

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

**ANNA
HÁJKOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů

Komerční kontaktní čočky s UV blokátory

Commercial contact lenses with UV blockers

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Anna Hájková

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Michálek, CSc.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hájková** Jméno: **Anna** Osobní číslo: **496231**
 Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
 Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**
 Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
 Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Komerční kontaktní čočky s UV blokátory

Název bakalářské práce anglicky:

Commercial contact lenses with UV blockers

Pokyny pro vypracování:

Uveďte možnosti ohrožení předního segmentu oka UV zářením a jeho potenciální důsledky. Diskutujte možnosti ochrany oka před UV zářením, včetně brýlových a kontaktních čoček. Proveďte rešerši na téma měkké hydrofilní kontaktní čočky s UV blokátory. Proveďte rešerši na téma UV blokátorů, jejich struktury, účinku a začlenění do materiálu čočky. Vypracujte tabulku s aktuálním přehledem kontaktních čoček s UV blokátory na našem trhu. Na vzorku dostupných čoček proveďte měření absorpance/transmitance pomocí UV-VIS spektrometru.

Seznam doporučené literatury:

- [1] EFRON, N., Contact lens practice, ed. 3, Edinburgh: Elsevier, 2018, ISBN 978-0-7020-6660-3
- [2] PHILLIPS, A.J., SPEEDWELL, L., Contact Lenses, ed. 1st, Elsevier Butterworth Heineman, 2007, ISBN 978-0-7506-8818-5
- [3] ČEJKA, Č., PLÁTENÍK, J., ŠIRC, J., ARDAN, T., MICHÁLEK, J., BRŮNOVÁ, B., ČEJKOVÁ, J., Changes of corneal optical properties after UVB irradiation investigated spectrophotometrically, Physiological Research. , ročník 59, číslo 4, 2010, 591-597 s.
- [4] HARRIS M. G., CHIN 'S R. S., LEE, D. S., TAROT, M. H., DOBKINS, C. E., Ultraviolet transmittance of the Vistakon disposable contact lenses, Contact Lens and Anterior Eye , ročník 23, číslo 3, 2000, 10-15 s.
- [5] ČEJKA, Č., PLÁTENÍK, J., BUCHAL, R., GURYČA, V., ŠIRC, J., VEJRAŽKA, M., CRKOVSKÁ, J., ARDAN, T., MICHÁLEK, J., BRŮNOVÁ, B., ČEJKOVÁ, J., Effect of Two Different UVA Doses on the Rabbit Cornea and Lens, Photochemistry and Photobiology, ročník 85, číslo 3, 2008, 794-800 s.

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jiří Michálek, CSc.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2023**

prof. RNDr. MUDr. Petr Maršálek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

Název bakalářské práce: Komerční kontaktní čočky s UV blokátory

Abstrakt:

Práce se zabývá UV zářením a jeho vlivem na lidský organismus. Dále se věnuje očním patologiím, které jsou spojené s expozicí UV záření a uvádí jednotlivé možnosti ochrany očí. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části čtenáře seznamuji s UV zářením, očními patologiemi a ochranou oka pomocí brýlí a kontaktních čoček s UV blokátory. Následuje popis spektrofotometrické metody, na který navazuje praktická část. V praktické části je uvedena aktuální tabulka kontaktních čoček s UV blokátory na českém trhu. Součástí praktické části jsou kalibrační křivky nejčastěji používaných UV blokujících látek a absorpční spektra naměřená u vybraných kontaktních čoček. Z těchto údajů jsou vypočítané přibližné koncentrace UV blokujících látek u vybraných kontaktních čoček. Koncentrace benzofenonu v materiálu kontaktních čoček dosahuje hodnot 0,002 hm. %. U kontaktních čoček s UV blokátorem na bázi benzotriazolu předpokládám koncentraci této látky v rozmezí 0,006-0,014 hm. % v závislosti na typu čočky. Naměřené hodnoty transmitance a hodnoty propustnosti udávané výrobcem se v menší míře liší, především v UVA oblasti záření.

Klíčová slova:

UV záření, Patologie oka, Kontaktní čočky, UV ochrana oka

Bachelor's Thesis title: Commercial contact lenses with UV blockers**Abstract:**

The thesis deals with UV radiation and its effect on the human body. It also discusses ocular pathologies that are associated with UV exposure and presents various options for eye protection. The work is divided into theoretical and practical parts. The theoretical part introduces UV radiation, ocular pathologies and eye protection using glasses and contact lenses with UV blockers. Then there is a description of the spectrophotometric method, followed by the practical part. In the practical part, the current table of contact lenses with UV blockers on the Czech market is presented. The practical part includes calibration curves of the most commonly used UV blocking agents and absorption spectra measured for selected contact lenses. From these data, the approximate concentrations of UV blocking agents for selected contact lenses are calculated. The concentration of benzophenone in the contact lens material is 0,002 wt.%. For contact lenses with a UV blocker based on benzotriazole, I assume a concentration of this substance in the range of 0,006-0,014 % wt. %, depending on the type of lens. The measured transmittance and transmittance values reported by the manufacturers vary to a small extent, especially in the UVA region.

Key words:

UV radiation, Ocular pathology, Contact lenses, UV protection of the eye

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu práce, Ing. Jiřímu Michálkovi, CSc. za cenné rady a připomínky při zpracování této práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Janu Mikšovskému, Ph.D. za poskytnutí potřebných přístrojů a látek k měření. Poděkování patří i firmám, které mi poskytly kontaktní čočky pro mé měření. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodině za podporu během studia.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem projekt OPT s názvem „*Komerční kontaktní čočky s UV blokátory*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V *Kladně* dne

.....

podpis

Obsah

1. Úvod	10
2. Teoretická část	12
2.1. UV záření	12
2.1.1. UVA	13
2.1.2. UVB	13
2.1.3. UVC	13
2.2. Vliv UV záření na struktury oka	14
2.2.1. Oční víčka	14
2.2.1.1 Bazocelulární karcinom (bazaliom)	15
2.2.2. Spojivka	16
2.2.2.1 Pinguecula	16
2.2.2.2 Pterygium	17
2.2.3. Rohovka	17
2.2.3.1 Fotokeratitida	18
2.2.4 Čočka	18
2.2.4.1 Katarakta	18
2.2.5 Sítnice	19
2.2.5.1 Věkem podmíněná makulární degenerace (VPMD)	21
2.3 Ochrana oka před UV zářením	21
2.3.1 Brýle	22
2.3.1.1 UV filtry	23
2.3.1.2 Samozabarvovací brýlové čočky	25
2.3.1.3 Polarizační brýlové čočky	25
2.3.1.4 Vliv tvaru brýlí na dokonalou ochranu	25
2.3.2. Kontaktní čočky	26
2.3.2.1 Tvrdé nepropustné kontaktní čočky	27
2.3.2.2 Tvrdé plynopropustné kontaktní čočky	28
2.3.2.3 Měkké silikonové kontaktní čočky	29
2.3.2.4 Standardní a výšeboťnavé hydrogelové kontaktní čočky	30

2.3.2.5	Silikonhydrogelové kontaktní čočky.....	32
2.3.2.6	Ochrana oka před UV zářením pomocí kontaktních čoček.....	35
2.3.2.7	UV blokátory	36
2.4	Spektrofotometrie	37
2.4.1	Spektrofotometr	37
2.4.2	Absorbance	38
2.4.3	Transmitance	39
2.4.4	Lambert-Beerův zákon	39
3.	Cíle práce.....	40
4.	Experimentální část	41
4.1	Seznam kontaktních čoček s UV blokátory na českém trhu	41
4.2	Použité přístroje a materiály	43
4.3	Měření transmitance a absorbance	45
4.3.1	Kalibrační křivka UV blokátorů.....	45
4.3.2.	Měření transmitance a absorbance u kontaktních čoček	49
4.4	Výsledky a diskuse	51
6.	Závěr.....	56
	Seznam použité literatury	58
	Seznam symbolů a zkratk	62
	Seznam symbolů.....	62
	Seznam obrázků.....	63
	Seznam tabulek a grafů.....	64
	Přílohy	65

1. Úvod

Hlavním zdrojem UV záření je Slunce. Po vyzáření jsou paprsky této části elektromagnetického spektra částečně atmosférou pohlceny a jejich zbytek následně dopadá na zemský povrch. Na ochraně před ultrafialovým zářením se především podílí ozonová vrstva, která se vlivem technické činnosti lidské populace ztenčovala, čímž se svého času snížila i její ochranná funkce pro zemský povrch a organismy na něm žijící. Za poškození ozonové vrstvy stálo hlavně vypouštění halogenderivatů uhlovodíků, obecně známých jako freony, které se dříve používaly například jako hnací plyny do sprejů nebo náplně systémů chladírenských zařízení. Díky Vídeňské úmluvě a Montrealskému protokolu (1) se podařilo ztenčování ozonové vrstvy a tvorbu ozonových děr zastavit, takže současná pozorování potvrzují trend její regenerace.

Přesto zůstává skutečností, že člověk se každý den vystavuje určité dávce UV záření, která může mít na organismus různé dopady, jak pozitivní, tak negativní. Sluneční záření má podíl na vytváření vitamínu D v kůži, který je nezbytný pro správnou funkci imunitního systému a pro správný růst kostí. Ultrafialové světlo od určité dávky má ale škodlivý účinek na pokožku a rovněž způsobuje řadu očních komplikací. Proto je důležité, aby se člověk před UV zářením náležitě chránil. K ochraně kůže se nabízí krémy s ochranným faktorem.

K omezení průniku ultrafialového záření k očním tkáním můžeme použít několik postupů. Prvním, přirozeným stupněm ochrany je anatomické uspořádání obličeje, přesněji vyklenutý nadočnicový oblouk a obočí, které částečně oči chrání před přímým sluncem. Kontakt očí s přímým světlem můžeme zabránit pomocí štítku čepice nebo krempy klobouku nebo jinou vhodnou úpravou pokrývky hlavy (kefija, háik). (2, 3) Snížit množství pronikajícího světla do oka nám pomáhají i přirozené reflexy (mrkání, přivírání víček, zúžení zornice). Nejčastějším způsobem protekce bývá nošení slunečních brýlí s UV filtrem. UV filtry se dělí do 5 kategorií (0-4) na základě propustnosti světla. Obecně platí, že s rostoucí kategorií UV filtru se zvyšuje zabarvení čočky, které snižuje propustnost světla daného materiálu. Kategorii UV filtru volíme podle toho, k jakému účelu budou brýle využívány. Nejsilnější UV filtr volíme u brýlí, které jsou určeny k protekci očí při pobytu na horách či na lodi, kde je expozice UV záření téměř dvojnásobná. Nejpoužívanější kategorií UV filtru u slunečních brýlí je kategorie 3, která je vhodná pro

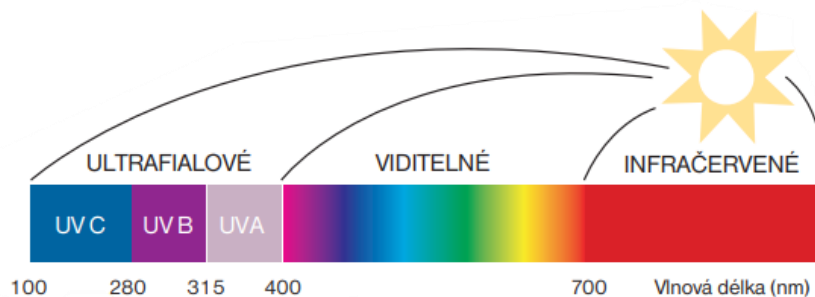
běžné nošení. Dostačující UV filtr většinou mají i levné brýle zakoupené v nespecializované prodejně. Takové brýle nejsou certifikované a negarantují maximální UV ochranu. Sluneční brýle „z optiky“ jsou odborně vyrobeny za použití kvalitních materiálů. Tím je ve výsledku docíleno lepších optických vlastností zabroušených čoček a jejich delší životnosti. U brýlí představuje největší problém odraz periferních paprsků od zadní plochy čočky. Odražené paprsky následně dopadají na oko a mohou zornicí projít i do jeho vnitřních struktur. Proto je třeba v prostředí s opravdu vysokou úrovní UV záření (např. hory pod sněhovou pokrývkou) používat brýle tvarované tak, aby eliminovaly vstup periferních paprsků. Kontaktní čočky nezakrývají celý přední segment oka, přesto mohou v kombinaci se slunečními brýlemi, nebo do určité míry i samotné absorbovat škodlivé záření, pokud jejich materiál obsahuje UV blokátory. Jaká je nabídka takových kontaktních čoček na českém trhu a jak jsou jednotlivé typy účinné, budu diskutovat v experimentální části této práce.

Touto prací bych ráda zdůraznila nebezpečné účinky UV záření a zhodnotila současně dostupná řešení, jak se proti němu co nejúčinněji bránit. Zároveň bych chtěla poukázat na možnost účinné ochrany před jeho vlivem prostřednictvím kontaktních čoček s UV blokátory.

