

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2018

**DOMINIKA
SCHOVÁNKOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra přírodovědných oborů

Charakterizace kontaktních čoček měřením kontaktního úhlu

Characterization of contact lenses by contact angle measurements

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Vedoucí práce: Ing. Jiří Michálek, CSc.

Konzultant práce: Ing. Jan Mikšovský, Ph.D.

Dominika Schovánková

Kladno 2018

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2017/2018

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Dominika Schovánková**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Charakterizace kontaktních čoček měřením kontaktního úhlu**
Téma anglicky: Characterization of contact lenses by contact angle measurements

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Vypracujte rešerši na téma povrchové vlastnosti kontaktních čoček, zejména s přihlédnutím k měření kontaktních úhlů. Zaměřte se na rozdělení kontaktních čoček podle materiálu a podle typu případné povrchové úpravy. Z možností měření kontaktních úhlů vyberte vhodnou metodu pro kontaktní čočky jednak podle běžné praxe, jednak s ohledem na realizovatelnost v podmínkách FBMI. Na základě rešerší postulujte cíle pro praktickou část následné bakalářské práce a navrhnete postupy k jejich dosažení. Proměřte zvolený soubor čoček z hlediska jejich kontaktních úhlů. Naměřené hodnoty porovnejte a diskutujte.

Seznam odborné literatury:

- [1] EFRON, N., Contact lens practice, ed. 2, St. Louis, Mo.: Butterworth Heineman, 2010, 510 s., ISBN 978-070-2047-633
- [2] EFRON, N., Contact Lens Complications, ed. 1, Butterworth Heinemann, 2007, ISBN 9780750675758
- [3] ALIOFKHAZRAEI, M., Wetting and Wettability, ed. 1. InTech, 2015, ISBN 978-953-51-2215-9
- [4] GARBASSI, F., MORRA, M., OCCHIELLO, E., Polymer surfaces: from physics to technology, ed. rev. and updated, New York: Wiley, 1998, ISBN 978-0471971009
- [5] SINHA, S.K., BRISCOE, B.J., Polymer Tribology, ed. 1, London: Imperial College Press, 2009, ISBN 978-1-84815-202-0

Zadání platné do: 20.09.2019

Vedoucí: Ing. Jiří Michálek, CSc.

Konzultant: Ing. Jan Mikšovský, Ph.D.

.....
vedoucí katedry / pracoviště

.....
děkan

V Kladně dne 19.02.2018

Název bakalářské práce: Charakterizace kontaktních čoček měřením kontaktního úhlu

Abstrakt:

Tato práce je zaměřena na charakterizaci kontaktních čoček pomocí měření kontaktního úhlu. V teoretické části je nejprve uvedena charakteristika současných kontaktních čoček a jejich kategorizace. Práce se zabývá okolními činiteli smáčivosti, jako jsou povrchové napětí, drsnost materiálu a adheze prostředí. Rovněž jsou popsány běžně užívané metody měření kontaktního úhlu. V experimentální části jsou uvedeny a diskutovány výsledky měření statického kontaktního úhlu kapkovou metodou na souboru vybraných komerčních kontaktních čoček.

Klíčová slova:

Kontaktní čočky, kontaktní úhel, smáčivost, povrchové napětí, fázové rozhraní, drsnost, kapková metoda

Bachelor's Thesis title: Characterization of contact lenses by contact angle measurements

Abstract:

The thesis is focused on characterization of contact lenses by contact angle measurements. In the theoretical part, the contact lenses are characterized and divided into several categories. Secondly, the thesis deals with wettability factors such as surface tension, material roughness and adhesion. Further, the methods of contact angle measurements are described. Finally, the results of static contact angle measurement using sessile drop method are presented and discussed in the experimental part.

Key words:

Contact lenses, contact angle, wettability, surface tension, phase interface, roughness, sessile drop method

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce Ing. Jiřímu Michálkovi, CSc. za trpělivost a užitečné rady při zpracování. Dále bych chtěla poděkovat konzultantovi Ing. Janu Mikšovskému, Ph.D. za spolupráci při získávání údajů k experimentální části práce. Velké poděkování také patří Bc. Šimonu Pospíšilovi za přípravu pufru pro měření a dále za ochotu a věcné připomínky k této práci. Na závěr děkuji rodině, která mi byla oporou během celého studia.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Charakterizace kontaktních čoček měřením kontaktního úhlu*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne

.....
Dominika Schováňková

Obsah

Úvod	1
1. Charakteristika kontaktních čoček	2
1.1 Materiály kontaktních čoček	3
1.2 Kontaktní čočky na českém trhu	6
2. Smáčivost kontaktních čoček	7
2.1 Kontaktní úhel	7
2.2 Hystereze kontaktního úhlu	9
2.2.1 Termodynamická hystereze (drsnost materiálu)	9
2.2.2 Kinetická hystereze	11
2.3 Povrchová energie	12
2.4 Povrchové napětí	12
2.5 Adheze	13
2.6 Smáčecí teplo	14
3. Metody měření	15
3.1 Kapková metoda	15
3.2 Bublinová metoda	16
3.3 Wilhelmyho metoda namáčení desky	17
3.4 Wilhelmyho gravitační metoda	17
3.5 Kapilární metoda	18
3.6 Metoda naklonění roviny	19
3.7 Interferenční mikroskopie	19
4. Cíle práce	20
5. Experimentální část	21
5.1 Postup měření	21
5.2 Materiály a jejich technologie	24

6.	Výsledky a diskuse	29
6.1	Materiál poly(HEMA).....	30
6.2	Kontaktní čočky	33
6.3	Závislost kontaktního úhlu na optické mohutnosti	38
	Závěr.....	39
	Seznam použité literatury	A
	Seznam symbolů a zkratk	F
	Seznam obrázků.....	J
	Seznam tabulek.....	K
	Přílohy	L

Úvod

V dnešní době se kontaktní čočky používají především jako optické pomůcky ke korekci refrakčních vad, a to zejména pro dosažení většího pohodlí při jejich nošení ve srovnání s brýlemi. Pro pocit maximálního komfortu by měl materiál kontaktní čočky splňovat určité parametry mechanických, botnacích a transportních vlastností. Protože jsou čočky po aplikaci v přímém kontaktu s rohovkou, hrají podstatnou roli pro jejich vzájemnou interakci i povrchové vlastnosti. Jedním z nejdůležitějších povrchových parametrů je smáčivost kontaktní čočky. Ta je definována příslušným kontaktním úhlem, který se měří v třífázovém rozhraní (plyn, kapalina, pevná fáze). Smáčivost je u jednoduchých materiálů dána mírou hydrofility. Materiály s povrchovými úpravami pak vykazují vlastnosti odpovídající právě této vrstvě. Pokud slzný film bude dobře interagovat s materiálem čočky, lze předpokládat minimalizaci vzniku onemocnění zapříčiněných nedostatkem přirozeného rozptýlení slzného filmu. Smáčivost vypovídá o povrchové energii prostředí v závislosti na povrchovém napětí tekutiny. Dalším důležitým parametrem je drsnost povrchu, která určitým podílem ovlivňuje hodnotu kontaktního úhlu. Teorie Wenzela a Cassieho blíže charakterizují interakce prostředí mezi kapalinou a pevnou plochou. S tím rovněž souvisí pojem adheze prostředí, která se popisuje chemicky pomocí Van der Waalsových sil. Literatura uvádí řadu způsobů k určení kontaktních úhlů. Tato práce je však zaměřena pouze na optické metody měření. Za nejfrekventovanější a vysoce objektivní je považována kapková metoda.

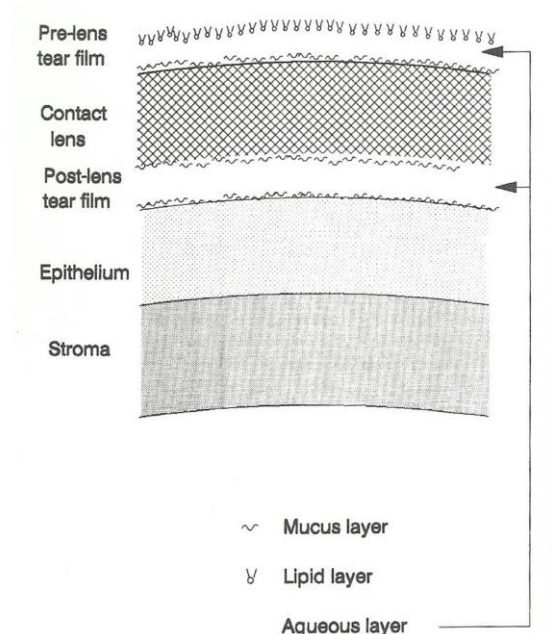
Distributoři kontaktních čoček zpravidla uvádějí ve svých odborných a marketingových materiálech pro své produkty řadu kladných informací. Co se týče charakterizace povrchu nebo případných povrchových úprav, bývají na informace skoupí. Většinou se uvádí pouze obchodní název technologie, která představuje vlastní povrchovou úpravu nebo jiné vylepšení materiálu čočky. Konkrétní struktury či hodnota kontaktního úhlu nebývají prezentovány. Pro doplnění informací jsou v experimentální části této práce měřeny u vybraného souboru kontaktních čoček hodnoty statického kontaktního úhlu pomocí kapkové metody.

1. Charakteristika kontaktních čoček

Kontaktní čočka je malý optický systém umístěný přímo na rohovku. Tomu musí odpovídat i tvarové a materiálové parametry čočky. Co se týče materiálu, jsou to vlastnosti optické (index lomu), mechanické (pevnost, tažnost, modul pružnosti a strukturní pevnost), botnací (rovnovážný obsah vody) a transportní (permeabilita, transmisibilita, oxygen flux). Mezi tvarové parametry patří radius, průměr čočky, průměr optické zóny, středová tloušťka a sagita. Pro interakci čočka – oko jsou nezbytnou součástí i povrchové vlastnosti, jako například smáčivost charakterizovaná kontaktním úhlem. [1]

Kvalita slzného filmu ovlivňuje chování čočky na oku značnou měrou. Pokud nebude slzný film dostatečně kvalitní, nebude rovnoměrně rozprostřený na čočce. Čočka pak bude ztrácet hydrataci s důsledkem možného vzniku defektů na oku.

Slzný film má díky svému složení amfifilní charakter. Podle Gabrassiho a spol. je nově rozprostřený slzný film rozdělen díky přítomné kontaktní čočce na 2 vrstvy na tzv. „pre-lens film“ a „post-lens film“. Rohovka a kontaktní čočka jsou obklopeny převážně mucinovou vrstvou, která má bifázický charakter (interakce slzného filmu s hydrofobním epitelem), a odděleny od sebe vodnou vrstvou. Na rozdíl od pre-lens filmu, u nějž dochází k rychlé a snadné výměně mrknutím, nedochází u post-lens filmu k tak významné obměně. Uvádí se, že obměna slzného filmu pod měkkou čočkou je pětikrát nižší než pod tvrdou čočkou. Pomalá výměna post-lens filmu má za následek větší výskyt lipidových molekul a změnu povrchového napětí. [2]



Obrázek č. 1.1: Vrstvy rohovky a slzného filmu za přítomnosti kontaktní čočky (Tear film–slzný film, Contact lens–kontaktní čočka, Epithelium–epitel, Mucus layer–mucinová vrstva, Lipid layer–lipidová vrstva, Aqueous layer–vodná vrstva) [2]

1.1 Materiály kontaktních čoček

Obecně se kontaktní čočka chová jako bariéra, která neumožňuje přirozeně vyživovat rohovku. Proto je zapotřebí použít takový materiál, který co nejméně ovlivňuje její přirozenou fyziologii. To je patrné i na vývoji materiálů kontaktních čoček, který postupuje od nepropustných nebo méně propustných materiálů jako je polymethylmethakrylát (PMMA), přes hydrogely (PHEMA) až po silikonhydrogely.

Tabulka č. 1.1: Rozdělení kontaktních čoček v závislosti na materiálu.

tvrdé	hydrofobní	nepropustné plynopropustné	PMMA RGP
	hydrofobní	–	silikon
měkké	hydrofilní	standardní výšebotnavé hybridní	PHEMA kopolymery HEMA, PVP, PVA silikonhydrogel

Dnešní dělení materiálů už je zjednodušené a sestává pouze ze tří kategorií. RGP čočky, hydrogely a silikonhydrogely. [1, 3, 6]

1.1.1.1 RGP čočky

Soudobé plynopropustné kontaktní čočky zabezpečují vysokou propustnost pro kyslík, a přestože v naší republice jsou aplikovány pouze menšinově (do 4 %), v zahraničních státech (v Německu, Nizozemí, Slovinsku, Japonsku, Švýcarsku nebo Rakousku) jsou velmi oblíbené. V těchto zemích se počet jejich aplikací pohybuje v rozmezí 10 až 30 %. [16] Zpravidla se jedná o kopolymery alkylmethakrylátů se siloxanymethakryláty, respektive fluoroalkylmethakryláty. Podle složení se jejich Dk pohybuje zhruba mezi 80–120 barrer. Díky hydrofobnímu charakteru jejich materiálů neumožňují kromě molekul plynů jinou látkovou výměnu. Částečně je tato schopnost nahrazena snazší výměnou slzného filmu pod čočkou při mrkání. [1]

1.1.1.2 Hydrogely

Materiály hydrogelových kontaktních čoček byly intenzivně vyvíjeny do konce minulého tisíciletí. S nástupem silikonhydrogelů sice jejich další rozvoj poněkud stagnuje, přesto byl ještě v roce 2014 uveden na čočkový trh nový hydrogelový materiál HyperGel™. Cílem vývoje bylo připravit kontaktní čočky vhodných tvarových parametrů s co nejvyšším možným obsahem vody, který je u hydrogelů zodpovědný i za propustnost materiálu pro kyslík. Ta stoupá s rostoucím obsahem vody. Tím ovšem klesá index lomu materiálu a hodnoty mechanických vlastností tak, že může být významně snížena odolnost a trvanlivost materiálu. Velký problém výšeboťnavých čoček dále představuje jejich osychání při aplikaci. Zamezení osychání čočky je právě nosným motivem materiálu HyperGel™, který v rovnováze obsahuje 78 % vody. Od zavedení standardních hydrogelových čoček z PHEMA, které obsahovaly cca 40 % vody, se během vývoje ustálily další hladiny výšeboťnavých čoček, a to na úrovni cca 55–58 % a 65–70 %. S obsahem vody nad 70 % se setkáváme ojediněle – čočky britských firem UltraVision CLPL, Cantor-Nissel, Ltd. nebo čočky Biotrue® firmy Bausch & Lomb, Inc. z již zmiňovaného materiálu HyperGel™. [8]

S rostoucím obsahem vody těchto čoček vzrůstá i jejich smáčivost. Běžné hydrogely – bez povrchových úprav – jsou tvořeny homogenním materiálem, tudíž jejich povrchové vlastnosti odpovídají vlastnostem materiálu v celém objemu.

1.1.1.3 Silikonhydrogely

Silikonhydrogely jsou, jak již z vlastního názvu vyplývá, tvořeny částí hydrofilní, hydrogelovou, která je zodpovědná za propustnost vody a vodorozpustných látek nebo iontů, a částí silikonovou (polysiloxanovou), která je zodpovědná za propustnost pro plyny a je hydrofobní. K dosažení optické homogenity čočky je nutné využít materiál s poměrně komplikovanou strukturou, která umožňuje vhodné uspořádání svých bipolárních molekul. K tomu se používají buď delší amfifilní řetězce nebo blokově uspořádané makromonomery. [1]

Silikonhydrogely první generace měly vysoké hodnoty propustnosti pro kyslík, nízký obsah vody a špatnou smáčivost. Proto bylo k dosažení stejnoměrné smáčivosti nutné provést úpravy jejich povrchu.

Druhá generace silikonhydrogelů přinesla vyšší obsah vody za cenu snížené permeability pro kyslík, avšak čočky AirOptix® bylo ještě nutné povrchově upravovat. [9]

Silikonhydrogely třetí generace pak představují materiály s delšími polysiloxanovými řetězci, které ve své struktuře nesou skupiny vhodné pro vytváření vodíkových můstků. Tím je dosaženo potřebného snížení hodnot modulu pružnosti, zachování relativně vysoké propustnosti pro kyslík a zároveň zajištěn i dostatečný obsah vody, takže zpravidla nejsou povrchové úpravy nutné.

