

**UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ  
KATEDRA POLYGRAFIE A FOTOFYZIKY**

**MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ  
NA ZAŘÍZENÍ SEE SYSTEM**

**Roman Korenec**

**Bakalářská práce**

**2013**

**vložit zadání bakalářské práce**

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst.1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 27. 8. 2013.

*(podpis autora)*  
Roman Korenec

## **Poděkování**

Děkuji paní Ing. Haně Holické, Ph.D. za pomoc při řešení bakalářské práce. Další poděkování patří mé matce za podporu mého studia.

## **Anotace**

Cílem této bakalářské práce bylo standardizovat podmínky měření na zařízení See System a popsat vhodný postup měření. V práci je shrnuta základní problematika měření povrchového napětí, popis zařízení měřících metodou „sessile drop“ a popis experimentu.

## **Annotation**

The aim of this bachelor work was to standardize conditions of measurement on See System device and describe the proper process of measurement. This work summarize basics problems of measurement of surface tension, description of devices which use sessile drop method and describe of experiment.

## **Klíčová slova:**

povrchové napětí, volná povrchová energie, kontaktní úhel, fáze

## **Key words**

surface tension, surface free energy, contact angle, phase

# Obsah

1	Úvod.....	8
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	9
2.1	Povrchové napětí .....	9
2.1.1	Povrchové napětí kapalin .....	9
2.1.2	Mezimolekulární interakce.....	9
2.1.3	Fázové rozhraní .....	11
2.1.4	Volná povrchová energie .....	12
2.1.5	Povrchová energie pevných látek.....	13
2.1.6	Stanovení povrchové energie pevných látek.....	13
2.1.7	Závislost molární povrchové energie na teplotě .....	13
2.2	Podmínky rovnováhy na rozhraní mezi třemi fázemi .....	14
2.2.1	Kapka kapaliny na povrchu pevné látky .....	15
2.3	Kapalina v kapiláře.....	15
2.4	Úhel smáčení .....	17
2.5	Kohezní a adhezní práce, rozestírací koeficient .....	18
2.6	Stanovení volné povrchové energie.....	20
2.6.1	Zismanova teorie .....	20
2.6.2	Fowkesova teorie.....	21
2.6.3	Owens-Wendtova metoda .....	22
2.6.4	Wuova teorie – metoda harmonického průměru .....	23
2.6.5	Van Ossova acido-bazická teorie .....	24
3	Experimentální část.....	25
3.1	Experimentální materiál .....	25
3.1.1	Měřené pevné látky .....	25
3.1.2	Testovací kapaliny.....	25
3.2	Experimentální přístroje a zařízení.....	26
3.2.1	CAM 100.....	26
3.2.2	See System .....	27
3.2.3	Mikropipeta Hamilton .....	28
3.3	Experimentální metody.....	28
3.3.1	Stanovení referenčních hodnot kontaktních úhlů.....	28
3.3.2	Postup měření na přístroji CAM 100 .....	28
3.3.3	Postup měření na přístroji See System.....	29
3.3.4	Optické podmínky a nastavení kamery .....	30

3.3.5	Příprava měřeného vzorku .....	30
3.3.6	Aplikace kapky testovací kapaliny.....	31
3.3.7	Označení hraničních bodů kapky .....	31
3.4	Experimentální výsledky .....	32
3.4.1	Stanovení kontaktního úhlu na zařízení Cam 100.....	32
3.4.2	Stanovení kontaktního úhlu na zařízení See System.....	41
3.4.3	Porovnání naměřených kontaktních úhlů na zařízení CAM 100 a See System.....	42
4	Závěr.....	43
	Seznam použité literatury .....	44

# 1 Úvod

Povrchové napětí v případě kapalin a povrchová energie v případě pevných látek je pro polygrafii jednou ze stěžejních vlastností materiálů. Znalost hodnoty povrchového napětí je důležitá zejména pro výrobce polygrafických materiálů. Ve výrobě musejí být tyto natolik vhodně slazené, aby byl zajištěn hladký průběh tisku. Vhodnou kombinací laků s různým povrchovým napětím je např. dosahováno efektního zušlechťování tiskovin.

Tato práce má z části za cíl seznámit čtenáře se základny problematiky povrchového napětí a popsat metody, jimiž je možno povrchové napětí vypočítat. Hlavní pozornost je však věnována experimentu, kterým měly být standardizovány vnější podmínky během měření kontaktních úhlů na přístroji See System a popsán postup měření.

Měření povrchového napětí, resp. povrchové energie, je z důvodu měření tří fázového systému značně náročné a bylo tedy zapotřebí popsat přesný postup, jakým dosáhnout kvalitních výsledků.



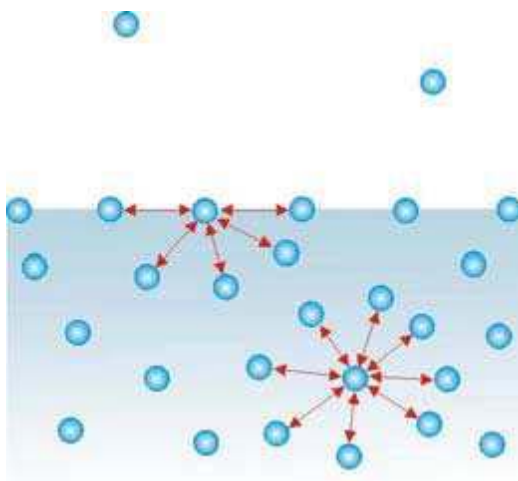
## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Povrchové napětí

#### 2.1.1 Povrchové napětí kapalin

Atomy či molekuly, které tvoří pevné látky a kapaliny, jsou vzájemně ovlivňovány řadou mezimolekulárních sil, které uvnitř těchto látek vytvářejí energeticky nejvýhodnější soudržné vazby – u pevných látek převážně vazby chemické u kapalin fyzikální, vznikající v důsledku přitažlivých mezimolekulárních (kohezních) sil.

V objemu jsou tyto vzájemně působící síly vykompenzovány, ale v blízkosti fázového rozhraní např. kapaliny a vzduchu, už tomu tak není – výslednice působících sil je nenulová a směřuje dovnitř prostředí s vyšší kohezní energií. Na povrchu kapaliny se tak vytváří vrstva molekul, která se chová jako pružná blanka pokrývající kapalinu. Blanka se snaží stáhnout povrch kapaliny tak, aby měl co nejmenší obsah. Kdyby na kapalinu nepůsobily vnější síly, zaujala by kulový tvar. [1]



Obr. 1. Síly mezi molekulami a na fázovém rozhraní

#### 2.1.2 Mezimolekulární interakce

Mezi jednotlivými částicemi (atomy nebo molekulami) se uplatňují různé druhy interakcí podle toho, zda se jedná o částice bez elektrického náboje, polární nebo napolární, nebo o částice nabitě.

Tyto interakce jsou relativně slabé, ale při nižších teplotách dokáží sdružit molekuly do tzv. agregátních stavů, do kapalného a tuhého skupenství. Jsou příčinou toho, že i nízkomolekulové látky ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{H}_2$ ...) existují při dostatečně nízké teplotě v kondenzovaných stavech.

Mezimolekulové síly lze podle jejich fyzikálně chemické podstaty rozdělit na dva druhy:

1. Van der Waalsovy síly
2. vazbu vodíkovým můstkem

Existenci těchto sil musíme předpokládat při vzájemném přiblížení jakýchkoli dvou atomových uskupení. Jsou-li oba útvary stálé a mají-li minimální tendenci změnit své dosavadní vazebné uspořádání, jsou van der Waalsovy síly jediným typem interakce, který se mezi nimi projeví.

Van der Waalsovy síly jsou tvořeny příspěvky trojího druhu, tyto jsou podmíněny přítomností: [2, 6]

1. coulombických
2. indukčních
3. disperzních sil.

### **2.1.2.1 Dipól – dipólové coulombické síly**

Coulombické síly jsou orientační síly vznikající v systému atomových útvarů, které mají permanentní elektrický dipól, tedy u molekul, jejichž kovalentní vazba je polární. Fyzikální podstata těchto sil je čistě elektrostatická. Opačně nabitě konce molekul se přitahují, stejně nabitě odpuzují. Molekuly proto při zaujímání vzájemné polohy některé pozice preferují, a to ty, při nichž celková energie souboru molekul poněkud klesá.

V kapalinách dochází vlivem tepelného pohybu molekul k neustálému porušování vzniklých konfigurací a k ustavení určité dynamické rovnováhy. V krystalech zůstávají vzniklá uspořádání zachována a pravidelně se v krystalové mřížce opakují.

Orientační asociace dipólů je nezanedbatelnou částí celkově slabé interakce polárních molekul s dostatečně velkým dipólovým momentem ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2\dots$ ). [2, 6]

### **2.1.2.2 Dipól – molekulové a dipól – dipólové indukční síly**

Elektrostatické působení molekuly s permanentním dipólem na jinou molekulu vyvolává určitou deformaci jejího elektronového obalu a vznik indukovaného dipólového momentu. Pokud druhá molekula má svůj vlastní permanentní dipólový moment, pak indukovaný dipólový moment se k němu přičítá. Permanentním dipólem je zpětně ovlivňována molekula první. Indukčním působením zesílené dipóly se poutají elektrostatickými silami – vzniklé silové působení je nazýváno dipól – dipólové indukční síly (interagují 2 a více permanentních dipólů) nebo síly dipól – molekulové (jestliže jedna z částic permanentní dipól nemá).

Indukční síly nebývají příliš velké. Závisí na velikosti permanentních dipólů zúčastněných molekul a na jejich polarizovatelnosti (deformovatelnosti elektronového obalu molekuly). Polarizovatelnost roste se zvětšující se vzdáleností valenčních elektronů a jader atomů a v řadách příbuzných molekul s rostoucí delokalizací elektronů. [2, 6]

### 2.1.2.3 Disperzní (Londonovy) síly

Tyto síly se týkají, na rozdíl od výše diskutovaných případů, nepolárních molekul. Jejich podstatu lze vyložit na základě následující představy:

Elektrony určité molekuly neustále oscilují v potenciálové jámě vytvořené atomovými jádry. Při tom těžiště poloh všech záporně nabitých elektronů a těžiště kladných nábojů jader spolu v každém časovém okamžiku nesplývají. Molekula jako by byla časově velmi rychle proměnným dipólem. Při přiblížení dvou molekul k sobě jejich proměnné dipóly indukují vždy v druhém uskupení další proměnný dipól, s nímž se silově ovlivní. Tato interakce je tím větší, čím jsou zúčastněné molekuly polarizovatelnější.

