

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**LIBEREC 2009**

**KATARÍNA GOLDÍROVÁ**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**

**Katedra textilní chemie**

**Obor: 3106T 002 Chemická technologie textilní**

**VLIV ČLENITOSTI POVRCHU PLOŠNÝCH  
TEXTILNÍCH ÚTVARŮ NA SMÁČIVOST**

**INFLUENCE OF SEGMENTATION OF TEXTILES TO  
SURFACE WETTABILITY**

**Katarína Goldírová**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Dembický, Ph.D.

Konzultant: Doc. Ing. Jaroslav Odvárka, Dr.Sc.

**Rozsah práce:**

Počet stran: 119

Počet obrázků: 93

Počet tabulek: 32

Liberec 2009

# **ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE**

## Prehlásenie

Prehlasujem, že predložená diplomová práca je pôvodná a spracovala som ju samostatne. Prehlasujem, že citácia použitých prameňov je úplná, že som v práci neporušila autorské práva (v zmysle zákona č. 121/2000 Zb. o práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

Súhlasím s umiestnením diplomovej práce v Univerzitnej knižnici TUL.

Bola som oboznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb. o práve autorskom, najmä § 60 (školské dielo).

Beriem na vedomie, že TUL má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o použití mojej diplomovej práce a prehlasujem, že **s ú h l a s í m** s prípadným použitím mojej diplomovej práce (predaj, zapožičanie a pod.)

Som si vedomá toho, že použiť svoju diplomovú prácu či poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom TUL, ktorá má právo odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, vynaložených univerzitou na vytvorenie diela (až do ich skutočnej výšky).

V Liberci dňa 5.1.2009

.....

Katarína Goldírová

## ***Pod'akovanie***

*Touto cestou sa chcem poďakovať vedúcemu diplomovej práce Ing. Josefovi Dembickému, Ph.D. za odborné vedenie, poskytnuté rady a pripomienky. Ďalej by som chcela poďakovať Doc. Ing. Jaroslavovi Odvárkovi, Dr.Sc. za rady a pripomienky, Ing. Vladimírovi Bajzíkovi z Katedry hodnotenia textílií a firme Innowep za spoluprácu pri meraní drsnosti. V neposlednej rade ďakujem mojej rodine za podporu v priebehu celého štúdia.*

## **Anotácia**

### **Vplyv členitosti povrchu plošných textilných útvarov na zmáčanie**

Táto diplomová práca sa zaoberá vplyvom členitosti povrchu plošných textilných útvarov na zmáčanie. V teoretickej časti sú charakterizované základné pojmy týkajúce sa danej problematiky. V tejto práci boli vlákna a modelové textílie podrobené optickej metóde a následne na nich stanovené povrchové charakteristiky, ktoré boli porovnané s publikovanými hodnotami. Na štúdium dynamiky zmáčania bol použitý obrazový analyzátor LUCIA G.

*Kľúčové slová:* povrchová energia, povrchové napätie, zmáčanie, kontaktný uhol, drsnosť

## **Annotation**

### **Influence of segmentation of textiles to surface wettability**

This diploma paper describes influence of segmentation to surface wettability. In theoretic part are mentioned basic terms. In this work were examples of fibers and textiles examined by optic method and on these bases were determined surface characteristics and compared by published values. For examination of dynamics of wettability was used LUCIA G analyzer.

*Key words:* surface energy, surface tension, wettability, contact angle, roughness

# OBSAH

<b>POUŽITÉ SYMBOLY A SKRATKY</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b>	<b>12</b>
<b>1. ROZHRIANIE PEVNÁ FÁZA - KVAPALINA</b>	<b>13</b>
1.1 Charakteristika zmáčania	13
1.2 Hysterezia zmáčania	13
1.3 Zmäčacie teplo	14
1.4 Youngova rovnica	15
1.5 Uhol zmáčania	16
1.6 Metódy merania kontaktného uhlu	17
1.6.1 Metóda naklonenej dosky	17
1.6.2 Metóda vyvažovania doštičky	17
1.6.3 Priame meranie kontaktného uhlu na kvapke kvapaliny	18
1.7 Výpočet kontaktného uhlu	18
1.7.1 Výpočet kontaktného uhlu vodnej kvapky na textilnom materiáli	18
1.7.2 Vzťah vychádzajúci z kvapky tvaru guľovitého vrcholíku	19
1.7.3 Eliptický model kvapky	21
1.8 Metódy výpočtu povrchovej energie pevnej látky	23
1.8.1 Statická metóda podľa Gooda a Girifalca	23
1.8.2 Hramonická metóda podľa Wu	24
1.8.3 Geometrická metóda podľa Fowkesa	25
1.9 Kritická povrchová energia	25
1.9.1 Zložky povrchovej energie	26
1.10 Energia adhéznej väzby	28
<b>2. POVRCHOVÉ VLASTNOSTI KVAPALÍN</b>	<b>29</b>
2.1 Povrchové napätie a povrchová energia kvapalín	29
2.2 Kapilarita	31
2.3 Kapilárny tlak	33
2.4 Metódy merania povrchového napätia kvapalín	35
2.4.1 Statické metódy	35
2.4.1.1 Metóda kapilárnej elevácie	36
2.4.1.2 Metóda sledovania tvaru kvapiek a bublín	37

2.4.1.3	<i>Wilhelmyho metóda vyvažovania doštičky</i>	38
2.4.2	Semistatické metódy	38
2.4.2.1	<i>Metóda maximálneho pretlaku v bubline</i>	38
2.4.2.2	<i>Metóda odtrhávania prstenca (du Noüyho)</i>	39
2.4.2.3	<i>Metóda váženia kvapky (stalagmometrická)</i>	40
2.4.3	Dynamické metódy	41
2.4.3.1	<i>Metóda oscilujúceho lúča</i>	42
<b>3.</b>	<b>ZMÁČANIE VLÁKIEN</b>	<b>43</b>
3.1	Dokonalé zmáčanie vlákna	43
3.2	Meranie kontaktného uhlu na vláknach	44
3.2.1	Wilhelmyho princíp rovnováhy	45
3.3	Dynamické zmáčanie	49
<b>4.</b>	<b>DRSNOSŤ</b>	<b>51</b>
4.1	Popis drsnosti povrchu	51
4.2	Štatistické parametre pre popis drsnosti povrchu	51
<b>5.</b>	<b>DEFINÍCIA CIEĽOV DIPLOMOVEJ PRÁCE</b>	<b>56</b>
<b>6.</b>	<b>EXPERIMENTÁLNA ČASŤ</b>	<b>57</b>
6.1	Použité materiály	57
6.2	Použité kvapaliny	57
6.3	Metódy určovania kontaktného uhlu	58
6.3.1	Meranie kontaktného uhlu optickou metódou na vláknach	58
6.3.2	Meranie kontaktného uhlu optickou metódou na plošnej textílii	60
6.4	Vplyv objemu kvapaliny na zmáčacie charakteristiky modelových plošných textílií	62
6.5	Stanovenie povrchovej energie na vlákne a plošnom textilnom útvare. Vzájomné porovnanie týchto hodnôt s tabuľkovými	62
6.6	Meranie drsnosti štruktúry profilu plošných materiálov	63
<b>7.</b>	<b>DISKUSIA A VÝSLEDKY</b>	<b>69</b>
7.1	Vplyv objemu kvapaliny na zmáčacie charakteristiky modelových plošných textílií	69
7.2	Stanovenie povrchovej energie na vlákne a plošnom textilnom útvare. Vzájomné porovnanie týchto hodnôt s tabuľkovými	70
7.3	Meranie drsnosti štruktúry profilu plošných materiálov	72



7.4	Analýza vplyvu štruktúry povrchu plošného textilného útvaru na zmáčanie	73
<b>8.</b>	<b>ZÁVER</b>	<b>74</b>
<b>9.</b>	<b>PRÍLOHA</b>	<b>76</b>
9.1	Vplyv objemu kvapaliny na zmáčacie charakteristiky modelových plošných textílií	76
9.2	Stanovenie povrchovej energie na vlákne a plošnom textilnom útvare. Vzájomné porovnanie týchto hodnôt s tabuľkovými	107
9.3	Meranie drsnosti štruktúry profilu plošných materiálov	114
<b>10.</b>	<b>LITERATÚRA</b>	<b>118</b>

## POUŽITÉ SYMBOLY A SKRATKY

- a dĺžka hlavnej polosi [m]; smernica lineárnej závislosti cosinu kontaktného uhlu  $\theta$  na povrchovom napätí kvapaliny  $\gamma_1$  v oblasti pre  $\gamma_1$  vyššej ako  $\gamma_c$
- A plocha zmáčaného povrchu
- A index príslušnosti k meranej kvapaline
- a pod. a podobne
- b dĺžka vedľajšej polosi [m]; polomer vlákna [m]
- B<sub>S</sub> rovnovážna sila medzi držiakom a závažím [N]
- B index príslušnosti ku kalibračnej kvapaline o známom povrchovom napätí
- cca približne
- d šírka doštičky [m]; hustota kvapaliny [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]; priemer kvapky na fázovom rozhraní s textíliou [m]; dĺžka styku kvapky s pevným adsorbentom [mm]
- dF<sub>1</sub> zmena Helmholtzovej energie [J]
- dF<sub>2</sub> zmena Helmholtzovej energie [J]
- dh výška hladiny v kapiláre [m]
- dS plocha vyšetrovanej časti povrchu
- e hrúbka filmu kvapaliny
- f polomer kvapky vo vzdialenosti  $n/2$  nad textilným materiálom [m]
- F neanalytická funkcia  $R$  a  $V$ ; sila [N]
- F<sub>b</sub> vztlaková sila [N]
- F<sub>w</sub> tiaž kvapaliny [N]
- g gravitačná konštanta [ $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]
- GM geometrická metóda
- h výška kvapky [m, mm]; hĺbka ponorenia [m]; výška kvapalinového stĺpca v kapiláre [m]
- HM harmonická metóda
- l dĺžka vodorovne ponoreného vlákna [m]; kvapka vody
- L dĺžka vertikálne ponoreného vlákna [m]
- m hmotnosť kvapky [g]; vzdialenosť stredu elipsy od roviny povrchu pevnej fázy (textílie) [m]
- M<sub>f g</sub> gravitačná sila
- n výška kvapky (materiál sa kvapalinou zmáča) [m]

N	počet kvapiek, ktorých celkový objem je rovný objemu stalagmometru [-]; počet vertikálnych vlákien [-]
napr.	napríklad
obr.	obrázok
p	kapilárny tlak [Pa]
r	polomer stykovej plochy medzi pevnou a kvapalnou fázou [m]; polomer kvapky, bubliny [m]; polomer valca [m]
R	polomer kapiláry [mm]; vnútorný polomer kapiláry [m]; polomer krivosti [m]
resp.	respektíve
$R_1, R_2$	polomer krivosti [m]
$r_p$	polomer prstenca [m]
SM	statická metóda
str.	strana
t	hrúbka doštičky [m]; tečna v krajnom bode styku kvapaliny s textíliou
tab.	tabuľka
t. j.	to jest
tzv.	takzvané
v	rýchlosť vlákna pohybujúceho sa vertikálne smerom do kvapaliny [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]
$v_c$	kritická rýchlosť, pri ktorej je dynamický kontaktný uhol $90^\circ$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]
vid'.	pozri
W	celková povrchová energia [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$W_A$	adhézná energia [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$W_f$	povrchová energia suchého vlákna [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$W_K$	povrchová energia kvapaliny [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$W_{KP}$	povrchová energia na rozhraní kvapalina/pevná látka [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$W_P$	povrchová energia pevnej látky [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$\gamma$	povrchové napätie [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
$\gamma_c$	kritické povrchové napätie [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
$\gamma^d$	disperzná zložka povrchovej energie
$\gamma_{LG1}^d$	disperzná zložka povrchového napätia prvej kvapaliny [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
$\gamma_{LG2}^d$	disperzná zložka povrchového napätia druhej kvapaliny [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
$\gamma_s^d$	disperzná zložka povrchovej energie pevnej látky [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
$\gamma_L$	povrchové napätie kvapalín [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]

$\gamma_{lg}$	povrchové napätie na rozhraní kvapalná/plynná fáza [ $N \cdot m^{-1}$ ]
$\gamma_{LG1}$	povrchové napätie prvej kvapaliny [ $N \cdot m^{-1}$ ]
$\gamma_{LG2}$	povrchové napätie druhej kvapaliny [ $N \cdot m^{-1}$ ]
$\gamma_{LG1}^n$	nedisperzná zložka povrchového napätia prvej kvapaliny [ $N \cdot m^{-1}$ ]
$\gamma_{LG2}^n$	nedisperzná zložka povrchového napätia druhej kvapaliny [ $N \cdot m^{-1}$ ]
$\gamma_s^n$	nedisperzná zložka povrchovej energie pevnej látky [ $J \cdot m^{-2}$ ]
$\gamma^P$	polárna zložka povrchovej energie
$\gamma_s$	celková povrchová energia [ $J \cdot m^{-2}$ ]; povrchové napätie pevnej fázy [ $N \cdot m^{-1}$ ]
$\gamma_{sg}$	povrchové napätie na rozhraní pevná/plynná fáza [ $N \cdot m^{-1}$ ]
$\gamma_{sl}$	medzipovrchové napätie na rozhraní pevná fáza/kvapalina [ $N \cdot m^{-1}$ ]
$\Phi$	korekcia
$\omega$	uhlová rýchlosť rotácie [ $s^{-1}$ ]
$\pi$	Ludolfove číslo
$\pi_e$	zmáčací tlak, ktorý je spôsobený znížením povrchovej energie tuhej fázy adsorpciou par
$\rho$	hustota kvapaliny [ $kg \cdot m^{-3}$ ]
$\rho^{(l)}$	hustota kvapaliny [ $kg \cdot m^{-3}$ ]
$\rho_1, \rho_2$	hustoty oboch nemiesiteľných kvapalín $\rho_1 > \rho_2$ [ $kg \cdot m^{-3}$ ]
$\sigma$	zmena entalpie pri jednotkovej zmene plochy fázového rozhrania za konštantnej teploty a tlaku
$\theta$	uhol zmáčania - kontaktný uhol [ $^\circ$ ]; krajový uhol na rozhraní textília - kvapalina [ $^\circ$ ]
$\theta_1$	kontaktný uhol s prvou kvapalinou [ $^\circ$ ]
$\theta_2$	kontaktný uhol s druhou kvapalinou [ $^\circ$ ]
$\theta'$	postupujúci uhol [ $^\circ$ ]
$\theta''$	ustupujúci uhol [ $^\circ$ ]

## ÚVOD

Zmáčanie vlákien a textilných materiálov má dôležitú rolu v rade technologických postupov (zušľachtovanie textílií, farbenie), pri bežnom používaní hotového textilného výrobku, v priemyslových aplikáciách textilných materiálov (likvidácia ropných havárií a výroba kompozitných materiálov), pri finálnych úpravách výrobkov (nanášanie chemických úprav na plošné textílie a vlákna) a pri výrobe hygienických a zdravotníckych výrobkov.

Proces zmáčania je ovplyvňovaný štruktúrou zmáčaného materiálu a jeho povrchovými úpravami, typom kvapaliny a podmienkami okolia. Dôraz je kladený na interakciu vlákenných systémov s vodou a vodnými parami. Za výhodu sa obyčajne považuje, ak sú vlákna hydrofilné, čiže majú afinitu k vode, znamená to, že sú schopné viazať a transportovať vodu, ale napr. u materiálov pre medicínu, niektorých ochranných a športových odevov je dôležitá hydrofobita, t. j., že povrch vlákien sa nez máča. Voda sa u zväzkov týchto vlákien šíri predovšetkým vplyvom kapilárnych síl resp. sa mechanicky viaže na praskliny a mikropóry [1].

Podmienka pre dokonalé zmáčanie rovinatej pevnej látky je definovaná Youngovou rovnicou. Výsledkom Youngovej práce bolo zistenie, že dokonalé zmáčanie rovinatej pevnej látky nastane vtedy, ak je uhol zmáčania  $\Theta$  nulový [2]. Thomas Young dal do spojitosti kontaktný uhol s povrchovými energiami na medzifáze pevná látka - kvapalina - plyn. Z pohľadu termodynamiky sa týmto vzťahom zaoberal J.W. Gibbs [3].

Kontaktný uhol je bežná a použiteľná charakteristika merania zmáčania. Dáva informáciu o povrchových energiách a povrchovej heterogenite. Významné pokroky pri štúdiu zmáčania učinili Girifalco a Good, Fowkes a Neumann [4].

Základnou vlastnosťou materiálov, ktorá je dôvodom interakcií na medzifázových rozhraniach je voľná povrchová energia. Veľa metód dovoľuje určenie voľnej povrchovej energie kvapalín, ale nie je známa žiadna priama metóda na stanovenie voľnej povrchovej energie pevných látok. Povrchová energia sa určuje z hodnôt kontaktných uhlov rôznych kvapalín na skúmanej pevnej látke.

V tejto práci je podrobne popísané zmáčanie. Hlavným cieľom práce je:

- 1) sledovanie zmáčania/drsnosti,
- 2) meranie zmáčania plošných textilných útvarov.

# 1. ROZHRANIE PEVNÁ FÁZA - KVAPALINA

## 1.1 Charakteristika zmáčania

Zmáčanie sa dá charakterizovať ako stav, keď je kvapalina privedená do kontaktu s povrchom pevnej látky. Pod zmáčaním sa rozumie schopnosť textílie transportovať a zadržovať tekutinu v medzivlákných priestoroch jej vnútornej štruktúry. Je ovplyvnená morfológiou a tvarom vlákien, úpravou povrchu vlákenného materiálu, geometrickými charakteristikami vlákien, spôsobom spevnenia vlákenej vrstvy, vnútornou štruktúrou materiálu (orientáciou vlákien, typom pojiva, hodnotou koeficientu objemového zaplnenia), chemickým zložením a fyzikálnymi charakteristikami kvapalnej látky [5]. Vzniká na základe adhézných a kohéznych síl a väzieb medzi kvapalinou a pevnou látkou. Zmáčanie je ovplyvňované iba povrchom pevnej látky, pretože kvapalina do hmoty pevnej látky nepreniká. Prejavom tohto faktu pri zmáčaní textílií je napr. veľký vplyv aviváže, povrchovej modifikácie vlákien a finálnych úprav.

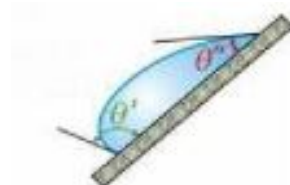
Je to dynamický proces. Spontánne zmáčanie je migrácia kvapaliny cez povrch pevnej látky smerom k termodynamickej rovnováhe, ale naopak vynútené zmáčanie zahŕňa vonkajšie hydrodynamické a mechanické sily, ktoré zväčšujú plochu medzifázy pevná látka - kvapalina nad statickú rovnováhu. Zmáčaná plocha môže byť rovná alebo mať komplikovanú geometriu [6].

Zmáčanie a vzlínanie nie sú dva rôzne procesy. Zmáčanie je podmienkou pre vzlínanie. Kvapalina, ktorá nezmačá vlákna nemôže vzlínať do látky. Transport kvapaliny do vlákenného útvaru, ako priadze alebo textílie môže byť spôsobený iba vonkajšími alebo kapilárnymi silami. Spontánne prúdenie kvapaliny do pórovitého systému kapilárnymi silami sa nazýva vzlínanie [7].

## 1.2 Hysterezia zmáčania

Pri zmáčaní tuhých povrchov kvapalinou sa rovnovážny stav ustáľuje až po určitej dobe. Tento jav sa označuje ako hysterezia zmáčania. Je spôsobená znečistením povrchu, drsnosťou povrchu a napr. aj viskozitou kvapaliny [8]. Hysterezia zmáčania

predstavuje schopnosť kvapaliny vytvárať pri styku s pevnou látkou niekoľko stálych uhlov zmáčania, ktoré sa líšia veľkosťou od uhlu rovnovážneho. Uhol zmáčania kvapaliny, ktorá postupuje po pevnom povrchu (napr. pri vnáraní pevného predmetu do kvapaliny alebo pri nakláňaní pevného povrchu) je väčší ako uhol na ustupujúcom rozhraní - pri vynáraní [9].



**Obr. 1:** Tvar kvapky na naklonenom povrchu [9].

### 1.3 Zmäčacie teplo

Zmäčacie teplo vzťahnuté na jednotku plochy povrchu je dôležitou charakteristikou povahy pevného povrchu. Čím viac tepla sa pri zmáčaní uvoľní, tým intenzívnejšie je vzájomné pôsobenie medzi kvapalinou a pevnou látkou [9]. Stupeň hydrofilnosti povrchu sa určuje z tepla zmáčania. Povrch, ktorý je zmáčaný má celkovú povrchovú energiu menšiu než pôvodný povrch. Zmäčacie teplo bude tým väčšie, čím menší bude rozdiel v polarite medzi kvapalinou a pevnou látkou [10].

Pretože zmáčanie je pochod nevratný, uvoľňuje sa medzifázová energia vo forme tepla. Zmena entalpie pri pokrytí pevnej látky kvapalinou - *zmáčacie teplo* - je daná rozdielom [9]:

$$\Delta_{sm}H = A (\sigma_{sl} - \sigma_{sg}) , \quad (1)$$

kde  $A$  je plocha zmáčaného povrchu,  $\sigma$  je zmena entalpie pri jednotkovej zmene plochy fázového rozhrania za konštantnej teploty a tlaku.

Pre praktické účely sa hydrofilnosť stanoví tak, že sa určí pomer zmáčacieho tepla  $\beta$  raz v polárnej a raz v nepolárnej kvapaline (tab. I). Keď je  $\beta > 1$ , tak pevný povrch je lepšie zmáčaný polárnou kvapalinou a je hydrofilný. Keď je  $\beta < 1$ , tak pevný

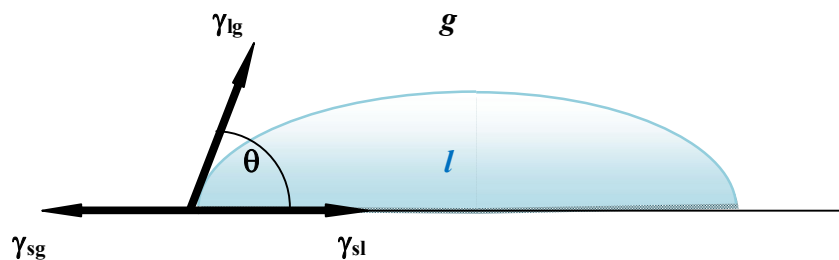
povrch je lepšie zmáčaný nepolárnou kvapalinou a je hydrofóbny. Ak  $\beta = 1$ , tak povrch je rovnako zmáčaný polárnou a nepolárnou kvapalinou a je neutrálny. V tab. I sú uvedené zmáčacie tepla, pre niektoré pevné látky pri kontakte s polárnou, resp. disperznou kvapalinou [10].

**Tab. I:** Zmäčacie tepla a podiel zmáčacích tepiel  $\beta$  [10].

<i>Pevná látka</i>	<i>Kvapalina polárna / nepolárna</i>	<i>Zmäčacie teplo [kJ.kg<sup>-1</sup>]</i>	<i><math>\beta</math> [1]</i>
SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O / hexan	38,4 / 18,3	2,1
Obr.it	H <sub>2</sub> O / hexan	6,25 / 6,66	0,95
Uhlie	H <sub>2</sub> O / hexan	24,6 / 66,0	0,37

## 1.4 Youngova rovnica

Youngova rovnica popisuje rovnováhu kvapky na podložke. Podložka je z pevnej látky, ktorej povrch je rovný, tvar pevnej látky sa behom zmáčania nemení a kvapalina nepreniká do jej povrchu. Kvapka dosiahne rovnovážny stav vtedy, ak sú v rovnováhe zložky povrchových napätí  $\gamma_{lg}$ ,  $\gamma_{sl}$ ,  $\gamma_{sg}$  a nedochádza k pohybu hranice kvapky [2].



**Obr. 2:** Fázové rozhranie pevná látka - kvapalina - plyn.

$\gamma_{sl}$  => medzipovrchové napätie na rozhraní pevná fáza/kvapalina [N.m<sup>-1</sup>],

$\gamma_{sg}$  => povrchové napätie na rozhraní pevná/plynná fáza [N.m<sup>-1</sup>],

$\gamma_{lg}$  => povrchové napätie na rozhraní kvapalná/plynná fáza [N.m<sup>-1</sup>].



Podmienka rovnováhy vedie k Youngovej rovnici [2]:

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cdot \cos\theta, \quad (2)$$

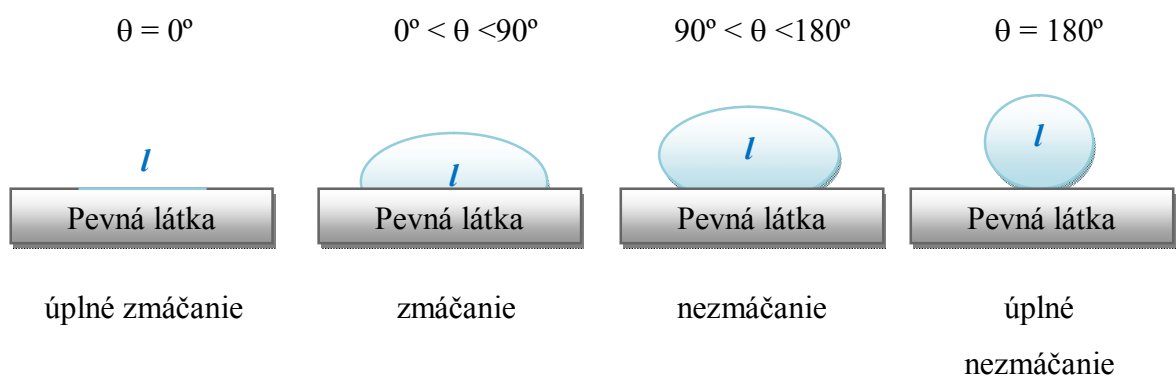
kde  $\theta$  je kontaktný uhol zmáčania [ $^\circ$ ] a vyjadri sa ako:

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lg}}. \quad (3)$$

## 1.5 Uhol zmáčania

Je uhol, ktorý zvierá tečna k povrchu kvapky kvapaliny s rozhraním pevná látka - kvapalina v bode línie zmáčania. Uhol zmáčania je jednou z málo priamo merateľných vlastností rozhraní pevná látka - kvapalina - plyn. Namerané hodnoty môžu byť ovplyvňované nečistotami, nerovnosťami na pevnom povrchu a prípadnou interakciou pevnej látky s kvapalinou [9].

Do akej miery dochádza k zmáčaniu pevného povrchu kvapalinou rozhoduje veľkosť kontaktného uhlu  $\theta$ . Podľa veľkosti kontaktného uhlu môže tvar kvapky nadobudnúť rôzne podoby a veľkosť styčnej plochy tuhej a kvapalnej fázy sa môže značne líšiť. Typické príklady sú znázornené na obr. 3.



**Obr. 3:** Kvapka kvapaliny na povrchu pevnej látky [9].

Veľkosť krajového uhlu závisí na rozdiel povrchového napätia steny vzhľadom ku vzduchu a vzhľadom ku kvapaline. Tento rozdiel sa nazýva adhézna konštanta. Ak je adhézna konštanta kladná, tak krajový uhol je ostrý, kvapalina stenu zmáča. Ak je adhézna konštanta záporná, tak krajový uhol je tupý, kvapalina stenu nezmáča [11].

## 1.6 Metódy merania kontaktného uhlu

### 1.6.1 Metóda naklonenej dosky

Ak je stredne veľká plocha rovného povrchu pevnej látky prístupná, kontaktné uhly sú merané priamo z priemetu prisadlej kvapky kvapaliny. Doštička sa ponorí do kvapaliny a nakláňa sa tak dlho až je povrch kvapaliny rovný k čiare styku medzi doskou a kvapalinou. V tomto okamžiku zvierá hladina kvapaliny s rovinou doštičky uhol  $\theta$ . Z uhlu sklonu dosky sa dá priamo vypočítať kontaktný uhol [9].



**Obr. 4:** Meranie  $\theta$  na naklonenej doske [9].

### 1.6.2 Metóda vyvažovania doštičky

Meria sa sila potrebná k vyváženiu doštičky alebo výška, do ktorej vzlína kvapalina na vertikálnej doštičke ponorenej do kvapaliny [9].

### 1.6.3 Priame meranie kontaktného uhlu na kvapke kvapaliny

Kvapka kvapaliny je umiestnená na rovinnom povrchu pevnej látky, ktorá je osvetlená zväzkom lúčov rovnobežných s povrchom. Uhol  $\theta$  je potom meraný buď priamo mikroskopom, opatreným goniometrickou stupnicou alebo sa dá snímať profil kvapky kamerou a uhol zmáčania vyhodnotiť počítačom [9].

## 1.7 Výpočet kontaktného uhlu

### 1.7.1 Výpočet kontaktného uhlu vodnej kvapky na textilnom materiáli

Najčastejšie používanými vzťahmi pre výpočet kontaktného uhlu sú [12]:

1) *Vzťah podľa Bartella a Zuidemi*

$$\theta = 2 \cdot \arctg \frac{2h}{d}, \quad (4)$$

kde  $\theta$  je krajový uhol na rozhraní textíliu - kvapalina [°],  $h$  je výška kvapky [mm],  $d$  je dĺžka styku kvapky s pevným adsorbentom [mm].

2) *Vzťah podľa Sommera*

➤ pre kontaktné uhly v intervale  $(0, 90)^\circ$  platí vzťah:

$$\theta = \arccos \frac{\left( \frac{4h}{d} \right)^2 - 4}{\frac{4h}{d} + 4}, \quad (5)$$

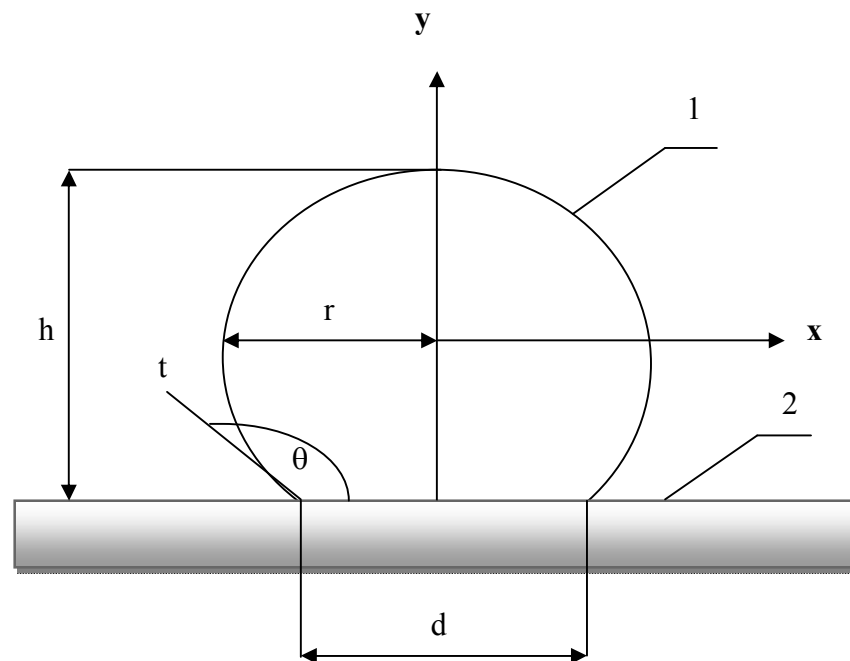
kde  $h$  je výška kvapky [mm],  $d$  je dĺžka styku kvapky s pevným adsorbentom [mm].

➤ pre uhly  $> 90^\circ$  platí nasledujúci vzťah:

$$\theta = \arccos \frac{d - 2h}{d} . \quad (6)$$

### 1.7.2 Vzťah vychádzajúci z kvapky tvaru guľovitého vrcholíku

V literatúre [12] sú uvádzané matematické vzťahy, ktoré sú založené na zidealizovanom modeli kvapky, ktorá má tvar gule. Budeme vychádzať z obr. 5.



**Obr. 5:** Model kvapky tvaru gule [12].

*Popis obr.:*

1 => kvapka vody,

2 => textilný materiál,

xy => súradnicový systém s počiatkom v strede kvapky,

r => polomer kvapky [m],

h => výška kvapky [m],

d => priemer kvapky na fázovom rozhraní s textíliou [m],

$t \Rightarrow$  tečna v krajnom bode styku kvapaliny s textíliou,

$\theta \Rightarrow$  kontaktný uhol [°].

Pre rovnicu kružnice platí vzťah [12]:

$$x^2 + y^2 = r^2 \quad \Rightarrow \quad y = \sqrt{r^2 - x^2}. \quad (7)$$

V prípade hydrofóbnych povrchov sa stykový uhol  $\theta$  nachádza v zápornej polovici súradnicového systému, v prípade povrchov hydrofilných (t. j. povrchov s krajovým uhlom menším ako  $90^\circ$ ) je poloha tohto uhlu v polovine kladnej.

Cieľom je nájsť hodnotu prvej derivácie v bode  $x = d/2$ .

Veľkosť uhlu zmáčania potom bude úmerná vzťahu:  $\pi \pm \operatorname{tg} \left( \frac{df(x)}{dx} \right)$ .

