



Monitoring a předpověď počasí

Milan Šálek

Český hydrometeorologický ústav

<http://www.chmi.cz>

<http://www.chmi.cz/poboc/BR/brno.html>

salek@chmi.cz



Předpověď počasí

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

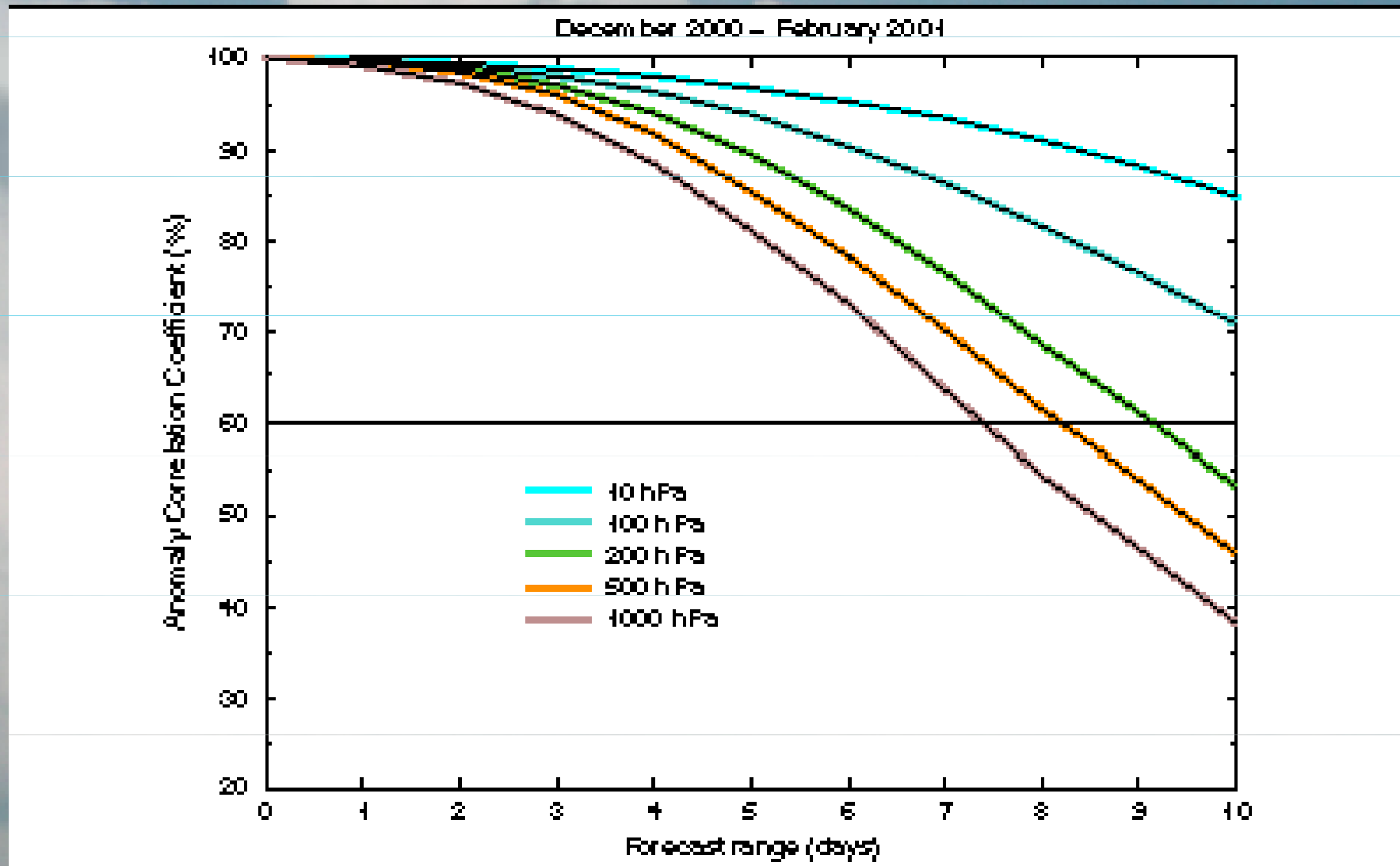


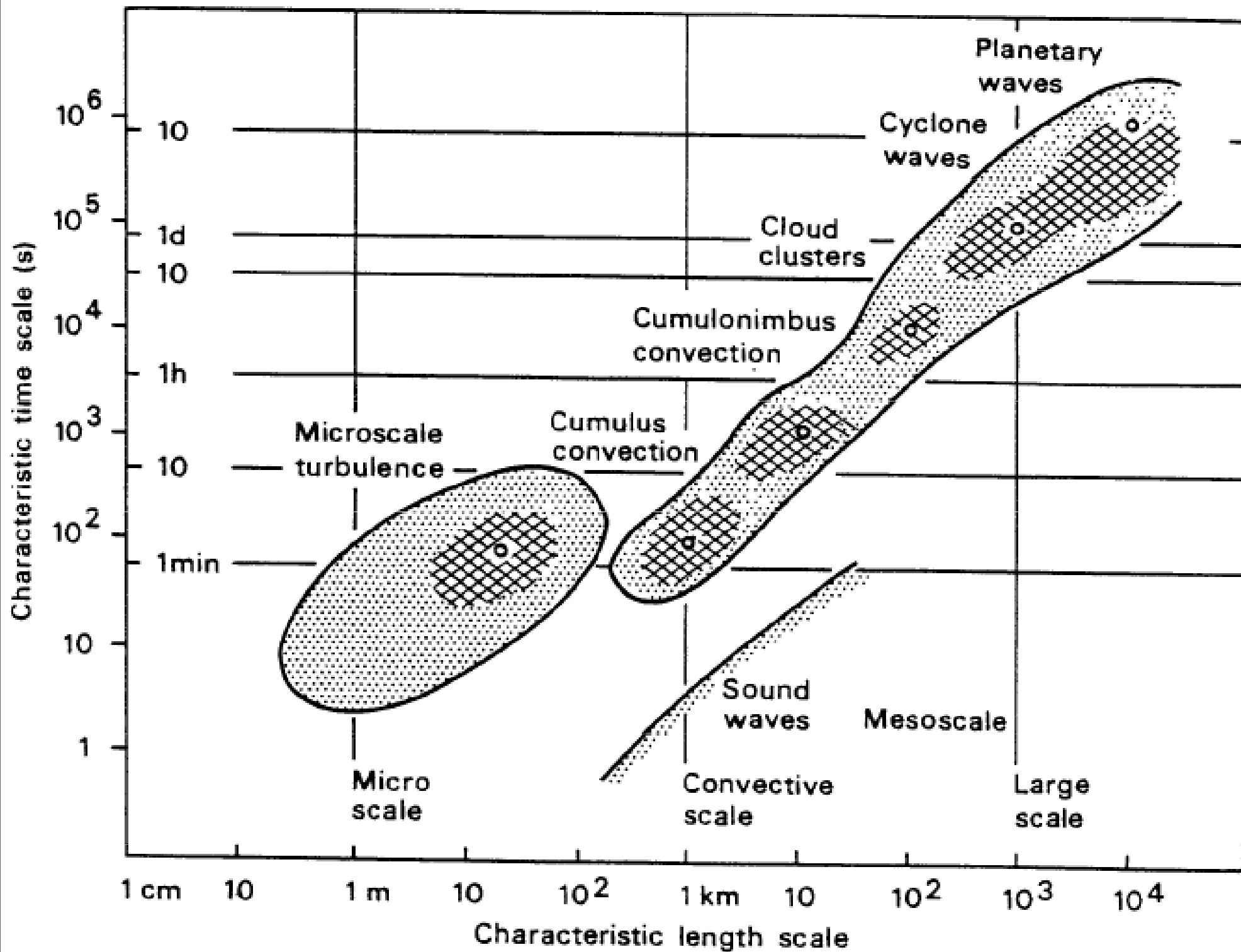
Měřítko meteorologických dějů

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



Anomální koeficient korelace předpovědi pro různé tlakové hladiny (model ECMWF)







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** - určena 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 (trat'ová)** - speciální předpověď zejména pro sféru dopravy - letectví, silnice.
- 3) **Místní** - speciální předpověď pro určitou lokalitu (pravděpodobnostní vyjádření)



Podklady pro tvorbu předpovědi počasí

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

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




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



Zápis stavu a průběhu počasí na přízemních povětrnostních mapách

význačné počasí v termínu pozorování

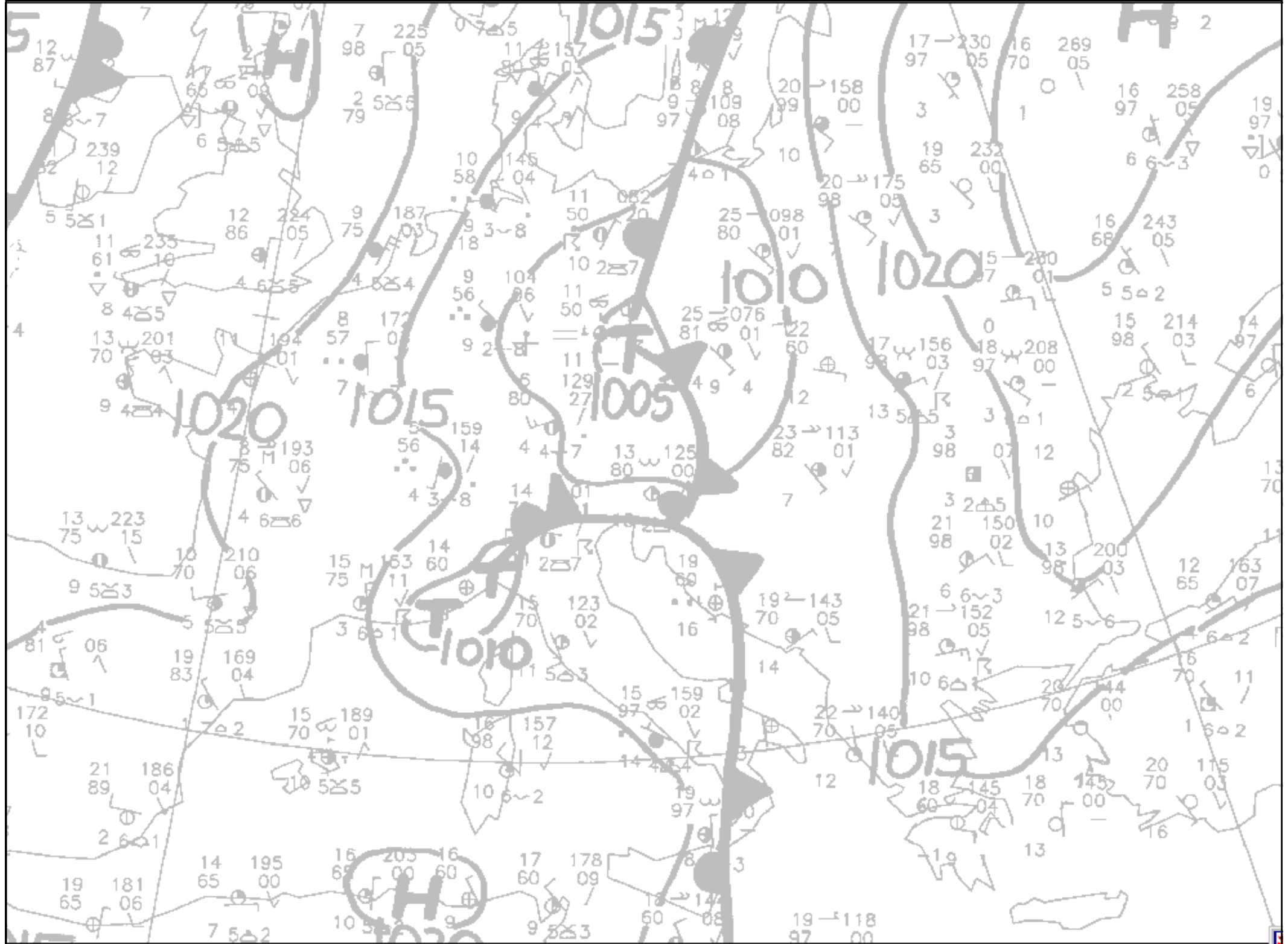
teplota vzduchu **16.1** 064 tlak na hladinu moře

30  01 ✓ tlaková tendence
 **15.1** 8   průběh počasí

teplota rosného
bodu

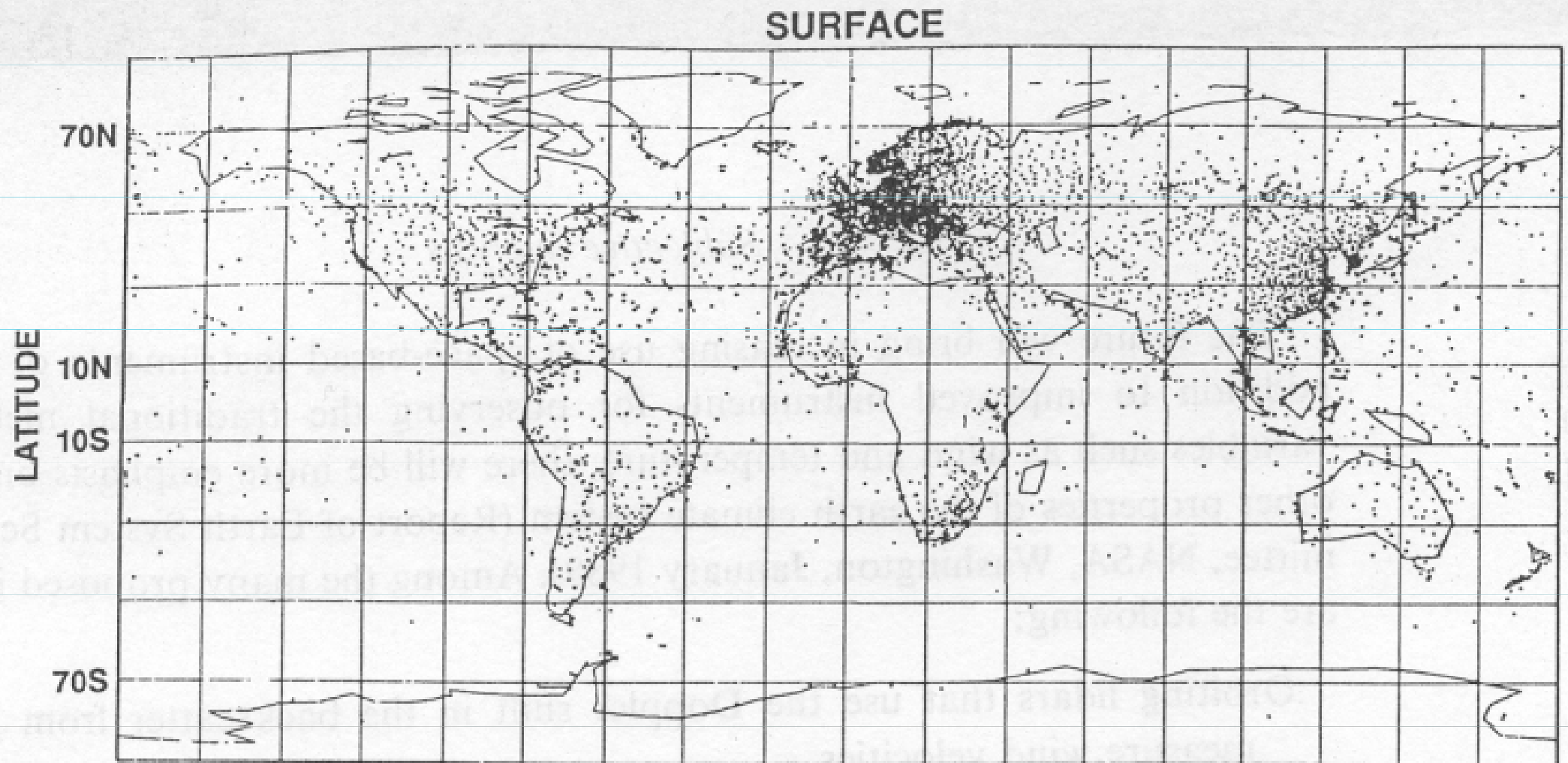
druh oblaků nejnižšího patra

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





Ilustrace rozložení pozemních synoptických stanic





Podklady pro tvorbu předpovědi počasí

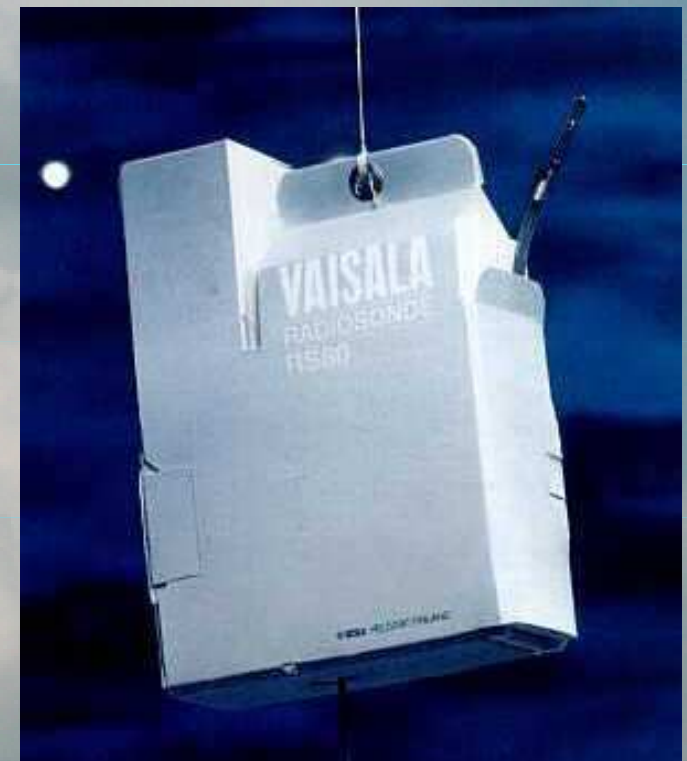
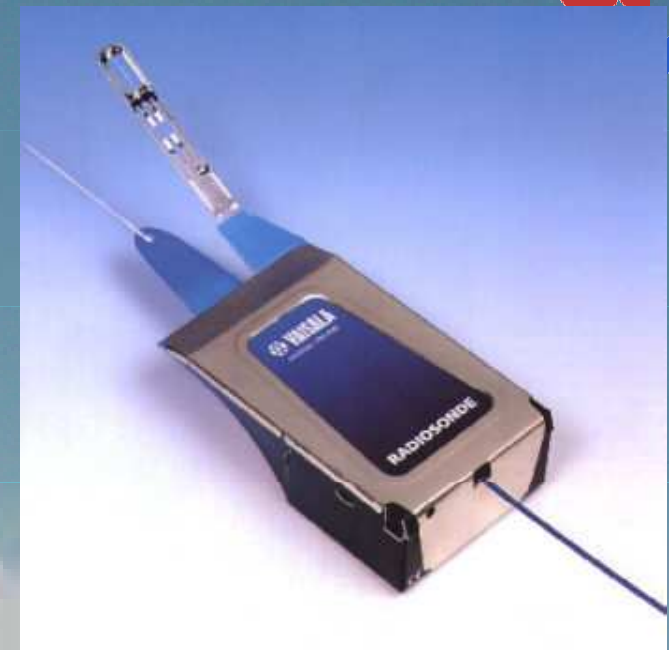
- 2) **Informace z aerologických stanic:**
600-800 stanic na Zemi
měří výškový profil základních meteorologických prvků (teplota, vlhkost, tlak vzduchu, vítr) alespoň 1x denně





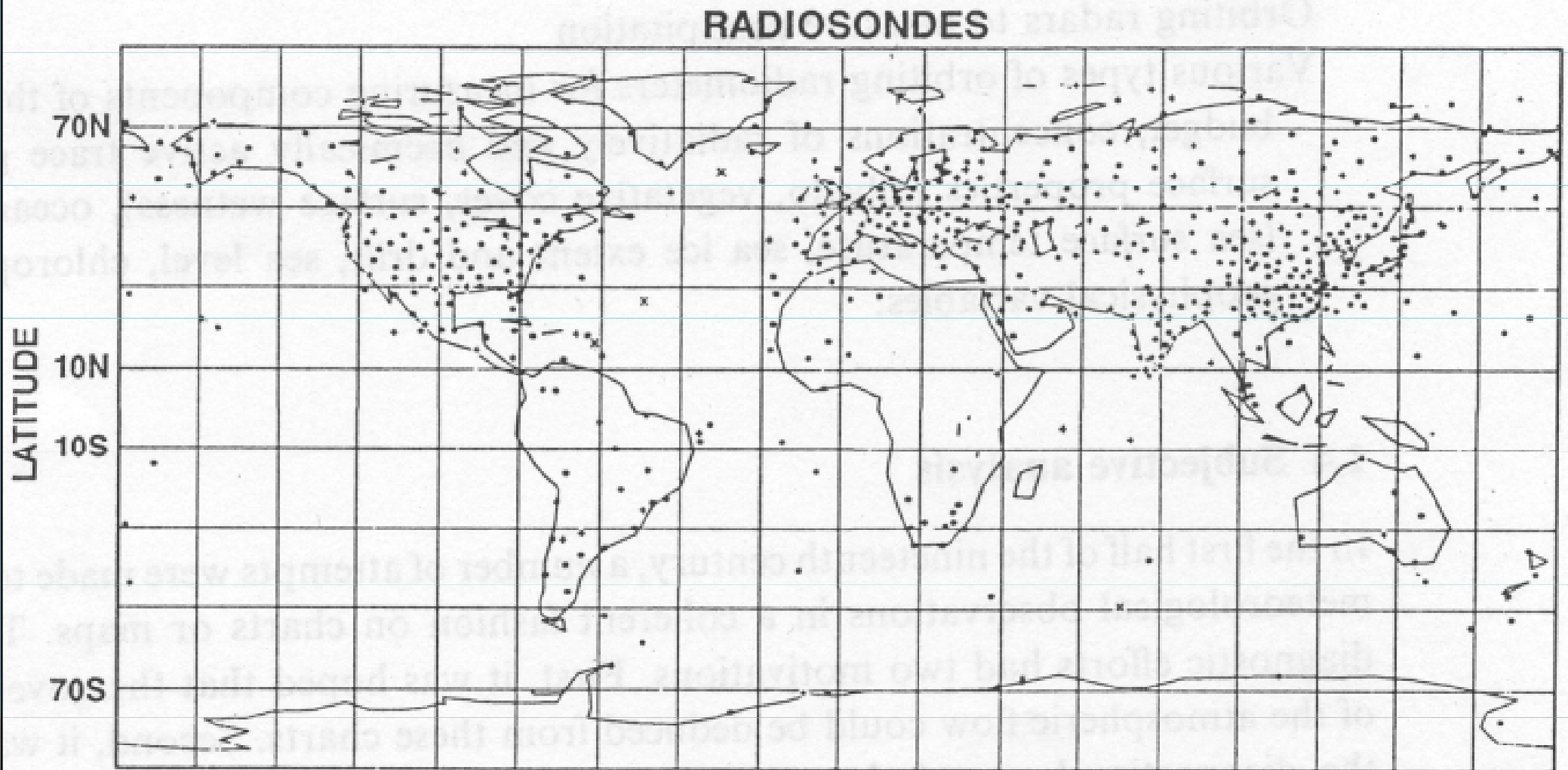


Vypouštění sondy



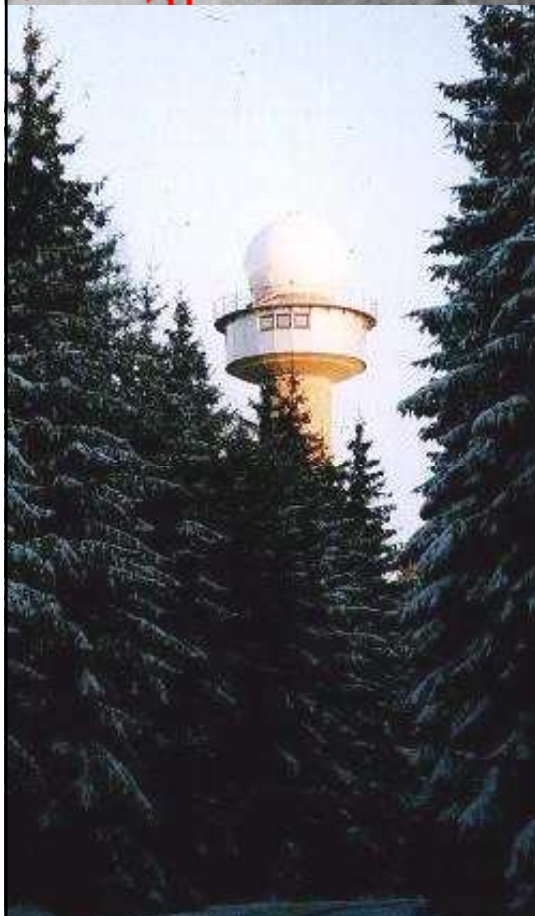


Ilustrace rozložení aerologických stanic

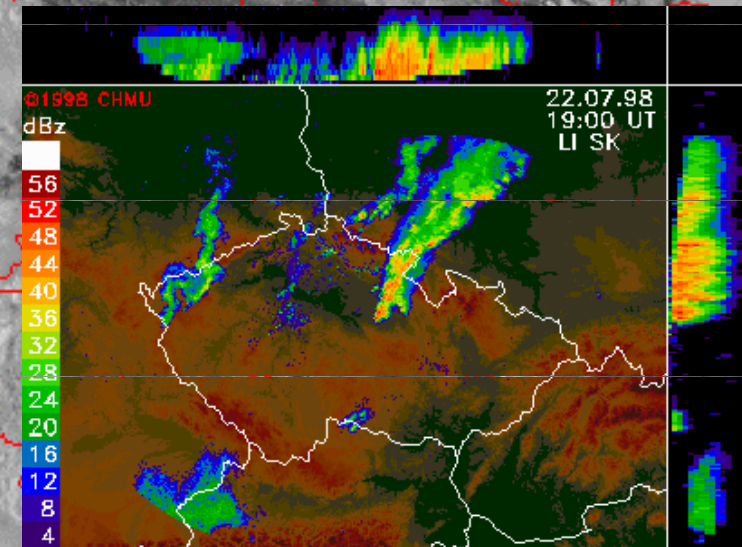
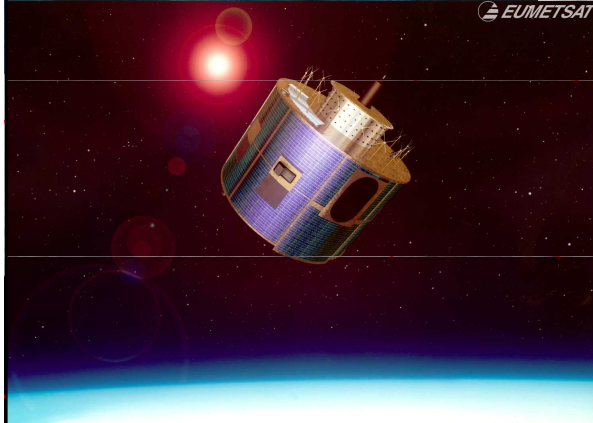


Podklady pro tvorbu předpovědi počasí (pokrač.)

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

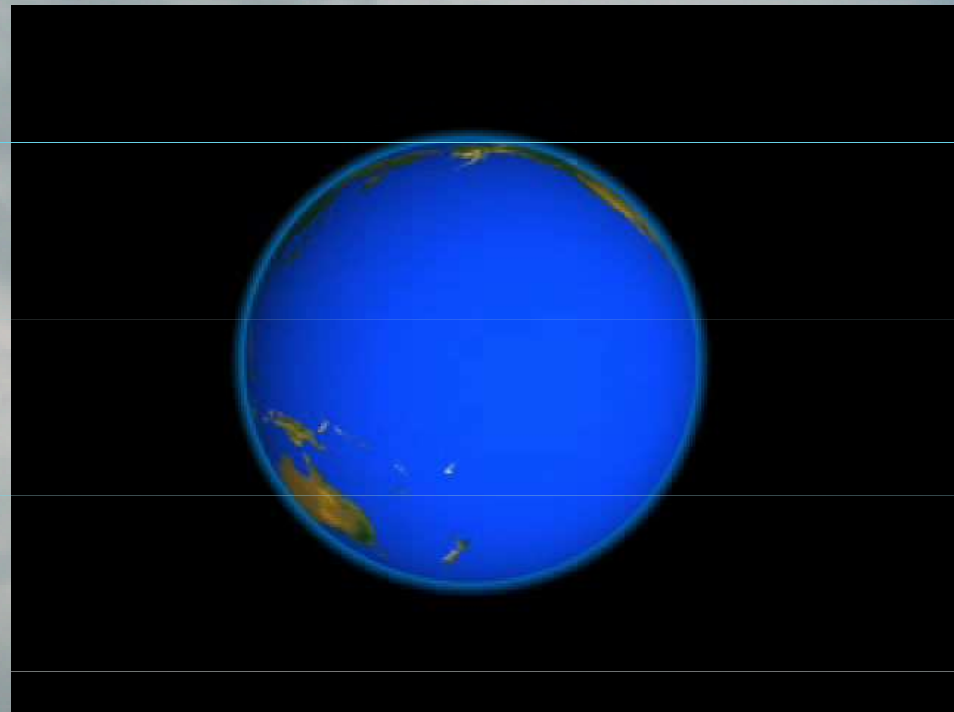


EUMETSAT



Metody dálkové detekce

- meteorologické družice
- meteorologické radary
- sodary, lidary

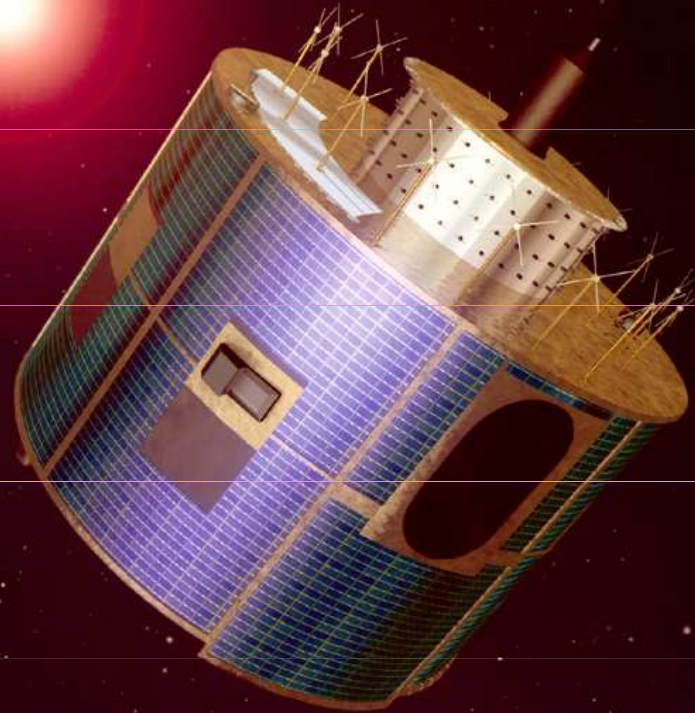




Geostacionární meteorologické družice



 **EUMETSAT**



METEOSAT 8 (od r. 2003; 3,4° W)

METEOSAT 9 (od r. 2006; 0 °)



