



ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

<b>MN NMK 221.1/2007</b>		
<b>Metodický návod NMK č.j.: P0721100023</b>		
<b>Náměstek ředitele pro meteorologii a klimatologii</b>		
<b>Měření celkového ozonu v atmosféře</b>		
<i>Účinnost od:</i> <b>1. března 2007</b>	<i>Schváleno dne:</i> <b>28. února 2007</b>	<i>Rozsah působnosti:</i> <b>ČHMÚ</b>

Výtisk č. – elektronická kopie

### ***Rozdělovník elektronických kopií***

NOČO, NH

CPP, OLM, OK, OPSS

P-Praha, P-České Budějovice, P-Plzeň, P-Ústí nad Labem, P-Hradec Králové, P-Brno, P-Ostrava

OHMZ VGHMÚř Praha

ÚFA AV ČR

RNDr. Radim Tolasz  
náměstek ředitele pro meteorologii a klimatologii

## ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV Solární a ozonová observatoř

### METODICKÝ NÁVOD

## MĚŘENÍ CELKOVÉHO OZONU V ATMOSFÉŘE

### ÚVOD

Tento metodický návod popisuje způsob měření, zpracování a přenosu dat celkového ozonu v atmosféře platné v době jeho vydání a nadále. MN vychází z návodů, manuálů a doporučení programu GAW (Global Atmosphere Watch) Světové meteorologické organizace (SMO) výrobců, které jsou uvedené v seznamu referencí. MN navazuje na dokumenty řízení ČHMÚ:

- MP NKM 221.1/2006 „Zabezpečení měření složek radiační bilance a celkového ozónu na stanicích a observatořích ČHMÚ“
- SM ŘÚ 3.1.1.-1/2005: „Metrologický řád ČHMÚ“

### A. ORGANIZACE MĚŘENÍ

- Měření celkového ozonu a zpracování dat provádí Solární a ozonová observatoř Hradec Králové (SOO). SOO, která je součástí globální ozonové sítě programu GAW.
- K měření se používají Dobsonův a Brewerův spektrofotometry. Jejich kalibraci zabezpečuje SOO ve spolupráci s kalibračními centry programu GAW. ČHMÚ neudržuje žádný kalibrační etalon pro měření celkového ozonu
- Registraci naměřených dat, zpracování měření, kontrolu výsledných hodnot celkového ozonu, jejich ukládání do ozonové databáze ČHMÚ a přenos dalším subjektům provádí SOO
- Defínice:  
Celkový ozon je množství ozonu obsažené ve vertikálním sloupci zemské atmosféry se základnou na zemském povrchu a vrcholem na vnější hranici atmosféry.

Celkový ozon se měří v Dobsonových jednotkách (DU). 1 Dobsonova jednotka je definovaná jako 0,01 mm silná vrstva sloupce ozonu vytvořená ozonem za standardních podmínek (teplota 0 °C a tlak 1013 hPa). Vztah mezi DU a dalšími jednotkami SI [1]:

$$\begin{aligned} 1 \text{ DU} &= 1 \text{ miliatmosférický centimetr (1 matm-cm)} \\ &= 10^{-5} \text{ m čistého ozonu při standardním tlaku a teplotě} \\ &= 2.1414 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-1} \\ &= 2.687 \cdot 10^{16} \text{ molekul} \cdot \text{cm}^{-2} \end{aligned}$$

## B. MĚŘENÍ CELKOVÉHO OZONU V ATMOSFÉŘE POMOCÍ DOBSONOVA SPEKTROFOTOMETRU

### 1. Dobsonův spektrofotometr – základní popis přístroje a jeho funkce

Dobsonův spektrofotometr (Obr. 1) je manuálně ovládaný dvojitý monochromátor, který rozkládá dopadající sluneční záření pomocí optických hranolů. Celý optický a elektronický systém je uložen v masivním litinovém korpusu z kovové slitiny s minimální tepelnou roztažností. Spektrofotometr je umístěn na pohyblivé platformě nebo vozíku a je chráněn termoizolačním krytem. Jeho teplota je měřena vnitřním teploměrem. Paprsky přímého slunečního záření jsou nasměrovány do přístroje optickým tubusem SD, pod kterým je umístěn křemenný difusor GQP.

