

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOGRAFIE

Karolína ŠRAHŮLKOVÁ

**PŘÍSPĚVEK KE STUDIU KLIMATU MĚSTA
OLOMOUCE – SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Martin Jurek, Ph.D.

Olomouc 2010

Prohlašuji tímto, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Martina Jurka, Ph.D., a uvedla veškerou použitou literaturu a další zdroje.

Ve Velkém Týnci dne 27. 4. 2010

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
Přirodovědecká fakulta
Katedra geografie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karolína ŠRAHŮLKOVÁ**
Studijní program: **B1501 Biologie**
Studijní obory: **Geografie**
Biologie

Název tématu: **Příspěvek ke studiu klimatu města Olomouce - sluneční záření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je analyzovat data o míře slunečního záření naměřená na území města Olomouce v účelové staniční síti katedry geografie PřF UP. Bude vyhodnocen chod tohoto prvku z hlediska rozložení během roku a vůči synoptickým situacím, zhodnocena bude vazba na teplotu vzduchu a vztah k teoretické insolaci.

Rozsah grafických prací: Podle potřeb zadání
Rozsah pracovní zprávy: 10 000 - 12 000 slov
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Brázdil, R. et al. (1988) Úvod do studia planety Země. Praha: SPN. Liu, D.L., Scott, B.J. (2001) Estimation of solar radiation in Australia from rainfall and temperature observations. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 106, p. 41-59. Meza, F., Varas, E. (2000) Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 100, p. 231-241. Liu, X. et al. (2009) Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 149, p. 1433-1446. Nosek, M. (1972) *Metody v klimatologii*. Praha: Academia.

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Martin Jurek, Ph.D.
Katedra geografie

Datum zadání bakalářské práce: 26. června 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2010

L.S.

Prof. RNDr. Juraj Ševčík, Ph.D.
děkan

Doc. RNDr. Zdeněk Szczyrba, Ph.D.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 7. července 2009

Ráda bych na tomto místě poděkovala panu RNDr. Martinu Jurkovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost a cenné rady, které mi byly při zpracování této bakalářské práce velice nápomocny.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíle práce	8
3	Metody práce	9
3.1	Zhodnocení dostupné literatury	9
3.2	Použité metody analýzy globálního slunečního záření.....	9
3.3	Charakteristika staniční sítě.....	12
4	Teoretická východiska	14
4.1	Sluneční záření a způsoby jeho měření	14
4.1.1	Přímé sluneční záření (I_h) a metody jeho měření.....	16
4.1.2	Rozptýlené sluneční záření (i) a metody jeho měření.....	18
4.1.3	Globální sluneční záření (Q) a metody jeho měření.....	19
4.2	Faktory ovlivňující sluneční záření	22
4.2.1	Režim insolace.....	23
4.2.2	Další faktory ovlivňující globální sluneční záření.....	27
4.3	Globální sluneční záření v ČR.....	28
4.4	Metody odhadu globálního slunečního záření.....	31
5	Analýza dat o globálním slunečním záření.....	38
5.1	Denní úhrny globálního slunečního záření.....	38
5.2	Denní úhrny globálního slunečního záření při jasných, oblačných a zatažených dnech.....	39
5.3	Intenzita globálního slunečního záření	42
5.4	Globální sluneční záření podle synoptických situací	43
5.5	Závislost denní amplitudy teploty vzduchu na globálním slunečním záření..	45
5.6	Odhad globálního slunečního záření s využitím dat o teplotě vzduchu	47
6	Závěr	49
7	Summary.....	50
8	Použitá literatura	51

1 Úvod

Sluneční záření je běžný výraz pro elektromagnetické záření vyzařované Sluncem. Prakticky všechna zářivá energie přijatá Zemí vychází ze Slunce jako sluneční záření. Bez tohoto vkladu energie by Země byla chladnou planetou bez života.

Velký význam má sluneční záření především v biosféře, kde je, díky fotosyntéze, energie ze slunečního záření využívána rostlinami, které přeměňují vodu a oxid uhličitý na sacharidy a kyslík.

Globální sluneční záření v daném místě je nejen významným činitelem formujícím klimatické podmínky, ale rovněž různým způsobem ovlivňuje technologie spojené s lidskou činností. Právě problematice globálního slunečního záření na území Olomouce se věnuje tato bakalářská práce, a to rozbořem dat o globálním slunečním záření na území města Olomouce, naměřených za období duben–září 2008.

Globální sluneční záření je dále základní vstupní proměnná mnoha klimatických, ale i např. ekologických či agrárních modelů. Síť stanic pravidelně měřících globální sluneční záření není příliš hustá, úhrny globálního slunečního záření lze ovšem s poměrně velkou mírou spolehlivosti odhadovat z jiných meteorologických prvků. Část prostoru v této práci je proto věnována také poměrně frekventované problematice odhadu globálního slunečního záření.

2 Cíle práce

Cílem bakalářské práce bude analyzovat data o míře slunečního záření naměřená na území města Olomouce v účelové staniční síti katedry geografie Přírodovědecké fakulty UP. Bude vyhodnocen chod tohoto prvku z hlediska rozložení během roku a vůči synoptickým situacím, zhodnocena bude vazba na teplotu vzduchu a vztah k teoretické insolaci.

3 Metody práce

3.1 Zhodnocení dostupné literatury

Při zpracování bakalářské práce byla použita meteorologická a klimatická literatura zaměřená na sluneční záření, a to zejména Sobíšek, B. (1993), Tolasz, R. *et al.* (2007), Brázdil, R. (1988), Vysoudil, M. (2006), Oliver, J. E. (2005) a Nosek, M. (1972). Dále časopis Meteorologické zprávy, především práce od K. Vanička.

Vaniček je jedním z nejvýznamnějších českých autorů, který se věnoval globálnímu slunečnímu záření (dále již GSZ) a také jeho výpočtu z ostatních meteorologických prvků. Výpočty měsíčního úhrnu GSZ pro území ČSSR prováděli již Küchel (1963) a Tomlain (1964). Vaniček se zabýval i měřením pole GSZ nepřímou metodou, a to výpočtem z dlouhodobých měření slunečního svitu a oblačnosti (Vaniček, 1985a) a dále i rajonizací a s tím spojenými statistickými charakteristikami GSZ pro jednotlivé oblasti České republiky (Vaniček, 1994).

V současnosti se odhadu GSZ v České republice věnuje skupina pracovníků z Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně. Trnka *et al.* (2005) hodnotili sedm metod k odhadům GSZ a tyto metody testovali především v nížinných oblastech Rakouska a České republiky. Výstupy jejich práce jsou blíže popsány v kapitole 4.4 (Metody odhadu globálního slunečního záření). V práci jsou dále hodnoceny metody odhadu GSZ s využitím zahraničních článků, např. (Liu *et al.*, 2001; Kapler *et al.*, 2003; Menges, 2006; Trnka *et al.*, 2005).

3.2 Použité metody analýzy globálního slunečního záření

Prvním úkolem při zpracování této práce bylo studium literatury pro rešerši teoretických východisek týkajících se slunečního záření, jeho složek a měření. Dále byla prostřednictvím webového vyhledávače www.sciencedirect.com provedena v odborných časopisech dostupných pro Univerzitu Palackého rešerše k tématu globálního slunečního záření (GSZ) a jeho vztahu k teplotě vzduchu. Z nalezených materiálů byl vypracován ucelený výtah.

Dalším krokem byla analýza dat o GSZ a o teplotách vzduchu, naměřených v účelové staniční síti provozované katedrou geografie Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci pro studium městského a příměstského klimatu pod vedením doc. RNDr. Miroslava Vysoudila, CSc. Pro zpracování této bakalářské práce vybrány tři lokality, na kterých se měřila mimo jiné meteorologické prvky také intenzita globálního slunečního záření a teplota vzduchu ve výšce

1 m nad aktivním povrchem. Z časových řad bylo vybráno období teplého půlroku (duben–září 2008). Všechny stanice měřily GSZ i teplotu vzduchu v intervalu 10 minut. GSZ bylo měřeno pyranometrem SK1110 pracujícím na principu křemíkové fotodiody. Výrobce uvádí celkový měřicí rozsah $0\text{--}5\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a výstup 1 mV na $100\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Základní analýza dat zahrnovala určení základních charakteristik GSZ pro jednotlivé dny sledovaného období, za jednotlivé měsíce a za celý teplý půlrok 2008. Byla vyhodnocena celková délka intervalu kladné (tj. nenulové) intenzity GSZ, maximální hodnota intenzity GSZ a celkový denní úhrn GSZ v $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$. Protože data byla zaznamenána jako okamžitá intenzita GSZ ve $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ v intervalu 10 minut, byla pro výpočet denního úhrnu GSZ zvolena následující metoda numerického výpočtu: okamžitá hodnota naměřené intenzity GSZ ve $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ byla vzata jako střední hodnota intenzity insolace pro příslušný desetiminutový interval, což např. znamená, že jednotková plocha při střední intenzitě GSZ $500\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ přijala za dobu 10 minut (600 s) celkem $500\text{ [J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}]\cdot 600\text{ [s]} = 300\,000\text{ J}\cdot\text{m}^{-2} = 0,3\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Tzn. při zpracování dat byly jednotlivé údaje o intenzitě insolace všechny vynásobeny hodnotou 600 a následně pro daný kalendářní den sečteny – výsledek znamenal denní úhrn globálního slunečního záření v $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$. Pro srozumitelnější čitelnost dat byly tyto výsledky ještě vyděleny hodnotou 10^6 , tedy převedeny do jednotek $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$.

Dále bylo provedeno hodnocení výskytu jasných, oblačných a zatažených dní v souladu s metodikou, kterou navrhl Nosek (1972: 317–318).

Pro zhodnocení naměřených hodnot GSZ vůči celkovému množství záření přicházejícího od Slunce byly dále vypočteny charakteristiky extraterestrální insolace (I_h) pro jednotlivé dny v roce. Při výpočtu byl využit následující vzorec (Brázdil *et al.*, 1988:297):

$$I_h = I_s \left(\frac{r}{r_s}\right)^2 (\sin \varphi \sin \delta_{\odot} + \cos \varphi \cos \delta_{\odot} \cos t_{\odot})$$

Hodnoty deklinace Slunce (δ_{\odot}) byly pro jednotlivé dny převzaty z Hvězdářské ročenky 2008 (Příhoda *ed.*, 2007), za hodnotu zeměpisné šířky bylo dosazováno $\varphi = 49^{\circ}36'$. Hodinový úhel (t_{\odot}) pro konkrétní okamžiky během dne (odstupňované v intervalu 10 minut) byly určeny odpočtem od okamžiku pravého poledne v Olomouci – tento údaj byl zjištěn z Hvězdářské ročenky 2008, přičemž byla zohledněna oprava na zeměpisnou délku Olomouce (kde pravé poledne nastává o 9 minut dříve než na poledníku 15° v. d.) a také bylo zohledněno, že veškerá vstupní data z měřicích stanic jsou zaznamenána v letním čase (SELČ).

Výpočet výrazu $I_s \left(\frac{r}{r_s}\right)^2$, kde I_s je solární konstanta ve $W \cdot m^{-2}$, r je střední vzdálenost Země–Slunce a r_s je okamžitá vzdálenost Země–Slunce, byl nahrazen převzetím hodnot určených na základě družicových měření insolace v rámci programu *SORCE : Solar Radiation & Climate Experiment* (SORCE, 2010b). Na internetových stránkách k projektu jsou ke stažení jednak data o okamžité hodnotě solární konstanty (v datech označena jako „tsi_1au“) pro jednotlivé dny za celou dobu družicové mise, ale také hodnoty insolace jednotkové plochy kolmé k paprskům pro okamžitou vzdálenost Země–Slunce (v datech označena jako „tsi_true_earth“), které byly použity do vzorce za celý dílčí výraz $I_s \left(\frac{r}{r_s}\right)^2$.

Výpočet hodnot intenzity extraterestrální insolace nad Olomoucí pro celé období duben–září 2008 byl proveden v kroku 10 minut využitím tabulkového procesoru *MS Excel 2007*. Z vypočtených hodnot intenzity extraterestrální insolace byly následně vypočteny denní úhrny extraterestrální insolace nad Olomoucí v $MJ \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$ stejným numerickým algoritmem jako v případě analýzy naměřených dat GSZ (tj. součet všech hodnot intenzity extraterestrální insolace pro daný kalendářní den vynásobené 600 a následně v rámci převodu jednotek z J na MJ vydělené hodnotou 10^6).

V dalším zpracování byla na základě katalogu synoptických situací (ČHMÚ, 2010) analyzována souvislost mezi charakteristikami GSZ a jednotlivými typy synoptických situací.

Souvislost mezi GSZ a teplotou vzduchu byla zkoumána z pohledu intenzity prohřívání přízemní atmosféry v době vždy od počátku kladné intenzity GSZ pro daný den po 14:00 SELČ, a to analýzou korelace mezi úhrnem GSZ za daný interval a dosaženou amplitudou teploty.

Z metod odhadu úhrnu globálního slunečního záření pomocí meteorologických prvků byla pro souvislost s teplotou vzduchu aplikována Hargreavesova (1985) metoda. Výpočet je následující:

$$Q = Q_a \cdot a_H \cdot \sqrt{T_{max} - T_{min}} + b_H$$

kde Q je odhadnutý denní úhrn globálního slunečního záření ($MJ \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$), Q_a představuje denní úhrn extraterestrální insolace ($MJ \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$; údaj získán vlastním teoretickým výpočtem), T_{max} je maximální teplota vzduchu, T_{min} minimální teplota vzduchu, a_H , b_H jsou empirické konstanty, jejichž hodnoty pro střední Evropu navrhl Trnka *et al.* (2005) takto $a_H = 0,16$; $b_H = -0,8$. Odhadnuté denní úhrny Q byly následně porovnány s úhrny GSZ zjištěnými sumací z naměřených dat.

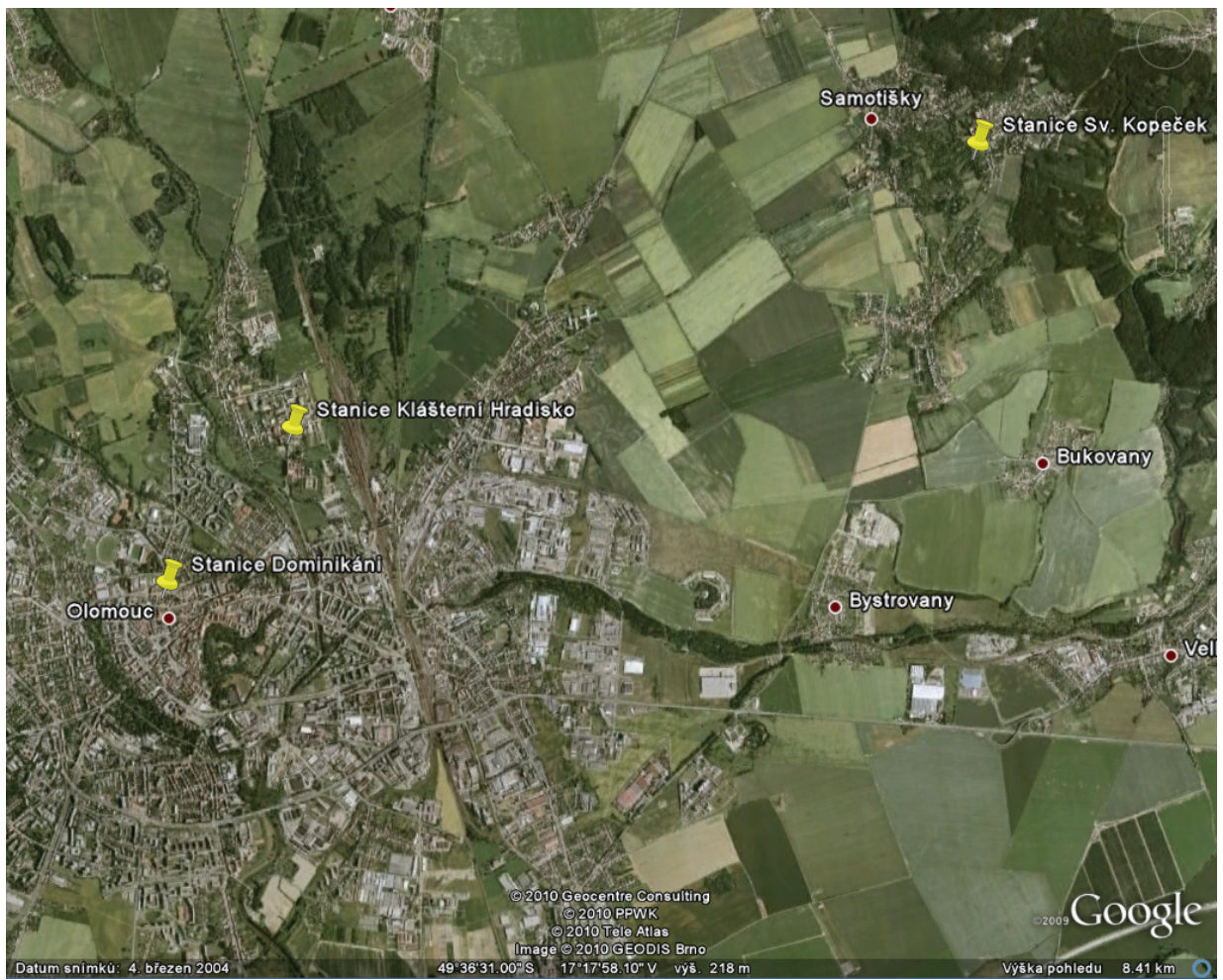
3.3 Charakteristika staniční sítě

Svatý Kopeček se nachází na okraji Nizkého Jeseníku asi 8 km severovýchodně od Olomouce. Stanice Sv. Kopeček byla umístěna na pozemku Základní a mateřské školy logopedické v místní části Olomouc–Svatý Kopeček na ulici Bohumíra Dvorského 17, v areálu školní zahrady na zatravněné ploše s ovocnými stromy. Stanice Hradisko byla umístěna v areálu zahrady Střední zemědělské školy na ulici U Hradiska 4, na zatravněné ploše, ve vzdálenosti 5–10 m jižně od skupiny stromů. Stanice Dominikáni se nacházela v centru města Olomouce, na zahradě kláštera Dominikánů, Slovenská 14, na zatravněné ploše s rozptýlenou okrasnou vegetací.

Měření bylo na všech stanicích prováděno od 1. 4. 2008 do 30. 9. 2008, přičemž data o teplotě vzduchu a globální sluneční radiaci ze stanice Dominikáni z technických důvodů chybí od 1. 4. 2008 do 20. 4. 2008. Topoklimatické stanice Weather Station od výrobce Fourier Systems současně zaznamenávaly (v intervalu 10 minut) jak údaje o globální radiaci a teplotě vzduchu (1 m nad aktivním povrchem), tak i o relativní vlhkosti vzduchu, srážkových úhrnech, tlaku vzduchu a směru a rychlosti větru.

