

Počasí, jeho monitoring a předpověď v průběhu věků a dnes

Od prvních pozorování počasí ke dnešním numerickým modelům atmosféry

RNDr. Milan Šálek, Ph.D.

Amper Meteo

milan.salek@email.cz

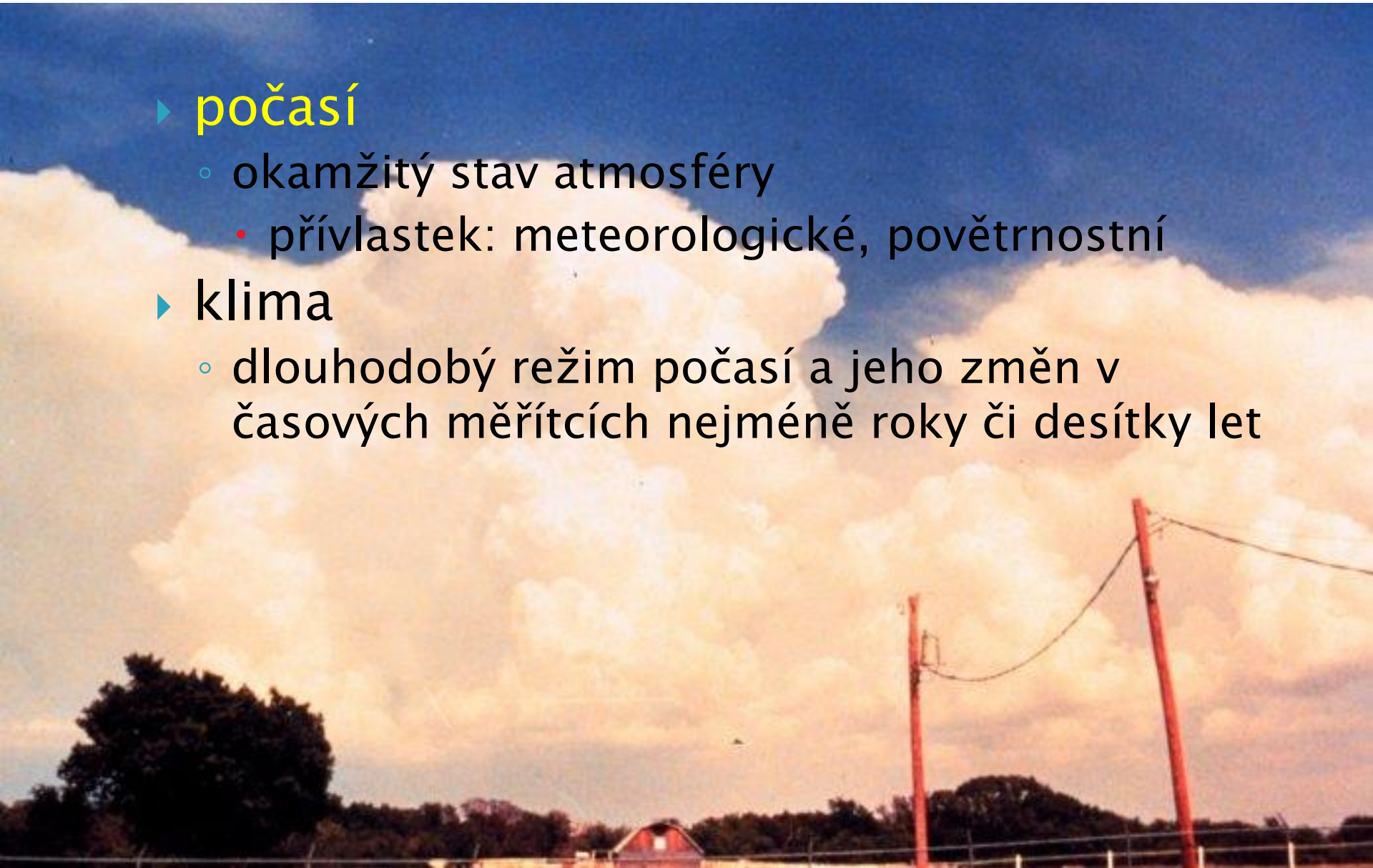
Meteorologie, klimatologie

▶ počasí

- okamžitý stav atmosféry
 - přívlastek: meteorologické, povětrnostní

▶ klima

- dlouhodobý režim počasí a jeho změn v časových měřítcích nejméně roky či desítky let

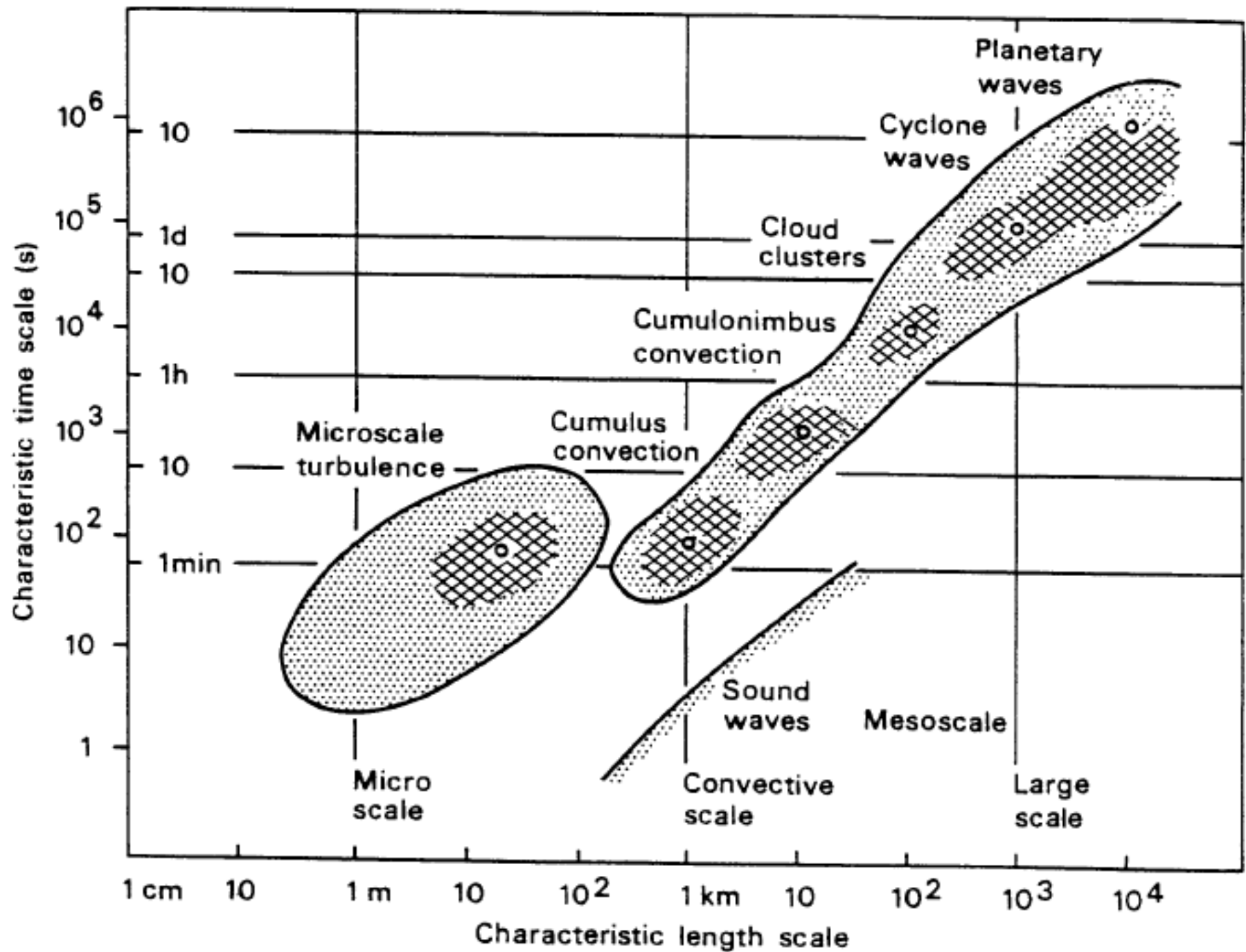


Předpověď počasí

- ▶ **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

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

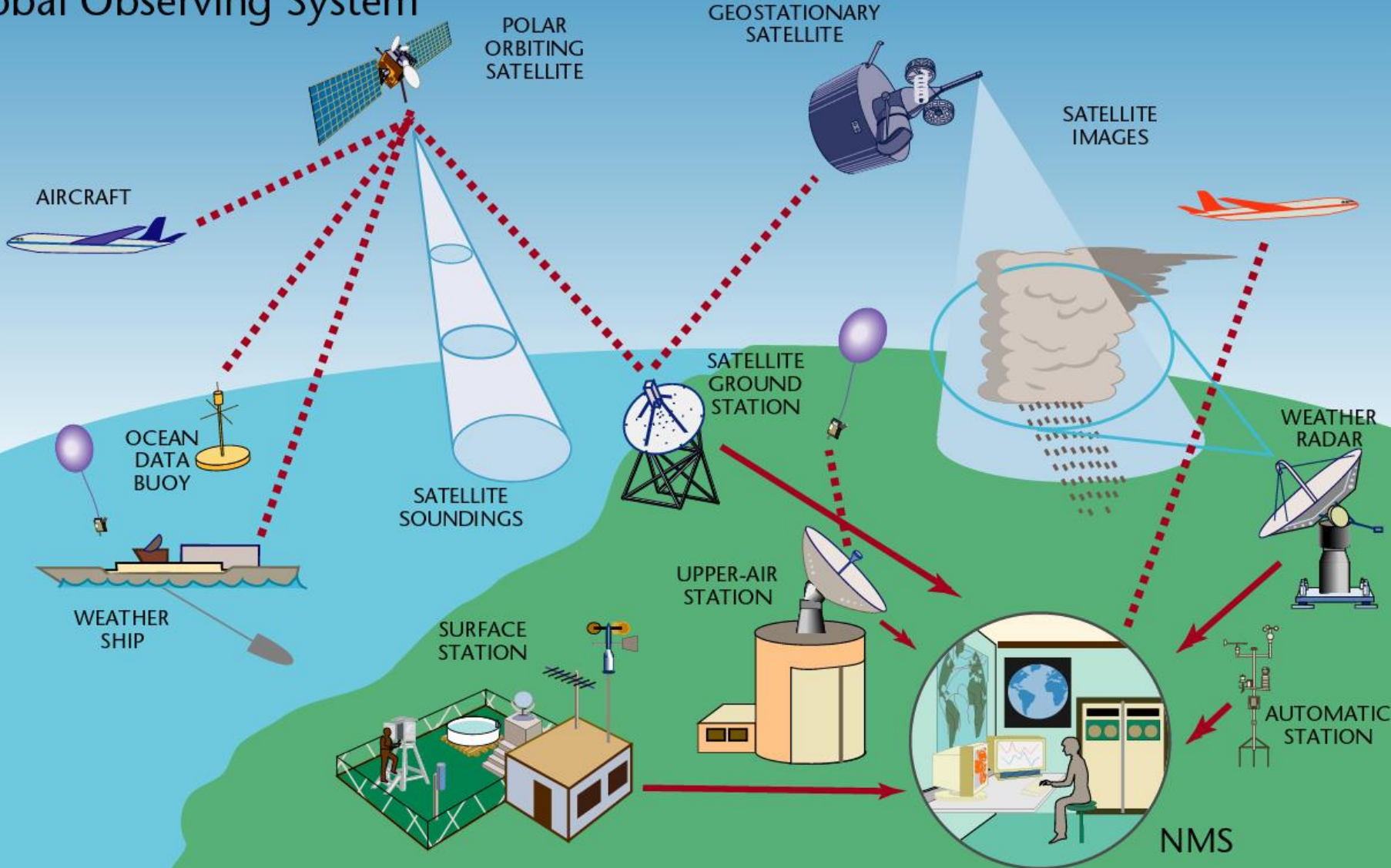
III. Podle místa / oblasti:

- 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)

Dnes často předpovědi v mobilních aplikacích

Měřená data pro předpověď počasí

Global Observing System



Podklady pro tvorbu předpovědi počasí

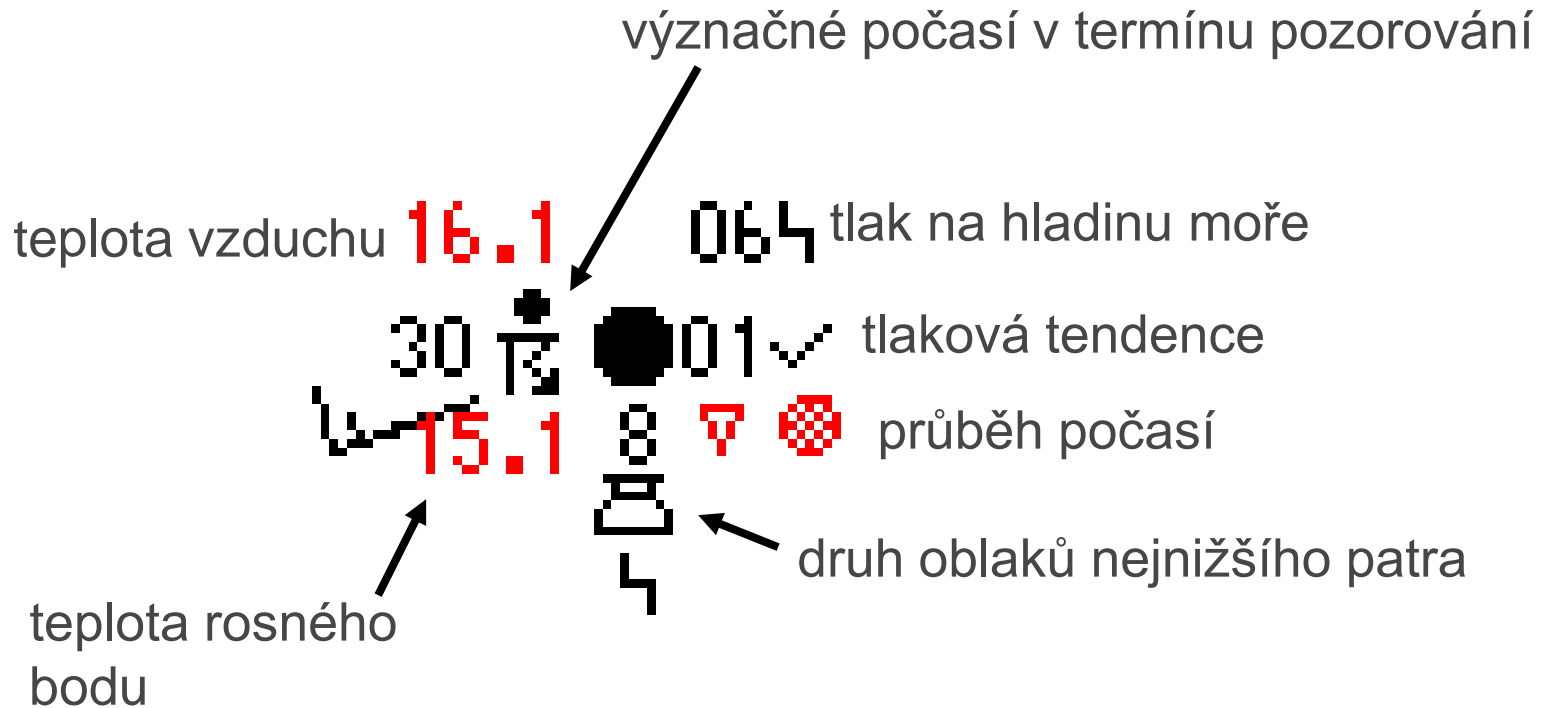
Předpoklad úspěšné předpovědi:

- nejpodrobnější znalost aktuálního stavu atmosféry
- informace z následujících zdrojů:

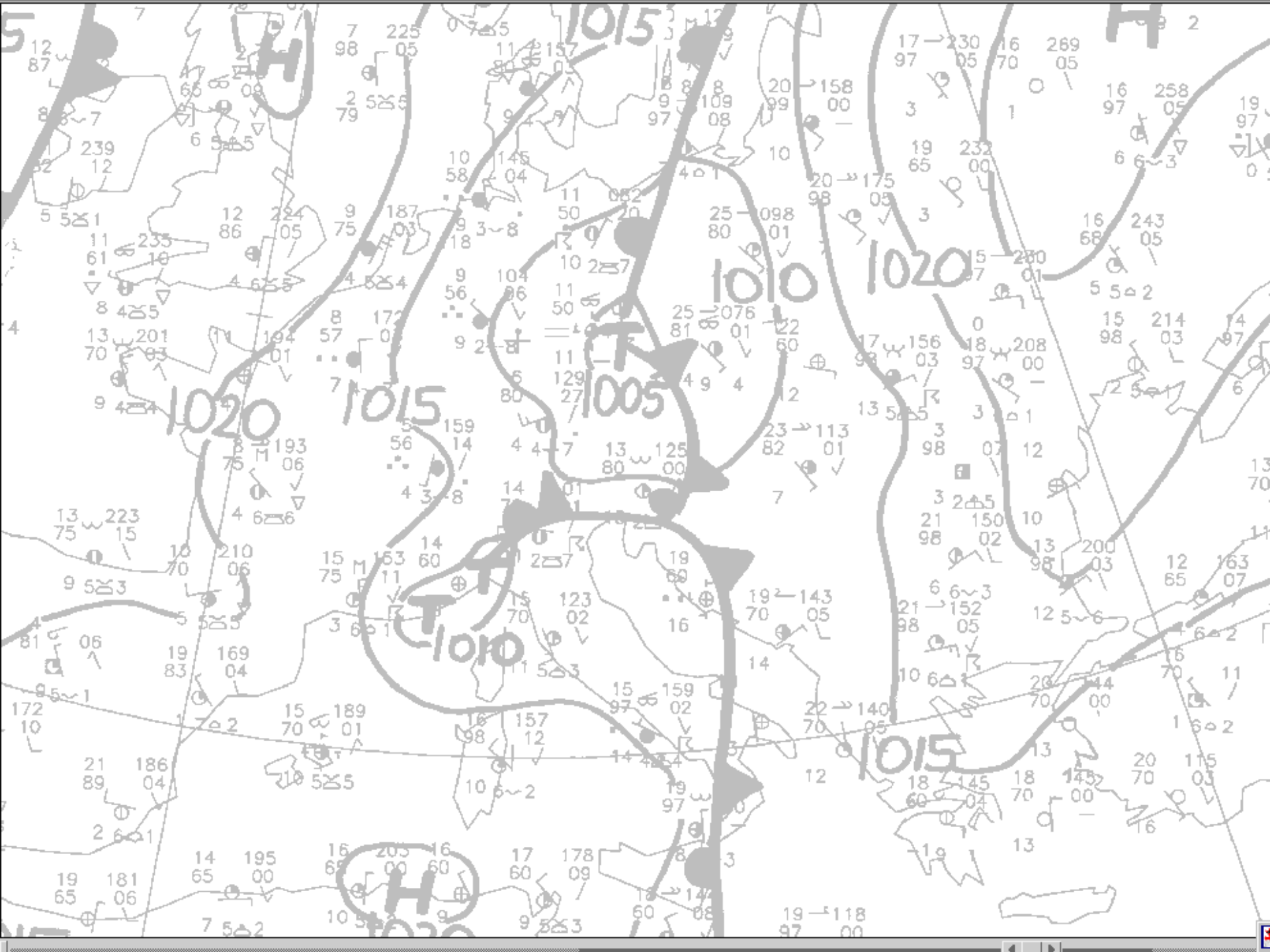
1) Síť pozemních (oceánských) stanic o počtu kolem 10000: alespoň každé 3 hodiny, nejčastěji každou hodinu zpráva, t.č. SYNOP (přechod na digitální kód BUFR – ?):

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// =



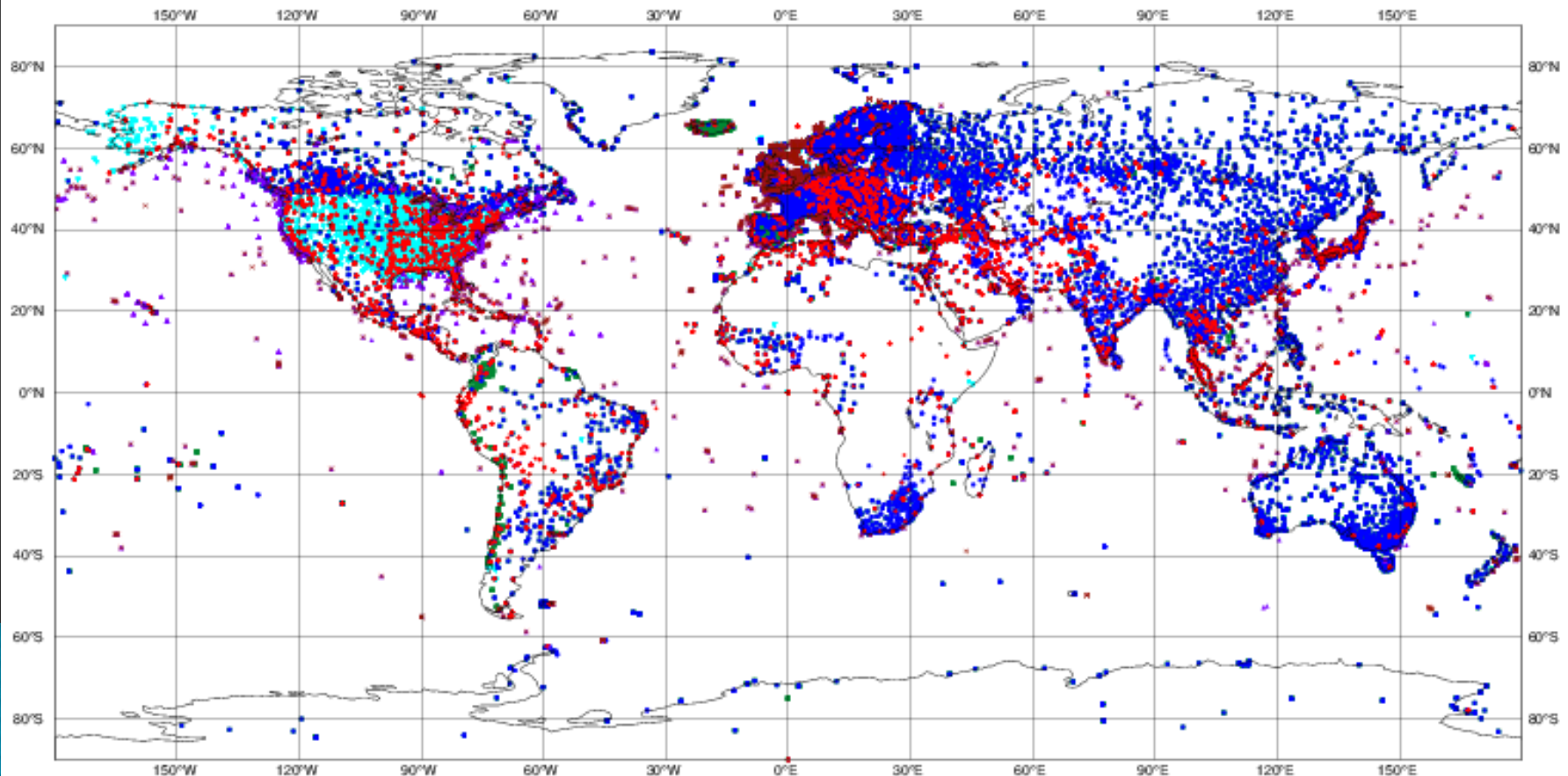
Ilustrace rozložení pozemních synoptických stanic

ECMWF data coverage (all observations) - SYNOP-SHIP-METAR

06/11/2017 00

Total number of obs = 100498

- SYNOP-LAND TAC (25146)
- METAR (14993)
- SHIP-TAC (3832)
- METAR-AUTO (29192)
- SYNOP-SHIP BUFR (2184)
- SYNOP-LAND BUFR (25151)

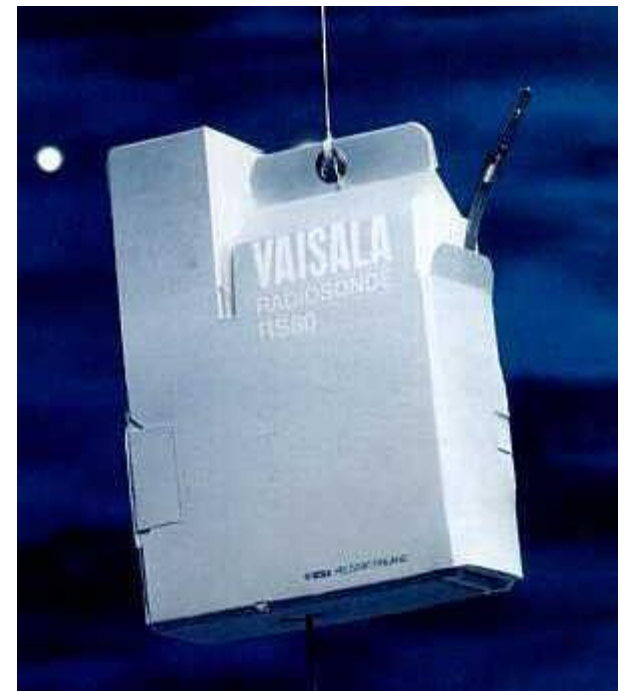


Podklady pro tvorbu předpovědi počasí

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



Vypouštění sondy



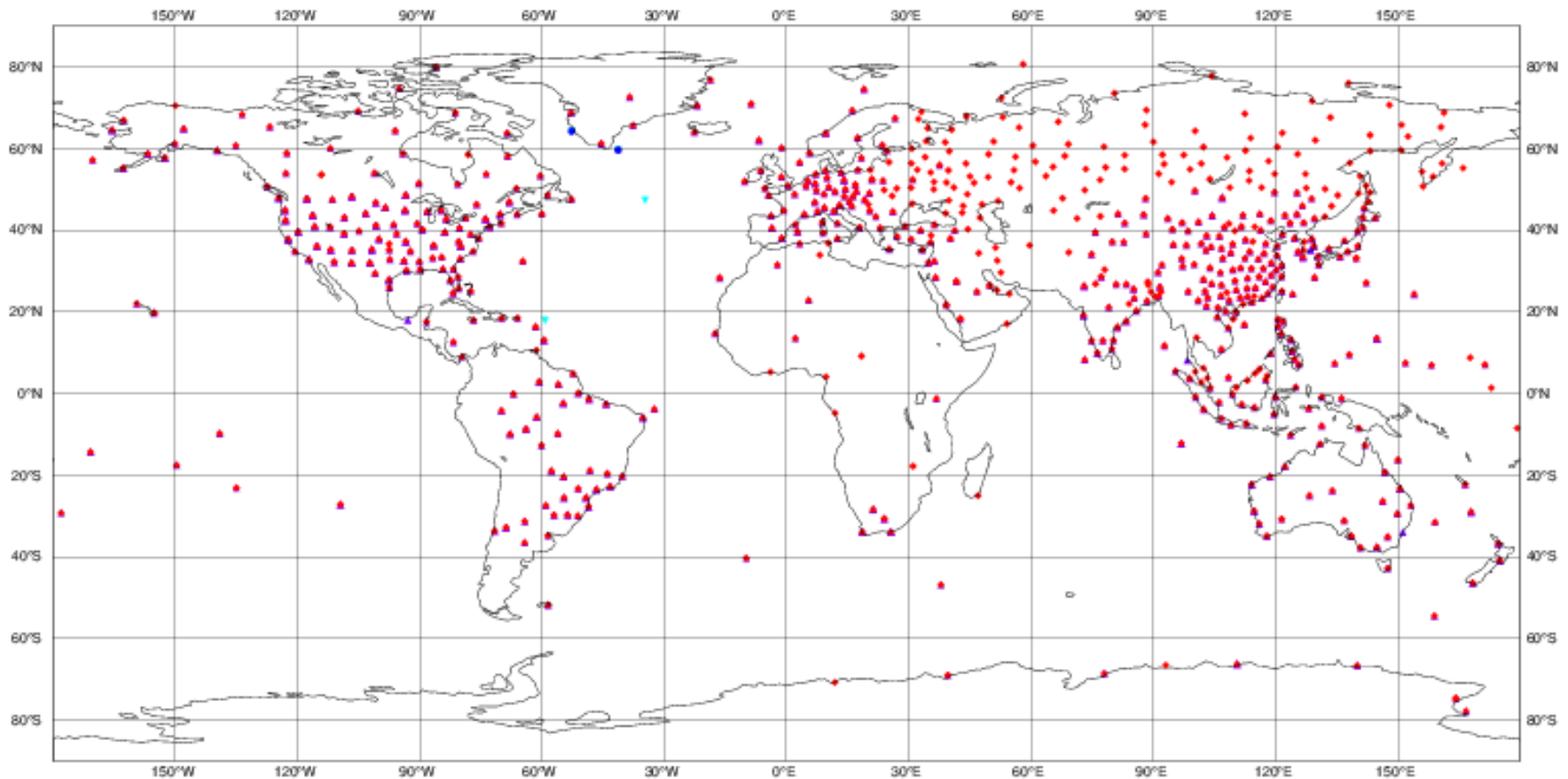
Ilustrace rozložení aerologických stanic

ECMWF data coverage (all observations) - RADIOSONDE

06/11/2017 00

Total number of obs = 1387

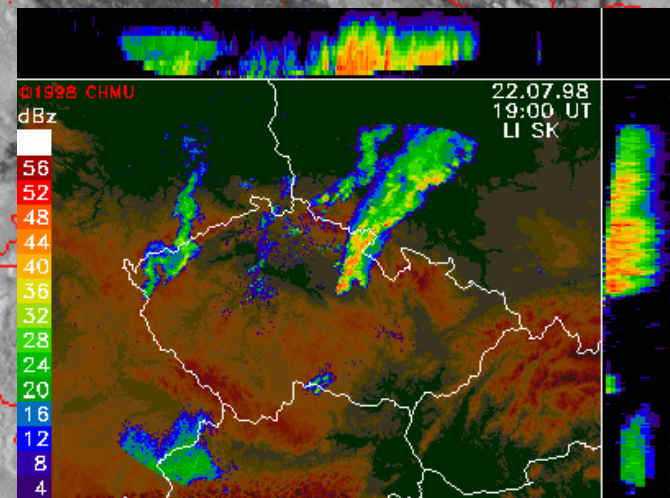
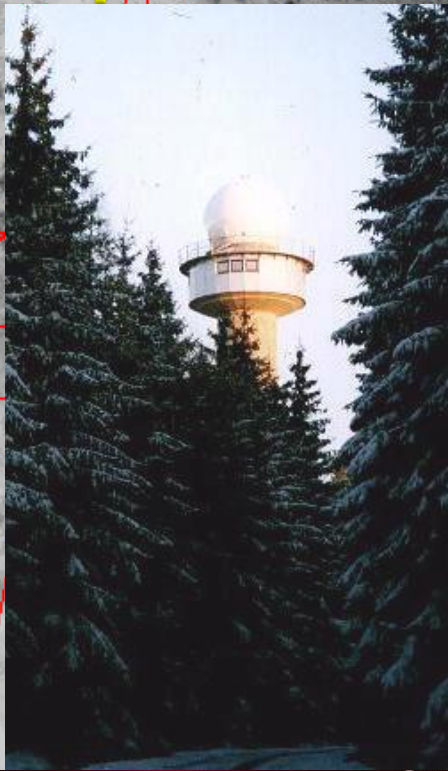
• TEMP-SHIP TAC (2) • TEMP-Land TAC (674) • TEMP-Land (BUFR) (707) • TEMP-Ship (BUFR) (4)



Podklady pro tvorbu předpovědi počasí (pokrač.)

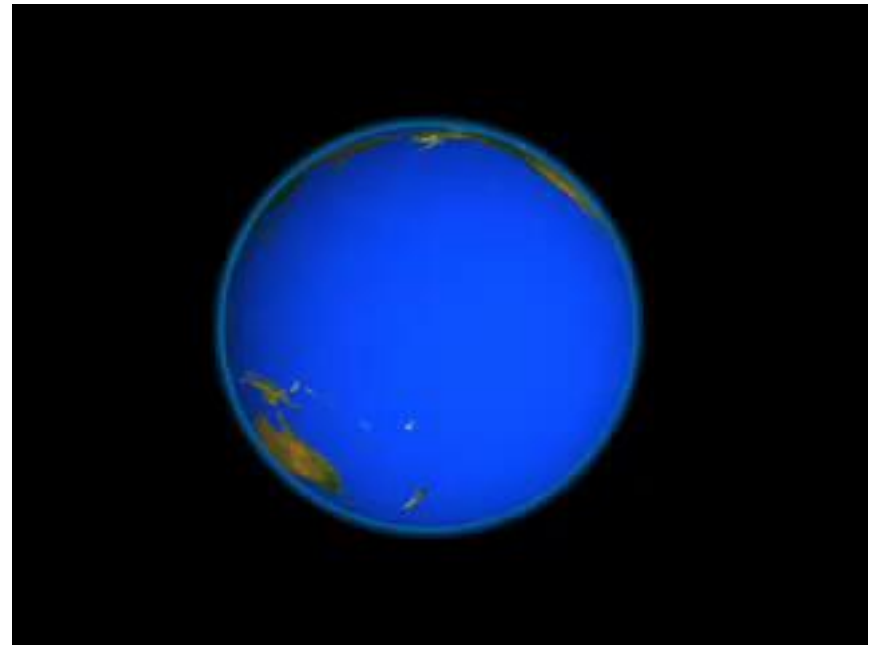
NOAA ch 2
24.08. 14:53

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



Metody dálkové detekce

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



Geostacionární meteorologické družice

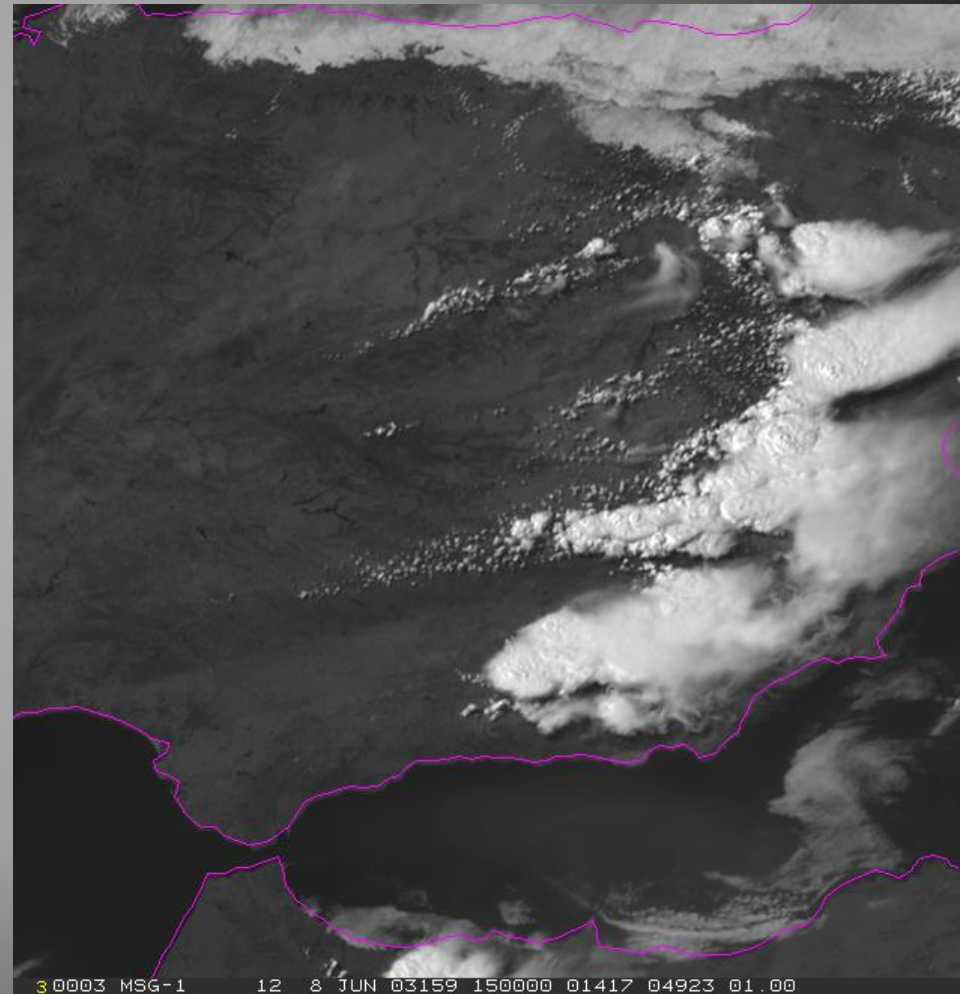
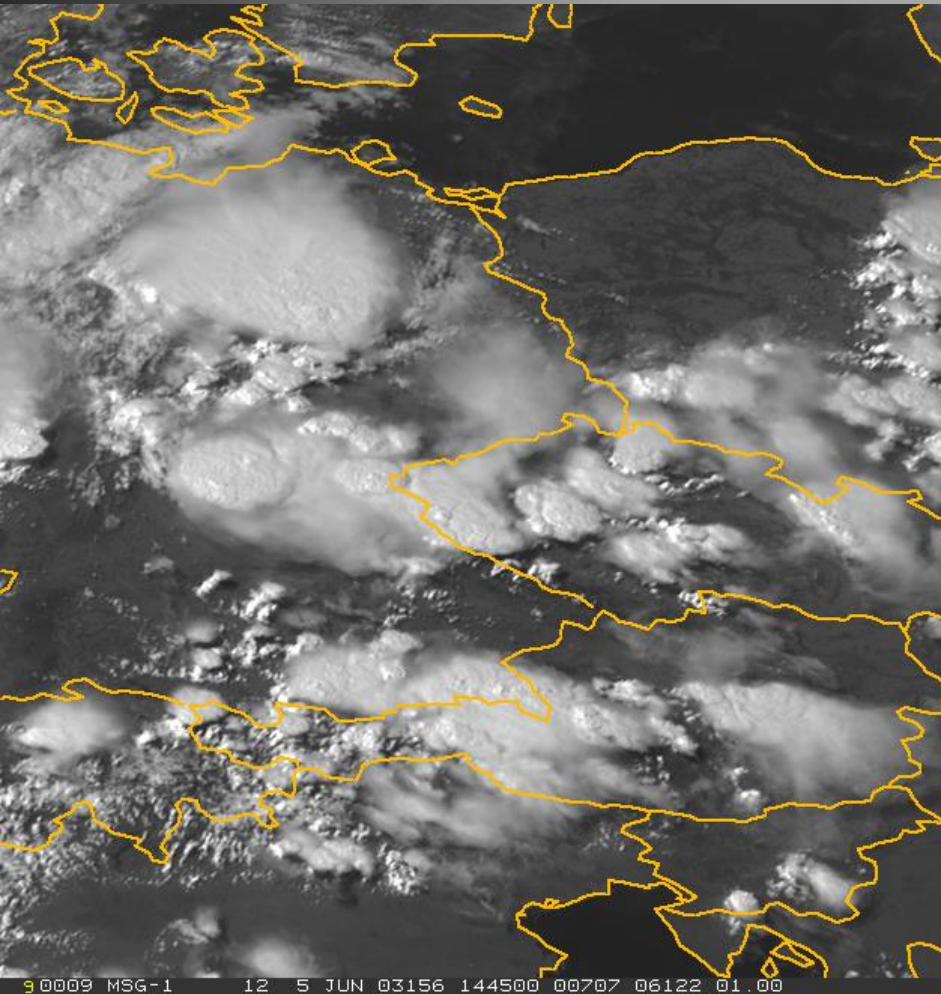