Obecně se však zavádějí technologie, které zabraňují osychání čoček v průběhu jejich nošení. Jedním z principů je vnesení lineárních nebo mírně rozvětvených řetězců vysoce hydrofilních polymerů jako je polyvinylpyrrolidon (PVP – technologie Hydraclear®) nebo polyvinylalkohol (PVA – technologie All Day Comfort™) do povrchových struktur polymerní sítě materiálu čočky. [9]

1.2 Kontaktní čočky na českém trhu

U silikonhydrogelů 1. generace a kontaktních čoček AirOptix® se provádí dodatečná plazmatická oxidace povrchu, v jejímž důsledku dochází k přeměně silikonových struktur na hydrofilní silikátové. Pohyby plazmy jsou řízeny vnějším elektrickým polem ke kontrole chemických procesů materiálu. Vzniklá tenká vrstva neovlivňuje permeabilitu pro kyslík. [1, 10]

Dnes jsou na českém trhu zastoupeny čtyři velké firmy distribuující měkké kontaktní čočky: Alcon, Inc., Bausch & Lomb, Inc., CooperVision, Inc. a Johnson & Johnson Services, Inc. Pro zlepšení vlastností hydrogelů jsou typické zvlhčující látky v blistrovém roztoku (technologie ComfortMoist™ od Bausch & Lomb, Inc.) nebo inkorporace vhodných chemických skupin do polymerní struktury materiálu. Tyto skupiny vytvářejí více možností pro tvorbu vodíkových můstků s molekulami vody (PC technologie™ od CooperVision, Inc.). U silikonhydrogelů je zapotřebí zajistit vyšší a hlavně rovnoměrnou smáčivost a dlouhotrvající zvlhčení při zachování vysoké propustnosti pro kyslík (technologie Aquaform® od CooperVision, Inc., technologie TriComfort™ od Alcon, Inc). Existují způsoby, které „uzamykají zvlhčující látky přímo do materiálu a navážou tekutinu, ze které vznikne pomyslný polštářek“ (Hydraclear® a Lacreon® od Johnson & Johnson Services, Inc.). [11, citováno] Povrch kontaktní čočky se může plazmou zušlechťovat a obohacovat o zvlhčující látky (čočky AirOptix® Aqua od Alcon, Inc). Také je možné použít materiál s různým obsahem vody v centru a v povrchové části čočky – materiál s gradientem botnání (kontaktní čočka Dailies Total1® od Alcon, Inc.). [9, 11, 12, 13]

2. Smáčivost kontaktních čoček

Jedná se o jeden z nejdůležitějších faktorů pro interakci tvarově vhodné kontaktní čočky s rohovkou, neboť udává míru navázání slzného filmu na kontaktní čočku. Maximálně kompatibilní materiál by měl mít dostatečnou hydrofilitu povrchu a vysokou permeabilitu pro kyslík. Smáčivost se pozoruje v třífázovém rozhraní plyn (gas, vapour), kapalina (liquid) a pevná fáze (solid). Kapka tekutiny nanesená na povrch pevné fáze se snaží zaujmout energeticky nejvýhodnější pozici. Kvůli vzájemnému vyrovnání povrchových sil prostředí pak kapka vytváří specifický tvar, který je charakterizován kontaktním úhlem.

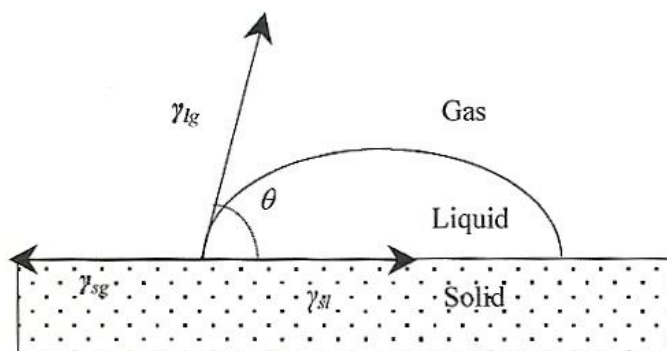
$$\Delta p = \gamma_{lg} \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.1)$$

Laplaceův tlak vychází z rovnovážného stavu prostředí. r_1 a r_2 vyjadřují poloměry zakřivení kapky uvnitř a vně, z toho vychází i změna tlaku Δp . Povrchová energie kapky se značí γ_{lg} . [14]

2.1 Kontaktní úhel

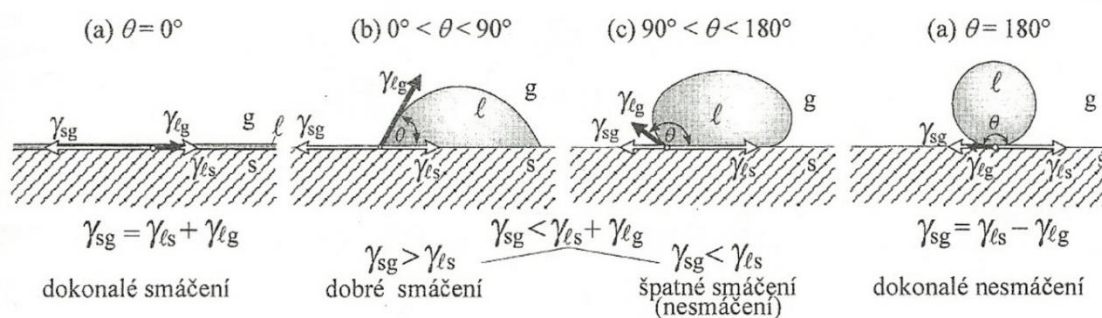
Úhel smáčení neboli kontaktní úhel je definován jako úhel θ mezi tečnou k povrchu kapalinové kapky γ_{lg} a pevným rozhraním γ_{sl} v bodě linie smáčení. Výpočet vychází z Youngova principu smáčivosti, který udává součet vektorů mezifázových rozhraní. γ_{sg} se týká rozhraní plyn – pevná fáze. Třífázová rozhraní se stýkají v křivce, nazývané jako linie smáčení. Youngova rovnice bere v potaz pouze homogenní povrch a dokonale rovnovážný stav rozhraní. [2, 3, 14, 15, 16, 17]

$$\cos \theta = 1 - \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lg}} \quad (2.2)$$



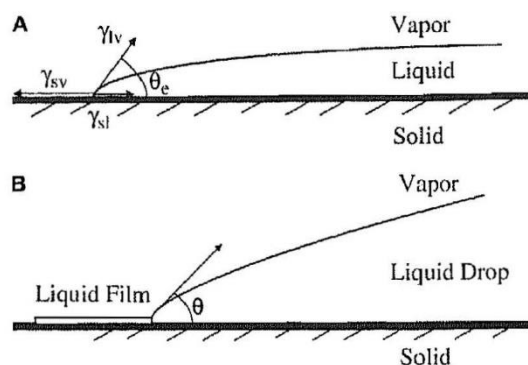
Obrázek č. 2.1: Kontaktní úhel v třífázovém rozhraní (Gas–plyn, Liquid–kapalina, Solid–pevná fáze) [15]

Z obrázku č. 2.2 je patrné, že pokud kontaktní úhel bude menší než 90° , kapalina bude povrch pevné fáze dobře smáčet. Extrémní případ nastává tehdy, kdy se hodnota kontaktního úhlu blíží 180° , pak je pevný povrch dokonale nesmáčen. Pokud platí $\gamma_{sg} = \gamma_{ls} + \gamma_{lg}$ (kontaktní úhel je roven 0°), kapalina se rozestře po povrchu pevné látky současně. Kapalina má rovnovážný tvar tehdy, kdy je splněna podmínka $\gamma_{sg} < \gamma_{ls} + \gamma_{lg}$. Lyofilní povrchy se charakterizují jako dobře smáčené povrchy, jejichž kontaktní úhel bude mít zhruba 30° , kdežto lyofobní za špatně smáčivé. Hodnota 90° je pro mnoho aplikací vyžadujících smáčivý povrch nepoužitelná. [15, 16]



Obrázek č. 2.2: Hodnocení smáčivosti dle velikosti kontaktního úhlu [16]

Z molekulárního hlediska není zcela pravidlem, že se třífázové rozhraní nachází přímo v bodě linie smáčení, nicméně je toto místo posunuto díky tenké vrstvě kapky, která se rozprostírá po pevném prostředí (viz. obrázek č. 2.3). [19]



Obrázek č. 2.3: Detailní pohled kapky při aplikaci na pevnou fázi (Vapor–plyn, Liquid–kapalina, Solid–pevná fáze, Liquid Film–kapalný film, Liquid Drop–kapka kapaliny) [19]

2.2 Hystereze kontaktního úhlu

Kontaktní úhel měřený na usdlé kapce a povrchové napětí kapaliny nejdou měřit nezávisle na sobě. Z toho vyplývá, že nelze použít samotnou Youngovu teorii, která počítá jen s homogenním prostředím.

2.2.1 Termodynamická hystereze (drsnost materiálu)

Pokud bude brána v potaz Youngova teorie, povrchy pevné fáze by musely být homogenní a hladké a v rozhraní mezi kapalinou a pevnou fází by nemohlo docházet k botnání či penetraci kapaliny. Dále by kapalina interagovala s pevnou fází jen pomocí povrchové energie látek. [2]

2.2.1.1 Wenzelova teorie

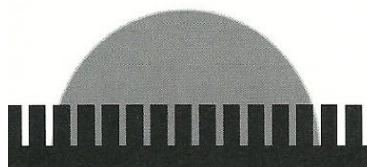
Dle Wenzela je přítomno mnohem více povrchu u prostředí drsného než u hladkého.

$$r(\gamma_{sg} - \gamma_{sl}) = \gamma_{lg} \cos \theta_w \quad (2.3)$$

Wenzelova rovnice udává míru drsnosti r jako poměr mezi reálným (drsným) a geometrickým (hladkým) povrchem. [2, 15]

$$\cos \theta_w = r \cos \theta_y \quad (2.4)$$

Dolní indexy w a y udávají úhel Wenzelův (pro drsný povrch) a úhel Youngův (pro hladký povrch). Tento vztah dokazuje, že, pokud bude Youngův úhel $\theta_y > 90^\circ$, Wenzelův úhel θ_w vzroste. Naopak pokud $\theta_y < 90^\circ$, θ_w se sníží. [2, 15, 17]



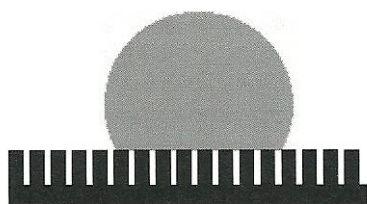
Obrázek č. 2.4: Wenzelův model drsnosti [15]

2.2.1.2 Cassie – Baxterova teorie

Pro 2 chemicky heterogenní prostředí vytvořil Cassie teorii, ve které využívá kompozitního povrchu. To jest představa, že pod kapkou kapaliny se nacházejí částečně pevná fáze a částečně vzduchové prostory.

$$\cos \theta_c = Q_1 \cos \theta_y + Q_2 \cos \theta_2 \quad (2.5)$$

θ_c vyjadřuje hodnotu Cassieho úhlu kapaliny na heterogenním povrchu, Q_1 měřenou část pevného povrchu a θ_y Youngův úhel. [2, 15, 17]



Obrázek č. 2.5: Cassieho model heterogenity [15]

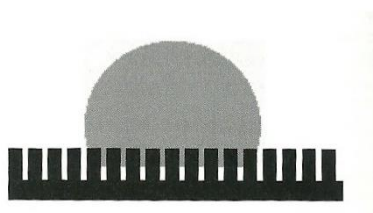
Uvažuje se i o kooperaci těchto dvou teorií, kdy rozhodují vzduchové bubliny, které se naplní tekutinou kapky. To má za následek snižování kontaktního úhlu. Prahovou hodnotu udává θ_{th} mezi Wenzelovým a Cassieho jevy.

$$\cos \theta_{th} = \frac{\gamma_{sl} - 1}{r - \gamma_{sl}} \quad (2.6)$$

Drsnost materiálu a heterogenita prostředí způsobují tzv. energetické bariéry. Nejmenší volná energie koresponduje s kontaktním úhlem, který předurčil Wenzel pomocí drsnosti a Cassie pomocí heterogenity. [2]

$$\cos \theta_c = Q_1 \cos \theta_y - Q_2 \quad (2.7)$$

Cassie – Baxterova rovnice pro kontaktní úhel větší než 90° dokazuje, že energetické bariéry mezi téměř rovnovážným stavem jsou v heterogenním prostředí redukovány.



Obrázek č. 2.6: Přechodný stav mezi Wenzelovou a Cassieho teorií [15]

2.2.2 Kinetická hystereze

Tato teorie se zabývá časově závislými interakcemi mezi kapalinou a pevným prostředím. I přes relativně velký obsah vody v materiálu PHEMA byly pozorovány vysoké hodnoty postupujícího kontaktního úhlu. Kapalina se snaží navázat k hydrofilnímu prostředí povrchu pevné fáze, které se přizpůsobuje díky konformačním změnám nebo segmentální pohyblivosti řetězců. Pokud je povrch pevné fáze zdánlivě méně hydrofilní, kapalně hydrofilní části se stáčí dovnitř své molekuly. Při dlouhodobém měření může následně docházet ke zbotnutí materiálu. [2, 15]

2.3 Povrchová energie

Atomy tekutého média interagují s atomy pevného média, tento stav vykazuje určitou mezifázovou energii γ_{sl} . Dále se zde objevuje povrchová energie pevné látky γ_{sg} a kapaliny γ_{lg} . Je potřeba, aby výsledná energie všech tří rozhraní (plyn, kapalina, pevná fáze) byla v rovnovážném stavu a pokud možno co nejmenší. [16]

Literatura uvádí, že pokud je kontaktní úhel roven 0° , povrchová energie prostředí nebude rovna 0 Nm^{-1} . Nelze totiž dlouhodobě charakterizovat čistou vodu jako prostředí pro zjištění povrchové energie. Proto je zapotřebí brát toto prostředí jako amfifilní látku vhodnou k interakci s kontaktní čočkou. [2]

2.4 Povrchové napětí

Povrchové napětí γ (Nm^{-1}) je definováno jako síla tečny, která působí ve směru povrchu. Povrchová energie a povrchové napětí se v tomto případě shodují. Tato veličina je ovlivňována složením kapalně fáze, teplotou i tlakem. [16]

Pokud nebudou molekuly kapaliny izolovány či samy k sobě přitisknuty, pak můžou ztratit určitou část povrchové energie nebo ji sdílet s ostatními molekulami. To má za následek zmenšování povrchu kapaliny. Když dojde ke zvýšení teploty prostředí, povrchové napětí kapaliny se snižuje. Vzhledem k tomu, že si tělo udržuje stálou vnitřní teplotu, je zapotřebí použít detergenty, které zlepšují smáčivost povrchu. Detergenty zapříčiní návaznost jejich hydrofilních částí k hydrofobním částem kontaktní čočky.

$$p_c = \gamma_s - \gamma_{sg} \quad (2.8)$$

U rozhraní plyn – pevná fáze bude klesající tlak p_c u povrchového napětí pevné fáze zanedbán díky pohlcení vzduchu. Pokud bude vzrůstat povrchové napětí pevné fáze, bude se navyšovat i tlak p_c pro danou kapalinu. Toto se týká kontaktních úhlů menších než 10° . Lze tedy předpokládat, že pro vyšší hodnoty úhlů je tlak p_c zanedbatelný. Je potřeba zmínit, že určitou roli hraje i okolní parciální tlak vzduchu. Pokud by se rozhraní kapalina-pevná fáze nacházelo ve vakuu, povrchové napětí pevné fáze a okolního prostředí by bylo v rovnováze. [9, 19]

Micelární látky jsou charakteristické tím, že snižují povrchové napětí vody. Nazývají se též jako povrchově aktivní. Micely se chovají jako amfifilní prostředí. I přesto, že mají velkou afinitu k rozpouštědlům, snaží se být v jejich nitru nerozpustné. [16] U silikonhydrogelových čoček je zapotřebí navodit jak hydrofilní, tak lipofilní prostředí, aby byly slzným filmem co nejlépe smáčivé.

