

Testování slunečních vařičů

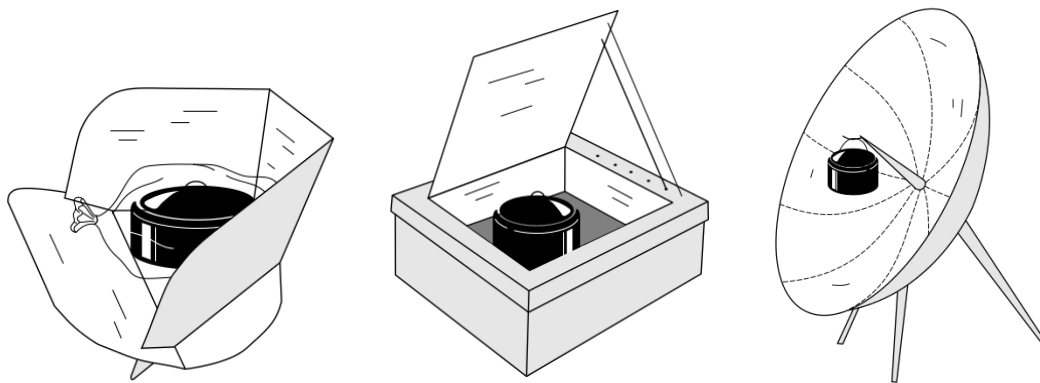
TOMÁŠ MILÉŘ A LUKÁŠ PAWERA
KFCHO PdF MU

Abstrakt

Představujeme laboratorní úlohu založenou na standardním testu ASAE S580. Úloha spočívá ve stanovení výkonu slunečního vařiče na základě měření teploty vody v hrnci, teploty vzduchu a intenzity slunečního záření.

Úvod

Sluneční vařič je jednoduché zařízení, které slouží k přípravě pokrmů s využitím slunečního záření. Typy slunečních vařičů se nejčastěji dělí na *panelové*, *krabicové* a *parabolické* (paraboloid nebo parabolický žlab). Jinak je lze dělit na vařiče *přímé*, které koncentrují sluneční paprsky přímo na černý hrnec s potravinami, a *nepřímé*, které dopravují teplo k plotýnce prostřednictvím média (oleje). *Akumulační* sluneční vařiče umí vařit i po setmění nebo v době, kdy se obloha zatáhne oblačností. Existují i *hybridní* vařiče, které kombinují solární vaření s elektrickým dohřevem. Je třeba zdůraznit, že neexistuje ideální typ slunečního vařiče. Vždy záleží na uživateli, jaké má požadavky (druh a množství potravin, přenosnost a skladnost, vzhled...), možnosti (především finanční) a jaké jsou v dané oblasti klimatické podmínky.



Obr. 1. Kresba panelového (typ CooKit), krabicového a parabolického slunečního vařiče. Převzato z [1].

Sluneční vaření má dlouhou a bohatou historii. Soustředěním slunečních paprsků pomocí paraboloidu se zabýval již ve 2. polovině 17. století německý matematik Ehrenfried Walther von Tschirnhaus. Prokazatelně bylo však slunce použito k vaření až o sto let později, a to švýcarským vědcem Horace-Bénédict de Saussure. Roku 1837 John Frederick William Herschel (syn slavného astronoma) zkonstruoval sluneční vařič, ve kterém připravoval maso, zeleninu a vejce pro svou družinu na expedici v jižní Africe. Šlo o načerněnou bednu z mahagonu, kterou zakopal v písku a překryl dvojitým sklem. Uvnitř bedny Herschel naměřil teplotu až 116 °C. V 19. století francouzský vynálezce Augustin Bernard Mouchot navrhl sluneční vařič pro francouz-

skou armádu v severní Africe. V 1. polovině 20 století na hoře Mt. Wilson experimentoval s nepřímým vařičem známý odborník na sluneční záření Charles Greeley Abbot. I v dnešní době jsou sluneční vařiče předmětem vědeckého výzkumu, dokonce zájem vědců o tuto problematiku rok od roku vzrůstá.

