

OVĚŘOVACÍ TESTY RADIOSOND VAISALA RS92 V PRAZE-LIBUŠI

Pilot tests VAISALA Radiosondes RS92 at the Praha-Libuš. The Czech Hydrometeorological Institute plans to start using VAISALA Radiosondes RS92 and the VAISALA DigiCORA Sounding System MW21 at Praha-Libus aerological station. Large effort is devoted to achieve the highest possible data quality and to ensure the homogeneity of the time series. Therefore, the validation trial at Praha-Libus was aimed at evaluation of the RS92 LORAN-C and GPS sensor performance. The data transmission of the DigiCORA Sounding System MW21 was tested too. The Praha-Libus comparison test consisted of 33 dual soundings was carried out during the period from 26th May to 6th June 2003. The RS92-KL sondes were compared with the RS 90-AL (both are LORAN-C types) and the RS92-SGP radiosondes were launched together with the RS80-15G (these are the GPS types). Results of pressure, temperature, humidity and wind vertical profiles comparison are presented. The data from the RS 92, RS 90 and RS80 soundings was tested against the corresponding data from the ALADIN model fields too.

KLÍČOVÁ SLOVA: aerologie – radiosondy – měření srovnávací – zpracování dat

1. ÚVOD

Aerologická stanice ČHMÚ Praha-Libuš nainstalovala v prosinci roku 1991 radiosondážní systém DigiCORA MW11 finské firmy VAISALA a od ledna 1992 začala tento systém spolu s radiosondami VAISALA RS80 využívat rutinně. Instalací systému VAISALA a přechodem na nové radiosondy se výrazně zlepšila kvalita aerologických měření, do té doby prováděných „sovětskými“ systémy. V lednu roku 1999 se začaly navíc používat radiosondy VAISALA RS90 s kvalitativně novým typem čidel.

V současné době měří stanice Praha-Libuš vertikální profily meteorologických parametrů atmosféry stále pomocí radiosond typu RS90-AL i RS80-15G a pozemního zařízení DigiCORA MW11. Radiosondy jsou vynášeny čtyřikrát denně (v 00, 06, 12 a 18 UTC) meteorologickými balony od země do výšek kolem 30 km a měří pomocí čidel tlak, teplotu a vlhkost vzduchu. Směr a rychlost větru počítá pozemní zařízení z informací o poloze radiosondy. K lokalizaci sondy během letu jsou využívány navigační systémy LORAN-C (Long Range Navigation) a GPS (Global Positioning System). Radiosonda umožňuje retranslaci navigačních pomocných signálů, přijímaných z navigačních systémů, do pozemního zařízení, které zároveň automaticky přijímá a konvertuje PTU (tlak, teplota, vlhkost) data z radiosondy.

S ohledem na stáří systému DigiCORA MW11 plánuje ČHMÚ modernizaci aerologického systému na stanici Praha-Libuš. Firma VAISALA v současné době nabízí sondážní systém DigiCORA MW21 spolu s novým typem radiosond RS92. Jelikož každá změna s sebou přináší i jisté riziko porušení homogenity časových řad měření, je dobré znát rozdíly mezi starým a novým systémem měření. Zdrojem těchto informací jsou nejčastěji srovnávací testy dvou i více systémů.

2. HLAVNÍ CÍLE A PRŮBĚH OVĚŘOVACÍCH TESTŮ

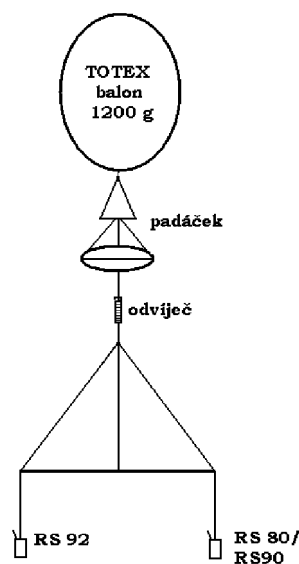
Vysoká přesnost aerologických měření je důležitá nejen pro numerické předpovědní modely, ale i pro další obory (např. letectví). Je tedy velmi užitečné, co nejpřesněji určit, jak se změna typu radiosond a pozemního vyhodnocovacího systému projeví v kvalitě dat. Hlavním cílem ověřovacího testu uskutečněného v Praze-Libuši bylo jak srovnání nového typu radiosond s doposud používanými, tak prověření funkčnosti a kompatibility systémů DigiCORA MW11 a MW21.

Testy proběhly v období od 26. května do 6. června 2003 a bylo při nich provedeno celkem 33 srovnávacích měření. Při každé „dvojsondáži“ byly přibližně jeden metr pod 2 m dlouhou bambusovou tyč (upoutanou k jednomu balonu s padáčkem a odvíječem) zavěšeny dvě radiosondy (obr. 1). Z odvíječe se postupně odvíjí cca 60 metrů dlouhá šňůra. Radiosondy se vzdalí od balonu a tím se minimalizuje jeho vliv na přesnost měření. Ve většině případů byly sondy vypouštěny ve standardních termínech aerologických měření (06, 12 a 18 UTC).

