

Měření kontaktního úhlu u malých kapek pomocí skenovacího mikroskopu

Bc. Milan Jančík

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Milan JANČÍK, DiS.**
Osobní číslo: **A08512**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Měření kontaktního úhlu u malých kapek pomocí
skenovacího mikroskopu.**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte doporučenou literaturu a další informační zdroje a vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Navrhněte a z dostupných prostředků sestavte měřicí pracoviště.
3. Provedte ověření skenovacího mechanismu na různých povrchových strukturách s využitím měření elektrického odporu.
4. Provedte měření úhlu smáčení u vybraných kapalin a povrchů.
5. Navrhněte další využití výsledků práce.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. SEDLÁČEK, M.: Zpracování signálů v měřicí technice. Dotisk 2. vyd. – Praha : ČVUT, 1999
2. REGTIEN P. P. L.: Measurement science for engineers, London and Sterling, VA, 2004
3. TUMANSKI, S.: Principles of Electrical Measurement, ISBN 0750310383, Taylor & Francis, 2006
4. FRADEN, J.: Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, 2nd ed. New York, Springer Verlag, 1996
5. HLADNI, I.: Inside Delphi 2006, ISBN 1598220039, Wordware publishing, 2006
6. PHYSIK INSTRUMENTE, User manual, dostupný z [http://www.pi-portal.ws/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=284&Itemid=261]
7. WITTE A., W.: Electronic test instruments -- theory and application, Hewlett-Packard Company, 1993
8. DIETMEIER U.: Vzorce pro elektroniku, BEN 2007
9. ČECHMÁNEK M.: Zjišťování vybraných povrchových struktur pomocí skenovacího mechanismu a měření kontaktního potenciálu, jejich aplikace v bezpečnostním průmyslu, Diplomová práce, UTB Zlín, 2008
10. KUBÍNEK, R.; VÚJTEK, M.; MAŠLÁŇ, M.: Mikroskopie skenující sondou, VUP 2003

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

7. června 2010

Ve Zlíně dne 19. února 2010


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Předložená diplomová práce se zabývá měřením kontaktního úhlu velmi malých kapek pomocí skenovacího mechanismu. Teoretická část popisuje problematiku mechaniky kapalin a metody měření kontaktního úhlu kapalin. Experimentální část práce obsahuje návrh měřicího systému a jsou zde popsána jednotlivá měření včetně jejich vyhodnocení.

Klíčová slova: kontaktní úhel, skenovací mechanismus, měření

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the contact angle measurement of small droplets using scanning mechanism. Theoretical part describes problems of liquid mechanics and methods suitable for contact angle measurement of liquids. Experimental part of the work contains measuring system design and individual measurement as well as their interpretation.

Keywords: contact angle, scanning mechanism, measurement

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velmi rád chtěl poděkovat především Ing. Milanu Navrátilovi Ph.D. za přístup, ochotu, inspiraci, cenné rady a hlavně obětavost, kterou po celou dobu zpracování této práce měl. Dále pak bych rád poděkoval doc. RNDr. Voljtěchu Křesálkovi, CSc. za pomoc vyřešení problémů, které se během práce vyskytly.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PRINCIPY A METODY MĚŘENÍ	11
1.1 MĚŘENÍ	11
1.1.1 Co je měření	11
1.1.2 Princip měření	11
1.2 PODMÍNKY MĚŘENÍ	11
1.2.1 Referenční podmínky	11
1.2.2 Pracovní podmínky	11
1.3 CHARAKTERISTIKY MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ	12
1.4 ROZDĚLENÍ MĚŘICÍCH METOD	13
1.4.1 Podle fyzikálního principu na:	13
1.4.2 Podle způsobu zjišťování měřené veličiny	13
2 INTERAKCE KAPALINY A PEVNÉ LATKY	15
2.1 KAPALINA	15
2.2 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ	16
2.3 KONTAKTNÍ ÚHEL	17
2.4 PRINCIPY MĚŘENÍ KONTAKTNÍHO ÚHLU NA HLADKÝCH ROVINNÝCH POVRŠÍCH	19
2.4.1 Přímá metoda	19
2.4.1.1 Měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce	19
2.4.1.2 Měření kontaktního úhlu na přisedlé kapce nebo na přilínající bublině 20	
2.4.2 Nepřímá metoda	21
2.4.2.1 Stanovení kontaktního úhlu na drsných rovinných površích	21
2.4.2.2 Stanovení kontaktního úhlu z rozměrů kapky	22
2.4.3 Výsledky měření kontaktního úhlu mohou být ovlivněny	23
2.5 ELEKTRICKÝ ODPOR	24
2.5.1 Elektrický odpor	24
2.5.2 Ohmův zákon	24
2.5.3 Měření odporu	25
2.5.3.1 Způsoby měření odporu	25
2.5.3.2 Metody měření odporů	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
3 PRAKTICKÁ ČÁST	31
3.1 BLOKOVÉ SCHÉMA MĚŘICÍHO PRACOVÍŠTĚ	31
3.2 SEZNAM POUŽITÝCH PŘÍSTROJŮ	32
3.2.1 Agilent 34401A	32
3.2.1.1 Přední panel přístroje	33
3.2.1.2 Signalizační displej	34

3.2.2	Mikroposuv M-110. 1DG.....	35
3.2.3	Mercury C-862	36
3.2.4	PC - Personal computer.....	37
3.2.5	Komunikační rozhraní.....	38
3.2.5.1	RS 232.....	38
3.2.5.2	GPIB	38
3.2.6	Mikropipeta.....	39
3.2.7	Mikroskop Olympus SZX 7 a fotoaparát Olympus C5060WZ.....	39
3.3	POUŽITÝ SOFTWARE	40
3.3.1	PI Merkury	40
3.4	POSUVY.....	41
4	VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	42
4.1	OVĚŘENÍ ROZLIŠOVACÍ SCHOPNOSTI MIKROPOSUVU	42
4.2	OVĚŘENÍ SNÍMACÍ METODY	43
4.3	VÝBĚR MĚŘICÍHO HROTU	50
4.4	PROBLÉM ODPAŘOVÁNÍ KAPALINY	53
4.5	MĚŘENÍ KONTAKTNÍHO ÚHLU	56
	ZÁVĚR.....	63
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	65
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM TABULEK.....	71
	SEZNAM PŘÍLOH.....	72

ÚVOD

Měření kontaktního úhlu je velmi citlivá metoda charakterizující povrch pevných materiálů.

Na základě měření kontaktního úhlu lze stanovit volnou povrchovou energii pevných materiálů a je možné získat informace i o tom, jak se bude povrch materiálu chovat např. po nanesení tenké vrstvy jiného typu materiálu. Tato metoda poskytuje informace o charakteru povrchové vrstvy materiálu, které jsou důležité v různých vědeckých oborech. Metoda měření kontaktního úhlu a následné stanovení volné povrchové energie je i průmyslově shodná metoda pro svou rychlost, finanční nenáročnost, vysokou přesnost a citlivost. Kontaktní úhle lze změřit různými způsoby závisujícími na přístrojovém vybavení, požadované rychlosti a přesnosti měření. Dříve se měření prováděla pomocí jednoduché optiky. Dnes se využívá měření za použití metody snímání kapky pomocí CCD kamery a spolu se softwarovým vyhodnocením se pak stanovuje výsledná hodnota.

V této diplomové práci se budu zabývat experimentálním měřením kontaktního úhlu za pomoci skenovacího mikroskopu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PRINCIPY A METODY MĚŘENÍ

1.1 Měření

1.1.1 Co je měření

Je to soubor činností spojených s určením hodnoty dané veličiny. Určením hodnoty dané veličiny se rozumí charakteristika dané veličiny pomocí čísla. Toto přiřazení číselné hodnoty se provádí pomocí měřicího zařízení, jehož konstrukce je založena na zvoleném principu měření. [6]

1.1.2 Princip měření

Je souhrn fyzikálních jevů, na kterých je měření založeno. Z principu měření je odvozena metoda měření. Konkrétní realizaci dané metody měření popisuje postup měření. Číselnou hodnotou dané veličiny je tzv. konvenčně pravá hodnota, která je přisuzována dané veličině a přijatá, někdy konvencí, jako hodnota jejíž nejistota je vyhovující pro daný účel.[6]

1.2 Podmínky měření

1.2.1 Referenční podmínky

jsou předepsány pro funkční přezkoušení přístroje, kalibraci a cejchování nebo pro zajištění vzájemné srovnatelnosti výsledků měření.

1.2.2 Pracovní podmínky

jsou předepsány pro použití daného měřicího zařízení a jejich dodržení zaručuje, že specifikované metrologické charakteristiky použitého měřicího zařízení se nacházejí v rozsahu daných mezních hodnot. Měřicí zařízení představují všechna měřidla, etalony, referenční materiály, příslušenství a instrukce, které jsou nutné pro realizaci měření. [6]

1.3 Charakteristiky měřicího zařízení

Rozsah měřicího zařízení – je určen rozdílem maximální a minimální hodnoty měřené veličiny, který může měřicí zařízení indikovat.

Rozlišitelnost měřicího zařízení – je nejmenší indikace zobrazovacího zařízení měřicího přístroje, která může být prokazatelně rozlišena.

Citlivost měřicího zařízení – je nejmenší změna měřené veličiny, která je měřicím zařízením indikována. Závisí na rozlišitelnosti daného měřicího zařízení.

Třída přesnosti měřicího zařízení – je minimální nejistota měřicího zařízení garantovaná výrobcem měřicího zařízení při dodržení pracovních podmínek.

Linearita měřicího zařízení – je určena změnou v rámci měřicího rozsahu. Pokud to dovoluje princip měření, je snahou výrobců měřicího zařízení udržet rozlišitelnost v celém rozsahu konstantní.

Stálost měřicího zařízení – je schopnost měřicího zařízení zachovávat své metrologické charakteristiky.

Doba odezvy měřicího zařízení – je nejkratší časový interval, po jehož uplynutí je měřicí zařízení schopno provést opakované měření měřené veličiny.

S měřicím zařízením souvisí pojem **kalibrace(nastavení)** a **cejchování(kontrola)**. Jsou to měření prováděná na předepsaných vzorcích (etalonech) za referenčních podmínek. [6]

Etalon je vzorek, u kterého je známa hodnota měřené veličiny včetně hodnot nejistoty. Tato měření slouží ke kontrole nebo seřízení měřicího zařízení tak, aby hodnoty změřené kontrolovaným měřicím zařízením byly ve shodě s hodnotami etalonu s předepsanou nejistotou. V případě, že kontrolované měřicí zařízení je ve shodě a kontrolu provedl akreditovaný orgán, opatří měřicí zařízení *cejchem* - úřední značkou o shodě. U vybraných měřicích zařízeních je interval těchto kontrol, nejistota s kterou je nutno tuto kontrolu provádět a orgán, který tuto kontrolu provádí předepsána zákonem.

Pro některé metody měření jsou používány při kalibraci jako etalony *referenční materiály*. Jsou to vzorky materiálů o předepsaném složení, technologii přípravy a vlastnostech. [6]

V případě, že měření je součástí *kontroly jakosti* procesu, musí nejistota měření použitého měřicího zařízení vyhovovat předepsaným *mezím tolerance*, což jsou meze měřené veličiny vyplývající z požadavků na jakost. *Validace* měřicího zařízení je ověření zda navrhované zařízení je způsobilé pro kontrolu jakosti daného procesu.[6]

1.4 Rozdělení měřících metod

1.4.1 Podle fyzikálního principu na:

- mechanické
- elektrické
- elektromagnetické
- optické
- akustické
- časové

1.4.2 Podle způsobu zjišťování měřené veličiny

- **přímé**, kdy je měření hodnoty sledované veličiny založeno na definici měřené veličiny,
- **nepřímé**, kdy je hodnota sledované veličiny zjišťována nepřímo (výpočtem, pomocí převodních nomogramů, grafů nebo tabulek) pomocí přímo změřených hodnot pomocných veličin.
- **absolutní**, kdy je zjišťována prostá hodnota měřené veličiny v příslušných jednotkách, aniž potřebujeme znát její hodnotu v některém zvláštním případě (např. pro některou látku nebo těleso, resp. v určitém místě). Absolutní metody jsou obecně pracnější, časově náročnější a finančně dražší.
- **relativní**, kdy je zjišťována pouze změna měřené veličiny vůči zvolené referenční hodnotě. Tyto metody jsou obecně časově méně náročné, vykazují

proti absolutním metodám menší nejistotu výsledku a jsou finančně méně náročné.[6]

- **kontaktní**, kdy je měřicí zařízení v přímém kontaktu s měřeným objektem.
- **nekontaktní**, kdy je hodnota měřené veličiny zjišťována bez přímého kontaktu měřicího zařízení s měřeným objektem.
- **komparační**, kdy je hodnota měřené veličiny srovnávána s řadou různých známých hodnot veličiny téhož druhu. Hledáme hodnotu, při které se stav měřicího zařízení co nejméně liší od stavu indikovaného při měření sledované veličiny. Tato metoda poskytuje dostatečně přesný výsledek pouze v případě, že řada známých hodnot dané veličiny je dostatečně „hustá.“ Obyčejně se volí dekadická soustava, v níž se některé hodnoty opakují, např.: 1, 1, 1, 2, 5, 10, 10, 20, 50, 100, ...
- **kompensační**, je variací metody komparační. Tuto metodu je možné použít pouze u veličin, které mohou nabývat kladné i záporné hodnoty. Metoda je založena na kompenzaci hodnoty měřené veličiny hodnotou opačného znaménka veličiny téhož druhu. Tato metoda má dvě varianty – při první, tzv. **nulovací**, provedeme nejprve „úplnou“ kompenzaci, tj. vynulujeme rozdíl hodnot měřené a kompenzační veličiny. Hodnota kompenzační veličiny potom udává hodnotu měřené veličiny. Druhá varianta předpokládá plynulou změnu kompenzační veličiny. Při měření dochází k plynulé změně hodnoty kompenzační veličiny až do okamžiku dosažení kompenzace veličiny měřené, kdy se měřicí zařízení ustaví do rovnovážného stavu. Hodnota měřené veličiny je potom rovna hodnotě kompenzační veličiny.
- **omezovací**, je vhodná pro měření periodických dějů. Tato metoda umožňuje realizaci měření s libovolně malou relativní chybou měření. Pro její použití je nutná znalost nejistoty měření pro jednu periodu. [6]

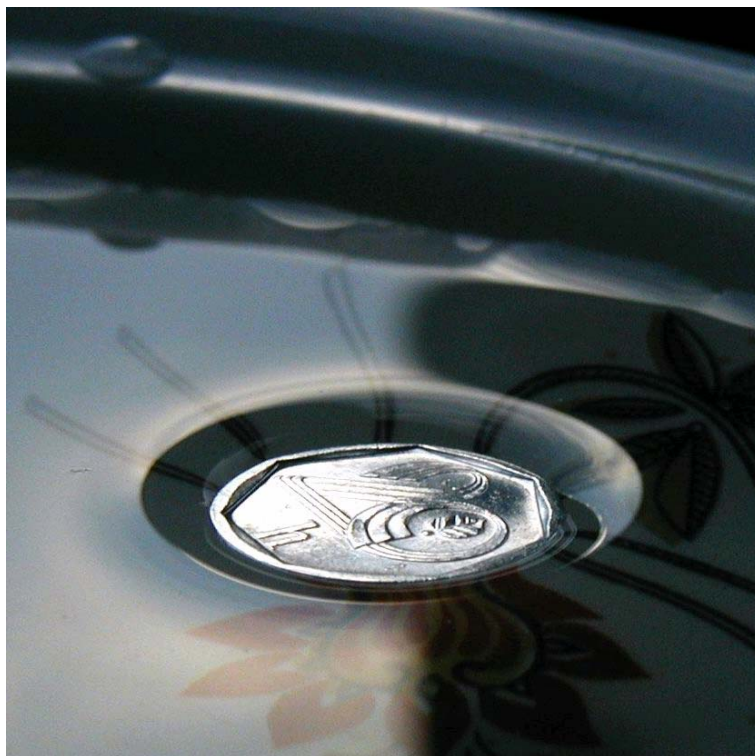
2 INTERAKCE KAPALINY A PEVNÉ LATKY

2.1 Kapalina

Je to látka, která má strukturu podobou struktury amorfních látek. Pohyb kapaliny je děj skládající se z molekul, které konají tepelný pohyb. Molekuly kapaliny neustále kmitají s frekvencí 10^{12} Hz a působí na sebe přitažlivými silami, které mají vliv na vlastnosti kapalin. Volný nijak nezatížený povrch kapaliny se chová stejně jako tenká pružná blána.

Každá molekula ležící v povrchové vrstvě kapaliny působí na sousedící molekuly přitažlivou silou, která směřuje dovnitř kapaliny a je kolmá na volný povrch. Tedy v povrchové vrstvě se vytváří určitá povrchová energie. Je to hlavní určující faktor popisující její vlastnosti.

Povrchová energie je jednou ze složek vnitřní energie kapaliny. Povrchová energie je číselně i rozměrově rovna povrchovému napětí.[1][6]



Obr. č. 1: Ukázka povrchové energie

Každá kapalina má tendenci nabývat takového tvaru, aby obsah jejího povrchu byl co nejmenší a tím i byla minimální povrchová energie. Při daném objemu má nejmenší obsah povrchu koule, proto se vytváří kapky (deformace účinkem tíhové síly).

2.2 Povrchové napětí

Každá látka je ohraničena určitým rozhraním – další látkou. Na tomto styku – rozhraní působí mezimolekulové síly obou prostředí. Například povrchové napětí kapaliny chápeme jako mezipovrchové napětí mezi kapalinou a vzduchem (párou). Toto napětí působí ve směru tečny k povrchu na úsečku jednotkové délky. Tato veličina jednoznačně definovaná, dobře měřitelná. Rozměr této veličiny je označován symbolem γ , popř. σ , je síla/délka – v SI soustavě N m^{-1} ; častěji se používá jednotky tisíckrát menší, mN m^{-1} .