Z ultrafialové části vytvořeného spektra jsou soustavou fixních štěrbin a clon vybrány 3 páry vlnových délek označené A, C, D se silnou ( $\lambda_1$ ) a slabou ( $\lambda_2$ ) absorpcí ozonem. Intenzity jejich spektrálního toku  $I_1$  a  $I_2$  vytvářejí na fotodiodě elektrický signál, který je detekován vnějším mikroampérmetrem MA. Vlnové páry  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  a jim příslušející absorpční koeficienty ozonu  $\alpha$  a atmosférického rozptylu  $\beta$  jsou definovány v Bass-Paurově škále v Tabulce 1:

**Tabulka 1**

Vlnový pár	Vlnová délka nm	Ozon. abs. koef. $\alpha$ (atm-cm) <sup>-1</sup>	Atm. rozpt. koef $\beta$ (atm) <sup>-1</sup>
A	$\lambda_1$ 305.5	1.915	0.489
	$\lambda_2$ 325.4	0.109	0.375
C	$\lambda_1$ 311.5	0.873	0.450
	$\lambda_2$ 332.4	0.040	0.341
D	$\lambda_1$ 317.5	0.384	0.414
	$\lambda_2$ 339.9	0.017	0.310

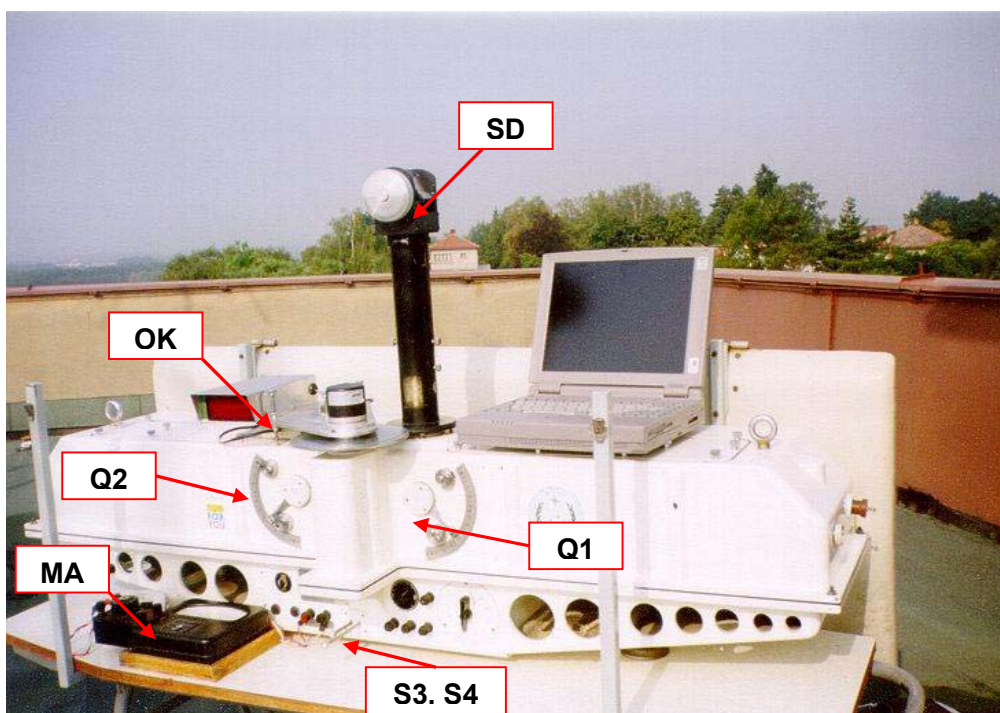
Nastavení vlnových párů A, C, D vůči štěrbinám se provádí pomocí pohyblivých hranolů ovládaných vnějšími posuvnými rameny Q1 a Q2. Jejich pozice je definovaná na základě aktuální teploty přístroje kalibrační Q-Tabulkou. V průběhu měření je spektrální intenzita  $I_2$  na ozonem méně absorbované vlnové délce  $\lambda_2$  uměle zeslabena posuvnými absorpčními klíny tak, aby se vyrovnala intenzitě  $I_1$ . Tento rovnovážný stav je indikován stejným elektrickým signálem vytvářeným na fotodiodě. Poloha absorpčních klínů je určena na stupnici ovládacího kotouče OK hodnotou  $R$ , která je ekvivalentní množství celkového ozonu v atmosféře a která je jedním ze základních vstupních údajů pro výpočet celkového ozonu.

Na SOO se měří celkový ozon v pořadí vlnových párů C, D, A, které je doporučeno pro stanice ve středních zeměpisných šířkách s časovým krokem 1 minuty. Dobsonův spektrofotometr umožňuje měřit celkový ozon jak pomocí přímého slunečního záření tak i z rozptýleného záření dopadajícího ze zenitu. Detailní složení a funkce Dobsonova spektrofotometru spolu se způsobem měření a výpočtu celkového ozonu jsou popsány zejména v publikaci [2], která má charakter základního manuálu GAW, tzv. „Standard Operation Procedures“ (SOPs). Jeho novelizace je v podobě dynamického dokumentu uložena na www adrese:

<ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/dobson/hb6v2006.zip> .