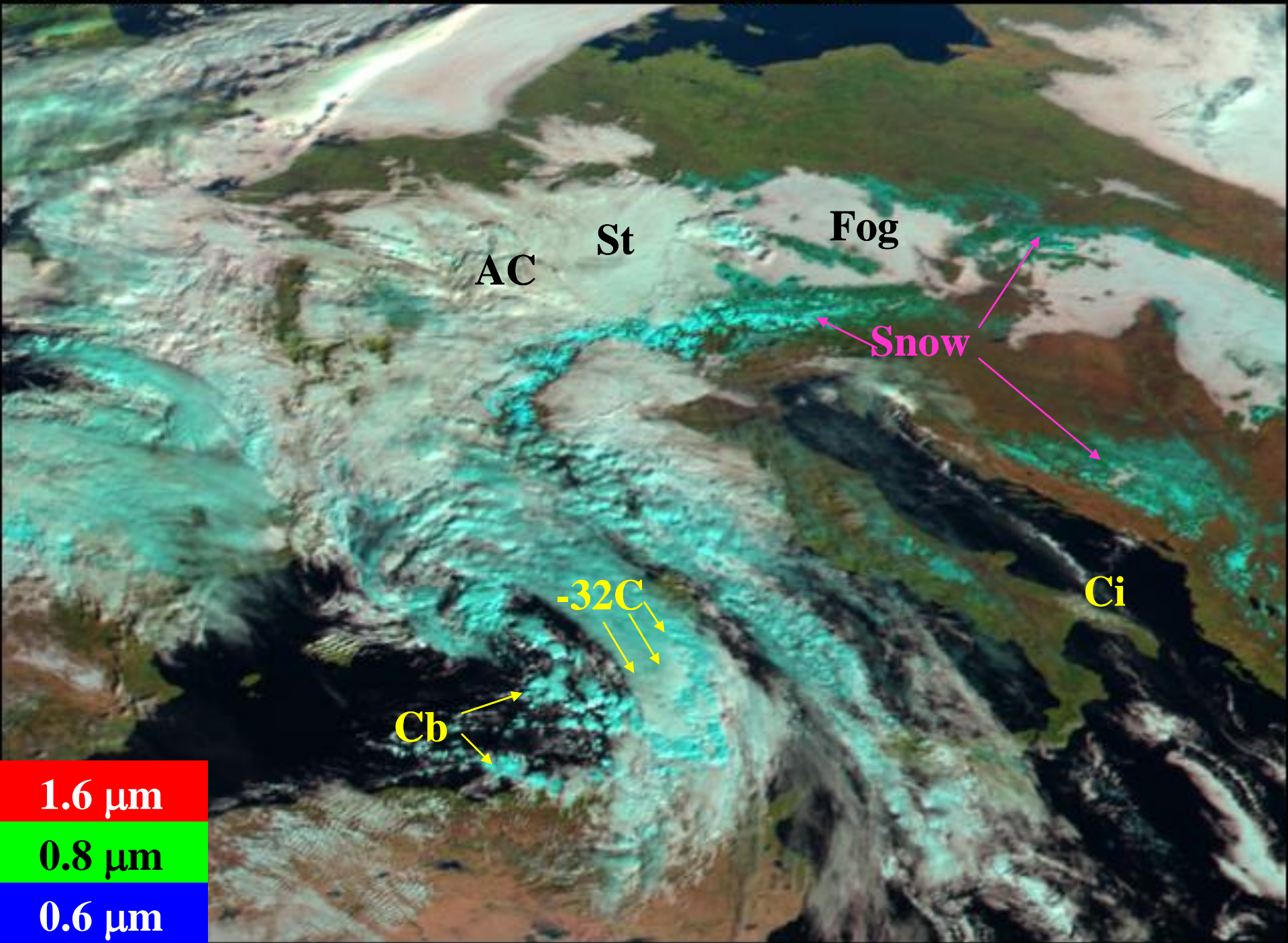
- METEOSAT 8 (od r. 2003; 41.5° E)
- METEOSAT 9 (od r. 2006; 3.5° E)
- METEOSAT 10 (od r. 2012, 9.0° E)
- METEOSAT 11 (od r. 2015, 0°)

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 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 [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$]

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

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

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

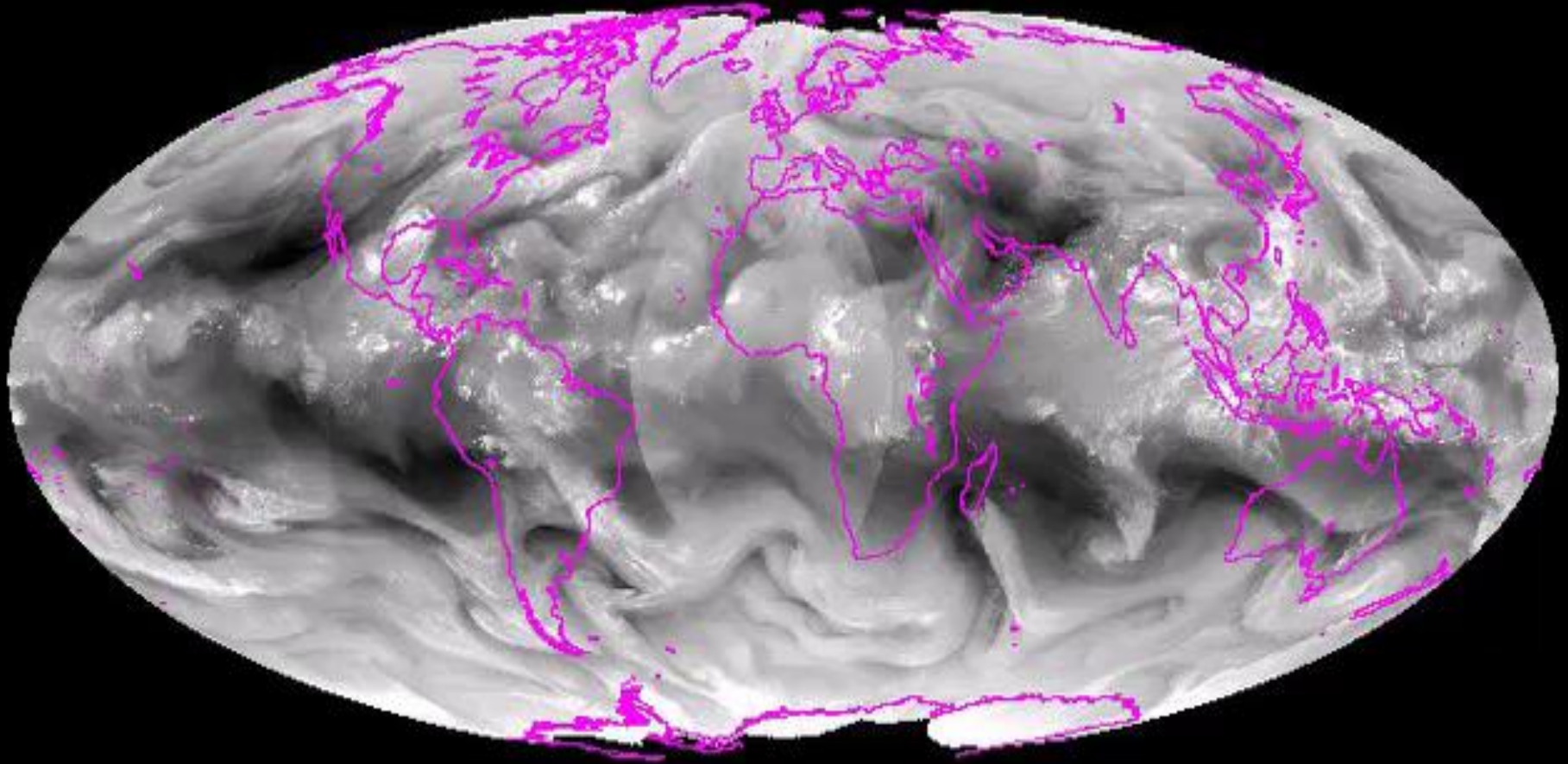
c_1 = první radiační konstanta ($1.191 \times 10^{-16} \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{sr}^{-1}$)

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



Sloučení měření více geostacionárních družic

WATERVAPOR COMPOSITE FROM 13 SEP 08 AT 09:00 UTC (SSEC:UW-MADISON)



1

2008257 90000

McIDAS

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

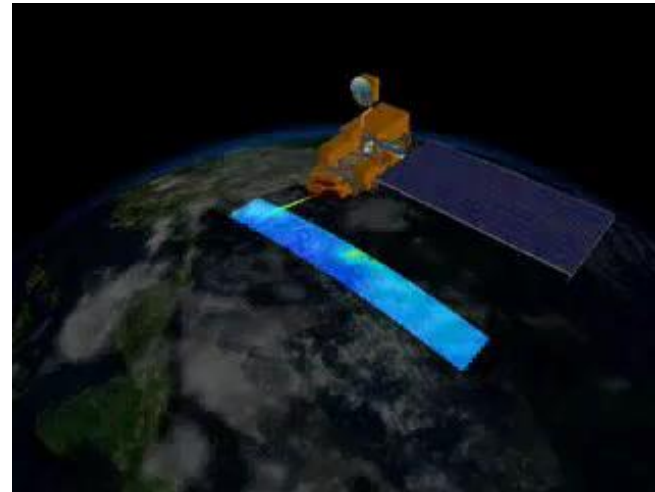
10.3 - 11.3 mikrometru

tepelné záření

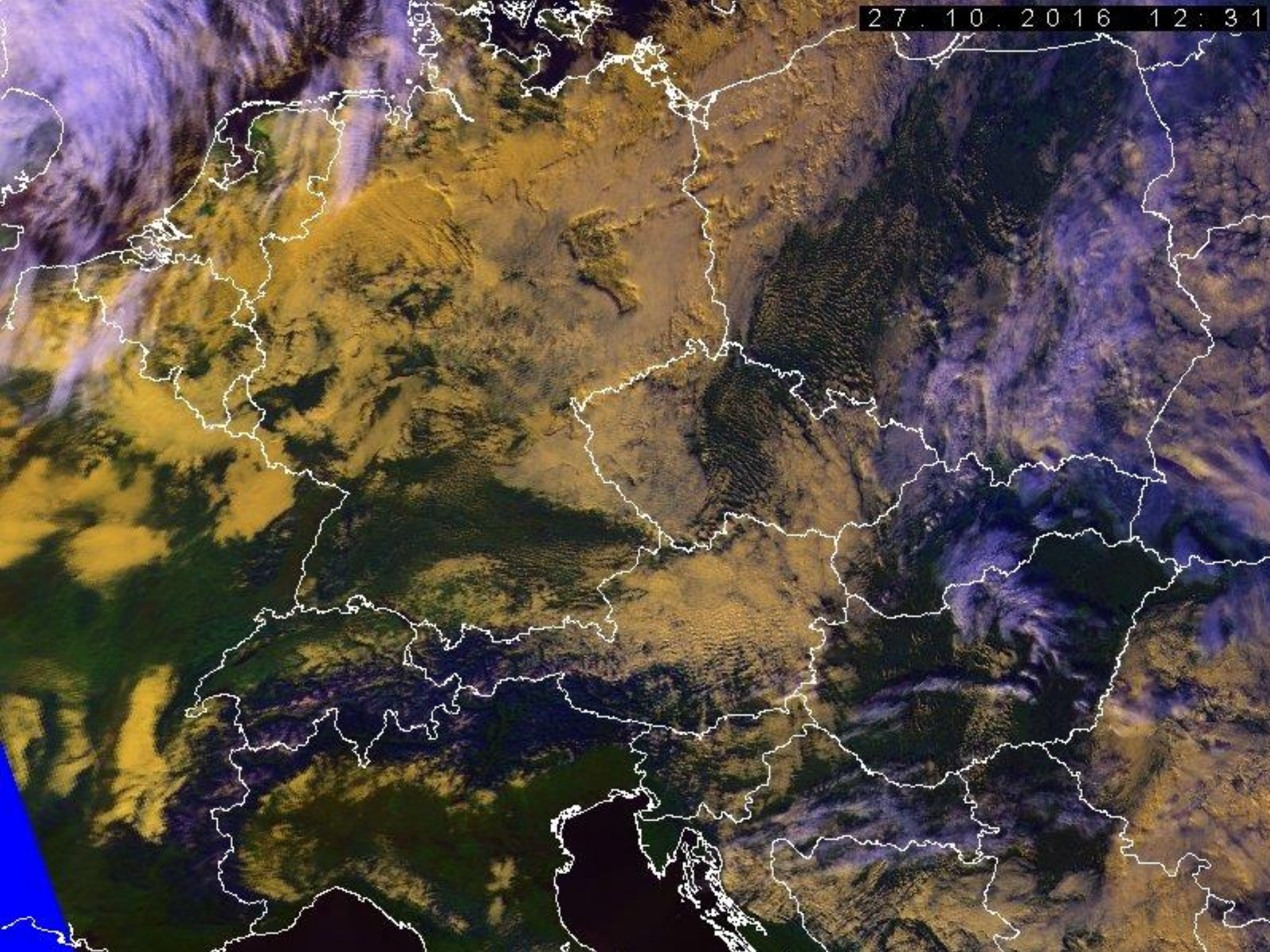
5. kanál

11.5 - 12.5 mikrometru

tepelné záření

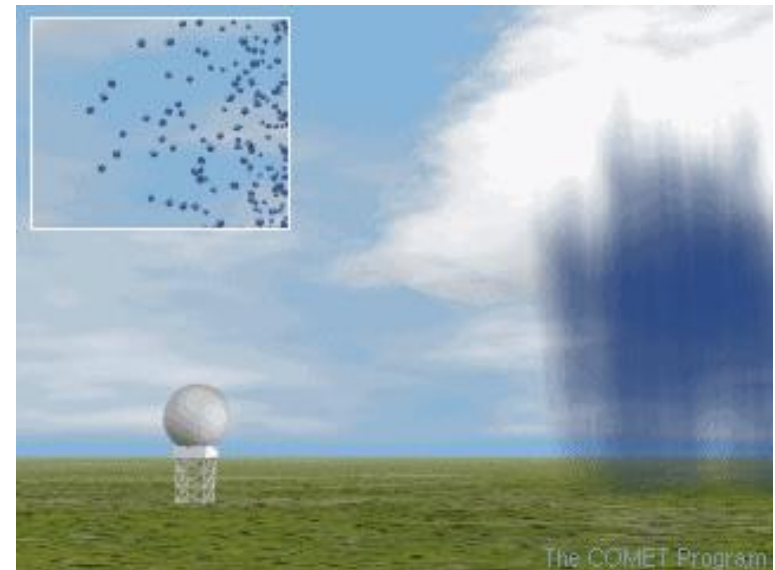


27.10.2016 12:31



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

RADAR Brdy

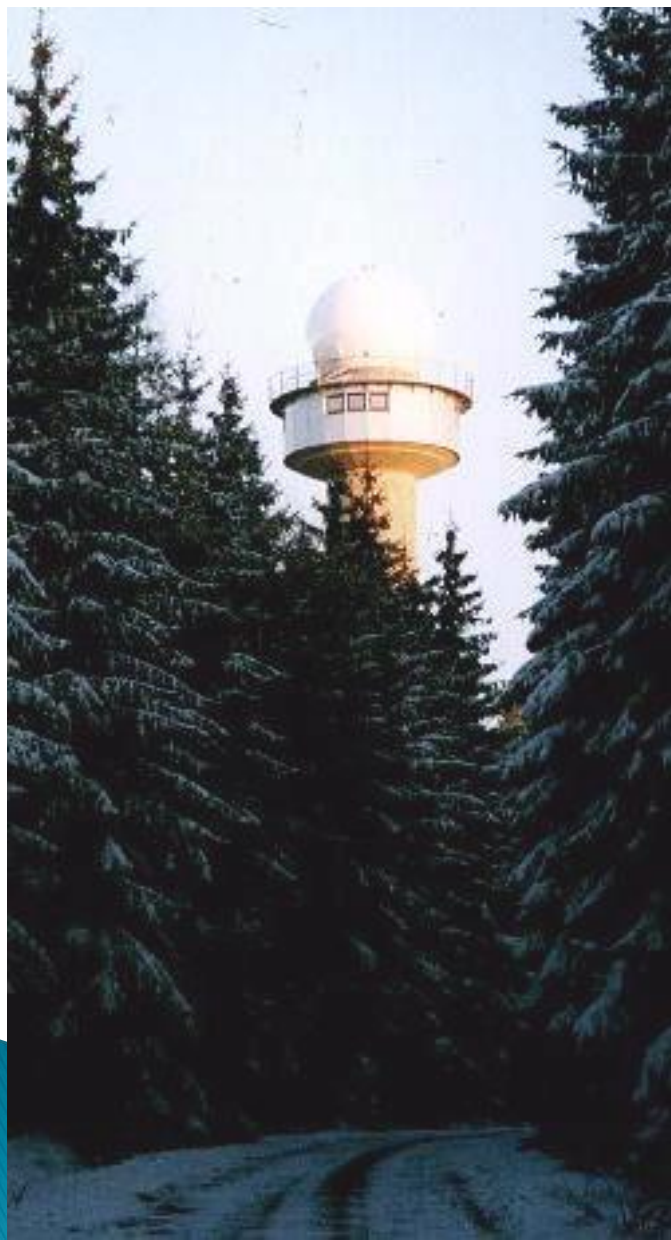
V provozu od r. 2000



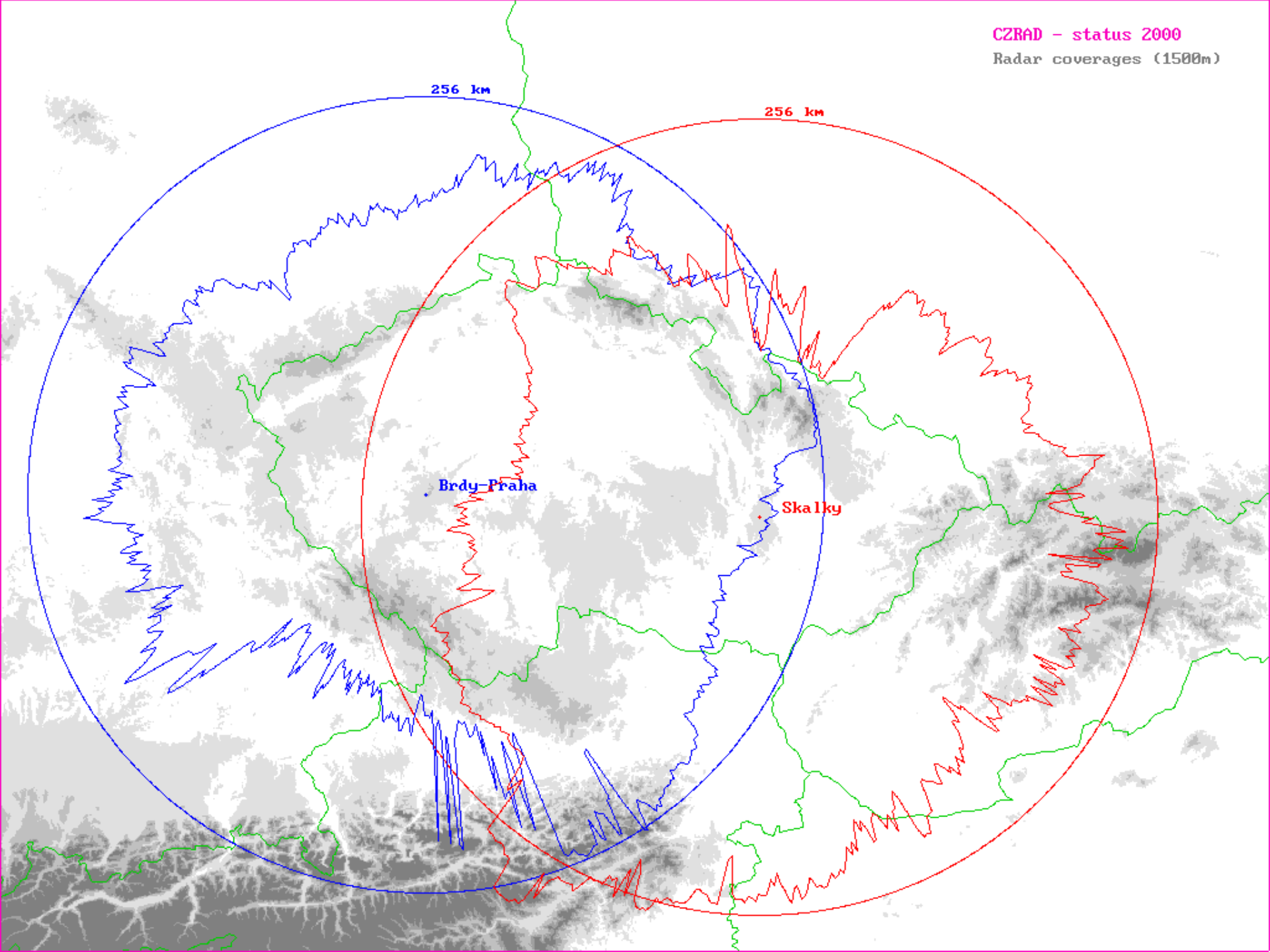
Stanoviště	Brdy-Praha
Oblast	střední Čechy
WMO indikativ	11480
Typ radaru	EEC DWSR-2501 C
Zeměpisná šířka	49,658 N
Zeměpisná délka	13,818 E
Nadmoř.výška	860 m
Výška antény n.m.	916 m
Interval měření	10 min.

RADAR SKALKY

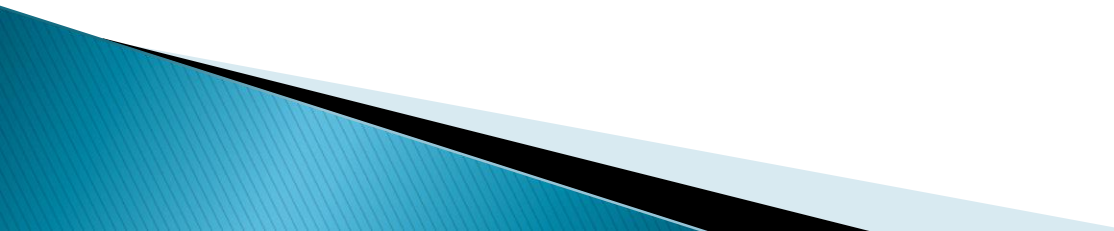
V provozu od r. 1995



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.

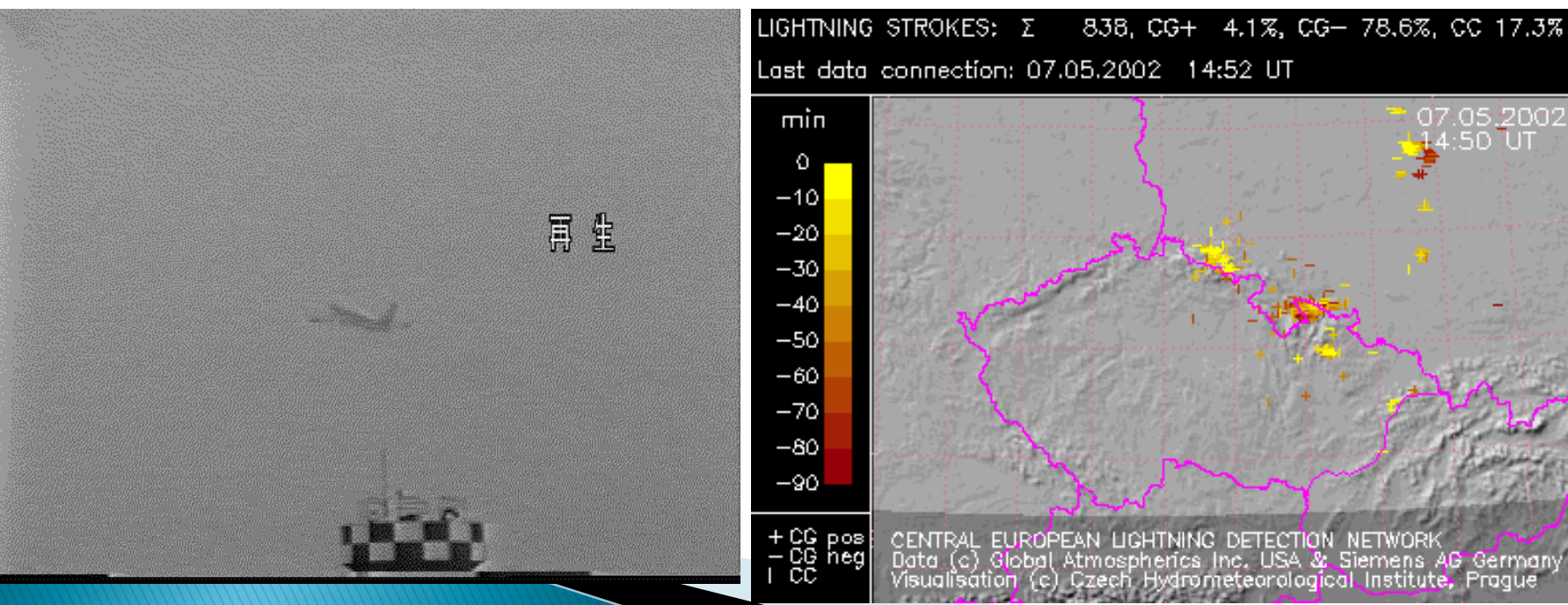


Použití radarů v meteorologii

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

Metody detekce blesků

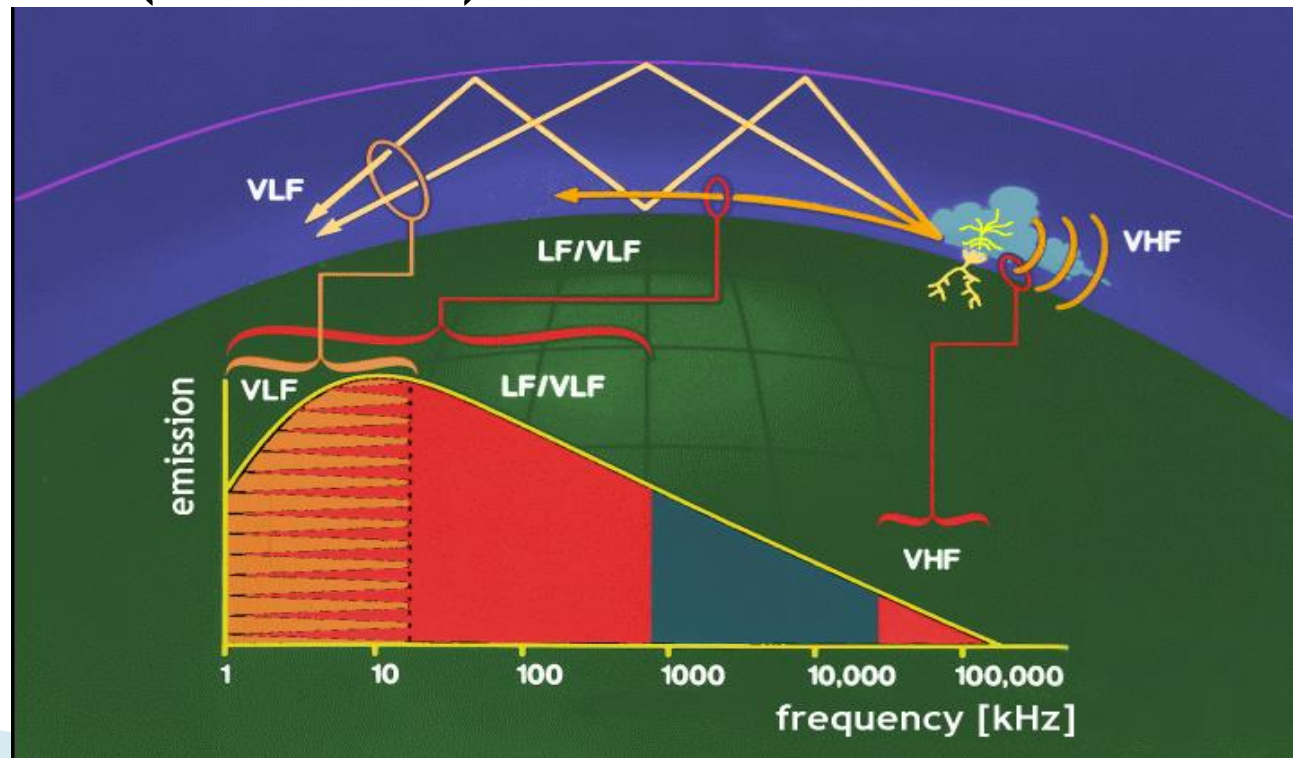
- ▶ Pomocí vhodně rozmístěných detekčních čidel se zachycuje elektromagnetické záření, které se vyzařuje při bleskovém výboji
- ▶ Čidla určí směr, ve kterém došlo k výboji, nebo dobu zachycení signálu synchronizovanou pomocí GPS. Informace z čidel jsou v reálném čase zasílány do zpracovatelského počítače, 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

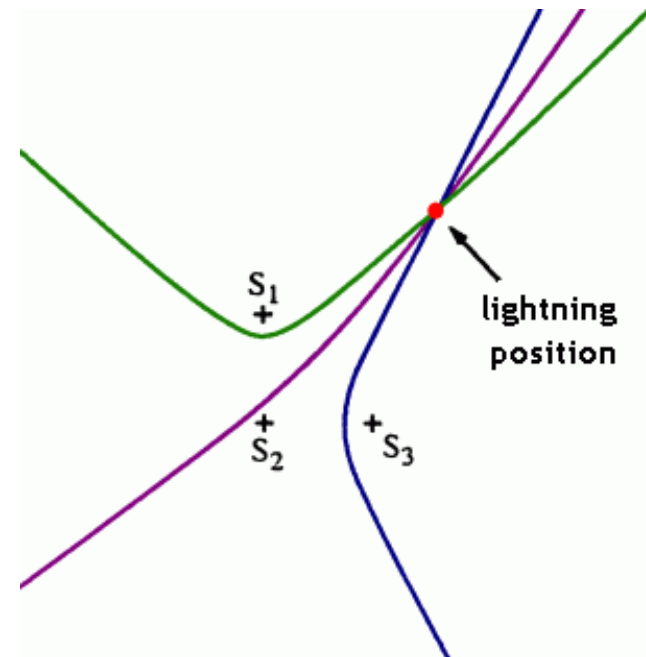
- ▶ Analýza elektromagnetického pole – lze v různých frekvenčních pásmech (VDV, DV, VKV)
- ▶ 1 sensor nebo (většinou) síť senzorů

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

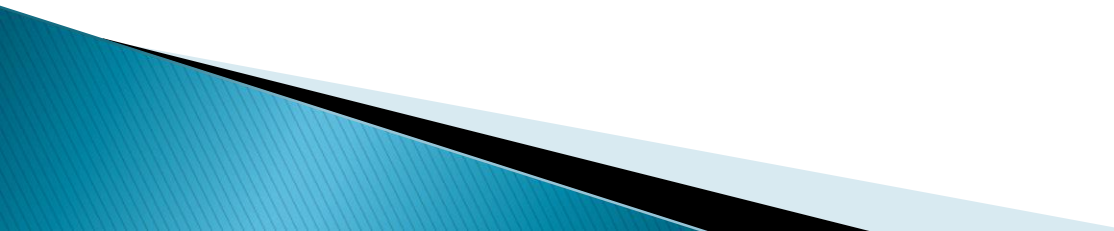


Principy lokalizace blesků

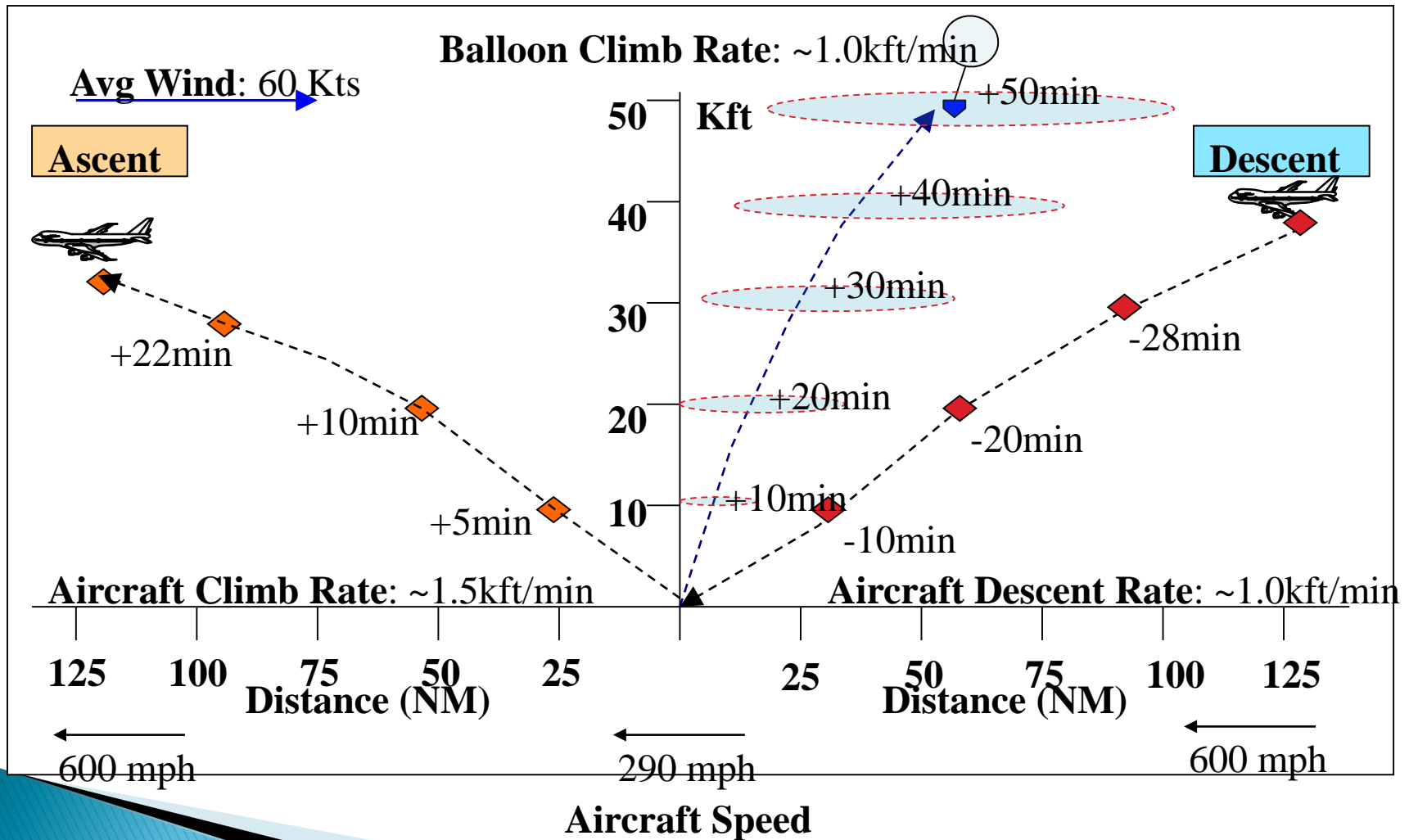
- ▶ Metoda *Time of arrival* (TAO)– porovnání přesného času detekce výboje na jednotlivých senzorech – synchronizace pomocí GPS
- ▶ je třeba detekce alespoň třemi senzory



Další zdroje přímo měřených meteorologických údajů

- ▶ Účelové stanice dalších organizací (problémy s kvalitou dat)
 - ▶ Údaje z letadel (zprávy AMDAR – Aircraft Meteorological DATA and reporting)
- 

AMDAR vs. balonové sondáže



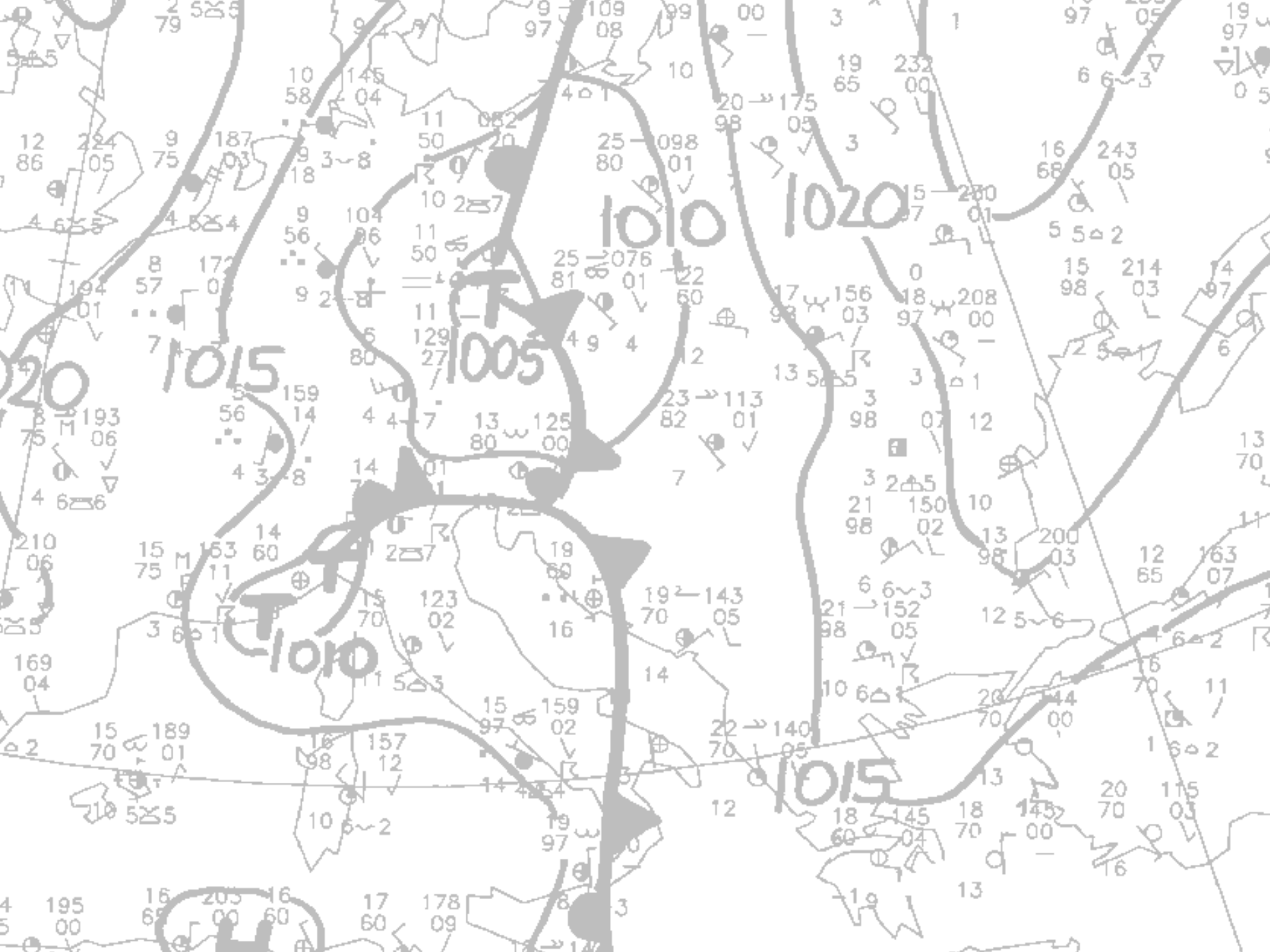
Metody předpovědi počasí

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.**



79 52 5

1010

1020

1015

1005

1010

1015

12 86

9 75

187 03

10 58

145 04

11 50

82 20

4 01

25 80

098 01

175 03

19 65

232 00

3

1

97

6 6 3

200 05

19 05

4 65 5

4 65 5

4 65 5

8 172 01

56

9 2

11 50

10 287

25 81 01

076 01

22 60

17 98

156 03

48 97

208 00

0

5 5 2

15 98

214 03

14 97

194 01

57

7

159 14

56

4 3 8

11 129 27

6 80

11 125 00

4 9 4

23 82

113 01

13 5 5

3 98

3 07 12

3 2 5

21 98

150 02

10 13 98

200 03

8 75

193 06

4 6 6

4 3 8

14 14

4 4 7

13 80

125 00

23 7

113 01

3 98

3 07 12

3 2 5

21 98

150 02

10 13 98

200 03

12 65

163 07

13 70

210 06

15 75

163 11

14 60

15 70

123 02

19 69

16

19 70

143 05

6 6 3

21 98

152 05

12 5 6

12 5 6

200 03

12 65

163 07

12 65

163 07

169 04

3 6 1

15 70

189 01

16 98

157 12

14 4 4

15 97

159 02

14 4 4

22 70

140 05

10 6 2

28 70

144 00

12 5 6

70 11

16 70

6 2

11

2 70

15 70

189 01

16 98

157 12

14 4 4

15 97

159 02

14 4 4

22 70

140 05

10 6 2

28 70

144 00

12 5 6

70 11

16 70

6 2

11

4 195 00

16 69

205 00

16 60

17 60

178 09

8 3

14 4 4

14 4 4

14 4 4

14 4 4

14 4 4

14 4 4

14 4 4

14 4 4

14 4 4

14 4 4

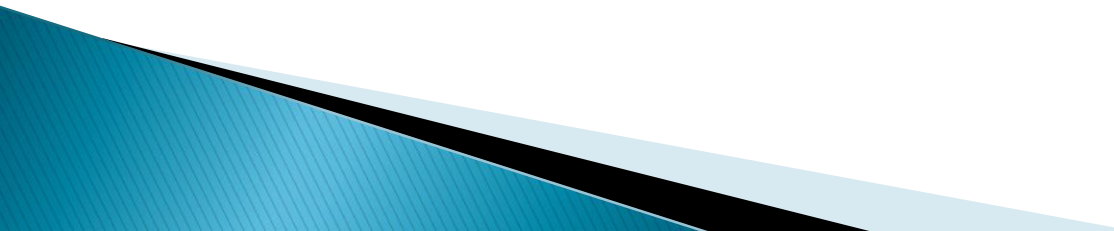
14 4 4

14 4 4

14 4 4

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.):

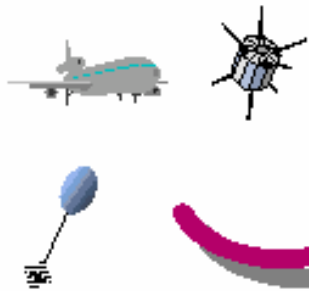
3) Výpočet budoucího stavu atmosféry v centrech pomocí NWP modelů na (super)počítačích

4) Rozesílání předpovědí prostřednictvím telekomunikačních linek

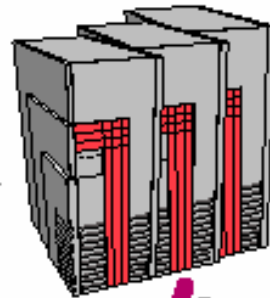
5) Zpracování těchto dat pomocí „malé“ výpočetní techniky (PC, popř. prac. stanice UNIX), po doplnění ostatními informacemi (aktuální pozorování, metody dálkové detekce, podnebné charakteristiky) vypracování předpovědi meteorologem.

