ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra přírodovědných oborů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Květen 2017 **Jana Jirásková**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů

Ověření platnosti vztahu mezi obsahem vody v gelu a jeho indexem lomu na souboru vybraných kontaktních čoček s různým stupněm nabotnání

Proof of validity of relation between water content and refractive index on the collection selected contact lenses with various swelling degree.

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Jana Jirásková

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Michálek, CSc.

Kladno, Květen 2017

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů | Akademický rok: 2016/2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Jana Jirásková**

Obor: Optika a optometrie

Téma: **Ověření platnosti vztahu mezi obsahem vody v gelu a jeho indexem lomu na souboru vybraných kontaktních čoček s různým stupněm nabotnání**

Téma anglicky: Proof of validity of relation between water content and refractive index on the collection selected contact lenses with various swelling degree

Zásady pro vypracování:

Proveďte rešerši na téma materiálů pro kontaktní čočky a měření jejich vlastností, zejména s ohledem na botnací a optické vlastnosti. Navrhněte soubor kontaktních čoček vhodných pro vlastní měření rovnovážného stupně nabotnání a indexu lomu. Proměřte uvedené hodnoty u všech čoček. U čoček o známém složení ověřte platnost teoretického vztahu mezi veličinami. U komerčních čoček diskutujte nalezenou korelaci.

Seznam odborné literatury:

[1] PROKOPOVÁ, I., Makromolekulární chemie, ed. 1, Skripta VŠCHT Praha, 2004, ISBN 80-7080-554-4
[2] POLÁŠEK, J. a kol., Technický sborník oční optiky, ed. 1, Oční optika n. p., Praha, 1997, ISBN SIP-41304/03112-301-05-2
[3] EFRON, N., Contact lens practice, ed. 2, St. Louis, Mo.: Butterworth Heineman, 2010, 510 s., ISBN 978-070-2047-633
[4] BOWDEN, T. J., Contact lenses: the story : a history of the development of contact lenses, ed. 1, Gravesend, Kent: Bower House, 2009, ISBN 978-095-5898-105

Zadání platné do: 11.09.2018

Vedoucí: Ing. Jiří Michálek, CSc.

Konzultant: Mgr. Romana Široká, Ph.D.

.....
vedoucí katedry / pracoviště

.....
děkan

V Kladně dne 20.02.2017

Název bakalářské práce: Ověření platnosti vztahu mezi obsahem vody v gelu a jeho indexem lomu na souboru vybraných kontaktních čoček s různým stupněm nabotnání

Abstrakt:

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na popis materiálů kontaktních čoček a rozdělení čoček do několika klasifikačních systémů z hlediska již zmíněných materiálů. V textu je rovněž uvedena historie materiálů, ze kterých čočky byly vyráběny až po materiály dnešní doby. Podstatnou částí je kapitola o vlastnostech daných materiálů, kde jsou popsány parametry důležité pro správnou funkčnost kontaktních čoček. Znalosti parametrů a vlastností čoček i vztahů mezi nimi byly využity v praktické části práce, kde byl u souboru vybraných čoček měřen index lomu a obsah vody, který byl stanoven gravimetricky. Cílem bylo naměřené hodnoty porovnat s údaji deklarovanými výrobcem a s hodnotami tabulky dat indexu lomu vyneseným proti hodnotám obsahu vody.

Byla prokázána platnost teoretického vztahu mezi indexem lomu v gelu a jeho rovnovážným obsahem vody. Navíc bylo zjištěno, že tento vztah platí v mezích chyby měření napříč všemi testovanými hydrogelovými materiály. V souladu s literaturou bylo prokázáno, že silikonhydrogely mají nižší index lomu, tedy vykazují zdánlivě vyšší obsah vody, než tomu ve skutečnosti je.

Klíčová slova:

Index lomu, obsah vody, rovnovážný stupeň nabotnání, materiály kontaktních čoček, hydrogely.

Bachelor´s Thesis title: Proof of validity of relation between water content and refractive index on the collection selected contact lenses with various swelling degree.

Abstract:

The theoretical part of the bachelor thesis focuses on the description of contact lens materials and the division of lenses into several classification systems from the point of view of the mentioned materials. The text also mentions the history of the materials from which the lenses were made to materials of today's times. The essential part is the chapter about the properties of the materials, where the parameters important for the correct functionality of the contact lenses are described. The knowledge of the parameters and properties of the lenses and the relationships between them were used in the practical part of the work, where the refractive index and the water content, which was determined gravimetrically, were measured in the set of selected lenses. The objective was to compare the measured values with the data declared by the manufacturer and the values of the refractive index data table plotted against the water content values.

The validity of the theoretical relationship between the refractive index of the gel and its equilibrium water content has been demonstrated. Furthermore, it has been found that this relationship is valid within the limits of the measurement error across all of the hydrogel materials tested. According to the literature, silicone hydrogels have been shown to have a lower refractive index, which means that they appear to have a higher water content than is actually the case.

Key words:

Refractive index, water content, equilibrium gradation, contact lens materials, hydrogels.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své práce, panu Ing. Jiřímu Michálkovi, Csc, za užitečné rady a informace potřebné k vypracování této bakalářské práce a také za jeho podporu.

Dále bych ráda poděkovala panu Mgr. Lubomírovi Černému, řediteli SOŠ a SOU Kralupy nad Vltavou, paní Ing. Lence Janďourkové a paní Mgr. Alžbětě Kováčikové za to, že mi umožnili provést ve školních laboratorních místnostech měření praktické části mé práce.

V poslední řadě bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za podporu během studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Ověření platnosti vztahu mezi obsahem vody v gelu a jeho indexem lomu na souboru vybraných kontaktních čoček s různým stupněm nabotnání“ 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).

V Kladně dne 19. 5. 2017 …….

podpis

Obsah

Úvod 1
1 Historie kontaktních čoček z hlediska materiálů 3
2 Kategorizace kontaktních čoček podle materiálu 4
2.1 Měkké kontaktní čočky 8
2.1.1 Měkké hydrofobní kontaktní čočky 8
2.1.2 Měkké hydrofilní kontaktní čočky 9
3 Vlastnosti materiálů kontaktních čoček 16
3.1 Index lomu 19
3.2 Botnavost 20
3.2.1 Souvislost mezi indexem lomu hydrogelu a jeho rovnovážným stupněm nabotnání 22
4 Cíl práce 29
5 Praktická část 30
5.1 Použité materiály 30
5.2 Použité přístroje 33
5.3 Princip použitých metod měření 38
5.4 Výsledky měření 39
5.5 Analýza dat 46
6 Diskuze 48
Závěr 51
Seznam použité literatury 52
Seznam symbolů a zkratek 55
Seznam obrázků 57
Seznam tabulek 58
Seznam příloh 59

Úvod

Během studia na vysoké škole mě zaujalo několik odborných témat, ale snad nejvíce na mě zapůsobila, a dosud mě fascinuje, možnost korekce refrakčních vad pomocí měkkých kontaktních čoček. Ať už z hlediska materiálů, tvarů, interakce s předním segmentem oka nebo difusních procesů. V neposlední řadě mě téma kontaktních čoček oslovilo i pro jejich český původ. Český vynález, který se rozšířil do celého světa.

Díky neustálému vývoji dosáhly kontaktní čočky dnešního pokroku. Přesto však o jejich výsledných a leckdy unikátních vlastnostech rozhodují zejména materiálové parametry. Jedním z rozhodujících parametrů měkkých kontaktních čoček, ať už hydrogelových nebo silikonhydrogelových, je rovnovážný obsah vody. Je alfou i omegou pro řadu dalších vlastností těchto čoček, ovlivňuje jejich interakci s rohovkou, odvíjí se od něj do určité míry transportní a mechanické vlastnosti, u hydrogelů má přímý vliv i na smáčivost povrchu.

Jiným důležitým materiálovým parametrem, a to z hlediska optické konstrukce kontaktních čoček, je index lomu. A právě vztahem mezi obsahem vody v materiálu čočky (v gelu) a jeho indexem lomu se zabývá má bakalářská práce.

Kromě uvedení teoretického vztahu mezi rovnovážným obsahem vody v (hydro)gelu a jeho indexem lomu bude práce zaměřena na jeho praktické ověření na souboru vybraných kontaktních čoček s různým stupněm nabotnání. Práce se dále bude zabývat zjišťováním korelace teoretických výsledků s výsledky zjištěnými na souboru vybraných komerčních čoček.

Kontaktní čočky se dnes vyrábějí z mnoha různých materiálů s různou hydratací. Je známo, že materiály pro měkké kontaktní čočky s vysokým obsahem vody bývají zpravidla na oku snášenlivější. Většinou výrobci uvádí orientační složení čoček a některé jejich vybrané vlastnosti. Řada užitečných informací však není udávána ani přímo na obalu čoček, ani v příbalovém letáku nebo informačních brožurách.

Jedním z důvodů, proč jsem si vybrala toto téma, je možnost nových zjištění o běžně dostupných komerčních čočkách, zejména ověření hodnot rovnovážného stupně nabotnání, respektive měření hodnot indexu lomu.

Cílem této práce je tedy ověření platnosti teoretického vztahu mezi rovnovážným stupněm nabotnání a indexem lomu, a to na materiálu o přesně známém složení – poly(2-

hydroxyethylmethakrylátu), a dále rozšíření zjištěných poznatků na nové materiály, které jsou v současnosti používány při výrobě čoček, včetně popisu případných korelací. Získané výsledky mohou poskytnout možnost ověření totožnosti materiálu nezávislými metodami.

Vlastní měření bude provedeno na Abbeho refraktometru pro určení indexu lomu vybraných čoček. Rovnovážný stupeň nabotnání bude stanoven gravimetricky.

Doufám, že se předložená práce stane drobným příspěvkem k české odborné literatuře s tématikou materiálů pro měkké kontaktní čočky a měření jejich vlastností.

1 Historie kontaktních čoček z hlediska materiálů

Od prvních myšlenek na korekci zraku pomocí kontaktních čoček z počátku 16. století, za jejichž autora je považován Leonardo da Vinci, prošly kontaktní čočky výrazným vývojem. I od prvních reálných kontaktních čoček, které byly vyrobeny v 19. století ze skla, se jejich materiály významně změnily a zdokonalily. Jak už bylo řečeno, při prvních pokusech o výrobu čoček bylo použito sklo, ale ve všech případech byla konstatována jejich špatná snášenlivost. Již v roce 1827 navrhl John F. W. Herschel aplikovat skleněnou kontaktní čočku pomocí mezivrstvy rosolovitého gelu živočišného původu. V pokračujícím vývoji však tato technika není dále zmiňována.

Až v minulém století, s rozvojem chemie, zejména organické, jež se stala základem pro nový rozvíjející se obor – chemii makromolekulární, byly najednou, kromě tradičních, k dispozici i nové materiály se zajímavými vlastnostmi. Odtud se odvíjejí nové snahy vyrobit čočky z umělé hmoty. Už v roce 1919 přišel Carl Zeiss s myšlenkou celuloidové kontaktní čočky. Převratným se však stal až rok 1936, kdy byl na trh uveden transparentní polymethylmethakrylát (PMMA) a následně americký optik William Feinbloom představil sklerální čočku, kdy centrální část byla ze skla a okrajová část z PMMA. Brzy však byly kontaktní čočky vyráběny pouze z PMMA. Od té doby až dodnes byly všechny na trh uvedené kontaktní čočky vyrobeny z gelů, trojrozměrných řídce síťovaných polymerních struktur.

Dalším velmi významným mezníkem ve vývoji čoček se stal ~~je~~ rok 1961, kdy byly díky českému vědci a vynálezci Otto Wichterlemu vyrobeny první měkké, hydrogelové kontaktní čočky z materiálu poly(2-hydroxyethylmethakrylátu) (PHEMA), které byly po dalším vývoji uvedeny v roce 1972 na světový trh firmou Bausch & Lomb. Jinou variantou vývoje byly měkké čočky na bázi silikonových elastomerů (1965), které se však nedočkaly masového rozšíření. Na rozdíl od těchto měkkých, tvrdé plynopropustné čočky (rigid gas permeable – RGP), uvedené na světový trh v roce 1974 tvoří svébytnou skupinu kontaktních čoček dodnes. Jejich rozšíření se však velmi liší podle jednotlivých zemí. [1, 2, 3, 4]

Zatímco například ve Slovinsku, Německu, Rakousku, Nizozemsku aj. představují významný podíl trhu, v České republice se jejich používání pohybuje na úrovni jednotek procent.

Zatím poslední významný mezník ve vývoji kontaktních čoček nastal v letech 1998 – 1999, kdy byly na světový trh uvedeny silikonhydrogelové kontaktní čočky 1. generace. Ty se zatím dočkaly své třetí generace a představují zhruba dvě třetiny všech aplikovaných čoček. [5]

2 Kategorizace kontaktních čoček podle materiálu

Kontaktní čočky lze zařadit do mnoha kategorií z různých úhlů pohledu. Základním dělením je však rozdělení čoček podle materiálu. Jednotlivé materiály totiž významně ovlivňují výsledné vlastnosti čoček, tedy i jejich interakci s předním segmentem oka. Čočky lze klasifikovat na:

- Tvrdé
  - Tvrdé nepropustné (sklo, PMMA)
  - Tvrdé plynopropustné (RGP materiály)

- Měkké
  - Hydrofóbní (silikonové)
  - Hydrofilní neboli hydrogelové
    - Hydrogelové standartní (PHEMA)
    - Hydrogelové výšebotnavé
    - Silikonhydrogelové

[6, 7, 8]

Další přehled, který usnadňuje orientaci v materiálech pro kontaktní čočky, vychází z mezinárodní klasifikace Asociace výrobců kontaktních čoček (ACLM). V této klasifikaci jsou zahrnuty všechny typy materiálů čoček, které jsou na trhu dostupné, až na silikonhydrogely. Materiály jsou rozděleny do dvou základních skupin. První skupina je nazývána Focon a zahrnuje materiály pro tvrdé kontaktní čočky a druhou skupinou je Filcon zahrnující materiály pro měkké kontaktní čočky. Tyto dvě základní skupiny jsou ještě tvořeny několika podskupinami, které jsou řazeny podle rostoucí hodnoty propustnosti pro kyslík (Dk), přičemž pro každou podskupinu jsou uvedeny charakteristické monomerní jednotky. [6, 7]

V tabulce 1 jsou uvedeny charakterizace jednotlivých podskupin skupiny Focon.

Tabulka 1: Materiály FOCON, jejich skupiny a podskupiny, včetně pro ně charakteristických monomerů [6, 7]

SKUPINA 1a
Prakticky čistý polymethylmethakrylát (PMMA), (99%). Dk = 0
SKUPINA 1b
Kopolymery PMMA s maximálně 10% jiných monomerů, které mohou měnit tvrdost, botnavost a stabilitu původního materiálu. Dk = 0.
SKUPINA 2a
Prakticky čistý acetobutyrát celulosy (CAB), (90%). Dk = 2 - 8.
SKUPINA 2b
Kopolymery nebo směsi homopolymerů CAB a jiných monomerů.
SKUPINA 3
Kopolymery jednoho nebo více alkylmethakrylátů s jedním nebo více siloxanylmethakryláty, plus jiné monomery (smáčivé) a síťovadlo. Dk > 6
SKUPINA 4
Materiály pro tvrdé kontaktní čočky tvořené polysiloxany.
SKUPINA 5
Kopolymery jednoho nebo více alkylmethakrylátů a/nebo siloxanylmethakrylátů, plus jiné monomery (smáčivé), síťovadlo a minimálně 5 hmot. % fluoroalkylmethakrylátů nebo jiných fluor obsahujících monomerů. Dk > 20.

Materiály Filcon tvoří 5 skupin, opět seřazených podle rostoucích hodnot Dk. První čtyři skupiny se ještě dělí do podskupin a a b podle hmotnostního procenta ionizovaných složek. Má-li podskupina méně než 0,2% ionizovatelných složek (kyselina methakrylová), lze říci, že je neionogenní a je označena písmenem a, má-li však více než 0,2% ionizovaných složek je ionogenní a je označena písmenem b. Od 1. do 4. skupiny roste s rostoucí hodnotou Dk i obsah vody v materiálu, jedná se tedy o hydrofilní materiály, zatímco 5. skupina představuje měkké hydrofobní materiály – tabulka 2. [6, 7]

Tabulka 2: Materiály FILCON [6, 7]

SKUPINA 1a
Prakticky čistý poly(2-hydroxyethylmethakrylát) (polyHEMA), obsahující méně než 0.2 hmot.% ionizovatelných složek (tj. kyseliny methakrylové).
SKUPINA 1b
Prakticky čistý polyHEMA, obsahující více než 0.2 hmot.% ionizovatelných složek.
SKUPINA 2a
Kopolymer HEMA a/nebo jiných hydroxyalkylmethakrylátů, dihydroxyalkylmethakrylátů a alkylmethakrylátů, obsahující méně než 0.2 hmot.% ionizovatelných složek.
SKUPINA 2b
Kopolymer HEMA a/nebo jiných hydroxyalkylmethakrylátů, dihydroxyalkylmethakrylátů a alkylmethakrylátů, obsahující více než 0.2 hmot.% ionizovatelných složek.
SKUPINA 3a
Kopolymer HEMA s N-vinyllaktamem a/nebo alkylakrylamidem, obsahující méně než 0.2 hmot.% ionizovatelných složek.
SKUPINA 3b
Kopolymer HEMA s N-vinyllaktamem a/nebo alkylakrylamidem, obsahující více než 0.2 hmot.% ionizovatelných složek.
SKUPINA 4a
Kopolymer alkylmethakrylátu a N-vinyllaktamu a/nebo alkylakrylamidu, obsahující méně než 0.2 hmot.% ionizovatelných složek.
SKUPINA 4b
Kopolymer alkylmethakrylátu a N-vinyllaktamu a/nebo alkylakrylamidu, obsahující více než 0.2 hmot.% ionizovatelných složek.
SKUPINA 5
Materiály pro měkké kontaktní čočky tvořené polysiloxany.

Další možností dělení čoček na základě materiálu je klasifikační systém FDA. Tento systém je založen na kombinaci dvou parametrů: rovnovážné botnavosti do, respektive nad 50% a na tom, zda je ionogenní či neionogenní (tabulka 3). [6, 7, 8]

Tabulka 3: Rozdělení čoček do skupin podle FDA [6, 7, 8]

SKUPINA I. - neionogenní s botnavostí do 50%
• standardní hydrogely • u těchto materiálu se vyskytuje problém s bílkovinnými depozity • bílkoviny se nejsnáze odstraňují mechanicky
SKUPINA II. - neionogenní s botnavostí nad 50%
• část materiálu je silně hydrofilní (např. vinylpyrolidon) a část hydrofobní (př. alkylmethakrylát) • tento materiál je náchylný vůči lipofilním depozitům, která se snadno odstraňují pomocí detergentů
SKUPINA III. - ionogenní s botnavostí do 50%
• tyto materiály nejsou na českém trhu zastoupeny • mají nízkou botnavost, tudíž jsou velmi náchylné na bílkovinná depozita • bílkovinná depozita mohou interagovat s ionogenním materiálem elektrostatickými silami
SKUPINA IV. - ionogenní s botnavostí nad 50%
• díky vysoké botnavosti těchto materiálů se na povrchu bílkovinná depozita neuchycují • tyto materiály se využívají pro výrobu čoček s plánovanou výměnou

2.1 Měkké kontaktní čočky

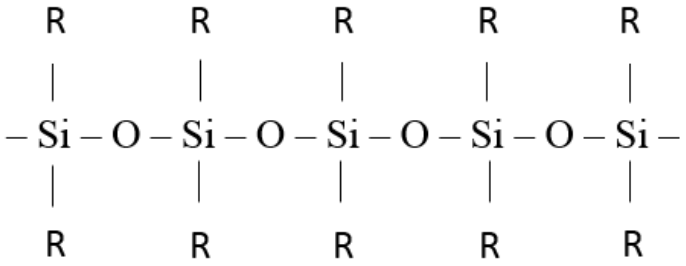
Uvedení měkkých kontaktních čoček na světový trh na počátku 70. let 20 století mělo obrovský dopad. Od samého počátku stoupá zájem o ně, poptávka roste, výroba se zvyšuje. Jedním z mnoha důvodu je spokojenost nositelů, a to jak ve směru správné korekce zraku, tak i komfortu nošení. Nutno připomenout, že měkké kontaktní čočky současnosti tvoří dvě silné skupiny materiálů, a to hydrogely a od počátku tisíciletí silikonhydrogely.

Materiály kontaktních čoček jsou obecně řídce síťované polymery. Jedná se o matriály pevného skupenství, tvořené řetězci s vysokou molekulovou hmotností, které se skládají z malých stále opakujících se jednotek, monomerů. Tyto řetězce jsou místy pospojovány vhodným síťovacím činidlem do trojrozměrné polymerní sítě, gelu. Výběr monomerních jednotek a jejich uspořádání, délka jejich řetězců, hustota sítě, to jsou základní parametry, kterými lze ovlivnit výsledné vlastnosti materiálu, respektive kontaktní čočky. [4, 6, 8, 9, 10]

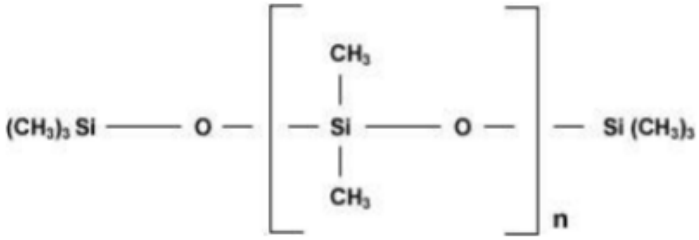
2.1.1 Měkké hydrofobní kontaktní čočky

Mezi měkké hydrofobní kontaktní čočky se řadí silikonové a polyethylenové čočky. Pro výrobu silikonových čoček se používají **silikonové pryže** neboli silikonové elastomery (polysiloxany), vysoce propustné pro kyslík, což je zapříčiněno pohyblivostí Si-O-Si vazeb. Tyto čočky jsou pružné, ohebné a mají měkkou konzistenci. Jejich hlavní nevýhodou je však hydrofobnost materiálu v kombinaci s těsným lnutím elastického materiálu k rohovce. V důsledku toho nedochází k potřebné výměně slz pod povrchem aplikované čočky na oku. Těsné přilehnutí měkké hydrofobní čočky mělo při jejich testování v šedesátých letech minulého století za následek poškození několika rohovek samotným nositelem těchto čoček při jejich snímání z oka. Jinou nepříznivou vlastností hydrofobních čoček je možnost absorpce lipofilních sloučenin. Uvedené nevýhody jsou natolik závažné, že přes velmi vysoké hodnoty Dk (řádově stovky barrer) nenašly tyto čočky na světovém trhu významnější uplatnění. [4, 6, 8]

Na obrázku 1 je uvedena část polysiloxanového řetězce obecného vzorce, na obrázku 2 lineární polydimethylsiloxan jako typická základní struktura silikonových pryží.



Obrázek 1: Obecná struktura polysiloxanů [11]



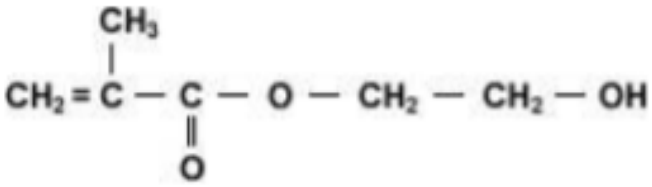
Obrázek 2: Lineární polydimethylsiloxan [12]

2.1.2 Měkké hydrofilní kontaktní čočky

Hydrogely

Měkké hydrofilní čočky jsou rovněž označovány jako hydrogelové. Vznik hydrogelových čoček je spjat se jménem prof. O. Wichterleho, který v první polovině padesátých let minulého století předpověděl možnost vzniku syntetických vodou botnatelných měkkých gelů pro oční náhrady namísto původních kovových materiálů na bázi titanu. Myšlenka ho natolik zaujala, že spolu se svým asistentem, Dr. D. Límem, začali na vývoji hydrogelů intenzivně pracovat. Již v průběhu těchto prací, na základě dílčích výsledků, podal Wichterle na hydrogelové materiály a řadu jejich použití, včetně měkkých kontaktních čoček, několik přihlášek vynálezu. Podle nich bylo v různých teritoriích v různou dobu uděleno několik patentů, z nichž některé byly opětovně zrušeny nebo sloučeny, a tak můžeme

v literatuře nalézt mnoho dat, které uvádějí prioritu vynálezu hydrogelových kontaktních čoček. Za základní se však považuje odborný článek v časopisu Nature (1960) a následně přihláška vynálezu z konce roku 1961, která chrání kontaktní čočku z materiálu poly(2-hydroxyethylmethakrylátu) – poly(HEMA) – obr. 3, včetně způsobu její přípravy – odstředivého lití. [4, 6, 13, 14, 15]



Obrázek 3: Vzorec 2-hydroxyethylmethakrylátu [12]

Z chemického hlediska je hydrogel trojrozměrná řídce síťovaná polymerní struktura, která ve styku s vodou botná až do ustavení rovnovážného stavu. [17]

Jako biomateriál musí hydrogel splňovat určité obecné požadavky, mezi které patří dobrá biokompatibilita, prakticky nulová toxicita, nesmí iritovat tkáně atp. Konkrétní požadavky na vlastnosti a chování biomaterálů vycházejí z jejich předpokládané aplikace. V případě hydrogelových materiálů pro kontaktní čočky to je zejména transparentnost, dobrá propustnost pro kyslík, zajišťující správnou funkci metabolismu rohovky, obsah vody dostatečný pro transport iontů a vodorozpustných produktů metabolismu rohovky, mechanické vlastnosti vhodné pro kontakt s rohovkou a přitom zajišťující stabilní optiku a manipulovatelnost čočkou. Z hlediska klienta tedy vlastnosti zajišťující jasné a stabilní vidění a potřebný komfort při nošení čoček.