2. Teoretická část

2.1. UV záření

Ultrafialové záření je část elektromagnetického spektra o kratší vlnové délce (100-400 nm) než má viditelné světlo (400-760 nm). Hlavním zdrojem UV záření je Slunce. Mezi další zdroje můžeme zařadit vysokotlakové a nízkotlakové rtuťové výbojky či obloukové lampy. UV záření rozdělujeme do 3 základních skupin klasifikovaných podle jejich vlnové délky. Nazýváme je dlouhovlnné UVA záření (400-315 nm), středněvlnné UVB záření (315-280 nm) a krátkovlnné UVC záření (280-100 nm). (4–6)



Obrázek 1: Spektrum elektromagnetického záření.

Převzato z: UV záření a oko [online]. (7)

Na zemský povrch se dostává UVA a UVB záření. Třetí složka ultrafialového záření je v atmosféře zcela absorbována zásluhou ozonové vrstvy. Průnik této části elektromagnetického spektra k povrchu země je dále ovlivněn několika faktory. Množství dopadajícího UV záření se mění podle umístění slunce na obloze, a to jak podle denního času, tak podle zeměpisné šířky. Ve středních zeměpisných šířkách je intenzita UV záření největší v poledne v letním období, kdy mají sluneční paprsky nejpřímější cestu k Zemi. Pokud sluneční paprsky míří k oblastem umístěným blíže k rovníku, urazí při průletu atmosférou kratší vzdálenost, přičemž bude absorbováno menší množství škodlivého UV záření. Menší množství záření je pohlceno i u míst s vyšší nadmořskou výškou. Intenzitu dopadajícího UV záření mohou značně snížit i klimatické podmínky (oblačnost, déšť, mlha). Nesmíme však opomenout, že celkovou úroveň UV záření výrazně zvyšují odrazy od jednotlivých ploch. Například čerstvě napadaný sníh může odrazit až 80 %, suchý písek okolo 15 % a vodní hladina přibližně 25 % dopadajícího UV záření. (4–6, 8, 9)

2.1.1. UVA

UVA je dlouhovlnné ultrafialové záření, tvořící 95 % veškerého UV záření dopadajícího na zemský povrch. Dosahuje vlnových délek v rozmezí 315-400 nm. Tato oblast záření může být dále členěna na UVA-I (340-400 nm) a UVA-II (315-340 nm). Delší vlnová délka zapříčiní, že záření se dostává do větší hloubky tkáně. (10) Působení UVA na kůži se projevuje erytémem pokožky a její následnou přechodnou pigmentací, která vzniká produkcí melaninu v kožních buňkách. Pigmentace kůže brání dalšímu pronikání UVA do hlubších vrstev kůže. Dlouhodobé vystavování UVA záření může přispívat ke stárnutí kůže, vzniku vrásek a zvyšuje riziko vzniku rakoviny kůže. Přestože by se člověk měl před tímto škodlivým zářením chránit, je tato skupina záření používána v soláriích. UVA záření stejně jako UVB je využíváno ve fototerapiích. (5, 6, 8–11)

2.1.2. UVB

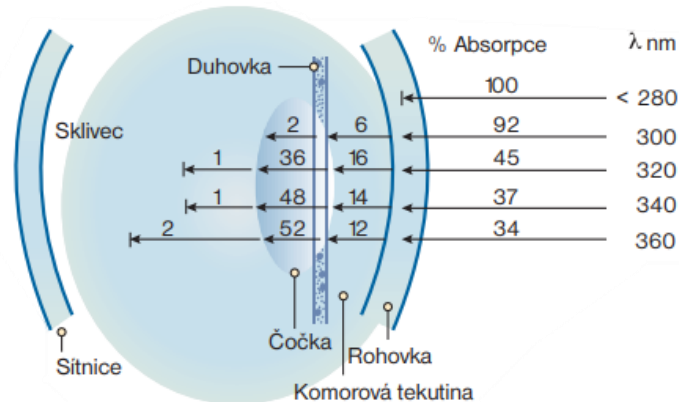
UVB je ultrafialové záření charakterizované rozmezím vlnových délek 280-315 nm. Obecně platí, že se snižující vlnovou délkou roste energie záření a zároveň jeho schopnost organismus poškodit. Záření ale neproniká do hlubších vrstev tkáně. (10) UVB záření tedy významněji ohrožuje člověka než UVA záření. Naštěstí je velká část UVB záření (až 70 %) v atmosféře absorbována. Tato část ultrafialového vlnění zasahující vrchní vrstvu pokožky (epidermis) způsobuje akutní a chronické poškození kůže a také její stárnutí. Po delším vystavení UVB záření mohou na pokožce vznikat puchýře. Bylo prokázáno, že toto středněvlnné ultrafialové záření přispívá k progresi melanomu. (5–8, 12)

2.1.3. UVC

Krátkovlnné UVC záření, někdy označováno také jako germicidní má vlnovou délku 280-100 nm. UVC je zcela absorbováno ozonovou vrstvou, a proto nedopadá na zemský povrch. Kdyby tato část ultrafialového záření prošla skrze atmosféru až na Zemi, její dopad na organismus by byl svými důsledky nejzávažnější. UVC záření prokazatelně poškozuje DNA a je pro živé organismy karcinogenní. V dnešní době má toto záření využití v germicidních lampách, které se používají ke sterilizaci laboratoří, operačních sálů a dalších prostorů. Personál obsluhující přístroje využívající UV záření musí být před jeho vlivem náležitě ochráněn, dostupnými ochrannými prostředky. (5, 6, 13)

2.2. Vliv UV záření na struktury oka

Vliv ultrafialového záření na organismus závisí na délce expozice, intenzitě a energii záření. Energie záření s rostoucí vlnovou délkou klesá. Z toho vyplývá, že oční tkáň je více ohrožena působením UVB záření než UVA. Účinek záření je dále ovlivněn citlivostí organismu na dané vlnění a schopností jednotlivých tkání záření absorbovat. U oka je absorpce nejvýznamnější u rohovky a oční čočky. Rohovka absorbuje většinu záření o vlnové délce kratší než 300 nm. Zásluhou čočky je pohlceno záření s vlnovou délkou pod 370 nm. (obrázek 2) Nadměrná expozice UV záření může podporovat rozvoj patologických stavů oka. (7, 9)



Obrázek 2: Nitrooční filtrace UV záření očními tkáněmi.

Převzato z: UV záření a oko [online]. (7)

2.2.1. Oční víčka

Oční víčka jsou zploštělé útvary ohraničující oční štěrbinu. Skelet víčka je tvořen pevnou vazivovou destičkou (tarzem), kterou ze zevní strany pokrývá jemná kůže a z vnitřní strany tarzální spojivka. Vnitřní strukturu víček dále tvoří podkožní vazivo, hladké a příčně pruhované svaly. Na okraji víček nalezneme vyrůstající řasy (cilie) a vyústění Meibomských žláz. U kořenů řas se nacházejí Mollovy a Zeisovy žlázy. (14–17)

Tato struktura zajišťuje mechanickou ochranu očního bulbu ze přední strany očníce a rovnoměrné rozptřeni slzného filmu na povrchu oka. Dále oční víčka chrání oko před přímým

slunečním zářením a tím eliminují množství UV záření pronikajícího do oka. Při nedostatečné ochraně oka a očního okolí ochrannými pomůckami může UV záření způsobit patologie očních víček. Dlouhodobé vystavování očních víček UV záření může podmiňovat vznik bazaliomu. (9, 14, 16, 17)

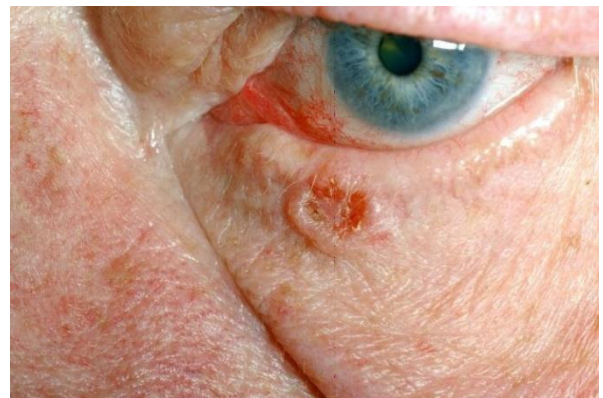
2.2.1.1 Bazocelulární karcinom (bazaliom)

Bazaliom je nejčastější zhoubný nádor kůže a představuje 90 % maligních nádorů víček. Příčina onemocnění není dodnes objasněná. Hlavním etiologickým faktorem je dlouhodobá expozice pokožky škodlivému UV záření, proto spíše postihuje starší populaci. Toto onemocnění není bolestivé a v průběhu dochází i k zdánlivému hojení, proto je tato patologie často diagnostikována až po delší době. Nejčastěji se vyskytuje na dolním víčku či ve vnitřním koutku oka, ale v podstatě ho můžeme nalézt kdekoliv. Bazocelulární karcinom je pomalu rostoucí nádor. Zpočátku má podobu malého vředu s vyvýšenými okraji. S postupem času se může tento útvar zvětšovat, ulcerovat a na jeho povrchu se mohou tvořit krusty. Nádor prakticky nemetastazuje, ale hrozí zde riziko prorůstání do hlubších vrstev pokožky či do očnice. Agresivní zasažení očnice indikuje její excenteraci. V raných stádiích se provádí chirurgická excize, u pozdějších forem přenos kůže z jiné oblasti. (9, 14, 15, 18)



Obrázek 3: Exulcerovaný bazocelulární karcinom dolního víčka.

Převzato z: Kuchyňka, Pavel. Oční lékařství, 2007. (13)



Obrázek 4: Bazaliom očního víčka.

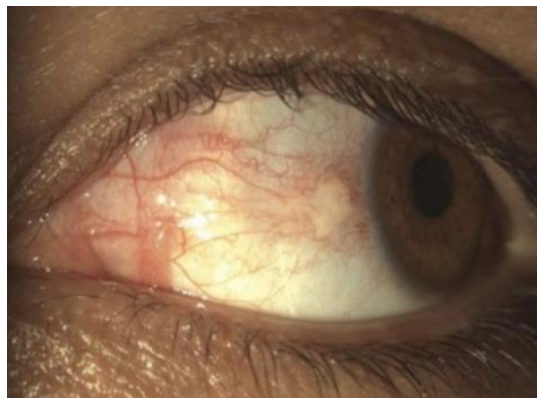
Převzato z: Bazaliom [online]. (18)

2.2.2. Spojivka

Spojivka je tenká transparentní slizniční membrána pokrývající bělimu (bulbární spojivka) a vnitřní část očního víčka (palpebrální spojivka). Mezi víčkovou a bulbární spojivkou se nachází spojivkový vak. Konjunktiva se skládá z vícevrstevného, nerohovějícího, dlaždicového epitelu, bazální membrány a vazivového stromatu složeného z řídkého kolagenního vaziva. Povrchová vrstva spojivky prochází častou obměnou svých buněk, pomocí které je schopná poměrně rychle regenerovat. Přesto se můžeme setkat s patologiemi spojivky, jejichž vznik výrazně podmiňuje působení UV záření. Mezi tyto spojivkové degenerace řadíme fotokonjunktivitidu, pterygium a pingueculu. (14, 15, 17)

2.2.2.1 Pinguecula

Pinguecula je žlutobělavé hyperplastické ztlustění spojivky nacházející se nejčastěji v nasální a temporální oblasti oční štěrbině v blízkosti limbu rohovky. Tato trojúhelníková struktura na rozdíl od pterygia nepřerůstá přes rohovku. Jedná se o hyalinní degeneraci subepiteliální kolagenní tkáně. (15) Příčina vzniku této degenerace není známá. Předpokládá se, že rozvoj tohoto onemocnění je spojen s věkem a expozicí spojivky slunečnímu záření. Terapie u pingueculy není nutná, pokud pacientovi nepůsobí obtíže. Nejčastější indikací k chirurgické excizi jsou problémy při nošení kontaktních čoček a kosmetické příčiny. (7, 14, 15)

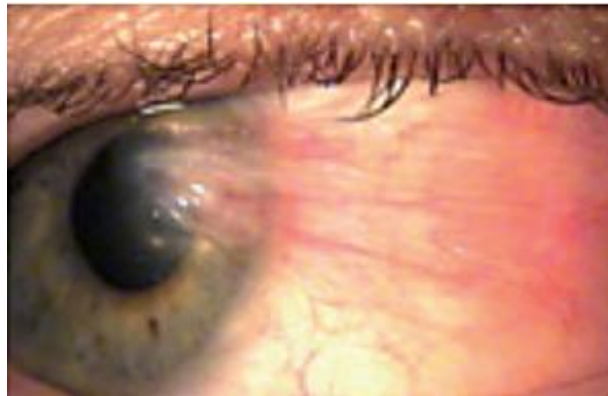


Obrázek 5: Pinguecula.

Převzato z: International Medical Case Reports Journal [online]. 2017, Volume 10, 247–250. (19)

2.2.2.2 Pterygium

Je hyperplazie fibrovaskulární tkáně spojivky ve tvaru křídélka, která přerůstá přes rohovku a může tak zasahovat do zorného pole. Tím dochází ke zmenšení zorné oblasti, případně k zhoršení zrakové ostrosti. Častěji vzniká v nazální části spojivky. Na tomto útvaru rozlišujeme šedou hlavičku pterygia rostoucí k centru rohovky, která je známkou aktivity. S růstem pterygia pravděpodobně dochází k poškozování Bowmanovy membrány rohovky. Tuto degeneraci spojivky nacházíme spíše u lidí žijících v oblastech se zvýšenou expozicí slunečního záření. Terapie této degenerace je chirurgická excize. (7, 14, 15)



Obrázek 6: Pterygium.

