

Poznań
17.03.2023 r.

Cyklony tropikalne

prof. dr hab. **Leszek Kolendowicz**

Zakład Meteorologii i Klimatologii



Ministerstwo
Edukacji i Nauki



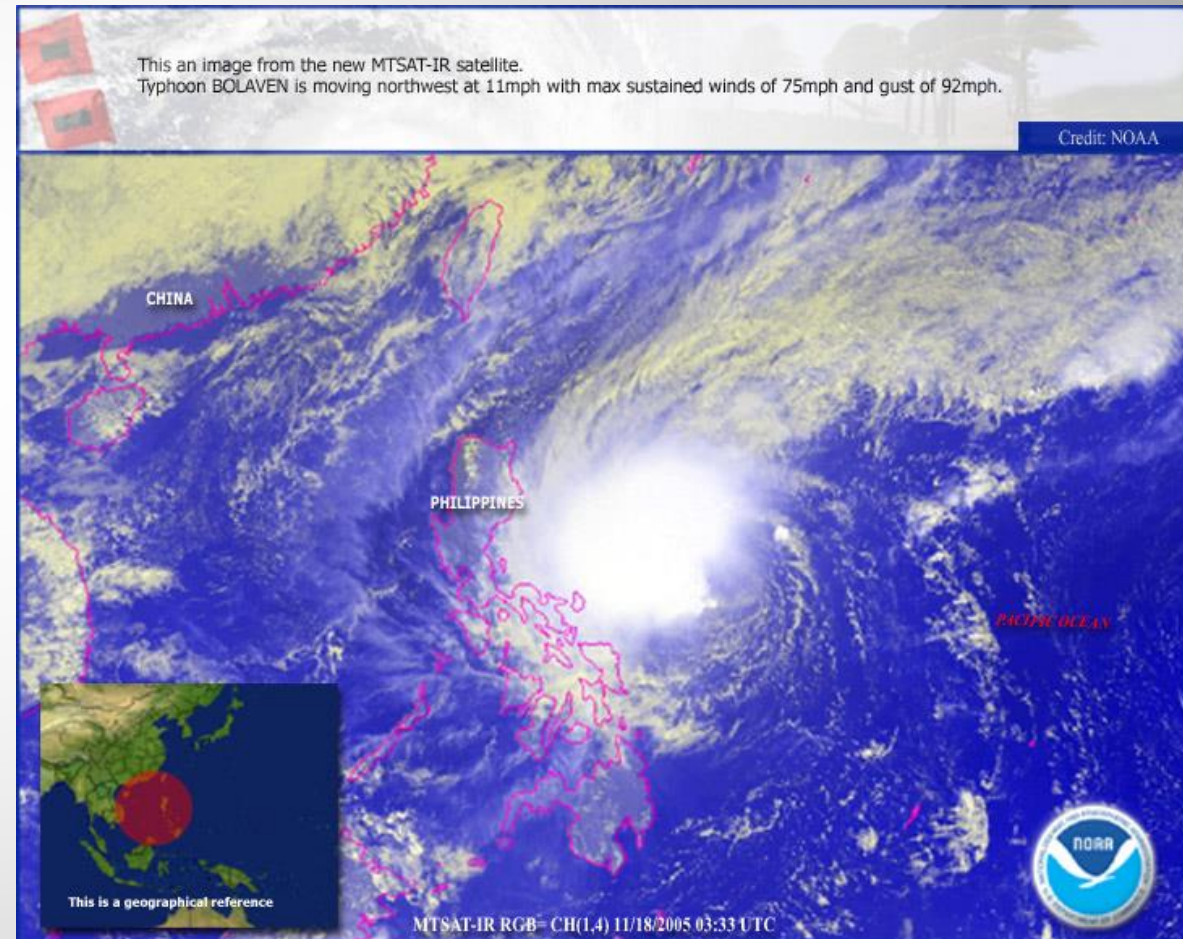
UNIwersytet
IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU



Wydział Nauk
Geograficznych i Geologicznych

PLAN WYSTĄPIENIA

1. Definicja pojęcia „cyklon tropikalny”
2. Czynniki i procesy sprzyjające powstawaniu cyklonów tropikalnych
3. Fazy rozwoju cyklonów tropikalnych
4. Obszary i sezony występowania oraz szlaki przemieszczania cyklonów tropikalnych
 1. Czynniki niebezpieczne związane z cyklonami tropikalnymi
 2. Cyklony tropikalne latach 1971-2018 na kuli ziemskiej
7. Podsumowanie



Cyklon tropikalny

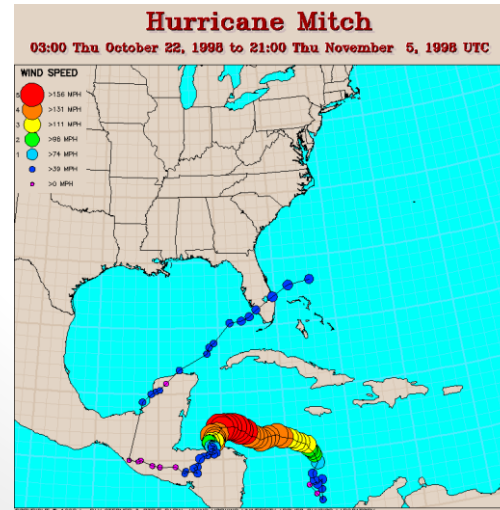
głęboki ośrodek niskiego ciśnienia tworzący się na morzach strefy międzyzwrotnikowej, powyżej 5° N i S, o średnicy kilkuset km, z bardzo silnymi wiatrami, ulewnymi opadami i niekiedy z burzami. Obejmuje centrum zwane okiem cyklonu, o średnicy kilkudziesięciu kilometrów, z lekkim wiatrem i mało zachmurzonym niebem oraz spiralnie układające się wokół oka pasma chmur.



Huragan Katrina 23-29.08.2005 (NOAA)

Czynniki sprzyjające formowaniu się cyklonów tropikalnych

1. Temperatura wody w warstwie przypowierzchniowej wyższa od 26°C i gradient temperatury w wodzie mniejszy niż 4°C do głębokości 70 m.
2. Obecność płytkich niżów lub zatoki niskiego ciśnienia osadzonych wewnątrz warstwy potencjalnie niestabilnego, wilgotnego i ciepłego powietrza.
3. Odległość od równika ponad 500 km, pozwalająca na efektywne oddziaływanie siły Coriolisa.
4. Mały gradient pionowy prędkości wiatru z wysokością



Huragan Mich 22.10-5.11.1998 (NOAA)

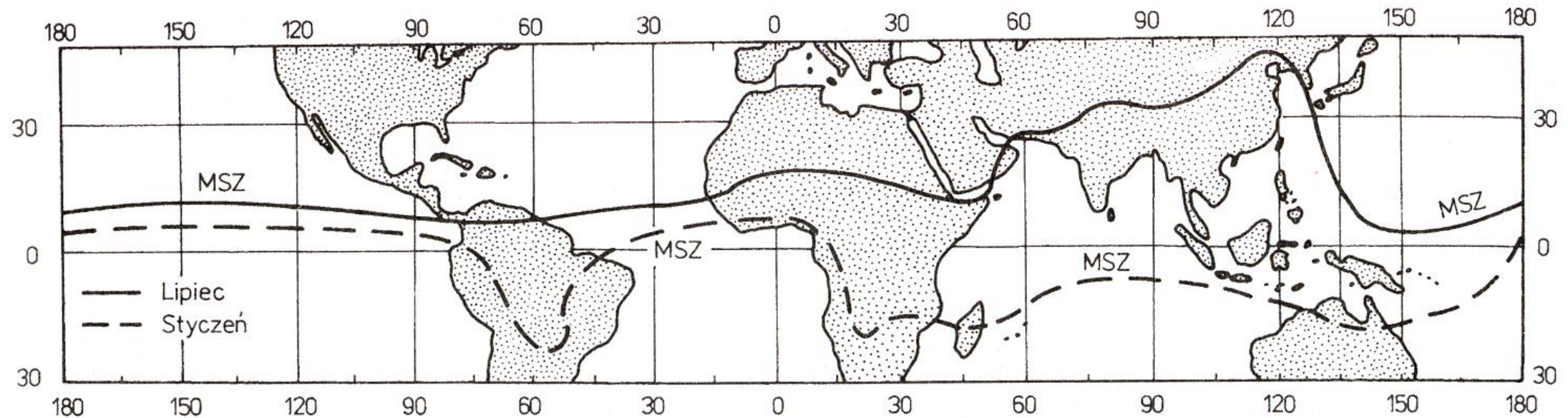
Geneza cyklonów tropikalnych

Wskazuje się na 3 procesy biorące udział powstawaniu cyklonu tropikalnego:

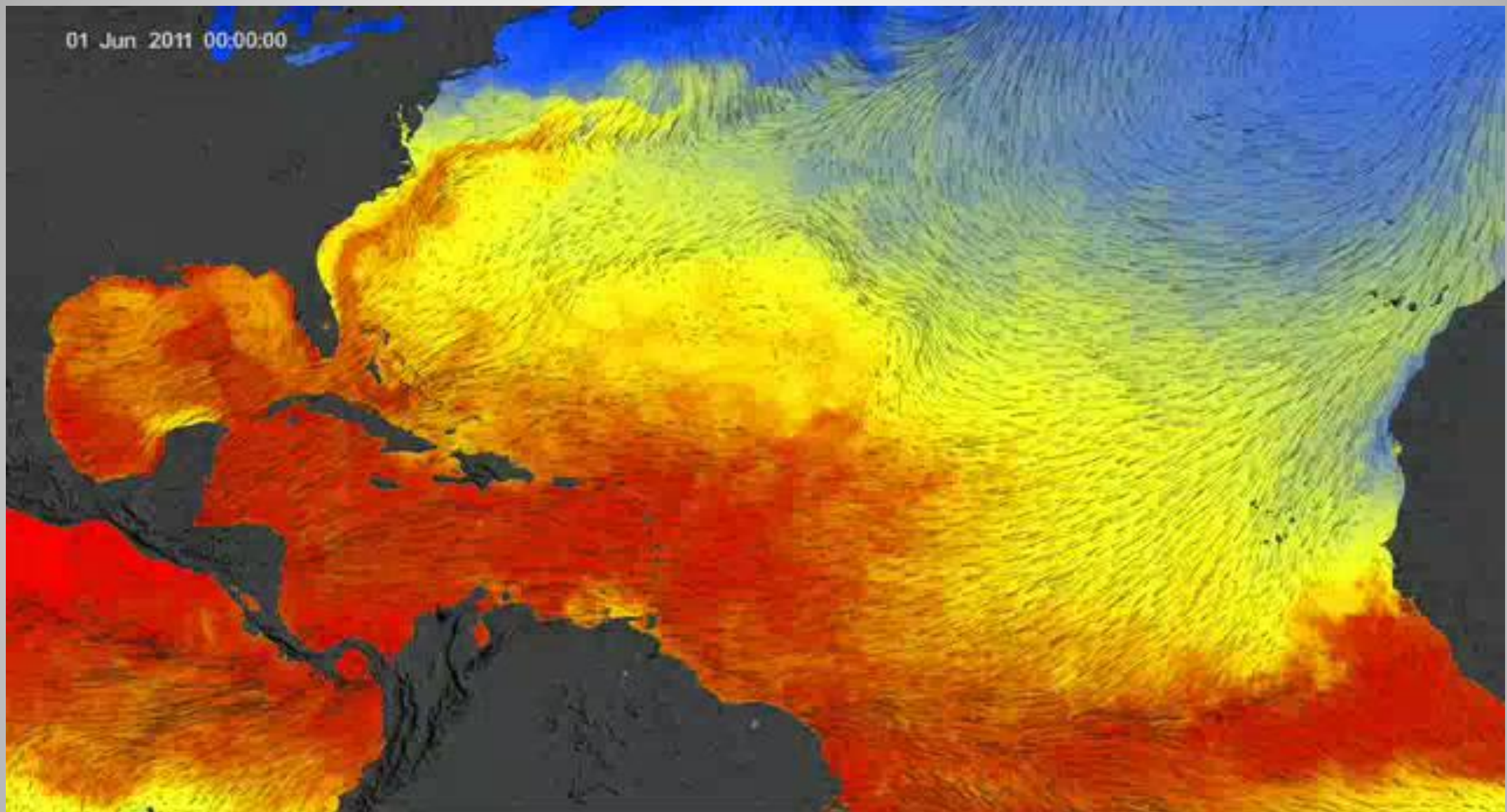
- 1 – **konwergencja** (zbieżność przepływu) mas powietrza
- 2 – oddziaływanie wyższych warstw troposfery (**fala wschodnia**) na masy powietrza leżące w dolnej troposferze
- 3 – **konwekcja**

Konwergencja mas powietrza zwrotnikowego i równikowego

- Pomędzy aktywnymi masami powietrza zwrotnikowego (pasatowego) i względnie bezwładnymi ale potencjalnie niestabilnymi masami równikowymi wytwarza się strefa przejściowa – front tropikalny.



Położenie w ciągu roku międzyzwrotnikowej strefy zbieżności (MSZ) (Woś, 1996)

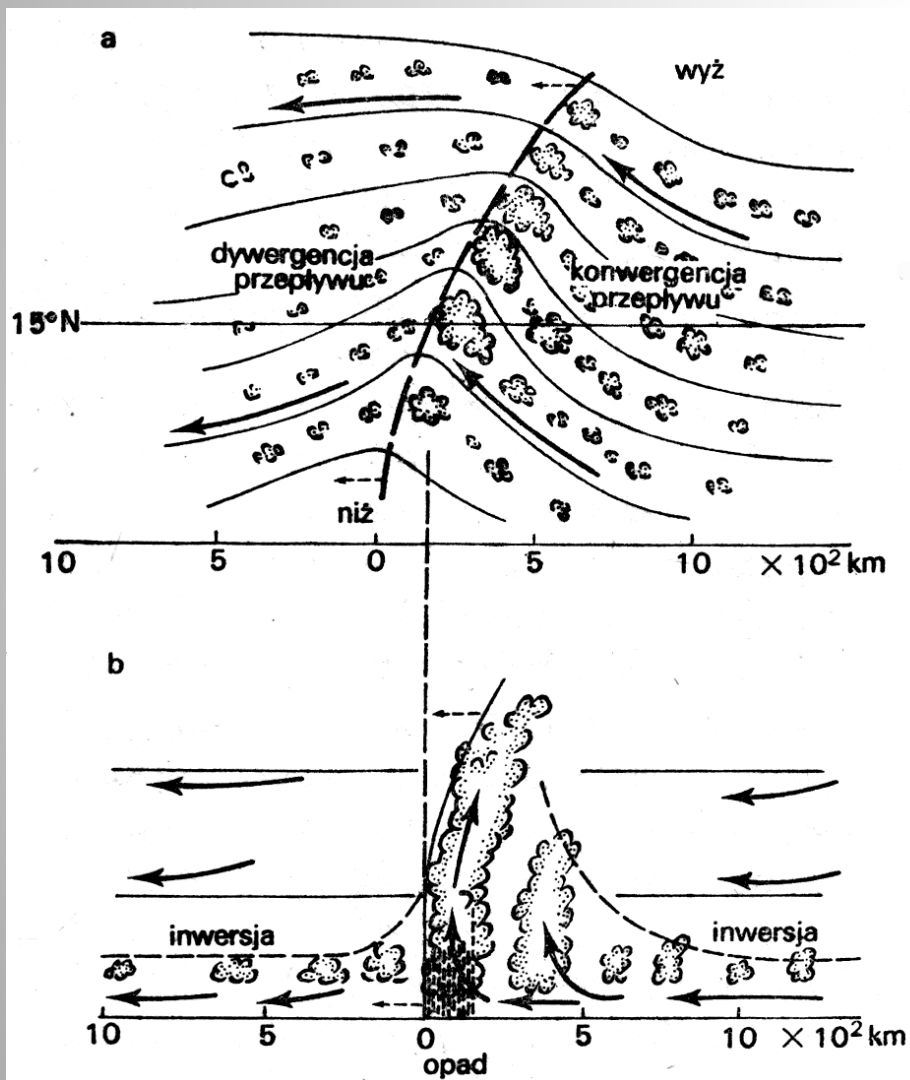


Źródło: NOAA

Oddziaływanie fali wschodniej na warstwę inwersji pasatowej

W strefie pasatowej występują falowe zaburzenia o długości ok. 1600 km.

