

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Experimentální metody

**Zpracovali:** Radek Horňák, Jan Slaný, Lukáš Vrána

**Naměřeno:** 17. května 2022

**Obor:** Fyzika plazmatu

**Skupina:** Pá 8:00

**Testováno:**

### Úloha: Měření povrchové energie

## 1. Úvod

Povrchová energie je práce  $W$ , kterou je potřeba vykonat pro vznik jednotky plochy  $A$ :

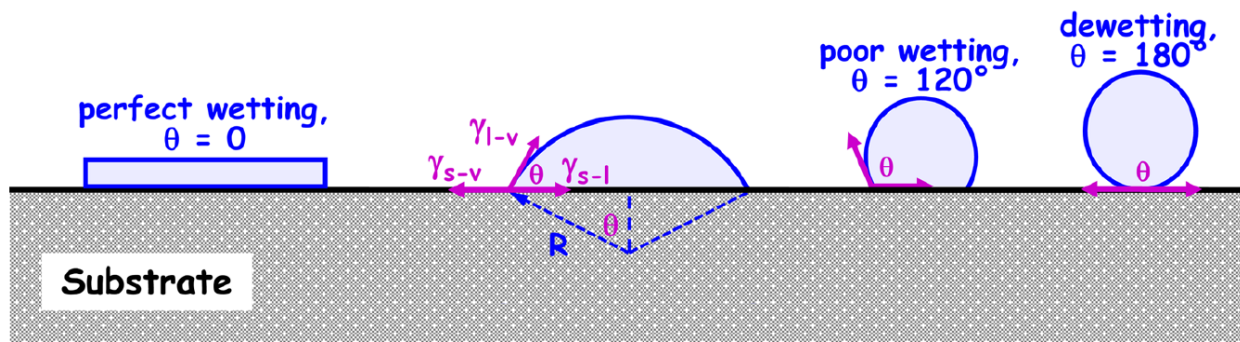
$$W = \gamma \Delta A \quad (1)$$

Na rozhraní pevné látky, kapaliny a plynu jsou přítomná tři povrchová napětí:  $\gamma_{sv}$  je povrchová energie mezi pevnou látkou a párou,  $\gamma_{lv}$  je povrchová energie mezi kapalinou a párou,  $\gamma_{sl}$  je povrchová energie mezi pevnou látkou a kapalinou. Kontaktní úhel  $\theta$  je úhel měřený v kapalině na tomto rozhraní, viz obr. 1.

Povrchová energie materiálu je úměrná přilnavosti či fixaci na daný povrch. V praxi to znamená, že požadujeme vysokou povrchovou energii pro dobrou adhezi tiskařské barvy, lepidel, laků či nátěrů. Nízká povrchová energie je užitečná např. u skel na autě nebo u kuchyňského nádobí (pánví). Povrchová energie je vlastností materiálu, ale také jeho znečištěním, např. otisky prstů mohou snížit povrchovou energii.

Existuje několik metod, jak povrchovou energii určit. Nejjednodušší jsou fixy, které jsou kalibrované pro danou hodnotu povrchové energie. Pokud fix zanechá na povrchu malé kapičky, znamená to, že povrch má nižší povrchovou energii než je uvedená hodnota na fixu. Tato metoda se nejčastěji užívá v průmyslu, kde požadujeme, aby výrobek měl nižší (nebo vyšší) povrchovou energii než daná hodnota. Podobnou metodou jsou testovací inkousty. Jejich princip je stejný jako u fixů, kapalinu nanášíme štětečkem na povrch. Fixy ani inkousty nepotřebují přívod elektřiny či počítač, jsou ale drahé a mají krátkou životnost (3 až 6 měsíců).

Kapková metoda je založena na sledování tvaru kapky testovací kapaliny usazené na povrchu vzorku. Testovací kapaliny nesmí reagovat se vzorkem, musí mít známé a stálé parametry, neměly by



Obrázek 1: Ilustrace povrchového napětí  $\gamma$  a kontaktního úhlu  $\theta$ .



