

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Fakulta přírodovědecká

Katedra fyzikální chemie



Měření povrchové energie práškových materiálů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce:
Studijní obor:

Radim Polášek
Aplikovaná Chemie

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. RNDr. Libor Kvítek, CSc.

Olomouc 2010

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou v seznamu použité literatury.

Souhlasím s tím, že práce bude prezenčně zpřístupněna v knihovně Katedry fyzikální chemie, Přírodovědecké Fakulty, Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci dne.....

.....
Vlastnoruční podpis

Rád bych tímto poděkoval Doc. RNDr. Liborovi Kvítkovi, CSc. za odborné vedení této bakalářské práce a za jeho cenné rady v průběhu celého vypracování, zejména experimentální části. Vděčné poděkování náleží i RNDr. Petru Pikalovi a Personálu technologické fakulty University Tomáše Bati ve Zlíně za vytvoření vynikajícího a přátelského prostředí, jež mi pomohlo maximální měrou v provedení měření.

Obsah

1. Úvod.....	6
2. Teoretická část.....	7
2.1 Fázová rozhraní.....	7
2.2 Molekuly a jejich úloha ve fázových rozhráních.....	7
2.2.1 Mezimolekulární interakce nenabitých molekul.....	7
2.2.2 Mezimolekulární interakce nabitých molekul.....	11
2.2.3 Poměry mezi částicemi ve fázovém rozhraní a částicemi v objemové fázi.....	12
2.2.4 Makroskopický efekt mezimolekulárních sil.....	13
2.2.5 Povrchové napětí.....	14
2.2.6 Volná povrchová energie.....	14
2.2.7 Adhezní práce.....	16
2.3 Problematika mechanické rovnováhy na zakřiveném povrchu.....	17
2.3.1 Odvození Young-Laplaceovy rovnice.....	17
2.3.2 Problematika zakřivení na fázovou rovnováhu ve vícesložkových systémech...	19
2.3.3 Uspořádání kapky kapaliny na pevném povrchu.....	21
2.4 Rozhraní Pevná fáze-kapalina-plyn.....	23
2.4.1 Kontaktní úhel.....	23
2.4.2 Hystereze kontaktního úhlu.....	24
2.4.3 Kapalina v kapiláře.....	25
2.5 Povrchová energie pevných látek.....	26
2.5.1 Stanovení povrchové energie pevných látek.....	27
2.5.2 Polární a nepolární složka povrchové energie.....	27
2.5.3 Stavová Rovnice pro smáčení pevných látek.....	27
2.6 Metody významné pro měření smáčivosti práškových materiálů.....	29
2.6.1 Washburnova metoda.....	29
2.6.2 Metoda naklánějící se destičky.....	31
2.6.3 Wilhelmyho metoda vyvažování destičky.....	31
2.6.4 Metoda sedící kapky.....	33
3. Experimentální část.....	34
3.1 Použité chemikálie.....	34
3.2 Popis experimentálního provedení a přípravy vzorků.....	35
3.2.1 Měření kontaktního úhlu prostřednictvím metody sedící kapky	35
3.2.1.1 Příprava vzorku pro měření metodou sedící kapky.....	35
3.2.1.2 Průběh měření a nastavení přístroje.....	35
3.2.2 Příprava vzorků pro měření Wilhelmyho metodou.....	36

3.2.2.1	Průběh měření Wilhelmyho metodou.....	37
3.3	Výsledky a diskuze pro měření sedící kapky.....	37
3.3.1	Měření smáčivosti oxidu hlinitého.....	37
3.3.2	Měření smáčivosti oxidu zinečnatého.....	40
3.3.3	Měření smáčivosti oxidu titaničitého.....	43
3.3.4	Měření smáčivosti silikagelu.....	46
3.3.5	Měření smáčivosti vzorku 070110/1.....	48
3.3.6	Měření smáčivosti vzorku 070110/2.....	50
3.3.7	Stanovení povrchové energie a její závislosti na hodnotě kontaktního úhlu.....	53
3.4	Výsledky a diskuze pro měření Wilhelmyho destičky.....	54
3.4.1	Měření smáčivosti oxidu hlinitého.....	54
3.4.2	Měření smáčivosti oxidu zinečnatého.....	56
3.4.3	Měření smáčivosti oxidu titaničitého.....	58
3.4.4	Měření smáčivosti silikagelu.....	59
3.4.5	Měření smáčivosti vzorku 070110/1.....	61
3.4.6	Měření smáčivosti vzorku 070110/2.....	63
3.4.7	Stanovení povrchové energie.....	65
3.5	Srovnání naměřených hodnot.....	66
4.	Závěr.....	67
5.	Použitá literatura.....	68
6.	Citovaná literatura.....	69

1. Úvod

Studium smáčivosti práškových materiálů představuje experimentální problém, protože u těchto sypkých látek se v praxi měření provádí velmi obtížně, jak je možno ostatně z povahy těchto látek odvodit – povrchová heterogenita, malé částice, atd.

Smáčivost je velmi významná pro mnoho výrobních procesů, neboť řada z nich je závislá na tom, jak práškové materiály smáčí dílčí komponenty jednotlivých výrobků. Tento jev je třeba studovat i s ohledem na farmaceutický průmysl, jelikož i v tomto odvětví hraje významnou roli. Významnou roli hraje smáčivost i v dnešním textilním průmyslu, kde se používá tohoto jevu při výrobě takzvaného funkčního prádla, které je složeno z různých textilních vrstev, z nichž některé vykazují záměrně vysokou smáčivost a některé naopak minimální. Tak je zajištěn správný odvod vlhkosti od pokožky. Takovýchto příkladů, kdy člověk využívá tohoto fenoménu je nepřeberné množství a navzdory tomuto faktu je tato problematika, především u práškových materiálů, zatím velmi málo prozkoumána.

V současné době existuje mnoho metod vyvinutých pro stanovování smáčivosti pevných látek. Tyto metody byly ale navrhovány především pro látky v kompaktním stavu a nikoliv pro materiály v práškovém stavu. Některé z těchto metod se ale dá s různou účinností využít pro stanovování smáčivosti těchto materiálů a téměř u všech se měří kontaktní úhel, který nabývá různých hodnot s určitým práškovým materiálem proti různým měrným kapalinám.

Cílem této práce je porovnat vybrané metody a jejich vhodnost pro měření smáčivosti anorganických práškových pigmentů se zaměřením na oxidy kovů používaných v praxi zejména jako pigmentů a plniv například do plastů.

2. Teoretická část

2.1 Fázové rozhraní

Dvousložkový systém je složen ze dvou fází tedy a jen tehdy změní-li se při přechodu z jedné části složky do druhé jejich fyzikálně-chemické vlastnosti. Naopak, dvě skupenství jsou ve stejné fázi, jestliže mohou být přeměněny z jedné na druhou bez jakýchkoliv náhlých změn.

Styčná plocha dvou a více fází se pak označuje jako fázové rozhraní, v němž dochází k přechodu vlastností jedné fáze ve druhou významným skokem. Šířka těchto vrstev obvykle nepřesahuje tloušťku několika molekulárních průměrů. Vlastnosti fázových rozhraní jsou ovlivněny oběma stýkajícími se fázemi. Rozhraní kapalina/plyn a pevná látka plyn jsou označovány jako povrchy a rozhraní fází kapalina/kapalina a kapalina/plyn jsou označovány jako mobilní rozhraní. S fázovými rozhraními se v životě setkáváme prakticky všude od rozsáhlých hladin oceánů, přes plicní sklípky živých organismů, až po micely tuků jak v rostlinných, tak i v živočišných buňkách. Tyto malé oblasti hrají v reálném světě velmi důležitou a nenahraditelnou roli.

2.2 Molekuly a jejich úloha ve fázových rozhraních

Vlastnosti a děje spojené s povrchy a fázovými rozhraními jako například výparné teplo a smáčení jsou výsledkem působení meziatomárních a mezimolekulárních interakcí. Pro pochopení dějů ve fázových rozhraních a vlastností povrchů je třeba nejprve obsáhnout problematiku mezimolekulárních interakcí, jež hrají významnou roli v povrchové chemii. Atomy a molekuly jak mezi fázemi, tak i v rámci jedné fáze, nejsou vůči sobě inertní. Naopak zde působí mnoho sil. Tyto síly se uplatňují podle povahy jednotlivých částic a podle vzdáleností mezi nimi. Soubor meziatomárních a mezimolekulárních sil se dá rozdělit podle toho, zdali jsou nabitě, neutrální (bez elektrického náboje), polární nebo nepolární.

2.2.1 Mezimolekulární interakce nenabitých molekul

V případě nenabitých molekul se uplatňují čtyři typy interakcí. U prvních třech typů interakcí je přitažlivá energie molekul nepřímo úměrná šesté mocnině jejich vzdálenosti. Zpravidla se zde nejvíce uplatňují interakce Londonovy, známé také jako disperzní interakce, které u

nepolárních uhlovodíků (např. alkany) mohou dosahovat až stoprocentního podílu. Velikost přitažlivé interakce je možno vyjádřit prostřednictvím mezimolekulární přitažlivé energie vztahem:

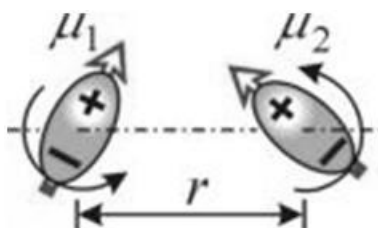
$$u = -\textit{konst.} \cdot r^{-6} \quad (1)$$

přičemž písmeno u charakterizuje přitažlivou energii mezi molekulami, r vzdálenost mezi molekulami a $\textit{konst.}$ je konstanta úměrnosti charakterizující interagující molekuly a bude uvedena u každého typu interakce, přičemž u disperzních interakcí se tato konstanta nazývá Londonova Konstanta C.

Zmíněné 3 typy interakcí jsou tyto:

Dipólové síly (Keesomovy): Jedná se o interakce mezi polárními částicemi, podmínkou pro existenci těchto sil je tedy přítomnost elektrických dipólů přičemž dochází k orientaci záporného konce molekuly směrem ke kladnému konci druhé molekuly.

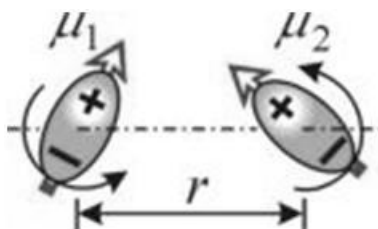
Obr. 2.2.1-1: znázornění dipólové interakce.



$$\textit{konst.} = \frac{\mu_1^2 \cdot \mu_2^2}{3(4\pi\epsilon_0)^2 k_B T} \quad (2)$$

Indukované interakce (Debyeovy): Uplatňují se mezi molekulami s permanentním dipólem a molekulami bez trvalého dipólu (nepolárními molekulami).

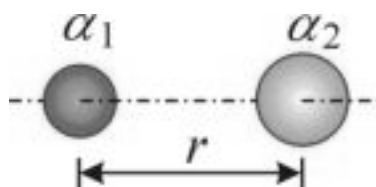
Obr. 2.2.1-2: znázornění indukované interakce.



$$\textit{konst.} = \frac{\mu_1^2 \cdot \alpha}{(4\pi\epsilon_0)^2} \quad (3)$$

Disperzní interakce (Londonovy): Vznikají v důsledku neustálého pohybu elektronů v atomech a molekulách přičemž dochází k asymetrickému rozložení elektronů, což vede k vzniku krátkodobého dipólu.

Obr. 2.2.1–3: znázornění disperzní interakce.



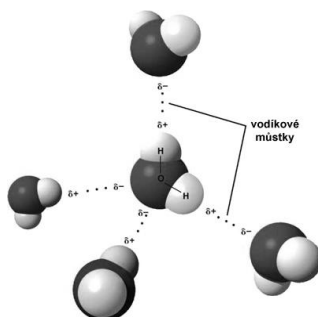
$$konst. = \frac{3 \alpha_1 \alpha_2}{2(4\pi\epsilon_0)^2 \left(\frac{1}{h\nu_{01}} + \frac{1}{h\nu_{02}} \right)} \quad (4)$$

Poslední interakce, vodíková vazba, se uplatňuje mezi silně polárními molekulami a energie mezi těmito molekulami je přímo úměrná r^{-2} . Rovnice charakterizující jejich přitažlivou energii bude tedy vypadat takto: ^{1;5}

$$u = -\frac{konst.}{r^2} \quad (5)$$

Jedná se o intramolekulární interakci, která vzniká interakcí vodíkových atomů se silně elektronegativním atomem (např. F, O, N, Cl, S, atd.), přičemž tento atom musí mít volný elektronový pár. Silně elektronegativní atom způsobí posun elektronů směrem k němu, což vede ke vzniku parciálního kladného náboje. Vzniklý parciální kladný náboj je potom přitahován volným elektronovým párem z další molekuly téže látky. Vodíkové vazby jsou příčinou unikátních fyzikálních vlastností látek (například nebývale vysoký bod varu některých molekul např. voda), u biologických makromolekul plní esenciální funkce při tvorbě jejich takzvaných sekundárních struktur, které mají kupříkladu za následek vznik šroubovice DNA. ⁶

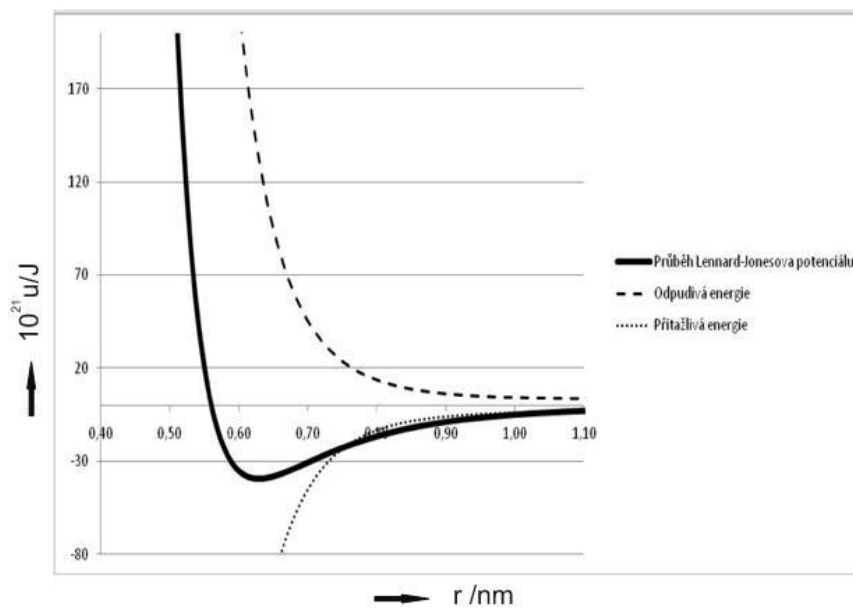
Obr. 2.2.1–4: znázornění interakce vodíkových vazeb. ⁶



Rovněž nesmí být opomenuta ani interakce vzájemného elektrostatického odpuzování elektronových obalů interagujících molekul působící při velmi malých vzdálenostech. Je dána závislostí celkové energie mezimolekulárního působení a vzdáleností středů molekul (Obr. 2.2.1-5). Tato energie je nazývána také jako **Lennard-Jonesův potenciál**, jenž je dán vztahem: ^{1;5}

$$u = -\frac{a}{r^6} + \frac{b}{r^{12}} \quad (6)$$

Obr. 2.2.1–5: energie interakce dvou molekul v závislosti na vzdálenosti jejich středů. ¹

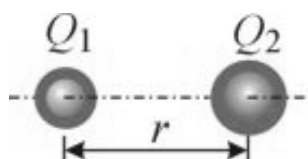


2.2.2 Mezimolekulární interakce nabitých molekul

V reálném světě může dojít k těmto třem typům interakcí s nabitými částicemi. U každé interakce je uveden vztah pro výpočet přitažlivé energie mezi jednotlivými molekulami.

Interakce mezi různými nebo dvěma stejnými nabitými částicemi. Energie této interakce je popsána Coulombovým zákonem.

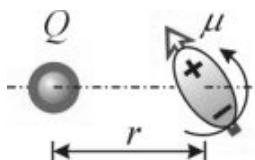
Obr. 2.2.2-1: znázornění interakce mezi dvěma nabitými částicemi.



$$u = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{1}{r} \quad (7)$$

Interakce mezi nabitou částicí a permanentním dipólem.

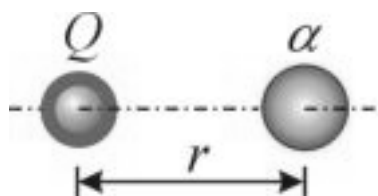
Obr. 2.2.2-2: znázornění interakce mezi dvěma nabitými částicemi.



$$u = \frac{Q^2 \cdot \mu^2}{6(4\pi\epsilon_0)^2 k_B T} \cdot \frac{1}{r^6} \quad (8)$$

Interakce mezi nabitou částicí a částicí v níž se vlivem nabitě částice indukuje dipól.

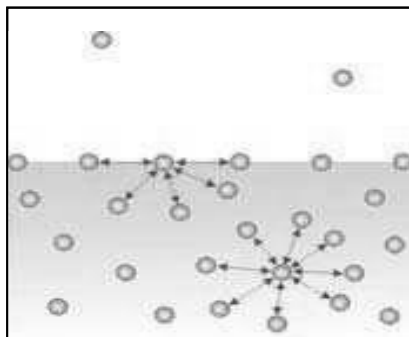
Obr. 2.2.2-3: znázornění interakce mezi nabitou částicí a indukovaným dipólem.^{1;5}



$$u = \frac{Q^2 \cdot \alpha}{2(4\pi\epsilon_0)^2} \cdot \frac{1}{r^4} \quad (9)$$

2.2.3 Poměry mezi částicemi ve fázovém rozhraní a částicemi v objemové fázi

Obr. 2.2.3–1: znázornění interakce molekul v objemové a povrchové části kapalné fáze.



Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, v každé látce na sebe působí částice různými interakcemi. V objemové fázi libovolné látky na sebe působí částice interakcemi, které jsou do jisté míry vzájemně kompenzovány.

Jinak je tomu u částic v oblasti povrchu, kde dochází pouze k částečné kompenzaci sil a tudíž i ke zvýšení energie částic. Pro názornost této problematiky se uvažuje kapalina, u níž na částice působí pouze Londonovy síly a působení mezi všemi páry částic je aditivní. Tuto energetickou bilanci je možno vyjádřit pomocí integrálu popisujícího energii částic v objemové fázi:

$$\mathbf{u}_{\text{vol}} = - \int_r^{\infty} \mathbf{v} \frac{\mathbf{C}}{r^6} 4\pi r^2 \mathbf{d}r = - \frac{4}{3} \frac{\mathbf{v}\pi\mathbf{C}}{r^3} \quad (10)$$

a integrálu popisujícího energii částice lokalizované v povrchové vrstvě:

$$\mathbf{u}_{\text{surf}} = - \int_r^{\infty} \mathbf{v} \frac{\mathbf{C}}{r^6} 2\pi r^2 \mathbf{d}r = - \frac{2}{3} \frac{\mathbf{v}\pi\mathbf{C}}{r^3} \quad (11)$$

Písmeno \mathbf{v} reprezentuje počet částic v jednotce objemu (u druhé rovnice počet částic v jednotce povrchu) a \mathbf{C} Londonovu konstantu pro disperzní interakce mezi molekulami v kapalině, jež je dána vztahem:

$$\mathbf{C} = \Lambda_{\mathbf{ab}} = \left\{ \frac{h\nu_a h\nu_b}{h\nu_a + h\nu_b} \right\} \alpha_a \alpha_b \quad (12)$$

Odečtením těchto integrálů se dojde ke zjištění, že energie molekul umístěných v povrchové fázi je větší než energie molekul obsažených ve fázi objemové. Vzhledem k tomuto výsledku je logické, že pokud by se jedna z molekul měla přemístit z objemové fáze do povrchové vrstvy, musí být vykonána určitou práci. ¹

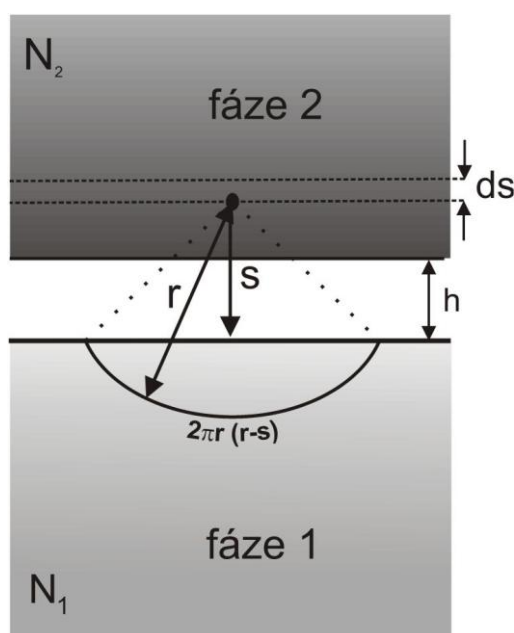
2.2.4 Makroskopický efekt mezimolekulárních sil

Prostřednictvím molekulárních sil na sebe mohou, v dostatečně blízké vzdálenosti, vzájemně působit dvě nezávislá makroskopická tělesa. Toto vzájemné působení se snažili popsat De Boere a Hamaker, kteří za předpokladu, že je mezi dvěma rovinnými tělesy vakuum, všechny částice jednoho tělesa interagují se všemi částicemi druhého tělesa a že mezi částicemi působí pouze Londonovy síly, jejichž působení je mezi všemi páry aditivní, získali vztah pro interakční energii, který je popsán takto:

$$u = - \int_h^\infty N_2 \int_s^\infty N_1 \frac{C_{12}}{r^6} 2\pi(r-s) ds dr = - \frac{A_{12}}{12\pi h^2} \quad (13)$$

Výraz A_{12} vyjadřuje součin konstant $N_1 \cdot N_2 \cdot \pi^2 \cdot C_{12}$ a je označován jako Hamakerova konstanta, přičemž $N_1; N_2$ vyjadřují množství částic v objemech jednotlivých fází a C_{12} vyjadřuje Londonovu konstantu pro dvě různé látky. Zbylé veličiny popisuje obrázek uvedený níže. ¹

Obr. 2.2.4–1: grafické znázornění působení částic jedné fáze na druhou fázi



2.2.5 Povrchové napětí

Molekuly kapaliny jsou k sobě navzájem přitahovány mezimolekulárními silami. Výslednice všech přitažlivých sil molekuly, která se nachází v objemové fázi, je nulová. Plošná síla (také známá jako kohezní síla) molekul v povrchu má nenulovou hodnotu síly působící přímo proti objemové fázi. To je síla, jež musí působit proti zvětšení plochy povrchu, energie spotřebovaná pro tento proces se nazývá povrchová energie. Nevyváženost sil přítomných v povrchu způsobí, že povrchová energie je minimální. Proto mají kapky vody kulovitý tvar, jelikož koule má nejmenší plochu pro daný objem. Povrchové napětí a volná povrchová energie jsou v rovnováze, zatímco toto neplatí pro pevný povrch.

