

Charakterizace superhydrofobních povrchů

Barbora Ptošková

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav fyziky a mater. inženýrství
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Barbora Ptošková**
Osobní číslo: **T12329**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Charakterizace superhydrofobních povrchů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na zadané téma s použitím doporučené literatury. Zaměřte se především na měření povrchových energií.
2. V praktické části provedte měření kontaktních úhlů na vybraných superhydrofobních površích. Pokuste se sestavit jednoduchý experiment, pomocí kterého by bylo možné měřit kritickou kinetickou energii, kdy se kapka při dopadu na superhydrofobní povrch rozpadne na menší kapky.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Ma M., Hill R. M.: Superhydrophobic surfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. (2006) 11, 193–202. DOI:10.1016/j.cocis.2006.06.002.
2. Xiu Y., Zhu L., Hess D. W., Wong C. P.: Hierarchical silicon etched structures for controlled hydrophobicity/superhydrophobicity. *Nano Letters*. (2007) 7(11), 3388–3393. DOI: 10.1021/nl0717457.
3. Bhushan B., Jung Y. Ch.: Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. *Progress in Materials Science*. (2011) 56, 1–108. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2010.04.003.
4. Kwok D.Y., Neumann A.W.: Contact angle measurement and contact angle interpretation. *Advances in Colloid and Interface Science*. (1999) 81, 167–249, DOI:10.1016/S0001-8686(98)00087-6.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.
Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

16. ledna 2015


Termín odevzdání bakalářské práce:

22. května 2015

Ve Zlíně dne 10. února 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




doc. Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Teoretická část práce pojednává o povrchovém napětí a povrchové energii z hlediska jejich experimentálního stanovování a metod výpočtu, dále pak popisuje superhydrofobní povrchy. Praktická část se zabývá stanovením kontaktního úhlu smáčení metodou sedící kapky a jeho přepočtem na povrchovou energii materiálu, přičemž poslední část práce porovnává výsledky povrchových energií s experimentem popisujícím vliv kinetické energie kapky na její deformaci při dopadu na povrch materiálu.

Klíčová slova: kontaktní úhel smáčení, povrchová energie, superhydrofobní povrch, metoda sedící kapky, dynamika povrchového napětí

ABSTRACT

The theory of surface tension and surface energy measuring methods and calculation methodology are described in this thesis. The part of theoretical study is focused on superhydrophobic surfaces. The experimental part deals with contact angle measurement (using the sessile drop method) and computation of materials surface energy. The influence of water surface tension and kinetic energy of impact on super-hydrophobic surface is discussed at the end of this study.

Keywords: contact angle, surface tension, super-hydrophobic surface, sessile drop method, surface tension dynamics

Za odborné vedení, cenné rady a inspiraci při provedení i psaní práce, trpělivost při konzultacích a celkový přístup bych ráda poděkovala vedoucímu své bakalářské práce doc. Mgr. Aleši Mráčkovi, Ph.D.

Dále bych chtěla poděkovat celému kolektivu Ústavu fyziky a materiálového inženýrství za příjemné pracovní prostředí a ochotu pomoci v nesnázích slovem i skutkem, především pak Ing. Ondřeji Grulichovi, Ph.D. za uvedení do problematiky použitých metod, pomoc při sestrojování aparatury a hodnotné poznatky.

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

„Nihil enim est simul et inventum et perfectum.“

„Žádný objev není hned dokonalý“

Marcus Tullius Cicero

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A POVRCHOVÁ ENERGIE	11
1.1 ZÁKLADNÍ DEFINICE	11
1.2 YOUNGOVA ROVNICE	12
1.3 TEPLOTNÍ ZÁVISLOST	12
1.4 SMÁČIVOST.....	12
1.5 HYSTEREZE KONTAKTNÍHO ÚHLU	13
1.6 STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ.....	14
1.7 STANOVENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE TUHÝCH LÁTEK.....	16
1.8 METODY PŘEPOČTU KONTAKTNÍHO ÚHLU SMÁČENÍ NA POVRCHOVOU ENERGII TUHÉ LÁTKY	19
2 SUPERHYDROFOBNÍ POVRCHY	21
2.1 DEFINICE A VÝSKYT V PŘÍRODĚ	21
2.2 PŘÍPRAVA	22
2.3 APLIKACE	22
3 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT	23
3.1 GRUBBSŮV TEST.....	23
3.2 DEAN-DIXONŮV Q-TEST.....	23
3.3 PROCES ZPRACOVÁNÍ DAT	24
II PRAKTICKÁ ČÁST	25
4 MATERIÁLY A METODY	26
4.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA MATERIÁLŮ A KAPALIN	26
4.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ	28
4.3 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ.....	29
4.4 METODY MĚŘENÍ.....	30
5 VÝSLEDKY A DISKUZE	33
5.1 EXPERIMENTÁLNĚ ZJIŠTĚNÉ HODNOTY KONTAKTNÍCH ÚHLŮ SMÁČENÍ	33
5.2 STANOVENÍ POVRCHOVÝCH ENERGIÍ	35
5.3 EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠTĚNÍ KRITICKÉ VZDÁLENOSTI KAPKY A POVRCHU PRO ODSKOK KAPKY	40
5.4 STANOVENÍ KRITICKÉ KINETICKÉ ENERGIE ODSKAKUJÍCÍ KAPKY	40
ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	47
SEZNAM OBRÁZKŮ	50
SEZNAM TABULEK	51
SEZNAM PŘÍLOH	52

ÚVOD

Superhydrofobní povrchy jsou v současné době jedním z velice populárních témat ve světě vědy. Lidé se neustále snaží napodobovat přírodu a nejinak je tomu i s povrchy odpuzujícími vodu. Takové materiály mají totiž řadu výhod – díky nesmáčivosti na nich např. neulpívá prach a nečistoty, jelikož je kapky odnesou s sebou. Jednou z možností, jak takového efektu dosáhnout, je hydrofobní nános. Z praktického hlediska je ale výhodnější úprava struktury samotného povrchu materiálu. Vodoodpudivé materiály se využívají třeba na místech, kde je smáčení vodou nežádoucí, protože by mohlo docházet kupříkladu ke korozi.

Materiály lze mezi sebou jednoduše porovnávat stanovením kontaktních úhlů smáčení. Jejich měřením a přepočtem na povrchové energie materiálů se zabývá teoretická část práce, ve které jsou dále podrobně popsány superhydrofobní povrchy – jejich výskyt v přírodě, postupy přípravy a aplikace v průmyslu.

Praktická část je zaměřena na povrchovou energii, potažmo hydrofobitu, vybraných materiálů a na nich nanesených přípravcích, po jejichž aplikaci se očekává pokles povrchové energie. V první části jsou na všech vzorcích měřeny kontaktní úhly smáčení. Vzhledem k výběru kapalin a metod přepočtu smáčecích úhlů na povrchové energie došlo v zájmu zachování správnosti výsledků k jejich redukci, na čemž bylo demonstrováno, že každý vzorek potřebuje specifický přístup. Druhá část praktické části práce se zabývá sestavením jednoduchého experimentu, kterým by se dal běžně charakterizovat hydrofobní až superhydrofobní povrch. Konkrétně se jedná o deformaci kapky při dopadu na povrch. Oproti původnímu plánu, kdy měla být zjištěna energie kapky, při které se kapka po dopadu na vysoce hydrofobní povrch rozpadne na menší části, byla stanovena kritická kinetická energie kapky, při které se kapka po styku s tímto povrchem pružně odrazí, resp. odskočí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A POVRCHOVÁ ENERGIE

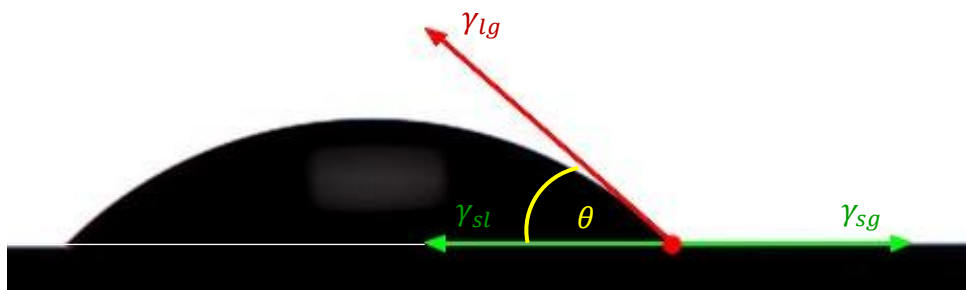
Vznik povrchu kapaliny je důsledkem zvláštního rozložení přitažlivých sil u povrchových molekul. V nitru kapaliny je každá molekula ze všech stran obklopena dalšími molekulami, a proto na molekuly uvnitř kapaliny působí stejné síly. U molekul v povrchové vrstvě převládá silová výslednice namířená do nitra kapaliny. Důsledkem působení těchto sil je snaha kapaliny zmenšit svůj povrch na minimum. Ze všech těles stejného objemu má nejmenší povrch koule, proto mají malá množství kapalin kulový tvar (např. kapky rosy). U většího objemu dochází k deformaci vlivem gravitační síly. Povrchové napětí vytváří z povrchové vrstvy kapaliny pomyslnou blanku (molekulový film), která je schopná unést i nevelké zatížení.

1.1 Základní definice

Povrchové napětí je definováno jako síla ležící v rovině tečné k povrchu kondenzované fáze v místě jejího působení, působící kolmo na délku myšleného řezu povrchem a dělená touto délkou. Značí se γ a měrná jednotka je $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$, přičemž reálně se užívá jednotka $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$.

Povrchová volná (Gibbsova) energie γ se rovná vratné práci nutné ke zvětšení mezifázového rozhraní o jednotku plochy za konstantní teploty a tlaku. Měrnou jednotkou je $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ (reálně $\text{mJ}\cdot\text{m}^{-2}$) [1].

Kontaktní úhel smáčení kapky kapalné fáze na pevném povrchu je definován mechanickou rovnováhou způsobenou celkem třemi jednotlivými druhy mezifázového napětí (Obr. 1): γ_{lg} – kapalina-plyn, γ_{sl} – pevná látka-plyn, γ_{sl} – pevná látka-kapalina [2].



Obr. 1 – Schéma systému kontaktního úhlu sedící kapky

1.2 Youngova rovnice

Výše popsáný rovnovážný vztah je znám jako Youngova rovnice:

$$\gamma_{lg} \cos \theta_Y = \gamma_{sg} - \gamma_{sl} \quad (1)$$

kde θ_Y značí kontaktní úhel, který může být vložen do rovnice 1. Dnes už je zřejmé, že experimentálně zjištěný kontaktní úhel může a nemusí být roven θ_Y . Youngova rovnice obsahuje pouze dvě měřitelné veličiny – kontaktní úhel a povrchové napětí mezi kapalinou a plynem (okolním vzduchem). Za účelem určení γ_{sg} a γ_{sl} je nutné hledat další vztah týkající se těchto veličin. Nicméně z rovnice vyplývá, že pozorování rovnováh kontaktních úhlů kapalin na pevných látkách může být výchozím bodem pro zkoumání těchto dvou povrchových napětí [2].

1.3 Teplotní závislost

Smáčecí úhel se může s teplotou buď zvyšovat, nebo snižovat. To závisí na relativní velikosti povrchových entropií fází, které jsou v kontaktu; hodnoty změn kontaktních úhlů s teplotou kapaliny ($d\theta/dT$) jsou při normálních teplotách poměrně malé (0,05 °/K). Když se ale teplota kapaliny přiblíží k bodu varu, povrchové napětí kapaliny výrazně poklesne a kontaktní úhel smáčení se blíží nule [1]. Povrchové napětí kapaliny, která je v rovnováze s parou, obvykle s teplotou klesá a v kritickém bodě je nulové [3]. Tlaková závislost oproti tomu není významná, povrchové napětí s tlakem klesá většinou slabě [4].

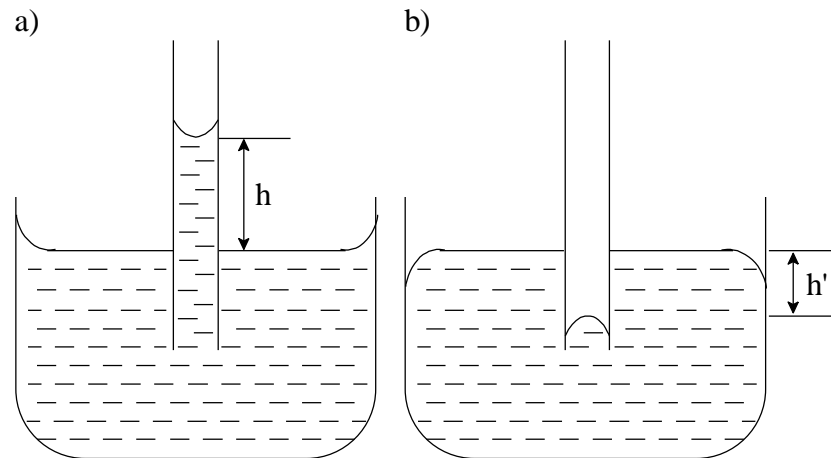
1.4 Smáčivost

Stýkají-li se dvě kondenzované fáze, jedná se o mezifázové napětí:

- při vzájemném styku dvou kapalin (x, y) mohou nastat tyto případy: $\gamma_{x,y} > 0 \rightarrow$ kapaliny se nemísí; $\gamma_{x,y} = 0 \rightarrow$ kapaliny jsou neomezeně mísitelné,
- při styku kapaliny (l) s tuhou látkou (s) vznikají možnosti: $\gamma_{l,s}$ je nízká, tj. pokud $0 \leq \theta < 90^\circ \Leftrightarrow \cos \theta \in (0, 1) \rightarrow$ kapalina smáčí danou tuhou látku, adheze (přilnavost) převládá nad kohezí (soudružností); $\gamma_{l,s}$ má vysokou hodnotu, tj. pokud $90^\circ \leq \theta < 180^\circ \Leftrightarrow \cos \theta \in (-1, 0) \rightarrow$ kapalina tuhou látku nesmáčí, jejich styčná plocha se minimalizuje a koheze převládá nad adhezí.

Mezifázové napětí l, s vyvolává tyto jevy: kapilární elevaci \rightarrow vtahování kapaliny do kapilární trubice (např. voda smáčí sklo, což budí dojem dutého menisku), kapilární

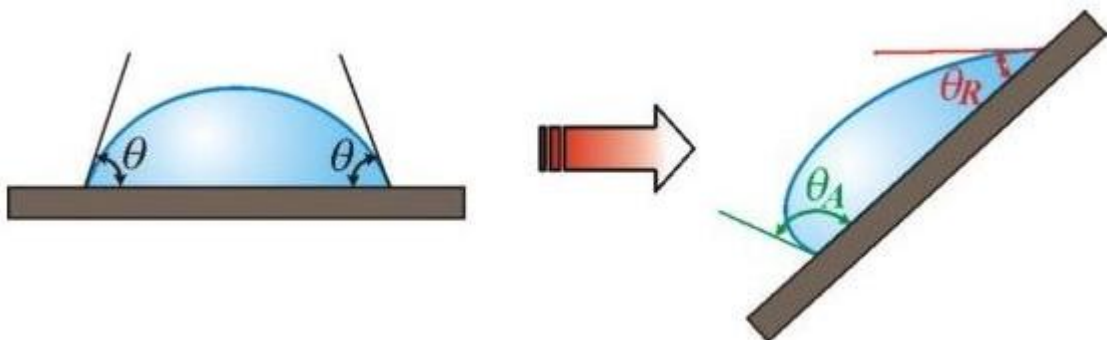
depresi → vytlačování kapaliny z kapilární trubice (př.: rtuť sklo nesmáčí – vypuklý meniskus) (Obr. 2).



Obr. 2 – a) kapilární elevace, b) kapilární deprese

1.5 Hystereze kontaktního úhlu

Hysterezi úhlu smáčení se rozumí rozdílnost smáčecích úhlů při postupu a ústupu kapaliny na pevném povrchu (Obr. 3). Při styku kapaliny a povrchu pevné látky existuje několik stálých úhlů smáčení velikostně se lišících od rovnovážného úhlu, tj. úhlu při minimální (globální) energii systému kapalina-tuhá látka v kontaktu (je teoreticky dosažitelný na homogenním, dokonale hladkém, nedeforovatelném, nerozpustném a nereaktivním povrchu). Zpravidla je úhel smáčení kapaliny postupující po tuhém povrchu (postupující úhel θ_A neboli úhel natékání) větší než úhel θ_R na ustupujícím rozhraní. Rozptyl hodnot θ se může rovnat až 50° . Příčinami mohou být nečistoty, přítomnost naadsorbovaných plynů a především nerovnosti tuhého povrchu.



Obr. 3 – Hystereze úhlu smáčení [5]

Hystereze se dá také jednoduše definovat jako rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou kontaktního úhlu (viz rovnice 2), jelikož na jednom a tom samém povrchu lze naměřit kontaktní úhly o různých hodnotách v závislosti na způsobu měření [5,1].

$$H = \theta_A - \theta_R \quad (2)$$

1.6 Stanovení povrchového napětí

Povrchové napětí kapaliny lze jednoduše měřit například metodou **kapilární elevace**. Tíha sloupce kapaliny (viz rovnice 3) je v rovnováze udržována silou (viz rovnice 4). Z této rovnováhy (viz rovnice 5) lze povrchové napětí spočítat (viz rovnice 6).

$$G = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot \pi r^3 h \cdot g \quad (3)$$

$$F = 2\pi r \cdot \gamma \quad (4)$$

$$G = F \Rightarrow \rho \cdot \pi r^3 h \cdot g = 2\pi r \cdot \gamma \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{\rho \cdot r^2 h \cdot g}{2} \quad (6)$$

Další z metod zjišťování povrchového napětí je metoda srovnávací – metoda vážení kapek, či zjišťování počtu vytvořených kapek z daného objemu – **stalagmetrie**. Kapka má těsně před odkápnutím z kapiláry tíhu G (viz rovnice 3) a ve vznosu je udržována silou F (viz rovnice 4). Při měření se pracuje s určitým počtem kapek n , které mají hmotnost m a objem V . Platí: $m_i = m/n$ a $V_i = V/n$. Z rovnosti G a F vyplývá:

$$\frac{m}{n} \cdot g = \rho \cdot \frac{V}{n} \cdot g = 2\pi r \cdot \gamma \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{n \cdot 2\pi r} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{n \cdot 2\pi r} \quad (8)$$

Častěji se stanovuje relativní povrchové napětí, kdy se zjišťované povrchové napětí porovnává se známým povrchovým napětím jiné kapaliny:

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow \gamma_2 = \frac{m_2}{m_1} \cdot \gamma_1 \quad (9)$$

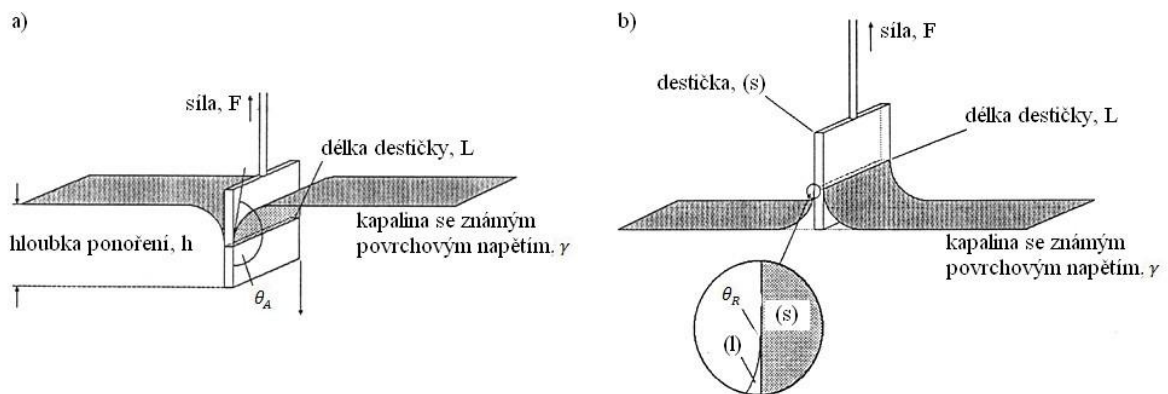
kde index 2 patří měřené kapalině a index 1 kapalině referentní.

Wilhelmyho metoda je použitelná nejen pro stanovení povrchového napětí kapaliny, ale i ke stanovení kontaktního úhlu na pevné látce. Destička s přesně definovanými rozměry a

hmotností se kolmo ponoří do kapaliny a velice citlivými vahami se měří síla potřebná k vyvážení rovněž svislé destičky:

$$F = L \cdot \gamma \cdot \cos\theta \quad (10)$$

kde L je délka destičky v kontaktu s kapalinou. Pokud je destička v pohybu (ponožována a vynořována), jedná se o dynamickou metodu měření povrchového napětí a na rozdíl od statického módu, kdy lze prostě měřit statický kontaktní úhel, se měří smáčecí úhel postupující a ustupující (Obr. 4). Statická metoda je poměrně jednoduchá, má však řadu omezení. Vysoká citlivost použitých vah může být využita pouze za předpokladu, že obvod destičky je konstantní po celé její výšce. Povrch destičky musí být homogenní (jak po stránce složení, tak po stránce morfologické). Problémem může být také botnání materiálu destičky při déle trvajících měřeních a adsorpce par kapaliny na různé části gravimetrického systému, což se může projevit při měření teplotní závislosti [6, 7].