Základním materiálem pro výrobu měkkých kontaktních čoček se stal PHEMA, který vzniká kopolymerizací monomeru 2-hydroxyethylmethakrylátu se síťovacím činidlem ethylendimethakrylát (EDMA). Kontaktní čočky z něj připravené se řadí mezi „standardní hydrogely“.

Kopolymerizací s jinými monomery je možné zvýšit rovnovážný obsah vody v gelu a tím i propustnost čočky pro kyslík. Tak se připravují „výšebotnavé kontaktní čočky“. Zvýšit botnavost hydrogelu lze užitím derivátů glykolmethakrylátu jako jsou například

diethylenglykolmethakrylát (DEGMA) a triethylenglykolmethakrylát (TEGMA) nebo dihydroxyalkylmethakryláty jako glycerolmethakrylát.

Snaha vyrobit materiály s vyšším obsahem vody, vedla dále k vývoji kopolymerů HEMA s akrylamidy nebo proběhla s N-vinylpyrrolidonem (NVP). Pro ještě vyšší obsahy vody byly připraveny kontaktní čočky z kopolymerů VP – MMA, které mohou v závislosti na složení obsahovat 60 až 80% vody Všechny tyto výšebotnavé materiály jsou neionogenní, monomery jsou v kopolymerech zastoupeny v desítkách procent. Často se však používají výšebotnavé materiály ionogenní, tedy kopolymery více monomerů, z nichž jedním je kyselina methakrylová (MA), která významně zvyšuje botnavost materiálu svým přídavkem už v řádu jednotek procent (zpravidla do 3%). Kyselina methakrylová v „H“ formě ovlivňuje botnání jen omezeně. V organismu, tedy i v kontaktu s ním, nebo v původním roztoku je však ve své sodné – „Na“ formě, která jí propůjčuje vysokou botnavost. Jsou popsány různé terpolymery s kyselinou methakrylovou (např. HEMA-*co*-NVP-*co*-MA), ale typickým základem mnoha materiálů pro kontaktní čočky je kopolymer HEMA-*co*-MA s obsahem vody kolem 58%.

Uvedené materiály jsou vesměs kopolymery různých methakrylátů, dimethakrylátů a vinylpyrrolidonu. Mimo tento výčet stojí síťovaný polyvinylalkohol, neionogenní materiál pro kontaktní čočky Dailies s obsahem vody klem 59%.

V dnešní době je na trhu několik hydrogelových materiálů se specifickým složením. Do praktické části této bakalářské práce byly kromě nich zařazeny i starší typy čoček a materiálů, takže soubor obsahuje například Etafilcon A, Methafilcon A, Ocufilcon D, Nelfilcon A, Alphafilcon A a Methafilcon A. Jednotlivá složení těchto materiálů jsou popsána v tabulkách v praktické části. [4, 6, 8, 18]

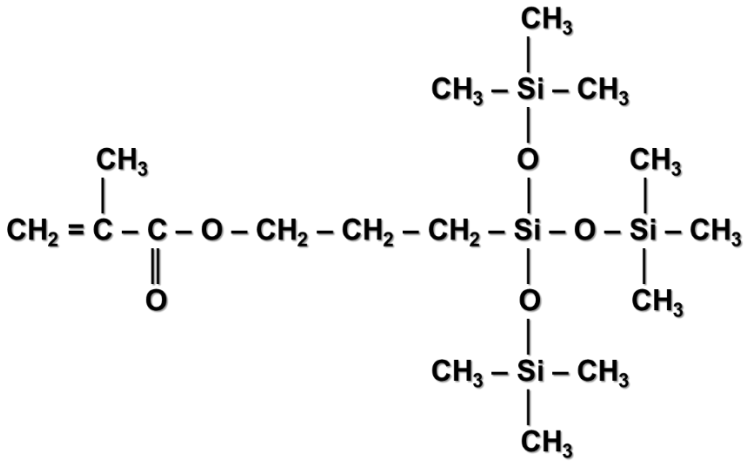
Silikonhydrogely

Zhruba od přelomu století se rozšířily silikonhydrogelové kontaktní čočky. Tento nejnovější používaný typ materiálu patří mezi materiály měkké, hydrofilní, a to právě pro svůj více či méně hydrogelový charakter. Silikonhydrogely, neboli silikonové hydrogely –jsou kombinací hydrogelů a silikonových plynopropustných materiálů. Za svého vývoje, který započal již v sedmdesátých letech minulého století (první patent na silikonhydrogelový materiál pochází z roku 1979) byly tyto materiály označovány jako hybridní. Jejich typickou vlastností, pro kterou byly i vyvíjeny, je větší propustnost pro kyslík ve srovnání s hydrogely. Proto je nošení čoček z tohoto materiálu pro oči zdravější a šetrnější. Díky vysoké

propustnosti je možné v kontaktních čočkách občas přespat nebo je nosit bez vyjmutí až 30 dní a 29 nocí. Silikonhydrogelové čočky jsou o něco tužší než hydrogelové a díky obsahu vody, cca na úrovni standardních hydrogelů, je doporučeno používat doplňková zvlhčující činidla. Silikonhydrogely od svého uvedení na trh až dodnes dosáhly 3 generací.

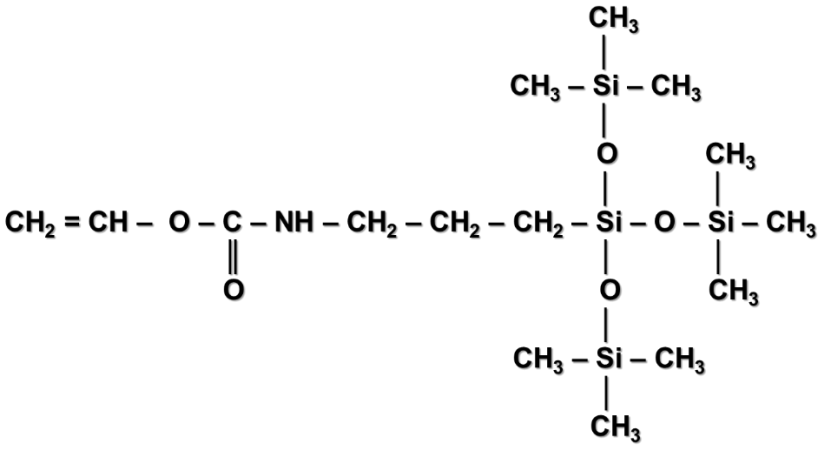
[6, 8, 11, 12, 16, 19]

Vývoj prvního materiálu na bázi polysiloxanu, vedl až k výslednému siloxymethakrylátovému monomeru, který je povšechně označován jako TRIS (obr. 4).



Obrázek 4: TRIS : tris(trimethylsiloxyl) methakryloxypropylsilan [12]

Obdobná siloxanová struktura, tris(trimethylsiloxysilyl) propylvinyl karbamát (TPVC), je odvozena od vinylkarbamátu (obr. 5).

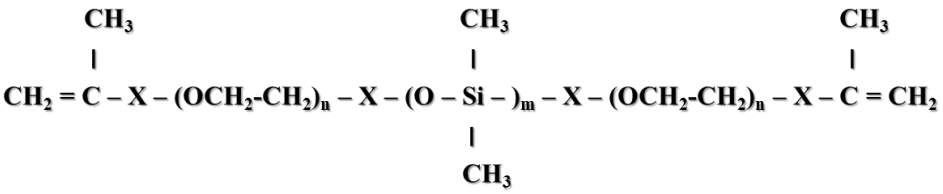


Obrázek 5: TPVC : tris(trimethylsiloxysilyl) propylvinyl karbamát [12]

Do první generace silikonhydrogelových čoček patří ionogenní materiál Balafilcon A, kontaktní čočky PureVision. Pomocí monomeru TPVC dochází k propojení silikonových (poly(dimethysiloxyl) di (silylbutanol) bis vinylkarbamát – PBVC) a hydrogelových částí (NVP). Další složkou balafilconu A je N-karboxyvinylový ester (NCVE). Pro zajištění stejnoměrné smáčivosti byly tyto čočky následně povrchově upravovány plasmovou oxidací.

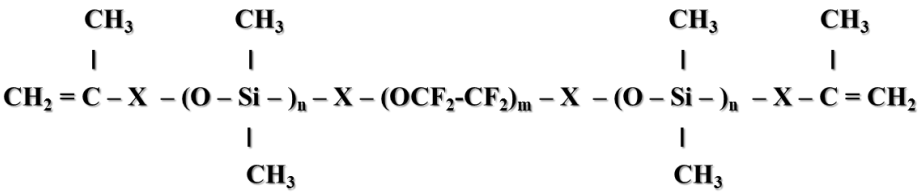
Neionogenním materiálem patřící do první generace je Lotrafilcon A, kontaktní čočky Night & Day. Základní strukturu tvoří kombinace 4 makromonomerů, které mají v triblokovém uspořádání (např. polyethylenoxid-*blok*-polydimethylsiloxan-*blok*-poly-ethylenoxid) zavedeny hydrofilní a hydrofobní bloky obsahující polysiloxanové nebo perfluorované části řetězců, končené zpravidla telechelicky pomocí methakrylátových nebo vinylkarbanátových skupin (obr.6). Monomer TRIS opět napomáhá k propojení jednotlivých částí. Další složkou materiálu je hydrofilní N,N-dimethylakrylamid (DMA). Plazmatickým povrchovým povlékáním, kdy je nanesena tenká vrstva hydrogelu na kontaktní čočku, je povrch čočky upravován tak, aby bylo dosaženo stejnoměrné smáčivosti jeho povrchu. Nevýhodou čoček první generace byla menší smáčivost s nutností provádět dodatečné povrchové úpravy, nízký obsah vody a s tím související vyšší hodnoty modulu pružnosti (tabulka 4). [6, 8, 11, 12]

Macromer A



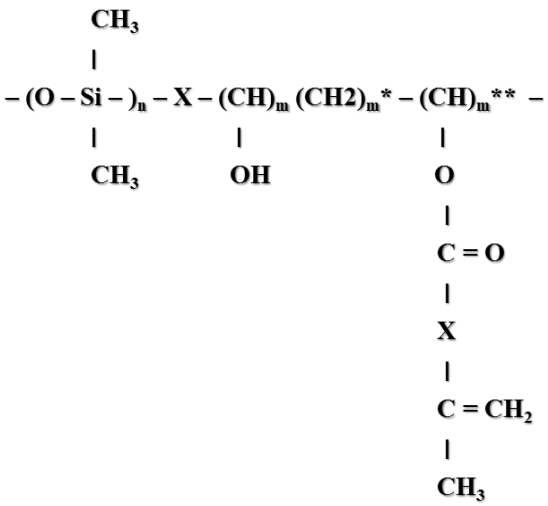
(kde n = 3 – 44, m = 25 – 40 a celková molekulová hmotnost je 2.000 až 10.000)

Macromer B



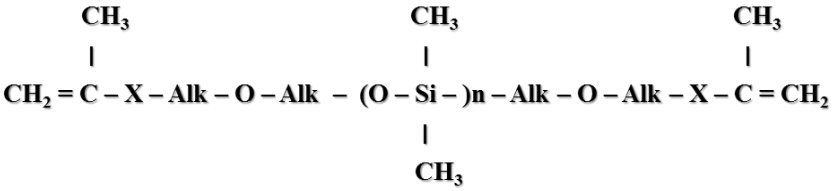
(kde n = 5 – 100, s výhodou 14 – 28 a m = 10 – 30)

Macromer C



(kde n = 5 – 500, [m plus m] = nejméně 4, m* = 0 nebo 1)**

Macromer D



(kde n = 5 – 500 a Alk – O – Alk je propoxyethanol)

Obrázek 6: Blokové makromonomery materiálu Lotrafilcon A [12]

Tabulka 4: Srovnání silikonhydrogelů 1. generace [11]

Purevision	**Focus Night & Day**
Bausch & Lomb	**CIBA Vision**
Balafilcon A	**Lotrafilcon A**
36% vody	**24% vody**
Dk 91 barrer	**Dk 140 barrer**
Modul 1.5 MPa	**Modul 1.52 MPa**
Plasmová oxidace	**Plasmové povlékání**
NVP, TPVC, NCVE, PBVC	**DMA, TRIS, siloxane monomer**

Materiály silikonhydrogelů druhé generace mají poněkud rozpolcené vlastnosti. Představují je totiž dva velmi odlišné typy kontaktních čoček. Nejprve to byly čočky Acuvue Advance, které vsadily na vyšší obsah vody za cenu dramatického snížení propustnosti pro kyslík (tabulka 5). Tím dosáhly toho, že při jejich výrobě nebyly nutné žádné povrchové úpravy a měly významně nižší hodnoty modulu pružnosti. Byla to jasná odpověď a určitá alternativa silikonhydrogelům první generace. Na to nutně zareagoval výrobce čoček Night & Day tím, že připravil materiál Lotrafilcon B tak, že ponechal stejné složky, jako obsahoval Lotrafilcon A, pouze v jiném poměru, tedy ve prospěch hydrofilního monomeru. Změna ovšem nebyla velká, takže zvýšení obsahu vody je pouze malé, stejně jako snížení propustnosti pro kyslík. Modul zůstává vyšší (ve srovnání s hydrogely), povrchové úpravy (plazmatické povlékání) jsou stále nutné (tabulka5). Společné materiálům druhé generace je tedy pouze zvýšení obsahu vody, které je činí příjemnějšími pro nošení. [6, 8, 11, 12]

Tabulka 5: Srovnání silikonhydrogelů 2. generace [11]

O_2Optix	**Acuvue Advance**
CIBA Vision	**Johnson&Johnson**
Lotrafilcon B	**Galyfilcon A**
33% vody	**47% vody**
Dk 110 barrer	**Dk 60 barrer**
Modul 1.0 MPa	**Modul 0.43 MPa**
Plasmové povlékání	**bez úprav**
DMA, TRIS, siloxane monomer	**MPDMS, DMA, HEMA, siloxane macromer, EGDMA, PVP**

Třetí a zatím poslední generace silikonhydrogelů je nejnovější a dodnes zaujímá i časově nejdelší úsek od svého vzniku. Zatímco čočky první generace jsou na trhu cca od roku 1999, čočky druhé generace byly uvedeny na trh v letech 2004 – 2005, tedy po pěti letech, silikonhydrogelové čočky třetí generace se na světových trzích objevily již v roce 2006. Od té doby, do roku 2008 se objevila většina známých čoček a až do dnešních dnů se více než o převratné změny v materiálu jedná spíš o doplnění nabídky z hlediska jejich designů. Charakteristickým rysem pro silikonhydrogely třetí generace je zajištění vysoké propustnosti pro kyslík a zároveň relativně vysokého rovnovážného obsahu vody.

Díky tomu: - není potřeba žádných povrchových úprav - poskytují pohodlné a z hlediska transportu kyslíku i zdravé nošení.

Takového efektu je dosaženo použitím materiálů na bázi delších polysiloxanových řetězců, které již přímo ve své struktuře mají zabudovány vhodné polární skupiny, které vytvářejí příležitost pro tvorbu většího počtu vodíkových můstků, tedy umožňují vázat větší množství vody. Poměr hydrofilní a plynopropustné složky je tak příznivý pro dostatečně vysoké hodnoty Dk a obsah vody je zajištěn nejen hydrofilní složkou, ale i polárními skupinami ve složce plynopropustné. [6, 8, 11, 12]

Přehled vybraných vlastností některých silikonhydrogelových čoček 3. Generace uvádí tabulka 6.

Tabulka 6: Srovnání vybraných parametrů některých silikonhydrogelových čoček 3. generace [11]

Název	**Materiál**	**%H_2O**	**Dk (Barrer)**	**Modul (MPa)**
Biofinity	Comfilcon A	48	128	0.75
Avaira	Enfilcon A	46	100	0.50
Acuvue Oasys	Senofilcon A	38	103	0.72
True Eye	Narafilcon A	46	100	0.66
Premio	Asmofilcon A	40	129	0.91
Clariti	-	58	60	0.50

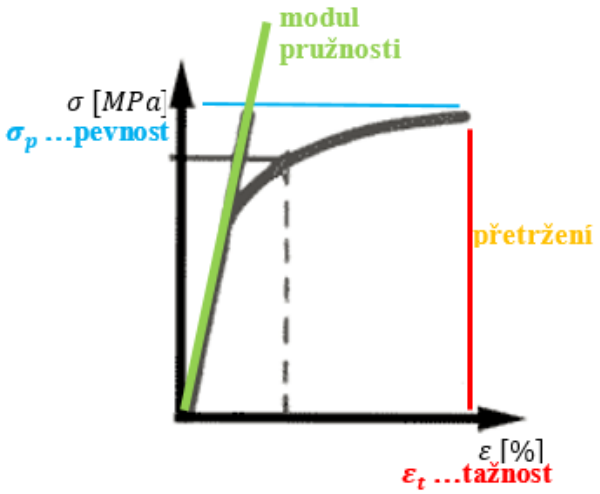
3 Vlastnosti materiálů kontaktních čoček

Pro správnou funkci kontaktních čoček je nezbytné, aby naplnily požadavky v řadě parametrů. Mezi nejdůležitější patří parametry optické (optická konstrukce čočky), tvarové (tvarová konstrukce čočky) a materiálové. Materiálovými parametry rozumíme vlastnosti optické (transparentnost, index lomu), botnací (hmotnostní rovnovážný obsah vody v gelu, objemový zlomek vody v gelu) mechanické (pevnost, tažnost, modul pružnosti, strukturní pevnost) transportní (propustnost pro plyny, zejména kyslík vyjádřená jako permeabilita (Dk), transmisibilita (Dk/t) nebo flux (tok kyslíku k rohovce vyjádřený v procentech potřebného množství) anebo propustnost pro vodorozpustné ionty), povrchové vlastnosti jako smáčivost,

charakterizovaná kontaktním úhlem. Kontaktní čočky jsou vyrobeny z mnoha různých materiálů, takže mohou vykazovat velmi rozdílné materiálové vlastnosti.

Protože obsah vody v hydrogelovém a obdobně, až na transportní vlastnosti pro plyny, v silikonhydrogelovém materiálu ovlivňuje řadu jeho dalších vlastností – biokompatibilitu, mechanické vlastnosti, index lomu, transport vodorozpustných iontů - bude botnacím vlastnostem věnována samostatná podkapitola. Obdobně bude samostatně pojednán i index lomu jako jeden ze zásadních parametrů pro optiku čočky, který zároveň s obsahem vody úzce souvisí. V následujících řádcích budou diskutovány ostatní zmíněné vlastnosti materiálů pro kontaktní čočky.

Mechanické vlastnosti popisují mechanické chování polymerů a jejich význam tkví v tom, že přímo souvisí s dalšími faktory nošení kontaktních čoček, jako je pohodlí, dosažená zraková ostrost, stálost tvarových parametrů, fyziologické účinky a trvanlivost čoček. V hydratovaném stavu je většina hydrogelů měkká a pružná, takže mají elastické vlastnosti. V případě, že dojde k dehydrataci, materiál tvrdne a je křehký. Modul pružnosti lze definovat jako *směrnici počáteční přímkové části tahové křivky*. Tahová křivka vzniká jako grafický záznam měřeného napětí materiálu v závislosti na dosažené deformaci, zpravidla uváděné ve formě relativního protažení (obrázek 7).



Obrázek 7: Modelová tahová křivka hydrogelů

Modul pružnosti je možné definovat také pomocí rovnice:

$$G = \frac{\delta\sigma}{\delta\varepsilon}$$

Tažnost materiálu je možno definovat jako *protažení při přetržení,* neboli maximální protažení, kterého je materiál s to dosáhnout bez poškození.

Definice pevnosti materiálu je dána jako *napětí při přetržení,* neboli maximální napětí, které je materiál schopen vydržet bez poškození.

Smáčivost je povrchová vlastnost a charakterizuje se měřenými hodnotami kontaktního úhlu. Na základě těchto hodnot lze předpokládat, jak bude čočka interagovat se slzným filmem a následně i s předním segmentem oka. Smáčivost, v souvislosti s kontaktními čočkami vyjadřuje schopnost slzného filmu rozprostřít se na povrchu kontaktní čočky. Důležité je, aby smáčivost byla na celém povrchu čočky rovnoměrná. U klasických hydrogelů je mezi smáčivostí a obsahem vody je přímá souvislost. Hodnoty kontaktního úhlu se stanovují pomocí několika metod, např. tzv. metodou bublinkovou, kapkovou nebo, pro hydrofobní materiály, pomocí Wilhelmiho destičky.

Permeabilita (Dk) u hydrogelových měkkých kontaktních čoček souvisí s obsahem vody, pohybujícím se v rozmezí 38 - 75~~80~~%. Je dána rozpustností kyslíku (za daných podmínek) ve vodě a procentem rovnovážného obsahu vody v hydrogelu. V RGP silikonových materiálech, silikonových elastomerech a silikonhydrogelech je možná vyšší propustnost pro kyslík díky jeho vyšší afinitě k silikonu.

Transmisibilita (Dk/t) udává propustnost pro kyslík vztaženou na tloušťku membrány (čočky). Standardně se uvádí pro kontaktní čočky o optické mohutnosti -3,0 D. Teplota, při které transmisibilita, respektive permeabilita stanovují, je 35°C.

Transportní vlastnosti, tedy difuze materiálu částečně propustnou bariérou (membránou, kontaktní čočkou) jsou popsány 1. a 2. Fickovým zákonem. [6, 8, 9, 17]

3.1 Index lomu

Index lomu n, je obecně veličina charakterizující rozhraní optických prostředí. Je-li prvním prostředím vakuum, jedná se o absolutní index lomu, který je definován jako poměr rychlostí světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí:

$$n = \frac{c}{v}$$

Z definice tedy vyplývá, že pro vakuum platí $n_{vakuum} = 1$. Tuto hodnotu, lze také přiřadit indexu lomu vzduchu, avšak přesněji platí, že za standartních podmínek, což je tlak 101 325 Pa, teplota 293 K a absolutní vlhkost 0,9 $g \cdot m^{-3}$ je $n_{vzduch} = 1{,}0002718$.

U všech optických prostředí platí, že $n > 1$, kromě již zmíněného vakua. Například index lomu ledu je 1,31, index lomu vody 1,33, běžného druhu skla 1,5 aj. [20]

Indexy lomu pevných, kapalných i plynných látek lze stanovit pomocí optických, zpravidla laboratorních přístrojů zvaných refraktometry. Pro měření indexu lomu kontaktních čoček se specificky používá Abbeho refraktometr, který je popsán v praktické části.[8, 20, 21]

Z hlediska optiky a optometrie je index lomu základní optickou veličinou, která charakterizuje dané optické prostředí.

Ideální hodnota indexu lomu hydrogelové kontaktní čočky by měla být téměř totožná jako hodnota indexu lomu slz respektive rohovky, tzn., měla by se blížit hodnotě 1,37. To proto, aby docházelo k co nejmenšímu možnému počtů lomů a tedy k minimalizaci odchýlení paprsků vstupujících do oka.

Index lomu se u hydrogelů pohybuje zhruba v rozmezí od 1,33 do 1,51 podle použitého materiálu a tedy podle obsahu vody. Změna indexu lomu s obsahem vody je u běžných hydrogelů lineární. U hydrogelů klesá index lomu s rostoucím obsahem rovnovážné vody v gelu, např. od hodnot 1,46-1,48 (tyto hydrogely mají obsah vody 20%) k hodnotám 1,37-1,38 pro hydrogely s obsahem vody kolem 70%.

Pro ilustraci uvádí tabulka 7 některé mezní a vybrané hodnoty indexu lomu spolu s informací o materiálu a odpovídajícím obsahu vody.

Tabulka 7: Vybrané hodnoty indexu lomu

MATERIÁL	INDEX LOMU	BOTNAVOST
suchý gel	$n = 1{,}511$	0 %
polyHEMA	$n = 1{,}435 - 1{,}438$	40 %
voda	$n = 1{,}333$	100 %
materiál s 68 % -70% vody	$n = 1{,}38$	68 % -70%

[6, 8, 18, 20, 21]

3.2 Botnavost

Obecně je botnání schopnost daného materiálu pohltit určité množství tekutiny.

Botnání je proces, kdy je kapalina pohlcena do struktury řetězců polymerní sítě. Při botnání polymerní sítě ve vhodném rozpouštědle vzniká polymerní gel. Hydrogel vzniká v tom případě, když rozpouštědlem je voda.

