opadania i inne



Pole parametrów meteorologicznych





- Preprocesor emisji
- EEM generuje emisję
- antropogeniczną dla każdej godziny.
- Emisja biogeniczna jest wyliczana za pomocą preprocesora EEM (online)



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

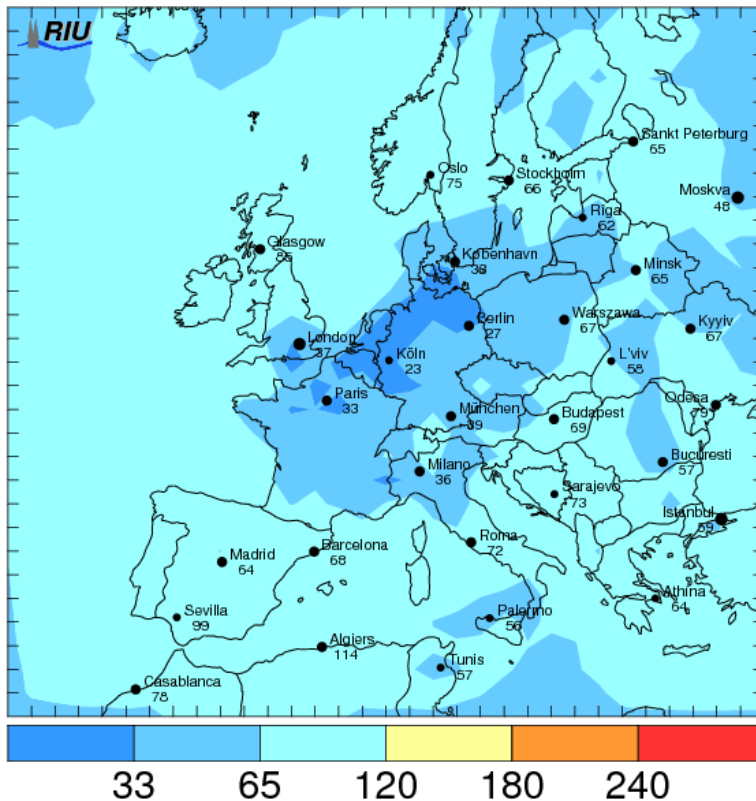


Wyniki pola stężeń zanieczyszczeń

Ozone $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Level 1

05.01.2010 Daily Maximum

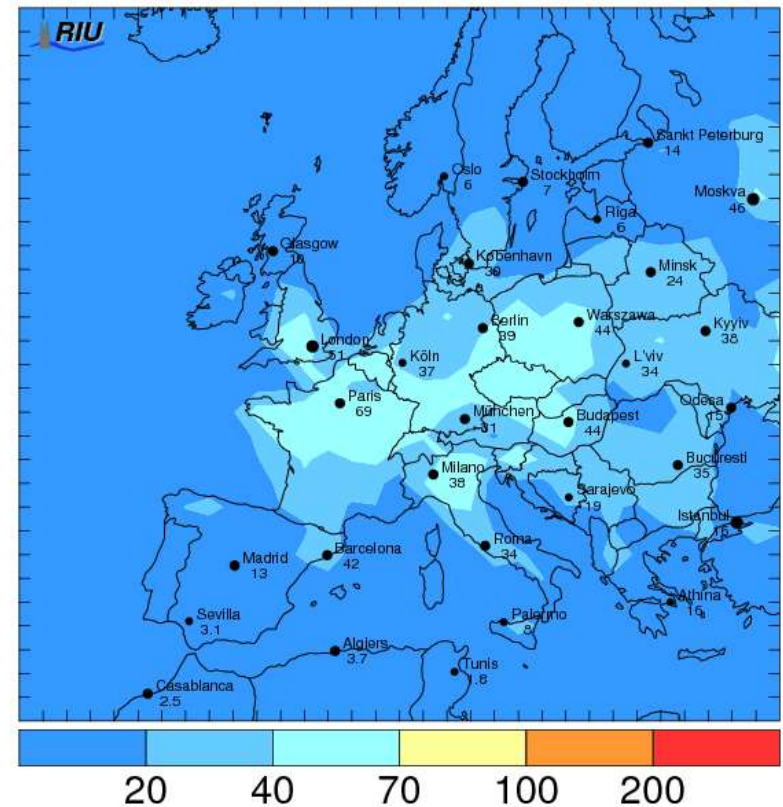


VISAQ

PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Level 1

04.01.2010 Daily Maximum



VISAQ



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI




Pomorskie w Unii
 URZĄD MARSZAŁKOWSKI
 WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



- Model – matematyczne wyrażenie procesu. Atmosferyczne modele komputerowe – symulacje komputerowe przebiegu procesów dynamicznych, fizycznych, chemicznych i radiacyjnych w atmosferze.
- Jeżeli procesy są zależne od jednej zmiennej, to wyraża się je równaniami różniczkowymi zwyczajnymi
- Jeżeli są zależne od czasu i położenia – równaniami różniczkowymi cząstkowymi.
- Rozwiązywane są za pomocą różnic skończonych lub innych metod aproksymacji.



Modele atmosferyczne - laboratorium komputerowe.

- Wymagają rozwiązania równań różniczkowych zwyczajnych, cząstkowych, równań parametrycznych i empirycznych.
- $p v = n R T$ /równanie stanu gazu doskonałego/
- $u(z) = u_a (z/z_a)^m$
 - /zależność szybkości wiatru od wysokości/.
- Od początków modelowania komputerowego, tj. 1948 roku, modele komputerowe znalazły zastosowanie w badaniu pogody, klimatu i zanieczyszczenia powietrza w różnych skalach.

Atmosfera

- Jest systemem fizycznym. Zachowaniem rządzą prawa fizyczne.
- Prawa wyrażone ilościowo w formie równań matematycznych.
- Wykorzystując obserwacje możemy opisać stan atmosfery w chwili wyjściowej.
- Wykorzystując równania możemy wyliczyć, jak ten stan zmieni się w czasie.
- Równania są bardzo skomplikowane i nieliniowe; wymagane są komputery dużej mocy.
- Dokładność obliczeń zmniejsza się z czasem prognozy.



Po co rozwijamy modele?

- Lepiej zrozumieć fizyczne, chemiczne, dynamiczne i radiacyjne podstawy zanieczyszczenia powietrza i meteorologii.
- By je ulepszyć celem stosowania w prognozie.
- By dostarczyć narzędzi do zarządzania jakością środowiska.



Zmiany wymagań

Lata '60, '70 ... :

- –problem traktowany lokalnie, w odniesieniu do pojedynczych źródeł,
- –decyzje na podstawie szacowanych statystyk,
- –koncentracja na zanieczyszczeniu dwutlenkiem siarki i tlenkami azotu.

Lata '80 ... :

- –prognoza w czasie rzeczywistym,
- –ochrona i zarządzanie JP –kompleksy emitorów,
- –transport transgraniczny.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Lata '90: ... :

- –ochrona klimatu,
- –zanieczyszczenia komunikacyjne,
- –chemia i fotochemia atmosfery,
- –EU –start harmonizacji modeli ‘pozwoleniowych’.

Lata '00 ... :

- –operacyjne systemy prognozy JP,
- –operacyjne zarządzanie JP w aglomeracjach,
- –chemia aerozoli,
- –sprzężenia zwrotne, integracja modeli.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Rozprzestrzenianie się i transport zanieczyszczeń w atmosferze

Cześć II



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Dyspersja zanieczyszczeń

Na proces składają się:

- emisja,
- transport przez wiatr,
- dyfuzja turbulencyjna,
- przemiany chemiczne,
- suche osiadanie na podłożu,
- wymywane przez opady atmosferyczne.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Parametry modelu

- **Charakterystyka emitora** (prędkość wypływu spalin, wyniesienie smugi, temperatura spalin, średnica emitora),
- **Topografia** (szorstkość podłoża, lokalne ukształtowanie terenu, sąsiedztwo budynków,
- **Stan atmosfery** (prędkość i kierunek wiatru, stan równowagi atmosfery wysokość warstwy mieszania).



Parametry emitora



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wyniesienie smugi

Zależy od:

1. **warunków emisji** (prędkości wylotowej gazów, ich temperatury i temperatury otoczenia),
2. **Stratyfikacji atmosfery,**
3. **Prędkości wiatru.**

Wypór >> pędu (wyporowa)

Wypór ~ pęd (wymuszona)

Wypór << pędu (strumieniowa)



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wysokość efektywna komina

$$H = \Delta h + h_g$$

Δh

h_g

$$S_{\max} \sim 1/H^2$$
$$S_{\max} \sim 1/u$$



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



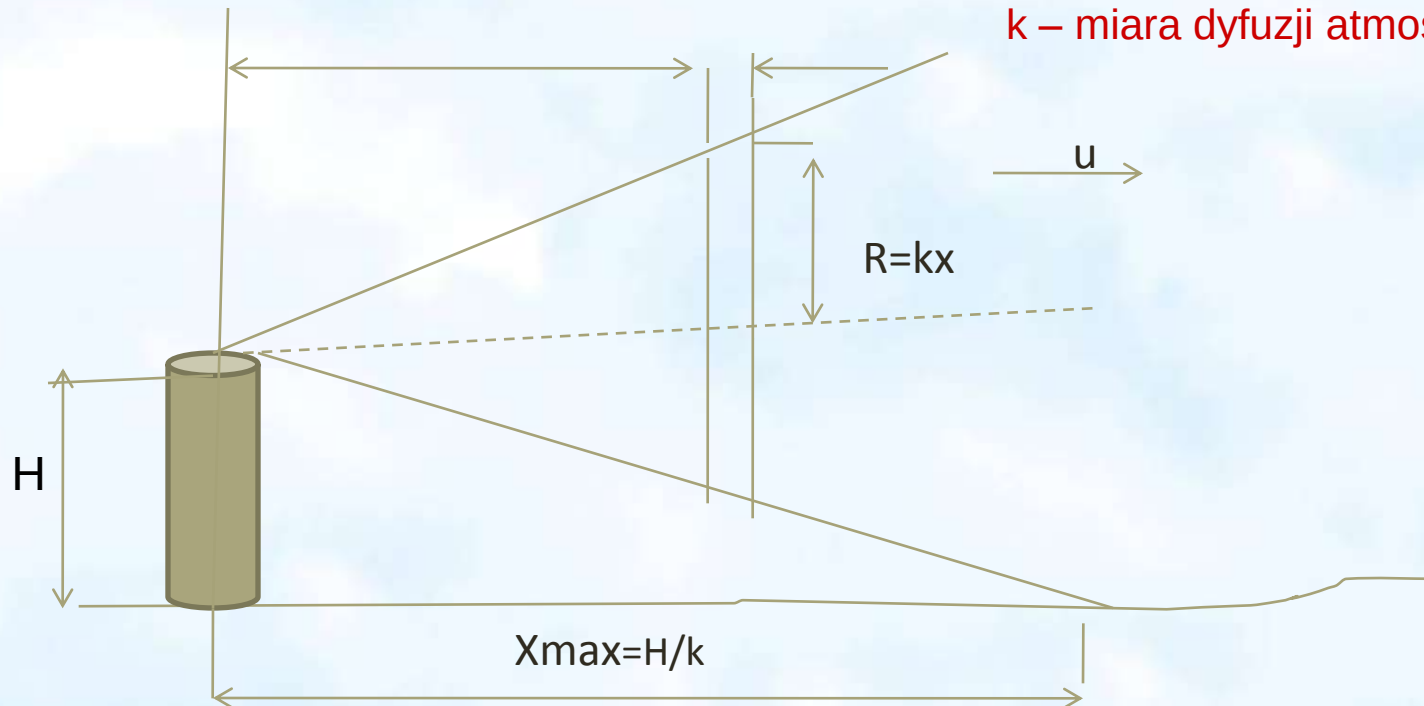
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Uproszczony model

u – prędkość wiatru
 H – wysokość efektywna emitora
 k – miara dyfuzji atmosferycznej



Uproszczony model

- $S = dE/dV = E dt / \pi k^2 x^2 u dt = 0,318 E / k^2 x^2 u$
- $S_{\max} = 0,318 E / H^2 u$

*Stężenie wzrasta wprost proporcjonalnie do emisji zanieczyszczeń,
odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu wysokości wyrzutu
zanieczyszczeń i prędkości wiatru*



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Przykład obliczeń z Rozporządzenia.....

Wyniesienie gazów odlotowych Δh zależy od prędkości wylotowej gazów v , emisji ciepła Q i prędkości wiatru na wysokości wylotu z emitora u_h . W przypadku emitorów poziomych i zadaszonych przyjmuje się, że wyniesienie gazów odlotowych wynosi zero. Emisję ciepła oblicza się ze wzoru:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{273,16}{T} \cdot 1,3 \cdot v \cdot (T - T_o) \quad \text{kJ/s}$$

- d średnica wylotowa emitora; m
 v prędkość wylotowa gazów z emitora; m/s
 T temperatura spalin; K
 T_o temperatura otoczenia; K

Wyniesienie gazów odlotowych Δh oblicza się na podstawie następujących formuł:

a) formuły Hollanda, gdy $0 \leq Q \leq 16000$ kJ/s, przy czym wyróżnia się następujące przypadki:

$$\begin{aligned} \Delta h &= \Delta h_H = 0 & \text{dla } v \leq 0,5 u_h \\ \Delta h &= \Delta h_H = \frac{1,5 \cdot v \cdot d + 0,00974 \cdot Q}{u_h} & \text{dla } v \geq u_h \\ \Delta h &= \Delta h_H = \frac{1,5 \cdot v \cdot d + 0,00974 \cdot Q}{u_h} \cdot \frac{v - 0,5 \cdot u_h}{0,5 \cdot u_h} & \text{dla } 0,5 u_h < v < u_h \end{aligned}$$

b) formuły CONCAWE, gdy $Q \geq 24000$ kJ/s

$$\Delta h = \Delta h_C = \frac{1,126 \cdot Q^{0,58}}{u_h^{0,7}}$$

c) kombinacji formuł Hollanda i CONCAWE, gdy $16000 < Q < 24000$ kJ/s

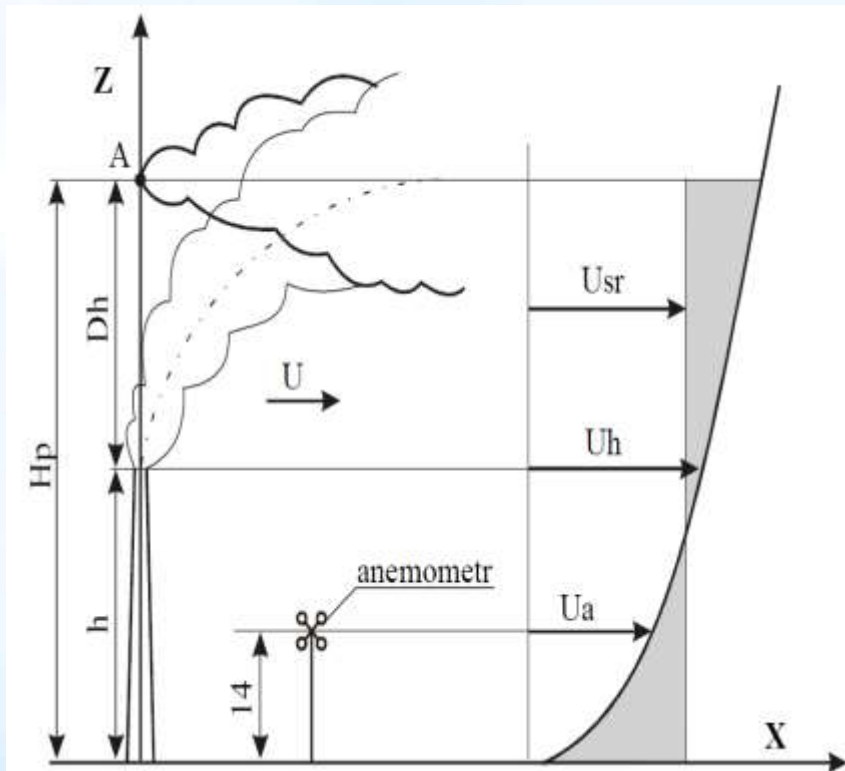
$$\Delta h = \Delta h_H \cdot \frac{24000 - Q}{8000} + \Delta h_C \cdot \frac{Q - 16000}{8000}$$

Δh_H – wyniesienie według Hollanda
 Δh_C – wyniesienie według CONCAWE



Jaką przyjąć prędkość wiatru?

$$u(z) = u_a(z/z_a)^m$$



Jak średnica emitora wpływa na dyspersję zanieczyszczeń?



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



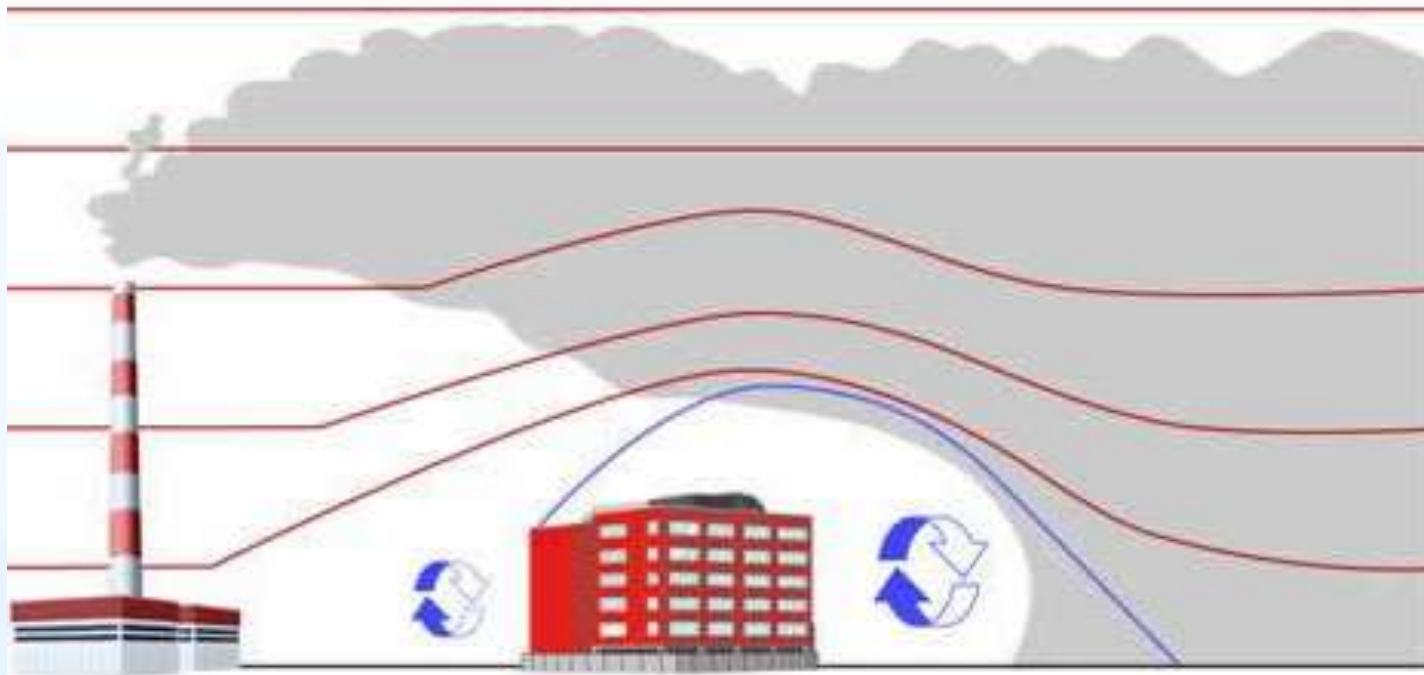
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wpływ budynków na zaburzenia przepływu powietrza

„Downwash effect”



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



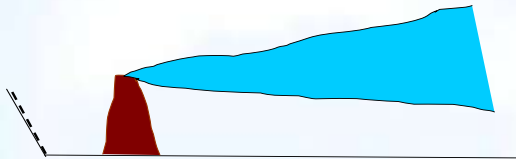
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

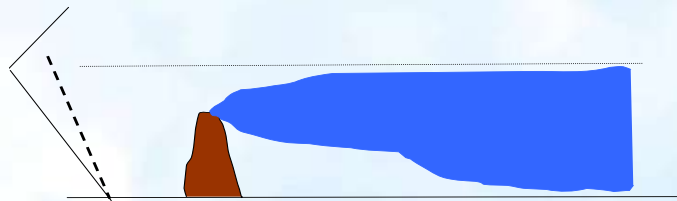


Typowe kształty smug

Smuga stożkowa,
stan obojętny



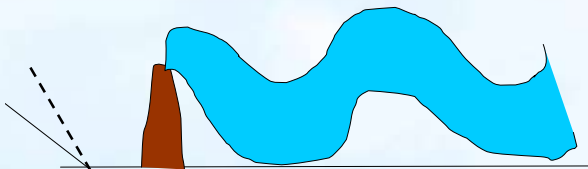
Smuga zanieczyszczająca



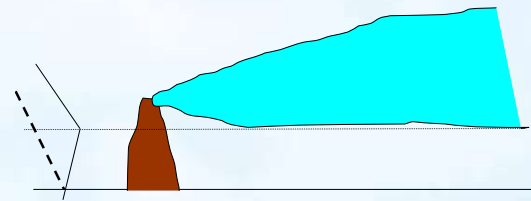
Smuga wentylacyjna,
równowaga stała



Smuga pętlowa,
równowaga chwiejna

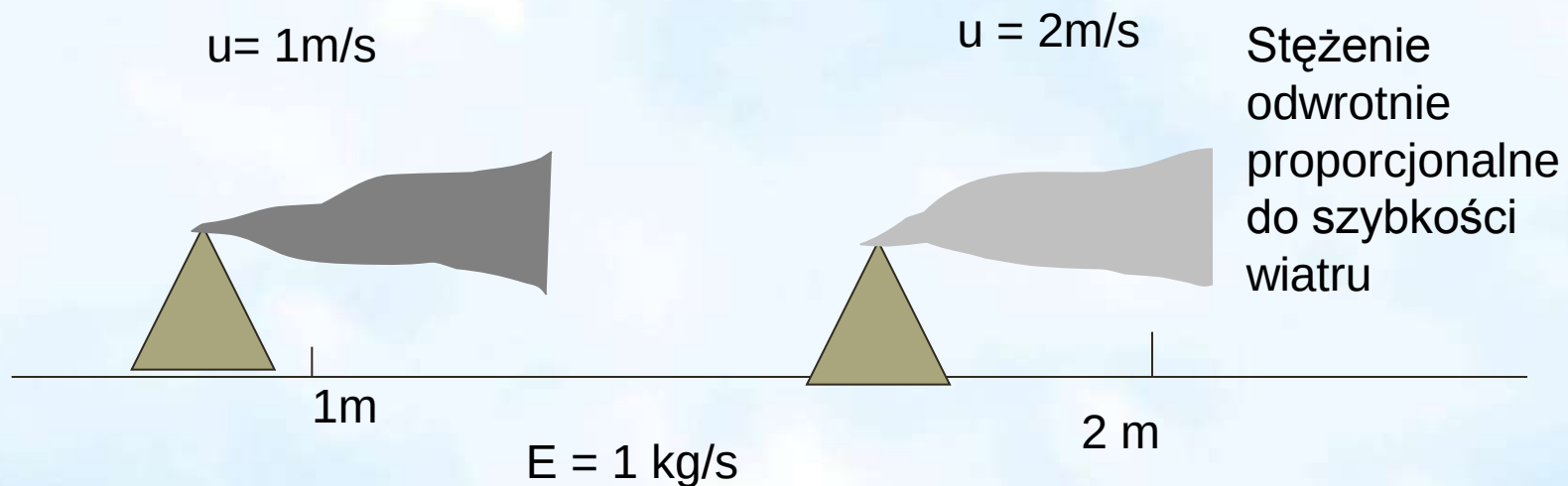


Smuga wznosząca



Jak wiatr wpływa na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń?

- **Kierunek:** główny ruch zanieczyszczeń w kierunku wiatru
- **Szybkość:**



Literatura

- Macdonald, R., 2003, Theory and Objectives of Air Dispersion Modelling, Department of Mechanical Engineering, University of Waterloo, Canada
- Mehdizadeha, F., Rifai, H., 2003, Modeling point source plumes at high altitudes using a modified Gaussian model, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Houston, USA
- Wark, K., Warner, C., Davis, W., 1998, Air Pollution Its Origin and Control, Addison Wesley, USA

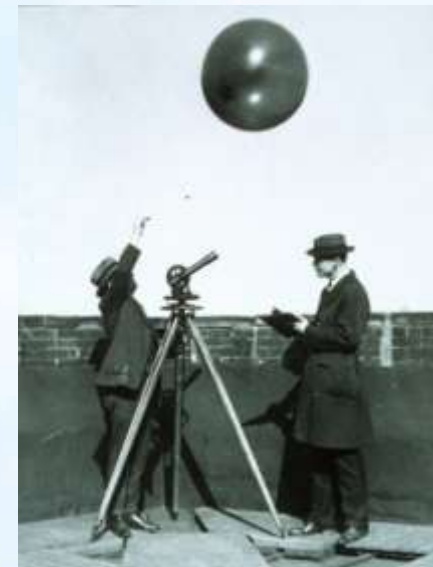
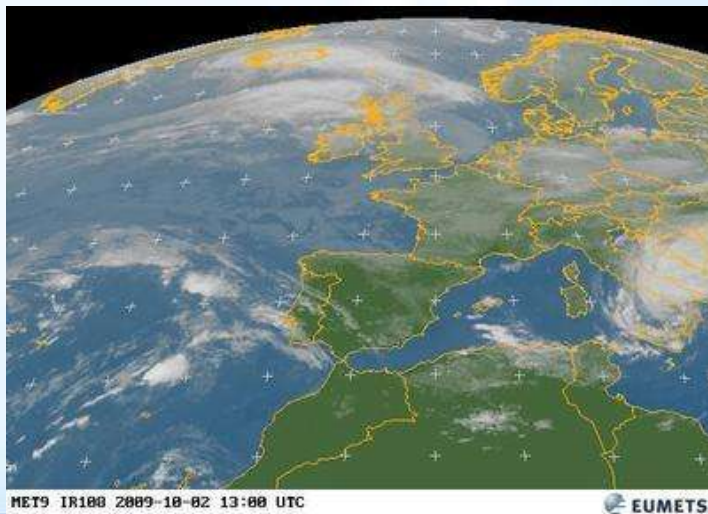




Obserwacje zjawisk meteorologicznych

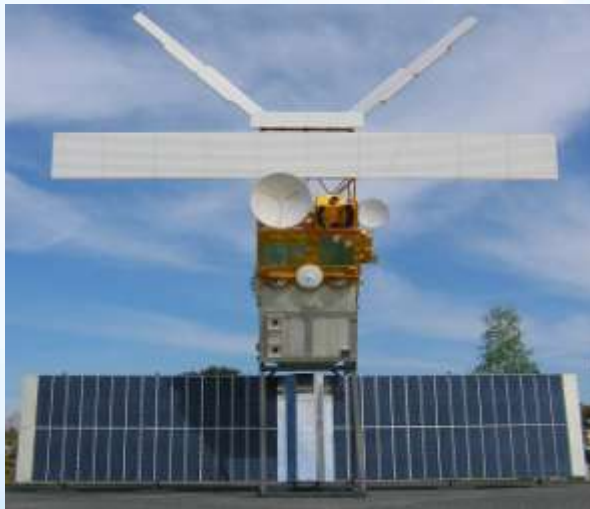


Obserwacje atmosfery prowadzone są w placówkach pomiarowych (stacje meteorologiczne), za pomocą standaryzowanych przyrządów w ogródku meteorologicznym. Do zbierania danych wykorzystuje się też samoloty, rakiety, balony meteorologiczne, satelity meteorologiczne i radary meteorologiczne.