Povrchové napětí vody v rozmezí teplot 0 až 30°C byl lineární regresí dat ze stejného zdroje odvozen interpolační vztah (t je teplota ve $^\circ\text{C}$) [1][6]

$$\gamma = 75,621 - 0,15 \cdot t - 1,0266 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 \quad (1)$$



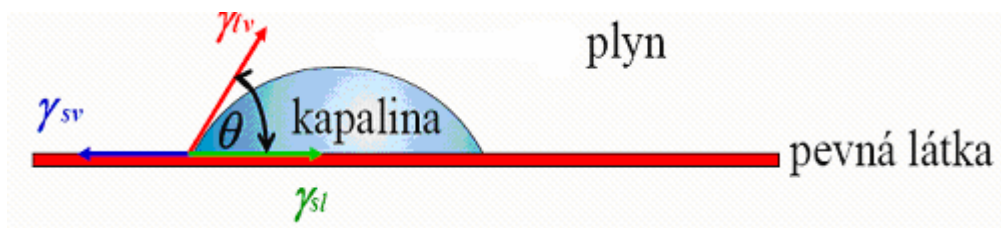
Obr. č. 2: Povrchové napětí na hladině vody

2.3 Kontaktní úhel

Je to jeden z mála přímo měřitelných vlastností na rozhraní pevná látka/kapalina/plyn. Kontaktní úhel vzniká při interakci kapalin s pevnými látkami. Je-li zařízení v klidu, vzniká statický kontaktní úhel, je-li v pohybu, vzniká dynamický. Stabilní rovnováha vzniká, je-li pevná látka homogenní, planární a nedeformovaná. Pak se formuje rovnovážný kontaktní úhel. Je-li pevná látka heterogenní, systém se může nacházet v metastabilních stavech a kontaktní úhel se pak nazývá metastabilní.

Může být stanoven *přímým goniometrickým měřením* nebo *nepřímými*, tenziometrickými metodami, popř. metodami založenými na geometrické analýze tvaru menisku.

Kontaktní úhel je úhel, který svírá tečna k povrchu kapky, vedená v bodě styku kapky s rozhraním - hlavní charakteristika tvaru kapky kapaliny umístěné na povrchu nerozpustné tuhé látky (obr. 3).[1]



Obr. č. 3 :Kontaktní úhel

$$\gamma_{sv} = \gamma_s - \pi_e$$

$$(2)$$

Vztah mezi kontaktním úhlem θ a jednotlivými mezifázovými energiemi je dán Youngovou rovnicí:

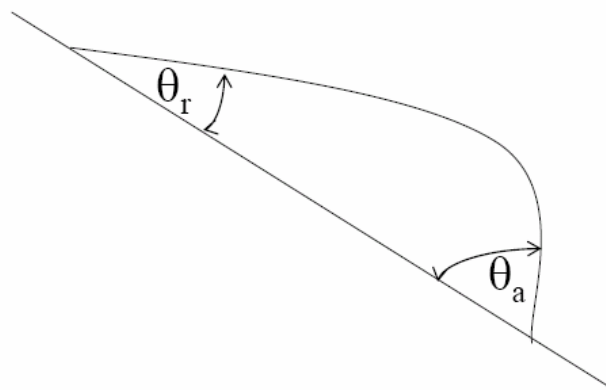
$$\gamma_l \cdot \cos \theta = \gamma_s - \gamma_{sl} \quad (3)$$

kde γ_l a γ_s jsou povrchové energie kapaliny, popř. tuhé látky, γ_{sl} - mezifázová energie tuhá látka-kapalina.

Metastabilní kontaktní úhel se mění s objemem kapky, s dodanou vnější mechanickou prací (např. vibrací) a podle způsobu jakým se formuje (klesající nebo stoupající kapalina).

θ_r ...klesající

θ_a ...stoupající



Obr. č. 4 : Metastabilní kontaktní úhel

V metastabilních stavech je θ_a větší než θ_r (viz obr. 4), v případě rovnovážných kontaktních úhlů jsou totožné.

Hystereze kontaktního úhlu

Reálné povrchy nejsou zcela hladké a jsou heterogenní. Kapalina může na těchto površích zaujmout stabilní rovnováhu (stav s minimální energií) nebo rovnováhu metastabilní.

Na ideálním hladkém homogenním povrchu je rovnovážný kontaktní úhel roven „Youngovu „ kontaktnímu úhlu (platí zde Youngova rovnice). Rovnovážný kontaktní úhel na reálném povrchu je roven „Wenzelovu“ kontaktnímu úhlu. V tomto případě systém často

přechází do metastabilních stavů a klesající a stoupající kontaktní úhly nejsou shodné - vzniká **HYSTEREZE**: $\theta_a - \theta_r$. [1]

2.4 Principy měření kontaktního úhlu na hladkých rovinných površích

Přesnost měření kontaktních úhlů je limitována pouze reprodukovatelností povrchu měřených vzorků, nikoliv experimentální technikou. Přístroje pro měření kontaktních úhlů dokáží měřit s přesností až na 1° . [1]

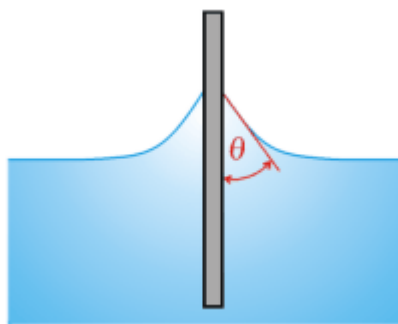
2.4.1 Přímá metoda

2.4.1.1 Měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce

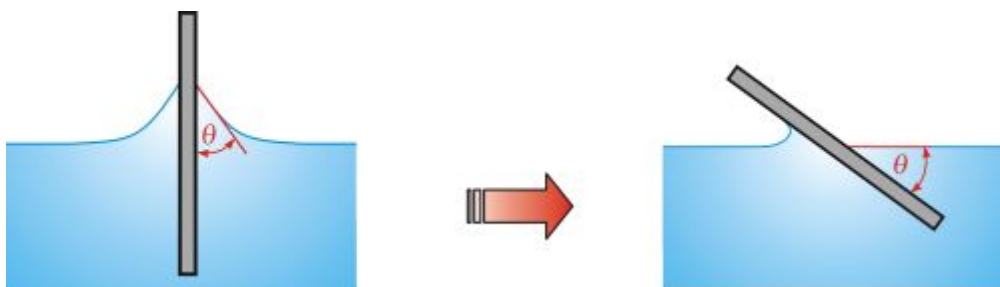
patří k historicky nejstarším a nejjednodušším metodám. Destička ze zkoumaného materiálu je vnořena do kapaliny a poté nakláněna tak dlouho, až je povrch kapaliny na jedné straně destičky rovný až k čáře styku mezi deskou a kapalinou. V tomto okamžiku svírá hladina kapaliny s rovinou destičky právě úhel θ . Při měření je důležité zajistit, aby povrchy měřené kapaliny i destičky byly dokonale čisté.

Metoda byla používána pro měření malých úhlů (menších než 10°).

Nevýhodou této metody je, že naměřená hodnota úhlu leží někde mezi hodnotami úhlu postupujícího a ustupujícího. [1]



Obr. č. 5 : Měření úhlu na nakloněné desce



Obr. č. 6 : Měření úhlu na nakloněné desce

2.4.1.2 Měření kontaktního úhlu na přisedlé kapce nebo na přilínající bublině

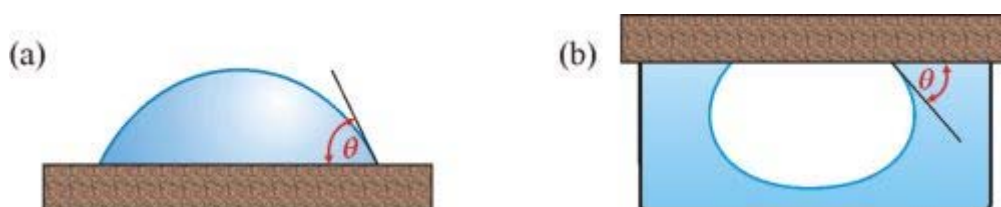
Využívá se kapek nebo vzduchových bublin aplikovaných na pevný povrch. Jsou známe také jako metody přisedlé kapky nebo bublinové metody. U těchto metod není potřeba znát povrchové napětí ani hustotu kapalin.

Tangentová metoda

Metoda využívající přímé stanovení úhlu z profilu kapek a bublin umístěných na pevné látce. Kontaktní úhel je určen mezi tangentou k profilu v bodu kontaktu s pevnou látkou.

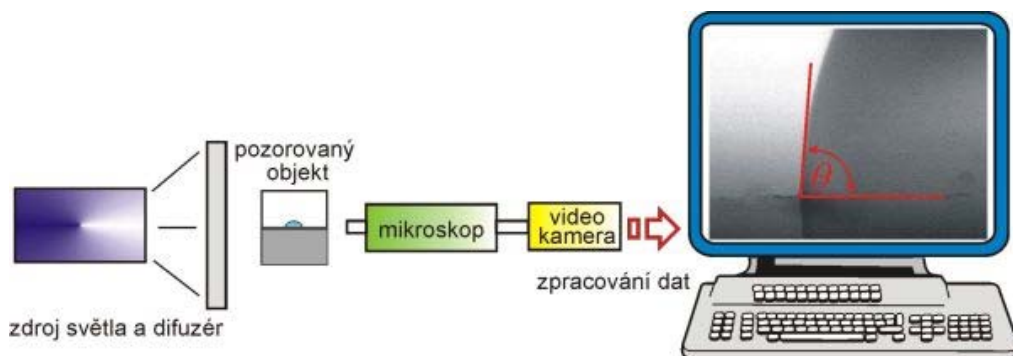
Toho lze docílit projekcí obrázku profilu kapky, resp. bubliny. Vhodné jsou komerční přístroje (firma Krüss). Přesnost měření je $\pm 2^\circ$. Nepřesnosti vznikají u úhlů menších než 10° nebo větších než 160° z důvodu komplikované lokace bodu kontaktu.

Přisedlá kapka (obr. 7a) nebo přilínající bublina k tuhé látce ponořené do kapaliny (obr. 7b) je pozorována mikroskopem vybaveným goniometrickým okulárem, což umožňuje přímo odečíst úhel nebo je úhel vyhodnocován z fotografie kapky. V obou případech však přesnost metody není vysoká a značně závisí na zkušenostech experimentátora[1][6]



Obr. č. 7 : Přisedlá kapka (a), přilínající bublina (b)

Při použití videokamery pro snímání obrazu kapky a počítače pro jeho digitalizaci a vyhodnocení (obr. 8) se přesnost zvyšuje a lze očekávat stanovení úhlu smáčení s přesností okolo 1°.



Obr. č. 8 : Snímání úhlu digitálním zařízením

2.4.2 Nepřímá metoda

je založeno na tenziometrických metodách (kapilární elevace na svislé destičce, vyvažování Wilhelmyho destičky) nebo na analýze profilu kapky (metoda ADSA).

2.4.2.1 Stanovení kontaktního úhlu na drsných rovinných površích

Na *drsných površích*, jako jsou např. biologické materiály, je měření kontaktních úhlů obtížné - nejen proto, že jejich hodnoty jsou malé, ale také proto, že povrchy jsou morfologicky i energeticky nestejnoroďé, což vede k vytvoření linie smáčení nepravidelného tvaru. Kontaktní úhly odečtené na takových kapkách nejsou spolehlivé.

Tyto problémy řeší *metoda analýzy profilu axisymetrické kapky na základě měření jejího průměru (ASDA-D)* - modifikace metody analýzy profilu kapky. Kapka, umístěná na drsný povrch, je pozorována shora mikroskopem, snímána videokamerou, obraz digitalizován

a vyhodnocen střední průměr kapky, který spolu se známým objemem kapky, povrchovým napětím kapaliny a rozdílem hustot kapaliny a okolní plynné nebo druhé kapalně fáze umožňuje vypočítat úhel smáčení. [1]

Mezi průměrem kapky D , jejím objemem V a úhlem smáčení byl odvozen vztah:

$$\frac{D^3}{V} = \frac{24 \sin^3 \theta}{\pi (2 - 3 \cos \theta + \cos^3 \theta)} \quad (4)$$

I když hodnoty úhlu smáčení naměřené na drsných površích není možno použít pro vyhodnocení povrchových energií tuhých látek, mohou poskytnout cenné informace o smáčivosti daného povrchu.

2.4.2.2 Stanovení kontaktního úhlu z rozměrů kapky

Kontaktní úhel je určen z měření rozměrů kapky kapaliny. Pro velmi malé kapky (0,0001 ml), je vliv gravitace zanedbatelný a kapka zaujímá tvar koule. V tomto případě je možné kontaktní úhel spočítat podle těchto vztahů:[1]

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{h}{r} \quad (5)$$

$$\sin \theta = \frac{2 h r}{h^2 + r^2}$$

h...výška kapky

(6)

r... poloměr kapky

Výška kapky je obvykle menší než její poloměr, a také obtížně měřitelná. V tomto případě lze pro kulovou kapku stanovit kontaktní úhel z jejího objemu a poloměru:

$$\frac{r^3}{V_0} = \frac{3 \sin^3 \theta}{\pi (2 - 3 \cos \theta + \cos^3 \theta)}$$

V_0 ...objem kapky

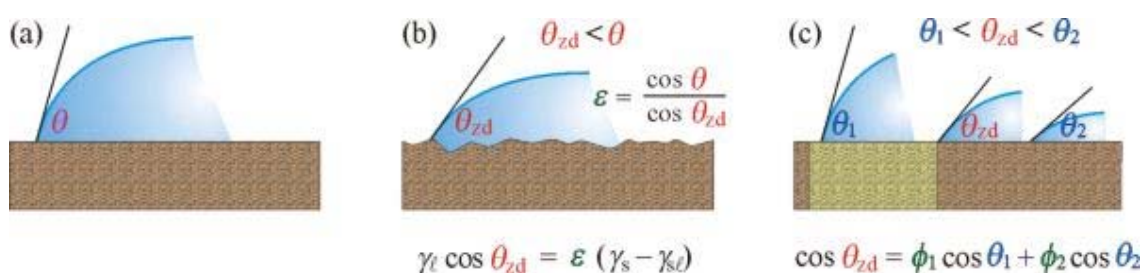
(7)

r . . . poloměr kapky

U větších kapek je jejich tvar deformován vlivem gravitace. Tvary takovýchto kapek popisuje rovnice Bashfortha a Adamse. Rovnice vznikla numerickou integrací. Pro výpočet kontaktních úhlů byly sestaveny tabulky a grafy pro různé geometrické tvary.

2.4.3 Výsledky měření kontaktního úhlu mohou být ovlivněny

- absorpcí látek přítomných v plynné fázi na povrchu tuhé látky, která vede ke snížení povrchové energie tuhé látky. Tento vliv se významně uplatňuje u tuhých látek o vysoké povrchové energii (např. sklo, křemen, kovy, kovové oxidy, anorganické soli), která se absorpcí snižuje.
- Různými ději, k nimž může docházet mezi tuhou látkou a kapalinou (chemická reakce, rozpouštění tuhé látky kapalinou, popř. bobtnání tuhé látky). Při těchto dějích se mění i pozorovaný úhel smáčení s časem.
- Hysterezi úhlu smáčení drsností a nehomogenitou povrchu, která se může vyskytovat i u pečlivě připravených reálných povrchů (každá rýha na povrchu může působit jako kapilára, v níž kapalina stoupá, je-li θ ostrý, nebo klesá, je-li θ tupý; drsný povrch je tedy obvykle lépe smáčen dobře smáčejičícími kapalinami než povrch hladký, zatímco u špatně smáčejičících kapalin je tomu naopak). Oba tyto vlivy se projevují ve velikosti kontaktního úhlu smáčení.[1][6]



Obr. č. 9 : Kontaktní úhel smáčejičící kapaliny

Na výše uvedených obrázcích je znázorněn kontaktní úhel dobře smáčejičící kapaliny obr(9a) na čistém hladkém povrchu, obr(9b) na drsném povrchu, obr(9c) na chemicky heterogenním povrchu (ϕ_1 , popř. ϕ_2 jsou podíly částí povrchu, které se liší chemickým složením, na nichž má uvažovaná kapalina úhel smáčení θ_1 , popř. θ_2)[1]

V případě, kdy je kontaktní úhel θ roven 0° , kapka je úplně roztáhnuta po povrchu. Pokud je θ v intervalu $0^\circ < \theta < 90^\circ$ nazýváme povrch smáčivý, u vody hydrofilní. Pokud je v intervalu $90^\circ < \theta < 180^\circ$ nazýváme povrch nesmáčivý, u vody hydrofobní.

Jestliže $\theta = 180^\circ$, je povrch úplně nesmáčivý. Lze to vysvětlit jako vzájemnou konkurenci sil sbalujících kapku $\gamma_{lv} + \gamma_{sl}$ a sil roztahujících kapku γ_{sv} .

Z energetického hlediska to můžeme chápat ne jenom jako součet sil působících na jednotku délky, ale jako součet energií v jednotce povrchu. Vychází se z obecného principu, že každá soustava se snaží dospět do stavu s co nejmenší energií.

Je-li $\gamma_{lv} \cos\theta < \gamma_{sv} - \gamma_{sl}$ nastává rozprostírání kapky a tedy snižování energie na jednotku povrchu. Obecně jsou povrchy s velkou povrchovou energií hydrofilní a povrchy s malou povrchovou energií hydrofobní. [1][5]

2.5 Elektrický odpor

2.5.1 Elektrický odpor

Elektrický odpor je základní vlastnost všech vodičů. Jednotkou odporu je ohm $[\Omega]$, součástka, jejíž základní vlastností je odpor, je rezistor.

Ohmův zákon vyjadřuje vztah mezi elektrickým odporem, napětím a proudem. Je pojmenován podle svého objevitele Georga Ohma. Zákon říká, pokud je teplota vodiče stálá, napětí na prvku je přímo úměrné procházejícímu proudu:

$$I = \frac{U}{R}, \text{ resp. } U = R \cdot I \quad (8)$$

Ohmova metoda měření odporu je založena na výpočtu ze změřeného napětí a proudu podle Ohmova zákona.

2.5.2 Ohmův zákon

Jedná se o jeden ze základních zákonů elektrotechniky. Popisuje vztah mezi napětím U na rezistoru s odporem R a elektrickým proudem I , který rezistorem protéká.

$$\text{Pro jednotlivé veličiny platí : } U = R \cdot I, I = \frac{U}{R}, R = \frac{U}{I} \quad (9)$$

Z předchozích vztahů je vidět:

- napětí na rezistoru je přímo úměrné proudu, který rezistorem protéká. Je-li tedy odpor R konstantní a proud I zvyšujeme např. dvakrát, vzroste napětí na rezistoru U na dvojnásobek.
- Velikost proudu I je přímo úměrná napětí U a nepřímo úměrná odporu R . Je-li napětí U stále a odpor R zvýšíme např. třikrát, klesne procházející proud I na třetinu.

