

# Meteorologické radary II.

Technologie radarových měření, odhady srážek,  
chyby a problémy radarových měření odrazivosti a  
srážek

Milan Šálek

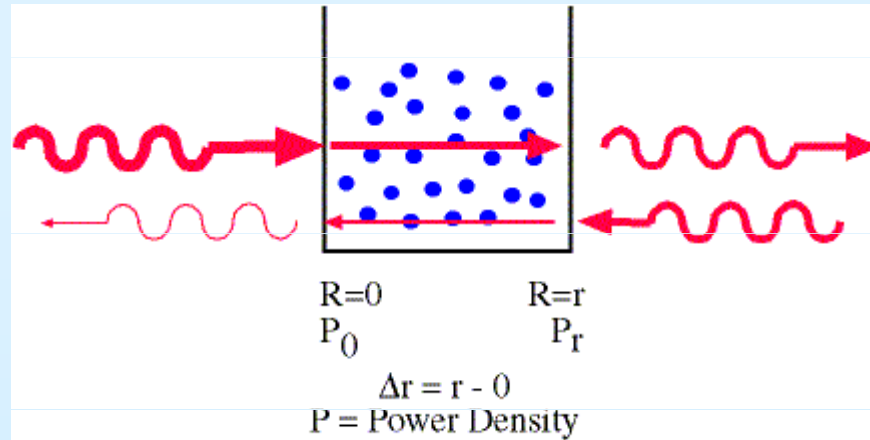
(s pomocí kolegů z Radarového oddělení ČHMÚ)

[salek@chmi.cz](mailto:salek@chmi.cz)

# Útlum radiových vln

- Vakuum: žádný útlum
- Atmosféra: nenulový útlum
- Zanedbatelný útlum: dusík
- Nezanedbatelný útlum: kyslík, vodní pára (závislost na hustotě)
- Útlum v atmosféře: cca 0.01 dB/km
  - (250 km: 2.5 dB)
  - zohledněn ve výpočtech Z

# Útlum radiových vln (pokr.) Beerův (Lambertův, Bouguerův) zákon



$$P_r - P_0 = -k\Delta r P_0, \quad k - \text{koeficient útlumu}$$

$$dP_r = -2kP_r dr$$

$$P_r = P_{r0} e^{-2 \int_0^r k dr}$$

# Útlum radiových vln (pokr.)

$$P_r = P_{r0} e^{-2 \int_0^r k dr}$$

$$k = k_g + k_c + k_p$$

(útlum v plynech, oblačnosti, srážkách)

$$k_g \cong 0,008 \text{ dB/km}$$

$$k_c = K_3 M, \text{ kde } M \text{ je vodní obsah}$$

oblaku (vodní, smíšená oblaka)

zanedbává se pro  $\lambda > 5 \text{ cm}$  a pro ledová

oblaka

$$k_p = K_2 R^\gamma, \text{ kde } R \text{ je intenzita srážek}$$

a  $K_2, \gamma$  jsou konstanty

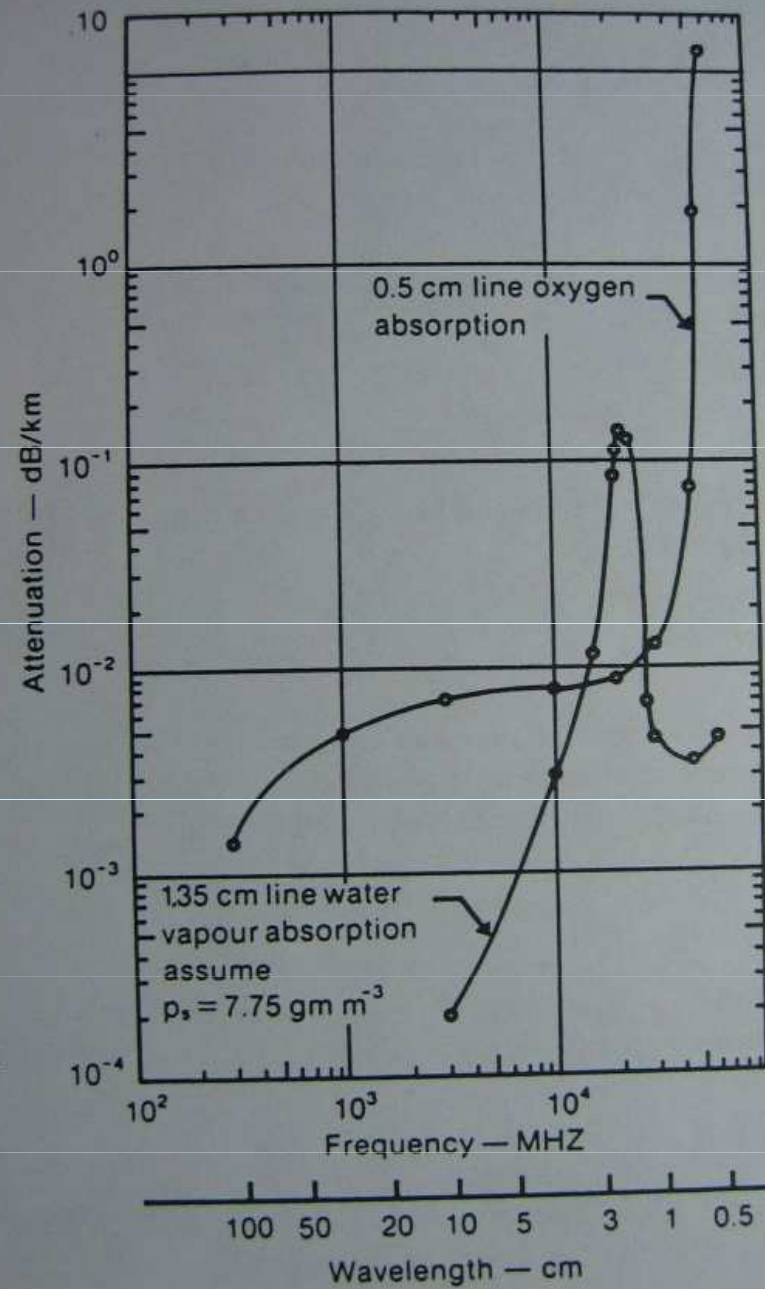


Fig. 2.6. Atmospheric absorption by the 1.35 cm line of water vapour for a mean absolute humidity of  $7.75 \text{ g m}^{-3}$ , and by the 0.5 cm line of oxygen at a temperature of  $20^\circ\text{C}$  and pressure of 1 atm. (From Battan 1973.)

Závislost celkového útlumu způsobeného atm. plyny (na celkové dráze, tj. k cíli a zpět k radaru) na vzdálenosti od radaru a frekvenci radiových vln pro elevace  $0^\circ$  a  $5^\circ$ . Útlum je největší v blízkosti radaru, kde je paprsek nízko a prochází hustšími vrstvami atmosféry

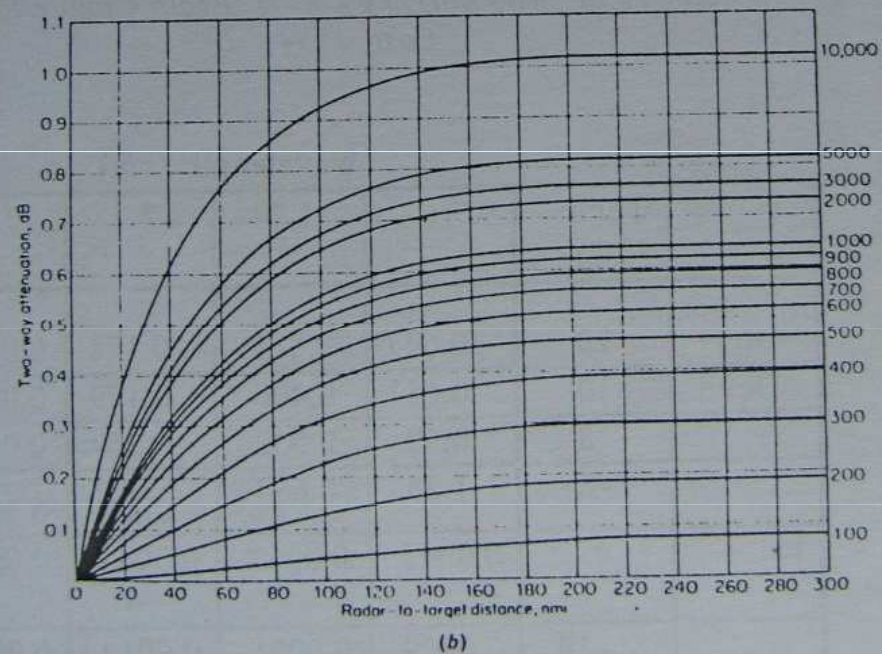
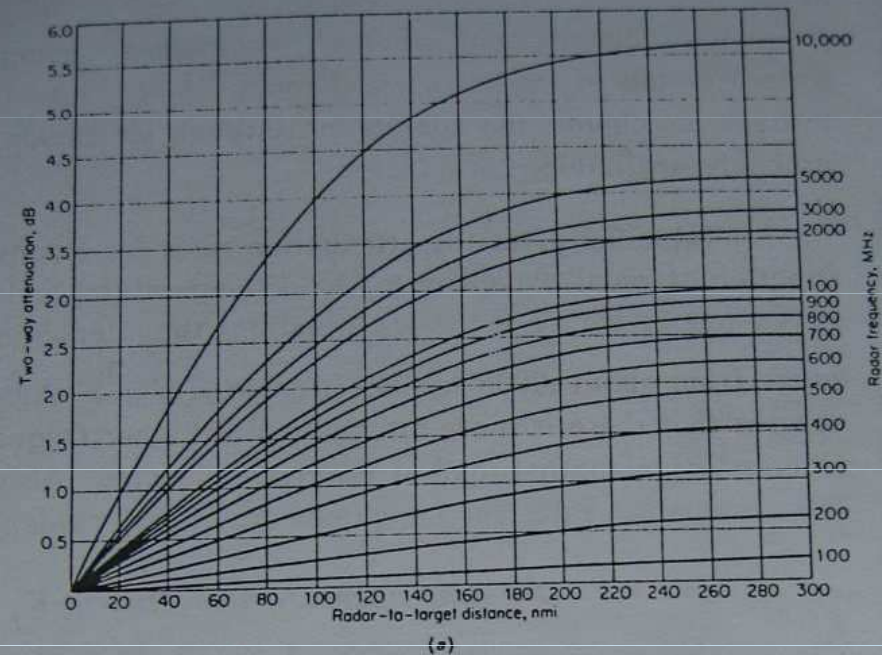


Figure 9.6 Attenuation for two-way radar propagation as a function of range and frequency for elevation angles of  $0^\circ$  (a) and  $5^\circ$  (b). From Skolnik, 1980, Introduction to Radar Systems, with

# Zpracování a zobrazování radarových dat

Anténa radaru může při měření rotovat v azimutu nebo se vertikálně kývat (měnit elevační úhel) nebo směřovat fixně do jednoho místa. Z toho vycházejí základní možnosti zobrazení radarové odrazivosti *tzv. indikátory*. (původ u starších analogových radarů kde se tyto indikátory používaly při zobrazení přímo na obrazovku s dlouhým dosvitem):

- **PPI** (Plan Position Indicator) - přehledový indikátor kruhového obzoru - při otáčení antény na konstantním elevačním úhlu - t.zn. kuželový řez prostorem.
- **RHI** (Range-Height Indicator) - indikátor délka-výška - při vertikálním kývání antény na určitém azimutu. - t.zn. vertikální řez prostorem
- **A-skop** - osciloskop, fixní poloha antény, na ose x vzdálenost, na ose y intenzita odrazu - užíván pro servisní účely.

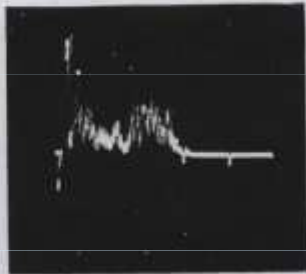
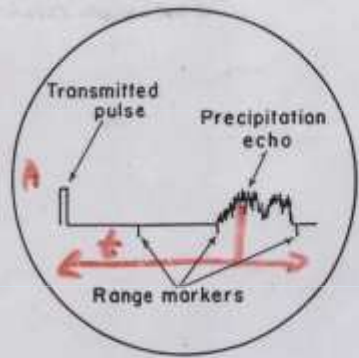


Fig. 1.3. A- or R-scope. Photograph courtesy of P. Austin and U.S. Army Signal Research and Development Laboratory.

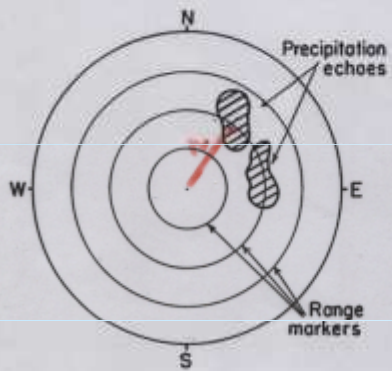


Fig. 1.4. Plan-position indicator (PPI)

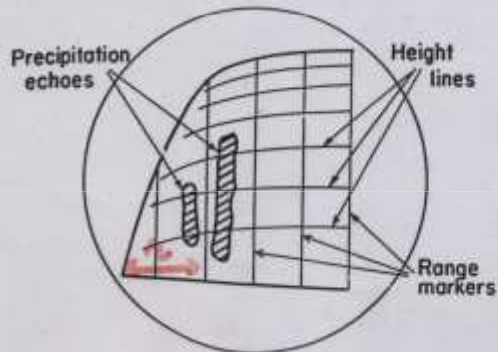


Fig. 1.5. Range-height indicator (RHI)

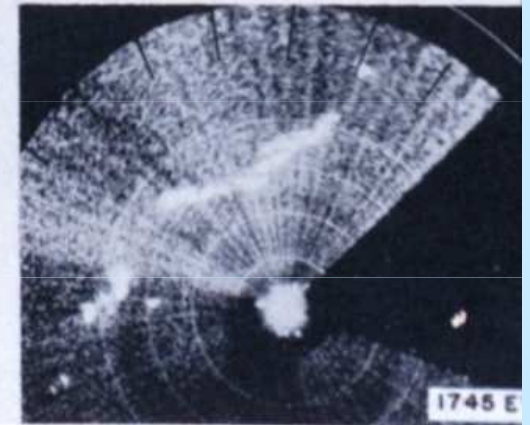
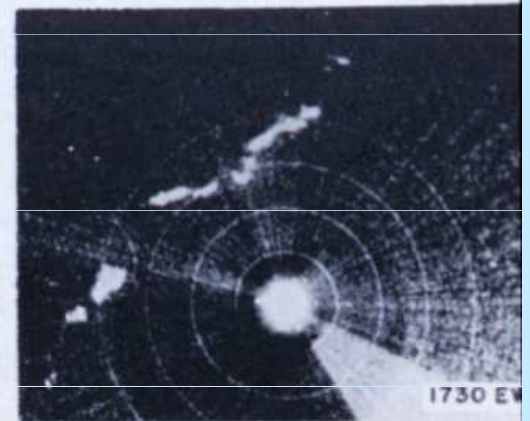
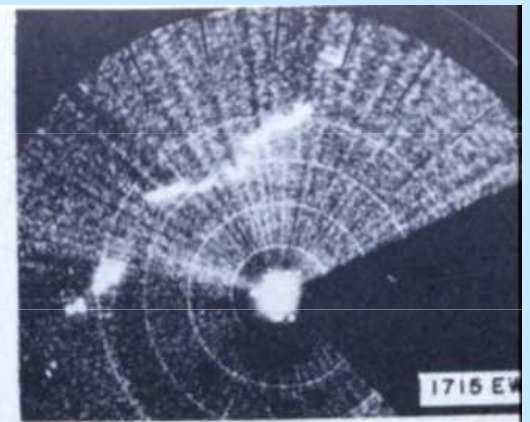
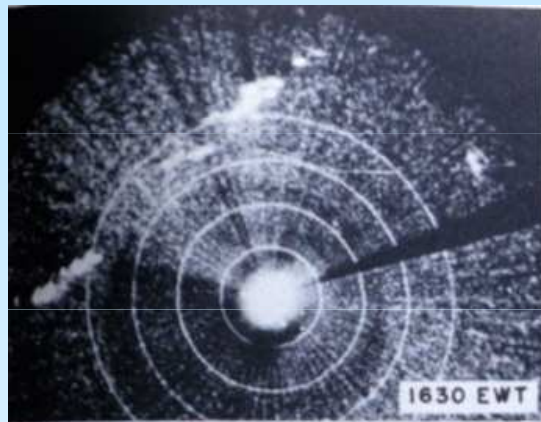


Figure 74. Approach of Cold Front Detected by X-Band Set, 22 July 1943, Boston, Mass. Range markers are at 20-mile intervals. Storms associated with front show considerable motion during the interval between 1630 and 1645 EWT, but very little motion thereafter.



# Zpracování a zobrazování radarových dat

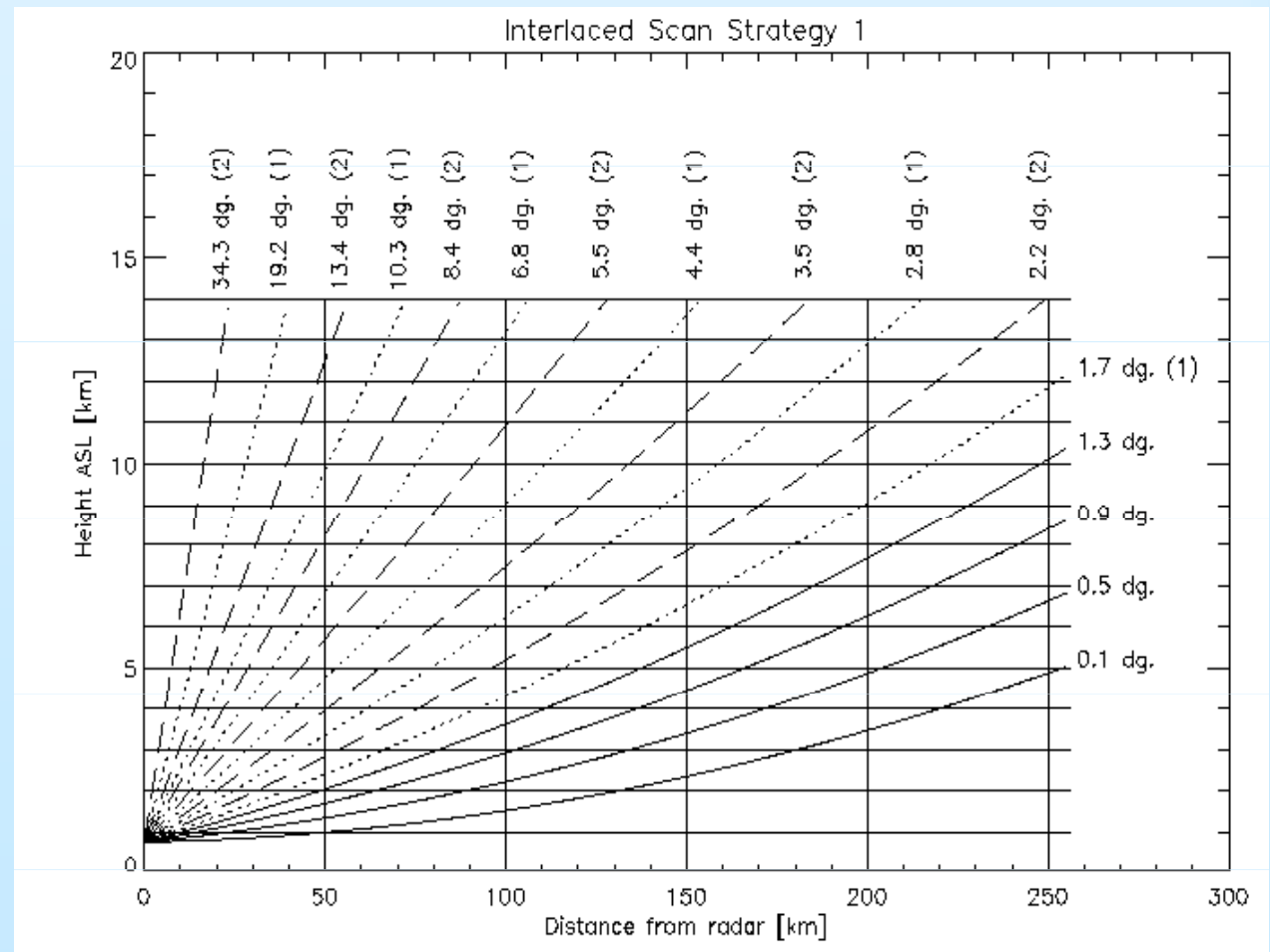
operativní provoz - objemové snímání (posloupnost otáček antény při různých elevačních úhlech - posloupnost PPI hladin). Z takto získaných objemových dat je možné zkonstruovat dokonalejší zobrazení radarových odrazů :

- základní **PPI** hladiny
- CAPPI** (Constant Altitude Plan Position Indicator) - kruhový obzor konstantní výšky
  - (pseudoCAPPI – zasahuje za dosah možné konstantní výšky, data z nejnižší možné elevace)
- Max Z** - maximální odrazivosti ve vertikálním a 2 horizontálních průmětech (kvazi-trojrozměrné zobrazení),
- RHI** popřípadě jiný uživatelský vertikální výřez z objemových dat
- horní hranice radioecha** (často 4 dBZ)
- výstražné detekční algoritmy (VIL, Y-algoritmus, HAIL\_PROB - v těchto produktech se zohledňuje jednak intenzita radioecha a jednak vertikální mohutnost detekované oblačnosti) a jiné vypočtené produkty

# Prokládaný scan – ČHMÚ

- operativní zprovoznění prokládaného snímání - během 10ti minut jsou měřeny dva 5ti-minutové subscany
- 5ti minutová data - využíváno Řízením letového provozu i v ČHMÚ

- ostatní uživatelé využívají nadále 10ti minutová data složená vždy z dvou následných 5ti-minutových subscanů
- veškeré zpracování je nutno provádět pomocí vlastního software RVD/RPD

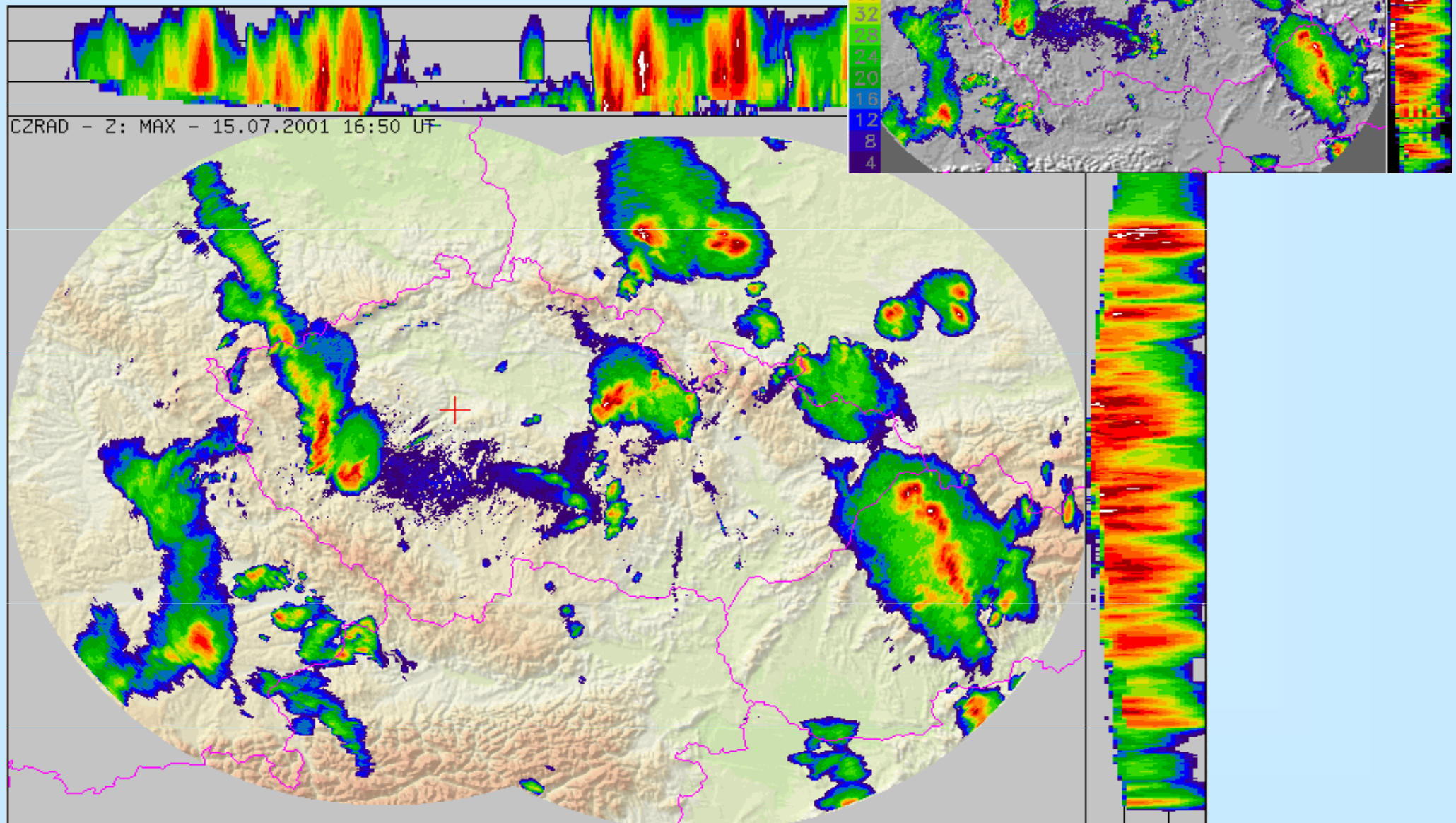


# Objemové zpracování - vlastní softwareový balík RVD/RPD

- generované produkty odrazivosti [PPI, CAPPI, MAX, MAX-3D, Echo top, VIL, Y-algorithm, vertical reflectivity profiles (VPR), radarové odhady srážek + VPR korekce] a dopplerovských rychlostí [PPI, modif-VAD]
- flexibilní vytváření radarových kompozitů (sloučenka)
- slučování objemových dat – umožnění prokládaného snímání
- volně definovatelná geografická projekce a rozlišení – nový standard 1x1km horiz. rozlišení
- datové rozlišení = 8bit (256 úrovní) – odpovídá originálním obj. datům; odhady srážek využívají 16bit datové rozlišení
- vizualizace – internetový prohlížeč JSMeteoView
- archivace objemových dat - možnost libovolného zpětného výpočtu
- zachováno generování dat ve starém formátu 2x2km “\*.xd” a “\*.gif” pro zachování kompatibility

