

# Vliv různých způsobů stanovení denní průměrné teploty vzduchu na hodnotu teplotní sumy

Tomáš LITSCHMANN, soudní znalec v oboru meteorologie a klimatologie

Jan BROTON, MZLU Brno

## 1. Úvod

Teplotní sumy, ať již vypočítané z průměrných denních anebo hodinových teplot, jsou poměrně často používanou charakteristikou v nejrůznějších modelech, sloužících k simulaci vývoje hmyzích škůdců, vývoje rostlin, prognózy výnosů, aplikace pesticidů a růstových regulátorů apod. Vzhledem k tomu, že se některé z těchto modelů začínají uplatňovat i v naší zemědělské praxi (zejména je mezi špičkovými sadaři rozšířen program SUMÁTOR, vyvinutý ÚKZÚZem v Brně), je nutno se zabývat i vlivem různých metod výpočtu průměrných teplot na výslednou hodnotu příslušné teplotní sumy. Jak je všeobecně známo, průměrnou denní teplotu vzduchu je možno vypočítat několika způsoby, (tak jak budou uvedeny v části „Metodika“), přičemž je nutno posoudit jejich vzájemné odchylky. Systematický posun může způsobit provedení zásahu v nesprávný okamžik, což může mít za následek zmaření vynaložených nákladů, popřípadě škody na plodině.

Další faktor, který v současné době může mít vliv na hodnotu průměrné denní anebo hodinové teploty, je rozvoj automatických meteorologických stanic, které zejména v zemědělské praxi nahrazují klasická měření v meteorologické budce. Tyto stanice mají oproti „klasickým“ způsobům měření některé přednosti, mezi něž beze sporu patří bezobslužný provoz, vyloučení subjektivních chyb pozorovatele, přímé napojení na počítač, čtenější, libovolně nastavitelný interval měření apod.

V předložené studii jsme se pokusili posoudit vliv zejména:

- četnosti měření na přesnost výpočtu průměrné denní teploty vzduchu
- způsobu výpočtu průměrné denní teploty na její velikost
- způsobu výpočtu průměrné denní teploty na velikost teplotní sumy
- způsobu měření teploty („klasické“ ruční oproti automatickému měření)

## 2. Data

Jako vstupních dat jsme použili:

- čtvrt hodinové hodnoty teploty zprůměrované z vteřinových měření ze stanice Campbell umístěné na pozemku MZLU v Žabčicích, okres Brno-venkov, nadmořská výška 179 m, snímač umístěn v žaluziové budce, za období květen - červenec 1996

- termínová měření ze standardní meteorologické stanice MZLU v Žabčicích za stejné období jako předchozí

- dvouminutové a čtvrt hodinové hodnoty teploty vzduchu získané pomocí automatické meteorologické stanice AMET patřící společnosti AGROSAD s.r.o., umístěné ve Velkých Bílovicích, okr. Břeclav, nadm. výška 205 m n.m., snímač Pt 100 umístěn v stínítku na stojanu stanice, za vybrané dny období 1994 - 1996.

### 3. Metodika

Na celém světě se používá několik způsobů výpočtu průměrné denní teploty vzduchu, přičemž pravděpodobně nejrozšířenější je způsob založený na zprůměrování maximální a minimální teploty vzduchu za příslušný den z jednoho, popř. ze dvou pozorovacích termínů. Tento způsob je rozšířen zejména na americkém kontinentě, přičemž v U.S.A. jsou pozorovací termíny stanoveny poměrně benevolentně (u dobrovolných pozorovatelů), takže pozorovatel může měřit buď v době od 6 do 9 hodin ráno místního času, anebo odpoledne v době od 16 do 19 hodin. Kanadský pozorovatel naproti tomu odečítá extrémní teploměry 2x denně, a to jednou ráno a podruhé v pozdním odpoledni anebo časném večeru (bez přesnější časové specifikace), přičemž po každém odečtu znovu nastavuje teploměry. Je proto zřejmé, a potvrzují to ve své práci i DeGaetano a Knapp (1993), že průměrné denní teploty vypočítané z takto naměřených hodnot mohou být značně různorodé, což se odráží i ve výsledné hodnotě teplotní sumy za delší období, kde se systematické vlivy kumulují.

