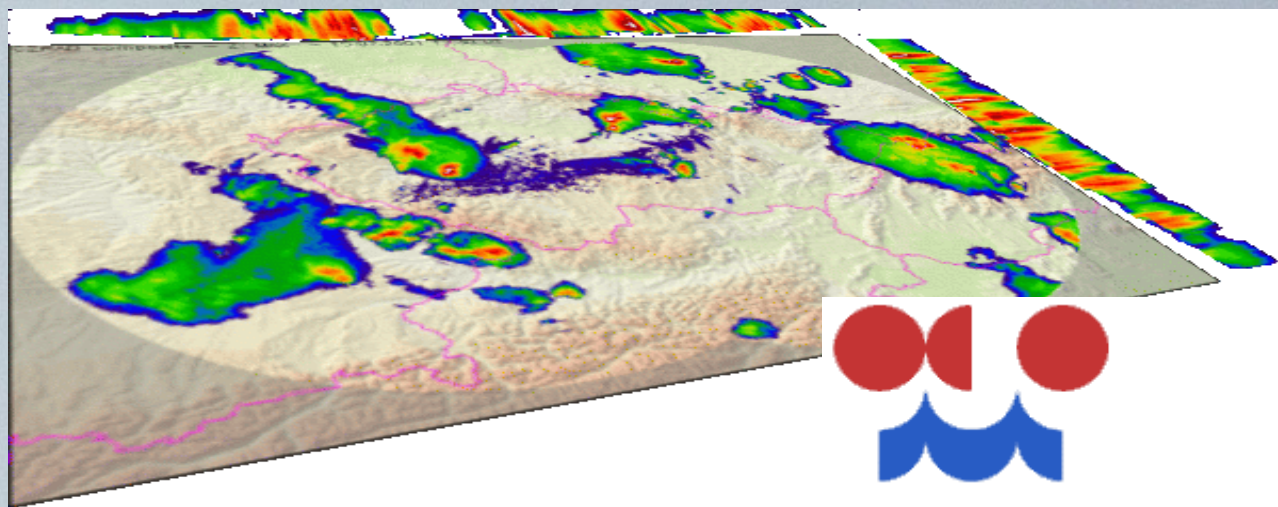


Radarová meteorologie - dopplerovské radary



Petr Novák <petr.novak@chmi.cz>

Český Hydrometeorologický ústav, oddělení radarových měření

Dopplerovské meteorologické radiolokátory

- umožňují běžné měření množství zpětné rozptýlené energie a tím radiolokacní odrazivosti Z
- navíc měří změnu frekvence navráceného signálu (prostřednictvím měření fáze), z které lze určit **radiální rychlosti odražečů**, jimiž jsou převážně atmosférické srážky a nehomogenity indexu lomu.

$$f_d = -\frac{2v_r}{\lambda}.$$

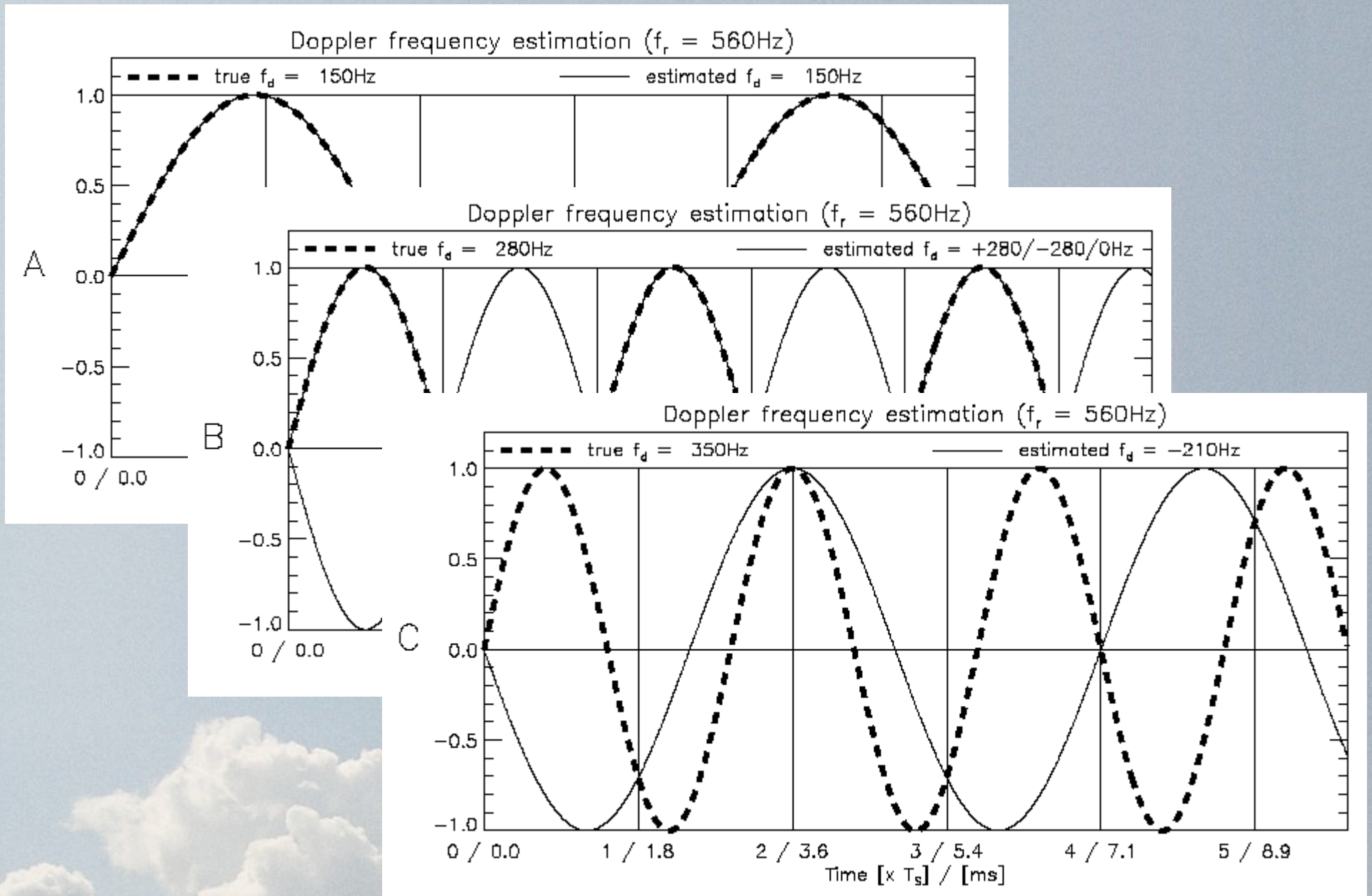
Dopplerovské meteorologické radiolokátory

Dopplerovský posun frekvence f_d (řádu stovek Hz) je při meteorologických pozorováních vzhledem k vysílací frekvenci (řádu jednotek GHz) příliš malý, než aby jej bylo možno měřit přímo. Dopplerovské (koherentní) radiolokátory proto pracují na principu porovnání fáze přijatého signálu s referenčním (původně vyslaným) signálem, jehož fáze je při každém pulsu zapamatována v koherentním oscilátoru (podrobněji např. v [7], [4], [13]).

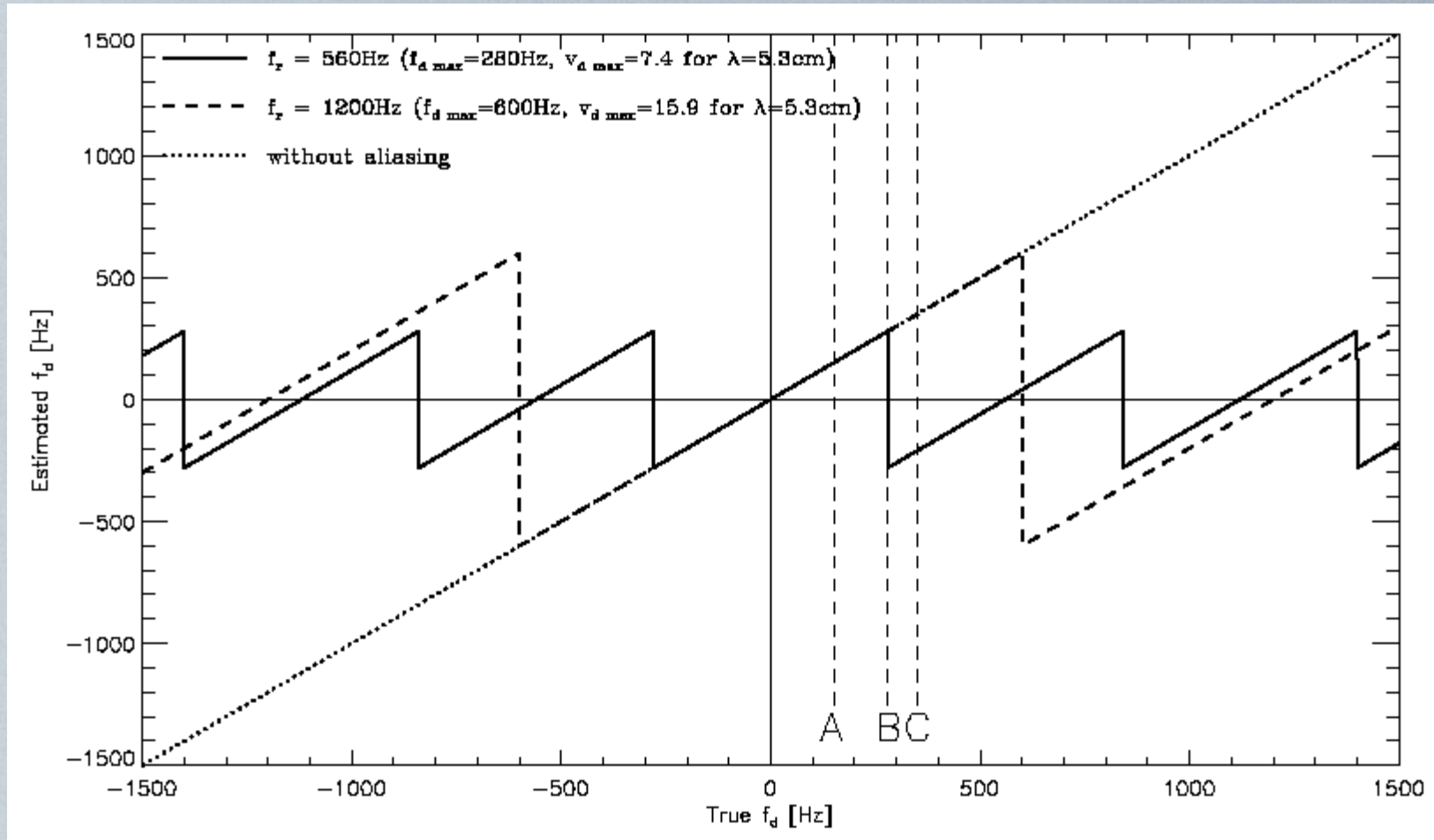
Fázový posun během vysílání jednotlivého pulsu je příliš malý (například pro $v_r = 20$ m/s a $\lambda = 5$ cm dostáváme $f_d = 800$ Hz a fázová změna $\omega_d \tau$ za dobu trvání pulsu $\tau = 1$ μ s je pouze 0.005°), proto se ω_d v dané vzdálenosti od radaru určuje ze dvou po sobě jdoucích pulsů. Pro dva následné pulsy $n-1$ a n měříme fázi přijatého signálu $\varphi_{r_{n-1}}$, φ_{r_n} během času $T_s = f_r^{-1}$

$$\frac{\Delta\varphi_r}{\Delta t} = \frac{\varphi_{r_n} - \varphi_{r_{n-1}}}{T_s} = \omega_d. \quad (7)$$

Dopplerovské dilema



Dopplerovské dilema



Dopplerovské dilema

- maximální jednoznačně určitelná rychlost - (z podstaty způsobu měření)

$$v_{dmax} = \frac{f_{dmax} \lambda}{2} = \frac{f_r \lambda}{4}.$$

- maximální , (second-trip echo)

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

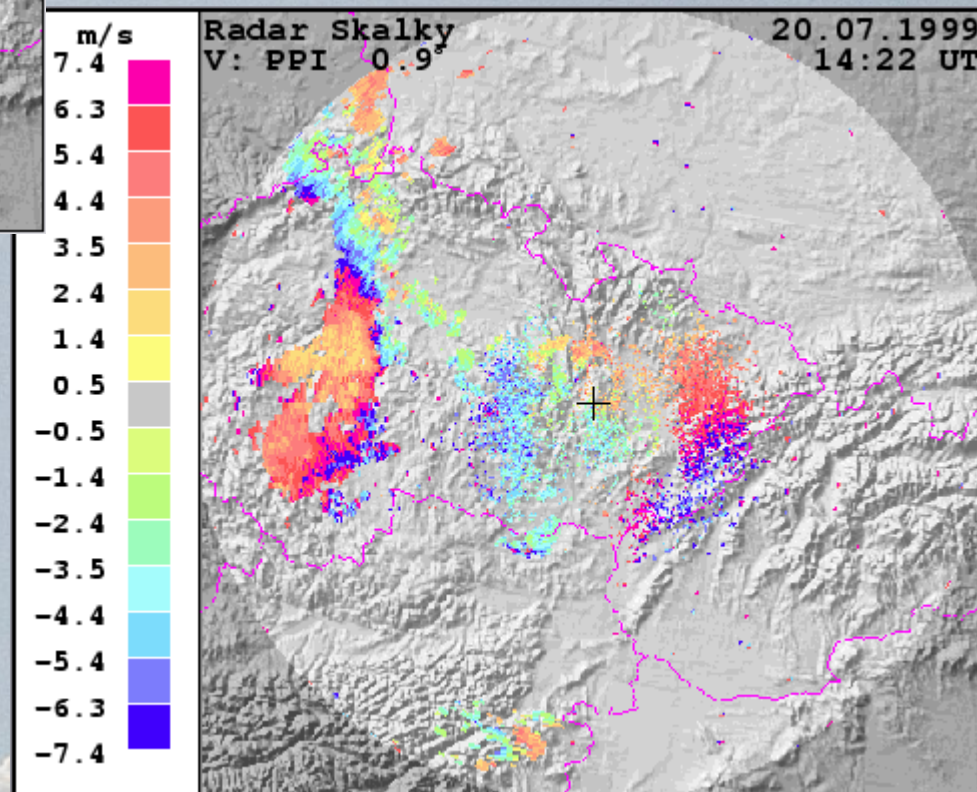
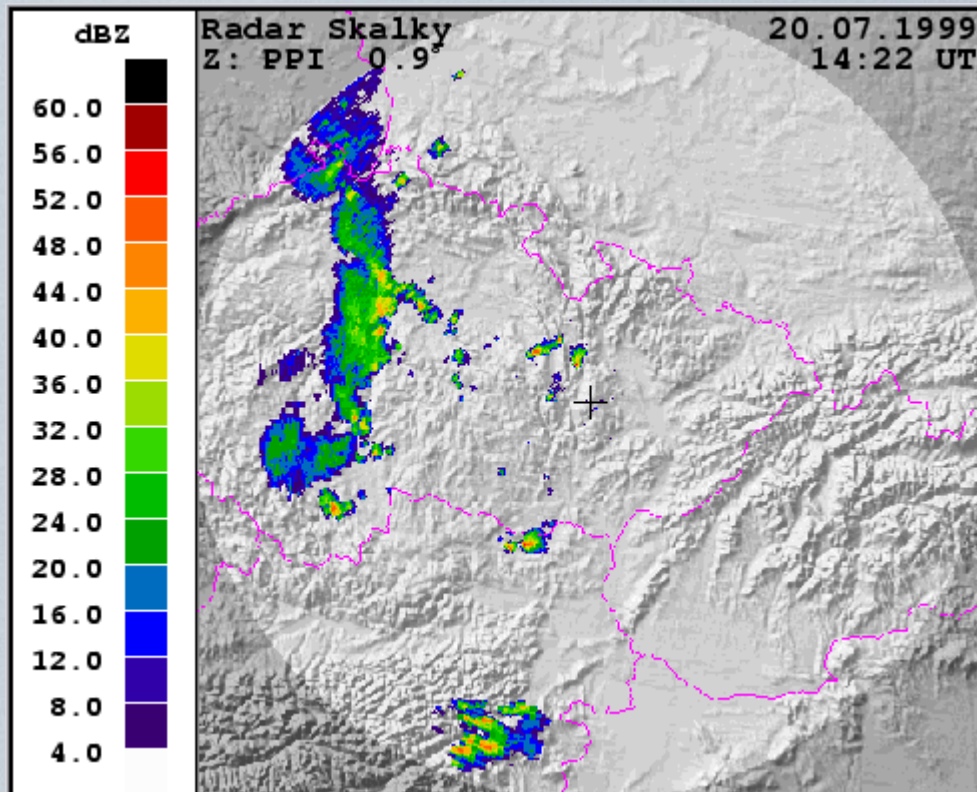
- kombinací získáváme vztah nazývaný dopplerovské dilema

