

MĚŘENÍ ABSOLUTNÍ VLHKOSTI VZDUCHU NA ZÁKLADĚ SPEKTRÁLNÍ ANALÝZY

Measurement of Absolute Humidity on the Basis of Spectral Analysis

Ivana Krestýnová, Josef Zicha

Abstrakt: Absolutní vlhkost je hmotnost vodních par v objemové jednotce vzduchu. Množství vodních par ve vzduchu je závislé na jeho teplotě. Mírou absorpce ve spektrálních pásmech můžeme měřit propustnost vzduchu a vodní páry na vhodné vlnové délce, ze které vypočítáme absolutní vlhkost vzduchu. Dle měření vlhkosti vzduchu je potřeba vybrat úzké pásmo záření se střední vlnovou délkou v absorpční čáře vodní páry. Jako detektor byl použit spektrometr. Úzkého pásma záření jsme dosáhli za pomoci interferenčních filtrů. Dále je prováděno referenční měření. Tyto dvě hodnoty měření musí být vzájemně porovnány.

Klíčová slova: spektrální analýza, absorpce, monochromatické záření, fotoproud, vlhkost, vzduch, spektroskopie, spektrometr.

1. Úvod

Vzduch obsahuje vždy ve vrstvách u zemského povrchu určité množství vodní páry, která se dostává do atmosféry vypařováním vody ze zemského povrchu, z povrchu vodních hladin, ale také například dýcháním rostlin. Absolutní vlhkost je hmotnost vodních par v objemové jednotce vzduchu. Množství vodních par ve vzduchu závislé na jeho teplotě je velmi proměnlivé. Absolutním měřením tedy získáváme hodnotu hmotnosti vodních par obsažených ve vzduchu. Relativním měřením dostaneme bezrozměrnou veličinu, porovnáváme hmotnost vodní páry obsažené ve vzduchu při dané teplotě k hmotnosti vodní páry, kterou by byl vzduch za této teploty nasycen. [3]

2. Spektrální analýza

Jedná se o zkoumání energie v elementárním intervalu vlnových délek $d\lambda$ vyzářené na různých vlnových délkách. K docílení disperze světla a následnému zkoumání jeho vlastností slouží spektrometr. Je využito lomu, nebo ohybu a interference světla. Ke spektrometrům lze připočít i systémy složené z filtrů, kterými jsou definována spektrální pásma v okolí pevně stanovených vlnových délek λ . [4]

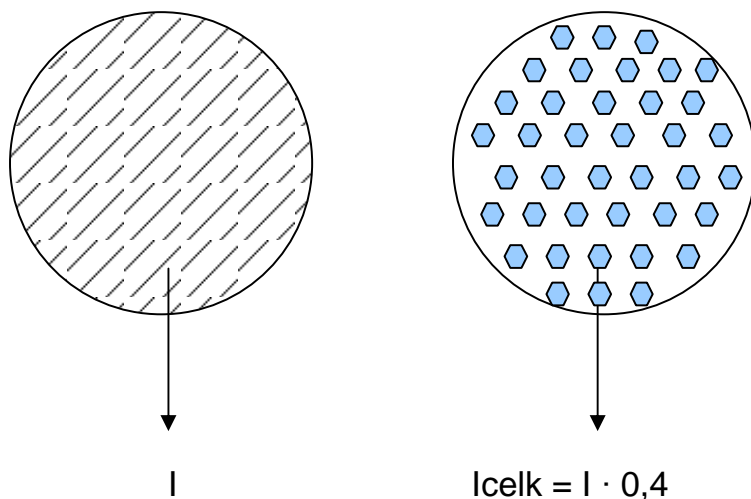
Zkoumané záření je modulováno mimo jiné i složením prostředí, kterým záření prochází. Prostředí je charakterizováno absorpcí ve spektrálních pásmech, přičemž míra absorpce závisí také na koncentraci látek ve zmíněném prostředí.

Mírou absorpce ve spektrálních pásmech můžeme měřit propustnost vzduchu a vodní páry na vhodné vlnové délce - měříme tedy propustnost vodní páry, ze které následně vypočítáme absolutní vlhkost. Měření by mělo být prováděno v monochromatickém záření. [1]

Spektrální absorpce je funkcí geometrického zobrazení zrcadla, vlastností vzduchu, spektrální odraznosti zrcadla a strukturální charakteristiky zrcadlicí plochy: $I = f$ (geometrické zobrazení zrcadla, vlastnosti vzduchu, spektrální odraznost zrcadla, strukturální charakteristika zrcadlicí plochy)