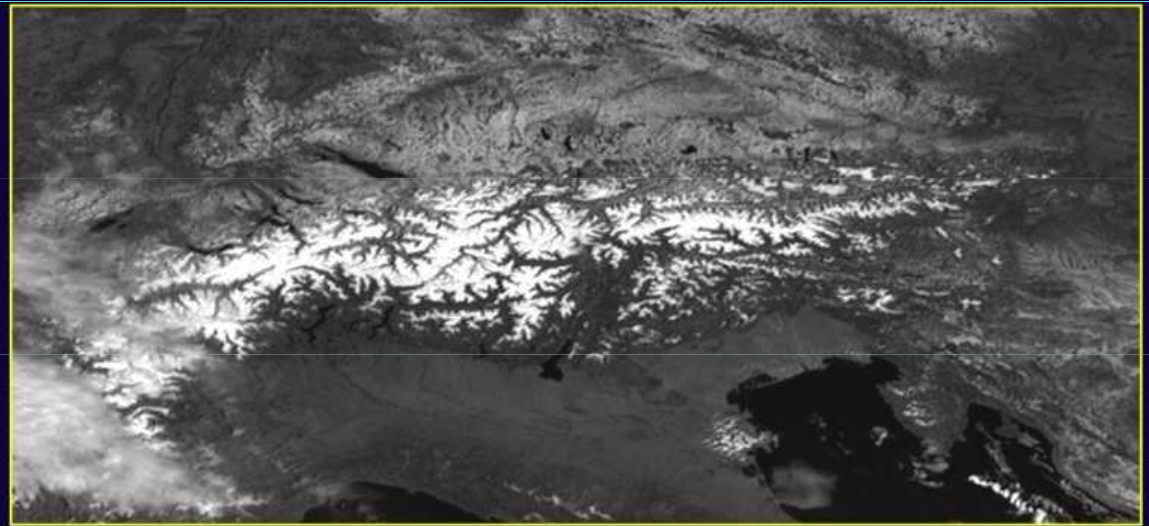
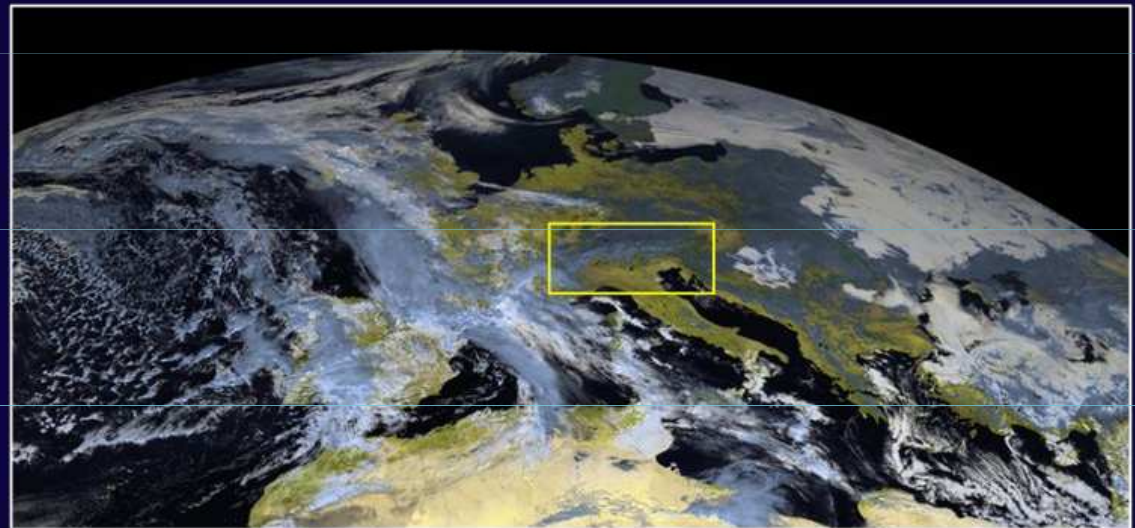
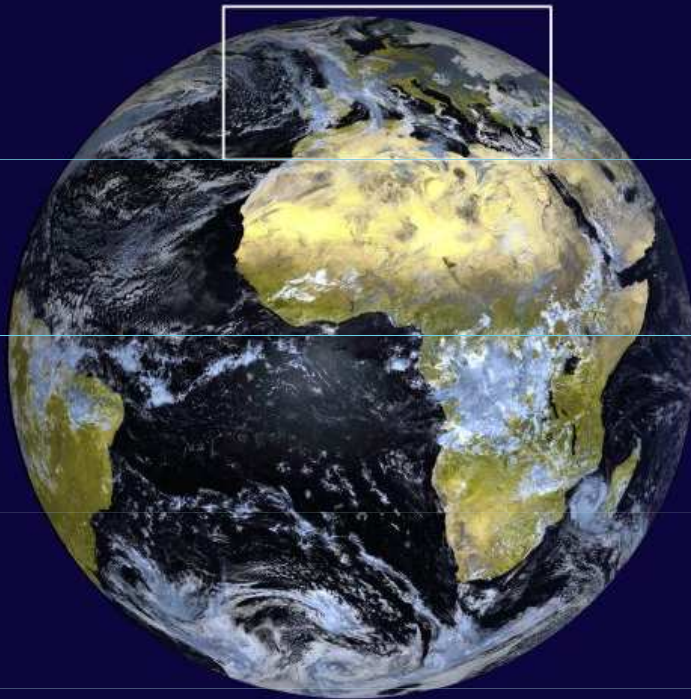
Kanály MSG

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



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

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



Meteosat-8 Second Generation Satellite

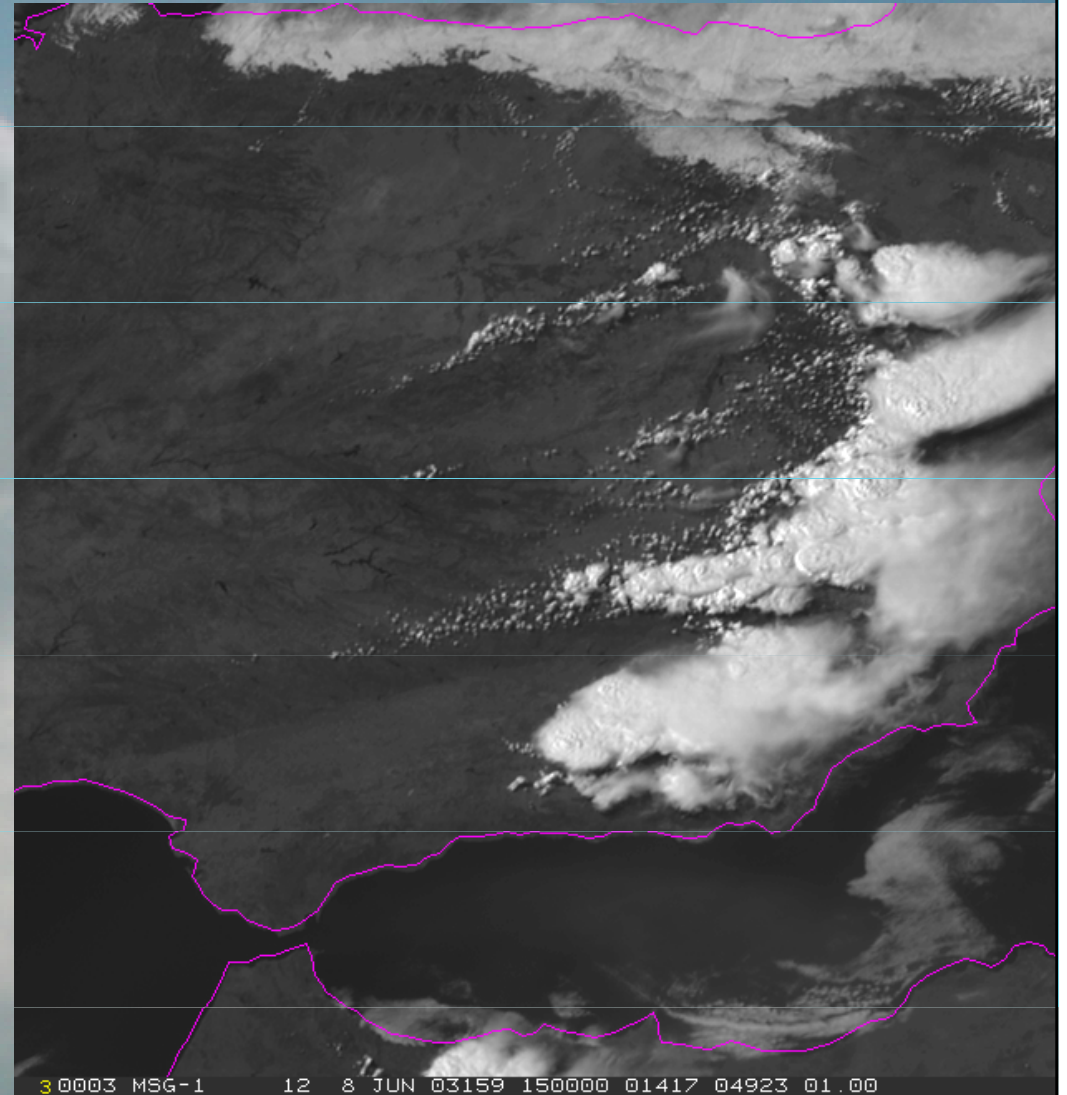
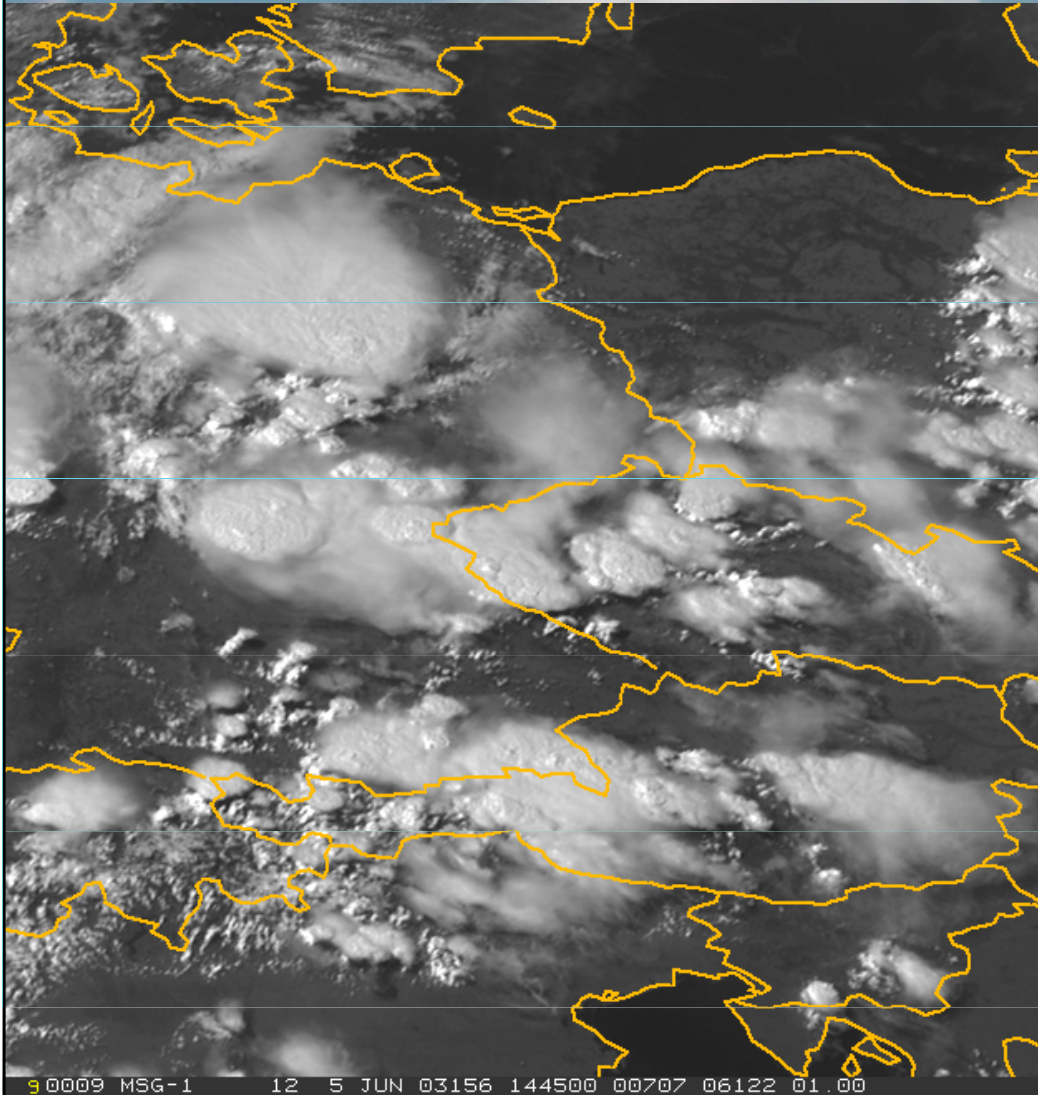
26 February 2003 12:00 UTC

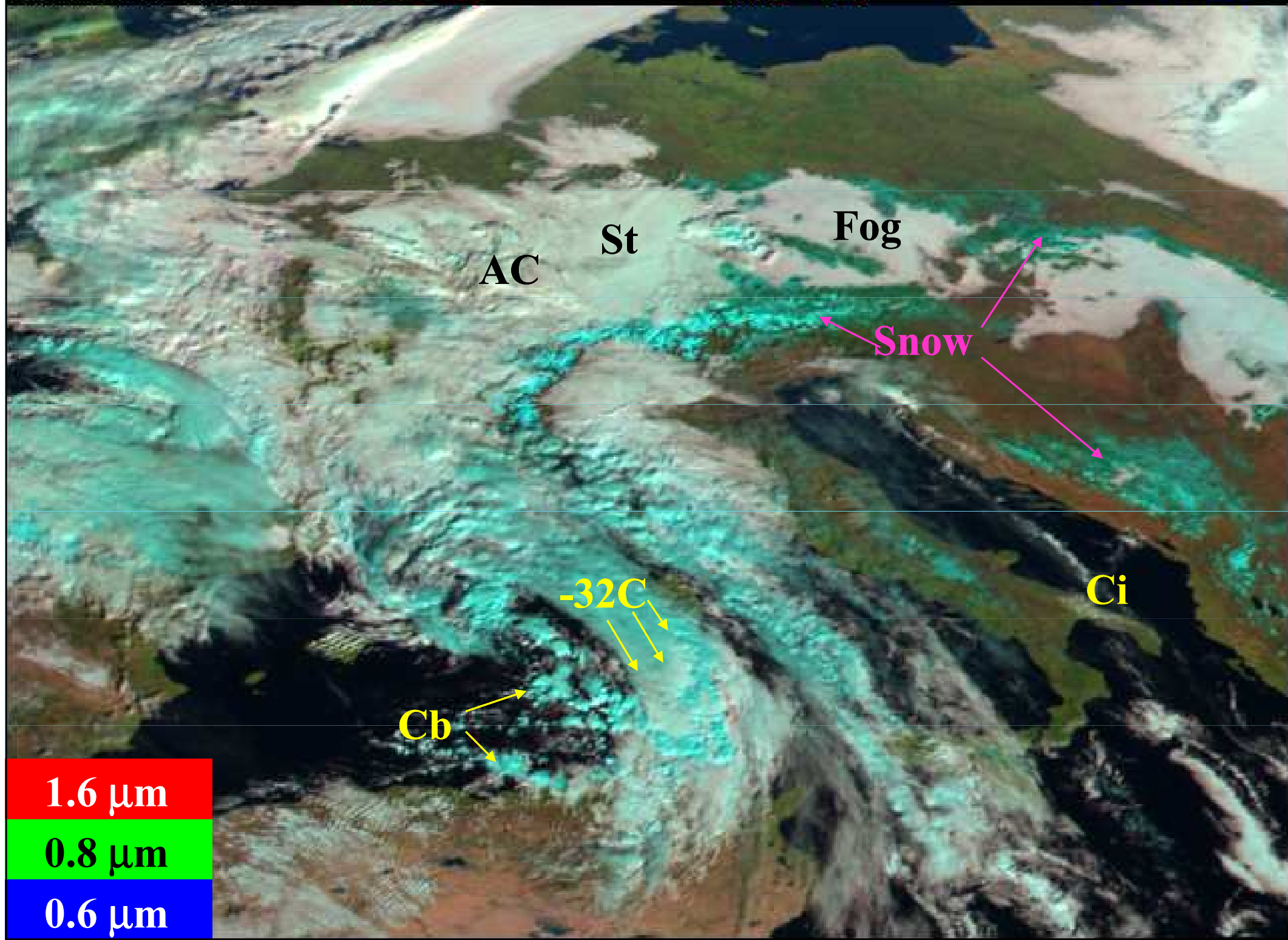
HRV image of the Alps

© EUMETSAT 2003



High Resolution Visible





AC

St

Fog

Snow

Ci

-32C

Cb

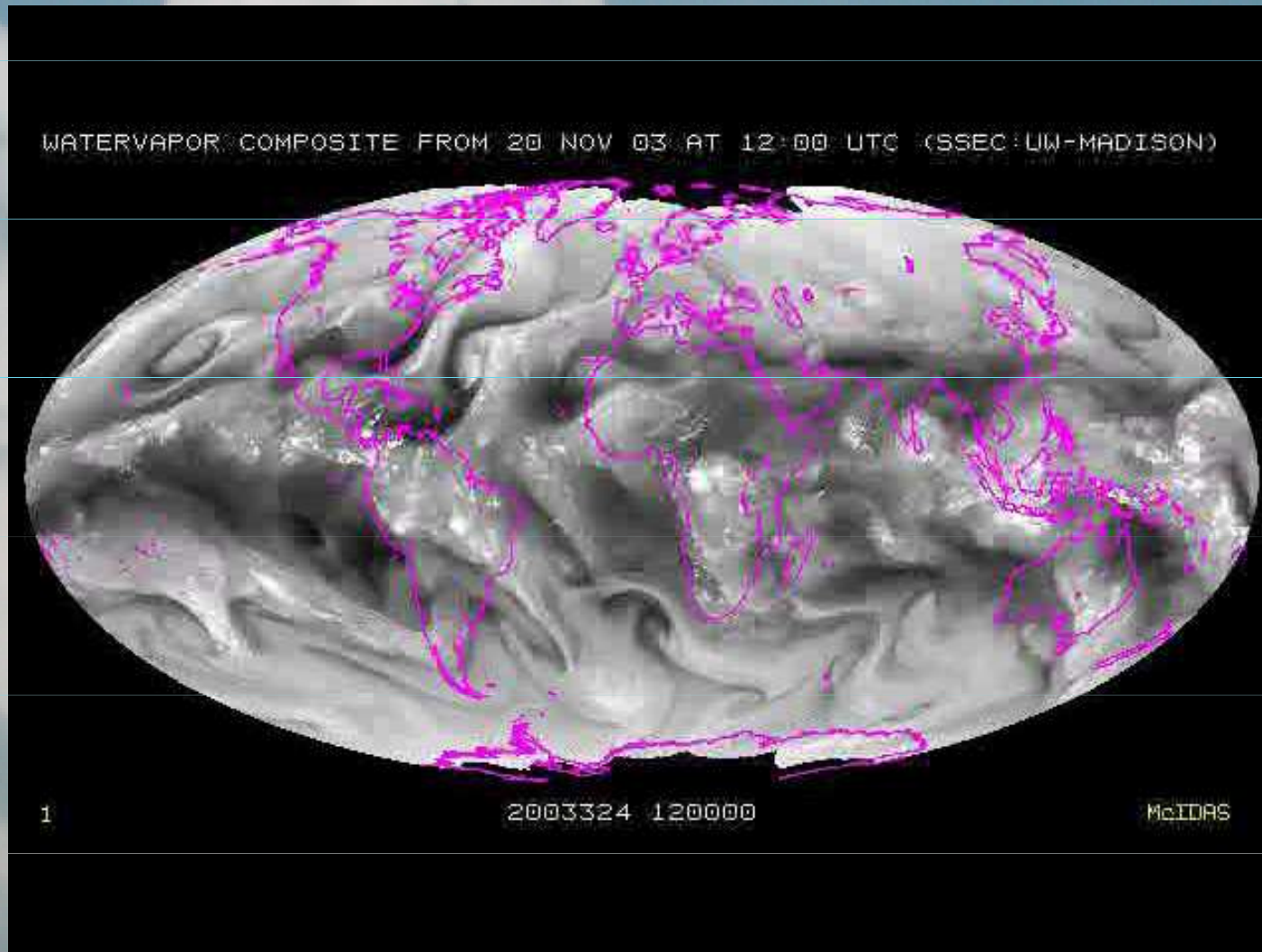
1.6 μm

0.8 μm

0.6 μm

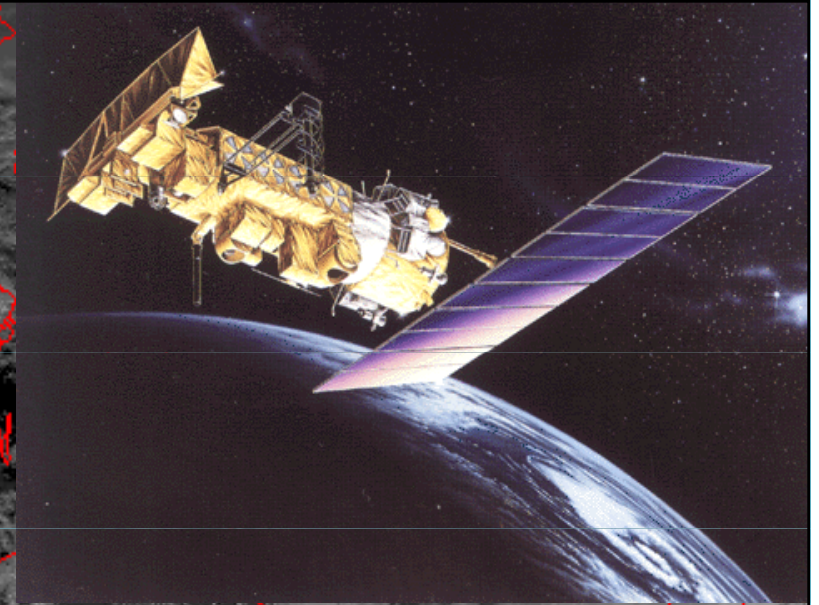


Sloučení měření více geostacionárních družic



Družice s oběžnou (kvazipolární) drahou - NOAA.

- dvě družice
- 810-870 km
- téměř každé místo na Zemi je snímáno jednou družicí 2x za den



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	10.3 - 11.3 mikrometru	tepelné záření



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

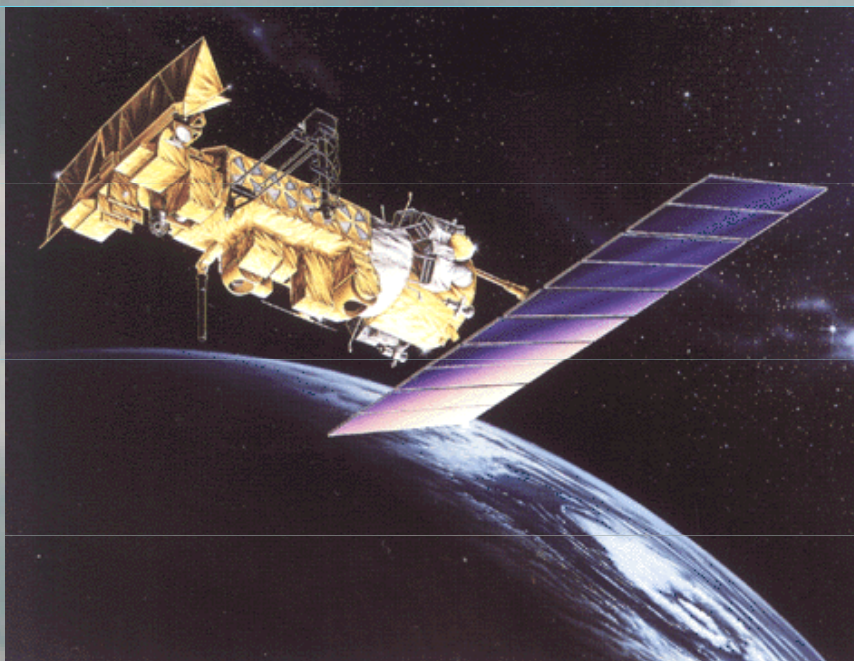
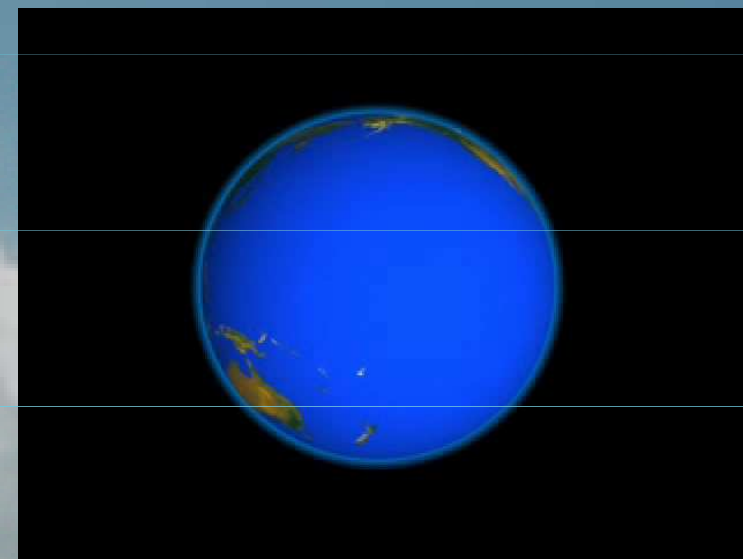
10.3 - 11.3 mikrometru

tepelné záření

5. kanál

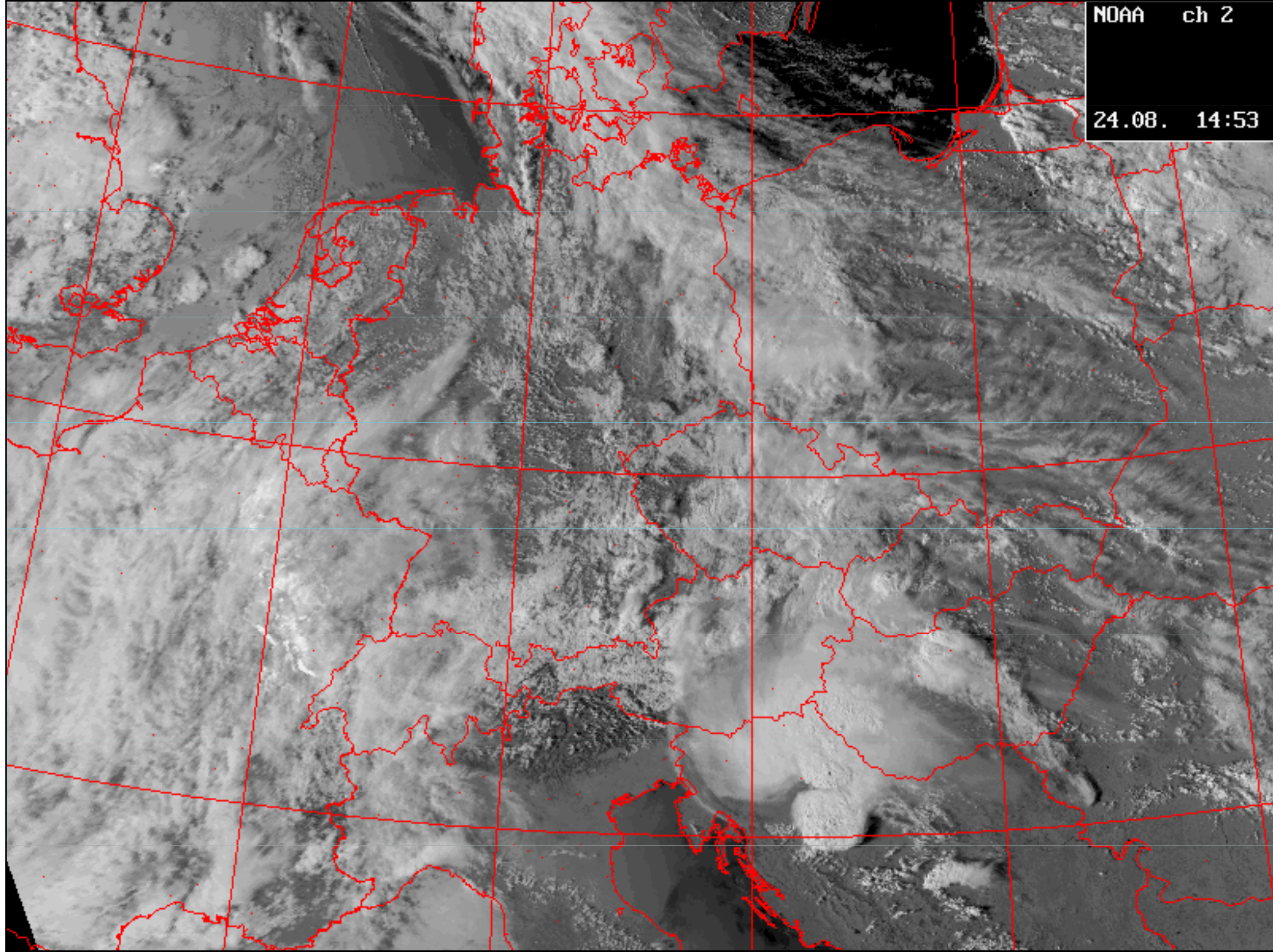
11.5 - 12.5 mikrometru

tepelné záření



NOAA ch 2

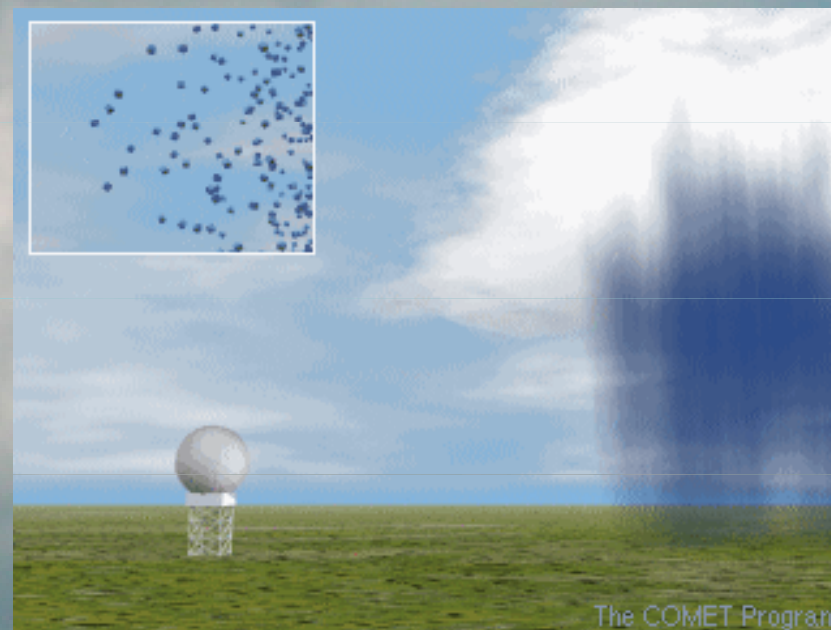
24.08. 14:53





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,

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

r - vzdálenost cíle.



Dopplerovské radary

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



Odhady srážek z meteorologických radarů



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

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

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



Radarová síť v České republice

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

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



RADAR Brdy

V provozu od r. 2000



Stanoviště

Brdy-Praha



Oblast

střední Čechy

WMO indikativ

11480

Typ radaru

EEC DWSR-2501 C

Zeměpisná šířka

49,658 N

Zeměpisná délka

13,818 E

Nadmoř.výška

860 m

Výška antény n.m.

916 m

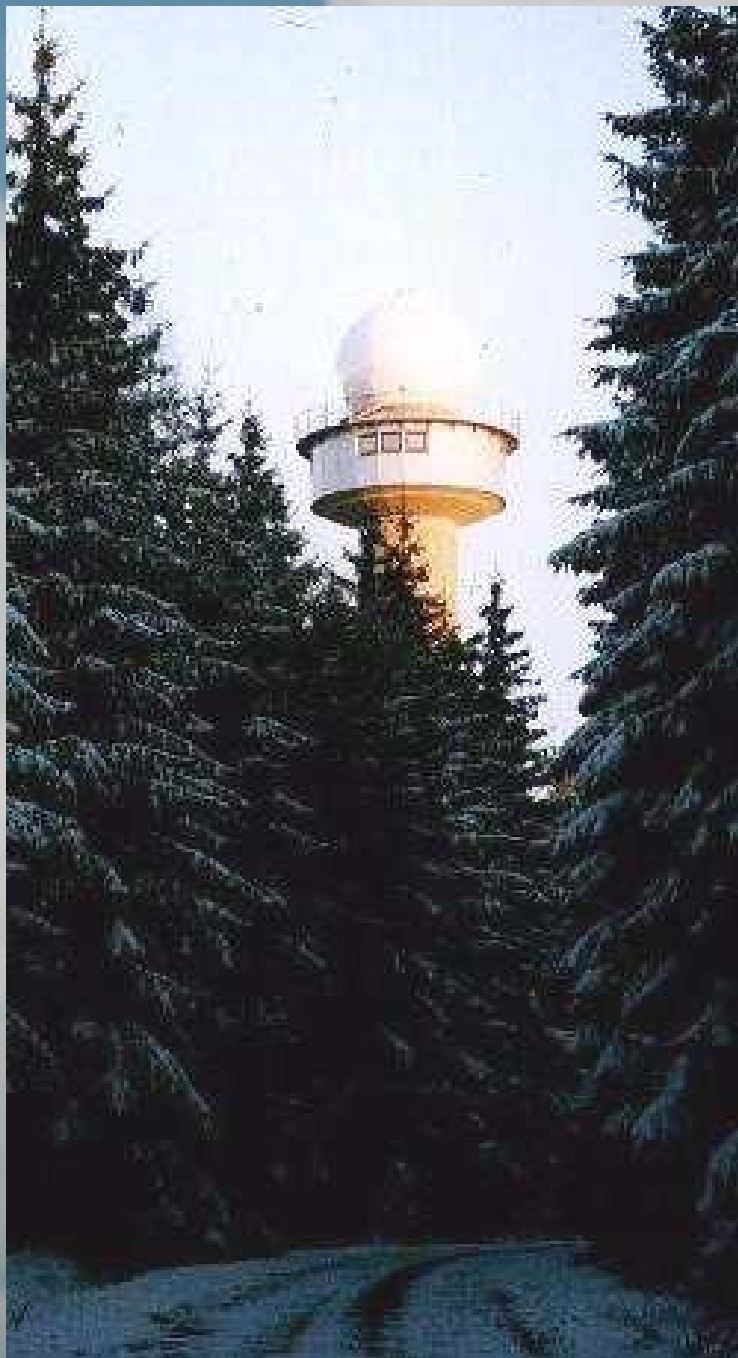
Interval měření

10 min.



