

# UPGRADE TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ PRO MONITORING OZONOVÉ VRSTVY A UV SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA ÚZEMÍ ČR

Karel Vaníček, Martin Staněk, Český hydrometeorologický ústav, Solární a ozonová observatoř Hradec Králové, Hvězdárna 456, 500 08 Hradec Králové 8, vanicek@chmi.cz, stanek@chmi.cz

Pavla Skřivánková, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany, skrivankova@chmi.cz

## Upgrade of technological equipments for monitoring of the ozone layer and UV solar radiation in the territory of CR.

The long-term monitoring of the ozone layer and solar UV radiation in the Czech Republic is performed at the Solar and Ozone Observatory in Hradec Králové (SOO) and at the Aerological Observatory Praha-Libuš (AO) of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI). Continuation and further expansion of the high-quality observations required upgrade of the existing facilities and implementation of new instrumentation. This has been realized under the support of the Ministry of the Environment of CR – the development project No. 03431021 provided through the State Environmental Fund of CR. The UV calibration unit as a national etalon for operational calibrations of the UV monitoring instruments and the SPUV-10 solar photometer for measurements aerosol optical depth (AOD) in the UV, VIS and NIR wavelength regions of the solar spectrum were installed and their operation started at SOO. 67 ozone sondes and the ozone tester for their calibration were bought and launched at AO in 2012 and 2013. The new instruments enable CHMI to continue the current high-quality observations at ISO standards and their contribution to the international activities, mainly to the Global Atmosphere Watch, the Network for Detection of Atmosphere Composition Change and the in-situ Global Monitoring for Environment and Security (GMES) programmes.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** monitoring – ozon – UV – aerosol – přístroje měřicí

**KEY WORDS:** monitoring – ozone – UV – aerosol – instrumentation

## 1. ÚVOD

Měření stavu ozonové vrstvy a ultrafialového slunečního záření (UV) nad územím České republiky je součástí systematického monitoringu atmosféry, který provádí Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) jako pověřená instituce státní správy ČR. Tímto úkolem je v rámci ČHMÚ pověřena Solární a ozonová observatoř ČHMÚ v Hradci Králové (SOO) a aerologické oddělení (AO) odboru distančních měření a informací (ODMI) v Praze-Libuši. Na pracovišti SOO se měří celkové množství ozonu v atmosféře (tloušťka ozonové vrstvy) a ultrafialové sluneční záření v oblasti B (UV). Na AO se provádí měření vertikálních profilů koncentrace ozonu v atmosféře pomocí balonových sond. Obě pracoviště jsou zapojena do globálního monitorovacího systému programu GAW (Global Atmosphere Watch Programme) Světové meteorologické organizace (SMO). Výsledky měření jsou ukládány v klimatické databázi ČHMÚ (CLIDATA) a jsou rovněž zasílány do Světového datového centra ozonu a UV v Torontu (WOUDC) [http://www.woudc.org/index\\_e.html](http://www.woudc.org/index_e.html) a do Evropské databáze UV v Helsinkách (EUVDB), <http://www.ozone.fmi.fi/uvdb/>. Pracoviště AO je navíc součástí speciální sítě pro detekci změn složení atmosféry NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change), <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov/>. Řady měření z SOO a AO svojí délkou, kontinuitou a kvalitou patří k nejspolehlivějším v evropském regionu. Jsou proto pravidelně používány nejen při řešení domácích i mezinárodních výzkumných projektů (Vaníček et al. 2012) a ke studiu dlouhodobých trendů (Rieder et al. 2011), ale i k operativním mapovým analýzám: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selectMap> nebo sledování vertikálního rozložení ozonu ve vzduchových hmotách subarktického pásma v projektu MATCH: [http://www.awi.de/en/research/research\\_divisions/climate\\_science/atmospheric\\_circulations/expeditions\\_campaigns/match/manual/](http://www.awi.de/en/research/research_divisions/climate_science/atmospheric_circulations/expeditions_campaigns/match/manual/). Uvedená měření se provádí níže popsanými přístroji a technologickými zařízeními, které byly rozšířeny a modernizovány v rámci rozvojového projektu Státního

fondu životního prostředí ČR (SFŽP) č. 03431021 Upgrade technologických zařízení pro monitoring ozonové vrstvy a UV slunečního záření na území ČR. Popisu a realizaci projektu je věnován tento příspěvek.