V případě, že odpor R je konstantní a napětí U zvýšíme např. třikrát, vzroste procházející proud I na trojnásobek.

Protože platí $R = \frac{1}{G}$, můžeme Ohmův zákon vyjádřit pomocí vodivosti G :

$$G = \frac{I}{U} \quad (10)$$

2.5.3 Měření odporu

Elektrický odpor je základní vlastnost všech vodičů. Jednotkou odporu je ohm Ω , součástka, jejíž základní vlastností je odpor, je rezistor.

Odpor měříme nejčastěji pomocí multimetrů. Digitální multimetry často samy zvolí měřicí rozsah a určí jednotku, ve které je udán výsledek. V některých případech musíme měřicí rozsah volit. Přesnost měření bývá kolem 1%. Ručkové multimetry jsou vhodné pro orientační měření. Mívají nelineární stupnici, nejpřesněji měří, když je ručka uprostřed. Před započítím měření je třeba zvláštním ovládacím prvkem nastavit základní (například maximální) výchylku. Někdy se setkáme i s přímoukazujícími ohmmetry jako jednoúčelovými přístroji. Mají stejné vlastnosti jako ohmmetry v multimetrech.[1][5]

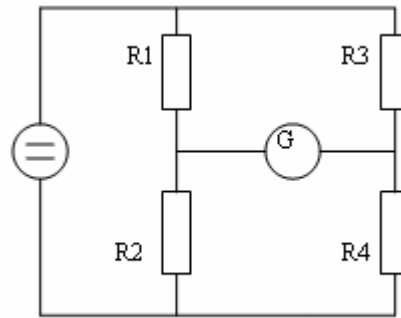
2.5.3.1 Způsoby měření odporu

Wheatstoneův můstek

Velmi přesné měření odporu dovolují *měřicí můstky*. Nejznámější je můstek Wheatstoneův. Princip měření spočívá ve vyhledání takového poměru odporů ve větvích můstku, že je můstek vyvážen, tzn. oba děliče napětí mají stejný dělicí poměr a napětí mají stejný dělicí poměr a galvanometrem v měřicí diagonále můstku neprotéká proud.

Rovnováha nastane za podmínky:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$



Obr. č. 10 :

Wheatstoneův

můstek

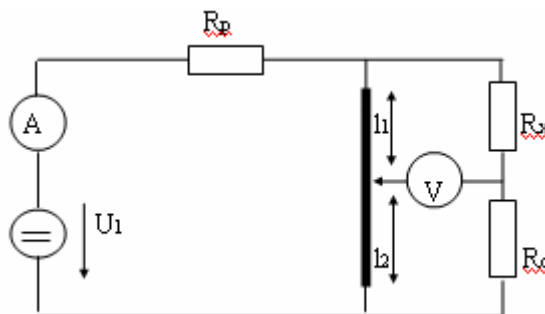
Nevýhodou můstkových metod je zdlouhavé ruční vyvažování.

Drátkový můstek

Je vhodný pro měření malých odporů. Jednu jeho větev tvoří drát, po kterém přesunujeme odbočku. Jezdcem vyhledáme na drátu takovou polohu, při které je na voltmetru nulové napětí. Pro neznámý rezistor pak platí:

$$R_x = \frac{l_1}{l_2} \cdot R_o \quad (11)$$

kde R_o je známý rezistor.



Obr. č. 11 : Drátkový můstek

Měření odporu voltmetrem

Provádí se tak, že zjišťujeme, jak se zmenší výchylka voltmetru připojeného ke zdroji napětí, když do série s voltmetrem zapojíme měřený rezistor. Velikost neznámého odporu je:

$$R = R_v \cdot \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1 \right) \quad (12)$$

kde: α_1 – výchylka voltmetru bez rezistoru

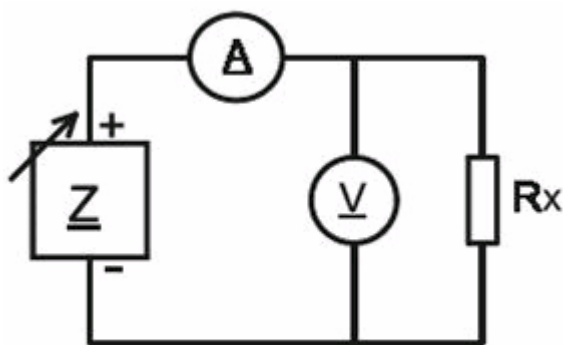
α_2 – výchylka voltmetru s připojeným rezistorem

R_v - odpor voltmetru na použitém rozsahu

2.5.3.2 Metody měření odporů

Metoda AVAL

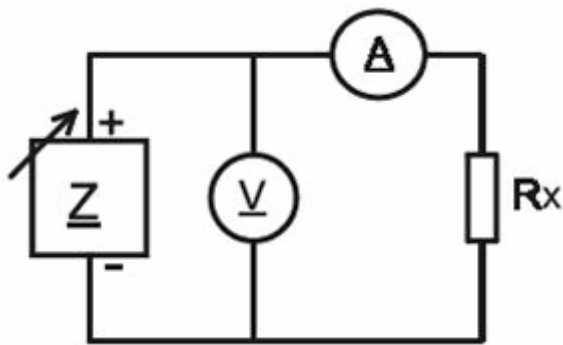
Tato metoda je vhodná pro malé odpory, protože naprostá většina proudu teče odporem. Voltmetrem teče jen zanedbatelná část proudu čímž nám vzniká minimální chyba.



Obr. č. 12 : Metoda AVAL

Metoda AMONT

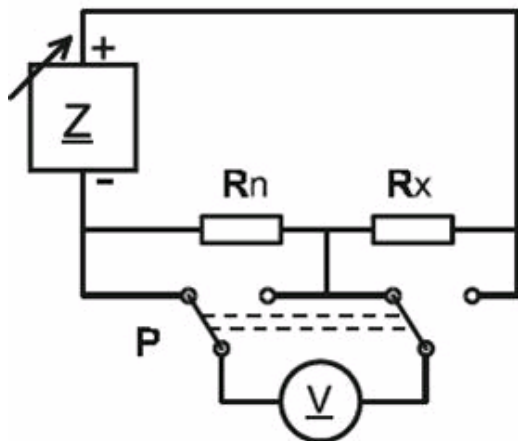
Tato metoda je vhodná pro měření velkých odporů, jelikož všechnen proud protéká ampérmetrem. Protože je proud malý, tak nevzniká na ampérmetru velký úbytek napětí. Při měření velkého odporu metodou AVAL by vznikala velká chyba, protože by podstatná část proudu by tekla voltmetrem.



Obr. č. 13 : Metoda AMONT

Metoda KOMPARAČNÍ

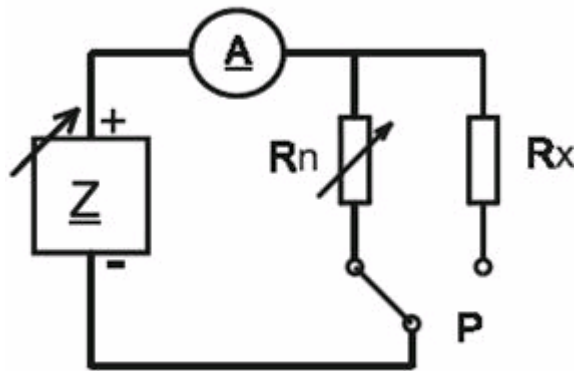
Při měření touto metodou měříme napětí na normálovém a na měřeném odporu. Odpor vypočítáme podle vzorce.



Obr. č. 14 : Metoda KOMPARAČNÍ

Metoda SUBSTITUČNÍ

Metoda je vhodná pro odpory velkých hodnot. Pro zajištění dostatečné citlivosti vyžadujeme, aby zdroj dával dostatečně velké napětí. Metoda je přesná není potřeba žádný výpočet. Hodí se pro sériovou kontrolu většího počtu odporů stejné jmenovité hodnoty.



$$\frac{U_N}{R_N} = \frac{U_X}{R_X} \Rightarrow R_X = \frac{U_X R_N}{U_N}$$

Obr. č. 15 : Metoda SUBSTITUČNÍ

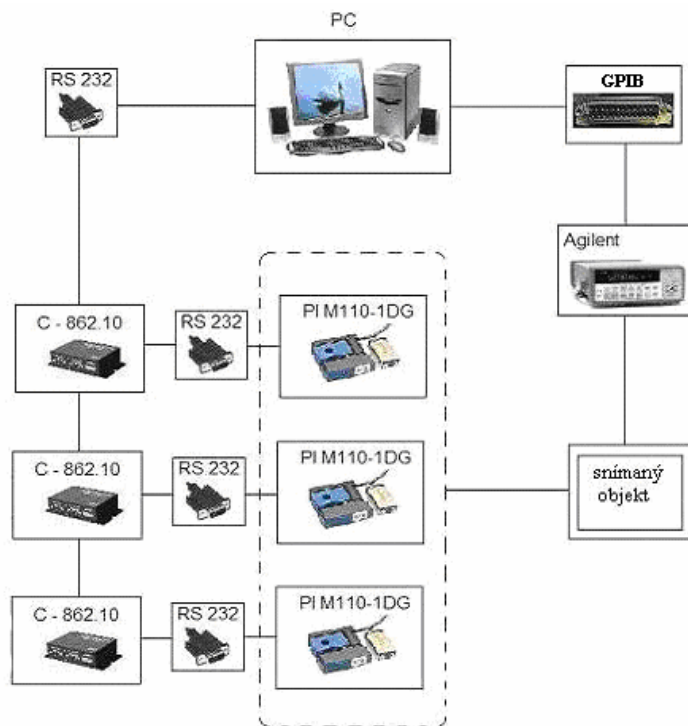
II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem této práce bylo navrhnout, sestavit a vyzkoušet měřicí soustavu pro zjišťování kontaktního úhlu u velmi malých kapek za pomoci skenovacího mechanismu. Pro tuto soustavu jsem využil dostupné vybavení univerzitní laboratoře, což bylo jedním z bodů zadání diplomové práce. Po nastudování a uvedení do problematiky se začalo s návrhem měřicího pracoviště, kde se staly stěžejními prvky mikroposuv a laboratorní multimetr. Jelikož při měření mělo být využito elektrického odporu, jako nejjednodušší volba se jevila zvolit materiály a kapaliny elektricky vodivé. Pro testované povrchy byl zvolen železný a měděný povrch. Jako klíčová součást se projevila volba měřicího hrotu, kterým by vyhovoval daným účelům. Vzhledem k použitelnosti byly vybrány dva hroty a to injekční jehla a velmi tenký měděný drátek.

3.1 Blokové schéma měřicího pracoviště

Sestavení pracoviště spočívalo v kompletaci zapojení posuvů pomocí RS232 vedení s řídicím PC, dále pak přes GPIB vedení byl propojen multimetr, který zaznamenával změnu hodnoty odporu.



Obr. č. 16 : Blokové schéma měřicího pracoviště

3.2 Seznam použitých přístrojů

3.2.1 Agilent 34401A

Jedná se o velmi kvalitní a citlivý laboratorní multimetr, který je chopen měřit napětí v řádech nanoVolt a zaznamenávat hodnoty odporu v řádech mikrohmů. Multimetr je dále vybaven měřením teploty, proudu a napětí. Toto zařízení vyrábí firma Agilent Technologies USA.

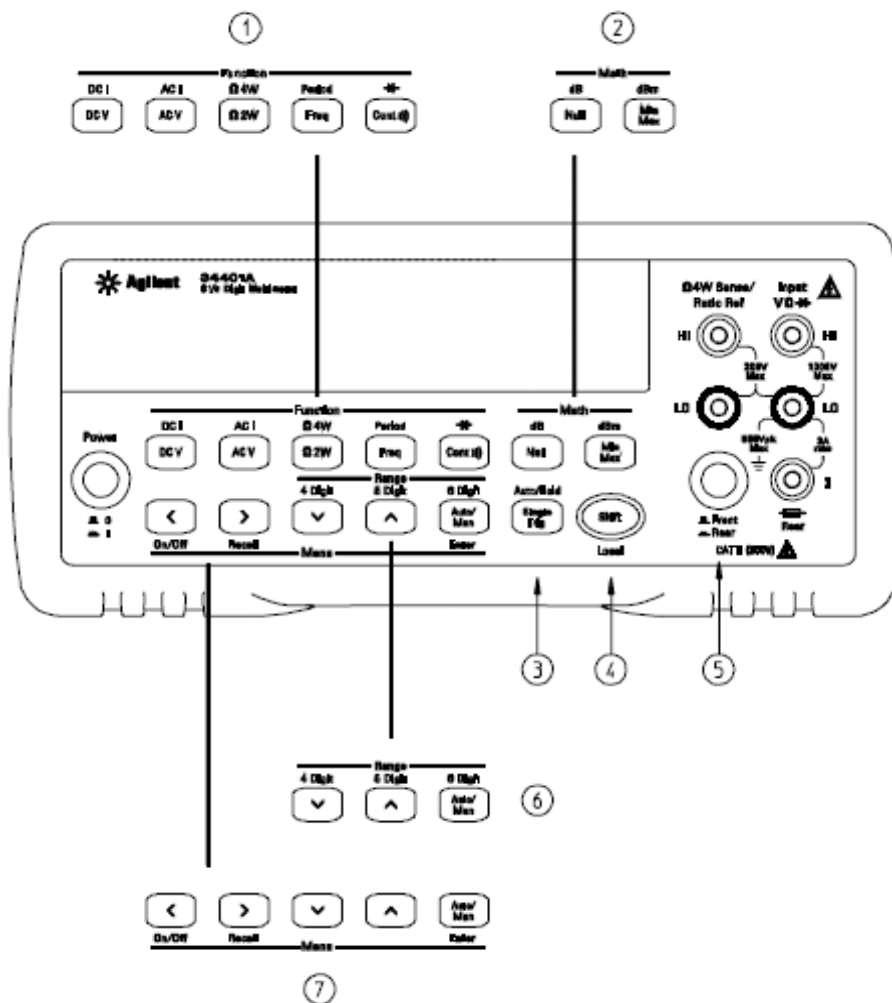


Obr. č. 17 : Měřicí přístroj Agilent 34401A[2]

Technická specifikace:

- 6½ místné rozlišení
- 0.0035% 1 roční dcV přesnost, 0.06% 1 roční acV přesnost
- 12 měřicích funkcí plus limitní testování a min/max/průměr
- True RMS AC napětí a proudu
- rychlost měření 1000 /s v ASCII formátu přes sběrnici GPIB
- v základním provedení jsou sběrnice RS-232 a GPIB
- měření stejnosměrného a střídavého napětí
- měření stejnosměrného a střídavého proudu

3.2.1.1 Přední panel přístroje



Obr. č. 18 : Přední panel přístroje Agilent 34401A [3]

1) klávesy funkcí

DCV- stejnosměrné napětí

ACV – střídavé napětí

DCI – stejnosměrný proud

ACI – střídavý proud

W2W – odpor dvousvorkově

W4W – odpor čtyřsvorkově

Freq – měření frekvence

Period – měření doby periody

Cont>>> test uzavření obodu

6) klávesy pro nastavení automatické či ruční volby rozsahu a klávesy pro změnu rozsahu**7) klávesy pro výběr a potvrzení jednotlivých nabídek****2) klávesy matematických funkcí**

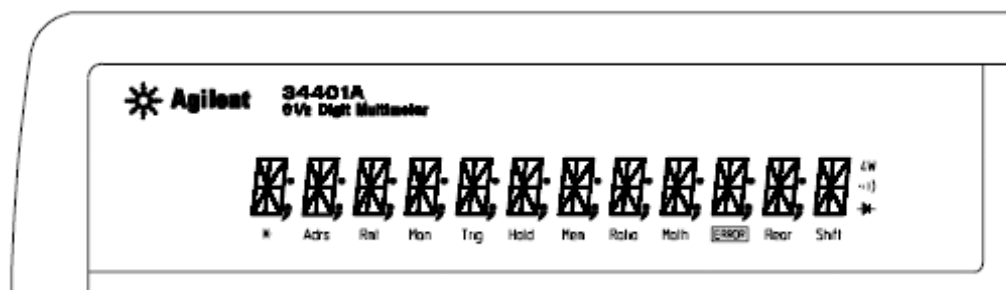
funkce – NULL, dB, dBm, Min a Max

3) klávesy volby druhu spuštění

Single, Autotrigger a Reading hold

4) klávesy Shift/Local –přepnutí do místního ovládání**5) tlačítko Front/Rear jako přepínač mezi předním a zadním terminálem**

3.2.1.2 Signalizační displej



Obr. č. 19 : Signalizační displej přístroje Agilent 34401A [3]

* - signalizace zapnuté nebo vypnuté měření

Adrs – multimetr je adresován jako posluchač nebo vysílá na dálkový interface

Rmt – multimetr je dálkově ovládán

Man – automatická volba rozsahu je vypnutá

Trig – multimetr je ve stavu čekání na spouštěcí impuls

Hold – zapnuta funkce Read Hold

Mem – zapnuto čtení paměti

Ratio – zapnuta poměrová funkce (DVC,DCV)

Math – zapnuta některá z matematických funkcí

ERROR –došlo k chybě

Rest – zapnut zadní terminál

Shift – stisknuta klávesa Shift

4W – zapnuta funkce měření 4.svorkově

->>> - zapnuta funkce kontroly uzavření obvodu

▶ - zapnut test diod

3.2.2 Mikroposuv M-110. 1DG

Zařízení je vyráběnou firmou PI. Jedná se o mikroposuvy s pracovním rozsahem 5 mm. Posuvy pro různé aplikace se dají sestavovat a dosáhnout tím možnosti realizace pohybu v osách X,Y,Z. Zařízení je vybaveno stejnosměrným motorem spojeným s velmi přesný šroubovým vedením, které je uloženo v lineárních kuličkových ložiskách zaručující přesnost převyšující $0,5 \mu\text{m}$ při pohybu. Zařízení má kompaktní rozměry a vyznačuje se vysokým výkonem. Aby systém splňoval nejvyšší nároky je vybaven bezkontaktním Hallovým snímačem s rozlišovací schopnosti až $0,007 \mu\text{m}$ na krok. Maximální rychlost je 1 mm/s a schopnost minimálního posuvu v kroku o $0,05 \mu\text{m}$. Převodový poměr mezi motorem a šroubením je $28,44444:1$. Zařízení lze ovládat pomocí přiloženého softwaru. Mikroposuvy naleznou využití v mnoha odvětvích, např. :

- Testování optických vláken
- Metrologie
- Mikroobrábění
- Zkušební zařízení



Obr. č. 20 : Mikroposuv M-110. 1DG [11]

3.2.3 Mercury C-862

Jedná se o řídicí jednotku sloužící k řízení ovládání servopohonů. Je využívána všude tam, kde je potřeba velmi přesné řízení pozice servopohonu. Toto zařízení je kombinací velmi výkonného regulátoru pro řízení všech stejnosměrných motorů hlavě pro PI sestav.