V současnosti jsou sluneční vařiče vnímány především jako technologie vhodná pro rozvojový svět. To je škoda, protože i ve střední Evropě bývají v létě skvělé podmínky pro sluneční vaření. Jednoduché panelové nebo krabicové vařiče si lidé mohou brát s sebou k rybníku, do kempů, na chaty, zahrady apod. Vaření je sice zdoluhavé (obvykle 2–3 hodiny), ale nespotebovává se žádné palivo, nehroží připálení (teploty nepřesahují 140 °C) a připravené pokrmy mohou být chutné a zdravé. V horkém a suchém létě, jako bylo to letošní (2015), bývá zvýšené riziko vzniku lesních požárů. Na rozdíl od táboráků a grilů sluneční vařiče nemohou založit požár, jsou proto bezpečné. Sluneční vařiče lze velmi dobře uplatnit i na letních táborech nebo jiných akcích pro děti. Nejlepší podmínky v rámci školního roku jsou v měsíci červnu, kdy slunce je již vysoko nad obzorem a vzduch je dostatečně teplý. V červnu také může být ve škole po uzavření klasifikace prostor pro poměrně časově náročné experimentování se slunečními vařiči. Zkoumání slunečních vařičů je zvláště vhodné téma pro individuální žákovské projekty.

Výroba slunečního vařiče a příslušenství

Výroba slunečního vařiče není předmětem tohoto článku, ale uvedme zde alespoň několik dobrých rad a zdrojů informací. V první řadě lze doporučit publikaci „Solar cookers – How to make, use and enjoy“ [1]. Obsahuje popis výroby krabicového vařiče a populárního panelového vařiče CooKit, podmínky vaření, recepty i návody na doplňkové vzdělávací aktivity. Archiv návodů a plánů jednoduchých konstrukcí vařičů je k dispozici online zde: [2]. Jeden z nejjednodušších vařičů, který snadno zvládnou vyrobit i malé děti, je typ EZ-3 [3]. Výroba panelových vařičů je ve srovnání s krabicovými a parabolickými mnohem jednodušší a rychlejší. Potřebujete jen lepenku, alobal, lepidlo na tapety (na velké plochy) a lepidlo na papír (např. Herkules na pevné spoje). Kromě vlastního vařiče je nezbytností černý hrnec, který by měl být pokud možno tenkostěnný, aby nezpomaloval vaření. Vhodné jsou smaltované hrnce (ne litinové), které se však neshánějí snadno. V současnosti jsou na trhu k dostání snad jen smaltované hrnce a kastroly české firmy ORION, které lze doporučit. Můžeme použít i hliníkový ešus natřený černou barvou nebo eloxovaný. Hliníkové nádobí má tenčí stěny, ale ve srovnání s ocelí má hliník skoro dvakrát větší tepelnou kapacitu (hliník $896 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a ocel cca $469 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ dle obsahu příměsí). Při pečení buchty v hrnci se může stát, že se těsto nepropeče v celém objemu. Pro pečení buchty jsou vhodnější různé plechy a formy, přičemž místo poklice lze použít druhý plech. Panelové vařiče jsou pomalé, ale jejich účinnost lze hodně zlepšit tak, že hrnec zabalíme do průhledného pytle z pečicí fólie. Tím zabráníme ochlazování hrnce prouděním vzduchu. Pytel požadovaných rozměrů slepíme izolepou z fólie, kterou lze pořídit jako tzv. „rukáv na pečení“ a která odolává teplotám do 220 °C.

Měření

Aby bylo možné vlastnosti různých vaříčů objektivně porovnávat, je třeba je podrobit měření. Existuje několik standardizovaných postupů. Ve vědecké literatuře je nejpoužívanější indický standard [4], který je však vhodný jen pro krabicové vaříče, a je natolik komplikovaný, že jej nelze uplatnit pro vzdělávací účely. Naopak americký standard [5] vychází z jednoduché fyziky a je využitelný pro jednoduchá měření v rámci výuky termiky na ZŠ, SŠ a gymnáziích. Pro potřeby školního měření si lze podmínky standardizovaného testu zjednodušit (např. do hrnce vždy nalijeme 1 litr vody).



Obr. 2. Testování slunečních vaříčů na PdF MU. Data byla snímána automaticky po 1 minutě a ukládána do laptopu.

Podmínky měření:

- v hrnci 7 000 g vody na 1 m² apertury (průmět vaříče do plochy kolmé na sluneční paprsky)
- měřit mezi 10:00 a 14:00 astronom. času
- pootáčet za sluncem po 15–30 minutách
- rychlost větru < 2,5 m/s
- teplota vzduchu mezi 20 a 30 °C
- teplota vody 5 °C nad teplotou okolního vzduchu a 5 °C pod místním bodem varu
- oslunění mezi 450 a 1100 W/m² (nemá kolísat o více než 100 W/m² za 10 min)

Minimální vybavení:

- 1 sluneční vaříč + černý hrnec
- 1 teploměr (teplota vzduchu)
- 1 teploměr s externím čidlem (voda v hrnci)
- 1 měřič intenzity slunečního záření, tj. pyranometr nebo polovodičový slunoměr (např. CEM DT-1307), lze použít i luxmetr – přepočítáme faktorem 100 lx/(W/m²). Více k měření slunečního záření viz [6].