Tab. 1 Základní informace o meteorologických stanicích

meteorologická stanice	nadmořská výška stanice	s. z. š.	v. z. d.
Olomouc-Dominikáni	220 m	49°35'49"	17°15'04"
Olomouc-Klášterní Hradisko	218 m	49°36'28"	17°15'51"
Olomouc-Sv. Kopeček	360 m	49°37'39"	17°20'20"



Obr. 1 Umístění stanic v účelové staniční síti katedry geografie Přírodovědecké fakulty (vlastní zpracování).

4 Teoretická východiska

4.1 Sluneční záření a způsoby jeho měření

Vysoudil (2006) definuje pod pojmem sluneční záření (nebo též radiace) šíření elektromagnetických vln (elektromagnetické záření) nebo toků hmotných částic (korpuskulární záření) atmosférou. Toto záření je vyzařováno termojadernými procesy uvnitř Slunce. Vlnová délka elektromagnetického záření v atmosféře se pohybuje od 10^{-14} do 10^{-2} m.

V důsledku astronomických zákonů, které určují polohu Slunce na obloze, má intenzita slunečního záření a jeho daných složek v určitém místě na zemském povrchu výrazný denní a roční chod. Tento chod je výrazně ovlivněn aktuálním stavem atmosféry a to hlavně oblačností a prachovými částicemi (aerosoly) obsaženými ve vzduchu. Vlivem těchto faktorů je sluneční záření prostorově i časově značně proměnlivou klimatickou charakteristikou. Hodnoty slunečního záření se udávají v energetických jednotkách, nejčastěji ve $W \cdot m^{-2}$ pro okamžitou intenzitu toku nebo v $J \cdot m^{-2}$ pro úhrn energie za zvolené období – den, rok atd. (Tolasz, 2007).

Sobíšek (1993) člení záření podle zdroje na záření Slunce a záření Země, které je tvořeno zářením zemského povrchu a zářením atmosféry Země, unikajícími do kosmického prostoru. Podle vlnové délky dělíme záření na záření krátkovlnné a záření dlouhovlnné, v podrobnějším členění pak na záření kosmické, ultrafialové, viditelné, infračervené a mikrovlny. Pro energetickou bilanci soustavy Země–atmosféra má rozhodující význam záření o vlnových délkách v rozpětí řádově 0,1 μm až 100 μm . Z uvedeného rozpětí připadá na interval vlnových délek 0,1–4,0 μm až 99 % celkového toku slunečního záření. Záření v tomto intervalu vlnových délek se označuje jako krátkovlnné. Záření atmosféry a vlastního povrchu má vlnové délky větší než 4,0 μm a označuje se jako dlouhovlnné.

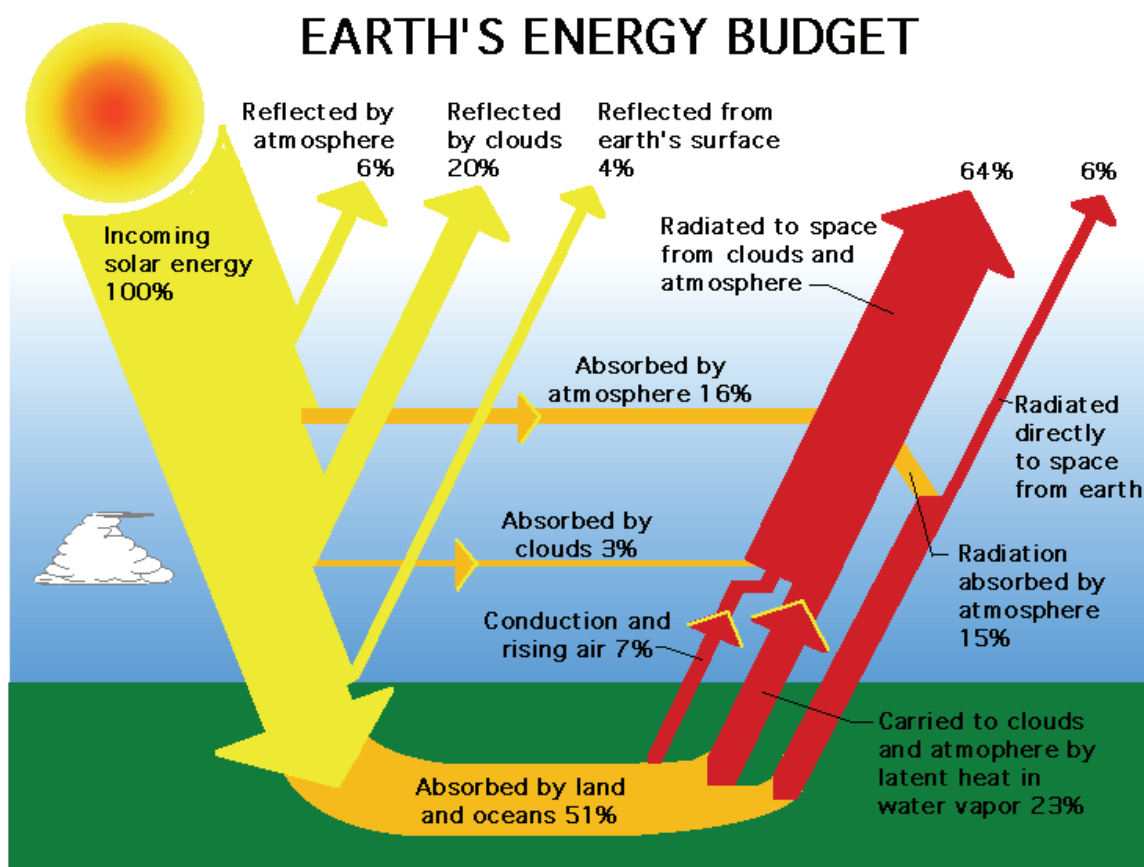
Sluneční záření o charakteristickém spektru vlnových délek odpovídá spektru dokonale černého tělesa o povrchové teplotě kolem 6000 K. Sluneční spektrum se obvykle rozděluje na tři hlavní části – podle toho rozlišujeme (podle Bednář, 2003):

1. *ultrafialové sluneční záření* s vlnovými délkami menšími než 0,4 μm , které před vstupem do zemské atmosféry tvoří asi 7 % energie celkového elektromagnetického slunečního záření a jež je ze značné části absorbováno atmosférickým ozónem ve stratosféře,

2. *viditelné sluneční záření* s vlnovými délkami od 0,4 μm do 0,73 μm vytvářející spektrum barev od fialové (nejkratší vlnové délky) po červenou (asi 48 % energie celkového elektromagnetického slunečního záření před vstupem do atmosféry),

3. *infračervené sluneční záření*, které má vlnové délky větší než 0,73 μm a před vstupem do atmosféry tvoří přibližně 45 % z toku energie slunečního záření.

Záření Slunce je rozhodujícím činitelem většiny atmosférických procesů, formuje globální klima, ovlivňuje životní prostředí a je i důležitým obnovitelným energetickým zdrojem.



Obr. 2 Energetická bilance Země.

Zdroj: http://eosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/radiation_facts.html

Konkrétní množství slunečního záření se při průchodu atmosférou mění. V průměru asi 30 % záření je odraženo zpět v důsledku reflexe od atmosféry, mraků a povrchu Země. Dalších asi 19 % radiace je v atmosféře pohlcováno. Plyny jako je ozón, kyslík a vodní páry radiaci absorbují a tak atmosféru oteplují, zatímco molekuly vzduchu radiaci rozptylují. Ozón pohlcuje především ultrafialové záření a je přítomen ve stratosféře. Vodní páry se nachází v troposféře a pohlcují dlouhovlnné infračervené záření. Produkty lidské činnosti, jako jsou oxid siřičitý a oxid dusičný, jsou zodpovědné za pohlcení UV a viditelného záření. Zbýlých 50 % záření poté dosahuje povrchu Země. Rozptyl slunečního záření při nízké oblačnosti je primárně způsoben molekulami vzduchu. Tento rozptyl je známý jako Rayleighův. Rozptyl na

částicích větších, než je vlnová délka, např. kouř, aerosoly vzniklé vulkanickou činností, prach nebo kapky vody, je uváděn jako Mieův rozptyl (Oliver, 2005).

Při průchodu zemskou atmosférou je tedy sluneční záření pohlcováno (absorpce), odraženo a rozptylováno atmosférickými plyny, aerosoly a oblačností. Na zemský povrch proto dopadá jako **přímé sluneční záření** (paprsky ze slunečního kotouče) a **rozptýlené (difúzní) záření** (paprsky z ostatních částí oblohy). Součet těchto dvou radiačních toků, vztažený na jednotku horizontální plochy, se nazývá **globální sluneční záření**, které tak představuje celkový příkon sluneční energie na zemský povrch. Albedo (odrazivost) se vyjadřuje jako poměr mezi množstvím *odraženého záření* a *celkově dopadajícím zářením*. Např. pro listnatý les má hodnotu 15–22 %. Planetární albedo Země je potom zhruba 30 %, což vyplývá z interpretace družicových měření.

4.1.1 Přímé sluneční záření (I_h) a metody jeho měření

Sobíšek (1993) charakterizuje přímé sluneční záření jako krátkovlnné záření přicházející z malého prostorového úhlu, v jehož ose je střed Slunce, a dopadající na plochu kolmou k ose tohoto úhlu. Intenzita přímého slunečního záření klesá s růstem délky dráhy slunečních paprsků v atmosféře, tedy s poklesem výšky Slunce nad obzorem, dále klesá i s růstem zakalení atmosféry. Je-li Slunce zastíněno oblaky, je intenzita přímého slunečního záření na zemském povrchu nulová. Intenzita záření se měří aktinometry nebo pyrhelimetry. Jeho délka se měří heliografem.

Termín aktinometr poprvé použil anglický astronom J. Herschel v roce 1825. Technická podstata **aktinometru** neumožňuje absolutní měření ve fyzikálních jednotkách, jak je tomu u pyrhelimetrů. Čidla aktinometrů využívají k získání informace o měřené veličině pouze zvýšení teploty černé plochy nebo dutiny po ozáření Sluncem. Teplotní rozdíl se měří teploměrem, bimetalem nebo termočládky. Studium a měřením záření se zabývá vědní obor meteorologie tzv. aktinometrie.

Pyrhelimetr je další přístroj k měření přímého slunečního záření. Přeměňuje energii slunečního záření, prošlou tubusem s malým vstupním otvorem a pohlcenou černým povrchem čidla, na teplo, které se určuje ze zvýšení teploty černého povrchu, popř. kapalného chladicího média. První pyrhelimetr zkonstruoval francouzský fyzik C. S. M. Pouillet již v roce 1837. Pyrhelimetry, jejichž údaj lze vyjádřit přímo ve fyzikálních jednotkách, se nazývají absolutními, relativní pyrhelimetry se nazývají, jak již bylo zmíněno, aktinometry. Často používaným pyrhelimetrem je kompenzační Ångströmův pyrhelimetr. Absolutní pyrhelimetry jsou základem pyrhelimetrických stupnic (Sobíšek, 1993).

Kromě intenzity přímého slunečního záření je často sledovaným prvkem doba trvání slunečního svitu, zkráceně „sluneční svit“. Jedná se o klimatický prvek vyjadřovaný v hodinách a definuje se jako teoretická doba, po kterou je přímé sluneční záření dopadající na zemský povrch nenulové (Vaníček, Pokorný, 2007). Není to tedy veličina popisující energii dopadajícího slunečního záření, ale umožňuje charakterizovat pole sluneční radiace nepřímo. Hodnoty slunečního svitu se často využívají i jako vstupní data k nepřímým výpočtům některých radiačních charakteristik, např. při výpočtu z Ångströmovy metody (1924).

Sluneční svit měřený je doba, po kterou je sluneční svit možno přístrojově měřit. Jedná se o skutečně měřené hodnoty doby trvání slunečního svitu, které závisí mimo atmosférických podmínek i na citlivosti použitého slunoměru. Jako detekční úroveň pro začátek registrace doby trvání slunečního svitu byla zvolena, pro požadavky mezinárodní standardizace měření slunečního svitu byla zvolena Komise pro přístroje a metody pozorování (CIMO) Světové meteorologické organizace (SMO), intenzita toku přímého slunečního záření dopadajícího na plochu kolmou k paprskům $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Detekční úroveň je intenzita toku přímého slunečního záření, při které dochází ke změně vstupní informace elektrického slunoměru mezi stavy *SVÍTÍ* – *NESVÍTÍ* (Vaníček, Pokorný, 2007).

Slunoměr (heliograf) je přístroj zaznamenávající dobu trvání slunečního svitu. V podstatě rozeznáváme tři typy slunoměrů (Sobíšek, 1993):

Campbellův a Stokesův slunoměr (dále již CSS), který využívá tepla ze záření soustředěného do ohniska skleněné koule k vyznačení stopy na pruhu papíru. Až do roku 2007 se doba trvání slunečního svitu na našem území měřila výhradně tímto typem slunoměru. Nejstarší údaje o době trvání slunečního svitu na území ČR jsou k dispozici z Milešovky, kde se sluneční svit měří již od roku 1908 (Vaníček, 2007).

Marvinův slunoměr, který zaznamenává dopadající záření Slunce pomocí registračního kontaktního elektrického teploměru.

Jordanův slunoměr, který exponuje sluneční paprsky na speciální fotografický papír.

Typy a) a c) nepotřebují hodinový stroj a fungují v podstatě jako sluneční hodiny. Požadavek na vybavení slunoměru je ten, aby hodinové součty trvání slunečního svitu bylo možné číst s přesností na 0,1 hodiny. Záznam se nazývá heliogram.

Princip měření slunečního svitu pomocí CSS je technologicky velmi jednoduchý. Skleněná koule o průměru několika centimetrů, která funguje jako spojná čočka, soustřeďuje sluneční paprsky přicházející ve formě přímého slunečního záření ze Slunce. V jejím ohnisku je umístěna papírová páska, na které čočkou soustředěné paprsky vypalují registrační stopu,

není-li Slunce zastíněno oblaky. Při slabé intenzitě záření může být povrch pásky pouze slabě odbarven. V důsledku měnící se výšky a délky dráhy Slunce na obloze během roku se užívají tři druhy registračních pásek, a to pro letní, zimní a přechodná roční období. Doba trvání výskytu slunečního svitu se vyhodnocuje v pravém slunečním čase s přesností na desetiny hodiny. Přístroj musí být pevně umístěn v horizontální poloze s přesnou orientací na jih. Díky svoji značné stabilitě se CSS používal až do éry automatizace, tedy více než jedno století, jako celosvětově nejrozšířenější slunoměr (Vaniček, 2007).



Obr. 3 Heliograf na meteorologické stanici Milešovka, foto: Jan Moravec.

Zdroj: <http://itras.cz/milesovka/galerie/1187/>

4.1.2 Rozptýlené sluneční záření (i) a metody jeho měření

Rozptýlené sluneční záření (difúzní záření) je možné definovat jako krátkovlnné záření směřující dolů, dopadající na vodorovnou plochu z prostorového úhlu 2π po odstínění přímého slunečního záření, tj. zakrytí slunečního disku (podle Sobíšek, 1993). Vzniká rozptylem slunečního záření na molekulách vzduchu a na částicích atmosférického aerosolu, např. na vodních kapičkách apod. Nejsilnější rozptýlené sluneční záření přichází z části oblohy o šířce jen několika úhlových stupňů okolo slunečního disku a nazývá se *cirkumsolární záření*. Velikost rozptylu slunečního záření molekulami vzduchu je úměrná převrácené hodnotě čtvrté mocniny vlnové délky. Nejkratší vlnové délky jsou modré a fialové

barvy a na obloze se rozptylují nejvíce. Obloha se poté jeví jako modrá, protože lidské oko je méně citlivé na fialovou barvu. Vlnové délky rozptýleného slunečního záření se pohybují v rozmezí asi 0,2 až 10 μm . Za jasné oblohy při výškách Slunce větších než 30° nad obzorem intenzita rozptýleného slunečního záření roste v závislosti na zakalení atmosféry od 0,07 asi až do $0,24 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Při výskytu oblačnosti stoupá ve středních zeměpisných šířkách až k maximální intenzitě kolem $0,5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ ($500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), v polárních oblastech, kde je přítomna sněhová pokrývka, dokonce až k $0,7 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ ($700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$). K měření se používají difúzometry.

Difúzometry měří v krátkovlnném oboru pouze rozptýlené sluneční záření. Jsou opatřeny stínidlem ve tvaru prstence posuvného ve směru rovnoběžném se zemskou osou, který zabraňuje dopadu přímého slunečního záření na čidlo. Po doplnění příslušným stínidlem může být jako difúzometr použit v podstatě každý pyranometr s vodorovným čidlem obráceným vzhůru (Sobíšek, 1993).

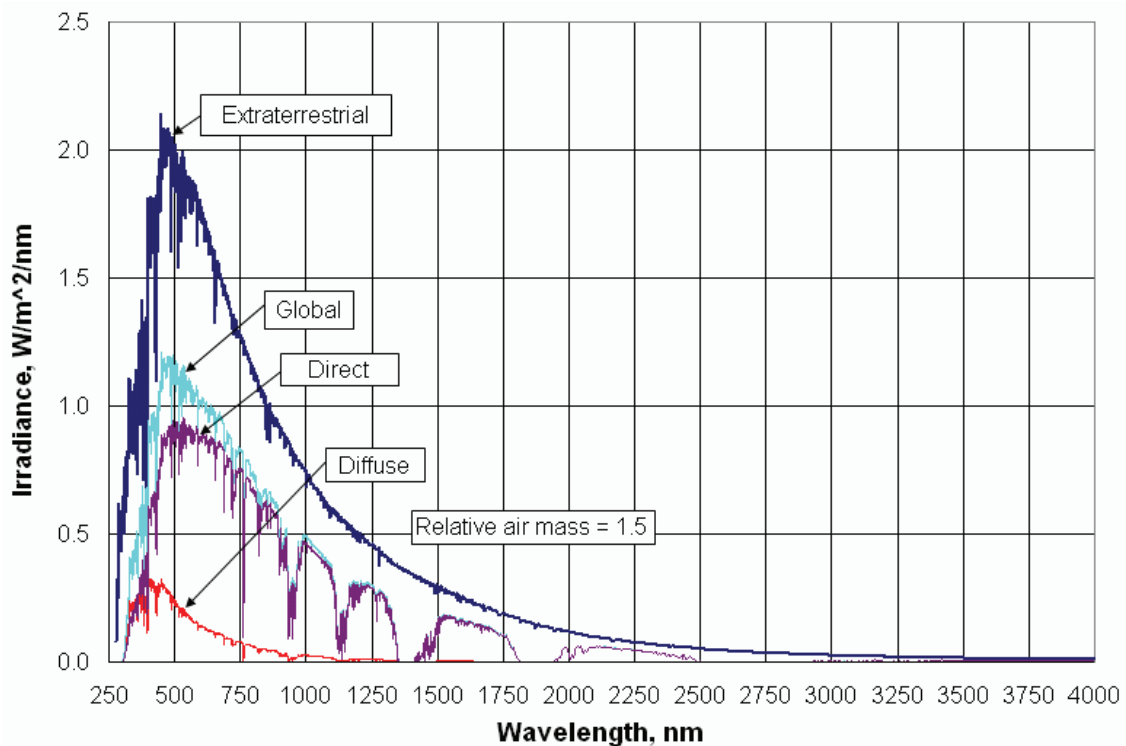
4.1.3 Globální sluneční záření (Q) a metody jeho měření

Globální sluneční záření se definuje jako tok krátkovlnného záření směřující dolů. Je dáno součtem vertikální složky přímého slunečního záření (insolace) a difúzního slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu z prostorového úhlu 2π (podle Sobíšek, 1993). Jeho intenzita se snižuje s klesající výškou Slunce nad obzorem a se vzrůstem zakalení atmosféry (turbiditou), což je snížení průzračnosti atmosféry způsobené absorpcí a rozptylem slunečního záření tuhými nebo kapalnými aerosolovými částicemi, nikoliv však oblaky. Intenzita dále samozřejmě závisí i na oblačnosti. Vlnové délky globálního slunečního záření se, stejně jako vlnové délky rozptýleného slunečního záření, pohybují v rozmezí od 0,2 do 10 μm . Maximální hodnoty globálního slunečního záření pozorované v polárních oblastech činí $0,8 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ ($800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), v nízkých zeměpisných šířkách, při výskytu oblaků s vysokým albedem, dokonce až $1,5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ ($1500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$). Globální sluneční záření se po odrazu od zemského povrchu nebo od horní hranice oblaků stává tokem záření směřujícím nahoru, což je označení pro úhrn *odraženého globálního slunečního záření* (Sobíšek, 1993).