Schéma technologické linky předpovědi počasí

OBSERVATIONS



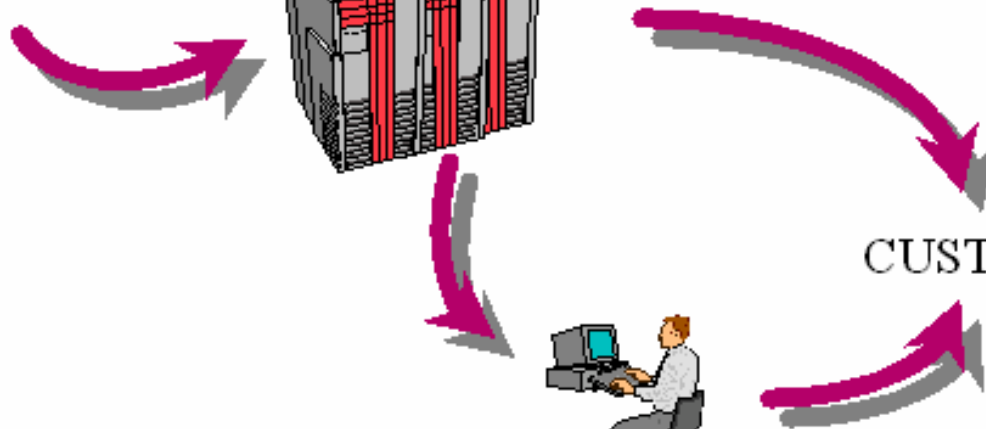
NUMERICAL MODEL



CUSTOMERS

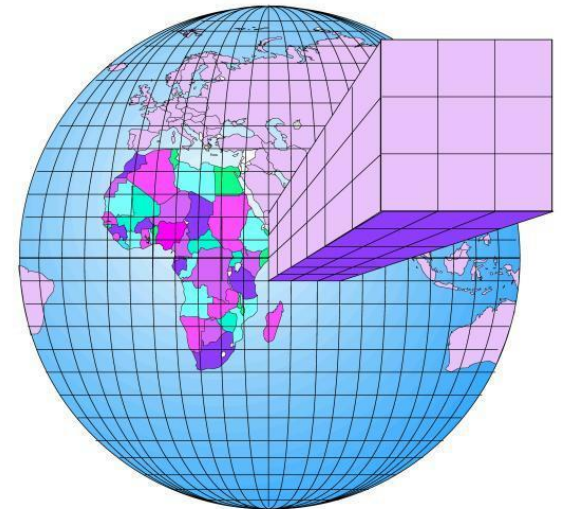
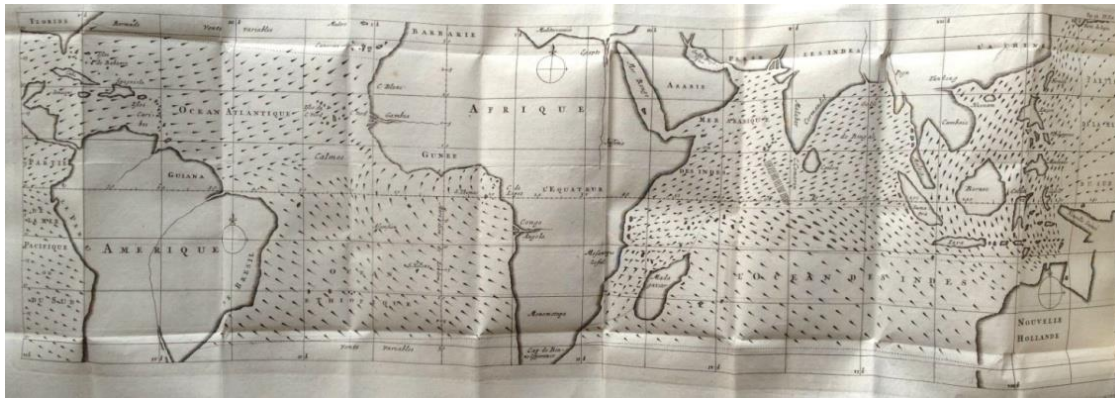


HUMAN FORECASTER



Historie meteorologie a předpovědi počasí

- ▶ Od prvních záznamů až k numerickým modelům

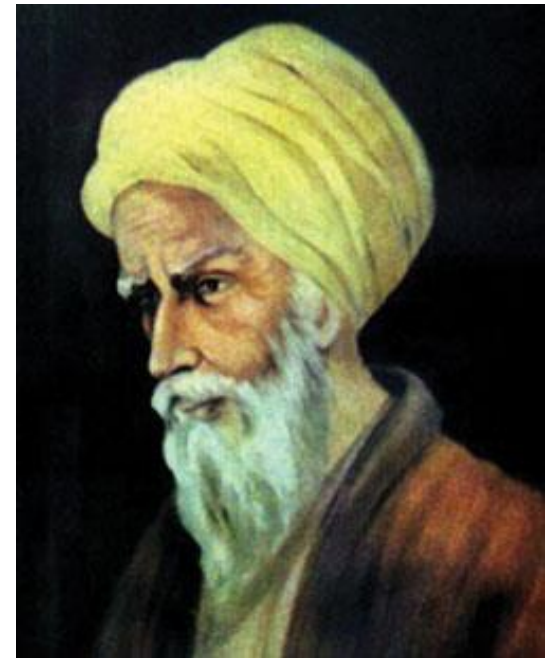


Dávnověk meteorologie

- ▶ 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

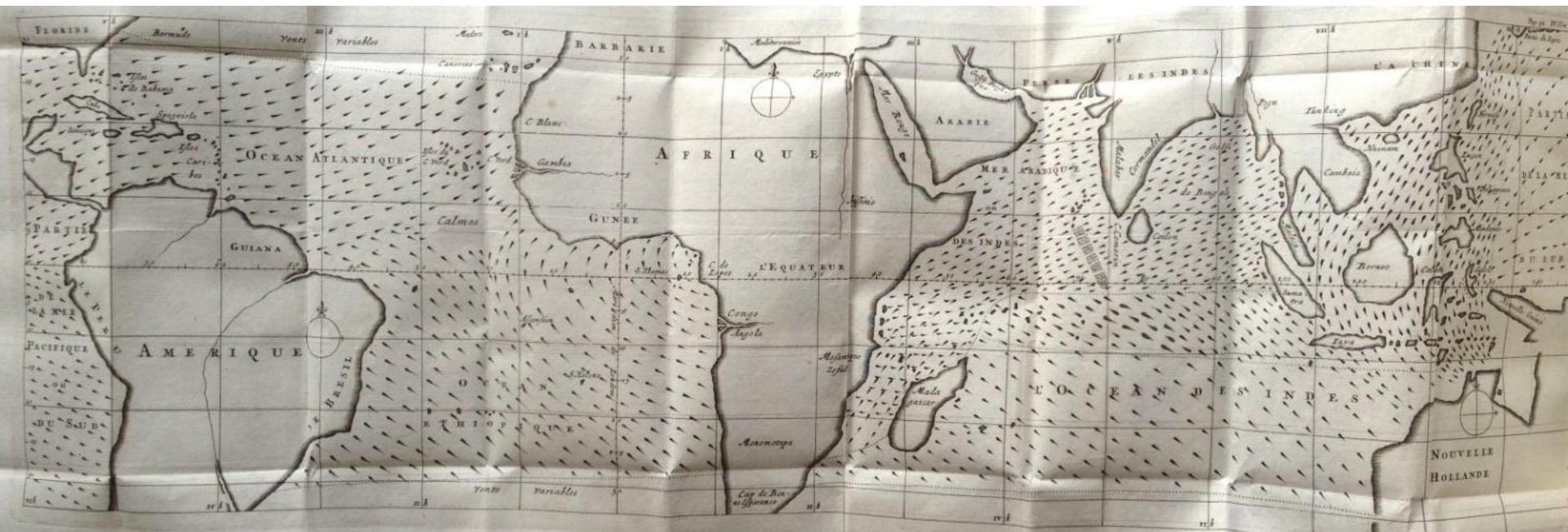
Meteorologie ve středověku

- ▶ Řecké kulturní dědictví převzali a rozšířili Arabové
 - zlepšili o nauku 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)

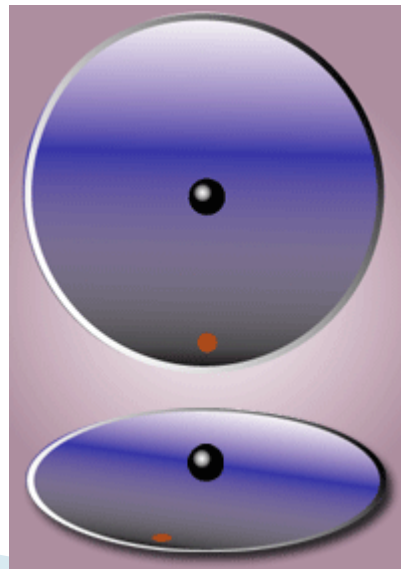
Historie meteorologie v 18. stol.

- ▶ 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



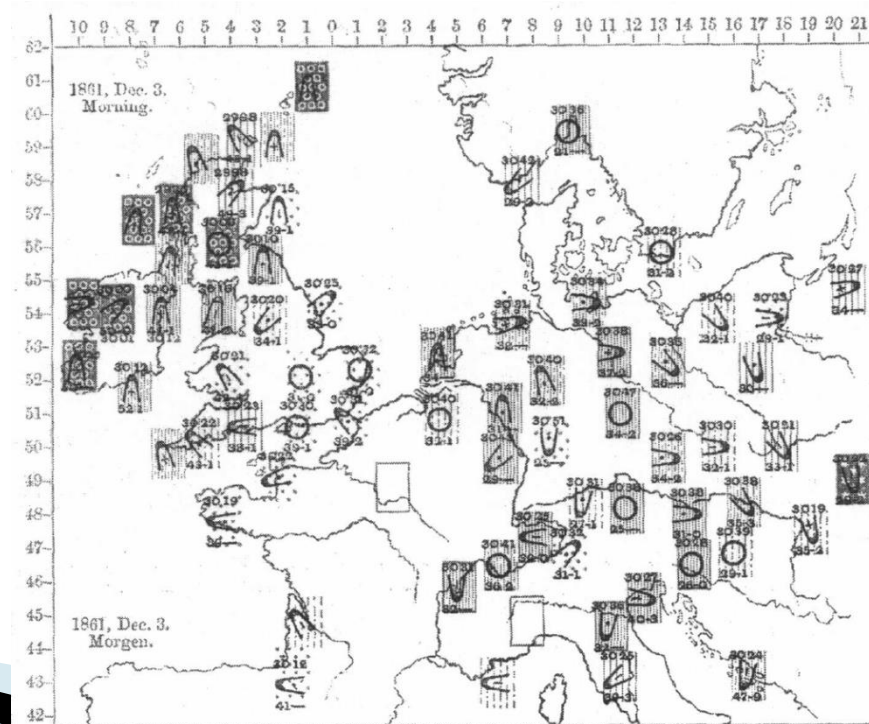
Historie meteorologie v 19. stol. – pokr.

- ▶ 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



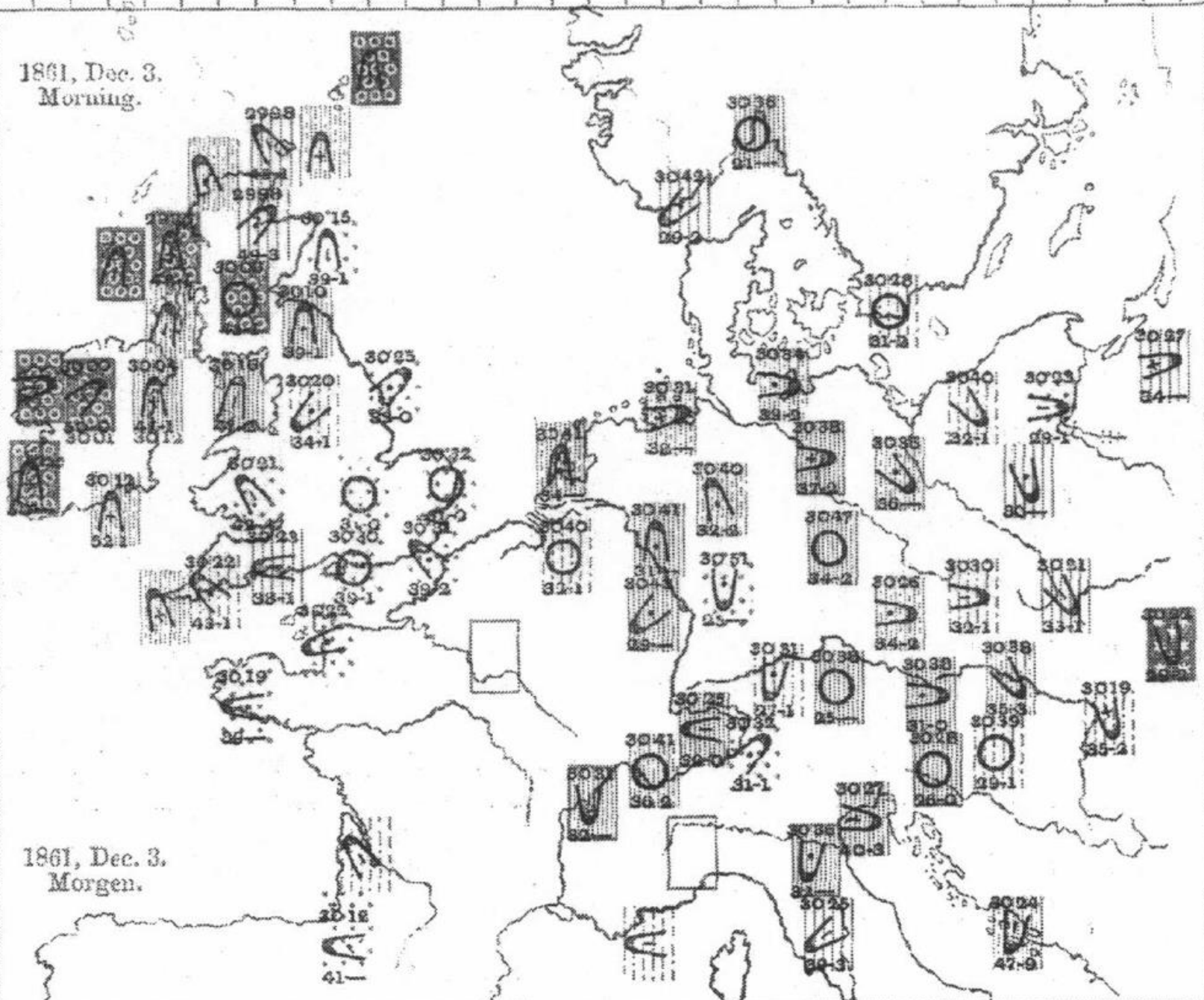
Historie meteorologie v 19. stol. – pokr.

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



10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21

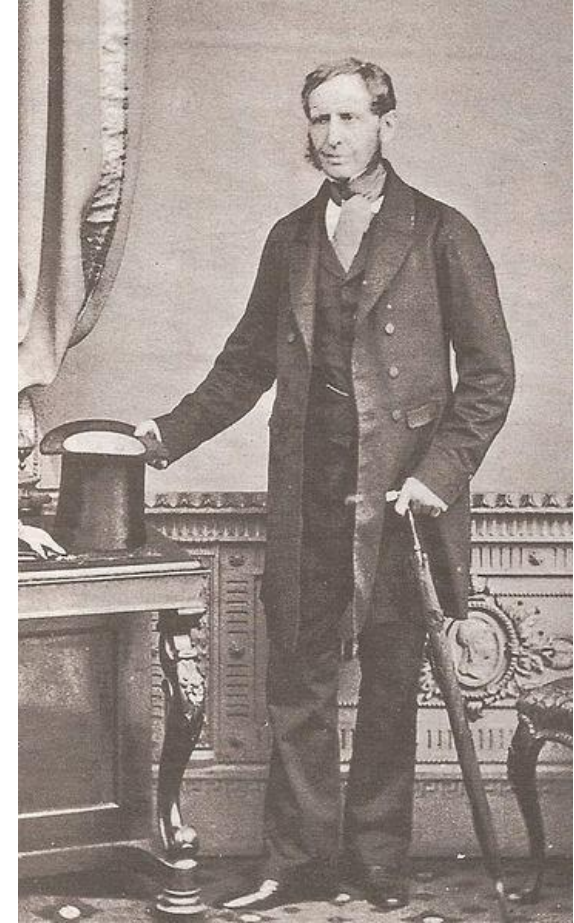
1861, Dec. 3.
Morning.



1861, Dec. 3.
Morgen.

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



Contours of Volume fraction of fuel-oil-liquid (Time=2.0000e-02)

Oct 12, 2000
NT 5.0 (3d, segregated, km, unsteady)



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



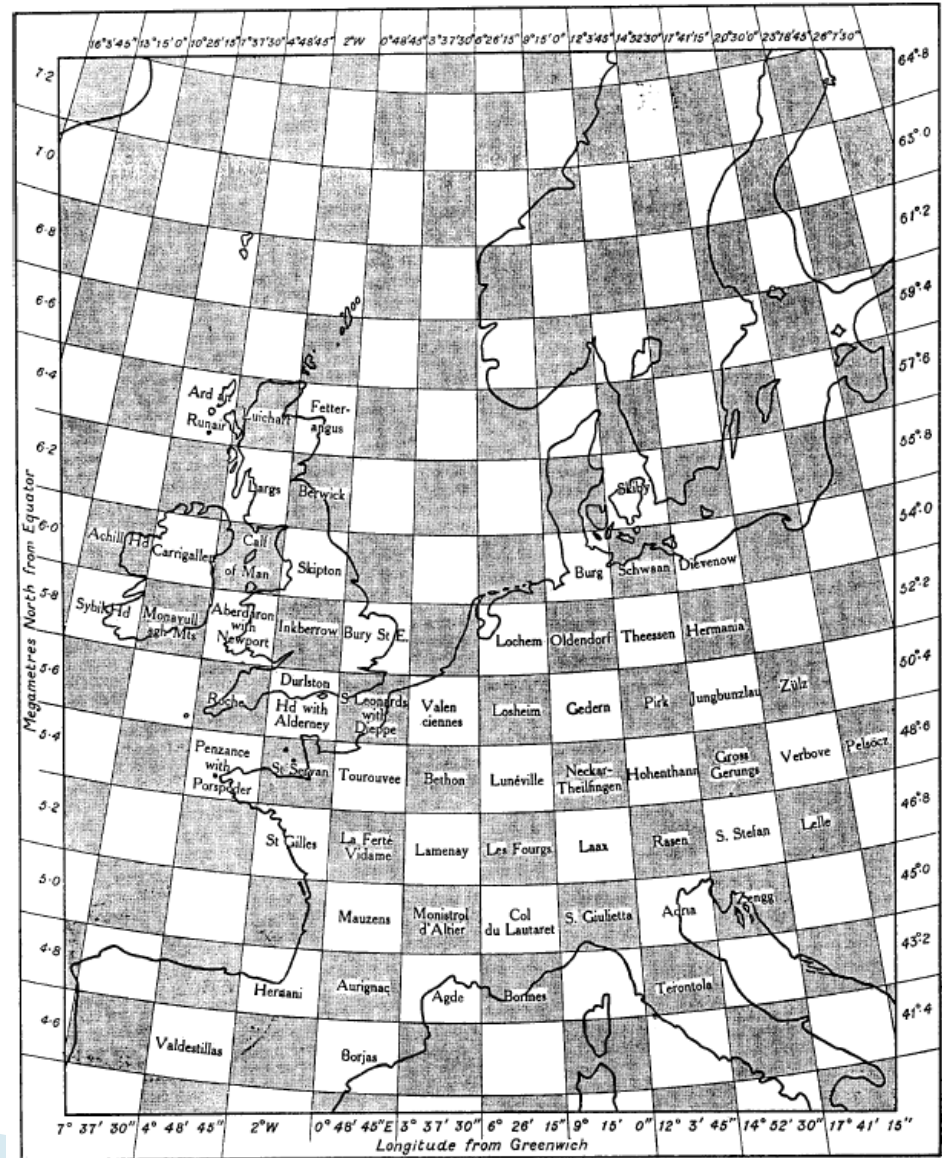
První pokus o početní (numerickou) předpověď počasí

- ▶ 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, 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
- ▶ 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.
- ▶ Venku budou hřiště, domy, hory a jezera, protože bylo myšleno na ty, kteří předpovídají počasí, aby si jej mohli užívat plnými doušky.



Podle R. Brožkové, ČHMÚ

Proč Richardsonův pokus selhal?

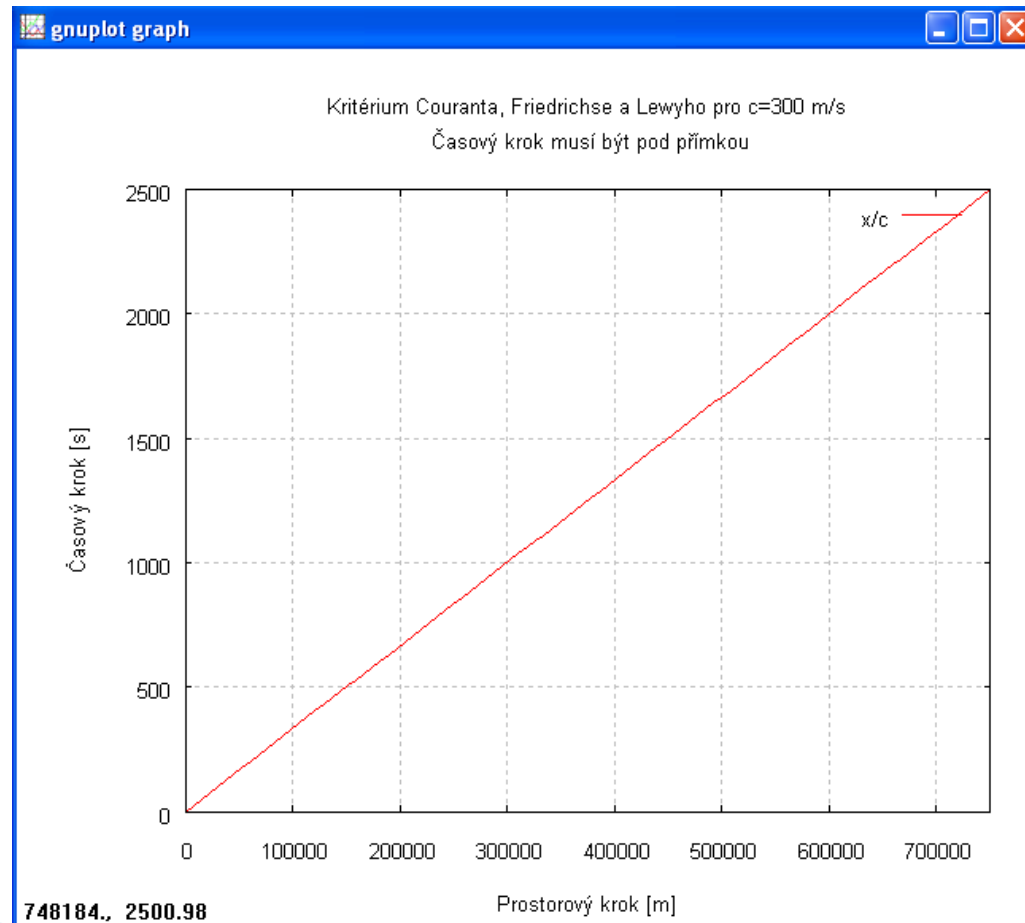
- ▶ Porušení důležitého vztahu mezi délkou časového a prostorového kroku (kritérium Couranta, Friedrichse a Lewyho, zkráceně CFL kritérium)

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

d - prostorový krok

t - časový krok

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



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 Jula 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

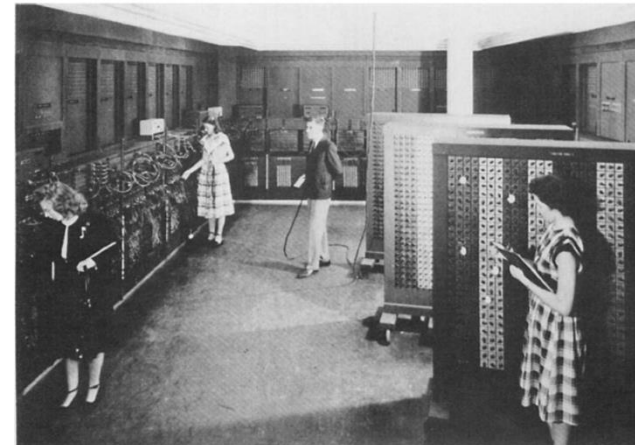
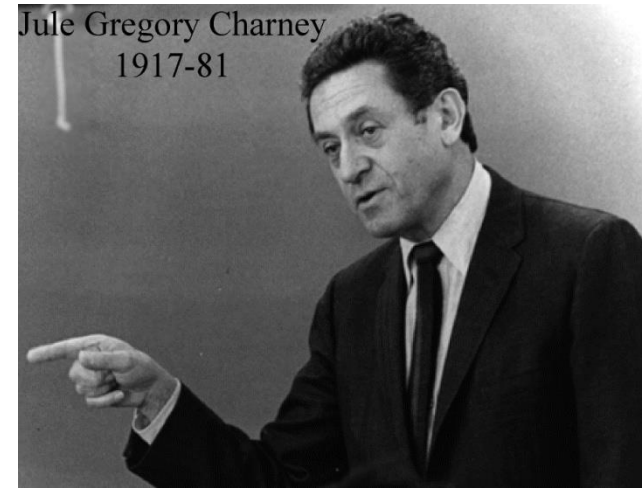
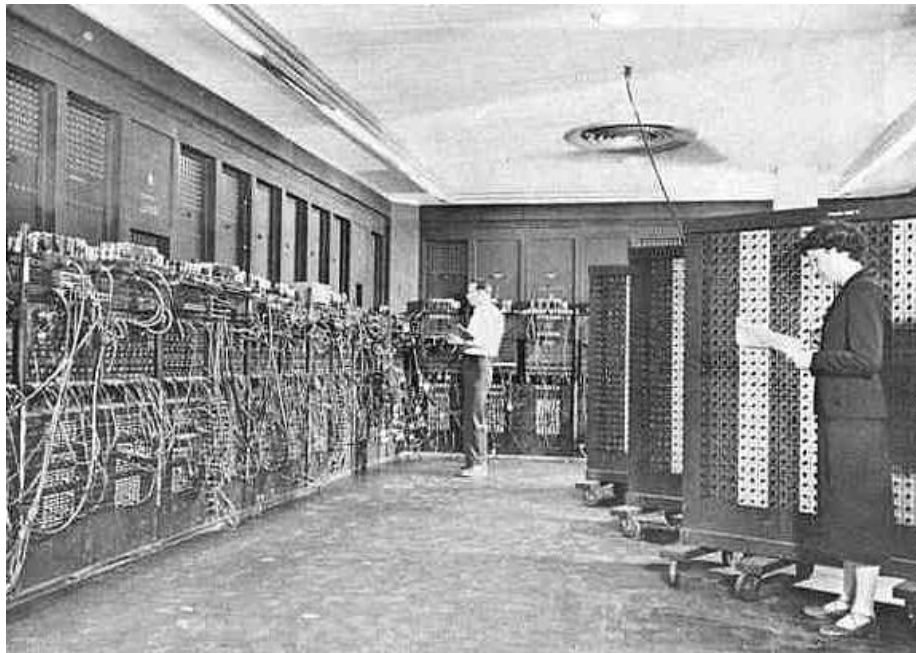


FIG. 4. Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC), 7 July 1948. Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Aberdeen, Maryland.

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 nejpřesnější...
... ale aspoň vypadaly jako mapy reálných meteorologických polí

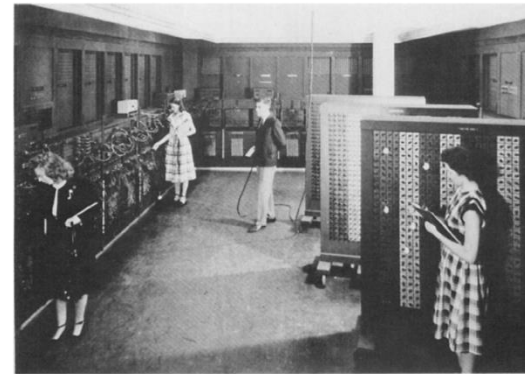


FIG. 4. Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC), 7 July 1948. Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Aberdeen, Maryland.

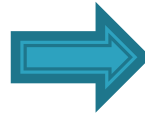
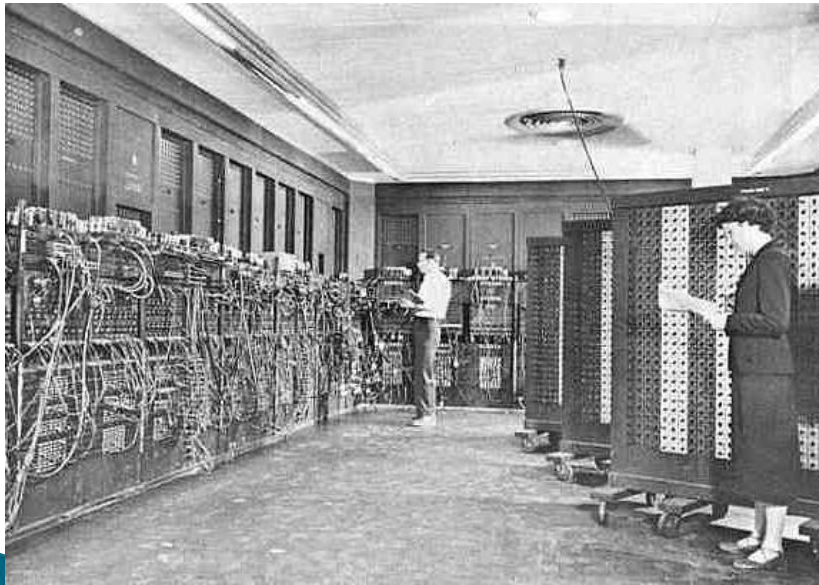
Uskutečnění digitálního snu...

▶ 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	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)	Spectral methods	50-100 km, 10-20 levels	Real clouds	
1990's 2000	Coupled models, EPS	> 500	6-7 (up to 10 days in the stratosphere)	Semi-Lagrangian	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.)

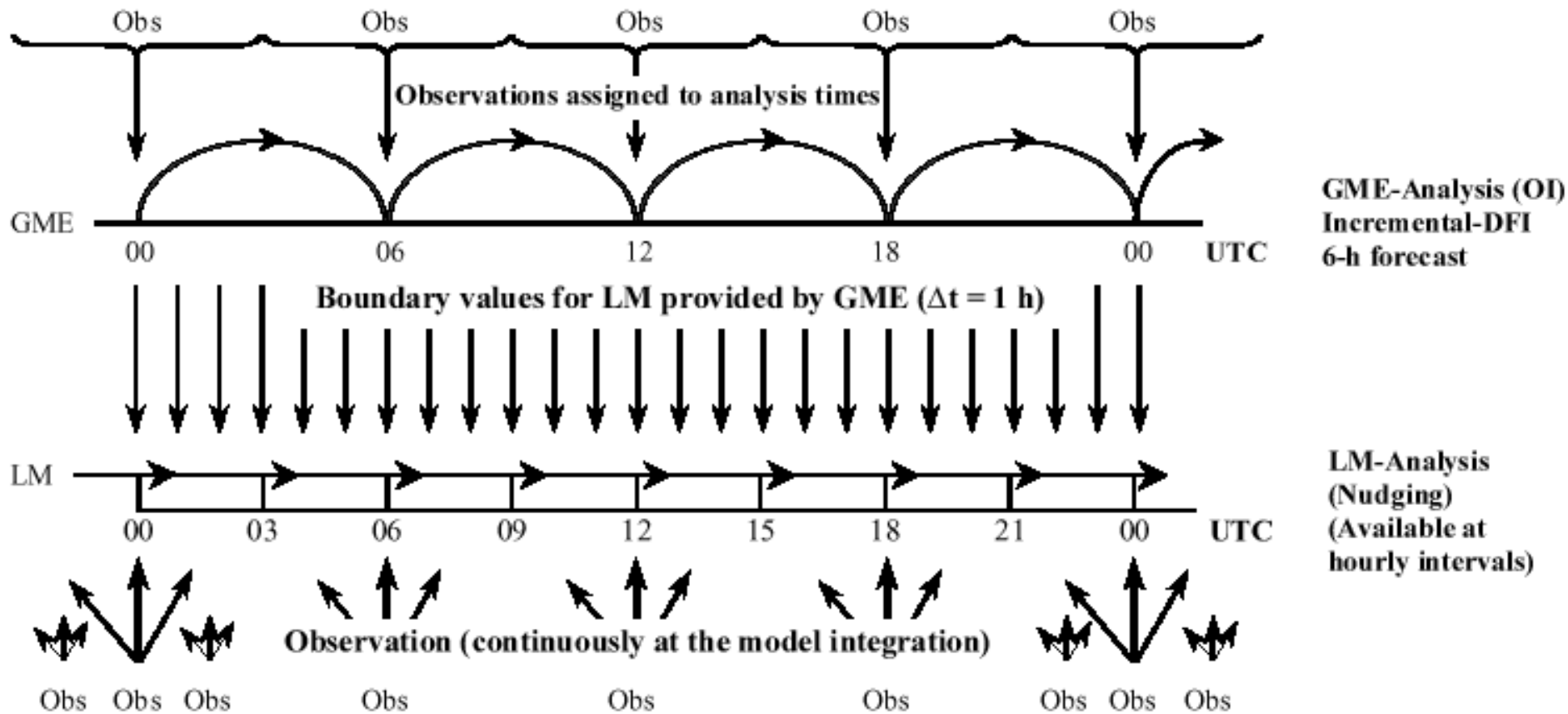


Fig. 5.1 4 dim data assimilation for GME and LM

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

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

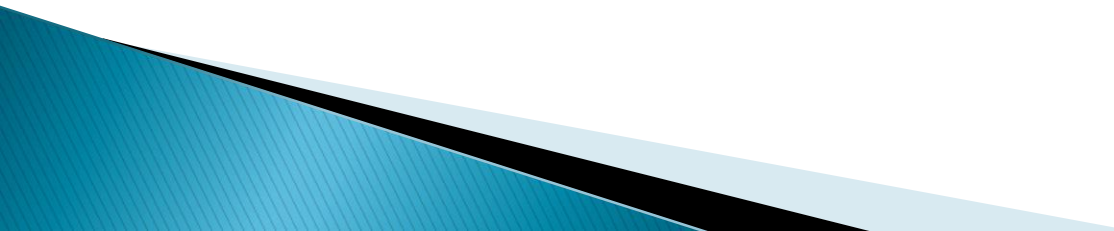
$LW = f(T, q, CO_2, GHG \dots)$ - dlouhovlnné záření

SH - cítěné teplo

LH - latentní teplo

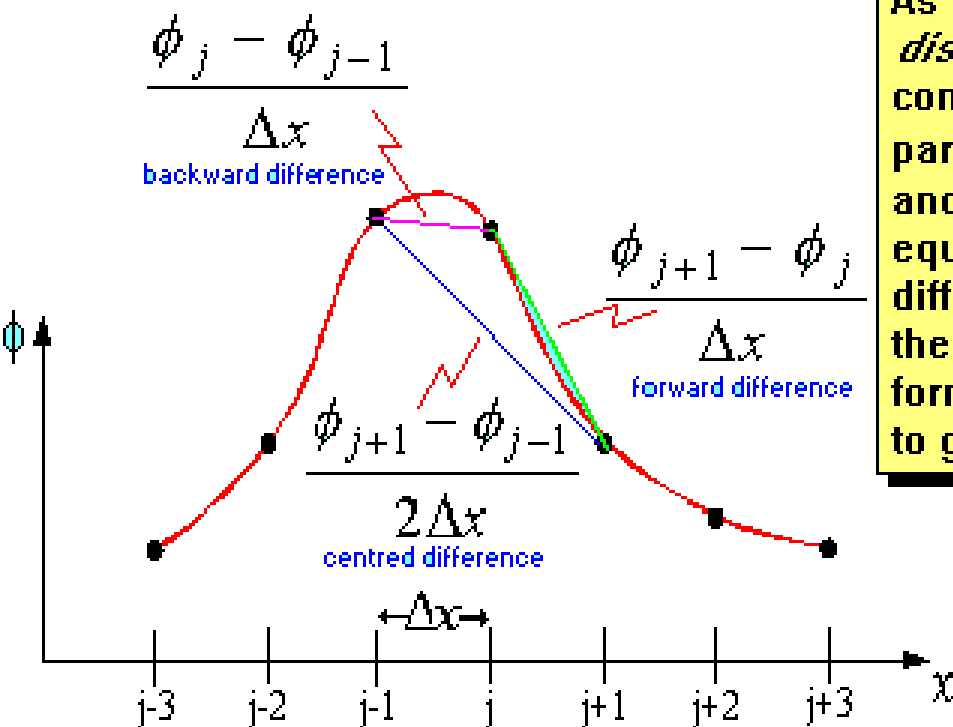
$Conv(T)$ - efekt konvekce

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 $\partial\phi/\partial x$.