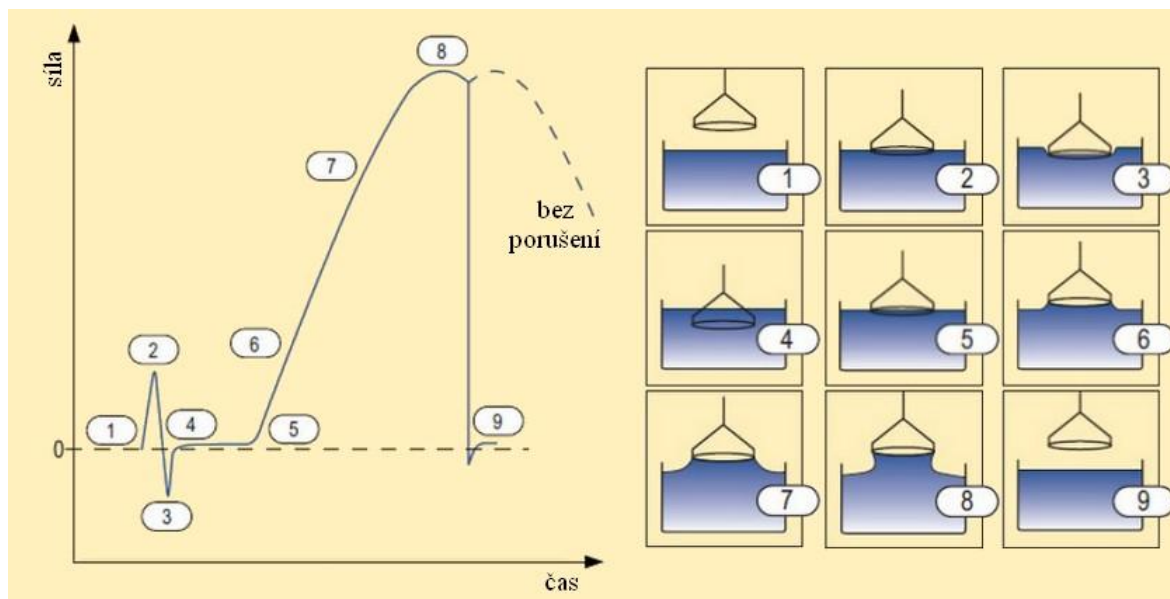


Obr. 4 – a) postupující úhel, b) ustupující úhel [8]

Du Nuöyho metoda spočívá v opětovném využití tenziometru, du Nöuy však do kapaliny noří platinový prstenec (Obr. 5). Měření je však omezeno pouze na vodní rozhraní a na kapaliny s hustotou nižší, než má voda. Měří se síla nutná k odtržení prstence a hladiny:

$$\gamma = \frac{F}{4 \cdot \pi \cdot r_p} \cdot \phi \quad (11)$$

kde r_p je poloměr prstence a ϕ korekce na hmotnost kapaliny ulpělé na prstenci po odtržení (u současných přístrojů již bývá zohledněna) [9,10].



Obr. 5 – Závislost velikosti síly na čase s průběhem ponoření a vynoření [1]

1.7 Stanovení povrchové energie tuhých látek

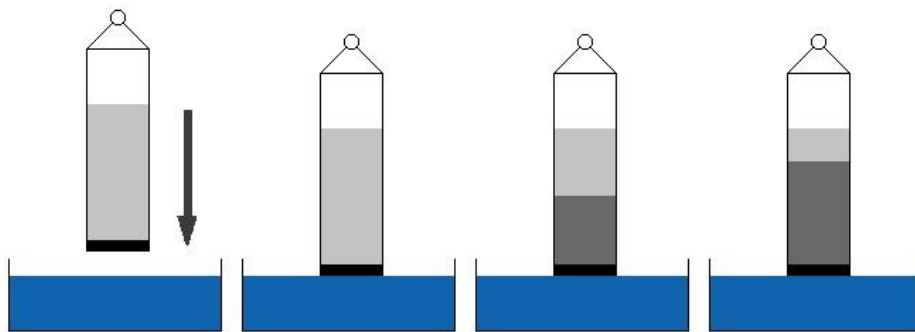
Ve většině případů se povrchová energie tuhé látky stanovuje nepřímě – měřením kontaktního úhlu smáčení za použití vhodné kapaliny nebo kapalin. Typickými kapalinami jsou například voda, ethylenglykol a glycerol, které byly použity i v praktické části práce, dále pak například ethanol, dijodomethan a jiné. V následující části kapitoly je popsána nejen metoda použitá v experimentu, optická goniometrie, ale i některé další, k tomuto účelu obvykle i méně často využívané metody [1].

Optická goniometrie se dá pojmout více způsoby. Přisedlá kapka nebo bublina adsorbující na tuhé látce ponořené do kapaliny je pozorována mikroskopem vybaveným goniometrickým okulárem, což umožňuje přímo odečíst úhel smáčení, nebo je úhel vyhodnocován z fotografie kapky (takto byla metoda uplatněna v praktické části práce). V obou případech však přesnost metody není vysoká a značně závisí na zkušenostech experimentátora. Při použití videokamery pro snímání obrazu kapky a počítače pro jeho digitalizaci a vyhodnocení se přesnost zvyšuje [11]. Vysokorychlostní kamerou se dá analyzovat i dynamika pronikání kapaliny do porézního materiálu. V případě prášků je třeba upravit materiál do podoby vylisované tablety. Nevýhodou je, že získané výsledky budou ovlivněny právě přípravou – tlakem a teplotou při lisování a dobou lisování. Ve srovnání s Washburnovou metodou je však výrazně rychlejší [1].

Washburnova metoda – postup je taktéž založen na sledování penetrace kapaliny do pórovité struktury materiálu. Materiál je vpraven do trubice zavěšené na vahách, jejíž dno tvoří filtr propouštějící pouze kapalinu. Hned jak dojde ke kontaktu kapaliny a materiálu, čelo kapaliny počne stoupat a váha trubice se bude měnit (viz Obr. 6) [12]. Nejprve je však nutné provést stanovení kapilární konstanty pomocí kapaliny, u níž se předpokládá nulový kontaktní úhel s pozorovaným materiálem, až poté probíhá měření s kapalinou, jejíž smáčecí úhel má být stanoven. Příprava vzorku pro obě měření musí být kvůli reprodukovatelnosti totožná. Stanovení kontaktního úhlu vychází z následující rovnice:

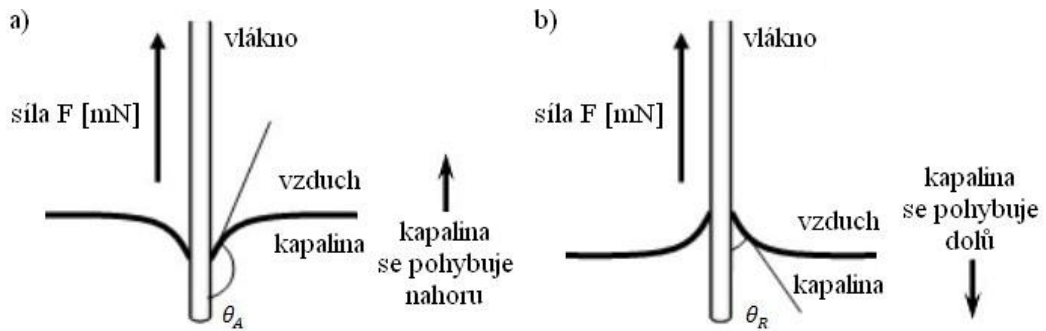
$$m^2 = \frac{\cos\theta \cdot \rho^2 \cdot \gamma_l \cdot c}{\eta} \cdot t \quad (12)$$

kde m je hmotnost kapaliny, θ kontaktní úhel kapaliny se zkoumaným materiálem, ρ hustota kapaliny, γ_l povrchové napětí kapaliny, c kapilární konstanta, η dynamická viskozita kapaliny a t čas penetrace [1].



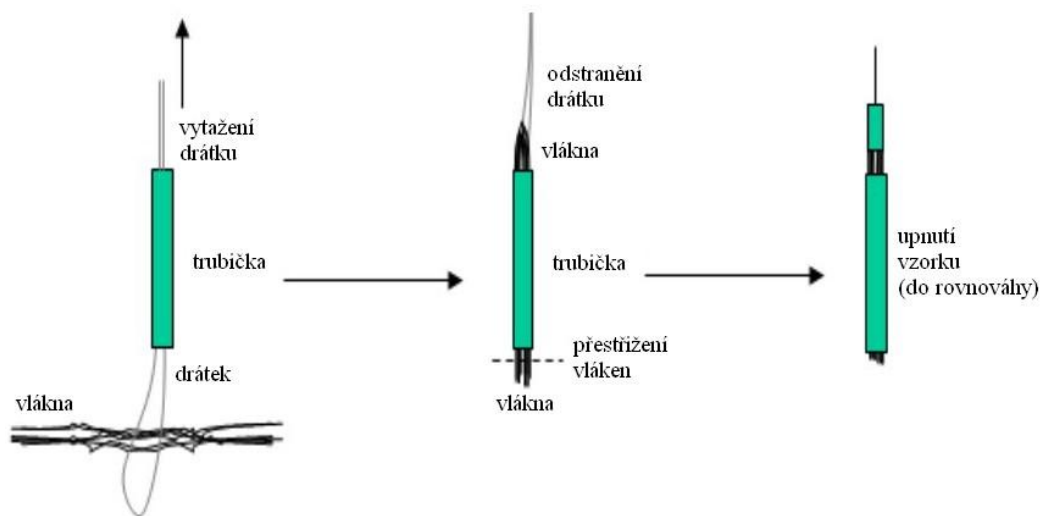
Obr. 6 – Washburnova metoda

„**Single fiber method**“ je metoda měření kontaktního úhlu na jednom vlákně (viz Obr. 7), jak ostatně sám název napovídá. Má ale až příliš mnoho nevýhod. Při měření se počítá se střední hodnotou průměru vlákna, což znamená, že každá odchylka vnáší do měření chybu, jejíž korekce je poměrně náročná. Reprodukovatelnost tak není příliš dobrá. Tenká vlákna mají také snahu se při kontaktu s kapalinou ohýbat (i při kontaktním úhlu $< 90^\circ$). Povrchové napětí kapaliny způsobuje odklon konce vlákna, který je s ní v kontaktu, po hladině a měření není možné. Dalším problémem měření je detekce sil z dolní hranice intervalu rozlišitelnosti přístroje. I s použitím „single fiber“ tenziometru se musí počítat s vlivem mechanických vibrací a teplotní fluktuace na váhy a přesnost měření přístroje. Teorie také neuvažuje možnou penetraci kapaliny do vlákna, která vnáší do měření další chybu [13].



Obr. 7 – a) postupující, b) ustupující úhel na jednom vlákne [13]

„**Straw method**“ je metoda vhodná právě pro vlákna, která nejdu měřit metodou „single fiber“ a jsou dlouhá alespoň 7 cm. Ta se poskládají vedle sebe a omotají smyčkou z tenkého drátu (viz Obr. 8), např. mědi, s jehož pomocí jsou vtaženy do (většinou) teflonové trubičky (odtud straw → trubička, stéblo) o vnitřním průměru asi 1 mm a délce cca 25 mm. Množství vláken by mělo být takové, aby jimi byla trubička vyplněna. Vlákna se poté u spodního okraje trubičky odstříhnou a pomocný drát odstraní. Sestava vláken v trubičce se umístí do tenziometru a dále se postupuje jako u Washburnovy metody. Výhodou je eliminace většiny omezení „single fibre“, zvyšuje se přesnost a reprodukovatelnost. Nevýhodou je omezení na kontaktní úhly pod 90° . Při vyšších hodnotách nedochází k samovolnému vzlínání kapaliny do trubičky a metoda je nepoužitelná. Také je možné měření pouze postupujícího kontaktního úhlu. Navíc metodu nelze použít pro krátká, příliš tuhá či křehká vlákna [13].



Obr. 8 – Schéma „straw metody“ [13]

1.8 Metody přepočtu kontaktního úhlu smáčení na povrchovou energii tuhé látky

Metoda Wu

Povrchová energie pevné látky se vypočítá z následujících rovnic:

$$(1 + \cos\theta)\gamma_l = 4 \left[\frac{\gamma_l^D \gamma_s^D}{\gamma_l^D + \gamma_s^D} + \frac{\gamma_l^P \gamma_s^P}{\gamma_l^P + \gamma_s^P} \right] \quad (13)$$

$$\gamma_s = \gamma_s^D + \gamma_s^P \quad (14)$$

kde dolní index s znamená pevnou látku a l kapalinu a horní index D disperzní složku a P polární složku.

Řešením rovnic jsou získána dvě řešení, pouze jedno však popisuje opravdovou povrchovou energii. Výběr správného řešení závisí na znaménku. Záporné hodnoty nemají fyzikální smysl. Může se však stát, že budou obě řešení smysluplná, tudíž je nutné vzít v úvahu při rozhodování o správnosti řešení konfrontaci výsledků s použitím jiných kapalin a současně porovnat výsledky s výsledky jiných teorií [14,15].

Metoda Fowkes

Povrchová energie pevné látky se vypočítá z následujících rovnic:

$$(1 + \cos\theta)\gamma_l = 2 \left[\sqrt{\gamma_l^D \gamma_s^D} + \sqrt{\gamma_l^P \gamma_s^P} \right] \quad (15)$$

$$\gamma_s = \gamma_s^D + \gamma_s^P \quad (14)$$

kde dolní index s znamená pevnou látku a l kapalinu a horní index D disperzní složku a P polární složku.

Fowkes předpokládá, že mezifázová energie γ_{sl} není pouze funkcí proměnných γ_{lg} a γ_{sg} , ale je ovlivněna i mezimolekulárními interakcemi mezi kapalinou a pevnou látkou. Za nejdůležitější z interakcí pokládal Fowkes ve své teorii Londonovy disperzní síly, jelikož se vyskytují ve všech typech hmoty a jejich působení mezi sousedními atomy a molekulami je vždy přitažlivé. Fowkes také říká, že mezipovrchové interakce mezi dvěma fázemi se mohou vyskytovat pouze mezi silami stejného typu, tj. disperzní-disperzní, polární-polární, vodíkové můstky-vodíkové můstky... [16,14].

Metoda van Oss

Povrchová energie pevné látky se vypočítá z následujících rovnic:

$$(1 + \cos\theta)\gamma_l = 2 \left[\sqrt{\gamma_l^D \gamma_s^D} + \sqrt{\gamma_l^+ \gamma_s^-} + \sqrt{\gamma_l^- \gamma_s^+} \right] \quad (16)$$

$$\gamma_s^{AB} = 2\sqrt{\gamma_s^+ \gamma_s^-} \quad (17)$$

$$\gamma_s = \gamma_s^D + \gamma_s^{AB} \quad (18)$$

kde dolní index s znamená pevnou látku a l kapalinu, horní index D nepolární složku, + a – kyselou (elektron-akceptorovou) a zásaditou (elektron-donorovu) složku a AB acidobazickou složku.

Teorie je nazývána také jako acidobazická. Pro výpočet všech komponent rovnic je nutné použít tři kapaliny. Disperzní složka je určena k charakterizaci všech nespecifických interakcí (van der Waalsova typu) umožňujících smáčení povrchu kapalinou. Polární složka se dělí na složku kyselou a dle van Osse základní. Kyselá složka charakterizuje sklon povrchu interagovat specifickými interakcemi (dipól-dipól, indukovaný dipól-dipól a vodíkový můstek), aby mohl být smáčen kapalinami, které jsou schopny předávat elektronovou hustotu (jednat zásaditě). Zásaditá složka charakterizuje sklon pevných látek k interakci se smáčecími kapalinami, které mají schopnost přijímat elektronovou hustotu (jednat kyselé) [2,17].

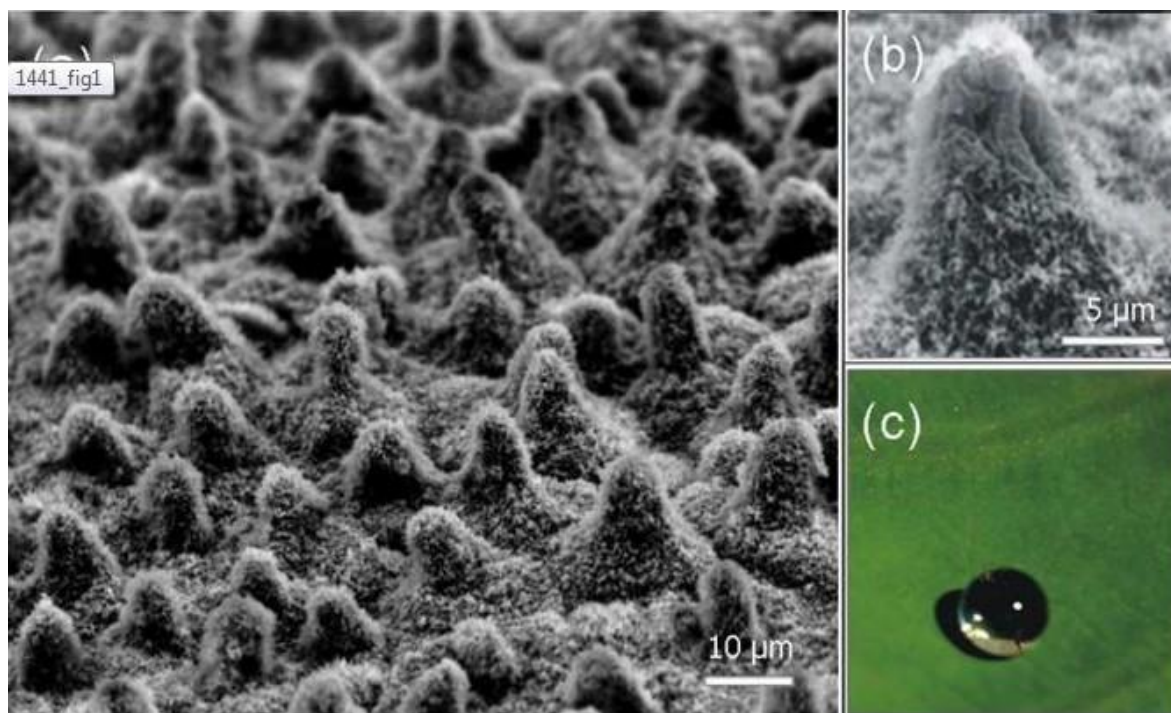
2 SUPERHYDROFOBNI POVRCHY

Superhydrofobními nebo ultrahydrofobními se nazývají nesmáčivé povrchy s vysokým kontaktním úhlem vody. V posledních letech si získaly velkou pozornost a bylo publikováno mnoho prací dokumentujících přípravu takových povrchů [18].

2.1 Definice a výskyt v přírodě

Superhydrofobní povrch je definován kontaktním úhlem smáčení vyšším než 150° a hysterezním úhlem nižším než 10° .

Mnoho přírodních ploch, od křídel některých druhů hmyzu až po listy některých rostlin, je superhydrofobních a samočisticích. Jedná se o hierarchické struktury v mikro- až nanoměřítku. Vliv struktury povrchu na vysoký smáčecí úhel je nezpochybnitelný. Nejznámějším příkladem přírodního hydrofobního samočisticího povrchu je list leknínu („Lotos leaf effect“). Elektronová mikroskopie povrchu lotosového listu (viz Obr. 9) ukazuje vyčnívající výstupky o velikosti 20 až 40 μm od sebe, každý navíc pokrytý dalšími menšími výstupky [18, 19].



Obr. 9 – a), b) snímky výstupků lotosového listu pořízené elektronovou mikroskopií,
c) kapka na lotosovém listu [21]

2.2 Příprava

Výroba superhydrofobních ploch se stala součástí oblasti aktivního výzkumu v polovině devadesátých let minulého století. Obecně platí, že se pro výrobu používají stejné techniky, které se používají pro výrobu mikro- a nanostruktur, jako je například litografie, leptání, depozice a samoorganizace struktury (viz Tab. 1). Dvě potřeby vedoucí ke dvěma hlavním způsobům výroby:

- a) možnost z původně superhydrofobní plochy vytvořit materiál s hrubým povrchem,
- b) možnost úpravy hrubého hydrofilního povrchu chemickou povrchovou úpravou nebo aplikací již hydrofobního materiálu na něj [20].

Tab. 1 – Typické úpravy pro přípravu mikro- a nanostrukturovaných povrchů [20]

Litografie	Leptání	Deformace	Depozice	Přenos
fotolitografie	plazma	„stretching“	adsorpce	„casting“
elektronový svazek	laser		sol-gel technologie	nanotisk
rentgenové záření	chemické		„spin coating“	
„soft“ litografie	elektrochemické		nástřík	
			samoorganizace	
			anodizace	
			elektrochemická	
			vypařování	
			CVD	
			plazma	

2.3 Aplikace

Kontrola smáčivosti povrchů je důležitým problémem řešeným v mnoha oblastech techniky. Zájem o samočisticí povrchy je poháněn touhou vyrobit takové povrchy pro satelitní antény, solární panely, vnější architektonická skla a skleníky, či teplosměnné plochy v klimatizačních zařízeních. Většina z těchto aplikací zahrnuje pevné povrchy, ale vznik pružných forem membrán by měla vést k použití v oděvnictví a bezbariérových membránách [18].