Technické specifikace:

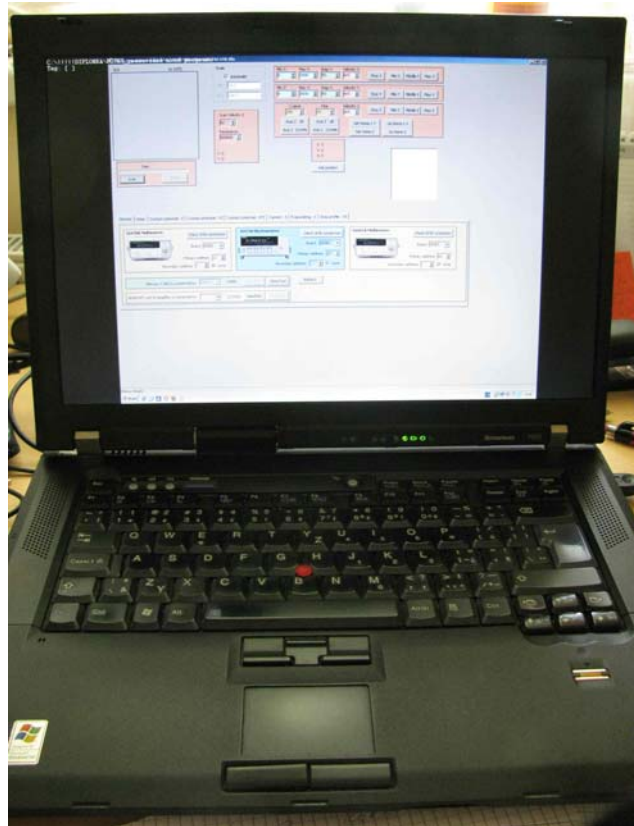
- ovládání zrychlení, rychlosti a polohy
- nejmenší krok o 0,1 μm v pohybu
- pro řízení využívá jednoduchých definovaných



Obr. č. 21 : Mercury C-862 [12]

3.2.4 PC - Personal computer

Jedná se o hlavní ovládací a vyhodnocovací zařízení celého měřicího zařízení. Je zde software pro ovládání krokových motorků, dále pak pro záznam dat z laboratorního multimetru AGILENT a zároveň slouží jako vyhodnocovací člen s patřičným softwarovým naprogramováním. Jednotlivé povely jsou zde vydávány přes klávesnici nebo již přes naprogramovaný software, který se klávesnicí nebo myší spouští nebo ukončuje. Toto zařízení ovládám pomocí periferního zařízení jakou je optická myš a klávesnice.



Obr. č. 22 : Personal computer

3.2.5 Komunikační rozhraní

3.2.5.1 RS 232

Cenově nejdostupnější a nejjednodušší rozhraní pro sériovou komunikaci dvou zařízení mezi sebou. Používá se pro připojení zařízení komunikujících maximální rychlostí 115,2 kB/s na vzdálenost maximálně 15 m. Nevýhodou je omezená komunikační vzdálenost a nemožnost větvení. Při komunikaci prostřednictvím portu RS232 je nutné na obou zařízeních nastavit shodně tyto údaje: přenosová rychlost, parita, počet datových bitů (7 nebo 8) a počet stop bitů. V našem případě je tohoto spojení využito k propojení servo-regulátorů s PC. Aby tyto regulátory správně fungovaly je nutné je provést adresování pomocí DIP přepínačů umístěných na regulátorech.

3.2.5.2 GPIB

General Purpose Interface Board, počítačová sběrnice umožňující připojení periferních zařízení k PC, hlavní představitel standardů umožňujících připojení různých přístrojů k jedné univerzální kartě. Lze se s ní setkat ještě pod několika jinými názvy (HPIB - Hewlett Packard IB, IMS - International Measurement System, IEEE-488). Systém umožňuje připojení mnoha samostatných přístrojů, pokud podporují GPIB standard. Každý přístroj může fungovat jako TALKER (pokud pouze vydává data, například digitální voltmetr) nebo LISTENER (pokud je řízen řadičem, například programovatelný zdroj napětí), případně může plnit obě funkce současně. Rychlost přenosu dat může dosahovat cca 400 kB/s. Pro sběrnici GPIB se vyrábějí zásuvné karty do PC. Možnost připojit až 15 zařízení na jednu 8 bitovou sběrnici. My jsme jej využili k propojení mezi multimetrem a PC.



Obr. č. 24 : RS 232 kabel



Obr. č. 23 : GPIB konektor

3.2.6 Mikropipeta

Je to zařízení sloužící k přesnému odměření dávky tekutiny. V našem případě byla použita mikropipeta vyráběná společností BIOHIT a jednalo se o zařízení, kde byla možnost volitelně určovat hodnotu odměřeného vzorku od 2 do 20 μ l na kapku. Vyobrazeno na obrázku č. 25.



Obr. č. 25 : Mikropipeta

3.2.7 Mikroskop Olympus SZX 7 a fotoaparát Olympus C5060WZ

Jedná se o kompaktní stereoskopický mikroskop. Je vybaven pokročilou optikou s korekcí na nekonečno, poměr zoomu 7:1 a rozlišením až 600 čar/mm. Pro dokumentaci slouží zde fotoaparát Olympus C 5060WZ. Jedná se o poloprofesionální kompakt.



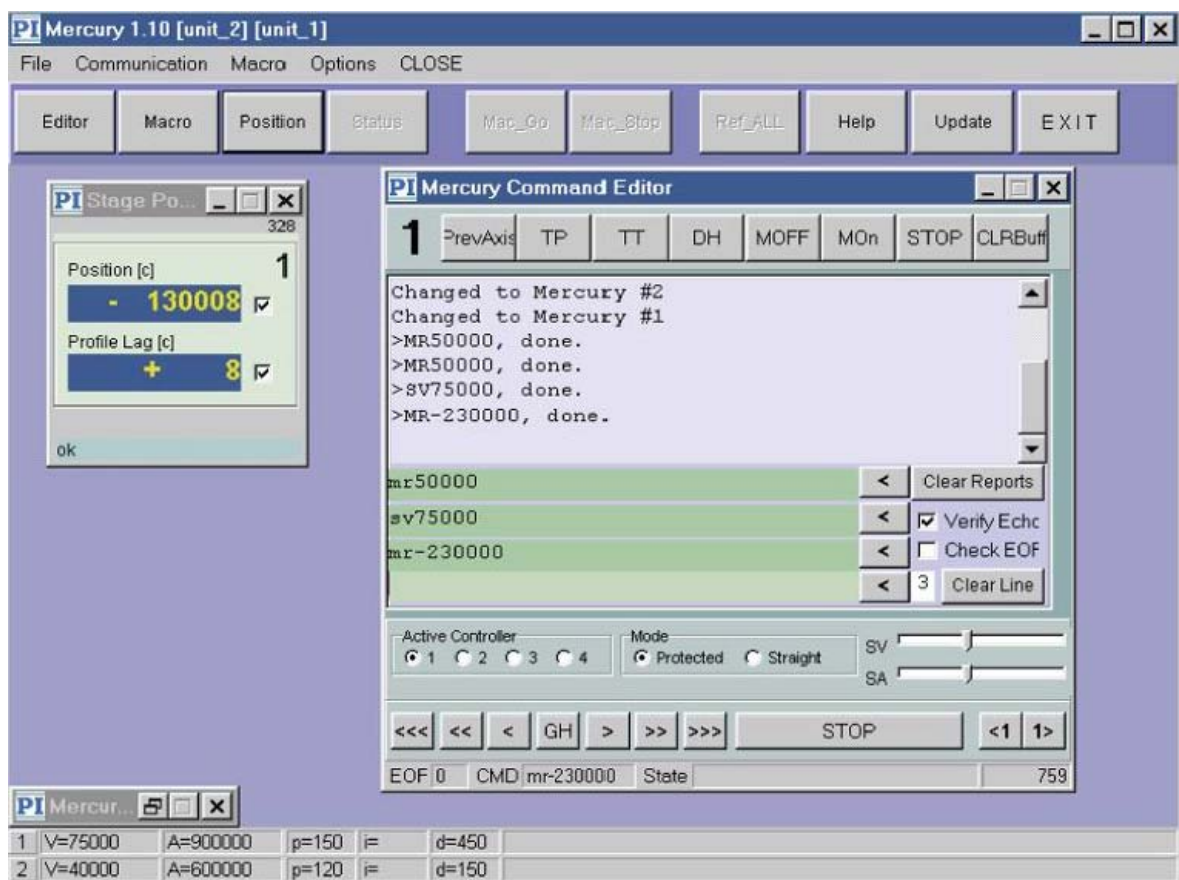
Obr. č. 26 : Olympus SZX 7 a Olympus C5060WZ

3.3 Použitý software

3.3.1 PI Merkury

Jedná se o software dodávaný se zařízením. Program slouží k ovládání mikroposuvů a je schopen ovládat až 16 regulátorů v uzavřeném cyklu. Umožňuje nastavit velikost rychlosti posuvu, počet kroků posuvu a zobrazit aktuální pozici posuvu. Ovládání mikroposuvů probíhá vkládáním příkazů. Zobrazovací a zadávací jednotka jsou county.

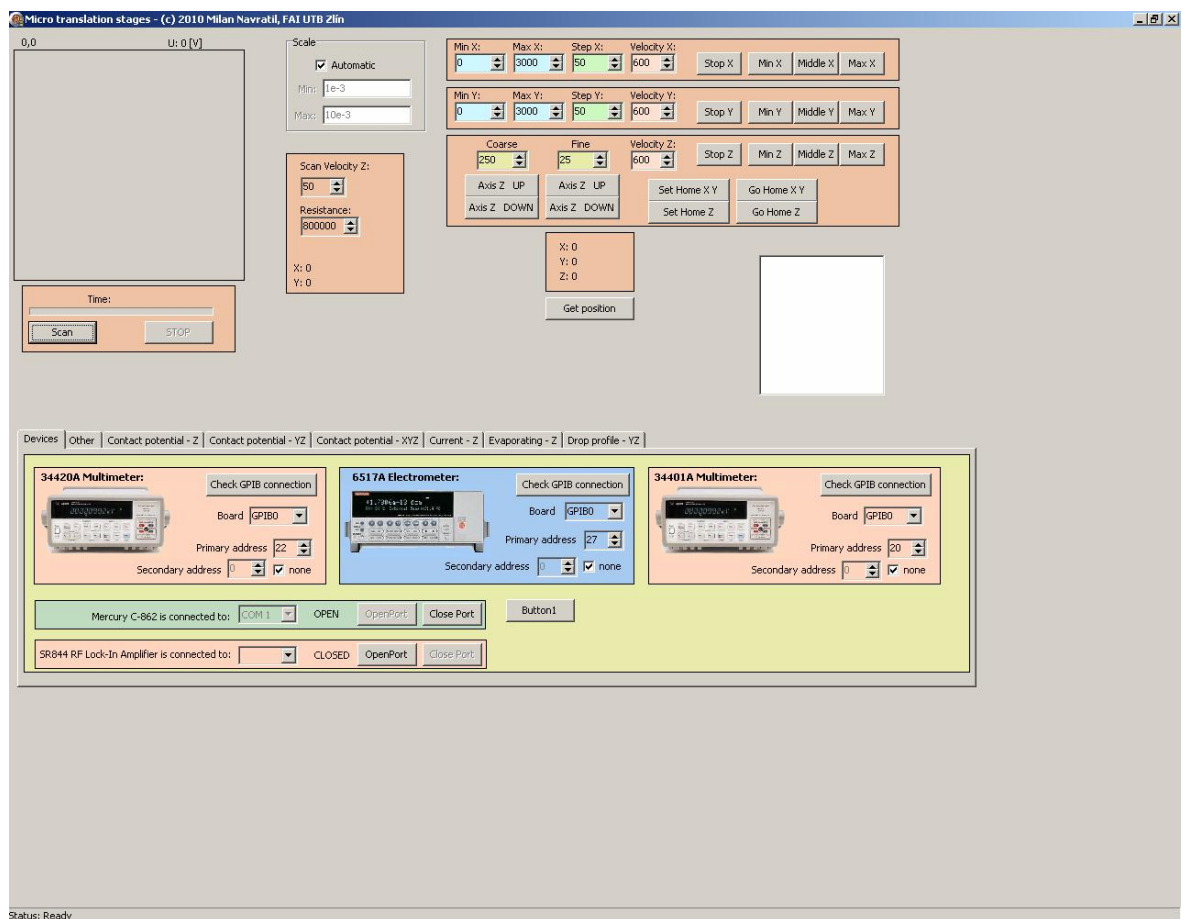
Výrobce udává přepočtová hodnota je 1 count = 0,007 μ m.



Obr. č. 27 : Software PI Merkury

3.4 Posuvy

Jedná se o software, který byl napsán v programovacím jazyce Delphi. Jejím autorem je Milan Navrátil, který mi po prokonzultování tento software pomohl upravit k potřebám mého experimentálního měření. Software je navrhnut pro komunikaci a ovládání řídicí jednotky mikroposuvu a dalších zařízení. V mém případě se jednalo o multimetr Agilent 34401A. Pro navázání a kontrolu komunikace bylo vždy nutné vybrat používané zařízení a potvrdit jej klávesou „Check GPIB conection“, kdy proběhla kontrola komunikace a navázání s daným zařízením. Jelikož software byl navržen pro práci s více přístroji, je zde další nabídka několika „záložek“ pro zvolení k požadovanému měření. V našem případě se jednalo o záložky „Evaporating – Z“ a „Drop profile – YZ“.



Obr. č. 28 : Software „Posuv“

4 VLASTNÍ MĚŘENÍ

Samotné experimentální měření bylo koncipované tak, aby směřovalo k určení hodnoty kontaktního úhlu u velmi malých kapek na různých površích materiálu a kapaliny jakož to přímou metodou nebo pomocí matematického výpočtu.

4.1 Ověření rozlišovací schopnosti mikroposuvu

Zařízení mikroposuvu se řídí pomocí zadávání hodnot v countech. Jelikož tato veličina není nijak délkově vyjádřena, bylo nutné stanovit přepočtový koeficient mezi 1 countem a 1 mikrometrem z důvodu smysluplného určování délkových hodnot. Pomocí programu PI se otestovaly jednotlivé posuvy ve svých maximálních pracovních polohách a provedl se přepočet. Počáteční experimenty s nastavením posuvu ukázaly, že udávané hodnoty výrobce liší s naměřenými. Bylo tedy nutné provést měření, kdy jednoznačně určíme hodnotu countů pro daný rozsah a následně přepočítáme hodnotu na mikrometry. Bylo provedeno 30 měření v každé ose posuvu, které je uvedeno v příloze. Po vyhodnocení výsledků měření byly určeny střední hodnoty a příslušné nejistoty.

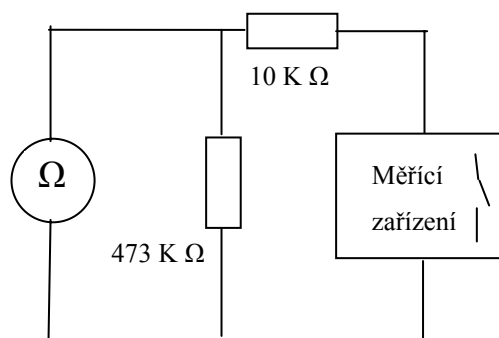
Tab. 1: Přepočtová tabulka

	osa X	osa Y	osa Z
průměrné hodnoty [count]	834028	883654	856216
směrodatná odchylka [count]	1030	660	960
hodnota 1 count = [μm]	0,0060	0,0057	0,0058

Naměřené hodnoty ilustruje tabulka hodnot, na jejichž správnosti budou záviset další experimentální měření.

4.2 Ověření snímací metody

Dle bodu zadání diplomové práce, který předpokládal využití měření změn elektrického odporu, bylo nutné sestavit odporovou dekádu neboli řazení odporu tak, aby se vyloučilo přetěžování citlivého měřicího zařízení (multimetr Agilent 34401A). Zároveň byl požadavek na přesné a rychlé zaznamenávání změn hodnot elektrického odporu. Nejvhodnější variantou bylo sérioparalelní řazení rezistorů. Vzhledem k rozlišení hodnot odporů a nabídky laboratorních zásob byly zvoleny hodnoty 10 k Ω a 473 k Ω . Hodnotově menší rezistor sloužil jako „zkratovací“ rezistor v obvodu a tím se vyloučilo tvrdého spojení měřicích hrotů a zatížení multimetru vzhledem k testovacímu průchozímu proudu.