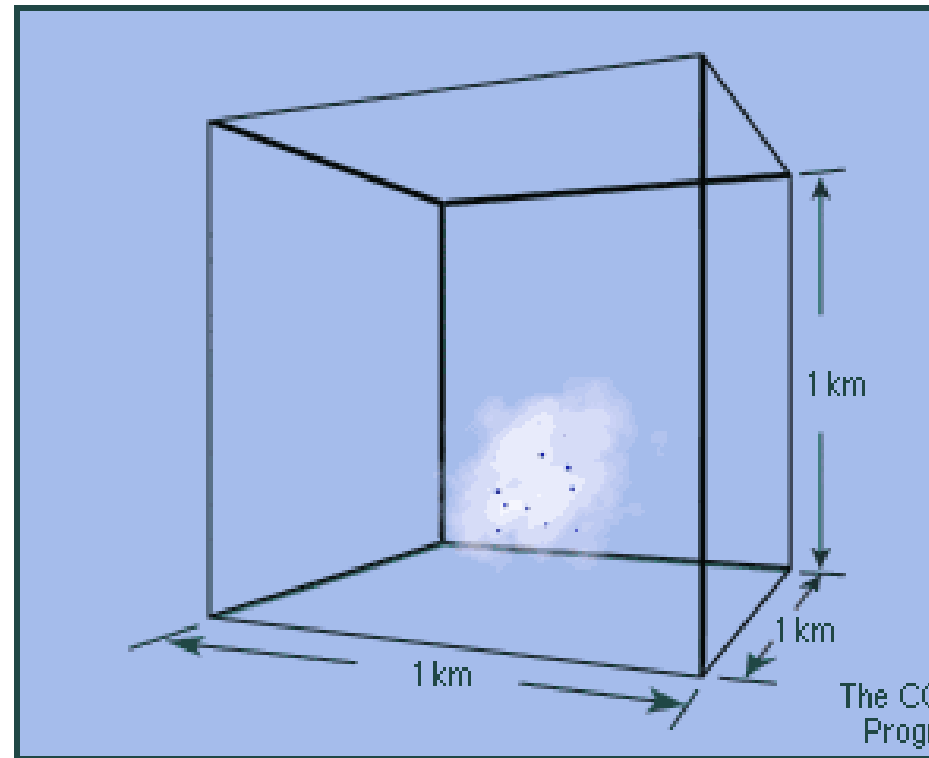
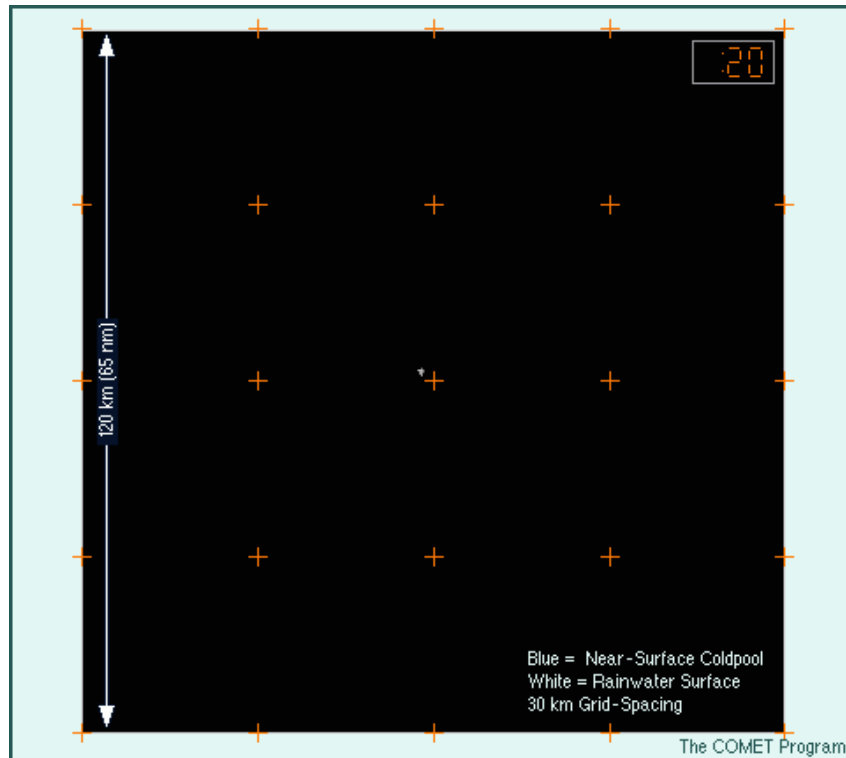
Centred differences are generally more accurate than forward or backward differences. Taylor series expansions may be used to investigate the nature of the errors involved in these approximations, and to derive other approximations.

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



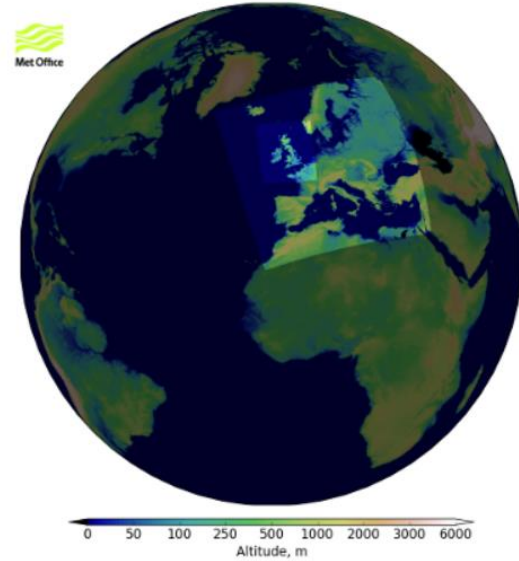
Globální modely, LAM modely

- ▶ 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. 2016)



Main Operational Model Configurations

	Global	UKV
Resolution	~17 km in mid-lats	1.5 km inner 4 km outer
model size	1536 x 1152	744 x 928
Model Levels	70	70
Forecast length	144 hrs	36 hrs

System model Německé povětrnostní služby



Numerical Weather Prediction at DWD

Global model GME

Grid spacing: 20 km

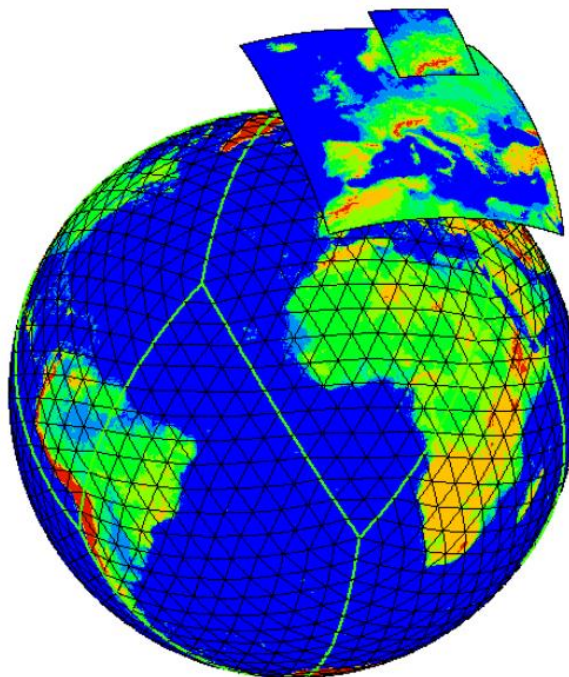
Layers: 60

Forecast range:

174 h at 00 and 12 UTC

48 h at 06 and 18 UTC

1 grid element: 346 km²



COSMO-EU

Grid spacing: 7 km

Layers: 40

Forecast range:

78 h at 00 and 12 UTC

48 h at 06 and 18 UTC

1 grid element: 49 km²

COSMO-DE

Grid spacing: 2.8 km

Layers: 50

Forecast range:

21 h at 00, 03, 06, 09,

12, 15, 18, 21 UTC

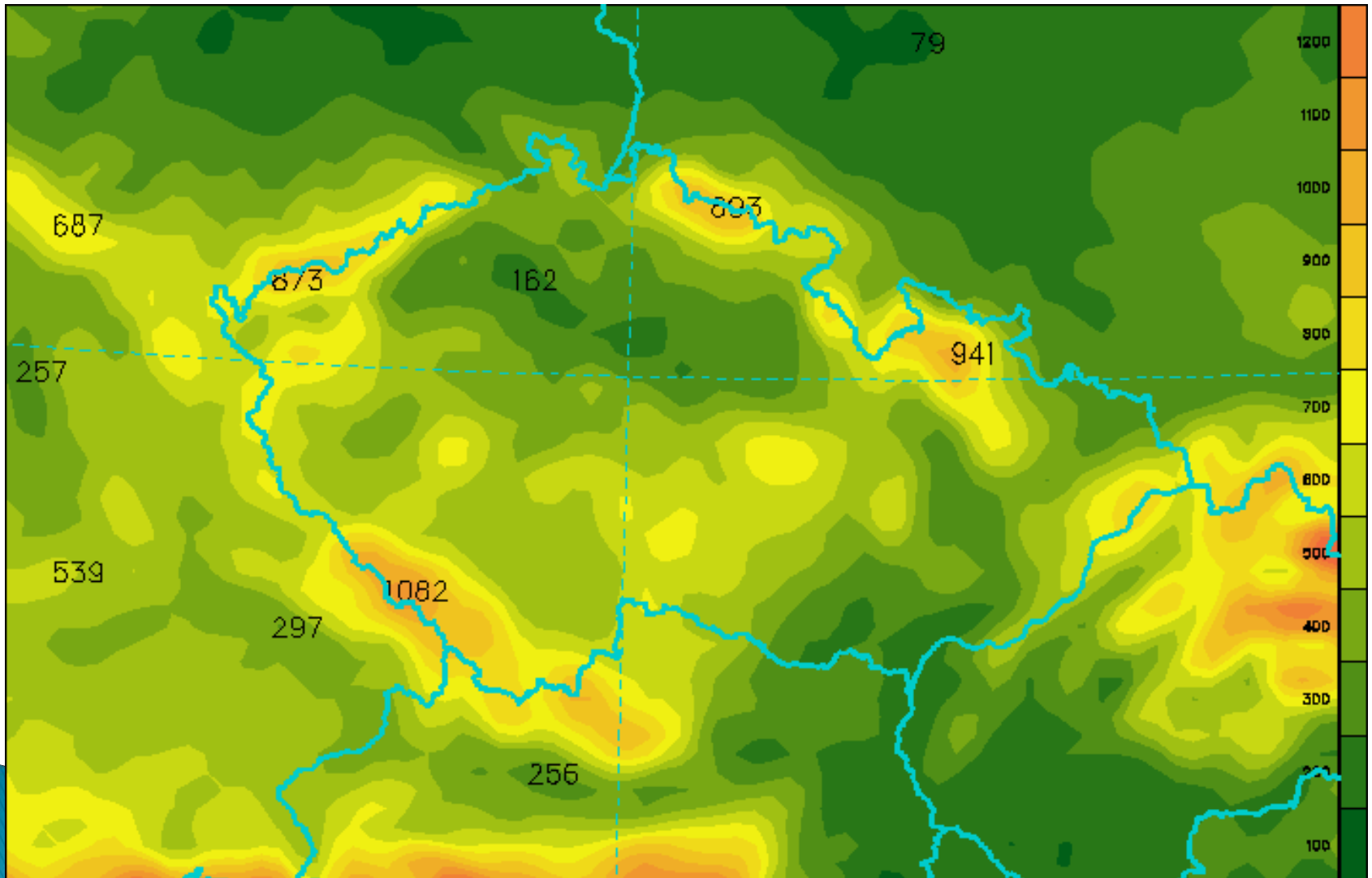
1 grid element: 8 km²

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

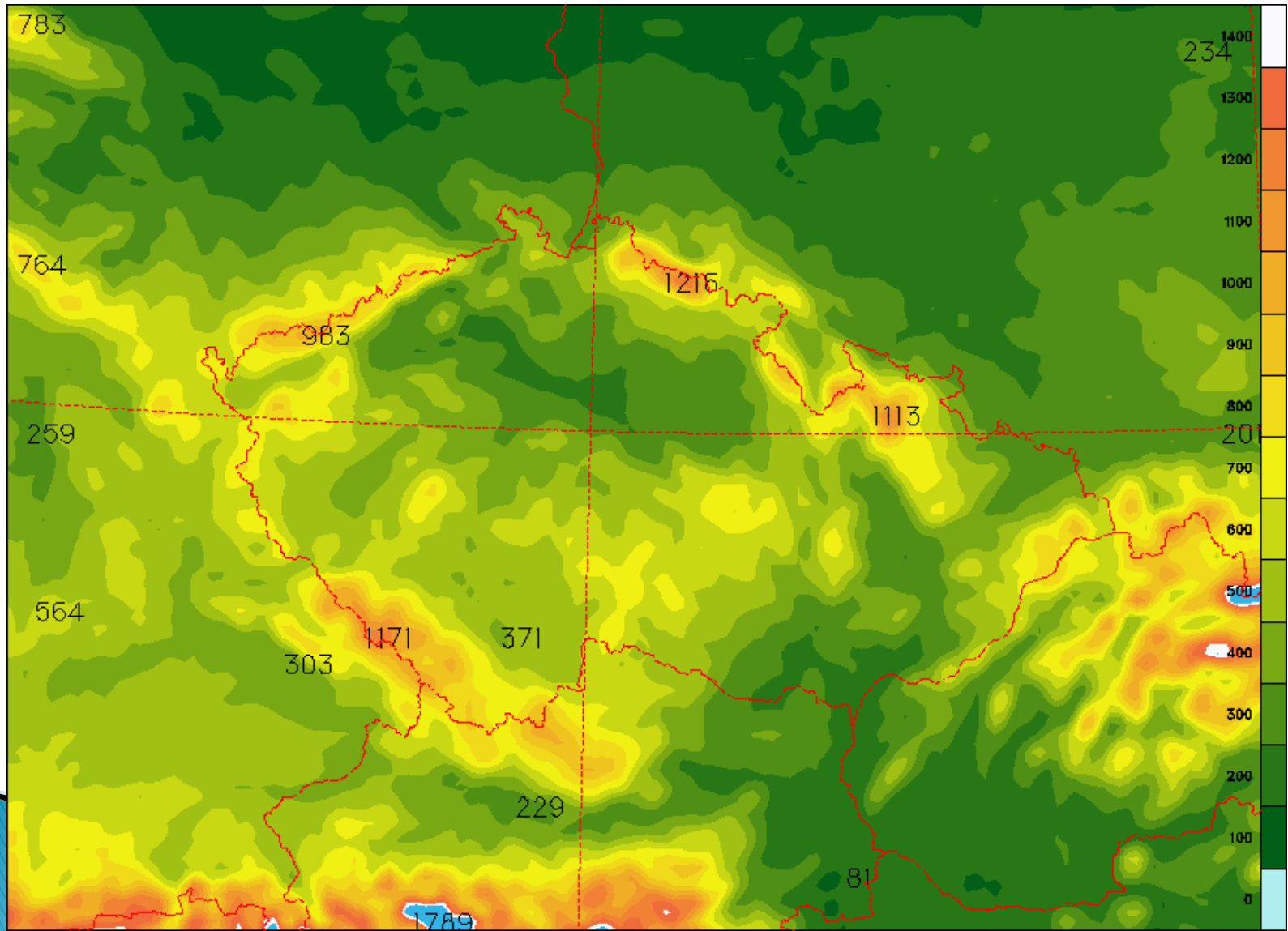
Nadmořská výška terénu v modelu ALADIN

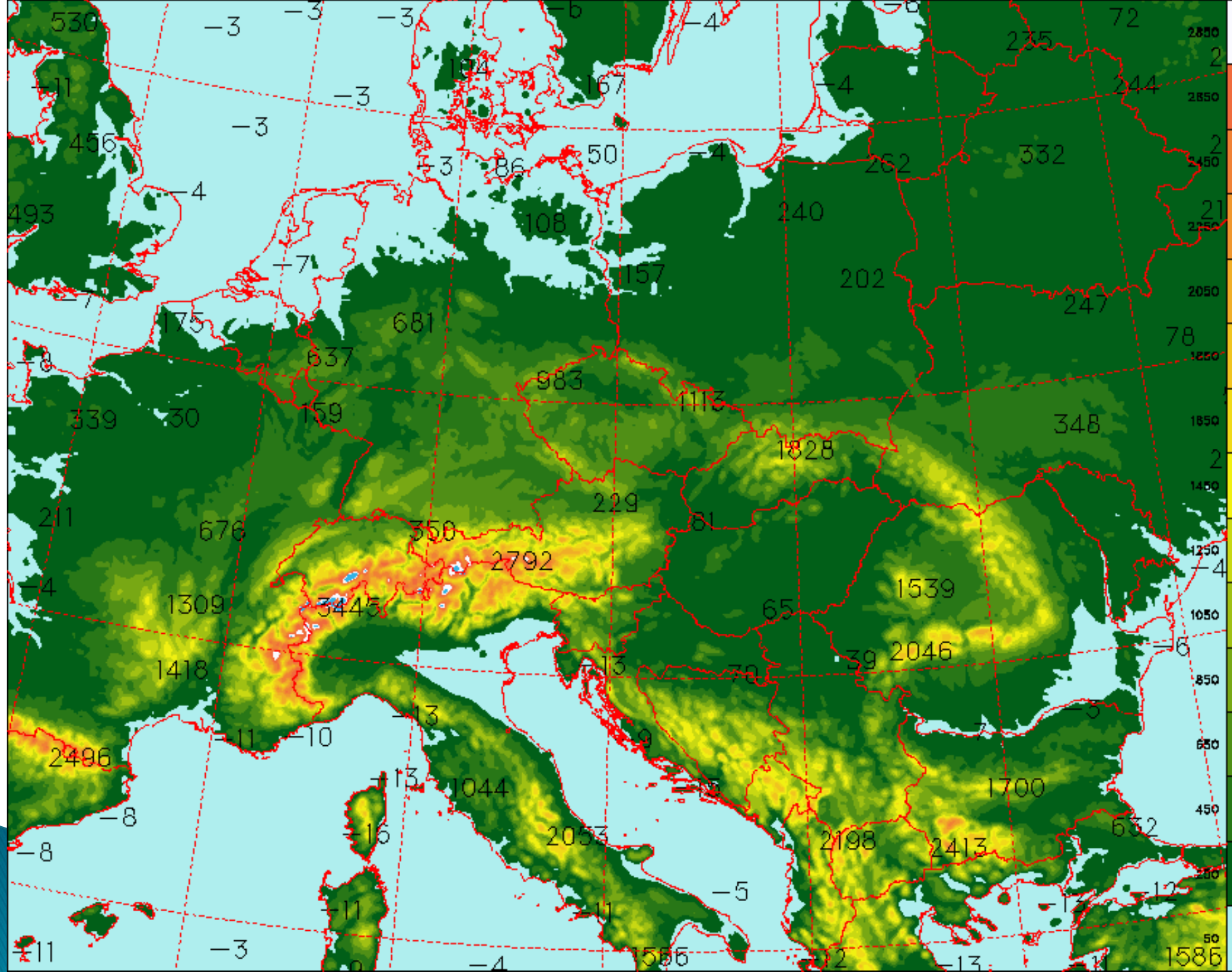
(rozlišení 9 km, 43 hladiny)



Nadmořská výška terénu v modelu ALADIN

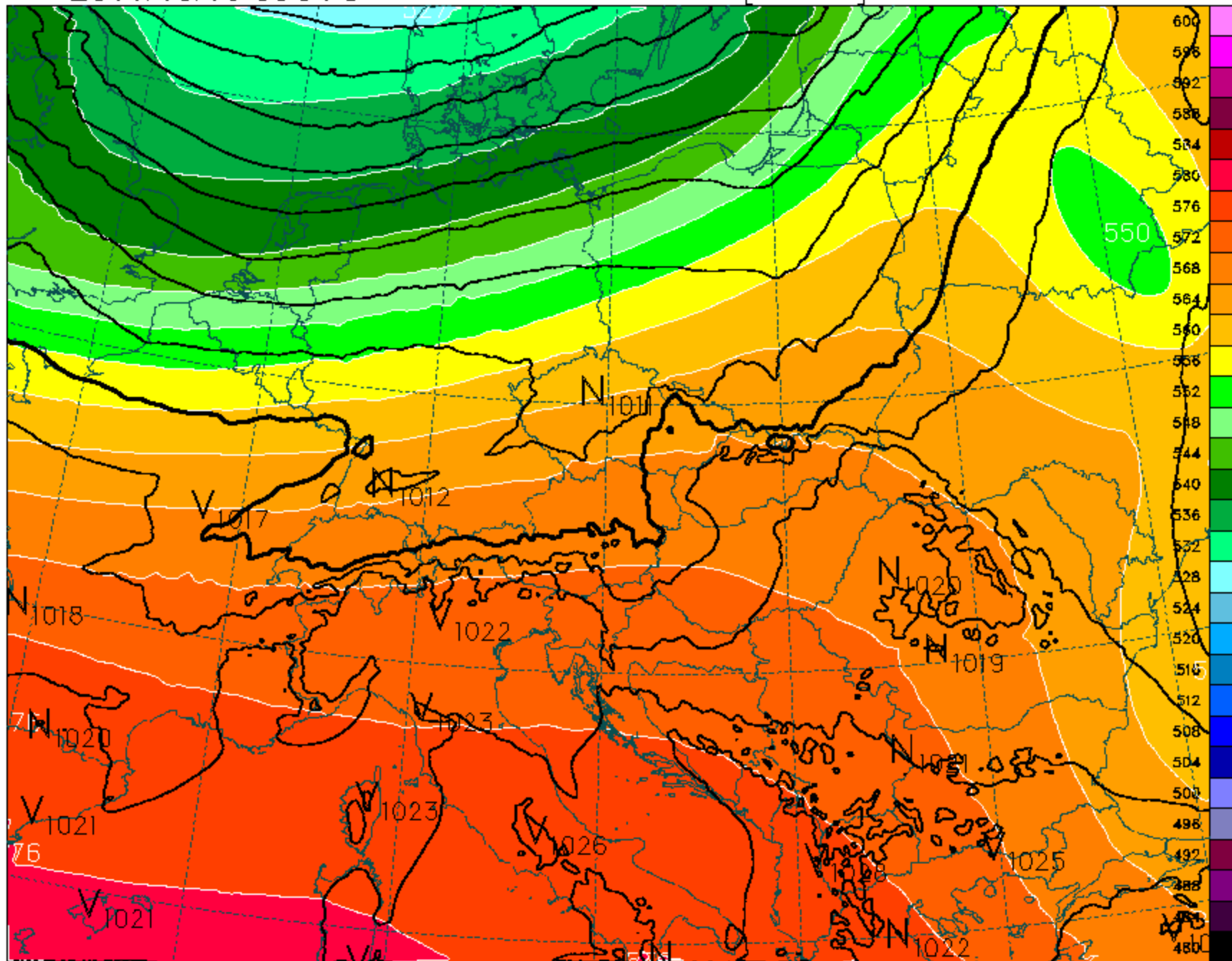
(rozlišení 4,7 km, 87 hladin)





Výstupy modelu

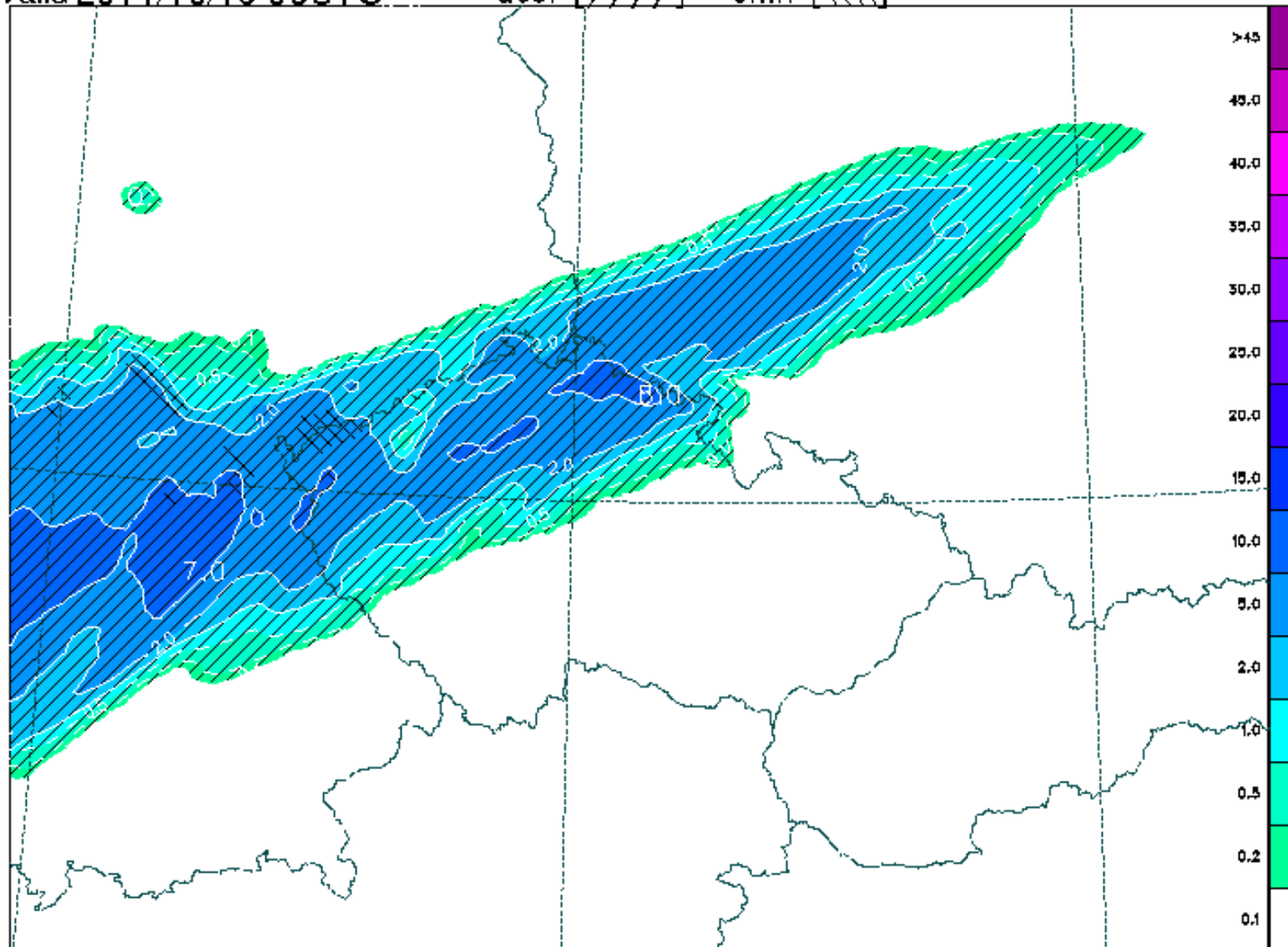
- ▶ přímo předpovídané veličiny:
 - směr a rychlost větru
 - teplota
 - přízemní tlak
 - měrná vlhkost
- ▶ odvozené veličiny:
 - geopotenciál
 - přízemní teplota, vítr a vlhkost
 - srážky (déšť x sníh, konvektivní x velkoprostorové)
 - vertikální rychlost ω
 - oblačnost (L, M, H, C)
 - toky tepla, hybnosti a vlhkosti z parametrizací



Base2011/10/17 00UTC
Valid 2011/10/19 06UTC

54

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

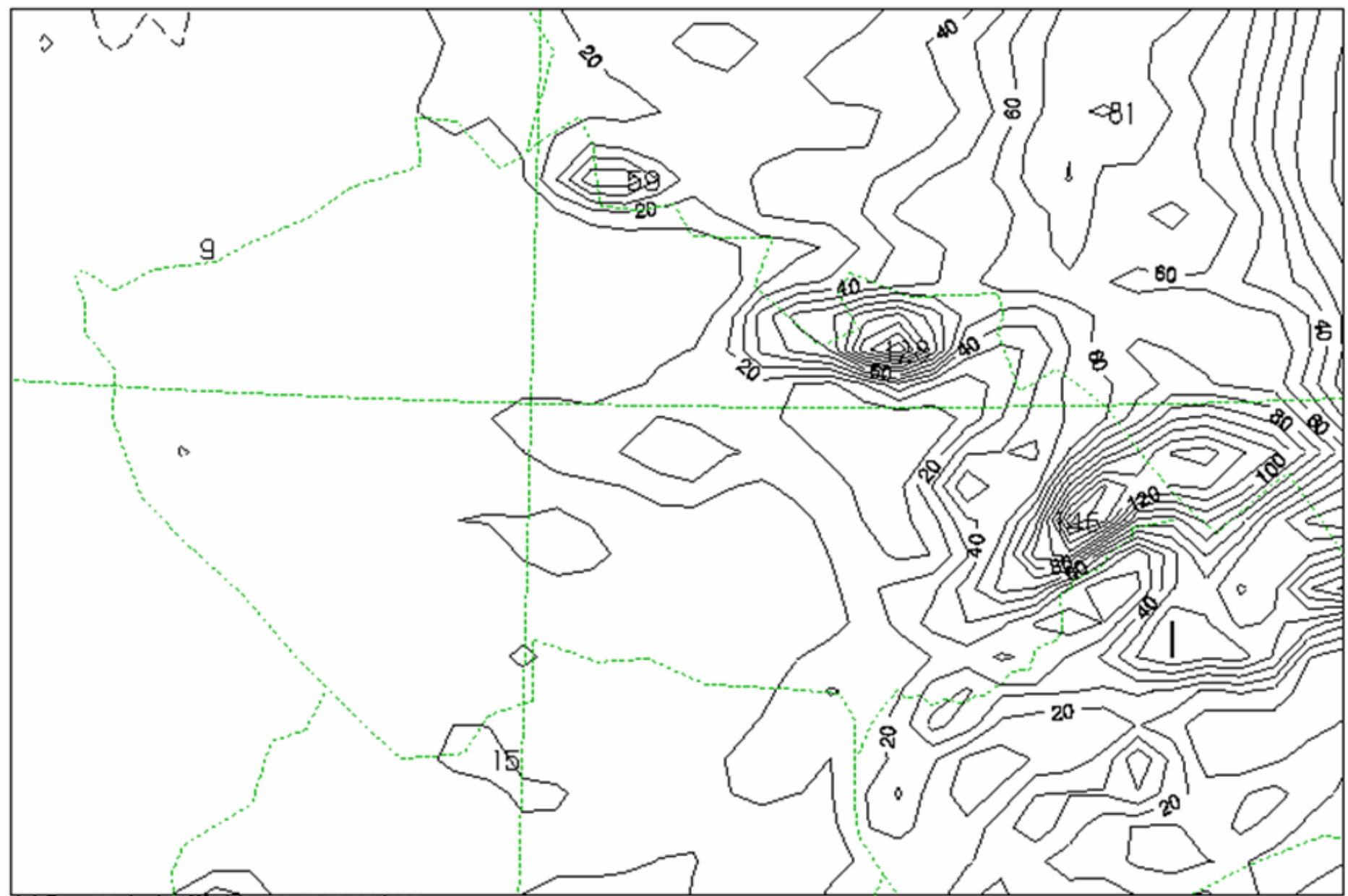


Base 97/07/06 00UTC
Valid 97/07/07 06UTC

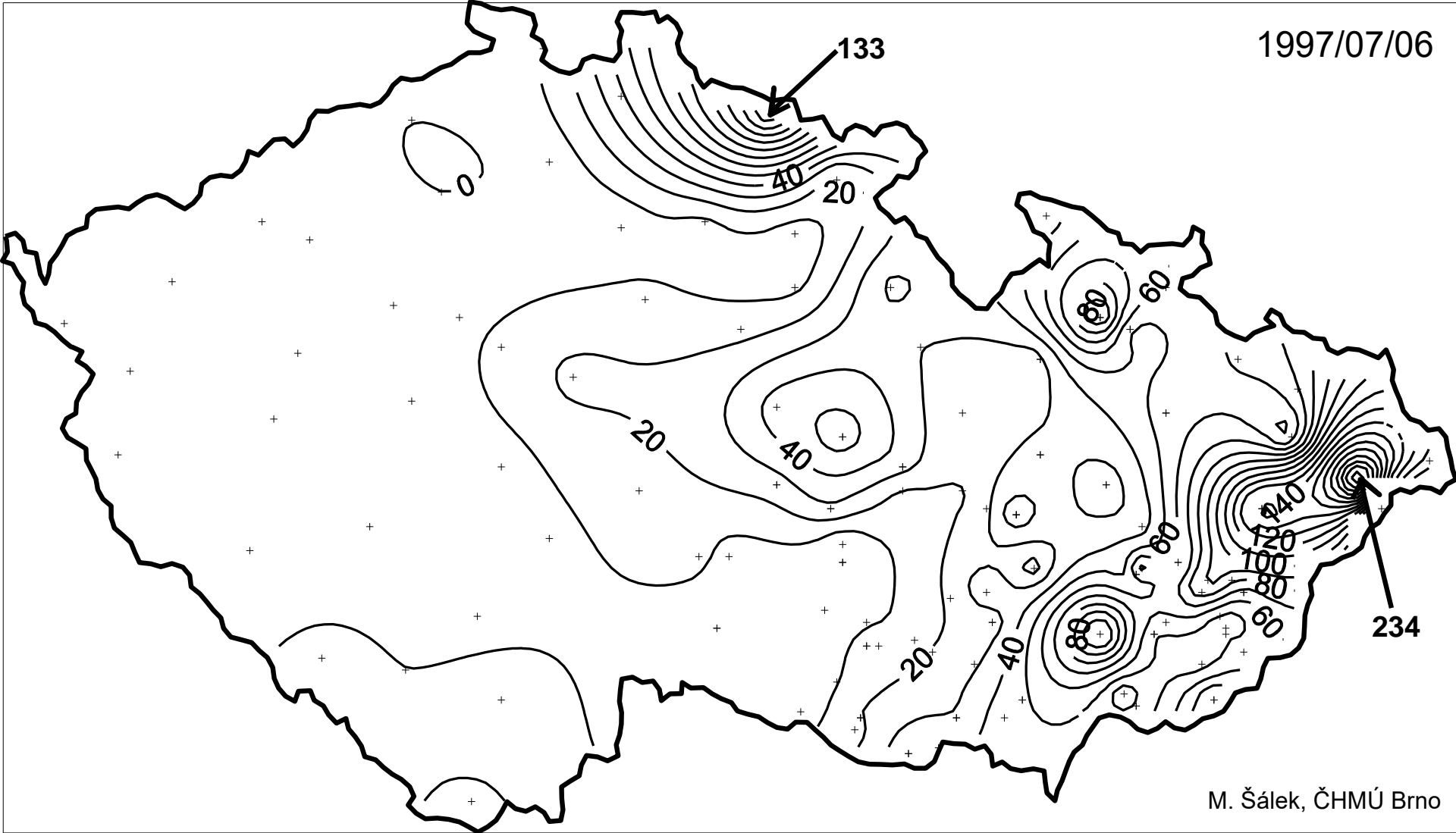
30

SRAZKY 06-30 [mm/24hod]

0m



1997/07/06

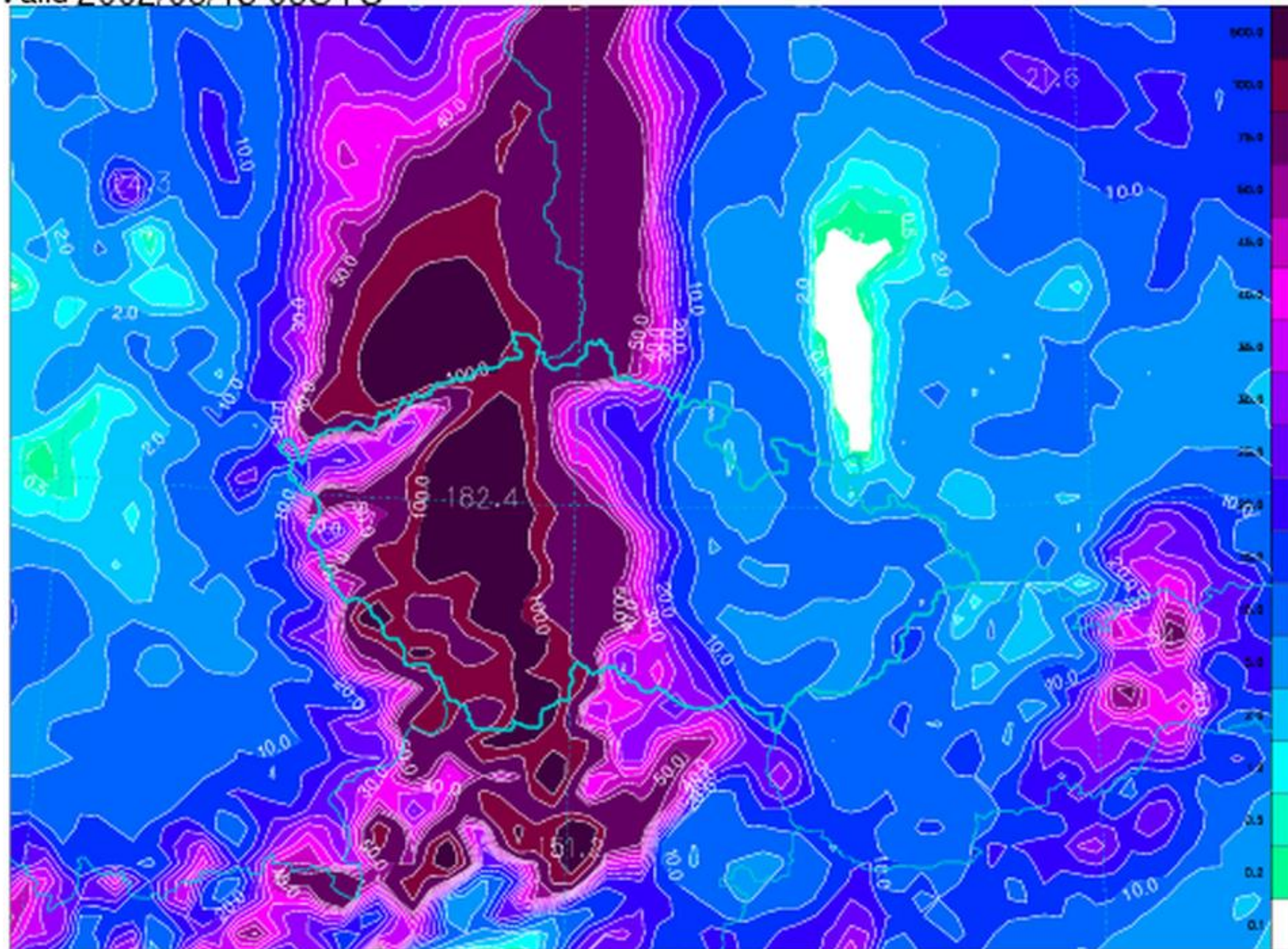


M. Šálek, ČHMÚ Brno

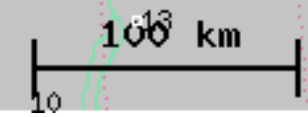
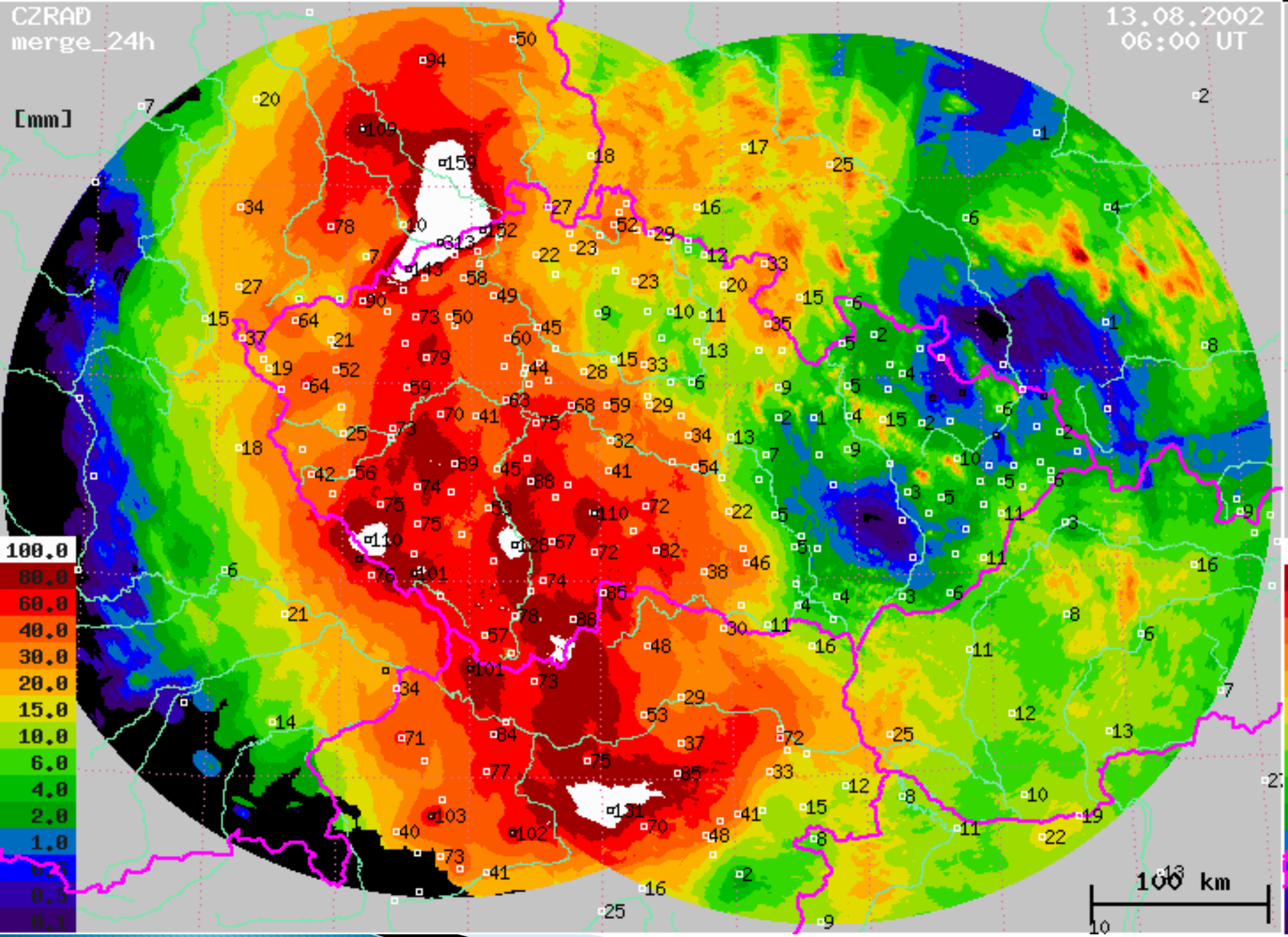
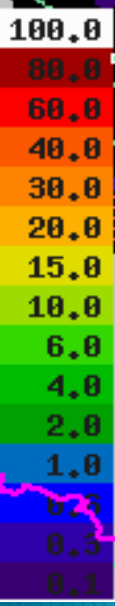
Base 2002/08/12 00UTC
Valid 2002/08/13 06UTC