V našich krajinách je již delší dobu teplota vzduchu měřena v tzv. „Mannheimských hodinách“, čímž se rozumí pozorovací termíny 7, 14, a 21 hodin středního místního času. Průměrná denní teplota vzduchu se potom vypočítá pomocí známého vzorce

$$T_d = (T_7 + T_{14} + 2T_{21})/4 \quad (T_{\text{stand}})$$

Tento výpočet je u nás nejpoužívanější a s jeho pomocí vypočítaných průměrných denních teplot bylo použito k odvození závislostí mezi teplotními sumami a nejrůznějšími projevy živých organismů.

Pravá průměrná denní teplota se stanoví podle Met. slovníku (1993) integrací plynule registrovaných hodnot teploty za 24 hodin ( $T_{96}$ ).

Průměrnou denní teplotu lze rovněž vypočítat jako aritmetický průměr teplot naměřených v hlavních synoptických termínech, tedy v 00, 06, 12 a 18 hod. UTC ( $T_{\text{synop}}$ ).

Nejdříve jsme se snažili postihnout vliv různé vzorkovací periody na přesnost stanovení průměrné hodinové teploty. Automatické meteorologické stanice dovolují většinou měřit v libovolně reálně krátkých časových intervalech, přičemž zde vzniká otázka, jak velký časový interval je ještě únosný na spolehlivé stanovení průměrné hodinové teploty vzduchu. Příliš časté měření v některých případech poměrně rychle zaplňuje kapacitu paměti použitého data loggeru, popřípadě klade značné nároky na napájení stanice, což je důležité zejména v případech, kdy je stanice odkázána na bateriový provoz, popř. je vybavena ventilovaným psychrometrem. Provedli jsme proto několikátýdenní měření stanicí AMET ve Velkých Bílovicích v dvouminutových intervalech, a takto vzniklý naměřený základní soubor dat jsme rozdělili na sedm dalších souborů tak, aby v nich byla obsažena měření v intervalu 4, 6, 10, 12, 20, 30 a 60 min. Odchytky průměrných hodinových teplot vypočítaných z různě dlouhých časových intervalů od hodinových teplot vypočítaných ze „základního“ souboru jsme následovně zpracovali pomocí obvyklých statistických metod.

Pro porovnání vlivu různé metody výpočtu jak na hodnotu průměrné denní teploty vzduchu, tak z ní vypočítané teplotní sumy, jsme jako základ zvolili pravou průměrnou denní teplotu vzduchu, vypočítanou u stanice Campbell v Žabčicích prakticky z vteřinových měření, u stanice AMET ve V. Bílovicích z patnáctiminutových měření. Ze stejných souborů jsme následovně vybrali potřebné termínové hodnoty (7, 14, 21 hod. , popř. 01, 07, 13, 19 hod.) pro výpočet denních průměrů ostatními metodami. Rovněž i v tomto případě jsme odchytky průměrných denních teplot, vypočítané výše uvedenými metodami, od pravé průměrné denní teploty, zpracovali obvyklými statistickými metodami.

