

FYZIKÁLNÍ SEMINÁŘ ZS 2014

FJFI ČVUT V PRAZE

Vodní vzestup – jaká je skutečnost

Dalibor Repčák
Adam Šťastný

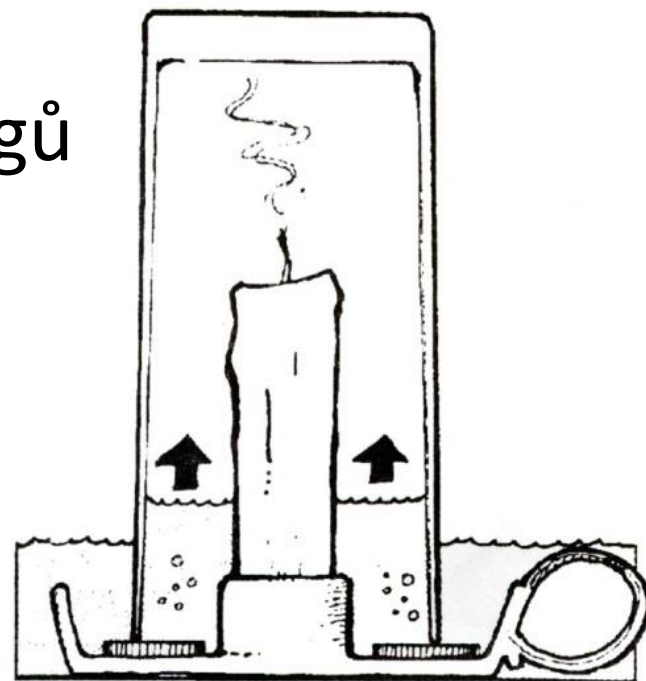
Osnova

- živý experiment
- nastínění problému a obecný mýtus
- rozbor problému
- první experiment - závěry
- výsledky měření
- závěr – odhalení pravdy



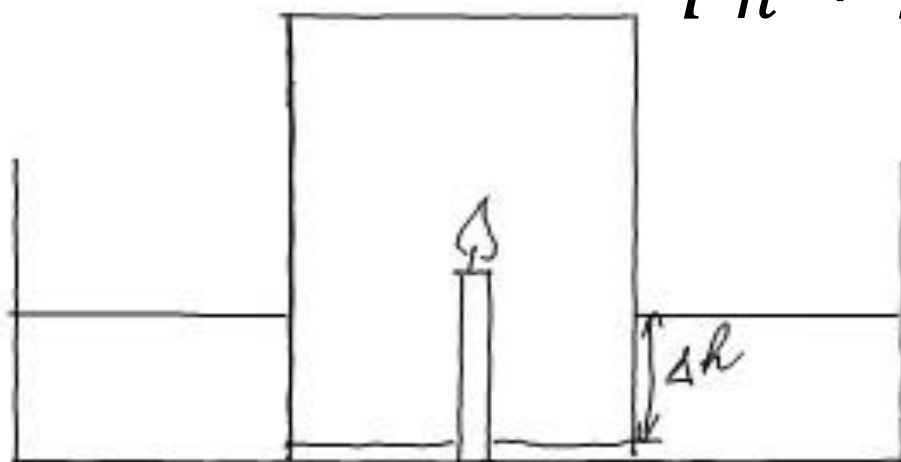
Nastínění problému

- oblíbený pokus ZŠ a SŠ pedagogů
- jednoduché vysvětlení:
 - a) kyslík se spaluje
 - b) podtlak
 - c) voda stoupá
- chyba:
 - kyslík je nahrazován CO_2 a H_2O
 - Proč nám tedy vzniká podtlak?



Teoretický rozbor

1. překrytí → tlak ve vnitřní nádobě vzroste
(malý vzestup na počátku - zanedbáváme)



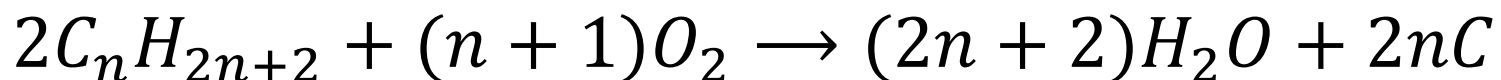
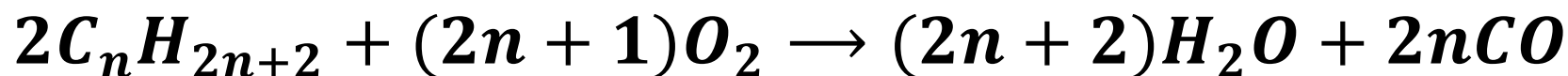
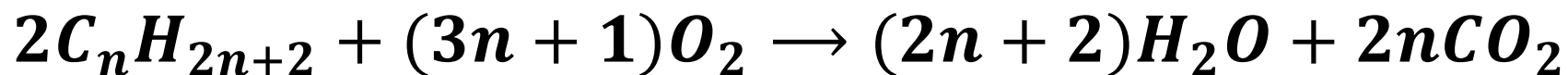
$$p_n + p_{h2} = p_a + p_{h1}$$

$$p_n = p_a + \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$p_n = p_a + p_h$$

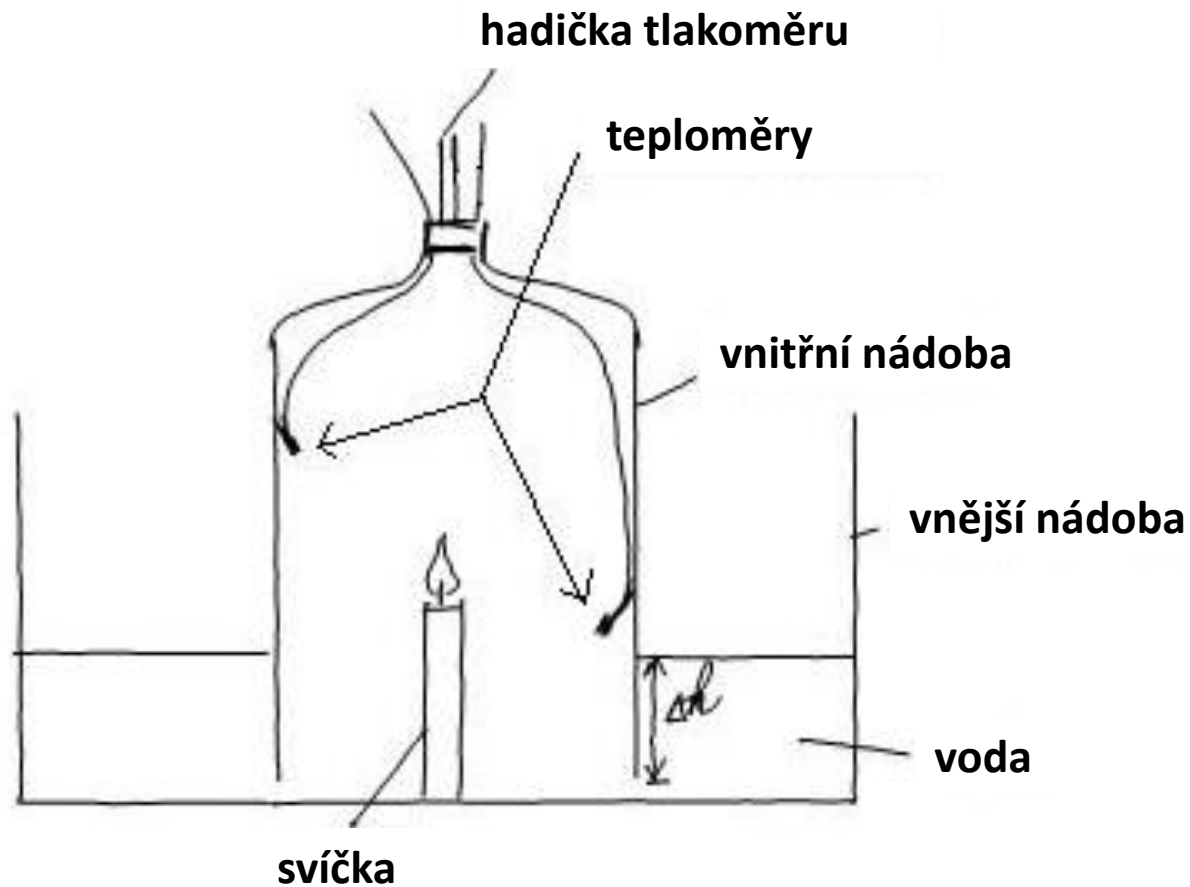


2. hoření svíčky popisuje rovnice: ($20 \leq n \leq 40$)



- vodní pára kondenzuje → podtlak → voda stoupá
 - zanedbáváme rozpouštění CO a CO₂ ve vodě
 - pokus s olejem
- 