Obr. č. 29: Schéma zapojení rezistorů

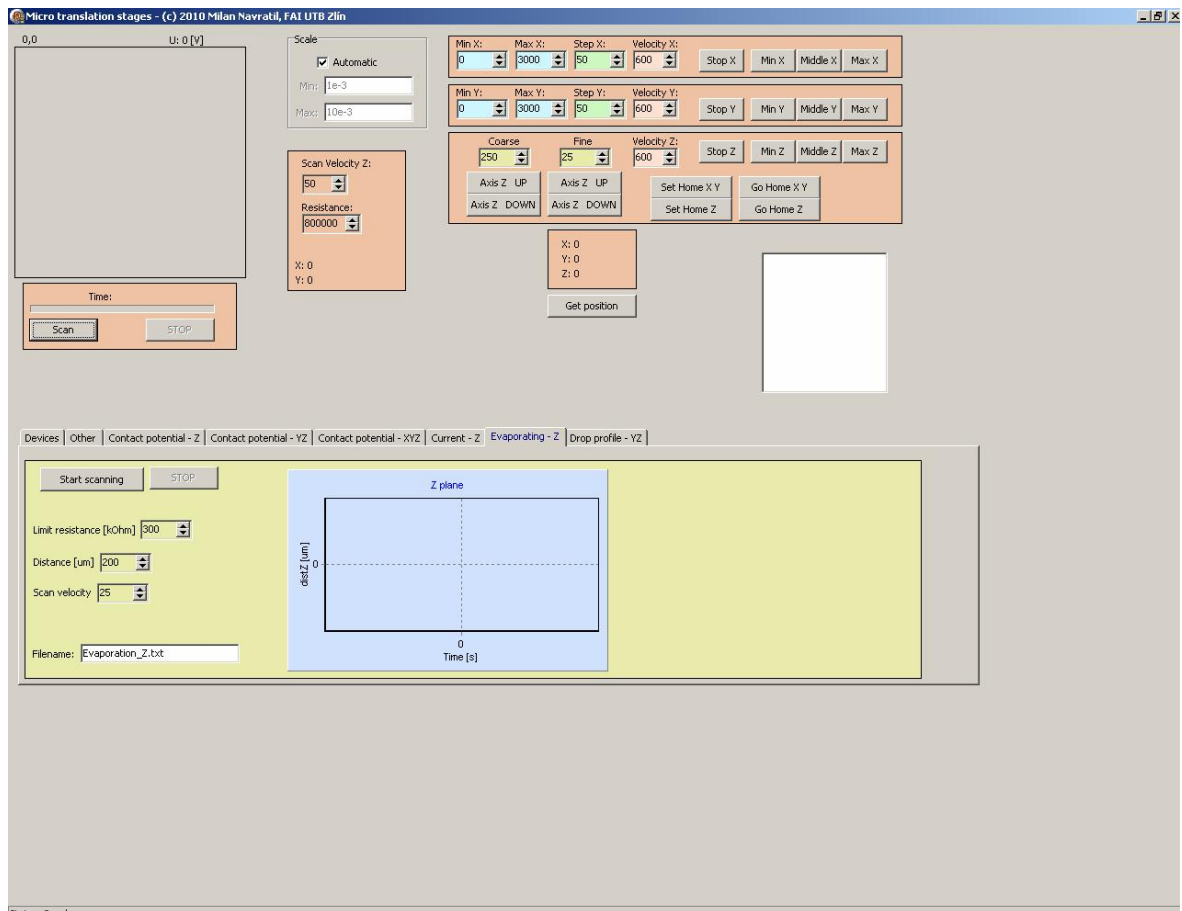
Pro toto měření se využívalo programu Posuvy, kde se zvolila další záložka s názvem „Evaporating – Z“, která byla uzpůsobena pro toto měření. Jednak se zadávaly délkové hodnoty pro ovládání mikroposuvu, a to v ose Z, dále pak časové konstanty mezi jednotlivými měřeními.

Zadávání hodnot:

Limit resistance [k Ω] – zadávána mezní hodnota měřeného odporu, pokud byla překročena, software vrátil mikroposuv na definovaný výchozí bod. Tento děj se konal nekonečně, pokud nebyl ukončen tlačítkem „Stop“.

Distance [μm] – nastavovací oddalovaná hodnota, myšleno pokud dojde k poklesu hodnoty odporu pod stanovenou mez, program vrátí mikroposuv o definovanou hodnotu zpět.

Scan velocity [$\mu\text{m/s}$] – rychlost posuvu



Obr. č. 30 : Software Evaporating - Z

Při změně elektrického odporu pod předem definovanou hodnotu, se zaznamenají do textového souboru tyto veličiny:

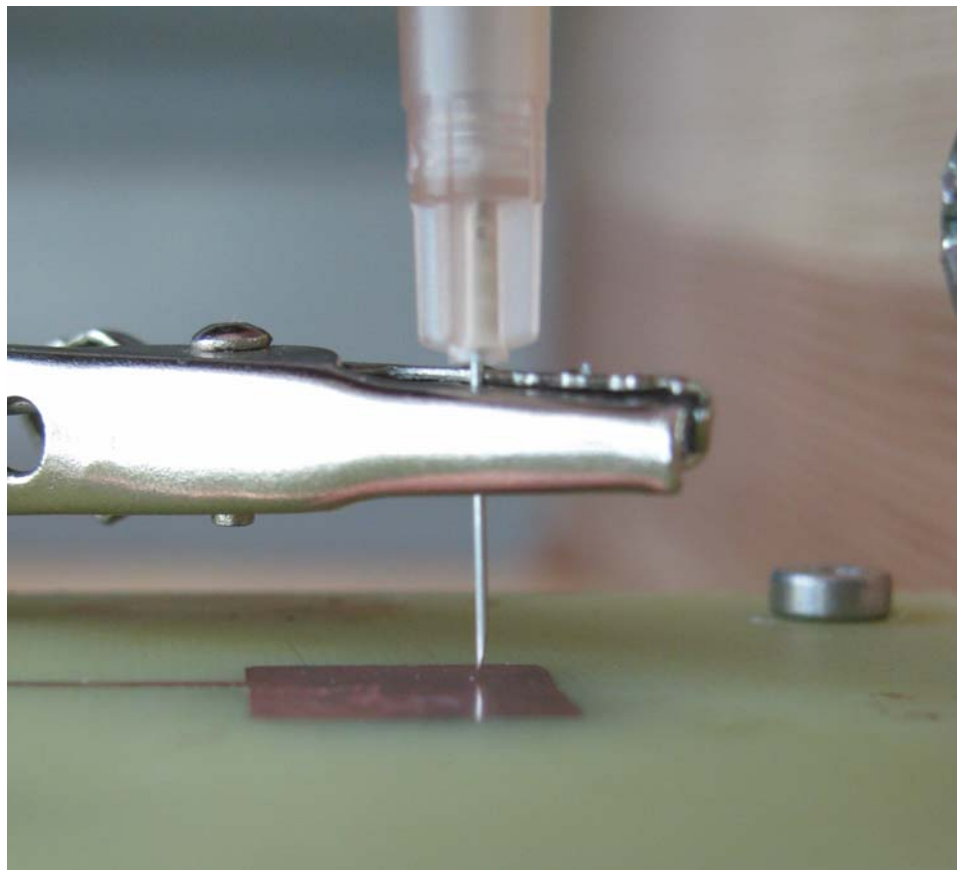
- čas od počátku měření
- poloha bodu Z od prvopočáteční nadefinované

Pro ilustraci uložených hodnot se nám vykreslují data z textového souboru do grafu, který je součástí složky.

Pro ověření skenovacího mechanismu byl zvolen jako zkoušený materiál měděná destička a měřící hrot injekční jehla. Měření probíhalo tak, že k měděné destičce se přibližoval definovanou rychlostí měřící hrot, který vycházel z definovaného bodu a multimetr zaznamenával změny odporu. Při kontaktu došlo ke změně odporu, okamžitě došlo k přerušení pohybu v ose Z, pozice v ose Z a čas byly zaznamenány do souboru.

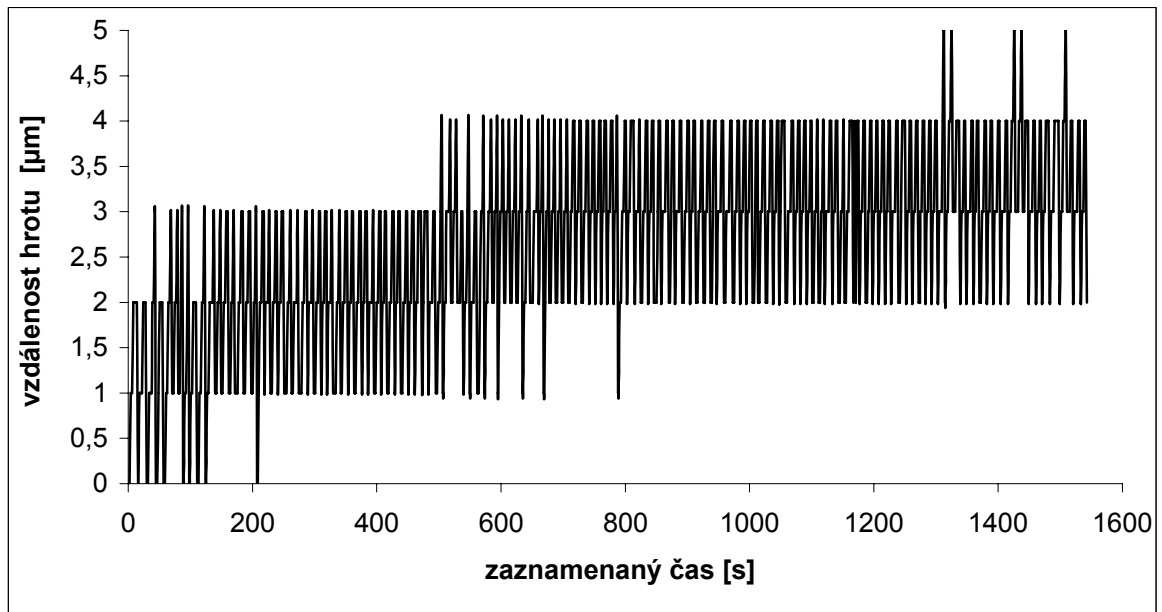
Poté došlo k oddálení vozíčku o definovanou hodnotu. Jako mezní hodnota odporu byla nastavena hodnota 300 k Ω , dále pak rychlost posuvu 50 $\mu\text{m/s}$ a oddalovací vzdálenost 100 μm .

Tento děj se prováděl opakovaně v nekonečném cyklu. Ukončení měření je možné provést stisknutím tlačítka „Stop“.



Obr. č. 31: Detail hrotu a měděné destičky

Naměřené hodnoty ilustruje graf č.32, který znázorňuje změnu polohy hrotu vzhledem k definované poloze za určitý čas.



Obr. č. 32 : Výsledný graf snímací metody jehla-měď

Z předem definované polohy vozičku jsem opakovaně sjížděl vozičkem k měřenému povrchu za teoretického předpokladu, že vzdálenost bude neustále stejná. Avšak z výsledných dat je patrná postupně se zvětšující změna hodnoty vzdálenosti hrotu od snímací plochy. Tato změna byla zapříčiněna velmi tvrdou a ostrou ocelovou jehlou, která postupně vnikala do měkčího materiálu mědi. Další příčinou změny vzdálenosti bylo mírné otupení špičky snímaného hrotu a tím většího nárůstu vzdálenosti mezi hrotem a povrchem.

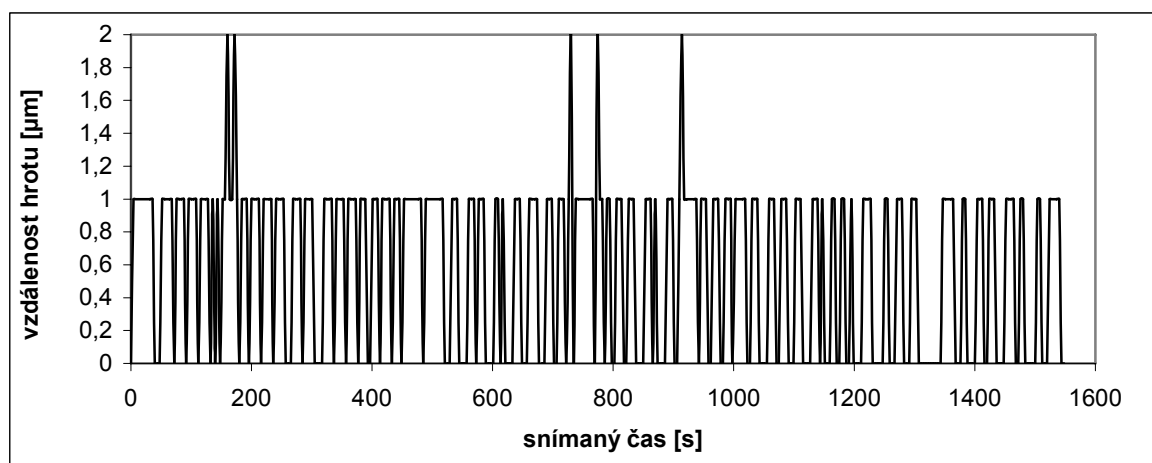
Pro další měření nastavení programu zůstalo stejné jako u předchozího, avšak byl zvolen jiný testovací materiál. Jako měřicí hrot zůstala injekční jehla, ale snímaný povrch mědi byl nahrazen železnou destičkou.



Obr. č. 33 : Detail hrotu a železné destičky

Jelikož se měřící hrot u předchozího měření otupil, což by mělo za následek zkreslení výsledku, byl nahrazen novou injekční jehlou, aby měření nebylo ovlivněno.

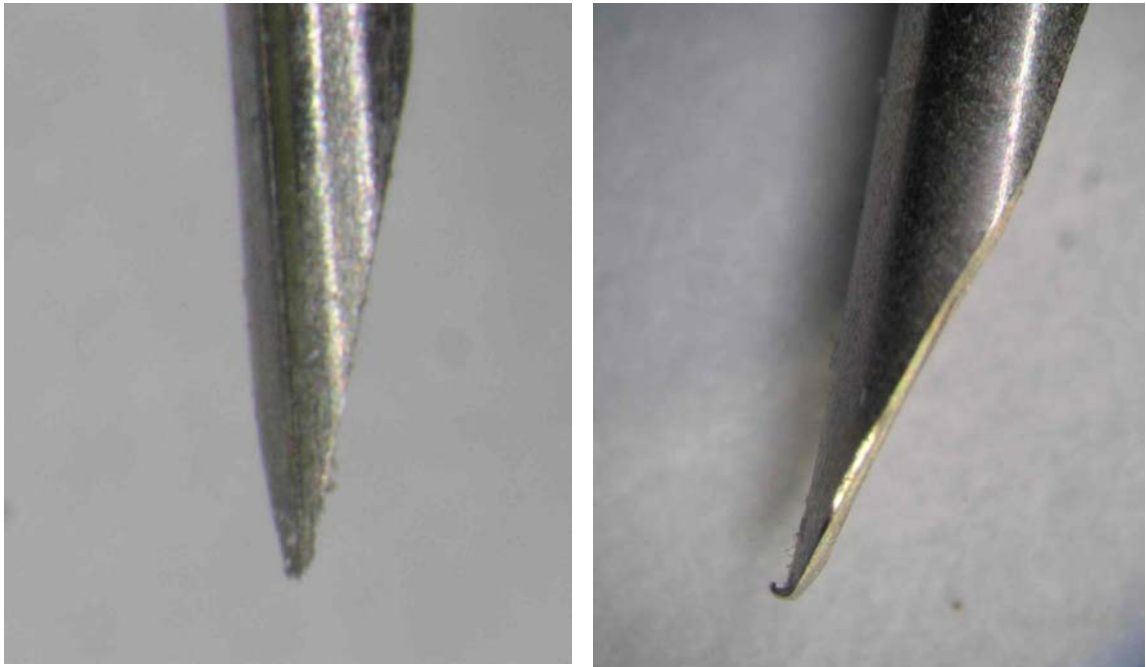
Pro ilustraci naměřených údajů byl opět vytvořen graf se zaznamenanými hodnotami z měření.



Obr. č. 34 : Výsledný graf snímací metody jehla - železo

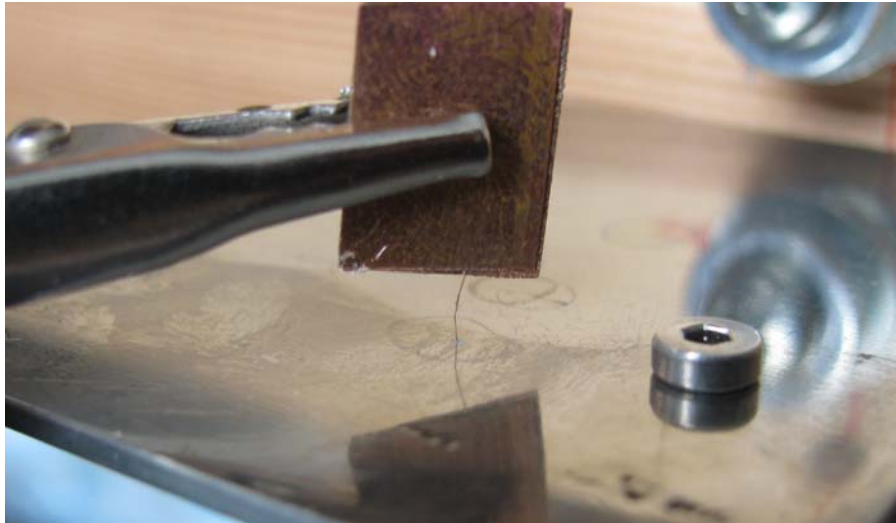
Z grafu je patrná taktěž změna vzdálenosti mezi hrotem a měřicím materiálem, avšak tato hodnota byla více jak dvakrát menší než v případě mědi.

Jelikož toto opotřebení nebylo patrné pohledem, bylo zdokumentováno mikroskopem a vyobrazeno níže. Obr. 35 znázorňuje jehlu před a po měření.



Obr. č. 35 : Nový měřicí hrot před měřením (vlevo) a po měření (vpravo)

Jako další měřicí hrot byl testován také velmi tenký měděný drátek. Jeho tloušťka byla pouhých 80 μm , avšak jeho použití bylo složitější vzhledem k dostupným upínacím mechanismům. Výsledek řešení ilustruje obrázek 36, kde jsem cínem přiletoval drátek k měděné destičce. Jako měřicí povrchy byly vyzkoušeny oba, jak železo, tak i měděná destička. Nastavení programu zůstalo stejné pro objektivnost měření.