Převzato z: UV záření a oko [online]. (7)

2.2.3. Rohovka

Rohovka je bezcévná, transparentní struktura, která je považována za nejcitlivější tkáň v lidském těle. Fyziologická centrální tloušťka rohovky dosahuje hodnot 550 mikrometrů a směrem k periferii narůstá. Ztenčení rohovky (například při keratokonu) může zapříčinit průchod většího množství ultrafialového záření do vnitřní struktury oka. U rohovky rozeznáváme 5 základních vrstev: epitel, Bowmanovu membránu, stroma, Descemetovu membránu a endotel. Jediný epitel má schopnost regenerace. Ostatní vrstvy se po poškození léčí jizvou a tím dochází ke snížení průhlednosti rohovky. Absorpce UV záření je značnější u zevních vrstev rohovky, především u epitelu, který bývá nejčastěji tímto zářením postižen. Typický příklad akutní reakce rohovky na UV záření je fotokeratitida. (7, 14, 15)

2.2.3.1 Fotokeratitida

Fotokeratitida, někdy nazývána také jako *keratitis nivalis* či *keratitis photoelectrica*, je reverzibilní poškození rohovkového epitelu, vyvolané působením nadměrného množství ultrafialového záření na oko. Nižší dávky UV záření mohou vyvolat lehčí formu tohoto postižení. K fotokeratitidě dochází především v prostředí, kde je vysoká odrazivost UV paprsků. Například při lyžování na horách nebo při extrémním slunění na pláži. Častou příčinou bývá sváření bez dostatečné ochrany očí. Na povrchu rohovky dochází ke vzniku menších tečkovitých defektů, které vyvolají dráždění nervových zakončení v rohovce. Tento stav se projevuje velkou bolestí, pocitem zrnka v oku, fotofobií, křečovitým sevřením víček a nadměrným slzením již 6-12 hodin po expozici. K léčbě se uplatňují lubrikancia ve formě gelu, oční masti nebo terapeutické kontaktní čočky. (7, 9, 14, 15, 20)

2.2.4 Čočka

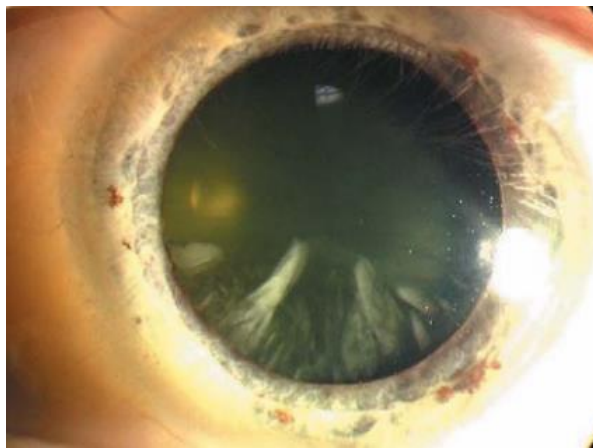
Čočka je transparentní oční struktura bikonvexního tvaru, která tvoří třetinu celkové optické mohutnosti oka, a to přibližně 20 dioptrií. Tato tkáň nemá přímé cévní zásobení ani inervaci. Samotná čočka je složena z čirého pouzdra, epitelu, jádra a kortexu čočky. Je uložena mezi přední membránou sklivce a duhovkou. Ve své pozici je upevněna pomocí Zonulárních vláken, které se upínají k řasnatému tělísku. Čočka je elastický útvar, který mění své zakřivení v důsledku tahu vláken závěsného aparátu. Změnou zakřivení pozměňuje svou lomivost. Tuto schopnost čočky nazýváme akomodace, která se s postupem času zhoršuje. S přibývajícím věkem také klesá průhlednost čočky, primárně kvůli nevratným změnám bílkovin v důsledku stárnutí, vrozené predispozice či dlouhodobé expozice UV záření. Na pokusných zvířatech bylo dokázáno, že expozice UV záření vede ke vzniku katarakty a je zde tedy zřejmá spojitost mezi kataraktou u lidí a ultrafialovým zářením. (7, 14, 15)

2.2.4.1 Katarakta

Katarakta je zákal oční čočky, který bývá spojován s procesem stárnutí, jako jednou z možných příčin. Při tomto procesu dochází ke zhoršení rozptylu procházejících světelných paprsků, transparence a elasticity čočky. Za zkalení mohou ireverzibilní chemické změny proteinů čočky, které jsou vyvolány oxidoredukčními změnami, nahromaděním metabolitů v materiálu

čočky a různými fyzikálními zásahy jako je například UV záření. Rozlišujeme několik typů zkalení oční čočky. S expozicí UV záření bývá spojována kortikální a zadní subkapsulární katarakta, což jsou druhy senilní katarakty. (7, 14, 21)

Kortikální katarakta je zkalení, které postihuje kůru oční čočky (*cortex lenis*). Pro kortikální kataraktu jsou typické trojúhelníkové opacity, které progredují z periferie do centra čočky. Proto na počátku zkalení není postiženo centrální vidění. Ve většině případů kortikální katarakta postihuje obě oči, přičemž na každém oku je různě pokročilá. (14, 15)



Obrázek 7: Kortikální katarakta.

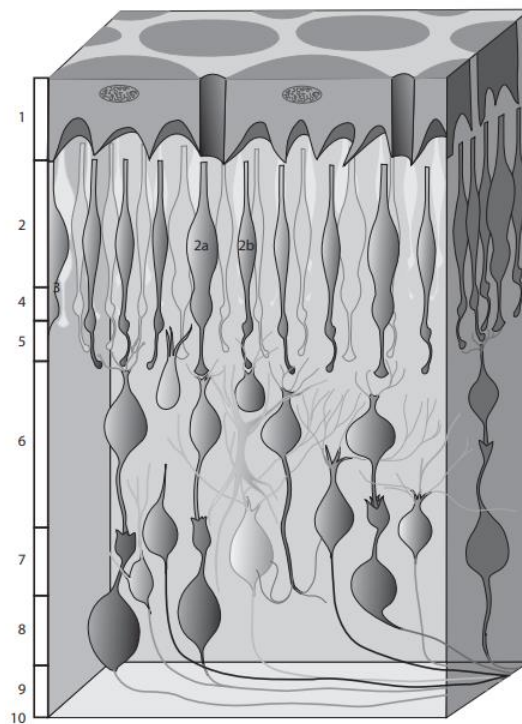
Převzato z: Kuchyňka, Pavel. Oční lékařství, 2007. (14)

Zadní subkapsulární katarakta je zkalení nacházející se před zadním pouzdrém čočky, většinou v místě optické osy. Z počátku pozorujeme jemnou opalescenci v zadní kortikální vrstvě, která postupně progreduje v celistvou neprůhlednou plochu. Vzniká nejen v důsledku stárnutí čočky. Původ zkalení může být také spojován s traumatem, radiačním působením, intraokulárním zánětem či s podáváním kortikosteroidů. (14, 15)

2.2.5 Sítňice

Je jemná blanka tvořící vnitřní vrstvu očního bulbu. Zevní plocha je v kontaktu s cévnatkou, vnitřní se sklivcem. Rozlišujeme na ní dvě části: *pars coeca retinae*, pokrývající zadní plochu duhovky a vnitřní část řasnatého tělíska a *pars optica retinae* doléhající na vnitřní povrch cévnatky. Přejechod mezi těmito částmi nazýváme *orra serrata*. V optické části sítnice se nachází deset vrstev

vzájemně spojených buněk (obrázek 8). Zde najdeme vrstvu fotoreceptorů (tyčinek a čípků), u které začíná proces vidění. Zevní vrstva sítnice je tvořena pigmentovým epitelem, na který může negativně působit UV záření a modré světlo. Působením záření dochází k tvorbě volných kyslíkových radikálů, které jsou pro tyto buňky toxické a mohou vést k jejich apoptóze. Pigmentový epitel se účastní mnoha procesů, které jsou pro funkci fotoreceptorů zásadní. Proto poškození buněk retinálního pigmentového epitelu může přispět k onemocněním centrální části sítnice (např. k věkem podmíněné makulární degeneraci). (14, 15, 22)



1 – pigmentový epitel, 2 – vrstva fotoreceptorů, 2a – čípky, 2b – tyčinky, 3 – membrána limitans externa, 4 – zevní vrstva jádrová, 5 – zevní vrstva plexiformní, 6 – vnitřní vrstva jádrová, 7 – vnitřní vrstva plexiformní, 8 – vrstva gangliových buněk, 9 – vrstva nervových vláken, 10 – membrána limitans interna (14)

Obrázek 8: Vrstvy sítnice.

Převzato z: Kuchyňka, Pavel. Oční lékařství, 2007. (14)

2.2.5.1 Věkem podmíněná makulární degenerace (VPMD)

VPMD je progresivní onemocnění sítnice, které postihuje makulu a způsobuje postupnou ztrátu centrálního vidění. Toto onemocnění je v rozvinutých zemích řazeno mezi časté příčiny nevratné slepoty u starších lidí (nad 65 let). Časné stádium onemocnění je charakterizováno klinickými příznaky jako jsou drúzy a změny pigmentového epitelu sítnice. Pozdní stádium VPMD má dvě formy: vlhkou formu (exsudativní) a suchou formu (atrofickou). Pro suchou formu je typické ztenčování retiny a poškození pigmentového a smyslového epitelu. V oblasti makuly pozorujeme měkké a tvrdé drúzy. Vlhká forma je charakterizována růstem patologických cév, jizvením a krvácením. Suchá forma je častější a postihuje přibližně 90 % všech pacientů. Oba typy VPMD vedou různou rychlostí k praktické slepotě. Existuje řada rizikových faktorů, které ovlivňují progresi a vznik onemocnění. Mezi tyto faktory patří nedostatek pohybu, kouření, nezdravé dietní návyky vedoucí k obezitě, vysoká hladina cholesterolu a také vystavení slunečnímu záření, UV záření nebo modrému světlu. (14, 15, 23)

2.3 Ochrana oka před UV zářením

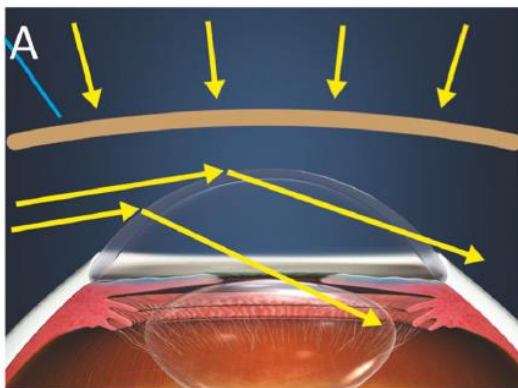
Ultrafialové záření je charakterizováno kratší vlnovou délkou, proto postihuje spíše povrchové tkáně. Nejcitlivější na působení UV záření jsou oči a pokožka, u kterých může docházet ke vzniku patologických stavů v důsledku nadměrné expozice. Náležitou ochranou těchto tkání můžeme zabránit vzniku či progresi jednotlivých degenerací. Částečnou přirozenou ochranu očí nám zajišťuje tvar orbity a obočí, který zabraňuje průniku přímého světla k očím. K odstínění ostrých světelných paprsků nám může dobře posloužit pokrývka hlavy se širokým okrajem. Neúplnou protekci nám obstarává i přivírání víček či reflexní stažení zornic, které sníží množství paprsků pronikajících do vnitřních struktur oka. Mezi nejčastěji používané ochranné pomůcky patří sluneční brýle. Další možností jsou kontaktní čočky blokující UV záření, které částečně ochrání přední segment a vnitřní struktury oka. Kombinací jednotlivých pomůcek můžeme docílit poměrně efektivní ochrany. (7, 9, 22)

V rámci ochrany je doporučováno se vyhnout pobytu venku v poledních hodinách, kdy je UV záření nejintenzivnější. Aktuální UV index v jednotlivých oblastech České republiky můžeme zjistit na webových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu. Na ochranu očí bychom se měli zaměřit především u dětí, které jsou k poškození očních tkání UV zářením náchylnější. To se

vysvětluje širší zornicí a průzračnější oční čočkou dětí a jejich zpravidla delším pobytem venku oproti dospělým. (7, 9, 22)

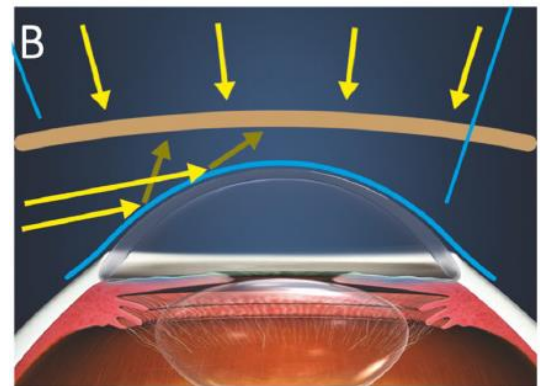
2.3.1 Brýle

Ochranné brýle jsou pomůckou chránící jedince před oslněním a před působením UV záření na oko a oční okolí. Zároveň zajišťují protekci oka před mechanickým a do určité míry i tepelným poškozením. Brýle však neposkytují úplnou ochranu oka a očních adnex, a to kvůli periferním paprskům, které dopadají na oko přímo anebo odrazem od zadní plochy čočky. Periferní paprsky přicházejí do kontaktu s okem především z temporální části. Tyto paprsky můžeme eliminovat uzpůsobením obruby či zachytit kontaktními čočkami s UV blokátory. Ochrana pomocí brýlí a kontaktních čoček s UV blokátory je vyobrazena na Obrázku 10. (7, 24–28)



Obrázek 9: Ochrana oka pomocí slunečních brýlí.