$$v_{dmax} r_{max} = \frac{c\lambda}{8}.$$

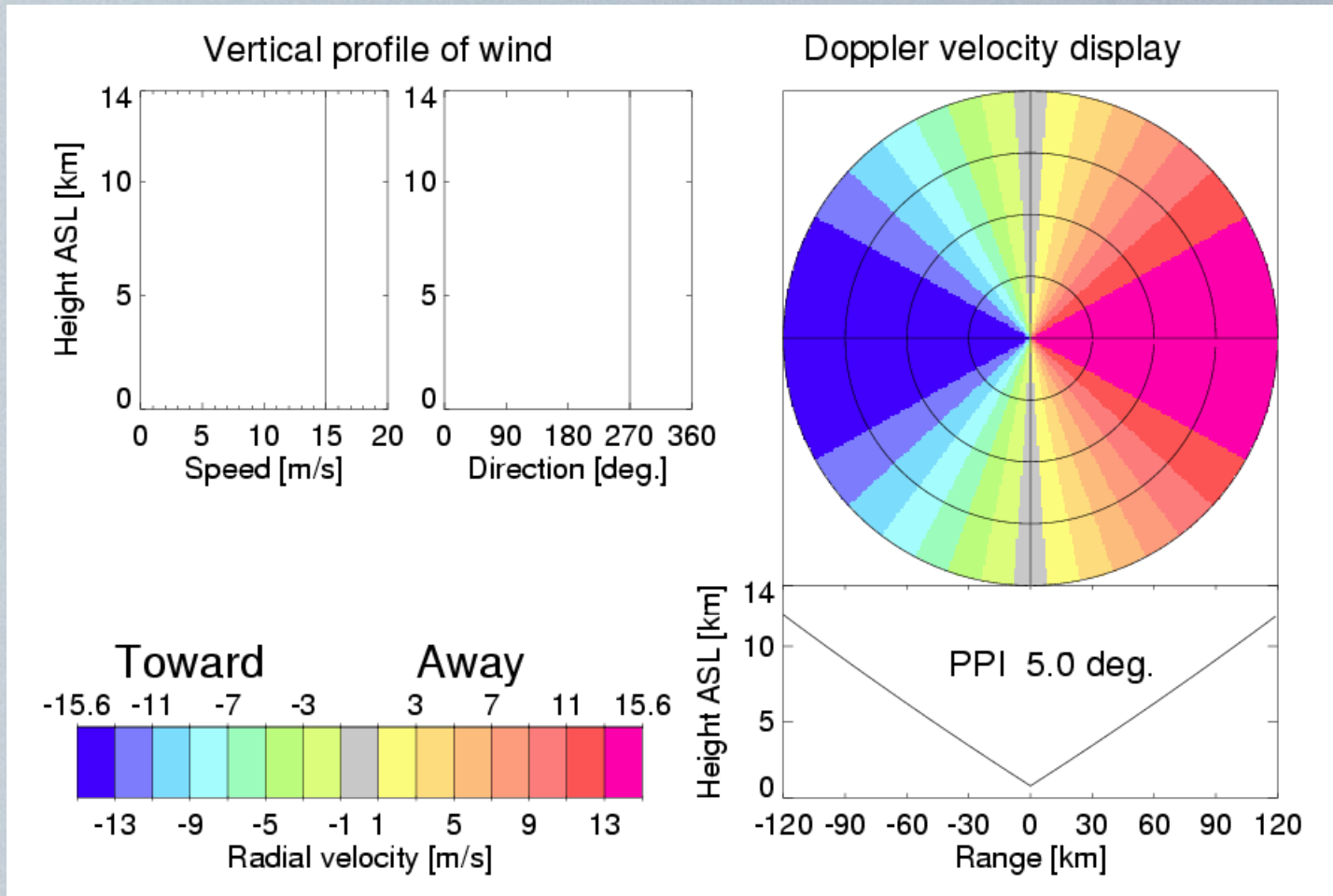
- není možné zároveň dosáhnout libovolně vysoké r_{max} a v_{dmax}

Hlavní operativní využití dopplerovských rychlostí

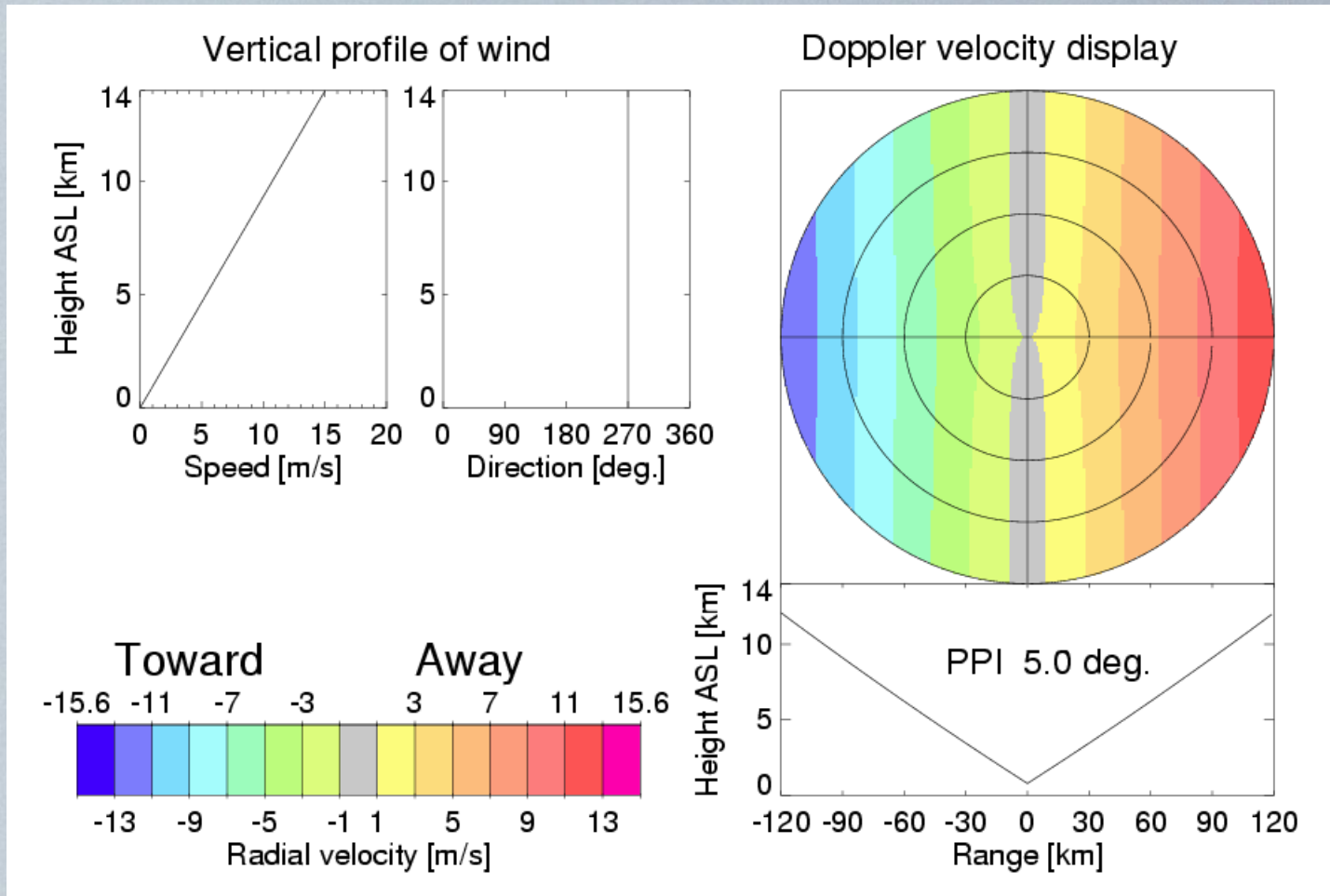
- identifikace (a následné vymazávání) odrazů od pozemních cílů ($V = 0$)
- analýza proudění ve srážkové oblačnosti (radiální rychlosti PPI, RHI) - detekce rotace, divergence (mezocyklony, tornáda)
- výpočet vertikálního profilu větru za předpokladu horizontálně konstantního proudění (pouze za přítomnosti odražečů)
- vyhodnocení šířky spektra σ vztahující se k intenzitě turbulence