RADAR SKALKY

V provozu od r. 1995



Stanoviště

Skalky u Protivanova

Oblast

střední Morava

WMO indikativ

11718

Typ radaru

**Gematronik METEOR
360AC**

Zeměpisná šířka

49,501 N

Zeměpisná délka

16,790 E

Nadmoř.výška

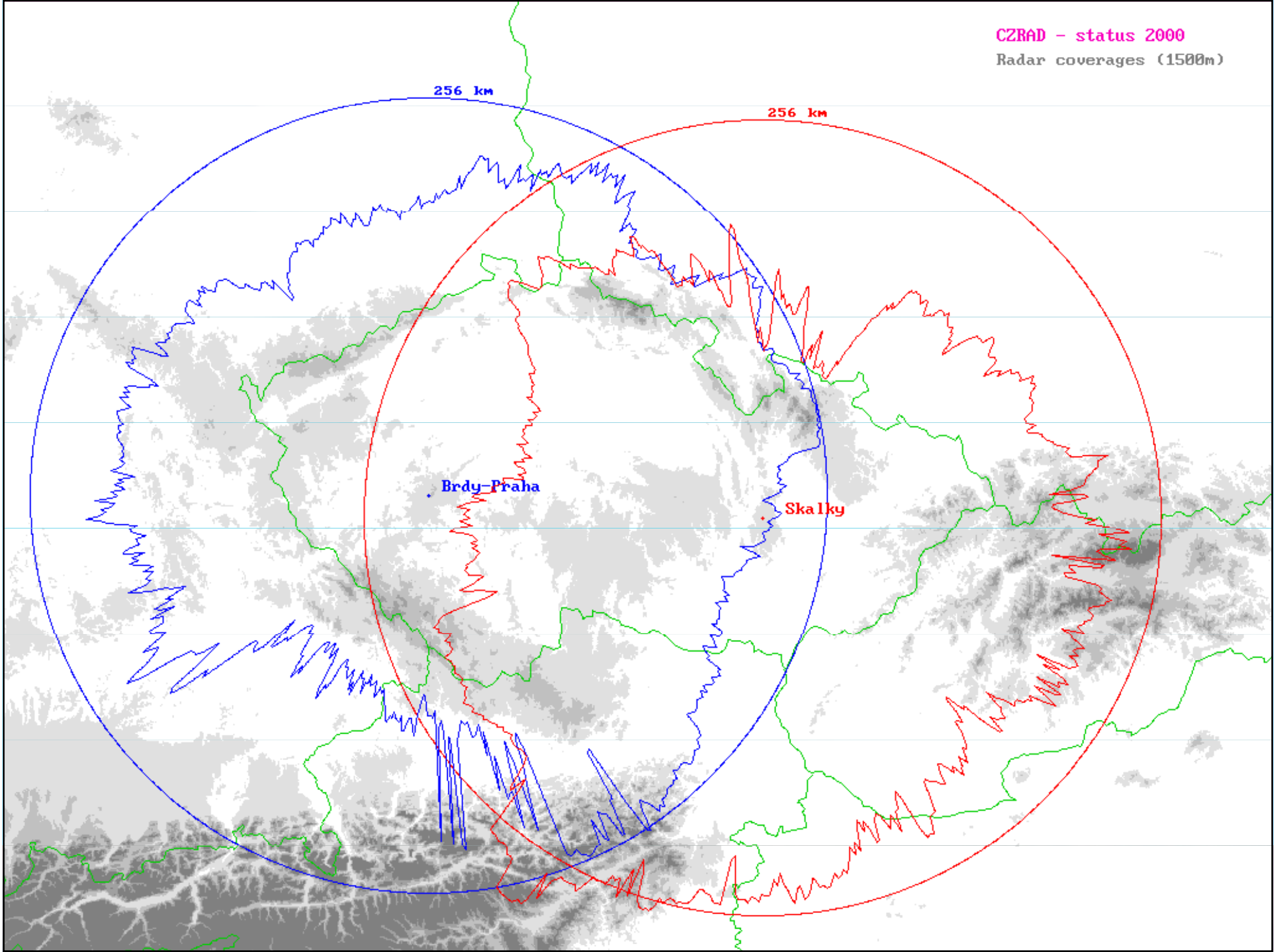
730 m

Výška antény n.m.

767 m

Interval měření

10 min.



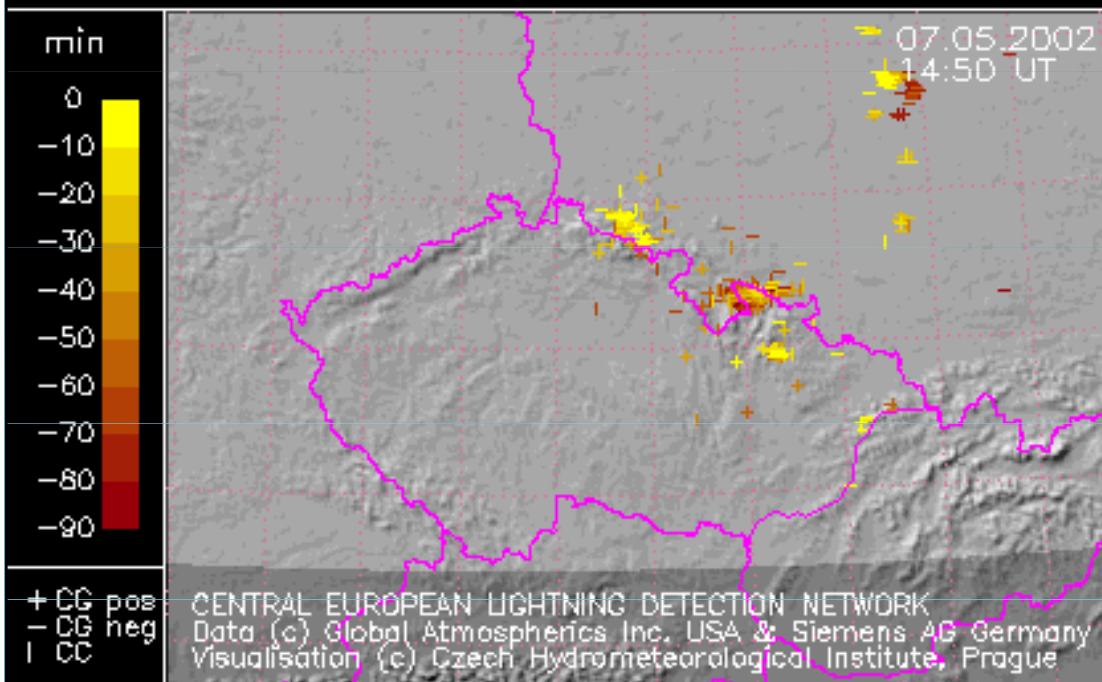


Použití radarů v meteorologii

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

LIGHTNING STROKES: Σ 838, CG+ 4.1%, CG- 78.6%, CC 17.3%

Last data connection: 07.05.2002 14:52 UT



Metody detekce blesků

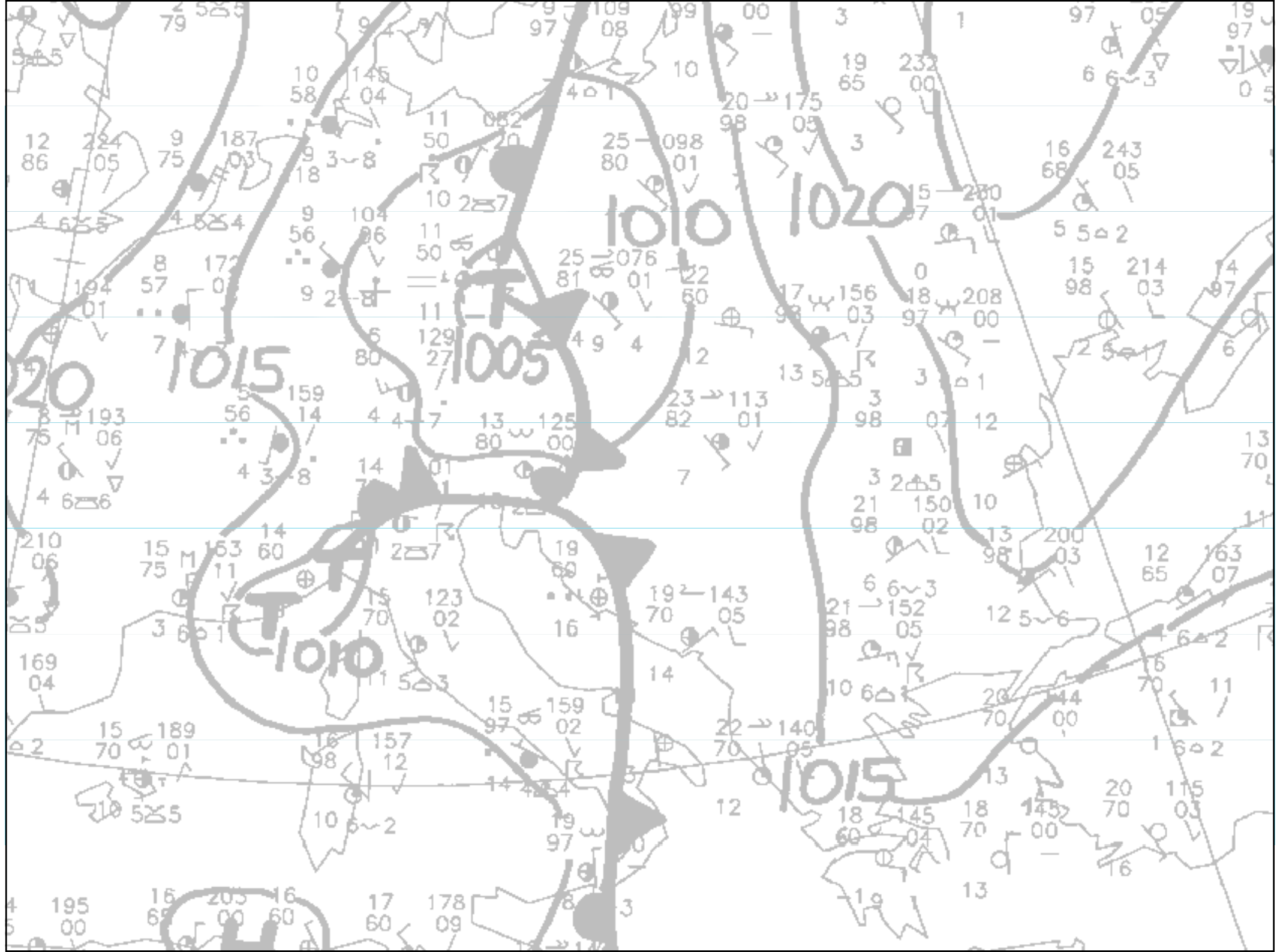
- Pomocí vhodně rozmístěných detekčních čidel se zachycuje elektromagnetické záření, které se vyzařuje při bleskovém výboji
- Čidla určí směr, ve kterém došlo k výboji, nebo dobu zachycení signálu synchronizovanou pomocí GPS. Informace z čidel jsou v reálném čase zasílány do zpracovatelského počítače,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





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.)



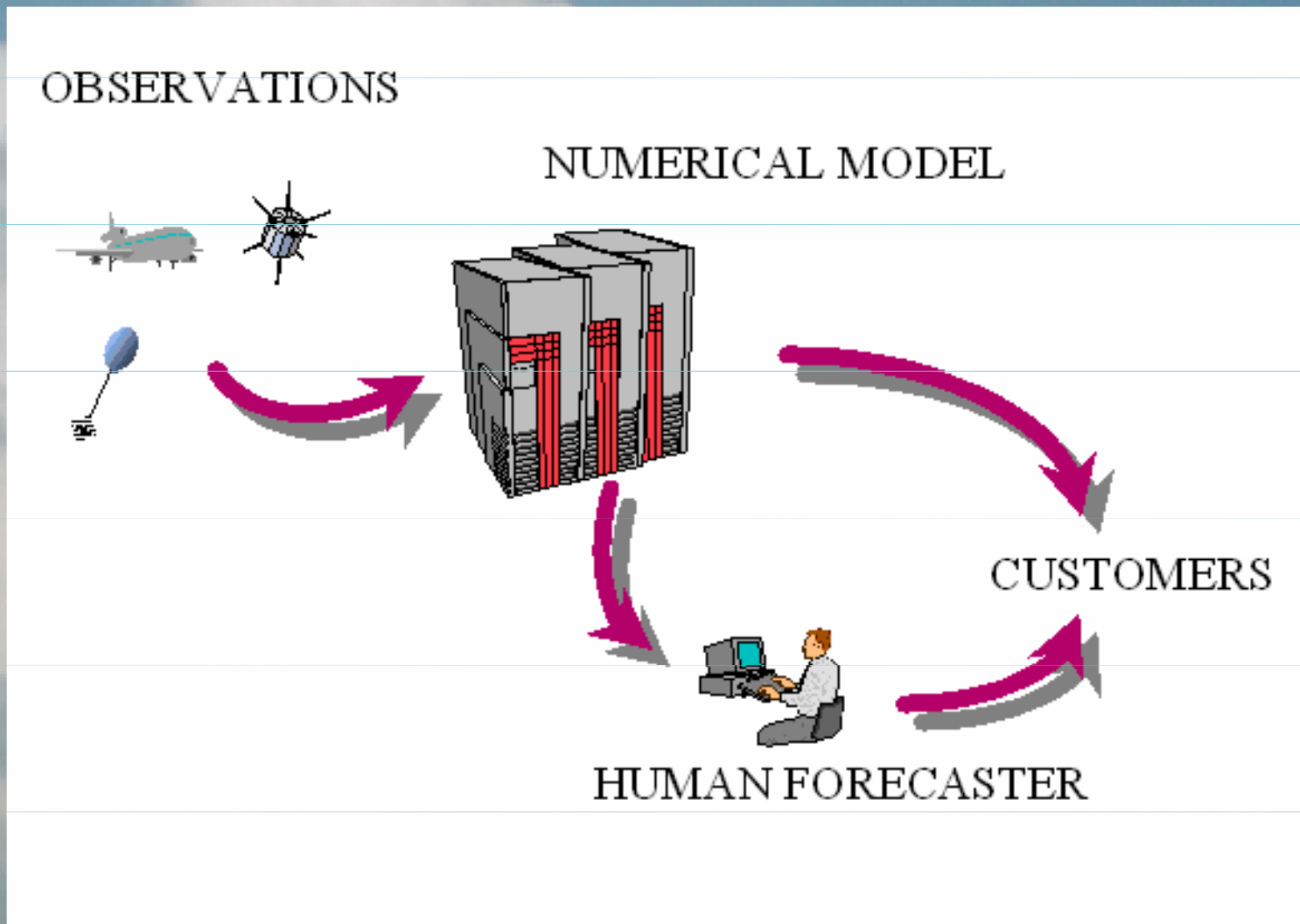
Metody předpovědi počasí

„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





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.

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	Coupled models,	> 500	6-7 (up to 10 days in the stratosphere)	Semi-Lagrangian	15-50 km	Fog	Ozone
2000	EPS				30-50 levels		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.



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.)

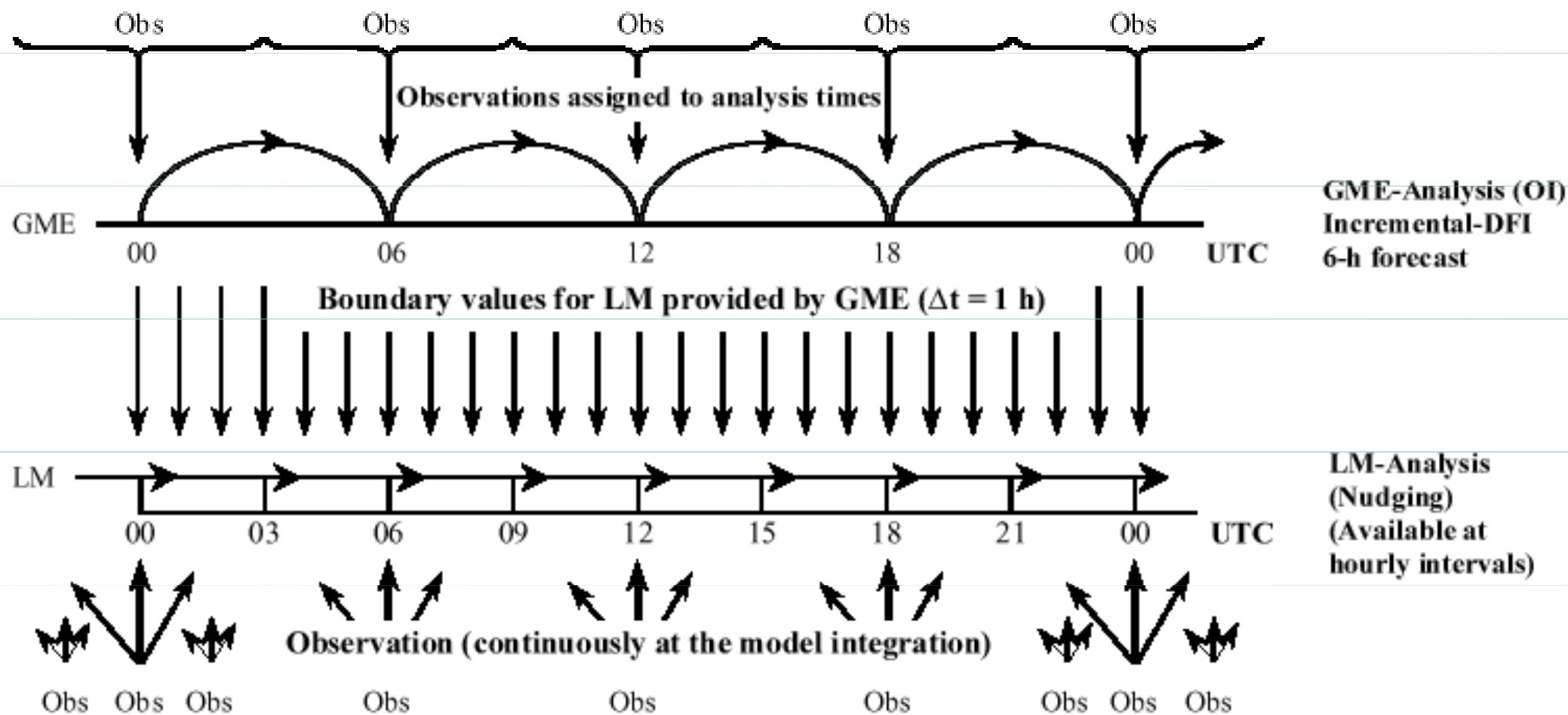


Fig. 5.1 4 dim data assimilation for GME and LM



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



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.

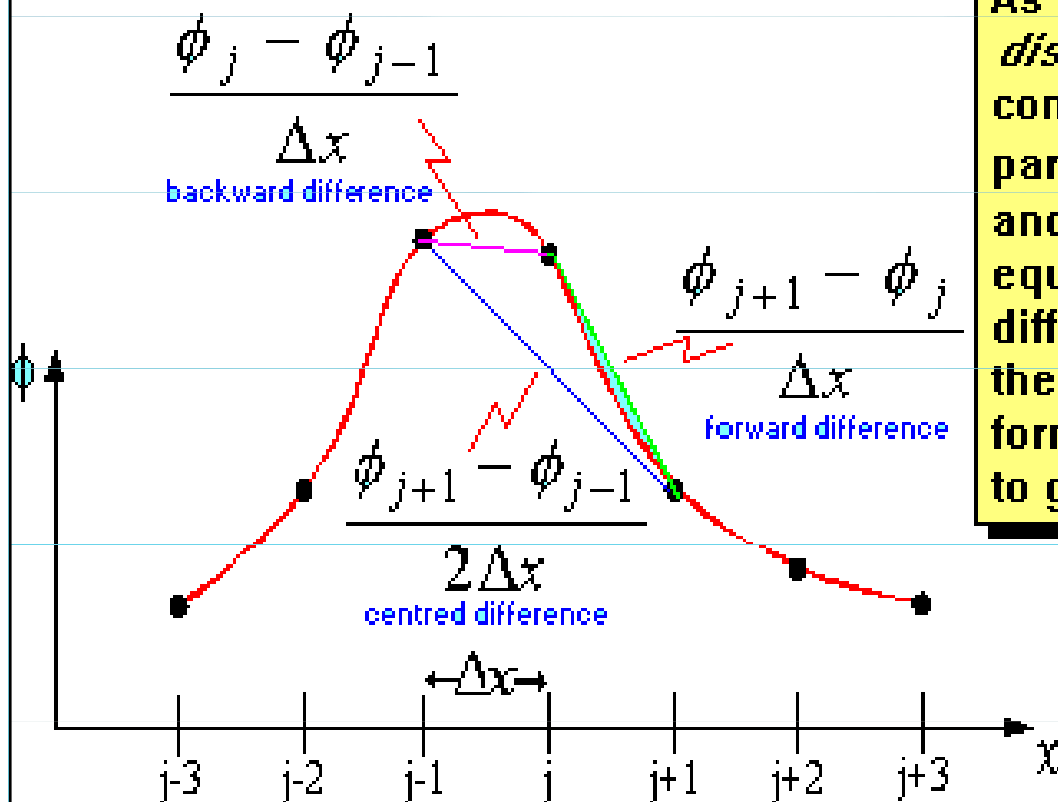


Integrace základních rovnic

- 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
- 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

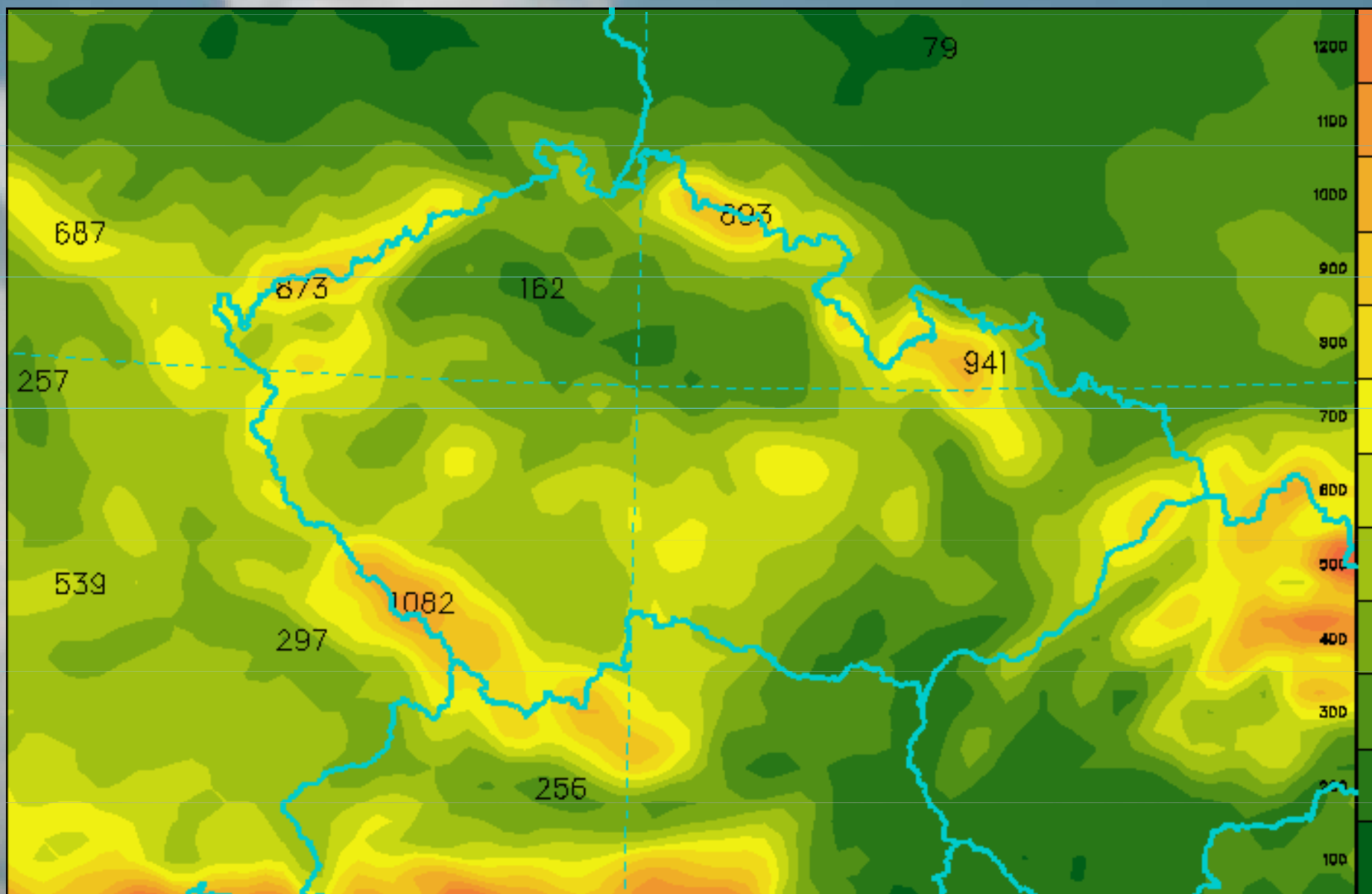
- Mezinárodním týmem byl pod patronací METEO France vyvinut LAM model ALADIN, který se nyní využívá též Českým hydrometeorologickým ústavem
- Horizontální rozlišení: 9 km
- Počet hladin: 43



Nadmořská výška terénu v modelu ALADIN



(rozlišení 9 km, 43 hladiny)





ALADIN – změna od 25.10. 2010

- Horizontální rozlišení: 4,7 km
- Počet hladin: 87



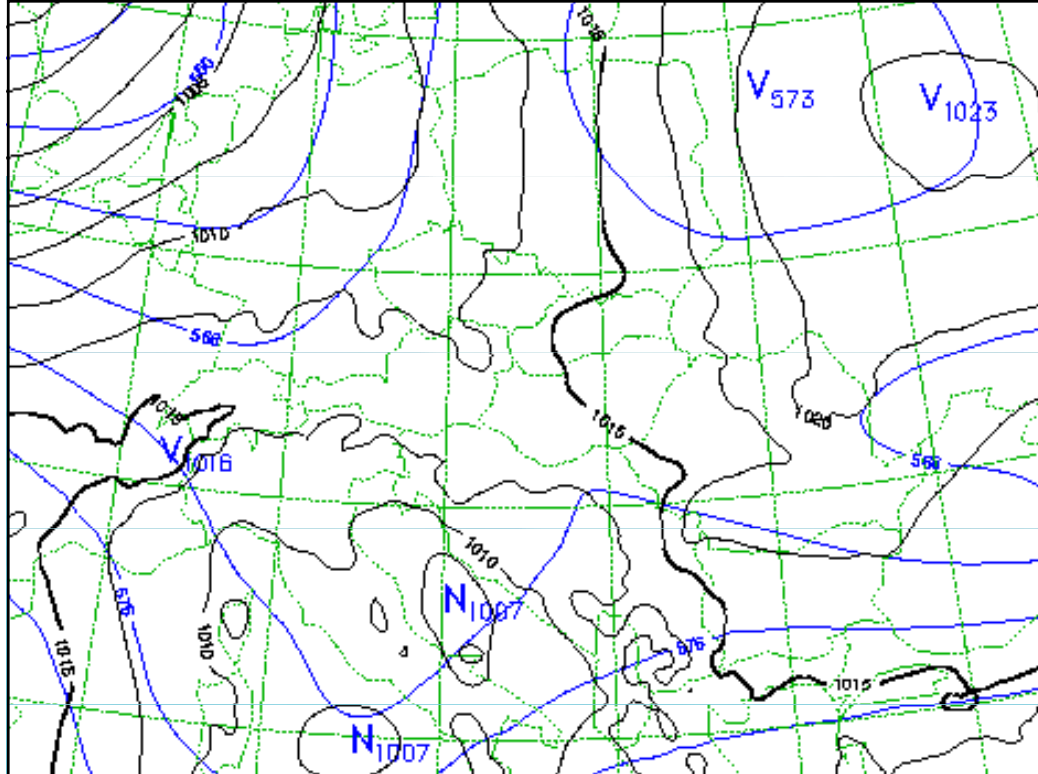
Výstupy modelu

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

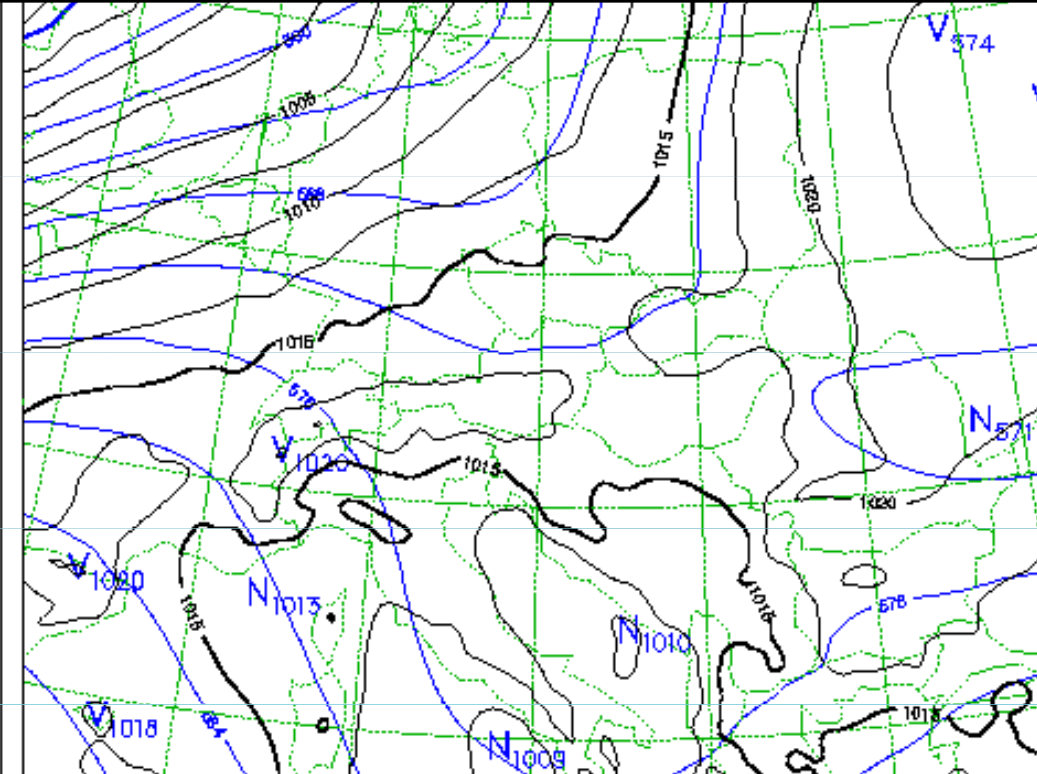


Výstupy modelu (2)

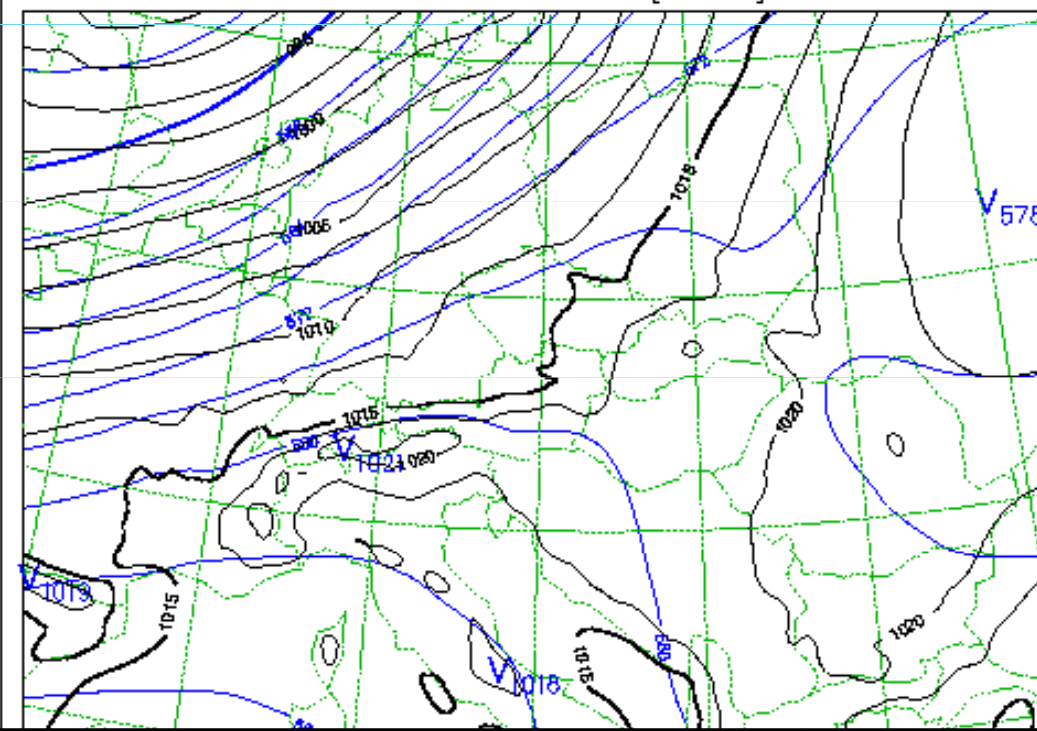
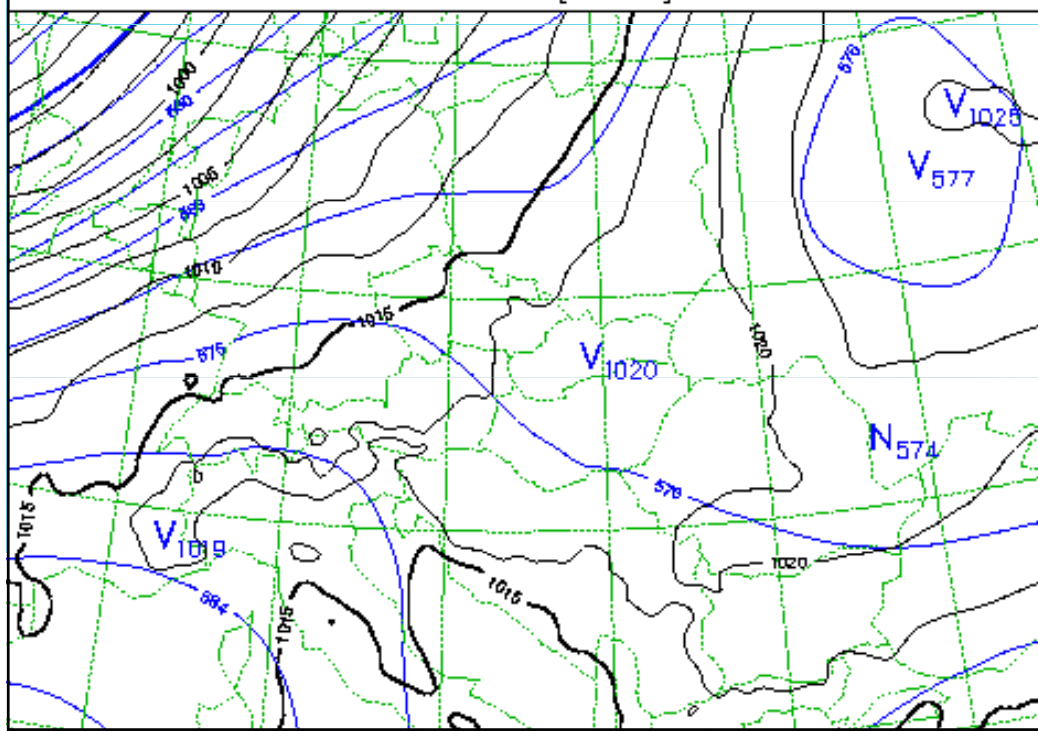
- diagnostické veličiny:
 - ξ_a , ξ_r , PV, DIV
 - θ , θ'_w
 - výška mezní vrstvy, nárazy větru
 - CAPE, konvergence vlhkosti
 - *Q-vektor*
 - Showalter, Total Totals, K-index, energetický index (Darkow)



