

Grad

- Podstawowe informacje
- Formowanie się gradu
- Warunki sprzyjające opadom dużego gradu
- Superkomórki jako „fabryki” gradu
- Detekcja radarowa potencjalnych burz gradowych
- Incydenty gradowe w Polsce

Krzysztof Ostrowski

Stowarzyszenie Skywarn Polska - „Polscy Łowcy Burz”

Co to jest?

Grad – opad atmosferyczny w postaci lodowych brył o średnicy przynajmniej 5 mm, który powstaje tylko w chmurach cumulonimbus. Na naszych szerokościach geograficznych zjawisko gradu może występować przez cały rok, ale największe lodowe kule (mimo skojarzenia z zimą) występują w miesiącach letnich - nieraz ich opad poprzedzają 30-stopniowe upały.

Rozmiary gradu

- Są bardzo zróżnicowane i zależą od warunków, w których rozwija się chmura Cb
- Największe kule gradowe tworzą się w superkomórkach burzowych, a do ich powstania potrzebny jest bardzo silny i długotrwały prąd wstępujący
- W ostatniej dekadzie w Polsce największa gradzina (średnicy 10 cm) spadła 12.06.2010 pod Radomiem oraz 15.08.2008 (wielkości 8-9 cm) na Górnym Śląsku
- Największa kula gradowa w historii USA wystąpiła 23.07.2010 w Vivian (Południowa Dakota) – miała 20 cm średnicy i ważyła 0,9 kg! Podobnej masy gradziny notowano w Indiach i Bangladeszu.

Ocenianie rozmiaru gradu

Średnicę gradu można oceniać na podstawie porównań do znanych nam przedmiotów np. grad wielkości grochu (~1 cm), orzechów laskowych (~2 cm), piłek ping-pongowych (~3-4 cm), kurzych jaj (~5-6 cm) czy pomarańczy (~7-9 cm)



Niebezpieczeństwo gradu

- Im większy grad, tym większa jego masa i prędkość spadania – stąd szybko rośnie jego energia kinetyczna i niszczący potencjał
- Grad o średnicy 2 cm i większej może powodować już szkody (np. w rolnictwie)
- Grad średnicy co najmniej 5 cm uznaje się za bardzo duży i jest on niebezpieczny dla ludzi i mienia
- Grad 10-centymetrowy lub większy może spowodować śmierć człowieka (tu wiele zależy też od jego gęstości, a więc i masy) – 14.04.1986 kule wielkości grejpfrutów zabiły w Bangladeszu około 100 osób (!)

Czynniki wpływające na formowanie się gradu

- Faza mieszana w chmurze (od 0°C do -30°C): zachodzi proces Bergerona oraz koalescencja (warstwy w gradzie!)
- Siła prądu wstępującego – pozwala na utrzymanie w chmurze Cb większych gradzin
- Długotrwałość prądu wstępującego – umożliwia znaczny wzrost kul gradowych w chmurze (niektóre krążą w Cb długo zanim spadną)
- Wysokość poziomego zamarzania – związana z procesem topnienia gradu

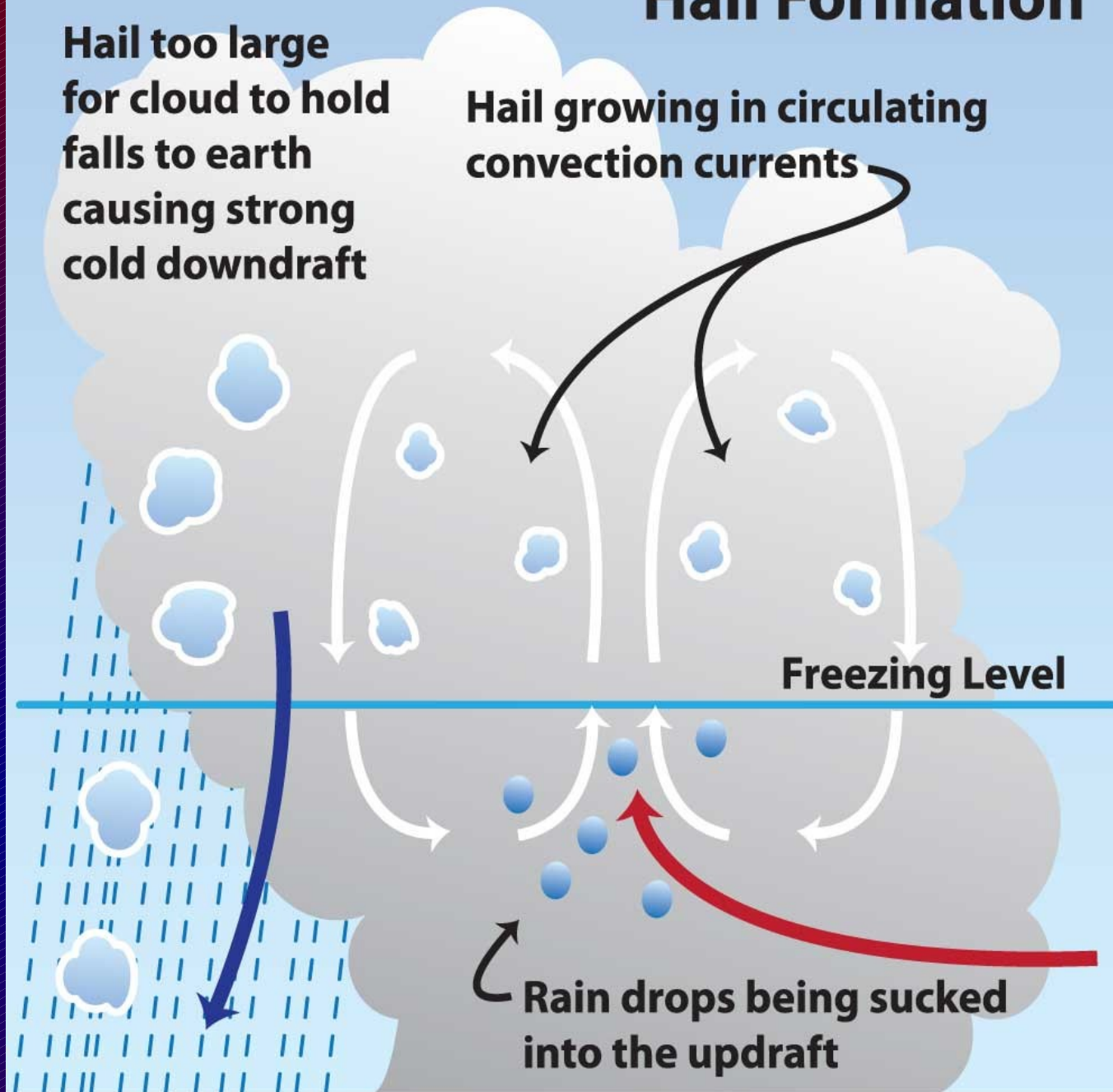
Hail Formation

Hail too large
for cloud to hold
falls to earth
causing strong
cold downdraft

Hail growing in circulating
convection currents

Freezing Level

Rain drops being sucked
into the updraft





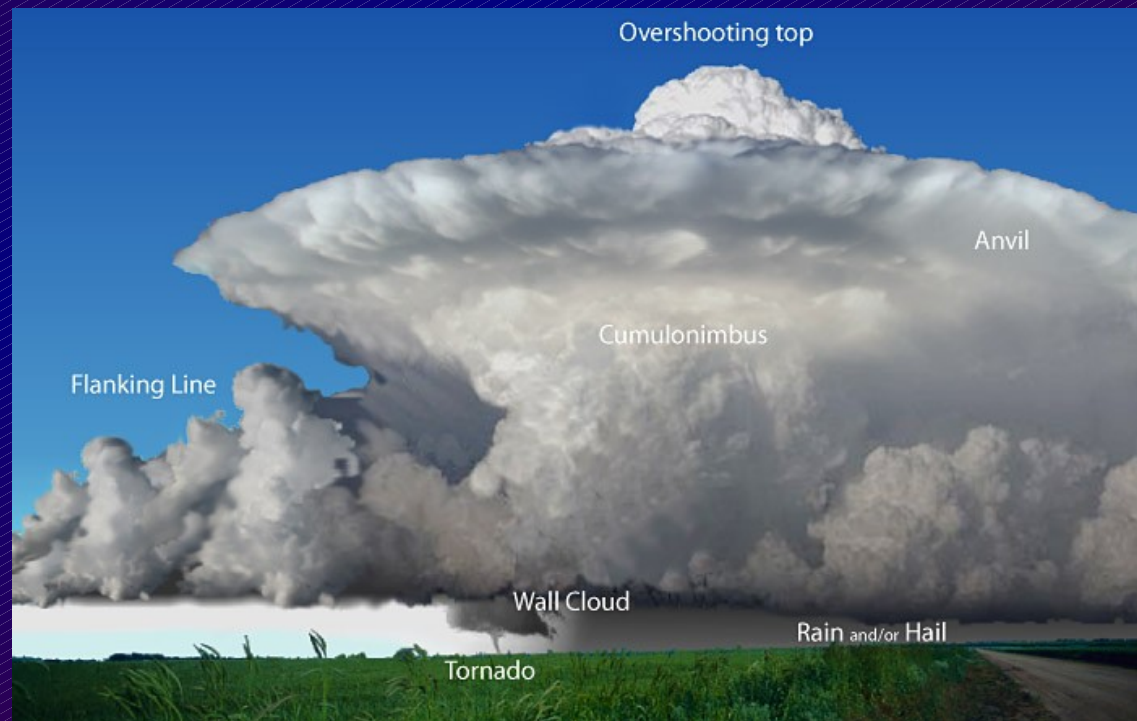


Warunki sprzyjające występowaniu dużego gradu

- Chwiejność termodynamiczna – niezbędna do rozwoju Cb, większe CAPE oznacza silniejsze prądy wstępujące
- Duża zawartość pary wodnej w warstwie granicznej – intensywna kondensacja w chmurze Cb
- Znaczny pionowy gradient temperatury w środkowej troposferze – większe przyspieszenie prądów wstępujących w strefie tworzenia się gradu
- Relatywnie nisko położona izoterma zero (albo wyniesiony teren) – ograniczona możliwość topnienia gradzin, bardziej istotna dla mniejszych gradzin, a mniej dla dużych gradzin (szybko spadają!)
- Niedosyt wilgotności w środkowej troposferze – obniża poziom topnienia gradu (ochładzanie przez parowanie)

Pionowe uskoki wiatru, a grad

Bardzo istotne przy formowaniu gradu są pionowe uskoki wiatru – zwiększają one żywotność prądu wstępującego i (co najważniejsze!) umożliwiają rozwój superkomórek burzowych.



Parametry kompozytowe gradu

- $SHIP = [(MUCAPE \text{ j/kg}) * (\text{Mixing Ratio of MU PARCEL g/kg}) * (700\text{-}500\text{mb LAPSE RATE c/km}) * (-500\text{mb TEMP C}) * (0\text{-}6\text{km Shear m/s})] / 44,000,000$
- $CAPE\text{SHEAR} = (MUCAPE \text{ j/kg}) * (0\text{-}6 \text{ km Shear m/s})$
- Wartości SHIP 1 i większe faworyzują opad dużego gradu (średnicy 5 cm+)
- Wartości CAPE\text{SHEAR 20000 i więcej sprzyjają gwałtownym burzom (w tym gradobiciom)
- To tylko suche parametry (!), w\text{pierw należy zwracać uwagę na inne czynniki (rozmieszczenie niży i frontów, obecność warstw hamujących, szanse rozwoju superkomórek itd)

Superkomórki

- Burze z rotującym prądem wstępującym
- Prawdziwe „fabryki” wielkich kul gradowych – odpowiedzialne za większość przypadków dużego gradu. Organizacja prądów powietrznych o wiele lepsza niż w zwykłej komórce.
- Posiadają bardzo silny prąd wstępujący – oprócz wyporności działa tu również siła gradientu ciśnienia związana z mezocyklonem
- Posiadają długo żyjący prąd wstępujący - jest on dobrze odseparowany od prądu zstępującego (uskoki wiatru) i dzięki rotacji nieustannie zasysa chwiejne powietrze z ciepłego pseudo-sektora – analogia do niżu