Termočlánek umístíme do hrnce 10 mm nad povrchem dna pomocí kancelářské sponky a izolepy nebo stejně jako my pomocí dvou neodymových magnetů (viz obrázek 3).



Obr. 3. Umístění termočlánu na dno hrnce pomocí dvou neodymových magnetů.

Vodu odměříme na digitálních vahách (nikoliv odměrným válcem, protože ty mají malou přesnost). Osvědčilo se odměřenou vodu donést na stanoviště v uzavřené lahvi a do hrnce ji nalít až těsně před zahájením měření.

Čidlo teploty vzduchu umístíme do stínu poblíž vařiče. Může být schováno přímo za slunečním vařičem, ale nesmí se dotýkat jeho stěny.

Měřič intenzity slunečního záření má měřit globální záření, což je součet záření přímého a rozptýleného oblohou. Čidlo je třeba průběžně nastavovat tak, aby jeho osa směřovala ke slunci.

Dle požadavků standardu bychom měli získat alespoň 30 měření rozložených do tří dnů. Pro vzdělávací účely však postačí, když v jednom dni provedeme jen několik málo měření (cca 5) v desetiminutových intervalech. Z takových dat již lze získat regresní přímku a spočítat standardizovaný výkon. Hodnota sice nebude dostatečně reprezentativní, ale pro žáky je důležitější, aby si vyzkoušeli postup měření a zpracování dat.

Pokud k měření nepoužíváme univerzální měřicí stanici (Vernier, Pasco apod.) nebo jiný typ dataloggeru s automatickým ukládáním dat, budeme v desetiminutových intervalech číst údaje přímo z měřících přístrojů a zapisovat. Data posléze zpracujeme v tabulkovém procesoru.

Výkon vařiče za desetiminutové intervaly spočítáme podle vztahu:

$$P = \frac{mc_v \Delta T}{600}$$

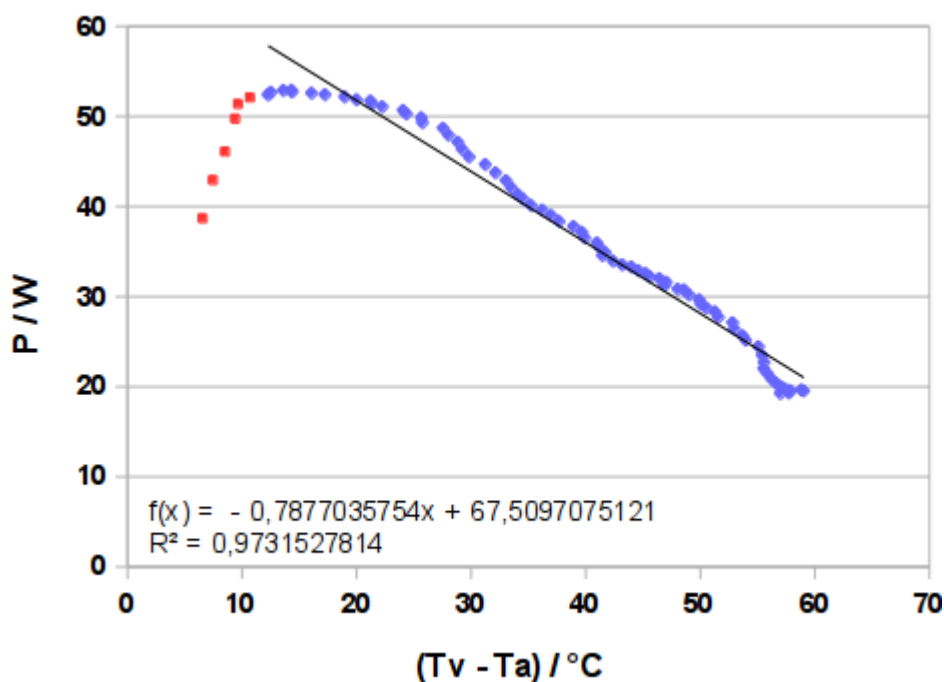
kde m je hmotnost vody, c_v je měrná tepelná kapacita vody, ΔT je změna teploty vody za 10 minut a číslo 600 je počet sekund.