98/09/08 00UTC [36] ABS.TOPOGRAFIE [4dkm] 500hPa
 98/09/09 12UTC [36] TLAK NA ZEMI [2.5hPa] msl

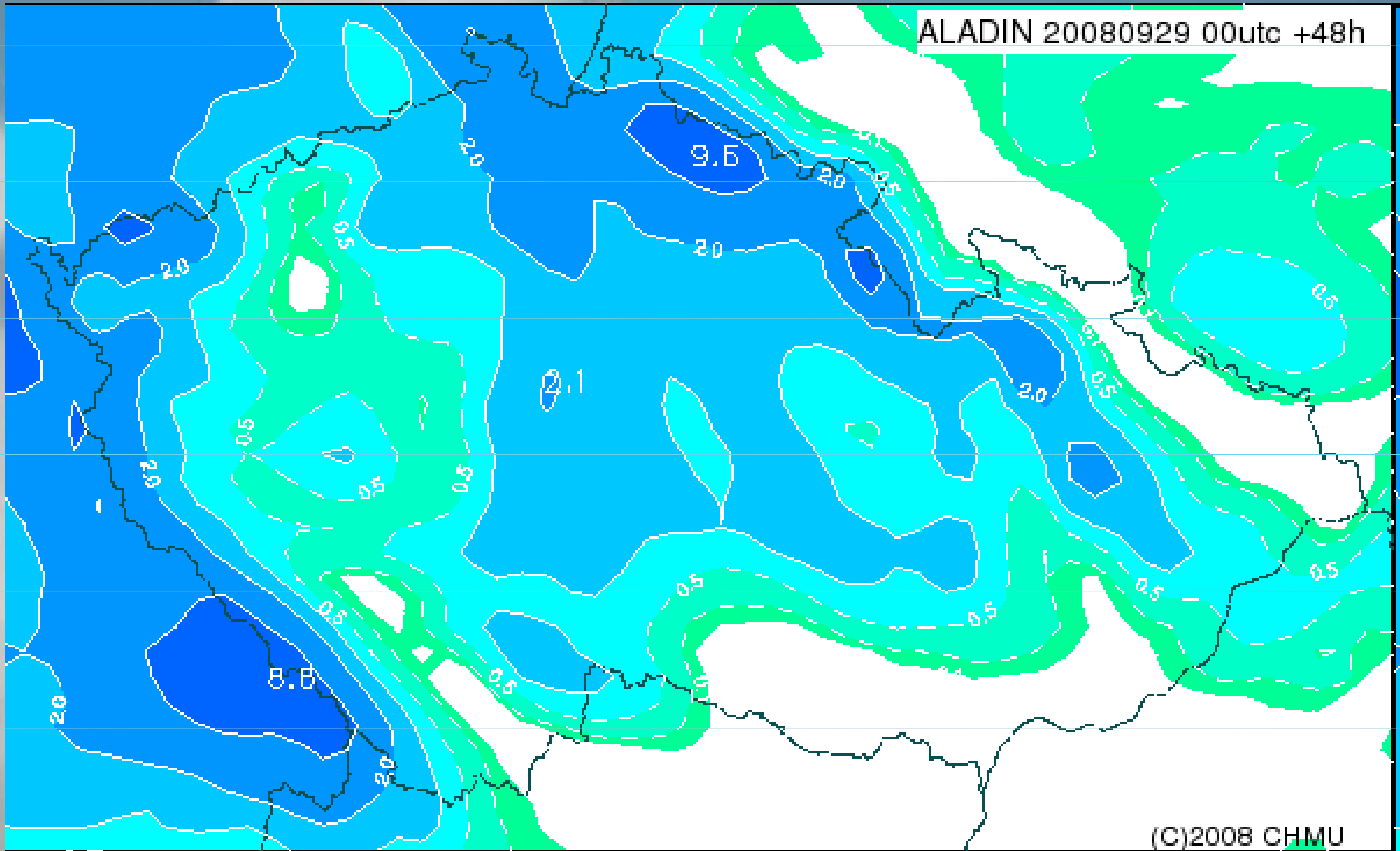


Base 98/09/08 00UTC [48] ABS.TOPOGRAFIE [4dkm] 500hPa
 Valid 98/09/10 00UTC [48] TLAK NA ZEMI [2.5hPa] msl





ALADIN 20080929 00utc +48h



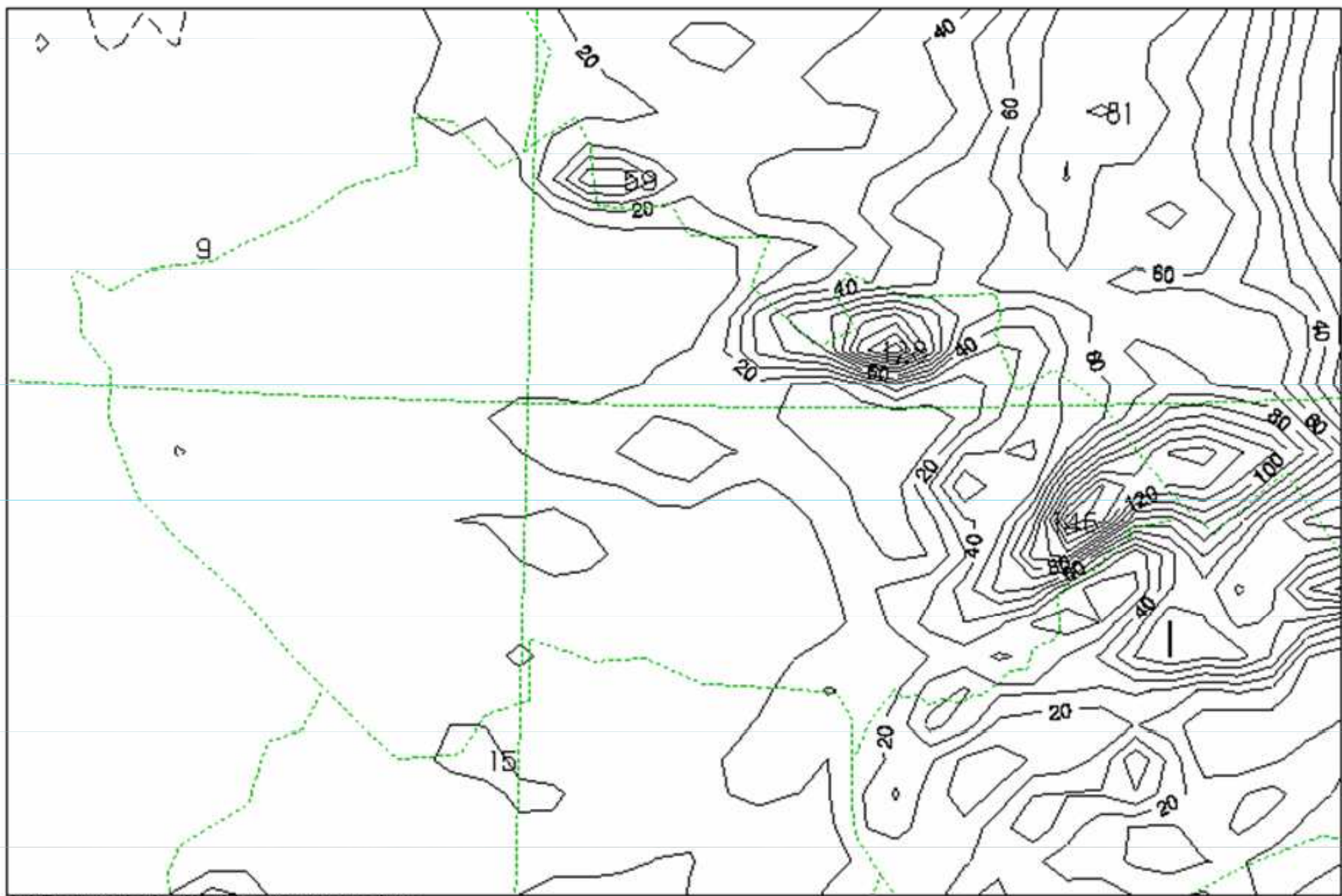
(C)2008 CHMU

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

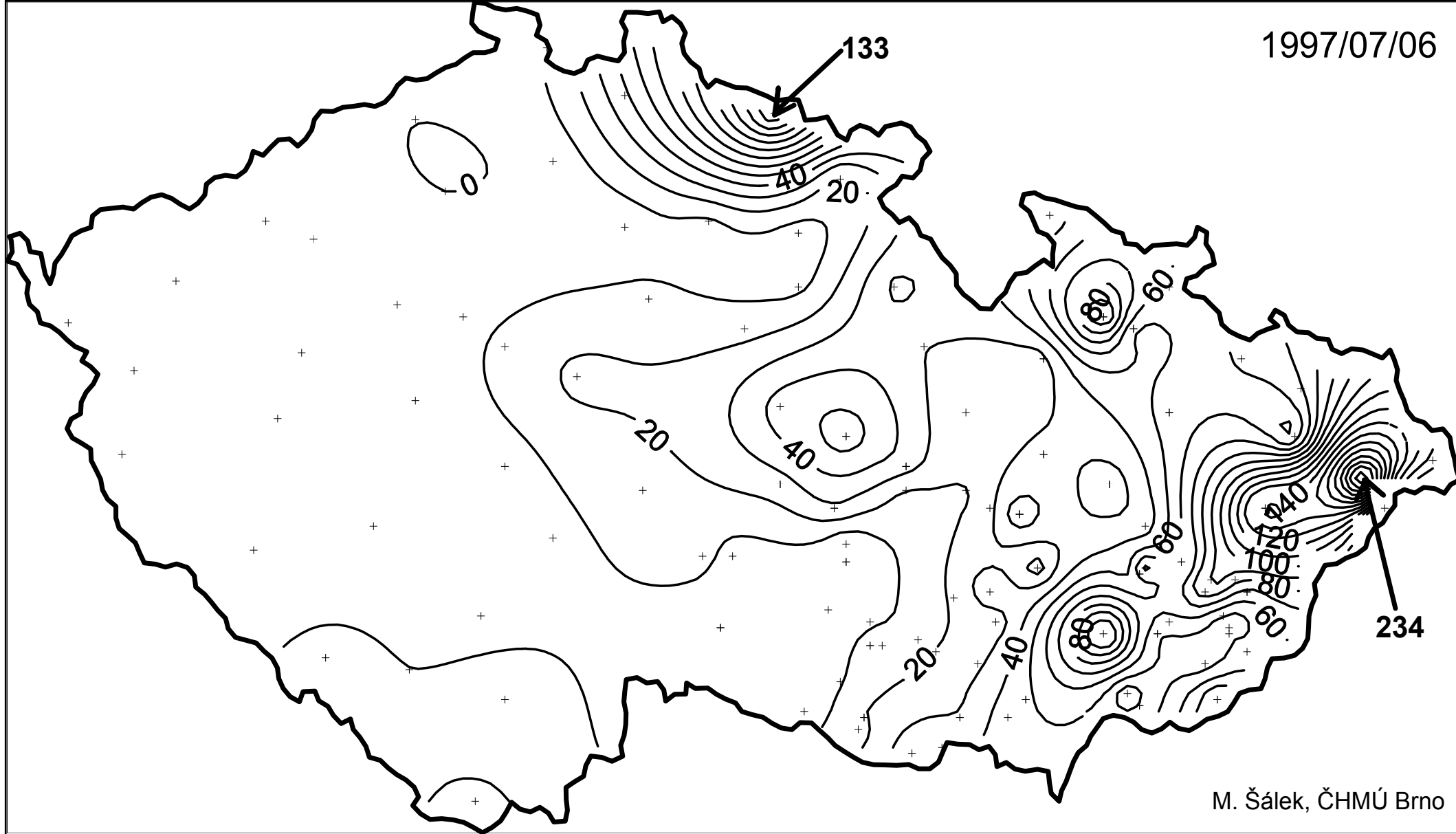
30

SRAZKY 06-30 [mm/24hod]

0m



1997/07/06

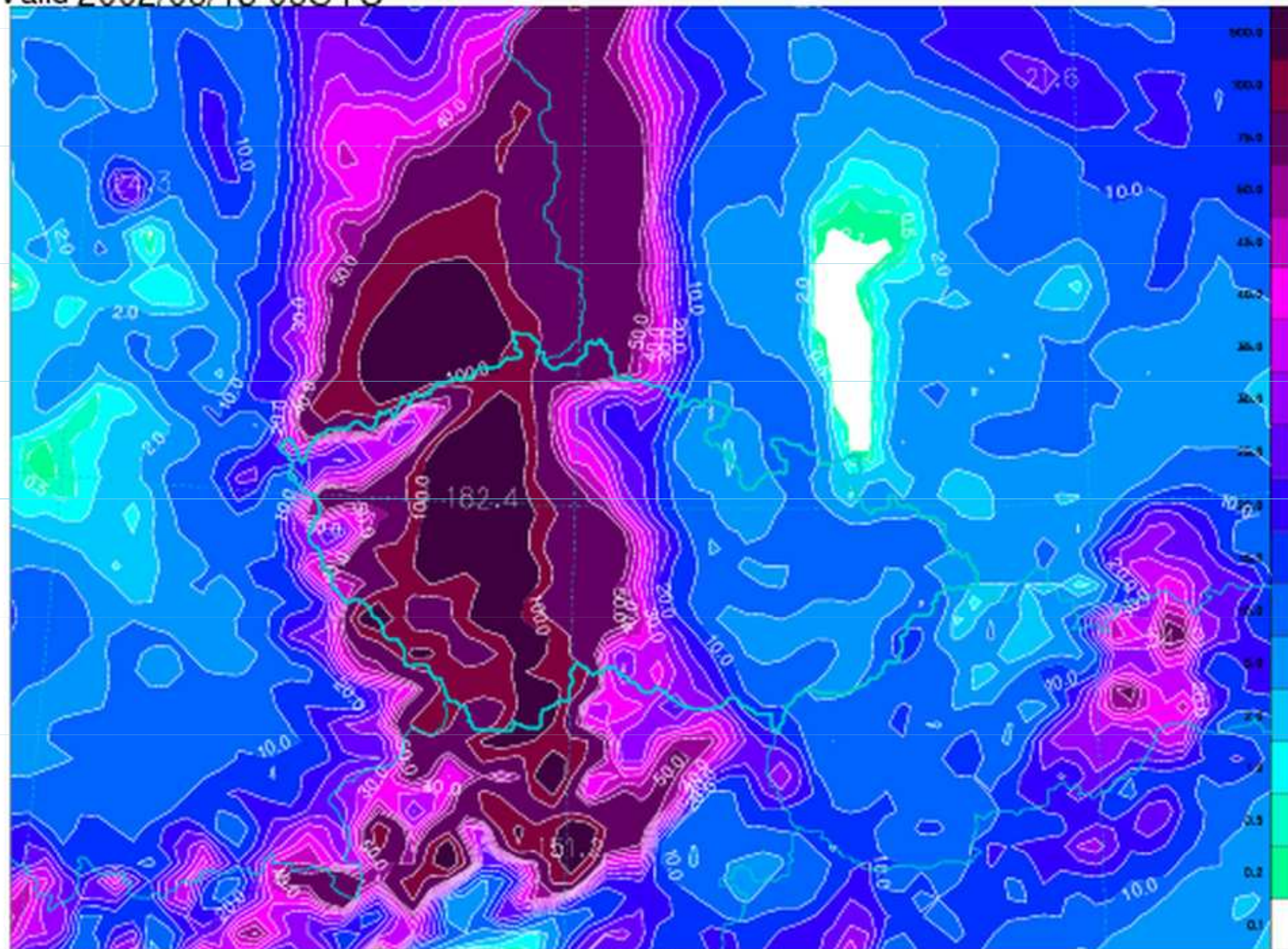


M. Šálek, ČHMÚ Brno

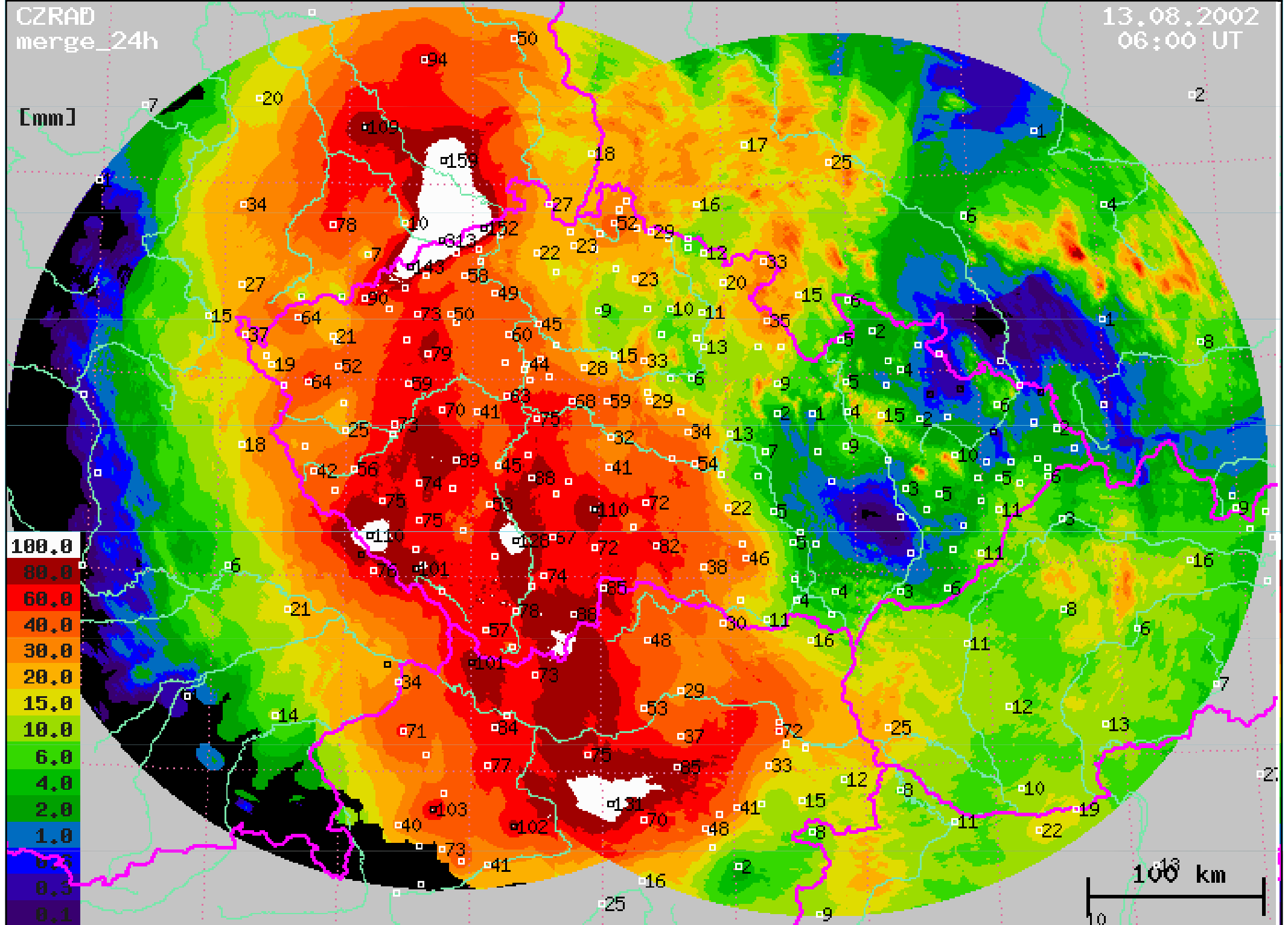
Base 2002/08/12 00UTC
Valid 2002/08/13 06UTC

30

celkove srazky [mm/24hod]



[mm]





Výpočetní síť Globálního modelu DWD

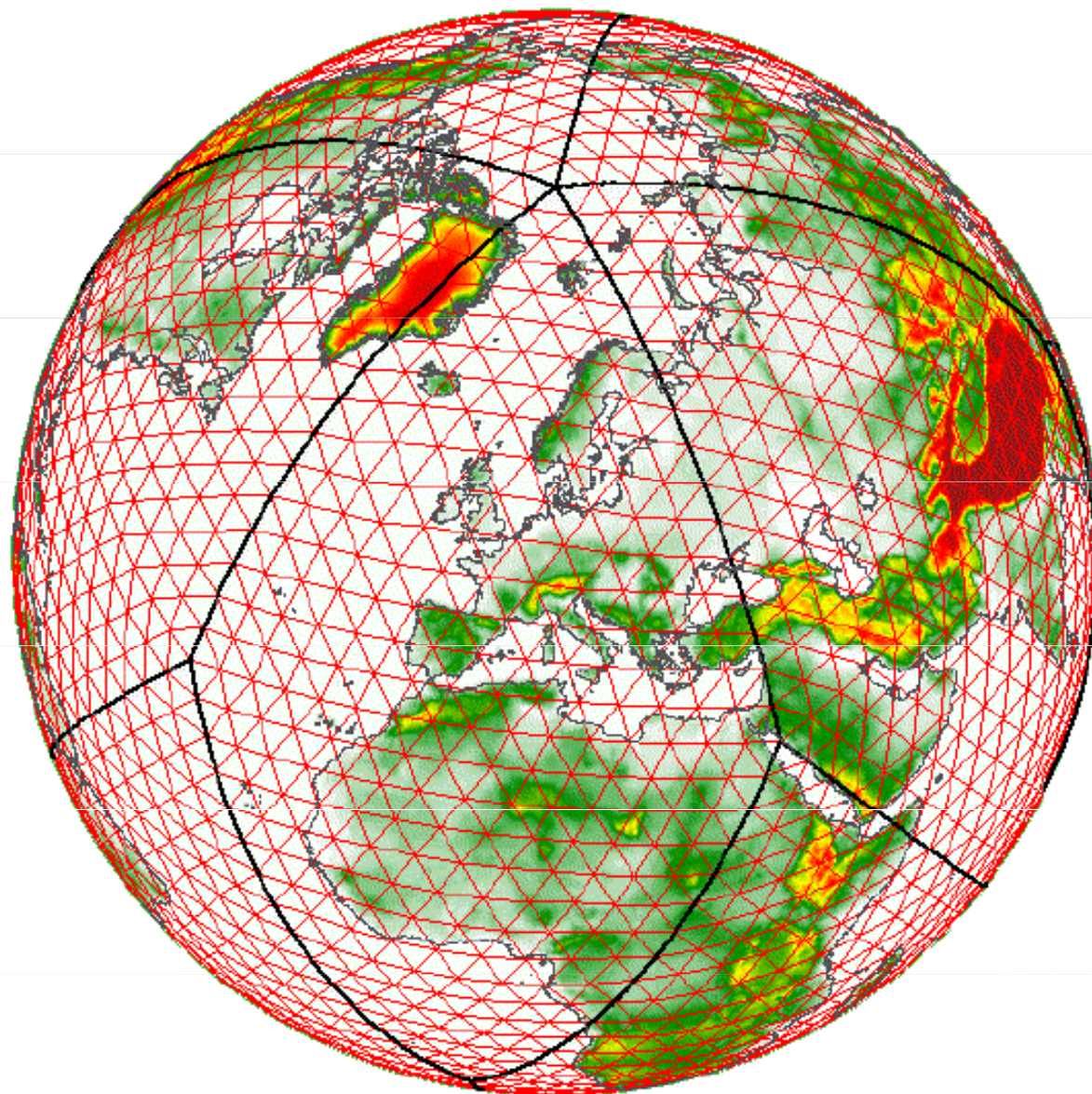


Fig. 5.4 Grid and topography of the GME

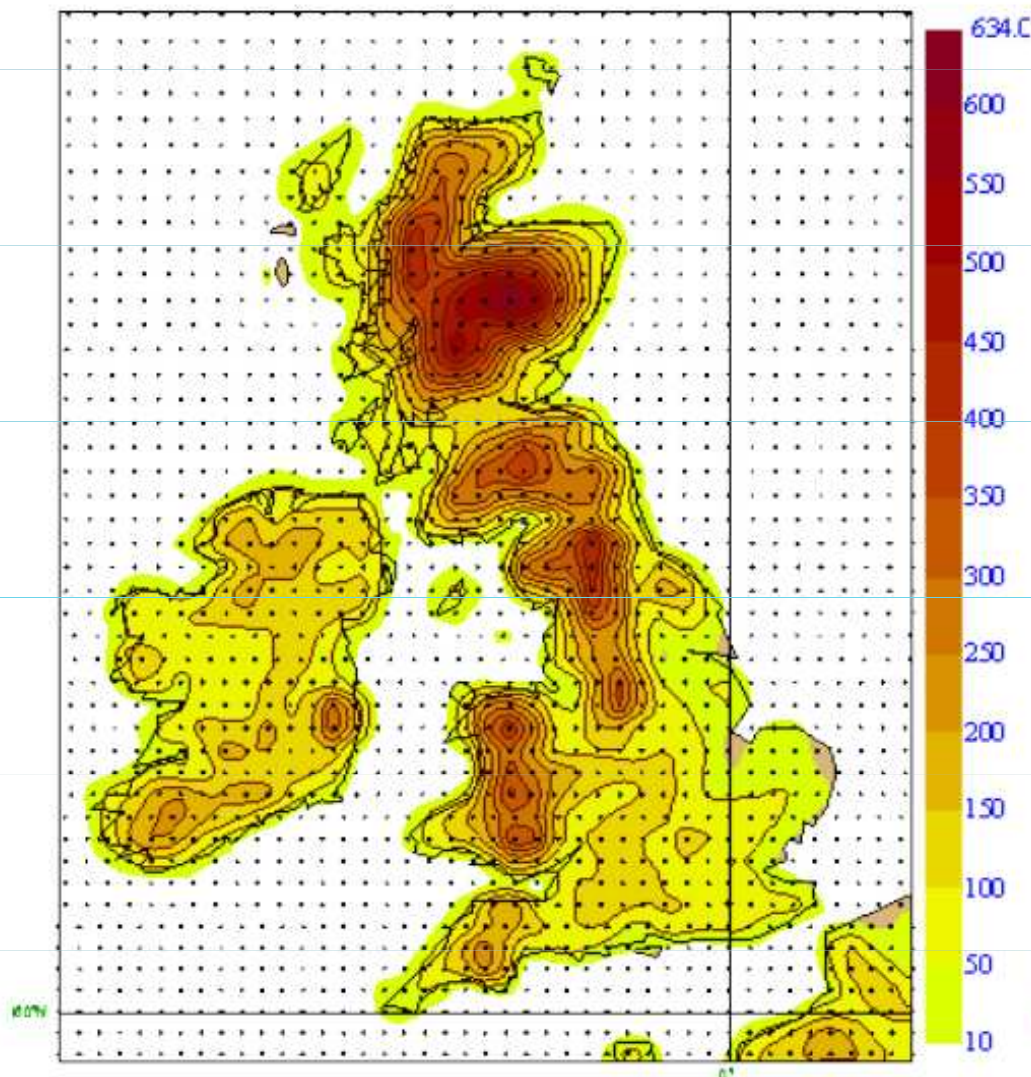
The gridpoints represent nearly uniform hexagons (pentagons at twelve special points of the globe).

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.

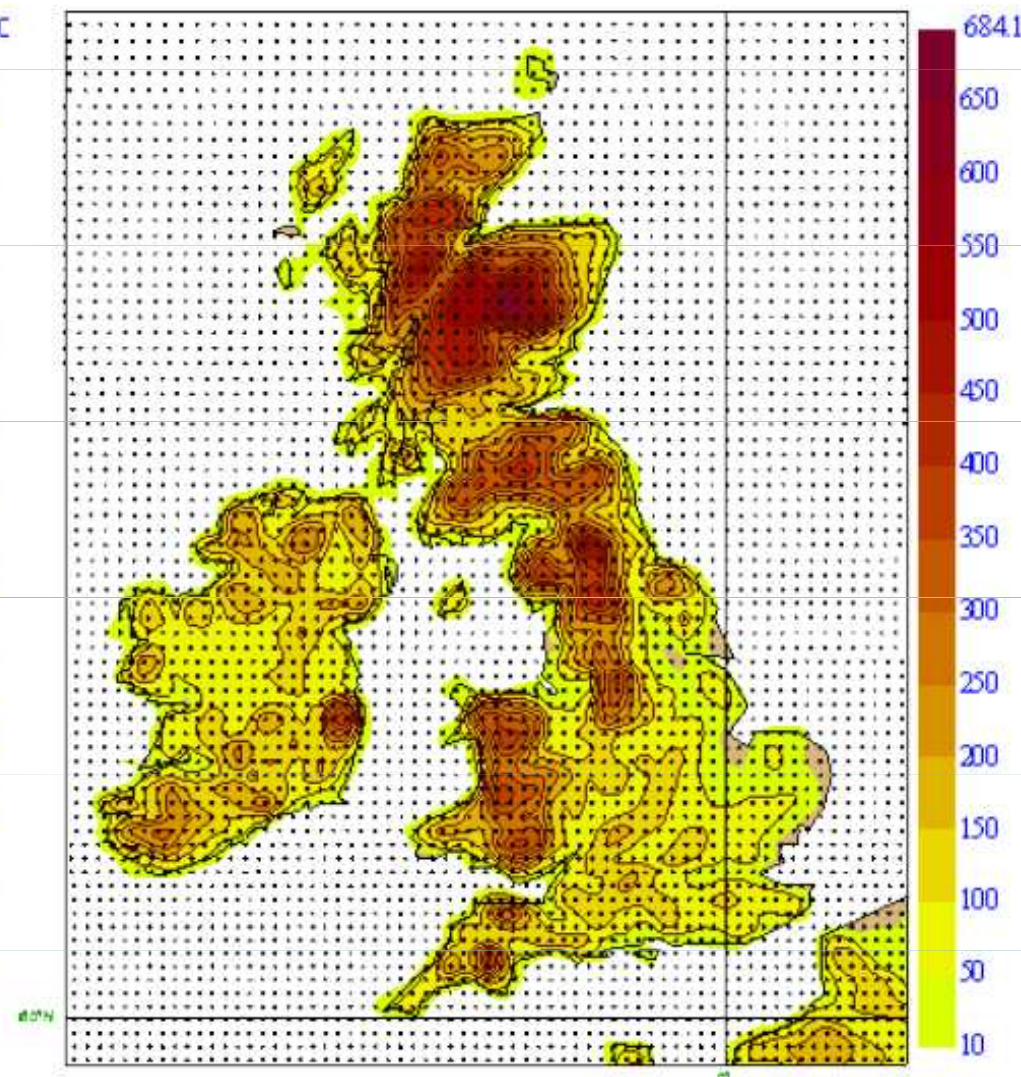
Total number of grid points = 163 842.



Od ledna 2010 má deterministický model ECMWF horizontální rozlišení 16 km



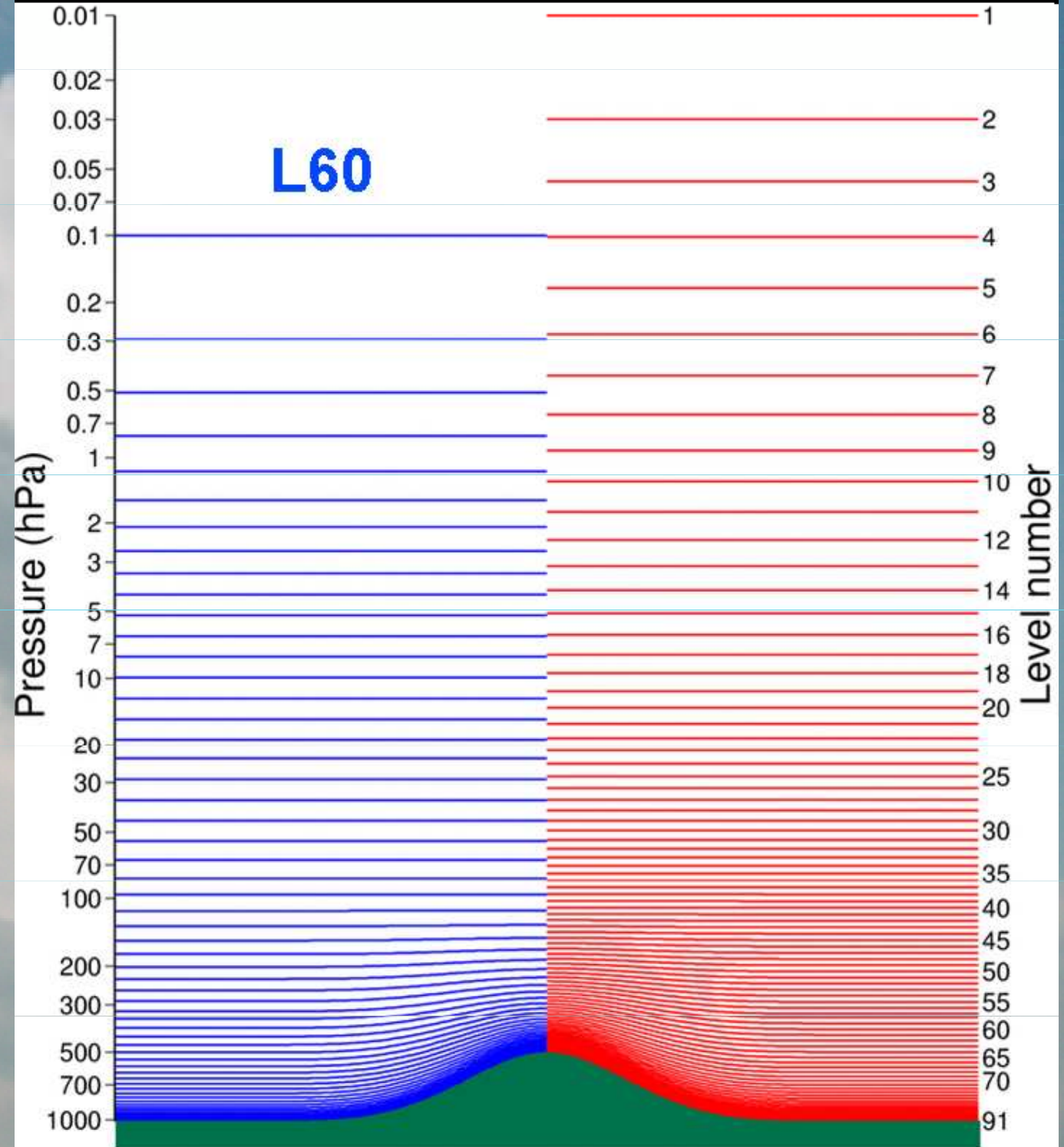
*N400 (T799) 25km grid spacing
(843490 grid points)*



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



Vertikální
rozlišení před a
po změně
ECMWF modelu
v roce 2006 (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.