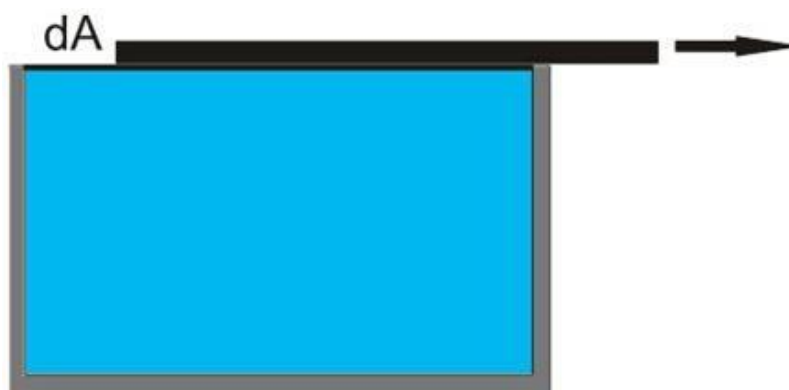
Povrchové napětí je definováno jako práce potřebná pro zvýšení plochy povrchu izotermicky a vratně na jednotku plochy. Povrchové napětí (γ_{lg}) je vyjádřeno jako povrchová energie na jednotku plochy, nebo jako síla na jednotku délky. Povrchové napětí může být měřeno přímo a vyjádřeno v jednotkách práce nebo energie na jednotku plochy (erg/cm^2), která je potom zjednodušena na dyn/cm^2 ($\text{erg/cm}^2 = \text{dyn}\cdot\text{cm/cm}^2 = \text{dyn/cm}$). Chemická definice povrchů uvažuje relativní příspěvky každé složky do povrchového napětí. Polární komponenta je složena z různých polárních molekulových interakcí zahrnujících vodíkové vazby, dipólovou energii a indukční energii, zatímco disperzní komponenta sestává z Londonových disperzních přitažlivých interakcí.³

2.2.6 Volná povrchová energie

Pro popsání problematiky volné povrchové energie je možno použít příklad nádoby naplněné kapalinou s posuvným krytem. U posuvného krytu se předpokládá, že je mezi ním a kapalinou nulové mezifázové napětí. Jestliže se kryt posune a odkryje plochu povrchu dA , nezbytná reverzibilní práce bude odpovídat γdA . Pro čisté sloučeniny, je nárůst volné povrchové energie v systému při konstantní teplotě a tlaku definována rovnicí:

$$dG = \gamma dA \quad (14)$$

Obr. 2.2.6–1: nádoba naplněná kapalinou a s posuvným krytem



Celková volná energie systému je složena z energie objemové a povrchové fáze kapaliny. Druhá zmíněná je rovná volné povrchové energii na jednotku plochy (G_s) násobená plochou povrchu jak je ukázáno v rovnici (15). Kombinací rovnic (14) a (15) získáme rovnici (16), která ukazuje, že volná povrchová energie čisté sloučeniny je rovná povrchové energii.

$$dG = G_s dA \quad (15)$$

$$G_s = \left(\frac{dG}{dA} \right)_{T,P} = \gamma \quad (16)$$

Ve vratném systému, je teplo q spojeno s eliminací nového povrchu a může souviset s entropií S nebo povrchovou entropií (17), kde S_s , označuje povrchovou entropii na jednotku plochy. Rovnice (18) je vyjádřením termodynamického vztahu aplikovaného na povrch kapaliny, v němž T zastupuje absolutní teplotu. Rovnice (19) je pak získána nahrazením G_s rovnicí (16).

$$dq = TdS = TS_s dA \quad (17)$$

$$\left(\frac{dG_s}{dT} \right)_P = -S_s \quad (18)$$

$$\frac{d\gamma}{dT} = -S_s \quad (19)$$

Celková povrchová energie může být spočítána aplikací vztahu entalpie s Gibsovou volnou energií a entropií do vztahu pro kapalný povrch.

$$\mathbf{H_s = E_s = G_s + TS_s} \quad (20)$$

Rovnice (21) je výsledkem dosazení rovnice (19) do rovnice (20):

$$\mathbf{E_s = G_s - T \frac{d\gamma}{dT}} \quad (21)$$

Povrchové napětí mnoha kapalin se snižuje se zvyšující se teplotou lineárním způsobem. Dobře známá rovnice (22), definující vztah mezi teplotou a povrchovým napětím, se označuje jako EÖTVÖSova rovnice.

$$\mathbf{\gamma V^{2/3} = k(T_c - T)} \quad (22)$$

V je molární objem, k je konstantní pro většinu kapalin, T_c je kritická teplota kapaliny a T je teplota kapaliny. Předpokladem je, že povrchové napětí kapaliny při kritické teplotě bude blízké nule.

Pevný povrch může být charakterizován jeho volnou povrchovou energií a povrchovou energií. Povrchová energie látky nemůže být měřena tak jako kapalina, což vede k potížím způsobeným vratnou tvorbou jeho povrchu. Metody pro stanovení povrchové energie pevných látek jsou popsány v kapitole 2.6. ³

2.2.7 Adhezní práce

Adhezní práce je definována jako vratná termodynamická práce potřebná pro oddělení mezifází z rovnovážného stavu dvou fází do separační vzdálenosti do nekonečna. Rovnice (23) ukazuje adhezní práci pro kombinaci kapalně a pevné fáze. Definici vyslovil Francouzský vědec A. Dupre.

$$\mathbf{W_a = \gamma_L + \gamma_S - \gamma_{SL}} \quad (23)$$

γ_L je povrchové napětí kapalně fáze, γ_S je povrchová energie pevné fáze, γ_{SL} je mezifázové povrchové napětí a W_a je adhezní práce. Zvýšení mezifázových přitažlivých sil odpovídá zvýšení adhezní práce. Rovnice (23) může být přepsána, aby popisovala kohezní práci (W_c), když jsou dvě fáze identické a žádné mezifáze není přítomné, jak ukazuje rovnice (24) pro pevnou fázi.³

$$W_c = 2\gamma \quad (24)$$

2.3 Problematika mechanické rovnováhy na zakřiveném povrchu

Rovnováha v systému se ustavuje tak, aby byla pro celý systém energeticky nejvýhodnější, to znamená, že součet energií všech rozhraní v systému musí mít co nejnižší energii. Snížení mezifázové energie se dá dosáhnout tak, že se například zamění fázová rozhraní za jiná energeticky výhodnější, nebo adsorpcí vedoucí ke snížení mezifázové energie, či zmenšením plochy fázového rozhraní zakřivením. Zakřivení fázového rozhraní může mít za následek výraznou změnu vlastností celého systému.¹

2.3.1 Odvození Young-Laplaceovy rovnice

Pro odvození Young-Laplaceovy rovnice může pomoci jev ustavení rovnováhy. Pro odvození Young-Laplaceovy rovnice je potřeba znát Střední křivost, jež je dána harmonickým průměrem poloměrů křivosti R_1 a R_2 , které charakterizují právě zakřivení daného fázového rozhraní.

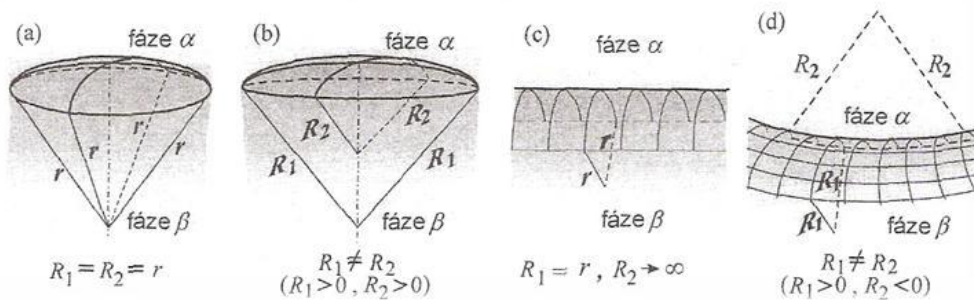
$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = k \quad (25)$$

Hodnoty poloměrů křivosti R_1 a R_2 mohou podle vlastností zakřiveného povrchu nabývat jak kladných, tak i záporných hodnot (viz obr. 2.3.1-1).

Dalším vztahem, který bude potřeba pro odvození Young-Laplaceovy rovnice, je vztah mezi povrchem malého elementu a objemem, který je tímto elementem vymezen:

$$dA = k \cdot dV \quad (26)$$

Obr. 2.3.1–1: ukázka tvarů zakřivení různých fází ¹



Ke konečnému odvození Young-Laplaceovy rovnice poslouží kapka kapaliny vytlačovaná pístem z válce (obr. 2.3.1-2). Provede-li se posun pístu o vzdálenost dx , bude vykonána objemovou prací $\mathbf{p} \cdot d\mathbf{V}$, která bude spotřebována na zvětšení objemu kapky $d\mathbf{V}$, a zvětšení povrchu kapky o $d\mathbf{A}$, proti vnějšímu tlaku \mathbf{p}^e . Podmínka mechanické rovnováhy je potom odvozena následujícím způsobem:

$$\mathbf{p}^i \cdot d\mathbf{V} = \mathbf{p}^e \cdot d\mathbf{V} + \gamma \cdot d\mathbf{A} \quad (27)$$

Úpravou rovnice mechanické rovnováhy se dá zjistit, že zlomek $\frac{dV}{dA}$ je možno nahradit koeficientem střední křivosti:

$$\mathbf{p}^i - \mathbf{p}^e = \gamma \cdot \frac{dV}{dA} = \gamma \cdot k \quad (28)$$

Koeficient střední křivosti k je možno nahradit harmonickým průměrem poloměrů křivosti, přičemž se z ní vyjádří obecný tvar Young-Laplaceovy rovnice pro rozdíl tlaků uvnitř a vně kapky:

$$\mathbf{p}^i - \mathbf{p}^e = \gamma \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (29)$$

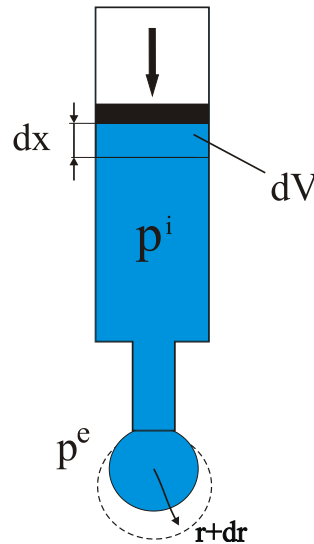
Rozdíl tlaků je způsoben existencí povrchového napětí na povrchu vytlačované kapky a nazývá se Laplaceův či kapilární tlak. Velikost tohoto rozdílu tlaků je závislý na zakřivení – čím větší je zakřivení, tím je větší právě i Laplaceův tlak.

V případě, jedná-li se o bublinu plynu v kapalině pro objem, platí že $dV = \frac{4}{3}\pi r^2 \cdot 3dr$ a pro povrch platí vztah $dA=4\pi r \cdot dr$. Další úpravou lze získat rovnici pro rozdíl tlaků na fázovém

rozhraní kapalina/plyn za situace, kdy je kapalina omezena zakřiveným povrchem s kulovou symetrií o poloměru r .¹

$$p^i - p^e = \frac{2\gamma}{r} \quad (30)$$

Obr. 2.3.1–2: vytlačovaná kapka kapaliny pístem z válce



2.3.2 Problematika zakřivení na fázovou rovnováhu ve vícesložkových systémech

Jako model soustavy se dá použít jednoduchý příklad – rozpouštění pevné látky v rozpouštědle. Jako podmínka rovnováhy je zde brána rovnost chemických potenciálů rozpouštěné složky v obou fázích to znamená, že chemický potenciál pevné formy složky $(\mu_i^{\blacksquare})_r$ je roven chemickému potenciálu dané složky v příslušném rovnovážném roztoku $(\mu_i^{\circ})_r$.

$$(\mu_i^{\blacksquare})_r = (\mu_i^{\circ})_r \quad (31)$$

Podobně se chemický potenciál čisté složky $(\mu_i^{\blacksquare})_{\infty}$ rovná chemickému potenciálu této složky v odpovídajícím rovnovážném roztoku $(\mu_i^{\circ})_{\infty}$ i ve formě fáze s rovinným povrchem.

$$(\mu_i^{\blacksquare})_{\infty} = (\mu_i^{\circ})_{\infty} \quad (32)$$

Výsledkem kombinace těchto dvou vztahů je výraz uvedený níže:

$$(\mu_i^{\blacksquare})_r - (\mu_i^{\blacksquare})_{\infty} = (\mu_i^{\odot})_r - (\mu_i^{\odot})_{\infty} \quad (33)$$

Vezme-li se v úvahu existence isotermických a izobarických podmínek potom vztah pro rozdíl chemických potenciálů může vypadat takto:

$$(\mu_i^{\odot})_r - (\mu_i^{\odot})_{\infty} = RT \ln \frac{(a_i)_r}{(a_i)_{\infty}} \quad (34)$$

Pravá strana rovnice obsahuje chemické potenciály fáze jak ve formě se zakřiveným, tak i rovinným povrchem, jež mají stejnou teplotu, ale nemají stejný tlak. Tento problém se však dá vyřešit pomocí závislosti chemického potenciálu na tlaku ($d\mu = V_m dp$) a pomocí Young-Laplaceovy rovnice přičemž z úpravy vzejde vztah:

$$(\mu_i^{\blacksquare})_r - (\mu_i^{\blacksquare})_{\infty} = \int_p^{p+2\gamma/r} V_m^{(s,l)} dp = \frac{2\gamma \cdot V_m^{(s,l)}}{r} \quad (35)$$

Kombinací rovnic (33) a (34) je možno získat vztah:

$$RT \ln \frac{(a_i)_r}{(a_i)_{\infty}} = \frac{2\gamma \cdot V_m^{(s,l)}}{r} \quad (36)$$

V němž písmeno γ vyznačuje povrchové napětí, $V_m^{(s,l)}$ je molární objem disperzního podílu (pevný nebo kapalný), $(a_i)_r$ a $(a_i)_{\infty}$ jsou aktivity složky i v jejich rovnovážných roztocích. Z definice pro aktivitu složky plyne, že aktivita je rovna součinu aktivitního koeficientu a relativních koncentrací, proto ve zředěných roztocích, u nichž se jejich koncentrace příliš neliší, je možno uvažovat poměr aktivitních koeficientů blízký jedné. Proto lze nahradit složky $(a_i)_r$ a $(a_i)_{\infty}$ rozpustností malých částic (kapalných nebo plyných) označovanou $(c_i)_r$ a rozpustností makrofází $(c_i)_{\infty}$, přičemž výsledkem je výraz podobný Kelvinově rovnici (37) z literatury známý jako Ostwaldova-Freundlichova rovnice.

$$RT \ln \frac{(c_i)_r}{(c_i)_{\infty}} = \frac{2\gamma \cdot V_m^{(s,l)}}{r} \quad (37)$$

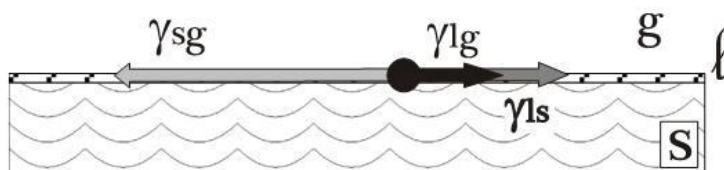
Takový výraz Ostwald-Freundlichovy rovnice platí pouze v případech, kdy nejde o elektrolyty. Pro elektrolytické roztoky je třeba ještě do rovnice zahrnout střední aktivitní koeficient γ_{\pm} a počet iontů vznikajících disociací daného elektrolytu ν . V případě zředěných roztoků je pak možno uvažovat, že podíl středních aktivitních koeficientů je opět blízký číslu jedna.¹

2.3.3 Uspořádání kapky kapaliny na pevném povrchu

V případě kontaktu kapky kapaliny s pevným povrchem dojde ke styku tří fází, přičemž kapka zaujme jistý tvar, jehož profil se nazývá linie smáčení, která podle vektorového součtu svírá s povrchem určitý úhel zvaný jako úhel smáčení nebo také jako kontaktní úhel. V závislosti na velikosti parciálních mezifázových energií mohou teoreticky nastat čtyři případy:

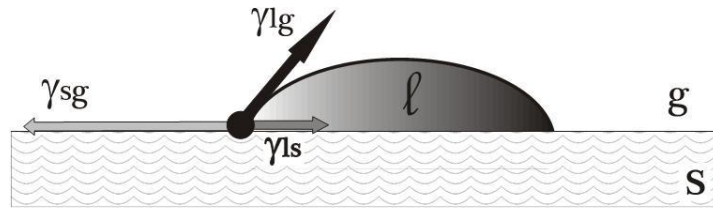
- Případ dokonalého smáčení. Tento jev nastává v případě, že je velikost povrchové energie rovna součtu mezifázové energie pevná látka/kapalina a povrchového napětí kapaliny. V tomto případě dojde k rozestření kapky kapaliny po povrchu pevné látky a vzniku mezifází pevná látka/kapalina a mezifází kapalina/plyn, což vede ke snížení celkové energie. Hodnota kontaktního úhlu bude právě 0° .

Obr. 2.3.3–1: případ dokonalého smáčení



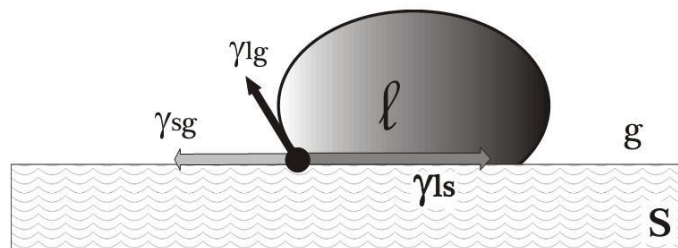
- Případ dobrého smáčení. V tomto případě nastává situace, kdy je výslednice povrchové energie větší než součet mezifázové energie pevná látka/kapalina a energie povrchového napětí. Velikost kontaktního úhlu bude v tomto případě větší než 0° a menší než 90° .

Obr. 2.3.3–2: případ dobrého smáčení



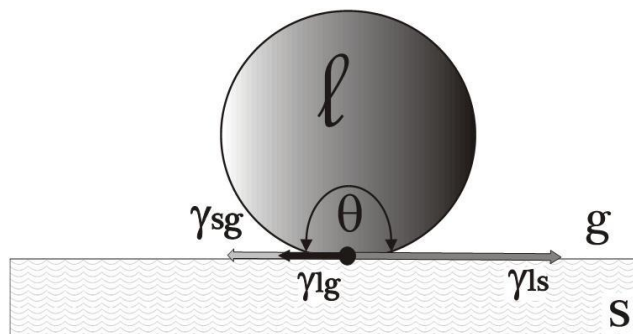
- c) Případ špatného smáčení nebo také nesmáčení. V případech kdy je povrchová energie pevné látky menší než součet zbylých dvou energií, dojde k tomu, že se kapka nerozestře po povrchu, nýbrž se snaží zaujmout s povrchem pevné látky co nejmenší plochu. Kontaktní úhel se bude pohybovat v intervalu 90 až 180 stupňů.

Obr. 2.3.3–3: případ špatného smáčení



- d) Případ dokonalého nesmáčení. K tomuto jevu dochází v případě, kdy je povrchová energie rovna rozdílu mezifázové energie a povrchového napětí kapaliny. V tomto případě je kontaktní úhel právě roven 180°.

Obr. 2.3.3–4: případ dokonalého nesmáčení



Podle velikostí jednotlivých složek se dá určit, zda-li je povrch smáčen či nikoliv. Povrchy, které splňují podmínku rovnováhy do té míry, že je kapalina smáčí a tudíž je jejich kontaktní úhel v rozmezí 0 až 90 stupňů, se označují jako lyofilní. Za lyofobní povrchy jsou označeny ty, u nichž je hodnota kontaktního úhlu větší než 90° a tak nemohou smáčet povrch pevné látky. V případě studia smáčení vodou se povrchy označují buď hydrofobní, nebo hydrofilní. ¹

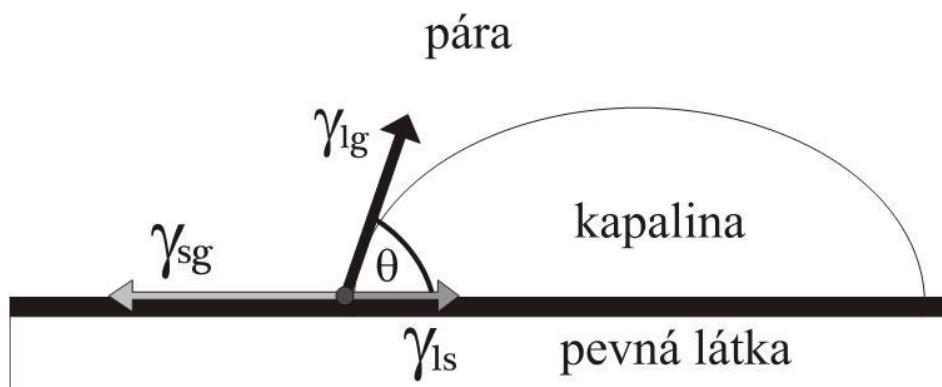
2.4 Rozhraní pevná fáze-kapalina-plyn

Dojde-li ke styku kapaliny a povrchu pevné látky za přítomnosti plynné fáze, začnou se uplatňovat tři typy mezifázových energií. Pro rozhraní pevné a plynné fáze se jedná o povrchovou energii odtud pro styk fází označení γ_{sg} . Dále je to energie označovaná písmeny γ_{sl} a jedná se o mezifázovou energii pevné látky a kapaliny. Poslední energií je povrchové napětí kapaliny a jedná se o mezifázovou energii plynná-kapalná fáze označovaná jako γ_{lg} . Podle velikosti jednotlivých veličin dojde k uspořádání kapky kapaliny na pevném povrchu tak, jak je popsáno v další kapitole. ¹

2.4.1 Kontaktní úhel

Kontaktní úhel θ , je kvantitativní veličina charakterizující míru smáčení pevné látky látkou kapalnou. Je definován geometricky, jako úhel vytvořený kapalinou na tří-složkovém rozhraní kde mezi sebou interagují kapalina, plyn a pevná látka.

Obr. 2.4.1–1: umístění kontaktního úhlu na sedící kapce mezi vektorem povrchového napětí γ_{lg} a vektorem mezifázové energie γ_{ls}



Jsou-li známy hodnoty povrchového napětí γ_{lg} , povrchové energie γ_{sg} a hodnota mezifázové energie rozhraní kapalina/pevná látka γ_{ls} lze, pomocí podmínky rovnováhy vycházející z jejich vektorového součtu, získat Youngovu rovnici.

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lg}} \quad (38)$$

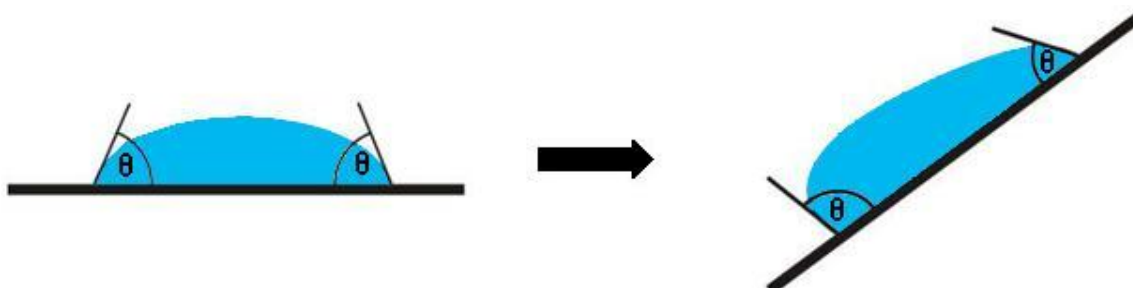
Pro výpočet kontaktního úhlu je možno použít tuto rovnici pouze v případě, jedná-li se o rovnováhu na zcela čistém povrchu. V mnoha případech je vhodné použít místo hodnoty povrchové energie čistého povrchu γ_{sg} hodnotu povrchové energie s naadsorbovanou párou $\gamma_{s,o}$, jež má nižší hodnotu. Při značných rozdílech energie γ_{sg} a $\gamma_{s,o}$, může dojít ke změně hodnoty úhlu smáčení.³

2.4.2 Hystereze kontaktního úhlu

Je dána rozdílem mezi hodnotami maximálního (postupujícího) a minimálního (ustupujícího) kontaktního úhlu. Může být použita jako charakteristika při definování povrchové heterogenity, hrubosti a proměnlivosti.

Celkově vzato obsahují heterogenní povrchy na povrchu oblasti, na kterých bude docházet k bránění pohybu kontaktní linie. U chemicky heterogenních povrchů tyto oblasti představují plochy, na nichž se mění hodnota kontaktního úhlu a které obklopují povrch. Během smáčení vodou dochází v lyofobních částech ploch k odpuzování vody a v lyofilní oblasti k přitahování kapaliny. Proto v lyofobní oblasti kontaktní úhel postupující kapaliny vzroste, protože se kapalina snaží omezit plochu kontaktu s vodou, a současně hodnota kontaktního úhlu ustupující kapaliny v lyofilní oblasti stoupne, jelikož vzorek má tendenci udržet vodu.³

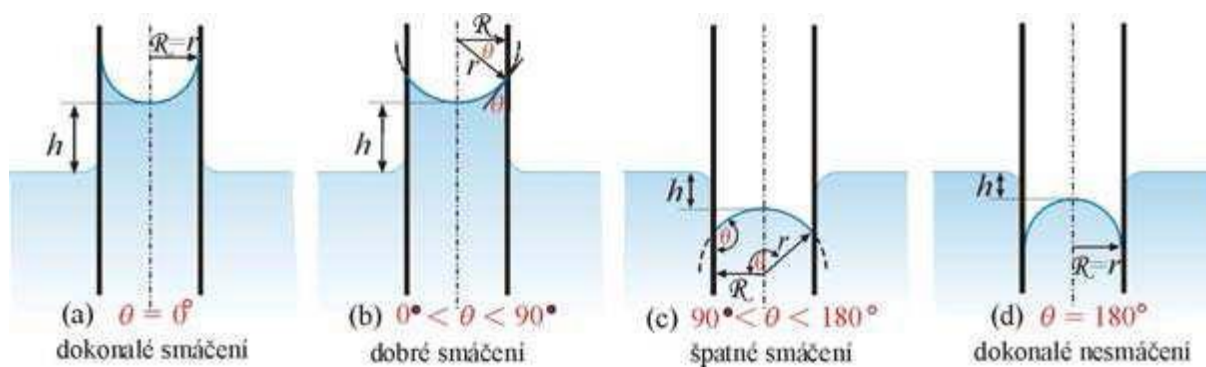
Obr. 2.4.2–1: vliv hystereze na hodnoty kontaktního úhlu po naklonění



2.4.3 Kapalina v kapiláře

Při vnoření tenké kapiláry do kapaliny dojde k ustavení rovnováhy tím způsobem, že hladina kapaliny vystoupá do určité výšky. To je příčinou působení Kapilárního nebo také Laplaceova tlaku. Vystoupá-li hladina kapaliny nad její hladinu v nádobě, nazývá se tento jev kapilární elevace v opačném případě tedy, když hladina kapaliny nevystoupá nad hladinu kapaliny v nádobě, mluví se o kapilární depresi, oba tyto jevy jsou spojeny s úhlem smáčení. Kapalina s úhlem smáčení menším než 90 stupňů bude v kapiláře stoupat, zatímco hladina kapaliny s kontaktním úhlem nad 90 stupňů vystoupá do kapiláry jen pod úroveň hladiny v nádobě nebo vůbec.