Obr. č. 36 : Detail měděného hrotu a železné destičky

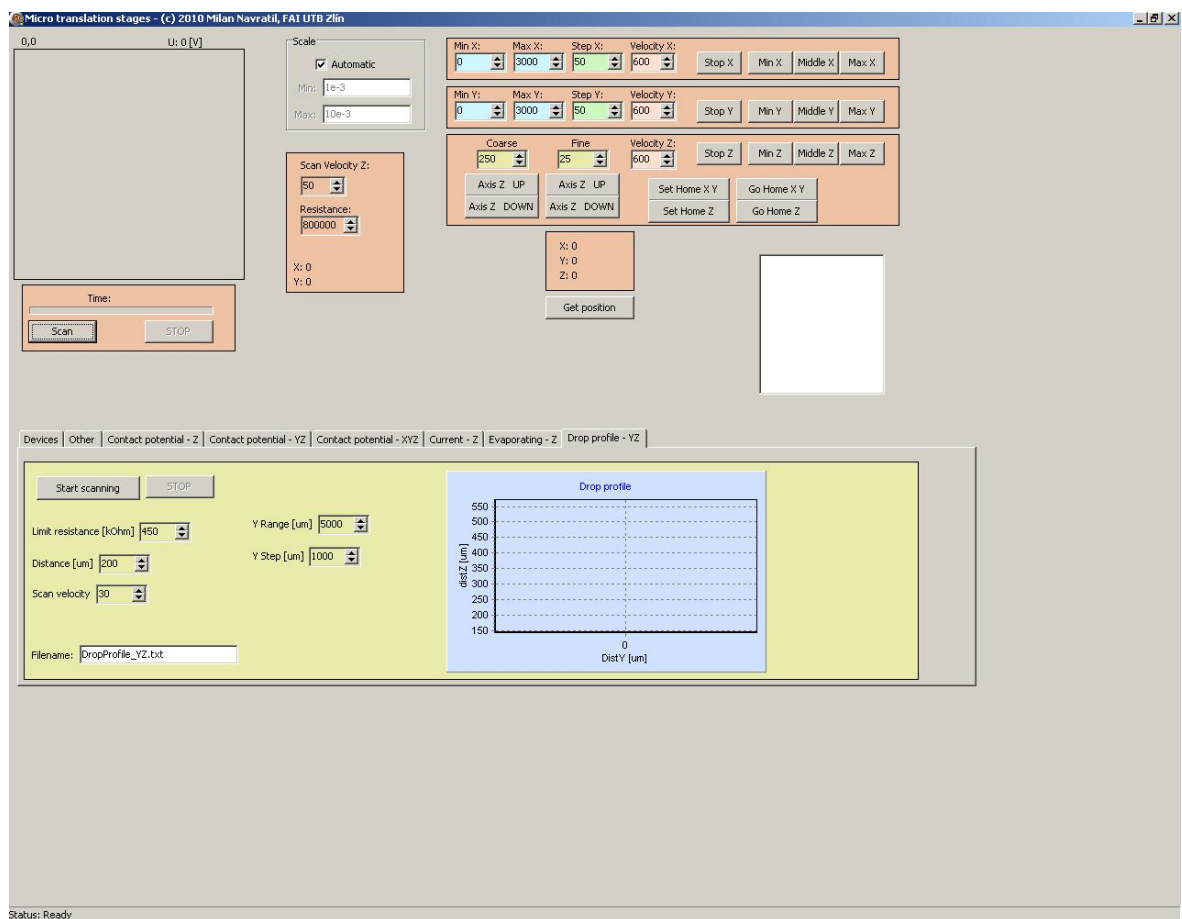
Naměřené hodnoty opotřebení měděného drátku s hodnotami opotřebení injekční jehly nijak výrazně nelišily, pokud bylo měřeným materiálem železo. Avšak v případě měděné destičky vykazoval drátek podstatně lepší hodnoty opotřebení.

Z uvedeného vyplývá, že použitá injekční jehla může poškodit zkoumaný povrch, nicméně při měření kapalin toto nepředpokládáme. Proto jsme použili pro další experimenty oba dva hroty.

4.3 Výběr měřicího hrotu

Pro měření kontaktního úhlu kapalin vzhledem k aplikovatelnosti, rychlosti měření a hlavně elektrické vodivosti jevila jako zajímavé měření kapky vody. Pro měření jsem zvolil železo jako materiál, na kterém budu zkoumat velmi malou kapku vody za pomoci snímacího hrotu, kterým byla zvolena nejprve injekční jehla.

Aby bylo možné měřit profil kapky, bylo nutné k tomu vytvořit program, který by ovládal mikroposuvy ve dvou osách. K tomuto účelu byla vytvořena další záložka v programu Posuvy s názvem „Drop profile – YZ“, obr. 37 . Vybavení programu se doplnilo o další nastavovací parametry pro druhou osu.



Obr. č. 37 : Software Drop Profile - YZ

Nastavovací parametry pro :

Limit resistance [k Ω] – zadávána mezní hodnota měřeného odporu, pokud byla překročena, software vrátil mikroposuv na definovaný výchozí bod. Tento děj se konal nekonečně, pokud nebyl ukončen tlačítkem „Stop“.

Distance [μm] – nastavovací oddalovaná hodnota, myšleno pokud dojde k poklesu hodnoty odporu pod stanovenou mez, program vrátí mikroposuv o definovanou hodnotu zpět.

Scan velocity [μm] – rychlost posuvu v $\mu\text{m/s}$

Y Range [μm] – tato hodnota udává celkovou vzdálenost, kterou má měřící hrot vykonat.

Y Step [μm] – jedná se o vzdálenost mezi požadovanými kroky, tj. jak velkou vzdálenost má hrot vykonat mezi kroky měření.

Hodnoty nastavení pro první měření byly zadány:

Limit resistance – 468 k Ω , Distance – 20 μm , Scan velocity – 50 μm , Y Range - 5000 μm , Y Step – 50 μm

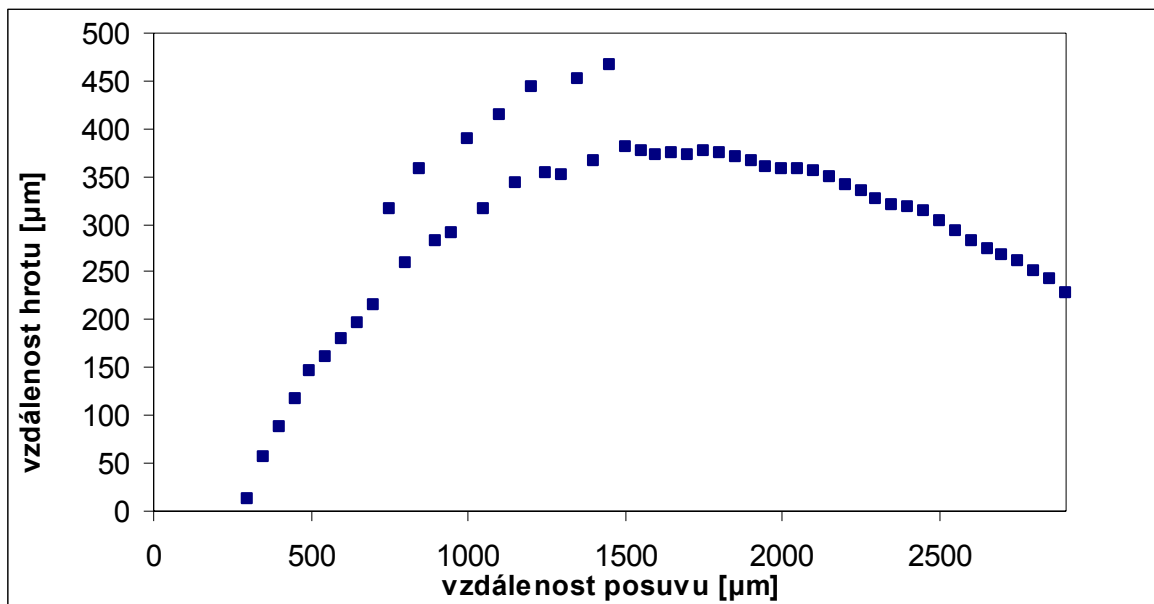
Po nanesení požadovaného množství kapaliny, v našem případě to bylo 10 μl , pomocí mikropipety, bylo provedeno nastavení nulové polohy zařízení ve směru skenování kapky. A následně byl spuštěn program, který automaticky prováděl definované pohyby ve dvou osách.



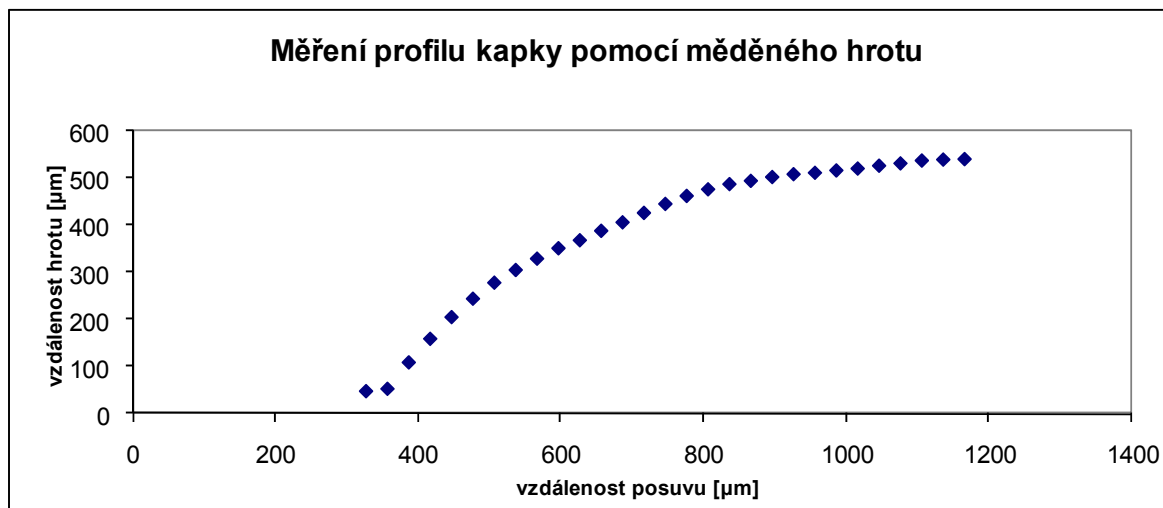
Obr. č. 38 : Detail snímání kapičky vody hrotem

Během měření byly zaznamenávány hodnoty vlhkosti a teploty v místě měření, aby byly zajištěny podmínky opakovatelnosti měření.

Změřený profil kapky byl vynesena do grafu, obr. 39. Z grafu je patrné rozlití vody do větší plochy, která představovala v ose X hodnotu přesahující 2500 μm . Tato deformace profilu kapky byla způsobena dokonale hladkým povrchem. Vážný problém také představovalo ulpívání části vody na měřicím hrotu. Injekční jehla je velmi ostrá, má však velkou plochu, která pravděpodobně způsobovala popisovaný jev. Ten lze pozorovat v grafu obr 39, kde v oblasti mezi 700 a 1500 μm v ose X došlo k evidentnímu navýšení měřených hodnot. Vzhledem k situaci, která nastala, bylo již dále v měřicích experimentech využíváno jen tenkého měděného drátku, který svou velikostí výrazně neovlivňoval průběh měření profilu kapky, viz obr 40.



Obr. č. 39 : Graf profilu kapky snímané injekční jehlou



Obr. č. 40 Profil kapky pomocí měděného drátku

Během měření profilu kapky evidentně docházelo k výraznému odpařování, proto jsem navrhl způsob, jak tento negativní vliv eliminovat.

4.4 Problém odpařování kapaliny

Aby bylo možné eliminovat vliv odpaření na kontaktní úhel, musela by se v prostoru kolem samotného měřícího zařízení uměle vytvořit a udržovat zvýšená relativní vlhkost prostředí, ve kterém by se voda již tak rychle neodpařovala. Tato činnost by však mohla ohrozit funkčnost nebo likvidaci velmi drahého zařízení vlivem koroze kovových součástí zařízení. Proto jsem od realizace upustil a navrhl jsem druhou metodu pro zmírnění vlivu odpařování.

Pokusil jsem změřit rychlost odpařování a následně tímto korigovat naměřené průběhy. Předpokládal jsem, že se voda z povrchu kapky odpařuje rovnoměrně.

Pro realizaci tohoto experimentu bylo nutné otevřít záložku v programu Posuvy s názvem „Evaporating – Z“, která ovládala skenovací zařízení pouze v jedné ose. Jako měřící hrot byl zvolen měděný drátek a jako první měřený materiál byla hladká měď.

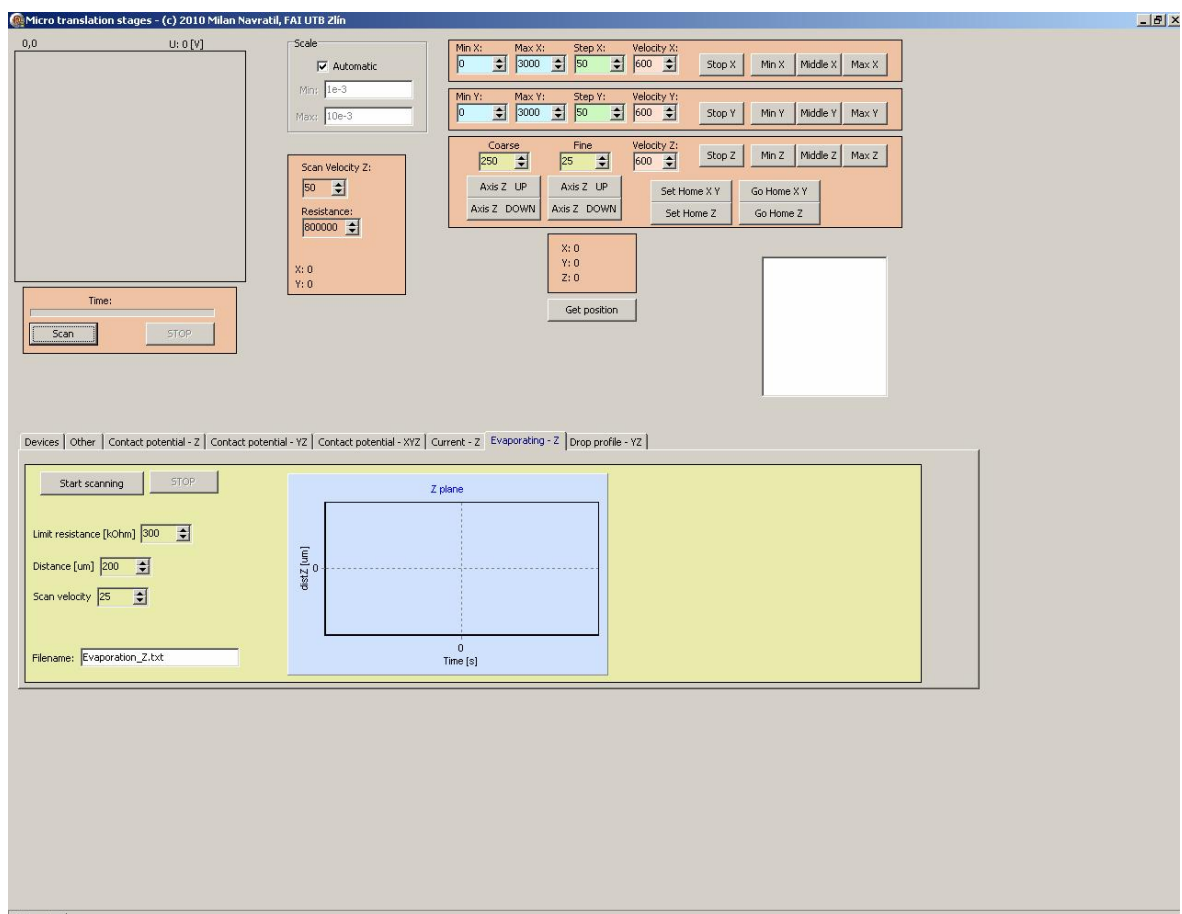
Po zadání hodnot do programu se odměřené množství vody (5 μl) nanoslo na měděný povrch a vycentroval se měřící hrot tak, aby směřoval do středu kapky.

Zadávání hodnot:

Limit resistance [k Ω] – zadávána mezní hodnota měřeného odporu, pokud byla překročena, software vrátil mikroposuv na definovaný výchozí bod. Tento děj se konal nekonečně, pokud nebyl ukončen tlačítkem „Stop“.

Distance [μm] – nastavovací oddalovaná hodnota, myšleno pokud dojde k poklesu hodnoty odporu pod stanovenou mez, program vrátí mikroposuv o definovanou hodnotu zpět.

Scan velocity [$\mu\text{m/s}$] – rychlost posuvu



Obr. č. 41 Software Evaporating Z

Při změně elektrického odporu pod předem definovanou hodnotu, se zaznamenají do textového souboru tyto veličiny:

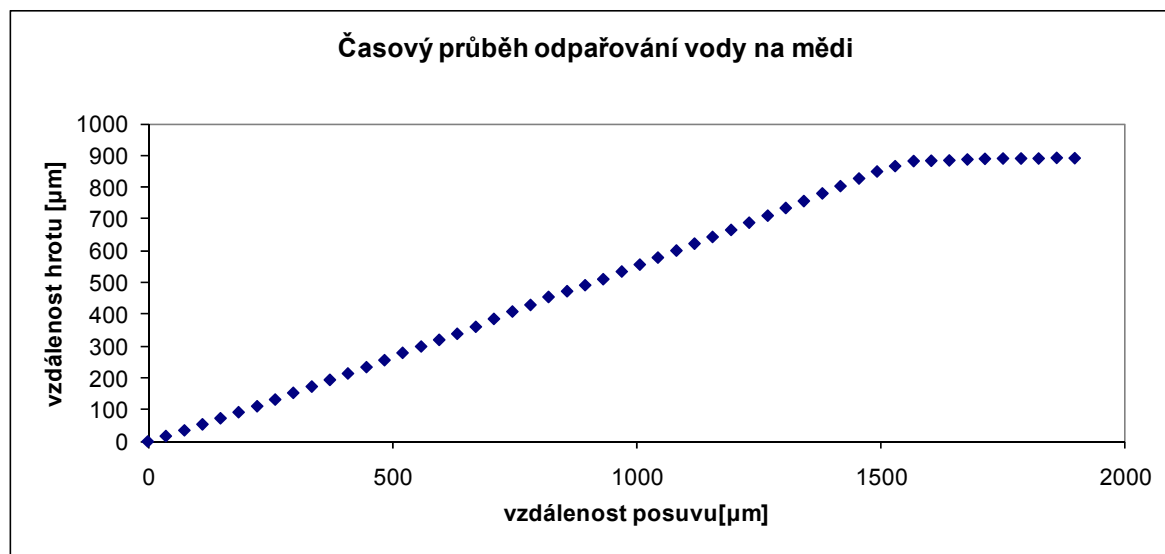
- čas od počátku měření
- poloha bodu Z od prvopočáteční nadefinované

Pro ilustraci uložených hodnot se nám vykreslují data z textového souboru do grafu, který je součástí složky.