Jak již bylo zmíněno, používá stanice Praha-Libuš pro měření vertikálních profilů směru a rychlosti větru dva různé typy navigačních systémů. Jednak systém pozemních navigačních řetězců LORAN-C, jednak družicový navigační systém GPS. Pro každý z uvedených typů větroměrných systémů se používá jiný typ radiosond. Pro systém LORAN-C byly použity při testech sondy RS92-KL a tyto byly srovnávány se sondami RS90-AL. Radiosondy RS92-SGP pro GPS navigační systém byly srovnávány se sondami RS80-15G.

Radiosondy RS92-SGP, RS90-AL a RS80-15G byly před vypuštěním kontrolovány pomocí Ground Check Unit. Při této předstartovní přípravě se testuje správnost měření tlaku, teploty a vlhkosti čidly radiosondy. Pro radiosondy RS92-KL nebyla předstartovní kontrola prováděna, jelikož Ground Check Unit GC25 byl v době provádění testů ještě firmou VAISALA upravován. V současné době je již k dispozici.

Pozemní systém DigiCORA MW11 shromažďoval a zpracovával data ze sond RS80 a RS90 a systém MW21 zapůjčený firmou VAISALA byl použit pro data ze sond RS92.



Obr. 1 Schematický náčrt „dvojsondáže“.

Fig. 1. Schematic diagram of „dual soundings“.

3. STRUČNÝ POPIS SOND A POZEMNÍCH SYSTÉMŮ

Radiosondy RS90 a RS92 mají v podstatě shodná čidla: křemíkové mikročipové kapacitní tlakové čidlo měřící v rozsahu 1080 až 3 hPa s přesností 0,4 hPa; kondenzátorové teplotní čidlo měřící teplotu na základě změn kapacity mezi dvěma tenkými drátky v rozsahu od +60 °C do -90 °C s přesností 0,1 °C a vlhkost je měřena odmrzovací metodou dvěma vyhřívanými tenkovrstvými kondenzátorovými čidly s rozsahem měření od 0 do 100 % relativní vlhkosti s přesností na 2 %.

Tlakové čidlo staršího typu radiosond (RS80) je tvořeno kondenzátorovým aneroidem měřícím v rozsahu 1060 až 3 hPa s přesností 0,5 hPa. Teplotní čidlo je kondenzátor ve tvaru kapičky měřící v rozsahu od +60 °C do -90 °C s přesností 0,2 °C. Vlhkostní čidlo je tenkovrstvý kondenzátor měřící v rozsahu 0 až 100% relativní vlhkosti s přesností na 3 %.

Radiosondy RS92-SGP jsou principiálně nejnovějším typem radiosond firmy VAISALA. Jde o digitální typ radiosond, který má všechny důležité informace zaznamenány v EEPROM sondy; včetně kalibračních koeficientů, které jsou pozemnímu systému předávány rádiově. Pro sondy typu RS80 a RS90 jsou kalibrační koeficienty dodávány na černé páse.

Pozemní systém DigiCORA MW21 je nejnovější z řady sondážních systémů firmy VAISALA. Systém se skládá z dvou hlavních komponent – PC se sondážním programovým vybavením (DigiCORA III Sounding Software) a sondážního systému (DigiCORA III Sounding System), který je tvořen anténním subsystémem a procesorovou jednotkou SPS220 (Sounding Processing Subsystem). V průběhu sondáže SPS220 shromažďuje PTU data a údaje o větru, které následně předává do PC. Zde jsou data zpracovávána, zakódována do meteorologických zpráv a ukládána. Systém DigiCORA MW21 spolupracuje jak s nejnovějším typem radiosond RS92, tak se staršími typy RS90 a RS80.

4. ZPRACOVÁNÍ DAT

Pro srovnání byla použita pětisekundová editovaná data ze systémů DigiCORA MW11 a MW21. Data byla srovnávána ve třech krocích. V první fázi srovnání byly porovnávány vertikální profily tlaku, teploty a vlhkosti vzduchu i směru a rychlosti větru pomocí programu METGRAPH, který je standardní součástí obou systémů DigiCORA. Rozdíly měřených parametrů byly sledovány v časové závislosti, neboť čas byl jediným společným parametrem měření. V druhé fázi srovnání byly pomocí programu vyvinutého pro mezinárodní srovnání radiosond Světové meteorologické organizace (Radio and Ozone Sonde Comparison and Evaluation Software Package) vypočteny průměrné rozdíly mezi daty získanými pomocí jednotlivých typů radiosond. Data z radiosond typu RS92 byla použita jako referenční a byla porovnávána s údaji z RS80 nebo RS90. Vertikální profily průměrných rozdílů tlaku, teploty a vlhkosti vzduchu i směru a rychlosti větru byly zakresleny do grafů s vertikální tlakovou osou.

