

Přírodní procesy určující teplotu Země

Pavel Oupický

Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i, Oddělení optické diagnostiky v Turnově

Úvod :

Teplota (efektivní, střední, průměrná, globální i místní) na planetě Zemi je výslednicí mnoha fyzikálních, fyziologických a sociálních a víceméně rizikových pochodů i faktorů. Tato teplota se ustaluje v procesech, ve kterých se vyrovnává energetická bilance mezi energií, kterou Země přijímá od Slunce (a kterou v malé míře bere ze svého nitra a kterou produkují její obyvatelé), a energií, kterou sama vyzařuje zpět do kosmického prostoru.

V předchozím příspěvku na této konferenci s názvem "Energetické balancování teploty Země" jsem se těmto procesům věnoval převážně fyzikálně a okrajově jsem se zmínil o možném vlivu rostlinných porostů. V tomto příspěvku na tuto hypotézu, již dříve postulovanou v hypotéze Gaia od Johna Lovelocka, navazuji a zaměřím se zde především na regulační procesy spojené s rostlinstvem.

Konkrétně budu referovat o měřeních, která by realitu této hypotézy potvrdovala a nebo naopak vyvracela.

Další informace o tom, jak modely zemského klimatu pracují s vegetací a k jakým výsledkům vedou jejich výpočty, je možno nalézt v nezkráceném příspěvku na webových stránkách autora..

Základní rovnice

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

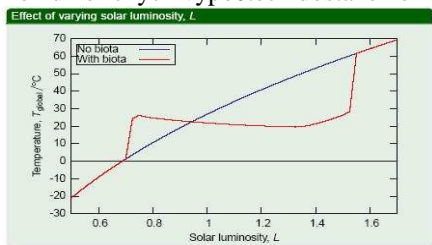
$$(1-A) ((TSI / 4) + E_G + E_F) = (1-G) \sigma T^4$$

kde TSI (Total Solar Irradiation) je celková intenzita slunečního záření, A je reflektivita zemského povrchu (albedo) , E_G je přísvek geotermální energie, E_F je příspěvek od spalovaných fosilních paliv, 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 práci [12].

Daisyworld

Podle hypotézy Gaia dokáže rostlinstvo eliminovat vliv eventuelně nestálého zářivého toku přicházejícího od Slunce. Matematicky je tato hypotéza realizována modelem Daisyworld (květinový resp. kopretinový svět). V tomto modelu jsou jako regulační prvky použity hypotetické květiny různých barev, které různě odrážejí sluneční světlo. V nejjednodušším - dvoukvětinovém - systému jsou tam jednak bílé (lépe světle zelené) květiny (louky, listnaté stromy), které mají velkou odrazivost a malou absorpci a tmavé (lépe tmavozelené) květiny (lesy, řasy), které mají malou odrazivost a velkou absorpci. Oba typy květin mají různé optimální teploty pro svůj růst, navzájem si konkurují v růstu a mají jen omezenou životnost. Základní princip pro regulaci teploty takového systému je růst tmavých květin s malou odrazivostí a velkou absorpcí, pokud je slunečního světla málo, a růst bílých květin s velkou odrazivostí a malou absorpcí, pokud je světla hodně. Model prokazuje, že takový systém je schopen udržet teplotu na optimální úrovni, i když se vstupní intenzita světla ve velkém rozmezí mění.

Po numerických výpočtech dostaneme z modelu pro průběh teploty např. graf viz obr.1.



Obr.1. - příklad průběhu teploty v modelu Daisyworld (převzato z [3])

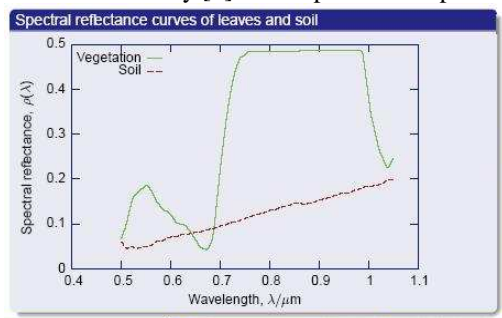
Realita Daisyworldu

Tento model je založen na předpokladu reflektivity rostlin. Protože v Oddělení optické diagnostiky Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. (dříve Vývojová optická dílna AV ČR, dále jen OOD) v Turnově máme k dispozici měřicí techniku, s jejíž pomocí je možné dané předpoklady ověřit, provedli jsme několik základních měření. Nejjednodušší metodou je měření propustnosti listů rostlin, výsledek je možné nalézt v [10].