Ve všech případech je přitažlivá energie mezi dvěma molekulami nepřímo úměrná šesté mocnině jejich vzdálenosti.

$$u = -konst \cdot r^{-6} \quad (1)$$

Uvedené tři typy interakcí se uplatňují v různé míře; ve většině případů však převládají Londonovy disperzní síly nad ostatními (kromě interakcí mezi silně polárními molekulami jako voda nebo ethanol, u kterých se vyskytují vodíkové vazby, jejichž energie je úměrná  $r^{-2}$ ). Pro nepolární uhlovodíky dosahují až 100 %. Konstanta úměrnosti v rovnici (1) představuje soubor konstant, které charakterizují interagující molekuly (polarizovatelnosti, dipólmomenty, charakteristické frekvence oscilace nábojů); u disperzních interakcí se tato konstanta úměrnosti nazývá Londonova konstanta C. [2, 6]

### 2.1.3 Fázové rozhraní

Pod pojmem fáze se rozumí určitá část objemu zkoumaného systému, ve které jsou vlastnosti konstantní nebo se spojitě mění v prostoru. Jednotlivé fáze jsou odděleny fázovým rozhraním. Z makroskopického hlediska fázovým rozhraním rozumíme oblast, ve které se jedna nebo více vlastností systému mění skokem. Z mikroskopického, molekulárního hlediska mají fázová rozhraní určitou tloušťku - minimálně jeden, ale většinou několik molekulárních průměrů - a tedy i určitý objem.

Vlastnosti fázového rozhraní jsou ovlivňovány vlastnostmi obou stýkajících se fází. Podle skupenského stavu stýkajících se objemových fází bývají rozlišována fázová rozhraní:

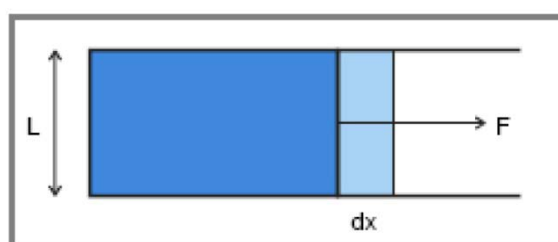
rozhraní kapalina/plyn (l/g)  
rozhraní kapalina/kapalina (l/l)  
rozhraní pevná látka/plyn (s/g)  
rozhraní pevná látka/kapalina (s/l)  
rozhraní pevná látka/pevná látka (s/s)

Fázová rozhraní kapalina/plyn a pevná látka/plyn bývají označována jako povrchy. Různé typy rozhraní mají některé společné vlastnosti; v řadě vlastností se však podstatně liší. Hlavní rozdíly spočívají v charakteru povrchu kapaliny a povrchu pevné látky. [2]

## 2.1.4 Volná povrchová energie

Volná povrchová energie  $\sigma$ , vztažená na jednotku plochy kapaliny, vyjadřuje hustotu této energie a udává se v jednotkách  $\text{Jm}^{-2}$ . Při zvětšování povrchu je třeba překonat sílu, která v povrchové vrstvě působí. Napětí, které působí v rovině tečné k povrchu kolmo na jednotkovou délku čáry myšleného řezu povrchem, se nazývá povrchové napětí. Povrchové napětí se udává v jednotkách  $10^{-3} \text{Nm}^{-1}$  a číselně se rovná hodnotě hustoty volné povrchové energie  $\sigma$ .

Pro lepší představu se udává model, kdy kapalina je rozprostřena do plochy, např. drátěné smyčky obdélníkového tvaru, kde je jedna strana volně pohyblivá (viz obr. 2). Povrchové napětí se snaží zmenšit povrch co nejvíce, a tak i volně pohyblivá strana se bude stahovat ve směru zmenšujícího se povrchu. Velikost tahu vztaženého na jednotku délky je mírou povrchového napětí  $\gamma$ . [1, 3]



Obr. 2 Drátěná smyčka s jednou volně pohyblivou stranou

V roce 1805 ukázal Thomas Young, že mechanické vlastnosti povrchu kapaliny je možné přirovnat k vlastnostem jakési hypotetické blány, napnuté přes povrch kapaliny. O této bláně se mělo za to, že je ve stavu napětí. Když má průřez povrchové blány tvar obdélníku o nepatrné (v zásadě neměnné) výšce, je plocha průřezu dána vlastně pouze délkou tohoto obdélníku, takže stav napětí povrchové blány je možné vystihnout povrchovým napětím, což je síla vztažená na jednotku délky. Povrchové napětí  $\gamma$  působí v rovině povrchu a vždy takovým směrem, že klade odpor všem snahám zvětšit plochu povrchu.

Ve skutečnosti však tomu musí být tak, že rozhraní oddělující dvě fáze,  $\alpha$  a  $\beta$ , je oblastí nějaké konečné tloušťky, ve které se uskutečňuje postupný přechod od vlastností fáze k vlastnostem fáze  $\beta$ . Young ukázal – a v tom spočívá jeho velký přínos – že po stránce mechanických vlastností je možné takovou mezifázovou oblast nahradit myšlenkovým modelem napnuté blány nekonečně malé tloušťky, která představuje jakousi náhradní dělicí plochu mezi oběma oblastmi, nazývanou plocha působení napětí. Je možné rigorózně dokázat, že vlastnosti povrchové vrstvy plně postačují k jednoznačnému určení plochy působení napětí a hodnoty povrchového napětí působícího v této ploše. [7]

### 2.1.5 Povrchová energie pevných látek

U pevných látek jsou částice látky blíž u sebe a vzájemné působení je větší než u kapalin. Částice pevné látky se nemohou přeskupit, aby minimalizovaly svoji energii. Je zde jiný příspěvek k volné povrchové energii vyplývající z práce potřebné k deformaci povrchu. Volná povrchová energie pevných látek může být popsána jako míra porušení chemických vazeb při vzniku nového povrchu. Když se rozdělí pevné těleso na polovinu, spotřebuje se energie nutná na porušení vazeb. Je-li toto uděláno vratně, je energie spotřebovaná na řezání ( $W_c$ ) rovna energii dvou nově vzniklých povrchů  $2\gamma_i$ .

$$\frac{W_c}{2} = \gamma_i \quad (2)$$

Toto ovšem platí jen při ideálních podmínkách. V praxi je rozdělení nevratným procesem díky disipační energii. Energie nutná k rozdělení je větší než energie nově vzniklých povrchů. Vysoce energetické povrchy se snaží snížit svoji energii pohlcováním kontaminantu z okolí. Povrchová energie u pevných látek ovlivňuje jejich smáčivost. [4]

### 2.1.6 Stanovení povrchové energie pevných látek

Možnosti přímého stanovení jsou dosti omezené a většina z nich je použitelná pouze pro určitou skupinu pevných látek nebo pro speciální podmínky. Povrchovou energii pevné látky je možno odhadnout z povrchové energie kapaliny.

K experimentálnímu stanovení povrchové energie pevné látky je možné použít metody založené na měření úhlu smáčení. Známe-li hodnoty mezifázových energií kapalina-pevná látka a povrchové napětí kapaliny, je možno vypočítat povrchovou energii pevné látky z Youngovy rovnice.

### 2.1.7 Závislost molární povrchové energie na teplotě

Závislost na teplotě je velmi důležitá, neboť v kritickém bodu mizí rozdíl mezi kapalinou a párou, a tím lze odůvodnit i zmizení molární povrchové energie. Čím je naopak kapalina tomuto bodu vzdálenější, tím více se uplatňují mezimolekulární síly a vzrůstá povrchová energie. V malém teplotním rozmezí klesá povrchové napětí s teplotou prakticky lineárně. Tomu odpovídá vztah:

$$\omega_m = \alpha (T_K - T) \quad (3)$$

kde  $\omega_m$  je hodnota povrchové energie,  $\alpha$  je konstanta, stanovená z jedné experimentální hodnoty povrchové energie,  $T_K$  je kritická teplota.

Přesněji teplotní závislost molární povrchové energie vyjadřuje tzv. Ramsay-Eötvös-Schildsovu rovnici, která počítá s tím, že povrchová energie mizí asi o 6 stupňů dříve, než odpovídá kritickému bodu.

$$\omega_m = \alpha (T_K - 6 - T) \quad (4)$$

Závislost povrchového napětí na teplotě je velmi podobná, ale rozdíl  $(T_K - T)$  se vyskytuje v n-té mocnině, kde n dosahuje z pravidla hodnoty 5/4. [4, 11]

$$\gamma = \alpha (T_K - T)^n \quad (5)$$

## 2.2 Podmínky rovnováhy na rozhraní mezi třemi fázemi

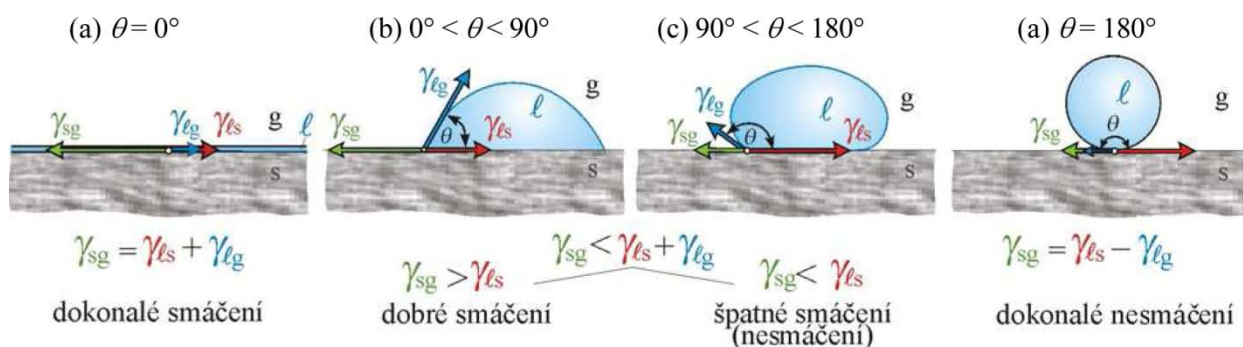
System sestávající z více fází se uspořádá tak, aby součet energií všech fázových rozhraní a potenciálních energií všech fází byl minimální.

$$p \Sigma \gamma_{ij} dA_{ij} + \Sigma dE_p = 0 \quad (6)$$

kde  $A_{ij}$  jsou plochy fázových rozhraní,  $\gamma_{ij}$  jsou mezifázové energie a  $\Sigma E_p$  je součet potenciálních energií všech fází. V mnoha případech se vliv gravitace neuvažuje a podmínka rovnováhy má tvar

$$\Sigma \gamma_{ij} dA_{ij} = 0 \quad (7)$$

Podmínku rovnováhy je pak v některých případech výhodné uvažovat jako vektorový součet mezifázových napětí působících v místě styku tří uvažovaných fází. [2]



Obr. 3 Kapka kapaliny na povrchu pevné látky

## 2.2.1 Kapka kapaliny na povrchu pevné látky

Umístíme-li kapku kapaliny na povrch pevné látky, mohou nastat dva případy:

1. Je-li povrchová energie pevné látky větší než součet povrchové energie kapaliny a mezifázové energie pevná látka-kapalina,  $\gamma_{sg} \geq \gamma_{sl} + \gamma_{lg}$ , kapalina se po povrchu pevné látky rozestře do souvislé vrstvy. Fázové rozhraní pevná látka-plyn je tak nahrazeno dvěma rozhraními, pevná látka-kapalina a kapalina-plyn (každé z nich o stejné ploše jako původní rozhraní) a výsledná energie systému je nižší.