- Wysokość występowania - 3-6 km,
- Prędkość przemieszczania się - 23,5 km/h (w kierunku zachodnim),
- Jedno tego typu zaburzenie występuje w każdym punkcie strefy pasatów co 3 dni.



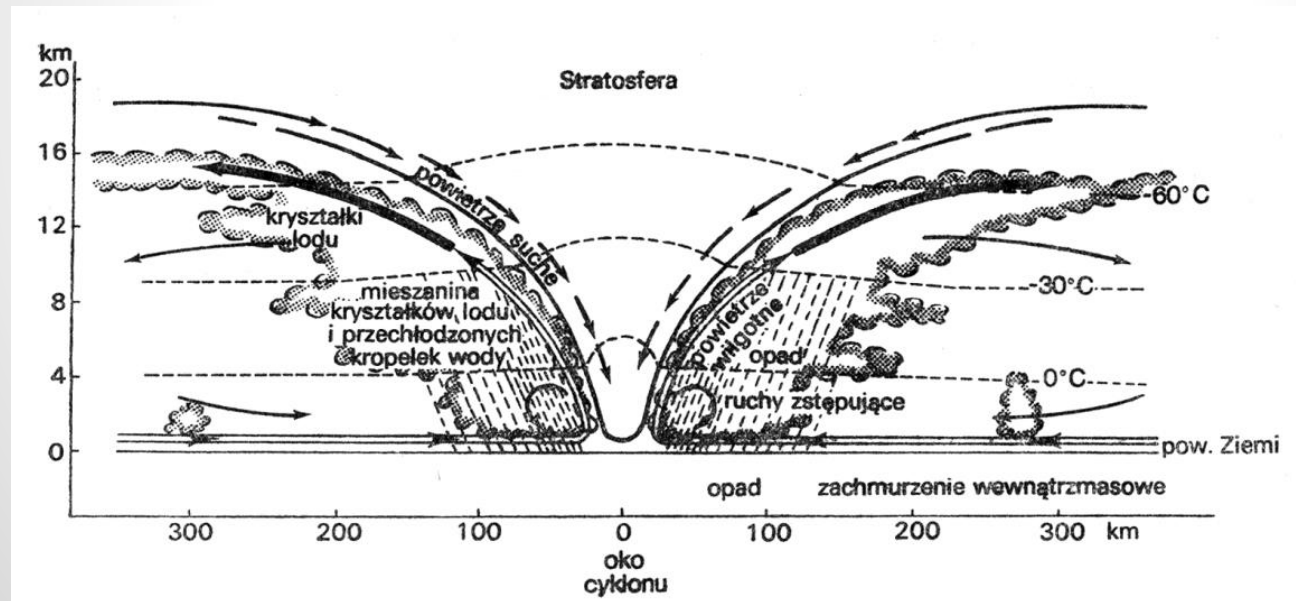
Fala wschodnia w strefie pasatów (wg Malkusa 1957)

a) Obraz zaburzenia ukazujący obszary konwergencji i dywergencji

b) Przekrój pionowy przez falę wschodnią

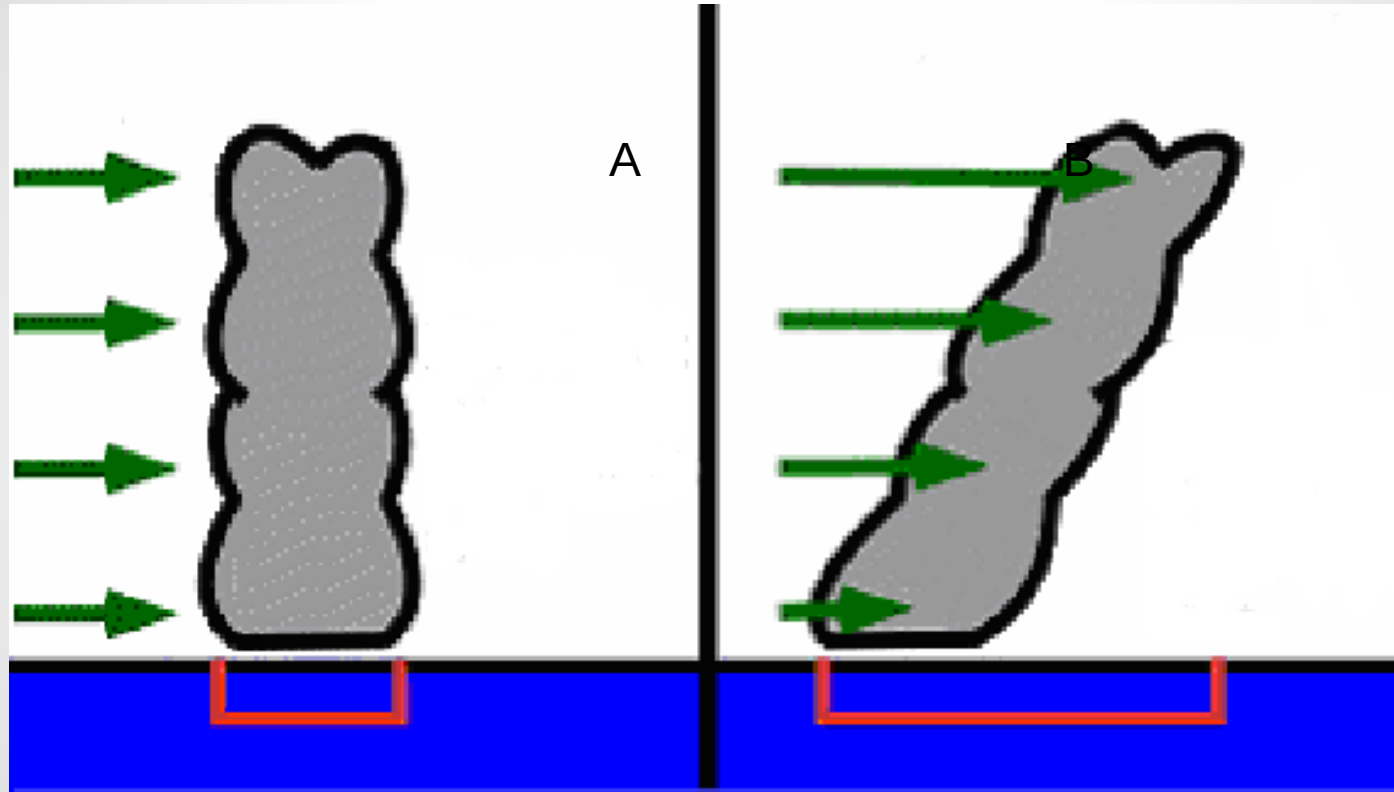
Konwekcja

- Ruch wirowy jest konsekwencją konwekcji ,
- Spadek ciśnienia w oku cyklonu jest spowodowany działaniem siły odśrodkowej wirującego powietrza,
- Nad ciepłym morzem chłodny opad związany z cyklonem szybko „znika” w ciepłej wodzie a powietrze opadające wraz z nim ogrzewane jest przez kontakt z powierzchnią morza,
- Parowanie kropel opadającego deszczu przyczynia się do zwiększenia różnic temperatury w przekroju poziomym chmur, stymulując konwekcję.



Przekrój pionowy cyklonu tropikalnego w początkowym etapie fazy dojrzalej (Crowe, 1987)

**Wpływ zmienności prędkości wiatru z wysokością
na powstanie konwekcyjnego układu cyklonicznego**



(Źródło: NOAA)

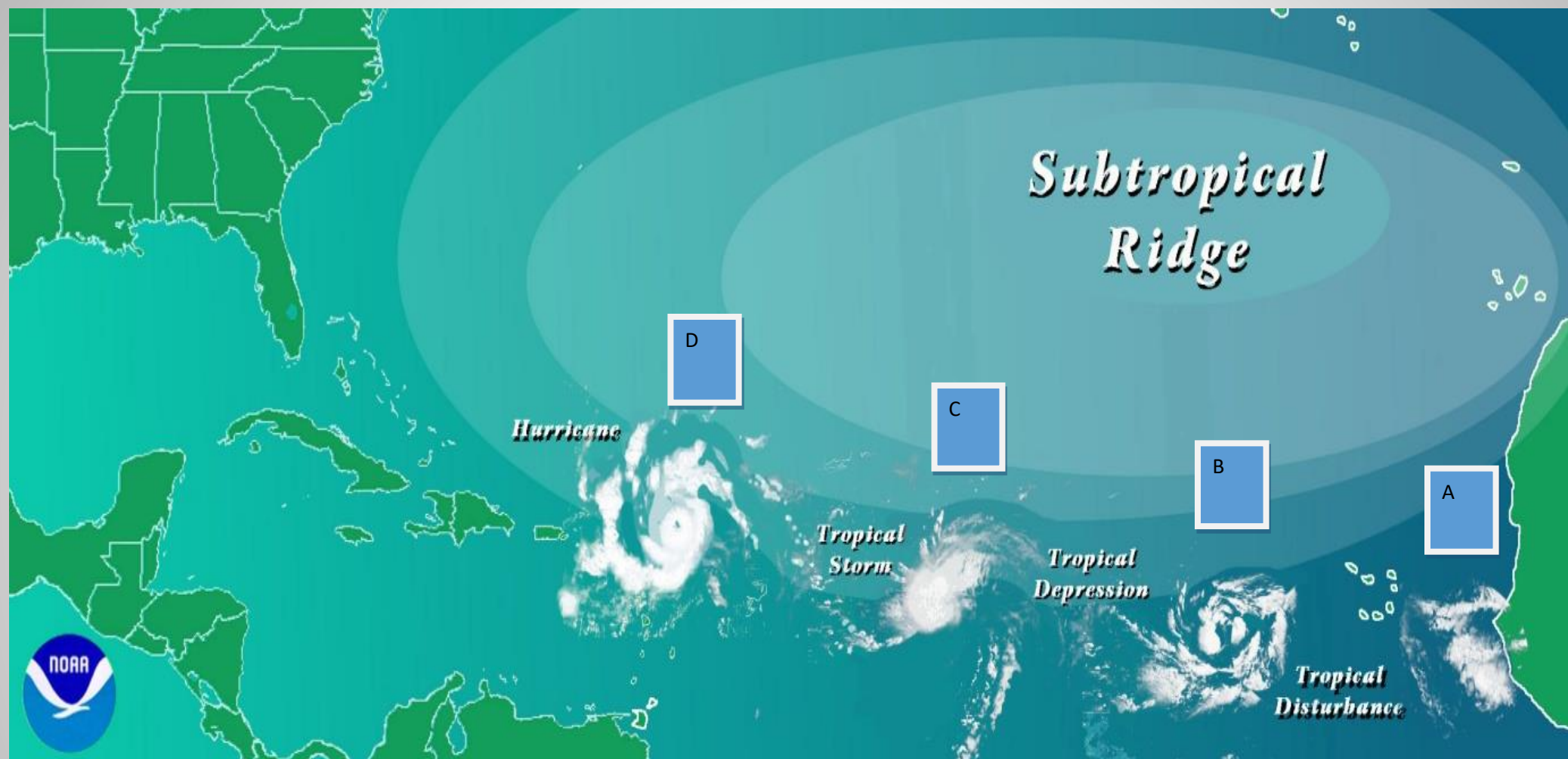
A – ciepło utajone wyzwala się nad mniejszym obszarem
B - wyzwalałe ciepło utajone rozkłada się nad większym obszarem

**Tylko co 10 przypadek nałożenia się okoliczności sprzyjających
powstaniu cyklonu doprowadza do jego utworzenia.**

Opinie na temat genezy cyklonów nie są w pełni zgodne.

Fazy rozwoju cyklonu tropikalnego

- **zaburzenie tropikalne** – o zasięgu 200-600km, prędkość wiatru wynosi około 20 km/h. Na mapach synoptycznych oznaczane są literą D (ang. *disturbance*) lub pełną nazwą *tropical disturbance*, obszar otoczony jest zwykle jedną izobara, wewnątrz której znajduje się litera L (ang. *low*).
- **depresje tropikalne** - charakteryzują się zamkniętą cyrkulacją z prędkością wiatru około 60 km/h, na mapach synoptycznych oznaczane literami TD (ang. *tropical depression*). Obszar wokół centrum oznacza się jedną lub dwoma izobarami, a samo centrum oznakowane jest krzyżykiem znajdującym się w kółku.
- **sztorm tropikalny** - charakteryzuje się wiatrem o prędkości od 62 - 117 km/h, chmury skoncentrowane są zazwyczaj w centrum układu, a opady występują po zewnętrznej stronie systemu. Na mapach synoptycznych oznaczone są literami TS (ang. *tropical storm*). Obszar otoczony jest zwykle 1-3 izobarami, a centrum oznaczone charakterystycznym jasnym kółkiem z dwoma ciemnymi skrzydełkami.
- **cyklon tropikalny** - wiatr osiąga prędkość powyżej 119 km/h. W zależności od obszaru występowania oznaczone są literami: H (ang. *hurricane*) na Oceanie Atlantyckim i wschodniej części Oceanu Spokojnego, T lub TH (ang. *typhoon*) w zachodniej części Oceanu Spokojnego oraz C (ang. *cyclone*) na Oceanie Indyjskim na północ od równika. Obszar wokół centrum wykreślony jest 3-6 izobarami, a centrum oznaczone ciemnym kółkiem z ciemnymi skrzydełkami. Cyklony dodatkowo oznaczane są liczbami od 1 do 5 w skali Saffira-Simpsona. Cyklony w kategorii 3,4,5 określane są jako intensywne czyli *Intense Hurricanes*.

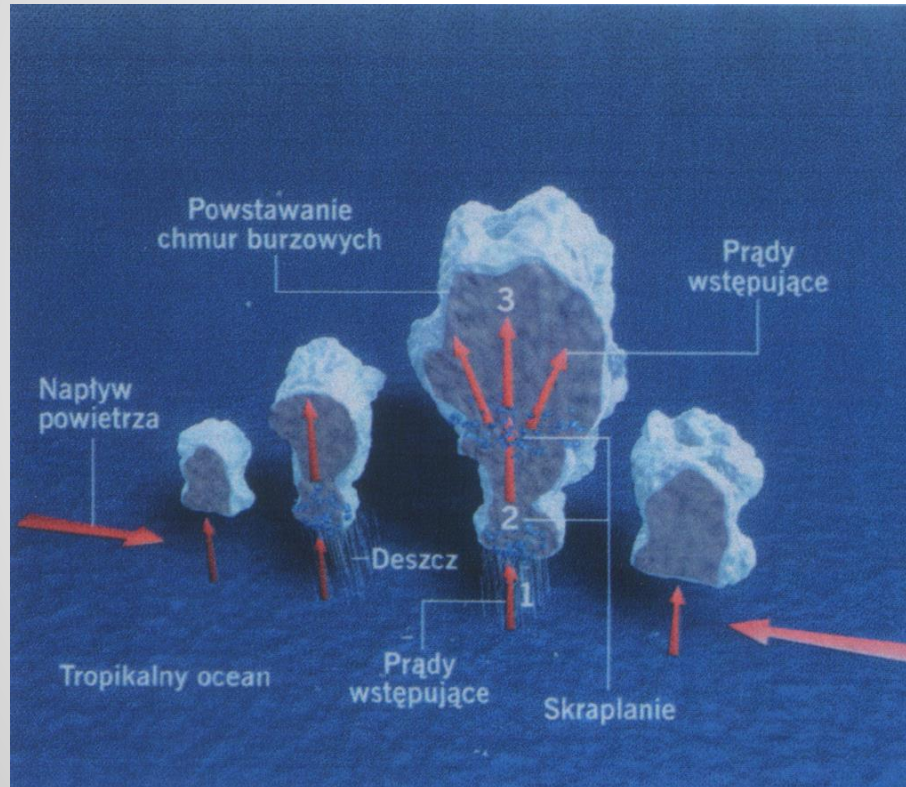


Źródło: NOAA

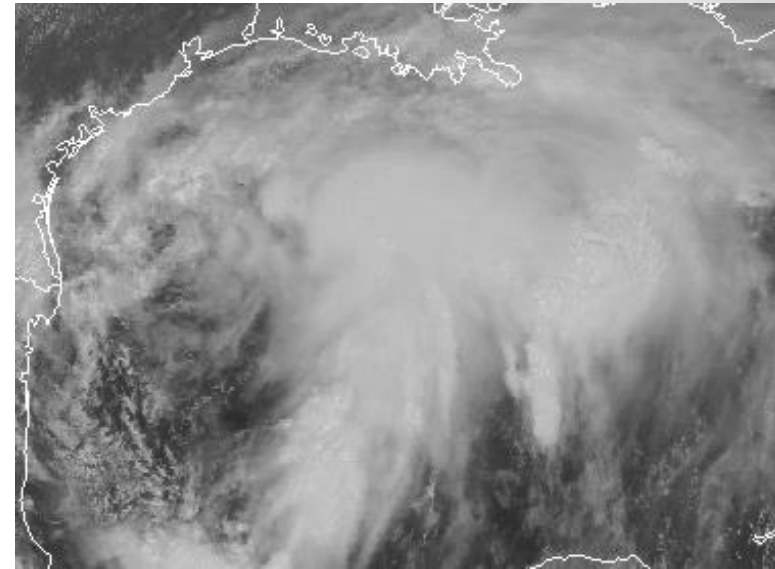
A - zaburzenia tropikalne, B- depresja tropikalna, C- sztorm tropikalny, D - cyklon tropikalny

Depresja tropikalna

- Pojawienie się strefy obniżonego ciśnienia (co najmniej jedna zamknięta izobara),
- Pod kompleks chmur burzowych napływa powietrze z zewnątrz zaczynając poruszać się po spirali,
- Prędkość wiatru - 43 km/h do 64 km/h.