Převzato z: UV light-blocking contact lenses protect against short-term UVB-induced limbal stem cell niche damage and inflammation. *Scientific Reports* [online]. 2018, **8**(1), 12564. (29)



Obrázek 10: Ochrana oka pomocí slunečních brýlí a kontaktní čočky s UV blokátorem

Převzato z: UV light-blocking contact lenses protect against short-term UVB-induced limbal stem cell niche damage and inflammation. *Scientific Reports* [online]. 2018, **8**(1), 12564. (29)

Brýlovou ochranu můžeme rozdělit na sériově vyráběné sluneční brýle a na individuálně zhotovené korekční brýle. Samotný materiál čočky dokáže absorbovat určité spektrum ultrafialového záření. Polykarbonát pohlcuje UV záření do 385 nm, korunové sklo do 300 nm a CR39 do 340 nm. Plast je obecně považován za lepší UV absorbér než sklo. Rozsah ochrany

brýlových čoček závisí na zvoleném indexu lomu čočky. Brýlová skla s indexem lomu 1,5 pohlcují méně ultrafialového záření než čočky s vyšším indexem lomu. (7, 24–28)

Brýlové čočky lze rozdělit do několika skupin. První tvoří číré brýlové čočky. Dále jsou to rovnoměrně zbarvené brýlové čočky, brýlové čočky s gradientním zbarvením, fotochromatické brýlové čočky a polarizační brýlové čočky. Všechny tyto čočky mohou obsahovat UV filtr. UV filtry dělíme do pěti normalizovaných kategorií podle jejich světelné propustnosti. U slunečních brýlí je kategorie UV filtru poznamenána na stranici. Dále by sluneční brýle měly mít označení CE, které zaručuje, že brýle splňují základní bezpečnostní požadavky evropských směrnic. (7, 24–28)

2.3.1.1 UV filtry

UV filtry zlepšují přirozenou absorpční schopnost materiálu brýlových čoček. Použitím filtru docílíme kvalitnější ochrany brýlové čočky proti nebezpečnému ultrafialovému záření. Na základě světelné propustnosti dělíme filtry do 5 normalizovaných kategorií, označovaných číslicemi 0–4 (Tabulka 1). Pro každou kategorii je definovaná minimální UV ochrana. Obecně platí, že čím je kategorie vyšší, tím je čočka tmavší a lépe blokuje škodlivé záření. Typ UV filtru volíme na základě aktivity, při které brýle budou používány. Například brýlové čočky se světelnou propustností nižší než 75 % nejsou vhodné pro řízení motorových vozidel ve tmě a za soumraku. (24, 26, 29)

Tabulka 1: Kategorie filtrů podle propustnosti viditelné oblasti světla (23)

Popis zbarvení	Kategorie filtru	Propustnost viditelného záření τ_V
Čirá, velmi světle zbarvená	0	80–100 %
Lehké zbarvení	1	43–80 %
Střední zbarvení	2	18–43 %
Tmavé zbarvení	3	8–18 %
Velmi tmavé zbarvení	4	3–8 %

Kategorie 0

Kategorie 0 se vyznačuje čirými či lehce tónovanými čočkami. Filtr 0 poměrně málo chrání před oslněním v porovnání s ostatními filtry. Tento filtr pohlcuje maximálně 20 % světelného záření. Filtrování nebezpečných UV paprsků není dostatečně účinné při působení silného slunečního záření. Tento typ brýlí je často považován za módní doplněk nebo za ochranu oka před větrem, prachem či nečistotami. Je vhodný k nošení v interiéru nebo při zatažené obloze. (26, 30)

Kategorie 1

Kategorie 1 představují velmi lehce zbarvené čočky. Většinou jsou čočky zbarveny do žluta či oranžova. Chrání oči při slabém slunečním svitu nebo při zatažené obloze. Procentuální ochrana se pohybuje mezi 20 % až 57 %.

Kategorie 2

Středně tmavý filtr vhodný pro střední sluneční záření a denní nošení. Je ideální pro ochranu očí v období jara a podzimu. Tato kategorie filtru absorbuje 57 % až 82 % světelného záření. Tento typ filtru je vhodný pro řízení auta a některé druhy sportů jako například golf či cyklistika.

Kategorie 3

U slunečních brýlí se nejčastěji setkáme právě s touto kategorií filtru. Filtr kategorie 3 pohlcuje až 92 % záření a tím nabízí intenzivní ochranu oka a očního okolí. Je vhodný pro ostré sluneční záření ve městě či na pláži. Vhodné při pobytu u moře, horské turistice či ke každodennímu nošení.

Kategorie 4

Filtry kategorie 4 jsou určeny pro extrémně vysoké hladiny slunečního záření. Dokážou absorbovat až 97 % světla. Tento typ je vhodný k ochraně očí ve vysokohorských oblastech a na ledovcích, kde množství nebezpečného UV záření je významně vyšší. Tyto čočky nejsou vhodné pro řidiče motorových vozidel za jakýchkoliv podmínek. (26)

2.3.1.2 Samozabarvovací brýlové čočky

Samozabarvovací čočky, také nazývané jako fotochromatické, jsou čiré či lehce tónované čočky, které se ztmavují v reakci na působení ultrafialového záření. Proces ztmavení brýlových skel zajišťují fotoaktivní látky, které jsou zabudovány v chemicky upraveném materiálu. Inkorporace aktivní látky do materiálu čočky se provádí smícháním této struktury s monomermem před polymerizací nebo tepelným zabudováním částic aktivní látky do povrchových vrstev materiálu. Mezi fotoaktivní látky můžeme zařadit oxazinové molekuly, pyransy a fulgidy. Působením UV záření mění fotoaktivní látky svou konformaci. Uspořádání molekul fotoaktivních látek po fototropní reakci vykazuje větší absorpci světla. Brýle se samozabarvovacími skly jsou komfortní především pro jedince nosící dioptrické brýle. K UV ochraně a korekci zraku jim díky fotochromatickým čočkám postačí jediné brýle. Nevýhodou těchto čoček může být jejich neadekvátní zbarvení ve stínu či pomalejší reakce zbarvení, respektive odbarvení. (28, 31)

2.3.1.3 Polarizační brýlové čočky

Polarizační brýlové čočky obsahují speciální filtr (polarizátor), který částečně blokuje nepříjemné horizontálně polarizované světlo odražené od hladkých povrchů (vodní hladina, mokrá silnice, skleněná či sněhová plocha). Tento typ čoček je vyroben s určitým zbarvením, nejčastěji do hnědé, zelené nebo šedé barvy. Polarizační brýlové čočky přinášejí nositelům několik výhod, mezi které patří redukce oslnění, zajištění lepšího vnímání prostoru a barev. Polarizační brýlové čočky nám zároveň zajišťují ochranu proti ultrafialovému záření. Mezi nevýhody tohoto typu čoček patří obtížné čtení některých LCD displejů. Polarizované sluneční brýle vyhledávají především řidiči, lyžaři, cyklisti, rybáři či jedinci věnující se vodním sportům. (26, 31, 32)

2.3.1.4 Vliv tvaru brýlí na dokonalou ochranu

Ochrana očí před UV zářením nezáleží pouze na kvalitě brýlových čoček, ale také na designu obruby. Často dochází k mylné představě, že sluneční paprsky dopadají pouze na přední plochu brýlí. Rozptýlené světlo však může přicházet z různých stran a může se tak dostat za brýlová skla do kontaktu s oční tkání. Proto je důležité tvar obruby optimalizovat pro zvýšení ochrany oka před ultrafialovým zářením. Očnice obruby by měly mít dostatečně veliký průměr. V ideálním případě by sluneční brýle měly být o něco širší než obličej člověka a zároveň zakrývat oblast obočí.

V optimálním případě by obruba měla kopírovat povrch obličeje. Větším prohnutím brýlového středu obruby částečně zamezíme vchodu periferních paprsků k očím. Větší pronutí je typické pro sportovní obroučky. Vstupu světelných paprsků ze stran můžeme zabránit i pomocí bočních krytů. Boční kryty mohou být součástí sériově vyhotovených brýlí nebo se dodatečně vyrábí k vybrané obrubě. Materiál krytů může být průhledný či neprůhledný, podle toho, k jakému účelu budou brýle využívány. Boční kryty nejsou estetickým doplňkem, proto se musí počítat s narušením celkového vzhledu brýlí. V dnešní době se s nimi setkáváme spíše u ochranných brýlí. (27, 30)



Obrázek 11: Ochranné brýle proti UVC s bočními kryty (34)

2.3.2. Kontaktní čočky

Kontaktní čočka je malý optický systém umístěný přímo na povrch rohovky. Tato pomůcka neslouží pouze ke korekci refrakčních vad, ale má také terapeutické či kosmetické využití. Podle průměru můžeme dělit kontaktní čočky na korneální (8,5-12,5 cm), sklerokorneální (12,5-15 cm) a sklerální (15-25 cm). Vzhledem k tomu, že kontaktní čočka je v přímém kontaktu s rohovkou, brání jejímu normálnímu metabolismu, přísun kyslíku k rohovce je nižší a zároveň při nesprávné aplikaci nebo nedodržení pravidel zdravého nošení čoček může docházet až k mechanickému dráždění povrchu oka. Minimalizaci vlivu kontaktní čočky na oko můžeme dosáhnout správným výběrem tvarových parametrů a materiálu čočky. S cílem zlepšit transportní vlastnosti kontaktních čoček a zvýšit jejich propustnost pro kyslík byl veden dlouhodobý vývoj materiálů. (33, 34)

Historicky první koncept optického systému položeného přímo na povrch oka byl zaznamenán v roce 1508 v práci „Kodex oka. Manuál D.“ od Leonarda da Vinci, v němž popisoval princip změny optické mohutnosti rohovky ponořením oka do nádoby naplněné vodou. Nicméně

da Vinci se především zajímal o poznání mechanismů akomodace, proto jeho nápad nebyl spojován s korekcí zraku. Následovaly další podobné pokusy, za kterými stáli René Descartes, Thomas Young či Sir John Herschel. Až v roce 1887 Adolf Eugen Fick zkonstruoval první kontaktní čočku podobnou těm současným. První kontaktní čočky byly vyrobené z foukaného později z broušeného skla. V roce 1936 byly na trh uvedeny kontaktní čočky vyhotovené z poly(methylmethakrylátu), které odstartovaly užívání polymerních materiálů v kontaktologii. Český chemik Otto Wichterle svou publikací „Hydrophilic Gels for Biomedical Use“ (Nature 1960) (35) předpověděl výrobu měkkých hydrofilních (hydrogelových) čoček, které byly laboratorně připraveny už koncem padesátých let, v poloprovozním měřítku vyráběny od konce roku 1961, ale na světový trh byly uvedeny až v roce 1972. O dva roky později se na trhu objevily tvrdé plynopropustné čočky (RGP čočky). Mezitím, v roce 1965, byl zahájen slibný vývoj měkkých hydrofobních materiálů, silikonových elastomerů. Ty sice vykazovaly vysoké hodnoty propustnosti pro kyslík, ale v důsledku kombinace měkkého materiálu a hydrofobního povrchu lnuly k rohovce tak těsně, že při jejich vyjímání z oka opakovaně došlo k poškození rohovky probandů. To znamenalo konec tohoto směru vývoje materiálů pro měkké kontaktní čočky. Dalším důležitým mezníkem v kontaktologii je rok 1998, kdy byla představena první generace silikonhydrogelových kontaktních čoček, na kterou později navázaly další dvě (2006 a 2010). V dnešní době představují silikonhydrogely dominantní typ materiálů pro kontaktní čočky na českém trhu. (33, 34, 36, 37)

Materiály kontaktních čoček

Z hlediska materiálu můžeme kontaktní čočky rozdělit na tvrdé nepropustné, tvrdé plynopropustné, měkké silikonové, hydrogelové standardní či výšeboťnavé a na silikonhydrogelové. Vzhledem k dostupnosti kontaktních čoček na současném světovém trhu je toto rozdělení zjednodušeno už pouze na tři kategorie: RGP, hydrogely a silikonhydrogely. Jednotlivé materiály kontaktních čoček se od sebe odlišují svými mechanickými vlastnostmi, obsahem vody a propustností pro kyslík a nízkomolekulární látky. (38)

2.3.2.1 Tvrdé nepropustné kontaktní čočky

Mezi materiály pro výrobu tvrdých nepropustných kontaktních čoček řadíme sklo a poly(methylmethakrylát). Kontaktní čočka z PMMA nahradila původní skleněnou kontaktní čočku. Čočky z PMMA byly oproti skleněným příjemnější na oku, tenčí a téměř o polovinu lehčí.