Obsah vody v hydrogelech se může lišit v závislosti na podmínkách prostředí, např. pH prostředí, tonicita anebo teplota. U většiny hydrogelových čoček dochází k malé změně obsahu vody, pokud budou vloženy do roztoků s různým pH a osmolalitou.

Botnání si můžeme rovněž představit jako obdobu rozpuštění, kdy jednotlivé molekuly nízkomolekulárních látek jsou postupně solvatovány rozpouštědlem, až se v něm mohou volně pohybovat. Podobně i kratší lineární řetězce polymerů mohou být postupně solvatovány a některé polymery jsou skutečně rozpustné v příslušném rozpouštědle, případně vodorozpustné. Například lineární PVP ve vodě. Ovšem pokud je polymerní struktura řídce síťovaná, tedy její molekulová hmotnost se blíží nekonečnu, pak je polymer (i síťovaný polymer vodorozpustného lineárního PVP) nerozpustný, v rozpouštědle pouze botná, více méně podle polohy solvatační rovnováhy a jí odpovídající hustoty síťování příčnými vazbami, tj. přijímá omezené množství rozpouštědla, aniž molekuly polymeru přecházejí do roztoku. [26]

Rovnovážně zbotnalý stav je výsledkem rovnováhy mezi různými silami. Jednak osmotickými, které napomáhají vodě proniknout do hydrofilního materiálu, jednak kohezními

silami, které botnání naopak brání. Ustavuje se tedy rovnovážně zbotnalý stav závisející na osmotických silách a síťové hustotě. [27, 28]

Rovnovážný obsah vody v hydrogelu můžeme popsat různým způsobem. Například pomocí hodnoty v_2 (někdy φ_2), tak jak ho známe z Flory Hugginsovy rovnice, která vyjadřuje objemový zlomek polymeru V_2 jako

$$V_2 = (m_2\rho_2^{-1})/(m_2\rho_2^{-1} + m_1\rho_1^{-1})$$

kde m_2 je hmotnost polymeru, m_1 hmotnost rozpouštědla, ρ_2 hustota polymeru a ρ_1 hustota rozpouštědla (hustota při 25 °C). [29]

Rovnovážný obsah vody definuje tento vzorec:

$$\%_{H_2O} = \frac{m_b - m_s}{m_b} \times 100\ [\%]$$

m_b = *hmotnost gelu v plně nabotnalém stavu*

m_s = *hmotnost gelu usušeného do konstantní hmotnosti*

[6]

Protože rovnovážný obsah vody úzce souvisí s indexem lomu gelu (viz dále), je rovněž v kontaktologické literatuře popsána možnost jeho měření použitím refraktometru pro měkké kontaktní čočky. Jedná se o ruční přístroj, který je možné využít v běžném klinickém prostředí. Při měření je využito inverzního vztahu mezi indexem lomu a rovnovážným obsahem vody hydrogelových materiálů. Naměřený index lomu kontaktních čoček je přeměněn na procento vody v sacharóze použitím tzv. Brixova měřítka. Tento přístup má však daná omezení, předpokládá, že všechny dehydratované hydrogely mají stejný index lomu. Nicméně, tento předpoklad není v podstatě pravdivý a rozdíl indexu lomu konkrétního hydrogelového materiálu a sacharózy povede k rozdílům mezi hodnotami naměřenými a hodnotami obsahu vody uvedenými výrobcem.

Při pokusu o měření rovnovážného obsahu vody v silikon hydrogelových čočkách mohou nastat potíže. Tyto čočky mají nižší index lomu v porovnání s hydrogelovými a jejich obsah vody je refraktometrem naměřen vyšší než je hodnota ve skutečnosti.
Navzdory omezením je tento přístroj vhodný pro rychlé stanovení rovnovážného obsahu vody hydrogelu v klinickém prostředí. [6]

3.2.1 Souvislost mezi indexem lomu hydrogelu a jeho rovnovážným stupněm nabotnání

Souvislost mezi indexem lomu hydrogelu a jeho rovnovážným stupněm nabotnání je známá z fyzikální chemie polymerů a zřejmá z předchozího odstavce i z původní Wichterleho dokumentace k výrobě měkkých kontaktních čoček odstředivým litím.

Pro ověření souvislosti mezi obsahem vody a indexem lomu lze vycházet z rovnice

$$n_G \,.\, V_G = n_x \,.\, V_x + n_v \,.\, V_v$$

n_G ..... index lomu gelu

V_G ..... objem gelu

n_x ..... index lomu xerogelu

V_X .....index lomu xerogelu

n_V ..... index lomu vody

V_V ..... objem vody

kde součin výsledného indexu lomu zbotnalého gelu a jeho objemu se rovná součtu součinů indexu lomu a objemu xerogelu (vysušeného gelu) a indexu lomu a objemu vody.

Není-li zadána hodnota objemu, ale je známa hustota gelu a xerogelu, je možno přepočítat objemy ze známých hodnot hmotností zbotnalého a vysušeného gelu, kde m je obsah vody, respektive xerogelu v hmotnostním zlomku, respektive v hmotnostních procentech (M).

Platí, že $m_v = 1- m_x$ (respektive $M_V = 100 - M_X$)

Pak

$$n . (m_x + m_v)/ \rho_{gel} = n_x . m_x/\rho_x + n_v . (1 – m_x)/ \rho_v$$

neboli

$$n . (m_x + m_v)/ \rho_{gel} = n_x . (1- m_V)/\rho_x + n_v . m_V/\rho_v$$

přičemž $m_x + m_v = 1$, $\rho_V = 1000$ kg/m³ = 1 g/cm³, $n_v = 1{,}333$.

Uvažujeme-li tedy hustoty gelu a xerogelu v rozměrech g/cm³, pak předchozí vztah přechází na

$$n = (nx . (1- m_V)/\rho_x + 1{,}333 . m_V)/ \rho_{gel}$$

Řešením této rovnice pro hmotnostní zlomky obsahu vody od 0,01 do 0,99 získáme přepočtovou tabulku obsah vody v gelu versus index lomu gelu.

Tato tabulka platí s vysokou přesností pouze pro řídce síťovaný poly(2-hydroxyethyl-methakrylát), pro nějž byly zjištěny potřebné hodnoty hustoty a indexu lomu xerogelu a hustoty gelu, které pro jiné komerční čočky neznáme. Lze předpokládat, že bude s malými odchylkami dobře uplatnitelná pro gely methakrylátového charakteru, u jiných typů polymerů, zejména silikonhydrogelů, lze předpokládat odchylky vyšší.

Přepočtovou tabulku uvádím na následující straně a zároveň v příloze, kde takto vzniklá tabulka může být porovnána s tabulkou přejatou z Wichterlovy dokumentace k výrobě litých hydrogelových čoček, tak jak její kopii uvedla Z. Krčová ve své diplomové práci (VŠCHT) v roce 1983. [6, 22]

Tabulka 8: Přepočtová tabulka indexu lomu na obsah vody (str. 24 -28)

F	
1,333	Index lomu vody
1,000	Hustota vody
1,511	Index lomu xerogelu
1,276	Hustota xerogelu

A1=F1 B1=F2
A2=A1+0,001 B2=B1+(F4-F2)/(F3-F1)/100
D1=100-C1x100 C1=(A1/B1-F1/F2)/(F3/F4-F1/F2)

n*(mx+mv)/rogel=nx*mx/rox+nv*(1-mx)/rov
mv=1-mx

Sloupec A ..... Index lomugelu
Sloupec B ..... Hustota gelu
Sloupec C ..... Podíl sušiny (0-1)
Sloupec D ..... Obsah vody v gelu

A	B	C	D
1,333	1,000	0,0000	100,00
1,334	1,002	0,0072	99,28
1,335	1,003	0,0143	98,57
1,336	1,005	0,0214	97,86
1,337	1,006	0,0285	97,15
1,338	1,008	0,0356	96,44
1,339	1,009	0,0426	95,74
1,340	1,011	0,0496	95,04
1,341	1,012	0,0566	94,34
1,342	1,014	0,0636	93,64
1,343	1,016	0,0706	92,94
1,344	1,017	0,0775	92,25
1,345	1,019	0,0845	91,55
1,346	1,020	0,0913	90,87
1,347	1,022	0,0982	90,18
1,348	1,023	0,1051	89,49
1,349	1,025	0,1119	88,81
1,350	1,026	0,1187	88,13
1,351	1,028	0,1255	87,45
1,352	1,029	0,1323	86,77
1,353	1,031	0,1391	86,09
1,354	1,033	0,1458	85,42
1,355	1,034	0,1525	84,75
1,356	1,036	0,1592	84,08
1,357	1,037	0,1659	83,41
1,358	1,039	0,1725	82,75
1,359	1,040	0,1792	82,08
1,360	1,042	0,1858	81,42
1,361	1,043	0,1924	80,76
1,362	1,045	0,1989	80,11
1,363	1,047	0,2055	79,45
1,364	1,048	0,2120	78,80
1,365	1,050	0,2185	78,15
1,366	1,051	0,2250	77,50
1,367	1,053	0,2315	76,85
1,368	1,054	0,2380	76,20
1,369	1,056	0,2444	75,56
1,370	1,057	0,2508	74,92
1,371	1,059	0,2572	74,28
1,372	1,060	0,2636	73,64
1,373	1,062	0,2700	73,00
1,374	1,064	0,2763	72,37
1,375	1,065	0,2827	71,73
1,376	1,067	0,2890	71,10
1,377	1,068	0,2953	70,47
1,378	1,070	0,3015	69,85
1,379	1,071	0,3078	69,22
1,380	1,073	0,3140	68,60
1,381	1,074	0,3203	67,97
1,382	1,076	0,3265	67,35
1,383	1,078	0,3326	66,74
1,384	1,079	0,3388	66,12
1,385	1,081	0,3450	65,50
1,386	1,082	0,3511	64,89
1,387	1,084	0,3572	64,28
1,388	1,085	0,3633	63,67
1,389	1,087	0,3694	63,06

1,390	1,088	0,3754	62,46
1,391	1,090	0,3815	61,85
1,392	1,091	0,3875	61,25
1,393	1,093	0,3935	60,65
1,394	1,095	0,3995	60,05
1,395	1,096	0,4055	59,45
1,396	1,098	0,4114	58,86
1,397	1,099	0,4174	58,26
1,398	1,101	0,4233	57,67
1,399	1,102	0,4292	57,08
1,400	1,104	0,4351	56,49
1,401	1,105	0,4410	55,90
1,402	1,107	0,4468	55,32
1,403	1,109	0,4527	54,73
1,404	1,110	0,4585	54,15
1,405	1,112	0,4643	53,57
1,406	1,113	0,4701	52,99
1,407	1,115	0,4759	52,41
1,408	1,116	0,4816	51,84
1,409	1,118	0,4874	51,26
1,410	1,119	0,4931	50,69
1,411	1,121	0,4988	50,12
1,412	1,122	0,5045	49,55
1,413	1,124	0,5102	48,98
1,414	1,126	0,5159	48,41
1,415	1,127	0,5215	47,85
1,416	1,129	0,5271	47,29
1,417	1,130	0,5328	46,72
1,418	1,132	0,5384	46,16
1,419	1,133	0,5440	45,60
1,420	1,135	0,5495	45,05
1,421	1,136	0,5551	44,49
1,422	1,138	0,5606	43,94
1,423	1,140	0,5662	43,38
1,424	1,141	0,5717	42,83
1,425	1,143	0,5772	42,28
1,426	1,144	0,5827	41,73
1,427	1,146	0,5881	41,19
1,428	1,147	0,5936	40,64
1,429	1,149	0,5990	40,10
1,430	1,150	0,6044	39,56
1,431	1,152	0,6098	39,02
1,432	1,154	0,6152	38,48
1,433	1,155	0,6206	37,94
1,434	1,157	0,6260	37,40
1,435	1,158	0,6313	36,87
1,436	1,160	0,6367	36,33
1,437	1,161	0,6420	35,80
1,438	1,163	0,6473	35,27
1,439	1,164	0,6526	34,74
1,440	1,166	0,6579	34,21
1,441	1,167	0,6632	33,68
1,442	1,169	0,6684	33,16
1,443	1,171	0,6736	32,64
1,444	1,172	0,6789	32,11
1,445	1,174	0,6841	31,59
1,446	1,175	0,6893	31,07
1,447	1,177	0,6945	30,55

1,448	1,178	0,6996	30,04
1,449	1,180	0,7048	29,52
1,450	1,181	0,7099	29,01
1,451	1,183	0,7151	28,49
1,452	1,185	0,7202	27,98
1,453	1,186	0,7253	27,47
1,454	1,188	0,7304	26,96
1,455	1,189	0,7354	26,46
1,456	1,191	0,7405	25,95
1,457	1,192	0,7456	25,44
1,458	1,194	0,7506	24,94
1,459	1,195	0,7556	24,44
1,460	1,197	0,7606	23,94
1,461	1,198	0,7656	23,44
1,462	1,200	0,7706	22,94
1,463	1,202	0,7756	22,44
1,464	1,203	0,7805	21,95
1,465	1,205	0,7855	21,45
1,466	1,206	0,7904	20,96
1,467	1,208	0,7953	20,47
1,468	1,209	0,8002	19,98
1,469	1,211	0,8051	19,49
1,470	1,212	0,8100	19,00
1,471	1,214	0,8149	18,51
1,472	1,216	0,8197	18,03
1,473	1,217	0,8246	17,54
1,474	1,219	0,8294	17,06
1,475	1,220	0,8342	16,58
1,476	1,222	0,8391	16,09
1,477	1,223	0,8439	15,61
1,478	1,225	0,8486	15,14
1,479	1,226	0,8534	14,66
1,480	1,228	0,8582	14,18
1,481	1,229	0,8629	13,71
1,482	1,231	0,8677	13,23
1,483	1,233	0,8724	12,76
1,484	1,234	0,8771	12,29
1,485	1,236	0,8818	11,82
1,486	1,237	0,8865	11,35
1,487	1,239	0,8912	10,88
1,488	1,240	0,8958	10,42
1,489	1,242	0,9005	9,95
1,490	1,243	0,9051	9,49
1,491	1,245	0,9098	9,02
1,492	1,247	0,9144	8,56
1,493	1,248	0,9190	8,10
1,494	1,250	0,9236	7,64
1,495	1,251	0,9282	7,18
1,496	1,253	0,9327	6,73
1,497	1,254	0,9373	6,27
1,498	1,256	0,9418	5,82
1,499	1,257	0,9464	5,36
1,500	1,259	0,9509	4,91
1,501	1,260	0,9554	4,46
1,502	1,262	0,9599	4,01
1,503	1,264	0,9644	3,56
1,504	1,265	0,9689	3,11
1,505	1,267	0,9734	2,66

1,506	1,268	0,9779	2,21
1,507	1,270	0,9823	1,77
1,508	1,271	0,9867	1,33
1,509	1,273	0,9912	0,88
1,510	1,274	0,9956	0,44
1,511	1,276	1,0000	0,00

4 Cíl práce

Cílem práce, tedy její praktické části, bylo ověření platnosti vztahu mezi obsahem vody v gelu a jeho indexem lomu na souboru vybraných kontaktních čoček s různým stupněm nabotnání. Vztah může být ověřen s vysokým stupněm přesnosti na neionogenních kontaktních čočkách s obsahem vody 36 – 40%.

Na souboru komerčních čoček mohou být rozšířeny existující korelace na nové materiály, respektive konkrétní produkty – kontaktní čočky.

Dobrá znalost vztahu mezi indexem lomu a obsahem vody v gelu a jeho korelací pro reálné materiály otevírá možnosti nových metod například pro nezávislé a rychlé ověření totožnosti materiálu při různých výrobách hydrogelových materiálů pro biomedicinální aplikace, včetně kontaktních nebo nitroočních čoček.

5 Praktická část

Pro praktickou část byl připraven soubor vybraných komerčních čoček, které se uplatňovaly nebo ještě uplatňují na našem trhu. Soubor byl sestaven tak, aby byly zastoupeny čočky z co nejširšího spektra materiálů, tj. silikonhydrogely různých generací, hydrogely standardní, hydrogely výšebotnavé, materiály neionogenní i ionogenní, kopolymery N-vinylpyrrolidonu, methakrylátové kopolymery, polyvinylalkohol. Přehled jednotlivých typů použitých čoček uvádí tabulka 9.

Na tomto souboru jsem proměřila indexy lomu jednotlivých čoček, a to na všech kusech, které jsem měla k dispozici (zpravidla 8 – 10) a do dalších výpočtů jsem použila zjištěné průměrné hodnoty. Obdobně jsem u všech čoček stanovila jejich hmotnost v rovnovážně nabotnalém a ve zcela vysušeném (do konstantní hmotnosti) stavu.

Z naměřených hmotností byl vypočítán obsah vody a zjištěné hodnoty byly porovnány s hodnotami uvedenými výrobci, obdobně byly porovnány hodnoty indexu lomu, mnou zjištěné s deklarovanými.

Nakonec byla shromážděná data sloučena jednak pro porovnání platnosti teoretického vztahu mezi obsahem vody v materiálu a jeho indexem lomu, jednak pro a určení jednotlivých odchylek.

Měření a konzultace probíhaly v Ústavu makromolekulární chemie v Praze a v chemicko-fyzikálních laboratořích na SOŠ a SOU Kralupy nad Vltavou.

5.1 Použité materiály

Z různých čoček vyskytujících se na trhu bylo vybráno několik typů. Snahou bylo vybrat čočky z různých materiálů, v maximálním dostupném počtu. Přesto, že hodnoty optické mohutnosti čoček by neměly mít na ověřované vlastnosti žádný vliv, byly vybrány čočky v mínusových hodnotách, které se, pohybovaly v rozmezí od -3,00 D do -16,50 D.

Byly vybrány následující kontaktní čočky:

Johnson & Johnson 10 ks Acuvue Advance, 7ks Acuvue Oasys, 8ks One Day Acuvue True Eye, 8ks One Day Acuvue .

CooperVision 12ks Avaria, 6ks Biofinity, 10ks Frequency a 10ks Ultraflex.

Alcon 12ks AirOptix Night and Day, 7ks AirOptix, 10ks Focus Dailies.

Bausch & Lomb 12ks PureVision, 6ks SofLens

Wilens 12ks čoček značky Laguna a 10ks Spofa Lens.

Seed 10ks One Day Pure moistrue

Wichterle a Vacík (W&V) 25ks HS38% a 7ks VHS68%.

Přehled jednotlivých čoček, jejich materiál, složení a deklarované hodnoty rovnovážného obsahu vody a indexu lomu uvádí tabulka 9.

Tabulka 9: Přehled souboru kontaktních čoček vybraných pro praktickou část

Název čoček	Výrobce	Materiál	Složení	Obsah vody daný výrobci	Index lomu daný výrobci
Acuvue advance	Johnson & Johnson	Galyfilcon A Silikonhdrogel II. generace	MPDMS, DMA, HEMA, EDMA, siloxane macromer, PVP	47%	1,405
Acuvue oasys	Johnson & Johnson	Senofilcon A Silikonhydrogel II. generace	MPDMS, DMA, HEMA, siloxane macromer, TEGDMA, PVP	38%	
One Day Acuvue True Eye	Johnson & Johnson	Narafilcon A Silikonhydrogel III. generace	MPDMS, DMA, HEMA, siloxane macromer, TEGDMA, PVP	46%	
OneDay Acuvue	Johnson & Johnson	Etafilcon A Hydrogel	HEMA, MA	58%	
Avaira	CooperVision	Enfilcon A Silikonhydrogel III. generace	NVP,VMA, IBM,TAIC,M3U, FM0411M, HOB	46%	
Biofinity	CooperVision	Comfilcon A Silikonhydrogel III. generace	NVP,VMA, IBM,TAIC,M3U, FM0411M, HOB	48%	
Frequency	CooperVision	Methafilcon A Hydrogel	HEMA, MA	55%	
Ultraflex	Coopervision	Ocufilcon D Hydrogel	HEMA, MA	55%	
AirOptix Night and Day	Alcon	Lotrafilcon A Silikonhydrogel I. generace	DMA, TRIS, siloxane monomer	24%	
AirOptix	Alcon	Lotrafilcon B Silikonhydrogel II. generace	DMA, TRIS, siloxane monomer	33%	1,42
Focus Dailies	Alcon	Nefilcon A Hydrogel	PVA	69%	1,38
Pure Vision	Bausch & Lomb	Balafilcon A Silikonhydrogel I. generace	NVP, TPVC, NCVE, PBVC	36%	1,426
SofLens	Bausch & Lomb	Alphafilcon A Hydrogel	HEMA, VP	66%	1,39
Laguna	Wilens	Methafilcon A Hydrogel	HEMA, MA	55%	
Spofa Lens	Wilens	Hydrogel	HEMA	38%	1,438
One Day Pure moisture	Seed		HEMA, MMA, EGDMA	58%	
W&V	Wichterle a Vacík	Hydrogel	Kopolymer VP	68%	1,380
W&V	Wichterle a Vacík	Hydrogel	HEMA	38%	1,436

5.2 Použité přístroje

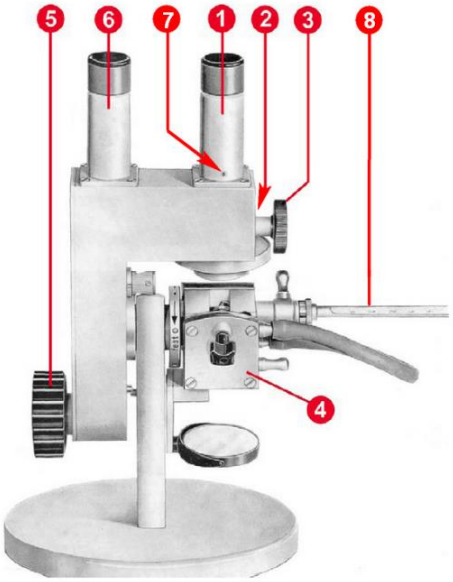
Abbeho refraktometr

Obrázek 8: Abbeho refraktometr [23]

Abbeho refraktometr vytvořil v roce 1869 Ernst Abbe. Jeho princip se stále využívá v modernějších podobách refraktometru.

Pomocí Abbeho refraktometru se určuje index lomu kapalných i pevných látek.

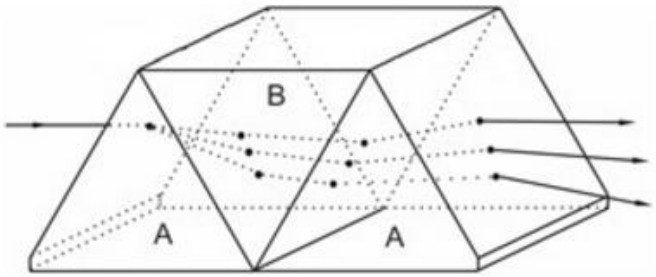
[21, 23, 24]



Obrázek 9: Základní části Abbeho refraktometru [23]

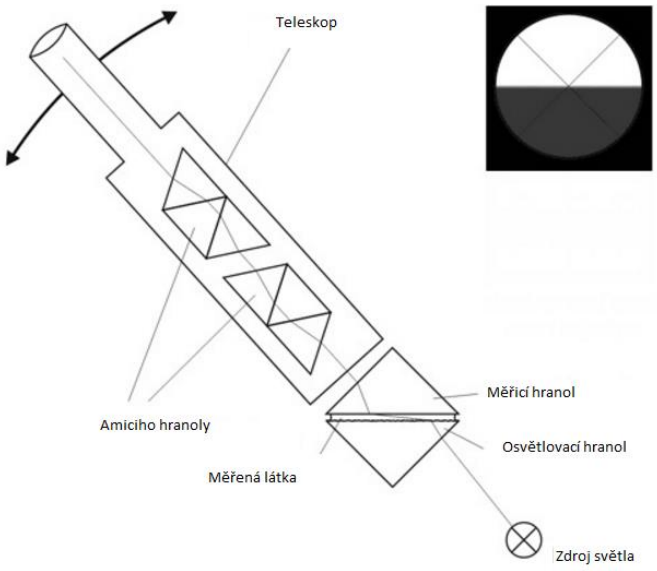
1. Zaostřovací teleskop
2. Barevný kompenzátor s odstupňovaným kruhem
3. Šroub na zaostřování mezi rozhraním
4. Měřicí hranoly
5. Šroub pro zarovnání hranolů a následně správného určení indexu lomu
6. Stupnice pro určení indexu lomu
7. Kalibrační šroub
8. Kontrolní teploměr

Součástí refraktometru je kompenzátor disperze světla skládající se ze dvou Amiciho hranolů, který zabraňuje nežádoucímu rozptylu. Přístroj je konstruován tak, že se může změnit nejen poloha teleskopu pro změření úhlu, ale také poloha Amiciho hranolů je nastavitelná tak, aby rozptyl světla neovlivňoval měření. V důsledku toho je okraj stínu, neboli rozhraní prostředí, dobře definováno a snadno lokalizováno. Amiciho hranol se skládá ze tří menších hranolů. Krajní hranoly jsou vyrobeny z korunového skla A a prostřední hranol z flintového skla B. Z Amiciho hranolů vychází světelné paprsky s danou vlnovou délkou a to přímočaře s paprsky, které do hranolů vstupovaly, ale záření, které má kratší vlnové délky se odklání níže. Lze tedy říci, že Amiciho hranol se chová jako přímočaré disperzní zařízení (obr. 10). [21, 23, 24]



Obrázek 10: Amiciho hranol [23]

Součástí měřicí soustavy jsou dva hranoly, jeden skleněný s vysokým indexem lomu a druhý tzv. osvětlovací, jehož horní strana je matná, což způsobuje rozptýlení světla do měřené látky. Při měření indexu lomu se zkoumaná látka uzavře mezi tyto dva hranoly, ty se tak dostávají do polohy, kde osvětlovací hranol je pod hranolem ze skla. Paprsky světla vstupují ze spodní strany do osvětlovacího hranolu, prochází měřenou látkou až do měřicího hranolu ve směru, ve kterém je úhel lomu menší nebo roven úhlu meznímu. Z těles obou hranolů vystupují vývody, které jsou připojeny na termostat, který zajišťuje správnou teplotu pro měření. Index lomu kontaktních čoček je měřen při 20°C. [23]



Obrázek 11: Princip Abbeho refraktometru [23]

Termostat s vodní lázní

Technické zařízení, které slouží k udržení stabilní teploty. Pro měření indexu lomu je teplota stanovena 20°C. Na termostatu byla teda nastavena potřebná teplota, která byla udržena po celou dobu měření. Pro měření byl využit termostat s vodní lázní a kryostatem značky Haake F4 – C (obr. 12).