Popis experimentu



Popis experimentu

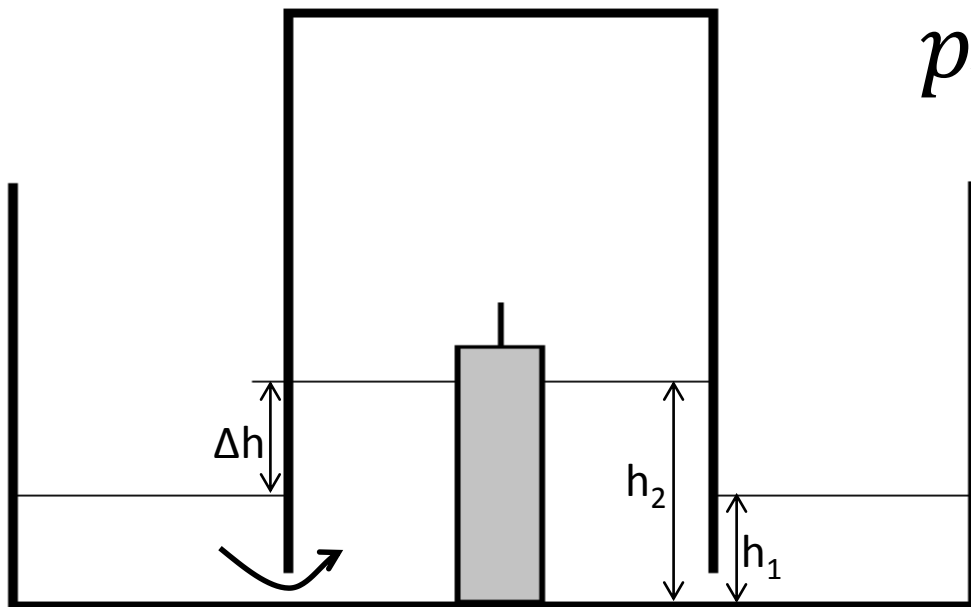


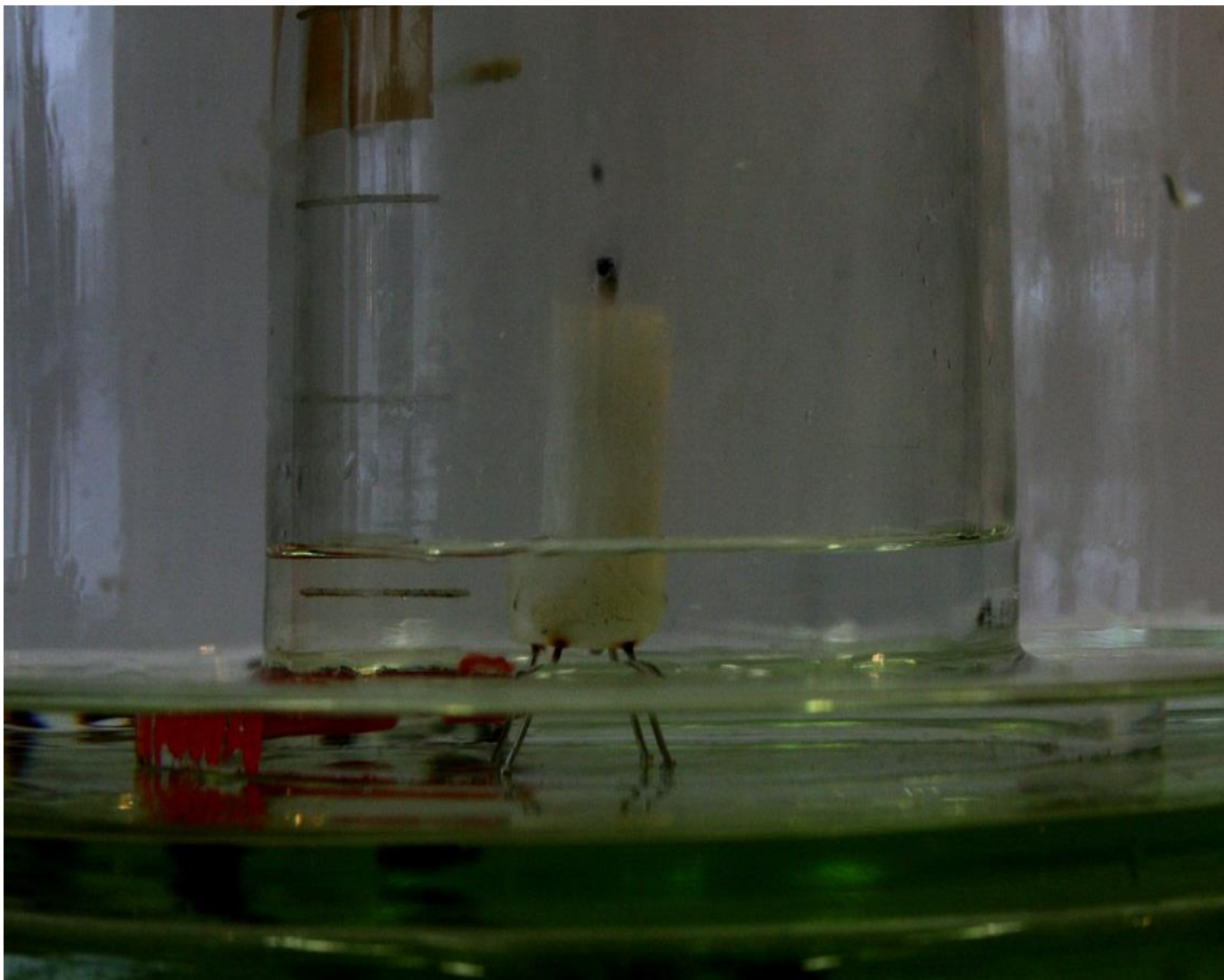
Závislost tlaku plynu ve vnitřní nádobě na výškách vodních hladin

$$p_n + p_{h2} = p_a + p_{h1}$$

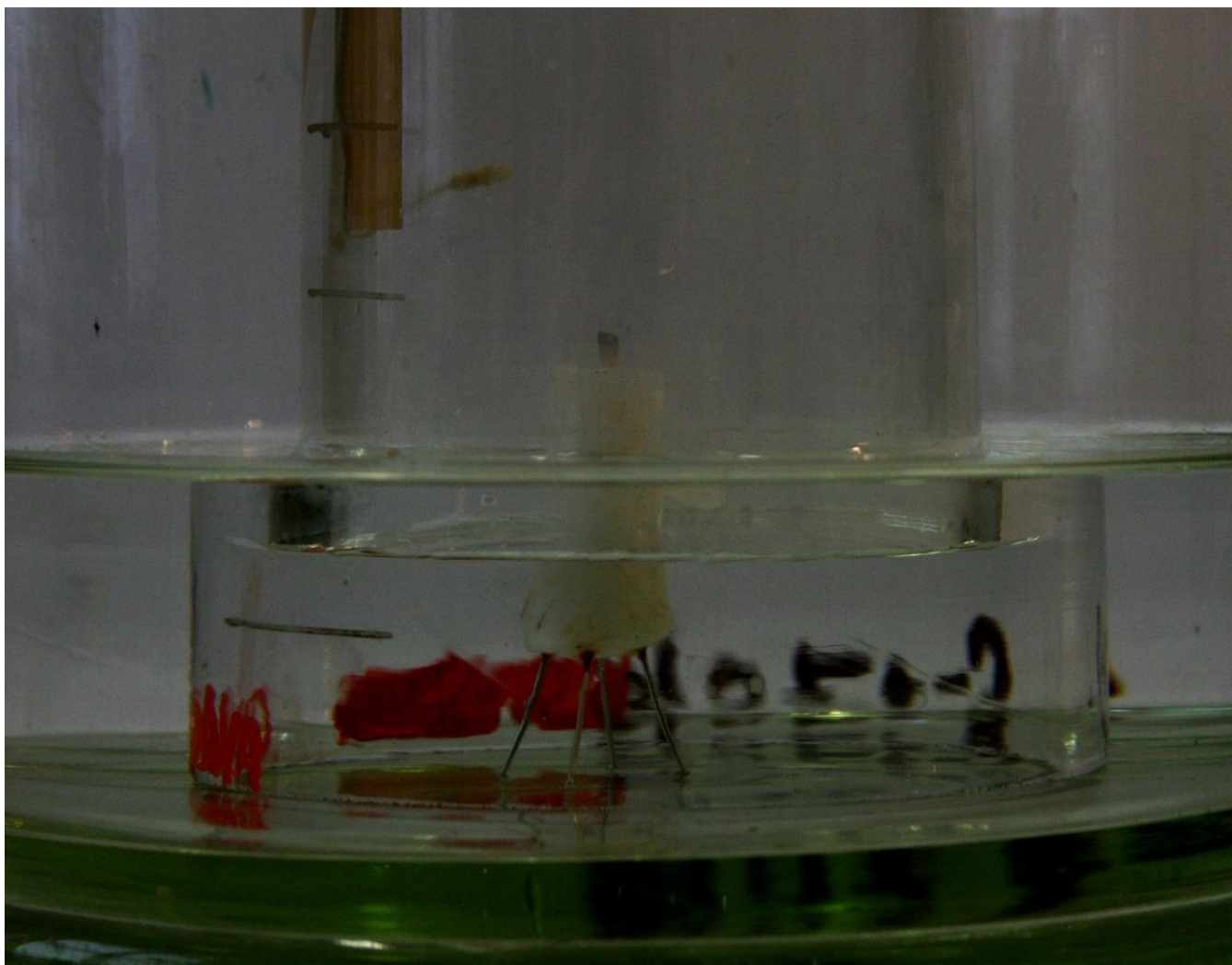
$$p_n = p_a \pm \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$p_n = p_a \pm p_h$$





