

Vliv rostlin na povrchovou teplotu Země

ing. Pavel Oupický

Oddělení optické diagnostiky Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i.

Úvod

Vývojová optická dílna v Turnově (do roku 2005 jako samostatná instituce AV ČR, (dále je používána zkratka VOD) od roku 2006 do roku 2010 jako součást Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. (dále jen UFP) již od roku 1993 spolupracovala s Botanickým ústavem AV ČR na vývoji a výrobě radiometrů pro měření světelných podmínek pro růst rostlin. Od roku 2005 bylo na tomto úkolu pokračováno v rámci projektu Cíleného vývoje a výzkumu s názvem "Výzkum a vývoj opticko-mechanických soustav a metod", kdy byl program vývoje rozšířen i na vývoj a výrobu radiometrů a spektrometrů.

V předcházejících publikacích [2],[5] jsem se zabýval popisem radiometrů, jejich účelu a praktickému použití. V posledních publikacích [6],[7] jsem se zaměřil na mnohem obecnější problémy souvisící s klimatickými změnami, které potenciálně hrozí naší planetě. A jelikož tyto problémy přímo souvisí i se stavem rostlinných porostů, jednoduše jsem využil techniku, která byla ve VOD a v UFP vyvinuta, vyrobena a testována, k několika měřením v rostlinných porostech s cílem verifikovat a upřesnit jejich spektrální vlastnosti.

Interakce rostlin se slunečním světlem

Na každý m^2 zemského povrchu dopadá ze Slunce záření s průměrnou intenzitou asi 325 W/m^2 (sluneční konstanta $1365 / 4$) ve všech vlnových délkách, další podrobnosti lze nalézt v literatuře [7] a [8]. Maximum tohoto záření je soustředěno do viditelné oblasti, kolem vlnové délky 550nm.

Na úvod tohoto tématu se musím vrátit před rok 2005 k výsledkům práce kolektivu pracovníků z Botanického ústavu vedeného RNDr. Krahulcem. Pro rostliny je sluneční záření životodárným zdrojem v kombinaci s živinami z půdy, vodou a kyslíkem uhlíkatým z ovzduší. Významná část tohoto záření – viditelné světlo (vlnové délky od 400 do 700 nm, též označováno jako *Photosynthetic Active Radiation - PAR*) představuje pro rostlinu zdroj energie. Proces, při kterém dochází k zabudování sluneční energie do organických sloučenin, se nazývá fotosyntéza. Na zachycení energetických kvant se podílejí dva hlavní receptory - chlorofyl A a chlorofyl B - a další fotosyntetické pigmenty, např. karotenoidy. Záření kratších vlnových délek (pod 400 nm) je pro rostliny škodlivé. Jeho průniku do rostlinných pletiv brání korkové vrstvy pokožkových pletiv. Záření delších vlnových délek (nad 700nm) rostliny částečně propouštějí a částečně odrážejí.

Změna spektrálního složení (kvality) záření představuje pro rostliny důležitý signál vypovídající o stávajících ale i potencionálních konkurentech, kteří danou rostlinu zastihují nebo mohou v budoucnu zastihnout. Z tohoto hlediska jsou nejdůležitější tři oblasti spektra:

- oblast modrého světelného záření (B (Blue), vlnová délka 430 - 480 nm),
- červené záření kratších vln. délek (R (Red), okolo vlnové délky 660 nm),
- červené záření delších vln. délek (FR (Far Red), okolo vlnové délky 730 nm).

Dvě z těchto tří oblastí se kryjí s absorpčními maximy hlavních fotosyntetických pigmentů – chlorofylů. Modré záření vyvolává u rostlin především poměrně rychlé pohybové reakce – např. fototropismus („ohýbání ke světlu“). Jeho receptorem je kryptochrom.

Červené záření, lépe řečeno změny poměru R/FR, vyvolává u rostlin celou řadu dlouhodobých nevratných změn (klíčení semen, prodloužení lodyh a řapíků, změny ve větvení, kvetení). Následkem silnější absorpce R částmi rostlin s chlorofylem dochází v jejich blízkosti k citelnému poklesu R/FR. Tento poměr je velmi citlivým ukazatelem přítomnosti sousedních rostlin a je důležitým signálem, pomocí kterého rostliny přítomnost svých rostlinných sousedů a konkurentů vnímají.