Důležité je využití povrchových vlastností superhydrofobních materiálů v mikroelektromechanických systémech při snižování tření a antikoročních aplikacích. Další využití nacházejí tyto povrchy v optice a biomedicínských odvětvích [19].

3 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT

Výsledky by neměly být pokládány za relevantní, pokud nejsou vyhodnoceny statisticky. Z toho důvodu se provádí měření v takovém rozsahu, aby bylo vhodné a možné určité statistické metody použít. Mezi základní patří vyloučení odlehlých hodnot, tj. hodnot nepatřících mezi ostatní, které se ve zpracovávaných datech vyskytují. Takové hodnoty mohou být například důsledky hrubých chyb vzniklých při měření, při přepisování dat, eventuálně tak, že je do výběru zahrnut prvek, který do sledovaného základního souboru nepatří. Takovéto extrémní hodnoty je třeba identifikovat a eliminovat, protože by statistické zpracování negativně ovlivnily [22].

3.1 Grubbsův test

Grubbsův test se používá k objektivnímu vylučování odlehlých hodnot na základě vypočteného testovacího kritéria a jako míra odlehlosti hodnoty (x_i) slouží její vzdálenost od aritmetického průměru výběru ($\hat{\mu}$) vztahovaná ke směrodatné odchylce (S). Testovací statistika má tvar:

$$T = \frac{|x_i - \hat{\mu}|}{S} = \frac{|x_i - \hat{\mu}|}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu})^2}} \quad (19)$$

kde n je počet hodnot. Pokud je testovací kritérium T větší než kritická hodnota v požadované hladině spolehlivosti $T_{krit, \alpha}$, testovaná hodnota se ze souboru vylučuje. Testuje se vždy nejnižší a nejvyšší hodnota vzestupně seřazeného souboru. Pokud dojde k vyloučení hodnoty, je nutné spočítat nový průměr a odchylku a test vzhledem k nové kritické hodnotě zopakovat [22, 23].

3.2 Dean-Dixonův Q-test

U Q-testu je jako kritérium odlehlosti použita vzdálenost krajního bodu (x_i) od nejbližšího souseda vztahovaná k celkovému rozpětí dat (R). Pro hodnoty již seřazené z předchozího testování se vypočítají testovací kritéria:

$$Q_{min} = \frac{x_2 - x_1}{R} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} \quad (20)$$

$$Q_{max} = \frac{x_n - x_{n-1}}{R} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \quad (21)$$

Je-li některé testovací kritérium vyšší než $Q_{krit,a}$, příslušná hodnota se ze souboru vyloučí a nový výběr se testuje znovu [22].

3.3 Proces zpracování dat

Nejprve je nutné vypočítat střední hodnotu naměřených hodnot a směrodatnou odchylku jednoho měření, dále pak vyloučit extrémní hodnoty. Tyto dva kroky opakovat, dokud se v souboru budou odlehle hodnoty vyskytovat. Poté je nezbytné pro zbylé naměřené hodnoty n vypočítat směrodatnou odchylku aritmetického průměru (viz rovnice 22), což slouží k určení, jak dobrý je odhad aritmetického průměru ($\hat{\mu}$), tedy s jakou pravděpodobností leží skutečná hodnota μ v intervalu $\langle \hat{\mu} - k\hat{\sigma}_{\hat{\mu}}, \hat{\mu} + k\hat{\sigma}_{\hat{\mu}} \rangle$, kde k je Studentův koeficient, který je třeba určit pro požadovanou hladinu spolehlivosti.

$$\hat{\sigma}_{\hat{\mu}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu})^2} \quad (22)$$

Chyba měření na vybrané hladině spolehlivosti se rovná součinu směrodatné odchylky aritmetického průměru a Studentova koeficientu. Na rozdíl od běžného zaokrouhlování u střední hodnoty se chyba měření zaokrouhluje vždy nahoru. Záleží na každém, kdo statistiku zpracovává, ale je možné v případě nízkého čísla (obvykle jen 1) zaokrouhlit až číslo následující, takže se celková chyba měření zapisuje na jedno nebo dvě platná místa a střední hodnota na stejný počet desetinných míst jako chyba. U výsledku je třeba uvést odpovídající jednotku [22].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 MATERIÁLY A METODY

Za testované materiály byly vybrány materiály běžně dostupné plus jeden materiál vysoce hydrofobní. Dané materiály byly ošetřovány různými filmy, čímž se zjistil jejich účinek na změnu povrchové energie materiálu. Impregnační sprej cocciné ANTIACQUA (Dakoma, Sp. z o.o., Wiązowna) byl z dalšího průzkumu vyloučen, jelikož jeho vliv nebyl tak efektní jako vliv konkurenčního produktu, impregnačního spreje SILVER Premium Protector (vyroben v Turecku, dovozce Sitol Bohemia, s.r.o, Praha). V následující tabulce je přesto impregnační sprej ANTIACQUA uveden, aby bylo zřejmé, že pořadové číslo tři nebylo ani vynecháno, ani přeskočeno. Povrchová energie byla zjišťována pomocí kontaktních úhlů materiálů se třemi pro tento účel běžně používanými kapalinami.

Tab. 2 – Kódování materiálů a kapalin pro zjednodušení práce

kód	materiál	kód	kapalina
1	PMMA	A	ultra čistá voda
2	impregnační sprej (Protector)	B	ethylenglykol
3	impregnační sprej (ANTIACQUA)	C	glycerol
4	hydrofobní přípravek (mso anticalc condicioner)		
5	LDPE		
6	teflonový sprej		
7	PS		
8	leptaný PS		
9	sklo hladké		
10	sklo matné		

4.1 Základní charakteristika materiálů a kapalin

Polymethylmethakrylát (PMMA) se připravuje radikálovou polymerací methylesteru kyseliny methakrylové (methylmethakrylátu) v bloku, suspenzi a pro nátěrové hmoty i v emulzi. Tento amorfní polární termoplast je tvarovatelný při 130 – 140 °C a trvale použitelný do 80 °C. Je dobře odolný vodě, zředěným kyselinám a zásadám, z rozpouštědel alifatickým uhlovodíkům a minerálním olejům. Rozpouští se v aromatických a chlorovaných uhlovodících, esterech, eterech a ketonech, obecně v polárních rozpouštědlech. Je dobře odolný i proti povětrnostním podmínkám a má také vynikající elektroizolační vlastnosti. Jeho nejcharakterističtější vlastnost je však optického charakteru. Je sklovitě čirý a částečně propustný pro UV záření. Propustnosti světla

v celém rozsahu spektra činí 92 %. Zpracovává se vstřikováním při 170 – 220 °C, vytlačováním, tvarováním, mechanickým opracováním; dá se lepit vlastním roztokem i monomerem. Využití: části svítidel, kabiny letadel, výrobky domácí spotřeby, zubní protézy a další [24,25].

Nízkohustotní polyethylen (LDPE) je typ nejpoužívanějšího polymeru na světě, polyethylenu. Připravuje se radikálovou polymerací ethenu v plynné fázi, suspenzi, emulzi nebo roztoku za vysokého tlaku (150 – 300 MPa) při teplotách okolo 250 °C. Patří mezi nepolární termoplasty. Je silně rozvětvený a krystalický z 50 – 70 %. Je odolný vůči olejům a chemikáliím a nepropustný pro vodní páru. Chemická odolnost se zvyšuje s rostoucí krystalinitou. Je stálý mezi -70 – 85 °C. Má poměrně nízké mechanické vlastnosti a v tenzoaktivním prostředí je náchylný ke korozi za napětí. Zpracovatelské teploty závisí na metodě zpracování, při vytlačování trubek jsou 140 – 170 °C, při vytlačování fólií a vstřikování 200 – 280 °C. Využití: měkké nádoby, lahve i kanystry do objemu 60 l, sáčky a další [26,27].

Polystyren (PS) bývá připravován v suspenzi, popř. v emulzi či bloku. Monomerní styren polymeruje velice snadno všemi mechanismy, při výrobě polystyrenových plastů se však uplatňuje výhradně ten radikálový. Je to ataktický, amorfní, nepolární termoplast s málo ohebnými řetězci. Odolává vodě, alkoholům, minerálním olejům a zředěným anorganickým kyselinám a je rozpustný v aromatických uhlovodících, vyšších ketonech, tetrahydrofuranu aj. Je použitelný do 75 °C. Vyznačuje se vysokým leskem a průzračností, viditelné světlo propouští z 90 %. Je náchylný k fotooxidaci – žloutne a křehne. Je dost křehký sám o sobě, přesto tvrdý. Má velký sklon ke vzniku trhlin korozi za napětí. Je dostatečně odolný proti tepelné degradaci i oxidaci. Dobře se barví a potiskuje a má výborné dielektrické vlastnosti. Využití: široké uplatnění např. ve spotřebním, hračkářském, obalovém a potravinářském průmyslu [28,27].

Sklo je amorfní pevná látka vzniklá obvykle ztuhnutím taveniny bez krystalizace. Amorfní strukturu skla tvoří sklotvorné oxidy. Sklo může být přírodní nebo umělé. Hlavní typy průmyslových skel: křemenné sklo, rozpustné (vodní) sklo, křišťálová skla, tepelně odolná skla, nízkoalkalická skla; obalové, ploché, užitkové sklo. Vlastnosti skla závisí na jeho složení, všechny typy však mají některé charakteristické vlastnosti společné, např. trvanlivost nebo malou tepelnou vodivost. Obecně sklo lépe odolává prostředí kyselému než zásaditému. Voda na něj působí stejně jako kyseliny. Chemicky odolné sklo je i mechanicky pevnější. Sklo má poměrně nízkou pevnost v tahu (cca 10x menší než

v tlaku) a rázu. Trhliny na povrchu skla narůstají i v klidu, bez vlivu vnější síly. Kritická velikost trhlin je $> 5 \mu\text{m}$. Zpracovává se tažením, válcováním, tvarováním a foukáním. Využití: spotřební, stavební, okrasné a umělecké účely a jiné [29,30,31].

Základní charakteristické údaje kapalin jsou shrnuty v Tab. 3. Pokud není uvedeno jinak, jsou hodnoty platné při teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 100 kPa . Nejdůležitější vlastností je povrchové napětí, přičemž v experimentu je (za laboratorních podmínek) počítáno s těmito hodnotami: ultra čistá voda $\gamma = 72,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, ethylenglykol $\gamma = 47,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, glycerol $\gamma = 63,9 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$.

Tab. 3 – Shrnutí některých základních vlastností kapalin [63,64,65]

	ultra čistá voda	ethylenglykol	glycerol
sumární vzorec	H_2O	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
$M [\cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}]$	18,02	62,07	92,09
$T_t [^\circ\text{C}]$	0	-13 – -11	20
$T_v [^\circ\text{C}]$	100	196 – 198	182 (při 27 hPa)
$\rho [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	998,205 (při $20 \text{ }^\circ\text{C}$)	<i>data neudána</i>	<i>data neudána</i>
$\gamma [\cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}]$	73,5	<i>data neudána</i>	63,4 (při $20 \text{ }^\circ\text{C}$)
$\rho [\cdot 10^4 \Omega\cdot\text{m}]$	18,2	<i>data neudána</i>	<i>data neudána</i>

4.2 Příprava vzorků

K přípravě vzorků byly použity většinou komerční materiály (v případě PS Petriho misky, v ostatních případech desky).

Desky z PE byly lisovány ručně z granulátu BRALEN RA 2-63 (LDPE) (Slovnaft Polyolefines, s.r.o., Bratislava) při $170 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu pěti minut s navázkou minimálně $14,3438 \text{ g}$ pro lisovací desky o rozměrech $125 \times 125 \times 1 \text{ mm}$ a $28,6875 \text{ g}$ pro lisovací desky o rozměrech $125 \times 125 \times 2 \text{ mm}$. Poté byly přeneseny do hydraulického lisu, kde byly chlazeny při teplotě $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Nakonec byly z formy ručně vyjmuty.

Některé polystyrenové misky byly podrobeny chemické úpravě naleptáním. Ideální podmínky, směs rozpouštědel a celý postup vyvinula při zpracovávání své disertační práce Magda Minaříková (ÚFMI, FT, UTB).

Po zkušebních testech byly vzorky rozděleny do čtyř sérií – vždy čistý vzorek a vzorek se třemi různými nánosy, kterými byla cíleně ovlivněna jejich hydrofobita (viz Tab. 2).

U leptaného polystyrenu byl za předpokladu, že bude jeho povrch sám o sobě (super)hydrofobní, nanesen jen teflonový sprej, jelikož se u něj v tomto směru předpokládá (z použitých přípravků) nejlepší účinek, což se později potvrdilo.

4.3 Přístrojové vybavení

Lisování (Obr. 10): lisovací desky + rámeček, ruční lis, hydraulický lis.



Obr. 10 – 1: ruční lis, 2: hydraulický lis

Příprava ultra čisté vody: Direct – Q[®] 3 UV (Obr. 11).



Obr. 11 – Přístroj na čištění vody

Měření kontaktního úhlu (Obr. 12): optický goniometr.



Obr. 12 – 1: kamera moticam 2300, 2: posuvný stolek na vzorek, 3: mikropipeta,
4: zdroj světla, 5: PC s příslušenstvím

Měření odskoku kapky (Obr. 13): optický goniometr.



Obr. 13 – 1: vysokorychlostní kamera Basler, 2: stínění, 3: posuvný stolek se vzorkem,
4: stojan se stříkačkou, 5: zdroj světla, 6: PC s příslušenstvím

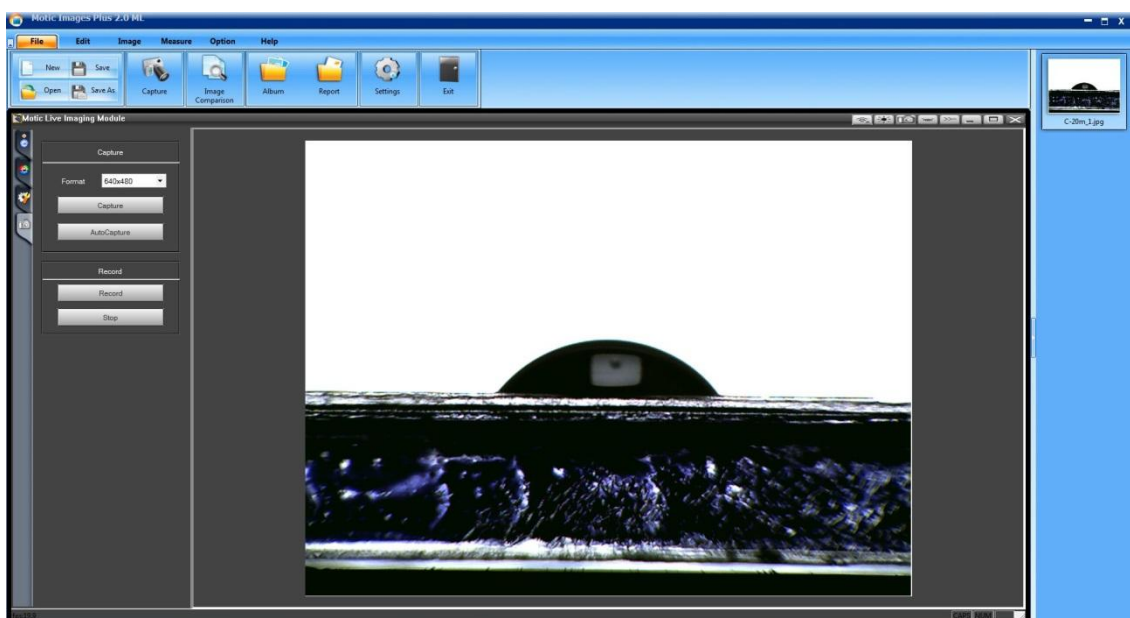
4.4 Metody měření

Měření kontaktního úhlu smáčení metodou sedící kapky

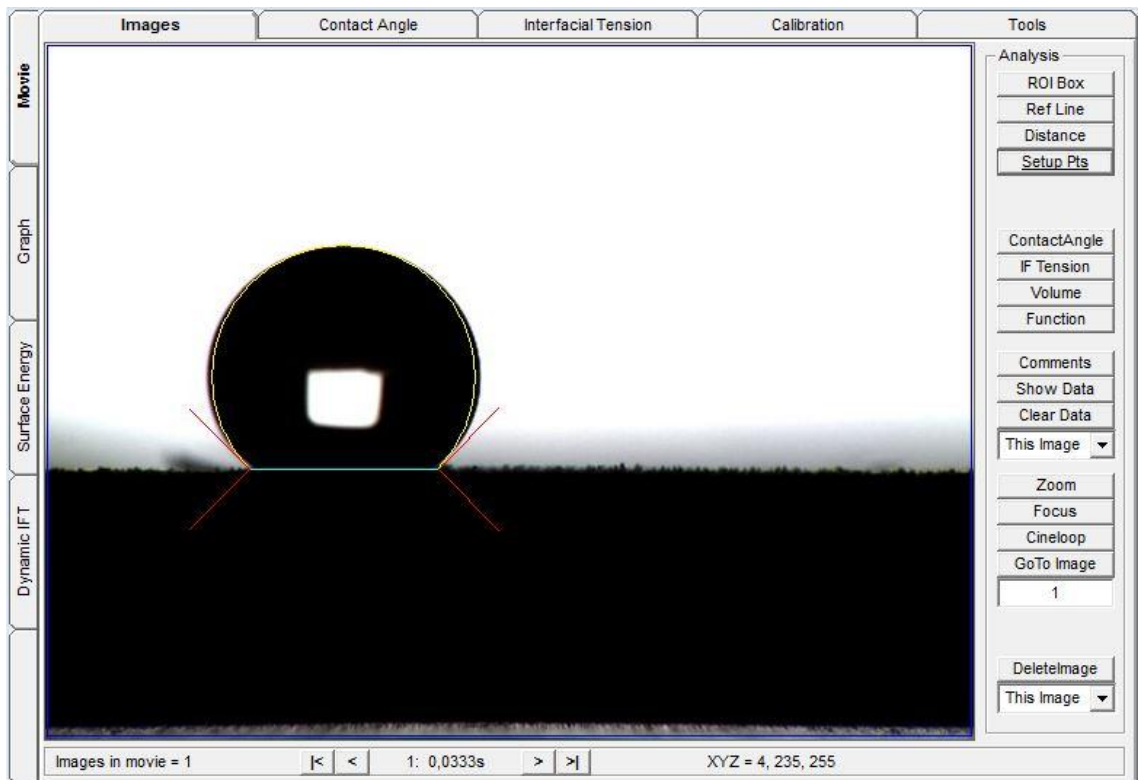
Povrchy dvanácti vzorků PMMA (1) a LDPE (5) a osmnácti vzorků PS (7) byly omyty destilovanou vodou a ethanolem, dvanáct skel (9 a 10) bylo navíc čištěno ve speciální sérii lázní. Šest vzorků polystyrenu bylo následně naleptáno (8). Každý typ materiálu byl

rozdělen na čtyři série. Každá série obsahovala tři vzorky, na jednom vzorku probíhalo měření s jednou kapalinou (A, B nebo C). První série vzorků zůstaly čisté, na zbylé tři série byly po jednom nanášeny vodoodpudivé filmy (2, 4 nebo 6). Na leptaný polystyren byl nanášen pouze poslední typ vrstvy.

Na každý vzorek bylo pomocí mikropipety nastavené na objem 3,0 μl postupně nanášeno dvacet kapek. Na površích ošetřených teflonovým sprejem bylo nutné kvůli „klouzání“ kapek po povrchu zvýšit jejich objem na 5,8 μl . Kapky byly v totožných dobách od nakápnutí snímány pomocí programu Motic Images Plus 2.0 (viz Obr. 14). Bylo nutné mít povrch nastaven vodorovně zhruba pod půlku výšky snímku (pole), aby nedocházelo ke zkreslení obrazu kapky. Také bylo žádoucí nanášet kapky co nejblíže k okraji, aby byly její kontury při zaostření na hranu povrchu jasně patrné. Kontaktní úhly přisedlých kapek byly z fotek vyhodnocovány programem FTA 32 Video 2.0 (viz Obr. 15) buď automaticky, nebo ručně pomocí označení základny + okraje kapky dvěma + až deseti body (v ideálním případě byla kapka přesně obkreslena). Program už následně sám vyhodnotil příslušný kontaktní úhel. Po statistickém zpracování naměřených hodnot byla za pomoci programu SECC 1.1 vypočítána třemi různými metodami – Wu, Fowkes a van Oss – povrchová energie každého vzorku.



Obr. 14 – Prostředí programu Motic Images Plus 2.0



Obr. 15 – Prostředí programu FTA 32 Video 2.0 při hodnocení (5+6)A_018

Měření kritické kinetické energie odskoku kapky

Stejně jako pro měření kontaktního úhlu byl i pro měření odskoku kapky nachystán vzorek leptaného polystyrenu. Ten byl nehybně připevněn k posuvnému stolku, aby nehrozilo jeho samovolné přesouvání a bylo tak možné nechat dopadat kapky na stále stejné místo. Nad vzorek byla umístěna stříkačka s jehlou upnutá ke stojanu s milimetrovou stupnicí. Opakovaným vážením kapek byl zjištěn průměrný objem jedné samovolně odpadající kapky $V = 5,4 \mu\text{l}$. Dráha letu kapky byla postupně po 0,5 mm měněna a dopady kapek byly vysokorychlostní kamerou natáčeny přes program Pylon Viewer. V programu Virtual Dub byla následně videa zpomalována a analyzována. Díky tomu bylo možné určit kritickou vzdálenost, při které přestává kapka od povrchu odskakovat.