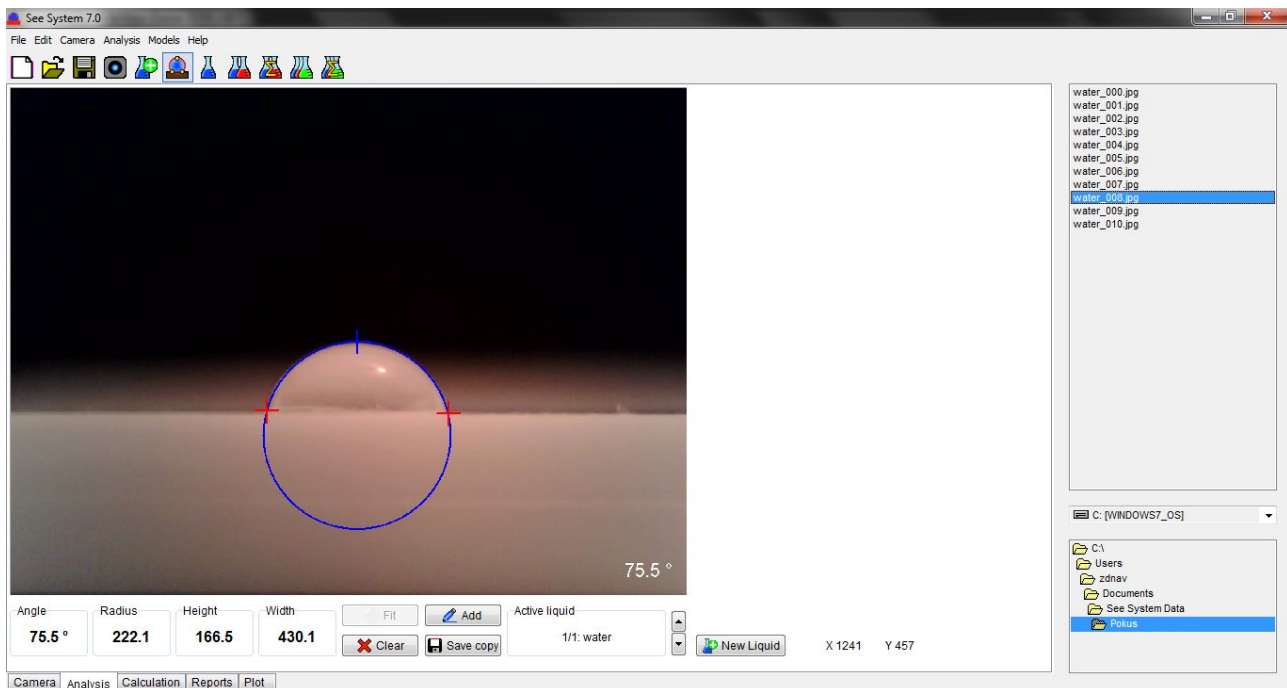
Obrázek 2: Přístroj See System pro měření kontaktního úhlu kapky a určení povrchové energie.

být toxické, nesmí se rychle vypařovat a jejich povrchové napětí musí být vyšší než povrchová energie pevné látky. Výhodou této metody je určení hodnoty povrchové energie včetně chybové analýzy dle použitých modelů. Mezi chyby měření patří špatně usazená kapka, špatný fit profilu kapky, nehomogenita vzorku, sejmutí profilu před dosažením termodynamické rovnováhy, kontaminace měřicích kapalin aj.

## 2. Praktická část

Pro měření povrchové energie byl použit přístroj See System, viz obr. 2. Přístroj je složen ze stolku o velikosti  $10 \times 10$  cm, který lze dvěma stavěcími šrouby posouvat do všech směrů, a 2Mpix kamery, která snímá povrch. Na stůlek se položí substrát, jehož povrchovou energii chceme zkoumat. Mikropipetou se nanese na povrch kapka a stůlek se stavěcími šrouby naladí tak, aby kamera ostře snímala kapku na povrchu. Přístroj je připojen USB portem k počítači, který pomocí příslušného softwaru dokáže ovládat kameru. Jakmile je kapka ostře vidět, přes software uložíme fotku z kamery a dále zpracujeme. Na kapce zvolíme ručně tři body – dvě na rozhraní pevná látka – kapalina – plyn a třetí bod na vrcholu kapky, čímž určíme kontaktní úhel pro danou testovací kapalinu, viz obr. 3. Pokud toto uděláme pro kapky alespoň dvou různých kapalin, software dokáže spočítat povrchovou energii pomocí běžných modelů.