Pokud z měření známe alespoň dva parametry této funkce, třetí parametr můžeme získat dopočtem. Měřit pak můžeme geometrickou kvalitu zrcadla, spektrálně - selektivní vlastnosti odrazové vrstvy nebo množství vody obsažené ve vzduchu. Dále, jak již bylo řečeno, může být spektrální absorpce ovlivněna strukturální charakteristikou zrcadlicí plochy. Vezmeme-li například zrcadlicí plochu bez strukturálních vad a změříme její fotoproud, který je úměrný intenzitě osvětlení (tento fotoproud označíme I), můžeme ji pak porovnávat s ostatními plochami stejných celkových rozměrů, jejichž povrch a struktura jsou určitým způsobem upraveny. Jako např. na následujícím obrázku, kdy jsme jako srovnávací odraznou plochu zvolili strukturu s drobnými šestiúhelníky umístěnými s určitými rozestupy na celkovou plochu zrcadla. Pokud by jejich množství vyplnilo například 40% celkové plochy, výpočet celkového fotoproudu by byl následující:

$$I_{\text{celk}} = I \cdot 0,4 \quad (2.1)$$



Obr. 1. Porovnání dvou odrazných ploch o stejných celkových rozměrech a jejich fotoproudu

3. Monochromatické záření a jeho absorpce

Jako monochromatické záření je označováno elektromagnetické záření, jehož zdroj kmitá pouze na jediné frekvenci f (jedna barva). Dle měření vlhkosti vzduchu bude potřeba vybrat úzké pásmo záření se střední vlnovou délkou v absorpční čáře vodní páry. [1]

Monochromatické záření zdroje je absorbováno volnými atomy stanovovaného prvku v základním stavu. Neabsorbované záření prochází monochromátorem a dopadá na fotonásobič. Vzniklý proudový signál je po zesílení indikován elektrickým indikátorem, digitálním záznamem nebo registrován jako absorpce. [5]

Množství absorbované energie vyjadřuje tzv. Lambertův zákon [1]:

$$I_x = I_0 \cdot e^{-K \cdot d} \quad (3.1)$$

I_0 ... intenzita záření před průchodem absorpčním prostředím

I_x ... intenzita záření po průchodu absorpčním prostředím

d ... tloušťka vrstvy

K ... konstanta úměrnosti - součinitel absorpce

Pro výpočet propustnosti (T) záření upravíme Lambertův zákon, který platí pouze pro přísně monochromatické záření dané vlnové délkou a pro přesně definovaný stav látky [1]:

$$T = \frac{I_x}{I_0} = e^{-K \cdot d} \quad (3.2)$$

Zeslabení hustoty světelného toku prostupujícího homogenním prostředím závisí na počtu absorbujících částic a na jejich vlastnostech, tedy na tloušťce vrstvy absorbující látky a na její koncentraci, na teplotě a na vlnové délce záření. [2]

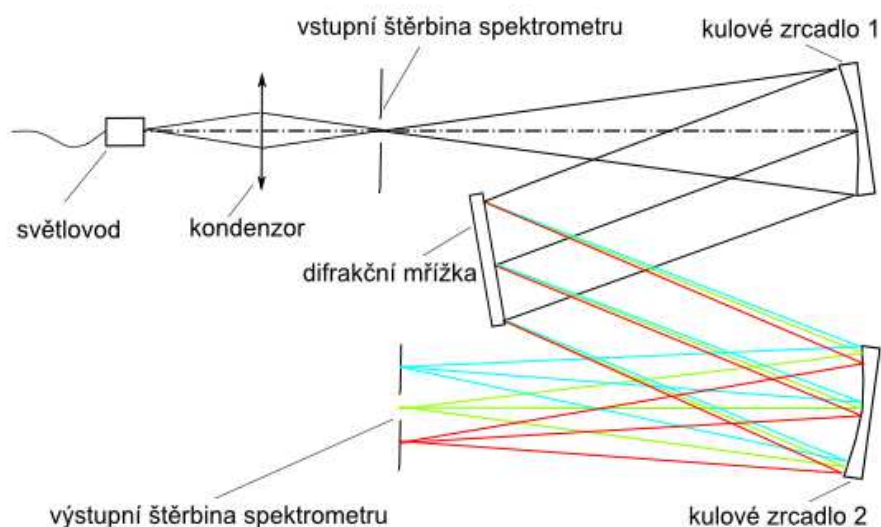
Zmenšení množství energie ovlivňují geometrické vlastnosti zrcadla, absorpční vlastnosti vzduchu nebo spektrálně - selektivní vlastnosti odrazové plochy - tudíž spektrální odrazivost kulového zrcadla.