# CZRAD kompozit

1km vs.2km horiz. rozlišení

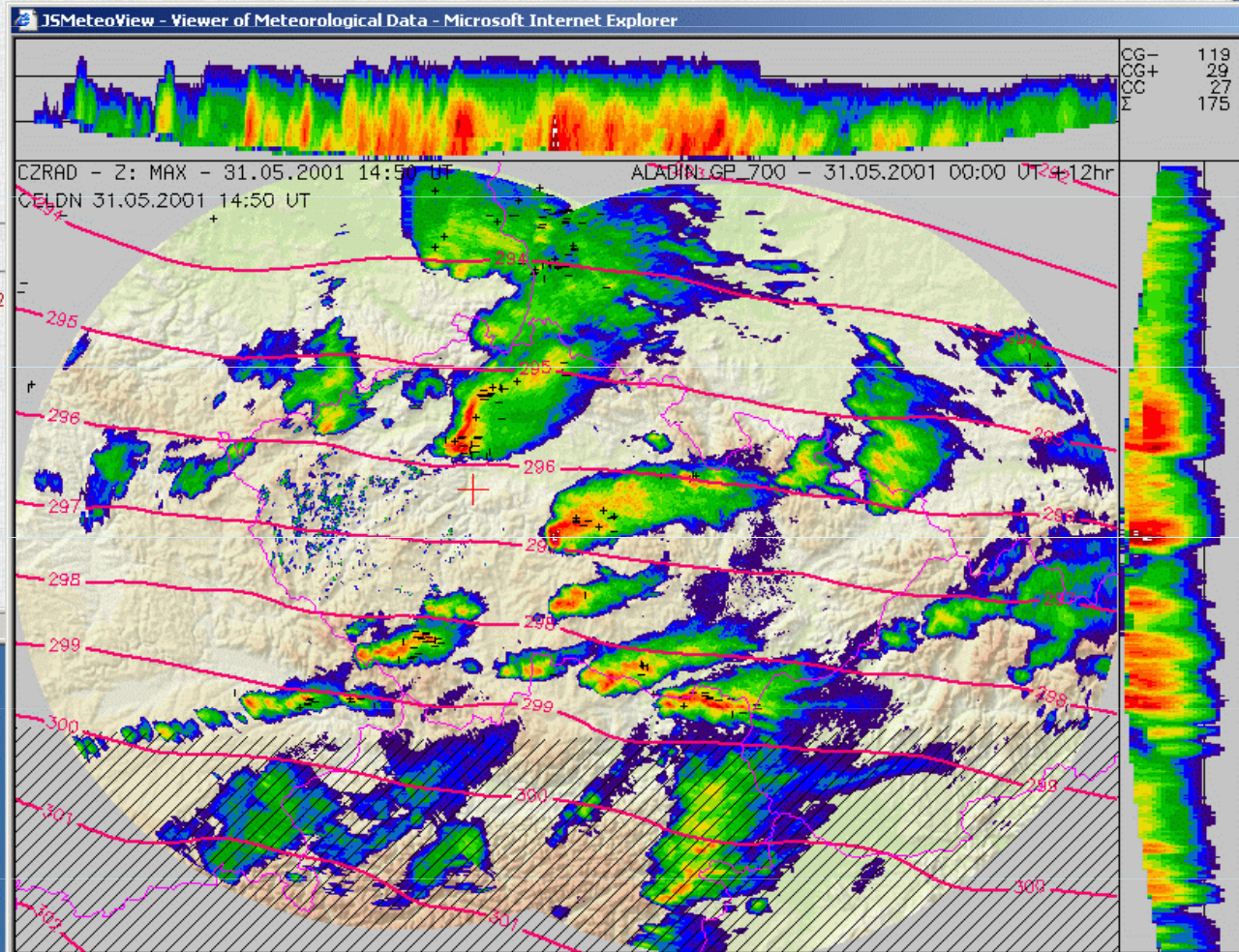




CHMI Radar Department - data - Microsoft Internet Explorer  
 File Edit View Favorites Tools Help  
 Address http://rd/rad/

ČHMÚ  
 Oddělení radarových měření  
 Vyber: JSMeteoView - 1km radar + PDUS + blesk + ALADIN

JSMeteoView



Copyright (c) 2

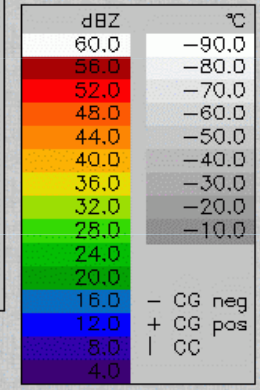
ANIM: 1 s/img LAST: +2 s AUTO UPDATE Do not update  
 ORO col UND none PDUS RAD LIGHTNING NWP ALADIN\_GP\_700 - 20010531 0000 +12hr OVR none  
 NAVIG. red LON. 14.447 LAT. 50.008 Praha-Libuš  
 cursor position is [355,253] = [15.19,49.687] 6km to the W from Ledec nad Sázavou (ok ZOOM COLOR black)

CG- 119  
 CG+ 29  
 CC 27  
 Σ 175

CHMI Radar Department



Every 6th 3rd  
 31.05.2001 15:10  
 31.05.2001 15:00  
 31.05.2001 14:50  
 31.05.2001 14:40  
 31.05.2001 14:30  
 31.05.2001 14:20  
 31.05.2001 14:10  
 31.05.2001 14:00  
 31.05.2001 13:50  
 31.05.2001 13:40  
 31.05.2001 13:30  
 31.05.2001 13:20  
 LOAD (33 / 33)





European Weather Radars – stav v roce 2005

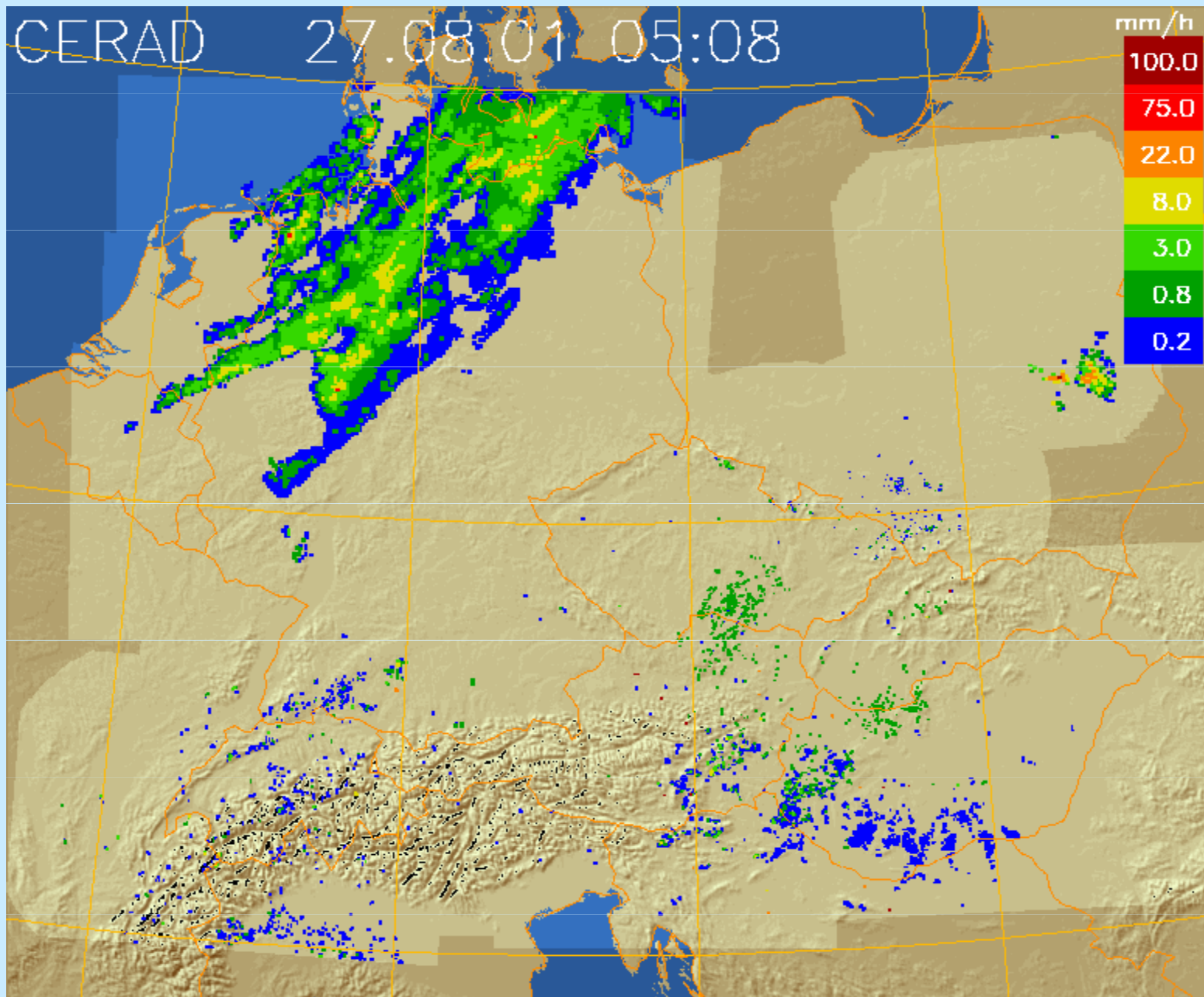
# Středoevropské radarové sítě (CERAD)

- 1990 - zadání projektu rakouskou meteorologickou službou
- centrum ve Vídeň
- na Technické univerzitě v Grazu byl vytvořen software pro kódování a dekódování radarových dat do kódu WMO FM-94 BUFR
- mezinárodní koordinace v rámci GORN/OPERA (Styčná skupina pro evropské operativní radarové sítě)
- programy k dispozici pro užití ve všech evropských zemích
- 1995 - ve Vídni zahájena pokusná tvorba středoevropské sloučené informace, distribuované v 30-min. cyklu po GTS v kódu FM-94 BUFR (obsahuje data z D, A, CH, CZ, SK, SLO, CRO, PL, do budoucna též severní Itálie) - trvá

## Výměna dat

Z ČR : **PACZ21 OKPR** (každých 10 min.) - sloučená informace z radarové sítě ČHMÚ

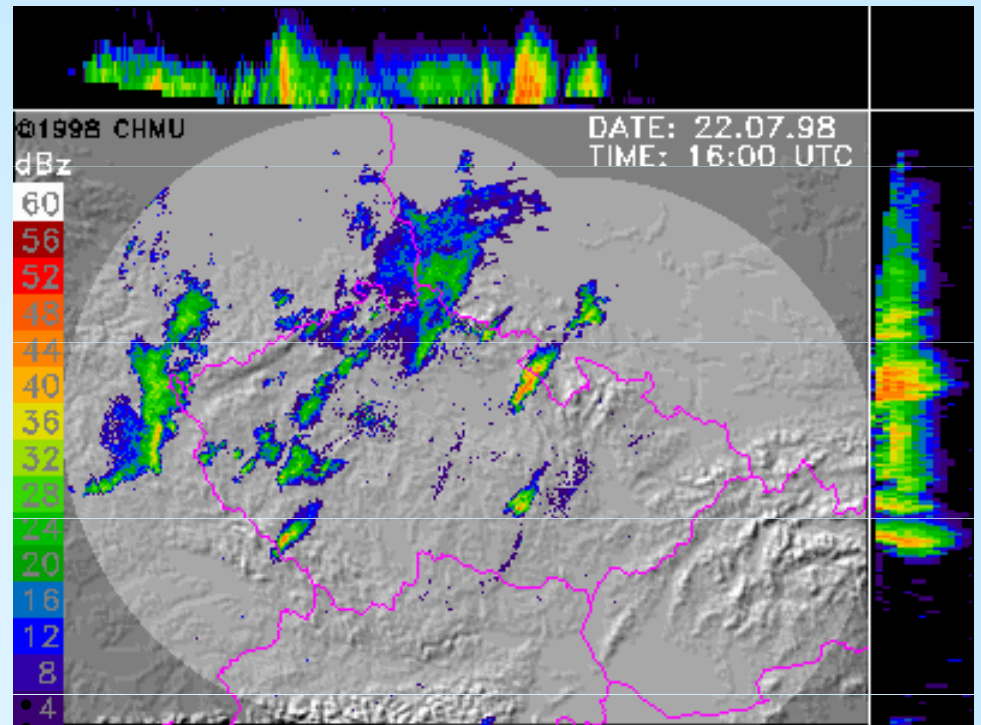
Do ČR : **PAEU21 LOWM** (každých 30 min.) - středoevropská sloučená informace



CERAD - středoevropská sloučená radarová informace



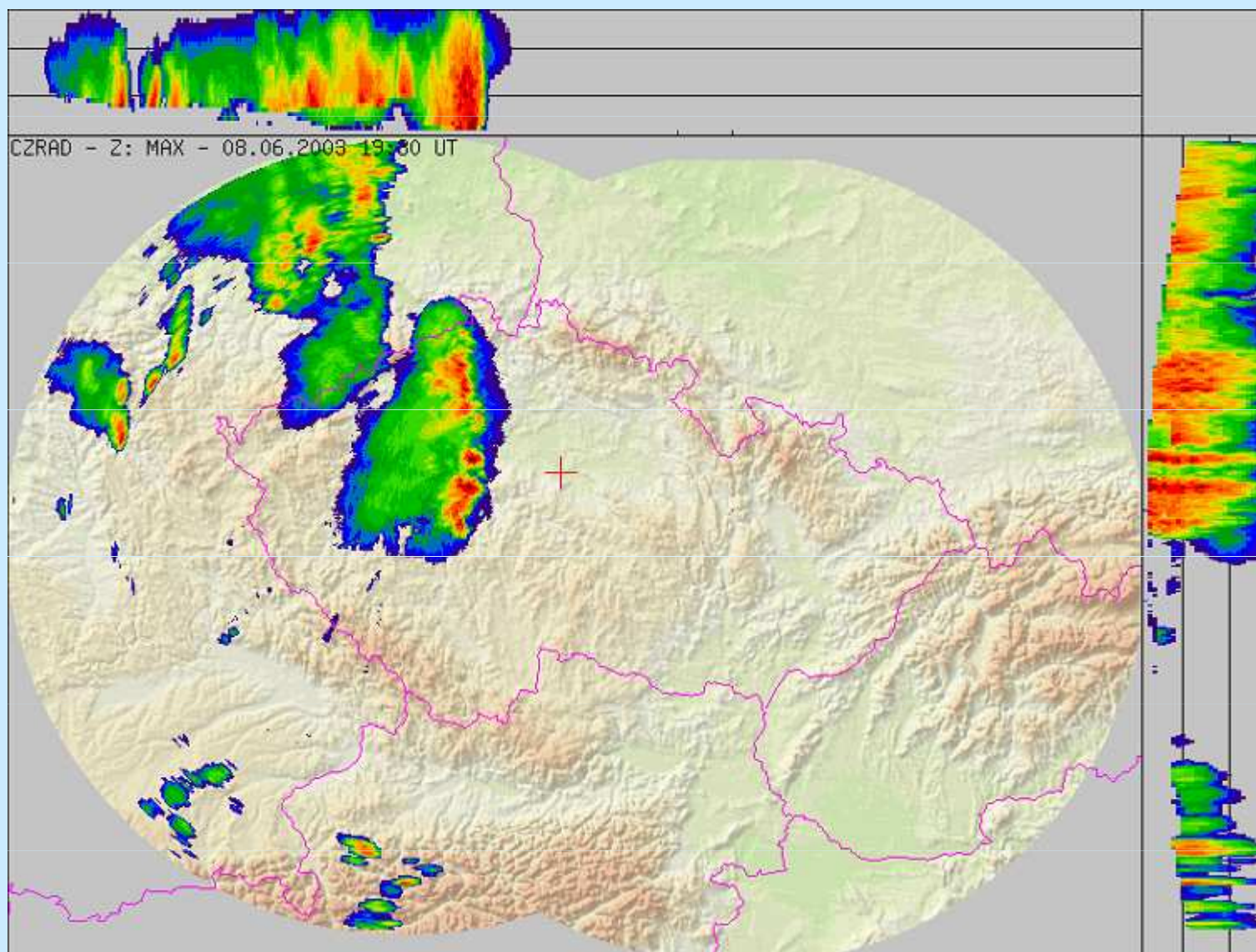
# Interpretace - konvektivní oblačnost



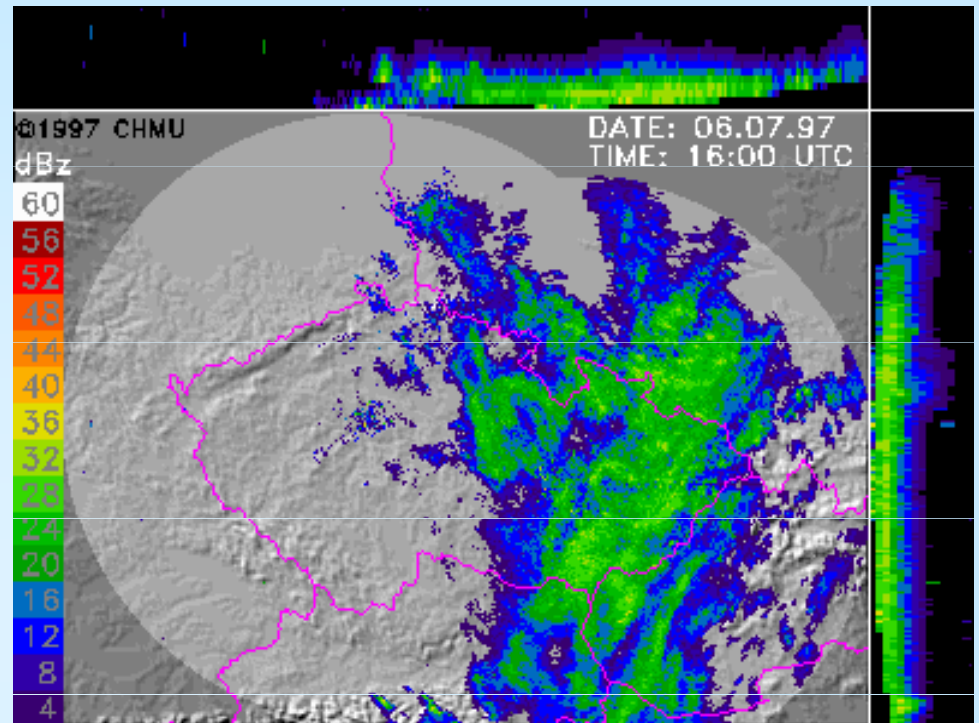
## Meteocíle konvektivního charakteru :

- existence výrazných jader s vyšší odrazivostí
- často buněčná struktura, často přítomnost blesků
- velká časová proměnlivost
- doba života jednotlivých buněk řádu desítek minut
- na bočních průmětech zřetelná proměnlivost výšky horní hranice, obvykle se nevyskytuje "bright band"
- Nově vzniklé buňky mají obvykle jádro maximální odrazivosti ve své horní části, během vývoje buňky jeho výška klesá.
- Výrazně se projevuje denní chod - často náhlý nástup a vývoj množství cílů, pozvolný rozpad při stabilizaci zvrstvení.

# Interpretace - konvektivní oblačnost



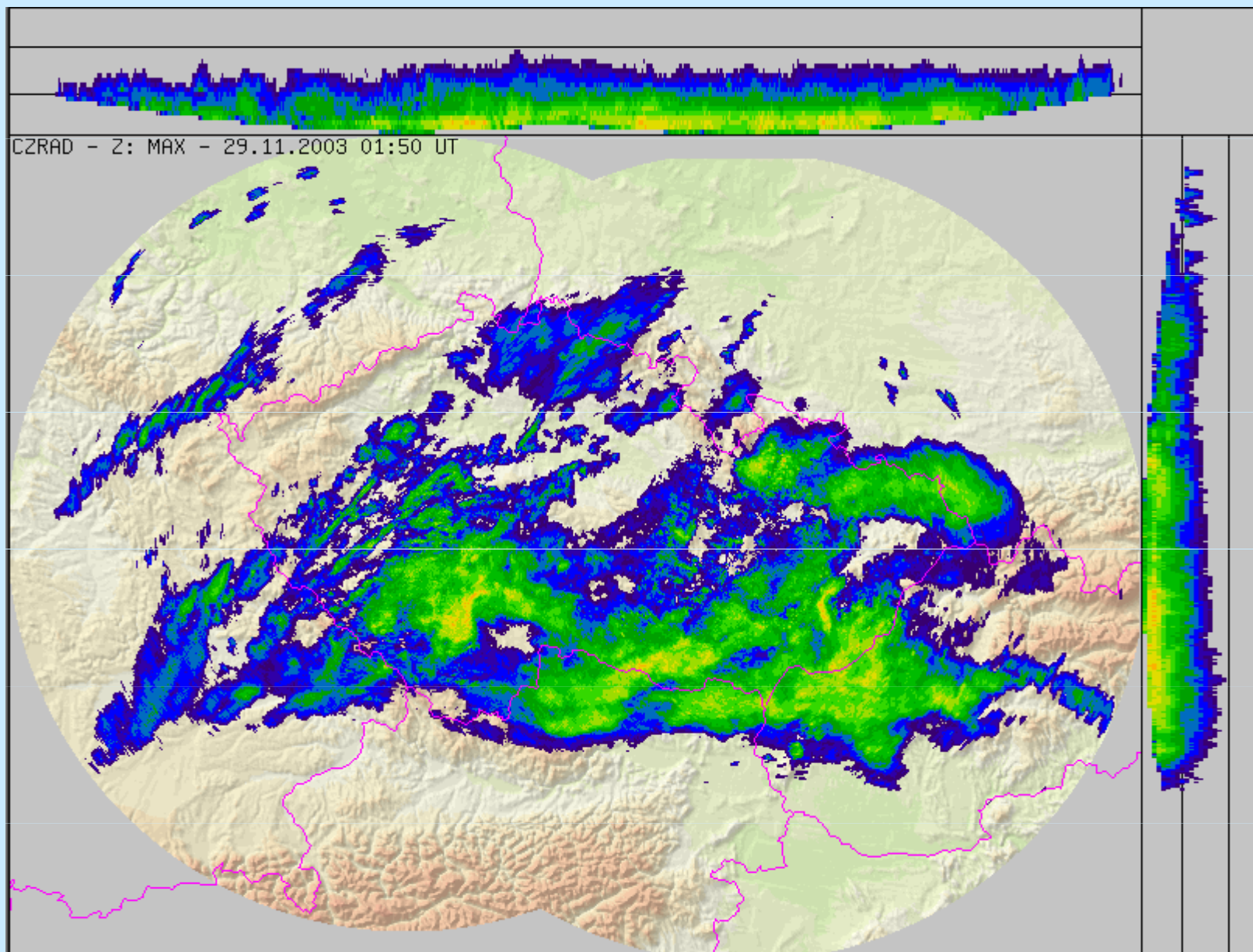
# Interpretace -vrstevnatá oblačnost



## Meteocíle vrstevnatého charakteru :

- jednotvárný plošný vzhled
- nejsou výraznější gradienty odrazivosti
- pomalejší časové změny (typická doba života řádu hodin)
- na bočních průmětech téměř konstantní výška horní hranice,
- často se vyskytuje pásmo zvýšené odrazivosti (o 6-15 dBZ) v tloušťce několika stovek metrů pod nulovou izotermou ("bright band"), způsobené změnou velikosti a dielektrické konstanty při tání padajících srážkových částic

# Interpretace -vrstevnatá oblačnost



# Odhad srážek z meteorologických radarů

- Východiska:
  - známe radiolokační odrazivost  $Z$
  - známe pádovou rychlost kapek
  - předpokládáme Marshall-Palmerovo rozdělení velikosti kapek

# Trocha matematiky

$$N(D) = N_0 e^{(-\Lambda D)}$$

$$\Lambda[\text{mm}^{-1}] = 4,1 R^{-0.21}$$

$$N_0[\text{m}^{-3} \text{mm}^{-1}] = 8 \cdot 10^3$$

$$Z = \int_0^{\infty} N(D) D^6 dD = \int_0^{\infty} N_0 e^{(-\Lambda D)} D^6 dD = N_0 \frac{6!}{\Lambda^7} =$$

$$= N_0 \frac{6!}{4,1^7} R^{1,47} \cong 296 R^{1,47}$$

# Obecný vztah Z-R

$$z = aR^b = aI^b$$

$R$ [mm/h] (v českých zemích  $I$ ) - intenzita deště

$a = 200, b = 1,6$  – Marshall - Palmer (obl. Ns)

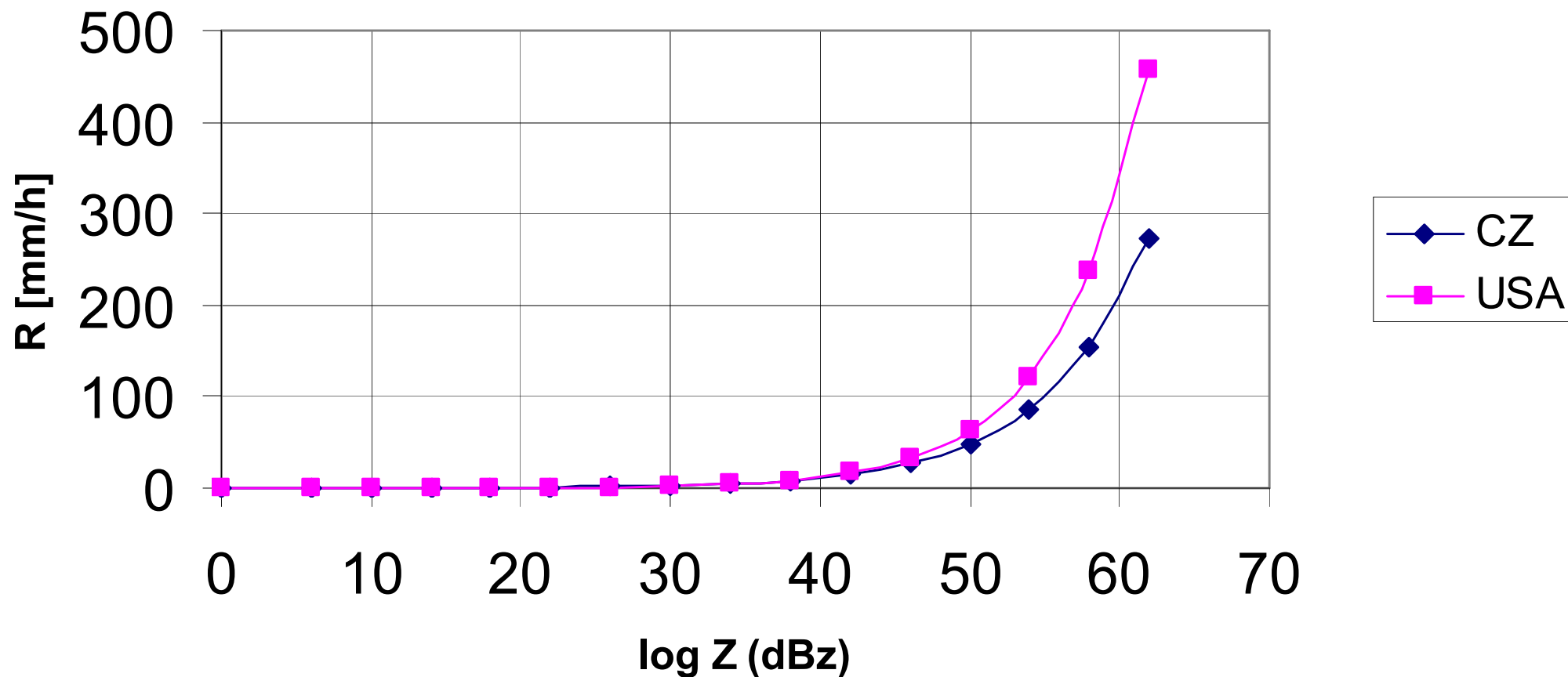
- Semiempirické vztahy z-R
- koeficienty se často liší podle druhu srážek

