

Srovnání délky slunečního svitu a globální radiace na dvojici stanic Rudolfov - České Budějovice

Comparison of the sunshine duration and the global solar radiation at a pair of meteorological stations Rudolfov and České Budějovice

Karel Matějka

IDS, Na Komořsku 2175/2a, 143 00 Praha 4; matejka@infodatasys.cz

Abstract

Data on the length of sunshine duration have been available from meteorological stations of the Czech Hydrometeorological Institute since the early 1960s. Based on them, estimates of the amount of global solar radiation can be estimated. New equation (1) was proposed, which is based on calculation of the theoretical solar radiation at the upper limit of the atmosphere. A comparison of data from the nearby stations České Budějovice (owner CHMI) and Rudolfov (IDS) revealed a sufficiently high strength of such relationship ($r = 0.96$). The same equation was applied to the Mrzky station (CHMI) compared to three nearby stations in the vicinity of Kostelec nad Černými lesy in Central Bohemia (Faculty of Forestry and Wood Sciences). The observed relationship was applied in the model for calculating the phenology of *Ips typographus* (PHENIPS). It is therefore possible to estimate the speed of development and the number of generations of this important species of bark beetle in the last 60 years.

Keywords: estimation, global solar radiation, modelling, PHENIPS, sunshine duration

Měření globální radiace se v ČR provádí pouze na několika stanicích, mnohem častější je měření doby slunečního svitu. Přestože tyto proměnné spolu úzce souvisí, jejich vztah není triviální. Rozbor této problematiky pro stanici Hradec Králové provedla SCHOVÁNKOVÁ (2010). Její práce je založena na publikacích, které používají zobecněný vztah

$$E = e_T \sum_{i=0}^n a_i \left(\frac{s}{s_T} \right)^i \quad (0)$$

kde e_T je teoretické záření na hodní hranici atmosféry, s je doba slunečního svitu, s_T je teoreticky možná doba slunečního svitu a a_i jsou regresní koeficienty. V literatuře byl používán stupeň polynomu $n = 1$ až 3 (ANGSTRÖM 1924, PRESCOTT 1940, ERTEKIN ET YALDIZ 2000). První vztah mezi těmito proměnnými odvodili GLOVER ET MCCULLOCH (1958).

Výpočty globální radiace jsou založeny na výpočtech polohy slunce na obloze, což je úloha používaná při řešení řady problémů, v první řadě to může být vyhodnocení hemisférických fotografií (FOURNIER, HALL 2017, speciálně JONCKHEERE ET AL. 2017), ale i

osluněnosti terénu (WILSON ET GALLANT 2000). Tyto výpočty byly popsány organizací NOAA (NOAA 2013) a jsou publikovány v textech REDA ET ANDREAS (2004, 2008).

Na vlastní stanici Rudolfov (MATĚJKA 2014) je prováděno měření globální radiace pomocí čidla v rámci stanice Davis Vantage Pro 2 (<https://www.davisinstruments.com/>) od roku 2015. Doba slunečního záření je dostupná na stanici ČHMÚ české Budějovice (indikativ C2CBUD01) a to od roku 1965 ve formě denních úhrnů slunečního svitu (ČHMÚ 2021).

Srovnání popsané v předchozím odstavci bylo následně validováno na základě nezávislé datové série. Od roku 2019 se provádí měření globální radiace na třech stanicích FLD ČZU v Praze, které jsou rozmístěny v území okolo Kostelce nad Černými lesy (Černokostecko; stanice jsou označovány jmény Truba, Habr a Louňovice; MATĚJKA 2021b). Jedná se o stanice firmy Libor Daneš (viz <http://www.libordanes.cz/>). Použity byly denní průměry globální radiace pro jednotlivé dny. U těchto stanic je potřeba vzít v úvahu, že jsou částečně zastíněny. Podíl difusního záření z teoretického záření je zde 80 až 93 % podle vyhodnocených hemisférických fotografií. K nim je možno užít stanici ČHMÚ Mrzky (indikativ P2MRZK01), případně Ondřejov (P3ONDR01) se známými denními úhrny slunečního svitu.