Obr. 2.4.3–1: smáčení stěn kapiláry¹



Rozdíl výšky obou hladin závisí na hydrostatickém tlaku a hodnotách jednotlivých mezifázových energií. Energetickou bilanci pro ustavenou výšku hladiny kapaliny v kruhové kapiláře o poloměru r lze vyjádřit vztahem:

$$\gamma_{sl}2\pi rh - \gamma_{sg}2\pi rh + \pi r^2 h^2 \rho^{(l)} g = 0 \quad (39)$$

Vytvoření fázového rozhraní pevná látka/kapalina o ploše A ($= 2\pi rh$) vede ke zvýšení energie, které je rovno prvnímu členu v energetické bilanci. Druhý člen $\gamma_{sg}2\pi rh$ popisuje energii, o níž se sníží celková energie systému vytvořením fázového rozhraní pevná látka plyn o velikosti plochy A . Poslední člen charakterizuje potenciální energii vytvořeného sloupce kapaliny o výšce h .

Pomocí Youngovy rovnice lze potom vyjádřit rozdíl mezifázových energií:

$$\gamma_{sl} - \gamma_{sg} = -\gamma_{lg} \cos \theta \quad (40)$$

A potom lze odvodit vztah pro rozdíl výšek hladin kapaliny:

$$h = \frac{2\gamma_{lg} \cos \theta}{\rho^{(l)} g r} \quad (41)$$

Z tohoto vztahu plyne, že když je kosinus kontaktního úhlu kapalin větší než nula, pak je i hodnota výšky kapiláry kladná a kapalina vystoupá nad její původní hladinu. U kapalin, kde je kosinus kontaktního úhlu záporný, je i hodnota výšky kapaliny v kapiláře h záporná a tudíž bude hladina kapaliny v kapiláře níže než hladina této kapaliny v nádobě.

Ke kapilárním jevům dochází nejen v kruhových kapilárách ale také i v dostatečně úzkých mezerách, trubičkách, pórech, atd. ¹

2.5 Povrchová energie pevných látek

Existuje mnoho empirických rovnic navrhovaných pro spojení povrchové energie pevných povrchů s kontaktním úhlem a jinými parametry. Tato kapitola se věnuje přehledu nejvýznamnějších empirických rovnic se zaměřením na polymerní materiály a poskytuje docela detailní popis každé rovnice.

Kovy a oxidy kovů mají značně vyšší povrchovou energii než polymerní materiály, které, z technologického stanoviska, zjednodušují metody přípravy povrchů. Naproti tomu, polymerní povrchy mají nízkou energii, což vyžaduje škálu pečlivých technik.

Povrchy pevných látek jsou rozděleny do jedné ze dvou kategorií: povrchy s vysokou nebo nízkou povrchovou energií. Materiály s vysokou povrchovou energií jsou kovy a anorganické sloučeniny jako oxidy, křemičitany, oxid křemičitý, diamant a nitridy. Povrchové napětí těchto materiálů je 200 až 500 dynů/cm. Nízkoenergetické materiály jsou především tvořeny organickými sloučeninami včetně polymerů s kritickým povrchovým napětím nižším než 100 dynů.

Materiály s nízkou energií, jako je olej, jsou spontánně absorbovány vysokoenergetickými povrchy, což má za následek redukcí volné povrchové energie v systému. To znamená, že čistý povrch s vysokou energií vystavený normálnímu okolnímu prostředí nezůstane nadlouho čistý, protože absorpce vody z okolí a organických částic bude kontaminovat jeho povrch. To je to, proč je proces čištění povrchu zahrnut do mnoha operací přímo před aktuální aplikací adheziv nebo krycích vrstev kvůli předejití vystavení čistého substrátu (adherentu) výrobnímu prostředí. Dalším způsobem je aplikovat ochranný film na čistý povrch, který se odstraní před adhezivním krytím. ³

2.5.1 Stanovení povrchové energie pevných látek

Pravá strana Youngovy rovnice (42) může být vypočítána měřením povrchového napětí kapaliny a kontaktního úhlu. Na levé straně jsou stále dvě neznámé (γ_{SV}^0 a γ_{SL}) a pro výpočet hodnoty γ_{SV}^0 je potřeba znát hodnotu mezifázové energie γ_{SL} . Pro stanovení povrchové energie pevných látek z měření kontaktních úhlů bylo vyvinuto mnoho modelů. Mezi významné modely patří stavová rovnice, tání polymerů, komponenty povrchového napětí a kritické povrchové napětí.³

$$\gamma_{LV} \cos \theta = \gamma_{SV}^0 - \gamma_{SL} \quad (42)$$

2.5.2 Polární a nepolární složka povrchové energie

Wu navrhoval rozdělit povrchovou energii na nepolární a polární komponentu. Dolní indexy **p** a **d** označují polární a disperzní komponentu. Pojetí aditivní podstaty komponent povrchové energie byl potvrzen Fowkesem a Mayerem. Polární komponenta povrchového napětí zahrnuje rozdílné dipólové interakce a vodíkové vazby. Komponenty jsou shrnuty dohromady pro zjednodušení úvah. Disperzní komponentu tvoří nepolární částí povrchové energie. Dílčí polarita je definována rovnicí (44) a dílčí nepolaritu vystihuje rovnice (45).

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^p \quad (43)$$

$$X^p = \frac{\gamma^p}{\gamma} \quad (44)$$

$$X^d = \frac{\gamma^d}{\gamma} \quad (45)$$

Dílčí polaritu lze definovat jak pro kapalnou fázi, tak i pro pevnou fázi podle rovnic (44) a (45).³

2.5.3 Stavová rovnice pro smáčení pevných látek

Tato stavová rovnice je upravena pro popis vztahů mezi kontaktním úhlem a kritickým povrchovým napětím. Kontaktní úhly pevného povrchu jsou zjištěny za pomoci testování řady kapalin. Hodnoty kritického povrchového napětí (γ_c) jsou vynášeny proti povrchovému napětí na rozhraní kapalina/pára (γ_{LV}), příslušný graf je vyjádřením stavové rovnice pro smáčení

pevných látek (equation of state plot). Maximální hodnota křivky kritického povrchového napětí ztotožňována s povrchovou energií pevných látek. Rovnice, které matematicky znázorňují tento popis, jsou odvozeny v této sekci.

Pro začátek teorie, kterou navrhl Good a Girifalco. Rovnice (48) aplikuje adhezní práci (W_a) do mezifázového napětí dvou fází označených čísly **1** a **2**. Good a Girifalco představili interakční parametr Φ definovaný rovnicí (47), ve které W_c znázorňuje kohezní práci. Kombinací rovnic (46) a (47) získáme Goodovu a Girifalcovu rovnici (48).

$$\gamma_{1,2} = \gamma_1 + \gamma_2 - W_a \quad (46)$$

$$\Phi = \frac{W_a}{(W_{c1}W_{c2})^{1/2}}$$

$$(W_{c1} = 2\gamma_1 \text{ a současně } W_{c2} = 2\gamma_2) \quad (47)$$

$$\gamma_{1,2} = \gamma_1 + \gamma_2 - 2\Phi(\gamma_1\gamma_2)^{1/2} \quad (48)$$

Youngova rovnice v obecném stavu, obsahující Harkinsův a Livingstnův korekční parametr π_E , je kombinována s rovnicí (48). Kritické povrchové napětí je definováno jako hodnota γ_{LV} , kdy se kontaktní úhel blíží nule.

$$1 + \cos \theta = 2\Phi \left(\frac{\gamma_{SV}}{\gamma_{LV}} \right)^{1/2} - \frac{\pi_E}{\gamma_{LV}} \quad (49)$$

$$\gamma_c = \lim_{\theta \rightarrow 0} \gamma_{LV} \quad (50)$$

Rovnice (52), nazývaná také stavovou rovnicí, je výsledkem vyjádření z rovnice (51). V této rovnici je známo povrchové napětí kapaliny (γ_{LV}) a měřením kontaktního úhlu může být spočítána povrchová energie pevné látky γ_{SV} .

$$1 + \cos \theta = 2 \left(\frac{\gamma_{SV}}{\gamma_{LV}} \right)^{1/2} - \frac{\pi_E}{\gamma_{LV}} \quad (51)$$

V případě, že kapalina smáčí pevný povrch a při rovnováze je hodnota $\pi_E = 0$.

$$\gamma_c = \frac{1}{4}(1 + \cos \theta)^2 \gamma_{LV} \quad (52)$$

Pro měření kontaktního úhlu a povrchového napětí pevného povrchu může být použita řada kapalin. Maximální hodnota interakčního faktoru je překročena v případě, že polarita kapaliny a pevné látky jsou stejné ($\phi=1$). V tom případě může být použita rovnice (53). V případě, že je kontaktní úhel kladný, použije se rovnice (54).

$$\gamma_c = \gamma_{SV} - \pi_E \quad (53)$$

Rovnice (54) potvrzuje, že kritické povrchové napětí je rovno povrchové energii pevné látky při použití vhodných kapalin, které mají shodnou polaritu s pevnou látkou a netvoří malý kontaktní úhel, blízký nule.³

$$\gamma_c = \phi^2 \gamma_{SV}$$

$$\gamma_c = \gamma_{SV} \quad (54)$$

2.6 Metody významné pro měření smáčivosti práškových materiálů

Mnoho běžně se vyskytujících pevných látek, které jsou pro nás důležité jako pigmenty, léčiva, brusiva a další, mohou být připraveny pouze jako prášky. Tyto materiály nemají žádný rovný a hladký povrch a kontaktní úhel nemůže být měřen přímo. Měření kontaktních úhlů na lisovaných tabletách je velmi problematické. Tablety jsou obvykle hrubé a porézní. Vlivem nekvalitního povrchu tablet dochází k naměření nižšího kontaktního úhlu, proto by bylo ideální získat hladký povrch dané pevné látky například lisováním do kompaktních tablet. Existuje mnoho metod, kterými se dají měřit povrchové vlastnosti a pomocí nichž se dá stanovit povrchová energie pevných látek v nepráškovém stavu. V případě měření povrchových vlastností práškových materiálů, se však škála těchto metod zmenšuje pouze na pár vhodných pro tyto účely.

2.6.1 Washburnova metoda

Tato metoda je založena na průtoku kapaliny skrze vměstnaný práškový materiál ve skleněné trubičce. Na průtok kapaliny skrze práškový vzorek významně působí několik interakcí

popsaných v kapitole kapalina v kapiláře. Je-li trubice s práškovým vzorkem situována do svislé polohy, tak do doby než se ustaví rovnováha, dochází k ovlivnění toku kapaliny prostřednictvím hydrostatického tlaku. Tento proces lze popsat prostřednictvím Laplaceovy rovnice a Poiseuilleovy rovnice (55) pro popis laminárního proudění.

$$\omega = \frac{\pi \Delta p r^4}{8 \eta L} \quad (55)$$

Kde písmeno ω popisuje objem průtoku kapaliny, η viskozitu kapaliny, r poloměr kapiláry, L je velikost skleněné trubičky a Δp charakterizuje rozdíl tlaků. Rychlost pohybu menisku v kapiláře je tedy dána vztahem:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{\omega}{\pi r^2} = \frac{\Delta p r^2}{8 \eta L} \quad (56)$$

Závislost rychlosti průniku použité kapaliny do pórovitého vzorku je možno vyjádřit Washburnovu rovnicí ta ale ještě plně nevyhovuje úplnému popisu závislosti změny hmotnosti naadsorbované kapaliny do měřeného vzorku.

$$\frac{dL}{dt} = \frac{\sigma r \cos \theta}{4 \eta L} \quad (57)$$

Upravená Washburnovu rovnicí (58), vznikne prostřednictvím kombinace a úpravy rovnic (56) a (57). Tato rovnice už vyhovuje popisu závislosti změny hmotnosti naadsorbované kapaliny do pórovitého vzorku v čase t .

$$\cos \theta = \frac{m^2}{t} \frac{\eta}{\rho^2 \gamma C} \quad (58)$$

Zbýlé neznámé v rovnici označují: θ kontaktní úhel, m měřená váha vzorku, t je doba měření, ρ je hustota použité kapaliny, C reprezentuje prostorovou konstantu, která je charakteristická pro každou látku a definuje objem pórů.²

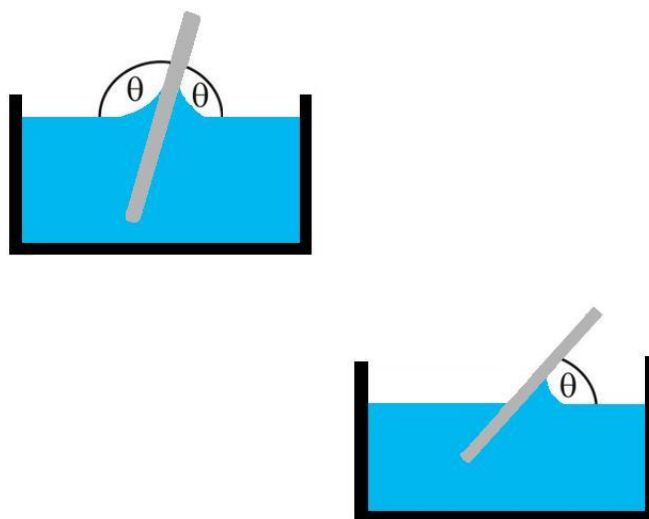
Velkým problémem u této metody je dimenzní konstanta C a úhel smáčení θ , který se zpravidla určuje přímo měřením. Eliminovat jednu neznámou lze zavedením pomocné, standardní kapaliny o nízkém povrchovém napětí a nulovém kontaktním úhlu a majícím stejnou konstantu C jako studovaná kapalina.

Pro přípravu vzorků se používá několik metod. Buď se používá pokaždé stejné odvážené množství vzorku a setřepe se na potřebnou výšku, nebo se práškový vzorek na určitý čas vystaví vibracím. Universální metoda jak vměstnat práškový vzorek do měrné trubičky prakticky neexistuje. Způsob přípravy vhodný pro jeden prášek nemusí být vhodný pro další typy prášků.²

2.6.2 Metoda naklánějící se destičky

Jedná se o nejstarší a na provedení nejjednodušší známou metodu vhodnou pro měření práškových materiálů. Princip spočívá v naklánění ponořené destičky do nádoby s měrnou kapalinou, na jejímž povrchu je nanесena vrstva měřeného prášku. Tato destička se naklání do takové pozice, kdy se na jedné straně destičky vyrovná meniskus do pozice styku všech tří fází a povrch kapaliny je na jedné straně rovný. V této pozici svírá destička s kapalinou určitý úhel θ . Jakmile dojde k vymizení menisku, nasnímá se totální světelný odraz a měří se úhel smáčení. Vzhledem k vysoké povrchové energii některých materiálů není možno u této metody zajistit chemicky naprosto čistý vzorek, protože dochází k okamžité adsorpci vlhkosti a anorganických částic, a měření není možno absolvovat, jelikož dochází k významnému ovlivnění měření vlivem těchto procesů.

Obr. 2.6.2–1: metoda naklánějící se destičky



2.6.3 Wilhelmyho metoda vyvažování destičky

Vzhledem k výskytu mnoha problémů spojených s experimenty sedící kapky, a Washburnovy metody se zdá být použití techniky Wilhelmyho destičky velmi atraktivní. Pro realizaci tohoto měření se prášek slisuje do obdélníkové destičky, nebo se pomocí oboustranné lepicí pásky připevní na její povrch a zavěsí na mikrováhy. Během vnořování destičky o délce d se na jejích obou stranách tvoří takzvané menisky. Výška a tvar menisků je popsán Young-Laplaceovou rovnicí, přičemž hmotnost kapaliny, která vzlíná po destičce, a připadá na jednotku plochy destičky, není závislá na tvaru menisku a při nulové hodnotě úhlu smáčení je

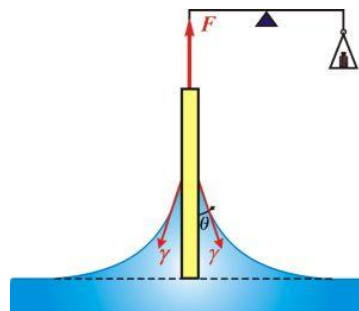
rovna hodnotě povrchového napětí. Sílu F , která je potřebná pro vyvážení destičky o délce d a tloušťce t , je potom možno vypočítat pomocí vztahu:

$$F = 2(d + t) \cdot \gamma \cdot \cos \theta \quad (59)$$

Při ponoření destičky do větší hloubky na ni působí vztlaková síla a proto je jí ještě potřeba zahrnout do výpočtu celkové síly působící na rameno mikrováh. Vztah pro výpočet síly bude potom vypadat takto:

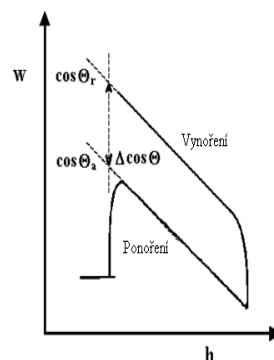
$$F = 2(d + t) \cdot \gamma \cdot \cos \theta - V \cdot \rho \cdot g \quad (60)$$

Obr. 2.6.3-1: ukázka vyvažování Wilhelmyho destičky ⁵



Wilhemeho metodou se měří takzvaný dynamický kontaktní úhel. Dynamický kontaktní úhel se skládá z úhlu na postupném (advancing) rozhraní - to je ta část měření, kdy se destička noří do kapaliny a hodnoty rostou k maximální hodnotě postupujícího úhlu a z měření na ústupném (receding) rozhraní, kdy je destička vytahována z kapaliny a hodnoty směřují k minimální hodnotě ustupujícího kontaktního úhlu. Velikost rozdílů maximální hodnoty a minimální hodnoty kontaktního úhlu charakterizuje míru hystereze, která může být zapříčiněna mnoha jevy a to například hrubostí povrchu, adsorpcí, atd.

Obr. 2.6.3-2: graf experimentu vyvažování Wilhelmyho destičky. ⁴



Statická Wilhelmyho metoda se může zdát poměrně jednoduchou záležitostí, ačkoliv se potýká s mnoha problémy a obzvláště spojenými s práškovými materiály. Prvním problémem je zajistit stálost obvodu destičky po celé její výšce, není-li tomu tak, nelze využít vysoké citlivosti vah, což je obzvláště problematické u práškových materiálů. Povrch destičky musí být chemicky čistý a hladký, což také není v případě práškových materiálů jednoduché zajistit. I přes problémy s aplikací prášků na destičku a jejich úpravou poskytuje tato metoda zajímavé a reprodukovatelné výsledky při měření práškových vzorků. Problémy může také působit bobtnání materiálu vlivem déle trvajících měření, přičemž se mění objem vytlačené kapaliny, a adsorpce par kapaliny na povrch vzorku.^{1;5}

2.6.4 Metoda sedící kapky

U těch práškových materiálů, které je možno slisovat do kompaktního tvaru buď přidáním pojiva, nebo v lepším případě i bez přidání pojiva, popřípadě je nanést na skleněnou podložku, lze stanovit jejich povrchovou energii změřením kontaktního úhlu pomocí této metody. Jedná se o goniometrickou metodu, jejíž princip spočívá ve snímání profilu kapky kapaliny na pevném povrchu oproti opticky homogennímu prostředí.

Tato metoda je vhodná pro všechny pevné materiály, avšak méně pro ty práškové. Velkou nevýhodou v měření na práškových materiálech je hrubost povrchu, která se dá jen z části odstranit buďto zvýšením lisovacího tlaku nebo broušením povrchu, které může kontaminovat povrch vzorku. Další nevýhodou je, že v průběhu měření může docházet ke vsakování kapaliny do povrchu vzorku. To je možno eliminovat dvěma způsoby. Prvním způsobem je použít kapalinu, která nesmáčí povrch vzorku ($\theta > 90^\circ$), přičemž kapka zůstane na povrchu vzorku a nevsakuje se do něj, potom je už velmi snadné změřit kontaktní úhel. Druhým způsobem je vzorek nasytit kapalinou tak aby hladina měrné kapaliny sahala jen kousek pod povrch vzorku a potom umístit kapku, která se do vzorku vsákne jen částečně a její větší část se ustálí na povrchu. Hladina ve vzorku sahající mírně pod jeho povrch se nazývá saturační linie.⁷

3 Experimentální část

Pro stanovení povrchové energie práškových materiálů bylo provedeno měření kontaktního úhlu anorganických oxidů kovů v práškovém stavu celkem dvěma metodami. Nejprve byly prášky proměřeny ve formě tablet prostřednictvím goniometru CAM 200 od společnosti KSV instruments. Potom byly prášky změřeny metodou vyvažování Wilhelmyho destičky. Pro měření byly vybrány celkem čtyři standardní práškové materiály a dále dva vzorky anorganických pigmentů na bázi TiO_2 pod označením 070110/1 a 070110/2 vyráběné ve společnosti PRECHEZA a.s.

3.1 Použité chemikálie

V následující tabulce jsou shrnuty veškeré použité chemikálie (výrobce, čistota.....) včetně několika důležitých parametrů:

Tabulka 3.1-1: použité chemikálie.

	Molekulová hmotnost M_r	Hustota ρ
Oxid Hlinitý	101,96 g/mol	3.97 g/cm ³
Oxid Zinečnatý	81,4084 g/mol	5.606 g/cm ³
Oxid Titaničitý	79,87 g/mol	4,23 g/cm ³
Silikagel	60.08 g/mol	750 - 800 g/cm ³
demiVoda	18,0153 g/mol	0,99997 g/cm ³

K těmto chemikáliím je ještě nutno připojit roztok 5% roztok dentakrylu v ethanolu, ke kterému bylo přidáno ještě 20 mg pevného dentakrylu, používaný jako pojivo. Pro zjednodušení v tomto textu vystupuje pouze jako dentakryl. U vzorků 070110/1 a 070110/2 byly použity parametry jako u oxidu titaničitého, jelikož se jedná o vzorky na této bázi.

3.2 Popis experimentálního provedení a přípravy vzorků

3.2.1 Měření kontaktního úhlu prostřednictvím metody sedící kapky

Stanovení povrchové energie bylo provedeno změřením kontaktního úhlu na goniometru CAM 200 od firmy KSV instruments. Kontaktní úhel byl vyhodnocen programem CAM 2008, který je standardně dodáván k přístroji. Vyhodnocování výsledků probíhá na základě aproximace křivky k profilu nasnímaných kapek v uživatelem definovaném snímacím čase. Pomocí správně proložené křivky každého snímku potom software CAM 2008 automaticky dopočítává kontaktní úhly levé a pravé strany přisedlé kapky, které zapisuje do předem uživatelem nastaveného adresáře. V tomto adresáři potom dochází kromě zápisu všech potřebných experimentálních dat k výpočtu průměrných hodnot kontaktních úhlů z každého měření a k zobrazování grafů závislosti kontaktního úhlu či objemu na čase, podle kterých lze provést korekci špatně proložených křivek. Výsledky experimentu jsou potom nejčastěji exportovány do aplikace Excel, kde jsou data zpracovány do finální podoby (viz kapitola Výsledky a Diskuze).

3.2.1.1 Příprava vzorků pro měření metodou sedící kapky

S přihlédnutím k faktu, že je tento přístroj zaměřen na měření především pevných vzorků, je před měřením potřeba upravit práškové vzorky tak, aby vyhovovaly požadavkům pro provedení měření. Vzorky byly připravovány lisováním do hliníkových matic kruhovitěho tvaru. Nejprve byly prášky lisované bez jakéhokoliv pojiva, což nebylo vyhovující, protože po slisování prášku do tablet výlisky nedržely pohromadě a rozpadaly se. V druhém procesu lisování tablet se již použilo pojivo s názvem Dentakryl (parametry pojiva jsou uvedeny v části použité chemikálie). Takto připravené tablety již držely pohromadě a vyhovovaly požadavkům pro měření na přístroji CAM. Celkem bylo k dispozici šest vzorků, z kterých bylo připraveno po čtyřech tabletách od každého vzorku celkem tedy 24 tablet.