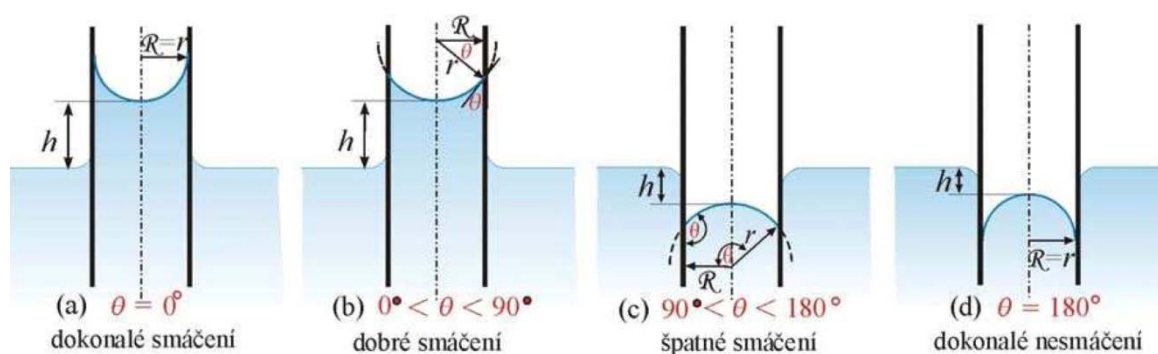
2. Jestliže naopak platí  $\gamma_{sg} < \gamma_{sl} + \gamma_{lg}$ , k rozestírání nedojde a kapka kapaliny zaujme na povrchu pevné látky rovnovážný tvar, charakterizovaný tzv. úhlem smáčení (kontaktním úhlem)  $\theta$  – úhlem, který svírá tečna k povrchu kapky kapaliny s rozhraním pevná látka-kapalina v bodě linie smáčení (obr. 3 b, c). Podmínka rovnováhy, vyjádřená jako vektorový součet mezifázových napětí vede k tzv. Youngově rovnici

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cos\theta \rightarrow \cos\theta = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lg}} \quad (8)$$

Kapalina, pevná látka a plyn se stýkají v křivce, označované jako linie smáčení. Podle velikosti úhlu smáčení mohou nastat případy viz obr. 3. [2, 3]

## 2.3 Kapalina v kapiláře

Důležitým případem rovnováhy na rozhraní pevná látka-kapalina-plyn je chování kapaliny v tenkých trubicích (kapilárách), v nichž se hladina kapaliny ustavuje výše (kapilární elevace) nebo níže (kapilární deprese) než hladina okolní kapaliny (obr. 4)



Obr. 4 Kapalina v kapiláře: (a), (b) kapilární elevace, (c), (d) kapilární deprese

Rozdíl  $h$  mezi hladinou kapaliny v kapiláře a hladinou okolní kapaliny je určen hodnotami mezifázových energií a tíží sloupce kapaliny v kapiláře. Hladina kapaliny se v kapiláře kruhového průřezu o poloměru  $R$  v rovnováze ustaví v takové výšce  $h$ , aby byla splněna energetická bilance:

$$\gamma_{sl}2\pi R h - \gamma_{sg}2\pi R h + \pi R^2 h^2 \rho^{(l)} g = 0 \quad (9)$$

První člen je roven zvýšení energie systému o  $\gamma_{sl} A$  tím, že se vytvoří fázové rozhraní  $s/l$  o ploše  $A = 2\pi R h$ , druhý člen,  $\gamma_{sg} A$ , je energie, o kterou se zmenší celková energie systému, neboť zanikne fázové rozhraní  $s/g$  o stejné ploše  $A$  a třetí člen,  $(\pi R^2 h \rho^{(l)})g h$ , je potenciální energie sloupce kapaliny o výšce  $h$  vytvořeného v kapiláře ( $\rho^{(l)}$  je hustota kapaliny, hustota plynné fáze se pokládá za zanedbatelnou a  $g$  je tíhové zrychlení). Rozdíl mezifázových energií se vyjádří z Youngovy rovnice (5),  $\gamma_{sl} - \gamma_{sg} = -\gamma_{lg} \cos\theta$ , a pro rozdíl hladin  $h$  se dostane

$$h = \frac{2 \gamma_{lg} \cos\theta}{\rho^{(l)} g R} \quad (10)$$

Pro kapaliny, které dobře smáčejí materiál kapiláry, je  $\cos \theta > 0$  a  $h > 0$  – kapalina v kapiláře vystupuje nad hladinu okolní kapaliny. U špatně smáčejších kapalin je úhel smáčení tupý,  $\cos \theta < 0$ ,  $h < 0$  – hladina kapaliny v kapiláře se ustavuje pod hladinou okolní kapaliny. Měření kapilární elevace se často využívá pro měření povrchového napětí; nejčastěji jsou používány skleněné kapiláry, které jsou většinou kapalin dokonale smáčeny ( $\cos \theta = 1$ ). Kapilární jevy se uplatňují nejen v kruhových kapilárách, ale také v úzkých mezerách mezi dvěma povrchy.

V porézních materiálech, které je možno považovat za soustavu kapilár, dobře smáčejí kapaliny vzlínají (proto např. vlhnou zdi, vláha v rostlinách apod.). Špatně smáčejí kapaliny mohou do porézních materiálů pronikat jen působením vnějšího tlaku. Tohoto faktu se využívá pro měření rozměru pórů rtuťovou porozimetrií.



## 2.4 Úhel smáčení

Úhel smáčení je jednou z mála přímo měřitelných vlastností rozhraní *pevná látka-kapalina-plyn*. Pro jeho měření byla vypracována řada metod, např. měření úhlu mezi nakloněnou deskou z měřeného materiálu a vodorovným povrchem kapaliny (destička se ponoří do kapaliny a naklání tak dlouho, až je povrch kapaliny rovný až k čáře styku mezi deskou a kapalinou),

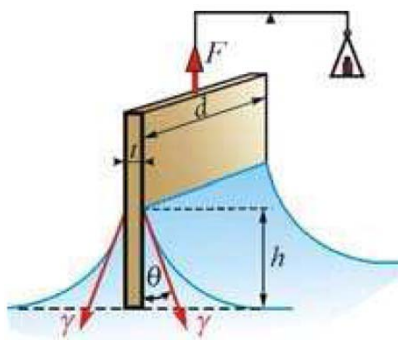


Obr. 5 Měření úhlu na nakloněné destičce

### Wilhelmyho metoda vyvažování destičky

Tenká destička šířky  $d$ , dobře smáčená studovanou kapalinou, se upevní na vahadlo vah a ponoří do kapaliny. Na povrchu destičky se tvoří z obou stran menisky, jejichž tvar a maximální výška vzestupu  $h$  je určena Laplaceovou-Youngovou rovnicí. Celková hmotnost vzlínající kapaliny připadající na jednotku obvodu destičky pak nezávisí na tvaru menisku a při nulovém úhlu smáčení je rovna povrchovému napětí. Pro sílu  $F$  (obvykle se měří při takové poloze destičky, kdy její dolní hrana je přesně ve výši hladiny kapaliny), kterou je nutno vynaložit pro vyvážení destičky o šířce  $d$  a tloušťce  $t$  ( $t \ll d$ ) platí vztah:

$$F = 2(d + t) \cdot \gamma = 2d \cdot \gamma \quad (11)$$



Obr. 6 Vyvažování destičky

## Metoda sessile drop (přisedlá kapka)

Přímé měření úhlu smáčení na kapce kapaliny umístěné na rovinném povrchu pevné látky, osvětlené svazkem paprsků rovnoběžných s povrchem. Úhel  $\theta$  je pak měřen buď přímo mikroskopem, opatřeným goniometrickou stupnicí, na fotografii kapky, nebo lze snímat profil kapky kamerou a úhel smáčení vyhodnotit počítačem.



Obr. 7 Měření úhlu smáčení

## 2.5 Kohezní a adhezní práce, rozestírací koeficient

Při rozestírání kapaliny po povrchu pevné látky nebo po povrchu jiné kapaliny si konkurují přitažlivé síly mezi molekulami rozestírané kapaliny (*síly kohezní*) a mezimolekulární síly mezi oběma fázemi, jejichž rozhraní při rozestírání zvětšuje svou plochu (*síly adhezní*).

Kohezní síly v rozestírané kapalině A jsou charakterizovány tzv. **kohezní prací**, definovanou jako práce potřebná k roztržení sloupce kapaliny o jednotkovém průřezu, tj. pro vytvoření dvou nových rovnovážných rozhraní s plynnou fází (obr. 8).

$$W_k = 2\gamma_A \quad (12)$$

Podobně je definována **adhezní práce** jako práce potřebná k odtržení sloupce kapaliny A o jednotkovém průřezu od druhé fáze B

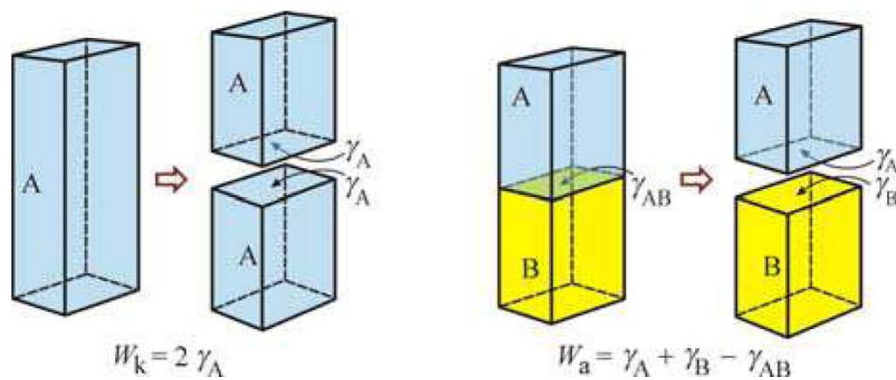
$$W_a = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB} \quad (13)$$

kde  $\gamma_A$  je povrchová energie rozestírané kapaliny,  $\gamma_B$  je povrchová energie fáze B a  $\gamma_{AB}$  mezifázová energie.

Podmínka pro rozestírání kapaliny A po fázi B v souvislou vrstvu je taková, aby rozdíl mezi adhezní a kohezní prací, nazývaný **Harkinsův rozestírací koeficient**, byl kladný:

$$S_{A/B} = W_a - W_k = \gamma_B - \gamma_{AB} - \gamma_A > 0 \quad (14)$$

Jak je z definice rozestíracího koeficientu patrné, bude u systémů voda-organická látka docházet k rozestírání organických kapalin na vodném povrchu hlavně v případě, že se jedná o látky, v jejichž molekulách jsou polární skupiny, a tudíž jejich adheze vůči vodě bude velká (mezifázová energie  $\gamma_{AB}$  je v tomto případě velice malá). Také nepolární látky, např. uhlovodíky, se mohou rozestírat na vodě, i když jejich adheze vůči vodě je malá, protože rovněž jejich kohezní energie je velice malá. Naproti tomu voda, která má velikou kohezní energii (povrchové napětí vody je mnohem větší než povrchové napětí většiny organických látek), se na povrchu organických kapalin nerozestírá.



Obr. 8 Kohezní a adhezní práce

## 2.6 Stanovení volné povrchové energie

Volná povrchová energie může být stanovena pomocí různých teorií. V následující části jsou rozebrány základní modely výpočtů.