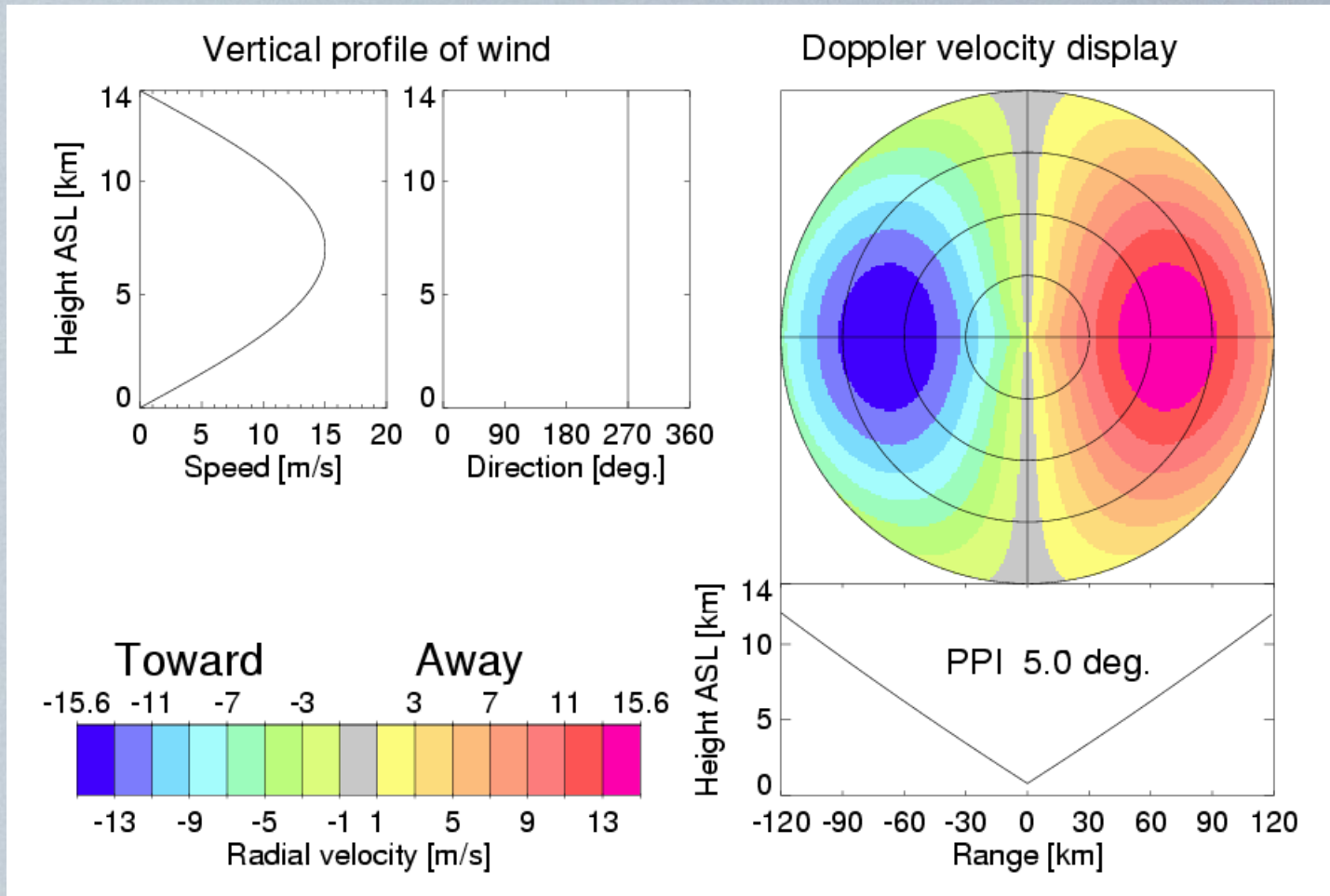
Umělá data radiálních rychlostí



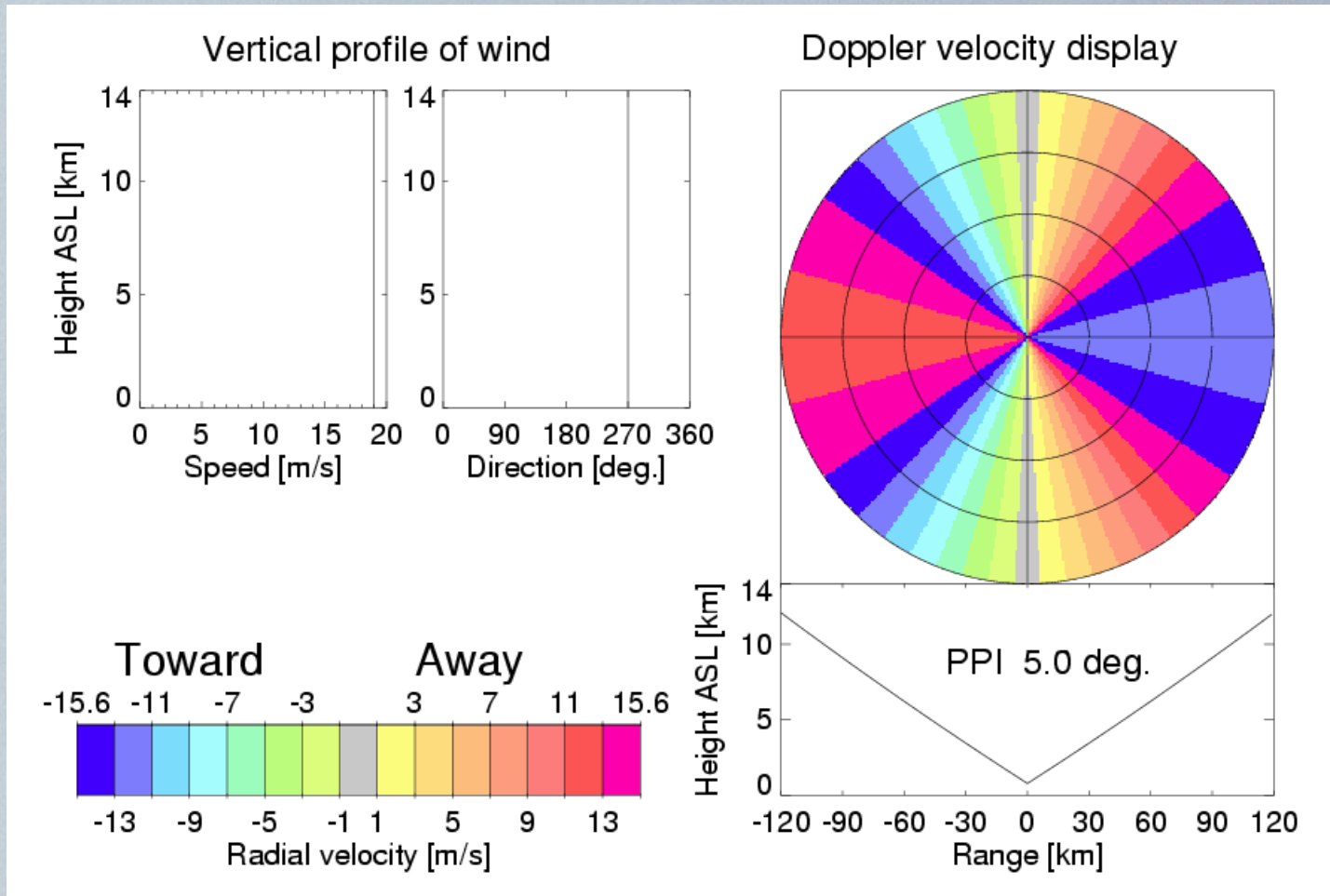
Umělá data radiálních rychlostí



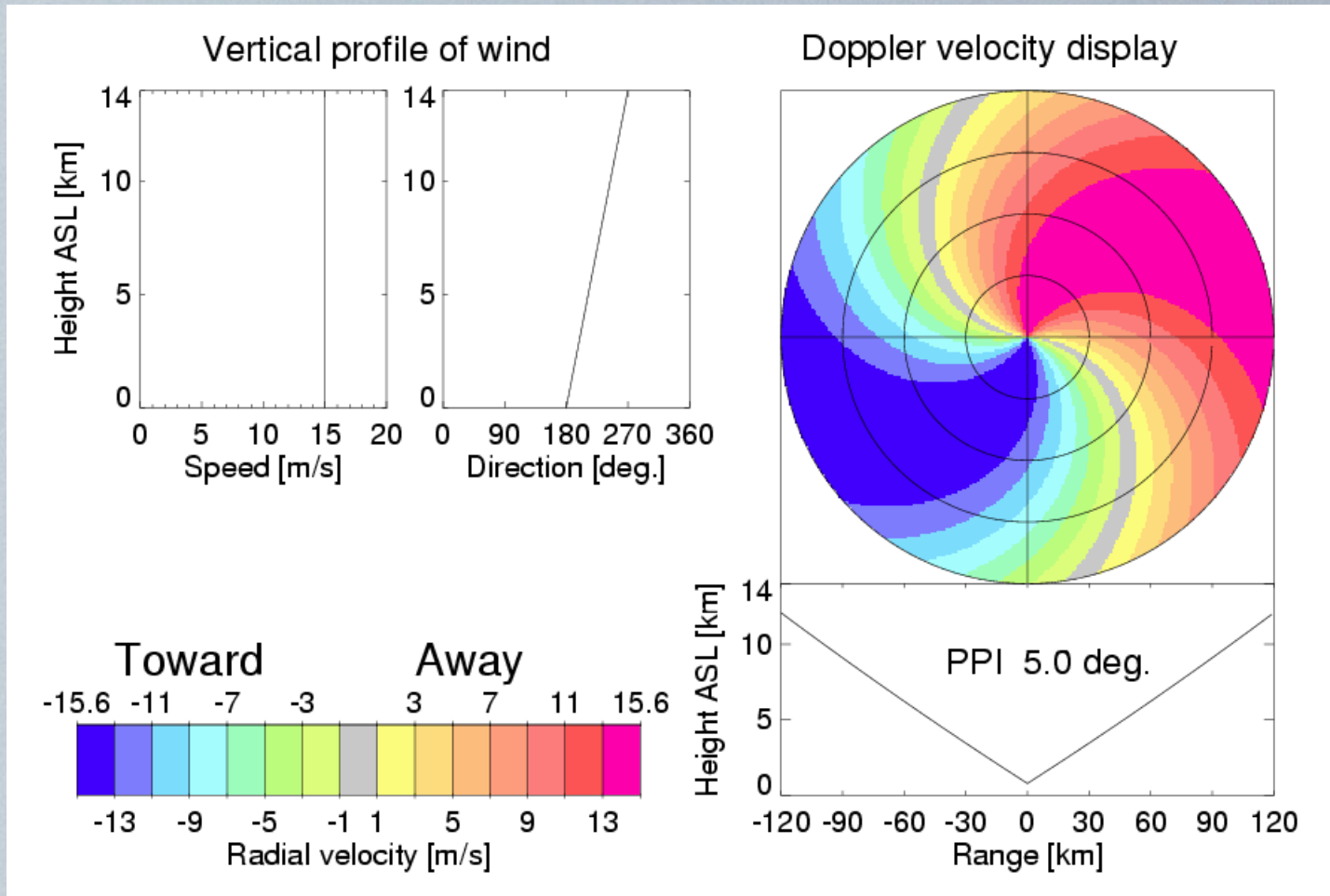
Umělá data radiálních rychlostí



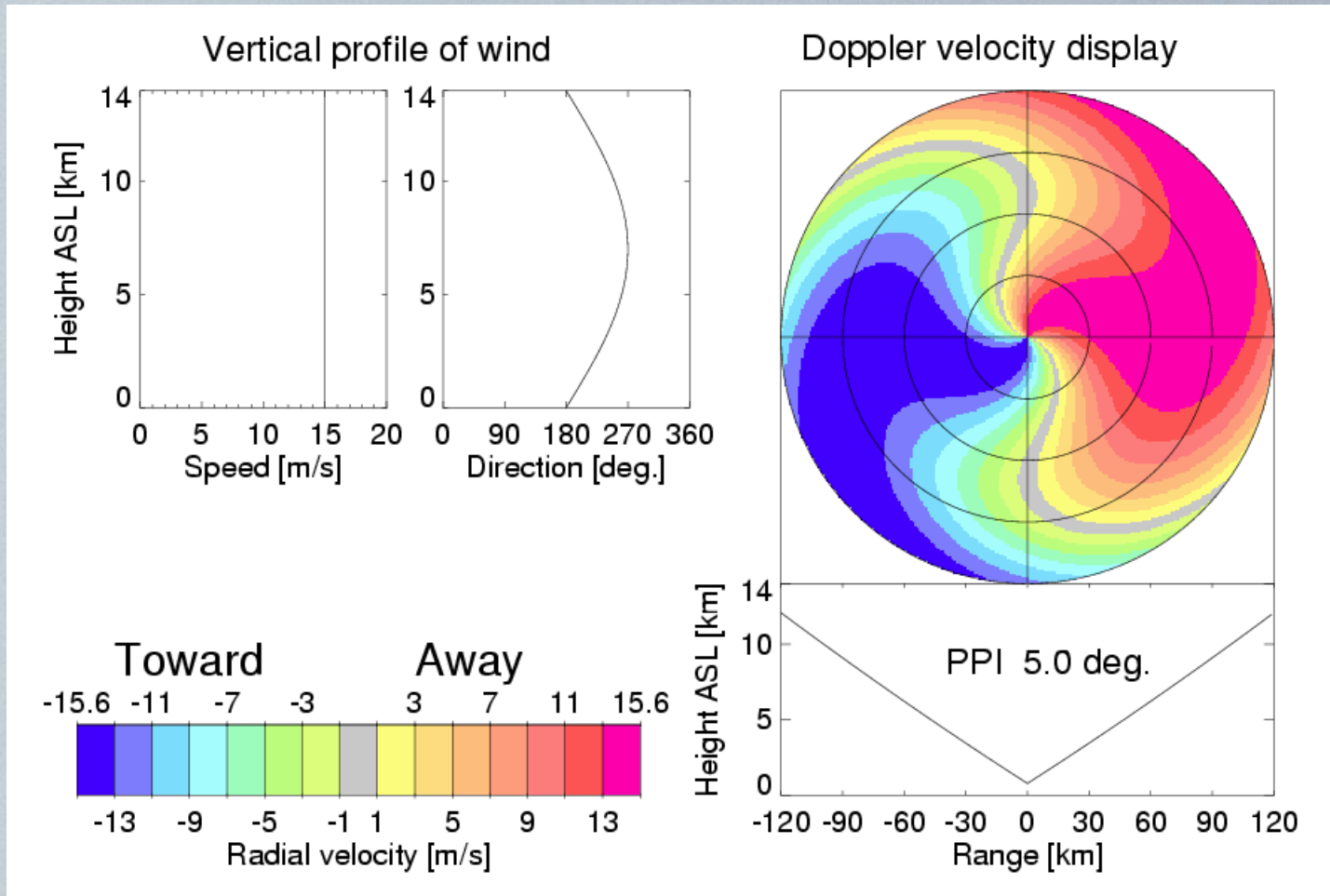
Umělá data radiálních rychlostí



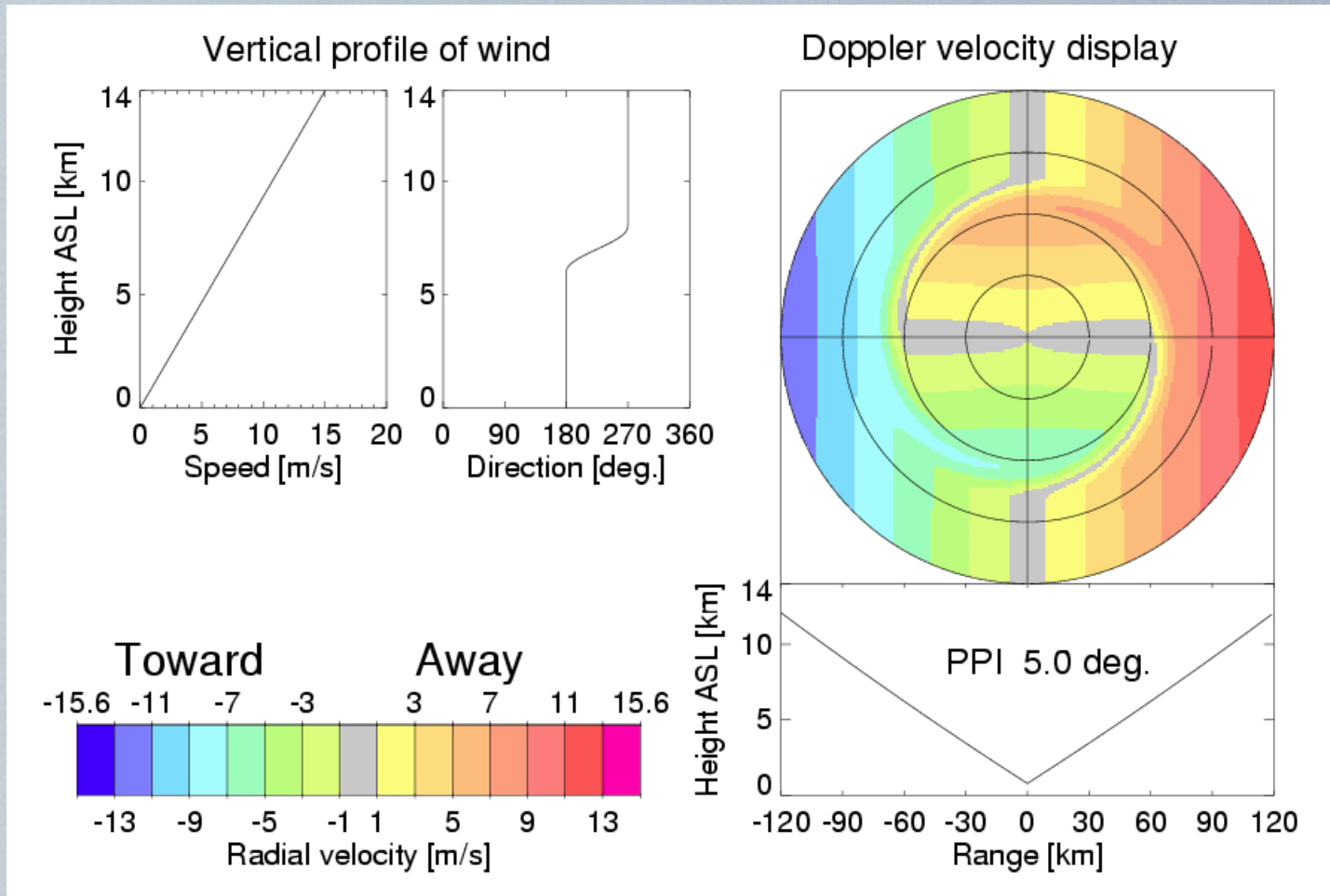
Umělá data radiálních rychlostí



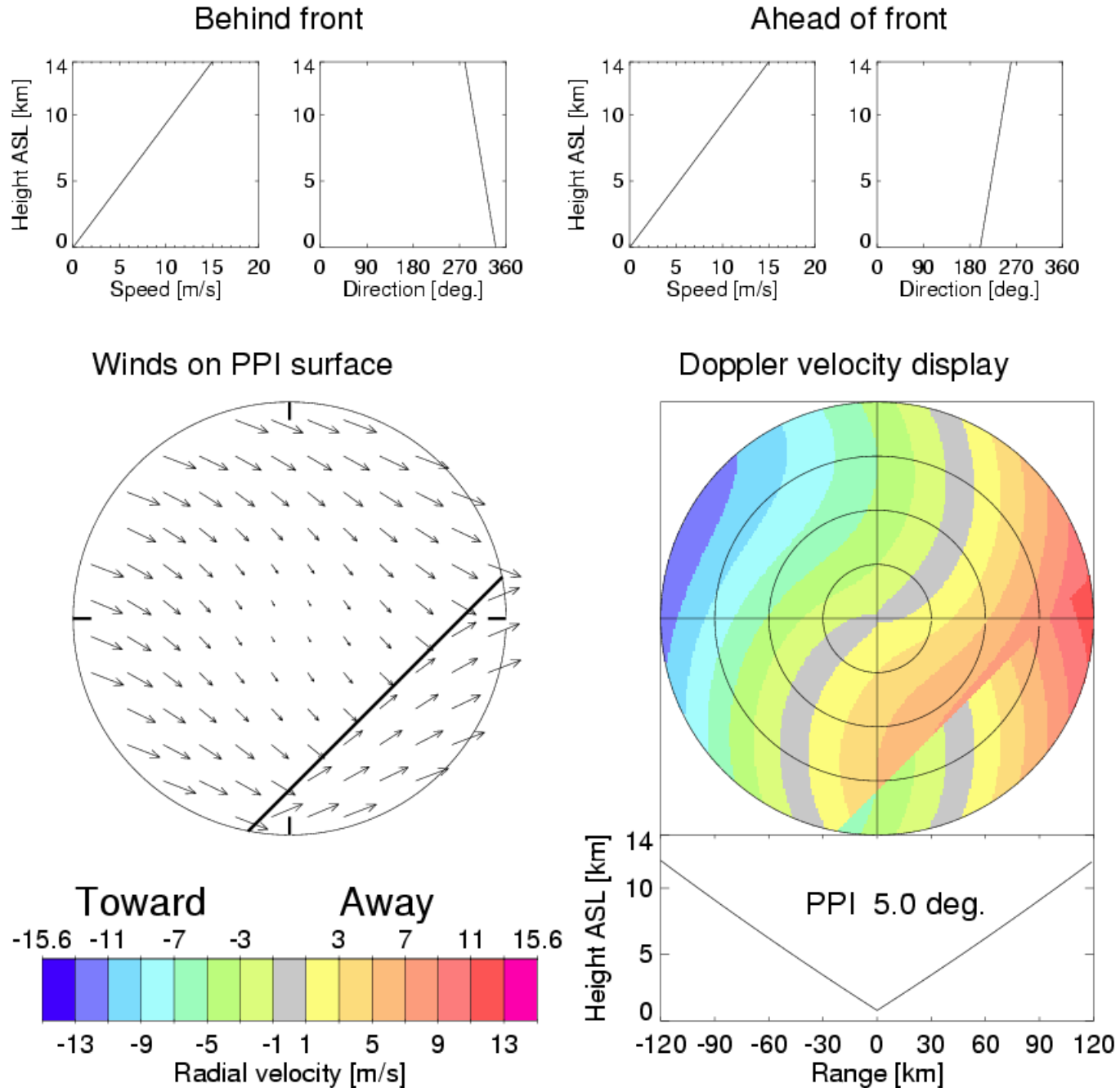
Umělá data radiálních rychlostí



Umělá data radiálních rychlostí

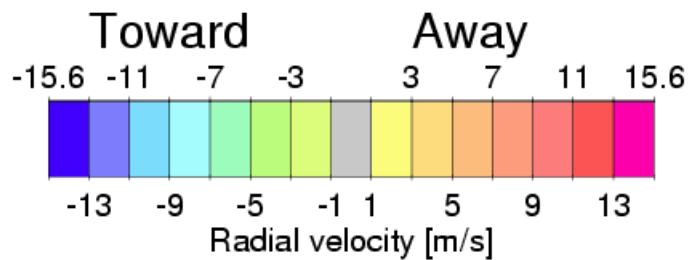
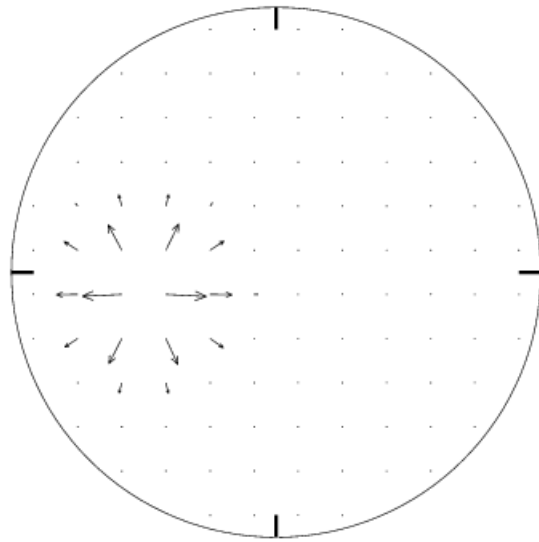