Metodika

Přehled meteorologických stanic, jejichž měření jsou k dispozici pro zpracování, je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1. Použité meteorologické stanice. Uvedeny jsou zeměpisné souřadnice WGS 84 (φ , λ) a S-JTSK. U stanic s měřením globální radiace je uvedena vzdálenost (D) k srovnávané stanici ČHMÚ s měřením doby slunečního svitu.

Indikativ	Jméno	φ (°)	λ (°)	Nadmořská výška (m)	JTSK X (m)	JTSK Y (m)	D (km)
	Truba	50.0064	14.8373	366	1055928	714484	4.74
	Habr	49.9540	14.7595	491	1060973	720781	10.63
	Louňovice	49.9816	14.7716	422	1058044	719516	7.44
P2MRZK01	Mrzky	50.0444	14.8075	260	1051458	716047	
P3ONDR01	Ondřejov	49.9072	14.7847	485	1066371	719673	
	Rudolfov	48.9906	14.5344	451	1164993	751232	6.40
C2CBUD01	České Budějovice	48.9519	14.4697	395	1168606	756509	

Vztah mezi teoretickým zářením na horní hranici atmosféry (e_T [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$]), dobou slunečního svitu (s [$\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$], stanice České Budějovice) a globální radiací (E [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$], stanice Rudolfov) byl hledán ve formě

$$E = \alpha e_T^\varepsilon (s_0 + s^\sigma) \quad (1)$$

Regrese byla provedena v programu Statistica, ver. 8 (StatSoft Inc.) jako nelineární odhad (metoda Levenberg-Marquardt, suma čtverců byla použita pro optimalizaci jako ztrátová funkce).

Teoretické záření na horní hranici atmosféry bylo počítáno na základě solární konstanty $SC = 1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ jako funkce data (d) a času (t)

$$e(d,t) = e_0 SC \sin(AG(d,t)) \quad (2)$$

přičemž AG je úhel udávající polohu slunce na obloze (solar elevation corrected for atm refraction, algoritmus podle NOAA 2013) a $e_0(d,t)$ je korekce podle SCHLEPPI ET PAQUETTE (2017). Hodnota e_T pro konkrétní den je počítána na základě numerické integrace $e(d,t)$ pro den d .

Vztah (1) byl použit pro výpočet sumy globální radiace pro stanici Ondřejov za využití parametrů odvozených pro stanice Mrzky – Kostecko a to v rámci výpočtu modelu PHENIPS pro modelování vývoje lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) (MATĚJKA 2021a), jehož jedním ze základních vstupních dat je denní úhrn globální sluneční radiace (BAIER, PENNERSTORFER, SCHOPF 2007). Cílem bylo ilustrovat možnost použití odvozeného vztahu.

Výpočty byly prováděny pomocí vlastních knihoven, které byly naprogramovány na pracovišti IDS. Tyto knihovny jsou k dispozici na vyžádání.

Výsledky

Stanice České Budějovice - Rudolfov: Celkem byla použita data z 2192 dnů v letech 2015 až 2020. Výsledné regresní koeficienty jsou uvedeny v tabulce 2. Index determinace $r^2 = 0,9623$. Celkově činí podíl globálního záření 44 % teoretického záření na horní hranici atmosféry pro období květen až září.

Stanice Mrzky - Černokostecko: Použita byla data 512 dnů od 8.8.2019 do konce roku 2020. Index determinace $r^2 = 0,9686$ je v obdobné výši, jako v předchozím případě. Vypočtené koeficienty (tabulka 1) ukazují na podobný vliv délky slunečního svitu, teoretické záření má na výši globální radiace výraznější vliv.