Zároveň tento materiál není křehký jako v případě skla. PMMA je biokompatibilní polymer, který získáme polymerizací methylnakrylátu. Tento termoplastický materiál má výborné optické vlastnosti, proto našel využití především v očním lékařství. Na druhou stranu kontaktní čočka z tohoto materiálu je prakticky nepropustná pro kyslík a způsobuje hypoxii rohovky. Především špatná propustnost PMMA pro kyslík podměnila vývoj nových materiálů.(33, 37)

2.3.2.2 Tvrdé plynopropustné kontaktní čočky

RGP čočky vznikly za účelem zlepšení permeability tvrdých kontaktních čoček. Propustnost materiálu pro kyslík se u RGP čoček odvíjí od použitého materiálu. Jedním z prvních vyzkoušených pevných materiálů propouštějící plyny byl acetobutyrát celulózy (CAB), který měl nízkou propustnost pro kyslík ($Dk=2-8$) a špatnou smáčivost. Dalšími materiály tvrdých plynopropustných kontaktních čoček jsou silikonakryláty ($Dk>6$), což jsou kopolymery alkylmethakrylátů se siloxanymethakryláty a posléze i s fluorosilikonakryláty ($Dk>20$), které vznikají začleněním fluoru do struktury silikonakrylátů. Kontaktní čočky z fluorosilikonakrylátu jsou oproti silikonakrylátovým stabilnější, více odolné proti vzniku depositů a mají vyšší permeabilitu. Dnešní RGP čočky dosahují vysokých hodnot Dk (Tabulka 2).

RGP čočky jsou na rozdíl od měkkých kontaktních čoček schopné korigovat vyšší refrakční vady a jsou vhodné ke korekci nepravidelného astigmatismu. Pevné plynopropustné čočky oproti hydrogelovým neosychají a tím dosahují lepších optických vlastností. U stabilních materiálů je zajištěna i UV ochrana. Nevýhodou může být dlouhá adaptační doba na tento druh kontaktních čoček. RGP čočky mohou být během prvních aplikací v oku nepříjemné. Diskomfort je způsoben drážděním rohovky klouzáním čočky po slzném filmu. Pohyb čočky po slzném filmu urychlí výměnu slz pod kontaktní čočkou, a tím zajistí lepší přísun kyslíku k rohovce. Dále se kyslík dostává k rohovce přes materiál čočky. Nejčastěji se setkáváme s korneálními RGP čočkami, které zakrývají pouze část rohovky, což také usnadní přístup kyslíku k rohovce. Kromě korneálních pevných kontaktních čoček se na trhu setkáváme se sklerálními.

Při výběru RGP čoček je zapotřebí brát v úvahu větší množství parametrů rohovky než u hydrogelových kontaktních čoček, které jsou schopné se do určité míry k dané rohovce přizpůsobit. Před výběrem vhodné RGP čočky zjišťujeme poloměr zakřivení, průměr a asféricitu rohovky,

zpravidla se pořizuje topografická mapa rohovky. (33, 37, 39) Tvrdé kontaktní čočky se na našem trhu aplikují pouze ve 2-4 % případů. (33)

Tabulka 2: RGP čočky firmy Bausch + Lomb a jejich permeabilita (39)

Materiál	Permeabilita (Dk)
Boston XO2 (Hexafocon B)	141
Boston XO (Hexafocon 1)	100
Boston Equalens II (Oprificon A)	85
Boston EO (Enflufocon B)	58
Boston Equalens (Itafluorofoccon A)	47
Boston ES (Enflufocon A)	18
Boston IV (Itafocon B)	18
Boston II (Itafocon A)	11

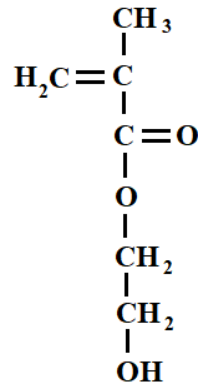
2.3.2.3 Měkké silikonové kontaktní čočky

Silikonové kontaktní čočky jsou vyrobené ze silikonové pryže. Jedná se o hydrofobní materiál, u kterého se v poslední fázi výroby museli provádět povrchové úpravy. Díky své elasticitě jsou silikonové čočky komfortní a adaptační doba na tento druh čoček je podstatně kratší než u pevných kontaktních čoček. Silikonové čočky mají menší průměr a jsou poměrně tuhé, což ulehčuje manipulaci s nimi. Silikony se vyznačují především svou vysokou propustností pro kyslík ($Dk=300-400$) a odolností proti otěru. Největší nevýhodou byla vysoká adheze silikonové čočky k povrchu rohovky, která mohla způsobit strhnutí či deformaci rohovkového epitelu při snímání čočky z oka. V důsledku toho se s tímto materiálem kontaktních čoček běžně na trhu neseťkáme. (33, 39, 40)

2.3.2.4 Standardní a výšebojnavé hydrogelové kontaktní čočky

Hydrogelové kontaktní čočky jsou síťované hydrofilní gely, za jejichž vznikem stojí československý vědec Otto Wichterle a doktor Drahoslav Lím z Ústavu makromolekulární chemie Akademie věd České republiky. V polovině 20. století pracovali na syntéze materiálu, který by byl vhodnější pro oční protézy než do té doby používané ušlechtilé kovy. (41) Při tomto výzkumu připravili řadu struktur, ale až řídce síťovaný poly(hydroxyethylmethakrylát) se ukázal být vhodným kandidátem pro různé medicínální aplikace a díky své transparentnosti byl vhodný i pro výrobu kontaktních čoček. Měl řadu užitečných vlastností, přičemž výjimečnou ho dělala především jejich kombinace. Byly to příznivé botnací i mechanické vlastnosti a zejména dobrá kompatibilita s řadou živých tkání. V roce 1961 sestrojil z dětské stavebnice Merkur zařízení pro rotační odlévání kontaktních čoček, na němž se svou manželkou postupně vyrobil několik tisíc kusů čoček. Čočky se svými spolupracovníky a oftalmology testoval od samého počátku na dobrovolnících. Ale až v roce 1972, kdy získaly povolení amerického úřadu pro potraviny a léčiva (FDA) k výrobě a distribuci, se tento typ kontaktních čoček dostal na světový trh. Byl poměrně rychle oblíbený mezi nositeli. Hydrogelové kontaktní čočky v porovnání s pevnými kontaktními čočky poskytovaly větší komfort nošení a zároveň kratší dobu adaptace. S užíváním hydrogelových čoček se postupně začaly objevovat i problémy spojené s jejich nošením. Hlavní nedostatek kontaktní čočky z poly(HEMA) byla nízká hodnota propustnosti pro kyslík. Nízká permeabilita materiálu způsobovala hypoxii rohovky a komplikace s ní související. (37, 38)

Poly(HEMA) se vyrábí polymerizací 2-hydroxyethylmethakrylátu a síťujícího činidla. Hydrofilní charakter zajišťuje hydroxylová skupina na konci monomeru viz. Obrázek 12. V tomto místě dochází k poměrně silné vazebné interakci mezi molekulou vody a polymeru. U hydrogelových kontaktních čoček je kyslík přenášen právě prostřednictvím vody navázané v polymerním řetězci. Z toho vyplývá, že permeabilita kyslíku v hydrogelech závisí na množství vody navázané v polymeru. Standardní kontaktní čočky z poly(HEMA) obsahují přibližně 40 % vody v nabotnalém stavu. Hodnota Dk se u těchto čoček pohybuje mezi 8-12. Tato hodnota je poměrně nízká, proto se výrobci snažili permeabilitu materiálu kontaktních čoček ještě zvýšit. Existovaly zde dvě možnosti, jak zlepšit transmisibilitu kontaktních čoček pro kyslík. První varianta byla kontaktní čočku ztenčit. To vedlo k výrobě „hypertenkých“ nebo také „ultratenkých“ čoček, jejichž středová tloušťka se v závislosti na optické mohutnosti pohybovala v rozmezí 0,035-0,08 mm. (37–39, 42)



Obrázek 12: Vzorec hydroxyethylmethakrylátu.

Druhá varianta spočívala ve změně vlastností materiálu, zpravidla kopolymerizací původního monomeru 2-hydroxyethylmethakrylátu s jedním nebo více dalšími monomery, s cílem zvýšit obsah vody ve výsledném hydrogelu a tím i jeho propustnost pro kyslík. To vše však s ohledem na výsledné mechanické vlastnosti materiálu. Tak začaly vznikat výšebotnavé hydrogelové kontaktní čočky. Nejčastěji se jedná o kopolymery HEMA a kopolymery NVP, případně polymery PVA. Jeden z prvních kopolymerů tvořil HEMA a N-vinylpyrrolidon (NVP). NVP je hydrofilní monomer, který v kombinaci s HEMA zvyšuje obsah vody v materiálu (55-70 %) a tím zvyšuje i hodnotu Dk. Jinou skupinu výšebotnavých materiálů pro kontaktní čočky tvoří kopolymery HEMA s kyselinou methakrylovou (MA). Obsah 1,5-2,5 % kyseliny methakrylové v kopolymeru zvýší množství vody v čočce zhruba na 50-60 %. Kopolymer HEMA s kyselinou methakrylovou je typický ionogenní materiál, a proto je citlivý na změnu tonicity a pH prostředí. Do výšebotnavých materiálů se někdy přidávají i hydrofobní komonomery (např. MMA), které dodávají kopolymerům mechanickou pevnost a tuhost. Nesmíme opomenout glycerolmethakrylát (GMMA), který obsahuje dvě hydroxylové skupiny ve své struktuře. Díky tomu je více hydrofilní než HEMA. GMMA je používán v kombinaci s MMA či s HEMA. Kopolymer GMMA/MMA je materiál s obsahem vody 30-42 %. Tento materiál je tužší a pevnější než poly(HEMA). Kopolymer GMMA/HEMA obsahuje velké množství vody, a to (v závislosti na vzájemném poměru) až 70 %. Obecně jsou výšebotnavé hydrogely náchylné k osychání, mají nižší index lomu, což pro dosažení stejné dioptrické hodnoty ve srovnání se standardními hydrogely vede k nutnosti dramatictějšího rozdílu v zakřivení přední a zadní optické plochy, a tedy k nárůstu tloušťkového profilu. Tím je sice dosaženo větší permeability materiálu, ale transmisibilita se zvýší v menší míře. (37–39, 42, 43)

2.3.2.5 Silikonhydrogelové kontaktní čočky

Silikonhydrogelové kontaktní čočky jsou nejnovějším a v současné době nejpoužívanějším typem kontaktních čoček na trhu. Jejich vývoj byl zacílen na dosažení významně vyšší propustnosti materiálu pro kyslík, a to s ohledem na možnost bezpečného prodlouženého nošení. Vysokých hodnot permeability bylo dosaženo vhodnou strukturální kombinací hydrofobních (byť i krátkých) silikonových řetězců s hydrofilními hydrogely. Silikonhydrogelové kontaktní čočky dospěly od svého prvního uvedení na trh do tří generací. První generace silikonhydrogelových kontaktních čoček byla uvedena v roce 1999. Zanedlouho se na trhu objevily silikonhydrogelové kontaktní čočky druhé (2004) a třetí generace (2006). Ty se svými vlastnostmi mezi sebou natolik liší, že je vhodnější diskutovat výhody a nevýhody silikonhydrogelů právě po jednotlivých generacích. Na současném trhu je k mání velké množství silikonhydrogelových čoček, přičemž vývoj neustále pokračuje s cílem zvýšení bezpečnosti nošení kontaktních čoček a dosažení co nejvyššího pohodlí klientů při jejich používání. (33, 37, 44, 45)

První generace silikonhydrogelových kontaktních čoček

Za první generaci silikonhydrogelových čoček jsou označovány čočky Pure Vision z materiálu balafilcon A a čočky Focus Night & Day (Air Optics Night & Day) z materiálu lotrafilcon A.

Balafilcon A je především tvořen řetězcí polyvinylpyrrolidonu a tris - (trimethyl siloxysilyl) propylvinyl karbamátu a dalšími strukturami, jejichž názvy jsou pro jednoduchost i v odborné literatuře vyjadřovány pouze zkratkami, tedy v tomto případě NVP, TPVC, NCVE, PBVC. Přesný význam zkratk je uveden v jejich seznamu na konci práce. Balafilcon A je charakterizovaný obsahem vody 36 % a modulem v hodnotě 1,50 MPA.