Následkem nerovnoměrného pohlcování záření (absorpce) a odrazu (reflexe) záření (světla) od rostlin panuje ve spodních vrstvách porostů značná heterogenita. Další podrobnosti lze nalézt v literatuře [1] a [3].

Za pomoci přístrojů vyvinutých ve VOD v Turnově bylo možné proměřovat radiační podmínky i v jemně strukturovaných porostech jako jsou horské louky a podobně.

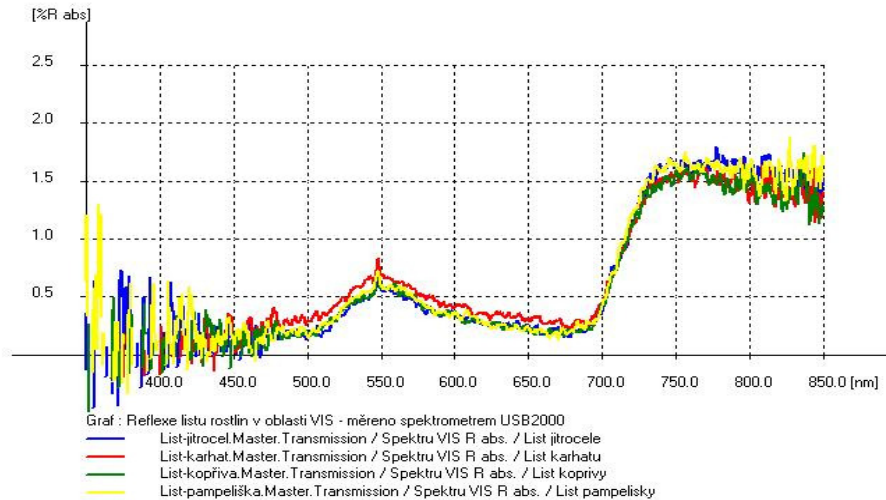
Spektrální charakteristiky některých typických rostlin a jejich význam

Měření optických vlastností listů rostlin a komplexních porostů je poměrně komplikovaný úkol. Např. listy rostlin nejsou hladké tak jako tabule skla, takže optické charakteristiky - propustnost, reflexi a absorpci - není možné s klasickými spektrometry přesně změřit. Větší možnosti přinesly teprve spektrometry s řádkovými senzory, další podrobnosti lze nalézt v např. v literatuře [6]. Listy záření absorbují, odrážejí, propouštějí ale také

rozptylují. Běžné spektrometry jsou stavěny na měření v rovnoběžném (kolimovaném) světle, kdy lze změřit jmenované optické charakteristiky přesně. Proto bývá měření listů rostlin v optických laboratořích na běžných spektrometrech zatíženo chybami a vypovídá spíše o relativních poměrech než o absolutních hodnotách.

Změřená propustnost listů běžných rostlin potvrzuje, že rostliny nejvíce absorbují modrou (450-490nm) a červenou barvu (620-690nm), naopak zelenou a žlutou barvu (510-600) a infračervené záření (nad 700nm) podstatně propouštějí [7].

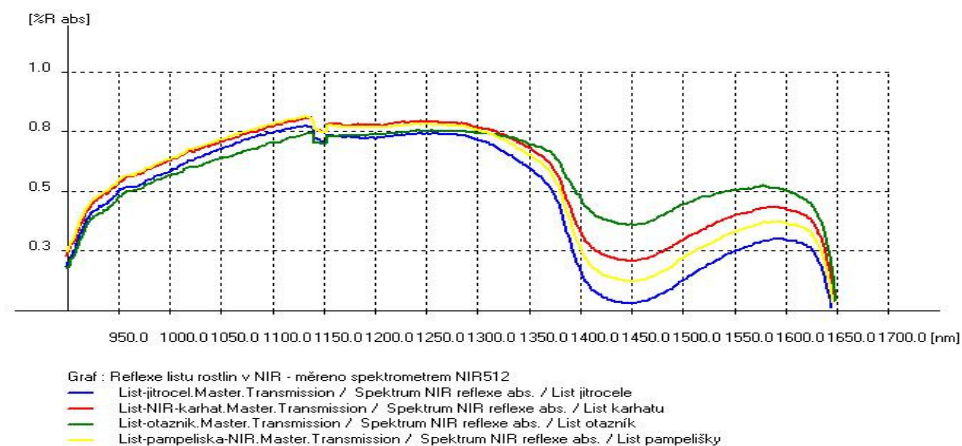
Světlo, které listy nepropustí, se odráží a nebo absorbuje. Na obrázku 1 je výsledek měření reflexe listů několika běžných rostlin v laboratoři běžným spektrometrem. I zde platí, že měření bylo zatíženo jistou chybou způsobenou tím, že listy nejsou ani zdaleka tak hladké a rovné jako sklo, jehož reflexi je možné změřit mnohem přesněji.