Stejná data globálního záření byla srovnávána také s dobou slunečního svitu na stanici Ondřejov, výsledek však nebyl signifikantní, přestože vzdálenost stanice Ondřejov je srovnatelná se stanicí Mrzky, ale nachází se v odlišných krajinných poměrech (silně kopcovitý terén, vyšší nadmořská výška). Lze například předpokládat, že stanice leží nad úrovní případné inverzní oblačnosti.

Podle stanic Mrzky i Ondřejov je podíl globálního záření 35 % teoretického záření na horní hranici atmosféry pro období květen až září, tedy méně než v předchozím případě. Je to dáno jednoznačně tím, že tyto stanice nejsou plně osluněny. Pokles podílu globálního záření oproti stanici Rudolfov (rozdíl 9 %) odpovídá míře zastínění podle vyhodnocení hemisférických snímků (průměrně 15%; MATĚJKA 2021b).

Tabulka 2. Regresní koeficienty rovnice (2) a příslušný korelační koeficient (r).

Koeficient	České Budějovice - Rudolfov	Mrzky - Černokostecko	Ondřejov - Černokostecko
α	0,134862	0,070161	0,058566
ε	0,899443	1,006048	1,233790
s_0	1,464277	1,599480	0,891490
σ	0,628226	0,636666	0,139596