3.2.1.2 Průběh měření a nastavení přístroje

Po zapnutí počítače a spuštění softwaru CAM 2008 bylo nutno vybrat typ experimentu. Zvolením měření kontaktního úhlu se objevilo okno, kde bylo potřeba nastavit experimentální parametry jak vzorku, tak i měřící kapaliny. Po nastavení hustoty vzorku, povrchového napětí měrné kapaliny, hustoty měrné kapaliny, molekulové hmotnosti jednotlivých složek a hustoty plynné fáze (viz tab. 3.2.1.2-1), bylo ještě nutno zadat název měření a jméno provozovatele

experimentu. Kliknutím na tlačítko OK se potvrdí zadaná data a dojde ke spuštění dialogového okna pro nahrávání snímků. Prostřednictvím tohoto okna se nastaví jednak umístění vzorku, tak i objem dávkované kapaliny (ponecháno na 5 μ l) a dokonce i parametry kamery (viz tab. 3.2.1.2-2). Kromě nastavení pozice, objemu a parametrů kamery je ještě potřeba nastavit spoušť kamery, její umístění a rychlost snímkování. Po nastavení parametrů experimentu už jen stačí spustit kapku a počkat na záznam měření, který se vyhodnotí v následujícím okně kliknutím na ikonu pro prokládání křivek. Vyhodnocená data se již potom exportují do aplikace Excel, kde jsou podle potřeby upravena a vizualizována (viz výsledky a diskuze). Parametry pro nastavení experimentu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 3.2.1.2-1: nastavení fyzikálně chemických parametrů jednotlivých složek:

Kapalná fáze - Voda	
Hustota ρ	0,9986
povrchové napětí γ	72,80
disperzní komponenta povrchového napětí γ^d	21,80
kyselá komponenta povrchového napětí kapaliny γ^+	25,50
zásaditá komponenta povrchového napětí kapaliny γ^-	25,50
Plynná fáze – Vzduch	
Hustota ρ	0,0013

Tabulka 3.2.1.2-2: nastavení Baslerovy kamery

Brightness	716
Gain	255
Exposure	130

3.2.2 Příprava vzorků pro měření Wilhelmyho metodou

Nejprve byla na krycí destičku nalepena oboustranná lepicí páska, která se nechala schnout asi 24 hodin. Při nanášení pásky bylo třeba dbát na to, aby pod páskou nezůstaly nějaké bubliny nebo aby se páska nikde neodchliplovala. Bubliny by mohly výrazně zkreslit výsledky měření.

Takto připravené destičky byly potom, po sejmutí krycí vrstvy z druhé strany lepicí pásky, omáčeny ve vzorku prášku. Destičky se potom nechaly asi den zaschnout d dobře uzavřené krabici, aby se předešlo adsorpci vlhkosti a organických částic na povrch vzorku. Druhá série destiček byla připravena namočením destičky do roztoku dentakrylu (viz tabulka) a následným posypáním destičky práškovým vzorkem. Následně byly destičky ponechány uschnout v uzavřené krabici do dalšího dne.

3.2.2.1 Průběh měření Wilhelmyho metodou

Destička byla upnuta do držáku. Držák i s destičkou potom byl zasunut do adaptéru mikrováh přístroje. Otáčením šroubu na boku přístroje se zdvihl držák nesoucí kádinku s vodou tak, aby se hladina v kádince téměř dotýkala spodní části destičky. Zavřel se kryt a odaretovaly se váhy. Po zvukovém signálu přístroje byly v okně experimental setup zadány rozměry obvodu spodní strany destičky a z nabídky vybrána jako kapalná fáze voda a plynná vzduch. Po zadání hodnot stačilo jen spustit experiment kliknutím na příslušné tlačítko. Samotné zaznamenání hodnot bylo spuštěno při kontaktu destičky s hladinou kapaliny. Záznam hodnot byl uložen do databáze příslušného softwaru, z kterého se potom exportovala data do aplikace Excel, kde byla zpracována podle potřeby.

3.3 Výsledky a diskuze pro měření sedící kapky:

3.3.1 Měření smáčivosti oxidu hlinitého:

Tableta slisovaného oxidu byla umístěna na vzorkový stůl. Výškový posuv byl nastaven tak, aby se povrch vzorku zobrazil ve spodní části zobrazovacího okna v okně pro nahrávání snímků. Do úvodního okna, pro nastavení fyzikálně-chemických vlastností, byla zadána hustota oxidu tedy $3,97 \text{ g/cm}^3$. Hodnoty pro kapalinu a plynnou fázi zůstávají stejné, tak jak jsou uvedeny v tabulce 3.3.1–1. Spoušť byla nastavena na změnu pozadí z bílé na černou. Snímkovací interval byl nastaven na 10 milisekund a počet snímků byl nastaven na 150. Měřeny byly celkem čtyři tablety, přičemž na každou bylo nanášeno pět kapek. Dohromady byl tedy tento vzorek změřen celkem dvacetkrát. Vzhledem k rozsahu celkového množství hodnot ukazuje následující tabulka pouze část naměřených hodnot. Všechny hodnoty jsou uvedeny na disku přiloženém k této práci.

Tabulka 3.3.1-1: část naměřených hodnot oxidu hlinitého metodou sedící kapky.

Time [s]	x [mm]	Tangle[*]	CA[L]	CA[R]	CA[M]	Tilt	L[mm]	H[mm]	Vol[ul]	A[mm ²]
0.000	-10.0	0.0	31.694	32.475	32.085	0.000	3.824	0.481	2.978	12.291
0.010	-10.0	0.0	27.354	29.843	28.599	0.000	3.862	0.463	3.075	13.016
0.020	-10.0	0.0	26.729	27.495	27.112	0.000	3.859	0.441	2.685	12.357
0.030	-10.0	0.0	24.913	27.337	26.125	0.000	3.842	0.423	2.868	13.022
0.040	-10.0	0.0	24.464	25.483	24.973	0.000	3.840	0.407	2.481	12.266
0.050	-10.0	0.0	23.216	24.938	24.077	0.000	3.828	0.393	2.583	12.730
0.060	-10.0	0.0	22.536	24.118	23.327	0.000	3.822	0.379	2.423	12.488
0.070	-10.0	0.0	21.938	23.077	22.507	0.000	3.813	0.365	2.248	12.178
0.080	-10.0	0.0	20.952	22.534	21.743	0.000	3.796	0.354	2.370	12.702
0.090	-10.0	0.0	20.455	21.585	21.020	0.000	3.788	0.343	2.134	12.188
0.100	-10.0	0.0	19.827	20.976	20.401	0.000	3.781	0.331	2.086	12.210
0.109	-10.0	0.0	19.242	20.465	19.854	0.000	3.768	0.320	2.023	12.168
0.119	-10.0	0.0	18.808	19.826	19.317	0.000	3.764	0.310	1.874	11.842
0.129	-10.0	0.0	18.133	19.191	18.662	0.000	3.751	0.300	1.876	12.018
0.139	-10.0	0.0	17.576	18.673	18.124	0.000	3.740	0.291	1.811	11.949
0.149	-10.0	0.0	17.086	17.995	17.541	0.000	3.728	0.281	1.722	11.795
0.159	-10.0	0.0	16.527	17.455	16.991	0.000	3.719	0.272	1.707	11.905
0.169	-10.0	0.0	16.134	16.989	16.561	0.000	3.707	0.264	1.585	11.588
0.179	-10.0	0.0	15.650	16.374	16.012	0.000	3.698	0.256	1.538	11.571
0.189	-10.0	0.0	15.161	15.883	15.522	0.000	3.688	0.247	1.517	11.645
0.199	-10.0	0.0	14.736	15.364	15.050	0.000	3.669	0.237	1.433	11.450
0.209	-10.0	0.0	14.269	14.917	14.593	0.000	3.650	0.228	1.330	11.166
0.219	-10.0	0.0	13.878	14.410	14.144	0.000	3.643	0.222	1.286	11.127
0.229	-10.0	0.0	13.433	13.880	13.656	0.000	3.627	0.216	1.223	10.985
0.239	-10.0	0.0	13.003	13.419	13.211	0.000	3.608	0.208	1.199	11.018
0.249	-10.0	0.0	12.695	12.915	12.805	0.000	3.593	0.199	1.054	10.455
0.259	-10.0	0.0	12.272	12.473	12.373	0.000	3.577	0.192	1.016	10.409
0.269	-10.0	0.0	11.872	11.879	11.876	0.000	3.565	0.187	0.921	10.040
0.279	-10.0	0.0	11.377	11.397	11.387	0.000	3.547	0.178	0.874	9.933
0.289	-10.0	0.0	11.095	11.144	11.119	0.000	3.515	0.170	0.830	9.795
0.299	-10.0	0.0	10.594	10.559	10.576	0.000	3.502	0.165	0.790	9.716
0.309	-10.0	0.0	10.123	10.171	10.147	0.000	3.488	0.159	0.737	9.526
0.319	-10.0	0.0	9.808	9.762	9.785	0.000	3.451	0.150	0.693	9.369
0.328	-10.0	0.0	9.333	9.301	9.317	0.000	3.444	0.145	0.654	9.271
0.338	-10.0	0.0	8.836	8.720	8.778	0.000	3.415	0.139	0.623	9.215
0.348	-10.0	0.0	8.641	8.495	8.568	0.000	3.383	0.131	0.586	9.039
0.358	-10.0	0.0	8.307	8.009	8.158	0.000	3.359	0.126	0.551	8.908
0.368	-10.0	0.0	7.767	7.460	7.614	0.000	3.324	0.120	0.502	8.666
0.378	-10.0	0.0	7.641	7.577	7.609	0.000	3.265	0.114	0.460	8.350
0.388	-10.0	0.0	7.019	6.552	6.785	0.000	3.254	0.109	0.427	8.290
0.398	-10.0	0.0	6.750	6.174	6.462	0.000	3.229	0.101	0.406	8.221
0.408	-10.0	0.0	4.949	4.216	4.582	0.000	2.423	0.048	0.151	5.529
0.418	-10.0	0.0	4.599	4.553	4.576	0.000	2.349	0.046	0.096	4.278
0.428	-10.0	0.0	4.651	4.442	4.546	0.000	2.248	0.043	0.088	4.032
0.438	-10.0	0.0	3.693	3.449	3.571	0.000	2.292	0.042	0.080	4.081

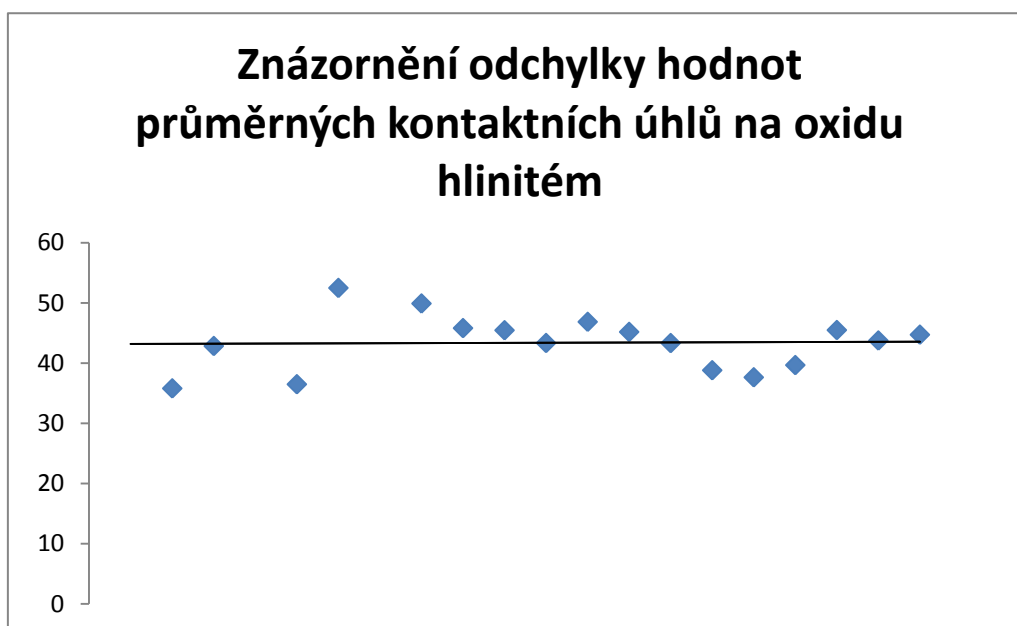
Získaná data průměrných hodnot kontaktních úhlů ze všech měření byla pomocí statistického programu **R** zpracována proložením dvou regresních přímek a v místě jejich styku byl stanoven výsledný kontaktní úhel. Parametry směrnic a výsledné kontaktní úhly byly zapsány do následující tabulky (3.3.1-2). Na konci této tabulky je celková výsledná hodnota kontaktních úhlů ze všech měření v podobě průměrné hodnoty a její odchylky, která činí **5,542**.

Tabulka 3.3.1-2: výsledné hodnoty, průměrná hodnota kontaktních úhlů a parametry směrnic, prostřednictvím kterých byly zjištěny tyto kontaktní úhly.

oxid hlinitý					
měření	1. směrnice		CA (M)	2. směrnice	
1	28,17	-80,75	23,748	-43,826	0,12
2	55,881	-104,05	35,78	-46,667	0,35
3	52,538	-60,6	42,833	-43,412	0,565
4	59,405	-232,158	31,473	-34,646	0,141
5	46,972	-81,95	36,468	-51,153	0,341
6	58,036	-54,592	52,496	-43,005	0,478
7	83,311	-70	61,495	-32,305	0,579
8	59,864	-62,8	49,906	-31,041	0,314
9	63,639	-66,05	45,812	-25,814	0,443
10	63,497	-64,75	45,453	-26,135	0,467
11	73,14	-169,35	43,334	-47,467	0,245
12	52,911	-55,333	46,859	-34,707	0,293
13	51,538	-46,154	45,178	-27,919	0,349
14	49,474	-62,575	43,32	-38,039	0,251
15	59,293	-190,3	38,795	-48,74	0,145
16	47,09	-80,75	37,622	-39,223	0,228
17	49,109	-69,857	39,658	-41,903	0,338
18	54,209	-71,95	45,484	-46,24	0,339
19	51,635	-63,05	43,744	-39,289	0,332
20	51,934	-57,44	44,717	-35,928	0,335
Průměr			42,70875		

Po provedení Grubbsova testu odlehlých hodnot byly odstraněny hodnoty, které překračovaly kritickou mez o hodnotě 2,093. Odchylující hodnoty jsou v předchozí tabulce zvýrazněny tučně. Množina „správných“ hodnot a jejich odchýlení od regresní přímky je znázorněna v následujícím grafu. Průměrný kontaktní úhel po odstranění odchýlených hodnot činí **43,380°**. Rovnice regresní přímky je $y = 0,0186 + 43,163x$ a hodnota korelačního koeficientu činí **0,023**.

Graf 3.3.1-1: znázornění odchylky hodnot vůči regresní přímce.



3.3.2 Měření smáčivosti oxidu zinečnatého:

Tableta slisovaného oxidu byla umístěna na vzorkový stolek. Výškový posuv byl nastaven tak, aby se povrch vzorku zobrazil ve spodní části zobrazovacího okna v okně pro nahrávání snímků. Do úvodního okna, pro nastavení fyzikálně-chemických vlastností, byla zadána hustota oxidu tedy $5,606 \text{ g/cm}^3$. Hodnoty pro kapalinu a plynnou fázi zůstávají stejné, tak jak jsou uvedeny v tabulce (3.3.2-1). Spoušť byla nastavena na změnu pozadí z bílé na černou. Snímkovací interval byl nastaven na 20 milisekund a počet snímků byl nastaven na 200. Měřeny byly celkem čtyři tablety, přičemž na každou bylo nanášeno pět kapek. Dohromady byl tedy tento vzorek změřen celkem dvacetkrát. Vzhledem k rozsahu celkového množství hodnot ukazuje následující tabulka pouze část naměřených hodnot. Všechny hodnoty jsou uvedeny na disku přiloženém k této práci.

Tabulka 3.3.2-1: část naměřených hodnot oxidu zinečnatého metodou sedící kapky.

MKBZNO I															
Time [s]	x [mm]	Tangle[*]	CA[L]	CA[R]	CA[M]	Tilt	L[mm]	H[mm]	Vol[ul]	A[mm ²]			Beta	Fit tilt	r [pix]
0,560	-19,9	0	79,471	76,29	77,881	0	2,761	0,812	3,103	8,604			-6,2878	-1,538	0,925
0,580	-19,9	0	72,19	68,174	70,182	0	2,857	0,852	3,283	8,995			-2,53094	-3,543	0,344
0,600	-19,9	0	70,044	66,134	68,089	0	2,87	0,86	3,307	9,055			-1,75544	-4,79	0,262
0,620	-19,9	0	68,619	64,699	66,659	0	2,874	0,863	3,324	9,092			-1,25239	-6,274	0,248
0,640	-19,9	0	67,712	63,583	65,648	0	2,878	0,867	3,378	9,19			-0,93648	-8,579	0,247
0,660	-19,9	0	67,209	63,377	65,293	0	2,88	0,864	3,363	9,174			-0,88968	-8,464	0,25
0,680	-19,9	0	67,175	63,155	65,165	0	2,882	0,86	3,359	9,173			-0,92602	-8,495	0,247
0,700	-19,9	0	66,954	63,09	65,022	0	2,882	0,859	3,331	9,135			-0,9577	-7,98	0,261
0,720	-19,9	0	66,691	62,762	64,727	0	2,884	0,856	3,334	9,147			-0,91474	-8,519	0,259
0,740	-19,9	0	66,304	62,603	64,453	0	2,886	0,854	3,318	9,129			-0,89798	-8,226	0,277
0,760	-19,9	0	66,049	62,174	64,112	0	2,887	0,851	3,324	9,147			-0,86706	-8,876	0,276
0,780	-19,9	0	65,798	61,913	63,855	0	2,891	0,849	3,325	9,159			-0,86672	-9,042	0,274
0,800	-19,9	0	65,747	61,709	63,728	0	2,892	0,845	3,314	9,149			-0,89938	-9,045	0,268
0,820	-19,9	0	65,53	61,544	63,537	0	2,891	0,842	3,302	9,134			-0,91128	-8,898	0,272
0,840	-19,9	0	65,355	61,242	63,299	0	2,893	0,84	3,308	9,152			-0,89978	-9,359	0,282
0,860	-19,9	0	65,041	60,77	62,905	0	2,897	0,837	3,335	9,209			-0,85702	-10,262	0,282
0,880	-19,9	0	64,965	60,725	62,845	0	2,898	0,833	3,301	9,16			-0,8998	-9,831	0,281
0,900	-19,9	0	64,712	60,406	62,559	0	2,898	0,831	3,313	9,186			-0,88744	-10,195	0,281
0,920	-19,9	0	64,491	60,295	62,393	0	2,899	0,829	3,292	9,159			-0,88171	-10,107	0,287
0,940	-19,9	0	64,45	60,154	62,302	0	2,898	0,826	3,284	9,151			-0,91591	-10,111	0,282
0,960	-19,9	0	64,274	60,028	62,151	0	2,899	0,822	3,263	9,122			-0,92035	-9,757	0,277
0,980	-19,9	0	64,017	59,734	61,876	0	2,898	0,821	3,266	9,133			-0,90899	-10,139	0,285
1,000	-19,9	0	63,818	59,623	61,72	0	2,899	0,819	3,24	9,097			-0,91757	-9,854	0,279
1,020	-19,9	0	63,744	59,359	61,552	0	2,9	0,815	3,249	9,119			-0,9142	-10,304	0,276
1,040	-19,9	0	63,511	59,231	61,371	0	2,899	0,812	3,232	9,097			-0,92348	-10,141	0,281
1,060	-19,9	0	63,299	59,073	61,186	0	2,9	0,811	3,221	9,085			-0,91219	-10,234	0,286
1,080	-19,9	0	63,186	58,93	61,058	0	2,899	0,808	3,201	9,058			-0,93481	-10,008	0,276
1,100	-19,9	0	63,086	58,796	60,941	0	2,9	0,803	3,192	9,048			-0,95256	-9,878	0,273
1,120	-19,9	0	62,899	58,647	60,773	0	2,9	0,802	3,183	9,04			-0,94948	-9,952	0,284
1,140	-19,9	0	62,755	58,446	60,6	0	2,901	0,801	3,185	9,049			-0,94197	-10,267	0,277
1,160	-19,9	0	62,562	58,283	60,423	0	2,9	0,797	3,164	9,02			-0,95815	-10,047	0,277
1,180	-19,9	0	62,404	58,071	60,238	0	2,9	0,793	3,152	9,008			-0,96372	-10,095	0,279
1,200	-19,9	0	62,211	58,006	60,109	0	2,901	0,792	3,136	8,987			-0,95777	-9,981	0,277
1,220	-19,9	0	62,108	57,779	59,944	0	2,9	0,791	3,129	8,98			-0,97674	-10,108	0,278
1,240	-19,9	0	61,925	57,661	59,793	0	2,899	0,788	3,117	8,966			-0,99247	-9,866	0,28
1,260	-19,9	0	61,792	57,491	59,641	0	2,899	0,783	3,11	8,961			-1,00871	-9,992	0,273
1,280	-19,9	0	61,557	57,266	59,411	0	2,901	0,783	3,111	8,97			-0,97401	-10,301	0,277
1,300	-19,9	0	61,45	57,121	59,285	0	2,901	0,781	3,087	8,936			-0,99172	-10,168	0,28
1,320	-19,9	0	61,315	56,961	59,138	0	2,9	0,778	3,079	8,93			-1,01078	-10,156	0,279
1,340	-19,9	0	61,152	56,886	59,019	0	2,901	0,773	3,067	8,916			-1,02575	-9,962	0,275
1,360	-19,9	0	61,002	56,667	58,835	0	2,899	0,772	3,061	8,91			-1,03091	-10,077	0,281
1,380	-19,9	0	60,797	56,508	58,653	0	2,9	0,771	3,046	8,893			-1,03297	-10,052	0,276
1,400	-19,9	0	60,748	56,402	58,575	0	2,9	0,767	3,032	8,874			-1,06742	-9,836	0,277
1,420	-19,9	0	60,491	56,168	58,33	0	2,9	0,763	3,03	8,878			-1,0494	-10,011	0,276
1,440	-19,9	0	60,38	56,05	58,215	0	2,9	0,762	3,015	8,859			-1,06141	-10,065	0,275
1,460	-19,9	0	60,117	55,814	57,966	0	2,902	0,76	3,018	8,873			-1,02878	-10,278	0,269
1,480	-19,9	0	60,076	55,789	57,933	0	2,899	0,757	2,981	8,815			-1,09789	-9,693	0,272
1,500	-19,9	0	59,938	55,577	57,758	0	2,899	0,753	2,982	8,823			-1,08879	-10,001	0,272
1,520	-19,9	0	59,662	55,363	57,513	0	2,9	0,753	2,978	8,824			-1,06295	-10,213	0,281
1,540	-19,9	0	59,641	55,409	57,525	0	2,9	0,751	2,949	8,777			-1,13	-9,568	0,29
1,560	-19,9	0	59,429	55,144	57,286	0	2,901	0,747	2,943	8,777			-1,11699	-9,836	0,271

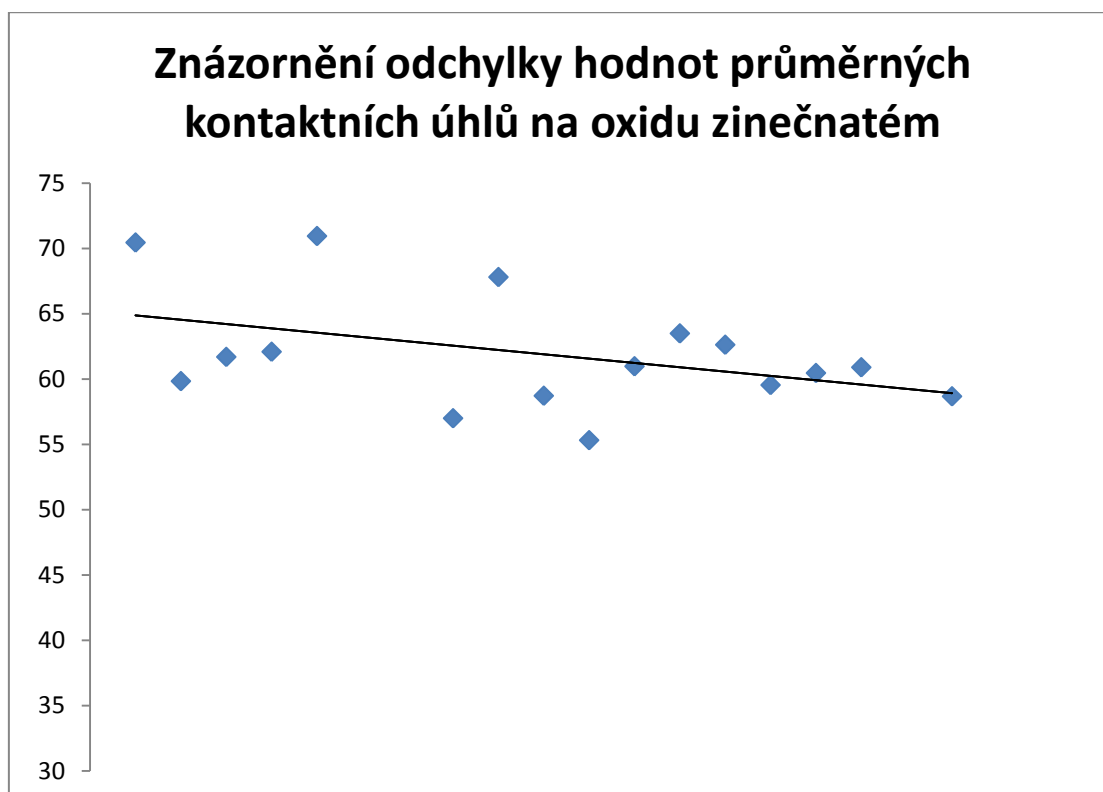
Získaná data průměrných hodnot kontaktních úhlů ze všech měření byla pomocí statistického programu **R** zpracována proložením dvou regresních přímek a v místě jejich styku byl stanoven výsledný kontaktní úhel. Parametry směrnic a výsledné kontaktní úhly byly zapsány do následující tabulky (3.3.2-2). Na konci této tabulky je celková výsledná hodnota kontaktních úhlů ze všech měření v podobě průměrné hodnoty a její odchylky, která činí **5,660**.