Umělá data radiálních rychlostí

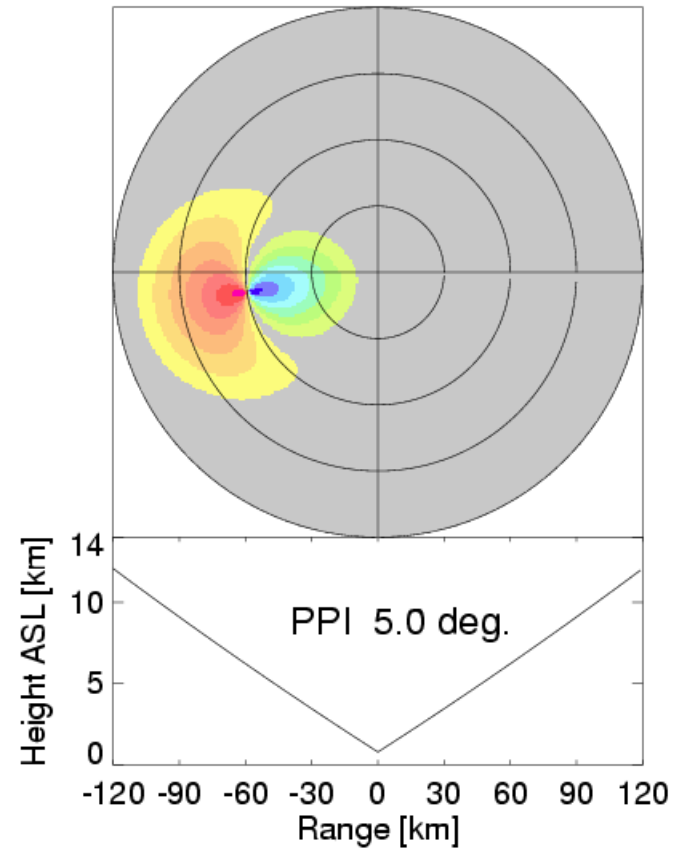


Umělá data radiálních rychlostí

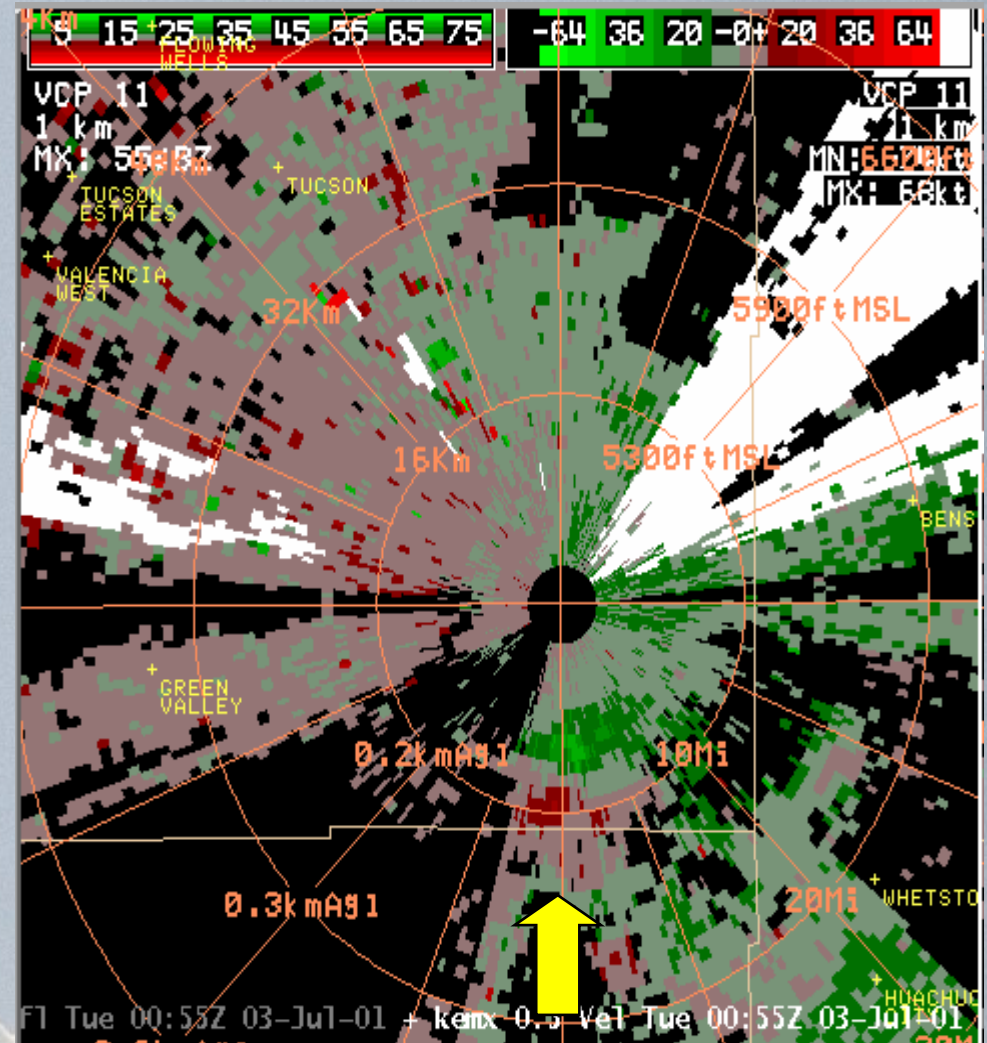
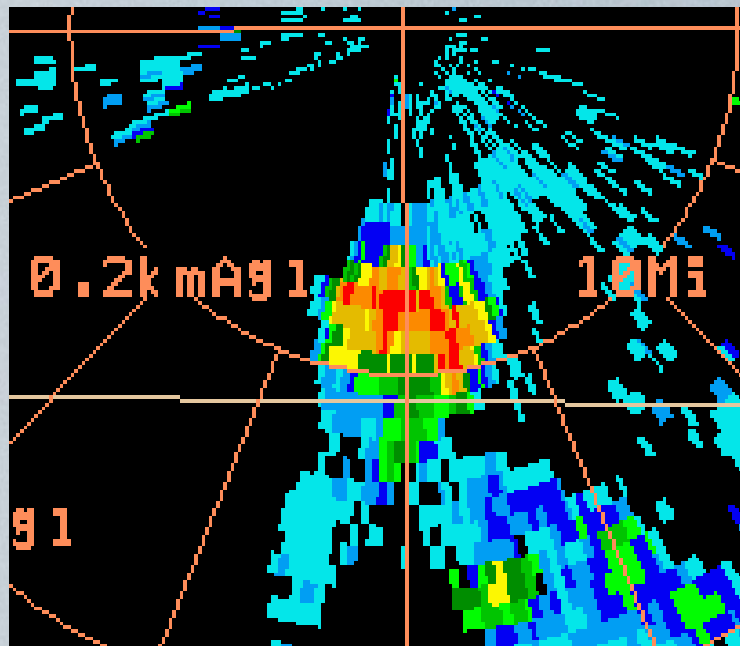
Winds on PPI surface



Doppler velocity display

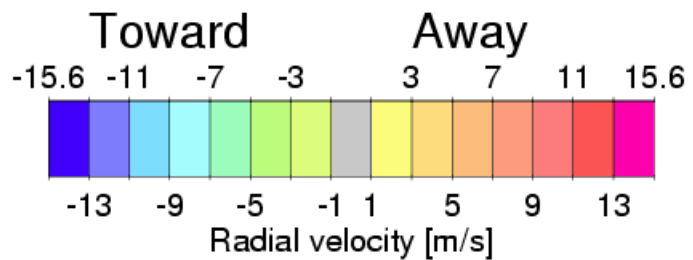
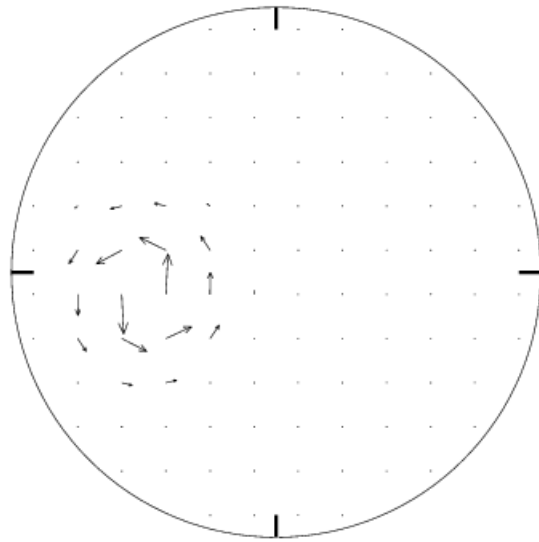


Pulse Storm Downbursts

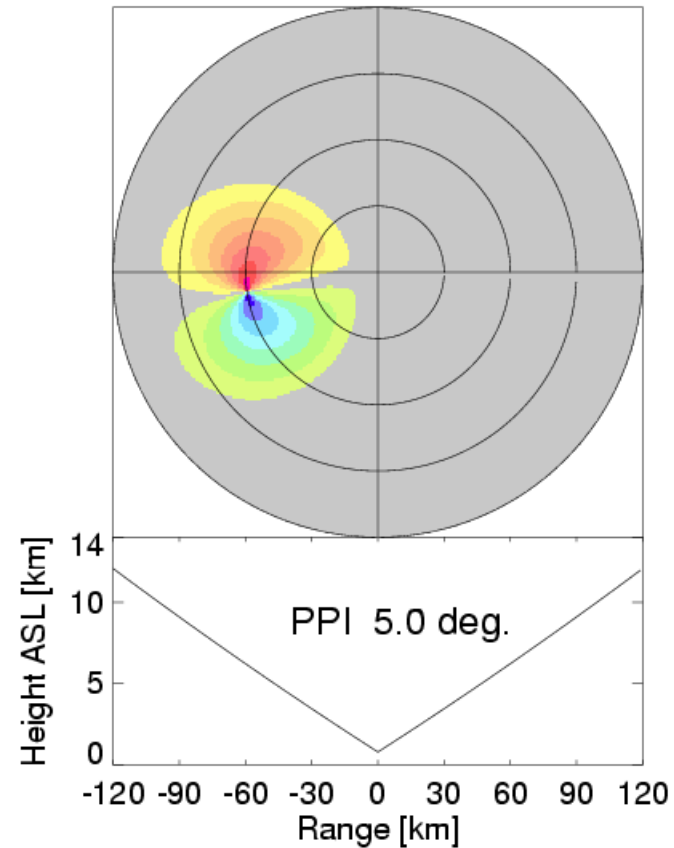


Umělá data radiálních rychlostí

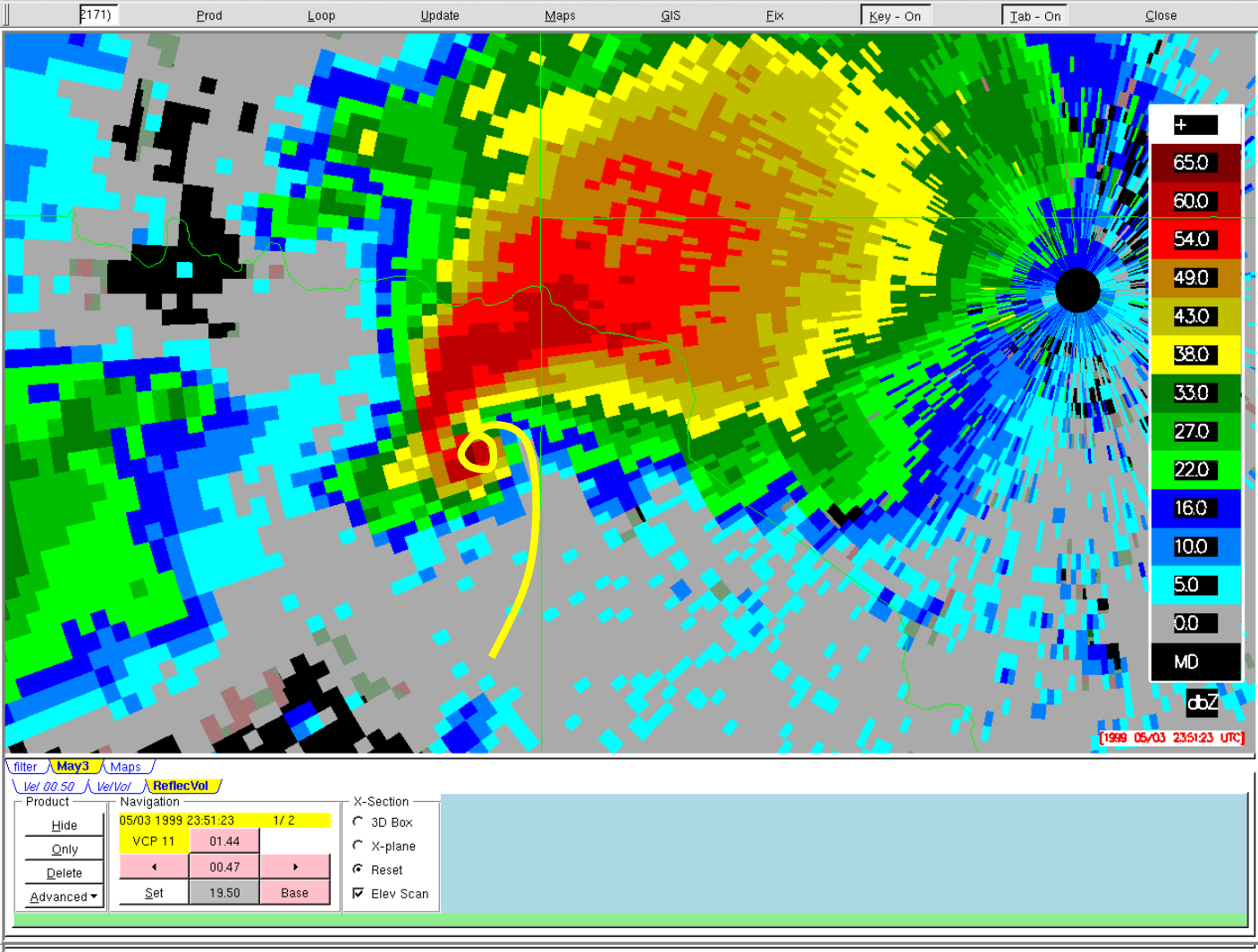
Winds on PPI surface



Doppler velocity display

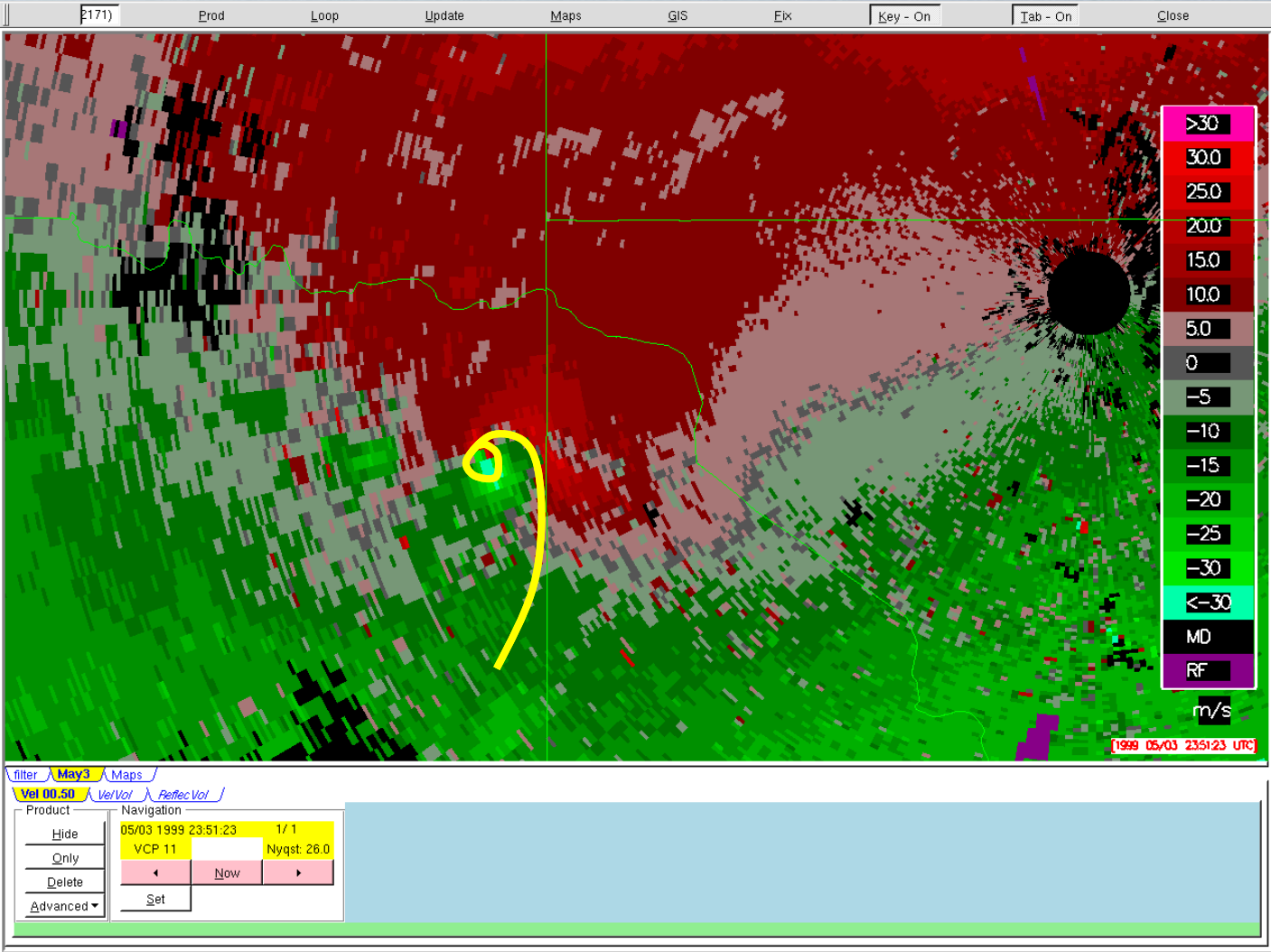


CL Supercell Example (3 May 99 OKC)



