

Počasí, jeho monitoring a předpověď v průběhu věků a dnes

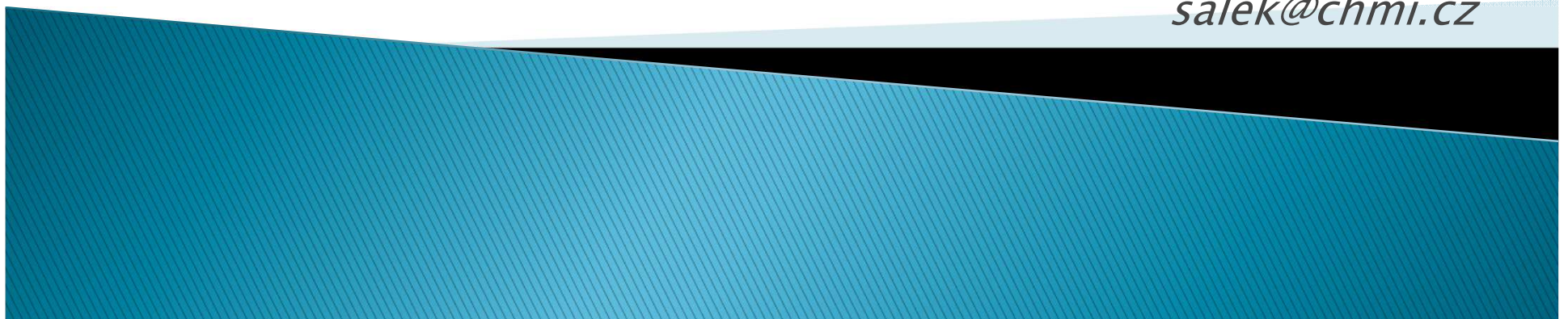
Od prvních pozorování počasí ke dnešním numerickým modelům atmosféry

Milan Šálek

Český hydrometeorologický ústav

<http://www.chmi.cz>

salek@chmi.cz



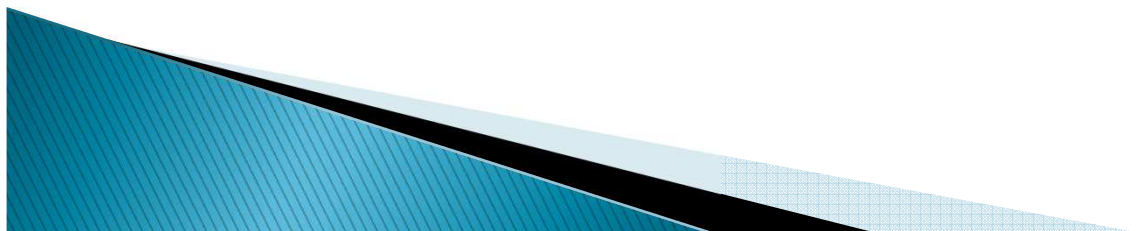
Předpověď počasí

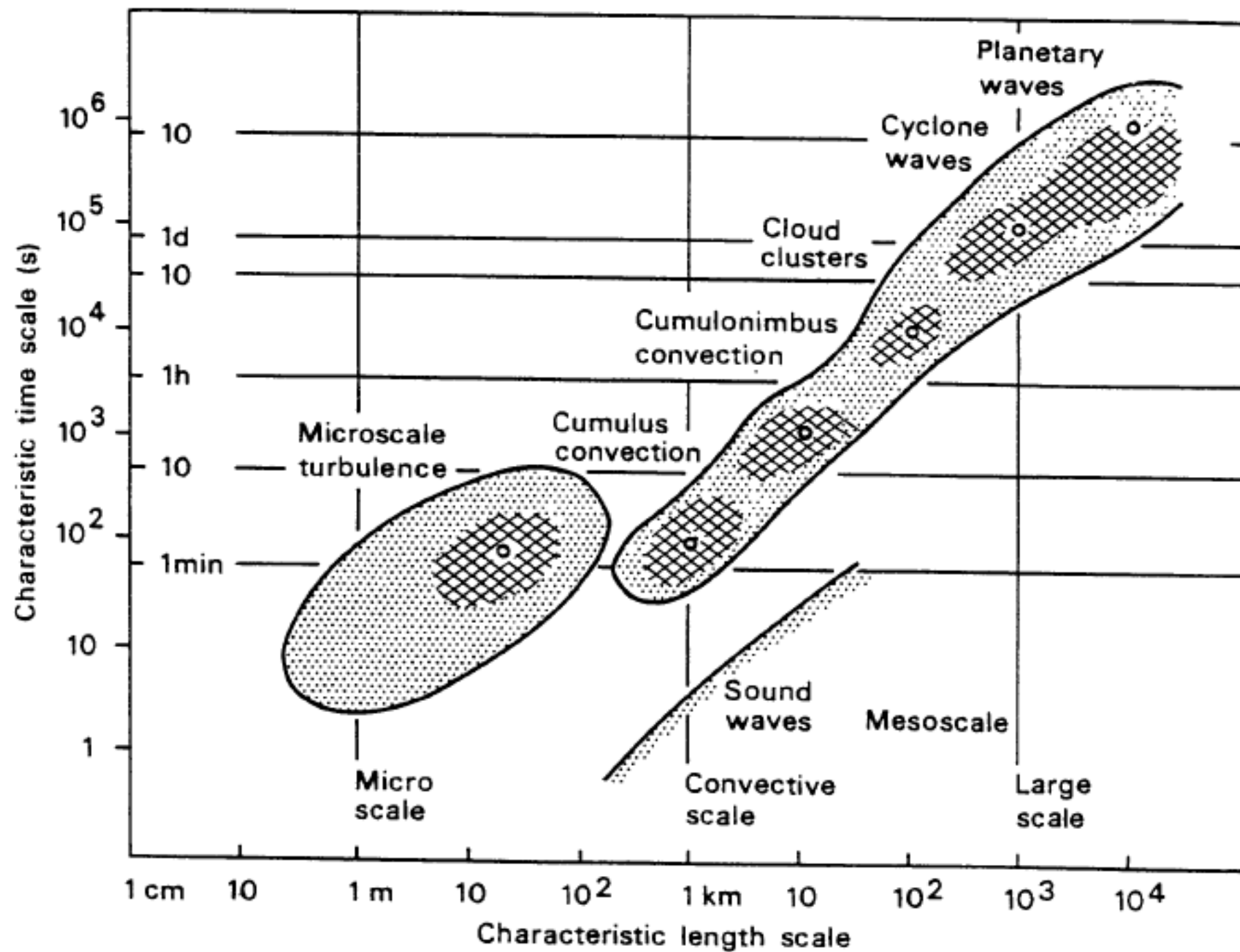
- ▶ Předpověď počasí – předpověď vyjadřující budoucí stav povětrnostních podmínek (*Meteorologický slovník*)
- ▶ Meteorologická předpověď je fyzikální úloha, jejíž cílem je vytvořit nejpravděpodobnější scénář nebo scénáře budoucího vývoje atmosféry v časovém horizontu typicky několika hodin, dnů až týdnů, max. měsíců. Využívá základní zákony klasické fyziky (zákony pohybu, zákony termodynamiky) a řeší je pomocí matematiky, případně s pomocí znalostí chování synoptických objektů (tlakové útvary, fronty, bouřky). U dlouhodobé předpovědi se využívají především klimatické údaje a vazby mezi jednotlivými složkami klimatického systému (např. teplotou povrchu oceánů a průměrnou teplotou v blízké oblasti).



Měřítko meteorologických dějů

Úspěšnost meteorologické předpovědi závisí mj. na charakteristické velikosti (měřítku) jevu či procesu v atmosféře. Čím je daný proces či jev větší, tím větší je využitelný časový předstih předpovědi, který zhruba odpovídá charakteristické délce životního cyklu jevu (srv. cyklony s životností dnů např. s bouřkami, které mají typickou životnost v řádu desítek minut, případně několika hodin).

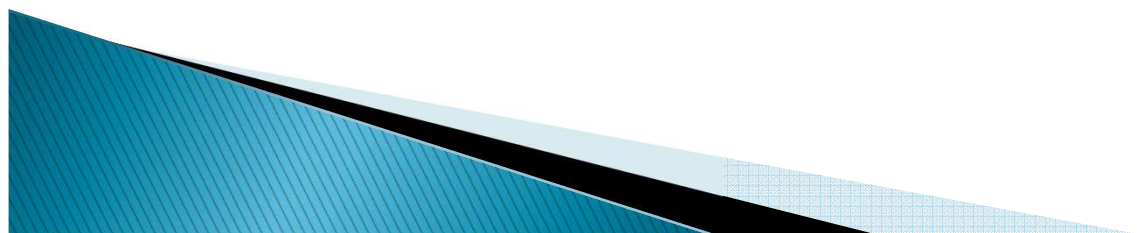




Rozdělení předpovědí počasí

I. Podle období, na které je vydána:

- 1) Velmi krátkodobá 0–12h, nowcasting 0–2h.
 - využití numerických modelů, metod dálkové detekce (radary, družice, systémy detekce blesků), koncepčních modelů (vliv "klasické" synoptické metody)
- 2) Krátkodobá: 1–3 dny (1–2 dny)
 - dominantní využití numerických modelů, vliv synoptické metody je menší



Rozdělení předpovědí počasí

I. Podle období, na které je vydána (pokr.):

- 3) Střednědobá: 3–15 dnů (2–15 dnů)
dominantní využití numerických modelů, větší využití poznatků z teorie deterministického chaosu k odhadu pravděpodobnosti jednotlivých scénářů vývoje, rezignace na detaily předpovědi
- 4) Dlouhodobá
měsíční, sezónní – využívá vlivu některých faktorů na dlouhodobý režim počasí (významný je vliv teploty povrchu oceánů, zejména v tropech, a dále vliv obsahu vlhkosti v půdě a tloušťka sněhové pokrývky)



Rozdělení předpovědí počasí

I. Podle období, na které je vydána (pokr.):

5) Předpověď klimatu

– předpověď dlouhodobého režimu počasí (klimatu) v časovém horizontu typicky roky až staletí, většinou desetiletí

(pozor na záměnu s *klimatickou předpovědí* počasí, tj. předpovědí na základě znalosti klimatu dané oblasti)



Rozdělení předpovědí počasí

II. Podle účelu:

- 1) Všeobecná – určená pro nejširší veřejnost, prezentovaná ve sdělovacích prostředcích
- 2) Speciální – pro specializované uživatele, jimž se přizpůsobuje obsah i forma předpovědi (předpovědi pro letectví, údržbu silnic, zemědělské práce, stavebnictví, předpovědi pro hydrologické modelování, atd.)



Rozdělení předpovědí počasí

III. Podle místa / oblasti:

- 1) Oblastní (pro administrativně nebo jinak specifikované území)
- 2) Liniová (trať ová) – speciální předpověď zejména pro sféru dopravy – letectví, silnice.
- 3) Místní – speciální předpověď pro určitou lokalitu (pravděpodobnostní vyjádření)

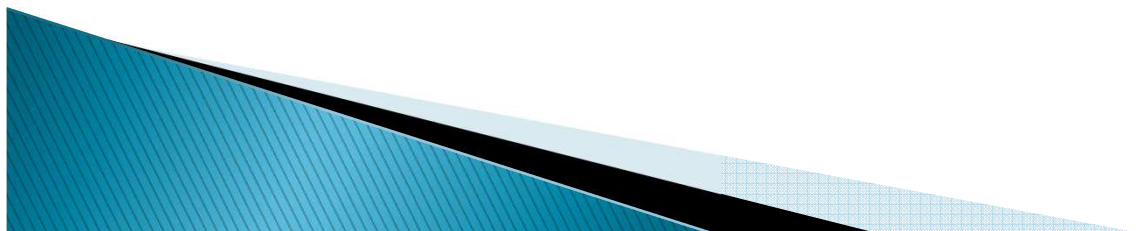


Podklady pro tvorbu předpovědi počasí

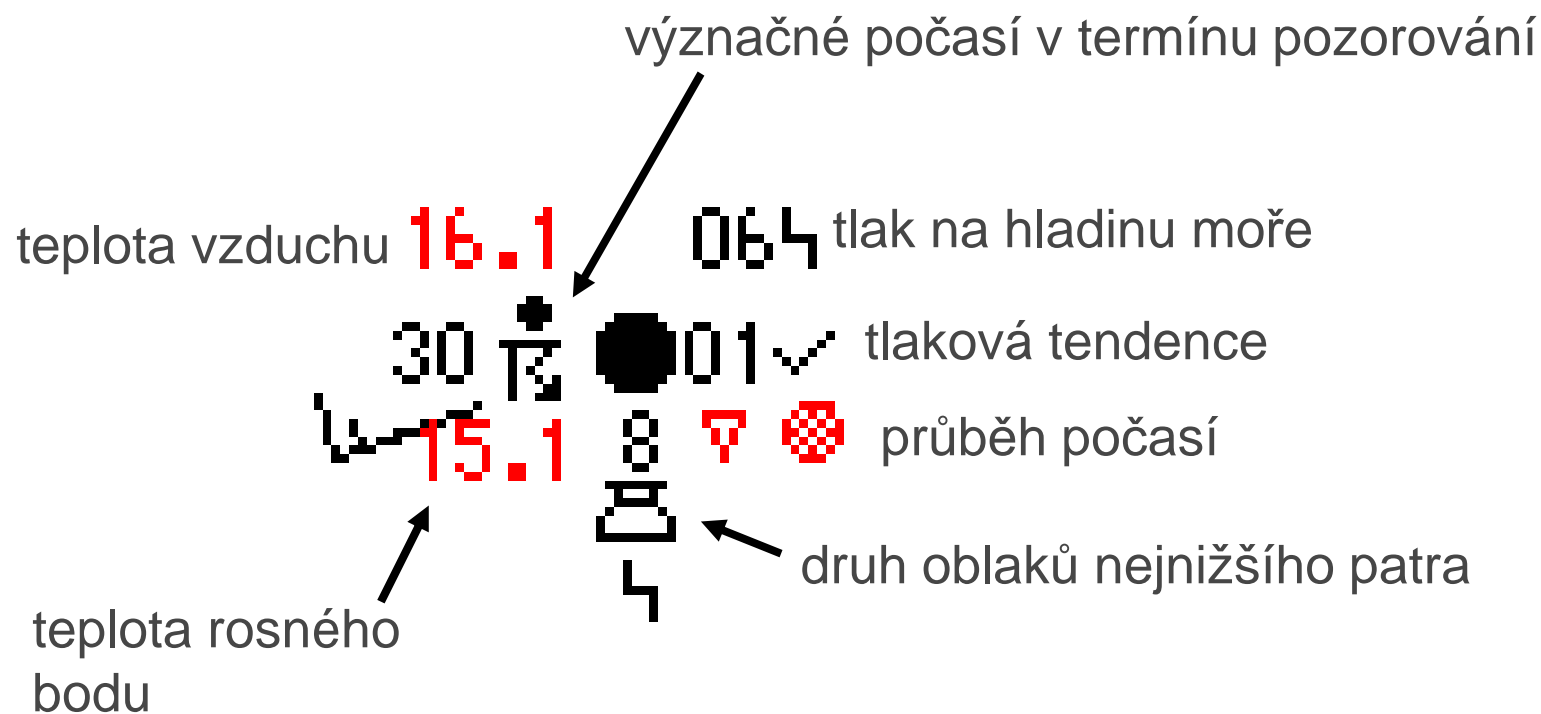
Předpokladem úspěšné předpovědi je co nejpodrobnější znalost aktuálního stavu atmosféry, kterou je možno získat informacemi z následujících zdrojů:

1) Informace ze sítě pozemních (oceánských) stanic o počtu kolem 10000: alespoň každé 3 hodiny, nejčastěji každou hodinu zpráva, t.č. SYNOP (přechod na kód BUFR do r. 2010 – ?):

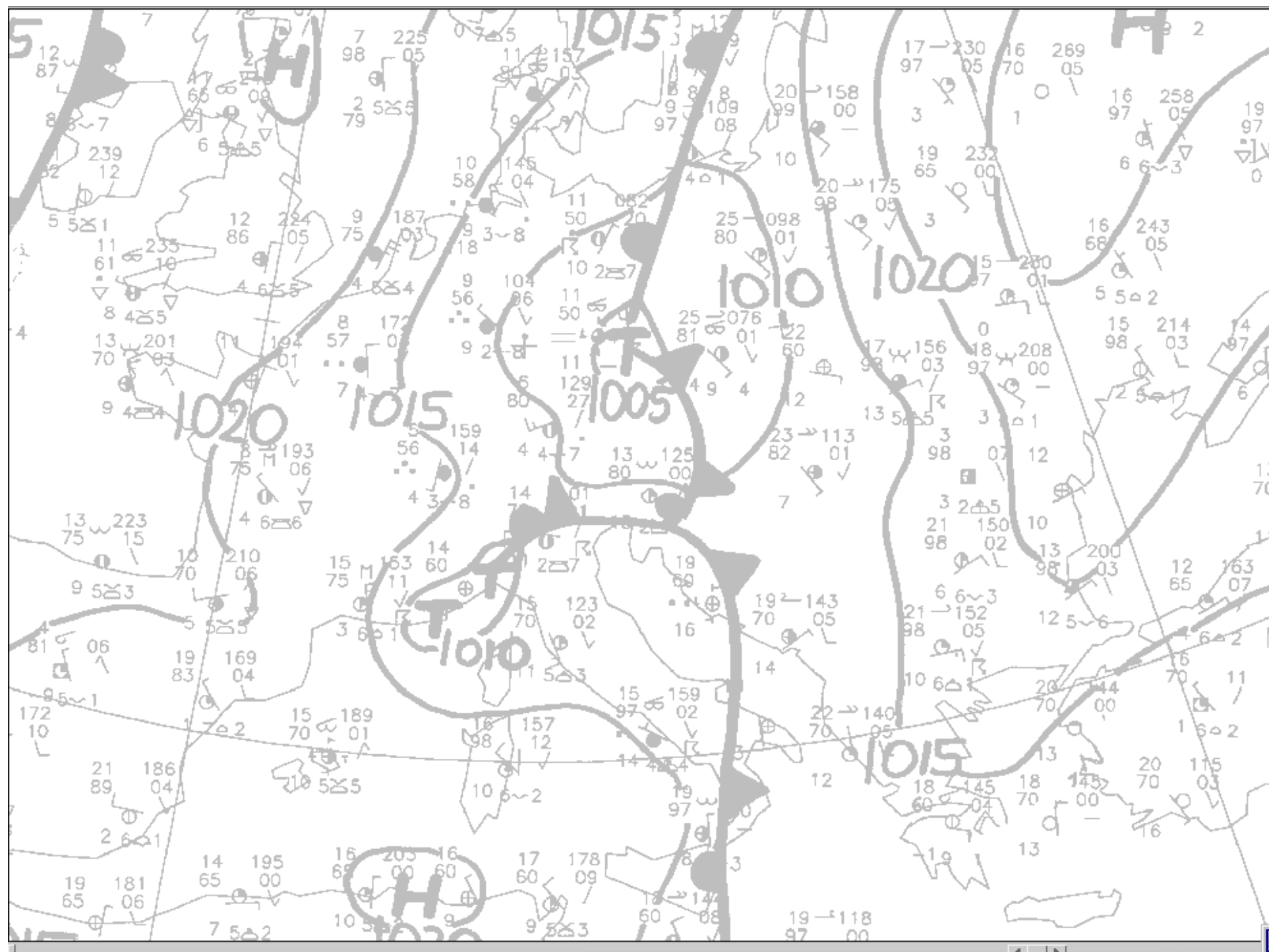
```
11624 11760 79901 10187 20179 39906 40184
57006 60051 72598 87500
    333 55044 87656
    555 395// =
```



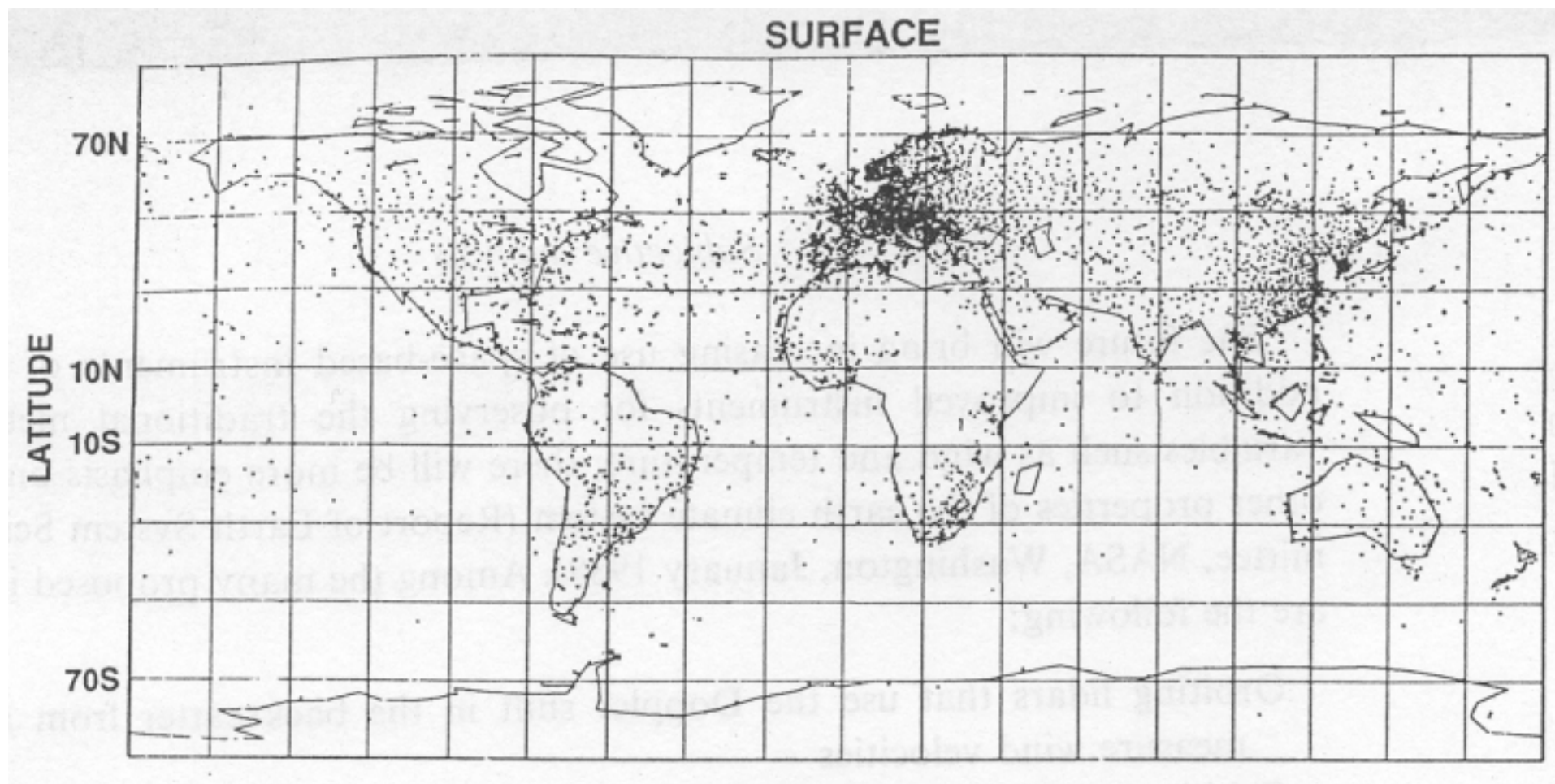
Zápis stavu a průběhu počasí na přízemních povětrnostních mapách



11723 11430 82607 10161 20151 39873 40064 51001 60051 79582 88900
333 55044 88933 555 395// =



Ilustrace rozložení pozemních synoptických stanic

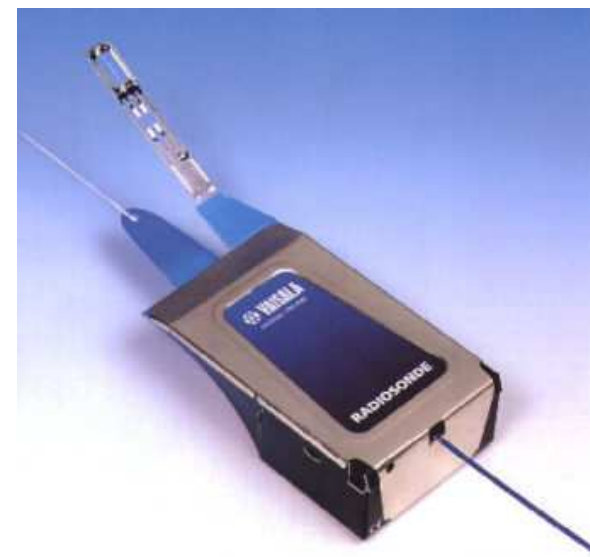


Podklady pro tvorbu předpovědi počasí

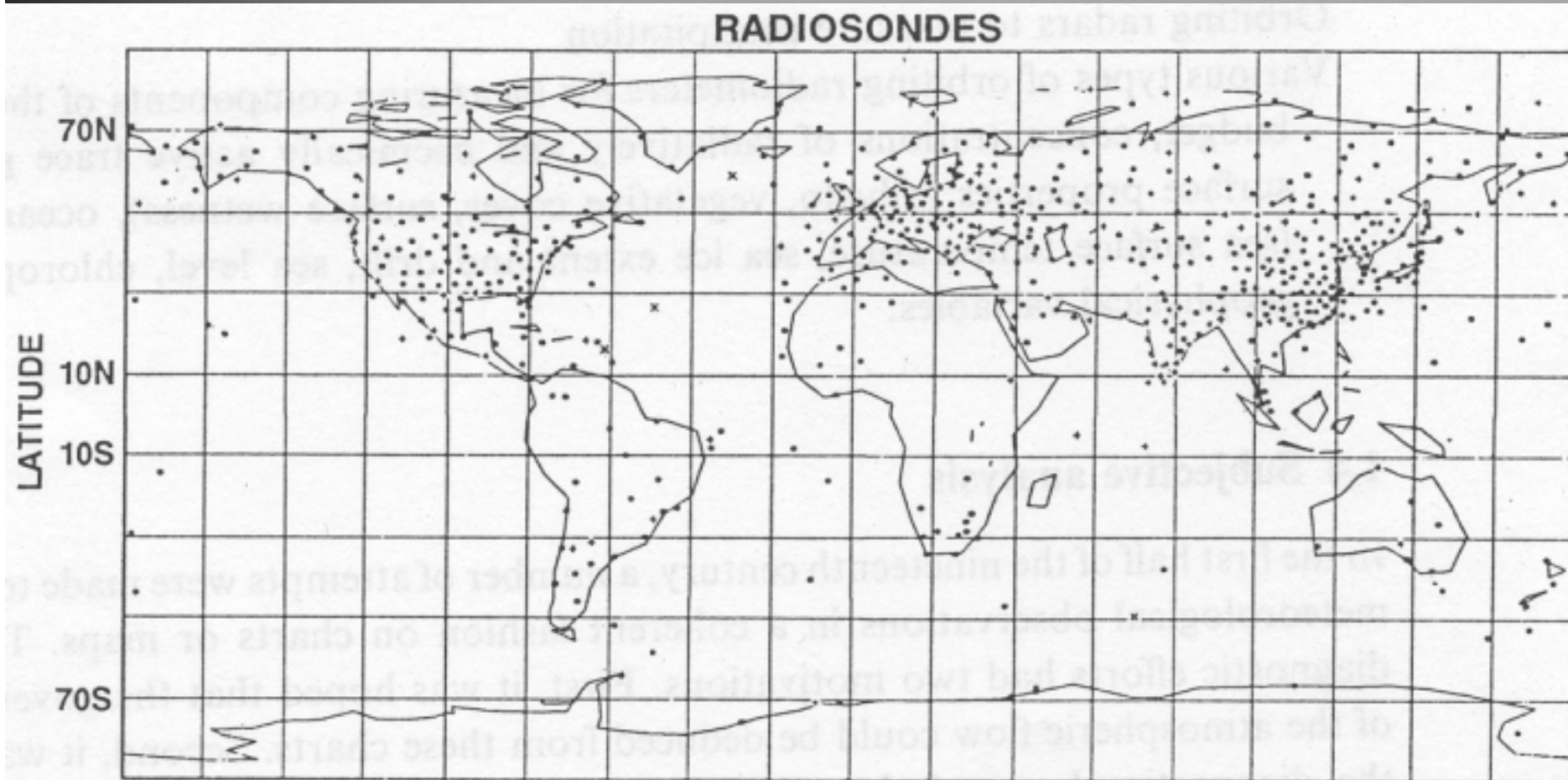
- 2) Informace z
aerologických stanic:
600–800 stanic na
Zemi měří výškový
profil základních
meteorologických
prvků (teplota, vlhkost,
tlak vzduchu, vítr)
alespoň 1x denně



Vypouštění sondy



Ilustrace rozložení aerologických stanic

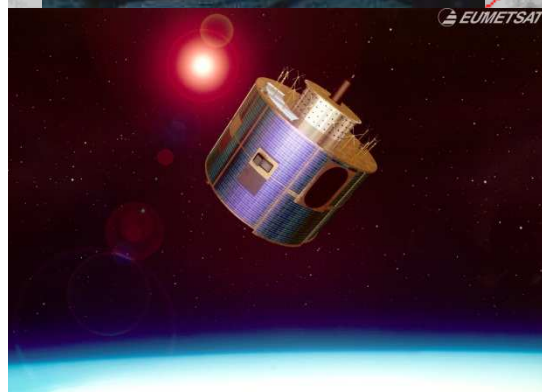
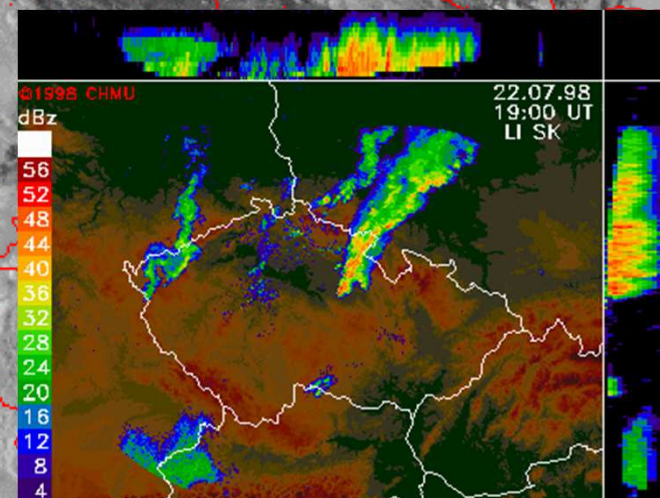
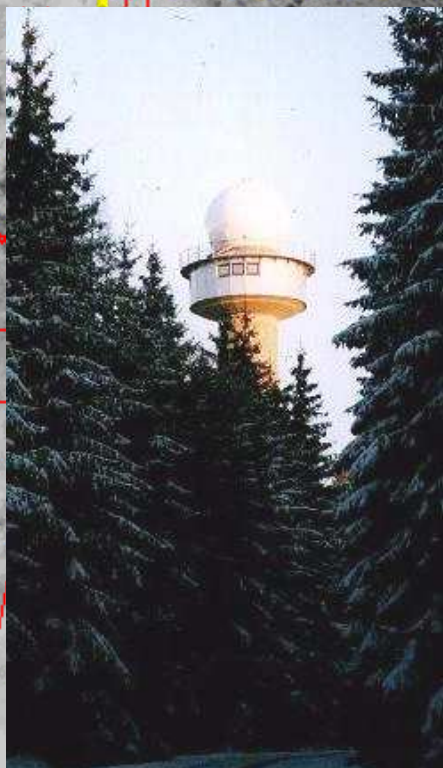


Podklady pro tvorbu předpovědi počasí (pokrač.)

NOAA ch 2

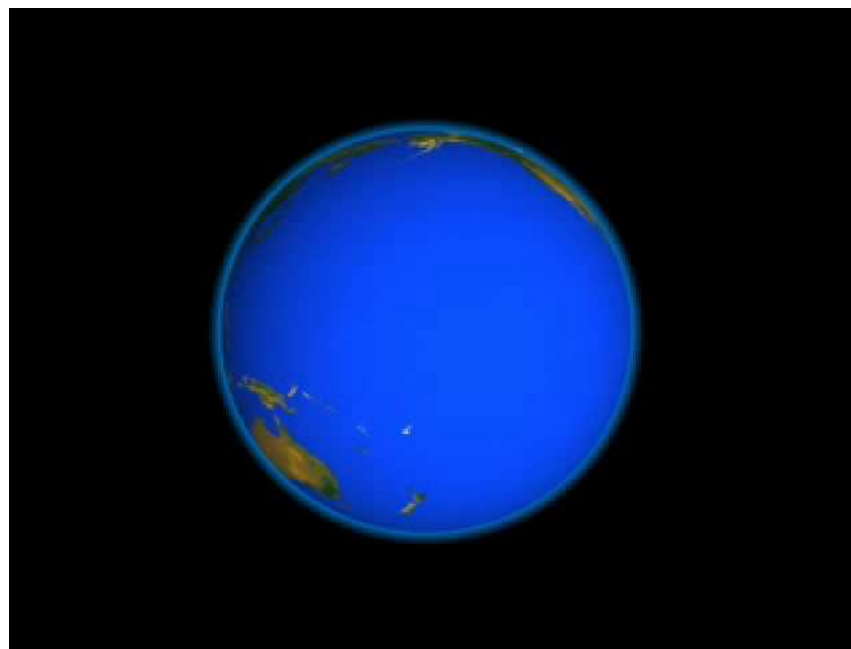
24.08. 14:53

3) Informace získané metodami dálkové detekce (meteorologické družice, meteorologické radary)

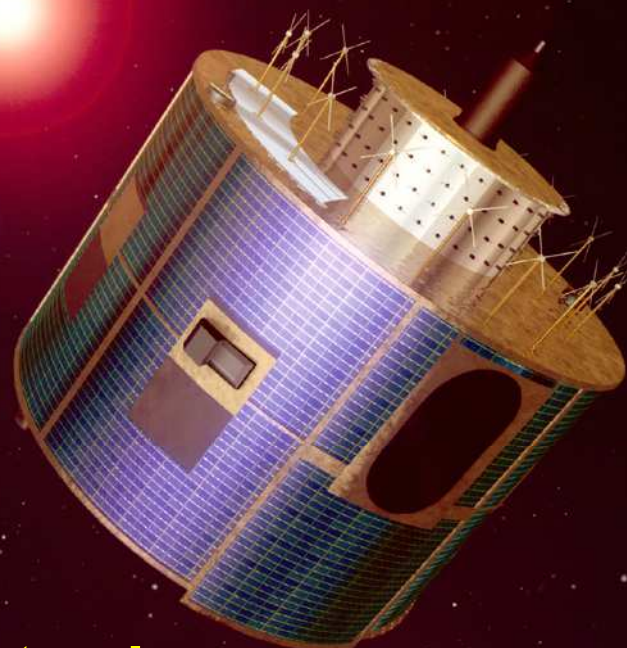


Metody dálkové detekce

- ▶ meteorologické družice
- ▶ meteorologické radary
- ▶ sodary, lidary



Geostacionární meteorologické družice



METEOSAT 8 (od r. 2003; 9.5° E)

METEOSAT 9 (od r. 2006; 0.3° E)

METEOSAT 10 (od r. 2012, 3.5° W)

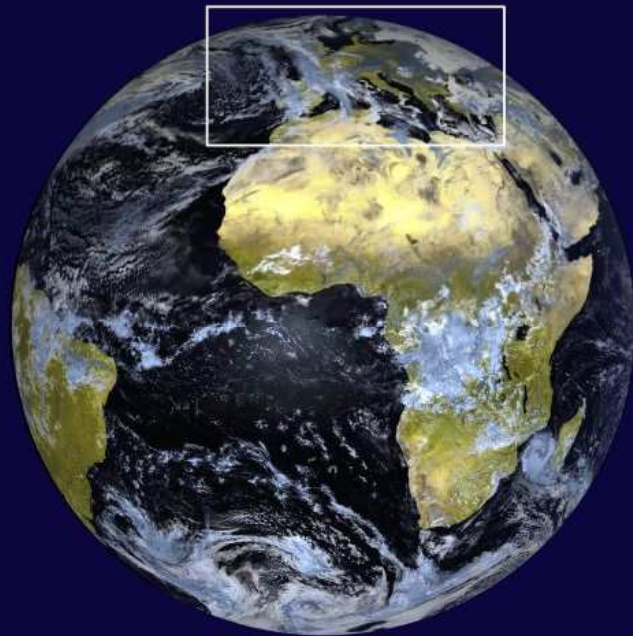
Kanály MSG

- ▶ Viditelná (a blízká infračervená) část spektra (Visible, VIS)
 - HRV (high resolution visible):
 - VIS 0.6
 - VIS 0.8
 - IR 1.6
- ▶ Spektrum pro odhad obsahu vodní páry (Water Vapour – WV)
 - WV 6.2
 - WV 7.3
- ▶ Infračervená atmosférická okna (IR Window)
 - IR 3.8
 - IR 8.7
 - IR 10.8
 - IR 12.0
- ▶ Pseudo sondáže atmosféry (Pseudo Sounding)
 - IR 9.7
 - IR 13.4

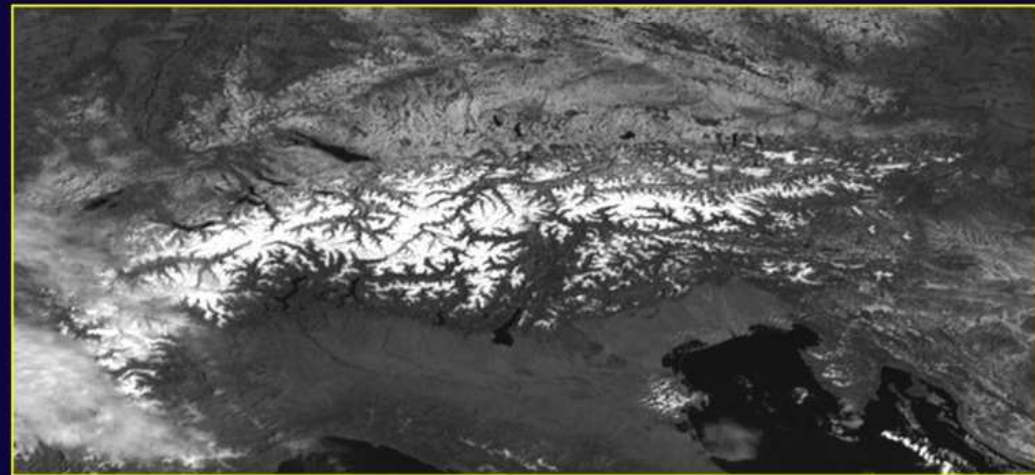
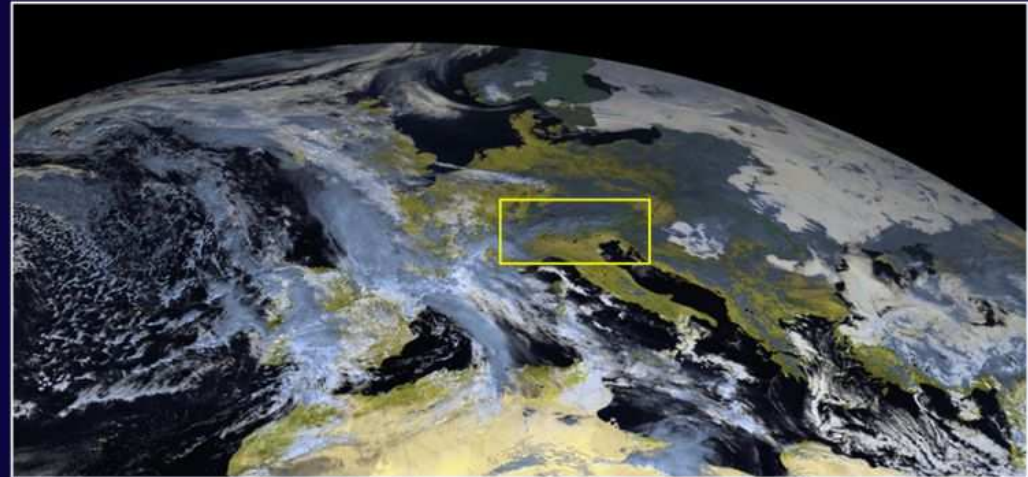


RGB kombinace kanálů 1,6; 0,8 a 0,6 μm

Colour composite image of channels 1.6 μm (R), 0.8 μm (G), 0.6 μm (B)



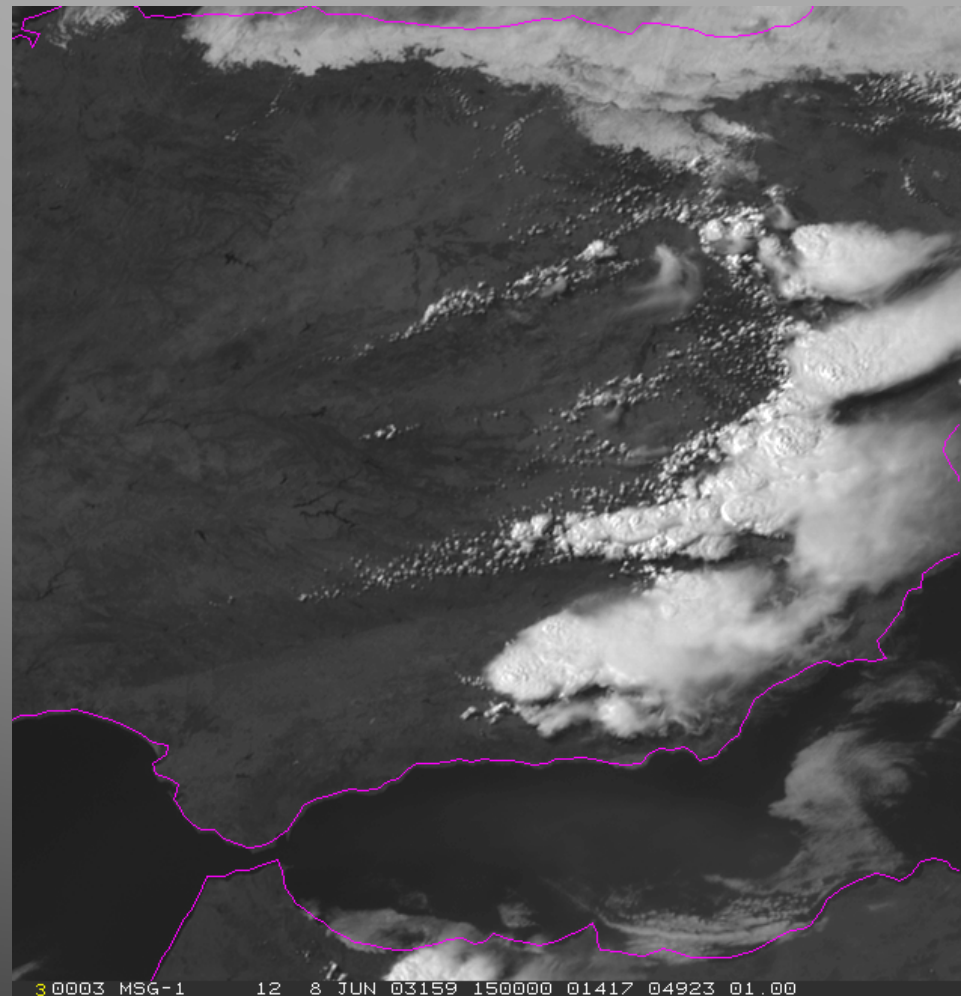
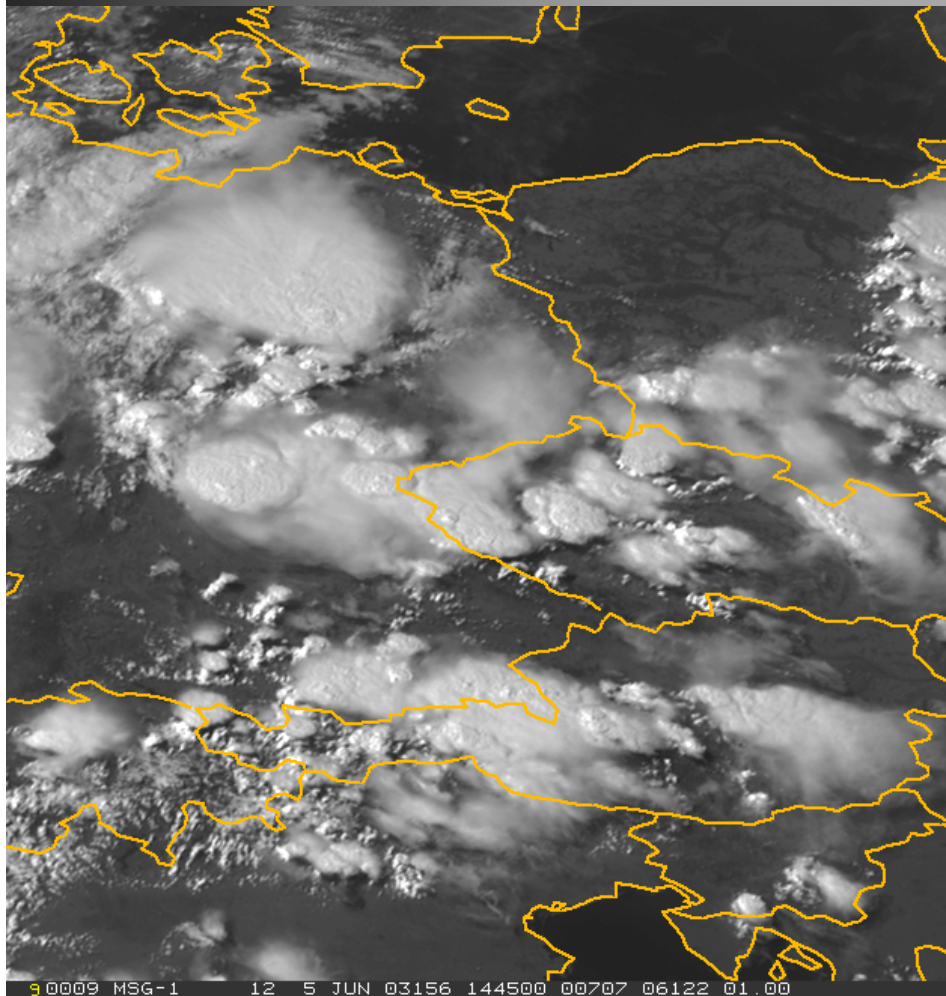
Meteosat-8 Second Generation Satellite



