

# Monitoring a předpověď počasí

*RNDr. Milan Šálek, Ph.D.*

*milan.salek@email.cz*

***UBIMET***  
***www.ubimet.com***

# 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, využití poznatků z teorie deterministického chaosu k odhadu pravděpodobnosti jednotlivých scénářů vývoje

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)



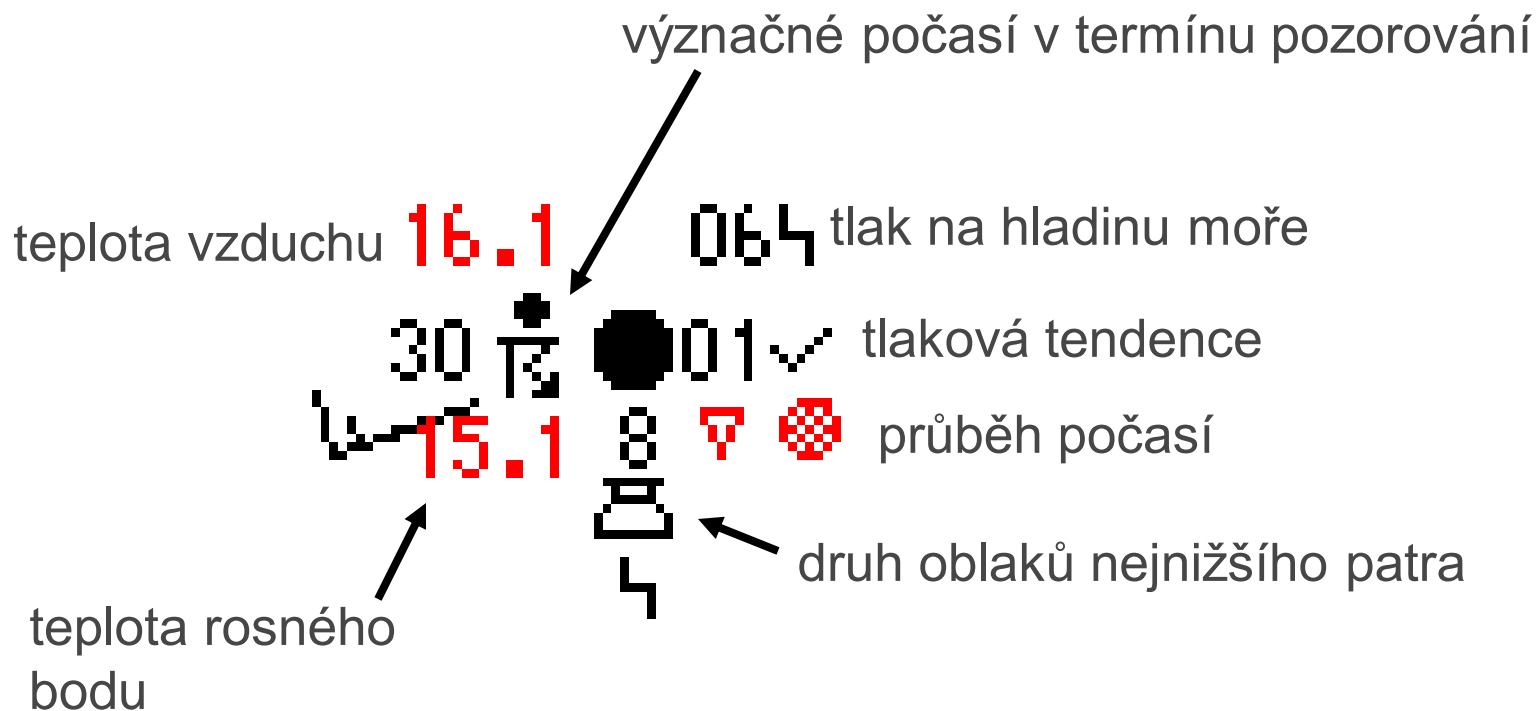
# Podklady pro tvorbu předpovědi počasí

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

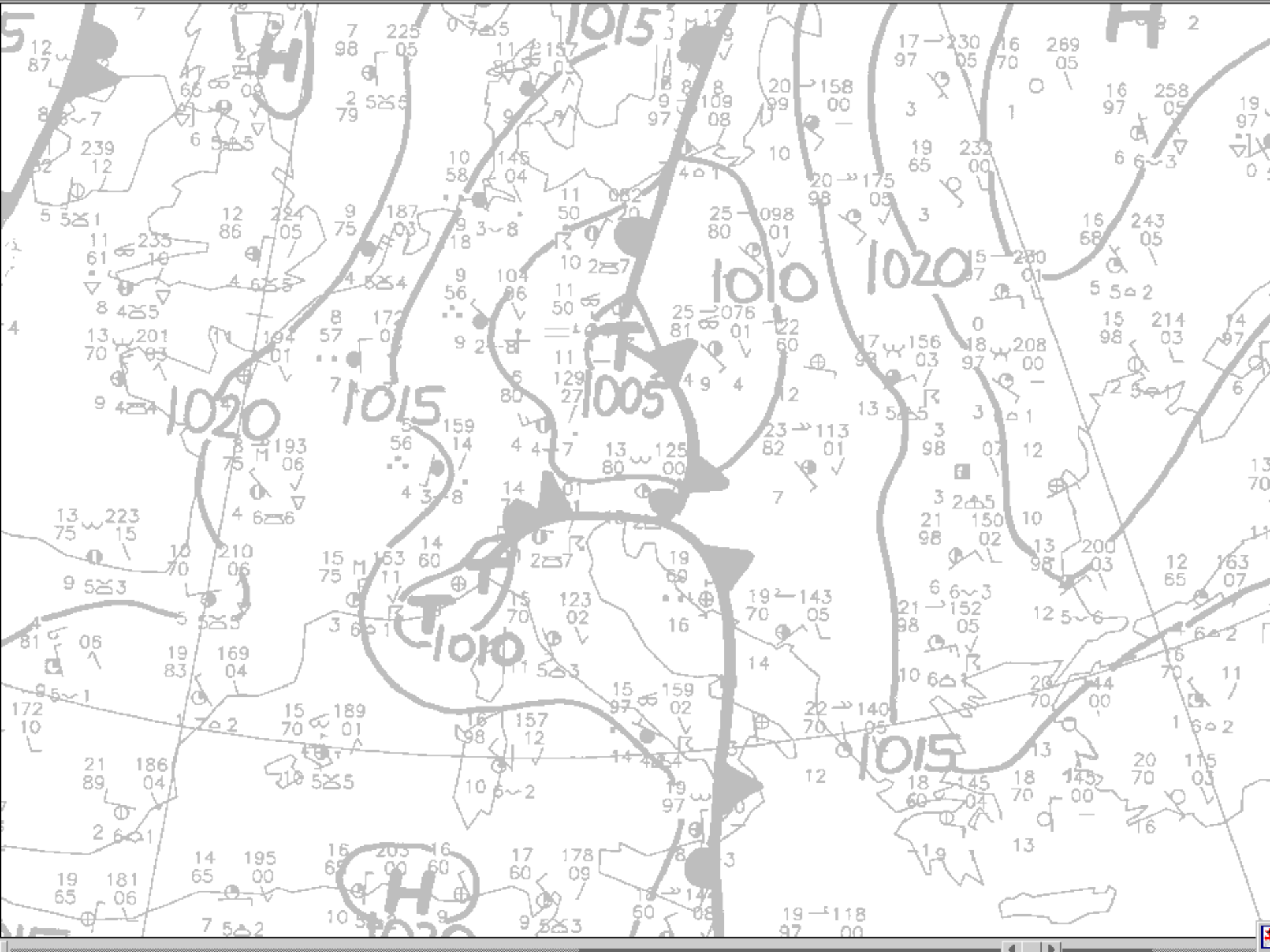
1) **Informace ze sítě pozemních (oceánských) stanic o počtu kolem 10000: alespoň každé 3 hodiny, nejčastěji každou hodinu zpráva, t.č. SYNOP (přechod na kód BUFR v příštích letech):**

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

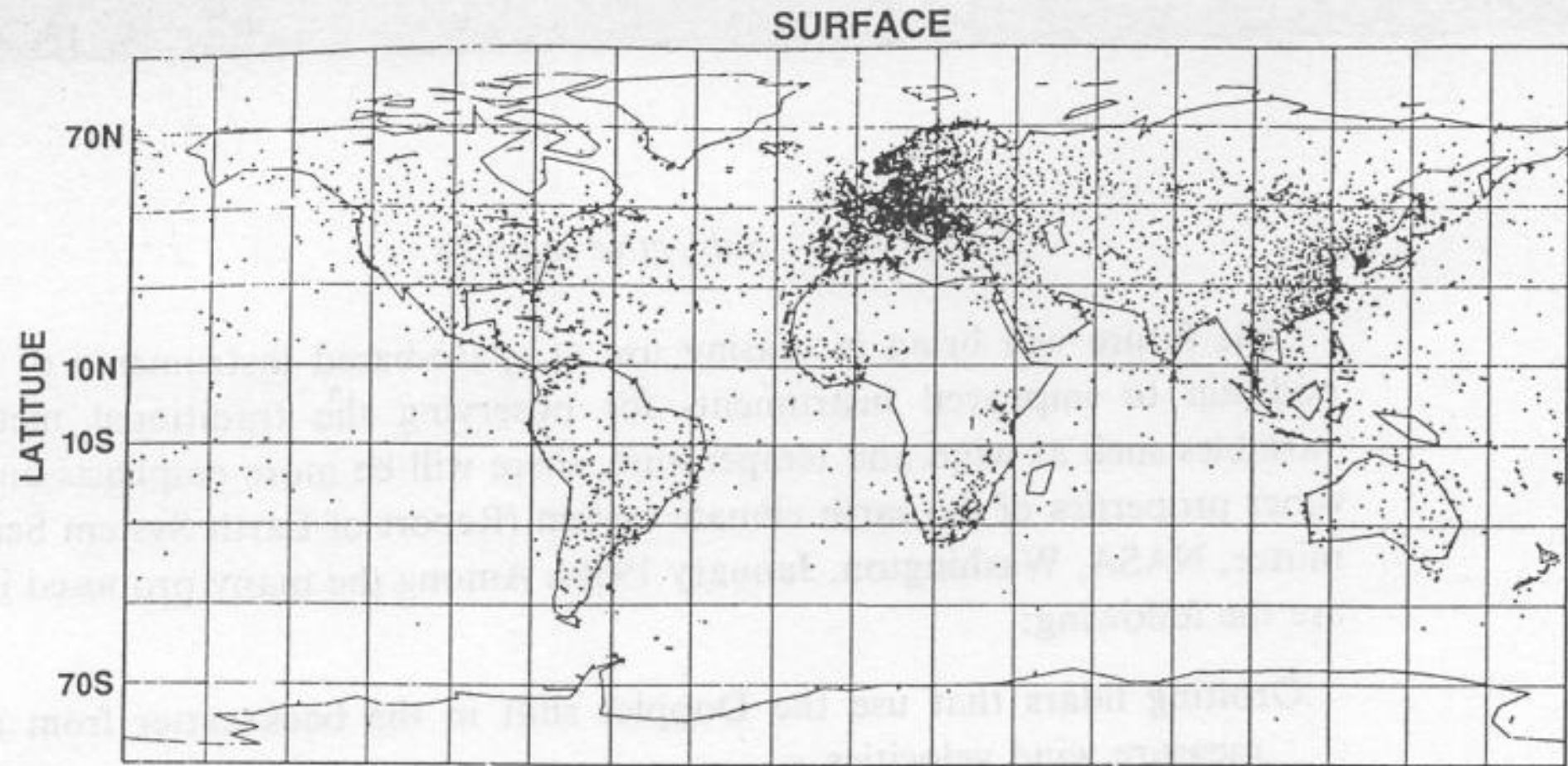
# Zápis stavu a průběhu počasí na přízemních povětrnostních mapách



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



# Ilustrace rozložení pozemních synoptických stanic

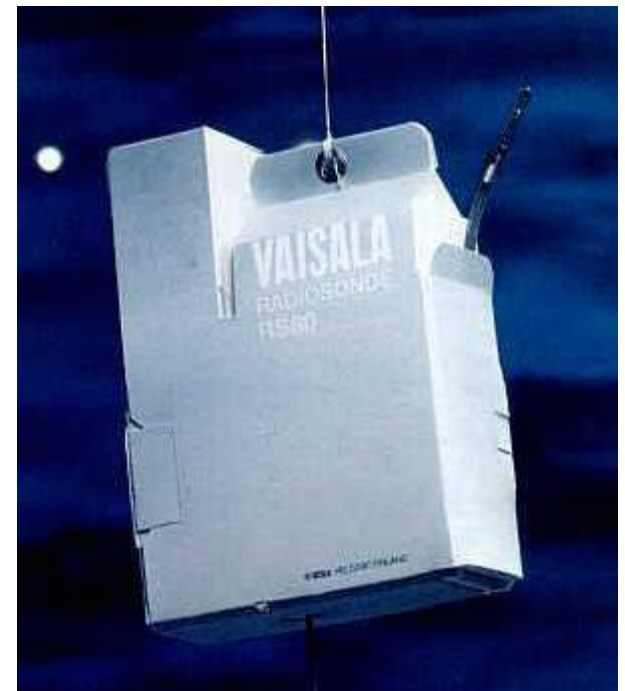


# Podklady pro tvorbu předpovědi počasí

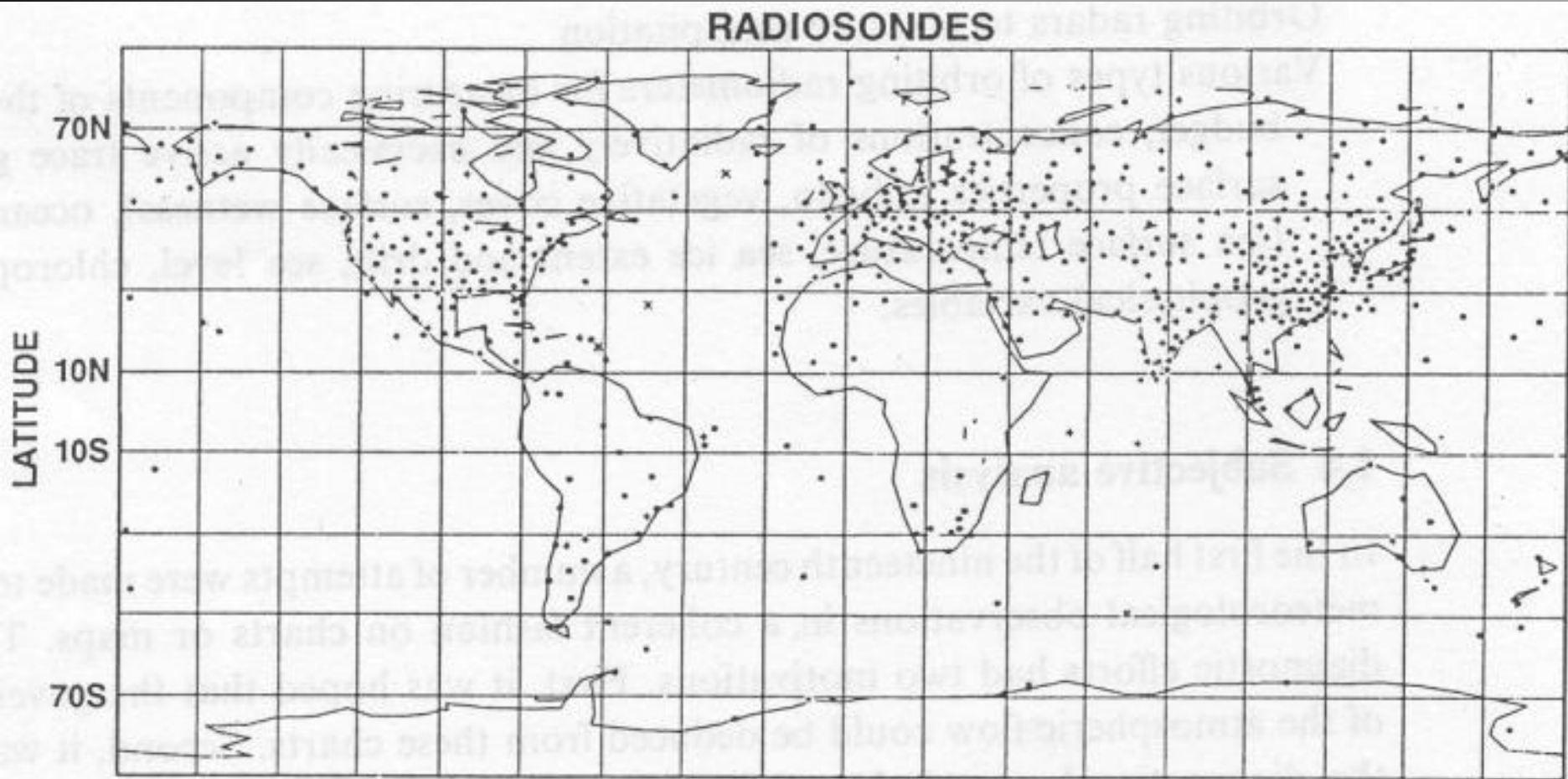
- 2) Informace z aerologických stanic: 600–800 stanic na Zemi měří výškový profil základních meteorologických prvků (teplota, vlhkost, tlak vzduchu, vítr) alespoň 1 x denně



# Vypouštění sondy

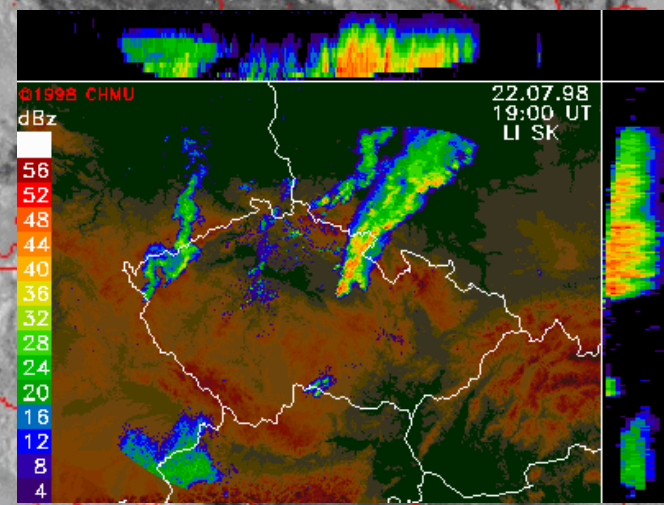


# Ilustrace rozložení aerologických stanic



# Podklady pro tvorbu předpovědi počasí (pokrač.)

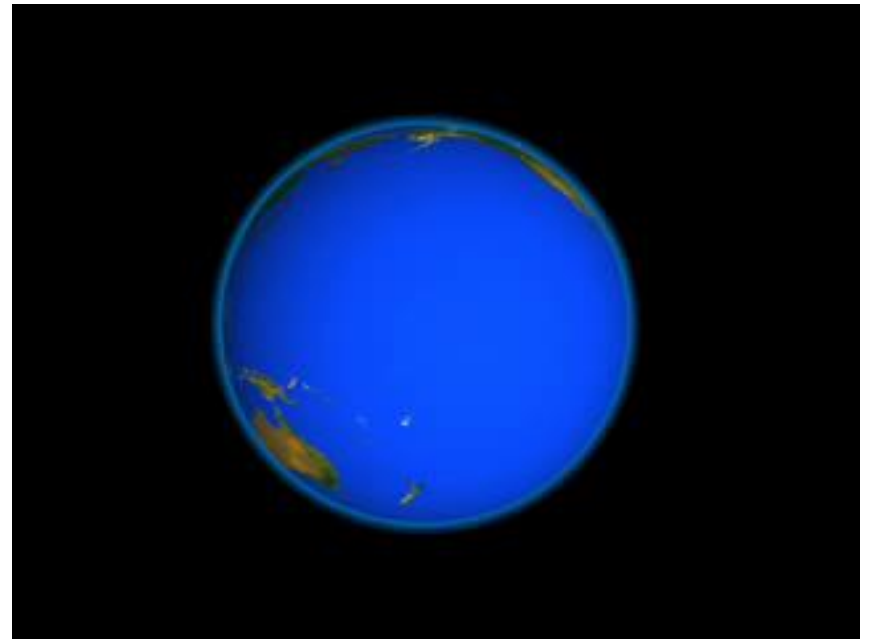
3) Informace získané metodami dálkové detekce (meteorologické družice, meteorologické radary)





# Metody dálkové detekce

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



# Geostacionární meteorologické družice

ETSAT



METEOSAT 8 (od r. 2003;  $9.5^{\circ}$  E )

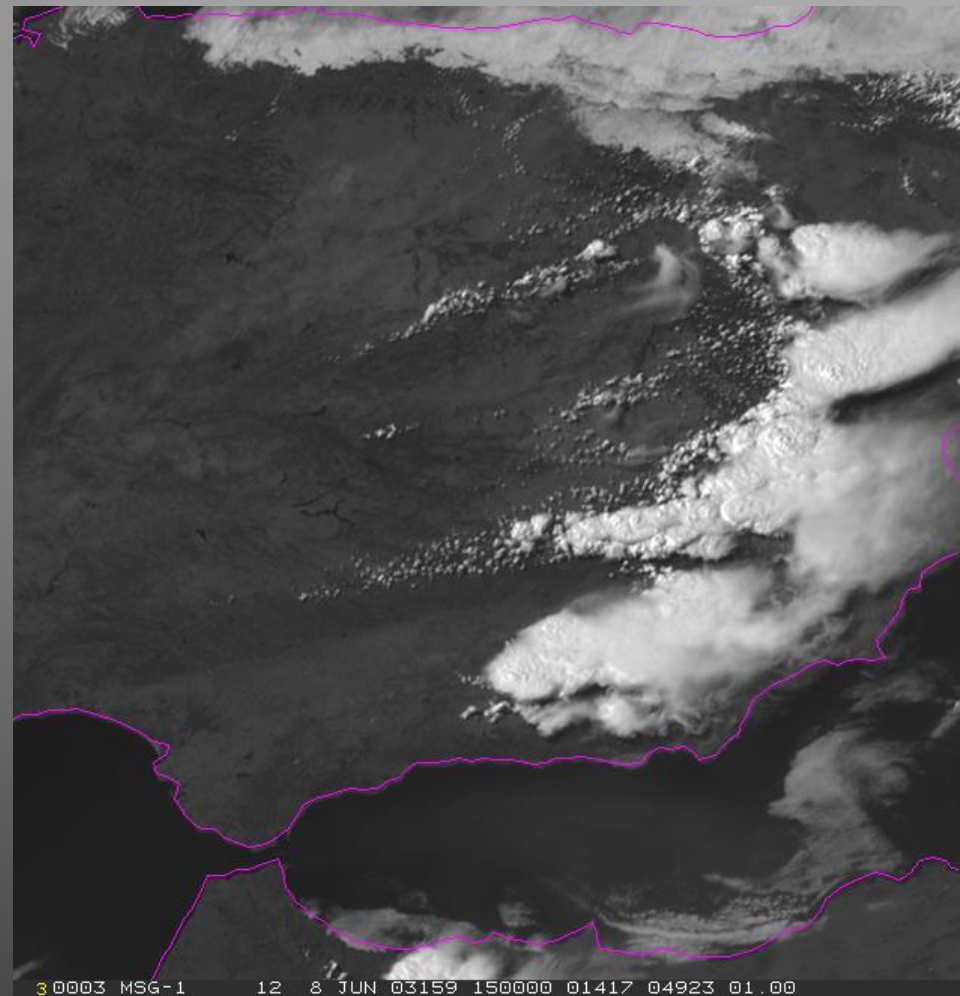
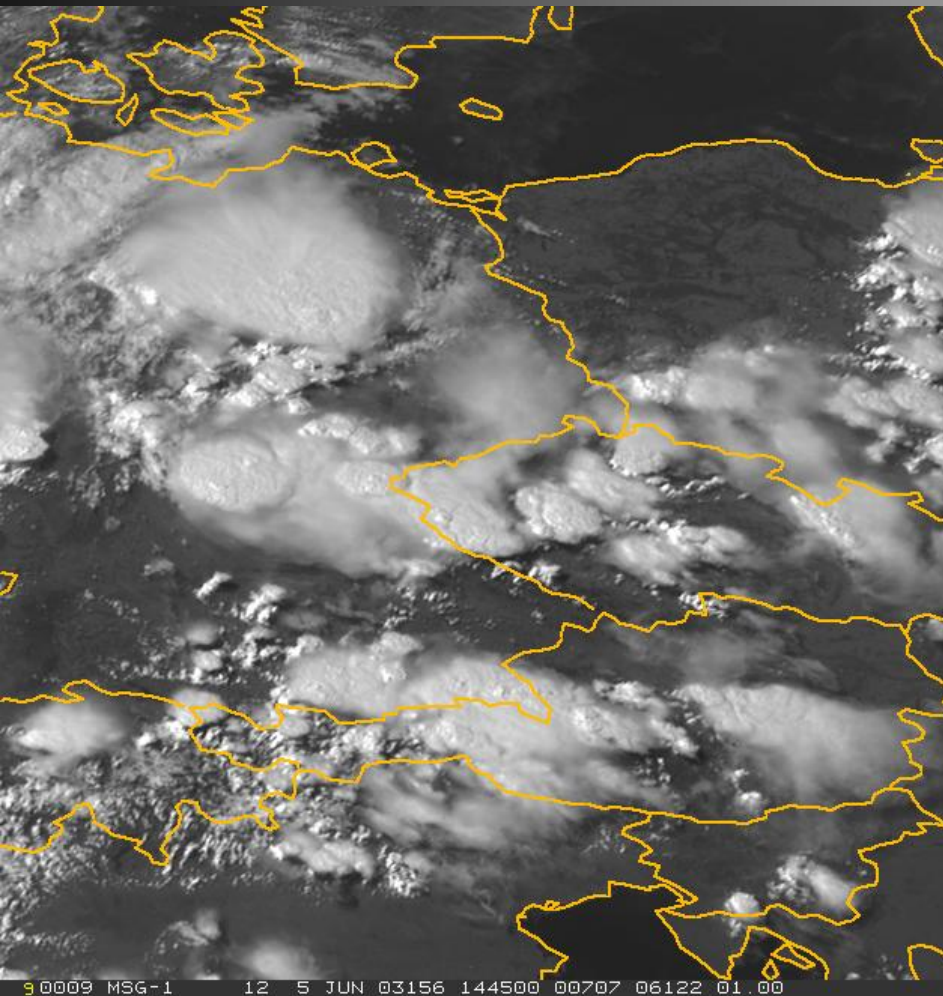
METEOSAT 9 (od r. 2006;  $0.3^{\circ}$  E )

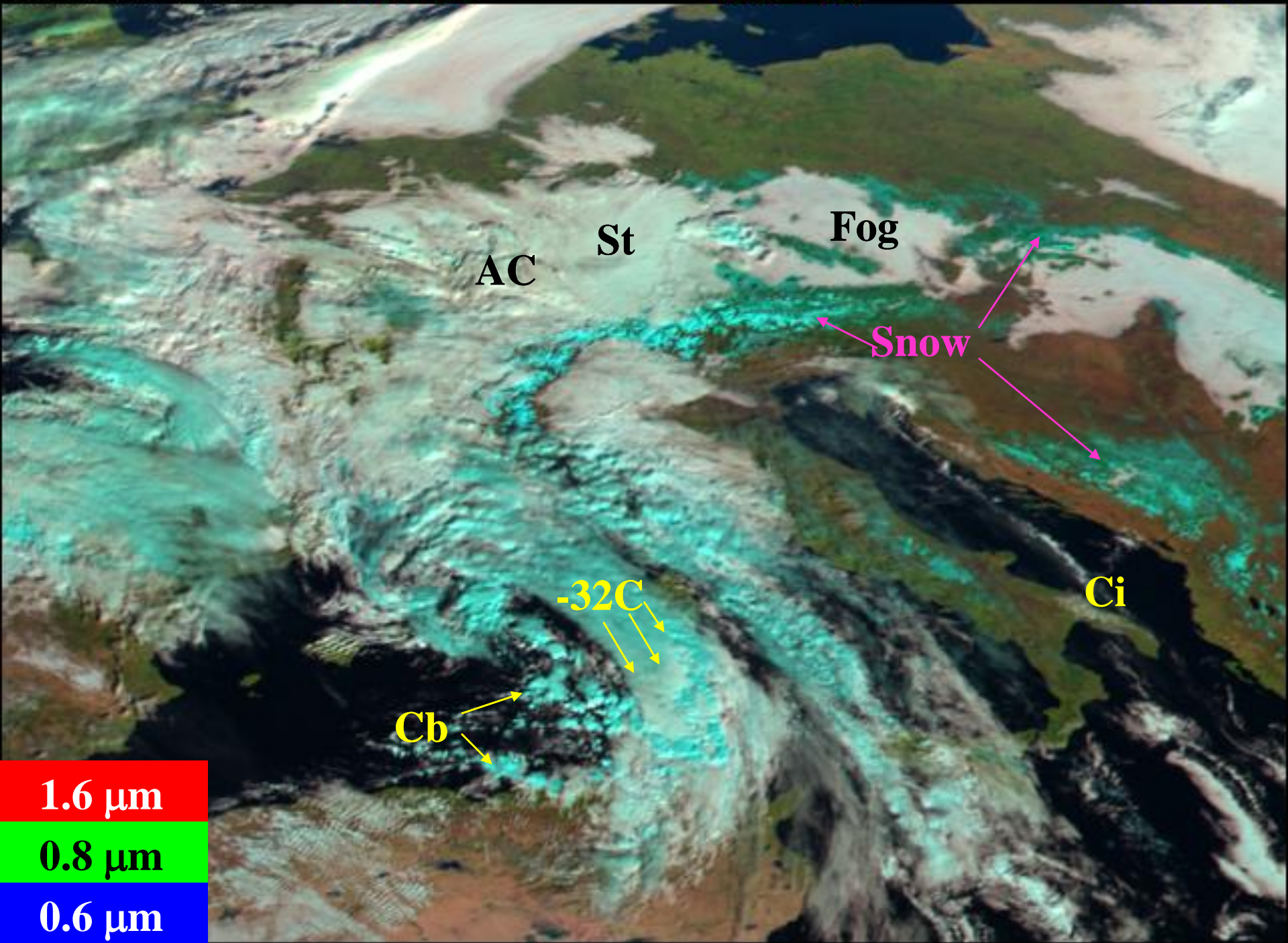
METEOSAT 10 (od r. 2012,  $3.5^{\circ}$  W)

# 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

# High Resolution Visible





AC

St

Fog

Snow

Ci

-32C

Cb

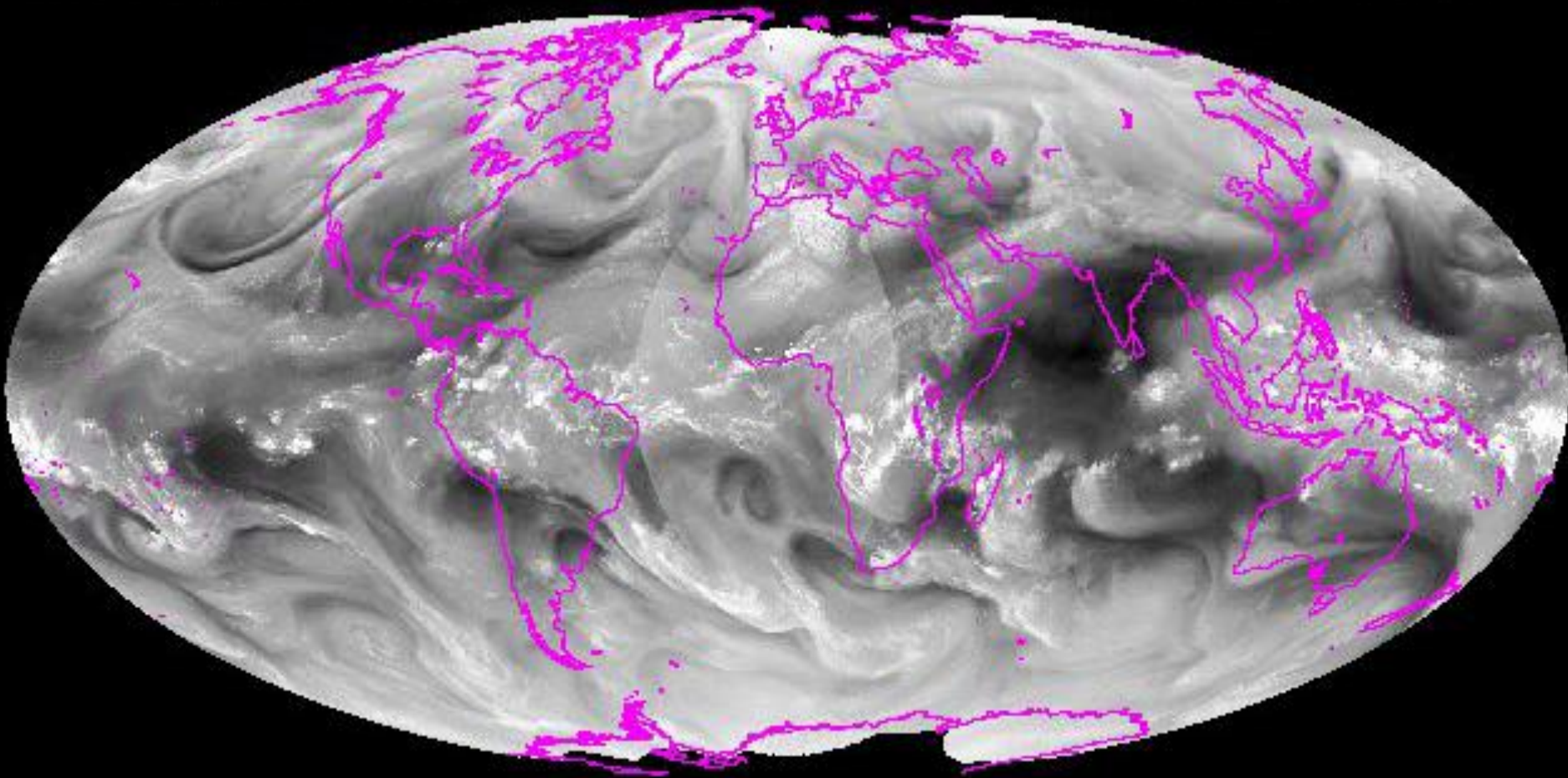
1.6  $\mu\text{m}$

0.8  $\mu\text{m}$

0.6  $\mu\text{m}$

# Sloučení měření více geostacionárních družic

WATERVAPOR COMPOSITE FROM 24 MAR 12 AT 15:00 UTC (SSEC:UW-MADISON)