## 2. SOUČASNÝ STAV

### Měření celkového ozonu a UV na SOO v Hradci Králové

Měření celkového ozonu se na SOO provádí již od roku 1961, v současné době především pomocí plně automatizovaných Brewerových spektrofotometrů MK-IV č. B098 a MK-III č. B184 (obr. 1). Přístroje měří během celého dne za jakéhokoliv počasí tloušťku ozonové vrstvy a spektrální složení (skeny) dopadajícího ultrafialového slunečního záření v oblast 286 až 363 nm (UV-B a část UV-A). Tímto způsobem je denně získáno



Obr. 1 Brewerovy spektrofotometry B098 a B184 na SOO Hradec Králové.

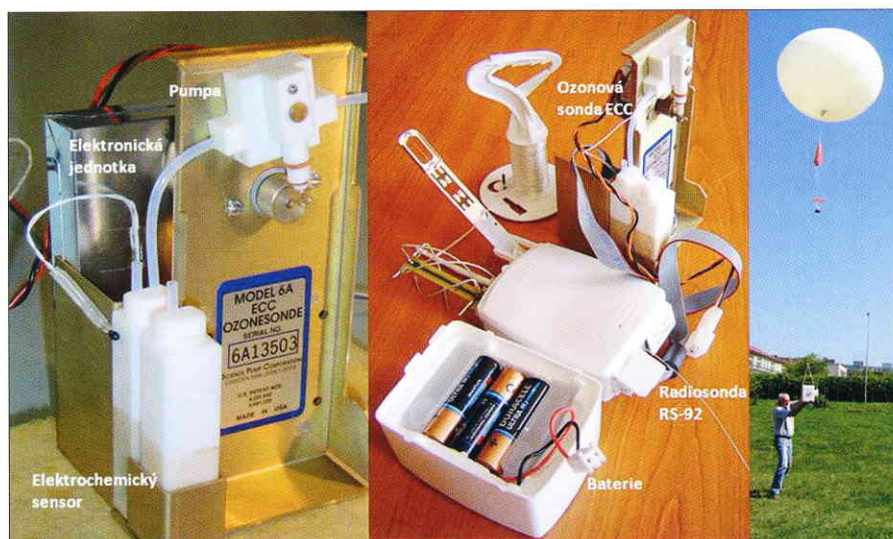
Fig. 1. Brewer spectrophotometers B098 and B184 at SOO Hradec Králové.



Obr. 2 UV-Biometr typ Solar-Light.

Fig. 2. UV-Biometer, model Solar-Light.

až několik desítek hodnot obou parametrů. Naměřené údaje se automaticky zaznamenávají do databáze na SOO a do databáze CLIDATA. Podrobnosti o metodě a technice měření lze nalézt v publikacích Vaníček (2003) a Achrer et al. (2007). Uvedená souběžná měření jsou velmi důležitá pro studium vazby mezi změnami stavu ozonové vrstvy a biologicky aktivního UV záření dopadajícího na zemský povrch. Spektrofotometry také provádějí okamžitý výpočet intenzity erytemového záření EUV (UV pohlcené lidskou pokožkou). Přesnost těchto měření byla až dosud ověřovaná kalibracemi zahraničními referenčními etalony. Přístroj B184 je používán i pro kalibrace UV-Biometrů – přístrojů na měření EUV (obr. 2). Měření EUV se v současné době provádí mimo SOO na dalších 3 stanicích ČHMÚ a slouží k operativnímu informování veřejnosti o aktuálních hodno-



Obr. 3 Elektrochemická ozonová sonda ECC a její vypuštění s radiosondou RS-92 pomocí balonu na AO v Praze-Libuši.