Overshooting top

Anvil

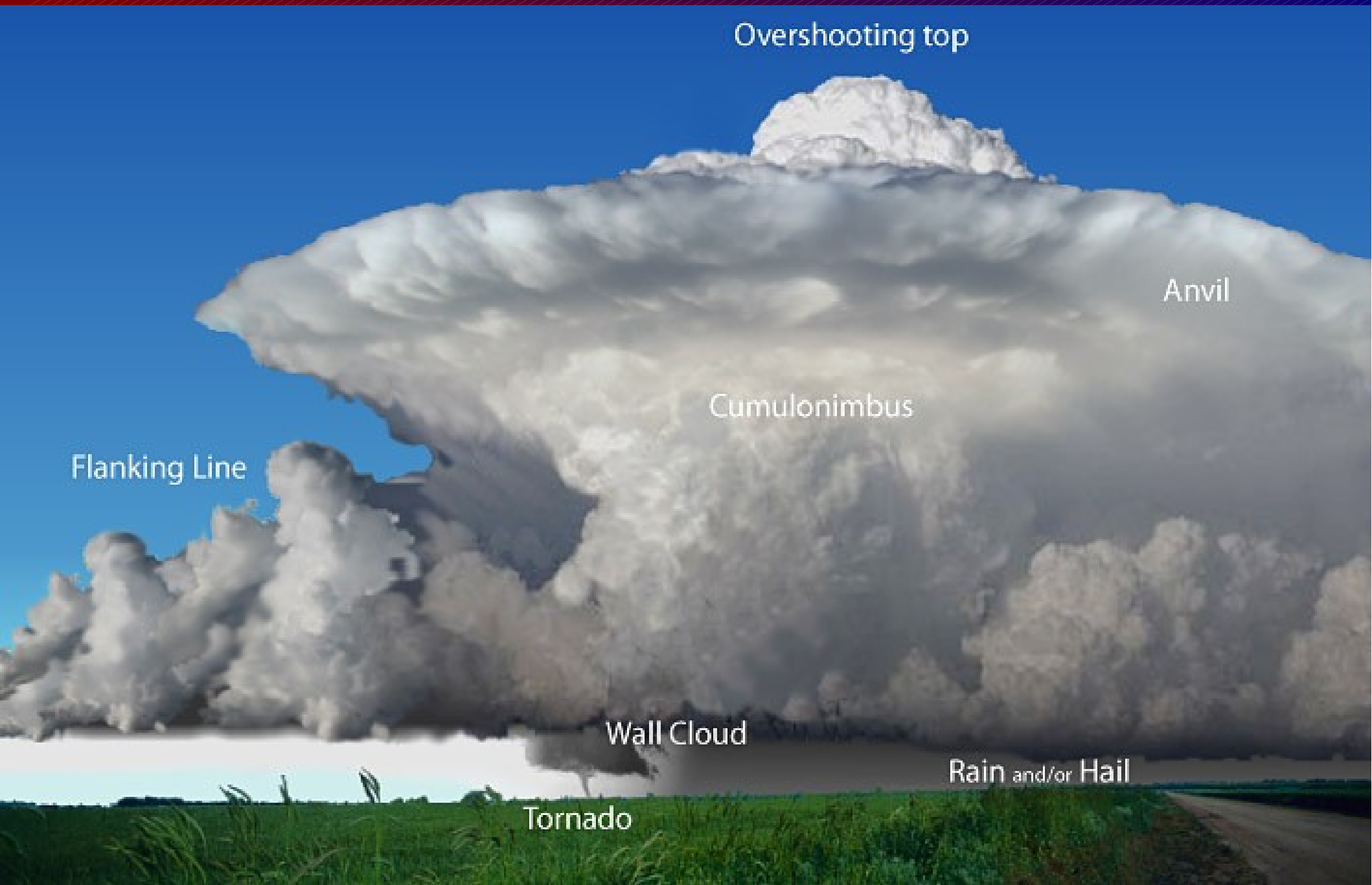
Cumulonimbus

Flanking Line

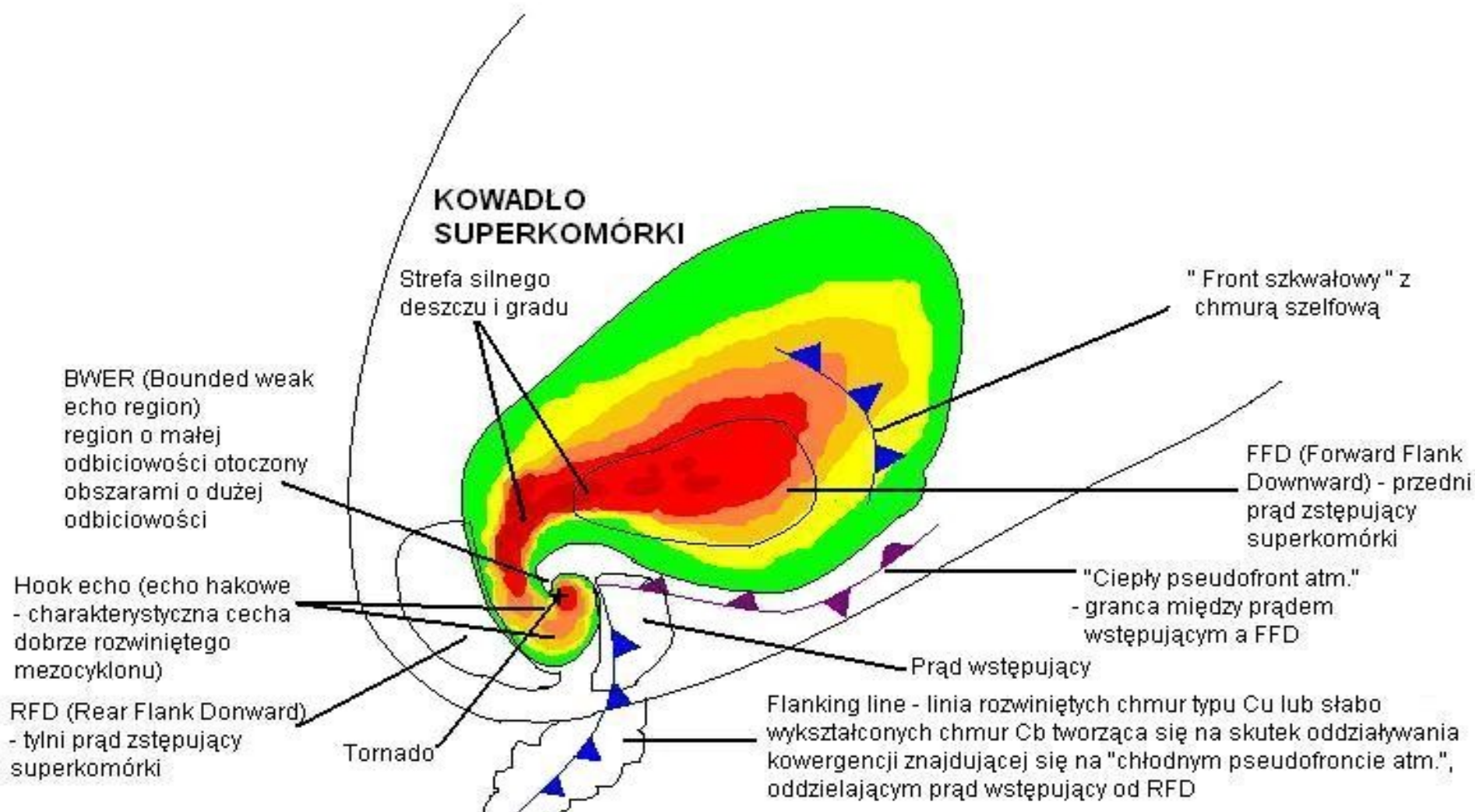
Wall Cloud

Rain and/or Hail

Tornado



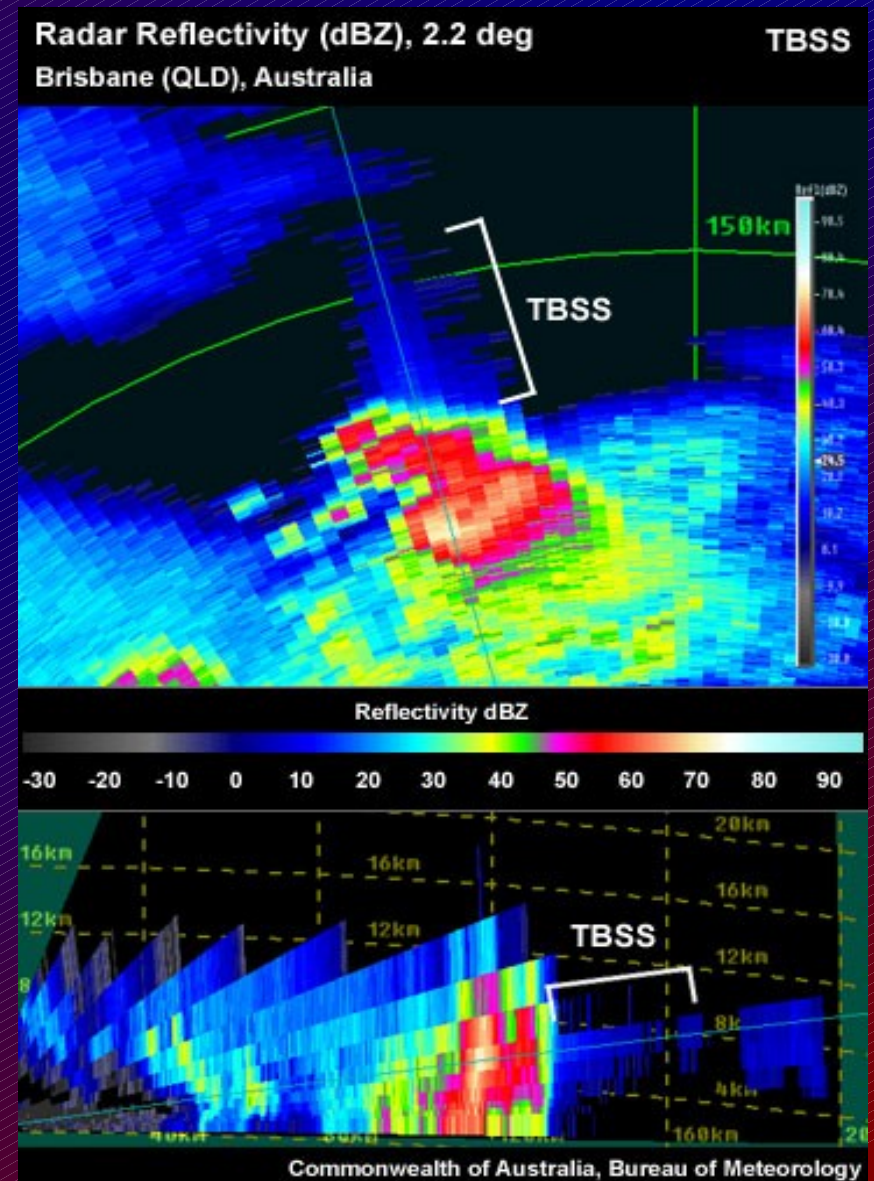
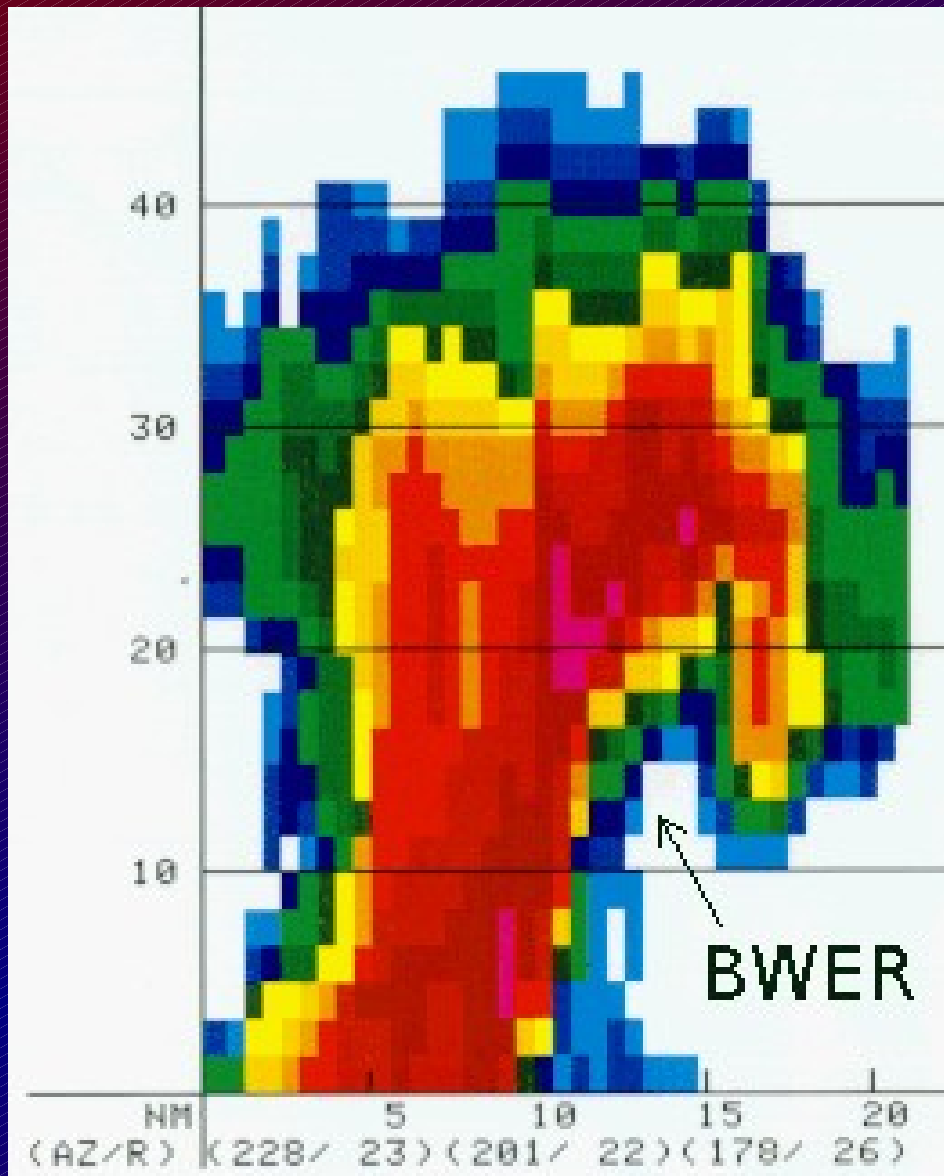
SCHEMATYCZNY POZIOMY PRZEKRÓJ SUPERKOMÓRKI



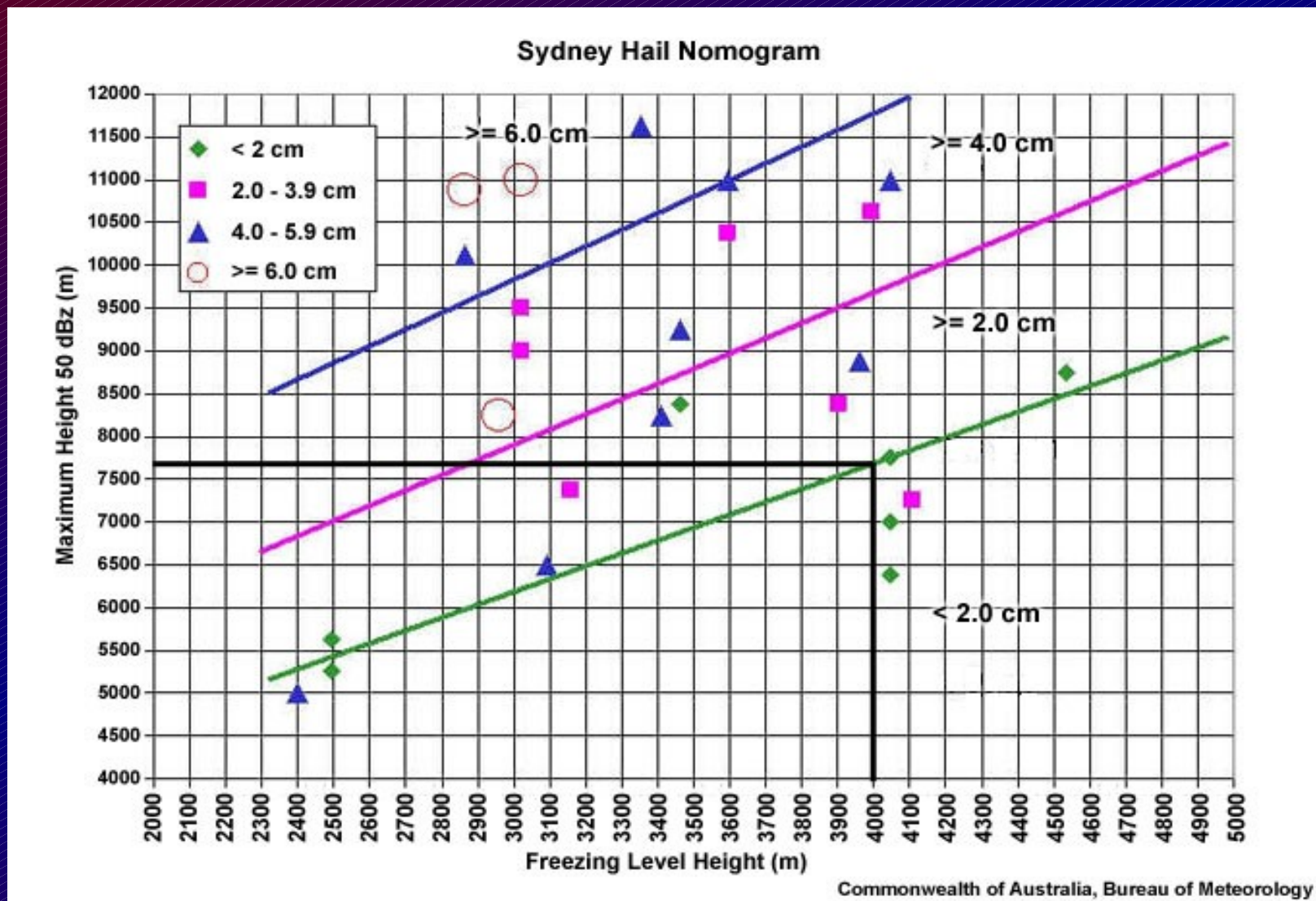
Detekcja burze gradowych na radarach

- Odmienny kierunek przemieszczania się
- Długotrwały, silny i spójny rdzeń opadowy
- Hook echo
- BWER
- TBSS
- Uniesiony rdzeń opadowy
- Wodność w pionie (VIL)
- Overshooting top (zdjęcia satelitarne)

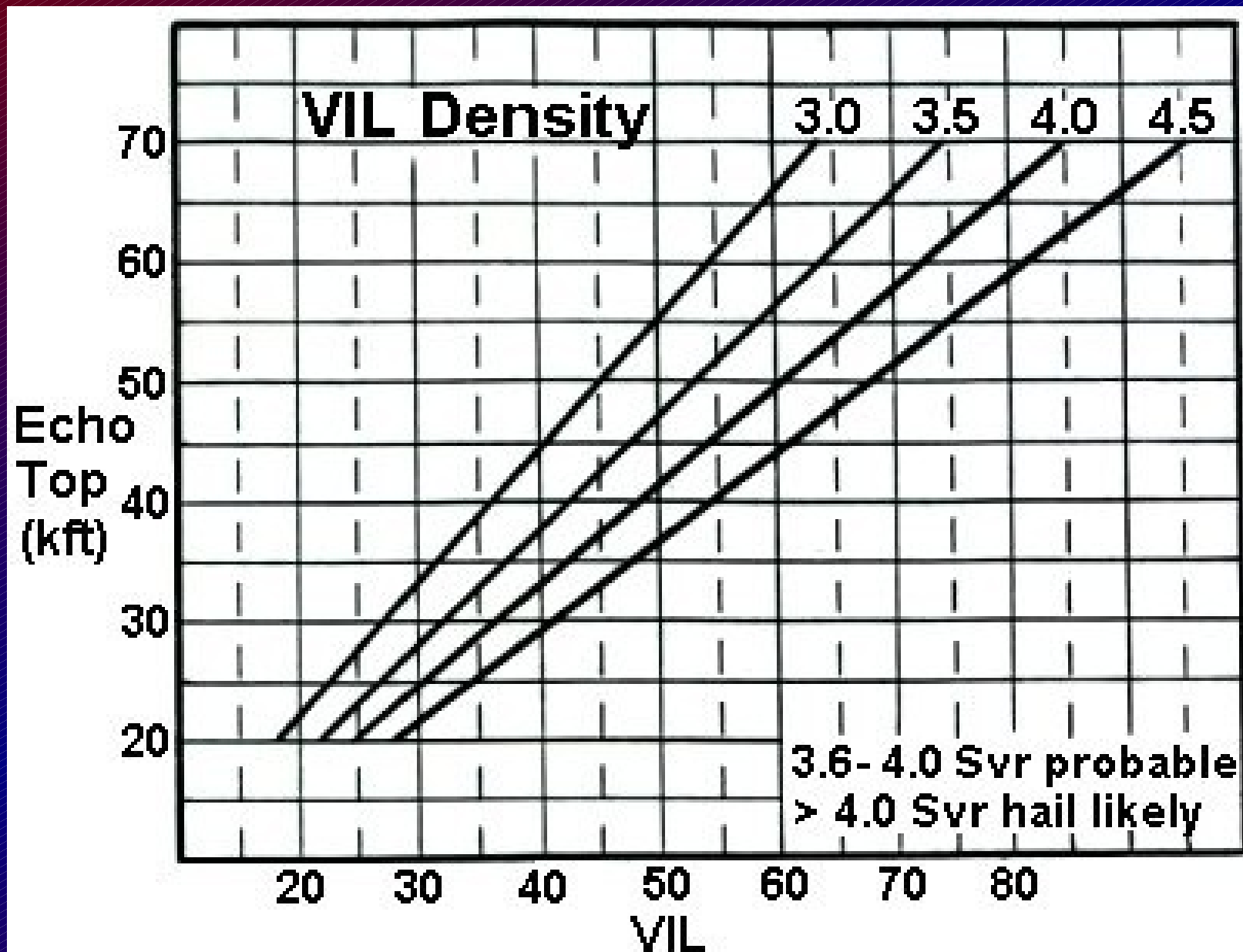
BWER i uniesiony rdzeń oraz TBSS



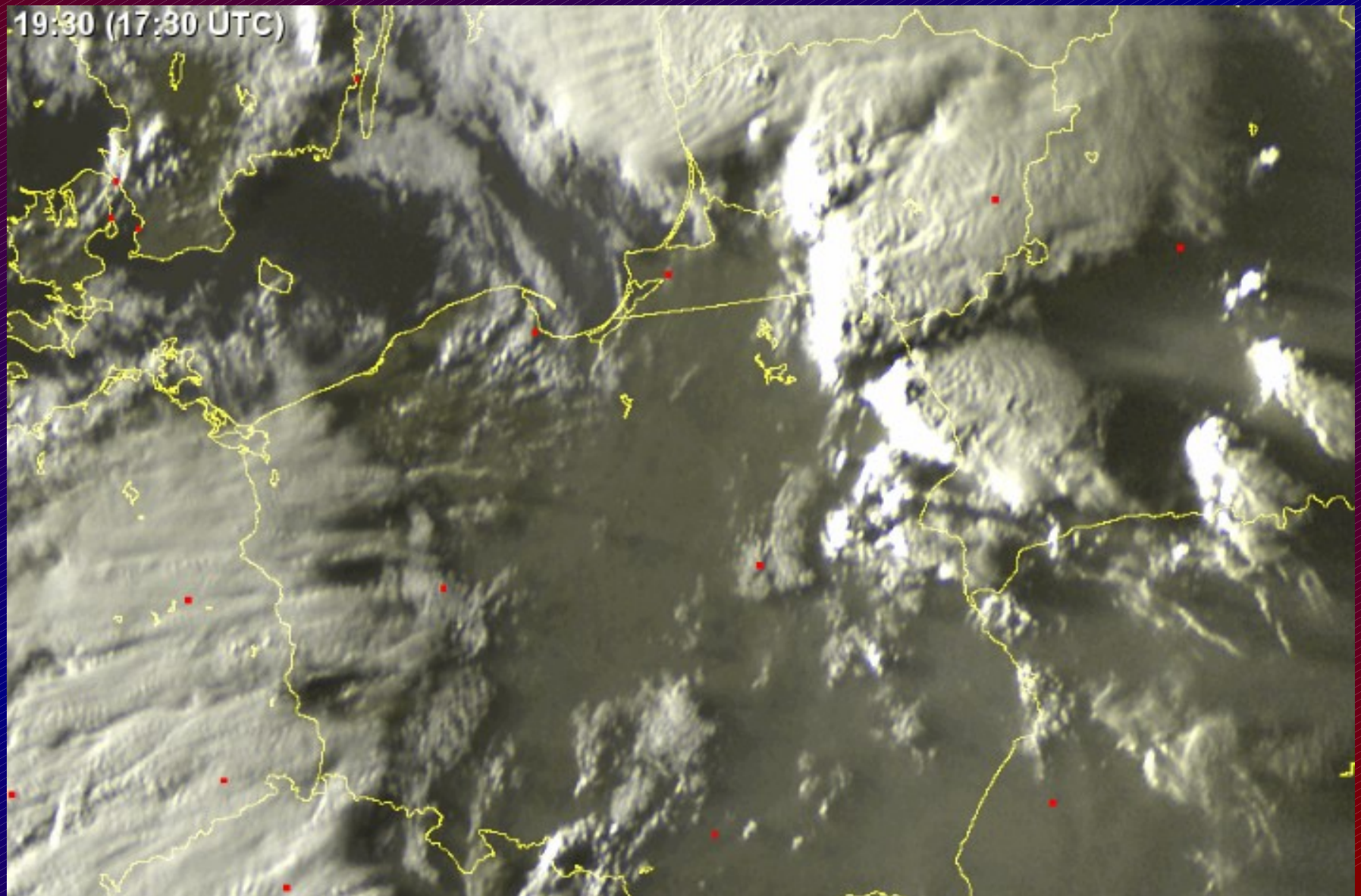
Wysokość rdzenia 50 dBz, a rozmiar gradu



Wodność w pionie (VIL)



