

NOVÁ SOLÁRNÍ DATA V KLIMATICKÉ DATABÁZI TRY PRAHA

Ing. Martin Barták¹, Doc. Dr. Ir. Jan L. M. Hensen²,

Ing. Miloš Lain¹, Mc. Leoš Paulovič¹

¹České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

²Eindhoven University of Technology, Center for Building Systems TNO-TUE

1. Úvod

Podrobná klimatická data patří k základním vstupním parametrům softwarových nástrojů pro analýzu energetických a hmotnostních toků v budovách a systémech vytápění, větrání a klimatizace. Software ESP-r, který simuluje dynamické chování budov při jejich interakci s venkovním prostředím, vyžaduje hodinové hodnoty šesti klimatických parametrů, mimo jiné také údaje o sluneční radiaci. Na Ústavu techniky prostředí Fakulty strojní ČVUT v Praze byla v minulosti zpracována celoroční klimatická databáze pro Prahu metodikou Test Reference Year (TRY Praha). Hodnoty intenzity přímé normálové sluneční radiace v této databázi však vykazují neočekávaný denní průběh s nezvykle časnou kulminací v dopoledních hodinách.

Tento příspěvek je zaměřen na rozbor údajů o sluneční radiaci, resp. na časový průběh intenzity sluneční radiace v databázi TRY Praha. Z hodinových sum energie celkové sluneční radiace dopadající na horizontální rovinu, naměřených Českým hydrometeorologickým ústavem, byla nově vypočtena celková a difúzní intenzita sluneční radiace na horizontální rovinu s uvažováním potřebných korekcí. Při výpočtu difúzní složky slunečního záření byl použit Erbsův model.

2. Denní průběh intenzity solární radiace ve stávající databázi TRY Praha

Databáze TRY Praha obsahuje údaje o teplotě vzduchu, sluneční radiaci, směru větru, rychlosti větru a vlhkosti vzduchu v hodinových intervalech pro 365 dní v roce. Databáze reprezentuje klimatické podmínky v oblasti Prahy prostřednictvím typických měsíců, vybraných metodikou Test Reference Year z dlouhodobého období 1984 – 1997, pro které byly k dispozici údaje naměřené Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ).

Software ESP-r, pro který byla databáze TRY Praha zpracována, vyžaduje pro každou hodinu dva údaje o solární radiaci – jedním je intenzita difúzního slunečního záření dopadajícího na horizontální rovinu I_{Dh} [W/m^2], druhým může být intenzita přímého záření na rovinu kolmou ke směru paprsků I_{Pn} [W/m^2] nebo intenzita celkového slunečního záření dopadajícího na horizontální rovinu I_{Ch} [W/m^2]. Pro databázi TRY Praha byla zvolena kombinace I_{Dh} a I_{Pn} , přičemž ČHMÚ poskytl údaje o celkové sluneční radiaci. K rozdělení celkového slunečního záření na přímou normálovou a difúzní složku byl použit Perezův model. Metoda TRY a postup sestavení referenčního klimatického roku jsou vysvětleny v [1], ovšem podrobnějšího popisu výpočtu složek sluneční radiace v této práci uveden není.

Denní průběhy intenzity přímého záření I_{Pn} v databázi TRY Praha vykazují neobvykle časnou kulminaci. Pro znázornění časového průběhu libovolné složky intenzity sluneční radiace použijeme průměrné denní průběhy intenzity slunečního záření zpracované pro