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d \left( \sqrt{r^2 - x^2} \right)}{dx} = \frac{-x}{\sqrt{r^2 - x^2}}. \quad (8)$$

K výslednému vzťahu sa dospeje analyticky [12]:

➤ pre kontaktné uhly  $\theta > 90^\circ$

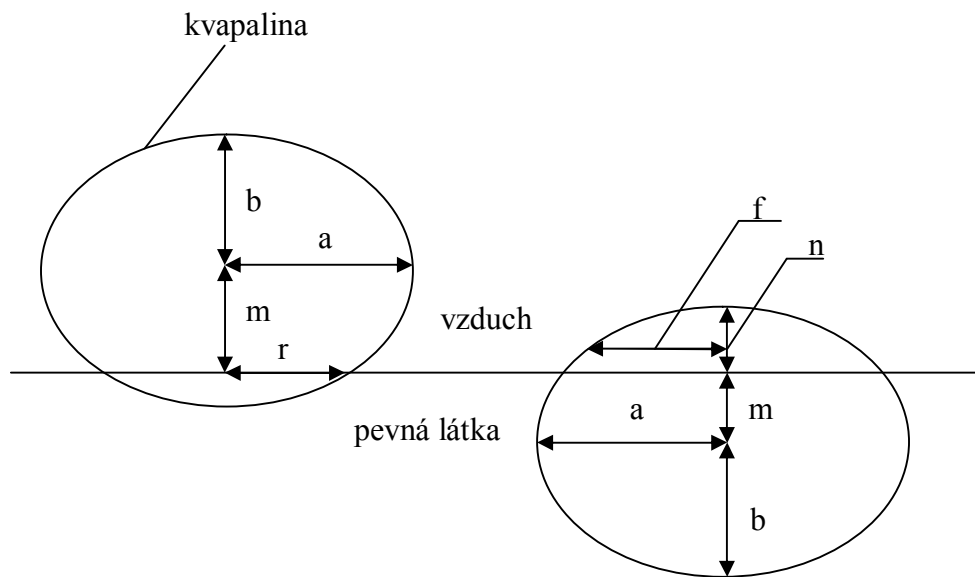
$$\theta = 180 - \operatorname{arctg} \frac{4 h d}{|d^2 - 4 h^2|}, \quad (9)$$

➤ pre kontaktné uhly  $\theta < 90^\circ$

$$\theta = - \operatorname{arctg} \frac{4 h d}{|d^2 - 4 h^2|}. \quad (10)$$

### 1.7.3 Eliptický model kvapky

Model guľovitého tvaru sa dá nahradiť presnejším eliptickým modelom. Eliptický model pracuje na rozdiel od kruhového s troma parametrami ( $a$ ,  $b$ ,  $m$ ). V prípade hydroföbných materiálov je možné tieto parametre priamo odčítať, pri hydrofilných povrchoch je potrebné pracovať s pomocnými premennými ( $n$ ,  $r$ ,  $f$  - vid'. obr. 6) [12].



**Obr. 6:** Eliptický model kvapky [12].

*Popis obr.:*

$a$  => dĺžka hlavnej polosi [m],

$b$  => dĺžka vedľajšej polosi [m],

$n$  => výška kvapky (materiál sa kvapalinou zmáča) [m],

$r$  => polomer stykovej plochy medzi pevnou a kvapalnou fázou [m],

$m$  => vzdialenosť stredu elipsy od roviny povrchu pevnej fázy (textílie) [m],

$f$  => polomer kvapky vo vzdialenosti  $n/2$  nad textilným materiálom [m].

Tieto pomocné premenné je možné previesť na základné premenné podľa nasledujúcich vzťahov [12]:

$$a = \frac{1}{4} (-4f^2 + r^2) \sqrt{2} \frac{\sqrt{2f^2 - r^2}}{(-2f^2 + r^2)}, \quad (11)$$

$$b = \frac{1}{4} n \frac{(-4f^2 + r^2)}{(-2f^2 + r^2)}, \quad (12)$$

$$m = \frac{1}{4} n \frac{(-4f^2 + 3r^2)}{(-2f^2 + r^2)}. \quad (13)$$

Ak poznáme parametre  $a, b, m$  ľahko vypočítame podľa rovnice (14) parameter „ $r$ “, podľa rovnice (15) objem kvapky  $V$  [m<sup>3</sup>]:

$$r = a \frac{\sqrt{b^2 - m^2}}{b}. \quad (14)$$

$$V = \frac{1}{3} \pi a^2 (b + m) \frac{(b m - m^2 + 2 b^2)}{b^2}. \quad (15)$$

Pre kontaktný uhol zmáčania  $\theta$  [°] platí:

$$\theta = 90 + \operatorname{arctg} \left( \frac{a m}{\sqrt{b^2 - m^2} b} \right). \quad (16)$$

Eliptický model kvapky umožňuje výpočet rozdielu povrchových napätí na tuhej fáze pred a po zmáčaní kvapalinou [12]:

$$\gamma_{sl} - \gamma_{sg} = \frac{b \sqrt{b^2 - m^2}}{\sqrt{b^4 - b^2 m^2 + a^2 m^2}} \cdot \gamma_{lg} \quad (17)$$

$\gamma_{sl}$  => medzipovrchové napätie na rozhraní pevná fáza/kvapalina [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ],

$\gamma_{sg}$  => povrchové napätie na rozhraní pevná/plynná fáza [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ],

$\gamma_{lg}$  => povrchové napätie na rozhraní kvapalná/plynná fáza [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ].

Ak porovnáme vyššie uvedené postupy na zisťovanie kontaktných uhlov, môžeme konštatovať, že modely vychádzajúce z guľovitého tvaru sú závislé na hmotnosti kvapky. Použitie vzťahu pre výpočet kontaktných uhlov, ktorý vychádza z eliptického modelu (16) nám umožňuje výpočet uhlov v širšom rozsahu hmotnosti kvapiek [12].

## 1.8 Metódy výpočtu povrchovej energie pevnej látky

Povrchová energia pevnej látky sa nedá merať žiadnou priamou metódou. Vznikla rada nepriamych metód, ktoré umožňujú povrchovú energiu stanoviť. Patrí k nim statická metóda, harmonická metóda, geometrická metóda, stanovenie kritického povrchového napätia a iné [4].

### 1.8.1 Statická metóda podľa Gooda a Girifalca

Táto metóda umožňuje vypočítať kritické povrchové napätie zo známych hodnôt kontaktných uhlov a povrchového napätia testovacej kvapaliny. Kritické povrchové napätie tu predstavuje odhad povrchovej energie vlákna [4].



$$\gamma_c = \frac{1}{4} [1 + \cos(\theta)]^2 \gamma_{LG} \quad (18)$$

Prakticky sa stanoví hodnota  $\gamma_c$  s niekoľkými testovacími kvapalinami, pričom výsledné  $\gamma_c$  predstavuje maximum z týchto hodnôt [4].

### 1.8.2 Hramonická metóda podľa Wu

Pri tejto metóde je nutné stanoviť kontaktné uhly testovanej pevnej látky s dvoma kvapalinami. Povrchová energia pevnej látky sa vypočíta podľa rovníc (19) a (20) [4].

$$(1 + \cos \theta_1) \gamma_{LG1} = 4 \left( \frac{\gamma_{LG1}^d \gamma_s^d}{\gamma_{LG1}^d + \gamma_s^d} + \frac{\gamma_{LG1}^n \gamma_s^n}{\gamma_{LG1}^n + \gamma_s^n} \right) \quad (19)$$

$$(1 + \cos \theta_2) \gamma_{LG2} = 4 \left( \frac{\gamma_{LG2}^d \gamma_s^d}{\gamma_{LG2}^d + \gamma_s^d} + \frac{\gamma_{LG2}^n \gamma_s^n}{\gamma_{LG2}^n + \gamma_s^n} \right) \quad (20)$$

Vzťah medzi disperznou a nedisperznou zložkou povrchovej energie je:

$$\gamma_s = \gamma_s^d + \gamma_s^n \quad (21)$$

### 1.8.3 Geometrická metóda podľa Fowkesa

Podobne ako u harmonickej metódy aj u tejto metódy je nutné stanoviť kontaktné uhly testovanej pevnej látky s dvoma kvapalinami. Povrchová energia sa vypočíta podľa rovníc (22) a (23), ktoré sú popísané nižšie. Pre celkovú povrchovú energiu platí už uvedený vzťah (21) [4].

$$(1 + \cos \theta_1) \gamma_{LG1} = 2 \left[ \sqrt{\gamma_{LG1}^d \gamma_s^d} + \sqrt{\gamma_{LG1}^n \gamma_s^n} \right] \quad (22)$$

$$(1 + \cos \theta_2) \gamma_{LG2} = 2 \left[ \sqrt{\gamma_{LG2}^d \gamma_s^d} + \sqrt{\gamma_{LG2}^n \gamma_s^n} \right] \quad (23)$$

## 1.9 Kritická povrchová energia

Pojem kritická povrchová energia  $\gamma_c$  predstavili Fox a Zisman v päťdesiatych rokoch. Pozorovali takmer lineárne závislosti medzi cosinom kontaktného uhlu  $\theta$  a povrchovým napätím  $\gamma_l$  v homologických kvapalinách. Neskôr Zisman odvodil, že nehomologické kvapaliny ležia vo vnútri pásu a hodnota  $\gamma_c$  je neostrá. Merané údaje kvapalín s relatívne nízkym povrchovým napätím neleží na zistenej priamke, ktorá odpovedá kvapalinám s relatívne nízkym povrchovým napätím. Zisman to vysvetlil ako pôsobenie vodíkových mostíkov kvapalín s vyšším povrchovým napätím. Kritická povrchová energia je rovná alebo menšia ako skutočná povrchová energia tuhej fázy. V klasickej Youngovej rovnici je výraz  $\gamma_l \cdot \cos \theta$  nahradený kritickou povrchovou energiou  $\gamma_c$  [13].

Pre  $\cos \theta = 1$  platí rovnica:

$$\gamma_c = \gamma_{sg} - \gamma_{sl} \quad (24)$$

alebo

$$\gamma_c = \gamma_s - \pi_e - \gamma_{sl} , \quad (25)$$

kde  $\gamma_{sg}$  => povrchové napätie na rozhraní pevná/plynná fáza,

$\gamma_{sl}$  => povrchové napätie na rozhraní pevná fáza/kvapalina,

$\gamma_s$  => je povrchové napätie pevnej fázy,

$\pi_e$  => zmáčací tlak, ktorý je spôsobený znížením povrchovej energie tuhej fázy adsorpciou par.

Zmäčací tlak je vyjadrený vzťahom:

$$\pi_e = \gamma_s - \gamma_{sg}. \quad (26)$$

Ak je kontaktný uhol  $\theta$  väčší než  $10^\circ$ , tak je možné  $\pi_e$  zanedbať.

Zismanova závislosť pre  $\gamma_l > \gamma_c$  sa dá popísať nasledujúcou rovnicou:

$$\cos\theta = 1 + a (\gamma_c - \gamma_l), \quad (27)$$

kde  $a$  je smernica lineárnej závislosti kosinu kontaktného uhlu  $\theta$  na povrchovom napätí kvapaliny  $\gamma_l$  v oblasti pre  $\gamma_l$  vyššej ako  $\gamma_c$  [13].

### 1.9.1 Zložky povrchovej energie

Fowkes navrhol rozlíšenie zložiek povrchovej energie podľa druhov neväzbových interakcií, ktoré sú ich podstatou [14].

Hüttinger rozšíril zložky povrchovej energie na obecnú disperznú zložku Londonových disperzných síl (L). V prípade neiónových kvapalín sa pridávajú dipól - dipólové interakcie (Keesomove sily K) a dipól - indukovaný dipól interakcie (Debyeove sily D). U molekúl (kvapalín) s iónovou väzbou pribúdajú interakcie ión - ión (Coulombické sily C) a interakcia ión - indukovaný dipól (I). Dôležitou zložkou pre kohéziu a adhéziu sú vodíkové väzby (H). Pre kompletný popis medzimolekulových síl nemôžeme zanedbať interakcie spôsobené prekrytím elektrónových orbitálov (O). Ak sú

zanedbané interakcie spôsobené donor - akceptorovými a chargé - transfer komplexmi, potom všeobecný vzorec pre povrchové napätie kvapalín  $\gamma_L$  má tvar [15]:

$$\gamma_L = \gamma_L^L + \gamma_L^K + \gamma_L^D + \gamma_L^C + \gamma_L^I + \gamma_L^H + \gamma_L^O . \quad (28)$$

Kaelble navrhuje rozlíšenie iba polárnych  $\gamma^P$  a disperzných  $\gamma^d$  zložiek povrchovej energie. Interakcia I sa medzi povrchmi predpokladá ako geometrický stred týchto zložiek výrazom [16]:

$$\gamma_{sl} = \gamma_s + \gamma_l - 2 (\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d)^{0,5} - 2 (\gamma_s^P \cdot \gamma_l^P)^{0,5} , \quad (29)$$

Interakcia disperznej zložky:

$$I^d = 2 (\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d)^{0,5} \quad (30)$$

a interakcia polárnej zložky:

$$I^P = 2 (\gamma_s^P \cdot \gamma_l^P)^{0,5} \quad (31)$$

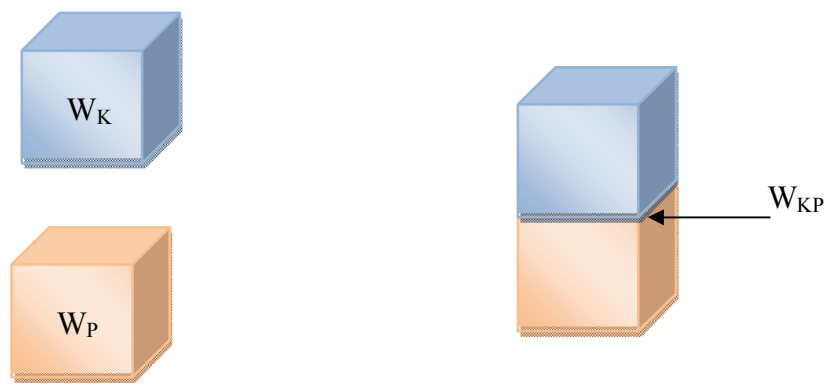
Wu predpokladá harmonické interakcie I oboch zložiek výrazmi [17]:

$$I^d = \frac{2 (\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d)}{\gamma_l^d + \gamma_s^d} , \quad (32)$$

$$I^P = \frac{2 (\gamma_s^P \cdot \gamma_l^P)}{\gamma_l^P + \gamma_s^P} . \quad (33)$$

## 1.10 Energia adhéznej väzby

Energia adhéznej väzby medzi kvapalinou a pevnou látkou je energia uvoľnená sústavou pri vzniku tejto väzby. Energia adhéznej väzby je tiež rovná energii nutnej k porušeniu tejto väzby. Adhézia je súbor povrchových síl, ktorými sa pútajú častice rôznych látok. Behom spojovania povrchu kvapaliny a pevnej látky je vytvorená adhézna väzba. Pri tomto kontakte je uvoľnená energia premenená na adhéznu energiu  $W_A$ . Hodnota  $W_A$  sa dá určiť z Dupreho rovnice, ktorá je založená na zákone zachovania energie [2].



**Obr. 7:** Vznik adhéznej väzby [2].

Pre rozhranie kvapalina - pevná látka platí Dupreho rovnica:

$$W_K + W_P = W_{KP} + W_A, \quad (34)$$

kde  $W_K$  je povrchová energia kvapaliny,  $W_P$  je povrchová energia pevnej látky a  $W_{KP}$  je povrchová energia na rozhraní kvapalina/pevná látka.

Veličiny  $W_{KP}$  a  $W_P$  sú ťažko merateľné, preto k zisťovaniu adhéznej energie  $W_A$  je Dupreho rovnica ťažko použiteľná. Preto do Dupreho rovnice dosadíme veličiny vystupujúce v Youngovej rovnici [2].

## 2. POVRCHOVÉ VLASTNOSTI KVAPALÍN

### 2.1 Povrchové napätie a povrchová energia kvapalín

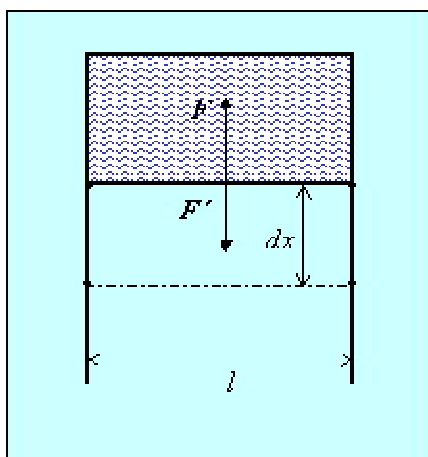
Kvapaliny sa chovajú tak, ako keby ich povrch bol pokrytý tenkou pružnou vrstvou, ktorá sa snaží stiahnuť ich povrch na čo najmenší plošný obsah. Ak na kvapalinu nepôsobia vonkajšie sily, tak kvapalina zaujme guľový tvar, pretože pri rovnakom objeme má zo všetkých telies najmenší obsah povrchu guľa. Približne guľový tvar majú kvapky kvapalín tvoriace hmlu, kvapky rozliatej ortuti alebo mydlová bublina [11].

Povrch kvapaliny je možné charakterizovať povrchovým napätím, ktoré udáva akou silou musíme pôsobiť, aby sme zväčšili povrch kvapaliny. Rada fyzikálnych javov súvisí s povrchovým napätím a to tvorba kvapiek a bublín, zmáčanie povrchu telies, rozprašovanie kvapalín a pod. Povrchová blana sa snaží stiahnuť na najmenšiu veľkosť, je v nej zrejme napätie, ktoré nazývame povrchovým napätím kvapalín  $\gamma$ . Ak je povrchové napätie kladné, je požadovaná kladná práca k rozšíreniu povrchu. Veličina definovaná vzťahom:

$$\gamma = \frac{dF}{dl} \quad (35)$$

sa nazýva povrchové napätie. Jednotkou povrchového napätia je  $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$  [11]. Povrchové napätie je definované silou, ktorá pôsobí kolmo k jednotke dĺžky v povrchu kvapaliny. Táto sila je rovnako veľká vo všetkých miestach a vo všetkých smeroch povrchu [18].

Definíciu povrchového napätia môžeme objasniť na jednoduchom experimente pomocou Maxwellovho pokusu. Predstavme si rámček s jednou pohyblivou stenou [31].



**Obr. 8:** Pôsobenie povrchovej sily mydlovej blany na pohyblivú priečku [31].

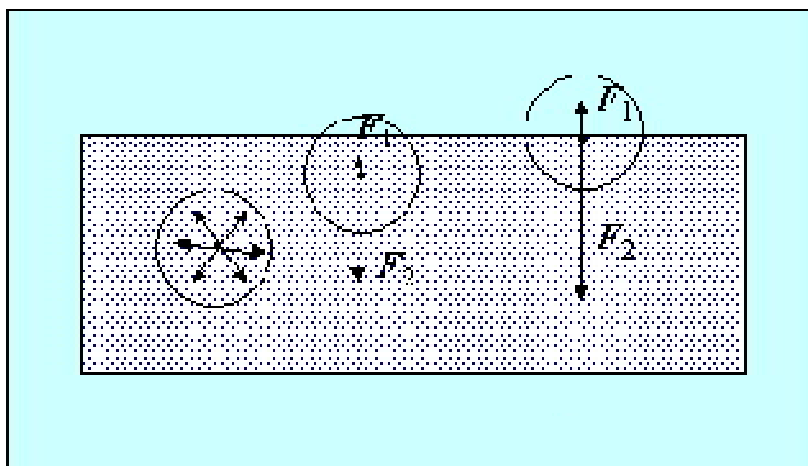
Ak ponoríme drôtený rámček s pohyblivou priečkou do mydlového roztoku, vytvorí sa na ňom vplyvom povrchového napätia tenká kvapalinová blana s povrchovými vrstvami na oboch stranách (obr. 8). Na pohyblivú časť rámčeka pôsobí sila  $F = 2\sigma l$ . Ak pohyblivú stranu rámčeka posunieme o  $dx$ , vykoná sa práca  $dA = F dx$ . Táto práca sa súčasne rovná prírastku povrchovej energie, pretože povrch kvapaliny sa zväčší o  $2 l dx$  [11, 31].

Energia pripadajúca na jednotku plochy:

$$\frac{dA}{2 l dx} = \frac{2 \sigma l dx}{2 l dx} = \sigma . \quad (36)$$

Povrchové napätie a kapilárne javy sú vysvetľované vzájomným pôsobením príťažlivých síl molekúl, tzv. kohéznych síl. Pri zväčšení povrchu kvapaliny, sa niektoré molekuly dostávajú zvnútra na povrch, pričom sa musia prekonať príslušné kohézne sily. Tak sa dá vysvetliť prečo na zväčšenie povrchu potrebujeme vynaložiť istú prácu. Podľa Laplaceovej teórie pôsobia na každú molekulu látky príťažlivé sily susedných molekúl. Môžeme preto príťažlivú pôsobnosť každej molekuly obmedziť na veľmi malý

gul'ový priestor, kde v strede je uvažovaná molekula. Tento gul'ový priestor nazývame sférou molekulárneho pôsobenia [11].



**Obr. 9:** Znázornenie príťažlivého pôsobenia molekúl vo sfére molekulárneho pôsobenia [31].

Sféra molekulárneho pôsobenia je gul'ová oblasť o polomere molekulárneho pôsobenia, ktorý svojou veľkosťou odpovedá dosahu molekulových síl. Môžu nastať dva prípady [11]:

- 1) Molekula je od povrchu kvapaliny vzdialená viac než je polomer sféry molekulárneho pôsobenia. Rozmiestnenie molekúl v priestore je náhodné a výsledná sila vo vnútri sféry je rovná nule.
- 2) Molekula je v blízkosti povrchu kvapaliny. Výsledná sila v kolmom smere je vyvolaná nesúmerným rozmiestnením okolitých molekúl.

## 2.2 Kapilarita

Presnejšie meranie povrchového napätia sa zakladá na kapilárnom jave, ktorý poskytujú kvapaliny, ak je do nich ponorená kapilárna trubica kolmo k povrchu [18].

Hladina kvapaliny v úzkej trubici ponorenej do kvapaliny nie je rovinná, jej povrch sa zakrivuje a tvorí tzv. meniskus, buď vydutý (konkávny) alebo vypuklý (konvexný) [11]. Konkávny meniskus sa tvorí, ak kontaktný uhol je menší ako  $90^\circ$ , čiže



kvapalina povrch tuhej látky zmáča. V prípade, že je kontaktný uhol väčší ako  $90^\circ$  vytvorí sa konvexný meniskus a kvapalina povrch tuhej látky nezmáča [20].

Keď sklenenú kapiláru ponoríme do nádoby s kvapalinou, ktorá zmáča jej povrch, tak z kapiláry vystúpi kvapalina do výšky  $h$  nad voľnou hladinou kvapaliny v nádobe. Zvýšenie voľnej hladiny v kapiláre sa nazýva *kapilárna elevácia*. Kvapaliny, ktoré nezmáčajú steny skla (napr. ortuť) sú vytlačované z kapilárnej trubice. Ich povrch v kapiláre bude položený nižšie, ako je voľná hladina kvapaliny v nádobe. Tento jav sa nazýva *kapilárna depresia* [18].



**Obr. 10:** Kapilárna elevácia (a) a depresia (b) [9].

Rozdiel  $h$  medzi hladinou kvapaliny v kapiláre a hladinou okolitej kvapaliny je určený hodnotami medzifázových energií a tiaže stĺpca kvapaliny v kapiláre. Hladina kvapaliny sa v kapiláre kruhového prierezu o polomere  $R$  v rovnováhe ustáli v takej výške  $h$ , aby bola splnená energetická bilancia [9]:

$$\gamma_{sl} 2 \pi R h - \gamma_{sg} 2 \pi R h + \pi R^2 h^2 \rho^{(l)} g = 0 , \quad (37)$$

prvý člen je rovný zvýšeniu energie systému o  $\gamma_{sl} A$  tým, že sa vytvorí fázové rozhranie  $s/l$  o ploche  $A = 2 \pi \cdot R \cdot h$ , druhý člen  $\gamma_{sg} A$  je energia, o ktorú sa zmenší celková energia systému, pretože zanikne fázové rozhranie  $s/g$  o rovnakej ploche  $A$  a tretí člen je potenciálna energia stĺpca kvapaliny o výške  $h$  vytvoreného v kapiláre ( $\rho^{(l)}$  je hustota kvapaliny a  $g$  je tiažové zrýchlenie).

Zo známej hodnoty polomeru kapiláry, kontaktného uhlu, hustoty kvapaliny a z nameranej výšky kvapalinového stĺpca je možné vypočítať povrchové napätie [19]:

$$\gamma_{lg} = \frac{h r \rho g}{2 \cos \theta} . \quad (38)$$

Vzťah (38) je možné odvodiť nasledujúcou úvahou. Ak vystúpi výška hladiny v kapiláre o  $dh$ , zväčší sa styčná plocha medzi kvapalnou a pevnou fázou o  $2 \pi r dh$ , preto je zmena Helmholtzovej energie pri tomto deji daná vzťahom [21]:

$$dF_1 = 2 \pi r (\gamma_{sl} - \gamma_{lg}) dh . \quad (39)$$

Stĺpec kvapaliny v kapiláre je  $\pi r^2 h \rho$  a k jeho vyzdvihnutiu o  $dh$  je potrebné vynaložiť prácu  $\pi r^2 h \rho g dh$ . Tým sa zmení Helmholtzova funkcia na [21]:

$$dF_2 = \pi r^2 h \rho g dh . \quad (40)$$

### 2.3 Kapilárny tlak

Kapilárna elevácia a depresia súvisí priamo so zakrivením povrchu kvapaliny, pri ktorom je zmena tlaku pri prechode povrchovým rozhraním iná ako pri rovinnom povrchu. Tlak pri rovinnom povrchu kvapaliny sme nazvali kohéznym tlakom a prídavný tlak, ktorý vzniká zakrivením povrchu sa nazýva kapilárny [11].

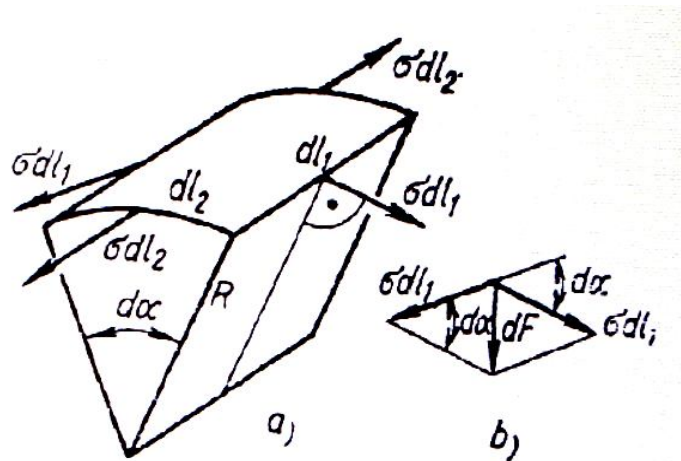
Kapilárny tlak sa dá vypočítať využitím povrchového napätia  $\gamma$ . Predpokladajme, že povrch je valcový a uvažujeme o silách, ktoré pôsobia na plošný prvok obmedzený dvoma povrchmi dĺžky  $dl_1$  a dvoma krivkami dĺžky  $dl_2$  (obr. 11a). Napätia, ktoré pôsobia na krivkách sú rovnobežné s povrchmi a nedávajú žiadnu výslednicu kolmú k povrchu. Sily, ktoré pôsobia na dĺžkach  $dl_1$  nemajú rovnaký smer, ale zvierajú uhol  $d\alpha$ . Dávajú preto výslednicu smerujúcu na stranu, z ktorej povrch sa javí ako dutý. Táto výslednica má veľkosť  $dF = \gamma dl_1 d\alpha$  (obr. 11b). Zavedením polomeru krivosti plochy  $R$ , potom  $dl_2 = R d\alpha$ . Z toho vyplýva vzťah [11]:

$$dF = \frac{\gamma dl_1 dl_2}{R} = \frac{\gamma dS}{R}, \quad (41)$$

kde  $R$  je polomer krivosti a  $dS$  je plocha vyšetrovanej časti povrchu.

Veľkosť kapilárneho tlaku je:

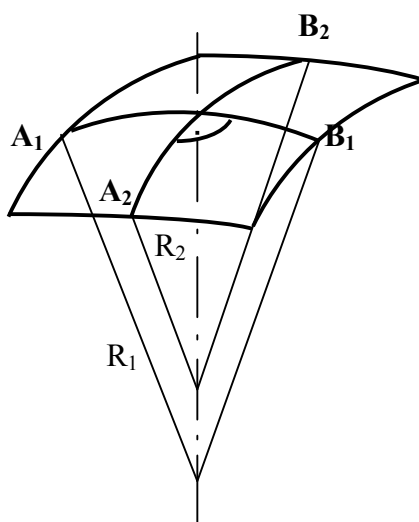
$$p = \frac{\gamma}{R}. \quad (42)$$



**Obr. 11:** Určenie kapilárneho tlaku pod zakriveným povrchom kvapaliny [11].

Pri obecně zakrivenom povrchu sa v každom jeho bode dajú viesť dva k sebe kolmé normálové rezy  $A_1B_1$  a  $A_2B_2$  (obr. 12), v ktorých má plocha najväčší a najmenší polomer krivosti  $R_1$  a  $R_2$ . Tlak  $p_1$  spôsobený zakrivením  $A_1B_1$  o polomere krivosti  $R_1$  je  $p_1 = \gamma/R_1$  a tlak  $p_2$  spôsobený zakrivením  $A_2B_2$  o polomere krivosti  $R_2$  je  $p_2 = \gamma/R_2$ . Kapilárny tlak  $p$  je potom súčtom oboch tlakov [11]:

$$p = \gamma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (43)$$



**Obr. 12:** Určenie kapilárneho tlaku pod zakriveným povrchom kvapaliny [11].

Ak je povrch kvapaliny zakrivený do guľovitého tvaru, tak polomer krivosti  $R$  všetkých meridiánových rezov je rovnaký a kapilárny tlak má veľkosť [11]:

$$p = \pm \frac{2\gamma}{R}, \quad (44)$$

kde kladné znamienko platí pre povrch vypuklý smerom hore a záporné pre povrch hore dutý.

## 2.4 Metódy merania povrchového napätia kvapalín

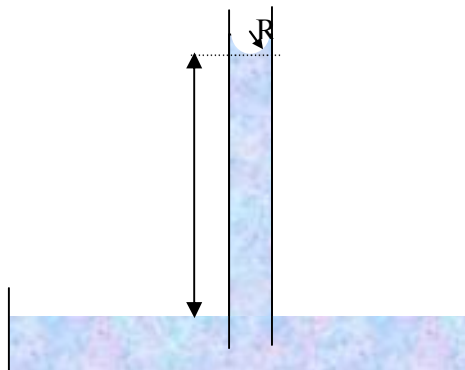
Povrchové napätie je najvýznamnejšou merateľnou veličinou, ktorá charakterizuje povrch kvapalín. Na jeho meranie sa používa rada metód. Tieto metódy je možné rozdeliť do troch skupín: metódy statické, semistatické a dynamické [9].

### 2.4.1 Statické metódy

Patrí tu metóda kapilárnej elevácie, metóda sledovania tvaru kvapiek a bublín a metóda vyvažovania doštičky [9].

### 2.4.1.1 Metóda kapilárnej elevácie

Meria sa výška vzostupu kvapaliny  $h$  vo vertikálnej kapiláre [9].



**Obr. 13:** Kapilárna elevácia [22].

Pre povrchové napätie platí [9]:

$$\gamma = \frac{h \rho^{(l)} R g}{2 \cos \theta}, \quad (45)$$

kde  $\rho^{(l)}$  je hustota kvapaliny,  $\theta$  uhol zmáčania,  $R$  je vnútorný polomer kapiláry.

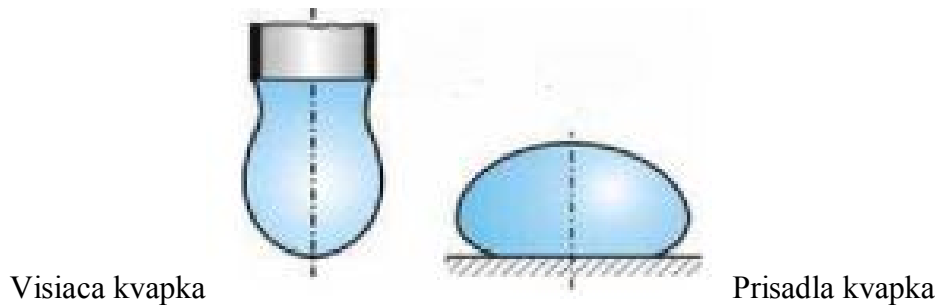
Používajú sa tenké kapiláry z materiálov, ktoré sú dokonale zmáčané kvapalinou. Kapilára musí byť čistá, umiestnená vo vertikálnej polohe a je potrebné vedieť jej polomer s presnosťou po celej jej dĺžke. Výška  $h$  má byť meraná od roviny, v ktorej je Laplaceov tlak nulový, ale prakticky býva  $h$  meraná k povrchu kvapaliny v širšej trubici. U presnejších meraní je potrebné zaviesť korekciu na objem kvapaliny nad spodnou úrovňou menisku. Pri guľatom tvare menisku a nulovom uhle zmáčania pre povrchové napätie platí [9]:

$$\gamma = \frac{1}{2} \left( R h + \frac{1}{3} R^2 \right) \rho g. \quad (46)$$

Metóda kapilárnej elevácie sa používa aj na stanovenie medzifázových napätí.

### 2.4.1.2 Metóda sledovania tvaru kvapiek a bublín

Povrchové napätie sa zaisťuje porovnávaním skutočného profilu prisadlej alebo visiacej kvapky (obr. 14). Obraz kvapky je pozorovaný mikroskopom, snímaný videokamerou a spracovávaný počítačom [9].



**Obr. 14:** Visiaca a prisadla kvapka [9].

Metóda je absolútna, skutočne statická. Umožňuje stanoviť veľmi nízke hodnoty a veľmi vysoké povrchové a medzifázové napätia.

Veľmi nízke hodnoty medzifázového napätia umožňuje merať metóda *rotujúcej kvapky*. Trubička naplnená kvapalinou sa uvedie do rotačného pohybu okolo svojej osi, do trubičky sa vpraví kvapka druhej kvapaliny o menšej hustote. Pôsobením odstredivých síl sa kvapalina rozťahne do tenkého stĺpca okolo osi rotácie. Pre medzifázové napätie platí [9]:

$$\gamma = \frac{1}{4} \omega^2 (\rho_1 - \rho_2) r^3, \quad (47)$$

kde  $\omega$  je uhlová rýchlosť rotácie,  $\rho_1 > \rho_2$  sú hustoty oboch nemiesiteľných kvapalín, stĺpec kvapaliny 2 je aproximovaný valcom o polomere  $r$ .

### 2.4.1.3 Wilhelmyho metóda vyvažovania doštičky

Tenká doštička šírky  $d$ , dobre zmáčaná študovanou kvapalinou sa upevní na vahadlo váh a ponorí do kvapaliny. Na povrchu doštičky sa tvoria z oboch strán menisky, ktorých tvar a maximálna výška vzostupu  $h$  je určená Laplaceovou - Youngovou rovnicou. Celková hmotnosť vzlínajúcej kvapaliny pripadajúcej na jednotku obvodu doštičky potom nezávisí na tvare menisku a pri nulovom uhle zmáčania je rovná povrchovému napätiu. Pre silu  $F$ , ktorú je nutné vynaložiť na vyváženie doštičky o šírke  $d$  a hrúbke  $t$  ( $t \ll d$ ) platí vzťah [9]:

$$F = 2(d + t) \gamma \cos \theta \cong 2d \gamma. \quad (48)$$

## 2.4.2 Semistatické metódy

Sú založené na dosiahnutí rovnovážneho stavu sústavy, v tomto prípade je rovnováha nestabilná. Pri skúmaní každej sústavy je nutné zvoliť optimálnu rýchlosť potrebnú k priblíženiu sa rovnovážnemu stavu, aby merania neboli nadmerne dlhé, ale aby sa súčasne zaistilo získanie výsledkov, ktoré sa blížia skutočným rovnovážnym hodnotám [9].