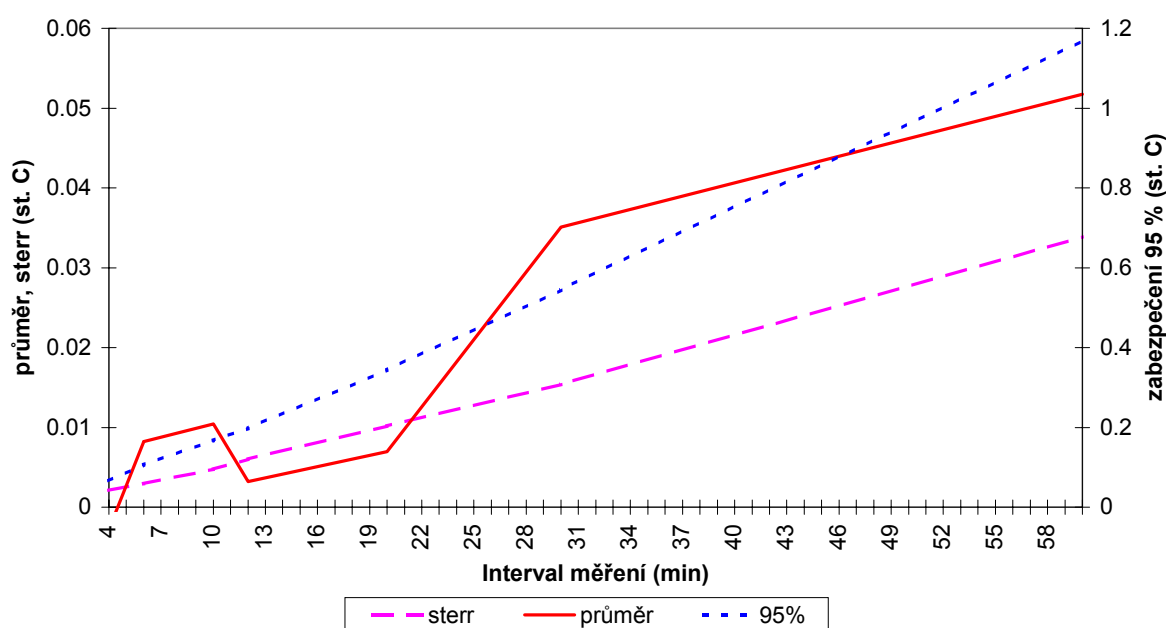
#### 4. Výsledky a diskuse

Tabulka 1 přináší údaje o základních statistických charakteristikách odchylek průměrných hodinových teplot vypočítaných z různě dlouhé vzorkovací periody od hodnot stanovených z dvouminutových měření. Rozsah souboru byl 402 hodinových teplot. Na obr. 1 lze pozorovat některé z těchto charakteristik pro větší názornost v grafické formě.

Tab. 1. Základní statistické charakteristiky odchylek průměrných hodinových teplot

Charakteristika	d4	d6	d10	d12	d20	d30	d60
průměr (°C)	-0,003	0,008	0,010	0,003	0,007	0,035	0,052
standardní chyba (°C)	0,0021	0,0030	0,0047	0,0059	0,0102	0,015	0,033
minimum (°C)	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,9	-1,0	-2,5
maximum (°C)	0,1	0,3	0,5	0,5	1,1	1,5	3,8
hladina významnosti	0,9999	0,9999	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9939
zabezpečení 95 % (°C)	0,066	0,106	0,167	0,197	0,344	0,544	1,169

Průběh základních statistických charakteristik odchylek pro jednotlivé intervaly měření (hodinové průměry)



Obr. 1

Z těchto podkladů je zřejmé, že průměrná hodnota odchylek se pohybuje celkem v přijatelných mezích a dosahuje pro praxi zanedbatelných hodnot, což svědčí o tom, že hodnoty jednotlivých odchylek jsou přibližně symetricky rozloženy kolem této střední hodnoty. Potvrzují to i hodnoty hladiny významnosti, stanovené na základě testu Kolmogorova-Smirnova, které se pohybují blízko jedné a svědčí o tom, že neexistují

kteří se pohybují blízko jedné a svědčí o tom, že neexistují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými průměry. Hodnota zabezpečení 95 % nám ukazuje, do jakého intervalu teplot se vejde 95 % všech odchylek, zbývajících 5 % již tvoří velmi extrémní případy. Zde si povšimneme, že tato hodnota se přibližně lineárně zvyšuje s periodou vzorkování a při měření jednot za hodinu přesahuje jeden stupeň. Obdobně se zvyšují i extrémní hodnoty, takže u měření jednou za hodinu se pohybují kolem tří stupňů Celsia, přičemž téměř ve všech případech jsou kladné odchylky vyšší než záporné.

Z praktického hlediska lze proto pro výpočet průměrné hodinové teploty akceptovat všechny použité intervaly měření, z hlediska vyloučení náhodných vlivů, které mohou při měření jednou za hodinu, doporučujeme vzorkovat alespoň dvakrát. Nami běžně používaný interval vzorkování každých 15 min. je proto z praktického hlediska zcela vyhovující a nelze předpokládat, že by vnášel do výpočtu průměrných hodinových teplot systematické chyby. Pokud je jako snímač používán ventilovaný psychrometr, prodloužením intervalu měření se snižuje spotřeba energie na napájení ventilátoru a zároveň se zmenšuje výpar vody z punčochy vlhkého teploměru.

V tab. 2 jsou přehledně sestaveny základní statistické charakteristiky odchylek průměrných denních teplot vypočítaných různými výše uvedenými způsoby od hodnoty vypočítané z 96 měření po 15 minutách.

V porovnání s T96 se jeví jako nejpřesnější výpočet průměrné denní teploty pomocí teplot z hlavních synoptických termínů, na druhém místě je běžně používaný způsob v klimatologii ze tří termínů a jako nejhorší vychází výpočet průměrné denní teploty pouze pomocí extrémních teplot. Je to zcela logické a odpovídá to výše naznačené hypotéze, že čím více měření, tím přesnější hodnota.