2.5 Adheze

Přilnavost neboli adheze koreluje se soudržností, též nazývanou kohezí. Kohezní práce W_K spočívá v rozdělení kapaliny na dvě rovnovážná prostředí γ_A a γ_B . Naproti tomu adhezní práce W_A se definuje jako oddělení kapaliny na dvě nestejně fáze a počítá se jako rozdíl mezi povrchovými energiemi γ_A a γ_B těchto dvou prostředí a jejich mezifázové energie γ_{AB} . [16]

Pokud bude přítomen stav, kdy adheze bude větší než koheze, povrch se stává smáčivý (hydrofilní) a tudíž mezifázová energie musí být nízká. Jakmile bude oproti adhezi koheze větší, povrch bude nesmáčivý (hydrofobní).

2.6 Smáčecí teplo

Určitou charakteristiku pevného prostředí také určuje smáčecí teplo vztažené na jednotku plochy povrchu (změna entalpie). Pokud se při smáčení uvolní velké množství tepla, nastává mnohem větší vzájemná interakce mezi kapalinou a pevným prostředím. Veškerá mezifázová energie se uvolňuje v podobě tepla. [16, 19]

$$\Delta_{\text{sm}}H = A (\sigma_{sl} - \sigma_{sg}) \quad (2.9)$$

A je plocha smáčeného povrchu za konstantního tlaku a teploty, σ je změna entalpie u fázového rozhraní za konstantního tlaku a teploty. Změna plochy mezi kapalinou a plynem σ_{sl} je zanedbatelná. Vzhledem k tomu, že jsou celkové hodnoty smáčecích tepel nízké, mezifázová energie se využívá zejména u mikroporézních látek. [16]

$$-\Delta_W H_{\theta=0} = \gamma_{lg} - T \left(\frac{\partial(\gamma_{lg})}{\partial T} \right)_P = H_{lg}^{(A)} \quad (2.10)$$

Rovnice č. 2.10 popisuje vztah Gibbsovy energie a změnu entalpie s Youngovou rovnicí kontaktního úhlu za konstantního tlaku. Jak popisuje Jura a Harkins, $H_{lg}^{(A)}$ je výsledná povrchová entalpie kapaliny za dokonalého smáčení $\theta = 0^\circ$. [19]

3. Metody měření

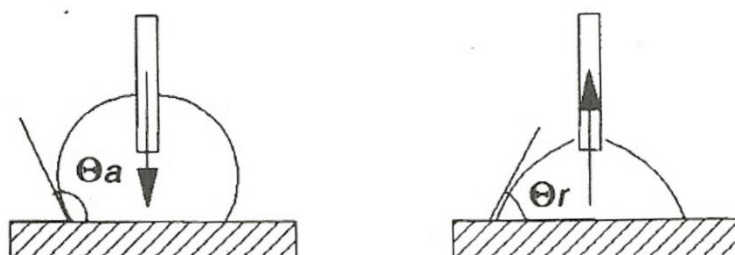
Smáčivost lze měřit několika způsoby. Ex vivo a in vitro metodou kontaktního úhlu nebo in vivo měřením kontinuity slzného filmu pomocí Break-Up Time testu (BUT). U této metody nelze předpovídat interakce mezi slzným filmem a povrchovou vrstvou měřením kontaktního úhlu. [10] Následující kapitoly se zaměřují na optická měření kontaktního úhlu. V dnešní době se využívají především kapková metoda, bublinová metoda a obě Wilhelmyho metody, a to kvůli relativně velké přesnosti a jednoduchosti měření. [19]

3.1 Kapková metoda

Princip spočívá v nanesení kapky pipetou na vodorovně položený povrch pevné fáze, který je osvětlen horizontálním zdrojem světla. Dříve tuto oblast snímal zabudovaný mikroskop opatřený goniometrickou stupnicí. V současné době se používá digitální kamera, která zaznamená přesnou pozici kapky na pevném prostředí. Všechna data přenesou do softwaru, který vyhodnotí tvar kapky, její povrchovou energii a kontaktní úhel. Vzhledem k různým postupům měření je potřeba rozlišit kontaktní úhel statický a dynamický. [2, 3, 14, 15, 16, 17]

Statický kontaktní úhel je charakteristický tím, že kapka stojí na povrchu a třífázová mez se nehýbe. U dynamického kontaktního úhlu se třífázová mez hýbe a odkazuje se na hysterezi kontaktního úhlu, která je dána rozdílem mezi maximální a minimální statickou hodnotou kontaktního úhlu. „Úhel smáčení kapaliny θ_a , která postupuje po pevném povrchu (při vnořování pevného předmětu do kapaliny nebo při naklánění pevného povrchu) je větší než úhel θ_r na ustupujícím rozhraní (při vynořování).“ [16, citováno] Při měření dynamického kontaktního úhlu je nejprve nanášena kapka na pevné prostředí a dále je její část absorbována pipetou. Zpravidla bývá tekutina nanášena v rozmezí 5–15 μl a z toho 2 μl pipeta absorbuje. Během měření se objemu by měla být pipeta ponořena do kapky. Přítomnost pipety v kapce neovlivňuje hodnoty kontaktního úhlu. [2, 3, 14, 15, 17]

Díky hysterizi se měření dynamického kontaktního úhlu vyhýbá různým vibracím a narušením kapky a zároveň bere v úvahu i drsnost prostředí (viz. kapitola 2.2.1 Termodynamická hysterize). U ustupujícího kontaktního úhlu není možné měřit povrchovou energii prostředí díky dané změně povrchu. U statického kontaktního úhlu může docházet v závislosti na čase k ovlivnění z hlediska interakce pevného povrchu s kapalinou (chemická reakce, botnání, rozpouštění). [2, 15, 16]

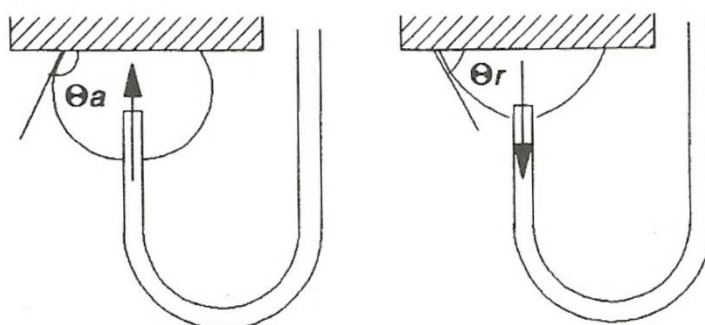


Obrázek č. 3.1: Měření dynamického kontaktního úhlu pomocí kapkové metody [2]

Dnes tuto metodu vyhodnocuje ADSA technika definovaná Neumannem a spol. za pomoci kapkové metody s využitím aplikace na pevnou fázi nebo pomoci zavěšené kapky na pipetě. Tato technika je popsána blíže v experimentální části.

3.2 Bublinová metoda

Na obrázku č. 3.2 je zobrazena aparatura bublinové metody. Zahnutou kapilárou ponořenou v kapalině je veden vzduch, který se zachytí na pevném povrchu. Následně se dá pomocí výpočtu zjistit hodnota kontaktního úhlu. I u této metody se dá měřit kontaktní úhel hysterizí kapaliny. Jde o princip zvyšování a snižování velikosti bubliny v kapalném médiu. [2]

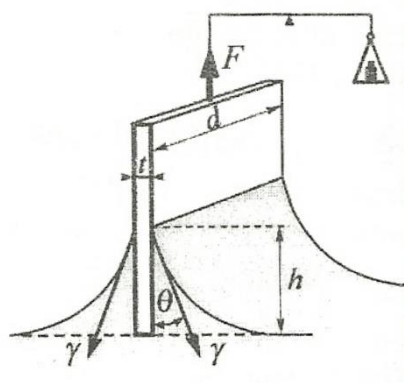


Obrázek č. 3.2: Bublinová metoda [2]

3.3 Wilhelmyho metoda namáčení desky

Pevný plát o šířce d a tloušťce t zavěšený na rameni váhy se ponoří vertikálně do kapaliny, dolní hrana plátu je přesně na úrovni hladiny kapaliny a následně se pozoruje třífázové rozhraní. Od místa doteku kapaliny s pevným povrchem vznikají menisky definované Laplace-Youngovou rovnicí, ke kterým je vedena tečna udávající velikost kontaktního úhlu. Měří se síla F , která je potřebná k vyvážení desky. Při nulovém úhlu smáčení je povrchové napětí rovno hmotnosti vzlínající se kapaliny. Pro tuto metodu je zapotřebí mít dlouhý a rovný plát kompozitního charakteru. Pro zakřivený povrch se využívá ACPAC technika. [2, 15, 16, 19]

$$F = 2\gamma (d + t) \quad (3.1)$$



Obrázek č. 3.3: Wilhelmyho metoda namáčení desky [16]

3.4 Wilhelmyho gravitační metoda

$$F = P_W \gamma_{lg} \cos \theta + V \Delta \rho_{sl} g \quad (3.2)$$

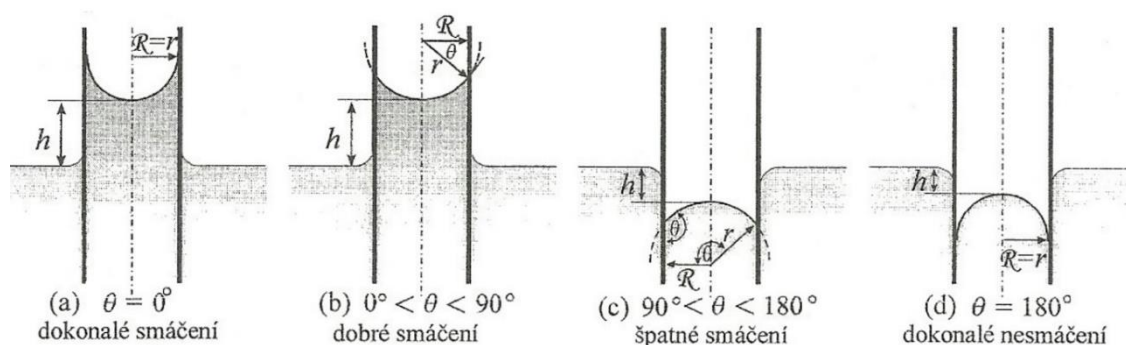
U této metody se sleduje výška kapilárního smáčení na vertikálně zavěšené pevné fázi. Jak blíže popisuje Budziak a Neumann, dochází zde ke včlenění Laplaceovy rovnice vzlínání. Potřebná síla F slouží k vyvažování pevné fáze. U přírodních materiálů může díky penetraci tekutého média docházet ke změně zakřivení, popřípadě botnání pevné fáze. U neporézních hladkých povrchů jsou v závislosti na síle F hodnoty P_W , γ_{lg} a ρ_{sl} konstantní. Výhoda tohoto měření je, že nedochází ke pnutí kapaliny po povrchu. Pro aplikaci je vhodné mít rovný a dlouhý plát kompozitního charakteru bez zakřivení. [23]

3.5 Kapilární metoda

Při této metodě se používají dokonale smáčivé, převážně skleněné, materiály s kapalinou. Měří se vzestupná výška ve vertikálně položené kapiláře. Kapilára je ponořena do nádoby s tekutinou. Rozdíl mezi hladinou v kapiláře a hladinou okolní kapaliny je dán mezifázovou energií. Pokud se hladina v kapiláře bude nacházet nad okolní hladinou, dochází ke kapilární elevaci (Obrázek č. 3.4 (a) a (b)), která při kontaktním úhlu 0° může zapříčít dokonalé smáčení. Pokud bude hladina v kapiláře níže, nastává kapilární deprese (Obrázek č. 3.4 (c) a (d)), kdy je povrch špatně smáčen a úhel smáčení je tzv. tupý. U této metody je oproti Wilhelmyho metodě rychlejší teplotní adaptace kapaliny. Pokud se ale hodnota kontaktního úhlu blíží 90° , její přesnost je nižší. [16, 24]

$$\cos \theta = \frac{dhg\Delta\rho_{lg}}{\gamma} \quad (3.3)$$

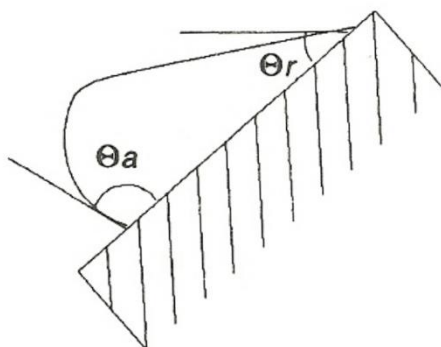
Pro výpočet je dán průměr kapiláry $d = 2r$, h jako výška mezi hladinou uvnitř a vně kapiláry, g je tíhové zrychlení a změna hustoty $\Delta\rho_{lg}$ je rozdíl mezi hustotou kapaliny a plynu. [24]



Obrázek č. 3.4: Smáčivost kapaliny v kapiláře [16]

3.6 Metoda naklonění roviny

Pevná fáze se naklání z výchozí vodorovné pozice, kde je nanesena kapka média. Tento pohyb se zastaví v případě, kdy se kapka pohne. Později nastává zlom a kapka stéká z pevné fáze. V tomto okamžiku je snímán kontaktní úhel prostředí. Touto metodou lze také měřit hodnoty postupujícího θ_a a ustupujícího θ_r kontaktního úhlu. Pro tuto metodu je zapotřebí speciálního povrchu a kapaliny. [19]



Obrázek č. 3.5: Metoda naklonění roviny [2]

3.7 Interferenční mikroskopie

Tato metoda snímá třídímní tvar kapky na transparentním nebo reflektivním materiálu, kde se odrážejí interferující paprsky. Po analýze se kapky jeví jako Newtonovy kroužky, na kterých se měří intenzita paprsku. Maxima a minima vytváří profil kapky. Interferenční mikroskopii lze využít pro měření kontaktních úhlů menších než 30° . [15]

4. Cíle práce

Cílem této práce je porovnání souboru vybraných měkkých kontaktních čoček dostupných na českém trhu dle jejich smáčivosti, charakterizované naměřenými hodnotami kontaktních úhlů. Zjištěné hodnoty budou porovnávány s již naměřenými výsledky z jiných výzkumných prací. Na základě studované literatury a optických metod bylo pro tuto práci vybráno měření statického kontaktního úhlu kapkovou metodou.

5. Experimentální část

Při spolupráci s konzultantem dr. Mikšovským v Laboratoři laserových technologií na Společném pracovišti biomedicínského inženýrství Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT a 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy byl použit přístroj DSA100 od firmy Krüss GmbH. Kapková metoda se zabývá vyhodnocením kontaktního úhlu na pevné fázi. Statický úhel využívá nehybnosti třífázové meze, kvůli které by pevná fáze měla být neměnná.