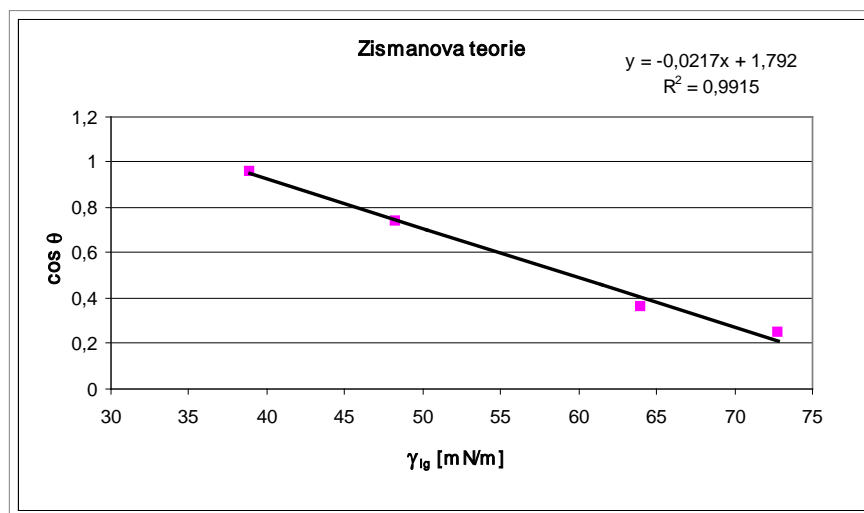
### 2.6.1 Zismanova teorie

Tato teorie je jednou z nejstarších studií ohledně volné povrchové energie. Zisman sestrojil ze získaných kontaktních úhlů závislost  $\cos\theta = f(\gamma_l)$  a lineární extrapolací (pro  $\cos\theta \rightarrow 1$ ) získal kritickou povrchovou energii pevného povrchu  $\gamma_c$ , která se liší podle sady testovacích kapalin určených pro měření kontaktního úhlu. Tento vztah popisuje Zismanova rovnice:

$$\cos\theta = 1 + b \cdot (\gamma_c - \gamma_l) \quad (15)$$

- b konstanta platná pro sadu homologických kapalin
- $\gamma_l$  kontaktní úhel standardní kapaliny
- $\gamma_c$  kritická hodnota povrchového napětí

Za předpokladu, že se bude jednat o nepolární kapaliny, je kritická povrchová energie rovna disperzní komponentě volné povrchové energie  $\gamma_s^d$ . Extrapolace závislosti  $\gamma$  na  $\cos\theta$  může být chybná, protože závislost není lineární. Navíc extrapolace dat pro  $\theta < 10^\circ$  může být ovlivněna rozprostřeným tlakem. Z těchto důvodů není vhodné užívat kritickou povrchovou energii jako charakteristickou veličinu pro pevné povrchy. Metoda je vhodná pro nízkoenergetické materiály; kritické Zismanovo napětí je obvykle velmi blízké hodnotě disperzní složky povrchového napětí těchto látek. [4, 8, 9]



Graf 1 Závislost  $\cos\theta$  na  $\gamma_{lg}$   
(při extrapolaci na  $\theta=1$  je výsledné  $\gamma_c$  pevného povrchu přibližně  $36,5 \text{ mNm}^{-1}$ )

## 2.6.2 Fowkesova teorie

F. M. Fowkes v roce 1964 navrhl, aby kohezí a adhezí energie byla rozdělena na jednotlivé složky podle typu mezimolekulárních sil, které k energii koheze i adheze přispívají - disperzní, polární a indukční síly a síly vodíkové vazby. [8]

$$W_c = W_c^d + W_c^p + W_c^i + W_c^h + \dots$$

$$W_a = W_a^d + W_a^p + W_a^i + W_a^h + \dots$$

Disperzní a polární složku adhezí práce mezi pevnou a kapalnou fází vyjádřil:

$$\begin{aligned} W_a^d &= \sqrt{(W_a^d)_s (W_a^d)_l} = 2\sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} \\ W_a^p &= \sqrt{(W_a^p)_s (W_a^p)_l} = 2\sqrt{\gamma_s^p \gamma_l^p} \end{aligned} \quad (16)$$

Tato teorie patří mezi nejpoužívanější metody pro výpočet volné povrchové energie mezi dvěma kapalinami. Je založena na předpokladu, že volná povrchové energie se skládá ze součtu komponent. Tento předpoklad je možné rozšířit i na interakce mezi kapalinou a pevným povrchem. Podle této teorie existuje intermolekulární přitahování výhradně mezi komponentami stejného typu. Nasycené uhlovodíky mají pouze Londonovu (disperzní) komponentu  $\gamma_H = \gamma_H^d$ . Voda má hodnotu  $\gamma_W$  složenou z disperzní komponenty  $\gamma_{Wd}$  a z komponenty vodíkové vazby  $\gamma_W^h$ , tzn.  $\gamma_W = \gamma_W^d + \gamma_W^h$ . Z těchto vztahů vyplývá, že volná povrchová energie je složena vždy z disperzní komponenty a často bývá kombinována s některou z dalších komponent. Mezifázová energie je definována jako: [4]

$$\gamma_{sl} = \gamma_s - \sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} + \gamma_l - \sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} = \gamma_s + \gamma_l - 2\sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} \quad (17)$$

Kombinací této rovnice s Young-Duprého rovnicí se získá následující vztah pro výpočet disperzní komponenty volné povrchové energie:

$$W_A = \gamma_l \cdot (1 + \cos\theta) = 2\sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} \quad (18)$$

Kombinací rovnice (11) s Youngovou rovnicí (5) získáme vztah pro kontaktní úhel:

$$\cos\theta = 2\frac{\sqrt{\gamma_s^d}}{\sqrt{\gamma_l^d}} - 1 \quad (19)$$

Fowkesova teorie umožňuje vypočítat pouze disperzní složku volné povrchové energie, což je její velký nedostatek. Řada autorů se proto snažila nahradit ve Fowkesově rovnici nedisperzní komponentu nějakou další komponentou. Tato nově vzniklá rovnice se obecně nazývá rozšířenou Fowkesovou rovnicí.

Dle této teorie může být adhezní práce chápána jako interakce mezi polárními a polárními silami a disperzními a disperzními. K popsání slouží níže uvedený vztah:

$$W_A = \gamma_l \cdot (1 + \cos\theta) = 2 \cdot \left( \sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} + \sqrt{\gamma_s^p \gamma_l^p} \right) \quad (20)$$

Volná povrchová energie je pak dána součtem disperzní a polární komponenty. K jejímu určení stačí tedy dvě kapaliny se známými polárními a disperzními komponentami.[4]

### 2.6.3 Owens-Wendtova metoda

Podle této teorie je volná povrchová energie součtem disperzní<sup>d</sup> a polární<sup>p</sup> komponenty. Na této myšlence založili také svoji metodu geometrického průměru. Mezifázová energie mezi pevnou látkou a kapalinou  $\gamma_{sl}$  může být vyhodnocena podle následující rovnice:

$$\gamma_{sl} = \gamma_s + \gamma_l - 2 \cdot \left( \sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} + \sqrt{\gamma_s^p \gamma_l^p} \right) \quad (21)$$

Kombinací předchozí rovnice s Duprého rovnicí a Young-Duprého rovnicí získali vztah pro výpočet volné povrchové energie:

$$\gamma_l \cdot (1 + \cos\theta) = 2 \cdot \left( \sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} + \sqrt{\gamma_s^p \gamma_l^p} \right) \quad (22)$$

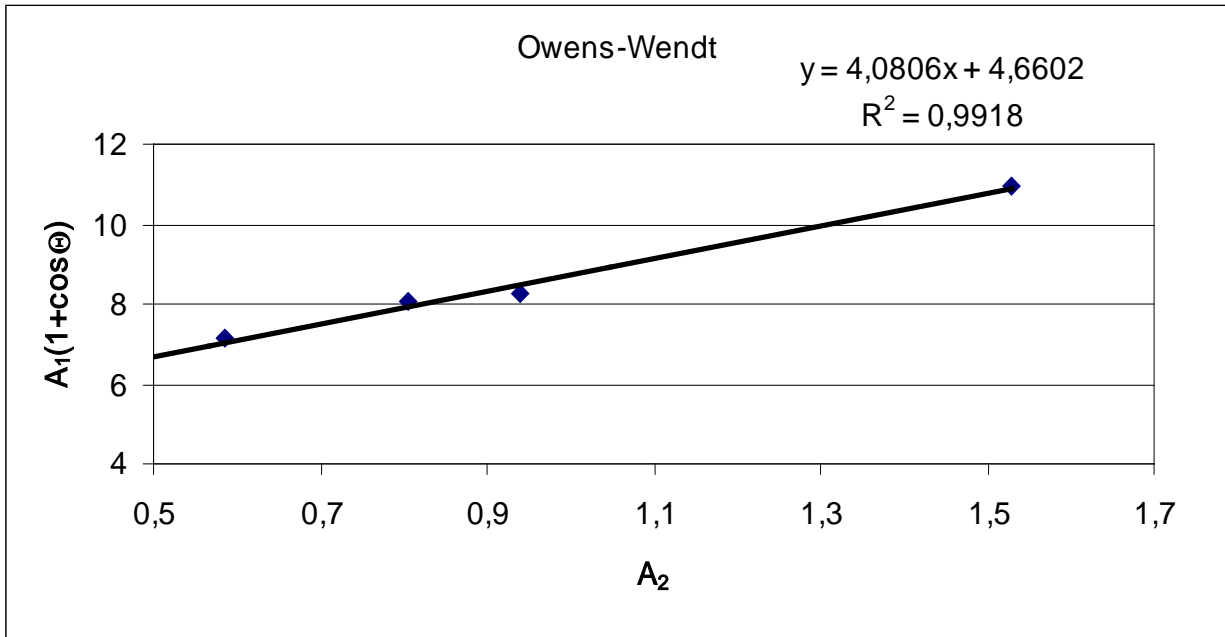
K určení volné povrchové energie stačí dvě kapaliny se známými polárními a disperzními komponentami. Při použití většího počtu kapalin je možné využít pro výpočet lineární regresi upravené rovnice ve tvaru: ( $y = kx + q$ )

$$A_1(1 + \cos\theta) = A_2(x) \sqrt{\gamma_s^p} (k) + \sqrt{\gamma_s^d} (q)$$

$$A_1 = \frac{\gamma_l}{2\sqrt{\gamma_l^d}} \quad A_2 = \sqrt{\frac{\gamma_l^p}{\gamma_l^d}} \quad (23)$$

kde  $\gamma_s^d$ ,  $\gamma_s^p$  jsou disperzní a polární složky povrchového napětí pevné látky: [4, 8, 9]

$$\gamma_s = \gamma_s^d + \gamma_s^p \quad (24)$$



Graf 2 Závislost povrchového napětí pevné látky na její polární složce

#### 2.6.4 Wuova teorie – metoda harmonického průměru

Mezifázová energie mezi pevnou látkou a kapalinou se vyhodnocuje pomocí harmonického průměru:

$$\gamma_{sl} = \gamma_s + \gamma_l - 4 \left( \frac{\gamma_s^d \gamma_l^d}{\gamma_s^d + \gamma_l^d} + \frac{\gamma_s^p \gamma_l^p}{\gamma_s^p + \gamma_l^p} \right) \quad (25)$$

Spojením této rovnice s Youngovou rovnicí dostaneme:

$$(1 + \cos \theta) \gamma_l = 4 \left( \frac{\gamma_s^d \gamma_l^d}{\gamma_s^d + \gamma_l^d} + \frac{\gamma_s^p \gamma_l^p}{\gamma_s^p + \gamma_l^p} \right) \quad (26)$$

Pro měření je obvykle volena jedna z kapalin taková, aby měla polární složku povrchového napětí nulovou (např. diiodmetan, a-bromnaftalen). Kombinace dvou kapalin s podobnou hodnotou disperzní a polární komponenty volné povrchové energie dává nepravděpodobné výsledky. Rovnice Wuova je vhodná pro výpočet volné povrchové energie vysokoenergetických systémů (sklo, kovy, oxidy, grafit). Hodnota D pro dvě kapaliny i, j, použité pro výpočet metodou harmonického průměru by měla být větší než 10 mN/m. [8] [9]

$$D = \sqrt{(\gamma_l^d)_i (\gamma_l^p)_j} - \sqrt{(\gamma_l^d)_j (\gamma_l^p)_i} \quad (27)$$

## 2.6.5 Van Ossova acido-bazická teorie

Dle této teorie je volná povrchová energie tvořena součtem Lifshitz-van der Waalsovy  $\gamma_s^{LW}$  a acido-bazické složky  $\gamma_s^{AB}$ .

$$\gamma = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \quad (28)$$

Ve Wuově teorii odpovídá acido-bazická  $\gamma_s^{AB}$  polární složce  $\gamma_s^p$ . Van der Waalsova složka odpovídá disperzní složce. Acido-bazická komponenta může být dále rozdělena podle rovnice:

$$\gamma_s^{AB} = 2 (\gamma^+ \cdot \gamma^-)^{1/2} \quad (29)$$

kde  $\gamma^+$  je elektron-akceptorový parametr a  $\gamma^-$  je elektron-donorový parametr acido-bazické komponenty. K měření touto metodou jsou potřeba 3 kapaliny (3 rovnice se známými hodnotami všech tří složek povrchového napětí  $\gamma_s^{LW}$ ,  $\gamma^+$ ,  $\gamma^-$ ).

$$\frac{\gamma_{l_i}}{2} (1 + \cos \theta_1) = \sqrt{\gamma_s^{LW} \gamma_{l_i}^{LW}} + \sqrt{\gamma_s^- \gamma_{l_i}^+} + \sqrt{\gamma_s^+ \gamma_{l_i}^-} \quad (30)$$

Dvě z těchto kapalin musí být polární. Je-li jedna kapalina nepolární, můžeme pomocí ní určit hodnotu disperzní složky podle vztahu: [8] [9]

$$\gamma_s^d = \gamma_{Lnepol}^d \frac{(1 + \cos \theta_{nepol})^2}{4} \quad (31)$$



## 3 Experimentální část

### 3.1 Experimentální materiál

#### 3.1.1 Měřené pevné látky

##### Teflon

Teflon je krystalický polymer bílé barvy, hladký, pružný, parafinického vzhledu. Obsahuje pouze atomy uhlíku a fluoru s vysokou pevností vazby, což určuje jeho charakteristické vlastnosti, jako jsou vysoká chemická odolnost, odolnost proti vysokým teplotám, výborné elektroizolační vlastnosti, těsnící účinky, odolnost proti stárnutí a velmi dobré kluzné vlastnosti. Tabelovaná hodnota povrchové energie je  $19 - 21,5 \text{ mJm}^{-1}$ . [12]

##### Melinex (Polyethylentereftalát)

PET je semikrystalický polymer, který je prakticky využíván převážně ve své amorfni formě. Mechanické a barierové vlastnosti záleží převážně na polymeračním stupni. Tabelovaná hodnota povrchové energie je  $44,6 \text{ mJm}^{-1}$ .

##### Polyethylen

Je to pevný, houževnatý materiál, odolný vůči kyselinám i zásadám, použitelný do teploty kolem  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Polyethylen vykazuje nízkou propustnost vodních par. Rozlišují se dva druhy polyethylenu: LDPE (s nízkou hustotou) a HDPE (s vysokou hustotou). Tabelovaná hodnota povrchové energie je  $32,4 - 35,7 \text{ mJm}^{-1}$ .

#### 3.1.2 Testovací kapaliny

##### Voda

Voda je polární rozpouštědlo. Molekuly kyslíku a vodíku vytváří vodíkové můstky, což je příčina mnoha důležitých vlastností vody, jako je např. vysoký bod varu, tuhnutí. Voda má po rtuti nejvyšší povrchové napětí ze všech kapalin.

##### Ethylenglykol

Je to alkohol se dvěma  $-\text{OH}$  skupinami. Široce používaná látka v nemrzoucích kapalinách. V průmyslu též známá jako Fridex. Jedná se o toxickou látku bez barvy a zápachu

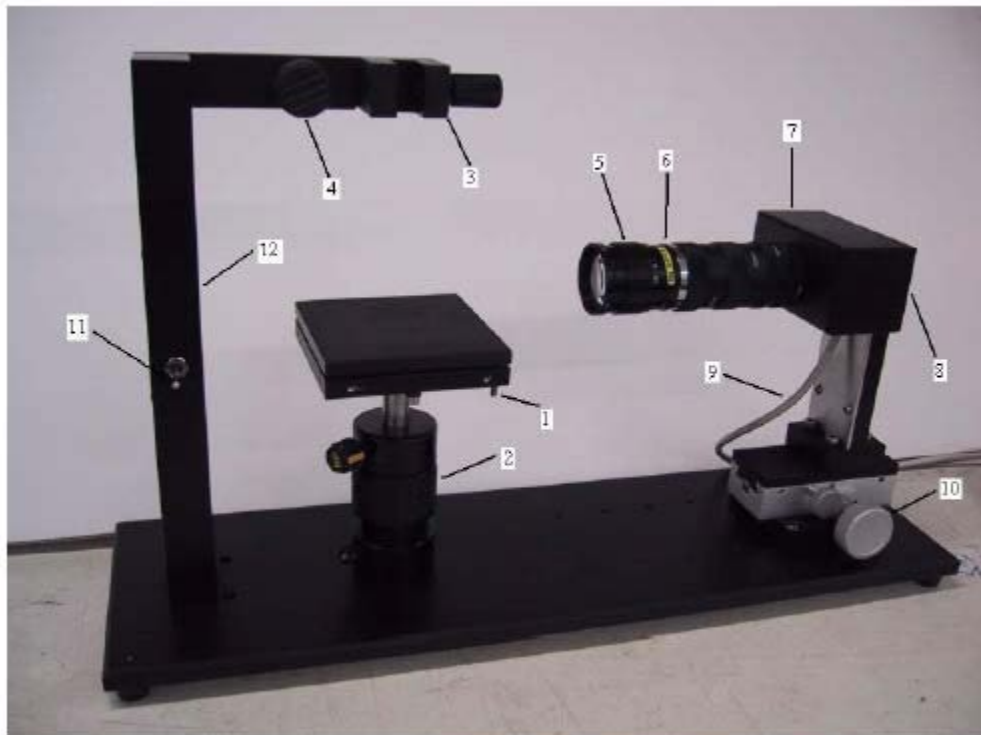
## Dijodmethan

Nahnědlá kapalina s charakteristickým zápachem a vysokou hustotou. Z testovacích kapalin má diiodmethan nejnižší povrchové napětí. Měření této kapaliny bylo nejobtížnější z důvodu velké rozestíravosti kapky a obtížného snímání jejího obrazu.

## 3.2 Experimentální přístroje a zařízení

### 3.2.1 CAM 100

CAM 100 slouží jako vhodný přístroj pro měření kontaktního úhlu metodou sessile drop. Zařízení je zapojeno do počítače, kde je snímáný obraz pomocí kamery zpracován softwarem CAM 100. Díky kameře je možno vyhodnocovat kontaktní úhel po minimální časové prodlevě. Kontaktní úhel kapaliny je definován jako úhel vytvořený mezi tečnou k obrysu kapky v bodě styku s pevnou fází. [4]



*Obr. 9 Konstrukce přístroje CAM 100*

- (1) šroub pro horizontální přizpůsobení; (2) šroub pro vertikální přizpůsobení;  
(3) držák dávkovací jehly; (4) šroub přizpůsobení pozice jehly; (5) optika se zoomem;  
(6) clona; (7) kamera; (8) šroub pro naklonění kamery; (9) USB port – video výstup;  
(10) posuv kamery – fokus; (11) spínač světelného zdroje; (12) světelný zdroj - LED;  
(13) síťový zdroj

### 3.2.2 See System

See System je malé a lehké přenosné zařízení, které se zapojuje přes USB port. Vyznačuje se poměrně snadnou manipulací a rychlým měřením. Přisedlá kapka je zaznamenávána barevnou kamerou, která potřebuje pouze denní světlo, nikoliv další zdroj světla. Přístroj je vybaven speciálním softwarem, který zvládá všechny potřebné operace. Zaznamenaný obraz je zobrazen v programu, který umožňuje vykreslení tvaru kapky a vypočítává tečnu k vykreslenému oblouku.

Software umožňuje výpočet volné povrchové energie na základě nepoužívanějších metod. (Wu, Owens-Wendt-Rable-Kaeble, Lifshitz-van der Waals/acid-base, atd.). Dále jsou k dispozici spolehlivé regrese OWRK a acido-bazického modelu. S programem je dodávána i sada testovacích kapalin. Může být také přidána evidence parametrů nových kapalin. [10]



*Obr. 10 Zařízení See System*

### 3.2.3 Mikropipeta Hamilton

Mikropipeta Hamilton je určena k přesnému dávkování kapalin. Díky šroubovacímu pístu je zaručeno vytvoření vždy stejného objemu kapky.



*Obr. 11 Mikropipeta Hamilton*

## 3.3 Experimentální metody

### 3.3.1 Stanovení referenčních hodnot kontaktních úhlů

Cílem bakalářské práce bylo standardizovat postup měření na přístroji See System a doporučit optimální podmínky měření. K tomu bylo potřeba vycházet z referenčních hodnot kontaktních úhlů testovacích kapalin, k nimž bylo potřeba se maximálně přiblížit a při opakovaném měření je stabilně získávat. Pro stanovení referenčních hodnot byl použit přístroj CAM 100.

### 3.3.2 Postup měření na přístroji CAM 100

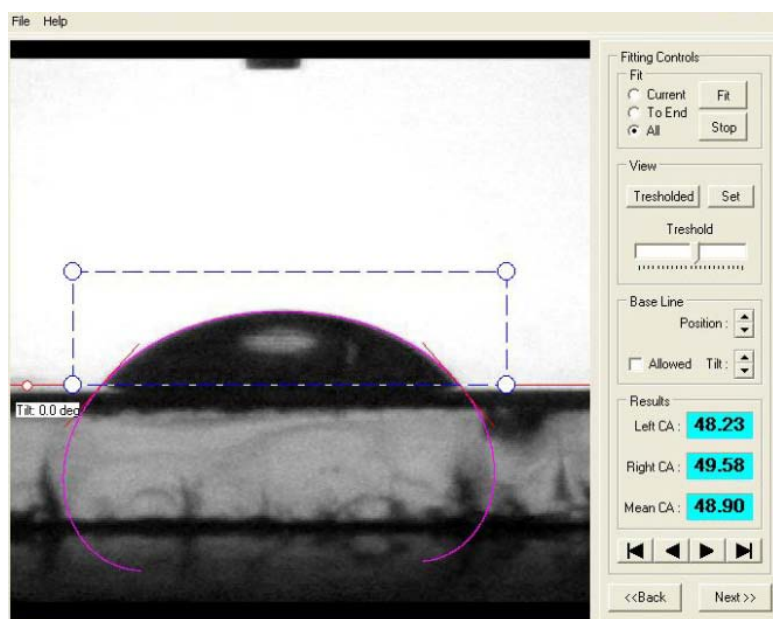
Měření probíhalo v uzavřené místnosti klimatizované na 23 °C. Přístroj CAM 100 má vlastní zdroj osvětlení, tudíž světelné podmínky nebyly důležité.

Každý měřený vzorek se omyl ethanolem, aby byl zbaven nečistot. Poté se nalepil na oboustranně lepicí pásku, která se aplikovala na snímané místo. Při této přípravě bylo nutno postupovat s extrémní opatrností, protože i drobná kontaminace vzorku, např. potem z prstů, či mechanické poškození, zásadním způsobem ovlivnilo přesnost měření. Vhodnější je pracovat v rukavicích a se vzorkem manipulovat pinzetou.

Po přiložení vzorku na snímané místo proběhlo samotné měření a vyhodnocení kontaktního úhlu. Kapalina byla aplikována mikropipetou Hamilton, která byla řádně vymyta. Výška jehly nad vzorkem byla nastavena tak, aby kapka dopadala na vzorek z co nejmenší

výšky, aby nedocházelo k její deformaci z důvodu její setrvační energie při dopadu. Pomalým otáčením šroubu jehly byla tedy vytlačena kapka o minimální velikosti, což je jeden z hlavních faktorů, ovlivňující výsledky měření. V okamžiku dopadu kapky, byl spuštěn záznam kamery, která zhotovila 20 snímků, které byly snímány vždy po jedné sekundě. Z hodnot kontaktních úhlů se vypočítával čas, kdy se kapka ustálila. Po nasnímání se v softwaru ručně určily hraniční body mezi kapkou a povrchem měřeného vzorku a program automaticky vyhodnotil levý, pravý a průměrný kontaktní úhel u všech dvaceti snímků.

Na každý vzorek byly aplikovány minimálně 3 kapky standardní kapaliny. Bylo zhotoveno dvojí měření, s deionizací povrchu vzorku a bez deionizace. Toto nemělo většího efektu. Povrchový náboj a nečistoty měření ovlivňují, nicméně ve výše zmíněných podmínkách a při šetrné manipulaci se vzorky k onomu znečištění nedochází.



Obr. 12 Vyhodnocení kontaktního úhlu

### 3.3.3 Postup měření na přístroji See System

Před samotným měřením bylo potřeba nejprve identifikovat konkrétní podmínky a kroky, které mají na měření vliv. Postup měření by se dal tedy shrnout do několika hlavních částí: nastavení optických podmínek a seřízení kamery, příprava měřeného vzorku, aplikace kapky standardní kapaliny na vzorek, označení hraničních bodů kapky. Teplota je též zásadní specifikací podmínek měření, ale jak bylo již zmíněno, měření probíhalo v klimatizované místnosti při 23 °C. Různé metody výpočtu volné povrchové energie byly součástí softwaru, k samotnému výsledku tedy postačovalo určení úhlů smáčení.

### 3.3.4 Optické podmínky a nastavení kamery

Jelikož přístroj See System nemá vlastní zdroj světla, je měření tudíž závislé na okolním osvětlení. Záleží především na intenzitě osvětlení, ne až tak na teplotě chromatičnosti. V kombinaci s vhodným nastavením kamery je potřeba dosáhnout velkého kontrastu kapky a pozadí, dále je nutno, aby byl obraz dostatečně ostrý. V našem případě byla zdrojem světla ničím nespécifikovaná zářivka a stíněné denní světlo. Samotné ničím nestíněné denní světlo příliš přexponovávalo snímky, nebylo tedy vhodné.

Pro dosažení kontrastu kapky a pozadí se přístroj položil před černé pozadí. Obraz byl negativní oproti obrazu z přístroje Cam100.



Obr. 13 Nastavení kamery

Nezanedbatelným faktorem bylo nastavení výšky kamery vzhledem k úrovni podstavce, na který se dával vzorek. I malé vychýlení středu čočky od roviny podstavce způsobovalo nečitelnost hrany kapky z důvodu mlžného oparu, který vznikl rozstředěním zadní hrany podstavce kvůli krátké hloubce pole.

### 3.3.5 Příprava měřeného vzorku

Tato operace probíhala obdobně jako při měření přístrojem Cam100. Pro měření stačil malý proužek vzorku, který se omyl ethanolem z důvodu odstranění povrchových nečistot. Následně se pomocí oboustranně lepicí pásky nalepil na podstavec u přístroje See System.

Při manipulaci bylo potřeba postupovat velmi obezřetně, kvůli možné kontaminaci povrchu vzorku. Při samotné aplikaci na samolepicí pásku docházelo k problémům s povrchovou nerovností vzorku z důvodu vzniku vzduchových bublin, které se musely vytlačovat. Tento zásah na povrchu vzorku způsoboval při neopatrném postupu značné problémy se snímáním obrazu kapky a s následným vyhodnocováním kontaktního úhlu.

### 3.3.6 Aplikace kapky testovací kapaliny

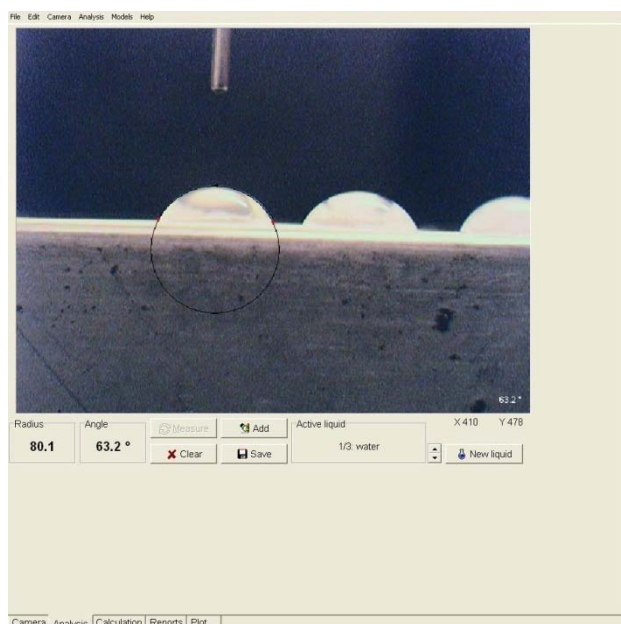
Aplikace kapky na povrch vzorku byla hlavním problémem, který bylo potřeba řádně vyzkoumat a popsat správný postup pro dosažení vhodného tvaru a velikosti kapky.

Kapalina se nasávala do mikropipety Hamilton, která se ukázala jako nejvhodnější k přesnému dávkování. Před nasátím nové kapaliny bylo zapotřebí mikropipetu důkladně vymýt ethanolem. Následně se mikropipeta umístila do laboratorního držáku tak, aby hrot jehly byl co nejbližší povrchu měřeného vzorku a přitom zůstával dostatek prostoru pro vytlačení kapky.

Postupným utahováním šroubu na mikropipetě se vytvořila kapka, jejíž objem byl zvětšován až do bodu, kdy se odtrhla od hrotu vlastní vahou. Po dopadu kapky a po ustálení tvaru se nasnímal její obraz, který se dále vyhodnocoval. K měření bylo zapotřebí vytvořit tři snímky tří kapek.

### 3.3.7 Označení hraničních bodů kapky

Tato operace byla úzce spjata s nastavením kamery a optickými podmínkami. Při vysokém kontrastu kapky a pozadí a při ostrém obrazu kapky, nezpůsobovalo ohrazení kapky velké problémy. Avšak byl to rovněž důležitý krok a bylo potřeba jej nepodcenit a body ohraňovat precizně. Malý problém nastával v případě, že se kapka příliš rozlévala a sečna myšlenou kružnicí tvořila jen velmi malou úseč, jako tomu bylo u diiodmethanu.



Obr. 14 Nastavení hraničních bodů

## 3.4 Experimentální výsledky

### 3.4.1 Stanovení kontaktního úhlu na zařízení Cam 100

Referenční úhel je hodnota kontaktního úhlu, který byl získán zprůměrováním průměrných kontaktních úhlů, měřených na přístroji CAM 100, v každém čase a u všech tří měření. Při měření na přístroji See System bylo cílem se k těmto hodnotám maximálně přiblížit. Z naměřených hodnot bylo možno odečíst čas, ve kterém se kapka po dopadu ustálila, a hodnoty naměřené do této chvíle se do průměru nezapočítávaly. Toto se projevovalo převážně u diiodmethanu.

Tabulka 1 – Hodnoty kontaktních úhlů vody na teflonu

t [s]	1. měření			2. měření			3. měření		
	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr
0	105,9	109,1	107,5	105,8	106,3	106,0	108,3	109,1	108,7
1	106,2	109,3	107,8	106,0	106,6	106,3	109,2	110,0	109,6
2	106,3	109,9	108,1	106,2	106,6	106,4	108,9	109,8	109,3
3	106,4	109,9	108,2	106,1	106,7	106,4	109,1	110,0	109,5
4	106,1	109,6	107,9	106,0	106,6	106,3	108,9	109,8	109,3
5	106,0	109,6	107,8	106,1	106,6	106,3	108,8	109,5	109,2
6	106,3	109,8	108,0	106,1	106,7	106,4	109,2	110,2	109,7
7	106,0	109,4	107,7	106,2	106,7	106,4	108,9	109,9	109,4
8	106,1	109,7	107,9	106,0	106,7	106,4	108,8	109,9	109,4
9	106,0	109,5	107,8	106,1	106,6	106,3	108,9	109,7	109,3
10	106,1	109,6	107,9	106,1	106,6	106,3	108,8	109,8	109,3
11	106,1	109,5	107,8	106,2	106,6	106,4	108,8	109,5	109,1
12	106,2	109,7	108,0	106,4	106,8	106,6	109,0	109,9	109,4
13	105,8	109,2	107,5	106,0	106,4	106,2	109,0	109,9	109,5
14	105,9	109,4	107,6	106,1	106,6	106,3	108,8	109,8	109,3
15	106,2	109,8	108,0	106,0	106,6	106,3	109,1	109,8	109,4
16	105,9	109,3	107,6	105,9	106,5	106,2	108,8	109,6	109,2
17	106,2	109,7	108,0	106,1	106,6	106,4	108,7	109,7	109,2
18	106,0	109,5	107,7	106,0	106,5	106,2	108,8	109,9	109,3
19	106,1	109,6	107,8	106,1	106,6	106,4	108,9	109,8	109,3