### 2.4.2.1 Metóda maximálneho pretlaku v bubline

V študovanej kvapaline sa za pôsobenia pretlaku  $p$  vytvára na konci kapiláry ponorenej pod hladinu bublina plynu. S rastom bubliny sa znižuje polomer jej zakrivenia. Pretlak v bubline je rovný súčtu hydrostatického tlaku a tlaku potrebného k prekonaniu povrchového napätia  $\gamma$  [9]:

$$p = h \rho^{(l)} g \frac{2\gamma}{r}, \quad (49)$$

kde  $h$  je hĺbka ponorenia,  $\rho^{(l)}$  hustota kvapaliny a  $r$  je polomer bubliny. V okamžiku, keď bublina dosiahne poglobulovitého tvaru je  $r$  minimálne a je rovné polomeru kapiláry

$R$ . Tlak v bubline v tomto okamžiku dosahuje maximálnu hodnotu,  $p = h \rho^{(l)} g + 2 \gamma / R$ . Pri ďalšom aj nepatrnom zvýšení tlaku sa objem bubliny zväčší (jej polomer rastie), takže len  $2\gamma/r$  sa znižuje, bublina stráca stabilitu a odtrhne sa. Táto metóda sa často používa ako porovnávacia.

#### 2.4.2.2 Metóda odtrhávania prstenca (du Noüyho)

Meria sa sila  $F$  potrebná na odtrhnutie tenkého prstenca z Pt drôtu od fázového rozhrania. Prstenec musí byť dobre zmáčaný kvapalinou ( $\theta = 0^\circ$ ). Často sa pracuje tak, aby nedošlo k odtrhnutiu prstenca, potom je táto metóda statická podobne ako metóda Wilhelmyho. Potom platí [9]:

$$\gamma = \frac{F}{4 \pi r_p} \phi, \quad (50)$$

kde  $\phi$  je korekcia na kvapalinu. Koefficient  $\phi$  je uvádzaný v špeciálnych tabuľkách a je závislý na geometrii prstenca. Častejšie sa tento postup používa ako metóda porovnávacia.

Je to rýchla metóda, dobre použiteľná k meraniu povrchového napätia.



**Obr. 15:** Odtrhávacia metóda [9].



### 2.4.2.3 Metóda váženia kvapky (stalagmometrická)

Určuje sa stredná hmotnosť kvapky, ktorá sa odtrháva pôsobením gravitácie od rovinného povrchu zabrušeného rezu kapiláry o vonkajšom polomere  $R$ . Časť kvapky ostáva visieť na konci kapiláry, pri odtrhovaní veľkej kvapky sa vytvára ešte jedna alebo niekoľko drobných kvapiek (obr. 16) [9].

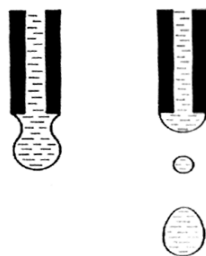
Veľkosť zvyšku je funkciou objemu kvapky  $V$ . Korekcia je vyjadrená koeficientom  $\Phi$ . Používa sa ako metóda porovnávacia [9]:

$$\frac{\gamma}{\gamma_{\text{ref}}} = \frac{m}{m_{\text{ref}}} \cdot \frac{\Phi}{\Phi_{\text{ref}}} \quad (51)$$

Stalagmometer je prístroj umožňujúci experimentálne zistiť objem kvapky za veľmi dobre kontrolovaných podmienok.

Presný výpočet vzťahu medzi povrchovým napätím kvapaliny a objemom jednotlivých kvapky nie je matematicky ľahké nájsť. Z fyzikálneho hľadiska je tento problém komplikovaný [22]:

- zúženie vytvárajúce sa medzi kvapkou a časťou kvapaliny, ktorá ostáva na konci kapiláry, má menší priemer ako kapilára,
- pri odtrhnutí sa vytvára okrem veľkej kvapky ešte jedna alebo niekoľko drobných kvapiek. Tieto kvapky vznikajú pri prasknutí nestabilnej spojky medzi kvapkou a kvapalinou na konci kapiláry.



**Obr. 16:** Odtrhávanie kvapky od kapiláry [22].

Časť z týchto javov sa nedá vyjadriť pomocou fyzikálnej analýzy. V nasledujúcom vzťahu je zavedená korekčná funkcia  $F$  [23].

Povrchové napätie kvapaliny sa dá vypočítať z hmotnosti kvapiek podľa nasledujúcej rovnice [23]:

$$\gamma_{LG} = \frac{m g F}{2 \pi R}, \quad (52)$$

$$F = f(R/V^{1/3})$$

kde  $\gamma$  je povrchové napätie ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ),  $m$  hmotnosť kvapky (g),  $g$  gravitačná konštanta ( $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ),  $F$  neanalytická funkcia  $R$  a  $V$ ,  $R$  polomer kapiláry (mm).

Najjednoduchším použitím stalagmometru je zrovnanie objemu kvapiek neznámej kvapaliny s objemom kvapiek kvapaliny so známym povrchovým napätím. Pre výpočet povrchového napätia neznámej kvapaliny je možné použiť nasledujúci vzťah [22]:

$$\gamma_A = \gamma_B \frac{N_B \rho_A}{N_A \rho_B}, \quad (53)$$

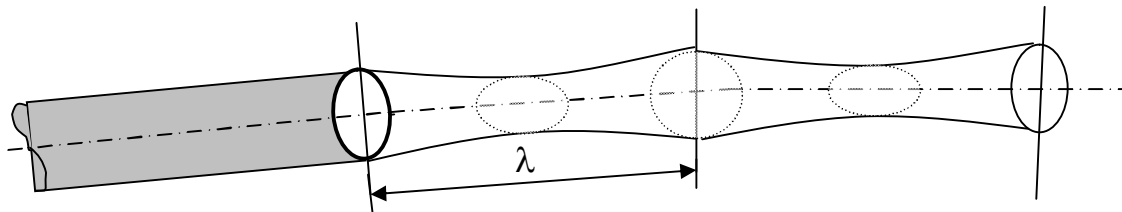
kde  $\gamma$  je povrchové napätie ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ),  $N$  počet kvapiek, ktorých celkový objem je rovný objemu stalagmometru (-),  $\rho$  hustota kvapaliny ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $A$  index príslušnosti k meranej kvapaline,  $B$  index príslušnosti ku kalibračnej kvapaline o známom povrchovom napätí.

### 2.4.3 Dynamické metódy

Sa používajú na štúdium výrazne nerovnovážnych stavov povrchových vrstiev kvapalín a rýchlosti ustáľovania rovnovážnej štruktúry ich povrchu [9].

### 2.4.3.1 Metóda oscilujúceho lúča

Z eliptického otvoru je vypúšťaný prúd kvapaliny v tvare eliptického valca do vzduchu alebo druhej kvapaliny. Pôsobením povrchových síl, ktoré sa snažia dodať lúču tvar valca s kruhovým prierezom a pôsobením zotrvačných síl vznikajú priečne oscilácie, pri ktorých sa postupne zamieňajú dlhšia a kratšia osa elipsy. Z dĺžky vlny  $\lambda$  (obr. 17) na povrchu prúdu kvapaliny, ktorá sa stanovuje optickými metódami a z objemovej rýchlosti prúdenia sa dá určiť hodnota povrchového napätia. Metóda je vhodná pre rutinné laboratórne stanovenie dynamických povrchových napätí v prípadoch, kde nie je dôležitá presnosť absolútnej hodnoty napätia, ale je potrebné merať rýchle zmeny v hodnotách povrchového napätia [22].



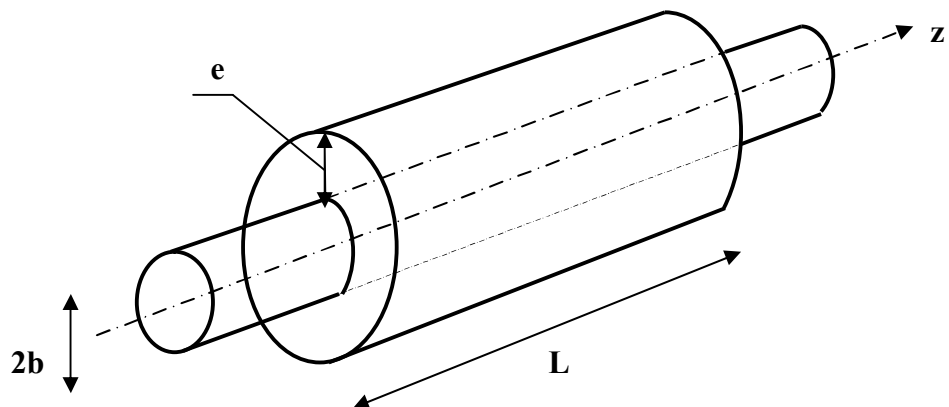
**Obr. 17:** Oscilujúci prúd kvapaliny [22].

### 3. ZMÁČANIE VLÁKIEN

Zmeny v zmáčaní vlákien sú často využívané k identifikácii stupňa povrchovej modifikácie a preto sa zmáčanie zaraďuje k dôležitým vlastnostiam textilných vlákien. Najčastejším postupom k určovaniu zmáčania je meranie kontaktného uhlu medzi kvapalinou a pevným povrchom. Fázové rozhranie vlákno - kvapalina predstavuje komplikovaný systém a stanovenie kontaktného uhlu je náročné na presnosť. Niektorí odborníci vyvinuli špeciálne metódy na toto meranie, ktoré sú kriticky hodnotené z dôvodu vysokej náročnosti na presnosť. Meranie tejto veličiny je často nereprodukovateľné a so zvyšujúcim sa kontaktným uhlom prudko rastie relatívna chyba jeho kosinu, ktorá má pri  $\theta = 90^\circ$  až 40 % [24].

#### 3.1 Dokonalé zmáčanie vlákna

Dokonalé zmáčanie vlákna je vysvetľované na modeli vlákna o polomere  $b$ , ktoré je pokryté filmom kvapaliny o hrúbke  $e$  (obr. 18). Na dokonalé zmáčanie má vplyv štruktúra a geometria vlákna. Ide o zmáčanie tenkou vrstvou kvapaliny, kde sa neprejaví kapilárny tlak [2].



Obr. 18: Dokonalé zmáčanie vlákna [2].

K dokonalému zmáčaniu vlákna dôjde vtedy, ak celková povrchová energia  $W$  vonkajšieho povrchu filmu kvapaliny a povrchu styku medzi vláknom a kvapalinou pripadajúcu na jednotku dĺžky vlákna  $L$  bude menšia ako povrchová energia toho istého suchého vlákna  $W_f$ . Pre povrchové energie  $W$  a  $W_f$  platia nasledujúce vzťahy [2]:

$$W_f = 2 \pi b L \gamma_{sg} , \quad (54)$$

$$W = 2 \pi b L \gamma_{sl} + 2 \pi (b + e) L \gamma_{lg} . \quad (55)$$

Pre podmienku dokonalého zmáčania platí:

$$W_f - W = 2 \pi b L \left( \gamma_{sg} - \gamma_{sl} - \left( 1 + \frac{e}{b} \right) \gamma_{lg} \right) > 0 , \quad (56)$$

kde  $W_f \Rightarrow$  je povrchová energia suchého vlákna,

$W \Rightarrow$  celková povrchová energia,

$\gamma_{sl} \Rightarrow$  medzipovrchové napätie na rozhraní pevná fáza/kvapalina [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ],

$\gamma_{sg} \Rightarrow$  povrchové napätie na rozhraní pevná/plynná fáza [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ],

$\gamma_{lg} \Rightarrow$  povrchové napätie na rozhraní kvapalná/plynná fáza [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ].

Pri využití Harkinsonoveho rozotieracieho koeficientu sa podmienka pre dokonalé zmáčanie vlákna zapíše ako [2]:

$$S \geq \frac{e}{b} \gamma . \quad (57)$$

### 3.2 Meranie kontaktného uhlu na vláknach

K meraniu kontaktného uhlu na vláknach sa využíva Wilhelmyho princíp rovnováhy. Meranie kontaktného uhlu na vláknach je založené na rovnakom princípe ako meranie kontaktného uhlu na doske.

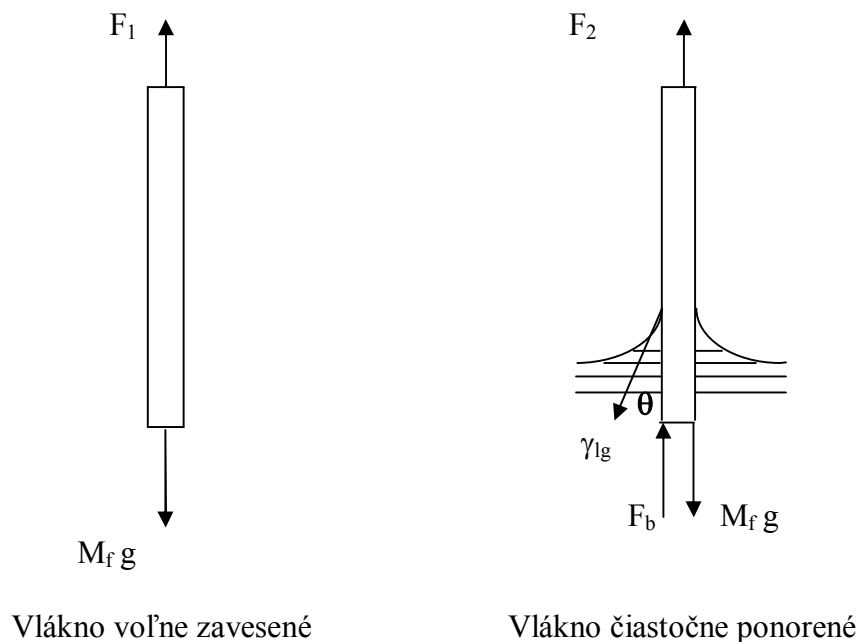
K správne mu meraniu kontaktného uhlu sa musí brať do úvahy aj kontaminácia povrchu vlákien, ktorá môže značne ovplyvniť stanovenie kontaktného uhlu. Vlákna sú prevrstvené lubrikantami a inými látkami, ktoré uľahčujú technologické spracovanie. Preparácie obsahujú kyselinu olejovú, glycerín, koloidný oxid kremičitý a silikóny.

### 3.2.1 Wilhelmyho princíp rovnováhy

Podľa Wilhelmyho má sila pôsobiaca na pevný vlasec ponorený do kvapaliny veľkosť [25]:

$$F_w = P \gamma_{lg} \cos\theta . \quad (58)$$

V prípade zmáčania textilného vlákna je zmáčanie systému definované ako podiel sily pôsobiacej na vlákno a parametru vlákna. Tento podiel bol nazvaný adhézne napätie, ktorý sa v literatúre vyskytuje pod názvom špecifické zmáčanie (obr. 19) [25].



**Obr. 19:** Vertikálne sily pôsobiace na zavesené vlákno [26].

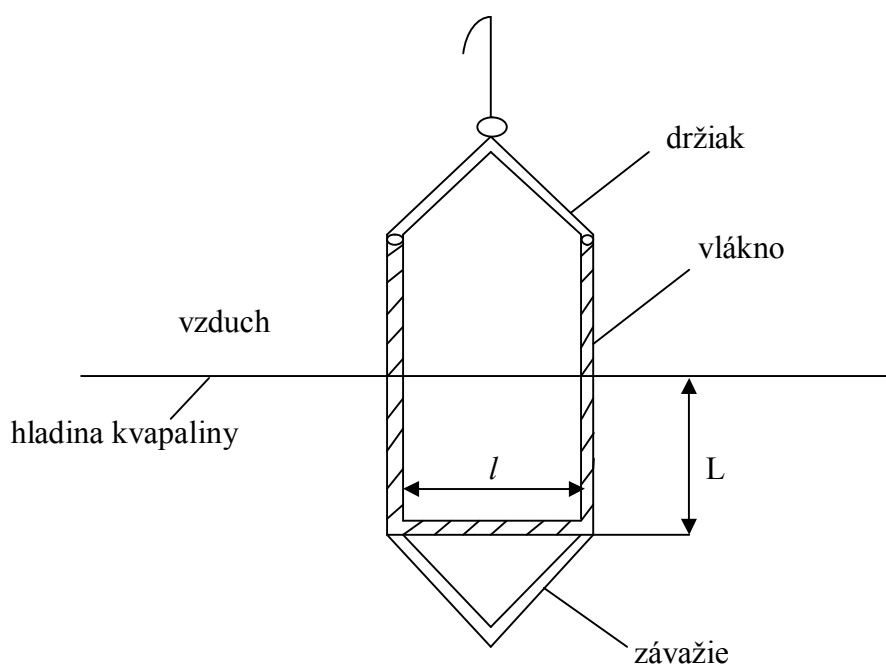
$M_f g$  - gravitačná sila

Ak je vztlaková sila  $F_b$  zanedbateľná potom platí [26]:

$$F_2 - F_1 = \gamma_{lg} P \cos\theta . \quad (59)$$

Metóda je jednoduchá, ale nie je možné ju aplikovať na vlákna s malými priermi radovo desiatok mikrometrov. Problémom ostáva hmotnosť kvapaliny, ktorá vzlína na vlákno a je u takto malých priemerov príliš nízka a ďalším problémom ostáva experimentálne usporiadanie a príprava vzorky.

Lepšia technika je znázornená na obr. 20. Pri tomto postupe sa využíva vztlaková sila k určení adhézneho napätia. Aj u tejto metódy pretrvávajú problémy s experimentálnym usporiadaním [26].



**Obr. 20:** Uchytenie pre nepoddajné materiály [27].

Rovnováha síl na čiastočne ponorené vlákno [26]:

$$F = F_w - F_b, \quad (60)$$

$F \Rightarrow$  rovnováha medzi silami,

$F_w \Rightarrow$  tiaž kvapaliny,

$F_b \Rightarrow$  vztlaková sila.

Vztlaková sila môže byť vypočítaná z objemu ponorenej pevnej látky a hustoty kvapaliny [26]:

$$F_b = LANd + lAd + B_S, \quad (61)$$

$L \Rightarrow$  dĺžka ponoreného vertikálneho vlákna,

$N \Rightarrow$  počet vertikálnych vlákien,

$d \Rightarrow$  hustota kvapaliny,

$l \Rightarrow$  dĺžka vodorovne ponoreného vlákna,

$B_S \Rightarrow$  rovnovážna sila medzi držiakom a závažím.

Špecifická zmáčacia sila:

$$w = \frac{F_w}{NP} = \frac{F + F_b}{NP}. \quad (62)$$

Dosadením za  $F_b$  z rovnice (61):

$$w = \frac{1}{NP} (F + LANd + lAd + B_S). \quad (63)$$



Po úprave:

$$F = (NP_w - lAd - B_s) - LANd \quad (64)$$

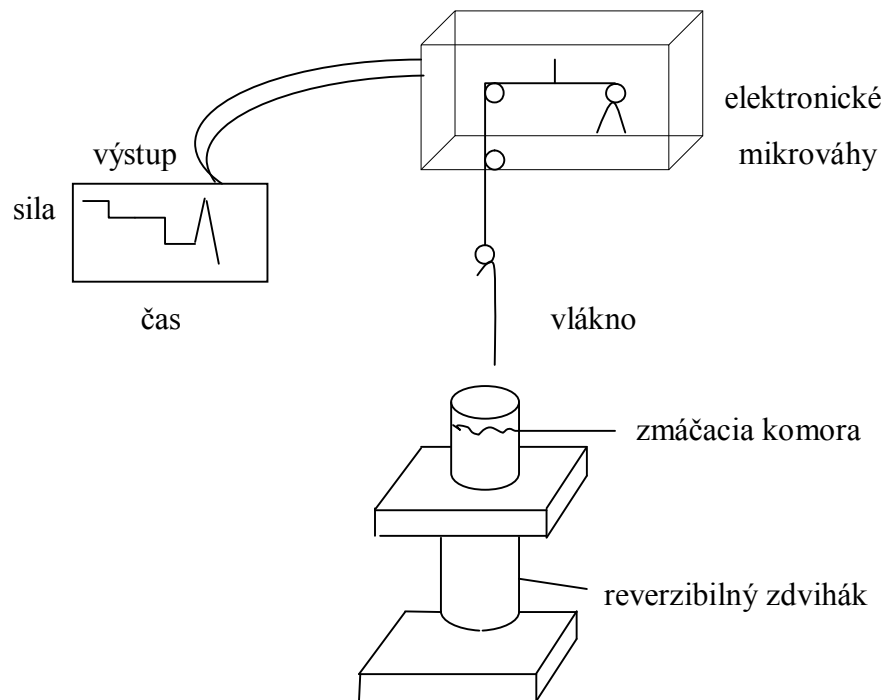
alebo

$$F = I + SL \quad (65)$$

$$I = NP_w - lAd - B_s$$

$$S = - ANd$$

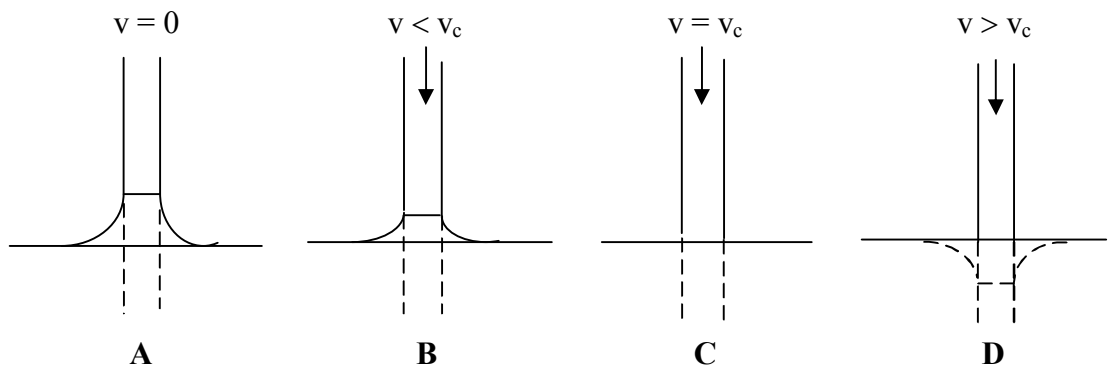
Ďalší prístroj, ktorý slúži na meranie zmáčacej sily je znázornený na obr. 21. Vzorka je zavesená na mikrováhach a jej hmotnosť vo vzduchu je pred kontaktom vynulovaná. Kvapalina je zdvíhaná do tej doby, kým nedochádza k zmene sily ako výsledok prvého kontaktu so zaveseným vláknom. Kvapalina sa zdvíha ďalej a je meraná vzdialenosť k určení špecifickej dĺžky ponorenia vlákna. Výsledné sily sú potom vynášané do grafu v závislosti na dĺžke ponorenia. Nevýhodou je, že vlákno musí byť kolmo orientované k hladine kvapaliny, inak sú výsledky merania nepresné [4].



**Obr. 21:** Prístroj na meranie zmáčacej sily [27].

### 3.3 Dynamické zmáčanie

Dynamika zmáčania je popisovaná v rade štúdií rýchlosti, ktorá predstavuje dynamické chovanie počas vertikálneho vstupu vlákna do kvapaliny. Rýchlosť pohybu vlákna sa nazýva rozsahová rýchlosť a dynamický kontaktný uhol sa zväčšuje až do  $90^\circ$ . Na obr. 22 je znázornená zmena kontaktného uhlu pri vertikálnom pohybe vlákna do kvapaliny [26].



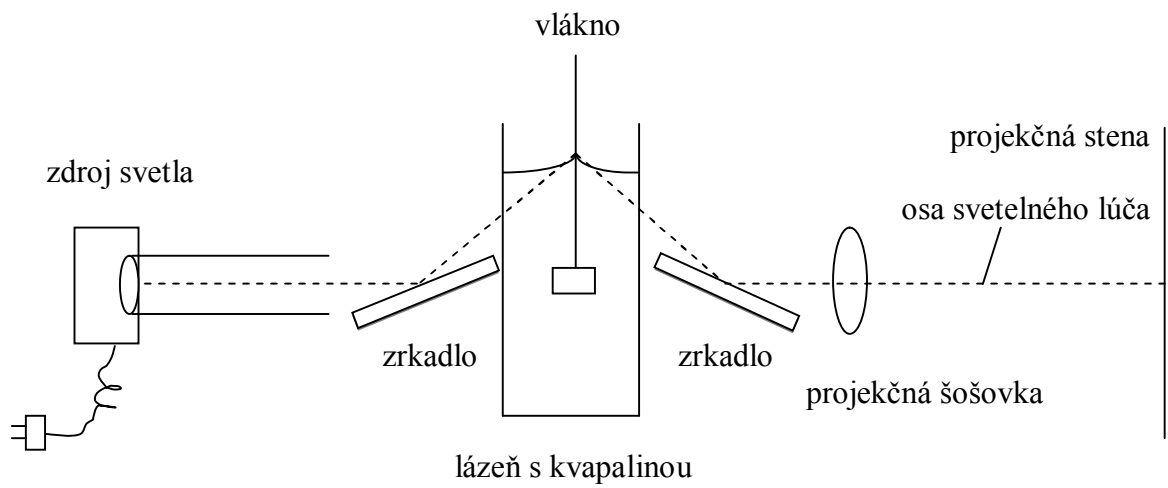
$v \Rightarrow$  rýchlosť vlákna pohybujúceho sa vertikálne smerom do kvapaliny [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

$v_c \Rightarrow$  kritická rýchlosť, pri ktorej je dynamický kontaktný uhol  $90^\circ$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

**Obr. 22:** Zmeny kapilárneho zdvihu kvapaliny pozdĺž vertikálneho vlákna pohybujúceho sa smerom dole [26].

Na meranie rozsahovej rýchlosti sa používa prístroj znázornený na obr. 23, ktorý obsahuje 2 základné časti a to [26]:

- mechanický systém pre posun vlákna pri kontrole rýchlosti smerom do kvapaliny a z kvapaliny,
- optický systém pre vizualizáciu medzifázy kvapalina/vlákno.



**Obr. 23:** Prístroj na meranie rozsahovej rýchlosti [28].

## 4. DRSNOSŤ

### 4.1 Popis drsnosti povrchu

Drsnosť je jednotkou štruktúry povrchu. Je kvantifikovaná vertikálnymi odchýlkami reálneho povrchu od jeho ideálnej formy. Ak sú tieto odchýlky veľké je povrch hrubý, ak sú minimálne je hladký. Drsnosť je typická pre povrchy s hustými krátkymi vláknami [30].

Drsnosť môže byť meraná pomocou kontaktných alebo nekontaktných metód. Drsnosť technických povrchov sa meria pomocou dotykových metód, ktoré vytvárajú profil povrchu tzv. dráhu kolísania povrchovej výšky *SHV* (Vandenberg a Osborne, 1992). Tento profil charakterizuje premenlivosť hrúbky resp. výšky vo vybranom smere. Charakteristickým údajom pre drsnosť je variačný koeficient profilu povrchu (*SHV*). Pomocou variogramu (štruktúrna funkcia) sa odhaduje komplexnosť štruktúry povrchu. Rozdielnosť štruktúry povrchu sa člení na skupiny podľa nízko alebo vysoko rozsahovej závislosti [30].

Práve na relatívnej premenlivosti variačného koeficientu sú založené štandardné metódy vyhodnotenia profilu povrchu (analógia výpočtu hmotnej nerovnomernosti priadze, Meloun, 1992) [30].

K popisu drsnosti povrchu sa používa aj priemerná absolútna odchýlka (*MAD*), ktorá je klasickým prístupom popisnej štatistiky a je užitočná pre náhodné *SHV*, kde elementy *SHV* sú vzájomne štatisticky nezávislé. *SHV* profil niekoľkých meraní rôznych povrchov textílií vykazuje značnú nepravidelnosť (náhodnosť). Popisne štatistický prístup založený na predpoklade nezávislosti a normality vedie k dvojosiť charakteristikám v prípade, že *SHV* vykazuje nízko alebo vysoko rozsahové korelácie (Meloun, 1992) [30].

### 4.2 Štatistické parametre pre popis drsnosti povrchu

Každý z parametrov drsnosti je vypočítaný za použitia vzorca popisujúceho povrch. Používa sa mnoho parametrov drsnosti, ale  $R_a$  (aritmetický priemer absolútnych hodnôt) je najbežnejší. Medzi ďalšie najbežnejšie parametre patrí  $R_z$  a  $R_q$  [30].

Radu rôznych parametrov drsnosti je možné vyhodnotiť z kriviek *SHV* alebo *SFV*. Klasické parametre drsnosti sú založené na nameraných hodnotách  $R(d_j)$ ,  $j = 1 \dots M$  definovaných na dĺžke vzorky  $L$ . Miesta merania  $d_j$  sú ekvidistantné (rovnako vzdialené) a potom sa  $R(d_j)$  nahradzuje premennou  $R_j$ . Pre identifikáciu pozície merania na vzorke je postačujúce poznať vzdialenosť medzi meraniami  $d_s = d_j - d_{j-1} = L/M$  pre  $j > 1$  [30].

Medzi základné charakteristiky drsnosti, ktoré sú často používané v praxi patrí [30]:

- 1) *Priemerná absolútna odchýlka MAD*: Tento parameter je rovný strednej absolútnej odchýlke povrchových výšok z priemernej hodnoty ( $R_a$ ). Povrchový profil je daný vzťahom:

$$MAD = \frac{1}{M} \sum_j |R_j - R_a|. \quad (66)$$

Tento parameter sa často používa pri riadení akosti, ale nevie rozlíšiť profily rôznych tvarov. Jeho štatistické chovanie je známe pre prípad, keď  $R_j$  sú nezávislé, zhodne rozložené náhodné premenné (to však pre veľkú väčšinu povrchov neplatí).

- 2) *Smerodajná odchýlka SD*: je definovaná vzťahom:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_j (R_j - R_a)^2}. \quad (67)$$

Jej vlastnosti sú známe pre prípad, keď  $R_j$  sú nezávislé, zhodne rozložené náhodné premenné. Výhodou  $SD$  proti  $MAD$  je, že pre normálne rozložené dáta sa dá jednoduchšie vypočítať interval spoľahlivosti a realizovať štatistické testy.  $SD$  je vždy väčšia ako  $MAD$  a pre normálne rozložené dáta je  $SD = 1,25 * MAD$ . Opäť nerozlišuje profily rôznych tvarov. Na sledovanie určitých povrchov, ktoré majú veľké odchýlky je premenná  $SD$  menej vhodná ako premenná  $MAD$ .

- 3) *Variačný koeficient výšky profilu CV*: táto veľmi používaná charakteristika je definovaná vzťahom:

$$CV = \frac{SD}{R_a}. \quad (68)$$

- 4) *Priemerná výška pík (MP)*: sa počíta ako priemerná odchýlka profilu nad referenčnou hodnotou  $R$  (často sa volí  $R = R_a$ ). Je daná ako priemerná hodnota pík  $P_i$ ,  $i = N_p$ , kde:

$$P_i = R_i - R \text{ pre } R_i - R > 0 \text{ a } P_i = 0.$$

- 5) *Priemerná hĺbka sediel (MV)*: sa počíta ako priemerná odchýlka profilu pod referenčnou hodnotou  $R$  (často sa volí  $R = R_a$ ). Je daná ako priemerná hodnota sediel  $V_i$ ,  $i = N_v$ , kde:

$$V_i = R - R_i \text{ pre } R_i - R < 0 \text{ a } V_i = 0.$$

Parametre  $MP$  a  $MV$  dávajú informáciu o zložitosti štruktúry. Zvláštne píky alebo sedla neberieme v úvahu, ale majú význam v tribológii.

- 6) *Priemerný štvorec smernice profilu (PS)*: je definovaný vzťahom:

$$PS = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_j \left( \frac{dR(x)}{dx} \right)_j^2}. \quad (69)$$

- 7) *Priemerná krivosť profilu (PC)*: táto veličina je označovaná ako vlnitosť a je definovaná obdobne :

$$PC = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_j \left( \frac{d^2R(x)}{dx^2} \right)_j^2}. \quad (70)$$

Smernica a krivosť sú charakteristické pre profil povrchu a majú význam pre tribologické aplikácie a pre odrazové vlastnosti. Pre prípad fraktálnych povrchov môžu

byť počítané z mechanickej spektrálnej hustoty, autokorelačnou funkciou alebo variogramom.

8) *Priemerná smernica profilu (MS)*: je definovaná ako:

$$MS = \frac{1}{M} \sum_j \left| \frac{dR(x)}{dx} \right|_j. \quad (71)$$

*MS* je dôležitým parametrom v mnohých aplikáciách, ako je odhad šmykového trenia a v sledovaní reflexie svetla z povrchov.

9) *Priemer desiatich bodov (TP)*: je definovaný ako priemerná odchýlka medzi piatimi najvyššími píkmi a piatimi najhlbšími sedlami v rozmedzí povrchového profilu. Parameter *TP* je citlivý na prítomnosť vysokých píkov alebo hlbokých trhlín v povrchu materiálu a hodí sa pre účely riadenia akosti.

Tieto parametre sú vhodné pre charakteristiku chovania povrchov a elimináciu porúch a iných dôležitých vlastností. Delia sa na [30]:

- štatistické charakteristiky distribúcie *SHV* (rozptyl, šikmosť, špicatosť)
- priestorové charakteristiky ako sú autokorelácia a variogram

Existuje rozsiahle množstvo empirických profilov alebo charakteristík drsnosti povrchu. Niektoré z nich sú tesne spojené s charakteristikami vypočítanými z fraktálnych modelov. Greenwood navrhol obecnú teóriu pre popis drsnosti povrchu založenú na rozložení výšok. Najbežnejšia cesta k oddeleniu drsnosti a vlnitosti je spektrálna analýza. Táto analýza je založená na Fourierovej transformácii z priestorovej oblasti  $d$  do kmitočtovej oblasti  $\omega = 2\pi/d$  [30].