# 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

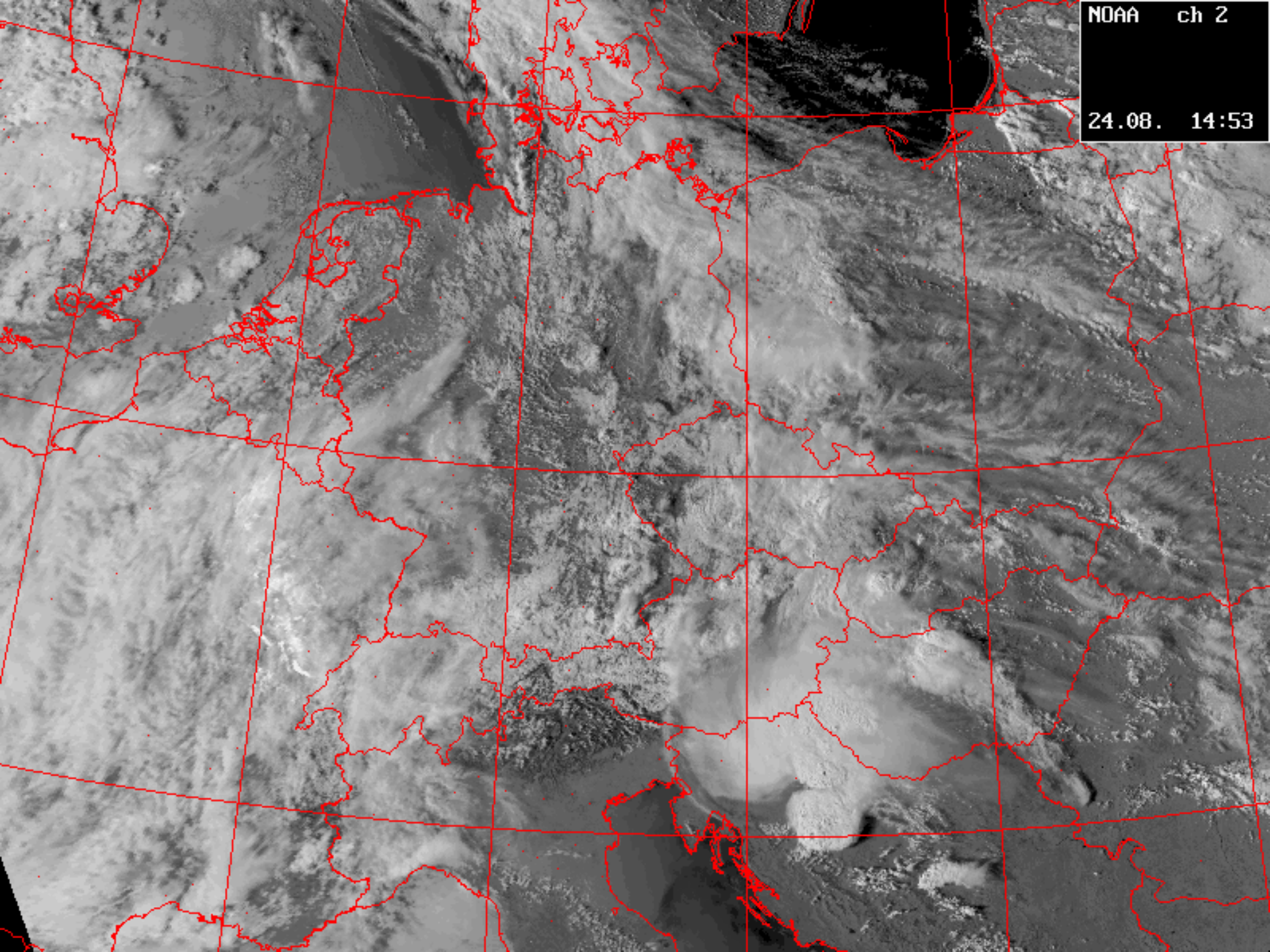
## 5. kanál

11.5 - 12.5 mikrometru

tepelné záření



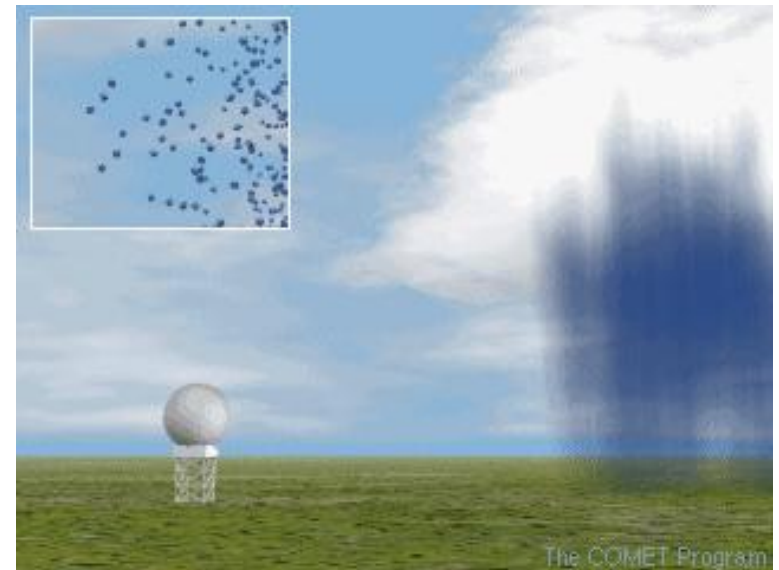
NOAA ch 2  
24.08. 14:53





# 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,

$\Pi_M$  – 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](http://www.chmi.cz/meteo/rad/rad_main.html))

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

## **RADAR Brdy**

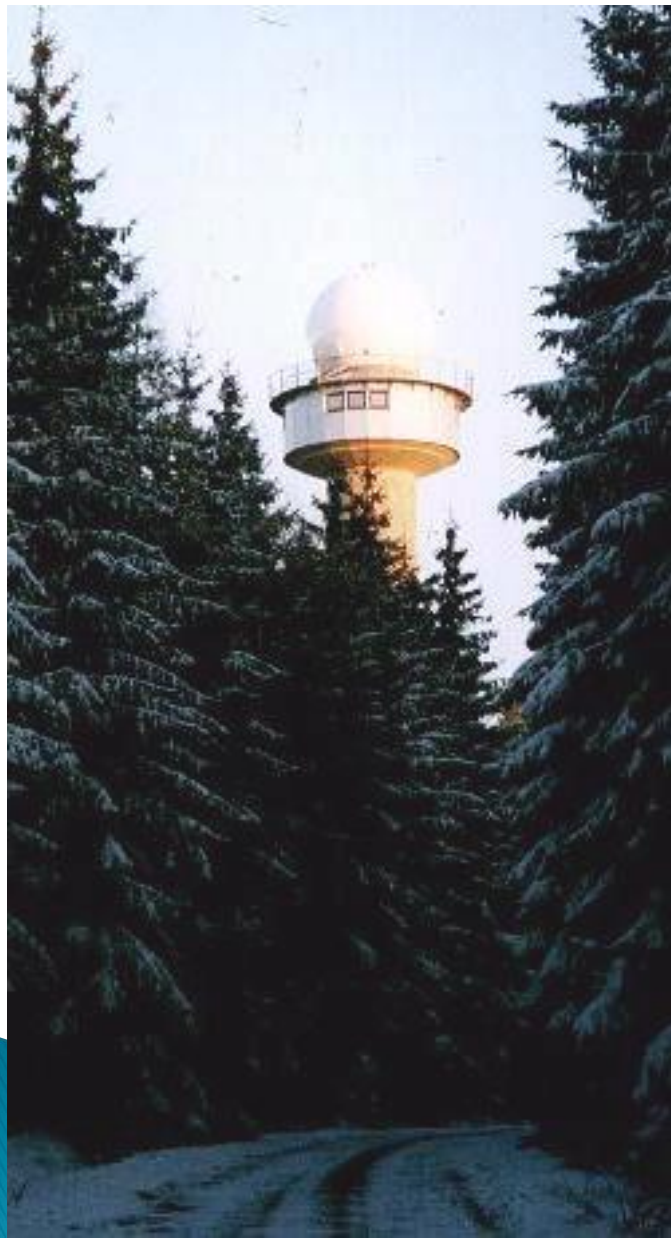
**V provozu od r. 2000**



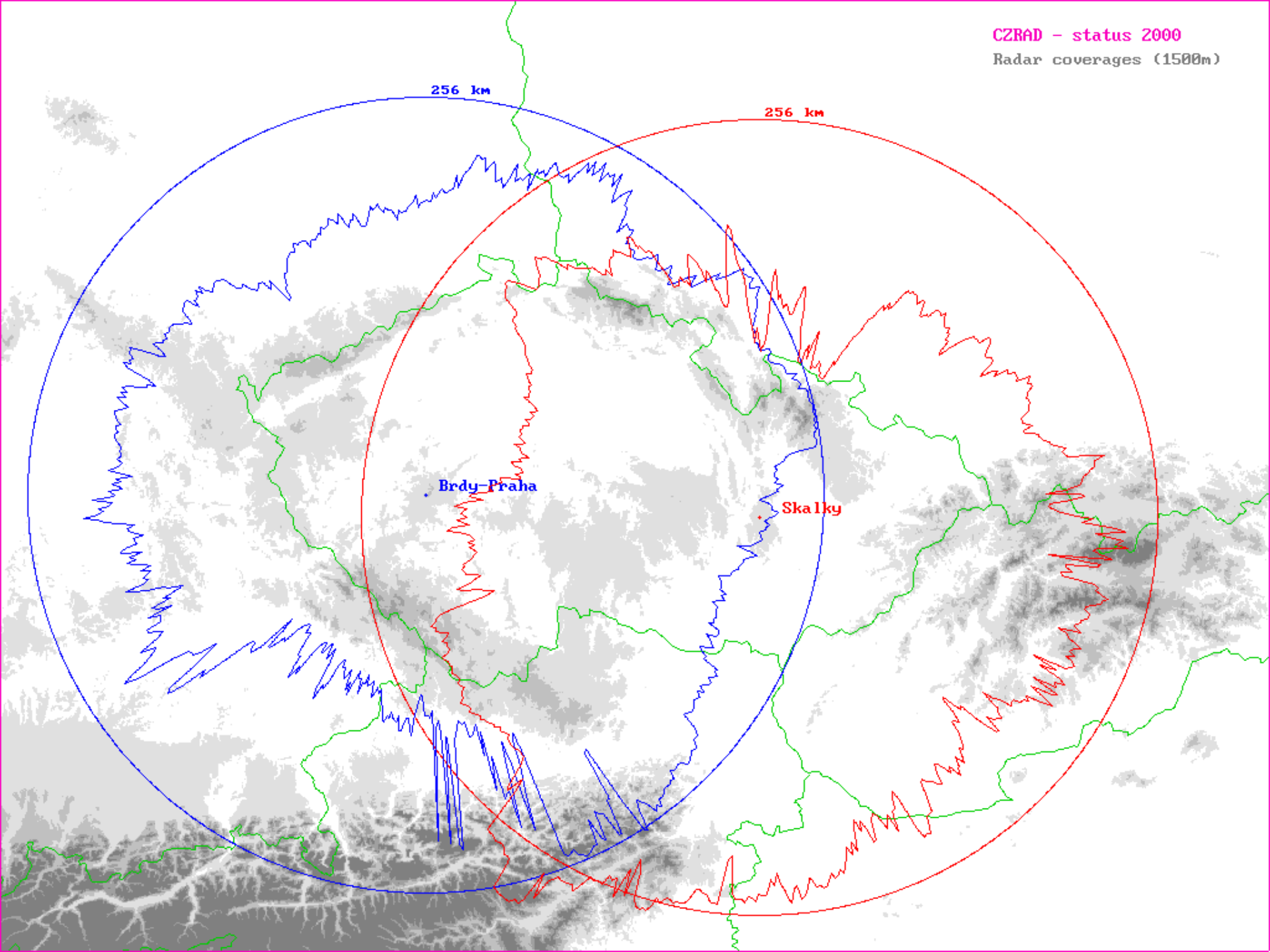
<b>Stanoviště</b>	<b>Brdy-Praha</b>
<b>Oblast</b>	<b>střední Čechy</b>
<b>WMO indikativ</b>	<b>11480</b>
<b>Typ radaru</b>	<b>EEC DWSR-2501 C</b>
<b>Zeměpisná šířka</b>	<b>49,658 N</b>
<b>Zeměpisná délka</b>	<b>13,818 E</b>
<b>Nadmoř.výška</b>	<b>860 m</b>
<b>Výška antény n.m.</b>	<b>916 m</b>
<b>Interval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

# **RADAR SKALKY**

**V provozu od r. 1995**

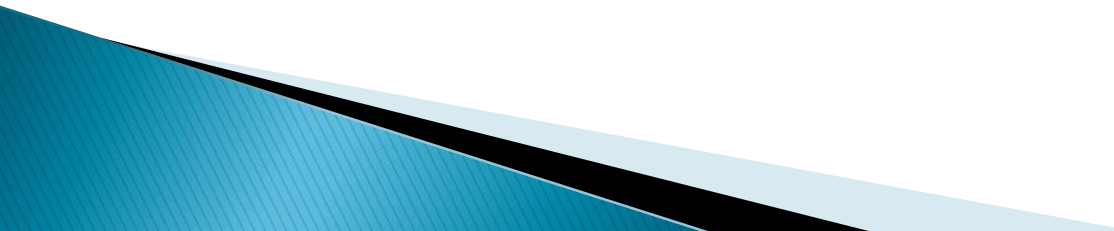


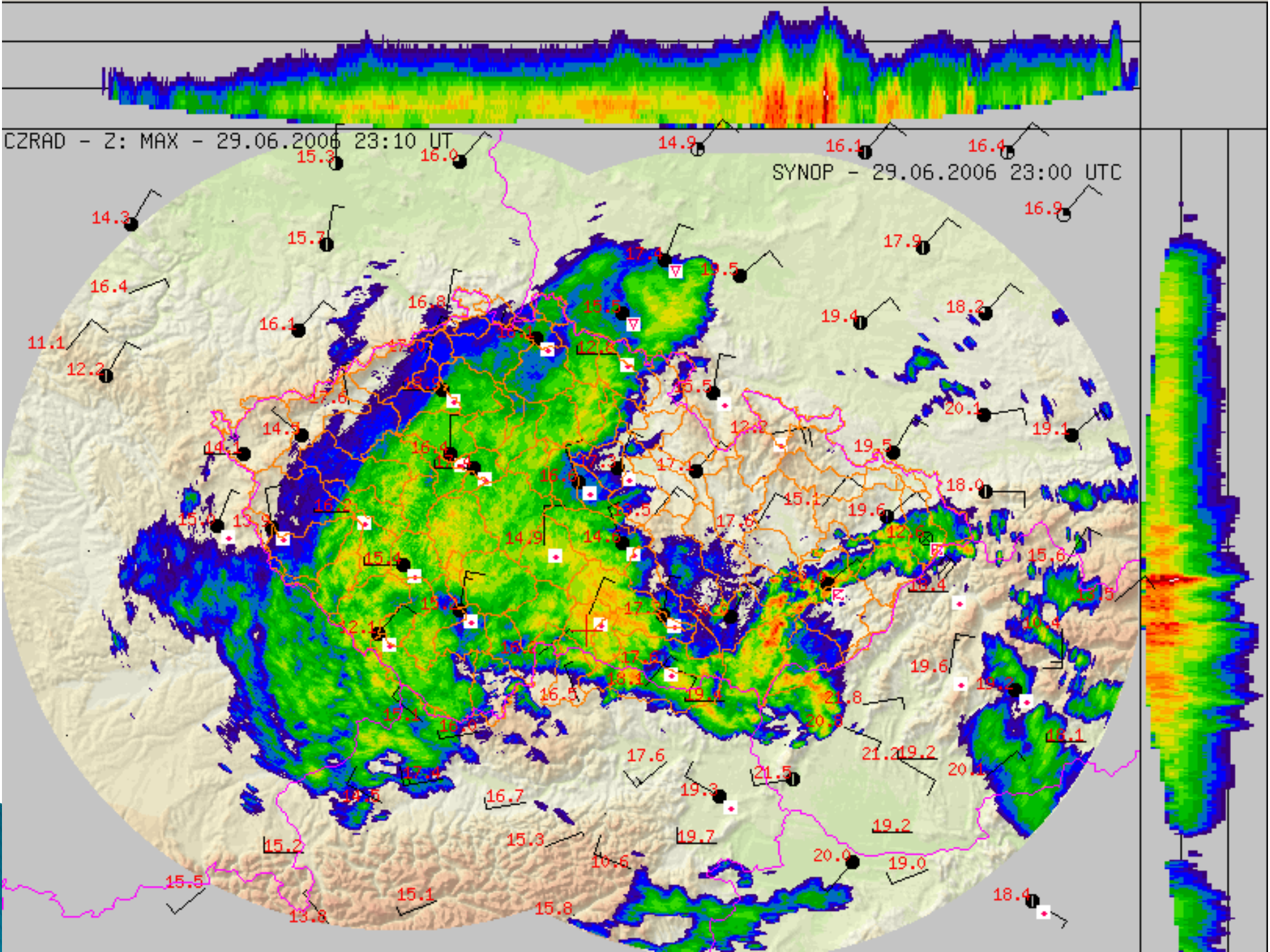
<b>Stanoviště</b>	<b>Skalky u Protivanova</b>
<b>Oblast</b>	<b>střední Morava</b>
<b>WMO indikativ</b>	<b>11718</b>
<b>Typ radaru</b>	<b>Gematronik METEOR 360AC</b>
<b>Zeměpisná šířka</b>	<b>49,501 N</b>
<b>Zeměpisná délka</b>	<b>16,790 E</b>
<b>Nadmoř.výška</b>	<b>730 m</b>
<b>Výška antény n.m.</b>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





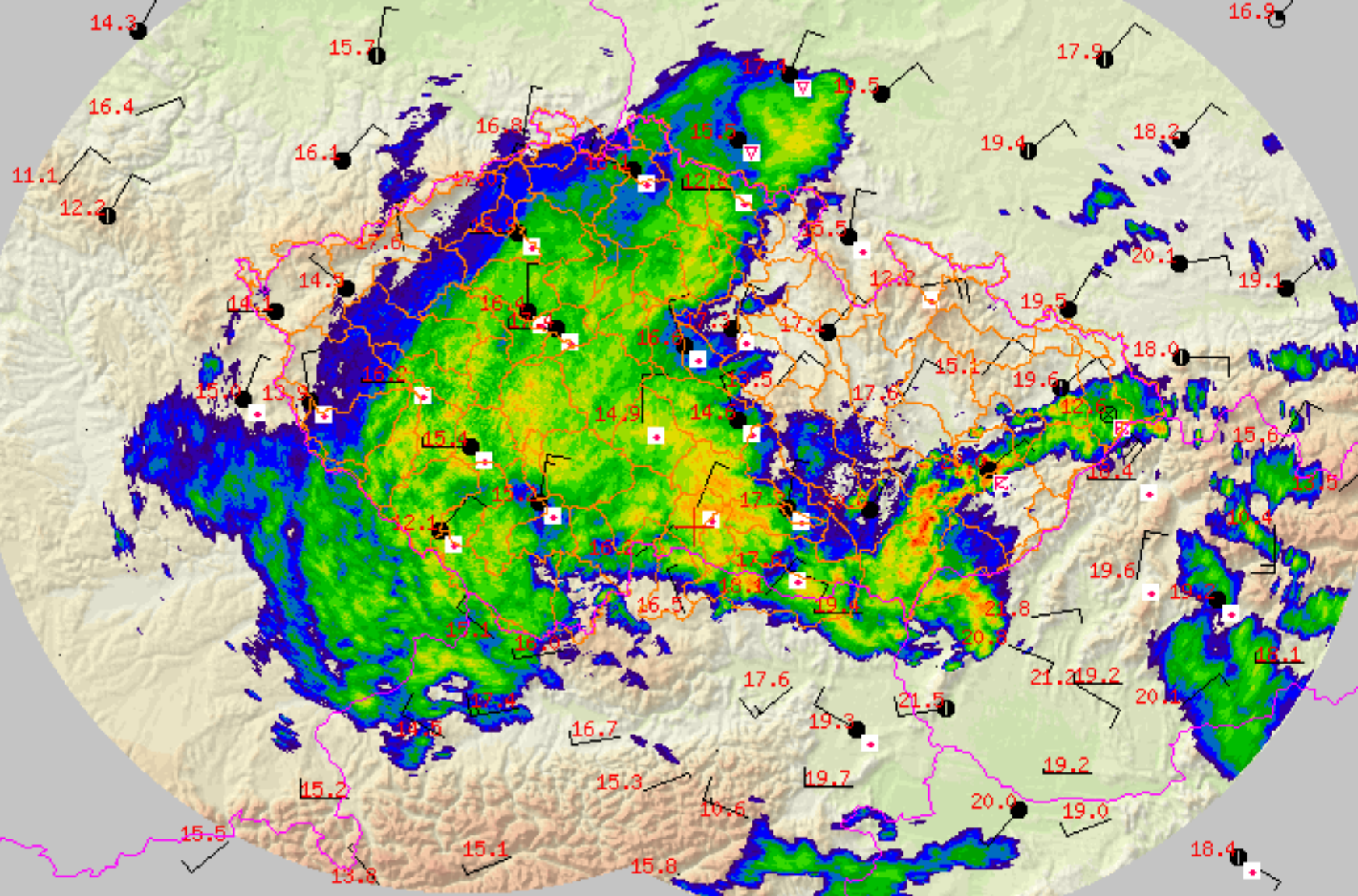
# Použití radarů v meteorologii

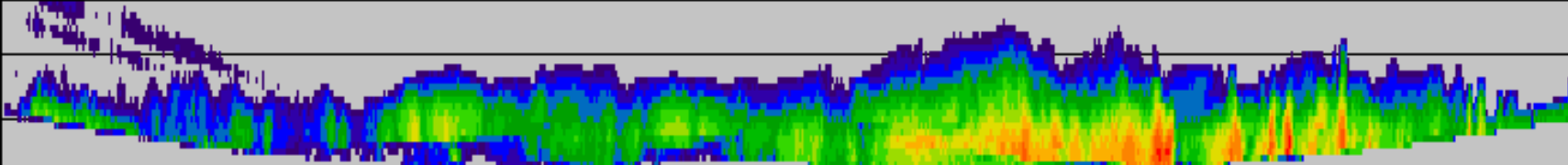
- ▶ detekce srážek (oblaků)
  - ▶ zjištění pohybu a vývoje oblačnosti
  - ▶ zjištění struktury oblačnosti
  - ▶ měření větru
  - ▶ velmi krátkodobá předpověď
  - ▶ odhady množství srážek
- 



CZRAD - Z: MAX - 29.06.2006 23:10 UT

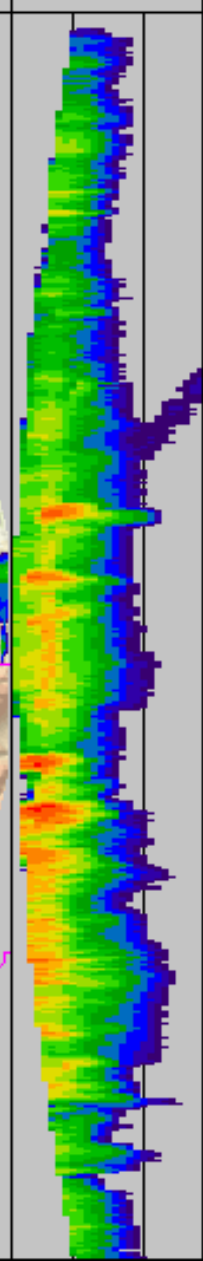
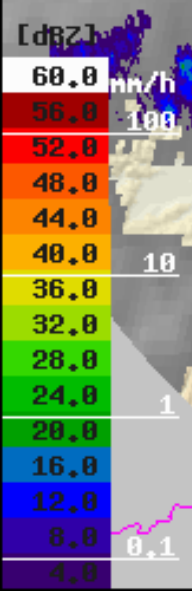
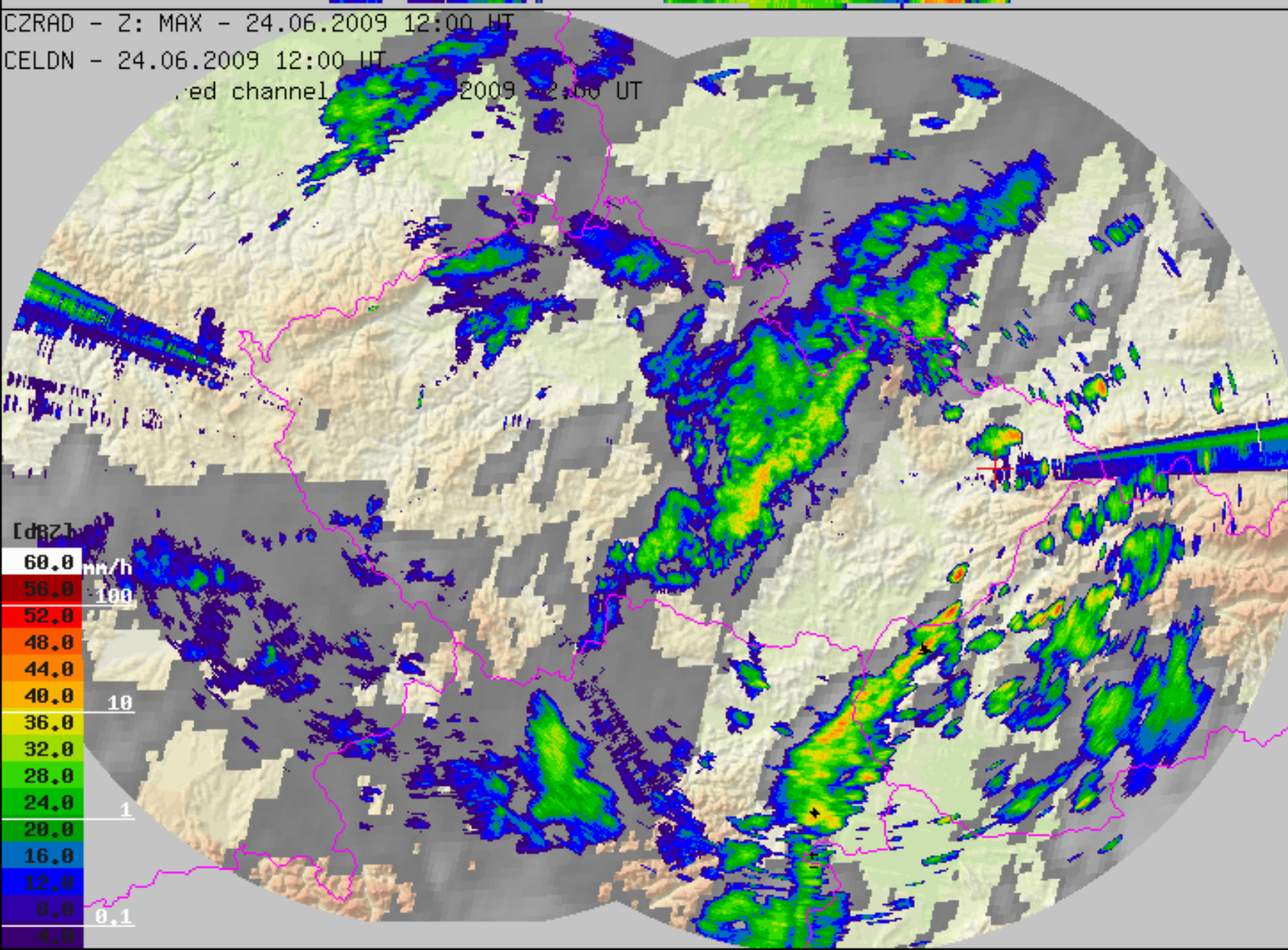
SYNOP - 29.06.2006 23:00 UTC





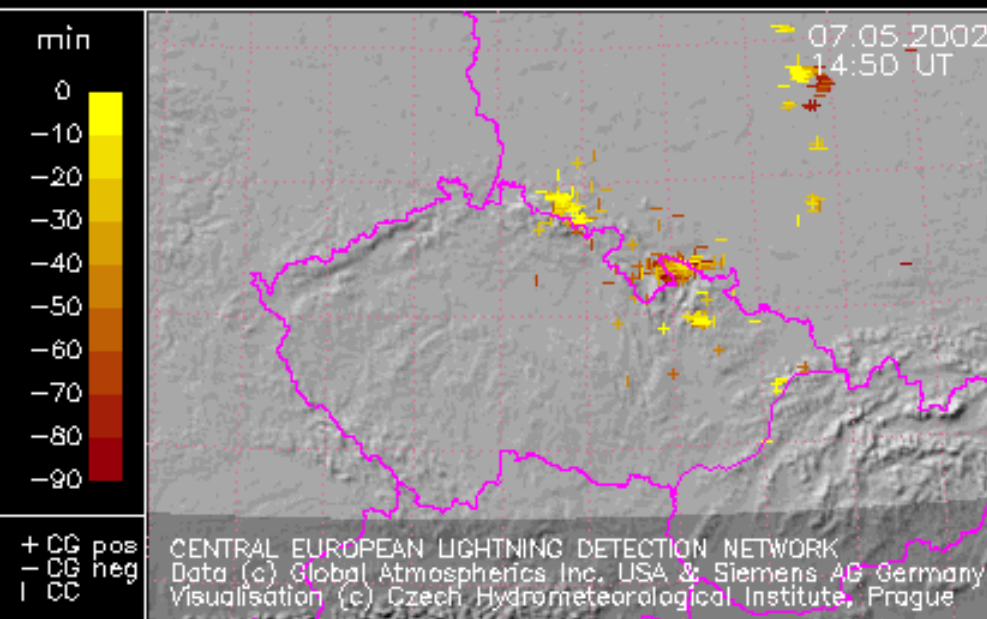
CG+	3
CG-	5
CC	3
SUM	11

CZRAD - Z: MAX - 24.06.2009 12:00 UT  
 CELDN - 24.06.2009 12:00 UT  
 red channel - 24.06.2009 12:00 UT



LIGHTNING STROKES:  $\Sigma$  838, CG+ 4.1%, CG- 78.6%, CC 17.3%

Last data connection: 07.05.2002 14:52 UT



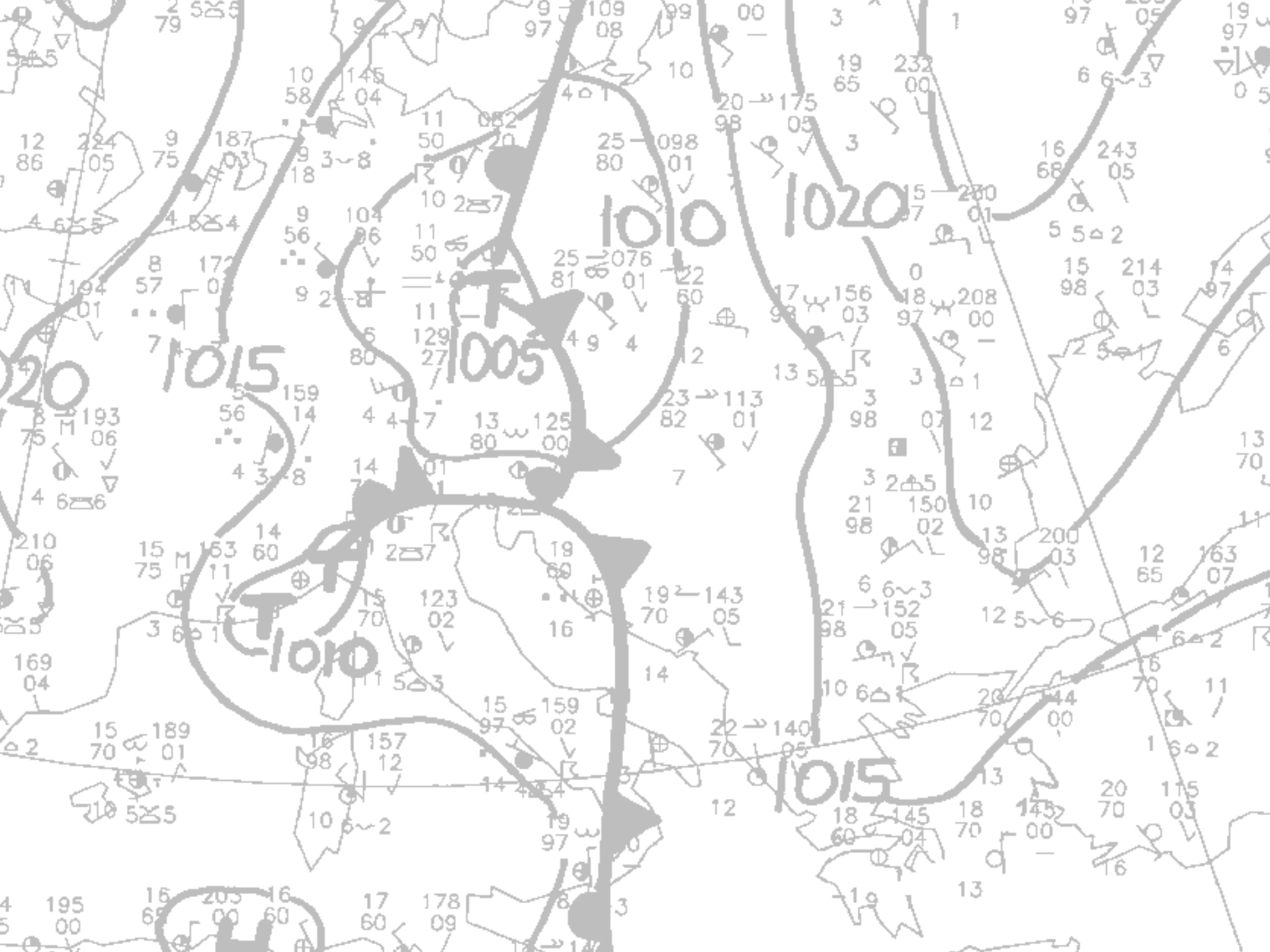
# Metody detekce blesků

- ▶ 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.

# 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**.



1015

1005

1010

1020

1010

1015

12 86

9 75

10 58

11 50

25 80

19 65

16 68

243 05

193 06

56 14

159 14

13 80

125 00

113 01

98 07

15 98

214 03

210 06

163 60

14 01

123 02

19 69

143 05

150 02

200 03

12 65

169 04

15 70

157 12

123 02

159 02

140 05

152 05

144 00

16 70

189 01

157 12

157 12

159 02

140 05

140 05

145 04

145 00

20 70

195 00

205 60

17 60

178 09

140 05

140 05

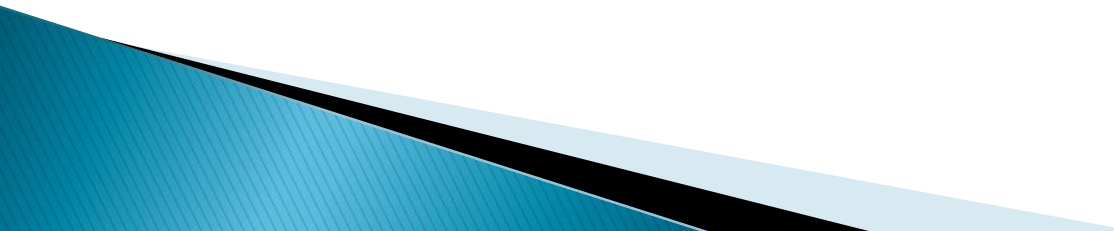
145 04

145 00

115 03

# 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.)



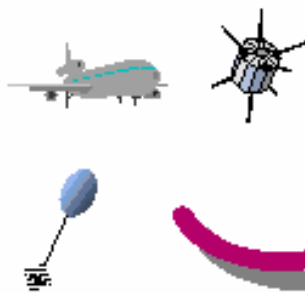
# Metody předpovědi počasí

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

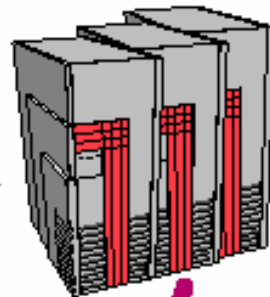
- 3) Výpočet budoucího stavu atmosféry v centrech pomocí NWP modelů na (super)počítačích
- 4) Rozesílání předpovědí prostřednictvím telekomunikačních linek
- 5) Zpracování těchto dat pomocí „malé“ výpočetní techniky (PC, popř. prac. stanice UNIX), po doplnění ostatními informacemi (aktuální pozorování,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

# Schéma technologické linky předpovědi počasí

OBSERVATIONS



NUMERICAL MODEL



CUSTOMERS



HUMAN FORECASTER



# Historie NWP modelů

- ▶ 1901 Cleveland Abbe (USA), 1904 Vilhelm Bjerknes (Norsko) navrhli možnost řešit hydrodynamické a termodynamické rovnice a vytvořit objektivní předpověď.
- ▶ 1922 Lewis F. Richardson provedl první výpočet budoucího stavu atmosféry. Zjednodušené rovnice vývoje atmosféry řešil numericky metodou grafické integrace, ale dopustil se při tom porušení důležitého pravidla mezi vzdáleností sousedních uzlů a časovým krokem integrace, čímž se výsledky lišily od skutečnosti o řády. Uvedený neúspěch na čas ochladil zájem meteorologů o tyto metody.

# Historie NWP modelů (pokrač.)

Rozvoj NWP modelů nastal až s vývojem prvních počítačů na sklonku 40. a počátku 50. let (J. von Neumann, J. Charney, C.G. Rossby, H. Panofsky) – nejdříve barotropní model (kde hustota závisí pouze na tlaku), poté baroklinní modely (hustota závislá na tlaku i teplotě). Dnes se v NWP modelech používají základní (nespr. „primitivní“) rovnice.



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



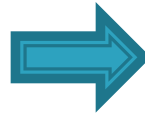
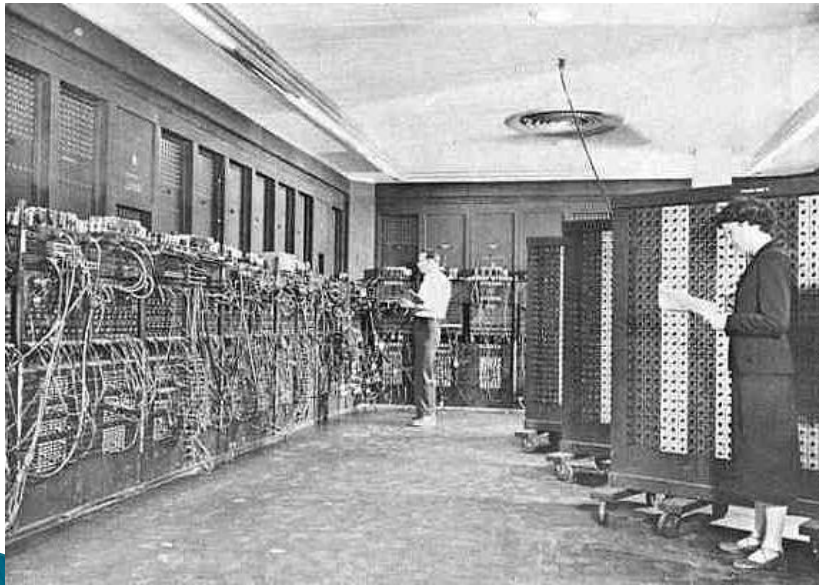
# Richardsonův amfiteátr

- ▶ 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.