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

V této kapitole jsou shrnuty a diskutovány výsledky naměřených kontaktních úhlů smáčení metodou sedící kapky a srovnávány povrchové energie vypočtené jednotlivými metodami. Následně je zde popsáno měření a výsledky kritické vzdálenosti kapky a z ní vypočtené kritické kinetické energie odskakující kapky.

5.1 Experimentálně zjištěné hodnoty kontaktních úhlů smáčení

Všechny naměřené hodnoty kontaktních úhlů i se statistickým zpracováním jsou uvedeny v příloze P I. V následujících tabulkách jsou pro přehled uvedeny konečné hodnoty.

Tab. 4 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série PMMA

kontaktní úhel [°]	kapalina		
vzorek	A	B	C
1	(81 ± 3)	$(56,2 \pm 1,7)$	(72 ± 4)
1+2	(106 ± 3)	$(93,8 \pm 1,4)$	$(104,1 \pm 1,2)$
1+4	$(90,3 \pm 1,1)$	$(75,1 \pm 1,0)$	(91 ± 3)
1+6	(124 ± 3)	(96 ± 3)	(112 ± 4)

Tab. 5 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série LDPE

kontaktní úhel [°]	kapalina		
vzorek	A	B	C
5	$(93,3 \pm 1,6)$	$(70,7 \pm 1,4)$	$(83,6 \pm 0,6)$
5+2	$(101,2 \pm 1,5)$	(73 ± 3)	$(85,2 \pm 1,2)$
5+4	$(92,7 \pm 1,1)$	$(64,6 \pm 1,6)$	(103 ± 3)
5+6	(122 ± 6)	(96 ± 5)	$(105,7 \pm 2,0)$

Tab. 6 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série PS

kontaktní úhel [°]	kapalina		
vzorek	A	B	C
7	(84 ± 4)	(65 ± 3)	(77 ± 4)
7+2	(104 ± 3)	(92,2 ± 1,4)	(104 ± 4)
7+4	(84,9 ± 1,8)	(58,4 ± 0,9)	(89 ± 3)
7+6	(135,1 ± 1,9)	(129,5 ± 1,8)	(137 ± 3)

Tab. 7 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série leptaného PS

kontaktní úhel [°]	kapalina		
vzorek	A	B	C
8	(118 ± 5)	(75 ± 7)	(127 ± 5)
8+6	(124 ± 6)	(114 ± 4)	(120 ± 9)

Tab. 8 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série hladkého skla

kontaktní úhel [°]	kapalina		
vzorek	A	B	C
9	(41 ± 4)	(29 ± 3)	(38 ± 4)
9+2	(105,1 ± 0,6)	(93,4 ± 0,8)	(103 ± 4)
9+4	(73,6 ± 1,7)	(66 ± 3)	(83,9 ± 1,7)
9+6	(116 ± 8)	(83,9 ± 1,9)	(99 ± 4)

Tab. 9 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série matného skla

kontaktní úhel [°]	kapalina		
vzorek	A	B	C
10	(52 ± 7)	(45 ± 4)	(38 ± 4)
10+2	(108 ± 3)	(99,4 ± 1,3)	(112 ± 5)
10+4	(94,1 ± 1,3)	(73,2 ± 1,0)	(93 ± 3)
10+6	(98 ± 10)	(90 ± 3)	(114 ± 7)

Z tabulek vyplývá, že se kontaktní úhel zvyšuje s naneseným hydrofobním filmem v pořadí $4 \rightarrow 2 \rightarrow 6$ oproti $4 \rightarrow 6 \rightarrow 2$ a $2 \rightarrow 4 \rightarrow 6$ v poměru 9:5:1. Dá se tedy předpokládat, že hydrofobní přípravek mso anticalc conditioner určený proti zabránění ulpívání vody a zasychání kapek na sprchových koutech odpuzuje vodu nejméně. Oproti tomu teflonový sprej se z hlediska zvyšování kontaktního úhlu osvědčil nejvíce. Impregnační sprej na boty a oděv Protector tak zaujímá prostřední místo mezi ostatními dvěma prostředky. Je pozoruhodné, že nejnižší navýšení se vyskytuje pouze v případě čistého LDPE s ethylenglykolem a naopak nejvyšší hned v pěti případech, pokaždé u matného skla a s ethylenglykolem a glycerolem u hladkého skla, tedy u posledních pěti měřených vzorků, což napovídá, že nejspíš došlo k úbytku částic teflonu v teflonovém spreji, nejedná se tedy o fakt, ale o chybu. Jedinou anomálií by tak bylo měření vzorku 5 s kapalinou B. Vzhledem k tomu, že se ale nanesením vrstvy 2 kontaktní úhel příliš nezměnil a u 4 a 6 vrstvy nebyl jeho rozdíl nijak markantní, je možné, že se jedná o celkově chybné měření. K nepříliš výrazné změně nebo dokonce ke snížení úhlu smáčení došlo i v několika dalších případech, bylo by tedy vhodné experiment rozšířit o další měření.

U čistých vzorků jsou výsledky jednoznačné. S většími či menšími rozdíly mezi (po seřazení sousedícími) materiály roste kontaktní úhel smáčení v tomto pořadí: hladké sklo \rightarrow matné sklo \rightarrow polymethylmethakrylát \rightarrow polystyren \rightarrow nízkohustotní polyethylen \rightarrow leptaný polystyren.

Hodnocení odchylky není v případě kontaktního úhlu jednoduchou záležitostí. Stačí drobné výkyvy teplot a povrchové napětí a tím i smáčecí úhel se mění. Ani vyhodnocovací software nepracuje vždy přesně stejně, jelikož prakticky není možné označit kapku 2x a vícekrát stejně. Dalším problémem je vysoká spolehlivost testování, resp. 99% pravděpodobnost výsledně určené hodnoty. S čím vyšší pravděpodobností se pracuje, tím širší interval hodnot je třeba, aby se do něj dané hodnoty skutečně vešly, jinými slovy dochází sice k vysokým odchylkám, zato si ale můžeme být téměř jisti, že se naměřené hodnoty v tomto rozmezí vyskytují (což lze prokázat naprostým minimem vyloučených odlehlých hodnot).

5.2 Stanovení povrchových energií

Přepočítání kontaktních úhlů na povrchové energie byl proveden třemi různými metodami v programu SECC 1.1. Program má přednastavený soubor určitých kapalin a hodnoty jejich povrchových napětí (nejen celkové, ale i hodnoty jednotlivých složek), které se dají

v případě potřeby přepsat. Po zadání kontaktních úhlů naměřených s vybranými kapalinami program vyhodnotí výslednou povrchovou energii pevné (tuhé) složky – materiálu. V některých případech nebylo možné uvést dílčí výsledek, jelikož nebyla použitá metoda pro daný systém vhodná a kořeny rovnic např. vycházely záporně, což v případě povrchové energie vskutku není možné. Díky tomu také nešla v některých situacích stanovit odchylka, protože z kupříkladu původně tří průměrovaných hodnot zůstala jen jedna. V takových případech je ona hodnota považována za výslednou a uvádí se bez chyby.

Kompletní tabulky jsou s ohledem na svůj rozsah uvedeny v přílohách P II – P IV, v následujících částech kapitoly jsou uvedeny jejich souhrny.

Metoda Wu

Na Obr. 16 lze vidět přímý příklad výpočtu (konkrétně pro 1 A+B) i se všemi dosazovanými hodnotami, v Tab. 10 konečné hodnoty povrchových energií zkoumaných materiálů zhodnocených touto metodou.

The screenshot shows the SECC software interface for surface energy calculation using the Wu method. The main title is "SURFACE ENERGY CALCULATION WU EQUATIONS". The central equation is:

$$(1 + \cos \theta) \gamma_i = 4 \left[\frac{\gamma_i^D \gamma_s^D}{\gamma_i^D + \gamma_s^D} + \frac{\gamma_i^P \gamma_s^P}{\gamma_i^P + \gamma_s^P} \right]$$

$$\gamma_s = \gamma_s^D + \gamma_s^P$$

The interface is divided into several sections:

- Data:**
 - Liquids:**

	liquid 1	liquid 2
gamma I	72,80	47,80
gamma I (D)	21,80	31,40
gamma I (P)	51,00	16,40
 - Contact Angles:**

	liquid 1	liquid 2
theta [°]	81,000000	56,200000
theta [rad]	1,413717	0,980875
- Results:**
 - Calculations:**

	gamma s (D)	gamma s (P)	gamma s
1.solution	-49,81	-13,15	-62,96
2.solution	16,21	15,27	31,48
 - Liquid 1:** Water(20C)
 - Liquid 2:** Ethylene glycol(20C)

Buttons for "UPDATE DATA" and "CALCULATE" are visible at the bottom right.

Obr. 16 – Prostředí programu SECC 1.1 při výpočtu povrchové energie metodou Wu

Tab. 10 – Hodnoty povrchových energií stanovené metodou Wu

materiál	γ_s [mJ.m ⁻²]	materiál	γ_s [mJ.m ⁻²]
1	(31,24 ± 0,13)	8	35,09
(1+2)	(15,7 ± 0,5)	(8+6)	(9,3 ± 0,3)
(1+4)	(24,1 ± 0,5)	9	(58,3 ± 1,4)
(1+6)	16,61	(9+2)	(16,2 ± 0,4)
5	(24,48 ± 0,17)	(9+4)	(38 ± 3)
(5+2)	(25,0 ± 1,5)	(9+6)	27,19
(5+4)	(31 ± 5)	10	(64 ± 14)
(5+6)	(20 ± 6)	(10+2)	(17,3 ± 2,0)
7	(28,54 ± 0,07)	(10+4)	(22,7 ± 0,6)
(7+2)	(16,6 ± 0,8)	(10+6)	(42 ± 30)
(7+4)	(29,72 ± 0,10)		
(7+6)	(7,8 ± 2,0)		

Metoda Fowkes

Na Obr. 17 lze vidět přímý příklad výpočtu (konkrétně pro 1 A+B) i se všemi dosazovanými hodnotami, v Tab. 11 konečné hodnoty povrchových energií zkoumaných materiálů zhodnocených touto metodou.

SECC

SURFACE ENERGY CALCULATION
FOWKES EQUATIONS

$$(1 + \cos \theta) \gamma_i = 2 \left[\sqrt{\gamma_i^D \gamma_s^D} + \sqrt{\gamma_i^P \gamma_s^P} \right]$$

$$\gamma_s = \gamma_s^D + \gamma_s^P$$

Data

Liquids

	liquid 1	liquid 2
gamma l	72,80	47,80
gamma l (D)	21,80	31,40
gamma l (P)	51,00	16,40

Contact Angles

	liquid 1	liquid 2
theta [°]	81,000000	56,200000
theta [rad]	1,413717	0,980875

Results

Calculations

	gamma s (D)	gamma s (P)	gamma s
1.solution	20,32	8,69	29,01
2.solution	0,00	0,00	0,00

Liquid 1: Water(20C) UPDATE DATA

Liquid 2: Ethylene glycol(20C) CALCULATE

Obr. 17 – Prostředí programu SECC 1.1 při výpočtu povrchové energie metodou Fowkes

Tab. 11 – Hodnoty povrchových energií stanovené metodou Fowkes

materiál	γ_s [mJ.m ⁻²]	materiál	γ_s [mJ.m ⁻²]
1	(28,8 ± 0,6)	8	-
(1+2)	(10,9 ± 1,0)	(8+6)	(4,19 ± 0,08)
(1+4)	(18,9 ± 0,3)	9	(64 ± 7)
(1+6)	11,30	(9+2)	(10,8 ± 0,6)
5	(21,7 ± 0,3)	(9+4)	(33 ± 3)
(5+2)	(25 ± 3)	(9+6)	-
(5+4)	26,74	10	(50,4 ± 0,7)
(5+6)	11,28	(10+2)	(9,9 ± 1,1)
7	(24,17 ± 0,09)	(10+4)	(18 ± 3)
(7+2)	(12,6 ± 1,8)	(10+6)	13,49
(7+4)	(26,6 ± 1,8)		
(7+6)	(1,74 ± 0,12)		

Metoda van Oss

Na rozdíl od předchozích dvou metod není nutné počítat s průměrem výsledků dvojic kapalin, ale pracuje se s celou trojicí najednou. To sice zjednodušuje stanovení, avšak na druhou stranu se nedá určit odchylka jedné hodnoty. Na Obr. 18 lze vidět přímý příklad výpočtu (konkrétně pro 1 A+B+C) i se všemi dosazovanými hodnotami, v Tab. 12 konečné hodnoty povrchových energií zkoumaných materiálů zhodnocených touto metodou.

SECC

SURFACE ENERGY CALCULATION VAN OSS EQUATIONS

$$(1 + \cos \theta) \gamma_l = 2 \left[\sqrt{\gamma_l^D \gamma_s^D} + \sqrt{\gamma_l^+ \gamma_s^-} + \sqrt{\gamma_l^- \gamma_s^+} \right]$$

$$\gamma_s = \gamma_s^D + \gamma_s^{AB} \quad \gamma_s^{AB} = 2\sqrt{\gamma_l^+ \gamma_s^-}$$

Data			
Liquids			
	liquid 1	liquid 2	liquid 3
gamma l	72,80	47,80	63,90
gamma l (D)	21,80	31,40	34,40
gamma l (+)	65,00	1,58	16,90
gamma l (-)	10,00	42,50	12,90
Contact Angles			
	liquid 1	liquid 2	liquid 3
theta [°]	81,000000	56,200000	72,000000
theta [rad]	1,413717	0,980875	1,256637

Results					
Calculations					
	gamma s (D)	gamma s (AB)	gamma s (+)	gamma s (-)	gamma s
1.solution	29,91	2,36	0,43	3,22	32,27
2.solution	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Liquid 1: Water(20C)

Liquid 2: Ethylene glycol(20C)

Liquid 3: Glycerol(20C)

UPDATE DATA

CALCULATE

Obr. 18 – Prostředí programu SECC 1.1 při výpočtu povrchové energie metodou van Oss

Tab. 12 – Hodnoty povrchových energií stanovené metodou van Oss

materiál	γ_s [mJ.m ⁻²]	materiál	γ_s [mJ.m ⁻²]
1	31,43	8	-
(1+2)	9,15	(8+6)	4,74
(1+4)	15,41	9	49,63
(1+6)	-	(9+2)	9,67
5	25,50	(9+4)	25,34
(5+2)	-	(9+6)	-
(5+4)	-	10	-
(5+6)	-	(10+2)	7,74
7	27,91	(10+4)	14,54
(7+2)	9,08	(10+6)	-
(7+4)	22,54		
(7+6)	1,39		

Diskuze výsledků jednotlivých metod

V tabulkách 10 – 12 jsou kromě vypočtených hodnot i místa bez výsledku. To je způsobeno neschopností danou metodou zpracovat naměřené kontaktní úhly, čímž se dokazuje, že nelze každou metodu aplikovat na všechna měření.

Do shrnutí a posouzení výsledků byly kvůli relevantnosti zařazeny jen ty hodnoty, jejichž odchylka nečiní více než deset procent. Dochází tak sice k poměrně velké redukci dat, zato lze ale vnesené závěry pokládat za směrodatné.

Při seřazení povrchových energií vzorků vzestupně a porovnání jednotlivých metod mezi sebou lze konstatovat, že se relativně shodují. Nejnížší hodnoty mají vzorky s naneseným teflonovým sprejem, dále pak následují vzorky s impregnačním sprejem Protector, poté vzorky ošetřené hydrofobním přípravkem určeným primárně pro sprchové kouty a nakonec čisté vzorky. Toto tvrzení narušuje jen Wuova metoda, kde se výsledky řadí jinak a nepravidelně. To může být způsobeno i zkušenostmi při měření kontaktních úhlů nebo nevhodností aplikace této metody pro použité vzorky a kapaliny. Vůbec nejnížší povrchovou energii a tudíž schopnost odpuzovat kapaliny má polystyren s teflonovým sprejem, naopak nejvyšší povrchovou energii vykazuje hladké sklo, které, jak známo, je např. vodou smáčeno velice dobře.

5.3 Experimentální zjištění kritické vzdálenosti kapky a povrchu pro odskok kapky

Postupným prodlužováním dráhy pádu kapky byl nejprve stanoven interval délek, ve kterém bylo potřeba postupovat opatrněji a precizněji (zařízení pro měření je zobrazeno na Obr. 13). Interval byl určen na rozmezí mezi $d = 23$ mm a $d = 25$ mm. Do 23 mm kapka snadno přisedla, mezi těmito délkami kapka buď pružila, nebo se odrážela. Nadále bylo nutné postupovat po 0,5 mm. Problémem bylo, že posouvání dávkovače (injekční stříkačky) směrem nahoru (zvyšování délky letu kapky) probíhalo ručně, tudíž docházelo i k posuvu ve dvou dalších osách. Vzhledem k tomu, že povrch leptaného polystyrenu nemá pravidelnou strukturu, stačí i malá změna, aby se kapka při dopadu chovala jinak. Tento problém by se dal řešit jednoduchým mechanickým posuvem. Po opakovaných měřeních byla kritická vzdálenost kapky, při které kapka k povrchu nepřilne při prvním kontaktu, stanovena na 25 mm.

5.4 Stanovení kritické kinetické energie odskakující kapky

Kritická kinetická energie odskakující kapky je energie, které musí kapka dosáhnout, aby od povrchu odskočila. Vypočítá se z jednoduché základní rovnice:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (23)$$

kde m je hmotnost kapky a v její rychlost. Průměrná hmotnost kapky byla opakovaným vážením stanovena na 5,4 mg. K výpočtu rychlosti bylo nutné spočítat čas t , který se nedal měřit, jelikož nebyla nikdy v záběru vidět špička jehly a stopovat jej stopkami podle oka by bylo prakticky nemožné. Bylo tedy nutné využít následující sled rovnic:

$$s = \frac{1}{2}g \cdot t^2 \quad (24)$$

$$t = \sqrt{\frac{s \cdot 2}{g}} \quad (25)$$

$$v = g \cdot t \quad (26)$$

Za předpokladu, že je tíhové zrychlení g rovno $9,81 \text{ m.s}^{-2}$, vychází čas pádu kapky na 0,07 s. Při použití této zaokrouhlené hodnoty je rychlost padající kapky $0,69 \text{ m.s}^{-1}$. Z rovnice 23 tedy vychází kinetická energie kapky $1,29 \cdot 10^{-6} \text{ J}$.

Vezme-li se v úvahu převedení jednotek povrchového napětí a povrchové energie na základní jednotky (z $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ na $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ a z $\text{mJ}\cdot\text{m}^{-2}$ na $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$) a definuje-li se 1 J jako práce, kterou koná síla 1 N působící po dráze 1 m ve směru pohybu, je možné porovnat typy těchto energií mezi sebou, protože povrchové napětí a povrchová energie působí silou na jednotku délky kolmo a kinetická energie ve směru pohybu, tudíž také kolmo.

Povrchové napětí kapaliny (vody) bylo zadáno jako $\gamma_l = 72,8 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$, povrchová energie materiálu (leptaného polystyrenu) byla stanovena na $\gamma_s = 35,09 \cdot 10^{-3} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$, tudíž přibližně poloviční. Kinetická energie kapky vody vypočtená jako $E_k = 1,29 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ je tedy oproti své povrchové energii více než 56000x nižší.

ZÁVĚR

V teoretické části práce byly objasněny základní zákonitosti nutné k uvedení do problematiky povrchových energií. Dále jsou popsány způsoby měření a stanovování povrchového napětí a povrchové energie kapalin a tuhých látek – kapilární elevace, stalagmometrie, Wilhelmyho metoda, Du Nuöyho metoda, optická goniometrie, Washburnova metoda, metoda jednoho vlákna a trubičková metoda. Tato část rešerše je s ohledem na zadání práce obsahově podrobnější. Ve výčtu metod využitých k přepočtu kontaktního úhlu na povrchovou energii jsou popsány pouze metody aplikované v praktické části práce – Wuova metoda, Fowkesova metoda a metoda dle van Osse. Následující kapitola se zabývá superhydrofobními povrchy – jejich základní definicí, výskytem v přírodě a přípravě. Konec teorie je věnován postupům při statistickém zpracování dat.

V experimentální části byly na vzorcích metodou sedící kapky naměřeny smáčecí úhly. Na výsledcích, resp. odchylkách, je vidět, jak moc záleží na zkušenostech experimentátora a vlivech okolí (podmínkách měření). Navzdory nejvyšší stanovené chybě měření $\pm 10^\circ$ u vzorku matného skla ošetřeného teflonovým sprejem však byly z celého výběru vyloučeny pro odlehlost jen dva kontaktní úhly, a to dva nejnižší u vzorku hladkého skla s filmem impregnačního spreje s vodou. Nelze říci, že by se zjištěné hodnoty (jak kontaktních úhlů, tak povrchových energií) shodovaly s hodnotami tabelovanými, chyby však nejsou takového rozměru, aby se nedaly eliminovat dalšími měřeními s lépe vybranými kapalinami a aplikacemi pouze nejvhodnějších metod přepočtu kontaktního úhlu smáčení na povrchovou energii materiálu.