Lotrafilcon A tvoří struktury DMA, TRIS (zpravidla tris(trimethylsiloxyl) methakryloxypropylsilan) a siloxanový monomer. V rovnovážně nabitelném stavu materiál obsahuje 24 % vody a vykazuje hodnoty modulu (1,52 MPa) Čočky první generace se vyznačují vysokou propustností pro kyslík. Lotrafilcon A dosahuje vůbec nejvyšší hodnoty Dk ze všech silikonhydrogelových materiálů, a to 140 barrer. Permeabilita balafilconu A se uvádí 91 barrer. Nevýhodou těchto materiálů je jejich relativní tuhost a špatná smáčivost. Tyto materiály jsou ve srovnání s hydrogely na bázi poly(HEMA) tužší. Tady je však nutné si uvědomit, že materiály RGP čoček mají hodnoty modulu až o 3 řády vyšší. Zmiňovaná tuhost silikonhydrogelů první generace

se týká nižší elasticity materiálu, tedy jeho ochotě přizpůsobit se při určitých výrobcem daných tvarových parametrech konkrétní rohovce. Jinými slovy, pokud by se tyto čočky vyráběly v širším intervalu možných kombinací zakřivení a průměru, problém s jejich tuhostí by byl, alespoň částečně, eliminován.

Problém nedostatečné a nerovnoměrné smáčivosti povrchu je u první generace silikonhydrogelů řešen nutností povrchové úpravy. U balafilconu A je smáčivost upravena pomocí plazmové oxidace a u lotrafilconu A plazmovým povlékáním. (36, 44)

Druhá generace silikonhydrogelových kontaktních čoček

Výrobci a jejich vývojové týmy se přirozeně zaměřili na řešení problémů silikonhydrogelů 1. generace. Snahy o jejich vylepšení vyústily do druhé generace silikonhydrogelů, jejichž jediným jednotčím prvkem je nižší tuhost materiálů. Oba zástupci této generace se jinak svými vlastnostmi velmi liší. Jsou to čočky O₂Optix (CIBA vision) s pozdějším názvem Air Optix a výrobcem Alcon, který optickou divizi CIBA Vision odkoupil, a Acuvue Advance (Johnson&Johnson). Materiál kontaktních čoček Acuvue Advance, Galyfilcon A, obsahuje 47 % vody, jeho hodnota Dk činí 60 barrer, modul pružnosti materiálu je 0,43 MPa. Galyfilcon A je tvořen strukturami MPDMS, DMA, HEMA, siloxanovým monomerem a PVP. Díky vyššímu obsahu vody u něj došlo k významnému snížení hodnot modulu pružnosti, ovšem za cenu značného snížení propustnosti pro kyslík. Zároveň však nebyly nutné povrchové úpravy, protože smáčivost jeho povrchu byla dostatečná. Navíc, s pozdější úpravou technologií Hydraclear byly do povrchových struktur fyzikálně začleněny řetězce polymerního vinylpyrrolidonu (PVP), které fungují jako vnitřní zvlhčovač a zlepšují interakci slzného filmu s materiálem čočky.

Jako odpověď na čočky Acuvue Advance uvedla firma CIBA Vision na trh kontaktní čočky O₂Optix. Jejich materiál lotrafilcon B složením vychází z lotrafilconu A, ale má jinak nastavený poměr mezi hydrogelovými a silikonovými řetězci. Je charakterizován obsahem vody 33 %, modulem pružnosti 1 MPa a permeabilitou 110 barrer. Hlavní složky materiálu jsou DMA a TRIS a siloxanový monomer. Kontaktní čočky vyrobené z tohoto materiálu stále vyžadovaly povrchovou úpravu. (36, 37, 44)

Třetí generace silikonhydrogelových kontaktních čoček

Silikonhydrogely třetí generace se vyznačují vysokou propustností pro kyslík a zároveň vyšším obsahem vody, což vede i k nižším hodnotám modulu pružnosti, který je srovnatelný s modulem standardních hydrogelů. Toto unikátní spojení vlastností výsledných materiálů umožňuje jiný charakter jejich polymerní sítě. Ta již neobsahuje žádný typ TRIS struktury, ale pouze dlouhé polysiloxanové řetězce, na nichž jsou přímo navázány vhodné hydrofilní skupiny, které umožňují vázat vodu. Vlastní materiály se zpravidla připravují kopolymerizací různých druhů makromonomerů. Protože silikonhydrogely třetí generace obsahují poměrně vysoké procento vody (viz Tabulka 3), není nutné u čoček z těchto materiálů provádět povrchové úpravy. Přesto se u některých klientů s horší kvalitou slzného filmu můžeme setkat s intolerancí na ně. Vybrané silikonhydrogelové materiály třetí generace a některé jejich vlastnosti jsou uvedeny v Tabulce 3. (36, 37, 44)

Tabulka 3: Silikonhydrogely 3. generace a jejich vlastnosti

Materiál Název čočky Výrobce	Obsah vody [%]	Permeabilita [barrer]	Modul [MPa]	Složení materiálu
Comfilcon A Biofinity CooperVision	48	128	0,75	NVP, VMA, IBM, TAIC, M3U, H0B FM0411M,
Enfilcon A Avaira CooperVision	46	100	0,50	NVP, VMA, IBM, TAIC, M3U, H0B FM0411M,
Senofilcon A Acuvue Oasys Johnson&Johnson	38	103	0,72	MPDMS, HEMA, siloxane macromer, DMA, TEGDMA, PVP
Narafilcon A Acuvue TruEye Johnson&Johnson	46	100	0,66	MPDMS, HEMA, siloxane macromer, DMA, TEGDMA, PVP
Asmofilcon A PremiO Menicon	40	129	0,91	DMA, SIMA, SIA, pyrrolidone derivative

2.3.2.6 Ochrana oka před UV zářením pomocí kontaktních čoček

Kontaktní čočka s UV blokátorem je jedno z řešení ochrany oka před UV zářením. Oproti slunečním brýlím kontaktní čočky blokující ultrafialové záření nabízejí lepší ochranu oka před periferně fokusovanými paprsky. Schopnost kontaktních čoček blokovat UV záření závisí na designu a materiálu kontaktní čočky. Měkká čočka s UV blokátorem zakrývající limbus chrání vnitřní struktury oka, rohovku i limbální oblast před přímými i periferními paprsky. Ochrana limbu rohovky je důležitá především kvůli kmenovým buňkám rohovky, které se v této oblasti nacházejí a zajišťují její reepitelizaci. V porovnání s měkkými kontaktními čočkami, korneální RGP čočky neposkytují tak kvalitní ochranu vnitřních struktur oka a periferie rohovky, a to především kvůli menšímu průměru čočky. Oba typy kontaktních čoček však nedokážou poskytnout ochranu spojivky a očního okolí, proto samotné neposkytují dostatečnou ochranu. Ale i tak mohou zajistit přidanou ochranu očím v situacích, kdy nemohou být použité ostatní ochranné pomůcky. Komplexní ochrany oka dosáhneme kombinací kontaktních čoček blokujících ultrafialové záření, pokrývky hlavy s širokou krempou a kvalitních slunečních brýlí. (7, 46–48)

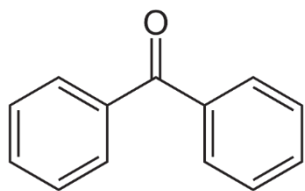
Kontaktní čočky s UV blokátory můžeme rozdělit do dvou tříd. První třída vznikla později než druhá a poskytuje vyšší úroveň ochrany. Podle FDA (U.S Food and Drug Administration) a ANSI (American National Standards Institute) musí 1. třída čoček blokujících UV záření pohlcovat minimálně 90 % UVA a 99 % UVB záření. Kontaktní čočky 2. třídy by měly blokovat přinejmenším 70 % UVA a 95 % UVB záření. U kontaktních čoček bez zabudovaných UV blokátorů nemůžeme čekat velký efekt UV ochrany. U těchto čoček předpokládáme, že absorbují přibližně 10 % UVA a 30 % UVB záření. (7, 37, 48)

Kontaktní čočky blokující UV záření snižují riziko rozvoje výše zmíněných očních komplikací. Nošení těchto čoček je vhodné pro všechny nositele kontaktních čoček. Především u těch, kteří tráví hodně času venku či v prostředí s vyšším UV indexem. Dále se doporučují u afakických pacientů, u kterých dochází k průniku většího množství UV záření na sítnici, protože chybí přirozený filtr – oční čočka, která ultrafialové záření přirozeně absorbuje (viz Obrázek 2). Tyto kontaktní čočky jsou vhodné i pro pacienty, kteří podstoupili refrakční operaci, při které došlo k odstranění části stromatu rohovky a tím i k snížení přirozené absorbce rohovky. (7, 37, 46–48)

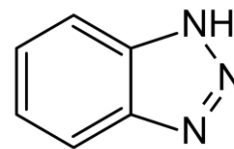
2.3.2.7 UV blokátory

UV blokátory jsou látky schopné absorbovat ultrafialové záření. Pohlcenou energii dopadajícího záření používají na změnu uspořádání násobných chemických vazeb. Konjugované dvojné vazby v jejich cyklech oscilují mezi dvěma možnými polohami. Každé jejich přeskupení je spojeno se spotřebováním určitého kvanta pohlcené energie. (60) Aby bylo zamezeno jejich uvolňování z materiálu čočky, jsou do jejího polymerního materiálu inkorporovány kopolymerizací. Výsledná kontaktní čočka je schopna pohlcovat určité množství UV záření a tím zabránit progresi či vzniku patologických stavů oka. Tyto čočky musejí splňovat standardy podle FDA a ANSI.

Monomery blokující UV záření jsou nejčastěji na bázi benzofenonu a benzotriazolu, jejichž struktury jsou uvedeny na obrázku 13 a 14. Při výrobě kontaktních čoček s UV blokátory se musí dbát na to, aby materiál čočky a UV blokátoru byl jednotný a zůstal transparentní. Zároveň musí být při výrobě použito pouze přesně stanovené množství UV blokátoru. Při menším množství nebude blokátor dostatečně účinný, při vyšším by mohlo docházet k nepříznivým změnám polymerního materiálu čočky, zejména v jeho pružnosti, hydrofilitě, stabilitě a dalších. Zároveň, přebývající UV absorbér by v průběhu kopolymerizace mohl vytvořit nezabudovaný homopolymer, který by se mohl z finální čočky eluovat při běžném nošení či při uchovávání kontaktní čočky v roztoku. (49)



Obrázek 13: Strukturální vzorec benzofenonu (52)



Obrázek 14: Strukturální vzorec benzotriazolu (53)

2.4 Spektrofotometrie

Spektrofotometrie je analytická metoda, která je založená na porovnávání intenzity záření vycházejícího ze zdroje spektrofotometru a intenzity světla, které prošlo vzorkem a následně dopadlo na detektor přístroje. Měřením získáme absorpční spektrum, které je v grafu vyjádřeno jako závislost absorbance na vlnové délce záření. (50) Princip této metody tvoří interakce mezi molekulami látky a elektromagnetického záření. Energie záření způsobí excitaci elektronů v molekule, při které dojde k absorpci určitého množství záření o konkrétní vlnové délce. Spektrofotometrie v dnešní době nachází využití především v kvalitativní a kvantitativní analýze v různých vědních oborech, například v chemii, fyzice, biochemii, chemickém inženýrství, molekulární chemii a dalších. (51–53)

2.4.1 Spektrofotometr

Spektrofotometr je přístroj, jehož konstrukce je složená ze čtyř hlavních částí.

První je zdroj záření, který volíme podle toho, v jaké oblasti elektromagnetického spektra chceme měření provádět. Pro oblast UV záření se jako zdroj nejčastěji používá deuteriová nebo vodíková výbojka, pro viditelnou a IR oblast se využívá wolframová či halogenová lampa. Zdrojem UV záření a viditelného světla je xenonová výbojka.

Další částí přístroje je monochromátor, který z polychromatického záření vytváří světlo o určité vlnové délce. Monochromátor pomocí hranolu rozkládá světlo na jednotlivé vlnové délky. Vlnovou délku záření vycházejícího z monochromátoru nastavujeme pomocí výstupní štěrby.

Následující částí přístroje je prostor, do kterého vkládáme měřený vzorek. Při měření nejčastěji zjišťujeme průchod monochromatického světla u roztoků. Pro přesnější měření se roztok dává do speciálních kyvet, které se následně upevňují do „kyvetátoru“. Výběr kyvety se opět musí upravit podle toho, v jaké oblasti elektromagnetického spektra chceme měřit. Pro měření ve viditelné oblasti se používají plastové či skleněné kyvety a pro UV oblast se volí kyvety z křemenného skla.

Poslední částí spektrofotometru je detektor, zpravidla fotodioda, ke které je připojeno vyhodnocovací zařízení, zpravidla počítač. (51, 54)

Spektrofotometry můžeme podle uspořádání rozdělit na jednopaprskové a dvoupaprskové. U jednopaprskového spektrofotometru prochází záření ze zdroje přes monochromátor, kyvetu se vzorkem a dopadá na detektor. Zde musíme nejprve provést měření s referenčním vzorkem, které následně porovnáváme s měřením vlastního vzorku. Dvoupaprskový přístroj se liší tím, že místo jednoho detektoru má dva, což umožní proměřovat referenční a vlastní vzorek současně. U tohoto typu přístroje záření prochází přes monochromátor, dělič paprsku, referenční a vlastní vzorek, a nakonec dopadá na detektory. (51, 55)

2.4.2 Absorbance

Absorbance A , ekvivalentním termínem extinkce E , je bezrozměrná veličina, která charakterizuje snížení intenzity monochromatického záření při průchodu určitým prostředím. Změna intenzity je způsobena částicemi v daném prostředí, které při průchodu pohlcují část energie procházejícího záření. Při průchodu světla o původní intenzitě I_0 prostředím o definované tloušťce d je intenzita prošlého záření I popsána vztahem [1]. (5, 56)

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha d} \quad [1]$$

kde e je Eulerovo číslo (základ přirozených logaritmů), matematická konstanta o hodnotě $e = 2,71828$ a α vyjadřuje koeficient absorpce, který je funkcí vlnové délky.