# Vztahy z-R

- Battan (1973) uvádí 69 (!) vztahů z-R
- konvekce: a větší, b menší
- stratiformní srážky, orograf. srážky: a menší, b větší
- představuje limitující zdroj chyb pro odhad srážek nepolarimetrickými radary (chyby nemohou být menší než chyby pramenící z nepřesnosti vztahů z-R)



Porovnání parametrů Marshall-Palmerova  
vzorce užívaných v ČR ( $a=200$ ,  $b=1.6$ ) a v USA  
( $a=300$ ,  $b=1.4$ )



# Radarové odhady srážek

- pro kvantitativní využívání radarových odhadů srážek je potřeba použít a dosržovat následující postup:
  - zajistit přesnost hardwarové kalibrace a stabilitu radaru
  - zajistit účinné procedury eliminace nemeteorologických (především pozemních) radarových odrazů - využití dopplerovských filtrů
  - použít nejlepší (optimalizovaný) odhad radarové odrazivosti v přízemní vrstvě (odrazivost v nízké hladině - korekce na vertikální profily odrazivosti)
  - na základě optimálního Z-R vztahu vypočítat intenzitu srážek
  - akumulovat okamžité hodnoty pro požadovaný časový interval
  - kombinovat radarový odhad s pozemním měřením srážek, popř. využít některých statistických korekcí
  - provést výpočet srážkového úhrnu na definovaných povodích (popř. v definovaných bodech)

# Reprezentativní hodnoty odrazivostí pro výpočet odhadu intenzity srážek

- odrazivost v (pseudo)CAPPI hladině (vrstvě - !)
- maximum odrazivosti ve vertikálním sloupci
- nejnižší neblokovaný radarový paprsek (U.S. NWS)

U ČHMÚ se nyní používá (pseudo)CAPPI 2 km, testují se korekce na vertikální profily (pro 24-hodinové úhrny)

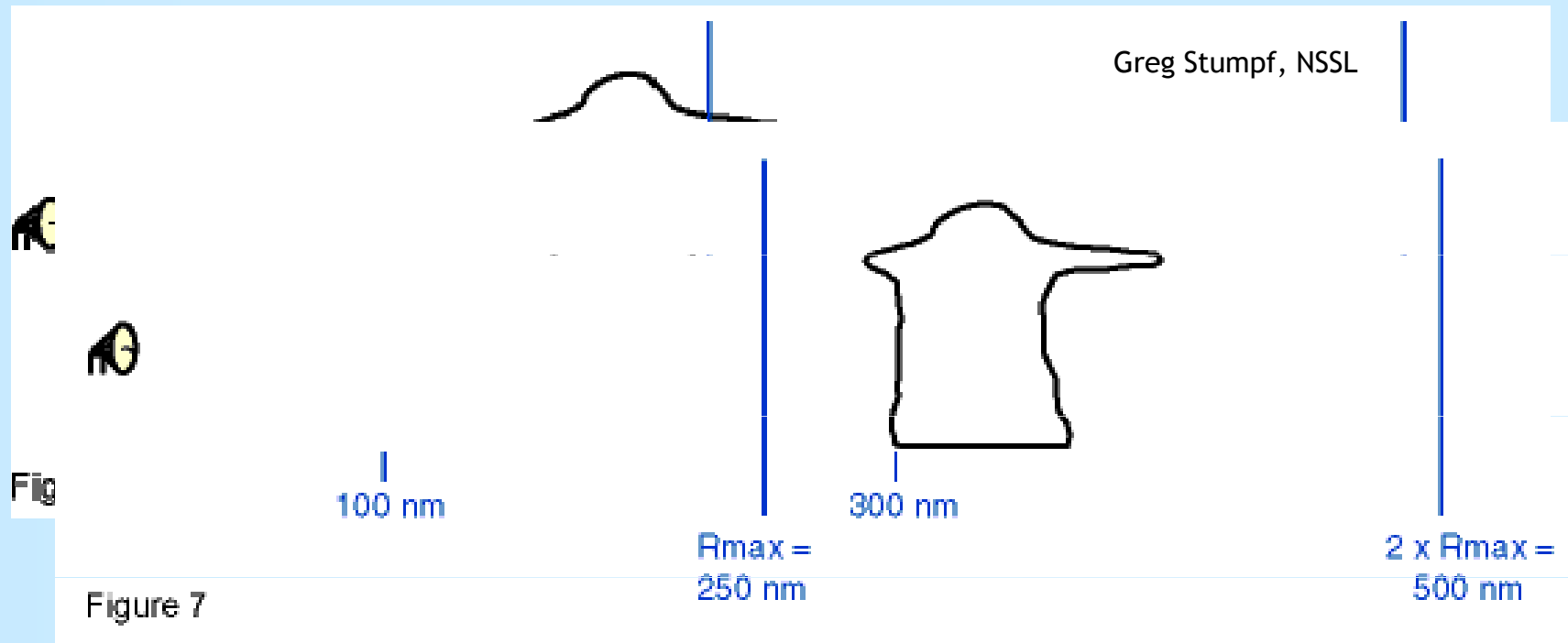
# Vývoj radarových odhadů srážek

- od 50.-60. let orientace na „ladění“ z-R vztahů
- 90. léta: zjištěna větší role jiných zdrojů chyb radarových odhadů srážek
- přelom tisíciletí: orientace na kombinované (komplementární) analýzy s využitím radarů i srážkoměrů

# Chyby a nedostatky radarových měření odrazivosti (a srážek)

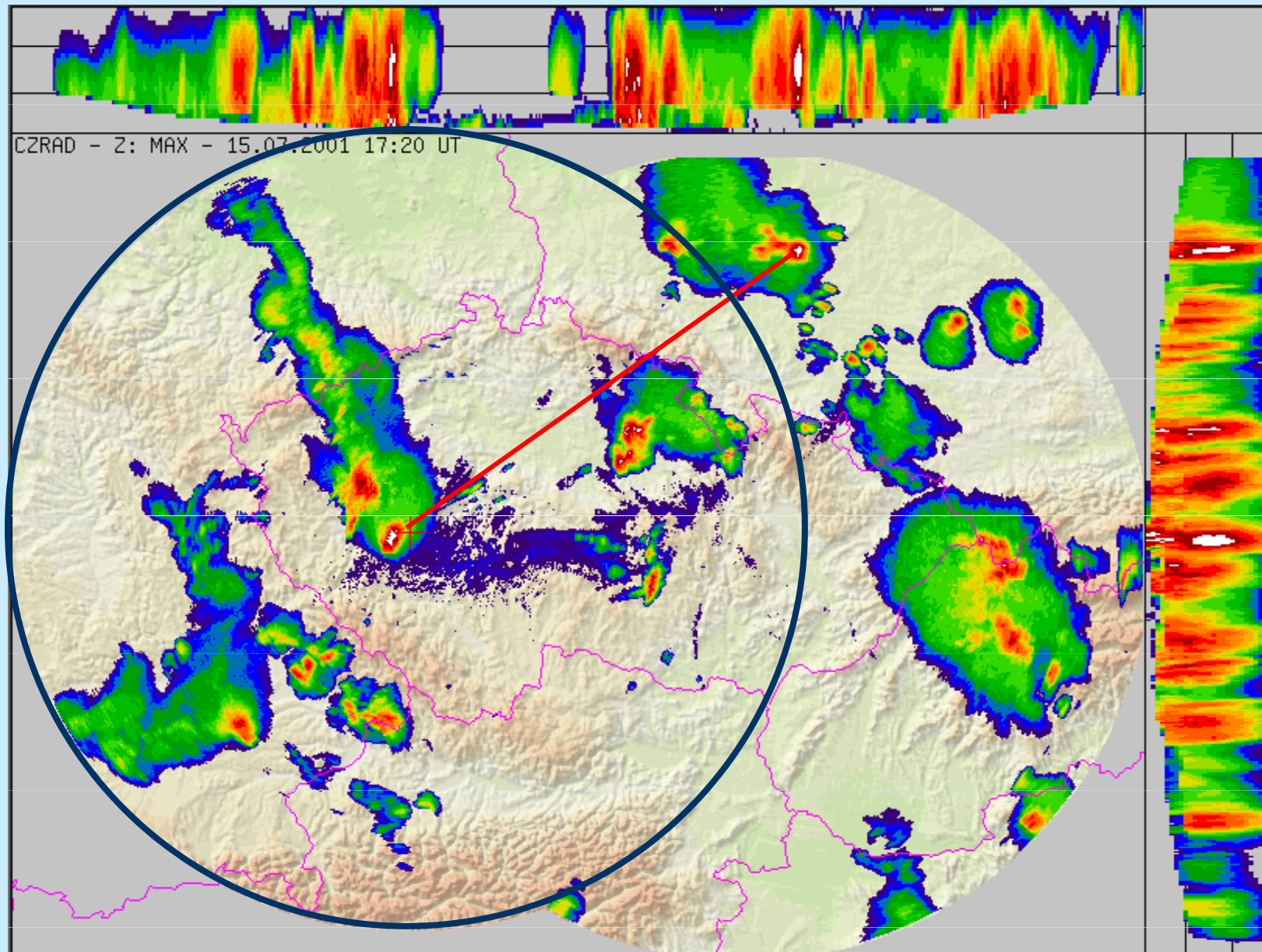
- chyby v měření odrazivosti vyústí v nepřesnosti odhadů srážek
- chyby:
  - přístrojové
  - způsobené změnou nebo anomálním stavem atmosférických podmínek, srážkami atp.

# Second trip echo



$$r_{max} = \frac{cT_s}{2} = \frac{c}{2f_r}$$

# Second trip echo



# Útlum ve srážkách

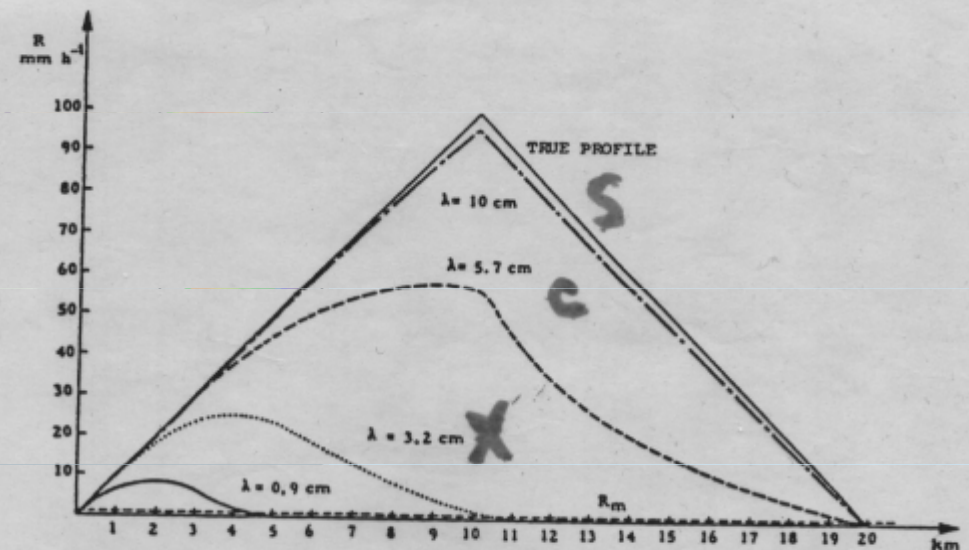
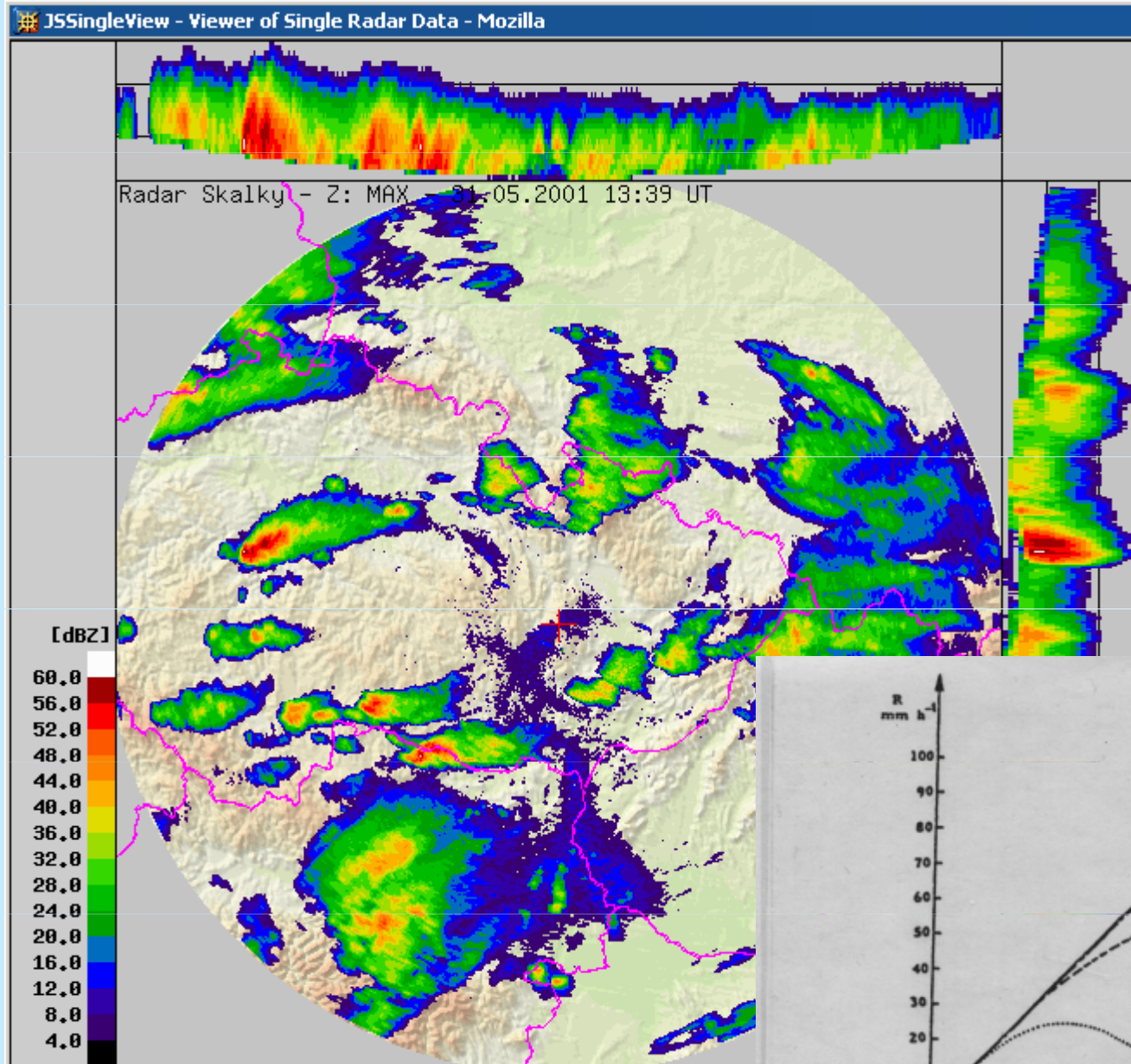
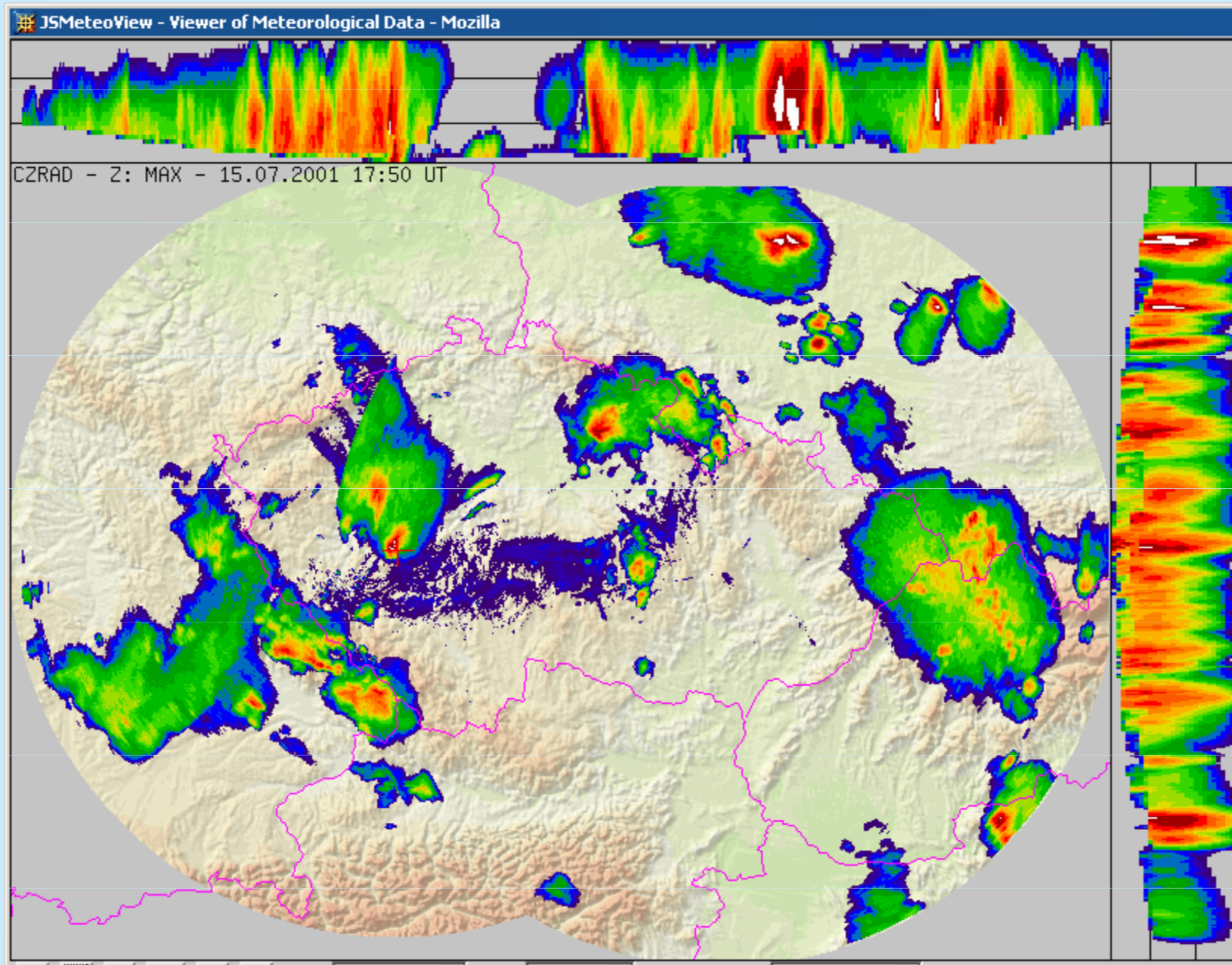


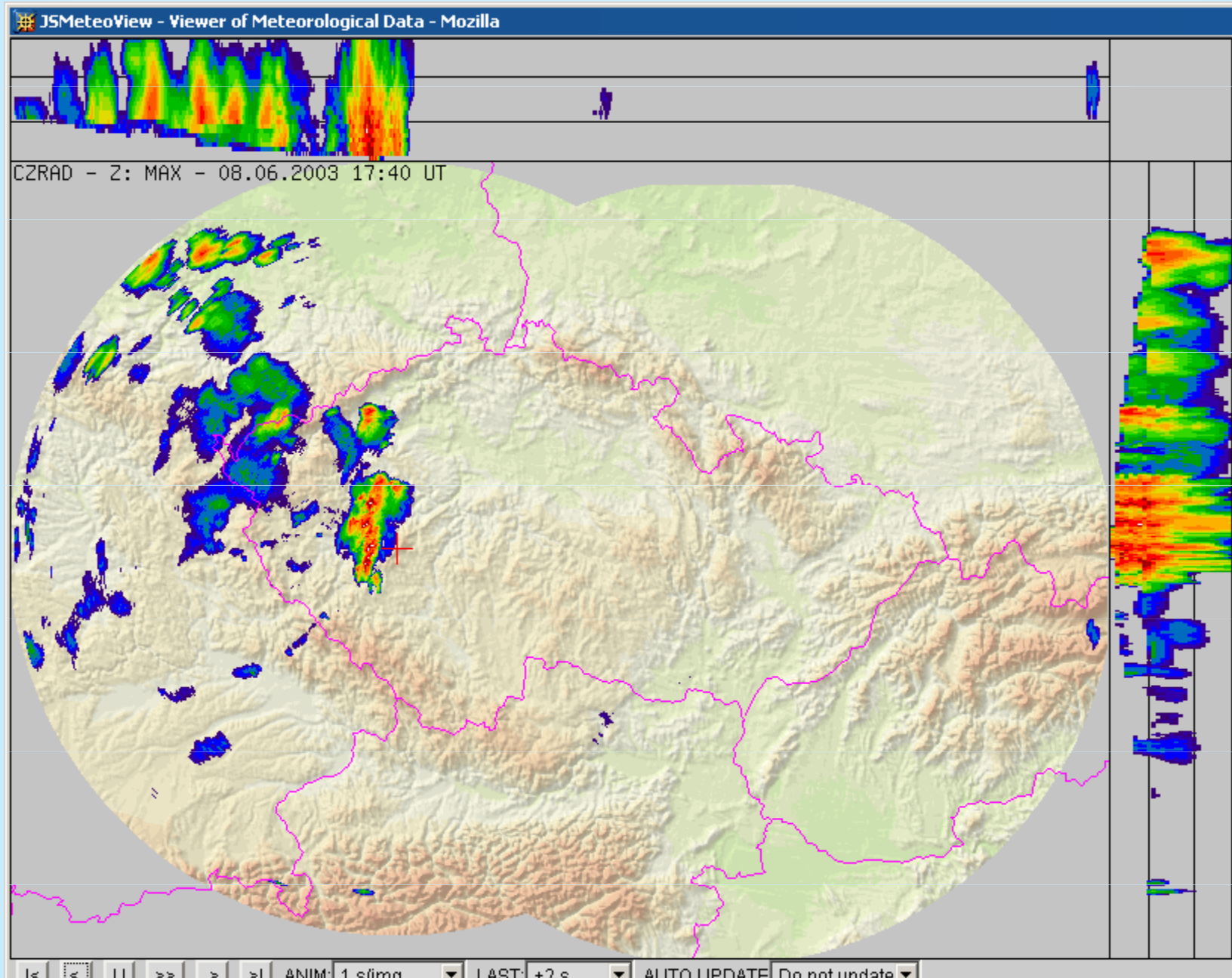
Figure 2(a) - Modification of the profile of a shower 20 km in width in which the intensity  $R$  of the precipitation varies by  $10 \text{ mm h}^{-1} \text{ km}^{-1}$ .  $R_m$  = minimum detectable intensity (*La Météorologie*, 5th series, No. 7)