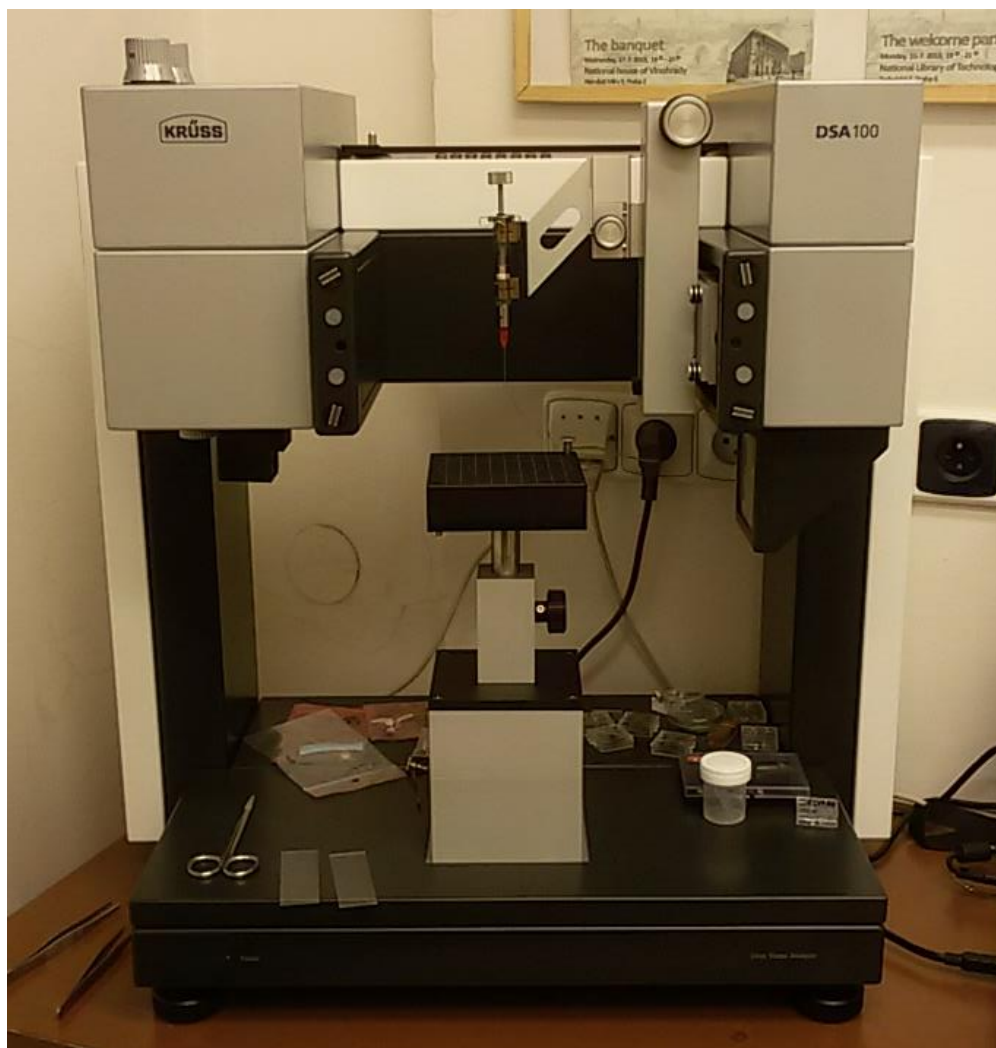
5.1 Postup měření

ADSA technika (Axisymmetric Drop Shape Analysis) je v dnešní době jedna z nejvyužívanějších metod pro měření kontaktních úhlů. Zatímco přesnost kapkové metody s využitím goniometru je $\pm 2^\circ$, citlivost ADSA techniky vzhledem k automatizaci a digitalizaci měření dosahuje až $\pm 0,1^\circ$. ADSA technika využívá možnosti současného měření kontaktního úhlu a povrchového napětí. U metody se zavěšením kapky je možné měřit pouze povrchové napětí kapaliny. [19, 30]

K měření byl použit přístroj Drop Shape Analyzer DSA100, který je schopen vyhodnocovat kontaktní úhel kapky na pevné fázi. DSA100 je vybaven horizontálně umístěným stolem, stojanem na injekční pipetu, snímací kamerou, osvětlovací částí s difuzorem a softwarem pro vyhodnocení výsledků měření. Stolek je pevně ukotven, aby zamezil okolním vibracím, a jeho manipulace je možná ve vertikálním směru. U kamery, která snímá oblast rozhraní, bylo nastaveno potřebné zvětšení a jemné doostření na danou lokalitu smáčení. Pro měření byla zvolena intenzita osvětlení 55 lx, a tomu i odpovídající jas a kontrast prostředí, aby se nevytvářely odlesky od rozhraní, a tím neměnily oblast snímání. Okolní teplota potřebná pro měření odpovídala hodnotám 21 °C.

Na pevnou fázi, nebo kontaktní čočku umístěnou vnitřní plochou ke stolku, byla nanášena injekční pipetou kapka připravené kapaliny. Přístroj je bez automatizace (otočných injekčních pipet), proto množství kapaliny pro aplikaci záleží na operátorovi. Objem kapky se určuje otočným kotoučem, který uvolňuje kapalinu z injekční pipety. Pro měření je požadována kapka o objemu $0,4 \pm 0,1 \mu\text{m}$. Jehla pipety má průměr 0,515 mm. Celý proces včetně nanášení kapky

na pevnou fázi byl zachycen na videu o 17 s a 225 snímcích. Vzhledem k časové závislosti se kontaktní úhel vyhodnocoval v čase mezi 65. a 75. snímkem. Snímky jsou zachycovány kamerou v šedých odstínech, které reprezentují škálu intenzity světla. Delší doba měření může změnit vlastnosti měřené oblasti kvůli zbotnění materiálu či rozprostření kapky po kontaktní čočce.



Obrázek č. 5.1: Příklad DSA100

Pro měření byly použity dvě kapaliny, a to fosfátovým pufrem stabilizovaný fyziologický roztok (Phosphate Buffered Saline, PBS, 137 mM NaCl, 2,7 mM KCl, 10 mM Na₂HPO₄ a 1,8 mM KH₂PO₄, *pH* 7,4) a destilovaná voda (DV).

Pro měření byly také využity pinzety, nůžky a podložní skla. Příprava pevné fáze spočívala v osušení povrchu kontaktní čočky od roztoku z blistru, aby se zamezila případná kontaminace lipidovými sloučeninami. Čočka byla ponechána 2 min na vzduchu a následně využita pro měření. Po měření byla vložena zpátky do blistru s roztokem. Tento proces byl u každé čočky zrealizován třikrát.



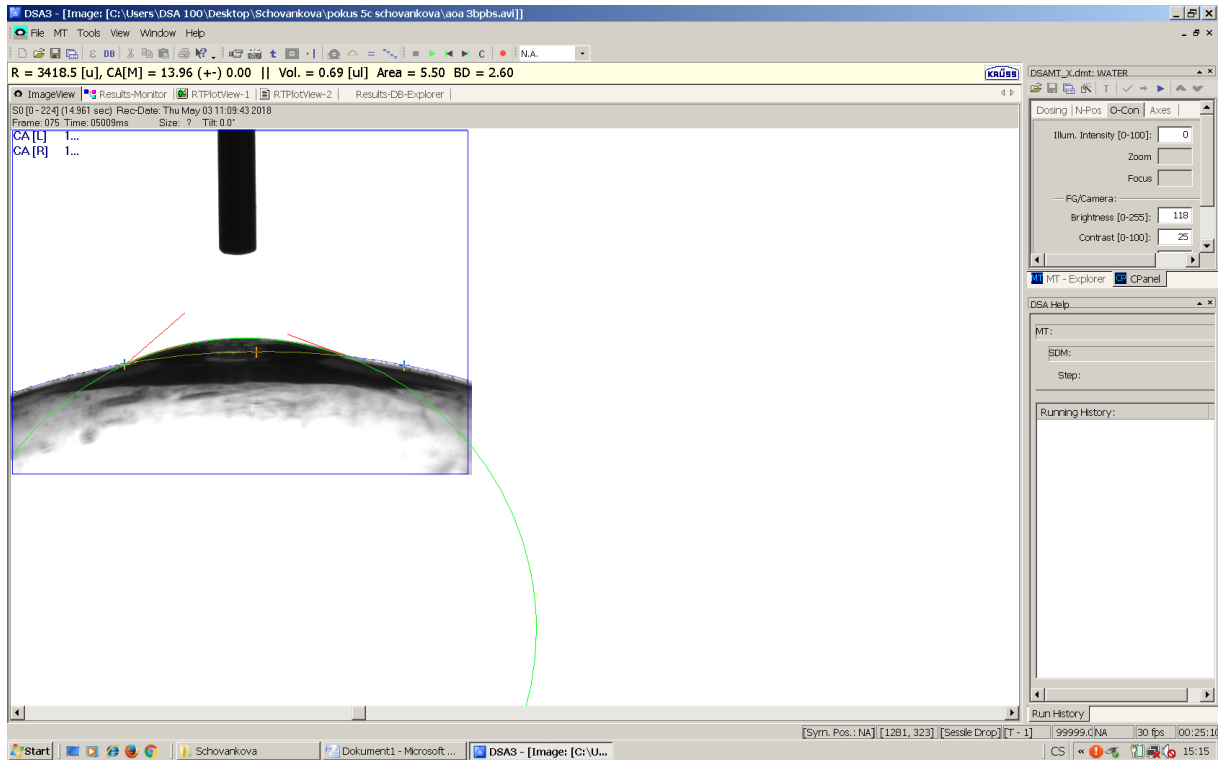
Obrázek č. 5.2: Detailní pohled nanesené kapky na kontaktní čočku

Nastavení zakřivení pevné fáze bylo provedeno ručně podle zachycených snímků. Tangent je zarovnán podél pevné fáze k bodům linií smáčení třífázového rozhraní. Variabilita tangentu je čistě subjektivní záležitost, neboť záleží na zkušenosti s přístrojem. Podle nastaveného zakřivení byla následně softwarem určena hodnota kontaktního úhlu. Pokud je kapka rozprostřena po čočce, znamená to vysokou smáčivost a tím i nízkou hodnotu kontaktního úhlu (viz. obrázek č. 5.3). Naopak pokud je kapka na čočce zachycena jako na obrázku č. 5.4, znamená to nízkou smáčivost a vysokou hodnotu kontaktního úhlu.

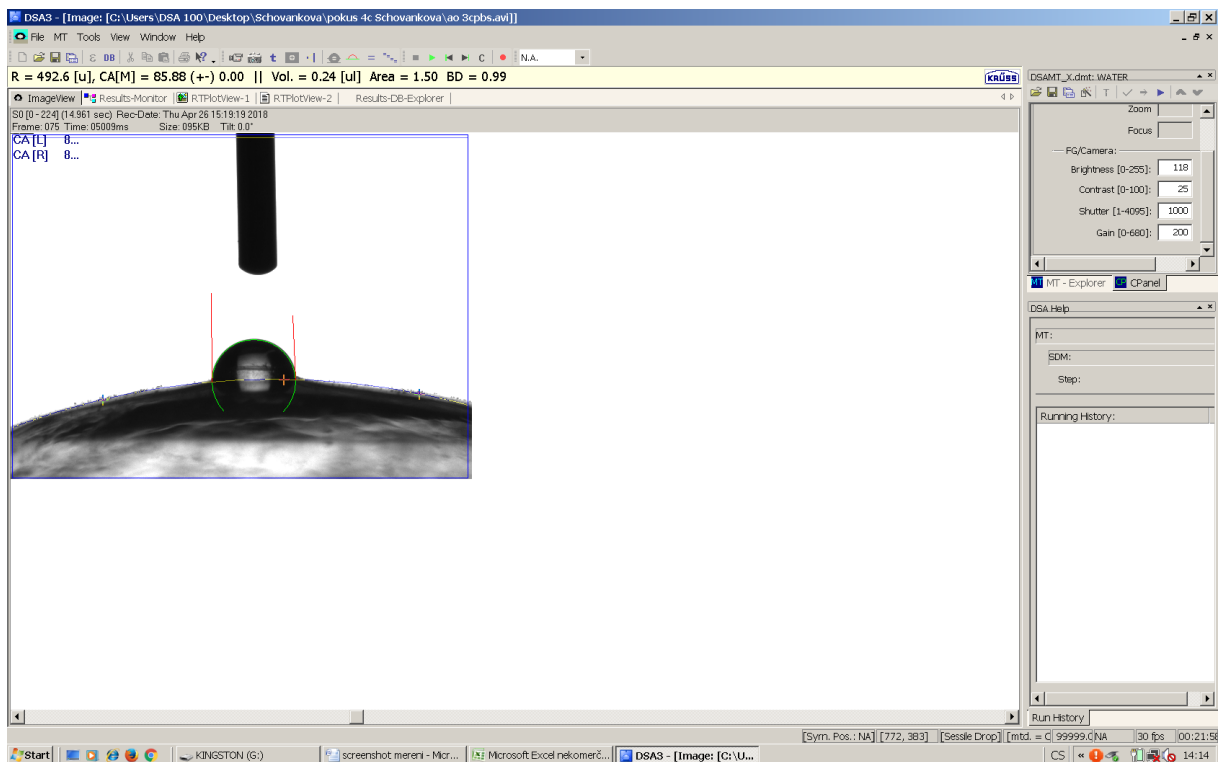
5.2 Materiály a jejich technologie

Tabulka č. 5.1: Dostupné materiály, u kterých byl měřen kontaktní úhel.

	Název firmy	Název KČ	Optická mohutnost (dpt)	Zakřivení (mm)	Průměr (mm)	Obsah vody (%)				
Hydrogel	Alcon®	Dailies® AquaComfortPLUS®	-3,75	8,7	14,0	69				
	Bausch & Lomb®	Biotrue® ONEday	-4,00	8,6	14,2	78				
		SofLens® 59	-6,00	8,6	14,2	59				
	Johnson & Johnson®	1-day Acuvue®	-5,50	8,5	14,2	58				
			-5,75	9,0						
		1-day Acuvue® Moist™	-3,25	8,5	14,2	58				
	Wichterle a Vacík	H-S 38	+3,50	8,4	14,0					
				8,4	14,5					
				8,1	14,5					
				8,7	14,0					
				-1,25	9,0	14,0	38			
					9,0	14,5				
					9,3	14,5				
	ÚMCH AV ČR	Fólie poly(HEMA)		-	-	-	38			
Silikonhydrogel	Alcon®	AirOptix® Aqua	-5,75	8,6	14,2	33				
			-6,00							
	Bausch & Lomb®	PureVision® 2	-4,25	8,6	14,0	36				
			-4,50							
			-4,75							
	CooperVision®	Biofinity®	-3,50	8,6	14,0	48				
			Clariti®				-10,00	8,6	14,1	56
			MyDay®				-4,50	8,4	14,2	54
	Johnson & Johnson®	1-day Acuvue® Oasys™	-4,25	8,8	14,0	38				
1-day Acuvue® TruEye™			-3,50				8,5	14,2	46	



Obrázek č. 5.3: Grafické vyhodnocení kontaktního úhlu kontaktní čočky AirOptix® Aqua



Obrázek č. 5.4: Grafické vyhodnocení kontaktního úhlu kontaktní čočky 1-day Acuvue® Oasys™

Tabulka č. 5.2: Základní složení dostupných kontaktních čoček. [3, 31]

	Název firmy	Název KČ	Hlavní komponenty	Povrchová úprava
Hydrogel	Alcon®	Dailies® AquaComfortPLUS®	PVA	vnitřní smáčecí faktor, PVA
	Bausch & Lomb®	Biotrue® ONEday	HEMA, NVP	Povrchově aktivní látka – triblokový kopolymer PEO-PPO
		SofLens® 59	HEMA, NVP	-
	Johnson & Johnson®	1-day Acuvue®	HEMA, MA	-
		1-day Acuvue® Moist™	HEMA, MA	-
	Wichterle a Vacík	H-S 38	HEMA	-
Silikonhydrogel	Alcon®	AirOptix® Aqua	DMA, TRIS, siloxanové monomery	iontová modifikace plazmou
	Bausch & Lomb®	PureVision® 2	NVP, TPVC, NCVE, PBVC	plazmatická oxidace
	CooperVision®	Biofinity®	NVP, VMA, IBM, TAIC, FM0411M, HOB	vnitřní smáčecí faktor
		Clariti®	alkyl methakryláty, siloxanové monomery, NVP	-
		MyDay®	PDMSMA, VMA	vnitřní smáčecí faktor
	Johnson & Johnson®	1-day Acuvue® Oasys™	MPDMS, DMA, HEMA, siloxanové makromery, TEGDMA, PVP	vnitřní smáčecí faktor, PVP
		1-day Acuvue® TruEye™	HEMA, siloxanové makromery, TEGDMA, PVP	vnitřní smáčecí faktor, PVP

Z tabulky č. 5.2 vyplývá, že hydrogely nevyžadují žádnou povrchovou úpravu oxidačního typu. Vzhledem k mírně rozvětveným strukturám polymerních sloučenin PEG a PVA jsou čočky Dailies® AquaComfortPLUS® vysoce hydrofilní. K hydrofilitě přispívá i HPMC, která lépe váže molekuly vody. Jednou ze složek materiálu HyperGel™, který obsahuje v rovnovážném stavu 78 % vody, je i povrchově aktivní amfifilní makromonomer na bázi triblokového kopolymeru polyethylenoxid (PEO)/polypropylenoxid (PPO), který by měl zamezovat osychání čočky. [8] Existují roztoky, které zapříčiní postupné uvolňování zvlhčujících látek do čočky. Tato technologie je značena jako ComfortMoist™ od Bausch & Lomb®. [9, 12]

Kvůli malému obsahu vody se silikonhydrogely povrchově upravují. Polymerizace plazmy na povrchu čočky iontovou modifikací zapříčiní větší adhezi k slznému filmu. [31]

Tabulka č. 5.3: Přehled technologií dostupných kontaktních čoček.