Metodou odskoku kapky pak byla zjištěna kritická vzdálenost a kritická kinetická energie kapky vody dopadající na vysoce hydrofobní leptaný polystyren. V metodě je jakožto ve způsobu charakterizace superhydrofobních povrchů spatřován jistý potenciál, tudíž by bylo vhodné provést další měření s jinými hydrofobními povrchy, aby bylo možné porovnat nejen závislost kinetické energie kapky na povrchovém napětí kapaliny a povrchové energii materiálu, ale i mezi materiály samotnými.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SMOLKA, P. *POVRCHOVÉ NAPĚTÍ, POVRCHOVÁ ENERGIE: Měření a vyhodnocování kontaktních úhlů smáčení*. Zlín, 2015 [cit. 2015-05-25].
- [2] KWOK, D.Y. a A.W. NEUMANN. Contact angle measurement and contact angle interpretation. *Advances in Colloid and Interface Science* [online]. 1999, **81**(3): 167-249 [cit. 2015-05-25]. DOI: 10.1016/S0001-8686(98)00087-6. ISSN 00018686. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0001868698000876>
- [3] MALIJEVSKÝ, A., J. P. NOVÁK, S. LABÍK a I. MALIJEVSKÁ. *Breviář fyzikální chemie* [online]. 2001 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/fch/cz/pomucky/BREVALL.pdf>
- [4] BARTOVSKÁ, L. a M. ŠIŠKOVÁ. Povrchové napětí kapalin. *Co je co v povrchové a koloidní chemii: výkladový slovník* [online]. 2005 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/povrchove_napeti_kapalin.html
- [5] BARTOVSKÁ, L. a M. ŠIŠKOVÁ. Hystereze úhlu smáčení. *Co je co v povrchové a koloidní chemii: výkladový slovník* [online]. 2005 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/hystereze_uhlu_smaceni.html
- [6] HOFMANN, A. The scientific background to tensiometric measurements. *LabPlus international* [online]. 2003 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: [http://www.infoserv.de/hosting/lauda/website_fr.nsf/urlnames/fachaufsaetze_messgeraete2/\\$file/LABPLUS-06-03.pdf](http://www.infoserv.de/hosting/lauda/website_fr.nsf/urlnames/fachaufsaetze_messgeraete2/$file/LABPLUS-06-03.pdf)
- [7] BARTOVSKÁ, L. a M. ŠIŠKOVÁ. Metoda vyvažování Wilhelmyho destičky. *Co je co v povrchové a koloidní chemii* [online]. 2005 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/metody.vyvazovani_desky.html
- [8] Figure 29 The Wilhelmy plate method illustrated by a schematic plot of the recorded force F versus immersion depth h during a test cycle when a wood veneer is immersed in and withdrawn from a liquid. F_A and F_R : force obtained by linear regression of advancing and receding curves, respectively. In: Collection Mémoires et thèses électroniques [online]. 2005 Université Laval [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/23177/ch06.html>
- [9] NOUY, P. L. du. AN INTERFACIAL TENSIO METER FOR UNIVERSAL USE. *The Journal of General Physiology*. 1925, **7**(5): 625-631. DOI: 10.1085/jgp.7.5.625. Dostupné také z:

- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2140742/pdf/625.pdf>
- [10] Du Noüy ring. *Biolin Scientific* [online]. 2014 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.biolinscientific.com/attention/applications/?card=AA17>
- [11] BARTOVSKÁ, L. a M. ŠIŠKOVÁ. Měření úhlu smáčení. *Co je co v povrchové a koloidní chemii* [online]. 2005 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_uhlu_smaceni.html
- [12] KAPLANOVÁ, M. *Povrchové napětí kapalin a pevných látek III*. Brno, 2007 [cit. 2015-05-25]. Dostupné také z: http://www.primat.cz/moje-materialy/detail/188669?seoId=upce-fcht&_fid=r11k#notify
- [13] Application Report: Wetting of fibers. *Advancing your Surface Science* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.kruss.de/fileadmin/user_upload/website/literature/kruss-ar206-en.pdf
- [14] URBAN, P. a P. SMOLKA. *SECC 1.1* [software]. 2005 [cit. 2015-05-25].
- [15] KRÁSNÝ, I. *Měření kontaktních úhlů smáčení a určování povrchové energie plastů*. Zlín, 2010. Dostupné také z: <https://digilib.k.utb.cz/handle/10563/14169>. Diplomová práce.
- [16] PAVLŮ, B. *Studium volné povrchové energie polymerních tenkých vrstev připravených metodou PECVD*. Brno, 2014. Dostupné také z: http://is.muni.cz/th/379966/prif_b/bakalarka_spojena_verze_7.1_.pdf. Bakalářská práce.
- [17] RULISON, CH. KRÜSS. *So You Want to Measure Surface Energy?* 2015 [cit. 2015-05-25].
- [18] MA, Minglin a Randal M. HILL. Superhydrophobic surfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* [online]. 2006, **11**(4): 193-202 [cit. 2015-03-16]. DOI: 10.1016/j.cocis.2006.06.002. ISSN 13590294. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359029406000379>
- [19] XIU, Yonghao, Lingbo ZHU, Dennis W. HESS a C. P. WONG. Hierarchical Silicon Etched Structures for Controlled Hydrophobicity/Superhydrophobicity. *Nano Letters* [online]. 2007, **7**(11): 3388-3393 [cit. 2015-03-16]. DOI: 10.1021/nl0717457. ISSN 1530-6984. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nl0717457>

- [20] BHUSHAN, B., Y. Ch. JUNG. Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction: Surfaces with Roughness-Induced Superhydrophobicity, Self-Cleaning, and Low Adhesion. *Progress in Materials Science* [online]. 2011, **56**(1): 1-32 [cit. 2015-05-25]. DOI: 10.1002/9781118652336.ch1. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642510000289>
- [21] MAMOU-MANI, A. The Lotus Effect. *WeWantToLearn.net* [online]. 2011 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://wewanttolearn.wordpress.com/2011/09/21/the-lotus-effect/>
- [22] PONÍŽIL, P. *Odhad parametrů z výběru*. Zlín, 2013. Dostupné také z: <http://www.primat.cz/utb-ft/predmety/zpracovani-experimentu/odhad-parametru-z-vyberu/291895#notify>
- [23] Vylučování extrémních hodnot souboru. In: *Statistika a VÝPOČETNÍ TECHNIKA* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn2/extremy.htm#Grubbs>
- [24] DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití* [online]. Praha 2006: VŠCHT Praha, s. 85. ISBN 80-7080-617-6. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/085.html
- [25] STOKLASA, K. *MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE II: POLYMERNÍ MATERIÁLY*. Zlín, s. 31-32.
- [26] STOKLASA, K. *MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE II: POLYMERNÍ MATERIÁLY*. Zlín, s. 9-11.
- [27] MĚŘÍNSKÁ, D. *Polymery - stručné základy vlastností, výroby a zpracování*. Zlín, 261 s.
- [28] STOKLASA, K. *MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE II: POLYMERNÍ MATERIÁLY*. Zlín, s. 17-18.
- [29] ROŠEK, R. *TECHNOLOGIE VÝROBY SKLA I* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://ads.fmk.utb.cz/Contexts/atelier/Documents/Technologie%20v%C3%BDroby%20skla%201.pdf>
- [30] JIRÁSEK, J.a M. VAVRO. SKLO. In: *Nerostné suroviny a jejich využití* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/sklo.html>.

- [31] SÁZOVSKÝ, M. Vlastnosti skla. In: *Sklo ve stavebnictví*, 2015. [cit. 2015-05-25].
Dostupné z: <http://www.sklovestavebnictvi.cz/vlastnosti-skla/>.
- [32] Hustota destilované vody: Závislost hustoty destilované vody na teplotě.
ConVERTER [online]. 2002 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z:
<http://www.converter.cz/tabulky/hustota-vody.htm>
- [33] SIGMA-ALDRICH. *BEZPEČNOSTNÍ LIST: Ethylenglykol*. Praha, 2015.
- [34] SIGMA-ALDRICH. *BEZPEČNOSTNÍ LIST: Glycerol*. Praha, 2015.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

γ	Povrchové napětí.
γ	Povrchová energie.
γ_{lg}	Mezifázové napětí kapalina-plyn.
γ_{sg}	Mezifázové napětí pevná látka-plyn.
γ_{sl}	Mezifázové napětí pevná látka-kapalina.
θ	Kontaktní úhel smáčení.
θ_Y	Younglv kontaktní úhel.
θ_A	Postupující kontaktní úhel.
θ_R	Ustupující kontaktní úhel.
H	Hystereze kontaktního úhlu.
G	Tíha.
F	Síla.
m	Hmotnost.
g	Tíhové zrychlení.
ρ	Hustota.
V	Objem.
π	Ludolfovo číslo pí.
r	Poloměr.
h	Výška.
n	Počet hodnot.
L	Délka Wilhelmyho destičky.
r_p	Poloměr prstence
Φ	Korekce na hmotnost kapaliny ulpělé na prstenci po odtržení.
c	Kapilární konstanta.

η	Dynamická viskozita.
γ_l^D	Disperzní složka povrchového napětí kapaliny.
γ_s^D	Disperzní složka povrchového napětí pevné látky.
γ_l^P	Polární složka povrchového napětí kapaliny.
γ_s^P	Polární složka povrchového napětí pevné látky.
γ_l^+	Kyselá (elektron-akceptorová) složka povrchového napětí kapaliny.
γ_l^-	Zásaditá (elektron-donorová) složka povrchového napětí kapaliny.
γ_s^+	Kyselá (elektron-akceptorová) složka povrchového napětí pevné látky.
γ_s^-	Zásaditá (elektron-donorová) složka povrchového napětí pevné látky.
γ_s^{AB}	Acidobazická složka povrchové energie pevné látky.
CVD	Chemická depozice z plynné fáze (z chemical vapor deposition).
$\hat{\mu}$	Aritmetický průměr výběru.
S	Směrodatná odchylka.
T	Testovací kritérium Grubbsova testu.
$T_{krit,\alpha}$	Kritická hodnota testovacího kritéria Grubbsova testu v požadované hladině spolehlivosti.
R	Rozpětí dat.
Q_{min}	Testovací kritérium Q-testu pro minimální hodnotu.
Q_{max}	Testovací kritérium Q-testu pro maximální hodnotu.
$Q_{krit,\alpha}$	Kritická hodnota testovacího kritéria Q-testu v požadované hladině spolehlivosti.
k	Studentův koeficient.
$\widehat{\sigma}_{\hat{\mu}}$	Směrodatná odchylka aritmetického průměru.
$\hat{\sigma}$	Směrodatná odchylka výběru.
PMMA	Polymethylmethakrylát.
LDPE	Nízkohustotní polyethylen.
PS	Polystyren

UV	Ultrafialové (z ultraviolet).
T	Termodynamická teplota.
T_t	Teplota tání.
T_v	Teplota varu.
ρ	Rezistivita.
d	Dráha.
E_k	Kinetická energie.
v	Rychlost.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Schéma systému kontaktního úhlu sedící kapky	11
Obr. 2 – a) kapilární elevace, b) kapilární deprese	13
Obr. 3 – Hystereze úhlu smáčení [5].....	13
Obr. 4 – a) postupující úhel, b) ustupující úhel [8]	15
Obr. 5 – Závislost velikosti síly na čase s průběhem ponoření a vynoření [1].....	16
Obr. 6 – Washburnova metoda	17
Obr. 7 – a) postupující, b) ustupující úhel na jednom vlákně [13]	18
Obr. 8 – Schéma „straw metody“ [13]	18
Obr. 9 – a), b) snímky výstupků lotosového listu pořízené elektronovou mikroskopií,	21
Obr. 10 – 1: ruční lis, 2: hydraulický lis.....	29
Obr. 11 – Přístroj na čištění vody.....	29
Obr. 12 – 1: kamera moticam 2300, 2: posuvný stolek na vzorek, 3: mikropipeta,	30
Obr. 13 – 1: vysokorychlostní kamera Basler, 2: stínění, 3: posuvný stolek se vzorkem,	30
Obr. 14 – Prostředí programu Motic Images Plus 2.0.....	31
Obr. 15 – Prostředí programu FTA 32 Video 2.0 při hodnocení (5+6)A_018.....	32
Obr. 16 – Prostředí programu SECC 1.1 při výpočtu povrchové energie metodou Wu.....	36
Obr. 17 – Prostředí programu SECC 1.1 při výpočtu povrchové energie metodou Fowkes.....	37
Obr. 18 – Prostředí programu SECC 1.1 při výpočtu povrchové energie metodou van Oss.....	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Typické úpravy pro přípravu mikro- a nanostrukturovaných povrchů [20]	22
Tab. 2 – Kódování materiálů a kapalin pro zjednodušení práce.....	26
Tab. 3 – Shrnutí některých základních vlastností kapalin [63,64,65]	28
Tab. 4 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série PMMA.....	33
Tab. 5 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série LDPE	33
Tab. 6 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série PS	34
Tab. 7 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série leptaného PS	34
Tab. 8 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série hladkého skla	34
Tab. 9 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů série matného skla	34
Tab. 10 – Hodnoty povrchových energií stanovené metodou Wu.....	37
Tab. 11 – Hodnoty povrchových energií stanovené metodou Fowkes	38
Tab. 12 – Hodnoty povrchových energií stanovené metodou van Oss	39

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Naměřené a statisticky zpracované hodnoty smáčecích úhlů metodou sedící kapky

Příloha P II: Povrchové energie stanovené metodou Wu

Příloha P III: Povrchové energie stanovené metodou Fowkes

Příloha P IV: Povrchové energie stanovené metodou van Oss

**PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÉ A STATISTICKY ZPRACOVANÉ
HODNOTY SMÁČECÍCH ÚHLŮ METODOU SEDÍCÍ KAPKY**

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
1A_030	73,771	1B_033	51,902	1C_024	58,344
1A_032	77,092	1B_030	53,055	1C_035	59,615
1A_029	77,982	1B_036	53,879	1C_030	62,395
1A_038	78,124	1B_035	53,903	1C_031	65,752
1A_027	79,468	1B_032	54,177	1C_016	71,543
1A_036	79,525	1B_031	54,546	1C_019	71,745
1A_026	79,685	1B_042	54,612	1C_027	72,017
1A_024	79,704	1B_043	54,645	1C_021	72,440
1A_031	79,915	1B_034	54,853	1C_029	72,712
1A_034	80,204	1B_028	55,147	1C_032	72,719
1A_033	81,140	1B_040	55,849	1C_033	73,423
1A_028	81,404	1B_024	57,055	1C_018	73,919
1A_035	81,863	1B_025	57,367	1C_023	74,211
1A_037	81,976	1B_026	57,404	1C_020	74,608
1A_025	82,152	1B_029	57,549	1C_034	74,842
1A_039	82,610	1B_038	57,627	1C_017	74,907
1A_042	84,097	1B_039	57,876	1C_025	75,000
1A_041	85,961	1B_027	57,917	1C_028	75,562
1A_043	87,631	1B_041	61,733	1C_022	77,845
1A_040	87,775	1B_037	62,023	1C_026	82,813
aritmetický průměr	81,104	aritmetický průměr	56,156	aritmetický průměr	71,821
sm. odchylka	3,349	sm. odchylka	2,564	sm. odchylka	5,825
sm. odchylka výběru	3,436	sm. odchylka výběru	2,631	sm. odchylka výběru	5,977
T_{\min}	2,190	T_{\min}	1,659	T_{\min}	2,313
T_{\max}	1,992	T_{\max}	2,288	T_{\max}	1,887
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	14,004	R	10,121	R	24,469
Q_{\min}	0,237	Q_{\min}	0,114	Q_{\min}	0,052
Q_{\max}	0,010	Q_{\max}	0,029	Q_{\max}	0,203
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,768	sm. odchylka a. průměru	0,588	sm. odchylka a. průměru	1,336
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	2,186	chyba měření	1,673	chyba měření	3,802
1A	(81 ± 3)	1B	(56,2 ± 1,7)	1C	(72 ± 4)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(1+2)A_040	102,070	(1+2)B_028	90,521	(1+2)C_020	100,303
(1+2)A_032	102,293	(1+2)B_026	90,550	(1+2)C_032	100,601
(1+2)A_026	102,609	(1+2)B_023	91,038	(1+2)C_042	101,190
(1+2)A_037	102,792	(1+2)B_007	91,876	(1+2)C_036	102,833
(1+2)A_033	103,232	(1+2)B_034	91,926	(1+2)C_029	102,952
(1+2)A_034	103,341	(1+2)B_041	91,965	(1+2)C_023	103,118
(1+2)A_041	103,809	(1+2)B_004	91,981	(1+2)C_041	103,764
(1+2)A_028	104,047	(1+2)B_040	92,462	(1+2)C_038	103,778
(1+2)A_008	104,188	(1+2)B_009	93,680	(1+2)C_027	103,796
(1+2)A_027	104,821	(1+2)B_005	93,796	(1+2)C_025	104,100
(1+2)A_024	105,382	(1+2)B_024	94,235	(1+2)C_028	104,410
(1+2)A_011	107,252	(1+2)B_025	94,906	(1+2)C_030	104,413
(1+2)A_005	107,743	(1+2)B_027	95,456	(1+2)C_026	104,919
(1+2)A_019	108,866	(1+2)B_043	95,548	(1+2)C_022	105,110
(1+2)A_016	108,871	(1+2)B_011	95,701	(1+2)C_043	105,144
(1+2)A_017	109,505	(1+2)B_014	95,976	(1+2)C_033	105,966
(1+2)A_018	110,271	(1+2)B_016	95,993	(1+2)C_004	106,007
(1+2)A_006	110,563	(1+2)B_015	96,042	(1+2)C_039	106,123
(1+2)A_013	110,571	(1+2)B_006	96,094	(1+2)C_035	106,185
(1+2)A_014	112,239	(1+2)B_013	96,101	(1+2)C_034	106,839
aritmetický průměr	106,223	aritmetický průměr	93,792	aritmetický průměr	104,078
sm. odchylka	3,245	sm. odchylka	2,007	sm. odchylka	1,808
sm. odchylka výběru	3,329	sm. odchylka výběru	2,059	sm. odchylka výběru	1,855
T_{\min}	1,280	T_{\min}	1,630	T_{\min}	2,088
T_{\max}	1,854	T_{\max}	1,150	T_{\max}	1,528
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	10,169	R	5,580	R	6,536
Q_{\min}	0,022	Q_{\min}	0,005	Q_{\min}	0,046
Q_{\max}	0,164	Q_{\max}	0,001	Q_{\max}	0,100
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,744	sm. odchylka a. průměru	0,461	sm. odchylka a. průměru	0,415
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	2,118	chyba měření	1,310	chyba měření	1,180
(1+2)A	(106 ± 3)	(1+2)B	(93,8 ± 1,4)	(1+2)C	(104,1 ± 1,2)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(1+4)A_008	86,955	(1+4)B_009	71,501	(1+4)C_008	85,384
(1+4)A_003	87,960	(1+4)B_011	72,888	(1+4)C_007	86,252
(1+4)A_002	88,157	(1+4)B_007	73,562	(1+4)C_006	87,339
(1+4)A_005	88,828	(1+4)B_012	74,107	(1+4)C_002	88,002
(1+4)A_009	89,189	(1+4)B_005	74,311	(1+4)C_005	88,017
(1+4)A_004	89,225	(1+4)B_020	74,411	(1+4)C_003	88,554
(1+4)A_007	89,588	(1+4)B_014	74,604	(1+4)C_020	88,811
(1+4)A_018	89,625	(1+4)B_010	74,662	(1+4)C_004	89,259
(1+4)A_020	89,839	(1+4)B_015	74,871	(1+4)C_018	89,490
(1+4)A_001	89,882	(1+4)B_006	74,949	(1+4)C_019	89,917
(1+4)A_019	90,366	(1+4)B_008	75,096	(1+4)C_009	90,500
(1+4)A_010	90,757	(1+4)B_003	75,109	(1+4)C_017	90,830
(1+4)A_006	91,127	(1+4)B_013	75,255	(1+4)C_015	91,633
(1+4)A_012	91,148	(1+4)B_019	75,590	(1+4)C_001	92,057
(1+4)A_015	91,356	(1+4)B_018	76,084	(1+4)C_012	92,087
(1+4)A_017	91,889	(1+4)B_001	76,217	(1+4)C_016	92,774
(1+4)A_011	91,928	(1+4)B_016	76,502	(1+4)C_014	95,062
(1+4)A_013	91,953	(1+4)B_017	77,084	(1+4)C_010	96,534
(1+4)A_016	92,211	(1+4)B_004	77,100	(1+4)C_011	96,636
(1+4)A_014	93,391	(1+4)B_002	77,285	(1+4)C_013	98,294
aritmetický průměr	90,269	aritmetický průměr	75,059	aritmetický průměr	90,872
sm. odchylka	1,597	sm. odchylka	1,413	sm. odchylka	3,468
sm. odchylka výběru	1,638	sm. odchylka výběru	1,450	sm. odchylka výběru	3,558
T_{\min}	2,075	T_{\min}	2,518	T_{\min}	1,582
T_{\max}	1,955	T_{\max}	1,575	T_{\max}	2,140
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	6,436	R	5,784	R	12,910
Q_{\min}	0,156	Q_{\min}	0,240	Q_{\min}	0,067
Q_{\max}	0,183	Q_{\max}	0,032	Q_{\max}	0,128
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,366	sm. odchylka a. průměru	0,324	sm. odchylka a. průměru	0,796
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	1,042	chyba měření	0,922	chyba měření	2,263
(1+4)A	$(90,3 \pm 1,1)$	(1+4)B	$(75,1 \pm 1,0)$	(1+4)C	(91 ± 3)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(1+6)A_003	114,364	(1+6)B_005	85,930	(1+6)C_014	102,733
(1+6)A_010	118,208	(1+6)B_003	92,960	(1+6)C_007	103,123
(1+6)A_001	118,478	(1+6)B_004	93,041	(1+6)C_013	104,170
(1+6)A_005	121,777	(1+6)B_008	93,455	(1+6)C_012	107,180
(1+6)A_014	122,744	(1+6)B_002	93,476	(1+6)C_011	108,022
(1+6)A_002	122,902	(1+6)B_001	93,708	(1+6)C_008	109,714
(1+6)A_013	123,059	(1+6)B_006	94,087	(1+6)C_015	110,936
(1+6)A_006	123,152	(1+6)B_015	94,166	(1+6)C_009	111,262
(1+6)A_008	123,256	(1+6)B_007	95,345	(1+6)C_010	111,417
(1+6)A_004	123,569	(1+6)B_013	96,176	(1+6)C_006	111,994
(1+6)A_020	123,623	(1+6)B_010	96,428	(1+6)C_005	113,304
(1+6)A_009	124,955	(1+6)B_009	96,716	(1+6)C_003	113,403
(1+6)A_007	125,010	(1+6)B_014	97,823	(1+6)C_001	114,231
(1+6)A_012	125,467	(1+6)B_011	98,762	(1+6)C_017	114,355
(1+6)A_017	125,514	(1+6)B_012	98,769	(1+6)C_004	115,158
(1+6)A_019	125,690	(1+6)B_017	98,886	(1+6)C_016	116,066
(1+6)A_011	126,563	(1+6)B_016	99,120	(1+6)C_002	116,151
(1+6)A_016	127,452	(1+6)B_018	100,363	(1+6)C_019	116,664
(1+6)A_015	128,312	(1+6)B_020	101,129	(1+6)C_020	118,924
(1+6)A_018	132,046	(1+6)B_019	102,936	(1+6)C_018	122,931
aritmetický průměr	123,807	aritmetický průměr	96,164	aritmetický průměr	112,087
sm. odchylka	3,724	sm. odchylka	3,710	sm. odchylka	5,095
sm. odchylka výběru	3,821	sm. odchylka výběru	3,806	sm. odchylka výběru	5,228
T_{\min}	2,536	T_{\min}	2,758	T_{\min}	1,836
T_{\max}	2,212	T_{\max}	1,825	T_{\max}	2,128
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	17,682	R	17,006	R	20,198
Q_{\min}	0,217	Q_{\min}	0,413	Q_{\min}	0,019
Q_{\max}	0,211	Q_{\max}	0,106	Q_{\max}	0,198
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,854	sm. odchylka a. průměru	0,851	sm. odchylka a. průměru	1,169
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	2,431	chyba měření	2,421	chyba měření	3,326
(1+6)A	(124 ± 3)	(1+6)B	(96 ± 3)	(1+6)C	(112 ± 4)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
5A_020	89,937	5B_016	66,456	5C_006	81,401
5A_007	90,030	5B_005	67,534	5C_007	82,758
5A_005	90,314	5B_004	68,210	5C_013	82,817
5A_013	90,727	5B_001	68,243	5C_016	82,866
5A_009	91,307	5B_020	69,028	5C_019	83,134
5A_003	91,503	5B_015	69,585	5C_009	83,137
5A_015	91,637	5B_003	69,663	5C_001	83,184
5A_001	92,293	5B_002	69,847	5C_003	83,430
5A_016	92,588	5B_013	69,978	5C_012	83,464
5A_010	93,076	5B_012	69,991	5C_018	83,505
5A_017	93,591	5B_019	70,796	5C_008	83,617
5A_019	93,636	5B_006	71,148	5C_011	83,652
5A_004	94,255	5B_018	71,851	5C_020	84,076
5A_008	94,307	5B_007	71,932	5C_010	84,155
5A_018	94,643	5B_017	72,266	5C_004	84,219
5A_002	95,149	5B_014	72,363	5C_002	84,277
5A_006	95,937	5B_011	72,446	5C_005	84,364
5A_014	96,056	5B_008	73,096	5C_017	84,365
5A_011	97,596	5B_009	73,450	5C_014	84,778
5A_012	98,309	5B_010	75,191	5C_015	85,401
aritmetický průměr	93,345	aritmetický průměr	70,654	aritmetický průměr	83,630
sm. odchylka	2,392	sm. odchylka	2,143	sm. odchylka	0,852
sm. odchylka výběru	2,455	sm. odchylka výběru	2,199	sm. odchylka výběru	0,874
T_{\min}	1,424	T_{\min}	1,958	T_{\min}	2,616
T_{\max}	2,075	T_{\max}	2,117	T_{\max}	2,079
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	8,372	R	8,735	R	4,000
Q_{\min}	0,011	Q_{\min}	0,123	Q_{\min}	0,339
Q_{\max}	0,085	Q_{\max}	0,199	Q_{\max}	0,156
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,549	sm. odchylka a. průměru	0,492	sm. odchylka a. průměru	0,195
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	1,562	chyba měření	1,399	chyba měření	0,556
5A	$(93,3 \pm 1,6)$	5B	$(70,7 \pm 1,4)$	5C	$(83,6 \pm 0,6)$