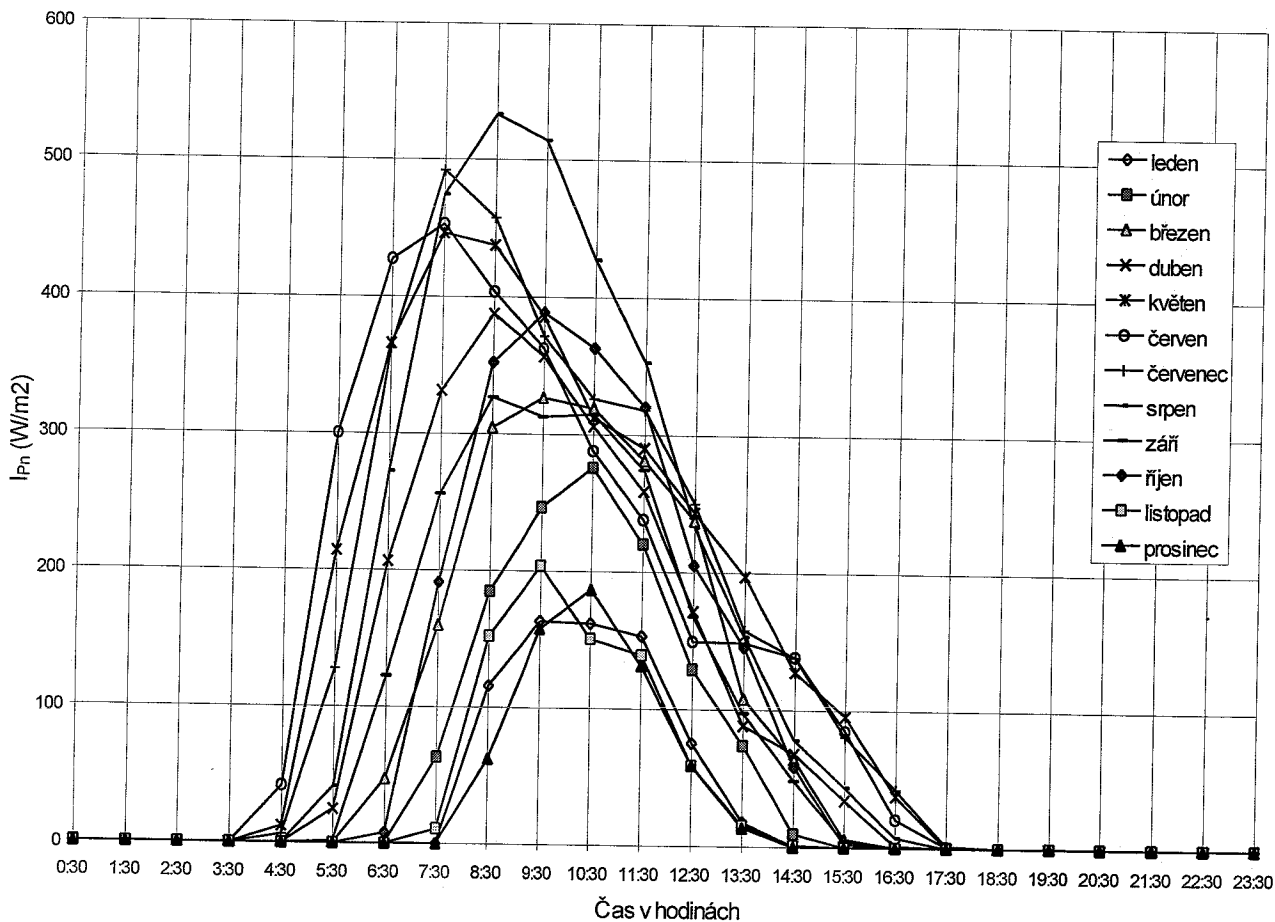
jednotlivé měsíce referenčního roku. V daném měsíci i je pro každou hodinu k vypočtena střední hodnota za všechny dny v měsíci podle vztahu

$$\bar{I}_{ik} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I_{ijk} \quad [\text{W/m}^2] \quad (1)$$

kde N je počet dnů v měsíci (= 28, 30 nebo 31),
 I_{ijk} intenzita sluneční radiace [W/m^2] v hodině k , dne j , měsíce i .

Hodnoty klimatických parametrů v TRY Praha se mění po hodině, během dané hodiny jsou považovány za konstantní a v grafech jsou uváděny vždy v polovině tohoto časového intervalu (00:30 pro 1. hodinu dne, 01:30 pro 2. hodinu dne atd.).

Na obr. 1 je graf průměrných denních průběhů \bar{I}_{pn} ve standardním čase. Je zřejmé, že maxima těchto průběhů jsou pro všechny měsíce roku posunuta do dopoledních hodin, většinou dokonce před desátou hodinu. Intenzita slunečního záření by však měla kulminovat kolem poledne standardního času a zjištěný průběh je třeba považovat za chybný.



Obr. 1 – Graf průměrných denních průběhů intenzity přímého záření na rovinu kolmou ke směru paprsků podle dosavadní databáze TRY Praha

Solární data poskytnutá ČHMÚ jsou v podobě hodinových sum energie celkového slunečního záření dopadajícího na horizontální rovinu. Kritériem klasifikace měsíců podle statistického modelu jsou z hlediska sluneční radiace denní sumy energie celkového slunečního záření na horizontální rovinu, tj. prosté součty naměřených hodnot za dobu slunečního svitu. Proto vypočítaný denní průběh intenzity sluneční radiace nemůže výběr typických měsíců ovlivnit.