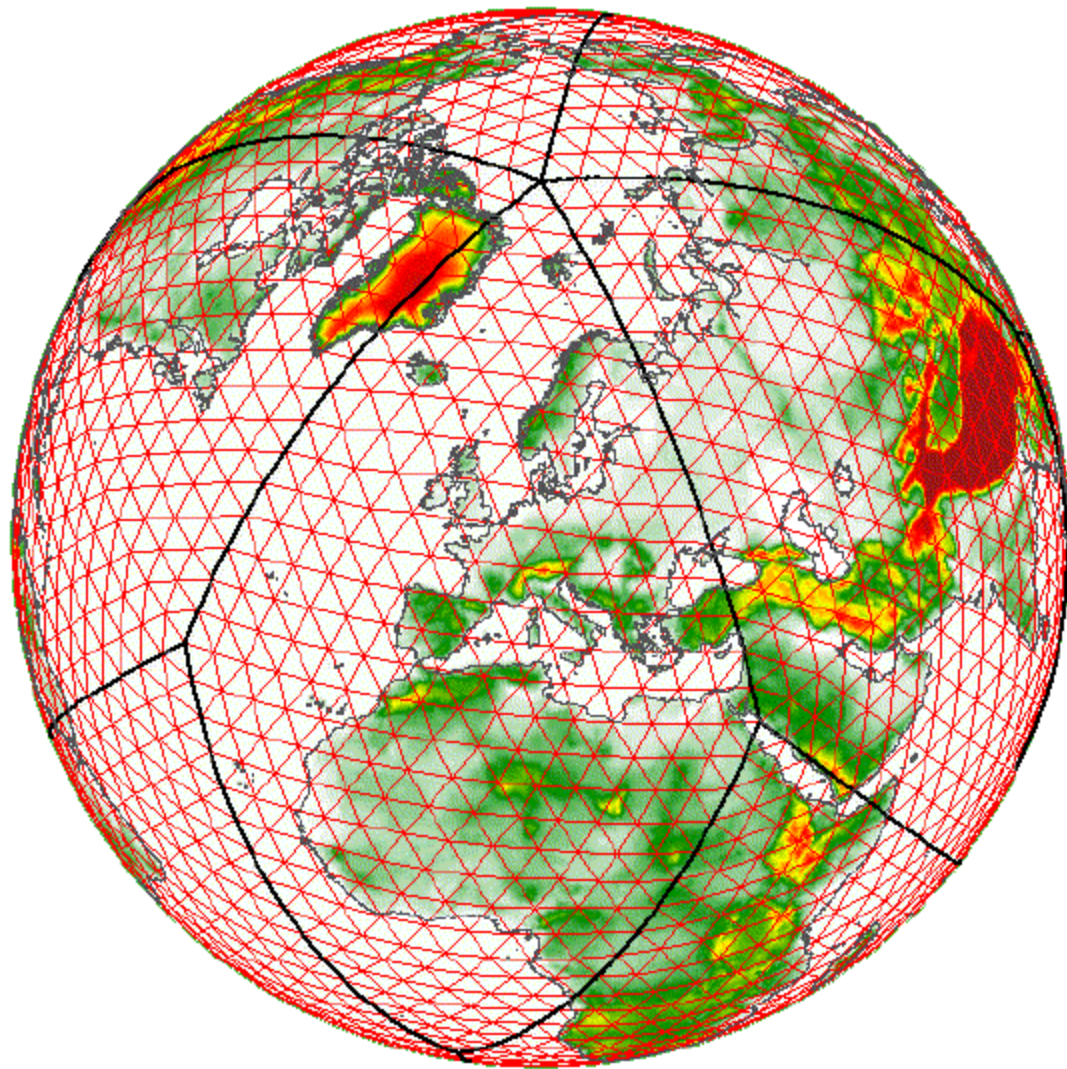
30

celkove srazky [mm/24hod]



[mm]

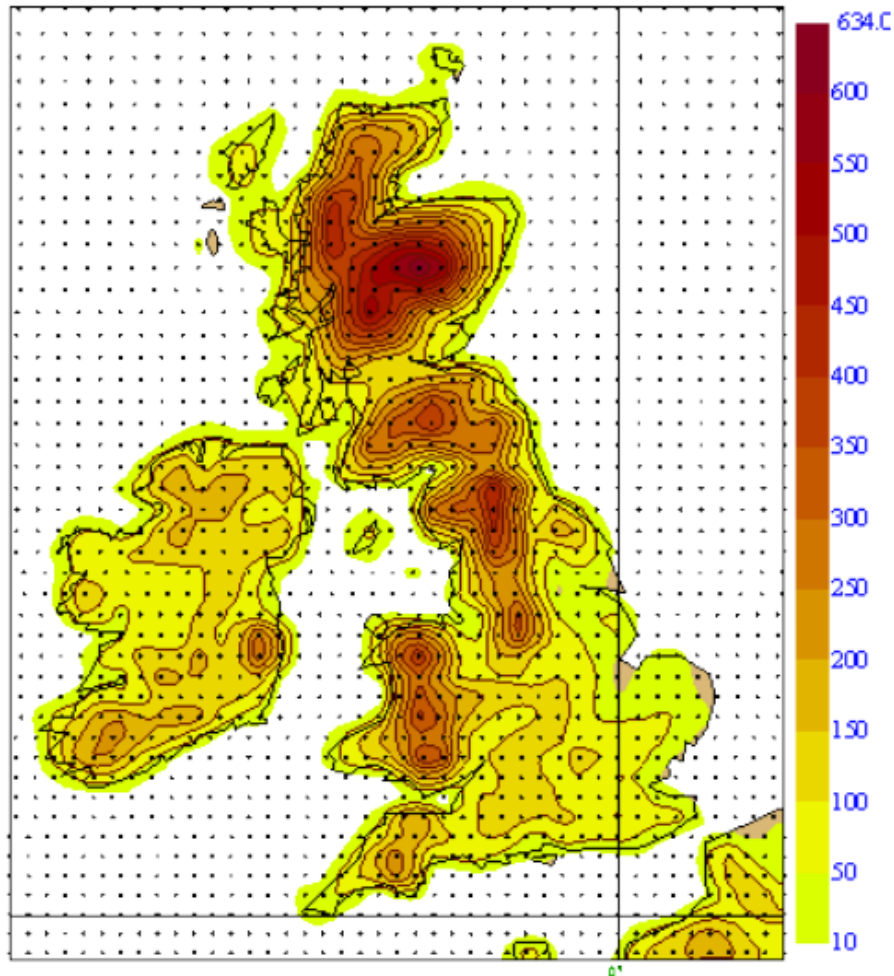




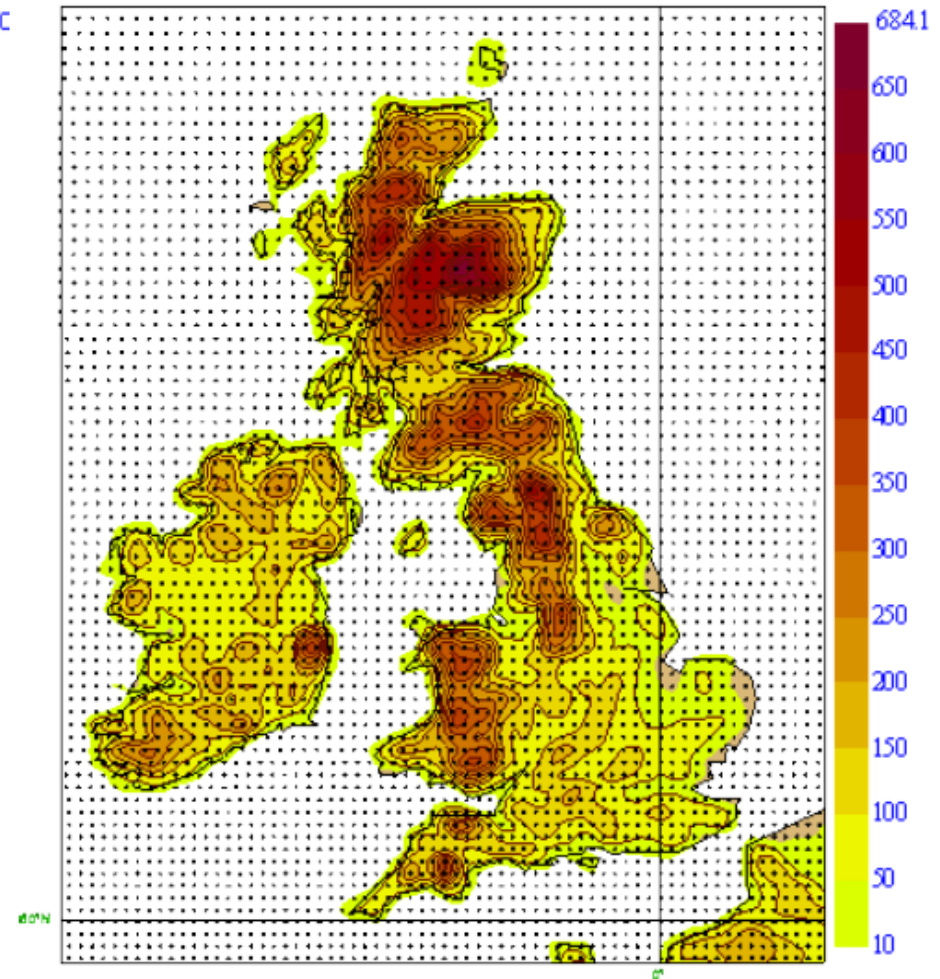
Výpočetní síť Globálního modelu DWD

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 $A_{\min} = 2407$ km² and $A_{\max} = 3756$ km².
Total number of grid points = 163 842.

Od ledna 2010 má deterministický model ECMWF horizontální rozlišení 16 km

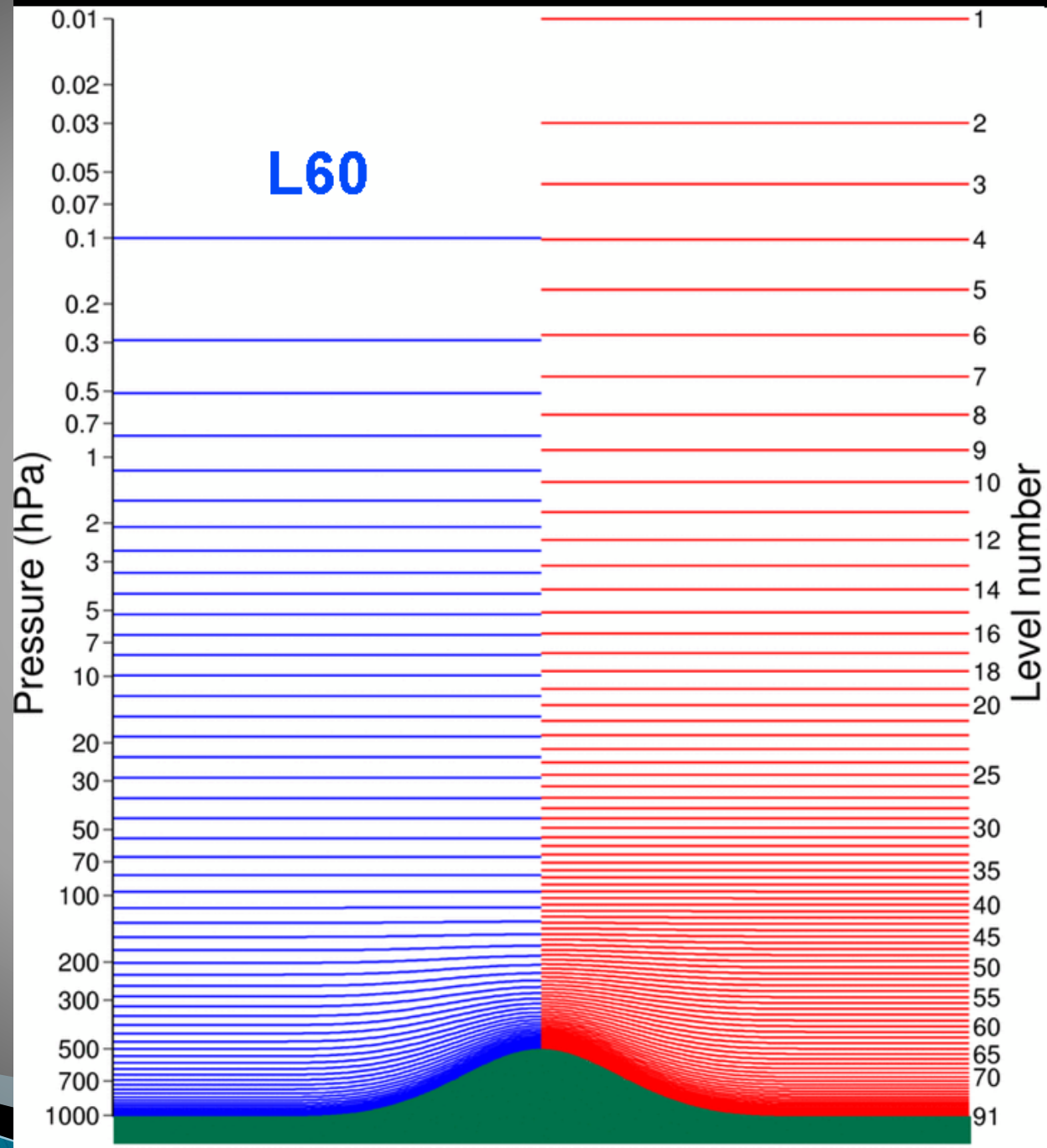


*N400 (T799) 25km grid spacing
(843490 grid points)*



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

Vertikální
rozlišení před a
po změně
ECMWF modelu
v roce 2006
(z 60 na 91 hladin)



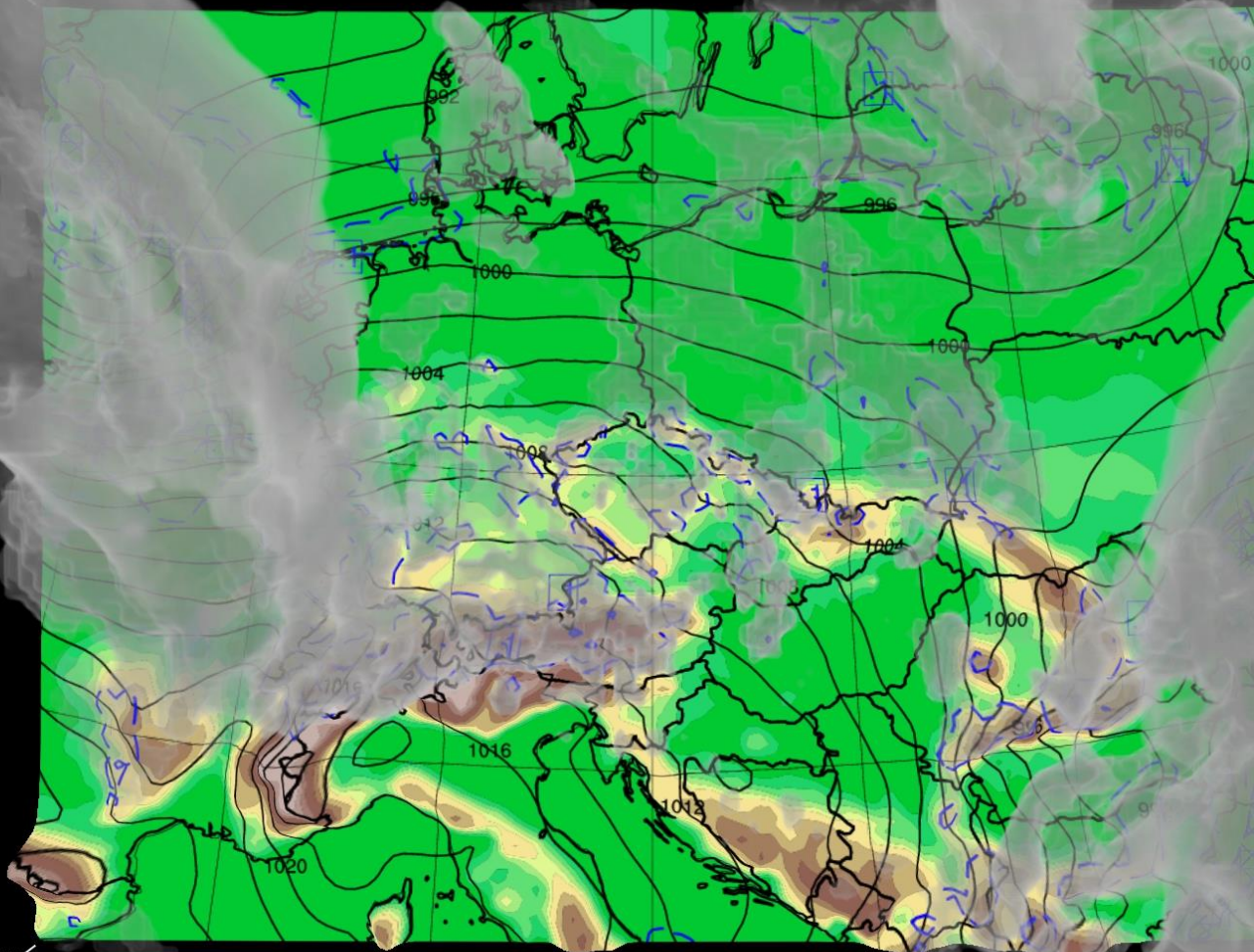
Srážky v numerickém modelu

– 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“)
 - 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.
- Se zmenšováním kroku sítě je stále více srážek počítáno explicitně

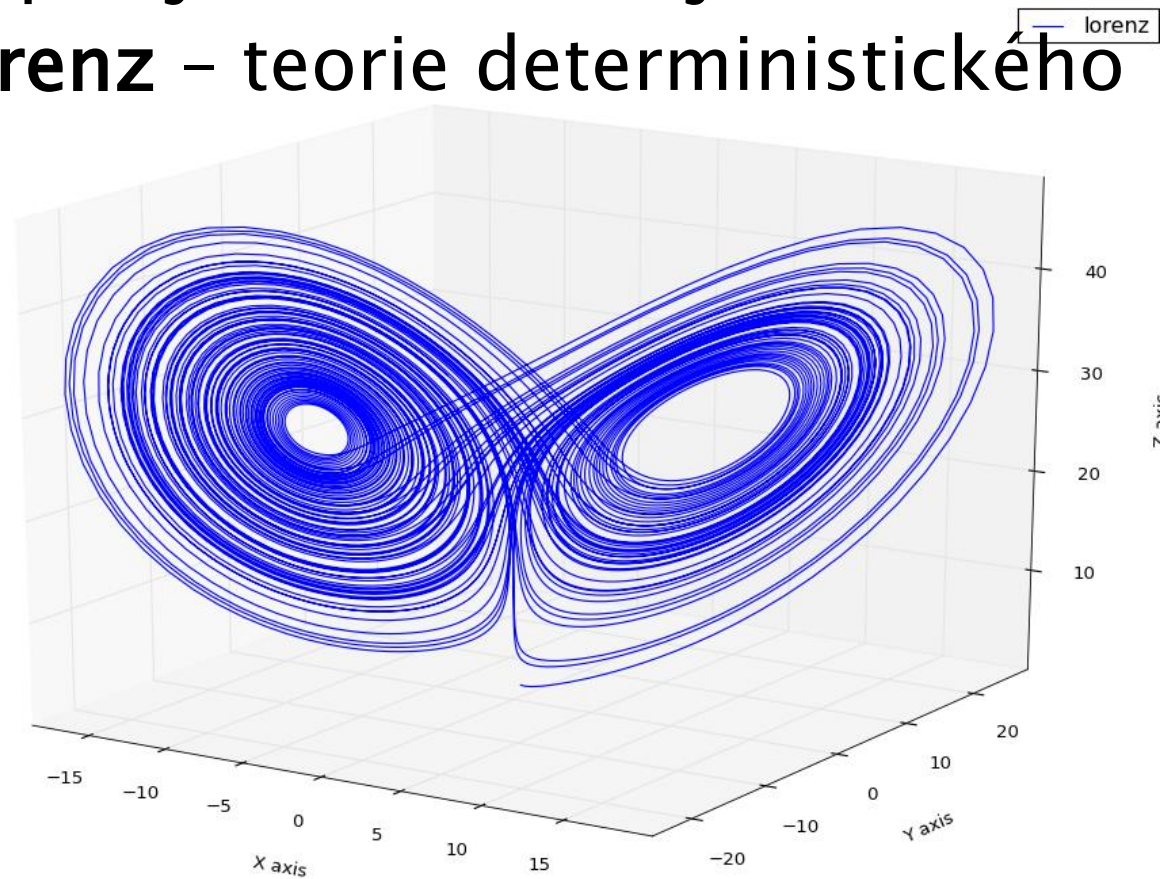
3D vizualizace modelu WRF



ime: 2018-01-18 0.

Meze předpověditelnosti

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



Lorenzův atraktor

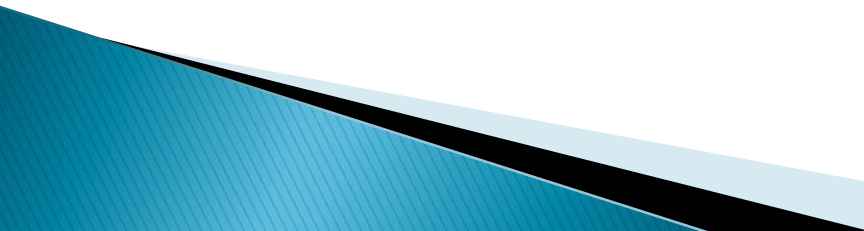
<https://www.youtube.com/watch?v=FYE4JKAXSfY>

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

Lorenz Attractor

three near-identical initial points diverge into chaos

Deterministický chaos

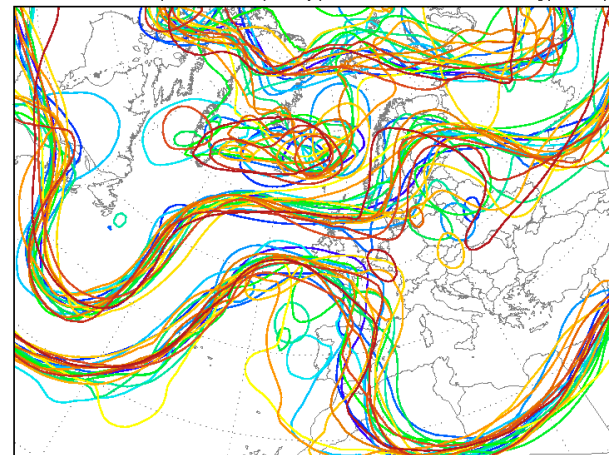
- ▶ Skupinové (ansámblové) předpovědi (ensemble forecasts)
 - ▶ Opakované výpočty s lehce pozměněnými (perturbovanými) vstupními údaji
 - ▶ Informaci o pravděpodobnosti (spíše věrohodnosti, modelování odhadu chyb) scénářů vývoje počasí
 - ▶ Model (modely) je rozumné počítat pouze na omezenou dobu
- 

Ukázka výsledku skupinové předpovědi

Na následujících obrázcích uvidíte křivky, které přibližně představují proudnice ve výšce asi 5,5 km nad Evropou.

Je to 20 výpočtů, které se na počátku liší o (pseudo)náhodné odchylky odpovídající zhruba chybě vstupní analýzy met. polí

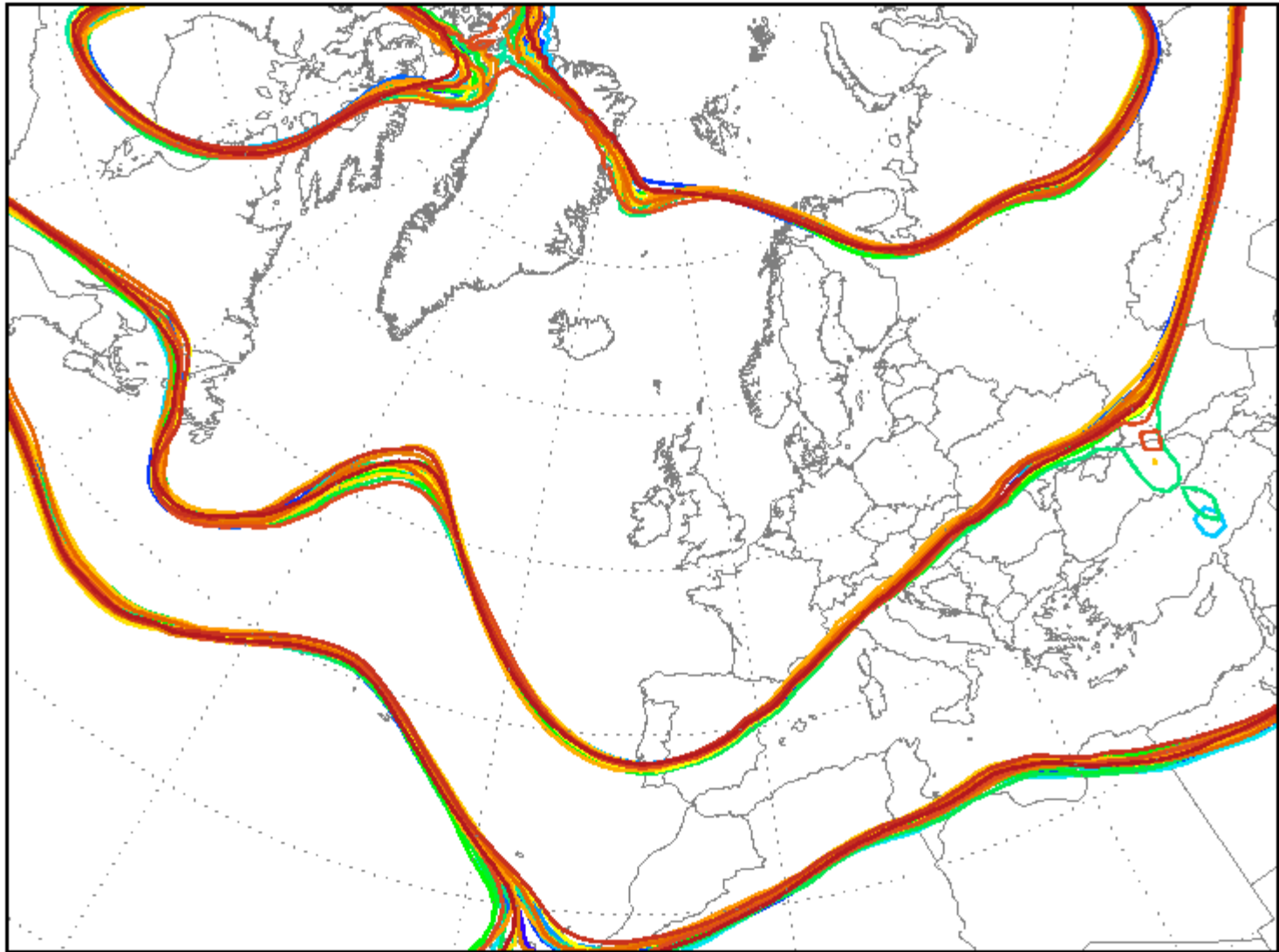
Ini: Wed,29MAR2017 12Z Val: Tue,04APR2017 12Z
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Fri,30MAR2018 00Z

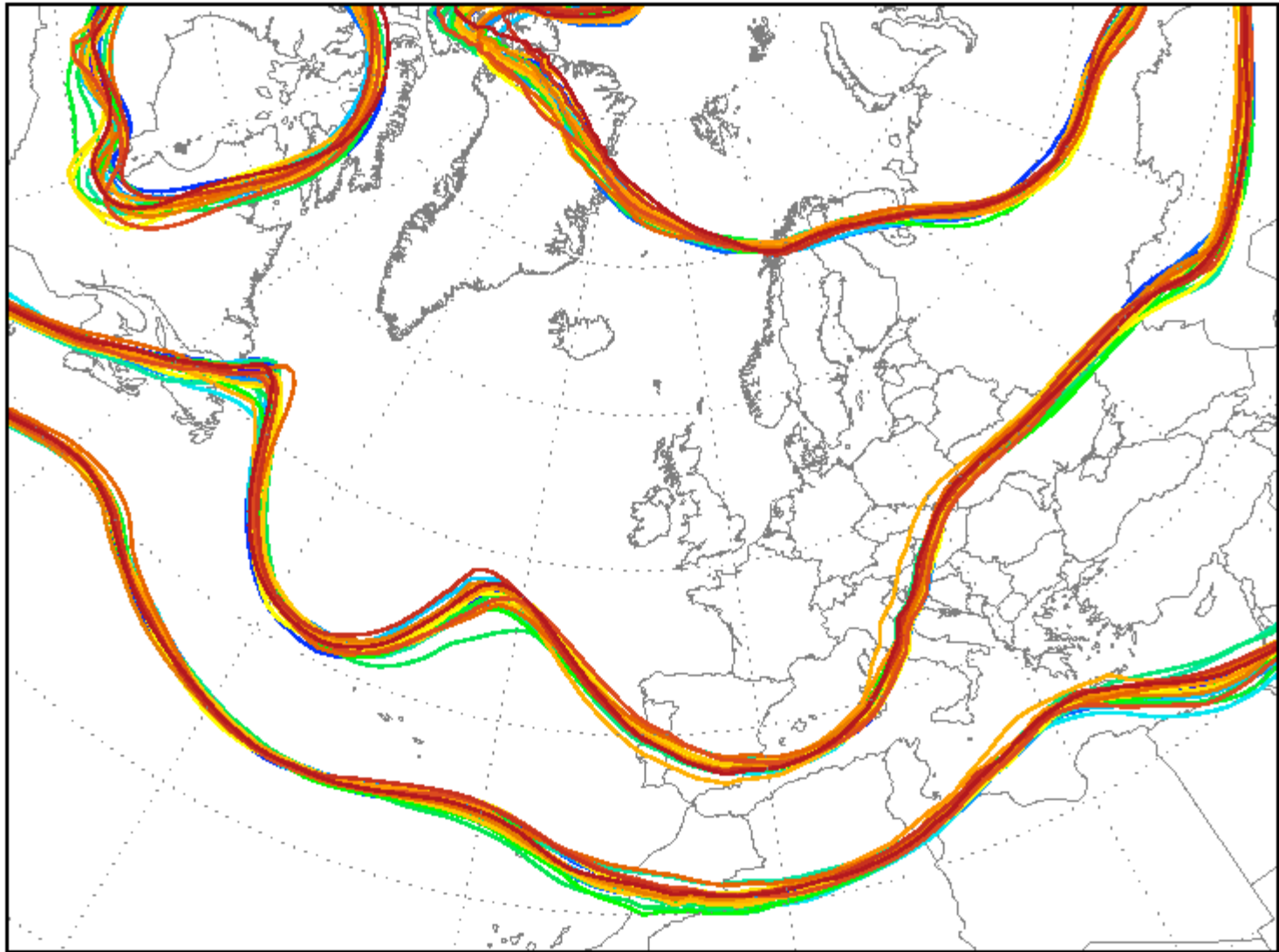
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Sat,31MAR2018 00Z

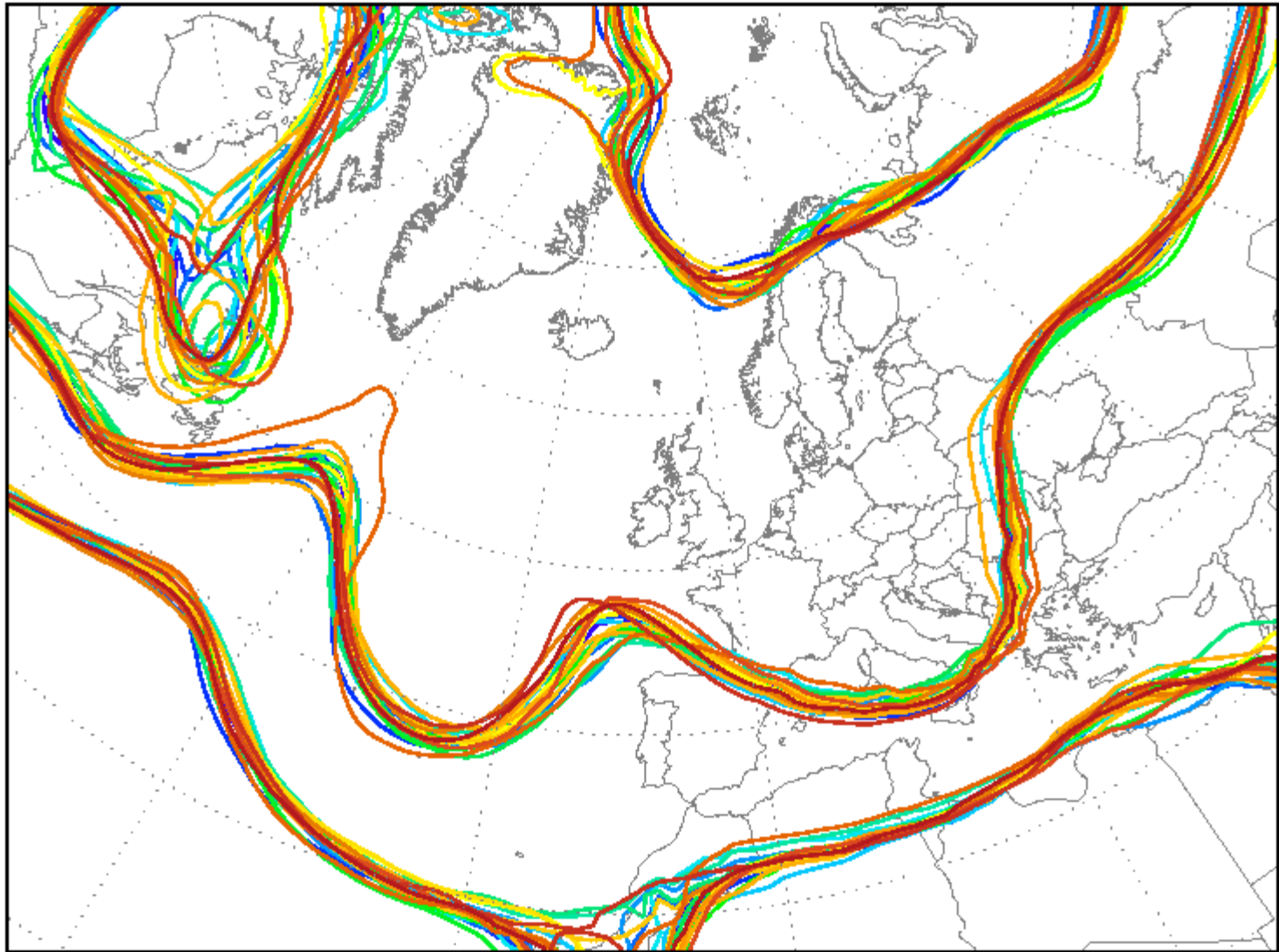
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Sun,01APR2018 00Z

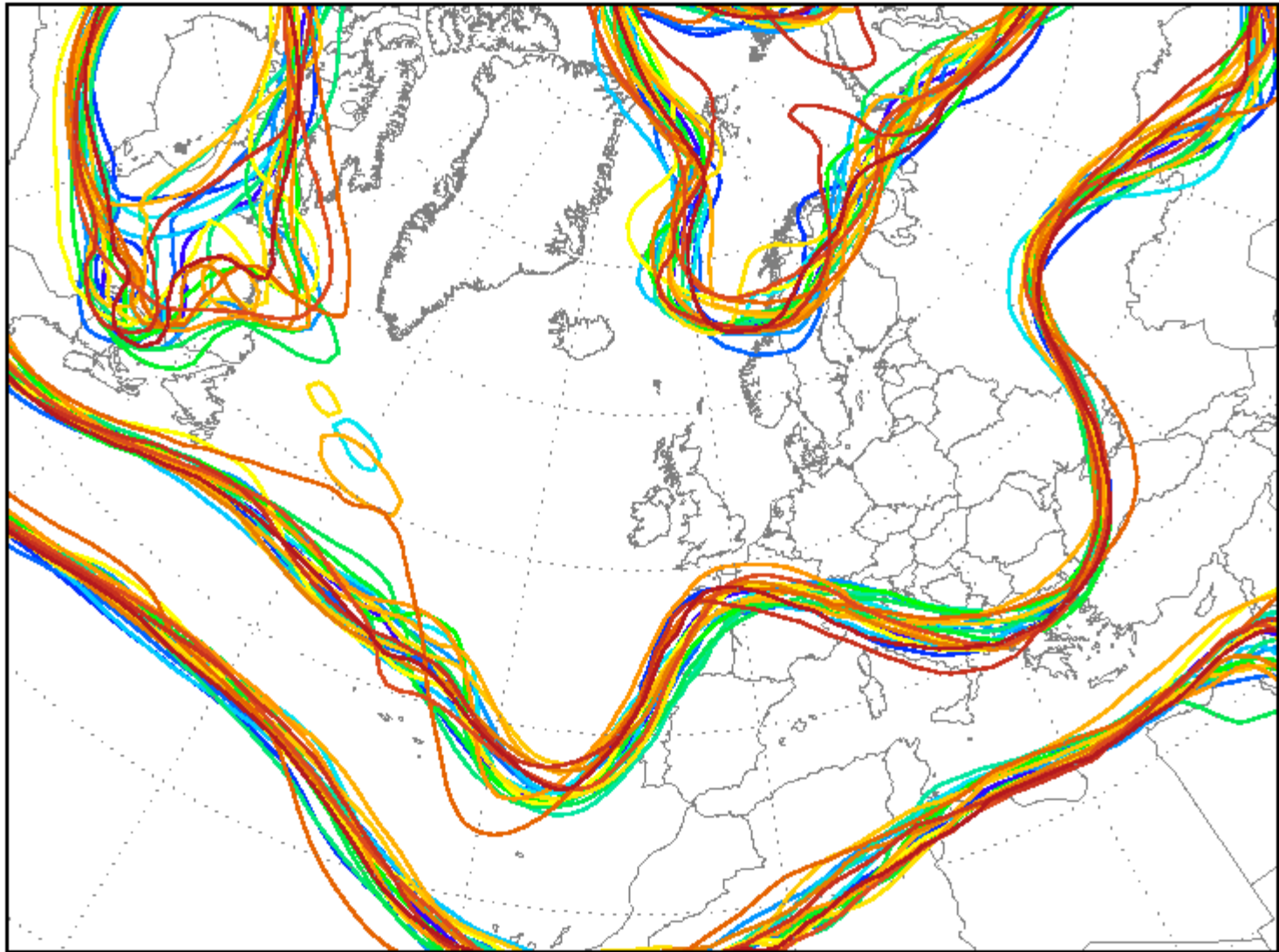
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Mon,02APR2018 00Z

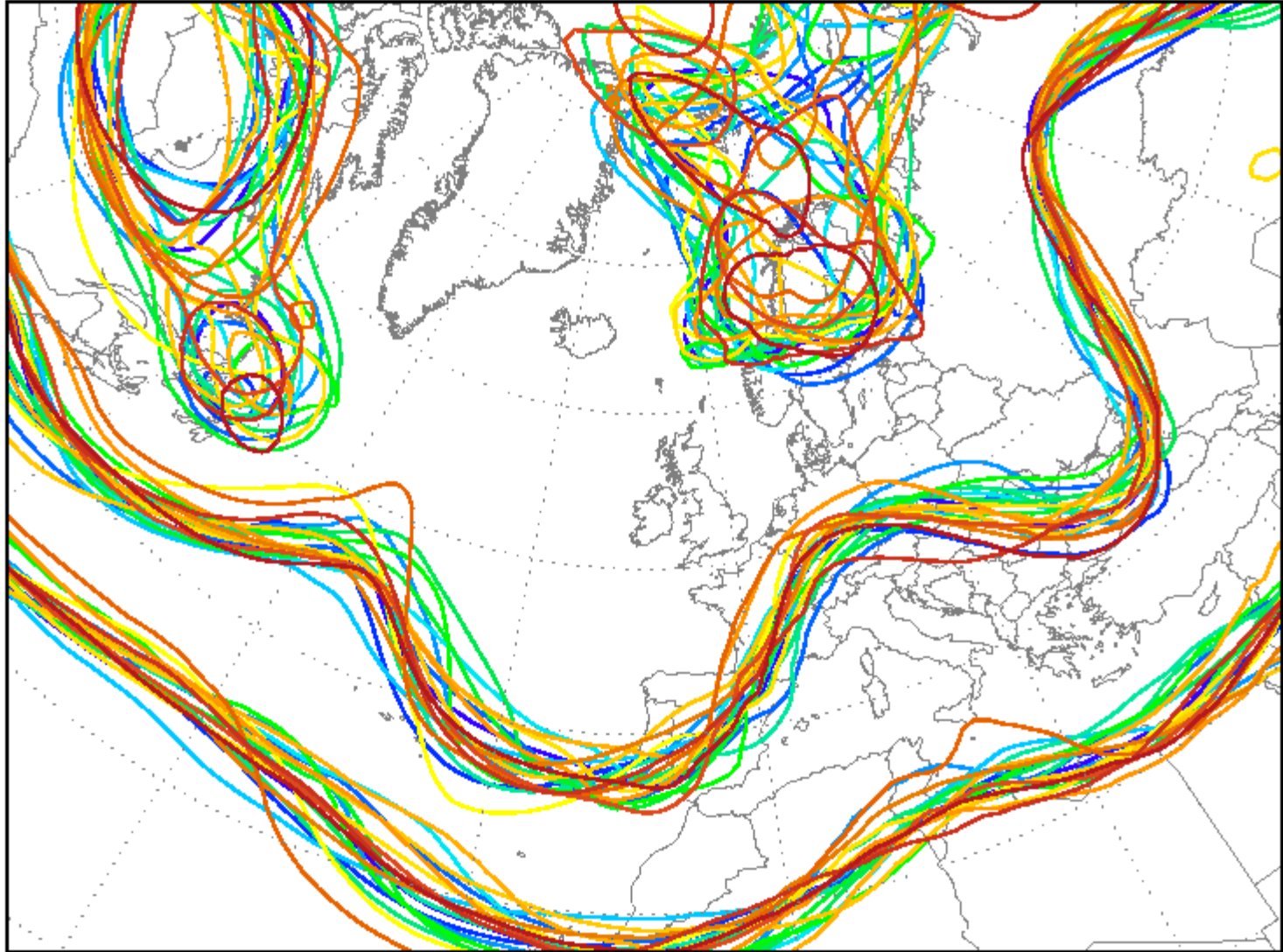
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Tue,03APR2018 00Z