26 February 2003 12:00 UTC

HRV image of the Alps

High Resolution Visible

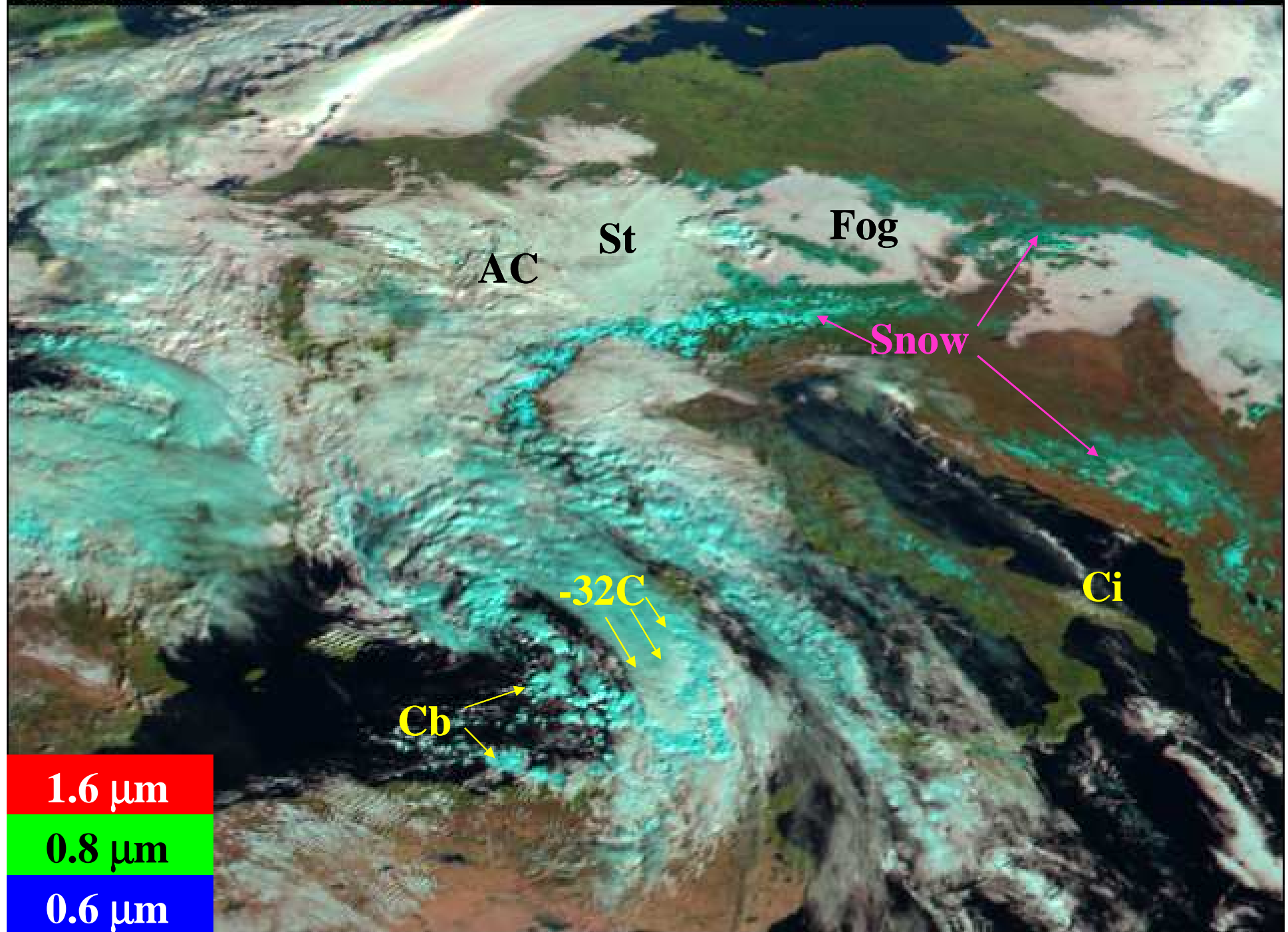


2003/12/19 10:27

CH03 1.6

CH02 0.8

CH01 0.6



1.6 μm

0.8 μm

0.6 μm

Základní vztahy fyziky záření

- Planckův zákon (funkce):

Planckova funkce:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} \quad B_{\lambda}(T) = \frac{c_1\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1}$$

$B_{\lambda}(T)$ - spektrální hustota elmg. záření vyzářeného za jednotku času jednotkovou plochou povrchu černého tělesa o teplotě T (vyjádřené v K) do jednotkového prostorového úhlu ve vlnové délce λ [μm], pak výsledný rozměr Planckovy funkce je [$\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$]

c = rychlost světla ve vakuu ($2.998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

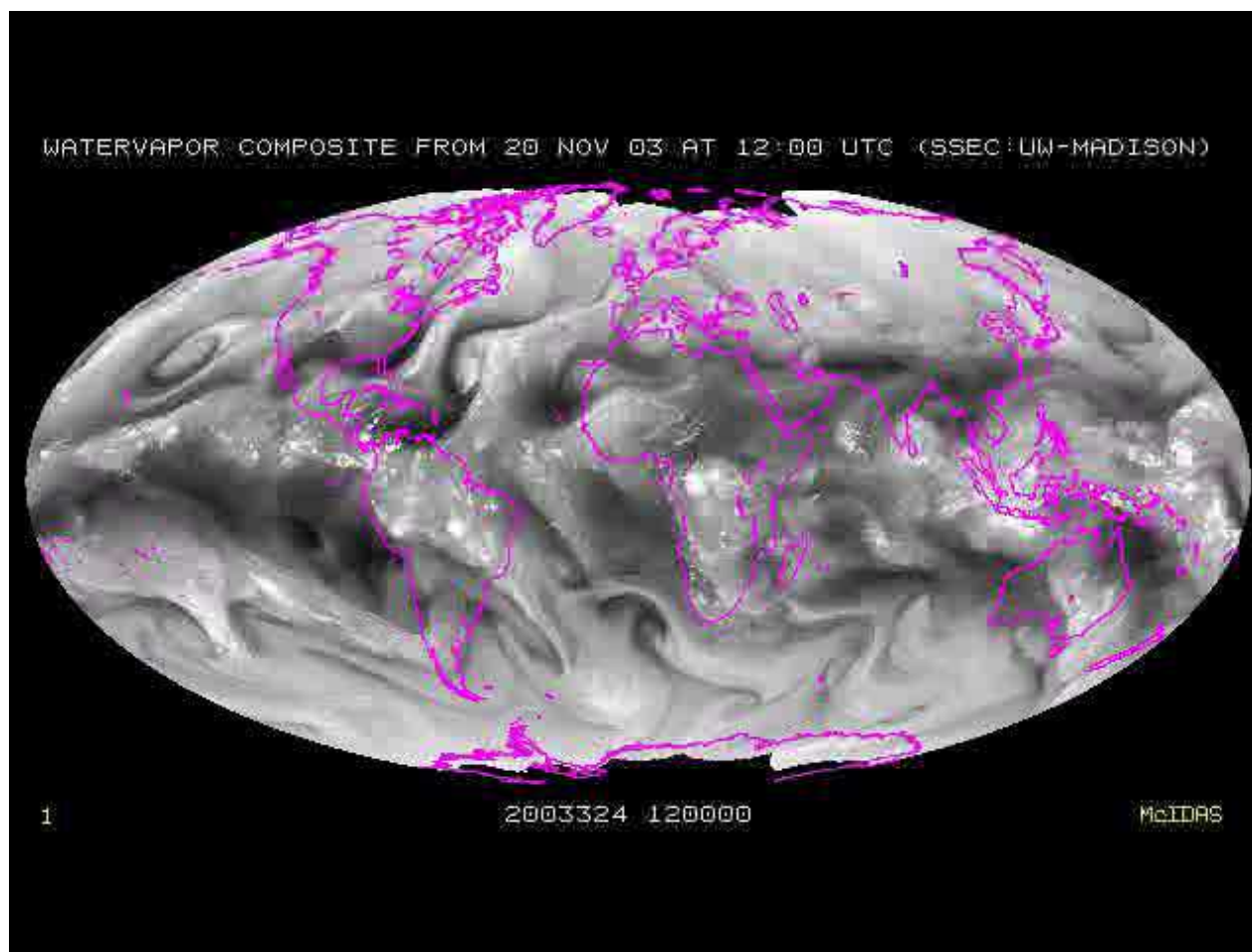
h = Planckova konstanta ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)

k = Boltzmannova konstanta ($1.381 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$)

c_1 = první radiační konstanta ($1.191 \times 10^{-16} \text{ W.m}^2.\text{sr}^{-1}$)

c_2 = druhá radiační konstanta ($1.439 \times 10^{-2} \text{ m.K}$)

Sloučení měření více geostacionárních družic



Družice NOAA s polární drahou (800 km nad povrchem)

1. kanál

0.58 - 0.68 mikrometru

červená oblast spektra

2. kanál

0.725 - 1.1 mikrometru

blízké infračervené záření

3. kanál

3.55 - 3.93 mikrometru

tepelné záření

4. kanál

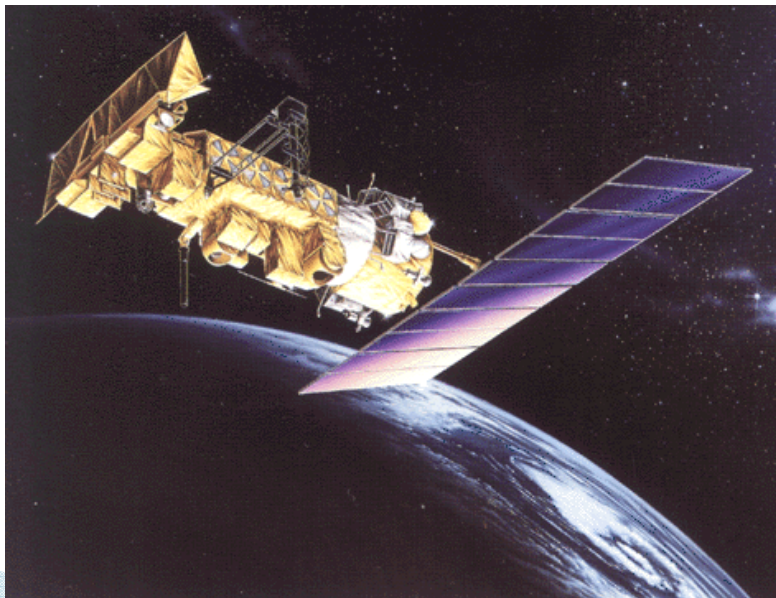
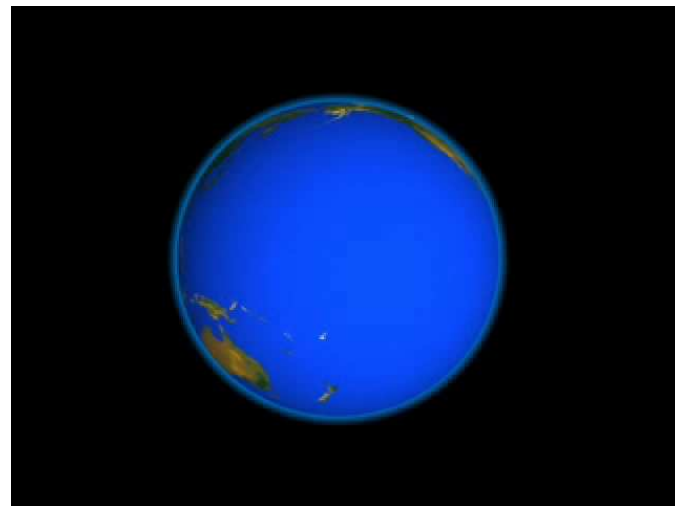
10.3 - 11.3 mikrometru

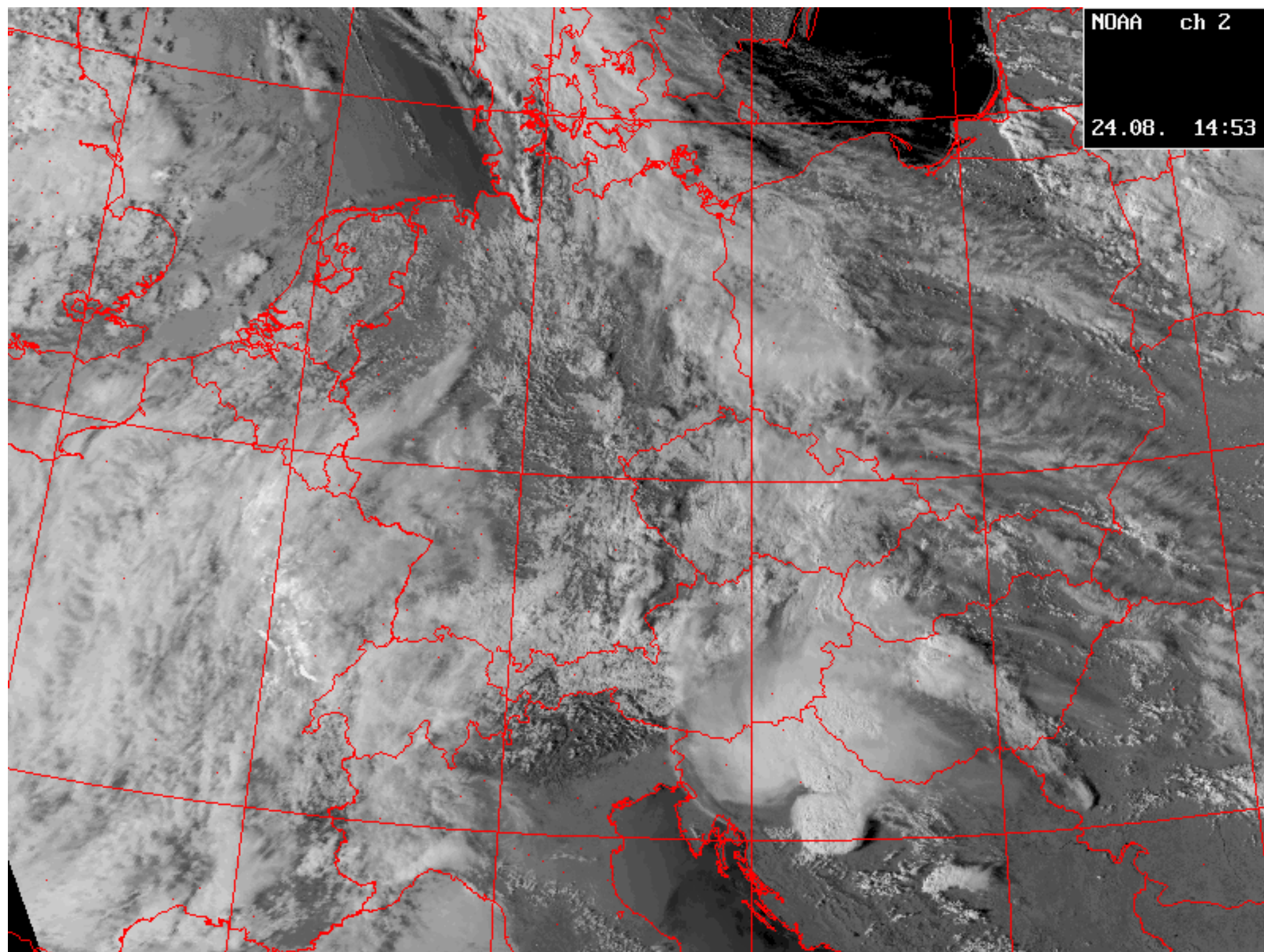
tepelné záření

5. kanál

11.5 - 12.5 mikrometru

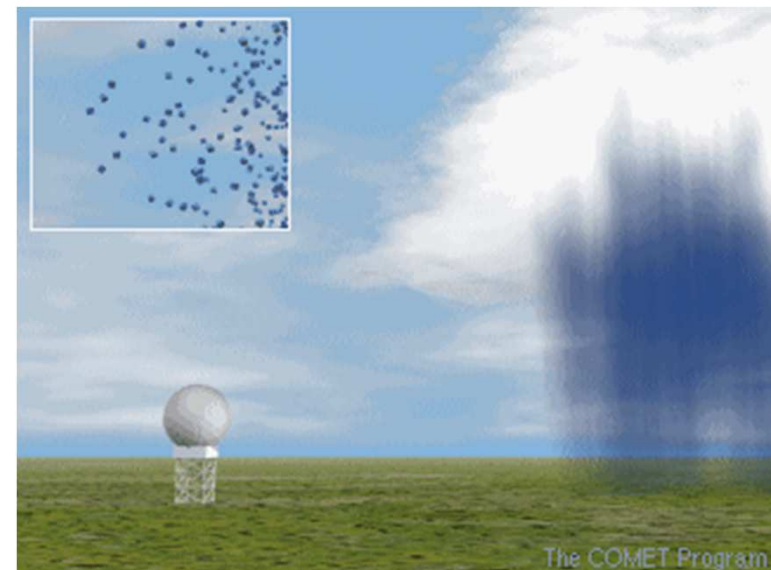
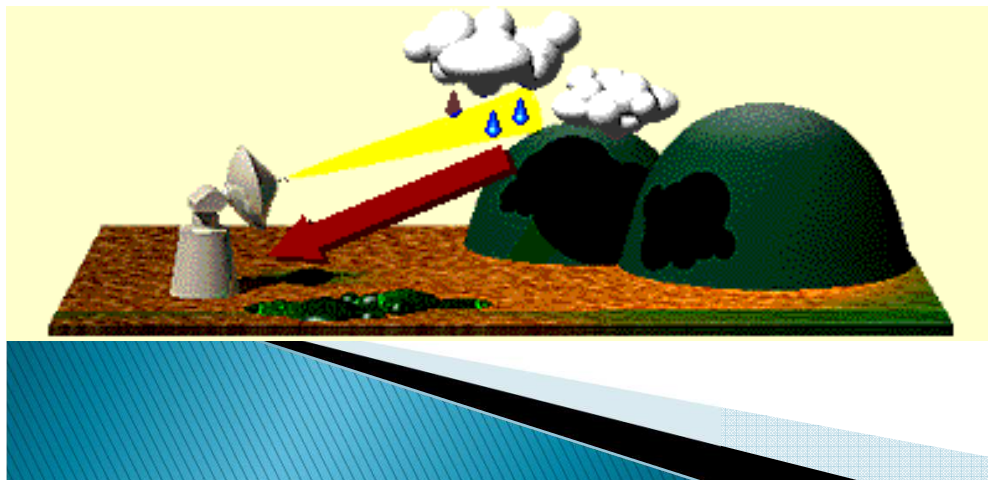
tepelné záření





Meteorologický radar

- je zařízení, které vyzařuje směrovou anténou elektromagnetickou energii v krátkých časových pulsech do určité oblasti, přičemž objekty, ležící v dráze radarového paprsku, určitou část energie odrazí zpět. Ze zpoždění přijatého signálu oproti vyslanému a z množství přijaté energie lze získat informaci o poloze a vlastnostech objektu, případně o jeho pohybu.
- více typů meteorologických radarů rozličných vlastností



Radiolokační odrazivost

Radiolokační odrazivost z lze vypočítat podle radarové rovnice (ve zjednodušeném tvaru) :

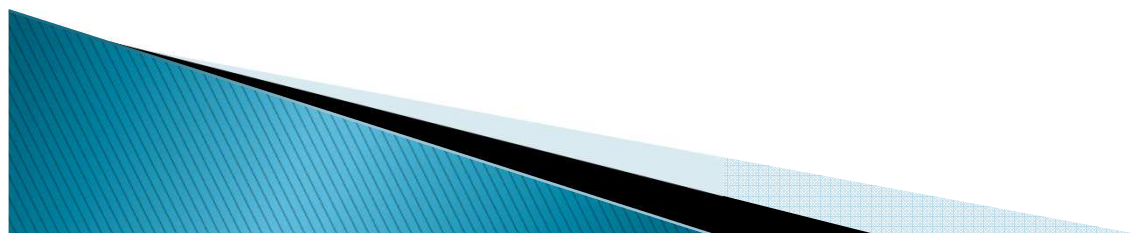
$$P_r = \Pi_M \cdot \frac{Z}{r^2}$$

kde :

P_r – přijatý výkon,

Π_M – radarová „konstanta“ (meteorologický potenciál radaru),

r – vzdálenost cíle.



Dopplerovské radary

- ▶ Dopplerův efekt: využití Dopplerova efektu pro zjištění radiální složky rychlosti větru (tedy v jednom směru – od radaru, k radaru)
- ▶ využití: zjištění pohybu, případně rotace oblačnosti, eliminace odrazů od pozemních cílů




Odhady srážek z meteorologických radarů

Z odrazivosti meteorologického cíle z lze vypočítat intenzitu srážek R [mm/h] tzv. Marshall-Palmerovým vztahem:

$$z = a \cdot R^b$$

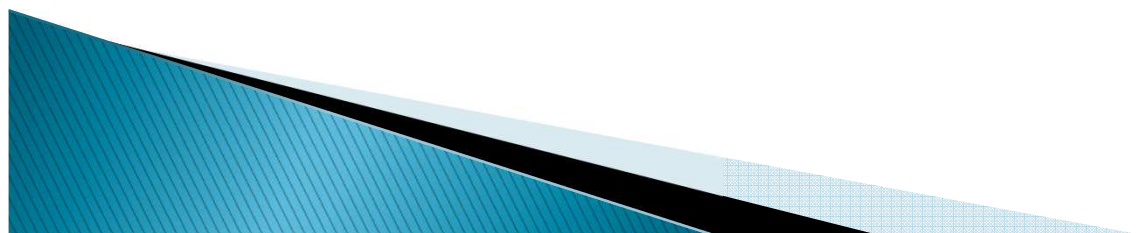
hodnoty a , b jsou vhodně zvolené konstanty, které se mohou lišit v závislosti na předpokládaném rozdělení velikosti kapek. Pro naše podmínky byly zvoleny $a=200$, $b=1,6$.



Radarová síť v České republice

(dle http://www.chmi.cz/meteo/rad/rad_main.html)

- ▶ Brdy EEC DSWR-2501C
- ▶ Skalky (Drahanská vrchovina): Gematronik Meteor 360 AC
- ▶ (do roku 2000): Praha-Libuš: MRL-5



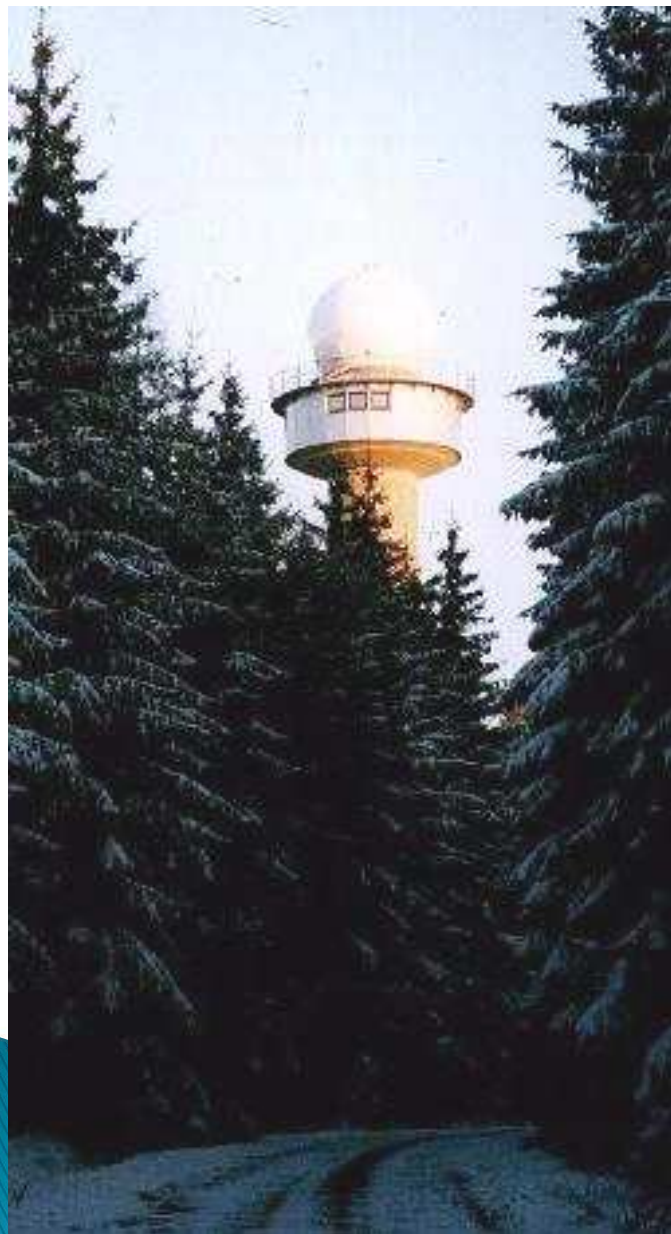
RADAR Brdy
V provozu od r. 2000



| | |
|--------------------------|------------------------|
| Stanoviště | Brdy-Praha |
| Oblast | střední Čechy |
| WMO indikativ | 11480 |
| Typ radaru | EEC DWSR-2501 C |
| Zeměpisná šířka | 49,658 N |
| Zeměpisná délka | 13,818 E |
| Nadmoř.výška | 860 m |
| Výška antény n.m. | 916 m |
| Interval měření | 10 min. |

RADAR SKALKY

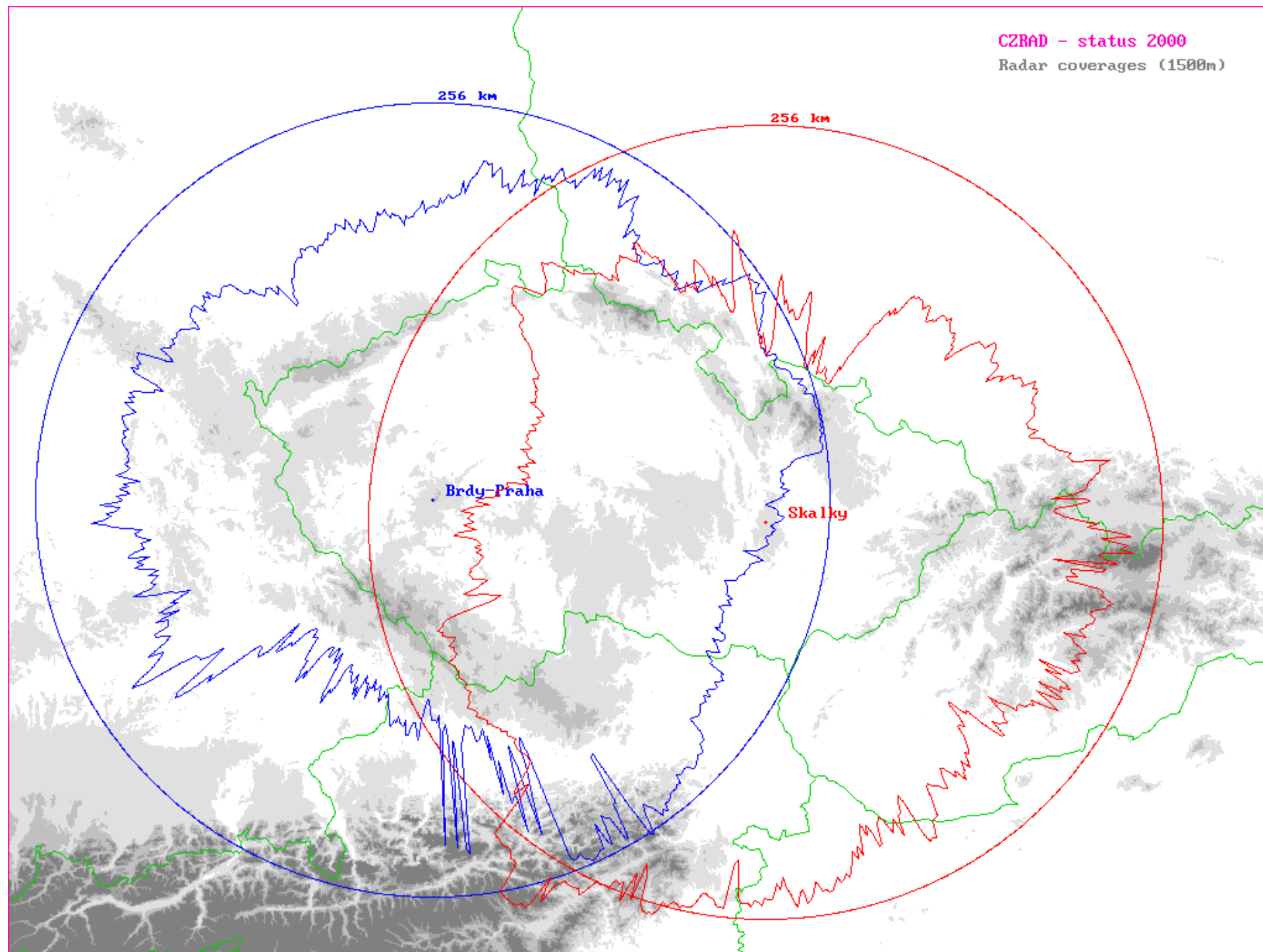
V provozu od r. 1995



| | |
|--------------------------|------------------------------------|
| Stanoviště | Skalky u Protivanova |
| Oblast | střední Morava |
| WMO indikativ | 11718 |
| Typ radaru | Gematronik METEOR 360AC |
| Zeměpisná šířka | 49,501 N |
| Zeměpisná délka | 16,790 E |
| Nadmoř.výška | 730 m |
| Výška antény n.m. | 767 m |
| Interval měření | 10 min. |

CZRAD - status 2000

Radar coverages (1500m)



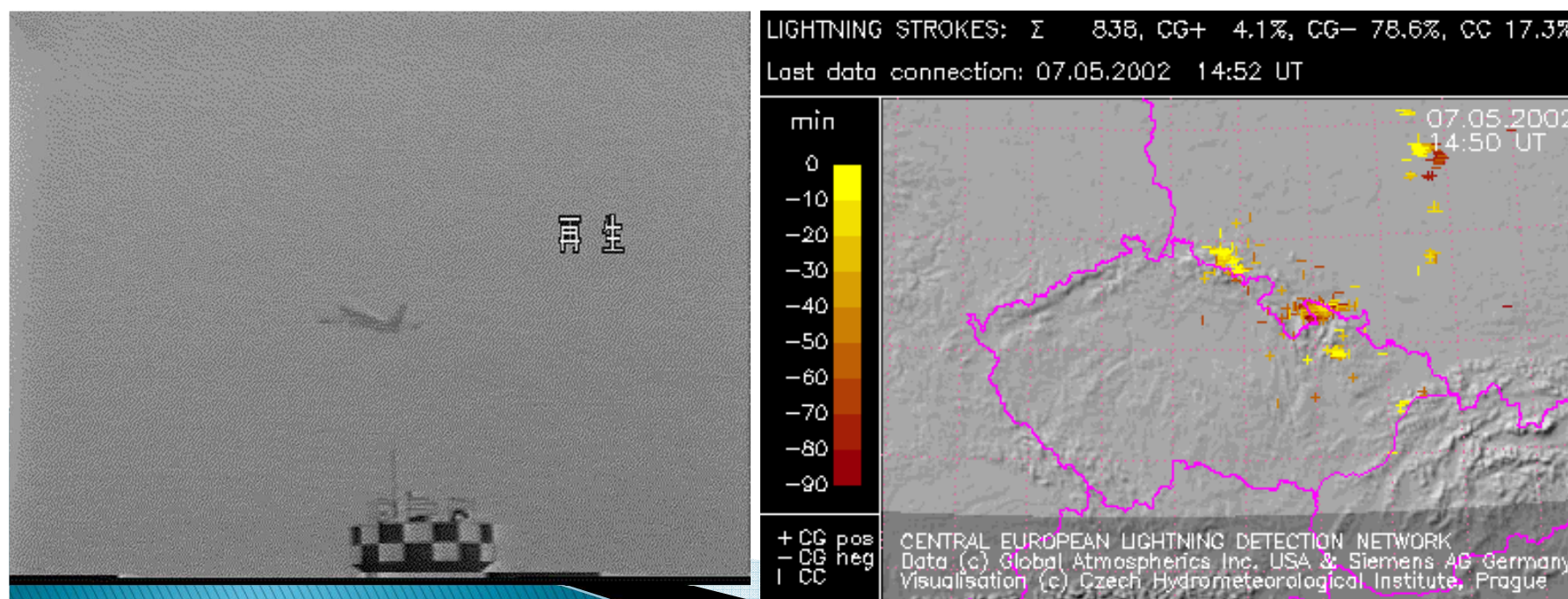
Použití radarů v meteorologii

- ▶ detekce srážek (oblaků)
- ▶ zjištění pohybu a vývoje oblačnosti
- ▶ zjištění struktury oblačnosti
- ▶ měření větru
- ▶ velmi krátkodobá předpověď
- ▶ odhady množství srážek



Metody detekce blesků

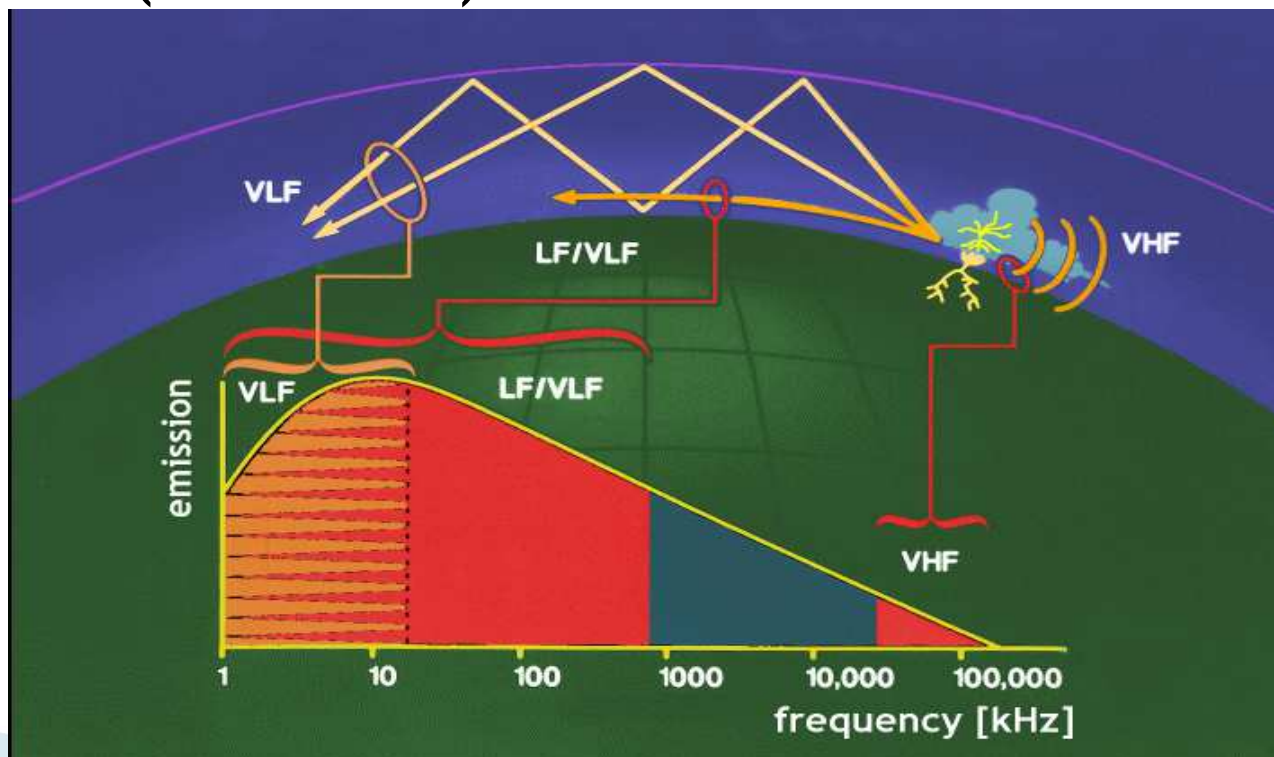
- ▶ Pomocí vhodně rozmístěných detekčních čidel se zachycuje elektromagnetické záření, které se vyzařuje při bleskovém výboji
- ▶ Čidla určí směr, ve kterém došlo k výboji, nebo dobu zachycení signálu synchronizovanou pomocí GPS. Informace z čidel jsou v reálném čase zasílány do zpracovatelského počítače, který je vyhodnotí a určí, zda šlo o blesk, a pokud ano, kde se vyskytl. Většinou je možno určit i typ blesku (mrak–mrak, mrak–země), polaritu a velikost elektrického proudu ve výboji.



Detekce blesků

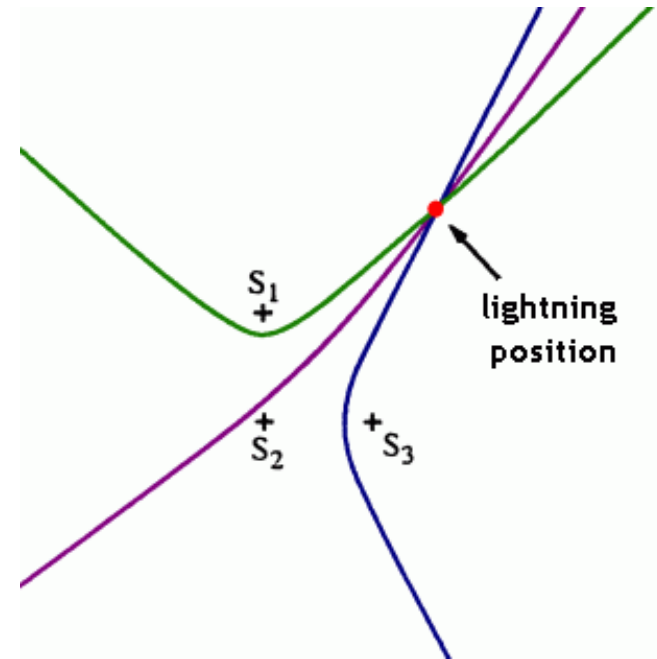
- ▶ Analýza elektromagnetického pole – lze v různých frekvenčních pásmech (VDV, DV, VKV)
- ▶ 1 sensor nebo (většinou) síť senzorů

Důležité: čím vyšší frekvence měření (kratší vlnová délka), tím větší citlivost na zakřivení zemského povrchu a orografii !!!



Principy lokalizace blesků

- ▶ Metoda *Time of arrival* (TAO)– porovnání přesného času detekce výboje na jednotlivých senzorech – synchronizace pomocí GPS
- ▶ je třeba detekce alespoň třemi senzory

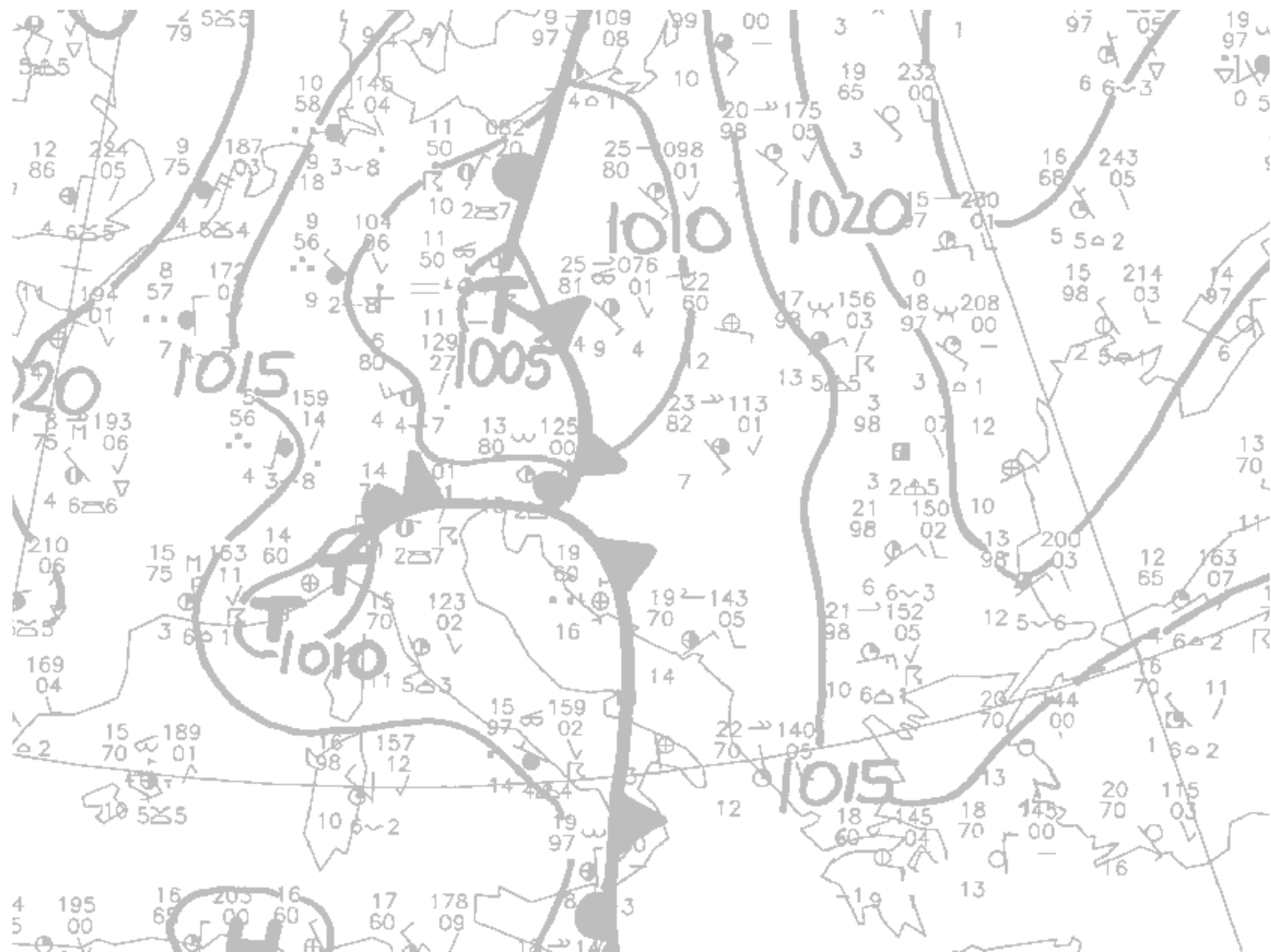


Metody předpovědi počasí

1 Norská (bergenská) škola

- rozvíjená především v první polovině 20. století.
- založená na teoretickém rozpracování termodynamiky a hydrodynamiky (aerodynamiky) vzduchových hmot, atmosférických front, tlakových níží a výší a všeobecné cirkulace atmosféry
- v současnosti je tato škola stále více nahrazována numerickým modelováním.

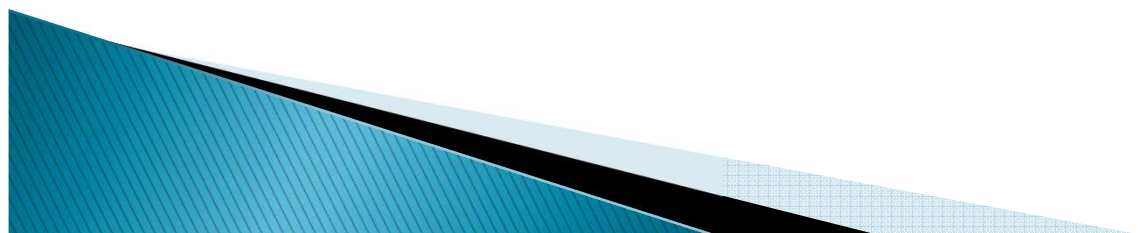




Metody předpovědi počasí

2 Numerické modelování (NWP – Numerical Weather Prediction)

- dominantní součást tvorby předpovědi počasí na 1–15 dnů
- umožněno pokrokem ve výpočetní a telekomunikační technice
- podnítilo vznik teorie deterministického chaosu



Metody předpovědi počasí

„Technologická linka “ předpovědi s pomocí numerických modelů:

- 1) Měření stavu atmosféry (600–800 aerologických stanic), zakódování do zpráv TEMP/BUFR apod., další informace z metod dálkové detekce (především z met. družic) a z pozemních měření (SYNOP/BUFR)
- 2) Pomocí telekomunikačních linek soustředění aerolog. údajů (zprávy TEMP/SYNOP/BUFR) v meteorologických centrech (Offenbach, Reading atd.)



Metody předpovědi počasí

„Technologická linka “ předpovědi s pomocí numerických modelů (pokrač.):

- 3) Výpočet budoucího stavu atmosféry v centrech pomocí NWP modelů na (super)počítačích
- 4) Rozesílání předpovědí prostřednictvím telekomunikačních linek
- 5) Zpracování těchto dat pomocí „malé“ výpočetní techniky (PC, popř. prac. stanice UNIX), po doplnění ostatními informacemi (aktuální pozorování, metody dálkové detekce, podnebné charakteristiky) vypracování předpovědi meteorologem.