Považujeme-li statistický výběr měsíců do referenčního roku za správný, můžeme pouze pro již vybrané měsíce nově zpracovat solární data do podoby, kterou vyžaduje klimatická databáze simulačního softwaru ESP-r. Přitom je třeba věnovat pozornost správné interpretaci času a provést potřebné korekce.

3. Časový průběh intenzity celkového záření na horizontální rovinu

Hodnoty hodinových sum energie celkového záření na horizontální rovinu E_{Ch} , které poskytl ČHMÚ, jsou naměřeny v solárním čase. Proto je nejdříve nutné přepočítat tyto údaje do standardního času, se kterým pracuje referenční klimatická databáze. Odchylka solárního τ_S a standardního času τ_{STD} je dána vztahem

$$\tau_S - \tau_{STD} = \Delta\tau_E - \Delta\tau_{RM} \quad [s] \quad (2)$$

kde $\Delta\tau_E$ je funkce kolísání solárního času,
 $\Delta\tau_{RM}$ korekce na polohu pozorovatelny vůči referenčnímu poledníku.

Funkce kolísání solárního času, používaná ČHMÚ, je ve tvaru

$$\begin{aligned} \Delta\tau_E = & 0,0072 \cdot \cos t - 0,0528 \cdot \cos(2t) - 0,0012 \cdot \cos(3t) \\ & - 0,1229 \cdot \sin t - 0,1565 \cdot \sin(2t) - 0,0041 \cdot \sin(3t) \quad [s] \end{aligned} \quad (3)$$

kde $t = 2 \cdot \pi \cdot d / 365$ pro den d v roce

Korekce na polohu pozorovatelny (meteorologické stanice) je

$$\Delta\tau_{RM} = (\psi_{RM} - \psi) / 15 \quad [s] \quad (4)$$

kde ψ_{RM} je zeměpisná délka referenčního poledníku (v našem případě $\psi_{RM} = 15^\circ$),
 ψ zeměpisná délka pozorovatelny (stanice Praha-Karlov má $\psi = 14,41861^\circ$).

V průběhu roku kolísá takto stanovená odchylka solárního času od standardního v rozmezí cca $-16,5$ min až $+14$ min.

Při známém posunutí τ_S vůči τ_{STD} byly naměřené hodnoty hodinových sum sluneční energie E_{Ch} [J/m^2] přerозděleny do intervalů odpovídajících standardnímu času. Dále byla stanovena pro každou hodinu intenzita celkového slunečního záření na horizontální rovinu I_{Ch} podle vztahu

$$I_{Ch} = E_{Ch} / 3600 \quad [W/m^2] \quad (5)$$

Hodnota I_{Ch} je tedy střední hodnota intenzity slunečního záření, která v referenční klimatické databázi nahrazuje skutečný průběh této veličiny během dané hodiny.

4. Výpočet difúzní složky slunečního záření

Pro popis slunečního záření v upravené databázi TRY Praha byla zvolena kombinace intenzity celkového záření I_{Ch} a intenzity difúzního záření I_{Dh} (obě na horizontální rovinu). Pro výpočet difúzní složky byl použit *Erbsův model*, který popisuje [2]. Erbsův model používá k výpočtu difúzní složky záření tzv. hodinový součinitel oblačnosti oblohy

$$k = \frac{E_{Cm}}{E_{Ct}} \quad [-] \quad (6)$$

kde E_{Cm} je naměřená hodinová suma energie dopadajícího slunečního záření [J/m^2],
 E_{Ct} teoretická hodinová suma energie dopadajícího slunečního záření [J/m^2].

Veličina E_{Ct} představuje teoreticky možnou hodnotu energie sluneční radiace, která by za hodinu dopadla na zvolený povrch, aniž by se projevil vliv zemské atmosféry. Energie slunečního záření na hranici zemské atmosféry je dána solární konstantou I_0 [W/m^2]. K dispozici jsou naměřené hodnoty E_{Chm} slunečního záření dopadajícího na horizontální rovinu a součinitel k můžeme určit, známe-li E_{Chm} pro případ horizontální roviny. Podle [2] lze pro každou hodinu určit E_{Chm} podle vztahu, který zahrnuje vliv kolísání solární konstanty a přepočtení dopadající energie na horizontální rovinu

$$E_{Chm} = \frac{43200 \cdot I_0}{\pi} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot d}{365}\right) \right] \cdot \left[\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \tau_2 - \sin \tau_1) + \frac{\pi \cdot (\tau_2 - \tau_1)}{180} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta \right] \quad [\text{J/m}^2] \quad (7)$$