Obr. 1 - měření reflexe listů typických rostlin spektrometrem v oblasti 350-850nm (VIS). [7]

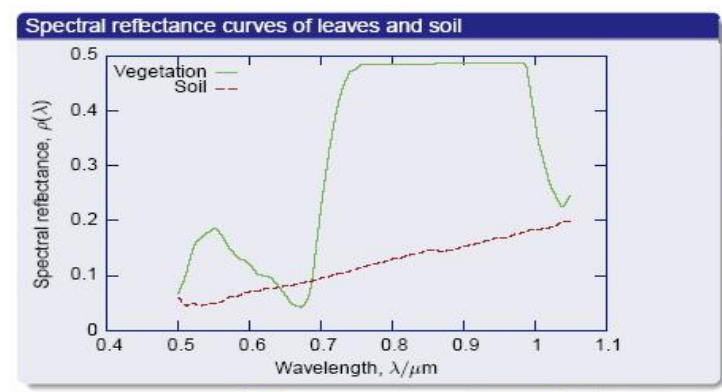
Nicméně i z obr. 1 je opět zřejmé, že rostliny nejméně odrážejí fotony s vlnovou délkou modré a červené barvy, protože je významným způsobem absorbují a využívají k fotosyntéze. Naopak zelenou a žlutou barvu a infračervené záření významným způsobem odrážejí.

Další měření propustnosti listů rostlin a odrazu od listů rostlin byla provedena ve spektrální oblasti NIR (Near Infra Red - blízká infračervená spektrální oblast).



Obr. 2 - měření reflexe listů typických rostlin klasickým způsobem v oblasti 900-1650nm (NIR) [7]

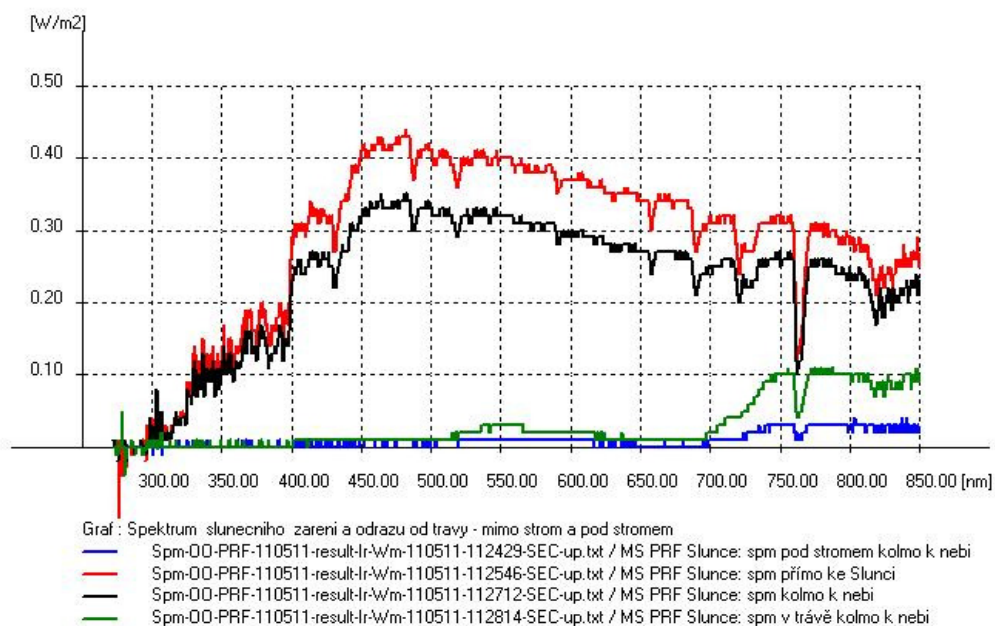
Na obr. 2 je měření reflexe listů v oblasti NIR a i zde je zřejmé, že rostliny tuto složku záření rovněž významným způsobem odrážejí. Pro porovnání je na obr. 3 uveden graf spektrální reflexe rostlin v porovnání s reflktivitou orné půdy převzatý z práce [4].