Intenzita globálního slunečního záření (Q) se rovná:

$$Q = (I \cdot \sin h) + i$$

přičemž I je intenzita přímého slunečního záření, i představuje intenzitu rozptýlené slunečního záření a h je výška Slunce nad obzorem. Intenzita roste se vzrůstajícím albedem povrchu, na němž došlo k odrazu (Vysoudil, 2006).



Obr. 4 Závislost stupně ozáření na vlnové délce pro extraterestrální, globální, přímé a difúzní záření.

Zdroj: http://www.pages.drexel.edu/~brooksdr/DRB_web_page/papers/UsingTheSun/using.htm

Sobíšek (1993) uvádí některé přístroje k měření globálního slunečního záření a albeda:

Pyranometry nejčastěji pracují na termoelektrickém principu. Diferenční termočlánek určuje teplotní rozdíl povrchu, který pohlcuje dopadlé *krátkovlnné záření*, a povrchu, který toto záření neabsorbuje (nebo je zastíněn), takže jeho teplota je blízká teplotě okolního vzduchu. K těmto pyranometrům se řadí termoelektrický pyranometr Molla a Gorczyńského, Vološinův, Janiševského, Sauberera a Dirmhirnové. Stejný rozdíl teploty se určuje i diferenčním bimetalem v Robitzschově bimetalickém pyranografu nebo teplotním rozdílem na teploměrech pyranometru Aragova a Davyho. Pro pyranometr se používá i název solarimetr. Termínem solarimetr označil přístroj polský meteorolog W. Gorczyński.

Pyranometry destilační, někdy nazývané také jako lucimetry, měří *globální*, popř. *cirkumglobální záření* (úhrn záření dopadajícího na kulový povrch čidla přístroje) tak, že záření, které čidlo přístroje pohltí, využijí k výparu určené kapaliny, jejíž objem, po zpětné kondenzaci, je mírou úměrný úhrnu energie, která dopadla na čidlo přístroje za dobu jeho vystavení slunečním paprskům. Jestliže se stínidlem odstraní přímé sluneční záření, pyranometry měří rozptýlené sluneční záření a pracují jako difúzometry. Pyranometry jsou většinou vybaveny skleněnou koulí, chránící jejich čidla před rušivými účinky větru,

atmosférických srážek a před usazováním prachu a nečistot. Polokoule nebo koule současně zabraňuje průchodu záření delších vlnových délek než asi $4\ \mu\text{m}$ a způsobuje, že pyranometry měří pouze krátkovlnné záření (elektromagnetické záření o vlnových délkách kratších než $4\ \mu\text{m}$). Jestliže se pyranometr exponuje bez skleněné polokoule nebo s polokoulí průhlednou pro dlouhovlnné záření, nazývá se *pyrradiometr*, v české literatuře někdy nevhodně označován jako pyranometr efektivní. Registračním pyranometrem je *pyranograf*. Naopak *pyranogram* je záznam registračního pyranometru.



Obr. 5 Pyranometr.

Zdroj: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fb/Pyranometer_sr11_hukseflux.gif

Lucimetr je destilační pyranometr pro měření *cirkumglobálního záření* v oboru od $0,3$ do $4\ \mu\text{m}$. Pracuje na destilačním principu. Má skleněné kulové čidlo (často zhotovené z tmavého materiálu), které je částečně naplněno vybranou kapalinou, která se zahřívá pohlceným zářením, a je předestilována do kalibrované trubice.

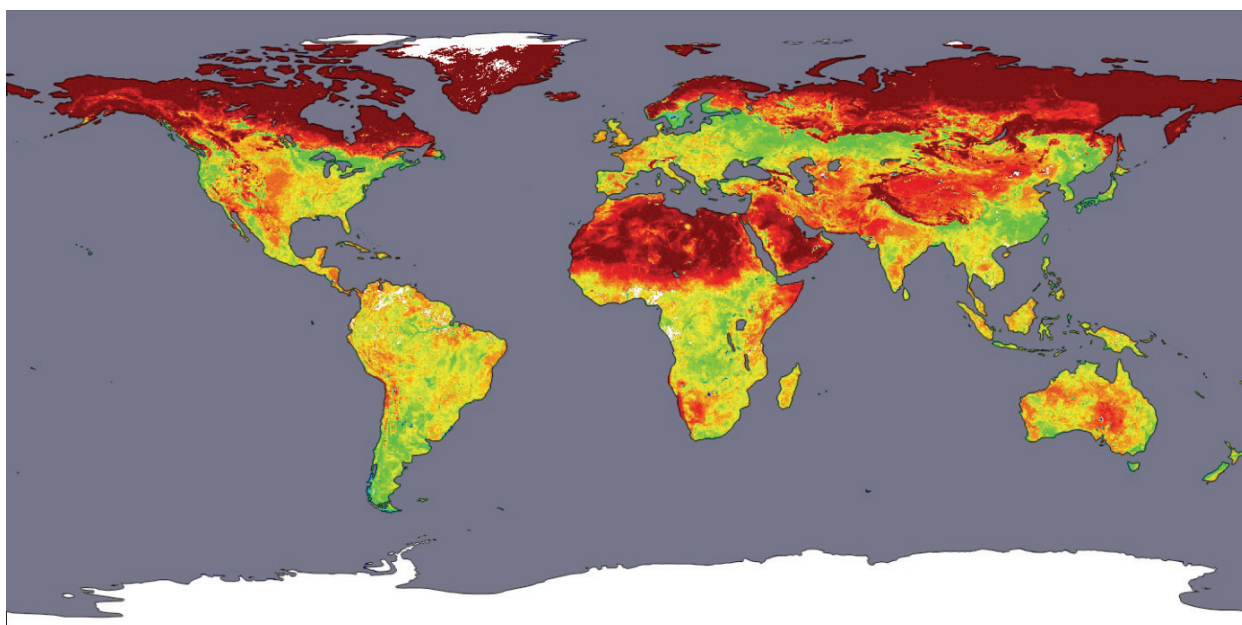
Pyranometr Aragův a Davyův slouží k přibližnému měření intenzity GSZ. Tvoří jej dvojice speciálně upravených skleněných teploměrů, z nichž jeden má nádobku začerněnou, druhý lesklou nebo opatřenou bílým nátěrem. Oba teploměry jsou ve skleněných krytech (z těchto krytů musí být odčerpán vzduch) bránících výměně energie vedením. Zjištěný rozdíl jejich teplot je úměrný měřenému záření. Někdy jsou v této úpravě použity maximální

teploměry, takže pyranometr udává přibližně maximální denní hodnotu globálního záření. V současné době se tento přístroj již v meteorologické praxi nepoužívá.

Pyranometr sférický (kulový) měří krátkovlnné záření dopadajícího z prostorového úhlu 4π na kulový povrch. Mezi kulové pyranometry patří i lucimetry.

Čidlo *pyranometru Molla a Gorczyńského* chrání dvě soustředné skleněné polokoule. Termočlánek je symetrický do pravého úhlu, takže je při měření nutné dbát na přesnou orientaci přístroje (Sobíšek, 1993).

Albedo Země, jak již bylo zmíněno, je definováno jako poměr záření odraženého Zemí, jako planetou, ke slunečnímu záření vstupujícímu do atmosféry Země.



Obr. 6 Albedo - kompozice dat naměřených v periodě od 7. do 22. dubna 2002.

Zdroj: <http://visibleearth.nasa.gov/>

Albedometr je přístroj pro měření albeda. Jedná se o pyranometr upravený tak, aby jeho vodorovně orientované čidlo bylo obráceno postupně směrem vzhůru a dolů. Z naměřených hodnot mezi jednotlivými polohami čidla se vypočítá hledaný poměr. Albedometr se užívá buď k určení albeda oblaků, nebo rozličných druhů zemského povrchu, jako sněhu, trávy, lesních porostů apod. (Sobíšek, 1993).

4.2 Faktory ovlivňující sluneční záření

Skeiker (2005) shrnuje některé parametry ovlivňující sluneční záření následujícím způsobem: a) astronomické faktory (režim insolace, hodnota sluneční konstanty, vzdálenost Země–Měsíc, hodnoty deklinace a hodinového úhlu), b) geografické faktory (zeměpisná

šířka, nadmořská výška), c) geometrické faktory (tvar reliéfu zemského povrchu, výška Slunce nad obzorem, rotace Země), d) fyzikální faktory (rozptyl molekul vzduchu, obsah vodní páry ve vzduchu, rozptyl prachu a O₂, N₂, CO₂, O₃ atd.), e) meteorologické faktory (oblačnost, odraz prostředí).

4.2.1 Režim insolace

Oběžná dráha Země kolem Slunce není koncentrická, kolísá mezi $1,47 \cdot 10^8$ km (přísluní) a $1,52 \cdot 10^8$ km (odsluní) s průměrnou vzdáleností $1,49 \cdot 10^8$ km - tato vzdálenost známá jako 1 astronomická jednotka (AU). Největší vzdálenost mezi dvěma body je 4. července a nejmenší 3. ledna. Deklinace se mění v mezích 0° až $\pm 23^\circ 27'$ tak, že 0° dosahuje v momentu rovnodennosti, kdy je Slunce přímo nad rovníkem, a $+ 23^\circ 27'$ o letním slunovratu (při zimním slunovratu záporná hodnota).

Množství energie dosahující na horní hranici atmosféry v jakémkoliv místě nad Zemí je ovlivněna nakloněním zemské osy. Pro klima na Zemi je tedy rozhodující úhel dopadu paprsků ze Slunce. Nejvíce energie dopadá na plochu, která je k dopadajícím paprskům kolmá (Oliver, 2005). Důsledkem této skutečnosti, spolu s oběhem Země kolem Slunce, je přibližně zonální rozdělení úhrnů slunečního záření na zemském povrchu. Celkovou intenzitu elektromagnetického záření Slunce, které dopadá na horní hranici zemské atmosféry na jednotkovou plochu kolmou k paprskům při střední vzdálenosti Země od Slunce, nazýváme solární konstanta (I_0). Obecně platí, že intenzita záření klesá se čtvercem (tj. druhou mocninou) vzdálenosti od zdroje záření (Brázdil, 1988). Z toho je zřejmé, že se hodnota solární konstanty na horní hranici atmosféry v průběhu roku mění a to přibližně o $\pm 3,5$ %. Aktuální hodnota solární konstanty I_s pro vzdálenost Země–Slunce se vyjadřuje vztahem:

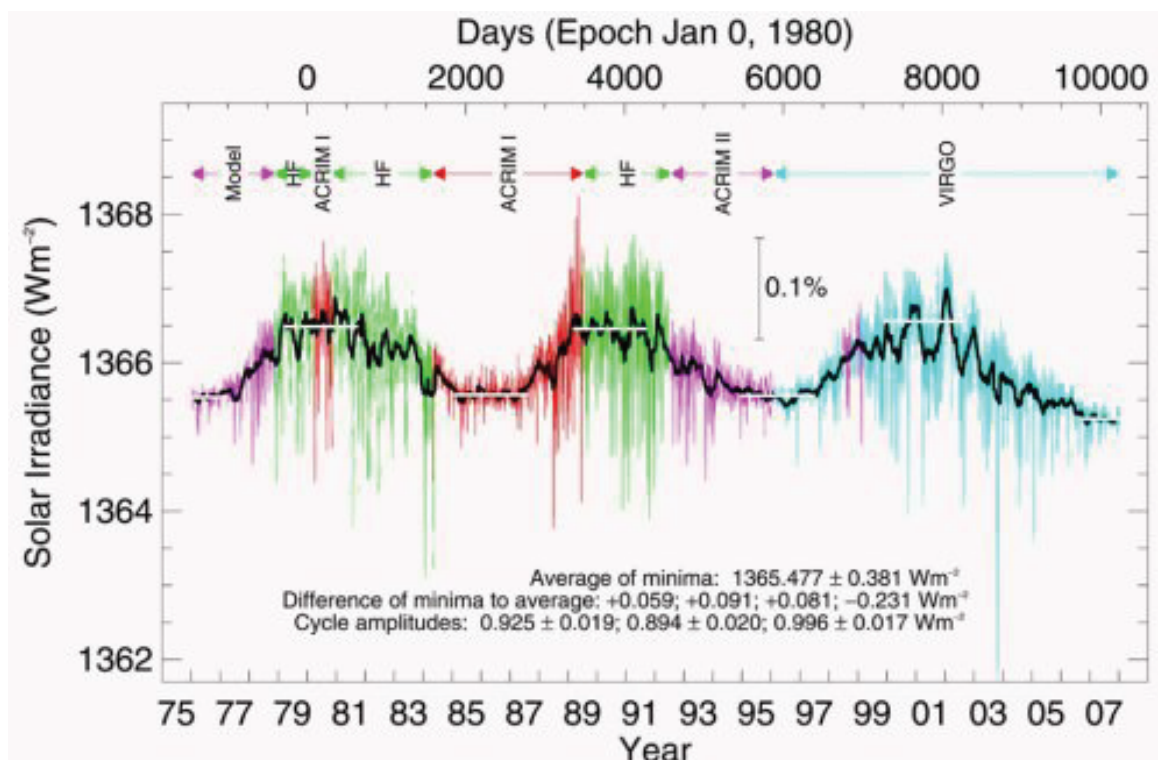
$$I_s = I_0 \left(\frac{r}{r_s} \right)^2$$

kde I_0 je solární konstanta ($W \cdot m^{-2}$), r je střední vzdálenost Země od Slunce (AU), r_s je okamžitá vzdálenost Země od Slunce (Vysoudil, 2006).

Slunce do svého okolí vyzařuje každou sekundu záření o hodnotě $3,8 \cdot 10^{26}$ W (Vysoudil, 2006). Současná střední hodnota solární konstanty se uvádí jako $1367 W \cdot m^{-2}$, což vyplynulo z mnoha jejích měření.

V minulosti se přesná hodnota sluneční konstanty určovala jen z pozemních měření (např. pyrhelioemetrem). Od roku 1978 však probíhá měření přímé, pomocí satelitů. První družicí byl NIMBUS-7. Během dalších let byla TSI (Total Solar Irradiation) měřena spoustou různých družic. Každý měl jiné přístroje a jinou technologii. Jednou z nejvýznamnějších je

družice ACRIM. Zjistilo se, že sluneční záření rostlo ještě kolem roku 1990. Od solárního minima v roce 1986 do solárního minima v roce 1996 sluneční konstanta stoupla. Právě nástupem družicových měření se zjistilo, že solární konstanta kolísá v čase v souladu s proměnami sluneční aktivity (tzv. jedenáctiletý cyklus). Snižování sluneční aktivity vede samozřejmě ke snižování ozáření.



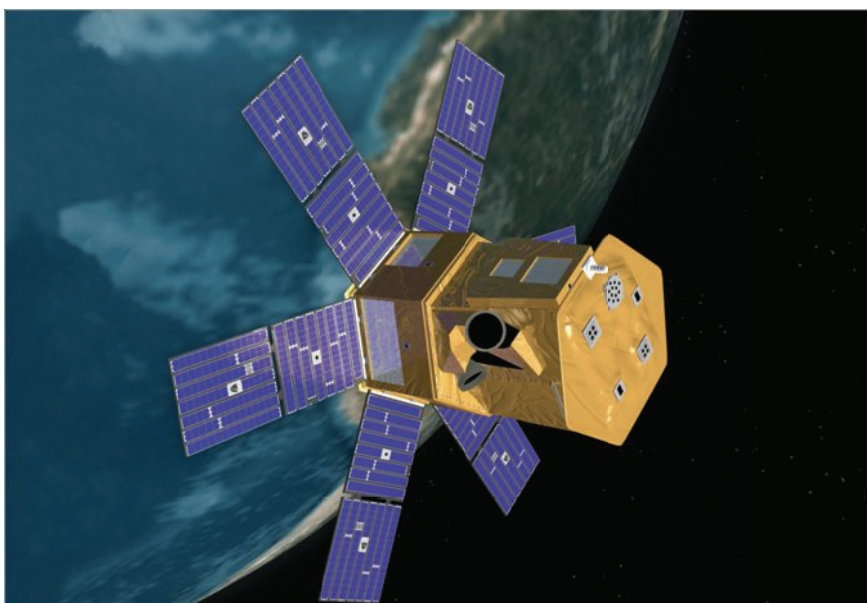
Obr. 7 Solární konstanta v letech 1975–2007.

Zdroj: http://www.theresilientearth.com/files/images/irradiance_strip.jpg

The Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE) je satelitní mise sponzorovaná programem NASA (National Aeronautics and Space Administration) a poskytuje informace o přicházejícím rentgenovém, ultrafialovém, viditelném a infračerveném záření a celkovém slunečním záření v horní vrstvě atmosféry. Satelit je součástí programu EOS (The Earth Observing System). Měření se zaměřuje na dlouhodobou změnu klimatu a jeho budoucí předpověď, dále zkoumá atmosférický ozón a UV-B záření. Měření tedy shromažďují data ze Slunce a zkoumají vliv Slunce na Zemi a na lidstvo. K měření používá vyspělé radiometry, spektrometry, fotodiody a bolometry – přístroje k měření intenzity záření.