Tabulka 3.3.2-2: výsledné hodnoty, průměrná hodnota kontaktních úhlů a parametry směrnic, prostřednictvím kterých byly zjištěny tyto kontaktní úhly.

oxid zinečnatý					
měření	1. směrnice		CA (M)	2. směrnice	
1	73,9	-12,8	70,462	-8,594	0,817
2	60,952	-19,97	59,843	-8,18	0,094
3	64,623	-53,65	61,699	-7,453	0,063
4	64,9	-38,02	62,095	-8,131	0,094
5	126,436	-48,05	70,958	-8,757	1,412
6	117,045	-30,71	78,587	-9,306	1,797
7	50,674	-10,056	46,401	-5,366	0,911
8	72,793	-39,85	57	-6,005	0,467
9	86,363	-19,125	67,817	-7,125	1,545
10	83,636	-26,5	58,722	-6,125	1,223
11	78,374	-30,65	55,318	-7,161	0,982
12	119,797	-68,475	60,98	-5,905	0,94
13	97,328	-32,342	63,499	-7,156	1,343
14	79,605	-18,337	62,631	-6,789	1,47
15	73,651	-20,759	59,547	-7,254	1,044
16	160,692	-68,95	60,466	-6,426	1,603
17	124,967	-48,831	60,904	-6,824	1,525
18	55,101	-22,8	47,663	-10,864	0,623
19	83,91	-32,95	58,679	-6,901	0,969
20	50,149	-22	43,081	-8,262	0,514
Průměr			60,3176		

Po provedení Grubbsova testu odlehlých hodnot byly odstraněny hodnoty, které překračovaly kritickou mez o hodnotě **2,093**. Odchylující hodnoty jsou v předchozí tabulce zvýrazněny tučně. Množina „správných“ hodnot a jejich odchýlení od regresní přímky je znázorněna v následujícím grafu. Průměrný kontaktní úhel po odstranění odchýlených hodnot činí **61,914°**. Rovnice regresní přímky je $y = -0,3302 + 65,195x$ a hodnota korelačního koeficientu činí **-0,422**.

Graf 3.3.2-1: znázornění odchylky hodnot vůči regresní přímce.



3.3.3 Měření smáčivosti oxidu titaničitého:

Tableta slisovaného oxidu byla umístěna na vzorkový stolek. Výškový posuv byl nastaven tak, aby se povrch vzorku zobrazil ve spodní části zobrazovacího okna v okně pro nahrávání snímků. Do úvodního okna, pro nastavení fyzikálně-chemických vlastností, byla zadána hustota oxidu tedy $4,23 \text{ g/cm}^3$. Hodnoty pro kapalinu a plynnou fázi zůstávají stejné, tak jak jsou uvedeny v tabulce (3.3.3-1). Spoušť byla nastavena na změnu pozadí z bílé na černou. Snímkovací interval byl nastaven na 10 milisekund a počet snímků byl nastaven na 400. Měřeny byly celkem čtyři tablety, přičemž na každou bylo nanášeno pět kapek. Dohromady byl tedy tento vzorek změřen celkem dvacetkrát. Vzhledem k rozsahu celkového množství hodnot ukazuje následující tabulka pouze část naměřených hodnot. Všechny hodnoty jsou uvedeny na disku přiloženém k této práci.

Tabulka 3.3.3-1: část naměřených hodnot oxidu titaničitého metodou sedící kapky.

MKBTIO I														
Time [s]	x [mm]	Tangle[°]	CA[L]	CA[R]	CA[M]	Tilt	L[mm]	H[mm]	Vol[ul]	A[mm2]		Beta	Fit tilt	r [pix]
0,000	-5	0	35,697	35,542	35,62	0	3,911	0,549	3,539	13,008		-8,93586	-0,193	0,406
0,010	-5	0	32,087	32,619	32,353	0	3,959	0,543	3,511	13,3		-3,43004	1,199	0,202
0,020	-5	0	30,841	31,237	31,039	0	3,977	0,531	3,431	13,333		-2,26902	1,518	0,149
0,030	-5	0	30,28	30,428	30,354	0	3,977	0,521	3,353	13,297		-2,29785	0,518	0,124
0,040	-5	0	29,463	30,011	29,737	0	3,982	0,513	3,338	13,378		-2,07441	2,179	0,115
0,050	-5	0	29,087	29,386	29,237	0	3,985	0,505	3,238	13,262		-1,9853	1,333	0,11
0,060	-5	0	28,444	28,938	28,691	0	3,983	0,499	3,213	13,301		-1,7434	2,292	0,104
0,070	-5	0	28,065	28,484	28,274	0	3,98	0,49	3,158	13,259		-1,71729	2,25	0,105
0,080	-5	0	27,849	28,217	28,033	0	3,979	0,482	3,118	13,235		-2,11248	1,866	0,108
0,090	-5	0	27,293	27,727	27,51	0	3,976	0,479	3,1	13,279		-1,69062	2,581	0,101
0,100	-5	0	26,996	27,336	27,166	0	3,978	0,471	3,027	13,189		-1,62836	2,253	0,097
0,110	-5	0	26,672	27,08	26,876	0	3,977	0,466	3,014	13,225		-1,76633	2,431	0,104
0,120	-5	0	26,258	26,661	26,46	0	3,973	0,461	2,977	13,213		-1,46808	2,788	0,103
0,130	-5	0	26,13	26,504	26,317	0	3,972	0,453	2,896	13,076		-1,98023	1,847	0,108
0,140	-5	0	25,725	26,12	25,922	0	3,971	0,451	2,906	13,17		-1,62583	2,81	0,102
0,150	-5	0	25,487	25,887	25,687	0	3,97	0,442	2,835	13,062		-1,84081	2,291	0,104
0,160	-5	0	25,167	25,511	25,339	0	3,967	0,441	2,832	13,12		-1,62159	2,567	0,103
0,170	-5	0	24,951	25,312	25,131	0	3,963	0,432	2,769	13,023		-1,95113	2,153	0,107
0,180	-5	0	24,646	24,97	24,808	0	3,963	0,43	2,737	13,012		-1,7072	2,325	0,106
0,190	-5	0	24,423	24,774	24,599	0	3,965	0,423	2,727	13,044		-1,84983	2,423	0,104
0,200	-5	0	24,122	24,481	24,301	0	3,961	0,421	2,699	13,033		-1,7048	2,487	0,105
0,210	-5	0	23,969	24,383	24,176	0	3,961	0,414	2,652	12,965		-2,23734	2,207	0,109
0,220	-5	0	23,68	23,966	23,823	0	3,961	0,412	2,634	12,985		-1,70544	2,357	0,102
0,230	-5	0	23,439	23,81	23,624	0	3,955	0,406	2,568	12,872		-2,10852	2,04	0,106
0,240	-5	0	23,118	23,471	23,295	0	3,957	0,403	2,582	12,974		-1,5654	2,827	0,101
0,250	-5	0	23,029	23,411	23,22	0	3,949	0,398	2,521	12,85		-2,44686	1,834	0,105
0,260	-5	0	22,703	23,083	22,893	0	3,949	0,393	2,515	12,901		-1,95164	2,545	0,1
0,270	-5	0	22,493	22,879	22,686	0	3,948	0,391	2,489	12,888		-2,06902	2,489	0,103
0,280	-5	0	22,282	22,663	22,473	0	3,943	0,384	2,442	12,816		-2,26047	2,349	0,104
0,290	-5	0	22,006	22,371	22,189	0	3,941	0,383	2,437	12,859		-1,84593	2,744	0,102
0,300	-5	0	21,892	22,224	22,058	0	3,943	0,378	2,396	12,802		-2,36028	2,247	0,105
0,310	-5	0	21,611	22,016	21,813	0	3,941	0,374	2,38	12,811		-2,11835	2,466	0,097
0,320	-5	0	21,451	21,788	21,62	0	3,941	0,371	2,32	12,7		-2,21828	2,156	0,099
0,330	-5	0	21,259	21,593	21,426	0	3,937	0,364	2,302	12,701		-2,48597	2,148	0,102
0,340	-5	0	20,956	21,262	21,109	0	3,937	0,364	2,325	12,834		-1,69544	3,135	0,1
0,350	-5	0	20,871	21,179	21,025	0	3,933	0,359	2,25	12,663		-2,63212	2,166	0,1
0,360	-5	0	20,563	20,916	20,739	0	3,934	0,355	2,264	12,766		-2,01495	2,677	0,099
0,370	-5	0	20,374	20,681	20,527	0	3,928	0,353	2,243	12,757		-2,03618	2,728	0,105
0,380	-5	0	20,254	20,606	20,43	0	3,93	0,348	2,18	12,625		-2,78633	2,209	0,106
0,390	-5	0	19,932	20,298	20,115	0	3,925	0,345	2,206	12,763		-1,99692	2,966	0,101
0,400	-5	0	19,864	20,171	20,017	0	3,924	0,342	2,127	12,571		-2,71425	1,958	0,099
0,410	-5	0	19,637	19,921	19,779	0	3,918	0,335	2,106	12,565		-2,64898	2,119	0,104
0,420	-5	0	19,385	19,692	19,538	0	3,919	0,334	2,148	12,753		-2,04733	3,019	0,102
0,430	-5	0	19,206	19,575	19,39	0	3,917	0,33	2,062	12,546		-2,59175	2,444	0,1
0,440	-5	0	19,069	19,348	19,208	0	3,917	0,325	2,032	12,503		-2,53607	2,069	0,1
0,450	-5	0	18,781	19,074	18,928	0	3,909	0,325	2,056	12,638		-1,97802	2,91	0,103
0,460	-5	0	18,7	18,989	18,844	0	3,907	0,32	1,987	12,463		-3,00304	1,932	0,107
0,470	-5	0	18,484	18,752	18,618	0	3,91	0,316	1,984	12,517		-2,39289	2,553	0,102
0,480	-5	0	18,276	18,564	18,42	0	3,903	0,315	1,954	12,471		-2,36049	2,411	0,103
0,490	-5	0	18,107	18,474	18,291	0	3,904	0,31	1,937	12,47		-2,90075	2,35	0,103
0,500	-5	0	17,925	18,204	18,065	0	3,898	0,306	1,895	12,389		-2,60081	2,271	0,1

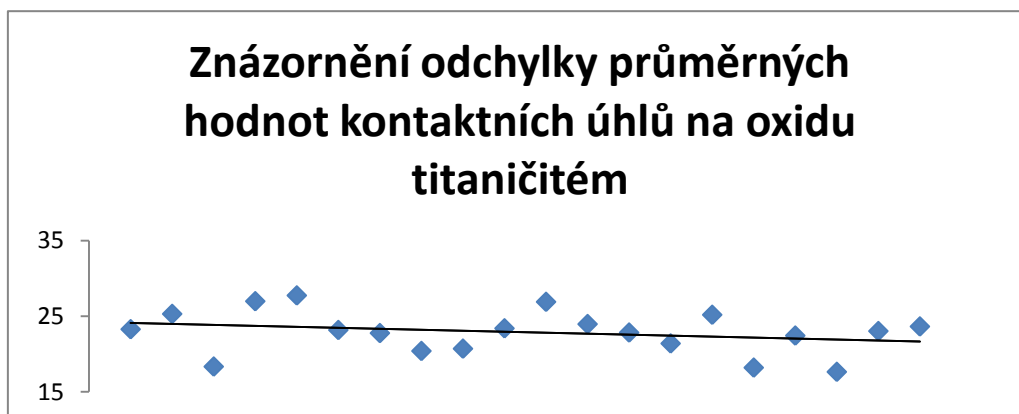
Získaná data průměrných hodnot kontaktních úhlů ze všech měření byla pomocí statistického programu **R** zpracována proložením dvou regresních přímek a v místě jejich styku byl stanoven výsledný kontaktní úhel. Parametry směrnic a výsledné kontaktní úhly byly zapsány do následující tabulky (3.3.3-2). Na konci této tabulky je celková výsledná hodnota kontaktních úhlů ze všech měření v podobě průměrné hodnoty a její odchylky, která činí **2,109**.

Tabulka 3.3.3-2: výsledné hodnoty, průměrná hodnota kontaktních úhlů a parametry směrnic, prostřednictvím kterých byly zjištěny tyto kontaktní úhly.

oxid titaničitý					
měření	1. směrnice		CA (M)	2. směrnice	
1	30,074	-29,11	23,275	-15,225	0,49
2	31,277	-29,775	25,3	-15,154	0,409
3	21,464	-23,383	18,328	-14,966	0,372
4	29,972	-26,237	26,979	-18,362	0,38
5	29,614	-37,26	27,744	-23,233	0,133
6	27,133	-29,25	23,169	-15,026	0,279
7	27,876	-22,167	22,761	-13,959	0,623
8	23,735	-21,883	20,393	-13,579	0,402
9	28,583	-19,856	20,701	-9,779	0,782
10	29,813	-24,567	23,391	-10,41	0,454
11	30,38	-31,686	26,896	-14,356	0,201
12	27,794	-16,064	23,954	-6,36	0,396
13	27,279	-18,14	22,833	-9,884	0,538
14	26,922	-22,45	21,388	-10,915	0,48
15	26,602	-19,124	25,185	-14,471	0,305
16	24,226	-33,433	18,188	-16,7	0,361
17	23,896	-23,5	22,431	-16,673	0,215
18	26,621	-22,4	17,631	-8,959	0,669
19	24,732	-18,733	23,027	-14,81	0,435
20	25,214	-21,233	23,637	-16,738	0,351
Průměr			22,861		

Po provedení Grubbsova testu odlehlých hodnot nebyly nalezeny žádné hodnoty, které by překračovaly kritickou mez o hodnotě **2,093**. Množina „správných“ hodnot a jejich odchýlení od regresní přímky je znázorněna v následujícím grafu. Průměrný kontaktní úhel činí **22,861°**. Rovnice regresní přímky je $y = -0,01297x + 24,222$ a hodnota korelačního koeficientu činí **-0,270**.

Graf 3.3.3-1: znázornění odchylky hodnot oxidu titaničitého vůči regresní přímce.



3.3.4 Měření smáčivosti silikagelu:

Tableta slisovaného oxidu byla umístěna na vzorkový stolek. Výškový posuv byl nastaven tak, aby se povrch vzorku zobrazil ve spodní části zobrazovacího okna v okně pro nahrávání snímků. Do úvodního okna, pro nastavení fyzikálně-chemických vlastností, byla zadána hustota oxidu tedy $0,75 \text{ g/cm}^3$. Hodnoty pro kapalinu a plynnou fázi zůstávají stejné, tak jak jsou uvedeny v tabulce (3.3.4-1). Spoušť byla nastavena na změnu pozadí z bílé na černou. Snímkovací interval byl nastaven na 10 milisekund a počet snímků byl nastaven na 150. Měřeny byly celkem čtyři tablety, přičemž na každou bylo nanášeno pět kapek. Dohromady byl tedy tento vzorek změřen celkem dvacetkrát. Vzhledem k rozsahu celkového množství hodnot ukazuje následující tabulka pouze část naměřených hodnot. Všechny hodnoty jsou uvedeny na disku přiloženém k této práci.

Tabulka 3.3.4-1: část naměřených hodnot silikagelu metodou sedící kapky.

MKBSLK I														
Time [s]	x [mm]	Tangle[*]	CA[L]	CA[R]	CA[M]	Tilt	L[mm]	H[mm]	Vol[ul]	A[mm ²]		Beta	Fit tilt	r [pix]
0,139	-24,9	0	27,595	27,698	27,646	0	3,944	0,472	2,96	12,905		-2,01976	0,348	0,174
0,149	-24,9	0	22,575	22,284	22,43	0	4,047	0,416	2,683	13,395		3,011362	1,098	0,122
0,159	-24,9	0	20,483	19,635	20,059	0	4,059	0,381	2,47	13,442		5,514907	1,897	0,097
0,169	-24,9	0	18,705	18,48	18,593	0	4,061	0,353	2,251	13,29		6,691519	0,508	0,106
0,179	-24,9	0	17,289	17,401	17,345	0	4,05	0,329	2,073	13,164		7,43912	-0,257	0,106
0,189	-24,9	0	16,396	16,138	16,267	0	4,039	0,305	1,933	13,091		8,133762	0,56	0,116
0,199	-24,9	0	15,192	15,107	15,15	0	4,03	0,286	1,772	12,915		10,47233	0,178	0,122
0,209	-24,9	0	14,398	14,198	14,298	0	4,005	0,267	1,646	12,766		11,2534	0,417	0,122
0,219	-24,9	0	13,852	13,244	13,548	0	3,983	0,253	1,558	12,695		12,39759	1,376	0,134
0,229	-24,9	0	13,048	12,448	12,748	0	3,948	0,237	1,434	12,458		15,38586	1,164	0,127
0,239	-24,9	0	12,149	11,704	11,927	0	3,925	0,225	1,319	12,246		20,43944	0,707	0,122
0,249	-24,9	0	11,573	11,098	11,336	0	3,893	0,213	1,215	11,983		23,24794	0,693	0,129
0,259	-24,9	0	11,381	10,676	11,029	0	3,844	0,199	1,14	11,721		21,52294	1,312	0,133
0,269	-24,9	0	10,809	10,157	10,483	0	3,8	0,188	1,041	11,391		25,40242	1,084	0,125
0,279	-24,9	0	10,36	9,72	10,04	0	3,749	0,178	0,967	11,133		27,96184	1,054	0,12
0,289	-24,9	0	9,826	9,448	9,637	0	3,702	0,169	0,873	10,735		30,37799	0,618	0,121
0,299	-24,9	0	9,291	9,348	9,319	0	3,637	0,159	0,804	10,41		31,18981	-0,1	0,128
0,309	-24,9	0	8,6	8,987	8,793	0	3,589	0,15	0,734	10,129		37,95898	-0,557	0,146
0,318	-24,9	0	8,031	8,365	8,198	0	3,558	0,143	0,68	9,946		52,88497	-0,369	0,17
0,328	-24,9	0	7,01	7,652	7,331	0	3,537	0,135	0,623	9,822		78,07415	-0,46	0,21
0,338	-24,9	0	6,737	7,646	7,191	0	3,439	0,128	0,565	9,332		78,66705	-0,703	0,212
0,348	-24,9	0	7,525	8,409	7,967	0	3,294	0,12	0,593	9,182		27,30728	-2,617	0,201
0,358	-24,9	0	7,072	8,187	7,63	0	3,199	0,111	0,602	9,236		27,17508	-3,542	0,221
0,368	-24,9	0	7,966	8,548	8,257	0	3,055	0,104	0,39	7,427		-94,8139	0,883	0,207
0,378	-24,9	0	6,58	7,44	7,01	0	3,038	0,097	0,469	8,328		28,68274	-3,175	0,174
0,388	-24,9	0	6,286	7,063	6,674	0	2,931	0,091	0,355	7,298		39,1687	-2,311	0,17
0,398	-24,9	0	5,696	6,366	6,031	0	2,856	0,082	0,26	6,424		83,06809	-0,974	0,173
0,408	-24,9	0	5,919	5,086	5,503	0	2,739	0,079	0,209	5,772		130,9726	0,681	0,176

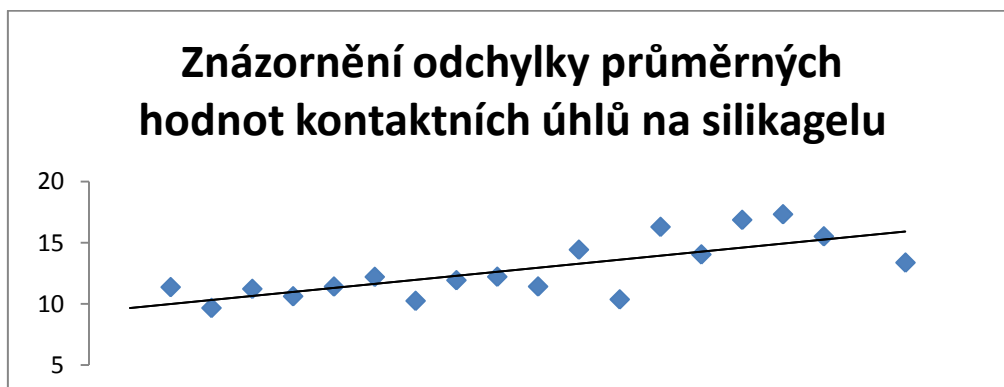
Získaná data průměrných hodnot kontaktních úhlů ze všech měření byla pomocí statistického programu **R** zpracována proložením dvou regresních přímek a v místě jejich styku byl stanoven výsledný kontaktní úhel. Parametry směrnic a výsledné kontaktní úhly byly zapsány do následující tabulky (3.3.4-2). Na konci této tabulky je celková výsledná hodnota kontaktních úhlů ze všech měření v podobě průměrné hodnoty a její odchylky, která činí **2,761**.

Tabulka 3.3.4-2: výsledné hodnoty, průměrná hodnota kontaktních úhlů a parametry směrnic, prostřednictvím kterých byly zjištěny tyto kontaktní úhly.

silikagel					
měření	1. směrnice		CA (M)	2. směrnice	
1	36,705	-107,8	23,01	-46,4	0,223
2	19,825	-111,1	11,372	-14,027	0,087
3	18,151	-71,681	9,669	-9,87	0,137
4	25,434	-196,25	11,23	-15,528	0,079
5	20,612	-125,225	10,624	-16,385	0,092
6	15,327	-57,35	11,418	-18,233	0,1
7	15,693	-48,067	12,21	-14,1	0,103
8	18,138	-88,45	10,25	-10,742	0,102
9	16,469	-44,795	11,936	-14,497	0,15
10	13,817	-37,75	12,221	-18,807	0,084
11	22,298	-109,69	11,424	-20,767	0,122
12	24,082	-89,567	14,433	-25,487	0,151
13	33,735	-83,612	10,369	-7,6	0,307
14	24,71	-28,91	16,297	-14,46	0,582
15	34,365	-83,5	14,044	-14,394	0,294
16	40,699	-67,529	16,87	-14,556	0,45
17	25,021	-40,15	17,328	-18,155	0,35
18	24,335	-43,15	15,523	-15,711	0,321
19	32,836	-69,552	19,245	-27,767	0,325
20	15,606	-34,343	13,376	-18,02	0,137
Průměr			13,642		

Po provedení Grubbsova testu odlehlých hodnot byly odstraněny hodnoty, které překračovaly kritickou mez o hodnotě **2,093**. Odchylující hodnoty jsou v předchozí tabulce zvýrazněny tučně. Množina „správných“ hodnot a jejich odchýlení od regresní přímky je znázorněna v následujícím grafu. Průměrný kontaktní úhel po odstranění odchýlených hodnot činí **12,811°**. Rovnice regresní přímky je $y = 0,3289 + 9,3389x$ a hodnota korelačního koeficientu činí **0,745**.

Graf 3.3.4-1: znázornění odchylky hodnot silikagelu vůči regresní přímce.



3.3.5 Měření smáčivosti vzorku 070110/1:

Tableta slisovaného oxidu byla umístěna na vzorkový stolek. Výškový posuv byl nastaven tak, aby se povrch vzorku zobrazil ve spodní části zobrazovacího okna v okně pro nahrávání snímků. Do úvodního okna, pro nastavení fyzikálně-chemických vlastností, byla zadána hustota oxidu titaničitého, byla zadána výrobcem, tedy $4,23 \text{ g/cm}^3$. Hodnoty pro kapalinu a plynnou fázi zůstávají stejné, tak jak jsou uvedeny v tabulce (3.3.5-1). Spoušť byla nastavena na změnu pozadí z bílé na černou. Snímkovací interval byl nastaven na 100 milisekund a počet snímků byl nastaven na 600. Měřeny byly celkem čtyři tablety, přičemž na každou bylo nanášeno pět kapek. Dohromady byl tedy tento vzorek změřen celkem dvacetkrát. Vzhledem k rozsahu celkového množství hodnot ukazuje následující tabulka pouze část naměřených hodnot. Všechny hodnoty jsou uvedeny na disku přiloženém k této práci.

Tabulka 3.3.5-1 část naměřených hodnot vzorku 070110/1 metodou sedící kapky.