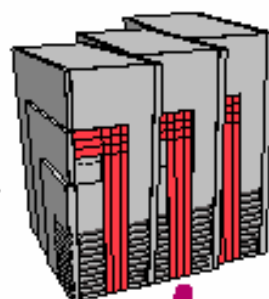


Schéma technologické linky předpovědi počasí

OBSERVATIONS



NUMERICAL MODEL



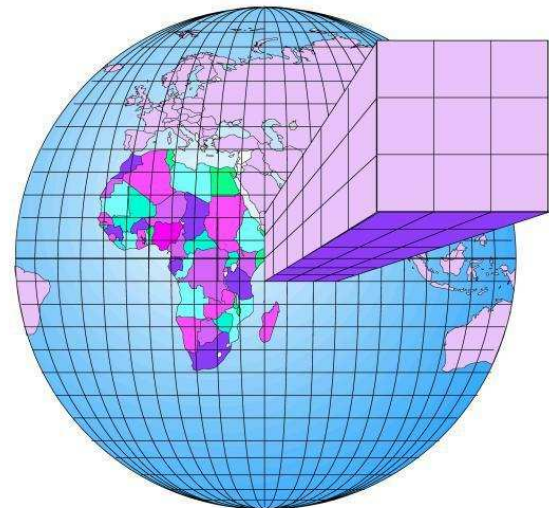
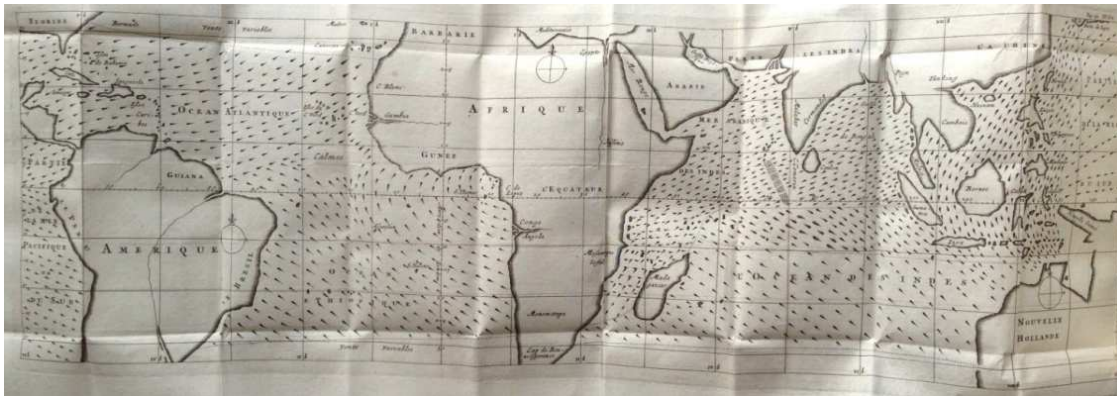
CUSTOMERS

HUMAN FORECASTER



Historie meteorologie a předpovědi počasí

- ▶ Od prvních záznamů až k numerickým modelům



Dávnověk meteorologie

- ▶ První záznam o počasí:
 - keramika z kultury Tell-halaf (3700–3500 př.n.l.) – obrázek oblaku, ze kterého prší
- ▶ Věda v našem pojetí – až ve starověkém Řecku
 - Aristotelés ze Stageiry – kniha *Metéorologika*
 - meteóra – věci nadzemské včetně hvězd, meteoritů apod.
 - ohnivá sféra nad vzdušným obalem



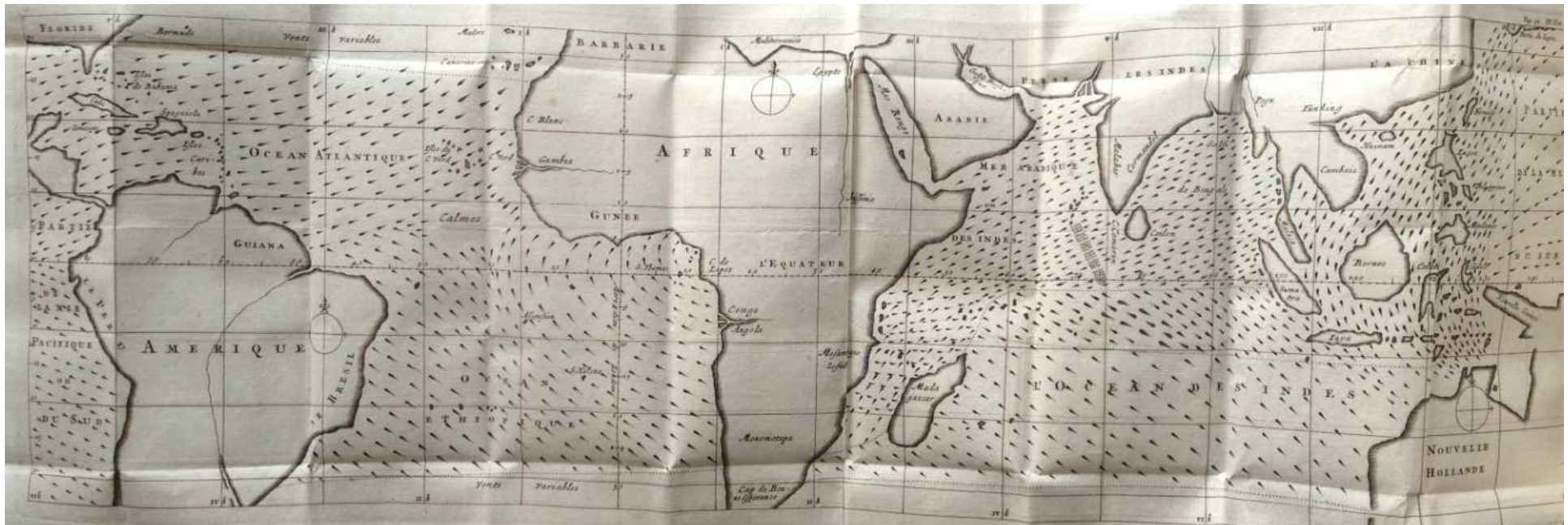
Meteorologie ve středověku

- ▶ Řecké kulturní dědictví převzali a rozšířili Arabové
 - zlepšili o nauce o optických jevech, poznali podstatu oběhu vody na zemi
 - Ibn al-Hajjam (Alhazen) – zakladatel moderní vědecké metody (11. stol., příčinou mj. desetileté domácí vězení)
- ▶ Evropská meteorologie do 15. stol. v úpadku, moderní vědecké metody až od 17. stol.



Počátky vědeckého přístupu v meteorologii od 17. stol

- ▶ Impuls k rozvoji věd o počasí – námořní plavby
 - První popis větrných systémů: Berndhard(us) Varen(ius) – 1622–1650
- ▶ První mapa větrů: Edmund Halley (1656–1742)
 - První meteorologická (klimatická) mapa



Meteorologie v 17. stol

- ▶ Vědecký výzkum v oblasti meteorologie v 17. stol v Itálii:
 - Galileo Galilei („měř všechno, co je měřitelné, a neměřitelné učiň měřitelným“)
 - Akademie pokusu (Accademia del Cimento), 1657 – Galileovi následníci, krátké trvání
- ▶ Klasická experimentální termika koncem 17.stol:
 - Boyle, Marriotte (stlačitelnost plynů, vztah mezi tlakem a objemem)



Historie meteorologie v 18. stol.

- ▶ 18. stol.: počátky meteorologických pozorování, mj. i v Rusku (Petr I vydává r. 1722 rozkaz vést meteorolog. pozorování)
- ▶ Mannheimská meteorologická společnost (Societas Meteorologica Palatina):
 - 14–39 stanic, měřících od roku 1780 do r. 1792 (včetně Prahy–Klementina)
 - Z ročenek vznikly posléze první mapy izoterem (A. von Humboldt) a odchylek tlaku vzduchu od normálu (H.W. Brandes)



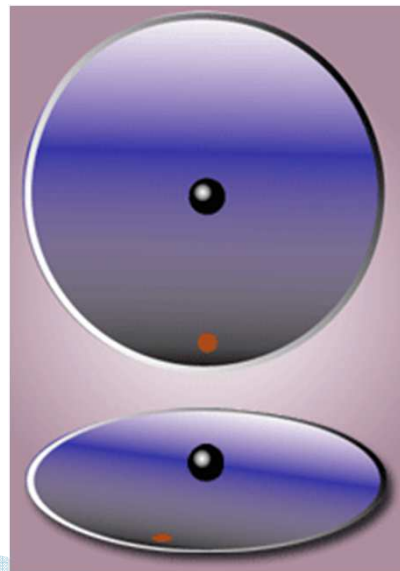
Historie meteorologie v 18. stol.

- ▶ Začíná studium atmosférické elektřiny, objevují se první pokusy s hromosvody (B. Franklin, P. Diviš, experimenty G.W. Richmanna, teorie M. L. Lomonosova)



Historie meteorologie v 19. stol.

- ▶ Pokračování nauky o termice (Dalton, Gay-Lussac, Clapeyron, Poisson)
- ▶ Proudění v atmosféře: Pasáty vysvětlil George Hadley, uchylující sílu zemské rotace Gaspard-Gustave de Coriolis



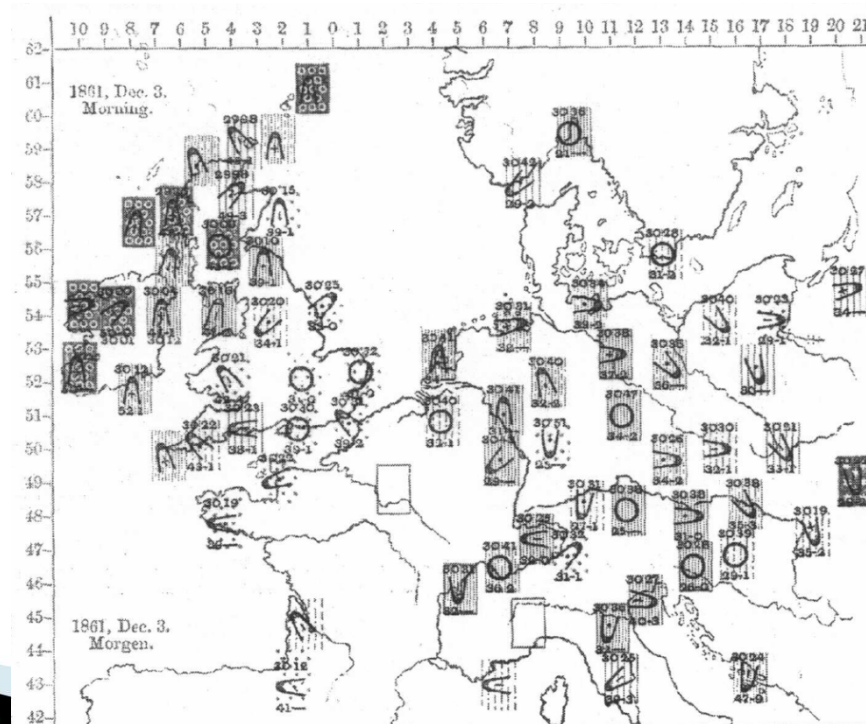
Historie meteorologie v 19. stol. – pokr.

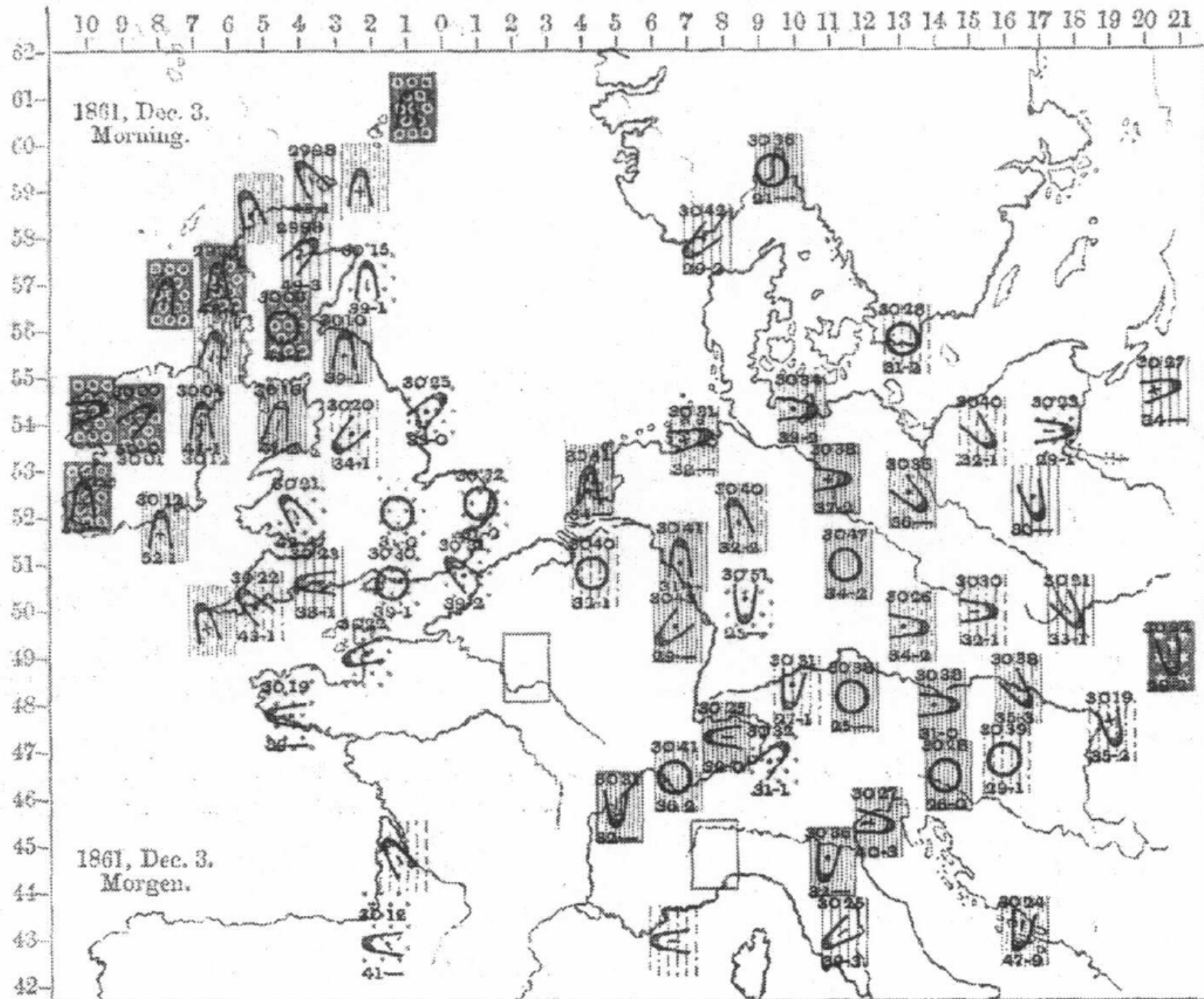
- ▶ Vliv vzduchoplavby:
 - měření tlaku vzduchu, teploty a vlhkosti ve výškách
 - vznik aerologie (nauky o volném ovzduší)
 - 1902: objev inverze ve výškách kolem 10 km – tropopauzy



Historie meteorologie v 19. stol. – pokr.

- ▶ Vznik telegrafu: možnost výměny meteorologických informací
 - 1863 – první synoptická mapa zobrazující počasí ve stejný čas – Francis Galton





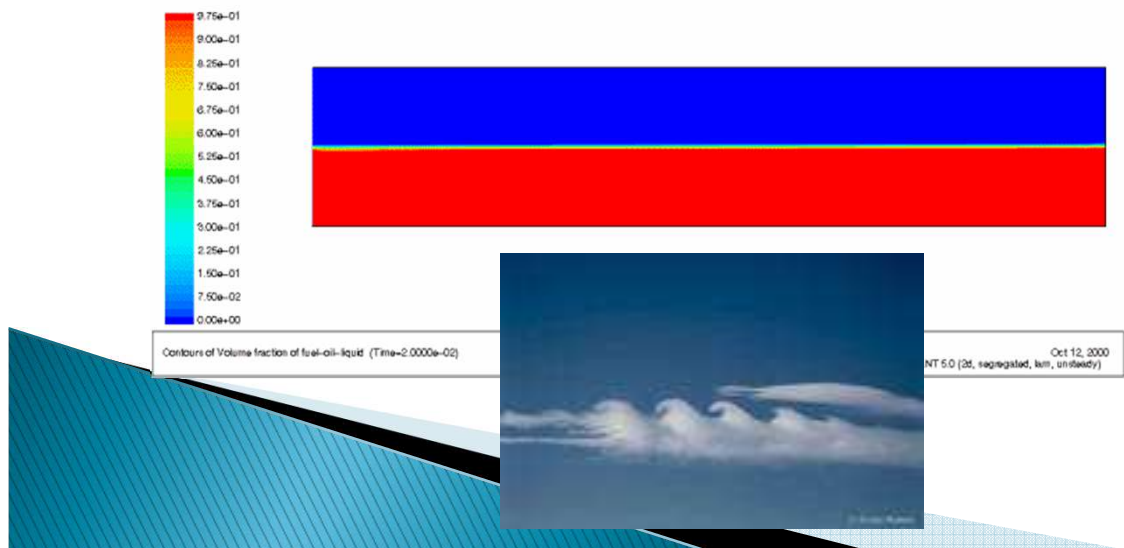
Historie meteorologie v 19. stol. – pokr.

- ▶ **Viceadmirál Robert FitzRoy**
 - kapitán HMS Beagle (Ch. Darwin)
 - 1854 – jmenován „Meteorologickým zástupcem pro obchodní komisi“
 - zorganizoval meteorologická měření v přístavech
 - od roku 1860 publikovány meteorologické předpovědi v listech The Times
 - Zorganizoval varovnou službu pro loďstvo (spory s majiteli rybářských flotil)



Historie meteorologie v 19. stol. – pokr.

- ▶ Hermann von Helmholtz (1821–1894)
- ▶ Pokládán za jednoho z „otců zakladatelů moderní meteorologie
- ▶ Vypracoval teorém cirkulace nestlačitelných tekutin (kapalin)
- ▶ Kelvin–Helmholtzovy vlny



Rozvoj meteorologie na přelomu 19. a 20. století

- ▶ Vilhelm Bjerknes (1862 –1951)
 - 1904 práce o předpovědi počasí s použitím metod mechaniky a fyziky
 - Za hlavní úkol a cíl meteorologie považoval *početní (numerickou) předpověď počasí*
 - Jeden ze zakladatelů tzv. norské meteorologické školy
 - Založil mj. teorii vzduchových hmot
- ▶ V USA měl podobný vliv a názory Cleveland Abbe



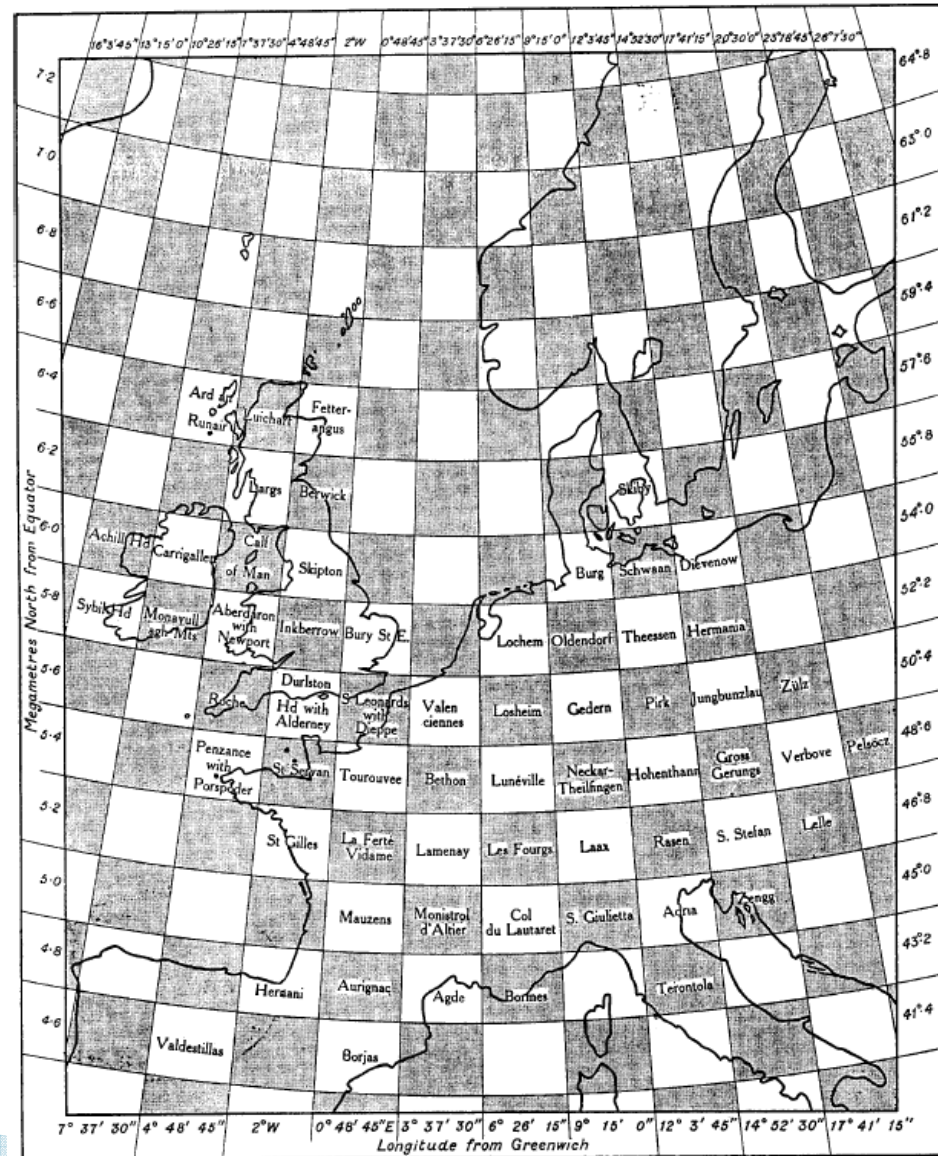
První pokus o početní (numerickou) předpověď počasí

- ▶ Lewis Fry Richardson – počátek 20. stol.
- ▶ Zjednodušil soustavu tzv. základních rovnic a počítal jejich integraci numerickou (grafickou) metodou
 - Počítal 6hodinovou předpověď pro určitý termín roku 1910 celkem 10 let, publikace v roce 1922
- ▶ Výsledky:
 - předpovídaná tlaková tendence:
 - 145 hPa/6 h
 - skutečná tlaková tendence:
 - -1 hPa/6 h



První pokus o početní (numerickou) předpověď počasí

▶ Lewis Fry Richardson

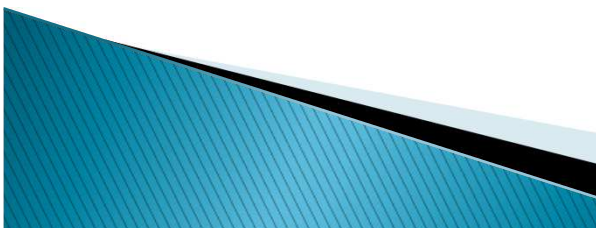


Richardsonův amfiteátr: 64000 '(lidských) počítačů',
komunikace pomocí světelného paprsku, řídícípult



Richardsonův amfiteátr

- ▶ Čtyři zkušení pracovníci řídicího pultu shromažďují předpověď počasí tak rychle, jak je počítána, a posílají jí potrubní poštou do speciální místnosti. Tady bude kódována a telefonována na rádiovou vysílací stanici (*výpočetní svita, prognóza, média, ...*)
- ▶ Papíry s výpočty budou uschovány ve sklepních prostorách (*archív*).
- ▶ V sousední budově bude oddělení výzkumu, kde se budou vymýšlet zlepšení systému. Ale než jakákoliv změna bude udělána v komplexní rutině výpočetního amfiteátru, bude muset být podrobena řadě experimentů (*paralelní testy*).
- ▶ Venku budou hřiště, domy, hory a jezera, protože bylo myšleno na ty, kteří předpovídají počasí, aby si jej mohli užívat plnými doušky.



Proč Richardsonův pokus selhal?

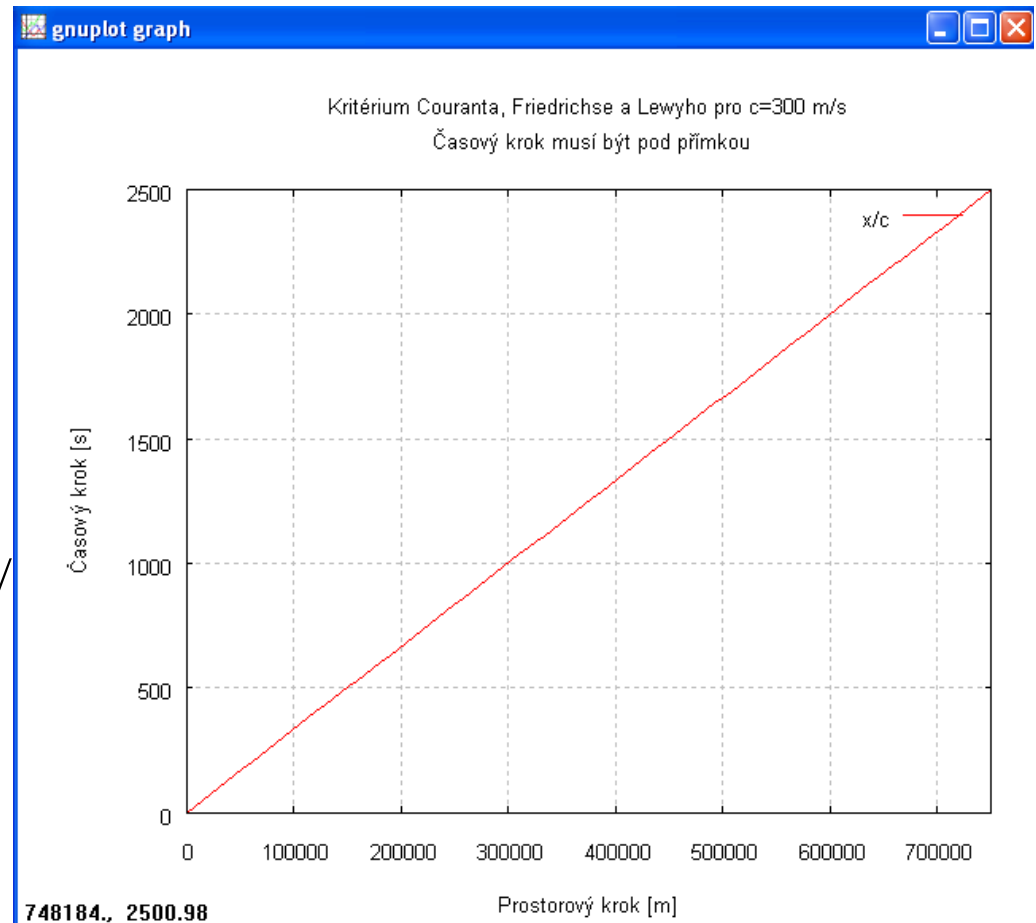
- ▶ Porušení důležitého vztahu mezi délkou časového a prostorového kroku (kritérium Couranta, Friedrichse a Lewyho, zkráceně CFL kritérium)

$$\frac{d}{\Delta t} \geq c, \quad \Delta t \leq \frac{d}{c}$$

d - prostorový krok

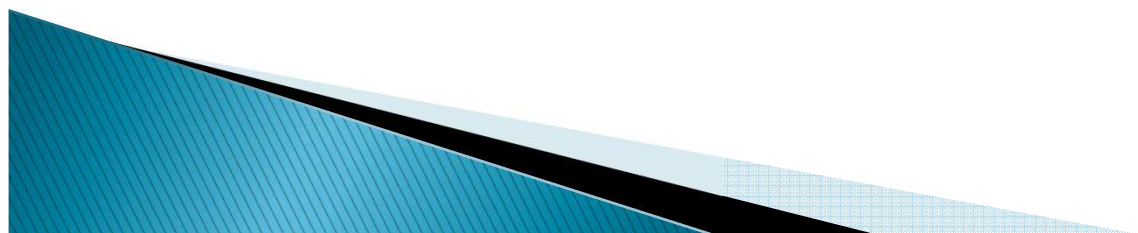
t - časový krok

c - max. rychlost šíření vln
v daném prostředí (cca 300 m/



Uskutečnění digitálního snu ...

- ▶ 1946 – Ústav pokročilých studií v Princetonu ohlásil vývoj počítače s *interní pamětí* (!)
 - Vedoucí projektu: John von Neumann
 - První setkání s meteorology:
 - Nadšení, ale i skepse vzhledem k publikovanému Richardsonovu pokusu
 - Zpoždění projektu (i konstrukce vlastního počítače), narůstání skepse
- ▶ Změna v roce 1948: příjezd Julia Charneyho



Uskutečnění digitálního snu ...

► Jule Charney

- Zjednodušení modelu (barotropní model)
- Využití zkušeností Richardsona
- Namísto počítače v Princetonu byl využit pomalejší ENIAC
 - programování ve strojovém kódu
 - děrná páska
 - rozlišení 750 km, časový krok 30 minut

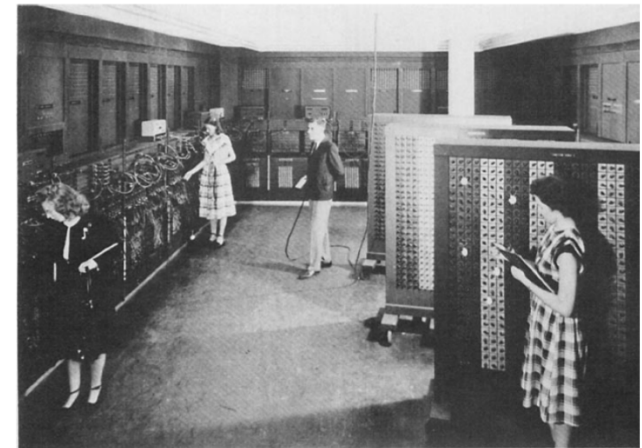
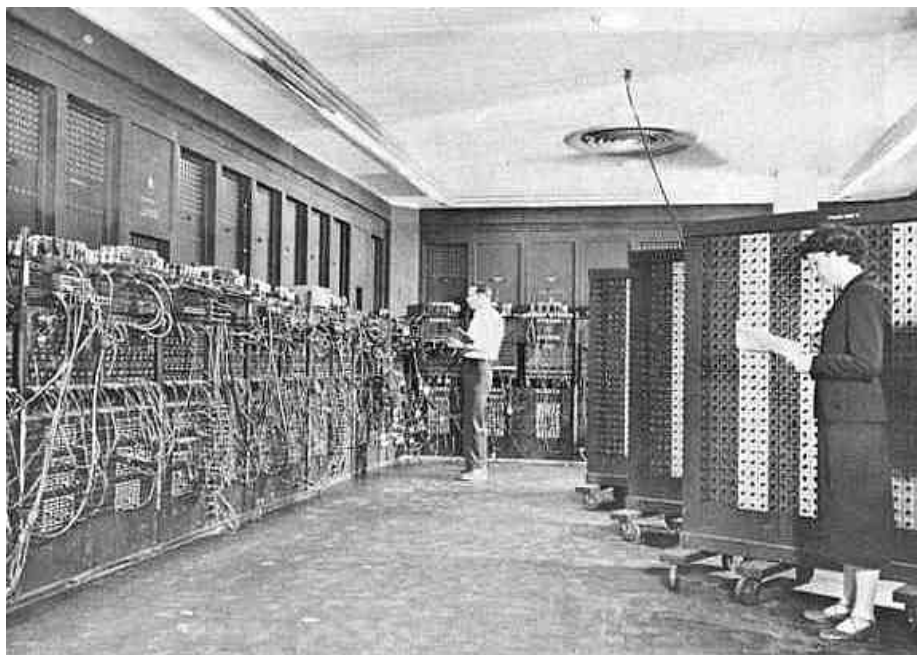


FIG. 4. Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC), 7 July 1948.
Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Aberdeen, Maryland.

Uskutečnění digitálního snu ...



- ▶ ENIAC
- ▶ Electronic Numerical Integrator And Calculator at the Army's Aberdeen Proving Grounds (na obr. je pouze část). Jeho 19,000 elektronek, 1,500 relé, stovky tisíc odporů, kondenzátorů a dalších součástek spotřebovalo téměř 200 kilowattů el. příkonu
- ▶ dnešní notebook spotřebuje cca 0,02% jeho příkonu .

Uskutečnění digitálního snu ...

► Duben 1950

- První numerické předpovědi (mj. k radosti L. F. Richardsona):
 - Tzv. barotropní model (hustota vzduchu závisí pouze na tlaku)
 - Předpověď na 24 hodiny trvala ...
... 24 hodiny ...
- Pouze předpovědi hladiny 500 hPa (přibližně tlakového pole v 5,5 km)
 - Nebyly nejpresnější ...
... ale aspoň vypadaly jako mapy reálných meteorologických polí

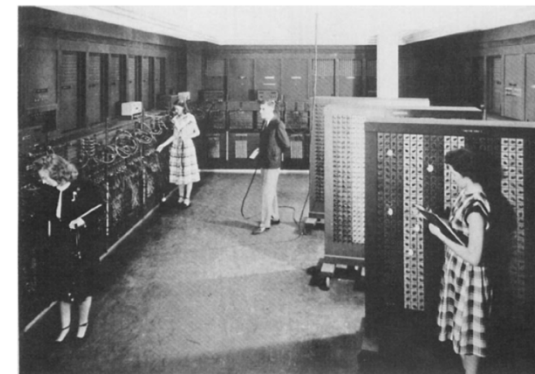
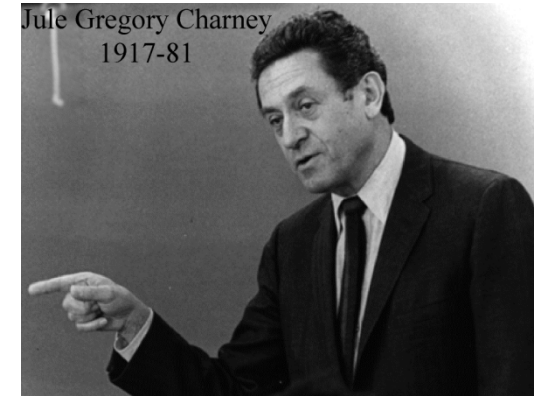


FIG. 4. Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC), 7 July 1948.
Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Aberdeen, Maryland.

Uskutečnění digitálního snu ...

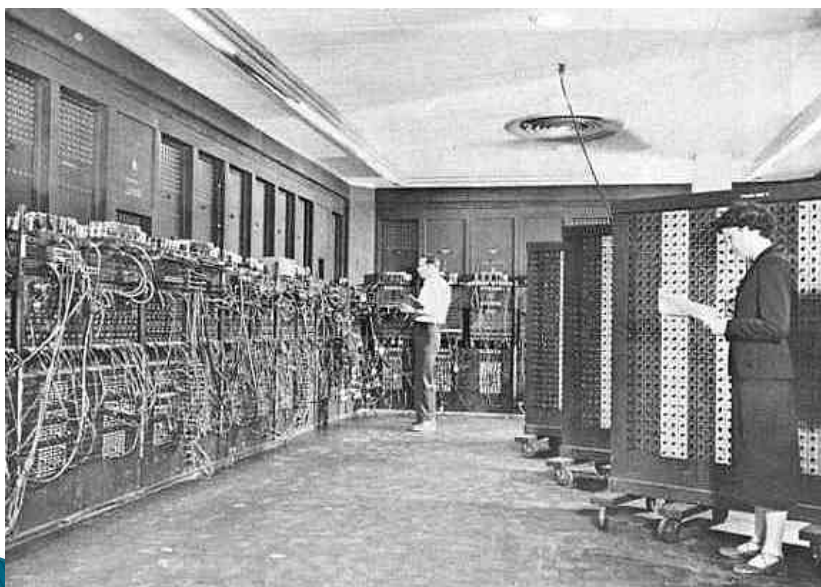
► Další rozvoj

- Tzv. baroklinní modely (hustota vzduchu závisí na tlaku i teplotě)
- Zachycují vývoj tlakových níží
- První úspěchy:
 - předpověď na 6.11.1953 – úspěšná simulace (předpovědi) sněhové bouře v oblasti Washingtonu D.C.
- Stále pouze experimenty, rutinně pouze (barotropní) předpovědi hladiny 500 hPa (přibližně tlakového pole v 5,5 km)



Uskutečnění digitálního snu ...

- ▶ Rozvoj numerického modelování od experimentů z 50. let do až do dnešní podoby rutinního používání numerických modelů



Vývoj globálních NWP modelů v letech 1950-2000

| | Type of Model | Computer performance (MIPS) | Dynamic skill (days) | Numerical technique | Resolution | Parametrization | Model output |
|----------------|--|-----------------------------|---|---|--------------------------|---|--|
| 1950's | Barotropic, regional | 0.01 | 1-2 (barotropic developments) | Finite difference | 300 km, 1 level | | 500 hPa height |
| 1960's | Baroclinic, quasi-geostrophic, hemispheric | 1 | 2-3 (baroclinic developments) | | 150-300 km, 2-5 levels | Simple topography, land/sea, moisture | 1000 & 500 hPa height and thickness |
| 1970's | | 10 | 4-5 (large scale flow) | Semi-implicit, Finite difference Spectral methods Semi-Lagrangian | 100-150 km, 6-10 levels | Convection, cloud, radiation, friction, diffusion | Most atmospheric parameters, incl. 2m T, 10m wind, clouds, rain, snow, showers |
| 1980 | Primitive equations | 50-100 | 5-6 (blockings and cut-offs) | | 50-100 km, 10-20 levels | Real clouds | |
| 1990's 2000 | Coupled models, EPS | > 500 | 6-7 (up to 10 days in the stratosphere) | | 15-50 km 30-50 levels | Fog | Ozone Ocean waves |

Historie NWP modelů (pokrač.)

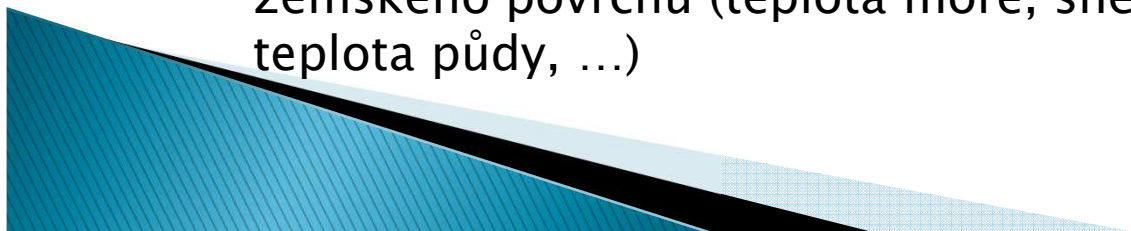
Vývoj v ČR:

MF UK, prof. Brandejs, 50. léta – vypracovaly se první studie týkající se problematiky numerického . modelování (Kibelův model, Sutcliffova vývojová teorie atd.). Na konci 50. a během 60. let se objevily první pokusy o rutinní výpočty, problémem byla omezenost výpočetní techniky (Ural 1 ...). V 70–80. letech došlo nejdříve zastavení výpočtů, poté na konci 80. let jejich obnovení – zavedl se model ČHMÚ. Na počátku 90. let se ČSFR a později ČR aktivně zúčastnila vývoje moderního numerického modelu ALADIN.



Stavba předpovědního modelu

- ▶ Dynamické jádro: efektivita a přesnost řešení
 - Rovnice popisující proudění pro adiabatické procesy: pohybové rovnice (Newtonův zákon zachování hybnosti), termodynamická rovnice (energie), rovnice kontinuity (hmota);
- ▶ Fyzika: kvalita a fyzikální realismus řešení
 - Procesy diabatické (hypotézy termodynamiky), ireversibilní, parametrizace nerozlišených procesů;
- ▶ Spodní okrajová podmínka
 - Modelování zemského povrchu (půda, jezera, oceán, biosféra) a interakce s atmosférou;
- ▶ Asimilace pozorovaných dat: počáteční podmínka
 - Analýza současného stavu atmosféry (tlak, vítr, teplota, vlhkost) a zemského povrchu (teplota moře, sněhová pokrývka, vlhkost a teplota půdy, ...)



Numerické modelování

Objektivní analýza, asimilace dat

- jako tzv. předběžné pole se používá výstup z předchozího běhu modelu (obvykle výstup 6h, případně 12h starý), do kterého se matematickými technikami zavádějí nově naměřené hodnoty a pole meteorologických veličin se tímto opravuje.
- současný trend: asimilace dat mimo standardní pozorovací termíny (např. z letadel, družic s polární drahou atd.)