**Základní specifikace Dobsonova spektrofotometru:**

- Použití: měření celkového ozonu na specializovaných observatořích
- Výrobce: již neexistuje, v minulosti Beck Ltd. A Ealings Ltd, Londýn
- Vlnový rozsah: 300 - 340 nm
- Přesnost měření: 1 % pro celkový ozon při měření na DS
- Kalibrační interval: 3-4 roky
- Výstupní signál: anodový proud na fotodidě, pozice absorpčních klínů
- Výstupní naměřené údaje: celkové množství ozonu v atmosféře v Dobsonových jednotkách



**Obrázek 1.** Dobsonův spektrofotometr č.D074 používaný v ČHMÚ k měření celkového ozonu

## 2. Měření celkového ozonu Dobsonovým spektrofotometrem

Pro měření pomocí Dobsonova spektrofotometru na přímé záření (DS) je stanoven tento postup:

1. Umístit přístroj pravou stranou ve směru aktuálního azimutu Slunce
2. Sejmout kryt vstupního otvoru, nasadit difusor GQP a tubusu SD.
3. Zasadit páku clony S3 do pozice „SHORT“ a páku clony S4 zcela dovnitř přístroje
4. Připojit přístroj k elektrické síti, zapnout vypínače V síťového připojení, napájecích jednotek a motoru
5. Nastavit tubus přímo na slunce (světelná projekce slunečního kotouče na střed GQP), zavřít okénko tubusu.
6. Odečíst aktuální teplotu přístroje  $T$

7. Nastavit ramena Q1 a Q2 podle **Q-Tabulky** (Q1 pro aktuální teplotu  $T$ , Q2 pro 15.0 °C) a pro vlnový pár C.
8. Odaretovat mikroampérmetr MA a nastavit jeho maximální citlivosti
9. Nastavit optimální citlivost spektrofotometru.
10. Vyhledat pozici ovládacího kotouče klínů OK při které je nulový signál na MA (intenzity  $I_1$  a  $I_2$  dopadající na fotodiody jsou stejné)
11. Registrovat čas měření ve standardním čase (SEČ, hh.mm.ss) a hodnoty  $R$  na ovládacím kotouči OK
12. Aretovat mikroampérmetr a snížit citlivost přístroje na minimum.
13. Opakovat úkony 7. – 11. pro další vlnové páry D a A.
14. Vypnout motor a napájecí jednotky, sejmout SD, nasadit krytky na vstupní otvor.
15. Zapsat aktuální stav počasí během měření.

Při měření celkového ozonu na zenit (ZS) se postupuje stejným způsobem, pouze se nenasazují SD a GQP – vstupní otvor spektrofotometru je volný a umožňuje tak příjem rozptýleného záření ze zenitu.

### 3. Výpočet celkového ozonu z měření Dobsonovým spektrofotometrem

Výpočet celkového ozonu v atmosféře vychází z Lambert-Beerova zákona o zeslabení ultrafialového slunečního záření při průchodu bezoblačnou ale reálnou atmosférou, ve které dochází k absorpci ozonem a aerosolem a k rozptylu na molekulách atmosférických plynů. Použití tohoto zákona pro kombinaci vlnových párů A, C, D lze potlačit vliv aerosolu a odvodit příslušné vztahy [4]:

$$O_{3AD} = (N_A / \mu_A - N_D / \mu_D) / (\alpha_A - \alpha_D) - (\beta_A - \beta_D) m p / (\alpha_A - \alpha_D) \mu_{AD} p_o \quad (1)$$

$$O_{3CD} = (N_C / \mu_C - N_D / \mu_D) / (\alpha_C - \alpha_D) - (\beta_C - \beta_D) m p / (\alpha_C - \alpha_D) \mu_{CD} p_o \quad (2)$$

kde použité symboly znamenají:

$$N = \log(I_{01}/I_{02}) - \log(I_1/I_2) = N_0 - \log(I_1/I_2) = N_{Tabulka}(R) \quad (3)$$

$I_{01}, I_{02}$	spektrální intenzity slunečního záření na vlnových délkách $\lambda_1$ a $\lambda_2$ na vnější hranici zemské atmosféry
$I_1, I_2$	spektrální intenzity slunečního záření na vlnových délkách $\lambda_1$ a $\lambda_2$ na zemském povrchu
$O_{3AD}, O_{3CD}$	celkový ozon v atmosféře v Dobsonových jednotkách vypočítaný pro kombinaci vlnových párů AD a CD
$m$	relativní dráha slunečního záření při průchodu zemskou atmosférou (optická hmota atmosféry)
$p$	průměrný tlak vzduchu v místě měření
$p_o$	průměrný tlak vzduchu na hladině moře
$\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$	rozdíl spektrálních koeficientů absorpce ozonu na vlnových párech A, C, D
$\beta = \beta_1 - \beta_2$	rozdíl spektrálních koeficientů rozptylu Rayleighovy atmosféry na vlnových párech A, C, D

$\mu$  relativní dráha slunečního záření při průchodu ozonovou vrstvou ve výšce cca 22 km (optická hmota ozonové vrstvy) v čase měření na vlnových párech A, C, D.