701101 I													
Time [s]	x [mm]	Tangle[*]	CA[L]	CA[R]	CA[M]	Tilt	L[mm]	H[mm]	Vol[ul]	A[mm2]	Beta	Fit tilt	r [pix]
2,402	-14,9	0	59,944	58,92	59,432	0	3,137	0,89	4,928	11,808	-0,09059	-22,083	0,095
2,502	-14,9	0	59,035	57,355	58,195	0	3,158	0,858	3,898	10,45	-0,40576	-8,662	0,09
2,603	-14,9	0	58,258	56,368	57,313	0	3,171	0,85	4,024	10,685	-0,35448	-11,536	0,088
2,703	-14,9	0	57,6	55,869	56,734	0	3,178	0,841	3,971	10,639	-0,35904	-10,837	0,088
2,803	-14,9	0	57,221	55,343	56,282	0	3,185	0,832	3,962	10,655	-0,37104	-11,138	0,085
2,903	-14,9	0	56,876	54,812	55,844	0	3,19	0,829	4,085	10,865	-0,35741	-13,286	0,087
3,003	-14,9	0	56,531	54,349	55,44	0	3,193	0,822	4,154	10,99	-0,35968	-14,463	0,083
3,103	-14,9	0	56,221	54,089	55,155	0	3,195	0,817	4,041	10,839	-0,38086	-13,116	0,082
3,203	-14,9	0	55,821	53,7	54,761	0	3,197	0,812	4,125	10,984	-0,35284	-14,558	0,084
3,303	-14,9	0	55,648	53,587	54,617	0	3,197	0,808	3,949	10,731	-0,39923	-12,323	0,085
3,403	-14,9	0	55,358	53,239	54,298	0	3,198	0,803	4,022	10,859	-0,38322	-13,866	0,09
3,503	-14,9	0	55,125	52,998	54,061	0	3,198	0,801	3,973	10,798	-0,39009	-13,227	0,088
3,603	-14,9	0	54,879	52,873	53,876	0	3,199	0,793	3,886	10,678	-0,41181	-12,131	0,088
3,704	-14,9	0	54,523	52,442	53,483	0	3,198	0,792	4,035	10,917	-0,36361	-14,43	0,088
3,804	-14,9	0	54,438	52,389	53,414	0	3,2	0,787	3,899	10,723	-0,40938	-12,82	0,09
3,904	-14,9	0	54,113	52,063	53,088	0	3,198	0,783	3,921	10,769	-0,38573	-13,521	0,083
4,004	-14,9	0	53,965	51,954	52,959	0	3,198	0,782	3,865	10,692	-0,40248	-12,889	0,089
4,104	-14,9	0	53,978	52,183	53,08	0	3,194	0,777	3,608	10,294	-0,53308	-8,881	0,092
4,204	-14,9	0	53,58	51,542	52,561	0	3,199	0,773	3,848	10,69	-0,40969	-13,072	0,085
4,304	-14,9	0	53,445	51,414	52,43	0	3,198	0,773	3,783	10,598	-0,42147	-12,37	0,09
4,404	-14,9	0	53,27	51,301	52,286	0	3,197	0,768	3,714	10,499	-0,45703	-11,503	0,092
4,504	-14,9	0	53,135	51,196	52,165	0	3,198	0,764	3,693	10,475	-0,46001	-11,391	0,088
4,604	-14,9	0	52,757	50,779	51,768	0	3,199	0,758	3,669	10,46	-0,46247	-11,586	0,089
4,705	-14,9	0	52,52	50,606	51,563	0	3,198	0,754	3,657	10,45	-0,45404	-11,616	0,092
4,805	-14,9	0	52,301	50,322	51,312	0	3,198	0,754	3,725	10,57	-0,41837	-12,812	0,089
4,905	-14,9	0	52,258	50,269	51,264	0	3,197	0,752	3,674	10,495	-0,45371	-12,078	0,089
5,005	-14,9	0	52,061	50,09	51,075	0	3,197	0,748	3,641	10,454	-0,4705	-11,804	0,09
5,105	-14,9	0	51,831	49,882	50,856	0	3,198	0,744	3,704	10,565	-0,42748	-13,025	0,086
5,205	-14,9	0	51,702	49,762	50,732	0	3,198	0,743	3,684	10,54	-0,43729	-12,766	0,087
5,305	-14,9	0	51,549	49,603	50,576	0	3,197	0,741	3,655	10,505	-0,44639	-12,59	0,082
5,405	-14,9	0	51,457	49,443	50,45	0	3,197	0,737	3,63	10,473	-0,46226	-12,34	0,09
5,505	-14,9	0	51,294	49,293	50,294	0	3,196	0,734	3,614	10,456	-0,4568	-12,322	0,087
5,605	-14,9	0	51,05	49,1	50,075	0	3,196	0,734	3,656	10,532	-0,43115	-13,028	0,087
5,705	-14,9	0	50,989	49,075	50,032	0	3,195	0,732	3,545	10,361	-0,47716	-11,638	0,09
5,806	-14,9	0	50,946	49,015	49,981	0	3,196	0,728	3,497	10,291	-0,51393	-11,077	0,089
5,906	-14,9	0	50,768	48,847	49,808	0	3,197	0,725	3,503	10,311	-0,48641	-11,454	0,088
6,006	-14,9	0	50,576	48,563	49,569	0	3,198	0,724	3,649	10,557	-0,43989	-13,508	0,09
6,106	-14,9	0	50,408	48,465	49,437	0	3,195	0,723	3,556	10,414	-0,46531	-12,396	0,089
6,206	-14,9	0	50,317	48,437	49,377	0	3,195	0,718	3,462	10,27	-0,50722	-11,314	0,089
6,306	-14,9	0	50,183	48,305	49,244	0	3,195	0,715	3,466	10,286	-0,50432	-11,495	0,089
6,406	-14,9	0	49,999	47,992	48,996	0	3,196	0,715	3,576	10,475	-0,45101	-13,164	0,084
6,506	-14,9	0	49,851	47,948	48,899	0	3,196	0,713	3,509	10,375	-0,46694	-12,426	0,087
6,606	-14,9	0	49,767	47,8	48,783	0	3,194	0,709	3,471	10,322	-0,49604	-11,985	0,089
6,706	-14,9	0	49,615	47,774	48,694	0	3,194	0,705	3,406	10,222	-0,51468	-11,253	0,094
6,807	-14,9	0	49,451	47,585	48,518	0	3,194	0,705	3,436	10,28	-0,49826	-11,706	0,088
6,907	-14,9	0	49,246	47,342	48,294	0	3,195	0,704	3,532	10,448	-0,45079	-13,242	0,091
7,007	-14,9	0	49,216	47,252	48,234	0	3,195	0,701	3,444	10,314	-0,50012	-12,226	0,093
7,107	-14,9	0	49,092	47,187	48,14	0	3,192	0,696	3,356	10,175	-0,53697	-11,183	0,094
7,207	-14,9	0	48,833	46,98	47,906	0	3,194	0,695	3,455	10,348	-0,47142	-12,667	0,088
7,307	-14,9	0	48,724	46,859	47,791	0	3,192	0,695	3,404	10,272	-0,48894	-12,094	0,087
7,407	-14,9	0	48,653	46,754	47,703	0	3,193	0,693	3,348	10,19	-0,5132	-11,525	0,09

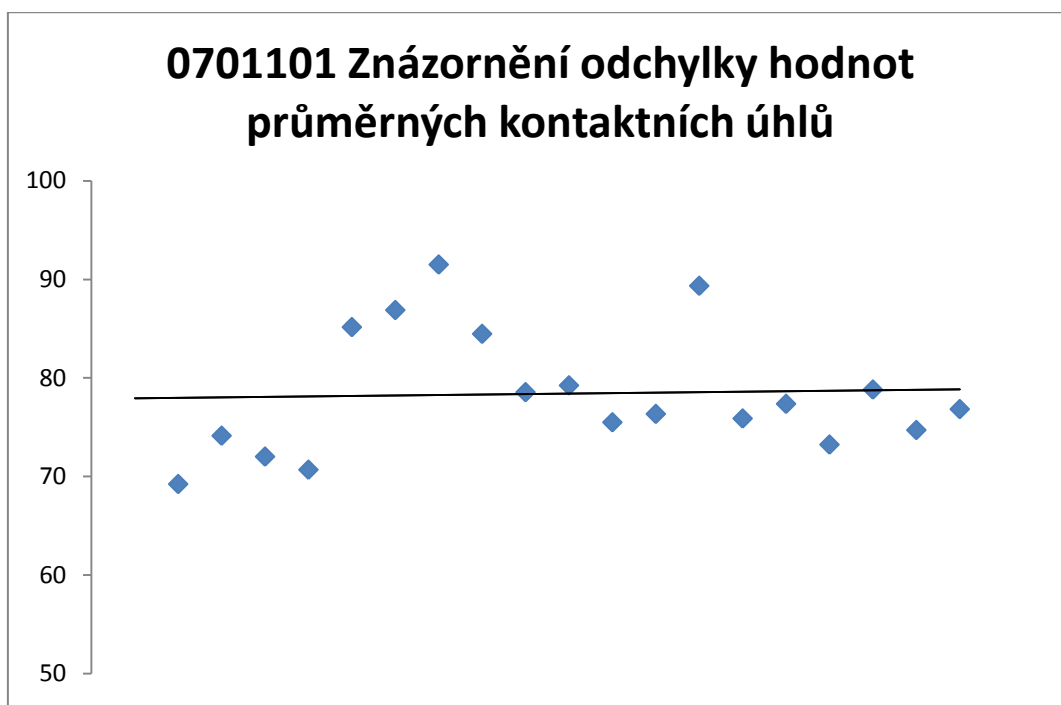
Získaná data průměrných hodnot kontaktních úhlů ze všech měření byla pomocí statistického programu **R** zpracována proložením dvou regresních přímek a v místě jejich styku byl stanoven výsledný kontaktní úhel. Parametry směrnic a výsledné kontaktní úhly byly zapsány do následující tabulky (3.3.5-2). Na konci této tabulky je celková výsledná hodnota kontaktních úhlů ze všech měření v podobě průměrné hodnoty a její odchylky, která činí **5,364**.

Tabulka 3.3.5-2: výsledné hodnoty, průměrná hodnota kontaktních úhlů a parametry směrnic, prostřednictvím kterých byly zjištěny tyto kontaktní úhly.

070110/1					
měření	1. směrnice		CA (M)	2. směrnice	
1	64,421	-2,972	60,885	-1,585	2,549
2	81,729	-4,87	69,236	-2,409	5,076
3	137,912	-9,17	74,14	-1,152	7,954
4	111,386	-5,153	72,021	-1,066	9,632
5	126,559	-8,617	70,688	-1,112	7,445
6	124,96	-3,152	85,157	-0,956	18,123
7	134,382	-3,788	86,885	-0,971	16,858
8	116,838	-2,55	91,503	-1,112	17,621
9	126,467	-5,434	84,47	-1,15	9,804
10	127,442	-9,34	78,552	-1,186	5,996
11	130,256	-8,779	79,244	-1,334	6,851
12	134,859	-8,824	75,498	-1,177	7,762
13	119,44	-6,609	76,349	-1,214	7,987
14	136,297	-9,872	89,346	-1,625	5,693
15	133,191	-9,924	75,886	-1,18	6,553
16	128,354	-6,261	77,372	-1,005	9,699
17	127,15	-7,448	73,24	-0,972	8,324
18	126,652	-5,769	78,822	-0,978	9,982
19	128,715	-5,868	74,713	-0,94	10,957
20	130,284	-6,806	76,837	-1,023	9,242
Průměr			77,542		

Po provedení Grubbsova testu odlehlých hodnot byly odstraněny hodnoty, které překračovaly kritickou mez o hodnotě **2,093**. Odchylující hodnoty jsou v předchozí tabulce zvýrazněny tučně. Množina „správných“ hodnot a jejich odchýlení od regresní přímky je znázorněna v následujícím grafu. Průměrný kontaktní úhel po odstranění odchýlených hodnot činí **78,419°**. Rovnice regresní přímky je $y = 0,0478 + 77,894x$ a hodnota korelačního koeficientu činí **0,043**.

Graf 3.3.5-1: znázornění odchylky hodnot vzorku 070110/1 vůči regresní přímce.



3.3.6 Měření smáčivosti vzorku 070110/2:

Tableta slisovaného oxidu byla umístěna na vzorkový stolek. Výškový posuv byl nastaven tak, aby se povrch vzorku zobrazil ve spodní části zobrazovacího okna v okně pro nahrávání snímků. Do úvodního okna, pro nastavení fyzikálně-chemických vlastností, byla zadána hustota oxidu titaničitého, byla zadána výrobcem, tedy $4,23 \text{ g/cm}^3$. Hodnoty pro kapalinu a plynnou fázi zůstávají stejné, tak jak jsou uvedeny v tabulce (3.3.6-1). Spoušť byla nastavena na změnu pozadí z bílé na černou. Snímkovací interval byl nastaven na 10 milisekund a počet snímků byl nastaven na 200. Měřeny byly celkem čtyři tablety, přičemž na každou bylo nanášeno pět kapek. Dohromady byl tedy tento vzorek změřen celkem dvacetkrát. Vzhledem k rozsahu celkového množství hodnot ukazuje následující tabulka pouze část naměřených hodnot. Všechny hodnoty jsou uvedeny na disku přiloženém k této práci.

Tabulka 3.3.6-1: část naměřených hodnot vzorku 070110/2 metodou sedící kapky.

701102 I														
Time [s]	x [mm]	Tangle[°]	CA[L]	CA[R]	CA[M]	Tilt	L[mm]	H[mm]	Vol[u]	A[mm ²]		Beta	Fit tilt	r [pix]
0,11	-9,9	0	71,251	68,559	69,905	0	3,21	0,654	3,418	10,101		-46,2169	-0,714	1,105
0,12	-9,9	0	50,866	53,325	52,096	0	3,453	0,654	3,537	10,986		-12,6202	1,391	0,727
0,13	-9,9	0	45,024	43,108	44,066	0	3,566	0,659	3,588	11,495		-3,28581	-2,789	0,238
0,14	-9,9	0	41,506	41,413	41,459	0	3,619	0,646	3,538	11,648		-2,15456	-0,302	0,134
0,15	-9,9	0	40,104	39,56	39,832	0	3,648	0,634	3,509	11,769		-1,58081	-1,589	0,084
0,16	-9,9	0	38,845	38,678	38,762	0	3,661	0,627	3,442	11,748		-1,02105	-0,946	0,081
0,17	-9,9	0	38,345	37,743	38,044	0	3,669	0,618	3,474	11,887		-0,81241	-3,691	0,084
0,18	-9,9	0	37,709	37,383	37,546	0	3,674	0,612	3,399	11,812		-0,80188	-2,146	0,077
0,19	-9,9	0	37,31	36,93	37,12	0	3,674	0,606	3,362	11,801		-0,86758	-2,358	0,075
0,2	-9,9	0	37,09	36,649	36,87	0	3,675	0,598	3,334	11,787		-0,98579	-2,295	0,081
0,21	-9,9	0	36,718	36,315	36,516	0	3,677	0,594	3,315	11,794		-0,94912	-2,395	0,08
0,22	-9,9	0	36,377	35,982	36,179	0	3,678	0,588	3,275	11,763		-0,91937	-2,611	0,078
0,23	-9,9	0	36,003	35,609	35,806	0	3,679	0,584	3,243	11,749		-0,88972	-2,404	0,076
0,24	-9,9	0	35,791	35,377	35,584	0	3,683	0,578	3,217	11,737		-0,9315	-2,499	0,078
0,25	-9,9	0	35,466	35,08	35,273	0	3,679	0,576	3,198	11,735		-0,94057	-2,318	0,077
0,26	-9,9	0	35,181	34,843	35,012	0	3,682	0,569	3,17	11,716		-0,91741	-2,235	0,082
0,27	-9,9	0	34,954	34,578	34,766	0	3,682	0,567	3,157	11,724		-0,90116	-2,369	0,081
0,28	-9,9	0	34,76	34,435	34,598	0	3,681	0,562	3,112	11,663		-1,00885	-2,228	0,082
0,29	-9,9	0	34,528	34,165	34,347	0	3,679	0,559	3,106	11,679		-0,96693	-2,323	0,079
0,3	-9,9	0	34,409	34,07	34,239	0	3,68	0,554	3,061	11,617		-1,10304	-1,946	0,076
0,31	-9,9	0	34,123	33,756	33,94	0	3,678	0,549	3,041	11,609		-0,99875	-2,259	0,082
0,32	-9,9	0	33,843	33,502	33,672	0	3,676	0,548	3,032	11,619		-0,9415	-2,382	0,082
0,33	-9,9	0	33,734	33,312	33,523	0	3,677	0,543	3,017	11,615		-1,02218	-2,36	0,081
0,34	-9,9	0	33,495	33,16	33,327	0	3,673	0,539	2,978	11,561		-1,0476	-2,181	0,079
0,35	-9,9	0	33,3	32,965	33,132	0	3,673	0,538	2,957	11,545		-1,04818	-1,986	0,086
0,36	-9,9	0	33,11	32,788	32,949	0	3,674	0,534	2,942	11,541		-1,05202	-2,312	0,082
0,37	-9,9	0	32,882	32,522	32,702	0	3,673	0,53	2,932	11,549		-0,92541	-2,671	0,081
0,38	-9,9	0	32,743	32,397	32,57	0	3,671	0,529	2,89	11,485		-1,03316	-2,066	0,086
0,39	-9,9	0	32,578	32,267	32,423	0	3,67	0,524	2,89	11,507		-1,12445	-2,165	0,089
0,4	-9,9	0	32,38	32,02	32,2	0	3,67	0,52	2,862	11,476		-1,01539	-2,21	0,08
0,41	-9,9	0	32,2	31,857	32,028	0	3,67	0,518	2,837	11,451		-1,00369	-2,308	0,084
0,42	-9,9	0	32,023	31,693	31,858	0	3,668	0,515	2,812	11,424		-1,08175	-2,011	0,081
0,43	-9,9	0	31,847	31,561	31,704	0	3,668	0,511	2,809	11,439		-1,08803	-2	0,082
0,44	-9,9	0	31,636	31,263	31,449	0	3,667	0,509	2,797	11,444		-0,93365	-2,711	0,084
0,45	-9,9	0	31,437	31,127	31,282	0	3,663	0,506	2,77	11,41		-1,01976	-2,191	0,078
0,46	-9,9	0	31,318	31,038	31,178	0	3,664	0,501	2,74	11,367		-1,10857	-1,585	0,086
0,47	-9,9	0	31,069	30,778	30,924	0	3,661	0,5	2,744	11,401		-0,94887	-2,276	0,083
0,48	-9,9	0	28,904	28,583	28,744	0	3,651	0,461	2,518	11,234		-0,94554	-3,04	0,09
0,49	-9,9	0	28,904	28,583	28,744	0	3,651	0,461	2,518	11,234		-0,94554	-3,04	0,09
0,5	-9,9	0	28,823	28,485	28,654	0	3,647	0,46	2,479	11,157		-1,07247	-2,372	0,089
0,51	-9,9	0	28,765	28,456	28,61	0	3,646	0,457	2,468	11,15		-1,33287	-1,988	0,088
0,52	-9,9	0	28,588	28,283	28,435	0	3,645	0,452	2,441	11,112		-1,31456	-1,953	0,091
0,53	-9,9	0	28,27	27,971	28,12	0	3,643	0,451	2,455	11,179		-0,90962	-2,754	0,086
0,54	-9,9	0	28,199	27,901	28,05	0	3,644	0,451	2,42	11,114		-1,025	-2,187	0,088
0,55	-9,9	0	28,114	27,799	27,956	0	3,641	0,447	2,401	11,091		-1,22596	-2,212	0,089
0,56	-9,9	0	27,979	27,644	27,811	0	3,639	0,442	2,394	11,096		-1,24116	-2,298	0,093
0,57	-9,9	0	27,761	27,548	27,655	0	3,64	0,442	2,383	11,091		-1,12138	-2,147	0,087
0,58	-9,9	0	27,614	27,352	27,483	0	3,639	0,44	2,367	11,081		-1,04718	-2,731	0,089
0,59	-9,9	0	27,535	27,222	27,378	0	3,636	0,437	2,349	11,058		-1,25181	-2,367	0,087
0,6	-9,9	0	27,332	27,077	27,204	0	3,635	0,433	2,333	11,046		-1,18861	-2,257	0,089
0,61	-9,9	0	27,159	26,839	26,999	0	3,634	0,432	2,355	11,126		-0,96465	-3,357	0,086

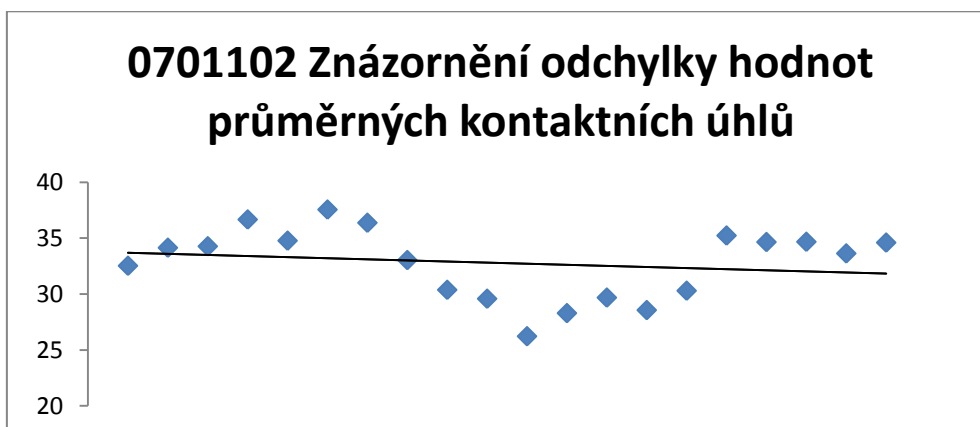
Získaná data průměrných hodnot kontaktních úhlů ze všech měření byla pomocí statistického programu **R** zpracována proložení dvou regresních přímek a v místě jejich styku byl stanoven výsledný kontaktní úhel. Parametry směrnic a výsledné kontaktní úhly byly zapsány do následující tabulky (3.3.6-2). Na konci této tabulky je celková výsledná hodnota kontaktních úhlů ze všech měření v podobě průměrné hodnoty a její odchylky, která činí **2,654**.

Tabulka 3.3.6-2 výsledné hodnoty, průměrná hodnota kontaktních úhlů a parametry směrnic, prostřednictvím kterých byly zjištěny tyto kontaktní úhly.

070110/2					
měření	1. směrnice		CA (M)	2. směrnice	
1	46,182	-47,3	32,537	-10,8	0,374
2	47,899	-26,825	34,152	-8,55	0,752
3	53,636	-33,367	34,281	-9,115	0,798
4	50,58	-46,1	36,679	-12,39	0,412
5	58,551	-125	34,782	-10,63	0,208
6	56,28	-40,9	37,567	-10,792	0,622
7	64,91	-67,009	36,386	-10,509	0,505
8	54,765	-52,075	33,044	-10,514	0,523
9	39,792	-47,567	30,382	-11,57	0,261
10	38,4	-37,867	29,588	-11,939	0,34
11	38,663	-72,567	26,228	-13,355	0,21
12	38,168	-62,8	28,298	-12,318	0,196
13	37,955	-41,28	29,688	-11,912	0,281
14	38,006	-41,1	28,569	-10,713	0,311
15	39,659	-39,25	30,304	-11,184	0,333
16	50,059	-104,3	35,243	-11,946	0,16
17	50,008	-67,2	34,661	-11,155	0,274
18	46,744	-57,86	34,683	-11,386	0,26
19	43,18	-45,6	33,642	-11,779	0,282
20	45,73	-96,9	34,612	-12,381	0,132
Průměr			32,766		

Po provedení Grubbsova testu odlehlých hodnot nebyly nalezeny žádné hodnoty, které by překračovaly kritickou mez o hodnotě **2,093**. Množina „správných“ hodnot a jejich odchýlení od regresní přímky je znázorněna v následujícím grafu. Průměrný kontaktní úhel činí **32,766°**. Rovnice regresní přímky je $y = -0,0984x + 33,799$ a hodnota korelačního koeficientu činí **-0,185**.

Graf 3.3.6-1: znázornění odchylky hodnot vzorku 070110/2 vůči regresní přímce.



3.3.7 Stanovení povrchové energie a její závislosti na hodnotě kontaktního úhlu

Upravením vztahu (51) z kapitoly 2.5.3 Stavová rovnice pro výpočet smáčení pevných látek tak, aby na pravé straně rovnice zůstala pouze povrchová energie, je možno spočítat velikost povrchové energie pro jednotlivé látky pomocí naměřených kontaktních úhlů.

$$\gamma_s = \frac{(1 + (\cos \theta) + \gamma_l)^2}{4} \cdot \gamma_l \quad (61)$$

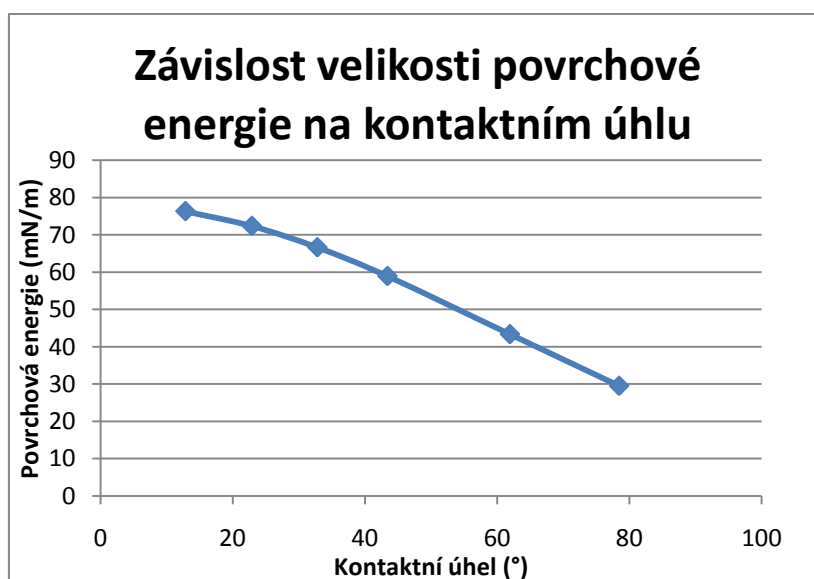
Následující tabulka (3.3.7-1) shrnuje kontaktní úhly všech šesti vzorků a k nim dopočítané hodnoty povrchové energie v mJ/m^2 podle předchozího vztahu.