Fig. 3. Balloon-born electrochemical ozone sonde ECC and its launch with the radiosonde RS-92 at AO Praha-Libuš.

tách UV-Indexu [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ozon/UV\\_online.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ozon/UV_online.html).

### Měření vertikálních profilů ozonu na AO v Praze-Libuši

V ČR se pravidelná měření vertikálního profilu koncentrace ozonu v atmosféře pomocí balonových sond realizují na AO Praha-Libuš od r. 1982 každé pondělí, středu a pátku v měsících leden až duben, kdy dochází ve středních zeměpisných šířkách k nejvýraznějším změnám ve struktuře ozonové vrstvy. Ve zbylé části roku se měření neprovádí z důvodu vysokých finančních nákladů. V prvním desetiletí se k měření používaly elektrochemické sondy typu Brewer-Mast, vyráběné v tehdejší NDR. Jejich kvalita však nebyla dostatečně stabilní. Proto v r. 1992 došlo k přechodu na sondy typu ECC (Electrochemical Concentration Cell), které se používají ve spojení s novým radiosondážním zařízením Vaisala – DigiCORA dodnes. Pro tento typ sond byly v rámci GAW definovány standardní operační procedury (SOPs), které zahrnují mimo jiné i přesně definované technologické postupy předstartovní přípravy, kalibrace, realizace letu a vyhodnocení měření. Hlavní komponenty ozonové sondy jsou znázorněny na obr. 3 a popsány například v uživatelské příručce VAISALA (2005). Součástí ozonového čidla EEC jsou motorová pumpa, s konstantním průtokem nasávající během letu vzduch z okolí sondy, a katodoanodová komůrka s iontovým můstkem, ve které dochází k chemickému rozkladu roztoku jodidu draselného ozonem obsaženým v nasávaném vzduchu. Ozonové čidlo umístěné v polystyrénovém ochranném obalu a propojené s radiosondou, se upevňuje pod speciální meteorologický balon plněný vodíkem, který vynáší přístroje do výšky cca 30km, kde se balon vnitřním přetlakem roztrhne, a měření končí. Ozonová sonda je pak snesena na zem padákem.

Hlavním výsledkem sondážních měření jsou profily výškového rozložení parciálního tlaku ozonu, teploty a vlhkosti vzduchu, směru a rychlosti větru s výškovým krokem cca 30m, které jsou v digitální podobě ukládány do databáze na AO. Ročně se tímto způsobem v AO realizuje 50–55 ozonosondážních výstupů. Kvalita měření koncentrace ozonu je velmi závislá na řadě faktorů – technických i atmosférických. K nejdůležitějším patří mezinárodně standardizovaná předstartovní kalibrace sond pomocí testovací jednotky (testeru).

Toto klíčové zařízení, pořízené v r. 1992, v současné době již vyžaduje nutnou inovaci.

### 3. CÍLE PROJEKTU

V návaznosti na předchozí stručný popis současného stavu monitoringu ozonové vrstvy a UV záření v ČR je možno konstatovat, že dlouhodobá měření celkového ozonu prováděná v rámci programu GAW na SOO v Hradci Králové jsou mezinárodně standardizovaná a splňují normu kvality ISO-9001. K jejich udržení a k dalšímu rozšíření však bylo potřebné:

- inovovat zařízení pro předstartovní přípravu ozonových sond,
- zvýšit provozní zálohu ozonových sond v období současné nestability finančních zdrojů,
- omezit závislost kalibrací UV radiometrů ČHMÚ na zahraničních etalonech,

- rozšířit spektrální měření slunečního záření do celé UV-A, viditelné (VIS) a blízké infračervené (NIR) oblasti, s možností výběru vlnových délek pro výpočet aktuálního množství aerosolu a dalších složek atmosféry.