Obrázek 12: Termostat s vodní lázní

Analytické váhy

Všechny kontaktní čočky z daného souboru byly váženy na analytických vahách německé firmy Sartorius. Váha byla zaznamenávána v gramech s přesností na 4 desetinná místa. Kontaktní čočky při vážení nebyly pokládány přímo na váživí plochu, aby nedošlo k nechtěnému znečištění, nýbrž byly váženy na sterilní Petriho misce, která neměla na váhu čoček vliv, jelikož byly váhy i s miskou vytárovány. Použité váhy Sartorius jsou uvedeny na obrázku 13.

Obrázek 13: Analytické váhy

Sušárna

Čočky byly sušeny v sušárně značky Chirana, s výkonem 1800 W, československé provenience. K sušárně byl externě připojen teploměr, na kterém byla nastavena i kontrolována požadovaná teplota potřebná k sušení kontaktních čoček. Sušárna Chirana je uvedena na obrázku 14.

Obrázek 14: Sušárna s připojeným teploměrem

5.3 Princip použitých metod měření

Měření indexu lomu kontaktních čoček

Index lomu souboru vybraných čoček byl měřen pomocí Abbeho refraktometru. Abbeho refraktometr byl připojen k termostatu s vodní lázní s destilovanou vodou, pro udržení správné teploty pro měření indexu lomu, tedy 20°C. Teplota byla kontrolována dvěma nezávislými čidly – teploměrem na refraktometru a ukazatelem reálné teploty v termostatu. Termostat bylo nutno nastavit. Nastavení se měnilo v důsledku teploty okolního prostředí.

Na refraktometru bylo nalezeno vhodné světlo. Na měřící hranoly byla pomocí střičky nanesena destilovaná voda. Měřící hranoly bylo nutno udržovat stále vlhké.

Kontaktní čočka byla vždy umístěna přesně do poloviny, mezi měřicí hranoly. Pomocí šroubu byly zarovnány hranoly, tak aby v právem okuláru byl viditelný takový obraz, kde rozhraní mezi světlým a tmavým prostředím, které bylo ještě doostřeno pomocí druhého šroubu, protíná tzv. nitkový kříž dané kružnice, viditelné v tomto okuláru, přesně v polovině. V případě, že bylo rozhraní přesně v půli, bylo možné v levém okuláru odečíst ze stupnice index lomu dané měřené kontaktní čočky.

Jelikož během měření bylo zjištěno, že index lomu nepatrně ovlivňuje fyziologický roztok, ve kterém jsou čočky uchovávány, proto po měření byly čočky vloženy alespoň na 24 hodin do destilované vody a poté byl index lomu změřen znovu.

Měření hmotností kontaktních čoček a následný výpočet obsahu vody v gelu

Měření bylo provedeno na vahách Sartorius, které byly předem vyaretovány pro přesnost měření. Jednotlivé čočky byly zváženy v plně nabotnalém stavu. Aby byly získány co nejpřesnější hodnoty, bylo nutné nejprve čočky zbavit povrchové kapaliny. Čočka byla položena na hřbet čisté omyté ruky, prsty druhé ruky byla čočky jemně promnuta. Snahou bylo na čočku vyvinout co nejmenší tlak, aby čočka zůstala v plně nabotnalém stavu. Poté byla čočka zvážena a váha byla zaznamenána.

Následovalo sušení čoček v sušárně. Kontaktní čočky byly položeny podle druhu čoček a pořadí, které bylo předem určeno na podložku z pečicího papíru a vloženy do sušárny. Pro zjištění ideální teploty sušení, byly zkušebně vysušeny některé čočky při různých teplotách, 100°C, 80°C a 60°C, hmotnost čoček byla měřena po 10 minutách 6krát, poté se

interval sušení zvýšil na 60min, a takto proběhlo dalších 6 měření. Konečná teplota pro sušení byla zvolena 80°C. Dle naměřených hodnot hmotnosti při 80°C bylo viditelné, že postačující sušení čoček je 6 hodin. Další kontaktní čočky byly tedy sušeny 6 hodin a vážení probíhalo každých 60 minut.

Pozorováním naměřených údajů bylo zjištěné, že váha čoček razantně klesla po 1 hodině. Po 3 hodinách sušení se hmotnost začala ustalovat, po 4 až 5 hodinách začaly hodnoty hmotnosti kolísat nebo byly téměř stejné a po 6. hodinách bylo provedeno poslední měření a bylo dosaženo konstantní hmotnosti. Celková doba měření byla tedy stanovena 6 hodin, což bylo dostačující pro zjištění konstantní hmotnosti.

Z naměřených hmotností byl vypočítán obsah vody v gelu pomocí daného vzorce:

$$\% H_2O = \frac{m_b - m_s}{m_b} \cdot 100\ [\%]$$

5.4 Výsledky měření

Výsledky měření indexu lomu

Podle naměřených hodnot lze říci, že byly hodnoty indexu lomu čoček v destilované vodě nižší než u čoček z fyziologického roztoku, který nepatrně ovlivňuje index lomu. Pro další vyhodnocování a měření byly tedy použity hodnoty indexu lomů kontaktních čoček z destilované vody. V tabulce 9 a grafu 1 jsou však porovnávány hodnoty naměřené ve fyziologickém roztoku i v destilované vodě s hodnotami zadanými výrobce.

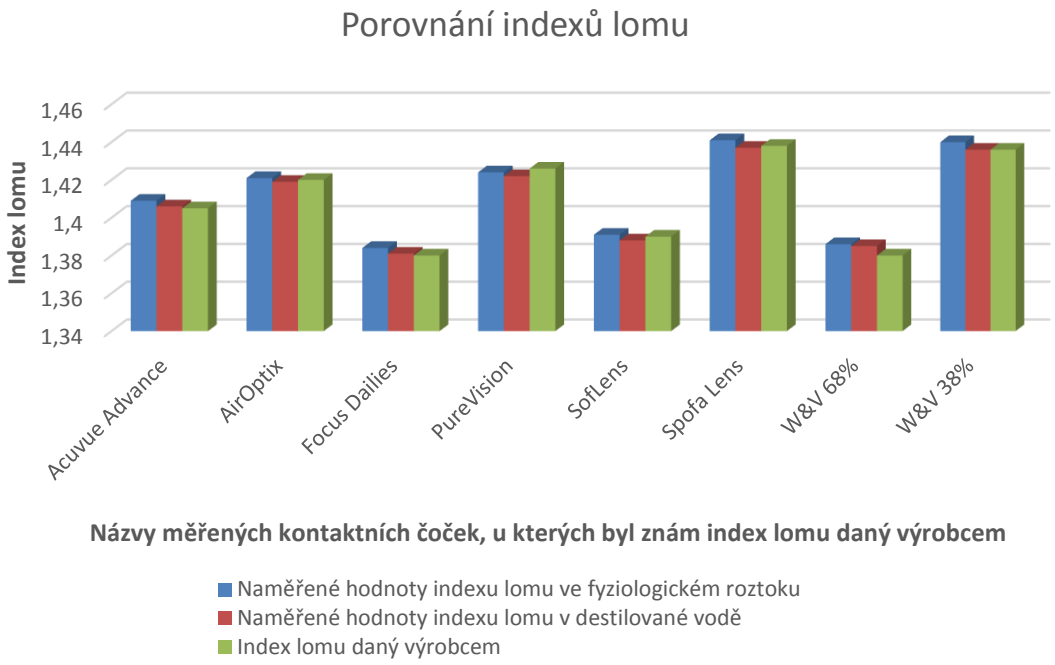
Hodnoty indexu lomu měřených čoček dané značky byly zprůměrovány s ohledem na 3 desetinná místa.

Naměřené zprůměrované indexy lomu byly porovnány s indexy lomu danými výrobci. U všech měřených čoček však tento údaj nebyl známy, v tomto případě byly tudíž porovnány indexy lomů jen některých čoček, Acuvue Advance, AirOptix, Focus Dailies, PureVision, SofLens a Spofa Lens. Hodnoty jsou porovnány v tabulce 9.

Tabulka 10: Index lomu: naměřená hodnota ve fyziologickém roztoku X naměřená hodnota v destilované vodě X hodnota daná výrobcem

Značka kontaktních čoček	Naměřené hodnoty indexu lomu ve fyziologickém roztoku	Naměřené hodnoty indexu lomu v destilované vodě	Index lomu daný výrobcem
Acuvue Advance	1,409	1,406	1,405
AirOptix	1,421	1,419	1,420
Focus Dailies	1,384	1,381	1,380
PureVision	1,424	1,422	1,426
SofLens	1,391	1,388	1,390
Spofa Lens	1,441	1,437	1,438
W&V 68%	1,386	1,385	1,380
W&V 38%	1,440	1,436	1,436

Podle výsledků v tabulce je viditelné, že naměřené hodnoty a hodnoty dané výrobcem se liší, ale pouze nepatrně. U Acuvue Advance, AirOptix, Focus Dailies, SofLens, Spofa Lens, W&V 68% a W&V 38% udávají nejvyšší hodnotu indexy lomu naměřené u čoček ve fyziologickém roztoku. U čoček PureVision je nejvyšší hodnota indexu lomu daná výrobcem. Rozdíly přechozích hodnot byly znázorněny i graficky (graf 1).



Obrázek 15: Graf 1: Porovnání indexů lomu

Výsledky měření hmotností kontaktních čoček a výpočet obsahu vody v gelu

Naměřené hmotnosti souboru kontaktních čoček byly zaznamenány (viz. příloha 1 a 2) a následně byl z daných hodnot vypočítán obsah vody v gelu u každé značky kontaktních čoček.

Do vzorce byla použita hmotnost v plně nabotnalém stavu m_b a za hodnotu m_s byl dosazen průměrný výpočet ze třech posledních měření hmotnosti, tedy měření ze 4., 5., a 6. hod, s platností na celé číslo, tedy hmotnosti konstantní.

Ukázka příkladu:

Hmotnost čočky v plně nabotnalém stavu: 0,0702g

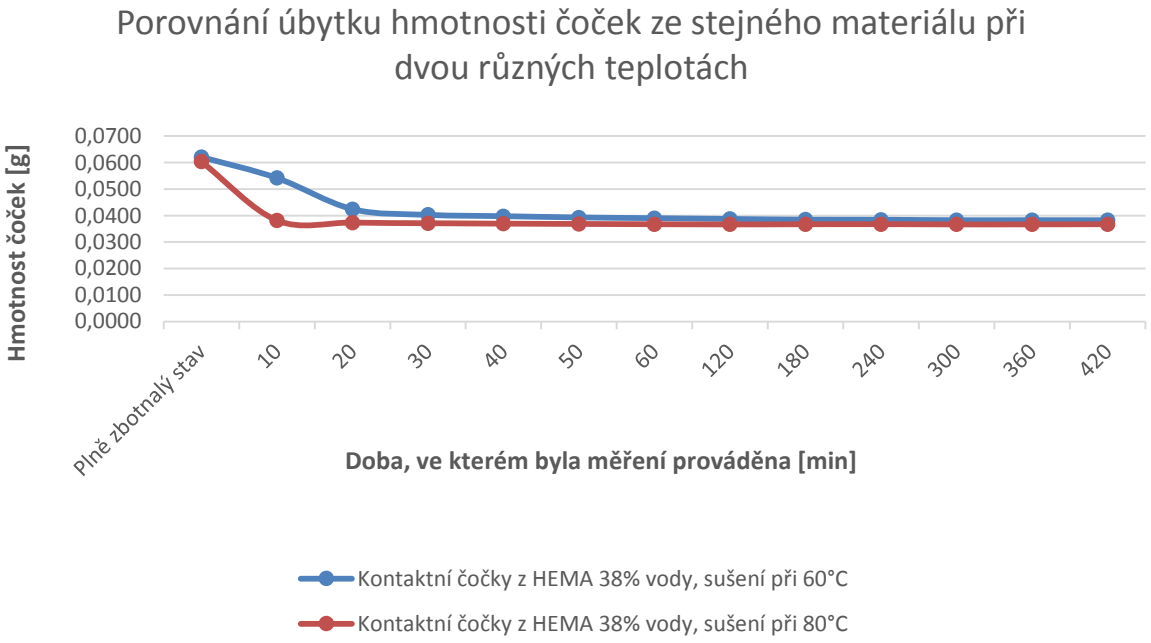
Zprůměrovaná hodnota 3 posledních hmotností (konstantní hmotnost): 0,0433g

$$\%\, H_2O = \frac{m_b - m_s}{m_b} \cdot 100\ [\%]$$

$$\%\, H_2O = \frac{0{,}0702 - 0{,}0433}{0{,}0702} \cdot 100 = 38{,}3\,\%$$

- Obsah vody v gelu vybrané čočky je v tomto případě 38,3%.

Než byla stanovena konečná teplota a doba měření, byly zkušebně pro porovnání vysušeny a váženy kontaktní čočky ze stejného materiálu, konkrétně čočky Wichterle a Vacík z materiálu HEMA s 38% obsahu vody v gelu. Sušení, jak již bylo zmíněno v metodice měření výše, bylo provedeno při 60°C a při 80°C, čočky byly váženy po 10 minutách a po hodině sušení se vážení provádělo vždy po další hodině. Celková doba sušení byla 7 hodin. Z naměřených výsledků (příloha 2) byl vytvořen graf 2.



Obrázek 16: Graf 2: Porovnání úbytku hmotnosti

Z grafu 2 lze vyhodnotit, že po 7 hodinách sušení, bylo dosaženo konstantní hmotnosti a téměř stejných hodnot, jak při teplotě 60°C tak i při 80°C. Je také však viditelné, že při 60°C se čočky vysoušely déle, tudíž byla pro další sušení zvolena teplota 80°C a určena kratší doba měření tj. 6 hodin.

Následně byla provedená další sušení a vážení. Vypočtené údaje obsahu vody byly u dané značky čoček zprůměrovány a výsledek byl porovnán s údajem obsahu vody, který udávají výrobci.

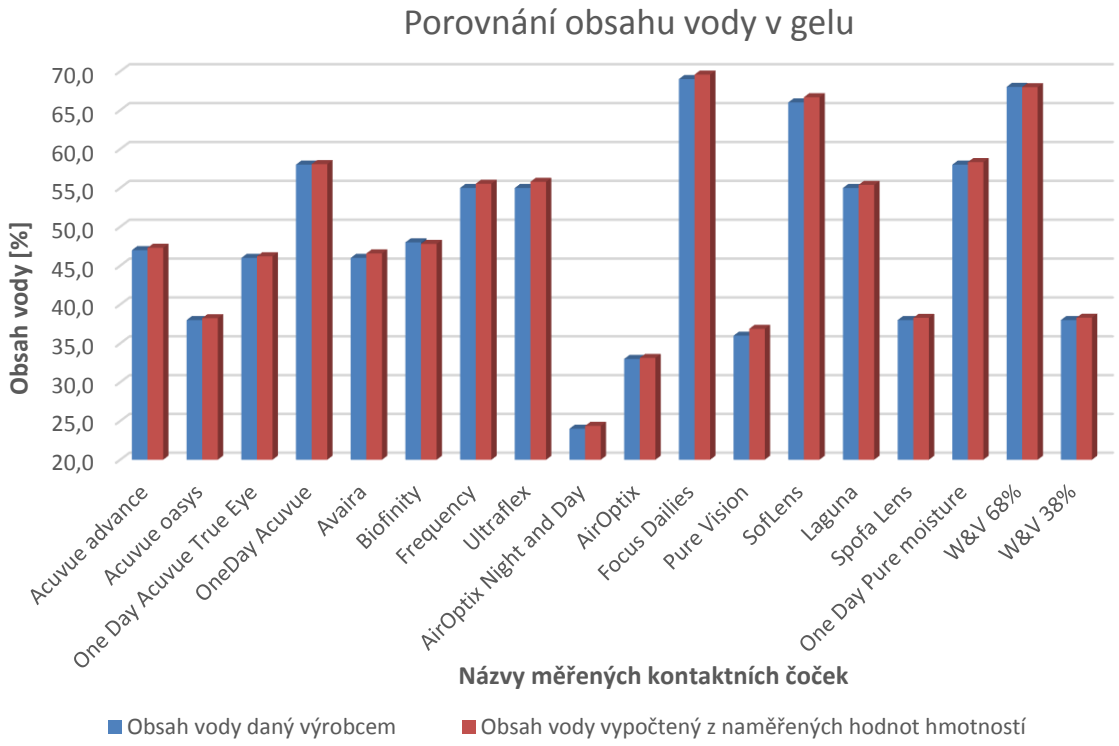
Tabulka 11: Porovnání obsahu vody v gelu

	Obsah vody v gelu daný výrobcem [%]	Obsah vody vypočtený z naměřených hodnot hmotností [%]
Acuvue Advance	47,0	47,3
Acuvue Oasys	38,0	38,2
One Day Acuvue True Eye	46,0	46,2
One Day Acuvue	58,0	58,1
Avaira	46,0	46,6
Biofinity	48,0	47,8
Frequency	55,0	55,5
Ultraflex	55,0	55,8
AirOptix Night and Day	24,0	24,4
AirOptix	33,0	33,1
Focus Dailies	69,0	69,6
PureVision	36,0	36,9
SofLens	66,0	66,7
Laguna	55,0	55,4
Spofa Lens	38,0	38,3
One Day Pure moisture	58,0	58,3
W&V 68%	68,0	68,0
W&V 38%	38,0	38,3

Z tabulky výsledků (tabulka 10) je možno vyčíst, že vypočítané hodnoty z naměřených hmotností a hodnoty dané výrobcem se liší, ale pouze v řádu desetin.

Určité odchylky spadají do běžné chyby měření, která se pro tuto metodu udává 1-2%. [25]

Hodnoty z výše uvedené tabulky byly převedeny pro přehled do grafu 3.



Obrázek 17: Graf 3: Porovnání obsahu vody v gelu

Závislost indexu lomu a obsahu vody v gelu

Provedenými měřeními a vážením bylo nashromážděno velké množství dat, které bylo třeba utřídit, porovnat a uvést do vzájemných souvislostí, včetně určení naměřených odchylek.

Pro znázornění závislosti obsahu vody a indexu lomu byly ze základní tabulky výpočtů vybrány libovolné hodnoty (tabulka 11), které byly použity do grafu 4.

V následující tabulce jsou uvedeny názvy čoček a jejich materiálů. Hodnoty indexu lomu a rovnovážného obsahu vody jednak udávané výrobcem, jednak změřené a hodnota obsahu vody přepočítaná z naměřených indexů lomu pomocí základní tabulky pro PHEMA čočky.

Tabulka 11: Souhrn informací a naměřených hodnot souboru měřených čoček

Název čočky	Materiál	Index lomu daný výrobcem	Index lomu naměřený	Obsah vody daný výrobcem	Obsah vody naměřený	Obsah vody dle základní tabulky
Acuvue advance	Galyfilcon A	1,405	1,406	47	47,3	52,99
Acuvue oasys	Senofilcon A	-	1,411	38	38,2	50,12
One Day Acuvue True Eye	Narafilcon A	-	1,404	46	46,2	54,15
OneDay Acuvue	Etafilcon A	-	1,390	58	58,1	62,46
Avaira	Enfilcon A	-	1,400	46	46,6	56,49
Biofinity	Comfilcon A	-	1,403	48	47,8	54,73
Frequency	Methafilcon A	-	1,397	55	55,5	58,26
Ultraflex	Ocufilcon D	-	1,398	55	55,8	57,67
AirOptix Night and Day	Lotrafilcon A	-	1,427	24	24,4	41,19
AirOptix	Lotrafilcon B	1,42	1,419	33	33,1	45,60
Focus Dailies	Nefilcon A	1,38	1,381	69	69,6	67,97
Pure Vision	Balafilcon A	1,426	1,422	36	36,9	43,94
SofLens	Alphafilcon A	1,39	1,388	66	66,7	63,67
Laguna	Methafilcon A	-	1,398	55	55,4	57,67
Spofa Lens	-	1,438	1,437	38	38,3	35,80
One Day Pure moisture	-	-	1,393	58	58,3	60,65
W&V 68%	-	1,380	1,385	68	68,0	65,50
W&V 38%	-	1,436	1,436	38	38,3	36,33

Indexy lomu již byly porovnány v grafu 1. Rozdíly mezi obsahy vody u jednotlivých značek kontaktních čoček jsou zobrazeny v grafech, které jsou součástí přílohy 5.

5.5 Analýza dat

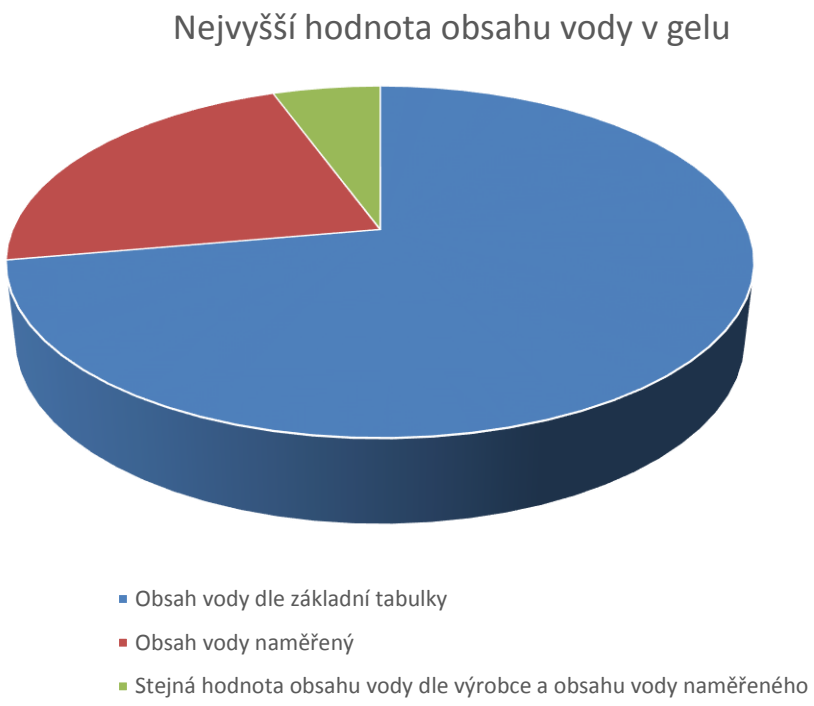
Celkový soubor kontaktních čoček se tedy skládal ze 182 kusů od 7 různých výrobců, 18 druhů značek a několika rozdílných materiálů.

Při porovnávání naměřených výsledků indexu lomu s hodnotami danými výrobcem bylo porovnáváno 8 různých značek kontaktních čoček a byly zjištěny rozdíly. Rozdíly mezi hodnotami naměřenými ve fyziologickém roztoku a destilované vodě se pohybovaly od 0,001 do 0,004, průměrná hodnota rozdílu indexu lomu činila 0,003. Při porovnání indexů naměřených ve fyziologickém roztoku a indexů daných výrobcem byla průměrná hodnota rozdílu 0,003 a rozdíly byly v rozmezí 0,001-0,006. Poslední byly porovnány hodnoty indexu naměřeného v destilované vodě a hodnoty dané výrobcem, zde se rozdíly pohybovaly od 0 do 0,005 a průměrná hodnota rozdílů byla 0,002.

Dále byly porovnávány hodnoty obsahu vody, který byl dán výrobcem s hodnotami naměřenými u všech 18 značek kontaktních čoček. Rozdíly mezi hodnotami se pohybovaly od 0 do 0,9. Průměrná hodnota rozdílů činila 0,405882.

V poslední části byla sestavena tabulka z naměřených a z předložených údajů a hodnot a ty byly porovnávány. K porovnání došlo mezi obsahem vody daným výrobcem, naměřeným obsahem vody a především hodnotou obsahu vody, která byla přejata ze základní tabulky vypočítaných hodnot indexu lomu versus obsahu vody.