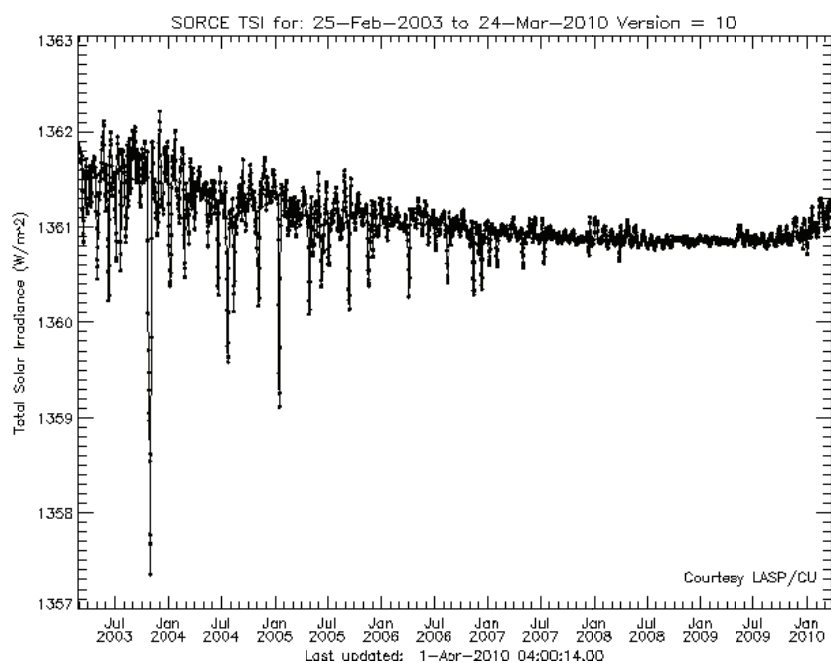
Americká sonda SORCE byla vypuštěna 25. ledna 2003 na Pegasus-XL nosné raketě z letecké základny Vandenberg. Nachází se ve výšce zhruba 645 km nad Zemí a je ovládána LASP (Laboratory for Atmospheric and Space Physics) a Univerzitou v Coloradu (USA).

Satelit navazuje na práci družice ERB (1979) a pokračuje v současném měření s družicí ACRIM. SORCE nese přístroje zahrnující Total Irradiance Monitor (TIM), Solar Stellar Irradiance Comparison Experiment (SOLSTICE), Spectral Irradiance Monitor (SIM) a XUV Photometer System (XPS). SORCE má fungovat nejméně do roku 2012, kdy se u Slunce očekává příští maximum aktivity (SORCE, 2010a).



Obr. 8 Družice SORCE na oběžné dráze Země.

Zdroj: <http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm>



Obr. 9 Hodnota solární konstanty podle družice SORCE od 25. února 2003 do 24. března 2010.

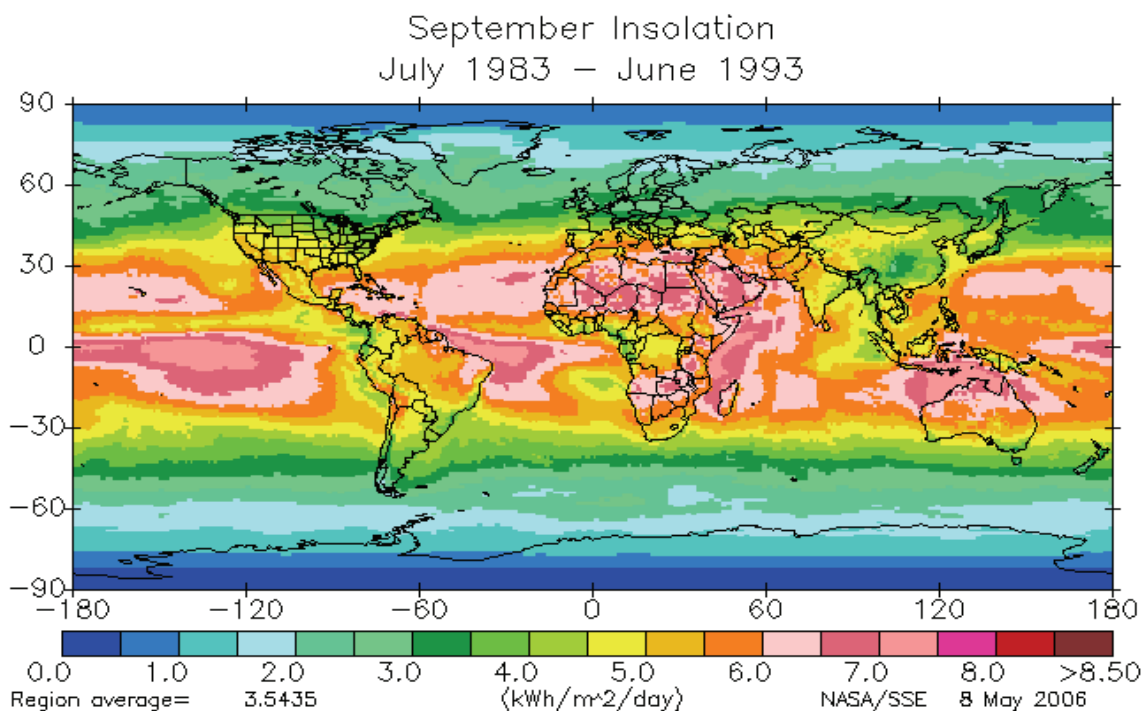
Zdroj: <http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm>

Insolace (neboli intenzita přímého slunečního záření I_h) je množství přímého slunečního záření dopadající na jednotkovou horizontální nebo nakloněnou plochu za jednotku času (Sobíšek, 1993). Jelikož má Země téměř kulovitý tvar, sluneční paprsky nedopadají na její povrch všude kolmo, ale pod obecným úhlem závislým na zeměpisné šířce místa (φ), hodinovém úhlu Slunce (t_{\odot}) a deklinaci Slunce (δ_{\odot}). Deklinace se mění v mezích 0° až $\pm 23^\circ 27'$ tak, že 0° dosahuje v momentu rovnodennosti, kdy je Slunce přímo nad rovníkem (Brázdil, 1988). Intenzita insolace závisí především na třech faktorech: a) intenzitě extraterestriálního slunečního záření I_r , b) zenitové vzdálenosti a c) propustnosti atmosféry.

Insolace na horní hranici atmosféry se označuje jako extraterestrální insolace I_h . Solární klima je potom roční chod extraterestrální insolace. V oblasti rovníku je roční chod extraterestrální insolace charakterizován dvěma maximy, které připadají na období rovnodenností (v důsledku vzdálenosti Země od Slunce jsou jarní hodnoty na severní polokouli poněkud vyšší než podzimní), dvěma minimy v období slunovratů. Roční amplituda hodnot je však malá. V zeměpisných šířkách mimo tropy se již projevuje jen jedno maximum a jedno minimum, přičemž amplituda směrem k rovníku výrazně klesá a směrem k pólům roste. Proto již od poloviny května jsou na severní polokouli vlivem polárního dne denní úhrny extraterestrální insolace větší než v rovníkových oblastech. V den letního slunovratu je na severním pólu dosažena vůbec nejvyšší hodnota, která přesahuje hodnotu insolace na rovníku až o 35 %. Druhotné maximum pak spadá na oblast kolem 40° s. š. Minimum extraterestrální insolace v době letního slunovratu na rovníku je způsobeno relativně krátkým trváním nejdelšího dne, druhotné minimum, v oblasti kolem 60° s. š., zase relativně nevelkou výškou Slunce (ve vyšších zeměpisných šířkách je výška Slunce ještě menší, avšak výrazné prodloužení dne kompenzuje tento vliv a přispívá k danému maximu). V období kolem zimního slunovratu lze zaznamenat plynulý pokles hodnot od rovníku k severnímu pólu. Zatímco v zimě je rozdíl intenzity extraterestrální insolace mezi rovníkem a pólem největší, v létě se výrazně zmenšuje (a je opačný).

Na jižní polokouli jsou samozřejmě úhrny za letní astronomické půlroky v libovolné zeměpisné šířce severní polokoule téměř stejné, i když v důsledku menší vzdálenosti od Slunce jsou letní úhrny větší než na severní polokouli. Toto vyrovnávání půlročních úhrnů insolace je způsobeno různou rychlostí Země při oběhu kolem Slunce a z toho plynoucím odlišným trváním astronomických ročních období. Např. průměrný denní úhrn extraterestrální insolace je v letním půlroce na severní polokouli menší než na jižní, letní půlrok je zde však o 7,5 dne delší. V zimním půlroce je tomu opačně.

Úhrny extraterestrální insolace za letní půlrok se v závislosti na zeměpisné šířce mění poměrně málo. Maximální úhrny připadají na tropické oblasti (20 až 30°z.š.), kde dosahují asi 109 % hodnoty na rovníku, minimum připadá na pól (83 % rovníkové hodnoty). V zimním půlroce úhrny insolace s rostoucí šířkou rychle klesají, až se dostanou na hodnotu nula na pólu. Tento trend je patrný i v ročních úhrnech extraterestrální insolace, která v polárních oblastech dosahuje jen kolem 42 % rovníkové hodnoty (Brázdil, 1988).



Obr. 10 Mapa průměrných hodnot insolace pro září v globálním měřítku.
Zdroj: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

4.2.2 Další faktory ovlivňující globální sluneční záření

Geometrickým faktorem ovlivňující příjem solární radiace na určitém místě je rotace Země. Denní chod zahrnuje rostoucí podíl přímého záření od času východu Slunce po jeho kulminaci a poté opět pokles. Výškový úhel mezi slunečním kotoučem a rovinou povrchu Země se mění od nuly při východu a západu Slunce k maximu (okamžik horní kulminace Slunce - $h_{OHK} = 90^\circ - \varphi + \delta_\odot$), když je právě Slunce v nejvyšším bodě svého denního oblouku (pravé poledne). Právě Slunce vykonává zdánlivý roční pohyb po ekliptice nerovnoměrně, v přísluní se pohybuje rychleji a v odsluní pomaleji (Brázdil, 1988). Sobíšek (1993) definuje výšku nad obzorem jako úhel sevřený spojnicí pozorovatele, nalézajícího se

na zemském povrchu, s uvažovaným bodem (např. se středem slunečního disku, hvězdou apod.) na obloze a rovinou ideálního obzoru. Součet výšky nad obzorem a zenitového úhlu daného bodu je roven 90° .

Dalším geometrickým faktor je tvar reliéfu zemského povrchu. Intenzita oslunění libovolně ukloněné a orientované plochy se dá vypočítat podle vzorce (Vysoudil, 2006):

$$I_{SV} = I \cdot \cos z = I \cdot [\cos z \cdot \cos \alpha + \sin z \cdot \sin \beta \cdot \cos (A_\odot - A)]$$

kde z je zenitová vzdálenost, α je úhel sklonu zemského reliéfu a A_\odot představuje azimut Slunce ($A_\odot = \cos \beta \cdot \sin t / \sin z$) a A je expozice georeliéfu vzhledem ke světové straně resp. azimut.

Mezi nejvýznamnější geografické faktory patří zeměpisná šířka, blíže popsána v kapitole 4.2.1 (Režim insolace), a nadmořská výška. Se zvyšující se nadmořskou výškou roste intenzita slunečního záření a zároveň i efektivní záření.

Oblačnost velmi významně ovlivňuje průchod slunečního záření atmosférou a tím i časovou a prostorovou proměnlivost pole globálního, přímého a rozptýleného slunečního záření. Většinou se definuje jako stupeň pokrytí oblohy oblaky (Sobišek, 1993). K nejčastěji sledovaným parametrům stavu atmosféry patří množství a typ oblačnosti. Jelikož neexistuje žádný přístroj k měření oblačnosti, výskyt oblačnosti se obvykle určuje subjektivním pozorováním pracovníků meteorologických stanic – třikrát denně na dobrovolných meteorologických stanicích a každou hodinu (dříve každé tři hodiny) na profesionálních synoptických stanicích. Určování výskytu oblačnosti je možné rovněž pomocí družic nebo speciálních pozemních přístrojů (Tolasz *et al.*, 2007). Množství oblačnosti se pro klimatologické účely udává v desetinách plošného pokrytí oblohy, v synoptické meteorologii v osminách plošného pokrytí.

4.3 Globální sluneční záření v ČR

Topografie České republiky není příliš rozmanitá. Z celkové plochy Česka leží 67 % v nadmořské výšce do 500 m, 32 % ve výšce 500 až 1 000 m a pouze 1,05 % ve výšce nad 1 000 m. Průměrná nadmořská výška činí 430 m (Demek *et al.*, 1987).

Kromě astronomicky daného denního a ročního chodu je prostorová a časová proměnlivost pole globálního slunečního záření (dále jen GSZ) na území Česka ovlivněna hlavně výskytem oblačnosti a zákalem atmosféry. Vliv rozdílů v zeměpisné šířce severních a jižních hranic je zanedbatelný. Pole GSZ je na území republiky formováno především těmito třemi faktory: a) expozicí území ČR vůči všeobecné cirkulaci atmosféry, tj. růstem kontinentálního a poklesem maritimního (oceánského) charakteru klimatu ve směru západ –

východ, b) výrazným působením orografie na tvorbu oblačnosti, zejména v pohraničních oblastech, c) oblastně rozdílnými koncentracemi aerosolů v atmosféře.

Vzájemné působení uvedených činitelů vede k tomu, že ČR lze rozdělit na několik oblastí, ve kterých má pole GSZ zřetelně rozdílné vlastnosti (Vaniček, 1994):

Tab. 2 Rajonizace pole globálního slunečního záření

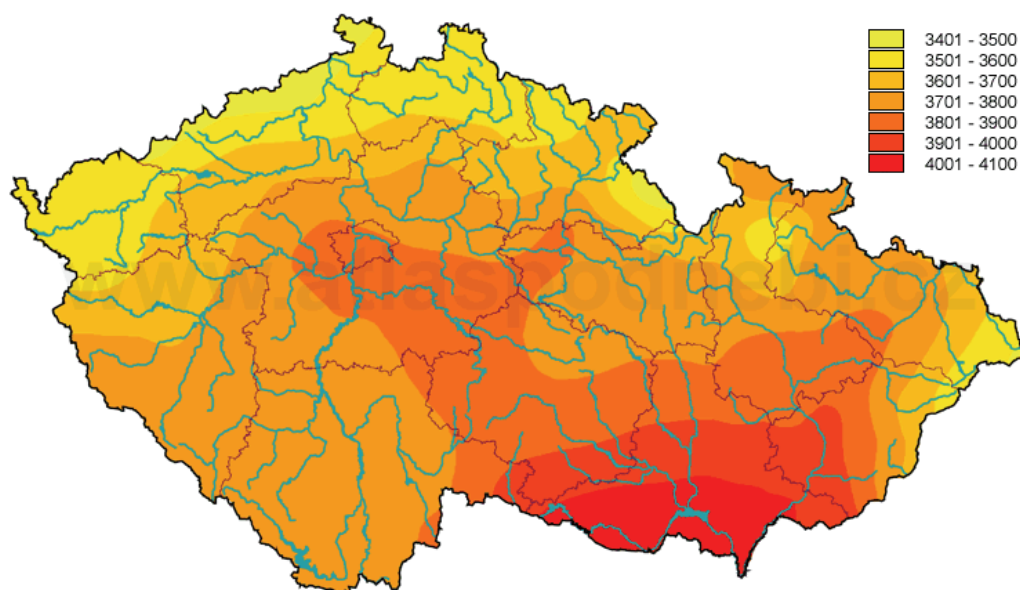
Oblast	Charakteristika
I	Nížiny a vysočiny Čech a Moravy s nadmořskou výškou do 600 m. Rozhodující vliv frontální a inverzní oblačnosti, nízké až průměrné znečištění atmosféry.
II	Velké průmyslové a populační aglomerace v oblasti I s nadprůměrným znečištěním atmosféry. Zvýšený vliv pevných aerosolů v atmosféře.
III	Lokality v oblasti II s extrémně vysokým znečištěním atmosféry.
IV	Vysočiny ČR s nadmořskou výškou 600 – 800 m.
V	Vrcholové části pohraničních hor s výškou nad 1000 m. Orograficky zvýšený vliv oblačnosti v letním období, velmi nízké znečištění atmosféry pevným aerosolem.

Zdroj: Vaniček, 1994.

Uvedené oblasti zahrnují rozhodující část ČR. Uvnitř těchto oblastí však ještě existují lokality, kde místní orografické podmínky nebo emise aerosolů ovlivňují stav atmosféry a procesy v nich probíhající natolik, že je nelze zařadit do žádné typizace. Jedná se především o některé části pohraničních hor a lokální extrémy v oblasti II. Zde lze popisovat pole GSZ na základě místních měření nebo pomocí nepřímých výpočetních metod.

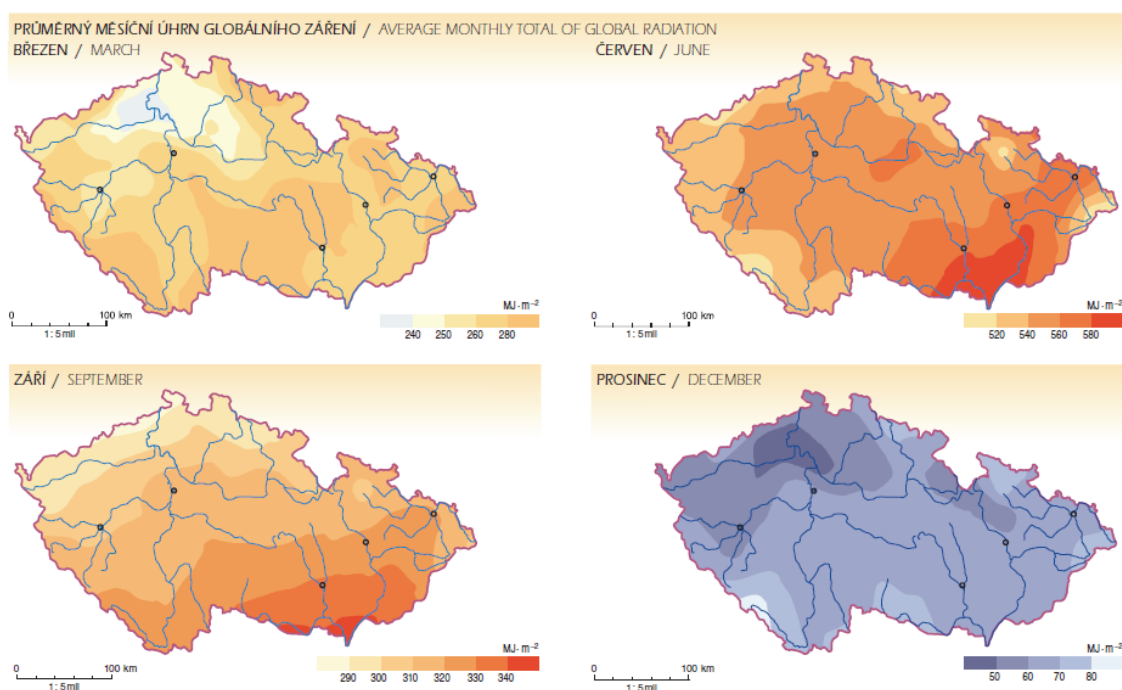
Mapy úhrnů GSZ, uvedených v Atlasu podnebí (Tolasz *et al.*, 2007), znázorňují, že v celoročním měřítku nejvíc energie dopadá ve formě slunečního záření na jihovýchodní Moravě. Tato část území České republiky je, oproti ostatním částem republiky, ovlivněna výskytem frontální oblačnosti nejméně. Proto má tato oblast naší republiky výraznější kontinentální charakter klimatu. V severozápadních Čechách, kde je sluneční záření zeslabováno větším výskytem oblačnosti i znečištěním atmosféry z průmyslových podniků, a v pohraničních horách (např. Krkonoše, Orlické hory), kde je značný vliv orografie na tvorbu oblačnosti, jsou naopak úhrny GSZ nejnižší. V období zimy ale v horských oblastech nad inverzní vrstvou oblačnosti dopadá stejné nebo i větší množství slunečního záření než v

nížinných oblastech. Maximální intenzity toku GSZ za jasných dní mohou na území republiky dosahovat v letním období až $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ a denní úhrny až $30 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$.