K dosažení uvedených cílů byl proveden nákup, instalace a zprovoznění těchto technologických zařízení a speciálního materiálu:

#### Ozonové sondy

Měření vertikálního profilu koncentrace ozonu v atmosféře probíhá za letu ozonové sondy upoutané k meteorologickému balonu. Vzhledem k tomu, že po jeho prasknutí dopadne sonda na neznámé místo, jedná se v podstatě o spotřební materiál, jehož provozní zálohu je třeba operativně doplňovat. Ozonová sonda se skládá z elektrochemického ozonového čidla ECC6AB, radiosondy RS92-SGPD, převodníku signálů mezi ozonovým čidlem a radiosondou RSA921, nosného balonu a snášecího padáku. Čidla ECC vyrábí firma Science Pump Corporation (Camden, New Jersey, USA), radiosondy a převodník vyrábí firma VAISALA (Helsinky, Finsko). Pro období trvání projektu bylo na AO plánováno realizovat cca 67 ozonosondážních výstupů (třikrát týdně + 3 sondy jako záloha) pomocí sond nakoupených z prostředků projektu.

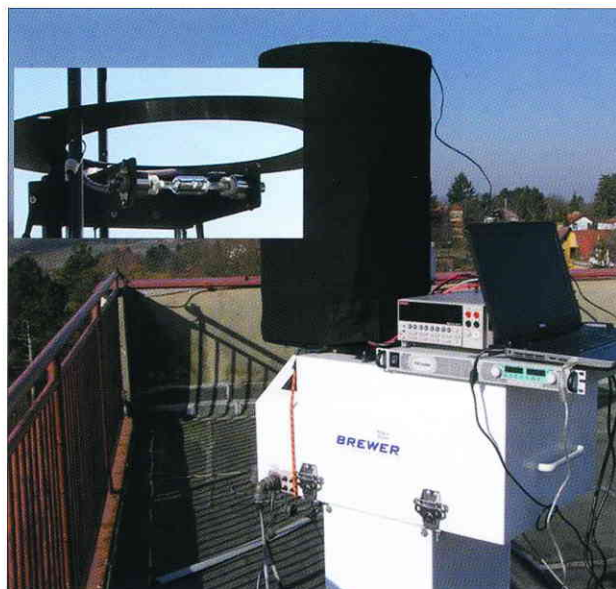


Obr. 4 Ozonový tester používaný od r. 1992 na AO k předstartovní kalibraci ozonových sond.

Fig. 4. The ozone tester operated at AO since 1992 for calibration of the ozone sondes.

#### Kalibrační zařízení pro předstartovní přípravu ozonových sond

Jedná se o jednotku „Science Pump Corporation Model TSC-1 Ozonizer / Test Unit“ (obr. 4). Zařízení se používá k třístupňové předstartovní přípravě a kontrole ozonových sond v laboratoři. Jeho hlavní součástí je zdroj ozonu (UV lampa) s regulovatelnou intenzitou záření, kalibrátor (čidlo ECC a pumpa s motorkem), mikroampermetry pro měření výstupních proudů kalibračního čidla a čidla jednotlivých ozonových sond a měřidlo pro kontrolu napětí a odběr motorů pump sondy a kalibrátoru. Zdroj ozonu umožňuje prověřit správnou funkci ozonové sondy a její reakce na vysokou, nízkou a nulovou koncentraci ozonu. To je důležité pro stanovení tzv. požadového proudu, který je jedním ze vstupních parametrů při výpočtu koncentrací ozonu v průběhu sondáže. Složení a funkce kalibračního zařízení vyplývá z platných SOPs stanovených manuálem SMO.



Obr. 5 UV kalibrační jednotka – kalibrace UV čidla Brewerova spektrofotometru.

Fig. 5. UV calibration unit – calibration of the UV sensor of the Brewer spectrophotometer.