V rovnicích (1) a (2) jsou:

$\alpha, \beta, p, p_0$  konstanty,

$m, \mu$  veličiny vypočítané pomocí astronomických zákonů z času  $t$  a data měření  $ddmmrrr$  a z geografických souřadnic místa měření (šířka ZŠ, délka ZD, nadmořská výška NV) [3]

$N$  jsou hodnoty získané převodem naměřených hodnot  $R$  pomocí kalibrační převodní tabulky – vztah (3)

#### 4. Záznam a zpracování vstupních údajů a vypočítaných hodnot celkového ozonu

Měření celkového ozonu Dobsonovým spektrofotometrem a záznam dat provádí vyškolený operátor. Měření se provádí ručně způsobem popsáním v části 2. tohoto MN. Operátor zaznamenává naměřená data do standardního formuláře uvedeného v Příloze č.1 v tomto pořadí:

- rok, měsíc, pořadové číslo formuláře v měsíci
- pořadové číslo měření v měsíci
- pořadové číslo dne v měsíci
- teplota přístroje v °C
- čas začátku měření hh.mm (SEČ)
- typ měření – DS
- hodnoty RC, RD, RA
- záznam o počasí v době měření, dohlednost
- podpis operátora

Výše uvedené údaje slouží jako vstupní data pro výpočet celkového ozonu. Výpočty se provádějí na PC pomocí software založeného na rovnicích (1), (2) a (3). Tento program rovněž obsahuje kalibrační konstanty spektrofotometru – konverzní tabulku  $N\text{Tabulka}(R)$  a nástroje pro udržování databáze celkového ozonu na SOO. Program byl vytvořen pracovníky SOO a ověřen experty GAW. Před definitivním zařazením vypočítaných hodnot celkového ozonu do databáze je provedena kontrola dat. Tuto kontrolu provádí každodenně operátor spektrofotometru a na konci měsíce ozonový specialista SOO – viz. kapitolu D..

#### 5. Kalibrace Dobsonova spektrofotometru

Dobsonův spektrofotometr D074 je od r. 1979 pravidelně kalibrován ve škále definované světovým etalonem (standardem) D083, udržovaném ve Světovém kalibračním centru GAW v NOAA, Boulder, USA. Kalibrace se uskutečňují v intervalech 3-4roky na mezinárodních srovnáních organizovaných kalibračními centry SMO/GAW. buď přímo vůči přístroji D083 nebo pomocí regionálních etalonů navázaných na tento světový etalon. V rámci těchto akcí je přístroj D074 rovněž kontrolován a seřízen tak, aby splňoval předepsané technické normy. Od r. 1979 je spektrofotometr D074 udržován ve světové kalibrační škále s přesností 1 %. Dokumentaci definující kalibrační stav a historii přístroje D074 vede a archivuje SOO, která tyto údaje publikuje a v případě potřeby poskytuje i externím odborníkům [3].

Kalibračními konstantami Dobsonova spektrofotometru jsou:

- **Q-Tabulka** pro nastavení vlnových párů A, C, D podle aktuální teploty přístroje
- **NTabulka(R)** pro převod čtených hodnot  $R$  na hodnoty  $N$
- **Referenční hodnoty R** - hodnoty  $R$  určené z testů standardními lampami přístroje na posledním mezinárodním srovnání. Slouží k aktuálním opravám tabulky **NTabulka(R)** pomocí pravidelných SL testů prováděných minimálně jednou měsíčně na SOO – viz dále.

Kalibrační stabilita Dobsonova spektrofotometru se sleduje a její předepsaná přesnost 1% se udržuje pomocí pravidelných testů přístroje prováděných standardními lampami (SL) a rtuťovou lampou (HG). Podrobný popis testů a oprava kalibračních konstant jsou uvedeny v manuálu SOPs [2]. Při použití výpočetního programu SOO jsou tyto opravy provedené automaticky počítačem.

V případě technických problémů nebo soustavně nekonsistentních hodnot celkového ozonu informuje operátor přístroje ozonového specialistu SOO, který rozhodne o dalším postupu. Pokud nelze závady odstranit přímo na SOO, konzultuje vedoucí pracoviště specialistu Regionálního kalibračního centra (RCC). Oprava (seřízení) přístroje se pak provádí podle pokynů RCC buď přímo na SOO nebo v RCC.

## C. MĚŘENÍ CELKOVÉHO OZONU V ATMOSFÉŘE POMOCÍ BREWEROVA SPEKTROFOTOMETRU

### 1. Brewerův spektrofotometr MK-III – základní popis přístroje a jeho funkce

Brewerův spektrofotometr (Obr. 2) je plně automatický jednoduchý nebo dvojitý monochromátor, který rozkládá dopadající sluneční záření pomocí mřížky. Z ultrafialové části takto vytvořeného spektra je soustavou štěrbin v rotující masce vybráno 5 vlnových délek  $\lambda_1 \dots \lambda_5$  s různou absorpcí ozonem – viz Tabulku 2.. Fotonásobič přístroje měří počet fotonů  $F$  které dopadají na těchto vlnových délkách po průchodu atmosférou.