Lze z něj vidět, že rostliny více propouštějí zelenou barvu a blízké infračervené záření, je zde i vidět, že červenou barvu (nejvíce kolem 680nm) a oblast modré nepropouštějí - při svém růstu světlo těchto barev aktivně využívají v procesu fotosyntézy .

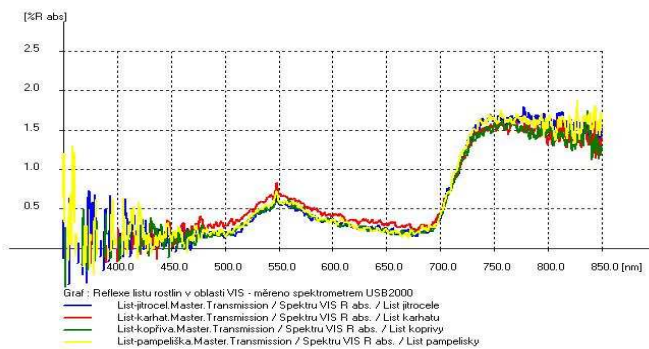
Větší problém je s měřením odrazu od rostlin, protože rostliny nejsou tak snadno měřitelným médiem, jako třeba skleněná zrcadla. Výsledky měření jsou tak většinou zkruslené rozptylem záření, ke kterému na jejich listech a jehličkách dochází.

Profesor Barnsley [4] ve své práci uvádí pro reflexi rostlin a půdy tento spektrální graf :

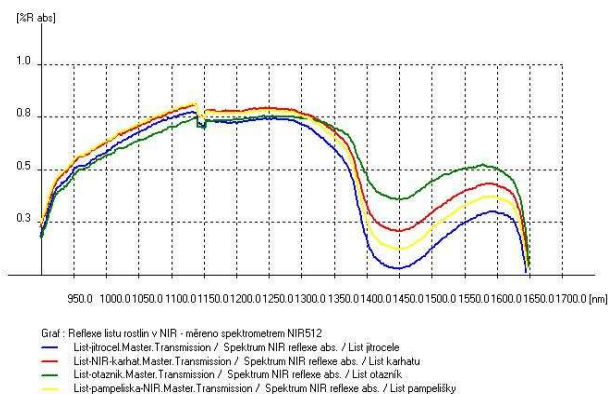


Obr.2 Spektrální reflexe listů a půdy podle prof. Barnsleye [3]

V OOD jsme provedli měření na několika spektrometrech (USB2000, Avaspec2048,NIR512 a Perkin-Elmer Lambda 20) s následujícím výsledkem (příklady) :



Obr. 3 Příklad spektra odrazu několika typických listů rostlin v UV-VIS-NIR



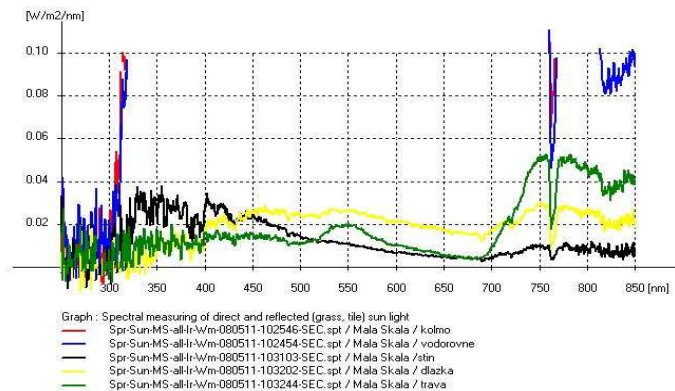
Obr.4 Příklad spektra odrazu několika typických listů rostlin v NIR

Ze spekter je zřejmé, přes všechny obtíže a nepřesnosti s měřením spojené, odraz rostlin odpovídá spektru, které publikoval ve své práci o modelu Daisyworld prof. Barnsley [3].

Další možností je měření odrazu od rostlinných porostů přímo v přírodě a jeho porovnání s odrazem od jiných médií, kterými jsou rostliny v důsledky lidské činnosti postupně vytlačovány. I k tomu byly v OOD připravené vhodné prostředky, konkrétně sonda napojená vláknem k miniaturnímu spektrometru, resp. tento spektrometr s nástavcem s kosinovou korekcí vhodným pro měření radiace v pásmu UV-NIR přímo v terénu. Na následujících obrázcích je použitý spektrometr s nástavci a příklad výsledku měření spekter.



