

Monitorování vývoje meteo situace nad ČR pomocí GPS meteorologie

Bc. Michal Kačmařík

Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická
univerzita Ostrava, 17. listopadu 15,
708 00, Ostrava Poruba, Česká republika
kac072@vsb.cz

Abstrakt. Práce se zabývá možnostmi využití technologie globálních navigačních družicových systémů v oblasti meteorologie, a to konkrétně při stanovování obsahu vodních par v atmosféře, který významným způsobem ovlivňuje počasí. Práce navazuje na diplomovou práci z roku 2007, jíž se podařilo dokázat, že výše uvedená technologie je pro daný účel reálně použitelná. Úkolem tohoto projektu je zkoumání využitelnosti zjištěné skutečnosti v rámci celé sítě referenčních stanic a posuzování vývoje hodnot obsahu vodních par v atmosféře nad územím České republiky. Kromě teoretické části věnující se popisu atmosféry, parametru obsahu vodních par v atmosféře a postupu při jeho výpočtu z měření GPS obsahuje práce popis praktických úloh v podobě zpracování GPS měření pro vybraná časová období ve zvolené síti stanic. Výsledky získané z těchto zpracování jsou porovnávány s hodnotami obsahu vodních par v atmosféře naměřenými Českým hydrometeorologickým ústavem pomocí klasických metod.

Klíčová slova: GPS, meteorologie, obsah vodních par v atmosféře, Bernese GPS Software, atmosféra.

Abstract. Monitoring of meteorological situation over Czech republic by GPS. The thesis is concerned with possibilities of usage Global navigation satellite system technology in the field of meteorology, concretely in the determining of predicted water vapour of the atmosphere which significantly influences weather. The thesis stems from diploma thesis from 2007, which has achieved to prove that mentioned technology is really usable for existent purpose. The objective of this project is researching usability of ascertained fact within the scope of whole network of reference stations and judging predicted water vapour of the atmosphere values development over the Czech republic. Except theoretical part attending to description of the atmosphere, predicted water vapour of the atmosphere and procedure of its computation from the GPS measurements, the thesis includes description of practical tasks which means processing of GPS measurements for chosen time periods in selected network of stations. Results from those computations are compared with values of predicted water vapour of the atmosphere which were measured by Czech Hydrometeorological Institute with using conventional methods.

Keywords: GPS, meteorology, predicted water vapour of the atmosphere, Bernese GPS Software, atmosphere.

1 Úvod

V období posledních dvou desetiletí se do oblasti lidského zájmu dostalo i zkoumání možností použití měření z globálních navigačních družicových systémů nejen pro účely určování polohy v prostoru a navigace. Jelikož signály vysílané družicemi procházejí zemskou atmosférou a jsou jí určitým způsobem ovlivňovány, byla prováděna šetření, zda by této skutečnosti nemohlo být využito při určování vybraných meteorologických veličin. Tyto veličiny mají významný vliv na vývoj stavu počasí, a tudíž zlepšení jejich určování by mohlo také vést ke zkvalitnění předpovědi počasí. Dosud používané tradiční metody k měření těchto veličin jsou mnohdy nepříliš efektivní a přitom ekonomicky nákladné.

V roce 2007 byla na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava obhájena diplomová práce na téma GNSS meteorologie, jejímž úkolem bylo potvrdit, že je možné používat technologii GNSS pro určování obsahu vodních par v atmosféře. Tento parametr je jeden z nejdůležitějších ukazatelů projevů troposféry a jedním z hlavních činitelů, které ovlivňují počasí. Tato diplomová práce však pouze porovnávala výsledky získané výpočtem z měření GPS s reálnými informacemi naměřenými ČHMÚ pro jednotlivé stanice. Nezabývala se možnostmi využití zjištěné skutečnosti v rámci sítě stanic.

Úkolem mé práce tak bylo na provedenou diplomovou práci navázat. Na počátku jsem se musel celkově seznámit s postupy GPS meteorologie a současným stavem této problematiky, proto se i v této práci věnuji popisu složení atmosféry, parametru obsahu vodních par v atmosféře a způsobům jeho určování a celkově možnostem modelování troposféry pomocí měření GPS. V rámci České republiky i v celosvětovém měřítku proběhlo či stále probíhá na toto téma několik projektů a ve své práci tak uvádím alespoň jejich stručný popis.

Další kapitoly tohoto dokumentu se věnují programovému prostředí Bernese GPS Software, ve kterém byla prováděna veškerá zpracování. Po seznámení se s tímto programovým prostředkem bylo přistoupeno k výběru vhodné sítě referenčních stanic, na kterých probíhá kontinuální měření signálů z družic GNSS, a výběru časových období, během kterých panovaly klimatické podmínky vhodné pro zkoumání stanovených skutečností.

Následně je v této práci stručně popsáno zpracování dat naměřených referenčními stanicemi v produktu Bernese GPS Software. Po tomto zpracování byly vytvořeny výstupy zobrazující výsledky v podobě přehledných grafů.

Poslední část této práce se věnuje komentování získaných výsledků, jejich ověřování a vydefinování celkových závěrů.

2 Návrh postupu řešení

- 1) Studium dostupné literatury a materiálů
- 2) Seznámení se s programovým prostředkem Bernese GPS Software
- 3) Výběr vhodné sítě referenčních stanic
- 4) Výběr vhodných časových období

- 5) Sběr potřebných vstupních dat
- 6) Zpracování dat
- 7) Tvorba grafických výstupů, okomentování výsledků
- 8) Ověření vypočtených výsledků

3 Obsah vodních par v atmosféře a metody jeho určování

Obsah vodních par je jedním z nejdůležitějších ukazatelů projevu troposféry. Je základní složkou přenosu energie a jedním z hlavních činitelů, které ovlivňují počasí. Díky své časové a prostorové variabilitě je však i pro současnou moderní meteorologii obtížně popsitelný. Zpřesnění v jeho určování by tak velice pomohlo při tvorbě předpovědí počasí v numerických modelech a také celkově při studování chování atmosféry v měřítku lokálním i globálním. Obsah vodních par v atmosféře vyjádřený v milimetrech je také mnohdy označován anglickou zkratkou PWV (Predicted Water Vapour).

V současnosti je pro stanovení obsahu vodních par možno použít velké množství metod a nástrojů. Žádný z nich ale bohužel nedokáže poskytovat natolik kvalitní výsledky, které by umožnily další výzkum chování počasí a atmosféry. Z tohoto důvodu je potřeba stále hledat nové cesty, jak tento dynamický parametr určovat v dostatečně krátkých časových intervalech v reálném či skoro reálném čase při zachování dostatečné přesnosti a dodržení jisté ekonomické únosnosti.

Nejčastěji se využívá atmosférického balónu, který nese celou sadu meteorologických zařízení umožňujících provádět měření parametrů atmosféry. Takovéto balóny jsou vypouštěny 1x až 4x za den, v rámci České republiky z meteorologické stanice Praha - Libuš. Hlavní nevýhodou tohoto zařízení je jeho ekonomická nákladnost. Balón je totiž poté, co odměří a zašle na Zem vertikální profil atmosféry, již nepoužitelný, a musí se nahradit novým.

Obsah vodních par v atmosféře je však možné určovat i na základě měření z GNSS. Jeho hodnota se pak vypočítává z velikosti troposférické refrakce.

4 Bernese GPS Software

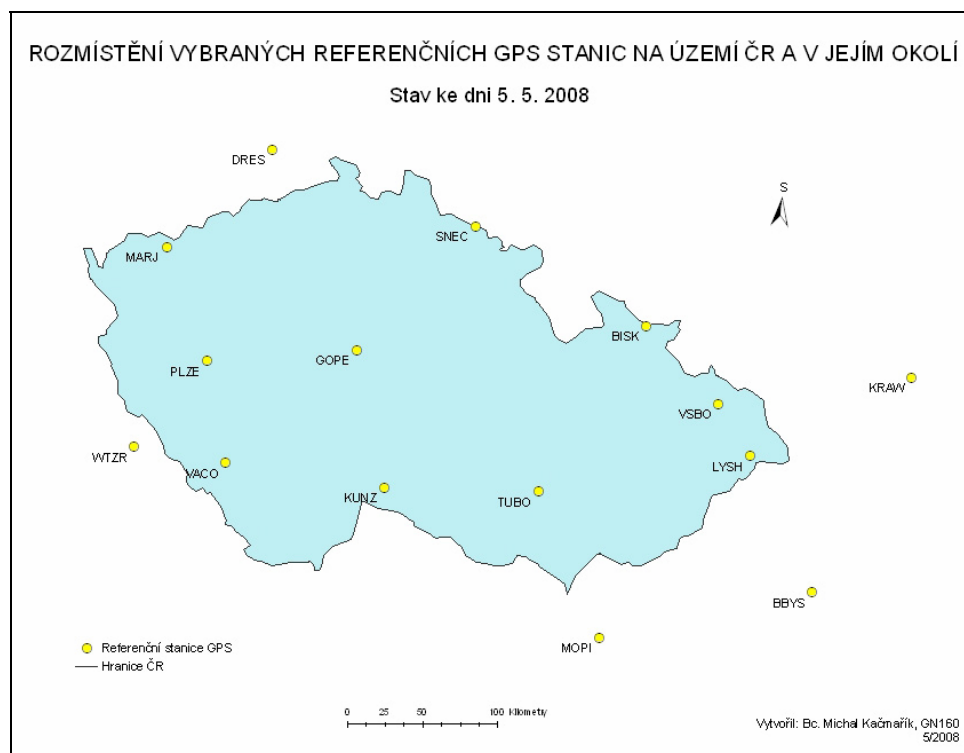
Bernese GPS SW představuje komplex programů pro zpracování výsledků měření GPS. Je vyvíjen Astronomickým ústavem Univerzity ve švýcarském Bernu. Jedná se o programový prostředek obrovských možností s výborně zpracovanou dokumentací, bohužel je však svým prostředím nepříliš uživatelsky přístupný. Je potřeba si na jeho specifickou úroveň uvyknout. V současné době je distribuován ve verzi 5.0, kterou jsem také používal v rámci této práce.

5 Zpracování

5.1 Výběr sítě referenčních stanic

Jelikož hlavním úkolem této práce je studovat hodnoty obsahu vodních par vypočtené z měření GPS a porovnávat je s hodnotami naměřenými tradičními metodami ČHMÚ v rámci celé sítě referenčních stanic, bylo potřeba vybrat síť stanic co nejvhodněji. Referenční stanice, na kterých se realizuje kontinuální záznam měření ze všech dostupných družic GPS, i celá síť musela splňovat několik základních požadavků vydefinovaných zde:

- rozmístění jednotlivých stanic na území České republiky i v jejím blízkém okolí takovým způsobem, aby stanice byly rozprostřeny pokud možno rovnoměrně, a žádná z částí ČR tak nezůstala nepokryta;
- zahrnutí stanic se značnými rozdíly v jejich výškové poloze (myšlena nadmořská výška; požadavek Bernese GPS Software pro zkvalitnění výpočtů v rámci sítě stanic);
- existence měření meteorologických veličin na referenční stanici (atmosférická teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, atmosférický tlak vzduchu);
- dostupnost naměřených dat (observační a meteo RINEX soubory).



Obr. 1. Rozmístění vybraných referenčních stanic na území ČR a v jejím okolí

5.2 Výběr časových období vhodných pro zpracování

Abych mohl porovnávat hodnoty obsahu vodních par v atmosféře pro síť stanic, bylo nutné vybrat určitá časová období, ve kterých se nad Českou republikou pohybovaly frontální systémy většího rozsahu ve vhodných směrech. Jelikož každému frontálnímu systému trvá jistý čas, než se přesune například ze západní části zvoleného území do části východní, musí být tento posun logicky viditelný i ve vývoji hodnot obsahu vodních par v atmosféře naměřených v profilu nad referenčními stanicemi.

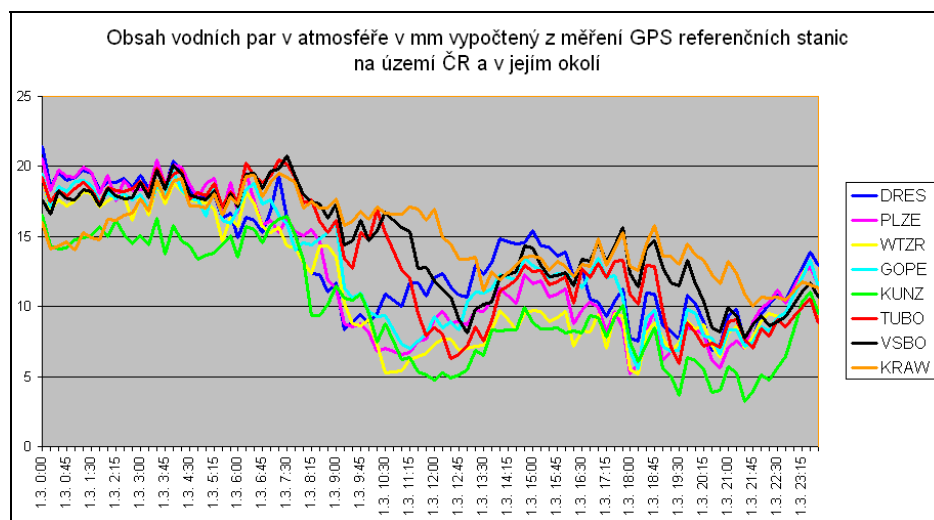
V první části zpracování jsem se rozhodl vybrat tato dvě dvoudenní časová období:

29.2. až 1.3. 2008 = v těchto dnech proudily nad ČR frontální systémy ve směru západ - východ. Jedná se také o období, kdy nad Českou republikou procházela ničivá vichřice Emma.

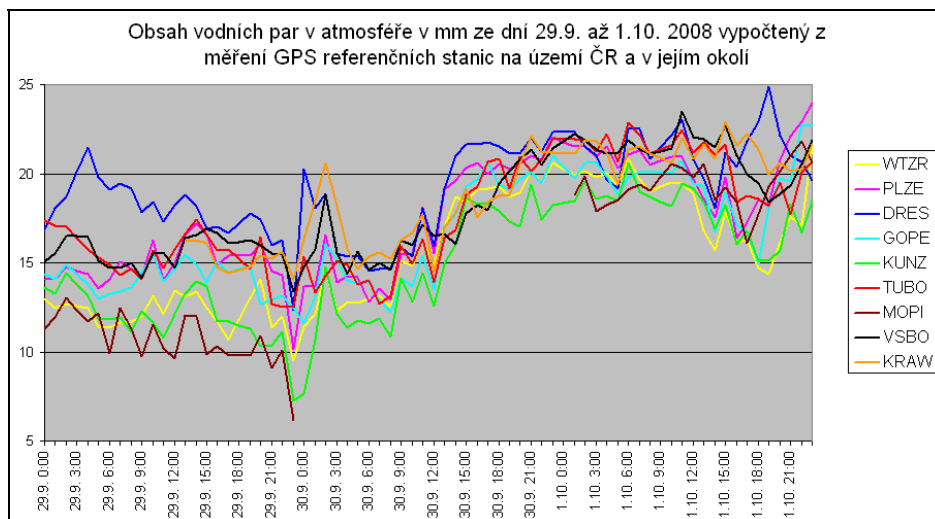
23.3. až 24.3. 2008 = nalézt období dvou dnů, ve kterém by nad zvoleným územím proudily frontální systémy ve směru kolmém k tomu prvnímu (sever – jih) bylo mnohem obtížnější, ale nakonec se mi to podařilo.

Následně jsem se rozhodl pro lepší demonstraci výsledků vybrat a zpracovat ještě jedno časové období. To zahrnovalo tři dny a trvalo od **29. září** do **1. října 2008**. V těchto dnech procházela oblačnost nad Českou republikou přibližně ve směru od západu k východu.

5.3 Vizualizace výstupů zpracování



Obr. 2. Přehled hodnot obsahu vodních par v atmosféře platný pro 1.3. 2008 vypočtený z měření na GPS referenčních stanicích na území ČR a v jejím okolí



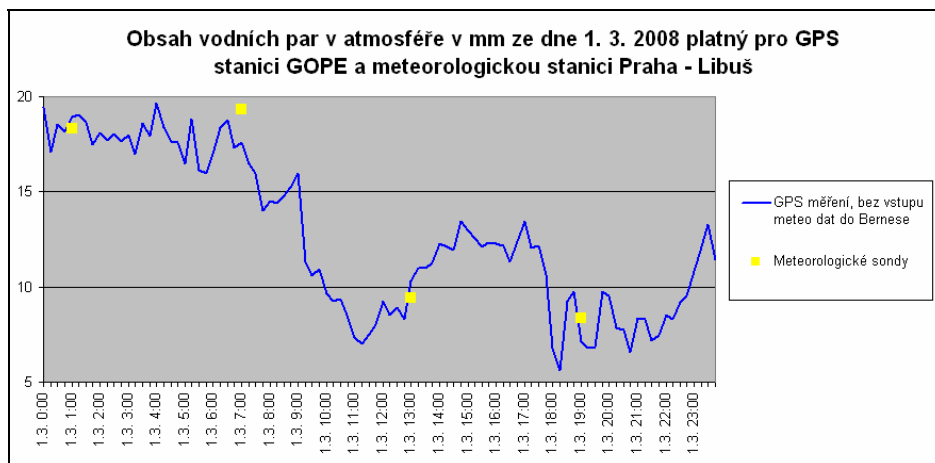
Obr. č. 17: Obsah vodních par v atmosféře platný pro období od 29.9. do 1.10. 2008 vypočtený z měření na GPS referenčních stanicích na území ČR a v jejím okolí

6 Porovnání hodnot vypočtených z měření GPS s výsledky měření ČHMÚ

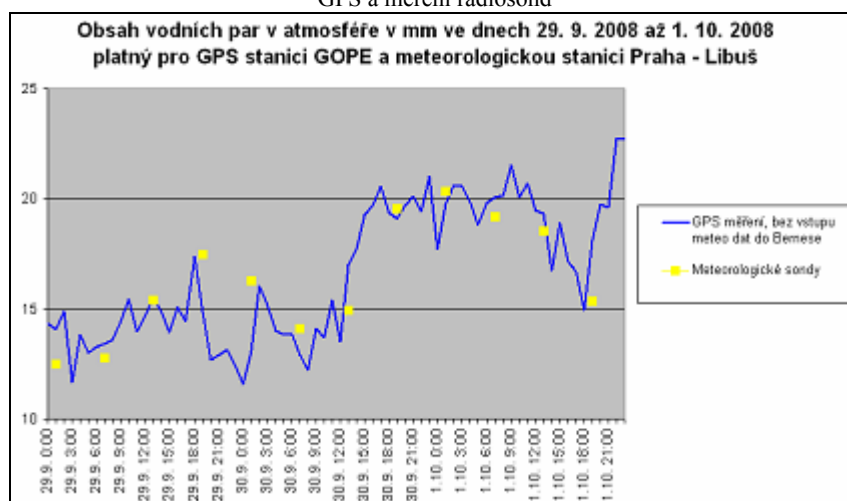
Posledním cílem této diplomové práce bylo porovnat hodnoty vypočtené z měření GPS s reálným vývojem meteo situace nad Českou republikou, jak jej vyhodnotil ČHMÚ. K jeho splnění vedlo použití výstupů z měření dvou odlišných parametrů atmosféry. V prvním případě jsem porovnával hodnoty obsahu vodních par v atmosféře vypočtené z měření GPS s hodnotami naměřenými meteorologickými balóny vypouštěnými do atmosféry. Ve druhém bylo prováděno porovnávání křivky vývoje hodnot obsahu vodních par v atmosféře vydefinovanou pro každou referenční stanicí se snímkem ze srážkoměrných radarů.

6.1 Porovnání měření ze signálů GPS a z atmosférických balónů

Jak již bylo popisováno v kapitole 4.3.3, atmosférické balóny naplněné horkým vzduchem či jedním ze vzácných plynů jsou vypouštěny do atmosféry, aby zde prováděly měření vybraných meteorologických veličin a výsledky těchto měření následně posílaly zpět na Zem. V rámci území České republiky jsou vypouštěny pouze z meteorologické stanice Praha – Libuš čtyřikrát denně v časech 0:00, 6:00, 12:00 a 18:00 UTC.

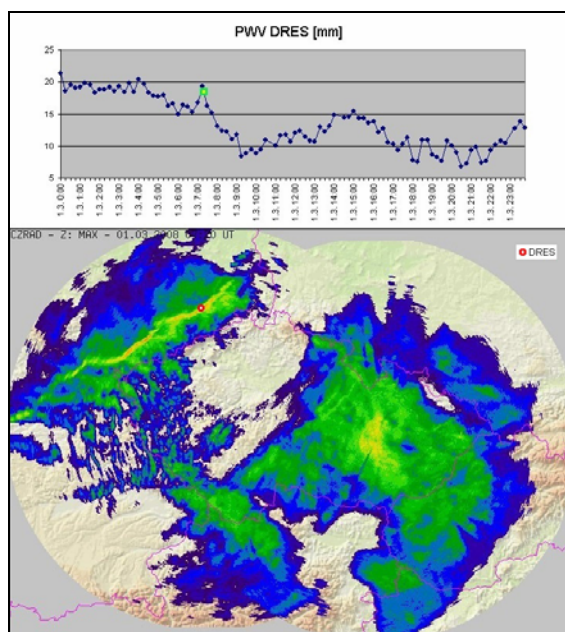


Obr. 4. Porovnání výsledků z výpočtu obsahu vodních par v atmosféře pro 1.3. 2008 z měření GPS a měření radiosond

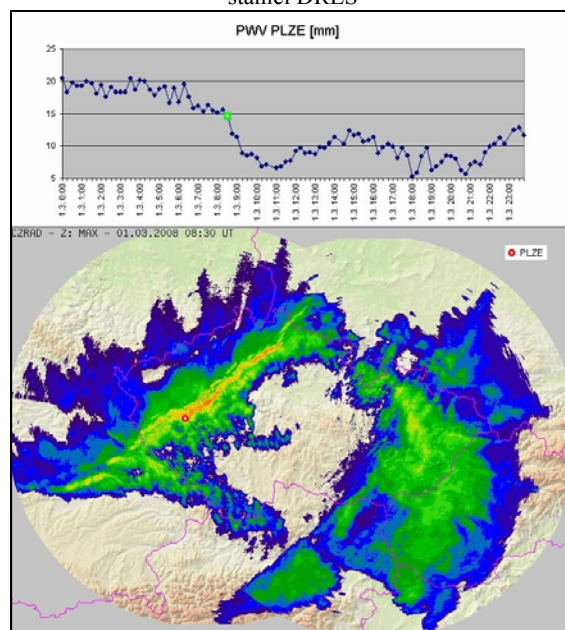


Obr. 5. Porovnání výsledků z výpočtu obsahu vodních par v atmosféře pro 29.9. až 1.10. 2008 z měření GPS a měření radiosond

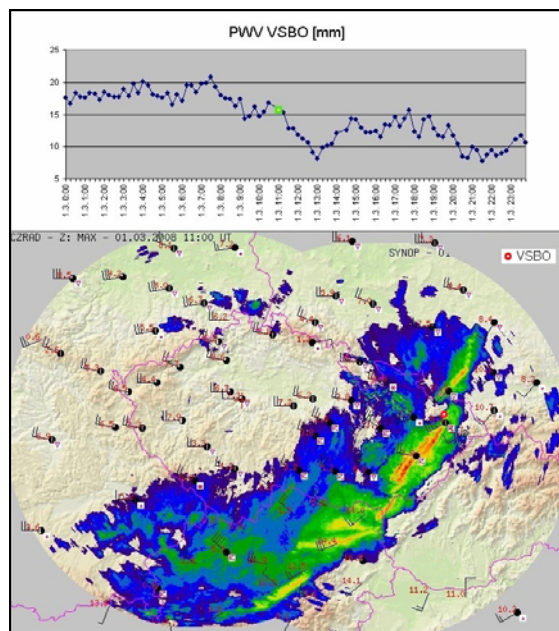
6.2 Porovnání výsledků z měření GPS se snímky ze srážkoměrných radarů pro vichřici Emma



Obr. 6. Porovnání výsledků z GPS se snímkem ze srážkoměrných radarů pro 1.3. 2008 pro stanici DRES



Obr. 7. Porovnání výsledků z GPS se snímkem ze srážkoměrných radarů pro 1.3. 2008 pro stanici PLZE



Obr. 8. Porovnání výsledků z GPS se snímkem ze srážkoměrných radarů pro 1.3. 2008 pro stanici VSBO

7 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vyhodnotit, zda je možné hodnoty obsahu vodních par v atmosféře vypočtené z měření signálů GPS korektně využívat pro monitorování skutečného vývoje meteorologické situace nad vybraným územím, v tomto případě nad Českou republikou. Jak vyplývá z výsledků zpracování uváděných a komentovaných v předcházejících kapitolách, určitě to možné je.

Výsledky poskytované technologií GPS dosahují stejných kvalit jako výsledky, které Český hydrometeorologický ústav získává svými tradičními a léta ověřenými postupy. Metoda atmosférických balónů je však ve srovnání s metodou využívající měření GPS výrazně méně efektivní z hlediska časového intervalu měření i z hlediska financí. Zatímco z meteorologických sond získáváme maximálně čtyři hodnoty obsahu vodních par v atmosféře za den pro jediné místo v celé České republice, u měření GPS nám nic nebrání mít hodnoty za stejný čas 6x více, a to navíc pro několik různých míst.

Přesné hodnoty obsahu vodních par v atmosféře s krátkým časovým intervalem by byly dobře využitelným zdrojem dat pro numerické předpovědní modely počasí, jakým je například model ALADIN. Zásadní problém, který v této oblasti v současnosti spatřuji, je rychlost zpracování dat naměřených na GPS referenčních stanicích. Zatímco po vypuštění atmosférického balónu známe hodnotu obsahu vodních par v atmosféře již přibližně za dvě hodiny, získání veškerých dat potřebných

ke zpracování v Bernese GPS Software a jeho samotné provedení spotřebuje času mnohem více.

Aby se umožnilo použití dat získaných z měření GPS v reálných úlohách, je dle mého názoru nutné věnovat veškerý další prostor ve studiu problematiky GPS meteorologie automatizaci celého postupu zpracování, a to zejména části prováděné v Bernese, kde již byly autory tohoto programového prostředku vytvořeny určité usnadňující kroky. Pokud by se podařilo tuto situaci zdárně vyřešit, jistě by to meteorology zaujalo a postupně je navedlo i k započetí používání technologie GPS pro stanovování obsahu vodních par v atmosféře. A výsledné zpřesnění předpovědí počasí by bylo neoddiskutovatelně pro každého z nás jen výhodou.