Obr. 3 Spektrální reflexe listů a půdy podle prof. Barnsleye [4]

V laboratorních a v terénních podmínkách lze měření propustnosti listů nebo porostů rostlin provádět radiometry nebo spektrometry se sondami vybavenými kosinově korigovaným vstupem a nebo speciálně konstruovanými vlákennými sondami.

V UFP VOD bylo během vývoje spektrometrů a jejich příslušenství prováděno i jejich testování. Pro testy příslušenství a softwaru byl nejprve používán spektrometr USB2000, k němuž byly vyrobeny speciální nástavce a sondy a byl vytvořen speciální software se zaměřením na použití v botanických aplikacích. Příklad z výsledků těchto měření je uveden v grafech na obr.4 .



Obr. 4 - příklad měření slunečního záření a jeho odrazů od rostlinstva spektrometrem

Ve spektru na obr. 4 je porovnáváno sluneční záření přímo ze Slunce a difúzně od oblohy s odrazy od trávy a se zbytkovým zářením pod rostlinným porostem. I zde je vidět zvýšený odraz od rostlin ve spektrálních pásmech Far Red a NIR a mírně zvýšená odrazivost kolem 550nm. Je tedy pravděpodobné, že rostliny se nám jeví jako zelené též v důsledku faktu, že v odraženém světle od rostlin jsou mnohem méně obsaženy barvy modrá a červená.

Další možností při měření spektrometry se softwarem vyvinutým v UFP VOD je souhrnné měření radiace ve zvolených vlnových pásmech, která se obvykle v botanice přednostně sledují.

Jako je uveden příklad souboru dat, z jehož záhlaví je zřejmé, jak lze konkrétní měřená pásma zadávat:

File: Spr-Sun-MS-080517-094140.ftm

Description: Radiation of Sun measured direct and reflected from plants and wood

Parameters: 2,1,1,0

Date*Time: 080517*9:41:20*SEC

Place: Mala Skala / near of Turnov, Czech Republic
 Device: USB2000,USB2G13027,Spm-Kal-N-Hal-W4-080510-11.kal
 Bands: 4*WIDE,GREEN,RED,FRED,W/m²
 Bands description: WIDE 300-849nm, GREEN 500-599, RED 600-700, F.RED 700-799
 Type of bands: sumarization
 Data:
 Time * WIDE , GREEN , RED , F.RED * comment

 09:41:43.14 * -0.385 , -0.012, -0.012, -0.075 * dark
 09:41:58.83 * 259.607 , 57.884, 39.928, 31.020 * horizont.
 09:42:22.85 * 365.421 , 81.802, 57.369, 42.810 * direkt
 09:42:44.31 * 22.313 , 4.152, 2.277, 6.521 * forest
 09:43:12.27 * 25.948 , 5.758, 4.170, 4.456 * wood
 09:43:35.12 * 19.542 , 3.842, 1.924, 8.635 * grass
 =====

Tab. 1 - data z měření odrazu od trávy, lesních porostů a od prkna

I z této tabulky je zřejmé, že odraz od rostlin je ve Far Red větší než odraz např. od dlaždic a nebo prken. Stejně tak je měření v souladu s faktem, že v Red oblasti rostliny naopak odrážejí méně.

Popisované radiometry, spektrometry a jejich příslušenství byly v UFP a VOD vyvinuty v rámci dílčí úkolu, který byl součástí projektu podpory cíleného vývoje a výzkumu AV ČR s označením ISQ100820502.