Reflectivity

CL Supercell Example (3 May 99 OKC)

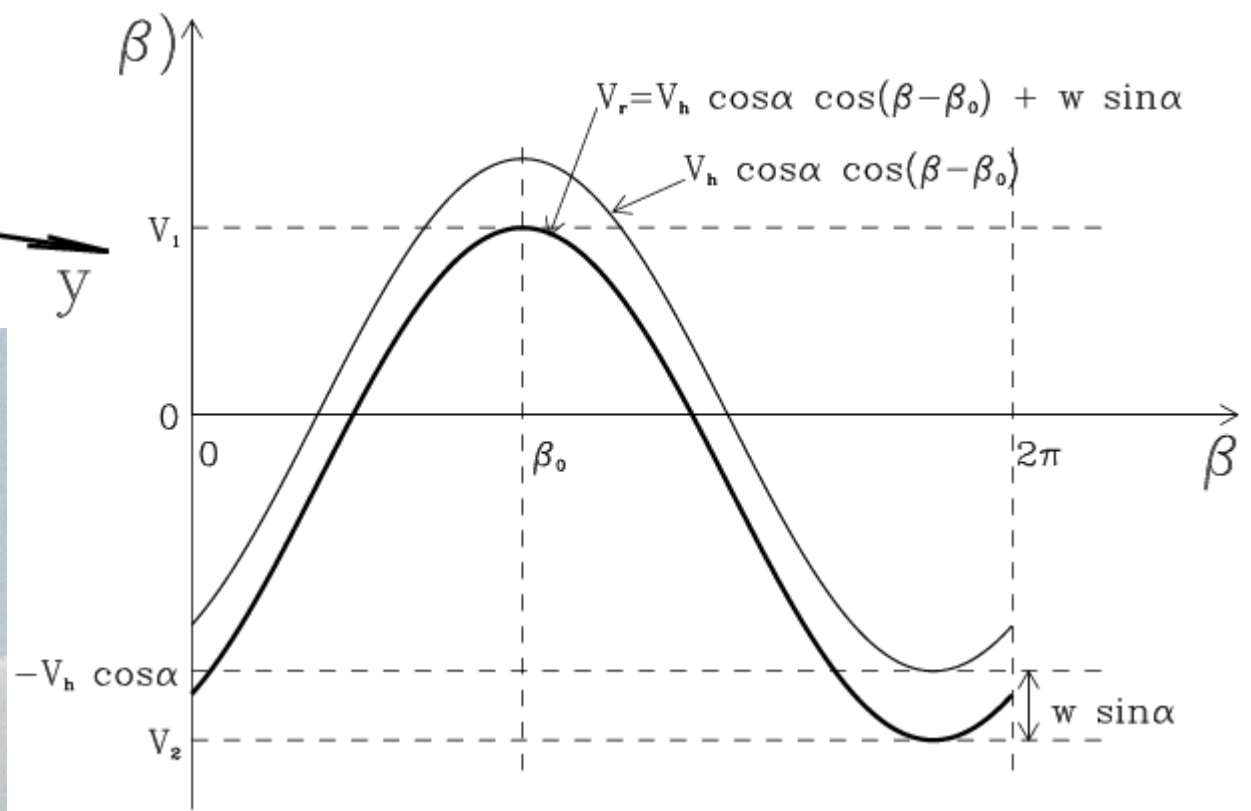
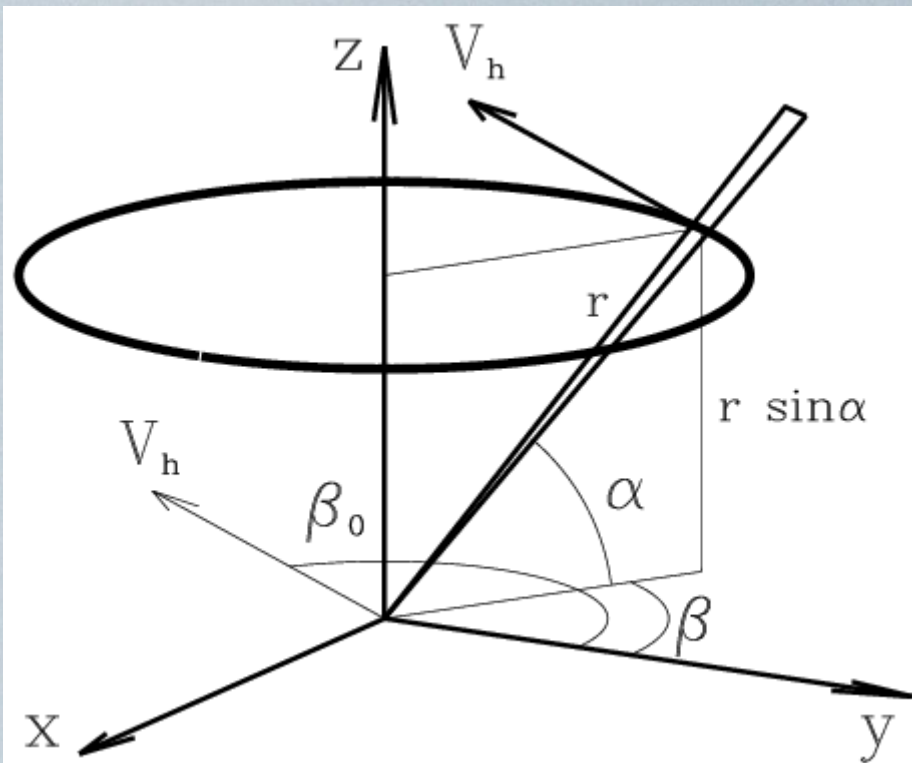


Velocity

VAD - Velocity Azimuth Display

Data radiálních rychlostí z konstantní vzdálenosti (konstantní výšky) jsou vyznačeny jako funkce azimutu.

Horizontálně uniformní pole proudění -> funkce sinus



$$\bar{V}_h = \frac{V_1 - V_2}{2 \cos \alpha}$$

$$\bar{w} = \frac{V_1 + V_2}{2 \sin \alpha}$$

Modifikovaný VAD algorithmus

- kontrola dat - odmítnutí špatných dat radiálních rychlostí
- „de-aliasing“ radiálních rychlostí
- „napasování“ sinusovky VAD do vyfiltrovaných a de-aliasovaných dat radiálních rychlostí
- finální kontrola kvality

Odmítnutí špatných dat radiálních rychlostí

- Odmítnutí rychlostí menších než definovaný práh
- kontrola konzistence dat v azimutu a velikosti rychlosti = odstranění odlehlých hodnot

De-aliasing radiálních rychlostí

$$v(\beta) = a_0 + a_1 \cos \beta - b_1 \sin \beta$$

- výpočet derivací radiálních rychlostí podle azimutu - tyto derivace nejsou aliasované
- „napasování“ sinusovky do dat derivací rychlostí

$$\frac{dv(\beta)}{d\beta} = -a_1 \sin \beta - b_1 \cos \beta$$

- výpočet „prvního odhadu větru“

$$v_{1g}(\beta) = a_1 \cos \beta - b_1 \sin \beta$$

De-aliasing radiálních rychlostí

- porovnání naměřených radiálních rychlostí s „prvním odhadem větru“ a s posunutými odhady ($\pm 2 \cdot v_{max}$, $\pm 4 \cdot v_{max}$)
- pokud je naměřená rychlost blíže k některému z posunutých odhadů je provedena patřičná korekce

VAD Calculation

- „napasování“ VAD sinusovky do filtrovaných a de-aliasovaných dat radiálních rychlostí

$$v^*(\beta) = a_0^* + a_1^* \cos \beta - b_1^* \sin \beta$$

- výpočet horizontální a vertikální složky větru

$$u_0 = \frac{-b_1^*}{\cos \alpha}, \quad v_0 = \frac{a_1^*}{\cos \alpha}$$

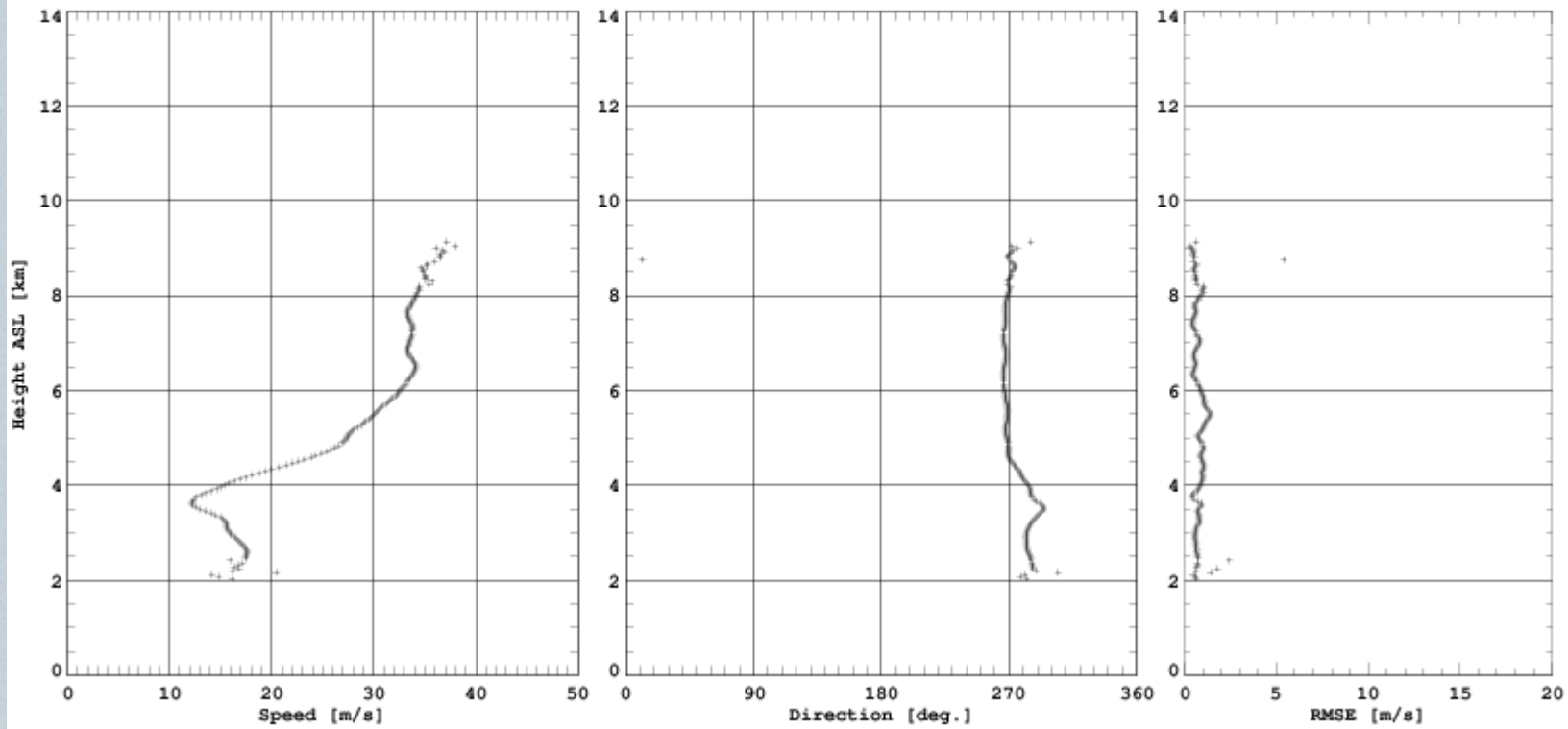
$$V_{h_speed} = \sqrt{u_0^2 + v_0^2}$$

$$V_{h_direction} = \left(\left(\frac{180}{\pi} \operatorname{atan}(u_0, v_0) + 180 \right) \bmod 360 \right)$$

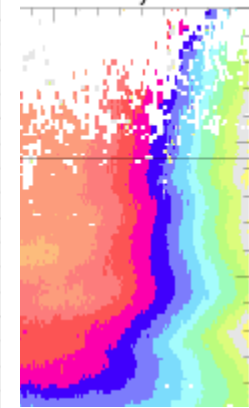
$$w = \frac{a_0^*}{\sin \alpha}$$

Radar Skalky - 11.05.1999 06:48 UT El: 19.5°

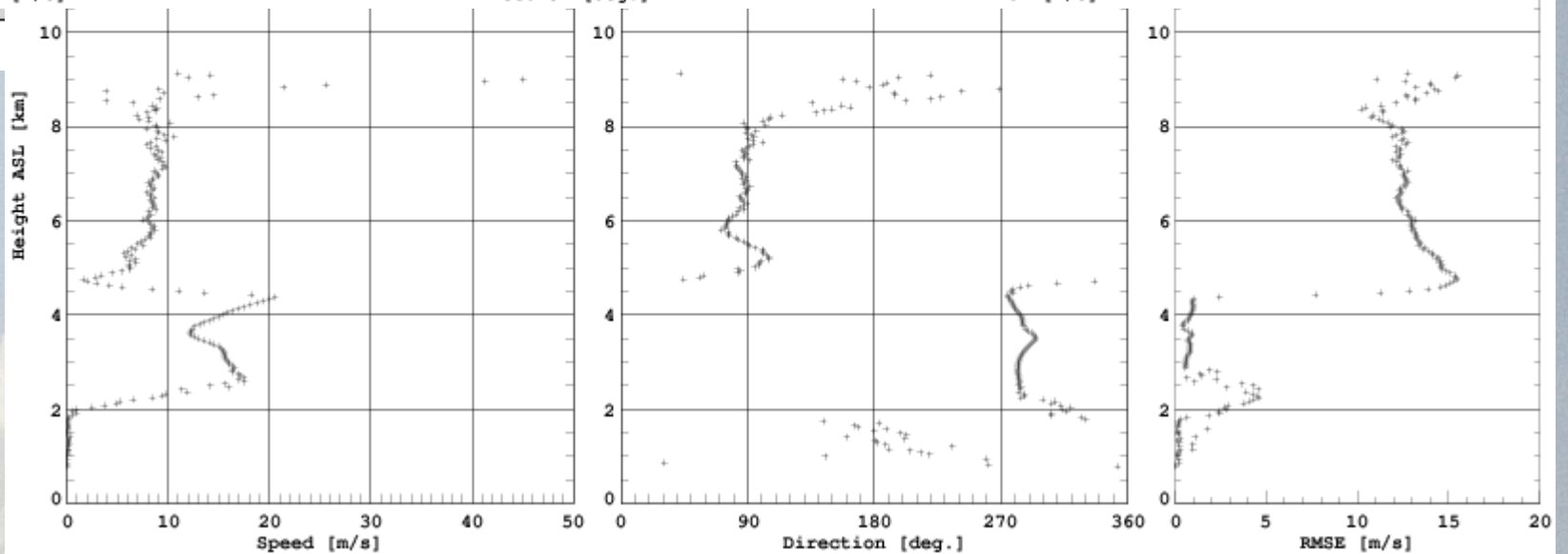
Vertical profile of horizontal wind - (VAD algorithm including BSR and velocity dealiasing)



Radar Skalky



ed data)