Třetí fáze zpracování výsledků ověřovacích testů byla zaměřena na srovnání radiosondážních dat s odpovídajícími údaji z modelu ALADIN. Byly porovnávány výšky standardních tlakových hladin 500, 300, 200, 100 a 50 hPa vypočítané systémy DigiCORA MW11 a MW21 a získané z analýzy modelu ALADIN. Stanice Praha-Libuš rutinně využívá výstupy modelu ALADIN při kontrole kvality radiosondážních měření.

5. VÝSLEDKY TESTŮ

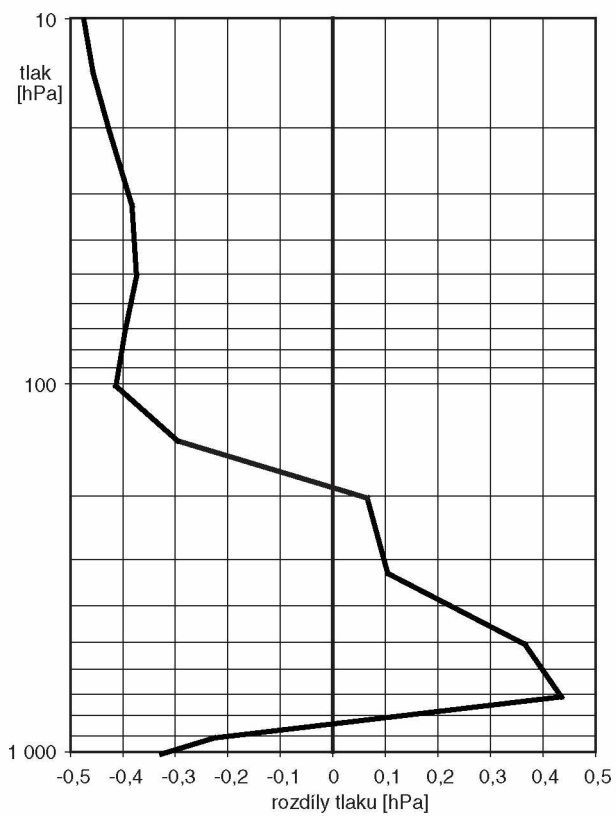
Jak se dalo očekávat, byly rozdíly mezi tlakovými, teplotními a vlhkostními údaji ze sond RS80 a RS92 větší než rozdíly získané srovnáním dat ze sond RS90 a RS92. Rozdíly v měření tlaku pomocí radiosond RS92 a RS80, zjištěné na stanici Praha-Libuš, jsou způsobeny hlavně odlišností tlakových čidel u těchto dvou typů sond. Je známo z dřívějších srovnání [1], že aneroidové tlakové čidlo sondy RS80 BAROCAP má horší teplotní kompenzaci než mikročipové tlakové čidlo Silicon BAROCAP u sondy RS92. To se projevuje při poklesu vnitřní teploty tlakových čidel RS80 BAROCAP kladnými tlakovými odchylkami. V přízemní vrstvě měřila RS92 nižší tlak než RS80. Ve stratosféře se tlakové údaje z RS92 a RS80 lišily v průměru o -0.4 hPa (obr. 2).

Radiosondy RS92 a RS90 jsou obě vybaveny mikročipovými kapacitními tlakovými čidly, a proto by měly být rozdíly mezi tlakovými údaji z těchto sond minimální. Údaje z RS90-AL byly korigovány s ohledem na předstartovní srovnání tlaků měřených radiosondou a referenčním stolním tlakoměrem. Údaje z RS92-KL korigovány nebyly. Referenční tlakoměr vykazoval v době konání testů systematickou odchylku od tlakového etalonu ČHMÚ o 0.3 hPa. Tím lze pravděpodobně vysvětlit, proč se průměrné tlakové rozdíly zjištěné při testech na stanici Praha-Libuš pohybovaly kolem hodnoty -0.3 hPa (obr. 3).

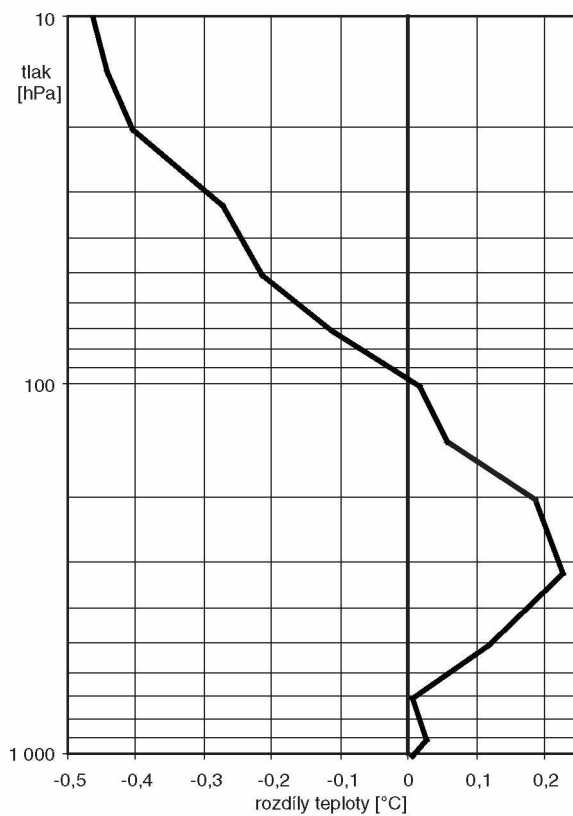
Rozdíly mezi teplotním měřením sondami RS92 a RS80 znázorněné na obrázku 4 se shodují s výsledky testů radiosond RS90 z Vídne [2] i se studií teplotních čidel sond RS90 publikovanou britským Met Office [3]. Obě práce porovnávaly teplotní čidlo radiosond RS80 s teplotním čidlem sond RS90 (to je shodné s teplotním čidlem používaným i u nových radiosond typu RS92). V Praze-Libuši byly v troposféře zjištěny relativně malé kladné odchylky do 0.2 °C. Ve stratosféře se rozdíly mezi teplotními profily z RS92 a RS80 zvětšovaly. Je to způsobeno hlavně rychlejší odezvou teplotního čidla RS92 na změny teploty okolního vzduchu ve srovnání s čidlem sondy RS80. Oba typy čidel mají také odlišné radiační korekce, což je dalším zdrojem rozdílů mezi teplotními měřeními radiosond RS92 a RS80.