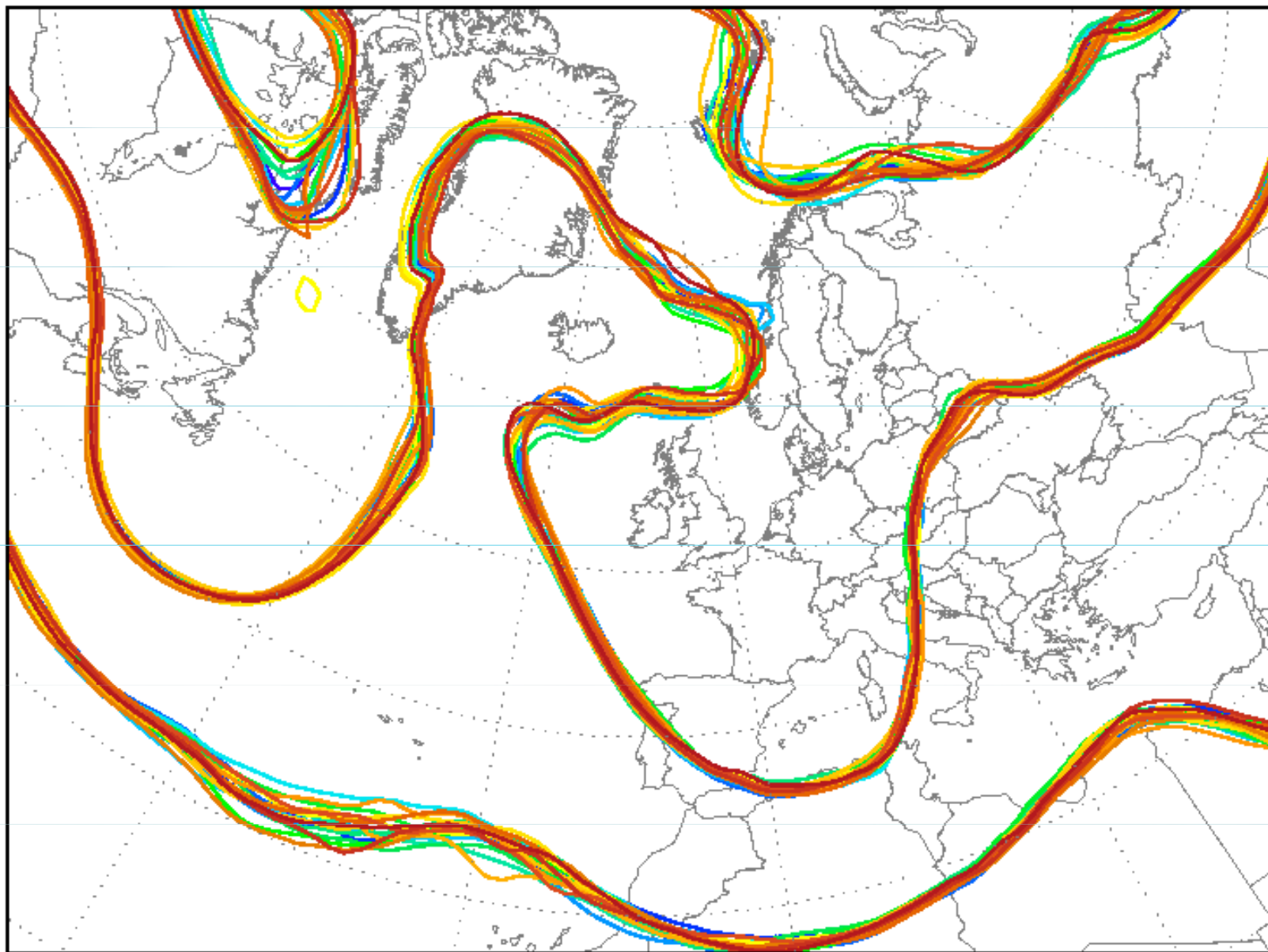
Ukázka výsledku skupinové předpovědi

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: Sun,21NOV2010 00Z Val: Mon,22NOV2010 00Z

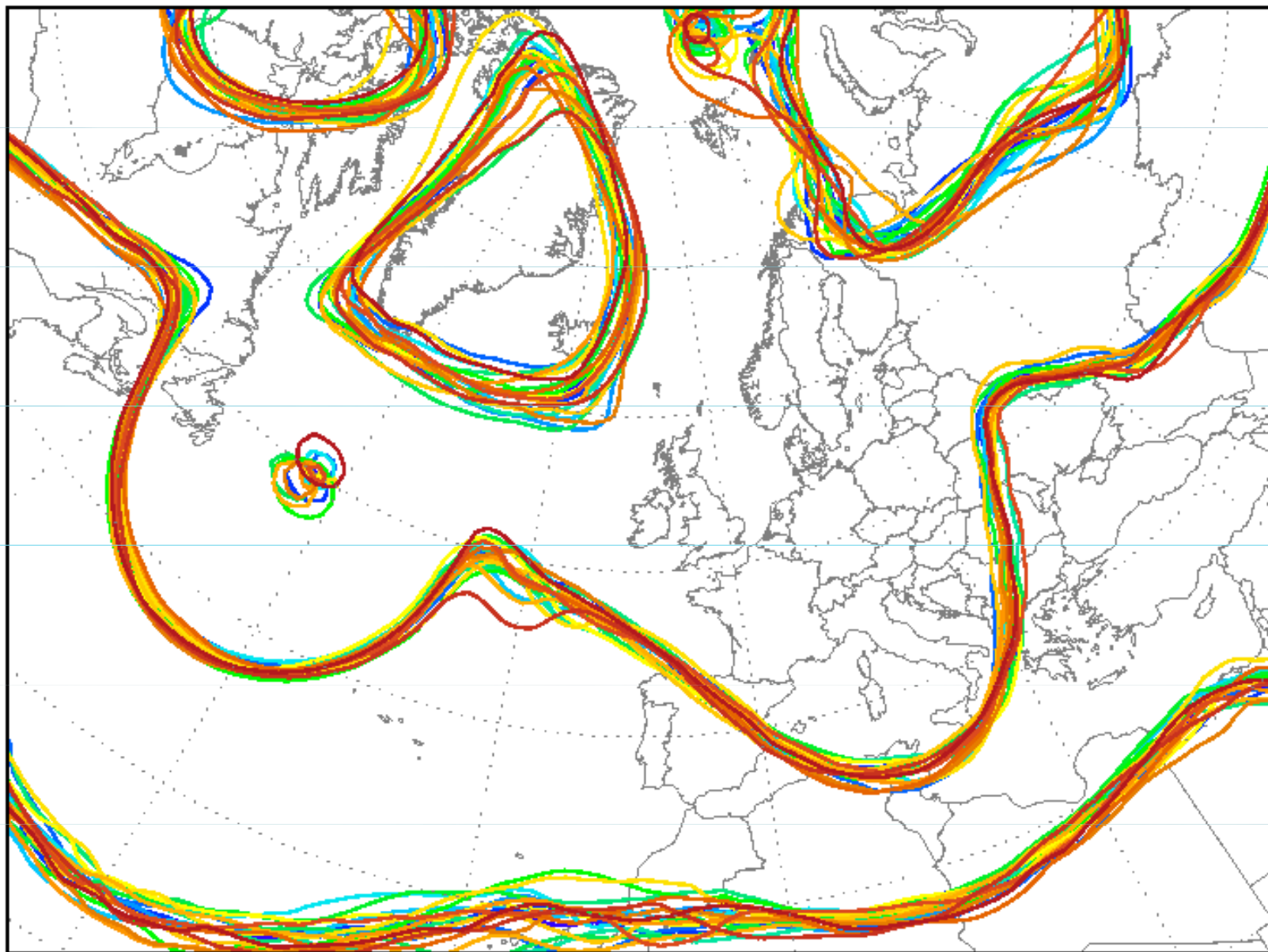
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Tue,23NOV2010 00Z

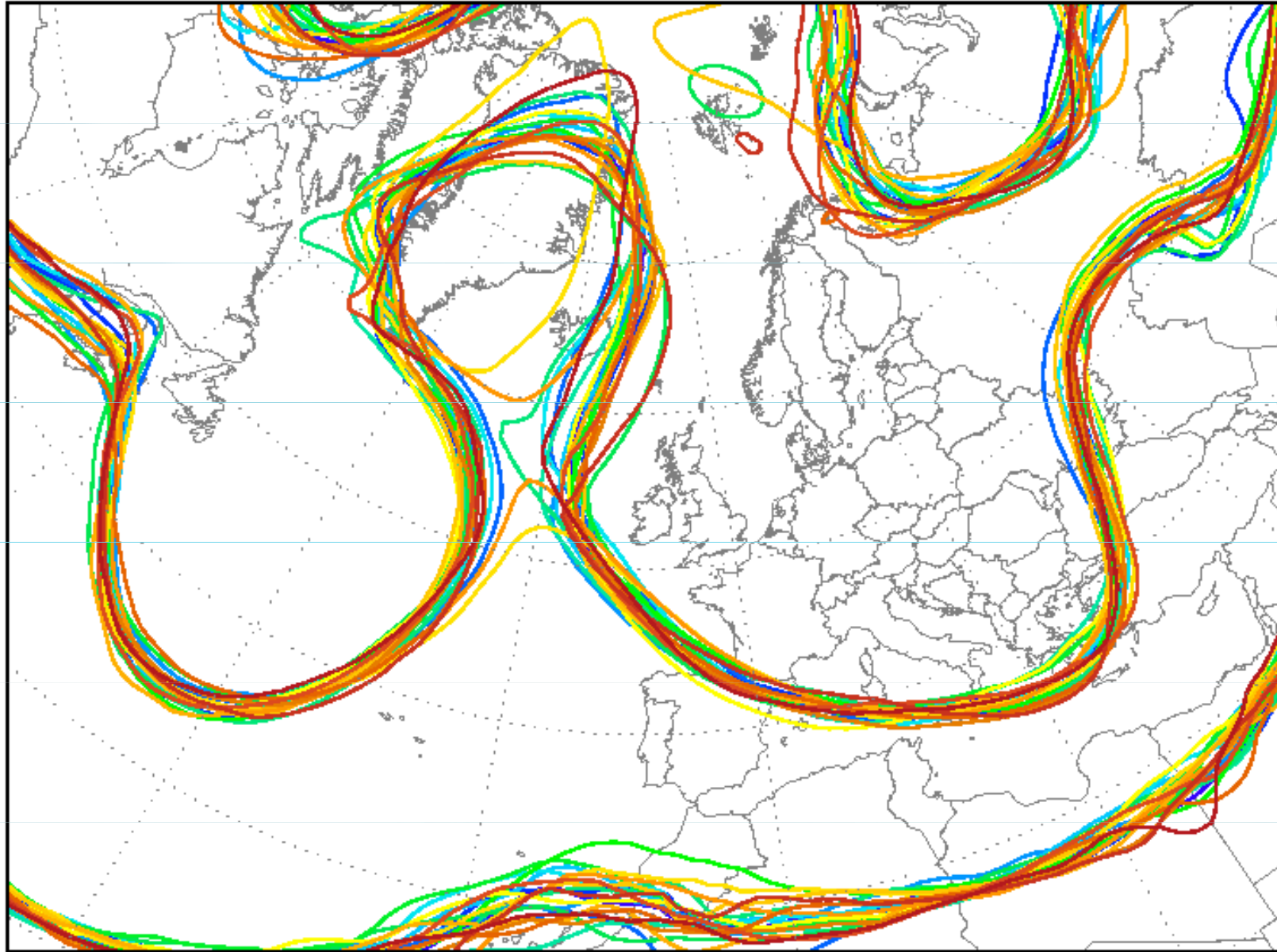
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Wed,24NOV2010 00Z

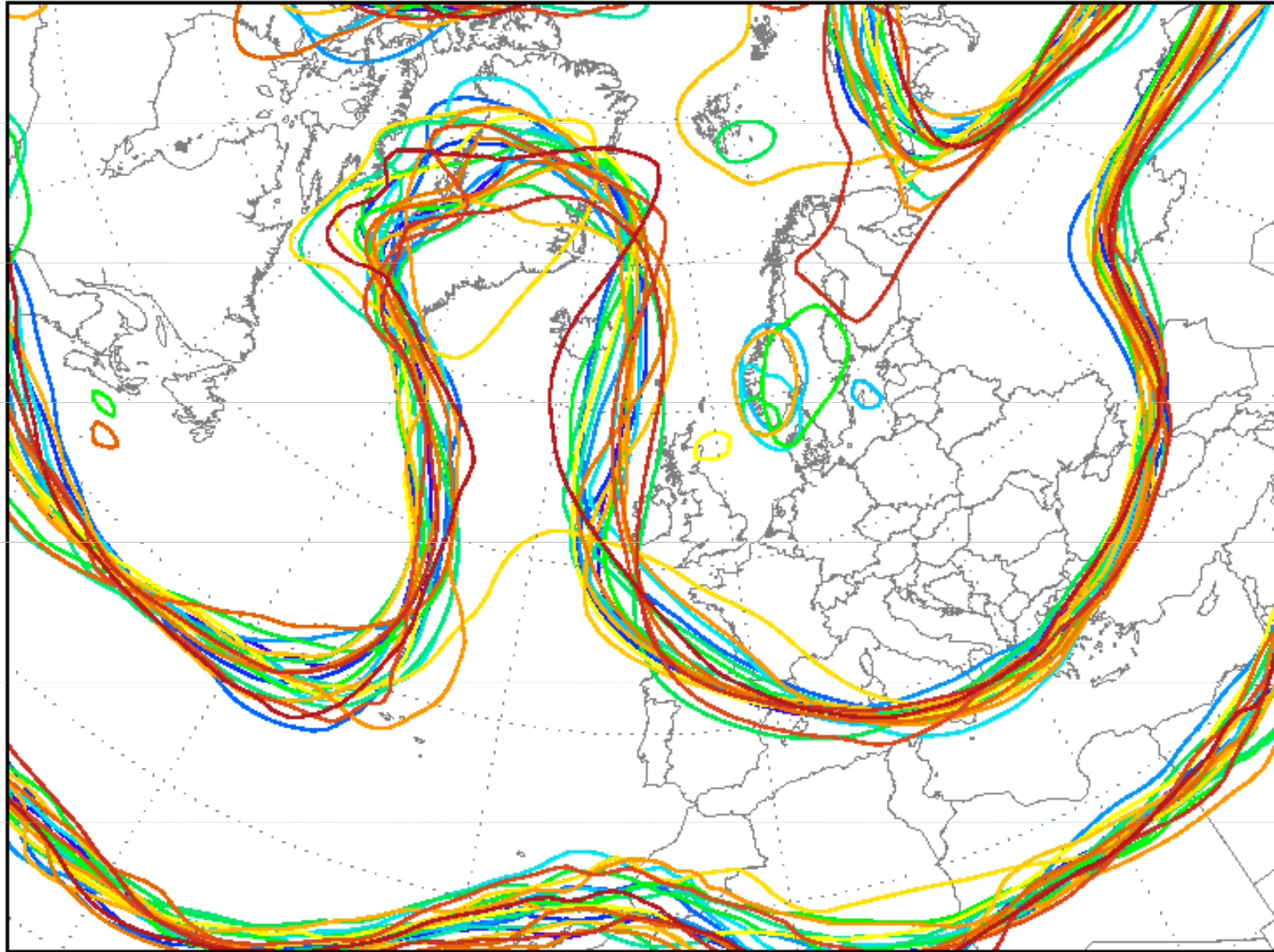
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Thu,25NOV2010 00Z

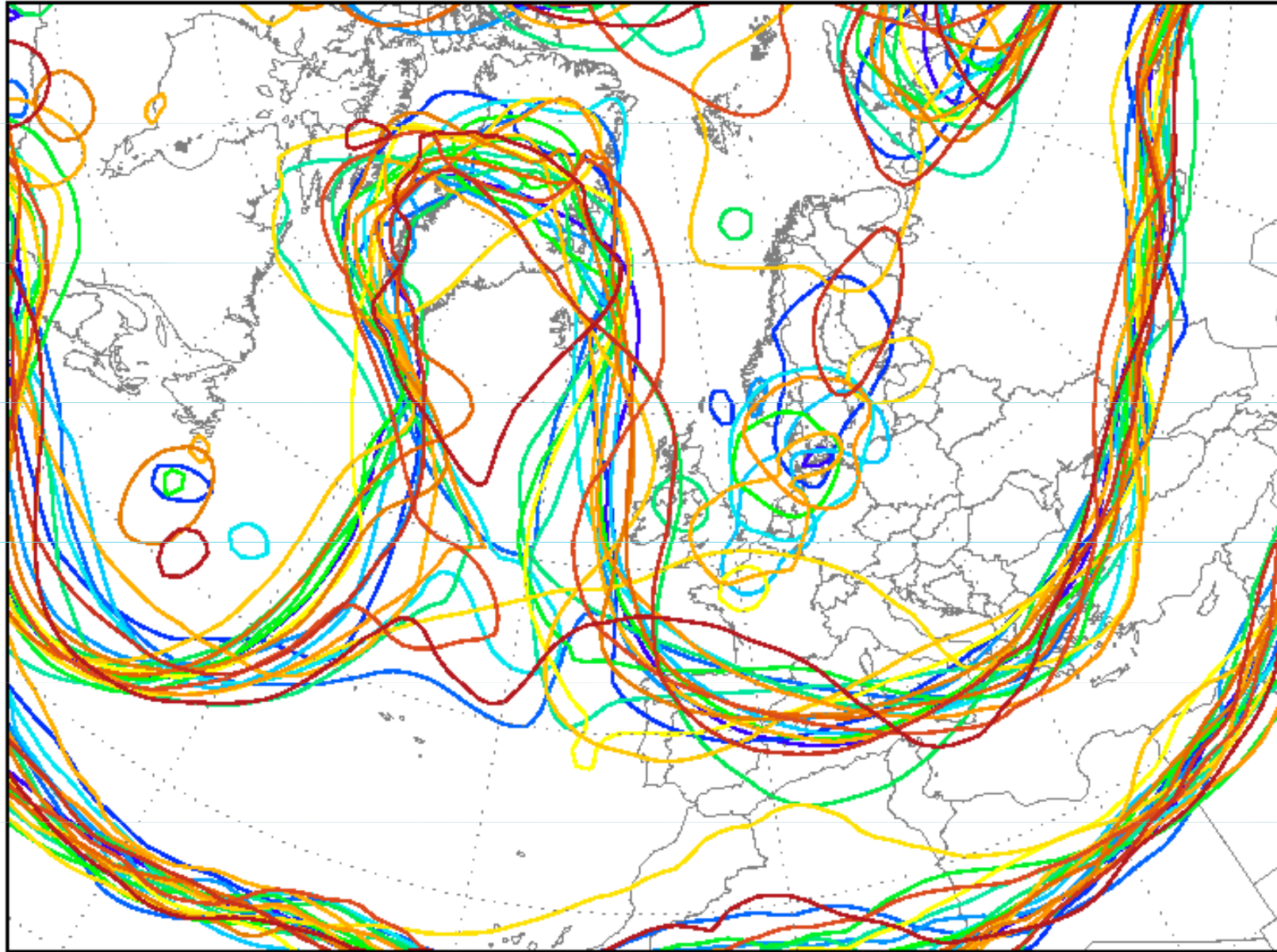
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Fri,26NOV2010 00Z

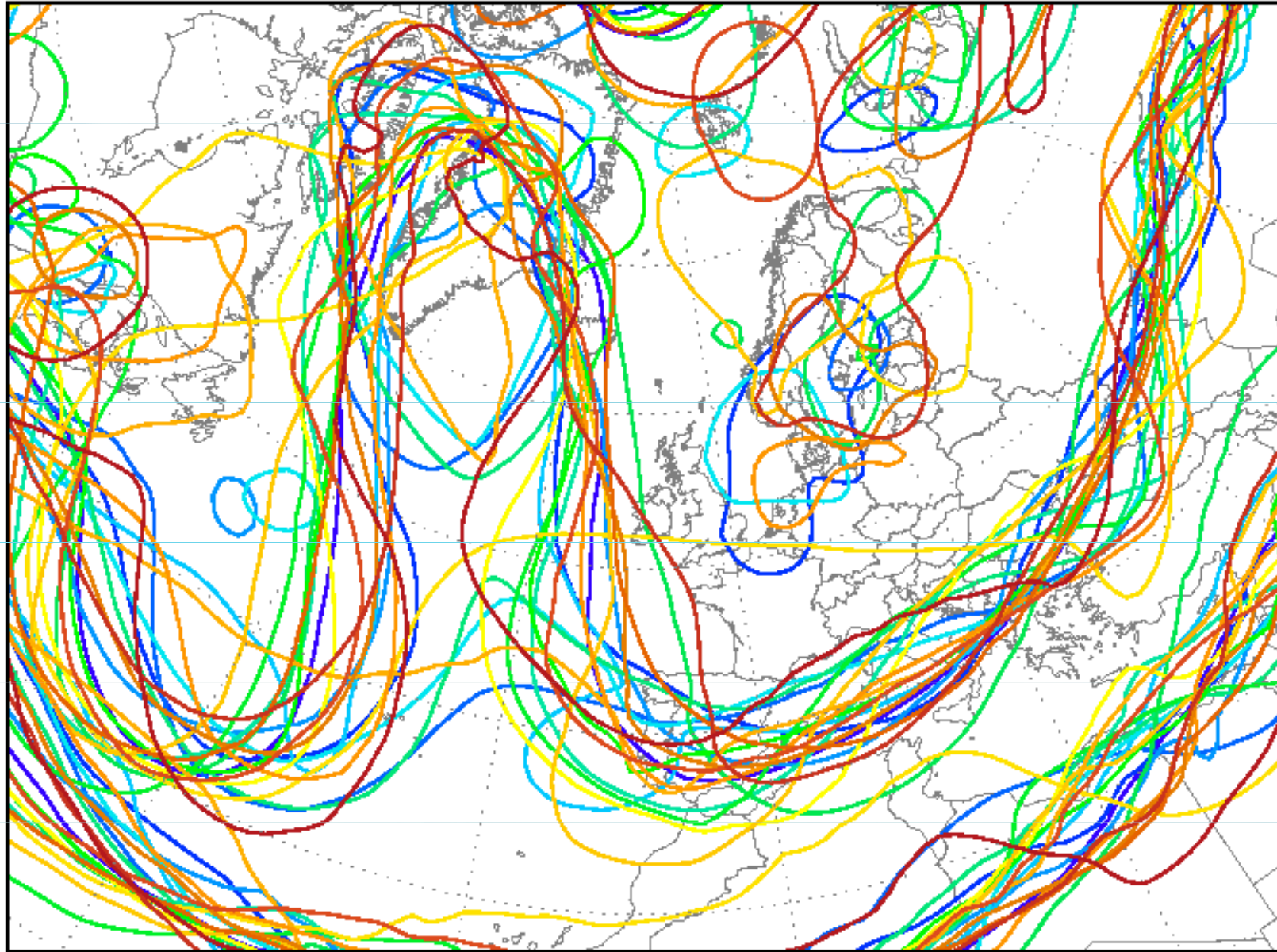
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Sat,27NOV2010 00Z

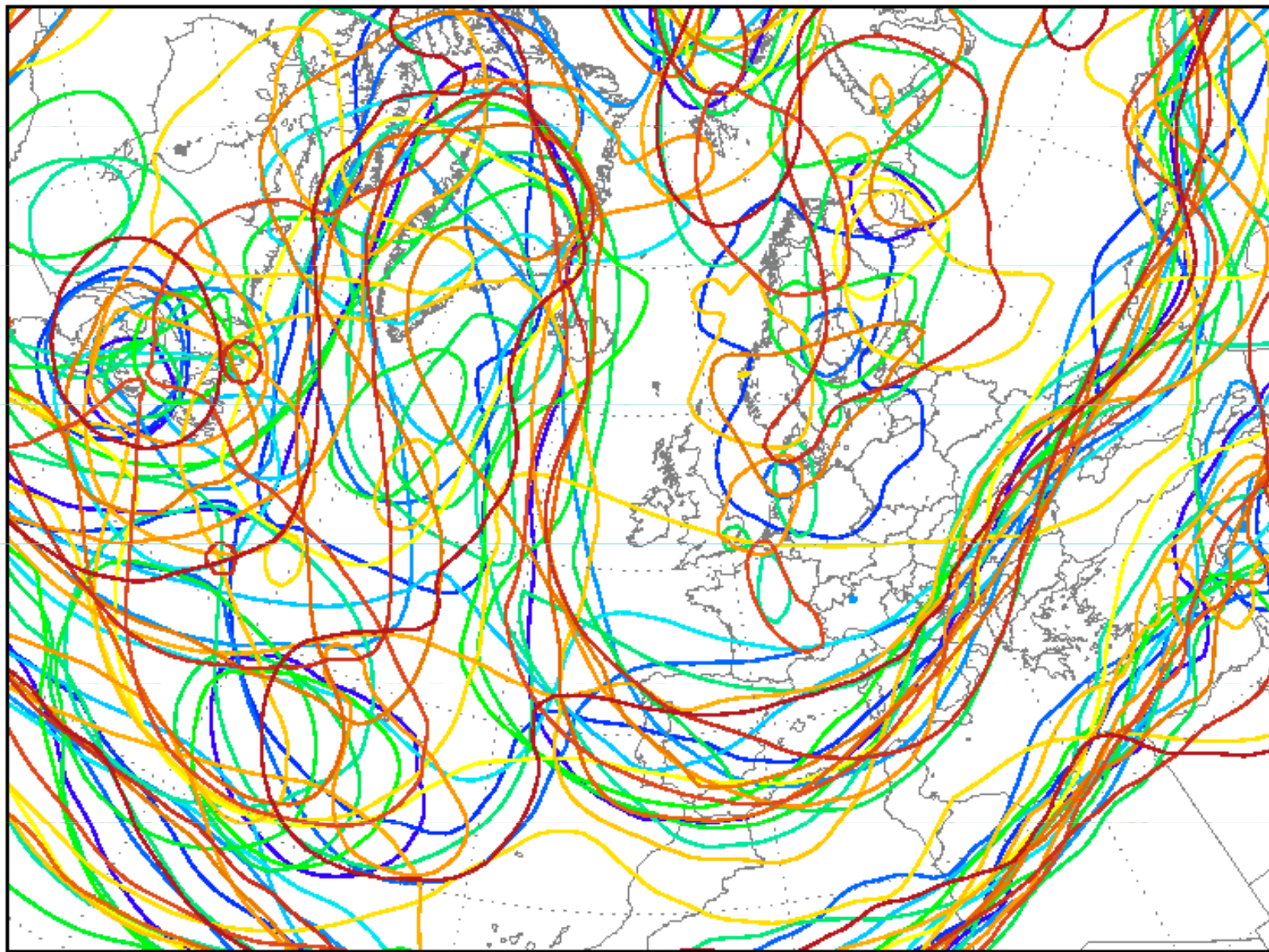
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Sun,28NOV2010 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Mon,29NOV2010 00Z

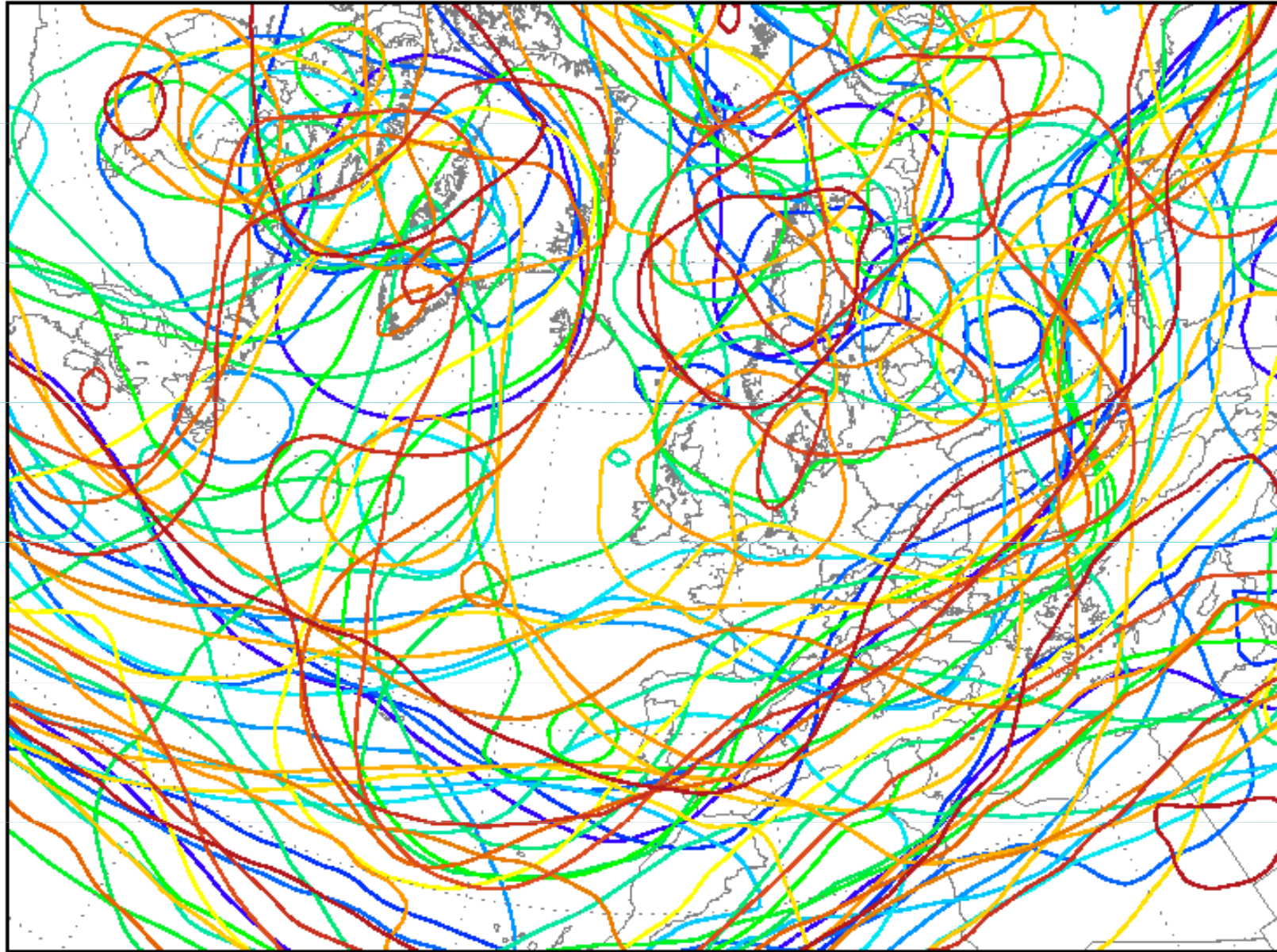
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Tue,30NOV2010 00Z