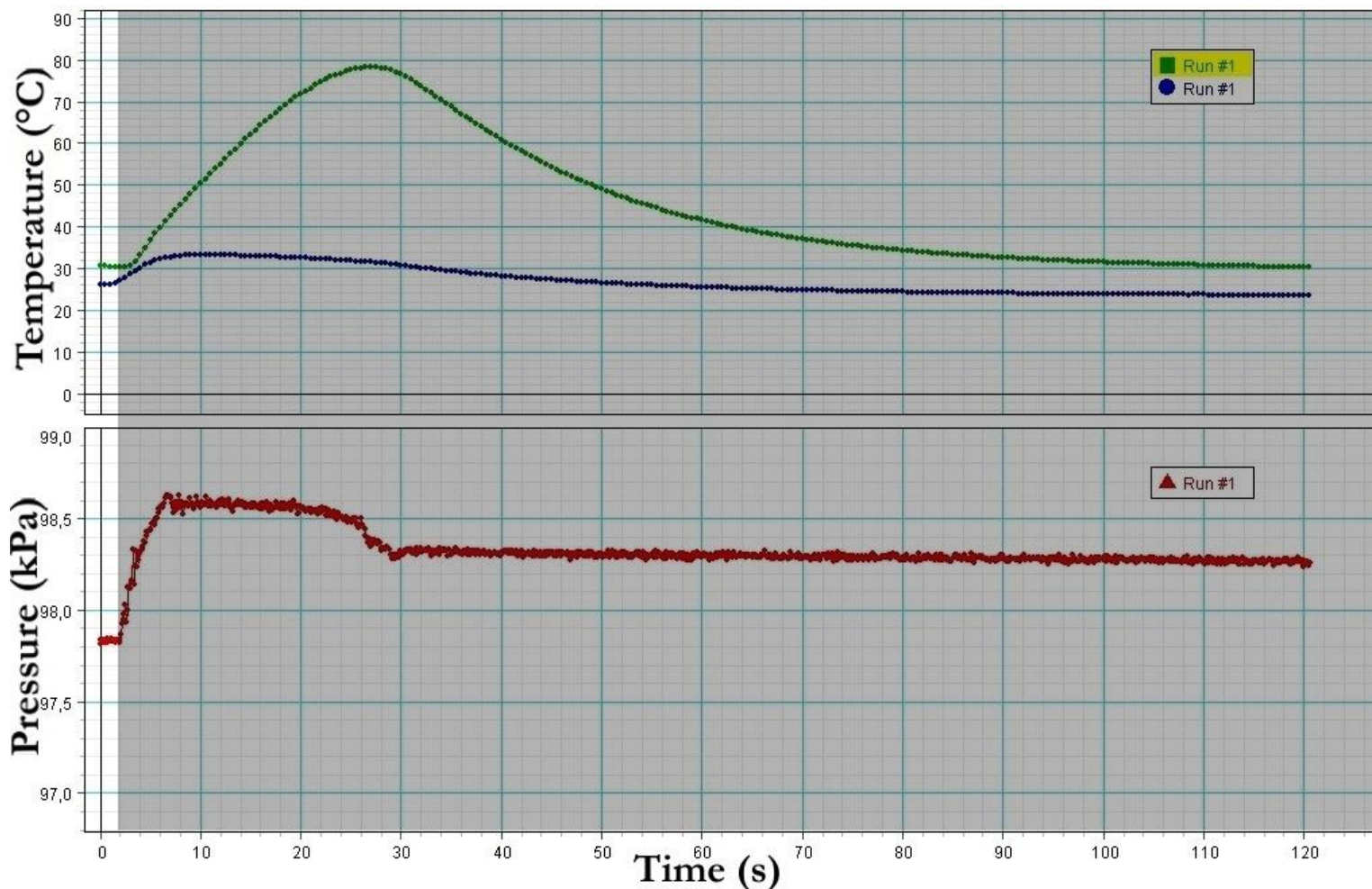
Rovnovážný stav po vyrovnání teplot



Rovnovážný stav po vyrovnání teplot

Měření

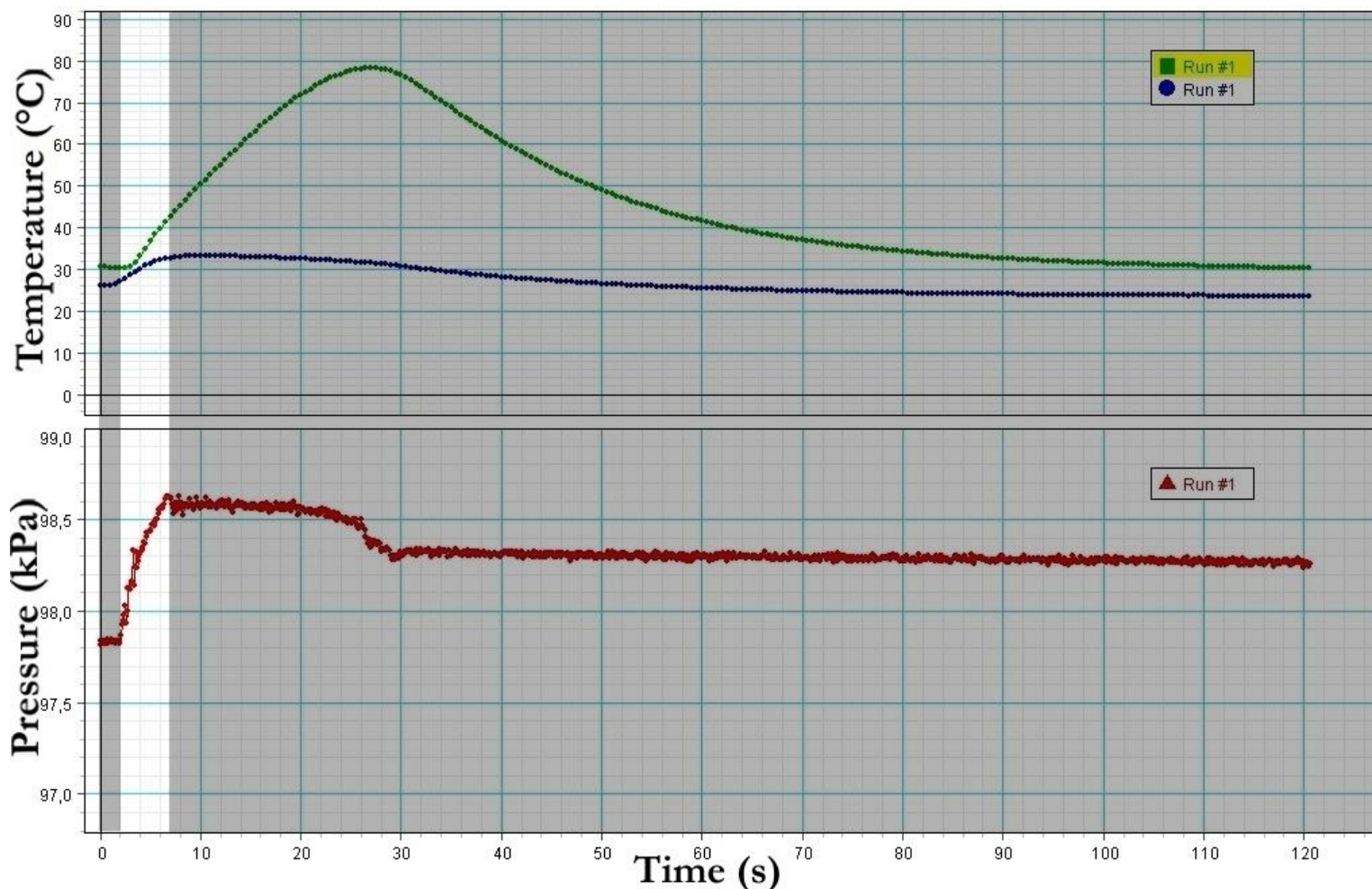
Graf č. 1 a)



0-2 s – systém před překrytím

Měření

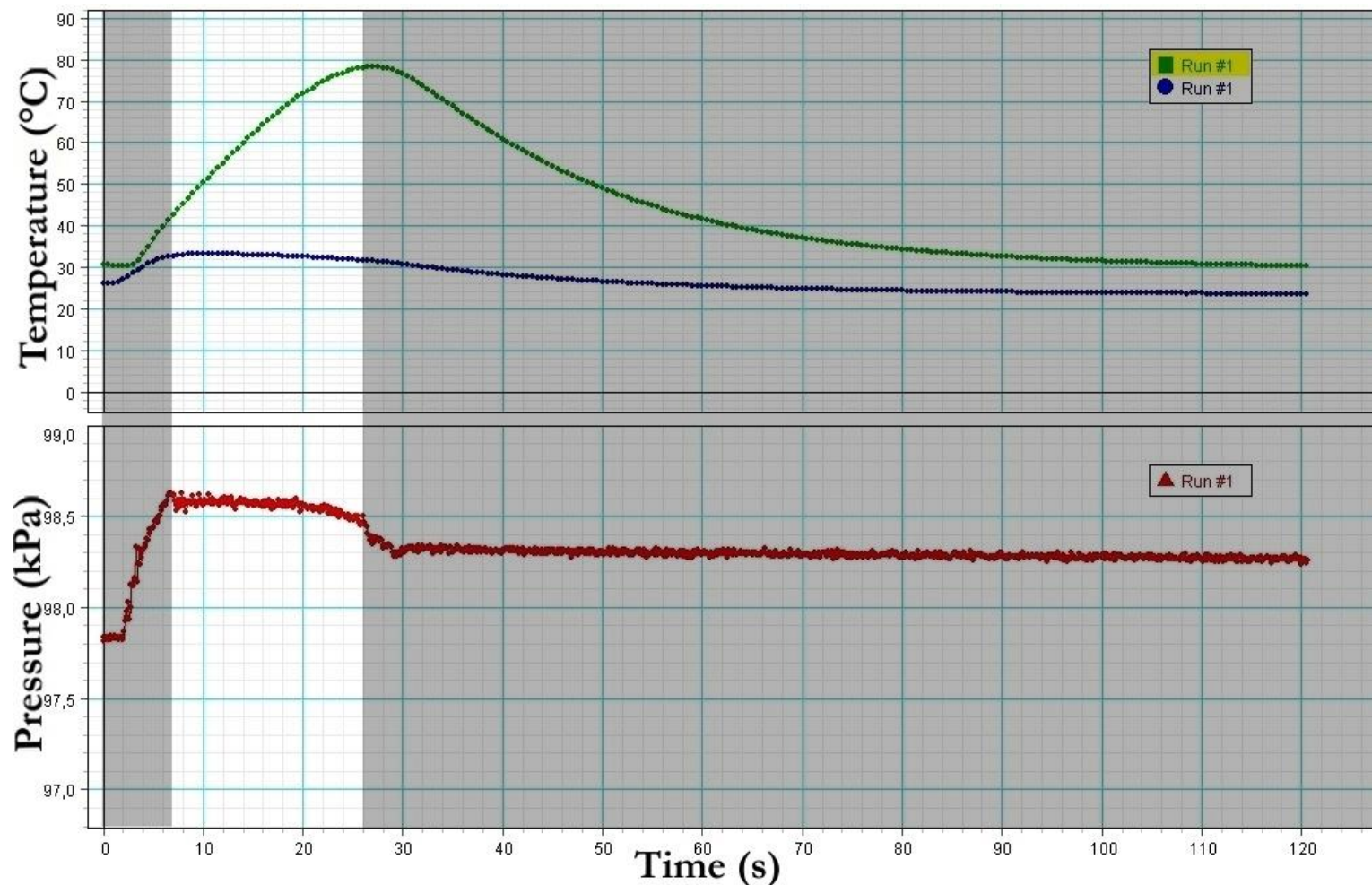
Graf č. 1 b)



