



Skywarn Polska

O burzach i mechanizmie ich powstawania słów kilka

Gawęda o burzach

Piotr Szuster
5/22/2013

SZUSTER Piotr
Skywarn Polska - Polscy Łowcy Burz
<http://www.lowcyburz.pl>
<http://www.retsuz.cba.pl>
retsuz@gmail.com



Słowo od autora

Ta krótka publikacja powstała w celu zaznajomienia Czytelnika z podstawowymi informacjami na temat zjawisk burzowych. Zawarto tutaj opisy procesów generujących burze, formacji chmurowych, zjawisk towarzyszących, mechanizmu powstania wyładowań atmosferycznych, zjawisk ekstremalnych. Jej celem jest przekazanie Czytelnikowi informacji w sposób ciągły i zrozumiały. Nie będę poświęcał dużo miejsca poszczególnym procesom i ich dokładnej charakterystyce, gdyż na poszczególne tematy powstało wiele pozycji literatury fachowej. To nie jest encyklopedia. Publikację należy traktować jako swoisty wstęp w „zagajniczek” informacji o zjawiskach burzowych.

Miłej lektury.

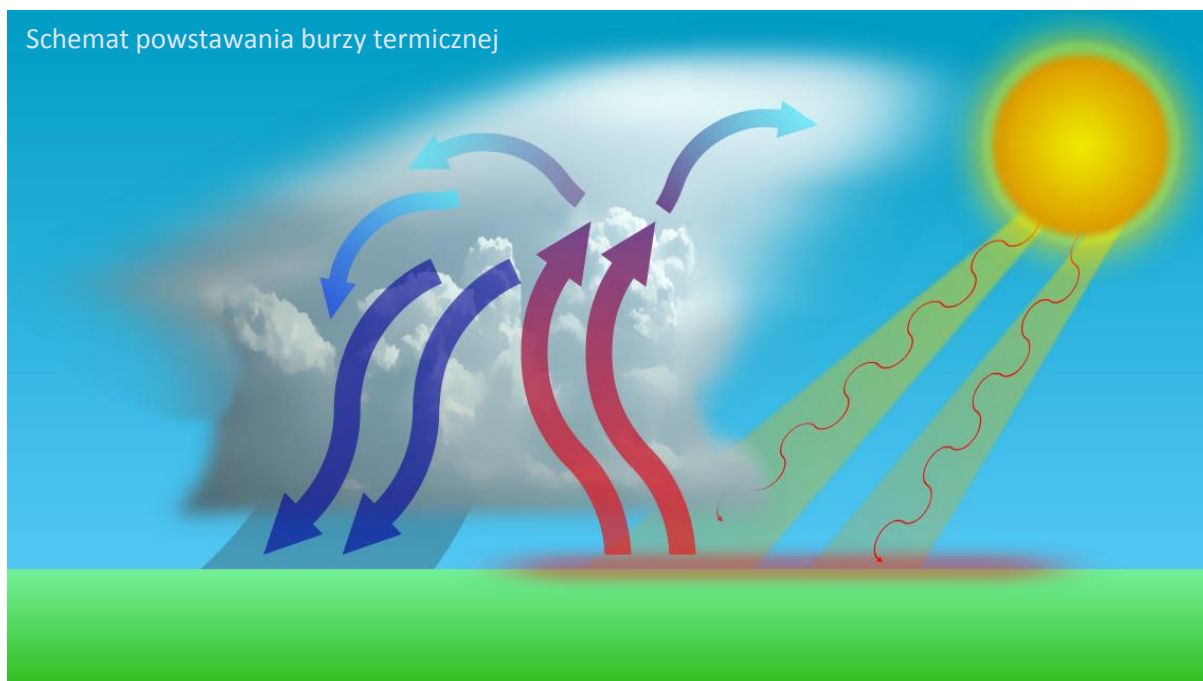
Piotr „Retsuz” Szuster

Burza to zjawisko pogodowe charakteryzujące się obecnością wyładowań atmosferycznych i towarzyszącym im grzmotom. Burzom zazwyczaj towarzyszą obfite opady deszczu, silne porywy wiatru, niekiedy grad lub śnieg. W niektórych przypadkach nie występuje żaden opad. Cumulonimbusy to chmury o budowie pionowej, których wysokość dochodzi w Polsce do 16 kilometrów. Sprzyjające warunki do rozwoju tych chmur panują w naszym kraju najczęściej od kwietnia do października. Burza to przepiękne zjawisko - spektakl wyładowań atmosferycznych, którym często towarzyszą opady deszczu i gradu. Wiele osób ogarnia strach na ich widok, jednak są także tacy, których fascynuje to zjawisko. Ja należę do tego drugiego grona, dlatego omówię w tej publikacji najważniejsze zagadnienia dotyczące burz.

Procesy wywołujące zjawiska burzowe

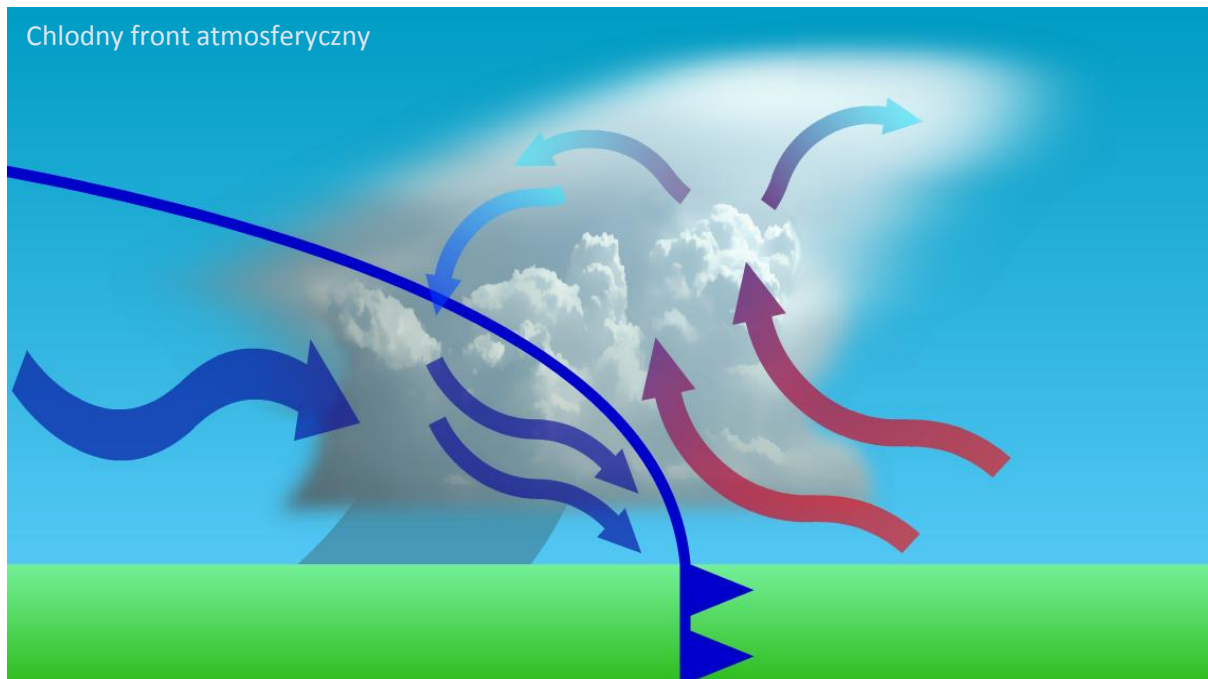
Burze możemy zasadniczo podzielić na dwa typy: burze wewnątrzmasowe i frontalne. Te pierwsze dodatkowo dzielą się jeszcze na termiczne i adwekcyjne.

Podczas słonecznej aury słońce nagrzewa powierzchnię ziemi, która przekazuje część energii cieplnej do przy powierzchniowej warstwy powietrza. Gdy ta się rozgrzewa, maleje jej gęstość w skutek czego staje się wyporna i zaczyna unosić się do góry. Wznoszące powietrze przyczynia się do przekazywania ciepła. Proces przekazywania ciepła związany z ruchami materii w gazie lub cieczy nazywamy konwekcją. Ruch materii związany z różnicami temperatur to prąd konwekcyjny. Pionowy ruch wznoszący powietrze w górę nazywamy kominem termicznym. Burze wywołane bezpośrednio przez ten mechanizm nazywamy termicznymi (w niektórych opracowaniach są określane jako konwekcyjne).