Pre výpočet vyššie uvedených charakteristík bol vytvorený program *DRSNOSŤ* v integrovanom systéme *MATLAB*. Sú v ňom počítané nasledujúce charakteristiky [30]:

- 1) priemerná absolútna odchýlka *MAD*;
- 2) priemerná smernica profilu (počítané pre  $ds = 1$ ) *MS*;
- 3) priemerný štvorec profilu (počítané pre  $ds = 1$ ) *PS*;

- 4) priemerná krivosť profilu (počítané pre  $ds = 1$ )  $PC$ ;
- 5) priemer 10tich bodov  $TP$ ;
- 6) variačný koeficient výšky profilu  $CV = SD/R_a$ ;
- 7) priemerný fraktálny rozmer  $D_F$ ;
- 8) počiatočný fraktálny rozmer  $D_{Fp}$  (hodnota pre prvých 12 bodov okrem prvých troch, pretože sa nachádzajú blízko začiatku).



## **5. DEFINÍCIA CIEĽOV DIPLOMOVEJ PRÁCE**

Cieľom diplomovej práce je vypočítať povrchové energie sít (modelových textílií) a elementárnych vlákien z týchto materiálov a sledovať vzťah medzi zmáčaním a drsnosťou.

V predchádzajúcej teoretickej časti je vypracovaná podrobná rešerše na tému zmáčanie a drsnosť.

### ***Cieľ práce:***

- 1. Vypracovanie podrobnej teoretickej rešerše v oblasti zmáčania.**
- 2. Vplyv objemu kvapaliny na zmáčacie charakteristiky modelových plošných textílií.**
- 3. Stanovenie povrchovej energie na vlákne a plošnom textilnom útvare. Vzájomné porovnávanie týchto hodnôt s tabuľkovými.**
- 4. Meranie drsnosti štruktúry profilu plošných materiálov.**
- 5. Analýza vplyvu štruktúry povrchu plošného textilného útvaru na zmáčanie.**

## 6. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

### 6.1 Použité materiály

Na meranie boli použité PES sita (modelové textílie) od firmy SILK & PROGRESS s.r.o. , ktorých názvy a základné parametre sú uvedené v tab. II.

**Tab. II:** Popis a vlastnosti modelových plošných textílií.

<i>Číslo materiálu</i>	<i>Obchodné označenie</i>	<i>Dostava osnova/útok [1/cm]</i>	<i>Veľkosť očka [μm]</i>	<i>Voľná plocha (vzduch) [%]</i>	<i>Priemer vlákna osnova/útok [μm]</i>
1.	Ulester 110 TA	110/110	51/43	27	40/48
2.	Ulester 62 MA	62	106/81	33	55/80
3.	Ulester 52 HD	52/52	112	34	80/80
4.	Ulester 43 T	43/43	153	43	80/80
5.	Ulester 31 HDA	31/31	173/223	37	150/100

### 6.2 Použité kvapaliny

Pri pokusoch bola použitá destilovaná voda a dijodmethan, ktorých vlastnosti sú uvedené v tab. III. Dijodmethan obsahuje iba disperznú zložku a veľký podiel nedisperznej zložky obsahuje destilovaná voda.

**Tab. III:** Popis a vlastnosti kvapalín.

<i>Číslo kvapaliny</i>	<i>Názov kvapaliny</i>	<i>Povrchové napätie [N.m<sup>-1</sup>]</i>			<i>Hustota [kg.m<sup>-3</sup>]</i>
		<i>Disperzná časť</i>	<i>Nedisperzná časť</i>	<i>Celkové</i>	
1.	Destilovaná voda	0,026	0,0468	0,0728	998
2.	Dijodmethan	0,0508	0	0,0508	3325

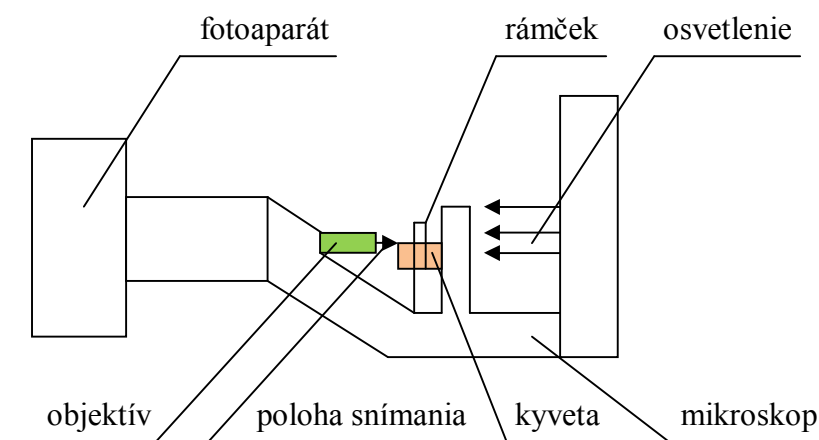
## 6.3 Metódy určovania kontaktného uhlu

### 6.3.1 Meranie kontaktného uhlu optickou metódou na vláknach

#### *Popis metódy*

Vlastné meranie kontaktného uhlu je možné iba pomocou kvalitnej optickej mikroskopie a obrazovej analýzy. Pri tejto metóde sa získava kontaktný uhol medzi vláknom a kvapalinou.

K sledovaniu kontaktu textilných vlákien s kvapalinami bola použitá meracia zostava skladajúca sa z mikroskopu, digitálneho fotoaparátu Canon PC 1032; DC 9,5 V; 4,0 Mega pixels; 14 x ZOOM; ZOOM LENS 7,2 - 28,8 mm, sklenenej kyvety a špeciálnych rámčekov. Merací systém je znázornený na obr. 24. S príslušným prístrojovým vybavením boli určované kontaktné uhly. Spracovanie prebehlo obrazovou analýzou LUCIA 4,61 G od firmy Laboratory Imaging.

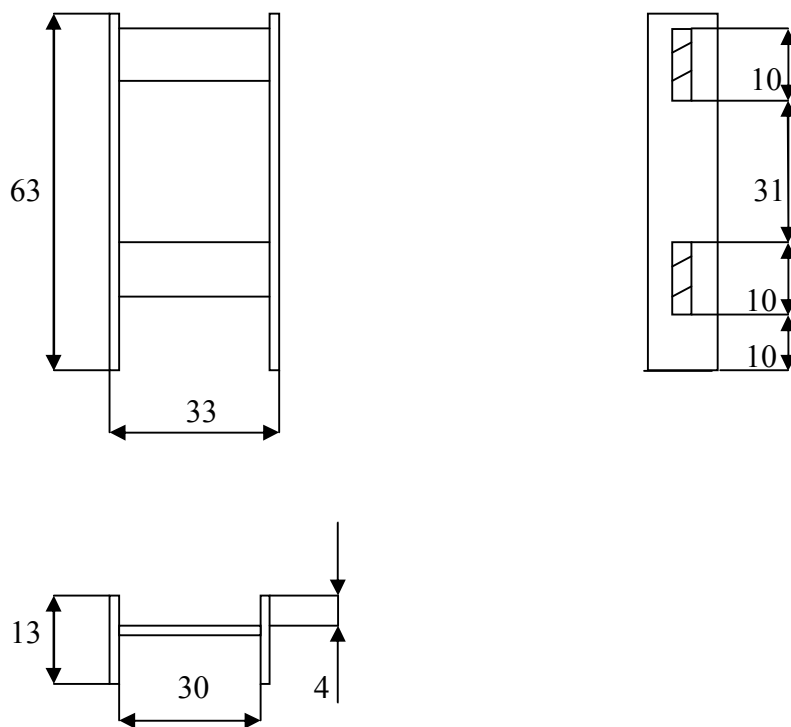


**Obr. 24:** Znázornenie meracej zostavy pri stanovení kontaktného uhlu optickou metódou [4].

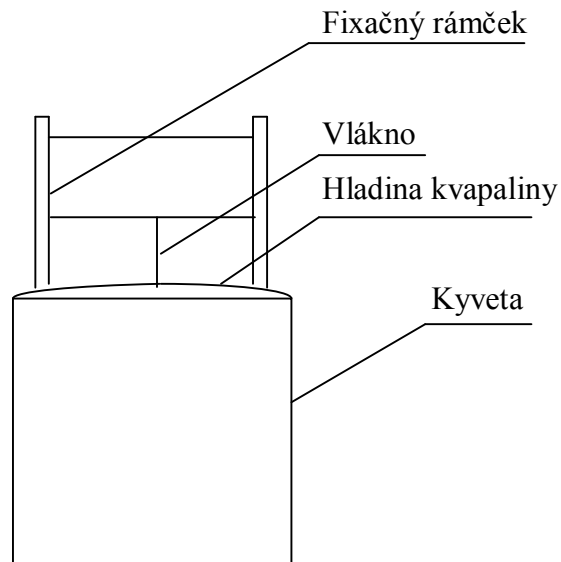
#### *Postup merania*

Do fixačného rámčeka, ktorý je znázornený na obr. 25 sa upevní testované vlákno tak, aby bolo kolmo orientované na hladinu kvapaliny. Potom sa kyveta upravená teflónom a upevnená na mikroskope naplní kvapalinou pomocou mikropipety

o presne definovanom objeme. Do kyvety sa vloží rámček s upevneným vláknom. Po vložení fixačného rámčeka s vláknom do kyvety hladina kvapaliny musí presahovať cez jej hranu (obr. 26). K dosiahnutiu tohto stavu je potrebné, aby kyveta mala na celom vnútornom obvode u hornej hrany nalepenú silikónovú pásku šírky cca 5 mm. Po vložení rámčeka do kyvety je potrebné počkať na ustálenie hladiny kvapaliny. Ďalej sa zapne mikroskop, ktorý je v horizontálnej polohe z dôvodu používania kyvety s kvapalinou. K mikroskopu je pripevnený objektív s digitálnym fotoaparátom, ktorý môže byť priamo spojený s počítačom. Pre zaostrovanie sa používa funkcia Makro. Potom sa urobí snímok digitálnym fotoaparátom. Snímok sa spracováva obrazovou analýzou LUCIA 4,61 G od firmy Laboratory Imaging.



**Obr. 25:** Schéma rámčeka pre fixáciu vlákien (rozmery sú uvedené v milimetroch) [4].



**Obr. 26:** Schéma vzorky vlákna pripravenej k meraniu.

### 6.3.2 Meranie kontaktného uhlu optickou metódou na plošnej textílii

#### *Popis metódy*

Vlastné meranie kontaktného uhlu je možné iba pomocou kvalitnej optickej mikroskopie a obrazovej analýzy. Pri tejto metóde sa získava kontaktný uhol medzi textíliou a kvapalinou.

K sledovaniu kontaktu plošnej textílie s kvapalinami bola použitá tá istá meracia zostava ako pri vláknach, ale s tým rozdielom, že miesto kyvety a fixačného rámčeka obsahovala pridržovač textílie. S príslušným prístrojovým vybavením boli určované kontaktné uhly. Spracovanie prebehlo obrazovou analýzou LUCIA 4,61 G od firmy Laboratory Imaging.



**Obr. 27:** Snímok zhotovený pri meraní kontaktného uhlu optickou metódou.

### ***Postup merania***

Do pridržovača textílie sa upevní skúmaná vzorka. Pomocou mikropipety sa tesne k okraju textílie kvapne kvapka o presne definovanom objeme. Potom sa zapne mikroskop, ktorý je v horizontálnej polohe. K mikroskopu je pripevnený objektív s digitálnym fotoaparátom, ktorý môže byť priamo spojený s počítačom. Pre zaostrovanie sa používa funkcia Makro. Pomocou digitálneho fotoaparátu sa urobí snímok. Snímok sa spracováva obrazovou analýzou LUCIA 4,61 G od firmy Laboratory Imaging.

## 6.4 Vplyv objemu kvapaliny na zmáčacie charakteristiky modelových plošných textílií

**POUŽITÉ MATERIÁLY: MODELOVÉ TEXTÍLIE:**

- 1) ULESTER 110 TA
- 2) ULESTER 62 MA
- 3) ULESTER 52 HD
- 4) ULESTER 43 T
- 5) ULESTER 31 HDA

**POUŽITÉ KVAPALINY:** 1) Destilovaná voda:

- povrchové napätie:  $72,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ : - disperzná zložka:  $26 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$   
- nedisperzná zložka:  $46,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$

2) Dijodmethan:

- povrchové napätie:  $50,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ : - disperzná zložka:  $50,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$   
- nedisperzná zložka:  $0 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$

**OBJEM:**  $3 \mu\text{l} - 15 \mu\text{l}$

## 6.5 Stanovenie povrchovej energie na vlákne a plošnom textilnom útvare. Vzájomné porovnanie týchto hodnôt s tabuľkovými

Zo znalosti kontaktných uhlov dvoch kvapalín boli vypočítané povrchové energie polyesterových sít (modelových plošných textílií) a elementárnych vlákien z týchto materiálov troma metódami a to statickou, harmonickou a geometrickou metódou (viď. kapitola 1.8) a porovnané s tabuľkovými hodnotami, ktoré sú uvedené v tab. IV.

**Tab. IV:** Hodnoty povrchových energií pre polyester [26, 29].

	<i>Celková povrchová energia stanovená statickou metódou</i> [J.m <sup>-2</sup> ]	<i>Celková povrchová energia stanovená harmonickou metódou</i> [J.m <sup>-2</sup> ]	<i>Celková povrchová energia stanovená geometrickou metódou</i> [J.m <sup>-2</sup> ]
<i>Polyester</i>	0,0395 0,0440	0,0421	0,0413

**POUŽITÉ MATERIÁLY:** a) VLÁKNO: 1) ULESTER 110 TA

b) MODELOVÉ TEXTÍLIE: 1) ULESTER 110 TA

2) ULESTER 62 MA

3) ULESTER 52 HD

4) ULESTER 43 T

5) ULESTER 31 HDA

## 6.6 Meranie drsnosti štruktúry profilu plošných materiálov

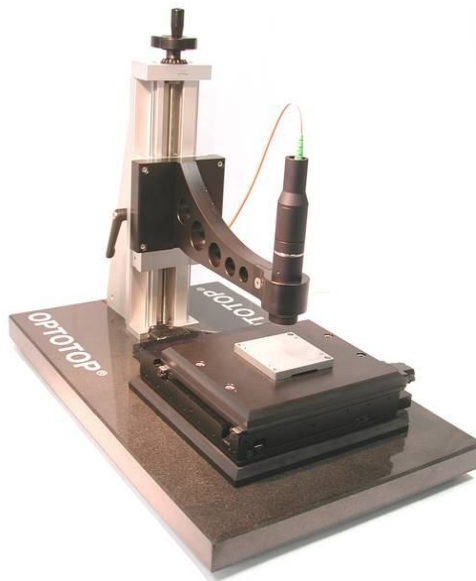
Meranie drsnosti bolo prevedené cez firmu INNOWEP, ktorá sídli v Nemecku.

K meraniu drsnosti bol použitý: 1) OptoTop<sup>®</sup>

2) TRACEiT<sup>®</sup>

**OptoTop** - je merací prístroj pre rýchle, bezkontaktné optické meranie povrchu s vysoko komplexnou topografiou a geometriou v nano-, mikro- a makro merítke. Je to kompaktný samostatný laboratórny nástroj zahrňujúci osobný počítač [32].





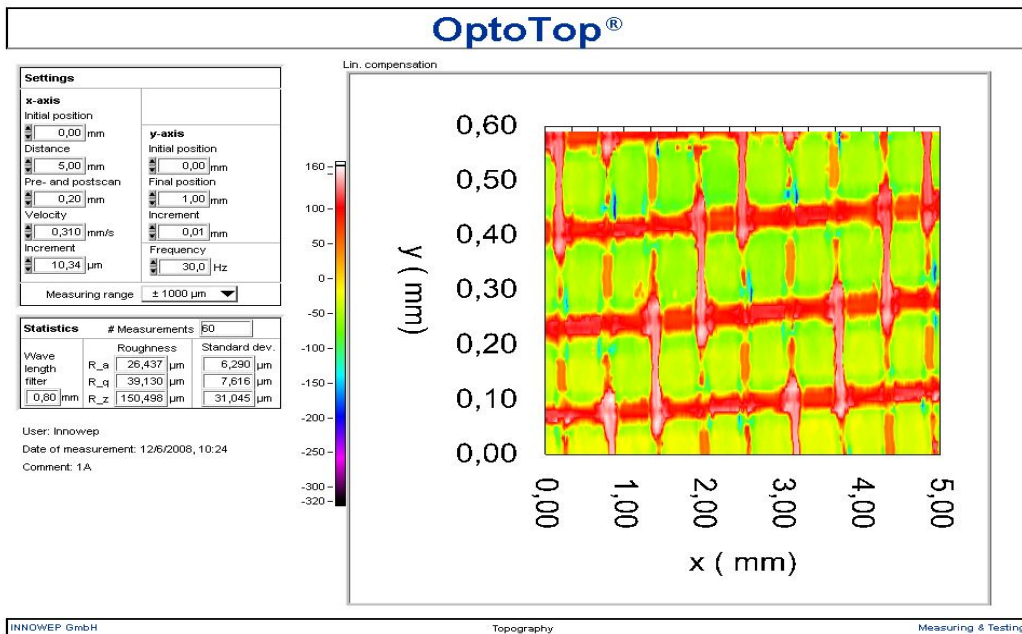
**Obr. 28:** OptoTop [32].

*Výhody:* - jednoduchá a pohodlná manipulácia

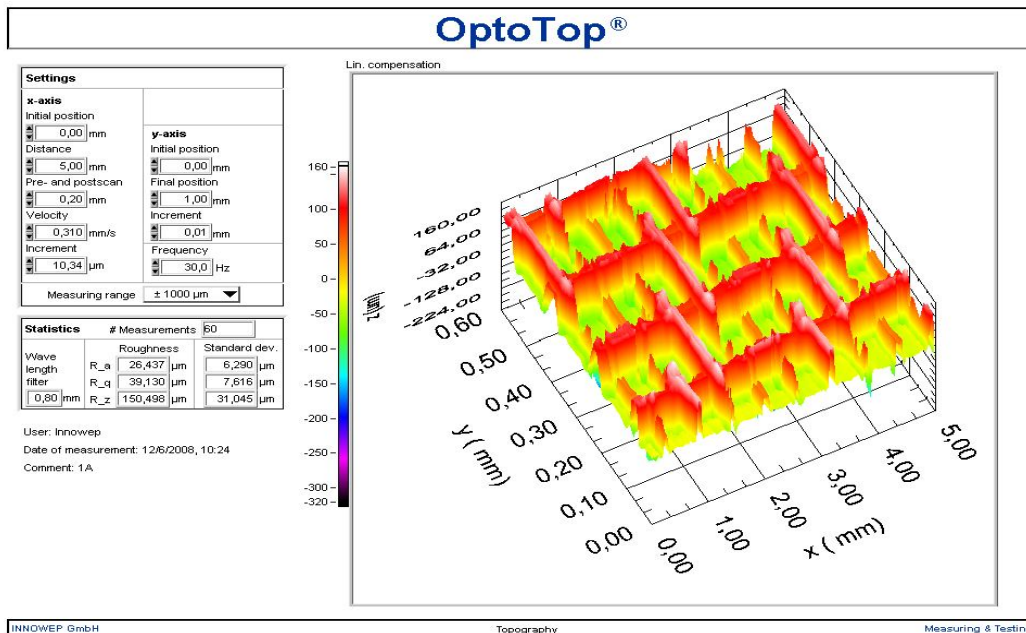
- rýchle snímanie dát
- vhodné na meranie ľubovoľných vzoriek
- meranie drsnosti v mikro hodnotách pre zobrazenie v 2D profile
- hodnoty drsnosti v závislosti na smere (analýzy tvarovania)
- topografické a 2D zobrazenie, 3D zobrazenie a výškový profil [32]

*Využitie:* - analýza drsnosti plochých, štruktúrovaných alebo zakrivených povrchov

- dimenzovanie (kótovanie) v makro a mikro rozmeroch
- povrchové ovládanie foriem (matric)
- použitie vo výskume a vývoji, schvaľovacích testoch, kontrole kvality, výrobe a analýzach poškodenia a opotrebovania [32]

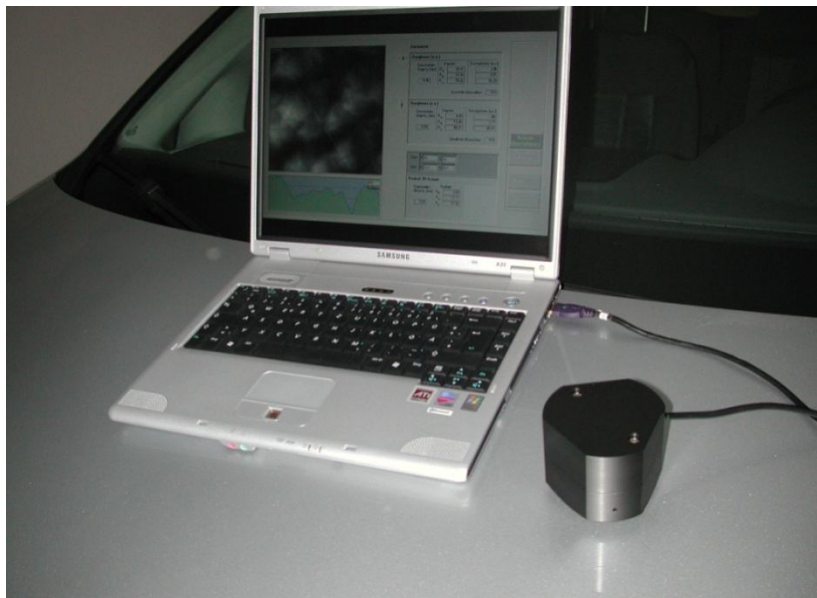


**Obr. 29:** 2D zobrazenie drsnosti testovanej modelovej plošnej textílie (ULESTER 62 MA).



**Obr. 30:** 3D zobrazenie drsnosti testovanej modelovej plošnej textílie (ULESTER 62 MA).

**TRACEiT** - novo patentovaný TRACEiT systém je bezkontaktný mobilný prístroj na meranie nerovnosti a drsnosti materiálu. Na základe dát z vizuálneho zobrazenia a topografie systém vypočíta hodnoty povrchu  $R_a$  opt,  $R_q$  opt a  $R_z$  opt. Umožňuje veľmi presnú 3D topografickú analýzu, meranie drsnosti materiálu a dokumentuje vizuálnu podobu podobne ako ľudské oko. TRACEiT je prvým prístrojom na trhu, ktorý dokumentuje, analyzuje a vyhodnocuje vizuálny dojem, vzhľad a vnem kvality povrchu materiálu spôsobom schopným reprodukcie. Vďaka tomu, že malá hlava na meranie je kompletne ovládaná a napájaná pripojeným notebookom, je systém prenosný [33]. Všetky operácie sú zaisťované pomocou interakcie snímačej hlavy s notebookom. Dátový archív, vyhodnotenie a analýzy zaisťuje TRACEiT notebook. Dáta môžu byť exportované pre ďalšie analýzy alebo do iných programov. Systém je nezávislý na externom zdroji energie a ďalších ovládačoch a umožňuje meranie skoro kdekoľvek. Systém generuje optické, vizuálne zobrazenie schopné reprodukcie a umožňuje presnú kalkuláciu topografie povrchu [34].



**Obr. 31:** Prenosný systém TRACEiT so snímacou hlavou [35].

*Výhody:* - mobilita

- rýchlosť, ľahkosť ovládania, vysoká presnosť
- schopnosť reprodukcie, kalibrovateľnosť
- topografické a vizuálne zobrazenie
- dokumentácie, analýzy a hodnoty

- analýza opotrebovania a poškodenia [35]

*Využitie:* - automobilový, letecký a lodný priemysel (komponenty z kože, textílií, plastov, ...)

- papierenský priemysel

- medicína

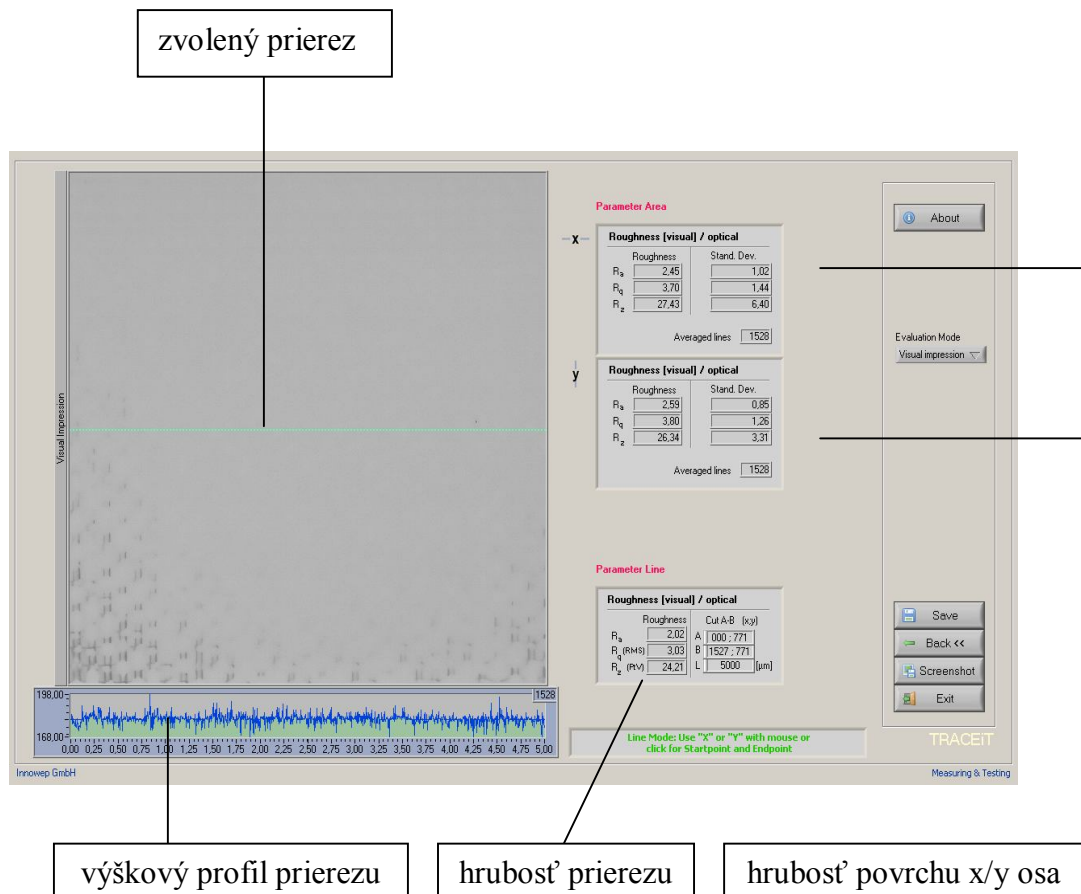
- kozmetický priemysel

- v umení (kresby, sochárstvo, práce s drevom, plastom, ...)

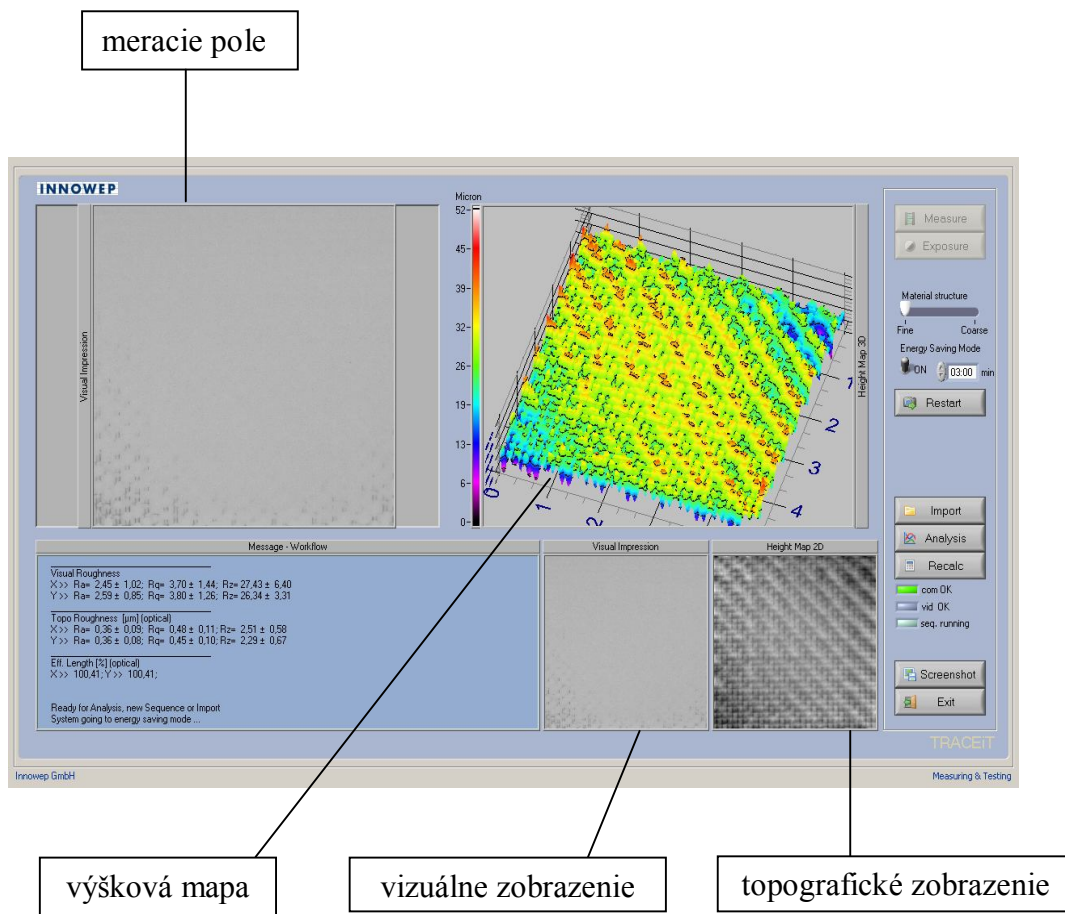
- stavebníctvo (tapety, fasády, ...) [35]

*Software:*

Užívateľský software vyhodnocuje snímané obrazy meracou jednotkou a počíta profil povrchu na základe medzinárodných noriem [35].



**Obr. 32:** Obrazovka vizuálneho zobrazenia ULESTERU 62 MA.



**Obr. 33:** Obrazovka 3D profilu ULESTERU 62 MA.

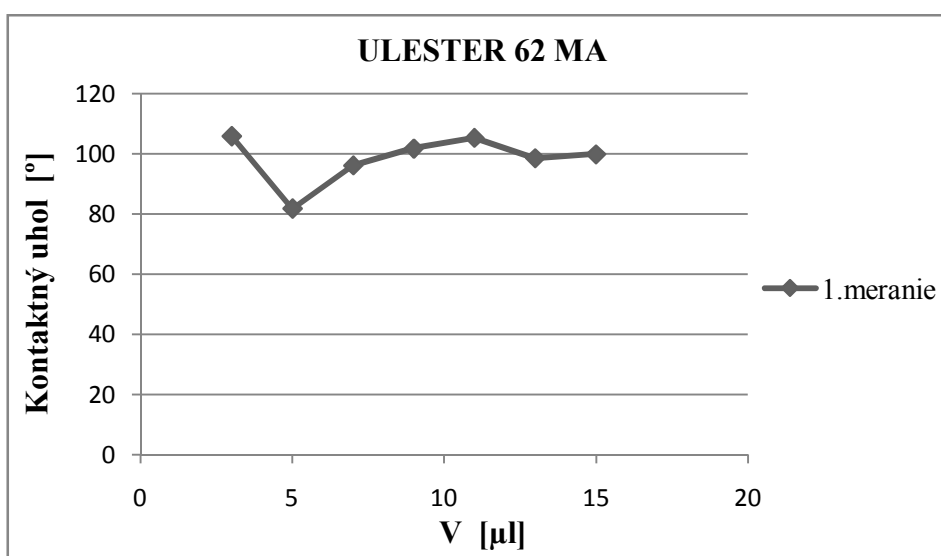
## 7. DISKUSIA A VÝSLEDKY

### 7.1 Vplyv objemu kvapaliny na zmáčacie charakteristiky modelových plošných textílií

Cieľom tejto experimentálnej časti bolo zhodnotiť ako vplýva objem kvapaliny na zmáčacie parametre plošných textílií. Na meranie bola použitá optická metóda (viď. kapitola 6.3.2) založená na snímaní kontaktu plošnej textílie s kvapalinou. Na polyesterových sitách (modelových textíliách) boli stanovené kontaktné uhly s destilovanou vodou a diiodmethanom. Zo stanovených kontaktných uhlov bol vypočítaný priemer, smerodajná odchýlka, variačný koeficient a interval spoľahlivosti (viď. príloha 9.1, tab. V - XVI).

Pri sledovaní vplyvu objemu kvapaliny na zmáčacie charakteristiky modelových plošných textílií bolo zistené, že hodnoty kontaktných uhlov sa od seba líšia. Príčinou kolísania je umiestnenie kvapaliny na ploche materiálu (kvapka nebola nanášaná vždy na rovnaké miesto) a tak isto má na to vplyv štruktúra materiálu. Objem kvapaliny neovplyvnil hodnotu kontaktného uhlu iba jeho kolísanie je výraznejšie v porovnaní s hladkými povrchmi [viď. 4].

Na obr. 34 je znázornený príklad závislosti kontaktných uhlov na objeme kvapaliny.



Obr. 34: Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

## **7.2 Stanovenie povrchovej energie na vlákne a plošnom textilnom útvare. Vzájomné porovnanie týchto hodnôt s tabuľkovými**

Hodnoty kritického povrchového napätia - povrchových energií, ktoré boli stanovené statickou metódou s dvoma rôznymi kvapalinami sa od seba líšia čiastočne. V prípade polyesterového vlákna a to ULESTERU 110 TA s použitím destilovanej vody je kritické povrchové napätie okolo  $34 \text{ mN.m}^{-1}$  (tab. XVII) a pri použití diiodmethanu ako testovacej kvapaliny skúmaný parameter má hodnotu okolo  $39 \text{ mN.m}^{-1}$ .

V prípade modelových plošných textílií a to ULESTERU 110 TA a ULESTERU 62 MA sa kritické povrchové napätie pohybuje od  $10$  do  $17 \text{ mN.m}^{-1}$  pri použití destilovanej vody. Keď ako testovacia kvapalina bol použitý diiodmethan hodnota kritického povrchového napätia v prípade ULESTERU 110 TA vychádza okolo  $50 \text{ mN.m}^{-1}$  a v prípade ULESTERU 62 MA okolo  $46 \text{ mN.m}^{-1}$ . Pre ULESTER 52 HD sa kritické povrchové napätie pohybuje od  $9$  do  $21 \text{ mN.m}^{-1}$  pri použití destilovanej vody a pri použití diiodmethanu okolo  $49 \text{ mN.m}^{-1}$ . V prípade ULESTERU 43 T, keď ako testovacia kvapalina bola použitá destilovaná voda sa skúmaná hodnota pohybuje od  $15$  do  $18 \text{ mN.m}^{-1}$  a pri diiodmethane vychádza asi  $48 \text{ mN.m}^{-1}$ . U ULESTERU 31 HDA sa tento parameter pohybuje okolo  $9$  až  $14 \text{ mN.m}^{-1}$  v prípade, keď ako testovacia kvapalina bola použitá destilovaná voda a v prípade použitia diiodmethanu okolo  $50 \text{ mN.m}^{-1}$ .