2-7 s – překrytí vnitřní nádobou a její ponoření

Měření

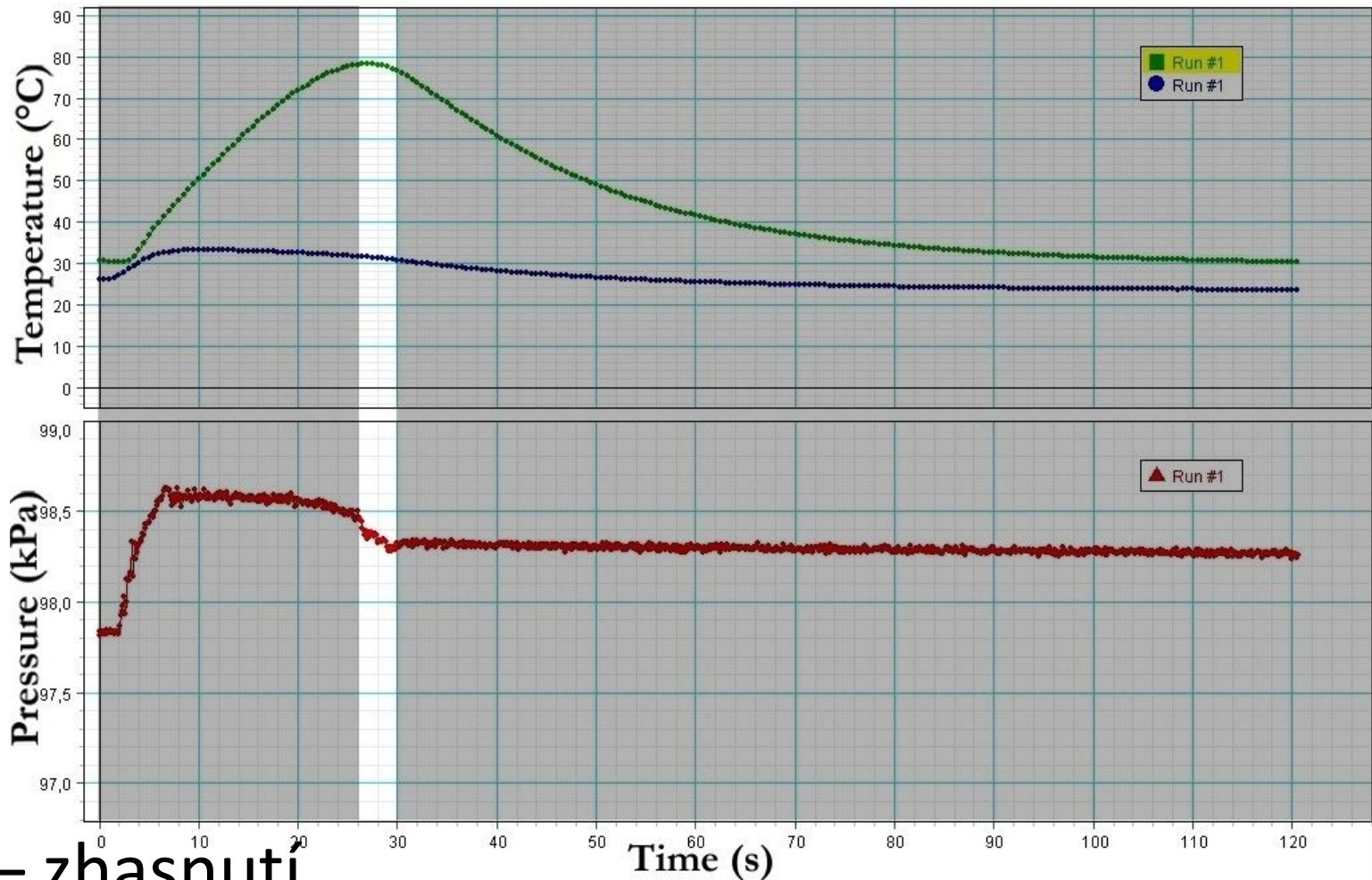
Graf č. 1 c)



7-26 s – hoření svíčky (postupně slábnoucí)

Měření

Graf č. 1 d)

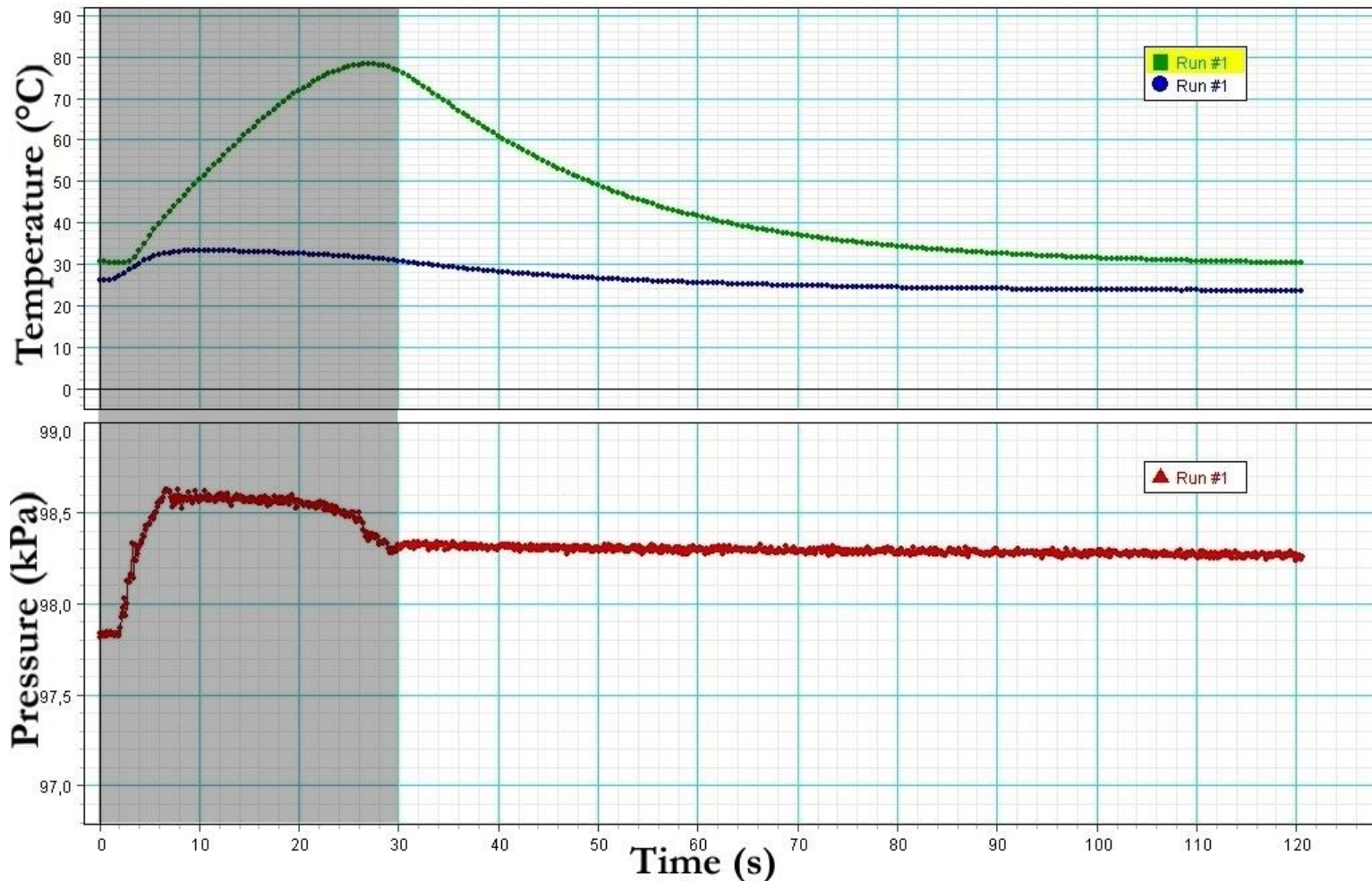


26 s – zhasnutí

26-30 s – rychlejší pokles tlaku → rychlejší vzestup

Měření

Graf č. 1 e)