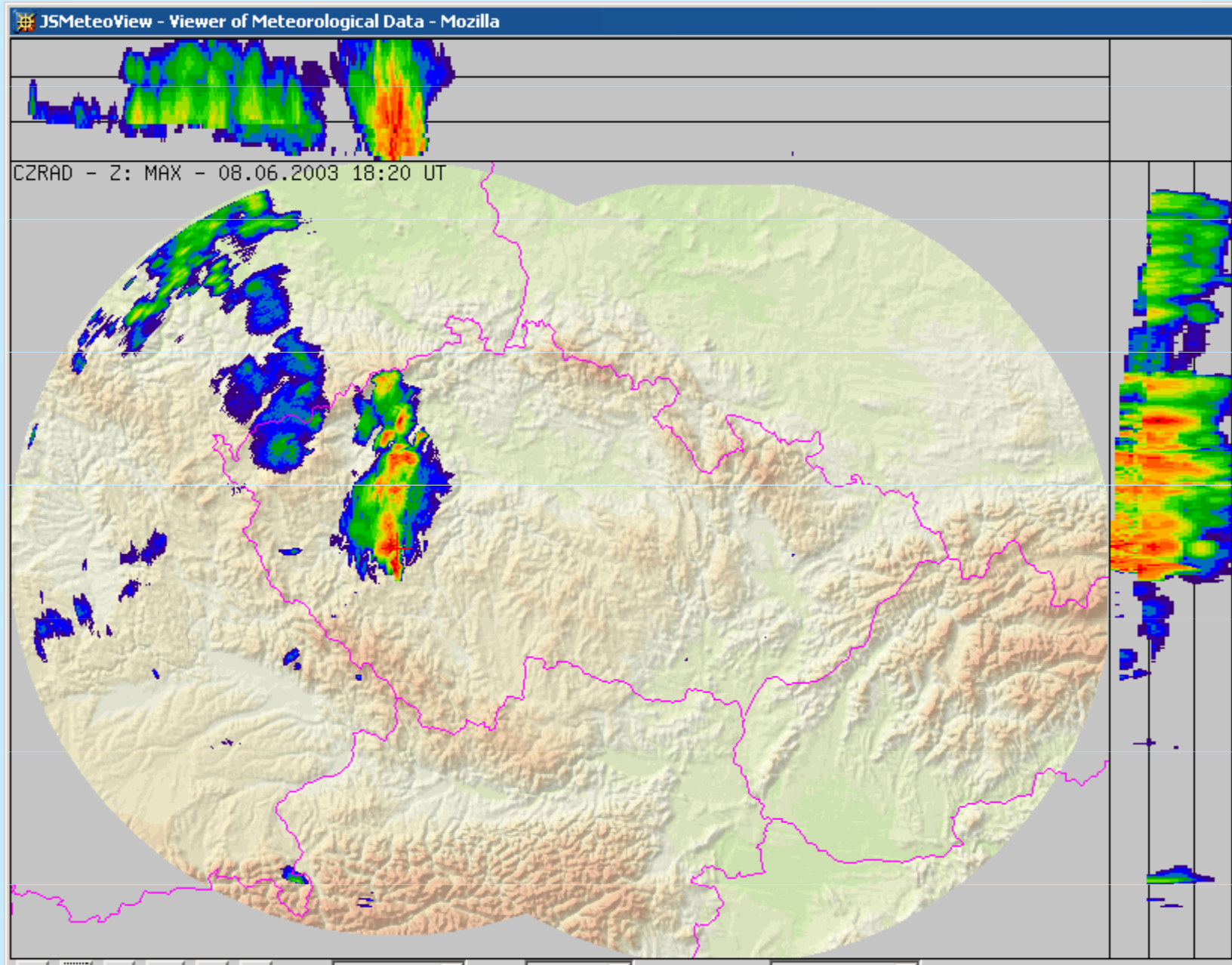
# Útlum ve srážkách - mokrá kopule



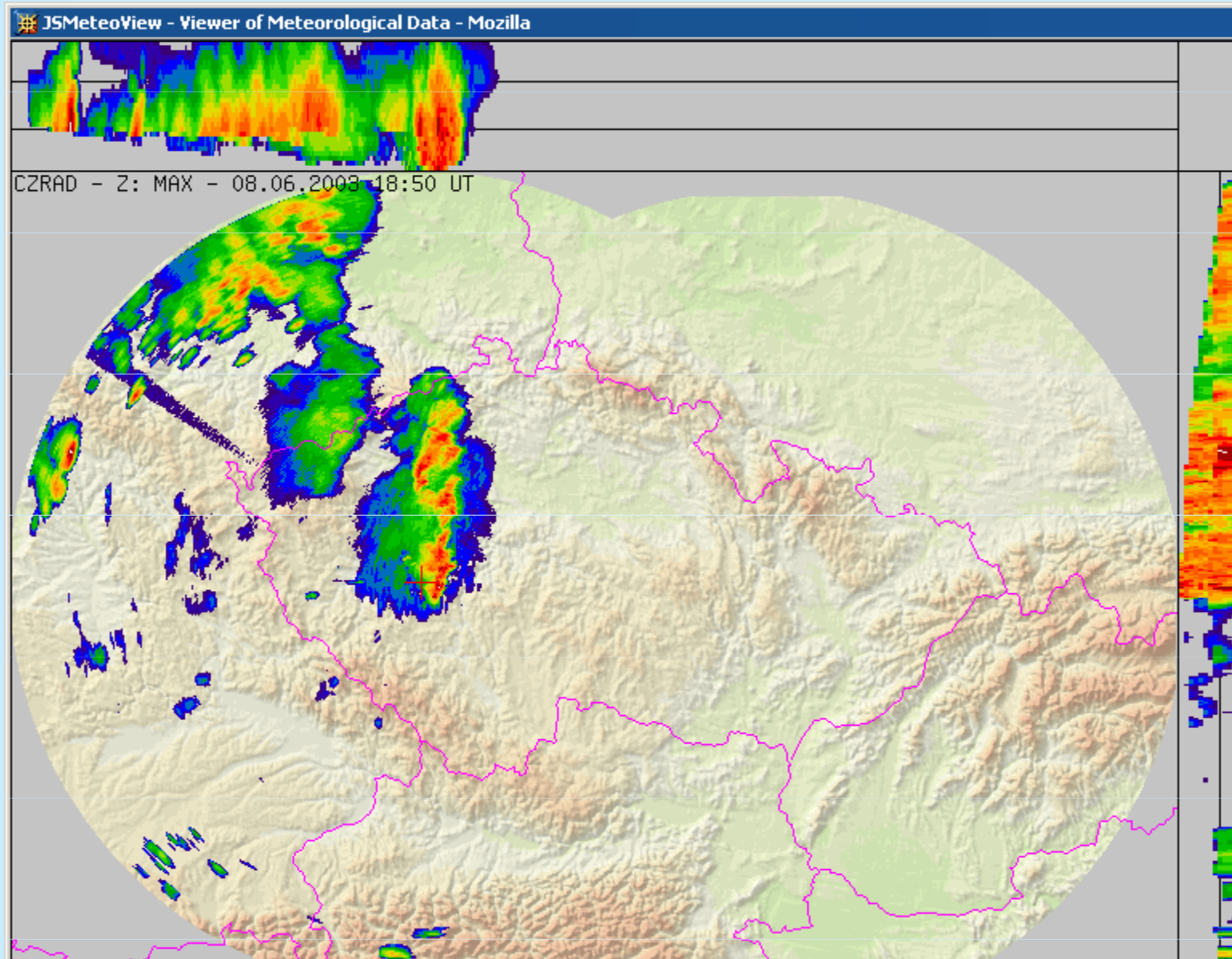
# Útlum ve srážkách - mokrá kopule



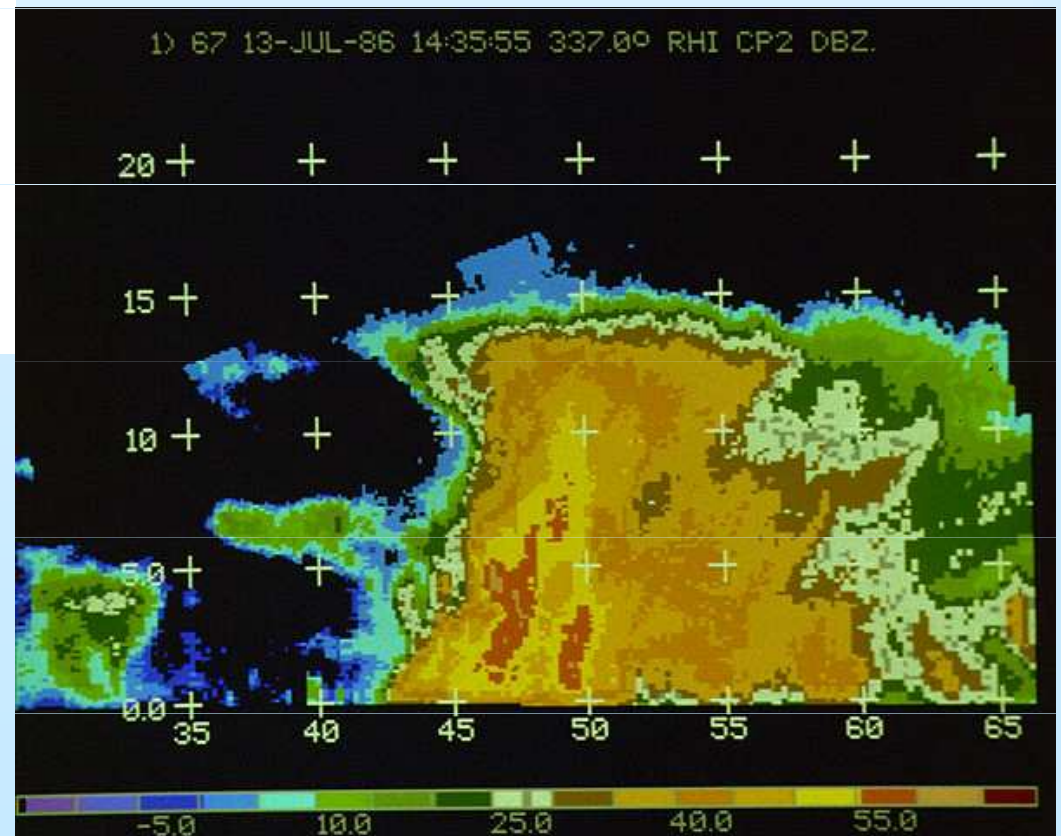
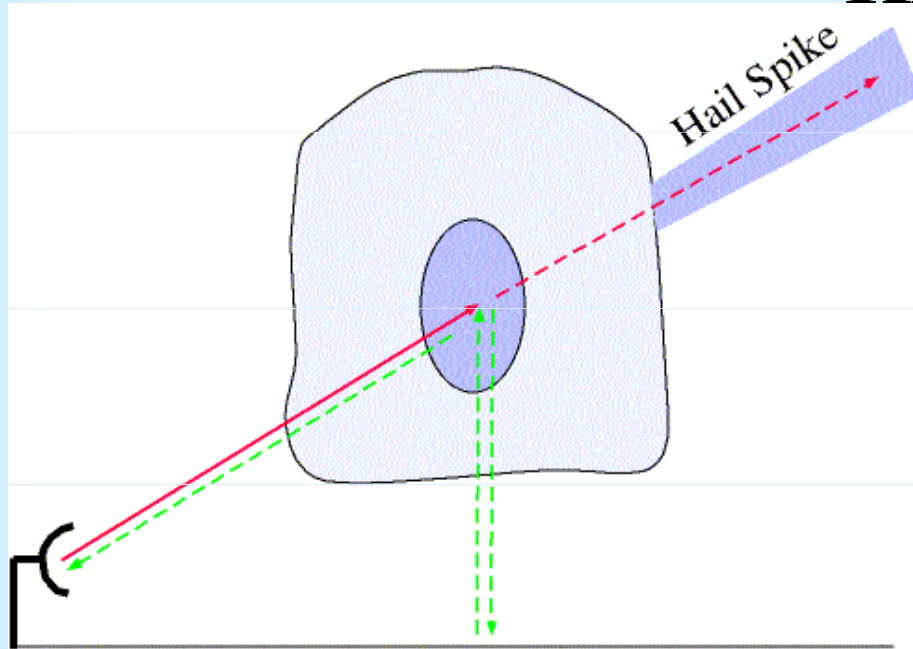
# Útlum ve srážkách - mokrá kopule



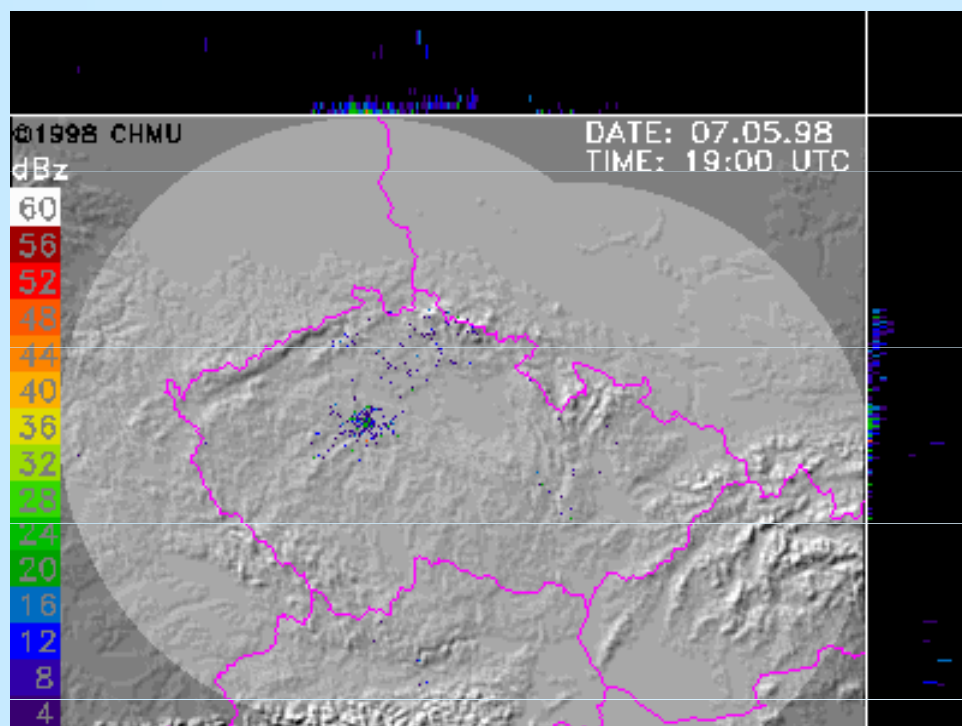
# Útlum ve srážkách - mokrá kopule



# Hail spike (vícenásobný odraz od krup)



# Nemeteorologické cíle - pozemní odrazy

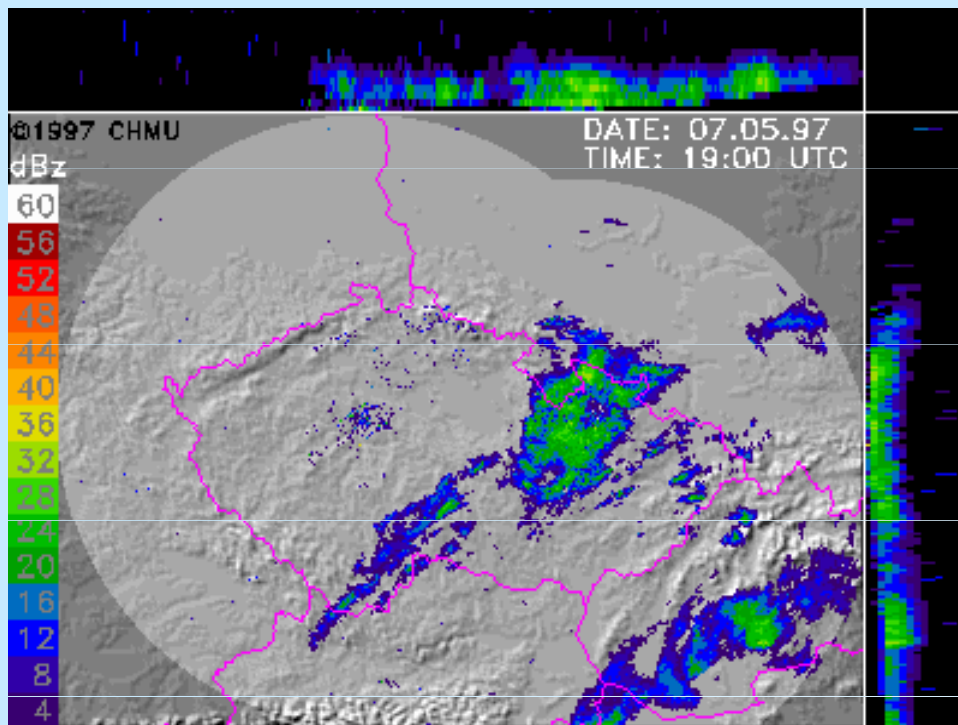


- odrazy od terénu
- především na nízkých elevacích
- blízko od radaru od parazitních bočních laloků antény i na vyšších elevacích
- zesílení v případě anomální šíření při superrefrakci (více zasaženého terénu)

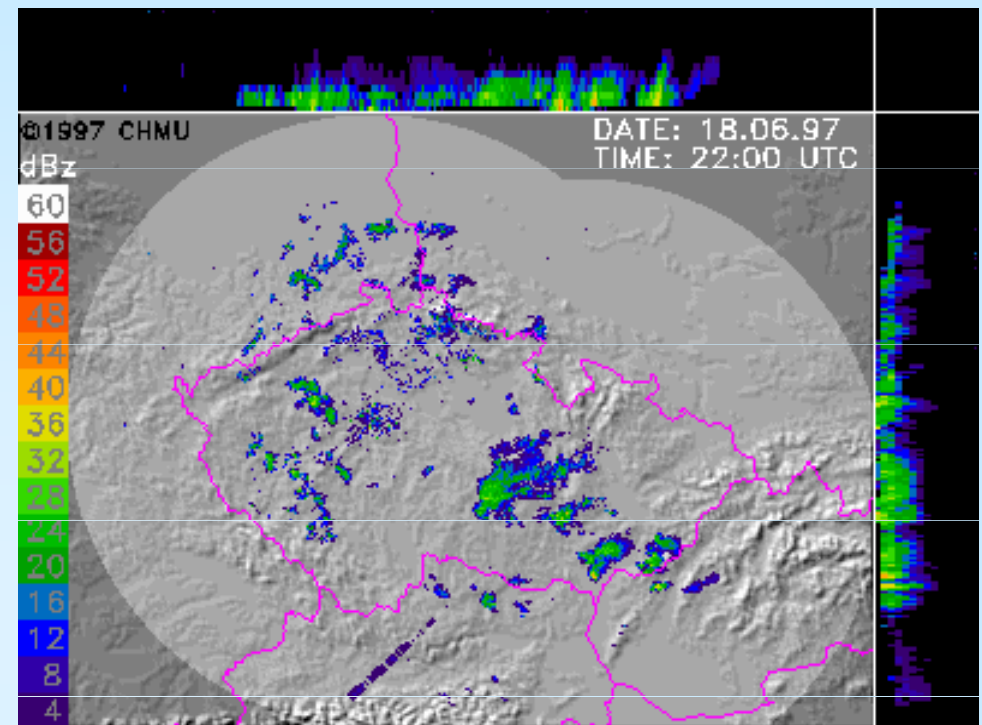
## Charakteristické znaky pozemních cílů :

- často jednotlivé pixely s vyšší odrazivostí nebo menší nesouvislé oblasti
- veliké prostorová proměnlivost odrazivosti, ostré okraje výrazných pozemních cílů
- stabilní místa výskytu, bez pohybu na animaci
- typický denní chod : zvětšení plochy v nočních hodinách a k ránu (efekt superrefrakce, vyskytující se při inverzi teploty a zřetelném poklesu vlhkosti s výškou), zmenšování rozsahu v dopoledních hodinách po prohřátí přízemní vrstvy
- zvětšení rozsahu a zvýšení odrazivosti po srážkách (navlhčení terénu)

# Nemeteorologické cíle - další



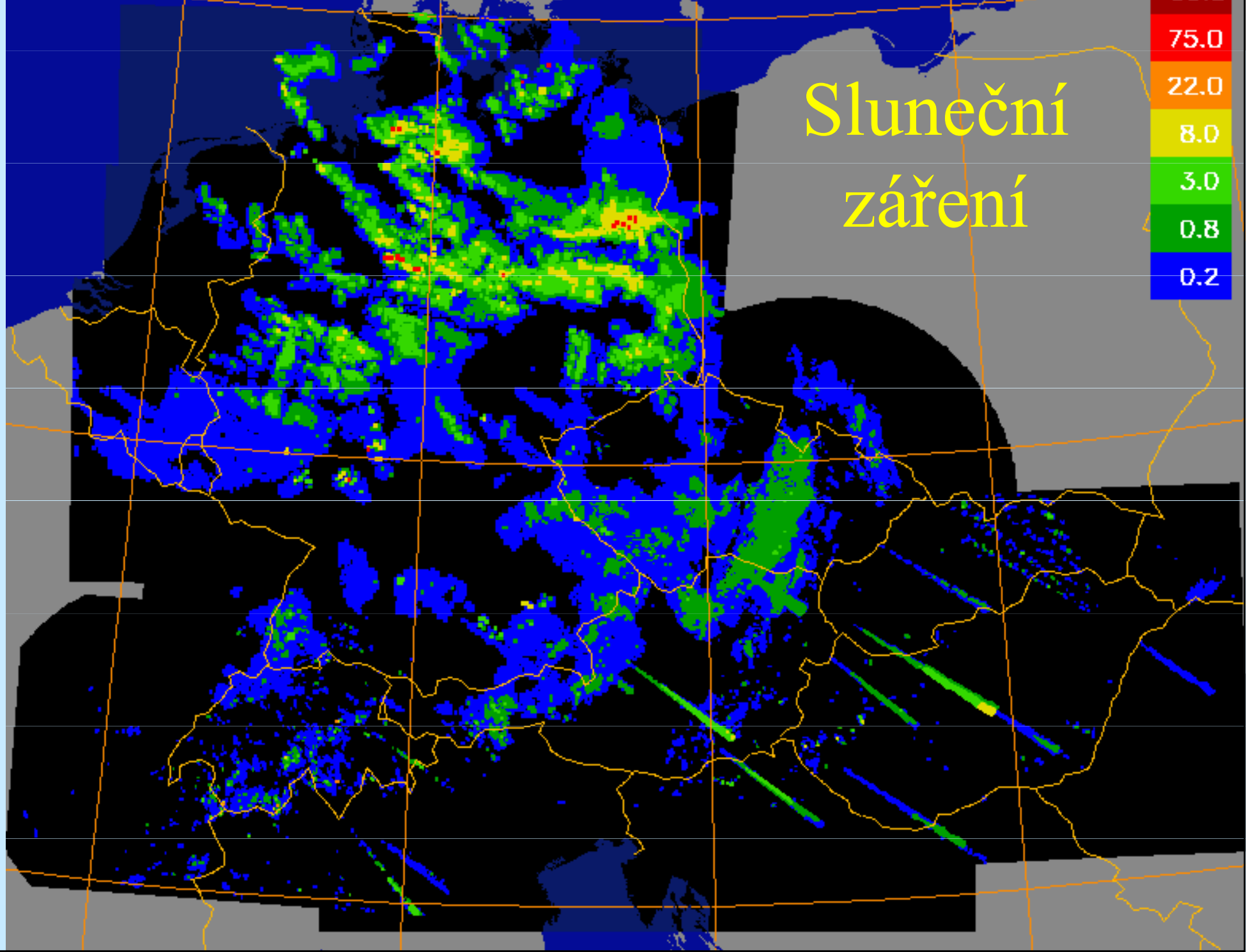
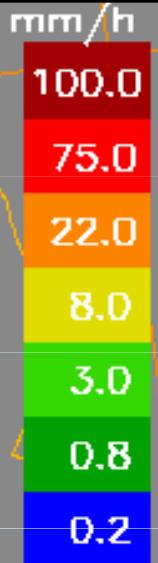
vlastní šum a nestabilita radaru



rušení radaru jiným signálem  
na blízké frekvenci

CERAD 20.01.05 07:11

# Sluneční záření

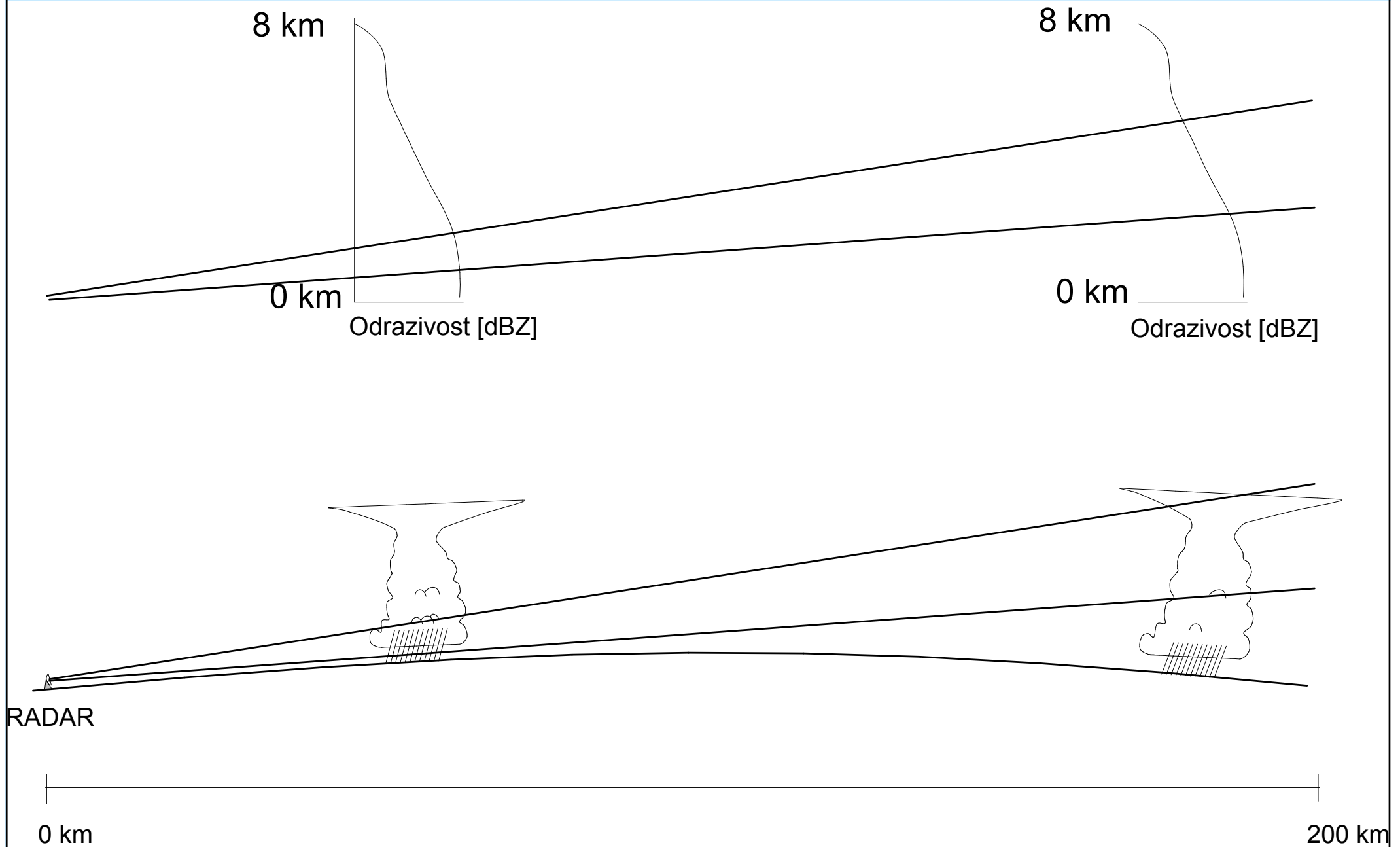




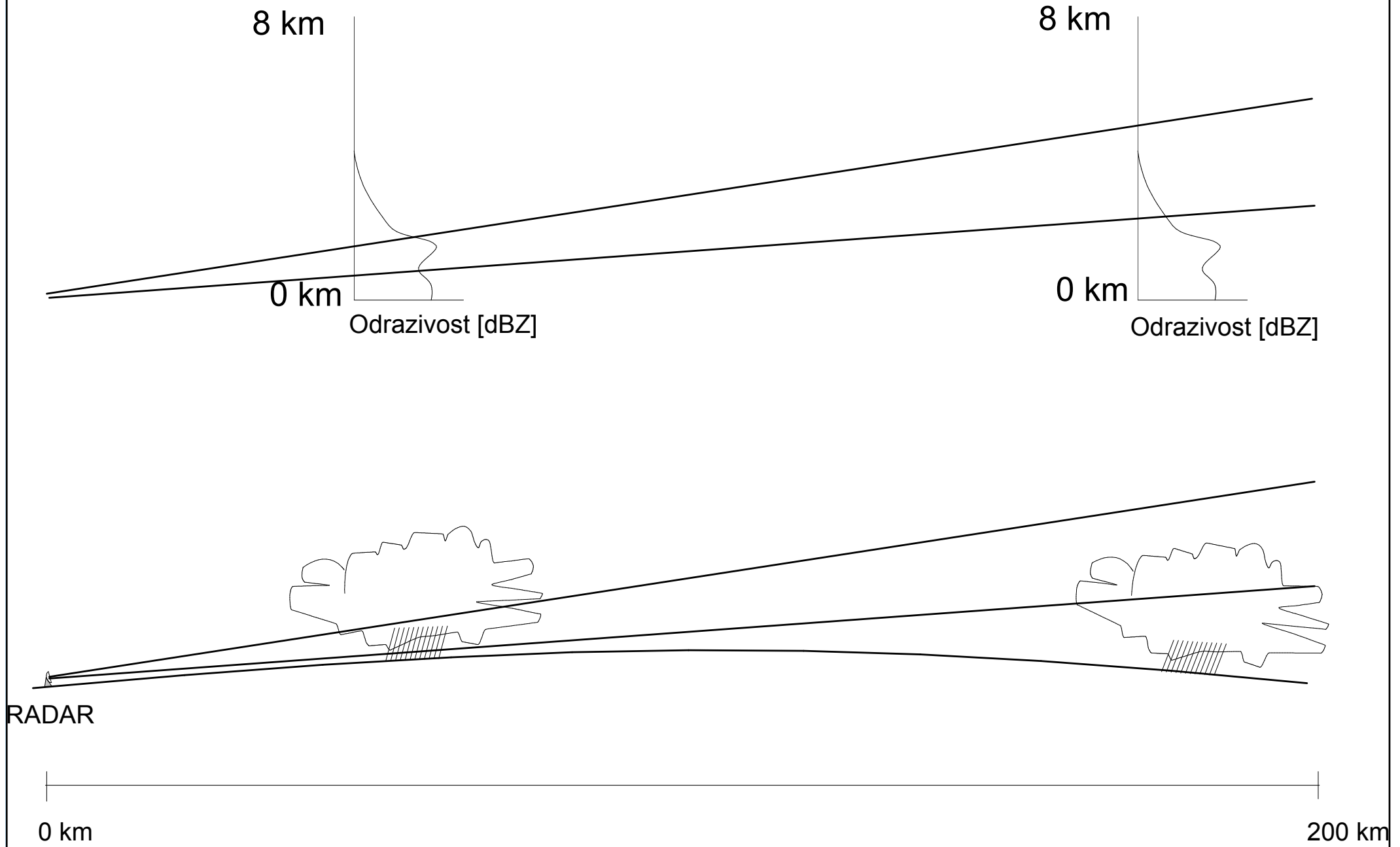
# Chyby a nedostatky radarových odhadů srážek