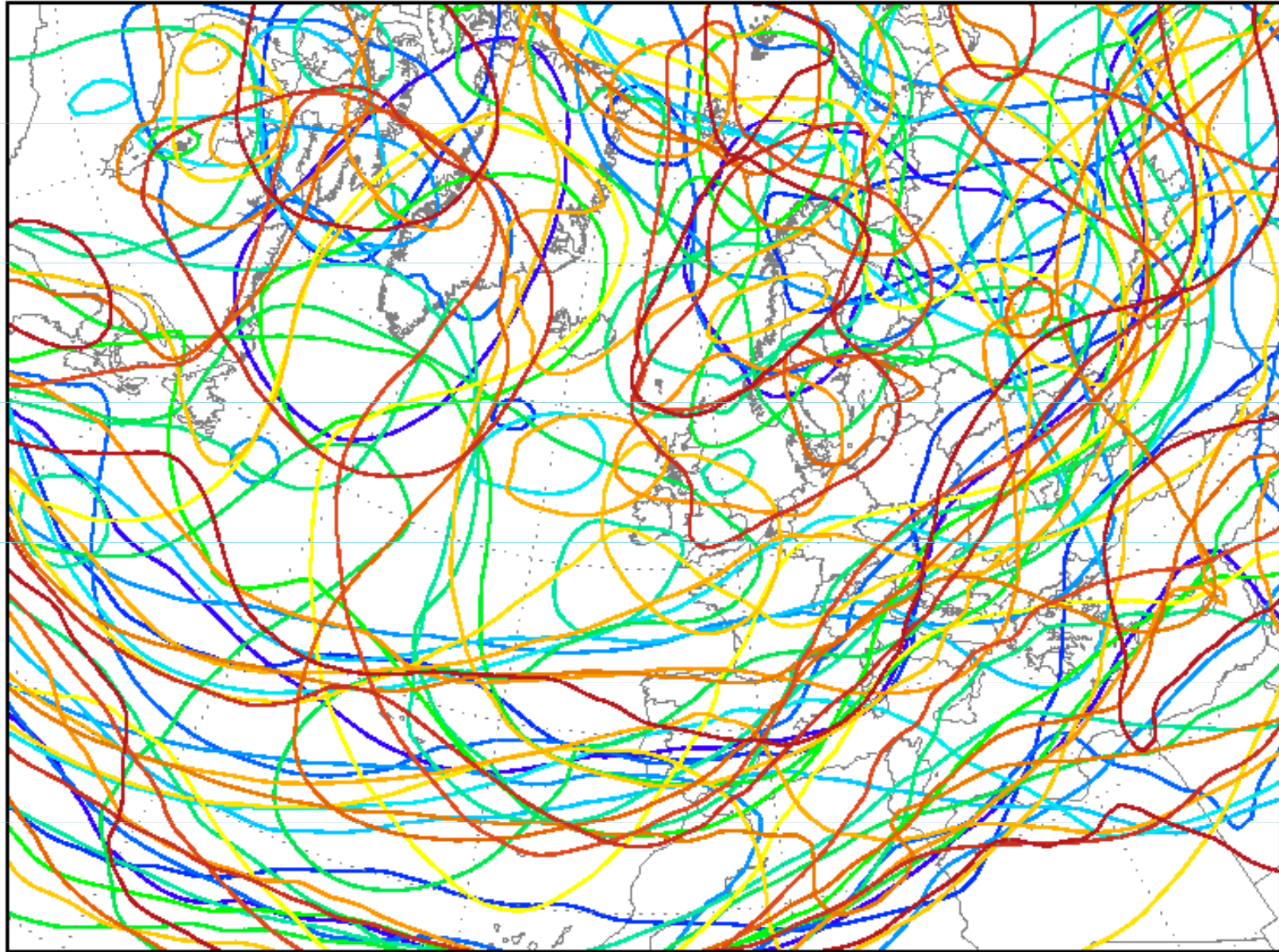
500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Wed,01DEC2010 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Thu,02DEC2010 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Fri,03DEC2010 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Sat,04DEC2010 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Sun,05DEC2010 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Mon,06DEC2010 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



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

Ini: Sun,21NOV2010 00Z Val: Tue,07DEC2010 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsen: 516 552 576 gpdam)



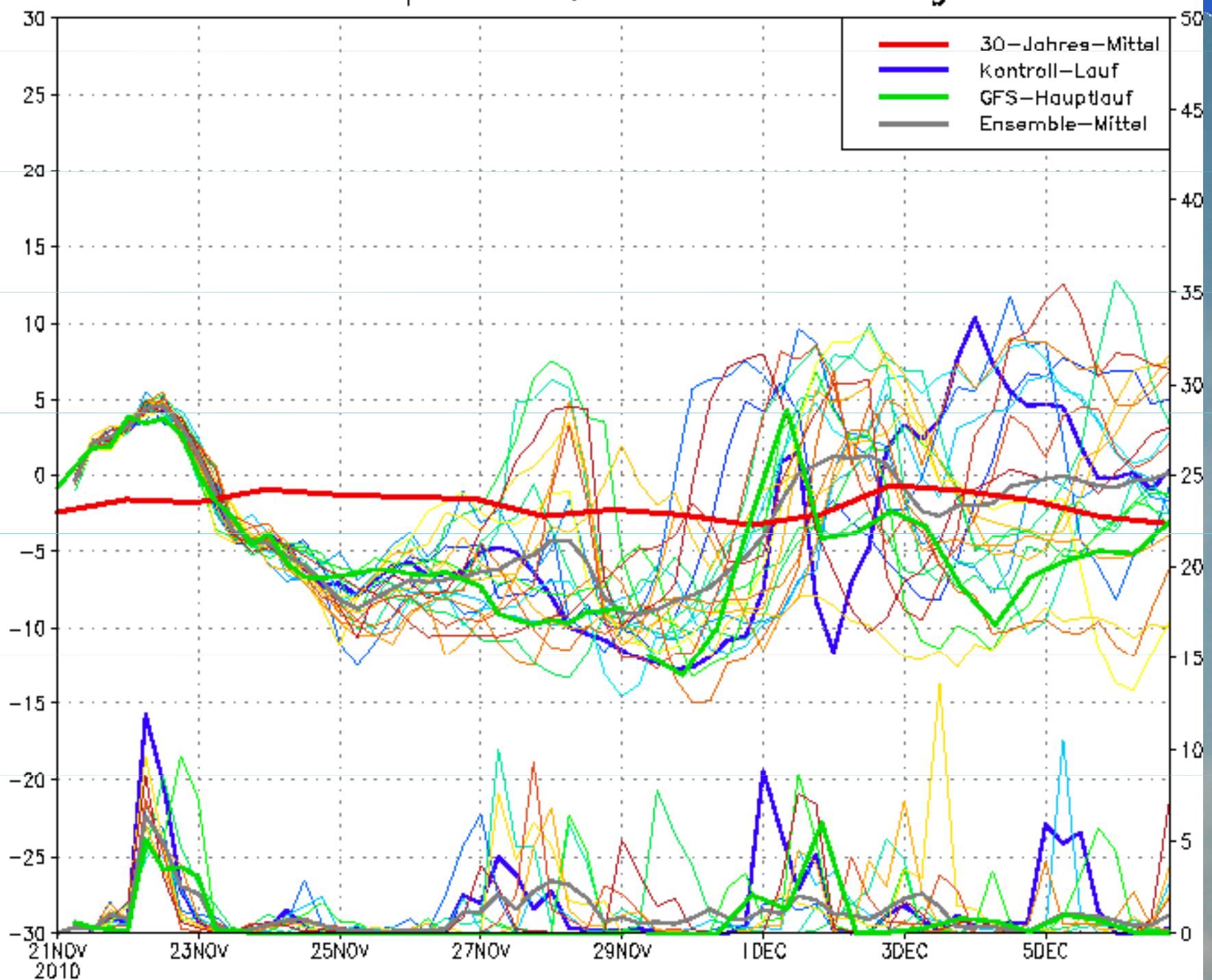
Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Position Lat: 49 Lon: 17

Sun, 21 NOV 2010 00Z

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

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



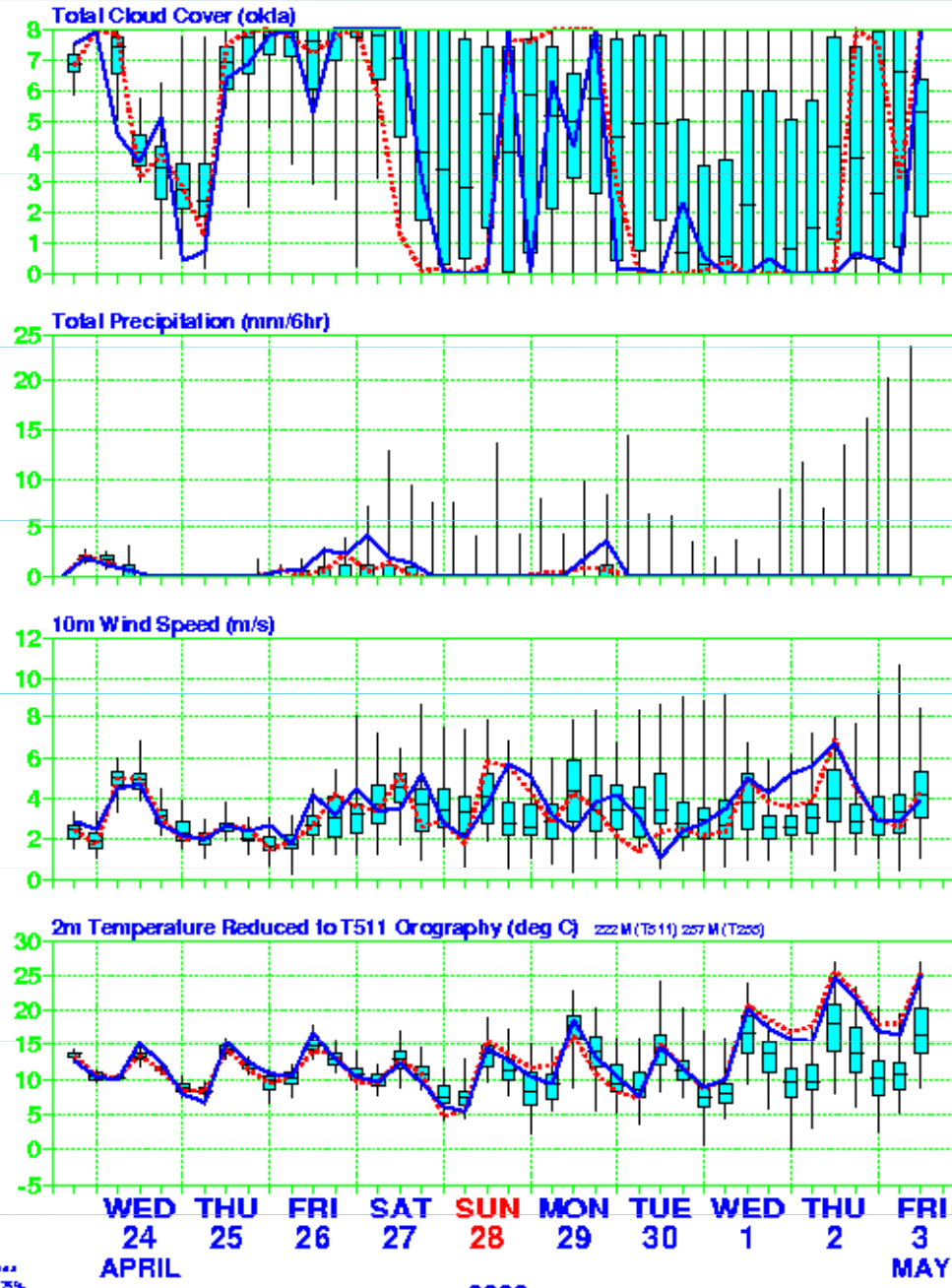


Ukázky výstupů skupinových předpovědí

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
 48.8° N 17.0° E
 Deterministic Forecasts and EPS Distribution 23 April 2002 12 UTC



..... T255 CTRL — TLR11 OP8



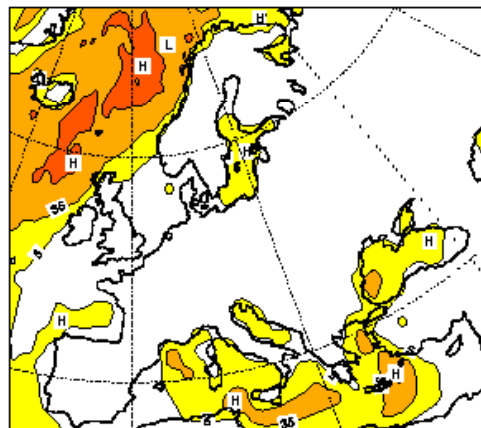
ECMWF FORECAST PROBABILITIES

Thursday 15 November 2001 12UTC ECMWF Forecast120 VT:Tuesday 20 November 2001 12UTC

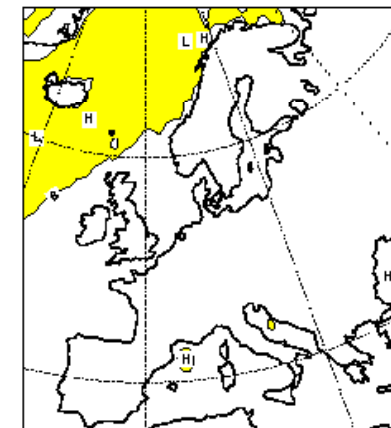
Contours at 5%, 35%, 65%, 95%

Exp 0001

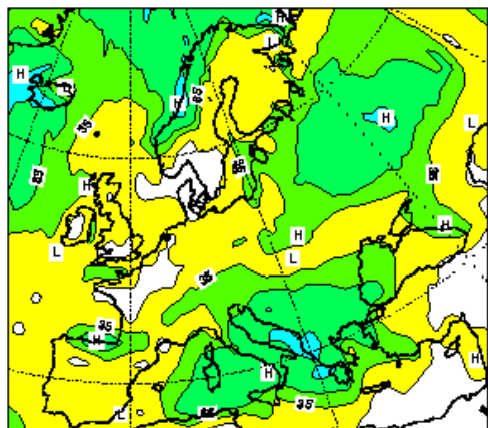
10m Wind Speed greater than 10 m/s



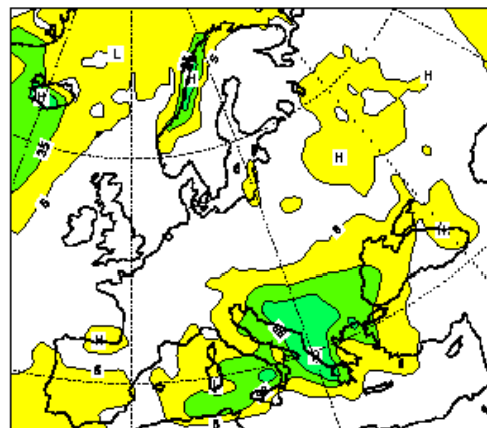
10m Wind Speed greater than 10 m/s



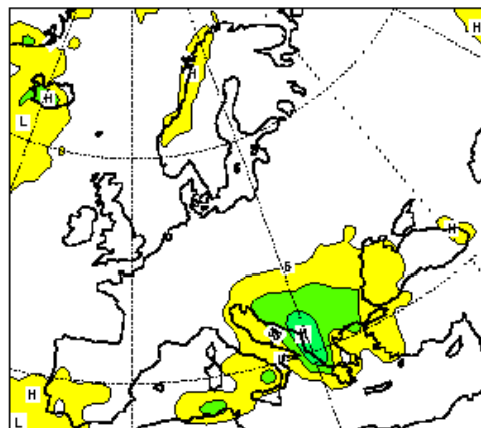
24hr Total Precipitation greater than 1 mm



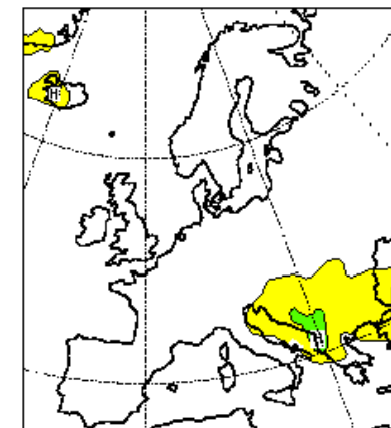
24hr Total Precipitation greater than 5 mm



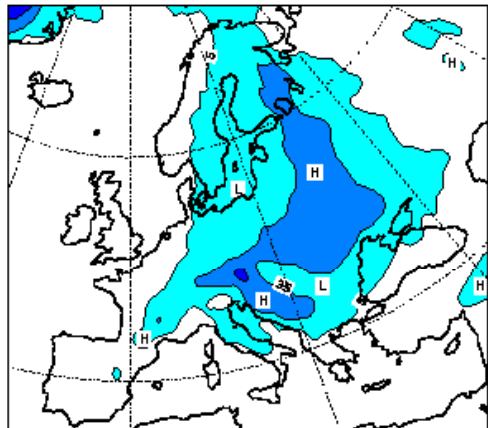
24hr Total Precipitation greater than 10 mm



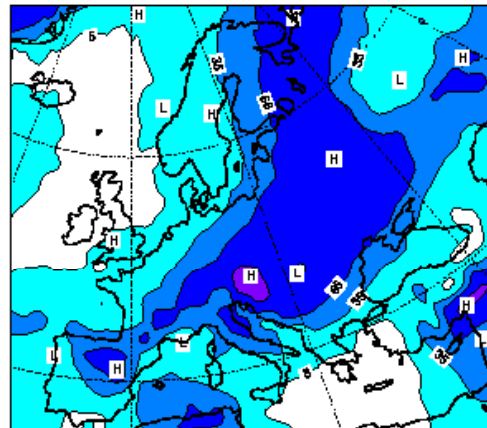
24hr Total Precipitation greater than 10 mm



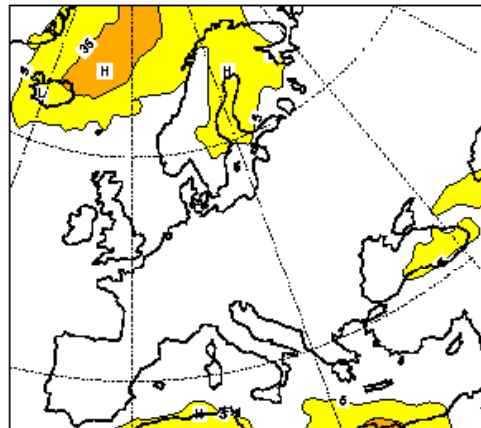
850hPa Temperature Anomaly less than -8 K



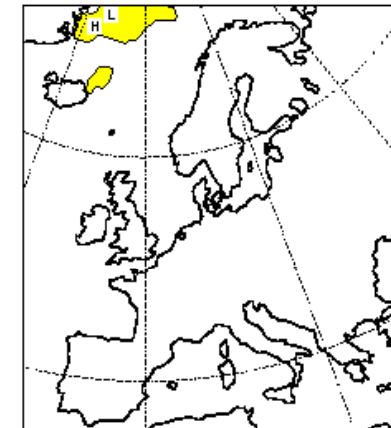
850hPa Temperature Anomaly less than -4 K



850hPa Temperature Anomaly greater than 4 K



850hPa Temperature Anomaly greater than 4 K





Sezónní předpověď teplotní anomálie



ECMWF Seasonal Forecast

System 3

Prob(most likely category of 2m temperature)

OND 2008

Forecast start reference is 01/09/08

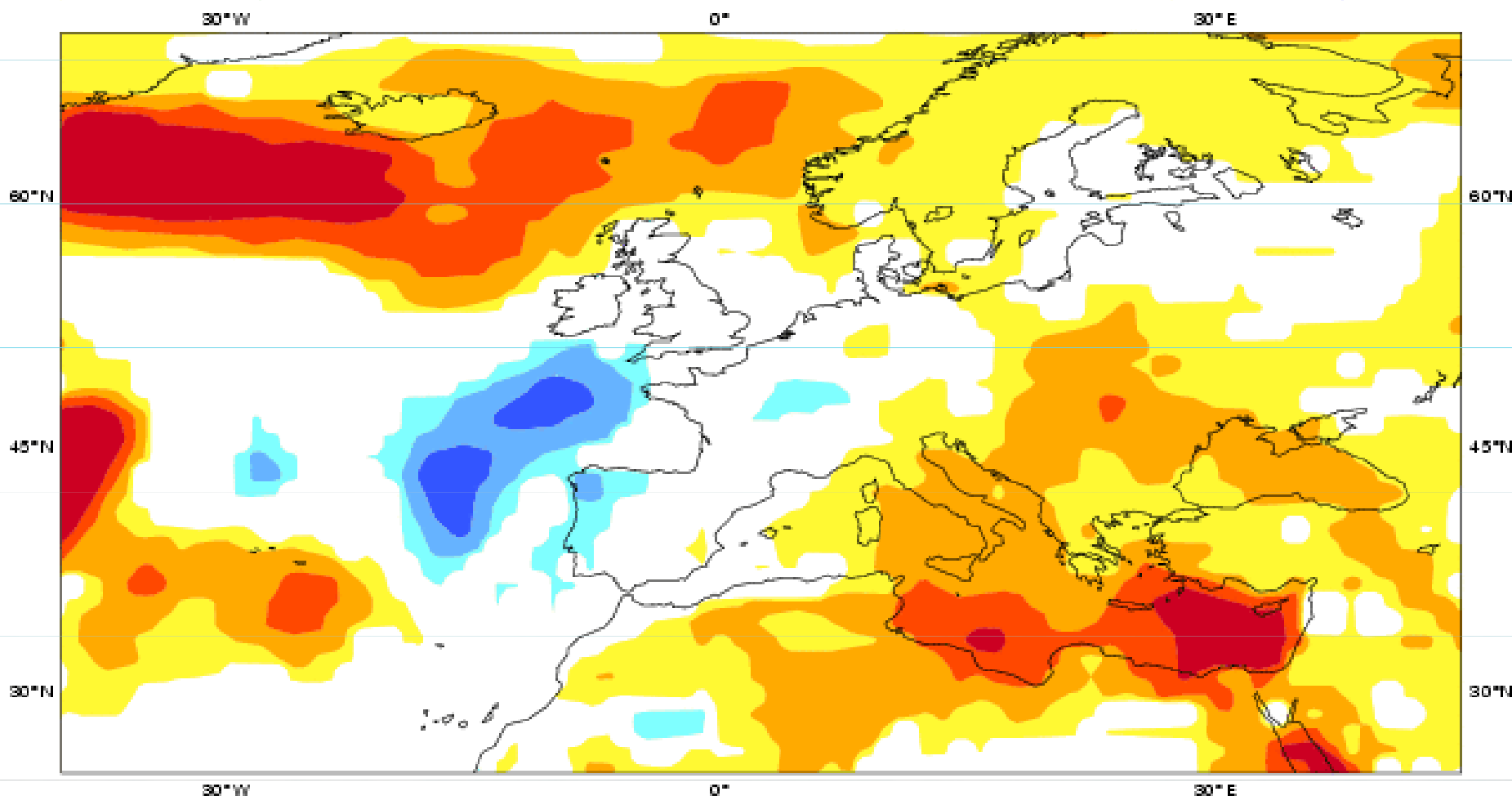
No significance test applied

Ensemble size = 41, climate size = 275

<--- below lower tercile

above upper tercile --->

70..100% 80..70% 50..80% 40..50% other 40..50% 50..80% 80..70% 70..100%



Forecast issue date: 15/09/2008



Velmi krátkodobá předpověď, (nowcasting)

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



Velmi krátkodobá předpověď, nowcasting

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



Koncepční modely

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



Integrace metod dálkové detekce a NWP modelů pro nowcasting

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

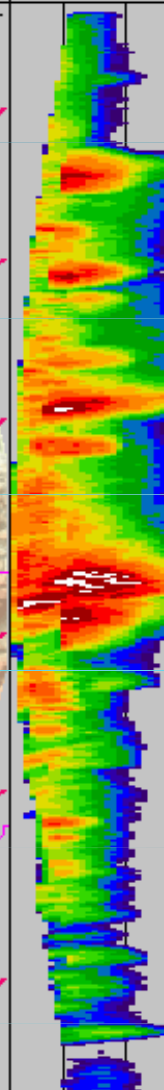
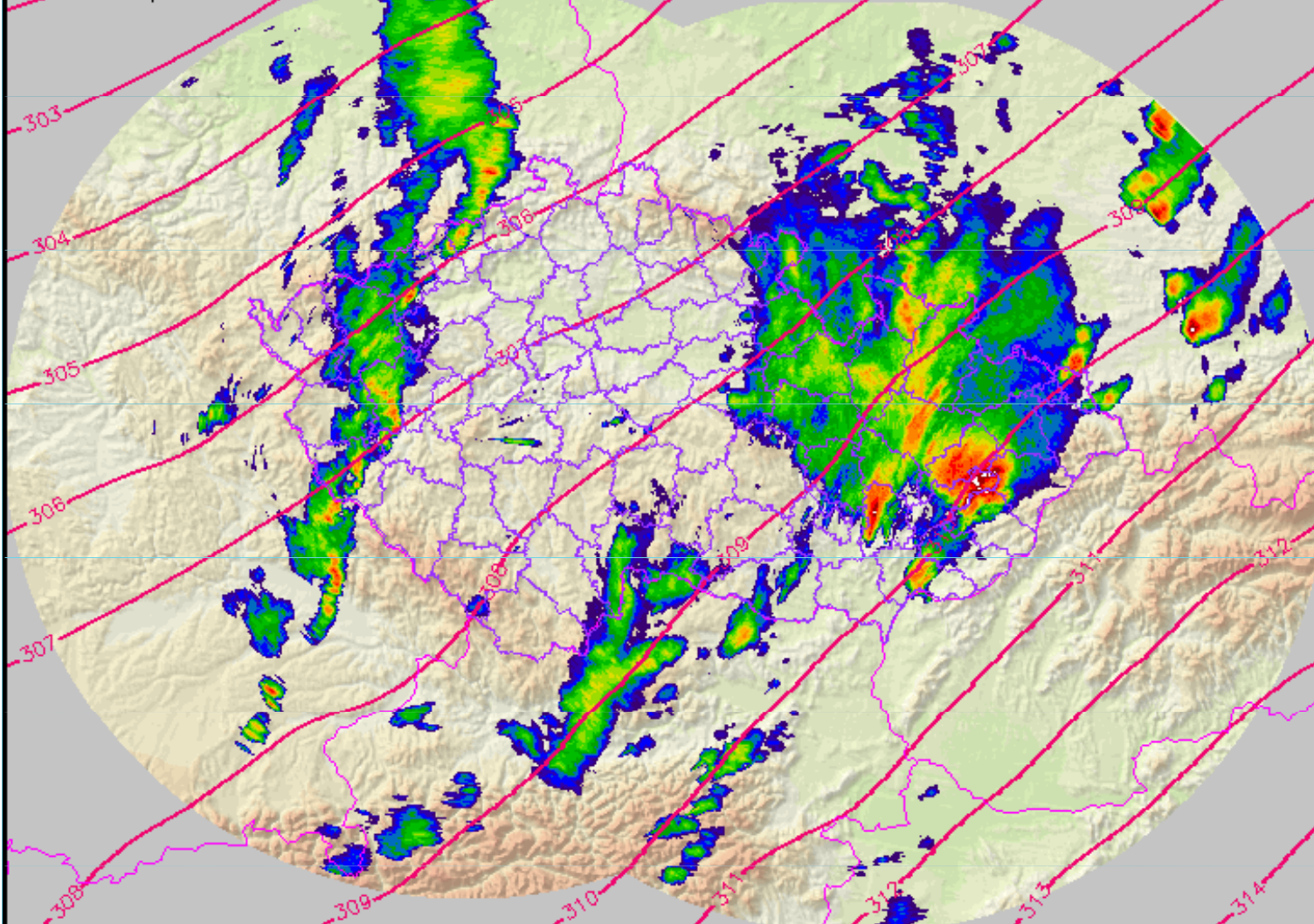


Integrace metod dálkové detekce a NWP modelů pro nowcasting

ČHMÚ: JS MeteoView



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	

Navigation controls: 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

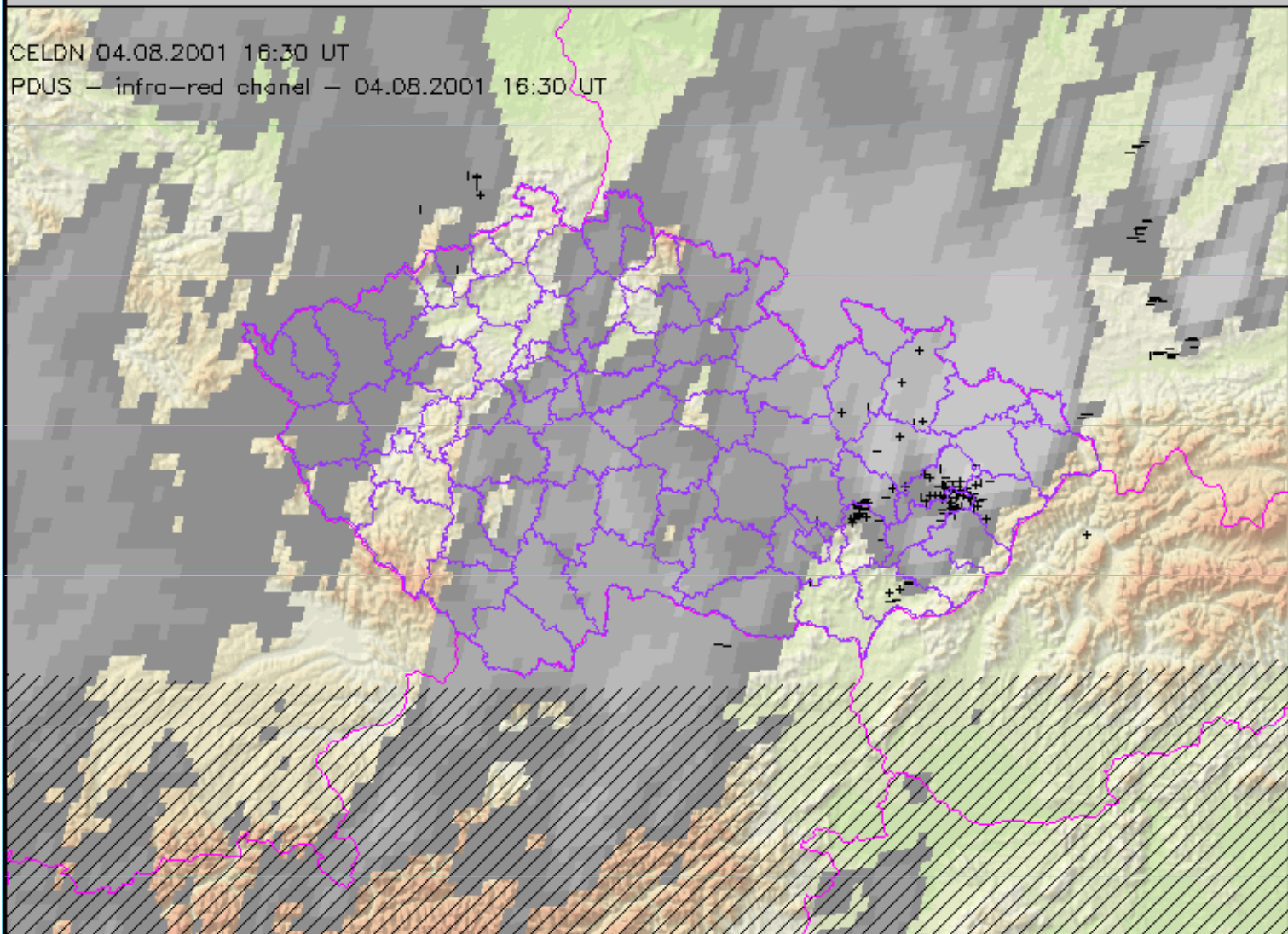
NAVIG: none, LON: 14.447, LAT: 50.008, Choose predefined position

CG- 147
 CG+ 35
 CC 42
 Σ 224

CHMI Radar Department



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



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

LOAD (96 / 96)

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

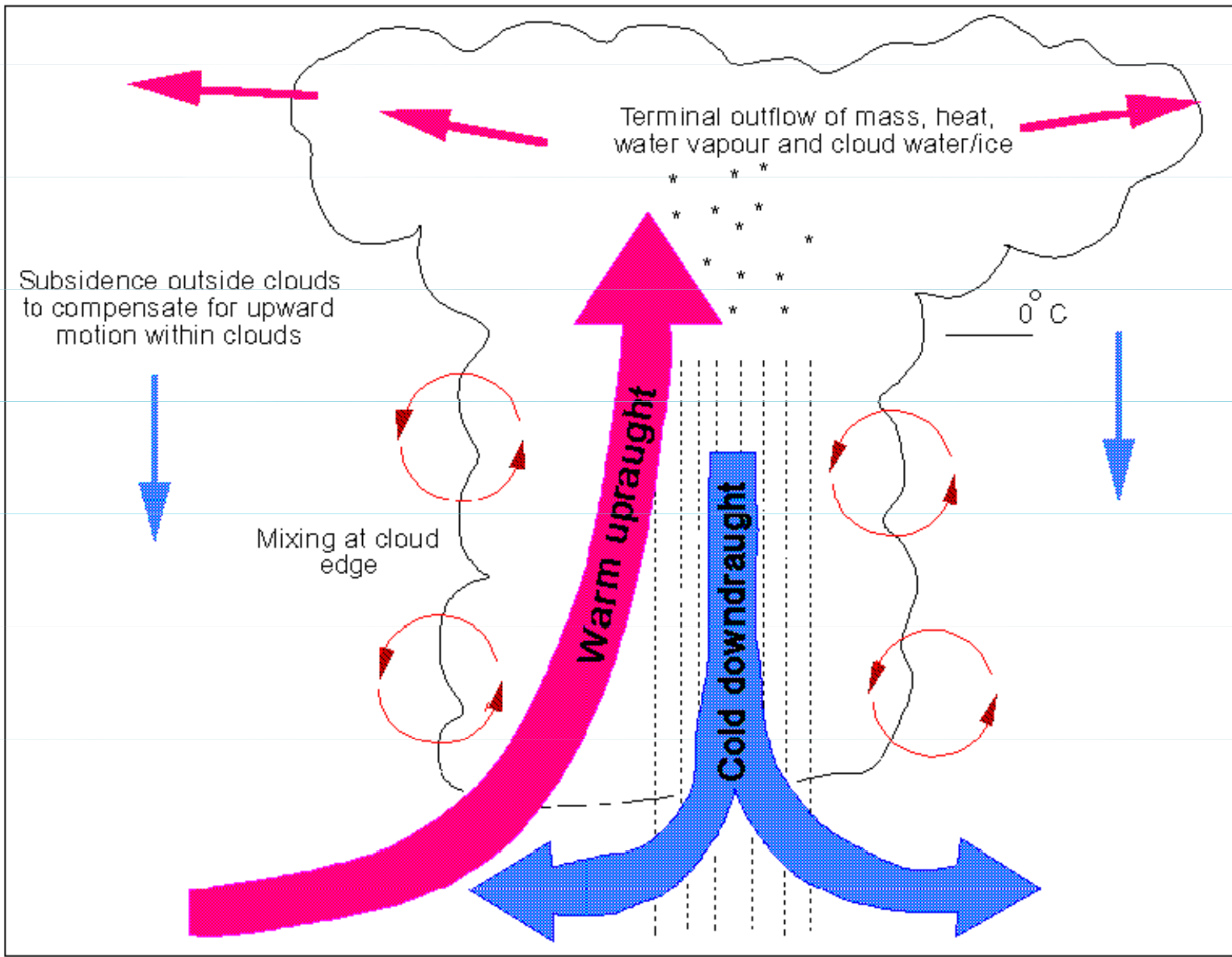
ORO: col
 UND: none
 PDUS:
 RAD:
 LIGHTNING:
 NWP: none
 OVR: dist

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.