Systemy satelitarne zapewniają:

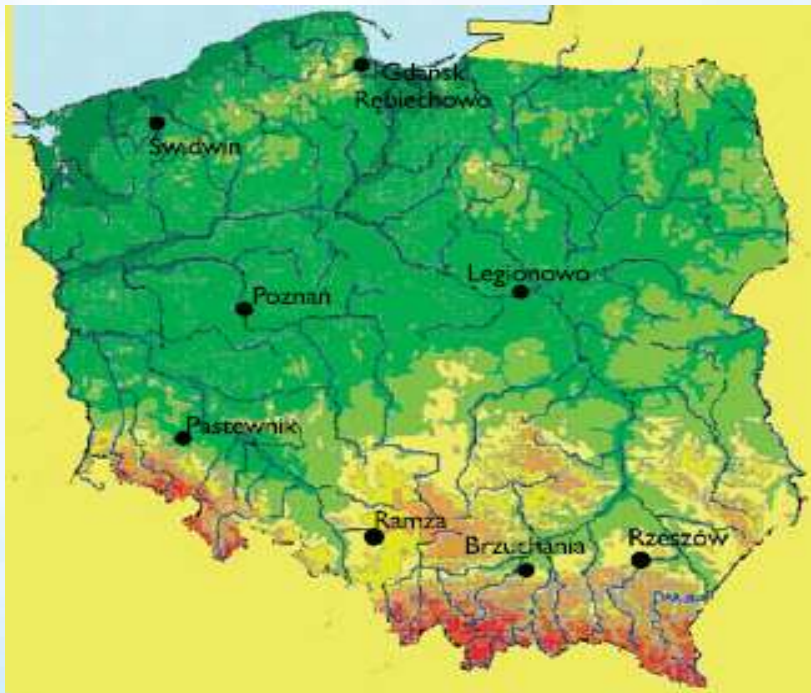
- śledzenie zmian składu chemicznego,
- szybką prognozę pogody
- wykrywanie stref burzowych i opadowych,
- przewidywanie tworzenia się cyklonów na obszarach tropikalnych.



Rys.4 Satelita sztuczny. Europejski satelita naukowo-badawczy ERS 1, symulacja komputerowa [3]

Radar jest przyrządem, który wykorzystuje radiowe fale, by wykryć i określić miejsce położenia obiektów

Urządzenie dostarcza danych o opadach atmosferycznych (ich natężeniu).



Rys.6 Radar w Pastewniku koło Wrocławia [5]



© Ryszard Klejnowski

Metody tradycyjne

Rys. 11 Zawartość klatki meteorologicznej [10]



Zawartość klatki meteo:
-termometr minimalny,
maksymalny i deformacyjny
-higrometr Augusta i włosowy.



Systemy automatyczne



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskie.wunii.pl

stacja meteorologiczna Vaisala [11]

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wiatry a rozkład ciśnienia

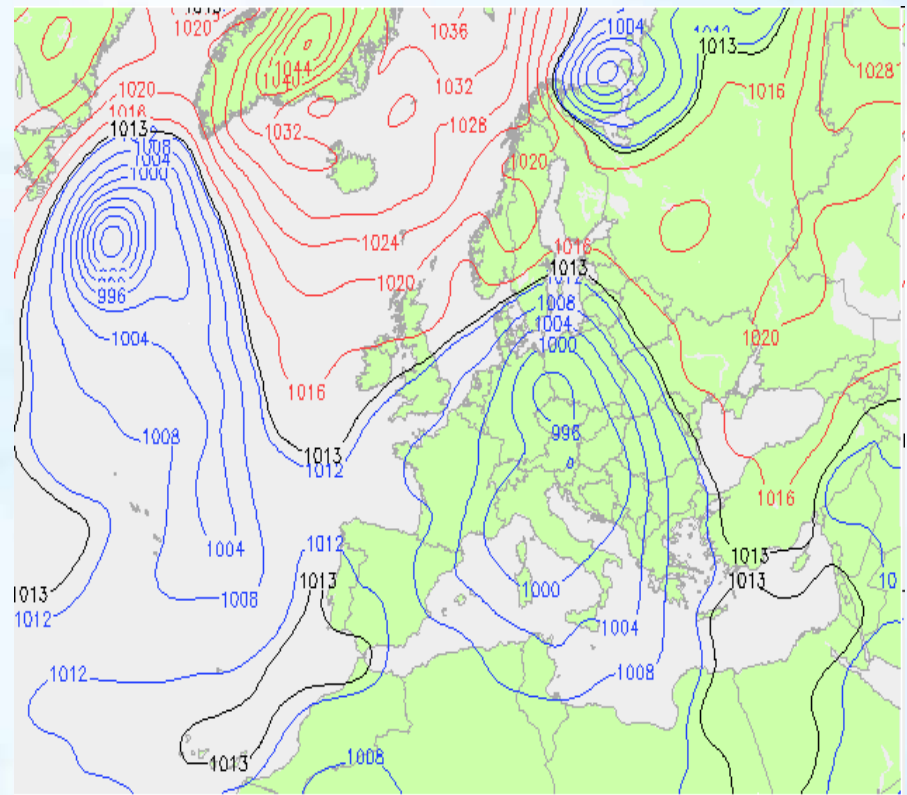


Wind 10m GFS (kts)

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

Mon 22/11/10 15GMT (Mon 12+03)

©weatheronline.co.uk



Surface Pressure GFS (hPa)

Mon 22/11/10 15GMT (Mon 12+03)

©weatheronline.co.uk



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Siły działające w atmosferze

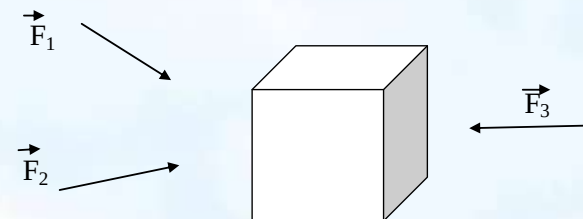
- ❑ Siła grawitacji,
- ❑ Siła gradientu ciśnienia,

w pionie związana z siłą grawitacji (równanie hydrostatyki)
w poziomie związana z nierównomiernym rozkładem masy w atmosferze (spowodowanym m.in. różną temperaturą powietrza)

- ❑ Siły bezwładności,

siła odśrodkowa wynikająca z ruchu obrotowego
siła Coriolisa (ruch obrotowy Ziemi)

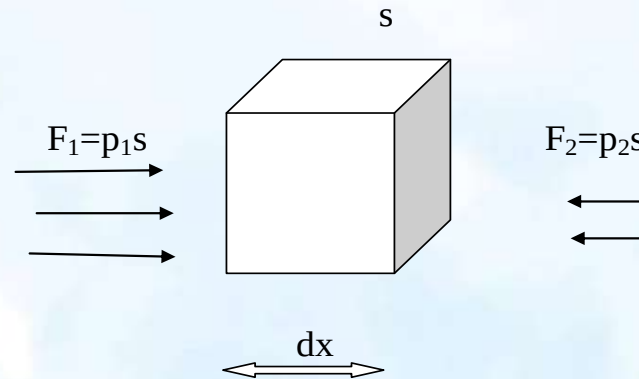
- ❑ Siły tarcia, lepkości.



[59]



Siła gradientu ciśnienia



$$m a_x = \Delta F_x = s(p_1 - p_2)$$

$$\rho s dx$$

$$a_x = - 1/\rho dp/dx$$

[60]



PROGRAM
REGIONALNY

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WŚRÓDGAŹDZIA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Gradient: 1 mb/100 km - przyspieszenie 0,1 cm/s² (dla porównania przyspieszenie ziemskie 9.81 m/s²)

Siła gradientu ciśnienia

-



Przy braku innych sił porcja powietrza przemieszcza się z obszaru wysokiego ciśnienia do niskiego.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

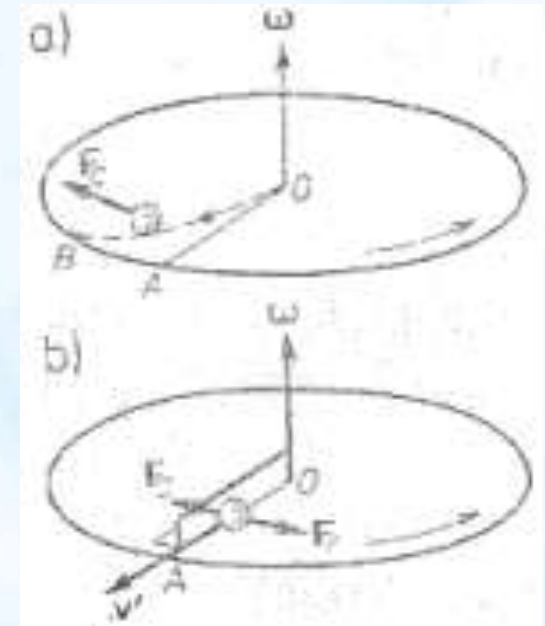


Siła Coriolisa

Występuje w obracających się układach odniesienia. Dla obserwatora pozostającego w obracającym się układzie odniesienia objawia się zakrzywieniem toru ciał poruszających się w takim układzie.

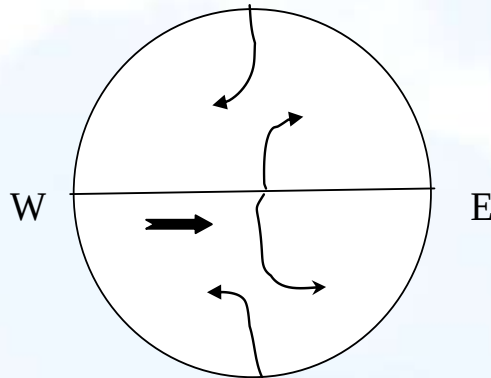
Siła Coriolisa jest siłą pozorną. Dla zewnętrznego obserwatora siła ta nie istnieje.

Dla niego to układ zmienia położenie, a poruszające się ciało zachowuje swój stan ruchu.



Siła Coriolisa

Siła Coriolisa powoduje odchylenie od linii prostej toru ruchu ciała poruszającego się w układzie obracającym się.



Ziemia obraca się z zachodu na wschód, zatem siła Coriolisa powoduje odchylenie toru ciała poruszającego się, po powierzchni Ziemi, ku równikowi w kierunku zachodnim na obu półkulach, a w kierunku wschodnim, gdy ciało porusza się w stronę któregoś z biegunów.

$$a_C = 2\omega v \sin\varphi$$



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

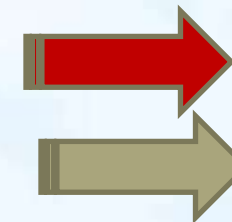
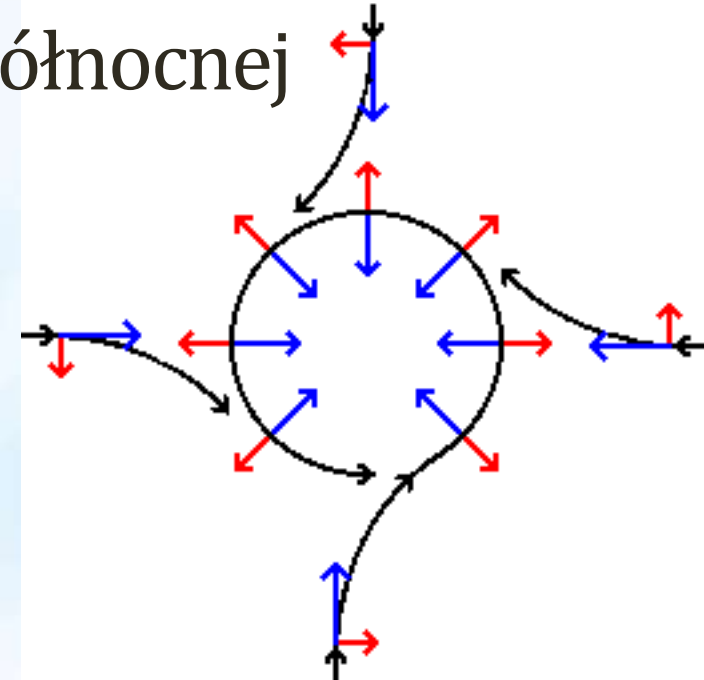


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Powstawanie cyklonu na półkuli północnej



SC

SGC



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



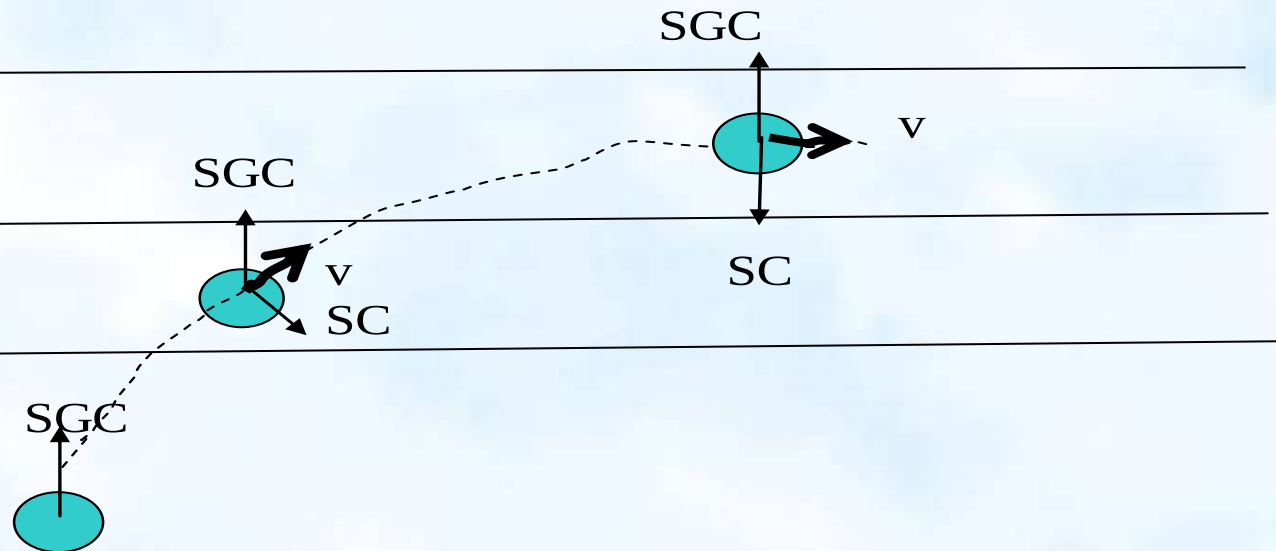
Wiatr geostroficzny

$$p_1 < p_2 < p_3$$

p_1

p_2

p_3



$$SGC + SC = 0 \Rightarrow v - \text{szybkość wiatru geostroficznego}$$

W opisie procesów meteorologicznych zachodzących w dużej skali przestrzennych stosuje się pojęcie wiatru geostroficznego.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Siła odśrodkowa

Siła odśrodkowa to jedna z sił bezwładności występująca w obracających się układach odniesienia.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

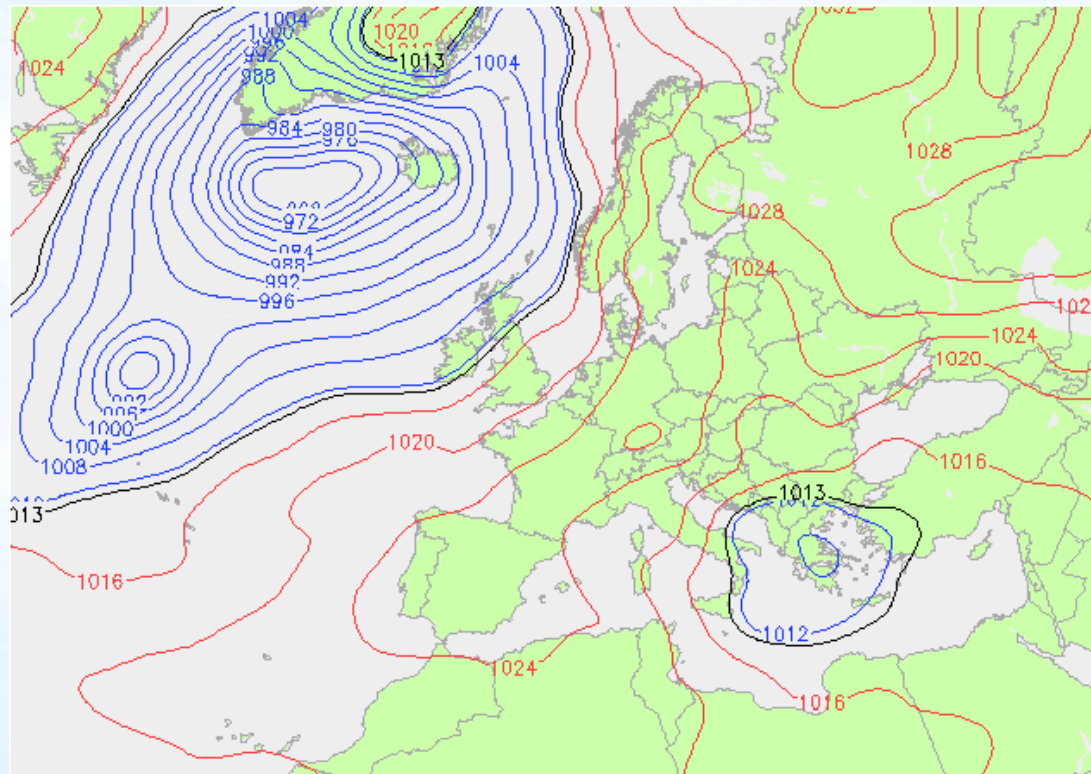


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Gdzie notujemy wyższe prędkości wiatru w niżu czy wyżu?



Surface Pressure GFS (hPa)

Wed 09/12/09 15 GMT (Wed 12+03)

©weatheronline.co.uk



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

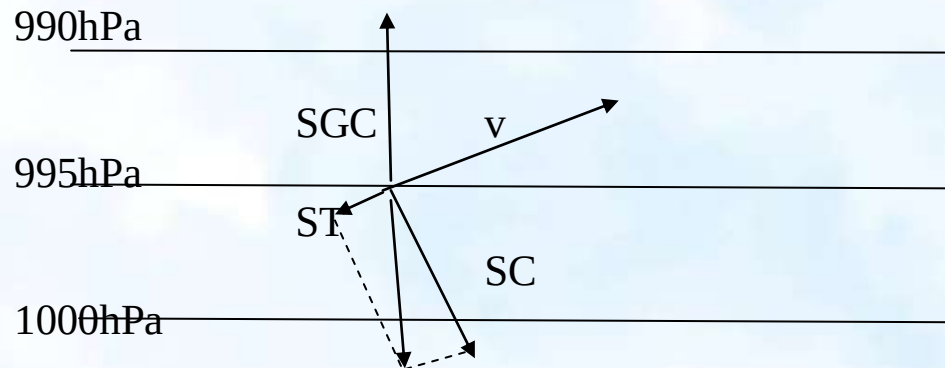


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

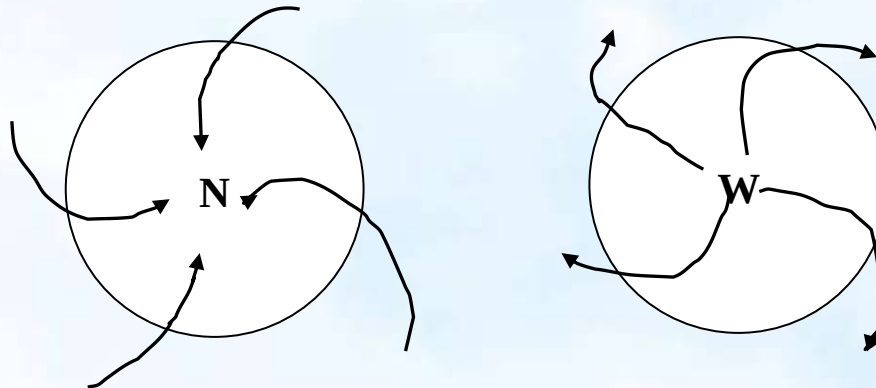


Siły tarcia



Równowaga między SGC, SC i ST prowadzi do powstania siły dośrodkowej w niżu

Siła tarcia



Zbieżność horyzontalna w niżu
Rozbieżność horyzontalna w wyżu



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Równanie ruchu

Dla cząstki powietrza przyspieszenie powinno być równe wektorowej sumie sił działających na cząstkę. Ta równość zwana jest **równaniem ruchu**.

$$a = \frac{DV}{Dt} = \frac{1}{m_a} \sum F = \frac{1}{m_a} (F_c + F_g + F_p + F_v)$$

Gdzie: F odpowiednio: siła Coriolisa, grawitacji, gradientu ciśnienia, tarcia (lepkości),

W równaniu nie uwzględniono strumienia turbulentnego.



- ◆ Symbol DH/Dt (tutaj: DV/Dt) stosuje się do oznaczenia operatora pochodnej zupełnej/ pochodnej materialnej.
- ◆ Pokazuje ona, w jaki sposób zmienia się w czasie dowolny parametr H charakteryzujący element płynu poruszający się w niestacjonarnym i niejednorodnym polu tego parametru.
- ◆ **Przepływ stacjonarny** – ruch płynu, w którym składowe wektora prędkości nie są funkcjami czasu. Inaczej mówiąc, przepływ stacjonarny (ustalony) to ruch płynu nie zmieniający się w czasie. Przeciwnieństwem przepływu stacjonarnego jest przepływ niestacjonarny.
- ◆ **Pole jednorodne** – pole fizyczne, w którego wszystkich punktach natężenie pola jest takie samo, czyli ma stałą wartość, kierunek i zwrot. Linie sił w takim polu są prostymi równoległymi.

$$DH /Dt = \delta H / \delta t + V_x \delta H / \delta x + V_y \delta H / \delta y + V_z \delta H / \delta z$$

np.:

$$DV_x /Dt = \delta V_x / \delta t + V_x \delta V_x / \delta x + V_y \delta V_x / \delta y + V_z \delta V_x / \delta z = a_x$$

Pochodna lokalna pokazuje zmianę parametru V_x w czasie w punkcie (x, y, z) wynikającą z niestacjonarności pola wiatru. **Pochodna unoszenia (adwekcyjna)** pokazuje zmianę parametru V_x w czasie na skutek przemieszczenia się elementu płynu z prędkością V z punktu o jednej wartości V_x do punktu o innej wartości V_x .

Przyspieszenie cząstki powietrza składa się z dwóch składników. Pierwszy jest skutkiem szybkości, z jaką prędkość płynu zmienia się w danym punkcie (**pochodna lokalna**), drugi jest skutkiem ruchu samej cząstki (**pochodna adwekcyjna**).



Określenie	Przyspieszenie	Poziome przyspieszenie (m/s ²)	Pionowe przyspieszenie (m/s ²)
Lokalne przyspieszenie	$a = \frac{DV}{Dt} = \frac{\delta V}{\delta t} + (V \cdot \nabla)V$	10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ – 1*
Siła Coriolisa	$\frac{F_c}{m_a} = 2 \Omega \times V = i2\Omega(w \cos \varphi - v \sin \varphi) + j i2\Omega u \sin \varphi - k i2\Omega u \cos \varphi = f_k \times V$	10 ⁻³	0
Siła grawitacji	$\frac{F_g}{m_a} = -g$	0	10

Siła gradientu ciśnienia	$\frac{F_p}{m_a} = -\frac{1}{\rho} \nabla p$	10^{-3}	10
Siły lepkości	$\frac{F_v}{m_a} = \nu \nabla^2 \mathbf{V} =$ $\nu \left[i \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + j \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \right.$ $\left. k \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \right]$	$10^{-12} - 10^{-3}$	$10^{-15} - 10^{-5^{**}}$

*Niska wartość dla ruchów wielkoskalowych, wysoka dla ruchów w małej skali (< 3 km)

** Niska wartość dla swobodnej atmosfery, wysoka dla warstw przyległych do powierzchni Ziemi



Równania ruchu mają następującą formę:

W odniesieniu do jednostki masy i do kierunków x,y,z:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = 2\omega(v \sin \beta - w \cos \beta) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_a \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right],$$

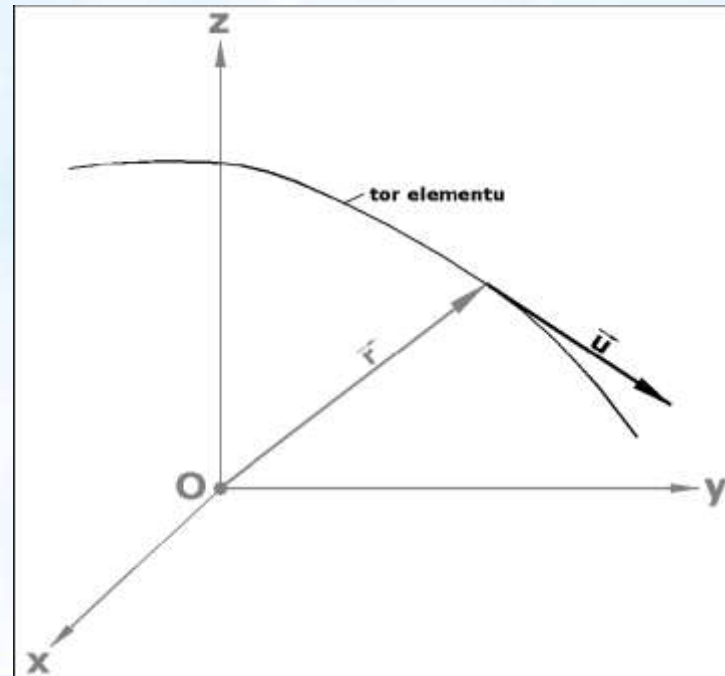
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = 2\omega u \sin \beta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_a \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right],$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = 2\omega u \cos \beta - g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu_a \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right],$$

Gdzie: u,v,w – składowe wektora prędkości wiatru, ρ - gęstość powietrza, ω - prędkość kątowa obrotu Ziemi, β - szerokość geograficzna, ν_a – współczynnik kinematycznej lepkości powietrza.