Z celkového počtu 18 značek kontaktních čoček byla u 13 z nich zjištěna nejvyšší hodnota u obsahu vody dle základní tabulky indexu lomu obsah vody, u 4 byla nejvyšší hodnota zjištěna u naměřených hodnot a u 1 se hodnota daná výrobcem a hodnota naměřená rovnaly, byly však vyšší než hodnota dle základní přepočtené tabulky.



Obrázek 18: Nejvyšší hodnota obsahu vody v gelu

Rozdíly mezi hodnotami obsahu vody ze základní tabulky, od výrobce a naměřeného obsahu nabývaly různých hodnot. Z výsledků můžeme určit hodnotu nejmenšího rozdílu, největšího rozdílu, medianu, což je hodnota nacházející se přímo uprostřed dané řady rozdílů a průměrnou hodnotu rozdílů.

Obsah vody dle základní tabulky X obsah vody daný výrobcem

- Hodnota nejmenšího rozdílu: 1,03
- Hodnota největšího rozdílu: 17,19
- Median: 3,86
- Průměrná hodnota rozdílů: 5,93

Obsah vody dle základní tabulky X obsah vody naměřený

- Hodnota nejmenšího rozdílu: 1,63
- Hodnota největšího rozdílu: 16,79
- Median: 3,70
- Průměrná hodnota rozdílů: 5,78

6 Diskuze

Pro praktickou část této bakalářské práce byl nejprve vybrán vhodný soubor kontaktních čoček, na kterém následně byla prováděna určitá měření. Soubor obsahoval 18 značek kontaktních čoček.

U tohoto souboru byl zjišťován index lomu pomocí Abbeho refraktometru. Nejprve v původním roztoku z balení, později po úplném přebotnání vzorků do destilované vody. Naměřené hodnoty byly porovnány s indexy lomu udanými výrobci. Údaje indexu lomu od výrobců byly však známy pouze u 6 značek. Rozdíly mezi indexy lomu nebyly příliš velké.

Po naměření indexu lomu byla u těchto samých čoček zjišťována hmotnost. Čočky byly váženy v plně nabotnalém stavu (v rovnováze s destilovanou vodou) a po vysušení (do konstantní hmotnosti) byla určena hmotnost xerogelu. Z těchto dat ~~Po navážení~~ bylo možné vypočítat obsah vody v gelu daných čoček. Zprůměrované naměřené hodnoty byly opět porovnány s udanými obsahy vody od výrobce, tentokrát u všech 18 značek čoček. Rozdíly obsahů vody nenabývaly velkých hodnot. Průměrná hodnota rozdílů byla 0,406%.

Podstatnou částí bylo závěrečné shromáždění informací, udaných ~~hodnot~~ a naměřených hodnot. Po uspořádání výsledků do tabulky bylo zřejmé, že mnou naměřené hodnoty se lišily od hodnot zadaných výrobcem, téměř vždy, jen nepatrně. Avšak při porovnání s hodnotami obsahu vody, které byly přejaty ze základní tabulky výpočtů indexu lomu versus obsahu vody došlo ke zjištění větších odchylek. Ve většině případů byla hodnota nejvyšší u obsahu vody přejatého ze základní tabulky.

Největší rozdíly byly patrné u slikonhydrogelových materiálů, galyfilcon A, Lotrafilcon B, senofilcon A, enfilcon A, narafilcon A, balafilcon A, comfilcon A, a to v pořadí od nejvyšší odchylky (téměř 17 % pro lotrafilcon A) po nejnižší (necelých 7% pro comfilcon A). To je v souladu s již dříve publikovanými poznatky – viz stať o refraktometru na kontaktní čočky, kde je nižší index lomu u silikonhydrogelů a tím zdánlivě vyšší obsah vody v materiálu popisován.

Naopak nejnižší rozdíly (odchylka pouhá 2%) byly nalezeny pro čočky W&V 38% a SpofaLens 38% (dřívější výrobce Okula Nýrsko). Oba typy představují standardní hydrogel

PHEMA, jednou připravený odstředivým litím (SpofaLens) podruhé soustružením. V obou případech se jednalo o dochované čočky vyrobené před několika desetiletími (20 - 30 let). I jejich stáří mohlo vést ke vzniku odchylky, nicméně právě až 2% mohou představovat chybu při stanovení botnavosti gravimetricky, takže odchylku lze považovat za prakticky zanedbatelnou. Jiné vysvětlení, protože oba materiály měly hodnotu rovnovážné botnavosti 36% a pro PHEMA se předpokládá v závislosti na způsobu přípravy, obsahu síťovadla apod. botnavost 36 – 40%, přičemž uzancí je stanoven a uváděn u všech podobných materiálů (polymacon) stupeň nabotnání 38%, může vycházet z těchto faktů, tedy z rozdílu mezi uzančním obsahem vody v materiálu a reálnou hodnotou.

Další nízké rozdíly, mezi 2 – 4 % byly nalezeny u ionogenních materiálů s obsahem vody 55 - 60%. Je to dáno patrně tím faktem, že jsou vyráběny z kopolymeru 2-hydroxyethylmethakrylátu s kyselinou methakrylovou v nízkém procentuálním zastoupení. Tedy jedná se tedy svým složením o velmi podobné materiály jako tvoří standardní hydrogely, pro které byla tabulka počítána. Větší odchylku než 2% vykazují materiály methafilcon A (3%) a etafilcon A (4%).

Potěšitelným faktem zůstává, že čočky na bázi kopolymerů N-vinylpyrrolidonu, Soflens, respektive VHS68, vykazují v porovnání obsahu vody stanoveném gravimetricky a vypočítaném z měření indexu lomu odchylku kolem 2,5 %, tedy i pro tyto materiály je metoda stále použitelná. Rovněž odchylka kolem 1,5% pro materiál Nefilcon A, tedy čočky Focus Dailies z materiálu na bázi polyvinylalkoholu (PVA), znamená dobrou shodu a možnost použití tabulky původně pro gely methakrylátového typu pro PVA. Může to být dáno i tím, že přes odlišnou chemickou strukturu, hodnoty hustot gelu a xerogelu, stejně jako hodnoty indexu lomu xerogelu, těchto jinak odlišných materiálů mohou být blízké.

Lze tedy konstatovat, že platnost vztahů mezi obsahem vody v hydrogelu a jeho indexem lomu byla ověřena a na širokém spektru komerčních kontaktních čoček byla prokázána dobrá korelace pro hydrogelové čočky všech typů. Mírné zvýšení odchylky bylo pozorováno u některých ionogenních materiálů, významné zvýšení odchylky pak bylo nalezeno pro silikonhydrogelové materiály, kde nejnižší odchylka představuje 7 %, nejvyšší dokonce 17% rozdílu pro stanovení rovnovážného obsahu vody rozdílnými metodami.

Malé odchylky v obou metodách měření otevírají možnost použití stanovení obsahu vody ve zkoumaném gelu pomocí indexu lomu jako rychlou a jednoznačnou metodu potvrzení totožnosti materiálu. Pokud by se totiž významně změnil poměr mezi složkami

nebo byla omylem do struktury monomeru zapojena jiná monomerní jednotka, změna v obsahu vody by byla natolik velká, že by se projevila i jinou hodnotou indexu lomu a to nad hranicí běžné chyby stanovení.

Závěr

Součástí této bakalářské práce je teoretický popis historie kontaktních čoček z hlediska vývoje jejich materiálů. Zabývala jsem se také s tím související kategorizací kontaktních čoček podle materiálů a zaměřila jsem se na vlastnosti materiálů, jejichž pomocí lze trojrozměrné síťované polymerní struktury charakterizovat. Pro svůj význam pro chování a použitelnost materiálů pro kontaktní čočky i pro souvislost mezi těmito veličinami jsem si vybrala botnavost a index lomu, jejichž stanovení jsem si pak vyzkoušela i prakticky.

Proměřila jsem soubor čoček s různým stupněm nabotnání, od různých výrobců, s různými typy použitých materiálů. U každé čočky byl změřen index lomu a gravimetricky stanovena hodnota rovnovážného stupně nabotnání.

Čočky byly proměřeny a zváženy v rovnovážně nabotnalém stavu v destilované vodě a následně zcela vysušeny a opět zváženy. Zjištěné hodnoty indexu lomu, z něj stanoveného obsahu vody a obsahu vody zjištěného gravimetricky byly porovnány. Byla prokázána platnost teoretického vztahu v praxi, byla prokázána dobrá shoda mezi hodnotami vyjádřenými pomocí obou metod pro všechny hydrogelové materiály. Odchylky pro silikonhydrogelové materiály byly významnější. Nejnižší byly nalezeny pro kontaktní čočky PureVision a Biofinity, a to na úrovni cca 7%

Lze konstatovat, že stanovené cíle byly naplněny.

Věřím, že tato práce bude přínosná nejen pro další studium optiky a optometrie, ale bude i důstojným příspěvkem k existující odborné literatuře o kontaktních čočkách. Doufám, že nalezne širší uplatnění i v praxi, nejen při výrobních procesech, ale i pro lepší orientaci v produktech a pro usnadnění výběru vhodných čoček

Seznam použité literatury

[1] *Kontaktologické listy*. Praha: Česká kontaktologická společnost, o.s., 2016, **2016**(1), 5.

[2] TIMOTHY J. BOWDEN. *Contact lenses: the story : a history of the development of contact lenses*. Gravesend, Kent: Bower House, 2009. ISBN 9780955898105.

[3] EDITED BY ANTHONY J. PHILLIPS AND LYNNE SPEEDWELL, Janet Stone CONSULTING EDITOR a CD ROM DESIGNED BY TONY HOUGH. *Contact lenses*. 4th ed. Oxford [England]: Butterworth-Heinemann, 1997. ISBN 0750618191.

[4] *Sborník přednášek: kurz kontaktologů I. teoretická část*. 1. Praha: Česká kontaktologická společnost, 1999, 44 s.

[5] *Kontaktologické listy*. Praha: Česká kontaktologická společnost, o.s., 2015, **2015**(1).

[6] NATHAN EFRON. *Contact lens practice*. 2nd ed. St. Louis, Mo.: Butterworth Heineman, 2010, 510 s., ISBN 9780702047633.

[7] MICHÁLEK, Jiří. Klasifikace kontaktních čoček, [přednáška]. Kladno: ČVUT FBMI, 2. 9. 2014.

[8] 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, 219 s. ISBN 978-80-7013-470-2.

[9] BENJAMIN, William J a Irvin M BORISH. Borish's Clinical Refraction. 2. St. Louis: Butterworth-Heinemann, 2006, 1693 s. ISBN 978-0-7506-7524-6.

[10] EDITED BY MILTON M. HOM a ADRIAN S. BRUCE. *Manual of contact lens prescribing and fitting with CD-ROM*. 3rd ed. St. Louis, Mo: Butterworth-Heinemann, 2006. ISBN 9780702038952.

[11] MICHÁLEK, Jiří. Silikonhydrogelové materiály, [přednáška]. Kladno: ČVUT FBMI, 2014.

[12] *Sborník přednášek: kurz kontaktologů III. teoretická část*. 1. Praha: Česká kontaktologická společnost, 2000, 43 s.

[13] Hydrophilic gels for biological use. *Nature: The international weekly journal of science*. London: Nature Publishing Group, 1960, (2).

[14] WICHTERLE, Otto. *Způsob výroby kontaktních čoček*. 108895. Přihlášeno 27.12.1961. Uděleno 15.11.1963.

[15] Hydrogel | Kontaktní čočky. *Cocky.cz | Kontaktní čočky* [online]. Dostupné z: http://www.cocky.cz/hydrogel.html

[16] Silikon-hydrogel | Kontaktní čočky. *Cocky.cz | Kontaktní čočky* [online]. Dostupné z: http://www.cocky.cz/silikon-hydrogel.html

[17] I. PROKOPOVÁ *Makromolekulární chemie,* Skripta VŠCHT Praha, 2004, ISBN 80-7080-554-4.

[18] VOKURKA, Martin a Jan HUGO. Velký lékařský slovník. 9. Praha: MAXDORF s.r.o., nakladatelství odborné literatury, 2009, 1159 s. JESSENIUS. ISBN 978-80-7345-2025

[19] Tanaka, K., Takahashi, K., Kanada, M. et al. (1979) Copolymer for soft contact lens, its preparation and soft contact lens made therefrom. US patent 4139513.

[20] SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 4., upr. vyd. Praha: Prometheus, 2005. ISBN 978-80-7196-307-3.

[21] BENEŠ, Pavel. Přístroje pro optometrii a oftalmologii. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015, 250 s. ISBN 978-80-7013577-8.

[22] Z. KRČOVÁ. *Kontaktní polymerní čočky I,* Diplomová práce 1983

[23] Micscape Microscopy and Microscope Magazine. *Microscopy-UK Home (Resources for the microscopy enthusiast and amateur, including free bimonthly e-zine, Micscape.)* [online]. Dostupné z: http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/indexmag.html?http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artjun13/dg-refractometer.html

[24] J. POLÁŠEK Technický sborník oční optiky, Oční optika n. p., Praha 1974

[25] MICHÁLEK, Jiří: Ústní informace

[26] VOLLMERT, Bruno. *Základy makromolekulární chemie: Vysokoškolská učebnice*. Praha: Academia, 1970.

[27] Guenet, J. M., *Thermoreversible Gelation of Polymers and Biopolymers*. Academic Press: New York, 1992.

[28] Peppas, N. A.; Yang, W., Properties-based optimisation of the structure of polymers for contact lens applications. *Contact Intraoc Lens Med* **1981,** *7*, 300-314.)

[29] DUŠKOVÁ, M. Makromolekulární chemie, [přednáška]. 24. 11. 2015

Seznam symbolů a zkratek

Dk	Permeabilita
Dk/t	Transmisibilita
PMMA	Polymethylmethakrylát
PHEMA	Poly(2-hydroxyethyl methakrylát)
RGP	Rigid gas permeble (Tvrdé plynopropustné čočky)
ACLM	Association of Contact Lens Manufacturers (Asociace výrobců kontaktních čoček)
CAB	Acetobutyrát celulosy
EDMA	Ethylendimethakrylát
HEMA	2-hydroxyethylmethakrylát
DEGMA	Diethylenglykolmethakrylát
TEGMA	Triethylenglykolmethakrylát
NVP	N-vinylpyrrolidon
VP	Vinylpyrrolidon
MMA	Methyl methakrylát
MA	Kyselina methakrylová
TPVC	Tris(trimethylsiloxysilyl) propylvinyl karbamát
TRIS	Tris(trimethylsiloxyl) methakryloxypropylsilan
PBVC	Poly(dimethysiloxyl) di (silylbutanol) bis vinylkarbamát
NCVE	N-karboxyvinylový ester
DMA	N,N-dimethylakrylamid

HEMA-*co*-NVP-*co*-MA	Kopolymer 2-hydroxyethylmethakrylátu s N-vinylpyrrolidonem a kyselinou methakrylovou
VP – MMA	Kopolymer vinylpyrrolidonu s methyl methakrylátem
HEMA-*co*-MA	Kopolymer 2-hydroxyethylmethakrylátu s kyselinou methakrylovou

Seznam obrázků

Obrázek 1: Obecná struktura polysiloxanů [11] 9
Obrázek 2: Lineární polydimethylsiloxan [12] 9
Obrázek 3: Vzorec 2-hydroxyethylmethakrylátu [12] 10
Obrázek 4: TRIS : tris(trimethylsiloxyl) methakryloxypropylsilan [12] 12
Obrázek 5: TPVC : tris(trimethylsiloxysilyl) propylvinyl karbamát [12] 12
Obrázek 6: Blokové makromonomery materiálu Lotrafilcon A [12] 14
Obrázek 7: Modelová tahová křivka hydrogelů 17
Obrázek 8: Abbeho refraktometr [23] 33
Obrázek 9: Základní části Abbeho refraktometru [23] 34
Obrázek 10: Amiciho hranol [23] 35
Obrázek 11: Princip Abbeho refraktometru [23] 35
Obrázek 12: Termostat s vodní lázní 36
Obrázek 13: Analytické váhy 37
Obrázek 14: Sušárna s připojeným teploměrem 37
Obrázek 15: Graf 1: Porovnání indexů lomu 41
Obrázek 16: Graf 2: Porovnání úbytku hmotnosti 42
Obrázek 17: Graf 3: Porovnání obsahu vody v gelu 44
Obrázek 18: Nejvyšší hodnota obsahu vody v gelu 47

Seznam tabulek

Tabulka 1: Materiály FOCON, jejich skupiny a podskupiny, včetně pro ně charakteristických monomerů [6, 7] 5
Tabulka 2: Materiály FILCON [6, 7] 6
Tabulka 3: Rozdělení čoček do skupin podle FDA [6, 7, 8] 7
Tabulka 4: Srovnání silikonhydrogelů 1. generace [11] 14
Tabulka 5: Srovnání silikonhydrogelů 2. generace [11] 15
Tabulka 6: Srovnání vybraných parametrů některých silikonhydrogelových čoček 3. generace [11] 16
Tabulka 7: Vybrané hodnoty indexu lomu 20
Tabulka 8: Přepočtová tabulka indexu lomu na obsah vody (str. 24 -28) 24
Tabulka 9: Přehled souboru kontaktních čoček vybraných pro praktickou část 32
Tabulka 10: Index lomu: naměřená hodnota ve fyziologickém roztoku X naměřená hodnota v destilované vodě X hodnota daná výrobcem 40
Tabulka 11: Porovnání obsahu vody v gelu 43

Seznam příloh

Příloha 1: Tabulky s naměřenými indexy lomu ve fyziologickém roztoku a v destilované vodě 60
Příloha 2: Naměřené hmotnosti a obsah vody u WaV čoček - 60°C 65
Příloha 3: Naměřené hmotnosti a obsah vody u WaV čoček - 80°C 65
Příloha 4: Tabulky s naměřenými hmotnostmi a obsahem vody u všech značek kontaktních čoček 66
Příloha 5: Grafy znázorňující rozdíly mezi obsahy vody u jednotlivých značek kontaktních čoček 72
Příloha 6: Porovnání kopie tabulky z Wichterlovy dokumentace k výrobě litých hydrogelových čoček (uvedenou Z. Krčovou ve své diplomové práci (VŠCHT) v roce 1983) a přepočtové tabulka indexu lomu na obsah vody 81

Příloha

Příloha 1: Tabulky s naměřenými indexy lomu ve fyziologickém roztoku a v destilované vodě

ACUVUE ADVANCE	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,412	n = 1,406
2.	n = 1,408	n = 1,406
3.	n = 1,408	n = 1,407
4.	n = 1,412	n = 1,405
5.	n = 1,410	n = 1,406
6.	n = 1,410	n = 1,406
7.	n = 1,409	n = 1,407
8.	n = 1,409	n = 1,406
9.	n = 1,407	n = 1,406
10.	n = 1,406	n = 1,405

ACUVUE OASYS	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,420	n = 1,411
2.	n = 1,419	n = 1,412
3.	n = 1,420	n = 1,410
4.	n = 1,421	n = 1,411
5.	n = 1,419	n = 1,411
6.	n = 1,418	n = 1,411
7.	n = 1,419	n = 1,410

ONE DAY ACUVUE TRUE EYE	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,407	n = 1,405
2.	n = 1,407	n = 1,406
3.	n = 1,408	n = 1,404
4.	n = 1,406	n = 1,404
5.	n = 1,408	n = 1,406
6.	n = 1,406	n = 1,404
7.	n = 1,406	n = 1,403
8.	n = 1,407	n = 1,403

ONE DAY ACUVUE	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,399	n = 1,389
2.	n = 1,398	n = 1,388
3.	n = 1,400	n = 1,391
4.	n = 1,399	n = 1,390
5.	n = 1,402	n = 1,390
6.	n = 1,402	n = 1,389
7.	n = 1,400	n = 1,389
8.	n = 1,402	n = 1,391

AVAIRA	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,402	n = 1,400
2.	n = 1,402	n = 1,398
3.	n = 1,402	n = 1,400
4.	n = 1,401	n = 1,400
5.	n = 1,402	n = 1,399
6.	n = 1,402	n = 1,400
7.	n = 1,403	n = 1,401
8.	n = 1,402	n = 1,400
9.	n = 1,402	n = 1,400
10.	n = 1,402	n = 1,399
11.	n = 1,403	n = 1,401
12.	n = 1,403	n = 1,400

BIOFINITY	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,405	n = 1,403
2.	n = 1,404	n = 1,403
3.	n = 1,404	n = 1,403
4.	n = 1,404	n = 1,403
5.	n = 1,404	n = 1,403
6.	n = 1,405	n = 1,403

FREQUENCY	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,400	n = 1,397
2.	n = 1,402	n = 1,397
3.	n = 1,400	n = 1,396
4.	n = 1,400	n = 1,399
5.	n = 1,400	n = 1,397
6.	n = 1,401	n = 1,397
7.	n = 1,401	n = 1,399
8.	n = 1,399	n = 1,398
9.	n = 1,402	n = 1,397
10.	n = 1,402	n = 1,397

ULTRAFLEX	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,416	n = 1,399
2.	n = 1,416	n = 1,396
3.	n = 1,416	n = 1,399
4.	n = 1,417	n = 1,398
5.	n = 1,418	n = 1,398
6.	n = 1,417	n = 1,399
7.	n = 1,416	n = 1,397
8.	n = 1,418	n = 1,399
9.	n = 1,418	n = 1,398
10.	n = 1,418	n = 1,398

AIR OPTIX NIGHT AND DAY	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,428	n = 1,426
2.	n = 1,428	n = 1,427
3.	n = 1,427	n = 1,426
4.	n = 1,428	n = 1,427
5.	n = 1,428	n = 1,427
6.	n = 1,427	n = 1,427
7.	n = 1,428	n = 1,426
8.	n = 1,427	n = 1,426
9.	n = 1,427	n = 1,426
10.	n = 1,428	n = 1,427
11.	n = 1,427	n = 1,427
12.	n = 1,428	n = 1,427

AIR OPTIX	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,421	n = 1,420
2.	n = 1,420	n = 1,420
3.	n = 1,421	n = 1,419
4.	n = 1,422	n = 1,420
5.	n = 1,423	n = 1,418
6.	n = 1,422	n = 1,419
7.	n = 1,420	n = 1,420

FOCUS DAILIES	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,384	n = 1,380
2.	n = 1,383	n = 1,380
3.	n = 1,384	n = 1,381
4.	n = 1,384	n = 1,382
5.	n = 1,385	n = 1,381
6.	n = 1,383	n = 1,380
7.	n = 1,383	n = 1,380
8.	n = 1,383	n = 1,381
9.	n = 1,383	n = 1,382
10.	n = 1,385	n = 1,380

PUREVISION	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,424	n = 1,421
2.	n = 1,425	n = 1,423
3.	n = 1,424	n = 1,423
4.	n = 1,423	n = 1,422
5.	n = 1,424	n = 1,421
6.	n = 1,425	n = 1,423
7.	n = 1,423	n = 1,420
8.	n = 1,425	n = 1,422
9.	n = 1,424	n = 1,424
10.	n = 1,425	n = 1,423
11.	n = 1,425	n = 1,421
12.	n = 1,424	n = 1,424

SOFLENS	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,391	n = 1,389
2.	n = 1,390	n = 1,388
3.	n = 1,392	n = 1,389
4.	n = 1,390	n = 1,387
5.	n = 1,391	n = 1,388
6.	n = 1,392	n = 1,388

LAGUNA	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,400	n = 1,397
2.	n = 1,401	n = 1,398
3.	n = 1,402	n = 1,398
4.	n = 1,402	n = 1,399
5.	n = 1,401	n = 1,398
6.	n = 1,402	n = 1,398
7.	n = 1,400	n = 1,397
8.	n = 1,402	n = 1,398
9.	n = 1,401	n = 1,398
10.	n = 1,401	n = 1,399
11.	n = 1,401	n = 1,398
12.	n = 1,402	n = 1,397

SPOFA LENS	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,442	n = 1,437
2.	n = 1,439	n = 1,439
3.	n = 1,440	n = 1,438
4.	n = 1,441	n = 1,437
5.	n = 1,440	n = 1,436
6.	n = 1,439	n = 1,437
7.	n = 1,440	n = 1,438
8.	n = 1,441	n = 1,437
9.	n = 1,442	n = 1,436
10.	n = 1,441	n = 1,438

ONE DAY PURE MOISTURE (SEED)	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,401	n = 1,389
2.	n = 1,402	n = 1,394
3.	n = 1,401	n = 1,391
4.	n = 1,400	n = 1,394
5.	n = 1,400	n = 1,394
6.	n = 1,401	n = 1,392
7.	n = 1,400	n = 1,392
8.	n = 1,402	n = 1,394
9.	n = 1,401	n = 1,392
10.	n = 1,401	n = 1,393

W&V (68%)	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,386	n = 1,385
2.	n = 1,385	n = 1,384
3.	n = 1,387	n = 1,385
4.	n = 1,387	n = 1,386
5.	n = 1,387	n = 1,384
6.	n = 1,385	n = 1,386
7.	n = 1,388	n = 1,384