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(5+2)A_003	95,822	(5+2)B_002	62,729	(5+2)C_002	81,516
(5+2)A_004	95,945	(5+2)B_005	64,764	(5+2)C_005	82,442
(5+2)A_009	99,544	(5+2)B_001	68,444	(5+2)C_001	83,078
(5+2)A_001	99,892	(5+2)B_013	69,962	(5+2)C_016	83,455
(5+2)A_006	100,009	(5+2)B_003	70,468	(5+2)C_006	83,543
(5+2)A_008	100,609	(5+2)B_016	71,252	(5+2)C_014	83,564
(5+2)A_011	100,662	(5+2)B_004	72,287	(5+2)C_015	84,291
(5+2)A_007	101,247	(5+2)B_017	72,401	(5+2)C_013	84,859
(5+2)A_015	101,479	(5+2)B_014	73,353	(5+2)C_007	85,118
(5+2)A_018	101,604	(5+2)B_008	73,894	(5+2)C_017	85,204
(5+2)A_019	101,692	(5+2)B_009	73,903	(5+2)C_011	85,925
(5+2)A_010	102,033	(5+2)B_010	74,095	(5+2)C_008	86,014
(5+2)A_014	102,052	(5+2)B_018	74,154	(5+2)C_020	86,193
(5+2)A_012	102,295	(5+2)B_019	74,413	(5+2)C_009	86,218
(5+2)A_016	102,369	(5+2)B_012	74,780	(5+2)C_019	86,374
(5+2)A_005	102,895	(5+2)B_011	74,802	(5+2)C_010	86,507
(5+2)A_013	103,187	(5+2)B_020	75,585	(5+2)C_003	86,935
(5+2)A_017	103,244	(5+2)B_006	75,673	(5+2)C_012	87,518
(5+2)A_020	103,575	(5+2)B_007	76,221	(5+2)C_018	87,707
(5+2)A_002	104,074	(5+2)B_015	77,842	(5+2)C_004	87,987
aritmetický průměr	101,211	aritmetický průměr	72,551	aritmetický průměr	85,222
sm. odchylka	2,150	sm. odchylka	3,674	sm. odchylka	1,786
sm. odchylka výběru	2,205	sm. odchylka výběru	3,769	sm. odchylka výběru	1,833
T_{\min}	2,507	T_{\min}	2,674	T_{\min}	2,075
T_{\max}	1,332	T_{\max}	1,440	T_{\max}	1,548
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	8,252	R	15,113	R	6,471
Q_{\min}	0,015	Q_{\min}	0,135	Q_{\min}	0,143
Q_{\max}	0,060	Q_{\max}	0,107	Q_{\max}	0,043
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,493	sm. odchylka a. průměru	0,843	sm. odchylka a. průměru	0,410
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	1,403	chyba měření	2,398	chyba měření	1,166
(5+2)A	(101,2 ± 1,5)	(5+2)B	(73 ± 3)	(5+2)C	(85,2 ± 1,2)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(5+4)A_011	88,637	(5+4)B_014	60,099	(5+4)C_019	95,771
(5+4)A_008	90,220	(5+4)B_012	60,572	(5+4)C_020	97,319
(5+4)A_007	91,010	(5+4)B_017	61,369	(5+4)C_012	99,532
(5+4)A_013	91,549	(5+4)B_016	62,120	(5+4)C_017	99,541
(5+4)A_015	91,708	(5+4)B_004	62,171	(5+4)C_018	99,727
(5+4)A_017	91,849	(5+4)B_019	62,654	(5+4)C_015	99,749
(5+4)A_009	92,024	(5+4)B_015	63,019	(5+4)C_016	99,763
(5+4)A_002	92,132	(5+4)B_011	63,685	(5+4)C_014	100,408
(5+4)A_004	92,292	(5+4)B_020	63,728	(5+4)C_013	101,157
(5+4)A_006	92,386	(5+4)B_003	65,077	(5+4)C_009	103,348
(5+4)A_012	92,570	(5+4)B_013	65,096	(5+4)C_010	103,823
(5+4)A_018	93,079	(5+4)B_009	65,427	(5+4)C_001	103,987
(5+4)A_005	93,254	(5+4)B_007	66,111	(5+4)C_011	104,971
(5+4)A_014	93,521	(5+4)B_010	66,635	(5+4)C_005	105,357
(5+4)A_003	93,540	(5+4)B_005	66,841	(5+4)C_004	106,277
(5+4)A_010	93,595	(5+4)B_001	66,969	(5+4)C_003	106,296
(5+4)A_001	94,279	(5+4)B_002	67,205	(5+4)C_008	106,835
(5+4)A_016	94,907	(5+4)B_006	67,431	(5+4)C_002	107,742
(5+4)A_019	95,041	(5+4)B_018	67,444	(5+4)C_007	108,058
(5+4)A_020	95,541	(5+4)B_008	67,983	(5+4)C_006	108,162
aritmetický průměr	92,657	aritmetický průměr	64,582	aritmetický průměr	102,891
sm. odchylka	1,630	sm. odchylka	2,443	sm. odchylka	3,691
sm. odchylka výběru	1,672	sm. odchylka výběru	2,507	sm. odchylka výběru	3,786
T_{\min}	2,467	T_{\min}	1,835	T_{\min}	1,929
T_{\max}	1,770	T_{\max}	1,392	T_{\max}	1,428
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	6,904	R	7,884	R	12,391
Q_{\min}	0,229	Q_{\min}	0,060	Q_{\min}	0,125
Q_{\max}	0,072	Q_{\max}	0,068	Q_{\max}	0,008
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,374	sm. odchylka a. průměru	0,561	sm. odchylka a. průměru	0,847
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	1,064	chyba měření	1,595	chyba měření	2,409
(5+4)A	$(92,7 \pm 1,1)$	(5+4)B	$(64,6 \pm 1,6)$	(5+4)C	(103 ± 3)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(5+6)A_006	110,448	(5+6)B_020	83,059	(5+6)C_036	100,896
(5+6)A_007	111,589	(5+6)B_019	86,325	(5+6)C_033	101,934
(5+6)A_005	111,715	(5+6)B_021	87,432	(5+6)C_026	102,012
(5+6)A_009	112,352	(5+6)B_012	90,375	(5+6)C_021	102,235
(5+6)A_003	112,377	(5+6)B_014	91,081	(5+6)C_040	102,750
(5+6)A_002	113,338	(5+6)B_016	91,619	(5+6)C_034	103,339
(5+6)A_008	113,685	(5+6)B_013	92,295	(5+6)C_039	103,922
(5+6)A_001	113,806	(5+6)B_015	92,378	(5+6)C_025	104,073
(5+6)A_004	113,851	(5+6)B_009	93,661	(5+6)C_024	104,717
(5+6)A_010	119,969	(5+6)B_017	93,758	(5+6)C_022	105,156
(5+6)A_011	122,724	(5+6)B_010	94,813	(5+6)C_030	106,269
(5+6)A_012	126,897	(5+6)B_001	95,149	(5+6)C_023	106,910
(5+6)A_013	127,503	(5+6)B_011	96,669	(5+6)C_035	107,527
(5+6)A_014	129,176	(5+6)B_003	101,996	(5+6)C_032	107,962
(5+6)A_015	129,915	(5+6)B_002	103,357	(5+6)C_027	108,082
(5+6)A_020	130,766	(5+6)B_005	103,460	(5+6)C_031	108,600
(5+6)A_019	131,845	(5+6)B_006	103,696	(5+6)C_037	108,959
(5+6)A_017	132,813	(5+6)B_004	104,220	(5+6)C_038	109,040
(5+6)A_016	133,218	(5+6)B_008	104,532	(5+6)C_029	109,522
(5+6)A_018	135,888	(5+6)B_007	106,230	(5+6)C_028	111,025
aritmetický průměr	121,694	aritmetický průměr	95,805	aritmetický průměr	105,747
sm. odchylka	8,921	sm. odchylka	6,703	sm. odchylka	2,943
sm. odchylka výběru	9,153	sm. odchylka výběru	6,877	sm. odchylka výběru	3,020
T_{\min}	1,261	T_{\min}	1,902	T_{\min}	1,648
T_{\max}	1,591	T_{\max}	1,555	T_{\max}	1,794
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	25,440	R	23,171	R	10,129
Q_{\min}	0,045	Q_{\min}	0,141	Q_{\min}	0,102
Q_{\max}	0,105	Q_{\max}	0,073	Q_{\max}	0,148
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	2,047	sm. odchylka a. průměru	1,538	sm. odchylka a. průměru	0,675
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	5,822	chyba měření	4,375	chyba měření	1,921
(5+6)A	(122 ± 6)	(5+6)B	(96 ± 5)	(5+6)C	$(105,7 \pm 2,0)$