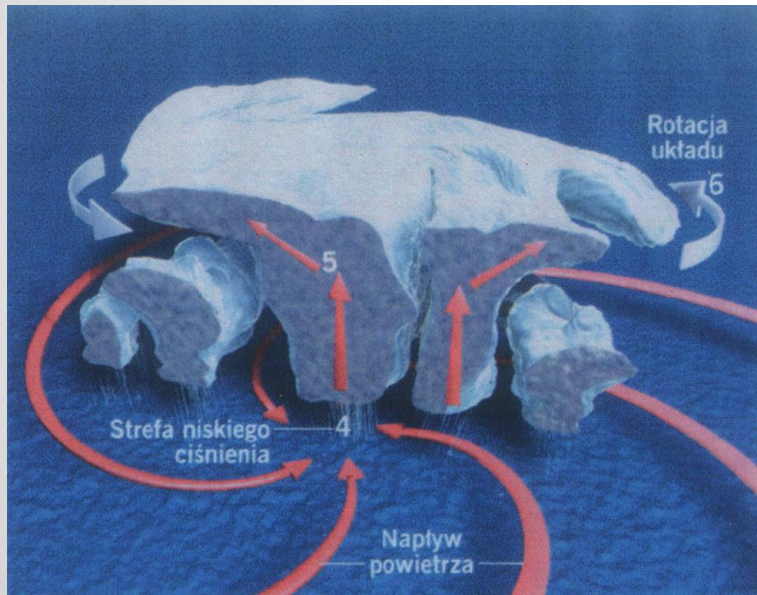
Przekrój przez chmury kompleksu burzowego oraz schemat cyrkulacji powietrza w depresji tropikalnej (Fierstein 2004)



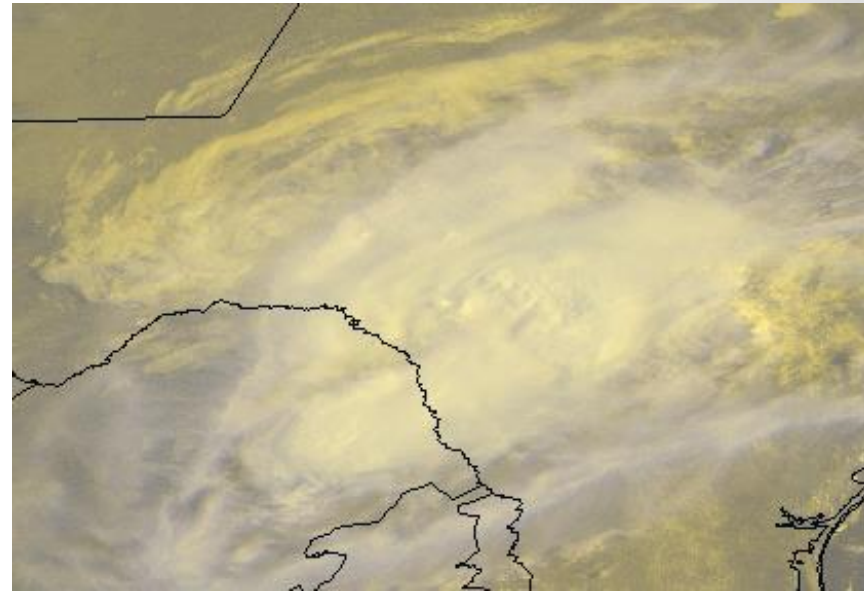
Zdjęcie satelitarne kompleksu chmur depresji tropikalnej w paśmie widzialnym (Zatoka Meksykańska, NOAA)

Sztorm tropikalny

- Wzrost prędkość wiatru powyżej 64 km/h,
- Bardziej zorganizowany ruch powietrza (kształt całego układu zbliżony do okręgu),
- Satelitarny obraz sztormu tropikalnego zaczyna przypominać cyklon.



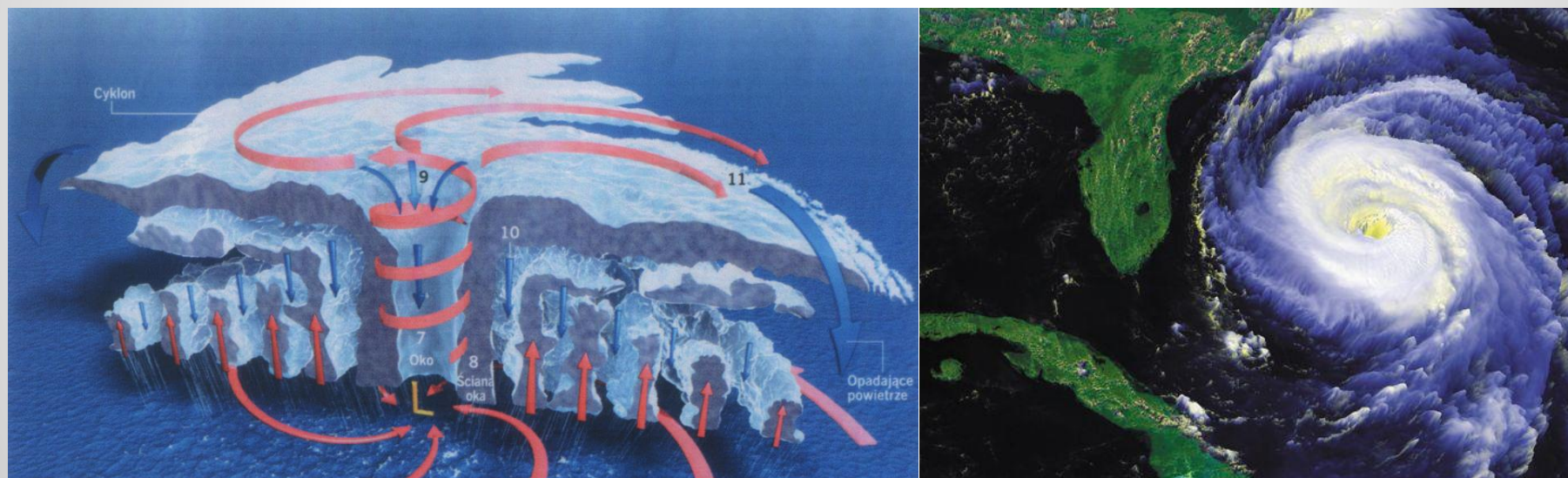
Przekrój przez chmury kompleksu burzowego ze schematem cyrkulacji powietrza (Fierstein 2004)



Zdjęcie satelitarne kompleksu chmur sztormu tropikalnego w paśmie widzialnym (Zatoka Meksykańska, NOAA)

Cyklon tropikalny

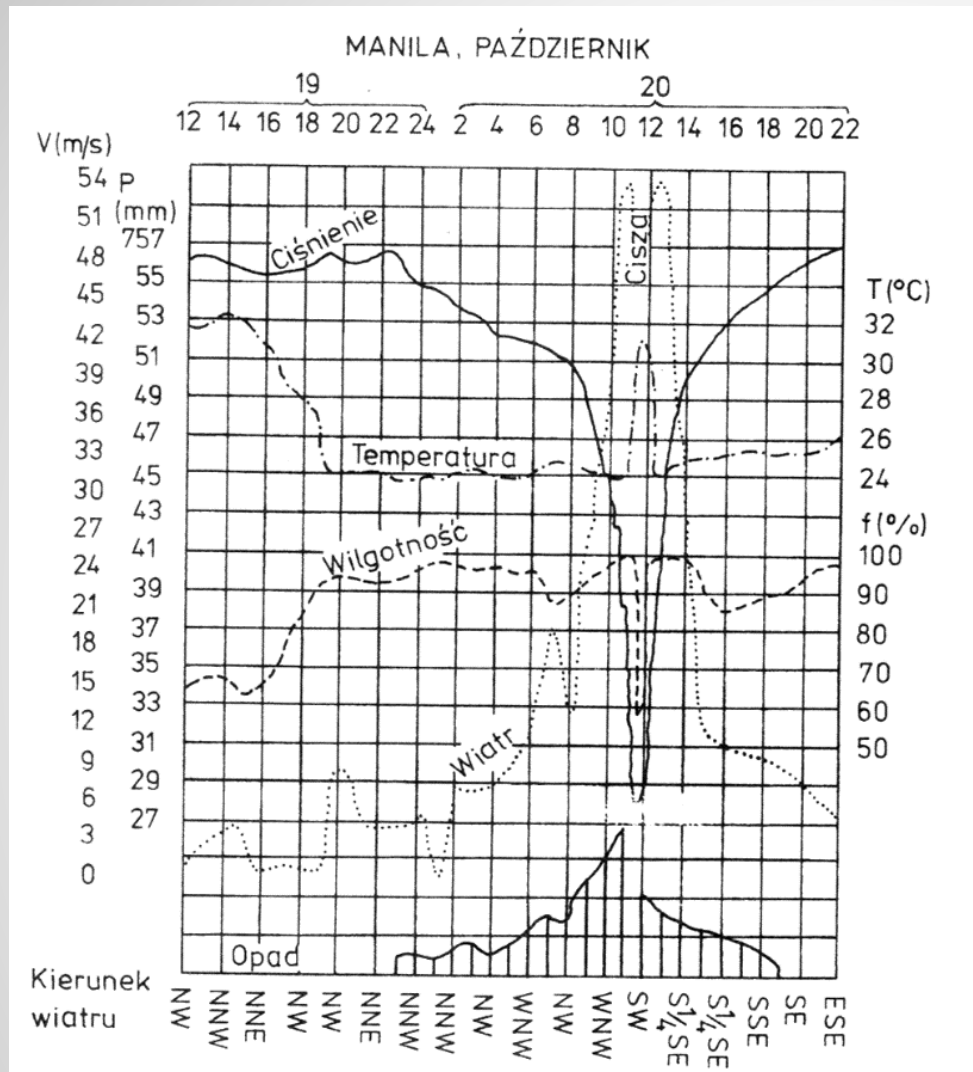
- Szybkość wiatru wzrasta do ponad 119 km/h,
- W centrum układu wytwarza się obszar pozbawiony chmur zwany okiem,
- Chmury wraz ze strefami opadowymi tworzą spiralnie układające się pasma wokół oka cyklonu.



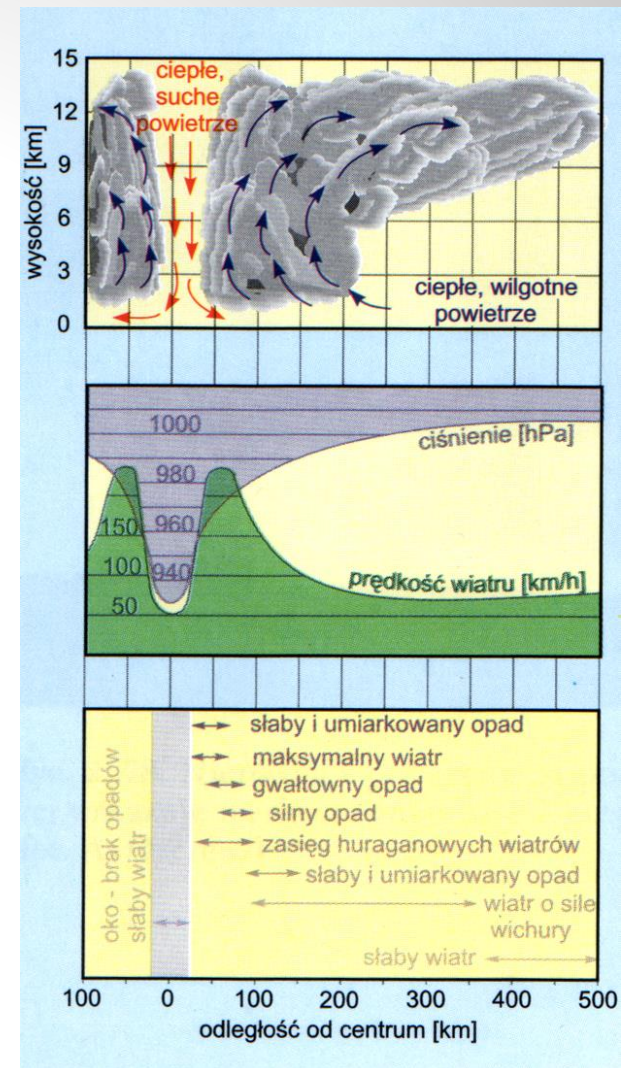
Przekrój przez układ chmur w cyklonie tropikalnym wraz ze schematem cyrkulacji powietrza wewnątrz cyklonu (Fierstein 2004)

Źródło: NOAA

Huragan Fran (23.08-6.09.1996)



Zapis przebiegu wybranych elementów meteorologicznych podczas przemieszczania się cyklonu tropikalnego (Kendrew 1957, za Wosiem 2006)



Przekrój pionowy przez cyklon tropikalny oraz zjawiska towarzyszące (A.Miller 1967, za Tamulewiczem 1997)