W&V (38%)	Index lomu ve fyziologickém roztoku [n]	Index lomu v destilované vodě [n]
1.	n = 1,444	n = 1,437
2.	n = 1,440	n = 1,437
3.	n = 1,439	n = 1,436
4.	n = 1,440	n = 1,437
5.	n = 1,441	n = 1,437
6.	n = 1,441	n = 1,435
7.	n = 1,438	n = 1,434
8.	n = 1,436	n = 1,437
9.	n = 1,438	n = 1,436
10.	n = 1,439	n = 1,435
11.	n = 1,440	n = 1,437
12.	n = 1,441	n = 1,436
13.	n = 1,436	n = 1,435
14.	n = 1,438	n = 1,434
15.	n = 1,437	n = 1,436
16.	n = 1,441	n = 1,436
17.	n = 1,440	n = 1,436
18.	n = 1,441	n = 1,436
19.	n = 1,439	n = 1,436
20.	n = 1,443	n = 1,436
21.	n = 1,439	n = 1,435
22.	n = 1,438	n = 1,436
23.	n = 1,439	n = 1,435
24.	n = 1,440	n = 1,436
25.	n = 1,438	n = 1,436

Příloha 2: Naměřené hmotnosti a obsah vody u WaV čoček - 60°C

W&V (38%)	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
1 (16)	0,0702	0,0617	0,0500	0,0459	0,0452	0,0448	0,0443
2 (17)	0,0511	0,0472	0,0337	0,0323	0,0322	0,0319	0,0319
3 (18)	0,0761	0,0667	0,0525	0,0501	0,0492	0,0482	0,0480
4 (19)	0,0510	0,0411	0,0335	0,0328	0,0325	0,0323	0,0319

	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	7 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1 (16)	0,0440	0,0437	0,0435	0,0433	0,0433	0,0433	38,3
2 (17)	0,0316	0,0314	0,0314	0,0311	0,0314	0,0314	38,7
3 (18)	0,0476	0,0472	0,0472	0,0469	0,0468	0,0468	38,5
4 (19)	0,0317	0,0316	0,0317	0,0317	0,0316	0,0315	38,2

Příloha 3: Naměřené hmotnosti a obsah vody u WaV čoček - 80°C

W&V (38%)	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
1 (21)	0,0530	0,0334	0,0330	0,0327	0,0326	0,0325	0,0324
2 (22)	0,0672	0,0426	0,0417	0,0415	0,0411	0,0410	0,0408
3 (23)	0,0537	0,0338	0,0329	0,0329	0,0329	0,0328	0,0328
4 (24)	0,0625	0,0392	0,0382	0,0377	0,0376	0,0375	0,0375
5 (25)	0,0653	0,0419	0,0410	0,0408	0,0406	0,0404	0,0402

	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	7 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1 (21)	0,0324	0,0325	0,0324	0,0324	0,0324	0,0324	38,9
2 (22)	0,0408	0,0407	0,0409	0,0407	0,0407	0,0409	39,3
3 (23)	0,0326	0,0328	0,0329	0,0327	0,0327	0,0328	39,1
4 (24)	0,0374	0,0376	0,0374	0,0374	0,0375	0,0374	39,2
5 (25)	0,0401	0,0400	0,0402	0,0401	0,0401	0,0402	38,6

Příloha 4: Tabulky s naměřenými hmotnostmi a obsahem vody u všech značek kontaktních čoček

W&V (38%)	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0693	0,0435	0,0432	0,0432	0,0432	0,0431	0,0432	37,7
2.	0,0759	0,0468	0,0466	0,0464	0,0465	0,0465	0,0464	38,7
3.	0,0689	0,0426	0,0424	0,0422	0,0423	0,0422	0,0422	38,8
4.	0,0978	0,0602	0,0596	0,0596	0,0597	0,0596	0,0596	39
5.	0,0774	0,0492	0,0486	0,0487	0,0487	0,0488	0,0487	37,1
6.	0,0586	0,0354	0,0354	0,0353	0,0353	0,0353	0,0354	39,8
7.	0,0578	0,0362	0,0362	0,0363	0,0361	0,0362	0,0362	37,4
8.	0,0689	0,0433	0,0433	0,0432	0,0432	0,0433	0,0432	37,3
9.	0,0721	0,0445	0,0443	0,0442	0,0442	0,0441	0,0441	38,8
10.	0,0645	0,0392	0,0390	0,0389	0,0389	0,0390	0,0388	39,7
11.	0,0702	0,0434	0,0432	0,0431	0,0431	0,0430	0,0431	38,6
12.	0,0673	0,0422	0,0421	0,0420	0,0420	0,0418	0,0419	37,7
13.	0,0551	0,0348	0,0347	0,0347	0,0345	0,0346	0,0346	37,2
14.	0,0635	0,0394	0,0393	0,0393	0,0393	0,0394	0,0393	38,1
15.	0,0644	0,0397	0,0396	0,0394	0,0395	0,0394	0,0395	38,7

Acuvue Advance	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0357	0,0186	0,0186	0,0185	0,0185	0,0186	0,0185	48,2
2.	0,0364	0,0190	0,0191	0,0190	0,0189	0,0188	0,0189	48,1
3.	0,0346	0,0189	0,0184	0,0184	0,0185	0,0184	0,0184	46,8
4.	0,0351	0,0185	0,0187	0,0185	0,0184	0,0184	0,0184	47,6
5.	0,0345	0,0185	0,0183	0,0182	0,0181	0,0183	0,0182	47,2
6.	0,0330	0,0176	0,0176	0,0175	0,0176	0,0176	0,0176	46,7
7.	0,0339	0,0179	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	46,9
8.	0,0329	0,0180	0,0178	0,0176	0,0176	0,0178	0,0177	46,2
9.	0,0350	0,0180	0,0180	0,0181	0,0182	0,0181	0,0181	48,3
10.	0,0341	0,0181	0,0180	0,0180	0,0180	0,0182	0,0180	47,0

Biofinity	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0257	0,0137	0,0137	0,0136	0,0136	0,0137	0,0136	47,1
2.	0,0265	0,0137	0,0138	0,0136	0,0137	0,0137	0,0137	48,3
3.	0,0263	0,0138	0,0139	0,0136	0,0137	0,0136	0,0136	48,3
4.	0,0295	0,0158	0,0156	0,0155	0,0155	0,0155	0,0156	47,5
5.	0,0297	0,0157	0,0156	0,0155	0,0156	0,0155	0,0155	47,8
6.	0,0299	0,0159	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156	47,8

One day Acuvue True Eye	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0322	0,0179	0,0178	0,0177	0,0177	0,0176	0,0177	45
2.	0,0318	0,0177	0,0177	0,0177	0,0175	0,0175	0,0175	45
3.	0,0335	0,0180	0,0179	0,0179	0,0177	0,0178	0,0177	47,2
4.	0,0375	0,0200	0,0197	0,0199	0,0196	0,0196	0,0196	47,7
5.	0,0363	0,0199	0,0198	0,0198	0,0196	0,0196	0,0197	46
6.	0,0360	0,0199	0,0197	0,0197	0,0198	0,0197	0,0197	45,3
7.	0,0324	0,0179	0,0177	0,0175	0,0175	0,0174	0,0174	46,3
8.	0,0358	0,0191	0,0191	0,0189	0,0185	0,0186	0,0185	47,1

Avaira	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0371	0,0202	0,0202	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	45,8
2.	0,0379	0,0200	0,0201	0,0201	0,0200	0,0201	0,0201	47
3.	0,0370	0,0207	0,0201	0,0202	0,0200	0,0200	0,0201	45,9
4.	0,0382	0,0211	0,0209	0,0209	0,0209	0,0210	0,0208	45,3
5.	0,0375	0,0204	0,0203	0,0203	0,0203	0,0202	0,0203	45,9
6.	0,0380	0,0205	0,0203	0,0203	0,0203	0,0202	0,0202	46,8
7.	0,0386	0,0207	0,0206	0,0204	0,0204	0,0204	0,0204	47,2
8.	0,0363	0,0203	0,0203	0,0202	0,0203	0,0202	0,0203	44,1
9.	0,0385	0,0204	0,0203	0,0203	0,0203	0,0205	0,0204	47,3
10.	0,0403	0,0207	0,0207	0,0208	0,0208	0,0208	0,0209	48,4
11.	0,0392	0,0204	0,0203	0,0202	0,0203	0,0203	0,0203	48,2
12.	0,0387	0,0205	0,0205	0,0206	0,0205	0,0204	0,0205	47

AirOptix	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0366	0,0248	0,0247	0,0246	0,0245	0,0245	0,0246	33,1
2.	0,0374	0,0247	0,0248	0,0247	0,0247	0,0246	0,0247	34
3.	0,0362	0,0249	0,0250	0,0247	0,0247	0,0247	0,0247	31,8
4.	0,0359	0,0242	0,0241	0,0240	0,0240	0,0242	0,0241	32,9
5.	0,0377	0,0246	0,0247	0,0246	0,0246	0,0247	0,0247	34,5
6.	0,0364	0,0248	0,0248	0,0248	0,0247	0,0247	0,0247	32,1
7.	0,0364	0,0243	0,0243	0,0241	0,0242	0,0241	0,0242	33,5

Acuvue Oasys	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0326	0,0202	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0202	38,3
2.	0,0335	0,0207	0,0204	0,0205	0,0205	0,0206	0,0205	38,8
3.	0,0322	0,0202	0,0201	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	37,9
4.	0,0386	0,0232	0,0232	0,0232	0,0233	0,0232	0,0233	39,6
5.	0,0359	0,0225	0,0224	0,0224	0,0224	0,0225	0,0224	37,6
6.	0,0369	0,0227	0,0230	0,0230	0,0230	0,0231	0,0231	37,4
7.	0,0375	0,0234	0,0231	0,0232	0,0232	0,0232	0,0232	38,1

Pure Vision	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0302	0,0188	0,0188	0,0189	0,0188	0,0188	0,0189	37,7
2.	0,0295	0,0189	0,0189	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	36,6
3.	0,0304	0,0191	0,0192	0,0190	0,0191	0,0190	0,0191	37,2
4.	0,0301	0,0192	0,0192	0,0192	0,0191	0,0192	0,0192	36,2
5.	0,0290	0,0189	0,0188	0,0188	0,0188	0,0188	0,0188	35,2
6.	0,0298	0,0190	0,0190	0,0190	0,0189	0,0188	0,0189	36,6
7.	0,0300	0,0189	0,0189	0,0189	0,0189	0,0189	0,0189	37
8.	0,0302	0,0189	0,0190	0,0190	0,0190	0,0192	0,0190	36,9
9.	0,0307	0,0195	0,0196	0,0194	0,0194	0,0195	0,0194	36,8
10.	0,0306	0,0192	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	0,0191	37,9
11.	0,0311	0,0199	0,0199	0,0198	0,0198	0,0197	0,0197	36,7
12.	0,0308	0,0193	0,0192	0,0192	0,0192	0,0191	0,0192	37,7

AirOptix Night and Day	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0275	0,0205	0,0206	0,0205	0,0206	0,0206	0,0206	25,1
2.	0,0265	0,0203	0,0201	0,0200	0,0200	0,0201	0,0200	24,5
3.	0,0265	0,0202	0,0202	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	24,2
4.	0,0272	0,0206	0,0204	0,0203	0,0203	0,0205	0,0204	25
5.	0,0263	0,0203	0,0203	0,0201	0,0202	0,0202	0,0202	23,2
6.	0,0266	0,0203	0,0204	0,0203	0,0203	0,0203	0,0203	23,7
7.	0,0270	0,0205	0,0203	0,0203	0,0203	0,0204	0,0203	24,8
8.	0,0275	0,0206	0,0205	0,0205	0,0205	0,0205	0,0205	25,5
9.	0,0265	0,0202	0,0201	0,0200	0,0200	0,0200	0,0202	24,2
10.	0,0262	0,0203	0,0202	0,0201	0,0201	0,0202	0,0201	23,3
11.	0,0310	0,0235	0,0233	0,0233	0,0233	0,0235	0,0233	24,5
12.	0,0307	0,0233	0,0233	0,0232	0,0232	0,0232	0,0232	24,4

Soflens	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0535	0,0175	0,0172	0,0174	0,0173	0,0173	0,0174	67,7
2.	0,0502	0,0169	0,0170	0,0170	0,0169	0,0169	0,0169	66,3
3.	0,0504	0,0172	0,0172	0,0171	0,0169	0,0170	0,0170	66,3
4.	0,0502	0,0169	0,0169	0,0169	0,0169	0,0169	0,0169	66,3
5.	0,0506	0,0169	0,0168	0,0169	0,0169	0,0169	0,0169	66,6
6.	0,0509	0,0170	0,0170	0,0169	0,0169	0,0169	0,0170	66,8

Ultraflex	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0218	0,0097	0,0096	0,0096	0,0096	0,0096	0,0096	56
2.	0,0386	0,0170	0,0172	0,0170	0,0172	0,0171	0,0170	55,7
3.	0,0386	0,0170	0,0169	0,0167	0,0168	0,0167	0,0167	56,7
4.	0,0371	0,0166	0,0166	0,0164	0,0165	0,0165	0,0165	55,5
5.	0,0386	0,0177	0,0178	0,0176	0,0177	0,0178	0,0177	54,1
6.	0,0408	0,0181	0,0177	0,0178	0,0178	0,0179	0,0179	56,1
7.	0,0405	0,0178	0,0177	0,0177	0,0177	0,0177	0,0177	56,3
8.	0,0385	0,0173	0,0171	0,0170	0,0171	0,0170	0,0170	55,8
9.	0,0403	0,0180	0,0178	0,0178	0,0179	0,0178	0,0179	55,6
10.	0,0402	0,0181	0,0180	0,0178	0,0177	0,0177	0,0178	56

Laguny	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0388	0,0170	0,0169	0,0169	0,0170	0,0169	0,0169	56,4
2.	0,0374	0,0167	0,0164	0,0164	0,0164	0,0165	0,0164	56,1
3.	0,0380	0,0172	0,0172	0,0171	0,0171	0,0171	0,0172	55
4.	0,0375	0,0165	0,0166	0,0167	0,0167	0,0168	0,0167	55,5
5.	0,0351	0,0151	0,0155	0,0153	0,0151	0,0153	0,0152	56,7
6.	0,0374	0,0166	0,0170	0,0169	0,0169	0,0168	0,0168	54,8
7.	0,0370	0,0160	0,0163	0,0161	0,0161	0,0161	0,0161	56,5
8.	0,0380	0,0174	0,0173	0,0174	0,0173	0,0173	0,0174	54,5
9.	0,0381	0,0170	0,0169	0,0170	0,0170	0,0170	0,0170	55,4
10.	0,0403	0,0185	0,0182	0,0185	0,0184	0,0184	0,0185	54,3
11.	0,0373	0,0170	0,0169	0,0168	0,0169	0,0169	0,0168	54,7
12.	0,0365	0,0162	0,0165	0,0164	0,0165	0,0165	0,0165	54,8

One Day Pure moisture	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0372	0,0153	0,0154	0,0153	0,0153	0,0154	0,0154	58,6
2.	0,0317	0,0135	0,0134	0,0133	0,0134	0,0134	0,0134	57,7
3.	0,0344	0,0145	0,0144	0,0143	0,0143	0,0144	0,0143	58,4
4.	0,0353	0,0149	0,0148	0,0147	0,0148	0,0148	0,0148	58,1
5.	0,0363	0,0155	0,0154	0,0153	0,0153	0,0153	0,0154	57,9
6.	0,0311	0,0149	0,0128	0,0129	0,0128	0,0128	0,0128	58,8
7.	0,0359	0,0146	0,0146	0,0148	0,0146	0,0146	0,0147	59,3
8.	0,0354	0,0146	0,0146	0,0147	0,0147	0,0146	0,0146	58,8
9.	0,0119	0,0051	0,0051	0,0050	0,0050	0,0051	0,0051	57,1
10.	0,0352	0,0147	0,0148	0,0146	0,0146	0,0147	0,0146	58,5

One Day Acuvue	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0428	0,0177	0,0175	0,0175	0,0176	0,0176	0,0175	58,9
2.	0,0412	0,0175	0,0174	0,0173	0,0173	0,0173	0,0174	58
3.	0,0416	0,0170	0,0173	0,0172	0,0172	0,0171	0,0171	58,9
4.	0,0541	0,0172	0,0144	0,0146	0,0147	0,0146	0,0146	57,2
5.	0,0349	0,0151	0,0151	0,0150	0,0150	0,0150	0,0151	57
6.	0,0328	0,0142	0,0138	0,0139	0,0139	0,0138	0,0139	57,6
7.	0,0422	0,0176	0,0175	0,0178	0,0176	0,0176	0,0177	58,3
8.	0,0309	0,0128	0,0127	0,0127	0,0127	0,0128	0,0128	58,6

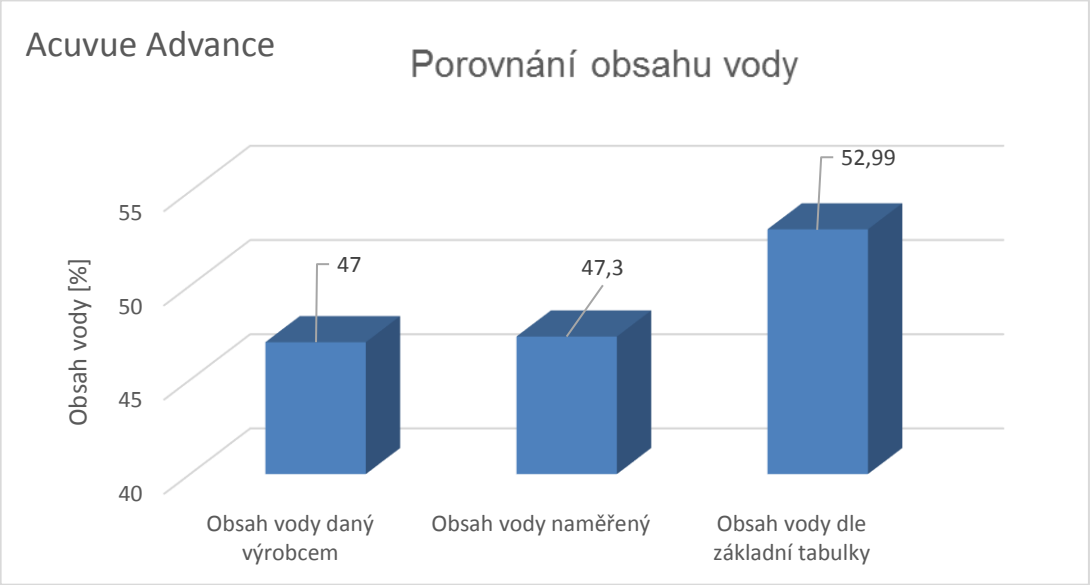
Frequency	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0423	0,0195	0,0192	0,0193	0,0192	0,0193	0,0193	54,3
2.	0,0406	0,0180	0,0176	0,0178	0,0178	0,0178	0,0178	56,2
3.	0,0404	0,0178	0,0180	0,0178	0,0176	0,0177	0,0176	56,4
4.	0,0406	0,0180	0,0179	0,0178	0,0178	0,0178	0,0178	56,2
5.	0,0349	0,0154	0,0152	0,0152	0,0151	0,0152	0,0151	56,7
6.	0,0383	0,0179	0,0175	0,0176	0,0176	0,0176	0,0176	54
7.	0,0390	0,0177	0,0175	0,0174	0,0174	0,0174	0,0175	55,4
8.	0,0396	0,0183	0,0183	0,0184	0,0183	0,0183	0,0183	53,8
9.	0,0539	0,0234	0,0233	0,0233	0,0233	0,0234	0,0234	56,6
10.	0,0530	0,0236	0,0234	0,0234	0,0234	0,0234	0,0234	55,8

SpofaLens	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0304	0,0188	0,0188	0,0188	0,0188	0,0188	0,0188	38,2
2.	0,0307	0,0194	0,0193	0,0193	0,0193	0,0192	0,0193	37,1
3.	0,0301	0,0183	0,0184	0,0184	0,0184	0,0183	0,0183	39,2
4.	0,0298	0,0183	0,0183	0,0183	0,0184	0,0184	0,0184	38,3
5.	0,0321	0,0197	0,0199	0,0197	0,0199	0,0197	0,0197	38,4
6.	0,0290	0,0178	0,0177	0,0177	0,0177	0,0177	0,0178	39
7.	0,0287	0,0175	0,0176	0,0176	0,0176	0,0176	0,0176	38,7
8.	0,0327	0,0198	0,0200	0,0199	0,0199	0,0199	0,0199	39,1
9.	0,0288	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181	0,0182	37,2
10.	0,0260	0,0162	0,0162	0,0163	0,0162	0,0162	0,0162	37,7

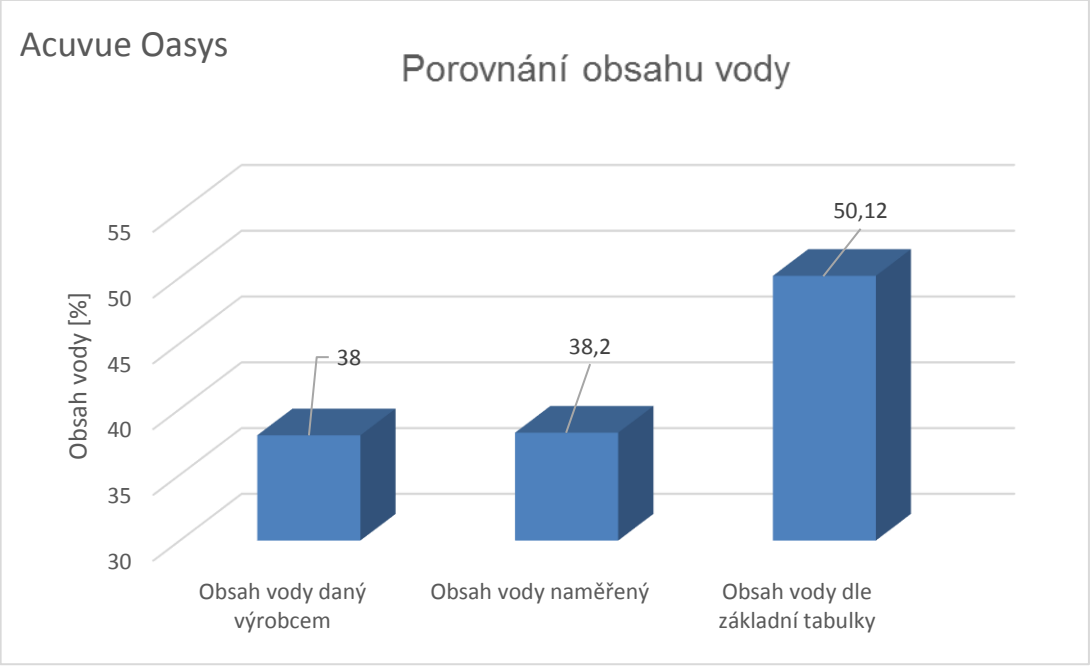
Focus Dailies	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0286	0,0088	0,0086	0,0085	0,0085	0,0085	0,0086	70,3
2.	0,0109	0,0036	0,0035	0,0035	0,0034	0,0034	0,0034	68,8
3.	0,0290	0,0090	0,0088	0,0088	0,0088	0,0088	0,0088	69,7
4.	0,0287	0,0088	0,0088	0,0086	0,0088	0,0087	0,0088	69,3
5.	0,0192	0,0060	0,0058	0,0056	0,0056	0,0057	0,0056	70,8
6.	0,0295	0,0090	0,0088	0,0089	0,0087	0,0087	0,0087	70,5
7.	0,0264	0,0082	0,0082	0,0081	0,0082	0,0082	0,0082	68,9
8.	0,0289	0,0091	0,0088	0,0088	0,0086	0,0085	0,0086	70,2
9.	0,0218	0,0070	0,0070	0,0068	0,0068	0,0067	0,0067	69,3
10.	0,0271	0,0088	0,0087	0,0086	0,0086	0,0087	0,0087	67,9

W&V (68%)	Hmotnost v plně zbotnalém stavu	1 hod	2 hod	3 hod	4 hod	5 hod	6 hod	Obsah vody dle výpočtu [%]
1.	0,0483	0,0158	0,0160	0,0159	0,0160	0,0161	0,0160	66,9
2.	0,0408	0,0132	0,0131	0,0131	0,0132	0,0132	0,0132	67,6
3.	0,0412	0,0129	0,0127	0,0128	0,0128	0,0130	0,0129	68,7
4.	0,0253	0,0082	0,0082	0,0083	0,0082	0,0081	0,0081	68
5.	0,0366	0,0121	0,0119	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	67,2
6.	0,0157	0,0050	0,0049	0,0049	0,0049	0,0048	0,0049	68,8
7.	0,0317	0,0102	0,0100	0,0100	0,0101	0,0099	0,0100	68,5