- 1) Možnost nestability technického zařízení radaru
- 2) Odlišné rozdělení velikost kapek od předepsaného
- 3) Útlum při průchodu paprsku srážkami a vodou na krytu radaru
- 4) Změna intenzity srážek při pádu oblačných elementů (vypařování nebo narůstání)
- 5) Zvýšení odrazivosti v zóně tání
- 6) **Vliv rostoucí vzdálenosti od radaru na šířku paprsku a na výšku nejnižšího paprsku nad terénem, blokování paprsku**
- 7) **Silné výstupné a sestupné proudy**
- 8) **Blokování radarového paprsku**
- 9) **Mikrovlnné přenosy dat (Internet)**
- 10) Další (reziduální pozemní cíle atd.)

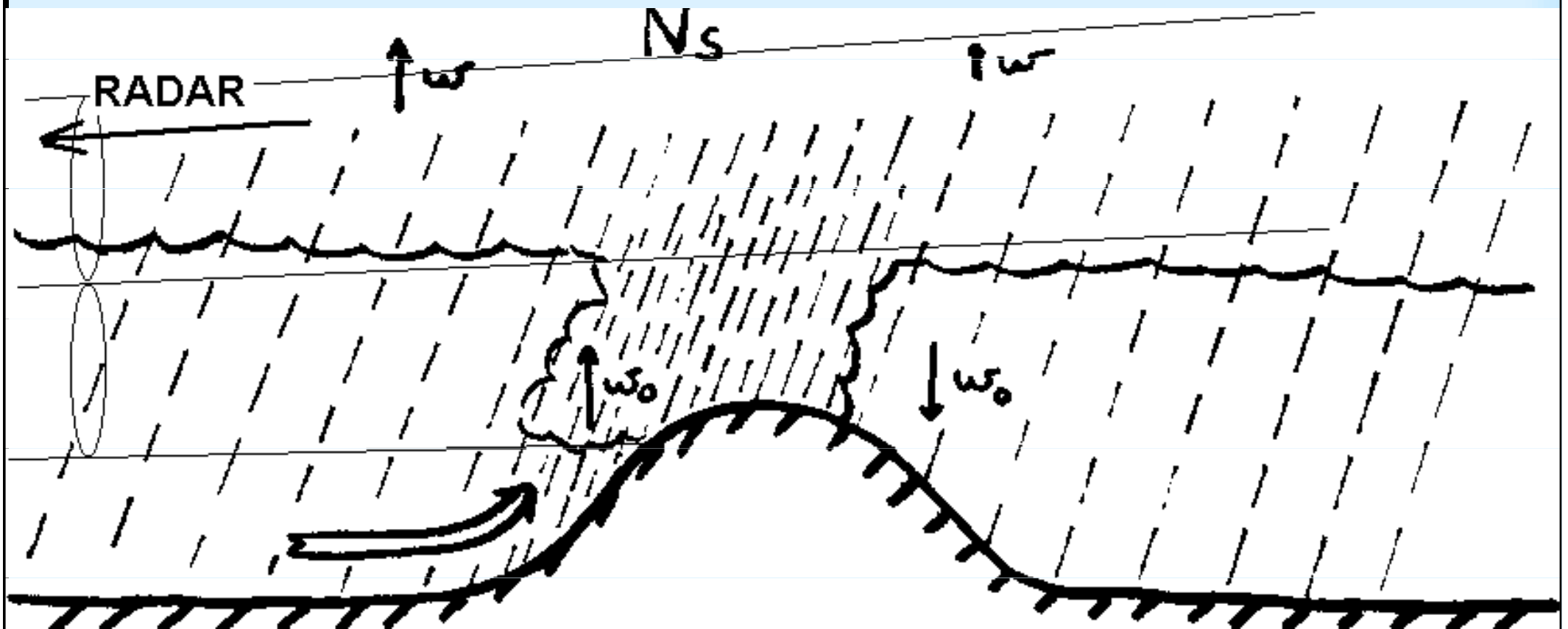
# Chyby a nedostatky radarových odhadů srážek - konvektivní oblačnost



# Chyby a nedostatky radarových odhadů srážek - srážky ze slohovité (stratiformní) oblačnosti



# Chyby a nedostatky radarových odhadů srážek - případ orografického zesílení srážek



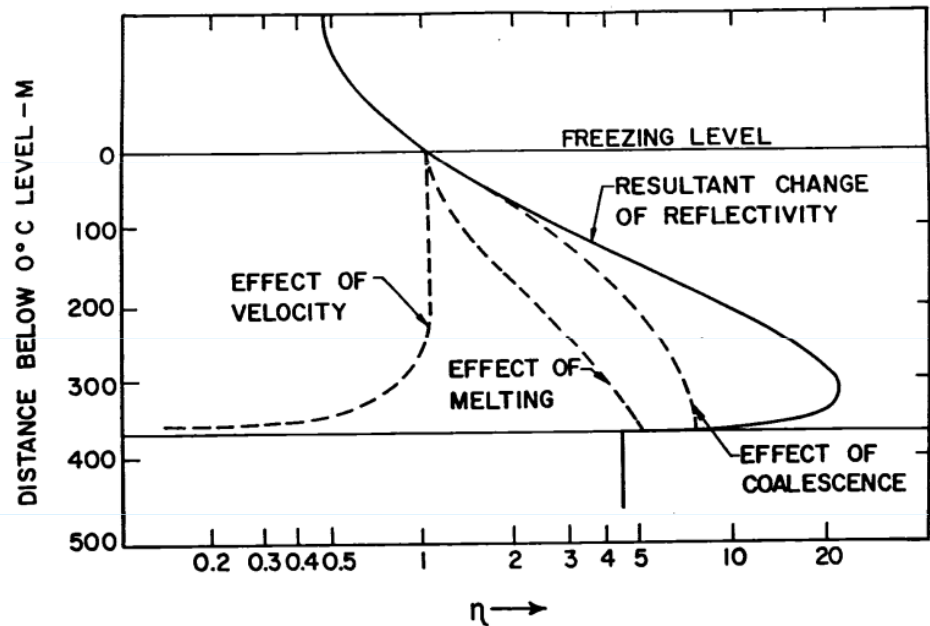
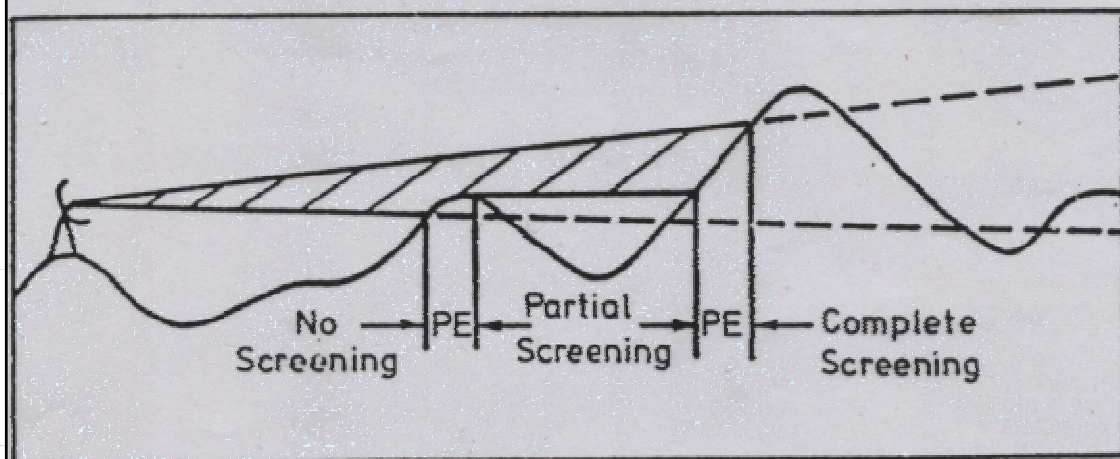


Fig. 10.12. Schematic drawing showing the effects of particle coalescence, melting, and changes in the terminal velocity on radar reflectivity through the bright band. From Austin and Bemis (1950).



Radar Skalky - period VII.1997-IV.2001 average VPRs

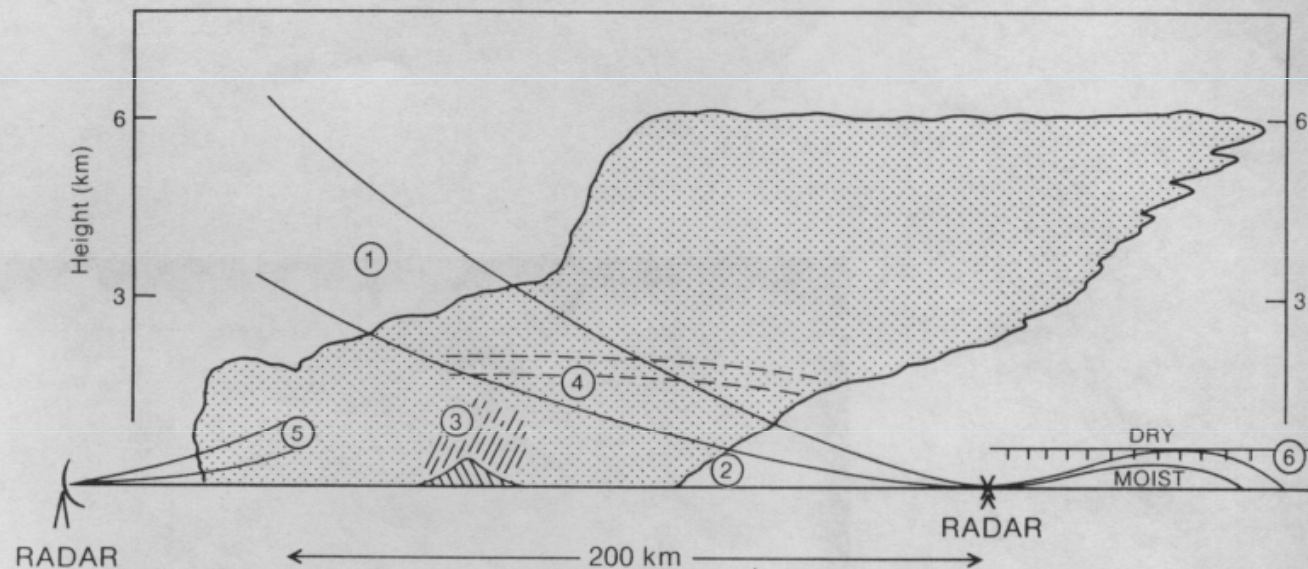
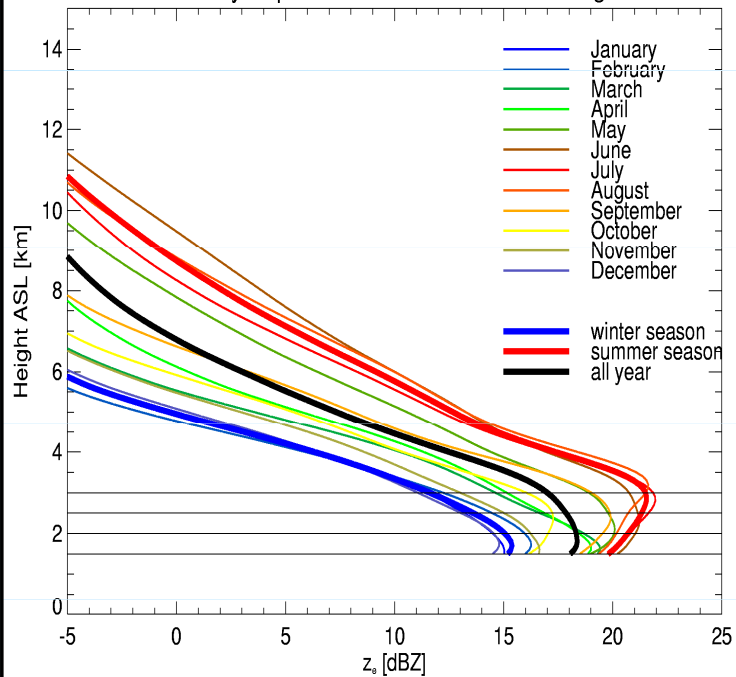
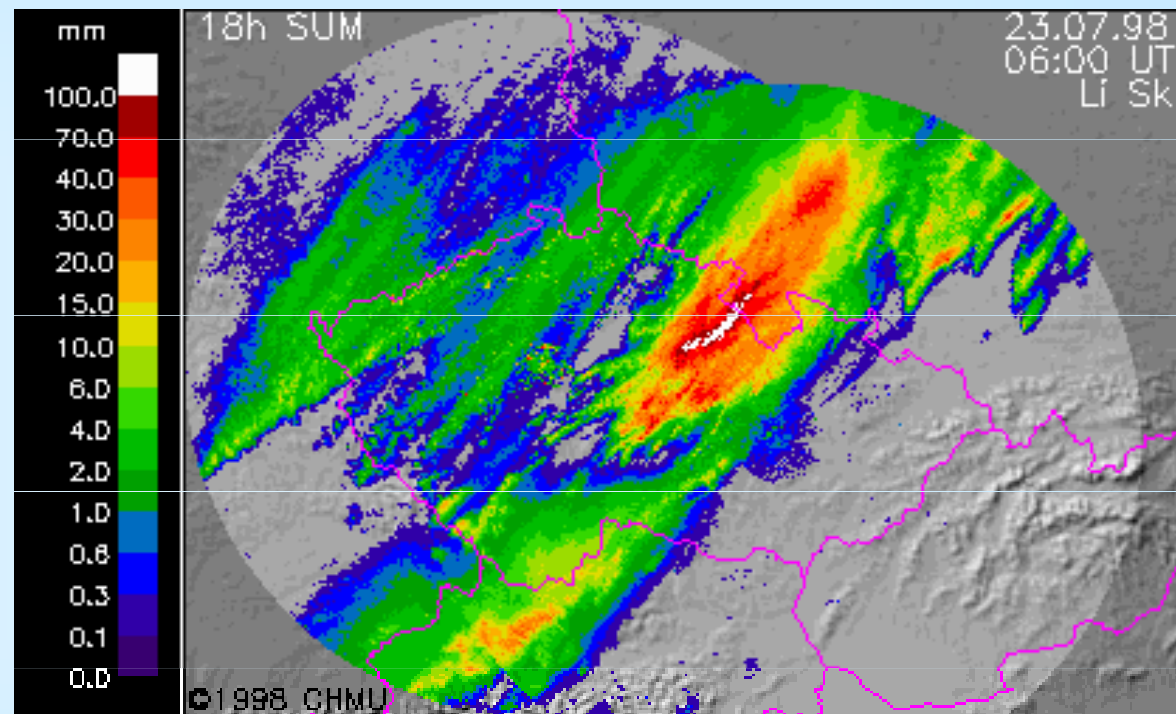


Fig. 1.1 Cross section through an area of frontal precipitation illustrating six sources of error in the radar measurement of surface rainfall, namely 1) radar beam overshooting the shallow precipitation at long ranges; 2) low-level evaporation beneath the beam; 3) orographic enhancement above hills that goes undetected beneath the radar beam; 4) anomalously high radar signal from melting snow (the bright band); 5) underestimation of the intensity of drizzle because of the absence of large droplets; and 6) radar beam bent in the presence of a strong hydrolapse causing it to intercept land or sea (from Browning, 1982)

# Radarové odhady srážek - ČHMÚ

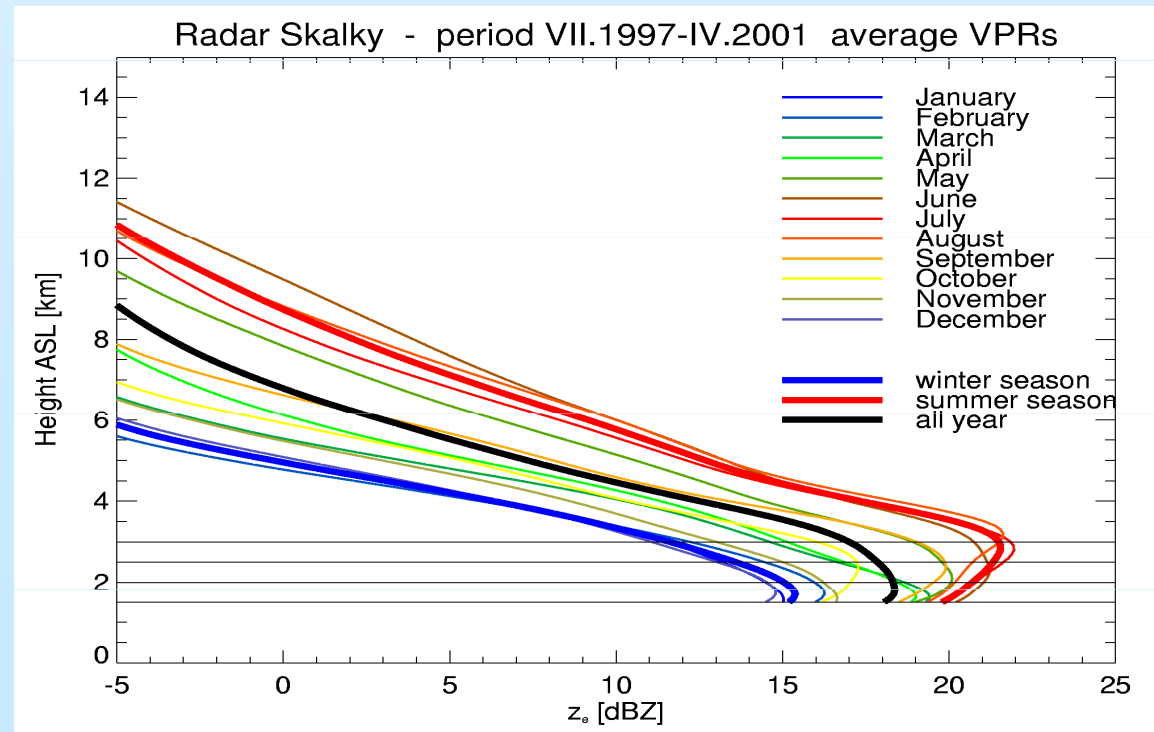
- “stará” metoda – založena na poli maximálních odrazivostí (2x2km horiz. rozlišení) – operativní výpočet od 1996



- podhodnocení ve velkých vzdálenostech a horských oblastech (zakřivení Země, zastínění orografií, orografické zesílení srážek a blízkými stromy (Skalky))
- nadhodnocení blízko radaru (především z důvodu dobře detekovatelného bright-bandu a ne zcela vymazaných pozemních odrazů (starý radar Praha-Libuš))

# VPR-korekce radarových odhadů srážek - ČHMÚ

- 2km CAPPI hladiny korigované v neviditelných oblastech pomocí vertikálních profilů odrazivosti (VPR)
- VPR vypočítaný blízko radaru (nebo určený z klimatografie pokud blízko radaru nejsou cíle) je použit k extrapolaci radarové odrazivosti z vyšších viditelných hladin k zemi
- VPR jsou počítány ve vzdálenosti 30-80km od radaru (plné vertikální pokrytí)



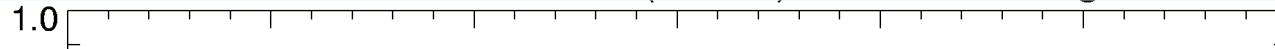
# Radarové odhady srážek - ČHMÚ

- “nové zpracování” - v současnosti jsou počítány radarové odhady na základě 2km (pseudo)CAPPI, popř VPR-corrected 2km (pseudo)CAPPI
- 1x1km horiz. rozlišení
- vstupní datové rozlišení = 8bit (256 levels); výstupní datové rozlišení = 16bit
- kombinace radarových odhadů se srážkoměry
- průměrné a úhrné odhady srážek na individuálních povodích – vstupy odhadů do hydrologických modelů

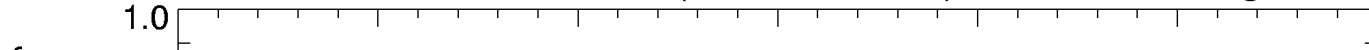


# Porovnání radarových odhadů srážek - ČHMÚ

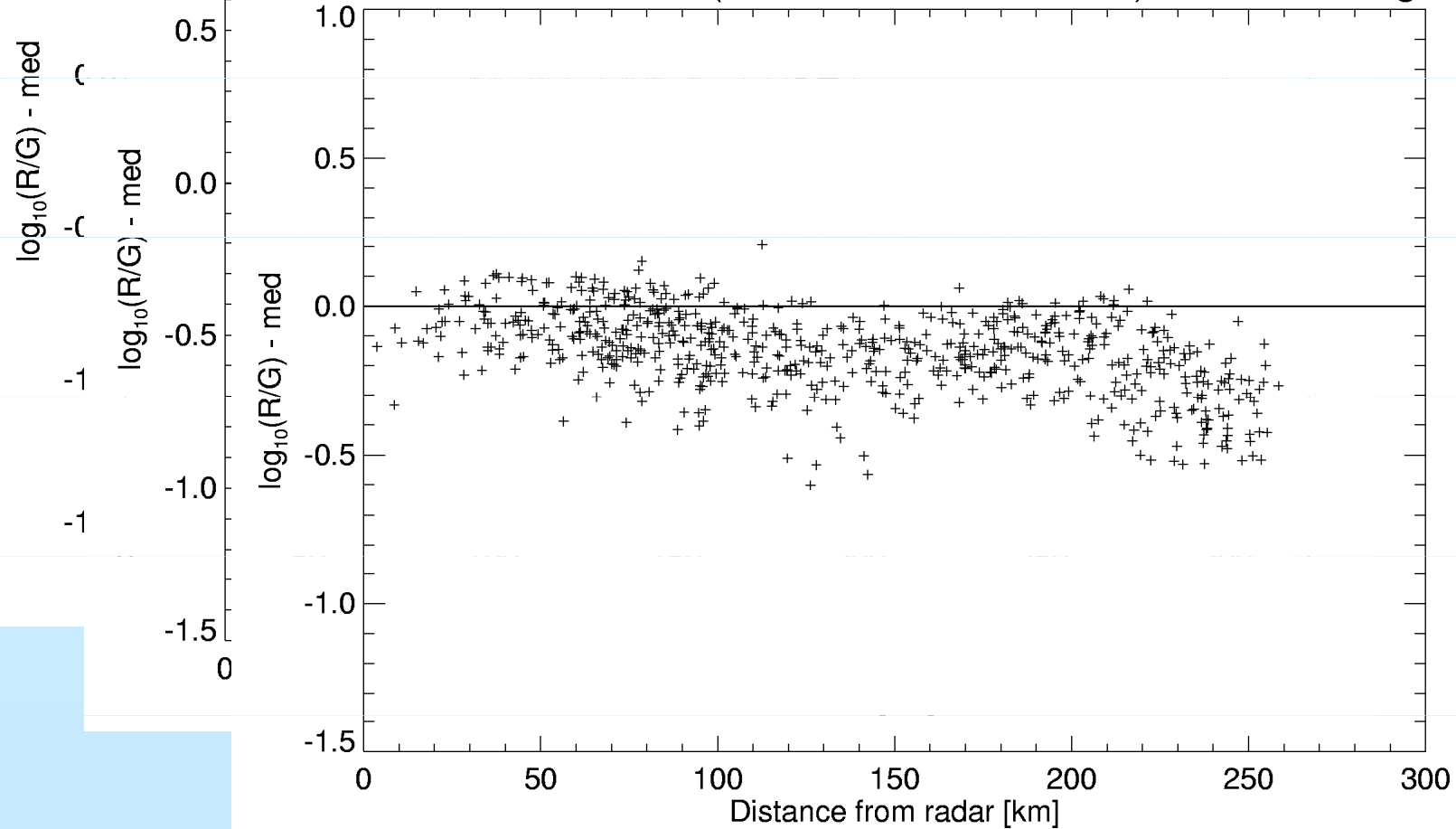
SKALKY VIII.-X. 2000 (Max Z) - station averages