Trajektoria

Tor elementu płynu lub trajektoria jest to miejsce geometryczne punktów w polu przepływu przez które przechodzi element w kolejnych chwilach czasu.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

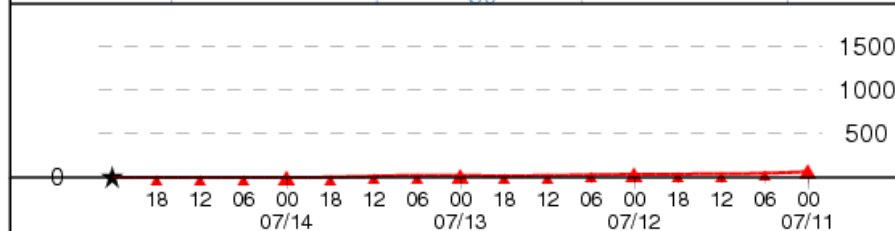
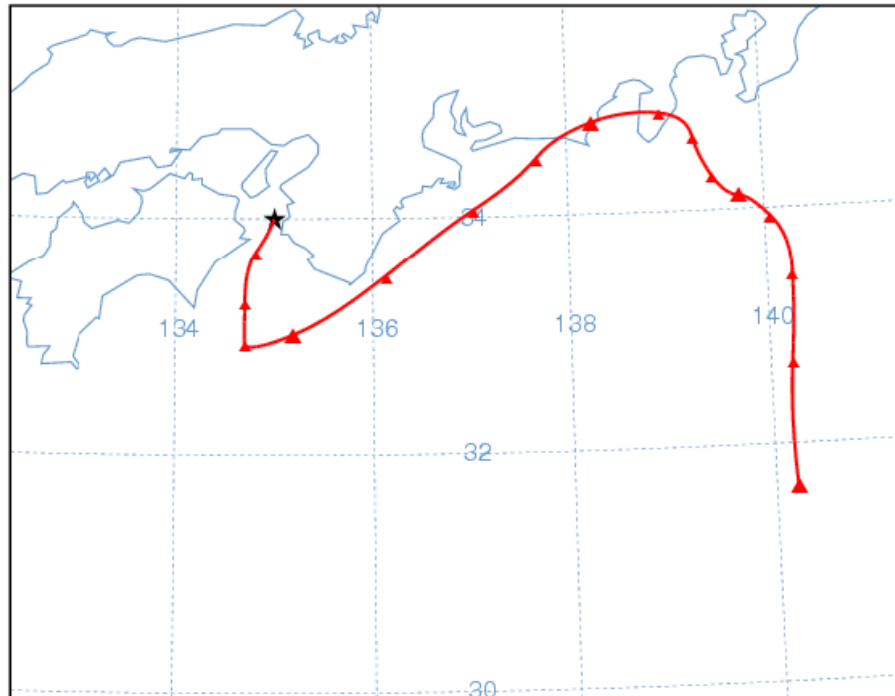


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectory ending at 00 UTC 15 Jul 50
CDC1 Meteorological Data



Source ★ at 34.00 N 135.00 E

Meters AGL



Job ID: 368666 Job Start: Wed May 9 16:42:35 GMT 2007
Source 1 lat.: 34.75 lon.: 135.5 height: 15 m AMSL

Trajectory Direction: Backward Duration: 96 hrs Meteo Data: reanalysis
Vertical Motion Calculation Method: Model Vertical Velocity
Produced with HYSPLIT from the NOAA ARL Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/>)



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



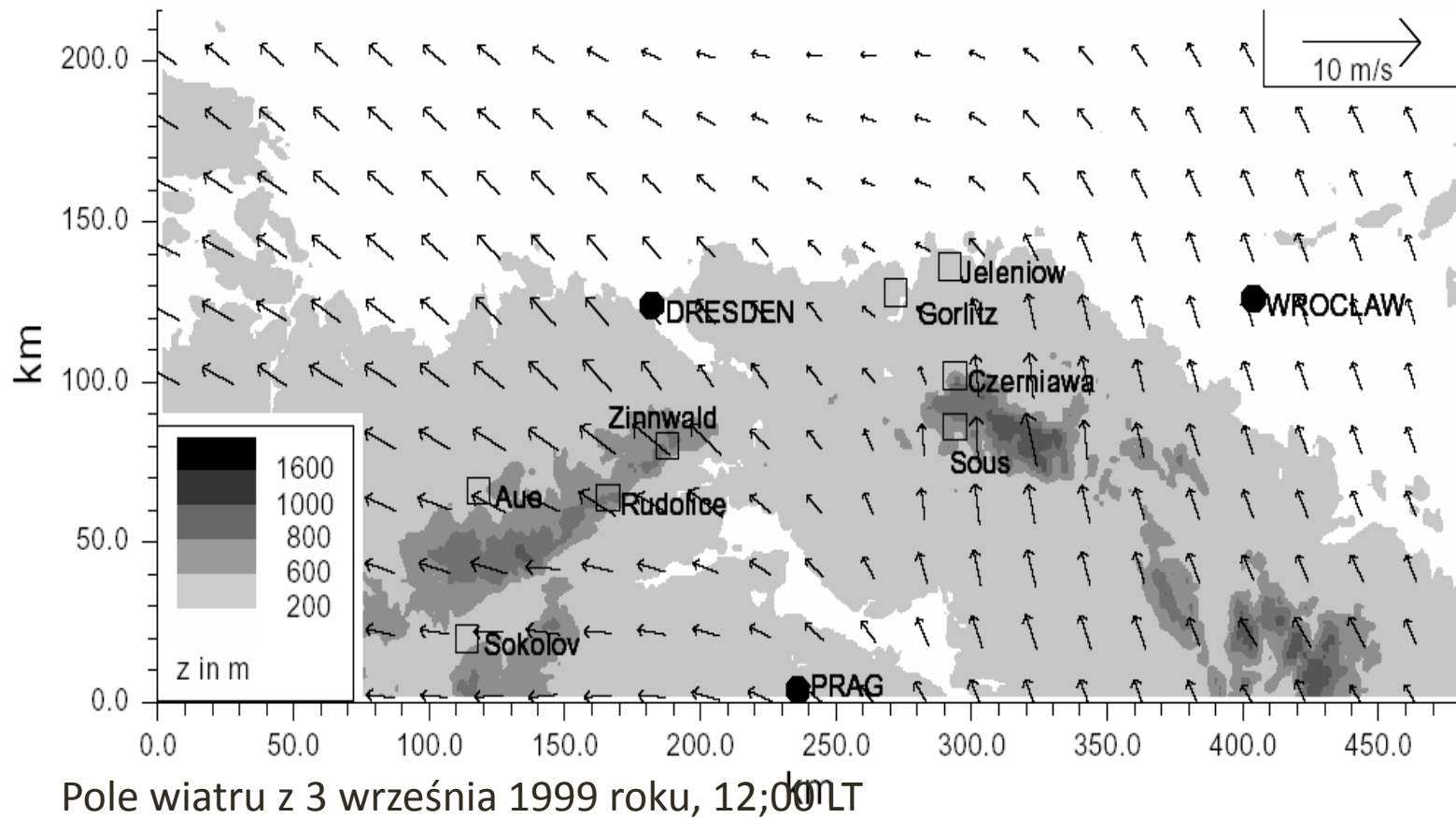
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



- Do wyznaczenia pola wiatru wykorzystuje się **modele diagnostyczne oraz prognostyczne.**
- **Meteorologiczny model diagnostyczny pozwala wyznaczać przestrzennie zróżnicowanie** stacjonarne pola meteorologiczne na podstawie **pomiarów z sieci meteorologicznych.**
- W działaniu modeli diagnostycznych wyróżnia się dwa etapy: celem pierwszego etapu jest wyznaczenie ‘początkowego pola wiatru’ w punktach siatki obliczeniowej przez interpolację lub ekstrapolację pomiarów prędkości wiatru ze stacji meteorologicznych. Etap drugi obejmuje wyznaczenie ‘końcowego pola wiatru’ spełniającego narzucone fizyczne wymuszenia. Na tym etapie jest możliwe zastosowanie algorytmów uwzględniających efekty związane ze skomplikowaną topografią terenu lub ruchy powietrza spowodowane nagrzewaniem i oziębieniem zboczy górskich.

Diagnostyczny model pola wiatru (CONDOR).

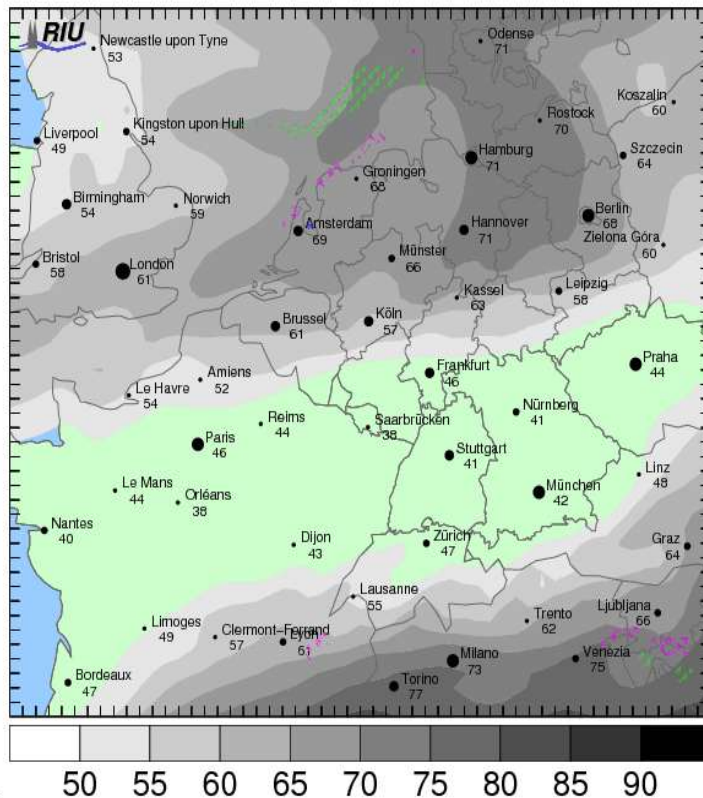


- ❑ W meteorologicznym modelu prognostycznym korzysta się z numerycznego rozwiązania dwuwymiarowych lub trójwymiarowych równań opisujących procesy atmosferyczne.
- ❑ Model ten dostarcza zmiennych w czasie i przestrzeni pól wiatru, turbulencji i innych wielkości meteorologicznych w dowolnych warunkach terenowych.
- ❑ W działaniu modeli prognostycznych można wyróżnić dwa etapy.
 - *Etap pierwszy* obejmuje: wybór układu współrzędnych, wybór numerycznej metody całkowania układu równań opisujących procesy atmosferyczne, określenie granic i przeprowadzenie dyskretyzacji obszaru modelowania, wyznaczenie warunków początkowych i warunków brzegowych w obszarze modelowania.
 - *W drugim etapie* znajdowane jest przybliżone rozwiązanie układu równań różniczkowych cząstkowych wyrażających procesy atmosferyczne.



Wyniki modelu prognostycznego

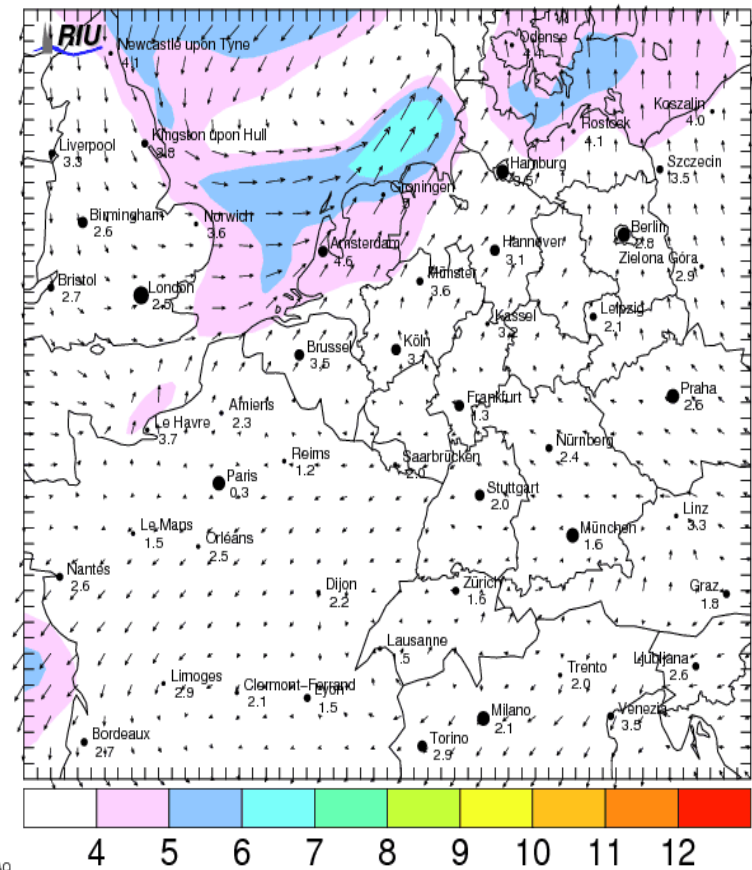
Relative humidity (%) Vert.Int 05.01.2010 12 UTC (F+36)
Precipitation > 6 mm Tendency (6h) Rain Snow/Rain Snow



VISAQ

WIN10 Beaufort
Horizontal Wind

Level 1
05.01.2010 12 UTC (F+36)



VISAQ



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Energetyka i termodynamika atmosfery



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

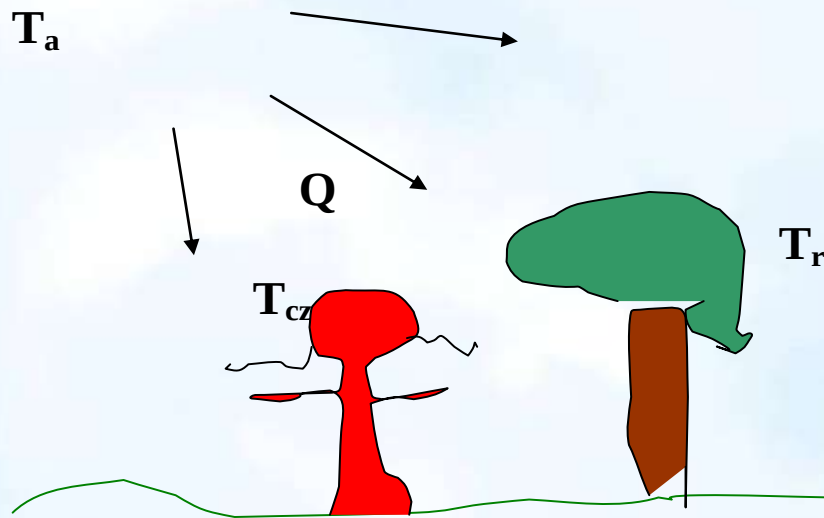


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wymiana energii pomiędzy układami poprzez chaotyczny ruch cząsteczek lub atomów nazywa się wymianą ciepła.



Błędem jest utożsamianie energii termicznej z ciepłem. **Ciepło**, podobnie jak **praca** są **sposobem przekazywania energii**, a nie formą energii.

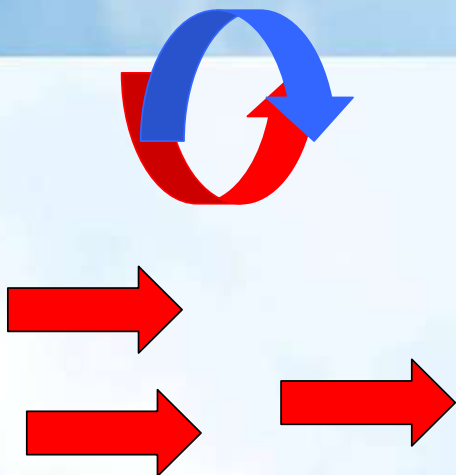
Q – ciepło – energia przekazywana z jednego obiektu do drugiego z powodu różnic temperatur

Promieniowanie

Konwekcja



Adwekcja



Formy przekazywania energii w atmosferze

Przewodnictwo
turbulencyjne

*Przewodnictwo
molekularne ma
małe znaczenie*



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wielkości charakteryzujące ciała przewodzące ciepło

- Pojemność cieplna
- Ciepło właściwe
- Ciepło molowe
- Współczynnik przewodnictwa cieplnego



*Pojemność cieplna ciasta jest znacznie większa niż jabłek.
Czym się sparzemy ?*

Dlaczego w wodzie marzniemy szybciej niż w powietrzu o tej samej temperaturze?

Woda przewodzi ciepło 20 razy szybciej niż powietrze.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Ciepło odczuwalne i utajone.

◆ **Ciepło odczuwalne** – energia cieplna zmagazynowana w powietrzu jako wynik wzrostu temperatury (przekazywane drogą przewodnictwa lub konwekcji),

◆ **Ciepło utajone** – ciepło wymagane do zmiany stanu substancji, nie wpływa na zmianę temperatury,

◆ **Od czego zależy ciepło odczuwalne?**

- temperatury powierzchni/pionowego gradientu temperatury,
- turbulencji powietrza.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Co kontroluje temperaturę powietrza?

- transfer promieniowania
- transfer ciepła odczuwalnego
- usytuowanie w stosunku do zbiorników wodnych
- ruch mas powietrza

Transfer promieniowania

Promieniowanie słoneczne – podnosi temperaturę powierzchni

Promieniowanie ziemskie - podnosi temperaturę powietrza

Przesunięcie dzienne, sezonowe – różnica czasu między maksimum promieniowania a maksimum temperatury (zależy od właściwości powierzchni)

[88]



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

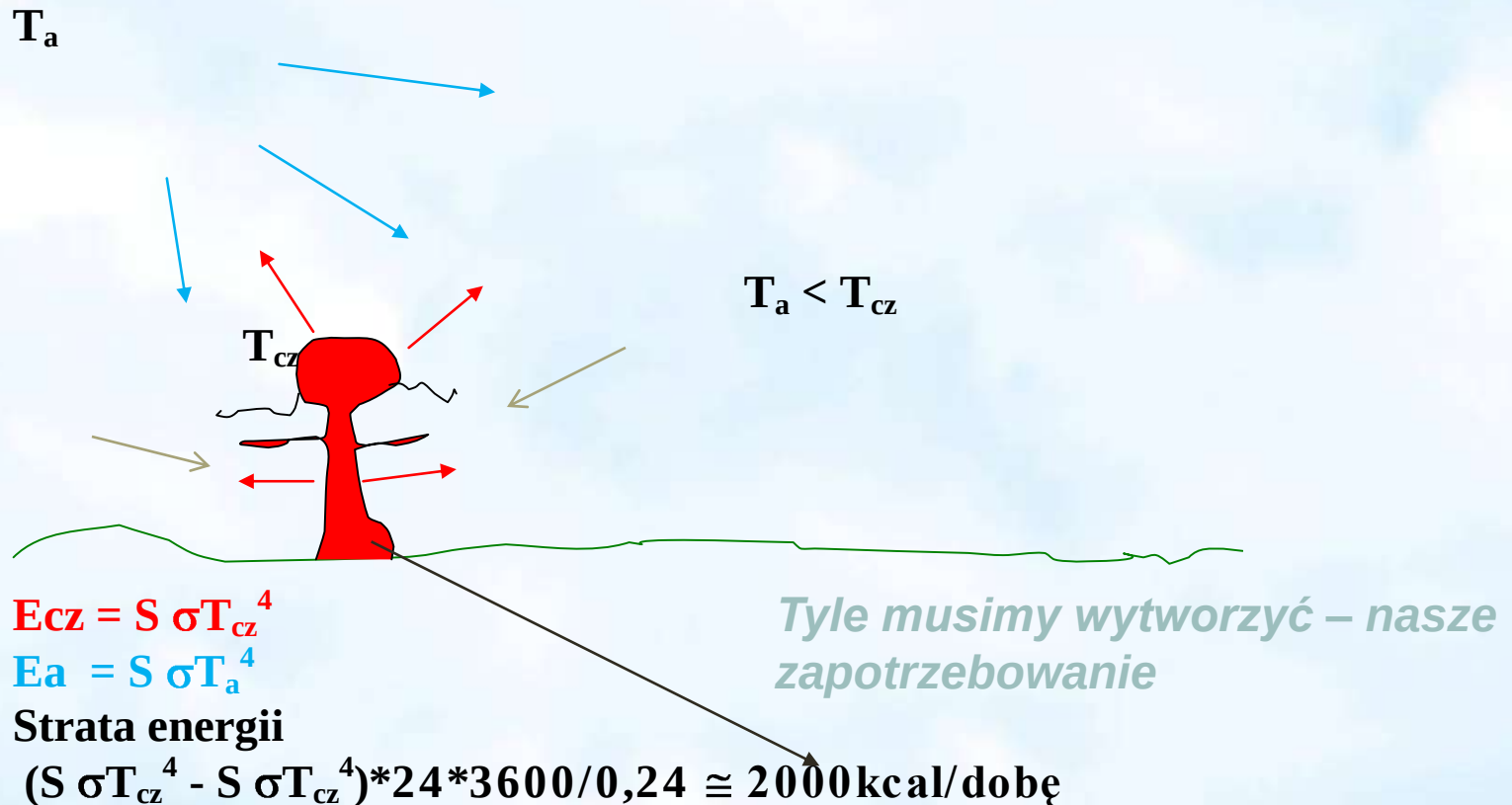


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Bilans promieniowania



Bilans cieplny powierzchni to różnica między energią zyskaną i utraconą wskutek wymiany ciepła:

$$\pm Q \pm A \pm L \pm G = 0$$

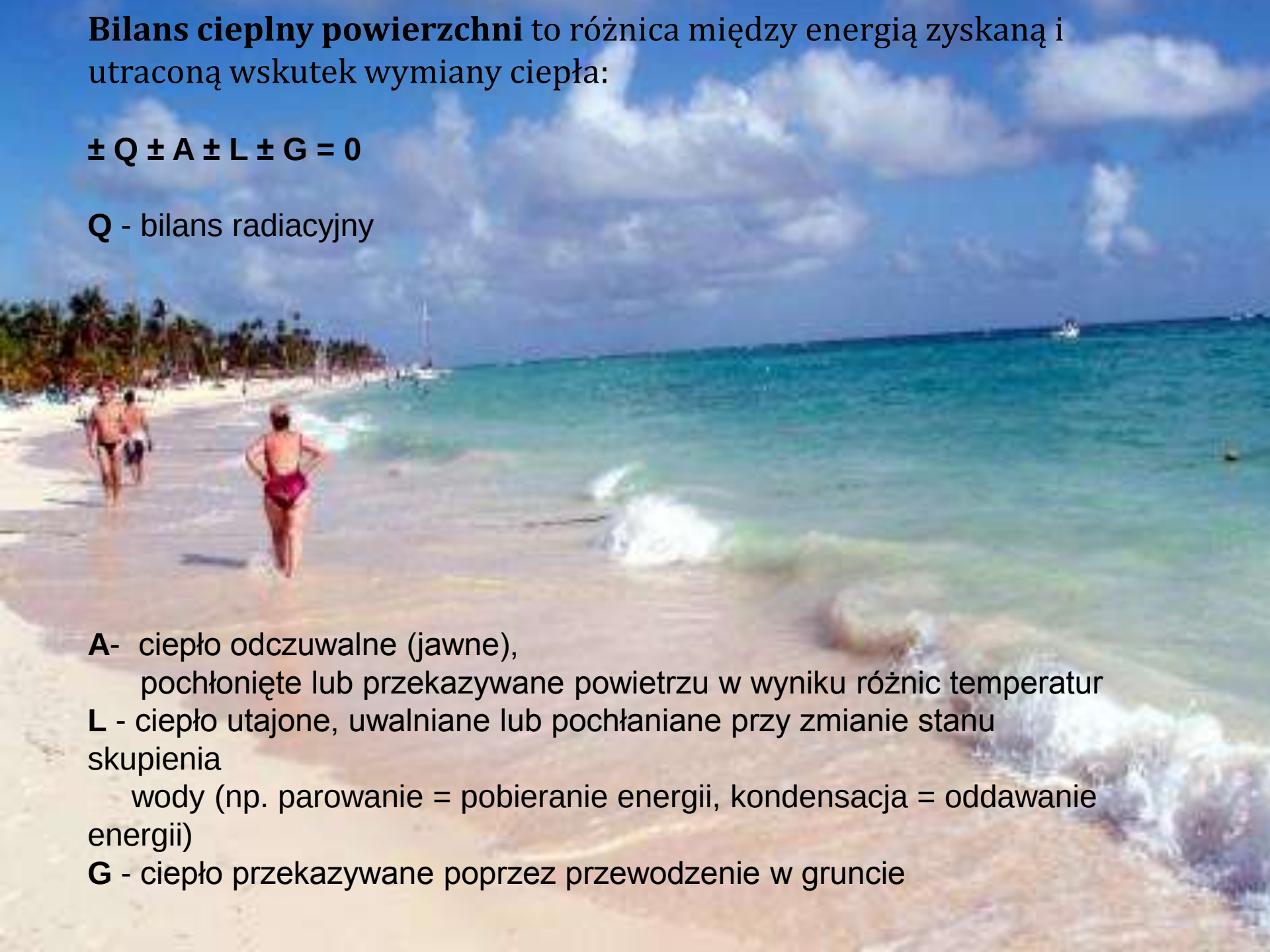
Q - bilans radiacyjny

A- ciepło odczuwalne (jawne),
pochłonięte lub przekazywane powietrzu w wyniku różnic temperatur

L - ciepło utajone, uwalniane lub pochłaniane przy zmianie stanu skupienia

wody (np. parowanie = pobieranie energii, kondensacja = oddawanie energii)