Výkon převedeme na standardní oslunění 700 W/m^2 podle vztahu:

$$P_s = P \cdot \frac{700}{G}$$

kde G je změřená hodnota globálního záření.

Potom sestavíme graf závislosti výkonu P_s na rozdílu teploty vody T_v a teploty vzduchu T_a . Na grafu (viz obrázek 4) jsou znázorněna data měření výkonu vaříče CooKit v minutových intervalech, přičemž každý bod představuje průměrnou hodnotu za posledních 10 minut. Červené body byly vyřazeny, protože nějakou dobu trvá, než se ohřátá voda dostane k teplotnímu čidlu. Nelze použít ani data z konce měření, když se teplota vody blíží k bodu varu.



Obr. 4. Graf závislosti výkonu vaříče CooKit (přepočteného na standardní intenzitu 700 W/m²) na rozdílu teploty vody a teploty vzduchu.

Standardizovaný výkon slunečního vaříče získáme z rovnice regresní přímky dosazením za x hodnotu 50 °C. Pro CooKit jsme takto pomocí grafu na obr. 4 získali hodnotu standardizovaného výkonu 28 W.

Recept na banánovou buchtu

Zatímco na jednom slunečním vaříči budete provádět měření, ve druhém si navaříte oběd, čaj nebo upečete buchtu. Procedura solárního vaření se od běžného postupu liší tím, že všechny ingredience je třeba vložit do hrnce najednou. Každé otevření víka krabicového vaříče nebo rozbalení fólie u panelového vaříče totiž vaření výrazně zpomaluje.

Pro banánovou buchtu si připravíme tyto suroviny:

- 3 rozmačkané zralé banány
- 3 vejíčka
- 1/3 másla
- 1/2 hrnku cukru
- 1/2 hrnku mléka
- 2 hrnky mouky (polohrubá pšeničná nebo kukuřičná)
- 1 lžička skořice
- 1 kypřicí prášek

Smícháme rozetřené banány, vejíčka, máslo, cukr a mléko, čímž vznikne krém. Do něj postupně vmícháme mouku, skořici a kypřicí prášek. Těsto vlijeme na plech potřený máslem. Dáme péct do slunečního vaříče na 2 až 3 hodiny. Nemusíte se bát, že buchtu připálíte, ani když ji necháte na slunci po celý den! Při pečení buchet je třeba počítat s tím, že na rozdíl od pečení v troubě vlhkost nemá kam odejít. Po rozvázání pytle je proto vhodné nechat buchtu na plechu vychladnout a vysušit cca 1 hodinu. Tímto způsobem můžeme péct buchty typu „babetka“, třešňový táč apod. Nebojte se experimentovat!



Obr. 5. Pečení buchty v „rohovém“ panelovém vaříči (vlevo) a výsledek (vpravo).

Literatura

- [1] SOLAR COOKERS INTERNATIONAL. *Solar cookers – How to make, use and enjoy* [online]. 2004. Dostupné z: <http://solarcooking.org/plans/plans.pdf>
- [2] SOLAR COOKERS INTERNATIONAL. *Plans for Solar Cookers – The Solar Cooking Archive. SCInet* [online]. [vid. 10. září 2015]. Dostupné z: <http://solarcooking.org/plans/>
- [3] SOLAR COOKERS INTERNATIONAL. *EZ-3 Solar Cooker. Solar Cooking* [online]. [vid. 14. září 2015]. Dostupné z: http://solarcooking.wikia.com/wiki/EZ-3_Solar_Cooker
- [4] *IS 13429-3 (2000): Solar Cooker - Box Type, Part 3: Test Method* [online]. B.m.: Bureau of Indian Standards. 2000. Dostupné z: <https://law.resource.org/pub/in/bis/S08/is.13429.3.2000.pdf>

- [5] *ASAE S580.1:2013 Testing And Reporting Solar Cooker Performance* [online]. B.m.: American Society of Agricultural Engineers. 2003 [vid. 14. září 2015]. Dostupné z: http://solarcooking.org/asae_test_std.pdf
- [6] MILÉŘ, Tomáš a Jan HOLLAN. *Klima a koloběhy látek – Jak funguje klimatický systém Země, proč a jak se klima mění* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2014. ISBN 978-80-210-7109-4. Dostupné z: <http://amper.ped.muni.cz/gw/aktivita/klima.pdf>