

Vodní vzestup – jaká je skutečnost

D. Repček*, A. Šťastný**

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

*dalibor.repcek@centrum.cz, *adamstastny@email.cz

Abstrakt

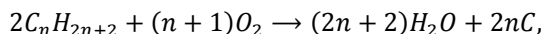
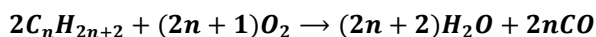
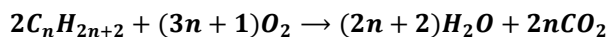
Každý žák základní či střední školy se jistě setkal s pokusem „Jak vytáhnout minci ze dna talíře plného vody suchou rukou“. Efekt spočívá v nasání vody do uzavřené nádoby, ve které hoří svíce. Jev je vysvětlován vznikem podtlaku v uzavřené nádobě díky vyhoření tamního plynu. Cílem našeho experimentování je otestovat jaké vlivy hrají významnou roli na daném efektu, případně vyvrátit zakořeněné vysvětlení tohoto jevu.

1 Úvod

Tento problém, se kterým jsme se setkávali již mnoho let v provedení pedagogů základních a středních škol se zdál být triviálním a dobře vysvětleným. Experiment spočívá v tom, že hořící svíčku postavenou v nádobě s vodou přikryjeme jinou uzavřenou nádobou (vnitřní nádoba). Po chvíli hoření svíčka zhasne a do nádoby je nasáta voda. Triviální vysvětlení je založeno na vyhoření plynu (O_2) v nádobě, kterou je svíčka přikryta. Díky tomu se v ní vytvoří podtlak a atmosférický tlak v okolí, pak tlačí vodu do vnitřní nádoby, dokud nedojde k vyrovnání tlaků. Při bližším pohledu toto vysvětlení obsahuje významnou trhlinu, a to předpokládaný zánik plynu v nádobě. Při hoření však plyn nezaniká, pouze se přeměňuje. Samotným hořením tedy podtlak teoreticky nevzniká. Naším cílem tedy bylo ozřejmit vznik podtlaku ve vnitřní nádobě, díky kterému je voda nasávána.