Tabulka 3.3.7–1: výsledné hodnoty kontaktních úhlů a povrchové energie.

Výsledné hodnoty kontaktního úhlu a povrchové energie jednotlivých látek			
	látka	kontaktní úhel (°)	povrchová energie (mJ/m^2)
1	Oxid hlinitý	43,38	58,94
2	Oxid zinečnatý	61,91	43,36
3	Oxid titaničitý	22,86	72,38
4	Silikagel	12,81	76,33
5	070110/1	78,42	29,52
6	070110/2	32,77	66,65

Závislost velikosti povrchové energie na kontaktním úhlu shrnuje následující graf (3.3.7-1).

Graf 3.3.7–1: graf závislosti povrchové energie na kontaktním úhlu.



3.4 Výsledky a diskuze pro měření Wilhelmyho destičky

3.4.1 Měření smáčivosti oxidu hlinitého:

Spodní okraj destičky byl změřen posuvným měřidlem a po té byla destička upevněna do držáku. Zdvíhacím šroubem byl zdvižen posuv stolku nosícího kádinku s vodou do vhodné výšky. Po od aretování vah byly zadány parametry obvodu spodního okraje destičky do okna experimental setup a bylo spuštěno měření. Část exportovaného záznamu hodnot měření je uveden níže (tab. 3.4.1-1).

Tabulka 3.4.1-1: záznam z měření oxidu hlinitého

ALO pas 1					
No.	Time [s]	Position [mm]	Force [mN]	Mass [g]	Temperature [°C]
1	0,33	0	0,3658	0,0373	23
2	5,94	0,3	0,304	0,031	23
3	12,71	0,59	0,1363	0,0139	23
4	18,99	0,89	0,0755	0,0077	23
5	25,49	1,18	-0,0382	-0,0039	23
6	32,01	1,48	-0,0922	-0,0094	23
7	38,03	1,78	-0,1206	-0,0123	23
8	44,79	2,07	-0,1804	-0,0184	23
9	51,05	2,37	-0,2334	-0,0238	23
10	57,31	2,66	-0,356	-0,0363	23
11	63,58	2,96	-0,4236	-0,0432	23
12	70,34	3,26	-0,454	-0,0463	23,1
13	76,85	3,55	-0,5207	-0,0531	23
14	82,61	3,85	-0,5413	-0,0552	23
15	89,39	4,14	-0,5933	-0,0605	23
16	95,9	4,44	-0,6374	-0,065	23
17	102,42	4,74	-0,6943	-0,0708	23
18	108,93	5,03	-0,7355	-0,075	23
19	111,95	5,03	-0,7375	-0,0752	23
20	116,06	4,74	-0,4629	-0,0472	23
21	122,82	4,44	-0,0745	-0,0076	23
22	128,83	4,14	0,2442	0,0249	23
23	135,1	3,85	0,556	0,0567	23
24	141,61	3,55	0,8512	0,0868	23
25	147,92	3,26	1,1062	0,1128	23
26	154,2	2,96	1,3317	0,1358	23
27	160,79	2,66	1,5298	0,156	23,1
28	166,84	2,37	1,6858	0,1719	23
29	173,61	2,07	1,8211	0,1857	23
30	180,12	1,78	1,9084	0,1946	23
31	186,23	1,48	1,9574	0,1996	23
32	192,78	1,18	1,9888	0,2028	23,1
33	199,05	0,89	2,0202	0,206	23

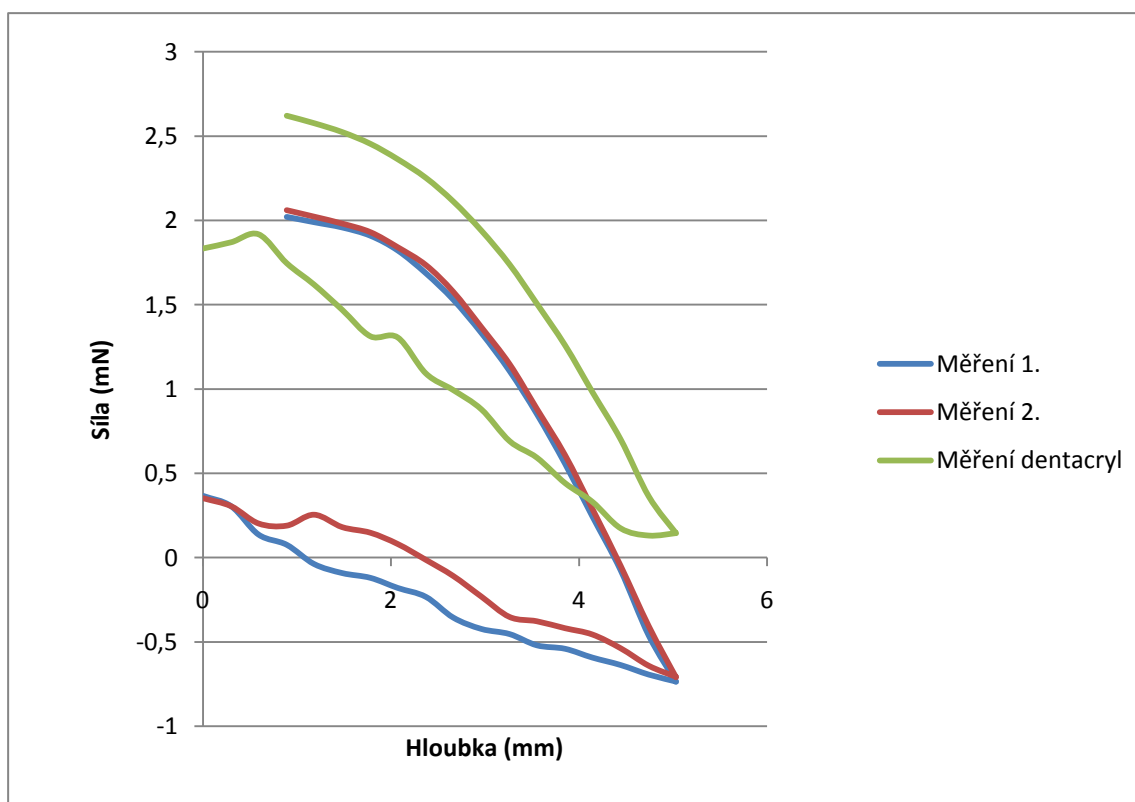
Takto byly provedeny celkem tři měření, dvě s oboustrannou páskou a jedno s dentakrylem jako lepicí vrstvou. Hodnoty uvedené v tabulce 3.4.1-2 byly získány vyhodnocením lineární křivky grafického záznamu měření.

Tabulka 3.4.1-2: vypočtené hodnoty z grafického záznamu.

Oxid hlinitý			
měření	Úprava	Advancing	Receding
1.	Páska	85,8 deg	0,0 deg
2.	Páska	78,1 deg	0,0 deg
3.	Dentakryl	43,6 deg	0,0 deg

Průběh měření byl, kromě záznamu číselných hodnot, zaznamenáván také graficky. Záznam všech tří měření je zobrazen v grafu 3.4.1-1. Na tomto grafu je vidět rozdíl mezi výsledky destiček oxidu hlinitého s dentakrylem, jako lepicí vrstvou, a destiček, kde je k fixaci vzorku použita oboustranná lepicí páska, u nichž se ukazuje vynikající reprodukovatelnost.

Graf 3.4.1-1: graf závislosti síly působící na destičku a na hloubce ponoru destičky s oxidem hlinitým.



3.4.2 Měření smáčivosti oxidu zinečnatého:

Spodní okraj destičky byl změřen posuvným měřidlem a po té byla destička upevněna do držáku. Zdvižným šroubem byl zdvižen posuv stolku nesoucího kádinku s vodou do vhodné výšky. Po od aretování váh byly zadány parametry obvodu spodního okraje destičky to okna experimental setup a bylo spuštěno měření. Část exportovaného záznamu hodnot měření je uveden níže (tab. 3.4.2-1).

Tabulka 3.4.2-1: záznam z měření oxidu zinečnatého.

ZNO pas 1					
No.	Time [s]	Position [mm]	Force [mN]	Mass [g]	Temperature [°C]
1	0,24	0	-0,1971	-0,0201	22,9
2	4,34	0,3	-0,3364	-0,0343	22,9
3	11,12	0,59	-0,6482	-0,0661	22,9
4	17,39	0,89	-0,9267	-0,0945	22,9
5	23,91	1,18	-1,1984	-0,1222	22,9
6	29,94	1,48	-1,4278	-0,1456	22,9
7	36,97	1,78	-1,6661	-0,1699	22,9
8	43,51	2,07	-1,8564	-0,1893	22,9
9	49,3	2,37	-1,9976	-0,2037	22,9
10	55,82	2,66	-2,1222	-0,2164	22,9
11	62,11	2,96	-2,2055	-0,2249	22,9
12	69,17	3,26	-2,2732	-0,2318	22,9
13	75,23	3,55	-2,2987	-0,2344	22,9
14	81,25	3,85	-2,3271	-0,2373	22,9
15	88,05	4,14	-2,3536	-0,24	22,9
16	94,57	4,44	-2,3663	-0,2413	22,9
17	100,92	4,74	-2,3801	-0,2427	22,9
18	106,96	5,03	-2,3487	-0,2395	22,9
19	109,98	5,03	-2,3487	-0,2395	22,9
20	113,61	4,74	-2,3134	-0,2359	22,9
21	119,91	4,44	-2,234	-0,2278	22,9
22	126,21	4,14	-2,1222	-0,2164	22,9
23	132,75	3,85	-2,0574	-0,2098	22,9
24	139,27	3,55	-1,9751	-0,2014	22,9
25	145,31	3,26	-1,9211	-0,1959	22,9
26	151,62	2,96	-1,7858	-0,1821	22,9
27	158,17	2,66	-1,676	-0,1709	22,9
28	164,7	2,37	-1,7309	-0,1765	22,9
29	171,49	2,07	-1,5328	-0,1563	22,9
30	177,28	1,78	-1,3445	-0,1371	22,9
31	183,57	1,48	-1,1366	-0,1159	22,9
32	190,09	1,18	-0,9316	-0,095	22,9
33	196,61	0,89	-0,6423	-0,0655	22,9

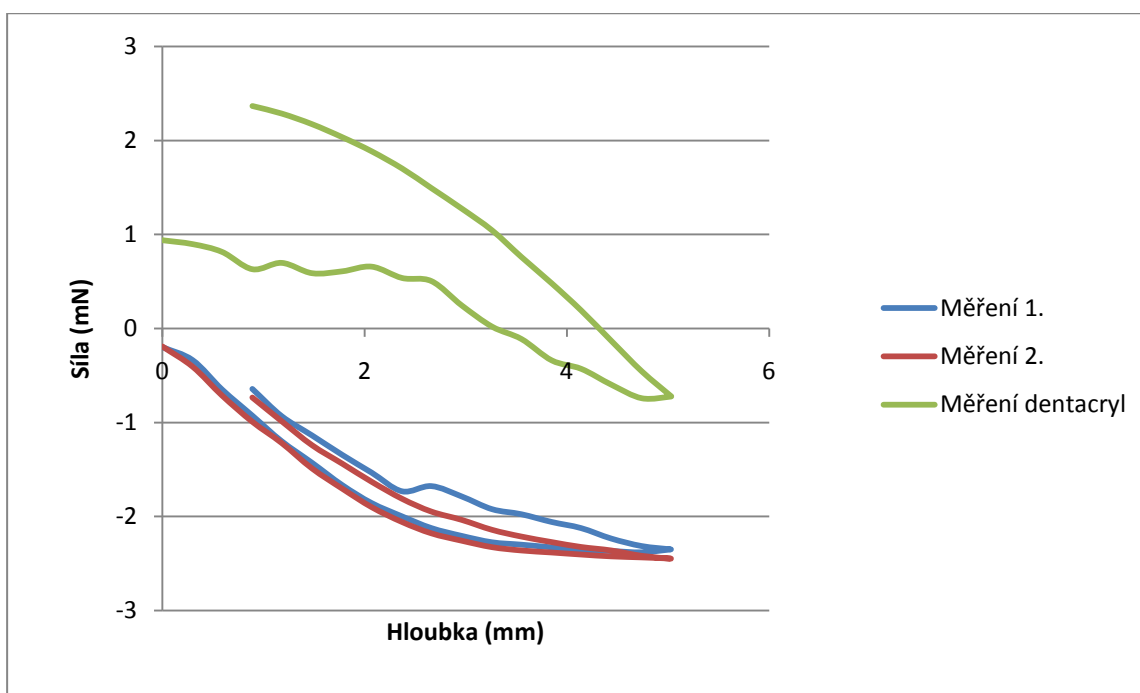
Takto byly provedeny celkem tři měření, dvě s oboustrannou páskou a jedno s dentakrylem jako lepicí vrstvou. Hodnoty uvedené v tabulce 3.4.2-2 byly získány vyhodnocením lineární křivky grafického záznamu měření.

Tabulka 3.4.2-2: vypočtené hodnoty z grafického záznamu.

Oxid zinečnatý			
měření	Úprava	Advancing	Receding
1.	Páska	93,9 deg	91,0 deg
2.	Páska	94,7 deg	118,0 deg
3.	Dentakryl	0,0 deg	0,0 deg

Průběh měření byl, kromě záznamu číselných hodnot, zaznamenáván také graficky. Záznam všech tří měření je zobrazen v grafu 3.4.2-1. Na tomto grafu je vidět rozdíl mezi výsledky destiček oxidu zinečnatého s dentakrylem, jako lepicí vrstvou, a destiček, kde je k fixaci vzorku použita oboustranná lepicí páska, u nichž se ukazuje vynikající reprodukovatelnost.

Graf 3.4.2-1: graf závislosti síly působící na destičku a na hloubce ponoru destičky s oxidem zinečnatým.



3.4.3 Měření smáčivosti oxidu titaničitého:

Spodní okraj destičky byl změřen posuvným měřidlem a po té byla destička upevněna do držáku. Zdvižným šroubem byl zdvižen posuv stolku nesoucího kádinku s vodou do vhodné výšky. Po od aretování vah byly zadány parametry obvodu spodního okraje destičky to okna experimental setup a bylo spuštěno měření. Část exportovaného záznamu hodnot měření je uveden níže (tab. 3.4.3-1).

Tabulka 3.4.3-1: záznam z měření oxidu titaničitého.

TIO pas 2					
No.	Time [s]	Position [mm]	Force [mN]	Mass [g]	Temperature [°C]
1	0,24	0	0,0951	0,0097	22,9
2	4,34	0,3	0,0892	0,0091	22,9
3	10,6	0,59	-0,2511	-0,0256	22,9
4	17,36	0,89	-0,5933	-0,0605	22,9
5	23,62	1,18	-0,9179	-0,0936	22,9
6	30,38	1,48	-1,2033	-0,1227	22,9
7	36,66	1,78	-1,472	-0,1501	22,9
8	42,92	2,07	-1,7279	-0,1762	22,9
9	49,18	2,37	-1,9182	-0,1956	22,9
10	55,95	2,66	-2,0192	-0,2059	22,9
11	62,21	2,96	-2,0202	-0,206	22,9
12	68,73	3,26	-2,0653	-0,2106	22,9
13	75	3,55	-1,9888	-0,2028	22,9
14	81,55	3,85	-1,9094	-0,1947	22,9
15	88,11	4,14	-1,8966	-0,1934	22,9
16	94,42	4,44	-1,8505	-0,1887	22,9
17	100,69	4,74	-1,8819	-0,1919	22,9
18	106,98	5,03	-1,8319	-0,1868	22,9
19	110	5,03	-1,8319	-0,1868	22,9
20	113,85	4,74	-1,6573	-0,169	22,9
21	120,37	4,44	-1,3102	-0,1336	22,9
22	126,39	4,14	-0,9738	-0,0993	22,9
23	132,41	3,85	-0,6384	-0,0651	22,9
24	139,44	3,55	-0,2461	-0,0251	22,9
25	145,72	3,26	0,1059	0,0108	22,9
26	151,98	2,96	0,4413	0,045	22,9
27	158,27	2,66	0,763	0,0778	22,9
28	164,83	2,37	1,0856	0,1107	22,9
29	171,12	2,07	1,3739	0,1401	22,9
30	177,64	1,78	1,6514	0,1684	22,9
31	183,99	1,48	1,8897	0,1927	22,9
32	190,28	1,18	2,0869	0,2128	22,9
33	197,11	0,89	2,2791	0,2324	22,9

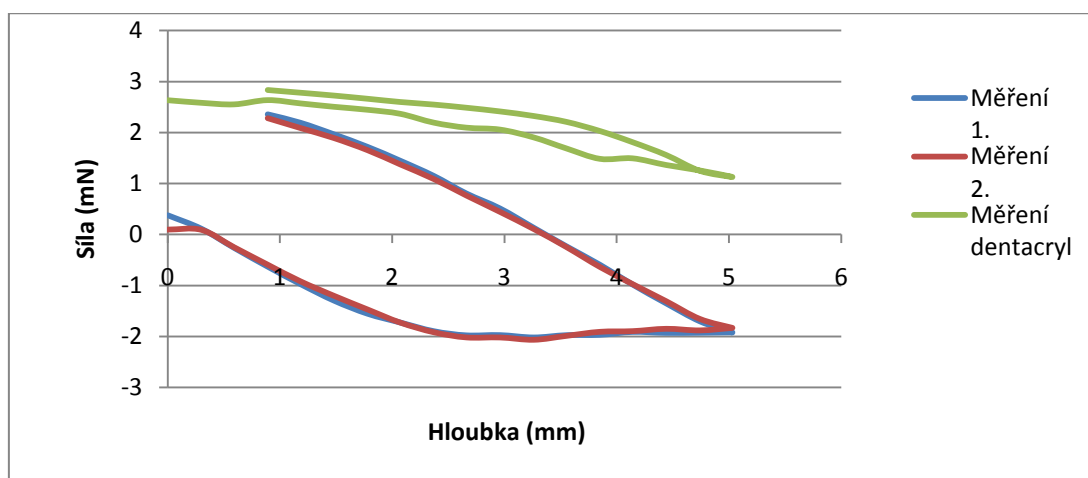
Takto byly provedeny celkem tři měření, dvě s oboustrannou páskou a jedno s dentakrylem jako lepicí vrstvou. Hodnoty uvedené v tabulce 3.4.3-2 byly získány vyhodnocením lineární křivky grafického záznamu měření.

Tabulka 3.4.3-2: vypočtené hodnoty z grafického záznamu.

Oxid titaničitý			
	Úprava	Advancing	Receding
1	Páska	81,3 deg	0,0 deg
2	Páska	82,2 deg	0,0 deg
3	Dentakryl	0,0 deg	0,0 deg

Průběh měření byl, kromě záznamu číselných hodnot, zaznamenáván také graficky. Záznam všech tří měření je zobrazen v grafu 3.4.3-1. Na tomto grafu je vidět rozdíl mezi výsledky destiček oxidu titaničitého s dentakrylem, jako lepicí vrstvou, a destiček, kde je k fixaci vzorku použita oboustranná lepicí páska, u nichž se ukazuje vynikající reprodukovatelnost.

Graf 3.4.3-1: graf závislosti síly působící na destičku a na hloubce ponoru destičky s oxidem titaničitým.



3.4.4 Měření smáčivosti silikagelu

Spodní okraj destičky byl změřen posuvným měřidlem a po té byla destička upevněna do držáku. Zdvižným šroubem byl zdvižen posuv stolku nesoucího kádinku s vodou do vhodné výšky. Po od aretování vah byly zadány parametry obvodu spodního okraje destičky to okna experimental setup a bylo spuštěno měření. Část exportovaného záznamu hodnot měření je uveden níže (tab. 3.4.4-1).

Tabulka 3.4.4-1: záznam hodnot z měření silikagelu.

SLK pas 1					
No.	Time [s]	Position [mm]	Force [mN]	Mass [g]	Temperature [°C]
1	0,24	0	0,0422	0,0043	23,1
2	4,59	0,3	-0,0451	-0,0046	23,1
3	11,36	0,59	-0,1373	-0,014	23,1
4	17,87	0,89	0,0941	0,0096	23,1
5	24,13	1,18	0,559	0,057	23,1
6	30,64	1,48	0,6129	0,0625	23,1
7	37,15	1,78	0,7875	0,0803	23,1
8	43,66	2,07	0,9434	0,0962	23,1
9	49,92	2,37	1,4847	0,1514	23,1
10	56,54	2,66	1,5357	0,1566	23,1
11	62,81	2,96	1,6671	0,17	23,1
12	69,12	3,26	1,7838	0,1819	23,1
13	75,69	3,55	1,7005	0,1734	23,1
14	81,98	3,85	1,675	0,1708	23,1
15	88,55	4,14	1,6377	0,167	23,1
16	94,87	4,44	1,6191	0,1651	23,1
17	101,13	4,74	1,6053	0,1637	23,1
18	107,42	5,03	1,5495	0,158	23,1
19	110,5	5,03	1,5455	0,1576	23,1
20	114,35	4,74	1,5779	0,1609	23,1
21	120,15	4,44	1,6485	0,1681	23,1
22	127,05	4,14	1,7064	0,174	23,1
23	133,4	3,85	1,7534	0,1788	23,1
24	139,71	3,55	1,8054	0,1841	23,1
25	146,27	3,26	1,8584	0,1895	23,1
26	152,3	2,96	1,9094	0,1947	23,1
27	159,06	2,66	1,9603	0,1999	23,1
28	165,08	2,37	1,9937	0,2033	23,1
29	171,34	2,07	2,031	0,2071	23,1
30	177,89	1,78	2,0761	0,2117	23,1
31	184,2	1,48	2,1006	0,2142	23,1
32	190,79	1,18	2,1124	0,2154	23,1
33	197,42	0,89	2,1222	0,2164	23,1

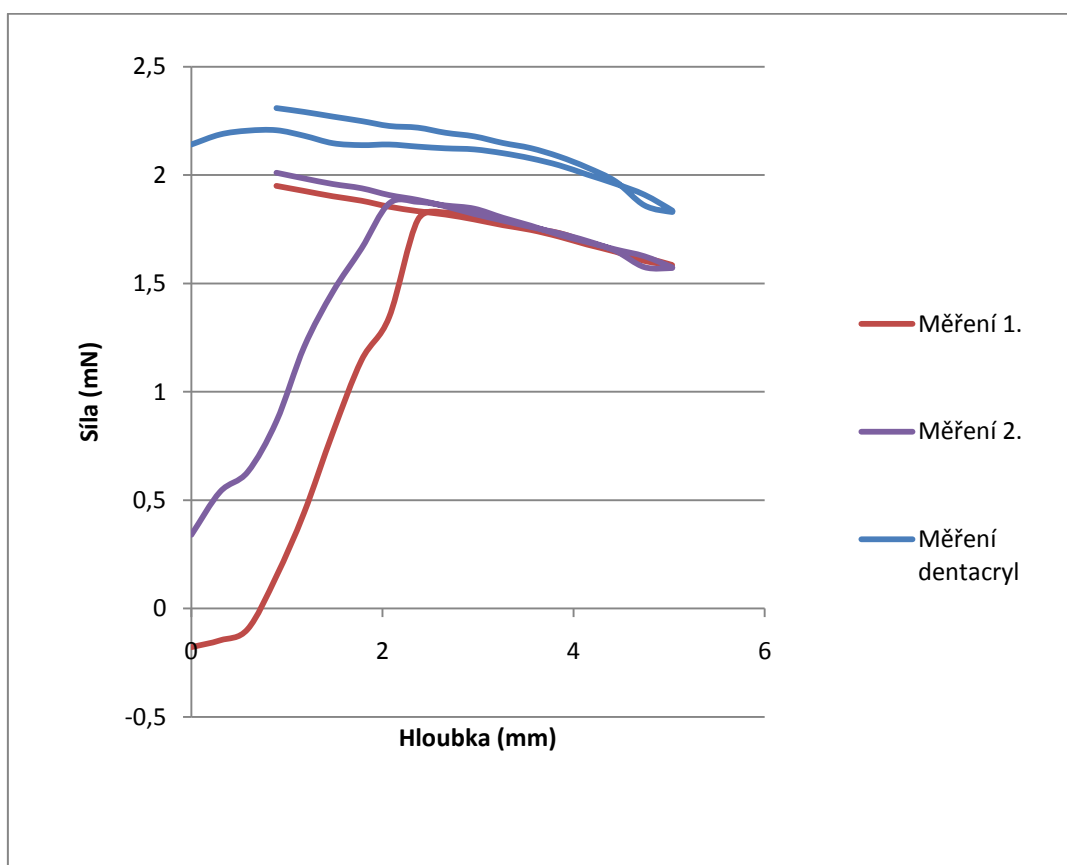
Takto byly provedeny celkem tři měření, dvě s oboustrannou páskou a jedno s dentakrylem jako lepicí vrstvou. Hodnoty uvedené v tabulce 3.4.4-2 byly získány vyhodnocením lineární křivky grafického záznamu měření.