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
7A_020	76,948	7B_014	57,647	7C_014	68,607
7A_018	77,475	7B_013	58,366	7C_004	70,891
7A_017	77,853	7B_015	58,498	7C_005	71,464
7A_019	78,284	7B_016	59,129	7C_003	72,940
7A_015	78,412	7B_012	59,394	7C_002	73,269
7A_016	79,918	7B_018	60,549	7C_007	73,289
7A_001	80,018	7B_017	62,545	7C_010	74,243
7A_006	80,668	7B_019	62,680	7C_001	74,424
7A_007	82,887	7B_004	64,432	7C_006	75,194
7A_005	83,209	7B_005	65,638	7C_009	75,566
7A_008	83,587	7B_020	65,657	7C_008	76,094
7A_014	86,124	7B_003	65,883	7C_018	78,048
7A_012	87,343	7B_006	66,117	7C_012	80,366
7A_009	87,470	7B_009	66,526	7C_011	80,930
7A_011	87,550	7B_007	67,774	7C_020	80,956
7A_004	88,229	7B_010	67,940	7C_019	81,408
7A_002	89,191	7B_011	69,167	7C_017	81,919
7A_003	89,298	7B_002	69,830	7C_016	82,431
7A_013	90,377	7B_008	70,215	7C_013	85,667
7A_010	91,100	7B_001	73,505	7C_015	86,506
aritmetický průměr	83,797	aritmetický průměr	64,575	aritmetický průměr	77,211
sm. odchylka	4,707	sm. odchylka	4,449	sm. odchylka	4,920
sm. odchylka výběru	4,829	sm. odchylka výběru	4,565	sm. odchylka výběru	5,048
T_{\min}	1,455	T_{\min}	1,557	T_{\min}	1,749
T_{\max}	1,551	T_{\max}	2,007	T_{\max}	1,889
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	14,152	R	15,858	R	17,899
Q_{\min}	0,037	Q_{\min}	0,045	Q_{\min}	0,128
Q_{\max}	0,051	Q_{\max}	0,207	Q_{\max}	0,047
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	1,080	sm. odchylka a. průměru	1,021	sm. odchylka a. průměru	1,129
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	3,072	chyba měření	2,904	chyba měření	3,211
7A	(84 ± 4)	7B	(65 ± 3)	7C	(77 ± 4)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(7+2)A_018	98,384	(7+2)B_004	87,071	(7+2)C_012	88,623
(7+2)A_012	99,419	(7+2)B_019	87,273	(7+2)C_004	95,276
(7+2)A_016	99,550	(7+2)B_013	90,305	(7+2)C_010	97,210
(7+2)A_019	100,682	(7+2)B_017	91,169	(7+2)C_011	98,287
(7+2)A_003	100,715	(7+2)B_010	91,446	(7+2)C_015	98,543
(7+2)A_008	100,746	(7+2)B_016	91,920	(7+2)C_013	100,677
(7+2)A_013	100,986	(7+2)B_009	92,051	(7+2)C_018	102,777
(7+2)A_017	101,969	(7+2)B_008	92,226	(7+2)C_002	104,331
(7+2)A_001	103,461	(7+2)B_003	92,255	(7+2)C_006	104,453
(7+2)A_014	103,511	(7+2)B_015	92,604	(7+2)C_009	105,207
(7+2)A_010	103,856	(7+2)B_014	92,664	(7+2)C_003	105,492
(7+2)A_011	104,814	(7+2)B_011	92,857	(7+2)C_016	105,714
(7+2)A_002	105,085	(7+2)B_007	92,896	(7+2)C_008	105,927
(7+2)A_020	105,218	(7+2)B_002	92,967	(7+2)C_014	107,201
(7+2)A_007	106,865	(7+2)B_006	93,051	(7+2)C_001	107,230
(7+2)A_009	107,738	(7+2)B_018	93,607	(7+2)C_020	107,589
(7+2)A_015	107,753	(7+2)B_020	93,937	(7+2)C_005	109,312
(7+2)A_006	109,107	(7+2)B_012	94,423	(7+2)C_007	109,370
(7+2)A_005	110,027	(7+2)B_005	94,509	(7+2)C_019	109,861
(7+2)A_004	110,437	(7+2)B_001	95,679	(7+2)C_017	110,556
aritmetický průměr	104,016	aritmetický průměr	92,246	aritmetický průměr	103,682
sm. odchylka	3,619	sm. odchylka	2,072	sm. odchylka	5,524
sm. odchylka výběru	3,713	sm. odchylka výběru	2,126	sm. odchylka výběru	5,667
T_{\min}	1,556	T_{\min}	2,498	T_{\min}	2,726
T_{\max}	1,774	T_{\max}	1,657	T_{\max}	1,245
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	12,053	R	8,608	R	21,933
Q_{\min}	0,086	Q_{\min}	0,023	Q_{\min}	0,303
Q_{\max}	0,034	Q_{\max}	0,136	Q_{\max}	0,032
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,830	sm. odchylka a. průměru	0,475	sm. odchylka a. průměru	1,267
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	2,362	chyba měření	1,352	chyba měření	3,605
(7+2)A	(104 ± 3)	(7+2)B	(92,2 ± 1,4)	(7+2)C	(104 ± 4)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(7+4)A_007	81,660	(7+4)B_017	54,667	(7+4)C_019	79,977
(7+4)A_009	81,926	(7+4)B_013	56,972	(7+4)C_009	83,437
(7+4)A_018	82,362	(7+4)B_016	57,067	(7+4)C_001	84,441
(7+4)A_013	82,502	(7+4)B_008	57,126	(7+4)C_018	84,476
(7+4)A_019	82,752	(7+4)B_019	57,362	(7+4)C_017	87,184
(7+4)A_010	83,152	(7+4)B_007	57,630	(7+4)C_020	87,635
(7+4)A_014	83,204	(7+4)B_006	57,695	(7+4)C_016	87,984
(7+4)A_008	83,322	(7+4)B_012	57,911	(7+4)C_014	88,370
(7+4)A_012	83,482	(7+4)B_002	58,022	(7+4)C_002	88,491
(7+4)A_006	83,816	(7+4)B_014	58,557	(7+4)C_003	88,778
(7+4)A_011	83,844	(7+4)B_004	58,804	(7+4)C_011	89,027
(7+4)A_005	84,215	(7+4)B_003	58,811	(7+4)C_006	89,096
(7+4)A_017	84,656	(7+4)B_015	58,960	(7+4)C_007	89,592
(7+4)A_004	85,605	(7+4)B_020	58,986	(7+4)C_012	90,706
(7+4)A_015	86,271	(7+4)B_011	59,207	(7+4)C_013	90,846
(7+4)A_003	86,932	(7+4)B_010	59,269	(7+4)C_005	92,057
(7+4)A_016	87,143	(7+4)B_001	59,305	(7+4)C_010	93,015
(7+4)A_001	90,062	(7+4)B_005	59,450	(7+4)C_008	94,321
(7+4)A_002	90,132	(7+4)B_009	60,123	(7+4)C_004	94,338
(7+4)A_020	90,540	(7+4)B_018	61,112	(7+4)C_015	95,939
aritmetický průměr	84,879	aritmetický průměr	58,352	aritmetický průměr	88,986
sm. odchylka	2,709	sm. odchylka	1,352	sm. odchylka	3,858
sm. odchylka výběru	2,779	sm. odchylka výběru	1,387	sm. odchylka výběru	3,958
T_{\min}	1,188	T_{\min}	2,726	T_{\min}	2,335
T_{\max}	2,090	T_{\max}	2,042	T_{\max}	1,803
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	8,880	R	6,445	R	15,962
Q_{\min}	0,030	Q_{\min}	0,358	Q_{\min}	0,217
Q_{\max}	0,046	Q_{\max}	0,153	Q_{\max}	0,100
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,621	sm. odchylka a. průměru	0,310	sm. odchylka a. průměru	0,885
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	1,768	chyba měření	0,882	chyba měření	2,518
(7+4)A	(84,9 ± 1,8)	(7+4)B	(58,4 ± 0,9)	(7+4)C	(89 ± 3)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(7+6)A_019	127,463	(7+6)B_011	126,071	(7+6)C_007	125,135
(7+6)A_018	131,064	(7+6)B_014	126,571	(7+6)C_006	131,128
(7+6)A_010	131,829	(7+6)B_001	126,654	(7+6)C_003	132,287
(7+6)A_001	132,396	(7+6)B_008	127,082	(7+6)C_019	134,447
(7+6)A_004	132,909	(7+6)B_013	127,287	(7+6)C_014	134,485
(7+6)A_012	133,897	(7+6)B_012	127,299	(7+6)C_011	134,796
(7+6)A_005	134,127	(7+6)B_018	127,778	(7+6)C_020	135,167
(7+6)A_013	134,800	(7+6)B_017	127,953	(7+6)C_018	135,304
(7+6)A_008	135,062	(7+6)B_020	128,505	(7+6)C_008	135,947
(7+6)A_011	135,174	(7+6)B_019	128,721	(7+6)C_017	137,118
(7+6)A_015	135,582	(7+6)B_016	129,006	(7+6)C_004	137,422
(7+6)A_014	136,271	(7+6)B_015	129,195	(7+6)C_016	138,050
(7+6)A_003	136,746	(7+6)B_005	129,577	(7+6)C_002	138,141
(7+6)A_006	137,167	(7+6)B_003	129,653	(7+6)C_015	139,018
(7+6)A_017	137,177	(7+6)B_007	130,193	(7+6)C_005	139,170
(7+6)A_009	137,322	(7+6)B_002	130,453	(7+6)C_001	139,516
(7+6)A_002	137,501	(7+6)B_009	133,432	(7+6)C_010	139,534
(7+6)A_020	137,579	(7+6)B_010	133,498	(7+6)C_009	141,740
(7+6)A_016	138,228	(7+6)B_004	134,504	(7+6)C_013	143,110
(7+6)A_007	139,137	(7+6)B_006	135,577	(7+6)C_012	144,624
aritmetický průměr	135,072	aritmetický průměr	129,450	aritmetický průměr	136,807
sm. odchylka	2,790	sm. odchylka	2,703	sm. odchylka	4,265
sm. odchylka výběru	2,863	sm. odchylka výběru	2,773	sm. odchylka výběru	4,376
T_{\min}	2,727	T_{\min}	1,250	T_{\min}	2,737
T_{\max}	1,457	T_{\max}	2,267	T_{\max}	1,833
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	11,674	R	9,506	R	19,489
Q_{\min}	0,308	Q_{\min}	0,053	Q_{\min}	0,308
Q_{\max}	0,078	Q_{\max}	0,113	Q_{\max}	0,078
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,640	sm. odchylka a. průměru	0,620	sm. odchylka a. průměru	0,978
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	1,821	chyba měření	1,764	chyba měření	2,784
(7+6)A	(135,1 ± 1,9)	(7+6)B	(129,5 ± 1,8)	(7+6)C	(137 ± 3)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
8A_004	106,440	8B_005	61,084	8C_010	112,742
8A_005	110,709	8B_008	63,683	8C_003	113,641
8A_011	111,685	8B_007	65,913	8C_005	117,081
8A_010	112,283	8B_003	66,232	8C_001	119,611
8A_019	112,468	8B_019	67,390	8C_002	124,551
8A_007	113,715	8B_001	68,402	8C_020	125,237
8A_017	115,561	8B_006	69,357	8C_018	125,258
8A_003	115,859	8B_020	69,698	8C_009	125,619
8A_002	116,022	8B_018	72,243	8C_019	125,905
8A_009	116,081	8B_002	75,120	8C_006	127,155
8A_018	116,905	8B_013	75,170	8C_008	128,470
8A_008	117,537	8B_004	75,537	8C_012	129,092
8A_020	117,817	8B_017	77,417	8C_007	129,586
8A_006	119,763	8B_014	78,586	8C_014	129,644
8A_001	122,977	8B_009	78,826	8C_015	129,827
8A_012	124,251	8B_016	80,235	8C_013	131,970
8A_016	124,599	8B_015	82,004	8C_011	132,623
8A_015	125,547	8B_011	87,184	8C_004	132,812
8A_013	128,291	8B_010	94,475	8C_016	134,024
8A_014	131,449	8B_012	98,868	8C_017	135,215
aritmetický průměr	117,998	aritmetický průměr	75,371	aritmetický průměr	126,503
sm. odchylka	6,254	sm. odchylka	9,631	sm. odchylka	6,246
sm. odchylka výběru	6,416	sm. odchylka výběru	9,881	sm. odchylka výběru	6,408
T_{\min}	1,848	T_{\min}	1,484	T_{\min}	2,203
T_{\max}	2,151	T_{\max}	2,440	T_{\max}	1,395
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	25,009	R	37,784	R	22,473
Q_{\min}	0,171	Q_{\min}	0,069	Q_{\min}	0,040
Q_{\max}	0,126	Q_{\max}	0,116	Q_{\max}	0,053
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	1,435	sm. odchylka a. průměru	2,209	sm. odchylka a. průměru	1,433
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	4,082	chyba měření	6,286	chyba měření	4,077
8A	(118 ± 5)	8B	(75 ± 7)	8C	(127 ± 5)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(8+6)A_003	111,097	(8+6)B_018	104,840	(8+6)C_002	84,553
(8+6)A_020	113,534	(8+6)B_002	105,246	(8+6)C_001	85,033
(8+6)A_009	116,725	(8+6)B_001	107,444	(8+6)C_004	113,522
(8+6)A_011	117,691	(8+6)B_010	108,426	(8+6)C_017	116,884
(8+6)A_010	118,344	(8+6)B_011	109,069	(8+6)C_006	117,033
(8+6)A_016	118,981	(8+6)B_008	112,840	(8+6)C_011	118,223
(8+6)A_008	119,180	(8+6)B_012	112,865	(8+6)C_003	120,010
(8+6)A_019	120,557	(8+6)B_013	112,874	(8+6)C_005	120,717
(8+6)A_018	120,618	(8+6)B_014	113,017	(8+6)C_020	120,791
(8+6)A_015	121,596	(8+6)B_004	113,955	(8+6)C_014	121,370
(8+6)A_002	122,440	(8+6)B_015	114,665	(8+6)C_015	121,467
(8+6)A_012	122,710	(8+6)B_020	115,506	(8+6)C_018	123,132
(8+6)A_001	124,741	(8+6)B_019	115,821	(8+6)C_007	124,274
(8+6)A_017	128,171	(8+6)B_016	116,181	(8+6)C_010	124,995
(8+6)A_014	129,827	(8+6)B_009	116,432	(8+6)C_008	127,509
(8+6)A_004	130,037	(8+6)B_017	119,315	(8+6)C_013	127,565
(8+6)A_006	131,601	(8+6)B_006	120,541	(8+6)C_009	128,645
(8+6)A_007	132,454	(8+6)B_007	120,743	(8+6)C_016	129,195
(8+6)A_005	139,216	(8+6)B_005	122,189	(8+6)C_012	130,239
(8+6)A_013	140,793	(8+6)B_003	125,960	(8+6)C_019	138,508
aritmetický průměr	124,016	aritmetický průměr	114,396	aritmetický průměr	119,683
sm. odchylka	7,789	sm. odchylka	5,495	sm. odchylka	12,883
sm. odchylka výběru	7,992	sm. odchylka výběru	5,638	sm. odchylka výběru	13,217
T_{\min}	1,659	T_{\min}	1,739	T_{\min}	2,727
T_{\max}	2,154	T_{\max}	2,104	T_{\max}	1,461
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	29,696	R	21,120	R	53,955
Q_{\min}	0,082	Q_{\min}	0,019	Q_{\min}	0,009
Q_{\max}	0,053	Q_{\max}	0,179	Q_{\max}	0,153
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	1,787	sm. odchylka a. průměru	1,261	sm. odchylka a. průměru	2,955
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	5,084	chyba měření	3,587	chyba měření	8,408
(8+6)A	(124 ± 6)	(8+6)B	(114 ± 4)	(8+6)C	(120 ± 9)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
9A_006	31,269	9B_004	21,669	9C_016	30,717
9A_025	31,312	9B_008	21,954	9C_021	32,694
9A_005	32,086	9B_011	22,121	9C_014	33,069
9A_021	34,021	9B_022	22,919	9C_019	33,354
9A_012	35,004	9B_021	23,249	9C_018	33,548
9A_007	35,455	9B_023	24,223	9C_015	33,599
9A_004	37,490	9B_001	25,962	9C_024	33,758
9A_017	41,242	9B_024	28,749	9C_012	35,087
9A_015	41,424	9B_010	28,860	9C_023	36,159
9A_008	42,023	9B_002	30,070	9C_013	36,504
9A_013	42,527	9B_013	30,520	9C_022	36,895
9A_020	42,688	9B_018	30,538	9C_020	37,293
9A_002	43,311	9B_025	30,658	9C_011	38,287
9A_009	45,041	9B_017	31,771	9C_009	39,028
9A_010	45,221	9B_015	31,904	9C_010	39,311
9A_019	45,609	9B_014	32,365	9C_007	40,250
9A_011	47,262	9B_003	33,441	9C_008	42,717
9A_014	47,366	9B_016	33,758	9C_025	45,709
9A_016	48,050	9B_019	34,206	9C_006	47,408
9A_018	49,314	9B_012	34,926	9C_005	47,738
aritmetický průměr	40,886	aritmetický průměr	28,693	aritmetický průměr	37,656
sm. odchylka	5,750	sm. odchylka	4,425	sm. odchylka	4,851
sm. odchylka výběru	5,899	sm. odchylka výběru	4,540	sm. odchylka výběru	4,977
T_{\min}	1,672	T_{\min}	1,587	T_{\min}	1,430
T_{\max}	1,466	T_{\max}	1,409	T_{\max}	2,078
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	18,045	R	13,257	R	17,021
Q_{\min}	0,002	Q_{\min}	0,021	Q_{\min}	0,116
Q_{\max}	0,070	Q_{\max}	0,054	Q_{\max}	0,019
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	1,319	sm. odchylka a. průměru	1,015	sm. odchylka a. průměru	1,113
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	3,753	chyba měření	2,888	chyba měření	3,166
9A	(41 ± 4)	9B	(29 ± 3)	9C	(38 ± 4)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(9+2)A_013	<i>odlehlá hodnota</i>	(9+2)B_019	90,930	(9+2)C_010	93,925
(9+2)A_008	<i>odlehlá hodnota</i>	(9+2)B_020	91,124	(9+2)C_005	94,304
(9+2)A_020	104,221	(9+2)B_014	91,154	(9+2)C_011	94,817
(9+2)A_011	104,347	(9+2)B_005	92,889	(9+2)C_013	95,217
(9+2)A_012	104,535	(9+2)B_007	93,115	(9+2)C_018	99,176
(9+2)A_014	104,569	(9+2)B_003	93,290	(9+2)C_019	99,384
(9+2)A_019	104,716	(9+2)B_008	93,292	(9+2)C_003	101,428
(9+2)A_004	104,725	(9+2)B_011	93,318	(9+2)C_017	102,024
(9+2)A_003	104,756	(9+2)B_015	93,377	(9+2)C_006	102,050
(9+2)A_005	104,758	(9+2)B_006	93,557	(9+2)C_012	104,052
(9+2)A_018	104,802	(9+2)B_010	93,639	(9+2)C_004	104,221
(9+2)A_002	104,830	(9+2)B_017	93,683	(9+2)C_007	104,408
(9+2)A_010	104,849	(9+2)B_004	93,867	(9+2)C_002	105,285
(9+2)A_016	105,232	(9+2)B_012	93,941	(9+2)C_008	105,659
(9+2)A_001	105,275	(9+2)B_001	94,052	(9+2)C_001	106,151
(9+2)A_015	105,292	(9+2)B_009	94,104	(9+2)C_009	106,356
(9+2)A_017	105,690	(9+2)B_018	94,141	(9+2)C_016	106,858
(9+2)A_007	106,155	(9+2)B_002	94,487	(9+2)C_015	107,880
(9+2)A_006	106,312	(9+2)B_013	94,684	(9+2)C_014	108,876
(9+2)A_009	107,152	(9+2)B_016	94,708	(9+2)C_020	109,444
aritmetický průměr	105,123	aritmetický průměr	93,368	aritmetický průměr	102,576
sm. odchylka	0,742	sm. odchylka	1,081	sm. odchylka	4,831
sm. odchylka výběru	0,763	sm. odchylka výběru	1,109	sm. odchylka výběru	4,956
T_{\min}	1,216	T_{\min}	2,255	T_{\min}	1,791
T_{\max}	2,735	T_{\max}	1,240	T_{\max}	1,422
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,903	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	2,931	R	3,778	R	15,519
Q_{\min}	0,043	Q_{\min}	0,051	Q_{\min}	0,024
Q_{\max}	0,287	Q_{\max}	0,006	Q_{\max}	0,037
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,407	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,180	sm. odchylka a. průměru	0,248	sm. odchylka a. průměru	1,108
Studentův koeficient	2,878	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	0,518	chyba měření	0,705	chyba měření	3,153
(9+2)A	$(105,1 \pm 0,6)$	(9+2)B	$(93,4 \pm 0,8)$	(9+2)C	(103 ± 4)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(9+4)A_009	69,363	(9+4)B_007	60,263	(9+4)C_003	78,484
(9+4)A_012	69,823	(9+4)B_006	61,325	(9+4)C_020	80,049
(9+4)A_010	70,089	(9+4)B_005	61,384	(9+4)C_005	80,654
(9+4)A_013	70,764	(9+4)B_004	62,099	(9+4)C_011	81,326
(9+4)A_014	71,013	(9+4)B_002	62,564	(9+4)C_019	81,634
(9+4)A_011	72,204	(9+4)B_003	63,358	(9+4)C_006	82,083
(9+4)A_001	72,359	(9+4)B_008	64,009	(9+4)C_017	82,594
(9+4)A_008	72,536	(9+4)B_011	65,338	(9+4)C_018	82,719
(9+4)A_017	73,674	(9+4)B_001	65,614	(9+4)C_016	83,575
(9+4)A_003	73,836	(9+4)B_009	66,110	(9+4)C_004	84,335
(9+4)A_015	74,406	(9+4)B_010	66,199	(9+4)C_002	84,468
(9+4)A_016	74,539	(9+4)B_020	67,328	(9+4)C_014	84,699
(9+4)A_005	74,594	(9+4)B_014	67,649	(9+4)C_015	85,159
(9+4)A_007	74,972	(9+4)B_013	68,119	(9+4)C_001	85,368
(9+4)A_002	75,123	(9+4)B_012	68,151	(9+4)C_008	85,387
(9+4)A_004	75,203	(9+4)B_017	68,227	(9+4)C_007	85,701
(9+4)A_006	75,311	(9+4)B_016	69,004	(9+4)C_009	86,867
(9+4)A_018	75,376	(9+4)B_015	69,201	(9+4)C_012	87,312
(9+4)A_020	77,891	(9+4)B_018	70,371	(9+4)C_013	87,341
(9+4)A_019	79,063	(9+4)B_019	71,607	(9+4)C_010	87,791
aritmetický průměr	73,607	aritmetický průměr	65,896	aritmetický průměr	83,877
sm. odchylka	2,526	sm. odchylka	3,185	sm. odchylka	2,557
sm. odchylka výběru	2,591	sm. odchylka výběru	3,267	sm. odchylka výběru	2,623
T_{\min}	1,680	T_{\min}	1,769	T_{\min}	2,110
T_{\max}	2,160	T_{\max}	1,793	T_{\max}	1,531
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	9,700	R	11,344	R	9,307
Q_{\min}	0,047	Q_{\min}	0,094	Q_{\min}	0,168
Q_{\max}	0,121	Q_{\max}	0,109	Q_{\max}	0,048
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,579	sm. odchylka a. průměru	0,731	sm. odchylka a. průměru	0,587
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	1,649	chyba měření	2,079	chyba měření	1,669
(9+4)A	$(73,6 \pm 1,7)$	(9+4)B	(66 ± 3)	(9+4)C	$(83,9 \pm 1,7)$