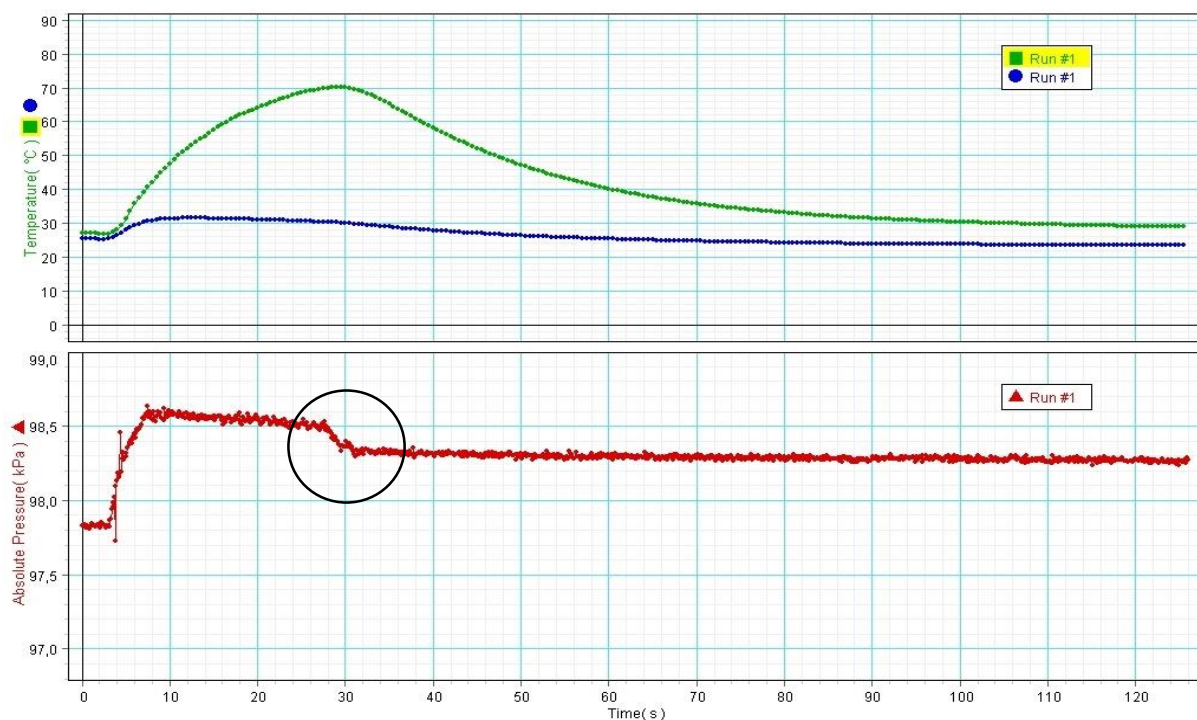
2 Teoretický rozbor, experiment

Zjistili jsme, že parafín, ze kterého se svíčky vyrábí, je směsí uhlovodíků alkanů, jejichž molekuly obsahují 20 až 40 uhlíků. Svíčka proto hoří podle těchto rovnic:



kde $20 \leq n \leq 40$. V praxi se nejvíce uplatňuje hoření dle prvních dvou rovnic. Z rovnic je patrné, že při hoření vzniká v průměru více látkového množství plynu, než do reakce vstupovalo. Jediným rozumným vysvětlením úbytku množství plynu oproti počátku je postupné nasycení vzduchu vodní párou a její následná kondenzace. (Zanedbáváme rozpouštění CO a CO_2 ve vodě, jelikož tento efekt hraje námi neměřitelnou roli. Toto jsme si ověřili experimentem, ve kterém jsme místo vody použili kuchyňský olej, v němž jsou tyto plyny nerozpustné a nezaznamenali jsme žádný měřitelný rozdíl oproti experimentu s vodou.)

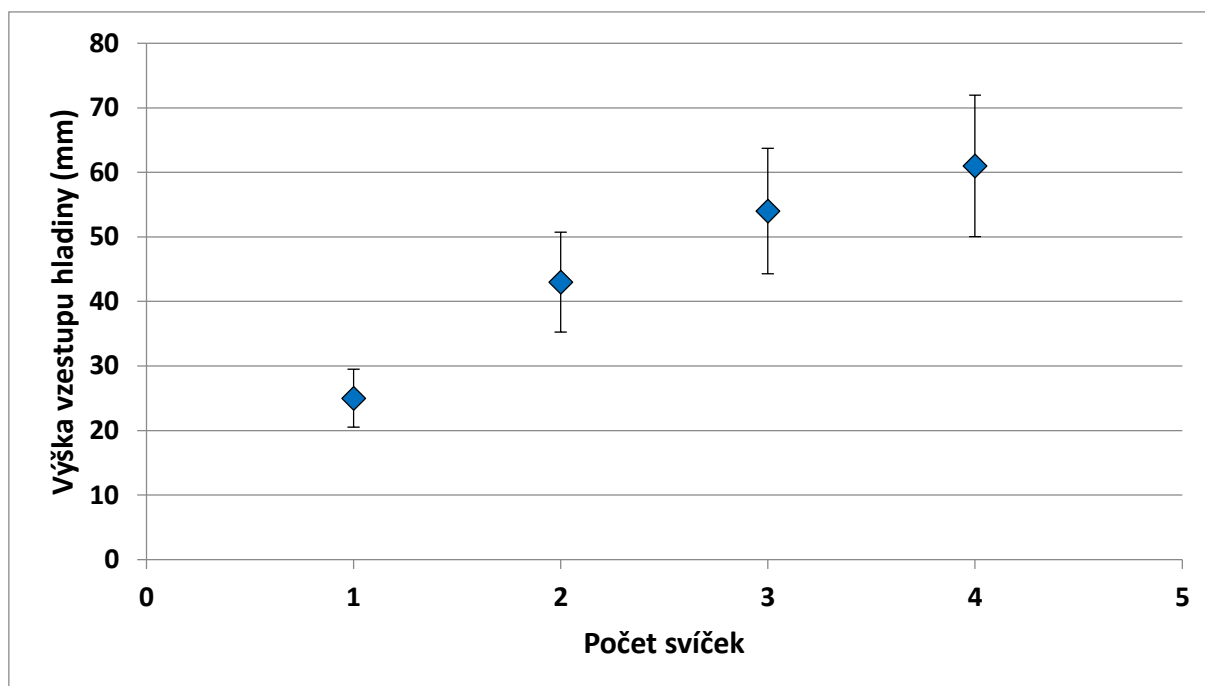
Hned při prvním experimentu jsme ovšem zjistili, že nejvýraznějšího vzestupu v závislosti na čase vodní hladina dosahuje při zhasnutí svíčky. Toto dokumentuje *graf 1*.