Tabuľková hodnota kritického povrchového napätia stanoveného statickou metódou má hodnotu  $44 \text{ mN.m}^{-1}$ .

Druhou použitou metódou k stanoveniu povrchovej energie je harmonická metóda. V prípade vlákna a to ULESTERU 110 TA hodnota povrchovej energie vychádza cca  $52 \text{ mJ.m}^{-2}$  u diiodmethanu a destilovanej vody.

U modelových plošných textílií a to u ULESTERU 110 TA je skúmaný parameter  $49 \text{ mJ.m}^{-2}$  v prípade použitia diiodmethanu a destilovanej vody. V prípade ULESTERU 62 MA u použitých kvapalín diiodmethan a destilovaná voda má vypočítaný parameter hodnotu  $44 \text{ mJ.m}^{-2}$ . Pre ULESTER 52 HD má vypočítaná hodnota povrchovej energie veľkosť  $52 \text{ mJ.m}^{-2}$  u diiodmethanu a destilovanej vody. U ULESTERU 43 T vychádza povrchová energia  $50 \text{ mJ.m}^{-2}$ . Pri poslednej modelovej

plošnej textílii a to ULESTERU 31 HDA má povrchová energia hodnotu  $54 \text{ mJ.m}^{-2}$  pri použití diiodmethanu a destilovanej vody.

Tabuľková hodnota je u polyesteru  $42 \text{ mJ.m}^{-2}$ .

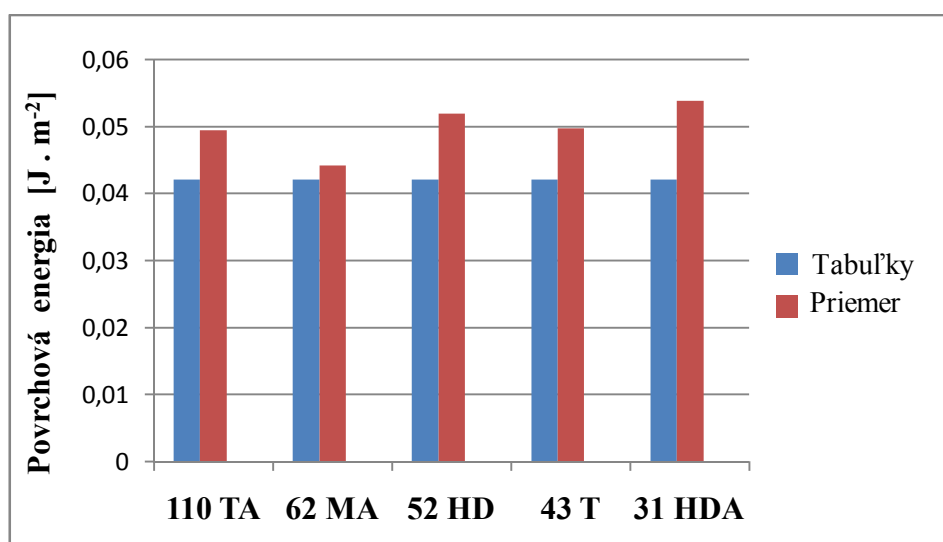
Tretia použitá metóda k stanoveniu povrchovej energie je geometrická metóda. U polyesterového vlákna a to ULESTERU 110 TA hodnota povrchovej energie vychádza  $46 \text{ mJ.m}^{-2}$  v prípade použitia diiodmethanu a destilovanej vody.

Pri modelových plošných textíliách a to ULESTERE 110 TA a ULESTERE 52 HD vychádza hodnota povrchovej energie  $50 \text{ mJ.m}^{-2}$ . Pre ULESTER 62 MA vychádza  $46 \text{ mJ.m}^{-2}$ . V prípade ULESTERU 43 T má vypočítaný parameter hodnotu  $48 \text{ mJ.m}^{-2}$  a pri poslednej testovanej plošnej textílii a to ULESTERE 31 HDA má povrchová energia hodnotu  $52 \text{ mJ.m}^{-2}$  s použitím diiodmethanu a destilovanej vody.

Tabuľková hodnota povrchovej energie stanovenej geometrickou metódou má hodnotu asi  $41 \text{ mJ.m}^{-2}$ .

Je dôležité poznamenať, že u tabuľkových hodnôt sa nejedná o textíliu, ale o doštičku.

Vzájomné porovnanie vypočítaných hodnôt s tabuľkovými je v prílohe 9.2 a na obr. 35 je znázornený príklad závislosti povrchových energií na druhu modelových textílií.



**Obr. 35:** Povrchové energie stanovené harmonickou metódou na modelových textíliách.

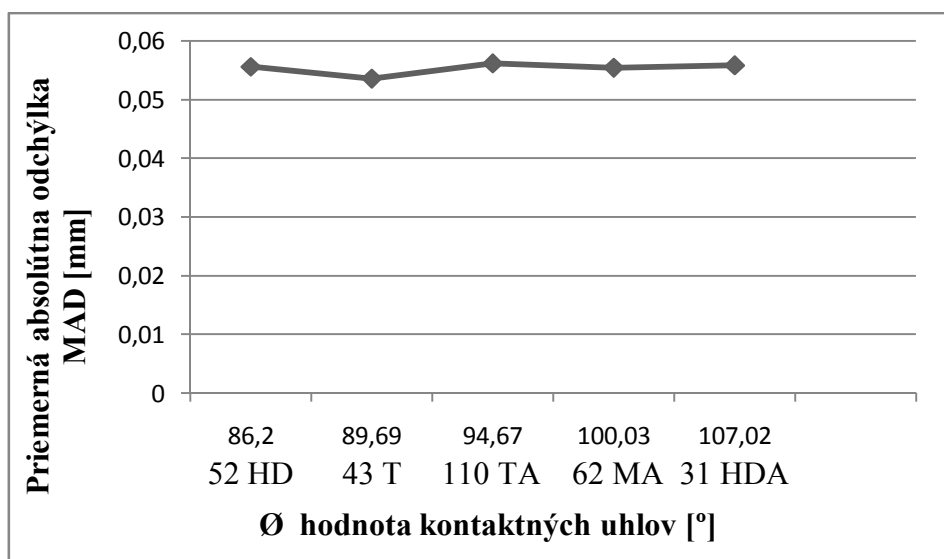


### 7.3 Meranie drsnosti štruktúry profilu plošných materiálov

K popisu drsnosti plošných materiálov bola stanovená priemerná absolútna odchýlka MAD, variačný koeficient výšky profilu CV a priemerná smernica profilu MS. Pri pohľade na výsledky (viď. kapitola 9.3) vplyvom drsnosti rastie variabilita. Vysoká variabilita je daná zvolenými jednotkami. Drsnosťou (zložitejšou štruktúrou) sa zvýraznil hydrofóbný efekt povrchu. Závislosť medzi drsnosťou a veľkosťou očka nie je. Drsnosť má výrazný vplyv na zmáčanie.

Pri porovnaní výsledkov drsnosti od firmy INNOWEP s naším meraním sa od seba líšia. Priemerná absolútna odchýlka MAD sa pri našom meraní pohybuje okolo 55  $\mu\text{m}$  a v prípade výsledkov od firmy INNOWEP je to okolo 27  $\mu\text{m}$ . Správna drsnosť by mala odpovedať hodnotám zmeraným na TRACEiTU od firmy INNOWEP.

Obr. 36 zobrazuje závislosť priemernej absolútnej odchýlky na priemernej hodnote kontaktných uhlov.



**Obr. 36:** Závislosť priemernej absolútnej odchýlky na priemernej hodnote kontaktných uhlov.

## **7.4 Analýza vplyvu štruktúry povrchu plošného textilného útvaru na zmáčanie**

Predmetom tejto experimentálnej časti bolo sledovanie a popis povrchových vlastností polyesterového plošného útvaru. Pri experimentoch boli použité dve kvapaliny s rôznymi povrchovými napätiami. Voda ako polárna kvapalina o vysokom povrchovom napätí a dijodmethan ako predstaviteľ disperznej kvapaliny s celkom vysokým povrchovým napätím. K meraniu bola použitá metóda založená na optickom snímaní kontaktu plošnej textílie a vlákna s kvapalinou (viď. kapitola 6.3.2). Z nameraných výsledkov je zrejmé, že hodnoty kontaktných uhlov na vláknach a modelových plošných textíliách sú rôzne ako u vody, tak u dijodmethanu. Dijodmethan má menšie uhly na modelových plošných textíliách ako na vlákne a u vody je to opačne.

## 8. ZÁVER

Zmáčanie, ktoré patrí z pohľadu povrchových vlastností k najdôležitejším charakteristikám textilných vlákien a plošných materiálov, je potrebné hodnotiť objektívnymi a presnými metódami. Patrí k základným parametrom, ktorý slúži k určeniu kontaktného uhlu, povrchovej energie, disperznej a nedisperznej zložky povrchovej energie.

V tejto práci bolo zmáčanie vlákien a plošných textílií sledované optickou metódou. Táto metóda sa v práci zdokonalila na plošných textilných útvaroch. Je metódou vhodnou a použiteľnou v praxi. Medzi jej výhody patrí možnosť merať kontaktné uhly na vláknach s malými priermi, jednoduchá príprava vzoriek, jednoduché a priemerne nákladné prístrojové vybavenie, možnosť okamžitého obrazového spracovania a okamžitá vizuálna informácia o tvare menisku kvapaliny.

Jedným z bodov práce je vplyv objemu kvapaliny na zmáčacie charakteristiky vlákien a modelových plošných textílií. Vplyv objemu kvapaliny v medziach od 3 - 15  $\mu\text{l}$  sa na hodnotu kontaktného uhlu neprejavil, iba jeho kolísanie bolo spôsobené vznikom rôznych kontaktných plôch medzi kvapalinou a textíliou. Presnosť výsledkov merania u sít (modelových textílií) je závislá na umiestnení kvapaliny na ploche materiálu a tak isto má na to vplyv štruktúra materiálu.

Ďalším bodom tejto práce bolo stanovenie povrchových energií na vlákne a plošnom textilnom útvare a vzájomné porovnanie získaných hodnôt s tabuľkovými. Povrchová energia bola vypočítaná pomocou troch metód a to statickou, harmonickou a geometrickou metódou (viď. kapitola 1.8.1 - 1.8.3). Pri stanovovaní povrchových energií majú veľkú rolu testovacie kvapaliny. Hodnoty povrchových energií sa v tejto práci čiastočne líšia od tabuľkových hodnôt (viď. tab. IV, kapitola 6.5). Je nutné poznamenať, že uvedené metódy sú závislé na voľbe testovacích kvapalín. Pri určovaní povrchových energií je potrebné brať do úvahy dva faktory. Prvým z nich je, že rovnaké druhy materiálov nemávajú rovnakú hodnotu povrchových energií, druhým faktorom je vplyv štruktúry povrchu.

Štvrtým bodom práce bolo meranie drsnosti štruktúry profilu plošného materiálu. Pri meraní drsnosti štruktúry profilu plošného materiálu bolo zistené, že namerané dáta MAD - priemerná absolútna odchýlka a CV - variačný koeficient výšky

profilu (vid'. príloha 9.3) u jednotlivých typov modelových plošných textílií sú podobné. Ďalej bola meraná priemerná smernica profilu - MS.

Porovnaním výsledkov drsnosti od firmy INNOWEP s naším meraním sme zistili, že sa od seba líšia (vid'. tab. XXVIII - XXXII).

Posledným bodom práce je analýza vplyvu štruktúry povrchu plošného textilného útvaru na zmáčanie. Samotné vlákno má veľmi hladký povrch, preto bolo použité ako porovnávací materiál s ideálnym hladkým povrchom proti modelovým textíliám, ktoré predstavujú určitú modifikáciu povrchu drsnosti. U modelovej plošnej textílie a to ULESTERU 110 TA je priemerná hodnota kontaktného uhlu  $94,67^\circ$  pri použití destilovanej vody a u vlákna je to  $68,16^\circ$ . Z toho vyplýva, že vlákno má o 28 % menší kontaktný uhol zmáčania. V prípade použitia dijudmethanu je priemerná hodnota kontaktného uhlu u modelovej plošnej textílie a to ULESTERU 110 TA  $12,02^\circ$  a u vlákna  $40,33^\circ$ . Z toho vyplýva, že vlákno má o 236 % väčší kontaktný uhol zmáčania.

## 9. PRÍLOHA

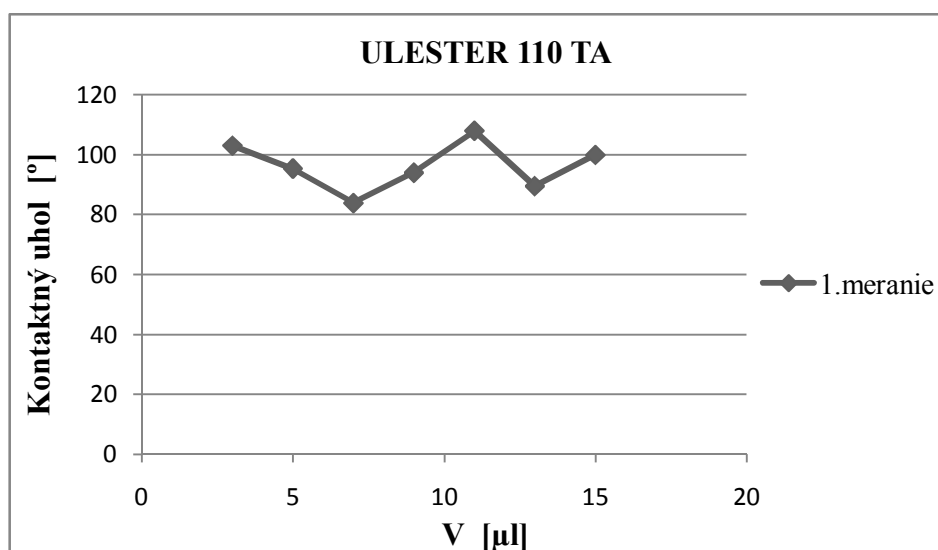
### 9.1 Vplyv objemu kvapaliny na zmáčacie charakteristiky modelových plošných textílií

#### ULESTER 110 TA + DESTILOVANÁ VODA

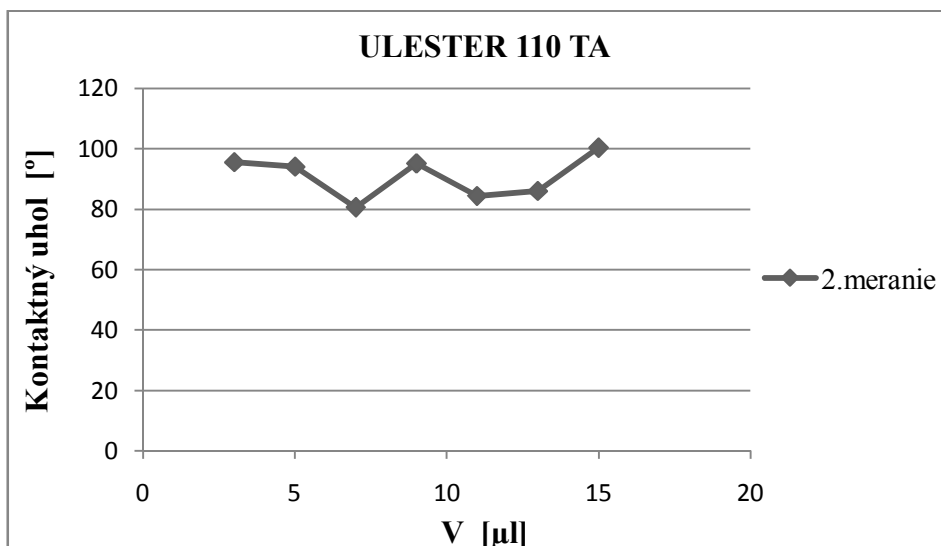
Ide o materiál, ktorý má veľkosť očka 51/43  $\mu\text{m}$  (osnova/útok), voľnú plochu (vzduch) 27 % a priemer vlákna 40/48  $\mu\text{m}$  (osnova/útok).

**Tab. V:** Kontaktné uhly Ulesteru 110 TA pri kontakte s destilovanou vodou o objeme kvapky 3 - 15  $\mu\text{l}$ .

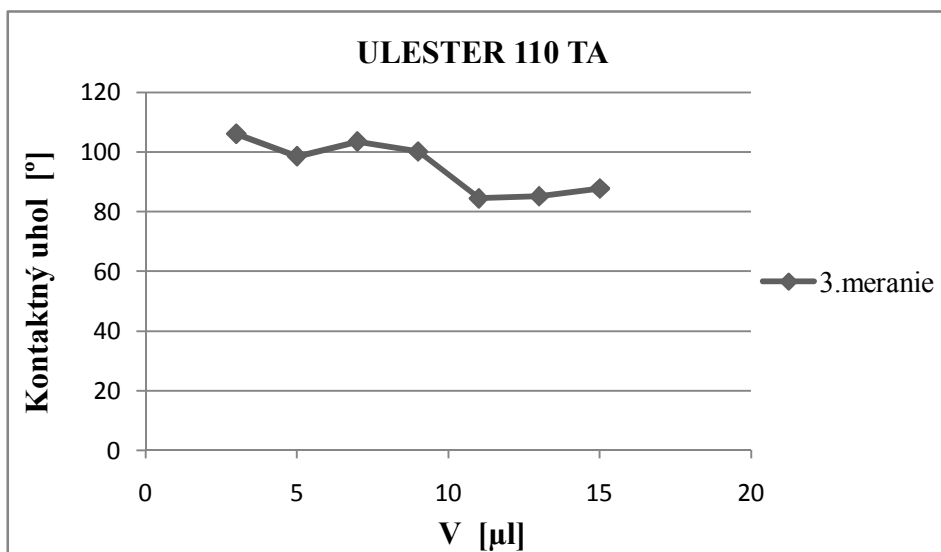
Číslo merania	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]
	V = 3 $\mu\text{l}$	V = 5 $\mu\text{l}$	V = 7 $\mu\text{l}$	V = 9 $\mu\text{l}$	V = 11 $\mu\text{l}$	V = 13 $\mu\text{l}$	V = 15 $\mu\text{l}$
1.	102,95	95,30	83,84	93,93	107,88	89,46	99,84
2.	95,61	94,09	80,62	95,19	84,39	85,99	100,41
3.	106,03	98,58	103,50	100,11	84,49	85,19	87,78
4.	107,90	87,32	104,19	95,59	96,97	90,00	99,46
5.	114,34	98,05	106,80	102,95	109,23	107,32	97,33
<b>Priemer</b>	<b>105,37</b>	<b>94,67</b>	<b>95,79</b>	<b>97,55</b>	<b>96,59</b>	<b>91,59</b>	<b>96,96</b>
<b>Odchýlka</b>	<b>6,86</b>	<b>4,51</b>	<b>12,49</b>	<b>3,82</b>	<b>12,07</b>	<b>9,04</b>	<b>5,26</b>
<b>v [%]</b>	<b>6,51</b>	<b>4,77</b>	<b>13,04</b>	<b>3,91</b>	<b>12,49</b>	<b>9,87</b>	<b>5,43</b>
<b>IS</b>	<b><math>\langle 96,84 - 113,90 \rangle</math></b>	<b><math>\langle 89,06 - 100,28 \rangle</math></b>	<b><math>\langle 80,26 - 111,32 \rangle</math></b>	<b><math>\langle 92,80 - 102,30 \rangle</math></b>	<b><math>\langle 81,58 - 111,60 \rangle</math></b>	<b><math>\langle 80,35 - 102,83 \rangle</math></b>	<b><math>\langle 90,42 - 103,50 \rangle</math></b>



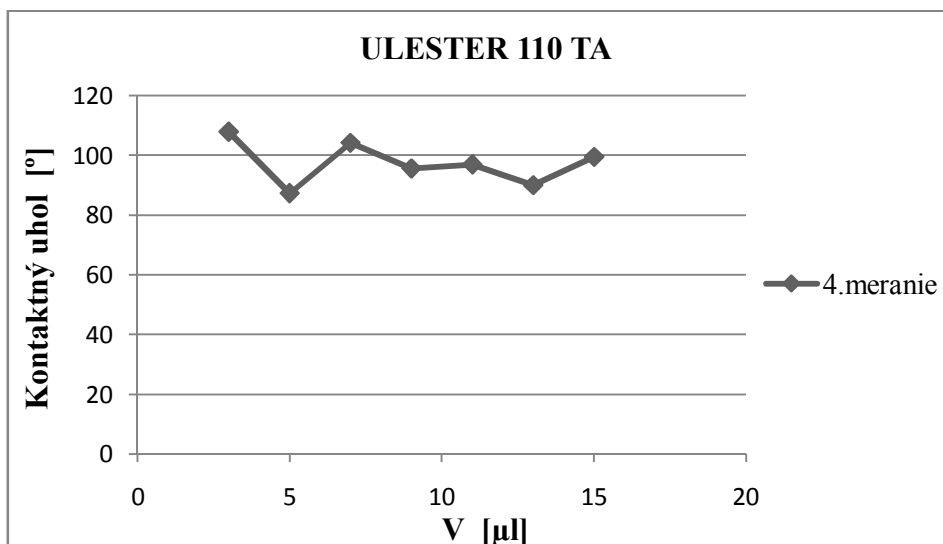
**Obr. 37:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



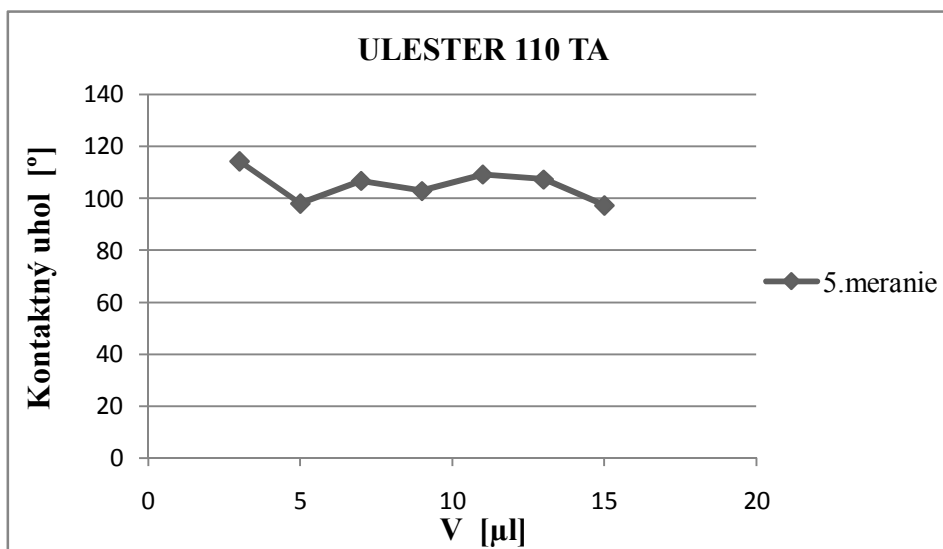
**Obr. 38:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



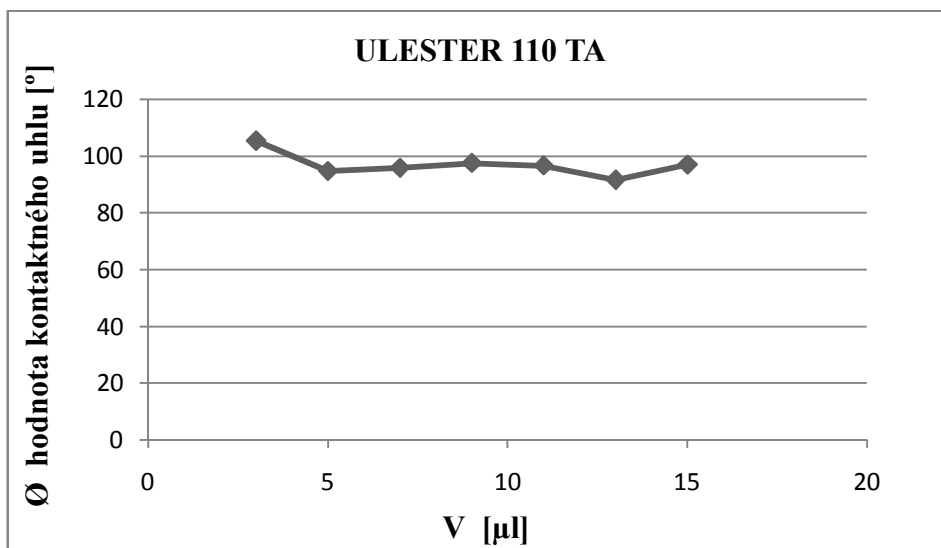
**Obr. 39:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



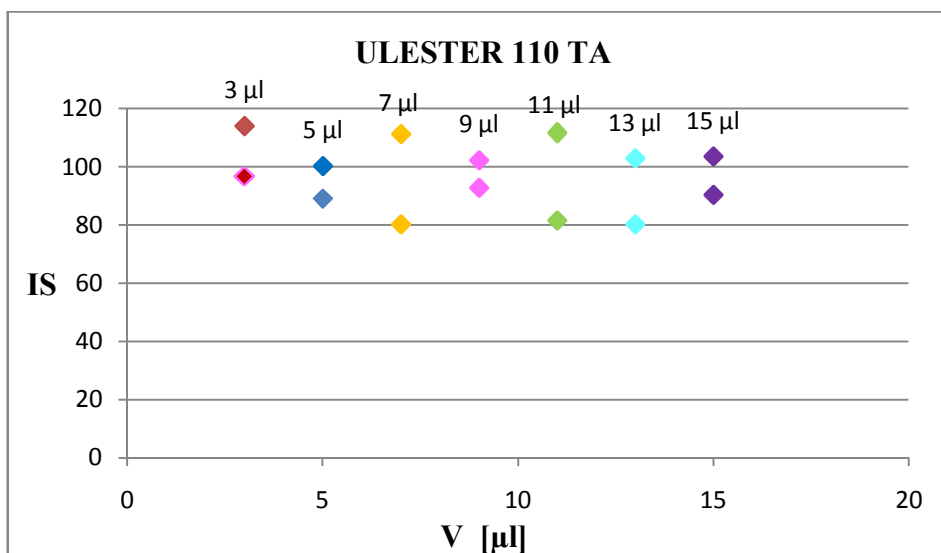
**Obr. 40:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



**Obr. 41:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



**Obr. 42:** Závislosť priemernej hodnoty kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



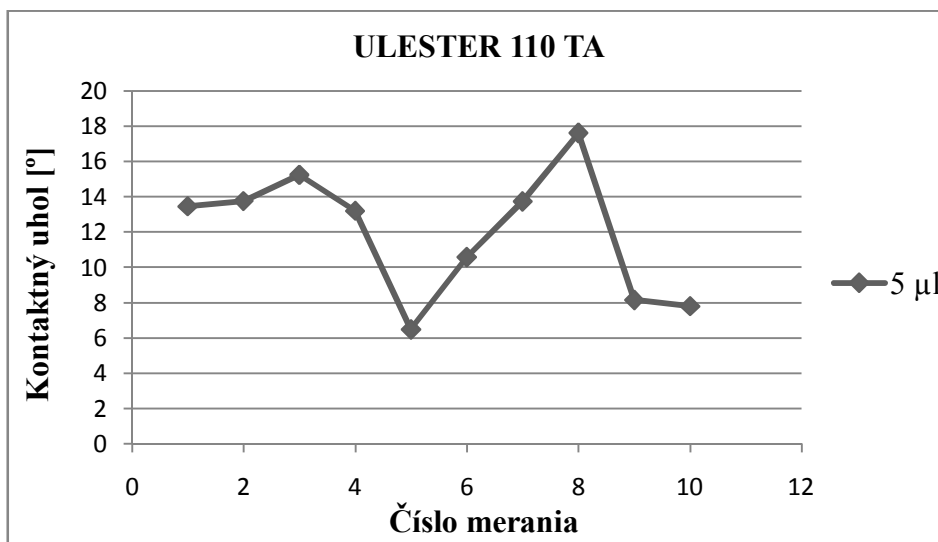
**Obr. 43:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



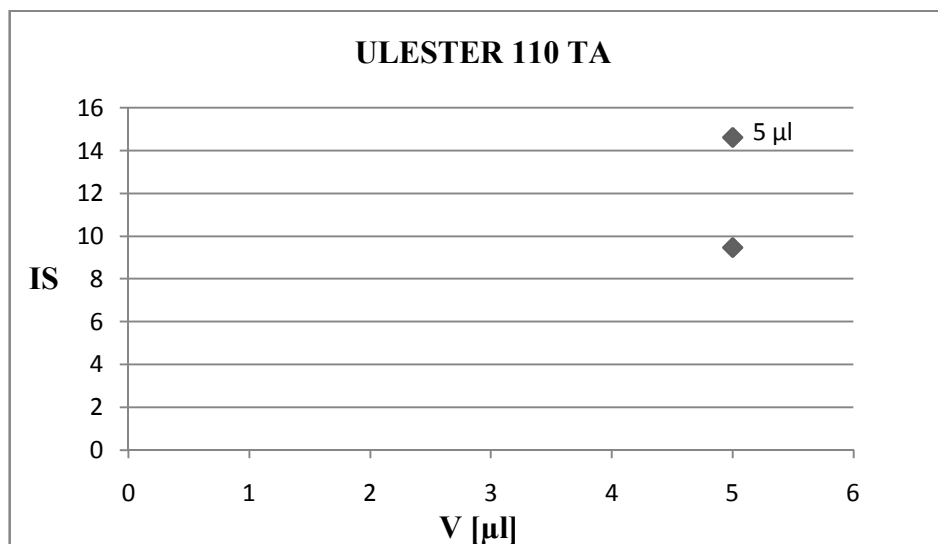
## ULESTER 110 TA + DIJODMETHAN

**Tab. VI:** Kontaktné uhly Ulesteru 110 TA pri kontakte s diiodmethanom o objeme kvapky 5  $\mu\text{l}$ .

<i>Číslo merania</i>	<i>Kontaktný uhol [°]</i>
1.	13,48
2.	13,78
3.	15,26
4.	13,22
5.	6,51
6.	10,60
7.	13,76
8.	17,63
9.	8,17
10.	7,82
<i>Priemer</i>	<i>12,02</i>
<i>Výber. smer. odchýlka</i>	<i>3,60</i>
<i>v [%]</i>	<i>29,93</i>
<i>IS</i>	<i>(9,45 - 14,59)</i>



**Obr. 44:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (diiodmethan).

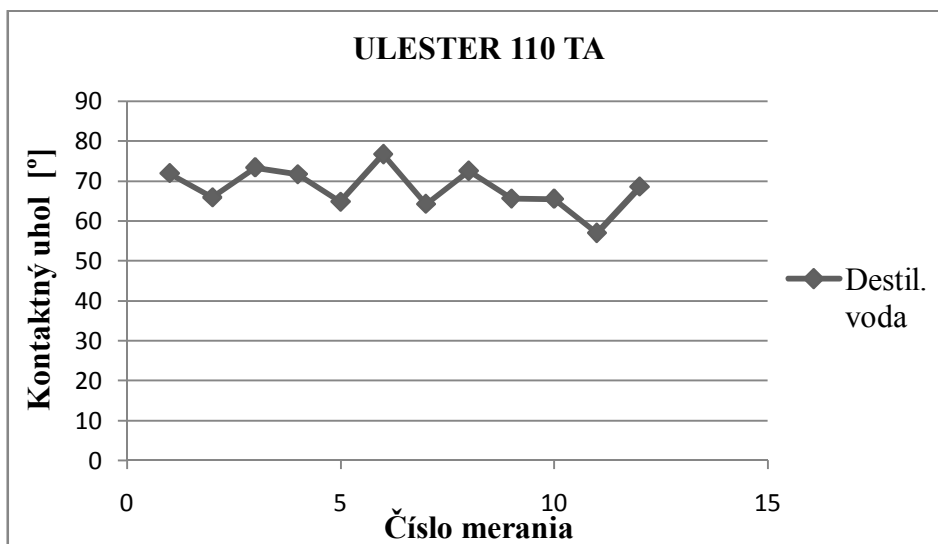


**Obr. 45:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (dijodmethan).

## VLÁKNA

**Tab. VII:** Kontaktné uhly PES vlákna 110 TA pri kontakte s destilovanou vodou.

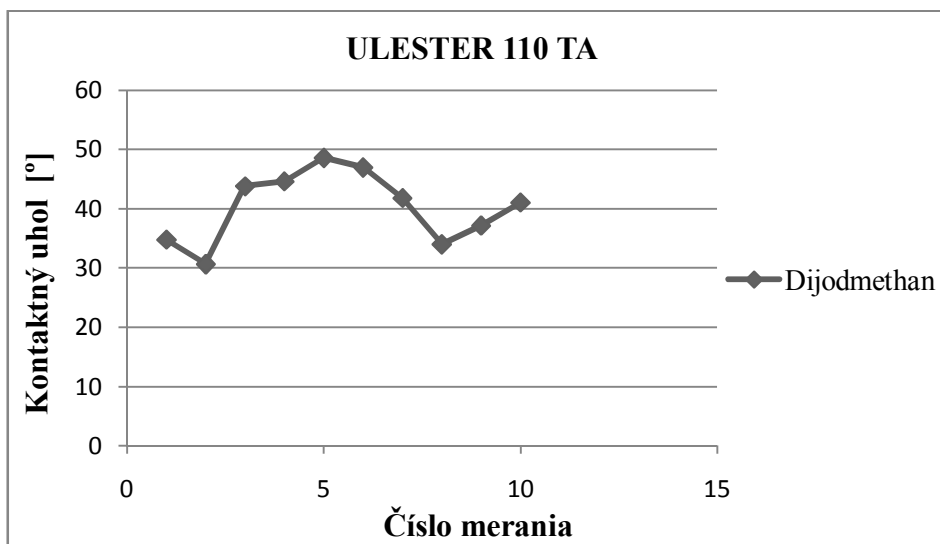
<i>Číslo merania</i>	<i>Kontaktný uhol [°]</i>
1.	71,95
2.	65,90
3.	73,40
4.	71,68
5.	64,80
6.	76,70
7.	64,27
8.	72,55
9.	65,59
10.	65,53
11.	57,01
12.	68,58
<i>Priemer</i>	<i>68,16</i>
<i>Výber. smer. odchýlka</i>	<i>5,36</i>
<i>v [%]</i>	<i>7,86</i>
<i>IS</i>	<i>&lt;64,76 - 71,56&gt;</i>



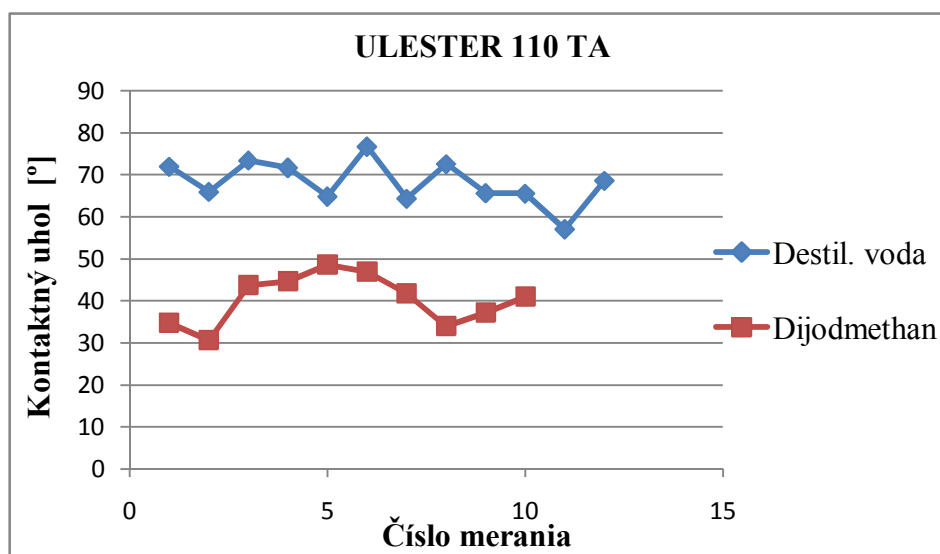
Obr. 46: Graf kontaktných uhlov destilovanej vody testovaného vlákna.