Superkomórki na zdjęciach satelitarnych

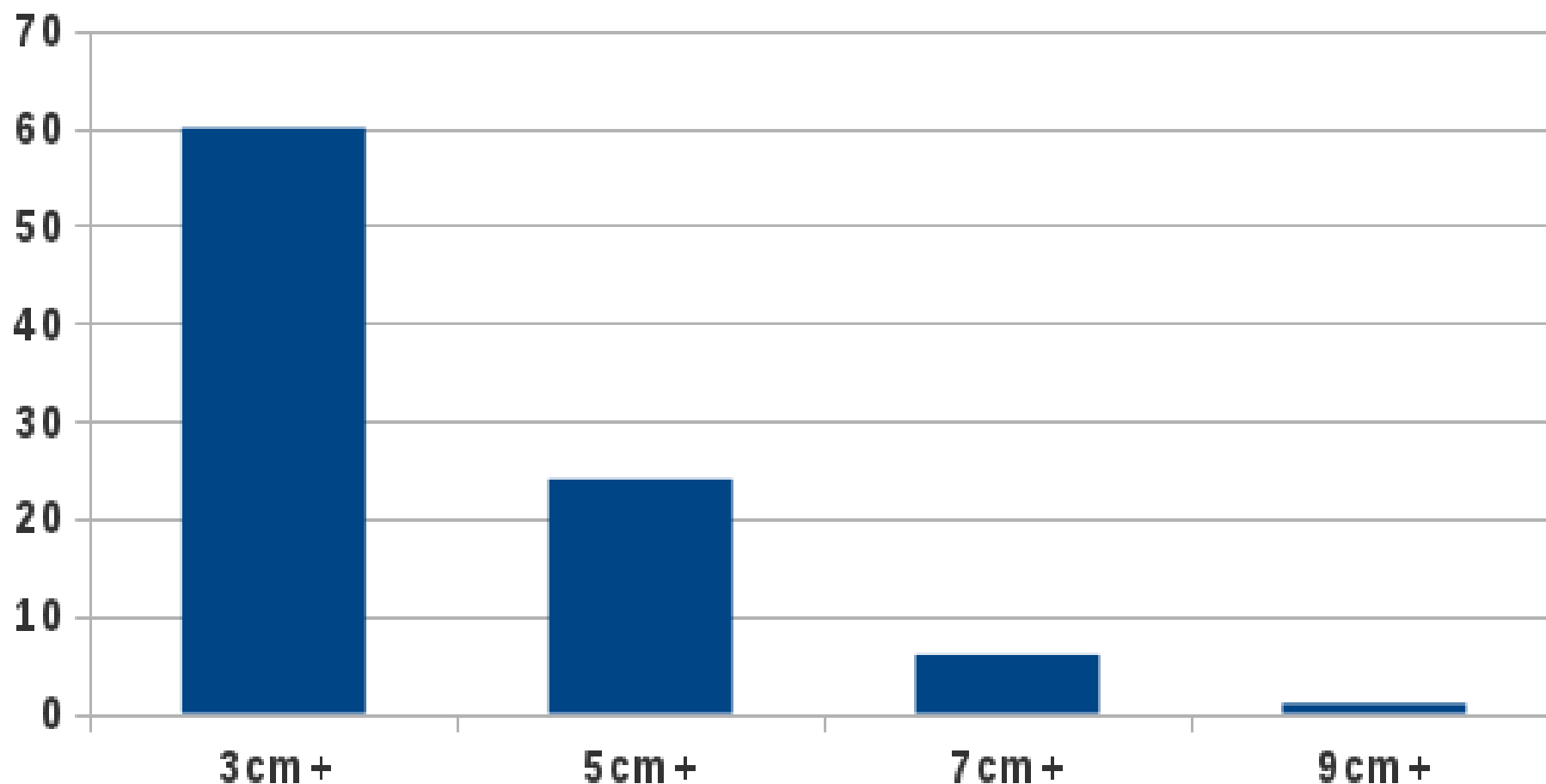


Opady gradu w Polsce

- Prawdopodobieństwo opadu gradu spada dramatycznie wraz ze wzrostem jego średnicy
- Niezliczone przypadki gradobić, wśród których opady wielkiego gradu (5 cm+) stanowią zdecydowaną mniejszość, a opady gigantycznego gradu (10 cm+) są ewenementem
- Najwięcej gradobić latem na południu Polski
- Dane o gradobiciach bazują na podstawie raportów z ESWD (2007-2010)

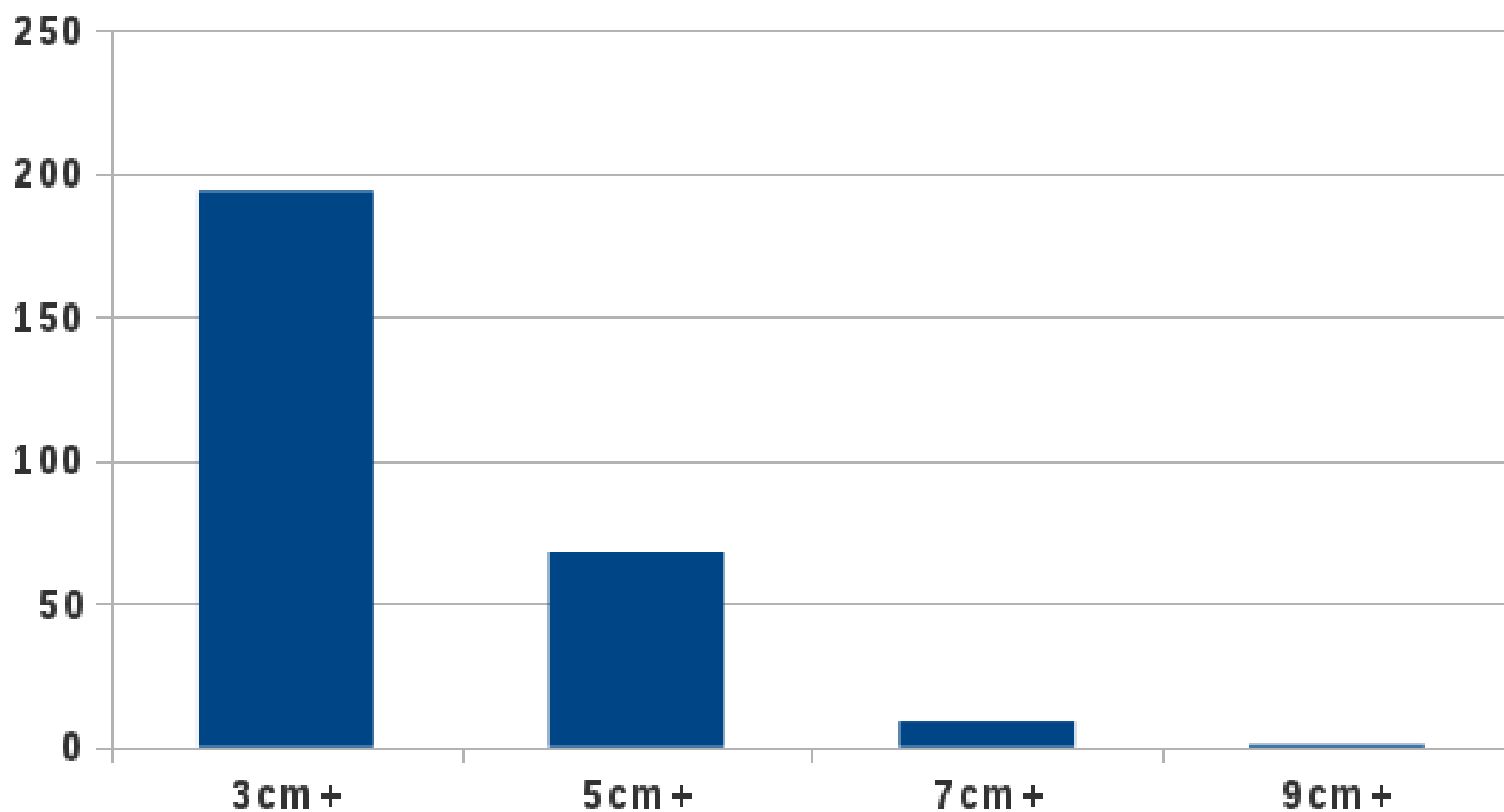
Liczba dni z gradem

Liczba dni z gradem o średnicy co najmniej:



Liczba przypadków gradu

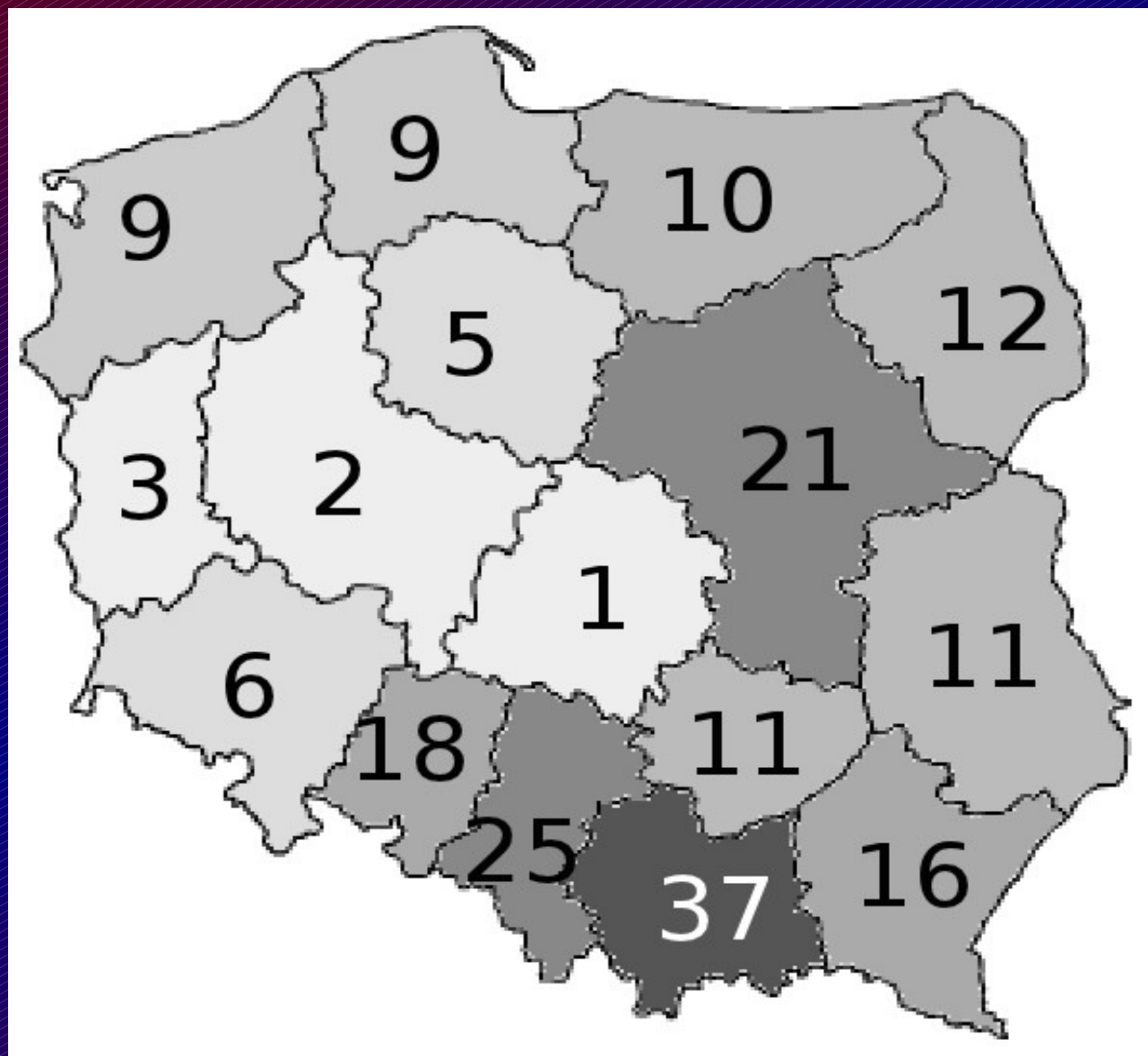
Liczba przypadków gradu o średnicy co najmniej:



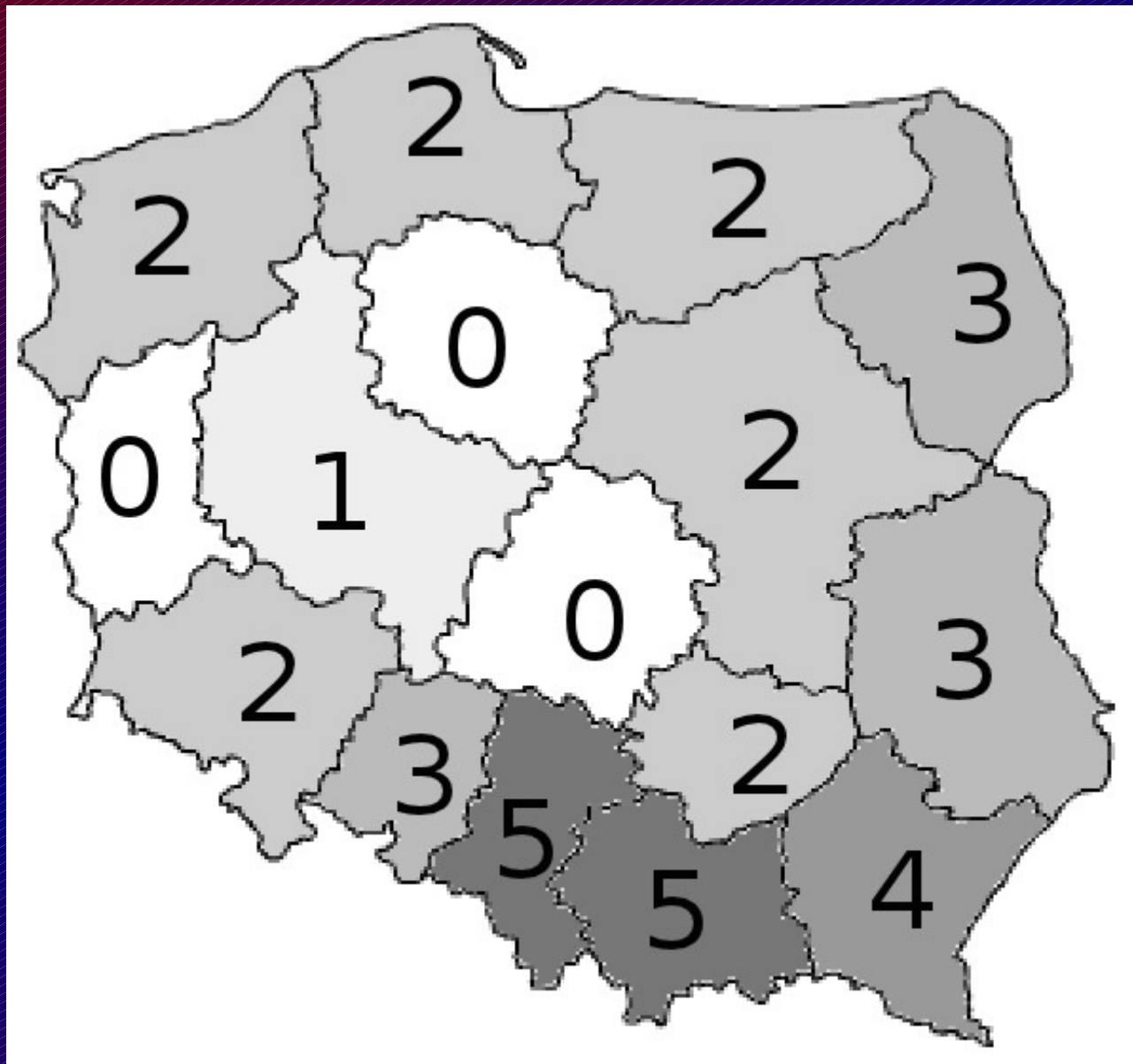
Liczba dni z gradem 3 cm+



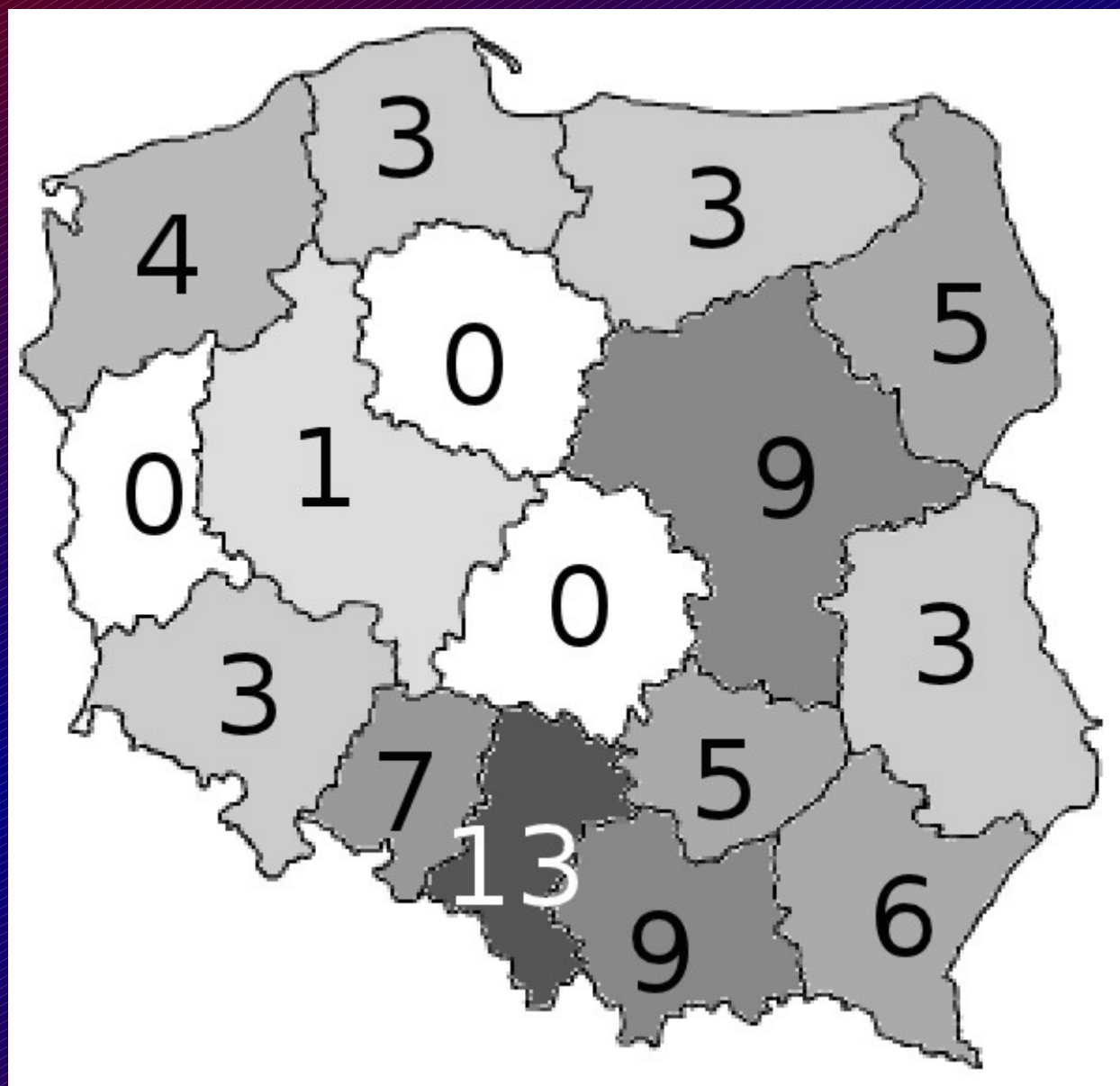
Liczba przypadków gradu 3 cm+



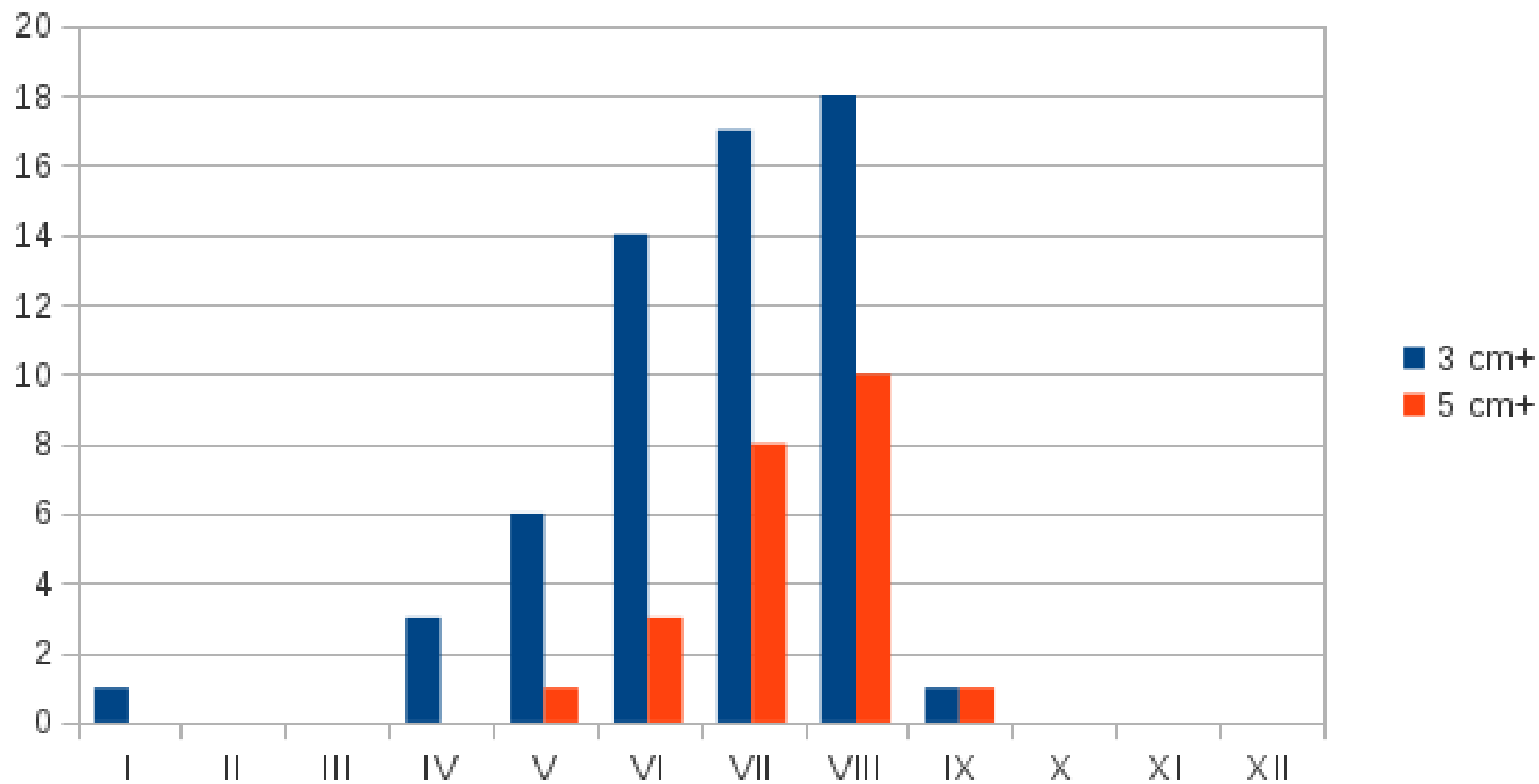
Liczba dni z gradem 5 cm+



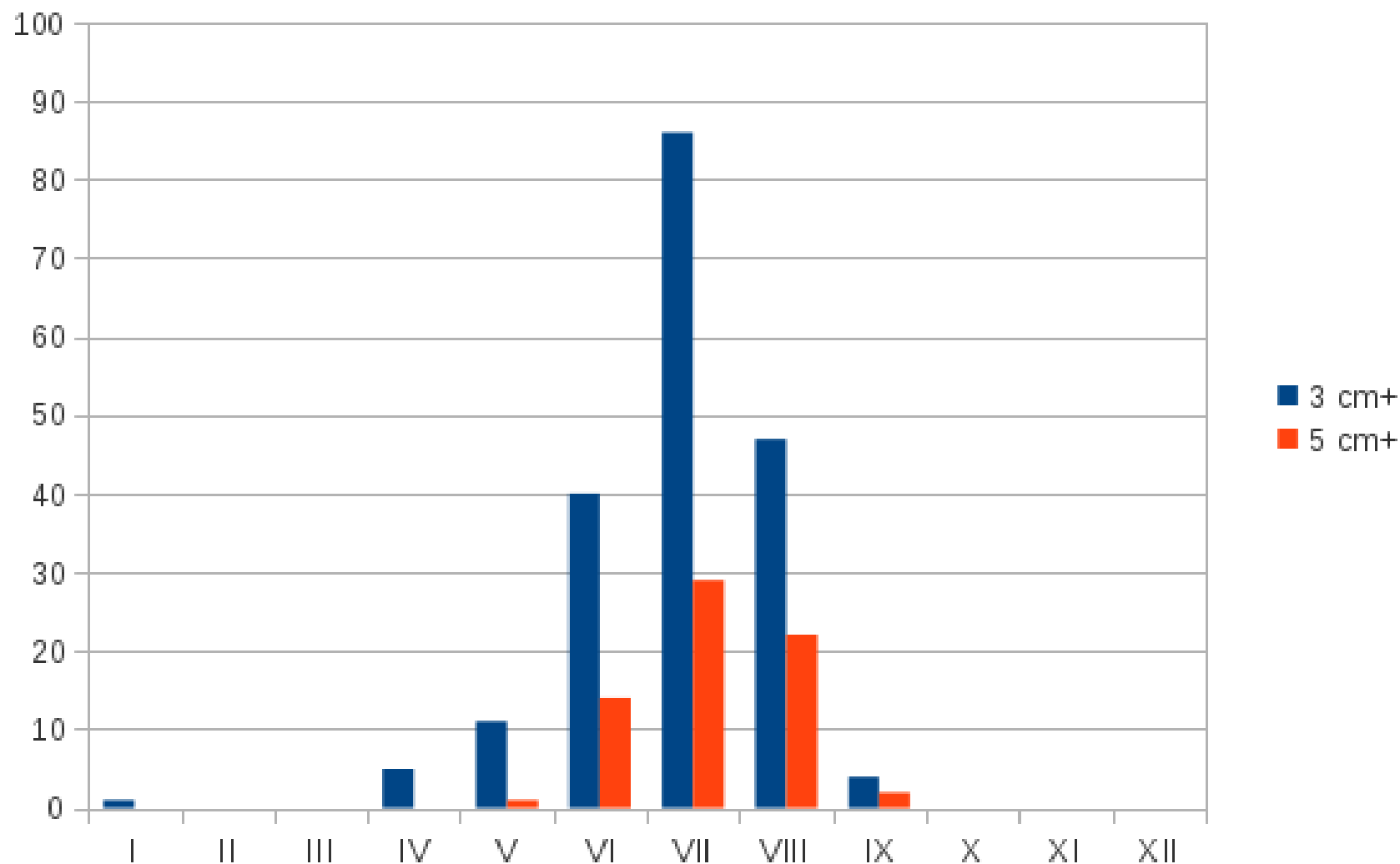
Liczba przypadków gradu 5 cm+



Dni z gradem - miesiące



Przypadki gradu - miesiące



Warunki synoptyczne sprzyjające opadom wielkiego gradu (5 cm+) w Polsce

- Incydemtem gradowym będę nazywać dzień, podczas którego wystąpił grad o średnicy 5 cm+
- Od roku 2007 w Polsce wystąpiły 23 incydenty gradowe, w których łącznie odnotowano 68 przypadków gradu 5 cm+
- Wielkiemu gradowi sprzyja przede wszystkim obecność gorącej i wilgotnej masy zwrotnikowej, bliskość strefy frontowej, środowisko umiarkowanych/dużych pionowych uskoków wiatru

Warunki synoptyczne sprzyjające opadom wielkiego gradu w Polsce – adwekcja wilgotnej masy PZ

- Na 68 przypadków opadów dużego gradu (5 cm+), aż 65 (!) z nich wiązały się z temperaturą przynajmniej 15°C na 850 hPa
- Na 23 incydenty gradowe aż 20 wiązało się z temperaturą przynajmniej 15°C na 850 hPa
- Większość przypadków (46/68) i większość incydentów (13/23) miała miejsce przy temperaturze 17-19°C na 850 hPa

Warunki synoptyczne sprzyjające opadom wielkiego gradu w Polsce – adwekcja wilgotnej masy PZ c.d.

- Z 68 przypadków opadów dużego gradu aż 58 wiązała się z temperaturą punktu rosy przynajmniej 18°C
- Na 23 incydenty gradowe aż 19 wiązało się z temperaturą punktu rosy przynajmniej 18°C
- Większość przypadków (53/68) i incydentów (14/23) miało miejsce przy temperaturze punktu rosy w granicach 19-20°C
- Takie warunki wiążą się z dużą chwiejnością termodynamiczną (na ogół 1000-3000 J/kg)

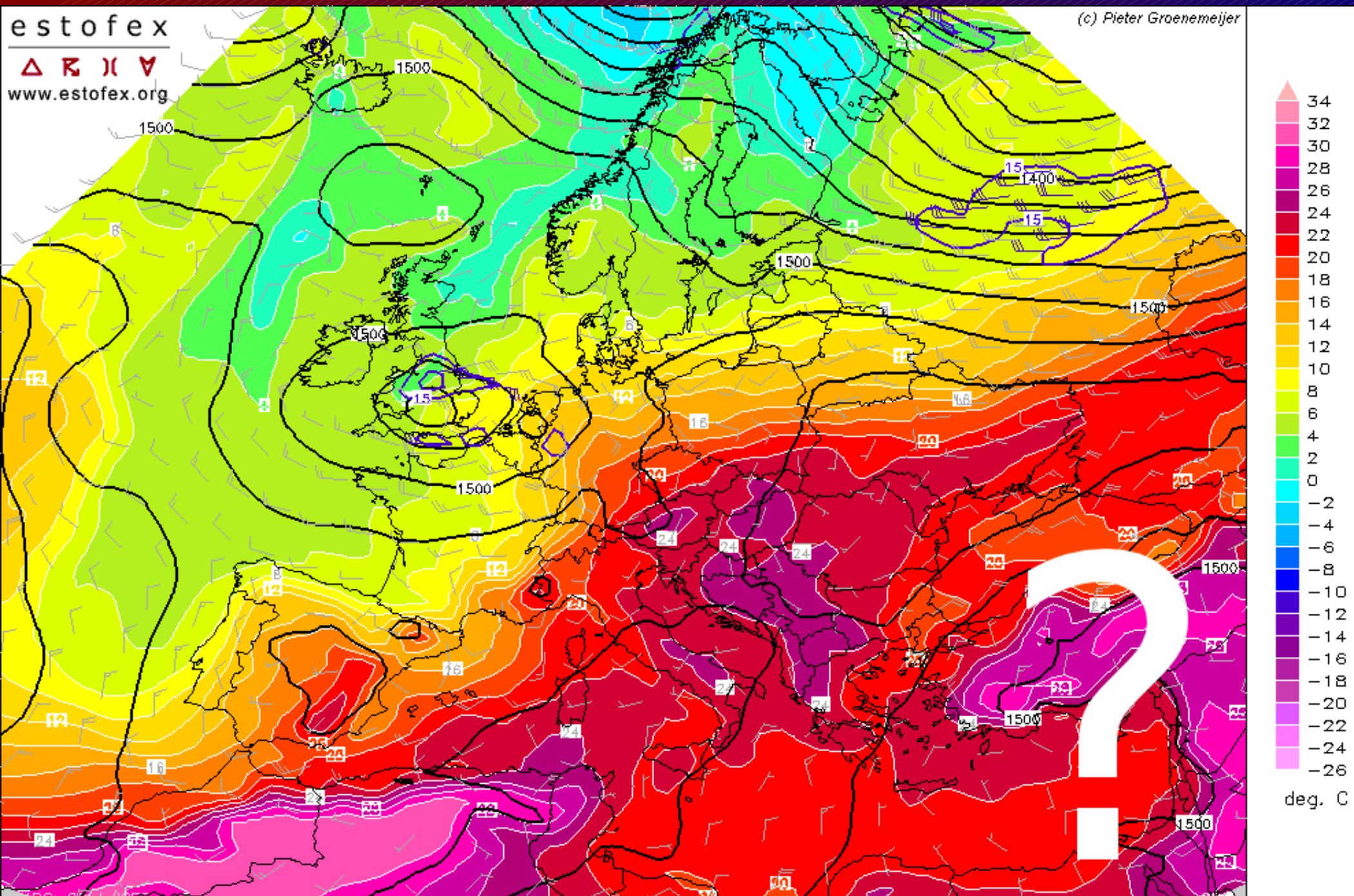
Warunki synoptyczne sprzyjające opadom wielkiego gradu w Polsce – obecność strefy frontowej

- Silne gradobicia zwykle miały miejsce w pobliżu frontu atmosferycznego (około 2/3 przypadków) oddzielającego masy PZ od PP
- Zdarzały się silne incydenty gradowe zarówno w pobliżu frontu ciepłego (19.07.2011), chłodnego (11.06.2011) jak i falującego (15.08.2008)
- Ciekawym przypadkiem jest 03.07.2012 – wówczas liczne gradobicia wystąpiły na linii zbieżności

estofex


www.estofex.org

(c) Pieter Groenemeijer



Warunki synoptyczne sprzyjające opadom wielkiego gradu w Polsce – duże pionowe uskoki wiatru

- Ze strefami frontowymi związany jest wzrost prędkości wiatru wraz z wysokością (uskoki wiatru), co sprzyja organizacji burz w superkomórki burzowe
- Około 70% przypadków dużego gradu wystąpiło w warunkach podwyższonych wartości ścinania (DLS co najmniej 15 m/s), a wszystkie związane były z DLS nie mniejszym niż 10 m/s

Warunki synoptyczne sprzyjające opadom wielkiego gradu w Polsce – duże pionowe gradienty temp.

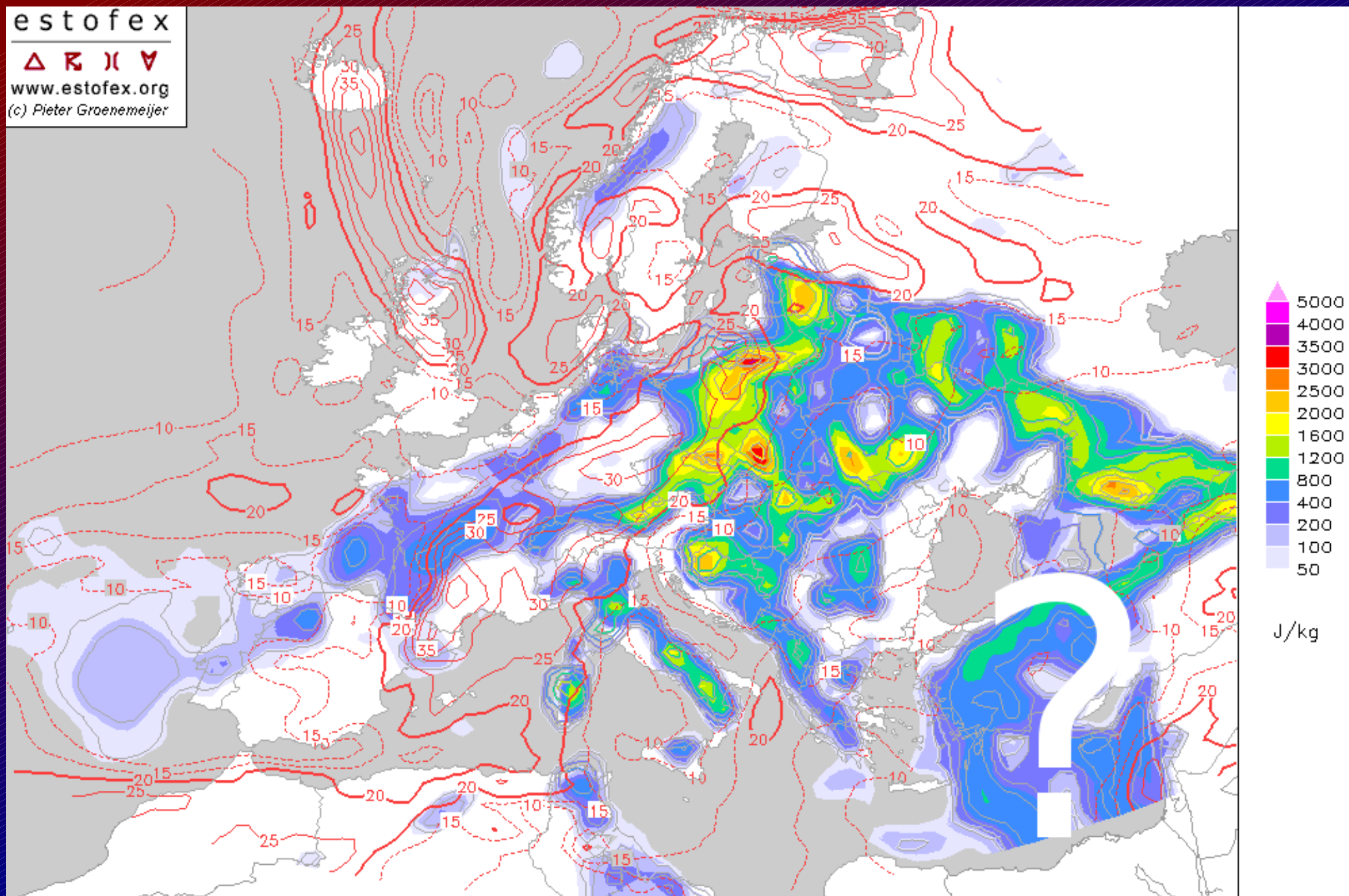
- Gradobiciom sprzyjają duże, pionowe gradienty temperatury w środkowej troposferze
- W zwrotnikowej masie powietrza dość często osiągają one nawet $7^{\circ}\text{C}/\text{km}$ i więcej
- W ekstremalnych przypadkach są jeszcze większe ($> 8^{\circ}\text{C}/\text{km}$) – na ogół związane jest to z załadowanym karabinem i EML

estofex



www.estofex.org

(c) Pieter Groenemeijer



Warunki synoptyczne sprzyjające opadom wielkiego gradu w Polsce – izoterma zero i tereny wyniesione

- Na terenach wyżej położonych (góry, pogórze) zjawisko gradu jest notowane znacznie częściej niż na nizinach – związane jest to z bliskością poziomu zamarzania
- Ma to duże znaczenie w przypadku mniejszych gradzin (1-2 cm), które spadają wolniej i mogą się stopić po drodze
- Analogicznie, w warunkach napływu chłodnej i chwiejnej masy PPm, drobny grad jest powszechny – nisko położona izoterma 0