Absorpci světla můžeme definovat pomocí vztahu

$$A = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\log(T) \quad [2]$$

Kde I je intenzita prošlého záření, I_0 značí původní intenzitu záření a T vyjadřuje transmitanci.

2.4.3 Transmittance

Transmittance, označovaná T , je veličina, která udává, jaké množství záření prošlo přes pozorovaný vzorek v jednotlivých oblastech elektromagnetického spektra. Údaj o transmittanci se nejčastěji uvádí v procentech. Hodnota transmittance je dána vztahem [3]. (4, 5, 57)

$$T = \frac{I}{I_0} \quad [3]$$

kde I_0 je intenzita světla dopadající na sledovaný vzorek, I vyjadřuje intenzitu světla po průchodu vzorkem.

2.4.4 Lambert-Beerův zákon

Lambert-Beerův zákon se zabývá útlumem monochromatického světla při průchodu materiálem. Množství pohlceného světla daným vzorkem je přímo úměrné tloušťce vzorku a koncentraci sledované látky. Tento zákon je základem měření chemické analýzy a je podstatou všech kolorimetrů. Pomocí Lambert-Beerova zákona můžeme vyjádřit absorbanci prostřednictvím vztahu [4] (4–6, 58)

$$A = \varepsilon \cdot \ell \cdot c \quad [4]$$

kde ε značí molární absorpční koeficient, c je koncentrace absorbující látky a ℓ vyjadřuje tloušťku sledovaného vzorku.

3. Cíle práce

Na základě poznatků uvedených v teoretické části práce, v níž jsem popsala možnosti ohrožení předního segmentu oka UV zářením a jeho možné důsledky pro oční tkáň a dále probrala možnosti ochrany oka před UV zářením pomocí brýlových a zejména kontaktních čoček, jsem si vytkla následující cíle:

- 1) Vypracovat tabulku s aktuálním přehledem kontaktních čoček s UV blokátory na českém trhu
- 2) Proměřit kalibrační křivky pro dva nejčastěji užívané typy UV blokátorů, a to při vlnových délkách v intervalu záření UVA, UVB a na jejich rozhraní
- 3) Na vzorku dostupných čoček provést měření absorpance/transmitance pomocí UV-VIS spektrometru, případně svá měření porovnat s jinými publikovanými daty.

Před vlastními experimenty jsem si stanovila hypotézu, kterou svým následným měřením hodlám potvrdit či vyvrátit.

- 1) Základní hypotéza: H₀: Kontaktní čočky, které řadíme do 1. třídy UV blokace pohlcují více záření v UV oblasti než kontaktní čočky 2. třídy.
Alternativní hypotéza: H₁: Kontaktní čočky, které řadíme do 1. třídy UV blokace nepohlcují více záření v UV oblasti než kontaktní čočky 2. třídy.

4. Experimentální část

4.1 Seznam kontaktních čoček s UV blokátory na českém trhu

Mým prvním cílem bylo vypracovat tabulku s aktuálním přehledem kontaktních čoček s UV blokátory, které jsou dostupné na českém trhu. Ty jsou uvedeny v tabulce 1. Kontaktní čočky jsou zde seřazeny abecedně podle výrobců. Z tabulky můžeme vyčíst režim nošení, interval výměny, materiál čočky, obsah vody v materiálu a hodnotu Dk/t těchto kontaktních čoček. Kromě toho zde rozlišuji, zda se jedná o kontaktní čočku 1. nebo 2. třídy UV blokace a jaká UV blokující látka je v dané čočce použita.

Tabulka 4: Kontaktní čočky s UV blokátory

Výrobce	Model	Hy/SiHy	Materiál	Obsah vody [%]	Třída UV blokace	UV blokátor	Dk/t [Barrer]	Režim nošení	Interval výměny
Alcon	FreshLook ColorBlends	Hy	phemfilcon A	55	2.	Benzotriazol	20×10^{-9}	Denní	14
Alcon	FreshLook Colors	Hy	phemfilcon A	55	2.	Benzotriazol	20×10^{-9}	Denní	14
Alcon	FreshLook Dimensions	Hy	phemfilcon A	55	2.	Benzotriazol	20×10^{-9}	Denní	14
Alcon	Precision 1	SiHy	verofilcon A	51	1.	Benzotriazol	100×10^{-9}	Denní	1
Alcon	Precision 1 for Astigmatism	SiHy	verofilcon A	51	2.	Benzotriazol	90×10^{-9}	Denní	1
B&L	Biotrue ONEday	Hy	nesofilcon A	78	2.	Benzotriazol	42×10^{-9}	Denní	1
B&L	Biotrue ONEday for Astigmatism	Hy	nesofilcon A	78	2.	Benzotriazol	42×10^{-9}	Denní	1
B&L	Biotrue ONEday for Presbyopia	Hy	nesofilcon A	78	2.	Benzotriazol	42×10^{-9}	Denní	1
Cooper	Avaira Vitality	SiHy	fanfilcon A	55	1.	Benzotriazol	110×10^{-9}	Denní	30
Cooper	Avaira Vitality Toric	SiHy	fanfilcon A	55	1.	Benzotriazol	90×10^{-9}	Denní	30
Cooper	Biomedics 55 Evolution	Hy	ocufilcon D	55	2.	Benzofenon	27×10^{-9}	Denní	30
Cooper	Biomedics Toric	Hy	ocufilcon D	55	2.	Benzofenon	$17,8 \times 10^{-9}$	Denní Prodloužené	14
Cooper	Clarity 1 day	SiHy	somofilcon A	56	2.	Benzofenon	86×10^{-9}	Denní	1
Cooper	Clarity 1 day Multifocal	SiHy	somofilcon A	56	2.	Benzofenon	86×10^{-9}	Denní	1
Cooper	Clarity 1 day Toric	SiHy	somofilcon A	56	2.	Benzofenon	57×10^{-9}	Denní	1
Cooper	Clarity Elite	SiHy	somofilcon A	56	2.	Benzofenon	86×10^{-9}	Denní	30
Cooper	Clarity Multifocal	SiHy	somofilcon A	56	2.	Benzofenon	86×10^{-9}	Denní	30
Cooper	Clarity Toric	SiHy	somofilcon A	56	2.	Benzofenon	57×10^{-9}	Denní	30
Cooper	Live	SiHy	somofilcon A	56	2.	Benzofenon	86×10^{-9}	Denní	1
Cooper	MyDay	SiHy	stenfilcon A	54	2.	Benzotriazol	100×10^{-9}	Denní	1
Cooper	MyDay multifocal	SiHy	stenfilcon A	54	2.	Benzotriazol	100×10^{-9}	Denní	1
Cooper	MyDay toric	SiHy	stenfilcon A	54	2.	Benzotriazol	80×10^{-9}	Denní	1
J&J	1-DAY Acuvue DEFINE with Lacreon	Hy	etafilcon A	58	2.	Benzotriazol	$25,5 \times 10^{-9}$	Denní	1
J&J	1-DAY ACUVUE MOIST for ASTIGMATISM with Lacreon	Hy	etafilcon A	58	2.	Benzotriazol	$23,8 \times 10^{-9}$	Denní	1
J&J	1-DAY ACUVUE MOIST MULTIFOCAL with Lacreon	Hy	etafilcon A	58	2.	Benzotriazol	$25,5 \times 10^{-9}$	Denní	1
J&J	1-DAY ACUVUE MOIST with Lacreon	Hy	etafilcon A	58	2.	Benzotriazol	$25,5 \times 10^{-9}$	Denní	1
J&J	1-DAY ACUVUE TrueEye with HydraClear	SiHy	narafilcon A	46	1.	Benzotriazol	118×10^{-9}	Denní	1
J&J	ACUVUE 2	Hy	etafilcon A	58	2.	Benzotriazol	$25,5 \times 10^{-9}$	Denní Prodloužené	14/7
J&J	Acuvue Advance PLUS with HydraClear	SiHy	galyfilcon A	47	1.	Benzotriazol	62×10^{-9}	Denní	14
J&J	ACUVUE OASYS 1-Day for ASTIGMATISM with HydraLuxe	SiHy	senofilcon A	38	1.	Benzotriazol	129×10^{-9}	Denní	1
J&J	ACUVUE OASYS 1-Day with HydraLuxe	SiHy	senofilcon A	38	1.	Benzotriazol	121×10^{-9}	Denní	1
J&J	ACUVUE OASYS for ASTIGMATISM with HydraClear Plus	SiHy	senofilcon A	38	1.	Benzotriazol	129×10^{-9}	Denní Prodloužené	14/7
J&J	Acuvue Oasys for PRESBYOPIA with HydraClear Plus	SiHy	senofilcon A	38	1.	Benzotriazol	147×10^{-9}	Denní Prodloužené	14/7
J&J	Acuvue Oasys with HydraClear Plus	SiHy	senofilcon A	38	1.	Benzotriazol	147×10^{-9}	Denní Prodloužené	14/7
J&J	Acuvue Vita for ASTIGMATISM with HydraMax	SiHy	senofilcon C	41	1.	Benzotriazol	129×10^{-9}	Denní	30
J&J	Acuvue Vita with HydraMax	SiHy	senofilcon C	41	1.	Benzotriazol	147×10^{-9}	Denní	30
J&J	ACUVUE OASYS with Transitions	SiHy	senofilcon A	38	1.	Benzotriazol	121×10^{-9}	Denní	14
Menicon	Miru 1 day UpSide	SiHy	midafilcon A	56	2.	Benzotriazol	91×10^{-9}	Denní	1
Menicon	Miru 1day UpSide multifocal	SiHy	midafilcon A	56	2.	Benzotriazol	91×10^{-9}	Denní	1

B&L = Bausch&Lomb, Cooper = CooperVision, Hy = hydrogel, J&J = Johnson&Johnson, SiHy = silikonhydrogel, 1 = jednodenní, 7 = týdenní, 14 = 14denní, 30 = měsíční

4.2 Použité přístroje a materiály

- **Spektrofotometr Shimadzu UV-2600**

Všechna měření transmittance a absorbance byla prováděna pomocí spektrofotometru Shimadzu UV-2600. Tento spektrofotometr je dvoupaprskový a umožňuje měření v rozpětí od 185 nm do 900 nm. V případě zařízení vybaveného dvojitým monochromátorem, absorbance může dosahovat hodnot mezi 5-6. Tento přístroj se ovládá pomocí počítače, přesněji pomocí programu UVProbe. UVProbe zahrnuje 4 základní komponenty, mezi které patří Modul Spectrum pro skenování vlnových délek a jejich následnou analýzu. Měření se provádělo v rozmezí vlnových délek 200-800 nm se skenovací rychlostí medium, s intervalem odběru vzorků 0,5 nm a s časem intervalu 5 sekund.



Obrázek 15: UV-VIS spektrofotometr Shimadzu UV-2600 (vlastní zdroj)

- **Váha RADWAG PS 1000.R2**

Všechny roztoky benzofenonu a benzotriazolu byly připraveny pomocí váhy RADWAG PS 1000.R2 (obrázek 16), měřící s přesností na tisícinu gramu.



Obrázek 16: Váha RADWAG PS 1000.R2. (vlastní zdroj)

- **Kontaktní čočky**

Pro měření transmittance jsem použila kontaktní čočky o optické mohutnosti -3 dioptrie s přibližně stejnou středovou tloušťkou. Do experimentální části jsem zahrnula celkem devět typů kontaktních čoček od čtyř různých firem. V tabulce 5 jsou shrnuty všechny čočky použité při měření. V příloze 3 jsou doloženy jednotlivé grafy naměřených transmittancí těchto kontaktních čoček.