Skala intensywności huraganów Saffira-Simpsona

Prędkość wiatru km/h	Kategoria huraganu	Prędkość wiatru [m/s]	Minimalne przyziemne ciśnienie atmosferyczne [hPa]	Wysokość spiętrzenia sztormowego [m]	Opis uszkodzeń	Przykład
119-153	I	33-42	>980	1,0-1,7	Uszkodzenia minimalne. Nie powoduje szkód w budynkach. Uszkadza zakotwiczone domy ruchome. Lekkie zniszczenia słabo skonstruowanych znaków, a także przybrzeżne powodzie i mało istotne uszkodzenia pomostów i moło	Earl 1998, Irene 1999
154-177	II	43-49	979-965	1,8-2,6	Uszkodzenia średnie. Uszkodzenia listowia i krzewów, małe drzewa połamane. Nieliczne zniszczenia dachów budynków, drzwi i okien. Znaczne uszkodzenia ruchomych domów. Zalewanie moło, może spowodować zerwanie się przycumowanych statków. Powalone niektóre drzewa. Drogi wzdłuż wybrzeża mogą być przerwane 2-4 godzin po przybyciu huraganu. Pożądana ewakuacja nisko położonych terenów	Bonne 1998, Georges 1998
178-209	III	50-58	964-945	2,7-3,8	Uszkodzenia rozległe. Budynki o słabej konstrukcji praktycznie całkowicie zniszczone. Uszkodzenia rezydencji i budynków publicznych. Powalone duże drzewa. Ruchome domy i słabo zbudowane znaki zniszczone. Powódź blisko wybrzeża niszczy małe i duże budowle unoszący mi się na powierzchni wody materiałami. Teren w głębi lądu do 8 mil może być zalany. Wymagana ewakuacja z linii wybrzeża, przed przybyciem huraganu	Fran 1996, Keith 2000
210-249	IV	59-69	944-920	3,9-5,6	Uszkodzenia ekstremalne. Bardziej obszerne uszkodzenia, zniszczone dachy małych rezydencji, większa erozja terytoriów przy plaży, zalanie terenów wewnątrz lądu. Drogi ewakuacyjne zostana zalane w czasie do 3-5 godzin przed przejściem oka cyklonu	Andrew 1992, 922 hPa, 67 m/s Hugo 1989, 918 hPa, 62 m/s
>249	V	70+	< 920	5,7+	Uszkodzenia katastrofalne. Całkowicie zniszczone dachy. Niektóre duże budynki uszkodzone przez mniejsze, które uległy zniszczeniu. Powódź przyczyną większego niszczenia niższych pięter wszystkich budowli w pobliżu linii brzegowej. Ruchome domy zniszczone całkowicie. Nisko położone drogi zalane i przerwane na 6-8 godzin przed przybyciem oka cyklonu. Wymagana całkowita ewakuacja terenów zamieszkałych w odległości do 15 mil od wybrzeża	Camille 1969, 909 hPa, 73m/s Gilbert 1988, 888 hPa, 71 m/s

www.nhc.noaa.gov

Przy v wiatru: 180 km/h (50 m/s) – nacisk na powierzchnię 1m² wynosi 2500 kg

Inż. Herbert Seymour Saffir (1917 – 2007)



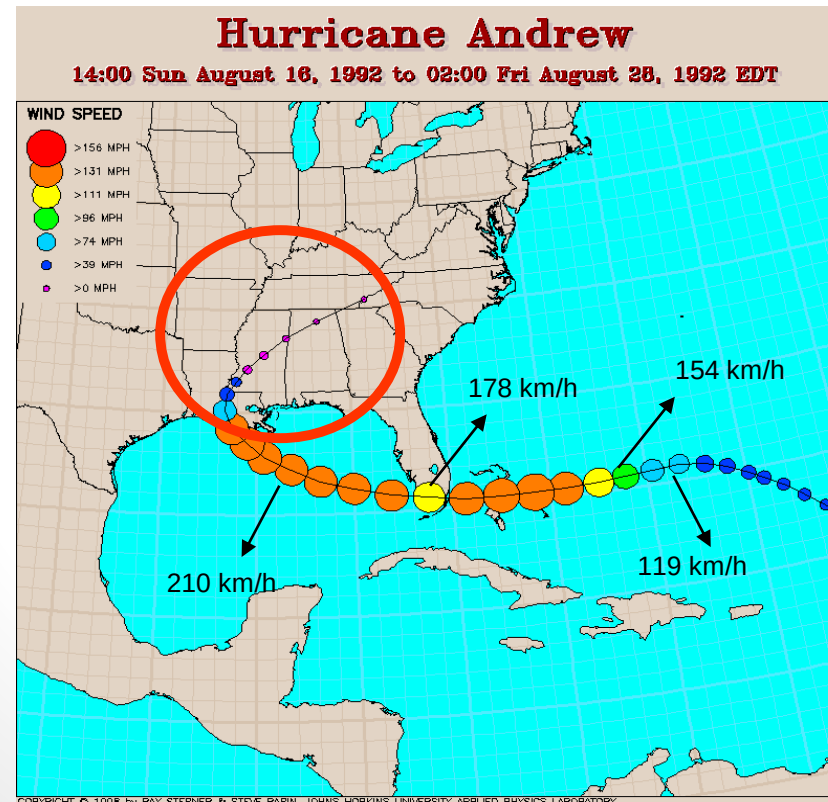
Meteorolog Robert Homer Simpson (1912 – 2014)



Faza zaniku cyklonu tropikalnego

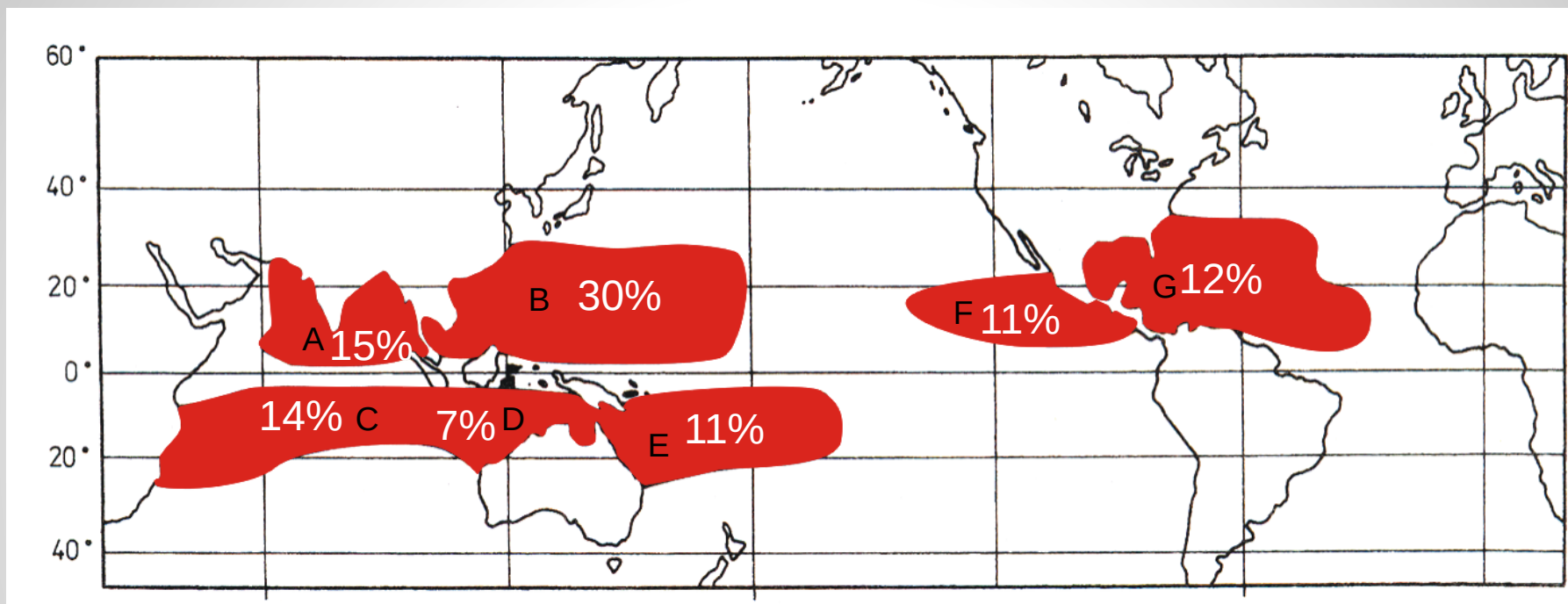
Na 20° - 30° szerokości geograficznej cyklon zmienia wyraźnie kierunek przemieszczania się na południkowy.

Nad lądem lub oceanem na wyższej szerokości geograficznej, maleje jego intensywność, zanika oko cyklonu i symetryczna budowa układu.



Szlak przemieszczania się huraganu Andrew z naniesionymi prędkościami wiatru w kolejnych stadiach rozwoju huraganu

Obszary występowania cyklonów tropikalnych na kuli ziemskiej



Obszary występowania cyklonów tropikalnych oraz udział cyklonów danego obszaru w ogólnej w ich liczbie (wg J.E.Hobbsa, 1980)

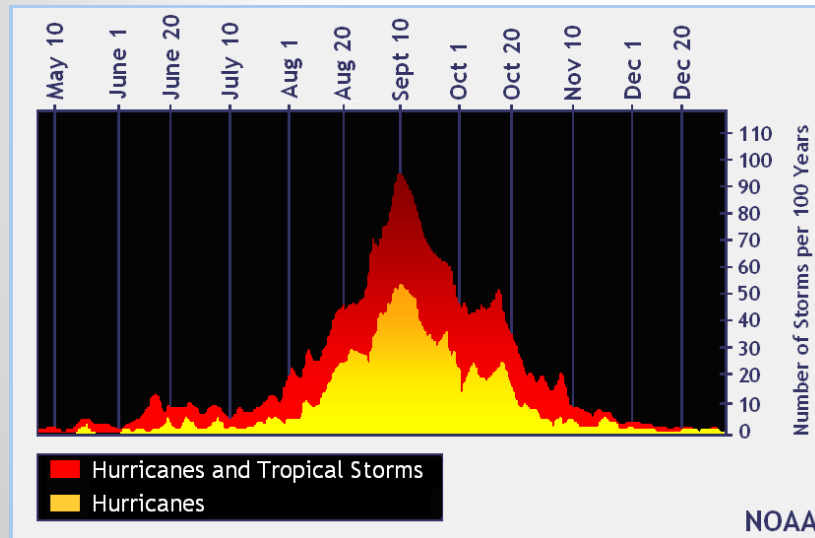
- A – Zatoka Bengalska i Morze Arabskie (Cyklony)
- B – Morza otaczające Azję Południowo-Wschodnią (Tajfuny)
- C – Ocean Indyjski w pasie od wybrzeży Afryki Południowej do zachodnich wybrzeży Australii (Cyklony)
- D – morskie obszary otaczające północne wybrzeża Australii (Willy-willy)
- E – Ocean Spokojny na wschód od Nowej Gwinei oraz północno-wschodnich wybrzeży Australii (Cyklony)
- F - Wschodnia część Oceanu Spokojnego (Huragany)
- G – Zachodnia część Atlantyku, Morze Karaibskie i Zatoka Meksykańska (Huragany)

Sezony występowania cyklonów tropikalnych

Półkula północna – od lipca do października

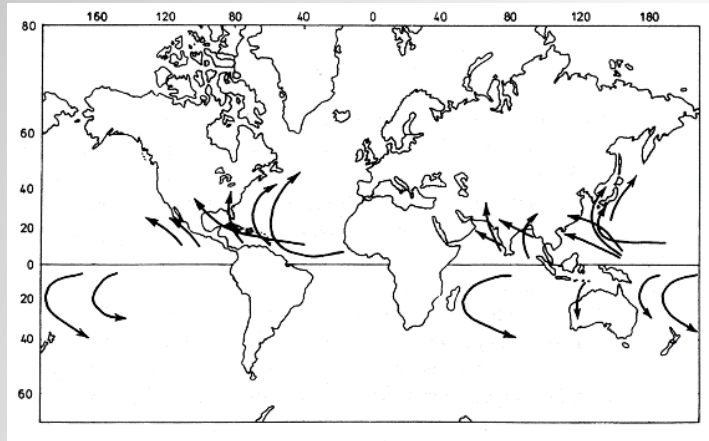
Półkula południowa – od grudnia do marca

Rejon Zatoki Bengalskiej i Morza Arabskiego – od maja do czerwca
i od października do listopada
(okresy zmian kierunku wiatru monsunowego)

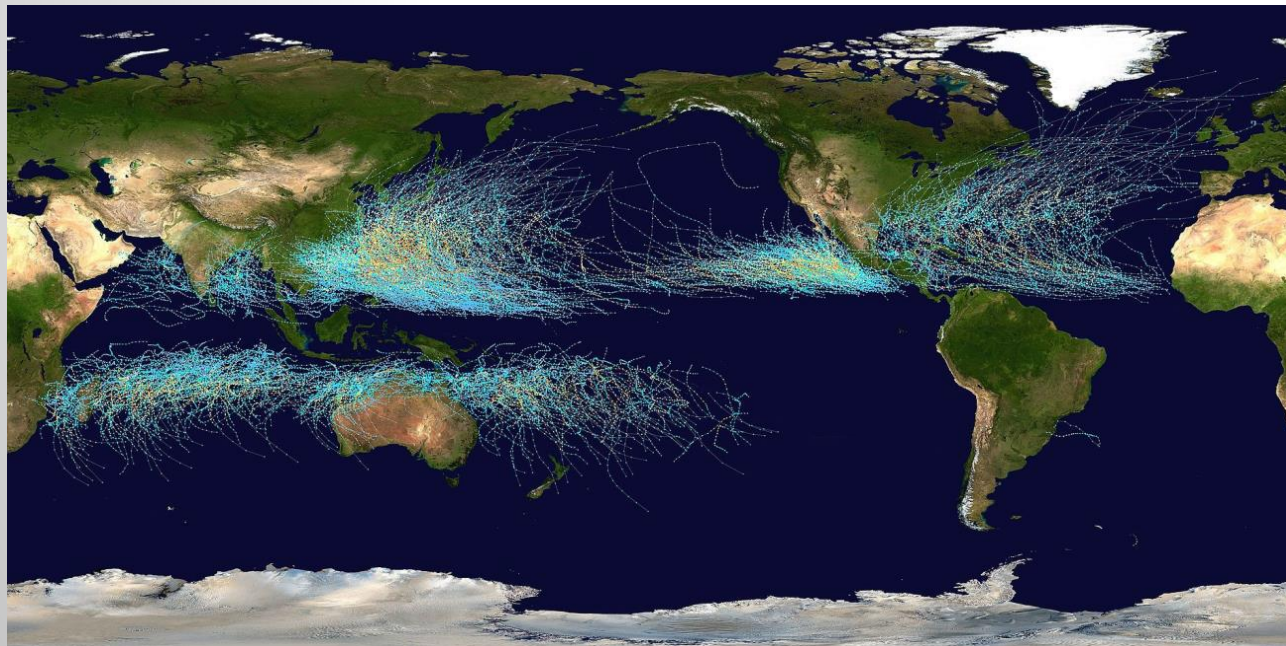


Sezon występowania huraganów w ciągu roku na obszarze Morza Karaibskiego i Zatoki Meksykańskiej

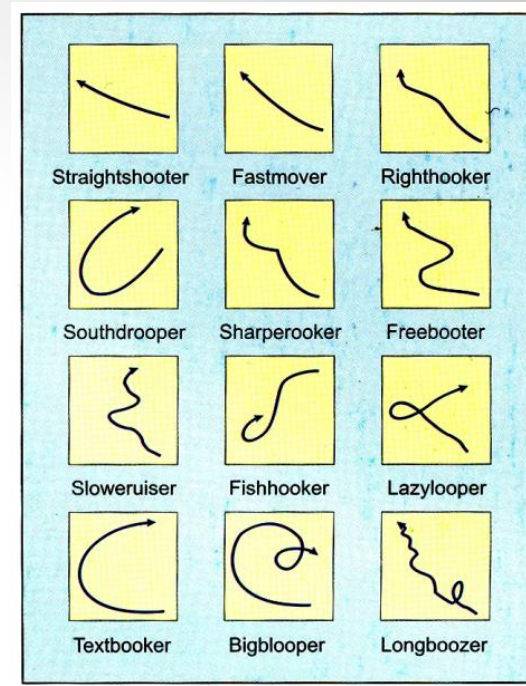
Szlaki przemieszczania się cyklonów tropikalnych na kuli ziemskiej



(Za: Woś 1996)