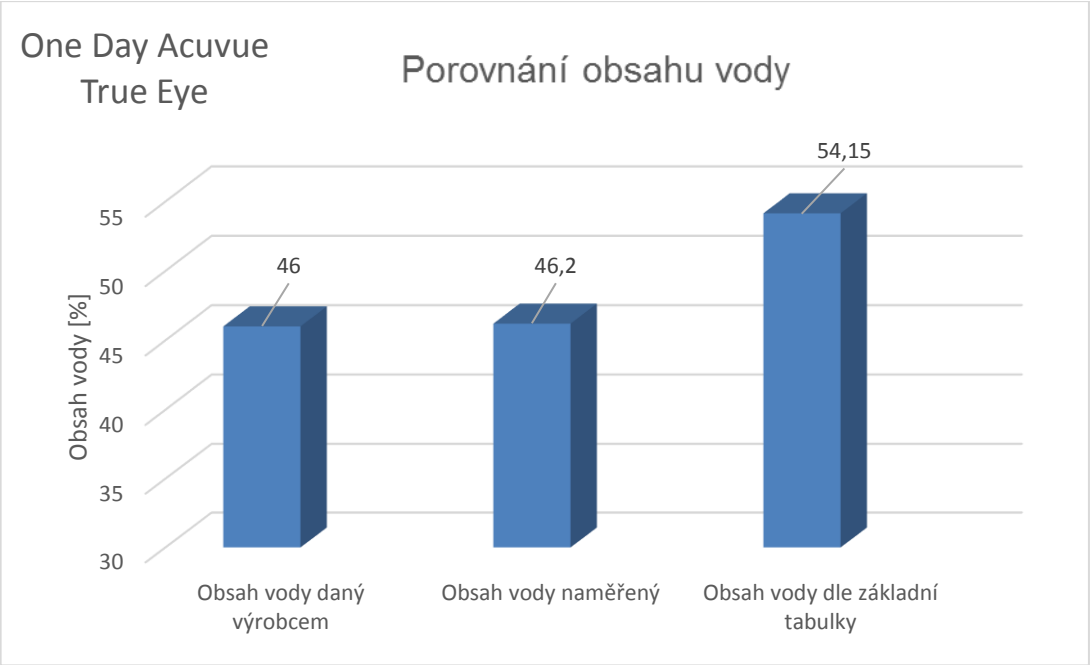
Příloha 5: Grafy znázorňující rozdíly mezi obsahy vody u jednotlivých značek kontaktních čoček



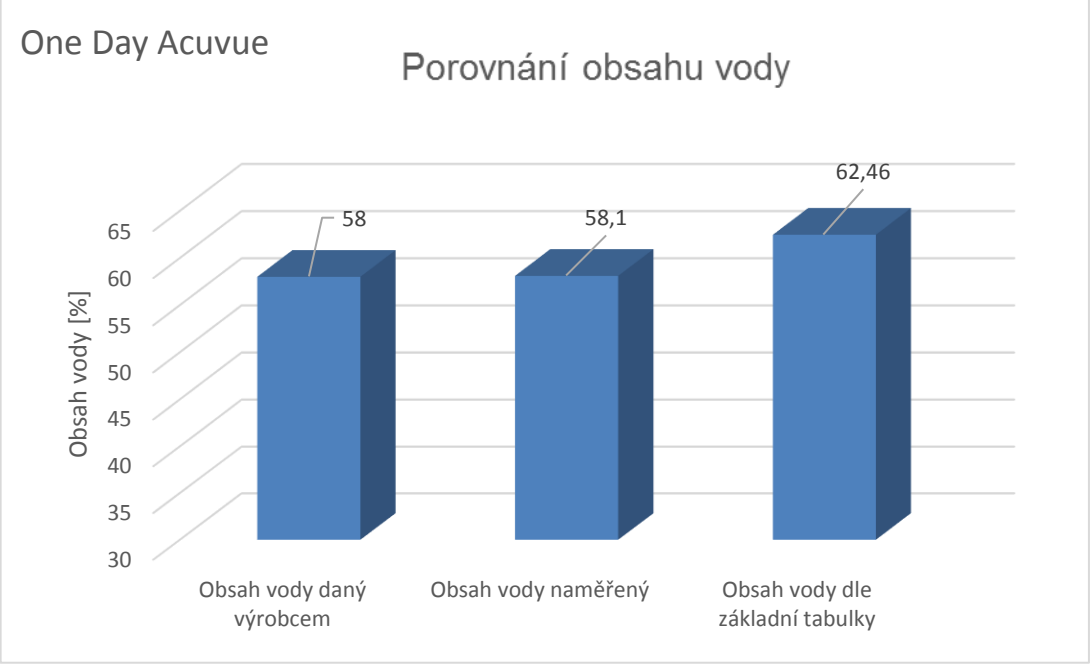
U čoček Acuvue Advance byly hodnoty dané výrobcem a naměřené hodnoty téměř totožné. Největší odchylku vykazovaly hodnoty přepočtené z indexu lomu, kde byla hodnota obsahu vody nejvyšší. Od hodnot daných výrobcem se lišila o 6% a od naměřených hodnot o 6%.



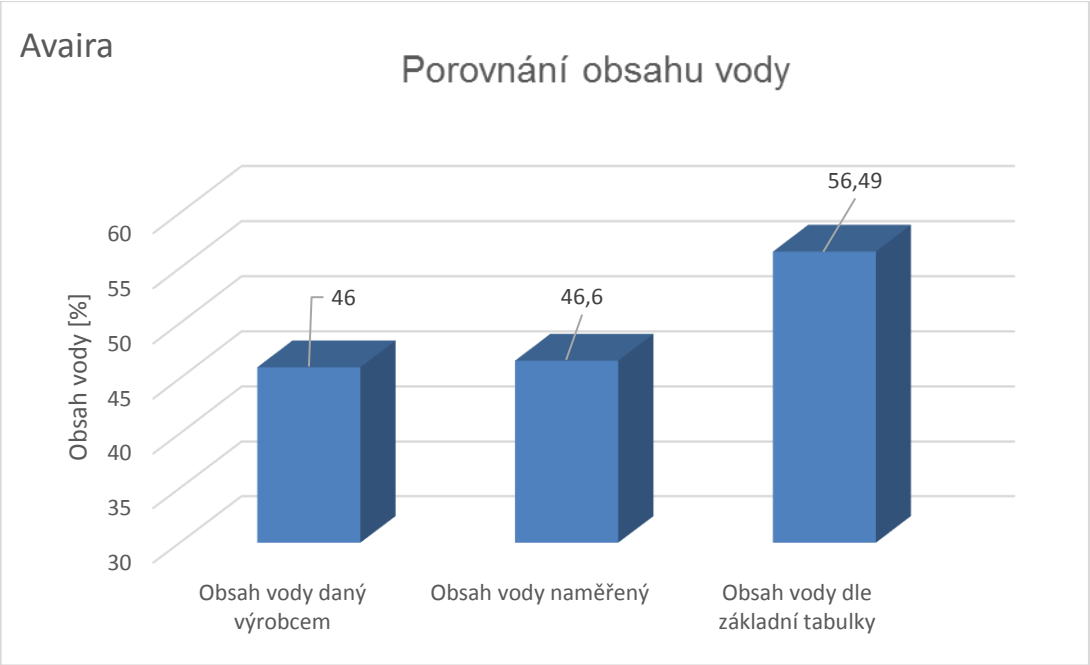
Hodnoty ze základní tabulky u Acuvue Oasys byly znatelně vyšší. Od hodnot daných výrobcem se lišily o 12% a od měřených o 12%.



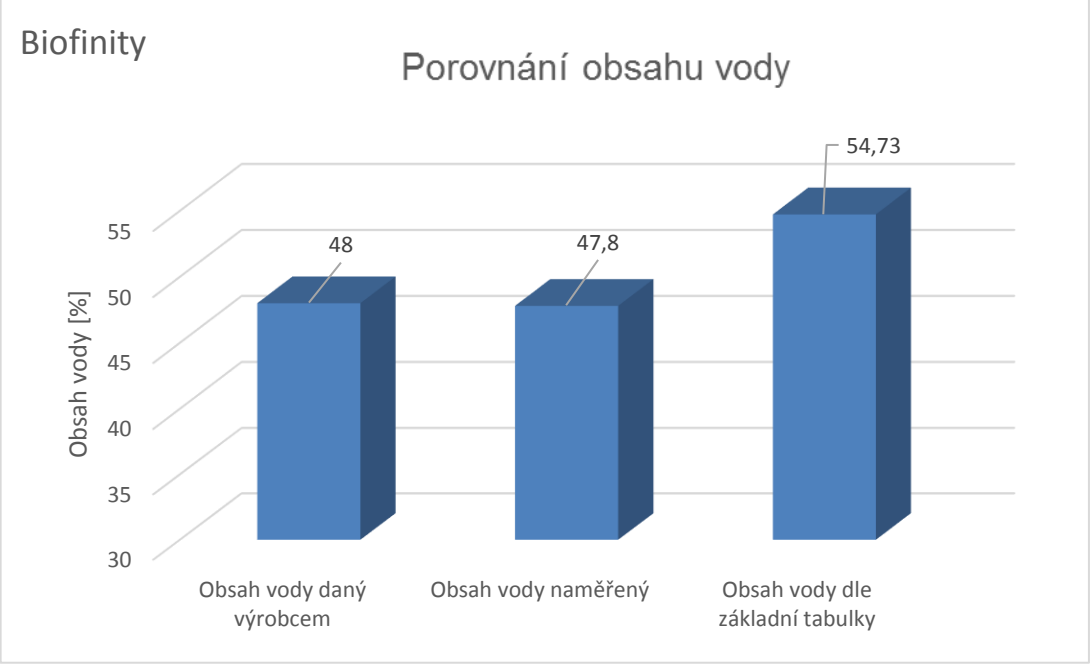
V případě čoček True Eye byl opět obsah dle základní tabulky vyšší než ostatní hodnoty, od výrobce se lišil 8% a od naměřených hodnot o 8%.



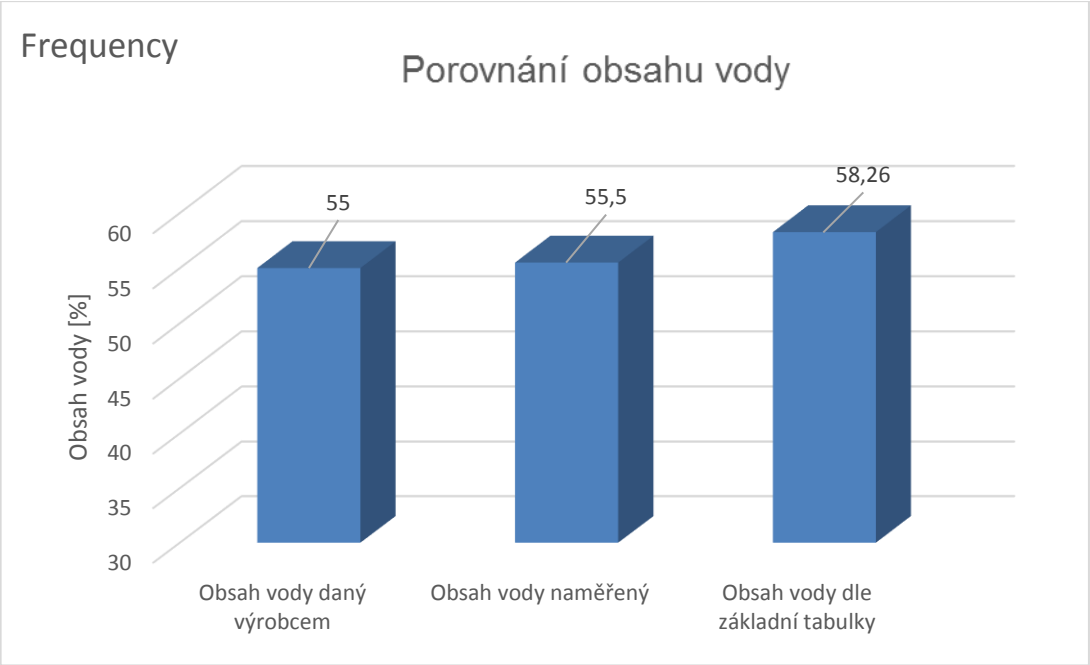
U čoček One Day Acuvue nenastaly tak velké odchylky jako v předchozích případech. Obsah vody ze základní tabulky byl vyšší než daný výrobcem o 5% a o 4% než měřený obsah vody.



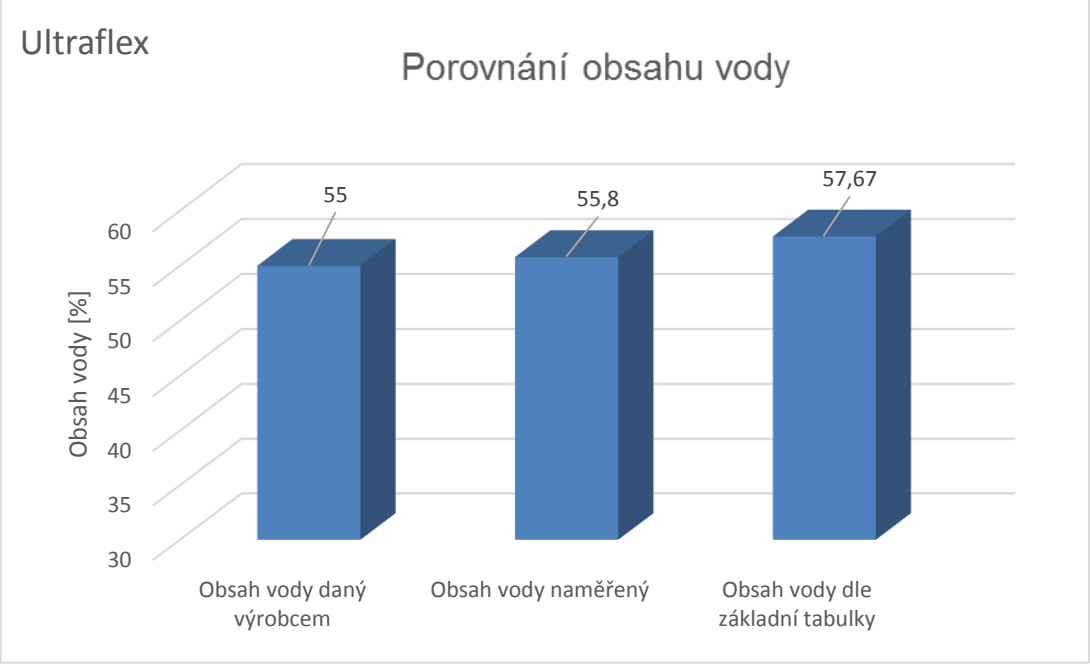
Při porovnávání hodnot čoček Avaira byla hodnota ze základní tabulky vyšší o 11% než hodnota od výrobce a o 10% vyšší než měřený obsah vody.



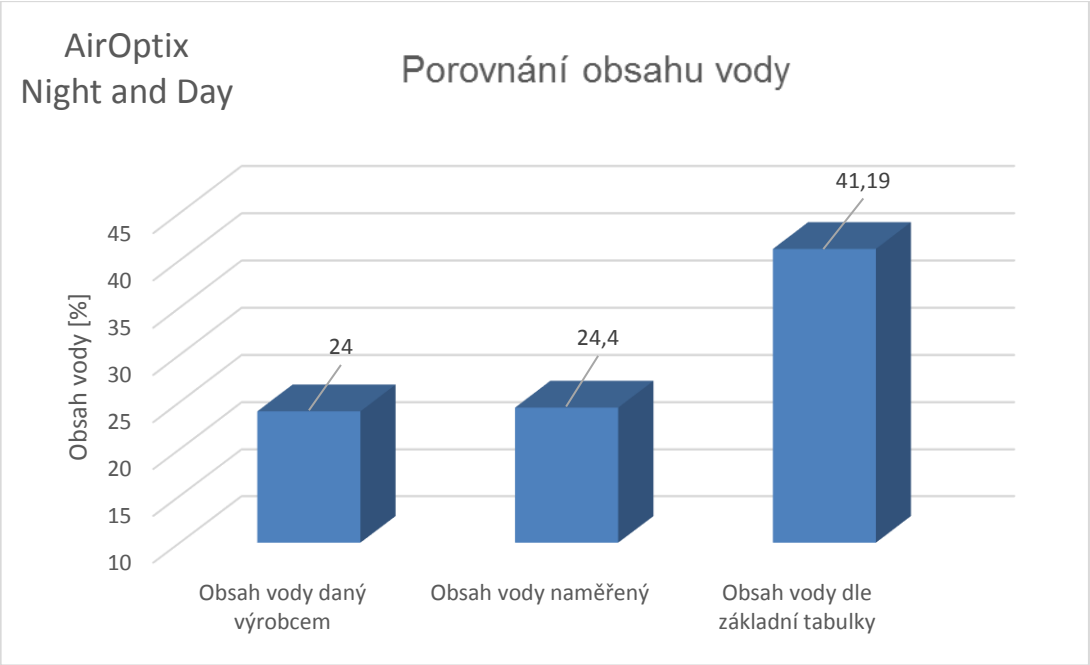
U čoček značky Biofinity byl zjištěn rozdíl 7% mezi hodnotami ze základní tabulky a hodnotami od výrobce a 7% opět mezi hodnotami ze základní tabulky a hodnotami naměřenými. Hodnoty ze základní tabulky byly vyšší oproti ostatním.



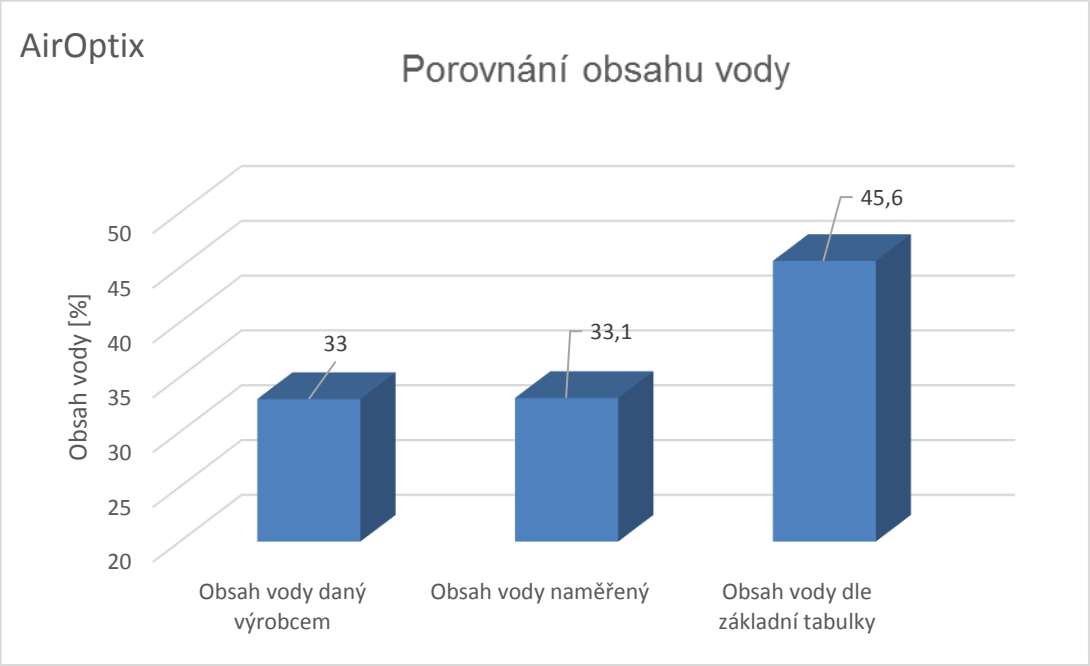
U kontaktních čoček Frequency základní tabulky udávali vyšší hodnotu o 3% než výrobce a vyšší o 3% než byly naměřené odchylky.



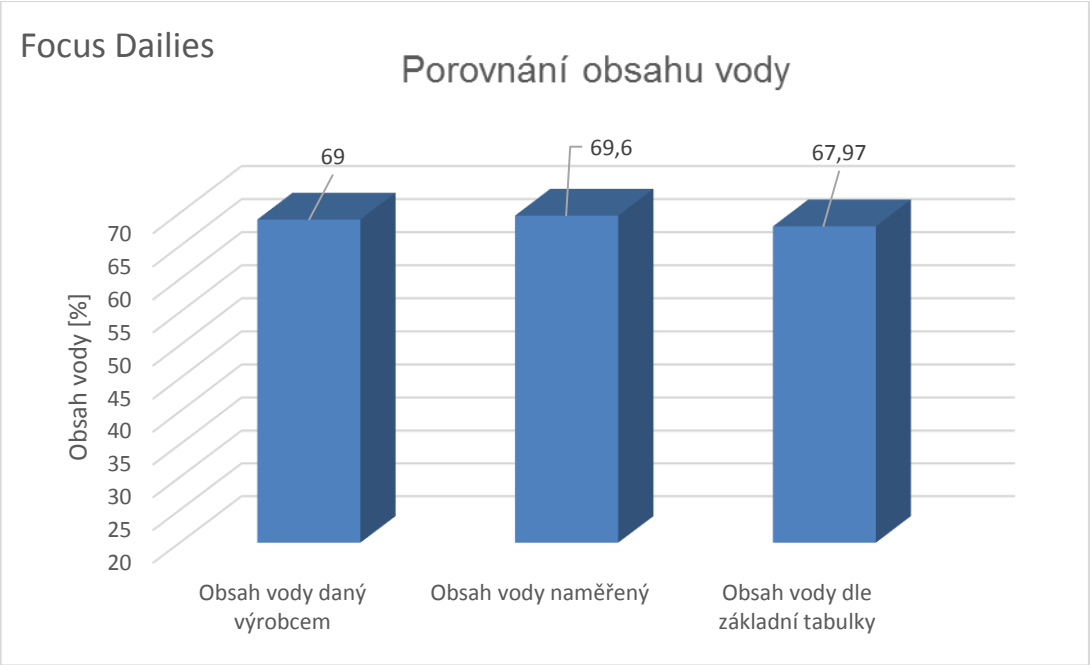
Odchylky u čoček Ultraflex byly poměrně malé. Obsah ze základní tabulky byl vyšší o 3% než obsah daný výrobcem a o 2% vyšší než naměřený obsah.



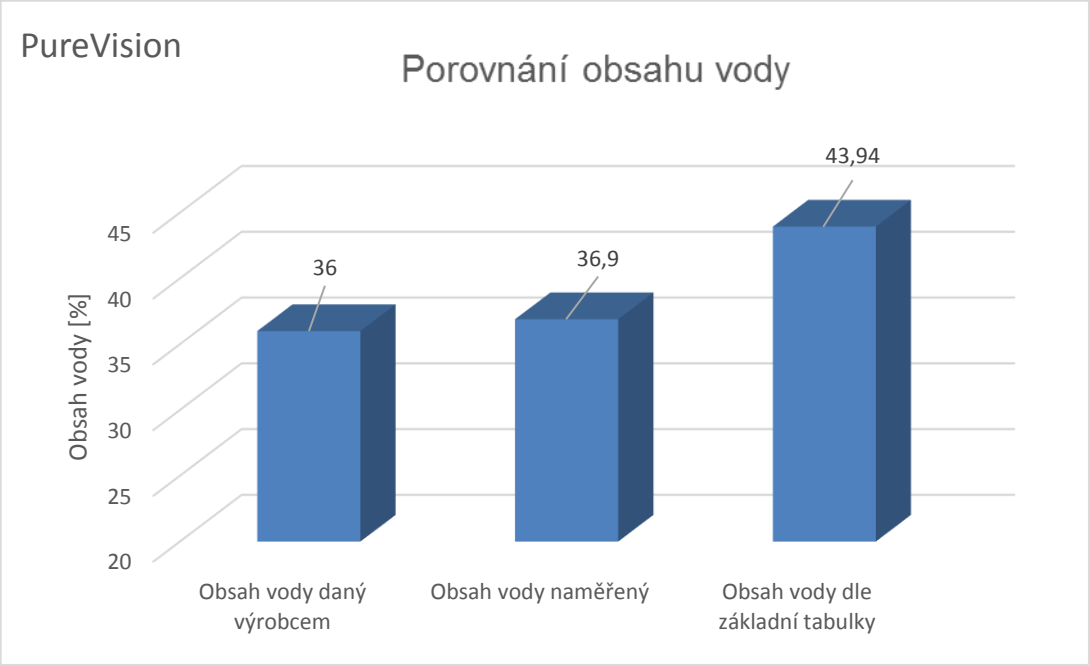
Z grafu je dobře viditelné, že v případě AirOptix Night and Day vykazovaly hodnoty obsahu vody velké odchylky. Hodnoty ze základní tabulky byly o 17% vyšší než hodnoty od výrobce a o 17% vyšší než hodnoty naměřené.