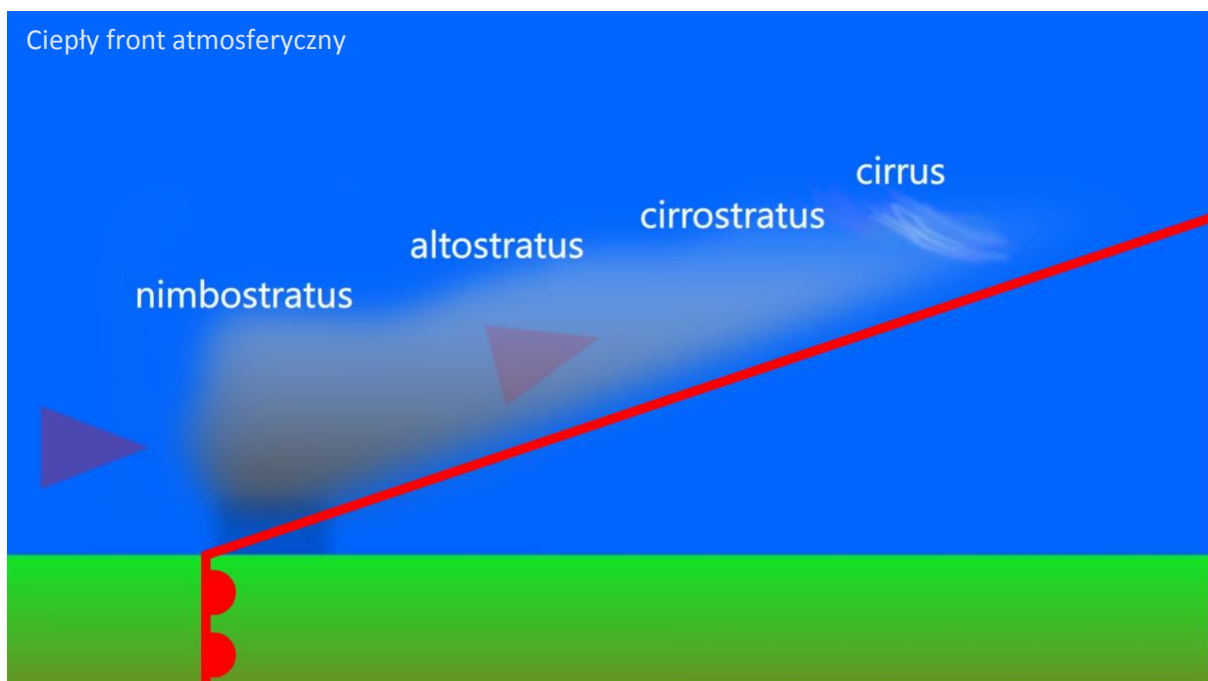


Gdy nad dany obszar terenu napływa powietrze o innych właściwościach niż zalegające, mamy do czynienia z adwekcją. Burze adwekcyjne powstają w wyniku napływu zimnego, suchszego powietrza nad ciepłe i wilgotniejsze. Taka sytuacja powoduje pojawienie się prądów wznoszących, wywołanych różnicą gęstości warstw powietrza, co przekłada się na rozwój chmur o budowie

pionowej. Na styku tych mas pojawia się konwekcja wywołana przez adwekcję. Taka sytuacja ma miejsce najczęściej za frontem chłodnym.



Burze frontalne powstają bezpośrednio na froncie. Najczęściej związane są z frontem chłodnym, kiedy to powietrze polarnomorskie o niższej temperaturze wypiera ciepłe powietrze zwrotnikowe. W takich sytuacjach występuje wznoszenie frontowe. Burze frontalne zazwyczaj są gwałtowne i dynamiczne - wszystko zależy od aktywności frontu oraz od różnicy stykających się mas powietrza. Korzystne dla rozwoju burz są sytuacje, w których stykają się masy o dużych różnicach temperatury i wilgotności.



W obu przypadkach prądy wznoszące wywołane są dużym spadkiem temperatury wraz z wysokością. Zmianę temperatury wraz z wysokością nazywamy gradientem pionowym temperatury. W zależności od nasycenia parą wodną powietrza wyróżniamy:

Gradient suchoadiabatyczny - stopień w jakim zmniejsza się temperatura wraz ze wzrostem wysokości dla wznoszącej się, suchej lub nienasyconej parą wodną parceli powietrza. Opisana wyżej parcela powietrza charakteryzuje się mniejszą niż 100% wilgotnością względną. Innymi słowy jej temperatura jest większa niż temperatura punktu rosy. Gradient suchoadiabatyczny wynosi 9,8 °C na kilometr.

Gradient wilgotnoadiabatyczny - stopień w jakim zmniejsza się temperatura wraz ze wzrostem wysokości dla wznoszącej się, nasyconej parą wodną parceli powietrza wilgotnego, w temperaturze punktu rosy. Podczas kondensacji pary wodnej uwalniane jest ciepło utajone, co spowalnia tempo spadku temperatury wraz z wysokością, skutkując mniejszą wartością tego gradientu w stosunku do gradientu suchoadiabatycznego. Wartość gradientu wilgotnoadiabatycznego oscyluje w okolicach 5 °C na kilometr.

Istnieje także **gradient termiczny**, który jest spadkiem temperatury wraz z wysokością w określonym miejscu i czasie. Średni gradient termiczny wynosi 6,49 °C na kilometr. Jest wartością ustaloną przez Międzynarodową Organizację Lotnictwa Cywilnego, obowiązującą na obszarze rozciągającym się od poziomu morza do wysokości 11km dla atmosfery wzorcowej. Powyżej, aż do 20 kilometra wysokości, średnia temperatura jest stała i wynosi -56,5 °C. Oczywiście rzeczywisty gradient termiczny różni się od średniego gradientu termicznego w zależności od miejsca i czasu pomiaru. Na przykład lokalnie może wystąpić inwersja temperatury, w przypadku której lokalnie notuje się wzrost temperatury wraz z wysokością.

W zależności od wartości gradientu termicznego w dolnej troposferze wyróżnia się następujące stany równowagi atmosfery:

- a) Atmosfera stabilna – występuje w sytuacji, gdy wartość gradientu termicznego jest mniejsza od wartości gradientu wilgotnoadiabatycznego.
- b) Stan równowagi względnej – występuje w przypadku wartości gradientu termicznego większej od wartości gradientu wilgotnoadiabatycznego, ale mniejszej od wartości gradientu suchoadiabatycznego.
- c) Stan równowagi chwiejnej – występuje w sytuacji, gdy wartość gradientu termicznego jest większa zarówno od wartości gradientu wilgotnoadiabatycznego jak i wartości gradientu suchoadiabatycznego.

Zjawiska burzowe występują tylko w dwóch ostatnich sytuacjach. W przypadku atmosfery chwiejnej zazwyczaj są one silne i niebezpieczne.



Z atmosferą chwiejną często mamy do czynienia podczas letnich upałów, gdy powietrze znajdujące się bezpośrednio nad gruntem jest dużo cieplejsze od powietrza znajdującego się w wyższych warstwach atmosfery. Chwiejność nie musi być jednak spowodowana tylko przez ogrzewanie dolnej, przyziemnej warstwy troposfery. Na różnych wysokościach troposfery może napływać powietrze o odmiennych cechach (temperaturze itp.) Przykładowo na ciepłe powietrze w warstwie granicznej może napłynąć powietrze o mniejszej temperaturze na większej wysokości, co skutkuje zwiększeniem się pionowego gradientu temperaturowego. Jeżeli dodatkowo w warstwie granicznej obecne jest powietrze o dużej wilgotności, mogą wystąpić bardzo korzystne warunki do rozwoju burz. Często adwekcja cieplejszego powietrza w środkowej troposferze przyczynia się do rozwoju burz w nocy. Opisane zjawisko występuje, gdy pomiędzy warstwą chłodnego powietrza zalegającego, a warstwą chłodnego powietrza znajdującą się wyżej, „wślizguje się” warstwa ciepłego powietrza. Wtedy podatne na unoszenie powietrze pojawia się wyżej stabilnej warstwy granicznej – w tej sytuacji mamy do czynienia z **konwekcją uniesioną**.

Cząstka biorąca udział w konwekcji jest wynoszona na pewną wysokość. Wraz ze wzrostem wysokości pozyskuje pewną energię, a ta energia nazywana jest **energią potencjalną dostępną konwekcyjnie** - CAPE (ang. convective available potential energy). CAPE jest obecne w niestabilnej warstwie atmosfery, której fragment (parcela) jest cieplejszy od otoczenia i tym samym wyporna. Ciepłe powietrze ma mniejszą gęstość, toteż unosi się do góry. Czasami poniżej warstwy z CAPE pojawia się warstwa charakteryzująca się zatrzymaniem konwekcji CIN (convection inhibition). Ma to miejsce, gdy warstwa przy ziemi nie jest wyporna w skutek zalegającej wyżej warstwy odznaczającej się wyższą temperaturą. CIN może być pokonane przez ogrzanie powietrza poniżej zatrzymania konwekcji przez promienie słońca lub napłynięcie ponad nią warstwy chłodnego powietrza, powodujące wymuszenie unoszenia się cząstki. Gdy ta dotrze do **poziomu swobodnej konwekcji**, już bez przeszkód unosi się do góry aż do poziomu równowagi, na którym traci ona swoją wyporność. W drodze między powierzchnią ziemi a poziomem swobodnej konwekcji, **cząstka pokonuje poziom kondensacji wymuszonej** tj. wysokość, na której para wodna zawarta w powietrzu kondensuje. Od tej wysokości powietrze schładza się wilgotnoadiabatycznie. Na tym poziomie występuje podstawa

chmury. Powietrze unosząc się w górę ochładza się coraz bardziej, dając początek chmurze kłębiastej. Cykl rozwoju przebiega mniej więcej tak:

1. Cumulus Fractus
2. Cumulus Humilis
3. Cumulus Mediocris
4. Cumulus Congestus
5. Cumulonimbus (Calvus, Capillatus)

Gdy chmura stanie się chmurą kłębiastą, deszczową oraz będzie posiadać dostatecznie dużą rozpiętość pionową, pojawi się możliwość generowania przez nią wyładowań atmosferycznych, a więc wystąpienia burzy.