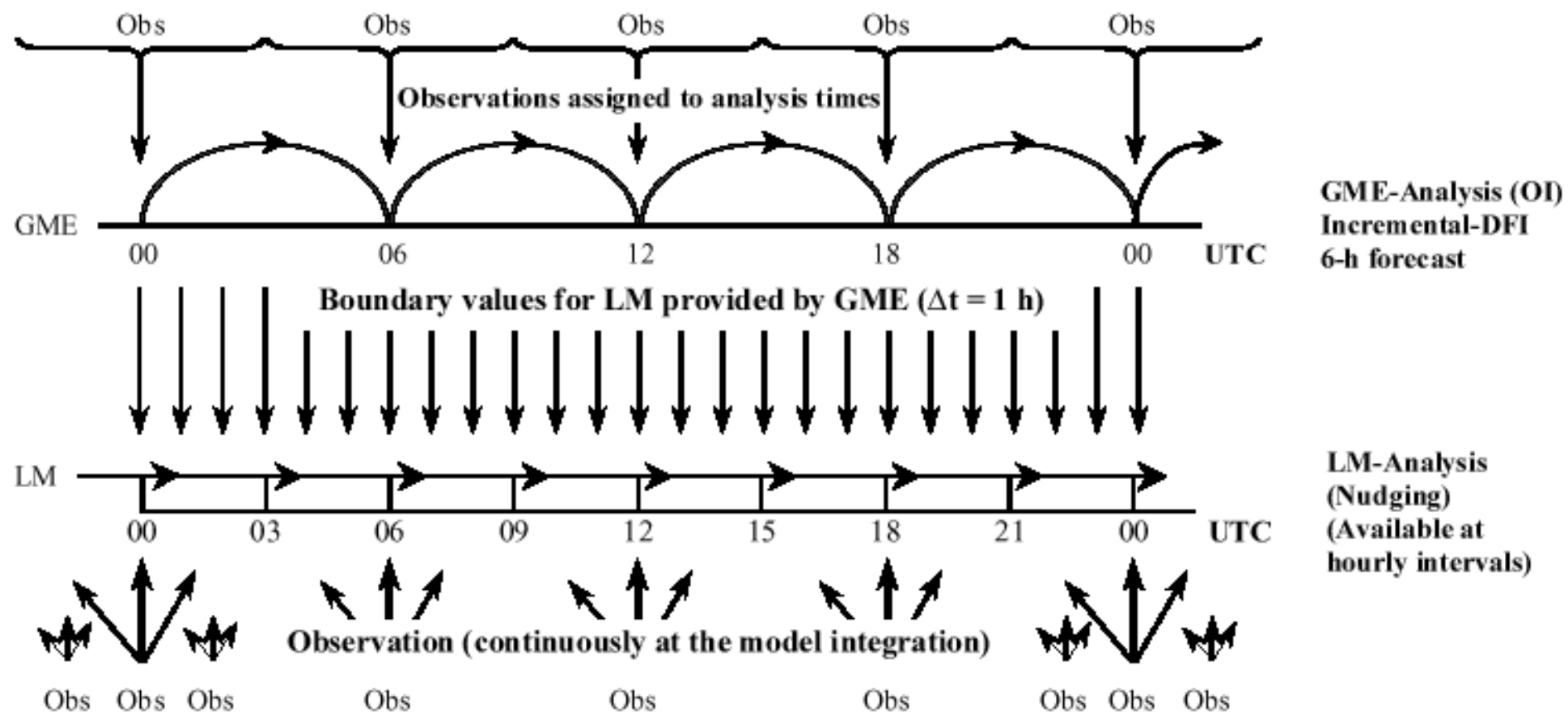


Fig. 5.1 4 dim data assimilation for GME and LM

Základní rovnice

Pohybové rovnice (rovnice impulsu, dynamická část modelu):

$$\frac{d\vec{v}}{dt} + 2\vec{\Omega} \times \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} + \vec{F}$$

\vec{v} - vektor větru

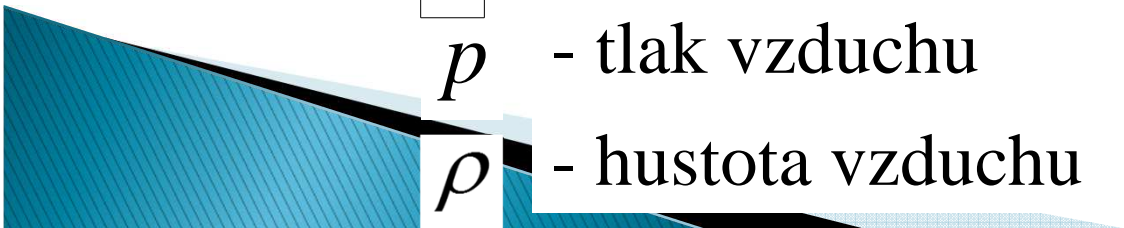
\vec{g} - gravitační zrychlení Země

$\vec{\Omega}$ - úhlová rychlost rotace Země

\vec{F} - síla tření (včetně vnitřního tření)

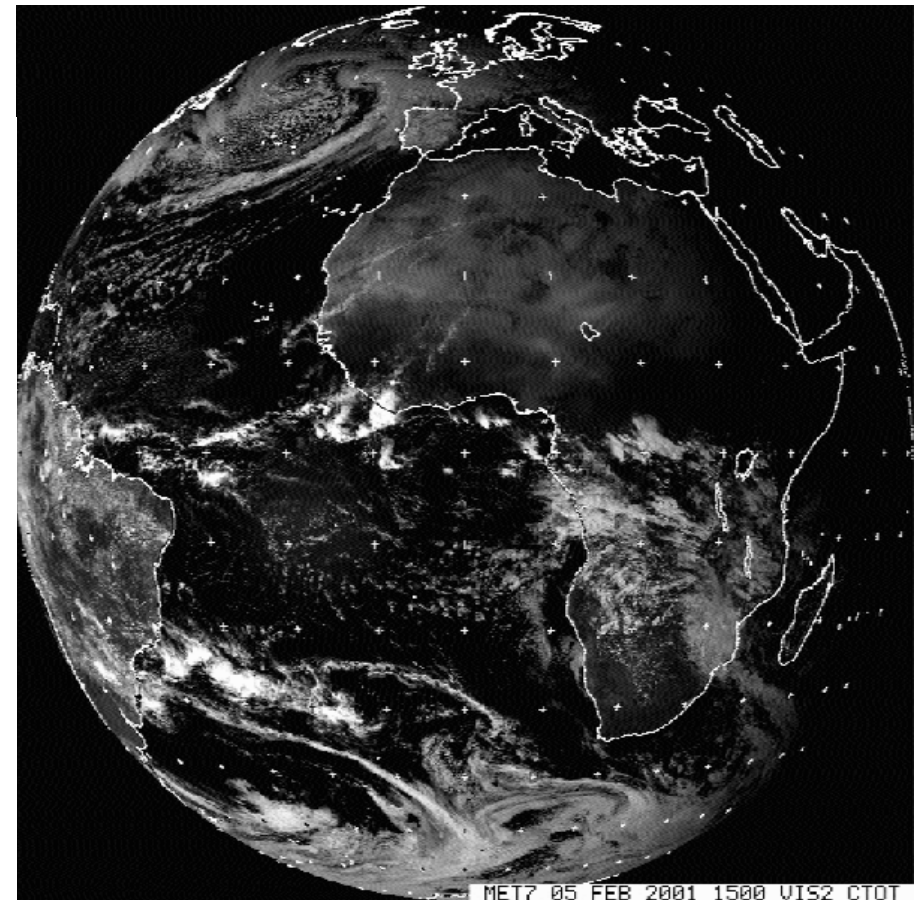
p - tlak vzduchu

ρ - hustota vzduchu



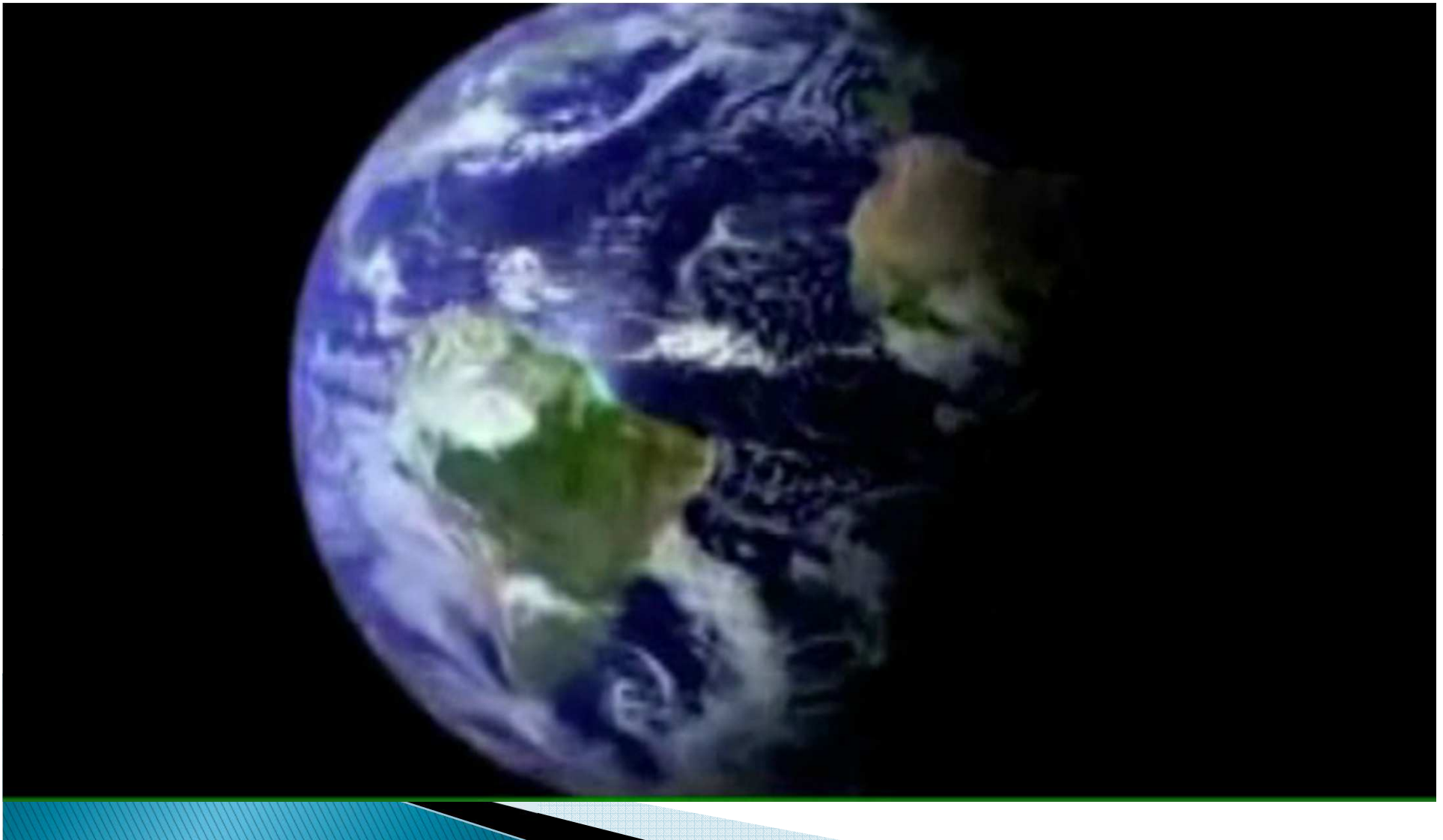
Uchylující síla zemské rotace (Coriolisova síla)

- ▶ Vzdušná částice je při svém pohybu uchylována na severní polokouli doprava (na jižní polokouli doleva) vlivem otáčivého pohybu Země.
- ▶ Síla tlakového gradientu spolu s uchylující silou zemské rotace a silou tření (vazkosti) vytváří prostorové pole větru



Coriolisova síla – ilustrace


$$\frac{d\vec{v}}{dt} + 2\vec{\Omega} \times \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} + \vec{F}$$



Základní rovnice

Rovnice kontinuity

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{v} \nabla \rho = -\rho \nabla \vec{v}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} = \frac{d\rho}{dt} = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$


Základní rovnice

První věta termodynamická,
přepsaná do následujícího tvaru:

$$c_p \frac{dT}{dt} = \alpha \omega + F_T$$

T - teplota vzduchu [K]

C_p - měrné teplo při konstantním tlaku

$\omega = \frac{dp}{dt}$ - generalizovaná vertikální rychlost

α - měrný objem vzduchu

F_T - dodaná tepelná energie



Základní rovnice

Stavová rovnice:

$$p\alpha = RT$$

$R = 287 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ - plynová konstanta pro suchý vzduch.

Rovnice bilance vodní páry (rovnice kontinuity vodní páry):

$$\frac{dQ}{dt} = F_Q$$

Q - směšovací poměr

(hmotnost vodní páry / hmotnost suchého vzduchu)

F_Q - změna množství vodní páry způsobená výparem
nebo kondenzací vody.

Rovnice energetické bilance

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \nabla T = SW \updownarrow + LW \updownarrow + SH + LH + Conv(T)$$

$SW = f(\text{clouds}, \text{aerosols}, \dots)$ - krátkovlnné záření

$LW = f(T, q, CO_2, GHG \dots)$ - dlouhovlnné záření

SH - cítěné teplo

LH - latentní teplo

$Conv(T)$ - efekt konvekce



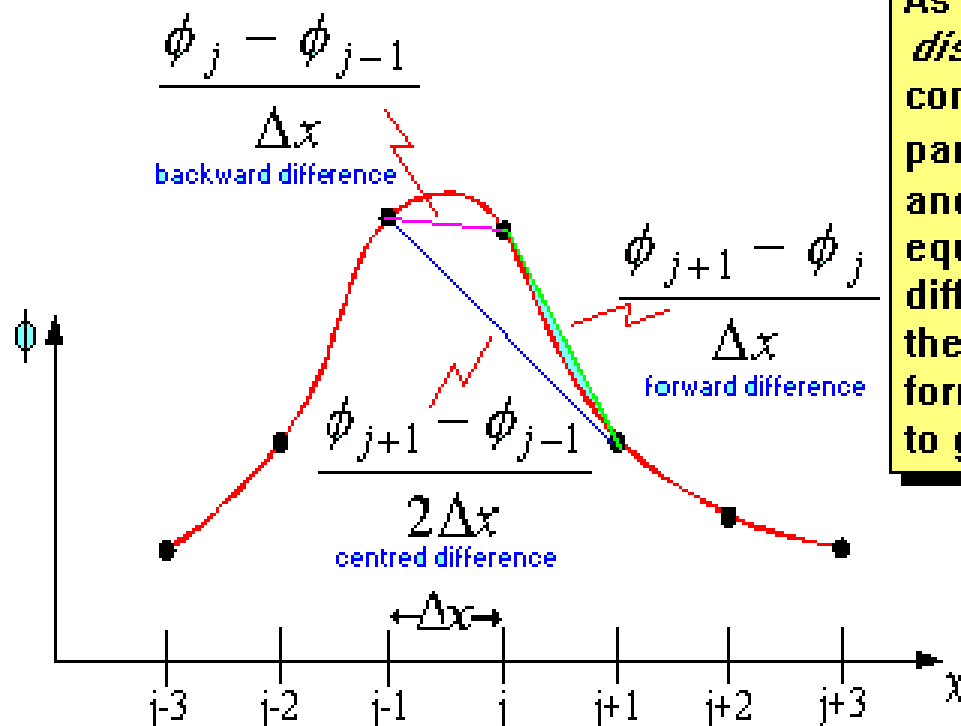
Integrace základních rovnic

- ▶ pouze numericky:
 - 1) metodou konečných diferencí
 - 2) spektrálními metodami



Metoda konečných diferencí

Meteorologické veličiny a jejich změny (derivace) v prostoru jsou vyjádřeny konečnými rozdíly:



As a first step in the numerical representation, or *discretization*, of the linear advection equation, consider the geometrical representation of a parameter ϕ varying in the x direction (red curve) and grid point values (black dots). $\partial\phi/\partial x$ is equal to the slope of the red line, whilst finite difference estimates are given by the slopes of the straight lines marked and given by the formulae below. Click on the formula which seems to give the most accurate estimate of $\partial\phi/\partial x$.

Centred differences are generally more accurate than forward or backward differences. Taylor series expansions may be used to investigate the nature of the errors involved in these approximations, and to derive other approximations.

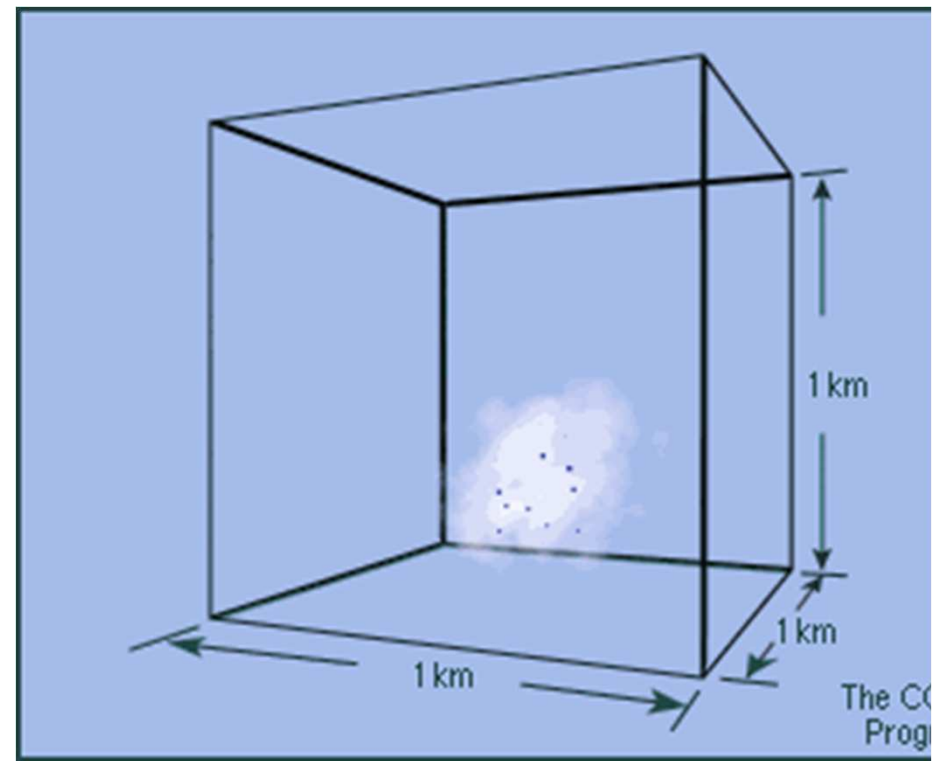
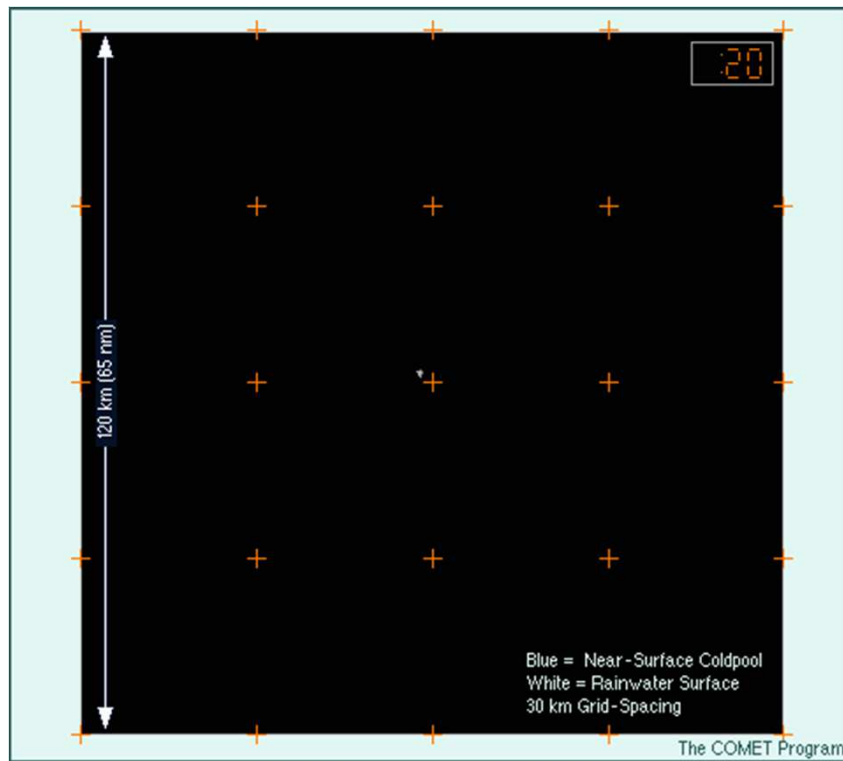
Spektrální metody

- ▶ proměnné se reprezentují na základě konečného, diskrétního Furierova rozvoje (což způsobuje jistou chybu)
- ▶ v současné době převažují nad metodami konečných diferencí

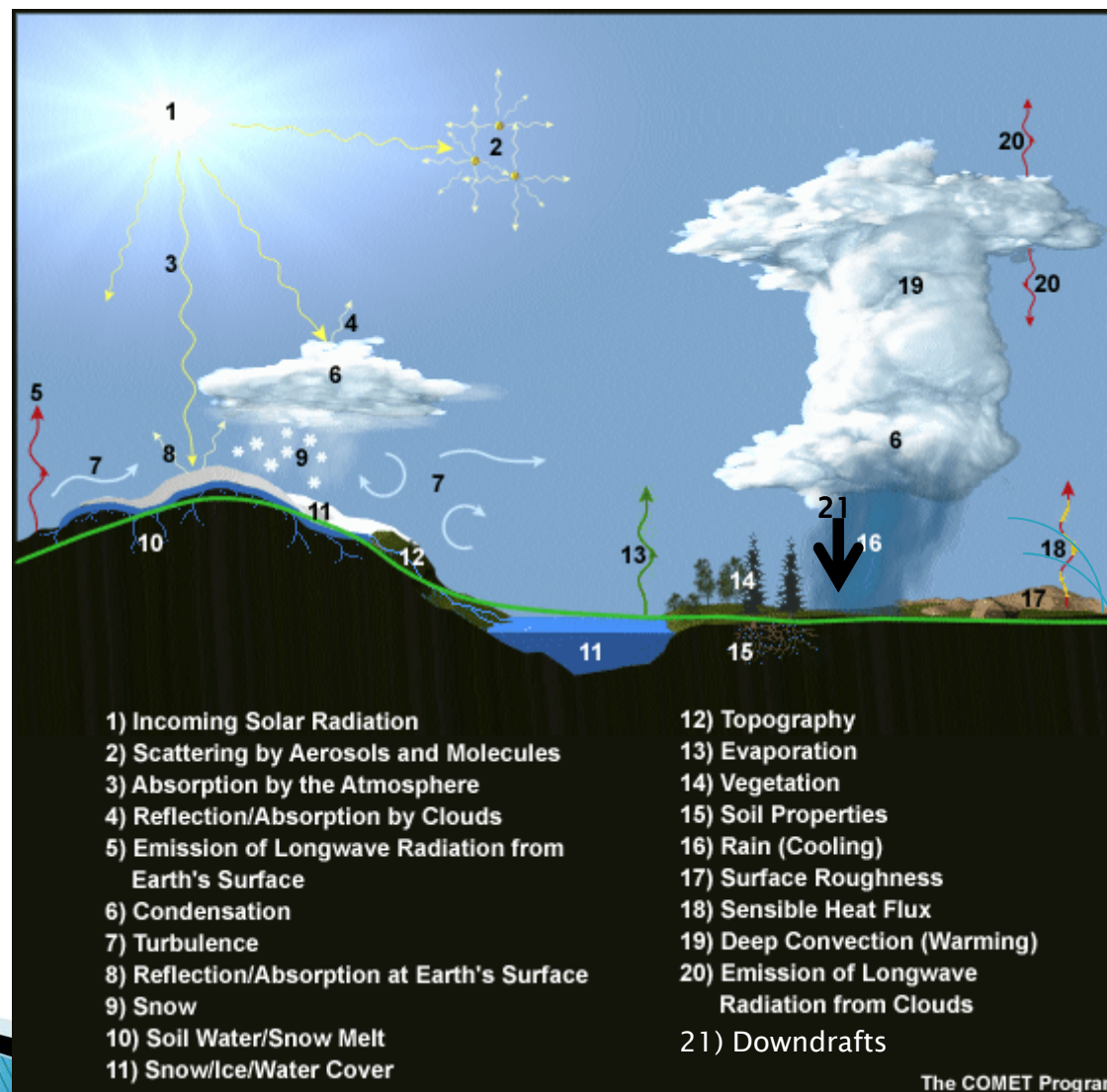


Fyzikální parametrizace

- U „subgridových“ procesů



Co se většinou parametrizuje



Globální modely, LAM modely

- ▶ Globální modely
- ▶ Local Area Model – LAM modely, modely na omezené oblasti; okrajové podmínky se přebírají z globálních modelů
- ▶ V současné době jsou typické tyto série modelů: Globální model na H+0–168 h, LAM model s jemným rozlišením na H+48 h



Unified Model UK

MetOffice

(stav v r. 2008)



Main Operational Model Configurations

| | Global | NAE | UK 4km |
|-----------------|---|-------------------------|--------------------------|
| Resolution | 0.5625° x 0.375° (~40 km in mid-lats). | 0.11° x 0.11° ~12 km | 0.036° x 0.036° ~4 km |
| model size | 640 x 481 | 600 x 360 | 288 x 360 |
| Model Levels | 50 lid ~63 km | 38 lid ~39 km | 38 lid ~39 km |
| Forecast length | 144 hrs | 48 hrs | 36 hrs |

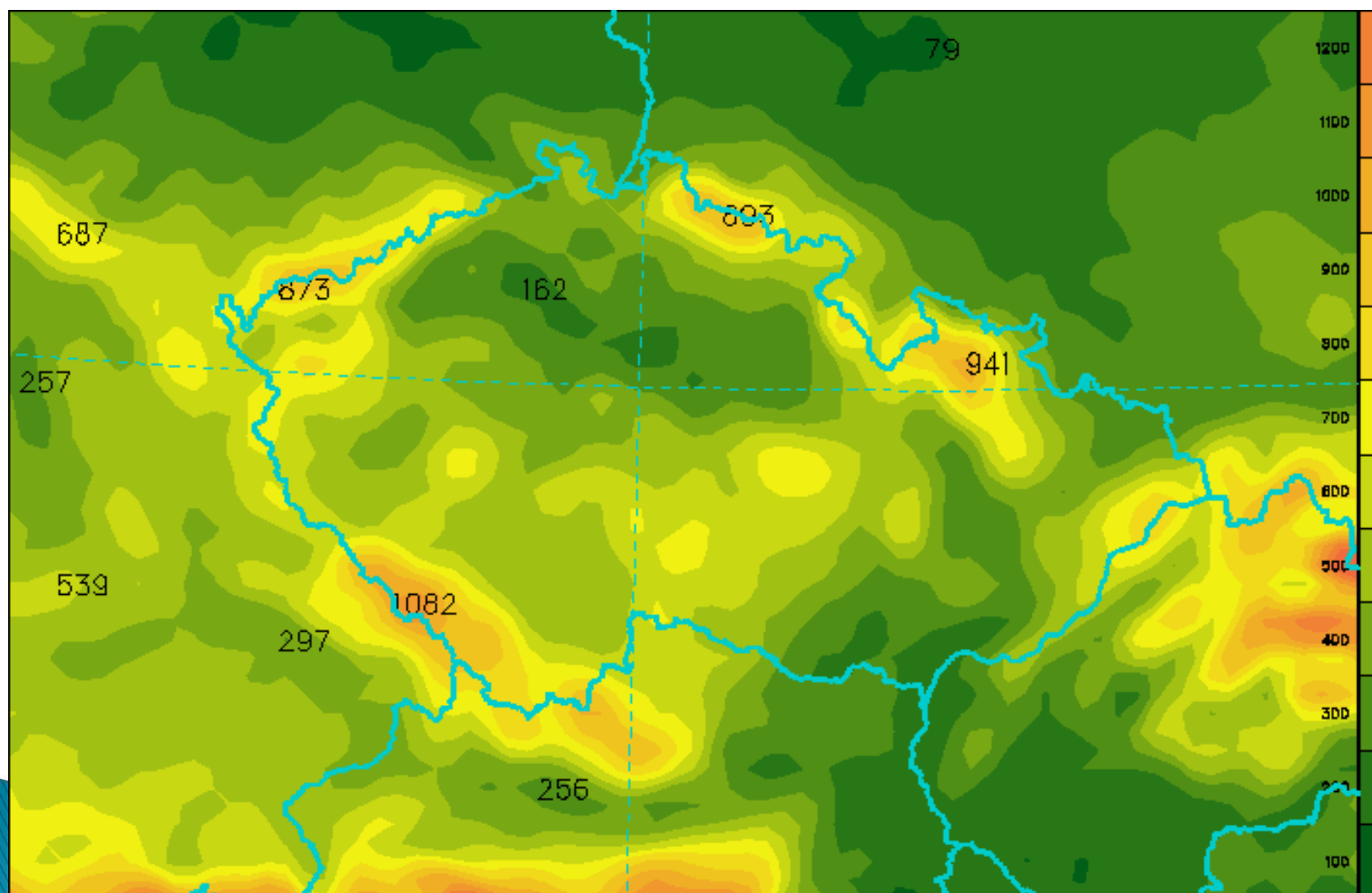
ALADIN

- ▶ Mezinárodním týmem byl pod patronací METEO France vyvinut LAM model ALADIN, který se nyní využívá též Českým hydrometeorologickým ústavem
- ▶ Horizontální rozlišení: 4,7 km (od října 2010)
- ▶ Počet hladin: 87



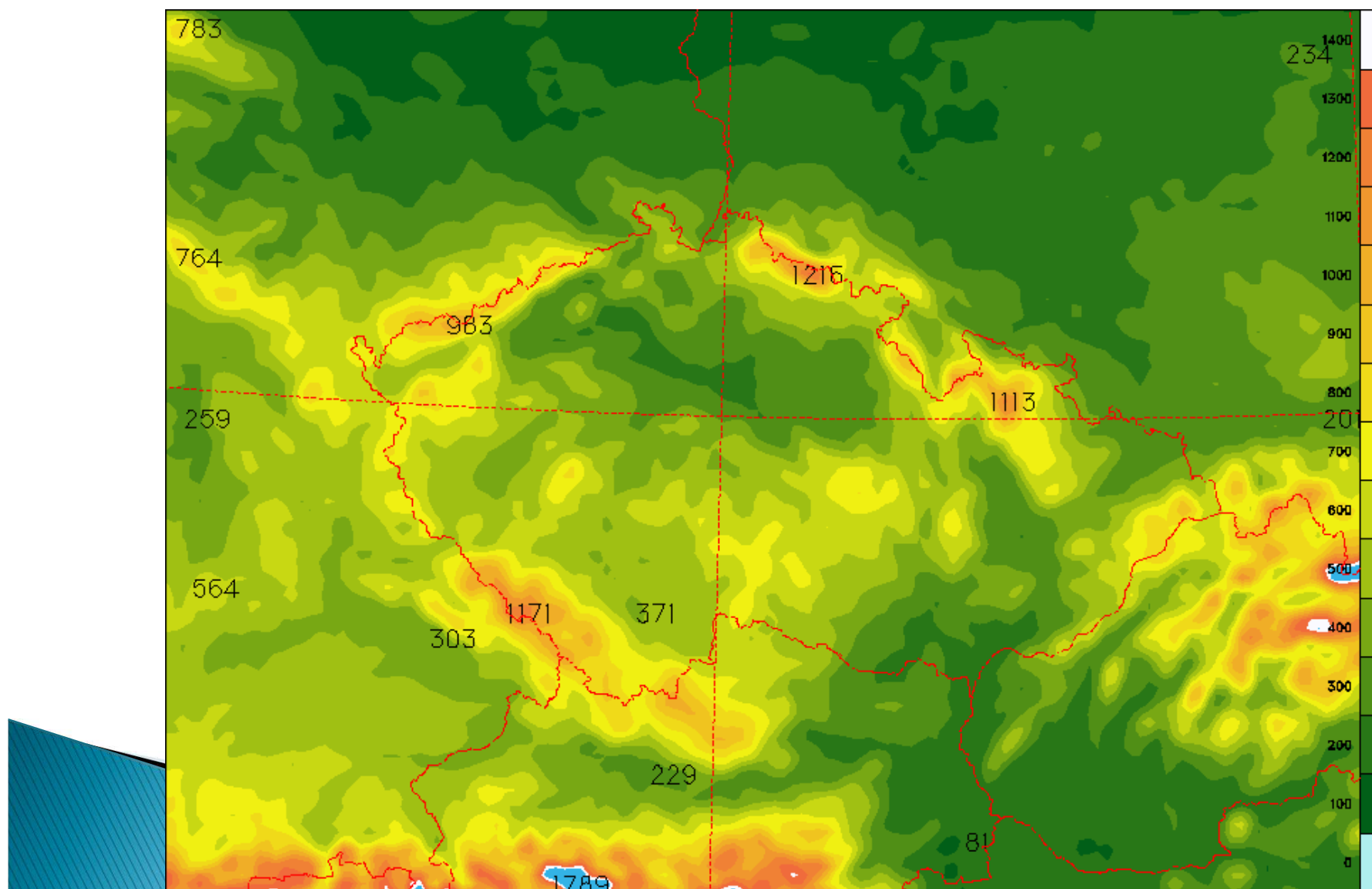
Nadmořská výška terénu v modelu ALADIN

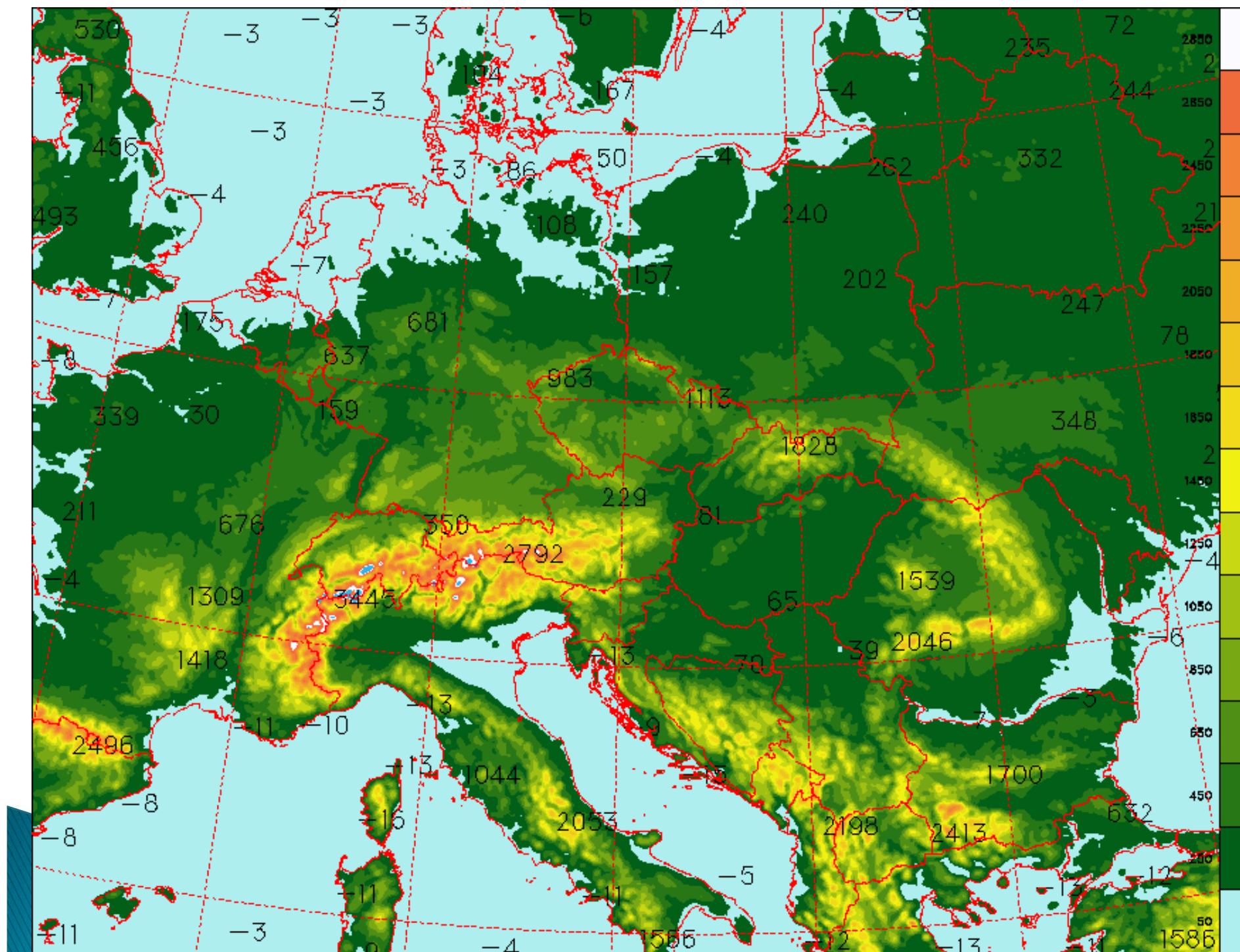
(rozlišení 9 km, 43 hladiny)



Nadmořská výška terénu v modelu ALADIN

(rozlišení 4,7 km, 87 hladin)





Výstupy modelu

▶ přímo předpovídané veličiny:

- směr a rychlost větru
- teplota
- přízemní tlak
- měrná vlhkost

▶ odvozené veličiny:

- geopotenciál
- přízemní teplota, vítr a vlhkost
- srážky (déšť x sníh, konvektivní x velkoprostorové)
- vertikální rychlost ω
- oblačnost (L, M, H, C)
- toky tepla, hybnosti a vlhkosti z parametrizací

Výstupy modelu (2)

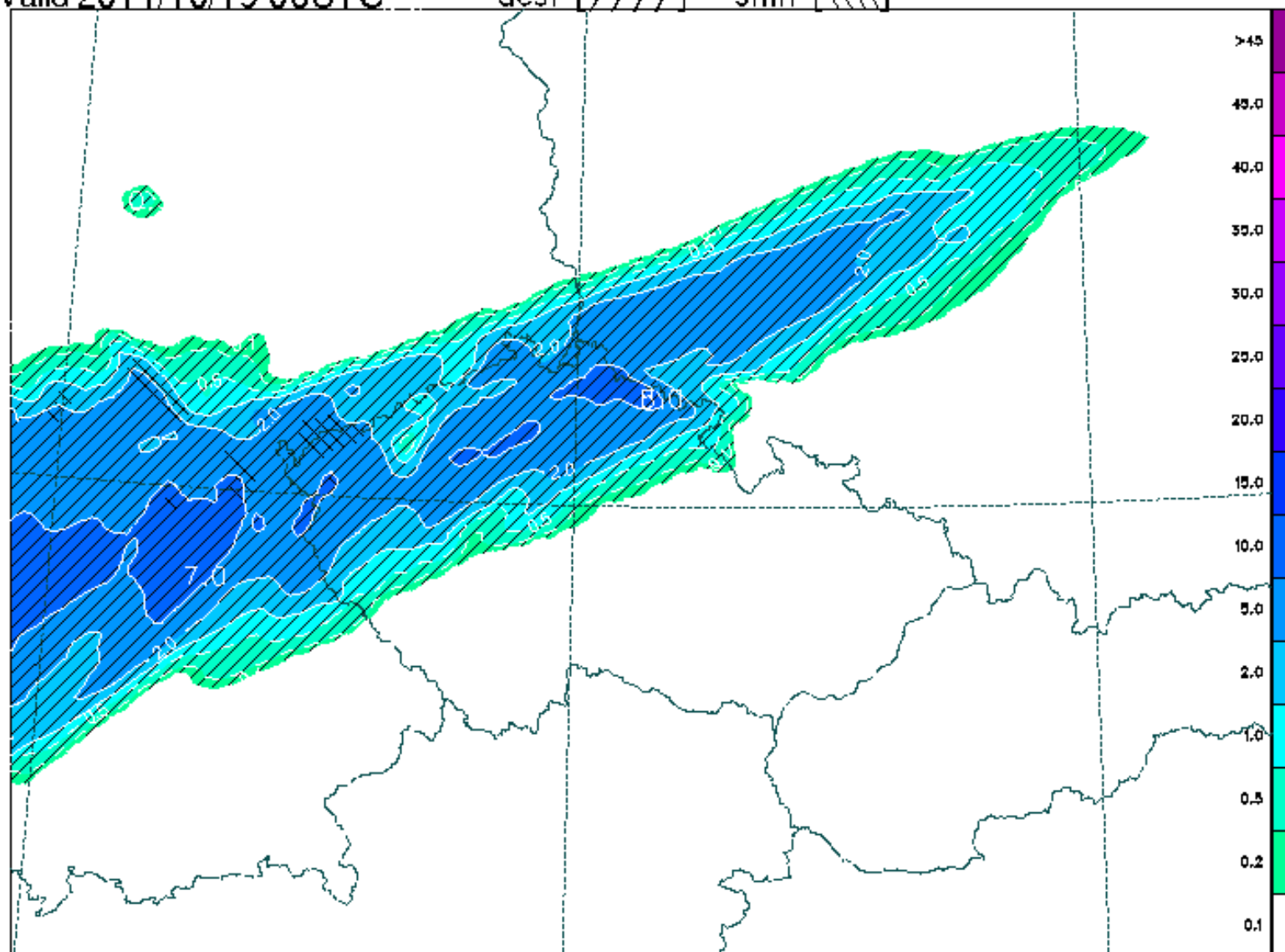
- ▶ diagnostické veličiny:
 - ξ_a , ξ_r , PV, DIV
 - θ , θ'_w
 - výška mezní vrstvy, nárazy větru
 - CAPE, konvergence vlhkosti
 - Showalter, Total Totals, K-index, ...



Base 2011/10/17 00UTC
Valid 2011/10/19 06UTC

54

celkove srážky [mm/6hod]
dest [////] snih [\\\\\\\\]



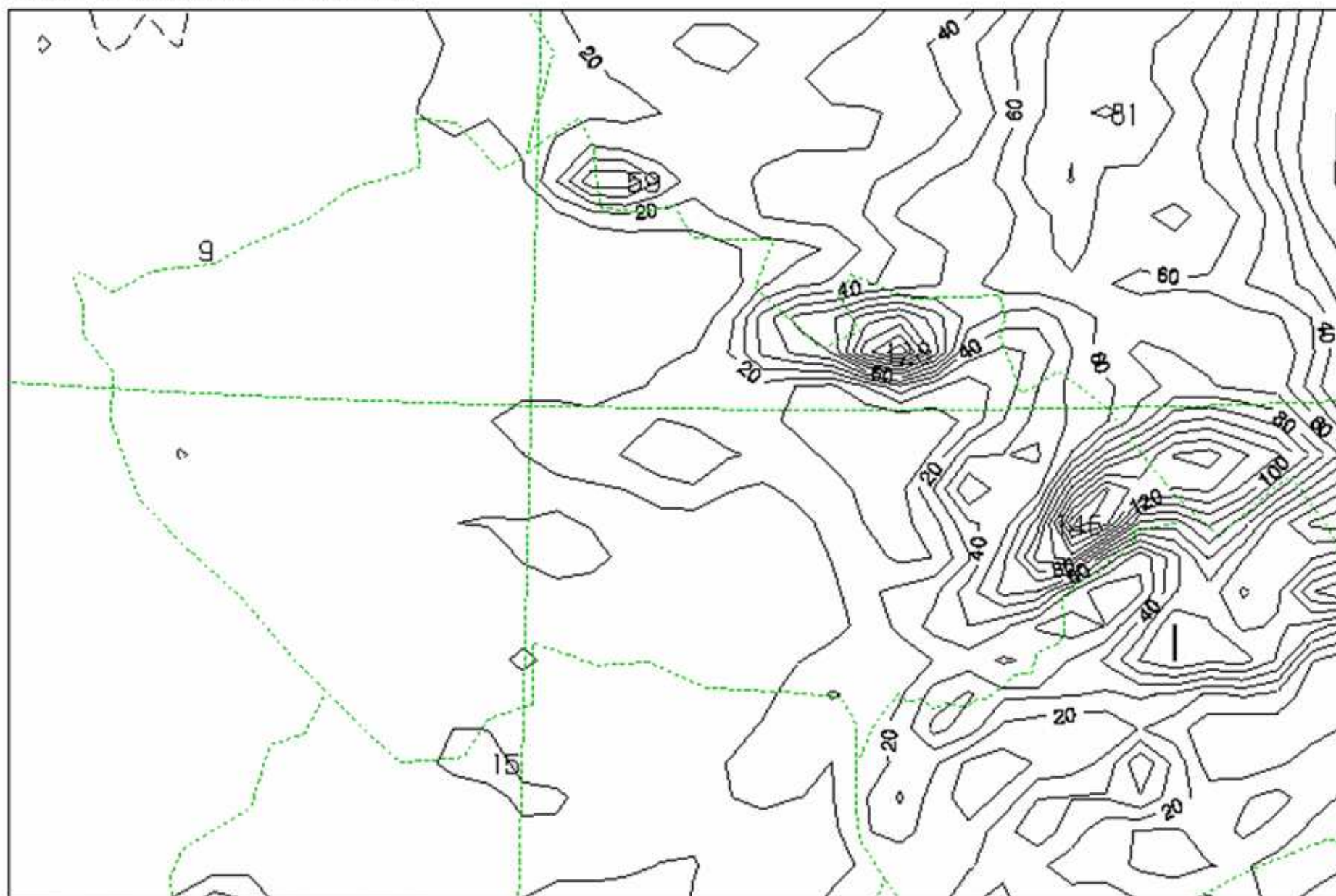
@baba Mon Oct 17 03:59:20 2011 [../PFALADLAMB+0048 ../PFALADLAMB+0054]

Base 97/07/06 00UTC
Valid 97/07/07 06UTC

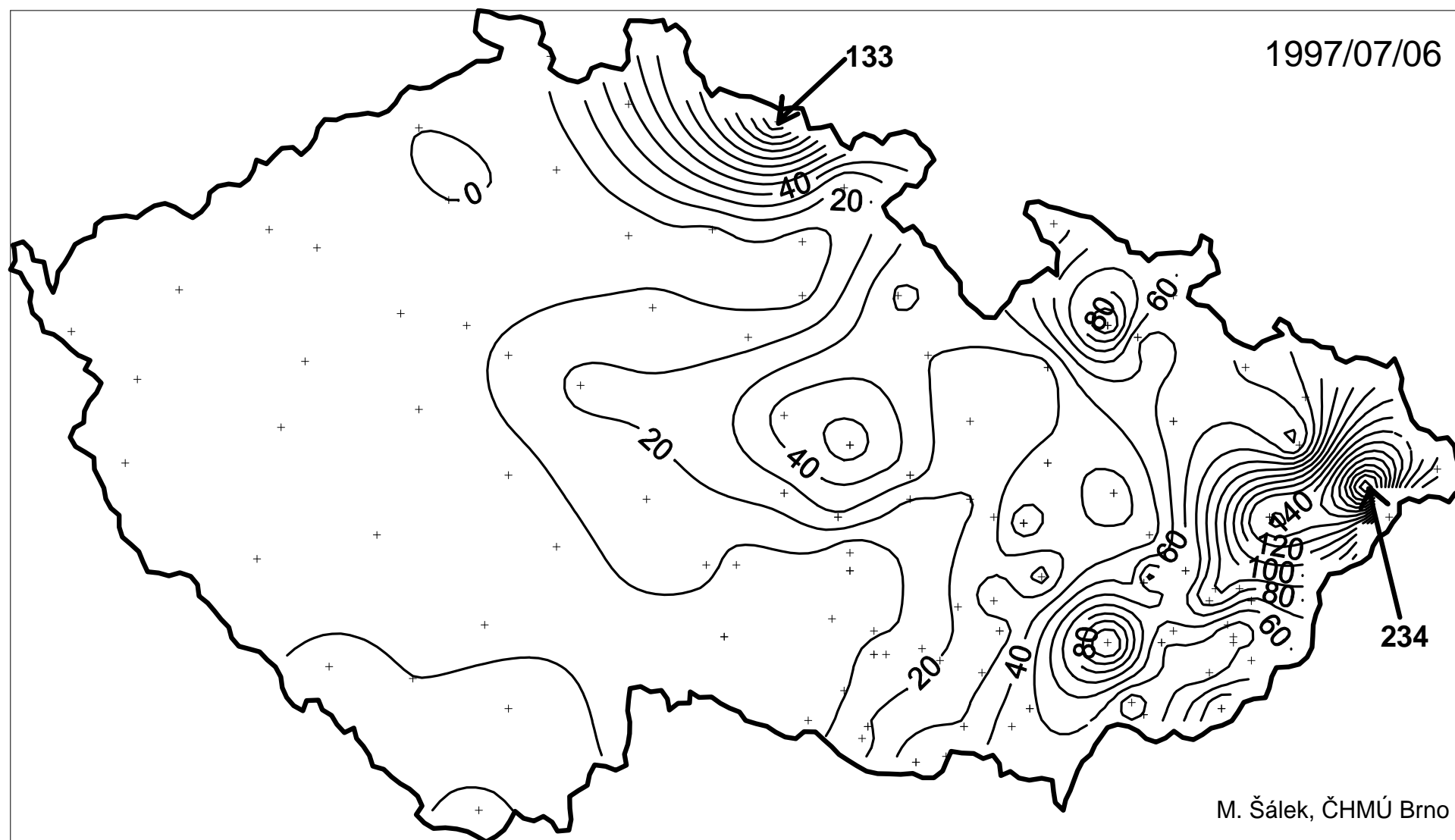
30

SRAZKY 06-30 [mm/24hod]

0m



1997/07/06

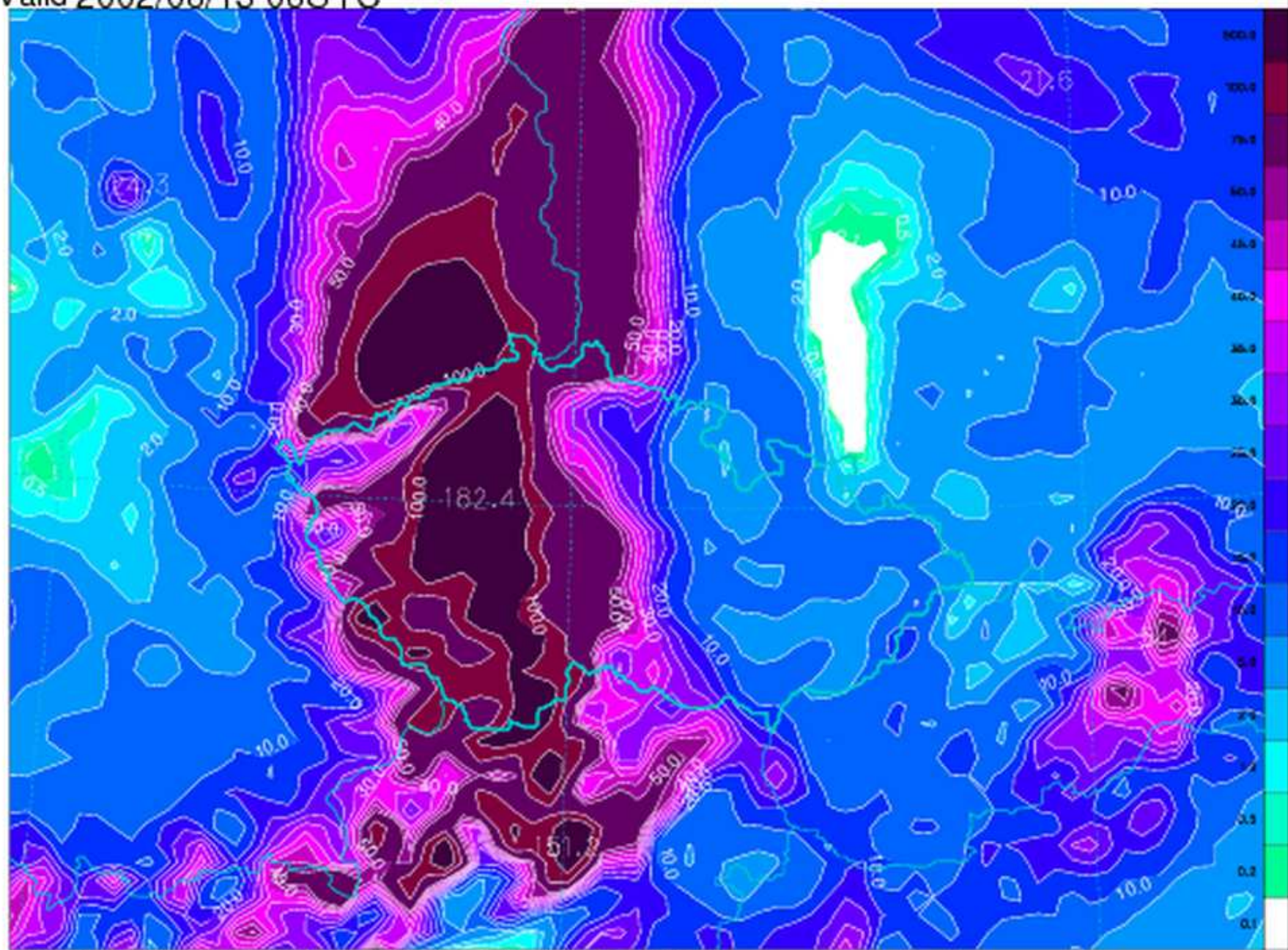


M. Šálek, ČHMÚ Brno

Base 2002/08/12 00UTC
Valid 2002/08/13 06UTC

30

celkove srazky [mm/24hod]

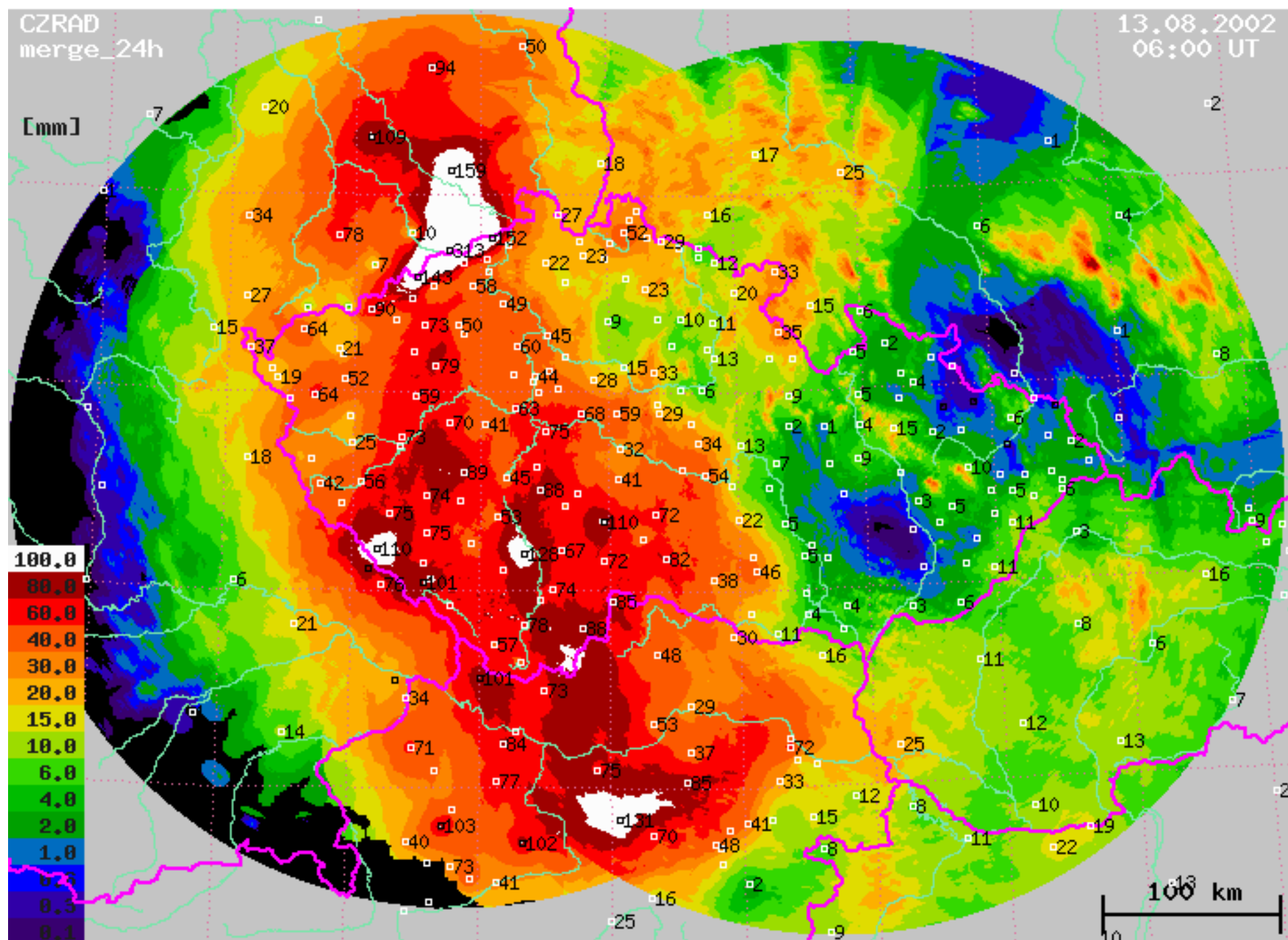
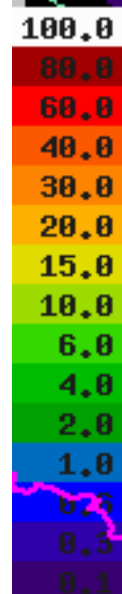


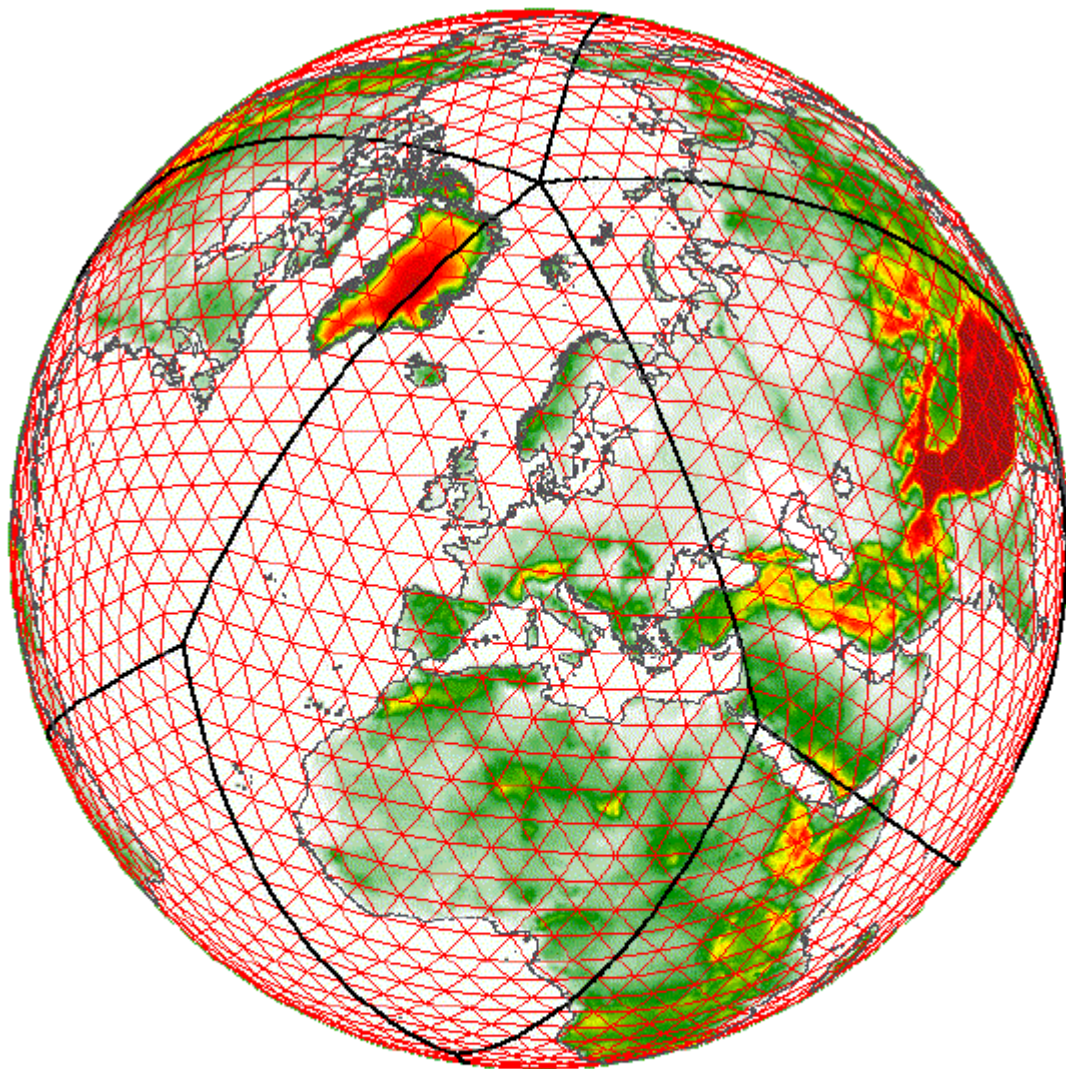
mma145@voodoo Thu Sep 5 08:15:10 2002 [PFALADLA/IB+0006 PFALADLA/IB+0030]

CZRAD
merge_24h

13.08.2002
06:00 UT

[mm]





Výpočetní síť Globálního modelu DWD

Fig. 5.4 Grid and topography of the GME

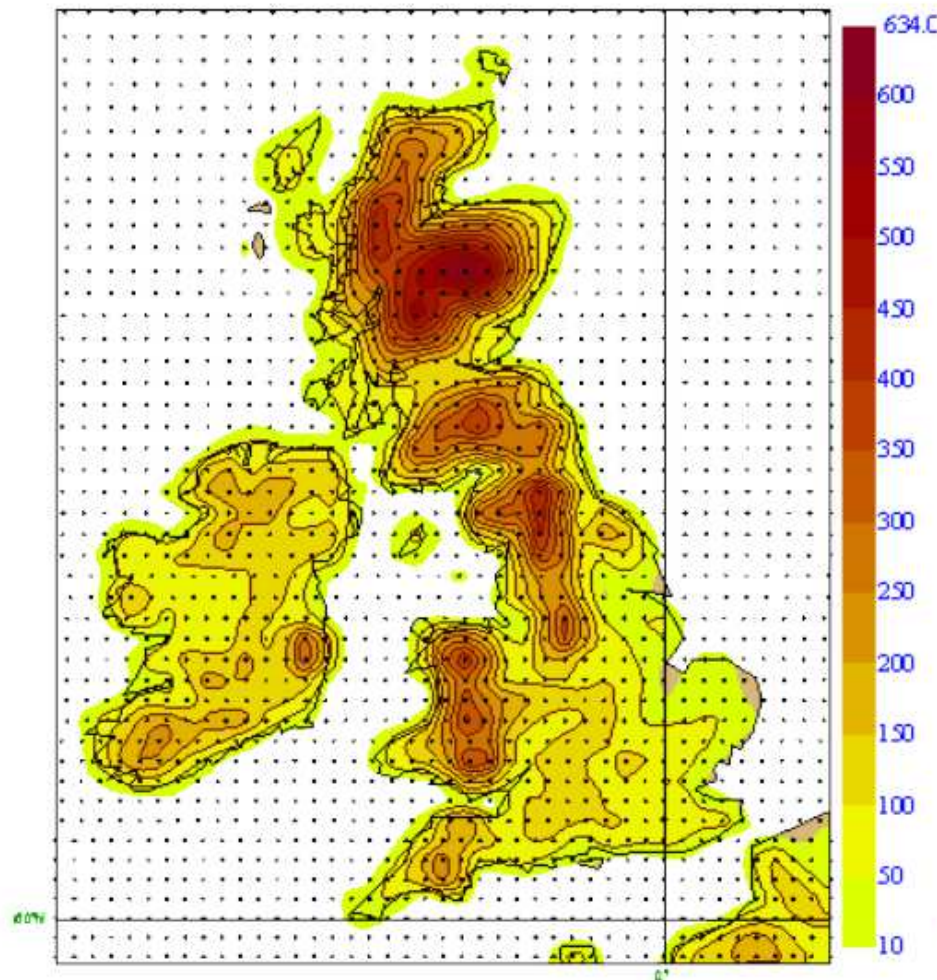
The gridpoints represent nearly uniform hexagons (pentagons at twelve special points of the globe).

The mesh size varies between $\Delta_{\min} = 55.1$ km and $\Delta_{\max} = 65.8$ km, the mesh area between $A_{\min} = 2407$ km² and $A_{\max} = 3756$ km².

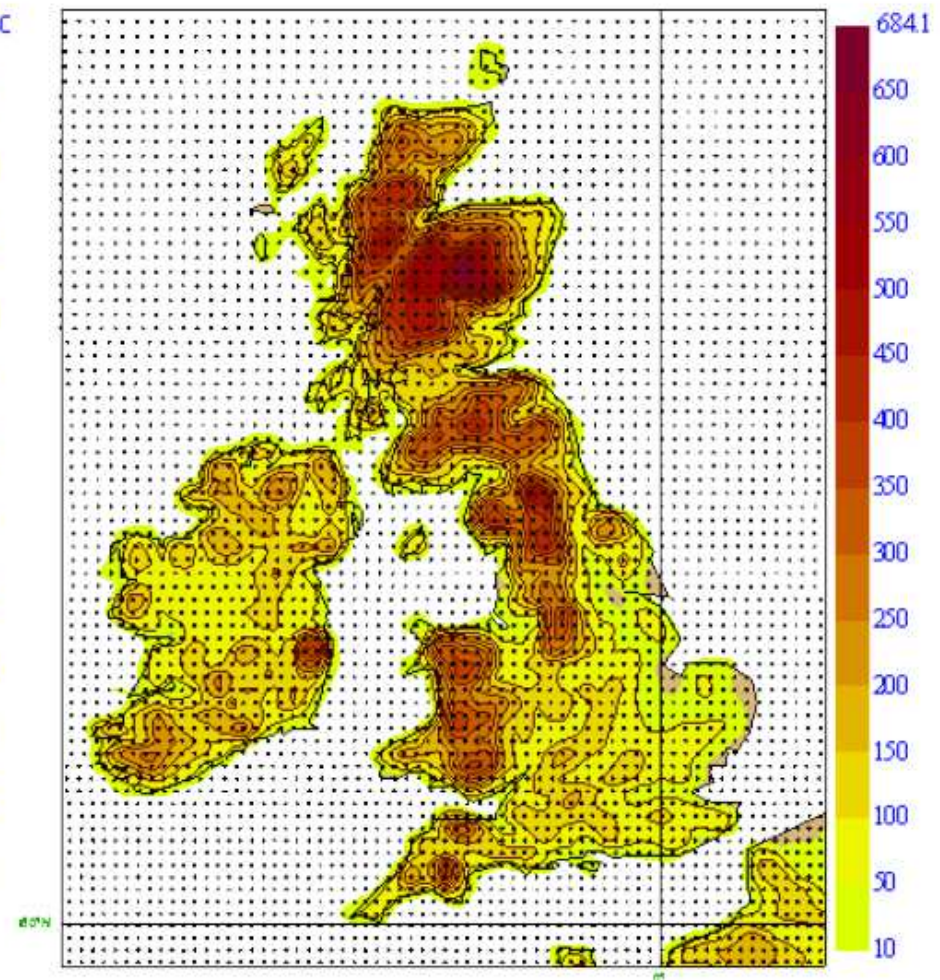
Total number of grid points = 163 842.



Od ledna 2010 má deterministický model ECMWF horizontální rozlišení 16 km

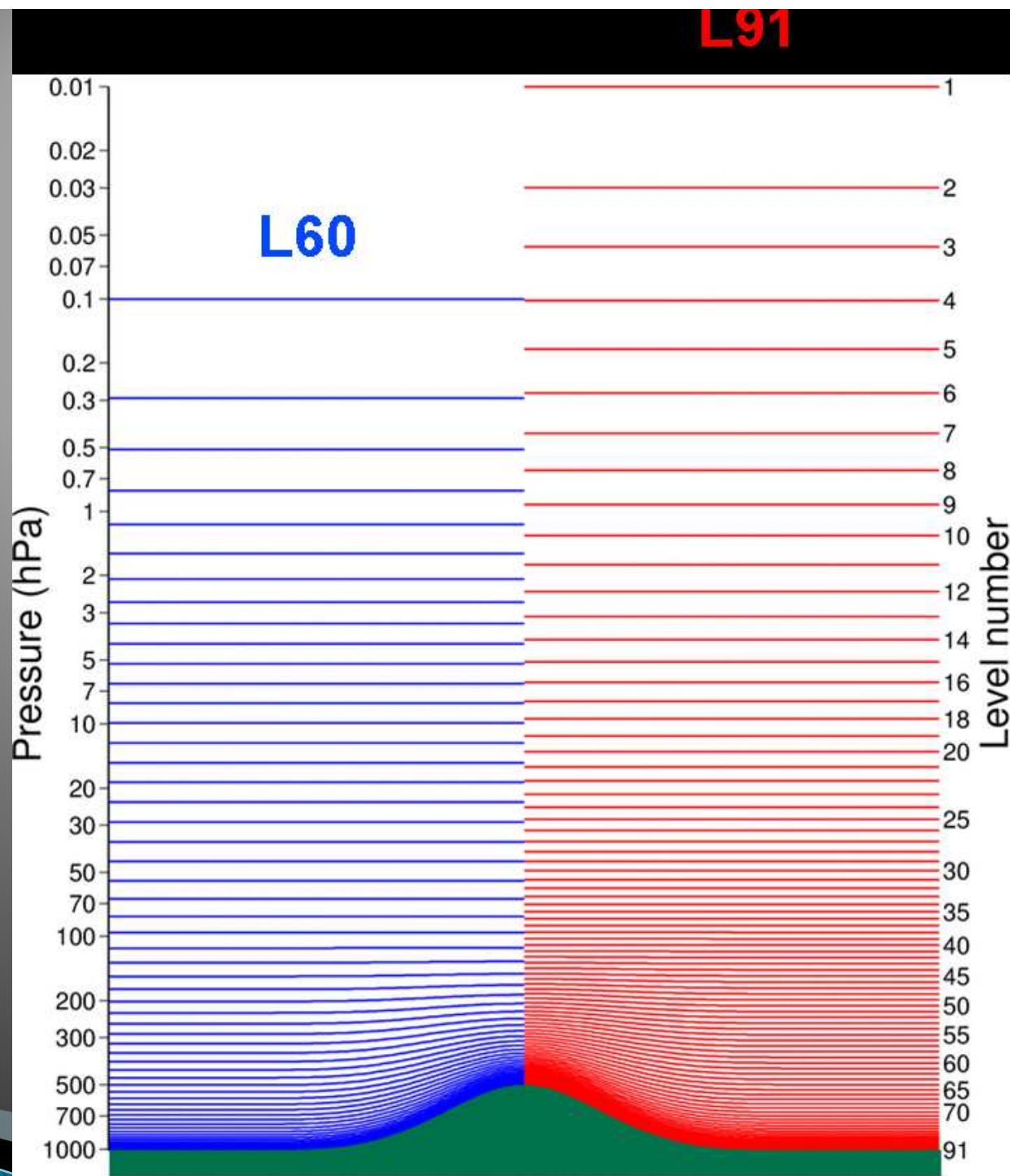


*N400 (T799) 25km grid spacing
(843490 grid points)*



*N640 (T1279) 16km grid spacing
(2140704 grid points)*

Vertikální
rozlišení před a
po změně
ECMWF modelu
v roce 2006
(nyní 91 hladin)



Srážky v numerickém modelu

– srážky „velkoprostorové“ se počítají z vertikálních rychlostí a vlhkosti vzduchu „odstraněním“ specifické vlhkosti, která přesáhla určitou kritickou velikost (vlhkost, při které je vzduch nasycen vodní parou). Takto „odstraněná“ voda propadává níže a podle konkrétních podmínek v níže ležících hladinách se vypařuje nebo narůstá a výsledné množství se na zemi počítá jako srážky.



Srážky v numerickém modelu

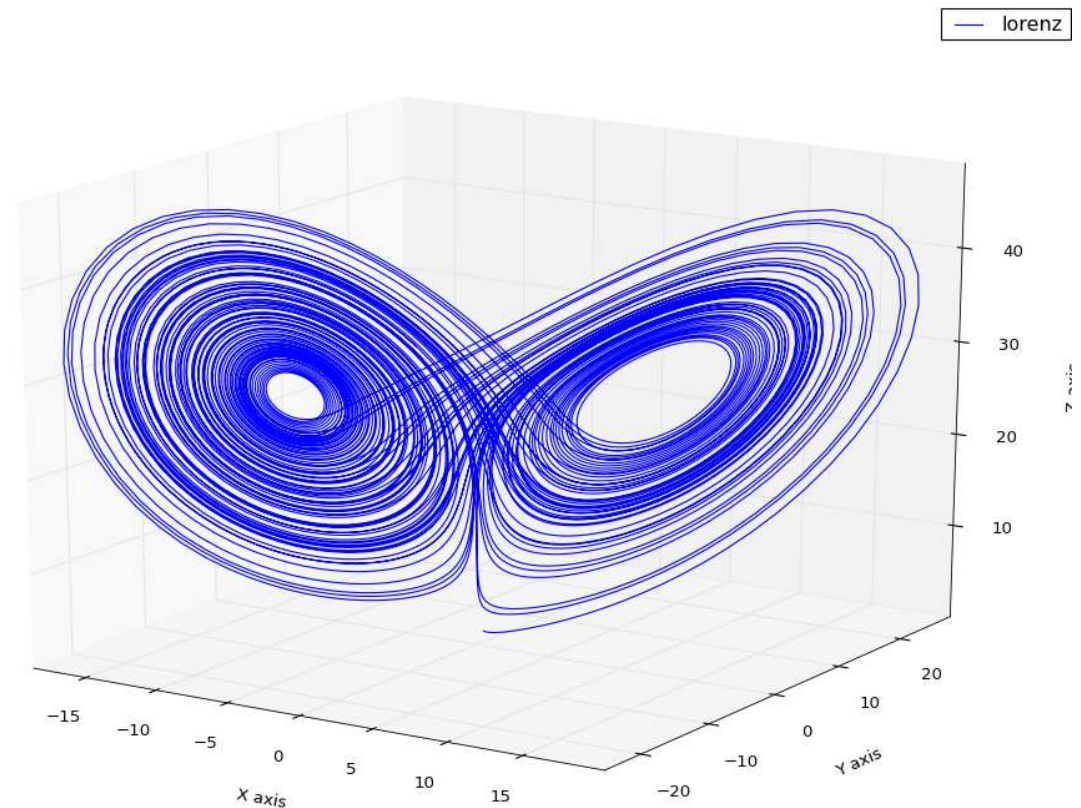
- srážky konvektivní („subgridové“) jsou počítány pomocí tzv. konvektivní parametrizace, což je schéma, které se snaží zjednodušeněji zachytit velmi komplexní jevy spojené s konvekcí – např. přenos vlhkosti, tepla, interakce mezi jednotlivými konvektivními proudy apod.



Meze předpověditelnosti

- ▶ Rovnice popisující atmosféru jsou nelineární
- ▶ Edward Lorenz – teorie deterministického chaosu

- ▶ Externí 3D model



Lorenzův atraktor

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x), \\ \frac{dy}{dt} &= x(\rho - z) - y, \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \beta z.\end{aligned}$$

Lorenz Attractor

three near-identical initial points diverge into chaos

Deterministický chaos

- ▶ Skupinové (ansámblové) předpovědi (ensemble forecasts)
- ▶ Opakované výpočty s lehce pozměněnými (perturbovanými) vstupními údaji
- ▶ Informaci o pravděpodobnosti (spíše věrohodnosti, modelování–odhadu chyb) scénářů vývoje počasí
- ▶ Model (modely) je vhodné počítat pouze na omezenou dobu



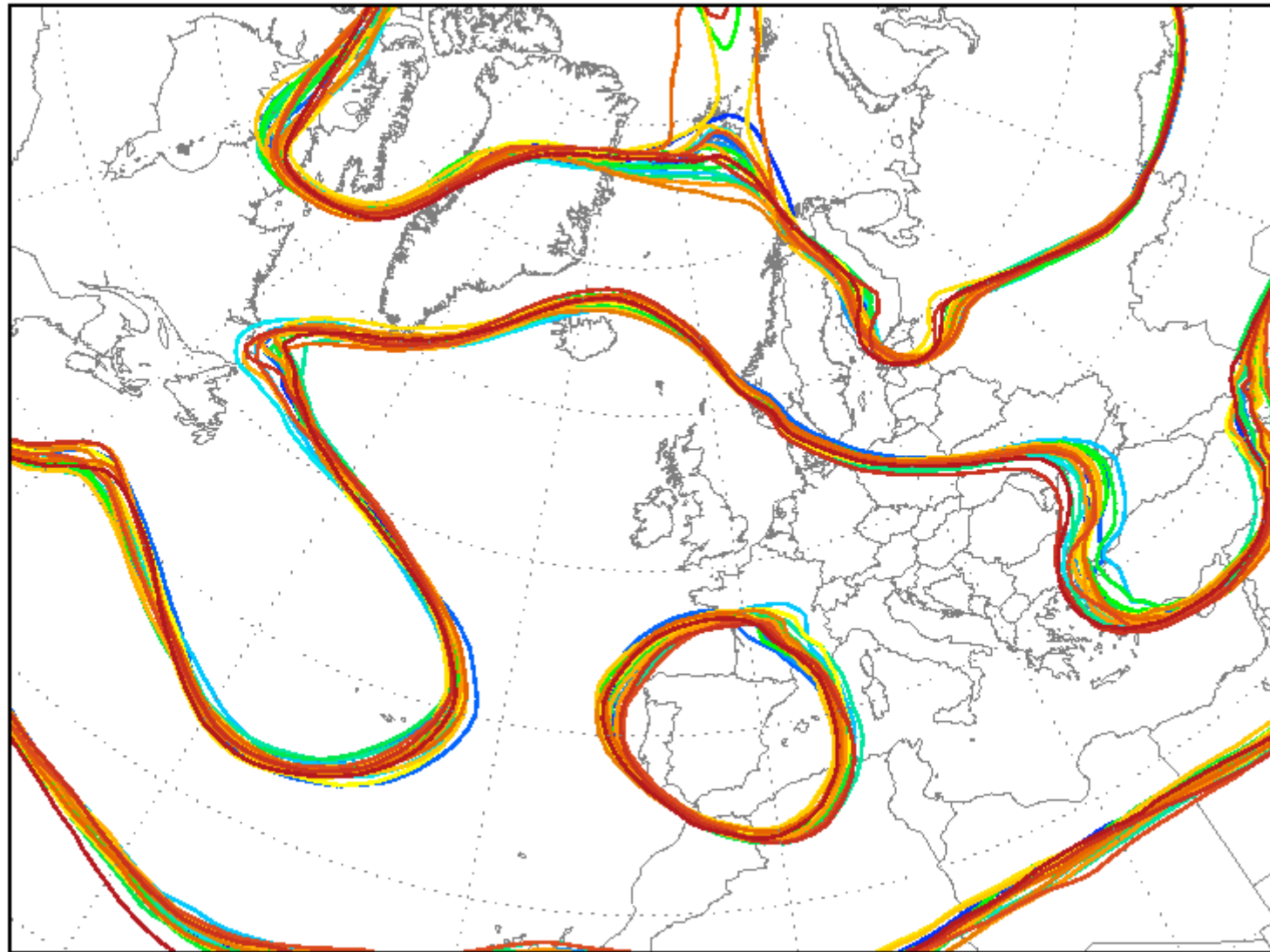
Ukázka výsledku skupinové předpovědi

Na následujících obrázcích uvidíte křivky, které přibližně představují proudnice ve výšce asi 5,5 km nad Evropou. Je-li PC online, pak <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsenseur.html>



ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Fri,01MAR2013 00Z

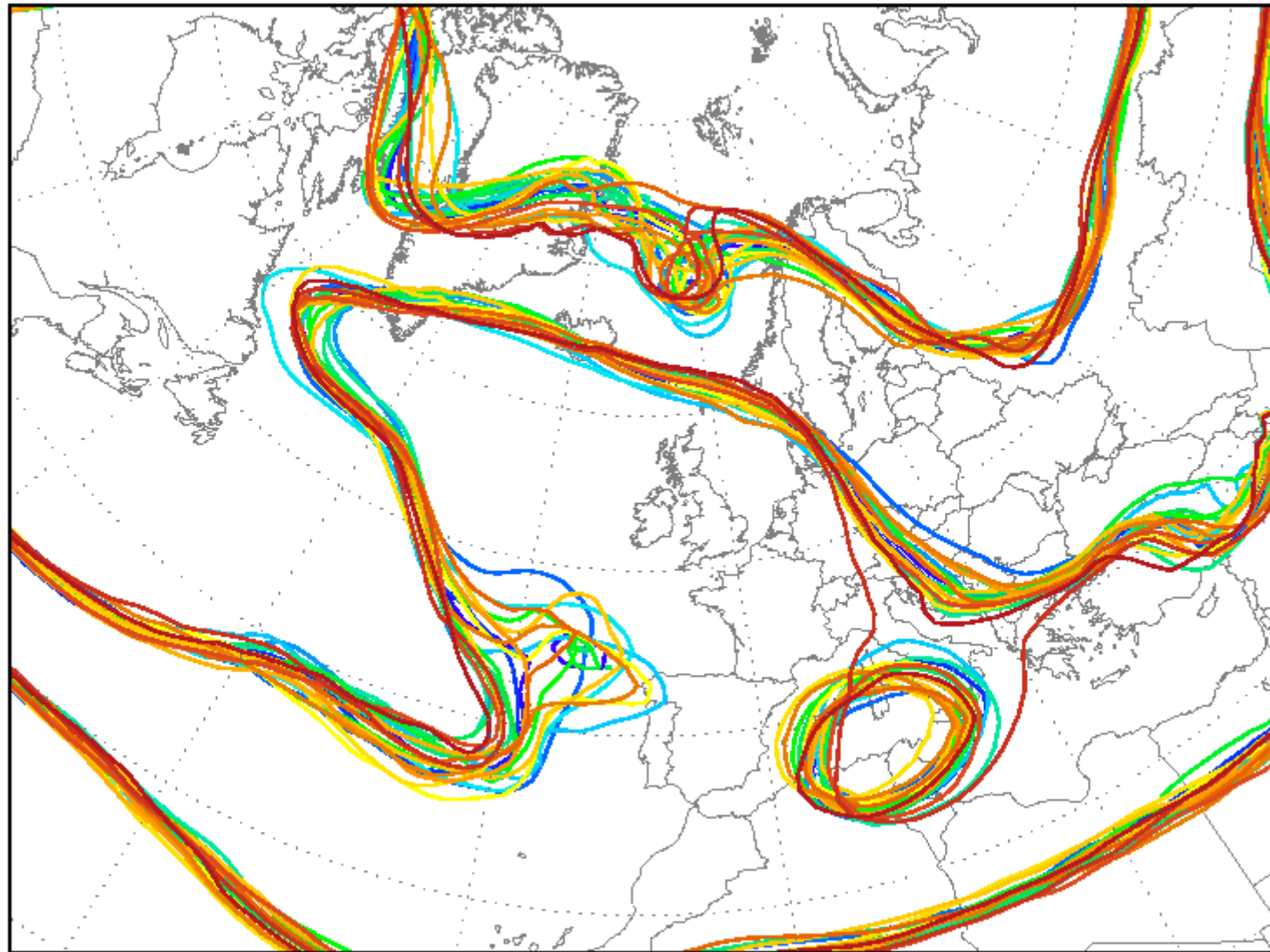
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Sat,02MAR2013 00Z

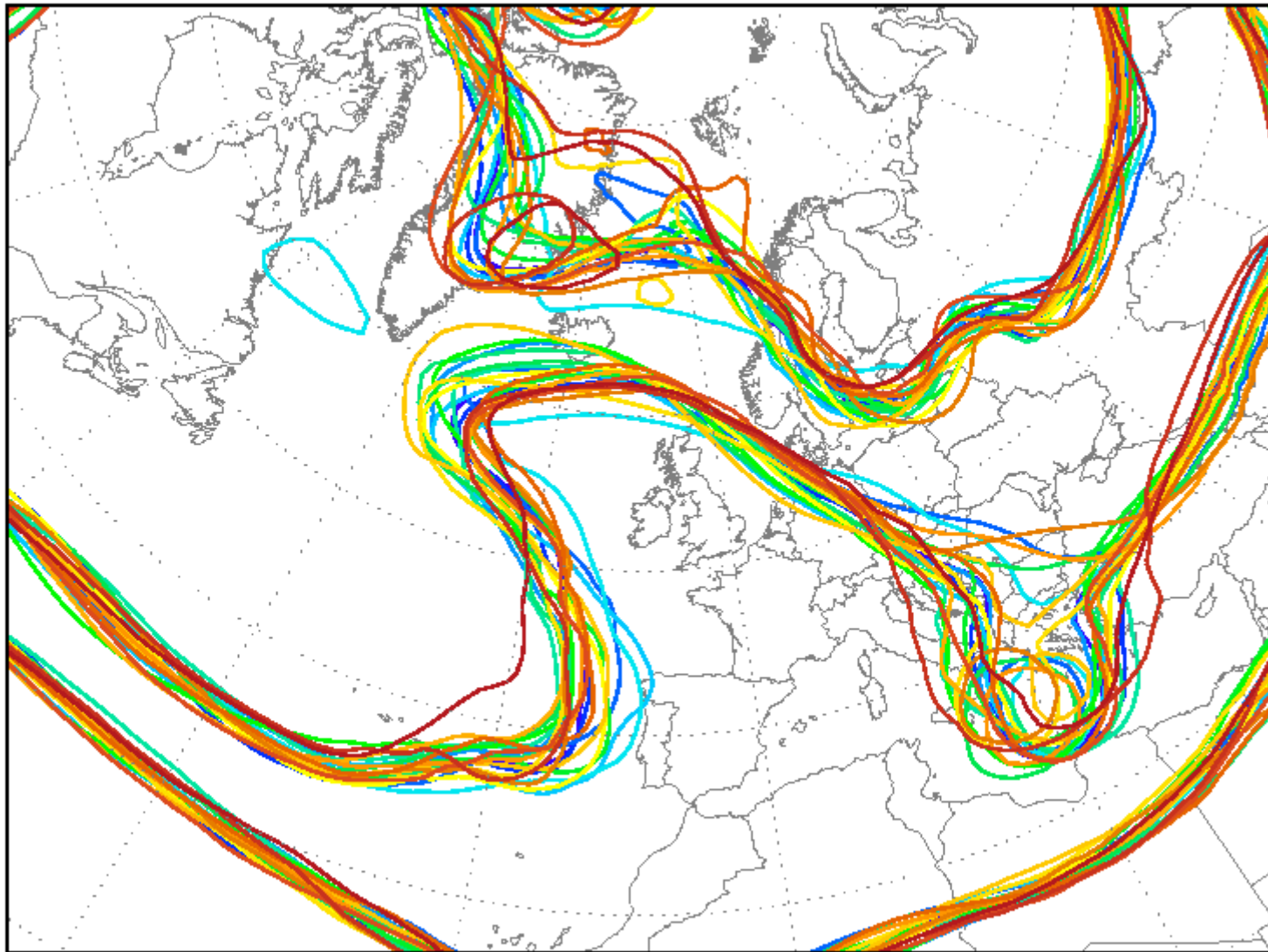
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Sun,03MAR2013 00Z

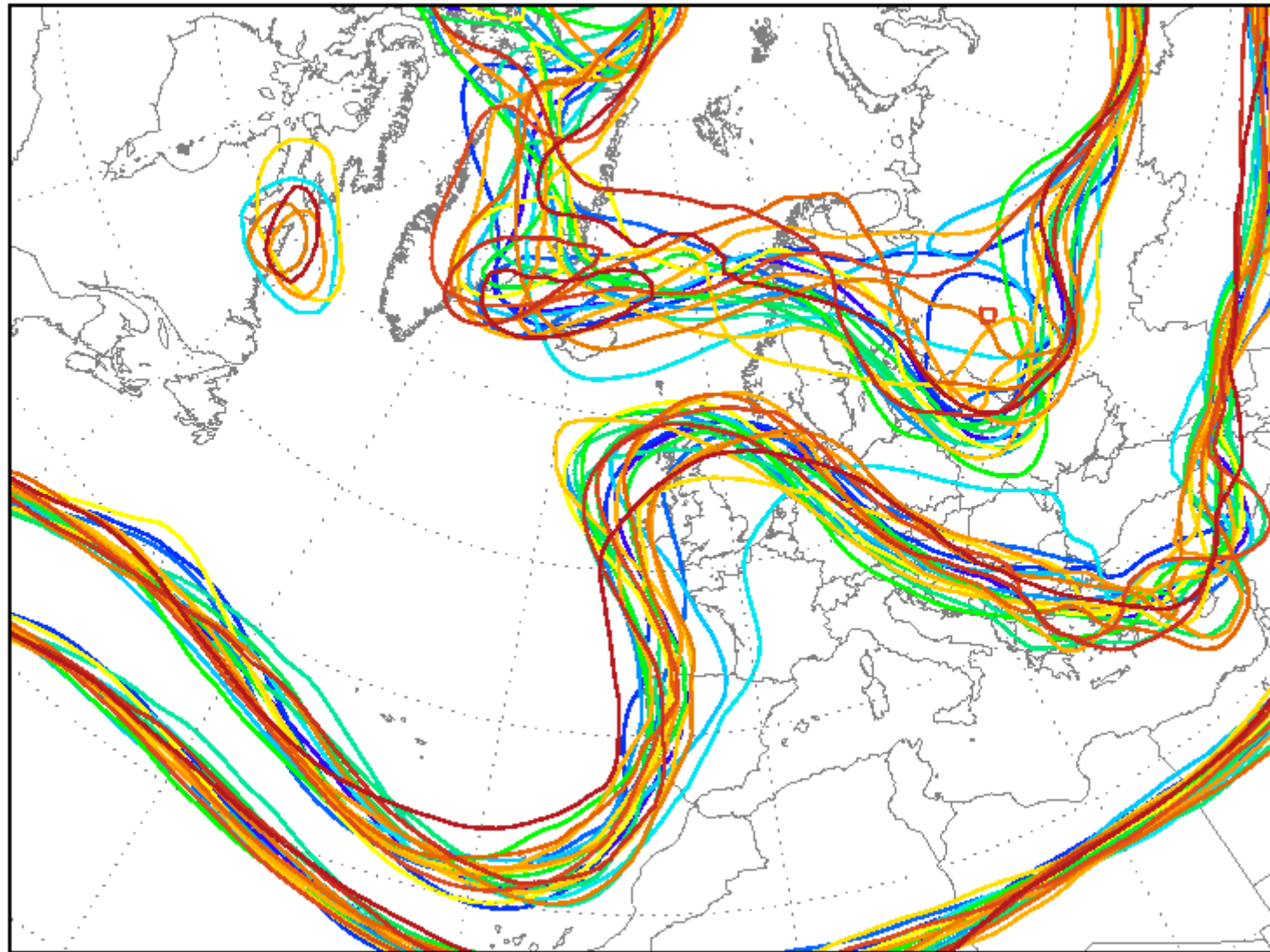
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Mon,04MAR2013 00Z

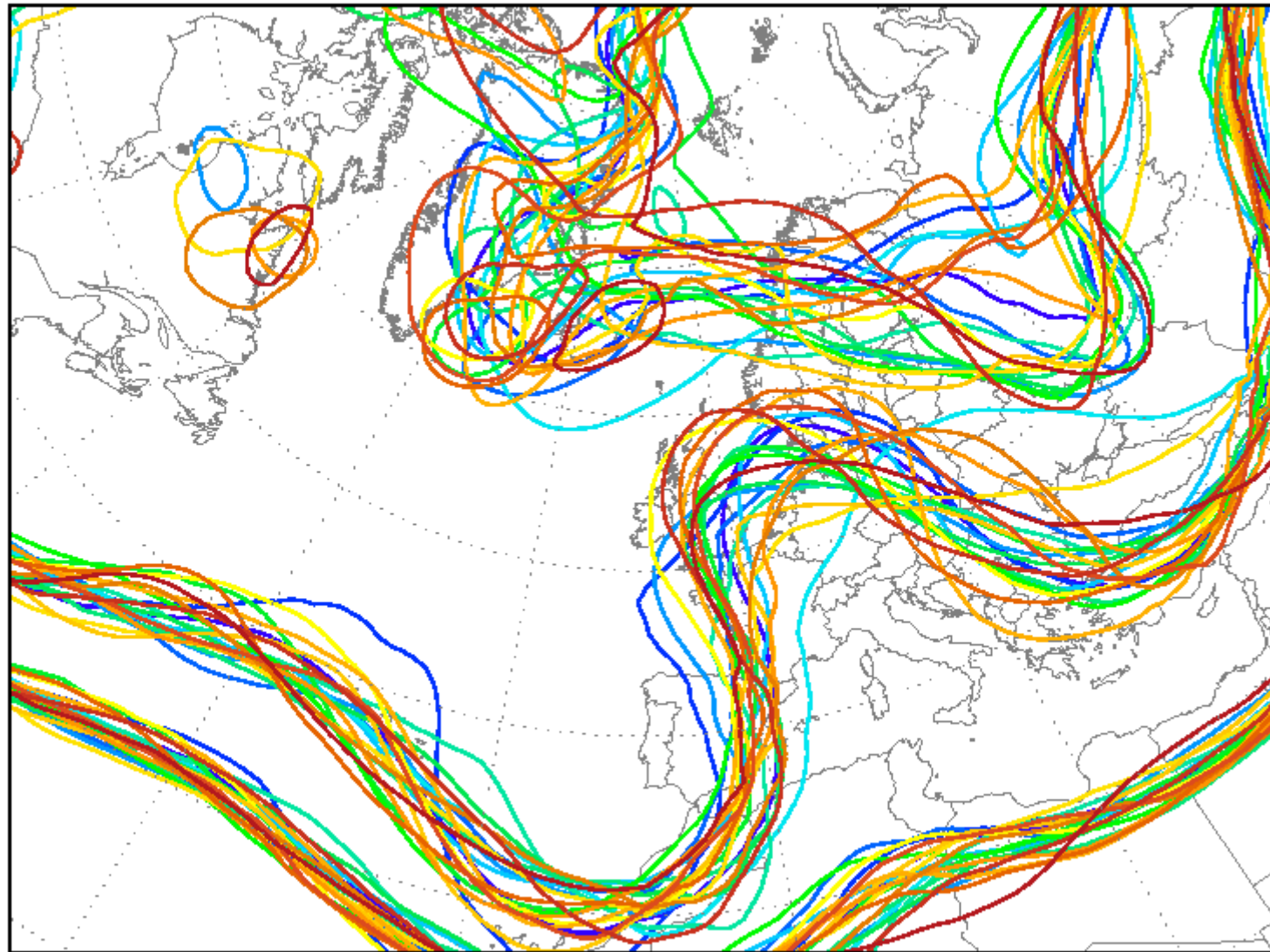
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Tue,05MAR2013 00Z

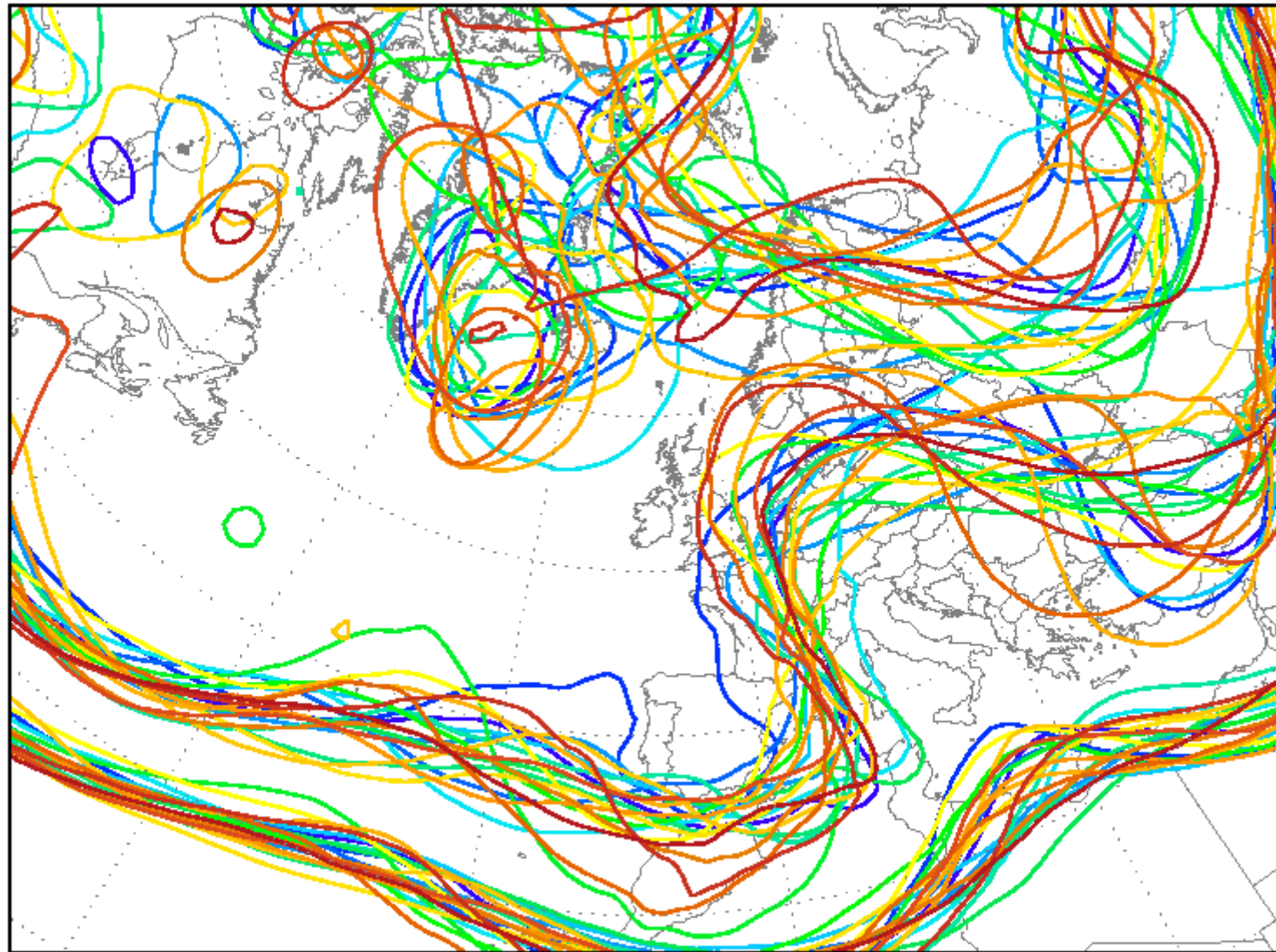
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Wed,06MAR2013 00Z

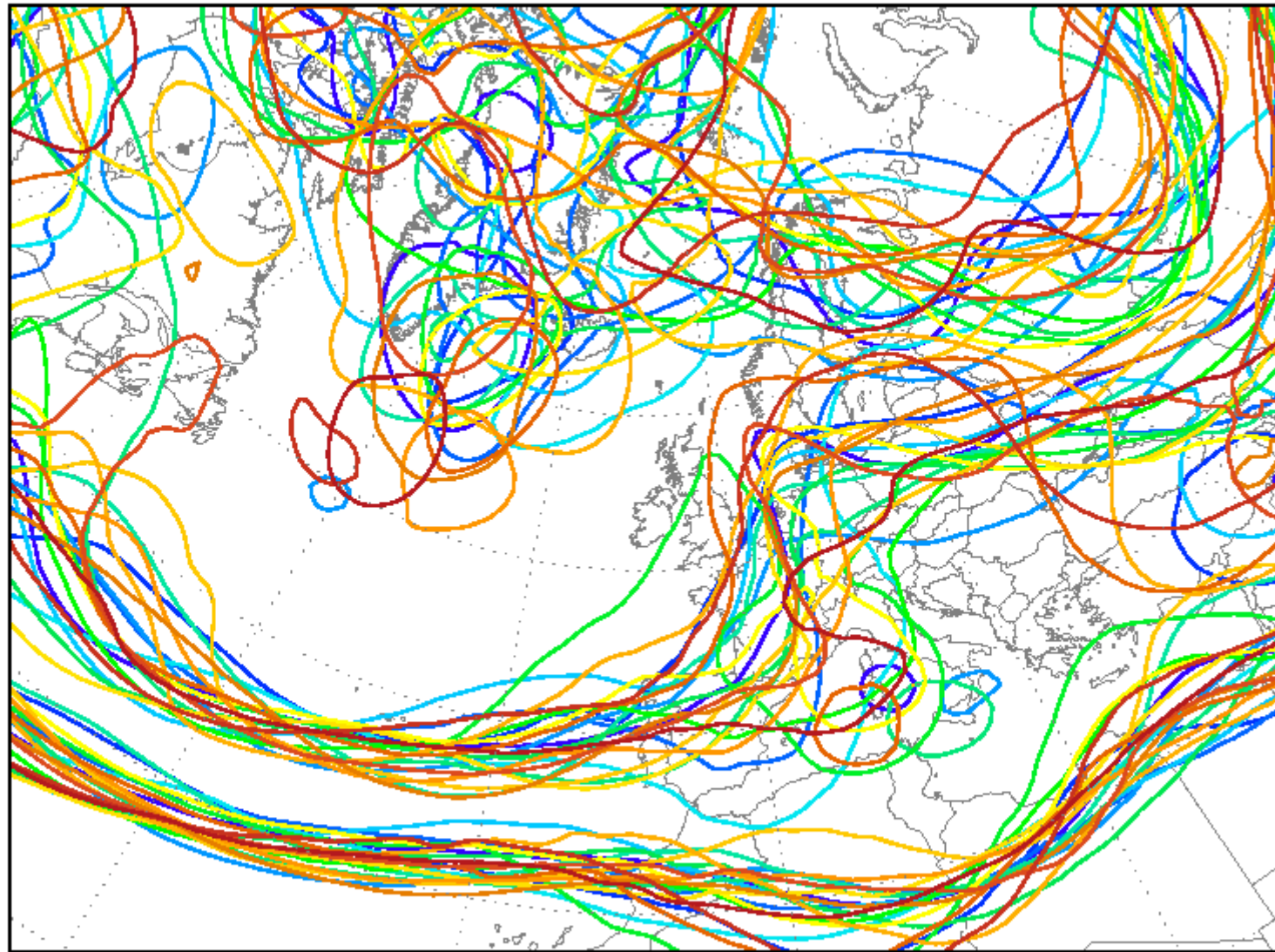
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Thu,07MAR2013 00Z

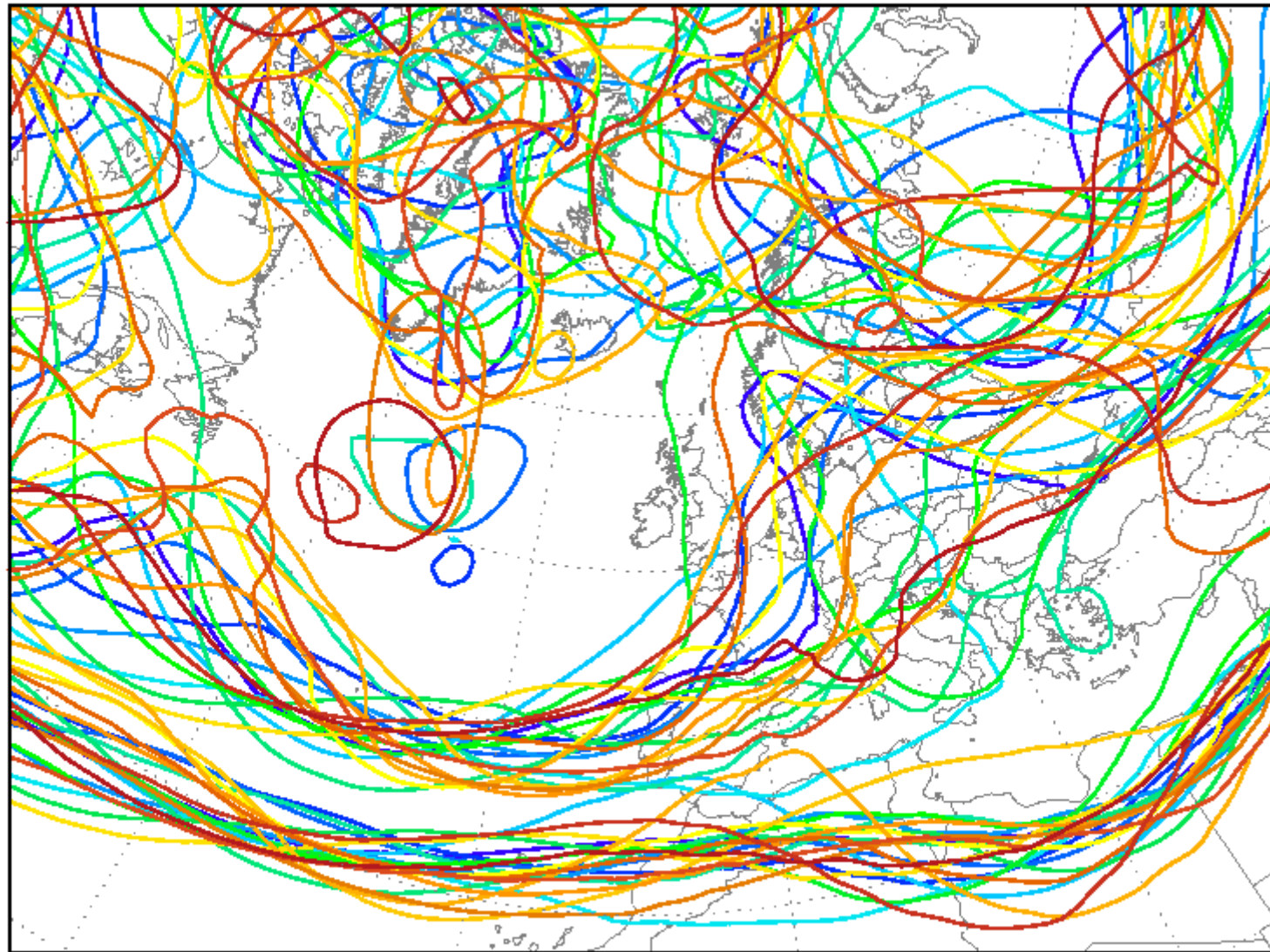
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Fri,08MAR2013 00Z

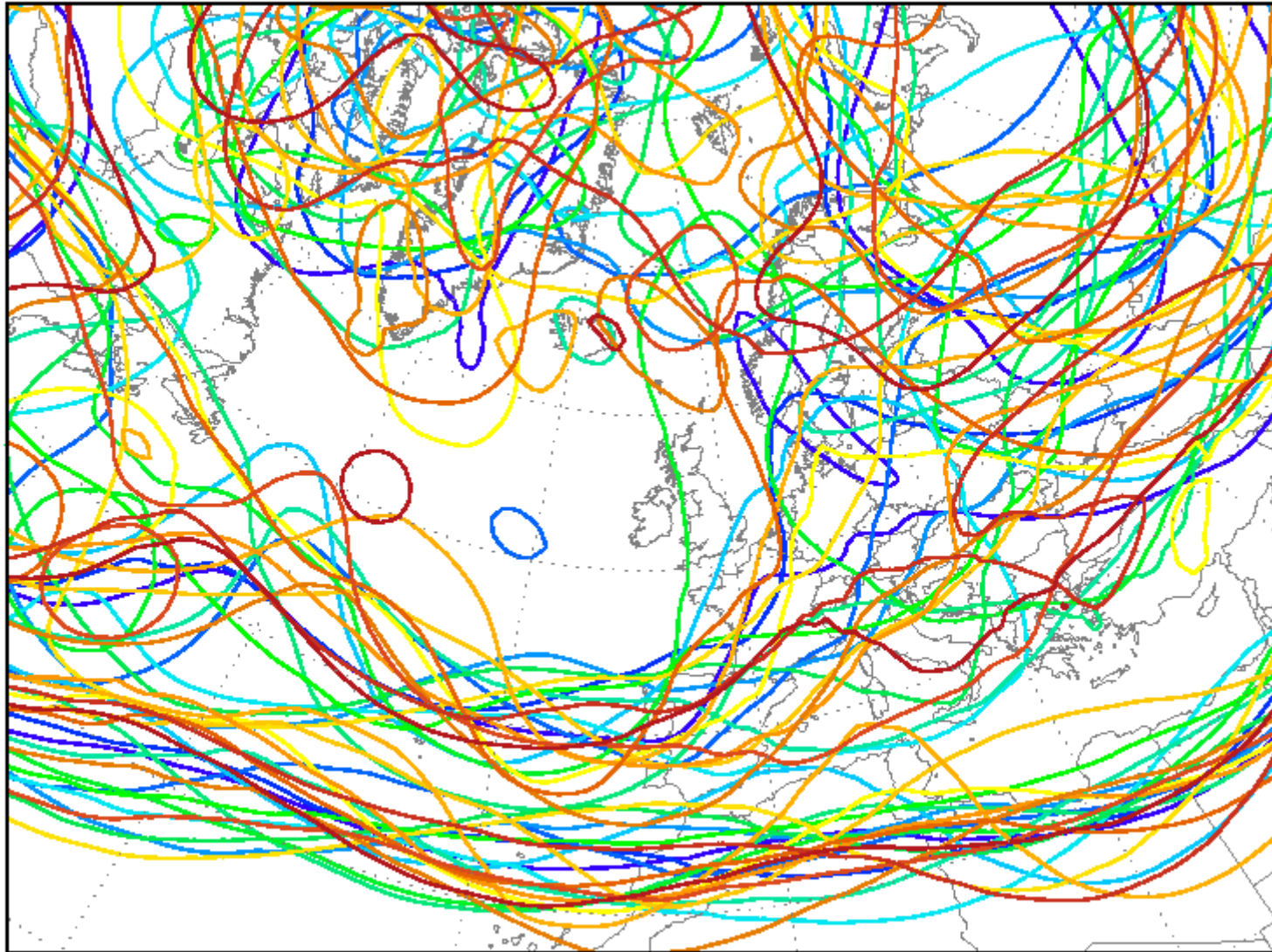
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Sat,09MAR2013 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Sun,10MAR2013 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Mon,11MAR2013 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Tue,12MAR2013 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Wed,13MAR2013 00Z

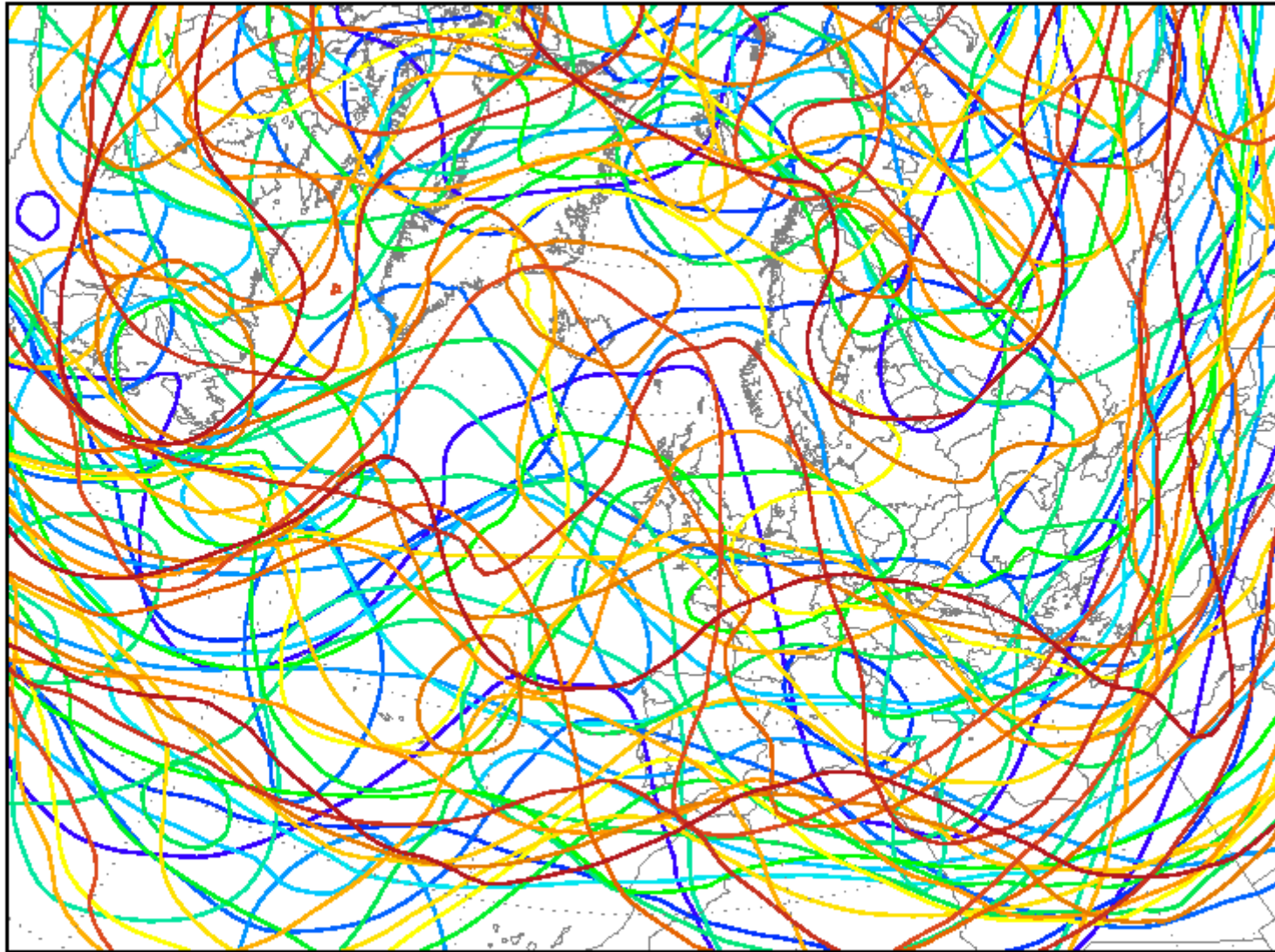
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Thu,14MAR2013 00Z

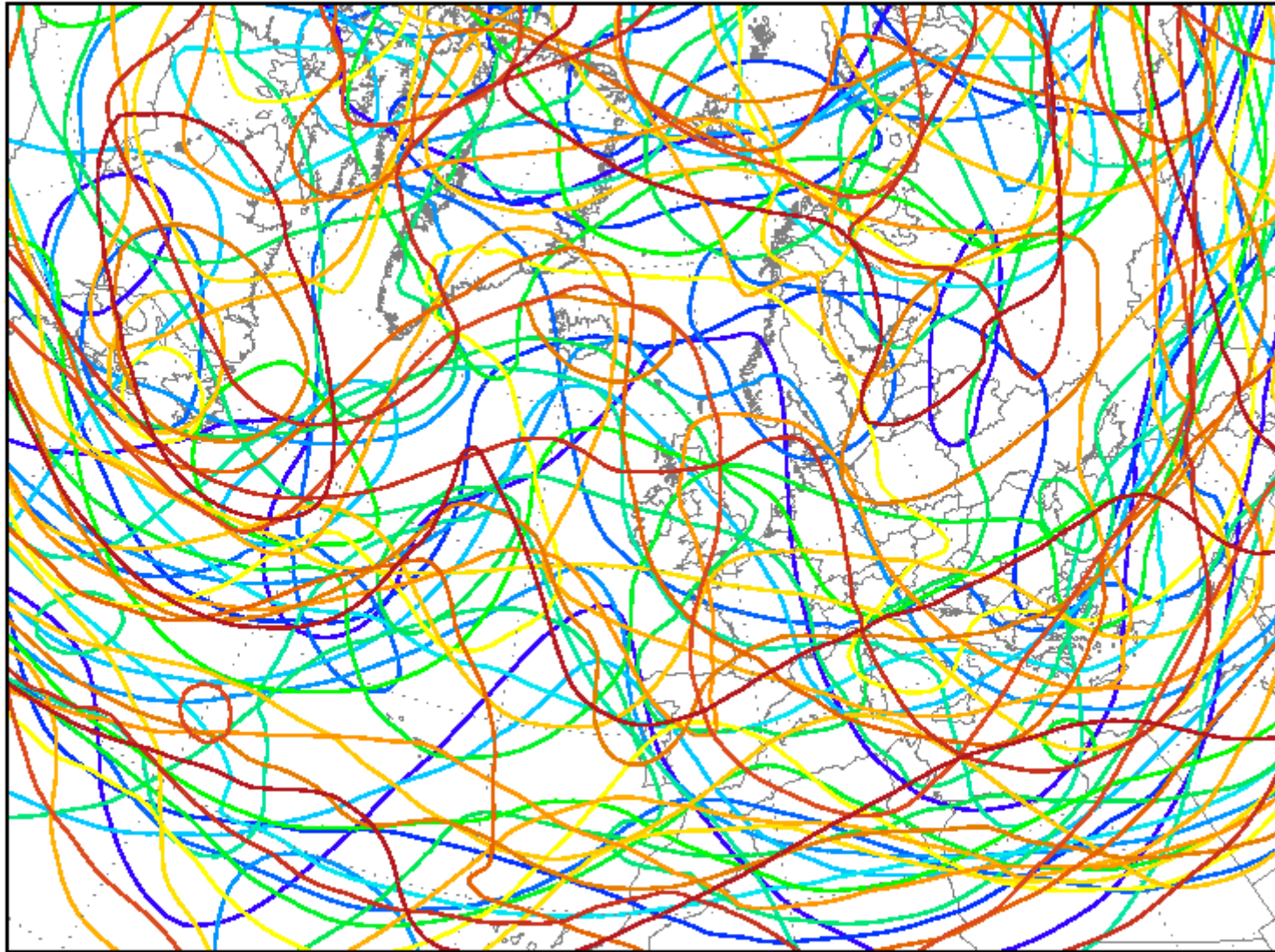
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Fri,15MAR2013 00Z

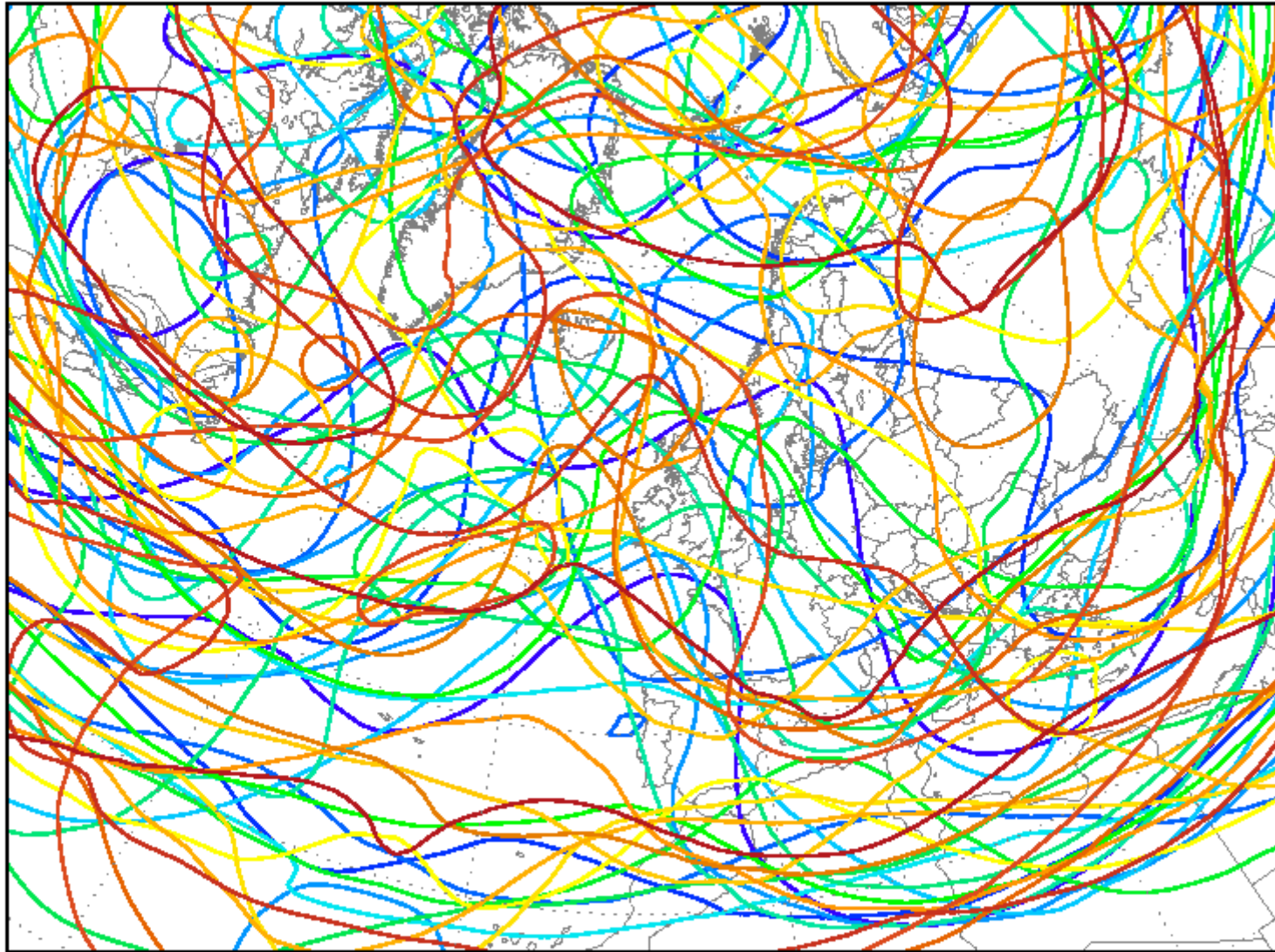
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

ini: Thu,28FEB2013 00Z Val: Sat,16MAR2013 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



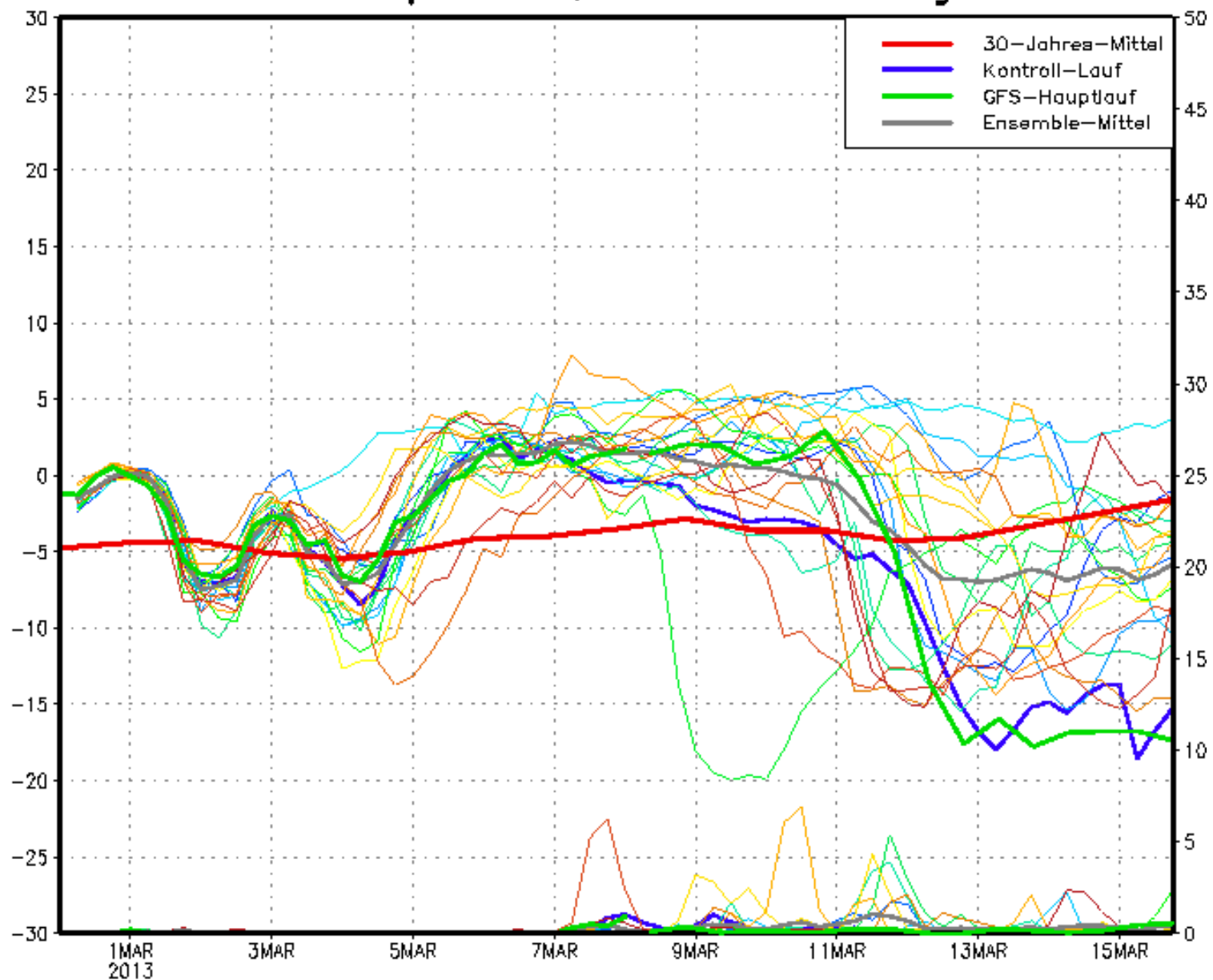
Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Position Lat: 49 Lon: 17

Thu,28FEB2013 00Z

850 hPa Temp. in °C, 6h-Niederschlag in mm

P0
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
P17
P18
P19
P20



Daten: Ensembles des GFS von NCEP

Wetterzentrale

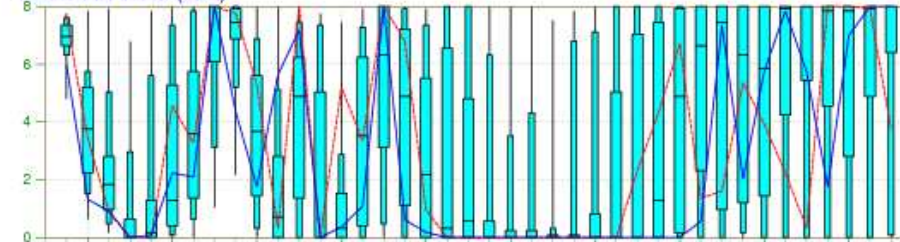
Ukázky výstupů skupinových předpovědí

Z 50 předpovědí s perturbovanými počátečními podmínkami, počítanými v Evropském středisku pro střednědobou předpověď (ECMWF), je možno odhadnout rozdělení pravděpodobností meteorologických prvků. Následují ukázky těchto předpovědí.

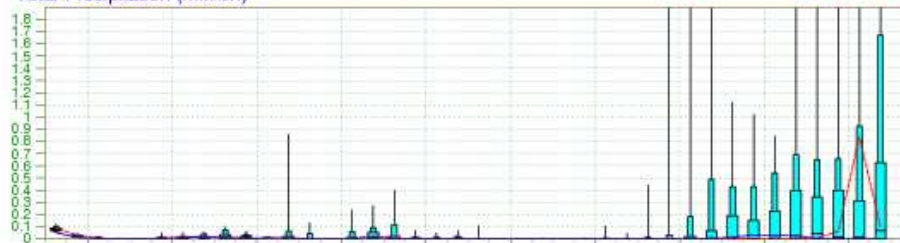


EPS Meteogram
 Brno 49.32°N 16.67°E (EPS land point) 212 m
 Deterministic Forecast and EPS Distribution Wednesday 27 February 2013 12 UTC

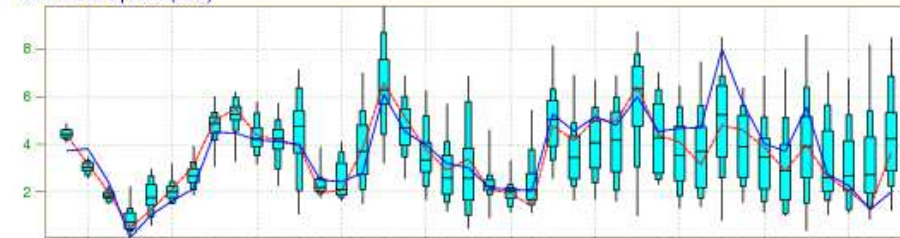
Total Cloud Cover (okta)



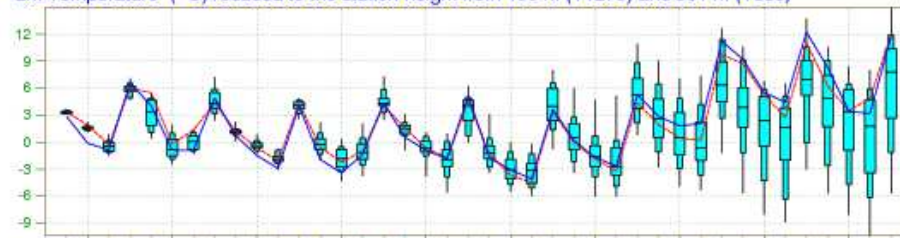
Total Precipitation (mm/6h)



10m Wind Speed (m/s)



2m Temperature (°C) reduced to the station height from 409 m (T1279) and 391 m (T639)



Wed 27 Thu 28 Fri 1 Sat 2 Sun 3 Mon 4 Tue 5 Wed 6 Thu 7 Fri 8 Sat 9
 March 2013



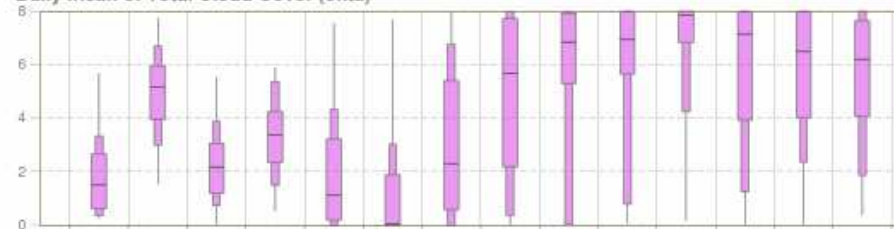
EPS Control(31 km) High Resolution Deterministic(16 km)

Wapiti-2.2.1

CECMWF

EPS Meteogram
 Brno 49.14°N 16.8°E (EPS land point) 212 m
 Extended Range Forecast based on EPS Distribution Wednesday 27 February 2013 12 UTC

Daily mean of Total Cloud Cover (okta)



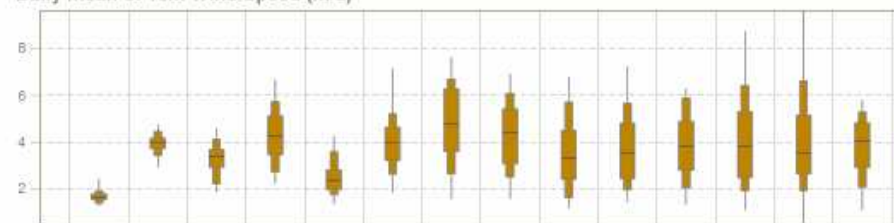
Total Precipitation (mm/24h)



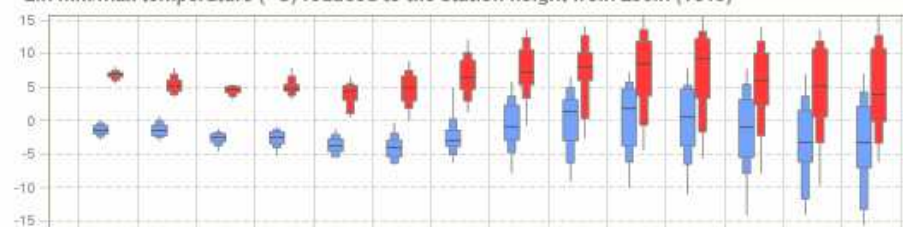
Daily distribution of 10m Wind Direction



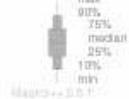
Daily mean of 10m Wind Speed (m/s)



2m min/max temperature (°C) reduced to the station height from 290m (T319)



Wed 27 Thu 28 Fri 1 Sat 2 Sun 3 Mon 4 Tue 5 Wed 6 Thu 7 Fri 8 Sat 9 Sun 10 Mon 11 Tue 12 Wed 13
 March 2013



Předpověď' na týden 4.3.–10.3.

ECMWF EPS-Monthly Forecasting System

2-meter Temperature anomaly

Forecast start reference is 25-02-2013

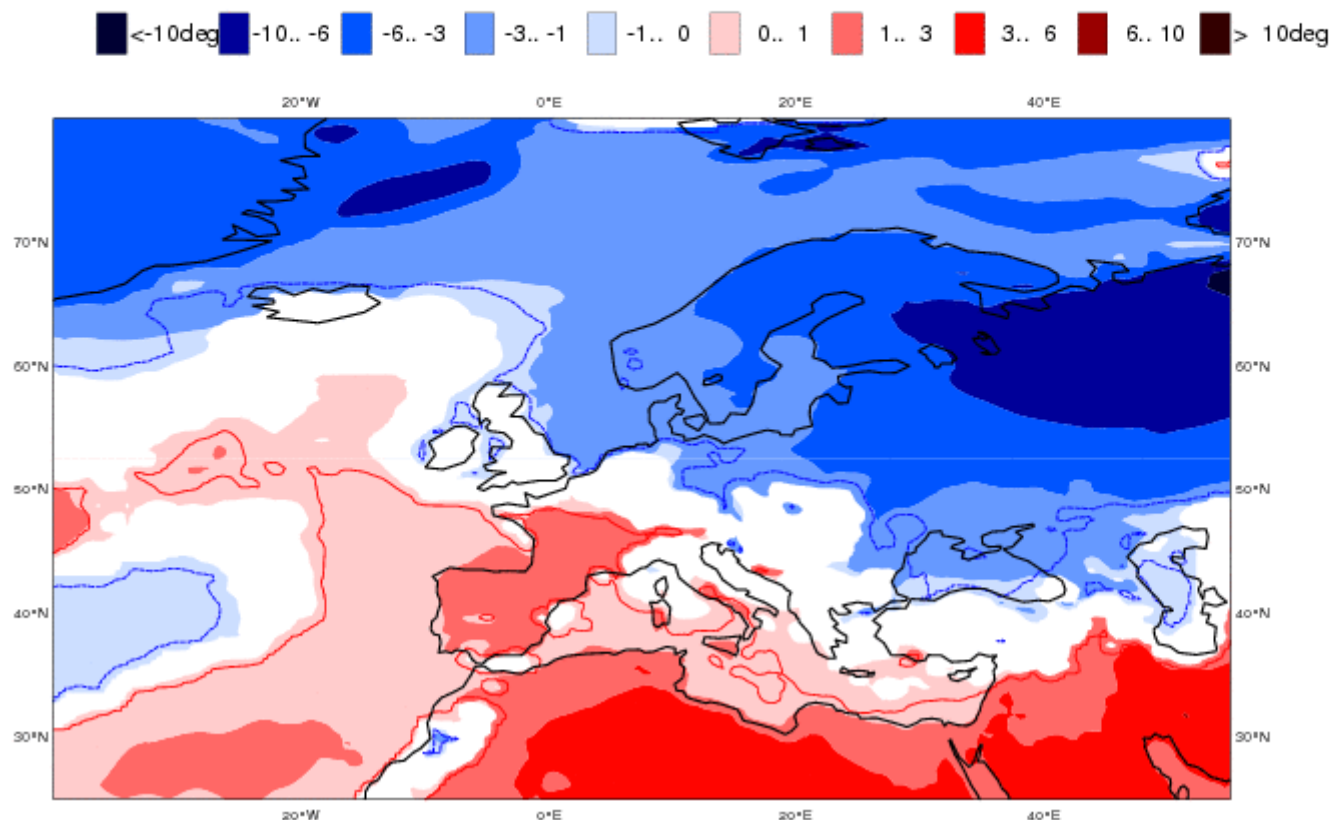
ensemble size = 51 , climate size = 100

Day 8-14

04-03-2013/TO/10-03-2013

Shaded areas significant at 10% level

Contours at 1% level



Předpověď' na týden 11.3.–17.3.

ECMWF EPS-Monthly Forecasting System

2-meter Temperature anomaly

Forecast start reference is 25-02-2013

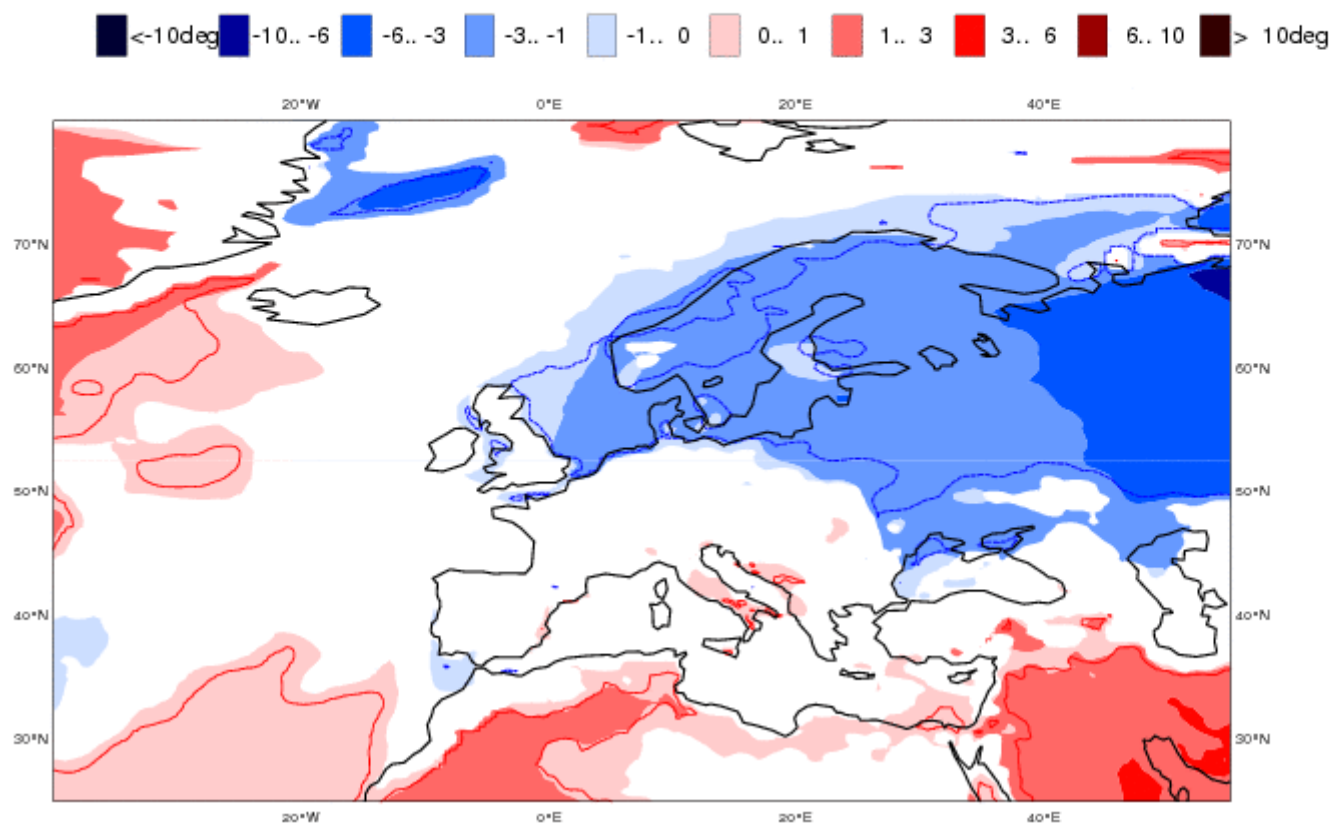
ensemble size = 51 climate size = 100

Day 15-21

11-03-2013/TO/17-03-2013

Shaded areas significant at 10% level

Contours at 1% level



Předpověď' na týden 18.3.–24.3. 2013

ECMWF EPS-Monthly Forecasting System

2-meter Temperature anomaly

Forecast start reference is 25-02-2013

ensemble size = 51 climate size = 100

Day 22-28

18-03-2013/TO/24-03-2013

Shaded areas significant at 10% level

Contours at 1% level

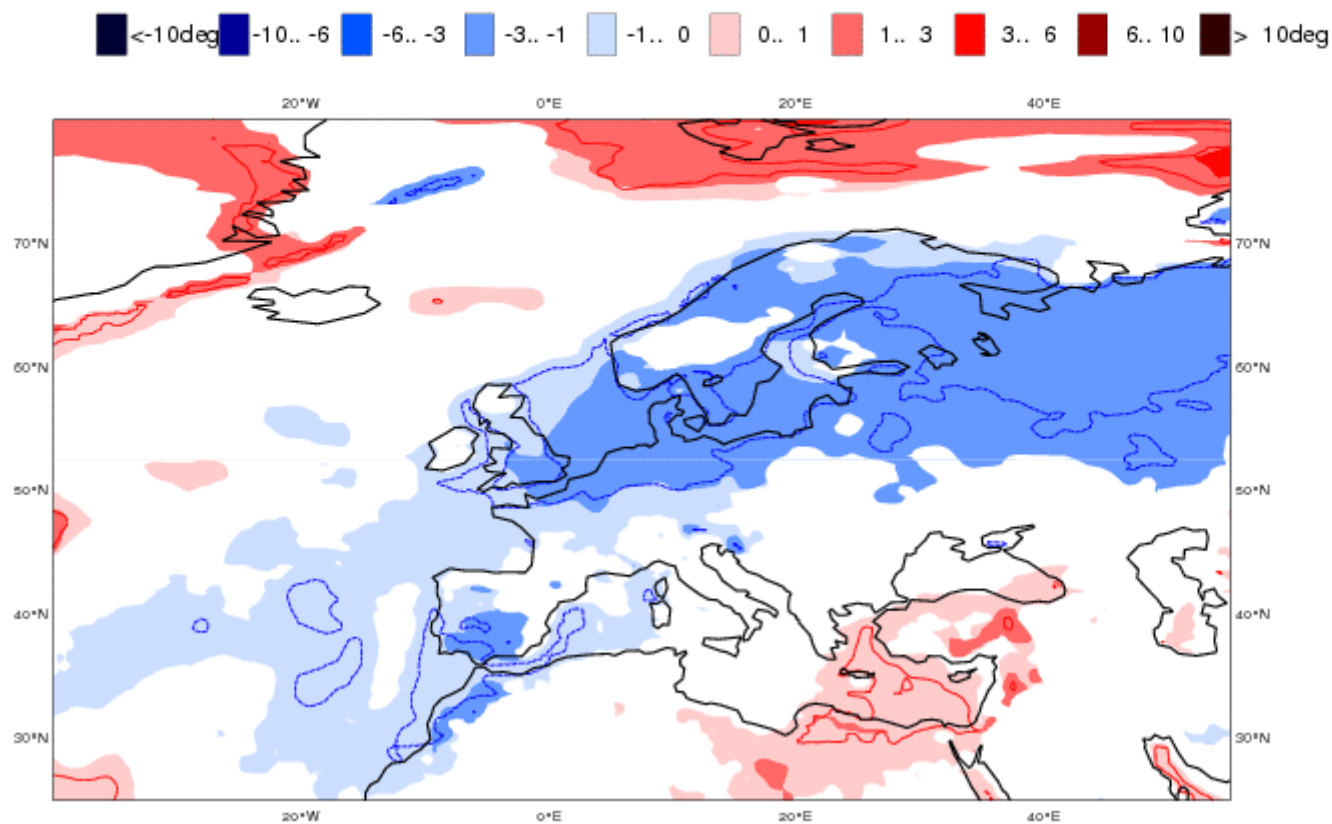


Diagram pro Prahu

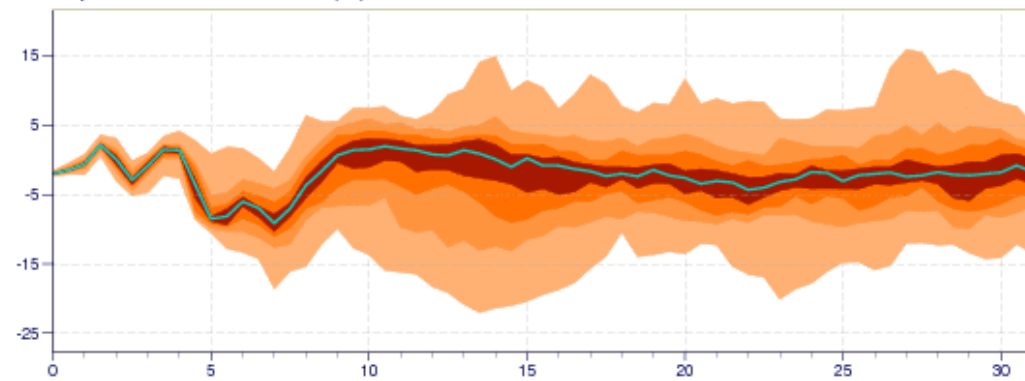
ECMWF Ensemble forecasts for GZECH_F

Location: 50.02°N 14.45°E

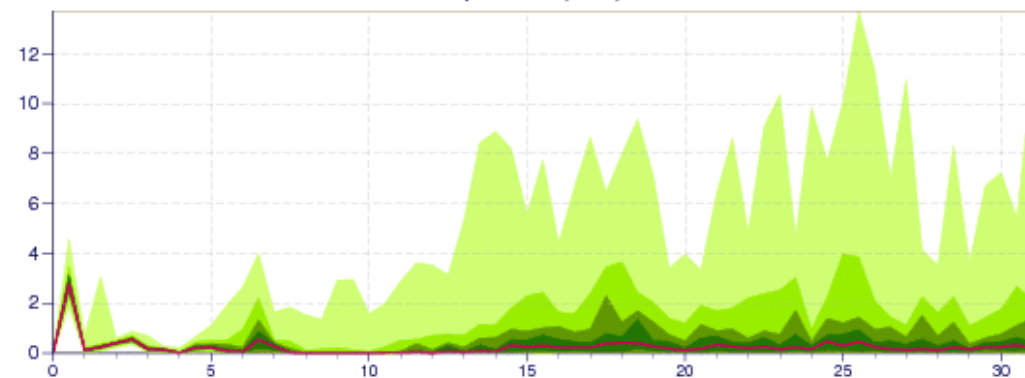
Base Time: Monday 25 February 2013 00 UTC

Extremes 12.5-87.5% 25-75% 37.5-62.5%
Median

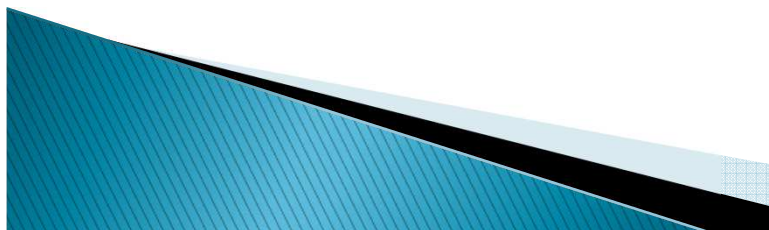
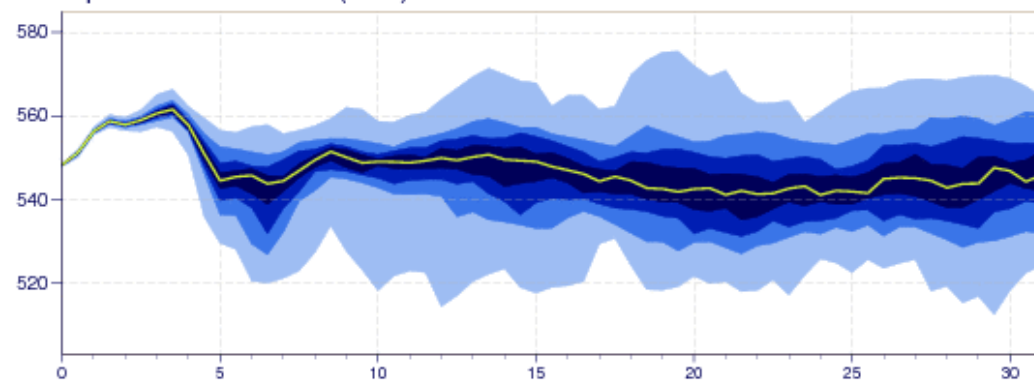
Temperature at 850 hPa (C) - Ensemble distribution



Ensemble distribution of Total Precipitation (mm)



Geopotential at 500 hPa (dam) - Ensemble distribution



Sezónní předpověď teplotní anomálie

ECMWF Seasonal Forecast

Prob(most likely category of 2m temperature)

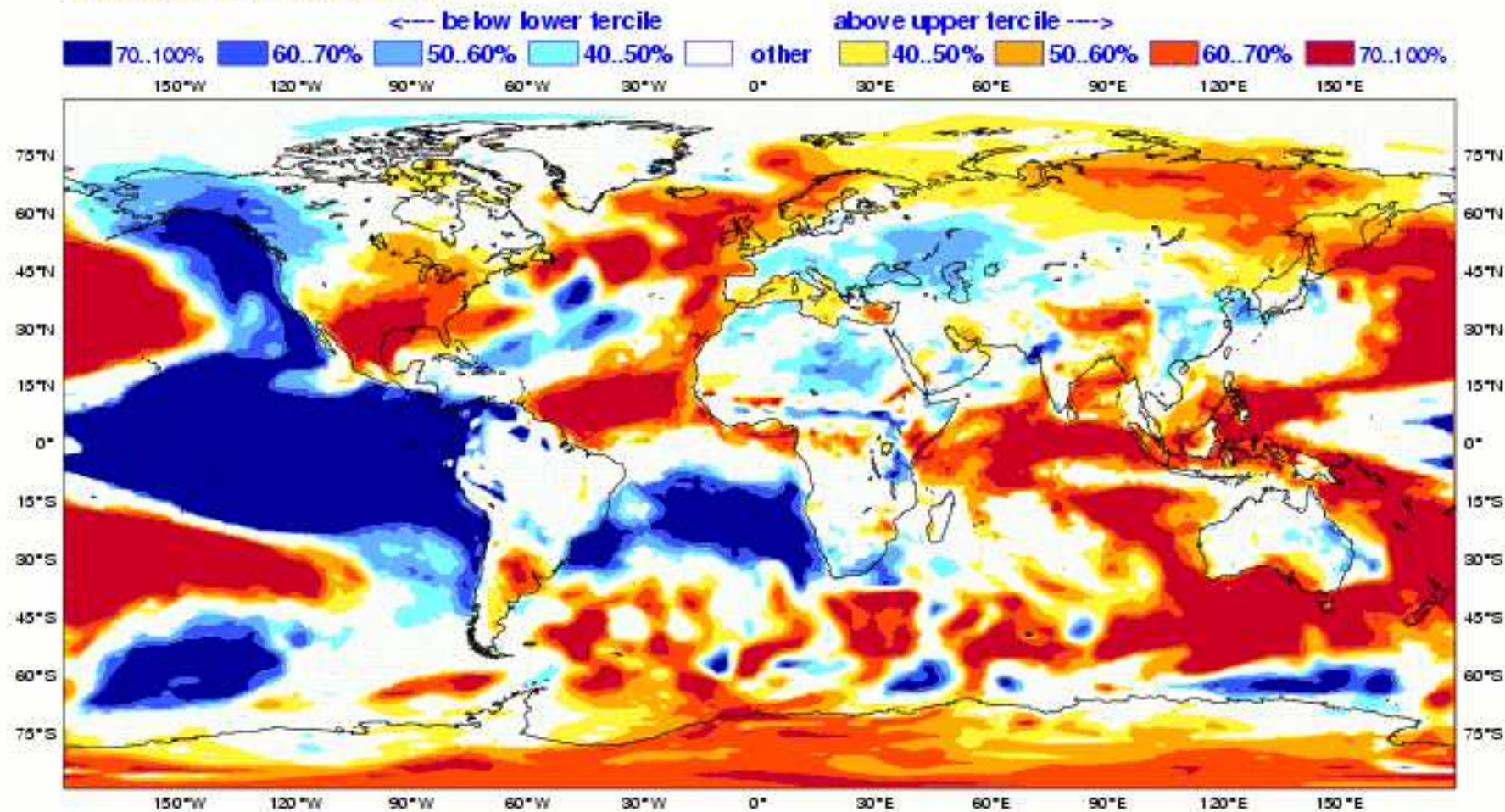
Forecast start reference is 01/10/11

Ensemble size = 41, climate size = 275

System 3

DJF 2011/12

No significance test applied



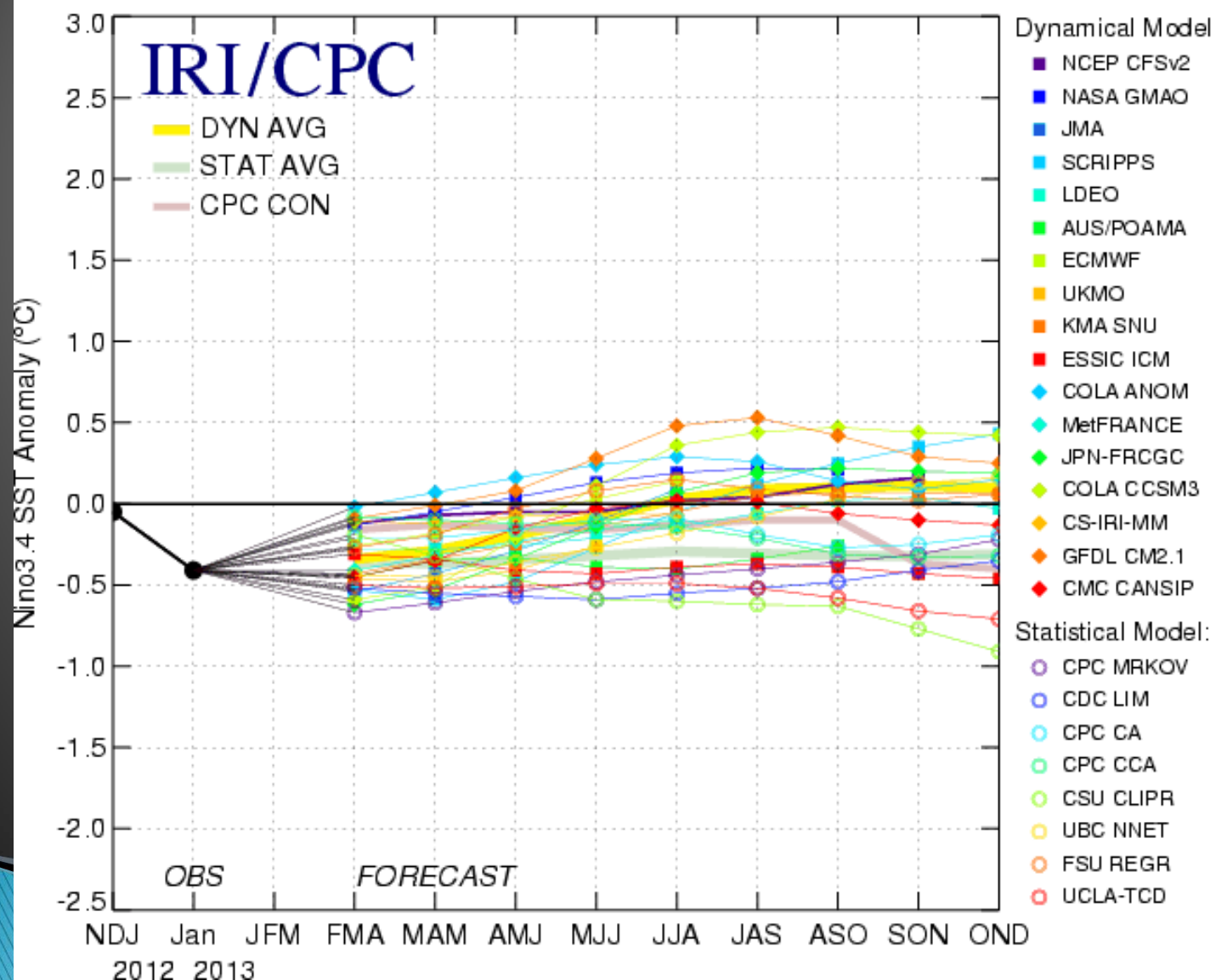
Forecast issue date: 15/10/2011

ECMWF

Předpověď ENSO

(anomálie teploty hladiny moře rovníkového Pacifiku)

Mid-Feb 2013 Plume of Model ENSO Predictions



Velmi krátkodobá předpověď, (nowcasting)

- ▶ předpověď na 0–12 hodin (nowcasting 0–2 h)
 - extrapolační předpovědi; Nowcasting pro předpověď srážek je založen na detekci srážkově významné oblačnosti (radarem, družicí) a extrapolaci jejich pohybu pomocí vektoru větru z numerického modelu nebo podle jejich předchozího pohybu



Velmi krátkodobá předpověď, nowcasting

problémy: nerovnoměrnost (nelinearita) pohybu význačných oblaků, zejména konvektivních buněk; bouřky mohou vznikat a zanikat velmi rychle.



Koncepční modely

- ▶ Koncepční modely atmosférických systémů popisují jejich typické struktury, životní cykly a s nimi spojené povětrnostní jevy.
- ▶ Koncepční modely jsou založeny na studiu pozorovaného chování atmosférických systémů patřících do stejné kategorie a jsou často určitým způsobem podporovány výsledky numerických simulací.
- ▶ Nejznámější koncepční modely: fronty, cyklony, konvektivní systémy (izolované bouřky, multicely, supercely ...).



Integrace metod dálkové detekce a NWP modelů pro nowcasting

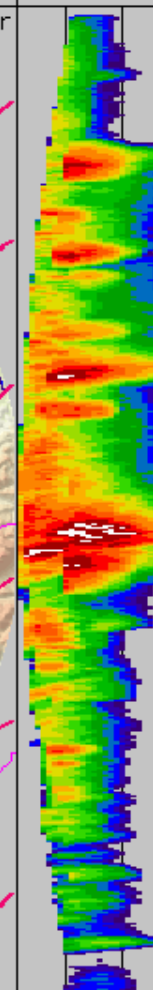
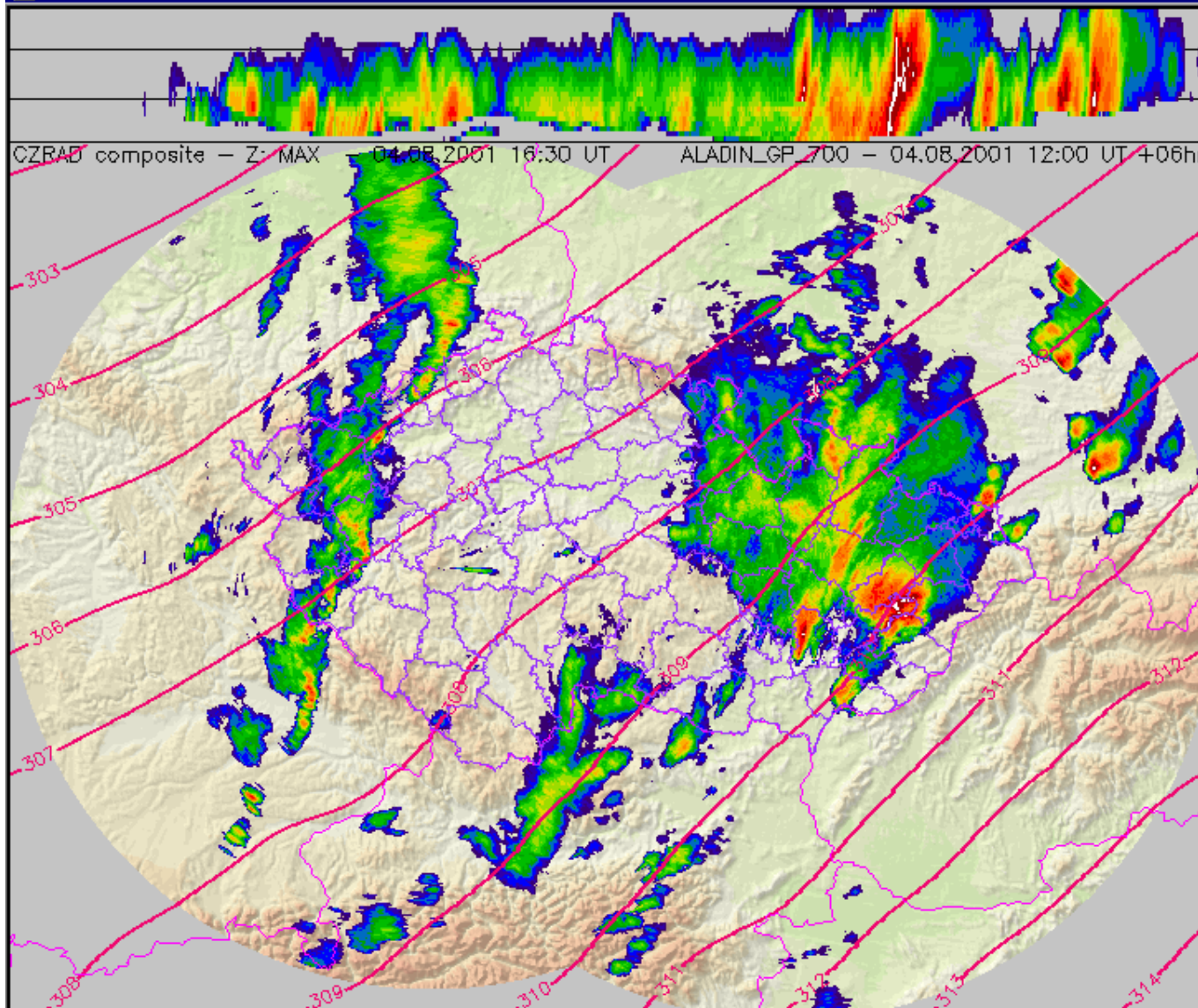
- ▶ Model NIMROD (UKMO): Oblačné systémy zjištěné satelity a radary jsou advehovány ("přesouvány") pomocí vektoru větru z numerického modelu nebo extrapolací předchozího pohybu
- ▶ Problémy: Počáteční fáze vzniku konvektivních systémů.



Integrace metod dálkové detekce a NWP modelů pro nowcasting

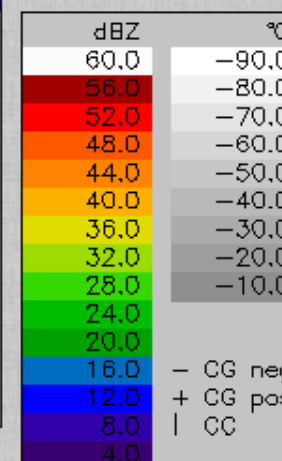
ČHMÚ: JS MeteoView





04.08.2001 16:30
 04.08.2001 16:20
 04.08.2001 16:10
 04.08.2001 16:00
 04.08.2001 15:50
 04.08.2001 15:40
 04.08.2001 15:30
 04.08.2001 15:20
 04.08.2001 15:10
 04.08.2001 15:00
 04.08.2001 14:50
 04.08.2001 14:40

LOAD (96 / 96)



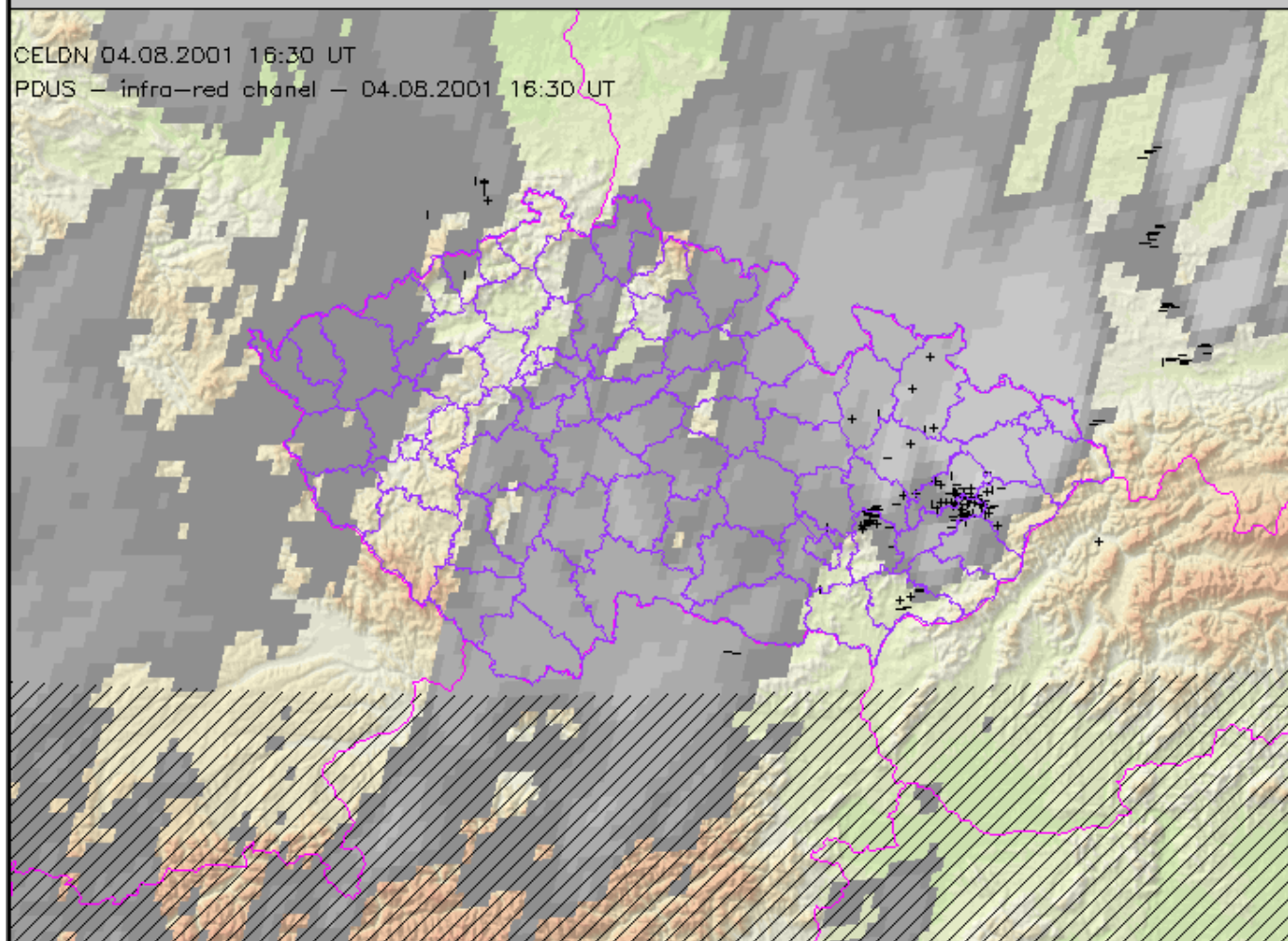
ANIM: 1 s/img LAST: +2 s AUTO UPDATE Do not update
 ORO col UND none PDUS ☐ RAD ☒ LIGHTNING ☐ NWP ALADIN_GP_700-200108041200+06hr OVR dist
 NAVIG. none LON. 14.447 LAT. 50.008 Choose predefined position

CG- 147
CG+ 35
CC 42
Σ 224

CHMI Radar Department

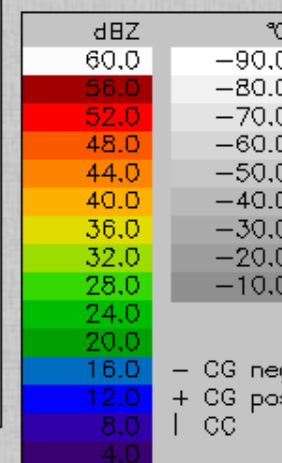


CELDN 04.08.2001 16:30 UT
PDUS - infra-red channel - 04.08.2001 16:30 UT



04.08.2001 16:30 ▲
04.08.2001 16:20
04.08.2001 16:10
04.08.2001 16:00
04.08.2001 15:50
04.08.2001 15:40
04.08.2001 15:30
04.08.2001 15:20
04.08.2001 15:10
04.08.2001 15:00
04.08.2001 14:50
04.08.2001 14:40 ▼

LOAD (96 / 96)



< < || >> > > ANIM: 1 s/img LAST: +2 s AUTO UPDATE Do not update

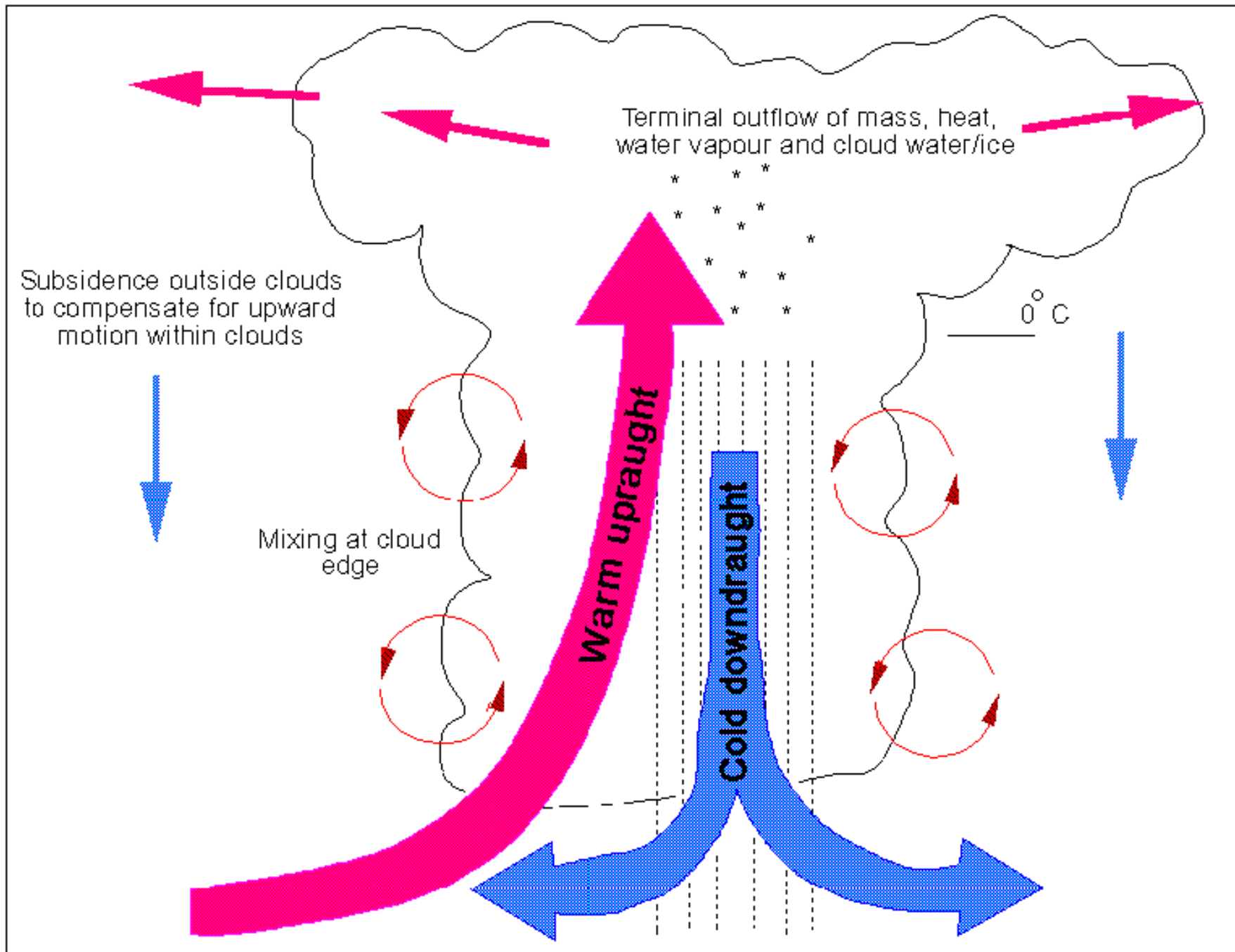
ORO col UND none PDUS ☒ RAD ☐ LIGHTNING ☒ NWP none OVR dist

NAVIG. none LON. 14.447 LAT. 50.008 Choose predefined position

Konvektivní bouře, bouřky

Základem bouřky je lokální výstupný proud (na obrázku bude označen červeně), který „zavede“ teplejší vzduch do větších výšek, kde se ochladí a vydává vláhu. Srážky při svém pádu „strhávají“ a ochlazují vzduch pod sebou a vytvářejí sestupný proud (modře). Ten se může při zemi projevit silnými nárazy větru (húlavou).







Vývoj bouřkového oblaku

Na následujících snímcích uvidíte vývoj bouřkového oblaku v oblasti Zlatých Hor (severního okraje Jeseníků); od počátku do plného rozvoje bouřkového oblaku uplynulo pouhých dvacet minut. Obrázky jsou získány z měření meteorologického radiolokátoru Skalky instalovaného na Drahanské vrchovině.



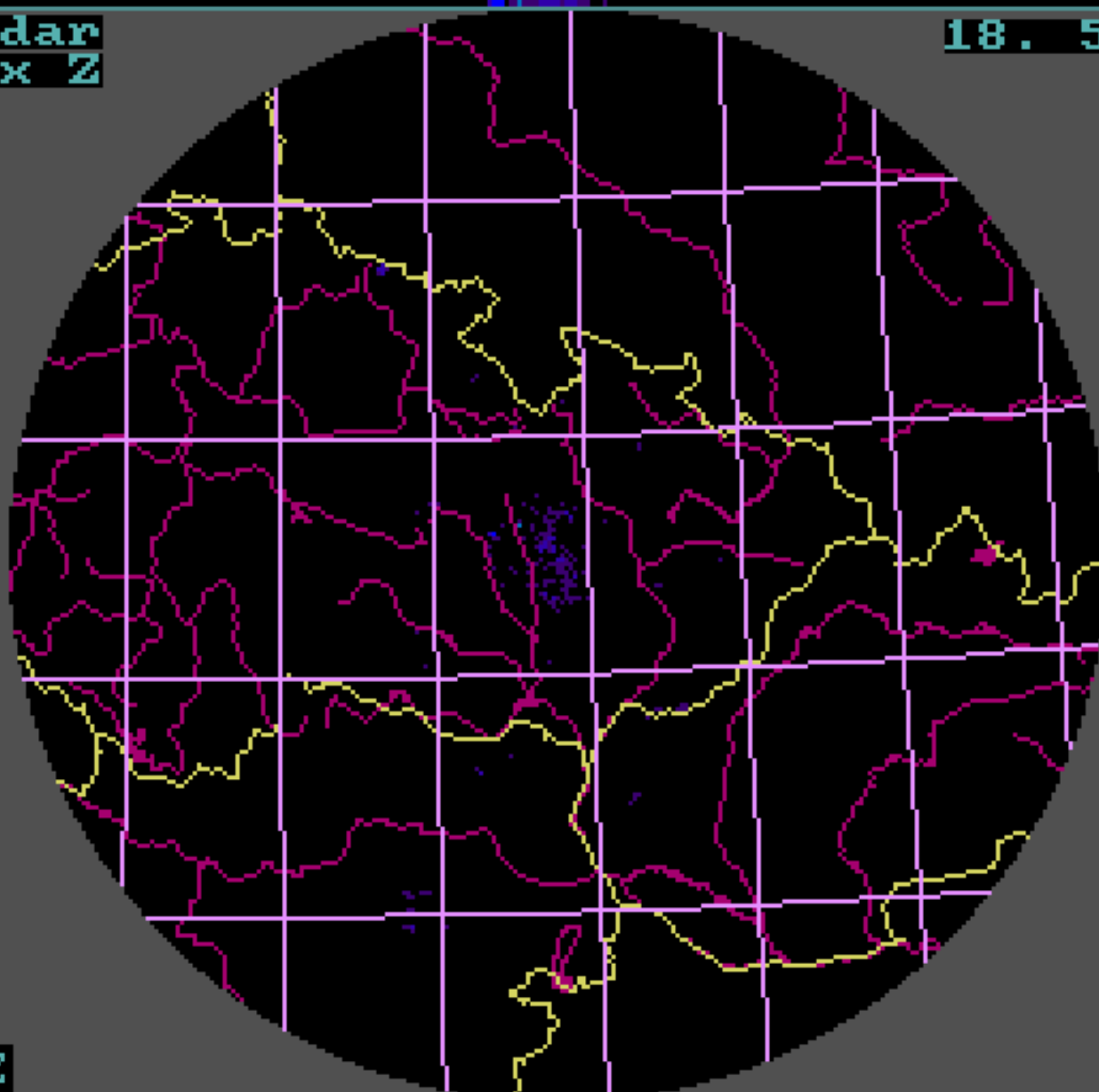
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 09:20

60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4

dBZ



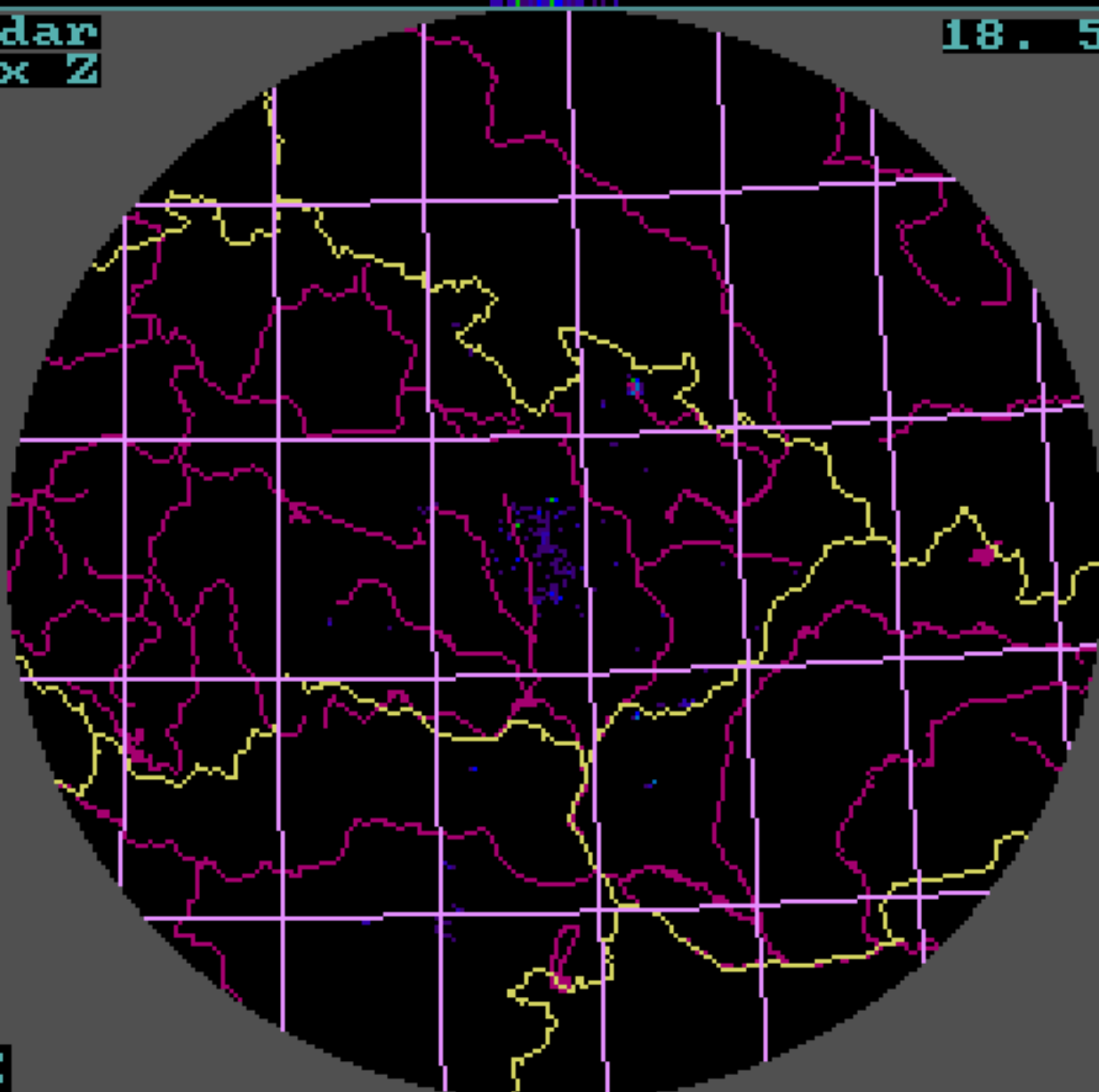
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 09:30

60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4

dBZ



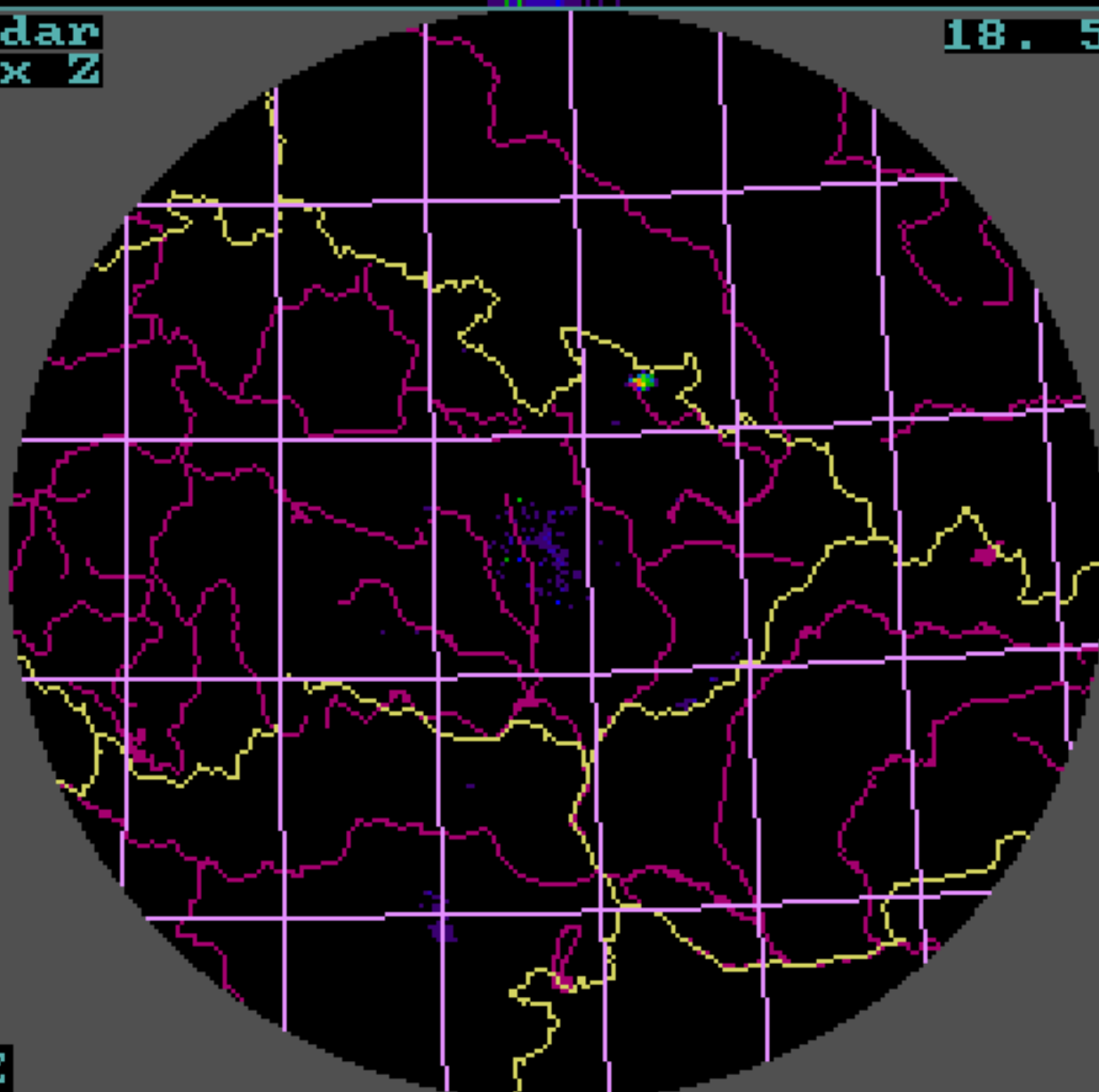
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 09:40

60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4

dBZ



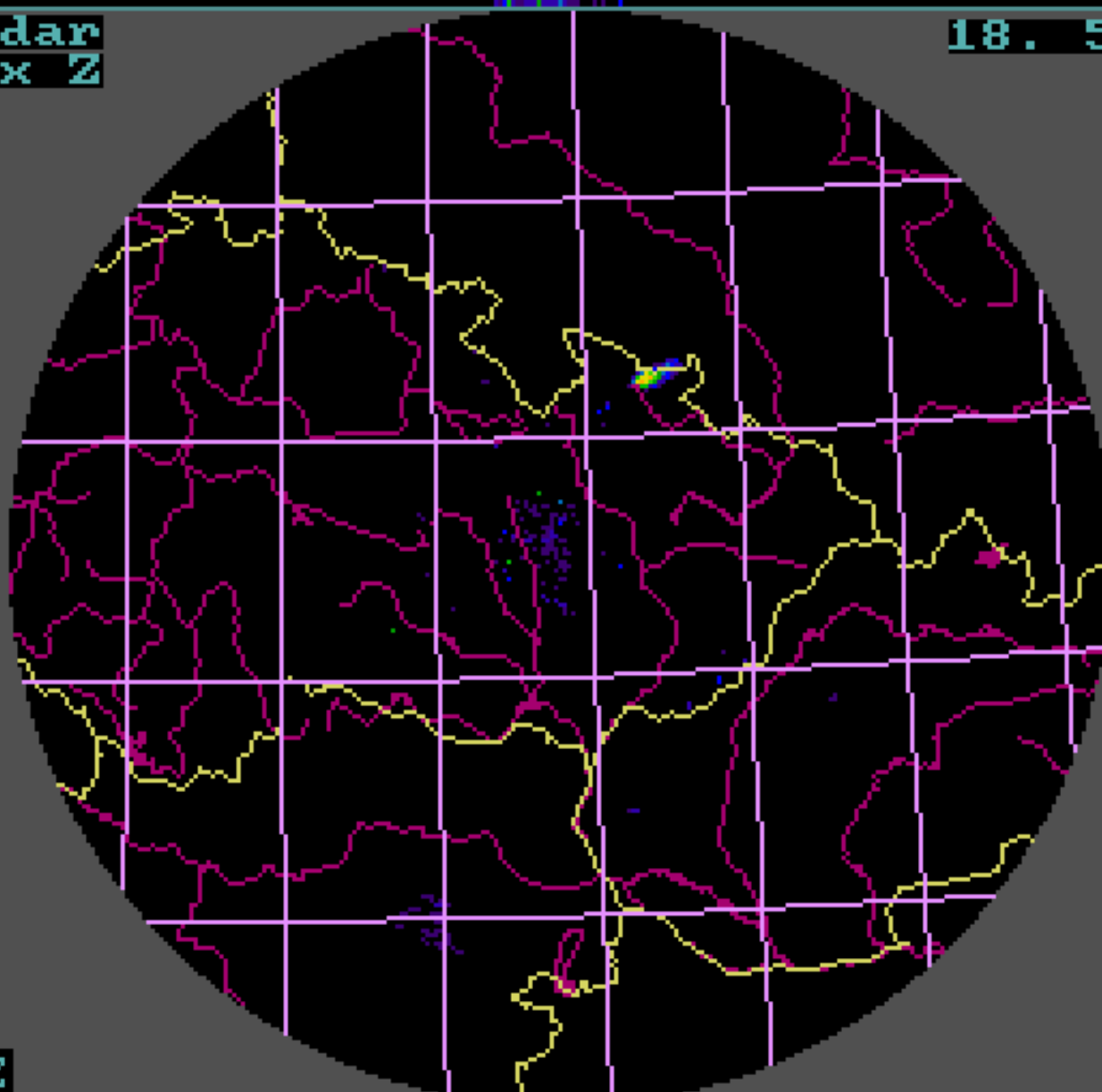
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 09:50