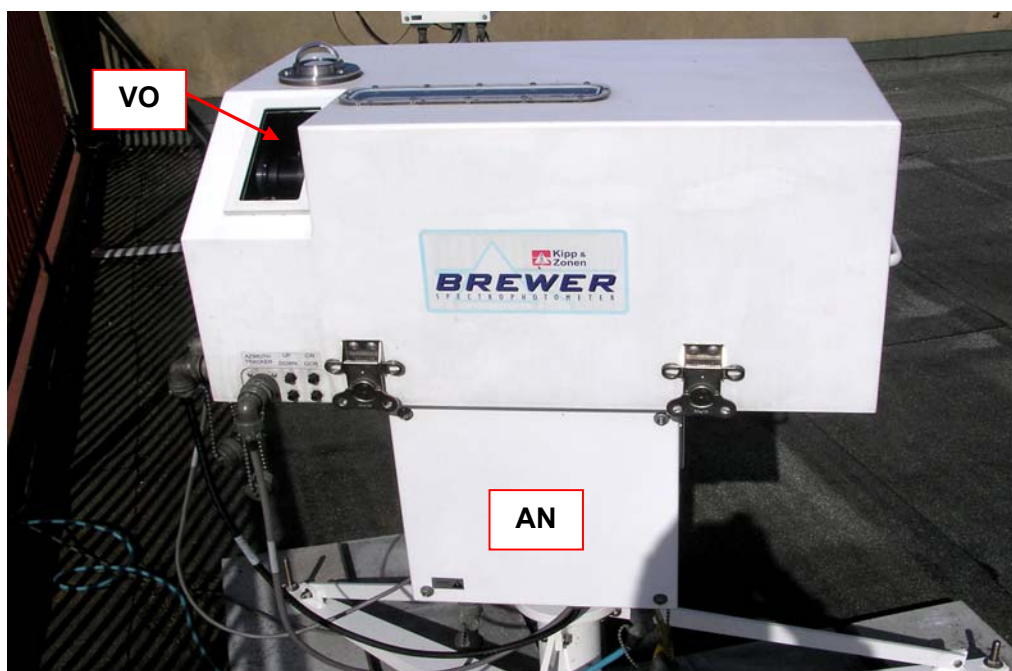
Přístroj představuje složitý optoelektronický systém uzavřený ve vodotěsném a temperovaném pouzdře, do kterého proniká sluneční záření vstupním okénkem VO. Spektrofotometr je umístěn na automatickém nosiči AN (solar tracker) na stabilní trojnožce, který během dne neustále sleduje azimut slunce. Pohyb nosiče a jednotlivých částí optického systému umožňují krokové motorčky ovládané řídicím PC umístěným mimo spektrofotometr. Počítač rovněž snímá a registruje měřené údaje a provádí výpočet celkového  $O_3$  a  $SO_2$ . Veškerá funkce spektrofotometru je ovládaná pomocí standardního řídicího programu dodávaného výrobcem a aktivovaného na PC při instalaci přístroje. Manipulaci s přístrojem může provádět pouze vyškolený specialista SOO. Podrobný popis spektrofotometru, jeho komponent, funkce a ovládání řídicího programu jsou uvedeny v manuálech dodaných výrobcem [4], v připravovaných SOPs pro Brewerovy spektrofotometry [5] a v zjednodušené formě v publikaci ČHMÚ [3].

Tabulka 2

Počet fotonů	Vybrané vlnové délky (nm)
F1	Plná clona
F2	$\lambda_1 = 306.3$
F3	$\lambda_2 = 310.0$
F4	$\lambda_3 = 313.5$
F5	$\lambda_4 = 316.8$
F6	$\lambda_5 = 320.0$

**Základní specifikace Brewerova spektrofotometru:**

- Použití: měření celkového ozonu na specializovaných observatořích
- Výrobce: Kipp-Zonen, Holandsko
- Vlnový rozsah: 286.5-363 nm (MK-III), 290-325 nm (MK-IV)
- Vlnové rozlišení : 0.6 nm
- Přesnost měření: 1 % pro celkový ozon při měření na DS
- Kalibrační interval: 1-2 roky
- Výstupní signál: počet fotonů
- Výstupní naměřené údaje: celkové množství ozonu v atmosféře v Dobsonových jednotkách



**Obrázek 2.** Brewerův spektrofotometr MK-III č. B184 používaný v ČHMÚ k měření celkového ozonu



## 2. Měření celkového ozonu Brewerovým spektrofotometrem

Brewerův spektrofotometr provádí jednotlivé měřicí úkony automaticky na základě sekvencí pokynů, které operátor zadá do řídicího programu. Provedení každé sekvence začne buď při dosažení určitého zenitového úhlu slunce (SZA) nebo v definovaném čase. Při měření celkového ozonu se v ČHMÚ z důvodu kombinace ozonových a UV měření používají sekvence vztažené k SZA. Základní sekvence, která může být v průběhu roku upravovaná je:

*pd\_sl\_ux\_hp\_hg\_ds\_zs\_ds*

kde jednotlivé příkazy znamenají:

*pd* zápis na všech následujících dat na disk

*sl* provedení testu standardní lampou

*ux* rozšířené měření spektrální intenzity toku UV záření

*hp* synchronizace nastavení mřížky

*hg* provedení testu rtuťovou lampou

*ds* provedení měření celkového ozonu z přímého slunečního záření

*zs* provedení měření celkového ozonu z difuzního záření oblohy

Tato sekvence příkazů má pracovní název **brew** a provádí se 13-krát mezi hodnotami SZA  $-70^\circ$  až  $70^\circ$ . V oblasti SZA  $-90^\circ$  až  $-70^\circ$  a  $70^\circ$  až  $90^\circ$  se celkový ozon měří v rámci měření Umkehr profilu příkazem *um*. Podrobný popis ovládacích pokynů a řídicího programu přístroje obsahuje manuál [4] dodaný výrobcem.

## 3. Výpočet celkového ozonu z měření Brewerovým spektrofotometrem

Výpočet celkového ozonu vychází opět z použití Lambert-Beerova zákona, který v případě Brewerova spektrofotometru vede k odvození těchto vztahů pro výpočet  $O_3$ :

$$O_3 = (M(9) - F_0) / \Delta\alpha\mu \quad (4)$$

kde použité symboly znamenají:

$F(2) \dots F(6)$  počet fotonů měřených fotonásobičem na vlnových délkách  $\lambda_1 \dots \lambda_5$

$F_0$  je tzv. "extraterestrická konstanta" přístroje, která je kalibrační konstantou spektrofotometru

$$M(4) = F(5) - F(2)$$

$$M(5) = F(5) - F(3)$$

$$M(6) = F(5) - F(4)$$

$$M(7) = F(6) - F(5)$$

$$M(8) = M(4) - 3.2 M(7)$$

$$M(9) = M(5) - 0.5 M(6) - 1.7 M(7)$$

$\mu$  je relativní dráha slunečního záření při průchodu ozonovou vrstvou vypočítaná z data a času měření a z geografických souřadnic stanice

$\Delta\alpha$  je konstanta daná lineární kombinací absorpčních koeficientů ozonu a vlnových délkách  $\lambda_1 \dots \lambda_5$  v Bass-Paur škále

#### 4. Záznam a zpracování vstupních údajů a vypočítaných hodnot celkového ozonu

Měření celkového ozonu Brewerovým spektrofotometrem je plně automatické a řízené počítačem. Všechny technické i měřené parametry specifikující činnost se okamžitě snímají a ukládají do tzv. **b-souborů** v hlavním adresáři řídicího PC. Tyto soubory slouží jako základní archivační jednotky a zdroj datových vstupů pro všechny výpočty. Pro každý den v roce se vytváří samostatný *B-soubor* s formátem jména: **bjjjyy.nnn**, kde *b* je identifikátor souboru, *jjj* je pořadové číslo dne v roce, *yy* je poslední dvojčíslí letopočtu a *nnn* je výrobní číslo spektrofotometru. Výsledky měření a další parametry, které se používají pro výpočet se pro každý den ukládají spolu s hodnotami celkového ozonu v **S-souborech**. Formát jejich názvu je **sjjjyy.nnn**. Z takto vytvořené databáze je možno kdykoliv provést export, přepočítání a grafické zobrazování výsledků měření. K tomuto účelu slouží obslužný program vytvořený experty SOO. Jeho součástí je i kontrola kvality dat. Jejím základním kritériem je hranice směrodatné odchylky 2.5 DU, kterou nesmí překročit série hodnot celkového ozonu naměřených během jedné sekvence měření. Pokud je tato hranice překročena, je měření klasifikováno jako nepřesné a je vyřazeno z dalšího použití.

#### 5. Kalibrace Brewerova spektrofotometru

Na SOO se pro měření celkového ozonu používají dva Brewerovy spektrofotometry – B098, model MK-IV od 01.01.1994 a B184, model MK-III od 23.06.2004. Oba přístroje byly dodány výrobcem v kalibrovaném stavu s certifikáty v Bass-Paur škále navázanými na světový etalon (standard), kterým je referenční trojice spektrofotometrů udržovaná ve Světovém kalibračním středisku GAW v Toronu, Kanada [6].