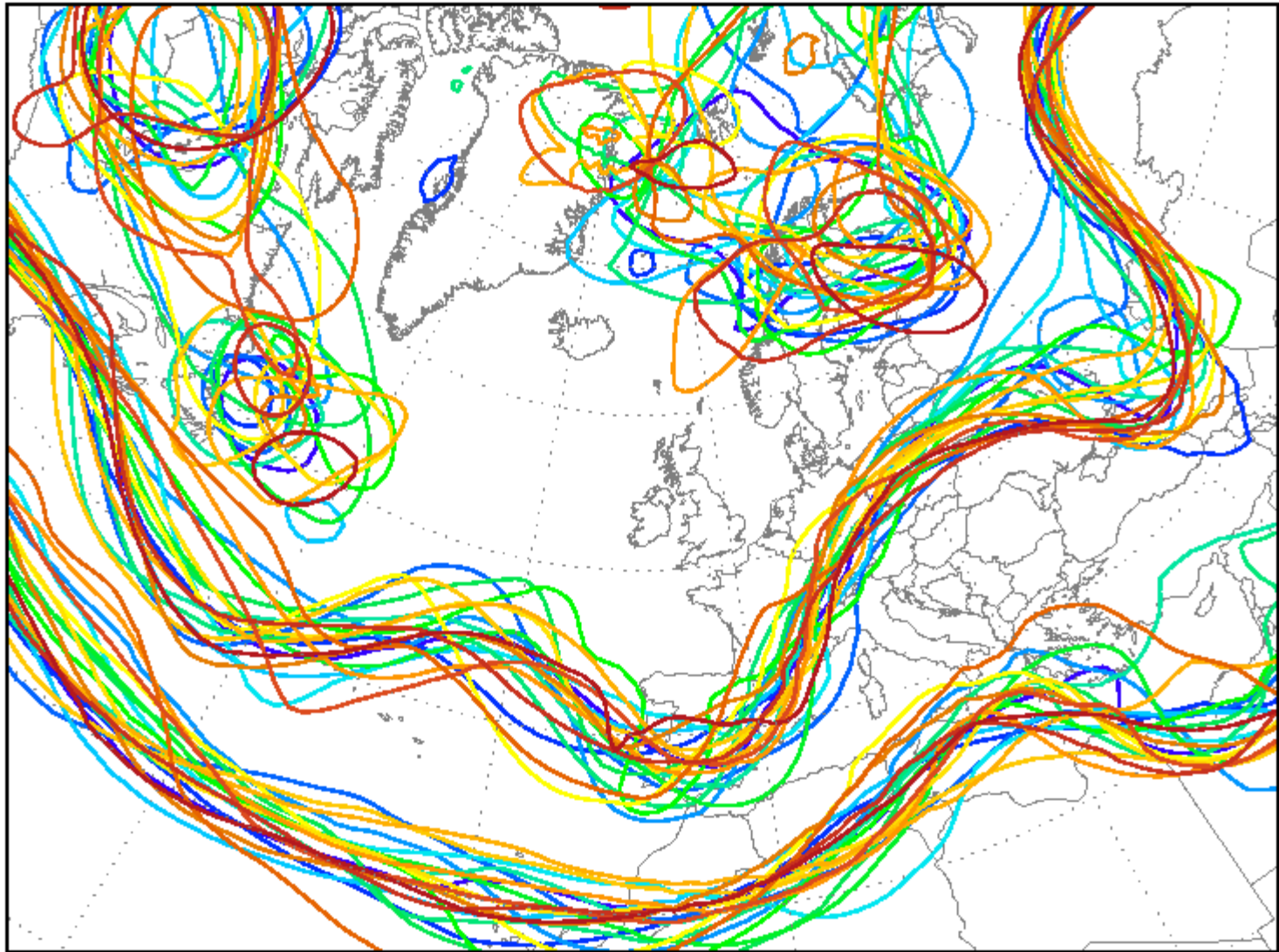
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Wed,04APR2018 00Z

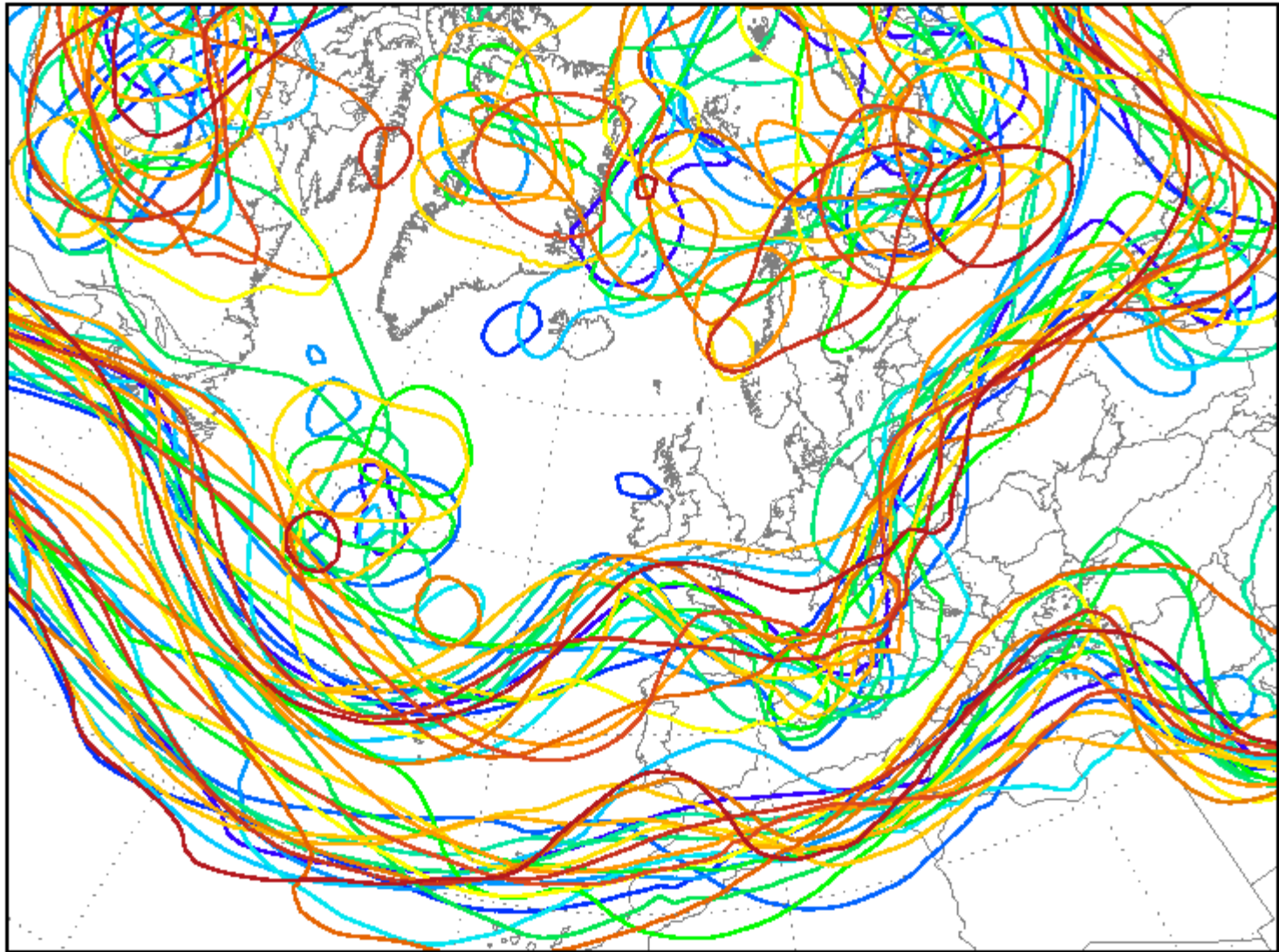
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Thu,05APR2018 00Z

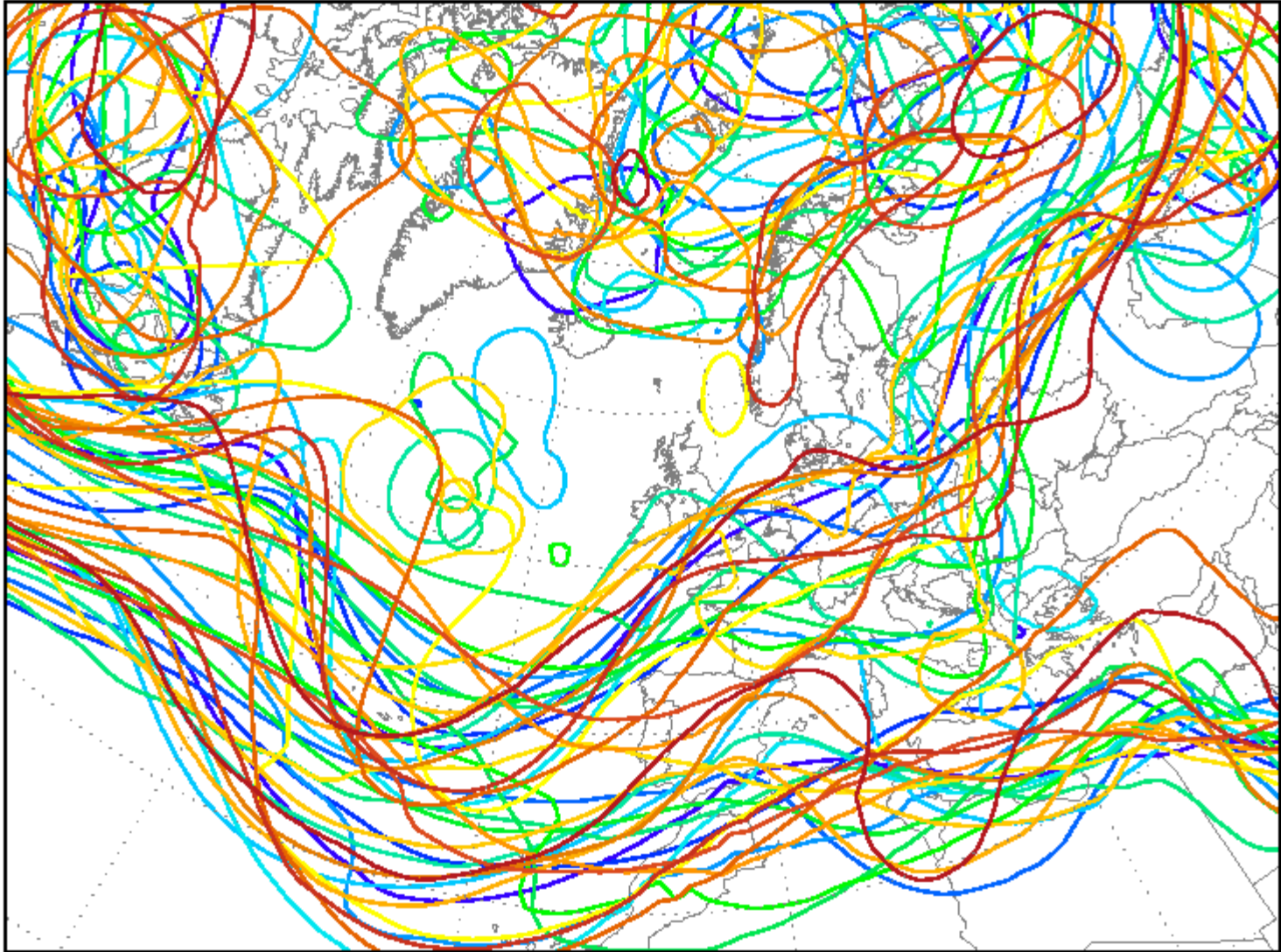
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Fri,06APR2018 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Sat,07APR2018 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Sun,08APR2018 00Z

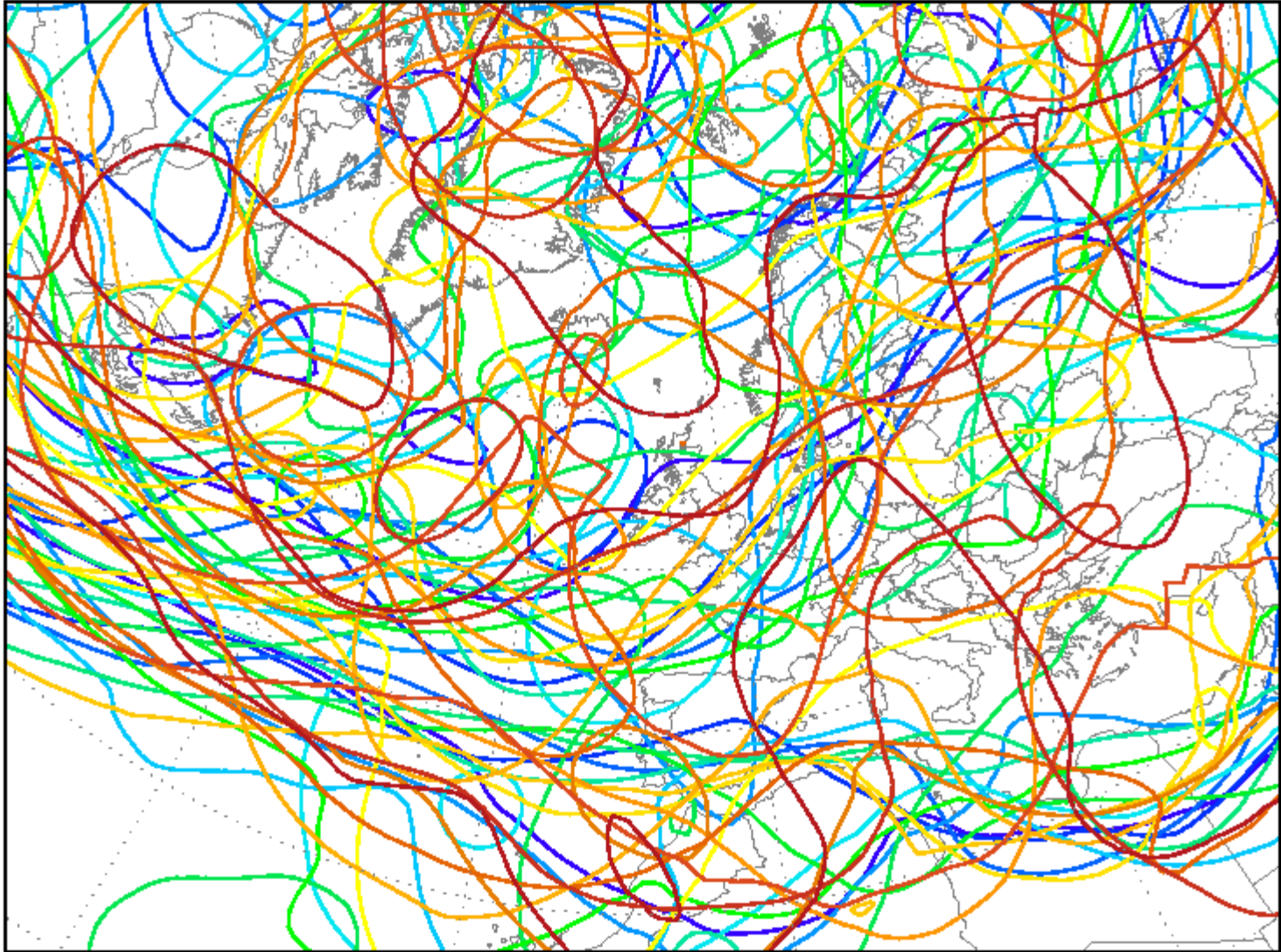
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Mon,09APR2018 00Z

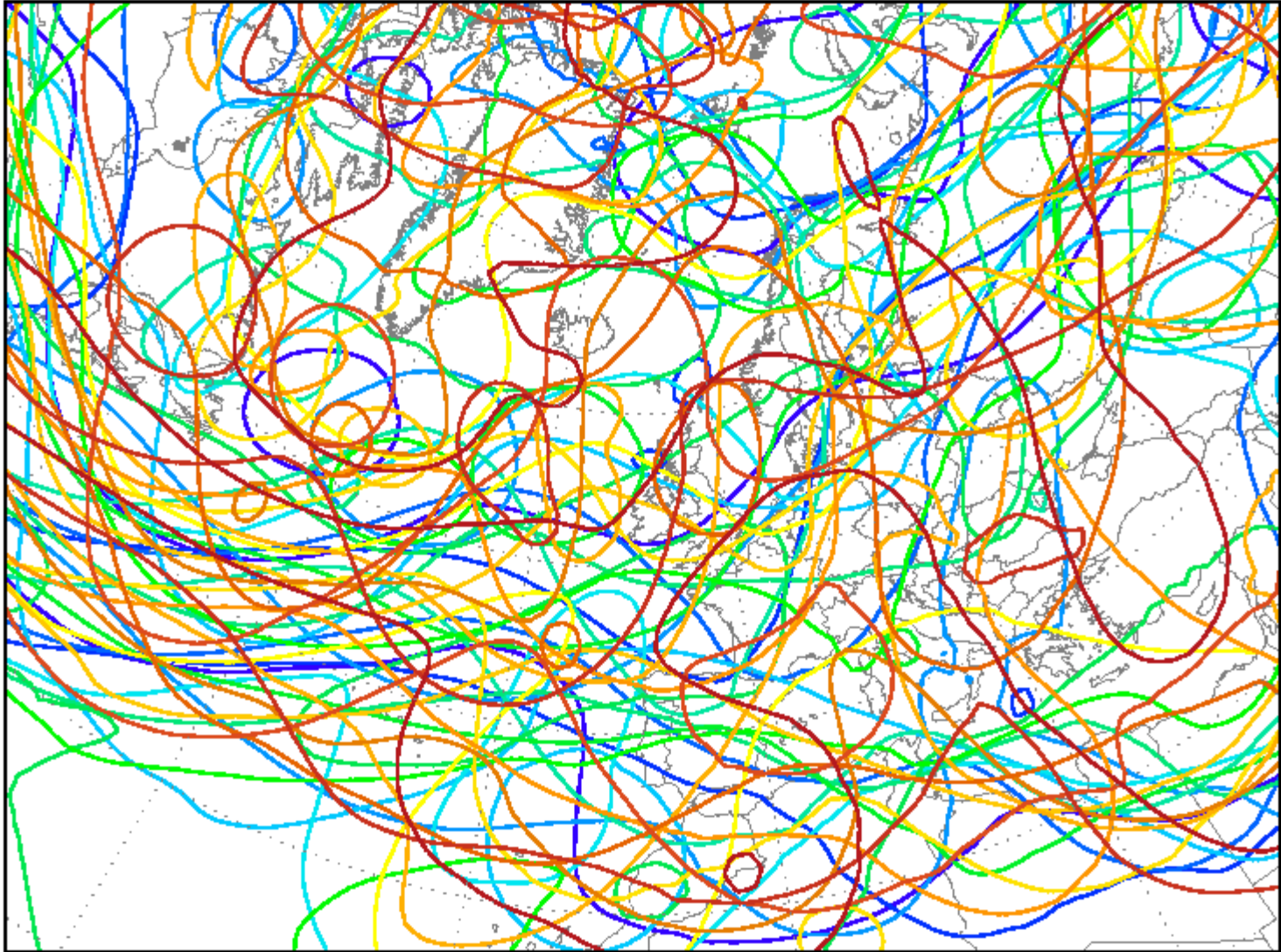
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Tue,10APR2018 00Z

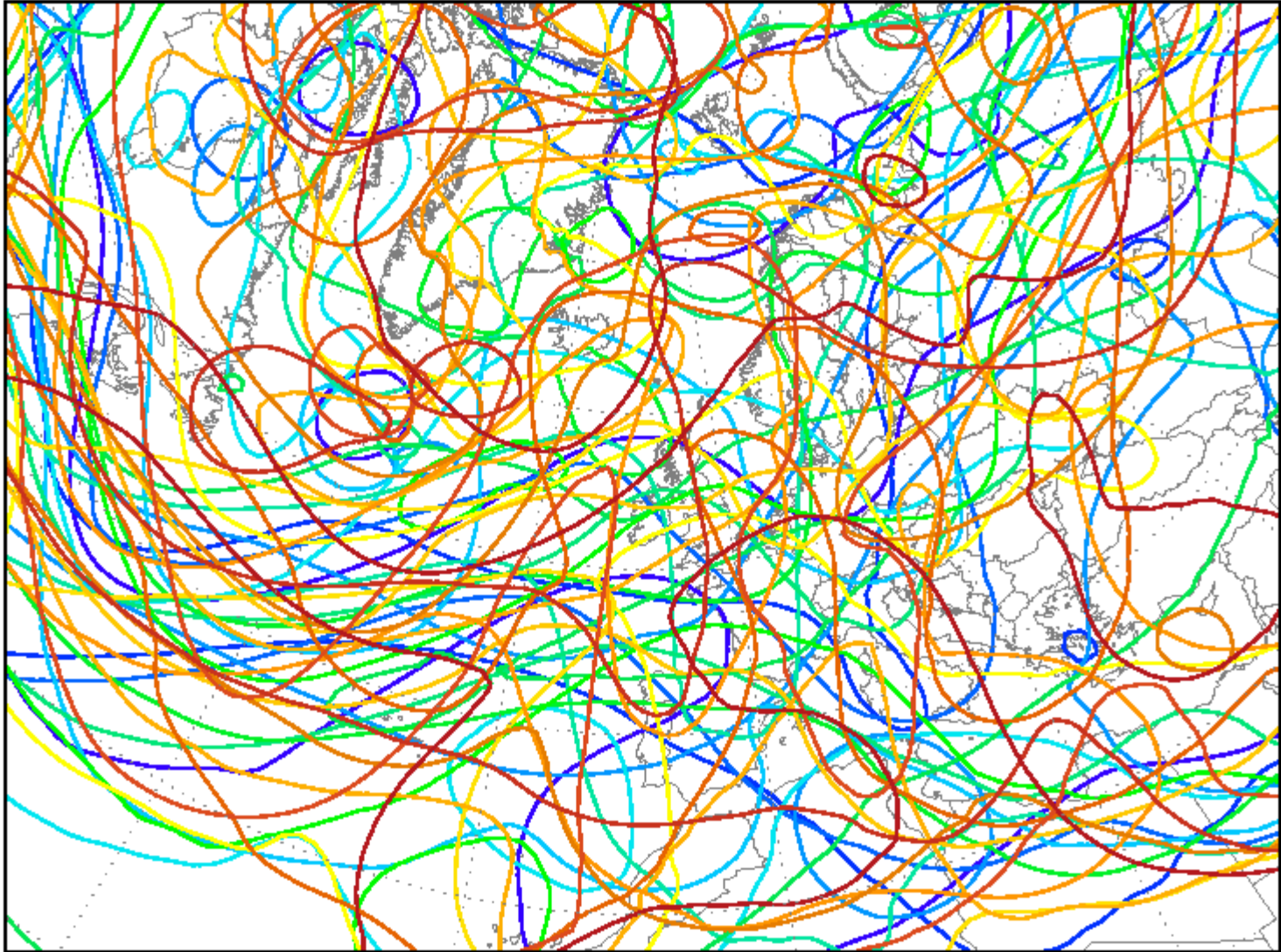
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Wed,11APR2018 00Z

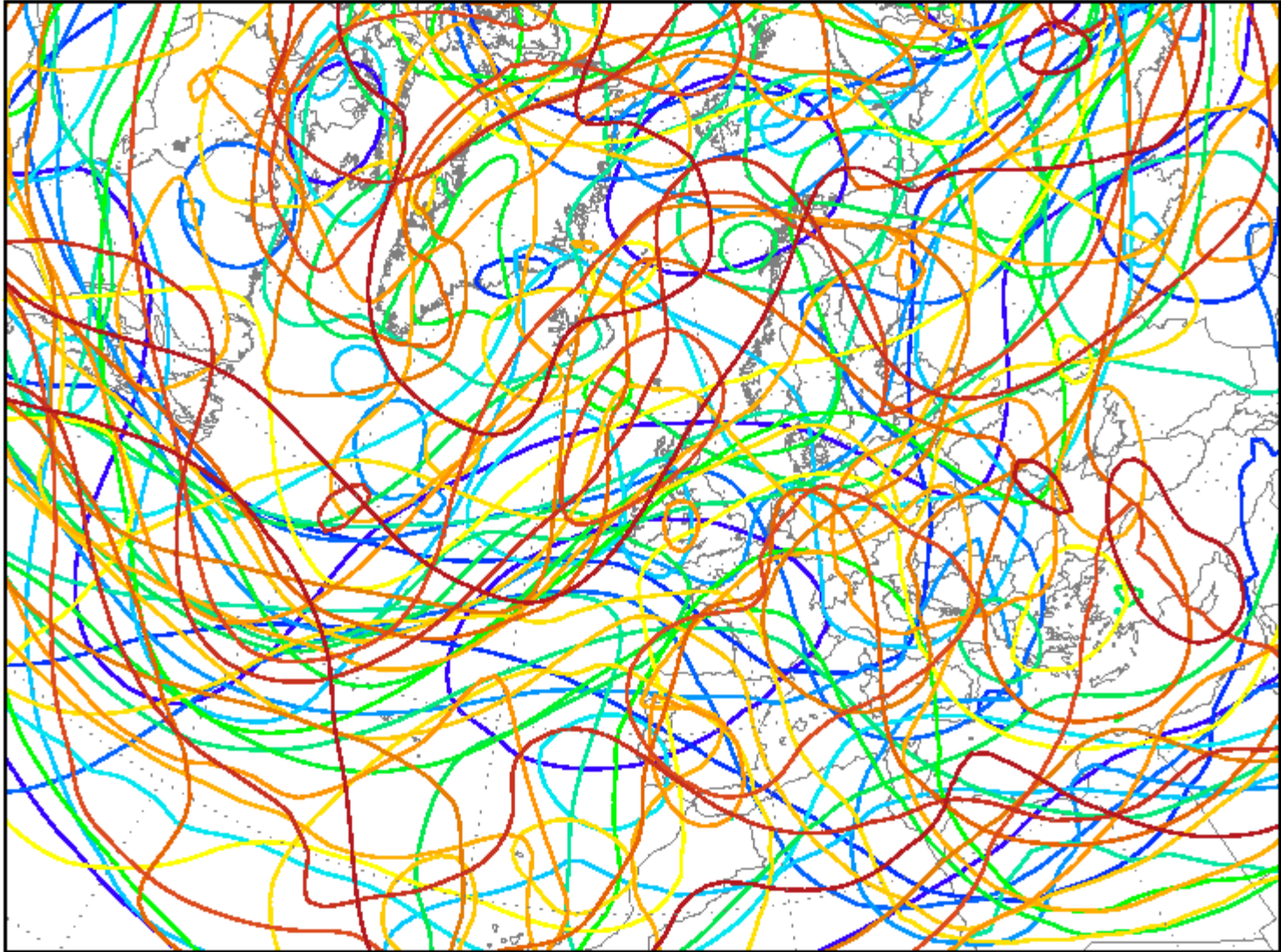
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Thu,12APR2018 00Z

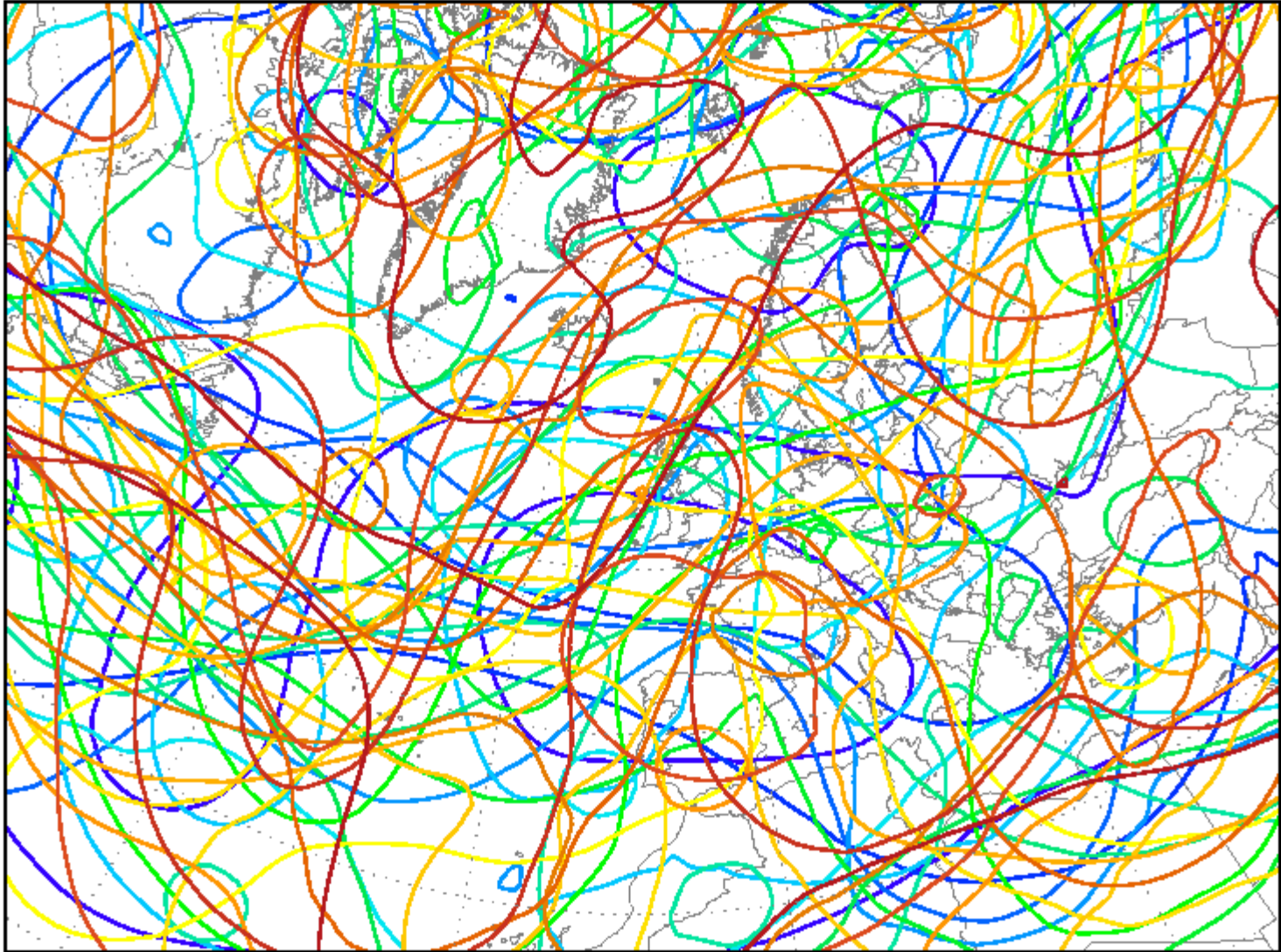
500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Fri,13APR2018 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Thu,29MAR2018 00Z Val: Sat,14APR2018 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)

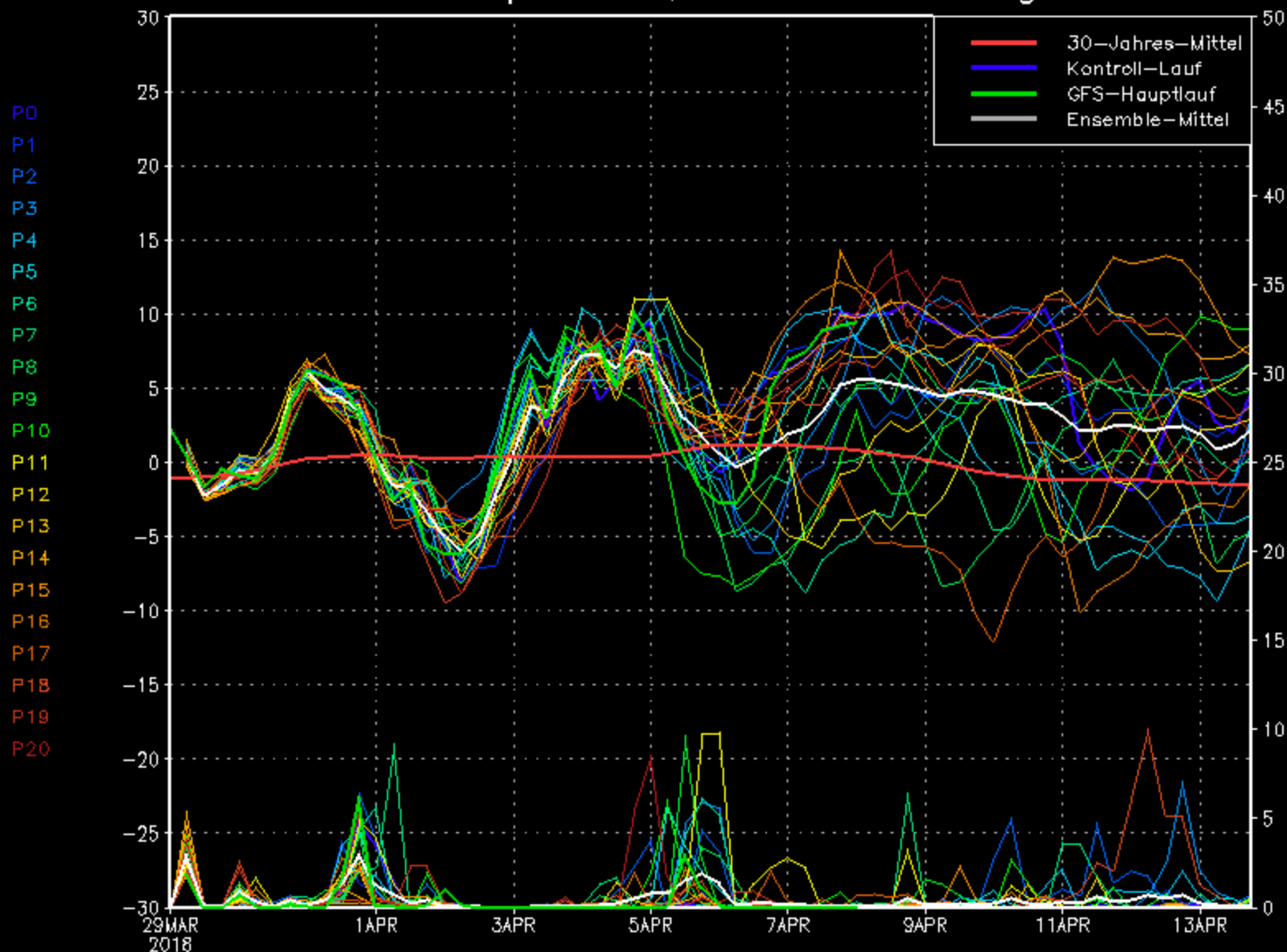


Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
wetterzentrale.de

Position Lat: 49 Lon: 17

Thu, 29 MAR 2018 00Z

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



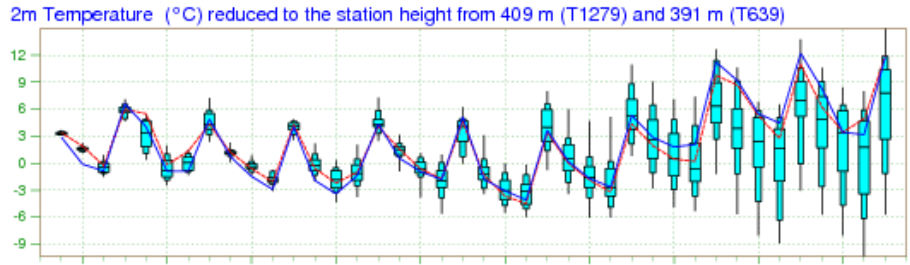
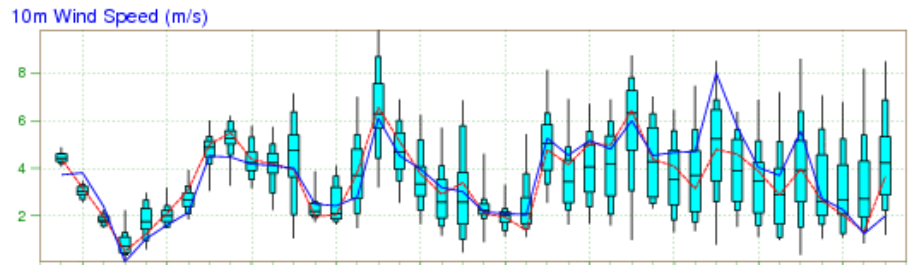
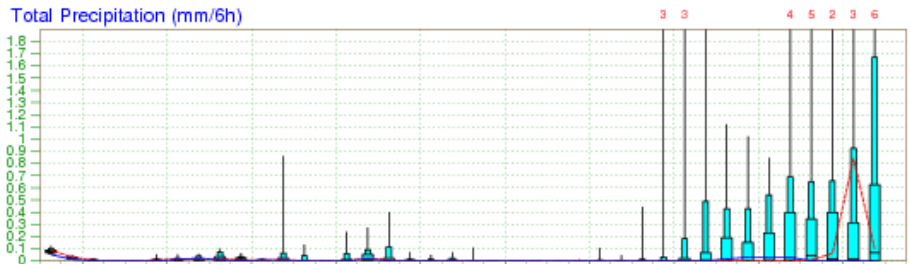
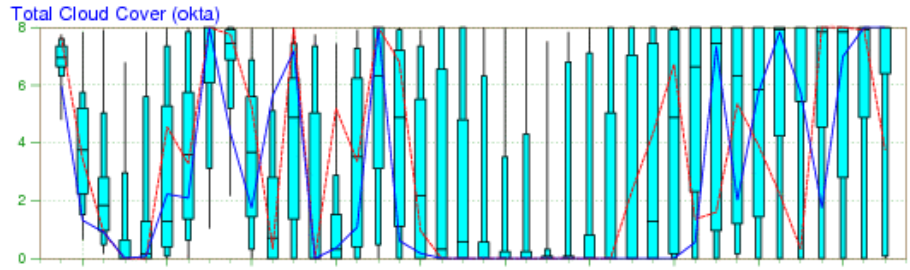
Daten: Ensembles des GFS von NCEP

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

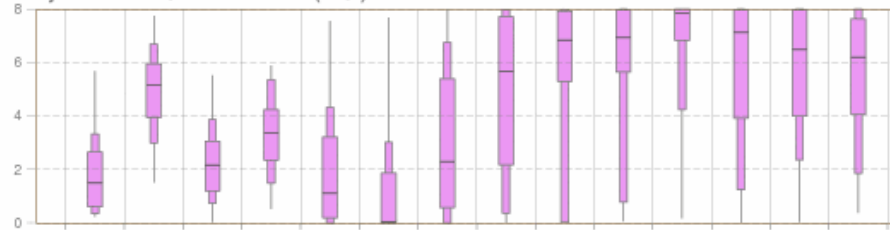


Wed 27 Thu 28 Fri 1 Sat 2 Sun 3 Mon 4 Tue 5 Wed 6 Thu 7 Fri 8 Sat 9
 March 2013

max
 90%
 75%
 median
 25%
 10%
 min

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

Daily mean of Total Cloud Cover (okta)