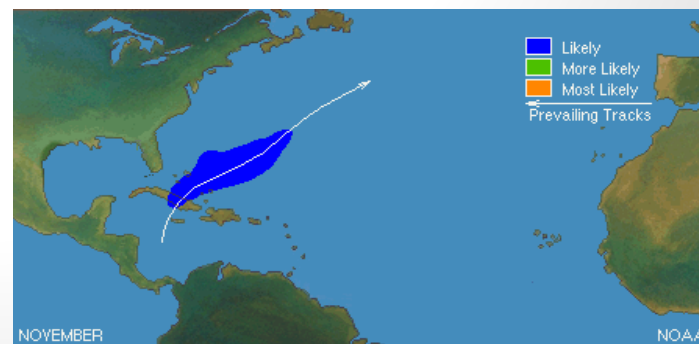
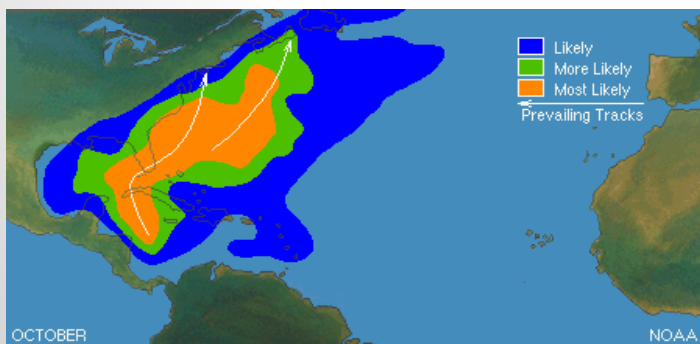
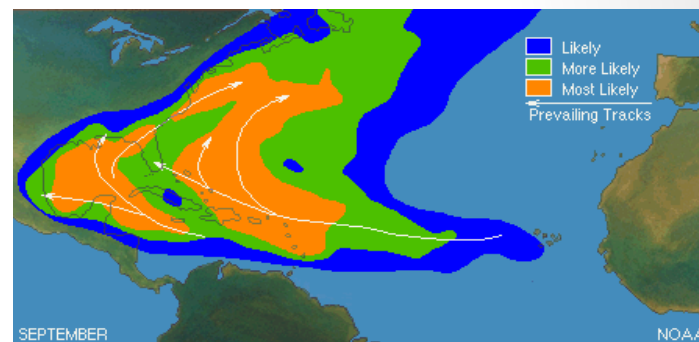
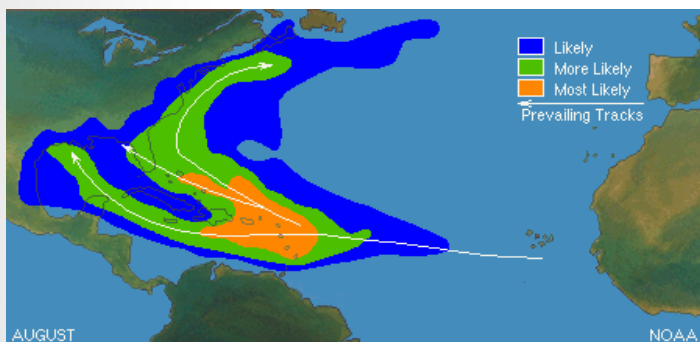
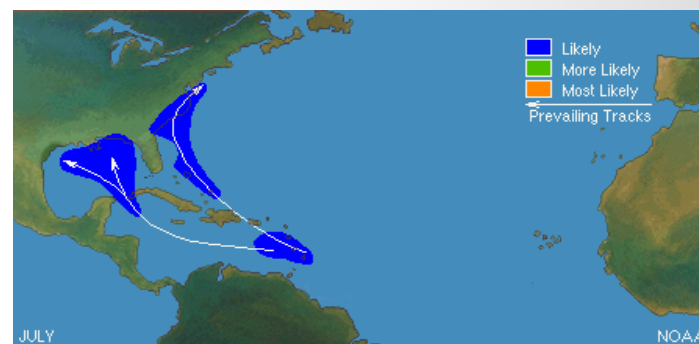
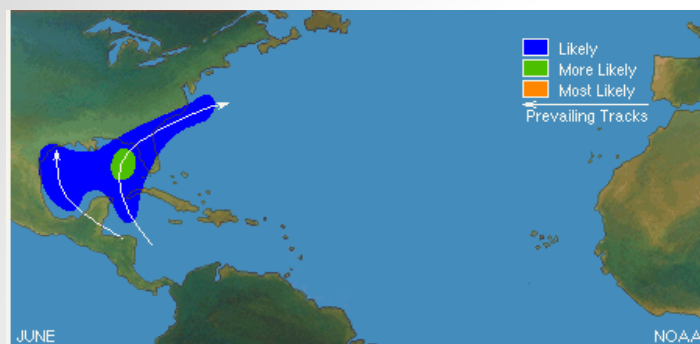


Źródło: NOAA



Przykładowe szlaki przemieszczania się cyklonów tropikalnych
(Tamulewicz 1997)

Szlaki przemieszczania się huraganów w poszczególnych miesiącach sezonu ich występowania na Atlantyku i Zatoce Meksykańskiej



NOAA, dane z lat 1971-2004

Nazewnictwo poszczególnych cyklonów tropikalnych w regionach ich występowania

1. Przez kilka stuleci cyklonom tropikalnym nadawano nazwę od imienia świętego przypadającego na dzień kalendarzowy ich wystąpienia
 - Santa Anna – 26.VII.1826 (Puerto Rico)
 - San Felipe – 13.IX.1928.
2. Koniec XIXw Clement Wragge (australijski meteorolog) nadaje cyklonom imiona kobiece.
3. 1951-1952 Służba meteorologiczna USA nadaje nazwy cyklonom zgodnie z alfabetem fonetycznym (Able, Baker, Charlie....).
4. 1953 - cyklony tropikalne nazywane są imionami żeńskimi.
5. 1978 – do listy imion żeńskich dodano imiona męskie.

Clement Wragge



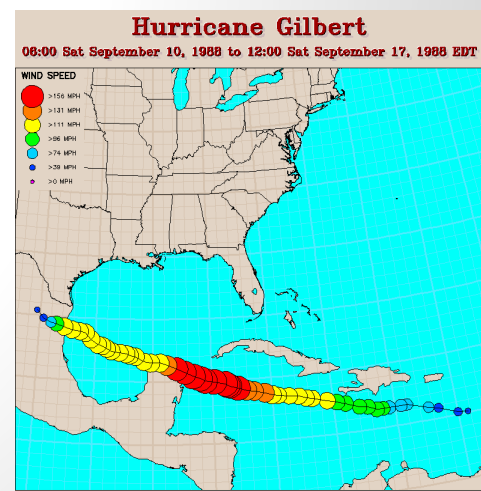
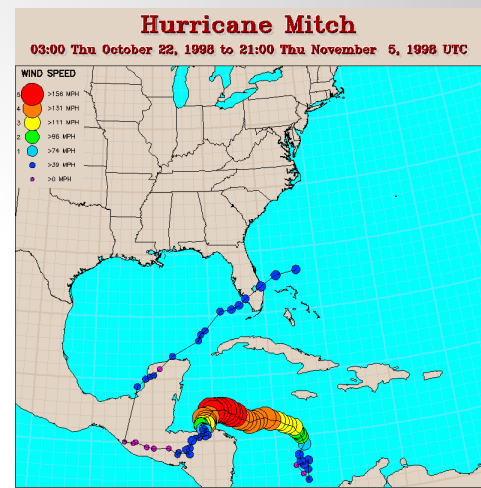
1852-1922

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

Nazwy cyklonów dla obszaru Atlantyku

(World Meteorological Organisation)

<u>2005</u>	<u>2006</u>	<u>2007</u>	<u>2008</u>	<u>2009</u>	<u>2010</u>
Arlene	Alberto	Andrea	Arthur	Ana	Alex
Bret	Beryl	Barry	Bertha	Bill	Bonnie
Cindy	Chris	Chantal	Cristobal	Claudette	Colin
Dennis	Debby	Dean	Dolly	Danny	Danielle
Emily	Ernesto	Erin	Edouard	Erika	Earl
Franklin	Florence	Felix	Fay	Fred	Fiona
Gert	Gordon	Gabrielle	Gustav	Grace	Gaston
Harvey	Helene	Humberto	Hanna	Henri	Hermine
Irene	Isaac	Ingrid	Ike	Ida	Igor
Jose	Joyce	Jerry	Josephine	Joaquin	Julia
Katrina	Kirk	Karen	Kyle	Kate	Karl
Lee	Leslie	Lorenzo	Laura	Larry	Lisa
Maria	Michael	Melissa	Marco	Mindy	Matthew
Nate	Nadine	Noel	Nana	Nicholas	Nicole
Ophelia	Oscar	Olga	Omar	Odette	Otto
Philippe	Patty	Pablo	Paloma	Peter	Paula
Rita	Rafael	Rebekah	Rene	Rose	Richard
Stan	Sandy	Sebastien	Sally	Sam	Shary
Tammy	Tony	Tanya	Teddy	Teresa	Tomas
Vince	Valerie	Van	Vicky	Victor	Virginie
Wilma	William	Wendy	Wilfred	Wanda	Walter



Nazwy szczególnie silnych cyklonów zastępowane są nowymi:

2002 – „Cristobal” zastąpił „Cesar”, „Fay” zastąpił „Fran”

2004 – „Gaston” zastąpił „Georges”

Jeśli pojawia się więcej niż 21 cyklonów w danym roku przydzielan są im nazwy wzięte z alfabetu greckiego: Alfa, Beta, Gamma itd..

Źródło: NOAA

Region Zachodnioaustralijski

Adeline	Alison	Alex
Bertie	Billy	Bessi
Clare	Cathy	Chris
Daryl	Damien	Dianne
Emma	Elaine	Errol
Floyd	Frederic	Fiona
Glenda	Gwenda	Graham
Hubert	Hamish	Harriet
Isobel	Ilsa	Inigo
Jacob	John	Jana
Kirsty	Kirrily	Ken
Lee	Leon	Linda
Melanie	Marcia	Monty
Nicholas	Norman	Nicky
Ophelia	Olga	Oscar
Pancho	Paul	Phoebe
Rhonda	Rosita	Sally
Selwyn	Sam	Tim
Tiffany	Taryn	Vivienne
Victor	Vincent	Willy
Zelia	Walter	

Region Północno-australijski

Alistair	Amelia
Bonnie	Bruno
Craig	Coral
Debbie	Dominic
Evan	Esther
Fay	Ferdinand
George	Gretel
Helen	Hector
Jasmine	Jason
Ira	Irma
Kim	Kay
Laura	Laurence
Matt	Marian
Narelle	Neville
Oswald	Olwyn
Penny	Phil
Russel	Rachel
Sandra	Sid
Trevor	Thelma
Valerie	Vance
Warwick	Winsome

Region Wschodnio-australijski

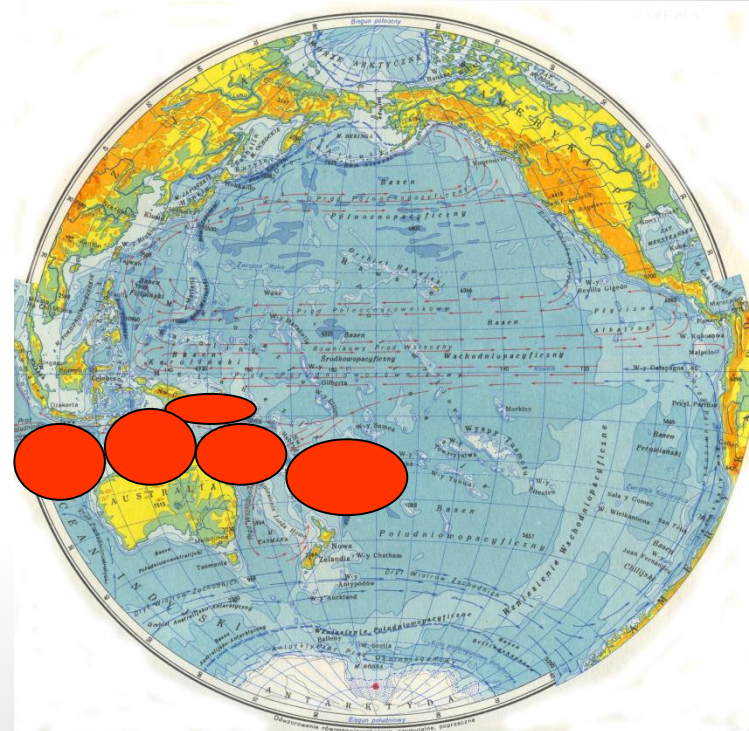
Alfred	Ann	Abigail
Blanch	Bruce	Bernie
Charles	Cecily	Claudia
Denise	Dennis	Des
Ernie	Edna	Erica
Frances	Fergus	Fritz
Greg	Gillian	Grace
Hilda	Harold	Harvey
Ivan	Ita	Ingrid
Joyce	Justin	Jim
Kelvin	Katrina	Kate
Lisa	Les	Larry
Marcus	May	Monica
Nora	Nathan	Nelson
Owen	Olinda	Odette
Polly	Pete	Pierre
Richard	Rona	Rebecca
Sadie	Sandy	Steve
Theodore	Tessi	Tania
Verity	Vaughan	Vernon
Wallace	Wylva	Wendy

Nazwy dla regionu Fiji

Ami	Arthur	Atu	Alan	Amos
Beni	Becky	Bobby	Bart	Bune
Cilla	Cliff	Cyril	Cora	Chris
Dovi	Daman	Drena	Dani	Daphne
Eseta	Elisa	Evan	Ella	Eva
Fili	Funa	Freda	Frank	Fanny
Gina	Gene	Gavin	Gita	Garry
Heta	Hettie	Helene	Hali	Hagar
Ivy	Innis	Ian	Iris	Irene
Judy	Joni	June	Jo	Julie
Kerry	Ken	Keli	Kim	Koko
Lola	Lin	Lusi	Leo	Louise
Meena	Mick	Martin	Mona	Mike
Nancy	Nisha	Nute	Neil	Nat
Olaf	Oli	Osea	Oma	Odile
Percy	Pat	Pam	Paula	Pami
Rae	Rene	Ron	Rita	Reuben
Sheila	Sarah	Susan	Sam	Solo
Tam	Tomas	Tui	Trina	Tuni
Urmil	Usha	Ursula	Uka	Ula
Vaianu	Vania	Veli	Vicky	Victor
Wati	Wilma	Wes	Walter	Winston
Zita	Yasi	Yali	Yolande	YaloZena
	Zaka	Zuman	Zoe	

Nazwy dla regionu Papui Nowej Gwinei

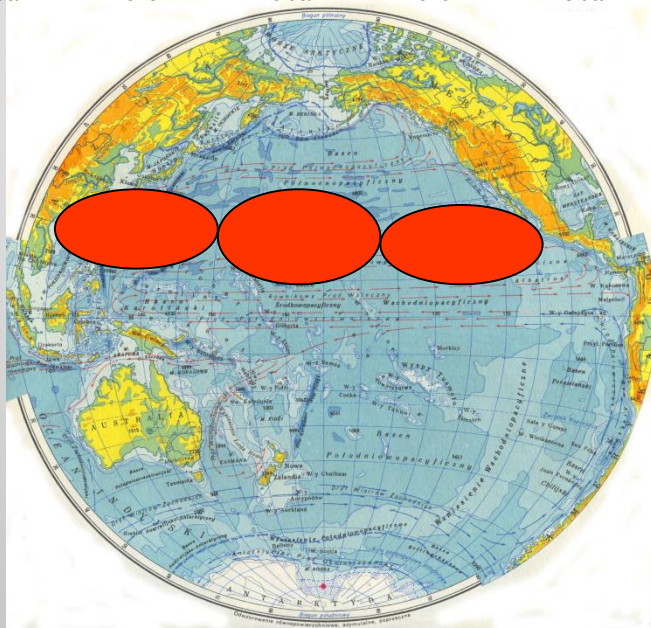
Epi	Abdul
Guba	Emau
Ila	Gule
Kama	Igo
Matere	Kamit
Rowe	Tiago
Tako	Ume
Upia	



Źródło: NOAA

Nazwy dla Północno-wschodniego Pacyfiku

<u>2005</u>	<u>2006</u>	<u>2007</u>	<u>2008</u>	<u>2009</u>	<u>2010</u>
Adrian	Aletta	Alvin	Alma	Andres	Agatha
Beatriz	Bud	Barbara	Boris	Blanca	Blas
Calvin	Carlotta	Cosme	Cristina	Carlos	Celia
Dora	Daniel	Dalila	Douglas	Dolores	Darby
Eugene	Emilia	Erick	Elida	Enrique	Estelle
Fernanda	Fabio	Flossie	Fausto	Felicia	Frank
Greg	Gilma	Gil	Genevieve	Guillermo	Georgette
Hilary	Hector	Henriette	Hernan	Hilda	Howard
Irwin	Ileana	Ivo	Iselle	Ignacio	Isis
Jova	John	Juliette	Julio	Jimena	Javier
Kenneth	Kristy	Kiko	Karina	Kevin	Kay
Lidia	Lane	Lorena	Lowell	Linda	Lester
Max	Miriam	Manuel	Marie	Marty	Madeline
Norma	Norman	Narda	Norbert	Nora	Newton
Otis	Olivia	Octave	Odile	Olaf	Orlene
Pilar	Paul	Priscilla	Polo	Patricia	Paine
Ramon	Rosa	Raymond	Rachel	Rick	Roslyn
Selma	Sergio	Sonia	Simon	Sandra	Seymour
Todd	Tara	Tico	Trudy	Terry	Tina
Veronica	Vicente	Velma	Vance	Vivian	Virgil
Wiley	Willi	Wallis	Winnie	Waldo	Winifred
Xina	Xavier	Xina	Xavier	Xina	Xavier
York	Yolanda	York	Yolanda	York	Yolanda
Zelda	Zeke	Zelda	Zeke	Zelda	Zeke