Měřili jsme povrchovou energii teflonu. Před měřením jsme povrch očistili isopropylalkoholem. Následně jsme měřili kontaktní úhel šesti testovacích kapalin: voda, etylenglykol, diiodometan, glycerol, formamid,  $\alpha$ -bromnaftalen, kde u každé kapaliny jsme naměřili kontaktní úhel 10 kapek. Pro výpočet povrchové energie jsme použili několik metod.



Obrázek 3: Ukázka třibodového určení kontaktního úhlu pomocí See System softwaru.

## 2.1. Zismanova metoda

Zismanova metoda je založena na vynesení závislosti  $\cos \theta = f(\gamma_l)$  do grafu. Po naměření kontaktních úhlů  $\theta$  pro několik kapalin se známou hodnotou povrchové energie  $\gamma_l$  (tab. 1) můžeme fitovat závislost rovnicí

$$\cos \theta = 1 + b(\gamma_c - \gamma_l) \quad (2)$$

z které získáme hodnotu celkové povrchové energie  $\gamma_c$ .

Tabulka 1: Povrchové napětí testovacích kapalin

kapalina	$\gamma_l$ [mN · m <sup>-1</sup> ]
destilovaná voda	72,8
etylenglykol	47,7
dijodometan	50,8
glycerol	64,0
formamid	58,2
$\alpha$ -bromnaftalen	44,4

## 2.2. Wu metoda

$$(1 + \cos \theta) \gamma_l = 4 \left( \frac{\gamma_s^d \gamma_l^d}{\gamma_s^d + \gamma_l^d} + \frac{\gamma_s^p \gamma_l^p}{\gamma_s^p + \gamma_l^p} \right) \quad (3)$$

## 2.3. Owens-Wendtova regresní metoda

$$\frac{1 + \cos \theta}{2} \frac{\gamma_l}{\sqrt{\gamma_l^d}} = \sqrt{\gamma_s^d} + \sqrt{\gamma_s^p} \sqrt{\frac{\gamma_l^p}{\gamma_l^d}} \quad (4)$$

## 2.4. Acidobazická metoda

$$\gamma = \gamma^{\text{LW}} + \gamma^{\text{AB}} \quad (5)$$

$$\gamma^{\text{AB}} = 2\sqrt{\gamma^+ \gamma^-} \quad (6)$$

$$(1 + \cos \theta) \gamma_l = 2 \left( \sqrt{\gamma_l^{\text{LW}} \gamma_s^{\text{LW}}} + \sqrt{\gamma_l^+ \gamma_s^-} + \sqrt{\gamma_l^- \gamma_s^+} \right) \quad (7)$$

## 2.5. Kwok-Neumann metoda

$$\cos \theta = -1 + 2 \left( \frac{\gamma_{\text{sv}}}{\gamma_{\text{lv}}} \right)^{1/2} (1 - 0,0001057(\gamma_{\text{lv}} - \gamma_{\text{sv}})^2) \quad (8)$$

## 2.6. Li-Neumann metoda

$$\cos \theta = -1 + 2 \left( \frac{\gamma_{\text{sv}}}{\gamma_{\text{lv}}} \right)^{1/2} e^{-0,0001247(\gamma_{\text{lv}} - \gamma_{\text{sv}})^2} \quad (9)$$

## 3. Závěr

V této úloze jsme se zabývali měřením povrchové energie. Konkrétně jsme měřili povrchovou energii teflonu pomocí přístroje See System. Pro výpočet povrchové energie jsme použili několik metod, vstupními parametry pro výslednou hodnotu byly námi naměřené kontaktní úhly šesti různých kapalin. První metodou byla Zismanova. Pro ni jsme k hodnotě získané ze softwaru See Systemu ... nafitovali danou závislost i ručně, přičemž nám vyšlo ... . Obě hodnoty se v rámci chyby shodují, ta je ovšem příliš velká a tato metoda se tedy jeví jako nevhodná.