V souladu s doporučením GAW jsou spektrofotometry kalibrovány každé dva roky pomocí kontrolního (cestovního) etalonu uznaného pro program GAW. V rámci kalibrací, pro které jsou definované standardní postupy, jsou přístroje kontrolovány a v případě potřeby seřizovány tak aby splňovaly předepsané technické parametry pro požadovanou 1 % přesnost měření celkového ozonu. Dokumentací definující kalibrační stavy spektrofotometrů jsou především soubory s daty kalibračních měření, kalibrační protokol obsahující nové technické konstanty a technické parametry potřebné pro další provoz spektrofotometrů. Tyto dokumenty, které definují aktuální kalibrační stavy přístrojů a jejich historii, vede, archivuje a v případě potřeby publikuje SOO [3].

Kalibračními konstantami Brewerových spektrofotometrů pro měření celkového ozonu jsou:

- SHDT – čas zpoždění motoru nastavujícího clonovou masku do její přesné polohy
- SHRS – poměr času nutného ke startu a zastavení motoru clonové masky
- PDT – čas nutný k dosažení nulového signálu na fotonásobiči
- Referenční hodnoty pro test rtuťovou lampou
- Referenční hodnoty pro test standardní lampou
- SCT – parametr nastavení desky s difrakční mřížkou pro výběr vlnových délek
- Extraterestrická konstanta přístroje pro měření celkového ozonu  $F_0$
- Extraterestrická konstanta přístroje pro měření celkového SO<sub>2</sub>  $S_0$
- Lineární kombinace absorpčních koeficientů ozonu  $\Delta\alpha$

Výše uvedené kalibrační konstanty jsou uloženy v kalibračním souboru, který je součástí řídicího programu. Jeho název je **icfjjjyy.nnn** kde *icf* je indikátor souboru, *jjj* je pořadové číslo dne v roce *yy* kdy vstoupily konstanty v platnost a *nnn* je výrobní číslo spektrofotometru.

Kalibrační stabilita Brewerových spektrofotometrů se sleduje a předepsaná přesnost 1% se udržuje pomocí testů přístroje prováděných standardními lampami (SL) a rtuťovou lampou (HG). Provádění těchto testů je součástí sekvencí měření (příkazy *sl* a *hg* viz kapitolu 2). Výsledky testů řídicí program automaticky používá k opravám příslušných kalibračních konstant. V případě technických problémů nebo soustavně nekonsistentních hodnot celkového ozonu informuje operátor přístroje ozonového specialistu SOO, který rozhodne o dalším postupu. Pokud nelze závady odstranit přímo na SOO, konzultuje vedoucí pracoviště výrobce nebo specialistu příslušného kalibračního centra GAW. Oprava (seřízení) přístroje se pak provádí podle jejich pokynů přímo na SOO nebo je spektrofotometr odeslán k opravě výrobcem.

## D. DATABÁZE A PŘENOS DAT CELKOVÉHO OZONU

### 1. Databáze celkového ozonu ČHMÚ

Databáze měření celkového ozonu prováděných v ČHMÚ se skládá ze tří částí příslušných každému spektrofotometru. Data jsou uložena v samostatných souborech pro každý den a rok zvlášť. Formát názvu souborů je **djjjyyyy.074** (*yyyy* je celý letopočet) pro D074 a **bjjjyy.098** resp. **bjjjyy.184** (*yy* je poslední dvojčíslí letopočtu) pro přístroje B098 a B184. Tyto soubory obsahují technické, měřené a pomocné údaje plně popisující proces měření a jejich výsledky. Struktura souborů je definovaná v manuálech [4] u [8].

### 2. Kontrola dat

- Prvotní data z měření Dobsonovým spektrofotometrem zapíše operátor z formuláře do provozního programu na PC. Tím se vytvoří záznam do denního souboru měření **djjjyyyy.074** a zároveň počítač zobrazí vstupní údaje a vypočtené hodnoty celkového ozonu.
- Po zapsání a zpracování posledního měření v daném dni operátor provede kontrolu výsledků porovnáním hodnot celkového ozonu ze všech měření. Pokud se hodnota celkového ozonu liší od celodenního průměru o více než 3% (cca 10 DU), operátor znovu překontroluje správné pořízení vstupních dat. V případě bezchybnosti měření označí aby nebylo použito pro výpočet denního průměru v daném dni a bylo znovu posouzeno při konečné kontrole.
- Kontrolu spolehlivosti naměřených hodnot z Brewerových spektrofotometrů provádí řídicí program okamžitě po každém měření pomocí standardních kritérií. Na této kontrole se operátor nepodílí.
- Konečnou kontrolu všech dat před zařazením do databáze provádí ozonový specialista SOO k poslednímu dni každého kalendářního měsíce. Označená měření porovná s hodnotami celkového ozonu z nejbližších dnů, popřípadě s měřeními z ostatních spektrofotometrů nebo satelitních měření a rozhodne o jejich případném vyřazení.

### 3. Přenos dat

Měření celkového ozonu se v ČHMÚ provádí pouze na SOO v Hradci Králové, kde se rovněž udržuje kompletní databáze. Přenos dat mezi přístroji, zpracovatelským a řídicími PC a databází se provádí automaticky pomocí LAN pracoviště.