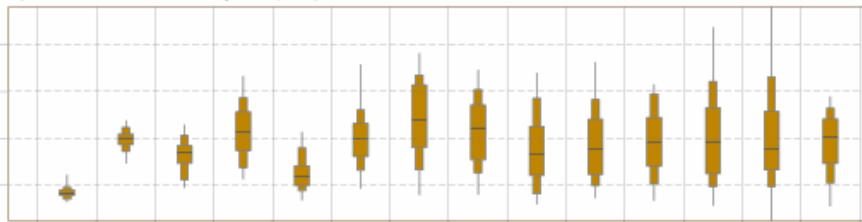
Total Precipitation (mm/24h)



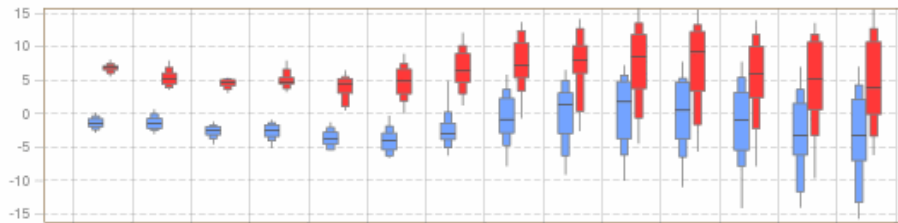
Daily distribution of 10m Wind Direction



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



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



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

max
 90%
 75%
 median
 25%
 10%
 min

Předpověď' teplotní anomálie na duben 2018

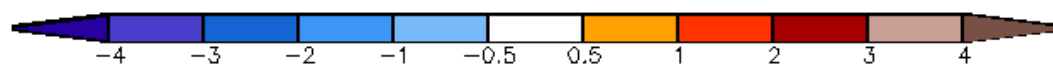
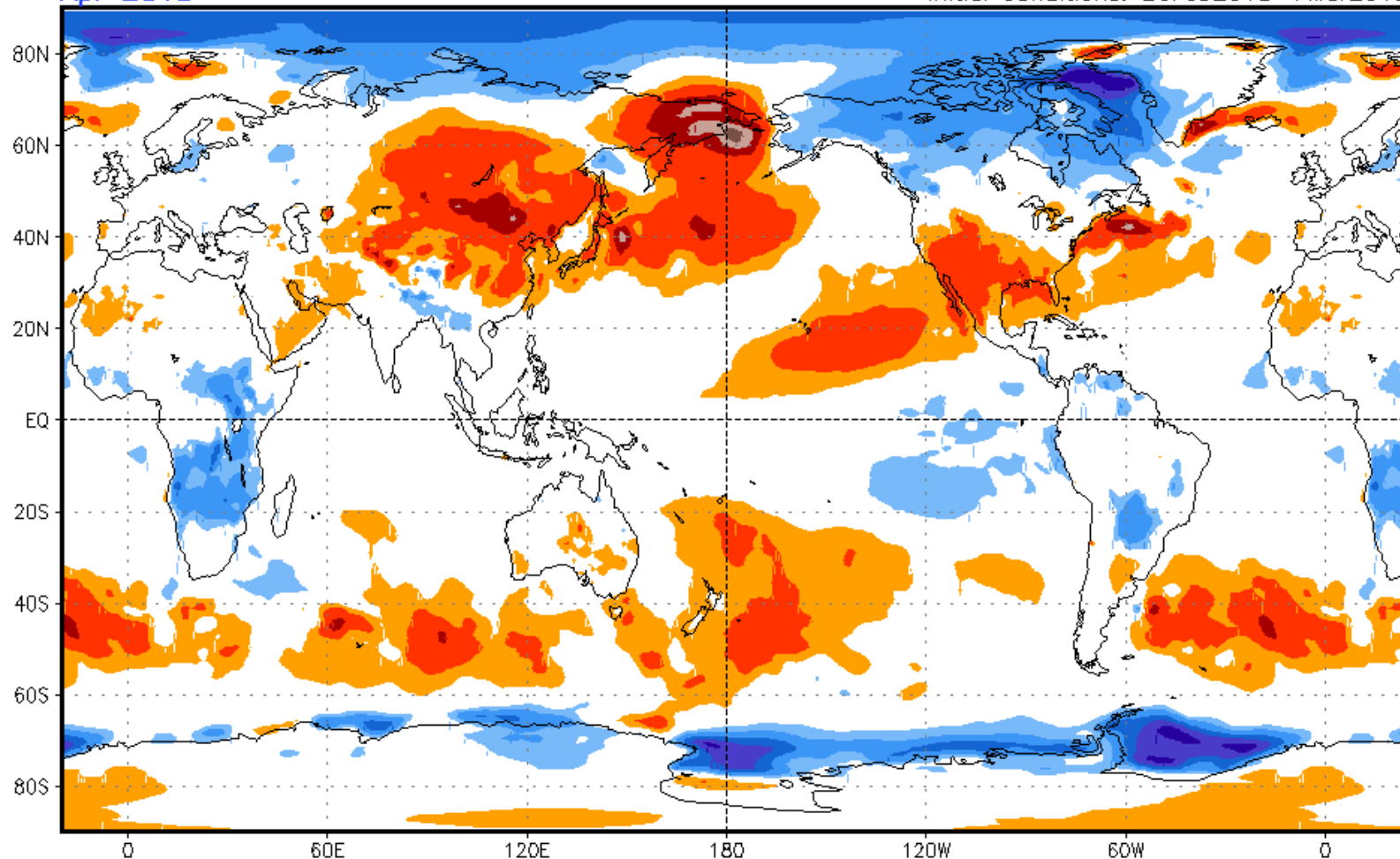


NWS/NCEP/CPC

CFSv2 monthly T2m anomalies (K)

Apr 2018

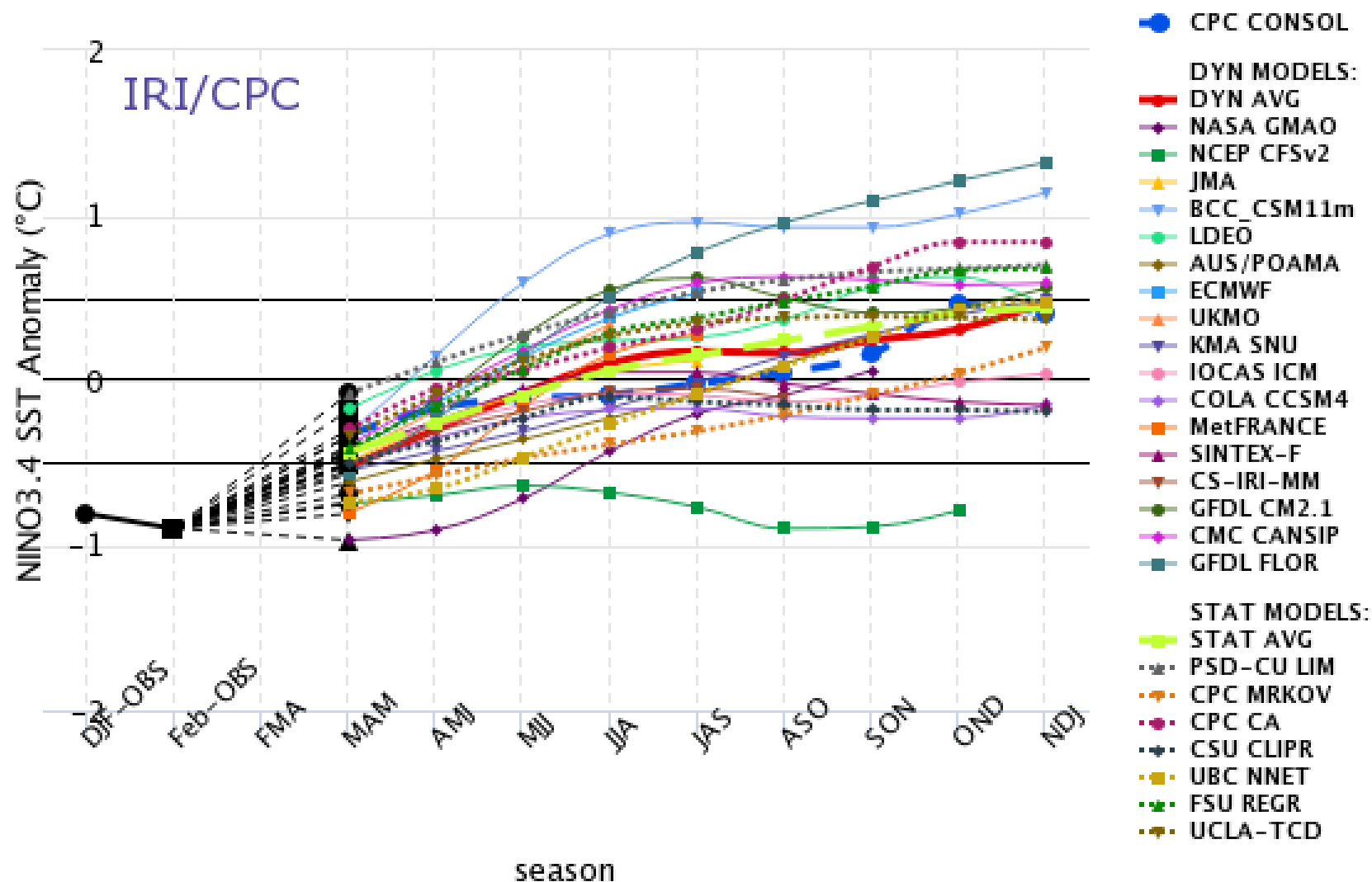
Initial conditions: 26Feb2018-7Mar2018



Předpověď ENSO

(anomálie teploty hladiny moře rovníkového Pacifiku)

Mid-Mar 2018 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
- Nyní používaná v mnoha (mobilních) aplikacích

Velmi krátkodobá předpověď, nowcasting

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

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.

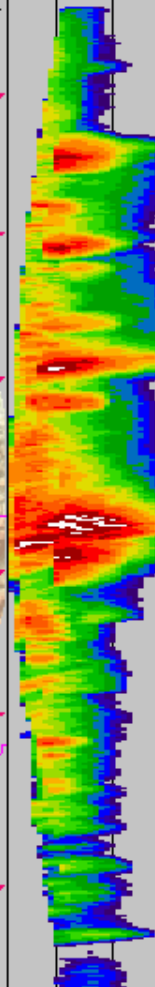
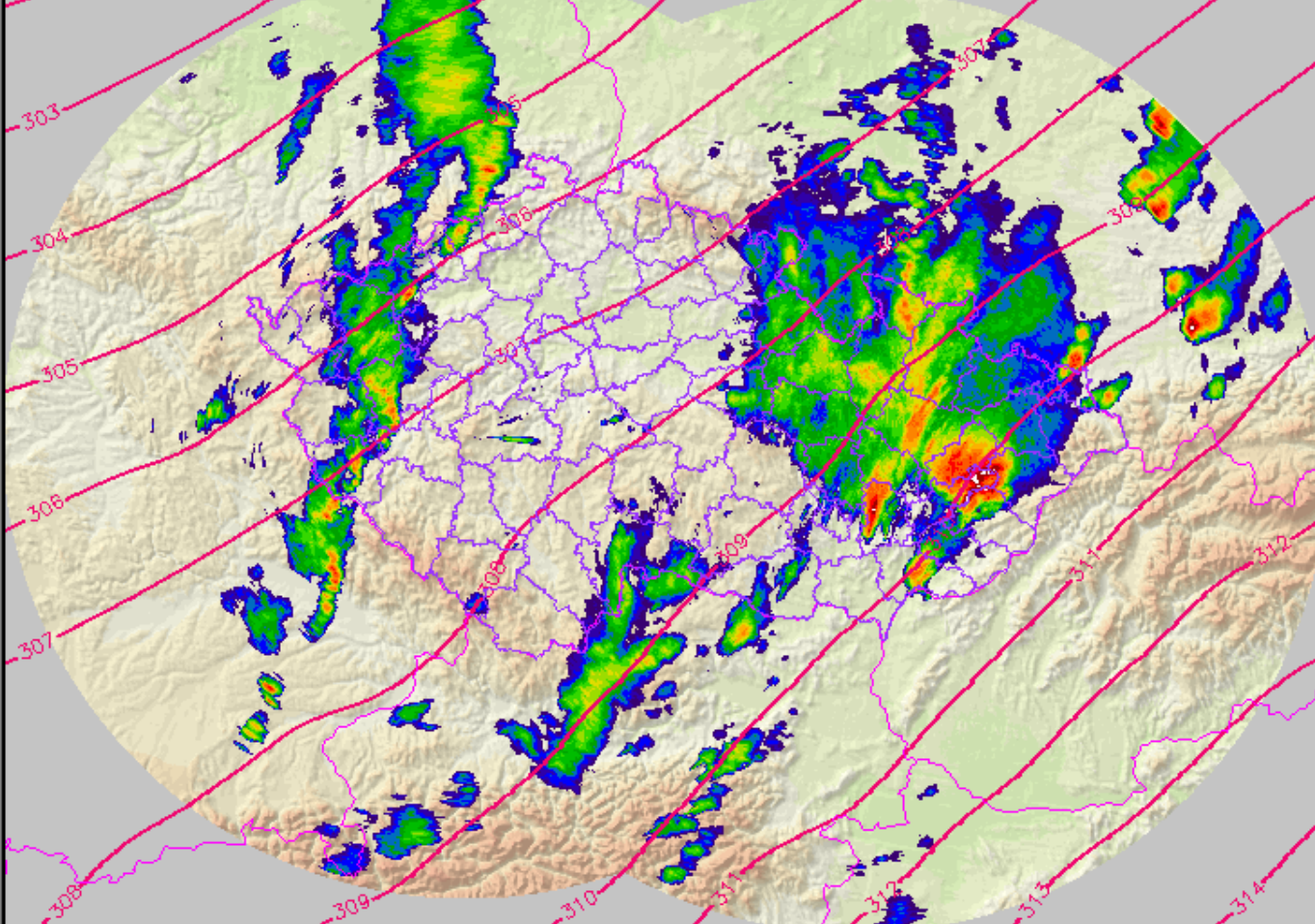
Integrace metod dálkové detekce a NWP modelů pro nowcasting

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 ▼

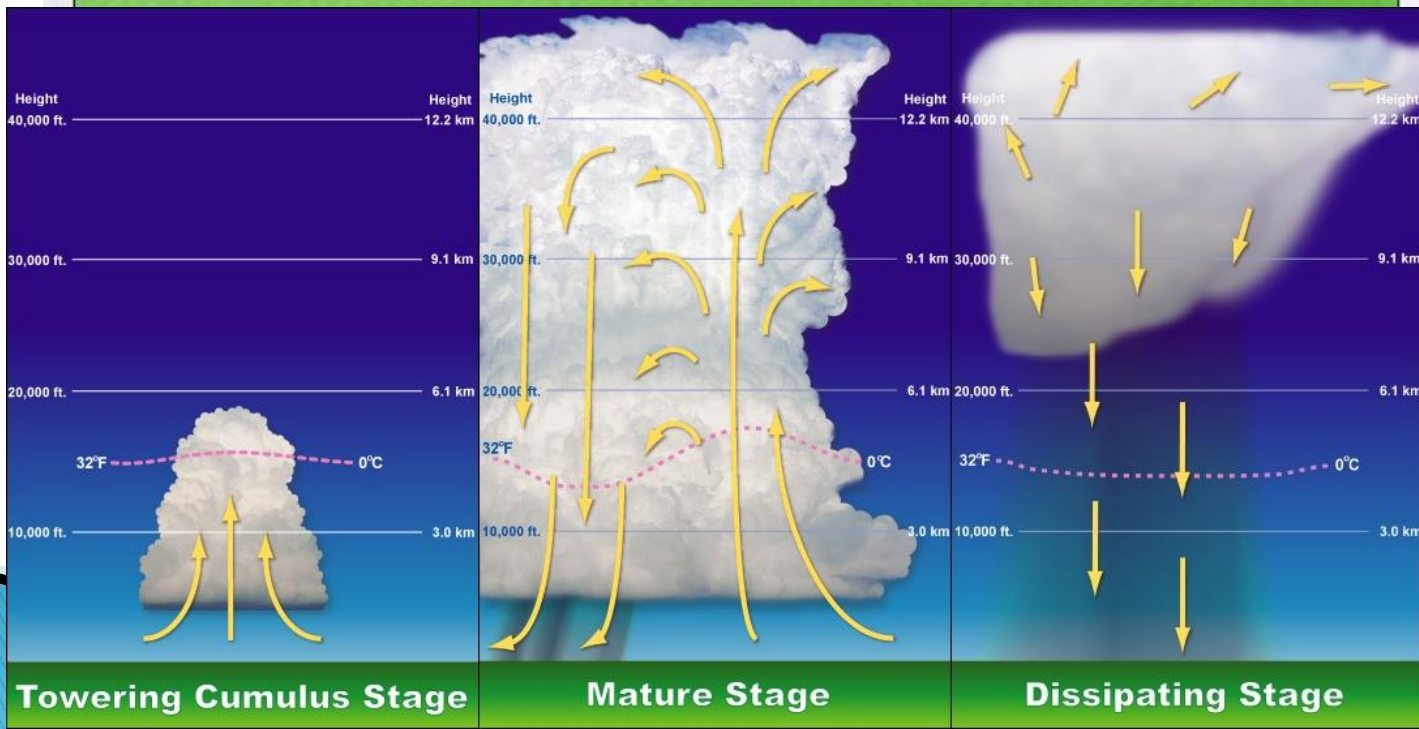
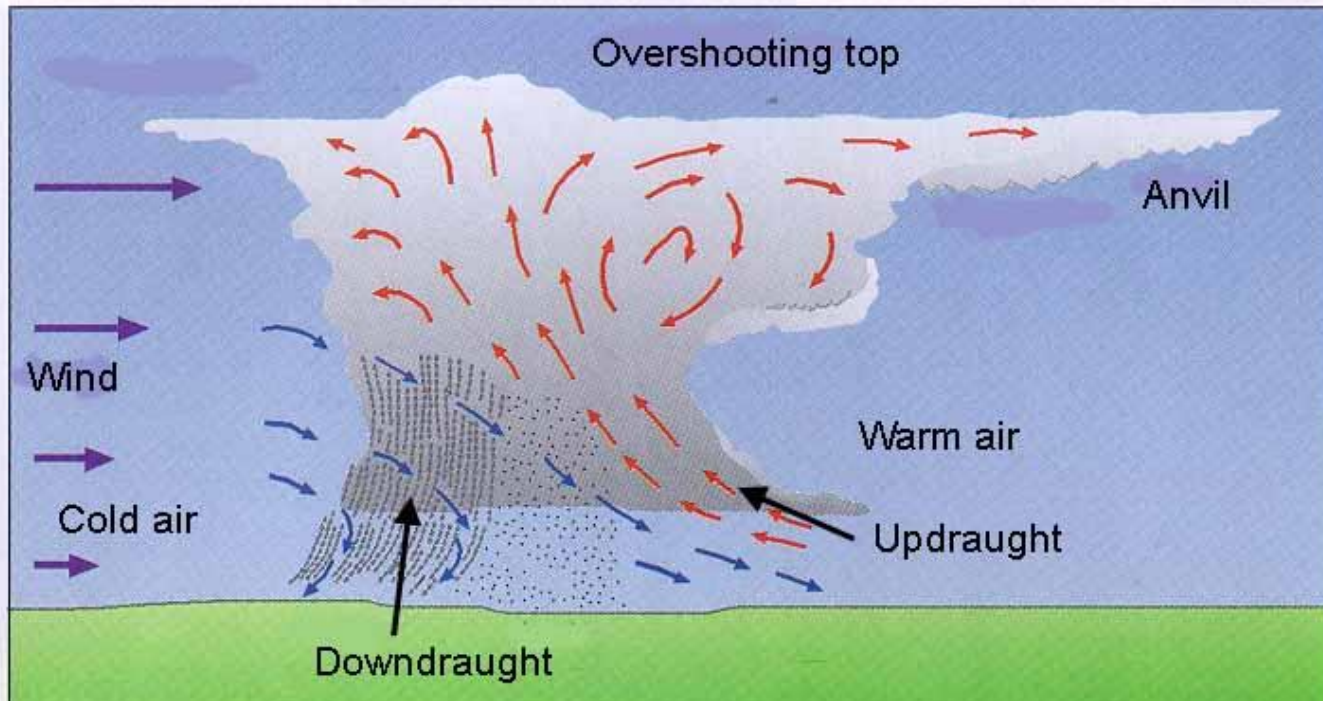
LOAD (96 / 96)

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_700-200108041200+06hr 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

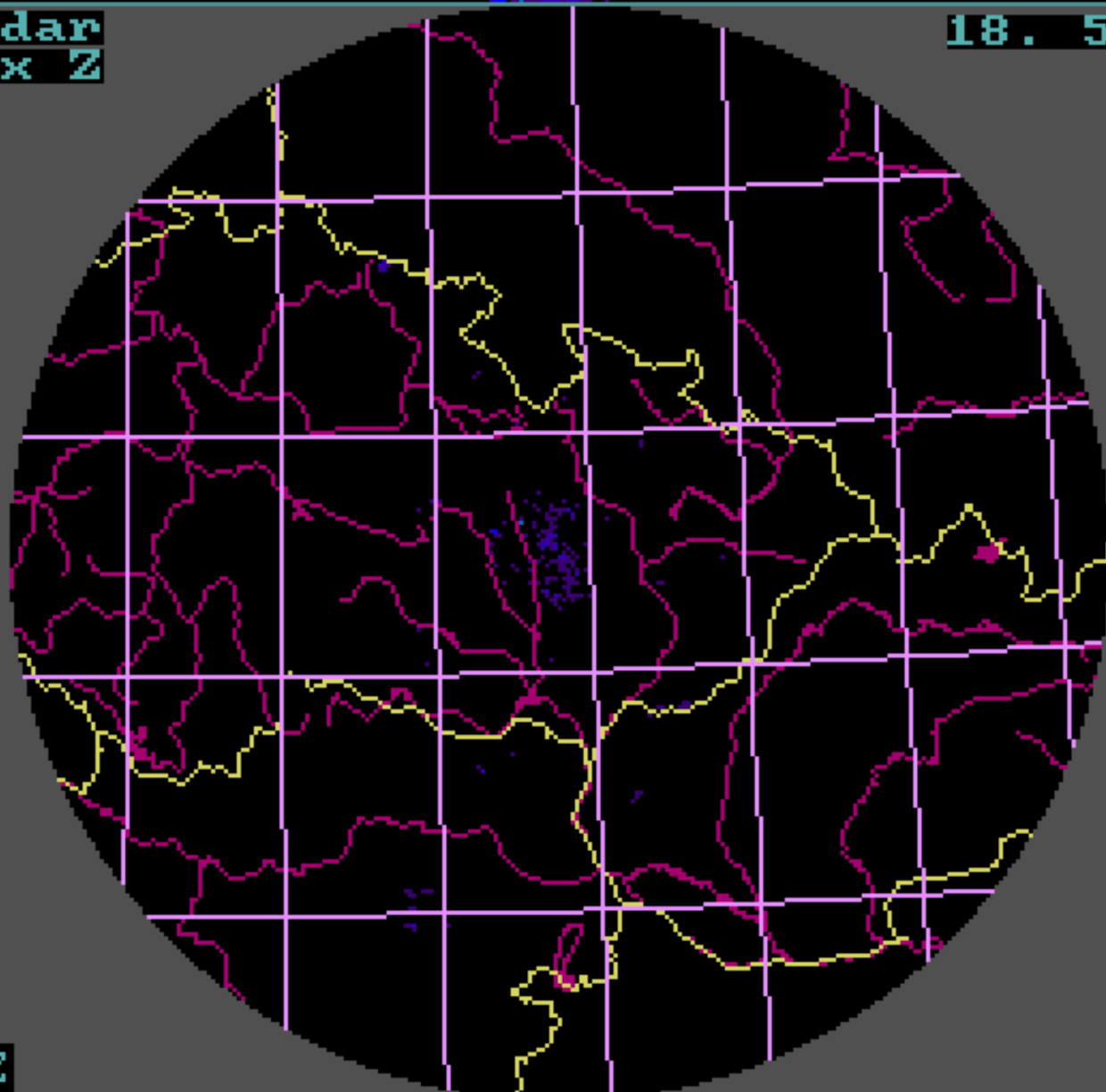
16

12

8

4

dBZ



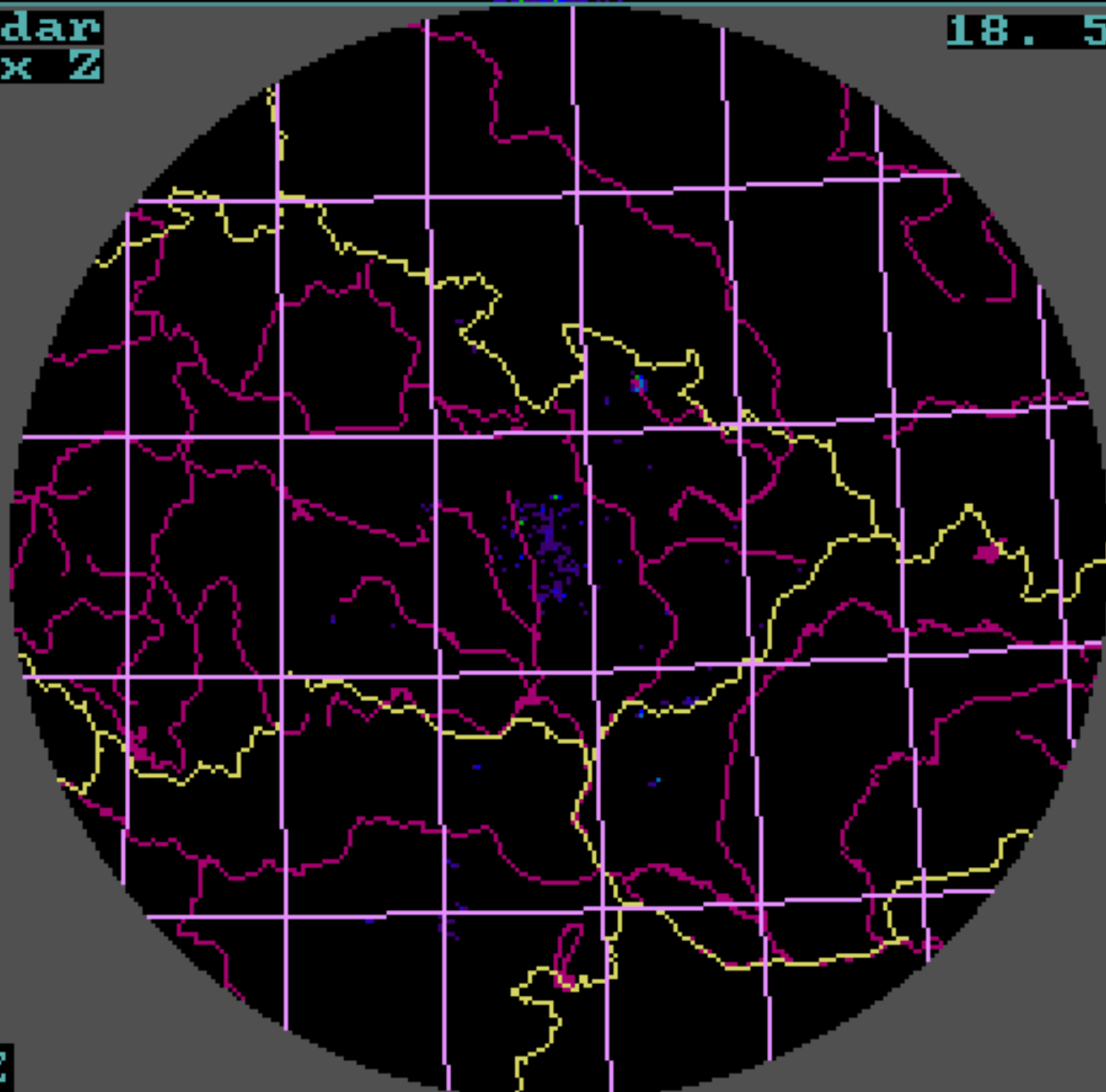
Radar
Max Z

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

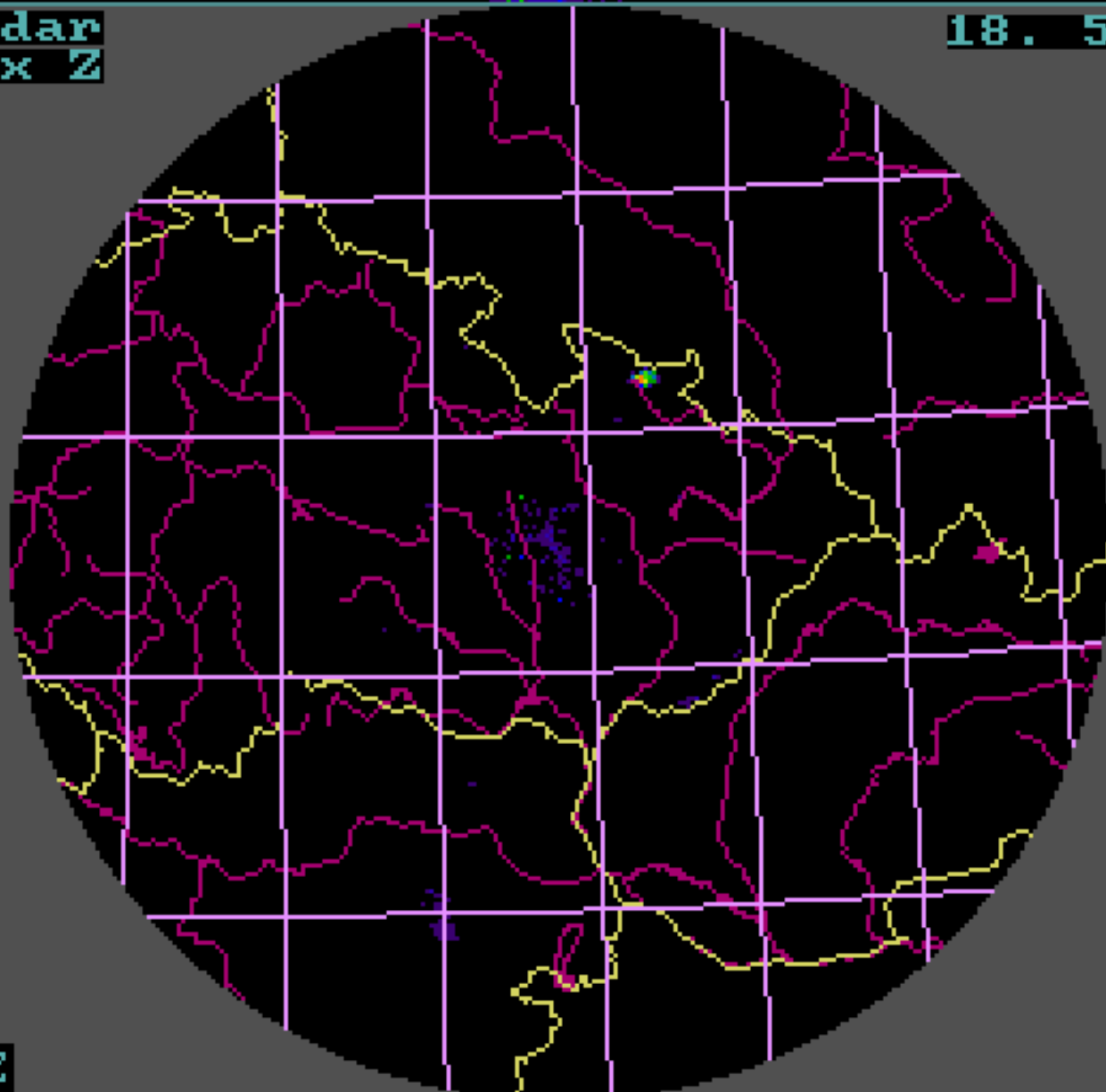
16

12

8

4

dBZ



Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 09:50

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

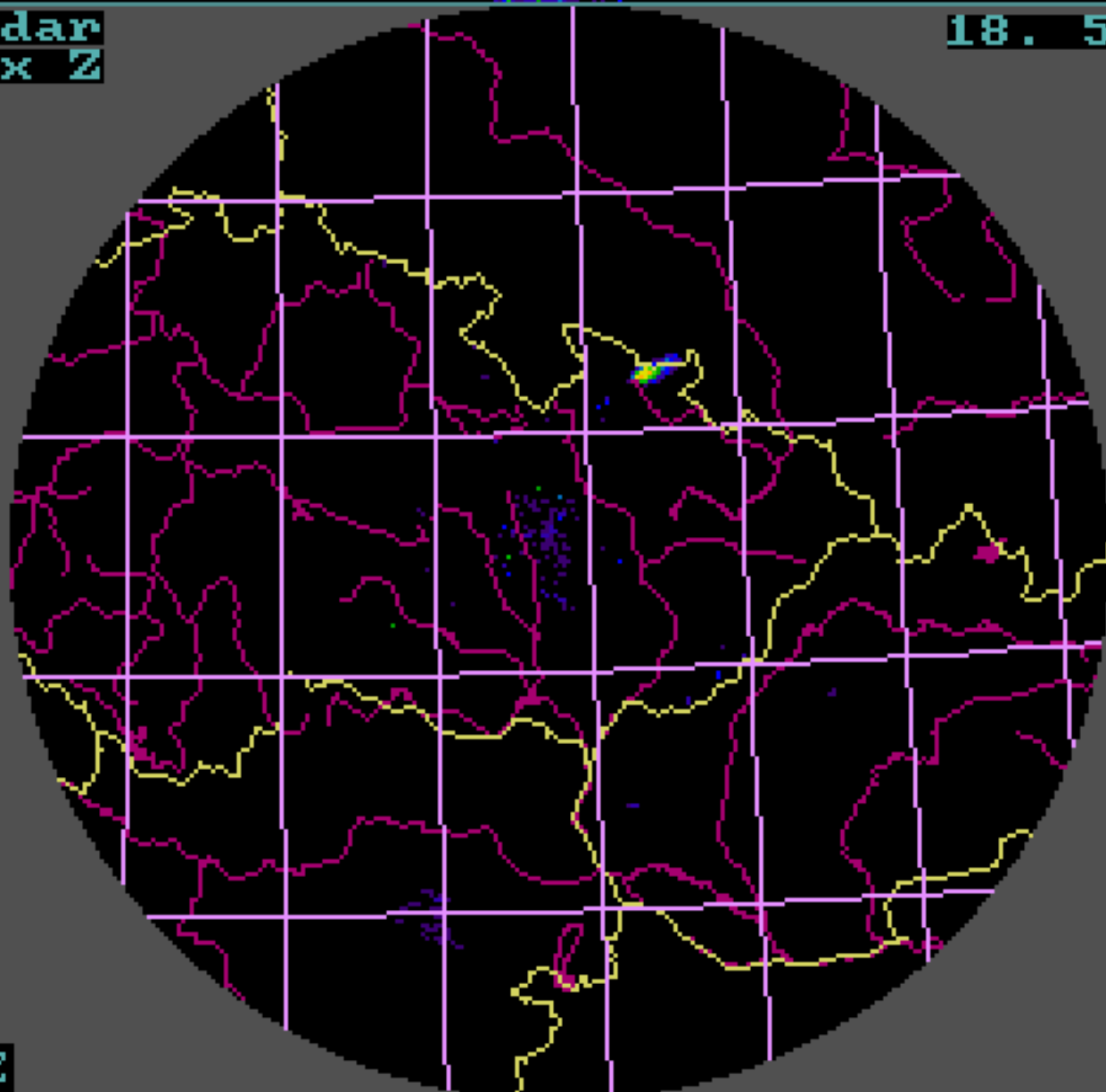
16

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

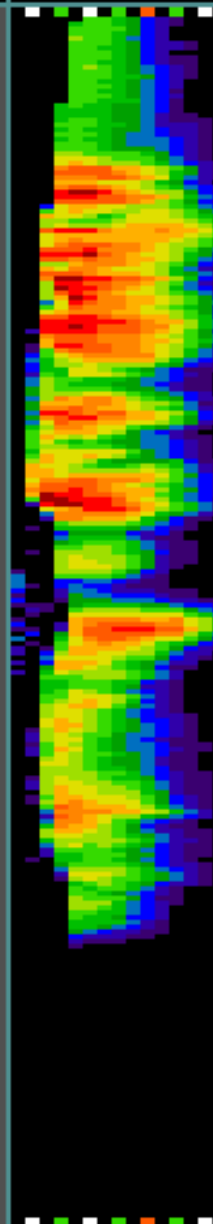
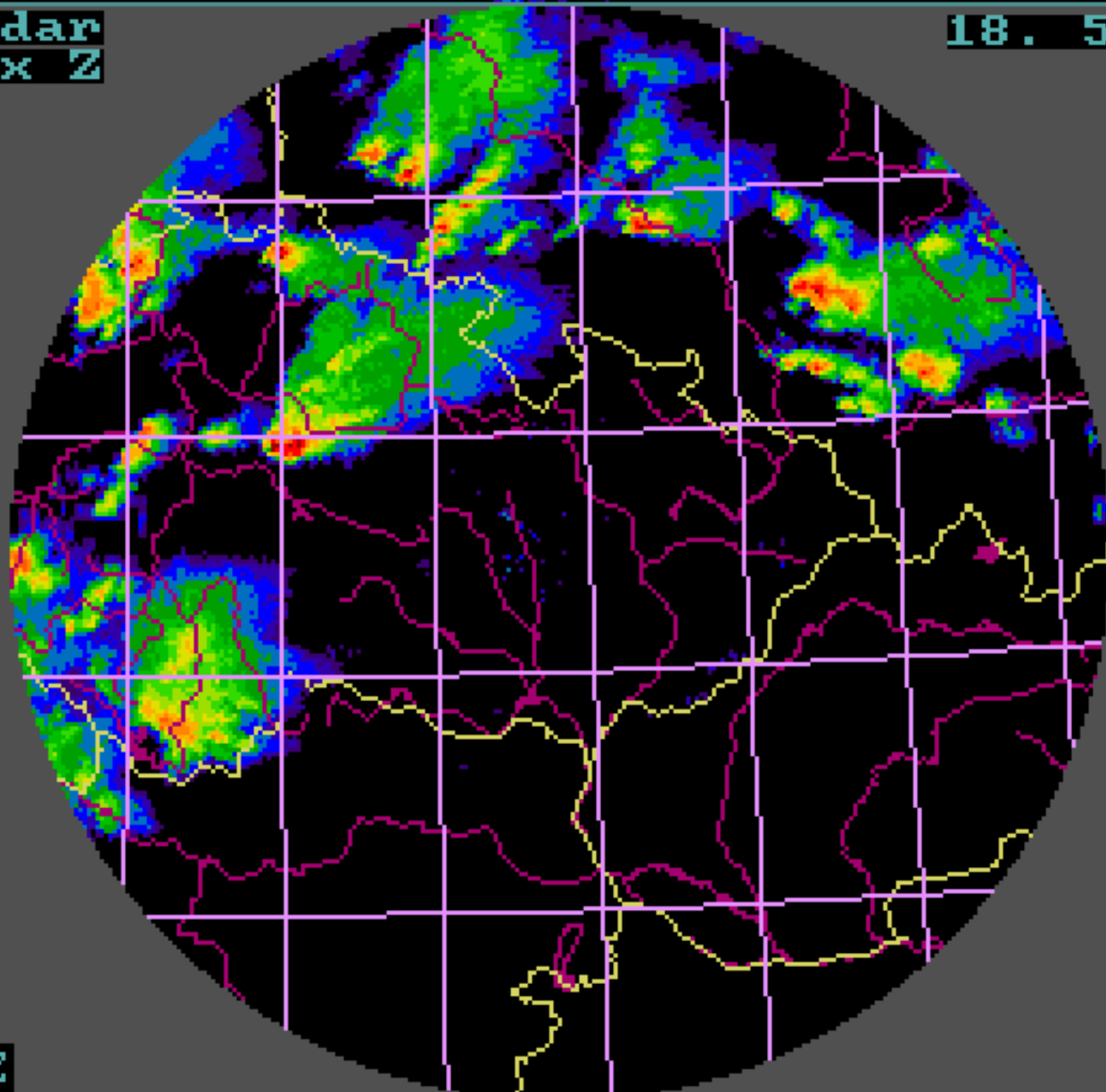
16