Obr. 11 Průměrný roční úhrn globálního slunečního záření na území republiky v $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$.

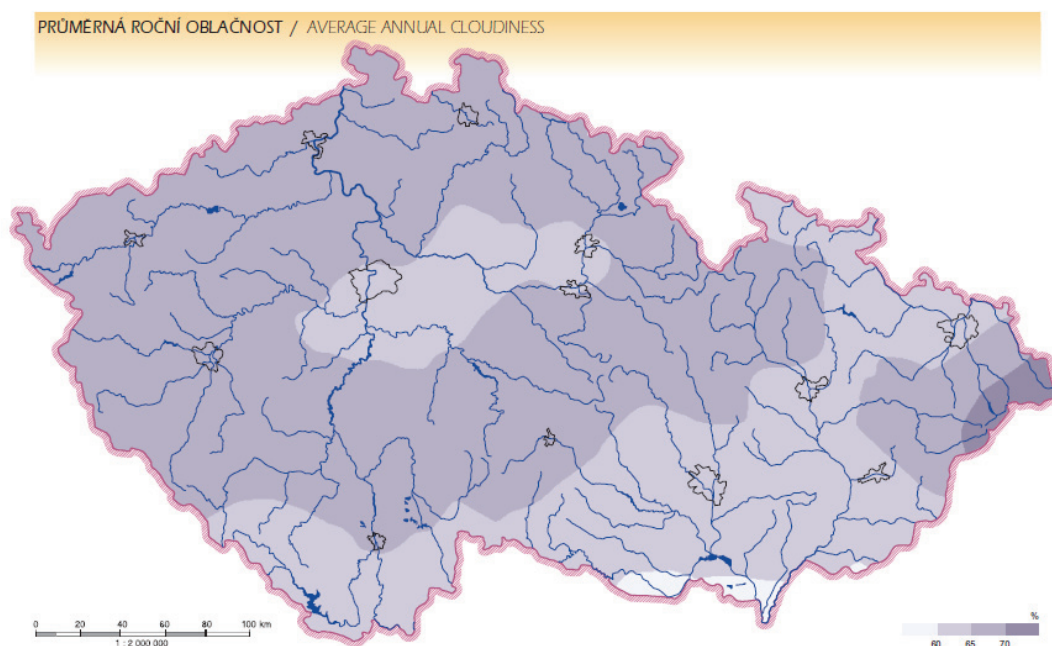
Zdroj: www.atlaspodnebi.cz



Obr. 12 Průměrný měsíční úhrn globálního záření pro březen, červen, září a prosinec v České republice.

Zdroj: Atlas podnebí České republiky (2007).

Výskyt oblačnosti na území republiky je daný především členitostí terénu (vliv orografie na tvorbu oblačnosti nebo výskyt inverzí v nížinách), polohou republiky vůči frontální zóně (přesun oblačnosti spjatý s přechodem front) a v neposlední řadě i stupněm znečištění atmosféry - poměrně vysoké koncentrace průmyslových aerosolů (Tolasz *et al.*, 2007).



Obr. 13 Průměrná roční oblačnost v České republice.

Zdroj: Atlas podnebí České republiky (2007).

Množství oblačnosti určuje četnost jasných a zamračených dní. Jasný den je definován průměrným denním množstvím oblačnosti menším než 2/10 a zamračený den větším než 8/10 (Tolasz *et al.*, 2007). Největší průměrný počet zatažených dní v roce je u nás na Sněžce -192. Nejmenší průměrný počet zatažených dní v roce je v Polešovicích na Hodonínsku -97. Největší počet jasných dní je v Mutěnicích na Hodonínsku -70. Nejmenší počet jasných dní je v Teplicích v Čechách -23 (Vondráček, 2000).

4.4 Metody odhadu globálního slunečního záření

Globální sluneční záření je základní vstupní proměnná mnoha modelů. Od modelů obdělávání na úrovni pole k ekologickým modelům na regionální úrovni a modelům globálních koloběhů. Bez ohledu na svůj význam není globální sluneční záření měřeno ve velké míře a to hlavně kvůli nákladům, požadavkům na údržbu a kalibraci. Dokonce i na

stanicích, kde se sluneční záření sleduje, je mnoho dní, kdy údaje chybí nebo se nacházejí mimo předpokládané rozpětí kvůli selhání vybavení nebo jiným problémům (Liu *et al.*, 2009).

Rozeznávají se dva základní přístupy ke stanovení globálního slunečního záření (dále jen GSZ): a) užití stochastických generátorů (např. Richardson, 1981 a Dubrovský, 1997) a b) rovnice využívající empirických vztahů (např. Ångström, 1924). Stochasticky generovaná data mohou být využita ke zkoumání teoreticky simulovaných situací, k nimž může z dlouhodobého pohledu dojít, nelze však jimi nahradit skutečně naměřené hodnoty. Přístup nevede k získávání srovnatelných dat, jež by vystihla reálnou meteorologickou situaci v daném čase na určitém místě (Kapler *et al.*, 2003). Dále může být GSZ odhadováno pomocí lineární interpolace (např. Rivington *et al.*, 2006) nebo z geostacionárních družic (např. Pinker *et al.*, 1995).

Rovnice založené na empirických vztazích poskytují hodnoty GSZ vypočítané z jiných, obvykle častěji měřených a tedy dostupných meteorologických prvků. Empirické rovnice mnohdy vyžadují hodnotu celkové denní extraterestrální insolace (Q_a), přičemž platí, že záření dopadající na povrch Země (Q) je částí Q_a . Při aplikaci různých výpočetních vztahů je ale třeba dbát na to, aby nejen jejich tvar, ale především číselné hodnoty koeficientů, byly v klimaticky a geograficky dané oblasti reprezentativní. Nejlepší výsledky dávají vztahy s koeficienty pro zvolenou oblast přímo odvozené z místních kvalitních měření GSZ (Vaníček, 1981).

Pro odhady denního úhrnu GSZ bylo vyvinuto několik desítek metod využívající různé parametry. Tyto parametry velmi často zahrnují extraterestrální insolaci, sluneční svit, průměrnou teplotu, rozdíl mezi maximální a minimální teplotou, teplotu půdy, relativní vlhkost vzduchu, počet srážkových dnů, ale i nadmořskou výšku, zeměpisné souřadnice, celkový úhrn srážek, hodnotu albeda, oblačnost nebo celkovou evaporaci (Menges *et al.*, 2006).

Parametry užívané srovnávanými rovnicemi jako vstupy jsou především relativní trvání slunečního svitu tj. astronomicky možného slunečního svitu přepočteného pro ideální horizont, což zahrnuje metoda Ångströмова (1924), kterou upravil Prescott (1940) a Martínez-Lozano *et al.*, (1984), teplota vzduchu (Hargreaves *et al.*, 1985; Donatelli a Campbell, 1998), teplota vzduchu v kombinaci s oblačností (Supit a Van Kappel, 1998) a teplota vzduchu v kombinaci s denním úhrnem srážek (Thornton a Running, 1999; Winslow *et al.*, 2001).

Mnohé z těchto modelů ve své práci zhodnotil Menges *et al.* (2006). Velmi rozsáhlá práce autorů hodnotí použitelnost přes 50 modelů k výpočtu měsíčních úhrnů GSZ na

vodorovném povrchu. V práci byla použita geografická a meteorologická data z města Konya v Turecku. Jako nejvhodnější a především nejpřesnější metoda pro odhad měsíčních úhrnů GSZ pro tuto oblast byla vybrána metoda Ertenkina a Yaldise (1999), která byla založena na devíti proměnných. Pro výpočet využívá i hodnotu extraterestrální radiace Q_a . Rovnice byly odvozeny z hodnot o trvání doby slunečního svitu, relativní vlhkosti vzduchu, průměrné denní teploty vzduchu, průměrné teploty půdy, úhlem deklinace Slunce, oblačností, průměrným úhrnem srážek a průměrnou evaporací.

Průkopníkem v oblasti odhadů GSZ s využitím meteorologických prvků byl již v roce 1924 Ångström. Ångström - Prescottův (1940) model je v současnosti nejběžněji používaným modelem pro odhad GSZ. Následuje vzorec:

$$Q = Q_a \cdot \left(a + b \cdot \left(\frac{n}{N} \right) \right)$$

kde Q je denní suma globální radiace ($\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$), Q_a představuje denní sumu extraterestrálního záření ($\text{MJ m}^{-2} \text{den}^{-1}$), a a b jsou Ångströmovy koeficienty, n je skutečná doba slunečního svitu (h^{-1}), N je astronomicky možná doba slunečního svitu (h^{-1}). Výpočet extraterestrální radiace lze provést podle rovnice:

$$Q_a = \sin h \cdot s$$

$$\sin h = \cos \delta \cdot \cos \theta \cdot \cos \tau + \sin \delta \cdot \sin \theta$$

kde $\sin h$ je výška Slunce, s je solární konstanta (1367 W/m^2), δ je deklinace Slunce, θ znamená zeměpisnou šířku a τ je hodinový úhel (Trnka, 2005).

Garipey (1980) publikoval, že empirické Ångströmovy koeficienty a a b jsou závislé na průměrné teplotě vzduchu (T) a množství srážek (P):

$$a = 0.3791 - 0.0041T - 0.017P$$

$$b = 0.4810 + 0.0043T + 0.0097P$$

Další známé modely z této nejznámější metody vycházejí, ať už použitím Ångströmových koeficientů nebo využitím stejných principů. Ve svých pracích používali Ångströmův model např. Skeiker (2005), Chineke (2008), Page (1961) a Gopinathan (1988), Meza *et al.* (2000). Pagův model se zdá být velmi výhodou variantou k odhadu GSZ na celém světě. Chineke (2008) ve své práci používá k odhadu úhrnu GSZ Ångströmův (1924) a Hargreavesův model (1985). Jako oblast pro svůj výzkum si vybral území Nigérie, kde nejsou prakticky žádná dostupná data o úhrnech GSZ. Výhoda Ångströmova modelu se skrývá ve skutečnosti, že je nezávislá na počtu zatažených dní, což je jev typický pro pobřežní oblasti. Nicméně je tato metoda vhodná pouze tehdy, když jsou dostupná data i o trvání slunečním

svitu v hodinách. Výhodou Hargreavesova modelu je naopak fakt, že data o teplotě vzduchu jsou rychle dostupná jak v městském, tak venkovském prostředí.

Jelikož je teplota vzduchu zřejmě nejčastěji registrovaným meteorologickým prvkem po celém světě, jsou modely založené na teplotě vzduchu zajímavé k odhadu úhrnu GSZ v zemích bez přímého měření. Hargreavesův model (1985) udává jednoduchou metodu s využitím rozdílu denních maximálních a minimálních teplot vzduchu jako vstupních hodnot:

$$Q = Q_a \cdot a_H \cdot \sqrt{T_{max} - T_{min}} + b_H$$

kde Q je denní úhrn globální radiace ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$), Q_a představuje denní úhrn extraterestrální insolace ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$), T_{max} je maximální teplota vzduchu, T_{min} minimální teplota vzduchu, a_H a b_H jsou empirické konstanty (Trnka, 2005).

Allen (1997) navrhl použít samokalibrující model k odhadu průměrného měsíčního úhrnu GSZ a navázal tak na práci Hargreavesa. Jako vstupní data jsou zde opět využity denní hodnoty maximální a minimální teploty vzduchu.

Bristowův a Campbellův (1984) model navrhuje vztah pro denní úhrn GSZ jako funkci extraterestrální insolace a rozdílu mezi maximální a minimální teplotou vzduchu s využitím empirických koeficientů.

Právě Meza *et al.* (2000) hodnotí některé výše uvedené metody. Za účelem porovnání chování modelů byla sesbírána měsíční klimatologická data z 21 stanic reprezentující různé klimatické oblasti Chile. Jako adekvátní modely byly přijaty pouze modely Bristow - Campbellův (1984) a Allenův (1997).

Globální studie o rozložení úhrnu GSZ byla vedena Lofem (1966). Provedl mnoho pokusů k nalezení běžných modelů k využití na celém světě nebo alespoň ve velkých regionech jako je Evropa či tropické oblasti. Právě Evropu si ve svých pracích vybral i Soler (1990).

Zdánlivě složitá Thortonova a Runningova metoda (1999) potřebuje jako základní vstupy hodnoty denních maximálních a minimálních teplot vzduchu a denních úhrnů srážek. Na podobném základu je založena i metoda Donatelliho a Campbella (1998). Metoda Winslovova (2001) velmi podrobně rozpracovává transmitanci atmosféry ve vztahu k úhrnu GSZ.

Cílem práce Liu *et. al.* (2001) bylo odhadnout přesnost a použitelnost metod k odhadu denních úhrnů GSZ napříč Austrálií pro různé situace, tj. přístupnost dat o teplotě vzduchu a srážkách. Využil při tom, mimo jiných, Bristow – Campbellův model (1984) k odhadu denních úhrnů GSZ s využitím teploty vzduchu. Dále McCaskillův model (1990), který

využívá pouze srážky a posledním modelem byl model De Jonga a Stewarta (1993) využívající jak data o teplotě vzduchu, tak i o úhrnech srážek. Obecně byl nejlepším modelem ten model, který využívá teplotu vzduchu i úhrn srážek. Nicméně v některých tropických pobřežních oblastech, jako je například Broome a Darwin, mohly být odhady GSZ, založené pouze na úhrnu srážek, spolehlivější. Byl učiněn závěr, že úhrn GSZ v rámci podobného klimatického regionu může být dobře odhadnut bez jakýchkoliv místních záznamů a bez ohledu na vzdálenost mezi stanovišti.

Výhodou Klabzubova modelu (1999) je jeho použitelnost bez znalosti empirických koeficientů pro konkrétní lokalitu:

$$Q = 7.19 + 0.2508 \frac{n}{N} - 9.28 \cdot 10^{-6} \left(\frac{n}{N} + 22.9 \right) \cdot (D - 174.7)^2$$

kde Q je denní úhrn globální radiace ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$), n je skutečná doba slunečního svitu (h^{-1}), N je astronomicky možná doba slunečního svitu (h^{-1}) a D představuje juliánský den. Jako jediný z uváděných vzorců nezahrnuje pro svůj výpočet denní úhrn extraterestrální insolace.

Supitt a Van Kappel (1998) navrhli následující model:

$$Q = Q_a \cdot \left[a_s \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} + b_s \sqrt{\left(1 - \frac{C_w}{8}\right)} \right] + c_s$$

kde Q je denní úhrn globální radiace ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$), Q_a představuje denní úhrn extraterestrální insolace ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$), T_{\max} je maximální teplota vzduchu, T_{\min} minimální teplota vzduchu, C_w značí celkovou oblačnost během dne (1/8), a_s , b_s , c_s jsou empirické konstanty. Tato metoda je v současnosti používána po celé Evropě ke sledování růstu rostlin – Crop Growth Monitoring System (Kapler, 2003).

Skeiker (2006) se s využitím naměřených dat v provincii Damašek v Sýrii pokusil o odhad měsíčního úhrnu GSZ na vodorovné rovině. Využil přitom různých proměnných tj. průměrného denního úhrnu extraterestrální insolace, průměrné doby trvání slunečního svitu, průměrné denní relativní vlhkosti, průměrné denní maximální teploty vzduchu, průměrného denního atmosférickému tlaku a úhlu deklinace Slunce.

Paulescu (2006) ve své práci vyhodnocuje teplotu vzduchu jako nejdůležitější prvek pro odhad GSZ. Teplota, jako meteorologický prvek, je měřena prakticky po celém světě, a podle jeho názoru by se mělo do budoucna věnovat více času odhadům úhrnů GSZ právě z tohoto prvku. Ve své práci uvádí úplně nový model, tzv. AEAT, který vychází z klasických Ångströmových rovnic a je v přesnosti srovnatelný s modely využívající právě dobu trvání slunečního svitu jako prediktoru. Dodatečně byla zpracována i nová studie týkající se

rozšíření tohoto modelu do jiných oblastí, než jen do oblasti Rumunska, ve kterém byla původně testována.

Vztahem mezi GSZ a teplotou vzduchu se věnoval i Prieto *et al.* (2009). Byl vytvořen nový model pro provincii Asturia na jihu Španělska. Model měl pro tuto hornatou oblast ještě vyšší přesnost než modely používané v rámci organizací NASA (National Aeronautics and Space Administration) a JRC (Joint Research Centre).

Liu *et al.* (2008) ve své práci hodnotí modely založené na teplotě vzduchu k odhadu úhrnu GSZ v Číně. S použitím dlouhodobých údajů z 15 míst v Číně byly zkoumány hlavní faktory ovlivňující modelové parametry, přesnost předpovídání a navržené empirické rovnice k odhadu těchto parametrů. Navržené modely významně upravují model vytvořený Hargreavesem (1985). Důležitým faktorem, ovlivňujícím přesnost na teplotě vzduchu založených modelů, je právě rozpětí teplot vzduchu. Nové Liuovy modely byli tímto faktorem nejvíce ovlivněny. Větší změna teploty obecně vede k větší přesnosti odhadu, což znamená, že modely, založené na teplotě vzduchu, jsou lépe aplikovatelné v oblastech s větším rozpětím tohoto prvku.