Chmury związane bezpośrednio ze zjawiskami burzowymi

W tej części tej publikacji zajmę się omówieniem formacji chmurowych, związanych bezpośrednio ze zjawiskami burzowymi tj. biorących udział w procesie tworzenia się burz.

Cumulus Fractus – mały, postrzępiony fragment chmury, o nieregularnych kształtach. Często występuje pod podstawą chmur deszczowych (nie tylko kłębiastych ale i warstwowych). Przypomina nieco strzępek waty cukrowej. Nie posiada dobrze zdefiniowanej podstawy. Cumulus fractus zazwyczaj jest jaśniejszy od Stratus fractus.

Cumulus Fractus



Cumulus Humilis – chmura kłębiasta, o niewielkiej rozpiętości pionowej, zwana chmurą dobrej pogody. Jeżeli poza przedstawicielami jej gatunku na niebie nie występują inne chmury, to jest ona zapowiedzią dobrej pogody na najbliższe kilka godzin. Bardzo rzadko generuje opady.

Linia Cumulus Humilis nad horyzontem.



Cumulus Mediocris – chmura kłębiasta o pośredniej rozpiętości pionowej tj. przebiegającej pomiędzy wartościami charakterystycznymi dla CuHum i CuCon. Często nie przejawia cech kalafiorowatej powierzchni. Jest związana z frontami chłodnymi. Pojawiające się rano lub wczesnym popołudniem Cu Med, są oznaką niestabilnej atmosfery i zapowiedzią możliwości rozwoju chmur kłębiastych, deszczowych popołudniem, więc również zjawisk burzowych.



Cumulus Congestus – chmura kłębiasta, wypiętrzona - posiada dużą rozciągłość w pionie. Często przyjmuje wygląd kalafiora. Podstawa tej chmury jest płaska. Czasami generuje opady deszczu i są one raczej słabe/umiarkowane, rzadziej silne. Przy sprzyjających warunkach przekształca się ona w chmurę Cumulonimbus.



Cumulonimbus – chmura kłębiasta, deszczowa o budowie pionowej. W Polsce osiąga wysokość do 16 kilometrów. Składa się zarówno z kropelek wody jak i kryształków lodu w wyższych partiach. Chmury te mogą być źródłami obfitych opadów deszczu lub śniegu (zimą), a także gradu. Cumulonimbusy mogą występować pojedynczo, tworzyć klastry lub występować w formie linii szkwału. Dobrze zbudowane formacje tego typu charakteryzują się płaską powierzchnią wierzchołków, a ich górna część przypomina kowadło. Jest to spowodowane jej ścinaniem przez wiatry wiejące poziomo np. przez osiagające prędkość większą niż 30 m/s prądy strumieniowe, wiejące w okolicy tropopauzy. Z powodu dużej rozciągłości pionowej tych chmur są one zdolne do generowania wyładowań atmosferycznych. Wyróżnia się kilka gatunków tych chmur:

Cumulonimbus Calvus – chmura kłębiasta, deszczowa powstała bezpośrednio z Cumulus Congestus. Jest to niedojrzała forma chmury Cumulonimbus. Wyglądem przypomina kalafior. Początkującym obserwatorom trudno jest odróżnić ją od Cumulus Congestus. Jej szczyt nie wykazuje wyraźnie śladów transformacji wody w kryształki lodu.



Cumulonimbus Capillatus – chmura kłębiasta, deszczowa posiadająca białe, przypominające włókna wierzchołki. Górna część tej chmury jest zazwyczaj śnieżnobiała, czasami miejscami względnie przezroczysta. Wierzchołki niekiedy nie posiadają wyraźnych zarysów.



Cumulonimbus Incus – chmura kłębiasta, deszczowa, której wierzchołki znajdują się na poziomie równowagi. Jej górna część przypomina kowadło. Jest to spowodowane obecnością ścinania go przez prądy strumieniowe.



Wybrane formacje i zjawiska towarzyszące chmurom Cumulonimbus

Arcus – (ang. Shelf Cloud). Chmura szelfowa to formacja chmurowa przypominająca klin lub toczącą się rolkę, znajdująca się na przedniej krawędzi chmury burzowej, na wysokości podstawy, zwykle związana z frontem szkwałowym. Zazwyczaj po jej przejściu pojawia się opad deszczu i podmuch wiatru, związane z prądem zstępującym. Szybko nadciągająca chmura arcus bywa zapowiedzią gwałtownego, niszczącego podmuchu wiatru.



Mamma – formacja chmurowa najczęściej związana z kowadłem burzowym, przypominająca wymiona ssaków. Czasami mogą pozwalać na prześwitywanie przez nie światła. Występowanie zjawiska mamma świadczy o dużej sile burzy.



Pannus – fractus, chmura o, której już wspominałem w tej publikacji. Mały, postrzępiony fragment chmury, o nieregularnych kształtach, przypominający strzępek waty cukrowej. Często występuje pod postacią chmur Cumulonimbus.



Pileus – niewielka, płaska, przypominająca Cirrusa, formacja chmurowa mogąca występować nad chmurami cumulus lub cumulonimbus, przypominając czapkę. Jest to chmura potrafiąca szybko zmieniać kształty. Jej występowanie jest spowodowane obecnością bardzo silnych i dynamicznych prądów wstępujących. Towarzyszyła dużej ilości testów nuklearnych, gdzie nosiła nazwę „Ice Cap”.



Praecipitatio – opad deszczu, śniegu lub gradu.



Tuba – trąba powietrzna lub lej kondensacyjny, (oba zjawiska zostaną omówione szczegółowo w dalszej części publikacji)



Wyładowania elektryczne

Chmury Cumulonimbus potrafią generować wyładowania elektryczne, zwane piorunami, którym towarzyszą zjawiska dźwiękowe nazwane grzmotami oraz błyski, będące towarzyszącymi zjawiskami świetlnymi.

Podczas wyładowania atmosferycznego przepływa prąd o napięciu rzędu do 10^7 [V] oraz natężeniu wynoszącym aż $2,5 \times 10^4$ [A]. Niech ładunek wynosi 6 kulombów.

Według równania:

$$U_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q}$$

Energia wyładowania wyniesie 6×10^7 [J], czyli 60 milionów dżuli. Tak duża energia powoduje rozgrzanie kanału przeskoku ładunku do ogromnej temperatury – w owym kanale występuje plazma. Większość energii cieplnej ulega rozproszeniu, natomiast reszta jest źródłem błysku i grzmotu.

Chmura burzowa składa się z kropelek wody, kryształków i krup lodowych. Jeżeli krople wody znajdują się w prądzie wstępującym, zostaną uniesione do góry, gdzie z powodu bardzo niskiej temperatury zamrzną, tym samym zamieniając się w krupy lodowe. Te pod wpływem ruchów mas powietrza mogą rozdzierać się lub zderzać bądź ocierać z kryształkami lodu. Dwa pocierające się ciała gromadzą na swoich powierzchniach przeciwne ładunki elektryczne. Kryształki lodu, lżejsze od krup, są od nich oddzielane przez prądy powietrza i znajdują się w górnym obszarze chmury burzowej, posiadając ładunki dodatnie. Krupy opadają niżej z ładunkiem ujemnym. Taki

proces trwa w dużej objętości chmury burzowej i powoduje powstanie różnicy potencjałów rzędu milionów woltów.

W momencie, kiedy różnica potencjałów będzie wystarczająca, zostanie rozpoczęte wyładowanie elektryczne. Jego bezpośrednie przyczyny nie są dokładnie znane. Z niżej położonych warstw chmury burzowej naładowanych ujemnie rozpoczyna się wyładowanie pilotujące, poruszające się w powietrzu z prędkością 30000 km/s, podróżujące skokami o długości 30 – 50 metrów. Wyładowanie pilotujące ma tendencję do rozdzielania się na wiele odnóg, z których tylko jedna, najszybsza dociera do ziemi przez obszar o najlepszych warunkach dla przepływu. Z punktu znajdującego się zazwyczaj najwyżej (siła Coulomba pomiędzy dwoma ładunkami będzie największa) wyrusza wyładowanie powrotne, dodatnie. Czas trwania procesu mierzony jest w milisekundach.

Typy wyładowań elektrycznych

Wyładowanie CG, cloud to ground, chmura ziemia – najbardziej znany typ wyładowań, a zarazem najgroźniejszy. Mechanizm jego powstania i przebiegu został wymieniony wcześniej.

Wyładowanie perłkowe, bead lightning – rzadko występujący podtyp wyładowania CG. Piorun jest widoczny jako ciąg jasnych perłek oddzielonych ciemniejszymi pasmami.

Wyładowanie wstęgowe, ribbon lightning – wyładowanie CG przypominające wijącą się wstęgę. Kształt taki jest spowodowany odmiennymi wiatrami wiejącymi na różnych wysokościach.

Wyładowanie Staccato, Staccato lightning - wyładowanie CG charakteryzujące się błyskawicą o bardzo krótkim czasie trwania. Widać tylko błysk światła. Występuje w rejonie sklepienia superkomórek burzowych.