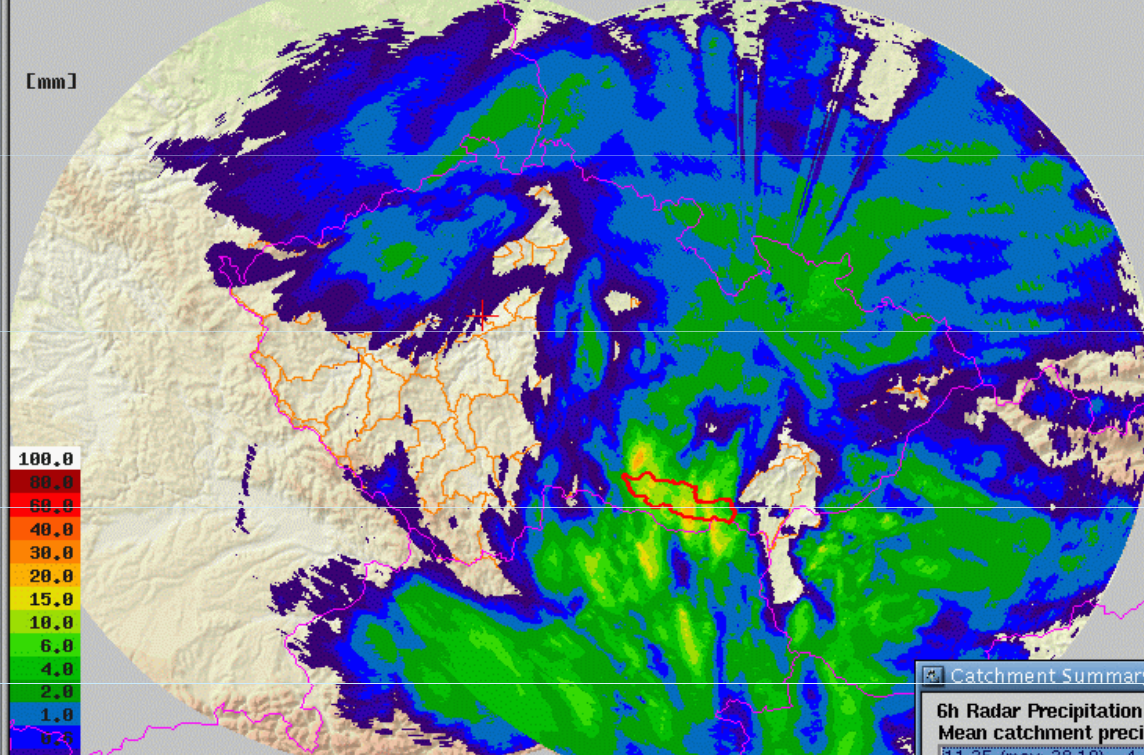
SKALKY VIII.-X. 2000 (CAPPI 2.0km) - station averages



SKALKY VIII.-X. 2000 (CAPPI 2.0km - VPR cor.) - station averages



CZRAD - SUM 360(360) - 18.04.2003 18:00 UT



6h Radar Precipitation Estimates:

- CAPPI 2km VPR
- CAPPI 2km
- MAX Z

- 19.04.2003 06:00
- 19.04.2003 00:00
- 18.04.2003 18:00
- 18.04.2003 12:00
- 18.04.2003 06:00
- 18.04.2003 00:00
- 17.04.2003 18:00
- 17.04.2003 12:00
- 17.04.2003 06:00
- 17.04.2003 00:00
- 16.04.2003 18:00
- 16.04.2003 12:00

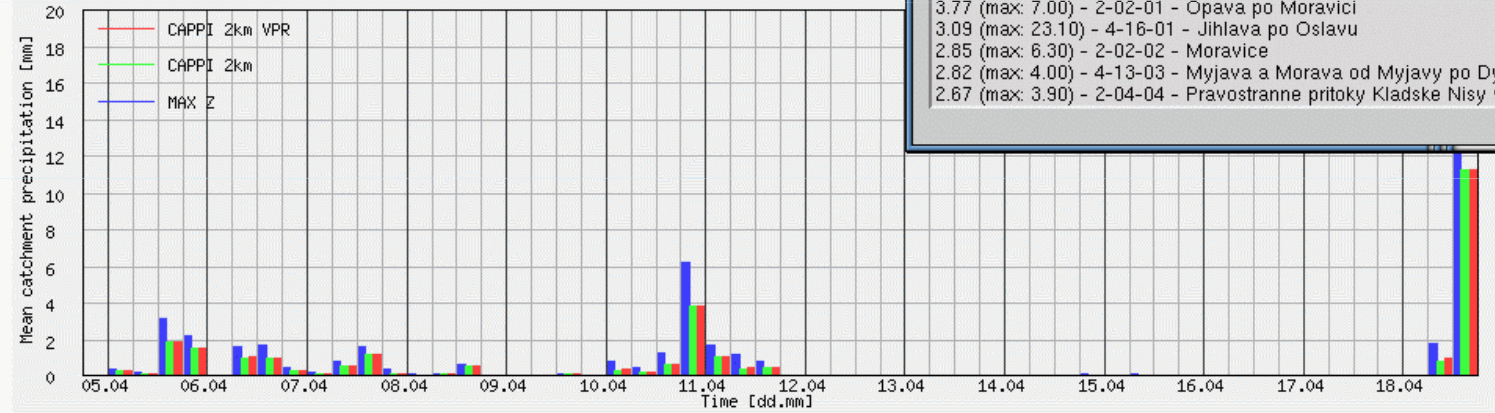
CATCHMENTS

UPDATE PAGE

AUTO none

show\_cat\_plot.php (PNG Image, 950x300 pixels) - Galeon

6h Radar Precipitation Estimates 04.04.2003 18:00  
 Catchment 4-14-03 - Jevisovka a Dyje od Jevisovky po Svratku

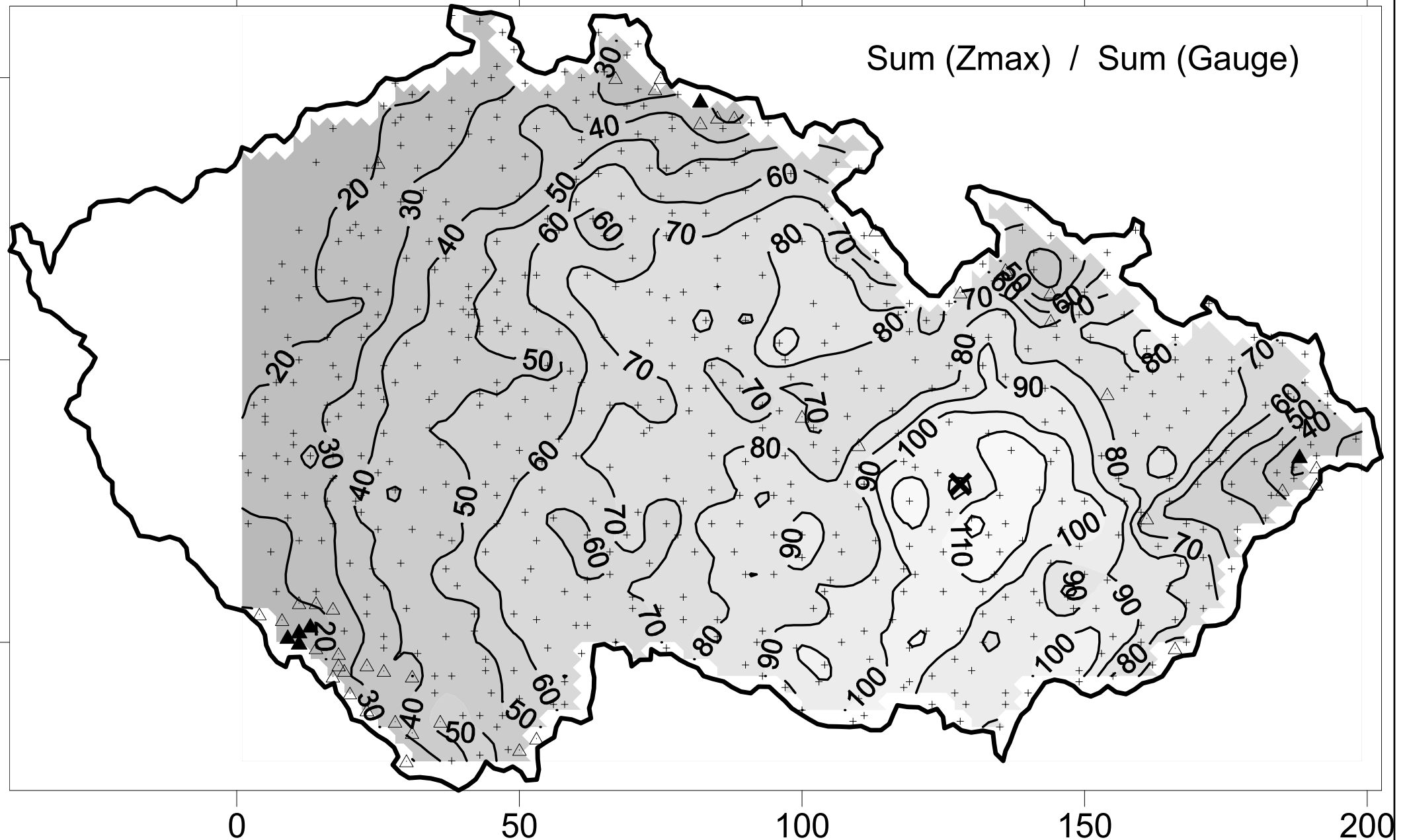


Catchment Summary - Galeon

6h Radar Precipitation Estimate (CAPPI 2km VPR) 18.04.2003 12:00 - 18.04.2003 18:00  
 Mean catchment precipitation [mm]:

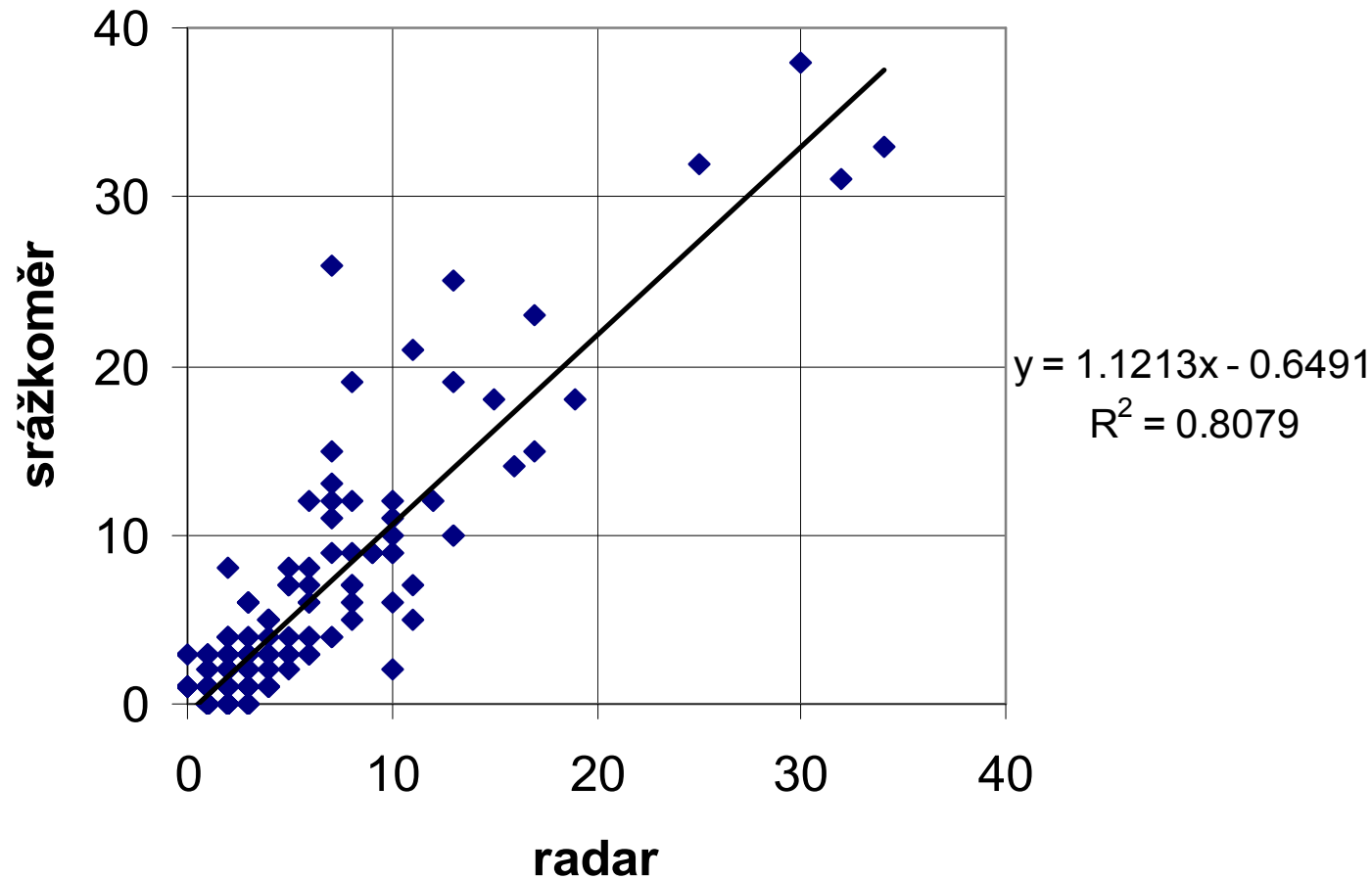
- 11.25 (max: 26.10) - 4-14-03 - Jevisovka a Dyje od Jevisovky po Svratku
- 9.06 (max: 27.50) - 4-16-03 - Rokytna
- 9.05 (max: 21.40) - 4-16-04 - Jihlava od Rokytny po usti a Svratka od Jihlavy po usti
- 6.43 (max: 31.80) - 4-14-02 - Dyje od soutoku Moravske a Rakouske Dyje po Jevisovku
- 3.88 (max: 5.40) - 2-04-02 - Osoblaha
- 3.77 (max: 7.00) - 2-02-01 - Opava po Moravici
- 3.09 (max: 23.10) - 4-16-01 - Jihlava po Oslavu
- 2.85 (max: 6.30) - 2-02-02 - Moravice
- 2.82 (max: 4.00) - 4-13-03 - Myjava a Morava od Myjavy po Dyji
- 2.67 (max: 3.90) - 2-04-04 - Pravostranne pritoky Kladske Nisy v Jeseniku

# Ratio $\Sigma(\text{radar}) / \Sigma(\text{gage})$ [%] 1996-1997



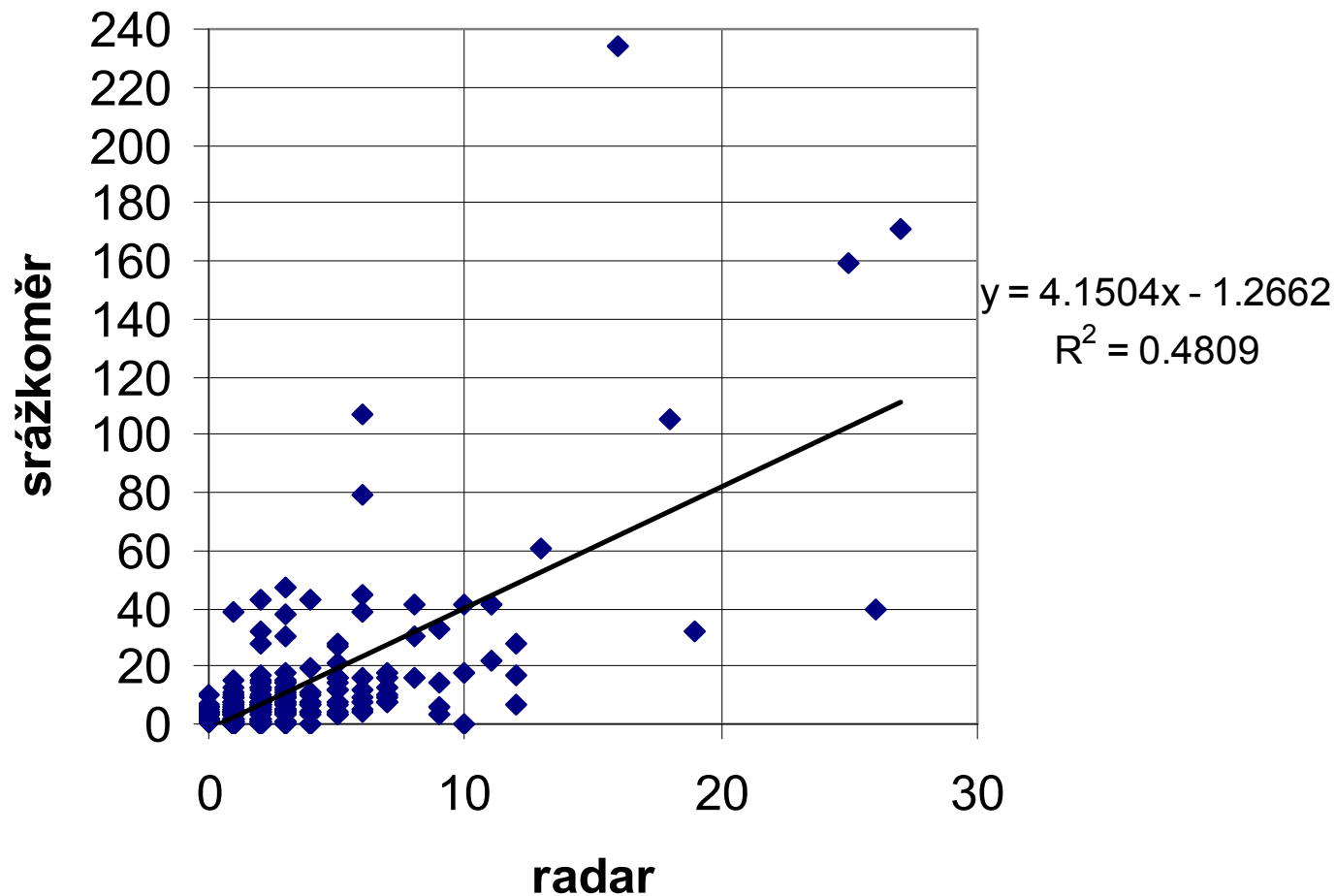
# Denní odhady – stanice v nížině

**Radar-raingages, daily precipitation  
Brod nad Dyjí (72 off the radar site), 1996-1997**



# Denní odhady – stanice v horách (Lysá hora, 1324 m)

**Radar-raingages, daily precipitation  
Lysá hora (118 off the radar site), 1996-1997**



# Případové studie

- Povodně v červenci 1997 v severovýchodní polovině České republiky
- Přívalové srážky ve dnech 22.-23.7.1998 v Orlických horách

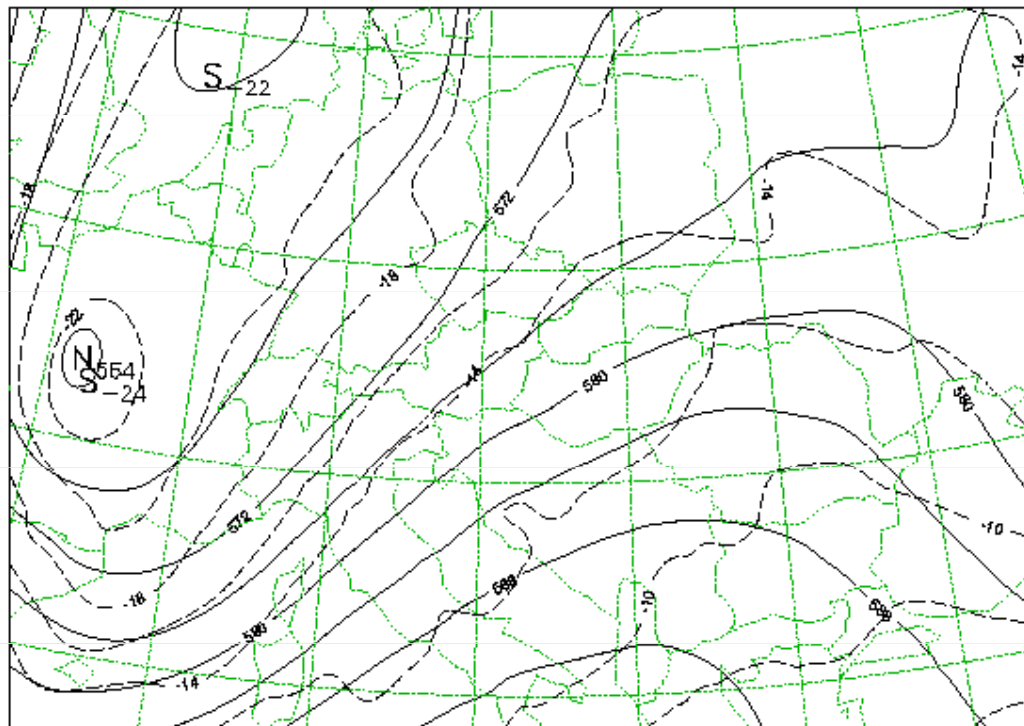
# Povodně v červenci 1997

- Intenzivní trvalé deště v době od 5. do 8. července 1997
- silné orografické zesílení

Base 97/07/05 00UTC  
ANALYSIS

ABS. TOPOGRAFIE [4dkm]  
TEPLOTA [2 st.C]

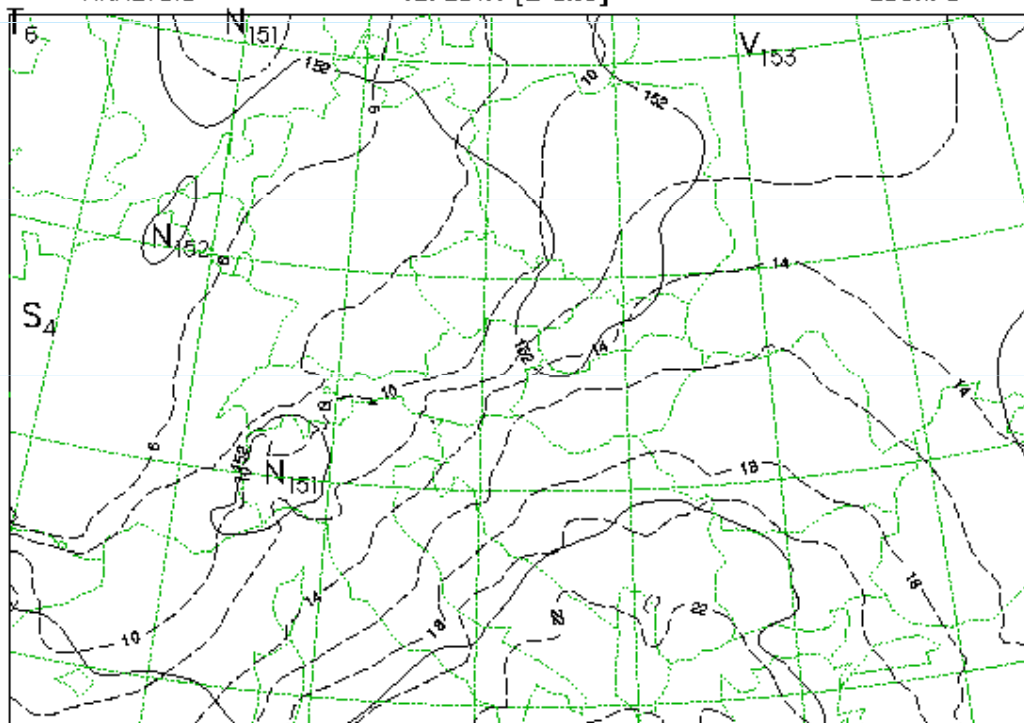
500hPa  
500hPa



Base 97/07/05 00UTC  
ANALYSIS

ABS. TOPOGRAFIE [4dkm]  
TEPLOTA [2 st.C]

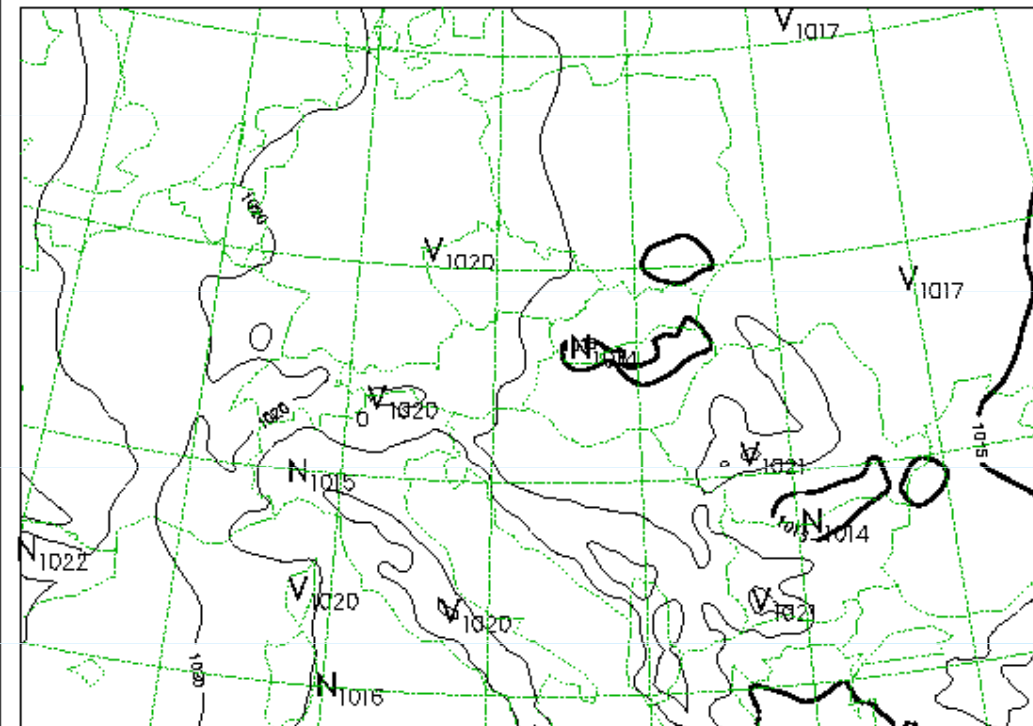
850hPa  
850hPa



Base 97/07/05 00UTC  
ANALYSIS

TLAK NA ZEMI [2.5hPa]