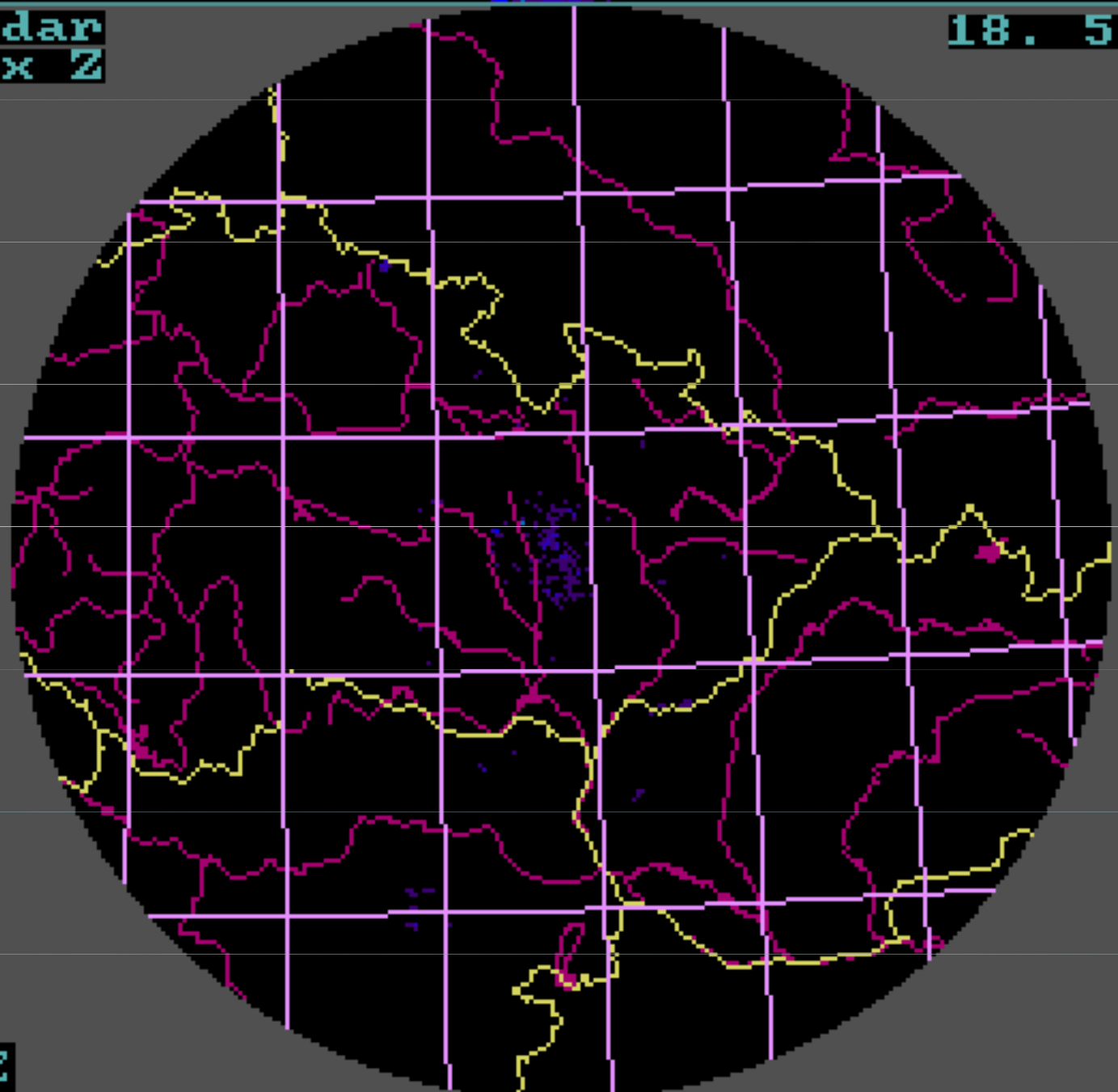
Radar
Max Z

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

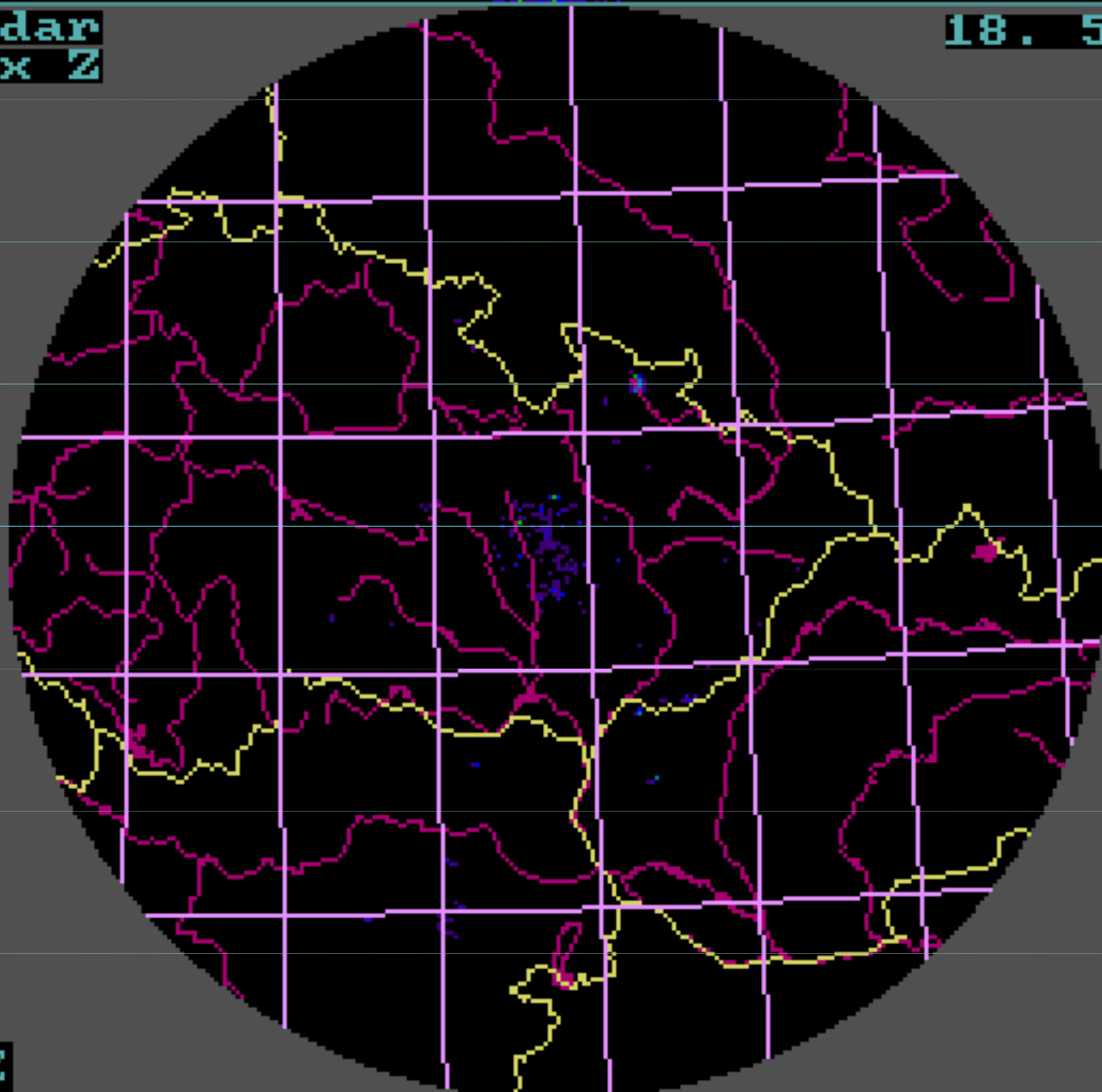
16

12

8

4

dBZ



Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 09:40

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

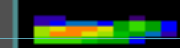
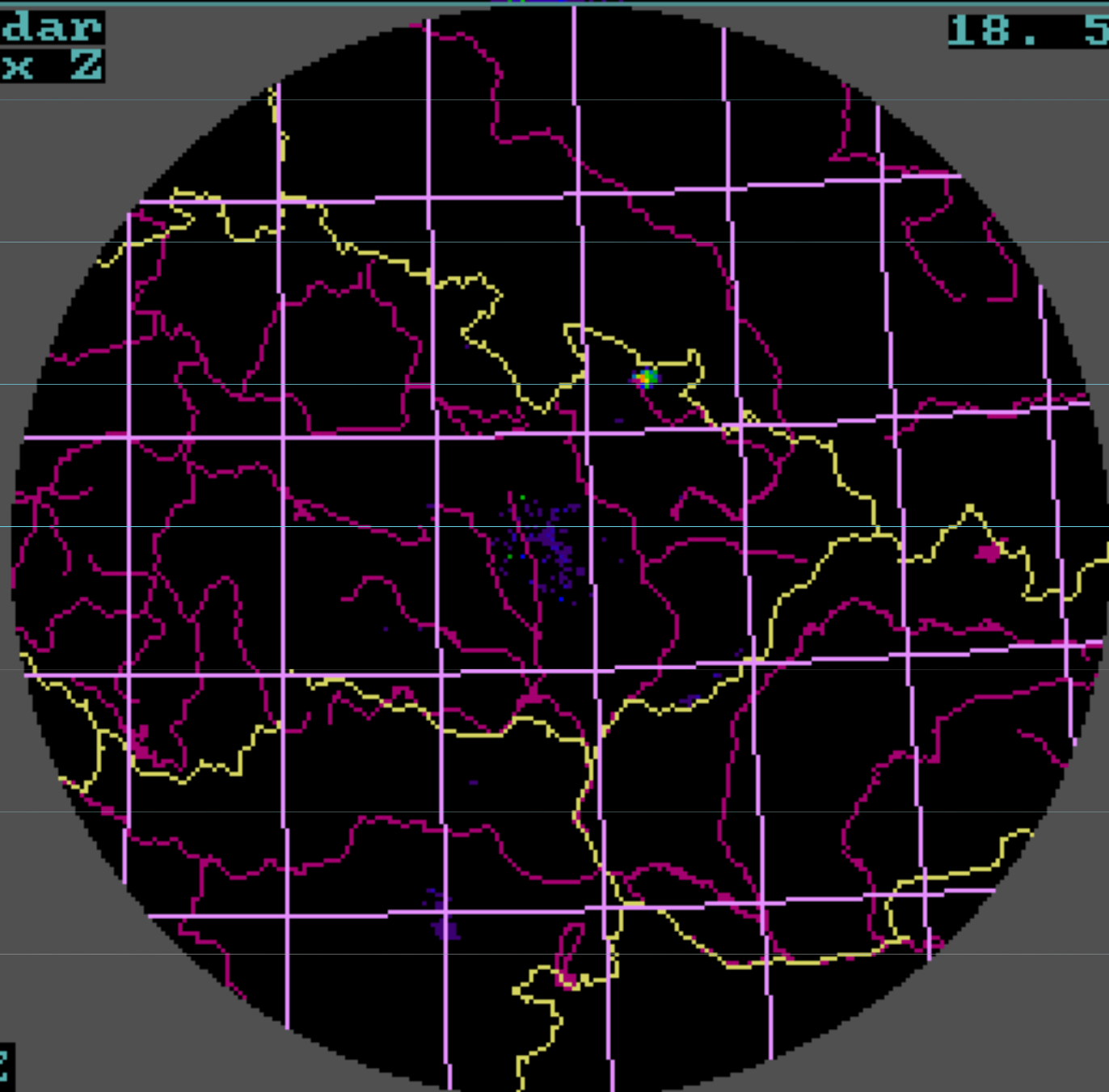
16

12

8

4

dBZ



5

Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 09:50

60

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

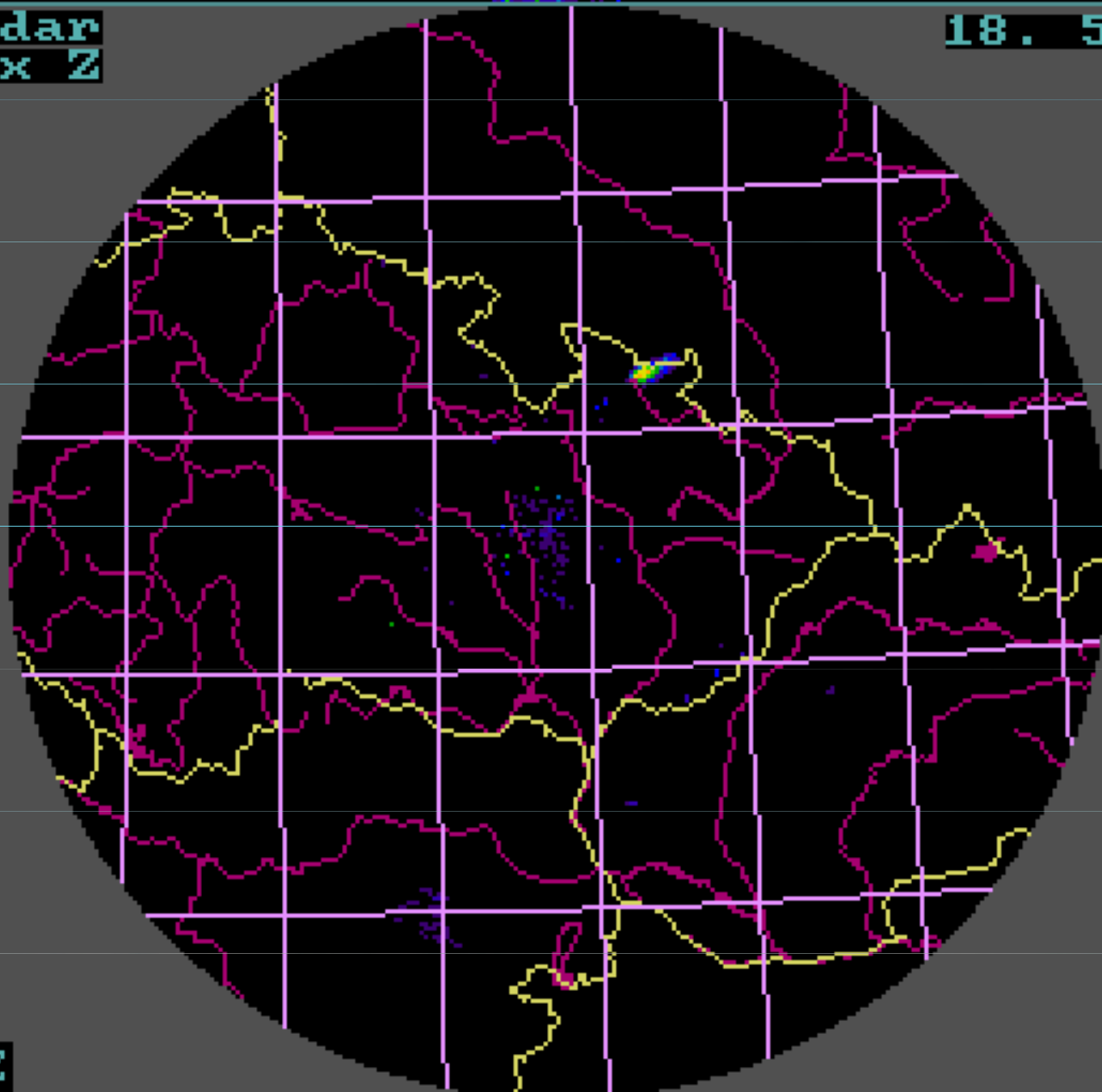
16

12

8

4

dBZ





O několik hodin později:

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

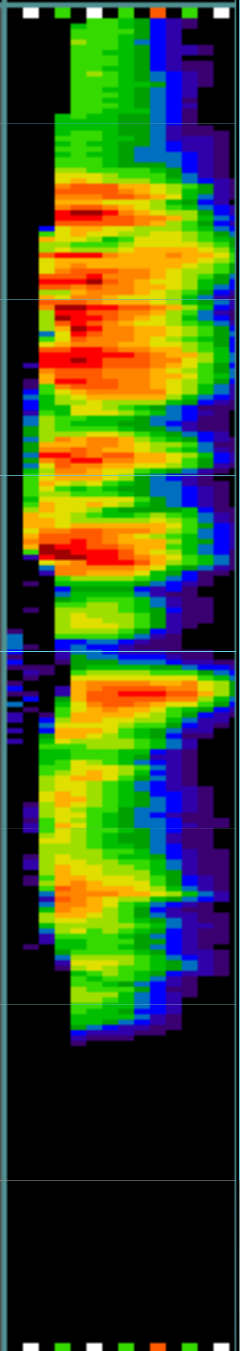
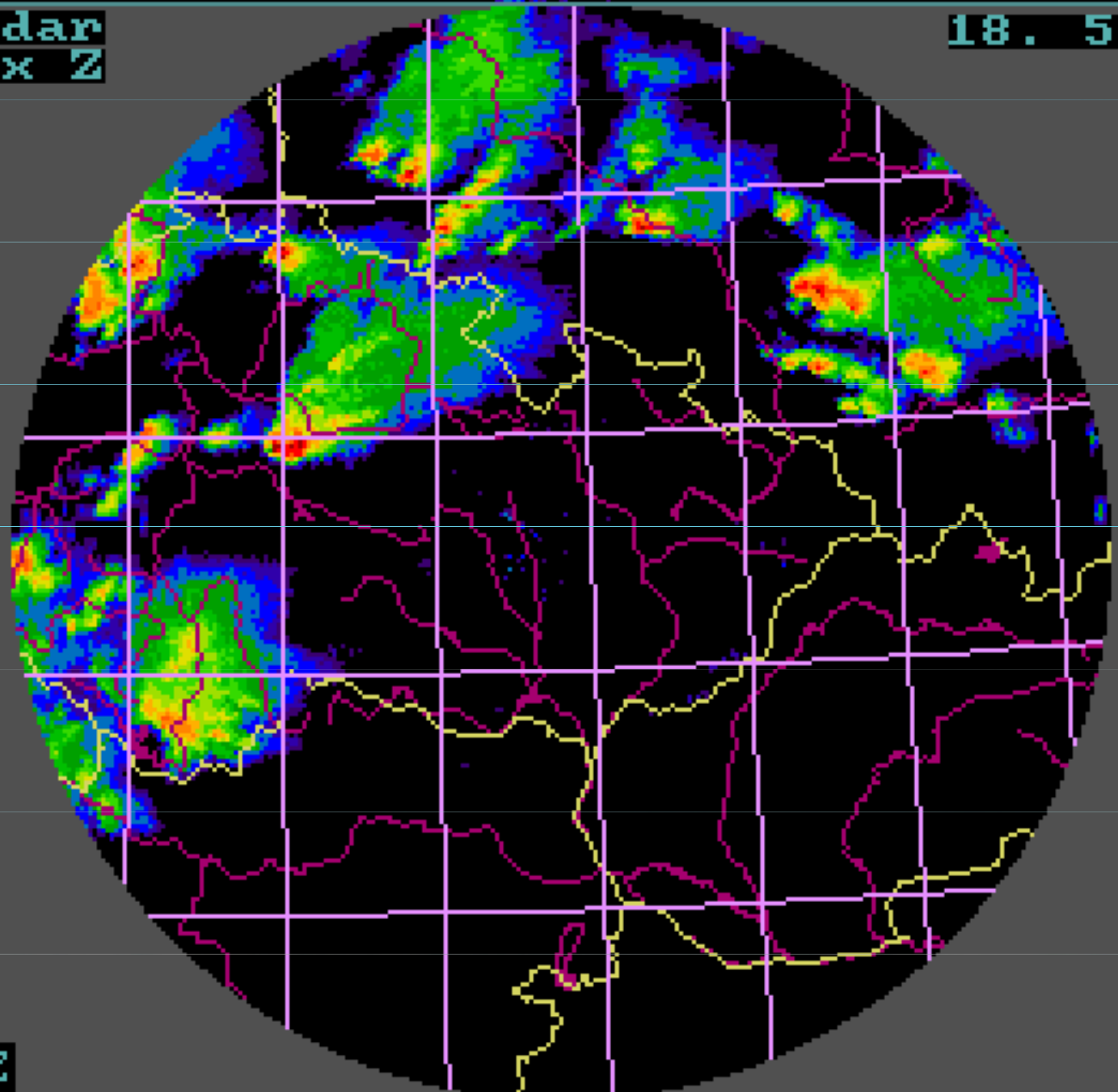
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 17:00

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

dBZ



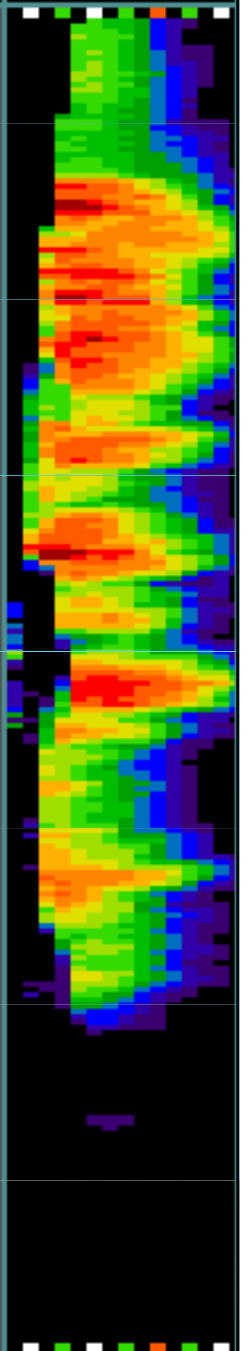
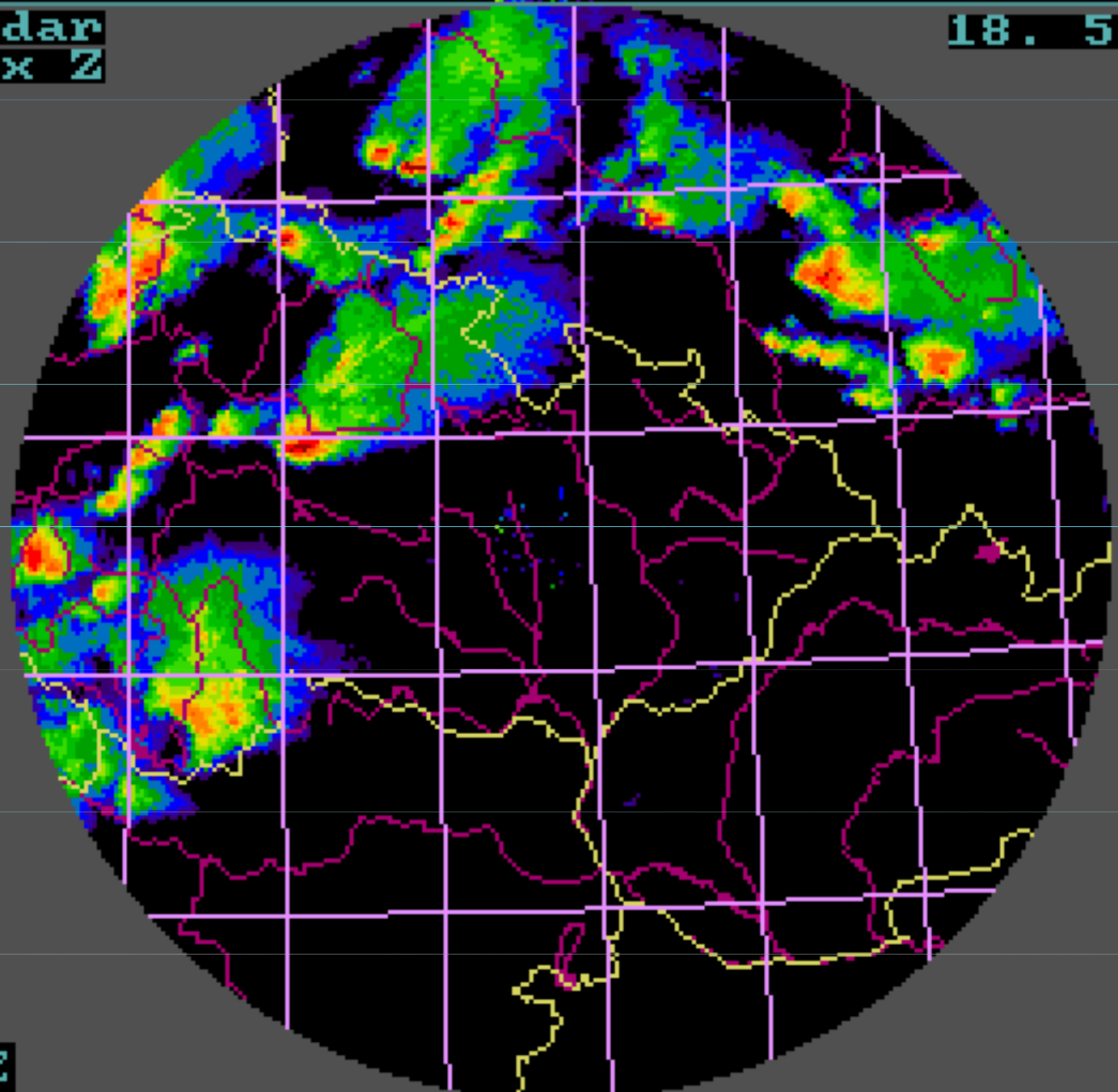
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 17:10

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

dBZ



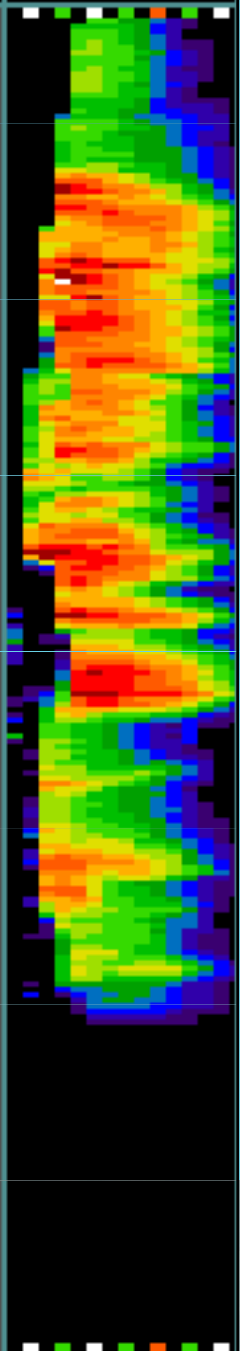
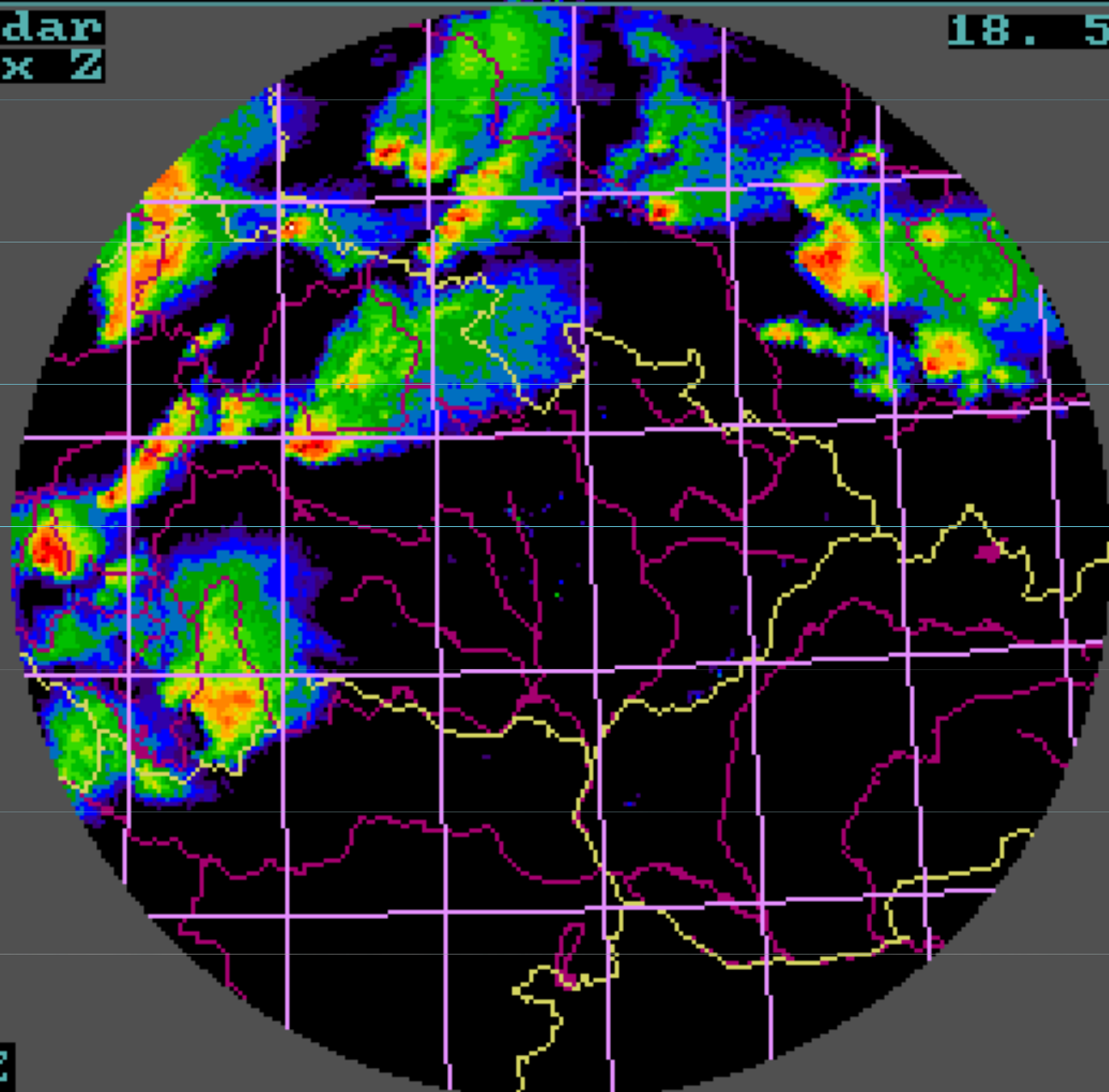
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 17:20

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

dBZ



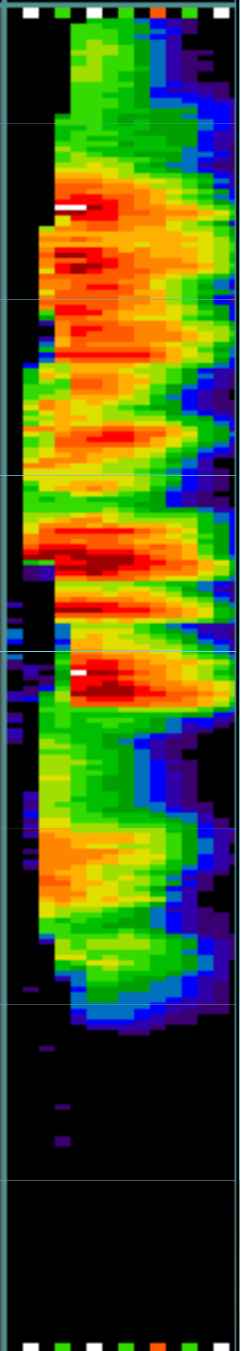
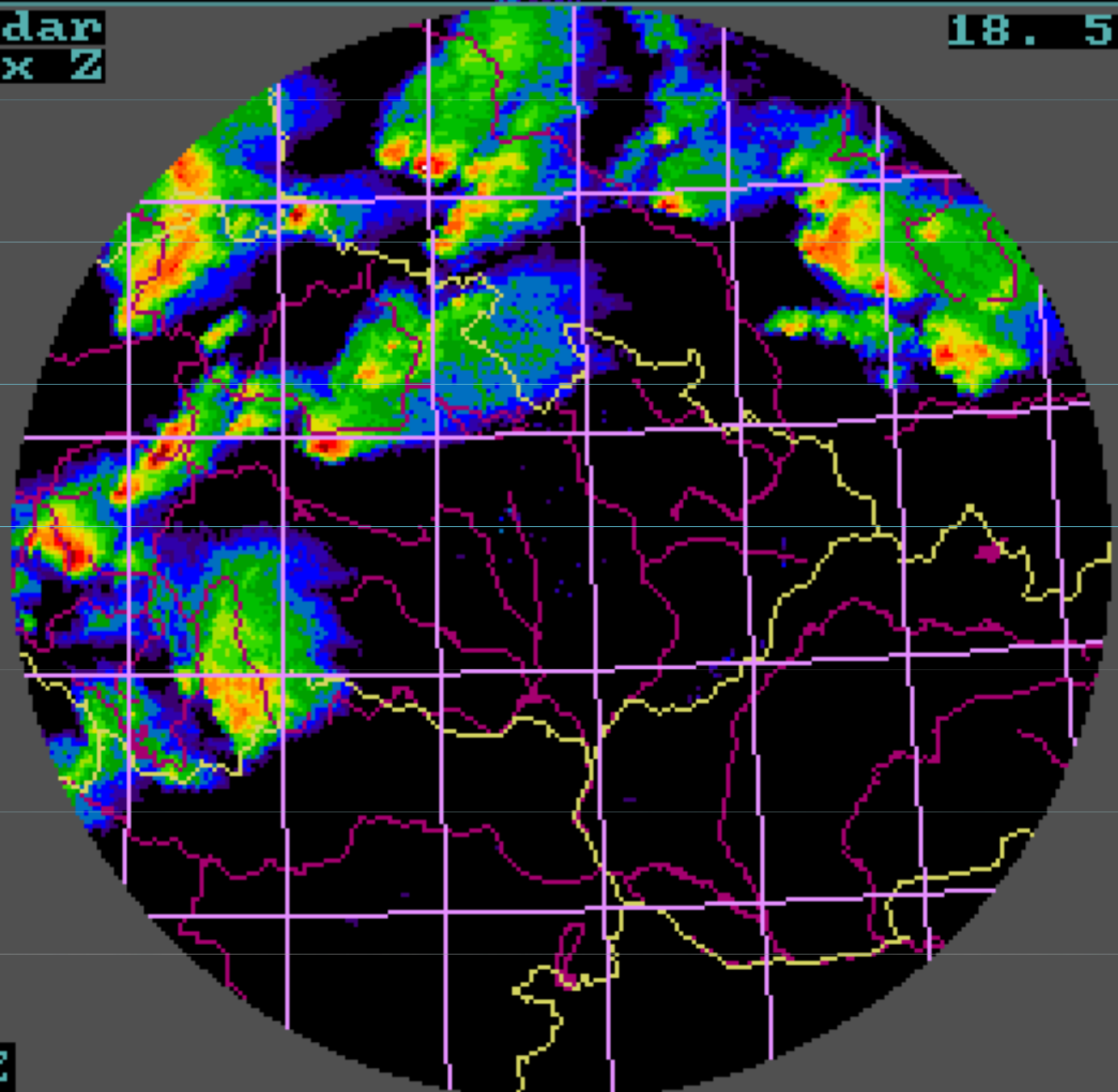
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 17:30