Nazwy dla centralnej części Północnego Pacyfiku

<u>Lista 1</u>	<u>Lista 2</u>	<u>Lista 3</u>	<u>Lista 4</u>
Akoni	Aka	Alika	Ana
Ema	Ekeka	Ele	Ela
Hana	Hali	Huko	Halola
Io	Iolana	Ioke	Iune
Keli	Keoni	Kika	Kimo
Lala	Li	Lana	Loke
Mohe	Mele	Maka	Malia
Nele	Nona	Neki	Niala
Oka	Oliwa	Oleka	Okoko
Peke	Paka	Peni	Pali
Uleki	Upana	Ulia	Ulika
Wila	Wene	Wali	Walaka

Nazwy dla Północno-zachodniego Pacyfiku

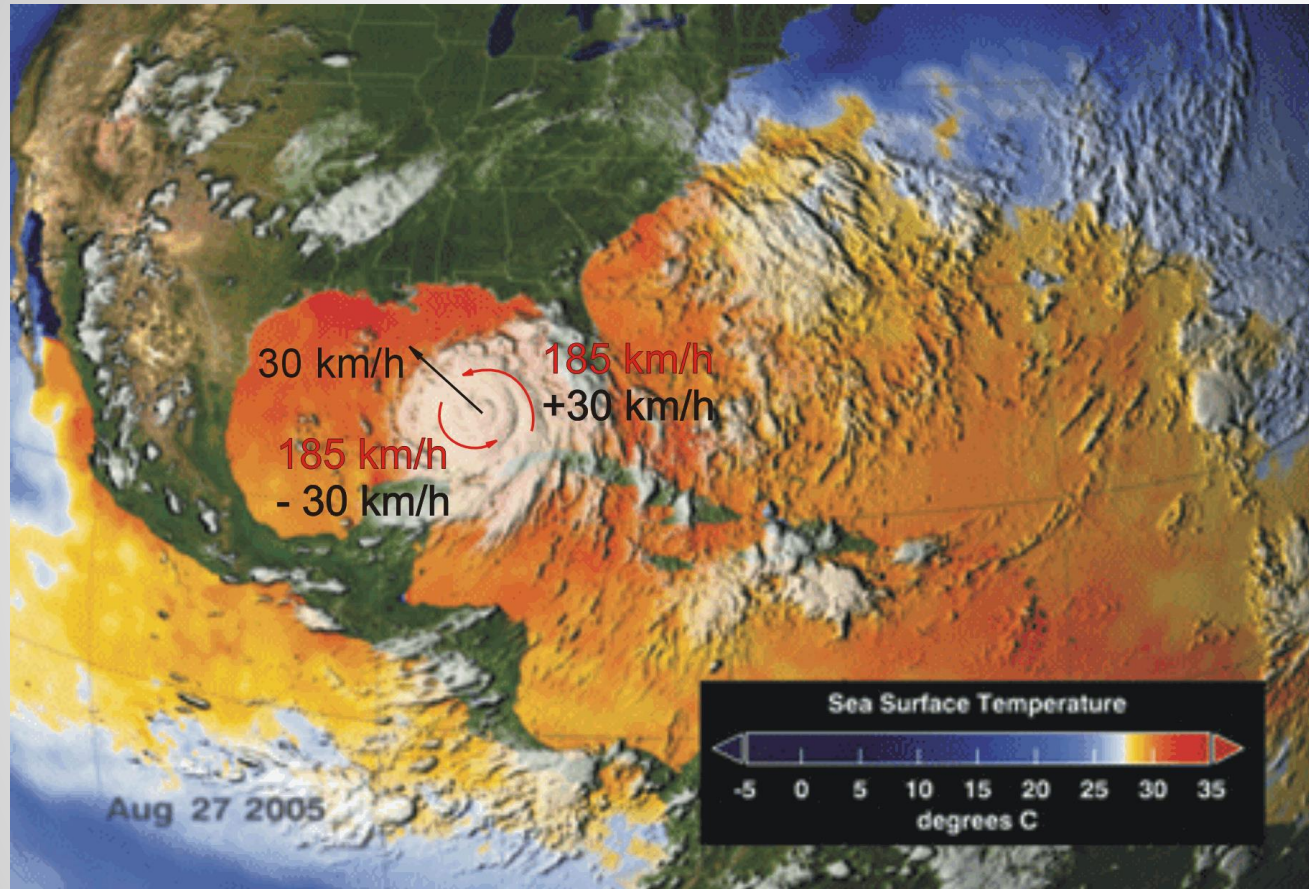
	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>	<u>V</u>
Cambodia	Damrey	Kong-rey	Nakri	Krovanh	Sarika
China	Longwang	Yutu	Fengshen	Dujuan	Haima
DPR Korea	Kirogi	Toraji	Kalmaegi	Maemi	Meari
HK, China	Kai-Tak	Man-yi	Fung-wong	Choi-wan	Ma-on
Japan	Tenbin	Usagi	Kanmuri	Koppu	Tokage
Lao PDR	Bolaven	Pabuk	Phanfone	Ketsana	Nock-ten
Macau	Chancho	Wutip	Vongfong	Parma	Muifa
Malaysia	Jelawat	Sepat	Rusa	Melor	Merbok
Micronesia	Ewinlar	Fitow	Sinlaku	Nepartak	Nanmadol
Philippines	Bilis	Danas	Hagupit	Lupit	Talas
RO Korea	Gaemi	Nari	Changmi	Sudal	Noru
Thailand	Prapiroon	Vipa	Megkhla	Nida	Kularb
U.S.A.	Maria	Francisco	Higos	Omais	Roke
Vietnam	Saomai	Lekima	Bavi	Conson	Sonca
Cambodia	Bopha	Krosa	Maysak	Chanthu	Nesat
China	Wukong	Haiyan	Haishen	Dianmu	Haitang
DPR Korea	Sonamu	Podul	Pongsona	Mindule	Nalgae
HK, China	Shanshan	Lingling	Yanyan	Tingting	Banyan
Japan	Yagi	Kaziki	Kuzira	Kompasu	Washi
Lao PDR	Xangsane	Faxai	Chan-hom	Namtheun	Matsa
Macau	Bebinca	Vamei	Linfa	Malou	Sanvu
Malaysia	Rumbia	Tapah	Nangka	Meranti	Mawar
Micronesia	Soulik	Mitag	Soudelor	Rananin	Guchol
Philippines	Cimaron	Hagibis	Imbudo	Malakas	Talim
RO Korea	Chebi	Noguri	Koni	Megi	Nabi
Thailand	Durian	Ramasoon	Hanuman	Chaba	Khanun
U.S.A.	Utor	Chataan	Etau	Kodo	Vicete
Vietnam	Trami	Halong	Vamco	Songda	Saola

Źródło: NOAA

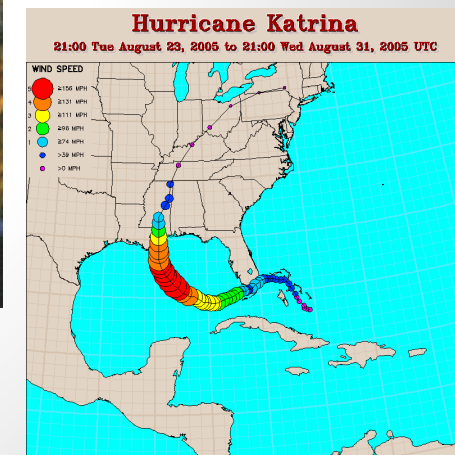
Czynniki niebezpieczne związane z cyklonami tropikalnymi

1. Siła wiatru
2. Działalność morza (fale morskie o dużej wysokości wraz z podniesionym poziomem morza)
3. Masa intensywnego opadu atmosferycznego

Asymetria prędkości wiatru w cyklonie tropikalnym

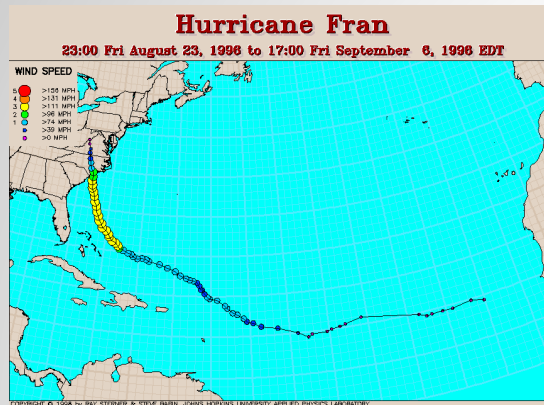


Źródło: NOAA

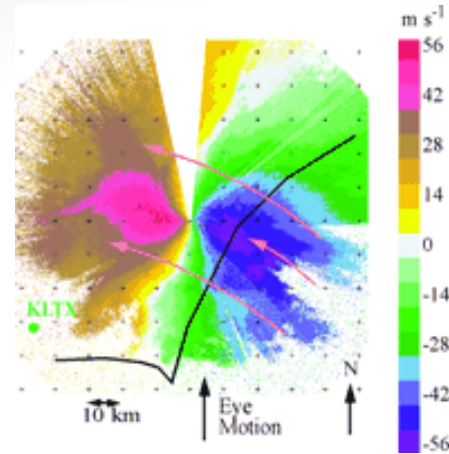


Źródło: NOAA

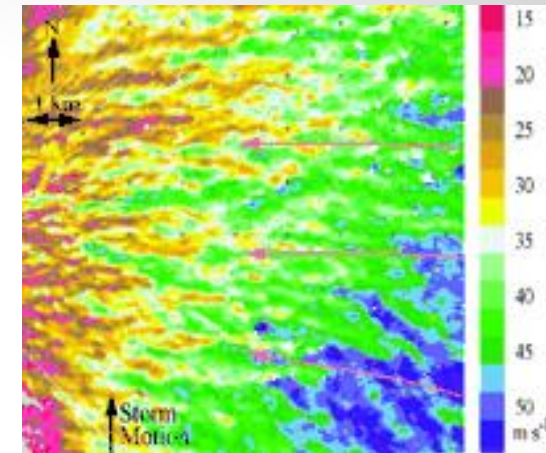
Silne modulacje prędkości wiatru w warstwie tarciowej powietrza nad obszarem lądowym



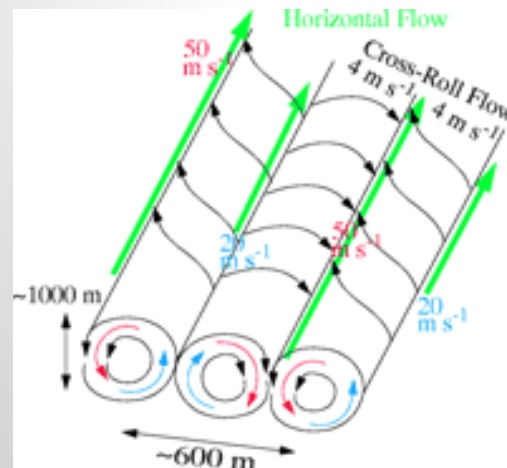
Tor przemieszczania się huraganu Fran, 01:00-03:00 UTC 6.09.96 - NOAA



Radarowy obraz wielkoskalowej struktury prędkości wiatru (23:30 UTC 5.09.1996) (Wurman, Winslow 1998)



Radarowy obraz o dużej rozdzielczości (większej od 1km) struktury prędkości wiatru (23:58 UTC 5.09.1996). Widoczne są smugowe struktury przepływu wiatru (10m/s-40m/s) (Wurman, Winslow 1998)

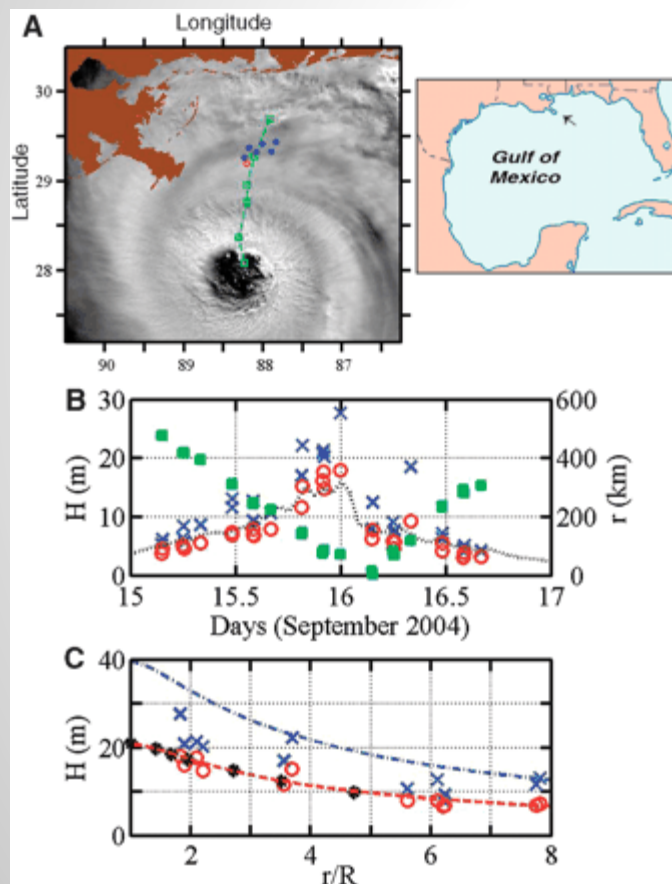


Równoległe do ogólnego kierunku przepływu wirowe struktury, powodujące poziome zróżnicowanie prędkości wiatru (Wurman, Winslow 1998)

Fale sztormowe wywołane cyklonem

Przyczyny występowania fal sztormowych o dużych wysokościach:

- niskie ciśnienie wewnątrz w centrum cyklonu powodujące podniesienie poziomu morza
- duża prędkość wiatru



Ekstremalne fale wywołane cyklonem Ivan (15.09.2004 - kategoria 4)

A- zdjęcie satelitarne huraganu Ivan z 18:50 UTC 15.09.04.

Niebieskie punkty – miejsce pomiarów wysokości fal
(Laborat.Nauk Mar.Woj. USA), czerwony punkt – boja pomiarowa,
zielone punkty – położenie oka huraganu (co 3 godziny)

B – wysokość fal - H (● -średnia, ✕ - maksymalna, – z pomiarów
dokonanych przy pomocy boi), ■ - odległość od oka cyklonu.