Wyładowanie GC, ground to cloud, ziemia chmura – w tym przypadku wyładowanie pilotujące rozpoczyna swój żywot na ziemi wędrując do chmury. Chmura wytwarza wyładowanie powrotne.

Wyładowanie CC, cloud to cloud, chmura chmura – wyładowania międzychmurowe, nazywane **intra-cloud**, gdy występują w obrębie jednej chmury, lub **inter-cloud**, jeżeli pomiędzy dwiema odseparowanymi od siebie komórkami. Niekiedy wyładowanie przebiega z górnych warstw chmury, po czym zmienia swój kierunek na horyzontalny, jednocześnie rozgałęziając się i przyjmuje wygląd pełzającego pająka. W takich wypadkach nazywa się je **Anvil Crawler**.

Sheet lightning – wyładowanie międzychmurowe, którego oznaką jest rozbłysk światła. Nie widać bezpośrednio błyskawicy.

Heat lightning – „nieme” wyładowanie, które jest widoczne, jednak nie słychać grzmotu z powodu zbyt dużej odległości.

Dry lightning – „suche wyładowanie”, któremu nie towarzyszą opady deszczu.

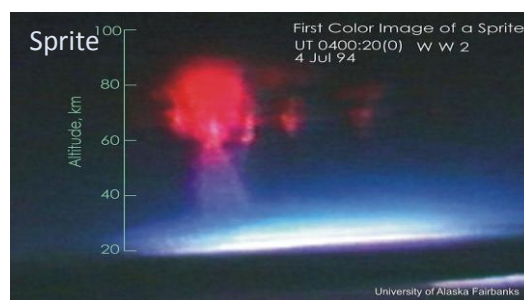
Positive lightning – wyładowanie niosące dodatni ładunek elektryczny. Wyładowanie pilotujące zazwyczaj zaczyna swój bieg w kowadle chmury burzowej, przez pewien czas przebiega poziomo, by potem odchylić swój tor biegu do pionu i zmierzać ku ziemi. Spotkanie z ziemią może wystąpić gdziekolwiek w promieniu kilkunastu kilometrów od burzy. Przy braku zachmurzenia

w sąsiedztwie komórki burzowej potrafi niekiedy uderzyć „grom z jasnego nieba”. Wyładowanie dodatkowo przenosi z sobą ładunek i napięcie do dziesięciu razy większe niż wyładowanie ujemne. Czas trwania także jest dłuższy.

Piorun kulisty, ball lightning – bardzo rzadkie zjawisko meteorologiczne, którego mechanizm powstawania i działania jest nieznan. Istnieją na ten temat liczne hipotezy. Jest klasyfikowany jako wyładowanie atmosferyczne, jednak nie ma na to jednoznacznych dowodów. Opisany jako świecąca, poruszająca się kula, o promieniu od kilku do kilkunastu centymetrów.

Wyładowania w wyższych warstwach atmosfery

Sprite – wyładowanie atmosferyczne, występujące ponad komórką burzową, przybierające różne kształty. Jest wywołane przez inne wyładowania. Pojawia się do 90 kilometrów nad ziemią.



Blue jets – różnią się od Sprite'ów tym, że nie są wywołane bezpośrednio przez inne wyładowania. Ponadto są od nich jaśniejsze oraz przybierają niebieski kolor.

ELVE – zazwyczaj występują jako spłaszczona, rozszerzająca się łuna do średnicy około 400 km. Trwa do jednej milisekundy na wysokości 100 kilometrów.

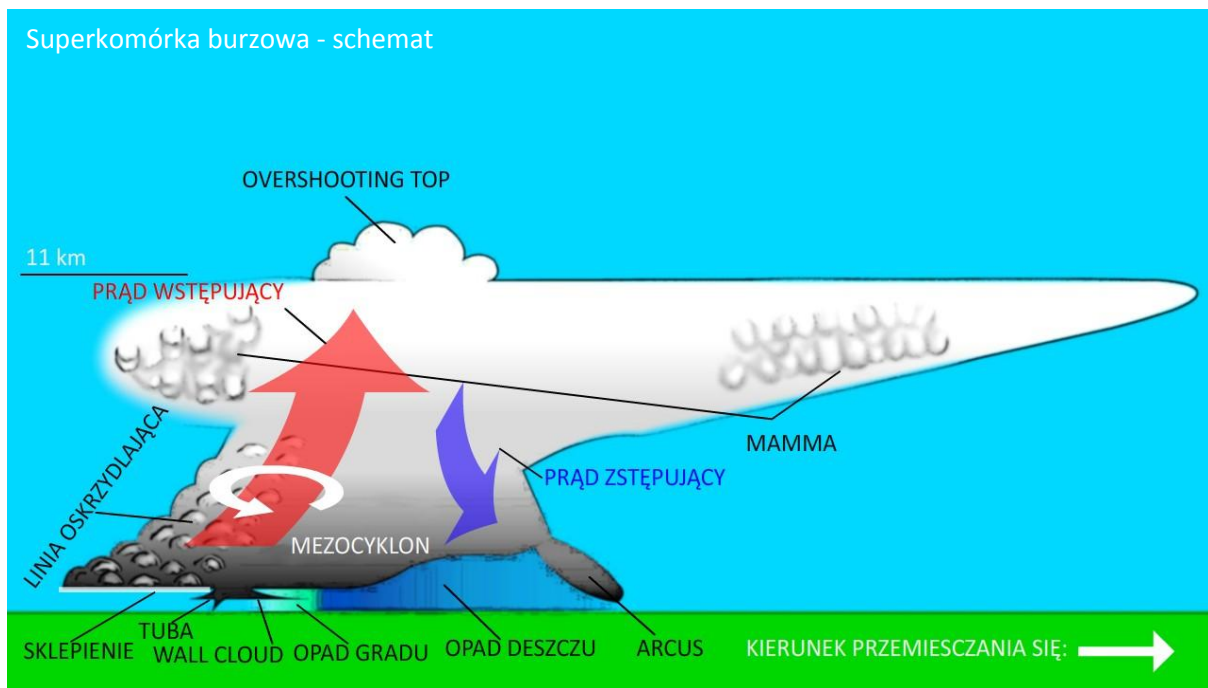
Superkomórki burzowe i zjawiska towarzyszące

Superkomórki burzowe są to charakterystyczne, dobrze zorganizowane struktury burzowe, posiadające mezocyklon. **Mezocyklon** jest wirującym prądem wstępującym powietrza o średnicy od 3 do 16 kilometrów. Zazwyczaj obraca się na półkuli północnej cyklonicznie. Do powstania mezocyklonu oraz superkomórki burzowej niezbędne są dwa czynniki: odpowiednia wartość CAPE oraz uskoki wiatru. Duża wartość CAPE jest konieczna do powstania w rejonie uskoku wiatru komórki burzowej. Jeżeli w rejonie obecności uskoku wiatru powstanie komórka burzowa lub już istniejąca komórka wkroczy w ten obszar, istnieje duże prawdopodobieństwo zorganizowania się jej w superkomórkę burzową.

Uskokiem wiatru nazywa się zmianę prędkości lub kierunku wiatru wraz z wysokością. Jeżeli rozważymy lokalnie atmosferę jako warstewki różnej grubości, poruszające się z różną prędkością, w różnych kierunkach, zauważymy, że na styku poszczególnych warstw pojawią się poziome wiry powietrza. Nałożenie się dostatecznie silnego prądu wstępującego komórki burzowej na obszar z obecnym wirami, może spowodować odchylenie osi obrotu takiego wiru do pionu, powstanie mezocyklonu i zorganizowanie się danej komórki burzowej w superkomórkę. Mezocyklon jest zazwyczaj widoczny na mapach radarowych, jednak nie zawsze można go dostrzec, głównie z powodu niedostatecznej rozdzielczości mapy.

Superkomórka burzowa posiada kilka cech wizualnych, które są dla niej charakterystyczne:

Overshooting top jest to wierzchołek chmury przebijający się wyraźnie ponad powierzchnię kowadła burzowego. Świadczy o bardzo silnym prądzie wstępującym i znajduje się bezpośrednio ponad nim. **Precipitation free base** to obszar strefy wolnej od opadów deszczu, znajdujący się pod prądem wstępującym. Nazywa się go również **Sklepieniem**. W tej strefie prawdopodobny jest opad dużego gradu. **Wall Cloud** – Chmura stropowa, występująca w miejscu, w którym stykają się ze sobą strefa opadu z precipitation free base. Tutaj ochłodzone przez opady powietrze z prądu zstępującego dostaje się w prąd wstępujący, tworząc chmurę zwisającą wyraźnie poniżej podstawy całej struktury. Ten rodzaj chmury nie jest zarezerwowany tylko dla superkomórek burzowych, jednak uznaje się go za charakterystyczny, gdyż większość trąb powietrznych związanych z mezocyklonem formuje się właśnie w jej obrębie. **Forward flank downdraft** – obszar silnego opadu deszczu związanego z prądem zstępującym. **Rear flank downdraft** - tylni prąd zstępujący, którego mechanizm nie został do końca poznany. Obserwowany w klasycznej oraz wysokoopadowej formie superkomórek burzowych i uważa się, że pełni jedną z kluczowych ról w tornadogenezie. Potrafi osiągnąć olbrzymią prędkość przy zstępowaniu i powodować znaczne szkody. **Flanking line** to linia oskrzydłająca, uformowana z piętrzących się cumulusów i chmur cumulonimbus. Na przedniej części superkomórek burzowych spotyka się **Arcus**, będący zapowiedzią silnego wiatru i obfitych opadów deszczu. Jest związany z Outflow Boundary.