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(9+6)A_014	88,353	(9+6)B_015	78,367	(9+6)C_008	87,797
(9+6)A_013	103,004	(9+6)B_010	79,098	(9+6)C_007	88,610
(9+6)A_017	103,223	(9+6)B_016	79,863	(9+6)C_011	91,697
(9+6)A_011	104,240	(9+6)B_014	80,245	(9+6)C_016	95,361
(9+6)A_016	105,063	(9+6)B_009	81,480	(9+6)C_017	97,195
(9+6)A_019	107,475	(9+6)B_012	81,802	(9+6)C_004	97,993
(9+6)A_020	108,581	(9+6)B_011	82,930	(9+6)C_006	98,011
(9+6)A_012	108,693	(9+6)B_017	83,186	(9+6)C_020	98,221
(9+6)A_015	111,497	(9+6)B_013	83,782	(9+6)C_019	98,488
(9+6)A_018	113,360	(9+6)B_019	85,038	(9+6)C_018	98,724
(9+6)A_010	122,590	(9+6)B_020	85,105	(9+6)C_015	99,049
(9+6)A_004	123,939	(9+6)B_018	85,186	(9+6)C_003	99,853
(9+6)A_003	124,026	(9+6)B_005	85,322	(9+6)C_002	100,545
(9+6)A_001	124,128	(9+6)B_008	85,338	(9+6)C_013	101,761
(9+6)A_002	124,642	(9+6)B_004	86,152	(9+6)C_001	102,317
(9+6)A_006	125,935	(9+6)B_006	86,180	(9+6)C_012	103,164
(9+6)A_009	126,452	(9+6)B_001	87,027	(9+6)C_010	103,367
(9+6)A_005	130,618	(9+6)B_007	87,197	(9+6)C_005	103,505
(9+6)A_008	130,623	(9+6)B_002	87,666	(9+6)C_014	103,745
(9+6)A_007	130,928	(9+6)B_003	87,912	(9+6)C_009	107,134
aritmetický průměr	115,869	aritmetický průměr	83,944	aritmetický průměr	98,827
sm. odchylka	11,688	sm. odchylka	2,870	sm. odchylka	4,862
sm. odchylka výběru	11,992	sm. odchylka výběru	2,944	sm. odchylka výběru	4,988
T_{\min}	2,354	T_{\min}	1,943	T_{\min}	2,269
T_{\max}	1,288	T_{\max}	1,383	T_{\max}	1,709
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	42,575	R	9,545	R	19,337
Q_{\min}	0,344	Q_{\min}	0,077	Q_{\min}	0,042
Q_{\max}	0,007	Q_{\max}	0,026	Q_{\max}	0,175
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	2,681	sm. odchylka a. průměru	0,658	sm. odchylka a. průměru	1,115
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	7,629	chyba měření	1,873	chyba měření	3,173
(9+6)A	(116 ± 8)	(9+6)B	(83,9 ± 1,9)	(9+6)C	(99 ± 4)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
10A_003	33,385	10B_012	35,273	10C_001	23,816
10A_002	34,505	10B_013	37,847	10C_020	30,466
10A_006	38,578	10B_008	39,157	10C_019	30,931
10A_007	39,079	10B_011	39,401	10C_002	31,593
10A_001	39,795	10B_020	39,442	10C_018	31,852
10A_004	43,823	10B_019	40,194	10C_005	35,044
10A_005	48,879	10B_004	41,672	10C_017	35,740
10A_013	53,678	10B_014	43,142	10C_003	38,638
10A_011	55,385	10B_009	43,382	10C_014	38,906
10A_008	56,634	10B_010	43,554	10C_008	40,253
10A_020	56,664	10B_018	43,590	10C_013	40,512
10A_012	58,094	10B_005	43,625	10C_007	40,801
10A_018	59,057	10B_006	45,481	10C_015	40,828
10A_017	59,499	10B_007	46,829	10C_009	41,736
10A_009	59,621	10B_003	47,341	10C_004	41,839
10A_015	59,993	10B_015	50,066	10C_011	42,077
10A_019	60,694	10B_001	50,863	10C_016	42,105
10A_010	61,131	10B_002	50,979	10C_006	42,861
10A_014	62,465	10B_016	52,629	10C_010	45,204
10A_016	63,576	10B_017	59,761	10C_012	46,354
aritmetický průměr	52,227	aritmetický průměr	44,711	aritmetický průměr	38,078
sm. odchylka	9,873	sm. odchylka	5,778	sm. odchylka	5,641
sm. odchylka výběru	10,129	sm. odchylka výběru	5,928	sm. odchylka výběru	5,788
T_{\min}	1,908	T_{\min}	1,634	T_{\min}	2,528
T_{\max}	1,150	T_{\max}	2,605	T_{\max}	1,467
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	30,191	R	24,488	R	22,538
Q_{\min}	0,037	Q_{\min}	0,105	Q_{\min}	0,295
Q_{\max}	0,037	Q_{\max}	0,291	Q_{\max}	0,051
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	2,265	sm. odchylka a. průměru	1,326	sm. odchylka a. průměru	1,294
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	6,444	chyba měření	3,771	chyba měření	3,682
10A	(52 ± 7)	10B	(45 ± 4)	10C	(38 ± 4)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(10+2)A_017	101,577	(10+2)B_016	95,476	(10+2)C_002	97,456
(10+2)A_010	101,640	(10+2)B_013	96,465	(10+2)C_017	98,008
(10+2)A_015	104,159	(10+2)B_020	96,789	(10+2)C_006	105,015
(10+2)A_009	104,309	(10+2)B_001	97,071	(10+2)C_012	106,806
(10+2)A_005	105,577	(10+2)B_008	97,949	(10+2)C_016	107,729
(10+2)A_016	106,195	(10+2)B_007	98,117	(10+2)C_018	108,082
(10+2)A_012	106,336	(10+2)B_014	98,855	(10+2)C_010	109,890
(10+2)A_018	106,342	(10+2)B_011	99,264	(10+2)C_001	112,789
(10+2)A_011	106,446	(10+2)B_009	99,289	(10+2)C_013	113,849
(10+2)A_013	106,835	(10+2)B_005	99,600	(10+2)C_019	114,171
(10+2)A_006	107,174	(10+2)B_017	99,736	(10+2)C_014	114,200
(10+2)A_008	107,910	(10+2)B_012	100,066	(10+2)C_003	114,698
(10+2)A_003	108,357	(10+2)B_006	100,068	(10+2)C_008	114,918
(10+2)A_004	109,309	(10+2)B_004	100,194	(10+2)C_005	115,835
(10+2)A_014	109,541	(10+2)B_018	100,351	(10+2)C_011	115,959
(10+2)A_007	109,929	(10+2)B_019	100,467	(10+2)C_009	117,169
(10+2)A_020	110,689	(10+2)B_015	101,723	(10+2)C_015	117,358
(10+2)A_019	112,623	(10+2)B_002	101,820	(10+2)C_020	117,796
(10+2)A_002	113,523	(10+2)B_010	102,030	(10+2)C_007	118,274
(10+2)A_001	115,341	(10+2)B_003	103,476	(10+2)C_004	122,381
aritmetický průměr	107,691	aritmetický průměr	99,440	aritmetický průměr	112,119
sm. odchylka	3,523	sm. odchylka	1,985	sm. odchylka	6,390
sm. odchylka výběru	3,614	sm. odchylka výběru	2,037	sm. odchylka výběru	6,556
T_{\min}	1,735	T_{\min}	1,997	T_{\min}	2,295
T_{\max}	2,172	T_{\max}	2,033	T_{\max}	1,606
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	13,764	R	8,000	R	24,925
Q_{\min}	0,005	Q_{\min}	0,124	Q_{\min}	0,022
Q_{\max}	0,132	Q_{\max}	0,181	Q_{\max}	0,165
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,808	sm. odchylka a. průměru	0,455	sm. odchylka a. průměru	1,466
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	2,299	chyba měření	1,296	chyba měření	4,171
(10+2)A	(108 ± 3)	(10+2)B	(99,4 ± 1,3)	(10+2)C	(112 ± 5)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(10+4)A_020	90,604	(10+4)B_002	70,493	(10+4)C_020	84,817
(10+4)A_006	91,477	(10+4)B_008	70,914	(10+4)C_003	86,185
(10+4)A_009	91,513	(10+4)B_005	71,396	(10+4)C_001	88,834
(10+4)A_008	91,983	(10+4)B_006	71,507	(10+4)C_010	89,100
(10+4)A_001	92,042	(10+4)B_009	72,178	(10+4)C_019	89,484
(10+4)A_014	92,661	(10+4)B_020	72,474	(10+4)C_005	90,571
(10+4)A_019	93,076	(10+4)B_019	72,650	(10+4)C_011	90,804
(10+4)A_007	93,710	(10+4)B_007	72,845	(10+4)C_009	90,872
(10+4)A_003	94,027	(10+4)B_012	72,887	(10+4)C_017	90,882
(10+4)A_016	94,131	(10+4)B_010	72,900	(10+4)C_008	91,573
(10+4)A_017	94,251	(10+4)B_004	72,926	(10+4)C_002	92,296
(10+4)A_010	94,372	(10+4)B_003	73,477	(10+4)C_018	93,621
(10+4)A_018	94,977	(10+4)B_001	73,522	(10+4)C_016	94,188
(10+4)A_011	95,050	(10+4)B_013	73,713	(10+4)C_014	95,758
(10+4)A_004	95,189	(10+4)B_015	73,786	(10+4)C_007	96,256
(10+4)A_005	95,213	(10+4)B_016	74,119	(10+4)C_012	96,580
(10+4)A_002	95,505	(10+4)B_014	74,455	(10+4)C_015	97,299
(10+4)A_015	96,017	(10+4)B_011	75,249	(10+4)C_004	99,040
(10+4)A_013	96,842	(10+4)B_018	75,560	(10+4)C_013	99,720
(10+4)A_012	98,453	(10+4)B_017	76,245	(10+4)C_006	99,879
aritmetický průměr	94,055	aritmetický průměr	73,165	aritmetický průměr	92,888
sm. odchylka	1,924	sm. odchylka	1,469	sm. odchylka	4,246
sm. odchylka výběru	1,974	sm. odchylka výběru	1,507	sm. odchylka výběru	4,357
T_{\min}	1,793	T_{\min}	1,819	T_{\min}	1,901
T_{\max}	2,286	T_{\max}	2,097	T_{\max}	1,646
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	7,849	R	5,752	R	15,062
Q_{\min}	0,111	Q_{\min}	0,073	Q_{\min}	0,091
Q_{\max}	0,205	Q_{\max}	0,119	Q_{\max}	0,011
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	0,441	sm. odchylka a. průměru	0,337	sm. odchylka a. průměru	0,974
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	1,256	chyba měření	0,959	chyba měření	2,771
(10+4)A	(94,1 ± 1,3)	(10+4)B	(73,2 ± 1,0)	(10+4)C	(93 ± 3)

vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]	vzorek	kontaktní úhel [°]
(10+6)A_001	61,047	(10+6)B_018	82,702	(10+6)C_002	93,865
(10+6)A_003	75,740	(10+6)B_019	84,254	(10+6)C_003	97,694
(10+6)A_005	78,630	(10+6)B_020	85,285	(10+6)C_012	100,389
(10+6)A_012	85,813	(10+6)B_001	85,954	(10+6)C_009	101,477
(10+6)A_004	88,458	(10+6)B_017	86,821	(10+6)C_001	104,930
(10+6)A_006	90,911	(10+6)B_002	87,946	(10+6)C_004	108,237
(10+6)A_002	93,004	(10+6)B_005	88,030	(10+6)C_019	111,907
(10+6)A_007	93,067	(10+6)B_016	88,661	(10+6)C_007	114,610
(10+6)A_009	94,463	(10+6)B_014	88,703	(10+6)C_005	114,672
(10+6)A_008	97,318	(10+6)B_015	90,405	(10+6)C_006	116,118
(10+6)A_011	98,916	(10+6)B_012	90,551	(10+6)C_010	116,755
(10+6)A_010	100,634	(10+6)B_004	92,785	(10+6)C_008	120,216
(10+6)A_013	103,446	(10+6)B_007	92,818	(10+6)C_013	120,573
(10+6)A_014	106,655	(10+6)B_008	93,195	(10+6)C_015	121,506
(10+6)A_019	107,867	(10+6)B_013	93,246	(10+6)C_017	122,013
(10+6)A_020	108,623	(10+6)B_011	93,358	(10+6)C_011	123,033
(10+6)A_018	111,450	(10+6)B_003	93,647	(10+6)C_020	123,397
(10+6)A_015	115,367	(10+6)B_009	93,678	(10+6)C_014	123,711
(10+6)A_016	123,675	(10+6)B_010	93,919	(10+6)C_018	124,723
(10+6)A_017	123,908	(10+6)B_006	97,519	(10+6)C_016	125,916
aritmetický průměr	97,950	aritmetický průměr	90,174	aritmetický průměr	114,287
sm. odchylka	15,368	sm. odchylka	3,827	sm. odchylka	9,665
sm. odchylka výběru	15,768	sm. odchylka výběru	3,926	sm. odchylka výběru	9,916
T_{\min}	2,401	T_{\min}	1,953	T_{\min}	2,113
T_{\max}	1,689	T_{\max}	1,919	T_{\max}	1,203
$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959	$T_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	2,959
R	62,861	R	14,817	R	32,051
Q_{\min}	0,234	Q_{\min}	0,105	Q_{\min}	0,119
Q_{\max}	0,004	Q_{\max}	0,243	Q_{\max}	0,037
$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391	$Q_{\text{krit}} (\alpha = 0,01)$	0,391
sm. odchylka a. průměru	3,526	sm. odchylka a. průměru	0,878	sm. odchylka a. průměru	2,217
Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845	Studentův koeficient	2,845
chyba měření	10,031	chyba měření	2,498	chyba měření	6,308
(10+6)A	(98 ± 10)	(10+6)B	(90 ± 3)	(10+6)C	(114 ± 7)

**PŘÍLOHA P II: POVRCHOVÉ ENERGIE STANOVENÉ METODOU
WU**

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
1	A+B	16,21	15,27	31,48
	A+C	15,46	15,69	31,16
	B+C	16,93	14,15	31,09
aritmetický průměr		16,2	15,0	31,24
sm. odchylka a. průměru		0,5	0,5	0,13
(1+2)	A+B	5,58	10,55	16,13
	A+C	3,61	12,57	16,18
	B+C	7,48	7,43	14,92
aritmetický průměr		5,6	10,2	15,7
sm. odchylka a. průměru		1,2	1,5	0,5
(1+4)	A+B	9,34	14,96	24,30
	A+C	3,83	20,94	24,77
	B+C	19,65	3,58	23,23
aritmetický průměr		11	13	24,1
sm. odchylka a. průměru		5	6	0,5
(1+6)	A+B	-	-	-
	A+C	18,53	-1,92	16,61
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		18,53	-1,92	16,61
sm. odchylka a. průměru		N/A	N/A	N/A

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
5	A+B	13,50	10,66	24,16
	A+C	14,60	10,07	24,67
	B+C	12,45	12,17	24,62
aritmetický průměr		13,5	11,0	24,48
sm. odchylka a. průměru		0,7	0,7	0,17
(5+2)	A+B	17,97	5,32	23,29
	A+C	24,55	3,32	27,87
	B+C	11,44	12,39	23,83
aritmetický průměr		18	7	25,0
sm. odchylka a. průměru		4	3	1,5
(5+4)	A+B	17,65	8,91	26,57
	A+C	-3,93	39,10	35,17
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		7	24	31
sm. odchylka a. průměru		11	16	5
(5+6)	A+B	-	-	-
	A+C	29,41	-3,68	25,73
	B+C	6,61	7,71	14,31
aritmetický průměr		18	2	20
sm. odchylka a. průměru		12	6	6

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
7	A+B	12,41	16,03	28,44
	A+C	12,67	15,84	28,52
	B+C	12,20	16,45	28,65
aritmetický průměr		12,43	16,11	28,54
sm. odchylka a. průměru		0,14	0,19	0,07
(7+2)	A+B	5,60	11,43	17,04
	A+C	2,01	15,62	17,63
	B+C	10,05	5,08	15,13
aritmetický průměr		6	11	16,6
sm. odchylka a. průměru		3	4,000	0,8
(7+4)	A+B	16,91	12,90	29,81
	A+C	2,15	27,48	29,63
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		10	20	29,72
sm. odchylka a. průměru		8	8	0,10
(7+6)	A+B	-0,01	5,94	5,93
	A+C	-4,65	14,39	9,74
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		-2	10	7,8
sm. odchylka a. průměru		3	5	2,0

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
8	A+B	-	-	-
	A+C	-8,46	43,56	35,09
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		-8,46	43,56	35,09
sm. odchylka a. průměru		N/A	N/A	N/A
(8+6)	A+B	2,83	6,18	9,02
	A+C	4,29	4,86	9,15
	B+C	1,89	7,84	9,73
aritmetický průměr		3,0	6,3	9,3
sm. odchylka a. průměru		0,7	0,9	0,3

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
9	A+B	16,27	40,65	56,92
	A+C	17,86	39,05	56,92
	B+C	15,40	45,67	61,08
aritmetický průměr		16,5	41,8	58,3
sm. odchylka a. průměru		0,8	2,0	1,4
(9+2)	A+B	5,42	11,11	16,52
	A+C	3,95	12,61	16,57
	B+C	6,68	8,82	15,50
aritmetický průměr		5,4	10,8	16,2
sm. odchylka a. průměru		0,8	1,2	0,4
(9+4)	A+B	8,64	25,84	34,48
	A+C	0,39	41,73	42,13
	B+C	37,84	-0,34	37,50
aritmetický průměr		16	22	38
sm. odchylka a. průměru		12	13	3
(9+6)	A+B	-	-	-
	A+C	29,38	-2,19	27,19
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		29,38	-2,19	27,19
sm. odchylka a. průměru		N/A	N/A	N/A

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
10	A+B	12,73	36,78	49,51
	A+C	24,60	27,46	52,06
	B+C	8,56	82,17	90,73
aritmetický průměr		15	49	64
sm. odchylka a. průměru		5	17	14
(10+2)	A+B	3,50	11,77	15,27
	A+C	-2,29	21,52	19,23
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		1	17	17,3
sm. odchylka a. průměru		3	5	2,0
(10+4)	A+B	12,26	11,00	23,27
	A+C	4,76	17,43	22,19
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		9	14	22,7
sm. odchylka a. průměru		4	4	0,6
(10+6)	A+B	4,55	15,53	20,08
	A+C	-8,58	71,74	63,16
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		-2	44	42
sm. odchylka a. průměru		7	30	30

PŘÍLOHA P III: POVRCHOVÉ ENERGIE STANOVENÉ METODOU FOWKES

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
1	A+B	20,32	8,69	29,01
	A+C	17,97	9,75	27,72
	B+C	23,87	5,88	29,75
aritmetický průměr		20,7	8,1	28,8
sm. odchylka a. průměru		1,8	1,2	0,6
(1+2)	A+B	6,21	4,26	10,46
	A+C	3,16	6,40	9,56
	B+C	12,20	0,46	12,66
aritmetický průměr		7	3,7	10,9
sm. odchylka a. průměru		3	1,8	1,0
(1+4)	A+B	10,36	8,80	19,16
	A+C	2,77	15,85	18,63
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		7	12	18,9
sm. odchylka a. průměru		4	4	0,3
(1+6)	A+B	-	-	-
	A+C	11,30	0,00	11,30
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		11,30	0,00	11,30
sm. odchylka a. průměru		N/A	N/A	N/A

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
5	A+B	17,45	4,30	21,74
	A+C	16,57	4,59	21,16
	B+C	18,70	3,49	22,19
aritmetický průměr		17,6	4,1	21,7
sm. odchylka a. průměru		0,7	0,4	0,3
(5+2)	A+B	23,26	0,91	24,17
	A+C	28,33	0,39	28,72
	B+C	16,99	3,70	20,69
aritmetický průměr		23	1,7	25
sm. odchylka a. průměru		4	1,1	3
(5+4)	A+B	24,01	2,73	26,74
	A+C	-	-	-
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		24,01	2,73	26,74
sm. odchylka a. průměru		N/A	N/A	N/A
(5+6)	A+B	-	-	-
	A+C	-	-	-
	B+C	10,7	0,57	11,28
aritmetický průměr		10,7	0,57	11,28
sm. odchylka a. průměru		N/A	N/A	N/A

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
7	A+B	14,36	9,94	24,30
	A+C	13,68	10,31	24,00
	B+C	15,34	8,86	24,20
aritmetický průměr		14,5	9,7	24,17
sm. odchylka a. průměru		0,5	0,5	0,09
(7+2)	A+B	6,16	5,02	11,18
	A+C	1,95	8,70	10,66
	B+C	16,01	0,02	16,03
aritmetický průměr		8	5	12,6
sm. odchylka a. průměru		5	3	1,8
(7+4)	A+B	22,26	6,08	28,34
	A+C	1,04	23,84	24,88
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		12	15	26,6
sm. odchylka a. průměru		11	9	1,8
(7+6)	A+B	0,82	0,80	1,62
	A+C	0,05	1,80	1,85
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		0,4	1,3	1,74
sm. odchylka a. průměru		0,4	0,6	0,12

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
8	A+B	-	-	-
	A+C	-	-	-
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		N/A	N/A	N/A
sm. odchylka a. průměru		N/A	N/A	N/A
(8+6)	A+B	2,95	1,26	4,22
	A+C	2,66	1,40	4,05
	B+C	3,40	0,90	4,30
aritmetický průměr		3,0	1,19	4,19
sm. odchylka a. průměru		0,3	0,15	0,08

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
9	A+B	8,43	49,63	58,07
	A+C	13,65	42,62	56,27
	B+C	3,22	73,60	76,83
aritmetický průměr		8	55	64
sm. odchylka a. průměru		4	10	7
(9+2)	A+B	5,96	4,72	10,68
	A+C	3,44	6,54	9,98
	B+C	10,67	1,06	11,73
aritmetický průměr		7	4,1	10,8
sm. odchylka a. průměru		3	1,7	0,6
(9+4)	A+B	5,85	24,54	30,40
	A+C	-	-	-
	B+C	34,88	0,02	34,90
aritmetický průměr		20	12	33
sm. odchylka a. průměru		15	13	3
(9+6)	A+B	-	-	-
	A+C	-	-	-
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		N/A	N/A	N/A
sm. odchylka a. průměru		N/A	N/A	N/A

materiál	kapaliny	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^P [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
10	A+B	6,35	43,39	49,74
	A+C	28,71	22,39	51,10
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		18	33	50,4
sm. odchylka a. průměru		12	11	0,7
(10+2)	A+B	3,76	5,08	8,84
	A+C	0,14	10,77	10,90
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		2,0	8	9,9
sm. odchylka a. průměru		1,9	3	1,1
(10+4)	A+B	15,51	4,65	20,17
	A+C	3,91	11,84	15,74
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		10	8	18
sm. odchylka a. průměru		6	4	3
(10+6)	A+B	4,30	9,19	13,49
	A+C	-	-	-
	B+C	-	-	-
aritmetický průměr		4,30	9,19	13,49
sm. odchylka a. průměru		N/A	N/A	N/A

PŘÍLOHA P IV: POVRCHOVÉ ENERGIE STANOVENÉ METODOU VAN OSS

materiál	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^{AB} [mJ.m ⁻²]	γ_s^+ [mJ.m ⁻²]	γ_s^- [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
1	28,69	2,74	0,56	3,33	31,43
(1+2)	6,34	2,80	0,97	2,03	9,15
(1+4)	6,81	8,60	3,75	4,93	15,41
(1+6)	-	-	-	-	-

materiál	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^{AB} [mJ.m ⁻²]	γ_s^+ [mJ.m ⁻²]	γ_s^- [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
5	24,56	0,94	0,14	1,53	25,50
(5+2)	-	-	-	-	-
(5+4)	-	-	-	-	-
(5+6)	-	-	-	-	-

materiál	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^{AB} [mJ.m ⁻²]	γ_s^+ [mJ.m ⁻²]	γ_s^- [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
7	26,23	1,68	0,22	3,27	27,91
(7+2)	4,55	4,53	1,89	2,72	9,08
(7+4)	1,58	20,97	16,02	6,86	22,54
(7+6)	0,21	1,18	0,64	0,55	1,39

materiál	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^{AB} [mJ.m ⁻²]	γ_s^+ [mJ.m ⁻²]	γ_s^- [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
8	-	-	-	-	-
(8+6)	4,42	0,32	0,06	0,46	4,74

materiál	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^{AB} [mJ.m ⁻²]	γ_s^+ [mJ.m ⁻²]	γ_s^- [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
9	48,50	1,13	0,02	14,68	49,63
(9+2)	7,14	2,53	0,76	2,10	9,67
(9+4)	2,36	22,98	9,79	13,49	25,34
(9+6)	-	-	-	-	-

materiál	γ_s^D [mJ.m ⁻²]	γ_s^{AB} [mJ.m ⁻²]	γ_s^+ [mJ.m ⁻²]	γ_s^- [mJ.m ⁻²]	γ_s [mJ.m ⁻²]
10	-	-	-	-	-
(10+2)	0,99	6,75	3,46	3,29	7,74
(10+4)	6,12	8,42	5,00	3,54	14,54
(10+6)	-	-	-	-	-