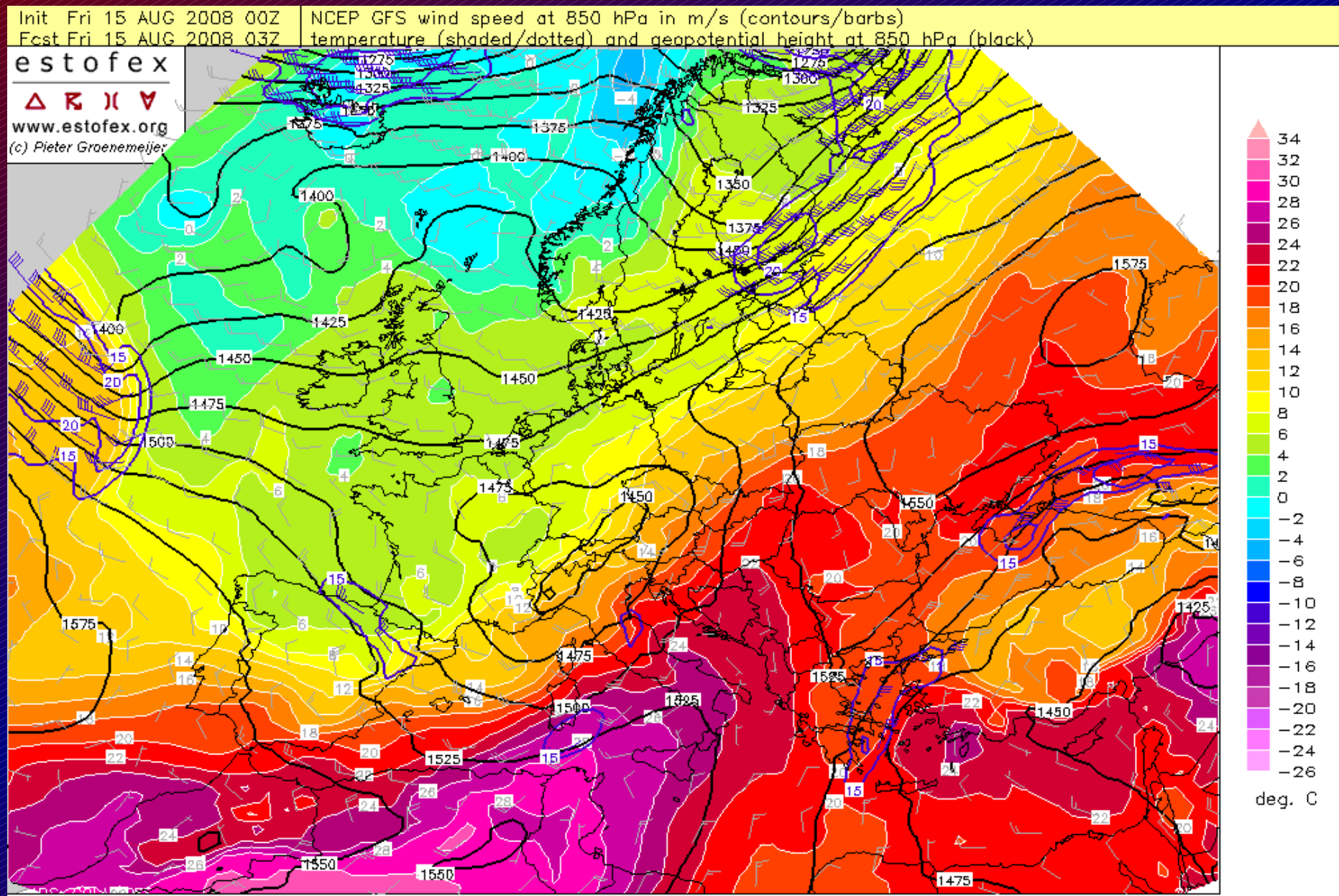
Warunki synoptyczne sprzyjające opadom wielkiego gradu w Polsce – izoterma zero c.d.

- Przy prognozowaniu dużego gradu wysokość terenu ma mniejsze znaczenie – może on wystąpić zarówno w górach, jak i na nizinach (o ile warunki temu sprzyjają).
- W przypadku opadów dużego gradu izoterma zero leży zazwyczaj wysoko (3000-4000 m) - Dlaczego tak jest? :)

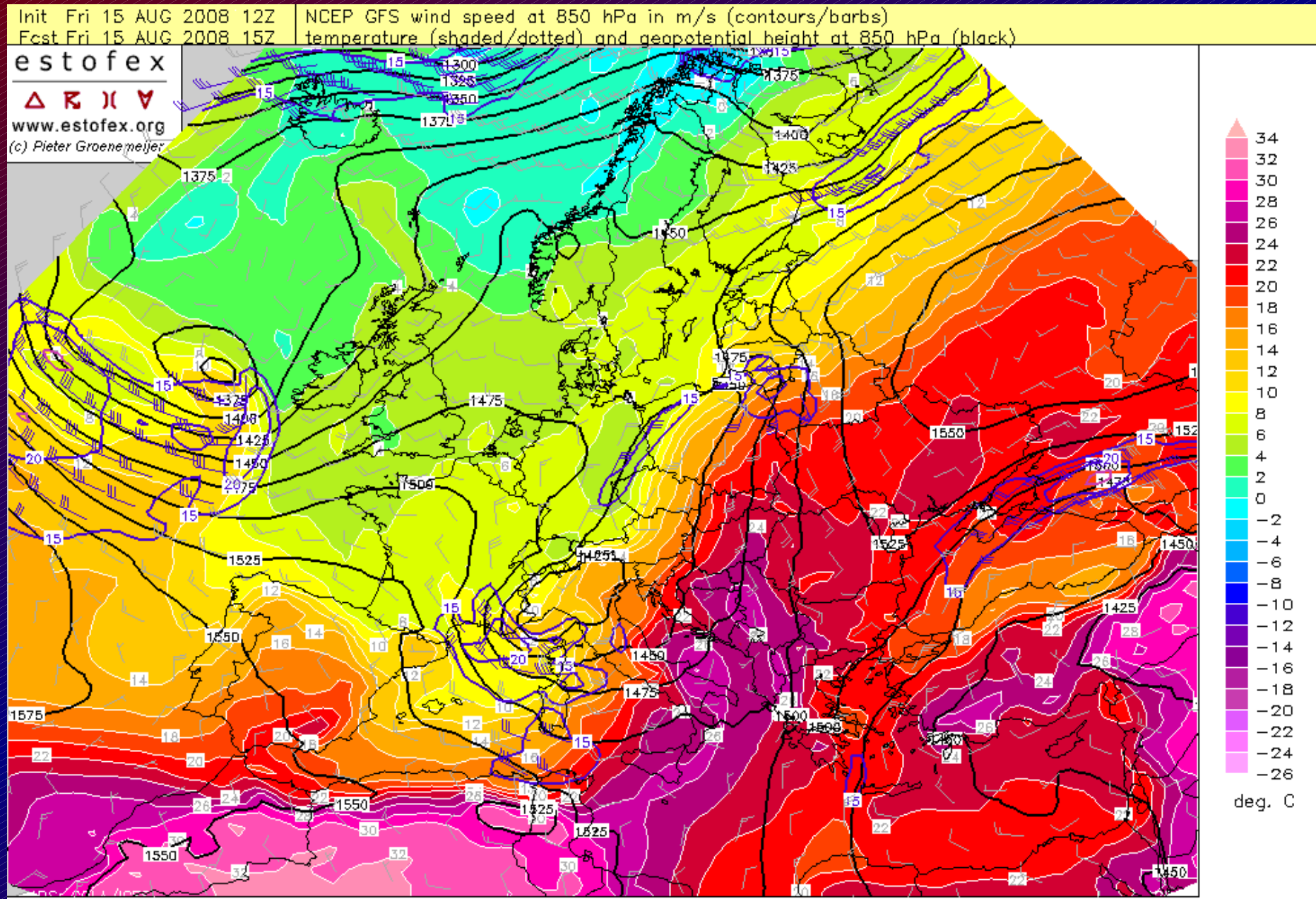
15.08.2008

- Nadzwyczaj silna strefa frontowa – początkowo front ciepły, a potem falujący
- Masa PZ cechuje się dużą wilgotnością i chwiejnością
- Znaczne uskoki wiatru i prąd strumieniowy w górnej troposferze
- Nad ranem potężne gradobicia na Górnym Śląsku (grad 7-centymetrowy), a popołudniu kolejne gradobicia (grad 5-6 cm) m.in. na Opolszczyźnie i w rejonie Częstochowy
- Dzień bardziej znany z serii tornad

15.08.2008 – 850 hPa



15.08.2008 – 850 hPa



15.08.2008 – 500 hPa

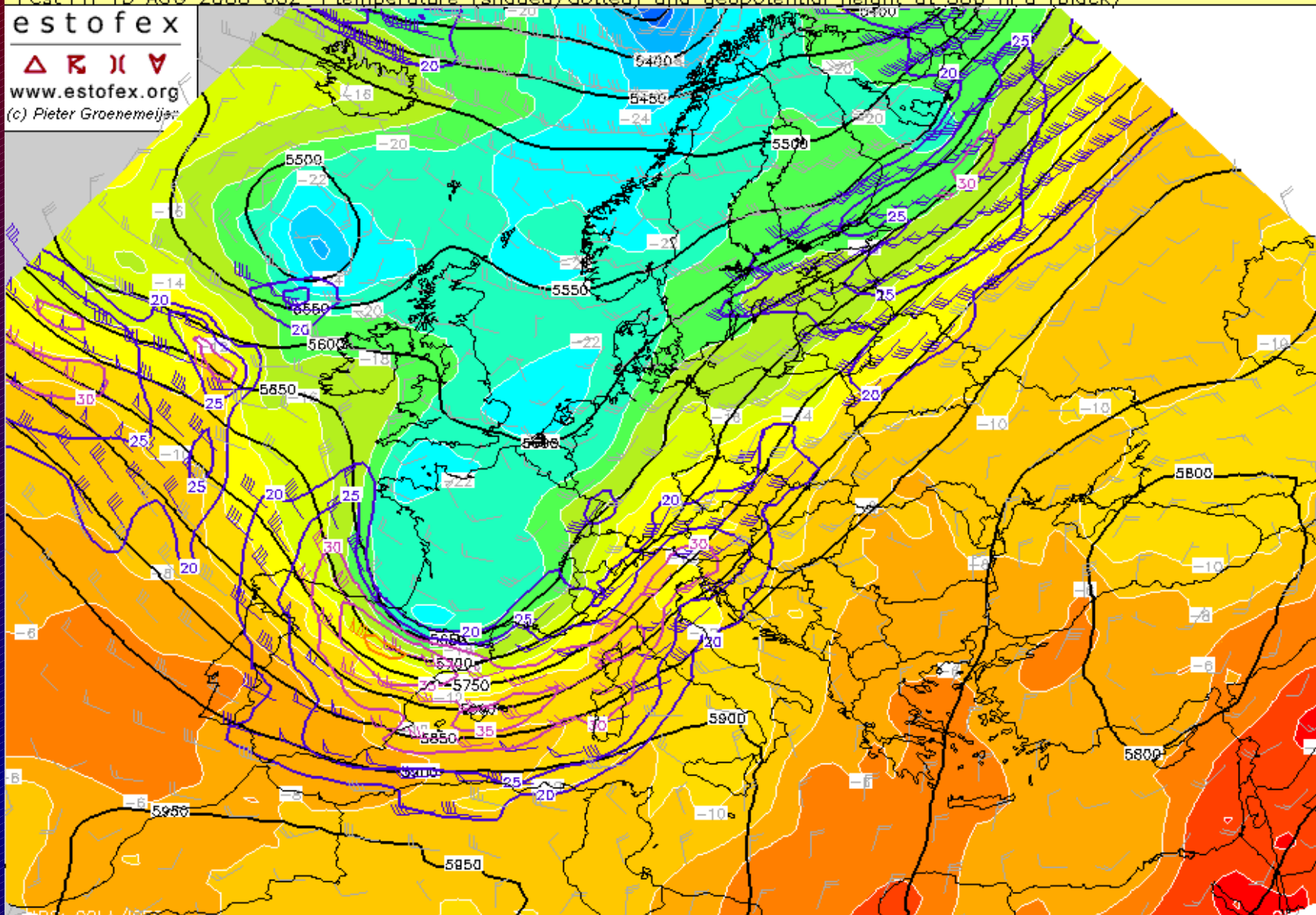
Init Fri 15 AUG 2008 00Z NCEP GFS wind speed at 500 hPa in m/s (contours/barbs)
Fcst Fri 15 AUG 2008 03Z temperature (shaded/dotted) and geopotential height at 500 hPa (black)

estofex



www.estofex.org

(c) Pieter Groenemeijer



deg. C

15.08.2008 – 500 hPa

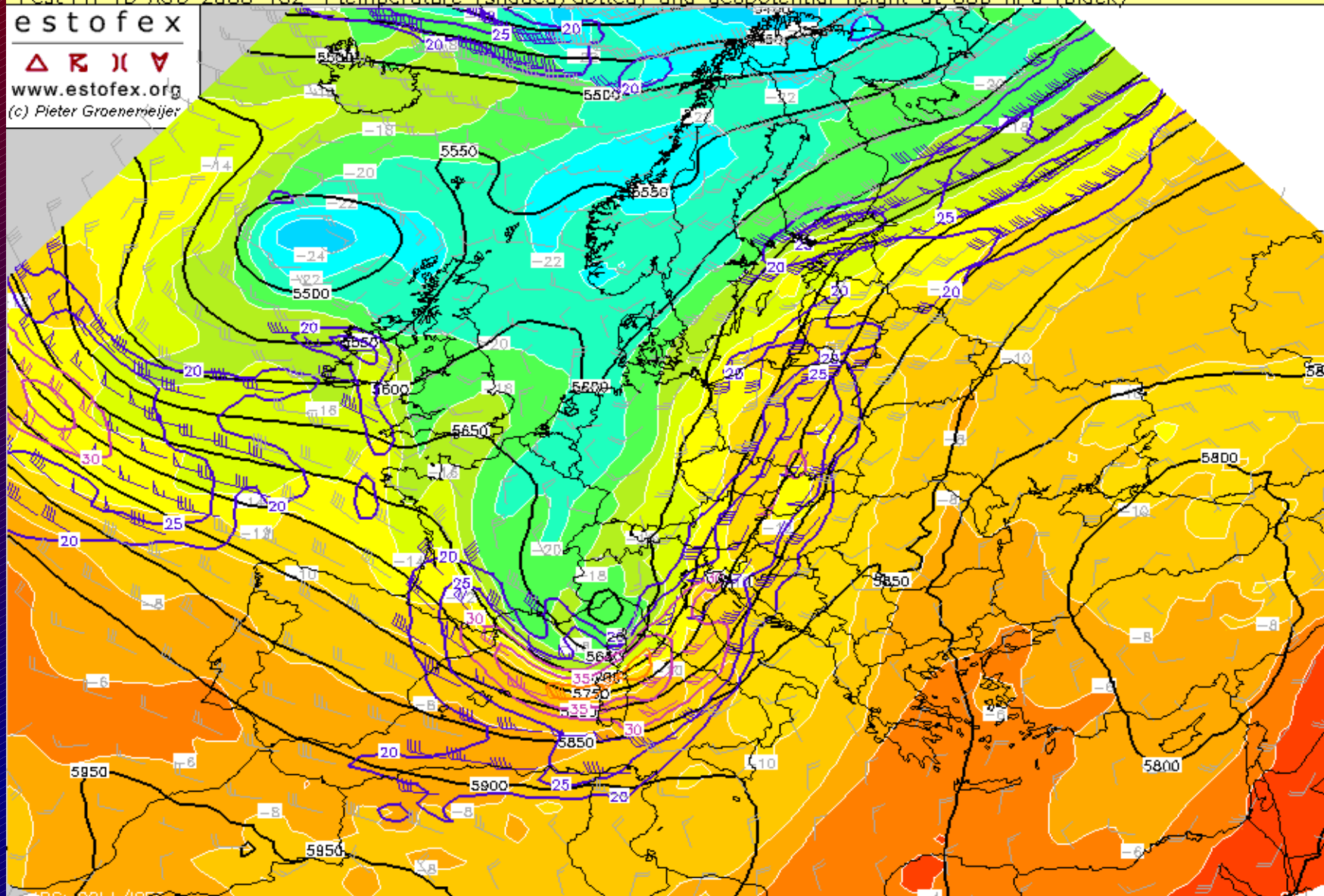
Init Fri 15 AUG 2008 12Z NCEP GFS wind speed at 500 hPa in m/s (contours/barbs)
Fcst Fri 15 AUG 2008 15Z temperature (shaded/dotted) and geopotential height at 500 hPa (black)