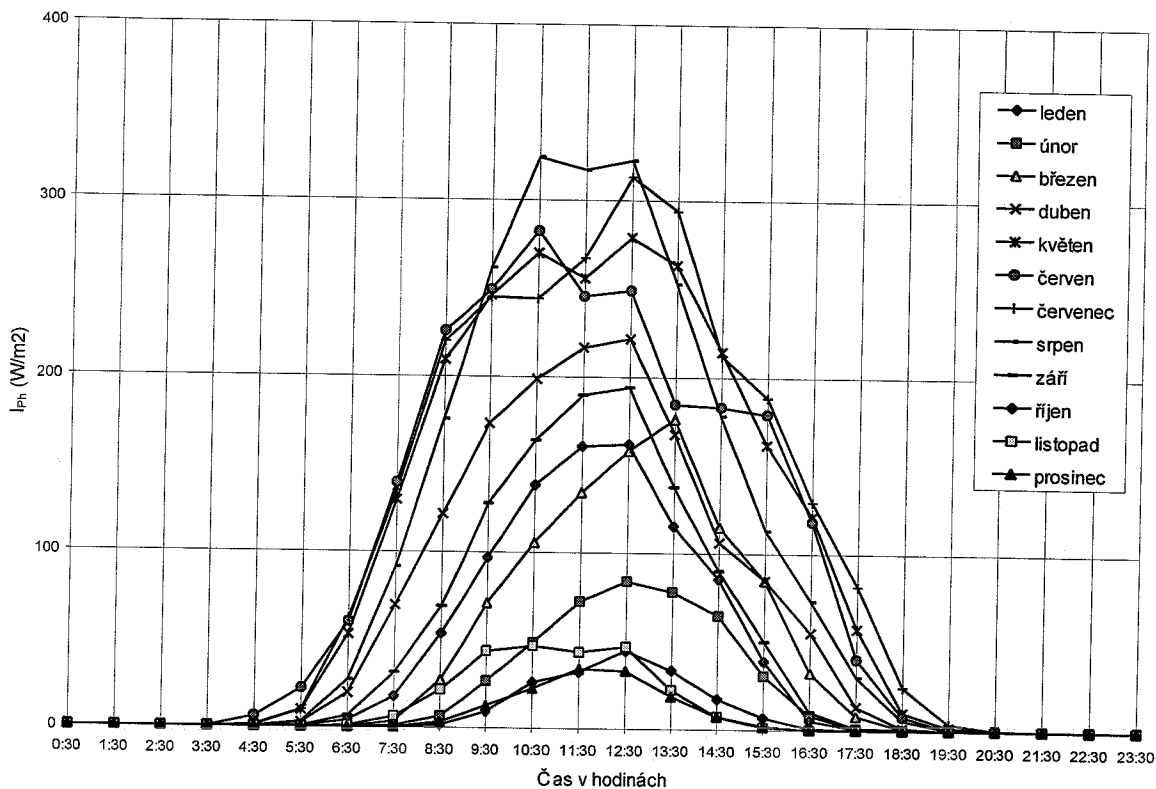
kde I_0 je solární konstanta $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$,
 d den v roce
 φ zeměpisná šířka [$^\circ$] (stanice Praha-Karlov má $\varphi = 50^\circ 04' 03''$),
 δ sluneční deklinace [$^\circ$]
 τ časový úhel [$^\circ$] měřený od 12 hod. v poledne (1 hodině odpovídá 15°)

Známe-li pro každou hodinu hodnotu součinitele k , je podle Erbsova modelu poměr difúzní složky k energii celkového záření (naměřené ČHMÚ) dán následující tabulkou.