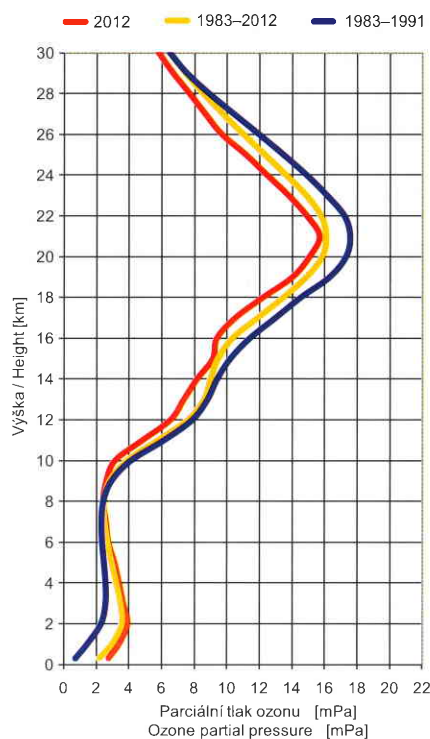
#### Kalibrační jednotka pro UV radiometry – komora, elektronická jednotka, sada standardních spektrálních lamp

Zařízení se skládá ze dvou komponent. První je přenosná ventilovaná kalibrační komora s napájecí jednotkou, do které se umísťuje kalibrované čidlo (obr. 5). Jejím výrobcem a dodavatelem je kanadská firma International Ozone Services, Inc., Toronto. Druhou komponentou je referenční standardní lampa, která je vyhřívána výše uvedenou napájecí jednotkou a ozařuje v kalibrační komoře v předepsané geometrické konfiguraci.



Obr. 6 Sluneční fotometr SPUV-10 instalovaný na SOO Hradec Králové.

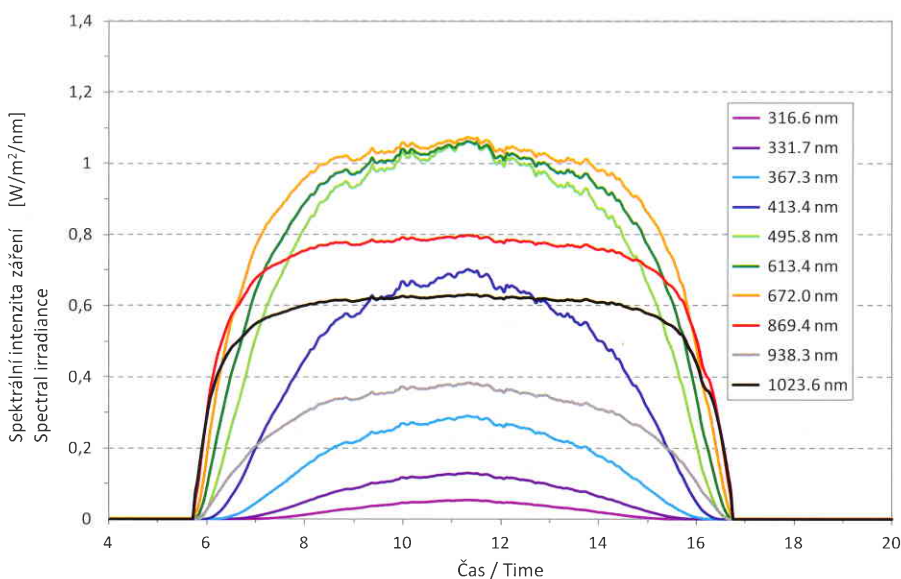
Fig. 6. Sun photometer SPUV-10 operated at SOO Hradec Králové.



Obr. 7 Průměrné vertikální profily rozložení parciálního tlaku ozonu vypočtené pro rok 2012 a pro období 1983–1991 a 1983–2012. Praha-Libuš.

Fig. 7. Average vertical profiles of ozone partial pressure calculated for the year 2012 and for the periods 1983–1991 and 1983–2012. Praha-Libuš.

raci kalibrované čidlo. Standardní lampa musí být kalibrována v mezinárodní referenční stupnici akreditovanou laboratoří. Pro oblast EU se nejčastěji používá stupnice PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), <http://www.ptb.de/en/zieleaufgaben/dieptb.html>. K provozním kalibracím UV radiometrů je třeba, aby byl kalibrační etalon vybaven alespoň několika lampami. Jejich střídavé používání a vzájemné porovnávání zaručuje kontrolu stability jejich certifikátů a zaručuje nepřerušené



Obr. 8 Denní chod spektrální intenzity slunečního záření na vlnových čarách v oblasti UV, VIS a NIR naměřené pomocí fotometru SPUV-10 na SOO v Hradci Králové dne 5. 3. 2013.

Fig. 8. Daily course of spectral solar irradiances at selected wavelengths in the UV, VIS and NIR spectral regions measured by the sun photometer SPUV-10 at SOO Hradec Králové on 5. 3. 2013.

použití v případě poškození nebo „vyhoření“ některé z lamp. Pro potřeby projektu proto byly pořízeny tři kusy standardních lamp kalibrované ve stupnici PTB ve světovém radiačním centru SMO v Davosu (Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos), <http://www.pmodwrc.ch>.

#### Sluneční fotometr SPUV-10

Jedná se o automatický optoelektronický přístroj, který měří intenzitu přímého slunečního záření dopadajícího na deseti vybraných spektrálních čarách v UV, VIS a NIR oblastech slunečního spektra (úzkých vlnových intervalech doporučených SMO): 316,6; 331,7; 367,3; 413,4; 495,8; 613,4; 672,0; 869,4; 938,3 a 1 023,6 nm. Tyto čáry jsou měřené systémem 10 stabilních filtrů a absorpčních komor (obr. 6). Jejich výběr umožňuje především výpočet optické tloušťky atmosférického aerosolu AOD (Aerosol Optical Depth), ale také celkového množství dalších selektivně absorbujících složek atmosféry (ozonu, vodní páry, NO<sub>2</sub>). Z měření lze dále modelově dopočítat přesné aktuální složení celého UV a VIS slunečního spektra. Fotometr a jeho funkce jsou řízeny operačním programem pomocí řídicí jednotky – ústředny. Připojený PC tato data může ve zvolených intervalech snímat, vyhodnotit a dále přenášet, s možností přímého připojení na internet. Měření jsou zpracovávána standardním programem, který umožňuje jak datové, tak i grafické výstupy. Výrobce fotometru je firma Yankee Environmental Systems, Inc, USA. Bližší informace o produktu lze nalézt na webové adrese <http://www.yesinc.com/products/radvis.html>. Spolu s pořízením fotometru byl zakoupen rovněž pyranometr Kipp-Zonen typ CM-11 pro souběžná měření celkového globálního slunečního záření, která mají doplňující charakter.

#### 4. REALIZACE PROJEKTU

Administrativní příprava projektu probíhala již během r. 2011. Jeho řešení ale započalo až po schválení podpory Státního fondu životního prostředí ČR na základě rozhodnutí ministra životního prostředí č. 03431021 v prosinci 2011.

#### Realizace 67 ozonových sondáží

V měsících I–IV. 2012 bylo v souladu s plánem na pracovišti AO Praha-Libuš provedeno 53 měření vertikálních profilů koncentrace ozonu s použitím sond zakoupených z prostředků projektu. Zbylých 14 sond bylo použito k měřením v lednu 2013. Výsledky měření byly uloženy v klimatické databázi ČHMÚ CLIDATA, ve Světovém ozonovém a UV datovém centru (WOUIDC) v Torontu a v operativní databázi NDACC. Průměrný vertikální profil O<sub>3</sub> za r. 2012 a jeho dlouhodobý průběh za r. 1983–1991 (období před hlavním úbytkem ozonu) jsou pro ilustraci znázorněny na obr. 7.

#### Ozonový tester TSC-1

Spolu s ozonovými sondami bylo zakoupeno a bezprostředně po dodání uvedeno do provozu na AO nové kalibrační zařízení pro předstartovní přípravu ozonových sond TSC-1. Tím byla zabezpečena kontinuita dodržování předstartovní přípravy sond definovaná SOPs.

## UV kalibrační jednotka

S ohledem na dodací lhůty bylo kalibrační zařízení dodáno výrobcem a uvedeno do provozu na SOO až v září 2012. Během celého r. 2012 však na SOO probíhala pravidelná měření UV spektrálních měření pomocí Brewerova spektrofotometru B184 a erytmového záření pomocí UV-Biometru, která byla zpracovaná pomocí kalibračních konstant určených nově zakoupenou UV kalibrační jednotkou. Tato měření byla zkontrolována s ohledem na jejich kvalitu a celkem 10 398 UV skenů bylo uloženo do databáze CLIDATA a do Evropské UV databáze EUVDB v Helsinkách. Přibližně stejné množství UV měření bylo realizováno v průběhu posledního roku řešení 2013, kdy už byla UV kalibrační jednotka používána operativně. Součástí monitoringu UV záření je rovněž průběžné měření globálního slunečního záření na SOO pomocí pyranometru CMP-11 Kipp-Zonen, rovněž pořízeného z dotace SFŽP.

## Sluneční fotometr SPUV-10

Tento přístroj měl být pořízen původně již v říjnu 2012. Vlivem prodloužení dodací lhůty výrobcem však byl fotometr dodán na SOO až v prosinci 2012 a po kontrole funkčnosti instalován k provozním měřením v lednu 2013. Opožděná instalace proto neumožnila realizovat do konce projektu (III/2013) původně plánovaných 21 000 UV, VIS a NIR měření – viz. příklad ze dne 5. 3. 2013 na obr. 8. Proto byl na doporučení SFŽP projekt o 6 měsíců prodloužen, což umožnilo pokrýt celé letní období 2013. Výsledky těchto měření a jejich analýza budou předmětem samostatné studie a publikace v odborném časopisu.

## 5. SOUČASNÉ A BUDOUCÍ VYUŽITÍ POŘÍZENÝCH ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJŮ

ČHMÚ je jedinou institucí, která provádí dlouhodobý monitoring stavu ozonové vrstvy a slunečního záření na území ČR. Tato měření a jejich další zpracování se řídí standardními operačními procedurami SMO, splňují normy kvality ISO 9001:2000 a jsou zakotveny rovněž ve zmíněných mezinárodních programech GAW, NDACC a MATCH. Naměřená data jsou ukládána v tuzemských i mezinárodních databázích, odkud jsou k dispozici nejen odborníkům ČHMÚ, ale i dalším uživatelům. Realizace rozvojového projektu SFŽP znamenala významný přínos k stabilizaci, zkvalitnění a k dalšímu rozšíření uvedených měřících programů v těchto oblastech.

### Monitoring ozonové vrstvy

Zatímco měření celkového ozonu na SOO je pro nejbližší roky přístrojově zabezpečeno, technologickou infrastrukturu a operativní zásobu ozonových sond pro měření vertikálních profilů O<sub>3</sub> na AO bylo potřeba obnovit. Nákupem 67 sond a pořízením nového kalibračního zařízení pro představitelnou přípravu sond byl tento problém vyřešen. Pracoviště se tak může i nadále účastnit nejen ve zmíněných mezinárodních programech, ale i v realizaci závazků vyplývajících pro ČR z podpisu Vídeňské konvence na ochranu ozonové vrstvy.

### Zřízení národního etalonu pro měření UV slunečního záření

Měření UV slunečního záření na pracovištích ČHMÚ pomocí Brewerových spektrofotometrů a UV-Biometru vyžaduje pravidelnou kalibraci těchto přístrojů vůči mezinárodním standardům. Zakoupením kalibrační jednotky, včetně sady standardních lamp, byl zřízen referenční etalon pro UV radiometry v ČR, který je možno používat k mezinárodně standardizovaným kalibracím ve stupnici PTB bez závislosti na dosavadní asistenci zahraničních institucí nebo komerč-

ních firem. Všechna měření prováděná v ČHMÚ od r. 2012 včetně tak již budou navázána na tento nový etalon.

## Rozšíření spektrálních měření v UV a VIS části slunečního spektra

Sluneční fotometr SPUV-10, který byl uveden do operativního provozu na SOO, je jediným přístrojem na území ČR, který umožňuje provádět měření přímého slunečního záření dopadajícího na zemský povrch jak v UV, tak i ve VIS a NIR oblastech spektra. Vlnové délky měření byly vybrány tak, aby umožňovaly určit:

- kompletní spektrum dopadajícího slunečního záření v UV (290–400 nm), VIS 400–800 nm) a NIR (nad 800 nm) oblastech,
- optickou tloušťku aerosolu (AOD) v jednotlivých oblastech spektra,
- celkové množství ozonu, vodní páry a NO<sub>2</sub> v atmosféře.

Zahájením těchto měření byl významně rozšířen monitoring parametrů atmosféry vyžadovaný mimo jiné i nově vytvářeným evropským systémem programu GMES in-situ (Global Monitoring for Environment and Security), koordinovaný Evropskou agenturou pro životní prostředí (EEA) a Evropskou vesmírnou agenturou (ESA), <http://copernicus.eu/>. V atmosférické části GMES jsou parametry UV a AOD spolu s vertikálními profily O<sub>3</sub> definované jako „Essential Climate Variables – ECVs), které by měly být přednostně měřené, <http://gisc.ew.eea.europa.eu/> (De Sousa 2011). Fotometr SPUV-10 tato měření umožňuje realizovat, a tím i získanými výsledky zabezpečit účast ČR v tomto celoevropském systému monitoringu atmosféry. Po získání dostatečného množství datových podkladů budou měření pracovníky SOO analyzována a získané výsledky prezentované na vědeckých akcích a v odborných časopisech.

*Tento příspěvek je součástí realizace projektu Státního fondu pro životní prostředí č. 03431021.*



STÁTNÍ FOND  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
ČESKÉ REPUBLIKY

### Literatura

- ACHRER, J. a kol., 2007. Ochrana ozonové vrstvy v České republice – 20 let od podepsání Montrealského protokolu. Praha: MŽP ČR. ISBN 978-80-7212-471-8.
- DE SOUSA, A. M., SCHUREN, E., ANDERSEN, H. S., CHAK, K. A., ZEUG, G., 2011. Report on in-situ data requirements, GMES in-situ Coordination (GISC) Deliverable 2.1, The European Environment Agency – Grant agreement number: 249327.
- RIEDER, H., JANCOSO, L. M., DI ROCCO, S., STAEHELIN, J., MAEDER, J. et al., 2011. Extreme events in total ozone over the Northern mid-latitudes: An analysis based on long-term data sets from five European ground-based stations. Tellus. 63B. s. 860–874.
- VAISALA, 2005. Digital Ozone sonde RS92 USER'S GUIDE M210547EN-B, VAISALA Oyj, February 2005, Finland.
- VANÍČEK, K., 2003. Calibration History of the Dobson 074 and Brewer 098 ozone spectrophotometers. Prague: CHMI, ISBN 80-86690-08-3.
- VANÍČEK, K., METELKA, L., SKŘIVÁNKOVÁ, P., STANĚK, M., 2012. Dlouhodobé změny ozonové vrstvy nad územím České republiky. *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*, sv. 58, Praha: ČHMÚ. ISBN 978-80-87577-07-3.

*Lektor (Reviewer): RNDr. Miroslav Chmelík, CSc.*