Tab. 2 Základní statistické charakteristiky odchylek průměrných denních teplot vypočítaných různými metodami od T96

Charakteristika/metoda	Velké Bílovice			Žabčice			
	T <sub>stand</sub>	T <sub>extr</sub>	T <sub>synop</sub>	T <sub>stand</sub>	T <sub>extr</sub>	T <sub>synop</sub>	T <sub>budka</sub>
průměr (°C)	-0,1564	0,5897	-0,0223	-0,597	0,148	-0,163	-0,163
minimum (°C)	-2,3	-1,9	-1,6	-2,1	-3,4	-1,8	-2,1
maximum (°C)	1,9	3,1	2,0	2,0	3,6	1,4	2,3
hladina význ.	0,978	0,420	0,999	0,771	0,771	0,877	0,990
zajištění 95 % (°C)	1,10	1,98	0,95	1,21	1,79	0,74	1,23
střední chyba (°C)	0,036	0,040	0,028	0,081	0,104	0,058	0,088

Poměrně příznivé je zjištění, že neexistují statisticky významné rozdíly mezi průměrnými teplotami T96 naměřenými pomocí automatické meteorologické stanice v Žabčicích a průměrnými teplotami zjištěnými klasickým pozorováním v meteorologické budce tamtéž. Tyto výsledky naznačují, že je možno používat modely založené na sumaci teplot odvozené z klimatologických měření i ve spojení s automatickými stanicemi, které jsou pro běžnou zemědělskou praxi přijatelnější (a naopak).

Pro ověření kumulativního působení jednotlivých odchylek průměrných denních teplot vypočítaných danými metodami jsme zvolili počítačový model na simulaci vývoje obaleče mramorovaného ve vinicích (*Lobesia botrana*), jehož autorem je Dr. Bruno Gábel. Výsledky simulace pro líhnutí housenek I. a II. generace v roce 1996 ve Velkých Bílovicích jsou v tab. 3 a 4.

Tab. 3 Výsledky simulace líhnutí housenek obaleče mramorovaného I. generace

<b>datum</b>	<b>T<sub>96</sub></b>	<b>T<sub>extr</sub></b>	<b>T<sub>stand</sub></b>	<b>T<sub>synop</sub></b>
17.5.96				
18.5.96		***		
19.5.96	**	****	**	*
20.5.96	***		**	***
21.5.96	***		***	***
22.5.96	***		***	***
23.5.96	***		***	****
24.5.96	****		***	
25.5.96			****	

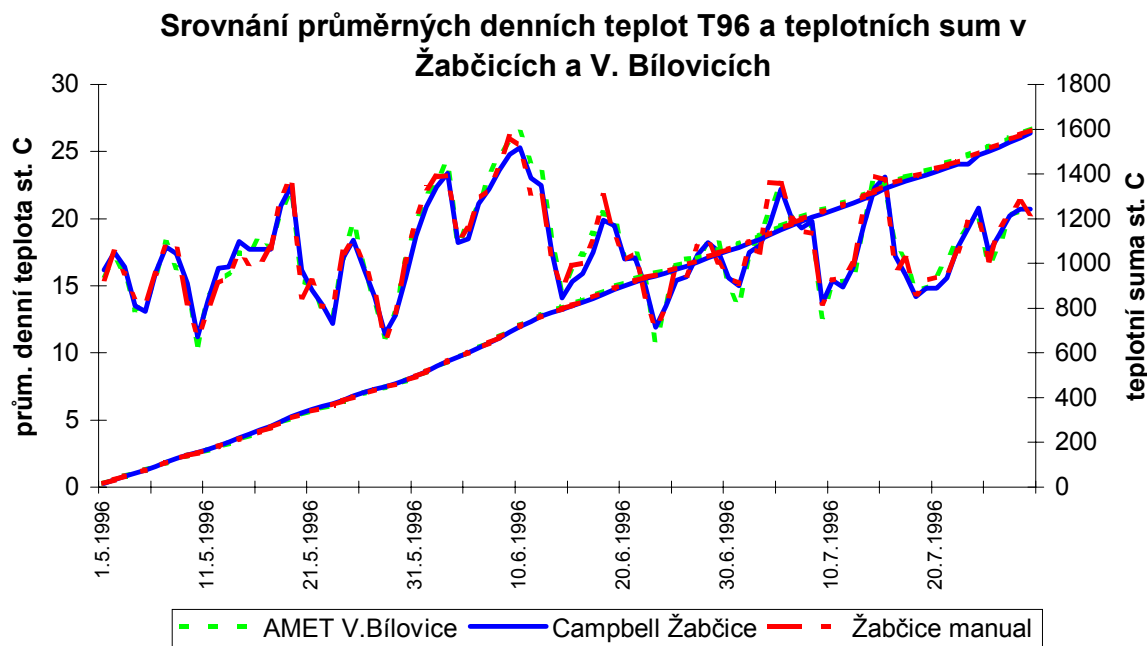
Tab. 4 Výsledky simulace líhnutí housenek obaleče mramorovaného II. generace