Další prací, která se věnuje odhadu GSZ v Číně, byla práce Wua *et al.* (2007), který si pro svůj výzkum vybral užší oblast Číny, a to město Nanchang v jihovýchodní Číně. V práci se nachází srovnání známých modelů, z nichž Chenův model (2004) je poměrně nový. Právě Chenův model 2 byl vybrán jako nejpoužitelnější, jelikož kombinuje dobu trvání slunečního svitu s teplotou vzduchu a vysvětluje největší procento variability slunečního záření ze všech testovaných metod.

Meek (1997) se ve své práci snaží o odhad maximálně možného denního úhrnu GSZ v pěti venkovských oblastech Kanady. Jako vstupní proměnné byly použity optická tloušťka aerosolu, úhrn srážek a albedo Země. Většina dat byla získána z databáze SAMSON (Solar and Meteorological Observation Network).

Odhad GSZ odvozený z geostacionárních satelitních snímků je jednou z dalších metod k jeho výpočtu a to především na rozlehlých územích. Jednoduchá metoda spoléhá přímo na vztah mezi normalizovanými parametry ozáření (clear sky index) a stupně pokrytí oblohy oblačností (cloud index) (Zarzalejo *et al.*, 2009).

Küchel (1961), podobně jako Ångström, vycházel z měření slunečního svitu na území naší republiky v období 1926-50, Tomlain (1963) použil k výpočtům údaje o oblačnosti z let 1926-1960.

Hlavní úlohou Vaníčkovy práce, který se odhadem úhrnu GSZ také zabýval, bylo určení průměrného energetického příkonu slunečního záření v jednotlivých oblastech ČSR během roku. Vycházel z rovnice:

$$S + D = a + b \cdot s$$

kde $S + D$ jsou průměrné úhrny globálního záření, s je sluneční svit (h^{-1}), a a a b jsou regresní koeficienty. Hlavní vliv na hodnoty regresních koeficientů měla nadmořská výška, lokálně se muselo počítat i s podstatným vlivem znečištění atmosféry. Přesnost výpočtů byla poměrně velká a v měsících březen–září ji bylo možné považovat za srovnatelnou s přesností přístrojových měření (Vaníček, 1981, 1985b).

Jak již bylo zmíněno, v dnešní době se v České republice odhadu GSZ pomocí jiných dostupných meteorologických prvků věnují pracovníci z Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně. Trnka *et al.* (2005) hodnotili sedm metod k odhadům úhrnů GSZ a tyto metody testovali v nížinných oblastech Rakouska a České republiky. Hustota stanic s měřením intenzity GSZ je několikanásobně menší, než v případě většiny ostatních prvků a poměr stanic, provádějících tato měření, se ve srovnání s celkovým počtem meteorologických stanic pohybuje 1:10 v Německu (Osterle, 2001) přes 1:20 v Rakousku a České republice po 1:500 v celosvětovém měřítku (Thornton *et al.*, 1997).

Výsledné průměrné regresní koeficienty a hodnoty odchylek RMSE (root mean square error – střední kvadratická chyba) a MBE (mean bias error – střední chyba) ukazují, že výrazně vyšší přesnost mají ty metody, které využívají skutečnou dobu slunečního svitu. Z testovaných metod se během celého roku jeví jako nejpřesnější Ångströмова a Prescottova metoda (1940). Pokud neexistuje spolehlivý odhad empirických koeficientů nutných k použití pro Ångströmovu a Prescottovu metodu (1940), pak může být použita Klapzubova metoda (1999), která je podle autorů ovšem použitelná pouze pro vegetační období. Pokud nejsou k dispozici hodnoty o slunečním svitu, je možné aplikovat Supitovu a van Kappelovu metodu (1998) založenou na hodnotách oblačnosti a maximální a minimální teploty vzduchu, a která rovněž poskytuje přesné výsledky. Při nedostatku získaných dat o výskytu oblačnosti, může být aplikována Winslowova (2001) metoda, která místo oblačnosti využívá úhrnu srážek. Pokud není měřen ani úhrn srážek, zbývá metoda Donatelliho a Campbella (1998). Thorntonova (1999) a Hargreavesova (1985) metoda vykazují již chyby a jejich přesnost tedy není dostatečná. Tam, kde jsou dostupná data o úhrnu GSZ ze sousední stanice, můžou být použita také. Pokud je vzdálenost mezi dvěma stanicemi menší než 5 km, přesnost dat ze sousední stanice je zpravidla vyšší než Ångströмова metoda. Se vzrůstající vzdáleností přesnost výrazně klesá.

5 Analýza dat o globálním slunečním záření

5.1 Denní úhrny globálního slunečního záření

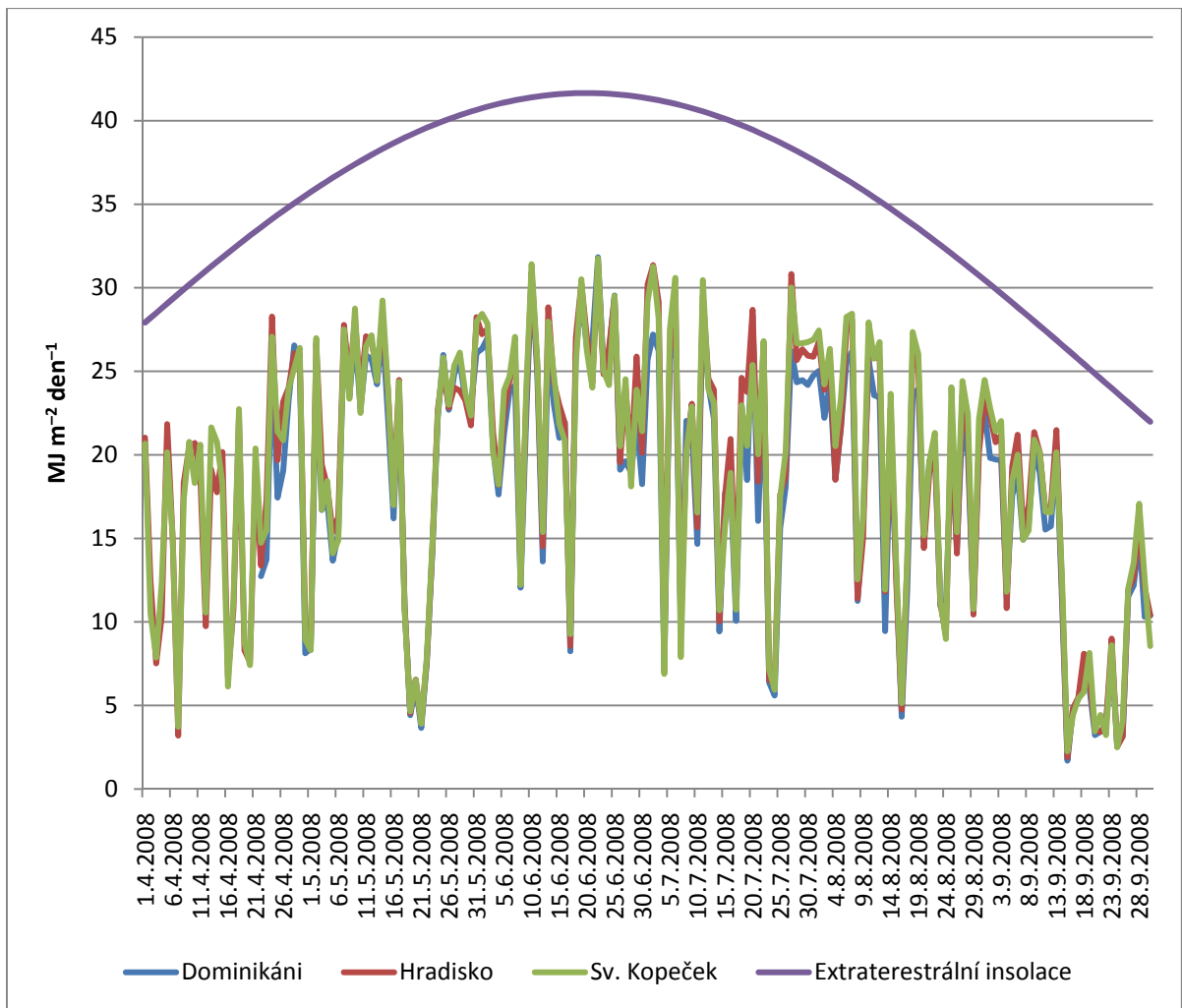
Pro základní zhodnocení chodu globálního slunečního záření (dále jen GSZ) v Olomouci byly z naměřených hodnot vypočteny denní úhrny GSZ v $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ ze všech tří stanic a současně byly vypočteny hodnoty extraterestrální insolace nad Olomoucí pro období duben–září 2008 (obr. 14).

Denní úhrny extraterestrální insolace (dále jen EI) nad Olomoucí v období duben–září 2008 vykazují chod závislý na hodnotách deklinace Slunce a na délce trvání bílého dne (se zohledněním proměnlivé hodnoty vzdálenosti Země–Slunce a proměnlivé sluneční aktivity, ovlivňující hodnotu solární konstanty). Celkový průběh hodnot EI má podobu úseku sinusoidy, která začíná hodnotou $27,91 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ pro 1. 4. 2008, poté plynule stoupá k maximu $41,66 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ pro 20. 6. 2008 (letní slunovrat) a poté se opět snižuje, a to až na hodnotu $21,98 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ dne 30. 9. 2008.

Denní úhrny GSZ na stanicích Dominikáni, Hradisko a Sv. Kopeček vykazují výrazně podobný chod, což souvisí s velmi blízkou polohou všech tří stanic, výraznější odchylky jsou patrné pouze v některých dnech. Při podrobnějším rozboru dat se ukazuje, že výraznější odchylky souvisejí se dny, které měly podle průběhu denní křivky GSZ charakter jasných dnů s radičním počasím. V těchto dnech je celkový podíl přímého záření v GSZ vyšší než u dnů oblačných a zatažených, takže rozdílné podmínky stanoviště (dílní zastínění okolní zástavbou nebo vegetací) v určité části dne se více projeví v celkovém denním úhrnu GSZ. Určitý vliv na tyto vzájemné rozdíly může být ovšem připsán také proměnlivé oblačnosti.

Celkový chod denních úhrnů GSZ v období duben–září 2008 vykazuje výraznější kolísání související s měnícím se charakterem povětrnostních situací, velmi zřetelné je zejména období poklesu denních úhrnů GSZ v období 19.–22. 5. 2008 a v období 15.–25. 9. 2008. Vůbec nejvyšší denní úhrn GSZ nastal na všech třech stanicích shodně 22. 6. 2008 (Dominikáni $31,83 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$, Hradisko $31,43 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$, Sv. Kopeček $31,75 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$) při extraterestrální insolaci $41,65 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$. Nejnižší denní úhrn GSZ nastal opět shodně na všech třech stanicích 15. 9. 2008 (Dominikáni $1,70 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$, Hradisko $1,90 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$, Sv. Kopeček $2,26 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$) při extraterestrální insolaci $26,30 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$.

Při porovnání poměru hodnot GSZ a extraterestrální insolace (EI) se ukazuje, že při nejvyšších hodnotách úhrnů dosahuje GSZ asi 70–80 % hodnoty EI, zatímco při minimálních úhrnech během silně zatažených dnů i jen zhruba 10 %.



Obr. 14 Denní úhrny GSZ a extraterestrální insolace v období duben–září 2008.

5.2 Denní úhrny globálního slunečního záření při jasných, oblačných a zatažených dnech

Nosek (1972) uvádí, že určení jasných a zatažených dní pro účely vyhodnocování globálního záření je nutno používat zcela jiná kritéria, než jaká se berou v úvahu při klimatologickém určování jasných a zatažených dní. Pro rozbor globálního záření se jasné a zatažené dny určují podle charakteru stopy vypálené na pásce heliografu nebo podle průběhu křivky globálního záření na pásce pyranografu. Protože pro vyhodnocení dat ze stanic Dominikáni, Hradisko a Sv. Kopeček nebyly k dispozici pásy z heliografů, byly dny klasifikovány podle křivek chodu GSZ. Za jasný den se podle Noska (1972) bere takový, v němž má slunoměrná páska heliografu vypálenou stopu bez jakéhokoliv přerušení a křivka pyranografu je plynulá a bez poklesů. Naopak za zatažený je považován den, kdy na pásce heliografu není vypálena vůbec žádná stopa a záznam pyranografu je plynulý bez nápadného

zvýšení, které by bylo náznakem přímého slunečního záření. Jako jasné byly proto klasifikovány dny se zhruba hladkým průběhem denní křivky GSZ a s celkově vysokými hodnotami záření v poledních hodinách, bez výraznějších kolísání a nápadných poklesů (jako např. obr. 15a). Jako zatažené byly vyhodnoceny dny s celkově nízkými hodnotami GSZ, bez výraznějších zvýšení (jako např. obr. 15c). Všechny ostatní dny byly zařazeny do kategorie oblačných dnů (obr. 15b).

Počty takto klasifikovaných jasných, oblačných a zatažených dnů uvádí tab. 3. V tab. 4 jsou pak uvedeny průměrné hodnoty denních úhrnů GSZ za jednotlivé typy dnů pro všechny měsíce období duben–září 2008.

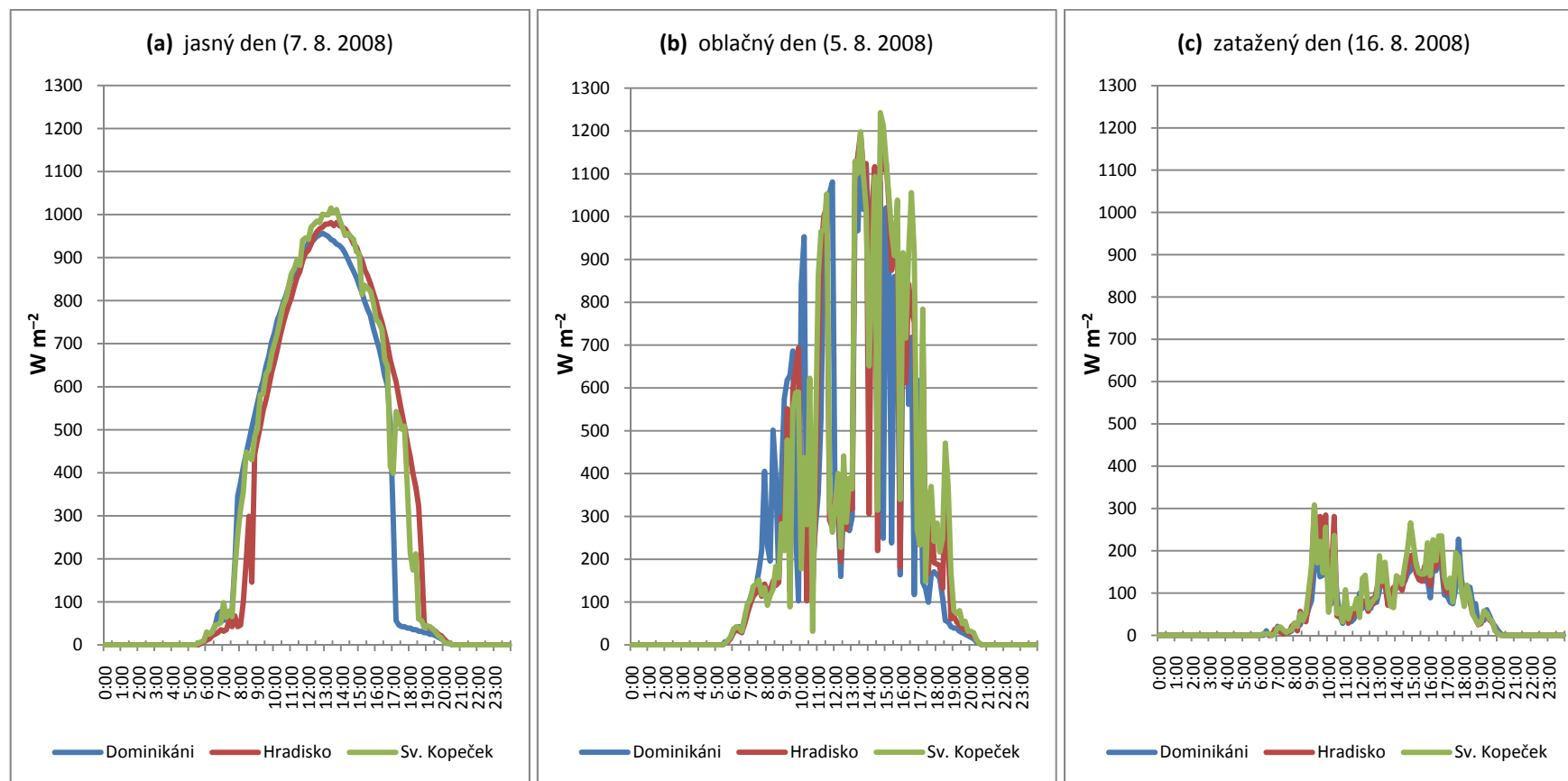
Tab. 3 Počty jasných, oblačných a zatažených dnů v období duben–září 2008 (vlastní třídění podle denních křivek GSZ)

<i>období</i>	<i>dny</i>			
	<i>jasné</i>	<i>oblačné</i>	<i>zatažené</i>	<i>všechny</i>
duben	2	26	2	30
květen	0	26	5	31
červen	6	22	2	30
červenec	5	21	5	31
srpen	8	22	1	31
září	7	13	10	30
celkem	28	130	25	183

Tab. 4 Průměrné denní úhrny GSZ jasných, oblačných a zatažených dnů v období duben–září 2008 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$)

<i>stanice</i>	<i>období</i>	<i>dny</i>				<i>q</i>	<i>R</i>
		<i>jasné</i>	<i>oblačné</i>	<i>zatažené</i>	<i>všechny</i>		
Dominikáni	duben
	květen	–	22,05	6,05	19,47	.	.
	červen	29,11	22,23	10,15	22,8	35	78
	červenec	25,32	21,6	7,59	19,94	30	79
	srpen	23,99	17,37	4,33	18,66	18	78
	září	19,02	13,3	4,4	11,67	23	61
Hradisko	duben	24,65	16,91	4,97	16,63	20	67
	květen	–	22,7	6,24	20,04	.	.
	červen	29,44	23,33	10,64	23,71	36	81
	červenec	26,67	23,49	8,23	21,54	31	81
	srpen	25,41	17,93	4,76	19,44	19	77
	září	20,53	14,06	4,58	12,41	22	60
Sv. Kopeček	duben	23,87	16,99	4,93	16,64	21	70
	květen	–	22,6	6,25	19,96	.	.
	červen	29,41	23,21	10,75	23,62	37	80
	červenec	27,49	22,96	7,71	21,23	28	77
	srpen	26,17	18,84	5,14	20,29	20	78
	září	20,44	14,06	4,42	12,34	22	60

Vysvětlivky: *q* – poměr záření při zatažených a jasných dnech, *R* – poměr záření ve všech dnech a za jasných dní



Obr. 15 Příklady typických denních křivek GSZ pro klasifikaci jasných, oblačných a zatažených dnů

V tab. 4 nejsou uvedeny hodnoty ze stanice Dominikáni za duben 2008 vzhledem k tomu, že z této stanice jsou data pouze za 8 dnů z celého měsíce. Průměrný denní úhrn GSZ jasných dnů v květnu 2008 nelze vyjádřit, neboť žádný ze dnů toho měsíce nebylo možné jednoznačně zařadit mezi jasné dny.