estofex

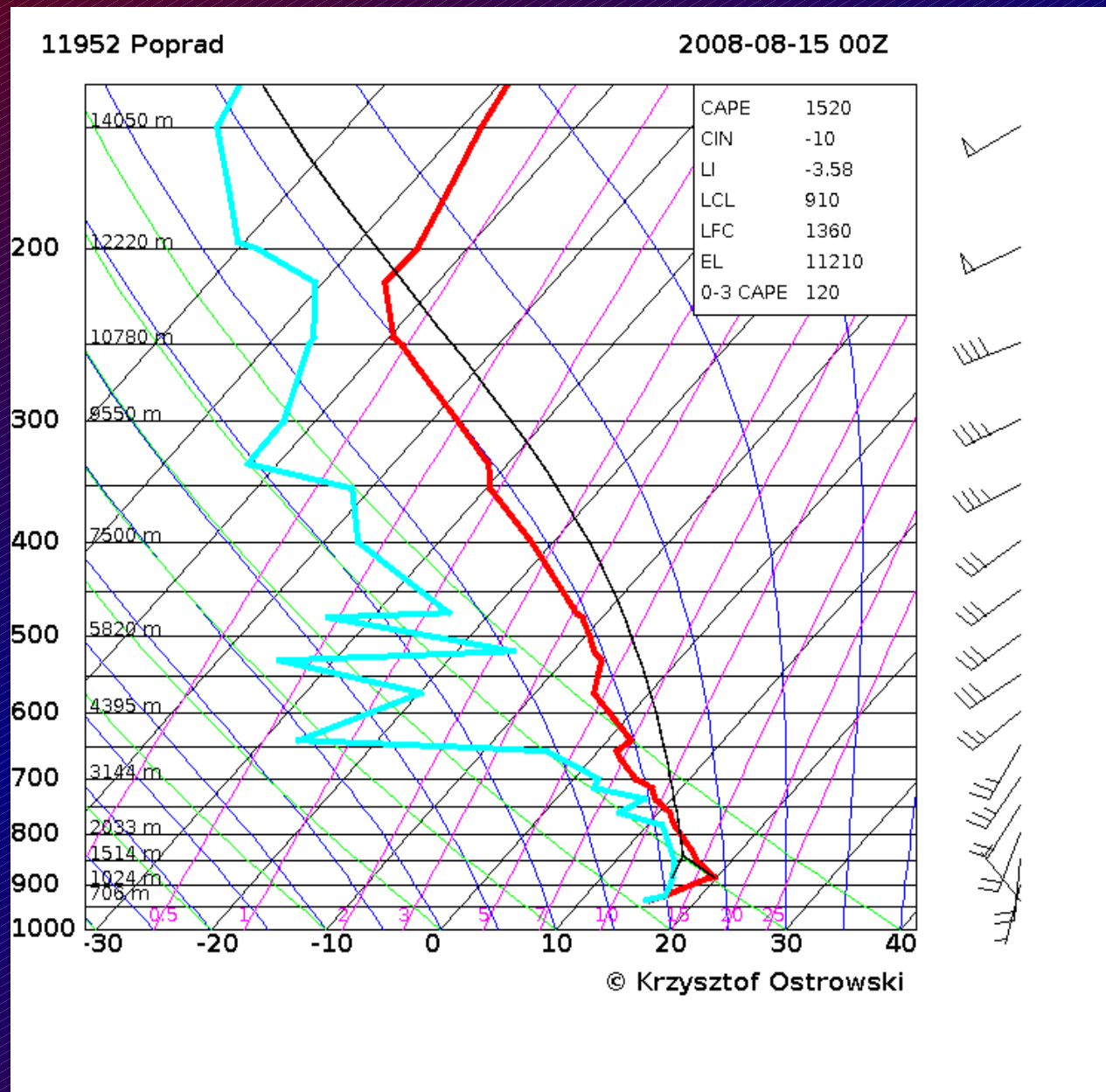


www.estofex.org

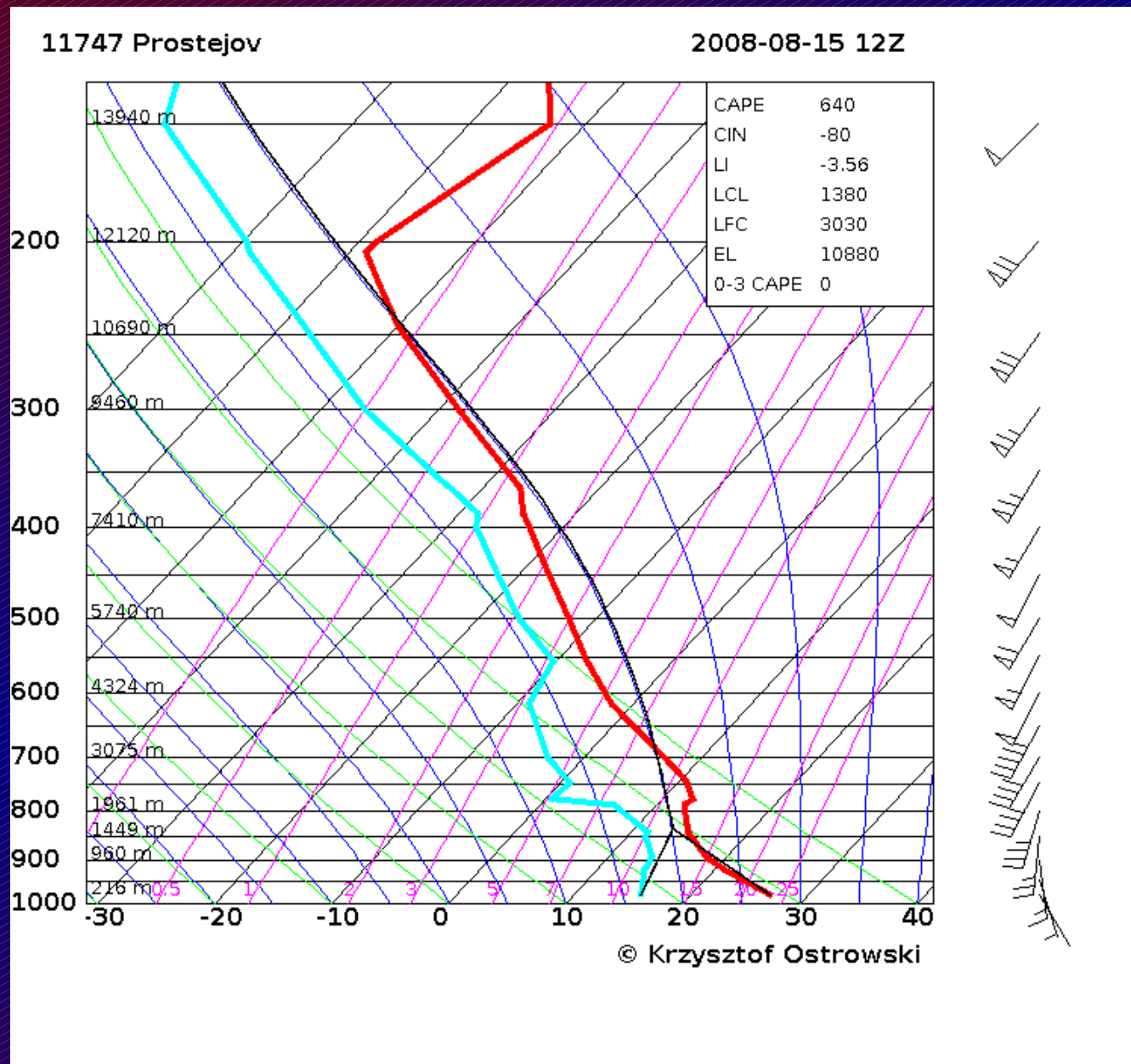
(c) Pieter Groenemeijer



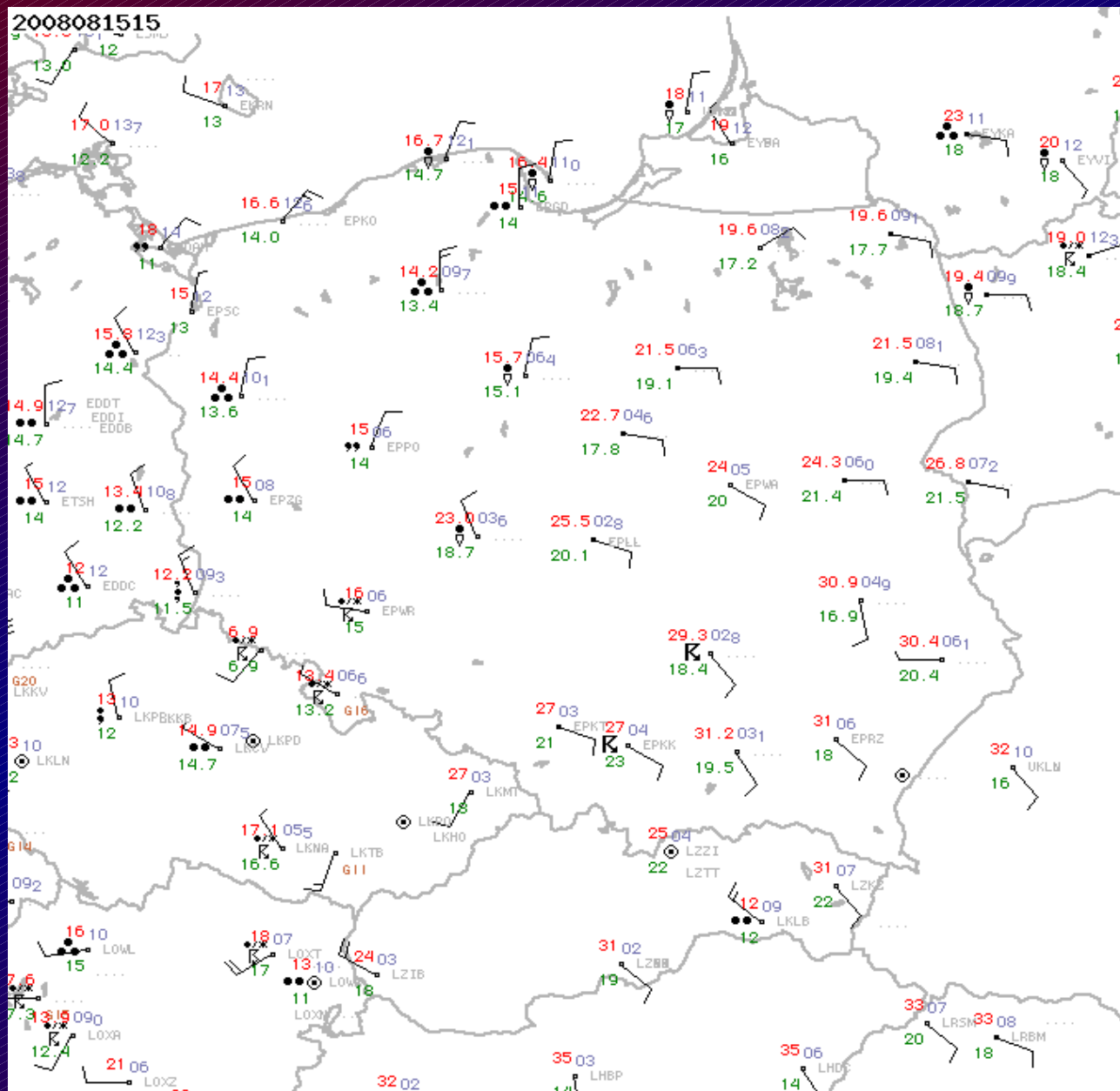
15.08.2008 – sondaż Poprad



15.08.2008 – sondaż Prostejov



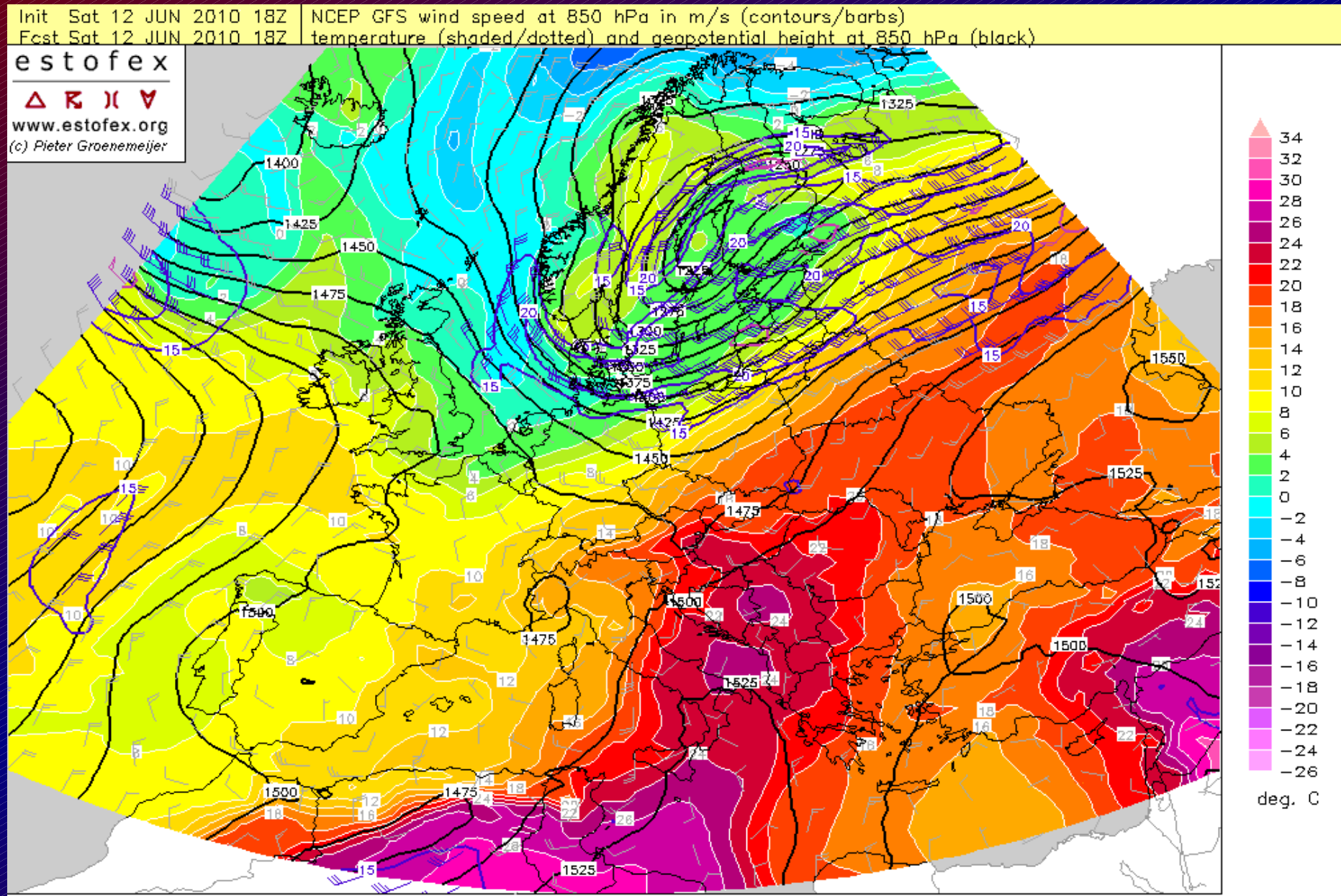
15.08.2008 – mapa



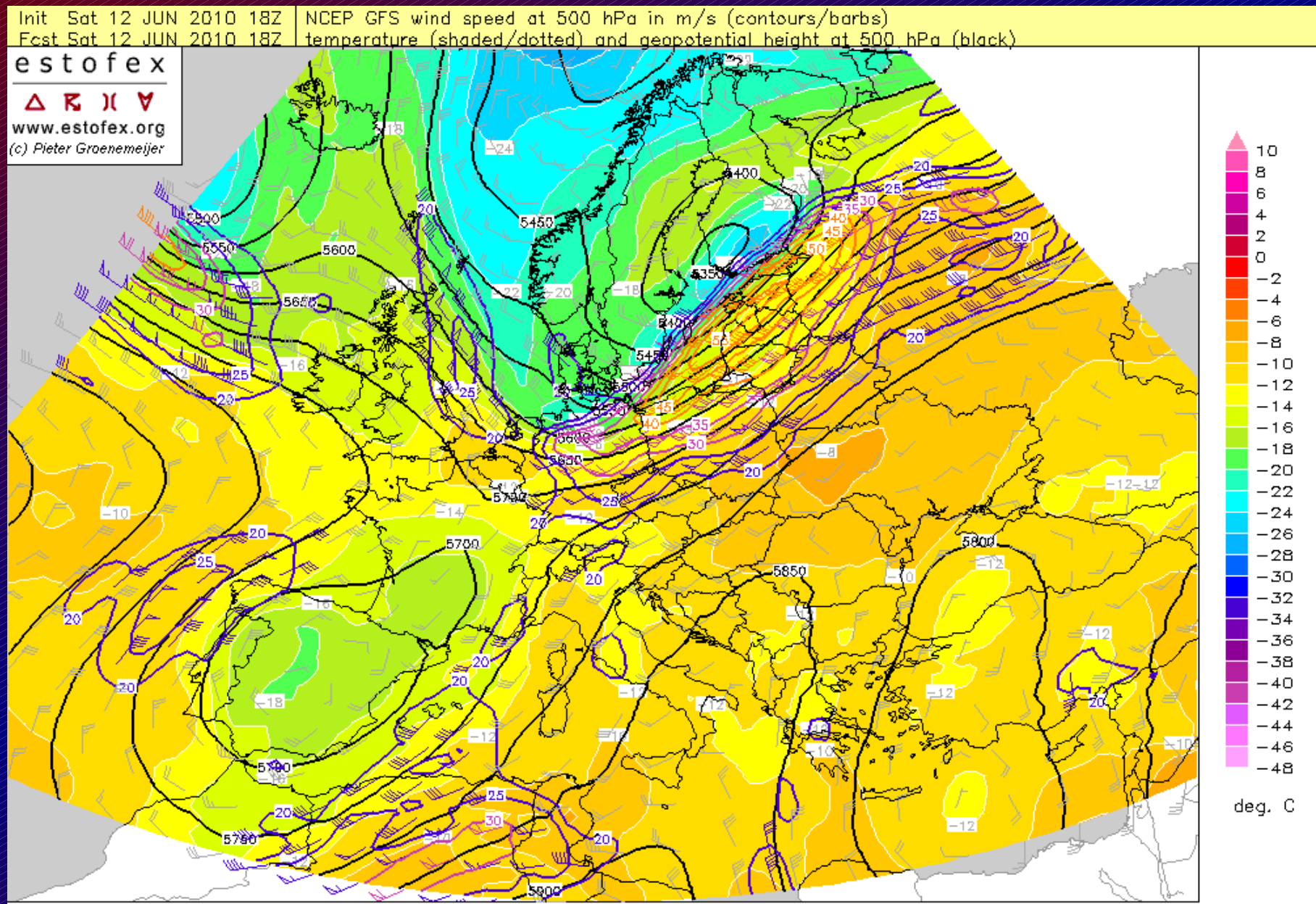
12.06.2010

- Stacjonarny front, który wieczorem nabiera cech frontu chłodnego, ponownie ogromna różnica temperatur między masami PZ i PP
- Po cieplej stronie frontu znaczna niestabilność oraz warstwa hamująca (na południu kraju „załadowany karabin”)
- Duże wartości uskoków wiatru w strefie frontowej
- Jeden z najsilniejszych incydentów gradowych w ostatnich 20 latach – przypadki dużego gradu w woj: śląskim, małopolskim, świętokrzyskim i mazowieckim
- Na południu Mazowsza grad 10-centymetrowy (!) - superkomórka lewoskrętna „uciekająca” w stronę chłodu