<b>datum</b>	<b>T<sub>96</sub></b>	<b>T<sub>extr</sub></b>	<b>T<sub>stand</sub></b>	<b>T<sub>synop</sub></b>
10.7.96		*		
11.7.96		**		
12.7.96		**		
13.7.96		**		
14.7.96		***		
15.7.96	*	***		*
16.7.96	**	***	*	**
17.7.96	**	****	**	**
18.7.96	**		**	**
19.7.96	***		**	***
20.7.96	***		***	***
21.7.96	***		***	****
22.7.96	****		***	

\* - vylíhnuto 25 % populace      \*\* - vylíhnuto 50 % populace  
 \*\*\* - vylíhnuto 75 % populace      \*\*\*\* - vylíhnuto 95 % populace

Z předložené simulace je patrné, že zatímco u I. generace se vliv různého způsobu výpočtu průměrné denní teploty ještě neprojevuje, u druhé generace je již patrna výrazná odchylka v případě použití  $T_{extr}$ . Zbývající způsoby výpočtu poskytují poměrně shodné výsledky. Z tohoto důvodu lze předpokládat, že používání pouze extrémních teplot k stanovení průměrné denní teploty a z toho odvozených teplotních sum může vést k zcestným závěrům, neboť odchylky mohou dosáhnout značných hodnot.

Na závěr prezentace výsledků si dovoluujeme ještě ukázat obr. 2, na němž jsou znázorněny průměrné denní teploty za období květen - červenec na stanicích Žabčice (automatické i s manuální obsluhou) a Velké Bílovice včetně teplotních sum nad 0 °C.



Obr. 2

Z tohoto obrázku je zřejmé, že ačkoliv jsou obě stanice cca 17 km od sebe vzdáleny vzdušnou čarou a navíc od různých výrobců, jsou jimi naměřené průměrné denní teploty v poměrně dobré shodě. Ještě těsnější je vztah u teplotních sum, kde za tříměsíční období vznikla odchylka pouhých 18 °C ve prospěch Velkých Bílovic, kterou je možno navíc zčásti vysvětlit tím, že Žabčice mají oproti Velkým Bílovicím v letních měsících průměrnou teplotu o 0,3 °C nižší. Z toho lze usuzovat, že pokud jde o teplotní sumy, v nížinných oblastech lze používat údaje z jedné stanice přibližně do okruhu 10 km.

## 5. Závěr

V předloženém příspěvku jsme se snažili poukázat na některé možné problémy spojené s různými způsoby výpočtu průměrné denní a hodinové teploty vzduchu a s různými způsoby měření. Výsledky lze shrnout do následujících bodů:

- Při stanovení průměrné hodinové teploty lze za prakticky vyhovující považovat interval měření 15 min, při kratších intervalech rostou nároky na napájení stanice, popř. kapacitu její paměti.

- Při stanovení průměrné denní teploty a z ní odvozených teplotních sum se významně neprojevují rozdíly způsobené různými metodami výpočtu, pokud počítají s alespoň třemi a více bodovými měřeními během dne.

- Při výpočtu průměrné denní teploty pouze ze dvou extrémních hodnot se lze v konečném součtu dopustit významné odchylky, která může v některých případech zcela znehodnotit praktický efekt, dosažitelný použitým simulačním modelem, zejména při delším časovém úseku simulace.

- Z praktického hlediska lze předpokládat, že v nížinných oblastech s nepříliš velkým výškovým členěním lze používat údaje z jedné meteorologické stanice do okruhu přibližně 10 km.

## **6. Literatura**

DeGaetano, A.T., Knapp, W.W: Standardization of weekly growing degree day accumulations based on differences in temperature observation time and method. *Agricultural and forest meteorology*, 1996, s. 1-9.

Klabzuba, J.: *O měření teploty v agrometeorologii a bioklimatologii*, Praha 1994, 131 s.