Obr.5 Spektrometr USB2000 s nastavci pro měření radiace v terénních podmínkách



Obr.6 Spektrum odrazu od trávy a dlaždic

Ve spektru z obr.6 jsou porovnány odrazy od trávy a od dlaždic. I zde je vidět zvýšený odraz od rostlin v NIR, naopak se zde nepotvrdila výrazně vyšší odrazivost kolem 530nm. Je tedy pravděpodobné, že rostliny se nám jeví jako zelené v důsledku faktu, že mnohem méně než zelenou odrážejí barvy modrou a především červenou. Další možností měření s tímto spektrometrem jsou měření v určitých vlnových pásmech, jak je to dále zdokumentováno. Data byla uložena do souboru s následující hlavičkou:

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*WDB,GREEN,RED,NIR,
 Bands description: WDB 300-849nm, GREEN 500-599, RED 600-700, NIR 700-799
 Type of bands: sumarization

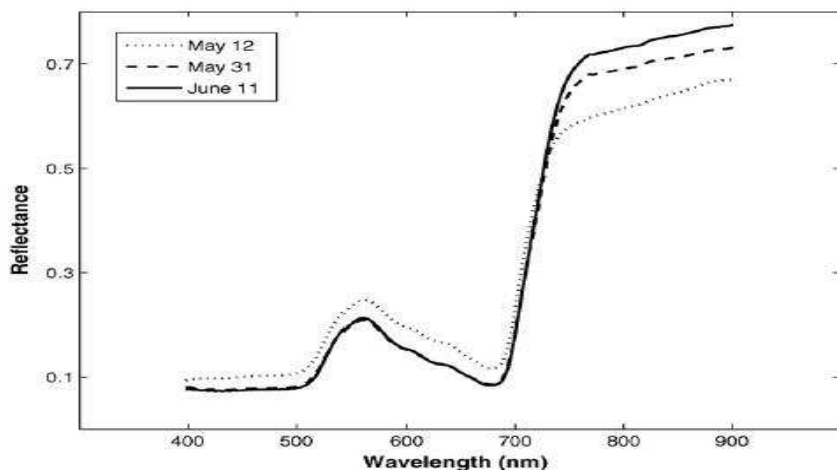
Data:					
Time	* WDB	, GREEN	, RED	, NIR	* comment
09:41:43.14*	-0.385,	-0.012,	-0.012,	-0.075	* dark
09:41:58.83*	259.607,	57.884,	39.928,	31.020	* horizont.
09:42:22.85*	365.421,	81.802,	57.369,	42.810	* direkt
09:42:44.31*	22.313,	4.152,	2.277,	6.521	* forest
09:43:12.27*	25.948,	5.758,	4.170,	4.456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

I z této tabulky je zřejmé, že odraz od rostlin je v NIR větší než např. od dlaždic a nebo prken. Stejně tak je měření v souladu s faktem, že v RED oblasti rostliny naopak odrážejí méně. Ani zde však nebyl v zelené oblasti naměřen u rostlin větší odraz než od světlých dlaždic a nebo prken. Zčásti je to zřejmě způsobeno širším měřeným pásmem.

Popisované spektrometry a jejich příslušenství jsou v UFP VOD vyvíjeny jako dílčí úkol v rámci projektu podpory cíleného výzkumu AV ČR číslo 1SQ100820502.

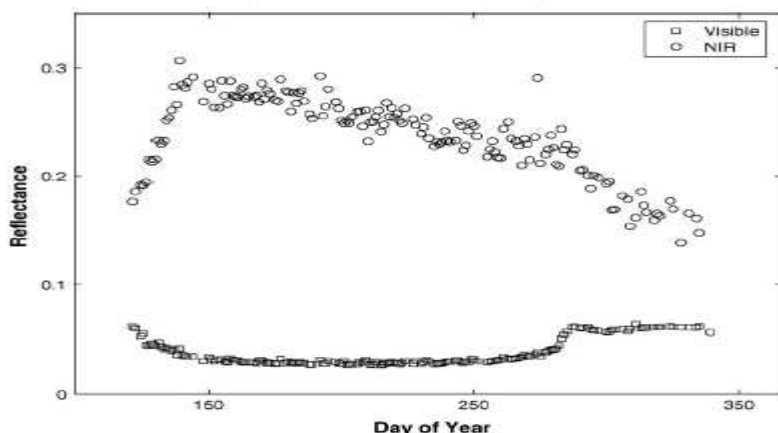
Příklady dalších měření

Ve světě byla prováděna řada měření krátkovlnného odraženého i dlouhovlnného záření od zemského povrchu i vegetace, příkladem jsou např. projekty BOREAS s měřicími věžemi (flux tower) na měření zářivého toku a nebo výsledky z měření radiometrů umístěných na satelitech ERBS a nebo TERRA. Příklady výsledků měření z věží jsou na obr.7 a obr.8 (převzato z [4]).