Vliv rostlin na pozemské klima

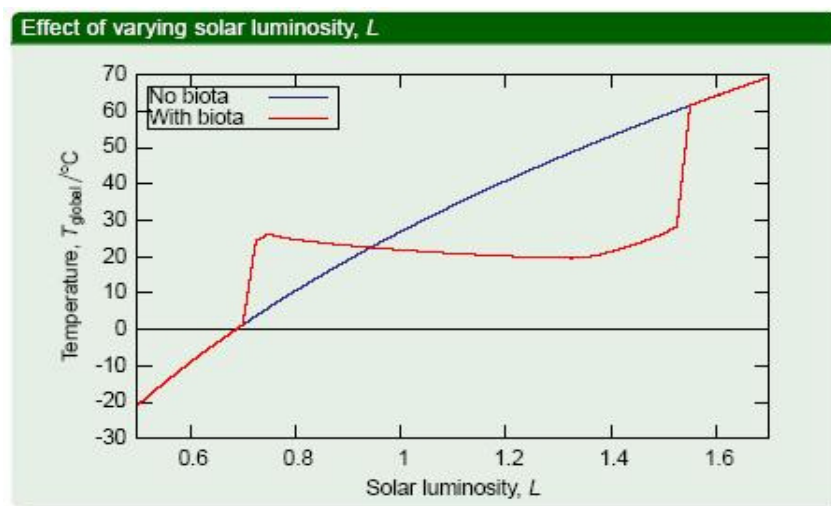
Pozemské klima je dáno dvěma protichůdnými procesy - množstvím tepla přijímaného Zemí od Slunce a množstvím tepla Zemí ztraceného do kosmu. Z fyzikálních zákonitostí plyne, že oba tyto procesy musí být v rovnováze. Tato rovnováha je výslednicí mnoha procesů a o některých již bylo referováno v publikaci [8]. Některé z těchto procesů jsou bezprostředně spojeny s rostlinstvem. Rostlinstvo má tu vlastnost, že bezprostředně interreaguje se slunečním zářením. A o množství světla, které rostliny odrazí nebo absorbují, se zmenší část, která dopadne až k zemskému povrchu a bude jej ohřívat.

Dále rostlinstvo a mikroorganismy zcela zásadním způsobem ovlivňují množství nejvýznamnějšího skleníkového plynu - kyslíčnicku uhličitého.

Již v minulém století vyslovil John Lovelock hypotézu (nazývanou Gaia nebo Daisyworld), podle které dokáže rostlinstvo do jisté míry regulovat svými reflexními vlastnostmi pozemské klima. Principem této myšlenky byly dva typy rostlin s různou odrazivostí a různou vitalitou při různých teplotách. Již tyto jednoduché předpoklady postačovaly k tomu aby takto reagující rostlinstvo dokázalo v modelovém případě udržovat teplotu povrchu planety v životně optimální hodnotě.



Obr. 5 - příklad rostlinstva s dvěma různými typy odrazu slunečního záření a vitality



Obr.6. - příklad průběhu rostrlnstvem regulované teploty v modelu Daisyworld [4]

Tento model byl dále rozpracováván a v dalších verzích do něj byla zahrnuta i výše uvedená podstatná vlastnost rostlinstva, které současně s absorpcí slunečního záření absorbuje i kyslíčnan uhličitý CO₂ a tím reguluje jeho obsah v atmosféře. To je další velmi důležitý proces, který byl již mnohokrát zpracováván a modelován v podstatně fundovanějších pracích, než je tato.

Tou nejpodstatnější vlastností rostlinstva je ovšem schopnost fotosyntézy, což je přímá absorpce slunečního záření fotosyntézou. Nejenže absorbuje CO₂, ale přímo přeměňuje sluneční záření na travnatou, listnatou a dřevitou hmotu. Daisyworld od Johna Lovelocka původně pracující pouze s reflexními vlastnostmi rostlin se tak modifikuje na svět rostlin, které absorbují světlo a pokud by ho absorbovaly více, povrch Země by se ochladil a rostliny by přestávaly růst. Tento proces je zpracováván ve většině klimatických modelů, na kterých spolupracují vědci v mnoha zemích a z nejrůznějších oborů.

Nejpodstatnější je zde množství energie, které rostliny fotosyntézou spotřebují a které se tak již nedostane k zemskému povrchu.

Fotosyntézou vzniklá hmota-biomasa se před příchodem člověka po miliony let ukládala do fosilních energetických rezerv a tento proces průběžně a podle výsledku pozitivně působil na stabilizaci pozemského klimatu a souběžně vytvořil energetické rezervy pro současný rozvoj lidské společnosti. Stinnou stránkou tohoto rozvoje je však enormní spotřeba fosilních zásob bezpochyby na úkor příštích generací.