Graf 1 Tlak plynu a teplota ve vnitřní nádobě se znázorněnou oblastí se zrychleným vzestupem vodní hladiny

Prvotní vzestup tlaku je způsoben přikrytím svíčky nádobou (ponořením okraje nádoby pod hladinu vody). Následný pozvolný pokles tlaku koresponduje s hořením svíčky a kondenzací vodních par ve vnitřní nádobě. Při zhasnutí svíčky nastává okamžitý pokles tlaku, a tím i rychlejší vzestup vody. Po této fázi již následuje pouze vyrovnávání vnitřní teploty s okolní s čímž je spojen zanedbatelný vzestup hladiny.

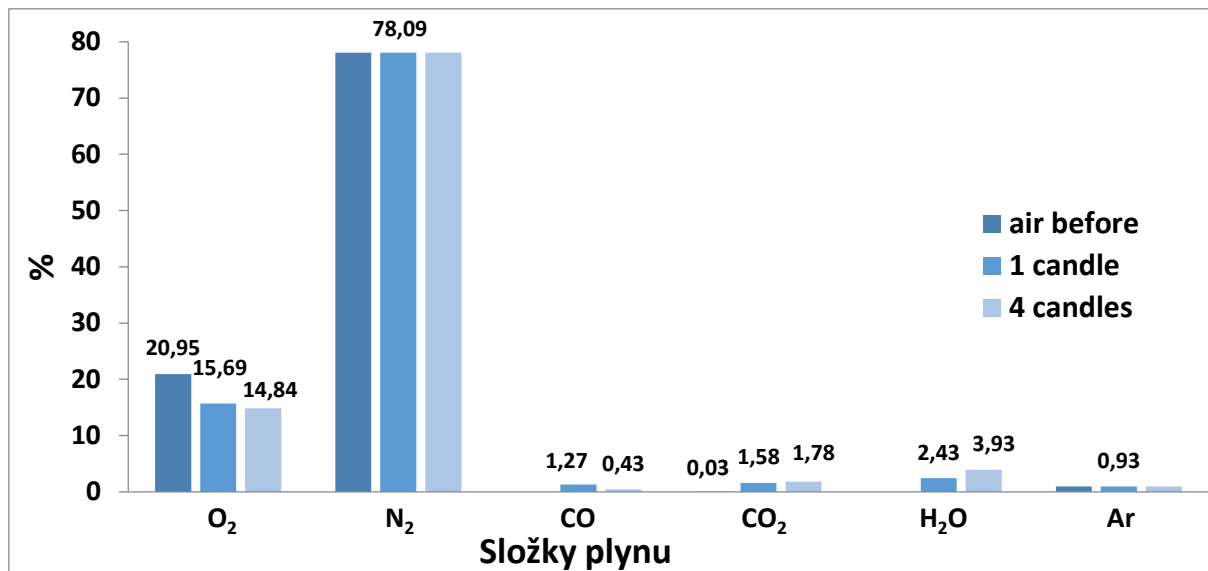
Náhlý vzestup při zhasnutí svíčky si vysvětlujeme okamžitým zchladnutím velmi horkého plynu v blízkém okolí svíčky, která přestala být zdrojem tepla, a tím rychlou kompresí tohoto plynu, při které je generován náhlý podtlak. Zdá se tedy, že významnou rolí pro vznik podtlaku je komprese horkého plynu v okolí svíčky při jejím dohořívání a vyhasnutí. Pokud je tato hypotéza pravdivá, pak s rostoucím počtem zdrojů tepla (svíček) by měla být konečná výška hladiny vody při vzestupu rostoucí. Toto potvrzuje graf 2.