Superkomórki burzowe posiadają charakterystyczne sygnatury widoczne na odbiciu radarowym. Są nimi:

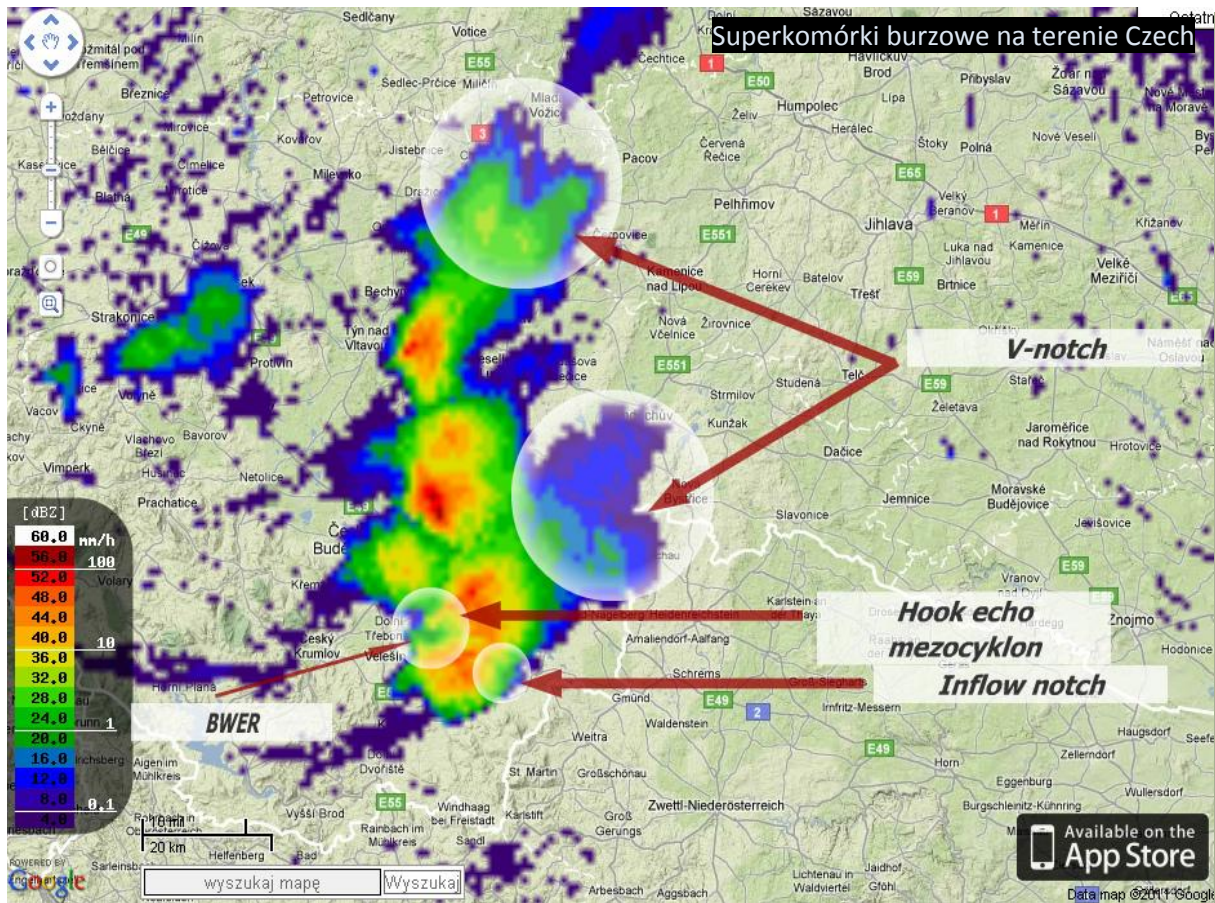
Hook echo – odbicie radarowe w kształcie haka, wyznaczające pozycję mezocyklonu lub ewentualnie tornada. Wywoływane przez opady deszczu i gradu, owijające się wokół mezocyklonu.

BWER – bounded weak echo region – obszar ograniczonego, słabego echa radarowego. Ukazuje miejsce obecności prądu wstępującego. Gradient odbiciowości na granicach WER

jest ogromny. BWER znajduje się na wysokości od 3 do 10 kilometrów. W niektórych pozycjach nazywany sklepieniem.

Inflow notch – wcięcie napływowe, ukazuje miejsce napływania ciepłego powietrza do superkomórki.

V-notch – wcięcie znajdujące się z przodu superkomórki, ukazujące rozbieżny przepływ wokół silnego prądu wstępującego.



Powyższa ilustracja przedstawia odbicia radarowe dwóch superkomórek burzowych, które wystąpiły w Czechach 9 lipca 2011. Dane z <http://radar.bourky.cz> Widoczne charakterystyczne sygnatury radarowe.

Ze względu na obfitość generowanych opadów superkomórki możemy podzielić na:

Classic supercells – komórki klasyczne, posiadające wyraźnie zaznaczoną strefę opadu oraz prądu wstępującego.

Low precipitation supercells, LP supercells – komórki niskoopadowe, wyglądające na wychudzoną wersję komórek klasycznych. Posiadają bardzo ograniczoną strefę opadu deszczu bądź nie posiadają jej wcale. Mogą zaskoczyć opadem obfitego gradu. Zazwyczaj szybko ulegają rozpadowi. Jeżeli napotkają na swojej drodze masy wilgotnego powietrza mogą zamienić się na odmianę klasyczną jak i HP. Są zdolne do produkowania niezbyt silnych trąb powietrznych. Porządane przez łowców ze względu na dobrą widoczność zjawisk przez nie generowanych.

High precipitation supercells, HP supercells – komórki wysokoopadowe, z wydajną i obszerną strefą opadów. Często powodują powodzie i mogą generować zjawiska Downburst. Produkują więcej wyładowań CC i CG. Niebezpieczne zjawiska potrafią u nich występować na przedzie.

Superkomórki burzowe można również podzielić na **left moovers**, odchylające swoją ścieżkę przemieszczania się na lewo od średniego wiatru oraz **right moovers**, czyniące to w sposób analogiczny na prawo.

Zjawiska związane z superkomórkami burzowymi lub niebezpiecznymi burzami

Downburst to zjawisko tworzone przez masy powietrza dostatecznie wychłodzone, aby spaść na powierzchnię ziemi, a następnie rozejść się na wszystkie strony promieniście, wywołując podmuchy wiatru prostoliniowego osiągające prędkość nawet 240 km/h. Wytyczają obszar zniszczeń w kształcie bliskim do elipsy. Zazwyczaj są to bardzo silne prądy zstępujące, nazywane spadającymi z powodu bardzo dużej prędkości schodzenia. W większości sytuacji prędkość wiatru nie jest jednolita, głównie ze względu na ruchy komórki burzowej i wpływ przemieszczania się mas powietrza.

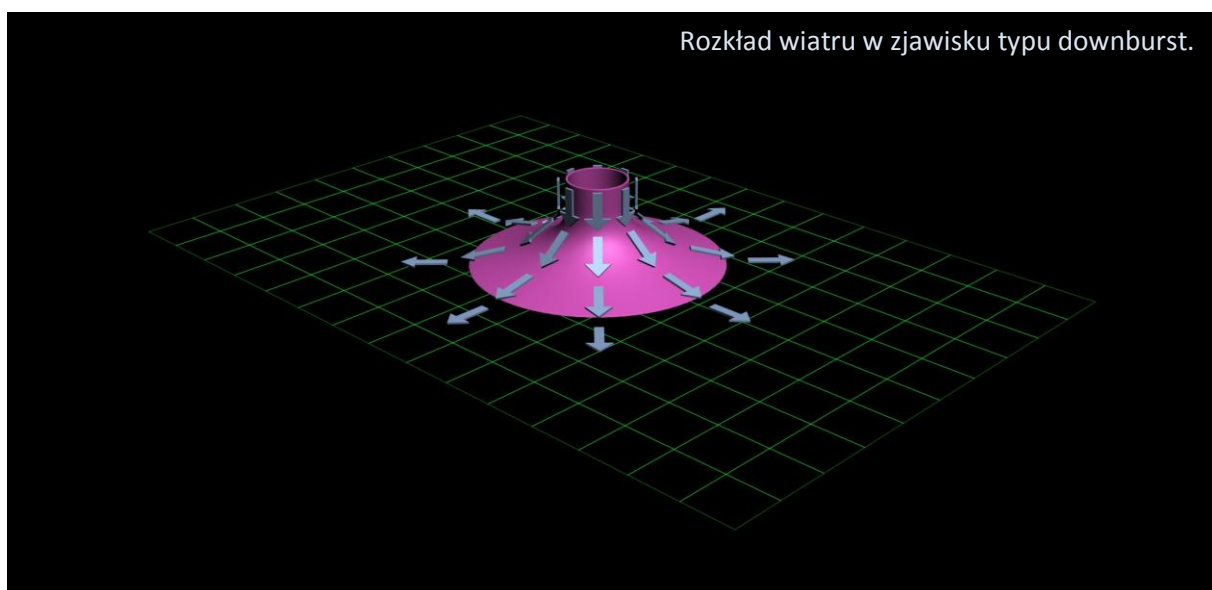
Rozróżniamy dwa typy prądów spadających:

Wet – z towarzyszącym im opadem deszczu.