	Název firmy	Název KČ	Technologie
Hydrogel	Alcon®	Dailies® AquaComfortPLUS®	PEG a PVA, HPMC
	Bausch & Lomb®	Biotrue® ONEday	HyperGel™
		SofLens® 59	ComfortMoist™
	Johnson & Johnson®	1-day Acuvue® Moist™	Lacreon®
Silikonhydrogel	Alcon®	AirOptix® Aqua	TriComfort™, Aqua
	Bausch & Lomb®	PureVision® 2	ComfortMoist™, AerGel™
	CooperVision®	Biofinity®	Aquaform®
		Clariti®	WetLoc™
		MyDay®	Smart Silicone™
	Johnson & Johnson®	1-day Acuvue® Oasys™	HydraLuxe™, Hydraclear®
1-day Acuvue® TruEye™		Hydraclear®	

V tabulce č. 5.3 jsou uvedeny technologie úprav čoček, ať už povrchové či týkající se vnitřní struktury materiálu. Čočky PureVision® 2 jsou vyrobeny z AerGelu™, který umožňuje dostatečnou permeabilitu pro kyslík a zároveň zabraňuje usazování proteinových depozit. Vyšší odolnost proti usazeninám a tím i větší prodyšnost vykazuje technologie TriComfort™ u čoček AirOptix®. [9, 12]

Technologie Aqua a AquaComfortPLUS® od Alcon® a HydraLuxe™ od Johnson & Johnson® zajišťují lepší integraci se slzným filmem, díky čemuž dochází k přirozenější výměně látek potřebných pro oko. Technologie WetLoc™ od CooperVision® a Hydraclear® od Johnson & Johnson® se vyznačují tzv. uzamykáním zvlhčujících látek do materiálu. Touto charakteristikou je známa i technologie Aquaform® od CooperVision®, nicméně se ještě zaměřuje na docílení nízkého modulu pružnosti a vysoké propustnosti pro kyslík. I technologie Lacreon® od Johnson & Johnson® se vyznačuje snazším navázáním vodných látek pro větší komfort očí. [9, 11, 13]

Kvůli nižšímu obsahu silikonových monomerů je technologie Smart Silicone™ od CooperVision® více kompatibilní s vodnou složkou slzného filmu. [13]

Počet použitých kontaktních čoček byl dán možnostmi Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze. Zároveň tato škála dostatečně pokrývá oblast hydrogelů a povrchových úprav. Některé kontaktní čočky byly použity po datu expirace. Ta by však neměla ovlivňovat měření vzhledem k dlouhodobě rovnovážně zbotnalému stavu čočky v blistru. Hodnota kontaktního úhlu může být závislá i na datu výroby. Pokud by čočka byla vyhotovena a měřena v tentýž den, mohla by být nerovnovážně nebo nerovnoměrně zbotnalá. Zároveň by se nestačily projevit konformační změny v důsledku otáčení segmentů řetězců s polárními skupinami směrem k vodnému prostředí. Kontaktní čočky H-S 38 společnosti Wichterle a Vacík, s. r. o. byly poskytnuty touto firmou z její bývalé produkce a čistý materiál poly(HEMA) byl připraven v Ústavu makromolekulární chemie AV ČR, v. v. i.

6. Výsledky a diskuse

Byly porovnány hodnoty kontaktního úhlu materiálu poly(HEMA) a třinácti druhů kontaktních čoček, některých s povrchovou úpravou nebo přídatnou materiálovou složkou v povrchové vrstvě. Při srovnávání kontaktních čoček byla sledována také závislost na počtu dioptrií a na použitém médiu (PBS a destilovaná voda). Od každého druhu čoček bylo k dispozici 5 kusů.

Silikonhydrogely vzhledem ke své tuhosti nevydržely v planarizovaném stavu po celou dobu potřebnou pro měření a zachovávaly si svůj původní tvar. U čoček Dailies® AquaComfortPLUS® a 1-day Acuvue® Moist™ docházelo k jejich častému roztržení, nicméně kontaktní úhel bylo možné měřit v planarizované formě. Ostatní hydrogely byly pro planarizovaný stav nevyhovující z důvodu ohýbání okrajů. Proto bylo využito měření pomocí zakřivené plochy.

Všechny sekvenčně naměřené hodnoty byly vyhodnoceny přístrojem DSA100 s odchylkou maximálně $\pm 3^\circ$. Hodnoty s větší odchylkou se nezapočítávaly do souboru dat. U čoček Dailies® AquaComfortPLUS®, 1-day Acuvue®, Biofinity® a Clariti® nebyl prováděn pokus č. 3. V přílohách jsou zvýrazněny šedou barvou hodnoty kontaktního úhlu, které nebyly zařazeny do srovnání. Jedna z čoček Dailies® AquaComfortPLUS® a MyDay® nebyla použita pro měření z důvodu poškození materiálu.

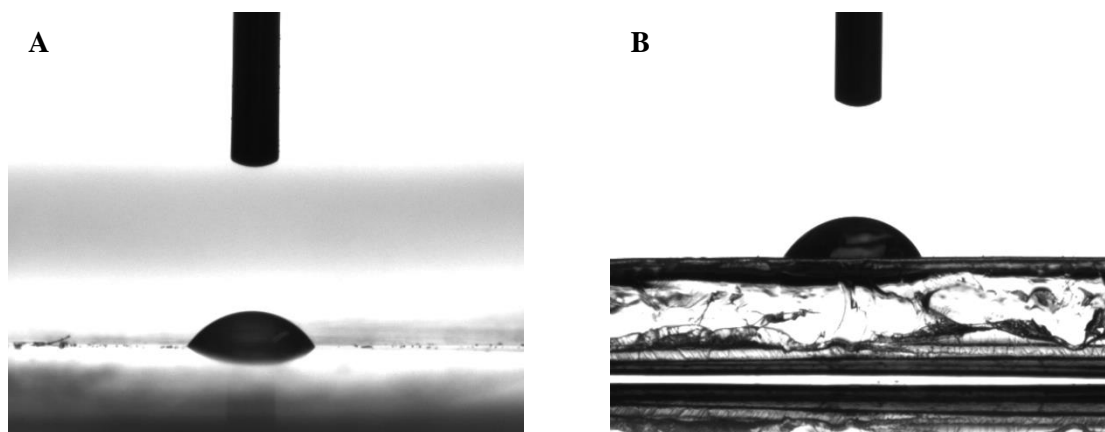
Nejlépe se manipulovalo se silikonhydrogely a s čočkami H-S 38, a to kvůli jejich relativně vyšší tuhosti. Naopak u výšeboťnavých hydrogelů docházelo k deformacím.

6.1 Materiál poly(HEMA)

Tabulka č. 6.1: Naměřené hodnoty kontaktního úhlu u materiálu poly(HEMA).

Název materiálu	Kontaktní úhel pro PBS (°)	Kontaktní úhel pro DV (°)
Poly(HEMA)	57 ±0,4	67 ±0,1
	61 ±0,1	60 ±0,1
	55 ±0,8	59 ±0,1
	57 ±0,1	64 ±0,1
	53 ±0,3	65 ±0,1
	61 ±0,1	65 ±0,1
	59 ±0,1	70 ±0,1
	67 ±0,4	72 ±0,3
	69 ±0,1	62 ±0,2
	54 ±0,1	60 ±0,1
	53 ±0,1	60 ±0,1
Průměr (°)	58,5 ±5,3	63,6 ±5,0

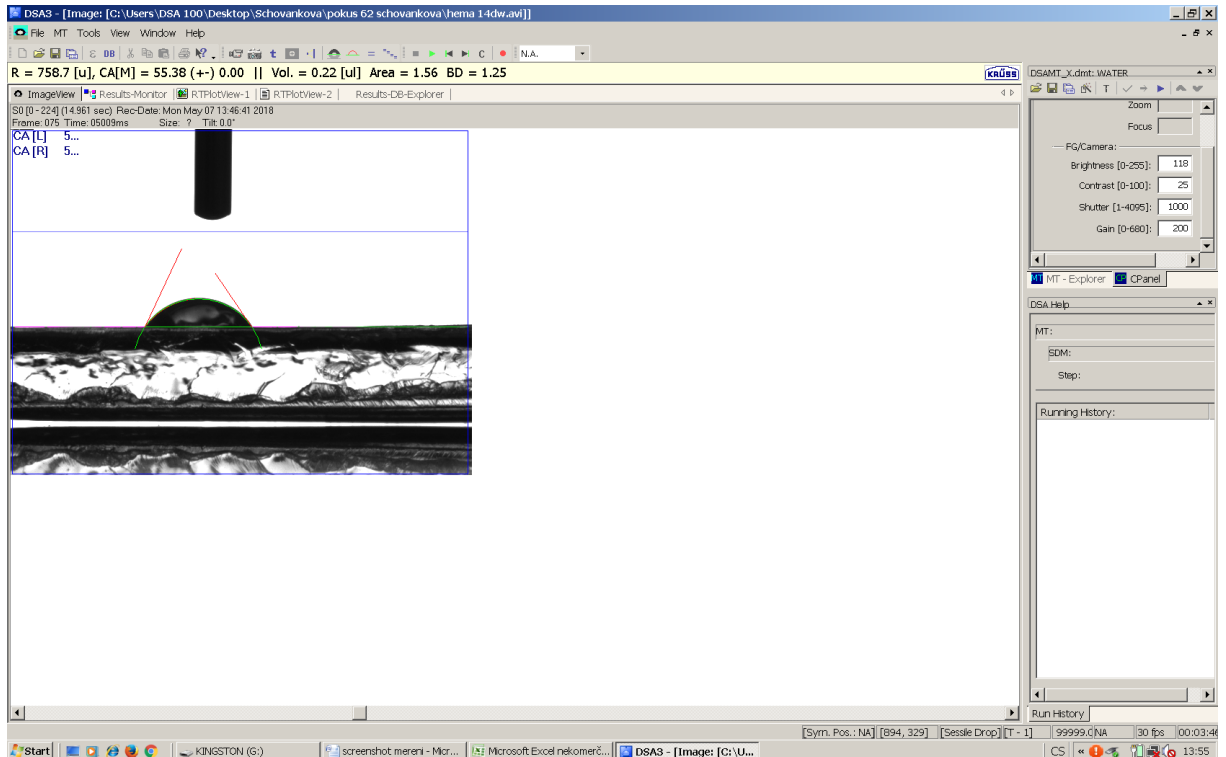
Ve srovnání se studií, dle které je hodnota kontaktního úhlu poly(HEMA) měřena bublinovou metodou $15 \pm 0,01^\circ$ [32], vykazuje materiál při tomto měření relativně vysoké hodnoty kontaktního úhlu (viz. tabulka č. 6.1). Na druhou stranu lze v literatuře pro materiál poly(HEMA) najít velmi odlišné hodnoty kontaktního úhlu, a to od 15° až do 100° podle dané modifikace. [34-37] V článku [36] jsou však pro nemodifikovaný poly(HEMA) uvedeny hodnoty blízké naměřeným hodnotám, a sice $56 \pm 1,4^\circ$. Hodnoty byly získány stejnou metodou měření, čímž se potvrzuje správnost výsledků této práce.



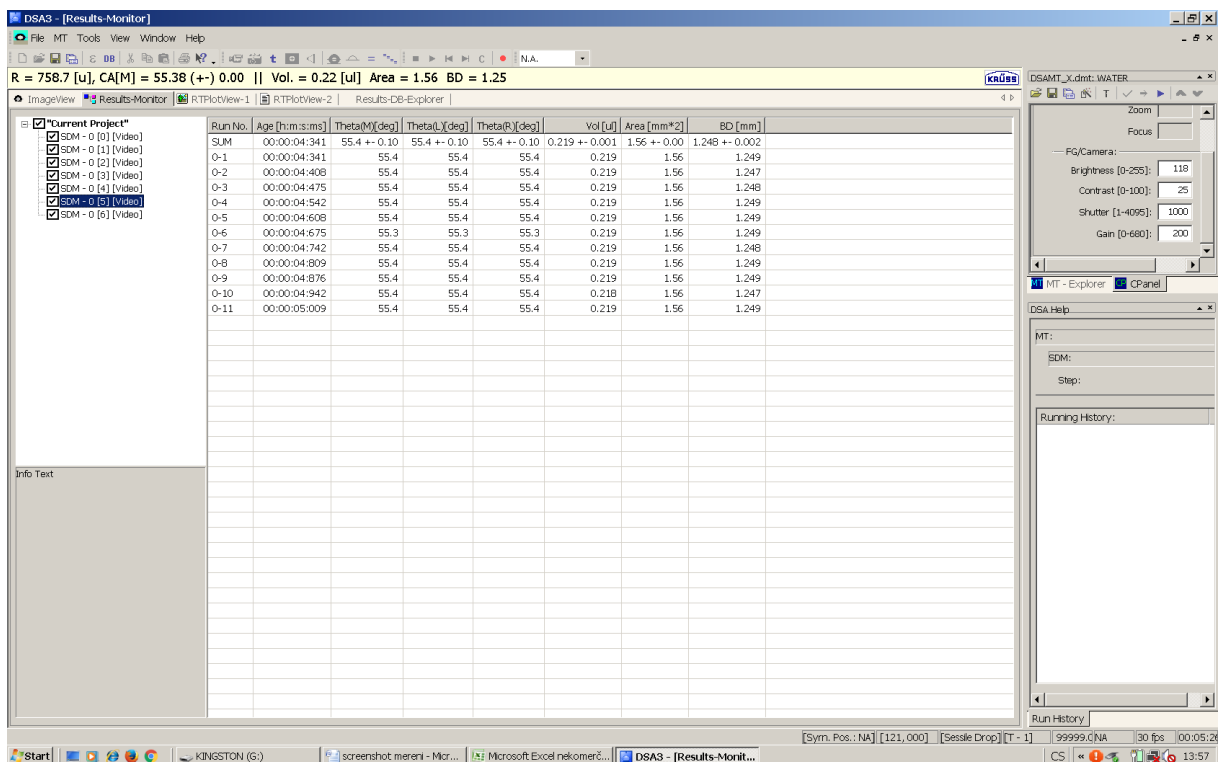
Obrázek č. 6.1: Smáčivost materiálu poly(HEMA) s PBS (A) a destilovanou vodou (B)

Pokud je poly(HEMA) vystaven vzdušnému prostředí, methylové skupiny se otáčejí do energeticky výhodnější pozice a to tak, že směřují k hydrofobnímu rozhraní a tím se snižuje povrchová energie čočky. [34]

Odchytky v naměřených hodnotách mohou být způsobeny rozdíly v osychání materiálu. Během měření nedocházelo k opětovnému namáčení do původního roztoku, materiál tak v průběhu osychání ztrácel svůj původní tvar a začal se deformovat. Odchytky mohly vzniknout i v důsledku nerovnoměrností povrchu. Hodnoty získané měřením v PBS a destilované vodě se (v rámci rozpětí odchylek) výrazně neliší.