Graf 2 Závislost výšky vzestupu hladiny na počtu svíček

3 Složení plynu ve vnitřní nádobě

Abychom mohli porovnat důležitost kondenzace vodních par oproti kompresi horkého plynu, změřili jsme složení plynu ve vnitřní nádobě před a po experimentu, a to nejdříve s jednou a poté se čtyřmi svíčkami.



Graf 3 Složení plynu ve vnitřní nádobě

V grafu 2 si povšimneme zajímavé souvislosti, a to že úbytek kyslíku je přesně vyvážen vznikem CO, CO₂ a H₂O. Dále také složek plynu, které se na hoření nijak nepodílejí a jejich procentuální zastoupení se nemění (N₂ a Ar) – proto také byly při hmotnostní spektrometrii použity jako standardy.

Budeme-li předpokládat, že všechna vzniklá vodní pára zkondenzuje, můžeme ze znalosti objemu vnitřní nádoby a výšky hladiny vody ve vnitřní nádobě spočítat kolik procent objemu vnitřní nádoby zaujímá voda, která byla nasáta díky kondenzaci vodních par či kompresi plynu. Při použití jedné svíčky zaujímá voda nasátá kompresí plynu zhruba 10 % objemu nádoby oproti vodě nasáté kondenzací vodních par, která zabírá pouze 2,5 % objemu nádoby. Při použití čtyř svíček zaujímá voda nasátá kompresí plynu zhruba 27 % objemu nádoby oproti vodě nasáté kondenzací vodních par, která zabírá pouze 4 % objemu nádoby.

4 Závěr

V teoretickém rozboru jsme dospěli k závěru, že významnou roli bude hrát komprese ochlazujícího se velmi horkého plynu v okolí vyhasnuté svíčky. Toto nám potvrdily i další experimenty s větším počtem svíček, jakožto zdrojů tepla, a také chemický rozbor složení plynu ve vnitřní nádobě, ze kterého jsme zjistili, že i když budeme uvažovat kondenzaci všech vzniklých vodních par, bude efekt komprese plynu hrát několikanásobně významnější roli na celém jevu než kondenzace vodních par.

Dopad komprese plynu se tedy na vodním vzestupu uplatňuje daleko výrazněji než dopad kondenzace vodních par. Tato čísla, která jsme dostali, jsou pouze limitním případem, kdy veškerá vodní pára zkondenzuje. Ve skutečnosti bude efekt kondenzace vodních par ještě menší. Při samotném hoření svíčky totiž plamen postupně slábne, proto je možné, že vodní vzestup při hoření je ve skutečnosti také způsoben postupnou kompresí plynu v okolí svíčky.

Při našem bádání jsme zanedbali určité jevy (rozpuštění CO a CO₂ ve vodě), které se na celkovém závěru podílejí námi neměřitelnou měrou. Proto si myslíme, že jsme postihli základní parametry problému více než uspokojivě a můžeme prohlásit, že daleko nejvýznamněji se na vodním vzestupu podílí fakt, že při zhasnutí svíčky se okolní velmi horký vzduch náhle ochladí a zmenší svůj objem, což vede k poklesu tlaku vzduchu v nádobě, do níž je díky tomuto nasáta voda.

5 Poděkování

Rádi bychom poděkovali Univerzitě Palackého v Olomouci, zvláště pak panu prof. RNDr. Tomáši Opatrnému, Dr. za konzultace daného problému a mnohé podněty k dalšímu výzkumu. Dále také panu doc. RNDr. Petru Bartákovi, Ph.D. za konzultace chemické stránky námi zkoumaného problému a provedení hmotnostní spektrometrie vzniklého plynu.

6 Reference

KNILL, Oliver. Getting the facts right. In: Getting the facts right, <http://www.math.harvard.edu/~knill/pedagogy/waterexperiment/index.html>

HODGKIN, C. G. Making improvements to a simple experiment on combustion. Making improvements to a simple experiment on combustion, <http://home.ntelos.net/~rollinso/Candle/CandleExpt.html>

ROHRIG, Brian. The Captivating Chemistry of Candles, <http://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/highschool/chemmatters/chemmatters-december-2007.pdf>