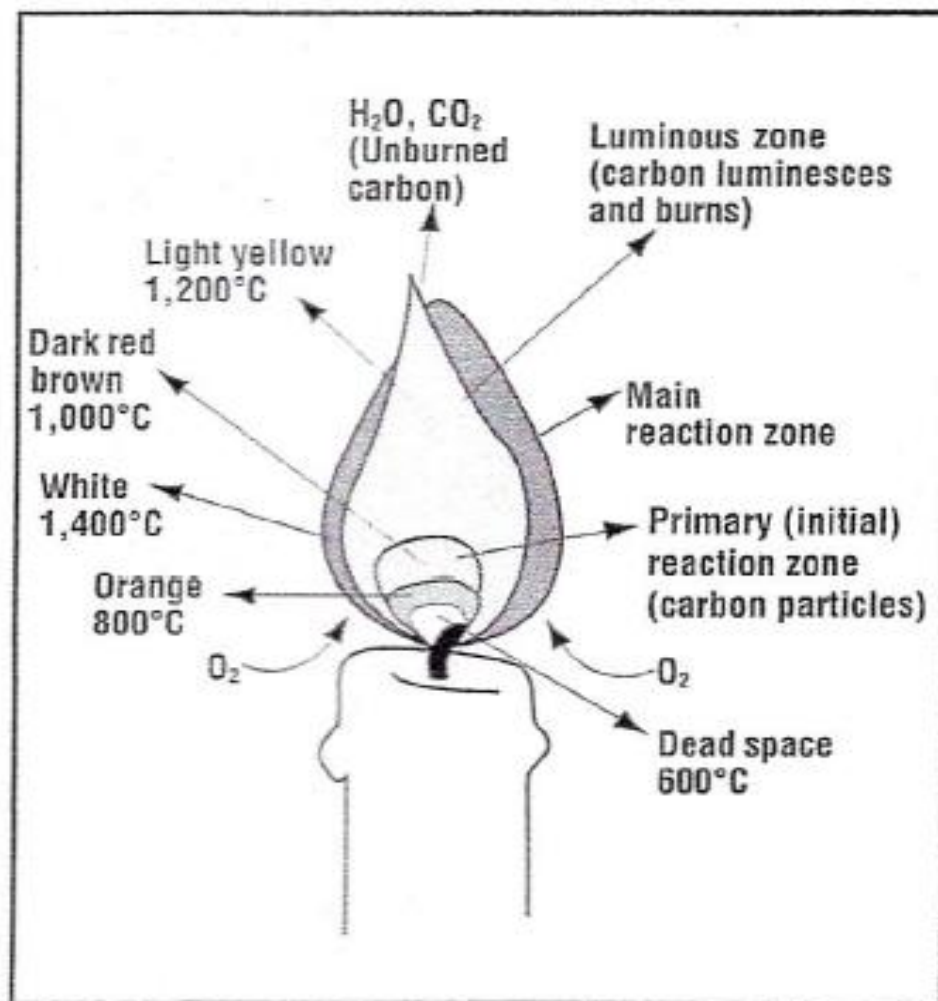
> 30 s – vyrovnávání vnitřní a vnější teploty



Interpretace experimentu

Po zhasnutí svíčky:

- vzniká okamžitý podtlak → krátké zrychlení vodního vzestupu
- ztráta zdroje tepla → rozepnutý plyn se smršťuje
- plyn chladne → pomalý vzestup
- vyrovnání teplot → zastavení vzestupu



Candle flame reaction zones, emissions, and temperature.

[Brian Rohrig 2007]



Sumarizace předpokladů

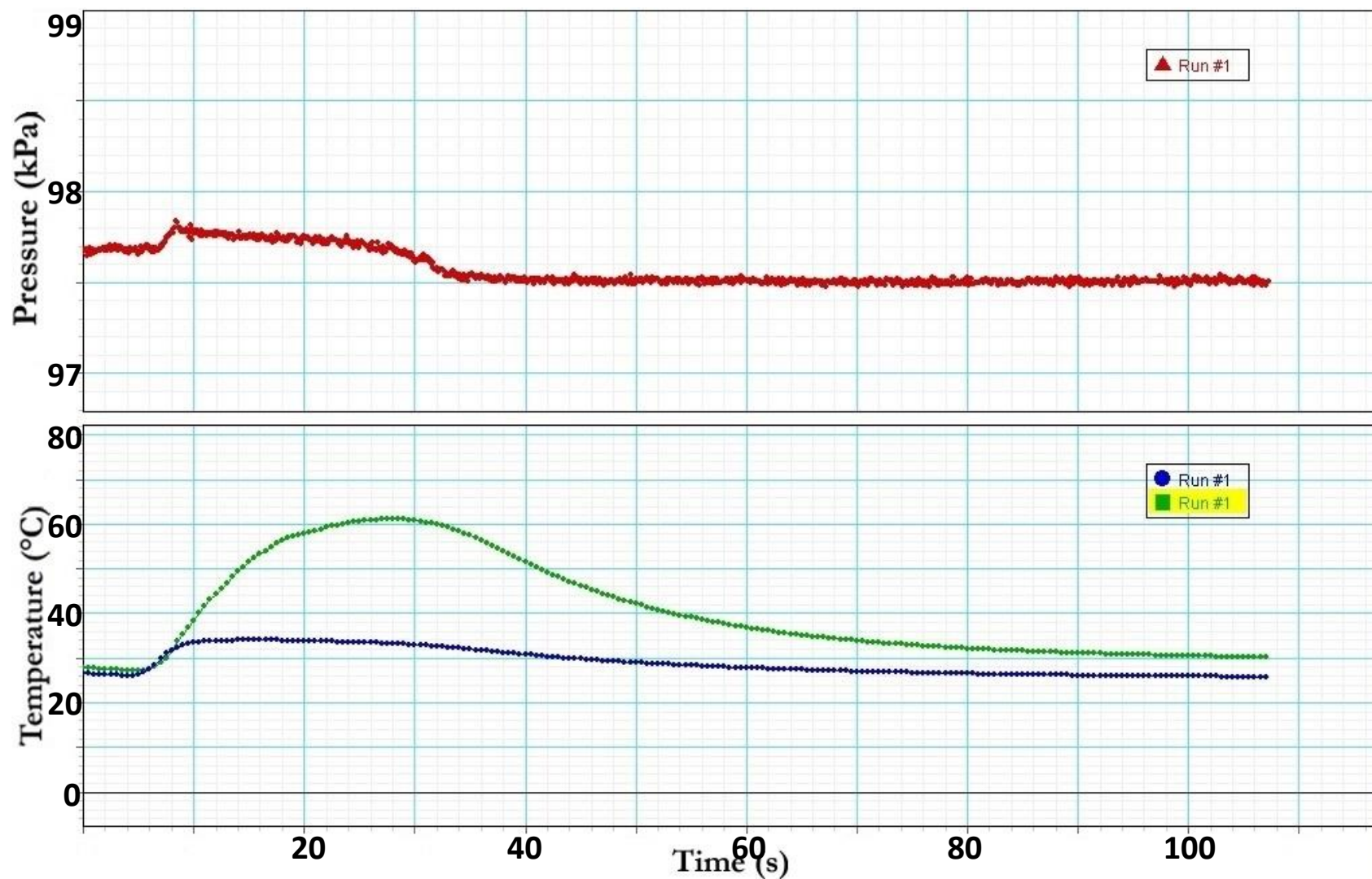
Vodní vzestup je způsoben:

1. kondenzací vodních par (vznik hořením) →
menší objem plynu
2. komprese plynu (zhasnutí svíčky) →
plyn kolem svíčky „imploduje“ →
menší objem plynu

$$pV = NkT$$

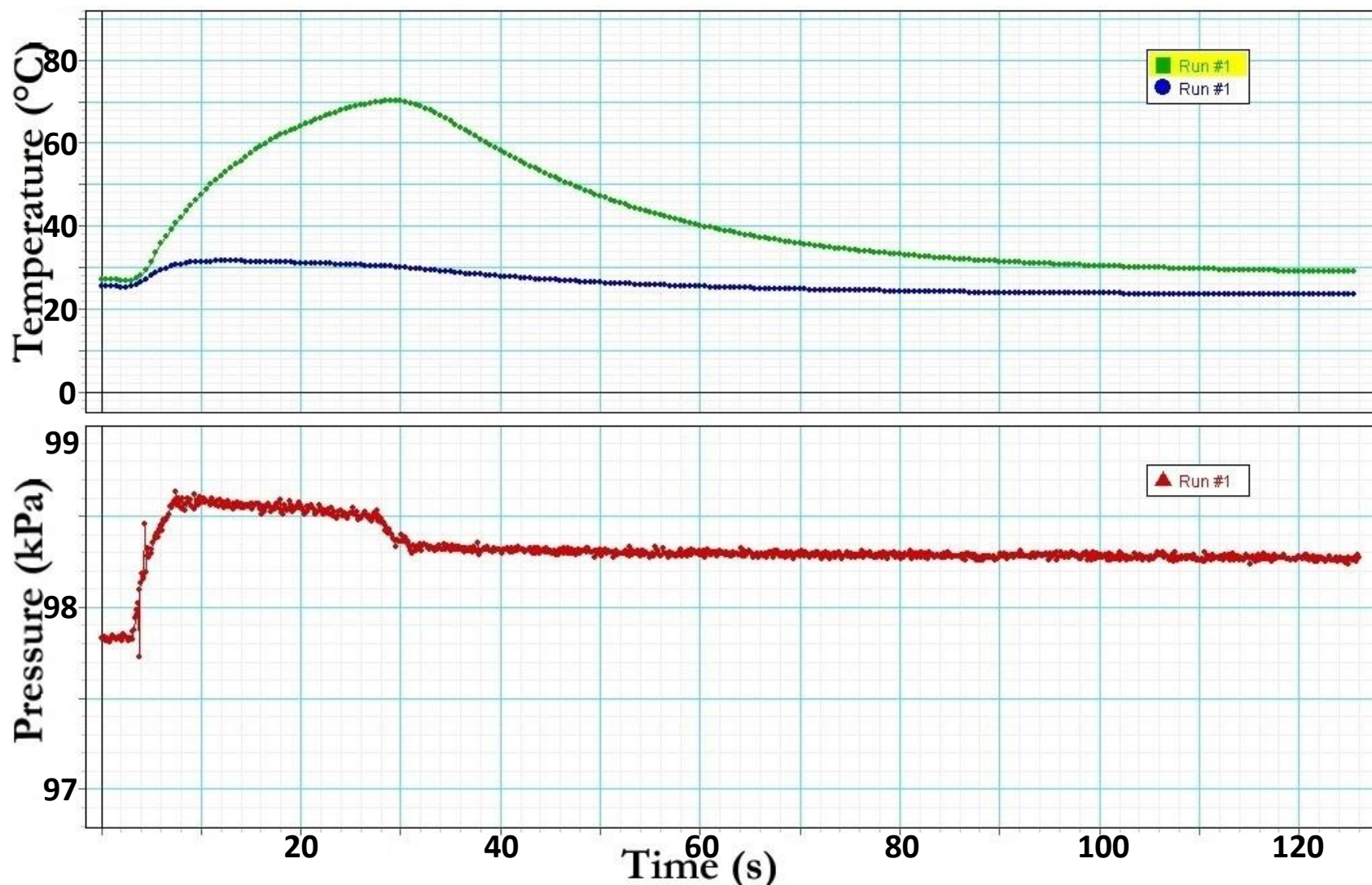
Měření

Graf č. 2 1 svíčka; nízká hladina ve vnější nádobě



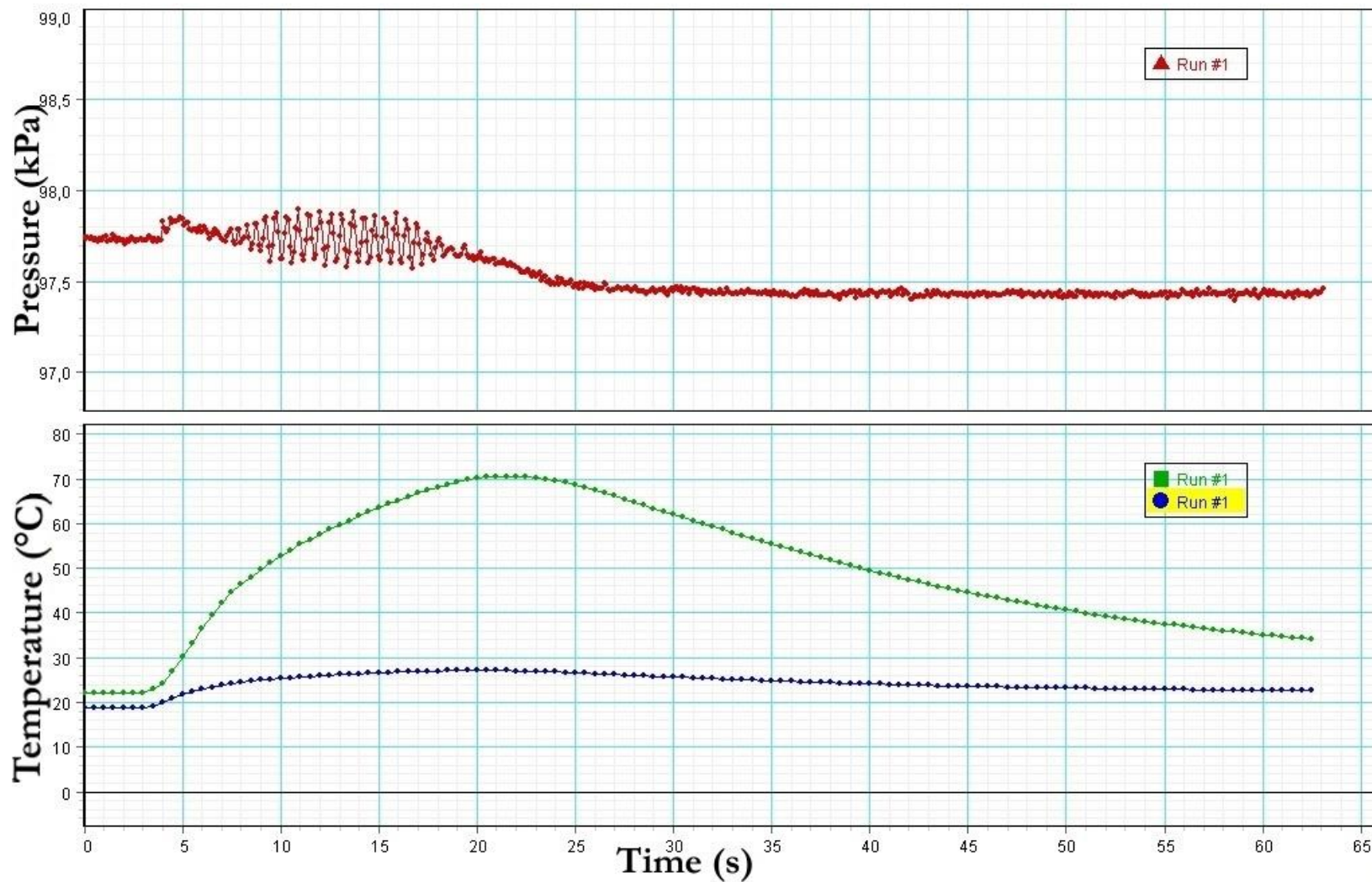
Měření

Graf č. 3 1 svíčka; vysoká hladina ve vnější nádobě

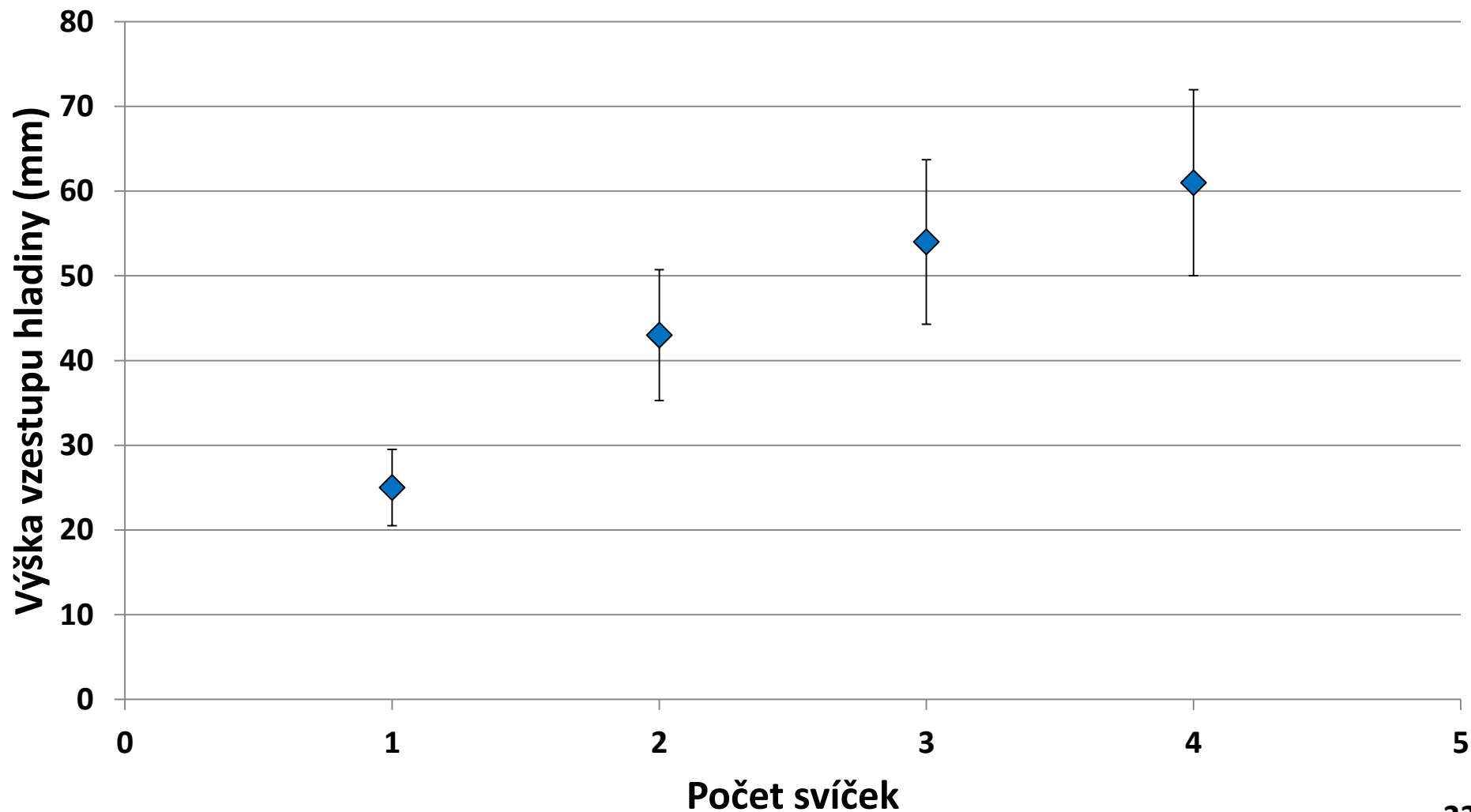


Měření

Graf č. 4 fluktuace plamene

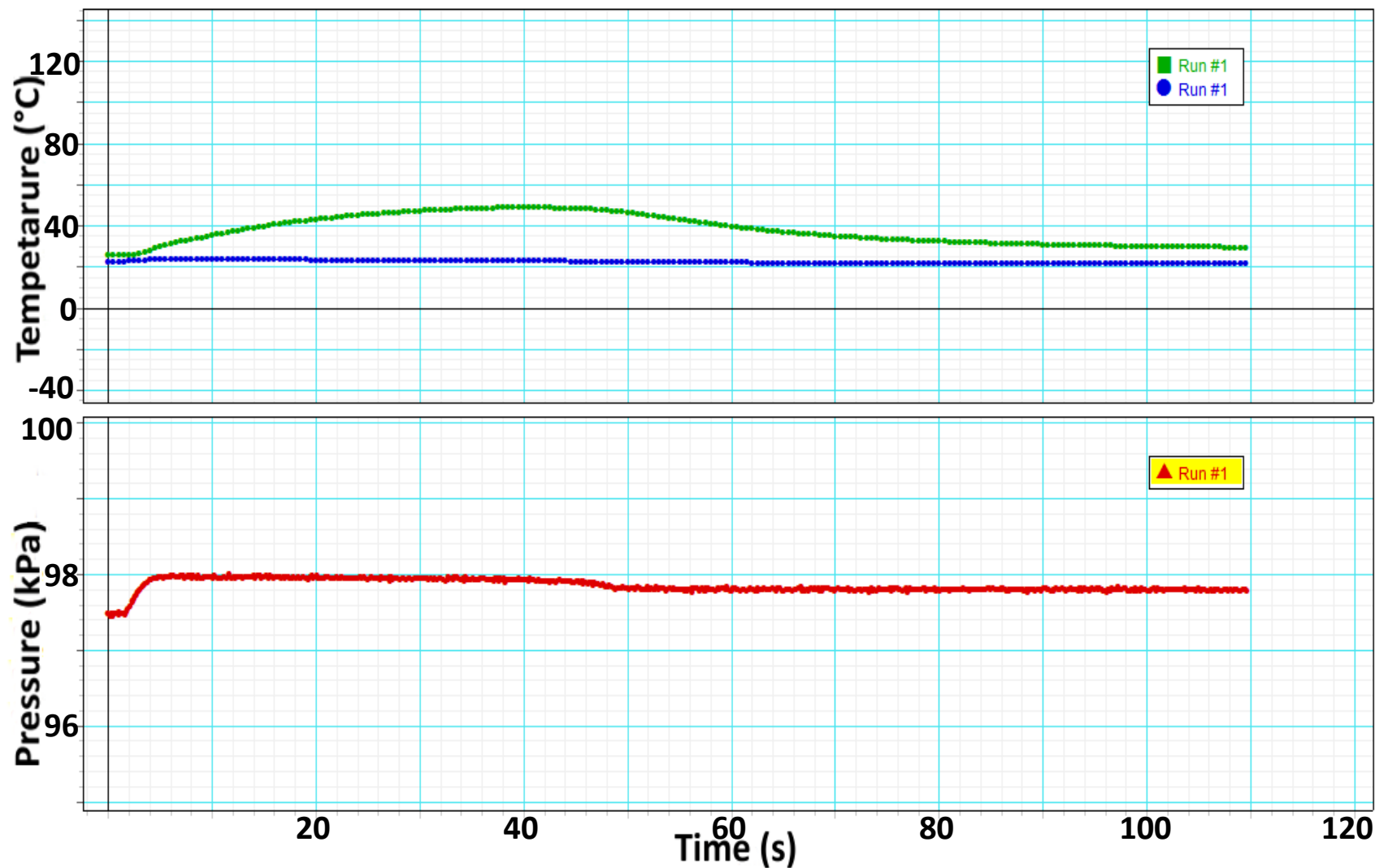


Závislost výšky vzestupu hladiny na počtu svíček



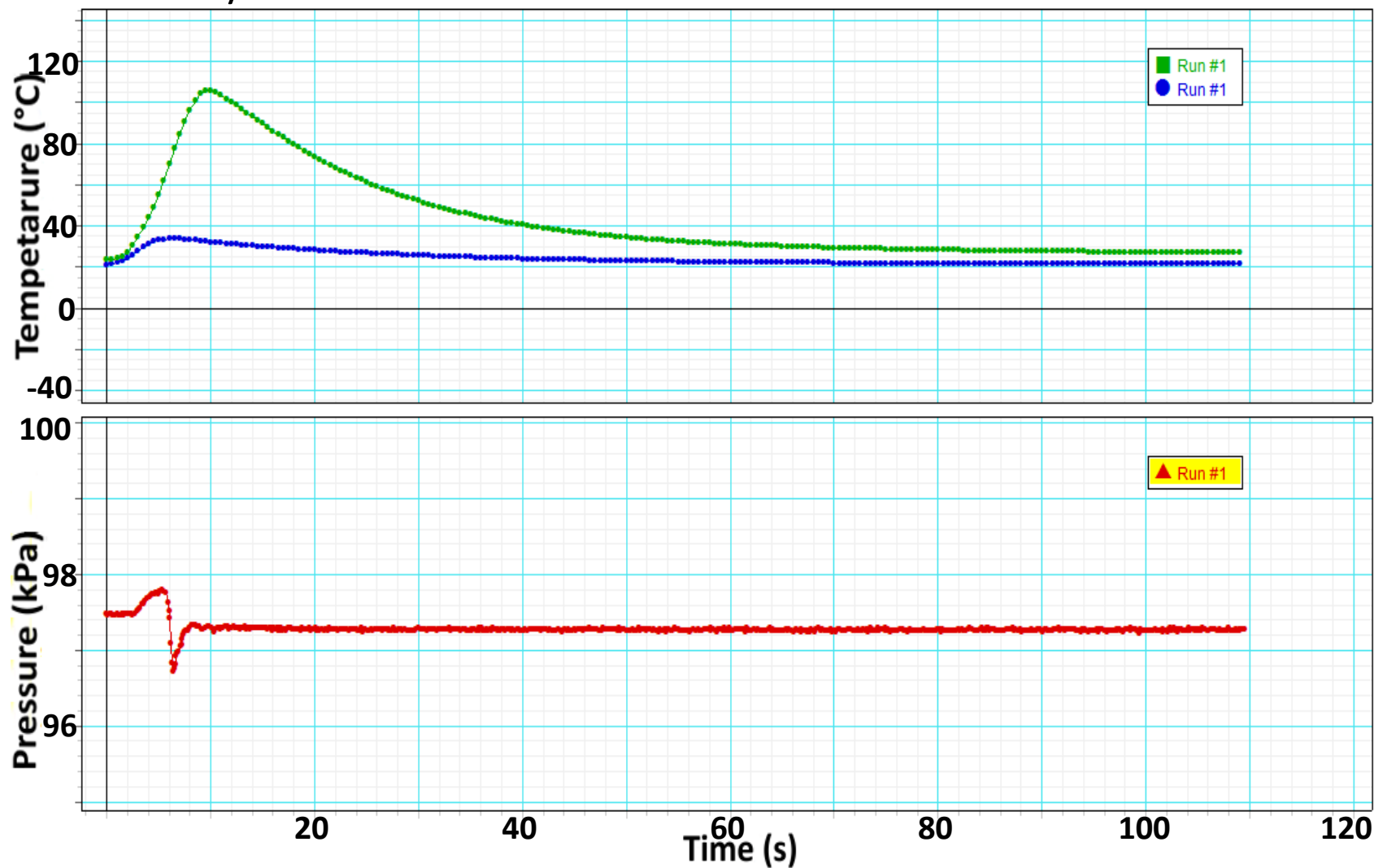
Měření

Graf č. 5 1 svíčka ve vnitřní nádobě



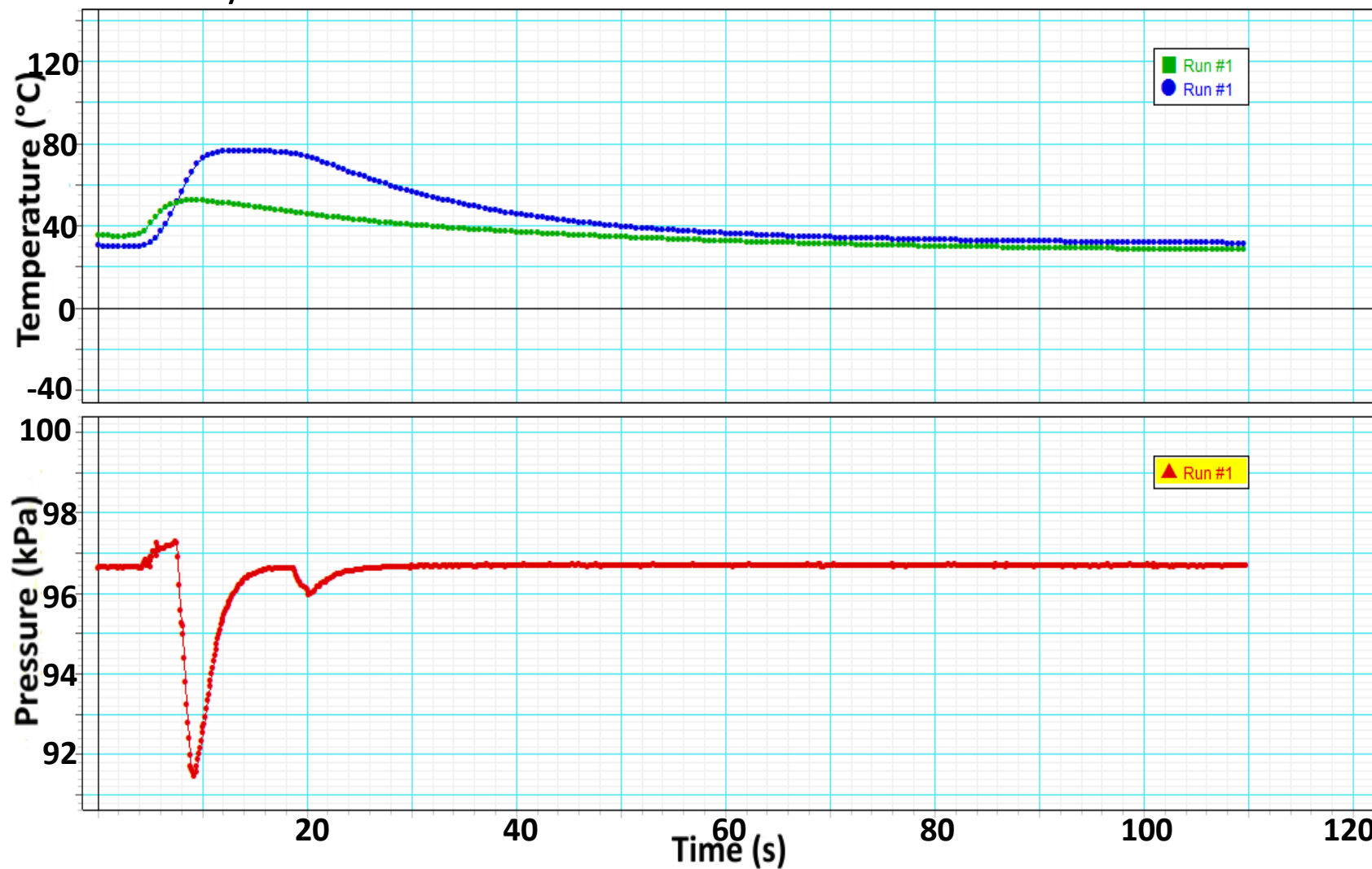
Měření

Graf č. 5 2 svíčky ve vnitřní nádobě

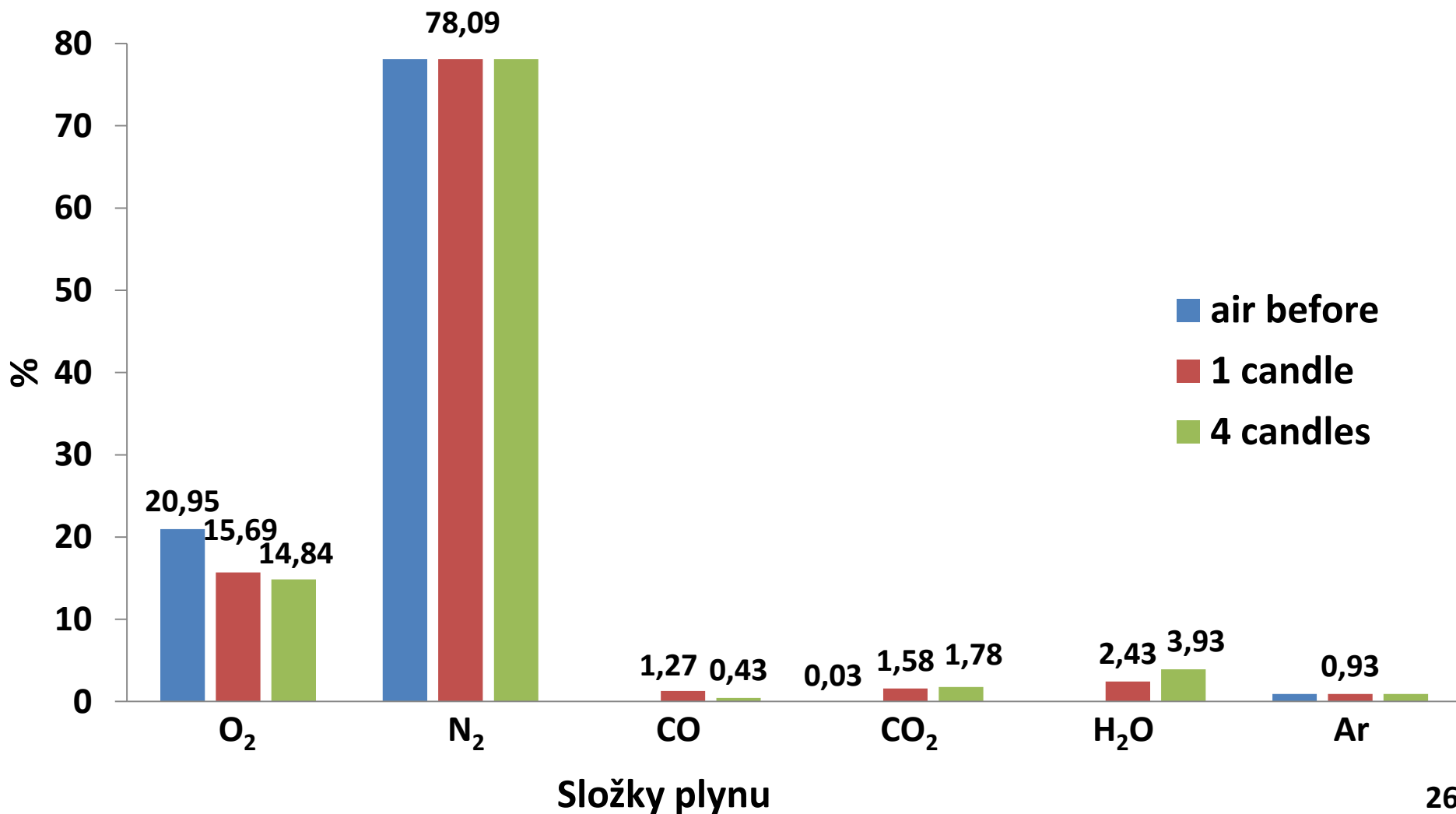


Měření

Graf č. 6 4 svíčky ve vnitřní nádobě



Složení plynu ve vnitřní nádobě





Kvantifikace jevu

kondenzace vodních par X komprese plynu

1 svíčka:

1. kondenzace páry → 2,4 % objemu nádoby
2. komprese plynu:

$$V_1 = \pi r^2 h_1$$

$$V_1 = \pi \cdot (5,1^2 \cdot 2,5) \text{ cm}^3$$