Pro ověření skenovacího mechanismu byl zvolen jako zkoušený materiál měděná destička a měřicí hrot injekční jehla. Měření probíhalo tak, že k měděné destičce se přibližoval definovanou rychlostí měřicí hrot, který vycházel z definovaného bodu a multimetr zaznamenával hodnoty změny odporu. Jako mezní hodnota odporu byla nastavena hodnota 300 k Ω , dále pak rychlost posuvu 50 $\mu\text{m/s}$ a oddalovací hodnota 100 μm .

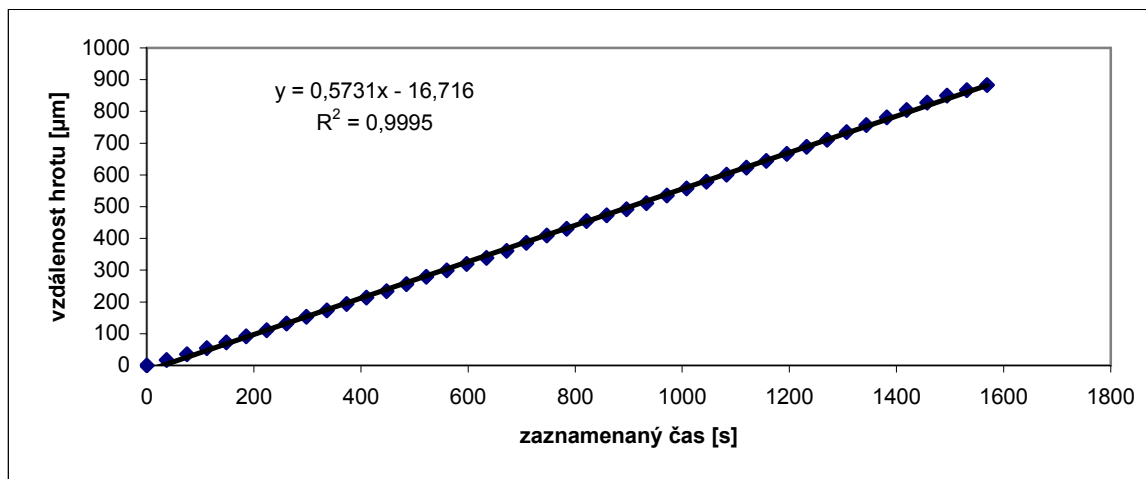
Tento děj se prováděl opakovaně v pravidelných časových intervalech dle zvolené rychlosti přiblížení a zvolené vzdálenosti oddálení měřicího hrotu. Měření probíhalo při daných podmínkách v laboratoři. Vzdušná vlhkost během testu se pohybovala okolo 49 % a teplota 22 ± 1 stupňů Celsia.

Naměřené výsledky nám potvrdili předpoklad o rovnoměrném vypařování, kdy obr. 42 ilustruje stav, kdy došlo zhruba po 1500 sekundách k ustálení vzdálenosti hrotu od povrchu, což znamenalo odpaření celého objemu vody.



Obr. č. 42 Časový průběhu odpařování vody na mědi

Tyto výsledky jsme využili tak, že jsme vzali lineární úsek, který jsme aproximovali přímkou, kde hodnota směrnice dané přímkou určovala rychlost vypařování, viz. obr.43



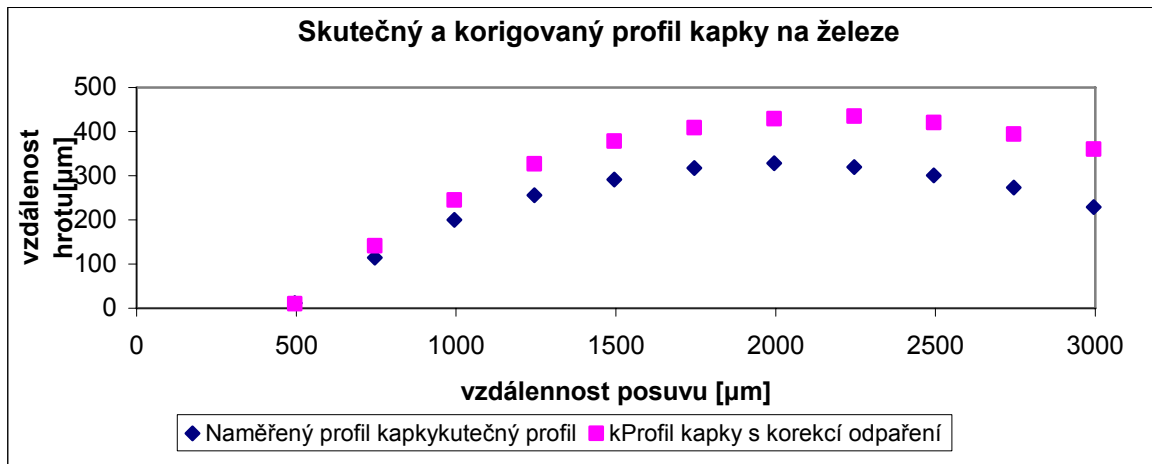
Obr. č. 43 průběh odpařování - lineární část vhodná pro regresi

4.5 Měření kontaktního úhlu

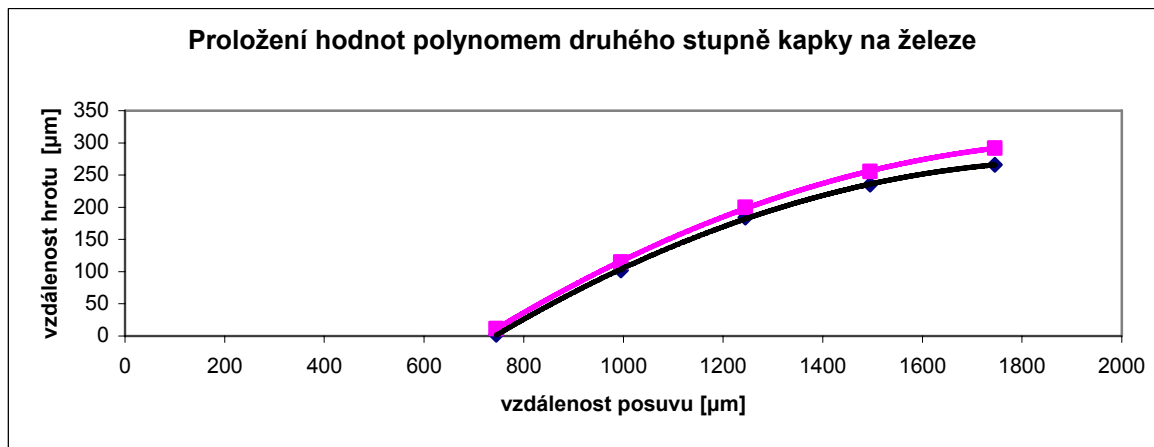
Pro určení kontaktního úhlu jsem si zvolil tangentsovou metodu. Jelikož tato metoda vychází z matematického výpočtu tangenty úhlu v daném bodě, není dále nutné měřit celý profil kapky, avšak postačí náběžná hrana kapky, kdy nedochází k takovému zkreslení vlivem odpařování. Přesto jsem v dalších vyhodnoceních uvažoval korekci odpařování.

Pro určení kontaktního úhlu jsem použil proložení polynomem 2. řádu, neboť předpokládám kulovitý tvar kapky. Pro regresi jsem vybral prvních 5 souřadnicových hodnot profilu kapky. Výpočtem první derivace v daném bodě lze spočítat kontaktní úhel.

Pro měření kontaktního úhlu jsem zvolil různě opracované povrchy materiálu mědi, aby bylo možné změřit rozdílné působení kapaliny na takto opracované povrchy. Úprava materiálu spočívala v plošné broušení smirkovým papírem po měděné destičce v jednom směru dále jsem směry křížil. Vznikly celkem 4 různě drsné materiály. Měření tedy bude probíhat na železe a různě zdrsňeném povrchu mědi. Objem zkušební kapky bude na všech materiálech stejný a to 5 μl .



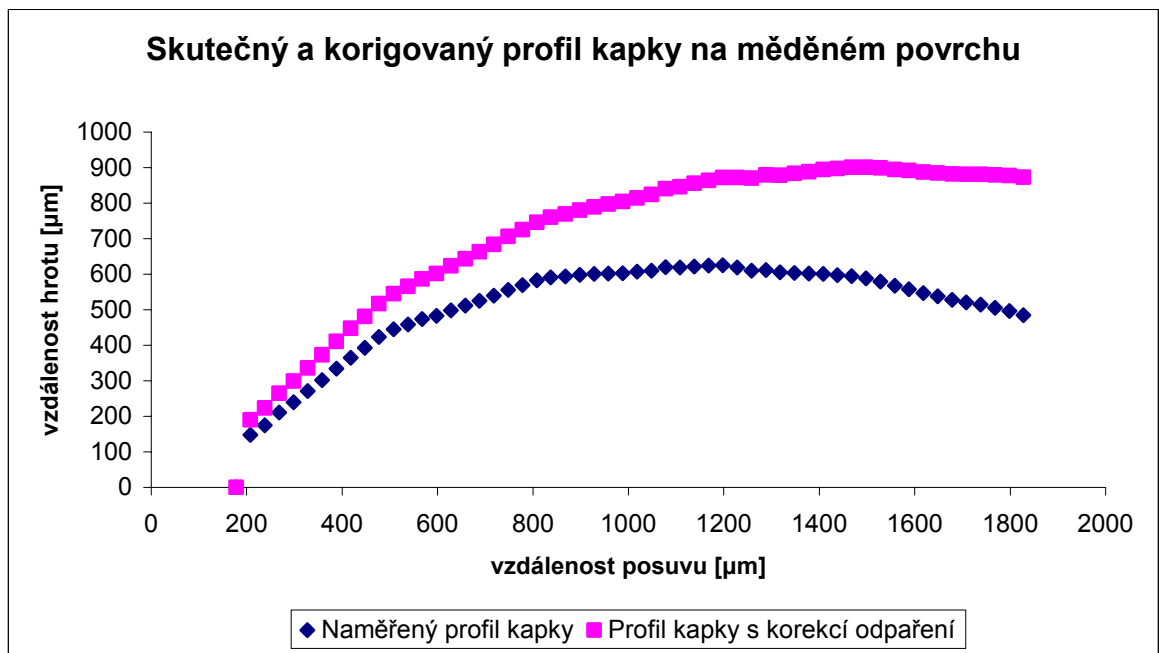
Obr. č. 44 Skutečný a korigovaný profil kapky vody na železe



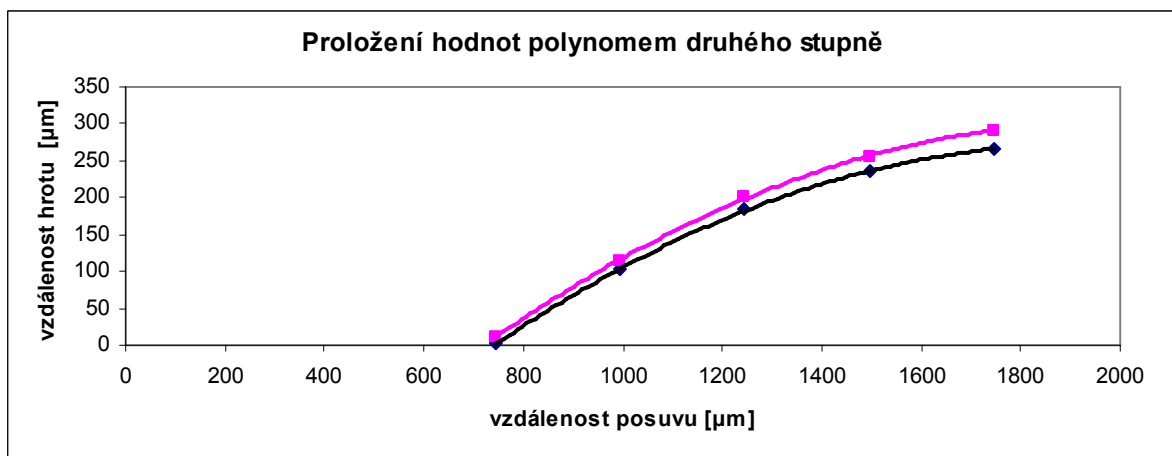
Obr. č. 45 : Proložení hodnot u železa polynomem 2 stupně

V uvedeném obrázku č. 45 bylo vyneseno prvních 5 hodnot z obou křivek, které se proložili polynomem 2.stupně a provedl se výpočet obou hodnot.

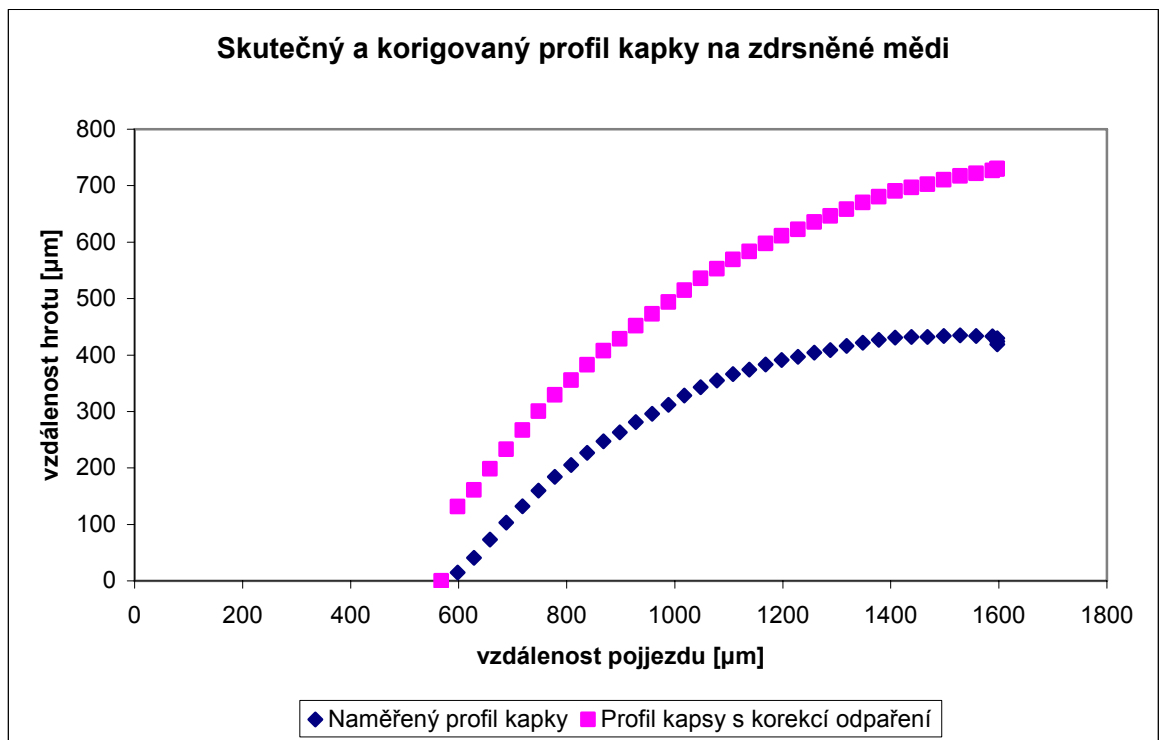
Jako další měření se prováděno s hladkým povrchem mědi.