Při porovnání průměrných denních úhrnů GSZ mezi stanicemi je patrné obecně mírně nižší hodnoty u stanice Dominikáni ve srovnání s Hradiskem a Sv. Kopečkem, což souvisí pravděpodobně s vlivem zástavby v okolí místa měření, neboť v brzkých dopoledních a zejména v pozdějších odpoledních hodinách je přímé sluneční záření na tuto lokalitu zastíněno výrazněji než u Hradiska nebo Sv. Kopečku, takže z těchto intervalů přispívá k dennímu úhrnu pouze difúzní složka záření.

Nosek (1972) doporučuje jako užitečné charakteristiky globálního záření také procentuální poměr mezi množstvím záření při zatažených a jasných dnech ($q = 100 \cdot Z / J$) a také poměr mezi množstvím záření ve všech dnech a za jasných dní ($R = 100 \cdot A / J$). Obě tyto charakteristiky jsou pro jednotlivé měsíce hodnoceného období rovněž uvedeny v tab. 4. Při zatažených dnech dosahuje denní úhrn GSZ 18–37 % hodnot při jasných dnech. Průměrný denní úhrn GSZ za všechny dny pak dosahuje 60–81 % hodnot při jasných dnech.

5.3 Intenzita globálního slunečního záření

Data naměřené intenzity GSZ na stanicích Dominikáni, Hradisko a Sv. Kopeček vykazují obecně vzájemně velmi podobný denní chod v celém hodnoceném období duben–září 2008. Při bližším rozboru lze vyzorovat dílčí rozdíly, související s povahou okamžitého záznamu hodnoty intenzity GSZ v intervalu 10 minut, které se mezi stanicemi mohou lišit z důvodu krátkodobého zastínění proměnlivou oblačností.

Systematičtější odchylky lze vysledovat v ranních a večerních hodinách, kdy Slunce dosahuje nevelké výšky nad obzorem, takže dílčí překážky v okolí měřicí stanice mohou zastínit na určitý časový interval přímé sluneční paprsky, které přitom na jiných stanicích na čidla dopadají. Takovouto pravidelnou odchylku vykazují např. data z ranních hodin na stanici Hradisko, kde k zastínění může docházet vlivem skupiny stromů ve východním směru od umístění stanice, a data ze stanice Dominikáni zejména v pozdních odpoledních hodinách, kdy se pozemek klášterní zahrady dostává do stínu přilehlé budovy. Vzhledem k tomu, že GSZ v těchto hodinách nedosahuje obecně příliš vysokých hodnot ani bez zastínění, je vliv výše zmíněného zastínění na denní úhrn GSZ omezený, i když není zanedbatelný.

Při porovnání naměřených hodnot GSZ s vypočtenými hodnotami extraterestrální insolace se ukazuje, že pyranometry jsou schopné detekovat difúzní záření i v období

občanského soumraku krátce před východem a krátce po západu Slunce (v hodnotách okolo $3-7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$).

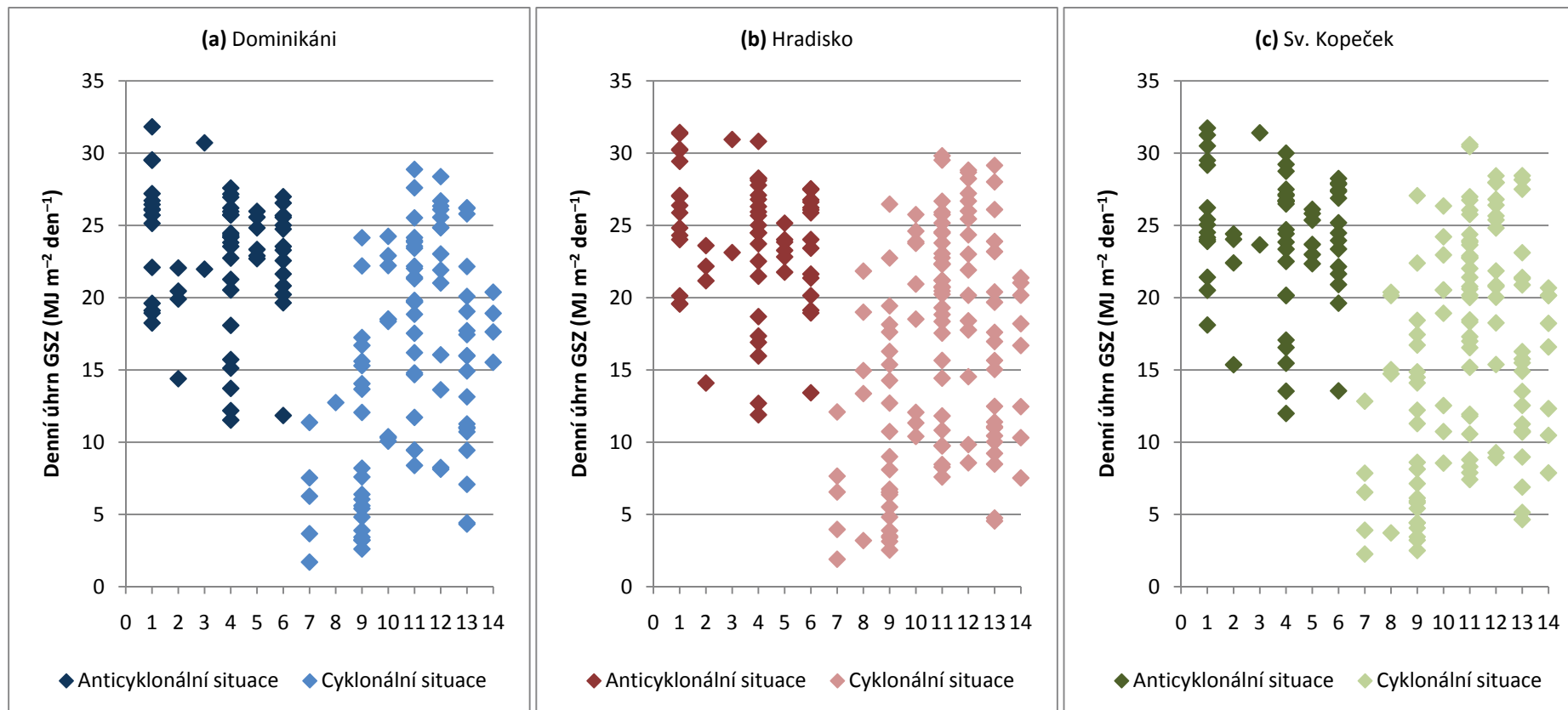
Zatímco denní maximum extraterestrální insolace je vázáno vždy na okamžik pravého poledne, hodnoty denních maxim intenzity GSZ se mohou vyskytovat jak v okolí tohoto okamžiku, tak i v jiné části dne, přičemž rozhodující je zde chod oblačnosti nad daným místem. Při porovnání jasných a oblačných dnů se přitom ukazuje, že okamžité naměřené hodnoty intenzity GSZ často v jednotlivých maximech dosahují průměrně vyšších hodnot než ve dnech jasných, což může být zapříčiněno vyšší kolísavostí intenzity ozáření čidla při oblačných dnech ve srovnání se dny jasnými, kdy je vývoj intenzity GSZ plynulejší a zahrnuje jako stabilněji převažující složku přímé sluneční záření.

5.4 Globální sluneční záření podle synoptických situací

Z katalogu synoptických situací ČHMÚ (Typizace povětrnostních situací pro území České republiky on-line, 2010) byly převzaty údaje o synoptické situaci pro jednotlivé dny dubna až září 2008 a byly zpracovány grafy rozložení hodnot denních úhrnů GSZ podle synoptických situací (obr. 16).

Anticyklonální situace (Ap1, Ap3, Ap4, NEa, NWa, SEa, Wa, Wal) se vyskytovaly v celkem 64 dnech hodnoceného období, cyklonální situace (všechny ostatní) pak v 119 dnech. Anticyklonální situace převládaly v období od 7.–14. 5. 2008, dále v období 25.–30. 5. 2008, 18. 6. 2008 až 2. 7. 2008, dále 26. 7. 2008 až 1. 8. 2008. Ke konci srpna nastal poslední výraznější výskyt anticyklonálních situací.

Z obr. 16 je patrné, že anticyklonální situace přinášejí průměrně vyšší denní úhrny GSZ. Maxima těchto denních úhrnů nejsou výrazně vyšší než u cyklonálních situací, během anticyklonálních situací se však prakticky nevyskytují nízké denní úhrny GSZ (pod $10 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$). Naproti tomu u cyklonálních situací jsou denní úhrny GSZ více variabilní a při určitých typech situací dosahují i značného rozpětí hodnot (např. u NEc od 3 do $27 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$, značný rozsah vykazuje také situace SWc a dále situace B a Bp).



Anticyklonální situace

- 1 Wa - západní anticyklonální situace letního typu
- 2 Wa - západní anticyklonální situace
- 3 NWa - severozápadní anticyklonální situace
- 4 NEa - severovýchodní anticyklonální situace
- 5 SEa - jihovýchodní anticyklonální situace
- 6 Ap1, Ap3, Ap4 - putující anticyklóna

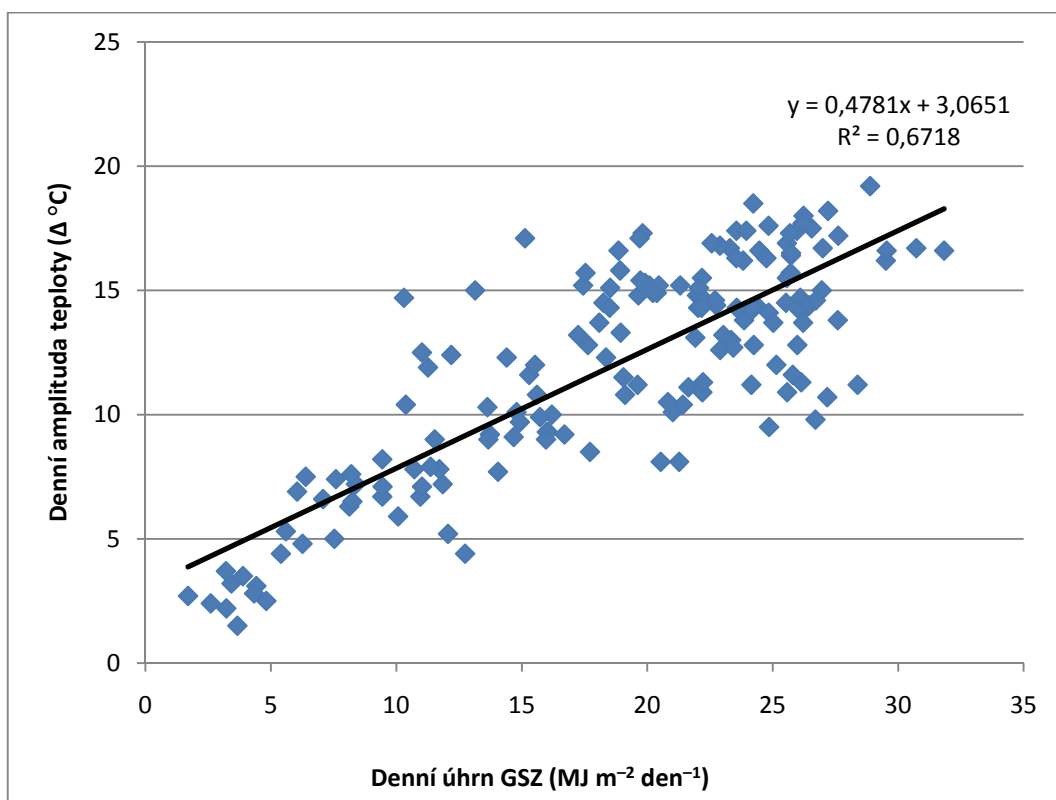
Cyklonální situace

- 7 Ec - východní cyklonální situace
- 8 C - cyklóna nad střední Evropou
- 9 NEc - severovýchodní cyklonální situace
- 10 Wc - západní cyklonální situace
- 11 SWc1, SWc2, SWc3 - jihozápadní cyklonální situace
- 12 B - brázda nízkého tlaku nad střední Evropou
- 13 Bp - brázda postupující přes střední Evropu
- 14 Vfz - vchod frontální zóny

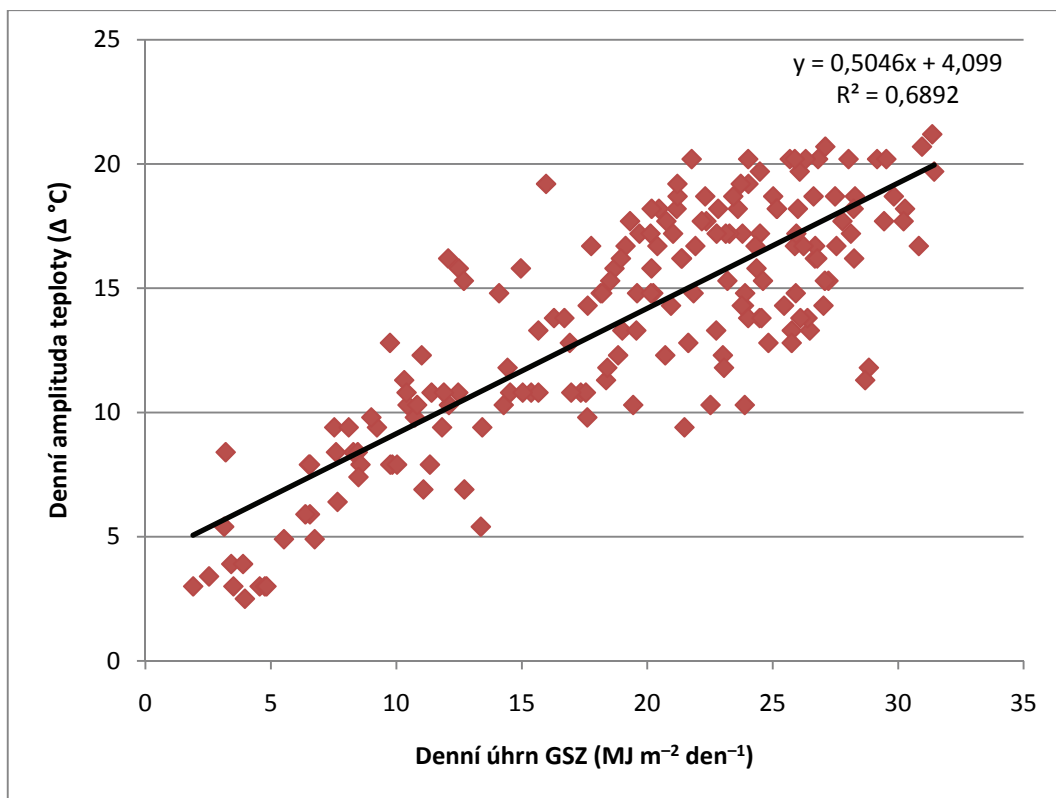
Obr. 16 Denní úhrny GSZ podle synoptických situací

5.5 Závislost denní amplitudy teploty vzduchu na globálním slunečním záření

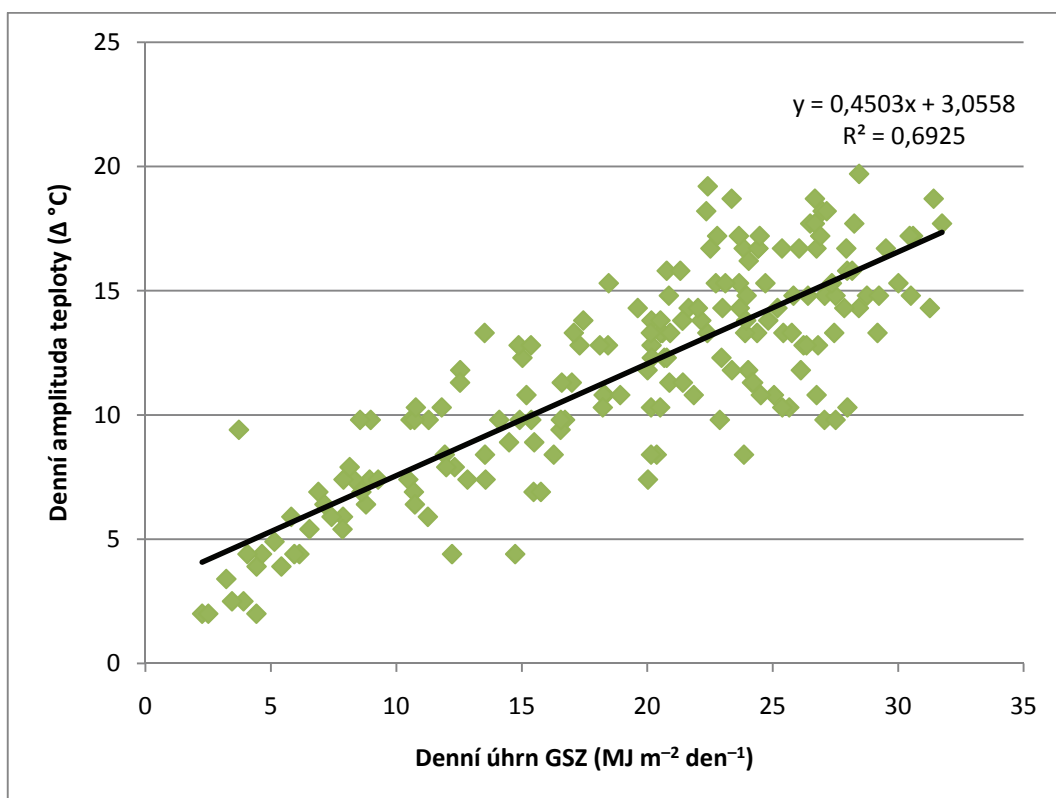
Pro jednotlivé dny hodnoceného období byly pro všechny tři stanice určeny amplitudy teploty vzduchu a zkoumána jejich korelace s denními úhrny globálního slunečního záření (obr. 17–19). Na všech třech stanicích se ukazuje podle předpokladů kladná závislost teplotní amplitudy na globálním záření, tedy se zvyšujícím se denním úhrnem GSZ obecně narůstá dosažená teplotní amplituda. Těsnost závislosti obecně výrazněji oslabují v některých dnech meteorologické vlivy proudění vzduchových hmot a další dílčí faktory, přesto je regresní závislost teplotní amplitudy na globálním záření dobře patrná a mezi jednotlivými stanicemi velmi podobná.