K základní problematice každého spektrálně - fotometrického měření náleží udržení spektrální a vyzařovací stability zdroje a spektrální citlivosti detektoru. Po dobu měření se spektrální intenzita, vyzařovaná intenzita a intenzita dopadajícího záření nemění. Celý přístroj má konstantní spektrálně - selektivní vlastnosti.

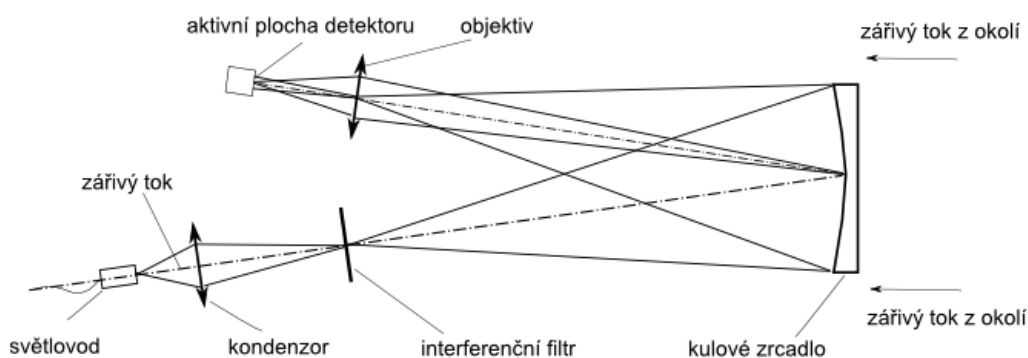
Potřebujeme tedy zdroj monochromatického záření, které můžeme získat použitím mřížkového nebo hranolového monochromátoru, nebo také bezdisperzní metodou, tzn. s využitím filtrů. [5]

Při použití spektrometru bude probíhat měření na více vlnových délkách současně. Úzkého pásma záření můžeme docílit buď úzkou šterbinou (obr. 2.) a nebo použitím interferenčních filtrů. [1]

Dále je třeba provést referenční měření, kdy umístíme detektor přímo před zdroj a oba filtry vkládáme do dráhy záření. Získané množství referenčního záření je určeno chodem paprsků s vyřazením vodní páry. [1]



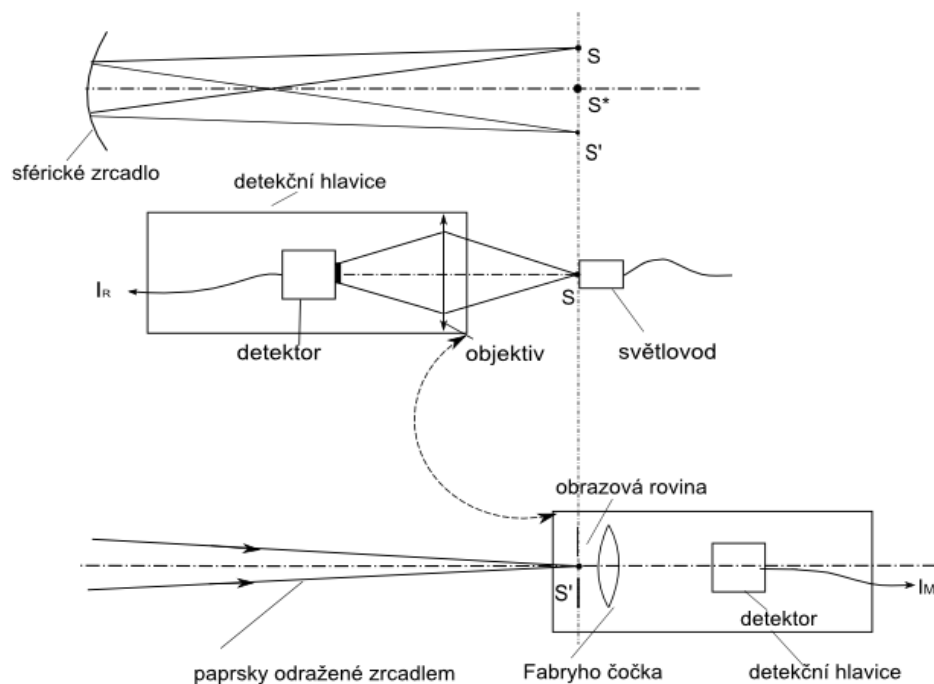
Obr. 2. Schéma spektrometru



Obr. 3. Schéma měření za použití interferenčního filtru jako zdroje monochromatického záření

4. Možnosti sestavení optické soustavy

Pokud chceme měřit velké objemy vzduchu, je vhodné použít soustavu využívající kulové zrcadlo. Použijeme-li již vyrobenou sestavu ing. Maršíka, máme zde k dispozici sférické zrcadlo o průměru 600 mm s poloměrem křivosti 12 m. Podrobná analýza chodu paprsku a sestavení této optické soustavy jsou popsány v diplomové práci ing. Maršíka, ze které je převzat obr. 5. Před detektorem je umístěn objektiv, kterým je všechno světlo odražené od kulového zrcadla soustředováno na detektor. Podrobnosti viz [1]

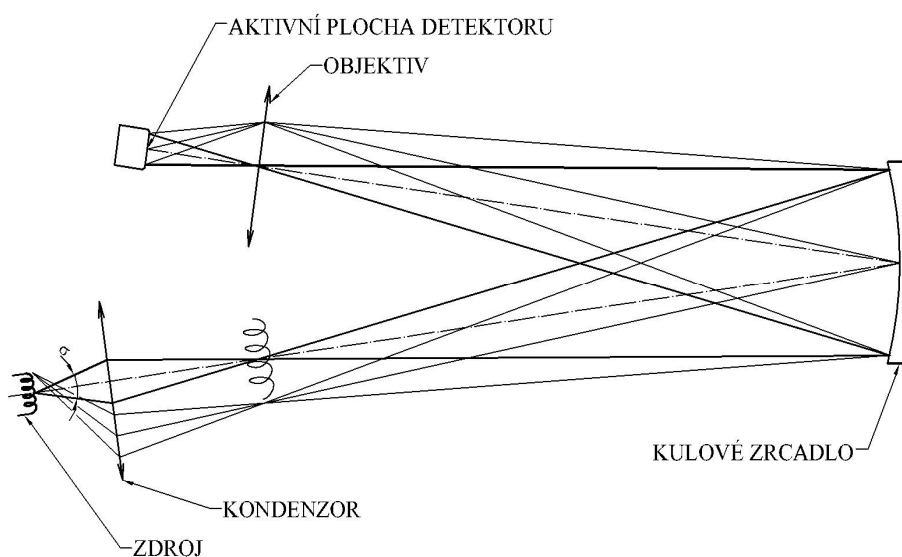


Obr. 4. Relativní fotometrické měření s využitím jedné detekční hlavice otočné o 180° .

V případě zařazení monochromátoru nebo vhodných filtrů pracuje zařízení jako spektrofotometr. Zobrazené zařízení může být použito k posouzení geometrické kvality dutého zrcadla, k posouzení spektrální odrazivosti zrcadla a k popisu absorpce v prostoru mezi zrcadlem a rovinou SS' .

S^* je střed křivosti zrcadla na optické ose, S je bodový zdroj záření (např. konec světlovodu) a S' je obraz bodu S vytvořený ideálním sférickým zrcadlem.

I_M je měřený signál, I_R referenční signál.



Obr. 5. Schéma soustavy s objektivem a kondenzorem. Svazek je za kondenzorem sbíhavý a obraz zvětšeného zdroje je skutečný. [1]

5. Závěr

Měření pomocí popsané metody jsou teprve v počátcích a její výsledky budou zpracovány v následujících měsících. Tato měření je třeba provádět několikrát do měsíce v různých časových, ale i ročních obdobích. Je tedy potřeba změřit teplotu, relativní vlhkost vzduchu (ze které se následně vypočítá absolutní vlhkost vzduchu) a již zmíněná dvě spektra, ze kterých se pak dopočítá propustnost vodní páry na vlnové délce 1372,46 nm (nejbližší pixel spektrometru).

Použitá literatura

- [1] MARŠÍK, Jiří. *Spektrální analyzátor vlhkosti vzduchu*. Praha, 2004. 64 s. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní.
- [2] FEXA, Josef; ŠIROKÝ, Karel. *Měření vlhkosti vzduchu*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983. 264 s.
- [3] *Vlhkost vzduchu* [online]. Ostrava: Ostravská universita, 2005 [cit. 2010-05-13]. Vlhkost vzduchu. Dostupné z WWW: <<http://artemis.osu.cz/Gemet/meteo2/vlhkost.htm>>.
- [4] *Počítačové učebnice matematiky a fyziky* [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Spektrální analýza, záření černého tělesa. Dostupné z WWW: <http://www.ucebnice.krynicky.cz/Fyzika/5_Optika/4_Elektromagneticke_zareni/5402_Spektralni_analyza_cerne_teleso.pdf>.
- [5] *Metody chemického výzkumu* [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Atomová absorpční spektrometrie. Dostupné z WWW: <cheminfo.chemi.muni.cz/chem_sekce/predmety/C7300/AAS/aas.doc>.