Obrázek č. 6.2: Grafické vyhodnocení kontaktního úhlu materiálu poly(HEMA)



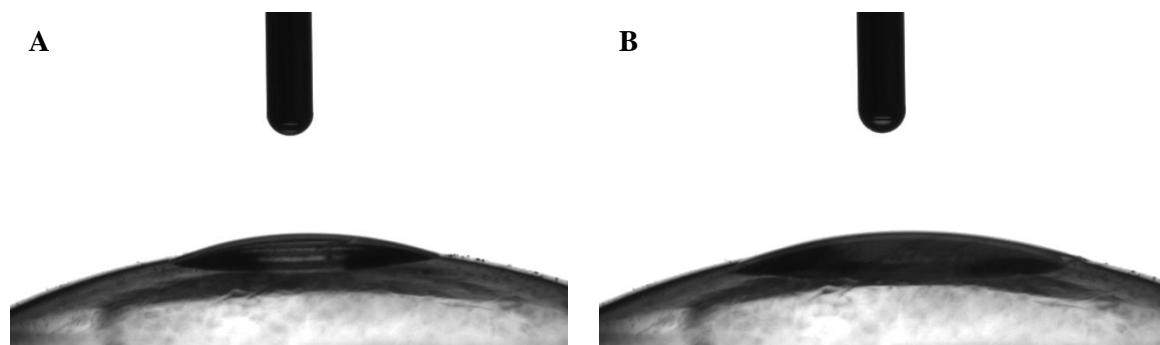
Obrázek č. 6.3: Naměřené hodnoty kontaktního úhlu v čase 65. a 75. snímku materiálu poly(HEMA)

6.2 Kontaktní čočky

Tabulka č. 6.2: Naměřené hodnoty kontaktních úhlů u PBS a destilované vody (DV) v porovnání se studií. [29, 34, 36, 38]

	Název firmy	Název KČ	Kontaktní úhel pro PBS (°)	Kontaktní úhel pro DV (°)	Kontaktní úhel pro PBS ze studií (°)
Hydrogel	Alcon®	Dailies® AquaComfortPLUS®	12 ±2,6	18 ±4,6	-
	Bausch & Lomb®	Biotrue® ONEday	10 ±2,0	15 ±5,8	-
		SofLens® 59	7 ±2,1	7 ±1,3	-
	Johnson & Johnson®	1-day Acuvue®	16 ±3,0	24 ±5,4	14,8 ±2,2
		1-day Acuvue® Moist™	20 ±4,5	28 ±3,6	-
	Wichterle a Vacík	H-S 38	24 ±8,3	21 ±5,5	-
ÚMCH AV ČR	Fólie poly(HEMA)	59 ±5,3	64 ±5,0	56 ±1,4	
Silikonhydrogel	Alcon®	AirOptix® Aqua	13 ±1,7	17 ±0,7	39,1 ±0,0 44,4 ± 6,4 33 ±0,0
	Bausch & Lomb®	PureVision® 2	12 ±0,8	13 ±1,4	-
	CooperVision®	Biofinity®	22 ±4,0	25 ±3,6	30,2 ±0,0 31 ±0,0
		Clariti®	17 ±2,6	18 ±2,4	-
		MyDay®	34 ±2,0	32 ±2,3	-
	Johnson & Johnson®	1-day Acuvue® Oasys™	57 ±6,0	63 ±23,1	78,7 ± 9,5 78,2 ±2,2 93 ±0,0
		1-day Acuvue® TruEye™	58 ±5,8	32 ±6,2	-

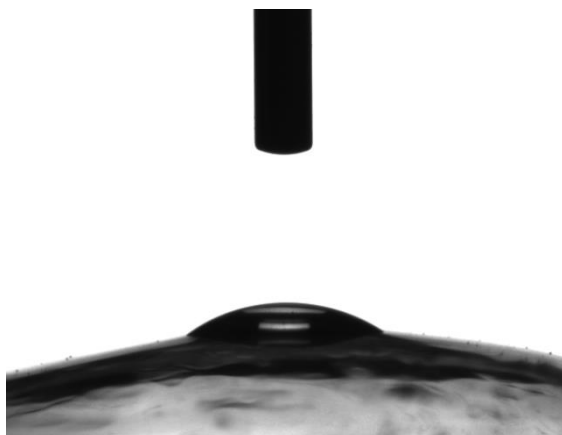
Na základě naměřených výsledků lze předpokládat, že hydrogelové čočky SofLens® 59 se jeví jako dobře smáčivé v PBS $7 \pm 2,1^\circ$ a v destilované vodě $7 \pm 1,3^\circ$. Díky technologii ComfortMoist™ se kapka tekutiny víceméně rozprostřela po povrchu. Obecně vykazovaly produkty firmy Bausch & Lomb® relativně nízké hodnoty kontaktního úhlu. U čoček Biotrue® ONEday a PureVision® 2 došlo k nepatrnému nárůstu kontaktního úhlu v destilované vodě, který však leží v rámci rozptylu naměřených hodnot.



Obrázek č. 6.4: Smáčivost kontaktní čočky SofLens® 59 s PBS v závislosti na čase (A–2 s, B–17 s)

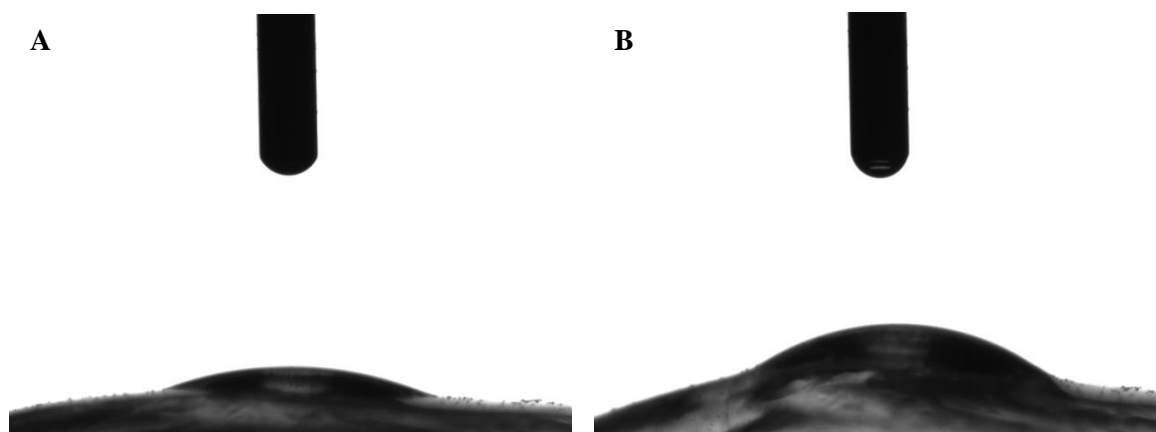
Čočky PureVision® 2 jsou více smáčivé v porovnání se staršími PureVision®, kde hodnota kontaktního úhlu vycházela v rozmezí 70° až 90°. [34, 38] Díky plazmatické oxidaci, která oxiduje siloxanové skupiny na silikátové, obsahuje materiál silikátové „ostrůvky“, které nepokrývají celý povrch čočky a neovlivňují propustnost pro kyslík. Naopak tím zvyšují smáčivost čočky.

Nízké hodnoty je možné pozorovat i u čočky AirOptix® Aqua. Díky jejímu ošetření plazmovou vrstvou, která má nízkou molekulární pohyblivost a velice homogenní povrch, se migrace hydrofobních silikonových struktur minimalizuje směrem k povrchu, a tím dochází k vyšší smáčivosti. I přes absenci povrchových úprav mají dobrou smáčivost i čočky Biofinity® a Clariti®. Velkou roli hrají funkční skupiny zakomponované do řetězců siloxymakromolekul, které upravují jejich polaritu s cílem zvýšení obsahu vody a důsledkem příznivých hodnot kontaktního úhlu. Ve srovnání se studií [34] se výsledky výrazně neliší.



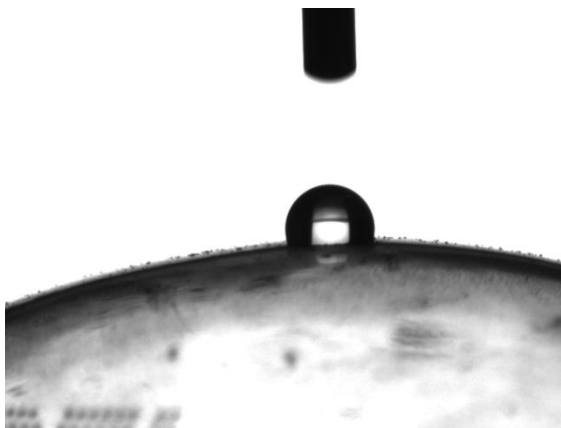
Obrázek č. 6.5: Smáčivost kontaktní čočky Biofinity® s destilovanou vodou

Důležitou roli hrál časový průběh měření. U kontaktních čoček 1-day Acuvue®, 1-day Acuvue® Moist™, 1-day Acuvue® Oasys™, 1-day Acuvue® TruEye™, AirOptix® Aqua, Biofinity®, Biotrue® ONEday a MyDay® se totiž po krátkém časovém úseku, patrně vlivem použitých „zvlhčujících“ technologií (viz tabulka č. 5.3), případně vysokého obsahu vody u materiálu HyperGel™, respektive iontového charakteru materiálu (1-day Acuvue®), projevila vysoká afinita ke kapalně fázi. K tomuto jevu dochází na základě několika možných faktorů. Mezi ně patří fyzikálně-chemické interakce mezi kapalinou a pevnou fází: vztlínání povrchově aktivních látek z pevné fáze ke kapalině či látky rozpuštěné v kapalině směřující k povrchu pevné fáze. [14]



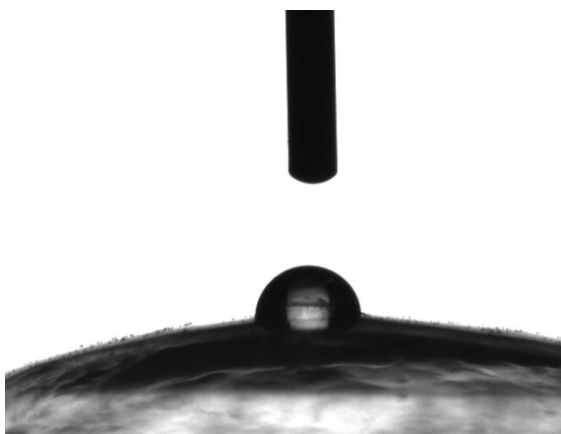
Obrázek č. 6.6: Změna botnavosti ionogenního materiálu kontaktní čočky 1-day Acuvue® s destilovanou vodou (A–2 s, B–17 s)

Měření kontaktního úhlu na povrchu čočky 1-day Acuvue® Oasys™ a 1-day Acuvue® TruEye™ bylo problematické kvůli inherentním změnám v průběhu přípravy vzorku a citlivosti povrchu na jeho změny. Proto je při hodnocení kontaktních úhlů důležité pochopit význam a příčinu odchylky měření. Velikost odchylky může záviset například na míře dehydratace povrchu. Vazby křemík–kyslík v silikonhydrogelových strukturách zvyšují rotační pohyblivost segmentů svých řetězců v porovnání s vazbami uhlík–kyslík, které jsou přítomny v běžných hydrogelech na bázi methakrylátů, vinylpyrrolidonu nebo polyvinylalkoholu. Díky zvýšené pohyblivosti silikonových segmentů pak může při osýchání povrchu docházet ke konformačnímu přemístování hydrofobních molekul na povrch čočky.



Obrázek č. 6.7: Smáčivost kontaktní čočky 1-day Acuvue® TruEye™ s PBS

Čočky 1-day Acuvue® Oasys™ a 1-day Acuvue® TruEye™ nejsou oxidačně povrchově upravovány. Místo toho obsahuje materiál těchto čoček v povrchové vrstvě volné řetězce PVP, které jsou vysoce hydratovány a zamezují tak osychání povrchu a přesunu silikonových sloučenin na povrch čočky. Pokud ale dochází k opakované změně prostředí čočky, mění se i její hydrofilita. Studie uvádí, že kontaktní úhel čoček 1-day Acuvue® Oasys™ měřený v PBS dosahuje hodnot v rozmezí 50 až 95° [33, 38, 39], což je v dobrém souladu naměřenými výsledky této práce.



Obrázek č. 6.8: Smáčivost kontaktní čočky 1-day Acuvue® Oasys™ s PBS

Bylo zjištěno, že pokud byly čočky ponořeny v měřící kapalině (PBS, destilovaná voda) po dobu 48 hodin, jejich smáčivost se snižuje. [34] Povrchově aktivní látky obsažené v roztoku z blistru totiž výrazně ovlivňují počáteční smáčivost čočky.

Z tabulky 6.2 je patrné, že hodnoty kontaktních úhlů měřených v PBS a destilované vodě se výrazně neliší. Odchytky mohly být ovlivněny opětovným osycháním čoček, při kterém může u silikonhydrogelů docházet v důsledku konformačních změn ke snížení smáčivosti jejich povrchu. Kvůli obsahu iontových složek v materiálu se může čočka chovat jinak v PBS a destilované vodě.

V komparaci s fólií poly(HEMA) jsou hodnoty kontaktního úhlu povrchově modifikovaných čoček nižší. Čistý poly(HEMA) vykazuje relativně nízkou smáčivost.

6.3 Závislost kontaktního úhlu na optické mohutnosti

Tabulka č. 6.3: Porovnání kontaktních úhlů v závislosti na hodnotách dioptrií.

Název KČ	Optická mohutnost (dpt)	Zakřivení (mm)	Průměr (mm)	Kontaktní úhel pro PBS (°)	Průměr kontaktních úhlů pro PBS (°)	Kontaktní úhel pro DV (°)	Průměr kontaktních úhlů pro DV (°)
H-S 38	+3,50	8,4	14,0	20 ±7,3	20,9 ±4,5	20 ±9,9	23,3 ±4,2
		8,4	14,5	21 ±5,1		24 ±4,2	
	-1,25	8,1	14,5	18 ±6,7	19,0 ±4,2	19 ±3,0	22,8 ±4,8
		8,7	14,0	15 ±1,6		19 ±7,5	
		9,0	14,0	22 ±9,2		23 ±2,0	
		9,0	14,5	19 ±2,7		27 ±4,6	
-12,00	-12,00	9,3	14,5	21 ±4,4	35,7 ±4,7	23 ±7,0	14,5 ±1,9
		8,4	14,0	39 ±3,0		14 ±0,8	
		8,4	14,5	31 ±2,9		15 ±3,3	

Na hodnoty kontaktního úhlu, charakterizujícího povrchové vlastnosti materiálu, by hodnoty optické mohutnosti čočky neměly mít vliv. Z naměřených výsledků vyplývá, že u čoček ze stejného materiálu lze nalézt různé hodnoty kontaktního úhlu v různých rozmezích dioptrických hodnot. Rozdíly v kontaktních úhlech zjištěných pro hodnoty -1,25dpt a +3,50dpt nejsou nijak výrazně odlišné, ale v porovnání mezi -1,25dpt a -12,00dpt se výsledné kontaktní úhly liší významněji. Tyto rozdíly jsou s největší pravděpodobností způsobeny různými tloušťkami vzorků, které souvisí se změnou tvarových parametrů čoček s významně rozdílnou optikou. Tím se mění jednak adheze vzorku k podložce, jednak jeho povrch v závislosti na tloušťce materiálu může osychat nerovnoměrně. Pro měření kontaktních úhlů se tedy zdají být vhodné čočky s takovou optickou mohutností, při které rozdíly v zakřivení přední a zadní plochy nejsou významné, takže tloušťkový profil čočky zůstává stálý v co nejširší zóně (nejlépe nízké minusové hodnoty).

Závěr

Z názvu i definice kontaktní čočky vyplývá její přímá interakce s okem, která se přirozeně odehrává prostřednictvím jejího povrchu. Proto jsou povrch čočky a jeho charakterizace chápány jako velmi důležité faktory pro zdravé a pohodlné nošení čoček. Pro interakci tvarově vhodné kontaktní čočky s rohovkou a slzným filmem je rozhodující dostatečná, a hlavně rovnoměrná smáčivost čočky. Ta je charakterizována kontaktním úhlem a udává míru navázání slzného filmu na kontaktní čočku. Ve svých důsledcích ovlivňuje i míru ukládání lipidových a proteinových deposit.

Protože hodnoty kontaktních úhlů jednotlivých produktů distributorů kontaktních čoček nejsou běžně v marketingových materiálech uváděny, bylo účelem této práce přispět k doplnění těchto chybějících informací. Cílem práce bylo porovnat soubor vybraných měkkých kontaktních čoček dostupných na českém trhu dle jejich smáčivosti, charakterizované naměřenými hodnotami kontaktních úhlů. Zjištěné hodnoty pak byly porovnávány s výsledky podobných výzkumných prací. Na základě prostudované literatury a dostupnosti přístrojového vybavení bylo pro praktickou část práce zvoleno měření statického kontaktního úhlu kapkovou metodou.

Podle naměřených výsledků bylo prokázáno, že hydrogely s vyšším obsahem vody vykazují nižší hodnoty kontaktního úhlu než silikonhydrogely. Přestože se silikonhydrogely jeví jako méně smáčivé, lze je povrchově upravit tak, aby zajistily větší afinitu k slznému filmu. Povrchové úpravy současných kontaktních čoček hrají významnou roli pro zajištění rovnoměrné smáčivosti a vhodných hodnot kontaktních úhlů. Přitom hodnoty kontaktního úhlu pod 30° jsou považovány za dosažení dostatečné smáčivosti.

Dle srovnání zjištěných hodnot kontaktních úhlů s jinými publikovanými studiemi byl postup měření správný a výsledky validní. Lze konstatovat, že vytčeného cíle bylo dosaženo.

Kromě zjištění vlastních hodnot kontaktních úhlů jednotlivých typů čoček je dalším důležitým poznatkem pozorovaná změna kontaktního úhlu za při použití roztoku bez povrchově aktivních látek (čistící a zvlhčující složky víceúčelových roztoků, případně některé konzervační

látky). To znamená, že po nasazení kontaktní čočky vyjmuté z roztoku se i v průběhu denního nošení může měnit její smáčivost, zejména při nedostatečné kvalitě slzného filmu klienta. Pozorování změn hodnot kontaktního úhlu na čočkách v různých fázích jejich nošení, jak během dne, tak v průběhu plánovaného intervalu výměny, nebo při prodlouženém, respektive kontinuálním, nošení by mohlo být námětem pro návaznou diplomovou práci. Součástí řešení této problematiky však nutně musí být pečlivě nastavena a optimalizována metodika práce, tak aby byla dosažena potřebná přesnost v maximální možné míře. Jinak by se jemné rozdíly měřených závislostí mohly ztratit ve statistickém rozptylu naměřených hodnot.

Seznam použité literatury

- [1] MICHÁLEK, Jiří. *Přednášky z předmětu Kontaktní čočky+praxe I. a II.* Kladno: ČVUT Fakulta biomedicínského inženýrství, 2017.
- [2] GARBASSI, F., Marco. MORRA a E. OCCHIELLO. *Polymer surfaces: from physics to technology.* Rev. and updated ed. New York: Wiley, c1998. ISBN 0471971006.
- [3] EFRON, Nathan, ed. *Contact Lens Practice.* 2nd ed. Edinburgh: Elsevier, 2010, ISBN 978-0-7506-8869-7.
- [4] EFRON, Nathan, ed. *Contact lens complications.* 3rd ed. Edinburgh: Elsevier/Saunders, 2012. ISBN 978-0-7020-4269-0.
- [5] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Kontaktní čočky.* Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. ISBN 80-7013-387-2.
- [6] PETROVÁ, Sylvie, Zdeňka MAŠKOVÁ a Tomáš JUREČKA. *Základy aplikace kontaktních čoček.* Vyd. 2., přeprac. a dopl. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2008. ISBN 978-80-7013-470-2.
- [7] KRASŇANSKÁ, Jitka. Aplikace kontaktních čoček ve světě: situace v roce 2016. *Kontaktologické listy České kontaktologické společnosti.* Praha: Česká kontaktologická společnost, o. s., 2017, (1), 4-11.
- [8] BENEŠ, P. a Jiří MICHÁLEK. Nový materiál pro kontaktní čočky - HyperGel. *Jemná mechanika a optika.* Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., 2015, **60**(2), 49-50, 2 s. ISSN 0447-6441. Dostupné také z: RIV
- [9] ALCON, INC. *Kontaktní čočky* [online]. Alcon, 2018 [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://www.cz.alcon.com/produkty/kontaktnei-cocky>
- [10] BRŮNOVÁ, Blanka. Klinický význam lubricity kontaktních čoček. *Česká oční optika* [online]. Brno: EXPO Data, spol., 2015, **56**(4), 66-68 [cit. 2017-11-28]. ISSN 1211-233X. Dostupné z: http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2015_04.pdf
- [11] JOHNSON & JOHNSON SERVICES, INC. *Acuvue®: Naše kontaktní čočky* [online]. Johnson & Johnson Services, 2018 [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://www.acuvue.cz/>

- [12] BAUSCH & LOMB, INC. *Kontaktní čočky* [online]. Bausch & Lomb, 2018 [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <http://www.bausch.cz/produkty/kontaktni-cocky/>
- [13] COOPERVISION, INC. *Kontaktní čočky* [online]. CooperVision, 2018 [cit. 2018-01-09]. Dostupné z: <https://coopervision.cz/kontaktni-cocky>
- [14] KRÜSS, GmbH. *Software for Drop Shape Analysis: Instalation and Operation, manual* [online]. Ed. Hamburg, 2008 [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: https://warwick.ac.uk/fac/cross_fac/sciencecity/programmes/internal/themes/am2/booking/dropshapeanalyser/kruss_manual-dsa3-software.pdf
- [15] ALIOFKHAZRAEI, Mahmood, ed. *Wetting and Wettability*. Rijeka: InTech, 2015. ISBN 978-953-51-2215-9.
- [16] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vyd. 5., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-7080-579-x.
- [17] MITTAL, K. L., ed. *Contact Angle, Wettability and Adhesion* [online]. 3rd ed. Utrecht: BRILL, 2003 [cit. 2018-01-05]. ISBN 9789067643917. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=253610>
- [18] FEAST, W. J. a H. S. MUNRO. *Polymer surfaces and interfaces*. New York: Wiley, c1987. ISBN 0-471-91214-x.
- [19] SOMASUNDARAN, P. *Encyclopedia of surface and colloid science*. 2nd ed. New York: Taylor & Francis, c2006. ISBN 0849396042.
- [20] MEIRON, Tammar S., Abraham MARMUR a I. Sam SAGUY. Contact angle measurement on rough surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*[online]. Massachusetts: Elsevier, 2004, 25. 3. 2004, **274**(2), 637-644 [cit. 2018-01-12]. DOI: 10.1016/j.jcis.2004.02.036. ISSN 0021-9797. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0021979704001973?via%3Dihub#!>
- [21] ERAL, H. B., D. J. C. M. T'MANNETJE a J. M. OH. Contact angle hysteresis: a review of fundamentals and applications. *Colloid and Polymer Science: Part A* [online]. Springer-Verlag, 2013, 14 September 2012, **291**(2), 247-260 [cit. 2018-01-05]. DOI: 10.1007/s00396-012-2796-6. ISSN 0303-402X. Dostupné z: <https://link.springer.com.ezproxy.techlib.cz/article/10.1007%2Fs00396-012-2796-6>

- [22] HE, Bo, Junghoon LEE a Neelesh A. PATANKAR. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects [online]. Elsevier, 2004, 19 October 2004, **248**(1-3), 101-104 [cit. 2018-01-05]. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2004.09.006. ISSN 0927-7757. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0927775704006302?via%3Dihub#!>
- [23] ADAMSON, Arthur W. a Alice P. GAST. *Physical chemistry of surfaces*. 6th ed. New York: Wiley, c1997. ISBN 0-471-14873-3.
- [24] BUDZIAK, C.J. a A.W. NEUMANN. Automation of the capillary rise technique for measuring contact angles. *Colloids and Surfaces*[online]. 1990, **43**(2), 279-293 [cit. 2018-04-28]. DOI: 10.1016/0166-6622(90)80293-D. ISSN 01666622. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016666229080293D>
- [25] SINHA, Sujeet K. a Brian J. BRISCOE, ed. *Polymer Tribology*. London: Imperial College Press, 2009. ISBN 13 978-1-84815-202-0.
- [26] KRÜSS, GmbH, *Drop Shape Analyzer* [online]. Hamburg, 2017 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <https://www.kruss-scientific.com/products/contact-angle/dsa100/drop-shape-analyzer-dsa100/>
- [27] KWOK, D. Y. a A. W. NEUMANN. Contact angle measurement and contact angle interpretation. *Advances in Colloid and Interface Science* [online]. Massachusetts: Elsevier, 1999, 7. 9. 1999, **81**(3), 167-249 [cit. 2018-01-12]. DOI: 10.1016/S0001-8686(98)00087-6. ISSN 0001-8686. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0001868698000876?via%3Dihub#!>
- [28] BENEŠ, Pavel. Biokompatibilita a smáčivost kontaktních čoček. *Česká oční optika* [online]. Brno: EXPO Data, spol., 2015, **56**(3), 66-68 [cit. 2017-11-29]. ISSN 1211-233X. Dostupné z: http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2015_03.pdf
- [29] MALDONADO-CODINA, Carole a Philip B. MORGAN. In vitro water wettability of silicone hydrogel contact lenses determined using the sessile drop and captive bubble techniques. *Journal of Biomedical Materials Research: Part A* [online]. Wiley, 2007, 14 May 2007, **83A**(2), 496-502 [cit. 2018-01-05]. DOI: 10.1002/jbm.a.31260. ISSN 1549-3296. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.techlib.cz/doi/10.1002/jbm.a.31260/full>

- [30] CHENG, P., D. LI, L. BORUVKA, Y. ROTENBERG a A.W. NEUMANN. Automation of axisymmetric drop shape analysis for measurements of interfacial tensions and contact angles. *Colloids and Surfaces*[online]. 1990, **43**(2), 151-167 [cit. 2018-04-10]. DOI: 10.1016/0166-6622(90)80286-D. ISSN 01666622. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016666229080286D>
- [31] EFRON, Nathan. *Contact Lens Practice* [online]. 3rd edition. Elsevier, 2017, s. 45–60 [cit. 2018-05-03]. ISBN 9780702066627. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=t3SYDQAAQBAJ&pg=PA58&lpg=PA58&dq=comfilcon+a+principle+monomers&source=bl&ots=IvmvY9LBCf&sig=s8iZSVY8MU-i1Qj6Sz9doh4t1Z4&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwjL0bCOkYHbAhUDsaQKHYZiDI8Q6AEITTAD#v=onepage&q=comfilcon%20a%20principle%20monomers&f=false>
- [32] BRYNDA, E., N. A. CEPALOVA a M. ŠTOL. Equilibrium adsorption of human serum albumin and human fibrinogen on hydrophobic and hydrophilic surfaces. *Journal of Biomedical Materials Research*[online]. 1984, **18**(6), 685-693 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1002/jbm.820180609. ISSN 0021-9304. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/jbm.820180609>
- [33] READ, Michael Leonard, Philip Bruce MORGAN, Jeremiah Michael KELLY a Carole MALDONADO-CODINA. Dynamic Contact Angle Analysis of Silicone Hydrogel Contact Lenses. *Journal of Biomaterials Applications* [online]. 2011, **26**(1), 85-99 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1177/0885328210363505. ISSN 0885-3282. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0885328210363505>
- [34] MENZIES, Kara L. a Lyndon JONES. The Impact of Contact Angle on the Biocompatibility of Biomaterials. *Optometry and Vision Science*[online]. 2010, , 1- [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181da863e. ISSN 1040-5488. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00006324-900000000-99741>
- [35] KETELSON, Howard A., David L. MEADOWS a Ralph P. STONE. Dynamic wettability properties of a soft contact lens hydrogel. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* [online]. 2005, **40**(1), 1-9 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2004.07.010. ISSN 09277765. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927776504002255>

- [36] BAYRAMOĞLU, Gülay, Meltem YILMAZ a M.Yakup ARICA. Evaluation of lysozyme adsorptive behaviour of pHEMA-based affinity membranes related to the surface energy and its components to be used in chromatographic fields. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [online]. 2004, **243**(1-3), 11-21 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2004.04.072. ISSN 09277757. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775704003097>
- [37] SENSHU, Kazuhisa, Shuzo YAMASHITA, Mitsunori ITO, Akira HIRAO a Seiichi NAKAHAMA. Surface Characterization of 2-Hydroxyethyl Methacrylate/Styrene Block Copolymers by Transmission Electron Microscopy Observation and Contact Angle Measurement. *Langmuir*[online]. 1995, **11**(6), 2293-2300 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1021/la00006a070. ISSN 0743-7463. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la00006a070>
- [38] READ, Michael L., Philip B. MORGAN a Carole MALDONADO-CODINA. Measurement errors related to contact angle analysis of hydrogel and silicone hydrogel contact lenses. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* [online]. 2009, **91B**(2), 662-668 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1002/jbm.b.31442. ISSN 15524973. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/jbm.b.31442>
- [39] LORENTZ, HOLLY, RONAN ROGERS a LYNDON JONES. The Impact of Lipid on Contact Angle Wettability. *Optometry and Vision Science*[online]. 2007, **84**(10), 946-953 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1097/OPX.0b013e318157a6c1. ISSN 1040-5488. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00006324-200710000-00009>
- [40] GÜLEÇ, Hacı Ali, Kemal SARIOĞLU a Mehmet MUTLU. Modification of food contacting surfaces by plasma polymerisation technique. Part I: Determination of hydrophilicity, hydrophobicity and surface free energy by contact angle method. *Journal of Food Engineering*[online]. 2006, **75**(2), 187-195 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.04.007. ISSN 02608774. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877405002396>

Seznam symbolů a zkratk

Symbol	Jednotka	Význam
Dk	Barrer	Propustnost pro kyslík
Δp	Pa	Změna tlaku
γ_{lg}	Nm ⁻¹	Povrchové napětí kapky (rozhraní kapalina – plyn)
r	m	Poloměr zakřivení
θ	°	Kontaktní úhel
γ_{sl}	Nm ⁻¹	Povrchové napětí rozhraní pevná fáze – kapalina
γ_{sg}	Nm ⁻¹	Povrchové napětí rozhraní pevná fáze – plyn
θ_w	°	Kontaktní úhel podle Wenzela (drsňý povrch)
θ_y	°	Kontaktní úhel podle Younga (hladký povrch)
θ_c	°	Kontaktní úhel podle Cassieho (heterogenní povrch)
Q	m	Měřená část povrchu
θ_{th}	°	Kontaktní úhel podle Wenzela a Cassieho (threshold value)
p_c	Pa	Tlak mezi rozhraním pevná fáze – plyn
γ_s	Nm ⁻¹	Povrchové napětí pevné fáze
W_K	J	Kohezní práce
γ_A	Nm ⁻¹	Povrchová energie rovnovážného prostředí
W_A	J	Adhezní práce
γ_B	Nm ⁻¹	Povrchová energie rovnovážného prostředí
γ_{AB}	Nm ⁻¹	Mezifázová energie dvou prostředí
$\Delta_{sm}H$	J	Změna entalpie (smáčecí teplo vztažené na jednotku plochy)
A	m	Plocha smáčeného povrchu
σ_{sl}	J	Změna entalpie u rozhraní pevná fáze – kapalina
σ_{sg}	J	Změna entalpie u rozhraní pevná fáze – plyn
$\Delta_W H_{\theta=0}$	J	Vztah mezi Gibbsovou energií a změnou entalpie
$H_{lg}^{(A)}$	J	Povrchová entalpie za dokonalého smáčení
T_P	K	Teplota za konstantního tlaku

Symbol	Jednotka	Význam
θ_a	°	Postupující kontaktní úhel
θ_r	°	Ustupující kontaktní úhel
d	m	Šířka pevné fáze
t	m	Tloušťka pevné fáze
F	N	Síla potřebná k vyvážení pevné fáze
$\Delta\rho_{sl}$	kgm ⁻³	Změna hustoty mezi rozhraním pevná fáze – kapalina
V	m ³	Objem vzestupu kapaliny
P_W	m	Smáčený obvod pevné fáze u Wilhelmyho gravitační metody
g	ms ⁻²	Tíhové zrychlení
h	m	Výška mezi hladinou v kapiláře a okolní hladinou kapaliny
d	m	Průměr kapiláry
E	lx	Intenzita osvětlení
c	mM	Molární koncentrace
pH	-	Vodíkový exponent (z ang. potential of hydrogen)

Zkratka	Význam
DSA100	Analyzátor tvaru kapky (<i>Drop Shape Analyzer</i>)
GmbH	Společnost s ručením omezeným (<i>Gesellschaft mit beschränkter Haftung</i>)
PMMA	Polymethylmethakrylát
RGP	tvrdé plynopropustné kontaktní čočky (<i>Rigid Gas Permeable</i>)
HEMA	2-hydroxyethylmethakrylát
PHEMA	Poly-2-hydroxyethylmethakrylát
PVP	Polyvinylpyrrolidon
®	Registrovaná ochranná známka (<i>Registered trademark symbol</i>)
PVA	Polyvinylalkohol
™	Neregistrovaná obchodní značka (<i>Trademark symbol</i>)
CLPL	Laboratoře pro kontaktní čočky (<i>Contact Lens Precision Laboratories</i>)
Ltd.	Omezené ručení (<i>Limited</i>)
Inc.	Označení pro veřejnou společnost (<i>Incorporated</i>)
PC	Zvhlčovací technologie kontaktních čoček ProClear® (<i>Phosphoryl Choline</i>)
BUT	metoda pro zhodnocení stability slzného filmu (<i>Break-Up Time test</i>)
ADSA	Technika pro vyhodnocení kontaktního úhlu (<i>Axisymmetric Drop Shape Analysis</i>)
ACPAC	Technika pro vyhodnocení kontaktního úhlu (<i>Analysis of Capillary Profile around a Cylinder</i>)
PBS	Fosfátovým pufrům stabilizovaný roztok (<i>Phosphate Buffered Saline</i>)
DV	Destilovaná voda
NaCl	Chlorid sodný
KCl	Chlorid draselný
Na ₂ HPO ₄	Hydrogenfosforečnan sodný
KH ₂ PO ₄	Dihydrogenfosforečnan draselný
KČ	Kontaktní čočka
ÚMCH AV ČR	Ústav makromolekulární chemie Akademie věd České republiky
NVP	N-vinylpyrrolidon
PEO	Polyethylenoxid
PPO	Polypropylenoxid

Zkratka	Význam
MA	Kyselina methakrylová
DMA	N,N-dimethylakrylamid
TRIS	Trimethylsiloxysilyl
TPVC	Tris-(trimethylsiloxysilyl)propylvinylkarbamát
NCVE	N-karboxyvinylester
VMA	N-vinyl-N-methylacetamid
IBM	Isobornylmethakrylát
TAIC	1,3,5-triallyl-1,3,5-triazin-2,4,6(1H,3H,5H)-trion
FM0411M	Methakryloyloxyethyliminokarboxyethoxypropyl-poly(dimethylsiloxy)-butyldimethylsilan
HOB	2-hydroxybutylmethakrylát
PDMSMA	Polydimethylsiloxanmethakrylát
MPDMS	Monofunkční polydimethylsiloxan
TEGDMA	Tetraethylglykoldimethakrylát
PEG	Polyethylenglykol
HPMC	Hydroxypropylmethylcelulóza
s. r. o.	Společnost s ručením omezeným

Seznam obrázků

Obrázek č. 1.1: Vrstvy rohovky a slzného filmu za přítomnosti kontaktní čočky [2].....	3
Obrázek č. 2.1: Kontaktní úhel v třífázovém rozhraní [15].....	8
Obrázek č. 2.2: Hodnocení smáčivosti dle velikosti kontaktního úhlu [16].....	8
Obrázek č. 2.3: Detailní pohled kapky při aplikaci na pevnou fázi [19].....	9
Obrázek č. 2.4: Wenzelův model drsnosti [15]	10
Obrázek č. 2.5: Cassieho model heterogenity [15].....	10
Obrázek č. 2.6: Přejídný stav mezi Wenzelovou a Cassieho teorií [15].....	11
Obrázek č. 3.1: Měření dynamického kontaktního úhlu pomocí kapkové metody [2]	16
Obrázek č. 3.2: Bublínová metoda [2].....	16
Obrázek č. 3.3: Wilhelmyho metoda namáčení desky [16].....	17
Obrázek č. 3.4: Smáčivost kapaliny v kapiláře [16].....	18
Obrázek č. 3.5: Metoda naklonění roviny [2].....	19
Obrázek č. 5.1: Přístroj DSA100	22
Obrázek č. 5.2: Detailní pohled nanesené kapky na kontaktní čočku	23
Obrázek č. 5.3: Grafické vyhodnocení kontaktního úhlu kontaktní čočky AirOptix® Aqua ..	25
Obrázek č. 5.4: Grafické vyhodnocení kontaktního úhlu kontaktní čočky 1-day Acuvue® Oasys™	25
Obrázek č. 6.1: Smáčivost materiálu poly(HEMA) s PBS (A) a destilovanou vodou (B).....	31
Obrázek č. 6.2: Grafické vyhodnocení kontaktního úhlu materiálu poly(HEMA)	32
Obrázek č. 6.3: Naměřené hodnoty kontaktního úhlu v čase 65. a 75. snímku materiálu poly(HEMA).....	32
Obrázek č. 6.4: Smáčivost kontaktní čočky SofLens® 59 s PBS v závislosti na čase (A–2 s, B–17 s).....	34
Obrázek č. 6.5: Smáčivost kontaktní čočky Biofinity® s destilovanou vodou	34
Obrázek č. 6.6: Změna botnavosti ionogenního materiálu kontaktní čočky 1-day Acuvue® s destilovanou vodou (A–2 s, B–17 s).....	35
Obrázek č. 6.7: Smáčivost kontaktní čočky 1-day Acuvue® TruEye™ s PBS	36
Obrázek č. 6.8: Smáčivost kontaktní čočky 1-day Acuvue® Oasys™ s PBS	36

Seznam tabulek

Tabulka č. 1.1: Rozdělení kontaktních čoček v závislosti na materiálu.....	3
Tabulka č. 5.1: Dostupné materiály, u kterých byl měřen kontaktní úhel.....	24
Tabulka č. 5.2: Základní složení dostupných kontaktních čoček. [3, 31]	26
Tabulka č. 5.3: Přehled technologií dostupných kontaktních čoček.	27
Tabulka č. 6.1: Naměřené hodnoty kontaktního úhlu u materiálu poly(HEMA).....	30
Tabulka č. 6.2: Naměřené hodnoty kontaktních úhlů u PBS a destilované vody (DV) v porovnání se studií. [29, 34, 36, 38]	33
Tabulka č. 6.3: Porovnání kontaktních úhlů v závislosti na hodnotách dioptrií.	38

Přílohy

Vysvětlivky:

1. Vyplněná buňka šedou barvou vyjadřuje hodnotu, které nebyla použita pro hodnocení. Buď se odlišovala od celku, nebo její odchylka byla větší než 3°.
2. Spojovník značí nezrealizovaný pokus.

Příloha č. 1: Naměřené hodnoty kontaktního úhlu hydrogelových kontaktních čoček

Název firmy	Název KČ	PBS (°)			Destilovaná voda (°)		
		Pokus 1	Pokus 2	Pokus 3	Pokus 1	Pokus 2	Pokus 3
Alcon®	Dailies® AquaComfort PLUS®	6,1±0,1	14,6±0,0	-	9,7±0,1	16,0±0,0	-
		9,6±0,1	16,5±0,0	-	9,0±0,1	21,5±0,2	-
		9,6±0,1	-	-	22,4±0,1	21,5±0,2	-
		13,1±0,1	17,6±0,1	-	22,2±0,1	21,1±0,1	-
		-	-	-	-	-	-
Hydrogel Bausch & Lomb®	Biotrue® ONEday	9,8±0,1	6,2±0,1	14,0±0,2	25,8±0,1	25,7±0,1	23,3±0,2
		8,9±0,0	8,7±0,0	7,6±0,1	10,4±0,1	9,3±0,0	17,6±0,2
		10,2±0,2	11,0±0,1	8,7±0,2	37,4±0,1	86,4±0,4	12,4±0,2
		14,2±0,0	15,4±0,1	11,4±0,1	14,5±0,0	13,1±0,3	9,2±0,1
		9,5±0,2	9,2±0,0	10,1±0,0	9,1±0,1	14,4±0,0	10,3±0,1
	SofLens® 59	18,4±0,1	6,5±0,1	6,2±0,0	8,0±0,0	7,0±0,1	9,7±0,1
		9,5±0,1	5,0±0,0	5,5±0,1	7,8±0,1	4,4±0,1	6,8±0,0
		5,2±0,0	7,4±0,2	7,2±0,0	5,6±0,0	4,2±0,1	7,4±0,0
		3,9±0,1	4,6±0,1	6,0±0,1	9,5±0,1	3,7±0,0	8,9±0,1
		6,5±0,1	11,7±0,0	6,0±0,1	9,2±0,0	7,8±0,1	9,5±0,2
Johnson & Johnson®	1-day Acuvue®	25,0±0,3	7,6±0,0	-	19,0±0,1	20,5±0,1	-
		17,5±0,3	12,1±0,0	-	15,6±0,0	20,5±0,1	-
		22,3±0,1	12,5±0,3	-	12,9±0,1	34,9±1,0	-
		26,8±0,0	14,9±0,1	-	21,6±0,4	42,2±0,3	-
	16,4±0,1	9,0±0,2	-	18,4±0,3	31,9±0,0	-	
	27,0±0,1	21,7±0,5	26,6±0,2	22,8±0,1	25,5±0,2	27,0±0,1	
	1-day Acuvue® Moist™	36,6±0,1	20,0±0,3	26,8±0,1	32,1±0,1	33,0±0,1	30,9±0,1
17,4±0,0	13,6±0,1	35,0±0,2	41,5±0,2	25,2±0,3	36,8±0,1		
19,2±0,1	17,4±0,1	19,6±0,1	22,8±0,1	25,0±0,3	23,5±0,6		
14,2±0,1	16,2±0,2	15,7±0,1	20,0±0,1	32,4±0,1	32,3±0,7		

Příloha č. 2: Naměřené hodnoty kontaktního úhlu silikonhydrogelových kontaktních čoček

Název firmy	Název KČ	PBS (°)			Destilovaná voda (°)			
		Pokus 1	Pokus 2	Pokus 3	Pokus 1	Pokus 2	Pokus 3	
Alcon®	AirOptix® Aqua	5,2±0,0	8,8±0,0	18,8±0,1	5,2±0,0	8,8±0,0	18,8±0,1	
		11,4±0,0	13,4±0,0	13,8±0,0	11,4±0,0	13,4±0,0	13,8±0,0	
		11,7±0,1	14,0±0,0	13,3±0,1	11,7±0,1	14,0±0,0	13,3±0,1	
		14,0±0,1	15,5±0,1	17,3±0,1	14,0±0,1	15,5±0,1	17,3±0,1	
		14,2±0,0	12,7±0,1	12,2±0,0	14,2±0,0	12,7±0,1	12,2±0,0	
Bausch & Lomb®	PureVision ® 2	7,4±0,0	12,2±0,0	13,8±0,0	17,2±0,1	9,7±0,0	16,2±0,0	
		15,1±0,0	8,7±0,0	13,5±0,0	14,8±0,0	11,2±0,1	11,6±0,0	
		8,2±0,1	13,9±0,0	10,3±0,1	11,6±0,1	10,7±0,1	15,8±0,0	
		15,5±0,1	9,5±0,0	10,9±0,0	10,7±0,0	14,3±0,0	14,0±0,1	
		14,1±0,0	12,7±0,1	10,7±0,1	9,9±0,0	10,7±0,1	11,0±0,0	
Silikonhydrogely	Biofinity®	33,7±0,2	15,4±0,3	-	25,8±0,7	25,9±0,1	-	
		21,6±0,2	24,1±0,2	-	29,8±0,1	22,9±0,1	-	
		14,6±0,3	16,0±0,3	-	20,5±0,0	22,3±0,2	-	
		30,4±0,2	16,4±0,2	-	22,1±0,7	22,7±0,1	-	
		27,9±0,2	22,8±0,3	-	25,0±0,1	35,8±0,2	-	
	Cooper Vision®	Clariti®	11,1±0,1	22,1±0,1	-	19,1±0,0	9,8±0,2	-
			14,6±0,1	16,5±0,1	-	19,7±0,2	14,6±0,0	-
			19,2±0,0	17,0±0,0	-	17,7±0,0	20,7±0,0	-
			20,3±0,0	20,5±0,1	-	18,3±0,2	13,9±0,1	-
			11,2±0,1	15,7±0,1	-	23,3±0,1	17,7±0,0	-
	MyDay®	33,2±1,9	46,6±0,1	22,8±0,1	40,5±7,4	40,8±5,5	41,7±0,0	
		73,5±0,2	34,9±0,1	26,8±0,2	61,8±0,2	36,9±0,1	29,3±0,2	
		33,2±0,1	34,0±0,0	39,3±0,1	31,3±0,1	30,1±6,6	28,8±0,1	
		35,6±0,1	26,9±0,3	37,6±0,2	33,7±0,1	27,6±0,1	25,5±0,1	
		36,2±0,1	43,4±0,1	27,3±1,1	33,8±0,2	31,3±0,0	36,2±0,1	
Johnson & Johnson ®	1-day Acuvue®	58,4±0,1	83,6±0,3	29,2±0,2	103,5±0,2	52,1±0,1	71,5±0,1	
		83,9±0,2	83,2±0,6	18,7±0,2	-	27,2±0,1	45,4±0,1	
	Oasys™	68,2±0,2	23,4±0,0	85,9±0,2	100,4±0,0	95,1±0,1	88,3±0,1	
		50,4±0,2	19,6±0,1	104,3±0,4	-	55,6±0,2	66,4±0,0	
	1-day Acuvue® TruEye™	60,6±0,9	28,1±0,8	49,9±0,2	35,9±0,1	62,0±0,3	42,8±0,1	
		23,0±0,0	85,5±0,3	103,5±2,7	72,9±0,3	31,5±0,1	23,1±0,0	
		52,3±0,1	71,9±0,1	56,2±0,2	40,7±0,1	34,8±0,1	9,6±0,1	
TruEye™	23,5±0,5	101,7±0,2	36,8±0,1	28,8±0,1	56,5±0,1	18,0±0,1		
	42,3±0,2	85,6±0,1	34,0±0,1	33,8±0,1	36,1±0,4	36,5±0,1		
		60,5±0,2	58,6±0,1	82,0±0,8	20,8±0,1	23,3±0,3	25,0±0,0	

Příloha č. 3: Naměřené hodnoty kontaktního úhlu kontaktních čoček H-S 38

Optická mohutnost (dpt)	Zakřivení (mm)	Průměr (mm)	PBS (°)			Destilovaná voda (°)			
			Pokus 1	Pokus 2	Pokus 3	Pokus 1	Pokus 2	Pokus 3	
+3,50	8,4	14,0	11,4±2,2	25,2±0,1	22,6±0,1	12,2±0,1	30,8±0,1	15,7±0,1	
			22,8±0,4	25,1±0,3	34,1±0,2	33,4±0,2	14,4±0,1	55,4±0,1	
	8,4	14,5	19,8±0,0	23,1±0,1	24,5±0,0	31,7±0,2	22,4±0,1	54,6±0,1	
			14,4±0,1	20,9±0,1	23,2±0,1	23,3±0,0	18,2±0,1	40,9±0,1	
			9,1±0,1	17,2±0,1	13,3±0,1	12,4±0,2	19,3±0,1	23,2±0,0	
H-S 38	8,1	14,5	43,0±0,0	6,0±0,3	27,3±0,1	46,7±0,1	18,1±0,3	23,6±0,1	
			13,4±0,1	10,3±0,1	13,6±0,1	17,2±0,2	14,9±0,1	9,9±0,1	
			14,2±0,3	14,3±0,1	17,3±0,1	20,8±0,2	28,1±0,2	15,4±0,1	
	8,7	14,0	14,7±0,1	13,9±0,1	17,0±0,1	27,2±0,1	12,2±0,0	18,4±0,1	
			9,0	14,0	16,8±0,2	16,5±0,0	34,0±0,1	24,2±0,0	20,7±0,1
	-1,25	9,0	14,5	18,8±0,1	19,7±0,1	19,9±0,1	26,5±0,2	32±0,3	36,6±0,3
				33,5±0,1	15,8±0,1	16,8±0,2	24,1±0,1	19,7±0,1	23,8±0,2
				17,1±0,1	10,4±0,1	22,2±0,1	31,7±0,1	25,5±0,1	23,3±0,1
	9,3	14,5	21,4±0,4	37,8±0,0	12,8±0,1	38,3±0,1	17,9±0,1	28,9±0,1	
			17,2±0,1	24,3±0,1	11,3±0,1	14,6±0,2	23,5±0,1	17,2±0,1	
-12,00	8,4	14,0	47,1±0,1	47,6±0,1	27,3±0,3	15,9±0,2	15,8±0,1	11,0±0,0	
			48,9±0,1	41,3±0,1	30,0±0,3	14,6±0,2	18,8±0,2	9,7±0,0	
			49,8±0,1	12,4±0,1	20,5±0,1	11,6±0,0	11,0±0,1	16,2±0,3	
	8,4	14,5	35,4±0,2	28,0±0,0	37,0±0,2	9,3±0,1	16,5±0,0	27,4±0,0	
			15,3±0,0	57,5±0,1	15,3±0,2	14,7±0,1	11,1±0,0	13,6±0,2	