Na obrázku 5 jsou znázorněny průměrné rozdíly teplot měřených čidly radiosond RS92 a RS90. Až do výšek odpovídajících tlakové hladině 15 hPa se tyto rozdíly pohybovaly v mezích ± 0.1 °C, což koresponduje s faktem, že RS92 i RS90 mají stejná teplotní čidla. Důvody nárůstu průměrných rozdílů teplotních měření nad hladinou 15 hPa k hodnotě cca 0.3 °C budou prověřeny dalšími testy. Firma VAISALA prezentuje ve svých firemních materiálech „reprodukovatelnost“ teplotních měření na základě srovnávacích testů dvojic radiosond RS92. Pro vrstvu atmosféry mezi 1080 až 100 hPa nepřesáhly rozdíly mezi teplotními měřeními dvou radiosond RS92 v průměru hodnotu 0.2 °C. Mezi 100 až 20 hPa byly do 0.3 °C a pro oblast mezi 20 až 3 hPa byly nižší než 0.5 °C. Tyto údaje korespondují s výše uvedenými výsledky srovnání z Prahy-Libuše.

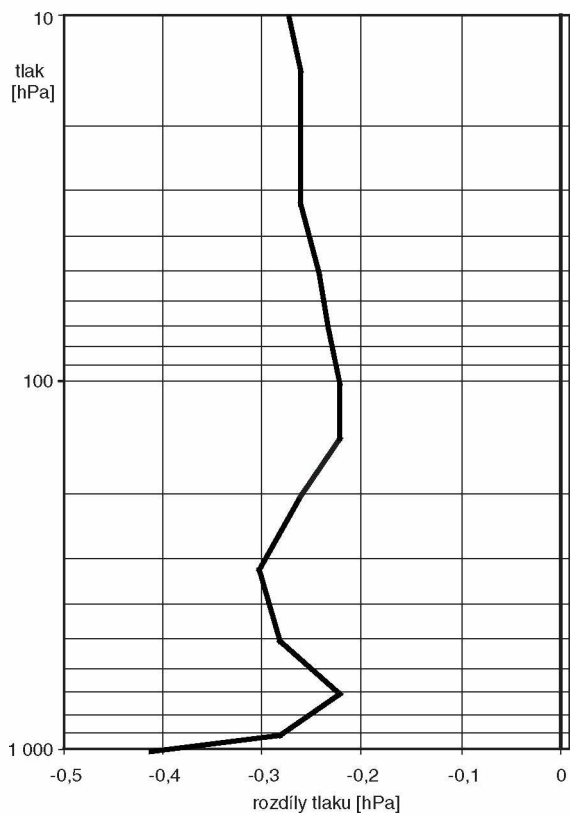
Poměrně velké rozdíly ve vertikálních profilech vlhkosti změřených radiosondami RS92 a RS80 (obr. 6) jsou způsobeny vlastnostmi vlhkostního čidla RS80 A-HUMICAP. Při teplotách nižších než -40 °C se přesnost měření vlhkosti vzduchu čidlem A-HUMICAP výrazně snižuje. U radiosond RS92 s vyhřívaným vlhkostním čidlem H-HUMICAP tento problém není a navíc nedochází ani k dalšímu jevu typickému pro čidlo RS80 A-HUMICAP tj. obalování vlhkostního čidla tenkou ledovou vrstvičkou při průletu vrstvami atmosféry s vyso-