G - ciepło przekazywane poprzez przewodzenie w gruncie



Dzień: powietrze jest zimniejsze niż podłoże (ogrzewa się wolniej), więc przekaz ciepła ma tendencję do wyrównywania tej różnicy i ogrzewania powietrza od podłoża:

$$Q - A - L - G = 0$$



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Noc: po zachodzie Słońca nie ma dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, ciepło jest przekazywane od atmosfery do podłoża. Zwykle nocą podłoże wychładza się bardziej niż powietrze, gdyż powietrze ochładza się wolniej:

$$- Q + A + L + G = 0$$



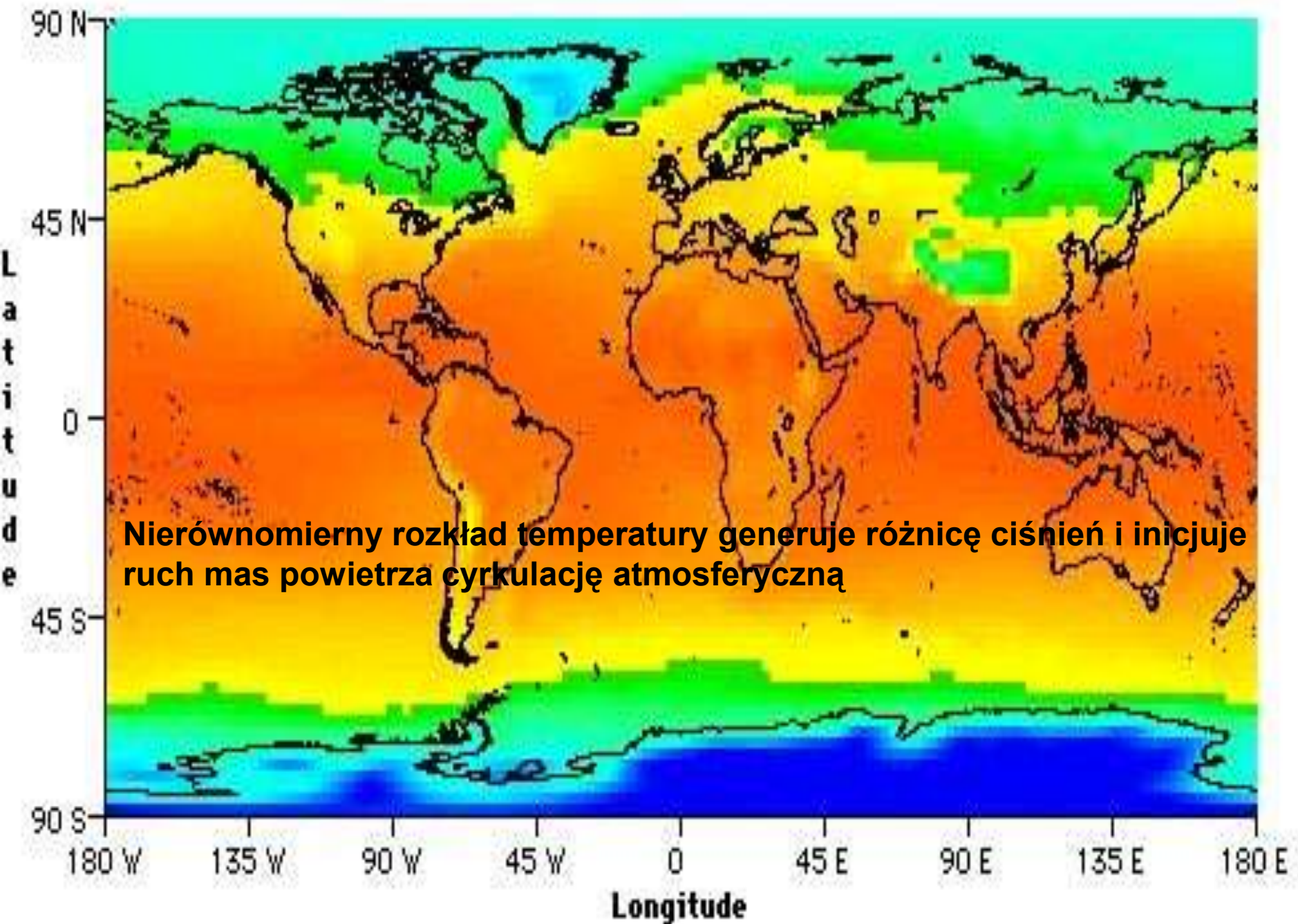
Czynniki wpływające na rozkład temperatury powierzchni ziemi

- szerokość geograficzna (wpływa na kąt wysokości słońca i długość dnia)
- właściwości powierzchni (albedo, ciepło właściwe)

Różnice w temperaturze wody i lądu wynikają z

- odmiennego ciepła właściwego (woda – 1 cal/g deg; piasek – 0,19 cal/g deg)
- odmiennej przepuszczalności promieniowania
- przebiegu konwekcji w wodzie
- odmiennej intensywności parowania





Bryza morska – cyrkulacja lokalna



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

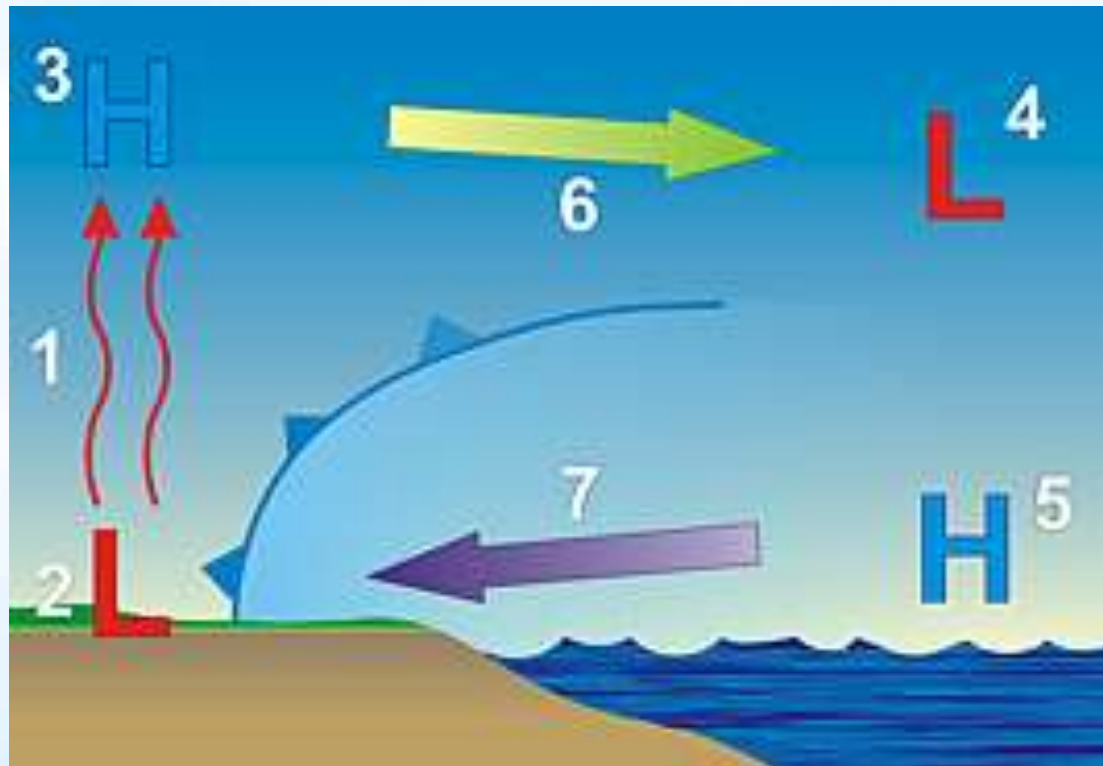


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

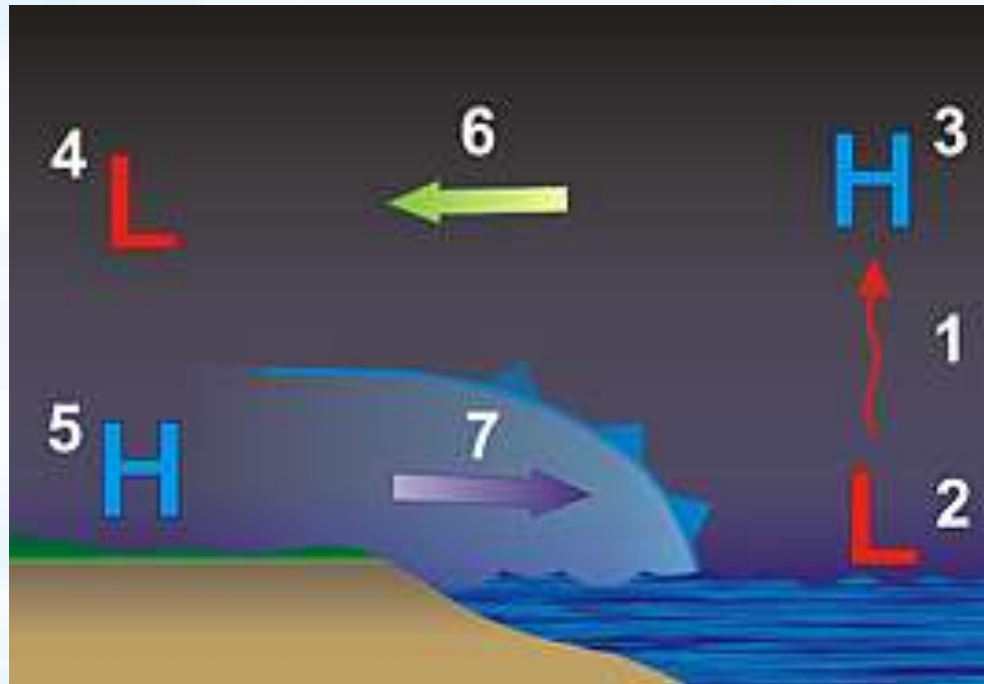
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



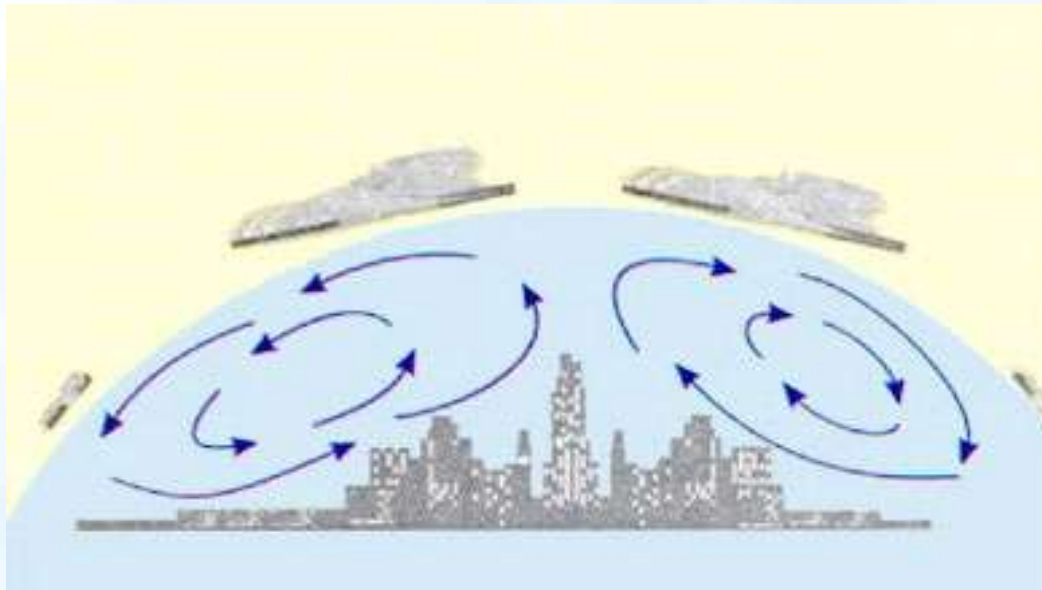
Bryza morska – cyrkulacja lokalna



Bryza lądowa



Bryza miejska



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wiatr górski



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

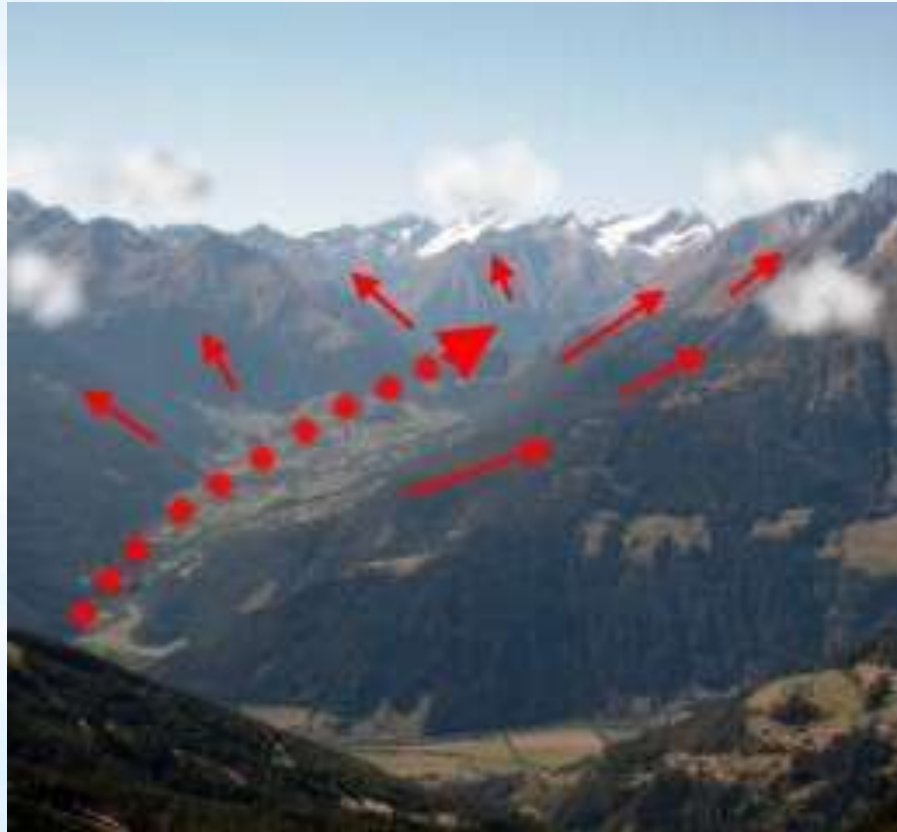


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wiatr dolinny



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



I zasada termodynamiki

- **Temperatura powietrza rośnie w wyniku ogrzewania i/lub zwiększenia ciśnienia**
- **Temperatura powietrza maleje w wyniku ochładzania i/lub zmniejszenia ciśnienia**



Czy temperatura powietrza zmieni się jeżeli nie dostarczymy ciepła?

Tak, przy ruchach pionowych mas powietrza:

- **Wzrost (spadek) temperatury powietrza jest skutkiem wzrostu (spadku) ciśnienia**
- *Procesy adiabatyczne*



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

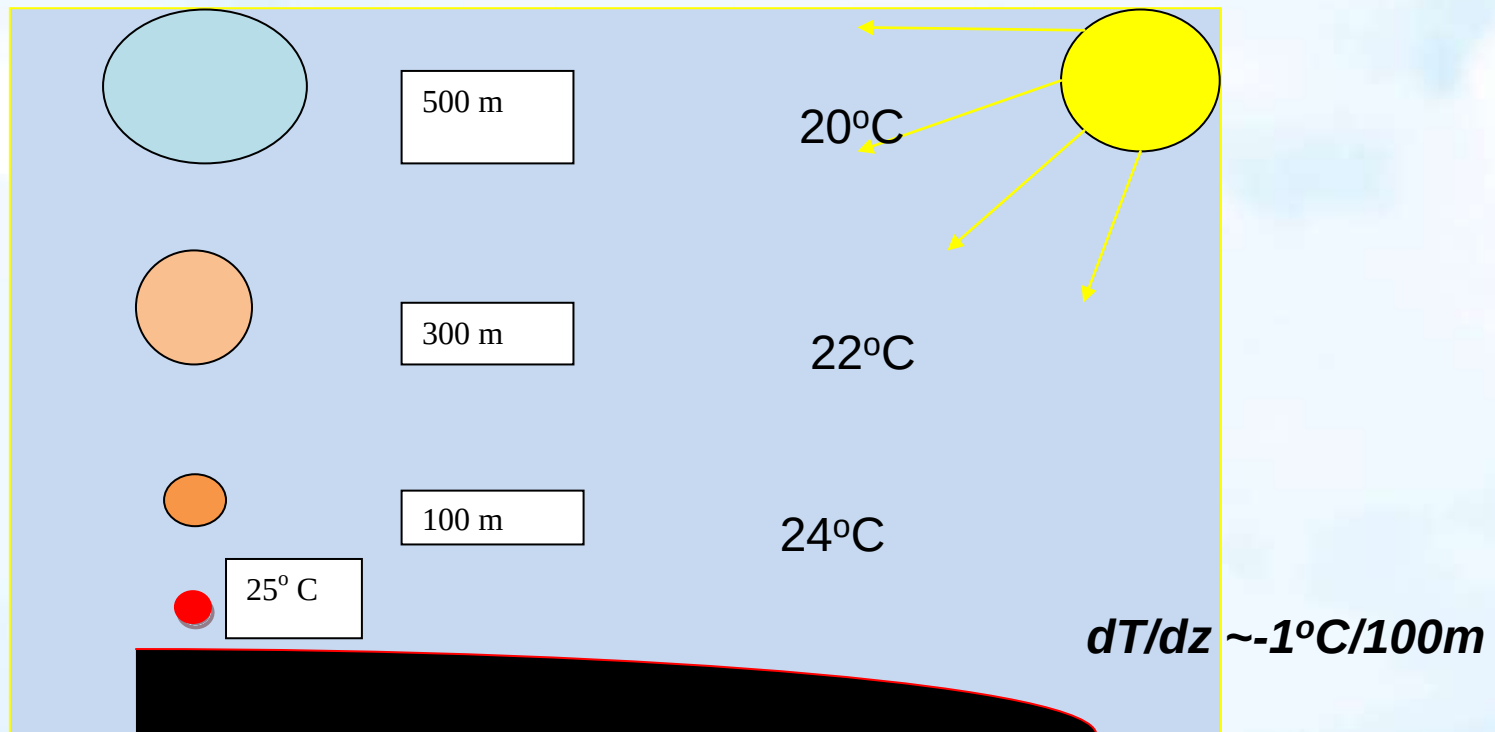


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Gradient suchoadiabatyczny



Adiabatyczne ogrzewanie - masy powietrza osiadają (wiatry katabatyczne, wiatry fenowe)

Adiabatyczne ochładzanie – masy powietrza wznoszą się (np. chmury orograficzne, chmury falowe)





**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Zapamiętaj:

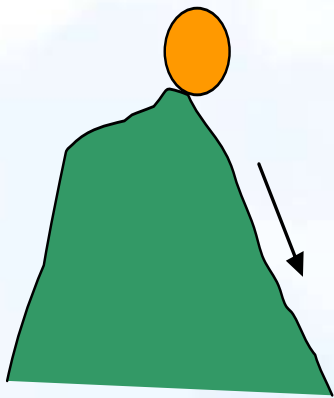
- Kiedy porcja powietrza wznosi się, jej temperatura obniża się,
- Kiedy porcja powietrza osiada, jej temperatura wzrasta,
- Kiedy temperatura porcji powietrza zmniejsza się, jej względna wilgotność wzrasta,
- Kiedy temperatura porcji powietrza wzrasta, jej względna wilgotność maleje,
- Rozkład aktualnych temperatur w zależności od wysokości nazywa się **profilem temperatury lub krzywą stratyfikacji.**



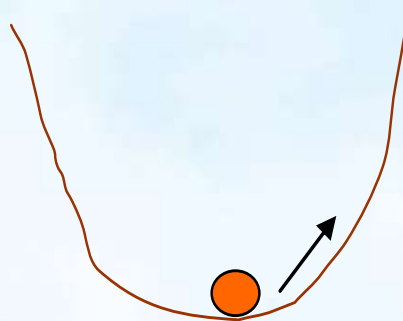
- Gradient **suchoadiabatyczny** odnosi się do wznoszącego powietrza, o wilgotności względnej poniżej 100%. Wykres suchoadiabatycznych zmian temperatury nazywa się **suchą adiabatą**.
- Gradient suchoadiabatyczny odnosi się również do powietrza osiadającego, o ile nie zawiera wilgoci (wody w małych ilościach) i nie zachodzi proces odparowania.
- Gradient **wilgotnoadiabatyczny** odnosi się do wznoszącego powietrza o wilgotności względnej 100% , kiedy zachodzi proces kondensacji. Wykres wilgotnoadiabatycznych zmian temperatury nazywa się **adiabatą wilgotną**.



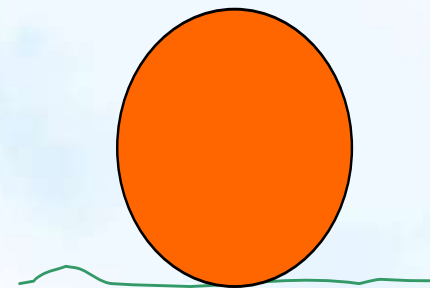
Stany równowagi



chwiejny



stały



obojętny

Stan równowagi stałej (atmosfera stabilna).

Występuje kiedy rzeczywisty gradient temperatury jest mniejszy od wilgotno adiabatycznego (0,6 st. C / 100 m), tzn. spadek temperatury wynosi np. 0,3 st. C na 100 m wzniesienia; w takich warunkach każda porcja powietrza stanie się ostatecznie chłodniejsza od otoczenia i zacznie opadać (brak warunków do konwekcji).



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Stan równowagi warunkowo chwiejnej.

Występuje, gdy rzeczywisty gradient temperatury jest pośredni między sucho adiabatycznym (1 st. C / 100 m) a wilgotno adiabatycznym (0,6 st. C / 100 m). Taki stan atmosfery jest najczęściej spotykany. Taki proces często powoduje letnie burze i opady.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



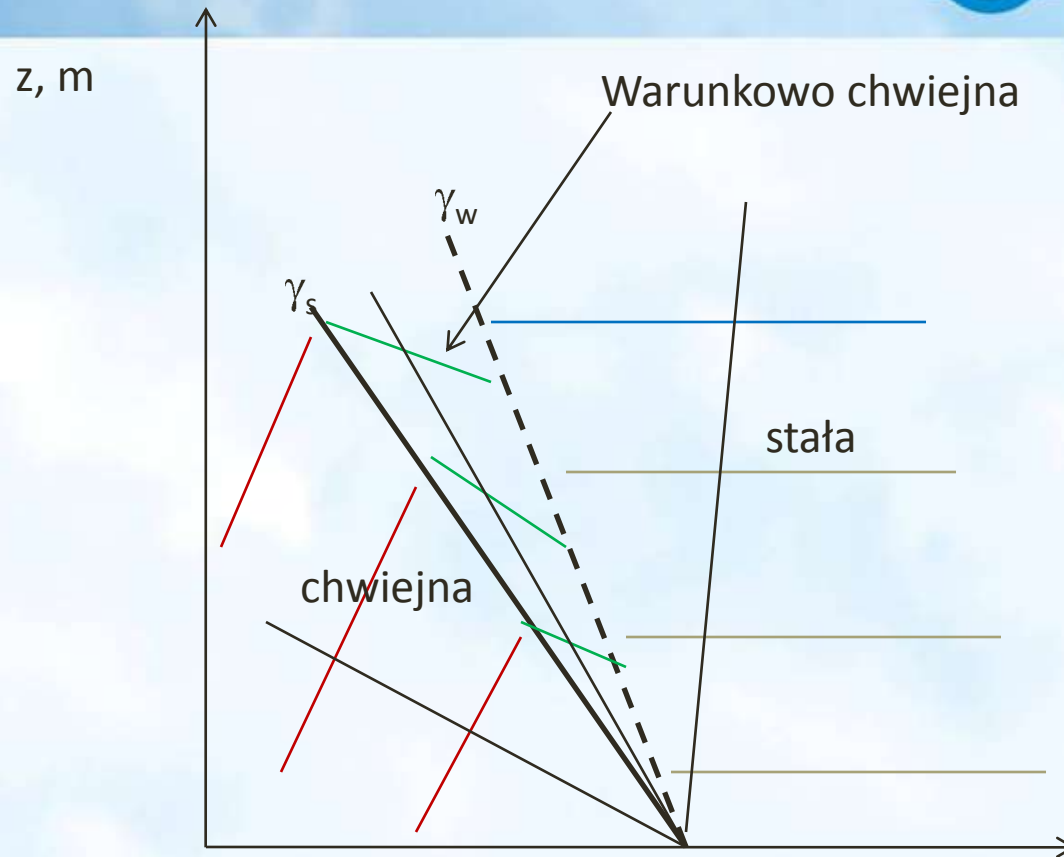
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Stan równowagi **chwiejnej** (atmosfera niestabilna).
Występuje jeśli rzeczywisty gradient temperatury jest większy od sucha adyabatycznego ($1 \text{ st. C} / 100 \text{ m}$), tzn. spadek temperatury wynosi np. $1,2 \text{ st. C} / 100 \text{ m}$. Każda porcja powietrza w tym stanie atmosfery będzie się stale unosić, gdyż zawsze będzie cieplejszy od otoczenia. Taki stan atmosfery najczęściej ma miejsce w warstwie atmosfery przy powierzchni ziemi w upalny i słoneczny dzień.





Krzywa stratyfikacji – zmiana temperatury z wysokością, $t, ^\circ C$
Krzywa stanu – zmiana temperatury powietrza wznoszącego się lub osiadającego.