Dry – bez opadu deszczu bądź towarzyszącą virgą.

Downbursty można także zakwalifikować jako **microburst**, gdy jego zasięg działania jest mniejszy niż 4 km, zaś, gdy przekroczona zostaje ta granica nazywa się je **macroburstami**.

Zjawisko to jest wywoływane, gdy gradziny lub duże krople deszczu przelatują przez warstwy suchszego powietrza. Topiąc się, lub te drugie parując, pobierają ciepło z otoczenia – reakcja endotermiczna. Powietrze zostaje mocno schłodzone. Powstaje bańka zimnego, gęstego powietrza, która zaczyna opadać na ziemię nabierając znacznej prędkości. Osiągając powierzchnię gruntu wiatr zaczyna się rozptyływać na boki. Powstają wiatry prostoliniowe, o dużej prędkości, mogące wywoływać lokalne zniszczenia. Obserwuje się również spadek temperatury.



Komórki burzowe są zjawiskiem lokalnym, wywołują więc punktowy opad deszczu. Jeżeli będzie on odpowiednio wydajny tj. spadnie bardzo duża ilość wody w jednostce czasu, przypadająca na jednostkę powierzchni, może dojść do wystąpienia zjawiska nazwanego **powodzią błyskawiczną** (ang. flash flood). Największe zagrożenie tego typu prezentują superkomórki wysokoopadowe. Do zjawiska flash flood doszło na Słowacji 15 sierpnia 2010, w wyniku którego zginęła jedna osoba.

Opady gradu towarzyszące groźnym burzom potrafią być bardzo niebezpieczne. Każda burza produkująca gradziny, które docierają do ziemi nazywana jest **burzą gradową** i posiada bardzo silny prąd wstępujący, pozwalający na wyniesienie kropelki wody do wysokości, na której nastąpi zjawisko **przechłodzenia**, a więc ciecz będzie znajdowała się w stanie ciekłym pomimo panującej temperatury będącej poniżej temperatury jej krzepnięcia. Jeżeli taka kropelka natrafi na drobinę brudu lub jakiegokolwiek inne ciało stałe, momentalnie zamrze. Taka drobinka to **jądro kondensacji**. Zamrożony zaczątek gradziny wędruje po chmurze za sprawą prądów powietrznych, nabierając średnicy i masy, wpadając w inne obszary zawierające przechłodzone kropelki wody, które osadzają się na jego powierzchni tworząc kolejne warstwy lodu. Gradzina wędruje po chmurze przez około 30 minut aż do momentu w, którym jej masa będzie na tyle duża, aby pokonać silny prąd wstępujący i opaść na ziemię. Grad w superkomórkach burzowych zazwyczaj jest obecny w rejonie sklepienia, znajdującego się w obszarze aktywności prądu wstępującego. Zielonkawe zabarwienie chmury może świadczyć o ewentualnych opadach gradu. Przyjmuje się, że gradzina wyrządzająca szkody ma średnicę większą lub równą 2 centymetrom. Z powodu nabrania ogromnej prędkości, energia kinetyczna jest wystarczająca, by spowodować zniszczenia karoserii aut, szyb, upraw, a także stanowić zagrożenie dla ruchu lotniczego.

Największa zanotowana gradzina spadła w Vivian w Południowej Dakocie 23 lipca 2010 mając średnicę 20 centymetrów i masę 0.88 kilograma.

Trąby powietrzne, gwałtownie wirujące kolumny powietrza, będące jednocześnie w kontakcie z podstawą chmury i powierzchnią ziemi, utożsamiane są z największym zagrożeniem niesionym przez zjawiska burzowe. Zwykle przyjmują wygląd leja kondensacyjnego z obłokiem latających odłamków przy ziemi.

Można je sklasyfikować na dwa sposoby ze względu na mechanizm powstawania:

Trąby powietrzne związane z mezocyklonem – towarzyszą superkomórkom burzowym. Są najgroźniejszym rodzajem trąby powietrznej (potrafią osiągnąć najwyższe stopnie w skali Fujity), a jednocześnie łatwo przewidywalnym (mezocyklon można wcześniej dostrzec w echu radarowym jako Hook Echo, dodatkowo zazwyczaj wyłania się z charakterystycznej, wirującej chmury stropowej, pojawiającej się na kilkanaście minut przed zejściem leja).

Trąby powietrzne nie związane z mezocyklonem, trąby lądowe (landspout), trąby wodne (waterspout) – niezwiązane z mezocyklonem ani z superkomórkami burzowymi. Przy sprzyjających warunkach mogą towarzyszyć zwykłym komórkom burzowym, a nawet wypiętrzonym cumulusom. Warunkiem ich powstania jest prąd wstępujący oraz uskoki wiatru w warstwie poniżej podstawy chmury. Trudno je przewidywać. Są słabsze od trąb superkomórkowych – potrafią osiągać siłę w skali Fujity aż do F2, a czasami F3.

Lej kondensacyjny jest chmurą w kształcie leja, składającą się ze skondensowanej (skroplonej) pary wodnej, związaną z ruchem wirowym powietrza, będącą w kontakcie z podstawą chmury jednak nie będącą w kontakcie z powierzchnią ziemi. Gdy wir powietrza osiągnie powierzchnię ziemi, nazywany jest trąbą powietrzną.

Superkomórkowe trąby powietrzne zazwyczaj powstają, gdy swoje oddziaływanie rozpocznie tylni prąd zstępujący. Procesowi temu zwykle towarzyszy pojawienie się wirującej **chmury stropowej** (Wall Cloud), utrzymującej się poniżej podstawy chmury burzowej przez kilkanaście minut, czasami wykonującej gwałtowne skoki góra-dół. Wall Cloud może posiadać „ogon” skierowany do strefy opadów deszczu.



Nie każda chmura stropowa jest jednak związana z pojawieniem się trąby powietrznej. Do tego potrzebna jest jeszcze obecność RFD, które może być widoczne jako pojawienie się pewnego przejaśnienia zwanego w literaturze obcojęzycznej jako **clear shot**. Poniższe zdjęcie przedstawia taką sytuację.



Gdy lej kondensacyjny zacznie opuszczać się z chmury stropowej, na powierzchni ziemi znajdującej się w obszarze jego oddziaływania mogą wystąpić szczególne oznaki – nasilający się wiatr spowodowany cyrkulacją powietrza oraz charakterystyczne układanie się łanów trawy lub zboża (jeżeli jest obecne), a także stopniowe podnoszenie się tumanów kurzu, a później odłamków lub małych przedmiotów. Z takiego miejsca należy się jak najszybciej oddalić, bądź szukać schronienia w piwnicach, a w sytuacji gdy są one niedostępne - w pomieszczeniach mieszczących się najniżej, w centralnej części budynku.

Trąba powietrzna będąca w kontakcie z ziemią najczęściej przybiera wygląd lejka o średnicy kilkuset metrów, zakończonego obłokiem wirujących odłamków przy ziemi, jednak nie zawsze lej jest widoczny. Czasami jest przesłonięty przez obfite opady deszczu i jest to sytuacja szczególnie niebezpieczna. W niektórych przypadkach jest prosto niewidoczny, a jedyną jego oznaką jest chmura wirujących odłamków.

Trąby lądowe i wodne wyglądają nieco inaczej – bardziej przypominają cyliner, są także smuklejsze i często w początkowych fazach rozwoju niewidoczne. Ponadto są słabsze i generalnie trwają krócej.

Lej trąby powietrznej może być bardzo szeroki i przypominać klin. Mówi się wtedy o **tornadzie klinowym** (ang. wedge tornado). W fazach zanikania lej może przybrać kształt pozwijanego sznurka, a taki przypadek nazywa się **tornadem w kształcie liny** (ang. rope tornado). Zazwyczaj trąby powietrzne przyjmują kolor materiału, który jest przez nie niesiony, a więc jest związany z obszarem ich wystąpienia.

Trąby powietrzne o większej sile zazwyczaj mają większą średnicę, jednak odnotowano wiele przypadków małej średnicy wiru, a dużej prędkości wiatru. Istnieje także relacja wiążąca siłę tornada z długością jego ścieżki zniszczeń. Zazwyczaj silniejsze trąby powietrzne pozostają na ziemi dłużej.

Większość trąb powietrznych i superkomórek wiruje cyklonicznie. Jest to spowodowane kierunkami wiatru w troposferze w trakcie występowania korzystnych warunków do rozwoju tych zjawisk. W warstwie granicznej (niższej) wiatry wieją z południa, natomiast wyżej z zachodu. Podtrzymuje to wirujące prądy wstępujące, więc wydłuża czas trwania superkomórki oraz zwiększa jej siłę. Efekt Coriolisa pełni w tym przypadku znikome znaczenie.

Trąba powietrzna może składać się z wielu wirów, natomiast nie posiadać jednego spójnego wiru. Mówimy wtedy o **multiple vortex tornado**. Dodatkowo wokół tornada o dużej sile może utworzyć się mniejsze tornado satelickie.