Rovnováha mezi Zemí přijímanou a vydávanou energií byla podrobně diskutována v [7]. Zde ji pouze uvedu a doplním o absorpční člen odpovídající fotosyntetické absorpci :

Většina modelů zemského klimatu vychází ze základní rovnice pro rovnovážný stav mezi pohlcováním a vyzařováním energie zemským povrchem a atmosférou. Tato rovnice, jejíž výslednicí je efektivní (střední, globální, průměrná - používají se různé výstižné přívlastky) hodnota teploty zemského povrchu, má (v různých obměnách) následující tvar :

$$((1-A) (TSI / 4)) + E_G + (E_{Fosil} - E_{fotosyntetic}) = (1-G) \sigma T^4$$

kde TSI (Total Solar Irradiation) je celková intenzita slunečního záření, A je reflektivita zemského povrchu (albedo), E_G je příspěvek geotermální energie, E_{Fosil} je příspěvek energie od spalovaných fosilních paliv, nově je zde doplněna se záporným znaménkem energie odčerpávaná fotosyntetickými procesy E_{fotosyntetic}, G je konstanta skleníkového efektu ("Greenhouse-albedo"), σ je Stefan-Boltzmanova konstanta a T je efektivní teplota ve stupních Kelvina. Více o tom najdete v např. v pracích [7] a [8].

V principu je hlavní problém, který se dnes řeší, zda ubývající rostlinstvo bude schopno produkovat potřebné množství kyslíku a odbourávat vzrůstající množství lidstvem a živočišnou říší produkovaného CO₂. Jeho množství v atmosféře prokazatelně roste a tomu odpovídá i nárůst teploty, které jsou dnes již pro většinu zemského povrchu anomální.

Závěr

První práce, které byly na téma reakce rostlin na světlo autorem tohoto článku a RNDr. Skálovou z Botanického ústavu AV ČR publikovány, se zaměřovaly na růst rostlin. Další práce autora se zaměřovaly na reflektivitu rostlin a model Daisyworld, podle kterého by pouhé rostlinstvo se svou určitou adaptivní reflektivitou mělo být schopno si samo zajišťovat na Zemi přijatelné klimatické podmínky. Tato práce je doplněna o poukaz na vliv absorpce slunečního záření rostlinami a akumulaci sluneční energie rostlinstvem do formy fosilních paliv. Je zde naznačeno, že obrovská energie, která se za téměř jednu miliardu let naakumulovala

do zásob fosilních paliv, byla lidstvem takřka vyčerpána za pouhá tři století. I když ani množství energie naakumulované v minulosti ani množství energie akumulované rostlinstvem v současnosti do fosilní podoby není snadno kvantifikovatelné a nebylo to ani v autorových přístrojových a časových možnostech, je přesto zcela evidentní, že současný vztah lidstva k rostlinstvu je zcela neadekvátní, nešetrný a nanejvýš nerozumný. A další vývoj stejným způsobem, při kterém bude opět drasticky ubývat rostlinstvo na úkor rozpínivosti a bezohlednosti lidstva, může vést jedině ke katastrofě, jakou pamatují např. civilizace Mayů ve střední Americe nebo Egyptanů v severní Africe, viz pyramidy kdysi kvetoucích zahradách a dnes uprostřed nekonečné pouště bez života.

Použitá a doporučená literatura :

- [1] Hana Skálová: Vliv spektrálního rozložení záření na růst rostlin, sborník z konference "Člověk v jeho pozemském a kosmickém prostředí", Úpice 2005
- [2] Pavel Oupický: Měřicí technika pro určování a kontrolu podmínek růstu rostlin, sborník z konference "Člověk v jeho pozemském a kosmickém prostředí", Úpice 2005
- [3] Grassland Canopy Composition and Spatial Heterogeneity in the Light Quality Author(s): Hana Skálová, František Krahulec, Heinjo J. During, Věra Hadincová, Sylvie Pecháčková, Tomáš Herben Source: Plant Ecology, Vol. 143, No. 2 (1999), pp. 129-139 Published by: Springer
- [4] Daisyworld: A Simple Biospheric Feedback Model, Prof. Mike Barnsley, University of Swansea
- [5] Pavel Oupický: Spektrální radiometry pro měření světelných podmínek pro růst rostlin, Jemná mechanika a optika 10/2006
- [6] Pavel Oupický : Vlákem vázané spektrometry a jejich použití ve vědeckých aplikacích, sborník z konference „Člověk v jeho pozemském a kosmickém prostředí“, Úpice 2007,
- [7] Pavel Oupický : Některé procesy regulující teplotu Země, sborník z konference „Člověk v jeho pozemském a kosmickém prostředí“, Úpice, 2008
- [8] NASA's Earth Observatory, New Features: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/>