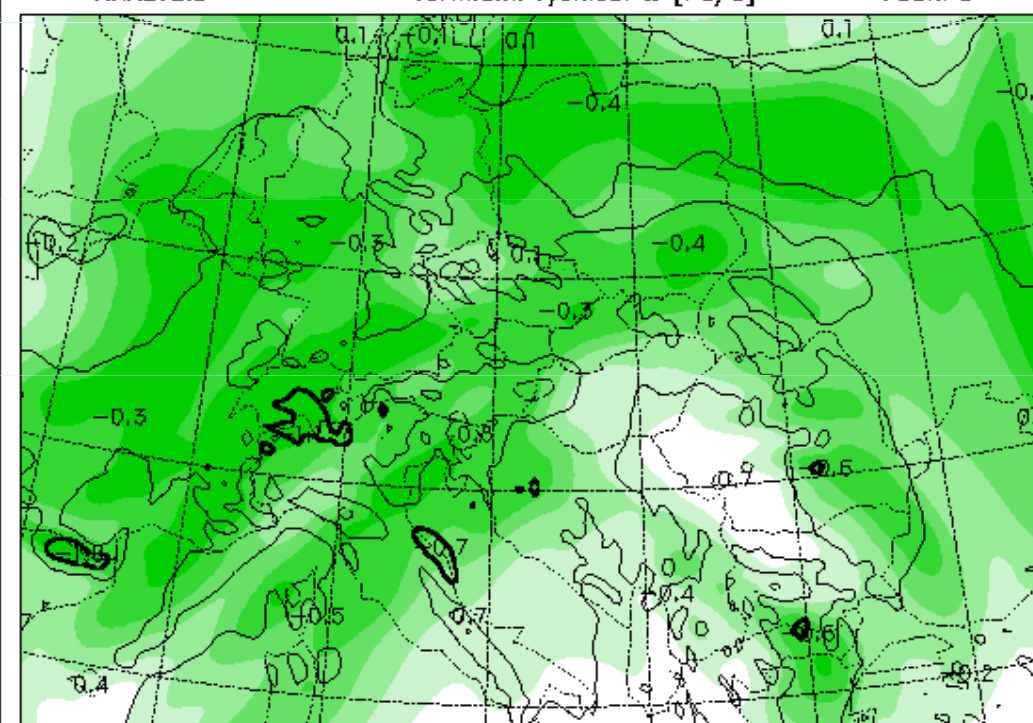
msl



Base 97/07/05 00UTC  
ANALYSIS

relativni vlhkost (barva) [15%]  
vertikalni rychlost  $\omega$  [Pa/s]

700hPa  
700hPa



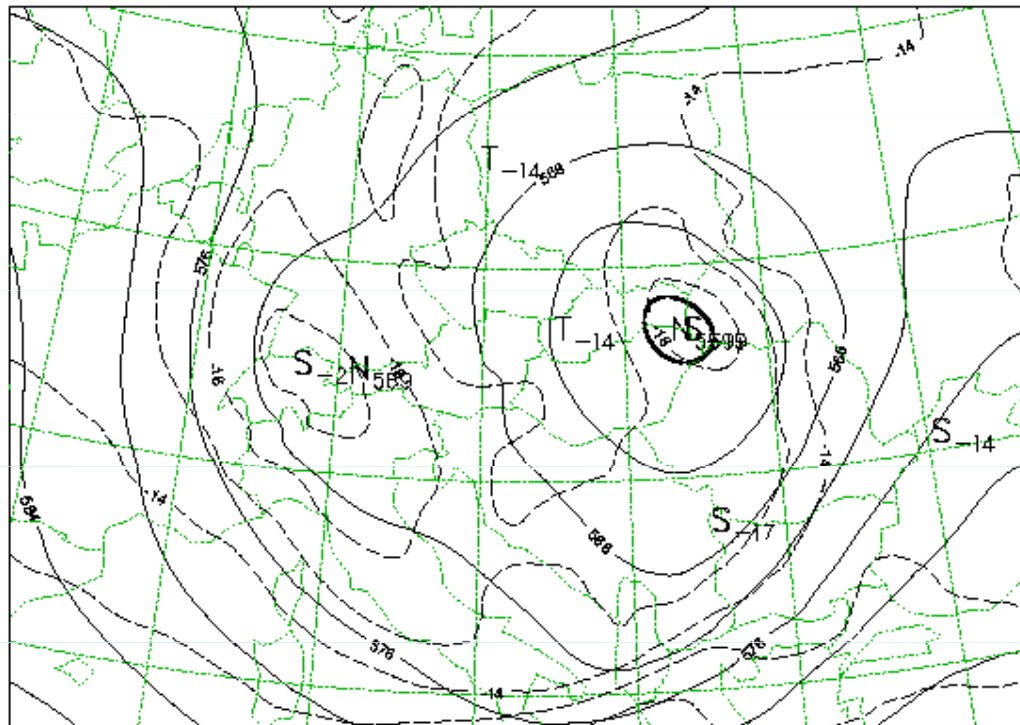




Base 97/07/07 00UTC  
ANALYSIS

ABS.TOPOGRAFIE [4dkm]  
TEPLOTA [2 st.C]

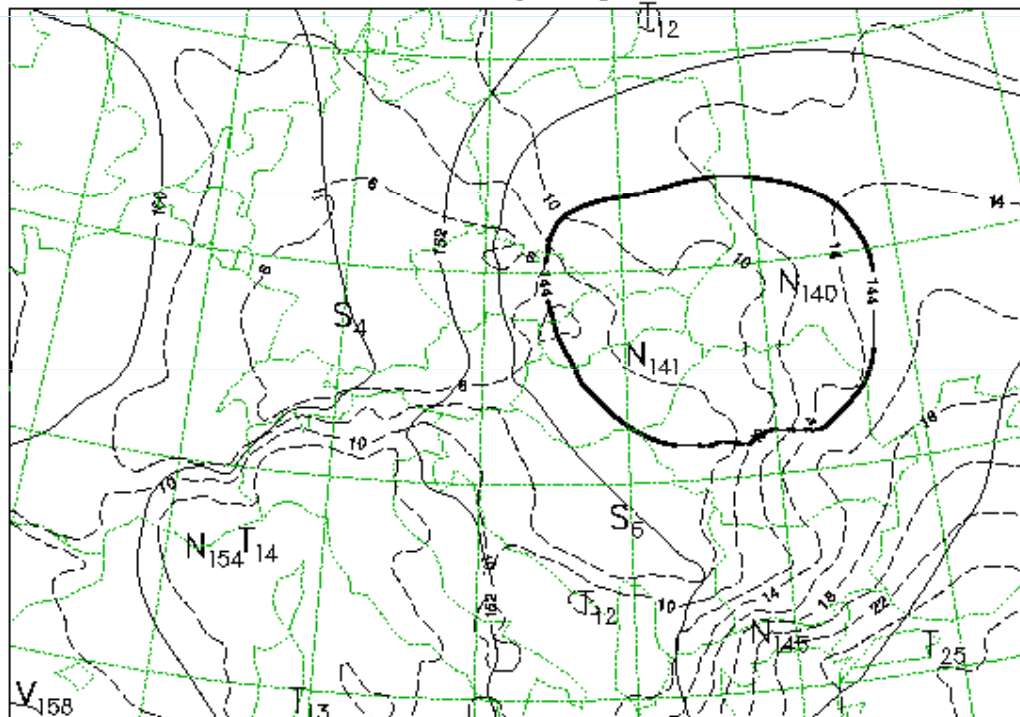
500hPa  
500hPa



Base 97/07/07 00UTC  
ANALYSIS

ABS.TOPOGRAFIE [4dkm]  
TEPLOTA [2 st.C]

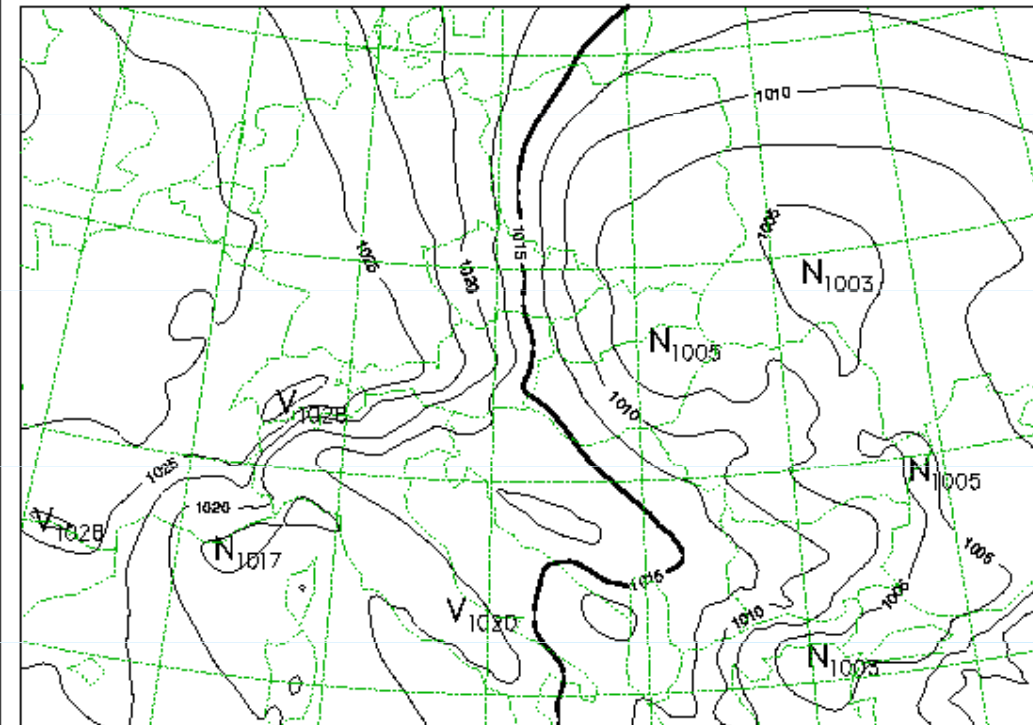
850hPa  
850hPa



Base 97/07/07 00UTC  
ANALYSIS

TLAK NA ZEMI [2.5hPa]

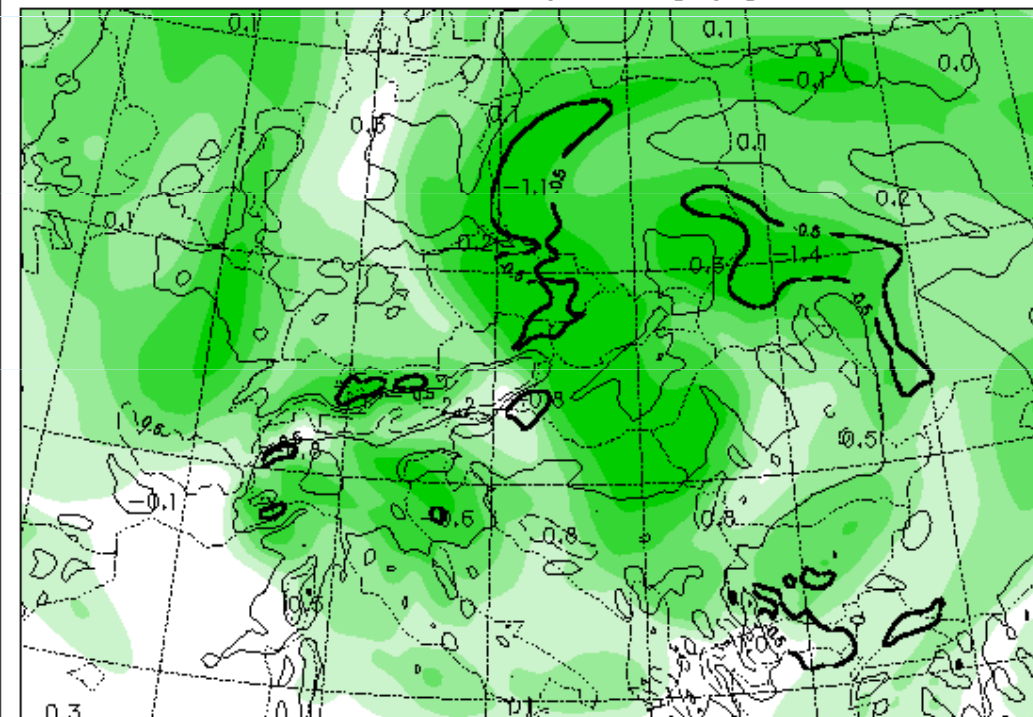
msl



Base 97/07/07 00UTC  
ANALYSIS

relativni vlhkost (barva) [15%]  
vertikalni rychlost  $\omega$  [Pa/s]

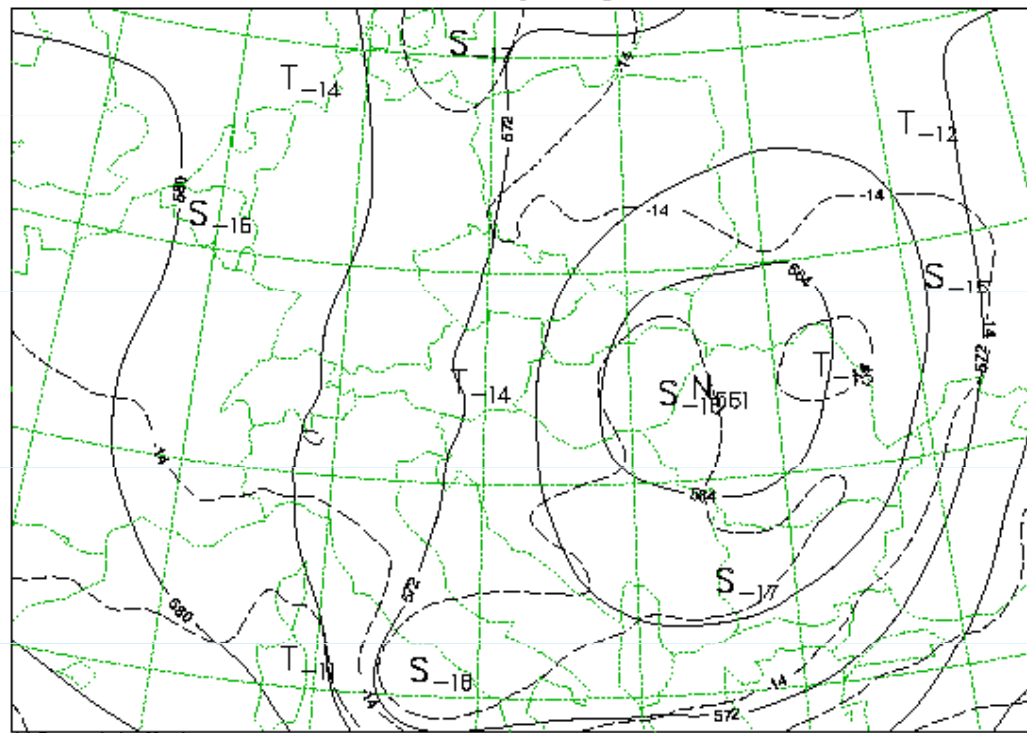
700hPa  
700hPa



Base 97/07/08 00UTC  
ANALYSIS

ABS. TOPOGRAFIE [4dkm]  
TEPLOTA [2 st.C]

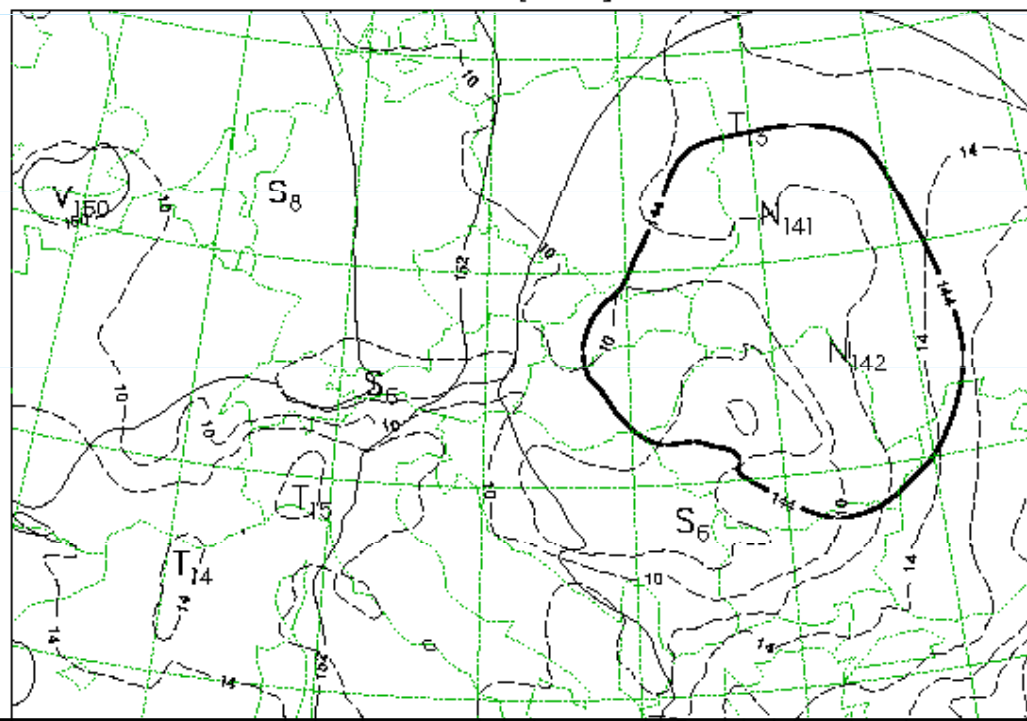
500hPa  
500hPa



Base 97/07/08 00UTC  
ANALYSIS

ABS. TOPOGRAFIE [4dkm]  
TEPLOTA [2 st.C]

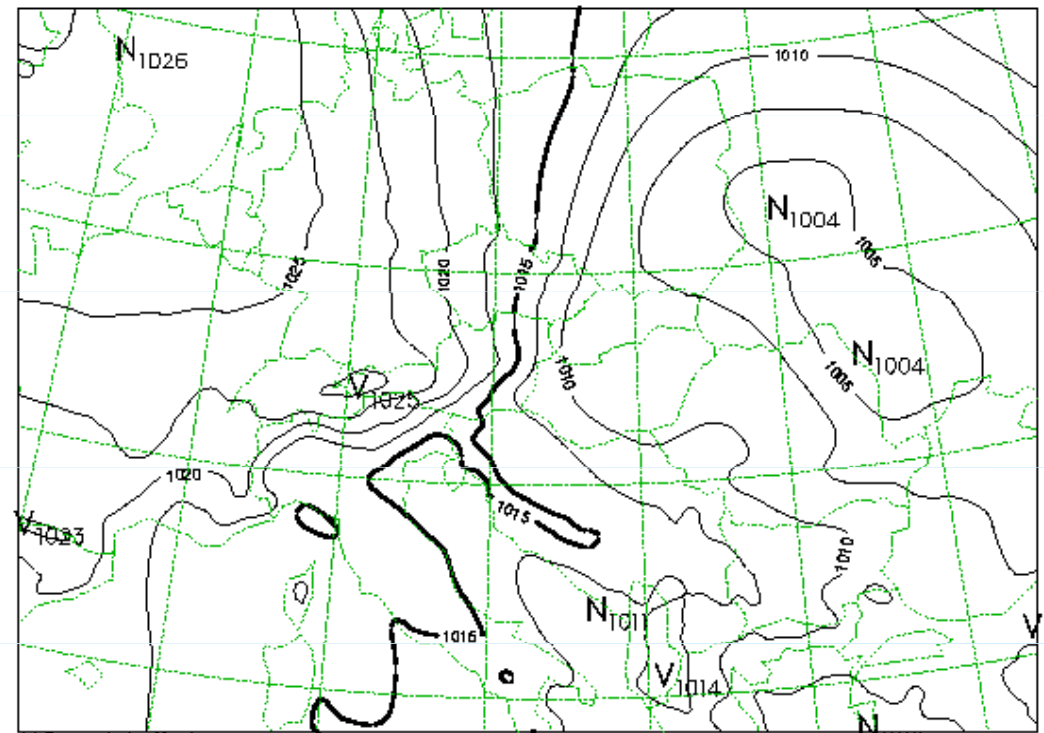
850hPa  
850hPa



Base 97/07/08 00UTC  
ANALYSIS

TLAK NA ZEMI [2.5hPa]

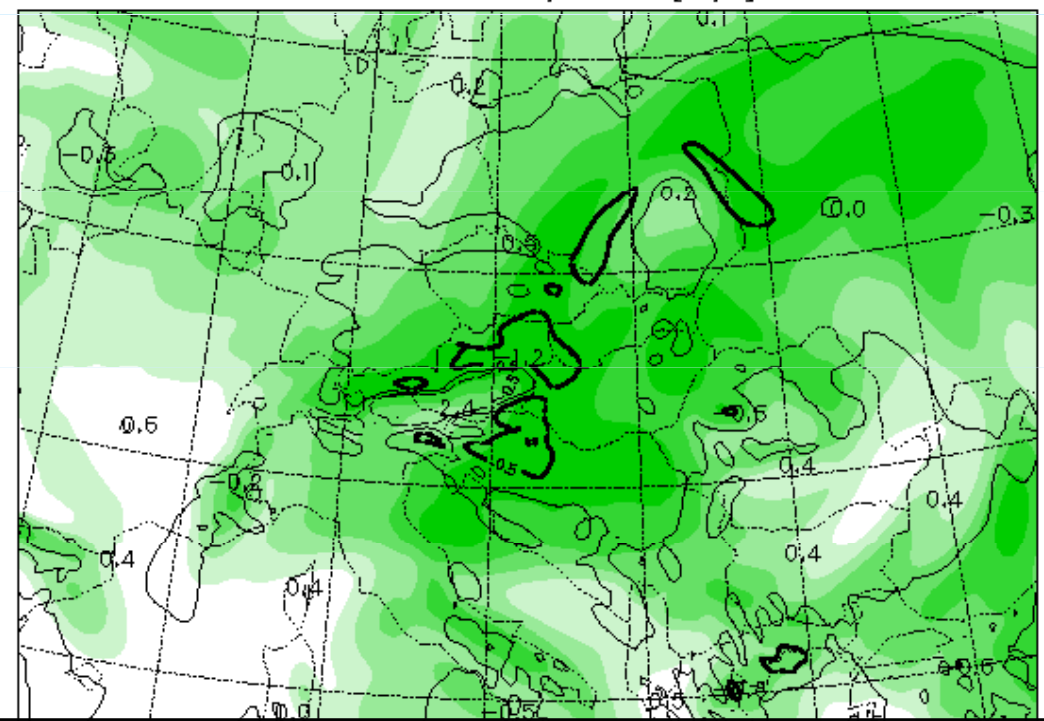
msl



Base 97/07/08 00UTC  
ANALYSIS

relativni vlhkost (barva) [15%]  
vertikalni rychlost  $\omega$  [Pa/s]

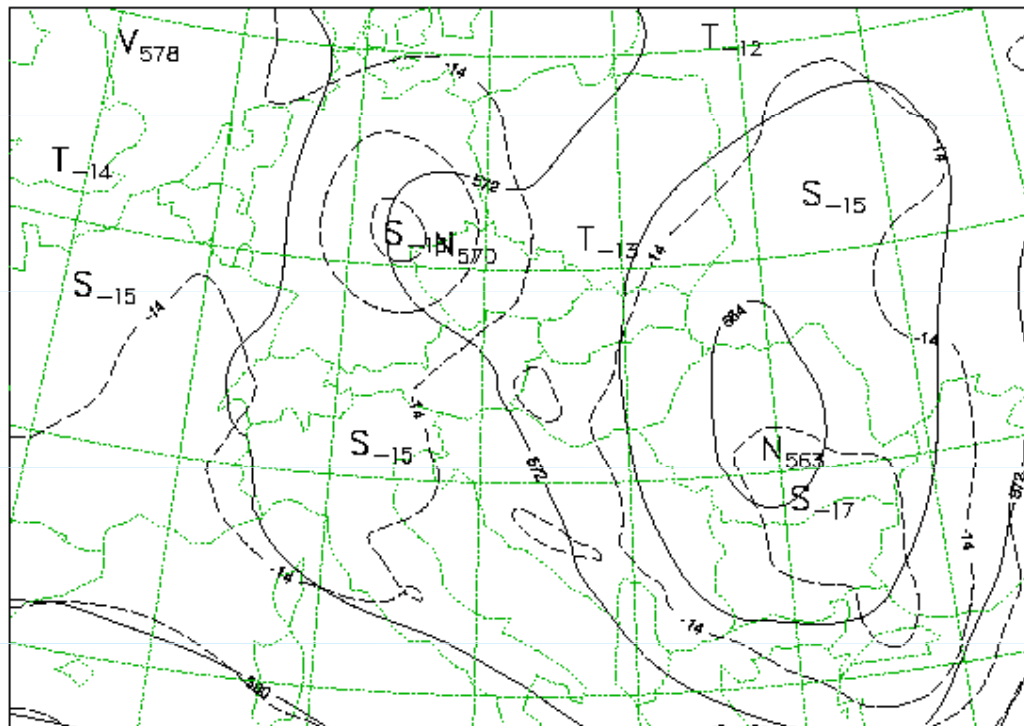
700hPa  
700hPa



Base 97/07/09 00UTC  
ANALYSIS

ABS. TOPOGRAFIE [4dkm]  
TEPLOTA [2 st.C]