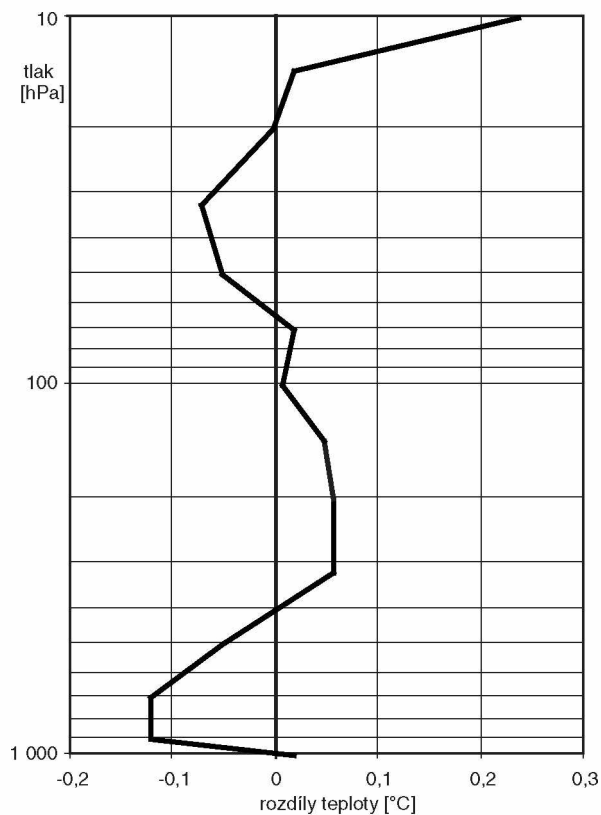
Obr. 2 Průměrné rozdíly tlaku RS80-RS92.
 Fig. 2. RS80-RS92 pressure differences mean value.



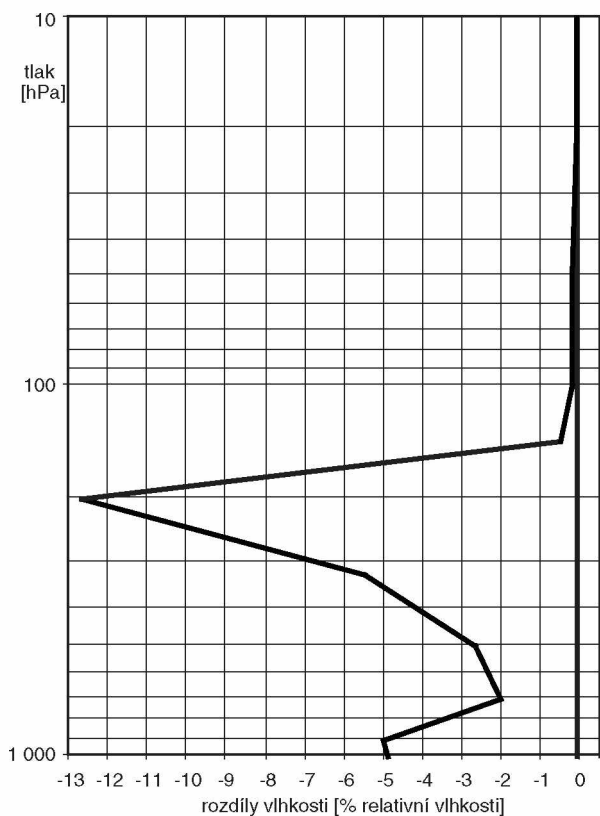
Obr. 4 Průměrné rozdíly teploty RS80-RS92.
 Fig. 4. RS80-RS92 temperature differences mean value.



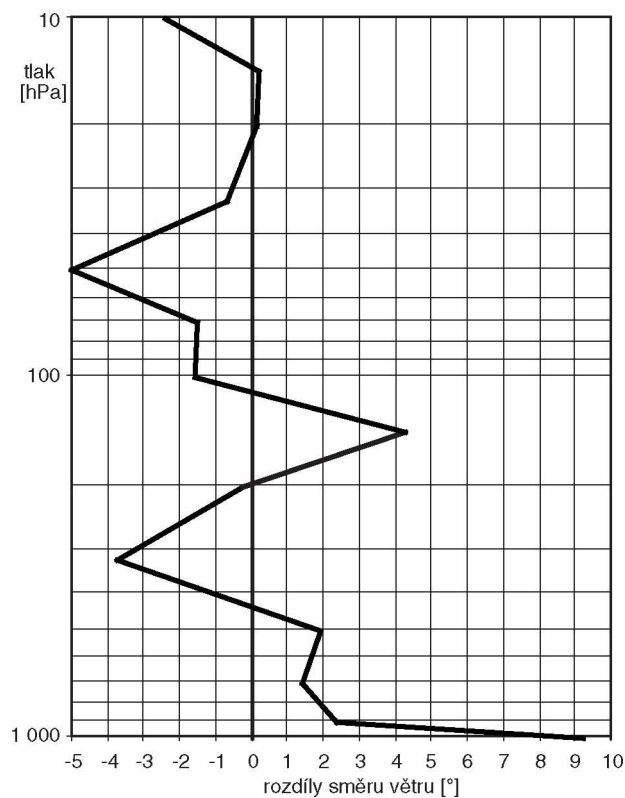
Obr. 3 Průměrné rozdíly tlaku RS90-RS92.
 Fig. 3. RS90-RS92 pressure differences mean value.