Obr. 17 Závislost denní amplitudy teploty vzduchu a denního úhrnu GSZ na stanici Dominikáni



Obr. 18 Závislost denní amplitudy teploty vzduchu a denního úhrnu GSZ na stanici Hradisko



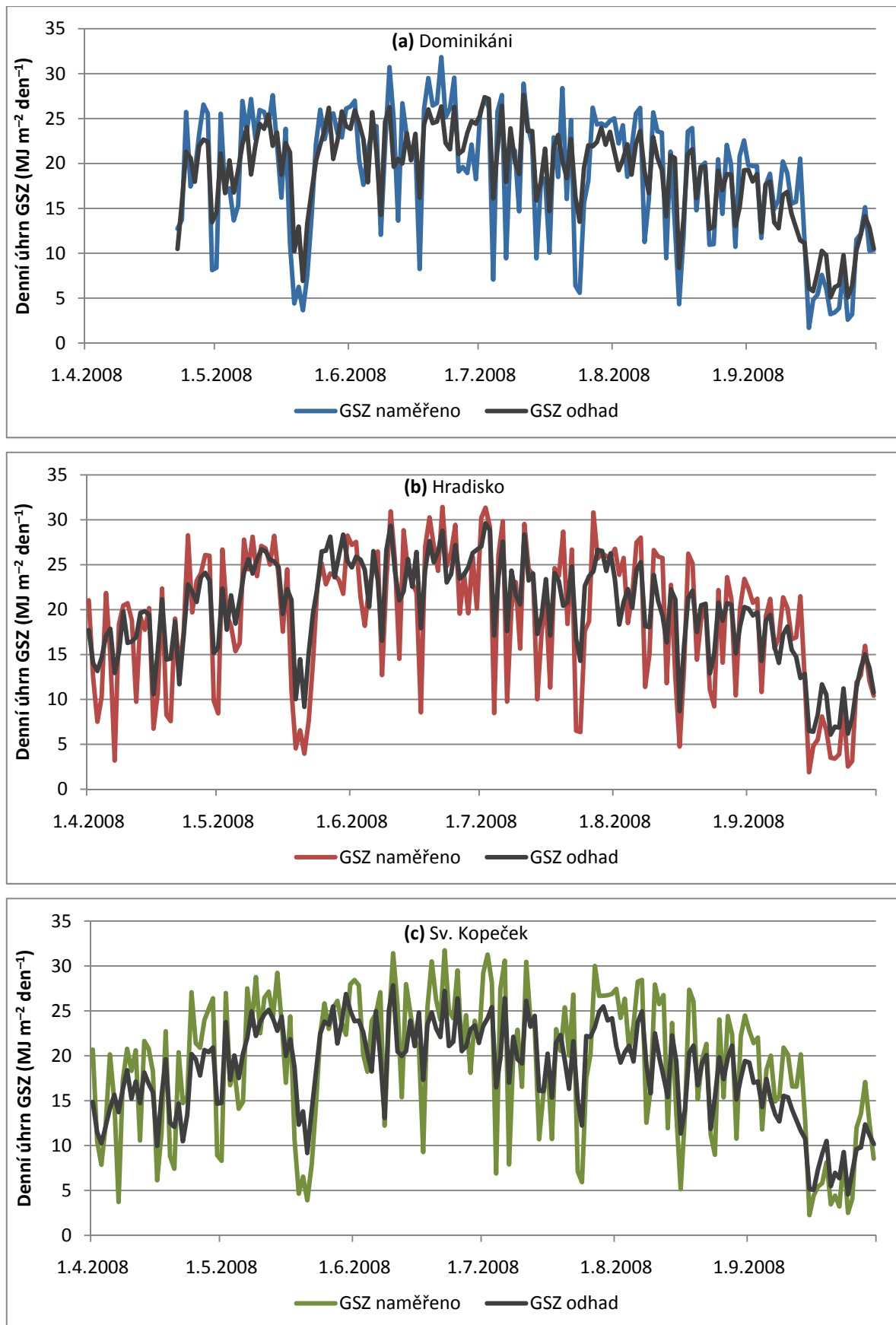
Obr. 19 Závislost denní amplitudy teploty vzduchu a denního úhrnu GSZ na stanici Sv. Kopeček

5.6 Odhad globálního slunečního záření s využitím dat o teplotě vzduchu

Z relativně široké škály metod uplatňovaných při odhadu GSZ byla aplikována metoda Hargreavesova pro její přímou návaznost na teplotu vzduchu. Naměřené hodnoty GSZ z jednotlivých stanic byly porovnány s teoreticky vypočtenou hodnotou GSZ podle Hargreavesova vztahu, který vychází z denního úhrnu extraterestrální insolace a denní amplitudy teploty vzduchu v daném místě (obr. 20).

Největší shody s naměřenými daty dosahuje Hargreavesův odhad v denních úhrnech obecně při středně vysokých hodnotách GSZ. Při výrazněji nižších i výrazněji vyšších naměřených denních úhrnech GSZ se Hargreavesův odhad odchyluje poněkud výrazněji, přesto celkový charakter chodu GSZ zůstává i při odvození z hodnot denní amplitudy teplot vzduchu dobře patrný. Ve dnech s výrazně nízkými denními úhrny GSZ ovlivňují amplitudu teploty výraznějším způsobem jiné meteorologické faktory (proudění vzduchových hmot, srážková činnost apod.), takže korelace mezi amplitudou teploty a úhrnem GSZ není tak těsná. Naopak ve dnech s velmi vysokými úhrny GSZ Hargreavesův odhad podhodnocuje, protože účinek vysoké intenzity záření na vzrůst teploty se s rostoucí výškou nad aktivním povrchem snižuje nelineárně.

Zatímco v denních hodnotách je Hargreavesův odhad spolehlivý jen omezeně (s ohledem na výraznější odchylku při nízkých či vysokých úhrnech GSZ), pro hodnocení za delší období se jeví jako vhodnější, neboť odchylky vysokých a nízkých hodnot se mohou vzájemně kompenzovat. Proto lze Hargreavesovu metodu doporučit zejména pro odhady dekadových, měsíčních, příp. sezónních úhrnů GSZ.



Obr. 20 Srovnání denního úhrnu GSZ podle naměřených dat s Hargreavesovým odhadem

6 Závěr

Analýza dat globálního slunečního záření z trojice účelových topoklimatických stanic Olomouc-Dominikáni, Olomouc-Hradisko a Olomouc-Sv. Kopeček za období duben–září 2008 vycházela z údajů o intenzitě GSZ naměřené ve $W \cdot m^{-2}$ v intervalu 10 min. Pro základní zhodnocení i pro další analýzy byla zvolena interpretace na základě denních úhrnů GSZ vyjádřených v $MJ \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$, které vystihují celkovou míru ozáření v jednotlivých dnech.

Celkový chod denních úhrnů GSZ byl na všech stanicích obdobný, což odpovídá jejich relativní prostorové blízkosti, v okamžitých hodnotách intenzit ve $W \cdot m^{-2}$ se přitom zřetelně projevovalo kolísání, způsobené pravděpodobně v největší míře proměnlivým chodem oblačnosti. Žádná ze stanic nevykazovala obecně výrazné odchylky ve srovnání s ostatními dvěma.

Byla provedena analýza denních úhrnů GSZ podle jasných, oblačných a zatažených dnů v souladu s metodikou navrženou Noskem (1972), přičemž se ukázalo, že ve zkoumaném období se vyskytlo celkem 28 dnů jasných, 130 dnů oblačných a 25 dnů zatažených.

Rozbor dat o GSZ v závislosti na synoptických situacích potvrdil, že anticyklonální situace jsou svázány s průměrně vyššími denními úhrny GSZ (v rozsahu asi $10\text{--}30 MJ \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$), zatímco u cyklonálních situací je rozpětí úhrnů GSZ výrazně větší, od nízkých až po opět vysoké (v rozsahu od 3 až do $30 MJ \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$).

Potvrdila se kladná závislost denní amplitudy teploty vzduchu na denním úhrnu GSZ, i když některé dny vykazaly výraznější odchylku od celkové regresní závislosti, pravděpodobně díky vlivu jiných meteorologických faktorů (postup vzduchových hmot přes území apod.).

Odhad denních úhrnů GSZ Hargreavesovou metodou ukázal na její vhodnost spíše pro dekádové, měsíční a sezónní úhrny než pro úhrny denní, kde při výraznější převaze přímého nebo naopak difúzního záření dochází k výraznějším odchylkám než při středně vysokých hodnotách úhrnů GSZ.

Možnosti analýz včetně dalších metod odhadů GSZ nebyly v rámci této bakalářské práce zcela vyčerpány a bylo by možné je dále prohloubit a rozpracovat např. v návazné diplomové práci.

7 Summary

The bachelor thesis *Contribution to the study of the climate of the city of Olomouc - solar radiation* deals with the data on global solar radiation measured at three topoclimatic field stations run under Assoc. Prof. Miroslav Vysoudil of the Department of Geography, Faculty of Science, Palacký University of Olomouc. Data on intensity of global solar radiation from the season April–September 2008 were transformed into daily sums of global solar radiation and further analysed. A classification of clear, cloudy and overcast days was performed, as well as according to synoptic situations, a correlation between daily sums of global solar radiation and temperature range was assessed and an estimate using the Hargreaves' method was applied to evaluate the possibilities of deriving global solar radiation data from extraterrestrial insolation and the temperature range.

8 Použitá literatura

- ALLEN, R. (1997): *Self calibrating method for estimating solar radiation from air temperature*. J. Hydrol. Eng., vol. 2, p. 56-67.
- ÅNGSTRÖM, A. (1924): *Solar and terrestrial radiation*. Q. J. R. Meteorol. Soc., vol. 50, p. 121-125.
- BAHEL, V. *et al.* (1987): *A correlation for estimation of global solar radiation*. Energy, vol. 12, p. 131-135.
- BEDNÁŘ, J. (2003): *Meteorologie: Úvod do studia dějů v zemské atmosféře*. Praha: Portál s.r.o. 224 s. ISBN 80-7178-653-5.
- BRÁZDIL, R. *et al.* (1988): *Úvod do studia planety Země*. Praha: SPN. 365 s.
- BRISTOW, K. L., CAMPBELL, G. S. (1984): *On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature*. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 31, p. 159-166.
- De JONG, R., STEWART, D. W. (1993): *Estimating global solar radiation from common meteorological observations in western Canada*. Canada J. Plant Sci., vol. 73, p. 509-518.
- DEMEK, J. *et al.* (1987): *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. Academia, Praha. 584 s.
- DONATELLI, M., CAMPBELL, G. S. (1998): *A simple method to estimate global radiation*. Proceeding of the 5th ESA conference, Nitra, p. 133-134.
- DUBROVSKÝ, M. (1997): *Creating daily weather series with use of the weather generator*. Environmetrics, vol. 8, p. 409-424.
- ERTENKIN, C., YALDIZ, O. (1999): *Estimation of monthly average daily global radiation on horizontal surface for Antalya, Turkey*. Renew Energy, vol. 19. P. 95-102.
- GARIEPY, J. (1980): *Estimation of global solar radiation*. International report, Service of Meteorology, Government of Quebec, Canada.
- GOPINATHAN, K. K. (1988): *A general formula for computing the coefficients of the connecting global solar radiation to sunshine duration*. Solar Energy, vol. 41, p. 499-502.
- HARGREAVES, G. L. (1985): *Irrigation water requirement for Senegal River Basin*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, vol. 111, p. 265-275.
- CHINEKE, T. Ch. (2008): *Equations for estimating global solar radiation in data sparse regions*. Renewable Energy, vol. 33, p. 827-831.
- KAPLER, P., TRNKA, M., ŽALUD, Z. (2003): *Výpočet globální radiace z meteorologických prvků*. In CERKAL, R., STŘEDA, T. (eds.) *MendelNet 2003*. Brno:

Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 80-7157-723-5. Dostupné na: <http://old.af.mendelu.cz/mendelnet2003/obsahy/fyto/kapler.pdf> (cit. 2009-09-15).

KLABZUBA, J. et al. (1999): *Model výpočtu denních sum globálního záření pro použití v růstových modelech*. Proceedings of „Bioklimatické pracovní dny 1999 Zvolen“, s. 121-122.

KÚCHEL, Š. (1963): *Globálne žiarenie V ČSSR*. Meteorologické zprávy. Sv. 16, s. 143-146.

LIU, D.L., SCOTT, B.J. (2001): *Estimation of solar radiation in Australia from rainfall and temperature observations*. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 106, p. 41-59.

LIU, X. et al. (2009): *Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China*. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 148, p. 1433-1446.

LOF, G. O. G. et al. (1966): *World distribution of solar radiation*. Solar Energy, vol. 10, p. 27-37.

MARTÍNEZ-LOZANO, J. A. et al. (1984): *The historical evolution of the Ångström formula and its modifications: review and bibliography*. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 33, 109-128.

McCASKILL, M. R. (1990): *Prediction of solar radiation from rainday information using regionally stable coefficients*. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 51, p. 595-602.

MEEK, D. W. (1997): *Estimation of maximum possible daily global solar radiation*. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 87, p. 223-241.

MENGES, O. M. et al. (2006): *Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey*. Energy Conversion and Management, vol. 47, p. 3149-3173.

MEZA, F., VARAS, E. (2000): *Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature*. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 100, p. 231-241.

OLIVER, J. E. (2005): *Encyclopedia of World Climatology*. Dordrecht, The Netherlands: Springer. 854 p. ISBN: 978-1-4020-3266-0

PAGE, J. K. (1961): *The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N-40°S*. In: Proceedings of UN conference on new sources of energy, p. 378-390.

PINKER, R. T. et al. (1995): *A review of satellite methods to derive surface shortwave irradiance*. Remote Sens. Environ., vol. 51, p. 108-124.

PRESCOTT, J. A. (1940): *Evaporation from water surface in relation to solar radiation*. Trans. R. Soc. South Australia, vol. 64, p. 114-118.

PŘÍHODA, P. ed. (2007): *Hvězdářská ročenka 2008*. Praha: Hvězdárna a planetárium hlavního města Prahy v koedici s Astronomickým ústavem AV ČR. 288 s. ISBN 978-80-86017-47-1.

- RICHARDSON, C. W.** (1981): *Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation*. Water Resources Res., vol. 17, p. 182-190.
- RIVINGSTON, M. et al.** (2006): *Evaluating uncertainty introduced to process-based simulation model estimates by alternative sources of meteorological data*. Agriculture Syst., vol. 88, p. 451-471.
- SECO, J. et al.** (1993): *Solar radiation and temperature: A study of Santiago de Chile and Salamanca*. Atmospheric Environment, vol. 27A, p. 457-462.
- SKEIKER, K.** (2005): *Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus, Syria*. Energy Conversion and Management, vol. 47, p. 331-345.
- SOBÍŠEK, B.** (1970): *Meteorologické přístroje a pozorovací metody*. Praha, Hydrometeorologický ústav. 80 s.
- SOBÍŠEK, B. et al.** (1993): *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha: Academia a MŽP ČR. 594 s. ISBN 80-85368-45-5
- SOLER, A.** (1990): *Statistical comparison for 77 European stations of sunshine based models*. Solar Energy, vol. 45, p. 365-370.
- SUPIT, I., van KAPPEL, R. R.** (1998): *A simple method to estimate global radiation*. Solar Energy, vol. 63, p. 147-160.
- THORNTON, P. E., RUNNING, S. W.** (1999): *An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation*. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 93, p. 211-228.
- TOLASZ, R. et al.** (2007): *Atlas podnebí Česka/Climate Atlas of Czechia*. Praha, Olomouc: ČHMÚ Praha v koedici s UP Olomouc, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1
- TOMLAIN, J.** (1964): *Geografické rozloženie globálneho žiarenia na území ČSSR*. Meteorologické zprávy. Sv. 17, s. 173-177.
- TRNKA, M.** (2004): *Využití teplotních extrémů a úhrnů srážek k odhadu globálního slunečního záření*. Sborník Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, sv. 5, s. 13-28.
- TRNKA, M. et al.** (2005): *Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulae*. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 131, p. 54-76.
- VANÍČEK, K.** (1981): *Výpočet měsíčních sum globálního záření na území ČSR*. Meteorologické zprávy. Sv. 34, č. 2, s. 49-52. ISSN 0026-1173

- VANÍČEK, K.** (1985a): *Použití nepřímých výpočetních metod k určení některých základních charakteristik pole slunečního záření*. Meteorologické zprávy. Sv. 38, č. 3, s. 72-75. ISSN 0026-1173
- VANÍČEK, K. et al.** (1985b): *Sluneční záření na území ČSSR*. MLVH ČSSR ve spolupráci s DT ČSVTS. Pardubice, 54 s.
- VANÍČEK, K. et al.** (1994): *Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984–1993*. Národní klimatický program ČR, sv. 15. Praha: ČHMÚ, 84 s. ISBN 80-85813-16-5
- VANÍČEK, K., POKORNÝ, J.** (2007): *Automatizace měření slunečního svitu na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu pomocí elektronických slunoměrů*. Meteorologické zprávy. Sv. 60, č. 4, s. 106-116.
- VONDRÁČEK, V.** (2000): *Minimum o počasí*. Praha: Olympia. 72 s. ISBN 80-7033-685-4
- VYSOUDIL, M.** (2006): *Meteorologie a klimatologie*. Olomouc: Univerzita Palackého Olomouc. 281 s. ISBN 80-244-1455-4.
- WINSLOW J. C. et al.** (2001): *A globally applicable model of daily solar irradiance estimated from air temperature and precipitation data*. Ecol. Modelling, vol. 143, p. 227-243.
- WU, G. et al.** (2007): *Methods and strategy for modelling daily global solar radiation with measured meteorological data – A case study in Nanchang station, China*. Energy Conversion and Management, vol. 48, p. 2447-2452.
- ZARZALEJO, L. F. et al.** (2008): *A new statistical approach for deriving global solar radiation from satellite images*. Solar Energy, vol. 83, p. 480-484.

Internetové zdroje

- ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV** (2010): Typizace povětrnostních situací pro území České republiky [on-line; cit. 2010-03-30]. Dostupné na [www: http://www.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/syntypy.html](http://www.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/syntypy.html)
- NOAA's NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER** (2010): NOAA Satellite and Information Service [on-line; cit. 2010-03-26]. Dostupné na [www: http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarirradiance.html](http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarirradiance.html)
- SORCE** (2010a): Solar Radiation & Climate Experiment [on-line; cit. 2010-03-24]. Dostupné na [www: http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm](http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm)
- SORCE** (2010b): Total Solar Irradiance (TSI) Data [on-line; cit. 2010-03-24]. Dostupné na [www: http://lasp.colorado.edu/sorce/data/tsi_data.htm](http://lasp.colorado.edu/sorce/data/tsi_data.htm)