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

dBZ



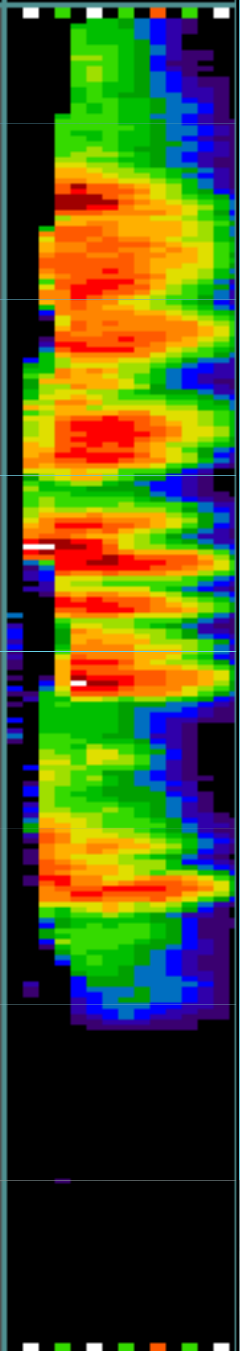
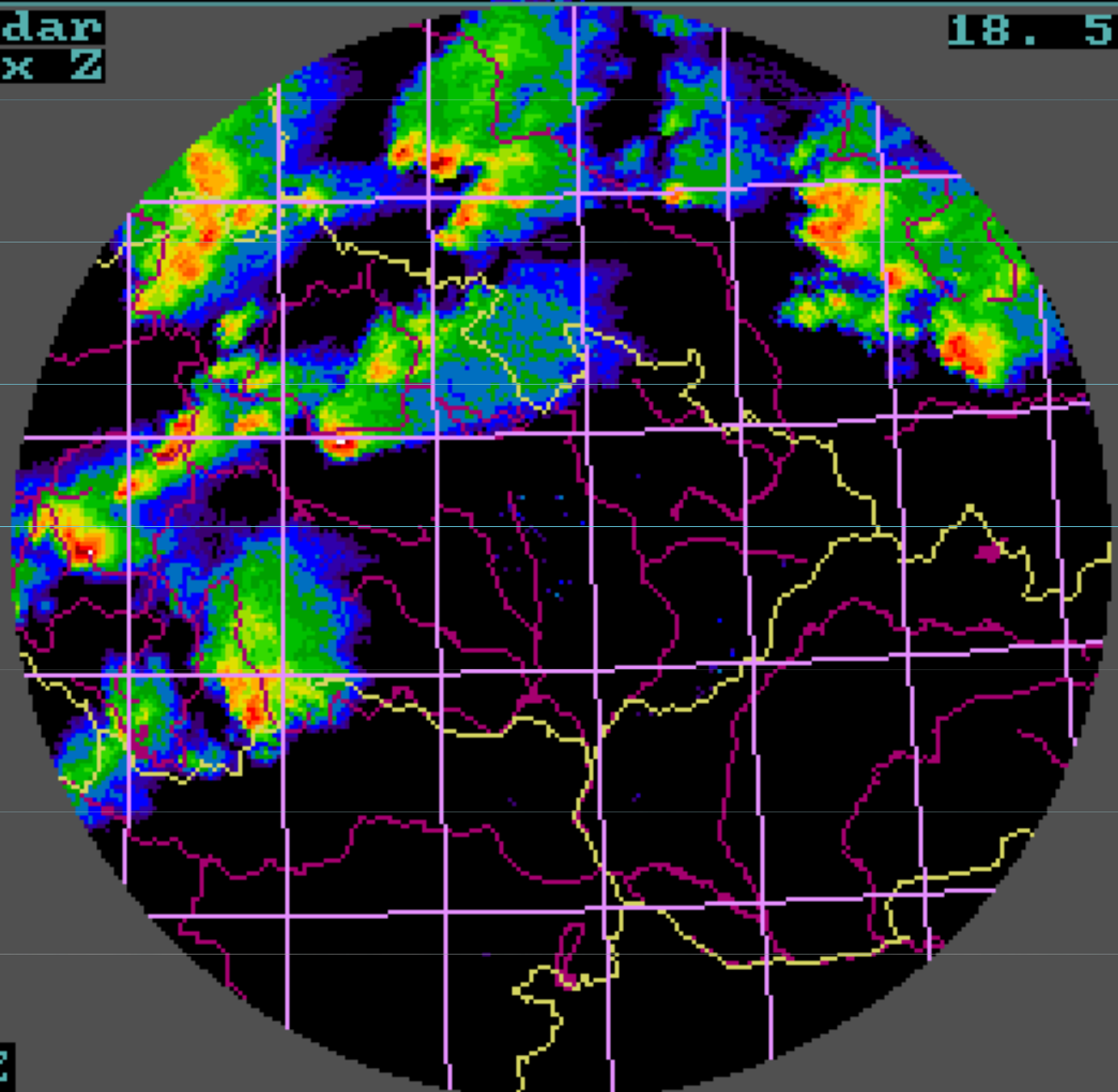
Radar
Max Z

18. 5.96

Sk 17:40

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

dBZ



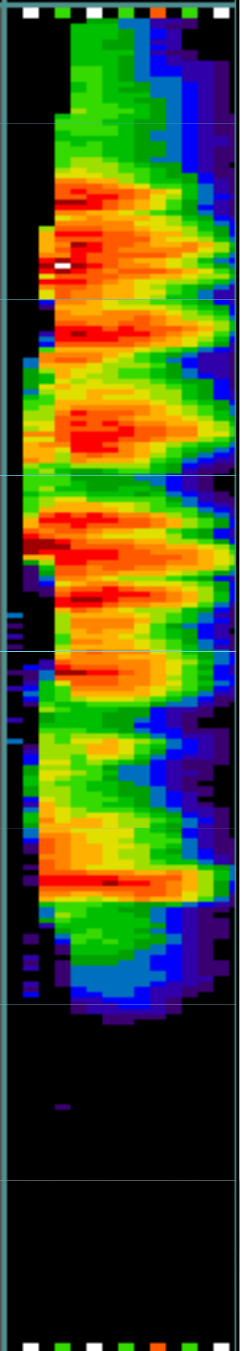
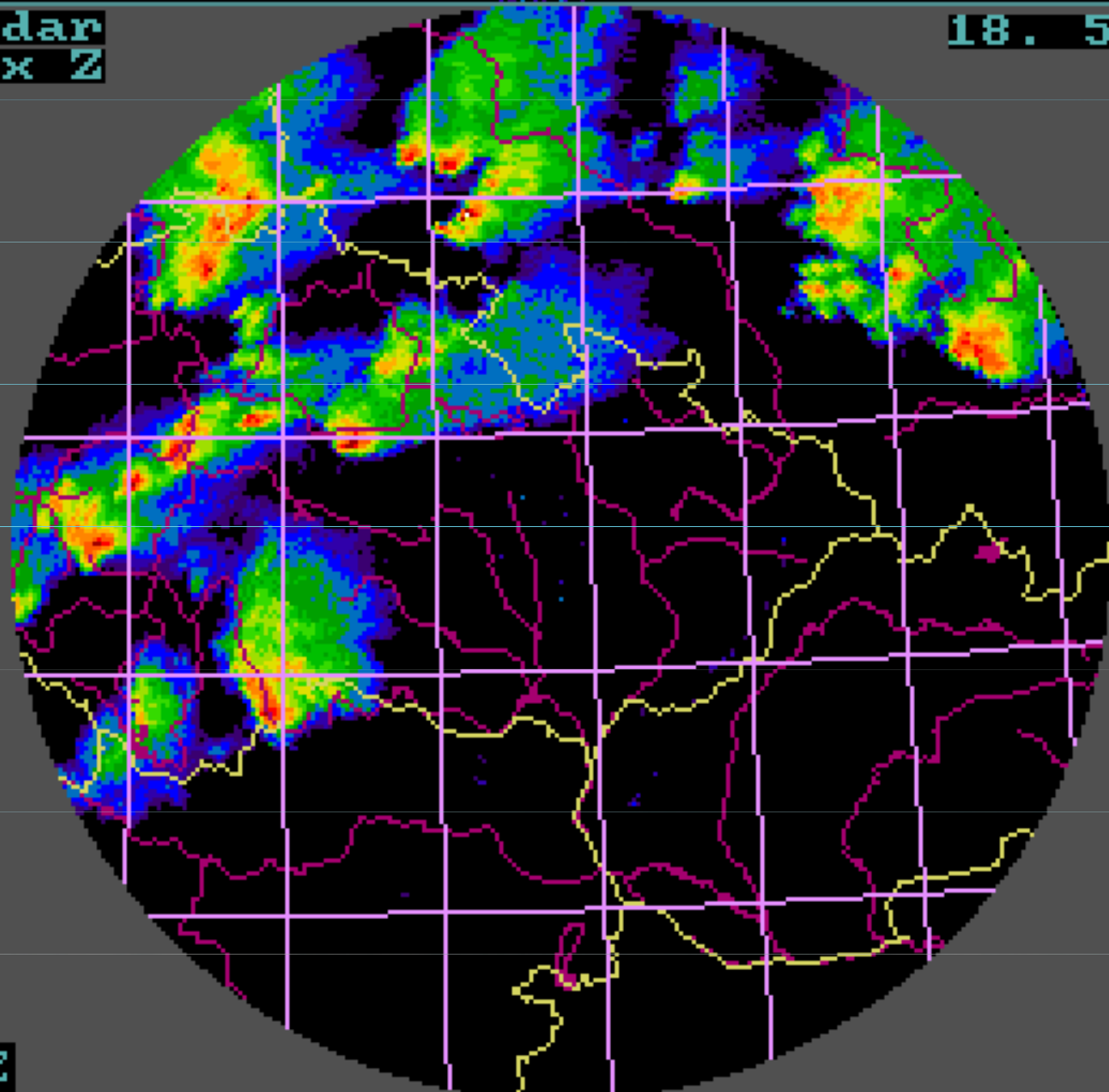
Radar
Max Z

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



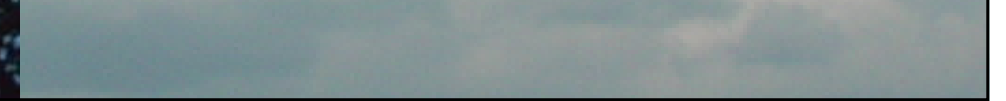
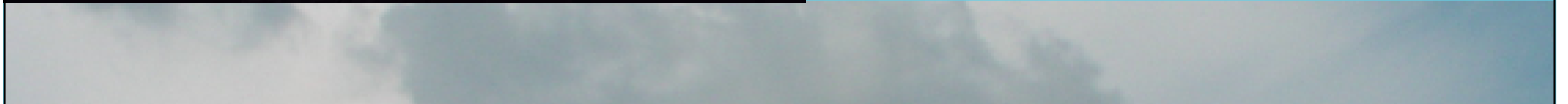
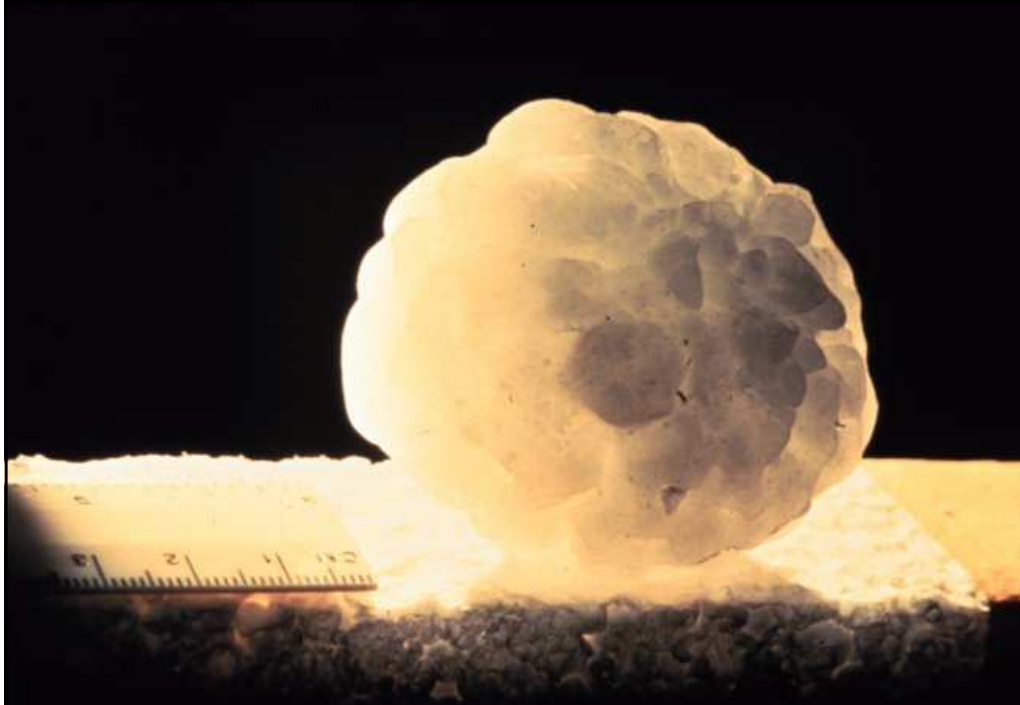
Silné bouřky

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









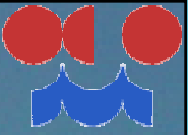



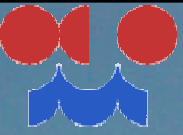
Tornáda

- 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.



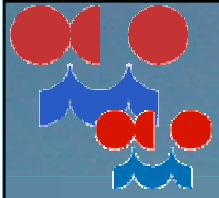
Tornádo u Světlé nad Sázavou 31. 5. 2001





Tornádo u
Světlé nad
Sázavou 31. 5.
2001





31. května 2001



video závěrečné fáze tornáda, savé víry





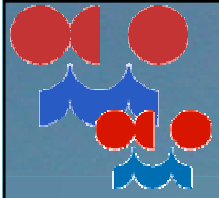




Martin Setvák

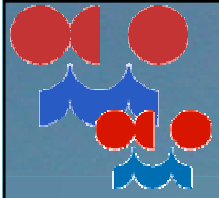


Martin Setvák



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











Tornádo u Brna 20. 7. 2002

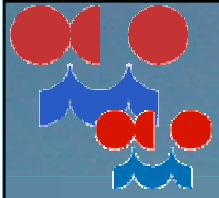


Tornádo u Brna 20. 7. 2002



Tornádo u Prostějova 20. 7. 2002





20. července 2001

Prostějovsko

video - Čechy pod Košířem



Tornádo 19. dubna 2000 u obce Studnice, okres Vyškov



7. srpna 2002, Dačice



Nový Malín, 6. června 2003

Doposud nejlépe zdokumentované tornádo:

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



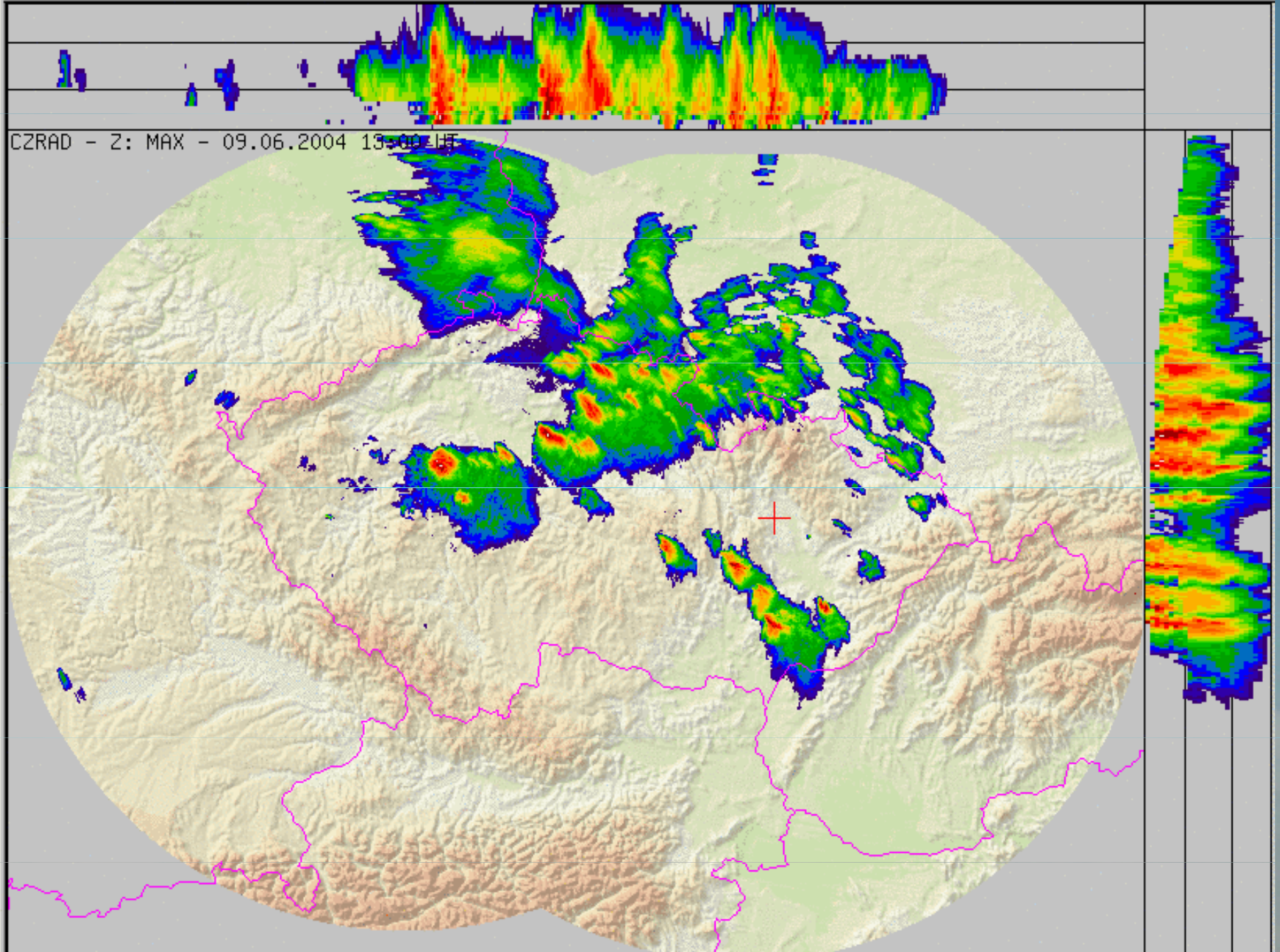
video Pavel Klásek



Litovel, 9. 6. 2004



JSMeteoView - Viewer of Meteorological Data - Mozilla





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

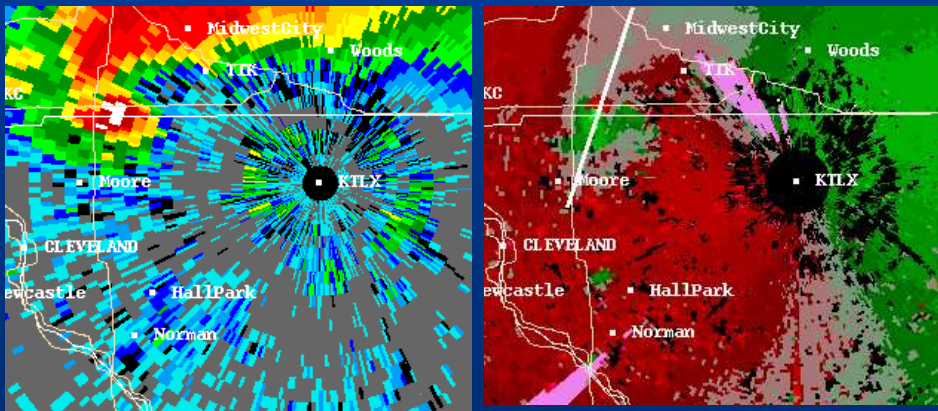
On May 3rd 1999 an F-5 tornado struck Oklahoma City

-2 km wide

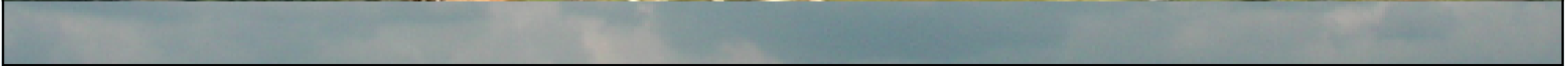
-500 km/hr doppler measured winds near the surface

-42 deaths

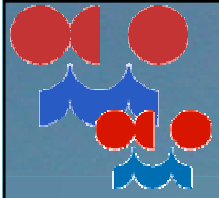
-7000 homes destroyed

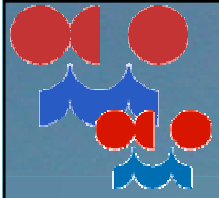


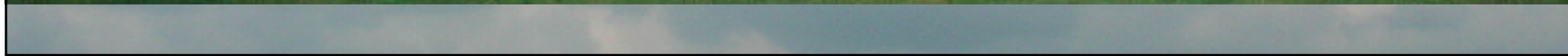
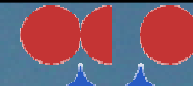










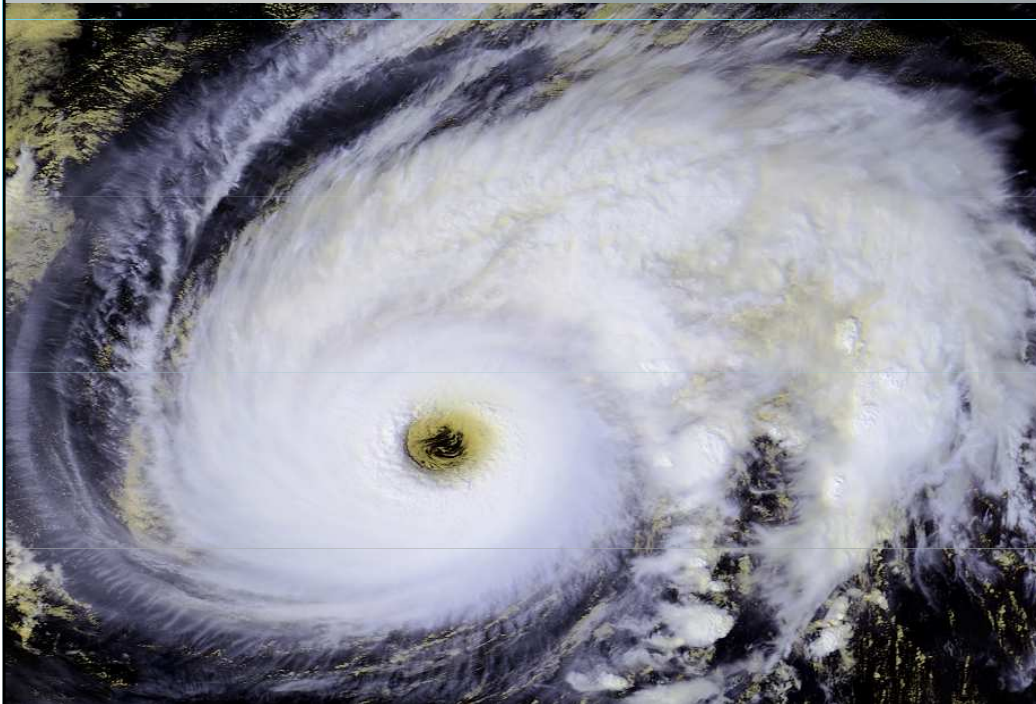
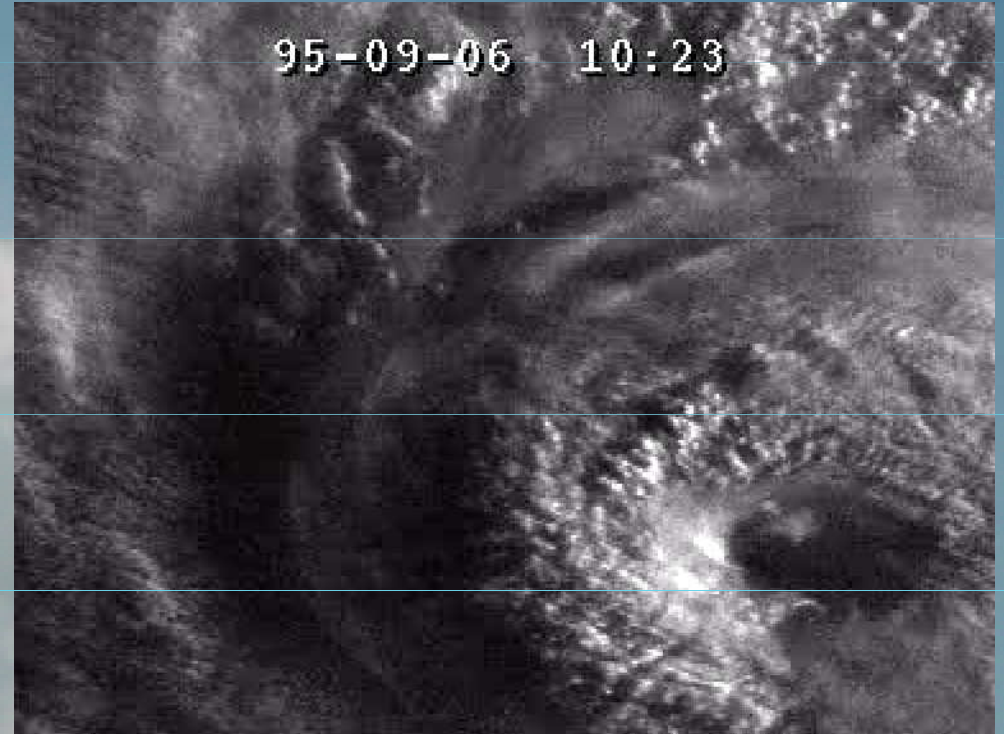




Tropické cyklóny

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.

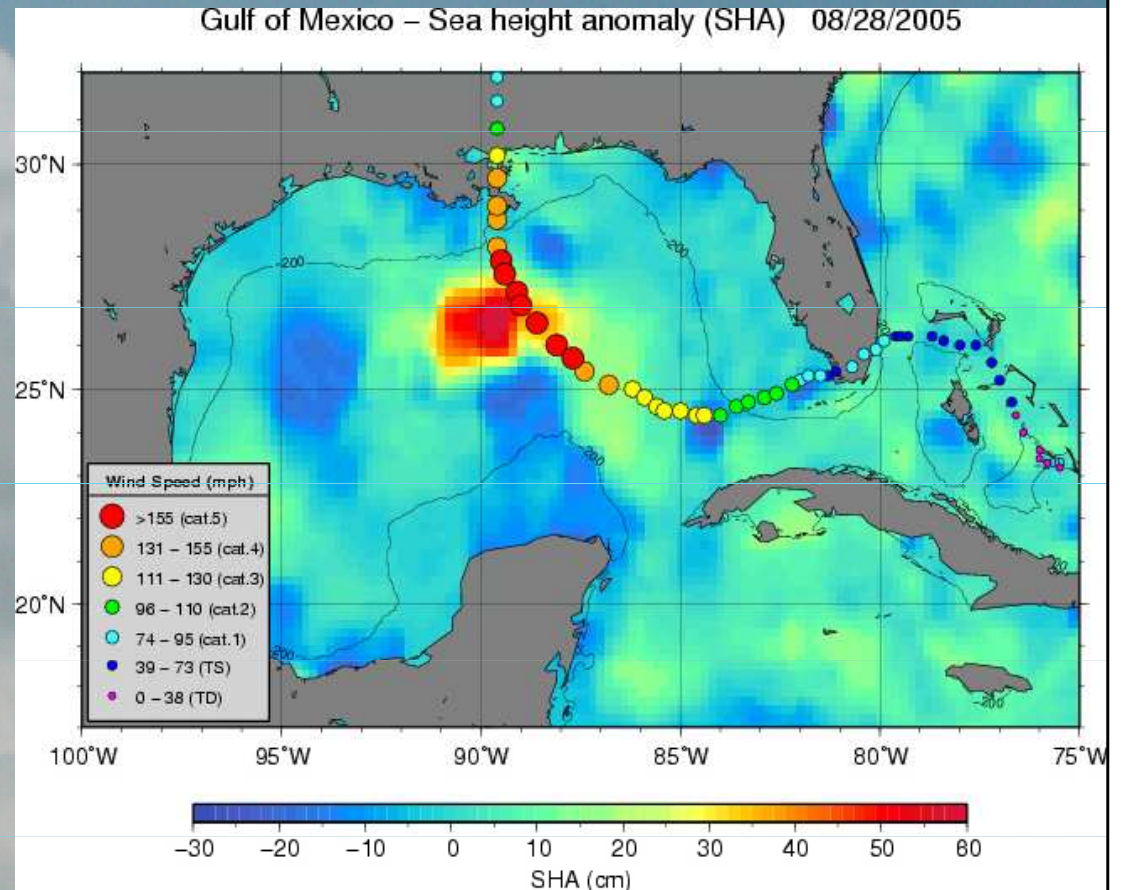
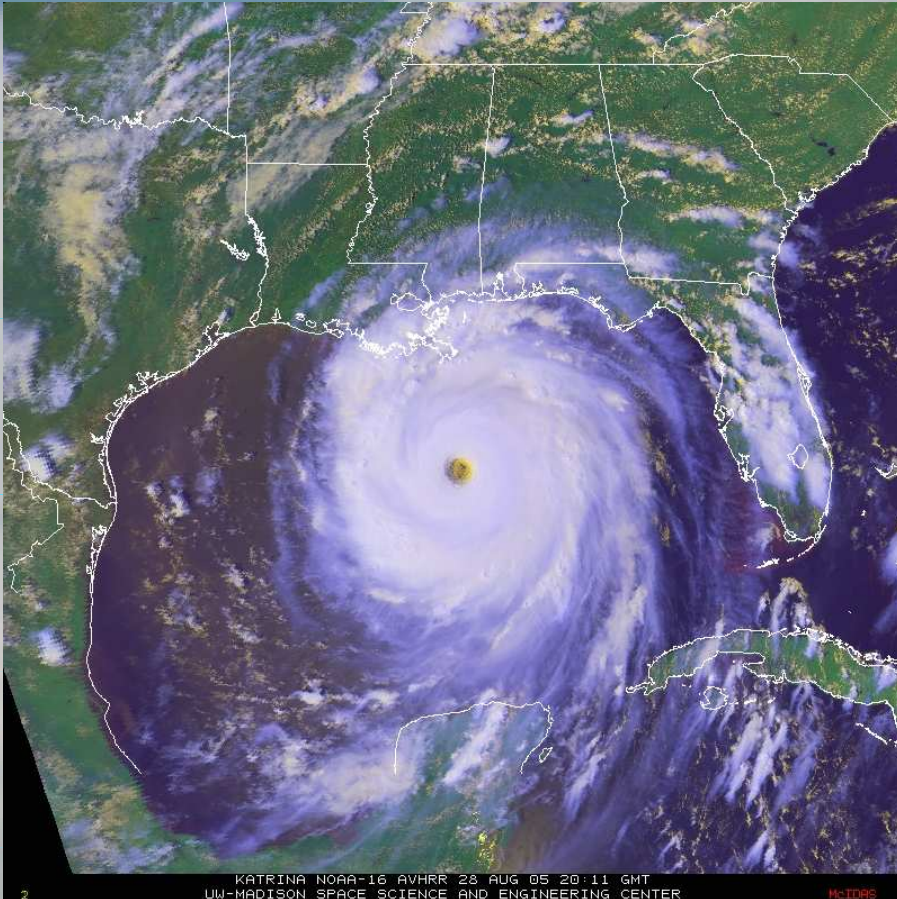
Indický oceán: cyklon

Austrálie: willy-wily





Hurikán Katrina





Okno hurikánu Katrina