Trąba powietrzna w stanie dojrzałym zasysa ciepłe powietrze w okolicy. Podczas tego procesu rear flank downdraft systematycznie owija się wokół wiru, powoli odcinając mu dostęp do ciepłego powietrza – jego paliwa. Kiedy owinie się całkowicie, dostęp do paliwa zostaje zupełnie odcięty, trąba słabnie, zaczyna zamieniać się w tornado w kształcie liny. Ten proces zwany jest **etapem rozpadu tornada** (ang. tornado dissipating stage) i kończy się jego zanikiem. Po jego zakończeniu może znowu wystąpić tornadogeneza i ewentualnie następna trąba powietrzna. Trąby powietrzne wywoływane są statystycznie przez niewielką ilość występujących superkomórek.

Tornada mogą również występować na danym obszarze w liczbie większej niż jeden. Jeżeli dana superkomórka burzowa zrodzi więcej niż jedną trąbę powietrzną mówimy o **rodzinie tornad**

(ang. Tornado family). Jeżeli na danym obszarze wystąpi większa liczba tornad, ale wytworzona przez większą liczbę zjawisk burzowych mówimy o **tornado outbreak**. Dodatkowo, ważnym warunkiem do spełnienia kryterium zakwalifikowania jako tornado outbreak jest taka sama skala synoptyczna zjawisk generujących trąby powietrzne. Żeby mówić o tornado outbreak, odstęp czasowy pomiędzy występowaniem kolejnych tornad musi być mniejszy niż sześć godzin.

Umownie wymagana jest liczba 6-10 trąb powietrznych, aby zaklasyfikować taką sytuację jako outbreak. Jeżeli przez kilka dni pod rząd występuje tornado outbreak, mówimy o **tornado outbreak sequence**.

Siłę i intensywność trąb powietrznych obecnie wyznacza się za pomocą udoskonalonej (Enhanced Fujita Scale) skali Fujity, pozwalającej na ocenę prędkości wiatru w oparciu o obserwację szkód przez niego wywołanych oraz w odniesieniu do komponentów, z których zostały wykonane niszczone obiekty.

Poniżej znajduje się poglądowa wersja skali EF, w pełni dostępna na:

<http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/ef-scale.html>

ULEPSZONA SKALA FUJITY		
STOPIEŃ	PRĘDKOŚĆ WIATRU (3 sekundowy podmuch) km/h	OPIS SŁOWNY ZNISZCZEŃ CHARAKTERYSTYCZNYCH.
EF0	117-153	Uszkodzenia dachów, drzewa częściowo pozbawione gałęzi.
EF1	154-199	Wybite okna. Drzewa wyrwane z korzeniami.
EF2	200-243	Duża część dachów budynków zerwana. Solidne drzewa wyrwane z korzeniami.
EF3	244-297	Pozostałości drzew odarte z kory przez latające odłamki. Pociągi stojące na bocznicach wykolejone.
EF4	297-360	Część budynków zrównana z ziemią. W solidnych budynkach ostają się jedynie wewnętrzne pomieszczenia.
EF5	>360	Solidnie wykonane budynki doszczętnie zniszczone, zrównane z ziemią do fundamentów, olbrzymie części centrów handlowych całkowicie zniszczone.

Statystycznie ilość trąb powietrznych maleje wraz z siłą. Największą część występujących tornad stanowią te o sile do EF3. Najmniej jest trąb powietrznych o sile EF5.

W Europie przyjęto jako odpowiednią skalę TORRO do szacowania intensywności trąb powietrznych na podstawie zniszczeń. Jest ona bardziej szczegółowa.

SKALA TORRO		
T#	PRĘDKOŚĆ WIATRU km/h	OPIS SŁOWNY ZNISZCZEŃ CHARAKTERYSTYCZNYCH.
0	61-86	Unoszenie lekkich śmieci. Część dachówek wypada.
1	87 - 115	Mniejsze rośliny, leżaki uniesione. Wiaty sklepowe są uszkodzone. Ubytki w dachówkach. Płoty przewracane.
2	116 - 147	Zerwane dachy garażowe. Duże uszkodzenia w dachach budynków mieszkalnych. Uszkodzenia w drzewostanie: większe gałęzie są powykręcane lub odłamane. Mniejsze drzewa wyrwane z korzeniami.
3	148 - 184	Garaże zniszczone. Większe drzewa ogołoczone z gałęzi, a część wyrwana z korzeniami.
4	185 - 220	Auta zostają poderwane do lotu. Niektóre domy zostają pozbawione całkowicie dachów.
5	221 - 259	Ciężkie pojazdy poderwane do lotu. Starsze budynki zawalają się, a większość jest poważnie uszkodzona.
6	260 - 299	Solidne budynki tracą zadaszenie, czasami nawet ściany. Wieżowce mają powybijane okna. Część budynków zawala się.
7	300 - 342	Budynki drewniane doszczętnie zniszczone. Niektóre ściany ceglane zawalają się. Lokomotywy przewrócone. Odarcia pni drzew z kory przez latające odłamki.
8	343 - 385	Pojazdy niesione wiatrem pokonują znaczne odległości. Drewniane budynki zostają rozniesione na części rozrzucone po znacznej powierzchni. Budynki betonowe uszkodzone w takim stopniu, że nie nadają się do naprawy. Drapacze chmur przechylone. Budynki o płytkim osadzeniu, a dużej wysokości są obalone.
9	386 - 432	Wszystkie pnie drzew są odarte z kory. Drapacze chmur obalone. Lokomotywy są niesione wiatrem.
10	433 - 482	Domy zostają podniesione z fundamentów. Budynki umocnione są zniszczone lub ciężko uszkodzone.

Przez niedoświadczonych obserwatorów jak i przypadkowych świadków formacje tornadopodobne często mylone są z trąbami powietrznymi, jak na przykład **Gustnado**, czyli wir powietrza, wzbijający chmurę pyłu i odłamków, będący w kontakcie z ziemią. Cykl życiowy gustnada trwa od kilku sekund do kilku minut. Nie są one związane z działalnością mezocyklonu, natomiast występują w obszarze frontów szkwałowych, gdy zimne powietrze pochodzące z prądu zstępującego wślizgnie się pod warstwę ciepłego powietrza, wywołując turbulencje, mogące wywołać zjawiska wirowe. Gustnada mogą powodować szkody.



Również wir powietrza zwany **Dust Devil** mylony jest z trąbami powietrznymi. Te formacje występują często podczas słonecznej pogody, w ciepłe dni, kiedy to powietrze przy gruncie nagrzej się do dużej temperatury i zacznie gwałtownie unosić przez wyżej położone obszary chłodniejszego powietrza.



Obecność formacji arcus, w przedniej części komórki burzowej zwiastuje często poryw silnego wiatru zwanego szkwałem, który jest nagłym wzrostem prędkości wiatru o $8 \frac{m}{s}$ przy prędkości początkowej wynoszącej co najmniej $10 \frac{m}{s}$. Arcus jest obecny w przedniej części komórki burzowej i związany z obecnością **frontu szkwałowego** (ang. gust front), inaczej zwanego **granica odpływu** (ang. outflow boundary). Outflow boundary jest granicą o rozmiarze zjawiska burzowego, oddzielającą chłodne powietrze, ulatniające się z burzy, pochodzące z prądu zstępującego od ciepłego powietrza otaczającego. Jest zjawiskiem podobnym do frontu chłodnego.

Inne formy zjawisk burzowych

Komórki burzowe mogą nie tylko występować pojedynczo, ale także łączyć się w grupy zwane klastrami, zawierające po kilka komórek burzowych. Klaster burzowy może trwać dłużej niż pojedyncza komórka, prezentuje także większe zagrożenie gradem. Bardziej rozbudowane i lepiej zorganizowane klastry (minimum 100 km rozpiętości, jednak są mniejsze od cyklonów ekstraintropikalnych) mogą przybrać formę **mezoskalowych systemów konwekcyjnych** (ang. mesoscale convective system, MCS) MCS tworzą się blisko frontów atmosferycznych i mogą trwać kilkanaście godzin. Typy MCS:

- Mesoscale Convective Complex
- Linie szkwału
- Cyklony tropikalne
- Lake effect snow
- Polar low

W tej publikacji opiszę tylko dwie pierwsze pozycje, jako szczególnie interesujące czytelnika, ze względu na lokalizację naszego kraju.

Mesoscale Convective Complex - jeden z typów MCS. Powierzchnia wierzchołków chmur takiego systemu musi przekraczać $100\,000\text{km}^2$, a ich temperatura zejść poniżej -32°C lub $50\,000\text{km}^2$ i -52°C . Wymagane wymiary układu muszą utrzymać się przez minimum 6 godzin i są określane w trakcie osiągnięcia przez pokrywę chmurową układu maksymalnych rozmiarów. Pomiar dokonywane są za pomocą zdjęć satelitarnych wykonywanych w podczerwieni.

MCC zwykle powstaje przez połączenie wielu komórek burzowych w linię szkwału lub burzę wielokomórkową, która spełnia powyższe kryteria. Zazwyczaj do takiego procesu dochodzi, gdy jest obecna adwekcja (napływ) ciepłego powietrza w niższych warstwach troposfery, napływ wilgoci oraz konwergencja (zbieżność) wiatrów przy ziemi i ich rozbieżność wyżej.