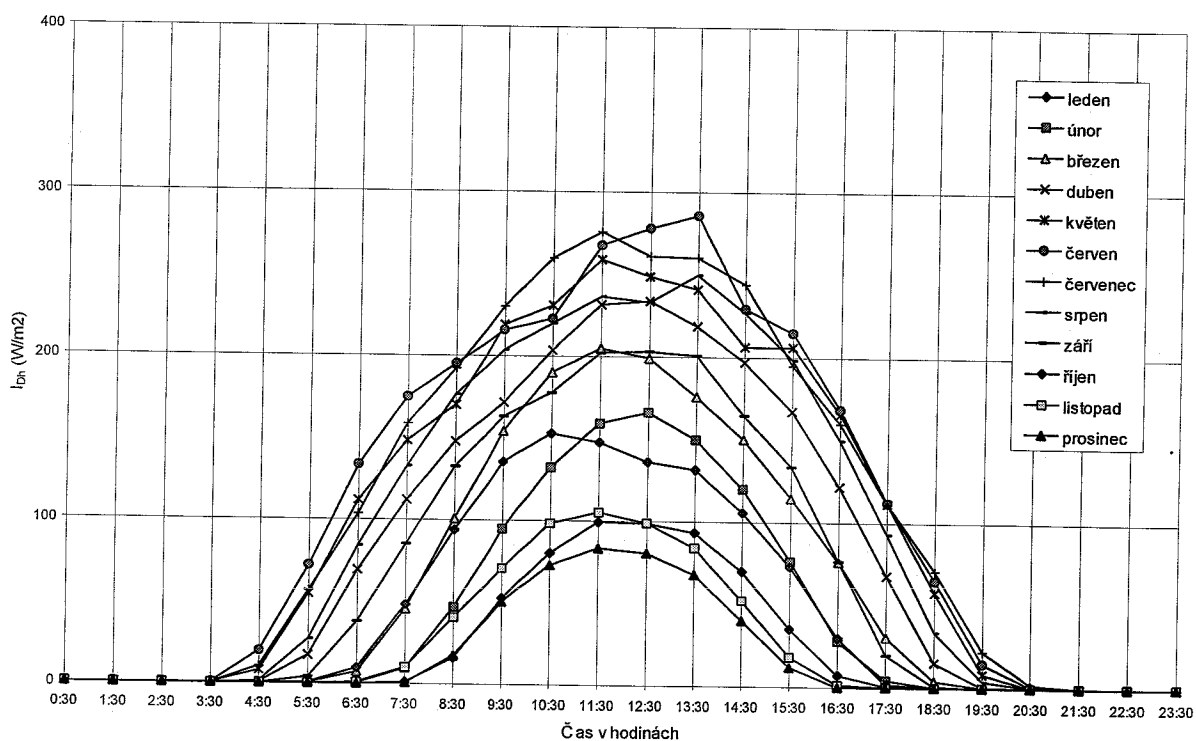
Tab. 1 – Výpočtové vztahy podle Erbsova modelu [2]

Součinitel k [-]	Poměr E_{Dh}/E_{Chm} [-]
$k \leq 0,22$	$1,0 - 0,09 \cdot k$
$0,22 < k \leq 0,8$	$0,9511 - 0,1604 \cdot k + 4,388 \cdot k^2 - 16,638 \cdot k^3 + 12,336 \cdot k^4$
$k > 0,8$	0,165

Hodnoty E_{Dh} stanovené podle tab. 1 byly následně přepočítány na intenzity difúzního záření dopadajícího na horizontální rovinu, podobně jako pro celkové záření - viz vztah (5). Výsledná solární data jsou graficky znázorněna na obr. 2 a 3, kde jsou průměrné denní průběhy I_{Dh} a I_{Ph} v jednotlivých měsících (I_{Ph} je dána rozdílem $I_{Ch} - I_{Dh}$).



Obr. 2 – Průměrné denní průběhy intenzity přímého záření na horizontální rovinu



(nově zpracovaná data)

Obr. 3 – Průměrné denní průběhy intenzity difúzního záření na horizontální rovinu
(nově zpracovaná data)

5. Závěr

Nově zpracovaná solární data vykazují oproti původnímu souboru pravděpodobněji časový průběh s kulminací kolem poledne standardního času. Posun u dříve zpracovaných dat byl patrně způsoben pouze chybou v interpretaci časové osy. Výsledky Perezova a Erbsova modelu však vykazují také rozdíly v hodnotách intenzity přímé sluneční radiace na horizontální plochu (obr. 1 a 2 nelze porovnávat!). I když jsou tyto rozdíly poměrně malé, je třeba solární data podrobit dalším testům a vyzkoušet další modely pro rozdělení celkové sluneční radiace na jednotlivé složky.

Literatura

1. DUNOVSKÁ T.: Matematické modelování a počítačová simulace tepelné bilance v technice prostředí. [Doktorská disertace]. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Praha 1999.
2. DUFFIE A. J., BECKMAN A. W.: Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley. New York 1991.