$$V_1 \doteq 204 \text{ cm}^3$$

$$\eta_1 = \frac{V_1}{V} = \frac{204}{1630} \cdot 100\% = 12,5 \%$$

$$12,5 - 2,4 = \mathbf{10,1 \%} \text{ objemu nádoby}$$



Kvantifikace jevu

kondenzace vodních par X komprese plynu

4 svíčky:

1. kondenzace par → 3,9 % objemu nádoby
2. komprese plynu:

$$V_4 = \pi r^2 h_4$$

$$V_4 = \pi \cdot (5,1^2 \cdot 6,1) \text{ cm}^3$$

$$V_4 \doteq 498 \text{ cm}^3$$

$$\eta_4 = \frac{V_4}{V} = \frac{498}{1630} \cdot 100\% = 30,6 \%$$

$$30,6 - 3,9 = \mathbf{26,6 \%} \text{ objemu nádoby}$$

Závěr

- systém se podrobuje rovnostem tlaků:

$$p_n + p_{h2} = p_a + p_{h1}$$

$$p_n = p_a \pm \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$p_n = p_a \pm p_h$$

Fáze experimentu:

1. po přikrytí hořící svíčky nastává vzrůst tlaku
2. pára vzniklá hořením kondenzuje → zmenšuje se objem plynu (tlak) → vodní vzestup
3. svíčka dohasíná → při zhasnutí nastává prudký pokles tlaku → rychlý vzestup
4. vzestup se zpomalí a po vyrovnání teplot úplně zastaví



Závěr

- vodní vzestup je způsoben kondenzací vodních par a kompresí plynu
 - 1 svíčka
 - kondenzace par $\cong 2,5 \%$
 - komprese plynu $\cong 10 \%$
 - 4 svíčky
 - kondenzace par $\cong 4 \%$
 - komprese plynu $\cong 27 \%$
- $\Rightarrow$ komprese plynu hraje větší roli**



References

KNILL, Oliver. Getting the facts right. In: Getting the facts right [online]. 2006 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z:

<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. [online]. 1995, č. 41 [cit. 2013-01-21]. Dostupné z:

<http://home.ntelos.net/~rollinso/Candle/CandleExpt.html>

ROHRIG, Brian. The Captivating Chemistry of Candles. 2007. Dostupné z:

<http://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/highschool/chemmatters/chemmatters-december-2007.pdf>