Obr.7 Výsledek měření odrazu slunečního záření od rostlin [4]

J.P. Jenkins et al. /Agricultural and Forest Meteorology 143 (2007) 64–79



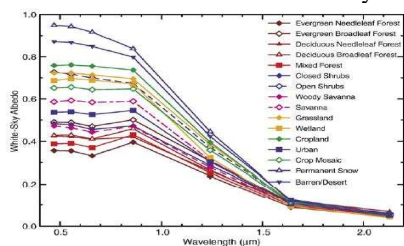
Obr.8 Výsledek měření odrazu slunečního záření od rostlin v průběhu roku Bartlett Experimental Forest CO2 flux tower, White Mountains, New Hampshire (USA) [4].

Z měření krátkovlnné a dlouhovlnné radiace spektrometrem satelitu ERBS jsou zřejmé jisté charakteristické vlastnosti pro oblasti s hustým porostem. Konkrétně v krátkovlnném spektru a v rovníkové oblasti s pralesními porosty je zřejmý zvýšený odraz. Ten je však způsoben až sekundárním produktem porostů - hustými mračky, které tuto oblast často zakrývají [1].

Obdobně v dlouhovlnné oblasti je zřejmé, že tato oblast vyzařuje podstatně méně než např. pouštní oblasti. Je to důsledek faktu, že tato oblast je chráněna mračky a proto se tolik nepřehřívá [1].

Další zajímavý jev byl pozorován satelitem TERRA a jeho speciálním radiometrem MODIS.

Při sledování odrazu od zasněžených ploch bylo zjištěno, že minimálně odrážejí zasněžené lesní porosty [7].



Obr.9 Albedo zasněžených ploch a porostů [7]

Z uvedených skutečností je zřejmé, že Daisyworld je model s reálným základem, i když relace mezi odrazem od rostlin a skutečným albedem není jenom jednoduchou funkcí jejich bezprostředních reflexních vlastností, ale uplatňují se zde i jejich sekundární dopady na jiné reflexní entity (mraky, sníh).

V Turnově, 22.5.2008 .

oupicky@ipp.cas.cz

Použitá a doporučená literatura :

- [1] NASA : výsledky z měření radiometrů na satelitech ACRIMSAT, SORCE , ERBS a TERRA
- [2] Modelling the Gaia Hypothesis: Daisyworld, Phillipa Sessini CPSC565 - Emergent Computing, University of Calgary
- [3] Daisyworld: A Simple Biospheric Feedback Model, Prof. Mike Barnsley, University of Swansea
- [4] Refining light-use efficiency calculations for a deciduous forest canopy using simultaneous tower-based carbon flux and radiometric measurements, J.P. Jenkins at al University of New Hampshire, Northern Research Station, USA, Agricultural and Forest Meteorology 143 (2007)
- [5] MOSES 2.2 Technical Documentation Richard Essery, Martin Best and Peter Cox, Hadley Centre, Met Office, London
- [6] Climate change and the greenhouse effect, Professor John Mitchell, FRS, OBE, Met Office, A briefing from Hadley Centre for Climate Prediction, December 2005
- [7] Northern Hemisphere five-year average (2000–2004) spectral albedos of surfaces in the presence of snow: Statistics computed from Terra MODIS land products Eric G. Moody et al.
- [8] Lee Worden: Notes from the Greenhouse World: Evolution and sustainability working paper 2, Princeton University. Available online at <http://two.ucdavis.edu/~worden/>
- [9] Hana Skálová: Vliv spektrálního rozložení záření na růst rostlin, sborník z konference "Člověk v jeho pozemském a kosmickém prostředí", Úpice 2005
- [10] Pavel Oupický: Měřicí technika pro určování a kontrolu podmínek růstu rostlin, sborník z konference "Člověk v jeho pozemském a kosmickém prostředí", Úpice 2005
- [11] Pavel Oupický: Spektrální radiometry pro měření světelných podmínek pro růst rostlin, JMO 10/2006
- [12] Pavel Oupický : Energetické balancování teploty Země, Úpice, referát na konferenci „Člověk v jeho pozemském a kosmickém prostředí 2007“, .
- [13] Climate Prediction Net (CPDN) , www.climateprediction.net,
- [14] Wikipedia, the free encyclopedia