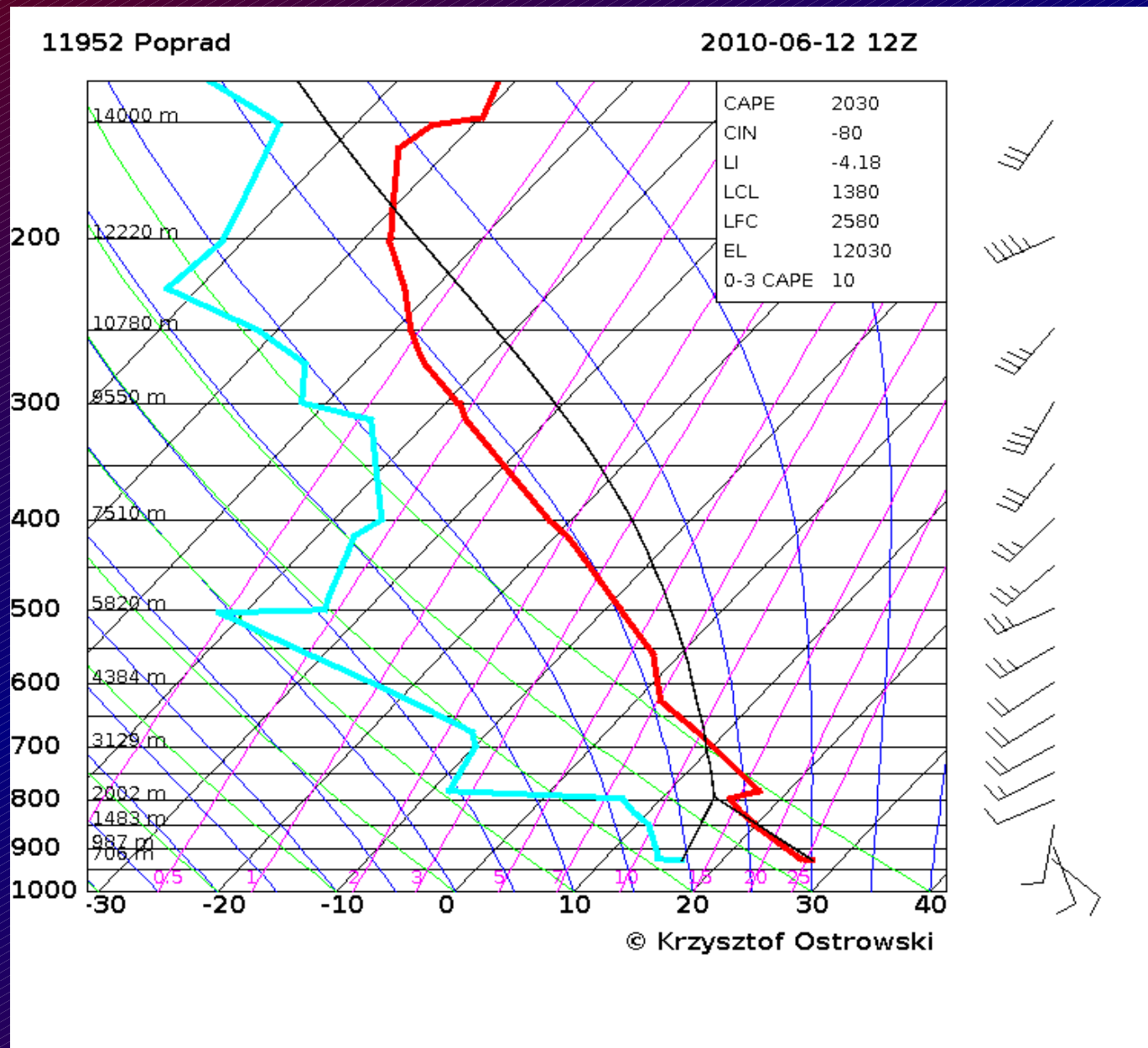
12.06.2010 – 850 hPa



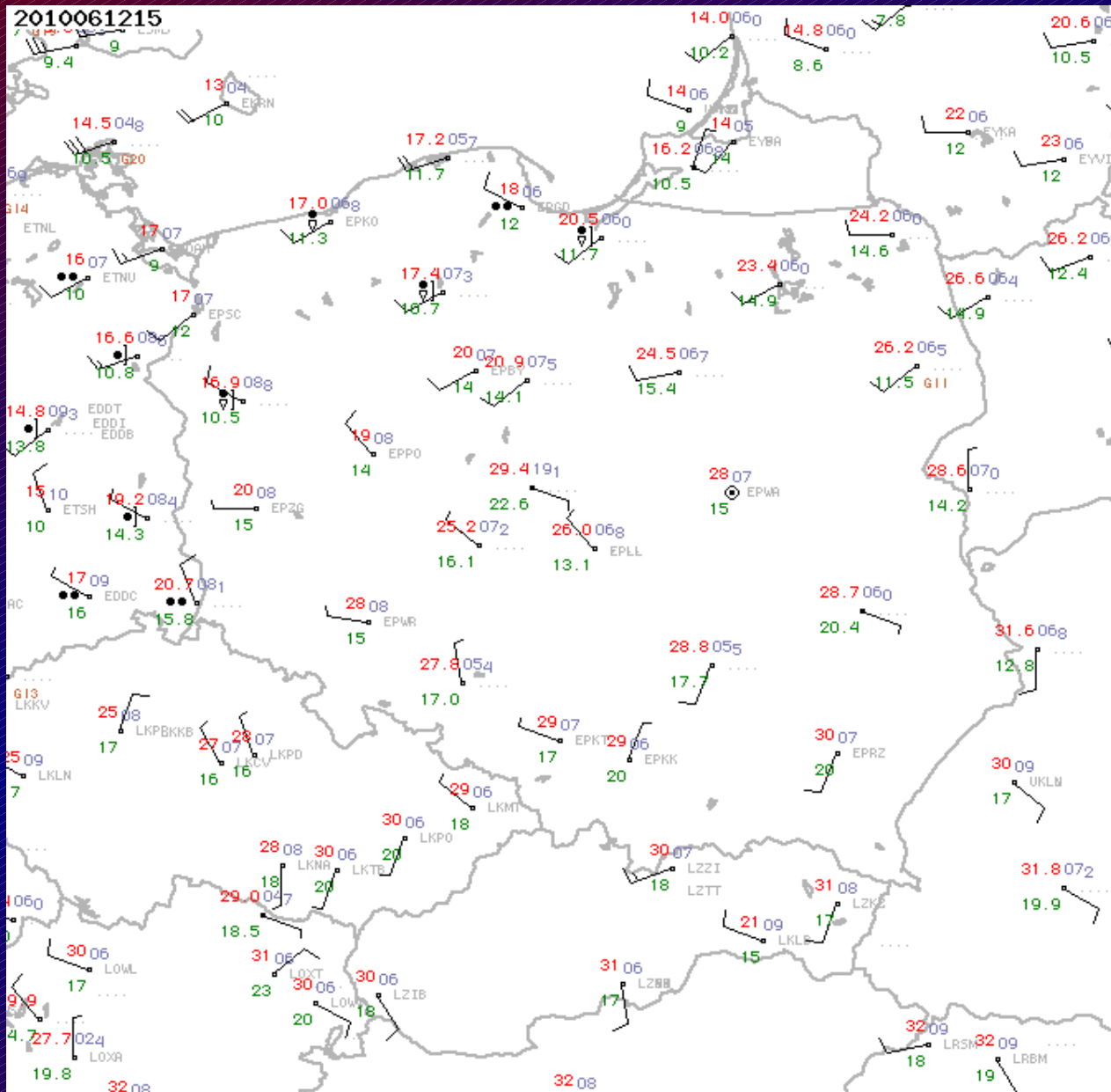
12.06.2010 – 500 hPa



12.06.2010 – sondaż Poprad



12.06.2010 - mapa

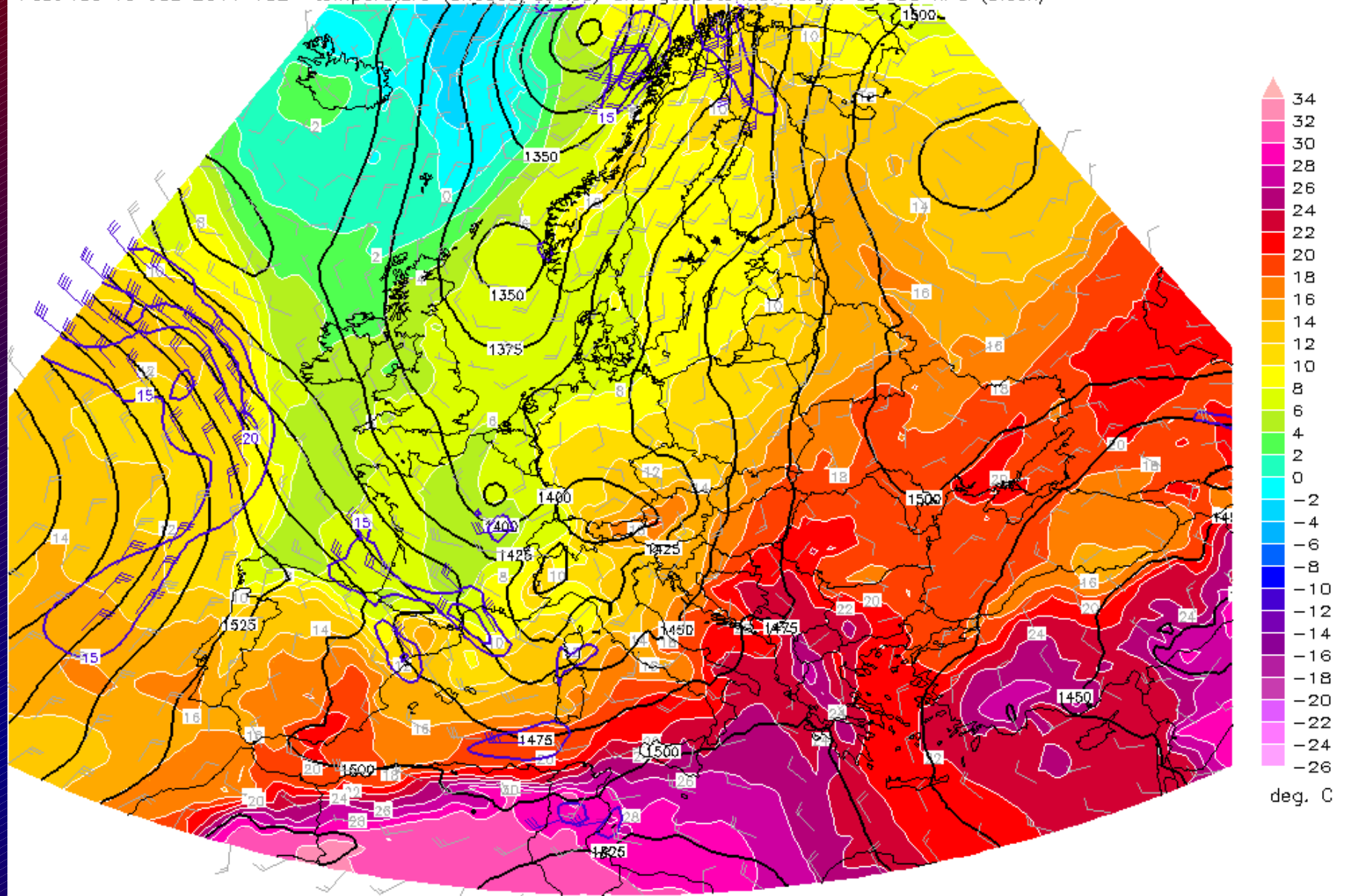


19.07.2011

- Do południowo-wschodniej Polski „wlewa się” zwrotnikowa masa powietrza (front ciepły) – kontrast termiczny jest umiarkowany
- Powietrze PZ bardzo wilgotne i chwiejne, umiarkowane/duże pionowe uskoki wiatru
- Silne gradobicia na Podkarpaciu i w Małopolsce (grad wielkości do 8 cm!)

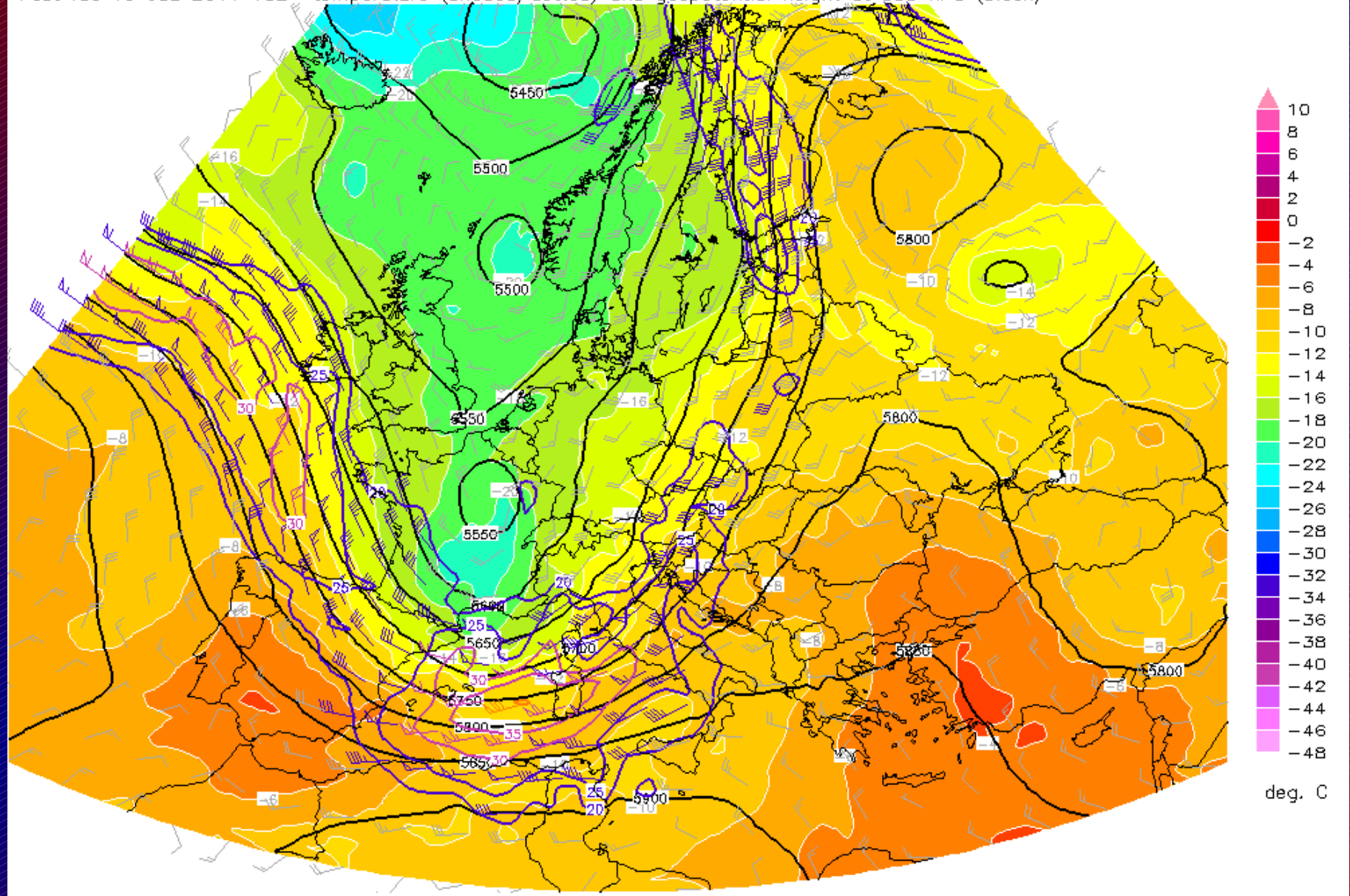
19.07.2011 – 850 hPa

Init Tue 19 JUL 2011 12Z NCEP GFS wind speed at 850 hPa in m/s (contours/barbs)
Fcst Tue 19 JUL 2011 15Z temperature (shaded/dotted) and geopotential height at 850 hPa (black)

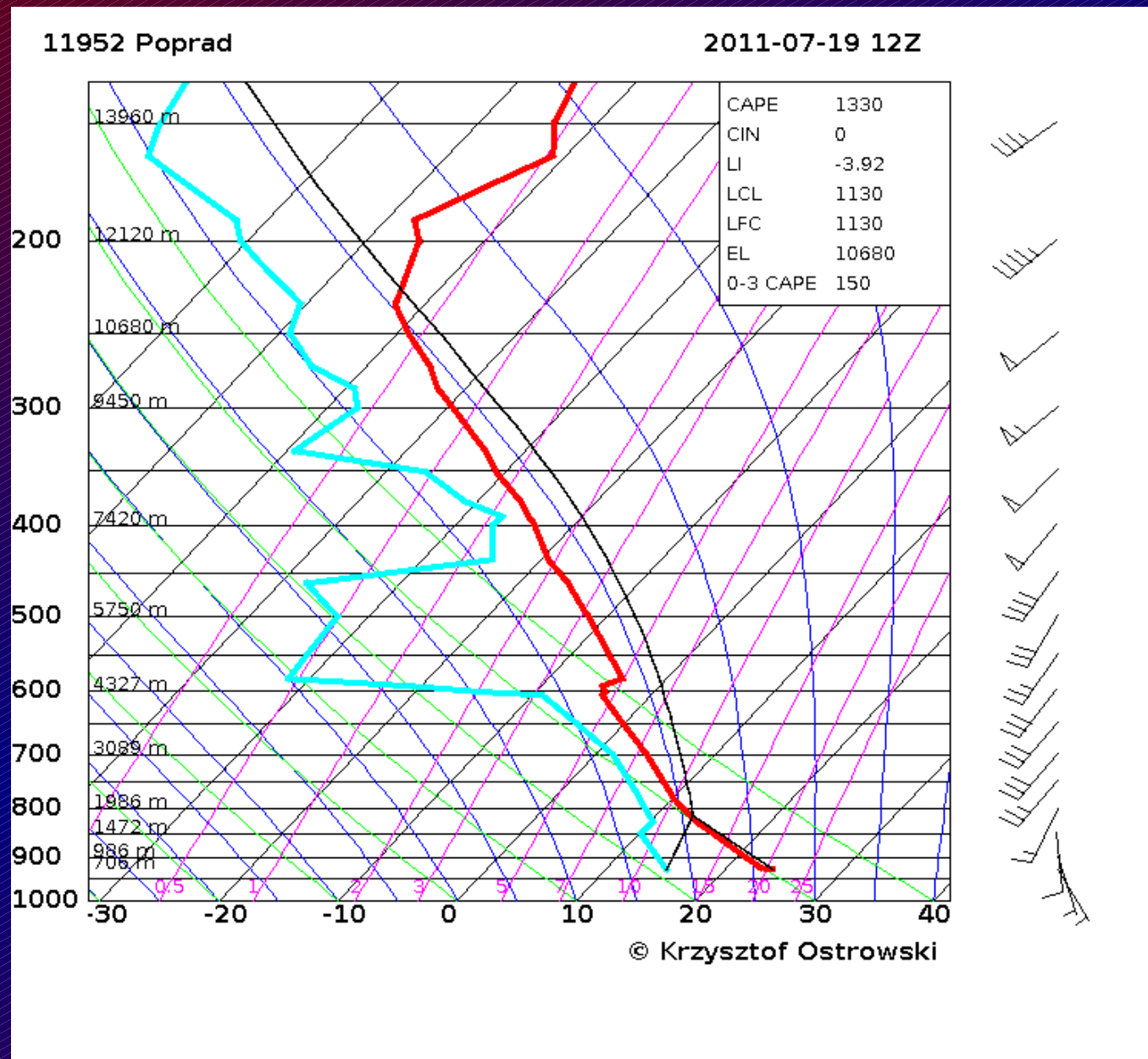


19.07.2011 – 500 hPa

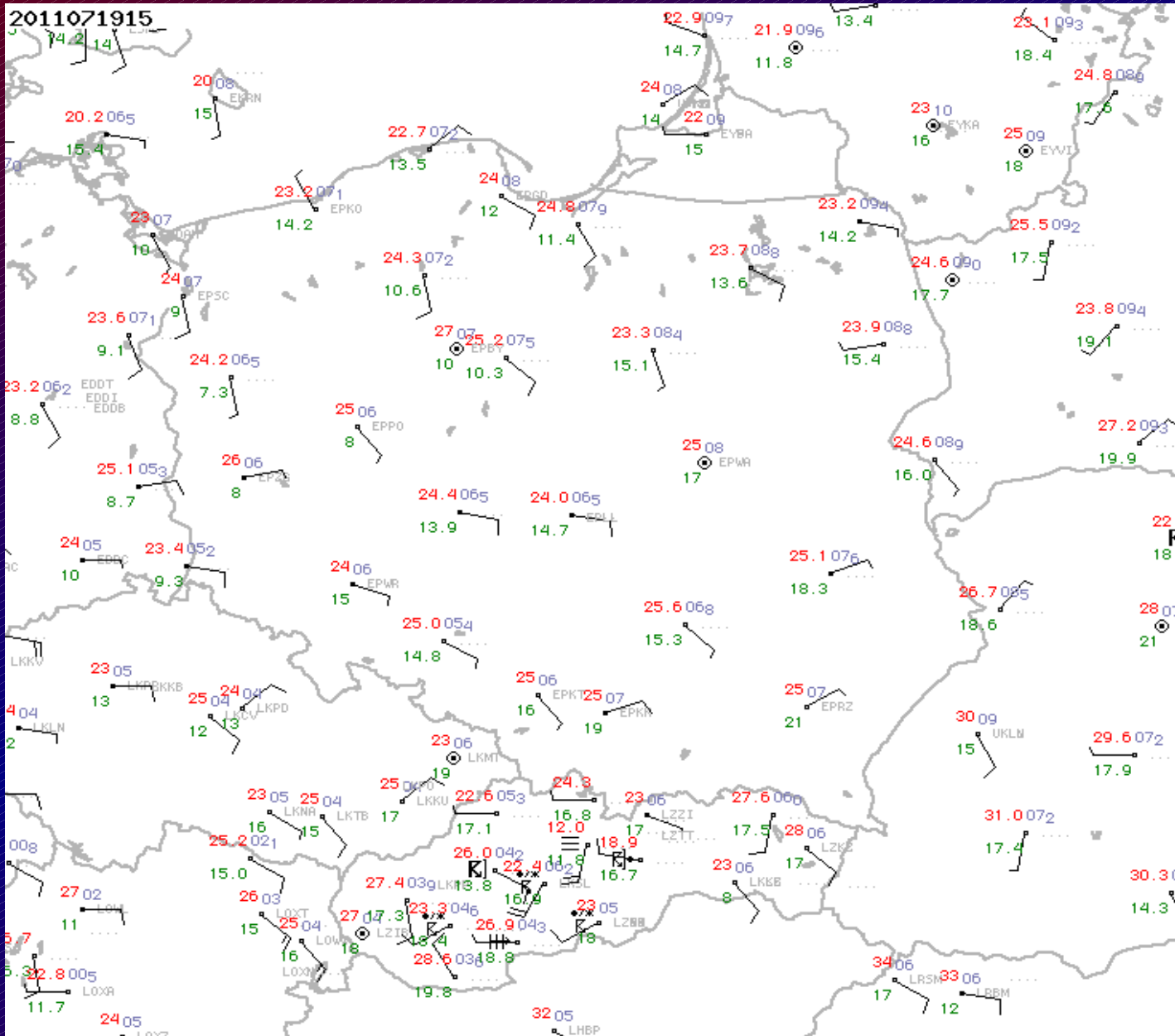
Init Tue 19 JUL 2011 12Z NCEP GFS wind speed at 500 hPa in m/s (contours/barbs)
Fcst Tue 19 JUL 2011 15Z temperature (shaded/dotted) and geopotential height at 500 hPa (black)