Tab. VIII: Kontaktné uhly PES vlákna 110 TA pri kontakte s dijudmethanom.

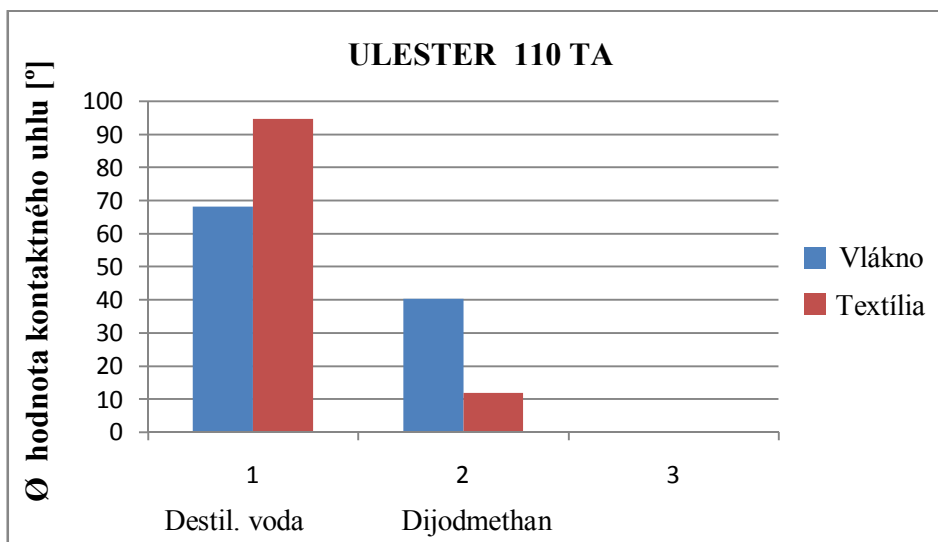
<i>Číslo merania</i>	<i>Kontaktný uhol [°]</i>
1.	34,77
2.	30,63
3.	43,78
4.	44,60
5.	48,58
6.	46,96
7.	41,79
8.	33,97
9.	37,16
10.	41,03
<i>Priemer</i>	<i>40,33</i>
<i>Výber. smer. odchýlka</i>	<i>5,97</i>
<i>v [%]</i>	<i>14,79</i>
<i>IS</i>	<i>&lt;36,06 - 44,60&gt;</i>



Obr. 47: Graf kontaktných uhlov diiodmethanu testovaného vlákna.



Obr. 48: Porovnanie veľkosti kontaktných uhlov testovaného vlákna medzi destilovanou vodou a diiodmethanom.



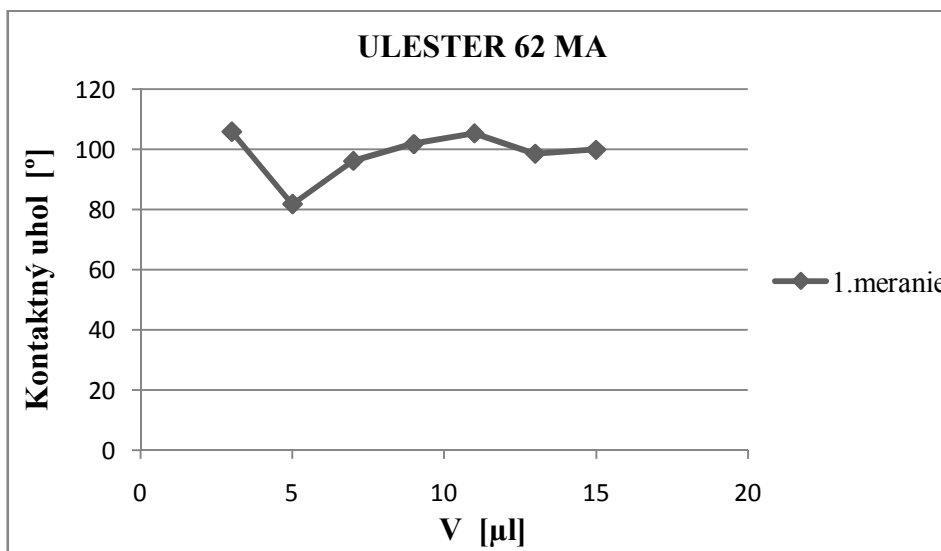
**Obr. 49:** Grafické znázornenie porovnania kontaktných uhlov medzi vláknom a textíliou u destilovanej vody a dijodmethanu.

#### ULESTER 62 MA + DESTILOVANÁ VODA

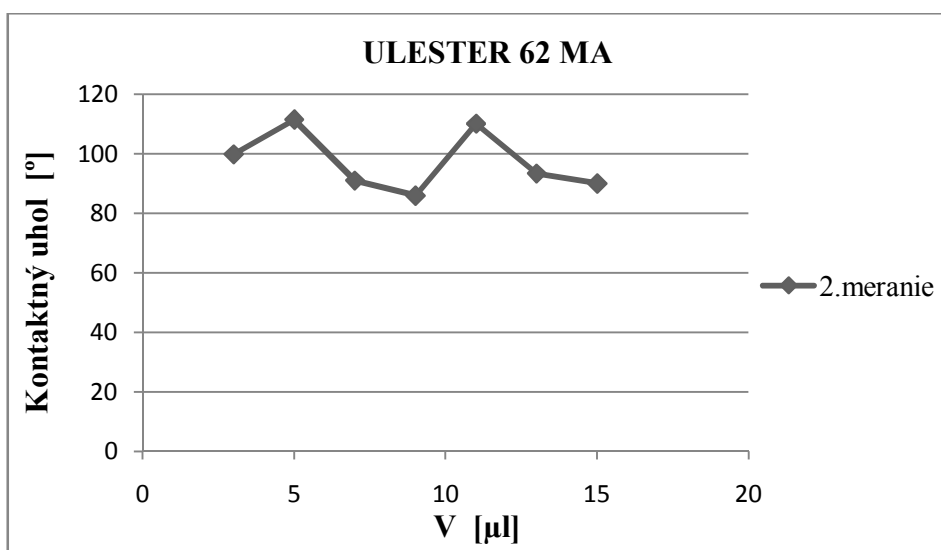
Ide o materiál, ktorý má veľkosť očka 106/81  $\mu\text{m}$  (osnova/útok), voľnú plochu (vzduch) 33 % a priemer vlákna 55/80  $\mu\text{m}$  (osnova/útok).

**Tab. IX:** Kontaktné uhly Ulesteru 62 MA pri kontakte s destilovanou vodou o objeme kvapky 3 - 15  $\mu\text{l}$ .

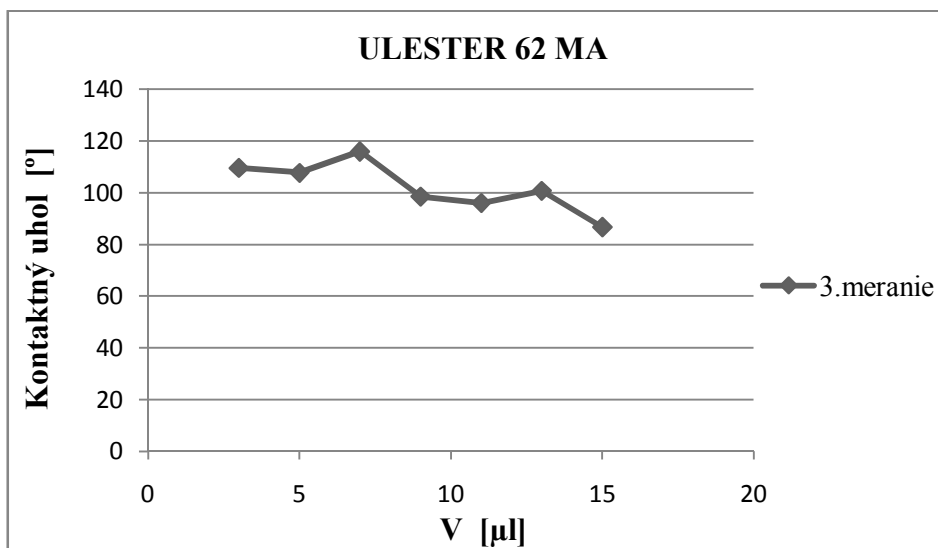
Číslo merania	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]
	V = 3 $\mu\text{l}$	V = 5 $\mu\text{l}$	V = 7 $\mu\text{l}$	V = 9 $\mu\text{l}$	V = 11 $\mu\text{l}$	V = 13 $\mu\text{l}$	V = 15 $\mu\text{l}$
1.	105,95	81,81	96,18	101,86	105,34	98,62	99,92
2.	99,89	111,53	91,03	85,95	110,14	93,42	90,00
3.	109,49	107,68	115,91	98,46	95,96	100,68	86,63
4.	108,91	97,13	95,44	89,30	92,47	100,22	93,58
5.	96,05	101,99	89,02	85,47	93,43	97,72	97,93
<b>Priemer</b>	<b>104,06</b>	<b>100,03</b>	<b>97,52</b>	<b>92,21</b>	<b>99,47</b>	<b>98,13</b>	<b>93,61</b>
<b>Odchýlka</b>	<b>5,88</b>	<b>11,56</b>	<b>10,71</b>	<b>7,50</b>	<b>7,84</b>	<b>2,89</b>	<b>5,48</b>
<b>v [%]</b>	<b>5,65</b>	<b>11,56</b>	<b>10,98</b>	<b>8,14</b>	<b>7,89</b>	<b>2,95</b>	<b>5,86</b>
<b>IS</b>	<b>⟨96,75 - 111,37⟩</b>	<b>⟨85,66 - 114,40⟩</b>	<b>⟨84,20 - 110,84⟩</b>	<b>⟨82,89 - 101,53⟩</b>	<b>⟨89,72 - 109,22⟩</b>	<b>⟨94,54 - 101,72⟩</b>	<b>⟨86,80 - 100,42⟩</b>



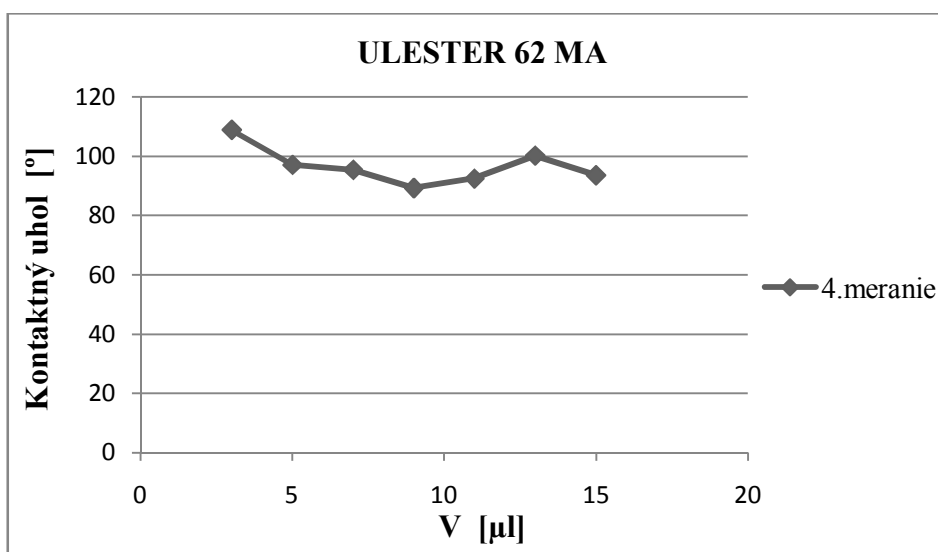
**Obr. 50:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



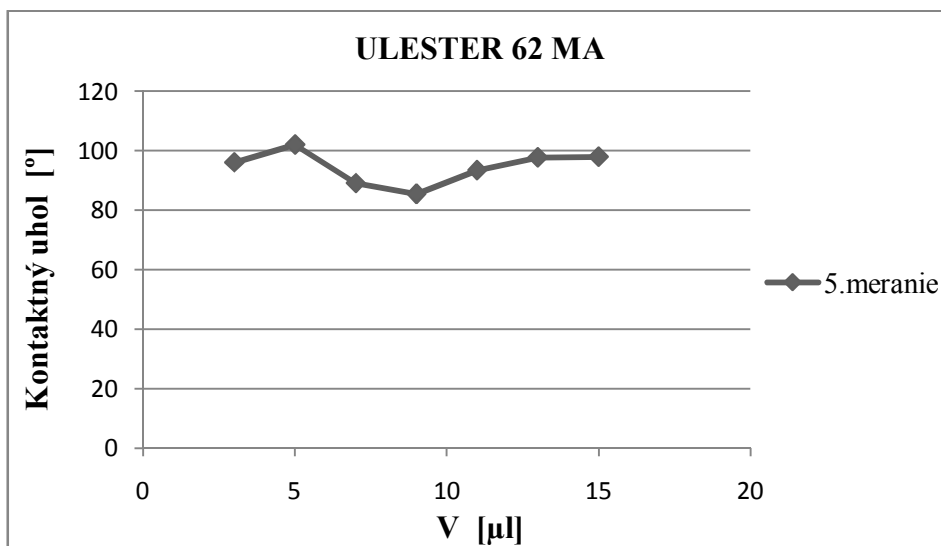
**Obr. 51:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



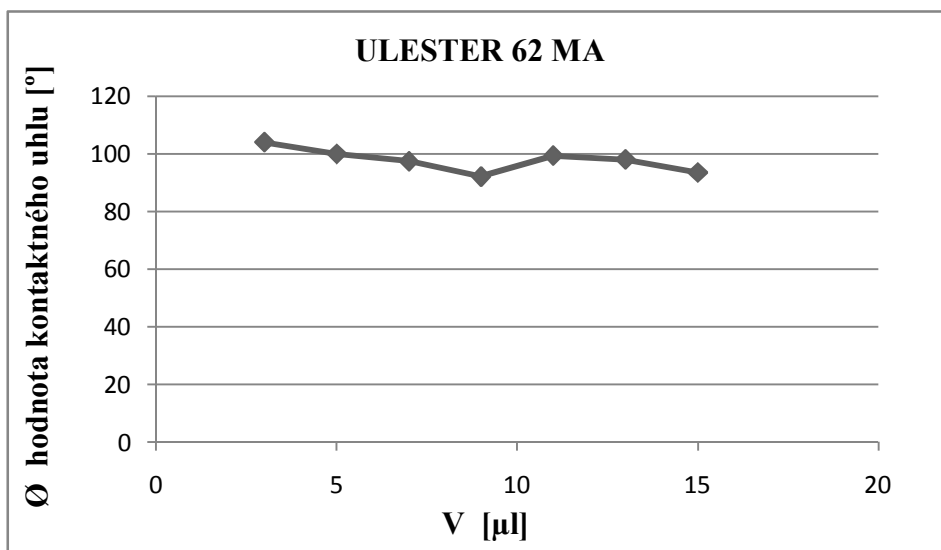
**Obr. 52:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



**Obr. 53:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

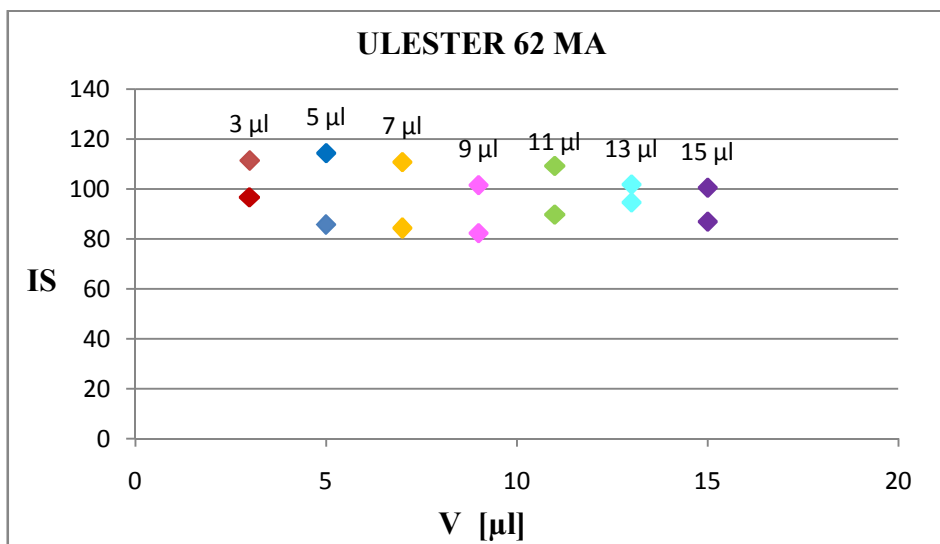


**Obr. 54:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



**Obr. 55:** Závislosť priemernej hodnoty kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



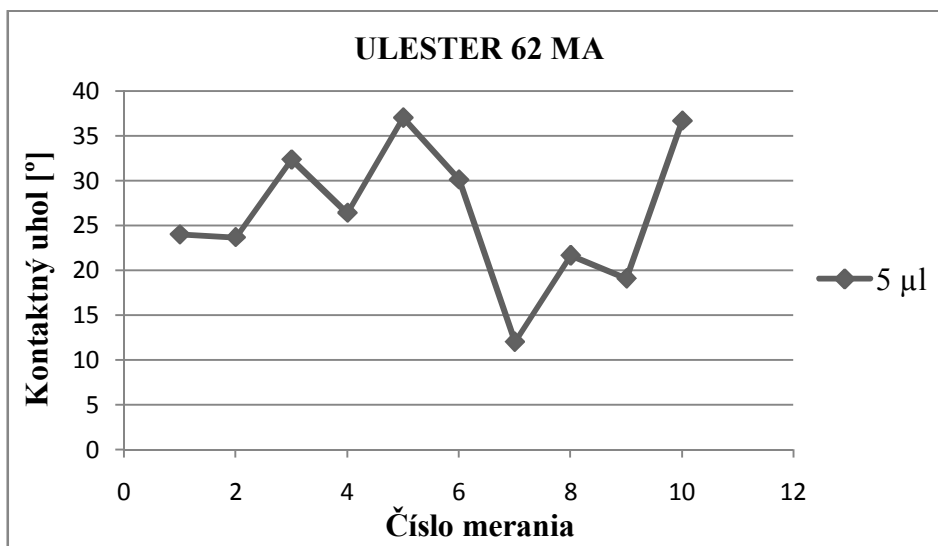


**Obr. 56:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

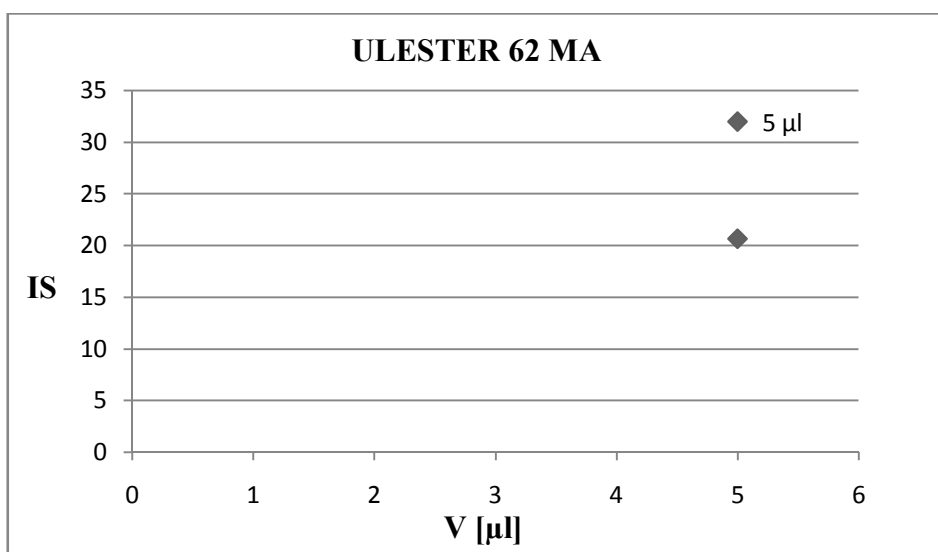
#### ULESTER 62 MA + DIJODMETHAN

**Tab. X:** Kontaktné uhly Ulesteru 62 MA pri kontakte s diiodmethanom o objeme kvapky 5 μl.

<i>Číslo merania</i>	<i>Kontaktný uhol [°]</i>
1.	24,00
2.	23,69
3.	32,37
4.	26,42
5.	37,04
6.	30,13
7.	12,01
8.	21,67
9.	19,08
10.	36,71
<i>Priemer</i>	<i>26,31</i>
<i>Výber. smer. odchýlka</i>	<i>7,92</i>
<i>v [%]</i>	<i>30,12</i>
<i>IS</i>	<i>⟨20,65 - 31,9⟩</i>



**Obr. 57:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (dijodmethan).



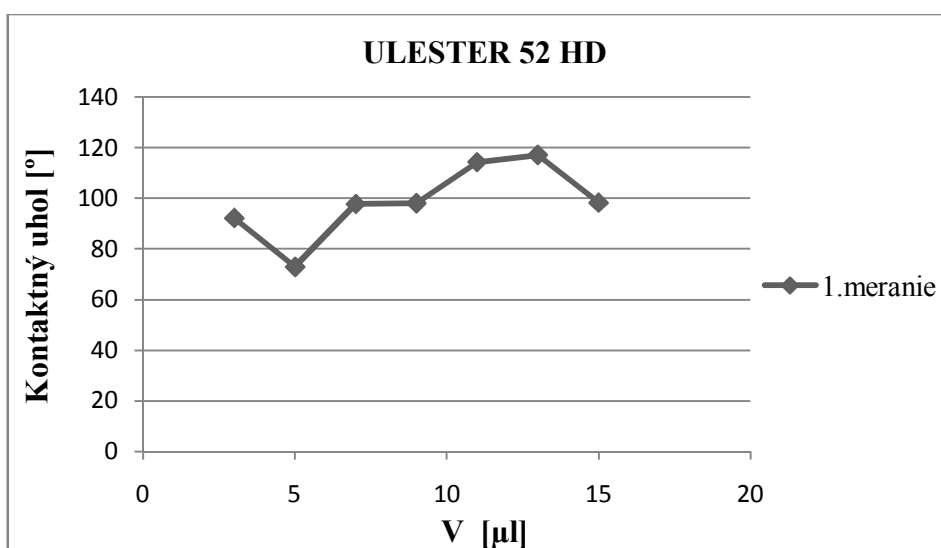
**Obr. 58:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (dijodmethan).

## ULESTER 52 HD + DESTILOVANÁ VODA

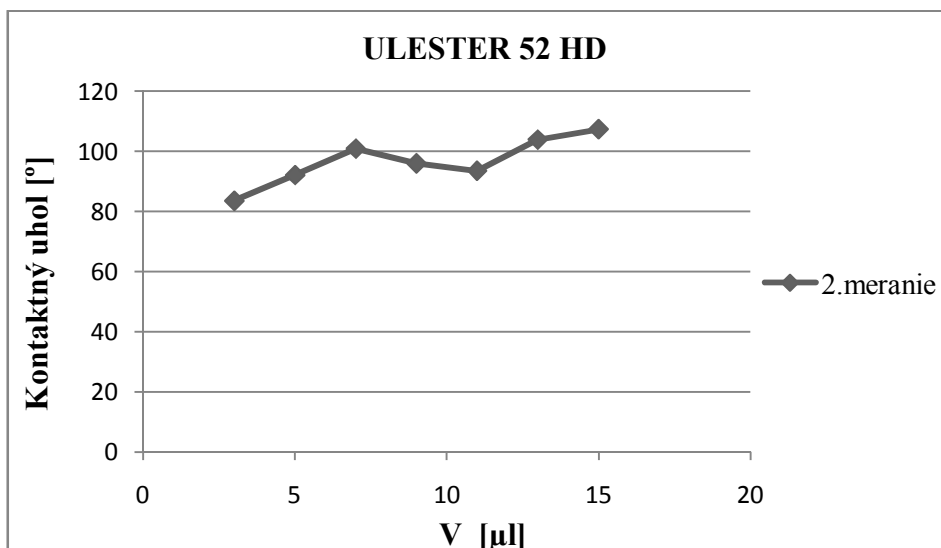
Ide o materiál, ktorý má veľkosť očka 112  $\mu\text{m}$ , voľnú plochu (vzduch) 34 % a priemer vlákna 80/80  $\mu\text{m}$  (osnova/útok).

**Tab. XI:** Kontaktné uhly Ulesteru 52 HD pri kontakte s destilovanou vodou o objeme kvapky 3 - 15  $\mu\text{l}$ .

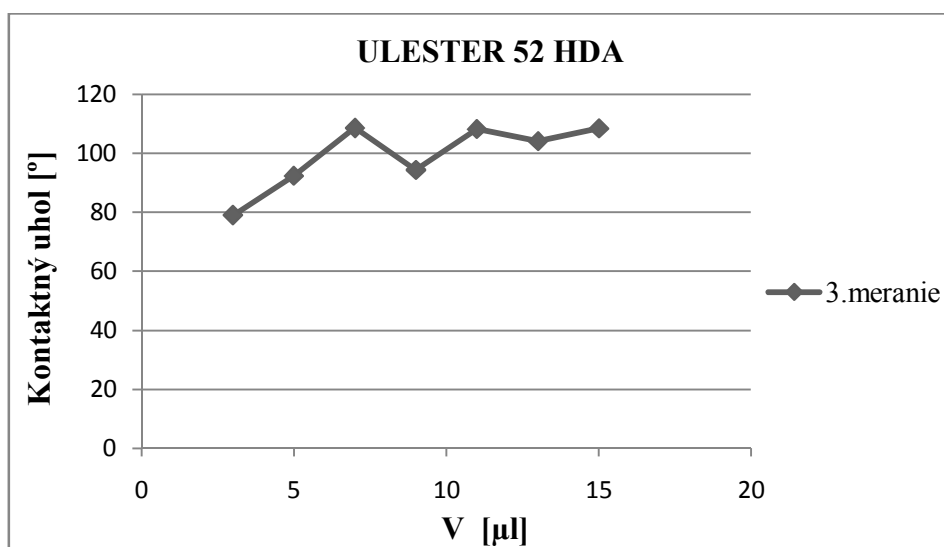
Číslo merania	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]
	V = 3 $\mu\text{l}$	V = 5 $\mu\text{l}$	V = 7 $\mu\text{l}$	V = 9 $\mu\text{l}$	V = 11 $\mu\text{l}$	V = 13 $\mu\text{l}$	V = 15 $\mu\text{l}$
1.	92,29	73,02	97,82	98,13	114,34	117,16	98,35
2.	83,60	92,12	100,89	96,01	93,54	103,88	107,35
3.	78,93	92,27	108,58	94,30	108,23	104,04	108,43
4.	95,92	86,82	97,31	97,97	92,95	108,63	103,10
5.	83,84	86,79	114,44	97,00	98,47	106,82	92,39
<b>Priemer</b>	<b>86,92</b>	<b>86,20</b>	<b>103,81</b>	<b>96,68</b>	<b>101,51</b>	<b>108,11</b>	<b>101,92</b>
<b>Odchýlka</b>	<b>6,97</b>	<b>7,85</b>	<b>7,46</b>	<b>1,58</b>	<b>9,43</b>	<b>5,44</b>	<b>6,65</b>
<b>v [%]</b>	<b>8,02</b>	<b>9,10</b>	<b>7,18</b>	<b>1,63</b>	<b>9,29</b>	<b>5,03</b>	<b>6,52</b>
<b>IS</b>	<b>&lt;78,25 - 95,59&gt;</b>	<b>&lt;76,44 - 95,96&gt;</b>	<b>&lt;94,54 - 113,08&gt;</b>	<b>&lt;94,72 - 98,64&gt;</b>	<b>&lt;89,79 - 113,23&gt;</b>	<b>&lt;101,35 - 114,87&gt;</b>	<b>&lt;93,65 - 110,19&gt;</b>



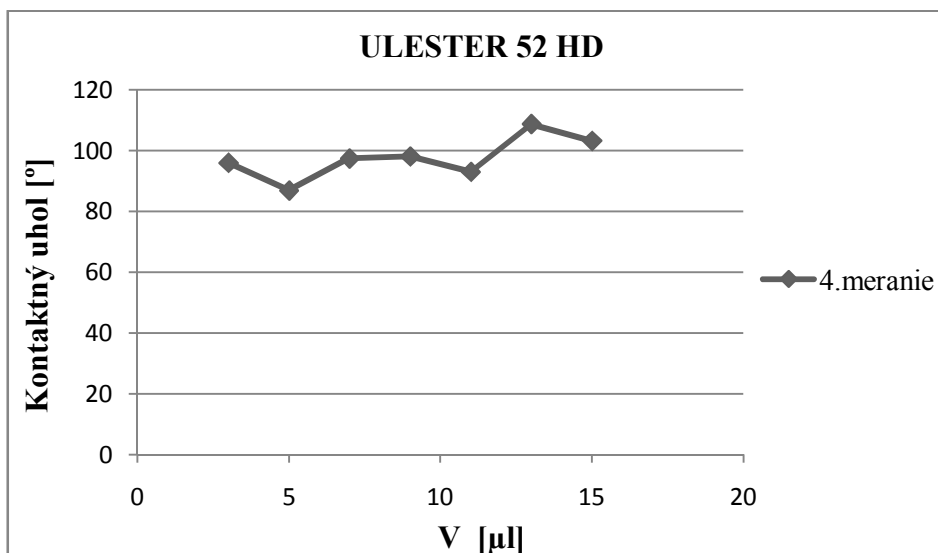
**Obr. 59:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



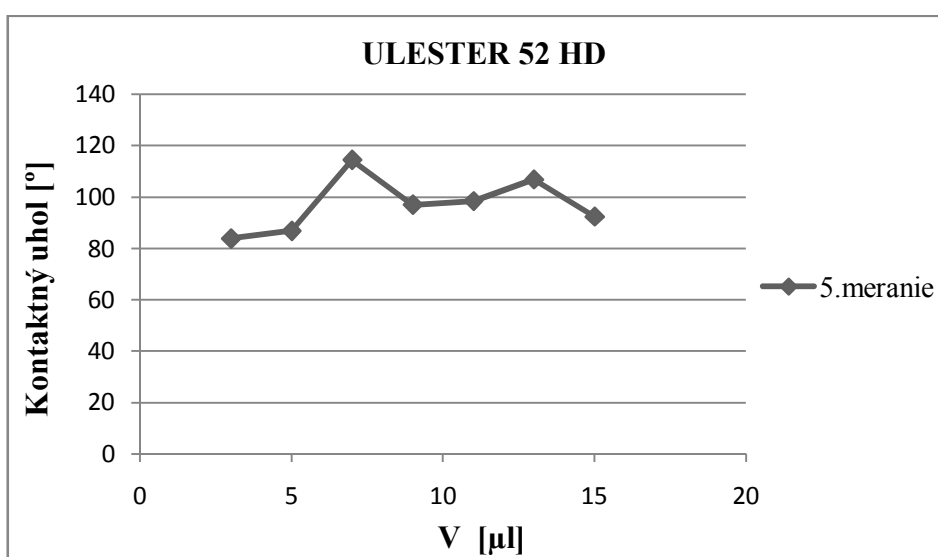
**Obr. 60:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



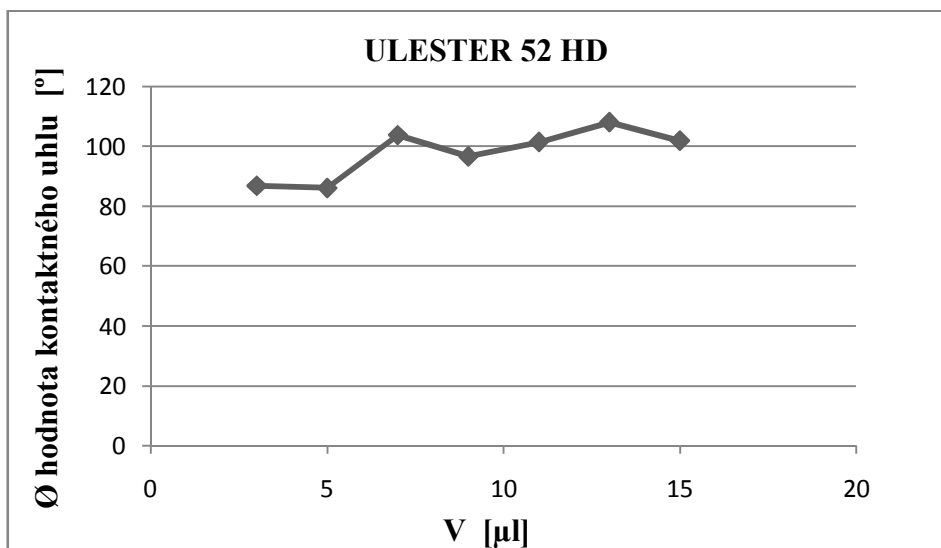
**Obr. 61:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