referenční úhel	107,8
-----------------	-------



Tabulka 2 – Hodnoty kontaktních úhlů ethylenglykolu na teflonu

t [s]	1. měření			2. měření			3. měření		
	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr
0	88,2	89,7	88,9	90,3	91,2	90,7	87,8	88,9	88,3
1	88,2	89,4	88,8	90,1	91,2	90,6	87,9	89,1	88,5
2	88,4	89,6	89,0	90,3	91,2	90,7	87,9	89,0	88,5
3	88,3	89,4	88,9	90,1	90,9	90,5	87,9	89,0	88,4
4	88,4	89,6	89,0	90,3	91,1	90,7	88,0	89,0	88,5
5	88,4	89,5	88,9	90,1	90,9	90,5	87,6	88,9	88,3
6	88,4	89,5	89,0	90,5	91,3	90,9	87,6	88,9	88,2
7	88,6	89,6	89,1	90,3	91,2	90,8	87,7	88,9	88,3
8	88,4	89,5	89,0	90,2	90,9	90,6	87,6	88,6	88,1
9	88,8	89,7	89,3	90,6	91,4	91,0	87,7	88,9	88,3
10	88,5	89,6	89,1	90,2	91,0	90,6	87,7	88,8	88,3
11	88,7	89,6	89,2	90,2	90,9	90,5	87,5	88,7	88,1
12	88,3	89,5	88,9	90,4	91,1	90,8	87,7	89,1	88,4
13	88,4	89,5	88,9	90,3	91,0	90,7	87,7	88,8	88,3
14	88,4	89,5	89,0	90,2	91,0	90,6	87,8	89,0	88,4
15	88,7	89,8	89,2	90,4	91,3	90,8	88,0	89,0	88,5
16	88,7	89,7	89,2	90,3	91,2	90,7	87,8	88,8	88,3
17	88,6	89,7	89,1	90,1	91,0	90,6	87,8	89,2	88,5
18	88,7	89,7	89,2	90,4	91,2	90,8	87,7	89,0	88,3
19	88,6	89,7	89,2	90,3	91,2	90,7	88,0	89,2	88,6

referenční úhel	89,4
-----------------	------

Tabulka 3 – Hodnoty kontaktních úhlů diiodmethanu na teflonu

t [s]	1. měření			2. měření			3. měření		
	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr
0	80,4	81,2	80,8	79,9	82,7	81,3	81,4	82,3	81,9
1	80,5	81,0	80,7	80,2	82,8	81,5	81,5	82,5	82,0
2	80,1	80,6	80,4	80,3	83,0	81,7	81,4	82,4	81,9
3	80,5	81,1	80,8	80,3	83,1	81,7	81,2	82,6	81,9
4	80,4	81,0	80,7	80,0	82,6	81,3	81,1	82,2	81,7
5	80,6	81,0	80,8	80,0	82,5	81,2	81,6	82,8	82,2
6	80,3	80,9	80,6	80,0	82,6	81,3	81,7	82,8	82,3
7	80,4	81,1	80,8	79,9	82,7	81,3	80,9	82,3	81,6
8	81,0	81,5	81,2	80,0	82,8	81,4	81,0	81,9	81,5
9	80,9	81,4	81,1	79,6	82,6	81,1	81,5	82,3	81,9
10	80,1	80,9	80,5	80,0	83,1	81,5	81,4	82,5	81,9
11	80,4	81,0	80,7	79,7	82,4	81,0	81,3	82,6	81,9
12	80,7	81,0	80,9	79,8	82,6	81,2	81,5	82,2	81,9
13	80,5	81,2	80,9	79,9	82,6	81,2	81,6	82,4	82,0
14	80,2	80,9	80,6	79,8	82,5	81,2	81,4	82,3	81,9
15	79,9	80,5	80,2	79,6	82,7	81,1	81,0	82,1	81,6
16	80,0	80,6	80,3	80,2	82,9	81,6	80,9	82,1	81,5
17	80,2	81,2	80,7	80,1	82,7	81,4	81,3	82,1	81,7
18	80,6	81,0	80,8	80,2	82,8	81,5	80,9	81,9	81,4
19	80,4	80,9	80,7	79,9	82,6	81,3	81,3	82,0	81,6

referenční úhel	81,3
-----------------	------

Tabulka 4 – Hodnoty kontaktních úhlů vody na melinexu

t [s]	1. měření			2. měření			3. měření		
	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr
0	70,8	69,7	70,3	73,7	76,1	74,9	79,2	81,1	80,1
1	70,8	69,6	70,2	70,8	73,1	71,9	70,8	72,8	71,8
2	70,7	69,7	70,2	70,8	73,2	72,0	70,7	72,5	71,6
3	71,9	70,6	71,3	71,1	73,3	72,2	71,6	73,2	72,4
4	71,5	70,3	70,9	72,0	73,8	72,9	71,5	73,0	72,3
5	71,5	70,1	70,8	71,8	73,7	72,7	71,7	73,2	72,5
6	71,3	70,0	70,7	71,9	73,8	72,9	71,6	73,2	72,4
7	71,3	70,1	70,7	71,8	73,7	72,8	71,6	73,2	72,4
8	71,4	70,0	70,7	71,9	73,7	72,8	71,5	73,3	72,4
9	71,4	70,1	70,7	71,7	73,6	72,6	71,7	73,4	72,6
10	71,5	70,1	70,8	71,7	73,6	72,7	71,5	73,1	72,3
11	71,3	70,1	70,7	70,6	73,0	71,8	70,9	72,6	71,8
12	71,2	70,0	70,6	70,6	73,0	71,8	70,9	72,7	71,8
13	71,4	70,1	70,7	70,6	72,9	71,7	70,9	72,6	71,8
14	71,1	69,7	70,4	70,5	72,7	71,6	71,6	73,3	72,5
15	71,1	69,7	70,4	70,5	72,8	71,7	71,6	73,1	72,3
16	71,1	69,8	70,5	70,6	72,8	71,7	71,5	72,9	72,2
17	71,4	70,1	70,8	70,3	72,5	71,4	71,4	73,2	72,3
18	71,4	70,1	70,7	70,5	72,7	71,6	71,5	73,0	72,3
19	71,3	70,0	70,6	70,9	73,0	71,9	71,4	72,9	72,2

referenční úhel	71,7
-----------------	------

Tabulka 5 – Hodnoty kontaktních úhlů ethylenglykolu na melinexu

t [s]	1. měření			2. měření			3. měření		
	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr
0	54,2	55,1	54,6	53,2	52,5	52,8	54,9	55,6	55,2
1	53,1	54,3	53,7	52,6	52,5	52,6	52,9	53,9	53,4
2	52,8	53,8	53,3	52,5	52,3	52,4	52,8	53,7	53,3
3	52,7	53,5	53,1	52,6	52,6	52,6	52,5	53,4	52,9
4	52,6	53,5	53,0	52,5	52,5	52,5	52,7	53,8	53,2
5	53,0	53,8	53,4	52,4	52,7	52,6	52,3	53,2	52,8
6	52,5	53,3	52,9	52,2	52,2	52,2	52,4	53,2	52,8
7	52,6	53,4	53,0	52,2	52,8	52,5	52,3	53,3	52,8
8	52,5	53,4	52,9	52,0	52,3	52,2	52,0	53,2	52,6
9	52,3	53,4	52,8	51,8	52,4	52,1	52,2	53,2	52,7
10	52,5	53,6	53,1	52,2	52,6	52,4	51,7	53,1	52,4
11	52,5	53,4	53,0	52,0	52,4	52,2	52,5	53,5	53,0
12	52,5	53,4	53,0	52,1	52,6	52,3	52,0	53,3	52,6
13	52,4	53,4	52,9	52,1	52,8	52,4	51,9	53,2	52,6
14	52,3	53,3	52,8	51,7	52,2	52,0	51,8	53,2	52,5
15	52,2	53,2	52,7	51,8	52,6	52,2	51,6	53,0	52,3
16	52,3	53,1	52,7	52,1	52,7	52,4	52,1	53,3	52,7
17	52,2	53,4	52,8	51,7	52,4	52,1	52,1	53,4	52,7
18	52,1	53,1	52,6	52,0	52,5	52,2	51,9	53,2	52,5
19	52,4	53,4	52,9	51,7	52,5	52,1	52,0	53,2	52,6

referenční úhel	52,7
-----------------	------

Tabulka 6 – Hodnoty kontaktních úhlů diiodmethanu na melinexu

t [s]	1. měření			2. měření			3. měření		
	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr
0	28,6	30,4	29,5	27,1	29,5	28,3	27,1	29,4	28,2
1	28,4	29,9	29,2	27,2	29,6	28,4	26,6	29,0	27,8
2	28,9	30,5	29,7	27,0	29,4	28,2	26,9	29,7	28,3
3	28,6	29,8	29,2	27,1	29,4	28,2	26,9	29,4	28,1
4	28,7	30,5	29,6	27,0	29,4	28,2	26,8	29,6	28,2
5	28,2	29,2	28,7	27,1	29,5	28,3	26,7	29,6	28,2
6	29,2	30,8	30,0	27,0	29,3	28,2	26,8	29,5	28,1
7	28,8	30,5	29,7	26,5	29,1	27,8	26,8	29,5	28,2
8	28,8	30,4	29,6	26,9	29,2	28,1	26,5	29,2	27,9
9	28,9	30,5	29,7	26,6	29,0	27,8	26,7	29,2	27,9
10	28,4	29,5	29,0	27,0	29,2	28,1	26,8	29,6	28,2
11	29,0	30,6	29,8	26,6	29,1	27,9	27,1	29,7	28,4
12	28,2	29,6	28,9	26,6	29,1	27,8	26,3	29,0	27,7
13	28,9	30,5	29,7	26,7	29,2	27,9	26,6	29,1	27,9
14	28,9	30,4	29,7	26,7	29,3	28,0	26,4	28,9	27,7
15	28,8	30,4	29,6	26,3	28,8	27,6	26,5	29,1	27,8
16	28,8	30,4	29,6	26,9	29,1	28,0	26,7	29,4	28,1
17	29,0	30,8	29,9	27,1	29,3	28,2	26,6	29,4	28,0
18	28,8	30,5	29,7	27,4	29,3	28,4	26,7	29,5	28,1
19	28,6	30,2	29,4	26,5	29,0	27,7	26,7	29,4	28,1

referenční uhel	28,5
-----------------	------

Tabulka 7 – Hodnoty kontaktních úhlů vody na polyethylenu

t [s]	1. měření			2. měření			3. měření		
	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr
0	72,6	74,9	73,7	72,6	74,4	73,5	75,3	77,0	76,2
1	72,3	74,6	73,5	72,5	74,2	73,3	75,0	76,6	75,8
2	72,4	74,7	73,6	72,4	74,5	73,4	74,8	76,5	75,6
3	72,5	74,8	73,6	72,5	74,5	73,5	74,7	76,4	75,6
4	72,3	74,8	73,5	72,6	74,7	73,7	74,8	76,6	75,7
5	72,4	74,7	73,5	72,5	74,4	73,4	74,7	76,4	75,6
6	72,4	74,8	73,6	72,6	74,5	73,6	74,9	76,5	75,7
7	72,3	74,7	73,5	72,6	74,7	73,7	74,6	76,2	75,4
8	72,4	74,8	73,6	72,6	74,7	73,7	74,7	76,3	75,5
9	72,3	74,5	73,4	72,7	74,6	73,7	74,7	76,5	75,6
10	72,3	74,6	73,5	72,7	74,7	73,7	74,6	76,3	75,5
11	72,2	74,6	73,4	72,7	74,8	73,7	74,6	76,3	75,5
12	72,1	74,5	73,3	72,7	74,6	73,7	74,6	76,3	75,5
13	72,2	74,6	73,4	72,6	74,5	73,6	74,7	76,4	75,5
14	72,2	74,6	73,4	72,5	74,4	73,5	74,5	76,2	75,3
15	72,1	74,4	73,3	72,6	74,4	73,5	74,6	76,3	75,4
16	72,3	74,8	73,5	72,4	74,3	73,4	74,7	76,4	75,6
17	72,2	74,6	73,4	72,5	74,6	73,5	74,8	76,3	75,6
18	72,1	74,4	73,2	72,4	74,3	73,4	74,5	76,2	75,3
19	72,4	74,7	73,5	72,5	74,5	73,5	74,5	76,1	75,3