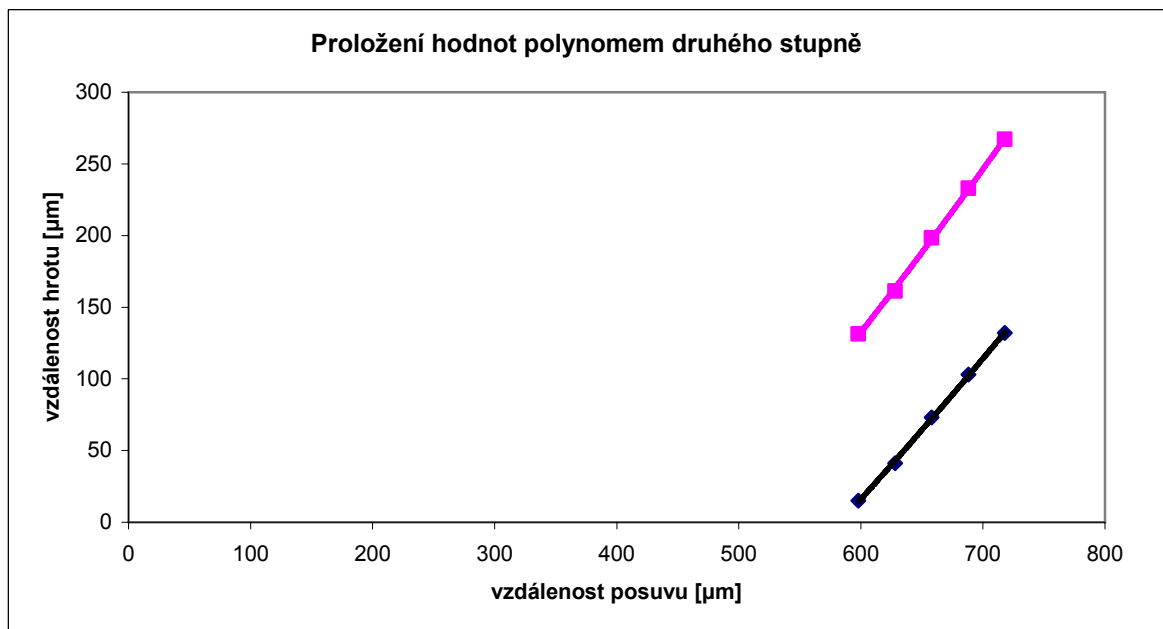
Obr. č. 46: Skutečný a korigovaný profil kapky vody na mědi



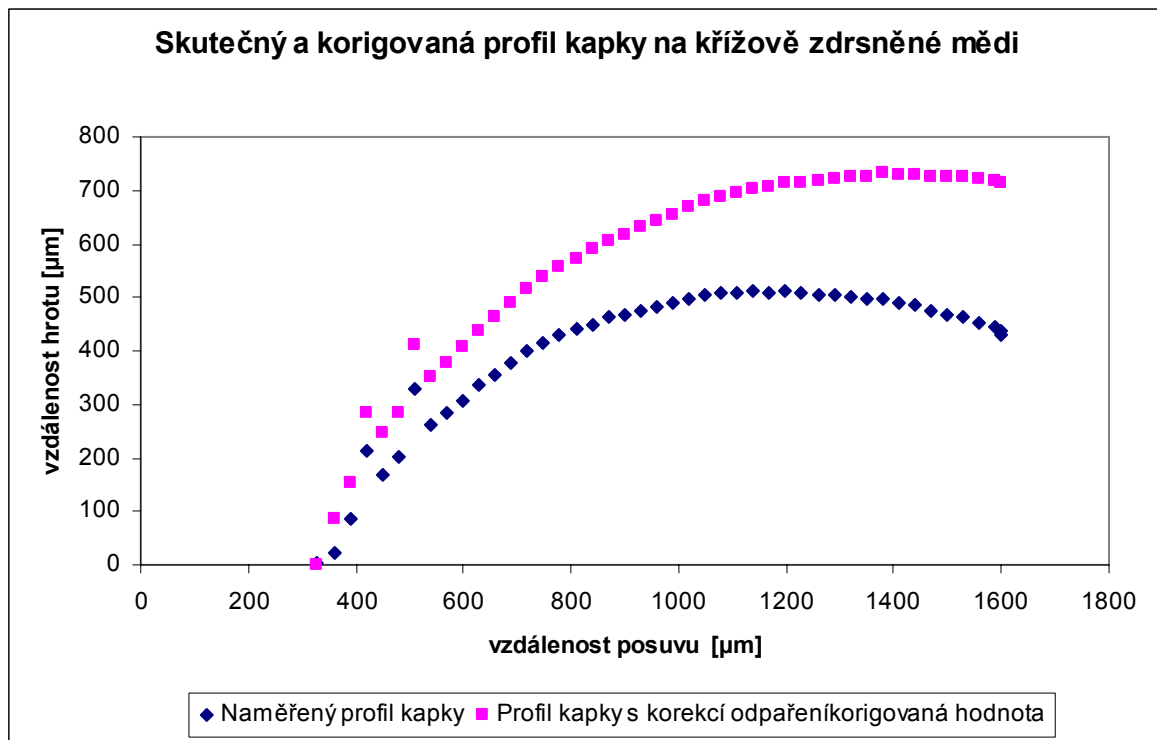
Obr. č. 47: Proložení hodnot u hladké mědi polynomem 2 stupně



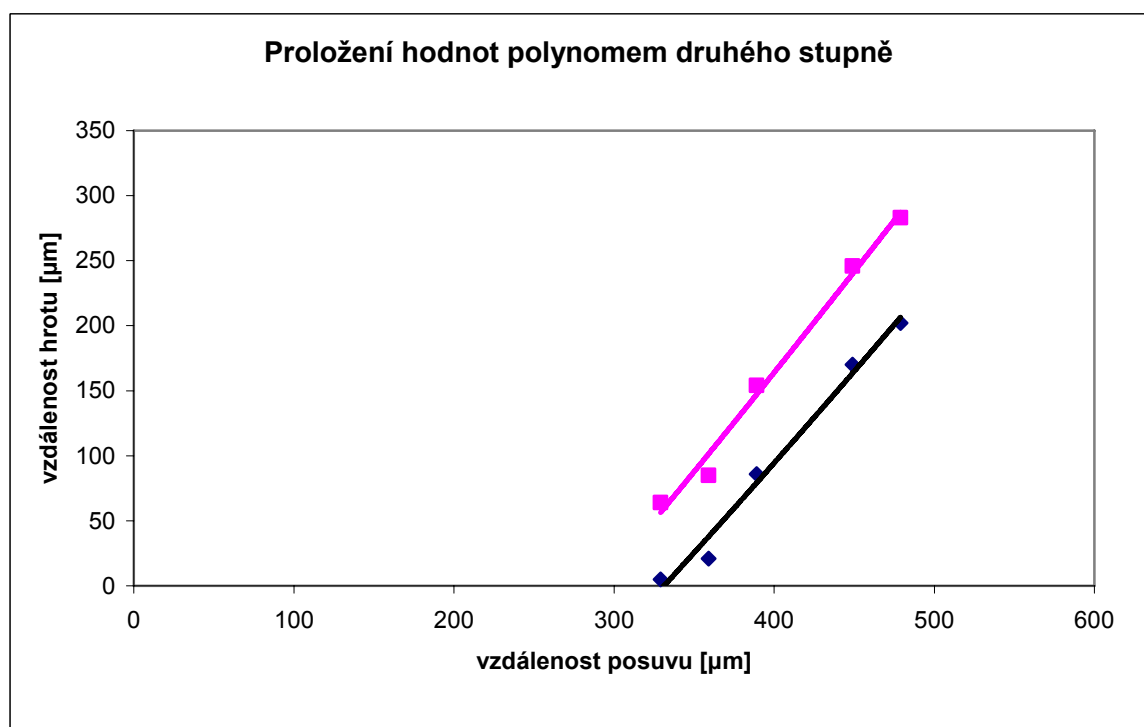
Obr. č. 48 : Skutečný a korigovaný profil kapky na zdrsňené mědi



Obr. č. 49 : Proložení hodnot u hladké mědi polynomem 2 stupně



Obr. č. 50 : Skutečný a korigovaný profil kapky na křížově zdrsňené mědi



Obr. č. 51 : Proložení hodnot u hladké mědi polynomem 2 stupně

Byl proveden výpočet kontaktních úhlu a v tabulce2 jsou vyobrazeny výsledky těchto úhlů.

Tab. 2 Přehled naměřených výsledných hodnot

Typ snímaného povrchu	Kontaktní úhel [°]	Směrodatná odchylka [°]	Relativní nejistota [%]
Železo	29,2	2,1	7,2
Železo (s korekcí)	34,8	2,7	7,8
Měď hladká	39,5	1,4	3,5
Měď hladká (s korekcí)	45,9	1,8	3,9
Měď opracovaná drsná 1	44,0	1,6	3,6
Měď opracovaná drsná 1 (s korekcí)	48,9	1,9	3,8
Měď opracovaná drsná křížová	70,5	2,9	4,1
Měď opracovaná drsná křížová	73,9	3,1	4,2

Při měření kontaktního úhlu danou metodou jsem dospěl k výsledkům, které představovaly průměrnou hodnotu kontaktního úhlu na železné destičce 29,2 stupňů. Pokud jsem započítal hodnotu korekce odpařování, úhel se zvýšil na hodnotu 34,8 stupně. Tento rozdíl je způsoben rychlostí odpařování na smáčivém povrchu. Ten měl za příčinu tzv. rozlití

kapky vody a následné odpaření. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce naměřených hodnot a dále grafy jsou uloženy v elektronické příloze této práce.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a z dostupných prostředků sestavit zařízení pro měření kontaktního úhlu. Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou.

Teoretická část práce popisuje problematiku měření, měřících metod, mechaniky kapalin, metody měření kontaktního úhlu kapalin a metody měření elektrického odporu.

V úvodu experimentální části práce je podrobně popsán návrh a sestavení měřícího systému. Při sestavování měřícího pracoviště jsem se zaměřil na výběr vhodných materiálů a kapalin nejlépe elektricky vodivých vzhledem k uplatnění využití měření elektrického odporu. Z přístrojů jsem zvolil mikroposuvy M-110.1DG a laboratorní multimetr Agilent 34401A. Jako kapalinu jsem zvolil vodu a materiály železo a měď s různým způsobem opracování. Jako klíčová součást se projevila volba měřícího hrotu, který by vyhovoval daným účelům. Vzhledem k použitelnosti byly vybrány dva hroty a to injekční jehla a velmi tenký měděný drátek, přičemž se postupně ukázalo, že jako nejvhodnější měřící hrot je měděný drátek.

Z dosažených výsledků vyplývá, že by se tato metoda měření s použitým zařízením dala dále uplatnit, avšak je zde hodně faktorů ovlivňující průběh měření a závisí na nich správnost výsledku. Jako první bych uvedl rychlost odpařování vody, kterou jsem se pokusil eliminovat korekcí. Dále je velmi důležitá poloha nanášení kapky mikropipetou, kdy nejsme schopni opakovaně vytlačit kapku stejnou silou a hlavně udržet mikropipetu pod stejným nanášecím úhlem ve stejné vzdálenosti od materiálu. Pro toto nanášení bych zajistil laboratorní stojan, který by zajišťoval ustálenou polohu a úhel při nanášení.

Při měření kontaktního úhlu na železné destičce jsem dospěl k průměrnému výsledku 29,2 stupňů s relativní nejistotou přesahující 7 %. Pokud jsem použil korekci odpařování, úhel vzrostl na hodnotu 34,8 stupně. Podobně u zdrsňené mědi 3 průměrný kontaktní úhel odpovídal hodnotě 70,5 stupně, relativní nejistota byla 4 %. Tyto poměrně velké rozdíly by mohly být způsobeny například tím, že se kapka na daném povrchu rozlije do větší plochy a tím je i odpařování rychlejší. Z dosažených výsledků je patrné, že čím více byl povrch drsnější, tím byly rozdíly mezi korigovaným a nekorigovaným průměrným výsledkem menší. Výsledky měření kontaktního úhlu na zkoumaných površích jsou uvedeny v kapitole „Měření kontaktního úhlu“ a kompletní výsledky měření, grafy jsou k dispozici také v elektronické příloze této práce.

Navrhuji pokračovat v tomto měření se zaměřením na zjištění zdroje nejistot měření. Daná metoda by mohla být použita v různých technických aplikacích v souvislosti s tribologickými aplikacemi, nanášením ochranných tenkých polymerních vrstev, např. v oblasti sensoriky.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this work was to design and build facilities available means for measuring the contact angle. The thesis is divided into two parts, theoretical and practical.

The theoretical part describes the problems of measurement, measuring methods, fluid mechanics, methods of measuring contact angles of liquids and methods of measurement of electrical resistance.

At the beginning of the experimental work is described in detail the design and assembly of the measuring system. In the compilation of a workplace, I focused on the selection of appropriate materials, and electrically conductive liquids, the best view of the application uses the measurement of electrical resistance. I chose the equipment Compact Micro-Translation Stage M-110.1DG and laboratory multimeter Agilent 34401A. I chose as the liquid water and materials, iron and copper with different ways of milling. CHOICE measuring tip proved to be a key component that would suit these purposes. With regard to the application were selected two spikes (hypodermic needle) and a very thin copper wire.

The obtained results show that this method of measurement devices used to give the exercise, but there are many factors influencing measurement and depends upon the accuracy of the result. I first introduced the evaporation rate of water, which I tried to eliminate corrections. It is a very important position spray droplets micropipette when we are not able to repeatedly push a bit with the same force and essentially keep the same micropipette nanášecím angle at the same distance from the material. For this application would ensure that the laboratory stand, which would ensure a steady position and angle dutiny application. When measuring the contact angle on an iron plate, I took the average result of 29.2 degrees with a relative uncertainty of more than 7%. If I used the evaporation correction, the angle increased the value of 34.8 degrees. Similarly, the roughened copper 3 Average contact angle values correspond to 70.5 degrees, the relative uncertainty of 4%. These relatively large differences could be caused for example by a drop on the surface of the spill into a larger area and thus evaporation is faster. The obtained results show that the more the surface was rough, it was the differences between corrected and the corrected mean result less. Results of contact angle measurements on surfaces studied are shown in "Measurement of contact angle" and the complete results of measurements, graphs are also available in an electronic annex to this work.

When measuring the contact angle method, I came to the results, which represented an average value of contact angle on an iron plate of 29.2 degrees. If I counted the value of the evaporation correction, I picked up the angle to the value of 34.8 degrees. This difference is due to the evaporation rate on the surface of the howling. He was called the cause of spilling water droplets and subsequent evaporation. Details are given in chapter on measurement procedure are given in Section Measurement of contact angle, which is shown in the table of measured values.

I propose to continue the measurement with a focus on finding sources of measurement uncertainties. The method could be used in a variety of technical applications in connection with tribologickými applications, protective coating of thin polymer layers, e.g. in sensors.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VIKOVÁ, Martina. *Technická univerzita* [online]. 2009 [cit. 2010-06-10]. Povrchové napětí kapalin. Dostupné z WWW: <http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/include/osobni_stranky/vikova.martina/teaching/11smac3.pdf>.
- [2] Agilent 34401A Multimeter Manual Updates. In *Agilent Technologies* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2007 [cit. 2010-06-10]. Dostupné z WWW: <<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/34401-90097.pdf>>.
- [3] Návod na použití. In *Návod pro multimetr HP34401A* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2005 [cit. 2010-06-10]. Dostupné z WWW: <http://www.htest.cz/download/34401A_manual_cz.pdf>.
- [4] Úloha číslo 5. : Stanovení povrchové energie obalových materiálů. In *Úloha číslo 5. - Stanovení povrchové energie obalových materiálů* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-06-10]. Dostupné z WWW: <http://web.ft.utb.cz/cs/docs/_loha___slo_5.pdf?PHPSESSID=ed40a6352746095896f4949064981545>.
- [5] Laboratoř chemie a chemické technologie : Ústav organické chemie. In *Stanovení povrchové smáčivosti tenkých vrstev a odbourávání povrchově vázaných nečistot* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2007 [cit. 2010-06-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.vscht.cz/kot/resources/studijni-materialy/labchcht-001/n150013-b6.pdf>>.
- [6] *Katedra fyziky Přf OU* [online]. 2009, 2009 [cit. 2010-06-15]. 171_UVMET%2009.doc. Dostupné z WWW: <artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/171_UVMET%2009.doc>.
- [7] SEDLÁČEK, M.: Zpracování signálu v měřící technice. Dotisk 2. vyd. – Praha: ČVUT 1999
- [8] ČECHMÁNEK M.: Zjišťování vybraných povrchových struktur pomocí skenovacího mechanismu a měření kontaktního potenciálu, jejich aplikace v bezpečnostním průmyslu, Diplomová práce, UTB Zlín, 2008
- [10] KUBÍNEK, R.; VŮJTEK, M.; MAŠLÁŇ, M.: Mikroskopie skenující aoudou, VUP 2003

[11] <http://www.physikinstrumente.com/en/news/fullnews.php?newsid=25>

[12] <http://www.physikinstrumente.com/en/products/prdetail.php?sortnr=900600>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Ukázka povrchové energie	15
Obr. č. 2: Povrchové napětí na hladině vody	16
Obr. č. 3 :Kontaktní úhel	17
Obr. č. 4 : Metastabilní kontaktní úhel	18
Obr. č. 5 : Měření úhlu na nakloněné desce	19
Obr. č. 6 : Měření úhlu na nakloněné desce	20
Obr. č. 7 : Přisedlá kapka (a), přilínající bublina (b)	20
Obr. č. 8 : Snímání úhlu digitálním zařízením.....	21
Obr. č. 9 : Kontaktní úhel smáčející kapaliny	23
Obr. č. 10 : Wheatstoneův můstek.....	26
Obr. č. 11 : Drátkový můstek.....	26
Obr. č. 12 : Metoda AVAL	27
Obr. č. 13 : Metoda AMONT	28
Obr. č. 14 : Metoda KOMPARAČNÍ	28
Obr. č. 15 : Metoda SUBSTITUČNÍ	29
Obr. č. 16 : Blokové schéma měřícího pracoviště	31
Obr. č. 17 : Měřicí přístroj Agilent 34401A	32
Obr. č. 18 : Přední panel přístroje Agilent 34401A.....	33
Obr. č. 19 : Signalizační displej přístroje Agilent 34401A.....	34
Obr. č. 20 : Mikroposuv M-110. 1DG	35
Obr. č. 21 : Mercury C-862.....	36
Obr. č. 22 : Personal computer	37
Obr. č. 24 : RS 232 kabel.....	38
Obr. č. 25 : Mikropipeta	39
Obr. č. 26 : Olympus SZX 7 a Olympus C5060WZ.....	39
Obr. č. 27 : Software PI Merkury	40
Obr. č. 28 : Software „Posuv“.....	41
Obr. č. 29: Schéma zapojení rezistorů	43
Obr. č. 30 : Software Evaporating - Z.....	44
Obr. č. 31: Detail hrotu a měděné destičky	45
Obr. č. 32 : Výsledný graf snímací metody jehla-měď'.....	46

Obr. č. 33 : Detail hrotu a železné destičky	47
Obr. č. 34 : Výsledný graf snímací metody jehla - železo	47
Obr. č. 35 : Nový měřicí hrot před měřením (vlevo) a po měření (vpravo)	48
Obr. č. 36 : Detail měděného hrotu a železné destičky	49
Obr. č. 37 : Software Drop Profile - YZ	50
Obr. č. 38 : Detail snímání kapičky vody hrotem	51
Obr. č. 39 : Graf profilu kapky snímané injekční jehlou	52
Obr. č. 40 Profil kapky pomocí měděného drátku	53
Obr. č. 41 Software Evaporating Z	54
Obr. č. 42 Časový průběhu odpařování vody na mědi	55
Obr. č. 43 průběh odpařování - lineární část vhodná pro regresy	56
Obr. č. 44 Skutečný a korigovaný profil kapky vody na železe	57
Obr. č. 45 : Proložení hodnot u železa polynomem 2 stupně	57
Obr. č. 46: Skutečný a korigovaný profil kapky vody na mědi	58
Obr. č. 47: Proložení hodnot u hladké mědi polynomem 2 stupně	58
Obr. č. 48 : Skutečný a korigovaný profil kapky na zdrsňené mědi	59
Obr. č. 49 : Proložení hodnot u hladké mědi polynomem 2 stupně	59
Obr. č. 50 : Skutečný a korigovaný profil kapky na křížově zdrsňené mědi	60
Obr. č. 51 : Proložení hodnot u hladké mědi polynomem 2 stupně	61

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Přepočtová tabulka	42
Tab. 2 Přehled naměřených výsledných hodnot	61

SEZNAM PŘÍLOH

CD disk 1x

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY