

Použití spektrometrů s řádkovými senzory v přírodních vědách

*Pavel Oupický, UFP VOD AV ČR Praha, v.v.i.,
Detašované pracoviště Turnov (dále jen UFP VOD)*

Úvod:

Základními přístroji pro určování světelných podmínek jsou, jak již bylo na této konferenci před dvěma lety ne zcela přesně referováno, radiometry (jejich speciálním případem jsou fotometry pro měření světla viditelného lidským okem), a nyní díky nové technologii i spektrometry s řádkovými senzory (ISM - Image Sensor SpectroMeter).



Obr. 1 - spektrometr USB2000 s kosinově korigovanými nástavci vyrobenými v UFP VOD

Pokud jde o radiometry, připomenul bych zde několik typů, které byly v letech 1992 až 2005 vyvinuty a vyrobeny ve Vývojové optické dílně (VOD) a jejichž vývoj i výroba pokračují v Ústavu fyziky plazmatu (UFP) po připojení VOD k tomuto ústavu.

V letošním roce byl ukončen vývoj radiometru pro měření radiace v pásmech B,G a R, které se shodují se světelnými pásmy, které jsou důležité pro zjišťování světelných podmínek pro růst rostlin, jejich součet pak odpovídá rozsahovému pásmu PAR pro aktivní fotosyntézu.. Díky použitému senzoru je zajištěno prakticky bodové měření intenzity, což předchozí varianty s diskretními senzory zcela neumožňovaly.

Tento radiometr tak doplňuje předchozí typy radiometrů, připomenu jejich možné použití pro měření PAR, R/F, UVB, UVA, VIS a NIR a je možné je jistě použít i pro řadu dalších aplikací.

V letošním roce je v plánu vývoj a výroba prototypu ISSR, o jejichž vlastnostech a aplikacích bych zde rád podrobněji referoval.

1.Základní popis spektrometrů s řádkovými snímači

ISM jsou díky svým vlastnostem, kterými jsou kompaktnost a miniaturizace rozměrů, použitelné téměř ve všech odvětvích lidské činnosti, kde je nutné měřit elektromagnetické záření (dále jen EZ) , aktuálně v rozsahu vlnových délek cca od 200 do 2200nm . Zatím mi není znám ISM, který by celý tento rozsah obsáhl najednou, v praxi je proto nutné zatím počítat s tím, že pro obsáhnutí celého tohoto rozsahu je potřeba použít minimálně dvou přístrojů, obvykle v pásmech UV-VIS a NIR.

Ve srovnání s klasickými spektrometry je zde evidentní miniaturizace rozměrů, pokud jde však o citlivost, tak vzhledem k rozměrům detektorů (klasické spektrometry mm², ISM řádově mikrometry²) je jejich citlivost menší , lze to však vykompenzovat prodlouženou integrační dobou snímání záření CCD senzorem. I přesto je zde výsledek měření téměř okamžitou záležitostí.



Obr. 2 - porovnání klasického spektrometru s ISS . Na obrázku jsou též vidět některé součásti pro optické lavice a objímky na filtry vyráběné v UFP VOD .

Důležitým parametrem každého spektrometru je spektrální rozlišení většinou uváděné jako poměr $\lambda/\delta\lambda$. Např., potřebujeme-li při měření rozlišit při vlnové délce 600nm změny intenzit mezi vlnovými délkami 600 až 601nm, pak náš spektrometr musí mít pro danou vlnovou délku rozlišení minimálně 600.

Rozlišení spektrometru je dáno především vlastnostmi základního prvku tohoto typu spektrometrů, řádkového (image) senzoru (IS), dále mřížkou použitou k rozkladu EZ na IS a vstupní štěrbinou, kterou EZ do ISM vstupuje.

U IS rozhoduje počet a rozměr pixelů, u mřížek pak především počet vrypů na 1mm jejich délky.



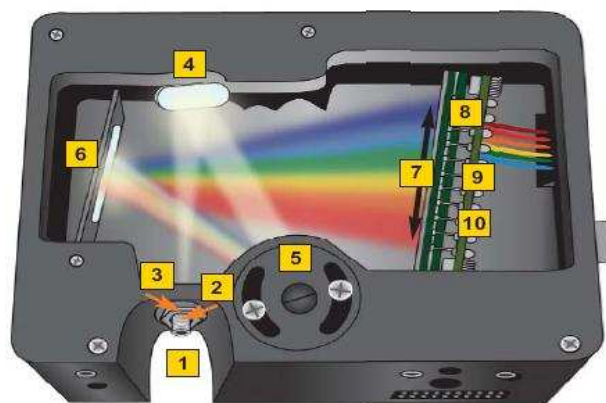
Obr. 3 - Příklad řádkového senzoru bez a se sběrnou čočkou

Štěrbina musí být pro max. rozlišení co nejužší, v praxi je ale nutný kompromis mezi šířkou štěrbinou a citlivostí spektrometru, protože současně platí, že čím užší bude štěrbina, tím menší bude citlivost spektrometru.

V nejjednodušším případě se jako štěrbina používá výstup z optického vlákna, v případě, že jeho průměr je 50 až cca 400um, má-li být rozlišení spektrometru vyšší, používají se štěrbinou o šířkách 5 až 200um.

Rozsah spektrometru určuje citlivost IS a parametry disperzního elementu, kterým je zatím ve většině případů ohybová mřížka.

Čím větší je počet ohybových vrypů na mřížce, tím menší rozsah vlnových délek mřížka obsáhne, současně však s tím roste i její rozlišovací účinnost. Dalším parametrem mřížky je její efektivita, která je dána kvalitou výroby a reflektivitou jejího povrchu, většinou náparu.



Obr. 6 - příklad typické konstrukce ISM (OceanOptics)

Na obr. 6 je již příklad typické konstrukce ISM . EZ vstupuje (1) do ISSR obvykle konektorem (2) pro napojení optického vlákna (1) , které současně slouží jako štěrбина, případně je za ním použita ještě užší štěrбина (3), EZ ze vstupu (1,2,3) je kolimováno zrcátkem (4) na mřížku (5) a EZ rozložené mřížkou (5) je navedeno dalším naváděcím zrcátkem (6) na IS (7). Před ním ještě bývá válcová čočka, která koncentruje do vlnových délek rozložené EZ na IS (7). Pro zvýšení citlivosti v UV bývají IS opatřovány v UV oblasti fluorescenční vrstvou, která UV transformuje na EZ s vyšší vlnovou délkou, pro kterou je IS citlivější.

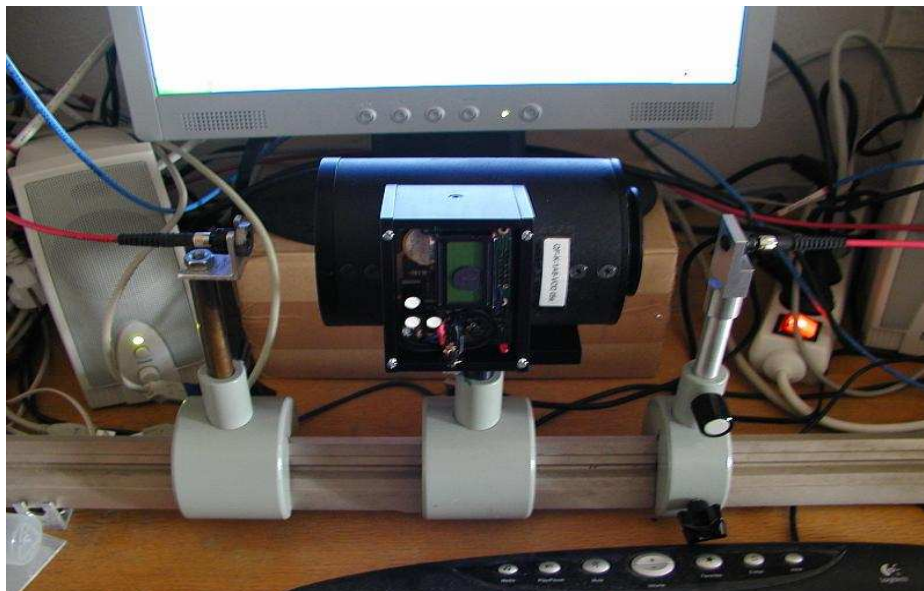
Z IS je intenzita ozáření odečítána speciálními elektronickými obvody (8,9,10), které lze většinou dnes již rovnou napojit přímo do personálního počítače (PC) přes rozhraní USB .

2.Příklady konkrétního použití ISM

V UFP jsou aktuálně k dispozici ISM s rozsahem 250 až 850nm (USB2000 - OceanOptics), 350 až 800nm (HR4000 - OceanOptics), 200 až 1100nm (Avaspec 2048 - Avantes) a 900 až 1700nm (NIR512 - OceanOptics)

Spektrometr s rozsahem 200 až 1100nm je používán k orientačnímu měření dielektrických filtrů, zrcadel, děličů atd. . Měření sice nejsou v běžných podmínkách zcela přesná, výsledek měření je však ve srovnání s klasickými krokovacími spektrometry téměř okamžitě k dispozici a přesnost bývá zcela vyhovující.

Spektrometr s rozsahem 350 až 800nm má IS s cca 3800 pixly, štěrbinu 5 μm a proto i velké rozlišení a je určen k orientačnímu měření krystalových a úzkopásmových filtrů . Příklad takového měření v UFP VOD je uveden na následujícím obrázku .



Obr. 8 příklad měření krystalového filtru s pološířkou cca 0.5nm

Spektrometr pro měření v rozsahu 250 až 850nm byl vytipován jako nejvhodnější pro měření v externích podmínkách a konkrétně pro měření v rostlinných porostech. Je vhodný pro měření ve všech zajímavých pásmech počínaje UVC, UVB, UVA, v modré oblasti, v Rd i v Fd, není problém měřit PAR a v podstatě jakékoli vlnové pásmo a nebo naopak jednotlivé vlnové délky.

Jako ISM byl použit typ USB2000 vyráběný firmou OceanOptics Inc., USA, která má v naší republice zastoupení ve firmě LAO .

K tomuto spektrometru byla vyrobena speciální sonda pro měření v rostlinných porostech obdobná sondám, používaným u našich radiometrů. Tato sonda je ke spektrometru připojována optickým vláknem. To může být v terénních podmínkách někdy na závadu, protože vlákno je křehké a drahé a vždy hrozí nebezpečí jeho prasknutí. Proto je v návrhu i sonda, u které bude spektrometr připevněn k držadlu sondy a sonda se spektrometrem jako celek tak bude k PC (notebook nebo Palm) připojena pouze kabelem USB.

Ke spektrometru byl vytvořen software se speciálním zaměřením na aplikace v botanice. Umožňuje jak běžné měření spekter, tak i časové snímání ve zvolených vlnových délkách a pásmech.

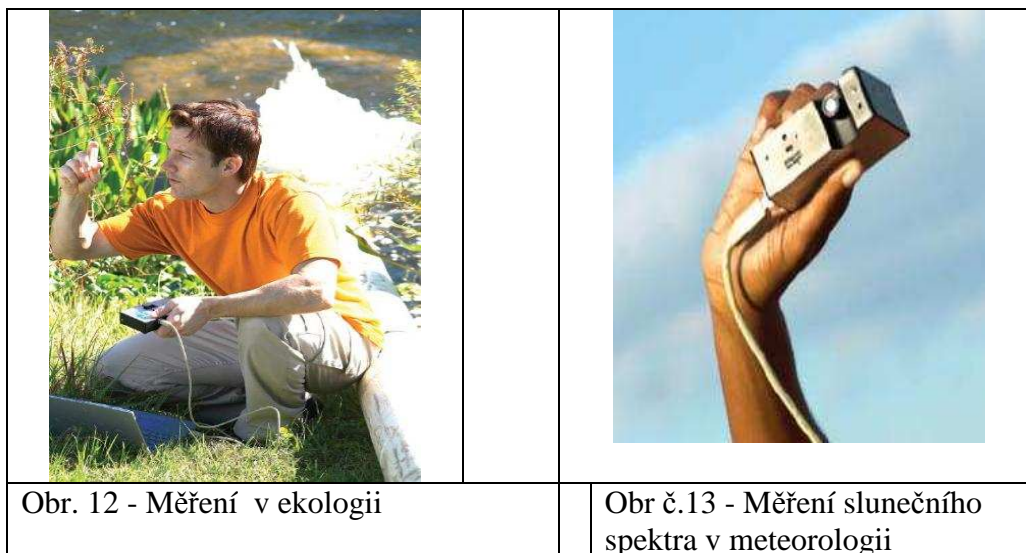


Obr. 9 - příklady měření spekter v rostlinných porostech.

V závěru připojuji ještě několik obrázků z aplikace ISM v různých oborech, jakou jsou chemie, medicína a ekologie, kde se již dnes tyto spektrometry začínají na mnoha místech používat a v mnoha směrech jsou zde i nenahraditelné. Lze předpokládat, že jejich vývoj bude dále zvýšenou měrou pokračovat a rozsah jejich použití se bude stále rozšiřovat.

3. Příklady aplikace ISM v různých vědních oborech

<p>Obr. 10 - Měření v chemických, biologických a lékařských laboratořích</p>	<p>Obr. 11 - Měření v botanice a zoologii</p>



Na obrázcích 10 až 13 jsou příklady měření s ISM v různých vědních i aplikovaných oborech

V letošním roce máme v plánu další zdokonalení sond pro botanické aplikace a potřebného softwarového vybavení a výrobu prototypu vlastního ISM, výhledově počítáme s kusovou výrobou těchto spektrometrů pro další aplikace již v příštím roce.

Spektrometry jsou vyvíjeny jako dílčí úkol v rámci projektu podpory cíleného výzkumu AV ČR s označením

1 SQ 1008 20502



Poznámka autora: toto je zkrácená verze referátu do sborník z konference dle pokynů pro autory, číslování obrázku odpovídá nezkrácenému příspěvku.

Použitá a doporučená literatura :

OceanOptics : Catalog 2007

Avantes: Catalog 2007

Hana Skálová : Měření světelných podmínek pro růst rostlin, Úpice 2005, Sborník z konference „Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí“, Úpice 2005

Pavel Oupický : Měření technika pro měření světelných podmínek pro růst rostlin, Úpice 2005, Sborník z konference „Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí“, Úpice 2005

Pavel Oupický : Speciální radiometry pro měření světelných podmínek pro růst rostlin, Jemná mechanika a optika 10/2006