60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4

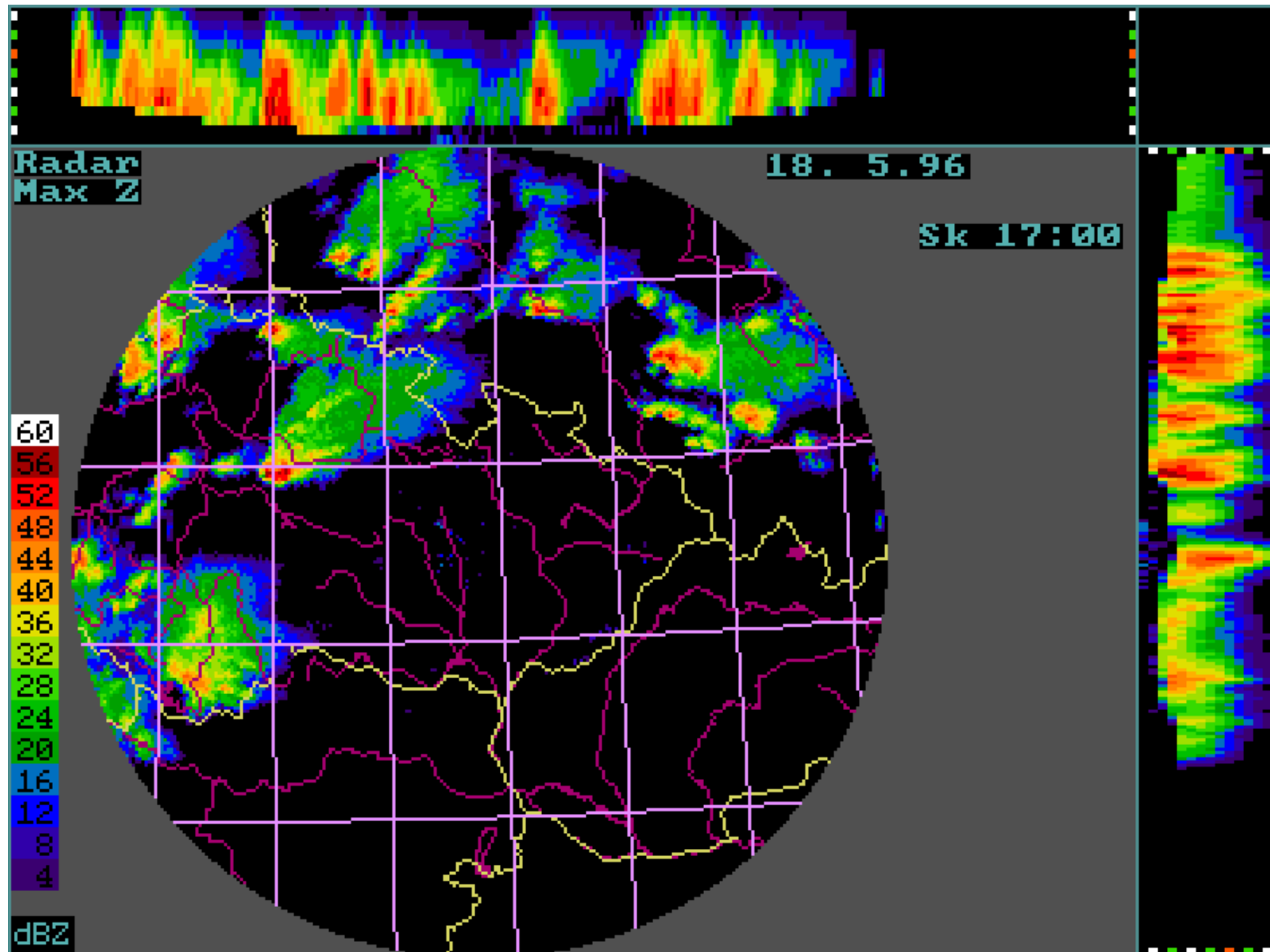
dBZ

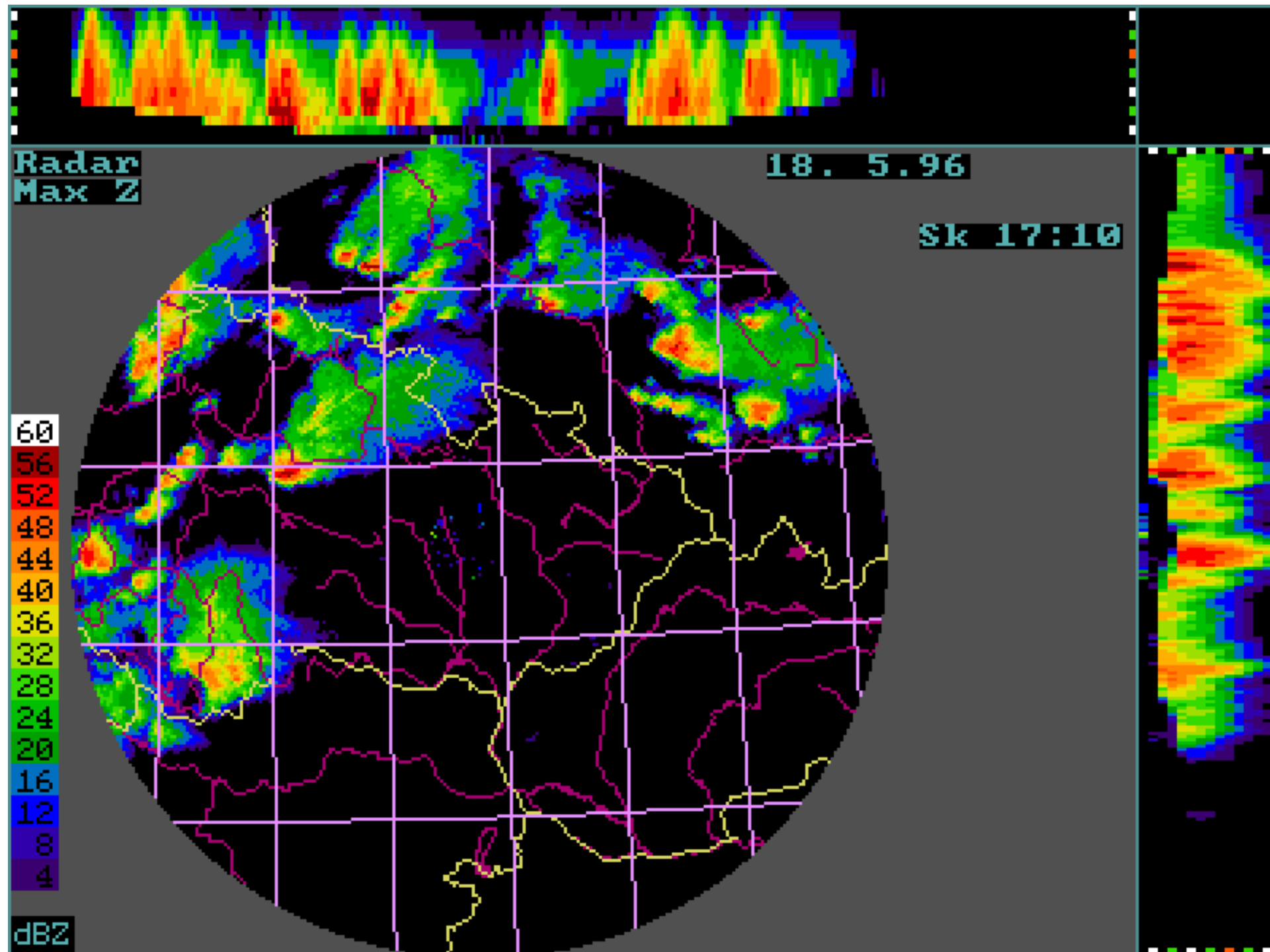


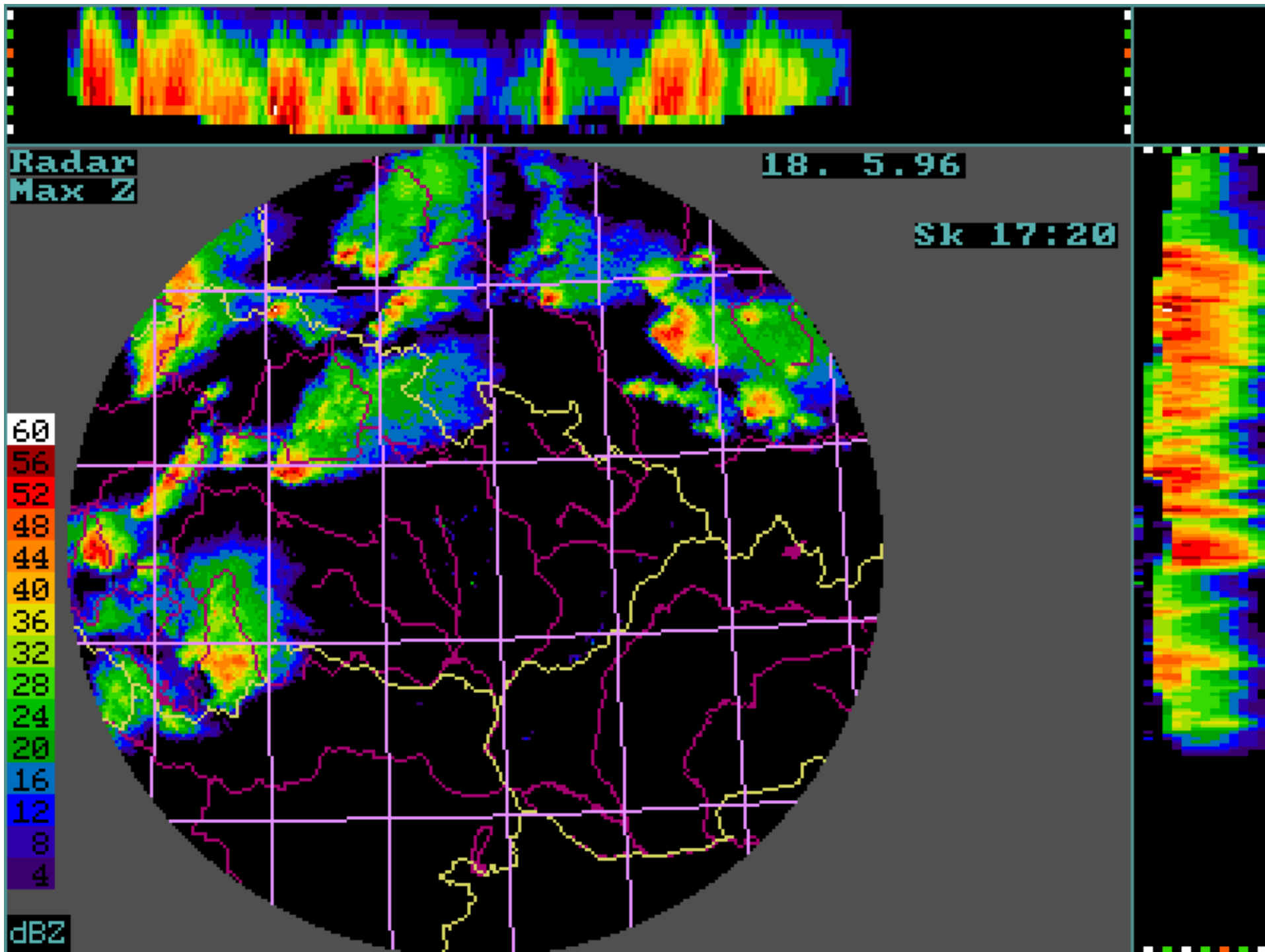
O několik hodin později:

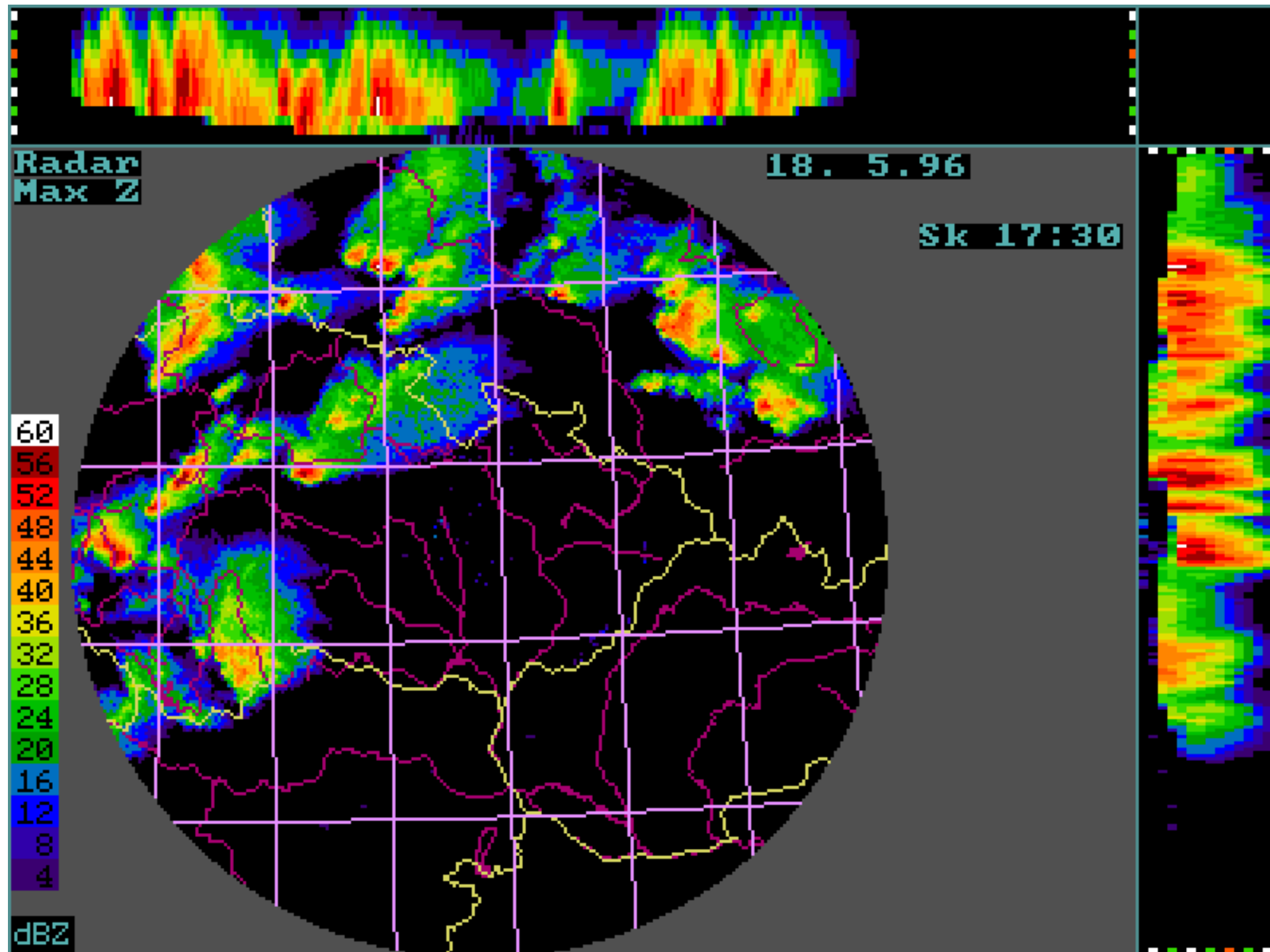
Bouřkové buňky byly již dostatečně vyvinuté, jejich prediktabilita vyšší, jejich pohyb se v některých případech odchyloval od řídicího jihozápadního proudění:

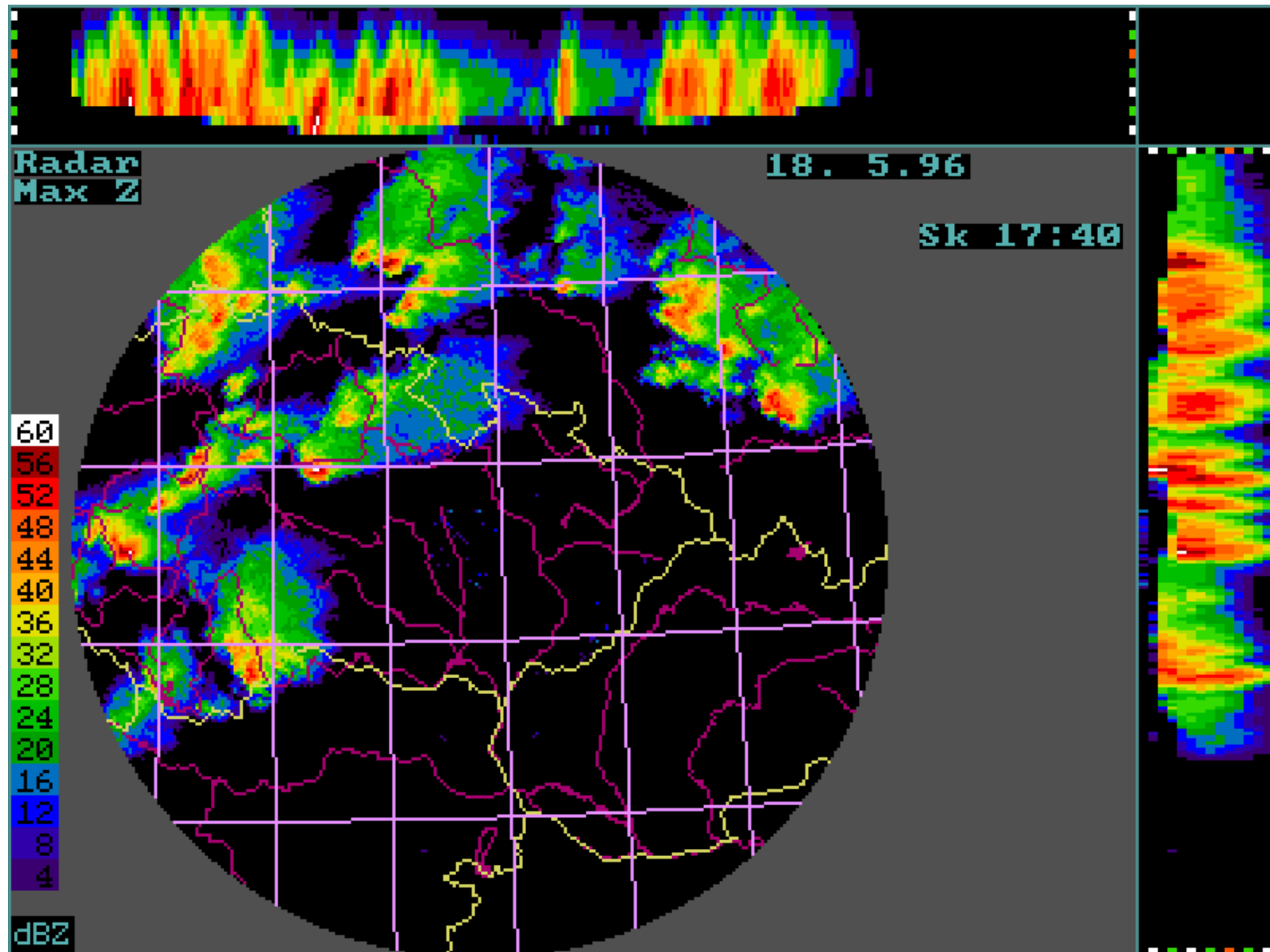


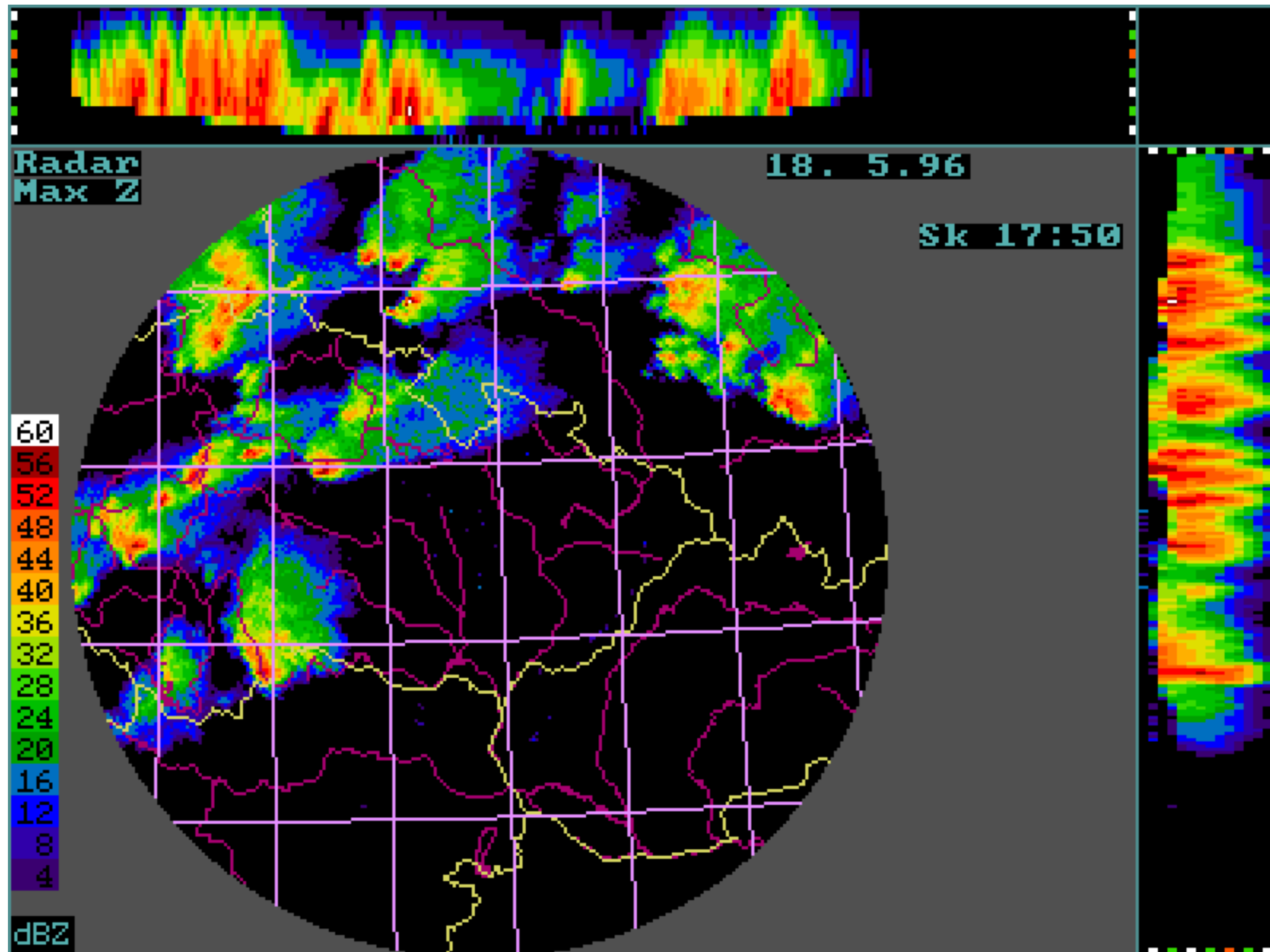






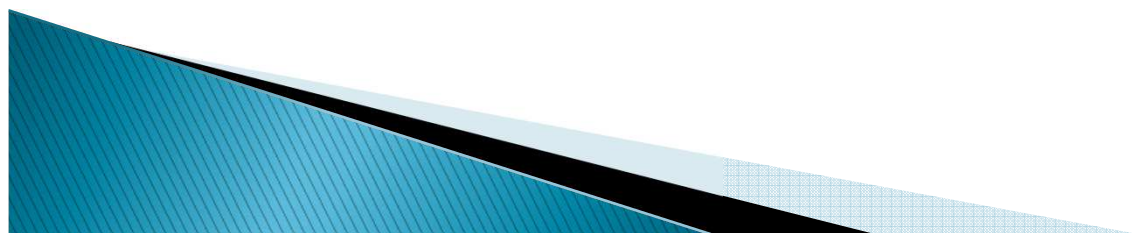






Hydrologické předpovědi

Meteorologická měření a předpovědi se stávají důležitou součástí hydrologických předpovědí. Hydrologové na základě dalších údajů vytvářejí předpovědi průtoků a vodních stavů. Tyto informace jsou důležité nejen pro hospodaření s vodou, ale též pro výstražnou protipovodňovou službu, za kterou česká hydrometeorologická služba zodpovídá.

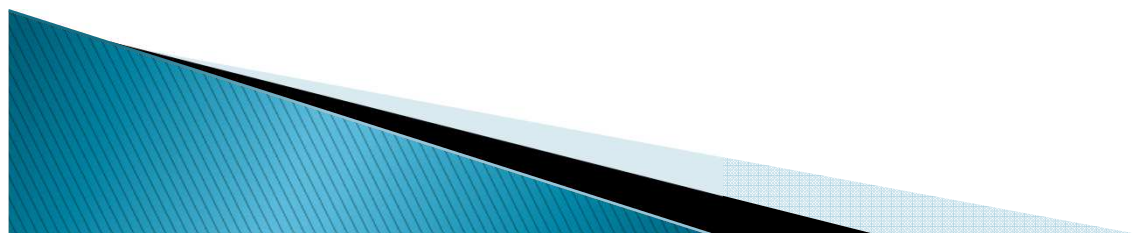


Závěr – výhledy v oblasti meteorologie

- ▶ Trendem v meteorologii je nyní využívání více informačních zdrojů (např. radar+srážkoměr, radar+systemy detekce blesků apod.)
- ▶ Automatizace rutinních činností
- ▶ Rychlá aktualizace údajů, nowcasting
- ▶ Pravděpodobnostní výstupy

Silné bouřky

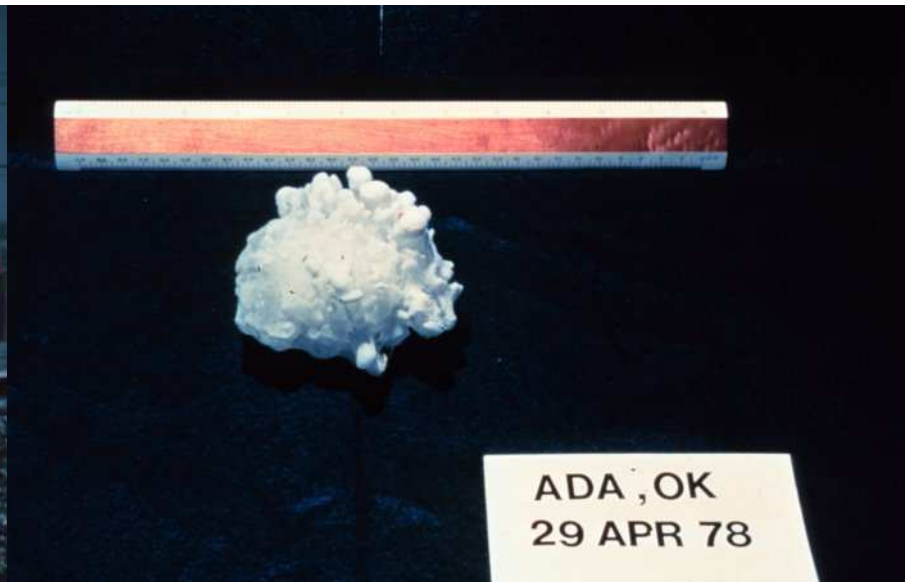
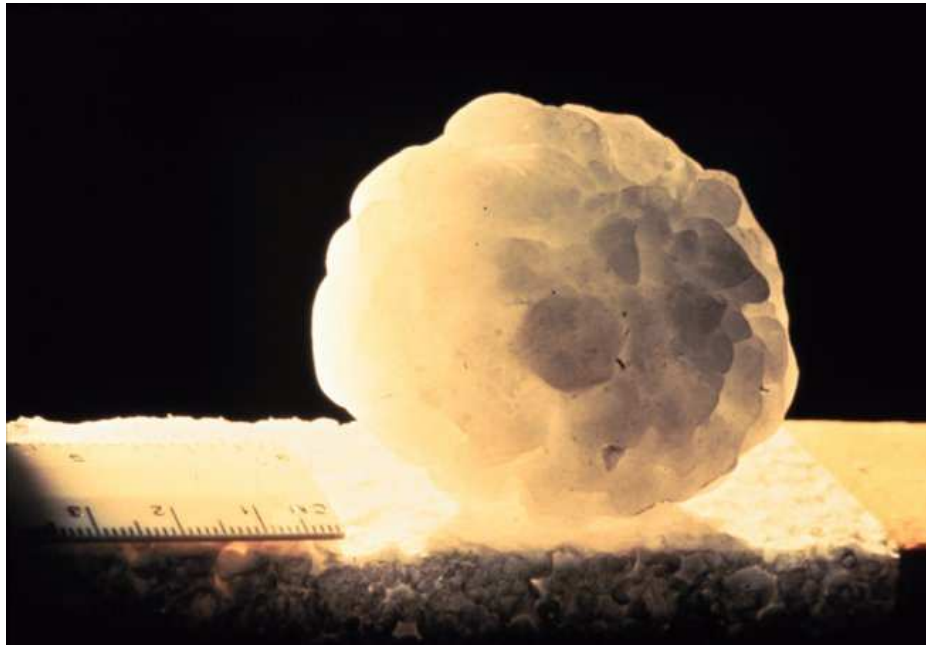
Následují obrázky krup ze 30.6.1997 u Žďáru nad Sázavou a jejich následků.











Tornáda

- ▶ Tornáda jsou atmosférické víry o typickém rozměru několik desítek m až stovek m. Vznikají při silných bouřích v oblastech subtropů a mírných šířek. Nejvíce tornád na km² je hlášeno z Velké Británie, ale nejsilnější tornáda vznikají v oblasti Spojených států amerických.









Čertíci, rarášci

- ▶ Malý (a většinou neškodný) příbuzný tornád je tzv. čertík (=rarášek), což je vír s vertikální osou vznikající za málo oblačné oblohy v jarních, případně letních měsících, kdy se přehřátý vzduch z přízemních vrstev atmosféry „zavrtává“ do horních chladnějších vrstev.







Tornáda v České republice?

Ano, též u nás se tornáda vyskytují, ale naštěstí většinou nejsou příliš silná. Přesto mohou způsobit velké škody, jak ukáží další snímky. První dva snímky se týkají tornáda v Lanžhotě 26.5.1994, další popisují následky tornáda v polesí Teplá (západní Čechy) 21. 7. 1998.





Tornádo u Světlé nad Sázavou 31. 5. 2001





Tornádo u
Světlé nad
Sázavou 31. 5.
2001



31. května 2001

video závěrečné fáze tornáda, savé víry









Martin Setvák



Martin Setvák



konec dubna 2004 – tři roky „poté“...











Tornádo u Brna 20. 7. 2002



Tornádo u Brna 20. 7. 2002



Tornádo u Prostějova 20. 7. 2002





20. července 2001
Prostějovsko
video - Čechy pod Košířem



Tornádo 19. dubna 2000 u obce Studnice, okres Vyškov





7. srpna 2002, Dačice





Nový Malín, 6. června 2003

Doposud nejlépe zdokumentované tornádo:

- 3x video
- 1x foto
- 1x web-kamera



video Pavel Klásek

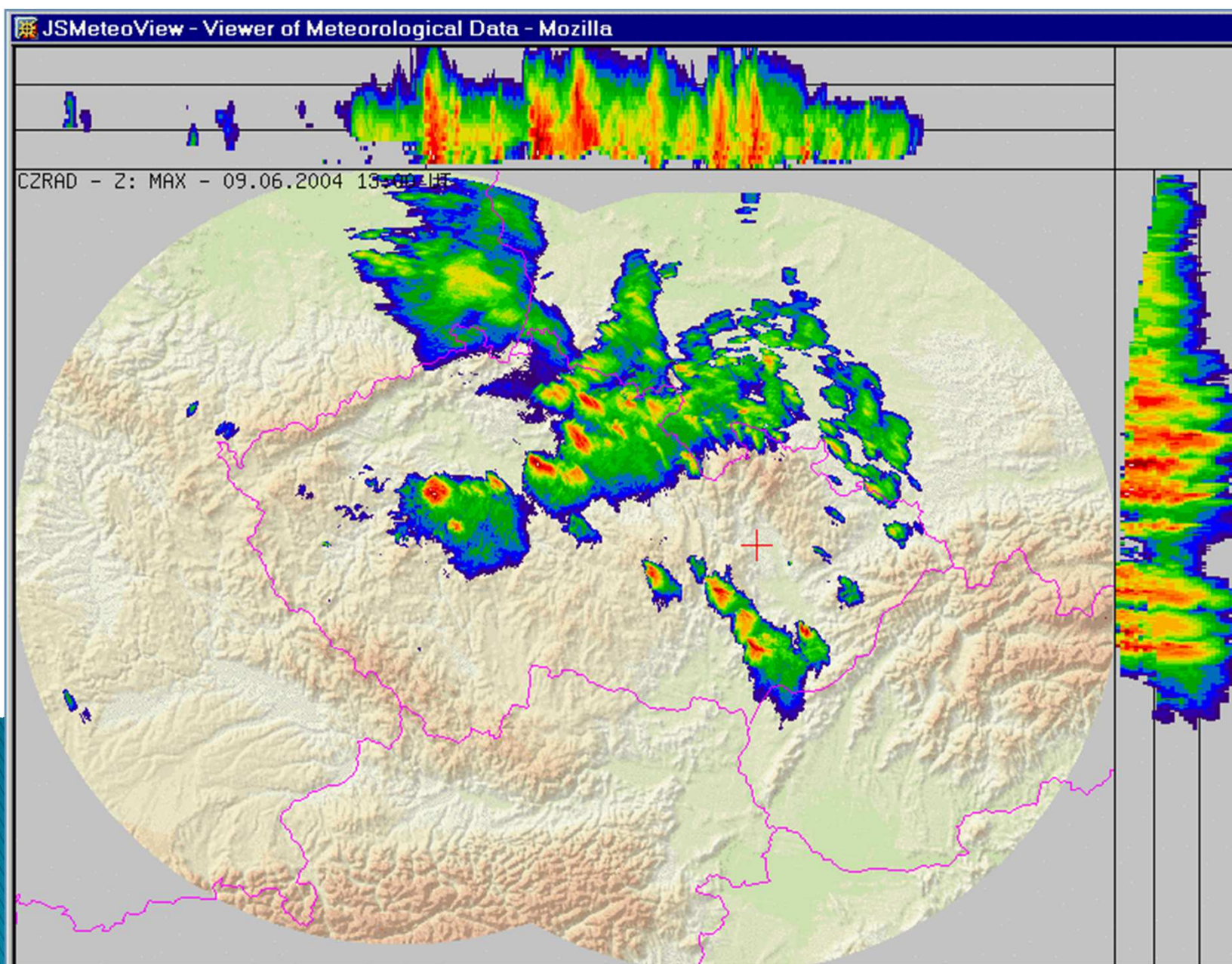


Litovel, 9. 6. 2004





Litovel, 9. 6. 2004





Litovel, 9. 6. 2004





Litovel, 9. 6. 2004



Litovel, 9. 6. 2004



Předpovědi tornád

Předpověď tornáda je jeden z nejsložitějších úkolů meteorologie. V praxi se děje pouze u povětrnostní služby USA, která využívá vysoce výkonné dopplerovské radary detekující radiální složky proudění v měřítku stovek metrů. Takto se podařilo detekovat pravděpodobný vznik tornáda a varovat veřejnost v Oklahomě 3.5.1999 20–30 minut před vlastním příchodem ničivého víru.





Tornadoes in the United States

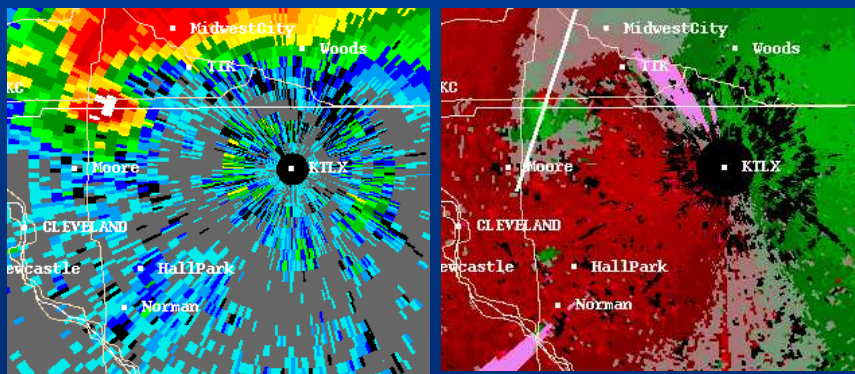
On May 3rd 1999 an F-5 tornado struck Oklahoma City

- 2 km wide

- 500 km/hr doppler measured winds near the surface

- 42 deaths

- 7000 homes destroyed











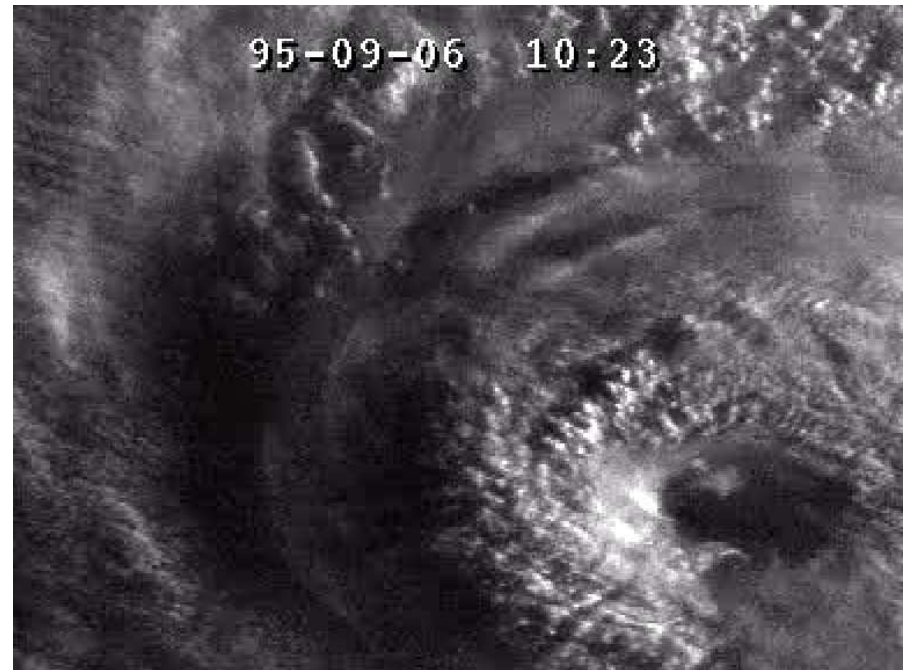




Tropické cyklóny

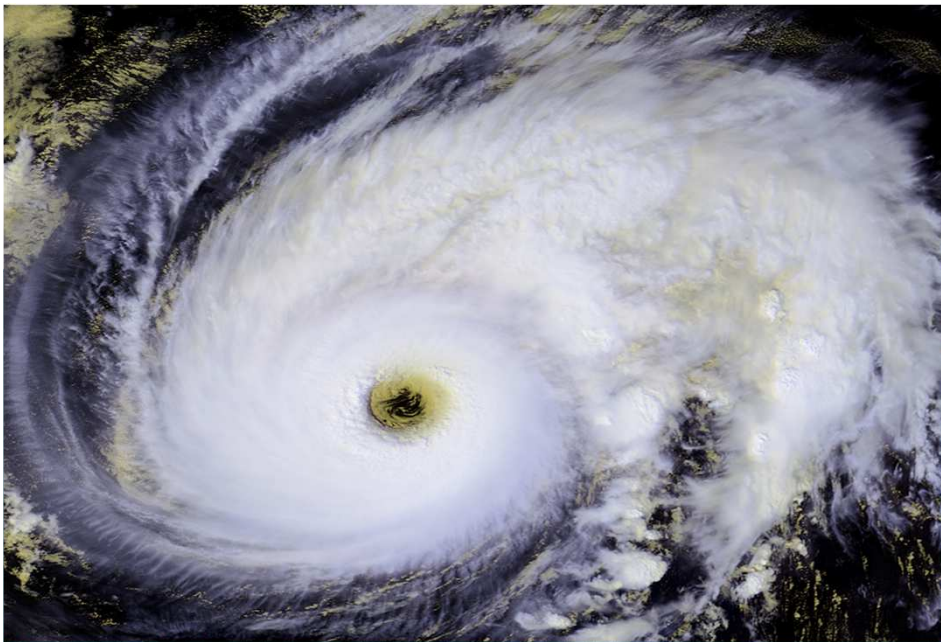
Velikost: stovky km

Trvání: několik dnů



Karibik: hurikán

Pacifik: tajfun



Tropické cyklóny

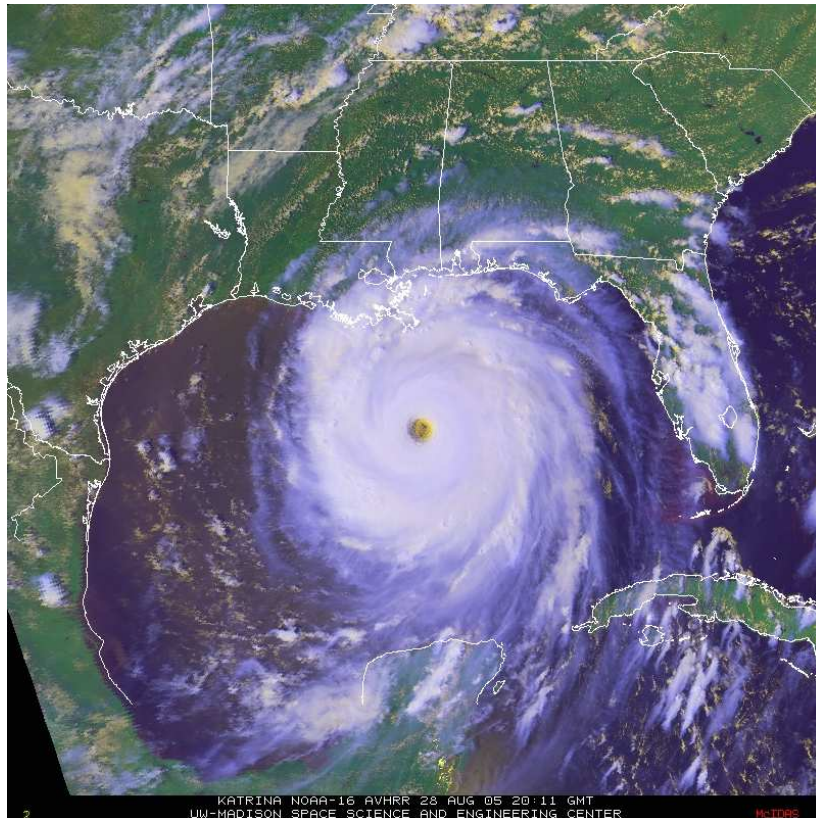
Vznikají v subtropických mořích při teplotě povrchu oceánu nad 26 st. a ohrožují zejména oblasti Karibského moře a tropického Pacifiku i oblasti Afriky.

Indický oceán: cyklon

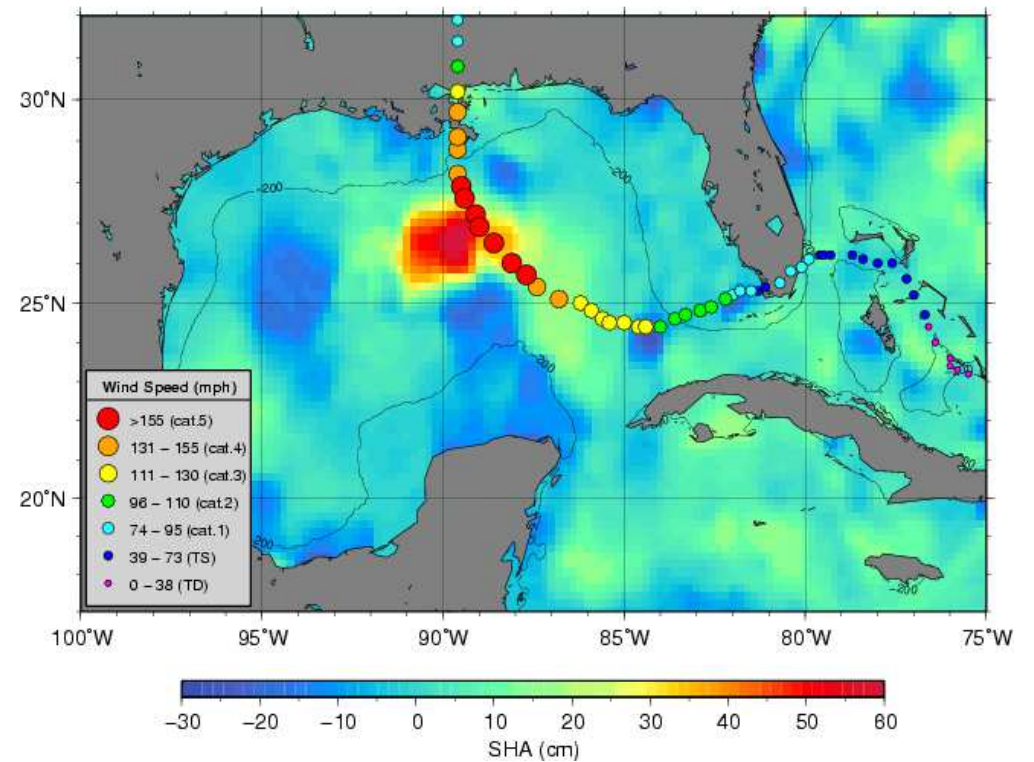
Austrálie: willy-wily



Hurikán Katrina



Gulf of Mexico – Sea height anomaly (SHA) 08/28/2005



Oko hurikánu Katrina