C – H_s i H_{max} jako funkcja odległości znormalizowanej r/R , gdzie r jest
odległ. punktu pomiarowego do oka cyklonu a $R=40\text{km}$ jest zasięgiem
największej prędkości wiatru licząc od oka cyklonu.

$$--- H_{max}=1,9H_s$$

$$--- H_s=56,61(rR)^{-0,96}\exp[-(r/R)]^{-0,94}$$

1. Gwałtowny wzrost fal nastąpił przy odległości około 75 km
oka cyklonu od punktów pomiarowych
2. H_{max} może osiągnąć 1,9 przeciętnego H_s
(Wang i in. 2005)

Skutki oddziaływania spiętrzenia sztormowego i fal wywołanych cyklonem tropikalnym



Wysokość spiętrzenia sztormowego zależy od intensywności cyklonu
Spiętrzenie może osiągać wysokość od 1m do ponad 7m (NOAA)

Powódź w Nowym Orleanie spowodowana cyklonem Katrina (29.08.05)
była jedną z największych katastrof naturalnych w USA

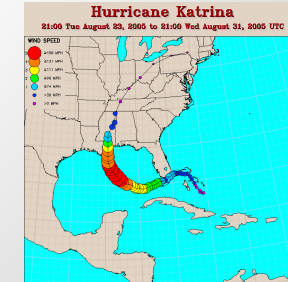


(Travis 2005)



(Travis 2005)

Huragan kategorii 5
(ciśnienie w oku < 905 hPa,
prędkość wiatru > 280 km/h,
spiętrzenie sztormowe > 6 m)

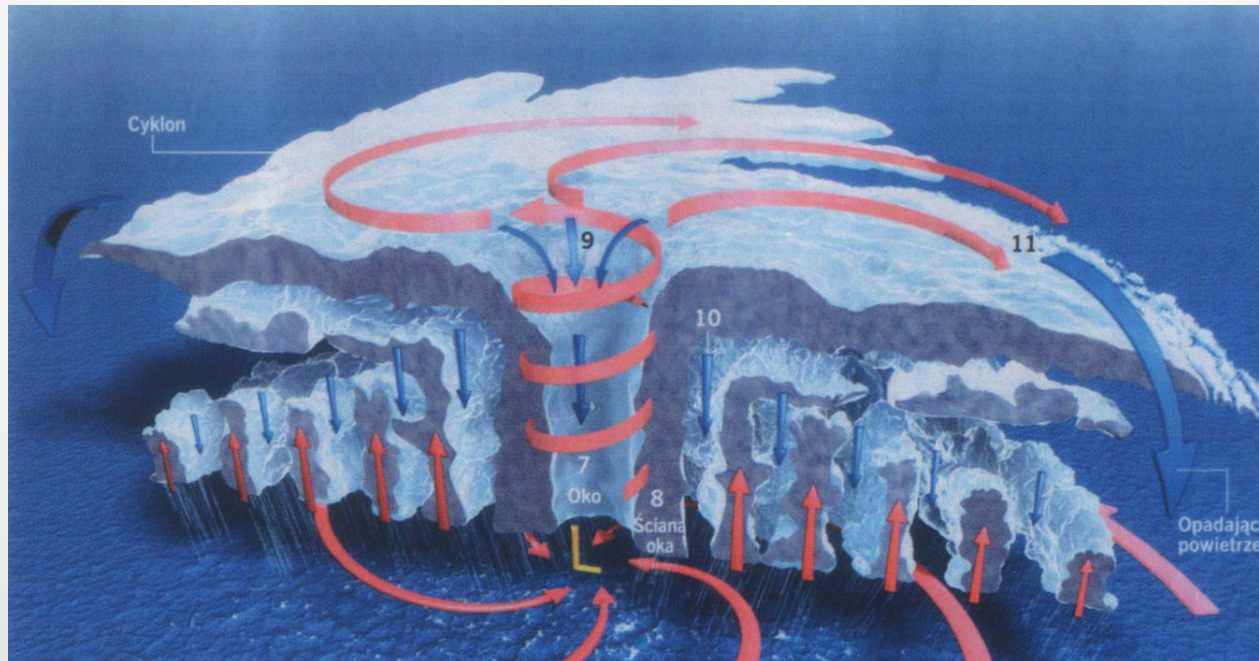


(Źródło: NOAA)

Opady deszczu wywołane cyklonami tropikalnymi

- Powodzie i osunięcia ziemi spowodowane opadami w czasie cyklonów tropikalnych powodują wystąpienie większej liczby ofiar aniżeli silny wiatr.
- Rekordowe opady obserwowano na wyspie Reunion na Oceanie Indyjskim:
 - cyklon Denise (7/8 XII 1966 r.) – 1144 mm opadu w ciągu 12 godzin i 1825 mm w ciągu 24 h,
 - cyklon Hiacinte (styczeń 1980 r.) – 3240 mm opadu w ciągu 3 dni i 5678 mm w ciągu 10 dni

(Opady, które wywołały powódź w Polsce w lipcu 1997 r. wyniosły w Kamienicy Kłodzkiej ok. 455 mm)



Przekrój przez układ chmur w cyklonie tropikalnym wraz ze schematem cyrkulacji powietrza wewnątrz cyklonu i zaznaczonymi strefami występowania opadu (Fierstein 2004)

Przykłady strat spowodowanych cyklonami tropikalnymi

Największe znane liczby ofiar cyklonów tropikalnych

1737 – Indie (Kalkuta) - 300 000
1822 – Bangladesz - 50 000
1864 – Indie (Kalkuta) - 50 000
1876 – Bangladesz - 215 000
1881 – Chiny (Haifeng) - 300 000
1882 – Indie (Bombaj) - 100 000
1912 – Chiny (Wenzou) - 50 000
1942 – Bangladesz - 61 000
1970 – Bangladesz - 300 000
1991 – Bangladesz - 140 000

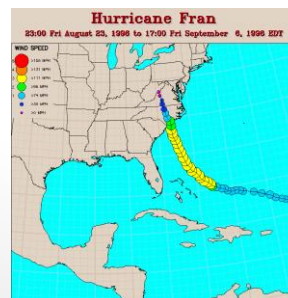


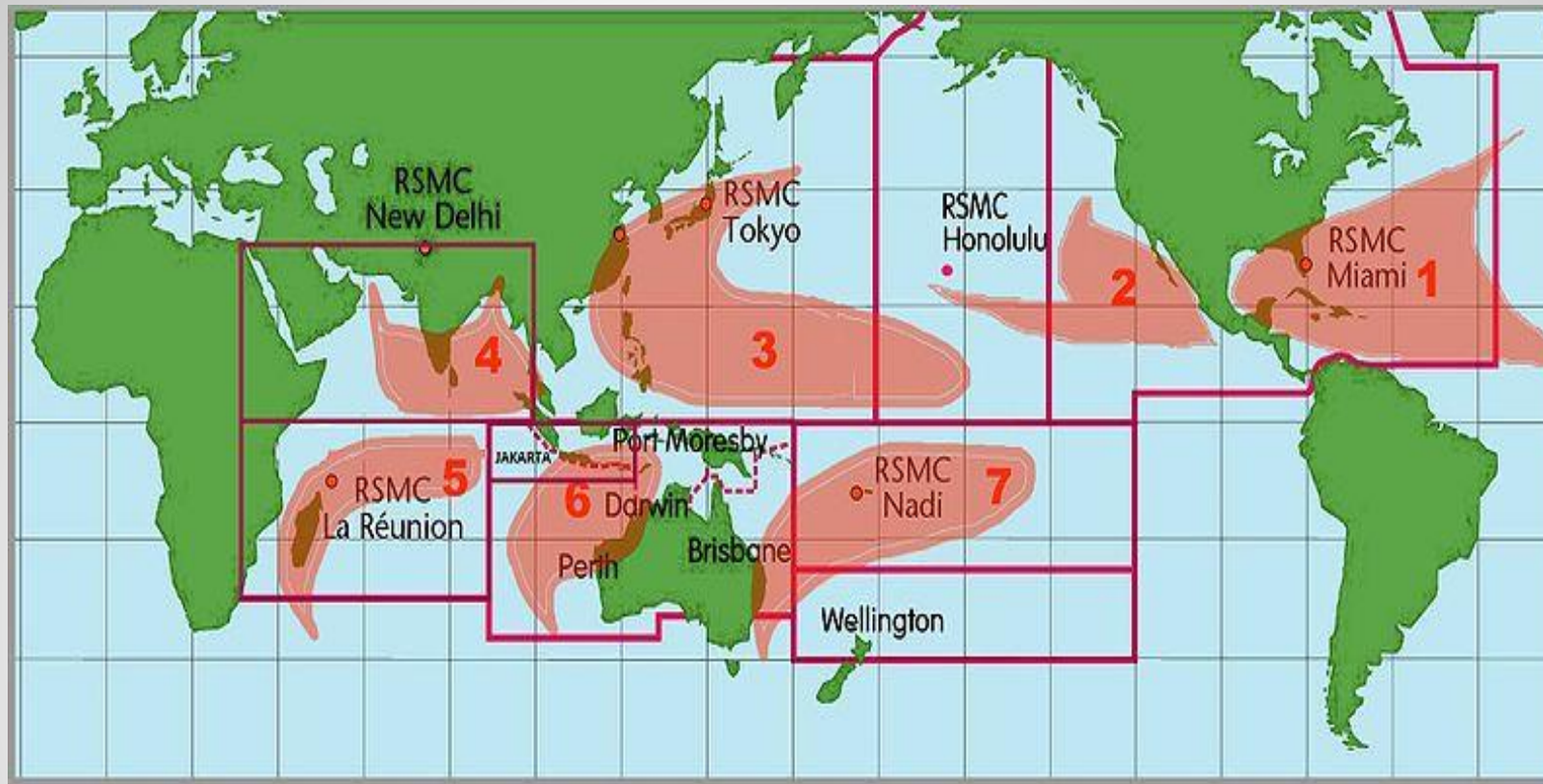
Źródło: NOAA

Lista cyklonów tropikalnych, które spowodowały największe straty materialne w USA

	Nazwa	rok	kategoria	Straty w USD
1	Andrew	1992	5	43,672,000,000
2	Charley	2004	4	15,000,000,000
3	Ivan	2004	3	14,200,000,000
4	Hugo	1989	4	12,250,000,000
5	Agnes	1972	1	11,290,000,000
6	Betsy	1965	3	10,799,500,000

(U.S. Department of Commerce Implicit Price Deflator for Construction - 2004)





Regionalne Specjalistyczne Centra Meteorologiczne *Regional Specialized Meteorological Centres (RSMCs)*

Caribbean Sea, Gulf of Mexico, North Atlantic and eastern North Pacific Oceans:
RSMC Miami-Hurricane Center/NOAA/NWS National Hurricane Center, USA.
Western North Pacific Ocean and South Bay of Bengal and the Arabian Sea:
RSMC-tropical cyclones New Delhi/India Meteorological Department.
South-West Indian Ocean:
RSMC La Réunion-Tropical Cyclone Centre/Météo-France
South-West Pacific Ocean:
RSMC Nadi-Tropical Cyclone Centre/Fiji Meteorological Service
Central North Pacific Ocean:
RSMC Honolulu-Hurricane Center/NOAA/NWS, USA.

Centra Ostrzegania *Tropical Cyclone Warning Centres (TCWCs)*

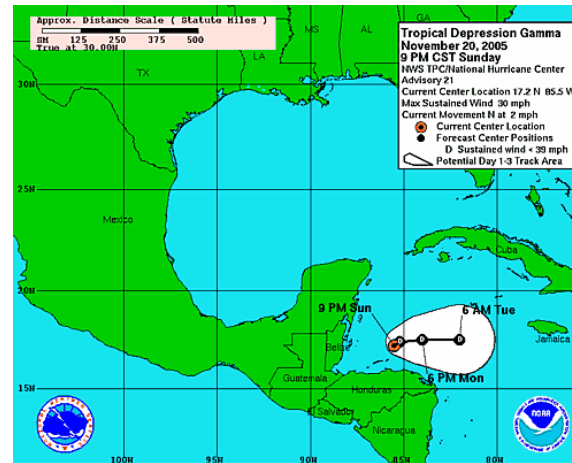
South-East Indian Ocean:
TCWC-Perth/Bureau of Meteorology (Western Australia region), Australia
Arafura Sea and the Gulf of Carpentaria:
TCWC-Darwin/Bureau of Meteorology, Australia
Coral Sea:
TCWC-Brisbane/Bureau of Meteorology, Australia
Solomon Sea and Gulf of Papua:
TCWC-Port Moresby/National Weather Service, Papua New Guinea
Tasman Sea:
TCWC-Wellington/Meteorological Service of New Zealand, Ltd.

Źródło: NOAA

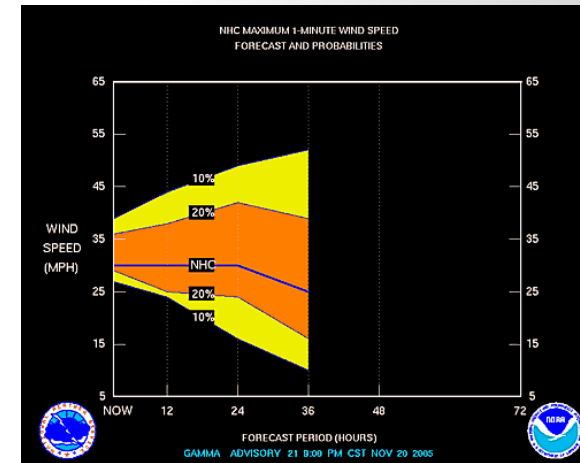
Prognozowanie szlaków przemieszczania się oraz prędkości wiatru w cyklonach tropikalnych



Prawdopodobieństwo przejścia
centrum depresji tropikalnej
Gamma w ciągu 72 godzin

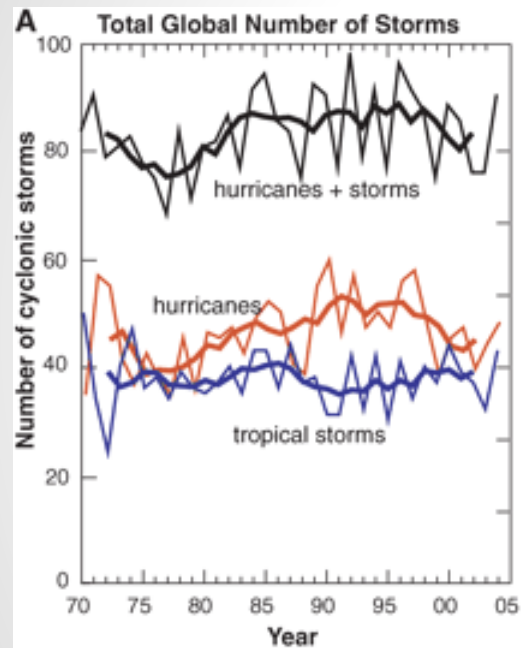


3 dniowa prognoza przemieszczania się
centrum depresji tropikalnej

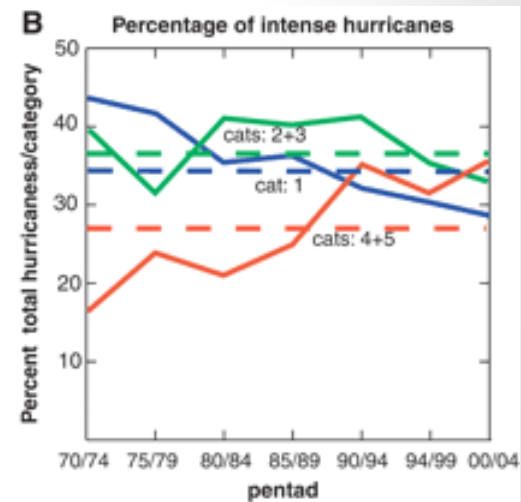


36 godzinna prognoza prędkości wiatru
w depresji tropikalnej Gamma

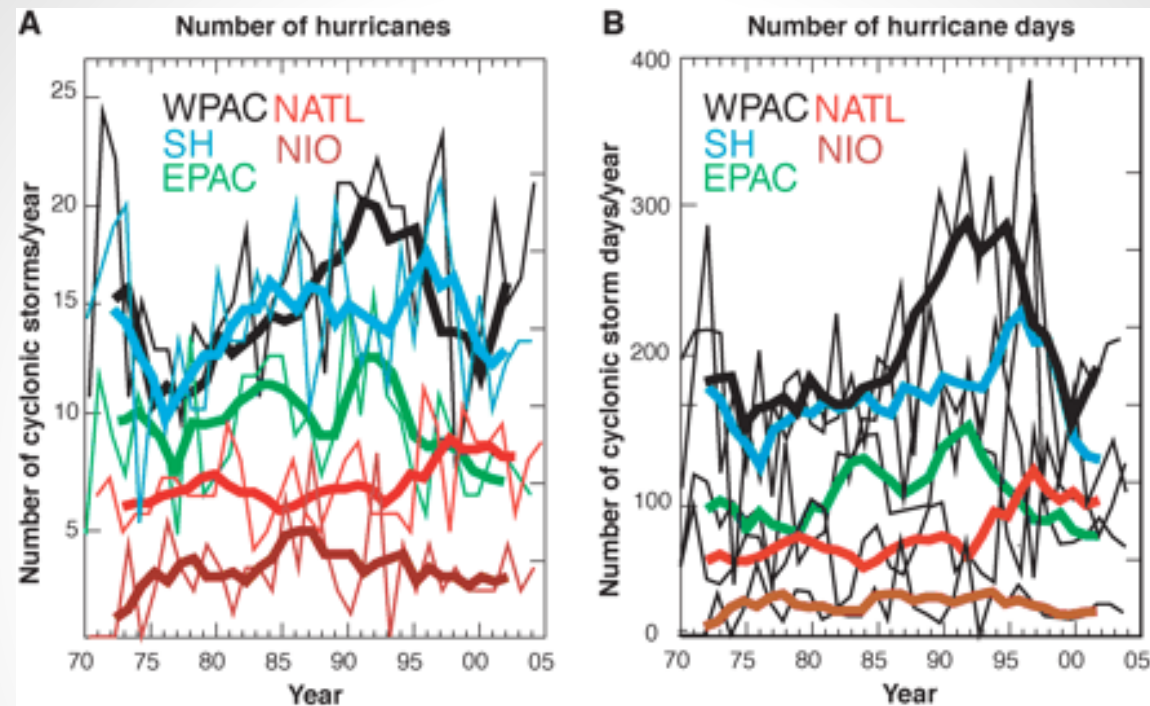
Cyklony tropikalne w latach 1971-2004



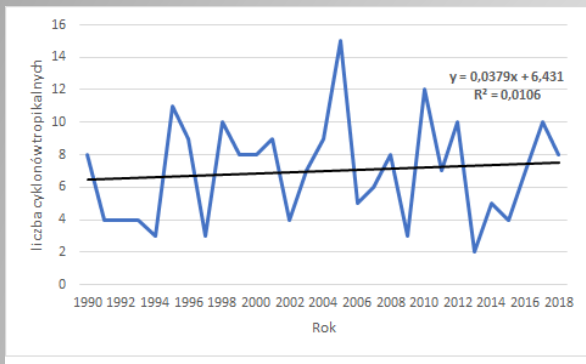
Liczba sztormów i cyklonów na kuli ziemskiej w latach 1971-2004 (Webster i in. 2005)



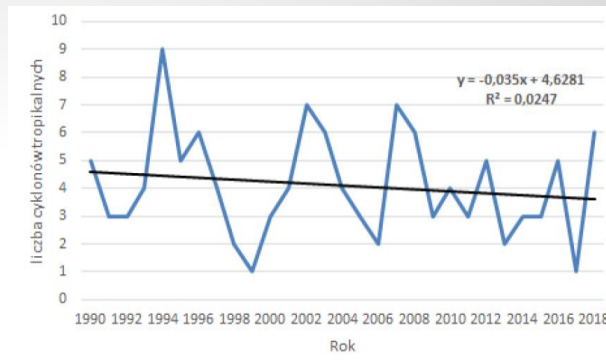
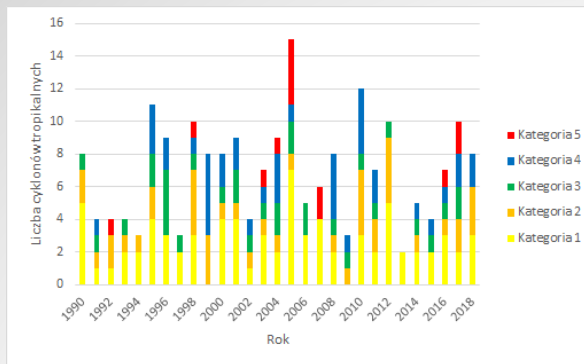
Udział procentowy cyklonów tropikalnych poszczególnych kategorii w ich ogólnej liczbie na kuli ziemskiej. Dane z lat 1971-2004 (Webster i in. 2005)



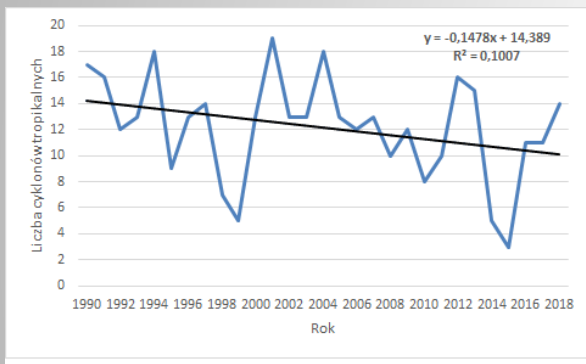
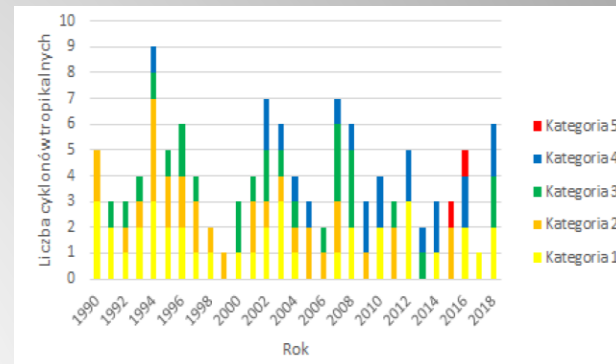
Liczba sztormów i cyklonów tropikalnych – A
 oraz liczba dni ze sztormami i cyklonami
 tropikalnymi - B w poszczególnych obszarach
 ich występowania. Dane z lat 1971-2004 (wg
 P.J.Webstera i in. 2005)



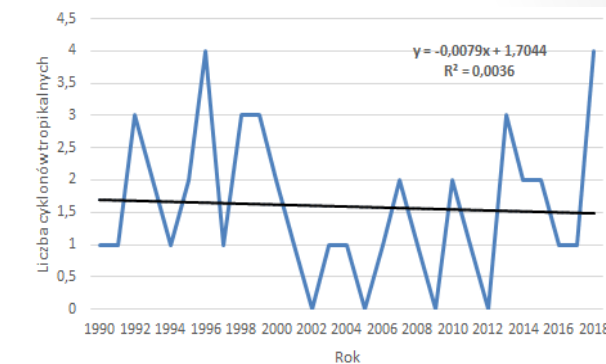
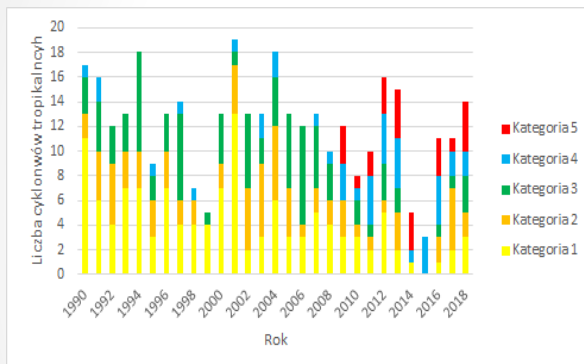
Liczba cyklonów tropikalnych na Atlantyku (1990-2018)



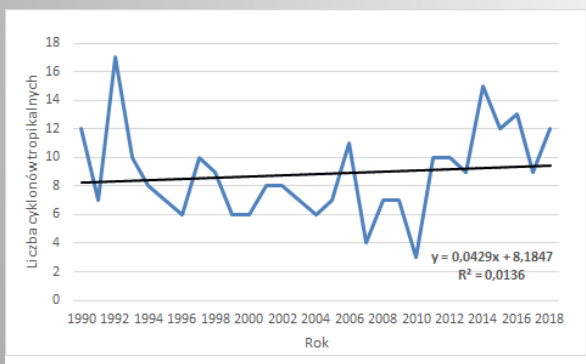
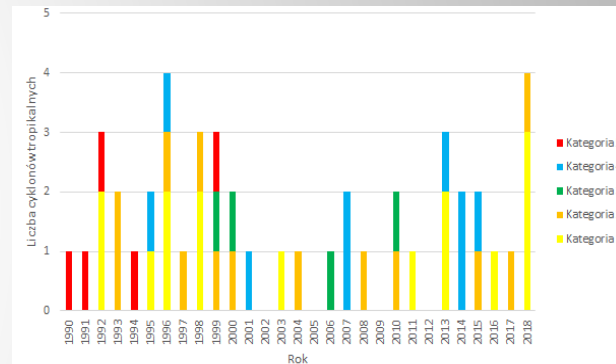
Liczba cyklonów tropikalnych w południowej części Oceanu Indyjskiego 1(1990-2018)



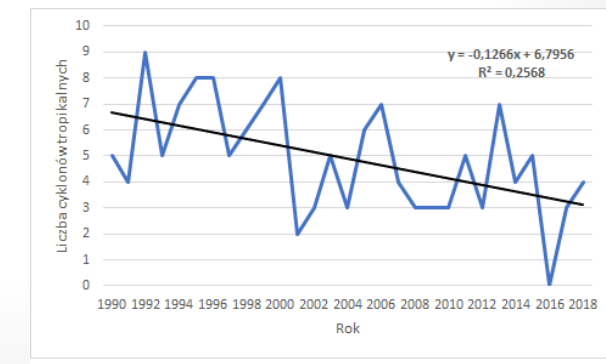
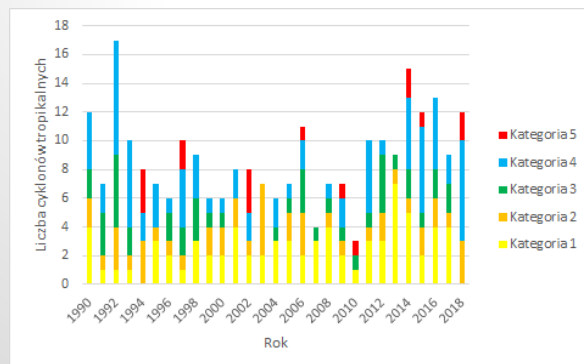
Liczba cyklonów tropikalnych na obszarze zachodniego Pacyfiku (1990-2018)



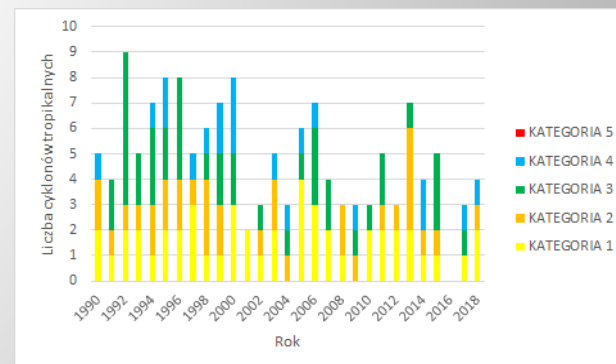
Liczba cyklonów tropikalnych w północnej części Oceanu Indyjskiego (1990-2018)



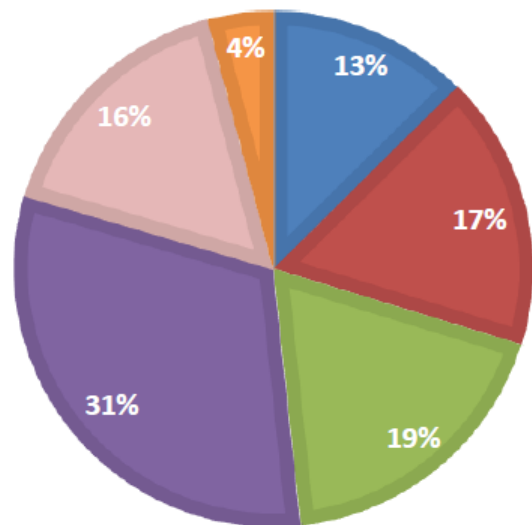
Liczba cyklonów tropikalnych we wschodniej części Pacyfiku (1990-2018)



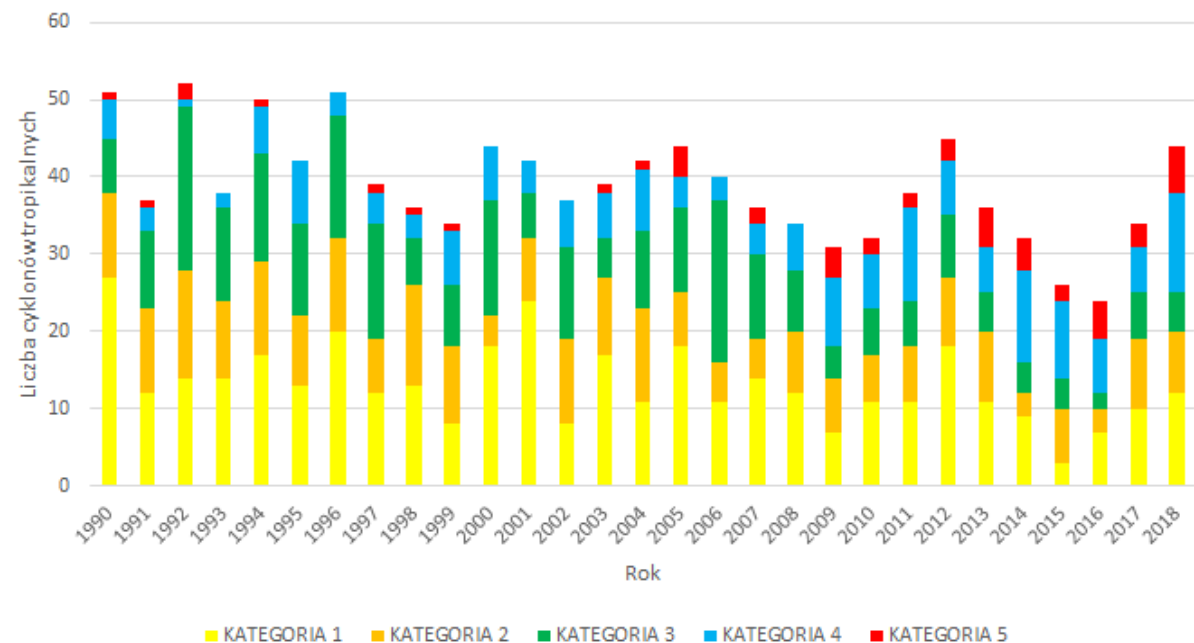
Liczba cyklonów tropikalnych w rejonie Australii (1990-2018)



AUSTRALIA ATLANTYK WSCH. PACYFIK
 ZACH. PACYFIK PŁD. O. INDYJSKI PŁN. O. INDYJSKI



Udział procentowy liczby cyklonów tropikalnych występujących na poszczególnych akwenach w latach 1990-2018



Liczba cyklonów tropikalnych poszczególnych kategorii na wszystkich akwenach w latach 1990-2018

Obszar	Min. Ciśnienie atmosferyczne [hPa]	Max. Prędkość wiatru [km/h]	Max. liczba cyklonów tropikalnych w ciągu jednego roku	Liczba cyklonów tropikalnych w latach 1990-2018
Atlantyk	882 Wilma (2005)	298 Wilma (2005)	15	194
Zach. Pacyfik	885 Megi (2010)	314 Haiyan (2013)	19	353
Wsch. Pacyfik	872 Patricia (2015)	338 Patricia (2015)	17	210
Phn. O. Indyjski	898 (1991)	269 (1990)	4	46
Płd. O. Indyjski	896 Gafilo (2004)	282 Fantala (2016)	9	185
Australia	900 Inigo (2003)	249 Monica (2006)	9	142

Podsumowanie

1. Nie są znane wszystkie czynniki powodujące powstawanie cyklonów tropikalnych a nałożenie się znanych okoliczności powoduje wystąpienie cyklonu w 1 na 10 przypadków.
2. Do czynników niebezpiecznych związanych z cyklonami tropikalnymi zaliczają się:
 - siła wiatru,
 - działalność morza,
 - wielkość intensywnego opadu atmosferycznego.
3. Największe szkody spowodowane występowaniem cyklonów tropikalnych notowane są na obszarach wybrzeży nawiedzanych przez te układy baryczne.
4. W ostatnich 40 latach nie stwierdzono występowania rosnącego czy malejącego trendu liczby dni z cyklonami tropikalnymi na całej kuli ziemskiej, rośnie natomiast liczba cyklonów o największej sile (kategoria 4 i 5).

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