r	0,9623	0,9686	0,8540

Diskuse

Rozdíly v regresi pro oba regiony může spočívat v několika faktech

- Globální radiace byla měřena různými přístroji.
- Jedná se o regiony s různým výskytem oblačnosti a s různou vlhkostí vzduchu (ta souvisí s výskytem přízemních mlh).
- V každém páru stanic (České Budějovice - Rudolfov; Mrzky - Černokostecko) existuje odchylka v běhu globální radiace a oblačnosti, která v každém páru může být jiná (a neznámá). Lze například očekávat, že odvozený vztah může být porušen v území České

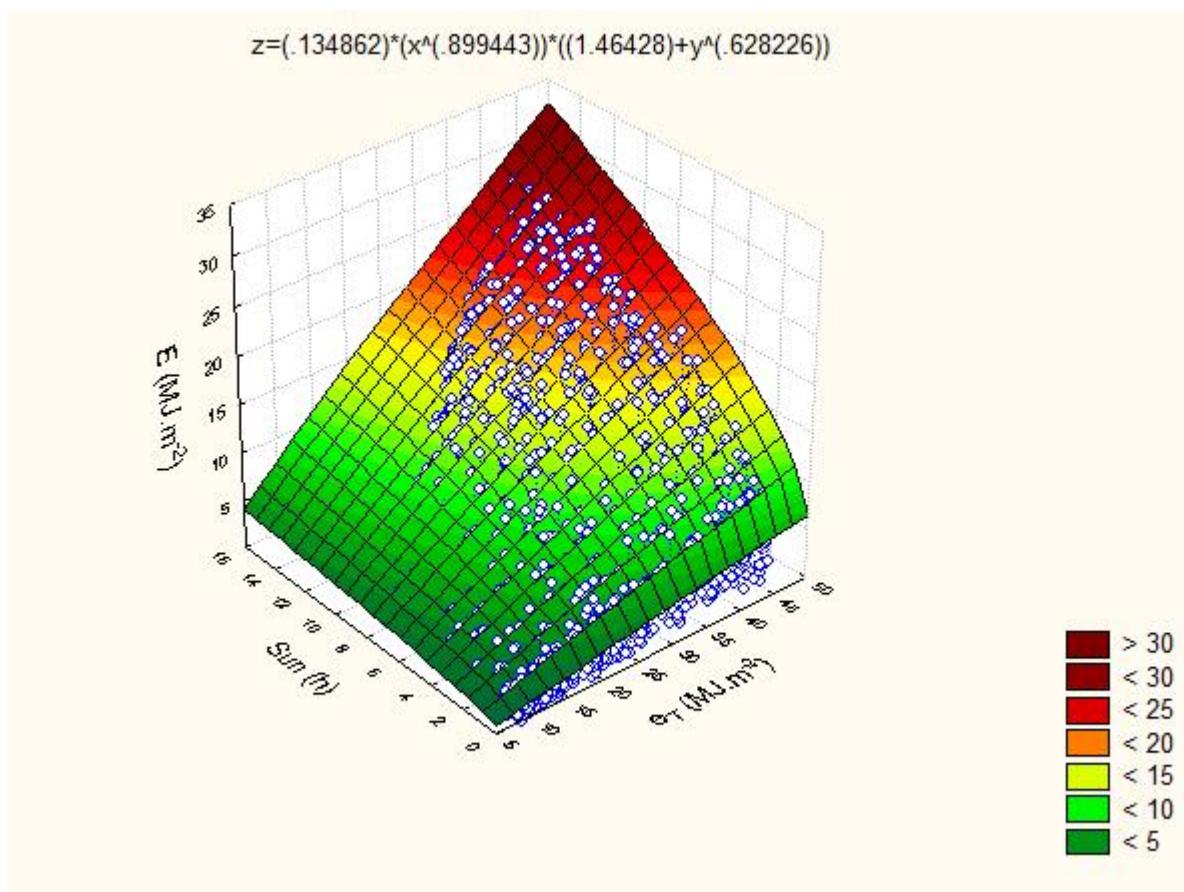
Budějovice - Rudolfov v době, kdy se na níže položené stanici České Budějovice vyskytuje přízemní inverzní oblačnost, tedy především mimo období vegetační sezóny. Odchylka měřených bodů od regresních ploch je malá (Obr. 1-2) a značí možnost použití výsledné rovnice pro odhad globální radiace z doby slunečního svitu. Lze však předpokládat, že vztah (1) lze použít pro různé stanice ČHMÚ na celém území ČR pro odhad globální radiace po celou dobu, kdy je na stanicích měřena doba slunečního svitu.