12

8

4

dBZ



Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 17:10

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

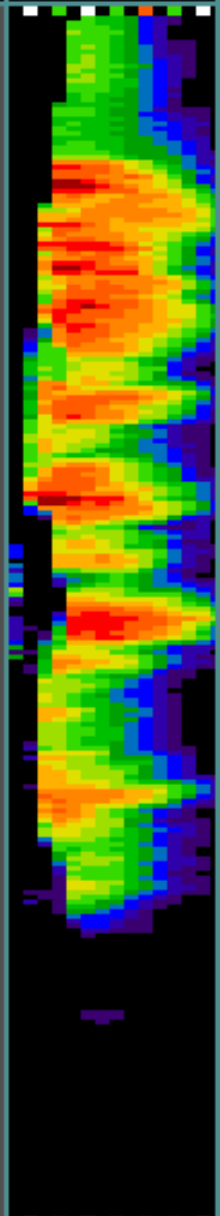
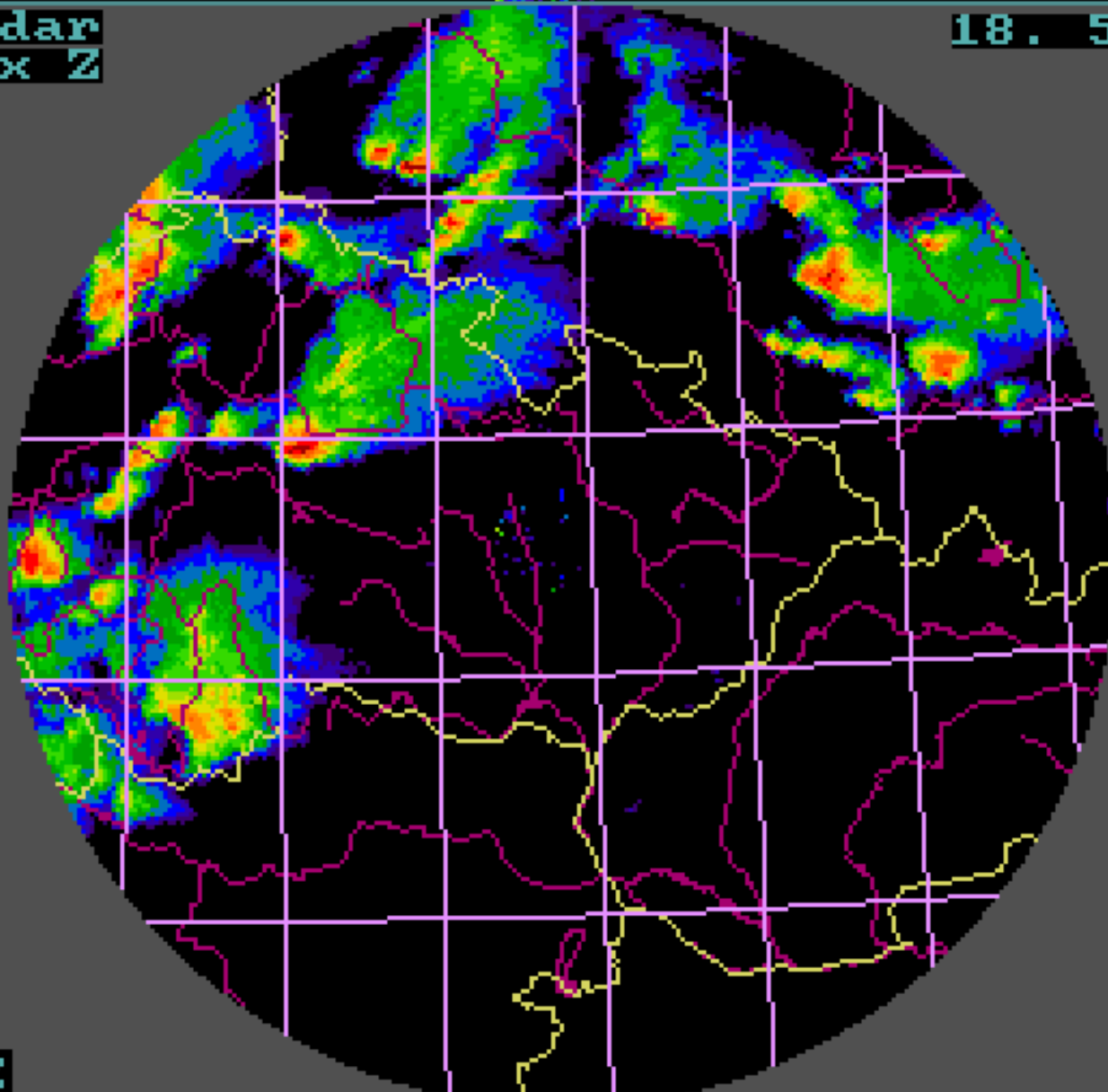
16

12

8

4

dBZ



Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 17:20

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

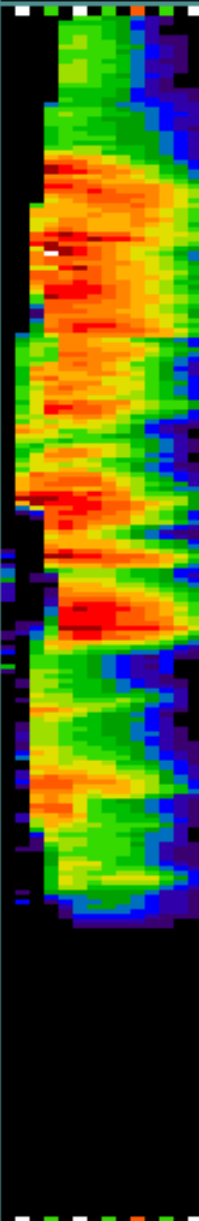
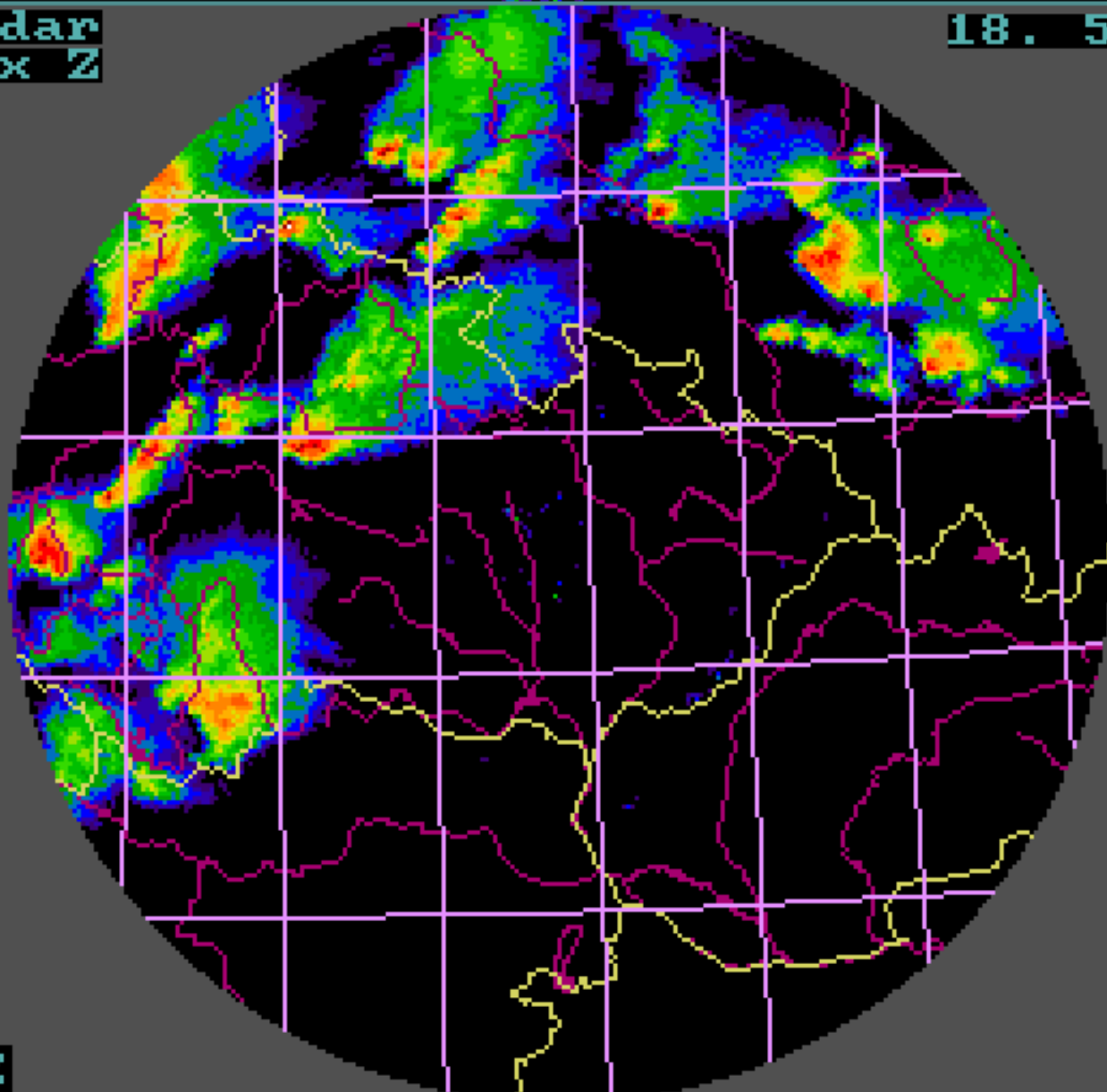
16

12

8

4

dBZ



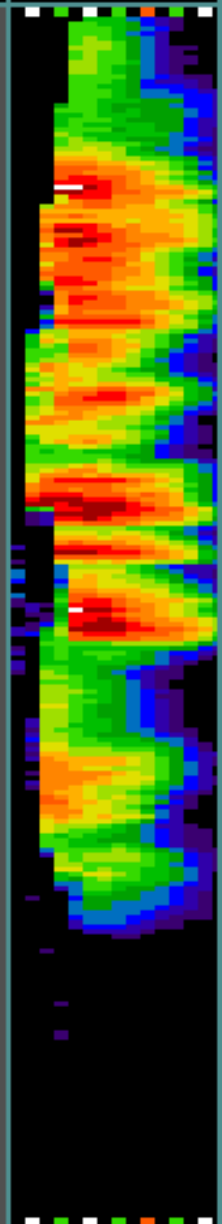
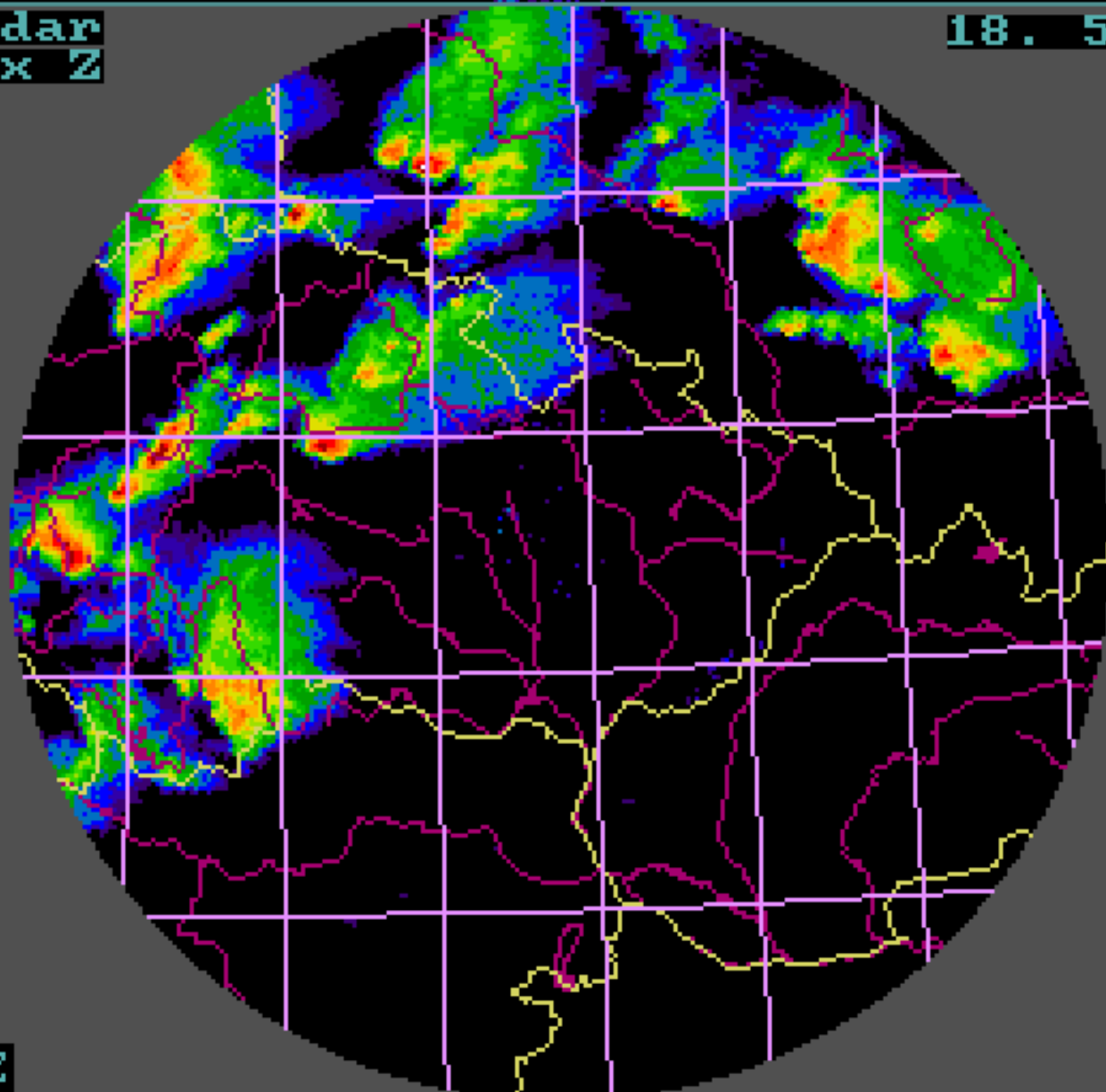
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 17:30

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

dBZ



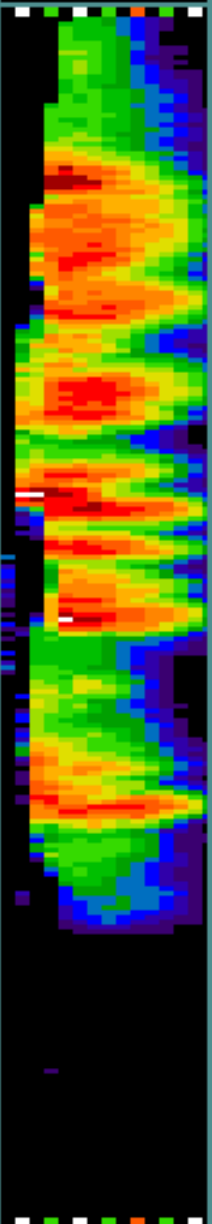
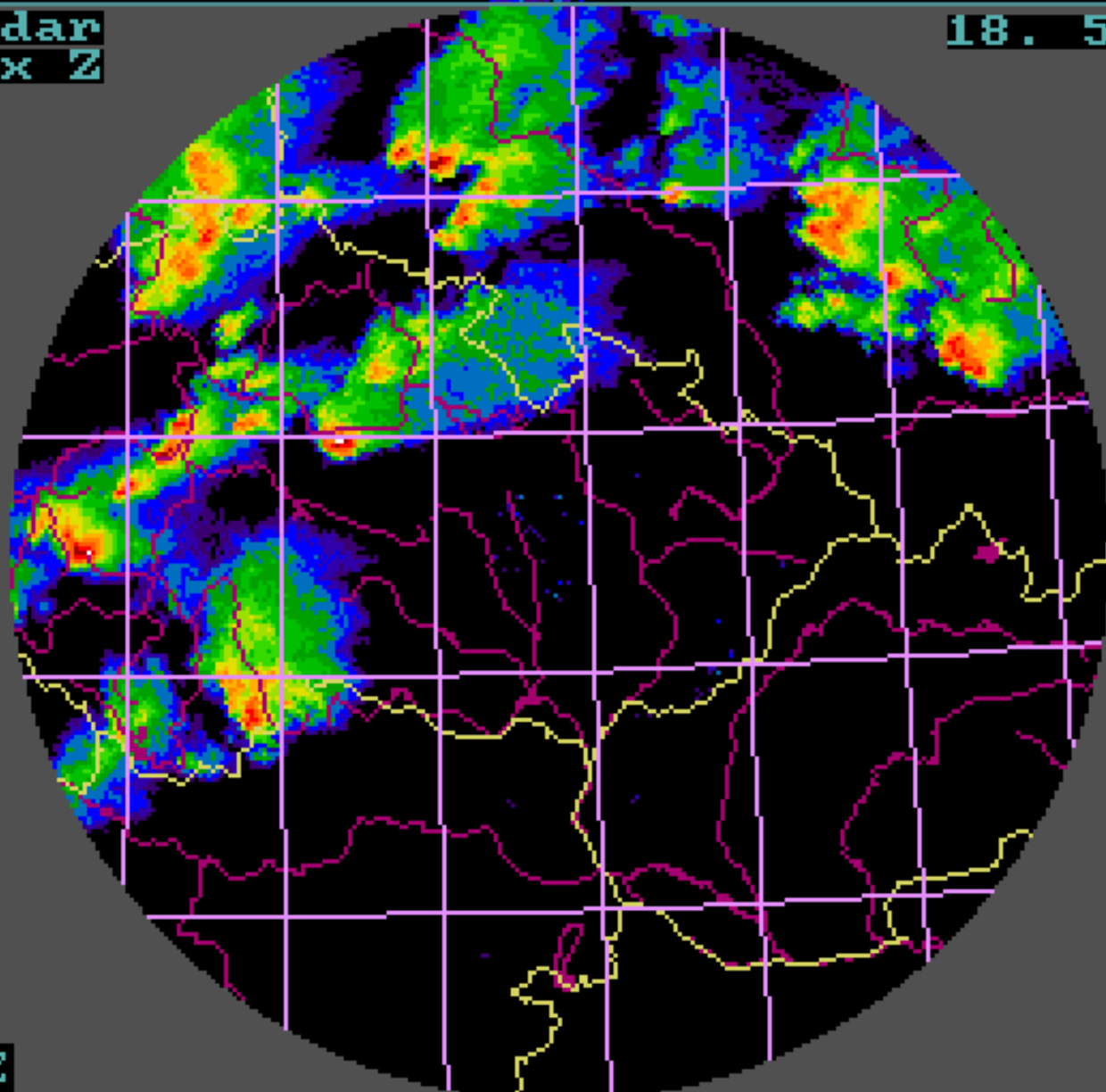
Radar
Max Z

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

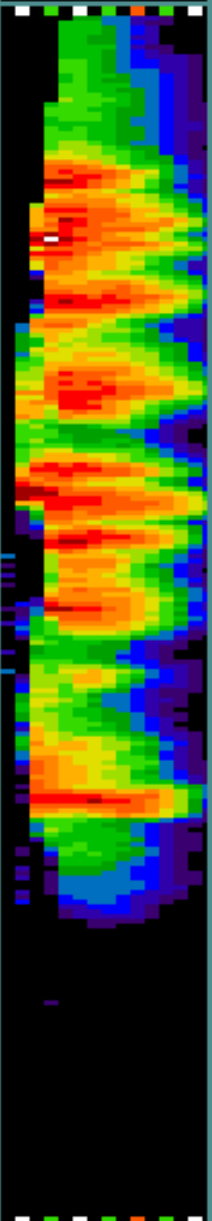
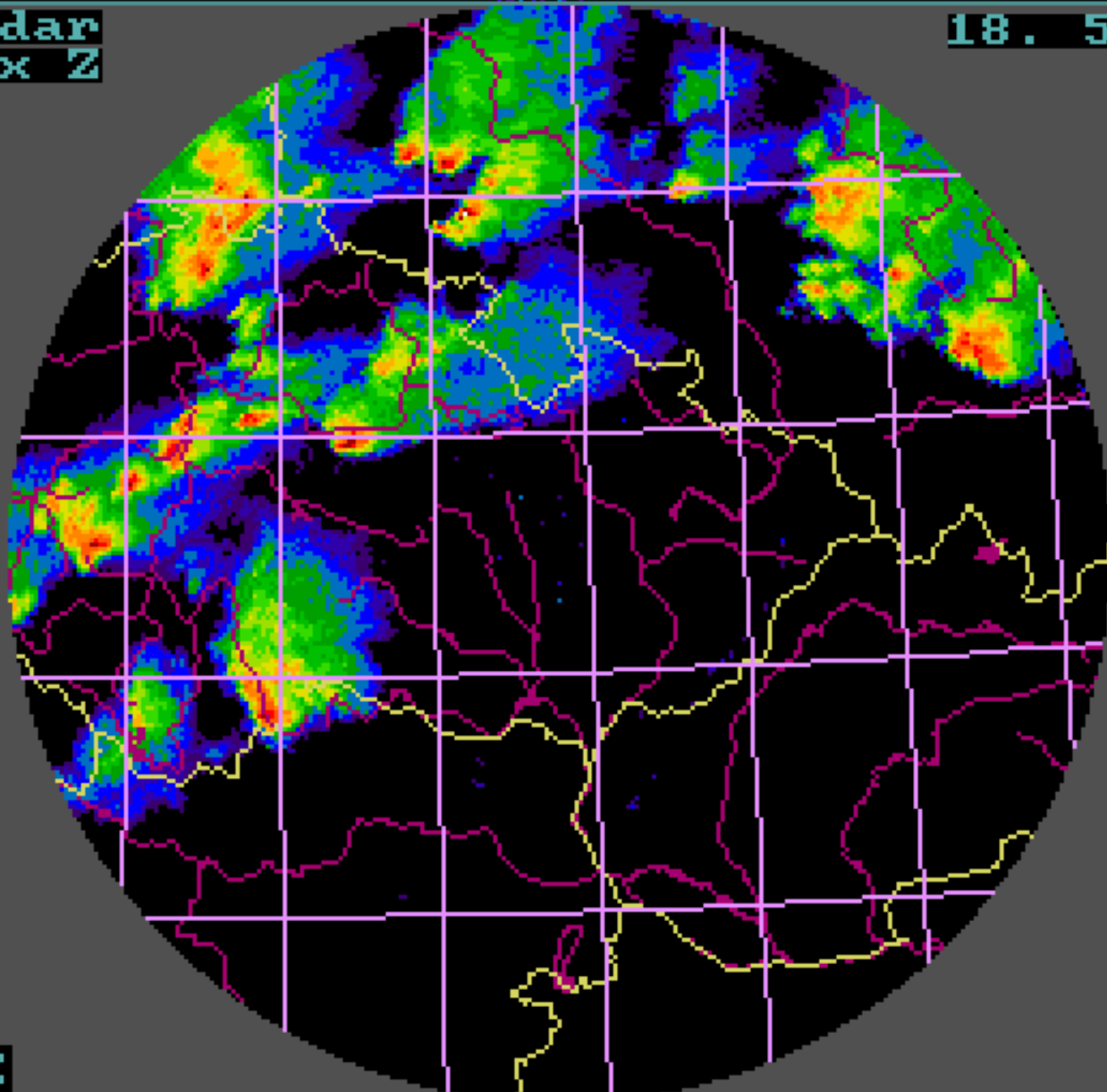
16

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

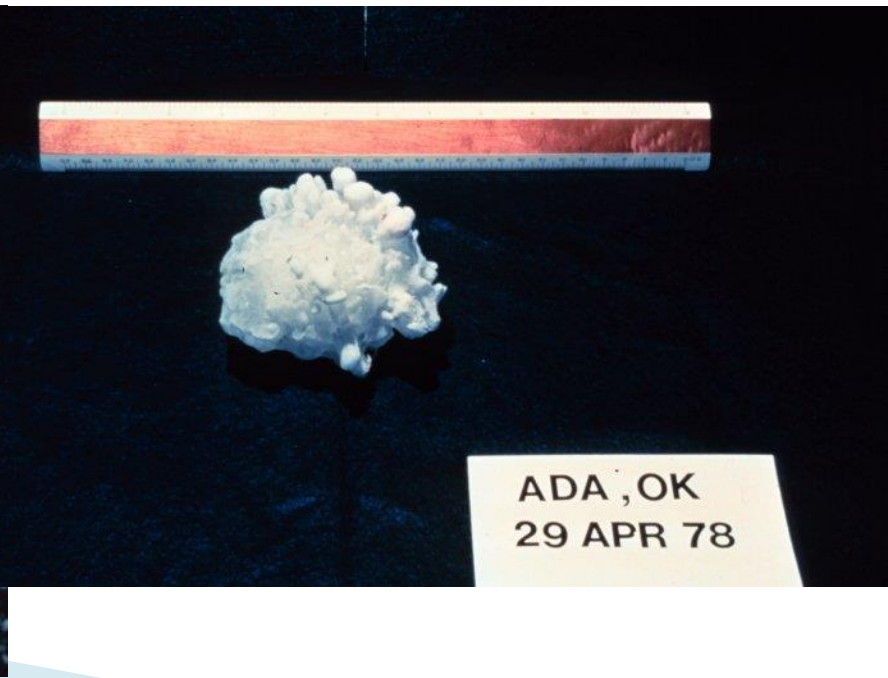
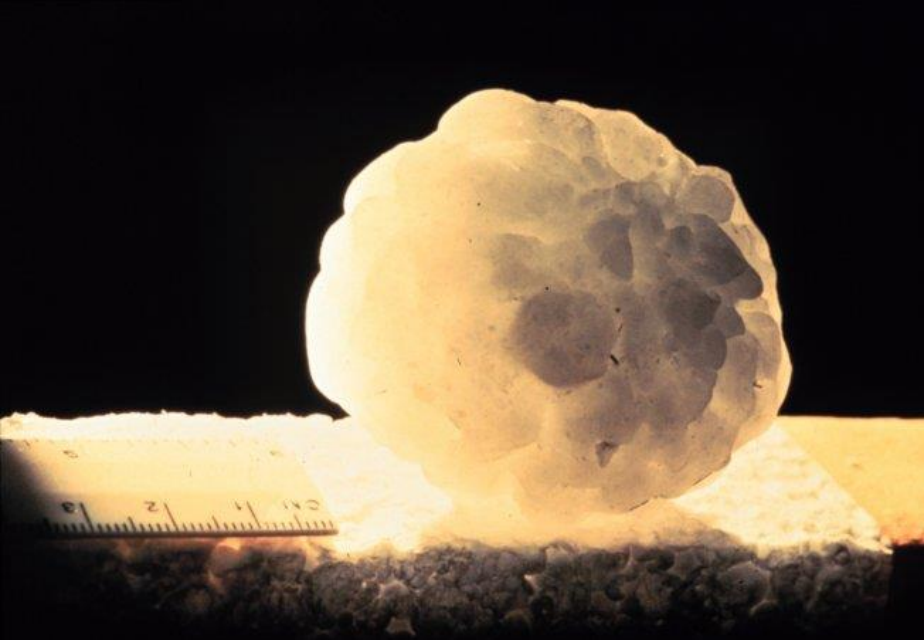
- ▶ Trendem v meteorologii je nyní využívání více informačních zdrojů (např. radar+srážkoměr, radar+systemy detekce blesků apod.)
- ▶ Automatizace rutinních činností
- ▶ Rychlá aktualizace údajů, nowcasting
- ▶ Pravděpodobnostní výstupy

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 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











konec dubna 2004 – tři roky „poté“...











Tornádo u Brna 20. 7. 2002



Tornádo u Brna 20. 7. 2002



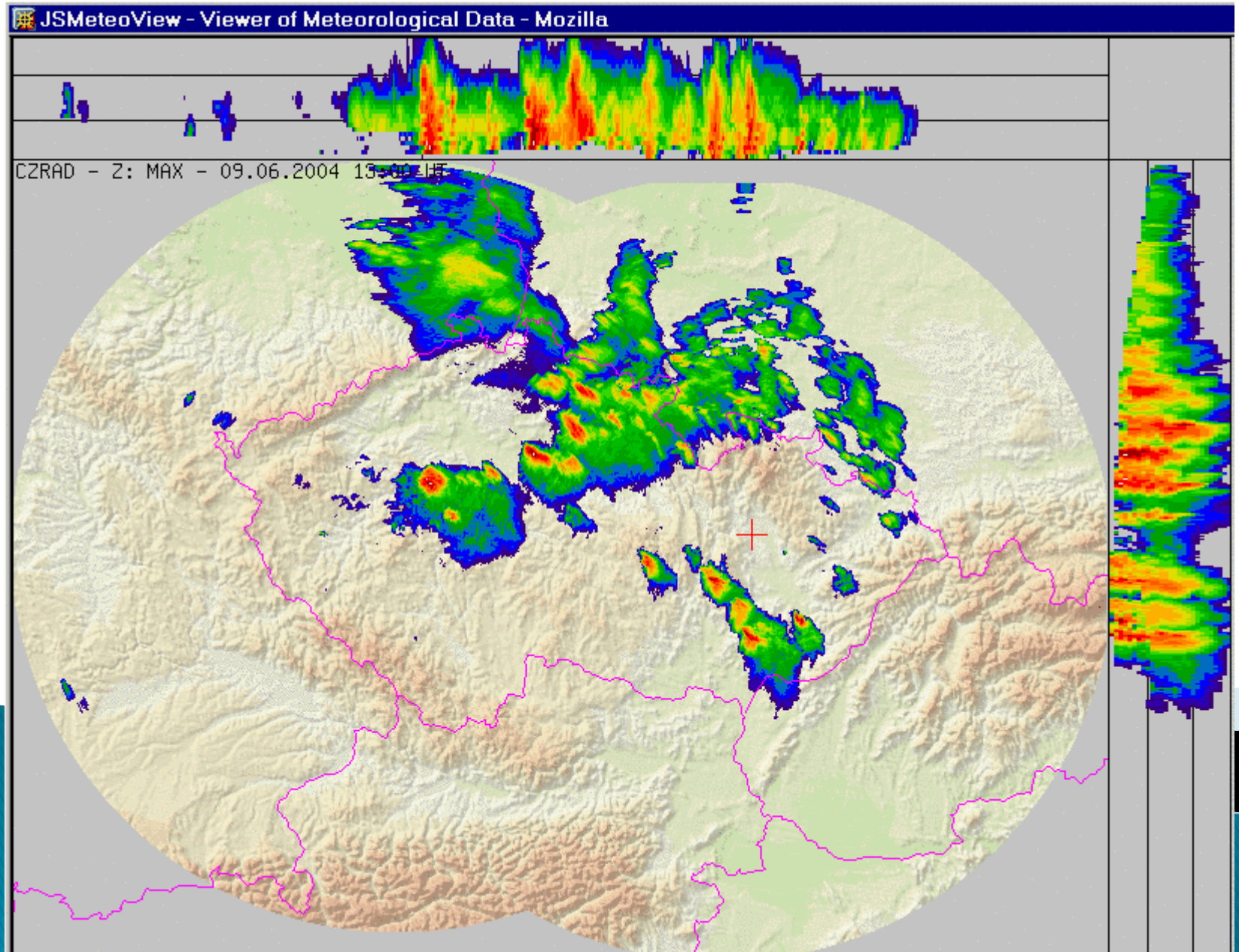
Tornádo 19. dubna 2000 u obce Studnice, okres Vyškov



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

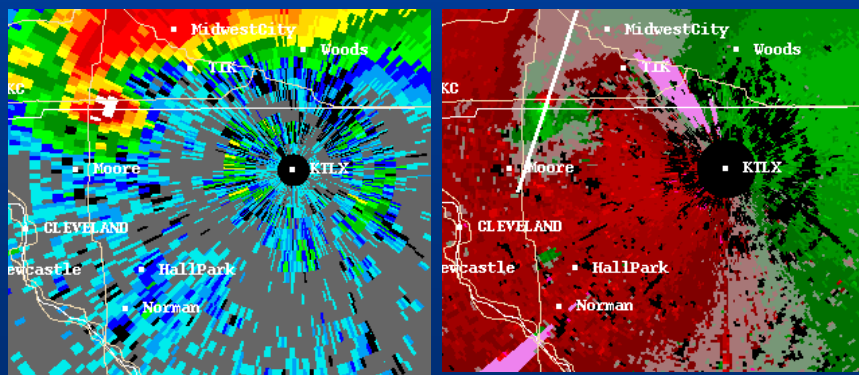
On May 3rd 1999 an F-5 tornado struck Oklahoma City

-2 km wide

-500 km/hr doppler measured winds near the surface

-42 deaths

-7000 homes destroyed















Tropické cyklóny

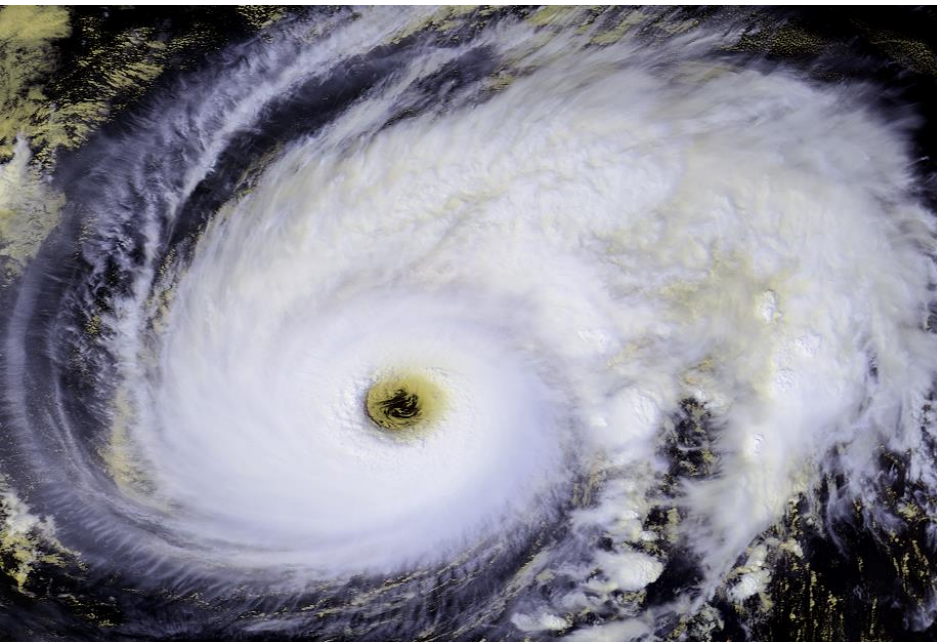
Velikost: stovky km

Trvání: několik dnů



Karibik: hurikán

Pacifik: tajfun

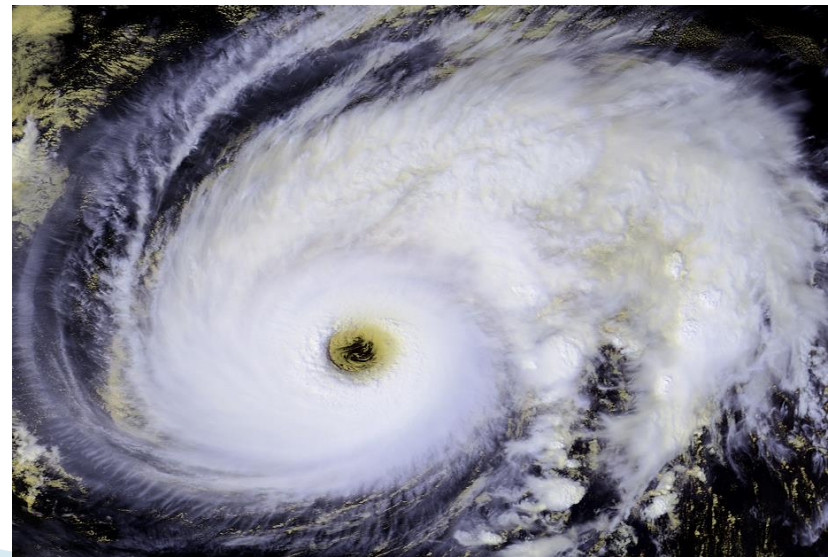


Tropické cyklóny

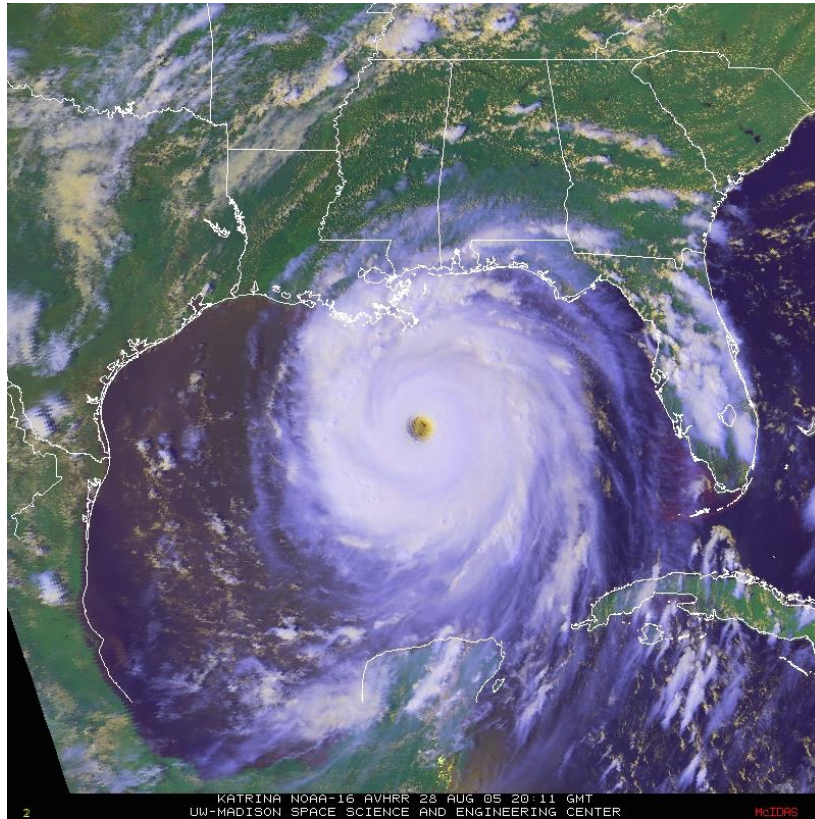
Vznikají v subtropických mořích při teplotě povrchu oceánu nad 26 st. a ohrožují zejména oblasti Karibského moře a tropického Pacifiku i oblasti Afriky.

Indický oceán: cyklon

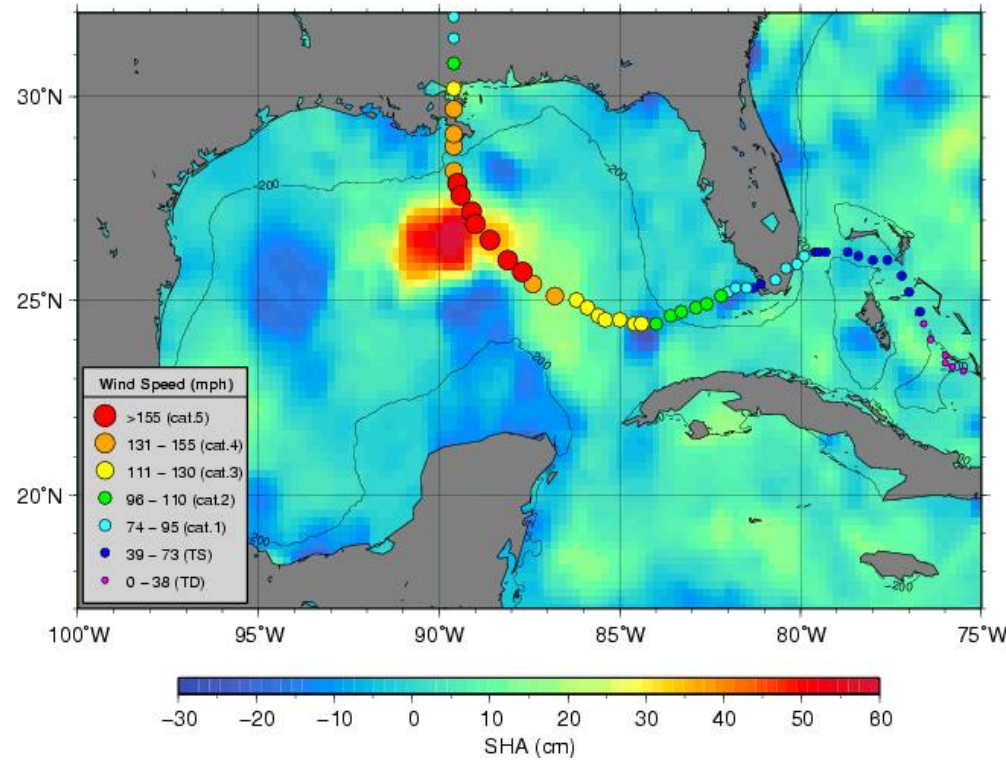
Austrálie: willy-wily



Hurikán Katrina



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



Oko hurikánu Katrina