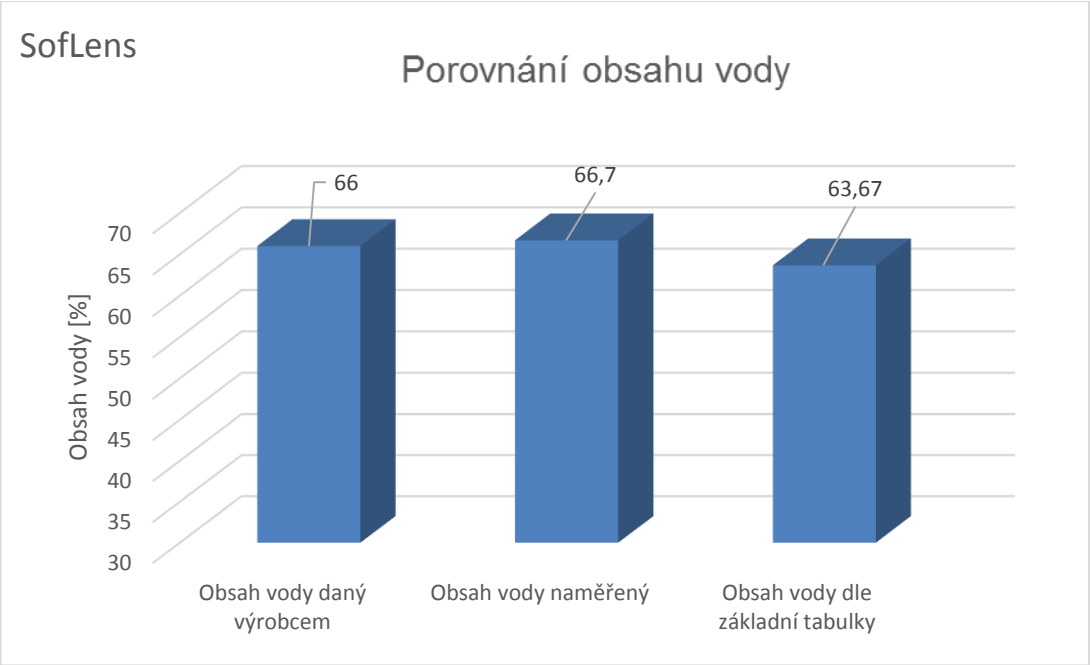
U čoček AirOptix byly opět mezi hodnotami poměrné rozdíly a nejvyšší hodnoty byly opět zaznamenány v základní tabulce. Obsah daný výrobcem se od obsahu ze základní tabulky lišil o 13% a měřený obsah se od základní tabulky lišil o 13%.



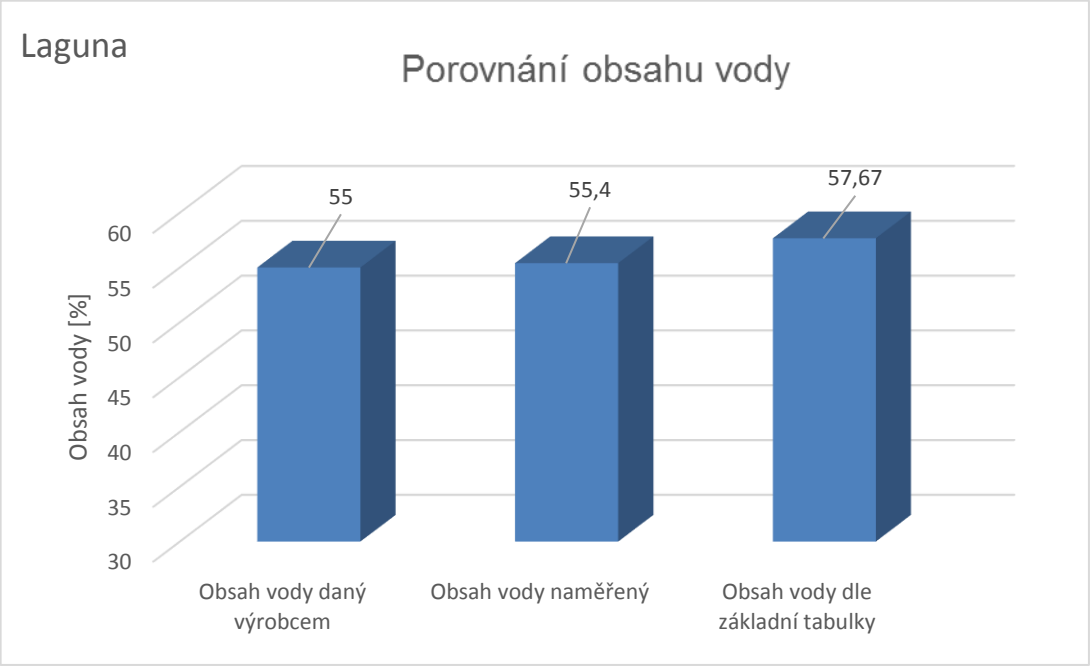
U kontaktních čoček značky Focus Dailies byly zjištěny poměrně malé odchylky. Hodnoty ze základní tabulky byly nejnižší ze všech 3 porovnávaných hodnot. Obsah daný výrobcem byl o 1% vyšší a naměřený obsah byl vyšší o 2% než obsah ze základní tabulky.



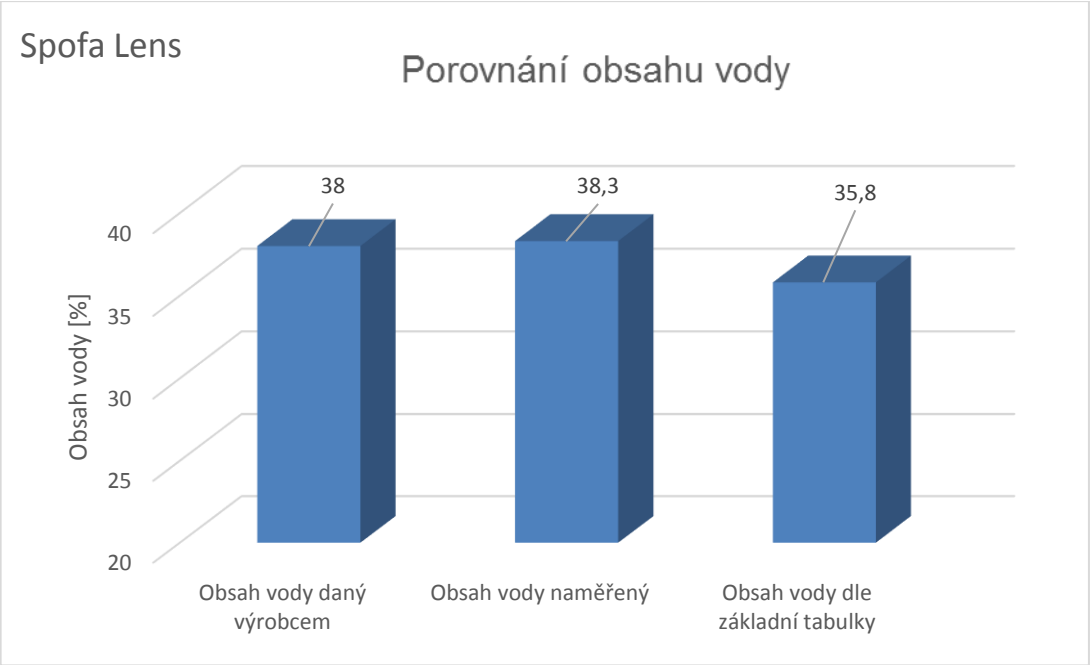
Při porovnávání hodnot u PureVision bylo zjištěno, že hodnoty ze základní tabulky jsou vyšší o 8% než dané hodnoty od výrobce a také jsou vyšší o 7% než naměřené hodnoty obsahu.



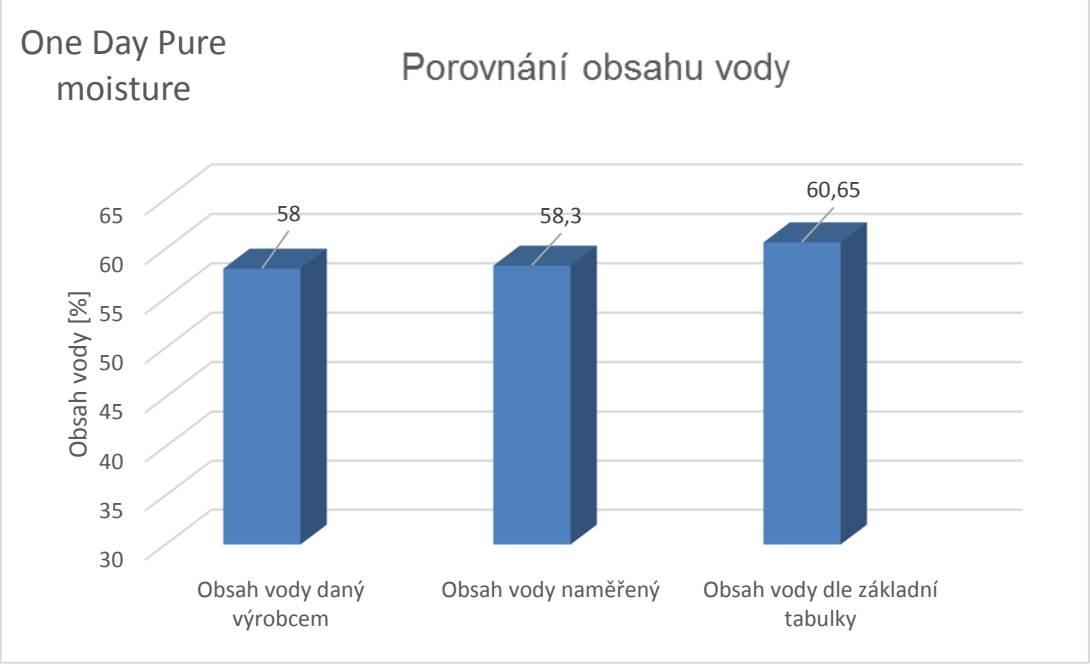
U SofLens byly hodnoty ze základní tabulky opět nejnižší, nejvyšší byly hodnoty naměřené. Obsah od výrobce byl o 2% vyšší a obsah naměřený byl o 3% vyšší než obsah daný ze základní tabulky.



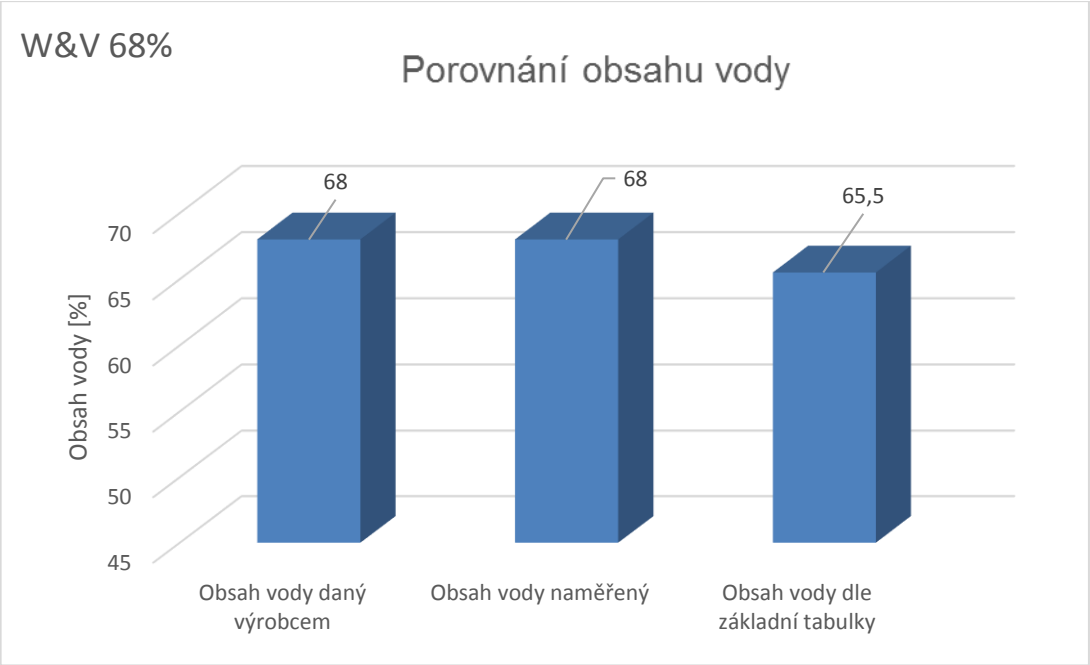
V případě porovnávání kontaktních čoček značky Laguna bylo viditelné, že hodnoty ze základní tabulky byly vyšší o 3% než hodnoty od výrobce a o 2% vyšší než naměřené hodnoty.



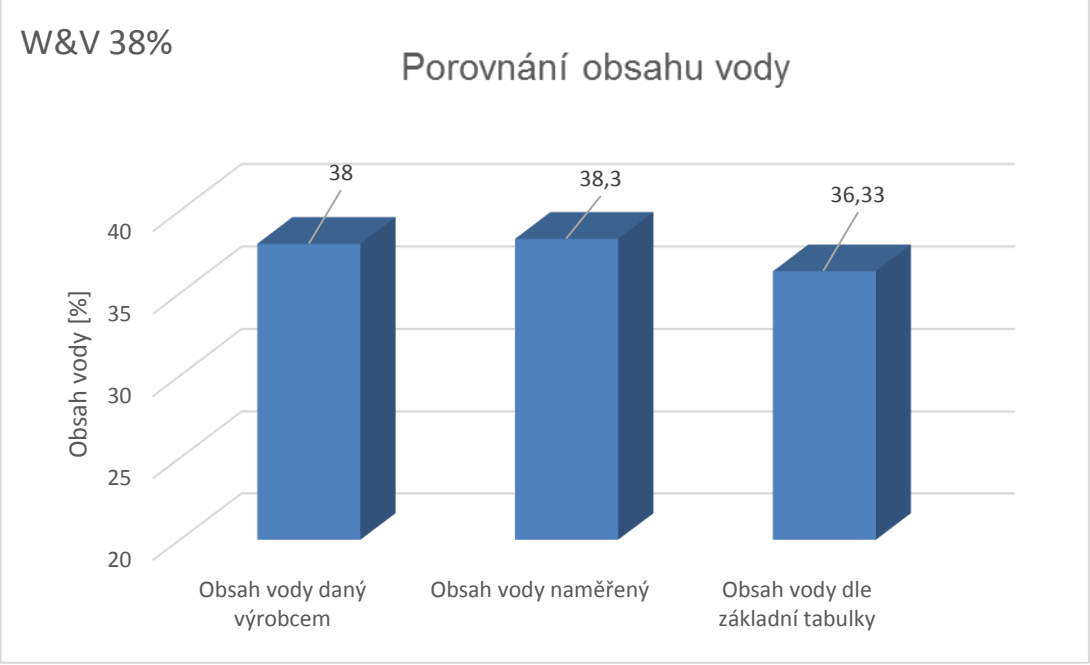
U čoček Spofa Lens nebyly rozdíly výrazně velké. Obsah dle základní tabulky byl nejnižší, nižší o 2% než obsah daný výrobcem a o 23% než naměřený obsah.



V případě čoček One Day Pure moisture byla zjištěna odchylka mezi obsahem vody daným výrobcem a obsahem dle základní tabulky, a to s hodnotou 3%, kde vyšší hodnota byla udaná základní tabulkou a stejně tomu tak bylo i u naměřeného obsahu, kde se však lišila hodnota odchylky. Odchylka v tomto případě byla 2%.



U těchto čoček Wichterle a Vacík je obsah daný výrobcem a naměřený obsah totožný, obsah ze základní tabulky je však menší a to o 3%.



V případě čoček Wichterle a Vacík s obsahem vody daným výrobcem 38%, byl tento údaj obsahu vyšší o 2% než obsah daný tabulkou. Naměřený obsah byl také vyšší a to o 2%.

Příloha 6: Porovnání kopie tabulky z Wichterlovy dokumentace k výrobě litých hydrogelových čoček (uvedenou Z. Krčovou ve své diplomové práci (VŠCHT) v roce 1983) a přepočtové tabulka indexu lomu na obsah vody

Tabulka 3

- 36 -

Závislost indexu lomu na obsahu vody

Předpokládá se index lomu xerogelu 1.511 a jeho hustota 1.276 g/cm

Podle programu č. 92

N	% sušiny	N	% sušiny
1.350	11.87	1.400	43.51
1.351	12.55	1.401	44.10
1.352	13.23	1.402	44.68
1.353	13.91	1.403	45.27
1.354	14.58	1.404	45.85
1.355	15.25	1.405	46.43
1.356	15.92	1.406	47.01
1.357	16.59	1.407	47.59
1.358	17.25	1.408	48.16
1.359	17.92	1.409	48.74
1.360	18.58	1.410	49.31
1.361	19.24	1.411	49.88
1.362	19.89	1.412	50.45
1.363	20.55	1.413	51.02
1.364	21.20	1.414	51.59
1.365	21.85	1.415	52.15
1.366	22.50	1.416	52.71
1.367	23.15	1.417	53.28
1.368	23.80	1.418	53.84
1.369	24.44	1.419	54.40
1.370	25.08	1.420	54.95
1.371	25.72	1.421	55.51
1.372	26.36	1.422	56.06
1.373	27.00	1.423	56.62
1.374	27.63	1.424	57.17
1.375	28.27	1.425	57.72
1.376	28.90	1.426	58.27
1.377	29.53	1.427	58.81
1.378	30.15	1.428	59.36
1.379	30.78	1.429	59.90
1.380	31.40	1.430	60.44
1.381	32.03	1.431	60.98
1.382	32.65	1.432	61.52
1.383	33.26	1.433	62.06
1.384	33.88	1.434	62.60
1.385	34.50	1.435	63.13
1.386	35.11	1.436	63.67
1.387	35.72	1.437	64.20
1.388	36.33	1.438	64.73
1.389	36.94	1.439	65.26
1.390	37.54	1.440	65.79
1.391	38.15		
1.392	38.75		
1.393	39.35		
1.394	39.95		
1.395	40.55		
1.396	41.14		
1.397	41.74		
1.398	42.33		
1.399	42.92		

A	B	C	D
1,333	1,000	0,0000	100,00
1,334	1,002	0,0072	99,28
1,335	1,003	0,0143	98,57
1,336	1,005	0,0214	97,86
1,337	1,006	0,0285	97,15
1,338	1,008	0,0356	96,44
1,339	1,009	0,0426	95,74
1,340	1,011	0,0496	95,04
1,341	1,012	0,0566	94,34
1,342	1,014	0,0636	93,64
1,343	1,016	0,0706	92,94
1,344	1,017	0,0775	92,25
1,345	1,019	0,0845	91,55
1,346	1,020	0,0913	90,87
1,347	1,022	0,0982	90,18
1,348	1,023	0,1051	89,49
1,349	1,025	0,1119	88,81
1,350	1,026	0,1187	88,13
1,351	1,028	0,1255	87,45
1,352	1,029	0,1323	86,77
1,353	1,031	0,1391	86,09
1,354	1,033	0,1458	85,42
1,355	1,034	0,1525	84,75
1,356	1,036	0,1592	84,08
1,357	1,037	0,1659	83,41
1,358	1,039	0,1725	82,75
1,359	1,040	0,1792	82,08
1,360	1,042	0,1858	81,42
1,361	1,043	0,1924	80,76
1,362	1,045	0,1989	80,11
1,363	1,047	0,2055	79,45
1,364	1,048	0,2120	78,80
1,365	1,050	0,2185	78,15
1,366	1,051	0,2250	77,50
1,367	1,053	0,2315	76,85
1,368	1,054	0,2380	76,20
1,369	1,056	0,2444	75,56
1,370	1,057	0,2508	74,92
1,371	1,059	0,2572	74,28
1,372	1,060	0,2636	73,64
1,373	1,062	0,2700	73,00
1,374	1,064	0,2763	72,37
1,375	1,065	0,2827	71,73
1,376	1,067	0,2890	71,10
1,377	1,068	0,2953	70,47
1,378	1,070	0,3015	69,85
1,379	1,071	0,3078	69,22
1,380	1,073	0,3140	68,60
1,381	1,074	0,3203	67,97
1,382	1,076	0,3265	67,35
1,383	1,078	0,3326	66,74
1,384	1,079	0,3388	66,12
1,385	1,081	0,3450	65,50
1,386	1,082	0,3511	64,89
1,387	1,084	0,3572	64,28
1,388	1,085	0,3633	63,67
1,389	1,087	0,3694	63,06

1,390	1,088	0,3754	62,46
1,391	1,090	0,3815	61,85
1,392	1,091	0,3875	61,25
1,393	1,093	0,3935	60,65
1,394	1,095	0,3995	60,05
1,395	1,096	0,4055	59,45
1,396	1,098	0,4114	58,86
1,397	1,099	0,4174	58,26
1,398	1,101	0,4233	57,67
1,399	1,102	0,4292	57,08
1,400	1,104	0,4351	56,49
1,401	1,105	0,4410	55,90
1,402	1,107	0,4468	55,32
1,403	1,109	0,4527	54,73
1,404	1,110	0,4585	54,15
1,405	1,112	0,4643	53,57
1,406	1,113	0,4701	52,99
1,407	1,115	0,4759	52,41
1,408	1,116	0,4816	51,84
1,409	1,118	0,4874	51,26
1,410	1,119	0,4931	50,69
1,411	1,121	0,4988	50,12
1,412	1,122	0,5045	49,55
1,413	1,124	0,5102	48,98
1,414	1,126	0,5159	48,41
1,415	1,127	0,5215	47,85
1,416	1,129	0,5271	47,29
1,417	1,130	0,5328	46,72
1,418	1,132	0,5384	46,16
1,419	1,133	0,5440	45,60
1,420	1,135	0,5495	45,05
1,421	1,136	0,5551	44,49
1,422	1,138	0,5606	43,94
1,423	1,140	0,5662	43,38
1,424	1,141	0,5717	42,83
1,425	1,143	0,5772	42,28
1,426	1,144	0,5827	41,73
1,427	1,146	0,5881	41,19
1,428	1,147	0,5936	40,64
1,429	1,149	0,5990	40,10
1,430	1,150	0,6044	39,56
1,431	1,152	0,6098	39,02
1,432	1,154	0,6152	38,48
1,433	1,155	0,6206	37,94
1,434	1,157	0,6260	37,40
1,435	1,158	0,6313	36,87
1,436	1,160	0,6367	36,33
1,437	1,161	0,6420	35,80
1,438	1,163	0,6473	35,27
1,439	1,164	0,6526	34,74
1,440	1,166	0,6579	34,21
1,441	1,167	0,6632	33,68
1,442	1,169	0,6684	33,16
1,443	1,171	0,6736	32,64
1,444	1,172	0,6789	32,11
1,445	1,174	0,6841	31,59
1,446	1,175	0,6893	31,07
1,447	1,177	0,6945	30,55

1,448	1,178	0,6996	30,04
1,449	1,180	0,7048	29,52
1,450	1,181	0,7099	29,01
1,451	1,183	0,7151	28,49
1,452	1,185	0,7202	27,98
1,453	1,186	0,7253	27,47
1,454	1,188	0,7304	26,96
1,455	1,189	0,7354	26,46
1,456	1,191	0,7405	25,95
1,457	1,192	0,7456	25,44
1,458	1,194	0,7506	24,94
1,459	1,195	0,7556	24,44
1,460	1,197	0,7606	23,94
1,461	1,198	0,7656	23,44
1,462	1,200	0,7706	22,94
1,463	1,202	0,7756	22,44
1,464	1,203	0,7805	21,95
1,465	1,205	0,7855	21,45
1,466	1,206	0,7904	20,96
1,467	1,208	0,7953	20,47
1,468	1,209	0,8002	19,98
1,469	1,211	0,8051	19,49
1,470	1,212	0,8100	19,00
1,471	1,214	0,8149	18,51
1,472	1,216	0,8197	18,03
1,473	1,217	0,8246	17,54
1,474	1,219	0,8294	17,06
1,475	1,220	0,8342	16,58
1,476	1,222	0,8391	16,09
1,477	1,223	0,8439	15,61
1,478	1,225	0,8486	15,14
1,479	1,226	0,8534	14,66
1,480	1,228	0,8582	14,18
1,481	1,229	0,8629	13,71
1,482	1,231	0,8677	13,23
1,483	1,233	0,8724	12,76
1,484	1,234	0,8771	12,29
1,485	1,236	0,8818	11,82
1,486	1,237	0,8865	11,35
1,487	1,239	0,8912	10,88
1,488	1,240	0,8958	10,42
1,489	1,242	0,9005	9,95
1,490	1,243	0,9051	9,49
1,491	1,245	0,9098	9,02
1,492	1,247	0,9144	8,56
1,493	1,248	0,9190	8,10
1,494	1,250	0,9236	7,64
1,495	1,251	0,9282	7,18
1,496	1,253	0,9327	6,73
1,497	1,254	0,9373	6,27
1,498	1,256	0,9418	5,82
1,499	1,257	0,9464	5,36
1,500	1,259	0,9509	4,91
1,501	1,260	0,9554	4,46
1,502	1,262	0,9599	4,01
1,503	1,264	0,9644	3,56
1,504	1,265	0,9689	3,11
1,505	1,267	0,9734	2,66

1,506	1,268	0,9779	2,21
1,507	1,270	0,9823	1,77
1,508	1,271	0,9867	1,33
1,509	1,273	0,9912	0,88
1,510	1,274	0,9956	0,44
1,511	1,276	1,0000	0,00

F	
1,333	Index lomu vody
1,000	Hustota vody
1,511	Index lomu xerogelu
1,276	Hustota xerogelu

A1=F1 B1=F2
A2=A1+0,001 B2=B1+(F4-F2)/(F3-F1)/100
D1=100-C1x100 C1=(A1/B1-F1/F2)/(F3/F4-F1/F2)

n*(mx+mv)/rogel=nx*mx/rox+nv*(1-
mx)/rov
mv=1-
mx

Sloupec A ..... Index lomugelu
Sloupec B ..... Hustota gelu
Sloupec C ..... Podíl sušiny (0-1)
Sloupec D ..... Obsah vody v gelu