- SOO je dlouhodobou stanicí ozonové sítě programu GAW s identifikačním číslem 096, která výsledky měření celkového ozonu pravidelně ukládá do Světového ozonového a UV datového centra (WOUDC) SMO v Torontu. Tento přenos je prováděn v měsíčních datových souborech pomocí internetu do ftp datového účtu ve WOUDC s identifikací XXX a s přístupovým heslem, kterým disponuje vedoucí SOO. Soubory tvoří denní průměry celkového ozonu naměřené jednotlivými spektrofotometry. Datové soubory vytváří a jejich přenos provádí ozonový specialista na SOO pomocí operačních programů spektrofotometrů v kódu extCSV definovaném WOUDC.
- Denní průměry celkového ozonu naměřené Brewerovým spektrofotometrem jsou denně po ukončení měření přenášeny do WOUDC pro potřeby operativního mapování globálního rozložení celkového ozonu. Tyto údaje mají charakter předběžně kontrolovaných dat a proto se neukládají do centrální databáze WOUDC. Přenos dat se provádí prostřednictvím Globálního telekomunikačního systému SMO (GTS) z komunikačního počítače SOO ve formě zprávy CREX tvořené automaticky řídicím PC přístroje.
- Pro účely operativního zpravodajství pro veřejnost se měření celkového ozonu každý den přenášejí ve formě zprávy CREX prostřednictvím telekomunikační sítě ČHMÚ do www stránek SOO portálu ČHMÚ a do Centrálního předpovědního pracoviště ČHMÚ (CPP). Odeslání zprávy se provádí v 11:00 SEČ. Zpráva obsahuje průměrnou hodnotu celkového ozonu určenou z měření provedených před 11:00 SEČ.
- Speciální nebo časově omezené přenosy měření celkového ozonu se z SOO provádějí pro potřeby řešení výzkumných úkolů nebo pro komerční využití dat. Tyto přenosy schvaluje NKM ČHMÚ. Za jejich realizaci odpovídá vedoucí SOO.

**Reference :**

- [1] WMO, 2006, CIMO Guide to meteorological instruments and methods of observation, Seventh edition, Geneva, 2006
- [2] Komhyr, W.D., (1980). Operations Handbook - Ozone Observations with a Dobson Spectrophotometer. WMO Global Ozone Research and Monit. Project, Report No.6.
- [3] Vaniček K. (2002). Calibration history of the ozone spectrophotometers operated at the Solar and Ozone Observatory of CHMI in Hradec Králové, Czech Republic. Report of the Project of the Grant Agency of CR No.: 205/01/0003, CHMI, 2002
- [4] SCI-TEC, (1999). Brewer MARK-III spectrophotometer - Operator's Manual, Kipp-Zonen Inc., publication OM-BA-C231 Rev B, Saskatoon, August 17, 1999
- [5] WMO (2007), Standard Operation Procedures for Brewer Ozone Spectrophotometers, GAW Report.
- [6] Kerr, J.B., C.T. McElroy and D.I. Wardle, (1998). The Brewer instrument calibration center 1984-1996, in Atmospheric Ozone, Proc. Quad. Ozone Symp., R.D. Bojkov and G. Visconti eds., 915-918, 1998.
- [7] Staněk, M., O3Dobson – the operation software for reduction of total ozone observations with the Dobson spectrophotometer. The Solar and Ozone Observatory, CHMI, Hradec Králové, 2002

Zpracoval: RNDr. Karel Vaniček, CSc.  
vanicek@chmi.cz

**Přílohy**

Příloha č.1 : Formulář pro zápis měření celkového ozonu pomocí Dobsonova spektrofotometru

MEASUREMENT OF TOTAL OZONE with the Dobson spectrophotometer												
Year: <b>2006</b>		Sheet No.: <b>2</b>										
Month: <b>X.</b>		Instrument No.: 74										
Number of measurement	Date	Temperature	Time (standard time)	Type of measurement	R <sub>C</sub>	R <sub>D</sub>	R <sub>A</sub>	Weather conditions		Visibility [km]	Operator	
								sun or zenith	all sky			
31	16	16.5	11:32	DS	95.1	65.4	159.5	ch	1 cl	35	Po	
2			11:35	DS	95.0	65.4	159.3	ch	—	35	Po	
3		17	12:48	DS	99.2	68.1	166.6	ch	1 cl, li	40	Po	
4			12:57	DS	99.7	68.3	167.8	ch	—	40	Po	
5			:									
6			:									
7			:									
8			:									
9			:									
0			:									
1			:									
2			:									
3			:									
4			:									
5			:									
6			:									
7			:									
8			:									
9			:									
0			:									
1			:									
2			:									
3			:									
4			:									
5			:									
6			:									
7			:									
8			:									
9			:									
0			:									