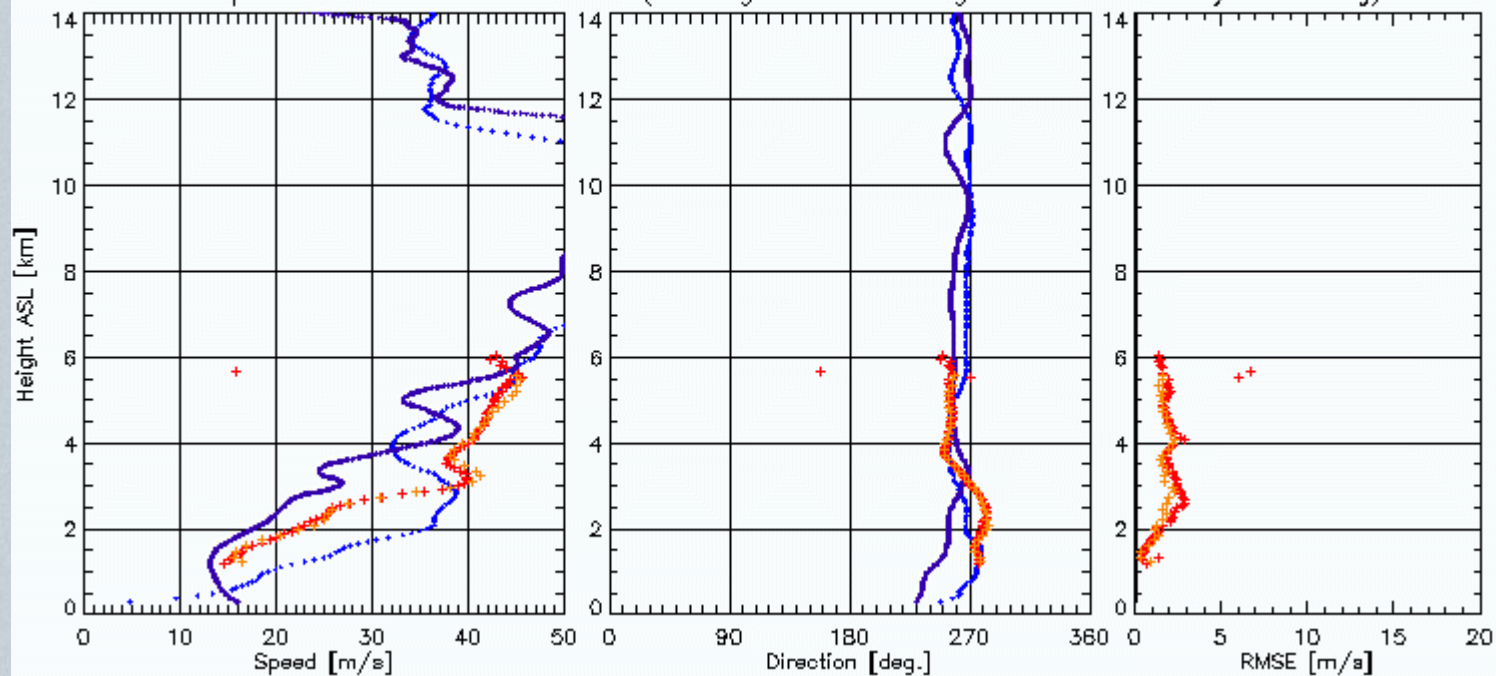


VAD Data Display

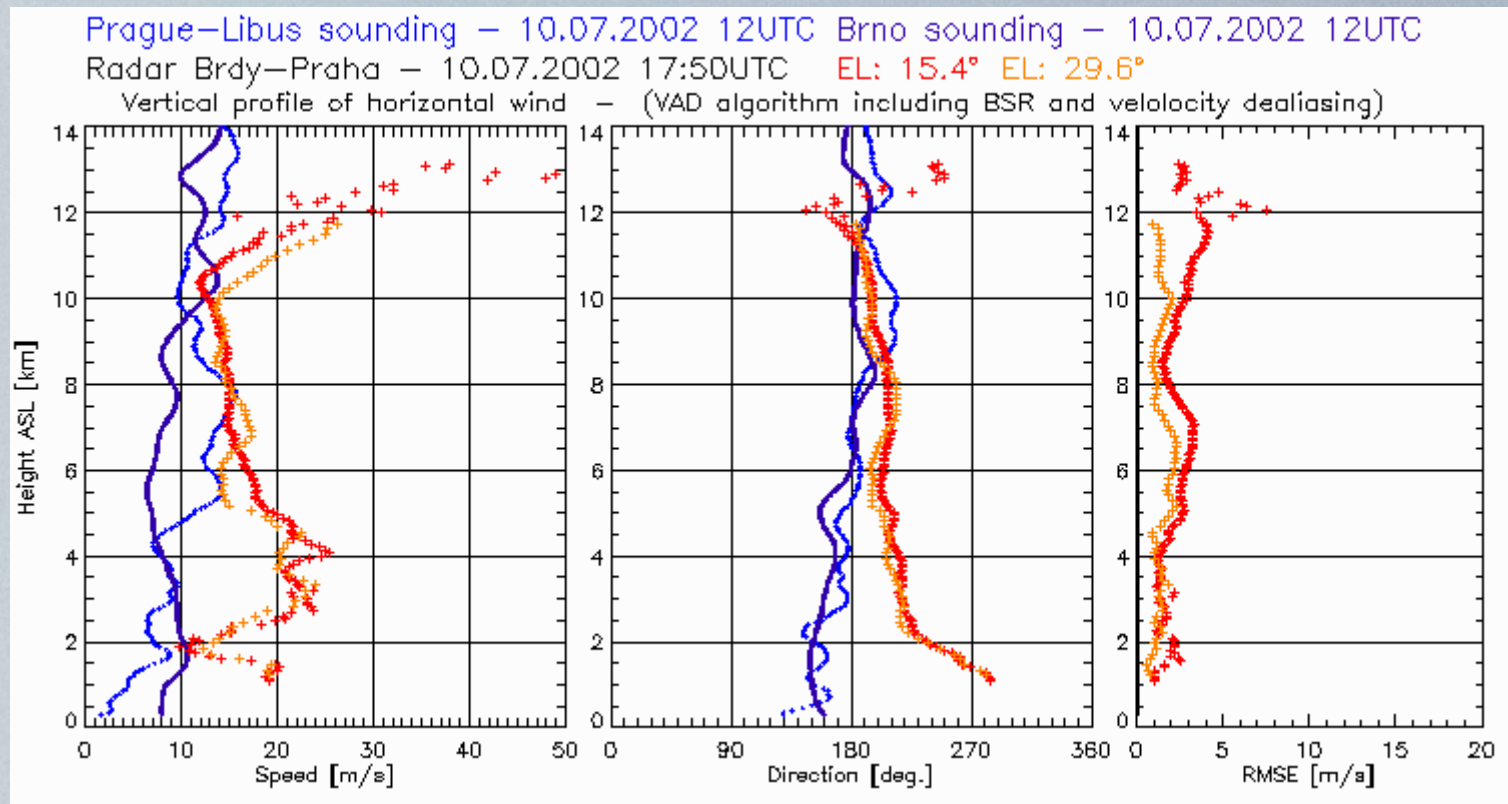
Prague-Libus sounding - 27.02.2002 12UTC Brno sounding - 27.02.2002 12UTC

Radar Brdy-Praha - 27.02.2002 14:30UTC EL: 15.4° EL: 29.9°

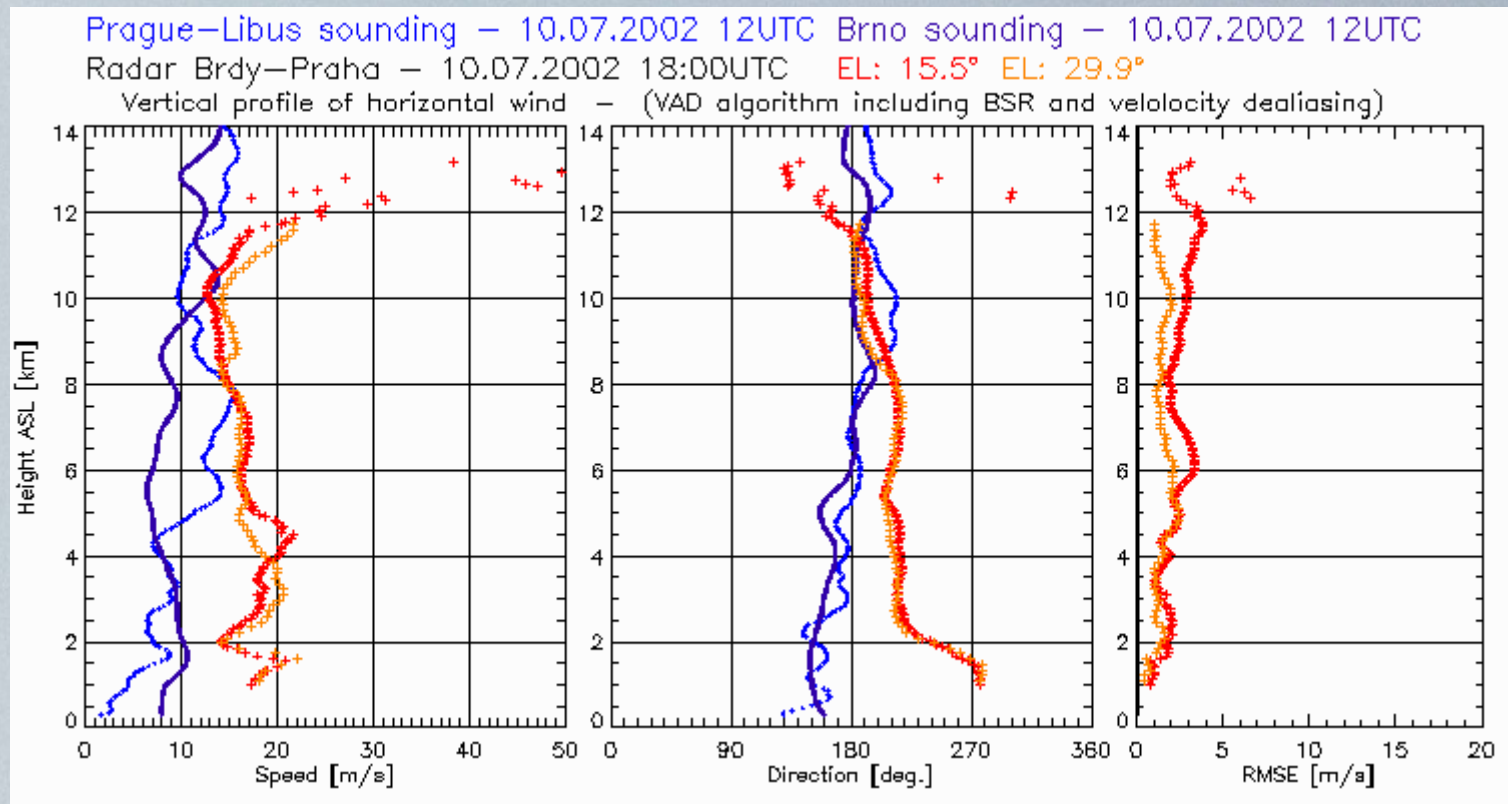
Vertical profile of horizontal wind - (VAD algorithm including BSR and velocity dealiasing)