Protože se koeficient ε blíží hodnotě 1, je vztah (1) podobný v literatuře uváděným rovnicím ve formě (0), kde se však uvažuje poměr s/s_T . Proměnná s_T je však obsažena již v proměnné e_T , s níž souvisí i maximální (průměrná) výška slunce nad horizontem. Není tedy do vztahu potřebné dodávat ani další proměnné (například den v roce).

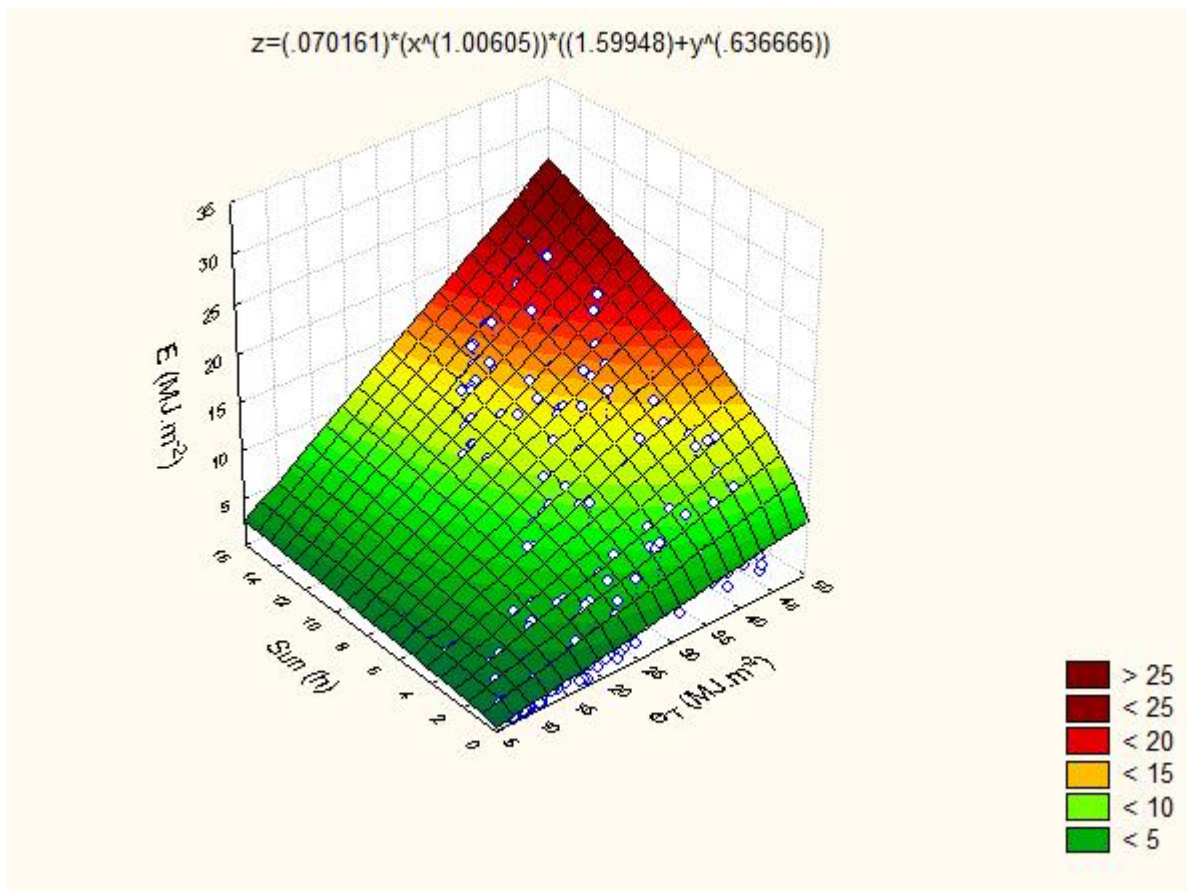
Model (1) byl aplikován v aplikaci pro výpočet fenologického modelu lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) - PHENIPS. Pro stanici Ondřejov byl model PHENIPS vypočten pro všechny roky od 1961. Z výsledků byly pro srovnání vybrány roky s nejpomalejším (nejnižší hodnota modelovaného G) a nejrychlejším (nejvyšší hodnoty G) vývojem lýkožrouta (tabulka 3). Nejpomalejší vývoj byl zaznamenán v letech do roku 1984 (průměr pěti nejnižších hodnot G byl 1,51). Naopak nejrychlejší vývoj lýkožrouta proběhl v letech 2015 až 2019 (průměr G 2,16). Znamená to tedy zrychlení vývoje o půl generace, dochází tedy pravidelně k ukončení vývoje druhé generace lýkožrouta.

Tabulka 3. Model PHENIPS v pěti nejchladnějších a nejteplejších letech podle stanice Ondřejov. T_{5-9} - průměrná teplota v květnu až září (°C), I - date of infestation, G_{max} - maximální hodnota modelovaného parametru G, G_1 - datum ukončení vývoje 1. generace, G_2 - datum ukončení vývoje 2. generace

Rok	T_{5-9}	I	G_{max}	G_1	G_2
1980	13,4	11.5.	1,47	22.7.	
1978	13,5	29.4.	1,59	13.7.	
1984	13,5	2.5.	1,52	15.7.	
1962	13,6	24.4.	1,54	21.7	
1965	13,7	14.5	1,42	21.7.	
2017	16,4	25.4.	2,06	26.6.	11.8.
2019	16,6	18.8.	2,12	24.6.	8.8.
2016	16,9	21.4.	2,02	26.6.	14.8.
2015	17,2	23.4.	2,08	29.6.	11.8.
2018	18,4	15.4.	2,52	6.6.	25.7.