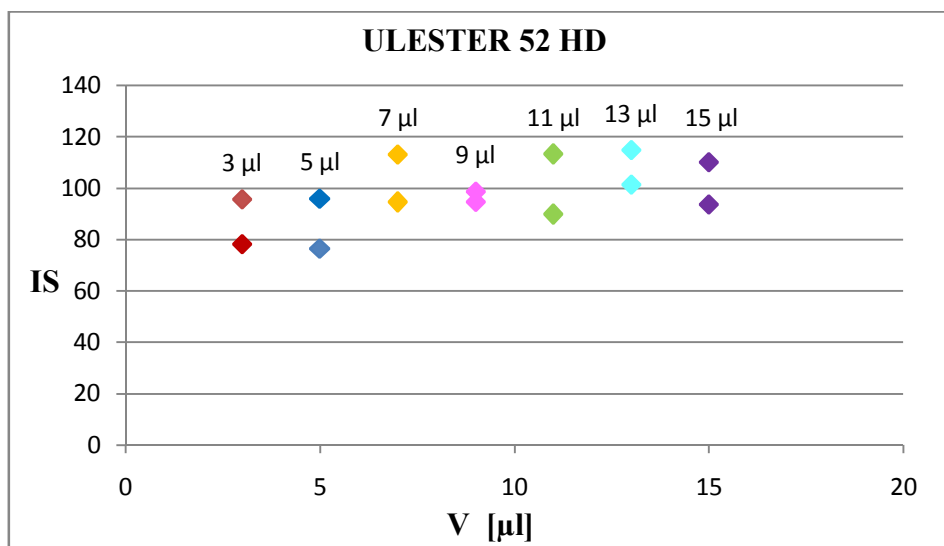
**Obr. 62:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



**Obr. 63:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



**Obr. 64:** Závislosť priemernej hodnoty kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

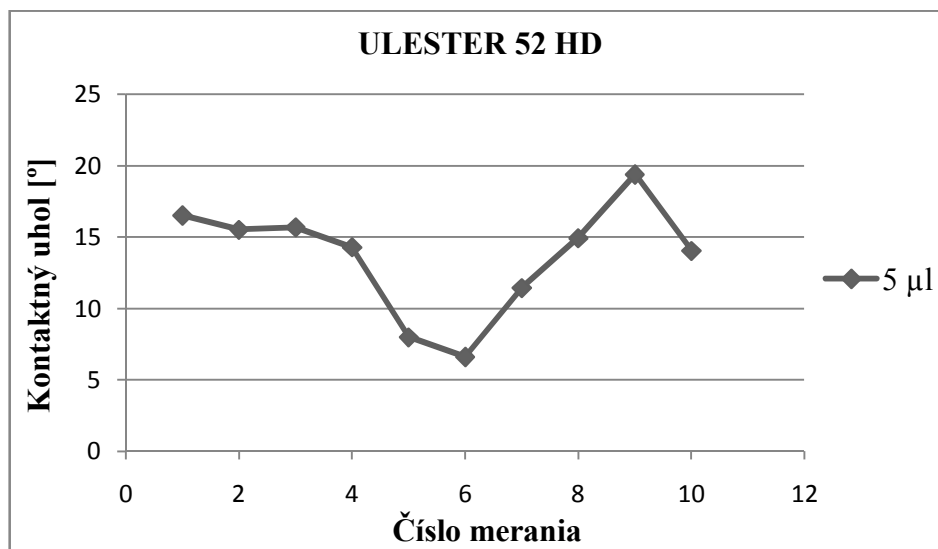


**Obr. 65:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

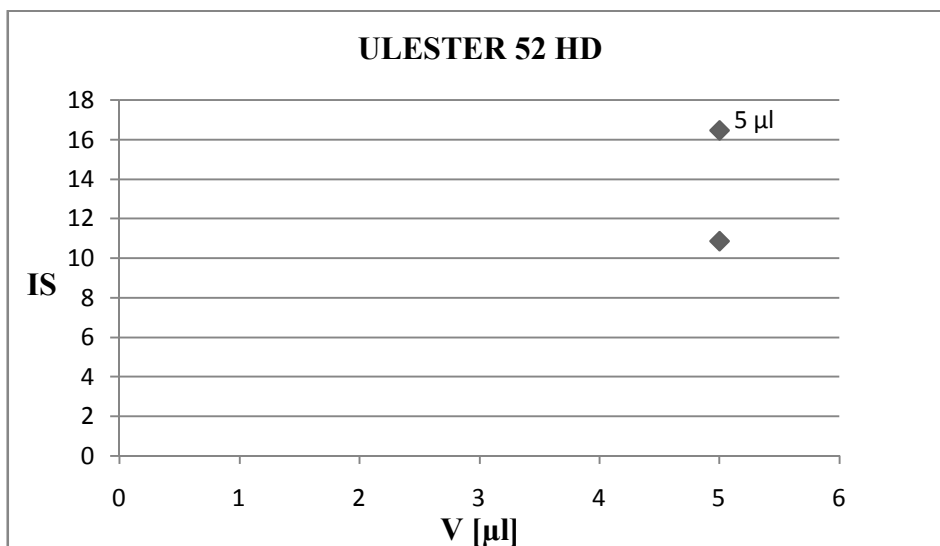
## ULESTER 52 HD + DIJODMETHAN

**Tab. XII:** Kontaktné uhly Ulesteru 52 HD pri kontakte s dijomethanom o objeme kvapky 5  $\mu$ l.

<i>Číslo merania</i>	<i>Kontaktný uhol [°]</i>
1.	16,52
2.	15,52
3.	15,69
4.	14,29
5.	7,98
6.	6,61
7.	11,44
8.	14,93
9.	19,39
10.	14,04
<i>Priemer</i>	<i>13,64</i>
<i>Výber. smer. odchýlka</i>	<i>3,91</i>
<i>v [%]</i>	<i>28,67</i>
<i>IS</i>	<i>(10,85 - 16,43)</i>



**Obr. 66:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (dijodmethan).



**Obr. 67:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (dijodmethan).

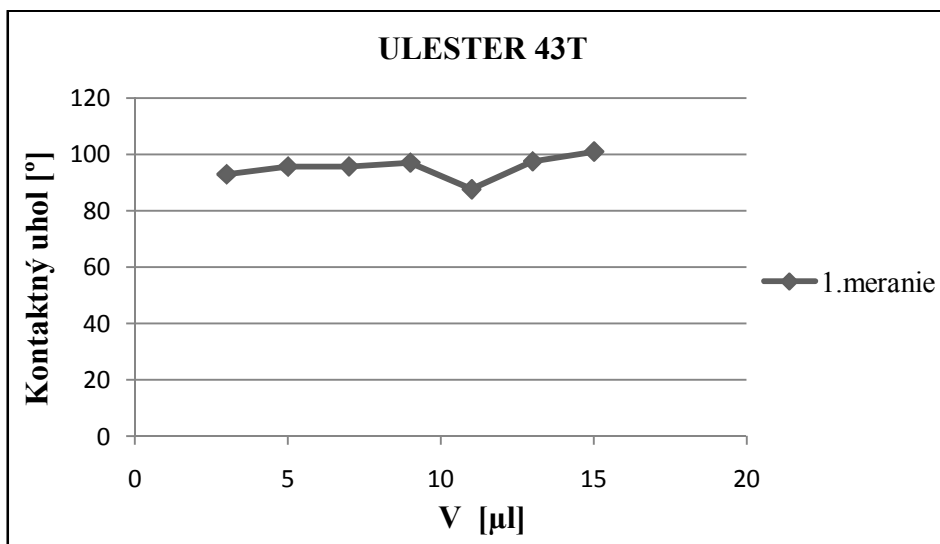
#### ULESTER 43 T + DESTILOVANÁ VODA

Ide o materiál, ktorý má veľkosť očka 153 μm, voľnú plochu (vzduch) 43 % a priemer vlákna 80/80 μm (osnova/útok).

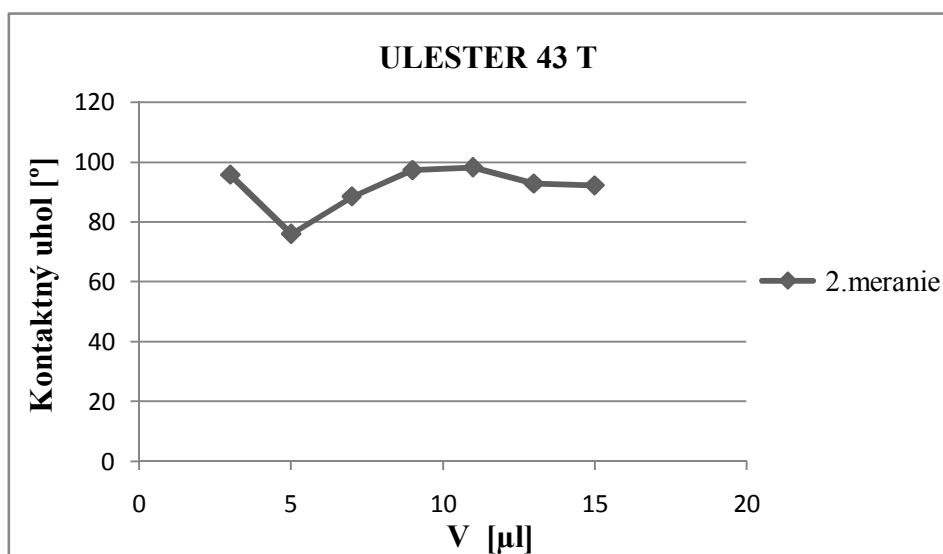
**Tab. XIII:** Kontaktné uhly Ulesteru 43 T pri kontakte s destilovanou vodou o objeme kvapky 3 - 15 μl.

Číslo merania	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]	Kontak. uhol [°]
	V = 3 μl	V = 5 μl	V = 7 μl	V = 9 μl	V = 11 μl	V = 13 μl	V = 15 μl
1.	93,01	95,71	95,76	97,13	87,73	97,57	101,00
2.	95,62	75,96	88,43	97,18	98,13	92,71	92,12
3.	78,05	94,80	84,43	99,54	87,27	82,12	90,00
4.	95,91	91,96	96,16	80,32	100,80	95,09	95,67
5.	94,29	90,00	93,44	94,73	95,94	93,01	94,19
<b>Priemer</b>	<b>91,38</b>	<b>89,69</b>	<b>91,64</b>	<b>93,78</b>	<b>93,97</b>	<b>92,1</b>	<b>94,60</b>
<b>Odchýlka</b>	<b>7,54</b>	<b>8,00</b>	<b>5,07</b>	<b>7,71</b>	<b>6,16</b>	<b>5,91</b>	<b>4,17</b>
<b>v [%]</b>	<b>8,25</b>	<b>8,92</b>	<b>5,54</b>	<b>8,23</b>	<b>6,55</b>	<b>6,42</b>	<b>4,41</b>
<b>IS</b>	<b>⟨82,01 - 100,75⟩</b>	<b>⟨79,74 - 99,64⟩</b>	<b>⟨85,34 - 97,94⟩</b>	<b>⟨84,19 - 103,37⟩</b>	<b>⟨86,31 - 101,63⟩</b>	<b>⟨84,75 - 99,45⟩</b>	<b>⟨89,42 - 99,78⟩</b>

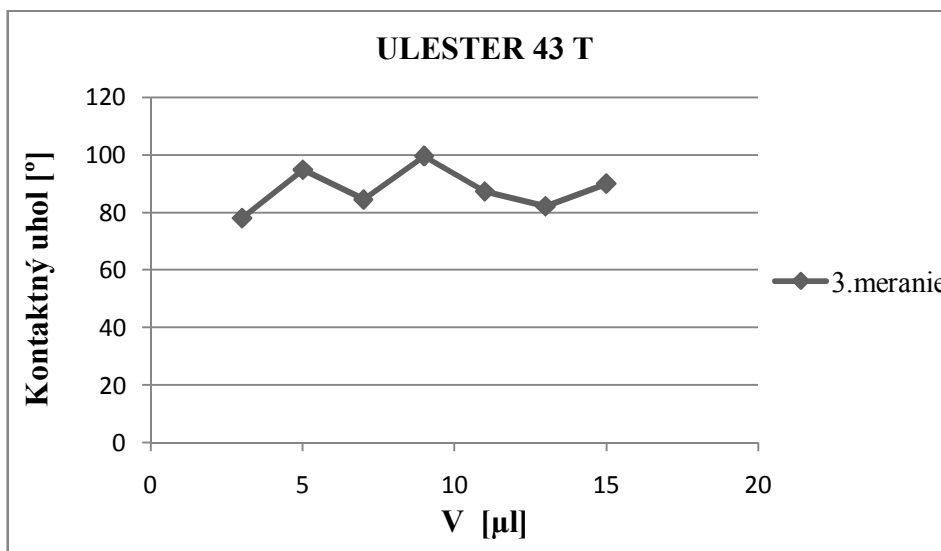




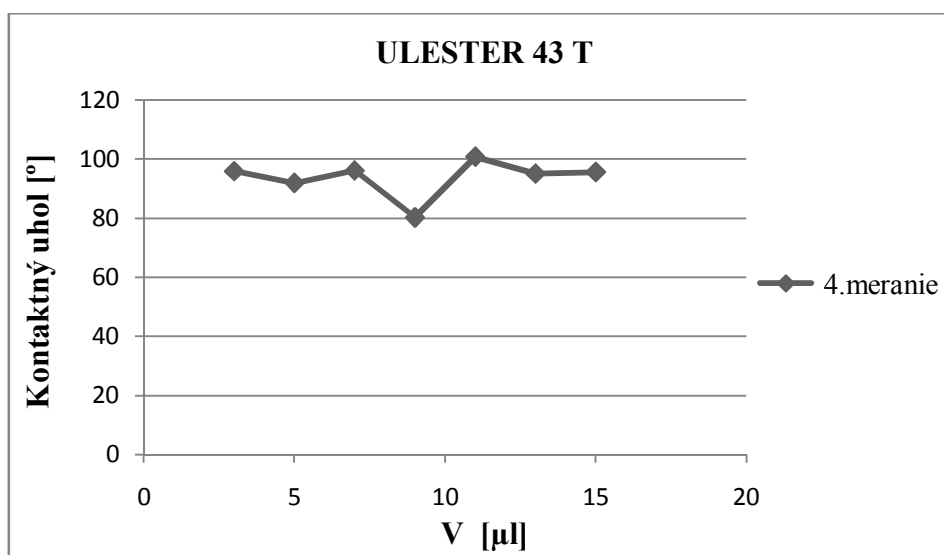
**Obr. 68:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



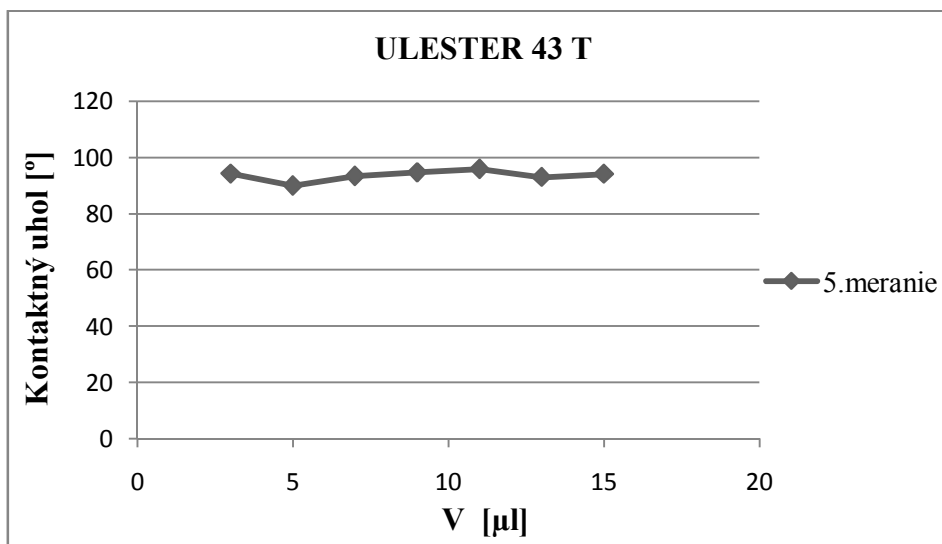
**Obr. 69:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



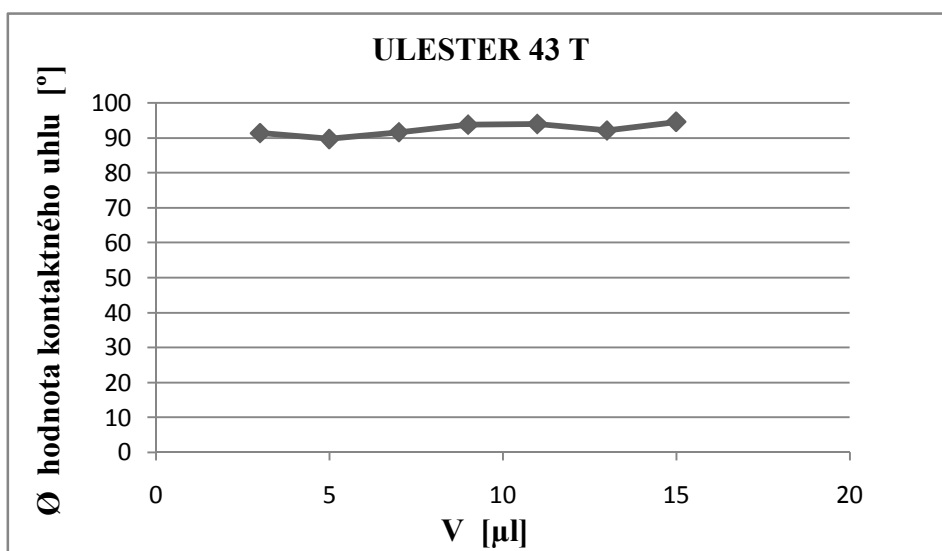
**Obr. 70:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



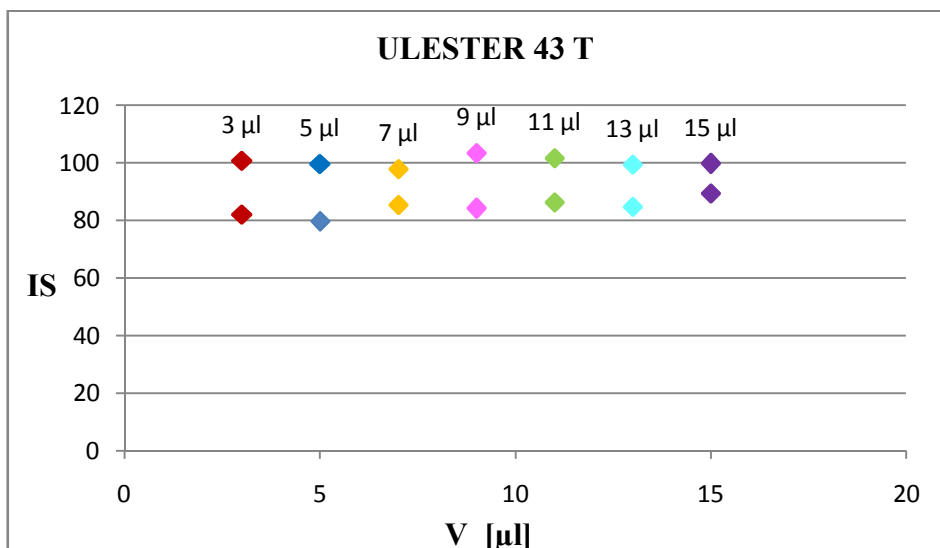
**Obr. 71:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



**Obr. 72:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



**Obr. 73:** Závislosť priemernej hodnoty kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

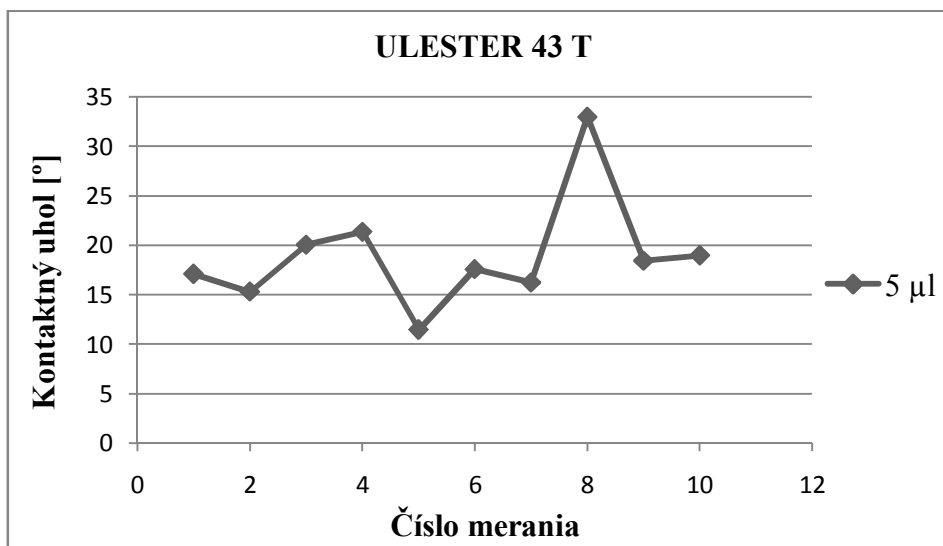


**Obr. 74:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

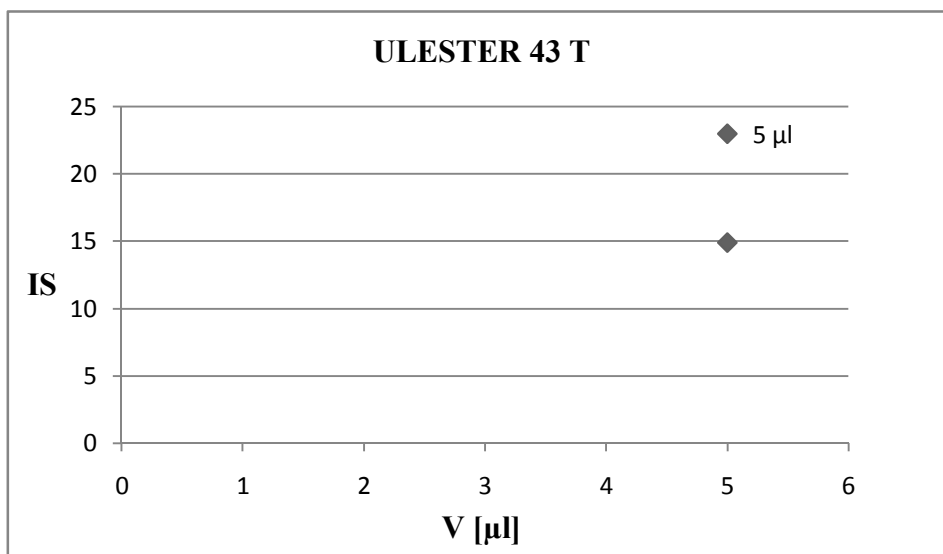
#### ULESTER 43 T + DIJODMETHAN

**Tab. XIV:** Kontaktné uhly Ulesteru 43 T pri kontakte s diiodmethanom o objeme kvapky 5 μl.

<i>Číslo merania</i>	<i>Kontaktný uhol [°]</i>
1.	17,10
2.	15,29
3.	20,05
4.	21,35
5.	11,46
6.	17,57
7.	16,22
8.	32,98
9.	18,43
10.	18,97
<i>Priemer</i>	<i>18,94</i>
<i>Výber. smer. odchýlka</i>	<i>5,64</i>
<i>v [%]</i>	<i>29,78</i>
<i>IS</i>	<i>&lt;14,91 - 22,97&gt;</i>



**Obr. 75:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (dijodmethan).



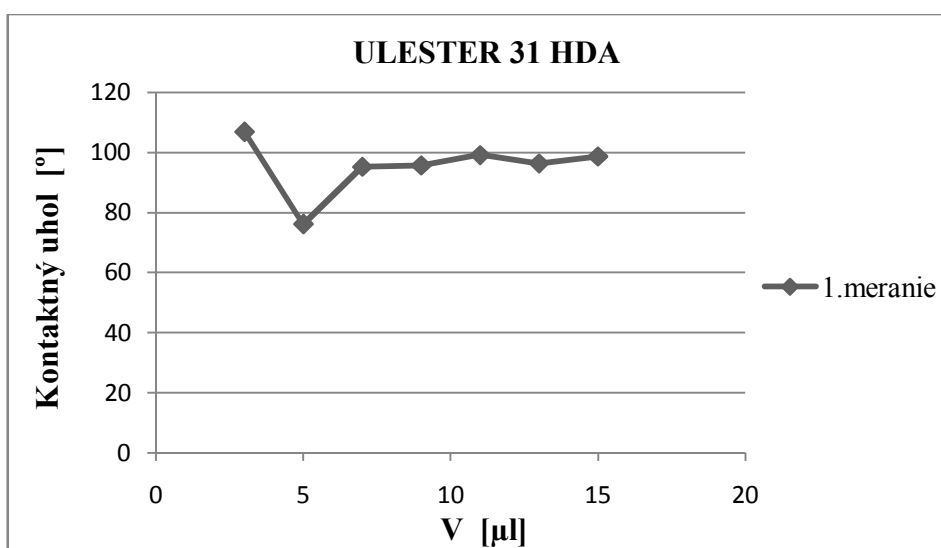
**Obr. 76:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (dijodmethan).

## ULESTER 31 HDA + DESTILOVANÁ VODA

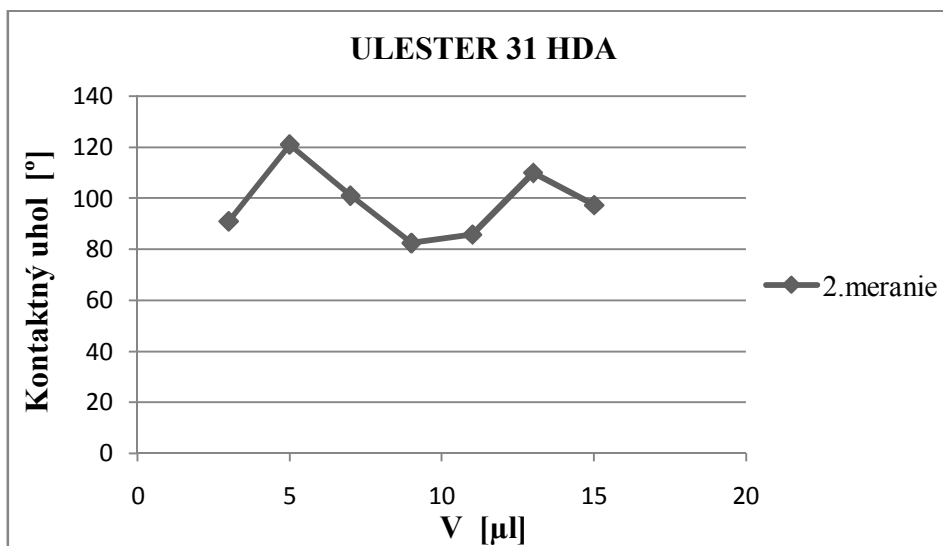
Ide o materiál, ktorý má veľkosť očka 173/223  $\mu\text{m}$  (osnova/útok), voľnú plochu (vzduch) 37 % a priemer vlákna 150/100  $\mu\text{m}$  (osnova/útok).

**Tab. XV:** Kontaktné uhly Ulesteru 31 HDA pri kontakte s destilovanou vodou o objeme kvapky 3 - 15  $\mu\text{l}$ .

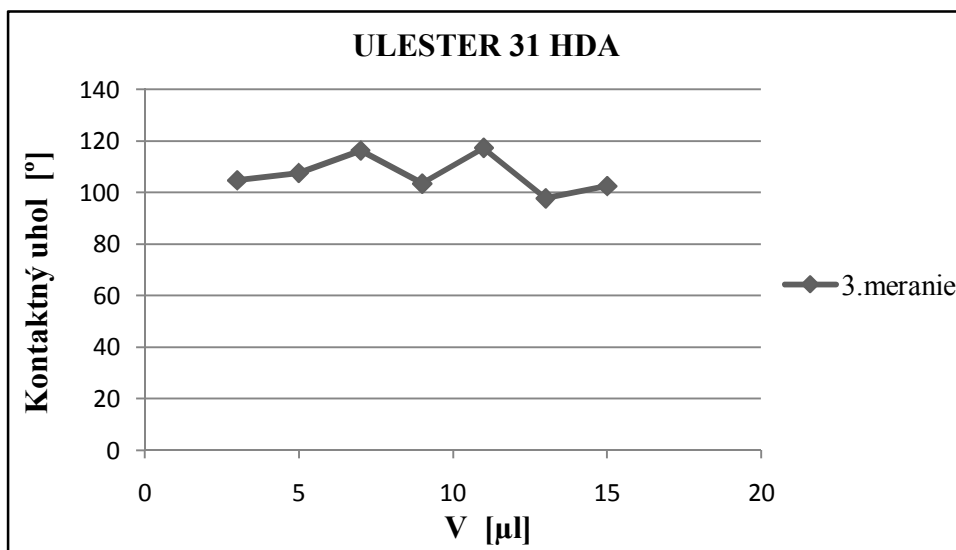
Číslo merania	Kontak. uhol [°] V = 3 $\mu\text{l}$	Kontak. uhol [°] V = 5 $\mu\text{l}$	Kontak. uhol [°] V = 7 $\mu\text{l}$	Kontak. uhol [°] V = 9 $\mu\text{l}$	Kontak. uhol [°] V = 11 $\mu\text{l}$	Kontak. uhol [°] V = 13 $\mu\text{l}$	Kontak. uhol [°] V = 15 $\mu\text{l}$
1.	106,88	76,07	95,15	95,65	99,16	96,34	98,65
2.	91,00	120,96	100,99	82,50	85,80	109,89	97,31
3.	104,80	107,63	116,27	103,47	117,30	97,85	102,58
4.	89,50	122,86	103,57	110,17	92,45	110,14	107,74
5.	108,43	107,58	100,41	108,62	95,14	111,22	116,02
<b>Priemer</b>	<b>100,12</b>	<b>107,02</b>	<b>103,28</b>	<b>100,08</b>	<b>97,97</b>	<b>105,09</b>	<b>104,46</b>
<b>Odchýlka</b>	<b>9,12</b>	<b>18,73</b>	<b>7,88</b>	<b>11,35</b>	<b>11,85</b>	<b>7,33</b>	<b>7,63</b>
<b>v [%]</b>	<b>9,11</b>	<b>17,50</b>	<b>7,63</b>	<b>11,34</b>	<b>12,10</b>	<b>6,98</b>	<b>7,30</b>
<b>IS</b>	<b>&lt;88,78 - 111,46&gt;</b>	<b>&lt;83,73 - 130,31&gt;</b>	<b>&lt;93,48 - 113,08&gt;</b>	<b>&lt;85,97 - 114,19&gt;</b>	<b>&lt;83,24 - 112,70&gt;</b>	<b>&lt;95,98 - 114,20&gt;</b>	<b>&lt;94,97 - 113,95&gt;</b>



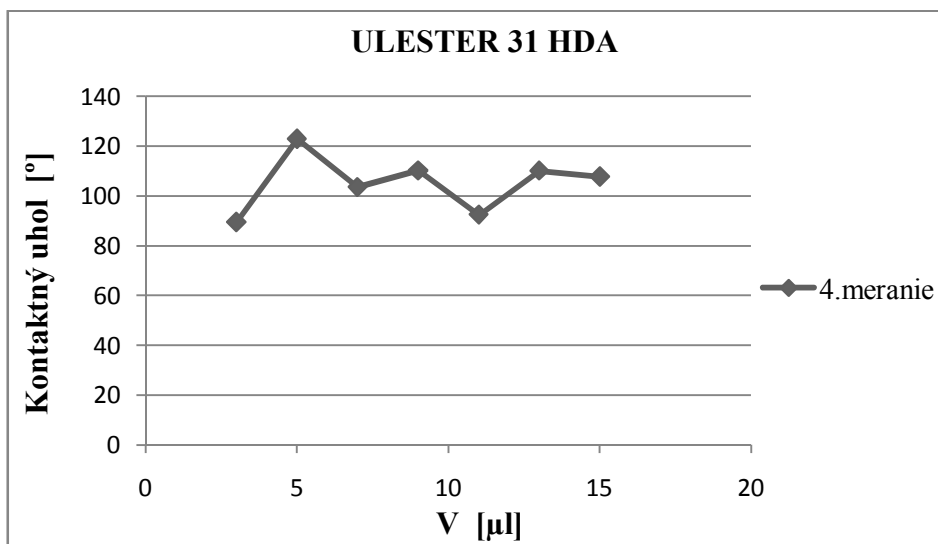
**Obr. 77:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



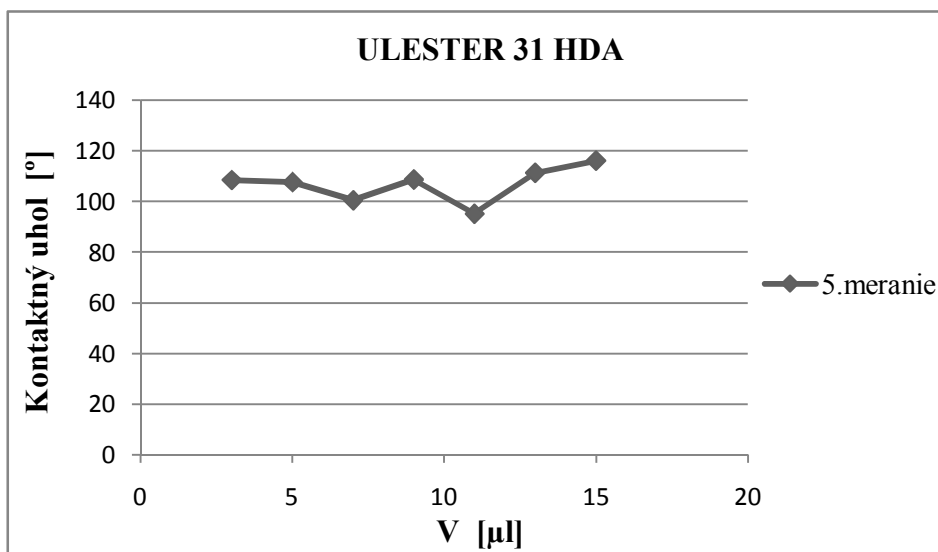
**Obr. 78:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).