Chmury burzowe -cumulonimbus



**Konwekcja rozwija się w warunkach
równowagi chwiejnej**



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

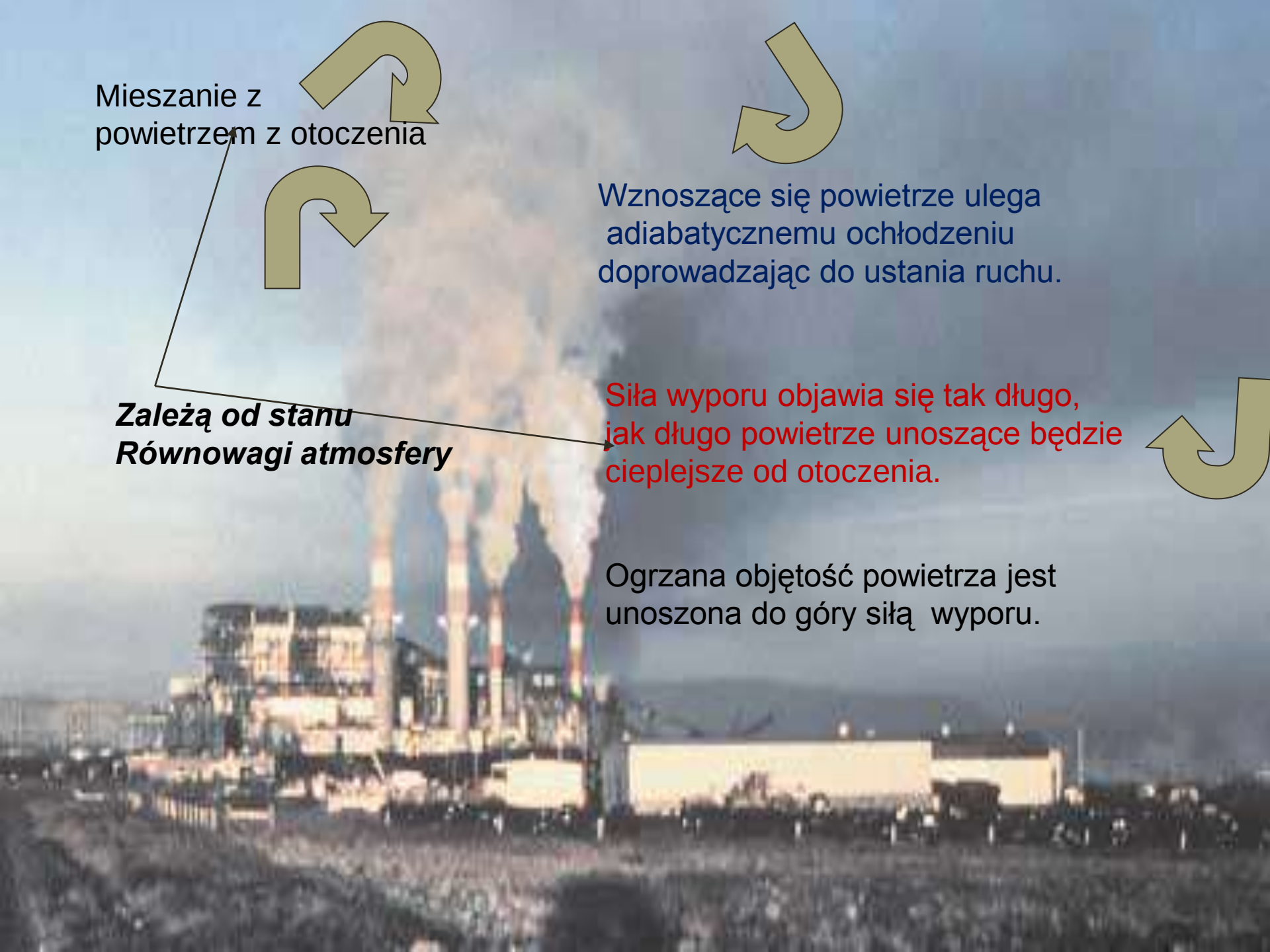


**W warunkach równowagi stałej
konwekcja zanika**

„morze mgieł”



Chmury warstwowe - stratus



Mieszanie z
powietrzem z otoczenia

**Zależą od stanu
Równowagi atmosfery**

Wznoszące się powietrze ulega
adiabaticznemu ochłodzeniu
doprowadzając do ustania ruchu.

Siła wyporu objawia się tak długo,
jak długo powietrze unoszące będzie
cieplejsze od otoczenia.

Ogrzana objętość powietrza jest
unoszona do góry siłą wyporu.



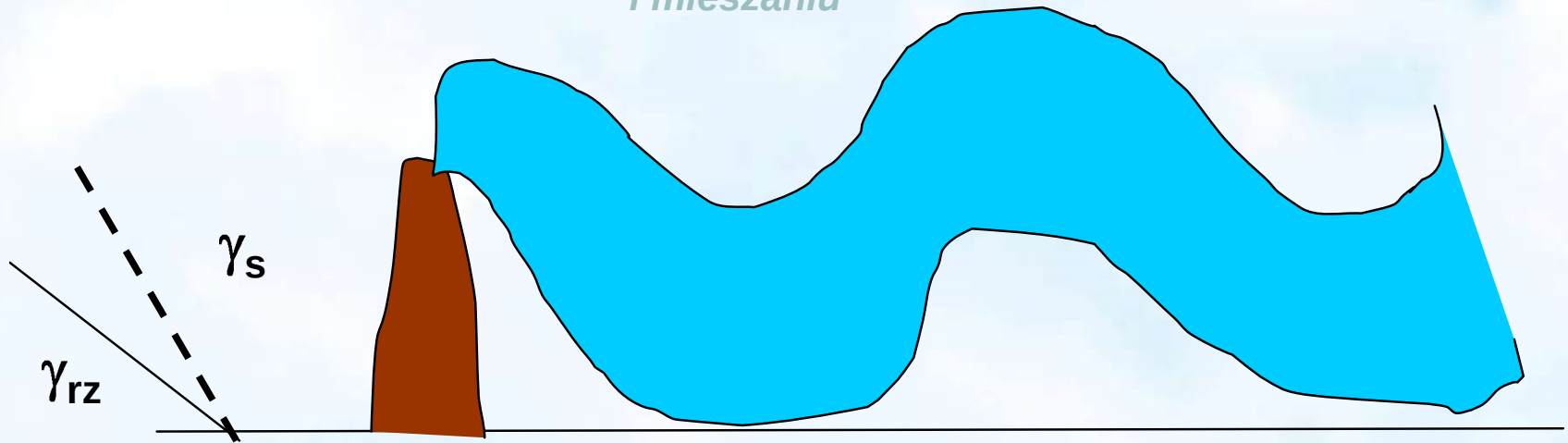
Smuga wentylacyjna, równowaga stała -

Nie sprzyja rozwojowi ruchów pionowych i mieszaniu



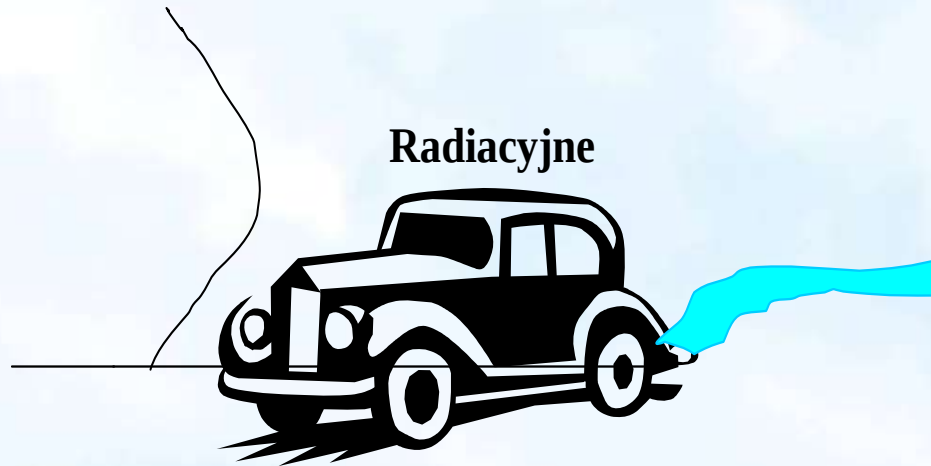
Smuga pętlowa, równowaga chwiejna

*Sprzyja rozwojowi ruchów pionowych
i mieszaniu*



INWERSJE

Wzrost temperatury z
wysokością – wybitnie
stała równowaga



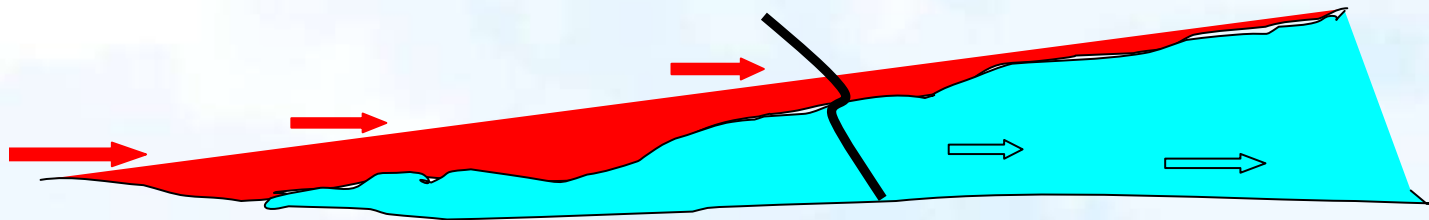
W ośrodkach wysokiego ciśnienia – cyrkulacje antycyklonalne



Inwersja orograficzna



Inwersja frontalna (front ciepły)



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Inwersja hamuje rozwój ruchów pionowych w atmosferze.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Dymy uwięzione przez warstwę inwersji



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Zapamiętajmy



- Stabilność to ważny parametr determinujący transport i rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w atmosferze. Istotą charakterystyki stabilności jest **wartość rzeczywistego gradientu temperatury**.
- **Chwiejność równowagi rozwija prądy pionowe w atmosferze. Stabilność działa hamująco na ruchy pionowe. Ruchy powietrza chwiejnego mają charakter turbulencyjny, w powietrzu stabilnym ruchy poziome są zbliżone do laminarnych. Wiatry w warunkach równowagi chwiejnej są porywiste i zmienne. Podczas równowagi stabilnej przy powierzchni występują cisze lub bardzo słabe wiatry.**
- Zgodnie z badaniami Turnera (1969) **intensywność turbulencji**, a tym samym stany równowagi atmosfery mogą być oszacowane (w pobliżu gruntu) wykorzystując **szybkość wiatru** na wysokości anemometru, **intensywność promieniowania słonecznego**, **stopień pokrywy chmur** i **pory dnia**.



PROGRAM
REGIONALNY
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Zmodyfikowany schemat klas równowagi wg Pasquilla

Dzień

Prędkość wiatru na 10 m, m/s	Intensywność promieniowania słonecznego			
	Silna (>600 W/m ²)	Umiarkowana (300-600 W/m ²)	Miała (< 300 W/m ²)	Zachmurzenie całkowite
≤ 2,0	A	A - B	B	C
2,0 ÷ 3,0	A - B	B	C	C
3,0 ÷ 5,0	B	B - C	C	C
5,0 ÷ 6,0	C	C - D	D	D
> 6,0	C	D	D	D

Noc

Prędkość wiatru na 10 m, m/s	Godzina w trakcie wschodu lub zachodu słońca	Stopień zachmurzenia		
		0÷3	4÷7	8
≤ 2,0	D	F(G)	F	D
2,0 ÷ 3,0	D	F	E	D
3,0 ÷ 5,0	D	E	D	D
5,0 ÷ 6,0	D	D	D	D
> 6,0	D	D	D	D

Turbulencja



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Turbulencja

W atmosferze turbulencja generowana przede wszystkim przez różnice temperatur i prędkości przepływu.





Zmiana szybkości wiatru wraz z wysokością

Dla $z = 0$ $u=0$; dla $z > 0$ **szybkość wiatru wzrasta logarytmicznie wywołując skręt wiatru.**

Skręt wiatru w większej skali powoduje zawirowania powietrza.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

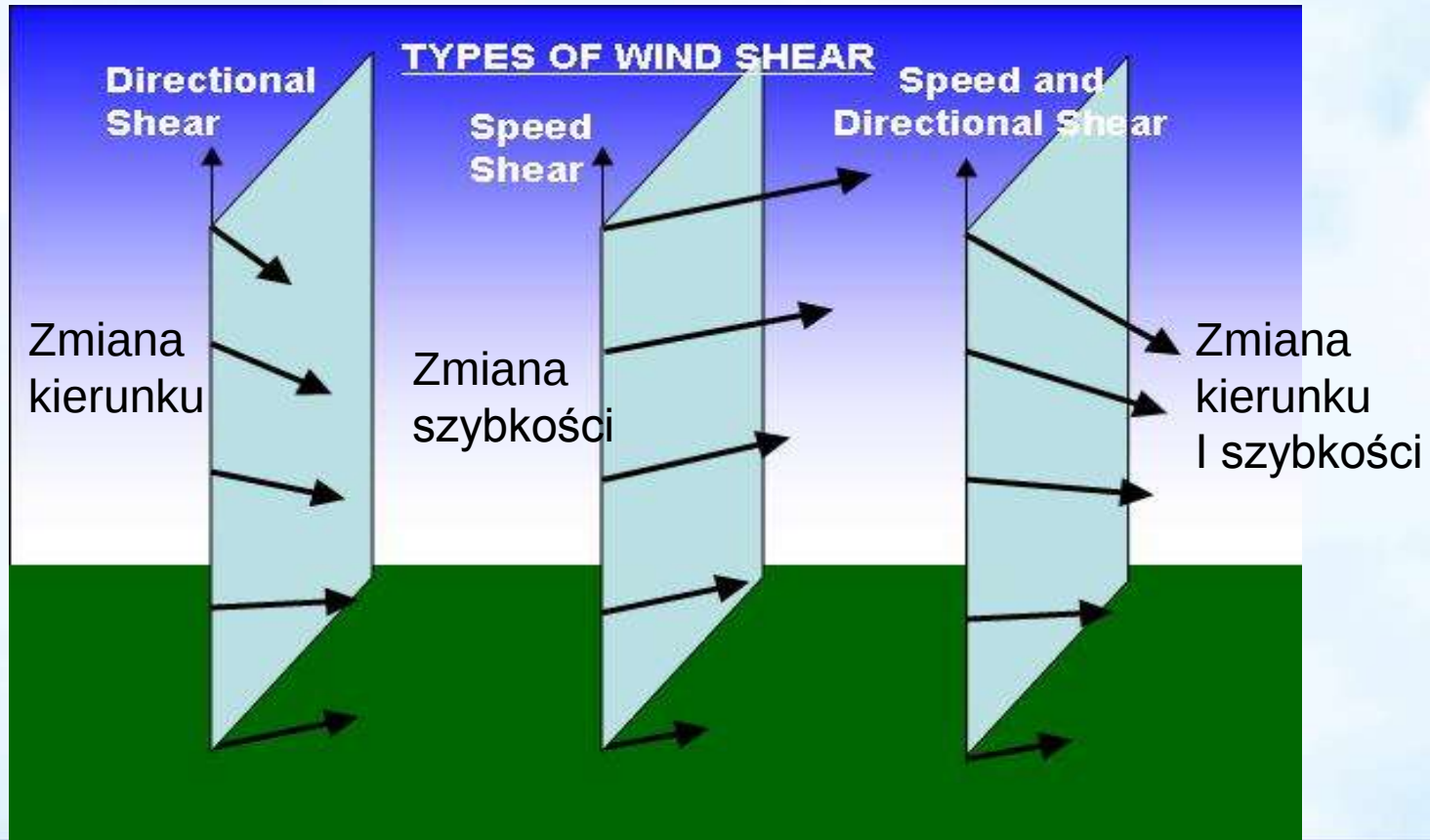


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Skreć wiatru



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



❑ Deterministyczny ruch powietrza, którego skale czasowe wynoszą od minut do dni, a skale przestrzenne od kilometrów do skali planetarnej.

❑ Ruchy chaotyczne, mające skale przestrzenne od kilku mm do km, a skale czasowe od kilku sekund do 20-30 min.



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



❑ źródłem w atmosferze są gradienty wielkości wiatru i zaburzenia wywołane oddziaływaniem podłoża i przeszkód terenowych.

❑ źródłem jest konwekcja. Może powstawać w całej warstwie granicznej i charakteryzujące ją wiry osiągają dużo większe rozmiary..



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

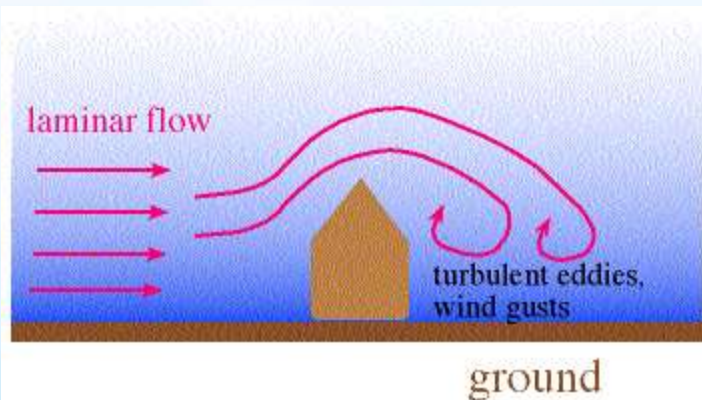
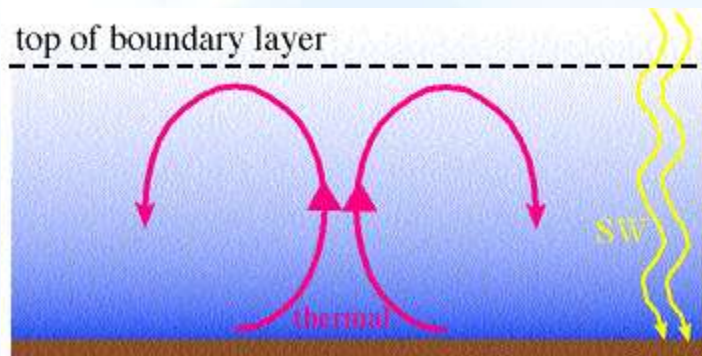


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

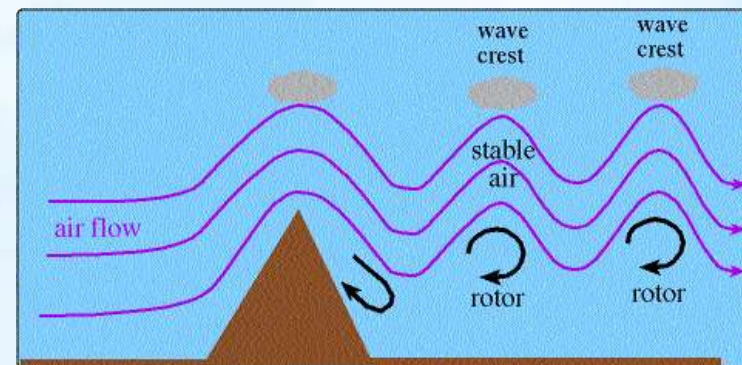
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



termiczna

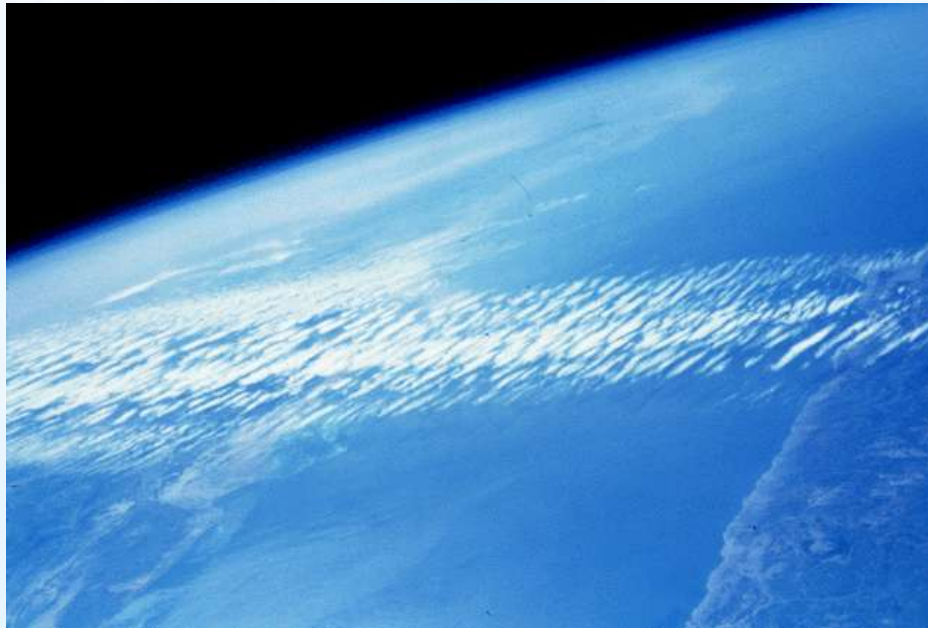


mechaniczna



mechaniczna

Turbulencja wywołana skretem wiatru



Chmura rotorowa wskutek turbulencji mechanicznej (łańcuch górski)



Kiedy przepływ jest turbulentny, to cząstki powietrza zaczynają przekazywać sobie energię i pęd.

Prędkość chwilowa = prędkość średnia + prędkość pulsacji turbulentnych

$$\vec{U} = \vec{U} + \vec{u}'$$

$$V = v + v'$$

$$W = w + w'$$

Przekazanie pędu (reprezentowane przez strumień pędu) w kierunku prostopadłym do przepływu wyraża się:

$$\rho \overline{u'v'}$$

Siła, która wywołuje turbulencję (rozbieżność-dywergencję – strumienia turbulentnego) wyraża się:

$$\frac{F_v}{m_a} = \frac{1}{\rho} \frac{\delta(\overline{\rho u' v'})}{\delta y}$$

Równanie to w kartezjańskim układzie współrzędnych ma postać bardziej skomplikowaną, bowiem uwzględnia rozbieżność strumienia pędu we wszystkich kierunkach. Jest to ostatnie równanie, które pojawia się w równaniu ruchu.

Jedną z najczęstszych parametryzacji turbulencji jest **K-teoria**. Zgodnie z nią kinematyczny turbulentny strumień pędu przybliża się zależnością:

$$\overline{u' v'} = - K_{yx} \frac{\delta \bar{u}}{\delta y}$$

K_{yx} – współczynnik dyfuzji wirowej dla pędu



Transport i dyfuzja turbulencyjna:

Jeśli w powietrzu znajdują się zanieczyszczenia, wiatr średni przyczynia się do ich **transportu** w atmosferze, podczas gdy ich turbulencyjne mieszanie powoduje zjawisko nazywane **dyfuzją turbulencyjną**.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



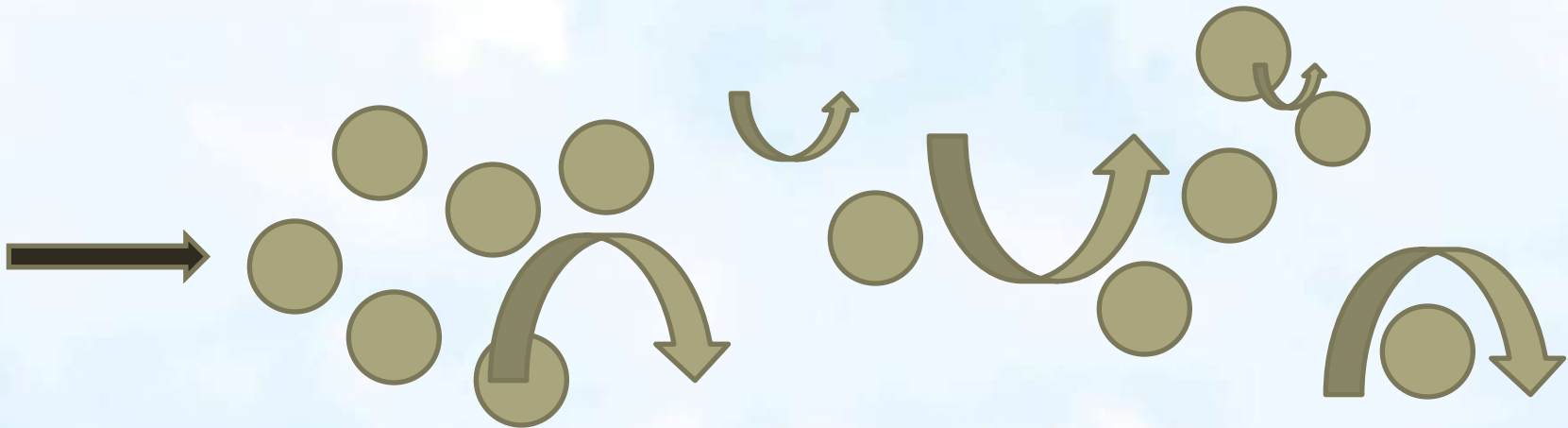
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Transport materii

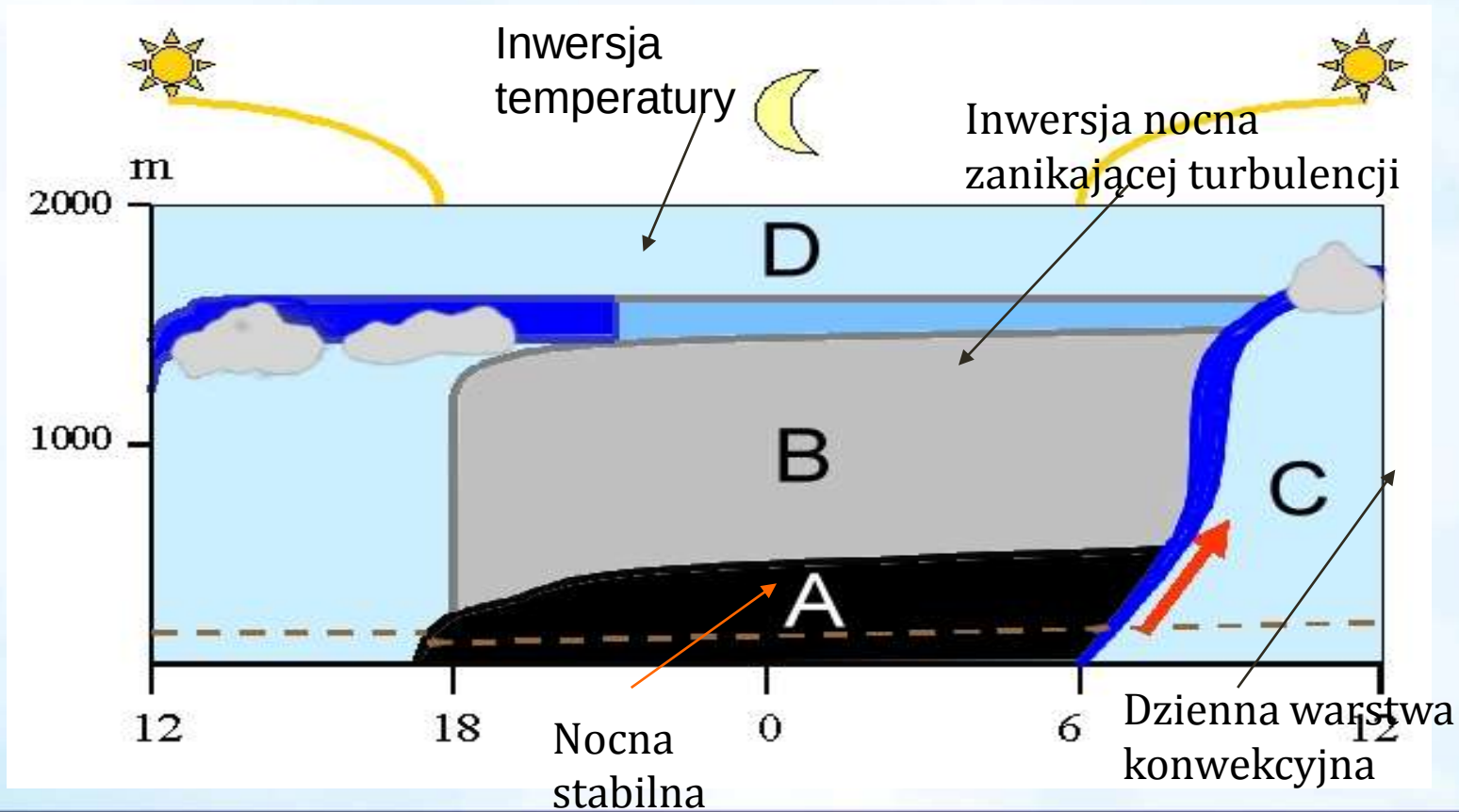
- Średni wiatr – poziomy transport -adwekcja
- Turbulencja – pionowy transport



- ◆ **Transport:** zachodzi głównie w dolnej części atmosfery (w warstwie granicznej), jedynie niewielka część zanieczyszczeń przedostaje się wyżej.
- ◆ W warstwie granicznej typowe średnie wartości składowej poziomej zawierają się w przedziale od 2m/s-10m/s.
- ◆ Średnie prędkości pionowych ruchów powietrza są znacznie mniejsze i wynoszą od kilku mm/s do kilkudziesięciu cm/s.

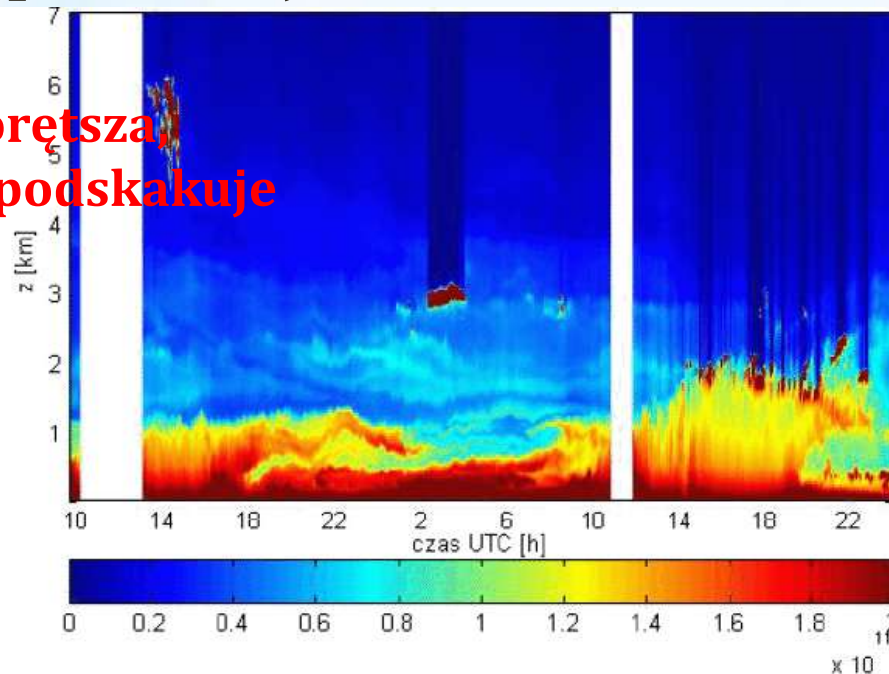


Warstwa mieszania



Rozwój warstwy mieszania przypomina produkcję kukurydzy prażonej

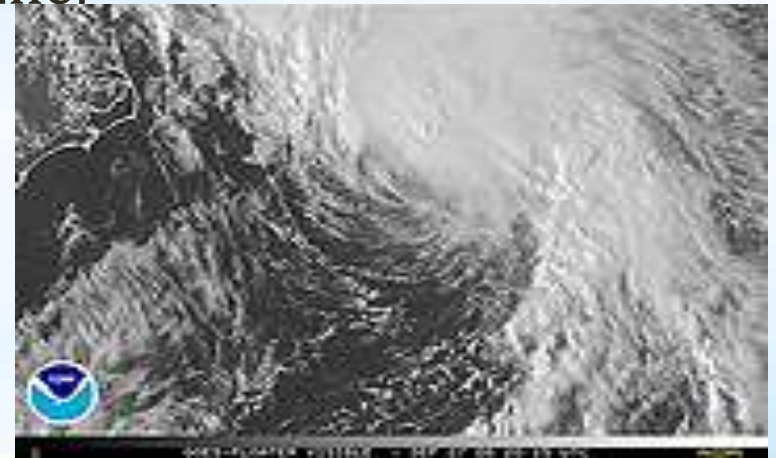
**Im płyta gorętsza,
tym wyżej podskakuje**



Rys. 8.7: Sygnały zarejestrowane przez Teramobile Profiler w dniach 13-14.04, kanał 532 nm, polaryzacja równoległa do polaryzacji wiązki emitowanej (natężenie w jednostkach umownych, zaznaczone kolorami).

Metody wyznaczania pól wiatru, turbulencji i innych wielkości meteorologicznych

- metody tradycyjne,
- preprocesory meteorologiczne,
- meteorologiczne modele diagnostyczne.
- meteorologiczne modele prognostyczne.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Metody tradycyjne

Obejmują:

- schematy określania stanów równowagi atmosfery,
- wyznaczanie pionowego profilu prędkości wiatru przy zastosowaniu zależności potęgowej,
- określanie grubości warstwy mieszania zanieczyszczeń na podstawie istniejących statystyk wiążących grubość warstwy ze stanem równowagi atmosfery.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wyznaczanie stanów równowagi atmosfery, zestawy parametrów:

- prędkość wiatru, intensywność promieniowania słonecznego oraz stopień zachmurzenia nieba,
- pomiary fluktuacji kierunku wiatru,
- pionowy gradient temperatury,
- gradientowa liczba Richardsona,
- ogólna liczba Richardsona,
- skala długości Monina-Obukhova i współczynnik szorstkości terenu,
- stosunek prędkości wiatru zmierzonych na dwóch wysokościach.



Preprocesor meteorologiczny:

- Zespół algorytmów obliczeniowych służących do wyznaczania parametrów granicznej warstwy atmosfery oraz pionowych rozkładów wiatru i temperatury na podstawie danych pomiarowych z sieci stacji meteorologicznych i z sondaży aerologicznych.
- Dane wejściowe do preprocesora meteorologicznego są zadawane najczęściej w trybie chronologicznym.



Numeryczne, diagnostyczne modele meteorologiczne

- ❑ Meteorologiczny model diagnostyczny pozwala wyznaczać przestrzennie zróżnicowane stacjonarne pola meteorologiczne na podstawie pomiarów z sieci stacji meteorologicznych.



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Zalety modeli diagnostycznych

- niski koszt eksploatacji,
- wymagają minimalnego przyuczenia się w ich uruchamianiu,
- są atrakcyjne w zakresie używania ich w czasie rzeczywistym, szczególnie gdy ze względu na zaistniałe zagrożenie konieczne jest szybkie przeprowadzenie symulacji.



Wady modeli diagnostycznych

- relacje między wielkościami meteorologicznymi narzucone w modelu nie wynikają z pełnego układu równań opisujących procesy atmosferyczne,
- nie sprawdzają się w działaniu w obszarach, w których sieć pomiarowa jest uboga,
- nie pozwalają na uzyskanie dokładniejszej struktury czasowej i przestrzennej pól meteorologicznych niż dostępne dane wejściowe.



Numeryczne, prognostyczne modele meteorologiczne



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Etapy w działaniu modeli prognostycznych

- Etap pierwszy obejmuje: wybór rodzaju układu współrzędnych, wybór numerycznej metody całkowania układu równań opisujących procesy atmosferyczne, określenie granic i przeprowadzenie dyskretyzacji obszaru modelowania, wyznaczenie warunków początkowych i warunków brzegowych w obszarze modelowania.
- W etapie drugim przy zastosowaniu różnych technik numerycznych znajdowane jest rozwiązanie układu równań różniczkowych cząstkowych, wyrażających procesy atmosferyczne.



Zalety modeli prognostycznych:

- powszechność stosowania do opisu procesów atmosferycznych w skali regionalnej i lokalnej,
- możliwość otrzymywania za ich pomocą pól meteorologicznych bez konieczności wprowadzania tak dużej ilości danych z sieci obserwacyjnej, jak w modelach diagnostycznych,
- możliwość wielokrotnego powtarzania symulacji.



Wady modeli prognostycznych:

- Uwzględnianie w modelach prognostycznych danych pochodzących z obserwacji tylko w fazie początkowej, czego konsekwencją jest tendencja zwiększania się błędów modelowania z wydłużeniem czasu symulacji,
- Złożoność modeli, która wymusza, aby osoby posługujące się nimi przechodziły specjalne gruntowne przeszkolenie, podczas których uczą się je obsługiwać i interpretować wyniki modelowania.



Globalna cyrkulacja atmosfery



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



1926 Lewis Richardson zauważył, że ruchy w atmosferze mają różne skale, począwszy od tysięcy km, a skończywszy na mm.

*Wielkie wiry mniejsze mają
I swoją prędkość im dają
A te mniejsze póty trwają
Póki lekkie się nie stają*

Ogólna cyrkulacja atmosfery generowana przez termiczne i ciśnieniowe różnice wokół globu, a także przez ruch wirowy Ziemi



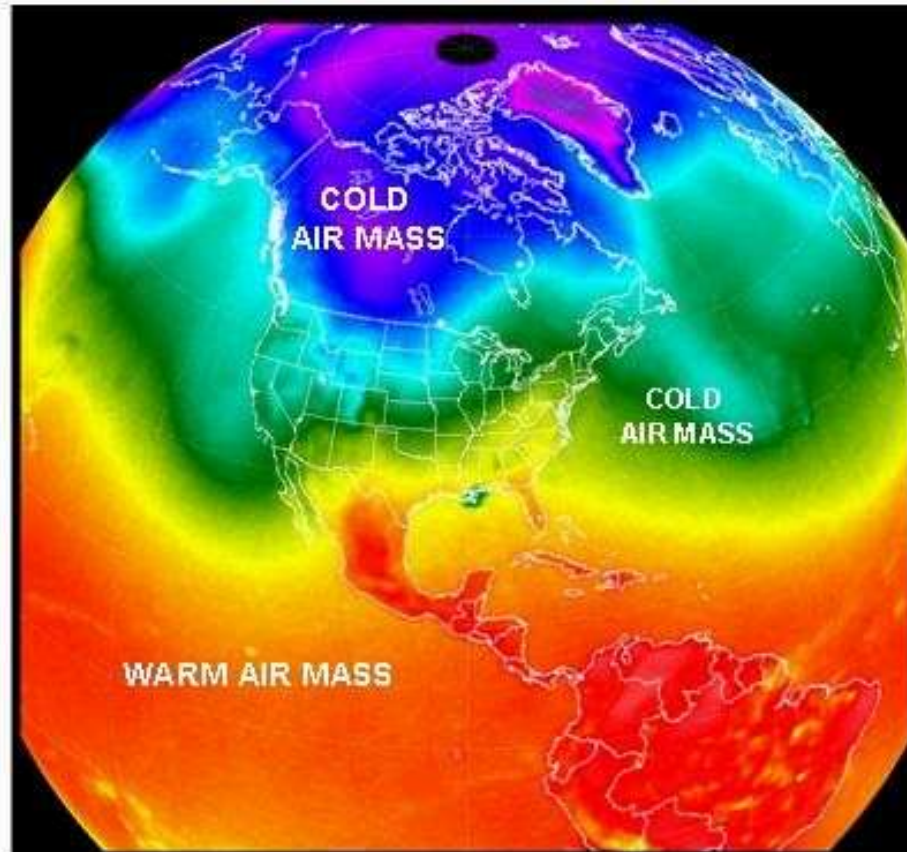
**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO





**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

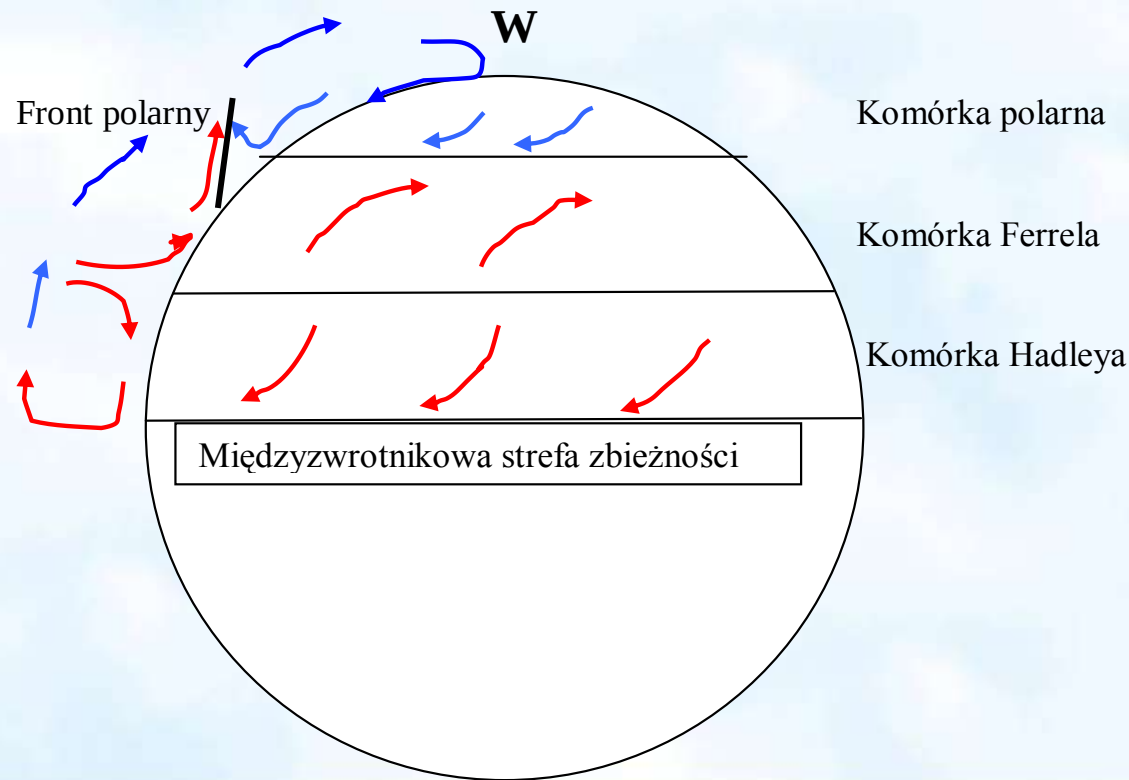


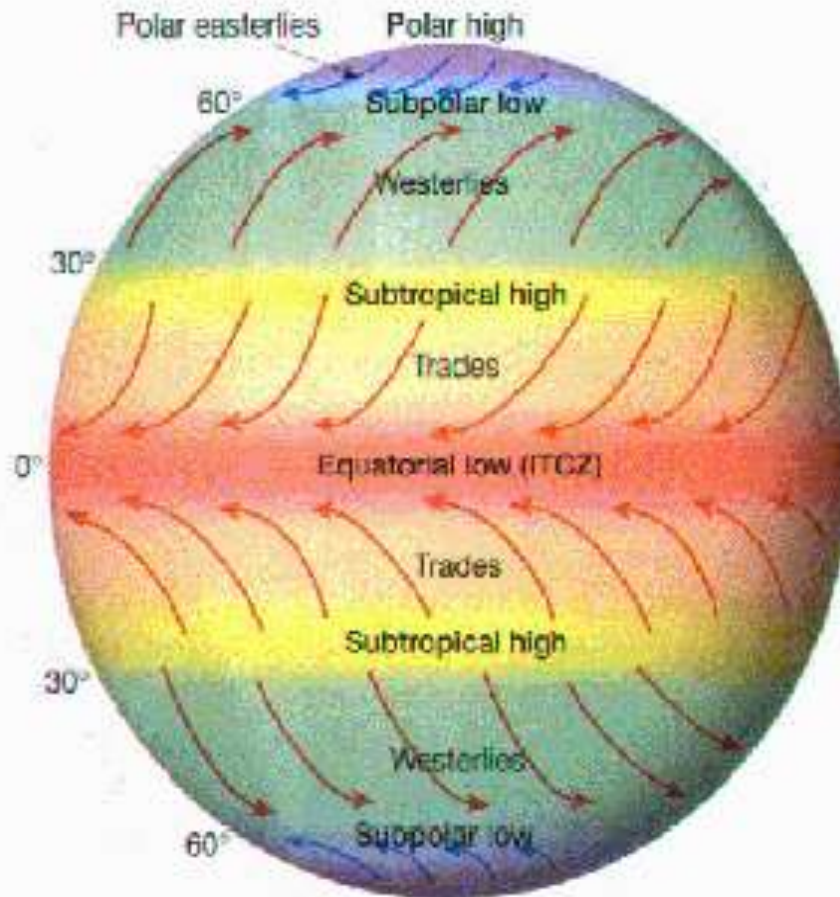
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

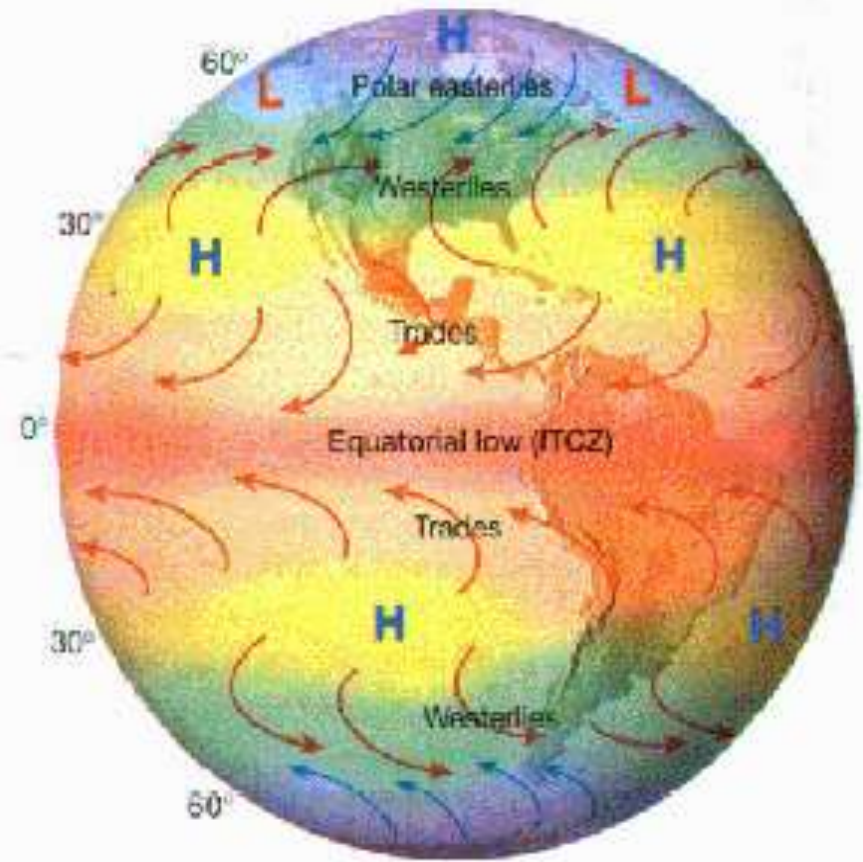


Model trzykomórkowy





(a)



(b)



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Jak Kolumb dopłynął do Ameryki?



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

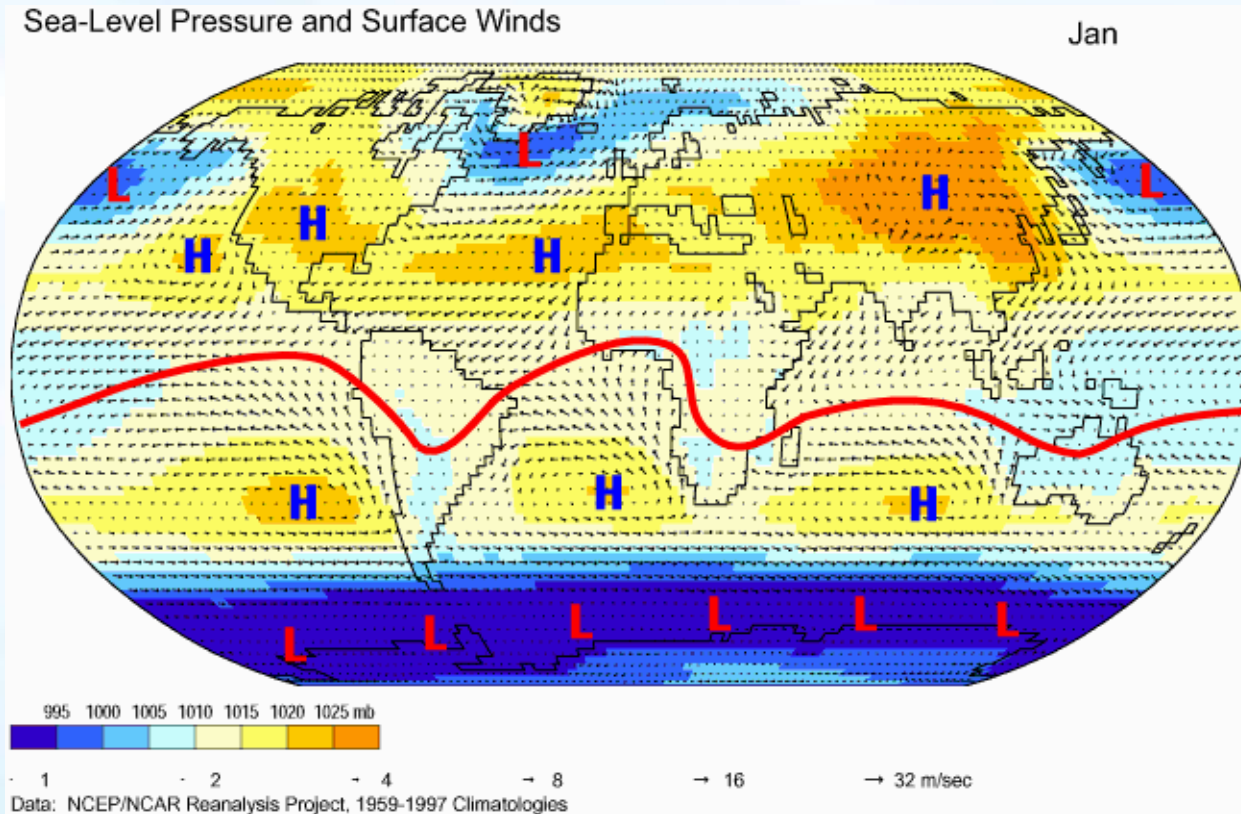


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

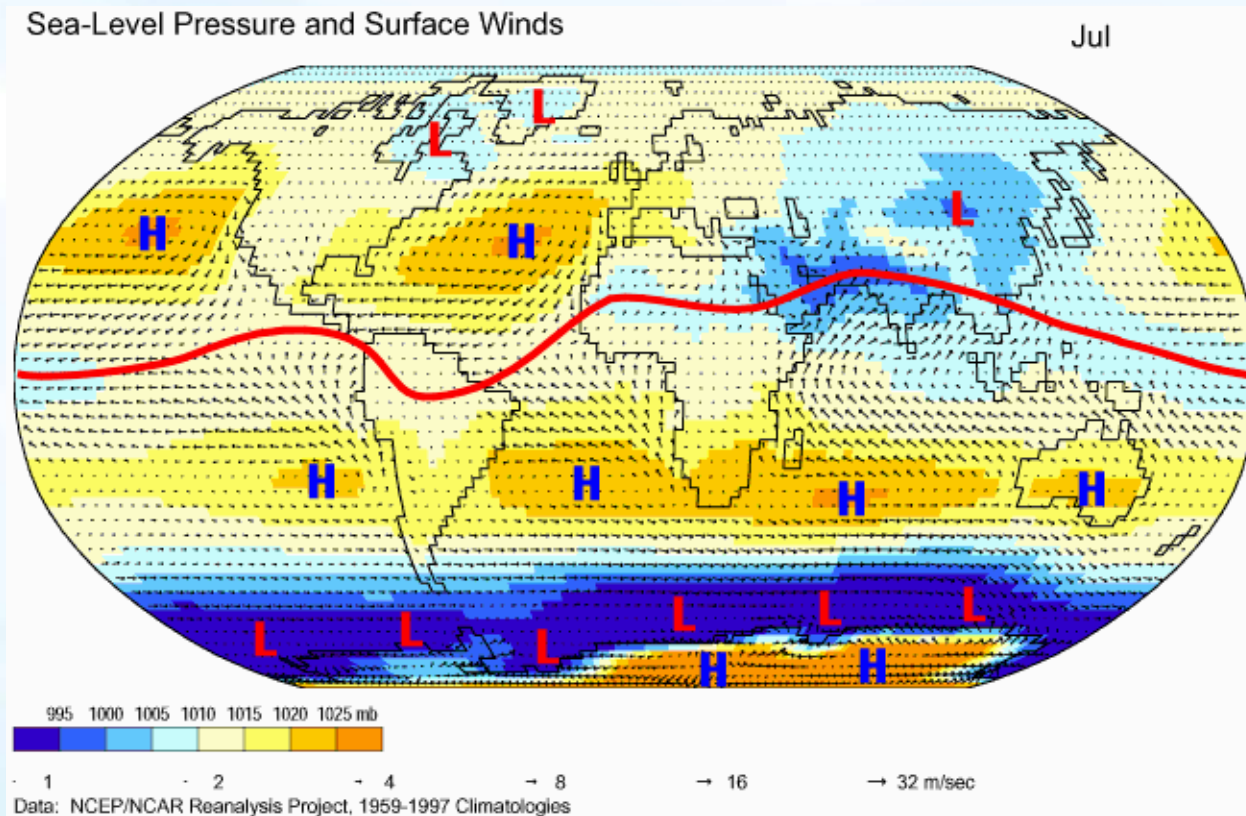
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Rozkład ciśnienia w styczniu



Rozkład ciśnienia w czerwcu



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Prąd strumieniowy

- Wąski i prawie poziomy strumień przenoszący z zachodu na wschód olbrzymie masy powietrza w atmosferze.
- Średnia prędkość wiatru wynosi 25 m/s (100 km/h). Występuje w górnej części troposfery oraz dolnej części stratosfery, co odpowiada poziomowi ok. 200 hPa (około 12 km nad poziomem morza).
- Formuje się na granicy między sąsiadującymi masami powietrza o znacznej różnicy temperatur, jak między obszarem polarnym i cieplejszym powietrzem w niższych szerokościach geograficznych.
- Jako pierwsi zetknęli się z nimi piloci podczas II wojny światowej.



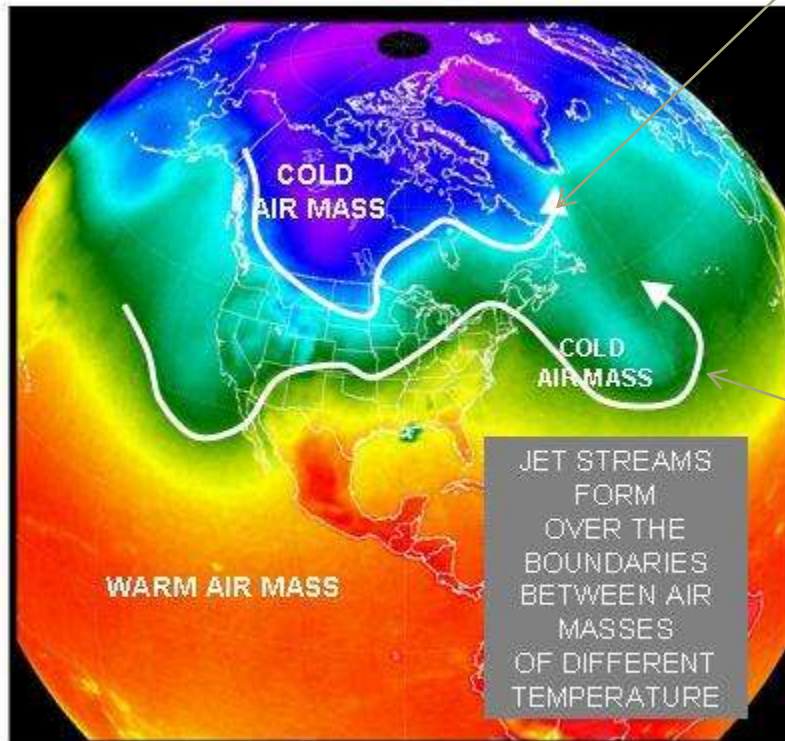
- Istnieją dwa główne prądy strumieniowe w szerokościach polarnych obydwu półkul i dwa mniejsze - położone po obu stronach równika - prądy strumieniowe podzwrotnikowe.
- Prąd strumieniowy ma falujący kształt, choć jego wysokość jest stabilna. Ze względu na obrotowy ruch ziemi przepływa z zachodu na wschód, zarówno na północnej jak i na południowej półkuli. Jest to spowodowane efektem Coriolisa.
- Szybkość wiatru w strumieniu wzrasta bardzo szybko w miarę zbliżania się do jego środka. W zależności od gradientu temperatury jest to średnio 55 km/h zimą i 120 km/h latem, choć obserwuje się prędkości nawet rzędu 400 km/h.
- Prądem strumieniowym nazywamy prądy powietrza o prędkości przekraczającej 90 km/h.



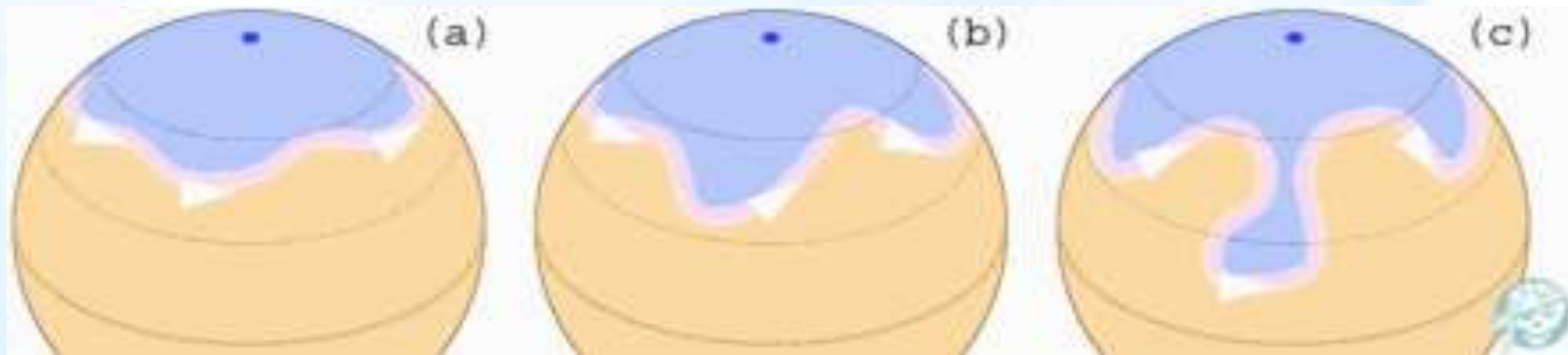
Prąd strumieniowy

Prąd polarny

Powstaje między
masami powietrza o
różnej temperaturze



Prąd podzwrotnikowy



**PROGRAM
REGIONALNY**

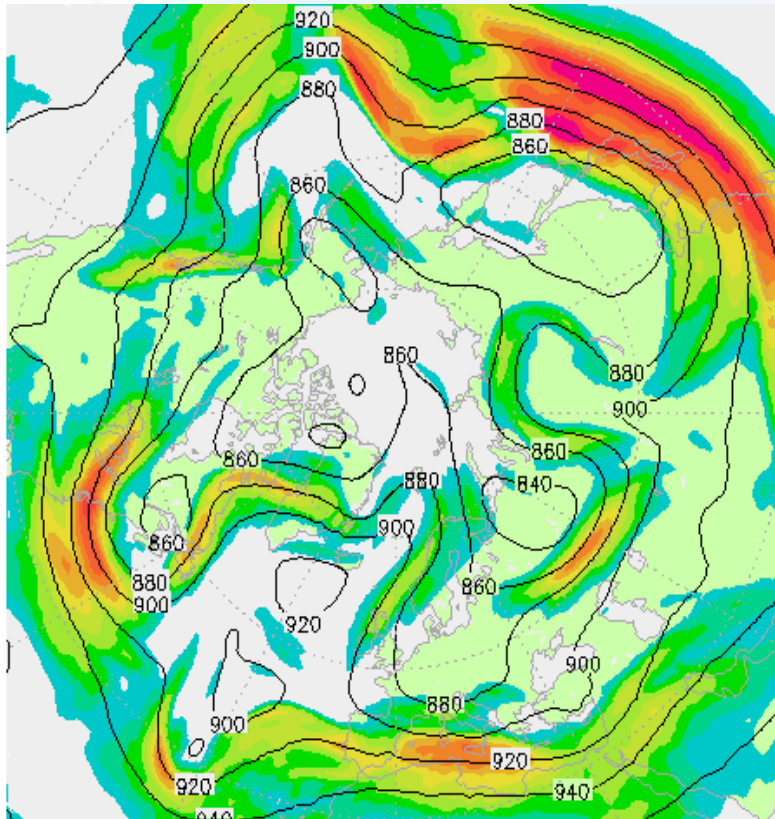
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO





Wind 300 hPa GFS (kts) Thu 17/12/09 06 GMT (Thu 06+00)
 50 70 90 110 130 150 @weatheronline.co.uk

Skala wiatru

- 0 Bf -> do 1km/h -> do 1 knots
- 1 Bf -> 1-5 km/h -> 1-3 knots
- 2 Bf -> 6-11 km/h -> 4-6 knots
- 3 Bf -> 12-19 km/h -> 7-10 knots
- 4 Bf -> 20-28 km/h -> 11-15 knots
- 5 Bf -> 29-38 km/h -> 16-21 knots
- 6 BF -> 39-49 km/h -> 22-27 knots
- 7 BF -> 50-61 km/h -> 28-33 knots
- 8 Bf -> 62-74 km/h -> 34-40 knots
- 9 Bf -> 75-88 km/h -> 41-47 knots
- 10 Bf -> 89-102 km/h -> 48-55 knots
- 11 Bf -> 103-117 km/h -> 56-83 knots
- 12 Bf -> 118 km/h -> 84 knots



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Modelowanie

[165]



**PROGRAM
REGIONALNY**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Skale ruchu



Nazwa	Wymiar	Przykłady
Molekularna	$< 2 \text{ mm}$	Dyfuzja molekularna, lepkość molekularna
Mikroskala	$2 \text{ mm} \div 2 \text{ km}$	Wirry, smugi z niskich kominów, wyziewy samochodowe, chmura kłębiasta
Mezoskala	$2 \text{ km} \div 2000 \text{ km}$	Fale w atmosferze, burze, tornada, wiatry lokalne, miejskie zanieczyszczenie powietrza
Synoptyczna	$500 \div 10000 \text{ km}$	Systemy baryczne (wyższe i niższe), fronty, cyklony tropikalne, antarktyczna dziura ozonowa
Planetarna	$> 10000 \text{ km}$	Systemy wiatrów globalnych, globalne ocieplenie, stratosferyczny ubytek ozonu



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Matematyczny opis procesów atmosferycznych

☐ **zasady zachowania:**

- masy
- ciepła
- pędu
- wody
- zanieczyszczeń

☐ **równania podstawowe:**

- ciągłości
- dopływu ciepła
- ruchu
- transportu wody
- transportu zanieczyszczeń



Szybkość zmian parametru k

$$K = k(x,y,z,t) = k(x(t),y(t), z(t), t)$$

$$Dk/Dt = \delta k / \delta t + \delta k / \delta x * dx/dt + \delta k / \delta y * dy/dt + \delta k / \delta z * dz/dt$$

$$Dk/Dt = \delta k / \delta t + u \delta k / \delta x + v \delta k / \delta y + w \delta k / \delta z = \delta k / \delta t + \nabla \cdot (uk)$$


Lokalna pochodna

Szybkość zmian parametru k w danej chwili w określonym punkcie

Pochodna adwekcyjna – zmiana parametru k podczas ruchu samego płynu



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Podstawa: bilans masy

$$\delta k / \delta t + \delta(u k) / \delta x + \delta(v k) / \delta y + \delta(w k) / \delta z = I_k$$

$$\delta k / \delta t + u \delta k / \delta x + v \delta k / \delta y + w \delta k / \delta z + k(\delta u / \delta x + \delta v / \delta y + \delta w / \delta z) = I_k$$

Diagram illustrating the components of the mass balance equation:

- $\delta k / \delta t$: Zmiany w punkcie
- $u \delta k / \delta x$, $v \delta k / \delta y$, $w \delta k / \delta z$: Adwekcja-zmiany
- $k(\delta u / \delta x + \delta v / \delta y + \delta w / \delta z)$: Wskutek napływu
- I_k : Zmiany wskutek zmian objętości
- $\delta k / \delta t + u \delta k / \delta x + v \delta k / \delta y + w \delta k / \delta z$: Zmiany w poruszającej się cząstce
- $k(\delta u / \delta x + \delta v / \delta y + \delta w / \delta z)$: wymuszenia

Równanie transportu domieszki

$$\frac{\delta c}{\delta t} + u \frac{\delta c}{\delta x} + v \frac{\delta c}{\delta y} + w \frac{\delta c}{\delta z} + c(\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta w}{\delta z}) = \text{emisja} \\ - \text{usuwanie} + \text{transport dyfuzyjny}$$

I uproszczenie: przepływ nieściśliwy

$$\frac{\delta c}{\delta t} + u \frac{\delta c}{\delta x} + v \frac{\delta c}{\delta y} + w \frac{\delta c}{\delta z} + c(\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta w}{\delta z})$$

$$\frac{\delta c}{\delta t} + u \frac{\delta c}{\delta x} + v \frac{\delta c}{\delta y} + w \frac{\delta c}{\delta z} = \text{emisja-usuwanie} + \text{transport} \\ \text{turbulencyjny}$$



Modele dyspersji zanieczyszczeń

□ Podstawę stanowi różniczkowa forma zasady zachowania masy:

Równanie turbulencyjnej dyfuzji:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial c}{\partial x} + \mathbf{v} \frac{\partial c}{\partial y} + \mathbf{w} \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \sum_1^n \bar{R}_i$$



Modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze

Modele fizyczne

- procesy zachodzące w rzeczywistej atmosferze są symulowane w mniejszej skali w laboratorium przy wykorzystaniu tuneli wiatrowych lub zbiorników wodnych

Modele matematyczne:

- *modele empiryczne (statystyczne)*- korzystają z danych pomiarowych, które służą do ustalenia empirycznych zależności opisujących procesy atmosferyczne
- *modele deterministyczne* -wykorzystują matematyczny opis fizycznych i chemicznych procesów zachodzących w atmosferze.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Deterministyczne:

- Niedyfuzyjne
- Dyfuzyjne

Dyfuzyjne

- Gaussowskie (model Pasquilla)
- Niegaussowskie (numeryczne) – Eulera i Lagrange□a



Modele dyspersji zanieczyszczeń

- ❑ Różnią się ze względu na parametryzacje procesów przebiegających w atmosferze, sposoby rozwiązywania równań, skalę przestrzenną i czasową.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wszystkie wymagają wprowadzenia danych, m.in.:

- **Warunków meteorologicznych**, jak prędkości wiatru i kierunku (pola wiatru), wielkości turbulencji (np. scharakteryzowanej przez tzw. klasy stabilności), temperatury powietrza, wysokości podstawy inwersji temperatury, zachmurzenia, promieniowania słonecznego....
- Wielkości **emisji** zanieczyszczeń
- **Parametrów emitora**: położenia, wysokości, typu źródła, prędkości wylotowej, temperatury gazów wylotowych.
- **Wyniesienia terenu** w miejscu lokalizacji źródła i receptorów: domy mieszkalne, szkoły, szpitale.....
- Lokalizacji, rozmiarów przeszkód terenowych, jak np.. budynków, na drodze emitowanej smugi lub ogólnie zdefiniowanej **szorstkości terenu i form jego zagospodarowania**



Nowoczesne modele zawierają:

- **Pre-procesory** do generowania danych meteorologicznych i innych baz danych
- **Post-procesory** do graficznego opracowania wyników modelowania

[176]



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



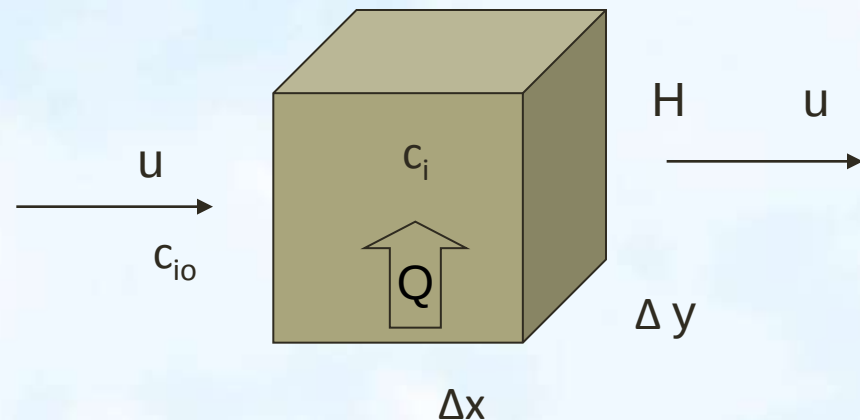
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Model skrzynkowy niedyfuzyjny

- Model oparty jest na bilansie masy zanieczyszczenia w umownej objętości (np. Obszar aglomeracji lub województwa).



Model skrzynkowy

- Q_i –emisja (kg/h)
- S_i – szybkość usuwania (kg/h)
- R_i – szybkość reakcji (kg/m³h)
- C_{i0} – stężenie tła (kg/m³)
- u – prędkość wiatru (m/h)
- Założenia: gaz obojętny, pomijamy proces usuwania



Modele gaussowskie smugowe starej generacji

- Przepływ ustalony
- Ruch poziomy w kierunku osi x

$$\cancel{\delta c / \delta t} + u \delta c / \delta x + \cancel{v \delta c / \delta y} + \cancel{w \delta c / \delta z} =$$
$$= \delta(K_x \delta c / \delta x) / \delta t + \delta(K_y \delta c / \delta y) / \delta t + \delta(K_z \delta c / \delta z) / \delta t + \text{emisja} - \text{usuwanie}$$

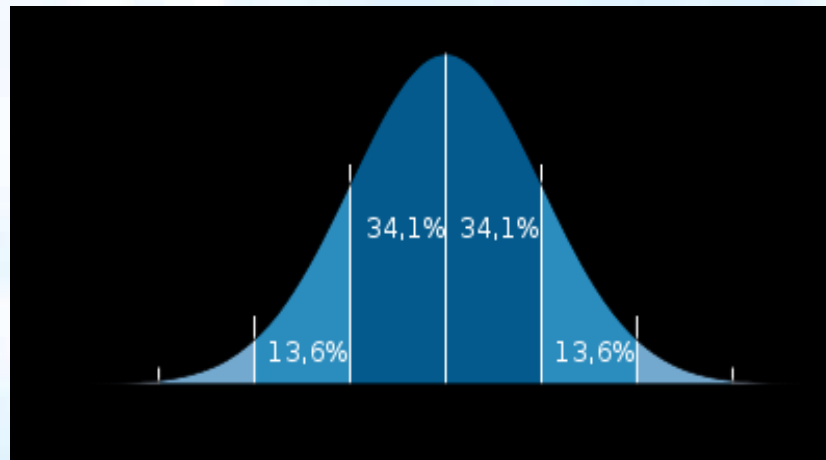
Przy założeniu, że współczynniki dyfuzji turbulentnej wynoszą:

$$K_y = \sigma_y^2 u / 2x$$

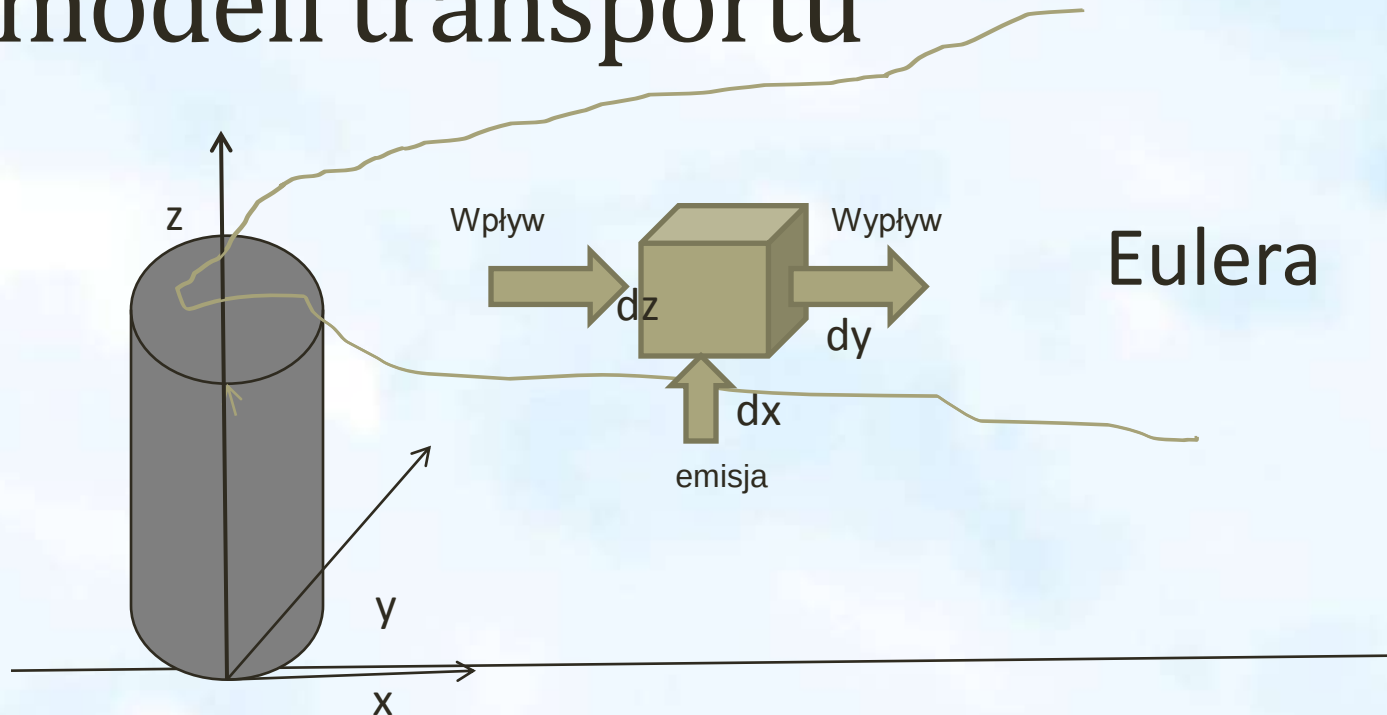
$$K_z = \sigma_z^2 u / 2x$$



oraz przyjęciu innych uproszczeń uzyskano rozwiązanie analityczne – określane **modelem Pasquilla**. Jest to gaussowski model zanieczyszczeń, w którym stężenie wzdłuż osi smugi ma statystyczny rozkład Gaussa.

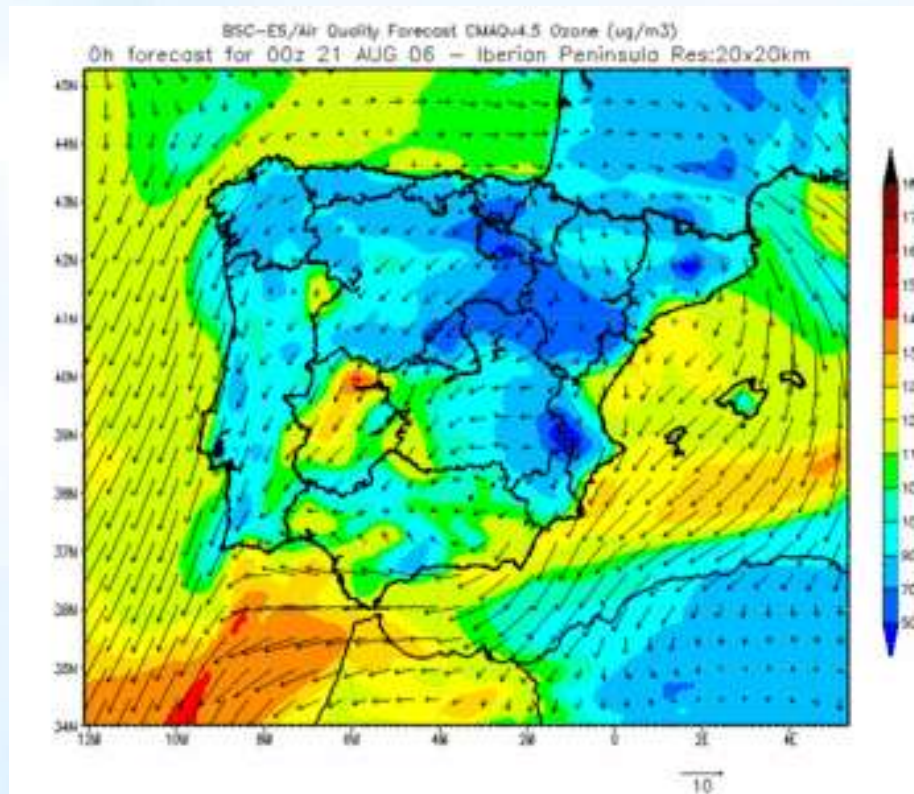


Typy modeli transportu



Polega na badaniu ruchu płynu w wybranych punktach przestrzeni.
Prędkość płynu opisana jest zależnością: $v=v(x, y, z, t)$. Pole stężeń – przestrzenny rozkład uśrednionego do czasu Δt stężenia zanieczyszczenia

Prognoza jakości powietrza



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



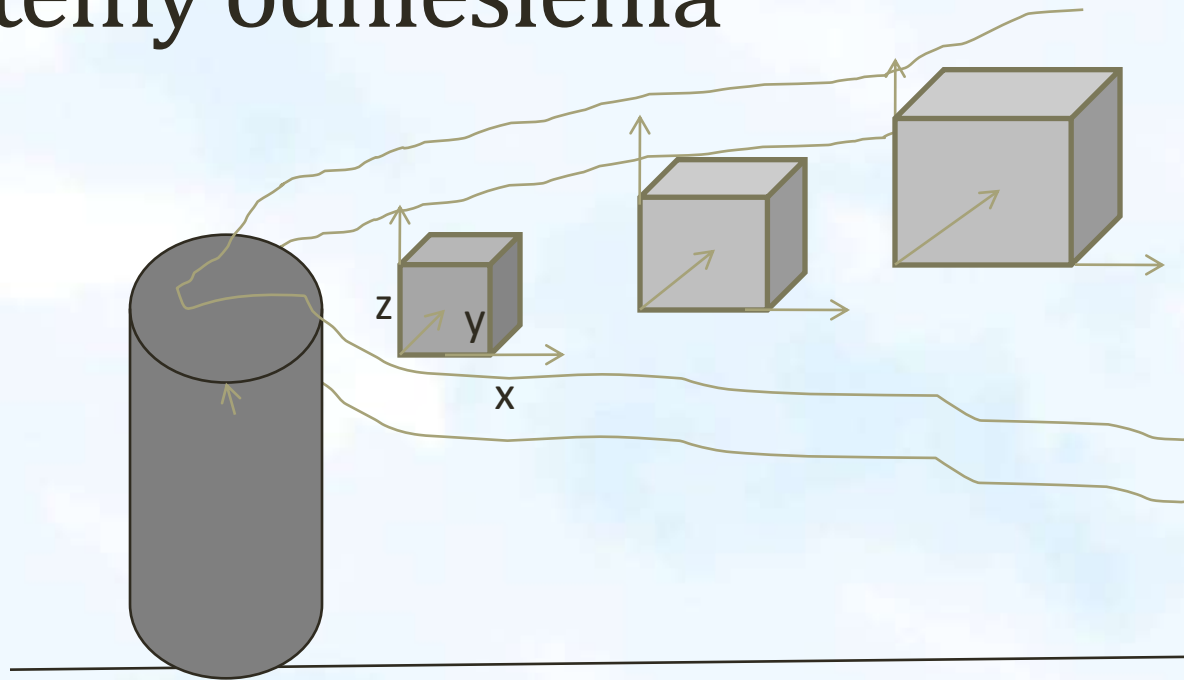
Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Systemy odniesienia

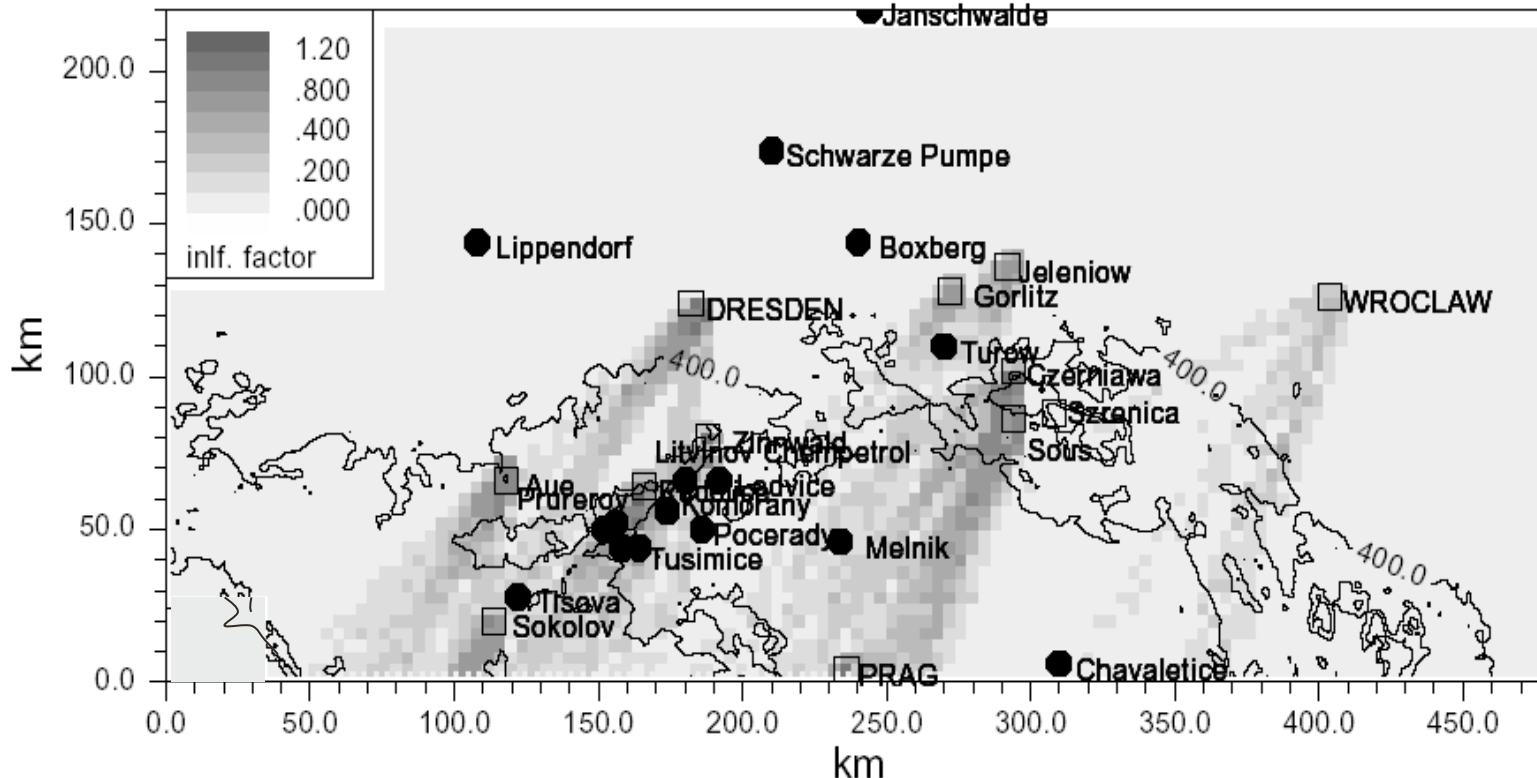
Lagrange'a



Polega na badaniu wybranych elementów płynu po ich *torach*. Oznacza to, że konieczne jest ustalenie chwili początkowej t_0 i określanie wszystkich własności płynu biorąc pod uwagę położenie jego elementów w tej chwili. Prędkość płynu opisana jest zależnością: $v=v(x(t), y(t), z(t), t)$. Stężenia zanieczyszczeń są wyznaczane wzdłuż toru przemieszczania się cząstki powietrza²²

Prognostyczny model dyspersji (LAPMOD).