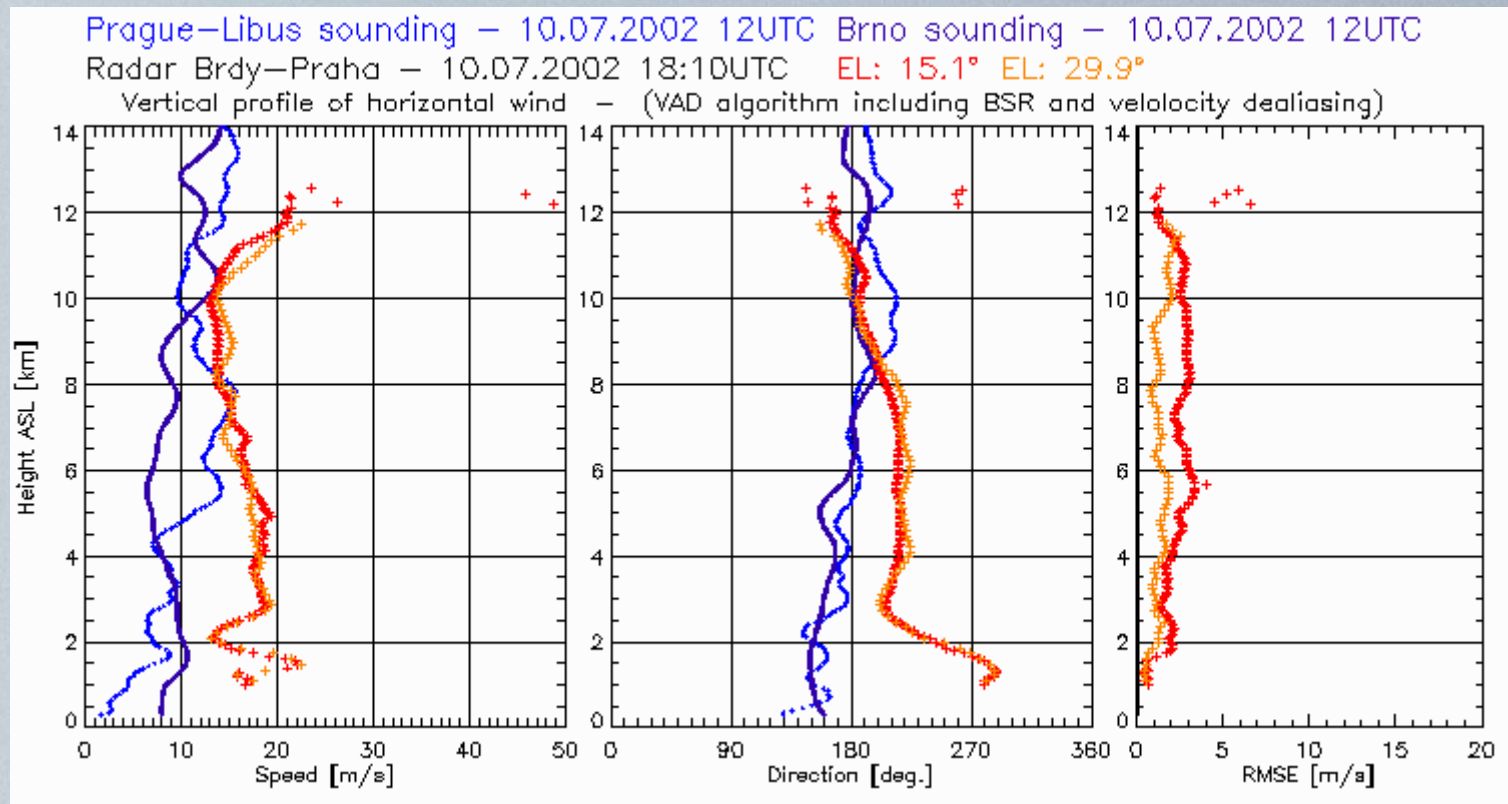
VAD Data Display



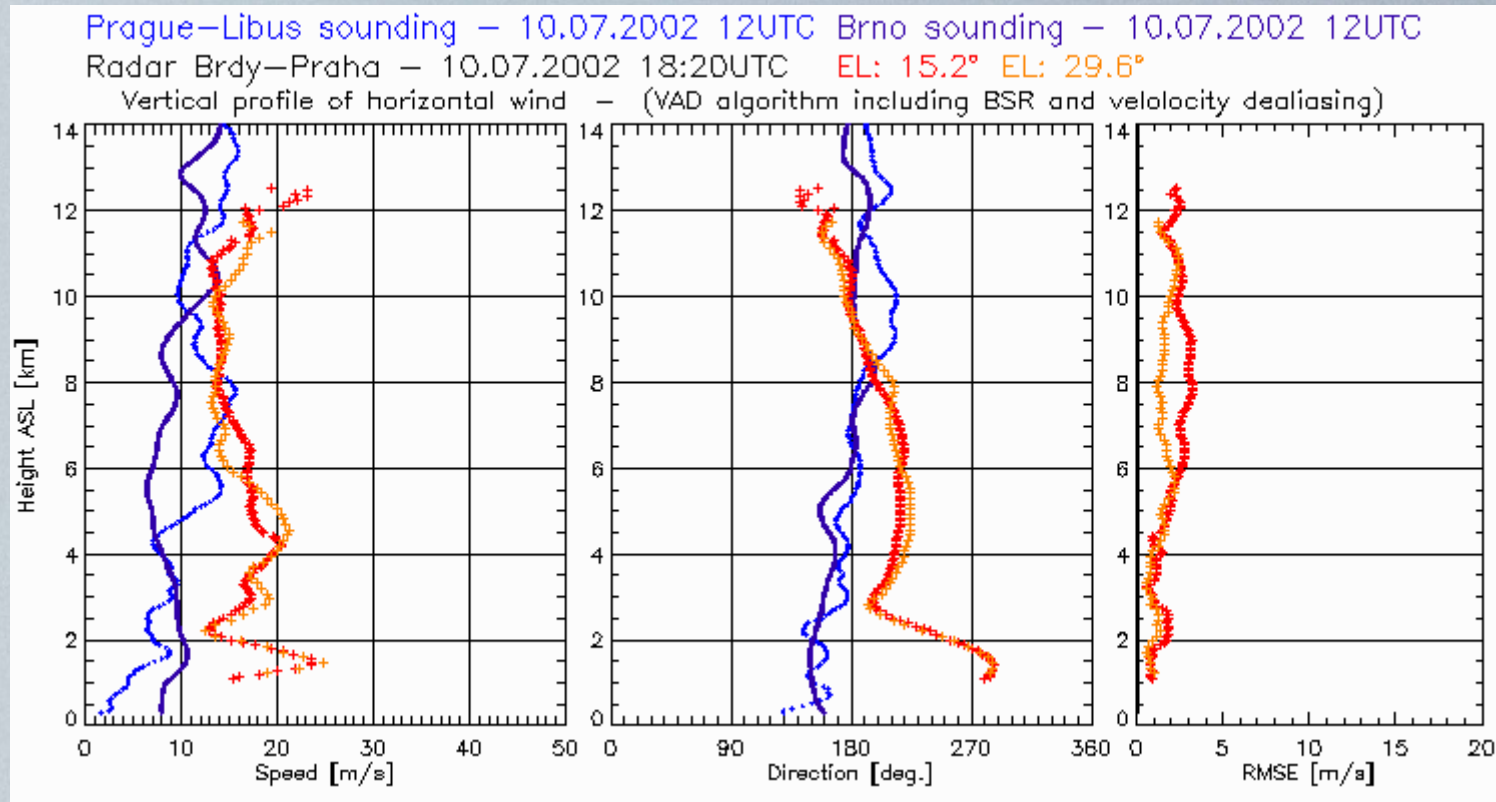
VAD Data Display



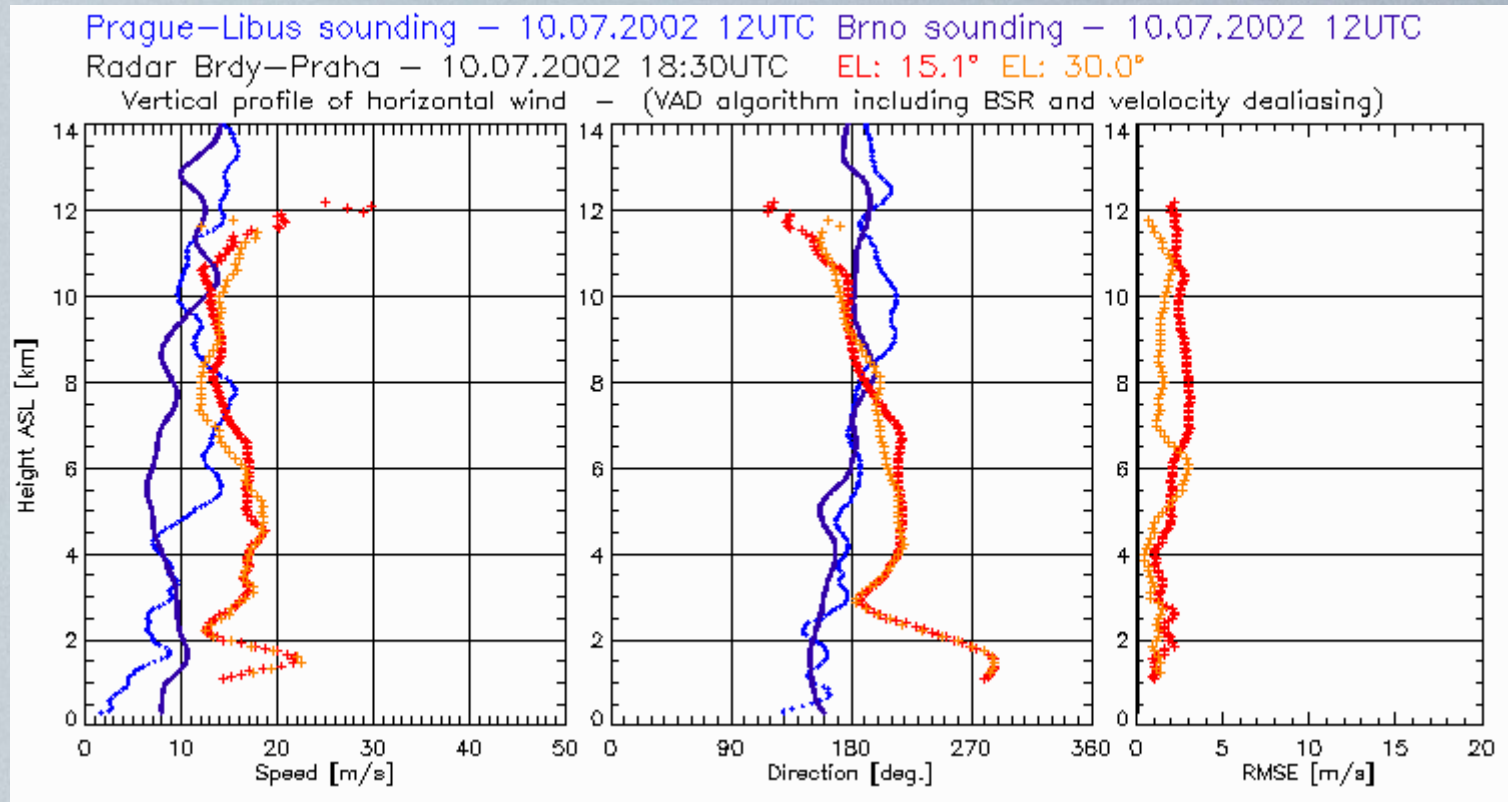
VAD Data Display



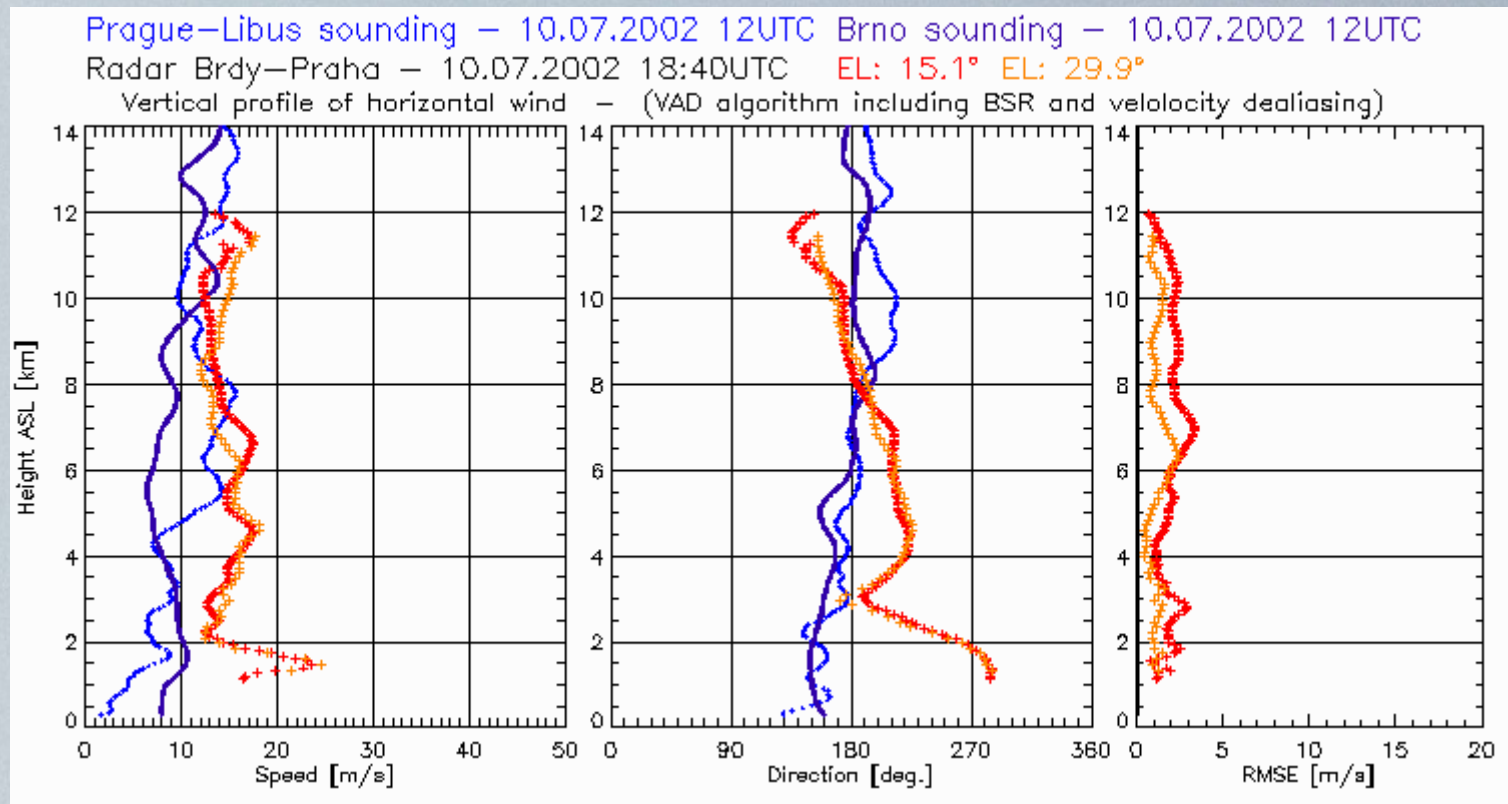
VAD Data Display



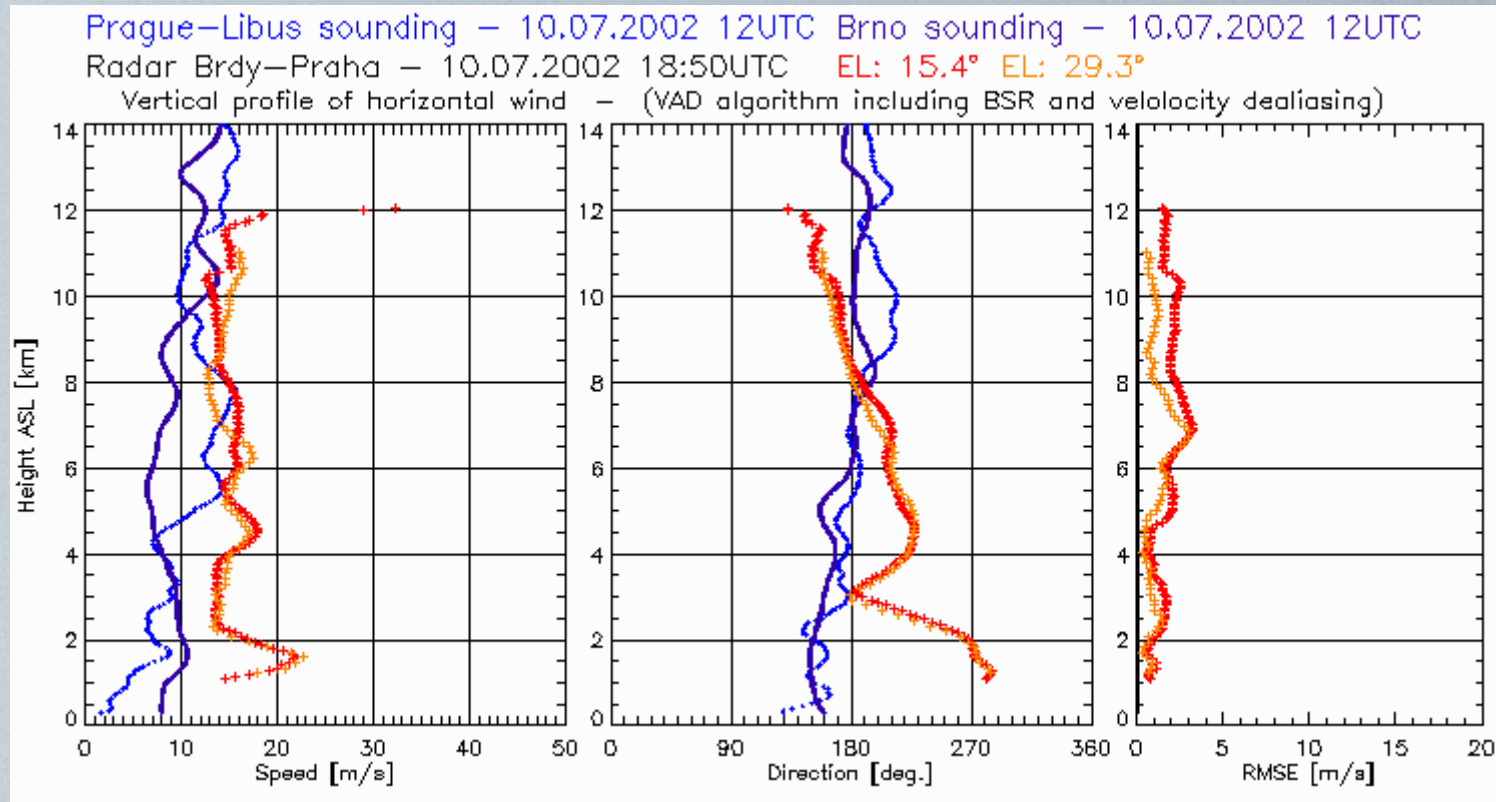
VAD Data Display



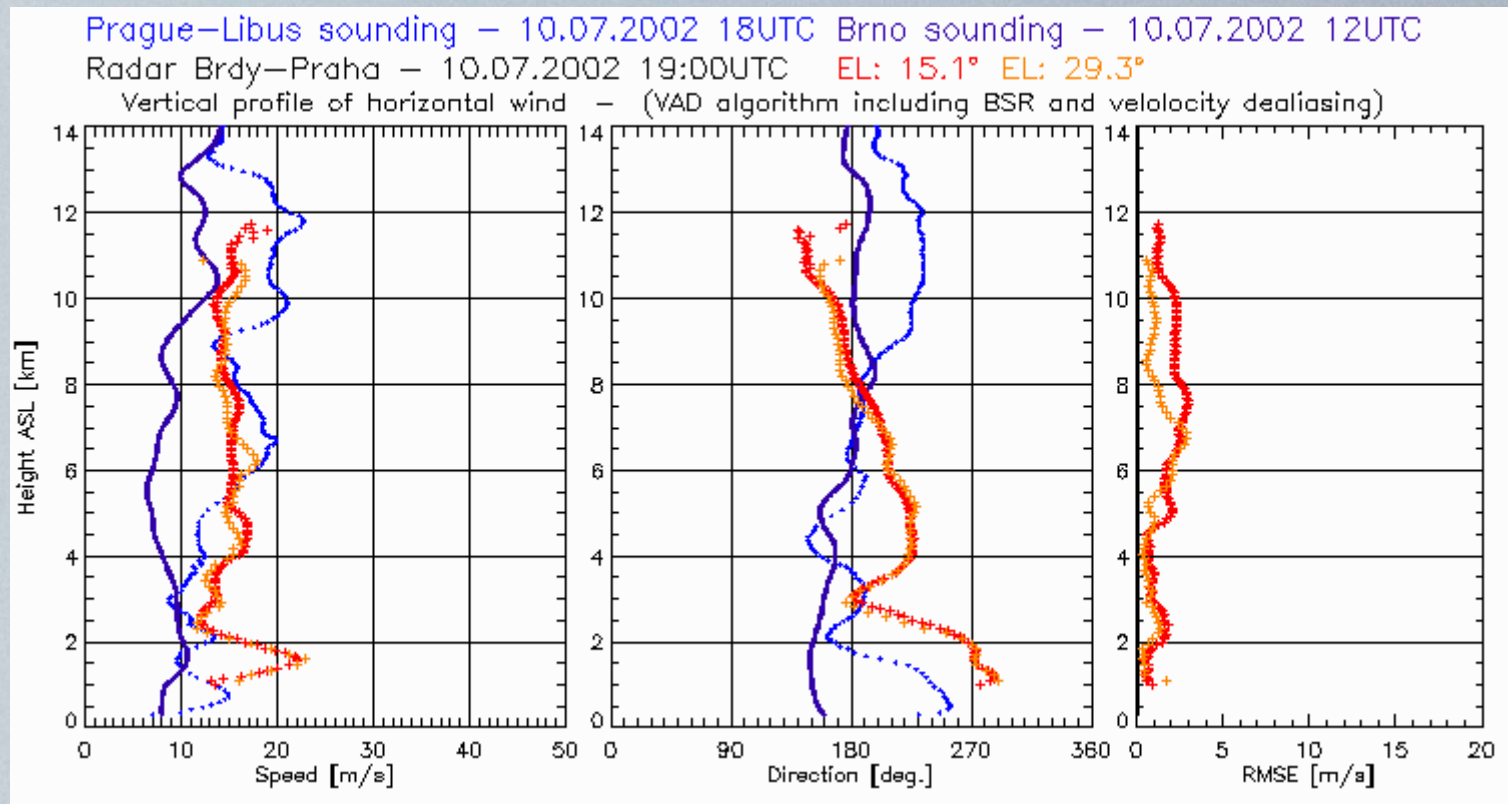
VAD Data Display



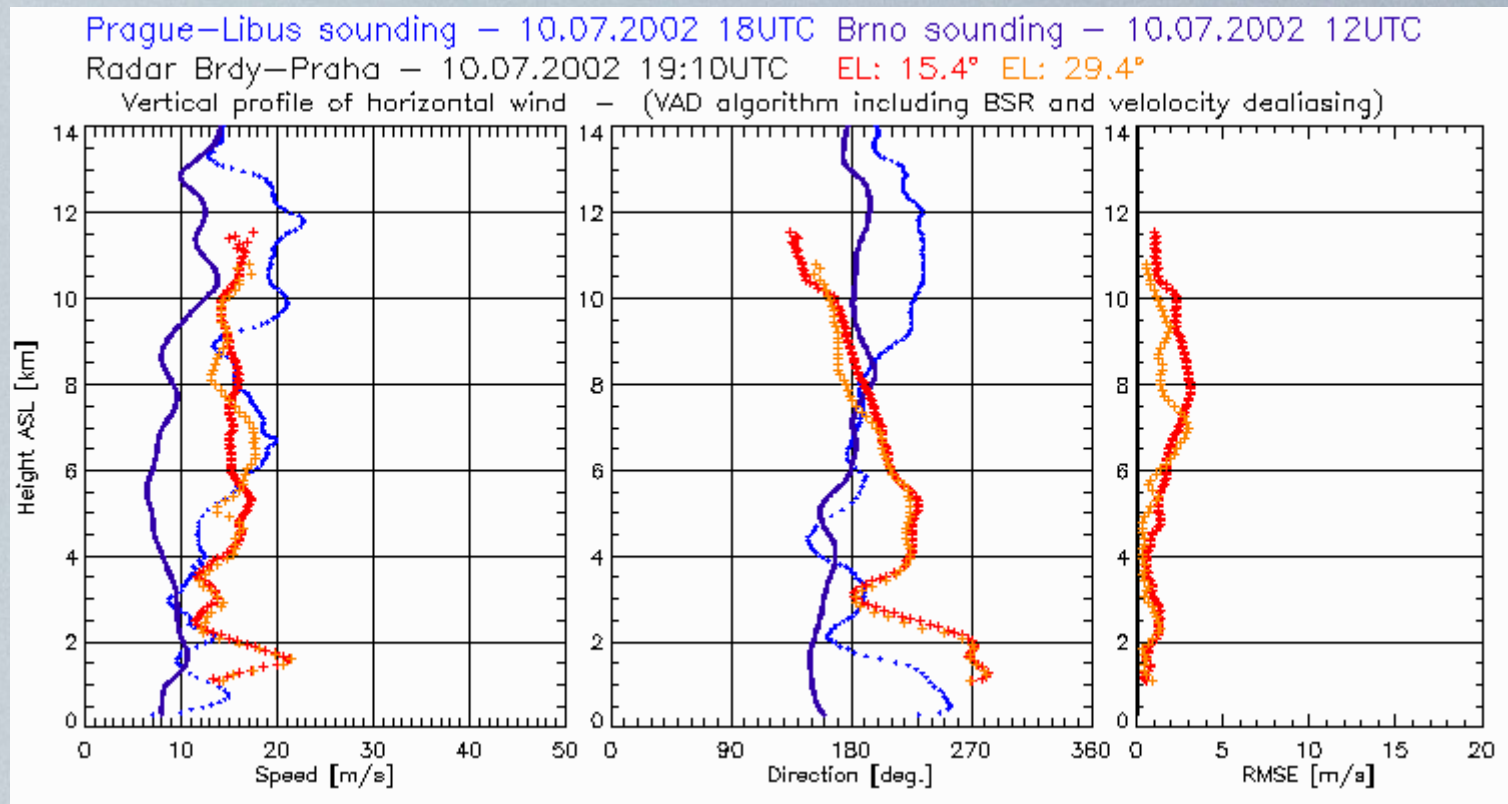
VAD Data Display



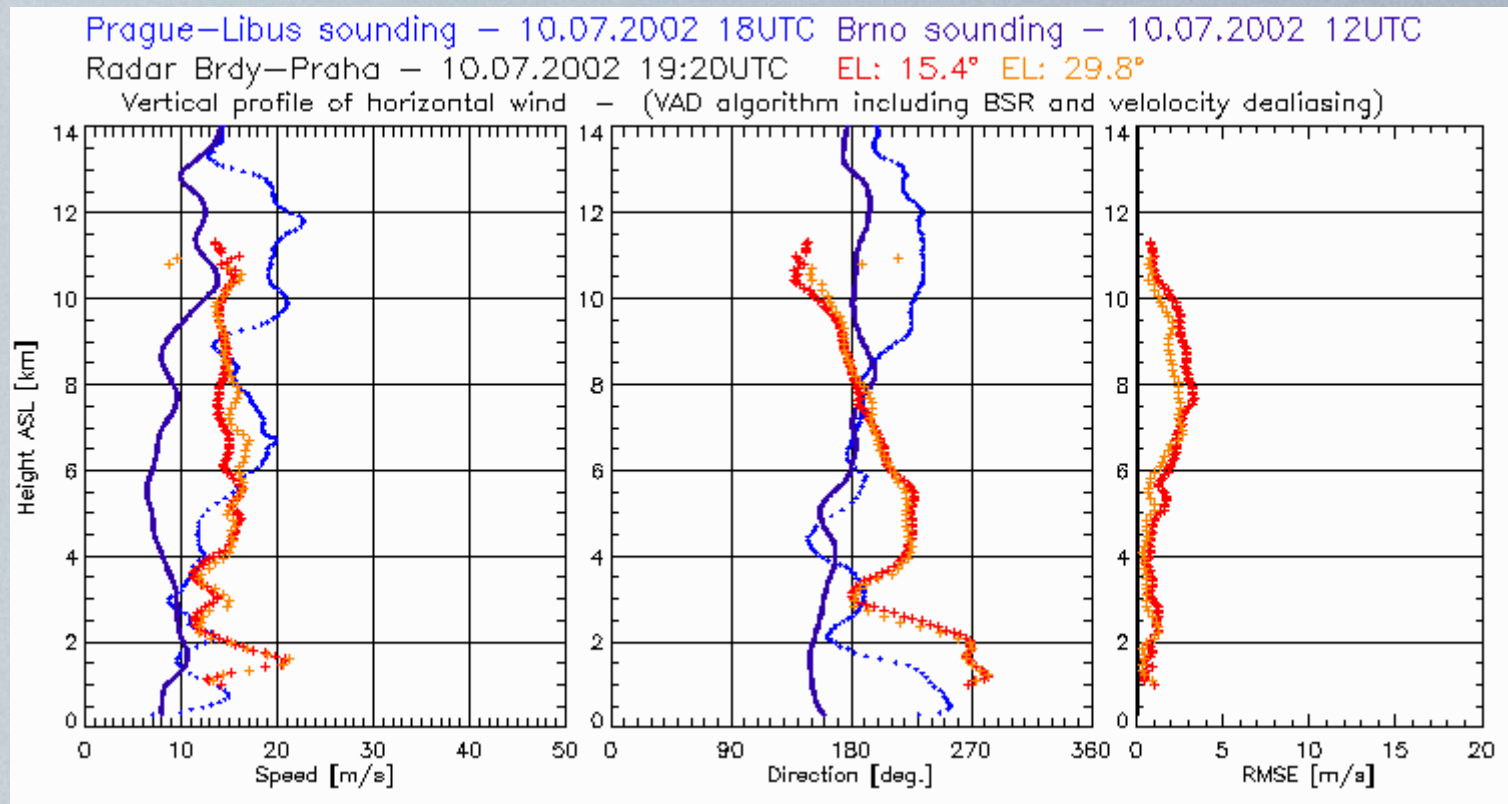
VAD Data Display



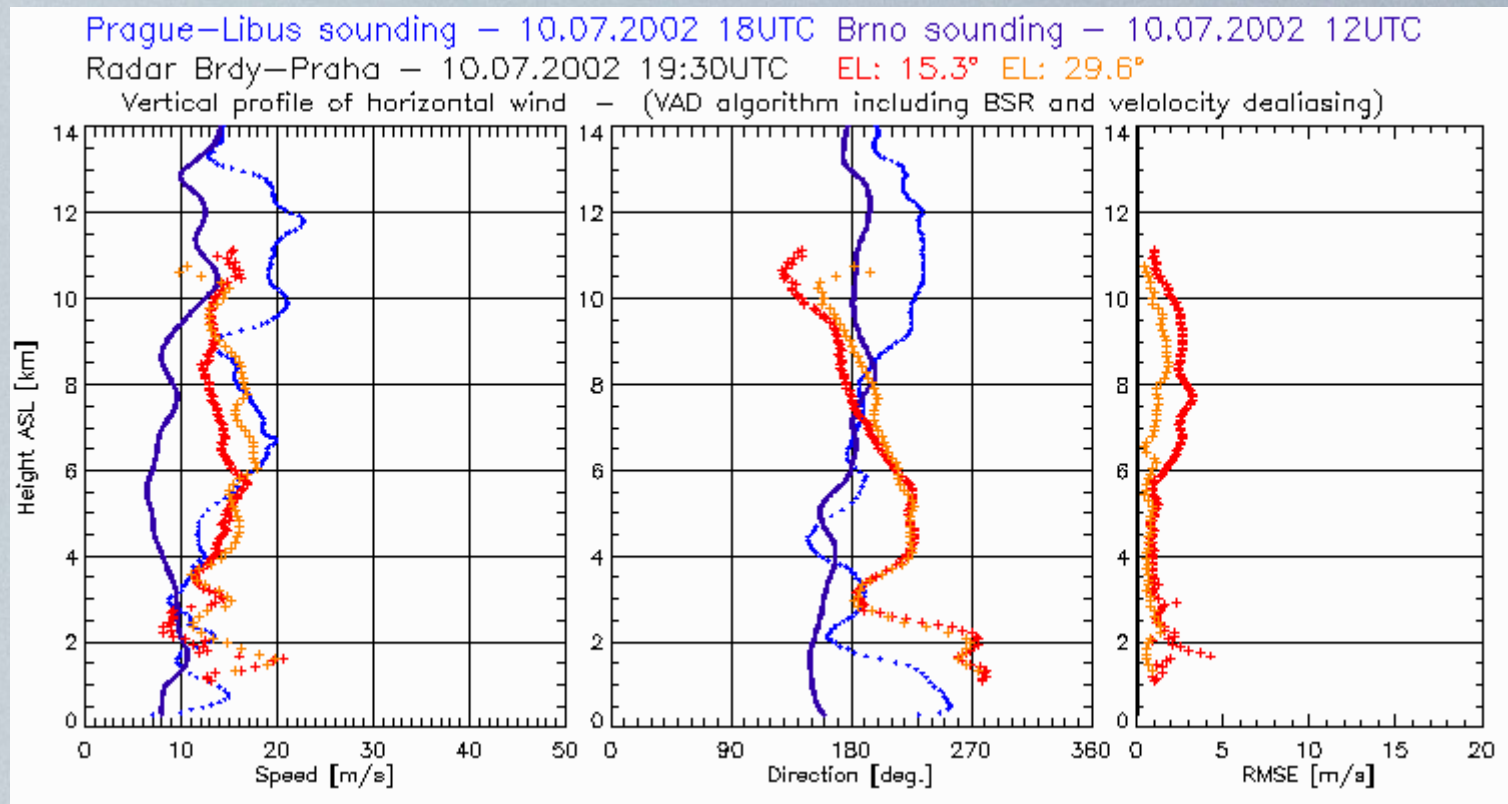
VAD Data Display



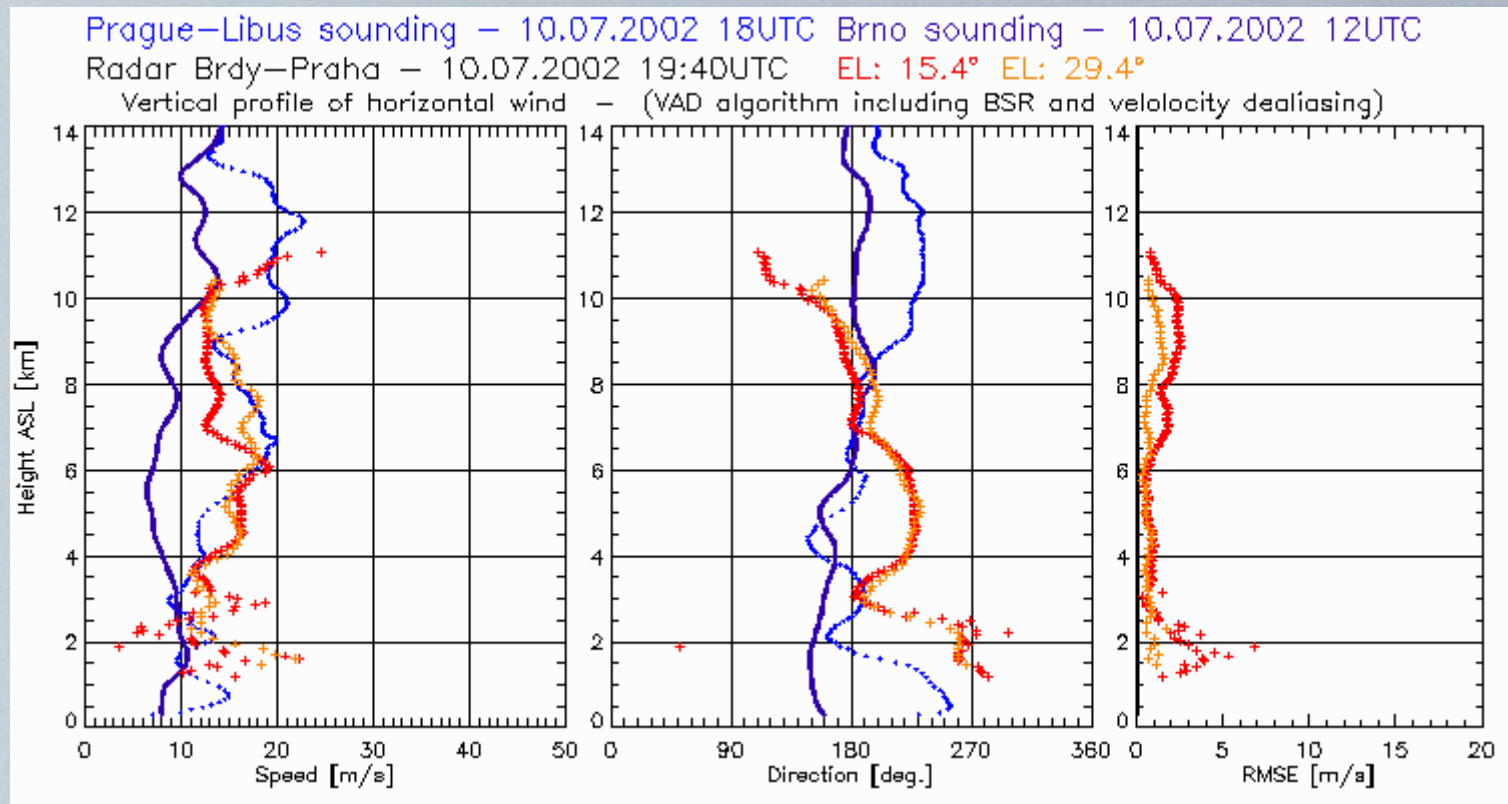
VAD Data Display



VAD Data Display



VAD Data Display



VAD vs. aerologická měření

- aerologická měření - základní nástroj - měří vždy a více prvků
- vertikální profil větru z VAD analýzy
 - doplňková informace k aerologickým měřím
 - možnost kontroly větru u aerologických měření
 - v současné době roste zájem z modelářské komunity o tato data jako vstup do asimilace NWP modelů (ECMWF,HIRLAM)
 - (+) lepší časové rozlišení (10 minut)
 - (+) zlepšuje prostorovou hustotu aerologických dat
 - (-) musí být k dispozici radarové cíle

VAD Data Availability