MCC można podzielić na trzy warstwy:

- przyziemna - posiadająca outflow boundary
- środkowa - znajdująca się w środkowej troposferze. W niej występuje układ niskiego ciśnienia wirujący cyklonicznie. Powietrze jest tu względnie (w porównaniu do otoczenia) ciepłe.

-wysoka, w której występuje układ wysokiego ciśnienia wirujący antycyklonicznie (zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara), będący oznaką rozbieżności wiatru.

Dzięki konwergencji przy ziemi i rozbieżności wiatrów w wyższych warstwach atmosfery MCC może trwać wiele godzin, aż do rozpadu, który pozostawia za sobą mesoscale convective vortex.

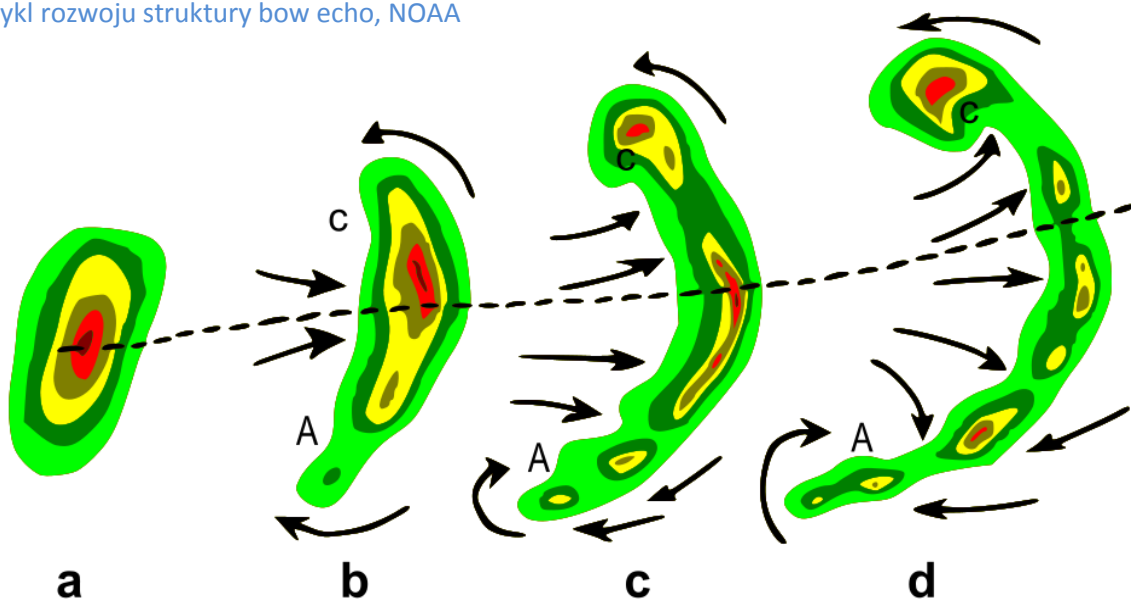
Mesoscale convective vortex – wirujący układ niskiego ciśnienia, znajdujący się w środkowej troposferze, będący pozostałością po mesoscale convective system. Jego szerokość może osiągać do 100 kilometrów, natomiast głębokość dochodzi do 5 km. MCV może przetrwać aż 12 godzin po rozpadzie swojego macierzystego MCS. Może być przyczyną wystąpienia zjawisk burzowych.

Linia szkwału – to linia zbudowana z wielu komórek burzowych, zazwyczaj formująca się na frontach chłodnych. Charakteryzuje się obfitymi opadami deszczu, opadami gradu, częstymi wyładowaniami atmosferycznymi, silnymi podmuchami wiatrów prostoliniowych oraz możliwością występowania trąb powietrznych.

Echo radarowe linii szkwału zazwyczaj przypomina linię prostą. Czasami przyjmuje postać krzywej kształtem przypominającej łuk, mówi się wtedy o zjawisku **bow echo**.

Bow echo to linia szkwału, złożona z silnych burz, posiadająca rozpiętość od 20 do 200 kilometrów i cykl życia wynoszący od 3 do 6 godzin. Ważnym czynnikiem dla rozwoju tego typu formacji jest obecność silnego uskoku wiatru na wysokości 2-3 kilometrów. Jest również wymagana obecność silnego prądu napływowego powietrza, zwanego **rear inflow jet**.

Cykl rozwoju struktury bow echo, NOAA

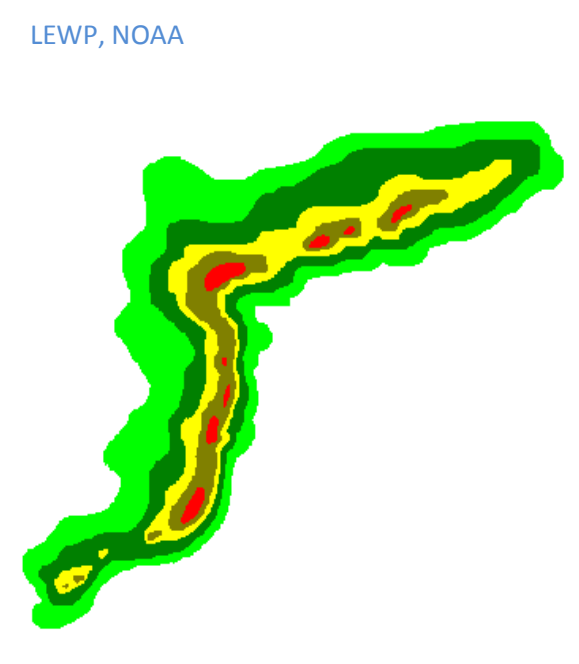


Na krańcach bow echo mogą występować zawirowania powietrza, na północy cykloniczne C, na południu antycykloniczne A. Mają one podobną siłę i mogą one wytwarzać słabe trąby powietrzne i gustnada.

W pobliżu centrum tej formacji występują zazwyczaj silne podmuchy wiatru prostoliniowego, mogące wynosić aż 160 km/h.

Jedną z najniebezpieczniejszych formacji tego typu są **derecha**. Składają się z silnych komórek burzowych i przybierają formę formacji liniowych, przemieszczających się z ogromną prędkością. Wykazują cechy bow echa. Żeby zakwalifikować zjawisko jako Derecho musi wystąpić poryw wiatru o prędkości większej lub równej 26 m/s i trzy porywy wiatru o sile T2 lub prędkości większej lub równej 33 m/s. Pas zniszczeń powinien przekroczyć 460 kilometrów. Derecho może przybrać formę jednego gigantycznego bow echa lub składać się z kilku połączonych formacji tego typu, tym samym rozciągając się na setki kilometrów.

Pojęciem o którym warto w tym momencie wspomnieć, jest **LEWP** (ang. line echo wave pattern) – specjalne ułożenie komórek burzowych w zorganizowanej strukturze, wskazujące na obecność obszaru niskiego ciśnienia. Wyglądem przypomina nieco literę S.



W derechach istnieje możliwość wystąpienia silnych downburstów, przy których podmuchy wiatrów mogą dochodzić w porywach do ponad 200 kilometrów na godzinę oraz istnieje ryzyko pojawienia się trąby powietrznej.

Najsłynniejsze derecho w Polsce wystąpiło 23 lipca 2009.

Wszelkie ilustracje użyte w tej publikacji są mojego autorstwa bądź są użyte zgodnie z ich licencjami. Obrazki zawierające w opisie **NOAA** pochodzą z **National Oceanic and Atmospheric Administration**. Skany radarowe opatrzone podpisem Bourky pochodzą z **Český hydrometeorologický ústav** i są udostępniane na licencji **Creative Commons**. Ilustracja przedstawiająca cumulus z pileus (strona 11) została udostępniona na licencji **Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0** i jest autorstwa użytkownika **Dhaluza, Wikimedia Commons**. Reszta ilustracji i zdjęć jest mojego autorstwa i posiadam doń pełnię praw autorskich.

Publikacja powstała na podstawie

American Meteorological Society „Glossary of meteorology„

<http://amsglossary.allenpress.com/glossary>

Przydatne adresy:

<http://www.lowcyburz.pl> Strona stowarzyszenia Skywarn Polska.

<http://www.estofex.org> Strona internetowa European Storm Forecast Experiment.

<http://gfspl.rootnode.net> Strona internetowa: Model GFS, Strona polskojęzyczna udostępniająca dane meteorologiczne i wyliczenia modeli numerycznych.

<http://www.wetterzentrale.de/> Strona internetowa, niemieckojęzyczna, modele numeryczne, aktualne dane pogodowe.

<http://radar.bourky.cz> Strona internetowa udostępniająca mapy radarowe obejmujące obszar Czech i części terytorium polskiego.

<http://pogodynka.pl> Strona internetowa udostępniająca dane pogodowe obejmujące teren Polski.

<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> - Strona internetowa udostępniająca sondaże aerologiczne z całego świata w formie danych surowych.

<http://www.noaa.gov/> - Strona internetowa National Oceanic and Atmospheric Administration.

Serdecznie dziękuję Arturowi SUROWIECKIEMU za recenzowanie publikacji na bieżąco oraz zwracanie konstruktywnych uwag co do jej treści.