**Obr. 79:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

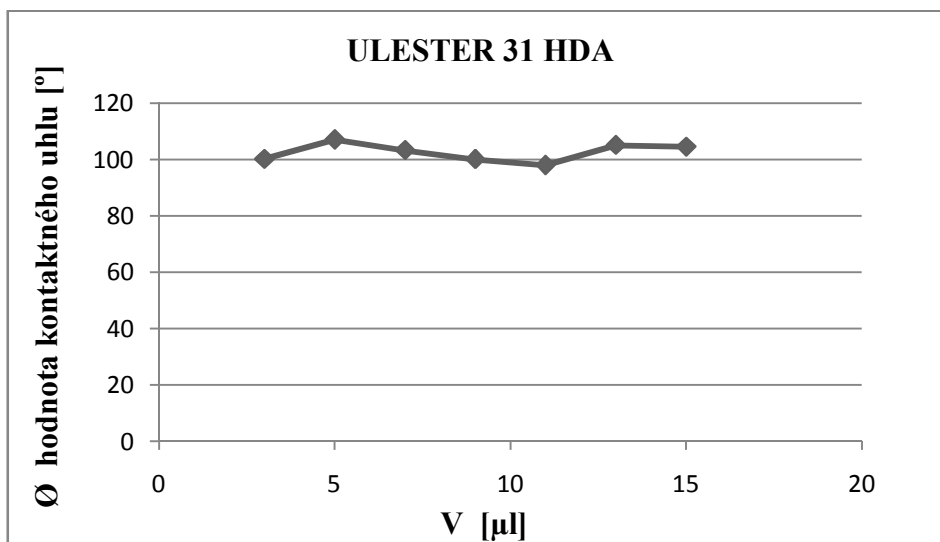


**Obr. 80:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

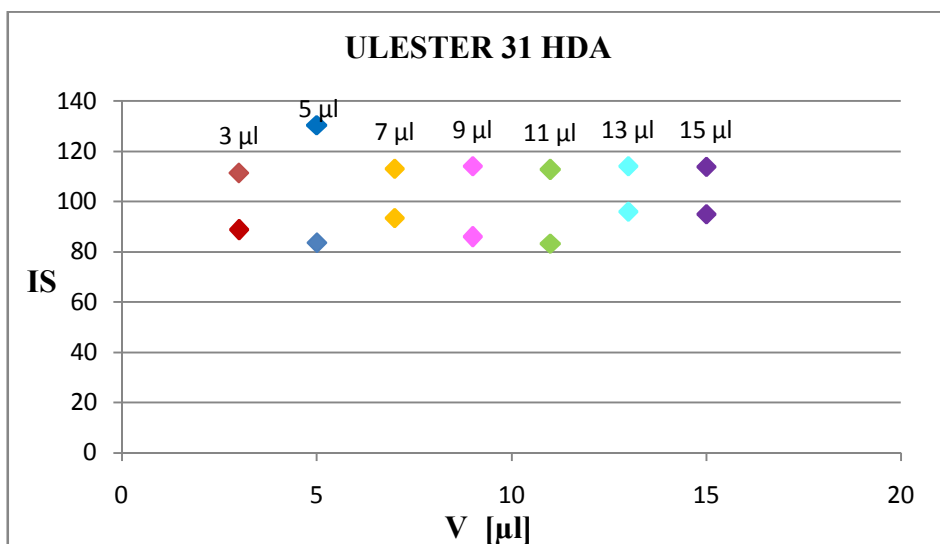


**Obr. 81:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).





**Obr. 82:** Závislosť priemernej hodnoty kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

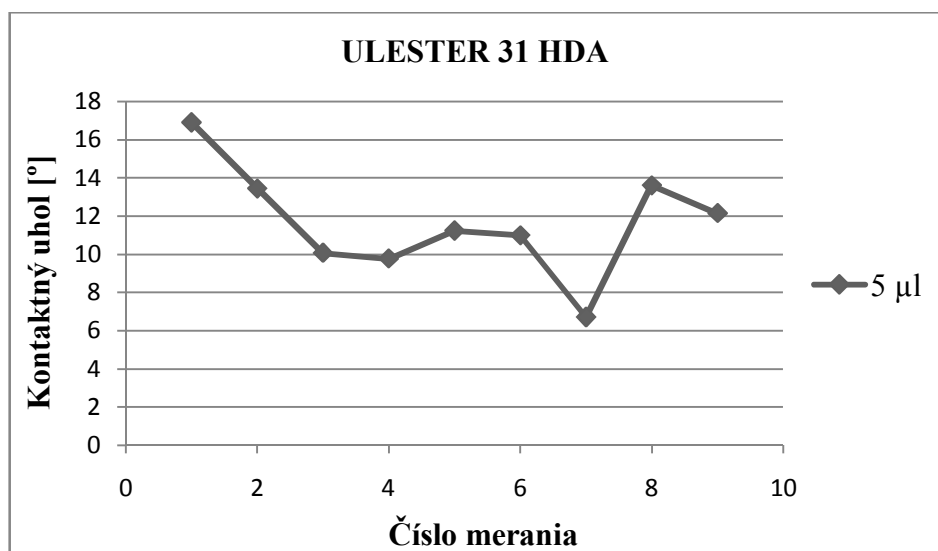


**Obr. 83:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (destilovaná voda).

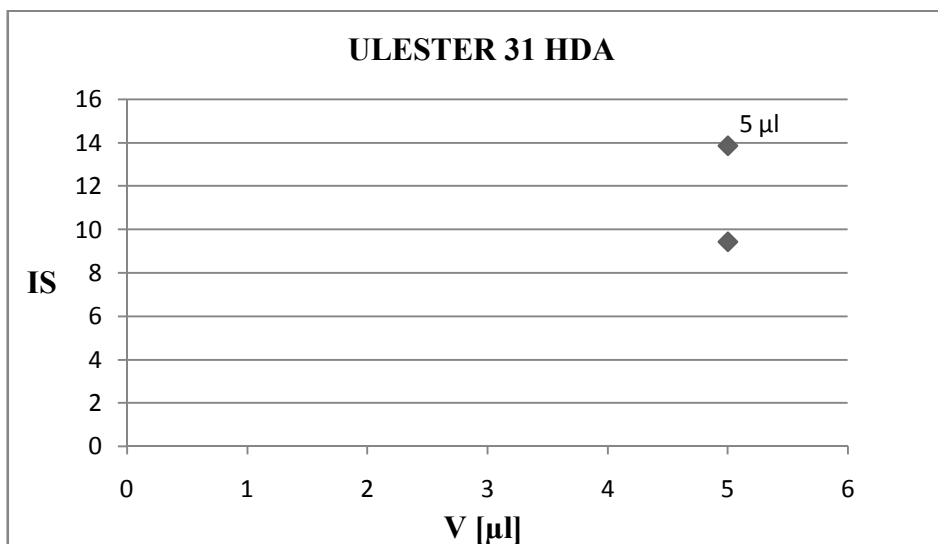
## ULESTER 31 HDA + DIJODMETHAN

**Tab. XVI:** Kontaktné uhly Ulesteru 31 HDA pri kontakte s dijomethanom o objeme kvapky 5  $\mu$ l.

<i>Číslo merania</i>	<i>Kontaktný uhol [°]</i>
1.	16,91
2.	13,45
3.	10,07
4.	9,78
5.	11,24
6.	10,99
7.	6,71
8.	13,61
9.	12,15
<i>Priemer</i>	<i>11,66</i>
<i>Výber. smer. odchýlka</i>	<i>2,87</i>
<i>v [%]</i>	<i>24,64</i>
<i>IS</i>	<i>(9,45 - 13,87)</i>



**Obr. 84:** Závislosť kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (dijodmethan).



**Obr. 85:** Závislosť IS kontaktných uhlov na objeme kvapaliny (dijodmethan).

## 9.2 Stanovenie povrchovej energie na vlákne a plošnom textilnom útvare. Vzájomné porovnanie týchto hodnôt s tabuľkovými

### STATICKÁ METÓDA:

**Tab. XVII:** Hodnoty kritického povrchového napätia vypočítané statickou metódou pre testované vlákno pri interakcii s destilovanou vodou a dijudmethanom.

<i>ULESTER 110 TA</i>		
<b>Kvapalina</b>	<b>Povrchové napätie kvapaliny [N.m<sup>-1</sup>]</b>	<b>Hodnoty kritického povrchového napätia [N.m<sup>-1</sup>]</b>
Destilovaná voda	0,0728	<b>0,0343</b>
Dijodmethan	0,0508	<b>0,0394</b>

**Tab. XVIII:** Hodnoty kritického povrchového napätia vypočítané statickou metódou pre testované sito (modelovú textíliu) pri interakcii s destilovanou vodou.

<i>Hodnoty kritického povrchového napätia [N.m<sup>-1</sup>]</i>						
<i>ULESTER 110 TA</i>						
<b>Kvapalina</b>			<b>Povrchové napätie kvapaliny [N.m<sup>-1</sup>]</b>			
Destilovaná voda			0,0728			
<b>V = 3 µl</b>	<b>V = 5 µl</b>	<b>V = 7 µl</b>	<b>V = 9 µl</b>	<b>V = 11 µl</b>	<b>V = 13 µl</b>	<b>V = 15 µl</b>
<b>0,0098</b>	<b>0,0154</b>	<b>0,0147</b>	<b>0,0137</b>	<b>0,0143</b>	<b>0,0172</b>	<b>0,0141</b>

**Tab. XIX:** Hodnoty kritického povrchového napätia vypočítané statickou metódou pre testované sito (modelovú textíliu) pri interakcii s destilovanou vodou.

<i>Hodnoty kritického povrchového napätia [N.m<sup>-1</sup>]</i>						
<i>ULESTER 62 MA</i>						
Kvapalina				Povrchové napätie kvapaliny [N.m <sup>-1</sup> ]		
Destilovaná voda				0,0728		
V = 3 µl	V = 5 µl	V = 7 µl	V = 9 µl	V = 11 µl	V = 13 µl	V = 15 µl
<i>0,0104</i>	<i>0,0124</i>	<i>0,0137</i>	<i>0,0168</i>	<i>0,0127</i>	<i>0,0134</i>	<i>0,0160</i>

**Tab. XX:** Hodnoty kritického povrchového napätia vypočítané statickou metódou pre testované sito (modelovú textíliu) pri interakcii s destilovanou vodou.

<i>Hodnoty kritického povrchového napätia [N.m<sup>-1</sup>]</i>						
<i>ULESTER 52 HD</i>						
Kvapalina				Povrchové napätie kvapaliny [N.m <sup>-1</sup> ]		
Destilovaná voda				0,0728		
V = 3 µl	V = 5 µl	V = 7 µl	V = 9 µl	V = 11 µl	V = 13 µl	V = 15 µl
<i>0,0202</i>	<i>0,0207</i>	<i>0,0105</i>	<i>0,0142</i>	<i>0,0117</i>	<i>0,0086</i>	<i>0,0115</i>

**Tab. XXI:** Hodnoty kritického povrchového napätia vypočítané statickou metódou pre testované sito (modelovú textíliu) pri interakcii s destilovanou vodou.

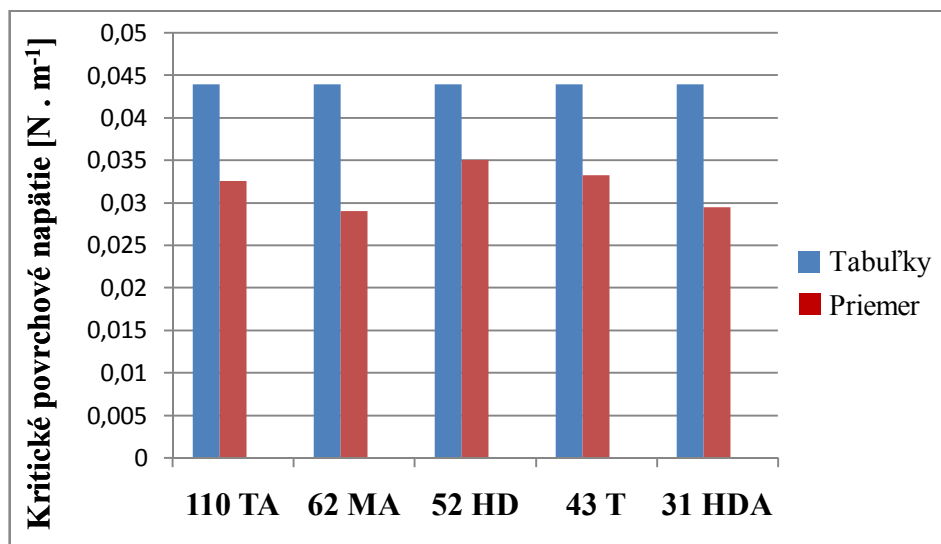
<i>Hodnoty kritického povrchového napätia [N.m<sup>-1</sup>]</i>						
<i>ULESTER 43 T</i>						
Kvapalina				Povrchové napätie kvapaliny [N.m <sup>-1</sup> ]		
Destilovaná voda				0,0728		
V = 3 µl	V = 5 µl	V = 7 µl	V = 9 µl	V = 11 µl	V = 13 µl	V = 15 µl
<i>0,0173</i>	<i>0,0184</i>	<i>0,0172</i>	<i>0,0159</i>	<i>0,0158</i>	<i>0,0169</i>	<i>0,0154</i>

**Tab. XXII:** Hodnoty kritického povrchového napätia vypočítané statickou metódou pre testované sito (modelovú textíliu) pri interakcii s destilovanou vodou.

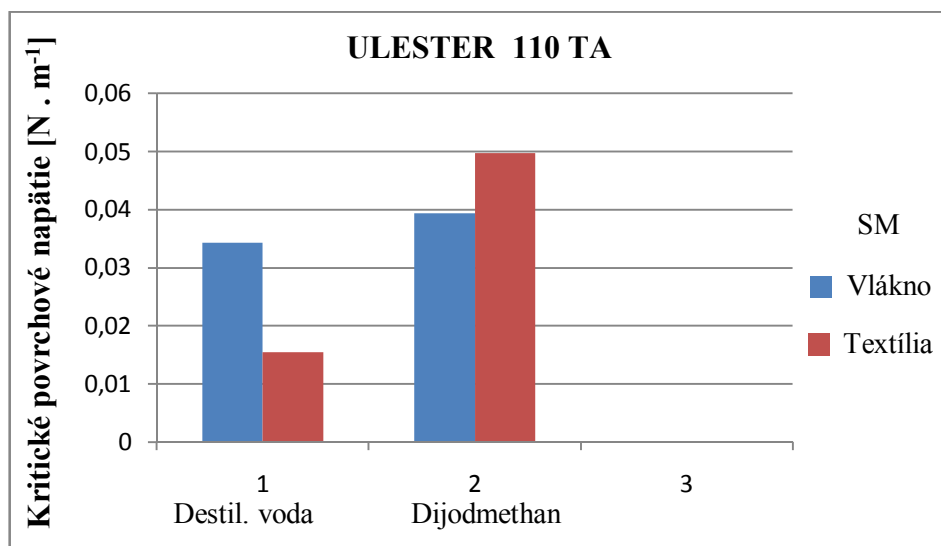
<i>Hodnoty kritického povrchového napätia [N.m<sup>-1</sup>]</i>						
<i>ULESTER 31 HDA</i>						
<b>Kvapalina</b>				<b>Povrchové napätie kvapaliny [N.m<sup>-1</sup>]</b>		
Destilovaná voda				0,0728		
<b>V = 3 µl</b>	<b>V = 5 µl</b>	<b>V = 7 µl</b>	<b>V = 9 µl</b>	<b>V = 11 µl</b>	<b>V = 13 µl</b>	<b>V = 15 µl</b>
<i>0,0124</i>	<i>0,0091</i>	<i>0,0108</i>	<i>0,0124</i>	<i>0,0135</i>	<i>0,0100</i>	<i>0,0102</i>

**Tab. XXIII:** Hodnoty kritického povrchového napätia vypočítané statickou metódou pre testované sítá (modelové textílie) pri interakcii s diiodmethanom.

<i>Hodnoty kritického povrchového napätia [N.m<sup>-1</sup>]</i>				
<b>Kvapalina</b>			<b>Povrchové napätie kvapaliny [N.m<sup>-1</sup>]</b>	
Dijodmethan			0,0508	
<i>ULESTER 110 TA</i>	<i>ULESTER 62 MA</i>	<i>ULESTER 52 HD</i>	<i>ULESTER 43 T</i>	<i>ULESTER 31 HDA</i>
<b>V = 5 µl</b>	<b>V = 5 µl</b>	<b>V = 5 µl</b>	<b>V = 5 µl</b>	<b>V = 5 µl</b>
<i>0,0497</i>	<i>0,0457</i>	<i>0,0494</i>	<i>0,0481</i>	<i>0,0498</i>



**Obr. 86:** Kritické povrchové napätia stanovené statickou metódou na modelových textíliách.



**Obr. 87:** Grafické znázornenie porovnania kritického povrchového napätia medzi vláknom a textíliou.

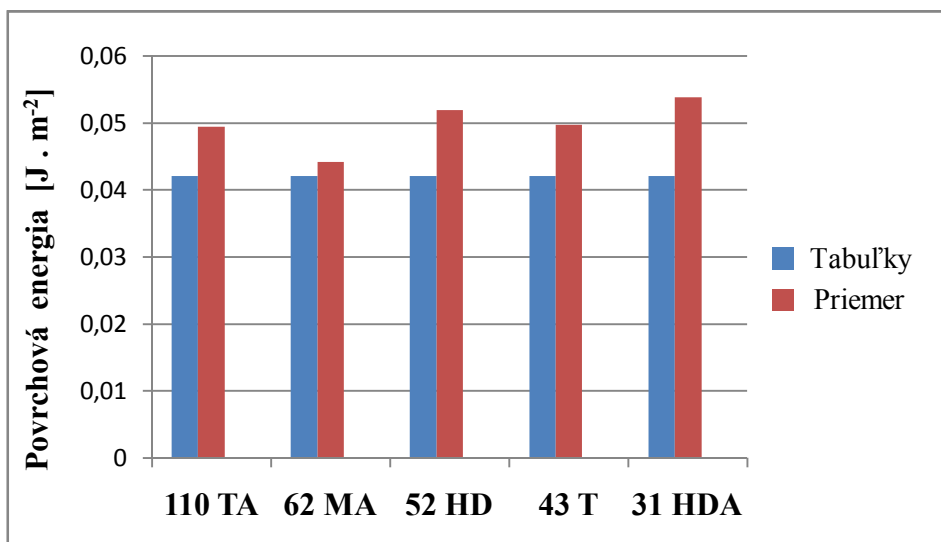
## HARMONICKÁ METÓDA:

Tab. XXIV: Povrchová energia testovaného vlákna vypočítaná harmonickou metódou.

<b><i>Celková povrchová energia [J.m<sup>-2</sup>]</i></b> <b><i>(Dijodmethan/voda)</i></b>
<b>ULESTER 110 TA</b>
<b><i>0,0516</i></b>

Tab. XXV: Povrchová energia testovaných sít (modelových textílií) vypočítaná harmonickou metódou.

<b><i>Celková povrchová energia [J.m<sup>-2</sup>] (Dijodmethan/voda)</i></b>				
<b>ULESTER 110 TA</b>	<b>ULESTER 62 MA</b>	<b>ULESTER 52 HD</b>	<b>ULESTER 43 T</b>	<b>ULESTER 31 HDA</b>
<b><i>0,0494</i></b>	<b><i>0,0442</i></b>	<b><i>0,0519</i></b>	<b><i>0,0497</i></b>	<b><i>0,0538</i></b>



Obr. 88: Povrchové energie stanovené harmonickou metódou na modelových textíliách.





**Obr. 89:** Grafické znázornenie porovnania povrchovej energie medzi vláknom a textíliou.

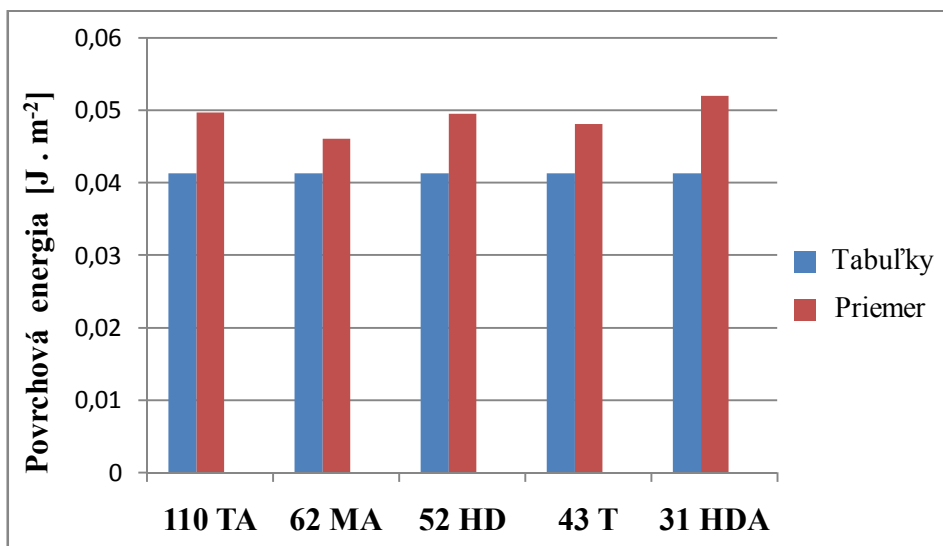
#### GEOMETRICKÁ METÓDA:

**Tab. XXVI:** Povrchová energia testovaného vlákna vypočítaná geometrickou metódou.

<b><i>Celková povrchová energia [J.m<sup>-2</sup>]</i></b> <b><i>(Dijodmethan/voda)</i></b>
<b>ULESTER 110 TA</b>
<b><i>0,0463</i></b>

**Tab. XXVII:** Povrchová energia testovaných sít (modelových textílií) vypočítaná geometrickou metódou.

<b><i>Celková povrchová energia [J.m<sup>-2</sup>]</i></b> <b><i>(Dijodmethan/voda)</i></b>				
<b>ULESTER 110 TA</b>	<b>ULESTER 62 MA</b>	<b>ULESTER 52 HD</b>	<b>ULESTER 43 T</b>	<b>ULESTER 31 HDA</b>
<b><i>0,0497</i></b>	<b><i>0,0461</i></b>	<b><i>0,0496</i></b>	<b><i>0,0481</i></b>	<b><i>0,0520</i></b>



**Obr. 90:** Povrchové energie stanovené geometrickou metódou na modelových textíliách.

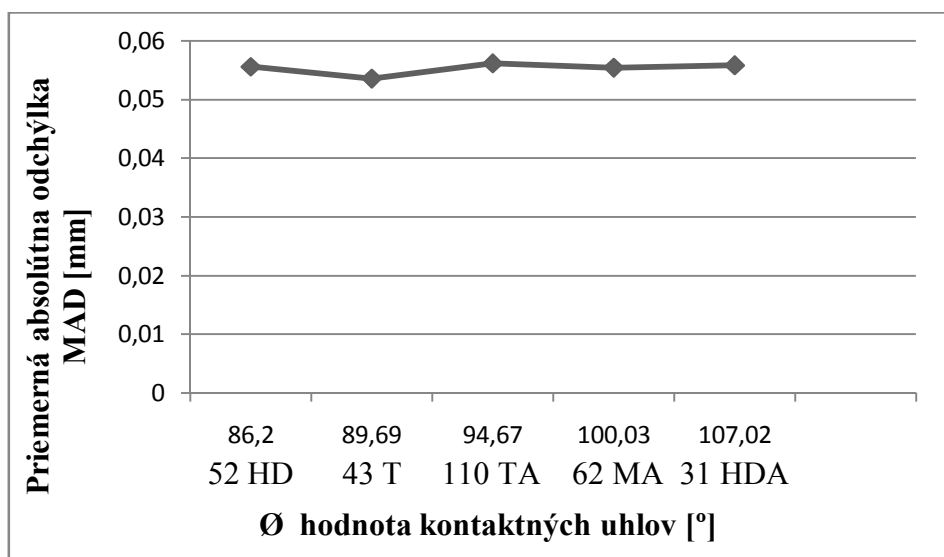


**Obr. 91:** Grafické znázornenie porovnania povrchovej energie medzi vláknom a textíliou.

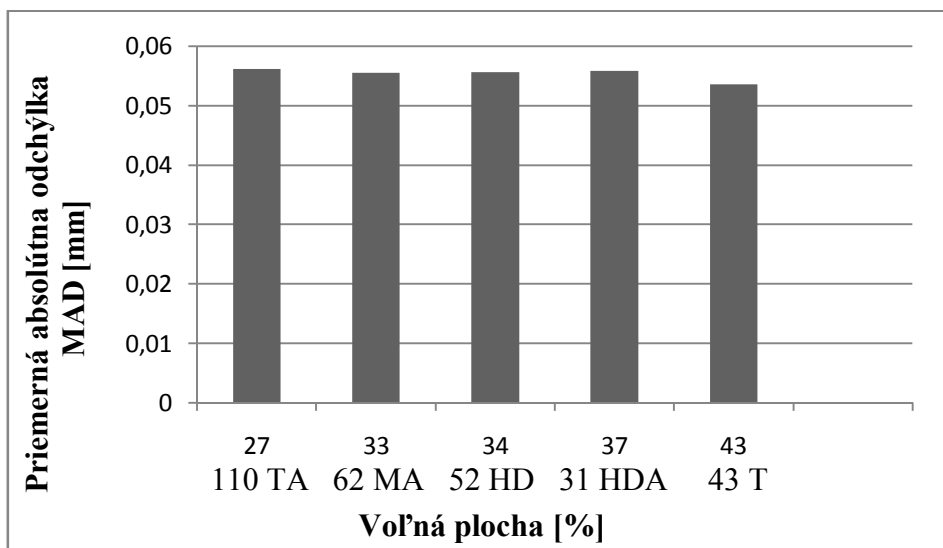
### 9.3 Meranie drsnosti štruktúry profilu plošných materiálov

Tab. XXVIII: Priemerná absolútna odchýlka MAD testovaných sít (modelových textílií).

<i>Priemerná absolútna odchýlka MAD [mm]</i>					
<i>Číslo merania</i>	<i>ULESTER 110 TA</i>	<i>ULESTER 62 MA</i>	<i>ULESTER 52 HD</i>	<i>ULESTER 43 T</i>	<i>ULESTER 31 HDA</i>
1.	0,057203	0,059803	0,054890	0,054193	0,058150
2.	0,056774	0,064441	0,055997	0,053010	0,059598
3.	0,056254	0,051712	0,055137	0,052521	0,052991
4.	0,054455	0,050136	0,055718	0,055843	0,055892
5.	0,056064	0,051114	0,056142	0,052286	0,052552
<i>Priemer</i>	<i>0,056150</i>	<i>0,055441</i>	<i>0,055577</i>	<i>0,053571</i>	<i>0,055837</i>



Obr. 92: Závislosť priemernej absolútnej odchýlky na priemernej hodnote kontaktných uhlov.



**Obr. 93:** Závislosť priemernej absolútnej odchýlky na voľnej ploche.

**Tab. XXIX:** Variačný koeficient výšky profilu CV testovaných sít (modelových textílií).

<i>Variačný koeficient výšky profilu CV [%]</i>					
<i>Číslo merania</i>	<i>ULESTER 110 TA</i>	<i>ULESTER 62 MA</i>	<i>ULESTER 52 HD</i>	<i>ULESTER 43 T</i>	<i>ULESTER 31 HDA</i>
<b>1.</b>	0,745968	0,751163	0,754036	0,708811	0,748835
<b>2.</b>	0,749471	0,648938	0,770175	0,708843	0,755656
<b>3.</b>	0,730644	0,613744	0,750243	0,706314	0,738957
<b>4.</b>	0,719398	0,748747	0,756311	0,730240	0,749832
<b>5.</b>	0,739677	0,746451	0,752869	0,714262	0,735420
<b>Priemer</b>	<b>0,737032</b>	<b>0,701809</b>	<b>0,756727</b>	<b>0,713694</b>	<b>0,74574</b>

**Tab. XXX:** Priemerná smernica profilu MS testovaných sít (modelových textílií).

<i>Priemerná smernica profilu MS [-]</i>					
<i>Číslo merania</i>	<i>ULESTER 110 TA</i>	<i>ULESTER 62 MA</i>	<i>ULESTER 52 HD</i>	<i>ULESTER 43 T</i>	<i>ULESTER 31 HDA</i>
<b>1.</b>	0,000444	0,000512	0,000437	0,000445	0,000472
<b>2.</b>	0,000447	0,000578	0,000438	0,000448	0,000473
<b>3.</b>	0,000440	0,000458	0,000468	0,000441	0,000444
<b>4.</b>	0,000449	0,000512	0,000465	0,000458	0,000439
<b>5.</b>	0,000450	0,000437	0,000462	0,000445	0,000442
<b>Priemer</b>	<b>0,000446</b>	<b>0,000499</b>	<b>0,000454</b>	<b>0,000447</b>	<b>0,000454</b>

*Výsledky drsnosti od firmy INNOWEP:*

**Tab. XXXI:** Drsnosť testovanej modelovej plošnej textílie prístrojom OptoTop.

<i>Drsnosť ULESTERU 62 MA [<math>\mu\text{m}</math>]</i>		
<b>Ra</b>	<b>Rq</b>	<b>Rz</b>
26,437 $\pm$ 6,290	39,130 $\pm$ 7,616	150,498 $\pm$ 31,045

**Tab. XXXII:** Vizuálna, topografická (optická) drsnosť a efektívna dĺžka testovanej modelovej plošnej textílie prístrojom TRACEiT.

<i>Vizuálna drsnosť ULESTERU 62 MA [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
	<b>Ra</b>	<b>Rq</b>	<b>Rz</b>
<b>Osa X</b>	2,45 ± 1,02	3,70 ± 1,44	27,43 ± 6,40
<b>Osa Y</b>	2,59 ± 0,85	3,80 ± 1,26	26,34 ± 3,31
<i>Topografická drsnosť (optická) ULESTERU 62 MA [<math>\mu\text{m}</math>]</i>			
	<b>Ra</b>	<b>Rq</b>	<b>Rz</b>
<b>Osa X</b>	1,99 ± 0,40	2,43 ± 0,49	9,36 ± 1,99
<b>Osa Y</b>	2,05 ± 0,52	2,53 ± 0,62	10,22 ± 2,59
<i>Efektívna dĺžka [%] (optická)</i>			
<b>Osa X</b>	100,41	<b>Osa Y</b>	100,41

## 10. LITERATÚRA

- [1] Militký, J.: Textilní vlákna, TUL, Liberec 2002
- [2] Lukáš, D.: Teorie netkaných textilií, KNT, TUL, Liberec 2001
- [3] Kloubek, J.: Development of Methods for Surface Free Energy Determination Using Contact Angles of Liquids on Solids, Advanced in Coll. And Int. Sci., 1992
- [4] Dembický, J.: Hodnocení smáčivosti vláken, Disertační práce, TUL, Liberec 2004
- [5] Lukáš, D.: Teorie netkaných textilií, KNT, TUL, Liberec 1999
- [6] Shaw, D. J.: Introduction to colloid and surface chemistry, Butterworths, 1980
- [7] Šubová, V.: Smáčení vlákenných materiálů, Diplomová práce, TUL, KNT, Liberec 2001
- [8] Krčma, R.: Teorie netkaných textilií, VŠTL, FT, KNT, Liberec 1986
- [9] Bartovská, L. - Šišková, M.: Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav, VŠCHT, Praha 1992
- [10] Berg, J. C.: Wettability, New York 1993
- [11] Horák, Z. - Krupka, F.: Fyzika, Svazek 1, SNTL/ALFA, 1976
- [12] Odvárka, J. - Dembický, J. - Wiener, J. - Kovačič, V.: Water-Repellent Finishing of Textiles, Characteristics of Interfaces and Mechanical parameters, Vlákna a textil (časopis), ročník 9, číslo 2, Žilina 2002
- [13] Fox, H. - Zisman, W.A.: Journal of Colloid Interface Science, 1950
- [14] Fowkes, F.M.: Journal Adhesion Science Technology, 1987
- [15] Hüttinger, K.J.: Carbon Fibers Filaments and Composites, Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, 1990
- [16] Kaelble, D.H.: Journal of Adhesion, 1970
- [17] Wu, S.: Journal Polymer Science, 1971
- [18] Brdička, R.: Základy fyzikální chemie, Praha 1952
- [19] Hála, R. - Reiser, A.: Fyzikální chemie 1, Academia, NČSAV, Praha 1971
- [20] Moore, W. J.: Fyzikální chemie, SNTL, Praha 1979
- [21] Beattie, J. A. - Stockmayer, W.H.: The Thermodynamics and Statistical Mechanics of Real Gases, Van Nostrand, New York 1951

- [22] Kryštůfek, J. - Průšová, M. - Wiener, J.: Chemicko - textilní rozbory, KTC, Liberec 2005
- [23] Harkins, W. D. - Jordan, H. F.: J. Am. Chem. Soc., 1930
- [24] Dembický, J.: Měření smáčecích parametrů textilních vláken, TEXCO '99, 1 vydanie, Ružomberok 1999
- [25] Wilhelmy, J.: Physic, 1863
- [26] Schick, M. J.: Surface Characteristics of Fibers and Textiles, Part 2, New Jersey 1975
- [27] Miller, B. - Young, R. A.: Methodology of Studying Wettability of Filaments, Tex. Res. J., 1975
- [28] Dyba, R.V. - Miller, B.: Textile Research Institute, 1970
- [29] Wu, S.: Polymer Interface and Adhesion, New York 1982
- [30] Manuál z Katedry hodnotenia textílií

***Webové odkazy:***

- [31] [http://www.butkaj.com/fyzika1?id\\_menu=565&id\\_sub=53&id\\_left=192](http://www.butkaj.com/fyzika1?id_menu=565&id_sub=53&id_left=192)
- [32] [http://www.innowep.com/fileadmin/site/02\\_Produkte/05\\_OptoTop/a\\_OptoTop\\_confocal.pdf](http://www.innowep.com/fileadmin/site/02_Produkte/05_OptoTop/a_OptoTop_confocal.pdf)
- [33] <http://www.innowep.com/index.php?id=15&L=2>
- [34] [http://www.innowep.com/fileadmin/site/02\\_Produkte/03\\_Traceit/TRACEiT\\_e.pdf](http://www.innowep.com/fileadmin/site/02_Produkte/03_Traceit/TRACEiT_e.pdf)
- [35] [http://www.innowep.com/fileadmin/site/02\\_Produkte/03\\_Traceit/TRACEiTeng.pdf](http://www.innowep.com/fileadmin/site/02_Produkte/03_Traceit/TRACEiTeng.pdf)