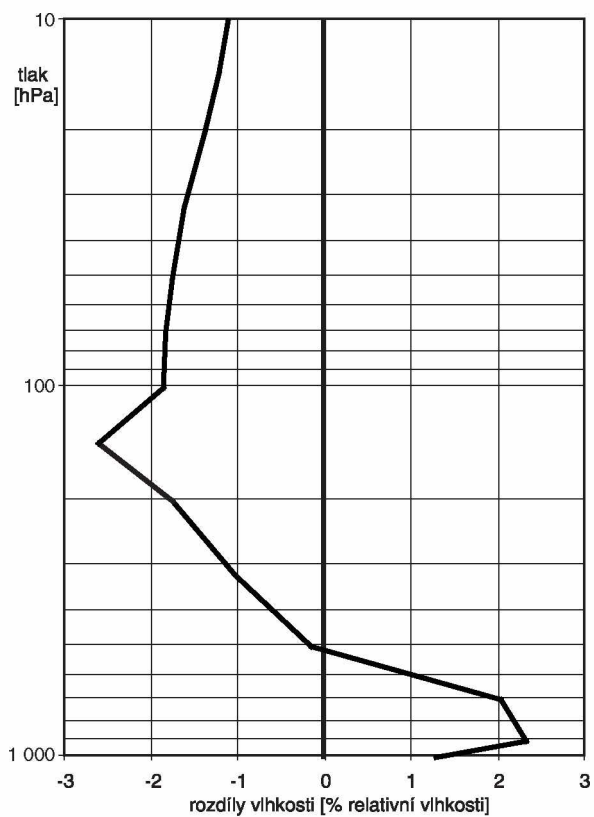
Obr. 5 Průměrné rozdíly teploty RS90-RS92.
 Fig. 5. RS90-RS92 temperature differences mean value.



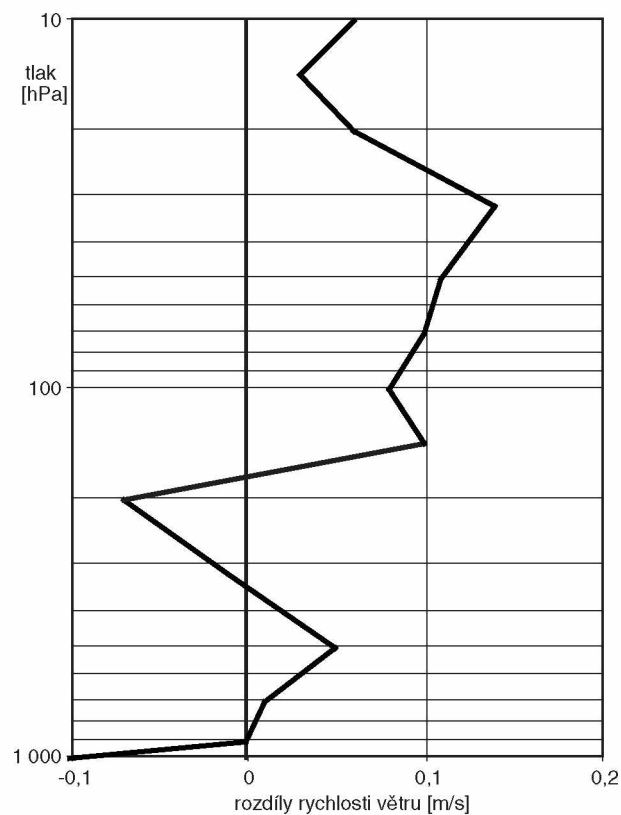
Obr. 6 Průměrné rozdíly vlhkosti RS80-RS92.
 Fig. 6. RS80-RS92 humidity differences mean value.



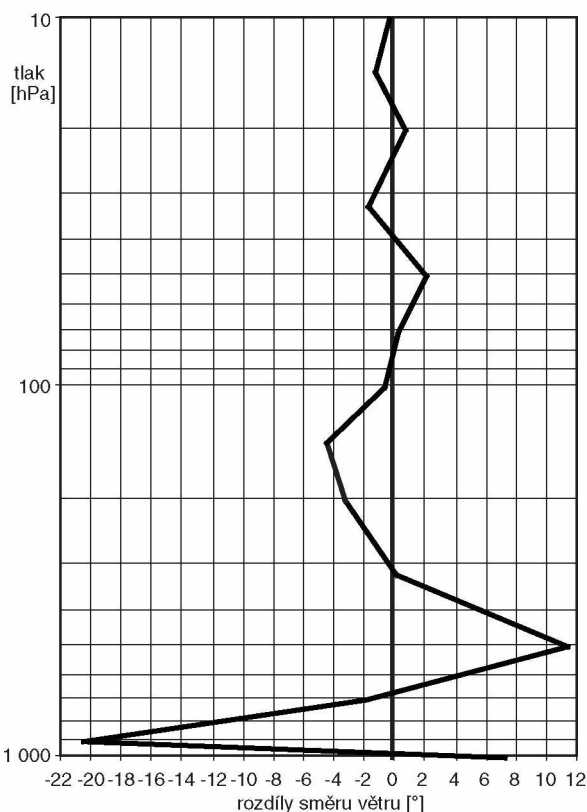
Obr. 8 Průměrné rozdíly směru větru RS80-RS92.
 Fig. 8. RS80-RS92 wind direction differences mean value.



Obr. 7 Průměrné rozdíly vlhkosti RS90-RS92.
 Fig. 7. RS90-RS92 humidity differences mean value.



Obr. 9 Průměrné rozdíly rychlosti větru RS80-RS92.
 Fig. 9. RS80-RS92 wind speed differences mean value.



Obr. 10 Průměrné rozdíly směru větru RS90-RS92.

Fig. 10. RS90-RS92 wind direction differences mean value.

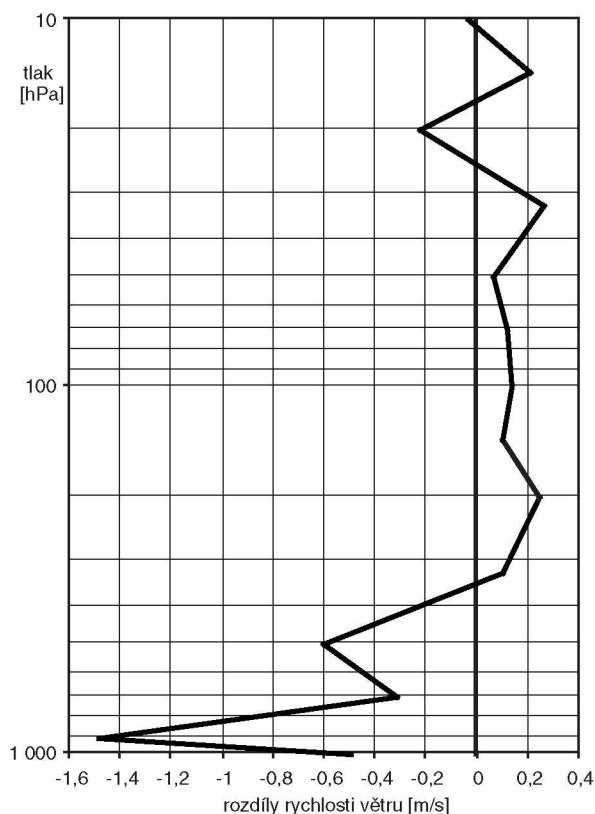
kou relativní vlhkosti a zápornými teplotami. Vyhřívaný H-HUMICAP reaguje na změny vlhkosti okolního vzduchu rychleji a měří přesněji.

Průměrné rozdíly zjištěné srovnáním vlhkostních údajů ze sond RS92 a RS90, vybavených stejným typem vyhřívaného čidla H-HUMICAP, znázorňuje obrázek 7. Radiosondy RS92-KL by měly pro předstartovní přípravu využívat Ground Check 25, který má při tzv. „reconditioning“ procesu odstranit chemické látky kontaminující vlhkostní čidla při přepravě a skladování. Z výše popsaných důvodů, nebylo možné při testech v Praze-Libuši GC25 použít. Firma VAISALA předpokládá, že při použití GC25 by rozdíly v měření vlhkosti byly nižší než $\pm 2.5\%$ relativní vlhkosti.

Stanice Praha-Libuš využívá pro měření větru nejčastěji radiosondy RS90-AL spolupracující s pozemním navigačním systémem LORAN-C. V případech, kdy dojde k výpadku signálů z některého z používaných řetězců majáků LORAN-C, nebo je kvalita signálů velmi nízká, jsou používány sondy RS80-15G s GPS větroměrným modulem. Při testech byly prověřovány oba typy radiosond, jak pro LORAN-C, tak pro GPS systém.

Měření pomocí systému GPS byla relativně konzistentní. Průměrné rozdíly ve směru větru z měření radiosondami typu GPS (RS92-SGP a RS80-15G) jsou na obrázku 8. Srovnáním vertikálních profilů rychlosti větru (obr. 9) byly zjištěny průměrné rozdíly $\pm 0.1 \text{ ms}^{-1}$.

Téměř po celou dobu testů byly rychlosti větru tak nízké, že se radiosondy v průběhu výstupu do vyšších vrstev atmosféry příliš nevzdálily od místa vypuštění. Několikrát bylo dokonce možno vidět prasknutí balonu ve výšce cca 30 km přímo ze stanice Praha-Libuš. Takové povětrnostní podmínky jsou výhodné pro vypuštění více radiosond zavěšených na



Obr. 11 Průměrné rozdíly rychlosti větru RS90-RS92.

Fig. 11. RS90-RS92 wind speed differences mean value.

tyči, což by při vyšších rychlostech větru bylo komplikované. Na druhou stranu jsou situace, kdy sonda stoupá téměř kolmo nad pozemním systémem, nepříznivé pro kvalitu signálů. Radiosonda totiž vysílá ve směru kolmo dolů pouze slabý signál, což je dáno tvarem vyzářovacího diagramu antény radiosondy. Systém DigiCORA MW11 je více náchylný ke ztrátě signálů a produkuje více interpolovaných dat než nový pozemní systém DigiCORA MW21. Tento jev byl pravděpodobně hlavním zdrojem větších rozdílů mezi měřeními směru a rychlosti větru pomocí systému LORAN-C (ve srovnání

Tab. 1 Rozdíly výšek (radiosonda – ALADIN model) standardních tlakových hladin 500, 300, 200, 100 a 50 hPa.

Table 1. Height differences (radiosonde – ALADIN model) on standard pressure levels 500, 300, 200, 100 and 50 hPa.

GPS radiosondy versus ALADIN model				
	RS80-15G	(n=14)	RS92-SGP	(n=14)
P [hPa]	Mean [m]	STD dev. [m]	Mean [m]	STD dev. [m]
500	-6,4	7	-6	6,4
300	-7,4	10,1	-3,4	8,7
200	-10,9	9,6	-3,4	5,9
100	-15,9	10,9	-6,7	7,3
50	-21,8	10,1	-12,3	9,3
LORAN-C radiosondy versus ALADIN model				
	RS90-AL	(n=14)	RS92-KL	(n=14)
P [hPa]	Mean [m]	STD dev. [m]	Mean [m]	STD dev. [m]
500	-5,4	8,9	-7	7,2
300	-2,4	8,1	-2,7	6,6
200	1	11,3	2,4	8,2
100	-6,2	12,4	-3,5	10,6
50	-12,7	14,5	-9,4	12,9

s GPS navigací). Obrázky 10 a 11 znázorňují průměrné rozdíly ve směru a rychlosti větru z měření radiosondami typu LORAN-C (RS92-KL a RS90-AL). Průměrné rozdíly u rychlosti větru se pohybovaly mezi -1.5 ms^{-1} a 0.4 ms^{-1} .

Srovnání výšek standardních tlakových hladin počítaných pozemními systémy DigiCORA MW11 a MW21 z údajů měřených radiosondami s výstupy z numerického modelu ALADIN prezentuje tabulka 1. Jsou zde uvedeny průměrné rozdíly a směrodatné odchylky výšek standardních tlakových hladin 500, 300, 200, 100 a 50 hPa. Rozdíly výšek počítané pro jednotlivé sondáže se lišily o méně než 30 m až do standardní tlakové hladiny 100 hPa a o méně než 40 m do hladiny 50 hPa.

6. ZÁVĚR

Rozdíly mezi PTU údaji měřeními čidly radiosond RS92 a RS90 jsou menší než rozdíly mezi obdobnými daty z RS92 a RS80. Lze konstatovat, že radiosondy RS92 měří lépe než RS80 a jsou srovnatelné s RS90. Předstartovní příprava radiosond typu RS92 je z provozního hlediska komfortnější a jednodušší. U sond RS92-SGP je nespornou výhodou digitální přenos kalibračních koeficientů.

V průběhu ověřovacích testů na stanici Praha-Libuš bylo zjištěno, že hlavním zdrojem rušivých signálů je pravděpodobně nedaleká „televizní věž“. Interference z místních vysílačů těsně před vypuštěním radiosondy nebo v počáteční fázi letu mohou způsobovat výpadky v měření větru pomocí RS80-15G. Přechodem na modernější typ radiosond RS92-SGP, které jsou méně citlivé na takový typ rušení, by se měla zvýšit kvalita měření větru a redukovat množství chybějících dat.

Systém DigiCORA MW21 produkuje méně interpolovaných dat ve srovnání se systémem DigiCORA MW11.

Z uživatelského hlediska jsou přínosem nové možnosti zobrazení a zpracování dat systémem DigiCORA MW21. Speciálně frekvenční analyzátor a monitoring kvality signálů z větroměrných systémů jsou velmi užitečnými nástroji. Na základě některých zkušeností s provozem systému DigiCORA MW21 byly navrženy možné úpravy velké škály termodynamických diagramů, které mohou zjednodušit práci aerologa.

Přechod od radiosond RS90 k radiosondám typu RS92 by neměl narušit homogenitu dlouhodobé řady aerologických měření na stanici Praha-Libuš. Naopak se očekává, že kvalita dat a jejich využitelnost by se měla ještě zvýšit. Ověřovací testy ukázaly, že systém DigiCORA MW21 by měl být kvalitní náhradou stávajícího systému DigiCORA MW11.

Literatura

- [1] SMOUT, R.–ELMS, J. – LYTH, D. – NASH, J., 2001. Met Office RS90 Pressure Sensor Evaluations. New Technology in Upper-air Observations report.
- [2] FINNE, M., 1998. Promising Pilot Test Results of the New RS90 Radiosonde in Vienna. *VAISALA News*, 147, s. 8–10.
- [3] SMOUT, R.–ELMS, J. – LYTH, D. – NASH, J., 2001. Met Office RS90 Temperature Sensor Evaluations. New Technology in Upper-air Observations report.

Lektor RNDr. J. Strachota, rukopis odevzdán v únoru 2004.