referenční úhel	74,2
-----------------	------

Tabulka 8 – Hodnoty kontaktních úhlů ethylenglykolu na polyethylenu

t [s]	1. měření			2. měření			3. měření		
	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr
0	51,4	49,3	50,3	52,5	55,4	53,9	51,8	53,0	52,4
1	51,3	49,4	50,4	48,2	52,0	50,1	49,6	50,4	50,0
2	50,3	48,3	49,3	47,5	50,9	49,2	49,1	49,6	49,4
3	49,9	48,1	49,0	47,0	50,6	48,8	48,4	48,9	48,6
4	49,6	48,1	48,8	46,8	50,6	48,7	48,0	48,6	48,3
5	49,4	47,9	48,6	46,3	50,2	48,2	48,0	48,4	48,2
6	49,1	47,8	48,4	46,3	50,3	48,3	47,5	48,0	47,8
7	49,0	47,7	48,4	46,0	50,2	48,1	47,4	48,0	47,7
8	48,9	47,5	48,2	46,0	50,4	48,2	47,1	47,9	47,5
9	48,7	47,3	48,0	45,9	50,4	48,1	46,9	47,8	47,3
10	48,8	47,4	48,1	46,3	50,4	48,3	46,8	47,6	47,2
11	48,6	47,0	47,8	46,0	50,1	48,0	46,7	47,5	47,1
12	48,5	46,8	47,7	45,9	49,9	47,9	46,5	47,5	47,0
13	48,1	46,5	47,3	45,7	49,7	47,7	46,6	47,5	47,0
14	47,2	46,8	47,0	45,7	49,6	47,6	46,6	47,4	47,0
15	47,6	46,1	46,8	45,6	49,7	47,6	46,3	47,2	46,8
16	47,4	46,1	46,7	45,7	49,6	47,6	46,2	47,2	46,7
17	47,3	46,0	46,6	45,7	49,9	47,8	46,3	47,3	46,8
18	47,4	46,0	46,7	45,5	49,6	47,5	46,2	47,2	46,7
19	47,4	46,1	46,8	45,5	49,5	47,5	46,0	47,1	46,6

referenční úhel	60,4
-----------------	------

Tabulka 9 – Hodnoty kontaktních úhlů diiodmethanu na polyethylenu

t [s]	1. měření			2. měření			3. měření		
	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr	levý	pravý	průměr
0	49,4	49,7	49,6	49,0	47,4	48,2	49,2	45,4	47,3
1	49,9	50,3	50,1	49,6	47,6	48,6	49,8	45,6	47,7
2	49,8	50,2	50,0	49,4	47,3	48,4	49,2	45,5	47,4
3	49,5	49,9	49,7	49,2	47,2	48,2	49,3	45,7	47,5
4	49,5	49,8	49,7	49,1	47,0	48,1	49,0	45,2	47,1
5	49,5	49,9	49,7	49,4	47,1	48,3	49,8	45,9	47,9
6	50,0	50,5	50,3	49,9	47,5	48,7	49,6	45,4	47,5
7	49,9	50,4	50,2	49,1	46,6	47,9	49,1	45,5	47,3
8	49,5	50,0	49,8	48,7	46,7	47,7	49,5	45,5	47,5
9	49,5	50,2	49,8	49,0	47,1	48,0	49,9	45,9	47,9
10	49,4	49,9	49,7	49,3	47,2	48,3	49,6	45,6	47,6
11	49,4	50,0	49,7	48,8	46,6	47,7	49,3	45,5	47,4
12	49,4	50,1	49,8	48,7	46,7	47,7	49,9	46,0	48,0
13	49,5	49,9	49,7	48,9	46,6	47,8	49,3	45,5	47,4
14	49,8	50,3	50,0	48,6	46,6	47,6	49,6	45,8	47,7
15	49,4	50,2	49,8	48,8	46,7	47,7	48,7	44,8	46,8
16	49,6	50,1	49,8	48,5	46,6	47,6	49,6	45,7	47,7
17	49,5	50,0	49,7	48,9	46,9	47,9	49,5	45,4	47,4
18	49,6	50,1	49,9	48,9	46,9	47,9	49,6	45,4	47,5
19	49,5	50,0	49,7	49,3	47,3	48,3	50,0	46,0	48,0

referenční úhel	65,1
-----------------	------



### 3.4.2 Stanovení kontaktního úhlu na zařízení See System

Tabulka 10 – Hodnoty kontaktních úhlů získaných měření na přístroji See System

	kontaktní úhel		
	voda	ethylenglykol	dijodmethan
teflon	101,3	84,7	82,1
melinex	73.4	48.3	24.2
polyethylen	66.4	43.4	37.1

Vzhledem k tomu, že software k zařízení See System umožňuje výpočet hodnoty volné povrchové energie různými metodami, byly provedeny následující výpočty. Tabelaované hodnoty jsou publikovány v knize Moderní polygrafie.

Tabulka 11 – Hodnoty volné povrchové energie počítané danými metodami

	volná povrchová energie [ $\text{mJm}^{-2}$ ]		
	teflon	melinex	polyethylen
Owens-Wendt Regresion model	17,6	46,1	45,2
Owens-Wendt model	14,6	33,2	36,6
Wu-Equation of State model	11,8	30,1	35,6
Wu-Harmonic Mean model	94,5	52,7	36,7
Zisman model	19,1	-38,5	-33,3
-	-	-	-
tabelaované hodnoty	19,1 - 21,5	44,6	32,4 - 35,7

Pro teflon se jeví jako vhodná Zismanova metoda, která je právě použitelná pro nízkoenergetické materiály. Teflon má téměř zanedbatelnou polární složku ( $\gamma^{\text{AB}} = 2,07 \text{ mJm}^{-2}$  a  $\gamma^{\text{LW}} = 15,5 \text{ mJm}^{-2}$ ) a proto je možno tuto metodu použít, protože celková hodnota povrchové energie, se při použití Zismanovy teorie velice blíží hodnotě disperzní složky. Melinex má značně vyšší povrchovou energii a je proto vhodnější použití výpočtu Owens-Wendt. Pro polyethylen je při použití Owens-Wendt model, Wu-Equation of State model, Wu-Harmonic Mean model dosaženo téměř stejných výsledků.

### 3.4.3 Porovnání naměřených kontaktních úhlů na zařízení CAM 100 a See System

Tabulka 12 – Hodnoty kontaktních úhlů naměřených na zařízení CAM 100 a See System

	kontaktní úhel [°]	
	Cam100	See System
teflon-voda	107,84	101,31
teflon-ethylenglykol	89,35	84,71
teflon-dijodmethan	81,27	82,14
-	-	-
melinex-voda	71,65	73,44
melinex-ethylenglykol	52,78	48,39
melinex-dijodmethan	28,51	24,27
-	-	-
polyethylen-voda	74,14	66,43
polyethylen-ethylenglykol	47,05	43,41
polyethylen-dijodmethan	48,45	37,18

Jak již bylo výše zmíněno, tak nejproblematictější pro měření byl dijodmethan, jehož kapka se příliš rozlévala a vzniklá úseč byla velice malá a při generování zbylého tvaru vznikal prostor pro velké odchylky. Nejpatrnější rozdíl byl při měření kontaktního úhlu dijodmethanu na polyetylen. Na tento problém je náchylnější přístroj See System, protože vyžaduje ručně určit i vrchol kapky.

## 4 Závěr

Cílem práce bylo standardizovat měření volné povrchové energie pevných látek na zařízení See System. Za tímto účelem bylo nejprve provedeno stanovení hodnot kontaktního úhlu testovacích kapalin na testovaných materiálech na zařízení Cam 100. Tyto hodnoty byly brány jako výchozí pro standardizaci měření na zařízení See System.

Po seznámení s metodikou měření na zařízení See System byly jednotlivé kroky měření optimalizovány tak, aby bylo dosaženo reprodukovatelných výsledků měření a naměřené hodnoty kontaktních úhlů se co nejvíce přiblížily hodnotám získaným na zařízení Cam 100. Bylo nutné optimalizovat především optické podmínky měření, způsob aplikace testovací kapaliny na testovaný materiál a dále způsob ohraničení tvaru kapky. Po optimalizaci těchto podmínek měření bylo dosaženo výsledků měření kontaktního úhlu porovnatelných s výsledky získanými na zařízení Cam 100. Odchytky ve výsledcích získaných na přístroji Cam100 a See System mohou být přisuzovány dvěma věcem: Cam100 po označení nejširší úrovně kapky generuje elipsoid, který je snímán každou sekundu, a z každého snímku jsou určeny 2 úhly smáčení, ze kterých se vypočítává průměr. Tyto úhly se mnohdy lišily o několik stupňů.

Oproti tomu na přístroji See System se ručně označují 3 hraniční body, dva v nejširším místě kapky a jeden na vrcholu, a následně se generuje dokonalá kružnice, ze které je určen pouze jeden jediný úhel.

Odchytky naměřených úhlů smáčení je tedy možno přisuzovat těmto rozdílným způsobům matematického zpracování dvěma různými softwary. Toto by mohlo být předmětem dalšího zkoumání.

Samotné měření povrchové energie a povrchového napětí je natolik citlivé na okolní vlivy a šetrný postup, že není možné dosáhnout stoprocentně stejných výsledků při měření různými přístroji.

## Seznam použité literatury

- [1] KAPLANOVÁ, Marie. *Moderní polygrafie*. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2010, ISBN 978-80-254-4230-2
- [2] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. 4. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002, 192 s. ISBN 80-7080-475-0.
- [3] Bartovská Lidmila, Šišková Marie: *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav [online]. Version 1.0*. Praha : VŠCHT Praha, 2005. P. 025. Available from www: <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-579-X.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-579-X.html)>. ISBN 80-7080-579-X
- [4] Netrvalová A.: *Bakalářská práce, Univerzita Pardubice KPF, 2006*
- [5] Svoboda J.: *Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně FSI, 2007*
- [6] LOŠŤÁK, Petr a Jiří VOTINSKÝ. *Vybrané kapitoly z obecné chemie: (struktura atomu, chemická vazba)*. Vyd. 2. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2005, 96 s. ISBN 80-719-4735-0
- [7] Moore, W. J.: *Fyzikální chemie, STNL, Nakladatelství technické literatury, 1979, 974 s.*
- [8] Kaplanová, M.: *Přednášky – Fyzikálně chemické děje v tiskových procesech, Univerzita Pardubice, KPF*
- [9] Halenkovič, T.: *Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, KPF 2012*
- [10] [http://www.advex-instruments.cz/ver1/download/productsheet\\_std.pdf](http://www.advex-instruments.cz/ver1/download/productsheet_std.pdf)
- [11] [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/povrchove\\_napeti\\_kapalin.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/povrchove_napeti_kapalin.html)
- [12] <http://www.vss-plasty.cz/plastove-polotovary/teflon.html>