Tabulka 3.4.4-2: vypočtené hodnoty z grafického záznamu.

Silikagel			
měření	Úprava	Advancing	Receding
1.	Páska	84,6	55,2 deg
2.	Páska	84,5 deg	41,7 deg
3.	Dentakryl	36,7 deg	31,6 deg

Průběh měření byl, kromě záznamu číselných hodnot, zaznamenáván také graficky. Záznam všech tří měření je zobrazen v grafu 3.4.4-1. Na tomto grafu je vidět dobrá reprodukovatelnost měření silikagelu fixovaného oboustrannou lepicí páskou. Z tvaru křivek je zřejmé, že je vzorek silikagelu na oboustranné pásce od počátku měření ihned smáčen a po vytažení již neztrácí svoji hmotnost vlivem naadsorbované kapaliny.

Graf 3.4.4-1: graf závislosti síly působící na destičku a na hloubce ponoru destičky se silikagelem.



3.4.5 Měření smáčivosti vzorku 070110/1

Spodní okraj destičky byl změřen posuvným měřidlem a po té byla destička upevněna do držáku. Zdvíhacím šroubem byl zdvižen posuv stolku nesoucího kádinku s vodou do vhodné výšky. Po od aretování vah byly zadány parametry obvodu spodního okraje destičky to okna experimental setup a bylo spuštěno měření. Část exportovaného záznamu hodnot měření je uveden níže (tab. 3.4.5-1).

Tabulka 3.4.5-1: záznam z měření vzorku 070110/1.

0701101 pas 1					
No.	Time [s]	Position [mm]	Force [mN]	Mass [g]	Temperature [°C]
1	0,24	0	-0,1726	-0,0176	23
2	6,37	0,3	-0,4021	-0,041	23
3	13,13	0,59	-0,7139	-0,0728	23,1
4	19,65	0,89	-1,0091	-0,1029	23,1
5	25,91	1,18	-1,269	-0,1294	23,1
6	32,2	1,48	-1,5092	-0,1539	23
7	38,7	1,78	-1,7289	-0,1763	23,1
8	45,22	2,07	-1,9172	-0,1955	23
9	51,49	2,37	-2,0349	-0,2075	23,1
10	57,79	2,66	-2,081	-0,2122	23,1
11	64,33	2,96	-1,879	-0,1916	23
12	70,61	3,26	-1,6514	-0,1684	23,1
13	76,88	3,55	-1,6701	-0,1703	23,1
14	83,2	3,85	-1,6563	-0,1689	23,1
15	89,76	4,14	-1,7309	-0,1765	23
16	96,32	4,44	-1,7152	-0,1749	23
17	102,9	4,74	-1,6848	-0,1718	23,1
18	109,18	5,03	-1,6867	-0,172	23,1
19	112,22	5,03	-1,6926	-0,1726	23,1
20	115,84	4,74	-1,5661	-0,1597	23,1
21	122,67	4,44	-1,2611	-0,1286	23,1
22	129,21	4,14	-0,9542	-0,0973	23,1
23	135,22	3,85	-0,6708	-0,0684	23,1
24	141,73	3,55	-0,3658	-0,0373	23
25	148,24	3,26	-0,0598	-0,0061	23
26	154,76	2,96	0,2275	0,0232	23,1
27	160,52	2,66	0,4805	0,049	23,1
28	167,29	2,37	0,761	0,0776	23,1
29	173,57	2,07	0,9865	0,1006	23,1
30	180,09	1,78	1,1444	0,1167	23,1
31	186,1	1,48	1,2798	0,1305	23,1
32	192,66	1,18	1,4122	0,144	23,1
33	198,93	0,89	1,4818	0,1511	23,1

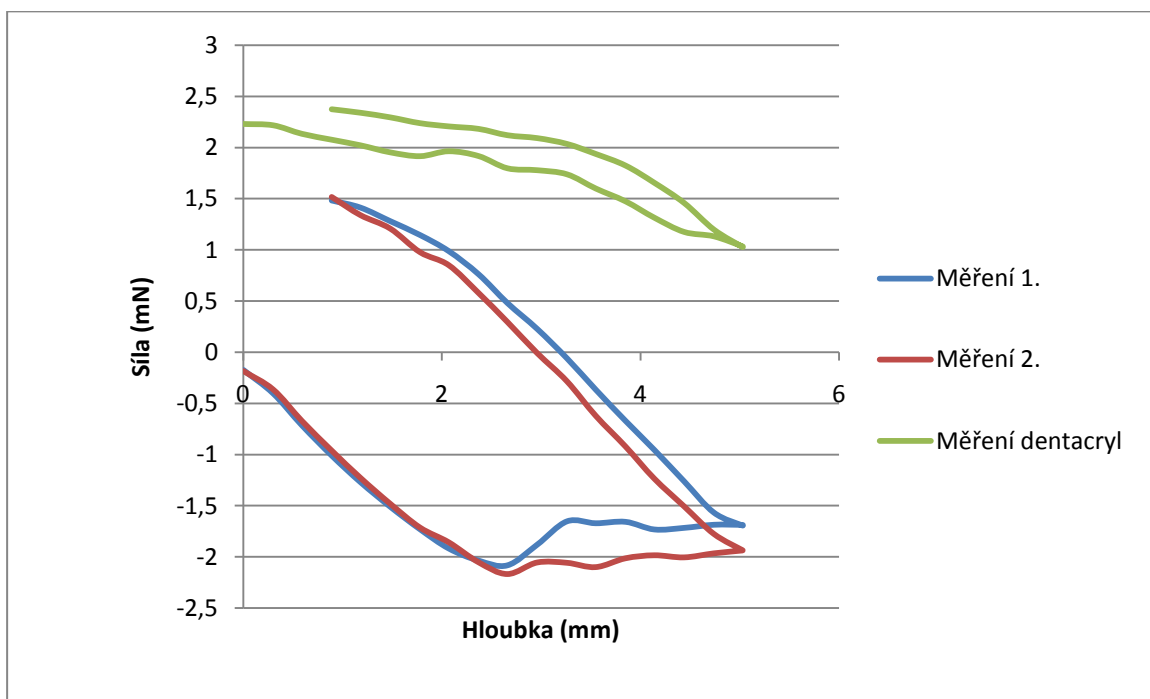
Takto byly provedeny celkem tři měření, dvě s oboustrannou páskou a jedno s dentakrylem jako lepicí vrstvou. Hodnoty uvedené v tabulce 3.4.5-2 byly získány vyhodnocením lineární křivky grafického záznamu měření.

Tabulka 3.4.5-2: Vypočtené hodnoty z grafického záznamu.

070110/1			
měření	Úprava	Advancing	Receding
1.	Páska	125,1 deg	0,0 deg
2.	Páska	147,2 deg	0,0 deg
3.	Dentakryl	33,8 deg	0,0 deg

Průběh měření byl, kromě záznamu číselných hodnot, zaznamenáván také graficky. Záznam všech tří měření je zobrazen v grafu 3.4.5-1. Na tomto grafu je vidět rozdílnost v měření destiček s různou lepicí vrstvou. Výsledky dentakrylové destičky jsou úplně odlišné od těch s oboustrannou lepicí páskou.

Graf 3.4.5-1: graf závislosti síly působící na destičku a na hloubce ponoru destičky se vzorkem 070110/1.



3.4.6 Měření smáčivosti vzorku 070110/2

Spodní okraj destičky byl změřen posuvným měřidlem a po té byla destička upevněna do držáku. Zdvižným šroubem byl zdvižen posuv stolku nosoucího kádinku s vodou do vhodné výšky. Po od aretování váh byly zadány parametry obvodu spodního okraje destičky to okna experimental setup a bylo spuštěno měření. Část exportovaného záznamu hodnot měření je uveden níže (tab. 3.4.6-1).

Tabulka 3.4.6-1: Záznam z měření oxidu zinečnatého.

701102 pas 1					
No.	Time [s]	Position [mm]	Force [mN]	Mass [g]	Temperature [°C]
1	0,24	0	-0,201	-0,0205	23,1
2	5,1	0,3	-0,3834	-0,0391	23,1
3	11,62	0,59	-0,7002	-0,0714	23,1
4	18,13	0,89	-0,9934	-0,1013	23,1
5	24,4	1,18	-1,2543	-0,1279	23,1
6	30,68	1,48	-1,4886	-0,1518	23,1
7	37,69	1,78	-1,6779	-0,1711	23,1
8	43,95	2,07	-1,7701	-0,1805	23,1
9	49,73	2,37	-1,8554	-0,1892	23,1
10	56,26	2,66	-1,9388	-0,1977	23,1
11	63,04	2,96	-1,9966	-0,2036	23,1
12	69,32	3,26	-1,8564	-0,1893	23,1
13	75,59	3,55	-1,9319	-0,197	23,1
14	81,88	3,85	-1,9907	-0,203	23,1
15	88,64	4,14	-2,0417	-0,2082	23,1
16	95,41	4,44	-2,0476	-0,2088	23,1
17	101,18	4,74	-2,0898	-0,2131	23,1
18	108,21	5,03	-2,1202	-0,2162	23,1
19	111,21	5,03	-2,1231	-0,2165	23,1
20	115,36	4,74	-1,9966	-0,2036	23,1
21	121,91	4,44	-1,7426	-0,1777	23,1
22	128,23	4,14	-1,4739	-0,1503	23,1
23	134,55	3,85	-1,1788	-0,1202	23,1
24	141,06	3,55	-0,8708	-0,0888	23,1
25	147,57	3,26	-0,5688	-0,058	23,1
26	153,58	2,96	-0,2667	-0,0272	23,1
27	160,09	2,66	0,0481	0,0049	23,1
28	166,6	2,37	0,3589	0,0366	23,1
29	172,61	2,07	0,6247	0,0637	23,1
30	179,37	1,78	0,9091	0,0927	23,1
31	185,64	1,48	1,1464	0,1169	23,1
32	191,89	1,18	1,3631	0,139	23,1
33	198,19	0,89	1,5583	0,1589	23,1

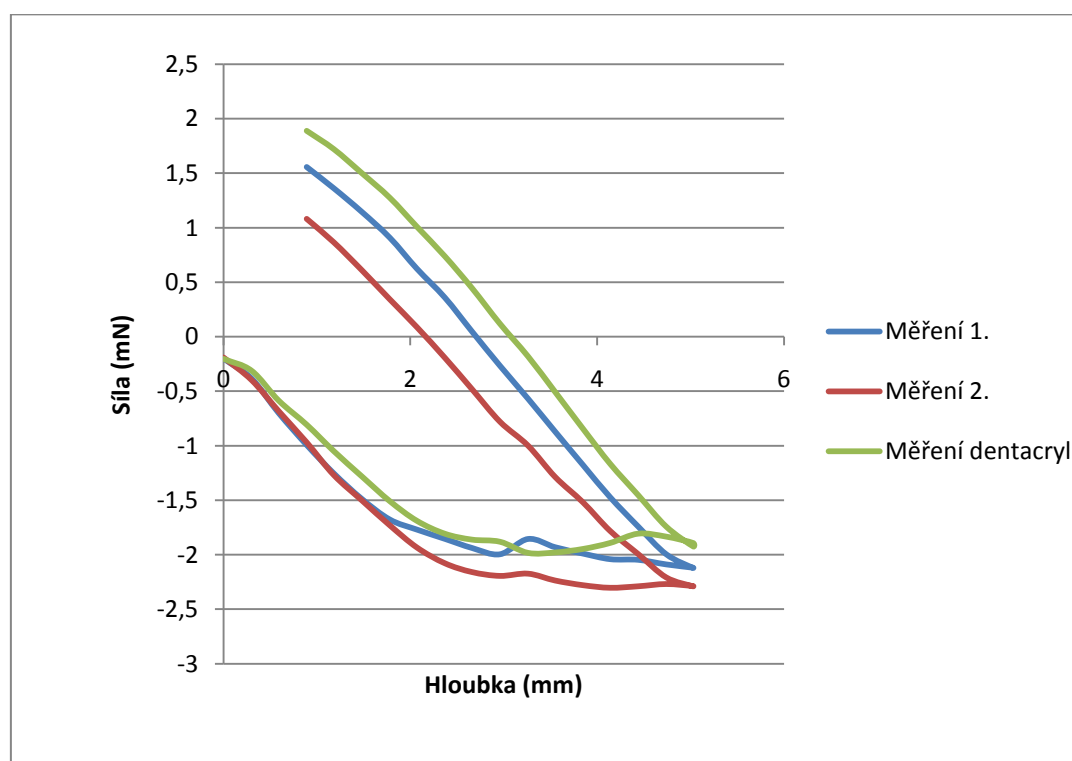
Takto byly provedeny celkem tři měření, dvě s oboustrannou páskou a jedno s dentakrylem jako lepicí vrstvou. Hodnoty uvedené v tabulce 3.4.6-2 byly získány vyhodnocením lineární křivky grafického záznamu měření.

Tabulka 3.4.6-2: vypočtené hodnoty z grafického záznamu.

070110/2			
měření	Úprava	Advancing	Receding
1.	Páska	129,1 deg	23,7 deg
2.	Páska	127,9 deg	48,3 deg
3.	Dentakryl	102,9 deg	0,0 deg

Průběh měření byl, kromě záznamu číselných hodnot, zaznamenáván také graficky. Záznam všech tří měření je zobrazen v grafu 3.4.6-1. Na tomto grafu je vidět relativně dobrá reprodukovatelnost měření jak s oboustrannou páskou, tak i s destičkou, na kterou byl vzorek připevněn pomocí dentakrylu.

Graf 3.4.6-1: graf závislosti síly působící na destičku a na hloubce ponoru destičky se vzorkem 070110/2.



3.4.7 Stanovení povrchové energie

Upravením vztahu (51) z kapitoly 2.5.3 Stavová rovnice pro výpočet smáčení pevných látek tak, aby na pravé straně rovnice zůstala pouze povrchová energie, je možno spočítat velikost povrchové energie pro jednotlivé látky pomocí naměřených kontaktních úhlů.

$$\gamma_s = \frac{(1 + (\cos \theta) + \gamma_l)^2}{4} \cdot \gamma_l$$

Následující tabulka (3.4.7-1) shrnuje kontaktní úhly všech měření. Ty byly zprůměrovány a z nich vypočtena hodnota povrchové energie v mJ/m^2 podle předchozího vztahu.

Tabulka 3.4.7–1: výsledné hodnoty kontaktních úhlů a povrchové energie.

Oxid hlinitý					
měření	Úprava	Advancing	Průměr	Energie (mJ/m^2)	Energie průměru (mJ/m^2)
1.	Páska	85,8	81,95	23,904	26,772
2.	Páska	78,1		29,773	
3.	Dentakryl	43,6	43,6	58,77	
Oxid zinečnatý					
měření	Úprava	Advancing	Průměr	Energie (mJ/m^2)	Energie průměru (mJ/m^2)
1.	Páska	93,9	94,3	18,375	18,121
2.	Páska	94,7		17,869	
3.	Dentakryl	Nezjištěn	Nezjištěn	Nezjištěna	
Oxid titaničitý					
	Úprava	Advancing	Průměr	Energie (mJ/m^2)	Energie průměru (mJ/m^2)
1	Páska	81,3	81,75	27,270	26,924
2	Páska	82,2		26,581	
3	Dentakryl	Nezjištěn	Nezjištěn	Nezjištěna	
Silikagel					
měření	Úprava	Advancing	Průměr	Energie (mJ/m^2)	Energie průměru (mJ/m^2)
1.	Páska	84,6	84,55	24,782	24,819
2.	Páska	84,5		24,856	
3.	Dentakryl	36,7	31,6 0	63,955	
070110/1					
měření	Úprava	Advancing	Průměr	Energie (mJ/m^2)	Energie průměru (mJ/m^2)
1.	Páska	125,1	136,15	4,510	2,250
2.	Páska	147,2		0,982	
3.	Dentakryl	33,8	33,8	65,964	
070110/2					
měření	Úprava	Advancing	Průměr	Energie (mJ/m^2)	Energie průměru (mJ/m^2)
1.	Páska	129,1	128,5	3,558	3,690
2.	Páska	127,9		3,826	
3.	Dentakryl	102,9	102,9	13,136	

3.5 Srovnání naměřených hodnot

V následující tabulce (3.5-1) jsou shrnuty průměrné hodnoty jednotlivých vzorků. Už na první pohled je vidět, že data poskytnutá metodou sedící kapky, budou o něco blíže skutečným hodnotám než hodnoty poskytnuté metodou vyvažování Wilhelmyho destičky. Hodnoty získané prostřednictvím vyvažování destičky svou číselnou hodnotou naznačují, že by u všech vzorků měl být buď částečně, nebo úplně hydrofobní povrch, což neodpovídá prostým vizuálním pozorováním a dokonce ani zaznamenaným měřením z metody sedící kapky. Shoda u obou metod se projevuje pouze v rámci hodnot oxidu hlinitého měřeného na

sedící kapce a Wilhelmyho destičky, kde byl pigment přichycen dentakrylem a kde je hodnota kontaktního úhlu okolo 43° . Zbylá data získaná měřením Wilhelmyho destičky jsou zatížena chybou, jež může mít mnoho příčin, například adheze nečistot, špatné nanesení vzorků na destičku, vysoká hystereze apod. Na základě všech těchto podmínek se jeví metoda naklánějící se destičky jako důvěryhodnější.

Tabulka 3.5-1: Srovnání výsledných hodnot kontaktních úhlů z obou měření

Srovnání hodnot naměřených kontaktních úhlů ($^\circ$)			
Vzorek	Metoda sedící kapky	Wilhelmyho metoda	
		Lepicí páska	Dentakryl
Oxid hlinitý	43,38	81,95	43,6
Oxid zinečnatý	61,91	94,3	Nezjištěn
Oxid titaničitý	22,86	81,75	Nezjištěn
Silikagel	12,81	84,55	31,6
070110/1	78,42	136,15	33,8
070110/2	32,77	128,5	102,9

4 Závěr:

Cílem této bakalářské práce bylo porovnat vhodnost vybraných metod pro měření smáčivosti práškových materiálů se zaměřením na anorganické pigmenty na bázi oxidů kovů. Jako první byla zvolena goniometrická metoda měření sedící kapky na přístroji CAM 200 ve vlastnictví společnosti Precheza a.s. v Přerově, pomocí které se stanovila vhodná hodnota kontaktního úhlu prostřednictvím regresních přímek proložených křivkou zaznamenaných kontaktních úhlů během nasakování kapaliny do lisované tablety vzorku. Podobně se postupovalo i u druhé metody, tedy metody vyvažování Wilhelmyho destičky, kde se využilo postupného kontaktního úhlu získaného výpočtem z části křivky dané závislostí vynaložené síly na ponoru destičky s nalepeným vzorkem. Ze získaných dat kontaktních úhlů potom byly spočítány hodnoty povrchové energie, z čehož bylo možno stanovit, který materiál je smáčen vodou nejlépe a který naopak nejhůře. Ze zpracovaných dat se jeví metoda sedící kapky, měřené na přístroji CAM 200, jako důvěryhodnější, jelikož výsledky získané prostřednictvím vyvažování Wilhelmyho destičky neodpovídaly teoretickému předpokladu měřených vzorků tolik jako u metody první. Nejlépe, vodou, smáčeným oxidem je silikagel s kontaktním úhlem $12,81^\circ$ naopak vzorek s označením 070110/1 vykazuje s hodnotou kontaktního úhlu $78,42^\circ$ nejmenší smáčivost.

5 Použitá literatura

Bartovská L., Šišková M.: *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha 2005.

...

BARTOVSKÁ, Lída; ŠIŠKOVÁ, Marie . *Vydavatelstvi.vscht.cz* [online]. 1.0. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2010-05-13]. Co je co v povrchové a koloidní chemii. Dostupné z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mezimolekularni_interakce.html>.

BOJKOVSKÝ, Martin . *Termodynamika : Vodíková vazba* [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Fikus.omsk.cz. Dostupné z WWW: http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://fikus.omsk.cz/~bojkovsm/termodynamika/Obrazky/vodikova_vazba_obrazky/vodikova_vazba_2.jpg&imgrefurl=http://fikus.omsk.cz/~bojkovsm/termodynamika/vodikova_vazba.html&usq=AsVk9-pGFq1flbcgLddx_aB6GEc=&h=517&w=553&sz=60&hl=cs&start=14&um=1&itbs=1&tbnid=BUlj3qYOCfeIZM:&tbnh=124&tbnw=133&prev=/images%3Fq%3Dvod%25C3%25ADkov%25C3%25A1%2Bvazba%26um%3D1%26hl%3Dcs%26sa%3DN%26tbs%3Disch:1.

...

BUCKTON, Graham ; DARCY, Patricia ; MCCARTHY, David . The extent of errors associated with contact angles : The influence of surface roughness effects on angles measured using a Wilhelmy plate technique for powders. *Colloids and Surfaces : Physicochemical and Engineering Aspects* [online]. 20 April 1994, 3, [cit. 2010-05-13]. Dostupný z WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TFR-4037XFB-1B&_user=10&_coverDate=02%2F10%2F1995&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1333792559&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=08637b0b037b2c3d11237ddc6cb19741>.

...

CHIBOWSKI, Emil ; HOLYSZ, Lucyna . Use of the Washburn equation for surface free energy determination. *Langmuir* [online]. 1992, 8, [cit. 2010-05-13]. Dostupný z WWW: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la00038a066>>.

...

DOLEŽAL, Petr . *Měření povrchové energie práškových materiálů* [online]. [s.l.], 2008. v, 61 s. Bakalářská práce. Univerzita Palackého, PŘF,KFC .

...

EBNESAJJAD, Sina ; EBNESAJJAD, Cyrus . *Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding* . Norwich, NY : William Andrew Publishing, 2006. 260 s. ISBN 0-8155-1523-5.

...

Kvítek L., Pikal P., Kovaříková L., Hrbáč J.: *Studium smáčivosti práškových anorganických pigmentů na základě měření hodnot dynamického kontaktního úhlu Wilhelmyho metodou* Acta Univ. Palacki. Olomuc. **41**, (2002).

...

K. Rektorys a kol.: *Přehled užití matematiky*, 6. vydání. Prométheus, Praha 1995.

6 Citovaná literatura

1. Bartovská L., Šišková M.: *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha 2005. **12-58**
2. DOLEŽAL, Petr . *Měření povrchové energie práškových materiálů* [online]. [s.l.], 2008. v, 61 s. Bakalářská práce. Univerzita Palackého, PŘF,KFC . **31-33**
3. EBNEAJJAD, Sina ; EBNEAJJAD, Cyrus. *Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding* . Norwich, NY : William Andrew Publishing, 2006. 260 s. ISBN 0-8155-1523-5. **9-33**
4. Kvítek L., Pikal P., Kovaříková L., Hrbáč J.: *Studium smáčivosti práškových anorganických pigmentů na základě měření hodnot dynamického kontaktního úhlu Wilhelmyho metodou* Acta Univ. Palacki. Olomuc. **41**, (2002). Str. **3**. Obr. **2**.
5. BARTOVSKÁ Lída ; ŠIŠKOVÁ, Marie . *Vydavatelstvi.vscht.cz* [online]. 1.0. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze : Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2010-05-13]. Co je co v povrchové a koloidní chemii. Dostupné z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mezimolekularni_interakce.html>.
6. BOJKOVSKÝ, Martin . *Termodynamika : Vodíková vazba* [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Fikus.omska.cz. Dostupné z WWW: http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://fikus.omska.cz/~bojkovsm/termodynamika/Obrazky/vodikova_vazba_obrazky/vodikova_vazba_2.jpg&imgrefurl=http://fikus.omska.cz/~bojkovsm/termodynamika/vodikova_vazba.html&usq=__AsVk9-pGFq1flbcgLddx_aB6GEc=&h=517&w=553&sz=60&hl=cs&start=14&um=1&itbs=1&tbnid=BUij3qYOCfeIZM:&tbnh=124&tbnw=133&prev=/images%3Fq%3Dvod%25C3%25ADkov%25C3%25A1%2Bvazba%26um%3D1%26hl%3Dcs%26sa%3DN%26tbs%3Disch:1.
7. BUCKTON, Graham ; DARCY, Patricia ; MCCARTHY, David . The extent of errors associated with contact angles : The influence of surface roughness effects on angles measured using a Wilhelmy plate technique for powders. *Colloids and Surfaces : Physicochemical and Engineering Aspects* [online]. 20 April 1994, 3, [cit. 2010-05-13]. Dostupný z WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TFR-4037XFB-1B&_user=10&_coverDate=02%2F10%2F1995&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1333792559&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=08637b0b037b2c3d11237ddc6cb19741>.
8. CHIBOWSKI, Emil ; HOLYSZ, Lucyna . Use of the Washburn equation for surface free energy determination. *Langmuir* [online]. 1992, 8, [cit. 2010-05-13]. Dostupný z WWW: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la00038a066>>. **1**.