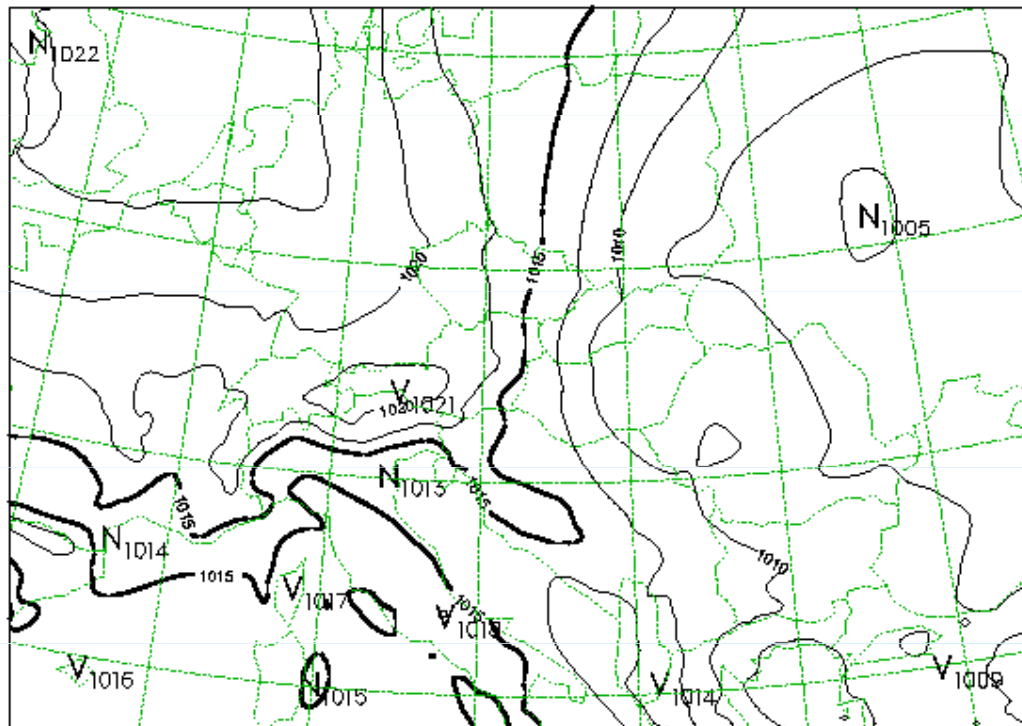
500hPa  
500hPa



Base 97/07/09 00UTC  
ANALYSIS

TLAK NA ZEMI [2.5hPa]

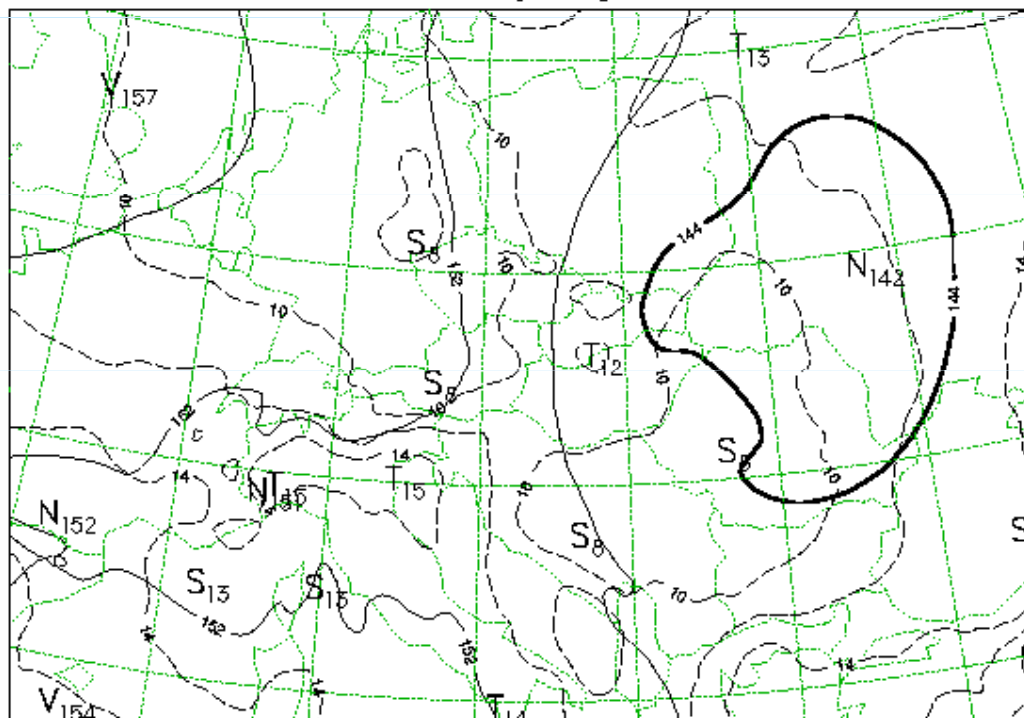
msl



Base 97/07/09 00UTC  
ANALYSIS

ABS. TOPOGRAFIE [4dkm]  
TEPLOTA [2 st.C]

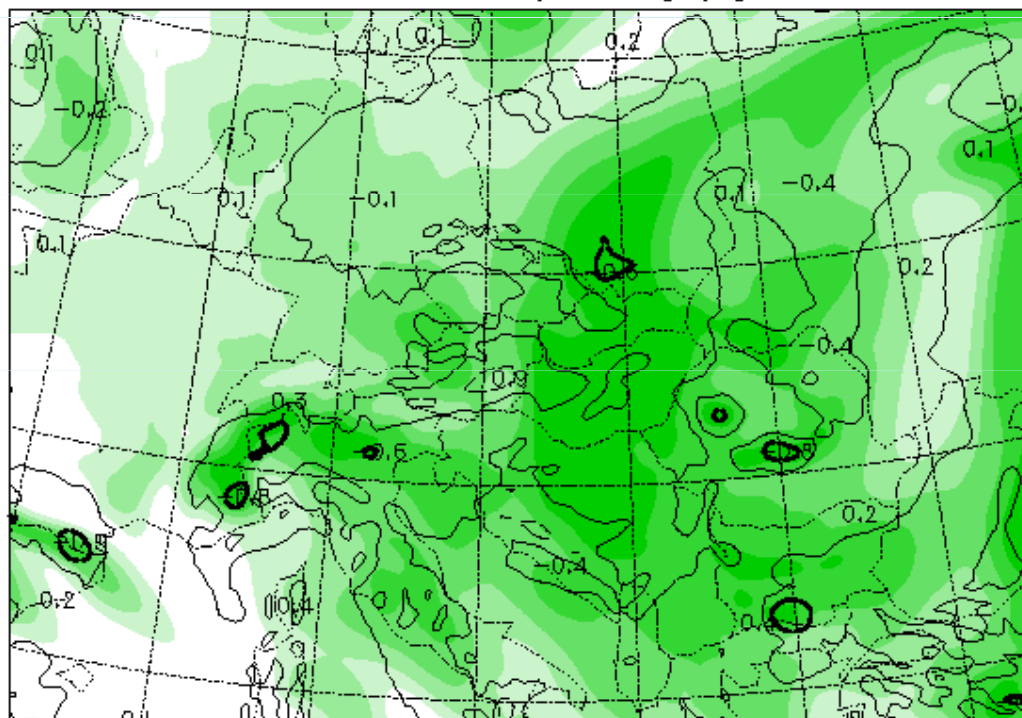
850hPa  
850hPa

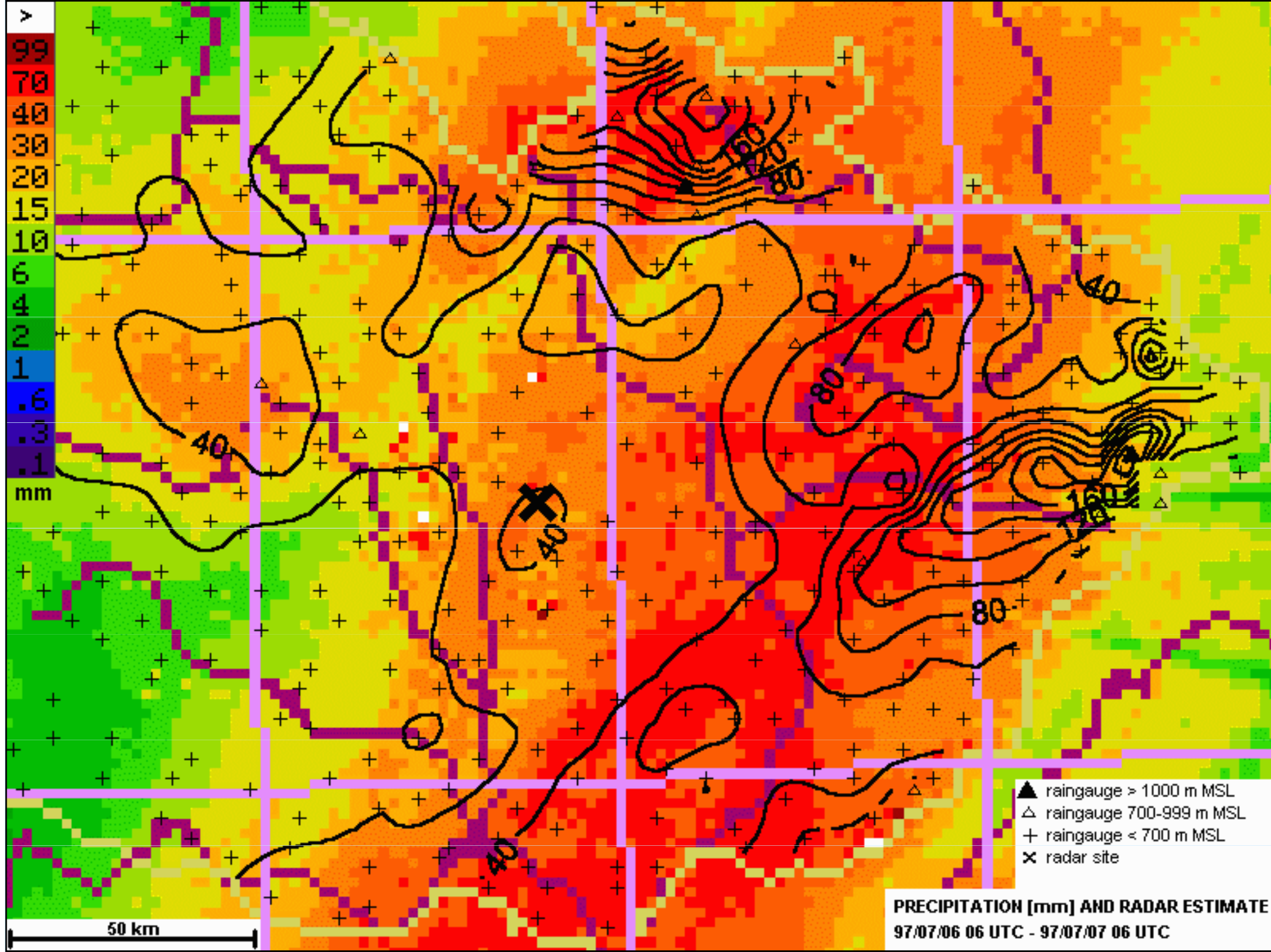


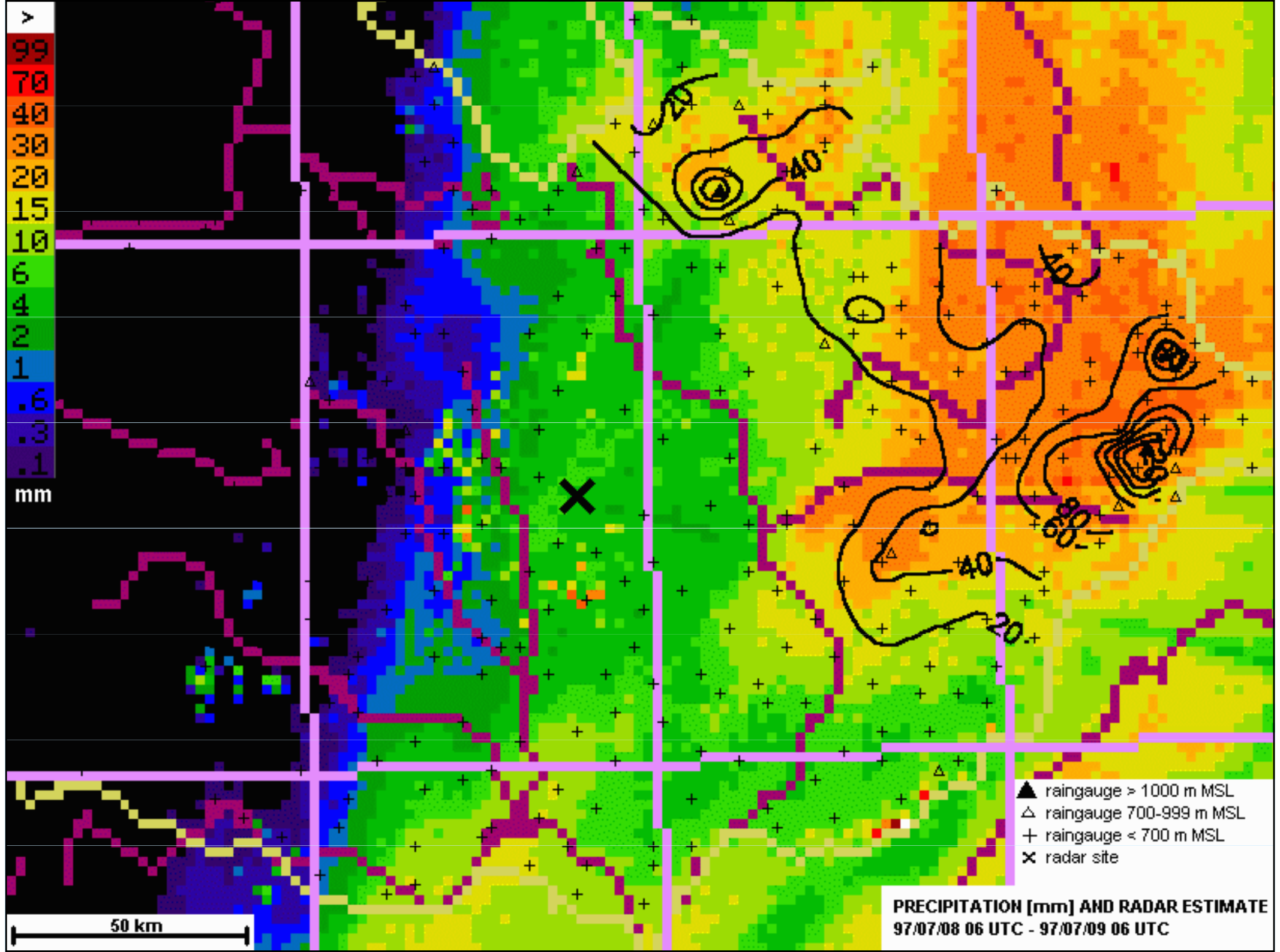
Base 97/07/09 00UTC  
ANALYSIS

relativni vlhkost (barva) [15%]  
vertikalni rychlost  $\omega$  [Pa/s]

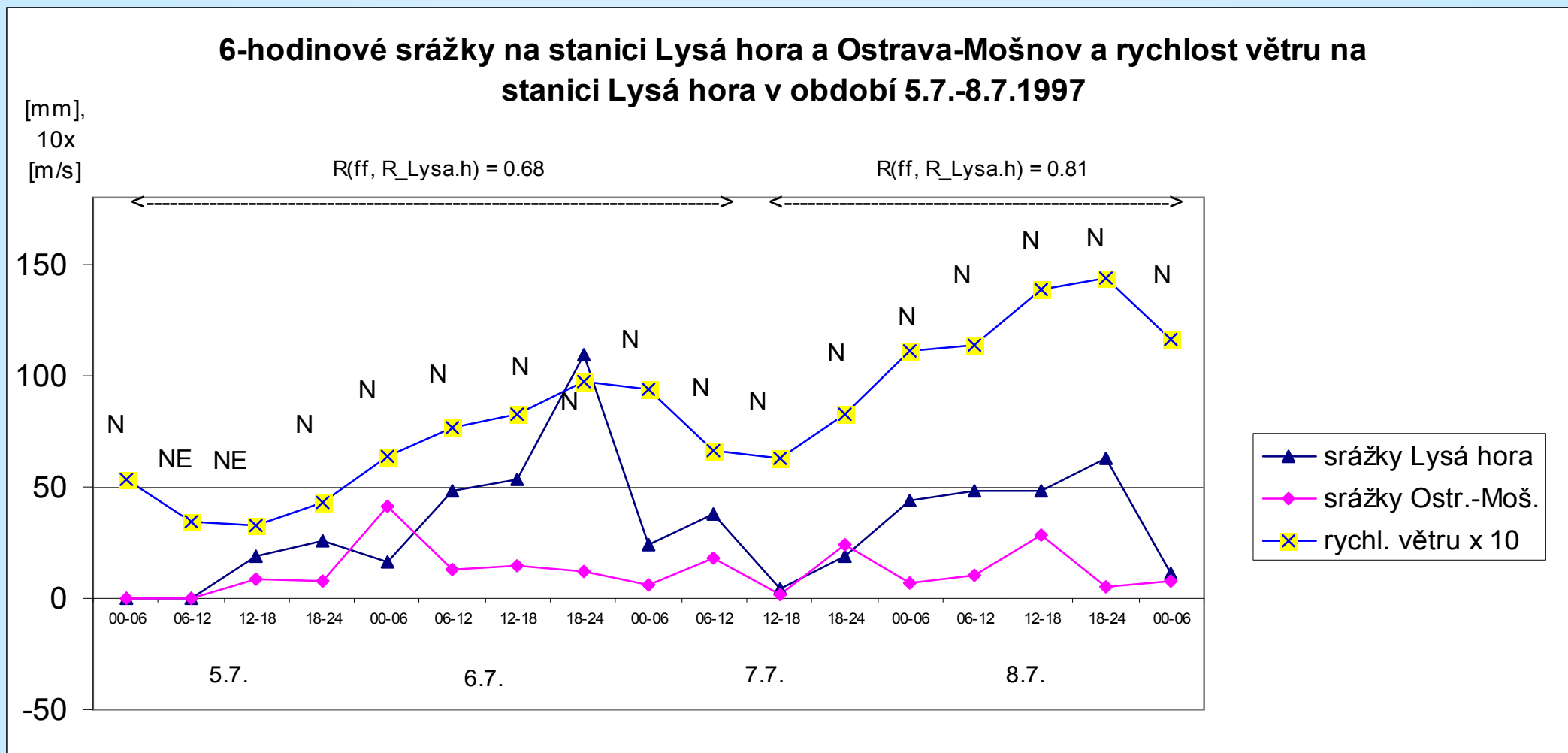
700hPa  
700hPa





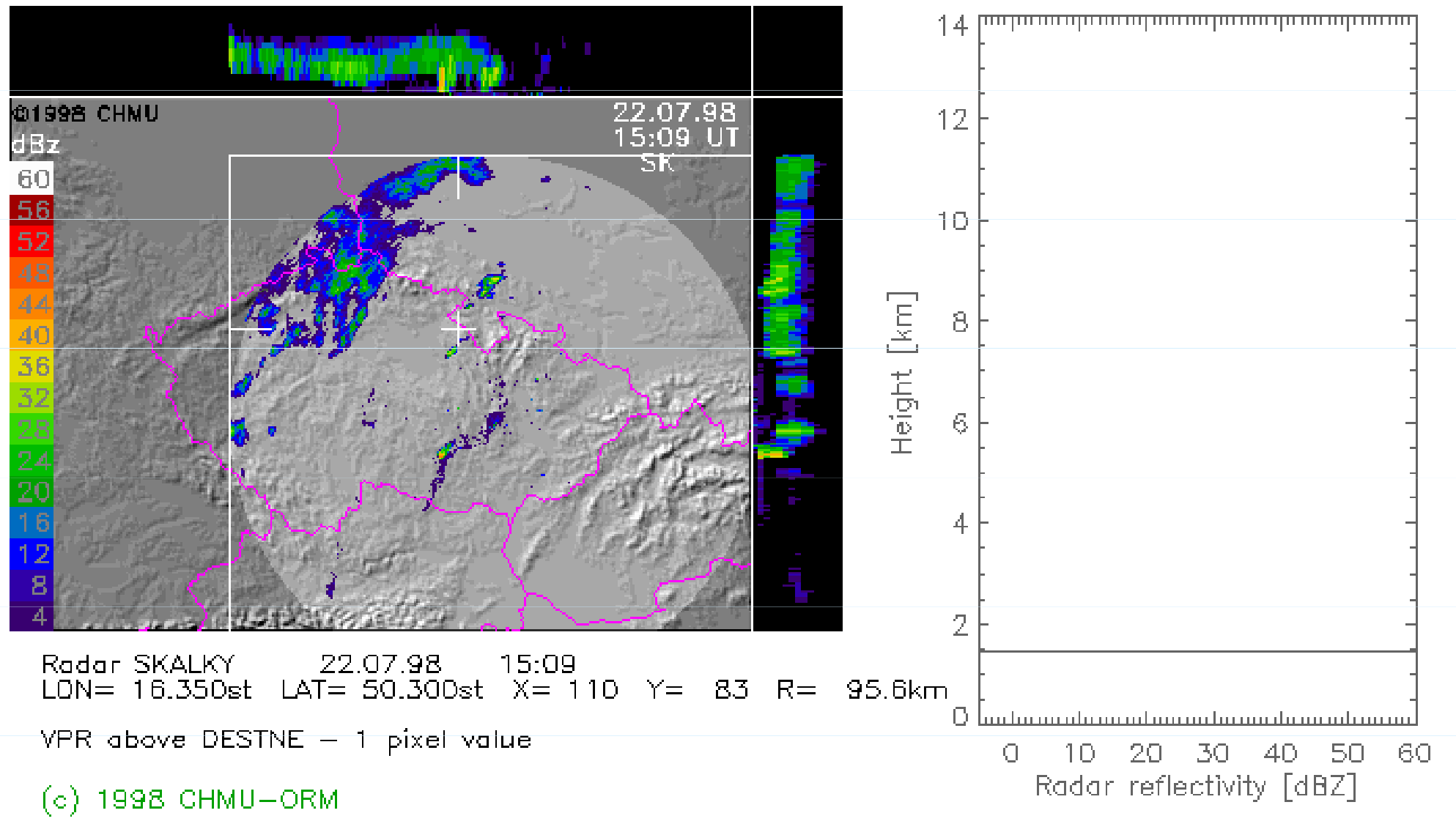


# 6-hour precipitation and wind velocity at the mountain station Lysá hora and the nearby lowland station Ostrava-Mošnov 5 - 9 July 1997

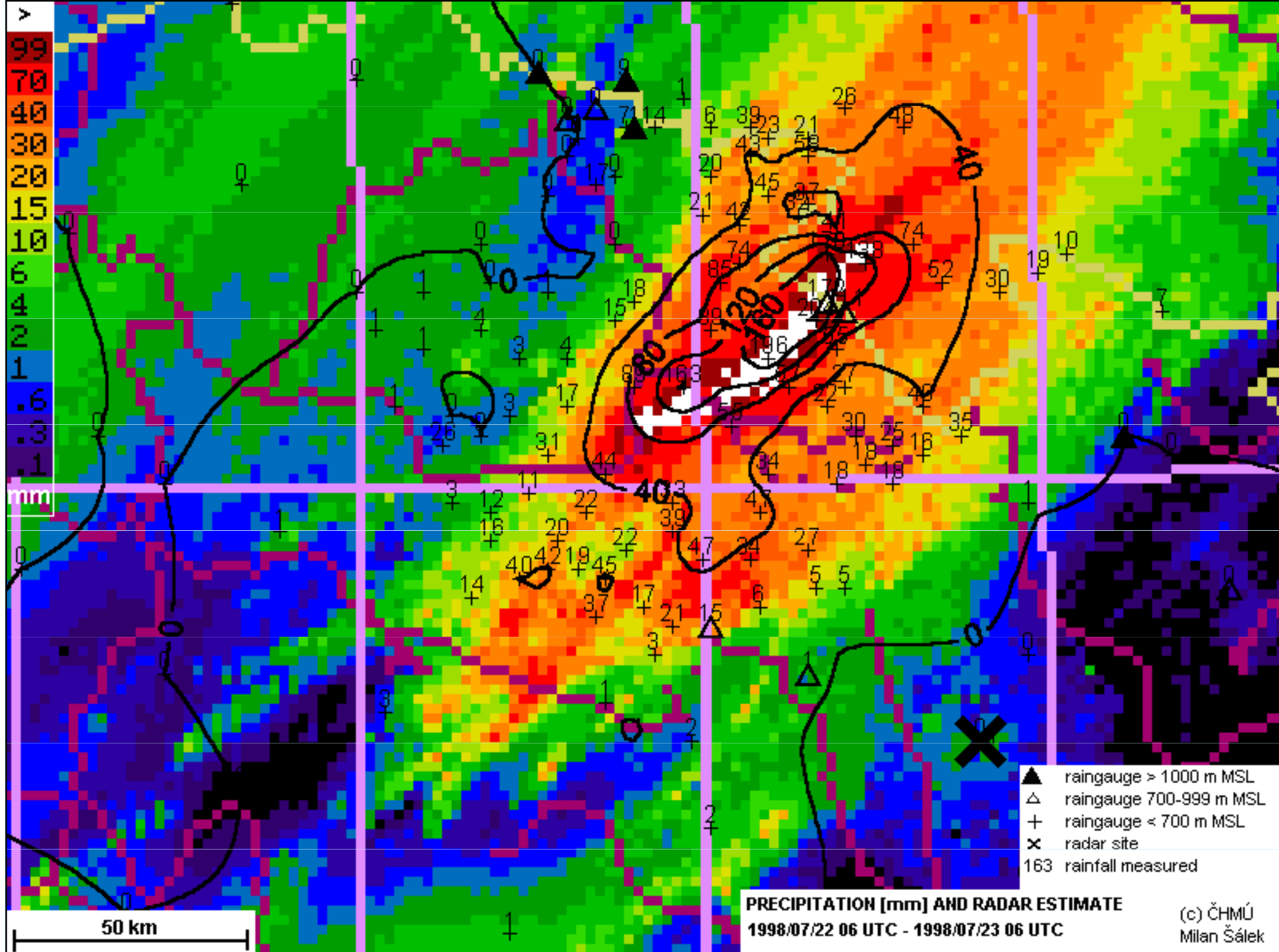


# Přivalové srážky 22.-23. července 1998

## Kvazistacionární konvektivní systém (training effect)







# Úkol č. 7

- Nakreslete závislost intenzity srážek na radarové odrazivosti pro následující koeficienty  $a$ ,  $b$  v Z-R vztahu

Vztah	Určeno pro
Marhall-Palmer $a=200, b=1,6$	Obecné, většinou stratiformí srážky
Stratiformní - orografické srážky $a=130, b=2$	Stratiformní v chladném období, vhodné též pro orografické srážky
Konvektivní (extratrop.) $a=300, b=1,4$	Konvekce mimo tropické srážky
Tropické konvektivní $a=250, b=1,2$	Tropická konvekce (+ srážky z trop. cyklon)