19.07.2011 – sondaż Poprad



19.07.2011 - mapa

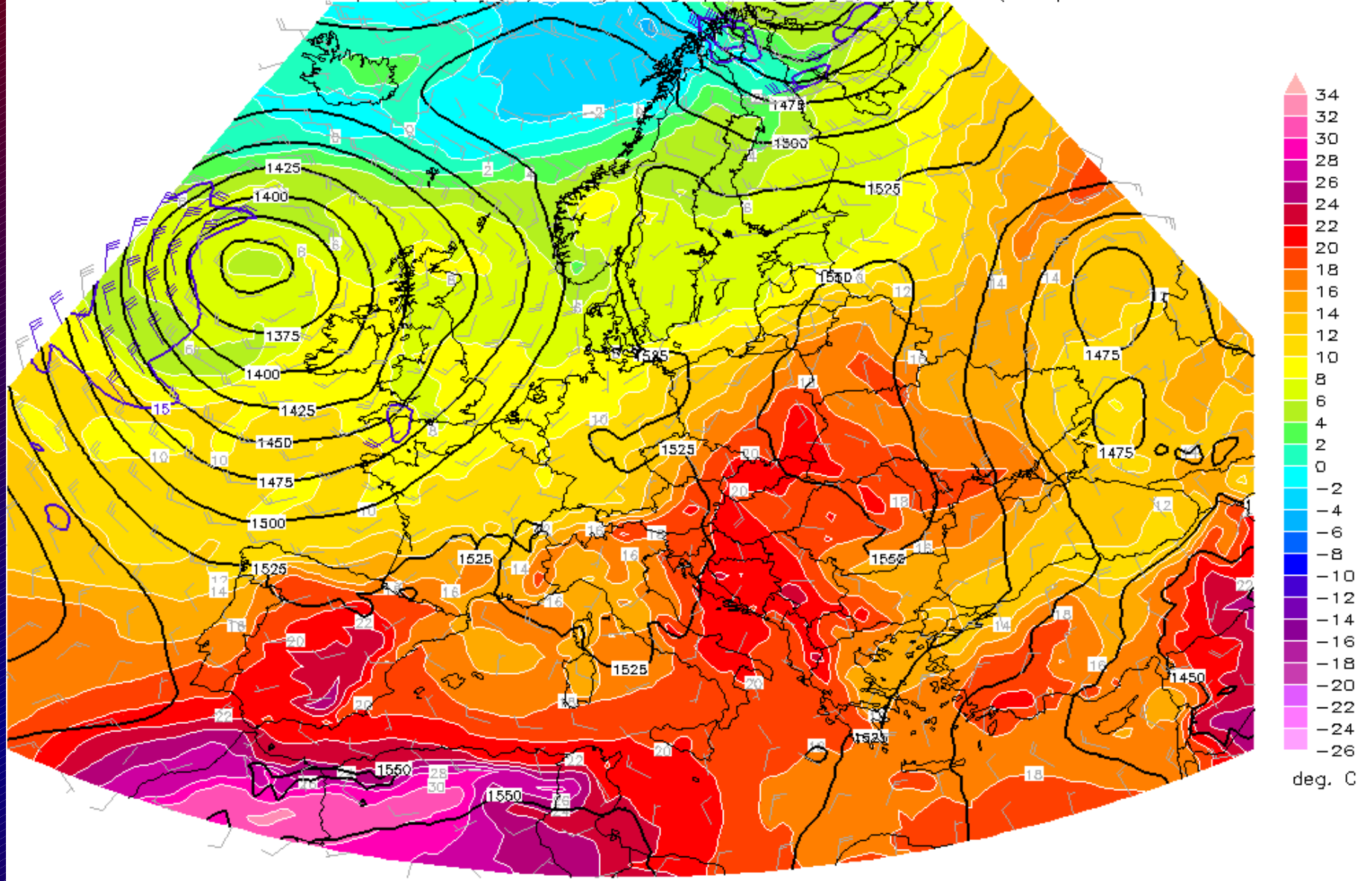


03.07.2012

- Za frontem ciepłym do Polski napływa gorąca masa PZ, a najsilniejsze burze rozwijają się na linii zbieżności
- Bardzo wilgotno (p.rosy 20-21°C na znacznym obszarze kraju) – nadzwyczajna chwiejność
- BRAK silnego wiatru w troposferze, a wartości ścinania umiarkowane (DLS do 15 m/s)
- Wielka seria gradobić – liczne przypadki gradu 5 cm+ na Śląsku, w Małopolsce, na Opolszczyźnie i Mazowszu (m.in. Warszawa)

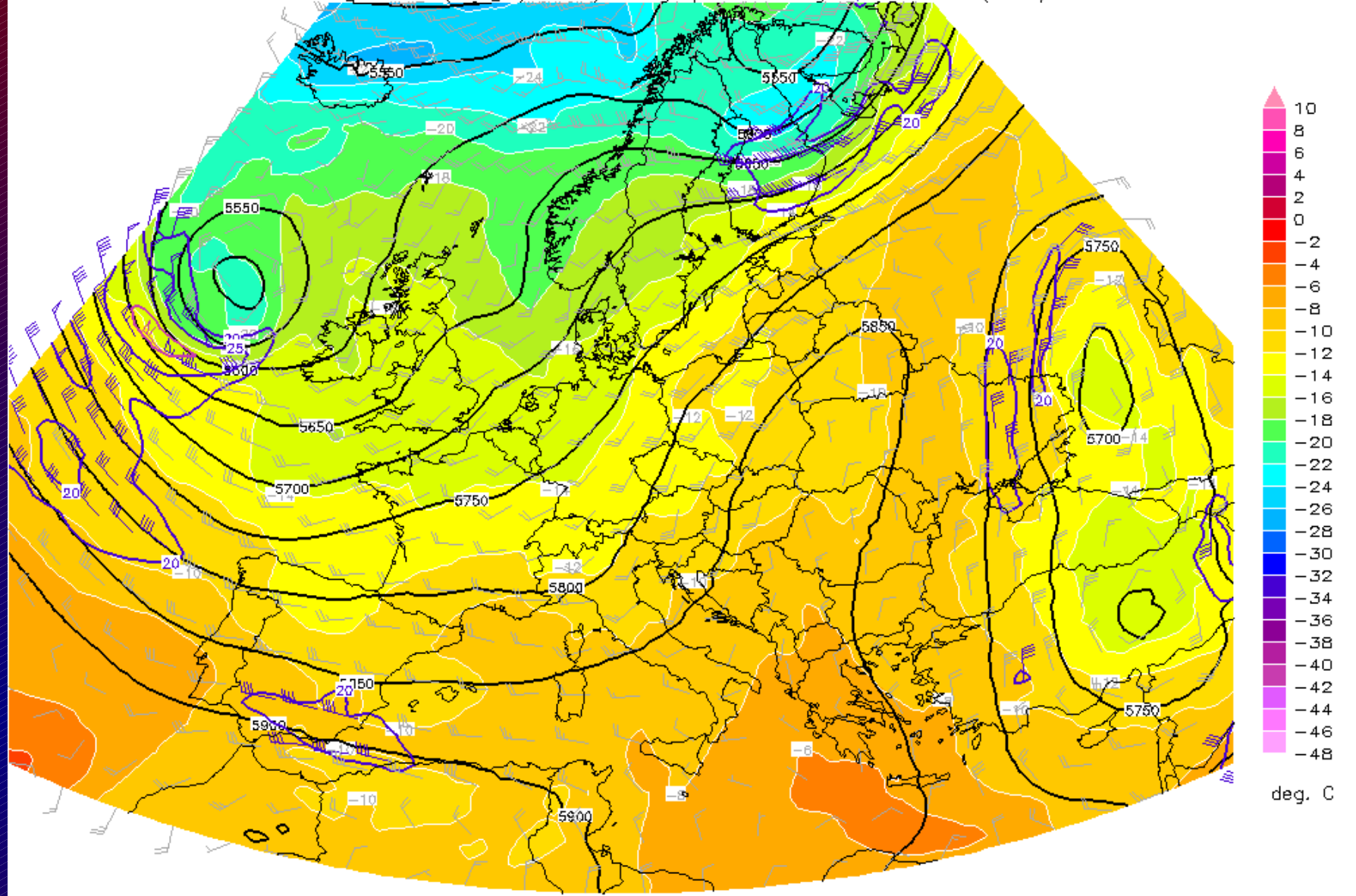
03.07.2012 – 850 hPa

Init Tue 03 JUL 2012 12Z NCEP GFS wind speed at 850 hPa in m/s (contours/barbs)
Fcst Tue 03 JUL 2012 15Z temperature (shaded/dotted) and geopotential height at 850 hPa (black)

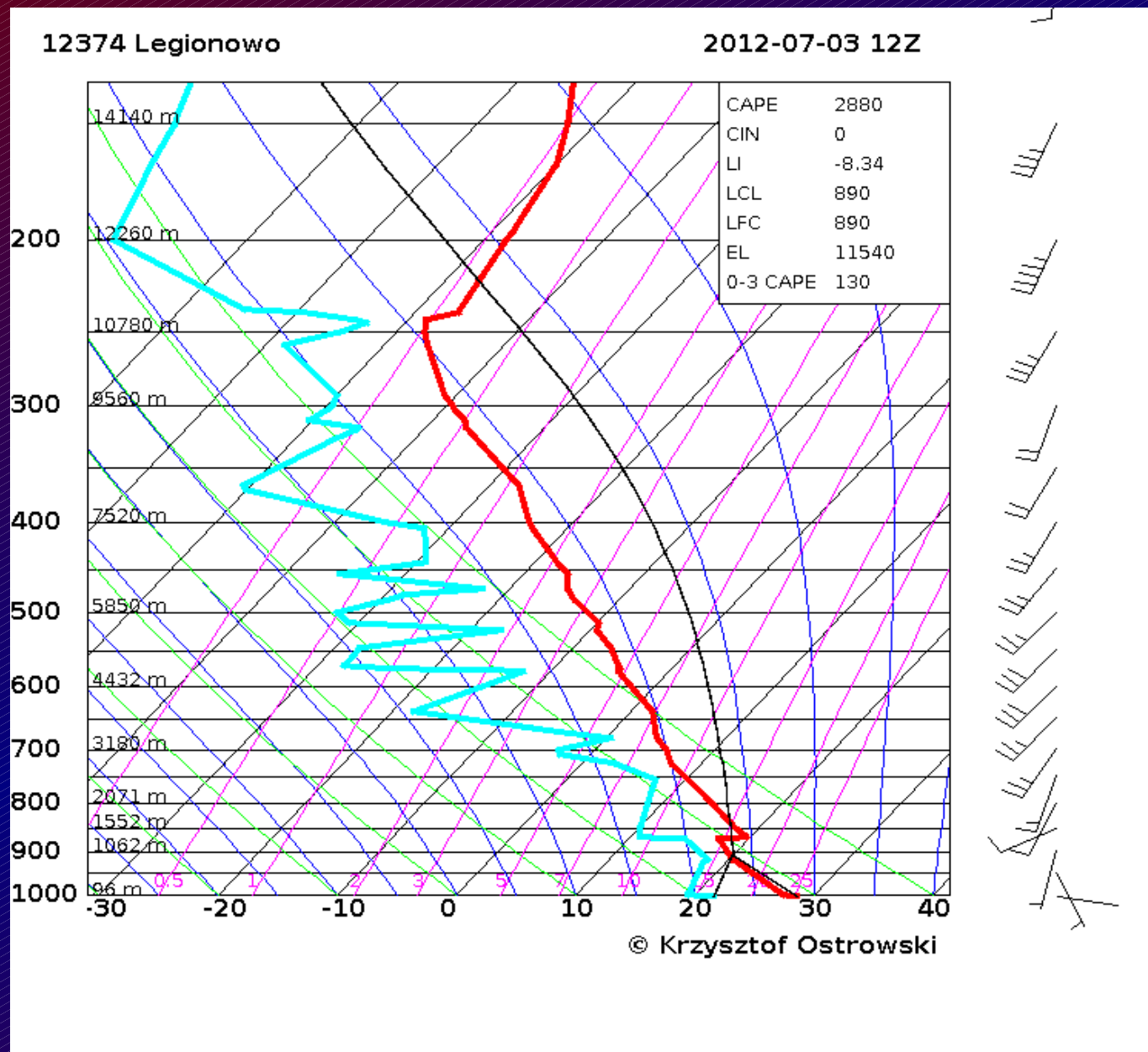


03.07.2012 – 500 hPa

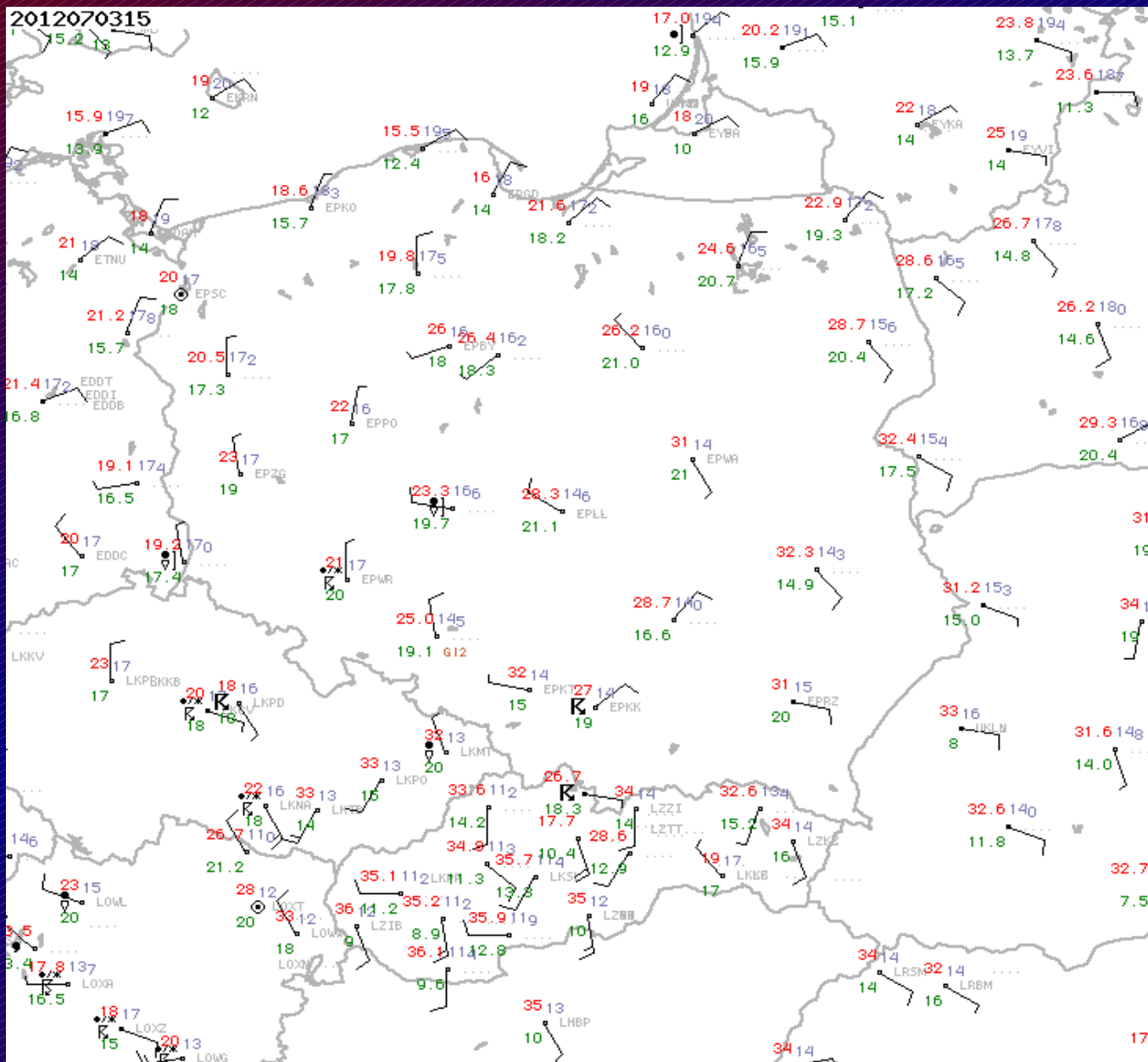
Init Tue 03 JUL 2012 12Z NCEP GFS wind speed at 500 hPa in m/s (contours/barbs)
Fcst Tue 03 JUL 2012 15Z temperature (shaded/dotted) and geopotential height at 500 hPa (black)



03.07.2012 – sondaż Legionowo



03.07.2012 - mapa



Incydenty gradowe w Polsce

Scenariusz pierwszy – warunki typowe dla *severe weather outbreak*

- Aktywny front (zwykle chłodny lub falujący) zbudowany na znacznym kontraście termicznym
- Umiarkowana/duża chwiejność
- Duże pionowe uskoki wiatru i prąd strumieniowy w górnej troposferze
- Przykłady to 15-16.08.2008 i 11-12.06.2010

Incydenty gradowe w Polsce

Scenariusz drugi – gorąca masa zwrotnikowa i umiarkowane mechanizmy wspomagające

- Niezbyt silny front atmosferyczny
- Napływ bardzo chwiejnej masy PZ
- Umiarkowane wartości ścinania (DLS rzędu 15 m/s, a czasem mniejszy)
- W warunkach bardzo dużej niestabilności superkomórki mogą się formować przy słabszych warunkach kinematycznych (!)
- Koronny przykład 3-4.07.2012 oraz 10-11.07.2011

Incydenty gradowe w Polsce

- Mimo naszych starań pogoda i tak bywa zaskakująca ;)
- 13.01.2012 – front arktyczny, na Kujawach grad 3 cm przy temperaturze 5 stopni

Dziękuję za uwagę