Obr. 1. Vztah mezi teoretickým zářením na horní hranici atmosféry ($x = e_r$), délkou slunečního svitu (stanice České Budějovice; $y = \text{Sun}$) a globální radiací (stanice Rudolfov; $z = E$)



Obr. 2. Vztah mezi teoretickým zářením na horní hranici atmosféry ($x = e_r$), délkou slunečního svitu (stanice Mrzky; $y = \text{Sun}$) a globální radiací (průměr z tří stanic na území Černokostelecka; $z = E$)

Literatura

- ANGSTRÖM A. (1924): Solar and terrestrial radiation. - Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 50: 121-125.
- BAIER P., PENNERSTORFER J., SCHOPF A. (2007): PHENIPS - A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. - Forest Ecology and Management, 249: 171-186. DOI: [10.1016/j.foreco.2007.05.020](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.020)
- ČHMÚ (2021): Denní data dle zákona 123/1998 Sb. - URL: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/open_data/RDATA/denni_data_cs.html
- ERTEKIN C., YALDIZ O. (2000): Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey). - Energy Conversion and Management 41: 311-330.
- FOURNIER R.A., HALL R.J. [Ed.] (2017): Hemispherical Photography in Forest Science: Theory, Methods, Applications. In: Managing Forest Ecosystems, Vol. 28. - Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht, 306p.
- GLOVER J., MCCULLOCH J.S.G. (1958): The empirical relation between solar radiation and hours of bright sunshine in the high-altitude 738 tropics. - Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 84: 56-60. DOI: [10.1002/qj.49708435907](https://doi.org/10.1002/qj.49708435907)

- JONCKHEERE I.G.C., MACFARLANE C., WALTER J.-M.N. (2017): Image Analysis of Hemispherical Photographs, Algorithms and Calculations. In: R.A. Fournier R.A., Hall R.J. (eds.), Hemispherical Photography in Forest Science: Theory, Methods, Applications, Managing Forest Ecosystems, Vol. 28. - Springer Science+Business Media B.V., p. 115-151. DOI: [10.1007/978-94-024-1098-3_5](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1098-3_5)
- MATĚJKA K. (2014): Meteorologická stanice Rudolfov. - URL: <https://www.infodatasys.cz/climate/rudolfov/stanice.htm>
- MATĚJKA K. (2021a): Návod k programu PHENIPS. - URL: https://www.infodatasys.cz/software/hlp_PHENIPS/index.htm
- MATĚJKA K. (2021b): Vliv okolí meteorologické stanice na měřené hodnoty globální radiace sledovaný pomocí hemisférických fotografií. - URL: https://www.infodatasys.cz/proj008/GlobalniRadiace_Kostelec.pdf
- NOAA (2013): Solar Calculation Details. - URL: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/calcdetails.html>
- PRESCOTT J. (1940): Evaporation from water surface in relation to solar radiation. - Transactions of the Royal Society of Science of Australia, 64: 114-118.
- REDA I., ANDREAS A. (2004): Solar position algorithm for solar radiation applications. - Solar Energy, 76: 577-589.
- REDA I., ANDREAS A. (2008): Solar position algorithm for solar radiation applications. – NREL. URL: <http://www.osti.gov/bridge>.
- SCHLEPPI P., PAQUETTE A. (2017): Solar Radiation in Forests: Theory for Hemispherical Photography. In: R.A. Fournier R.A., Hall R.J. (eds.), Hemispherical Photography in Forest Science: Theory, Methods, Applications, Managing Forest Ecosystems, Vol. 28. - Springer Science+Business Media B.V., p. 15-52. DOI: [10.1007/978-94-024-1098-3_2](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1098-3_2)
- SCHOVÁNKOVÁ J. (2010): Vztahy mezi slunečním svitem, globálním zářením, oblačností a délkou dne, hlavně v Hradci Králové [Relations among sunshine, global radiation, cloudiness and day longitude at Hradec Králové] (diplomová práce). - Ms. [Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká Fakulta, Katedra Fyzické Geografie a Geoekologie], 89pp.
- WILSON J.P., GALLANT J.C. (2000): Terrain analysis. Principles and applications. - John Wiley & Sons, Inc., New York etc., 479p.