Influence_22.09.1999_00:00-24:00



Modele numeryczne

$$\delta c_i / \delta t = (\delta c_i / \delta t)_{\text{adw}} + (\delta c_i / \delta t)_{\text{dyf}} + (\delta c_i / \delta t)_{\text{chmura}} + (\delta c_i / \delta t)_{\text{dep}} + R_i + E_i + \dots$$

Gdzie:

$(\delta c_i / \delta t)_{\text{adw}}$, $(\delta c_i / \delta t)_{\text{dyf}}$, $(\delta c_i / \delta t)_{\text{chmura}}$, $(\delta c_i / \delta t)_{\text{dep}}$, R_i , E_i - zmiany stężenia powodowane adwekcją, dyfuzją, procesami przebiegającymi w chmurach, usuwaniem zanieczyszczeń, przemianami chemicznymi i emisją.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wiedza jest odpowiedzią

- ❑ Współcześnie najważniejszym wyznacznikiem konkurencyjności staje się wiedza, deprecjonując tym samym znaczenie kapitału, ziemi czy surowców.
- ❑ Istotną wartością jest kapitał intelektualny, spotyka się jego podział na dwie części :
 - Kapitał przypisywany jednostce (nazywany indywidualnym), rozumiany jako osobiste i społeczne umiejętności, doświadczenie, wykształcenie i inne umiejętności zorientowane na zewnątrz,
 - Kapitał przypisywany organizacji (strukturalny), którego źródłem jest doświadczenie i historia organizacji zapisana w podręcznikach, programach narzędziach i koncepcjach.

Umiejętnie łącząc te dwa poziomy kapitału wiedzy kreuje się jakość i wartość przyszłości.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



NAUKA

- ❑ Istnieją bardzo poważne dane, by sądzić, że w wyniku okresu gwałtownych fluktuacji poprzedzający stan nasycenia nastąpi zupełna reorganizacja instytucji zwanej Nauką.
- ❑ Nauka cierpi na dwie przeciwstawne sobie tendencje:
 - pierwsza to specjalizacja,
 - przeciwną tendencją jest tęsknota za syntezą.
 - produktami tej tęsknoty bywają różne "naukowe" wizje świata.



DZIĘKUJĘ PAŃSTWU ZA UWAGĘ

“Jedna przekonana osoba jest warta dziewięćdziesięciu dziewięciu, które są tylko zainteresowane”

-John Stuart Mill



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wstęp

Odory – substancje lotne, organiczne i nieorganiczne, wyczuwane przez receptory węchowe i rejestrowane jako przyjemne lub nieprzyjemne.

Wyróżniamy 3 grupy cząstek odpowiedzialnych za zapach:

- związki siarczkowe (np. siarkowodór)
- związki azotowe (np. amoniak)
- związki zawierające węgiel (np. węglowodory aromatyczne)



Zagadnienie jakości powietrza w polskim prawie

- w otaczającym powietrzu –
 - Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu
 - Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu
- przy stanowiskach pracy –
 - Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. u. nr 217, poz. 1833) z późniejszymi zmianami



PROBLEM:

Na chwilę obecną brak konkretnych uregulowań prawnych (ustaw, rozporządzeń) odnośnie oceny uciążliwości zapachowej

Funkcjonuje norma - EN 13725:2003 „Jakość powietrza – oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej”

wersja polska normy: PN-EN 13725:2007

Dostępne są założenia do projektu ustawy o przeciwdziałaniu uciążliwości zapachowej z dnia 22 grudnia 2010r.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Podstawowe pojęcia

- Próg wyczuwalności zapachowej (odour threshold, OT) - minimalne stężenie odorantu (pojedynczej substancji) wyczuwalne przez zmysł powonienia u połowy osób w grupie poddanej badaniu
- Jednostka zapachowa (odour unit, ou) – ilość substancji zapachowej, która po wprowadzeniu do 1 m³ powietrza osiąga próg wyczuwalności zapachowej – substancja wzorcowa n-butanol
$$OT = 1ou$$
- Stężenie zapachowe (threshold odour number TON, lub odour concentration c_{od} , ou/m³) – iloraz stężenia odorantu przez wartość stężenia progowego
- Pozorny próg wyczuwalności - $TON = 0,1 \text{ ou/m}^3$



PROBLEM:

Dla mieszaniny substancji wonnych praktycznie niemożliwe jest określenie wartości progu wyczuwalności zapachowej



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Inne parametry uciążliwości zapachowej

Dotyczy stanowisk pracy

- najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) — wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika przez okres jego dobowej aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia;
- najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCh) — wartość średnia stężenia, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy nie dłużej niż 15 minut i nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej, w odstępie czasu nie krótszym niż 1 godzina;
- najwyższe dopuszczalne stężenie pułapowe (NDSP) — wartość stężenia, która ze względu na zagrożenie zdrowia lub życia pracownika nie może być w środowisku pracy przekroczona w żadnym momencie.



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Inne parametry uciążliwości zapachowej

- Koncentracja bezpośrednio niebezpieczna dla życia i zdrowia (concentration considered Immediately Dangerous to Life or Health - IDLH) – narażenie na taką koncentrację powoduje nagłą utratę życia



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Źródła odorantów

- duże obiekty hodowli zwierząt i inne obiekty rolne
- obiekty komunalne (oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów),
- obiekty przemysłowe (np. cukrownie, koksownie i inne)



PROBLEM:

Dokładne ustalenie, które elementy instalacji są emitentami odorantów oraz określenie ich parametrów technicznych oraz technologii w celu ustalenia emisji



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Emisja odorantów

- Wyznaczanie emisji w oparciu o aktywność oraz wskaźniki
- Wyznaczanie emisji w oparciu o objętość gazów wylotowych i stężenie substancji na wylocie w ou/m^3



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Modelowanie

- Nieduże zasięgi – dlatego preferowane są modele gaussowskie
- Potrzebna duża wrażliwość modelu na warunki meteo (wiatr, temperatura, PGT)
- Niektóre zanieczyszczenia ulegają przemianom np. amoniak

Propozycja dobrego modelu wyczerpującego powyższe: CALPUFF



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Przykład 1 – uciążliwość zapachowa oczyszczalni ścieków

Założenia:

- głównymi źródłami emisji zanieczyszczeń są reaktory biologiczne, zbiornik retencyjny osadu oraz komory fermentacji osadu
- emitory liczone jako powierzchniowe
- wskaźnikiem aktywności w odniesieniu, do którego wyznaczono emisję jest dobowy przepływ ścieków
- 90% skuteczność biofiltrów w zakresie amoniaku
- obliczenia dla stężeń zanieczyszczeń a następnie odniesienie wyników do progów wyczuwalności zapachowej
- model CALPUFF



Wyznaczona emisja wraz ze wskaźnikami

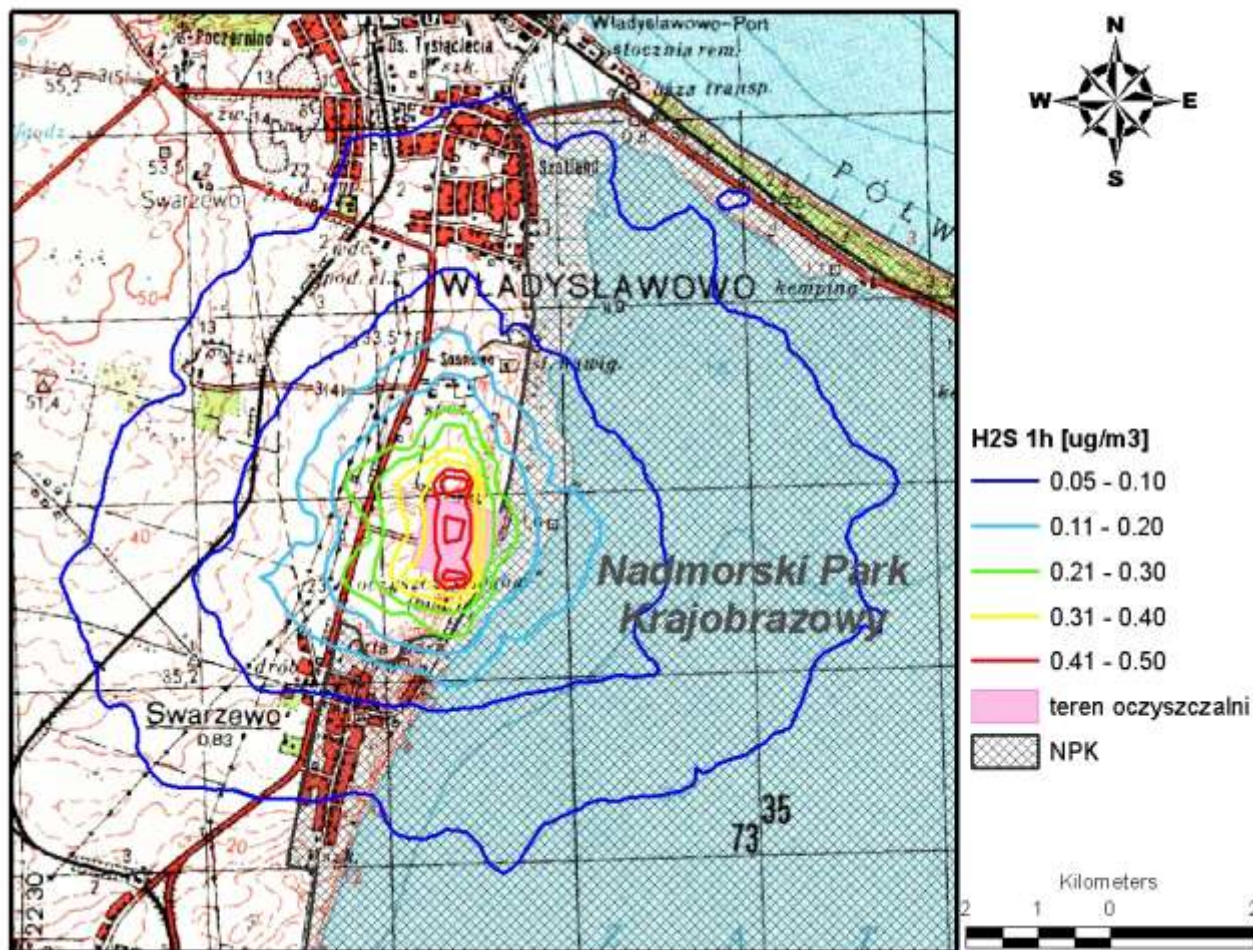
Sezon	Przepływ [m ³ /dobę]	NH ₃		H ₂ S	
		[kg/h]	[Mg]	[kg/h]	[Mg]
		2,2 [g/m ³ /dobę]		0,3 [g/m ³ /dobę]	
lato	18 100	0,1659	0,3663	0,0226	0,050
zima	9 100	0,0281	0,1842	0,0038	0,0251
rok		0,0628	0,5505	0,0086	0,0751

Progi wyczuwalności zapachowej dla amoniaku i siarkowodoru

- Amoniak – 5,2 ppm = 3900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Siarkowodór – 0,0081 ppm = 12,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Stężenia krótkookresowe H_2S wyznaczone modelowo



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

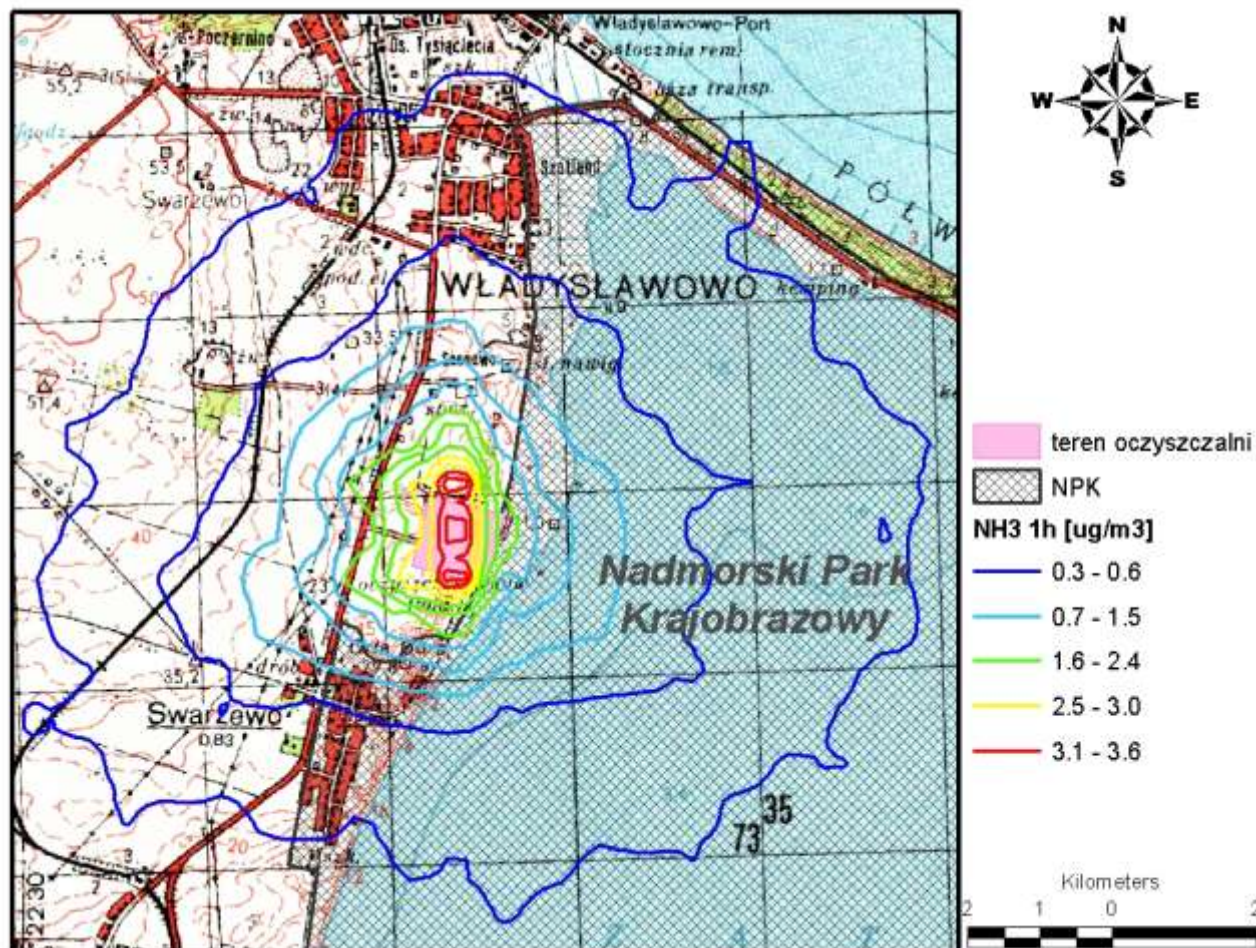


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Stężenia krótkookresowe NH_3 wyznaczone modelowo



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Przykład 2 – uciążliwość zapachowa fermy drobiu

Założenia:

- głównymi źródłami emisji zanieczyszczeń są kurniki o obsadzie rocznej 650 000 kur
- emitory liczone jako powierzchniowe
- wskaźnikiem aktywności w odniesieniu, do którego wyznaczono emisję jest jednorazowa obsada kurnika (założono 30 000 kur)
- obliczenia wykonane w jednostkach zapachowych (ou)
- model CALPUFF



Wskaźnik emisji

- Wskaźnik emisji przyjęto z opracowania Odory J. Kośmider:

0,8 ou/s/sztukę drobiu



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

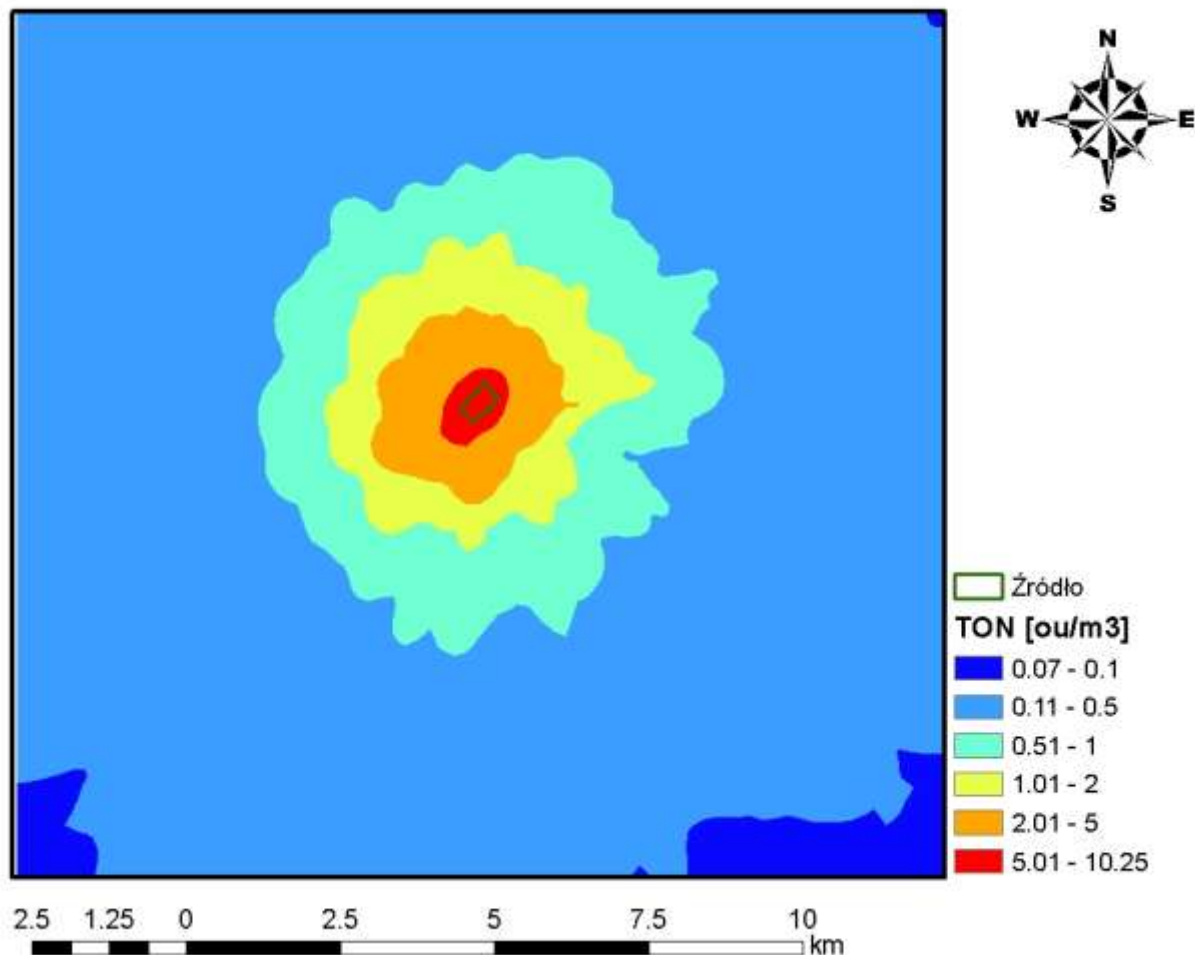


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Uciążliwość zapachowa fermy drobiu - wartości maksymalne 1h



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

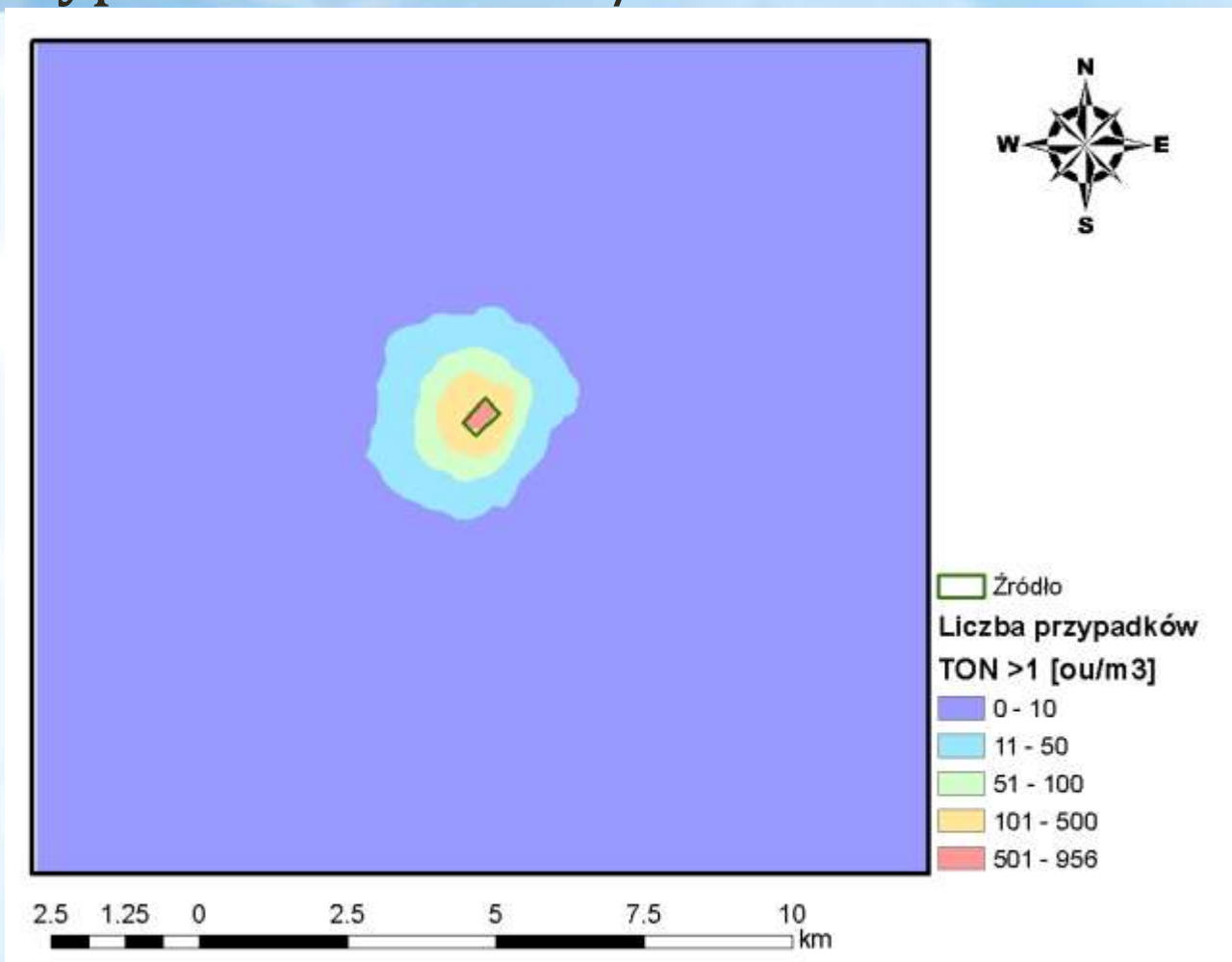


Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Uciążliwość zapachowa fermy drobiu - liczba przypadków $\text{TON} > 1 \text{ ou/m}^3$



Dziękuję za uwagę



**PROGRAM
REGIONALNY**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Pomorskie w Unii
URZĄD MARSZAŁKOWSKI
WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
www.pomorskiewunii.pl

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