# Uskutečnění digitálního snu ...

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





# 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.

# 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.)

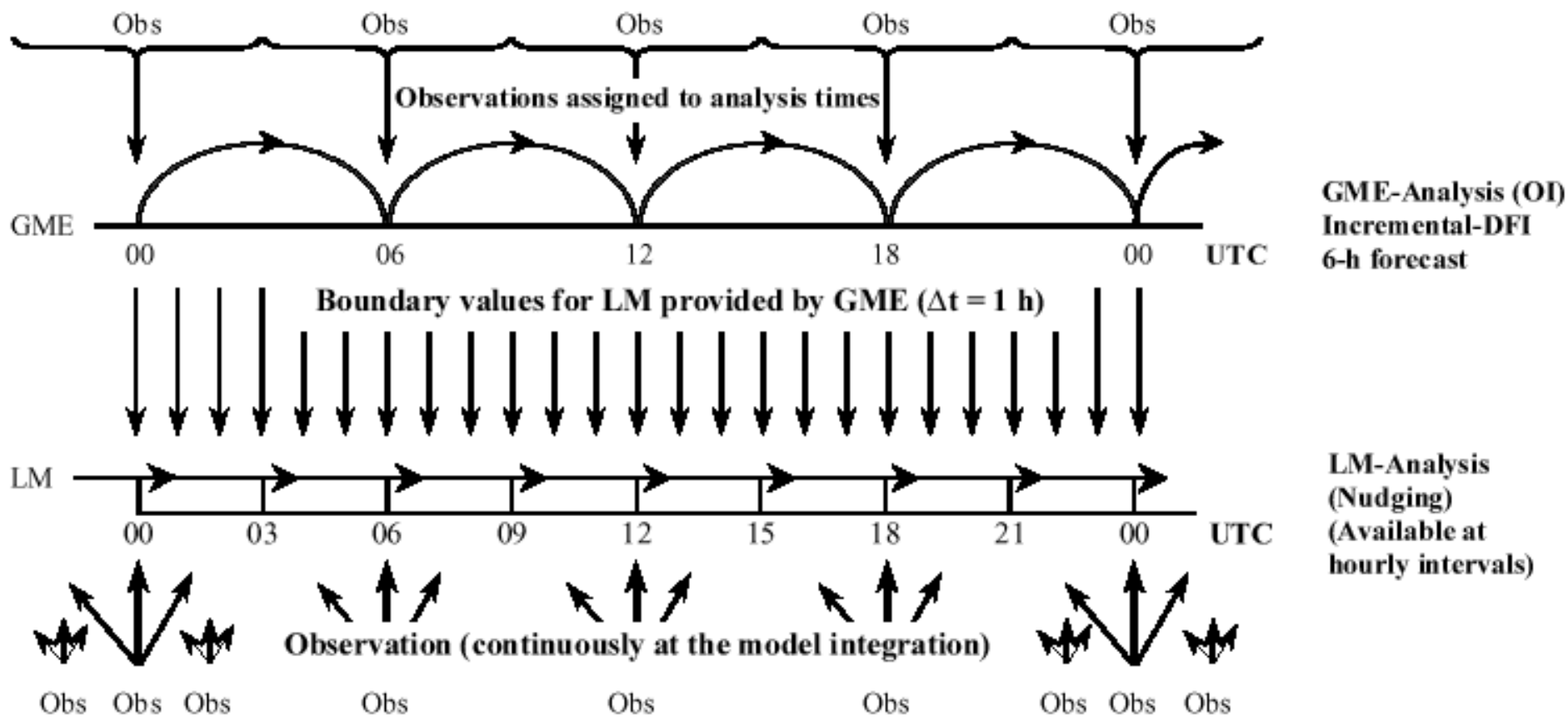


Fig. 5.1 4 dim data assimilation for GME and LM

# 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

$\rho$  - hustota vzduchu

# 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

$\alpha$  - 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.

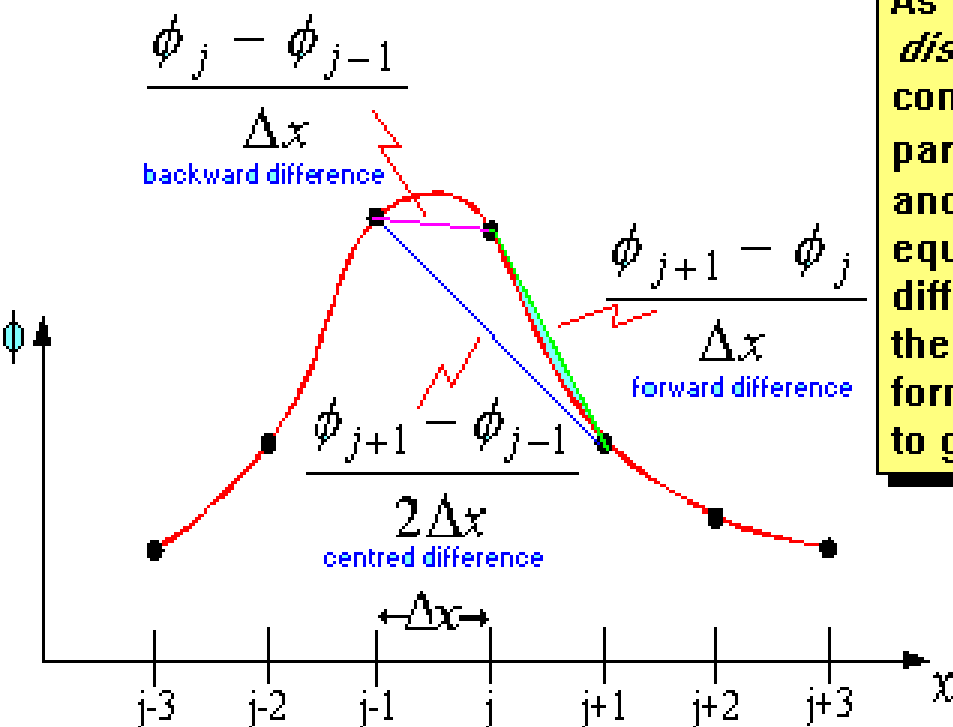
# Integrace základních rovnic

- ▶ 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  $\phi$  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
- ▶ v současné době převažují nad metodami konečných diferencí

# 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

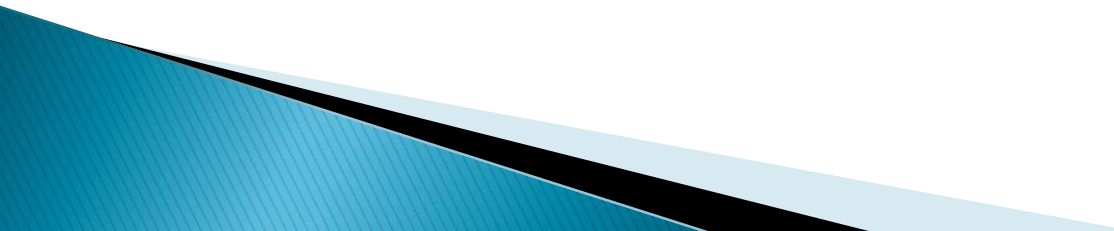
(stav v r. 2008)



### Main Operational Model Configurations

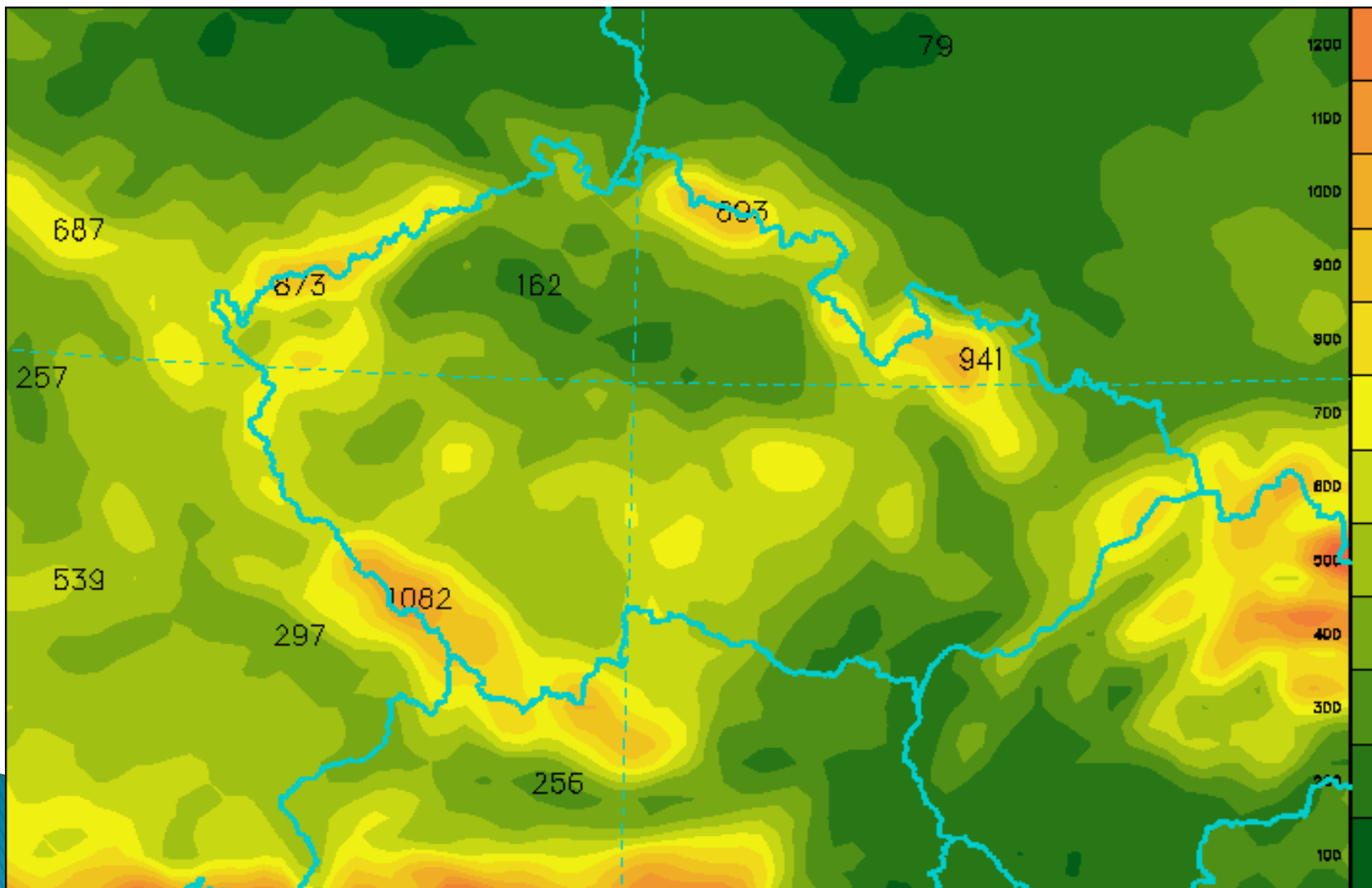
	Global	NAE	UK 4km
Resolution	0.5625° x 0.375° (~40 km in mid-lats).	0.11° x 0.11° ~12 km	0.036° x 0.036° ~4 km
model size	640 x 481	600 x 360	288 x 360
Model Levels	50 lid ~63 km	38 lid ~39 km	38 lid ~39 km
Forecast length	144 hrs	48 hrs	36 hrs

# 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
- 

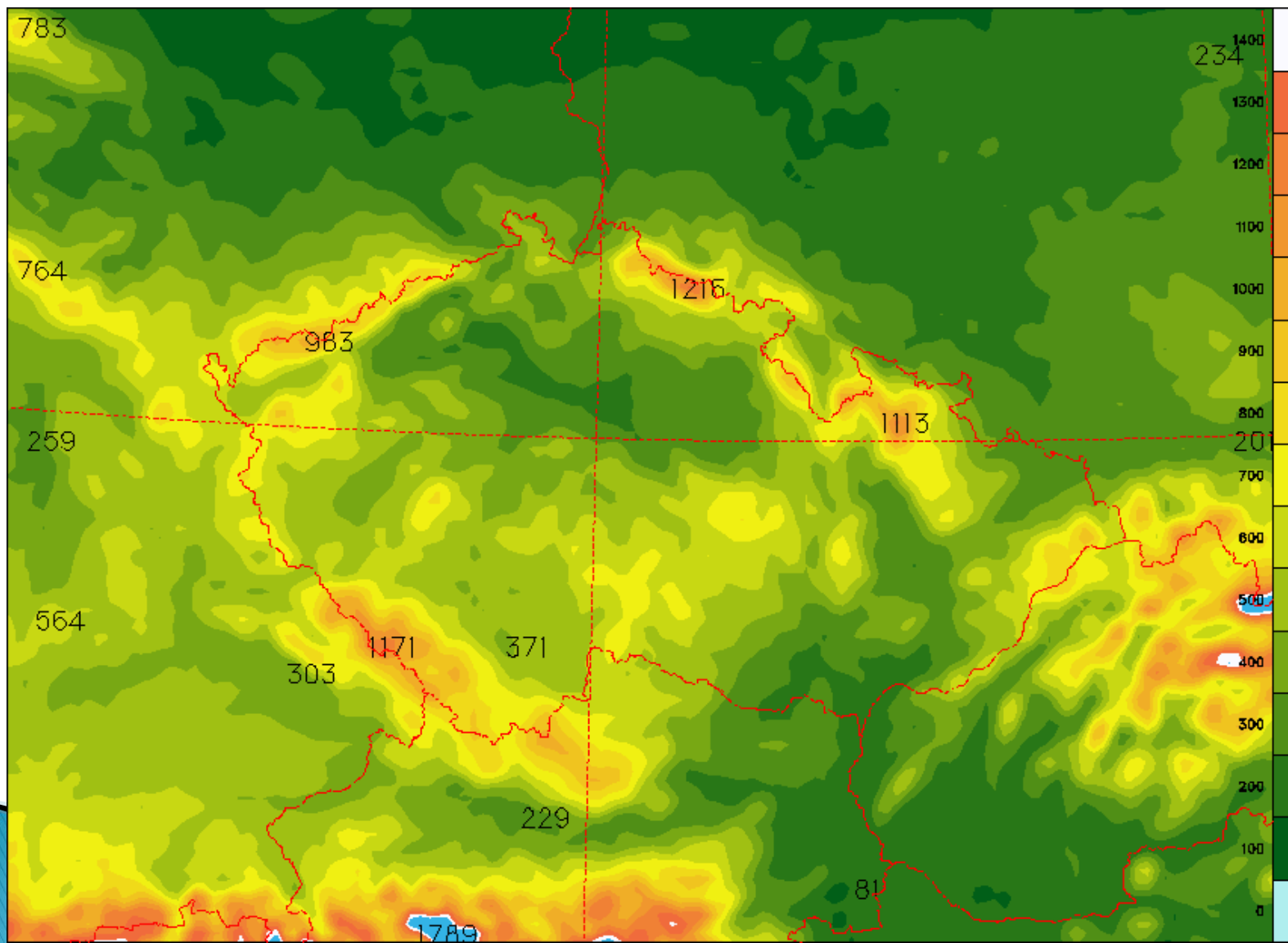
# Nadmořská výška terénu v modelu ALADIN

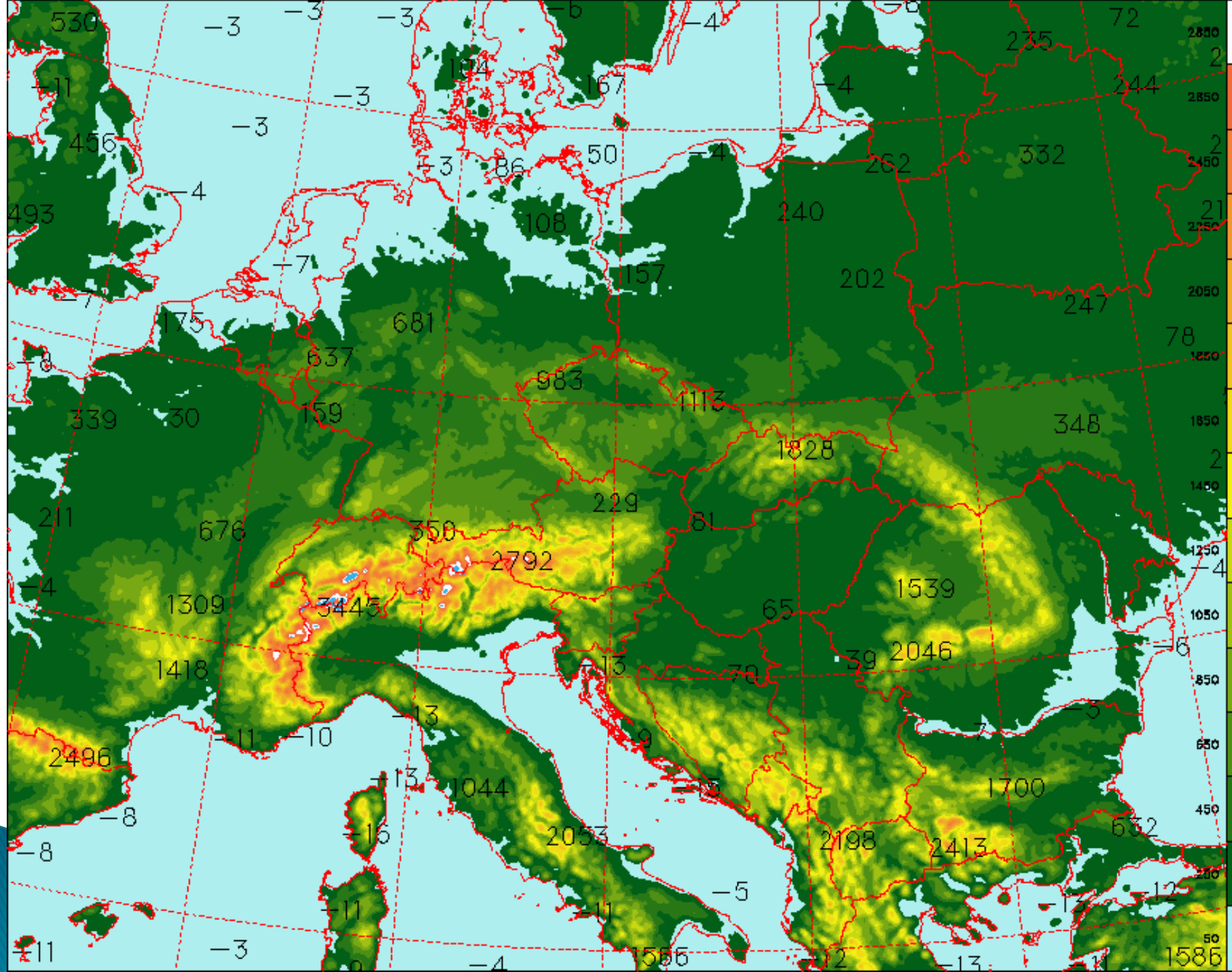
(rozlišení 9 km, 43 hladiny)



# 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:

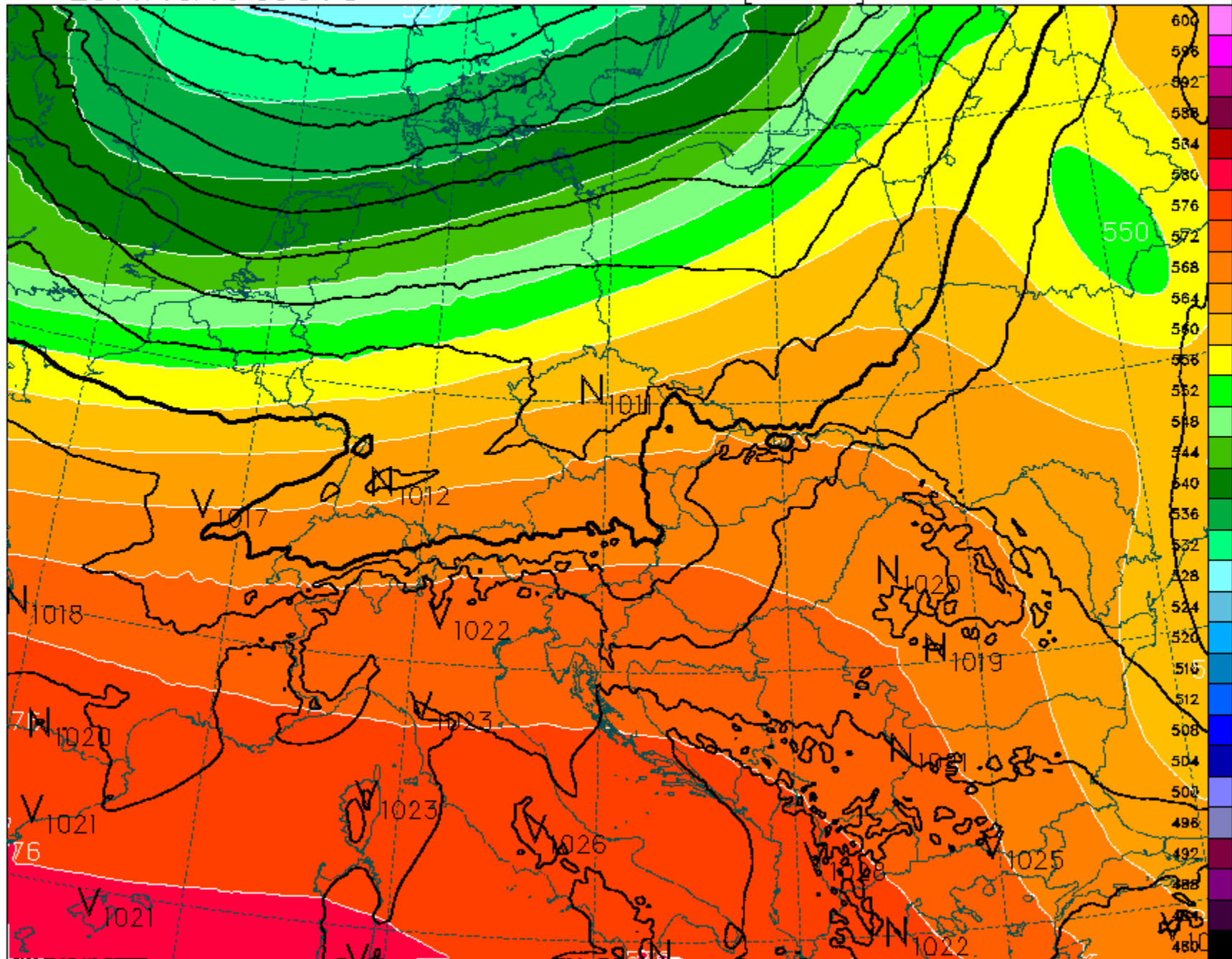
- geopotenciál
- přízemní teplota, vítr a vlhkost
- srážky (déšť x sníh, konvektivní x velkoprostorové)
- vertikální rychlost  $\omega$
- oblačnost (L, M, H, C)
- toky tepla, hybnosti a vlhkosti z parametrizací

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

48

ABS.TOPOGRAFIE [4dkm]  
TLAK NA HL.MORE [2.5hPa]

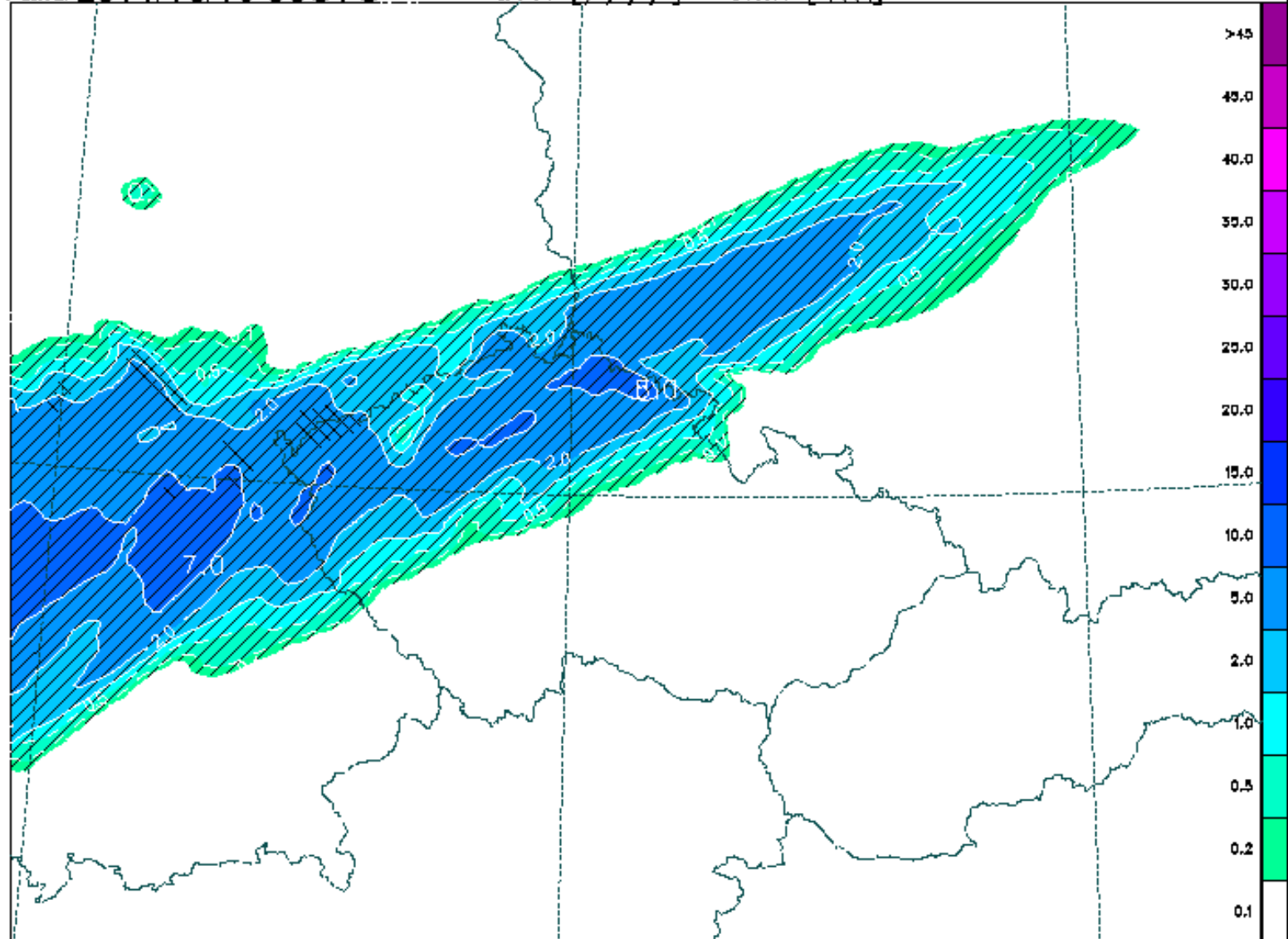
500hPa



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

54

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

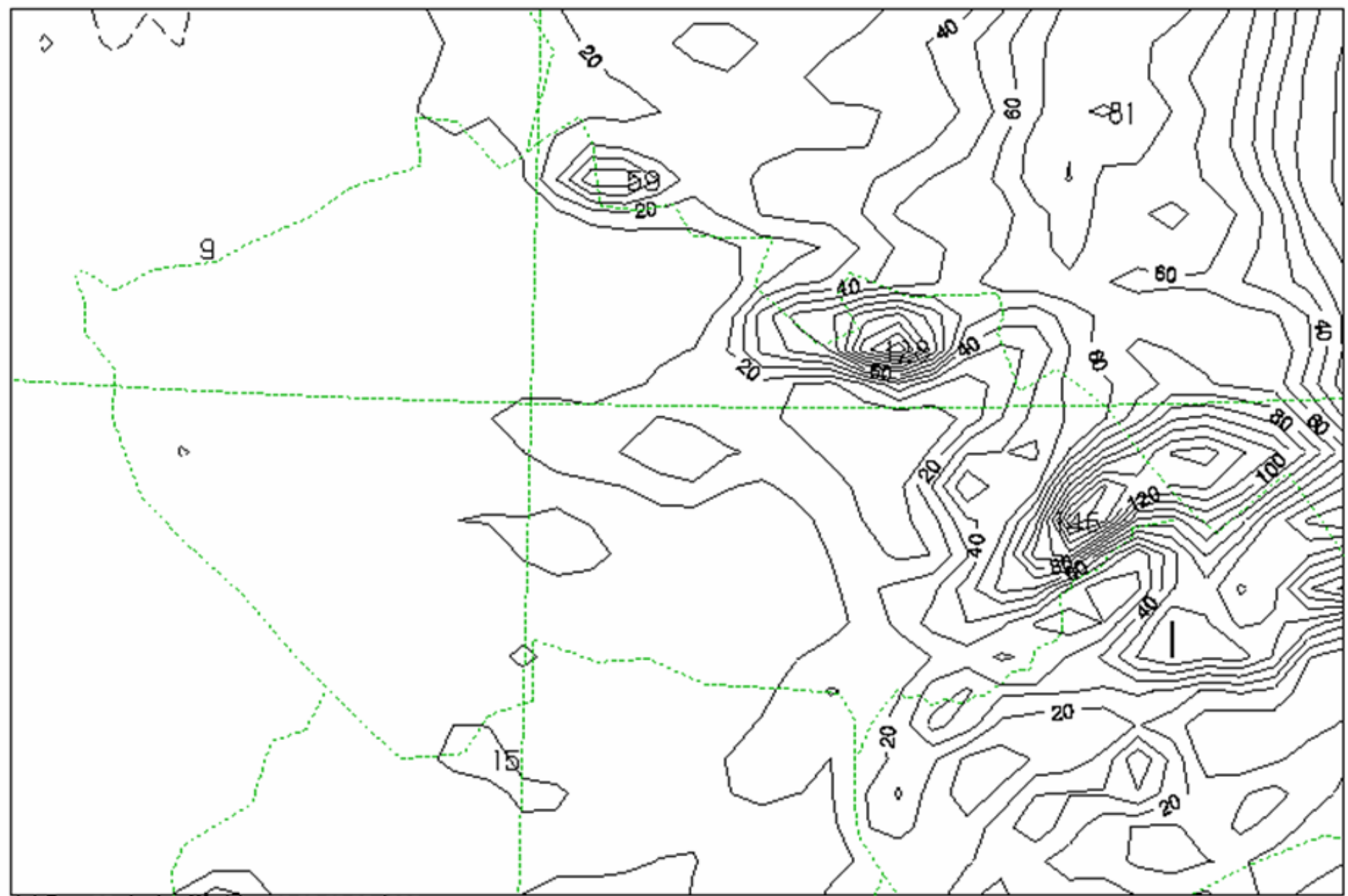


Base 97/07/06 00UTC  
Valid 97/07/07 06UTC

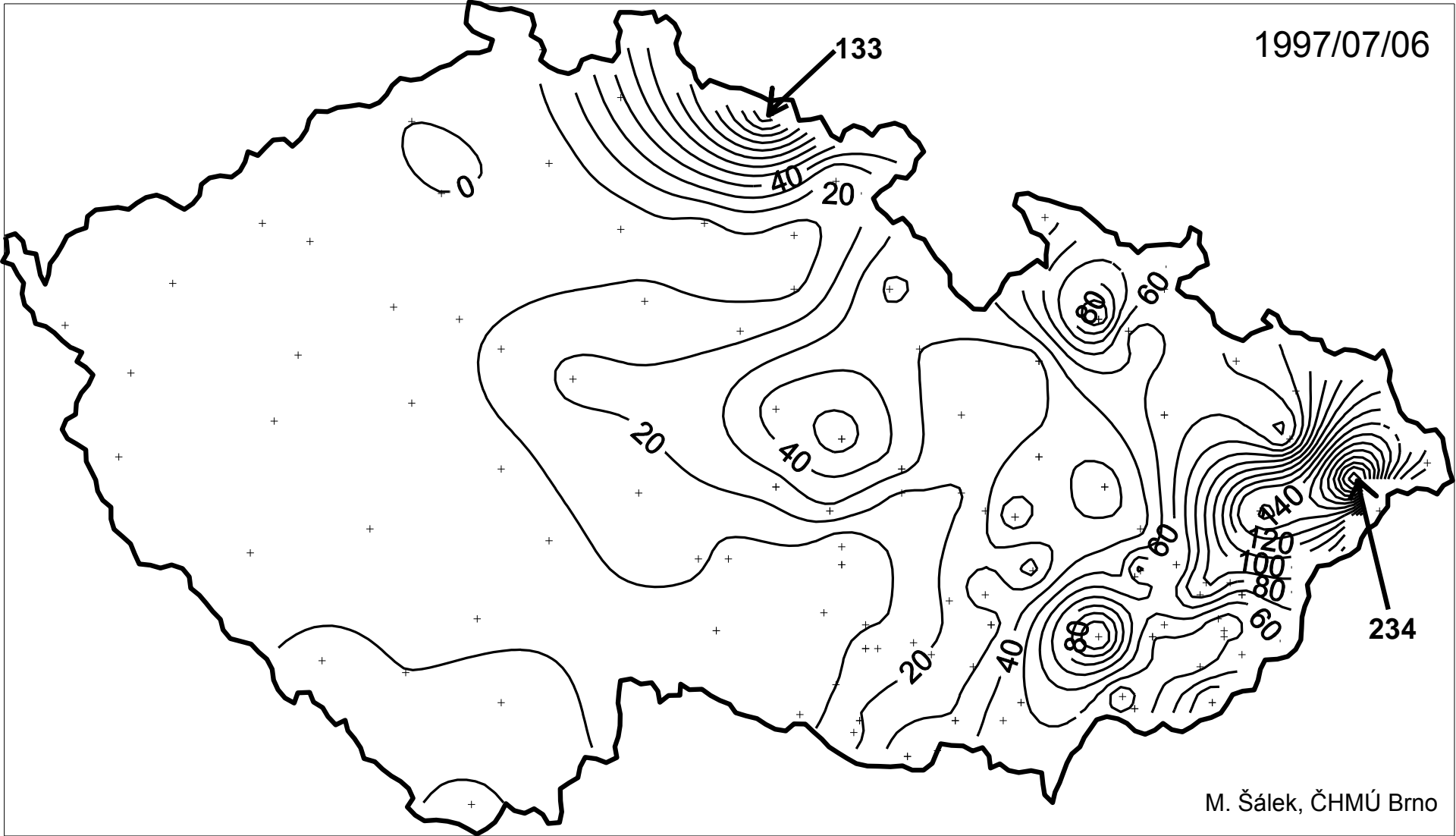
30

SRAZKY 06-30 [mm/24hod]

0m



1997/07/06

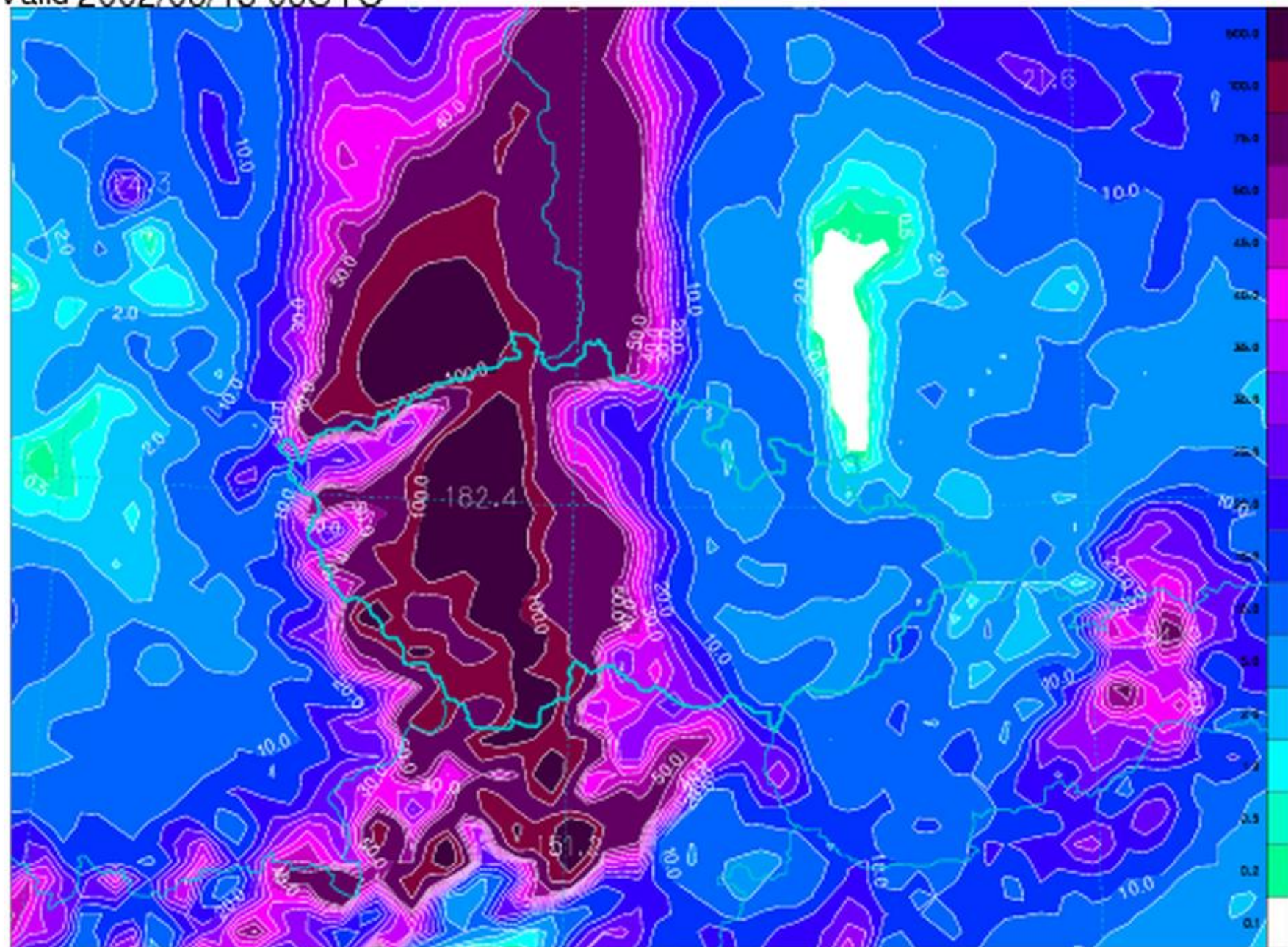


M. Šálek, ČHMÚ Brno

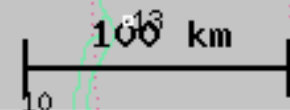
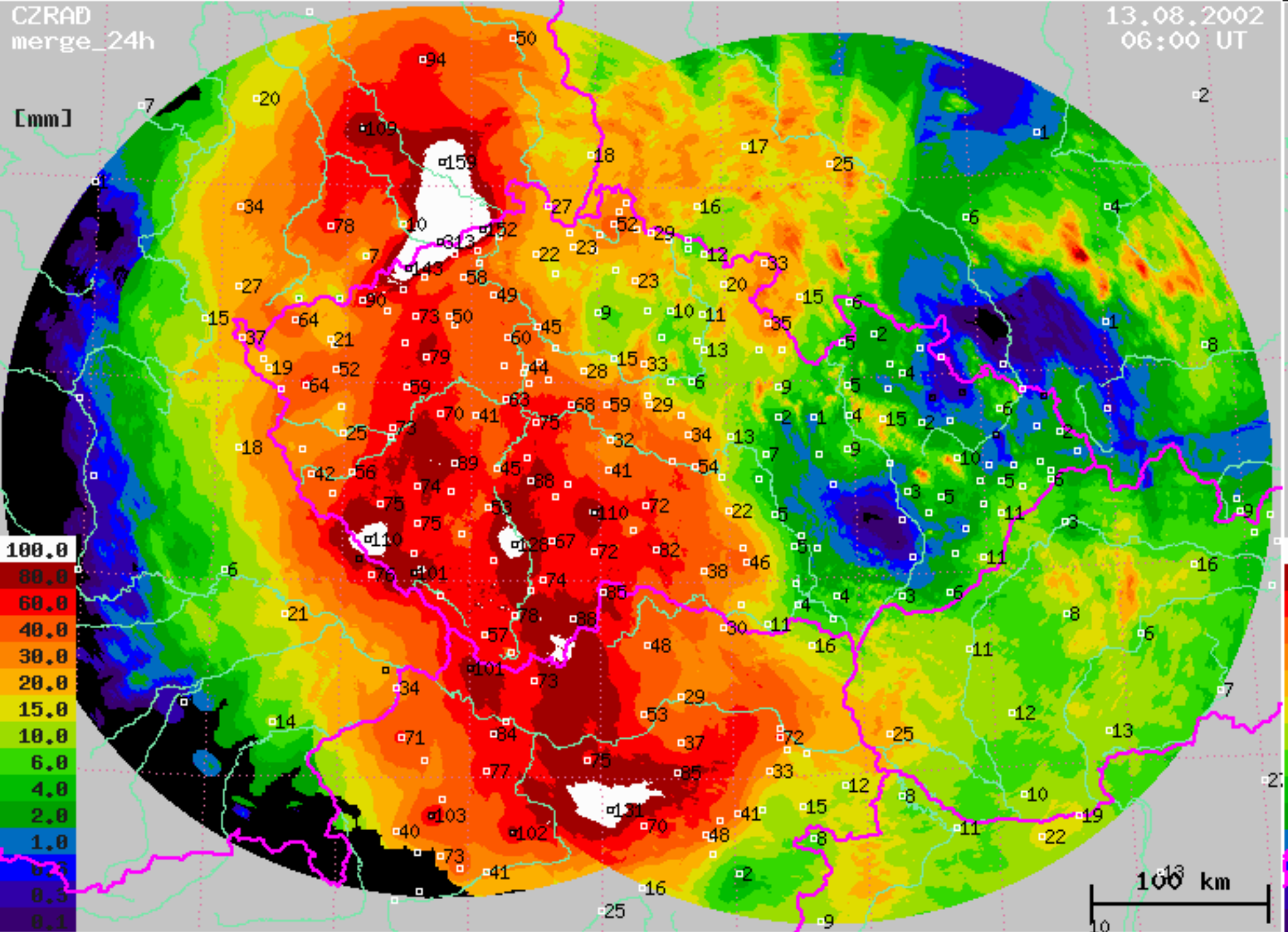
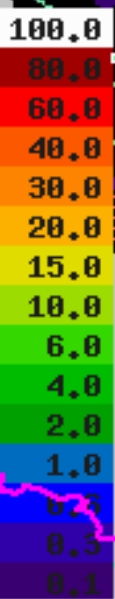
Base 2002/08/12 00UTC  
Valid 2002/08/13 06UTC

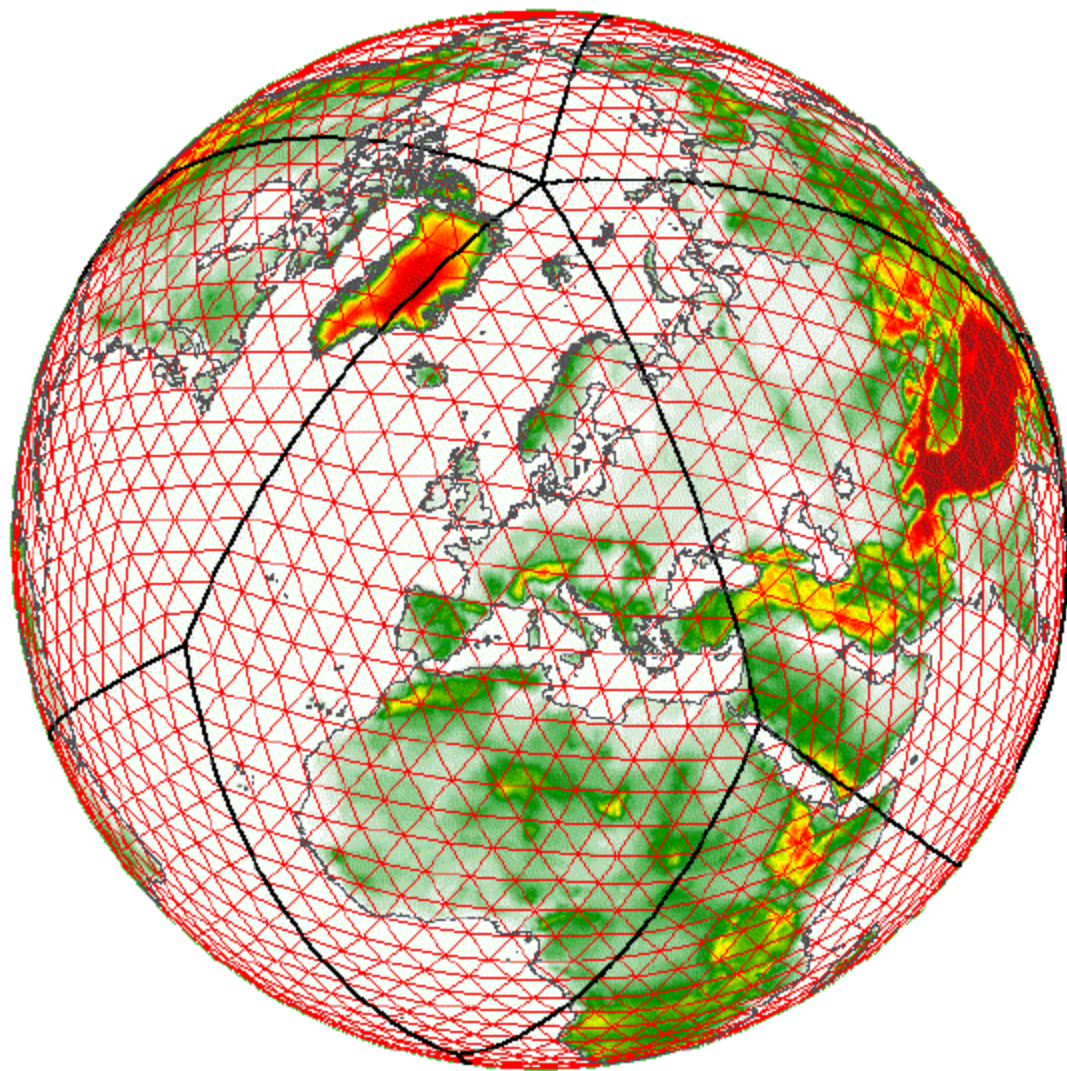
30

celkove srazky [mm/24hod]



[mm]



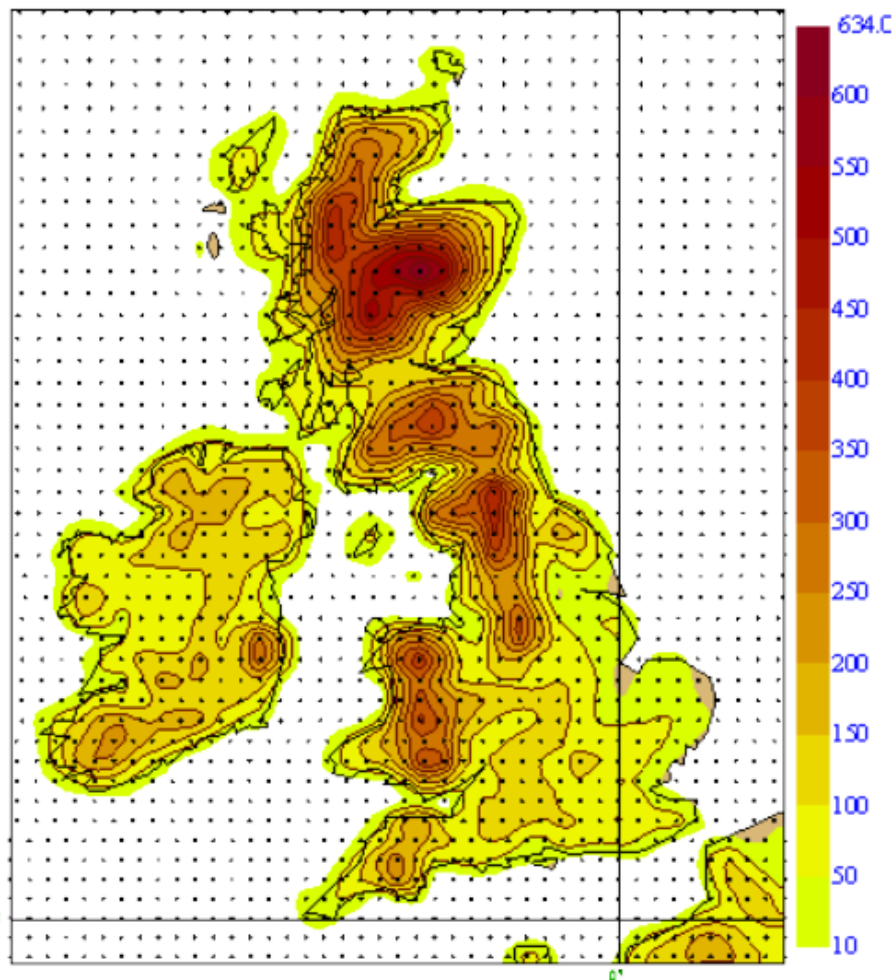


# Výpočetní síť Globálního modelu DWD

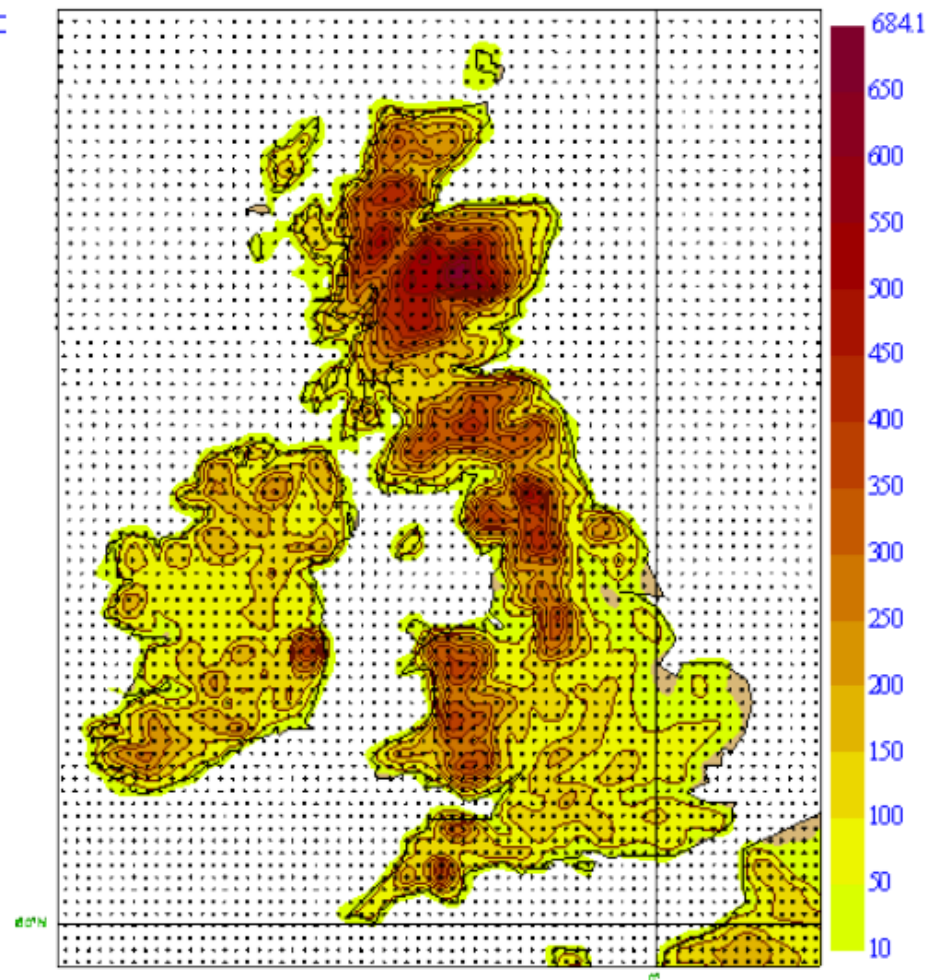
**Fig. 5.4** Grid and topography of the GME  
The gridpoints represent nearly uniform hexagons (pentagons at twelve special points of the globe).  
The mesh size varies between  $\Delta_{\min} = 55.1$  km and  $\Delta_{\max} = 65.8$  km, the mesh area between  $A_{\min} = 2407$  km<sup>2</sup> and  $A_{\max} = 3756$  km<sup>2</sup>.  
Total number of grid points = 163 842.



# Od ledna 2010 má deterministický model ECMWF horizontální rozlišení 16 km

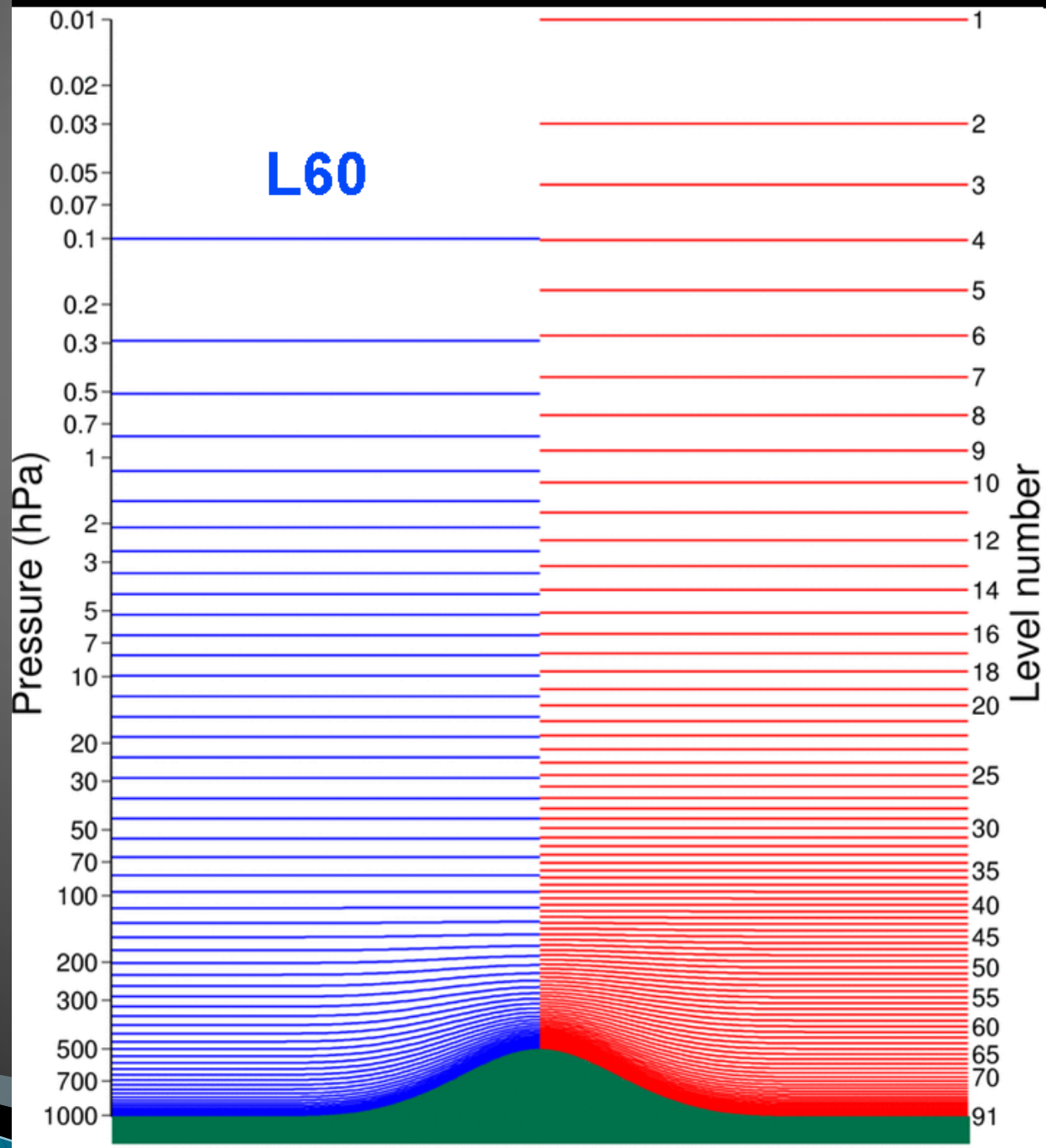


*N400 (T799) 25km grid spacing  
(843490 grid points)*



*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.

# Deterministický chaos

- ▶ Důležitou vlastností základních (parciálních diferenciálních) rovnic popisujících dynamiku a termodynamiku atmosféry je jejich **nelinearita**, jejíž výsledkem je citlivá závislost na počátečních podmínkách
- ▶ efekt **motýlích křídel**, tzn., že o málo **pozměněné vstupní údaje** (např. pole tlaku, teploty apod.) se mohou promítnout do **zcela rozdílných scénářů vývoje** (takto vznikla v 60. letech též díky meteorologu E. Lorenzovi teorie chaosu).

# Deterministický chaos

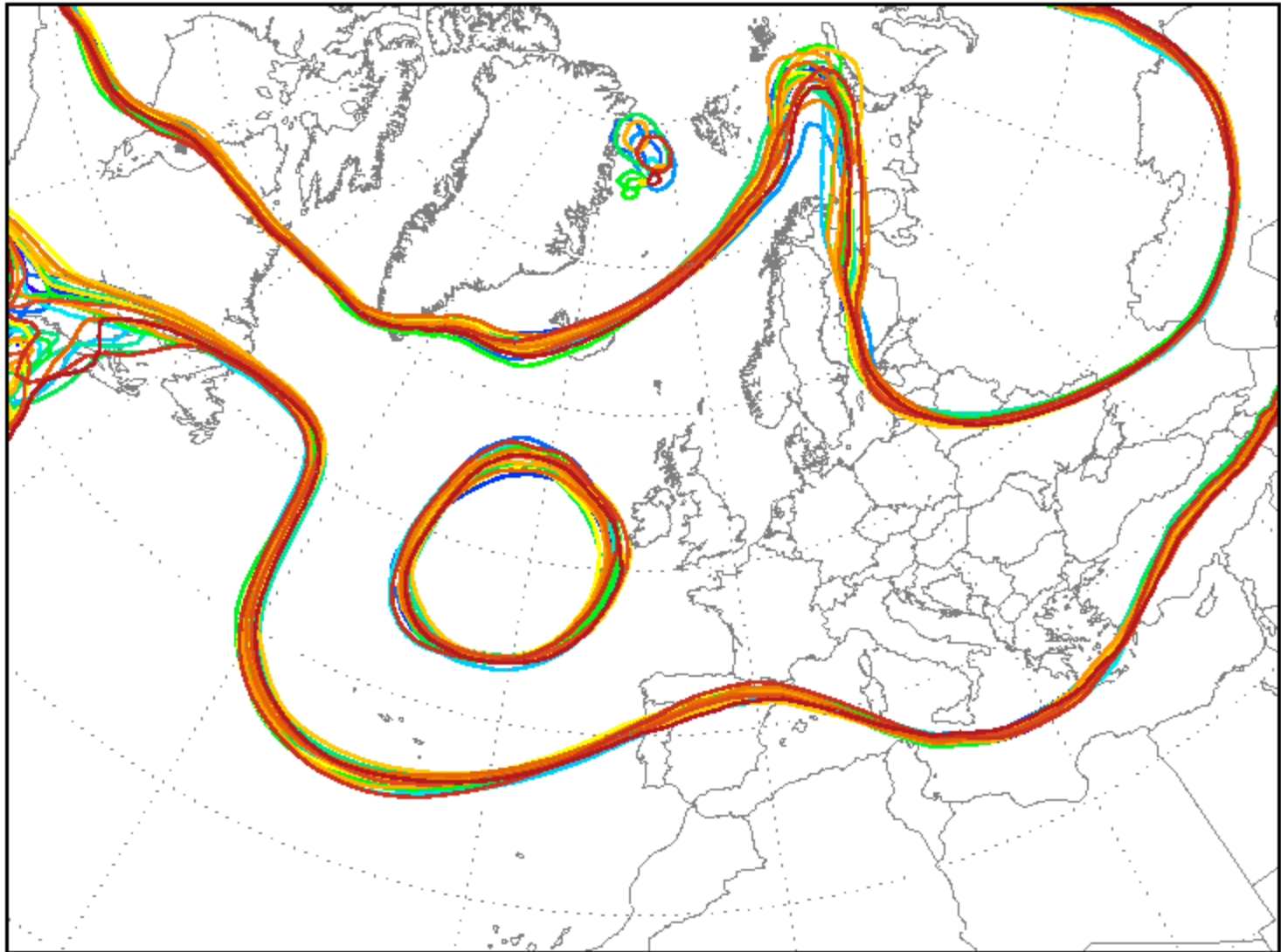
Zmíněná vlastnost těchto modelů vedla k postupům, kdy více modelových výpočtů s lehce pozměněnými (perturbovanými) vstupními údaji podává informaci o pravděpodobnosti scénářů vývoje počasí. Takto získané předpovědi získaly jméno **skupinové** (slangově ansámblové). Z praktických výpočtů pak vyplývá, že model (modely) je vhodné počítat pouze na nejvýše 10–15 dnů dopředu.

# 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: Mon,30SEP2013 00Z Val: Tue,01OCT2013 00Z

## 500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)

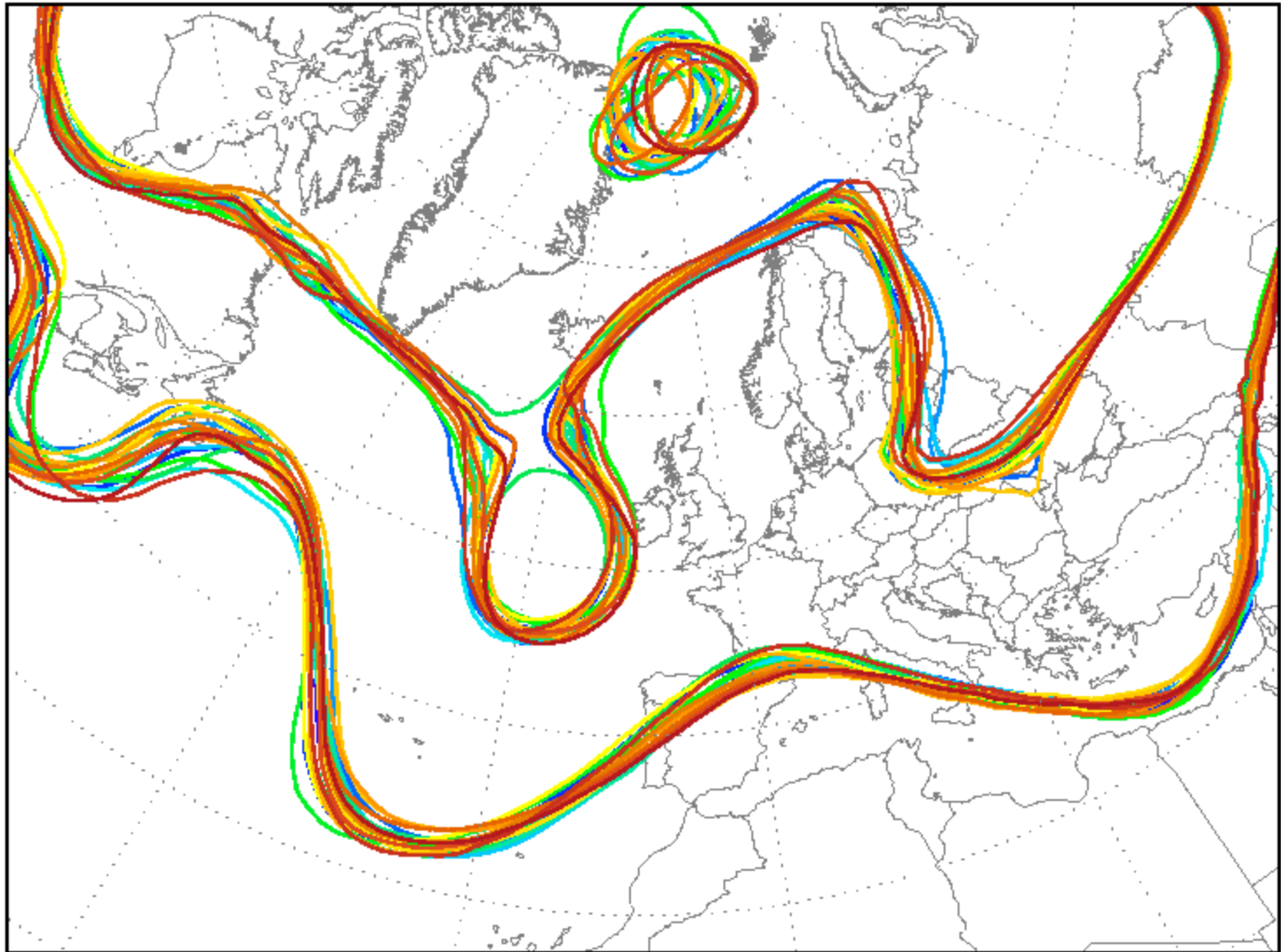


Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)



Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Wed,02OCT2013 00Z

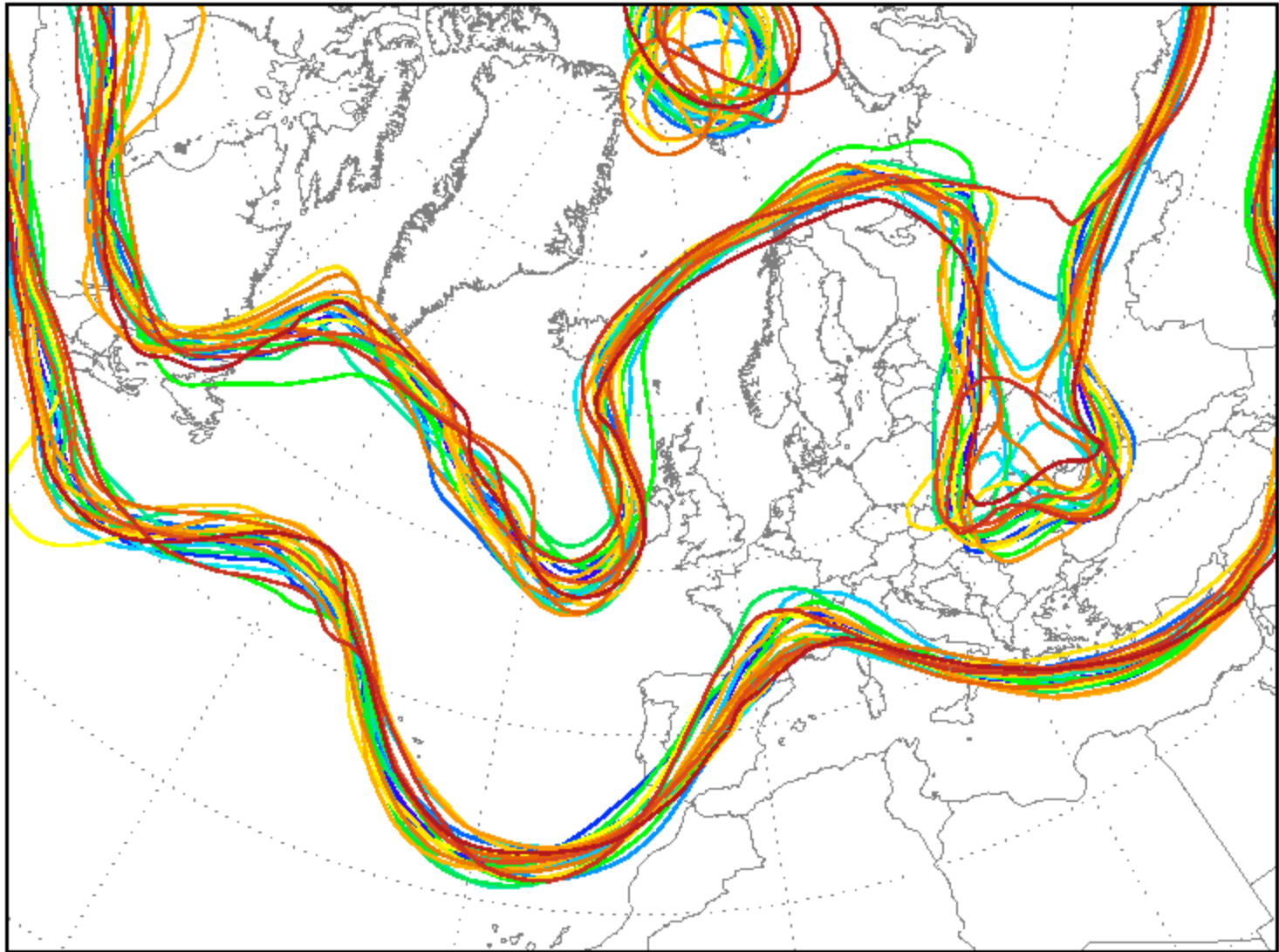
## 500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Thu,03OCT2013 00Z

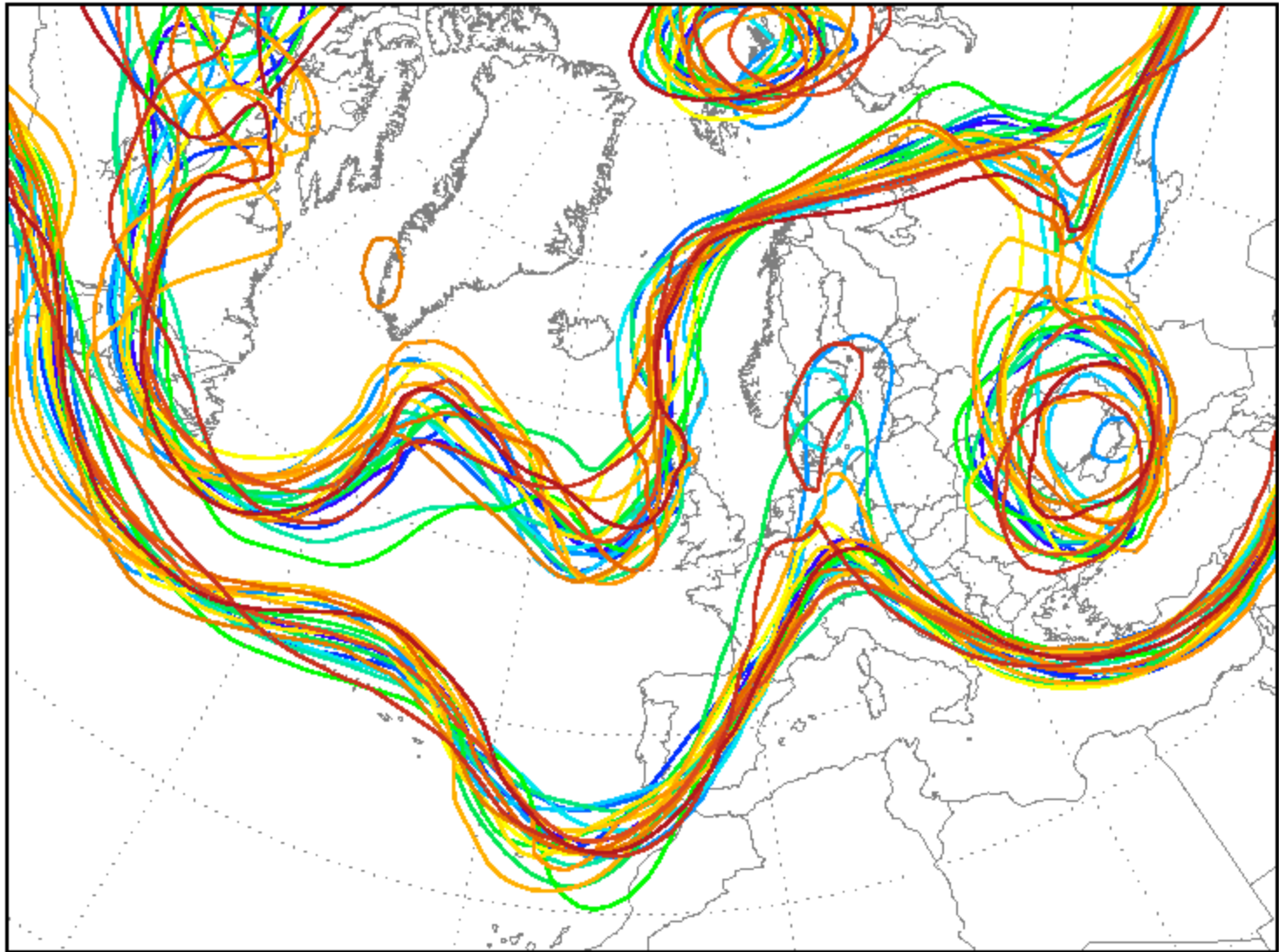
## 500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Fri,04OCT2013 00Z

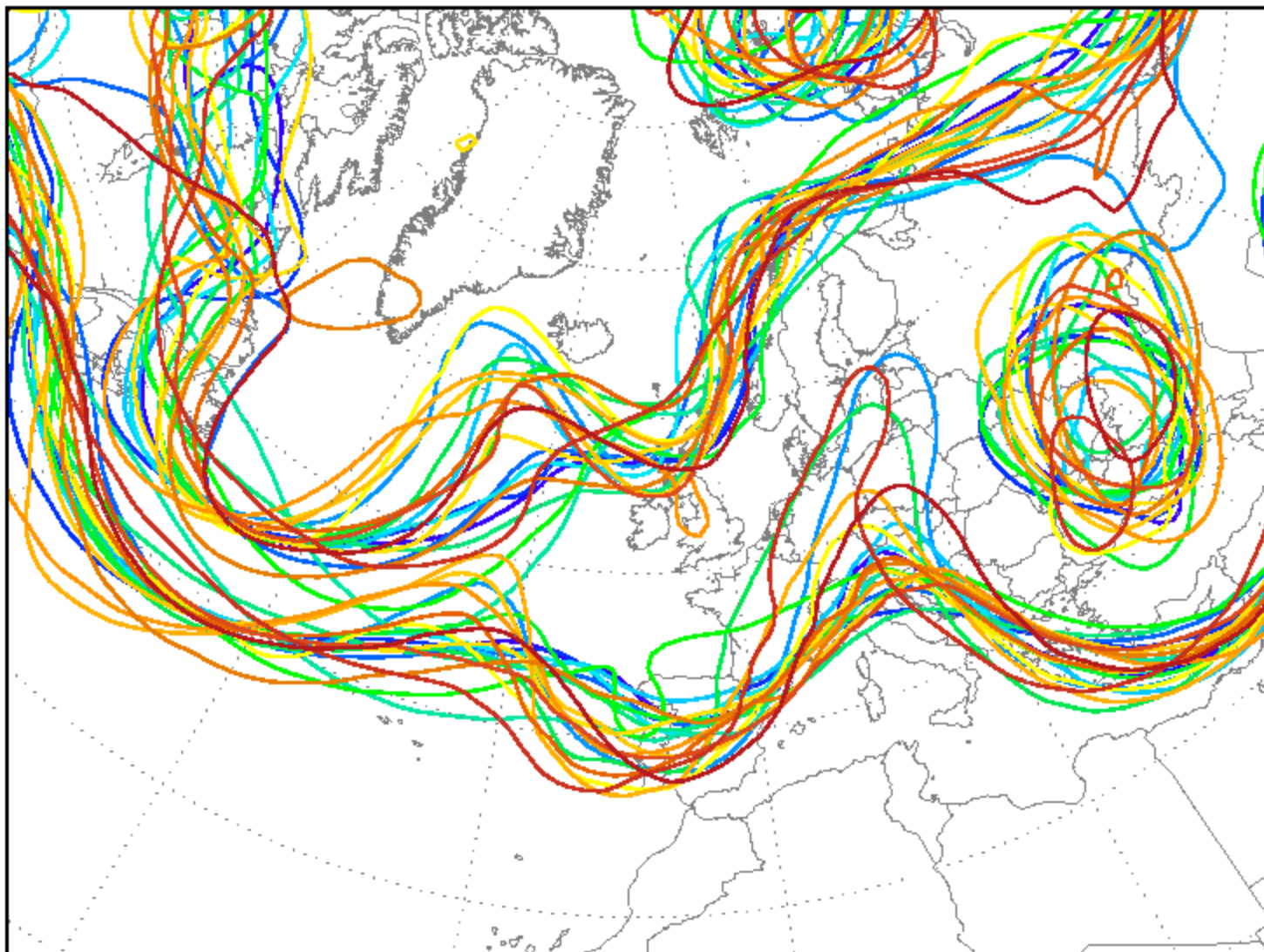
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Sat,05OCT2013 00Z

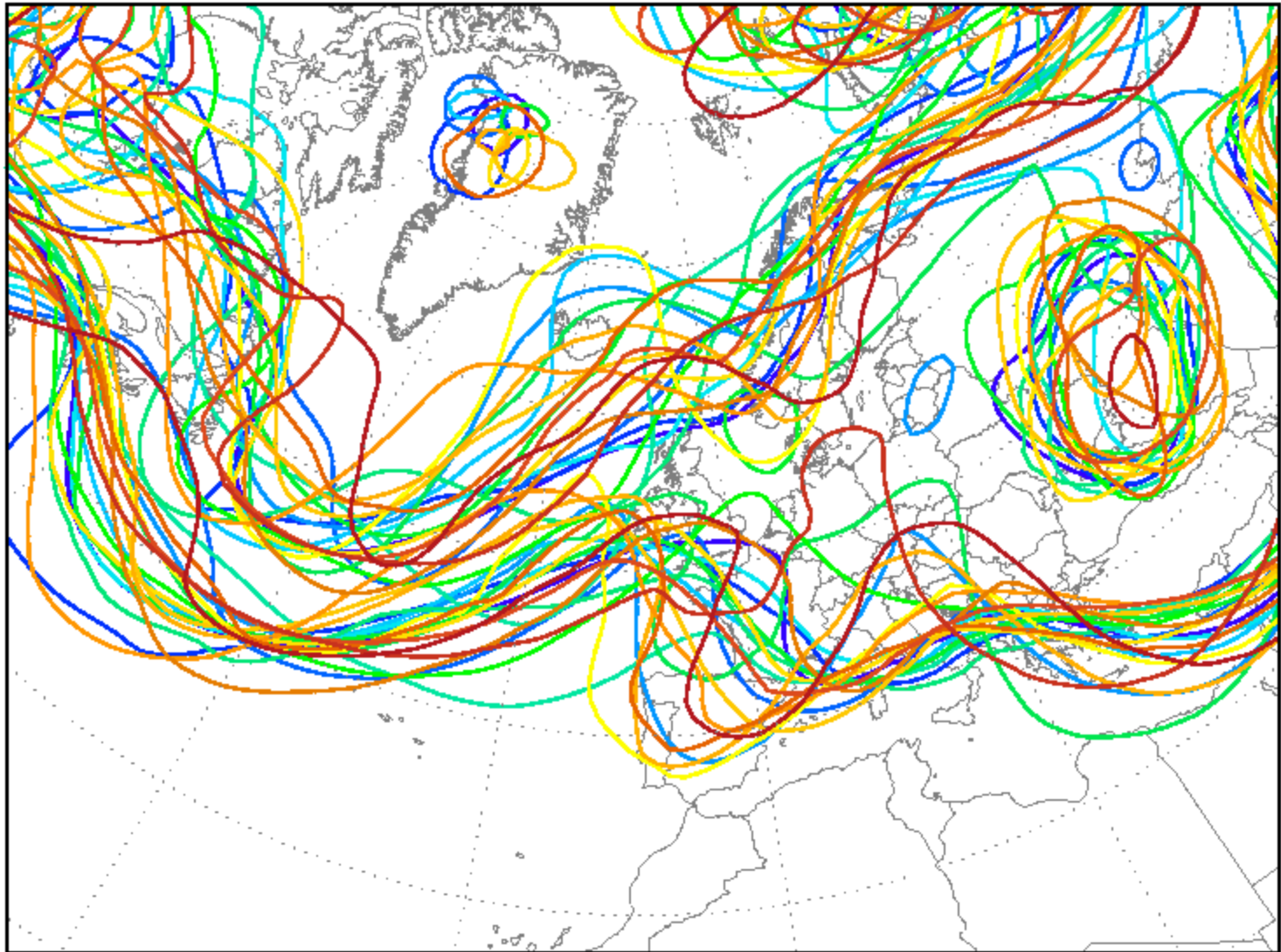
## 500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Sun,06OCT2013 00Z

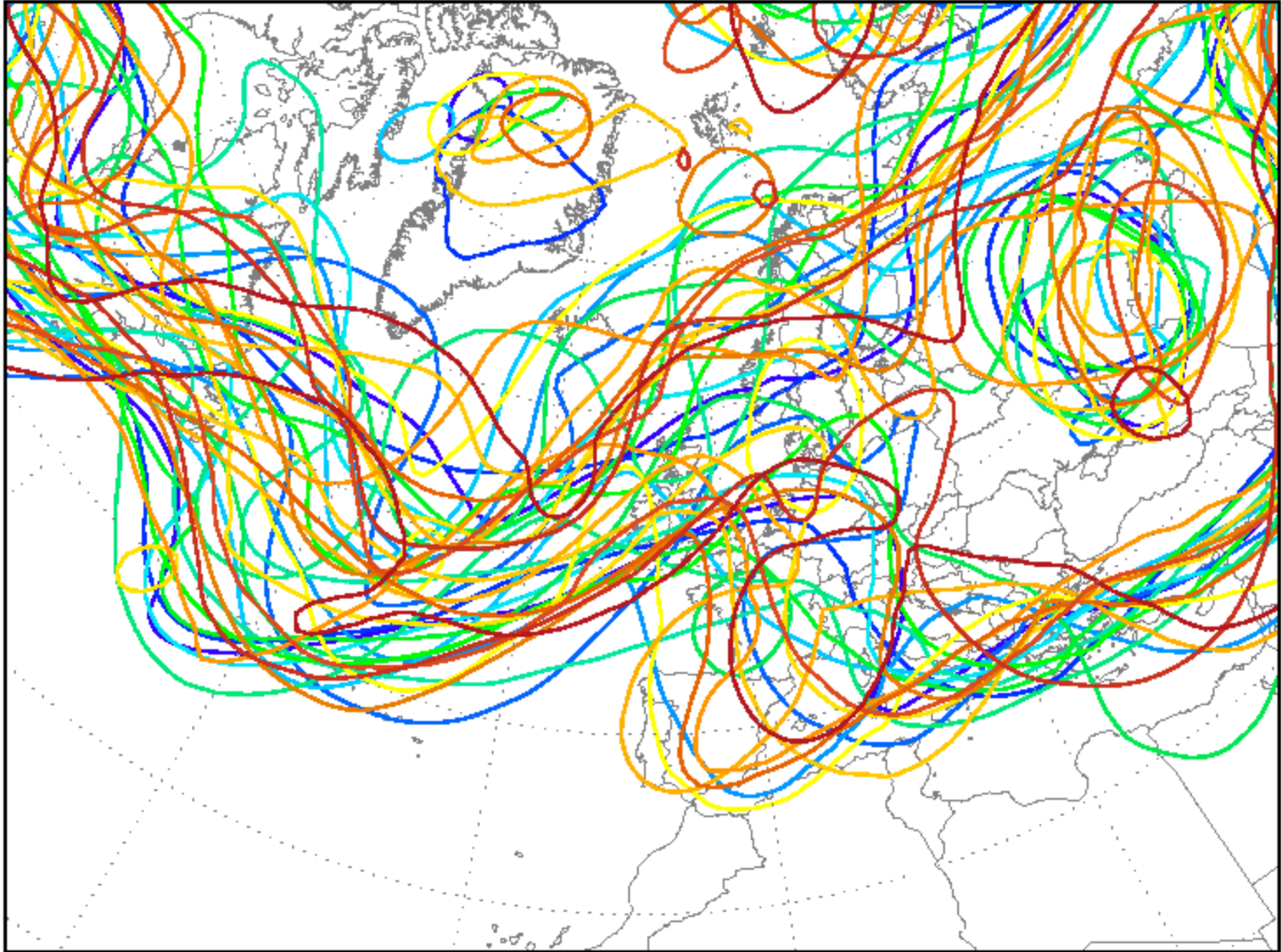
## 500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Mon,07OCT2013 00Z

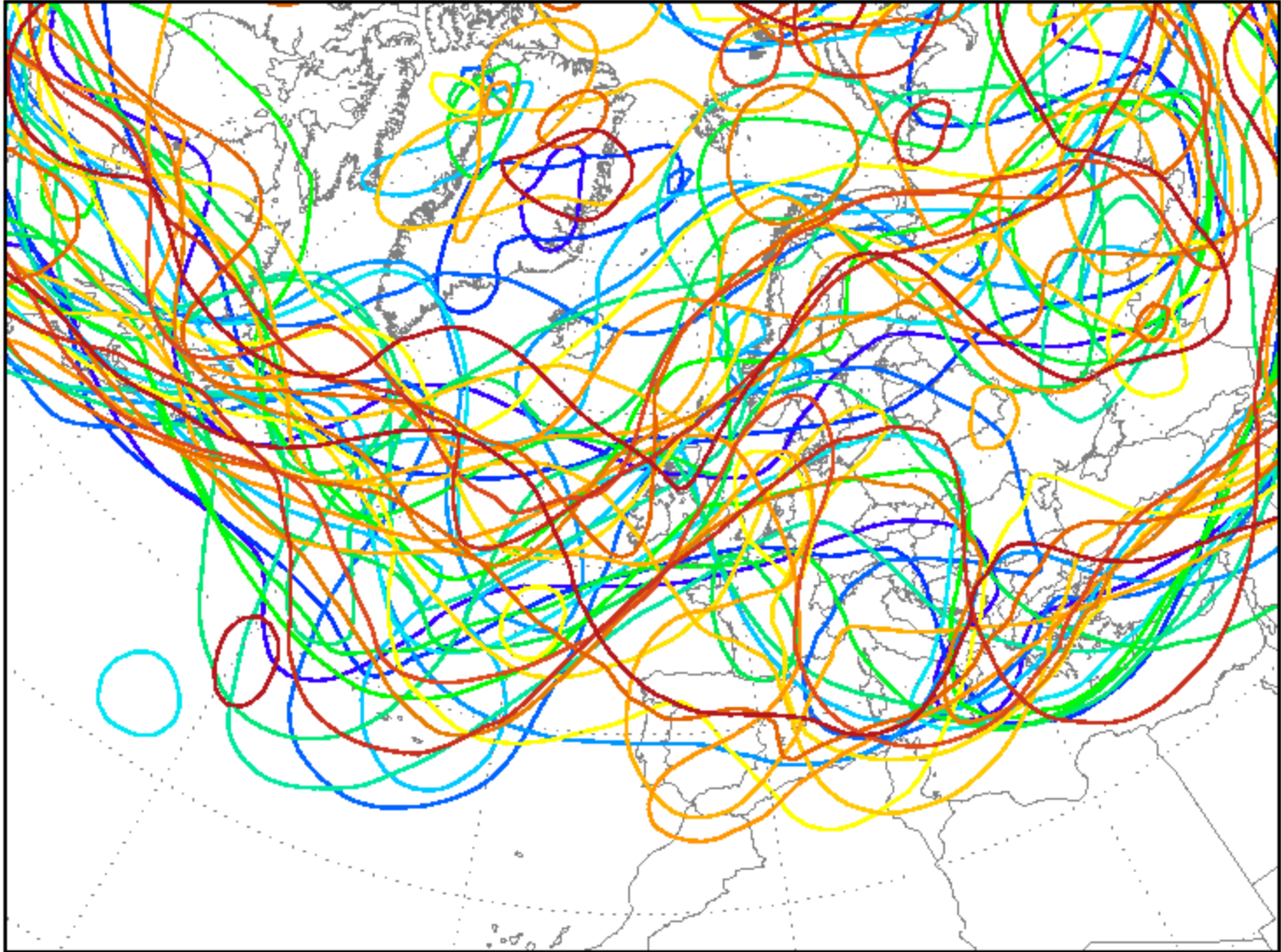
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Tue,08OCT2013 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Wed,09OCT2013 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)



Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Thu,10OCT2013 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Fri,11OCT2013 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Sat,12OCT2013 00Z

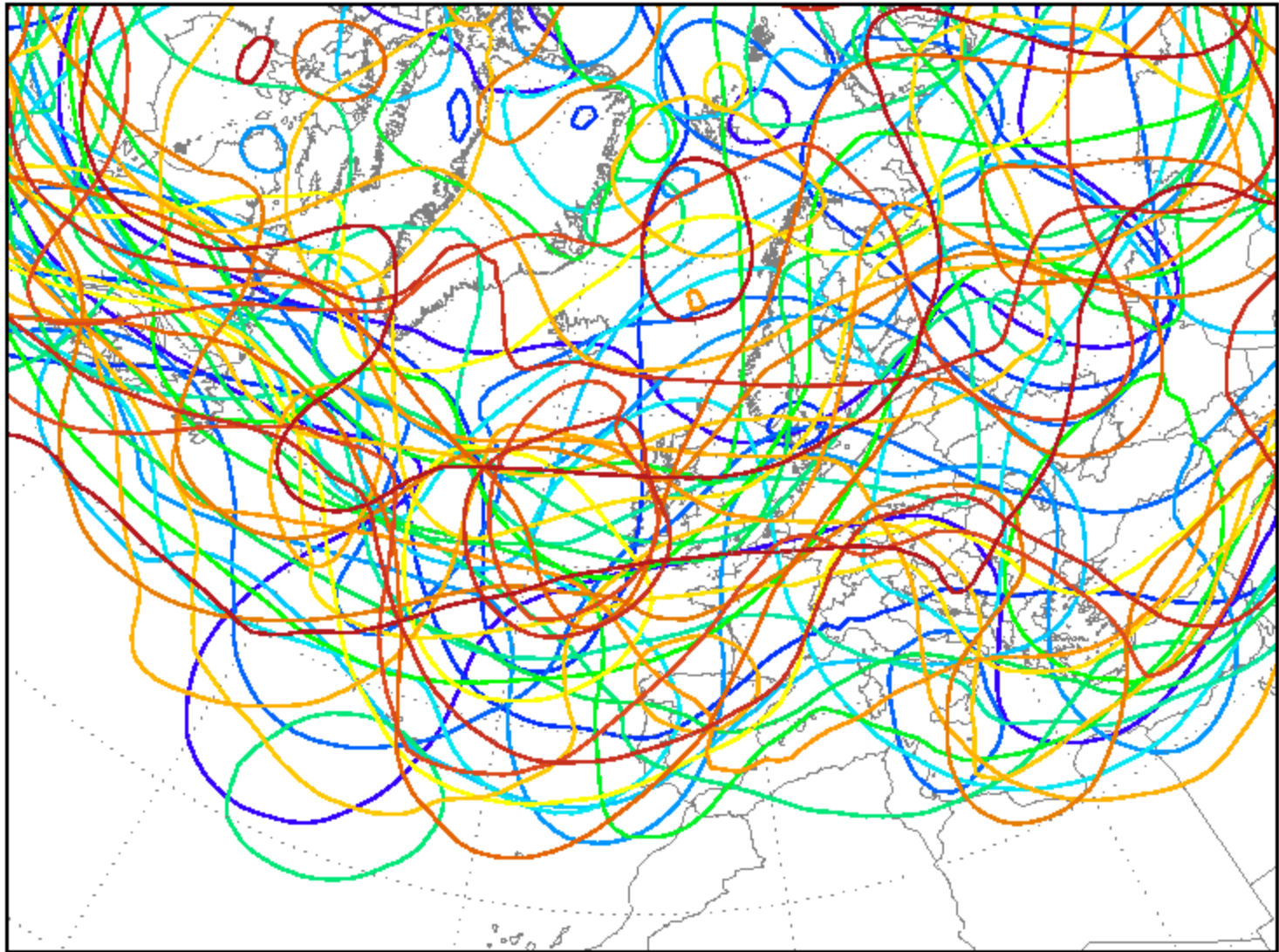
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Sun,13OCT2013 00Z

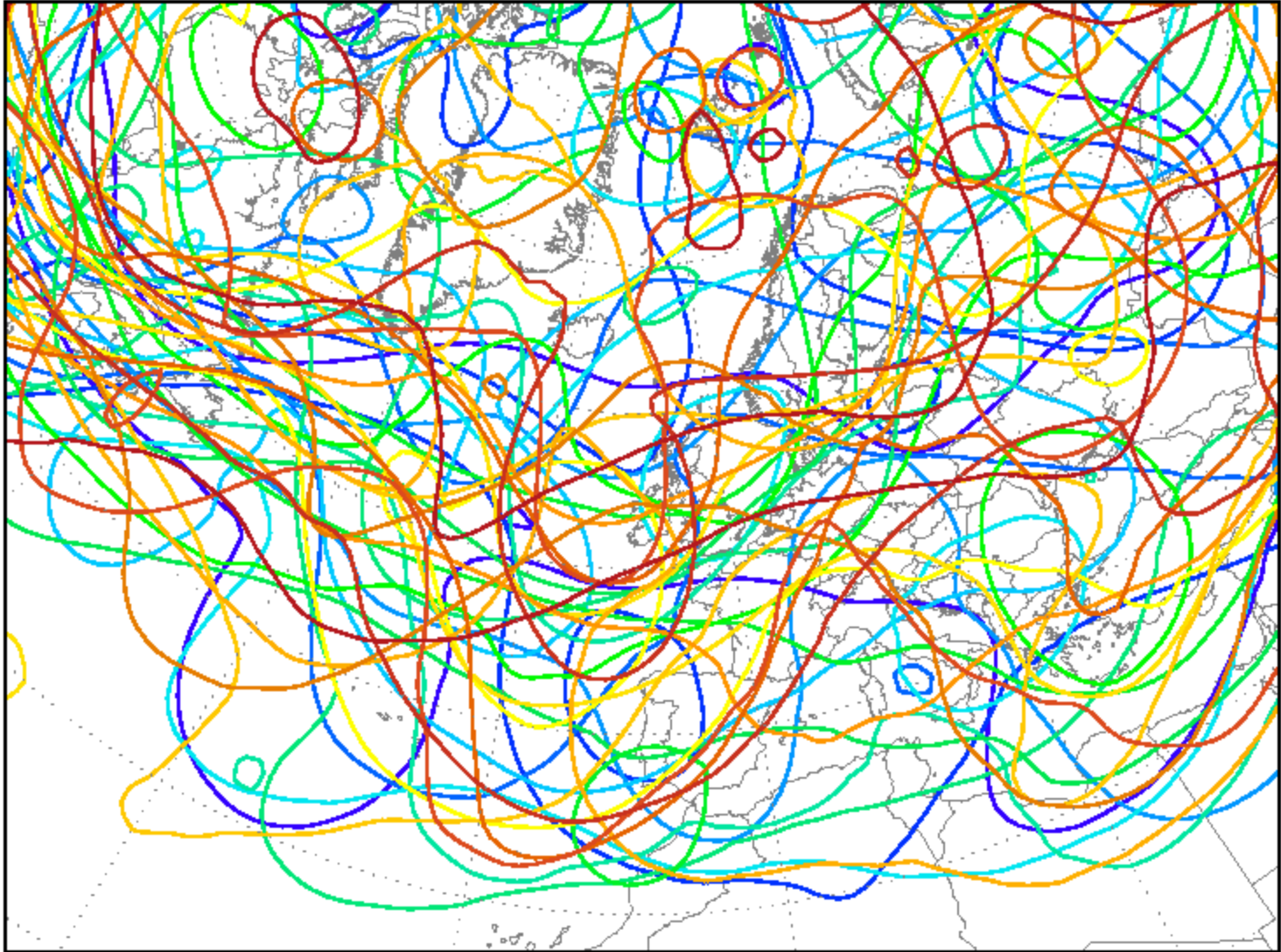
## 500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Mon,14OCT2013 00Z

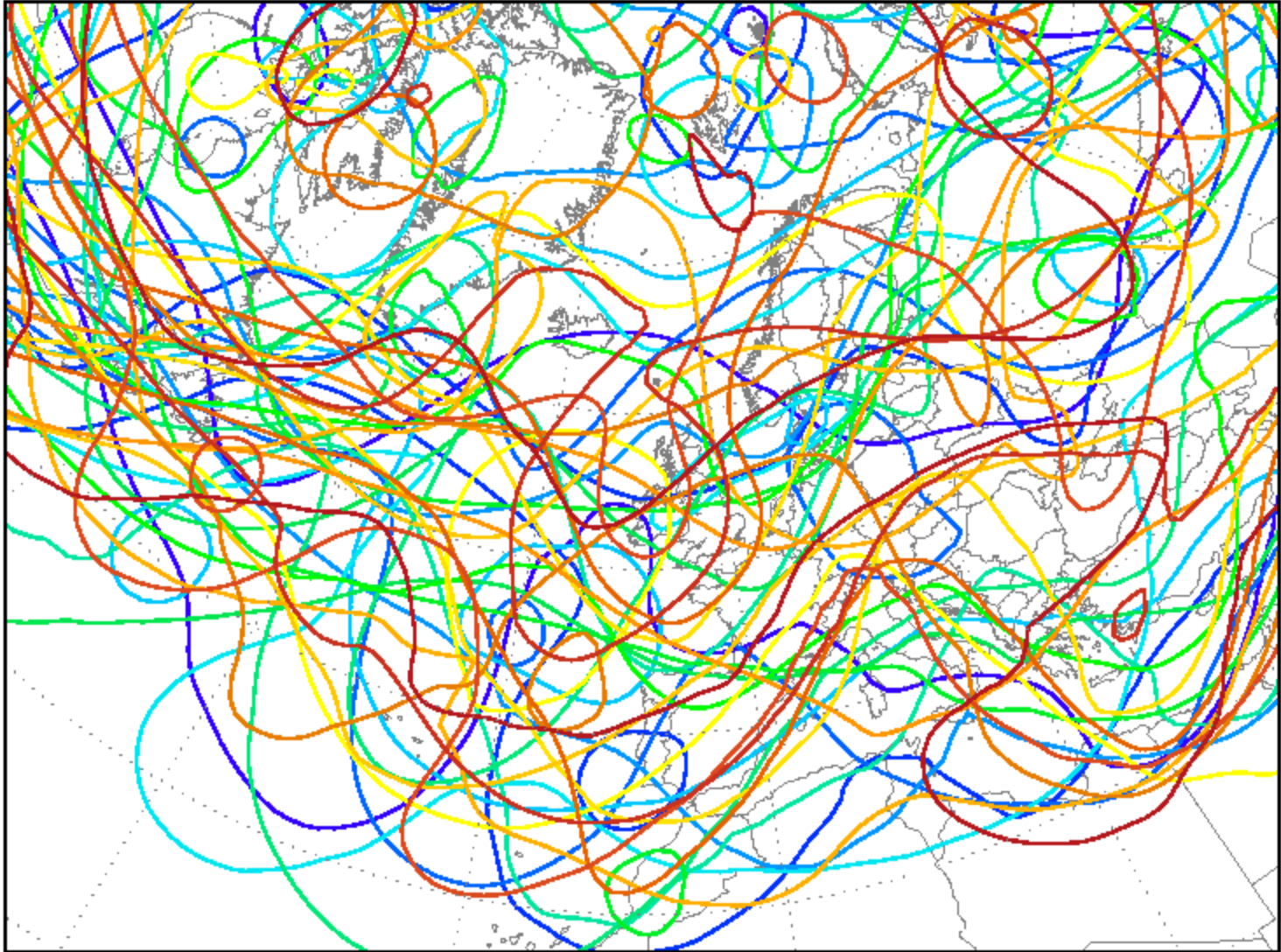
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Tue,15OCT2013 00Z

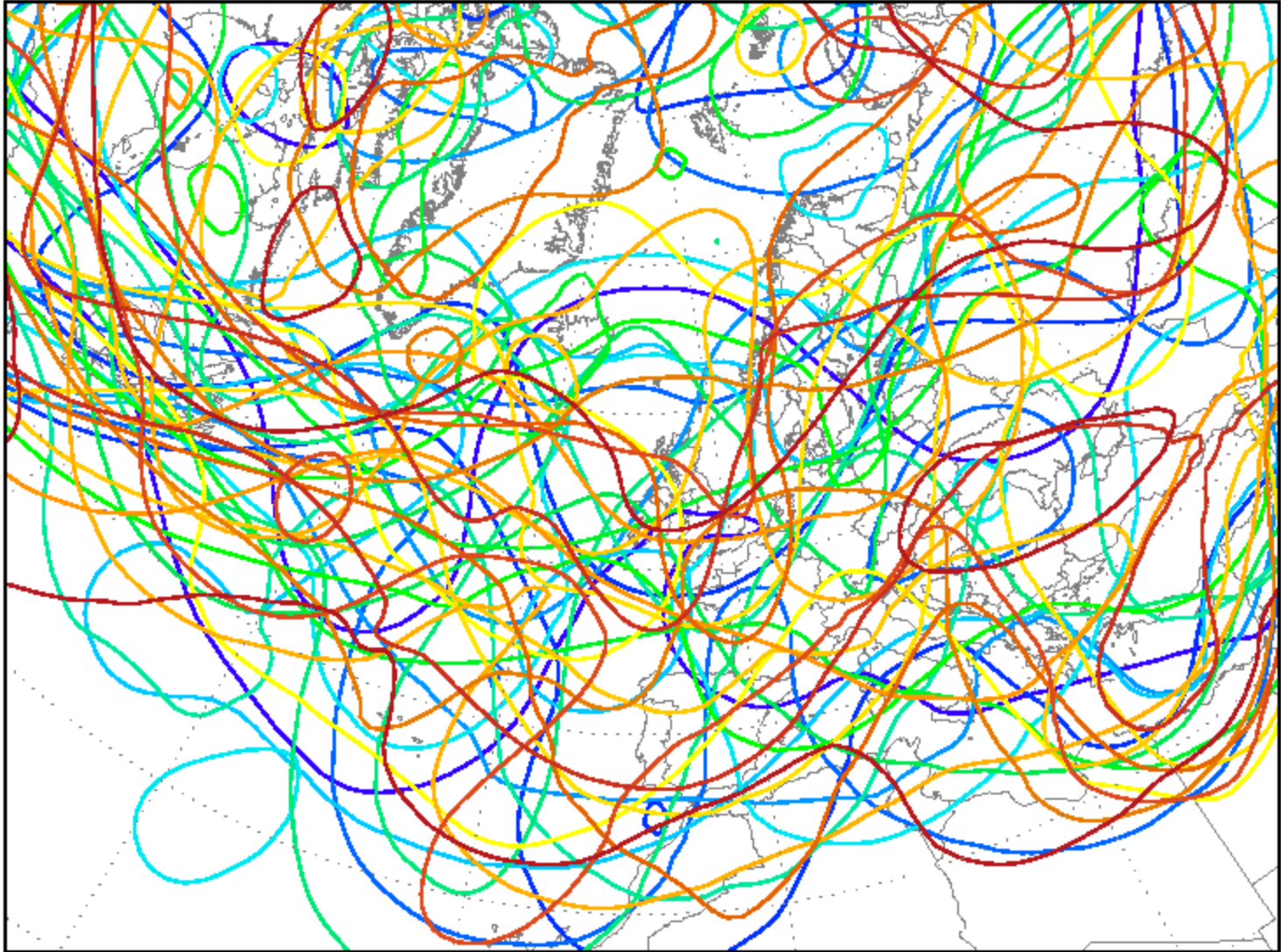
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Wed,16OCT2013 00Z

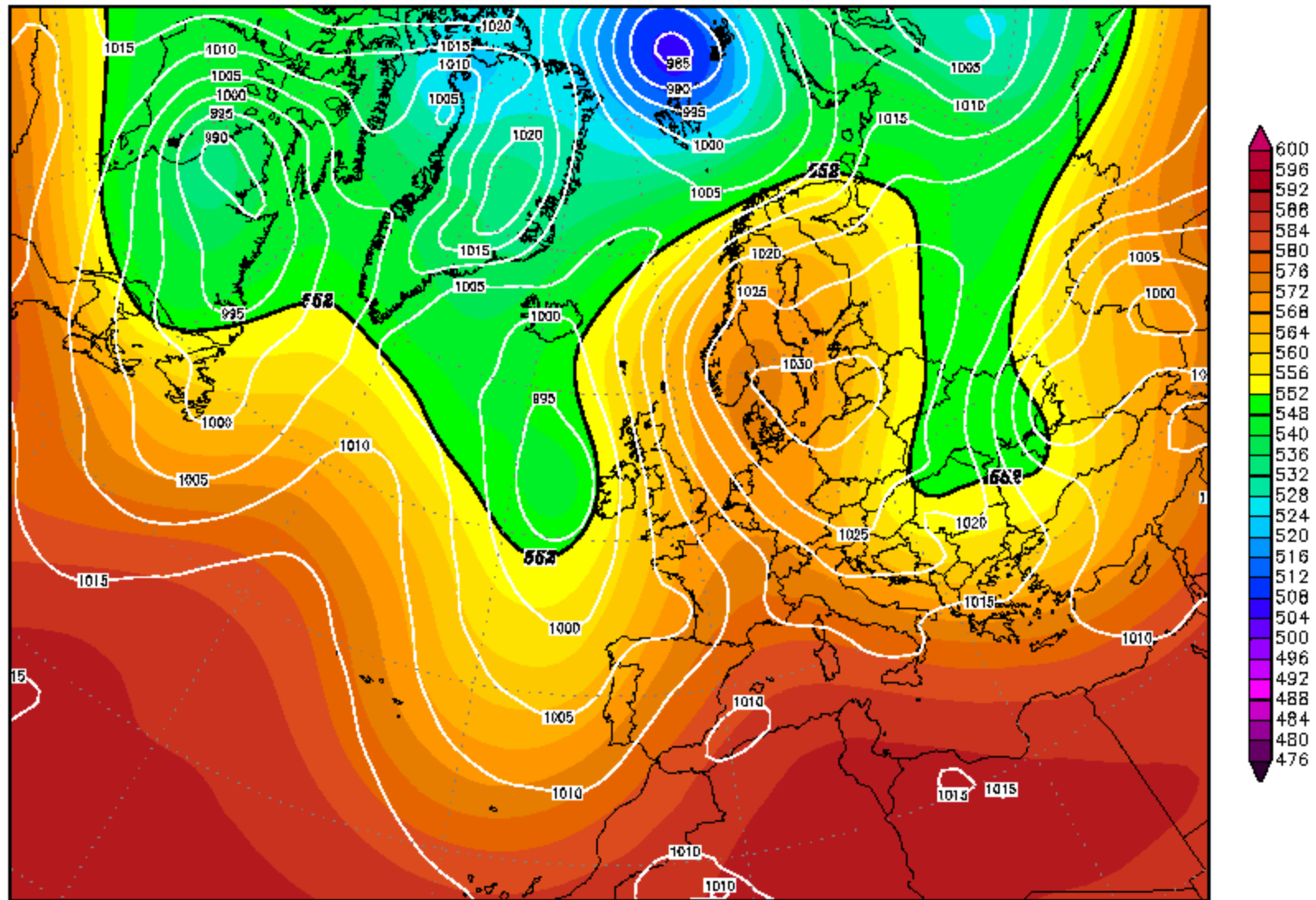
## 500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Thu,03OCT2013 00Z

## 500 hPa Geopot. (gpdm) und Bodendruck Mittelwerte

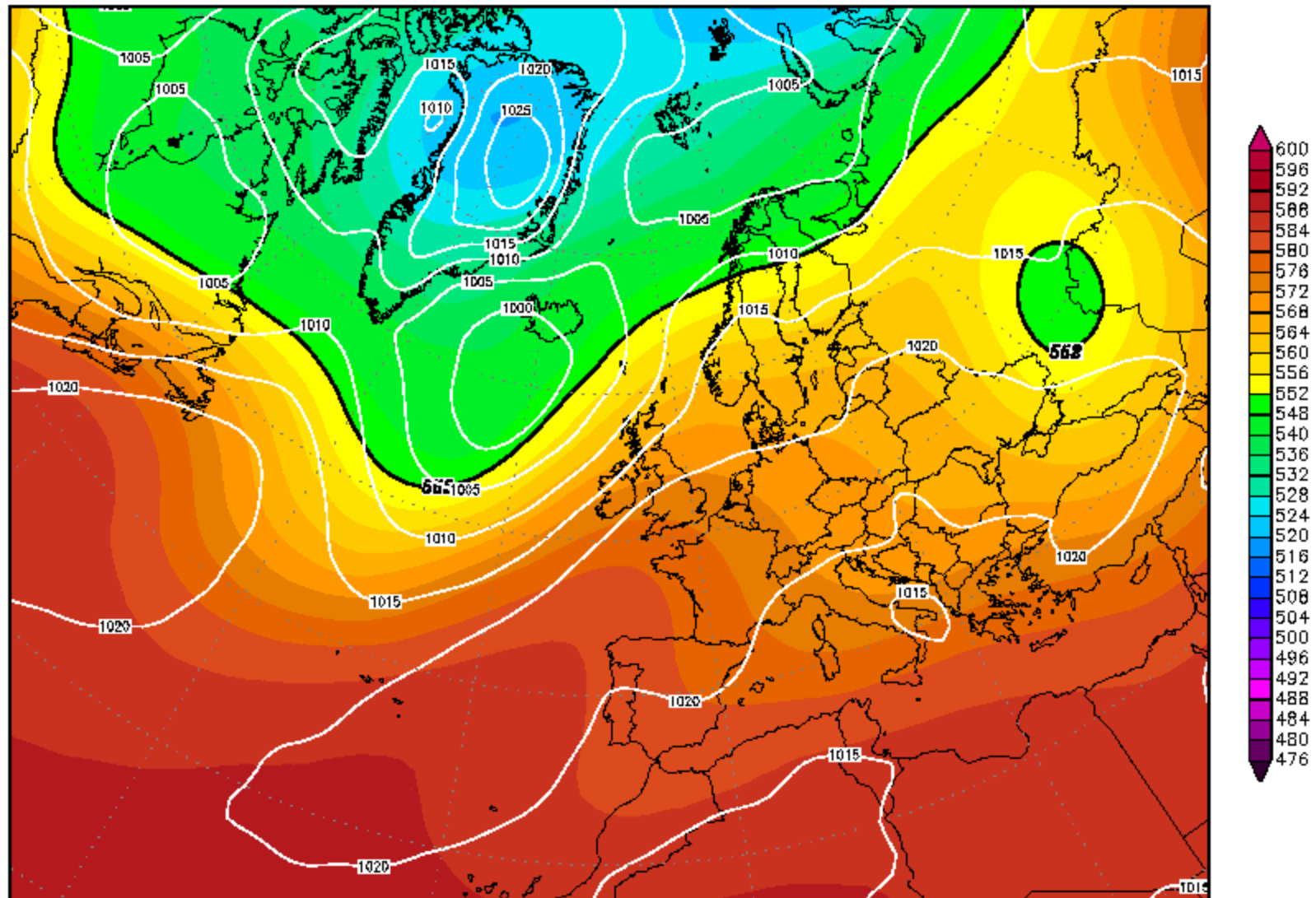


Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)



Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Mon,07OCT2013 00Z

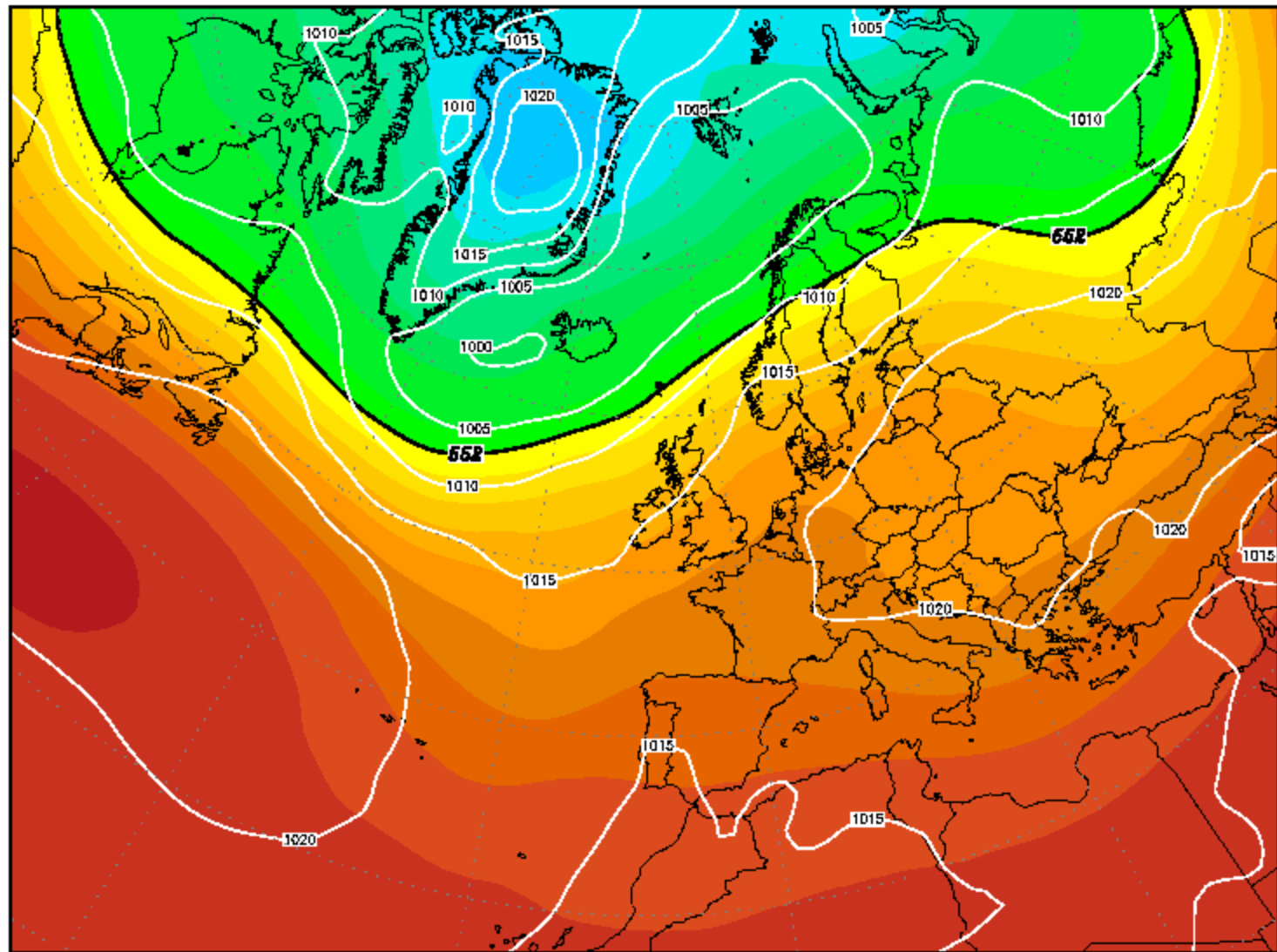
## 500 hPa Geopot. (gpm) und Bodendruck Mittelwerte



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Ini: Mon,30SEP2013 00Z Val: Wed,09OCT2013 00Z

## 500 hPa Geopot. (gpdm) und Bodendruck Mittelwerte



Daten: Ensembles des GFS von NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

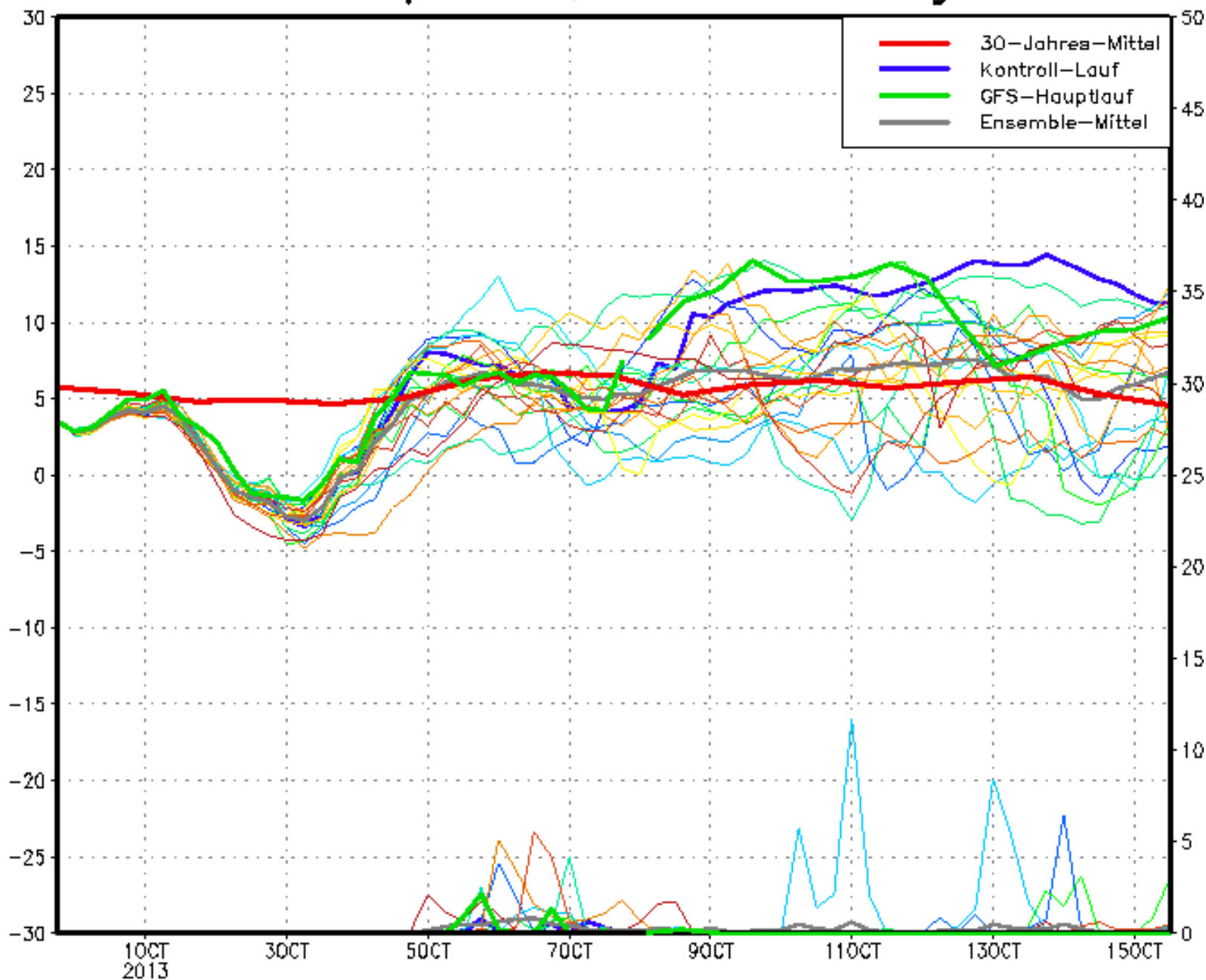
Position

Lat: 49 Lon: 17

Sun, 29 SEP 2013 18Z

# 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

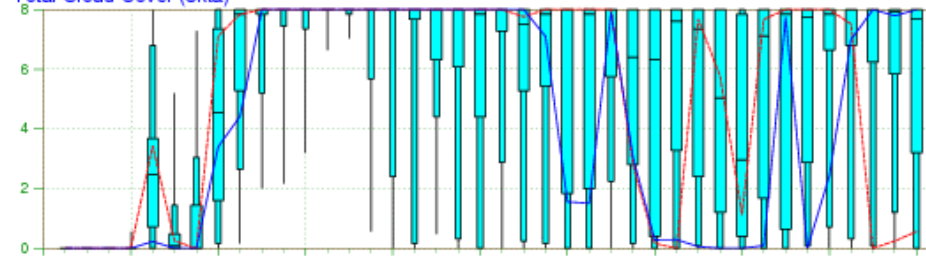
Wetterzentrale

# Ukázky výstupů skupinových předpovědí

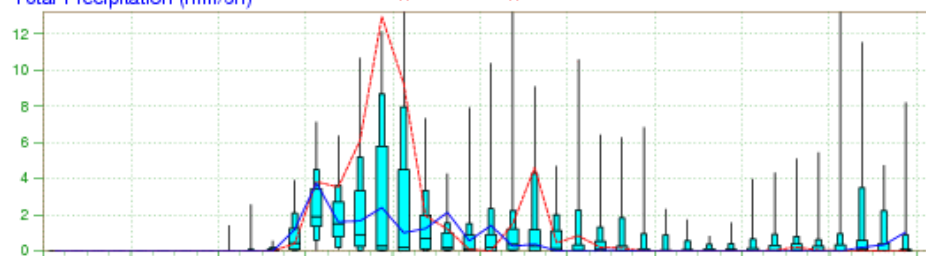
Z 50 předpovědí s perturbovanými počátečními podmínkami, počítanými v Evropském středisku pro střednědobou předpověď (ECMWF), je možno odhadnout rozdělení pravděpodobností meteorologických prvků. Následují ukázky těchto předpovědí.

EPS Meteogram  
 Brno 49.32°N 16.67°E (EPS land point) 212 m  
 Deterministic Forecast and EPS Distribution Monday 17 October 2011 00 UTC

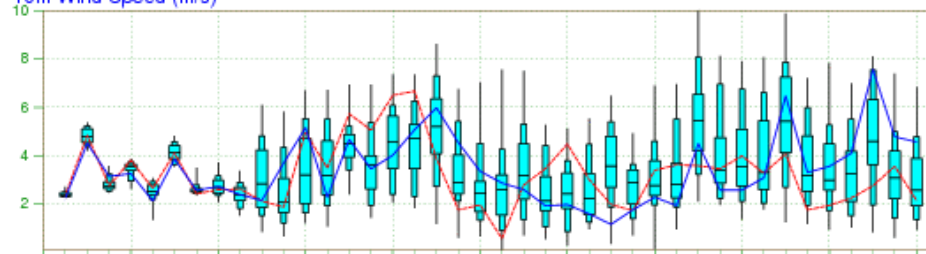
Total Cloud Cover (okta)



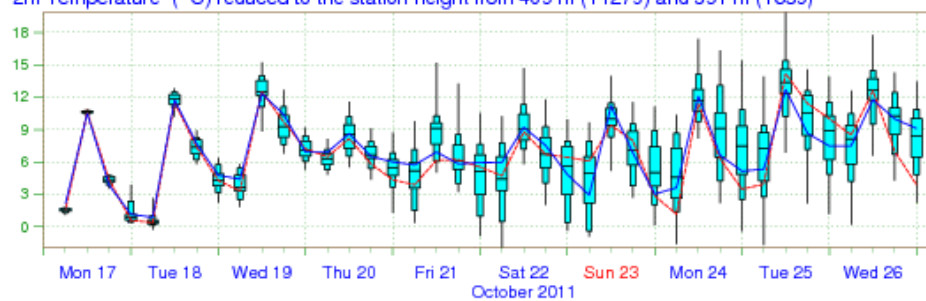
Total Precipitation (mm/6h)



10m Wind Speed (m/s)

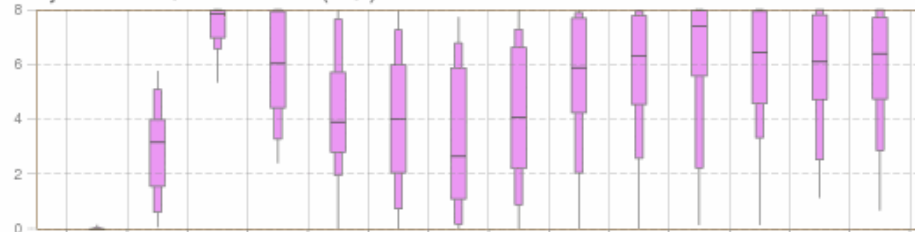


2m Temperature (°C) reduced to the station height from 409 m (T1279) and 391 m (T639)

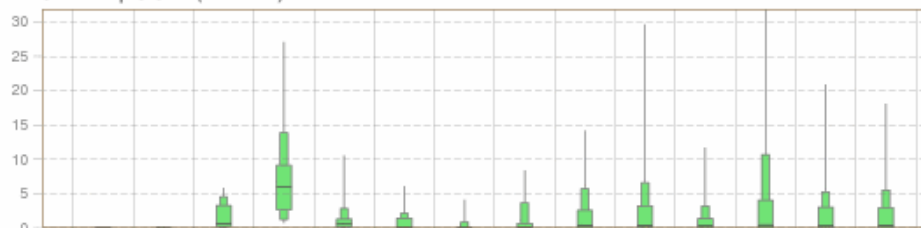


EPS Control(31 km) High Resolution Deterministic(16 km)

Daily mean of Total Cloud Cover (okta)



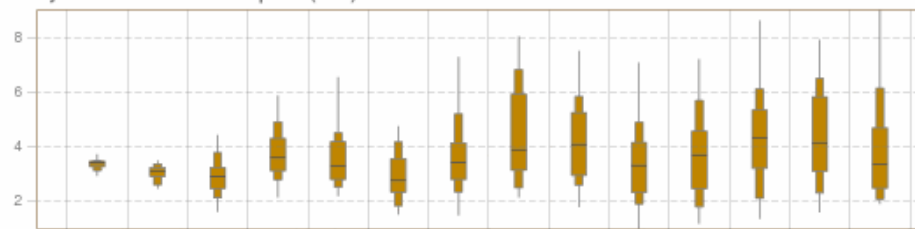
Total Precipitation (mm/24h)



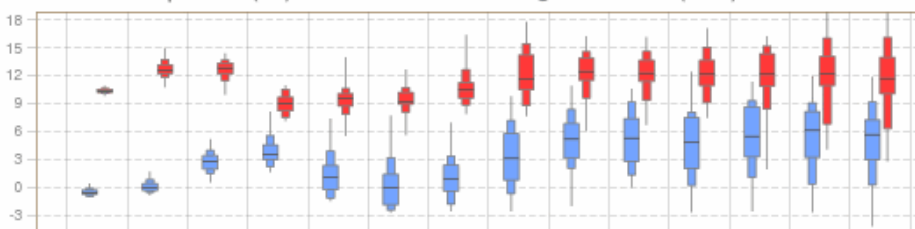
Daily distribution of 10m Wind Direction



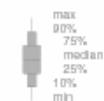
Daily mean of 10m Wind Speed (m/s)



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

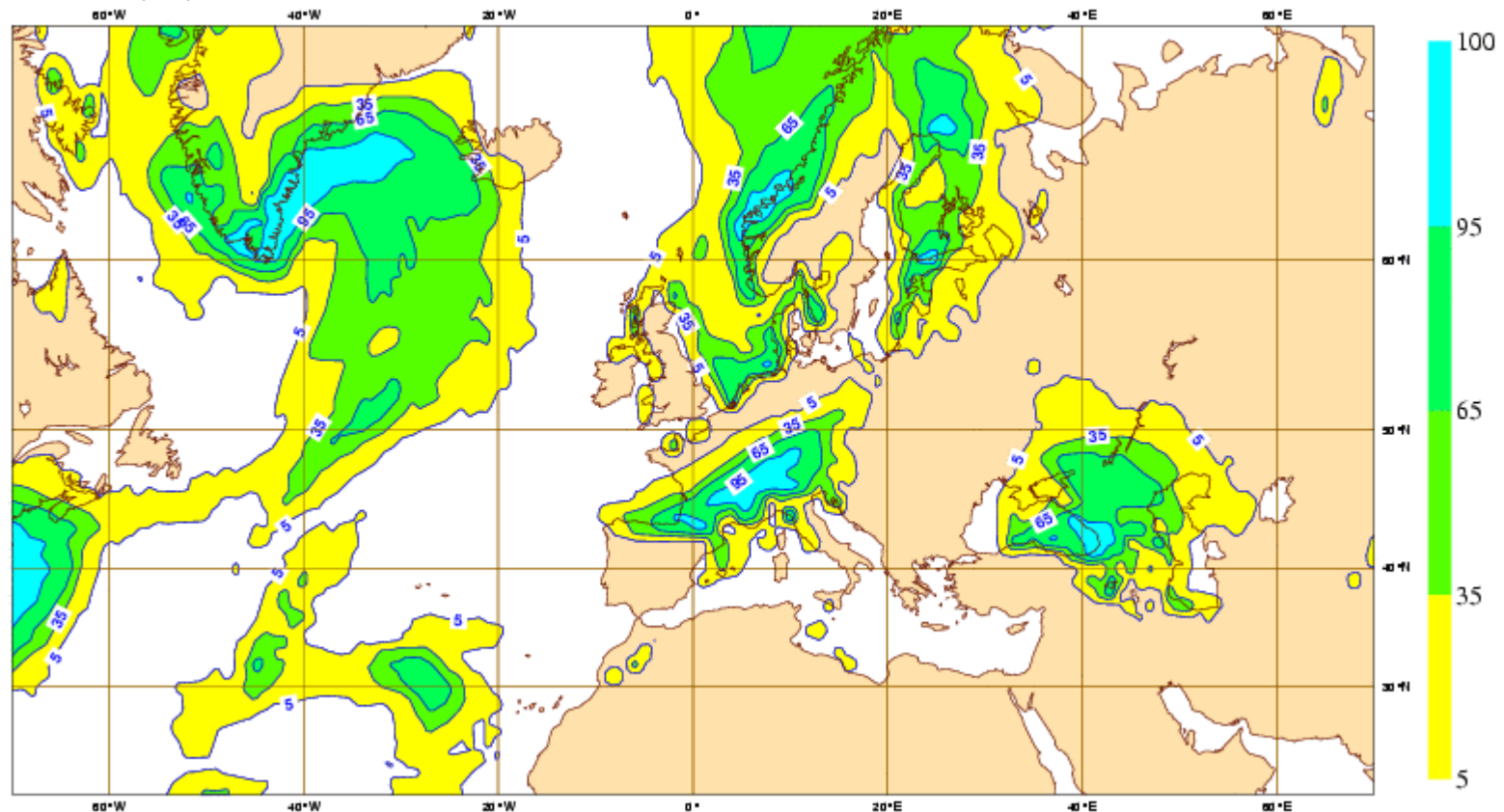


Sun 16 Mon 17 Tue 18 Wed 19 Thu 20 Fri 21 Sat 22 Sun 23 Mon 24 Tue 25 Wed 26 Thu 27 Fri 28 Sat 29 Sun 30  
 October 2011



# Pravděpodobnost srážek > 5 mm

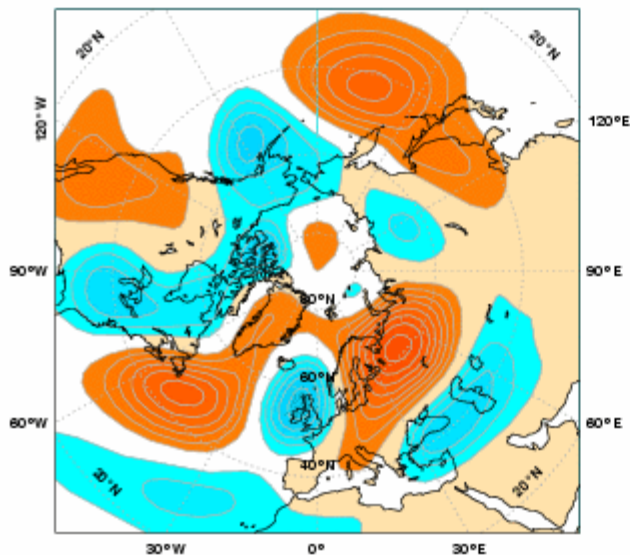
Monday 17 October 2011 00UTC ©ECMWF Forecast probability t+048-072 VT: Wednesday 19 October 2011 00UTC - Thursday 20 October 2011 00UTC  
Surface: Total precipitation of at least 5 mm



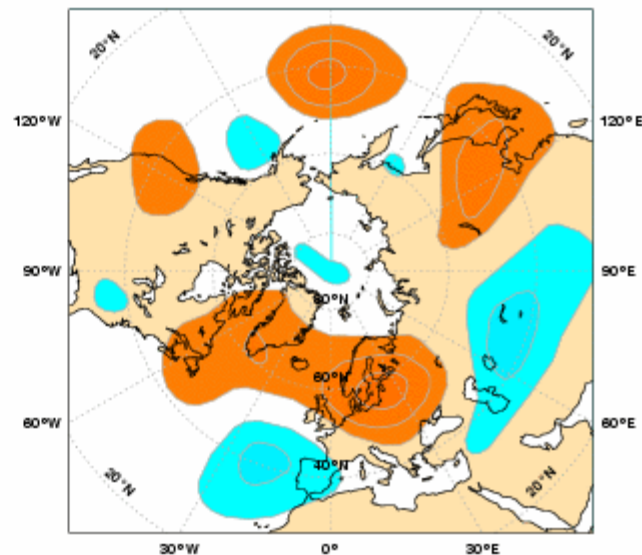
# Měsíční předpověď' (spíše odhad)

Anomálie hladiny 500 hPa

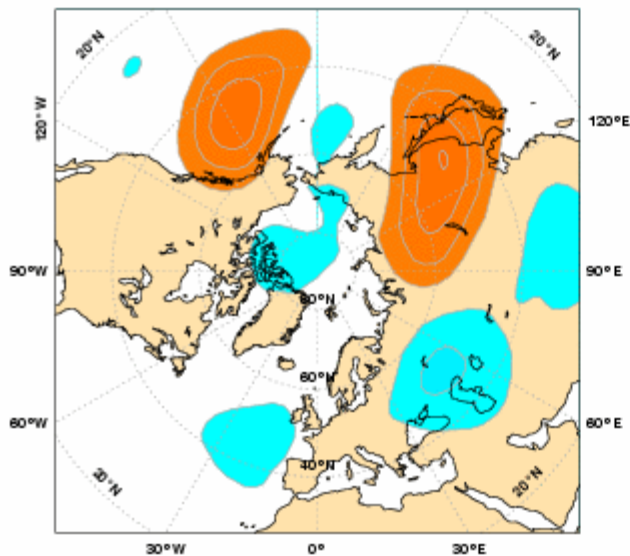
Day 5-11: Mon 20111017- Sun 20111023



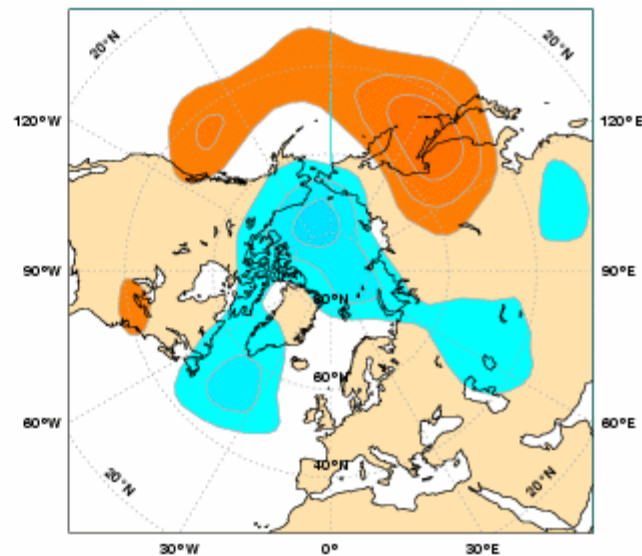
Day 12-18: Mon 20111024- Sun 20111030



Day 19-25: Mon 20111031- Sun 20111106



Day 26-32: Mon 20111107- Sun 20111113





# Sezónní předpověď teplotní anomálie

ECMWF Seasonal Forecast

Prob(most likely category of 2m temperature)

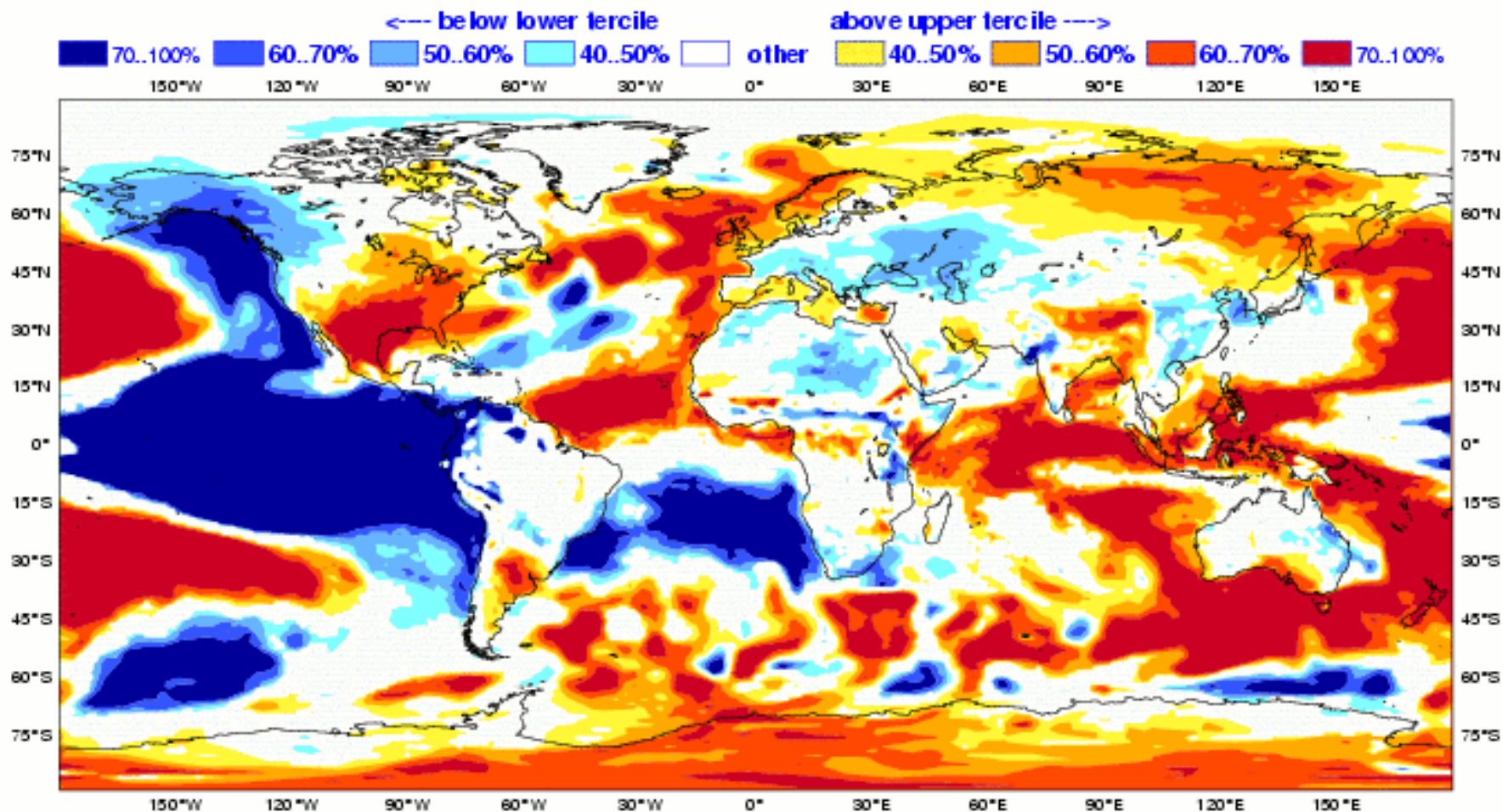
Forecast start reference is 01/10/11

Ensemble size = 41, climate size = 275

System 3

DJF 2011/12

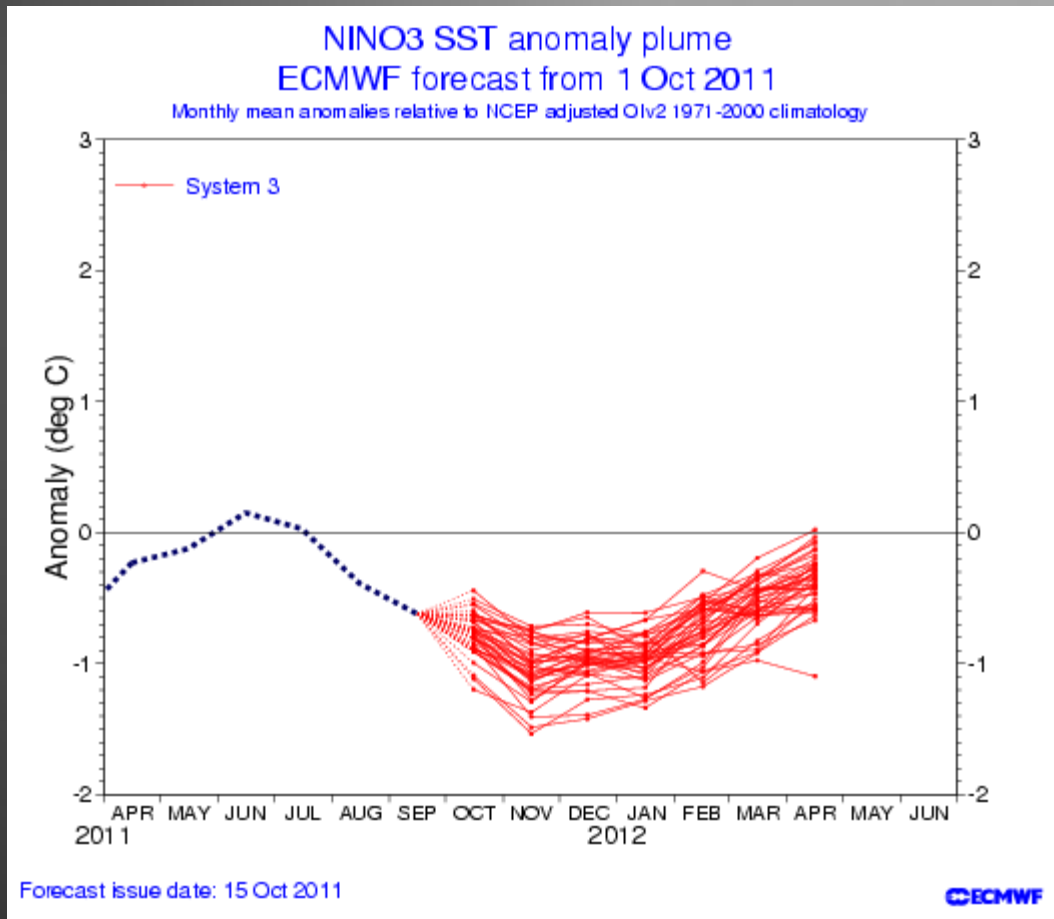
No significance test applied



Forecast issue date: 15/10/2011

# Předpověď ENSO

(anomálie teploty hladiny moře rovníkového Pacifiku)



# 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.
- Využitelný předstih předpovědi: do 30–60 minut, výjimečně déle

# 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.

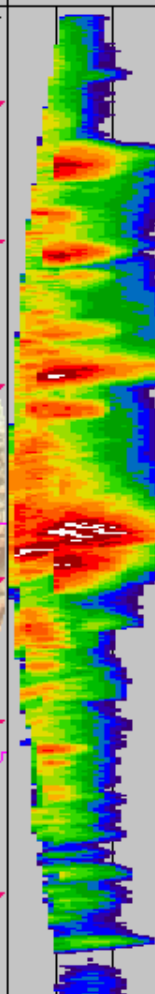
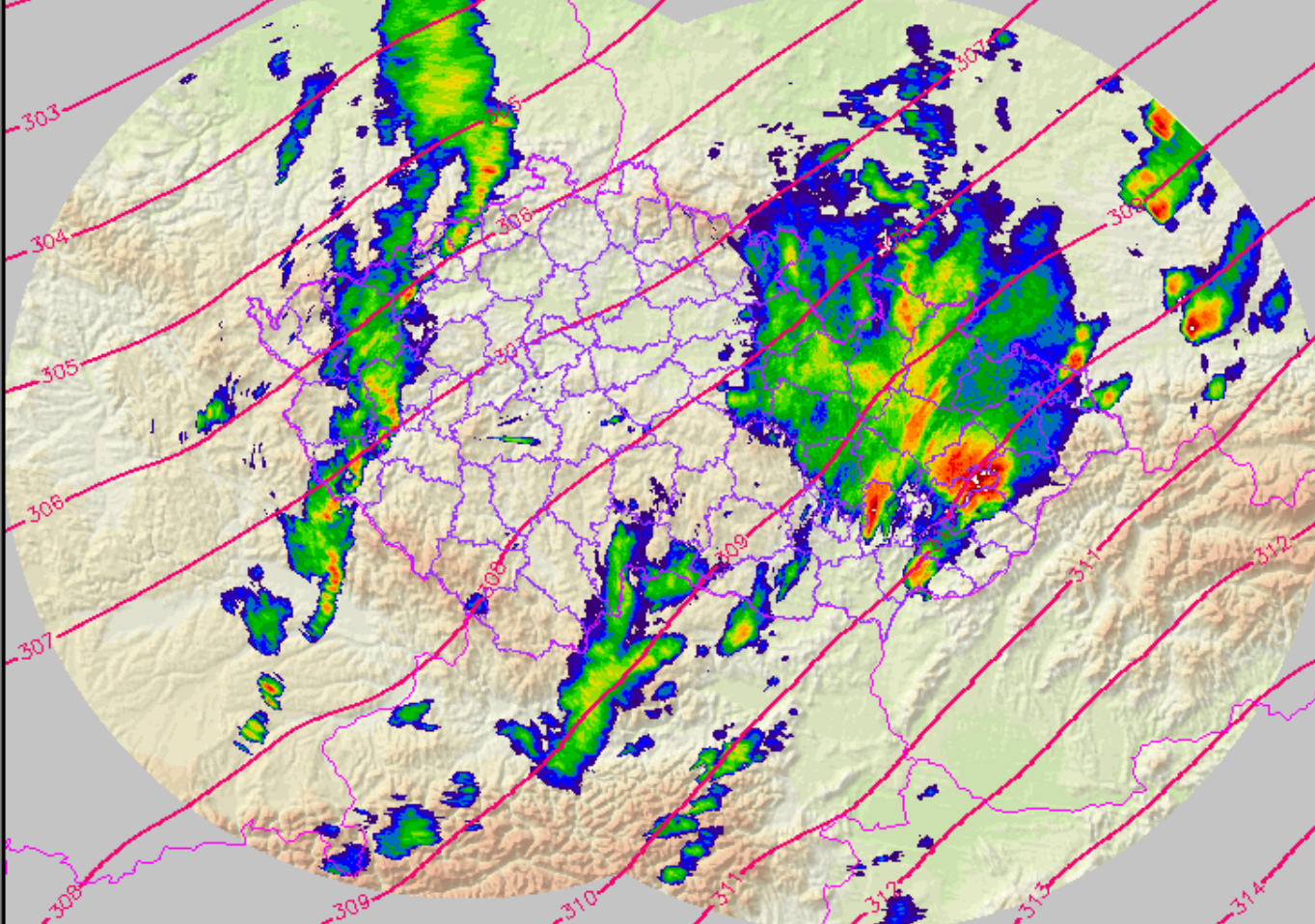
# Integrace metod dálkové detekce a NWP modelů pro nowcasting

ČHMÚ: JS MeteoView





CZRAD composite - Z: MAX - 04.08.2001 16:30 UT ALADIN\_GP\_700 - 04.08.2001 12:00 UT +06hr



- 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)

dBZ	°C
60.0	-90.0
56.0	-80.0
52.0	-70.0
48.0	-60.0
44.0	-50.0
40.0	-40.0
36.0	-30.0
32.0	-20.0
28.0	-10.0
24.0	
20.0	
16.0	- CG neg
12.0	+ CG pos
8.0	CC
4.0	

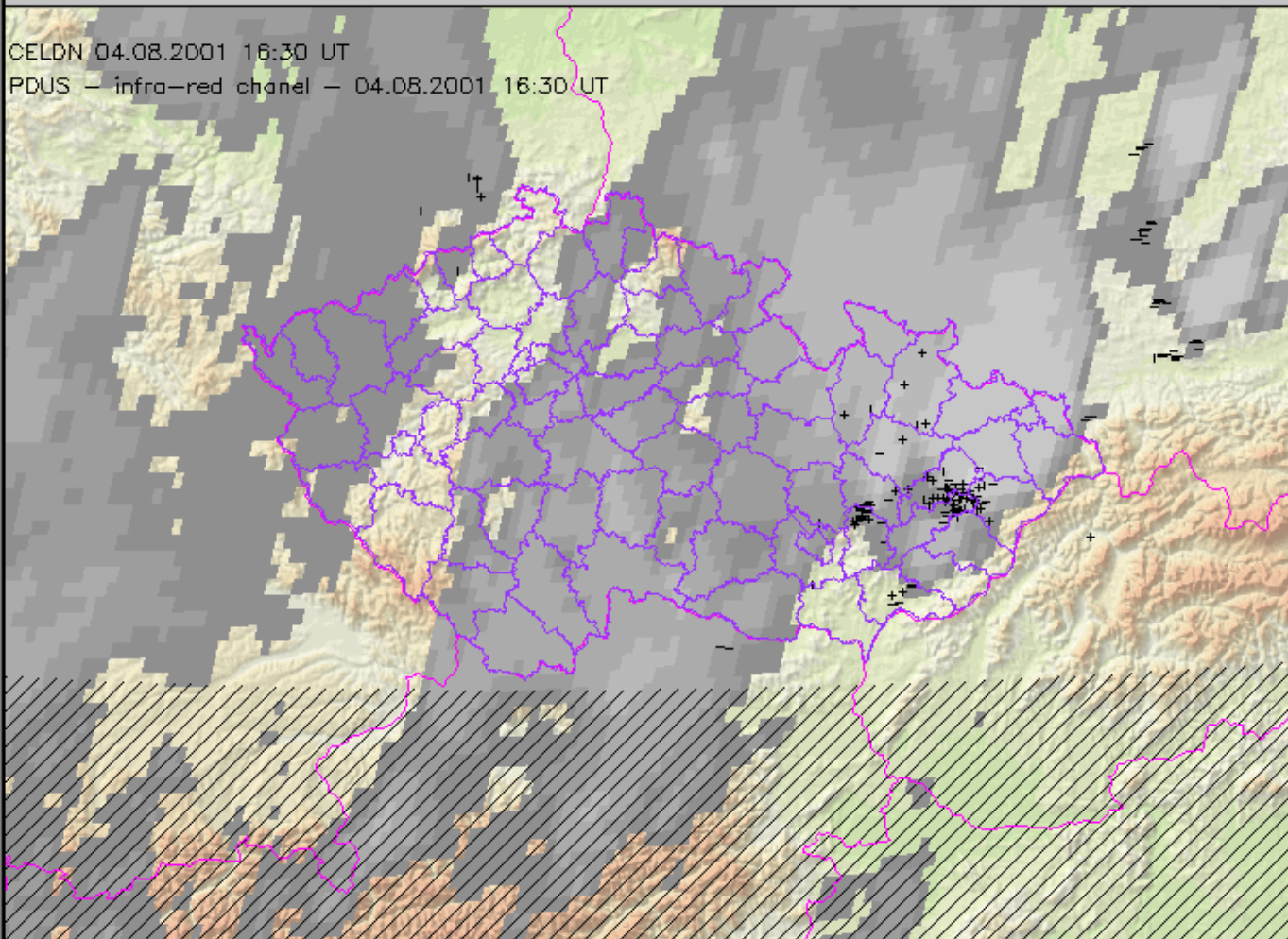
|< < || >> > >| ANIM: 1 s/img LAST: +2 s AUTO UPDATE Do not update  
 ORO col UND none PDUS RAD  LIGHTNING  NWP ALADIN\_GP\_700-20010804 1200 +06hr OVR dist  
 NAVIG. none LON. 14.447 LAT. 50.008 Choose predefined position



CG- 147  
 CG+ 36  
 CC 42  
 Σ 224

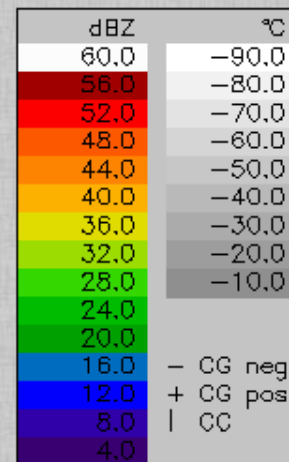


CELDN 04.08.2001 16:30 UT  
 PDUS - infra-red channel - 04.08.2001 16:30 UT



- 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)



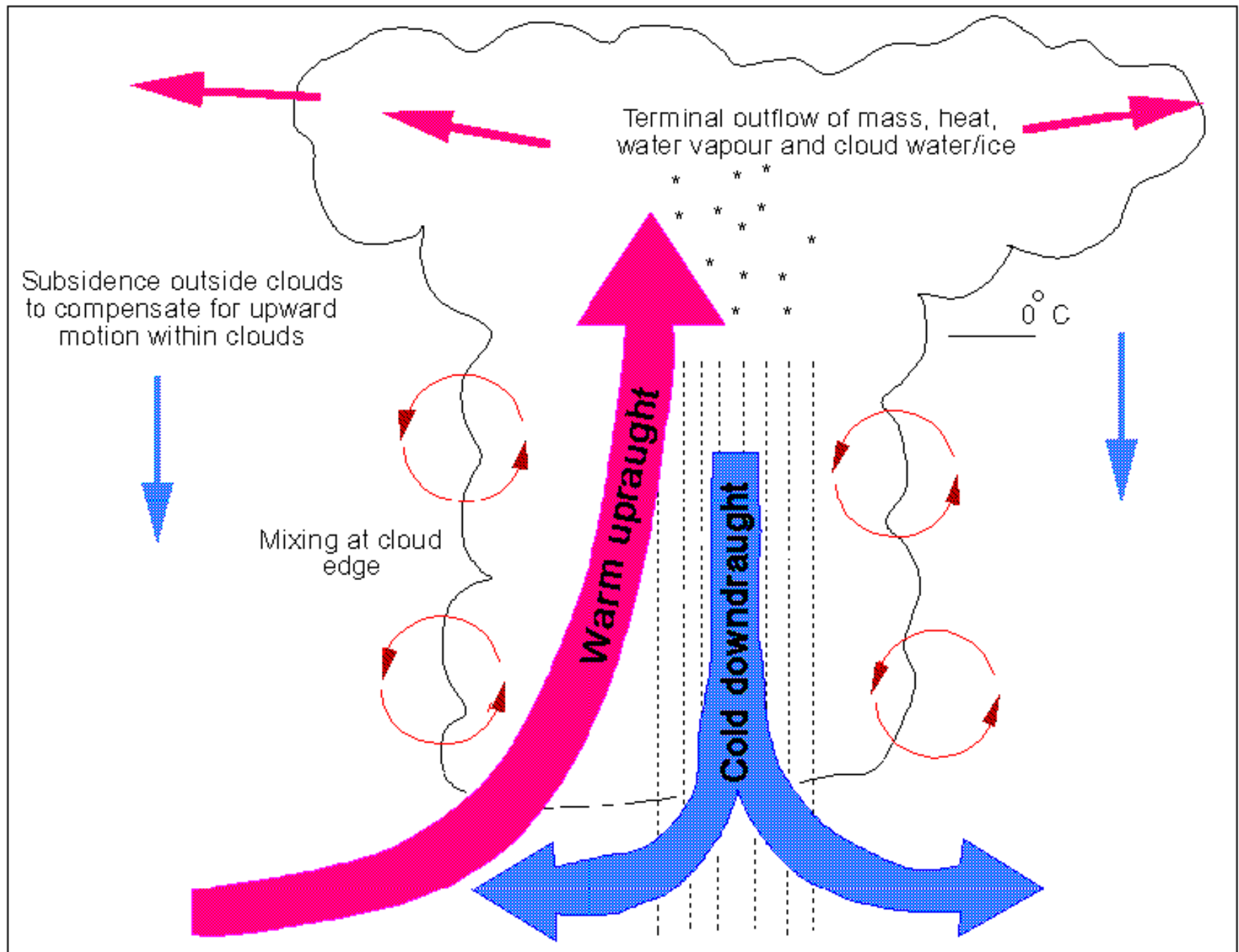
ANIM: 1 s/img    LAST: +2 s    AUTO UPDATE: Do not update

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

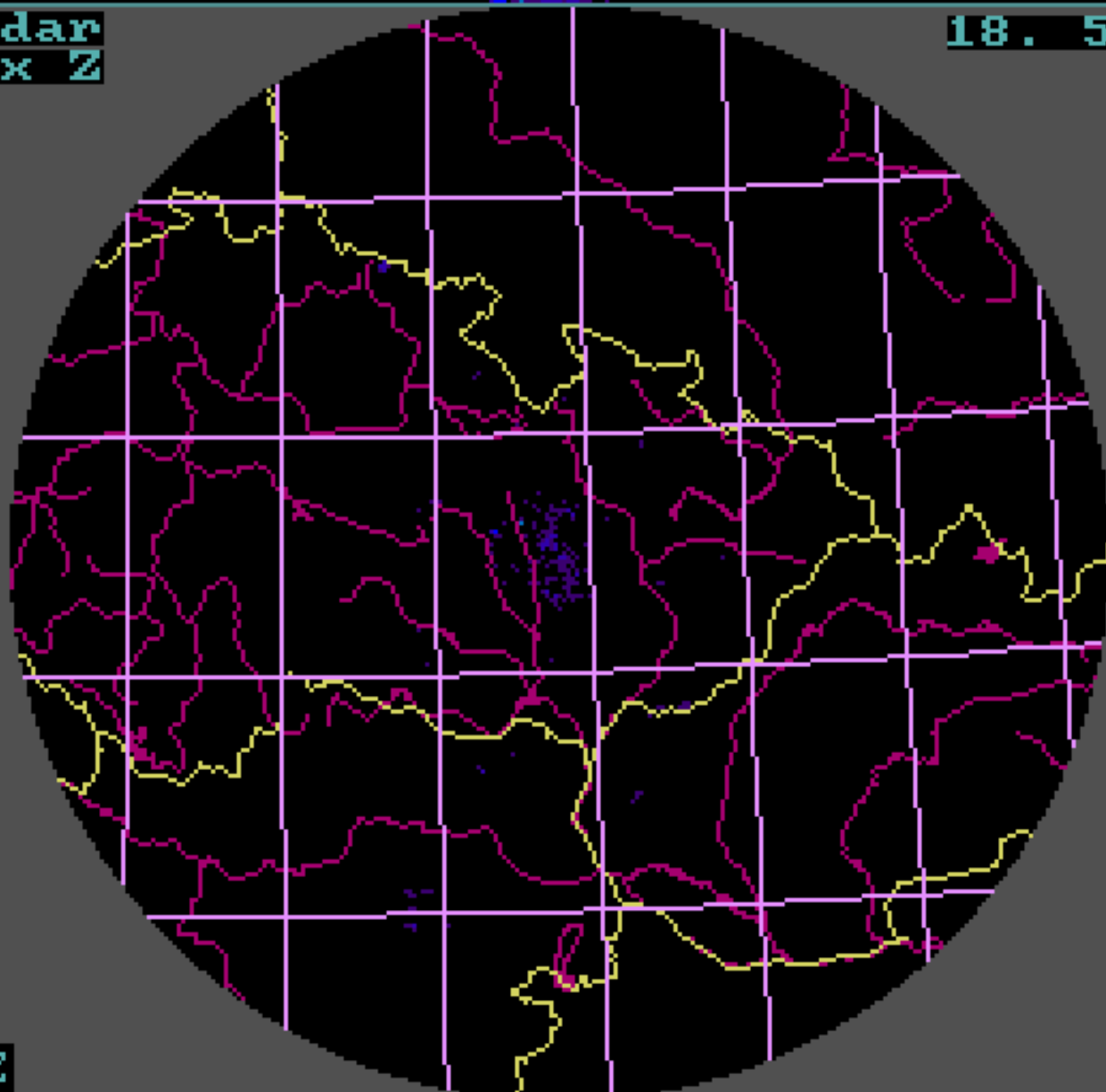
16

12

8

4

dBZ



Radar  
Max Z

18. 5.96

Sk 09:30

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

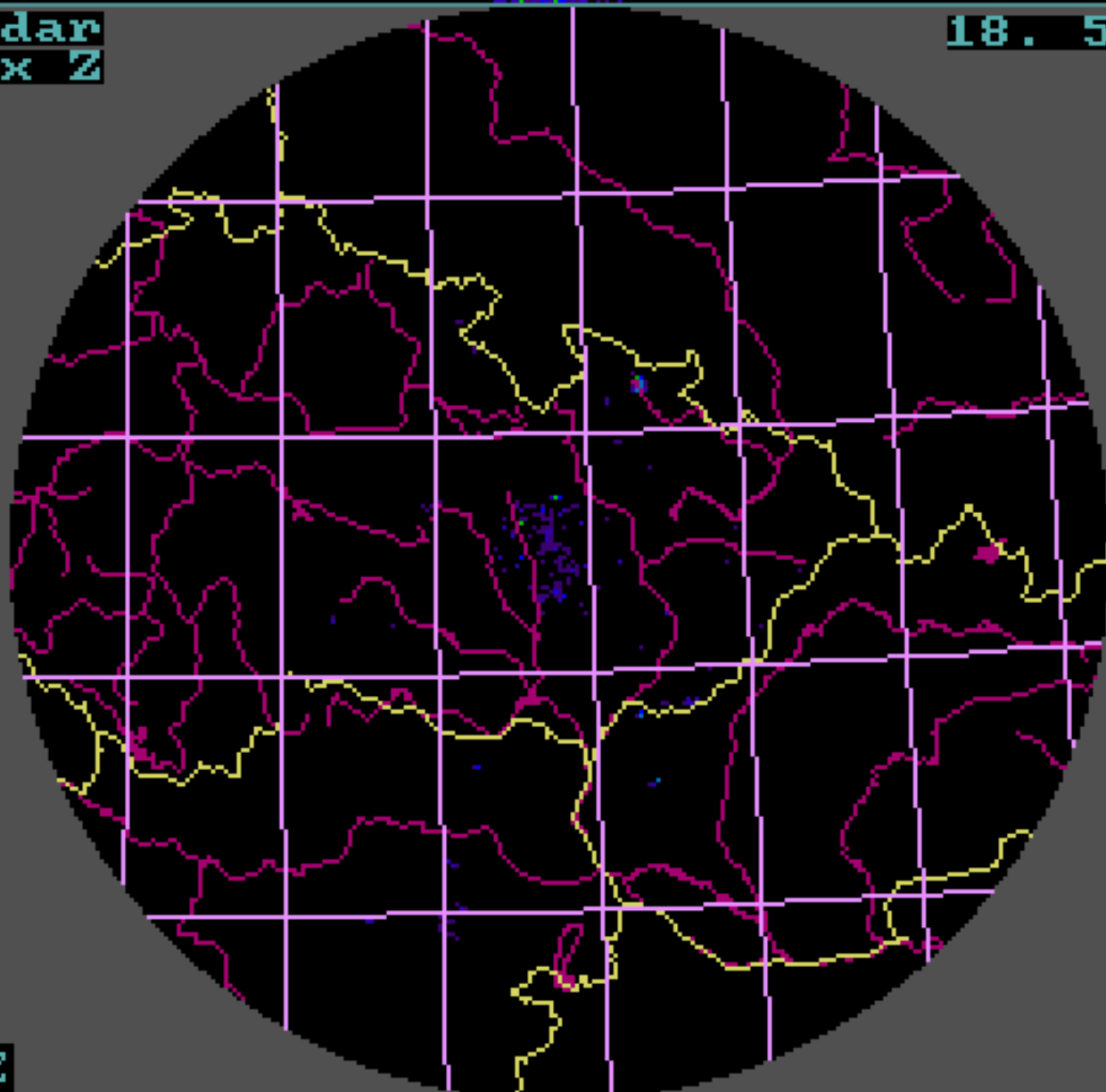
16

12

8

4

dBZ



Radar  
Max Z

18. 5.96

Sk 09:40

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

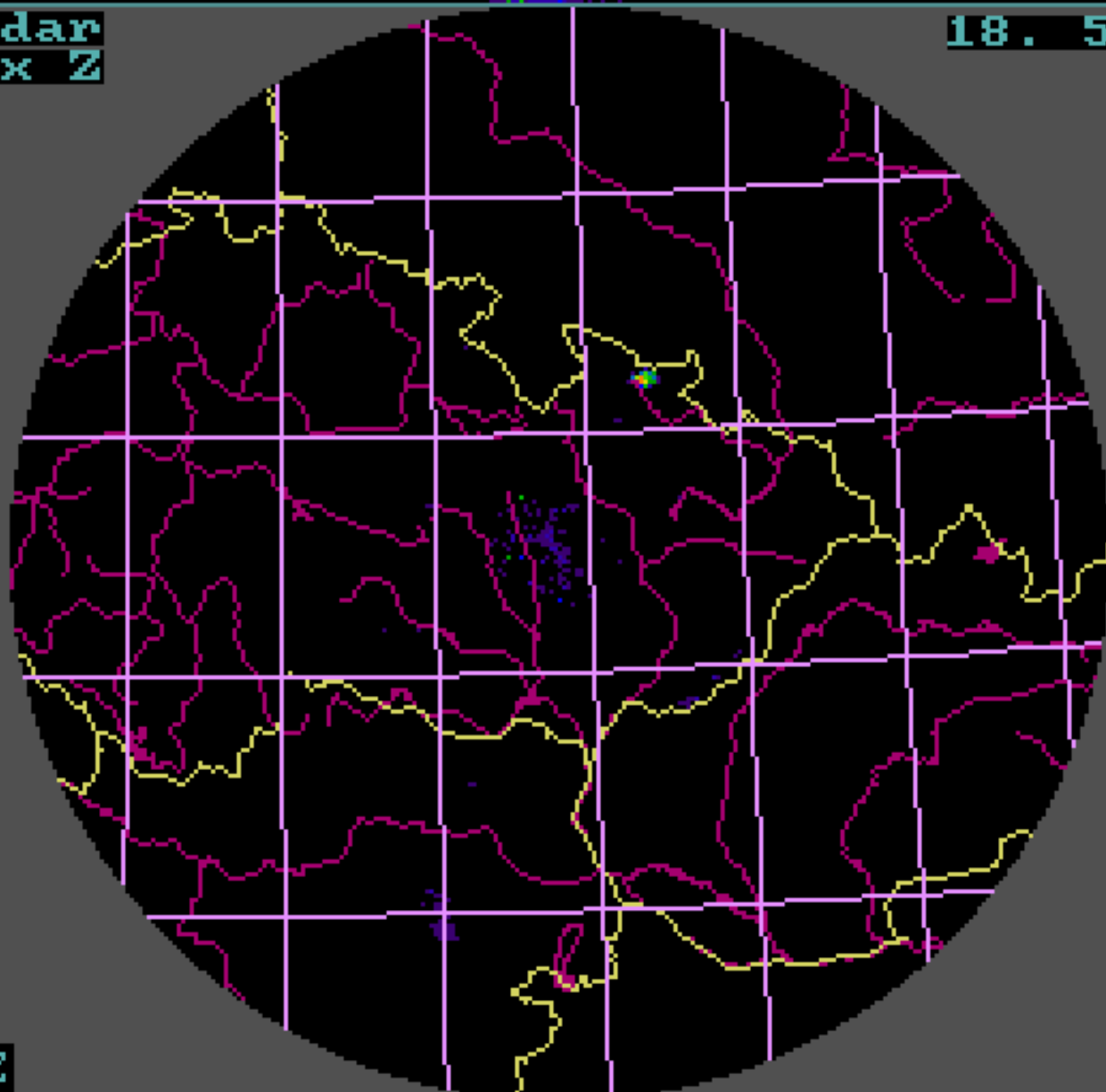
16

12

8

4

dBZ





Radar  
Max Z

18. 5.96

Sk 09:50

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

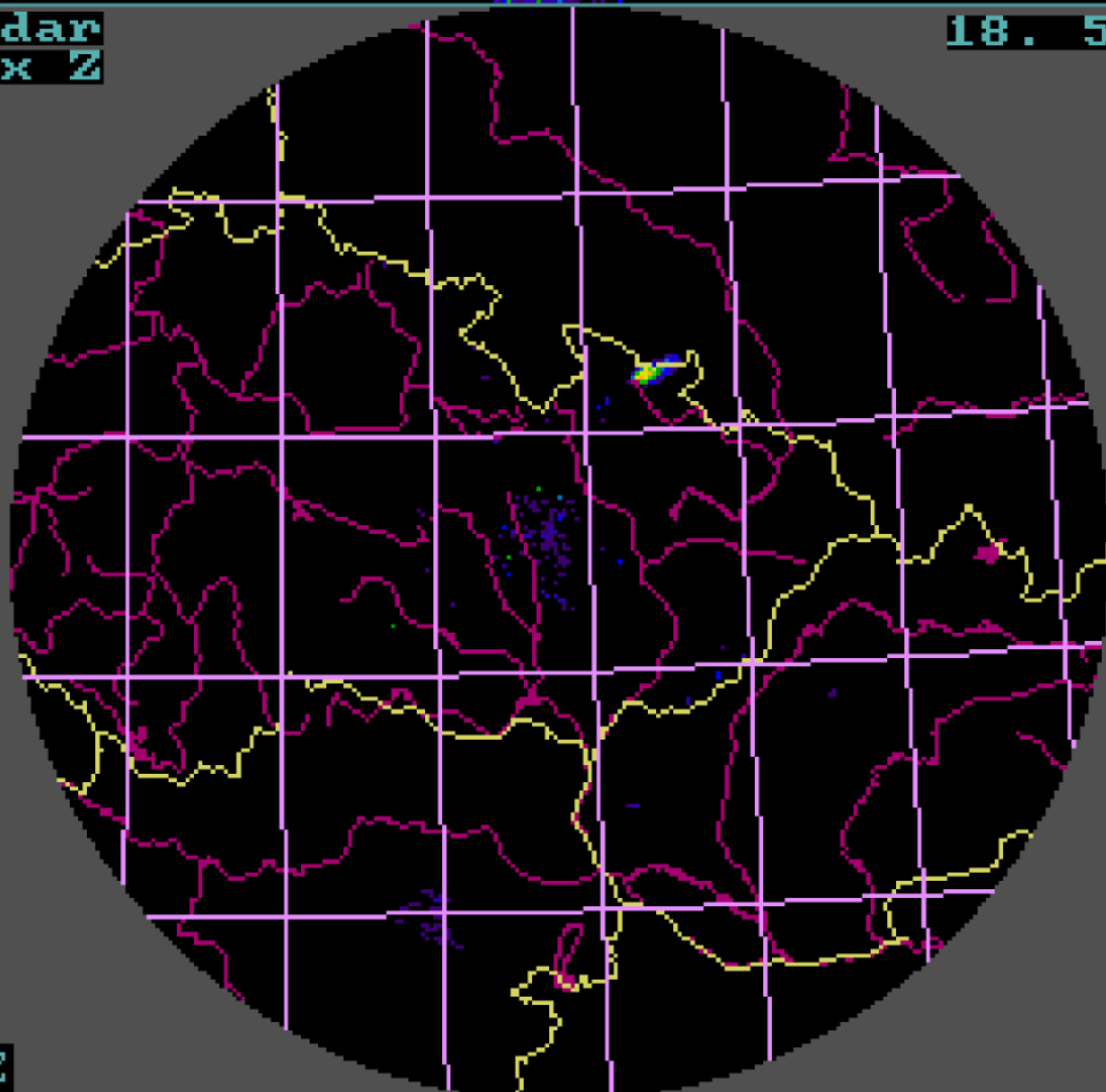
16

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:

Radar  
Max Z

18. 5.96

Sk 17:00

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

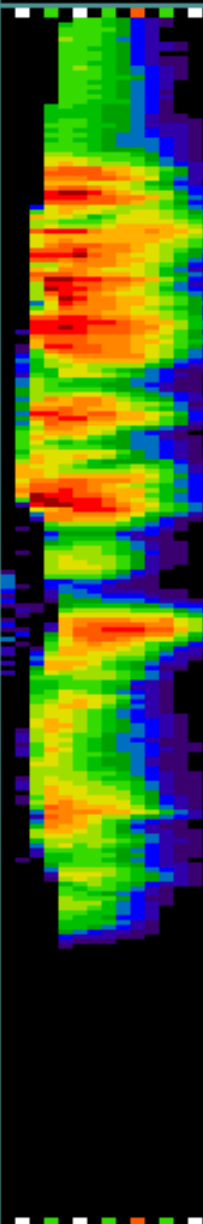
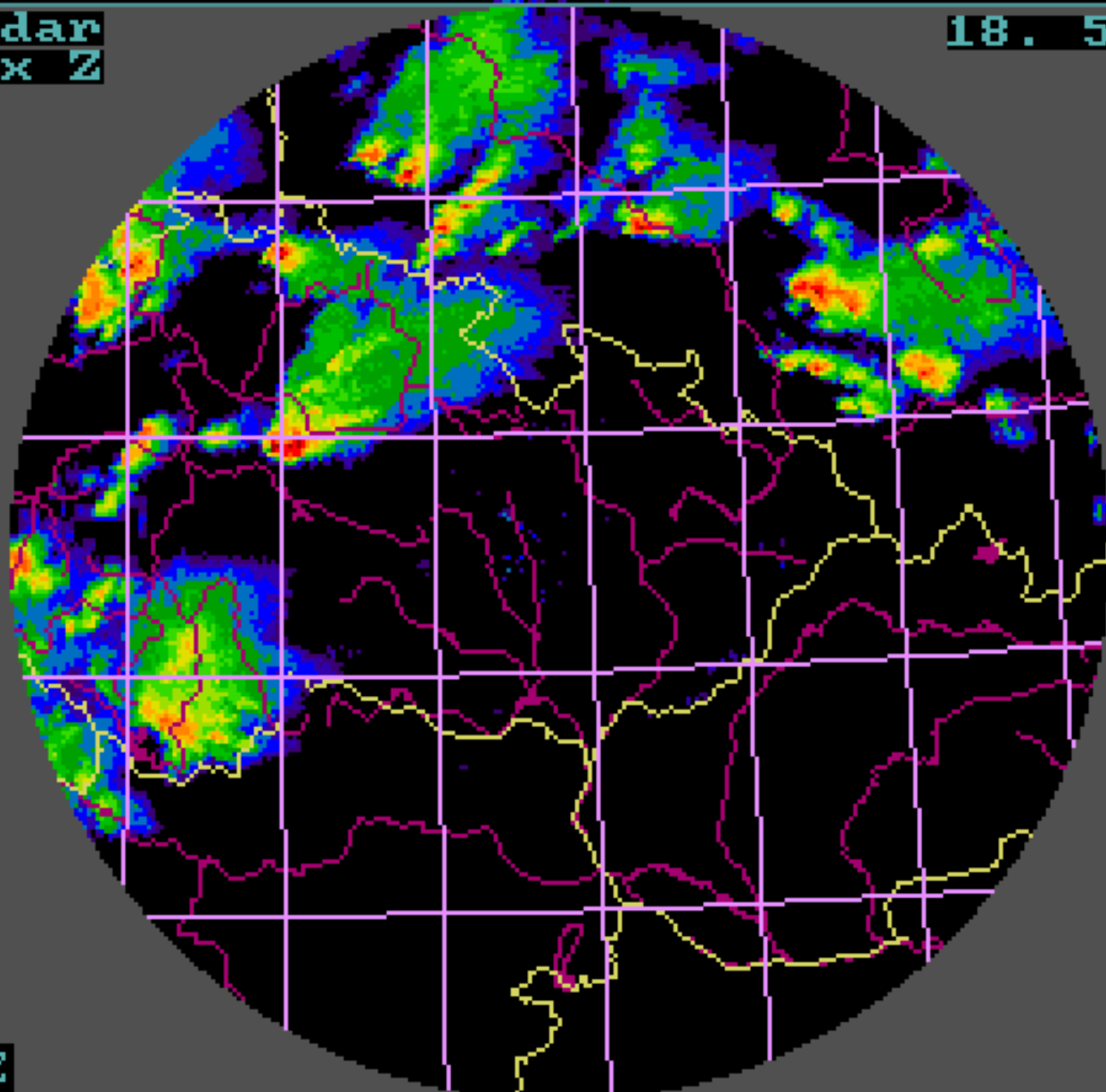
16

12

8

4

dBZ



Radar  
Max Z

18. 5.96

Sk 17:10

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

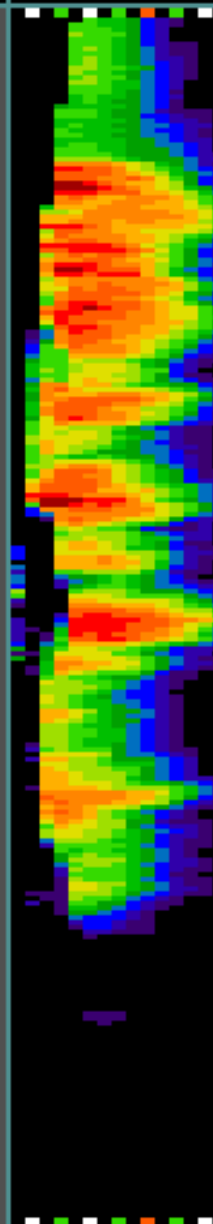
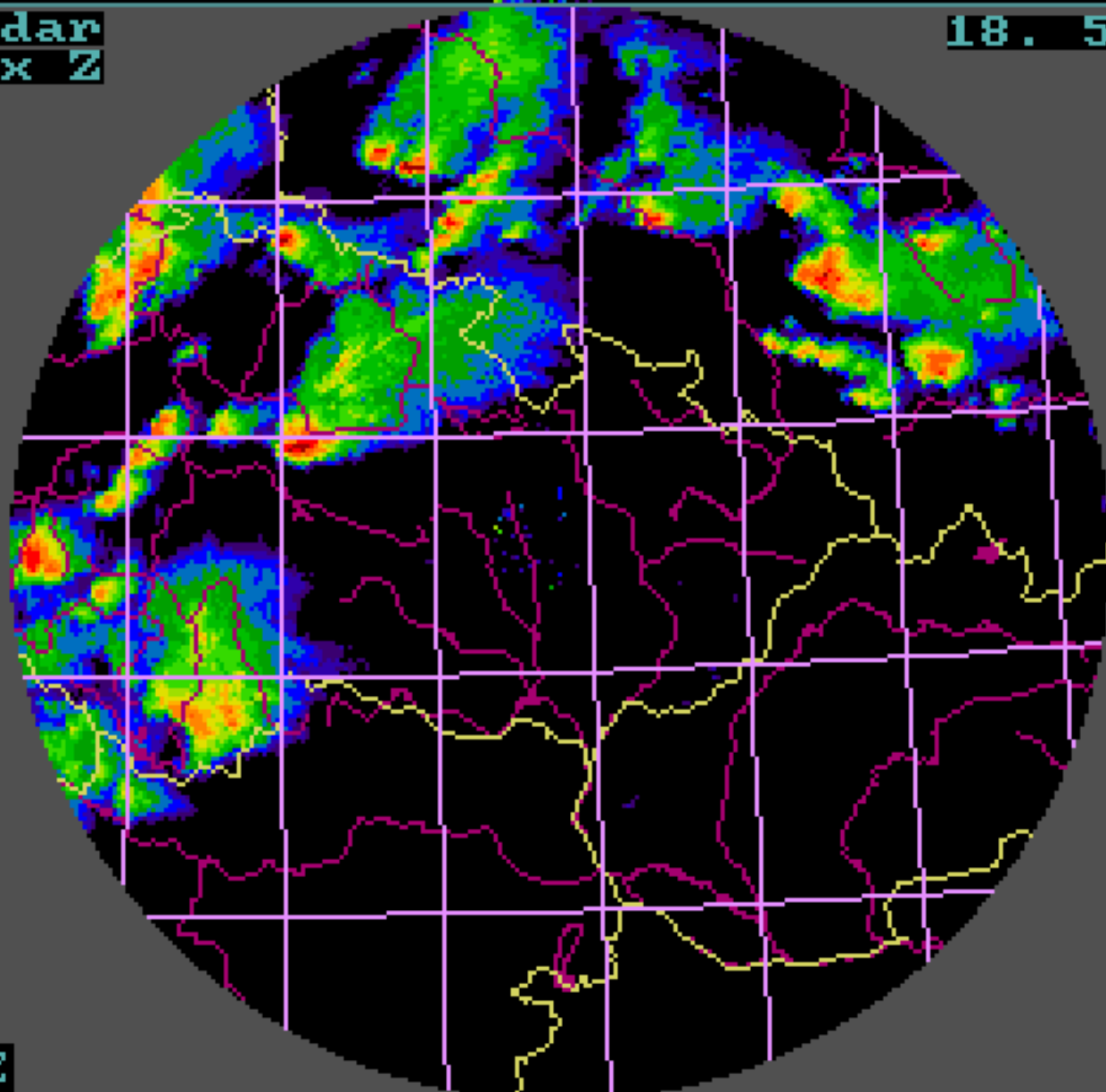
16

12

8

4

dBZ



Radar  
Max Z

18. 5.96

Sk 17:20

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

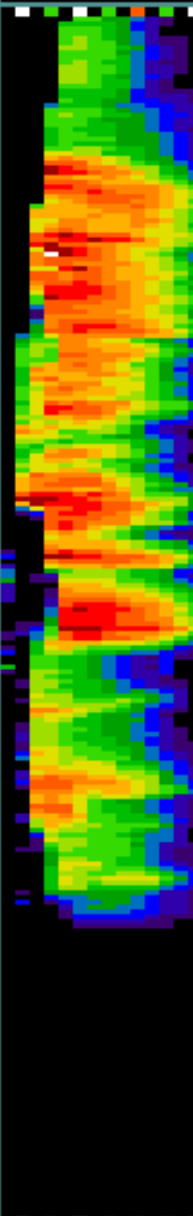
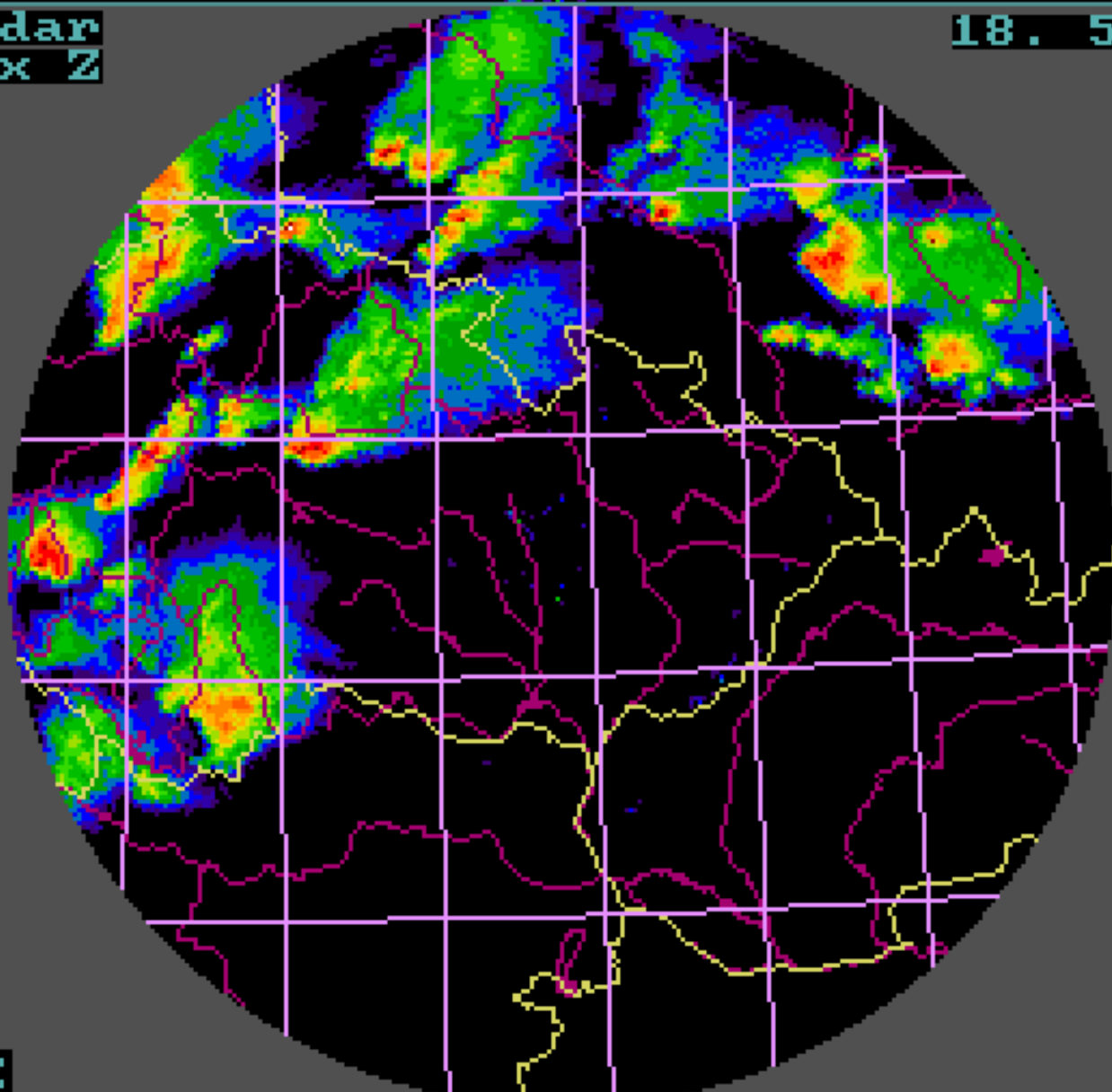
16

12

8

4

dBZ



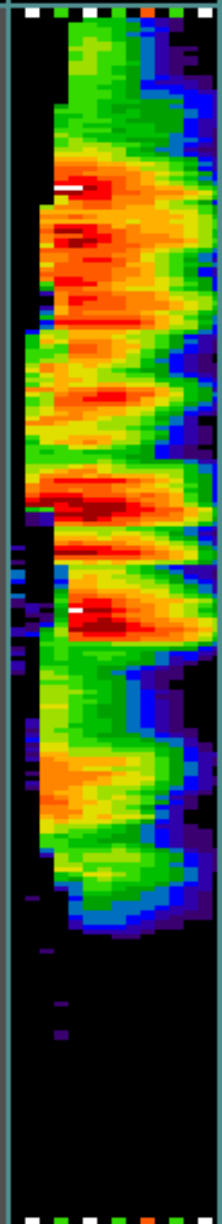
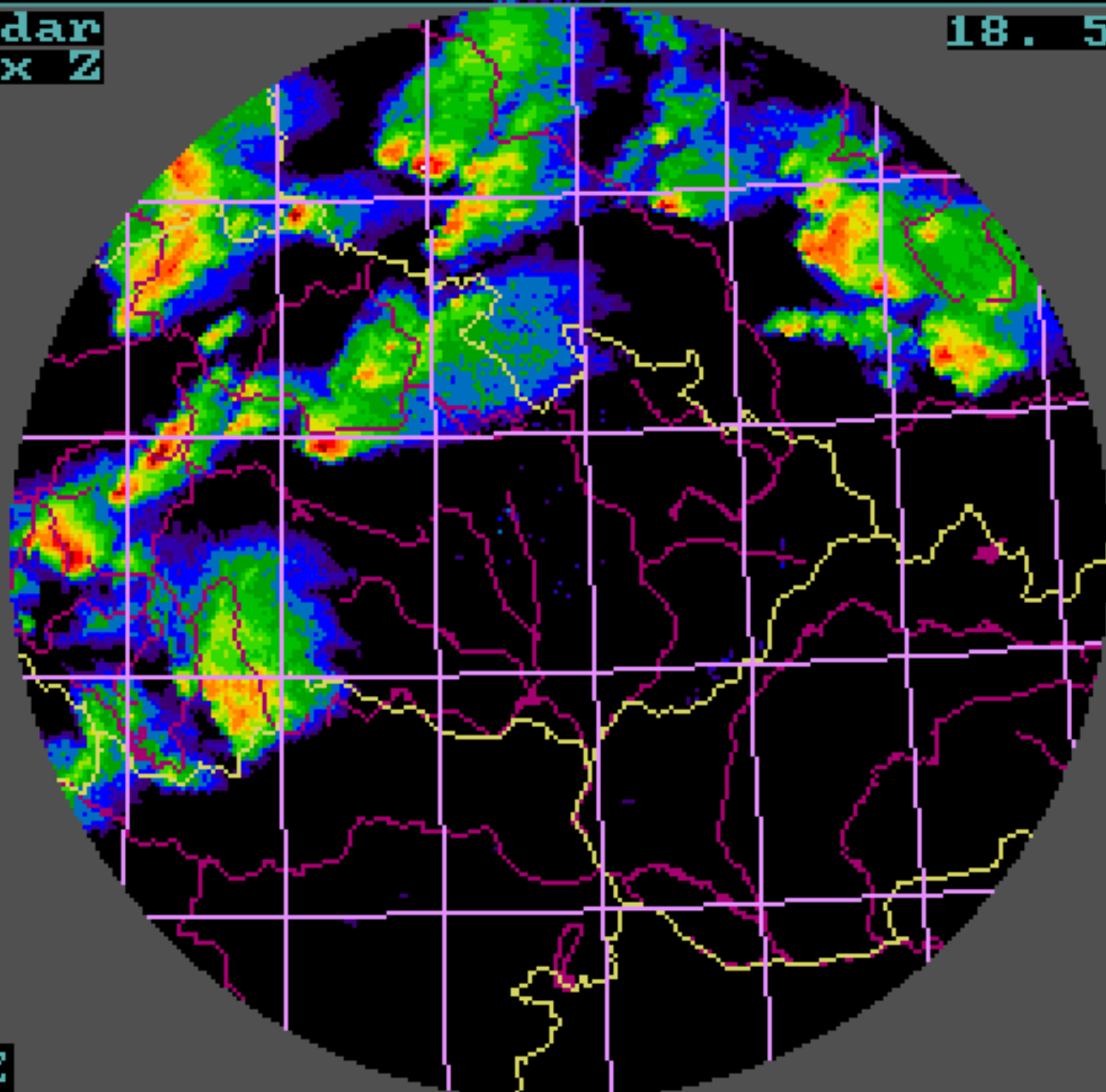
Radar  
Max Z

18. 5.96

Sk 17:30

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

dBZ



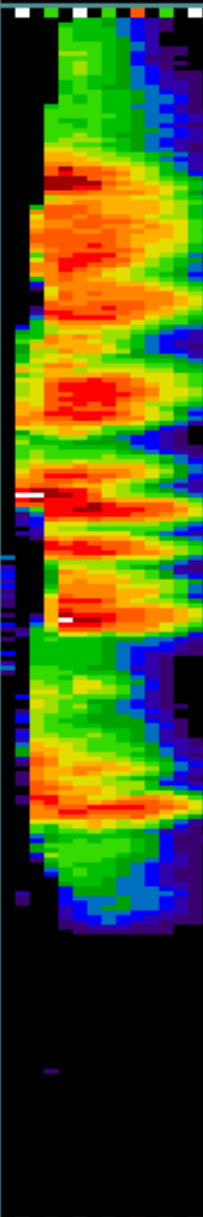
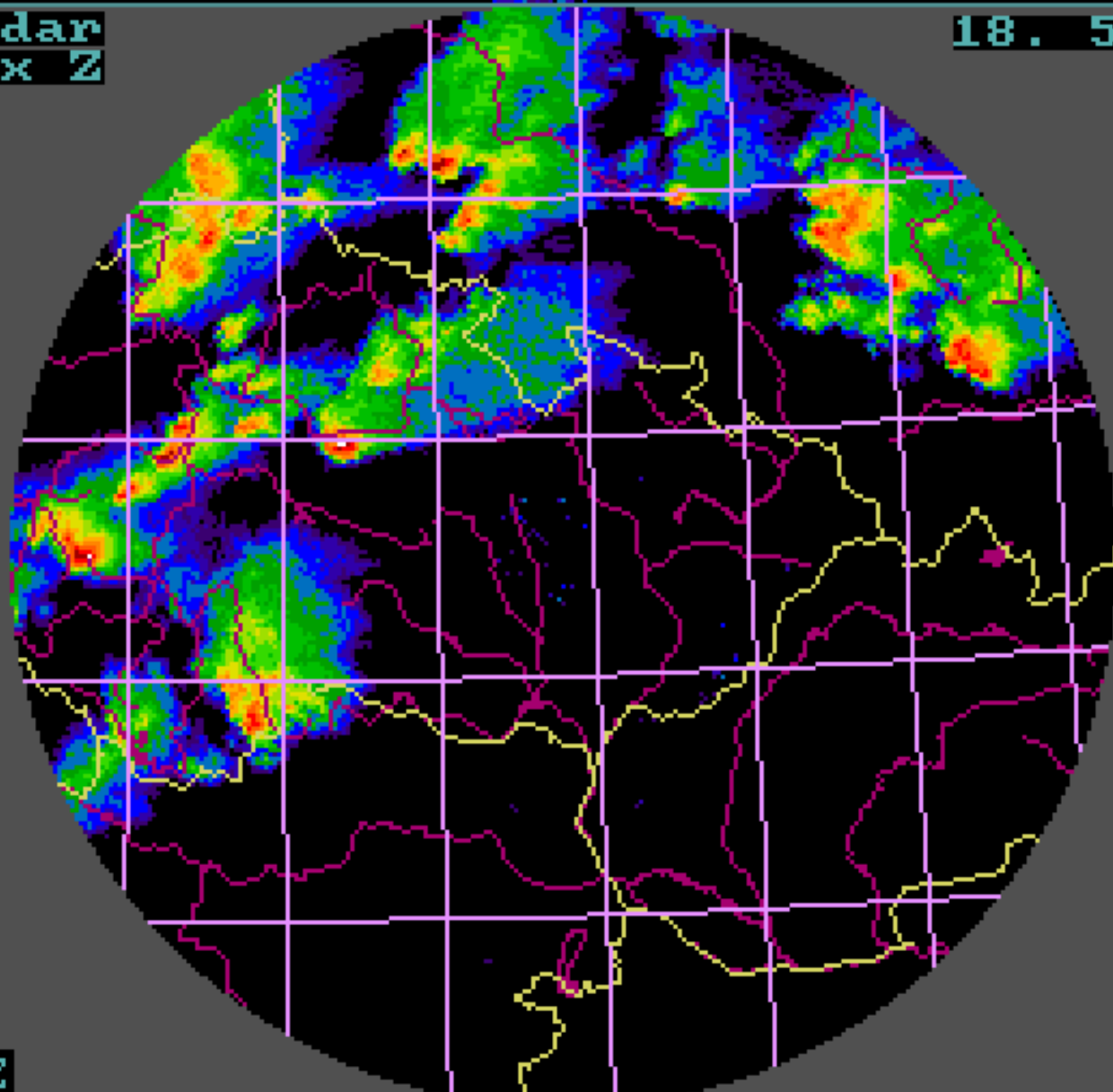
Radar  
Max Z

18. 5.96

Sk 17:40

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

dBZ



Radar  
Max Z

18. 5.96

Sk 17:50

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

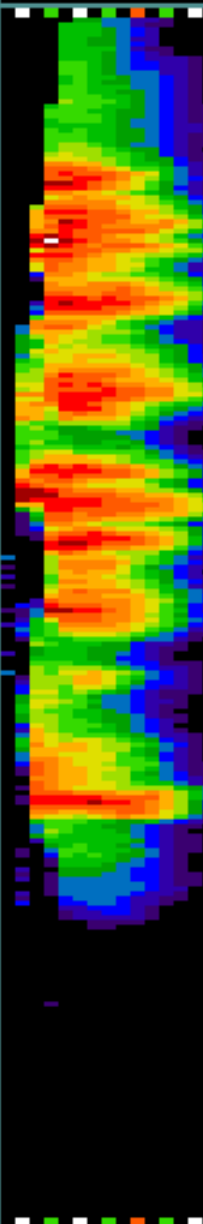
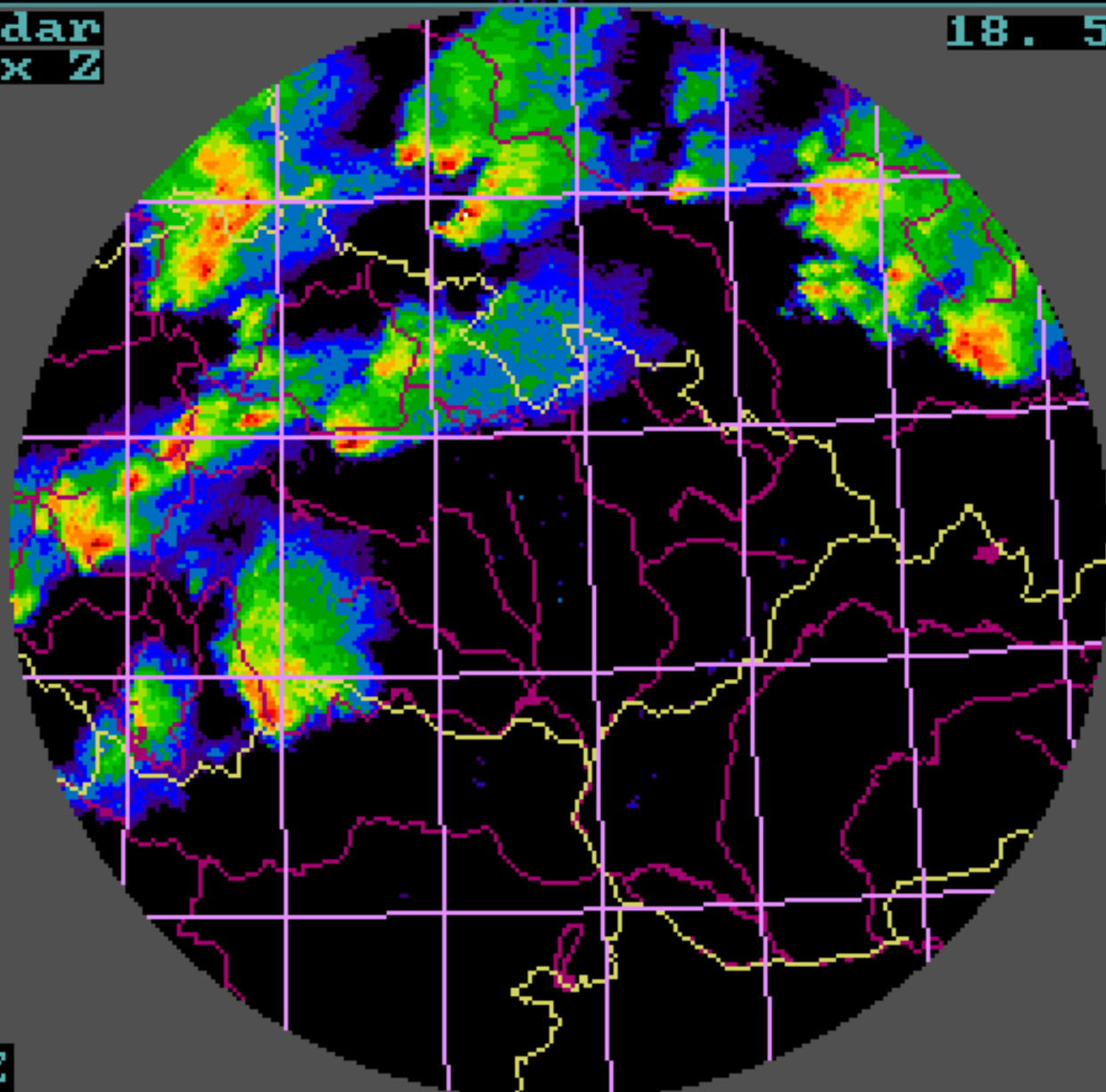
16

12

8

4

dBZ

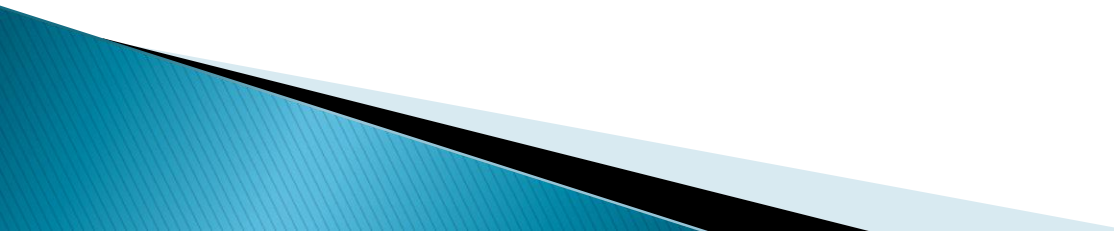




# Hydrologické předpovědi

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
- 

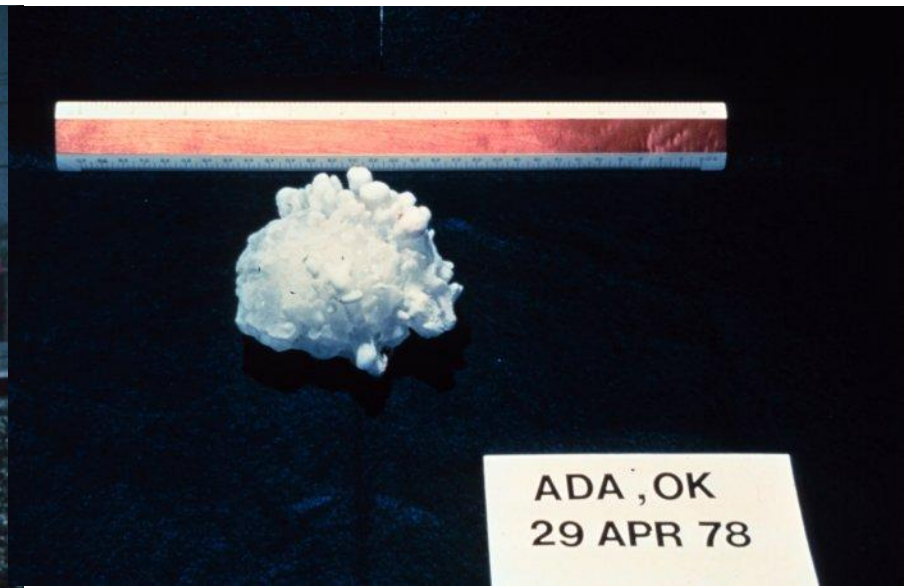
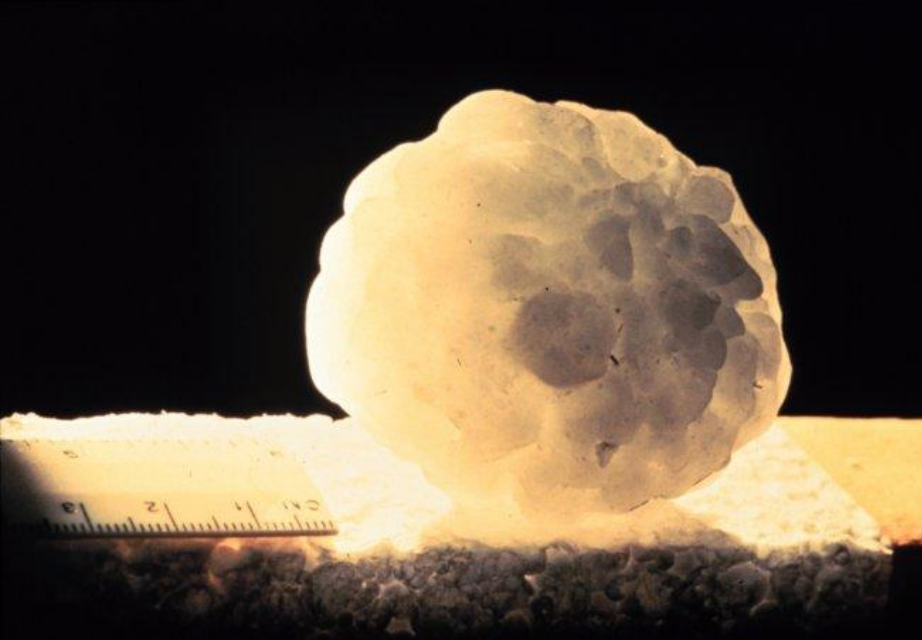
# Silné bouřky

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 km<sup>2</sup> 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



konec dubna 2004 – tři roky „poté“ ...













# Tornádo u Brna 20. 7. 2002



# Tornádo u Brna 20. 7. 2002



# Tornádo 19. dubna 2000 u obce Studnice, okres Vyškov

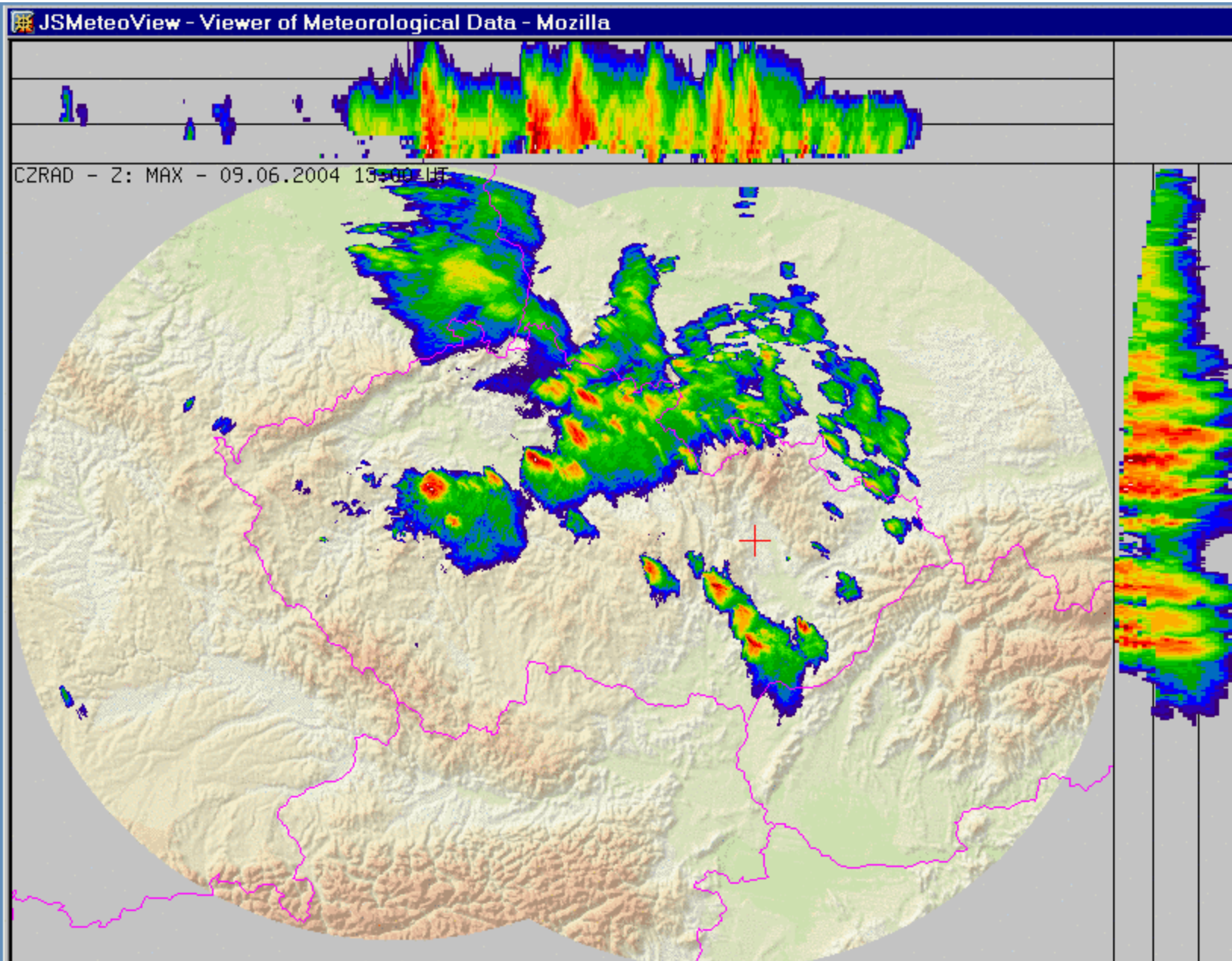


Litovel, 9. 6. 2004





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

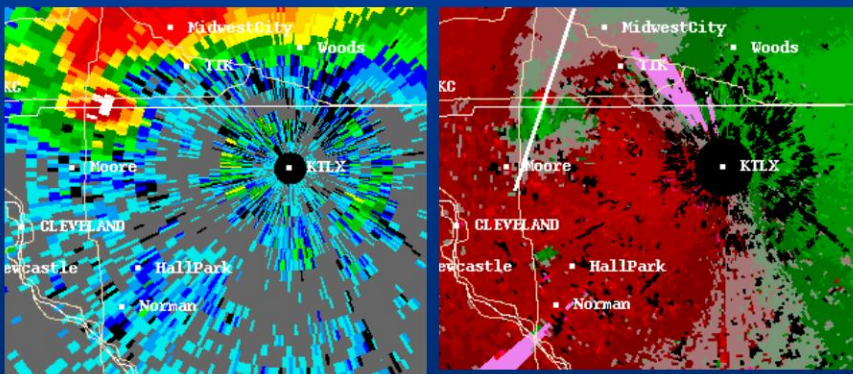
On May 3rd 1999 an F-5 tornado struck Oklahoma City

-2 km wide

-500 km/hr doppler measured winds near the surface

-42 deaths

-7000 homes destroyed













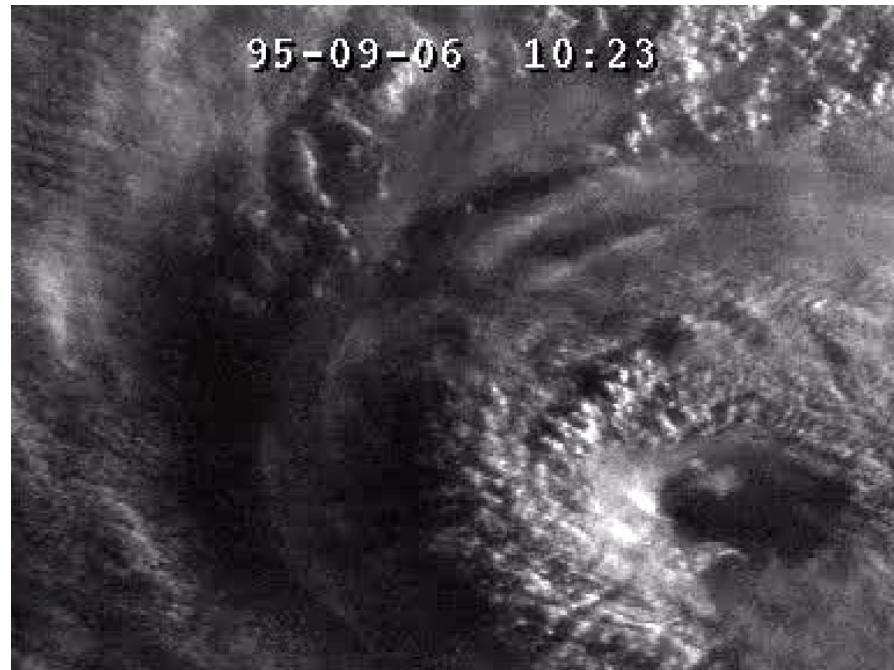




# Tropické cyklóny

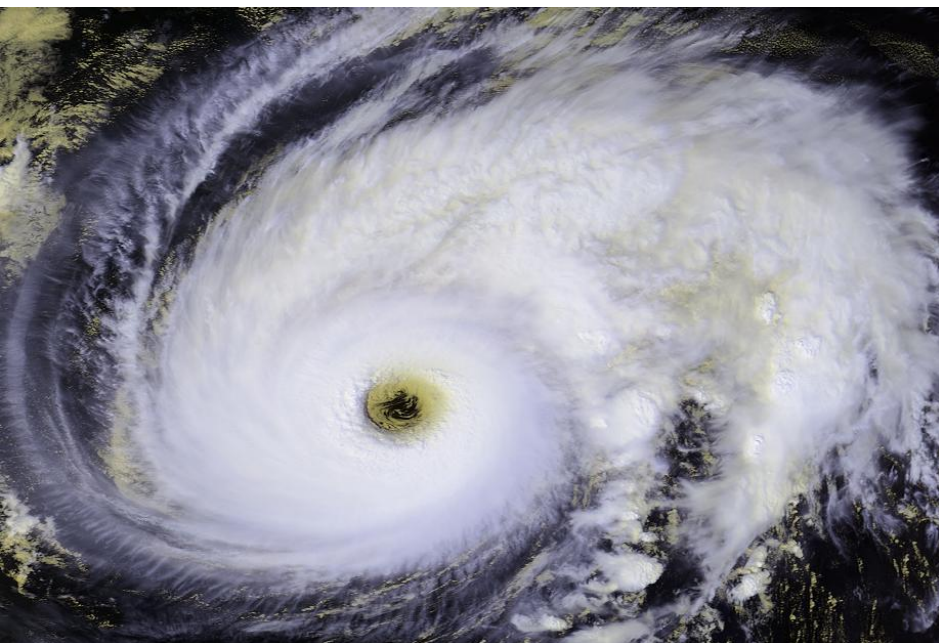
Velikost: stovky km

Trvání: několik dnů



Karibik: hurikán

Pacifik: tajfun

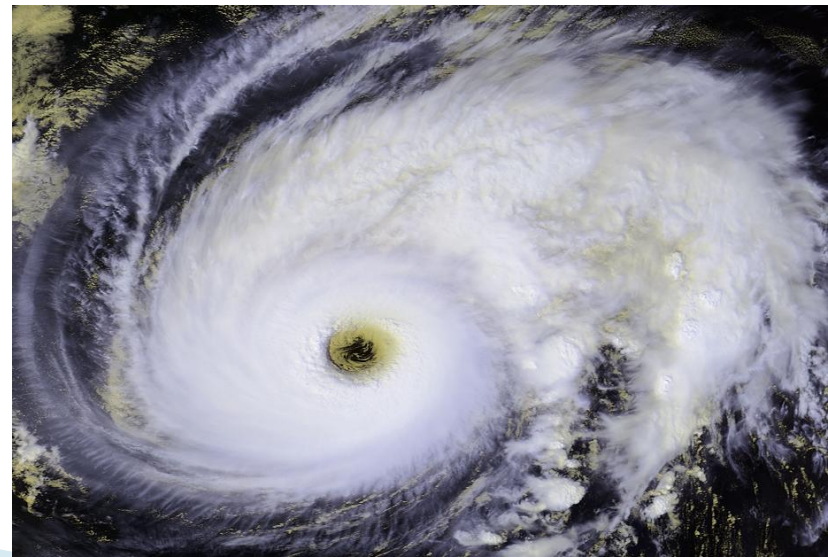


# Tropické cyklóny

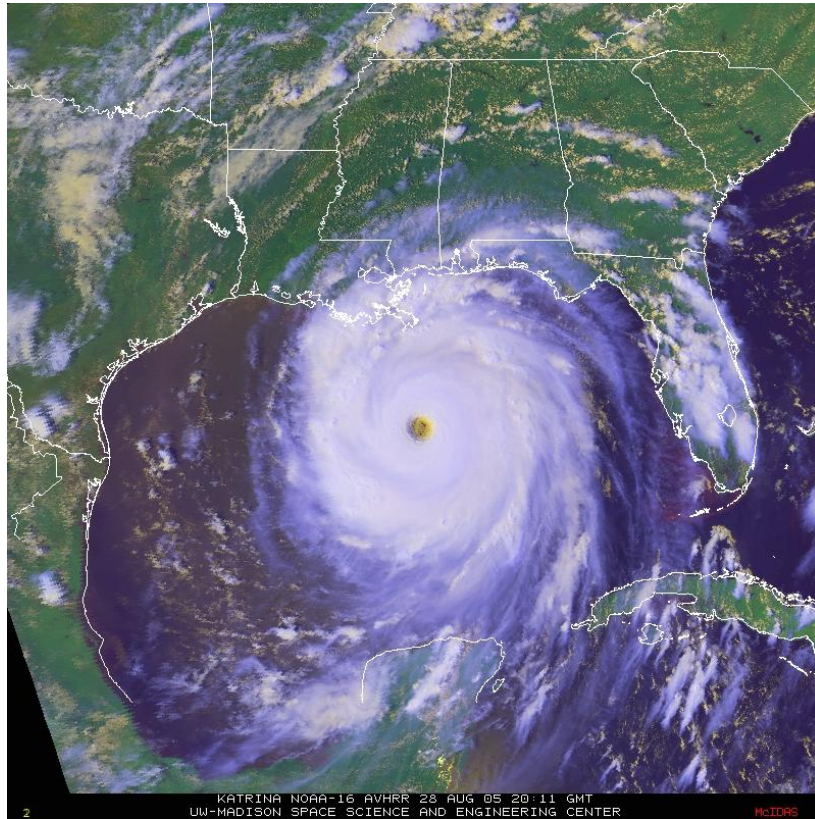
Vznikají v subtropických mořích při teplotě povrchu oceánu nad 26 st. a ohrožují zejména oblasti Karibského moře a tropického Pacifiku i oblasti Afriky.

Indický oceán: cyklon

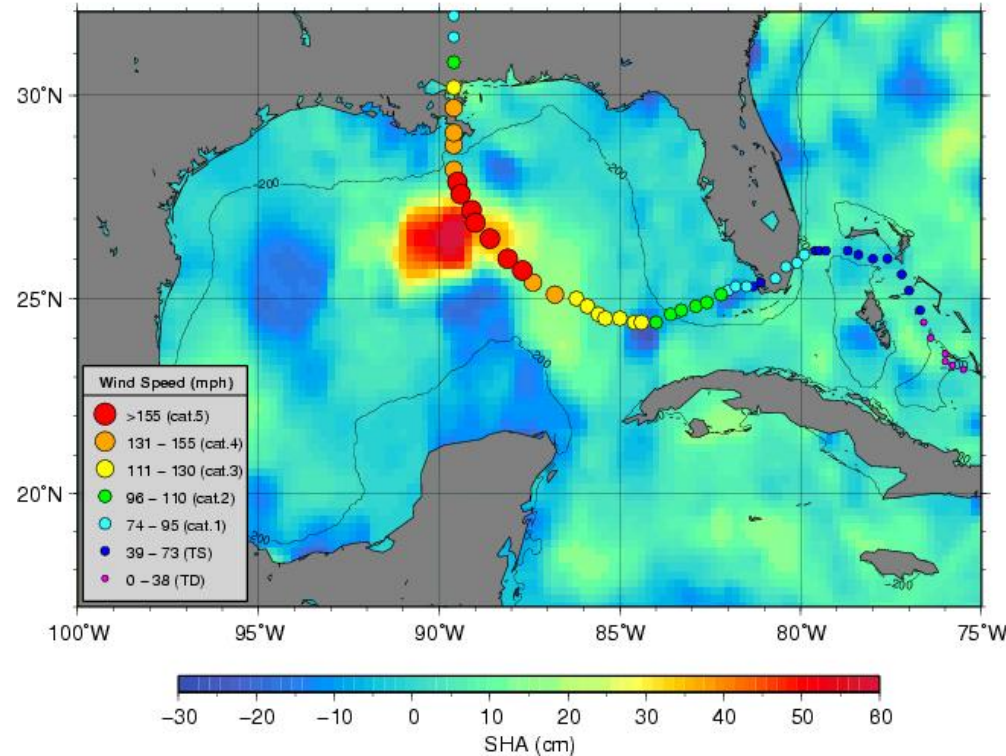
Austrálie: willy-wily



# Hurikán Katrina



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



# Oko hurikánu Katrina