Tabulka 5: Kontaktní čočky použité v experimentální části

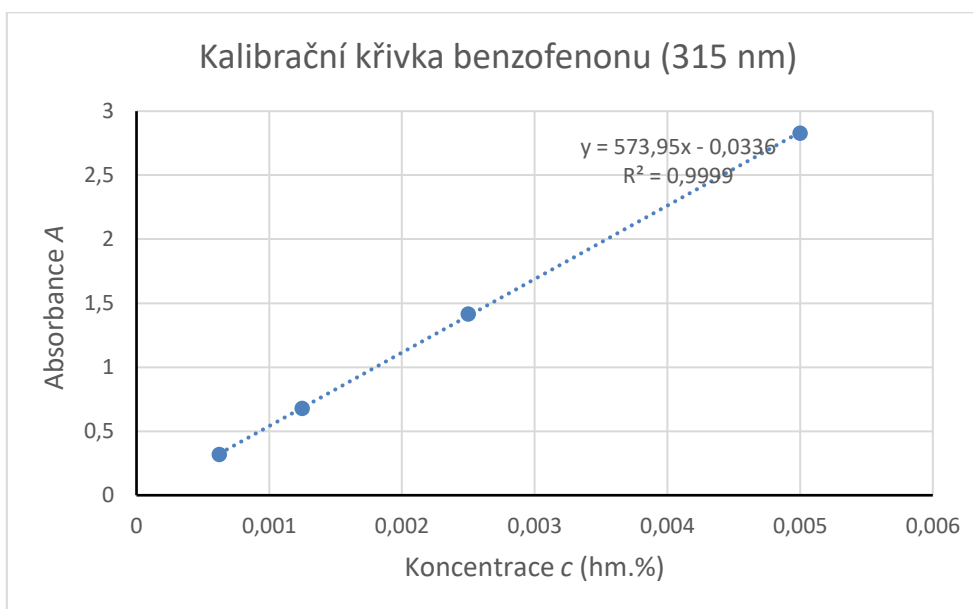
Výrobce	Název kontaktní čočky
Alcon	Precision 1
Bausch&Lomb	Biotrue ONEday
CooperVision	Avaira Vitality
CooperVision	Biomedics 55 Evolution
CooperVision	Clarity Elite
CooperVision	Clarity 1 day
CooperVision	MyDay
Johnson&Johnson	Acuvue Moist 1 – Day with Lacreon
Johnson&Johnson	Acuvue Oasys 1 – Day with HydraLuxe

4.3 Měření transmittance a absorbance

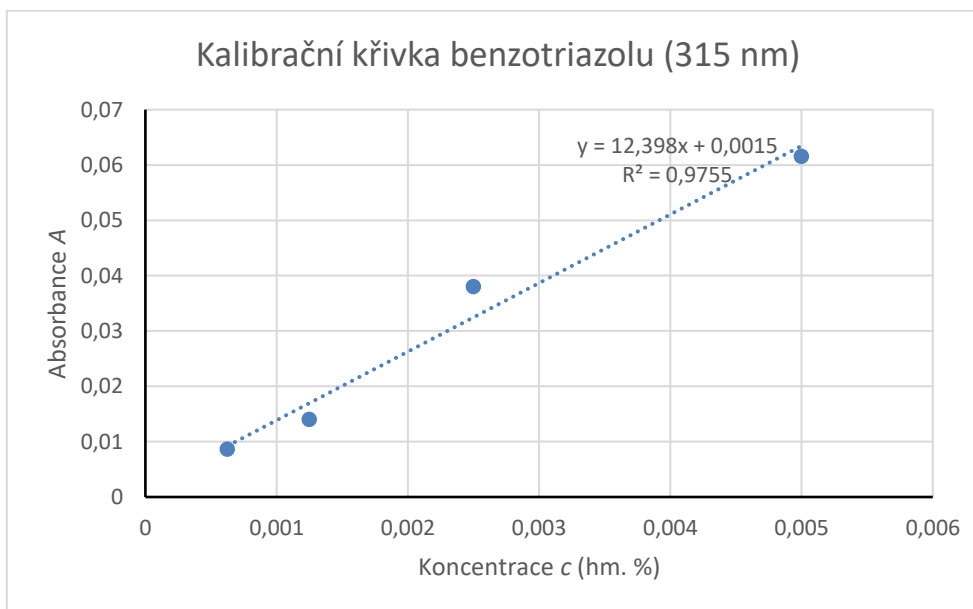
V experimentální části této práce jsem měřila absorpční spektra roztoků UV blokátorů o známé koncentraci. Z těchto dat jsem následně sestavila kalibrační křivky benzofenonu a benzotriazolu, ze kterých můžeme vyčíst, jaká koncentrace látky je potřebná pro dostatečnou UV ochranu. Poté jsem proměřila transmittanci a absorbanci u měkkých kontaktních čoček s UV blokátory z tabulky 5. Následně jsem naměřené hodnoty transmittance/absorbance porovnávala s očekávanými hodnotami, které výrobci u jednotlivých produktů uvádějí.

4.3.1 Kalibrační křivka UV blokátorů

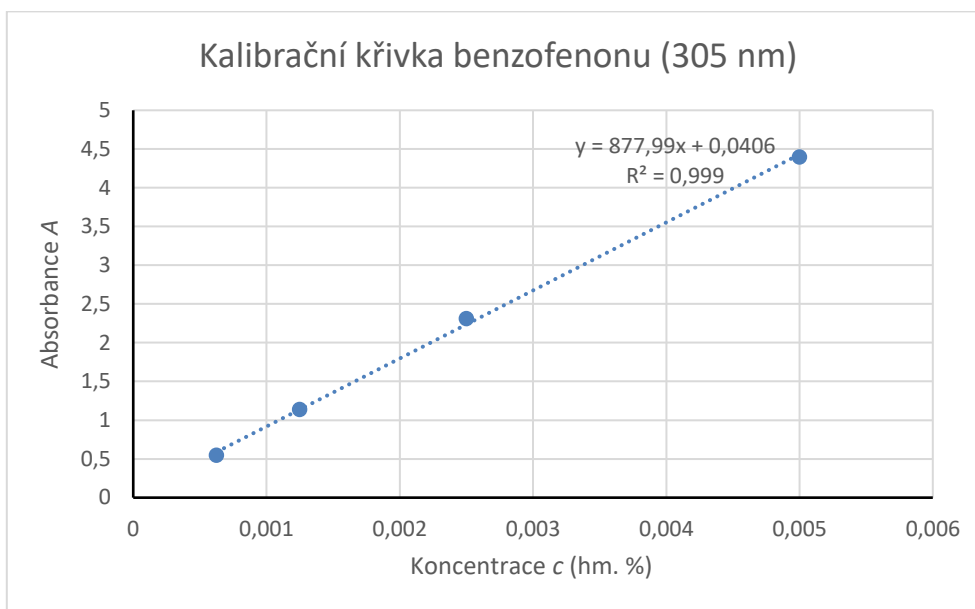
Pro vytvoření kalibračních křivek jsem si připravila roztoky o známých koncentracích sledovaných látek. U benzotriazolu i benzofenonu jsem volila koncentrace: $c_1 = 0,005$ hmot. %, $c_2 = 0,0025$ hmot. %, $c_3 = 0,00125$ hmot. % a $c_4 = 0,000625$ hmot. %. Tyto koncentrace jsem připravila naředěním příslušných navážek, které jsem stanovila pomocí váhy RADWAG PS 1000.R2, měřící s přesností na tisícinu gramu. Benzotriazol jsem ředila destilovanou vodou a benzofenon jsem rozpouštěla v ethanolu. Vzorky jsem vkládala do speciální kyvety s délkou optické dráhy 10 mm. Používaná kyveta byla vyrobena z křemenného skla, které má schopnost propouštět záření v oblasti 200 nm – 2500 nm. Následně jsem kyvetu vkládala do kyvetátoru v UV-VIS spektrofotometru SHIMADZU UV-2600i, kde jsem proměřovala transmittanci jednotlivých vzorků v oblasti od 200 nm do 800 nm. Každé měření vzorku bylo vztahováno na měření referenčního vzorku, tzv. blanku, který tvořila kyveta s rozpouštědlem. Kalibrační křivky jsem vynesla pro tři různé vlnové délky, nejprve pro 315 nm, tedy vlnovou délku, která se považuje za hranici mezi UVA a UVB zářením. Následně jsem sestavila kalibrační křivky pro absorbance vlnových délek, nacházejících se přímo ve spektrech UVA a UVB, přesněji pro vlnové délky 305 nm a 330 nm.



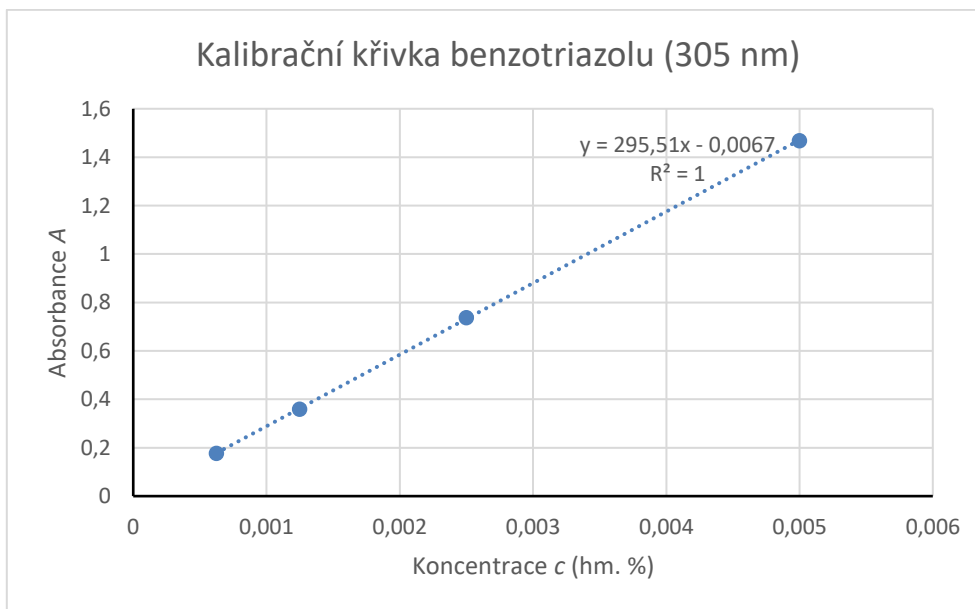
Graf 1: Kalibrační křivka benzofenonu (315 nm)



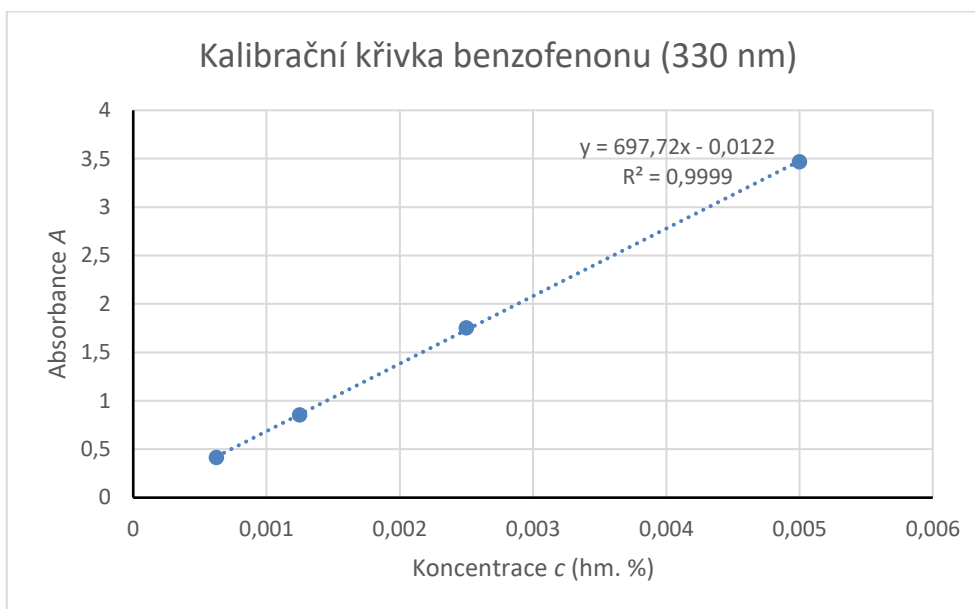
Graf 2: Kalibrační křivka benzotriazolu (315 nm)



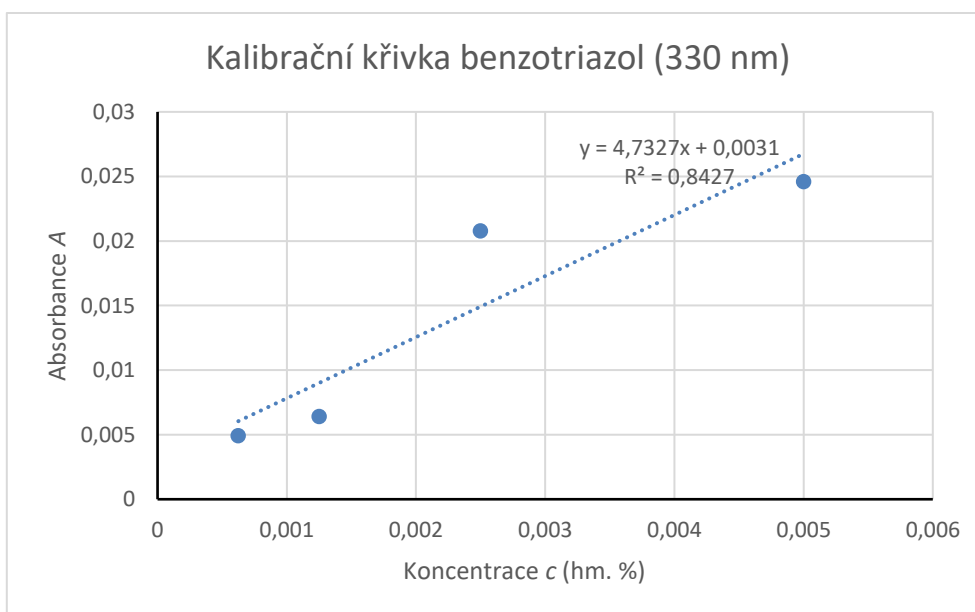
Graf 3: Kalibrační křivka benzofenonu (305 nm)



Graf 4: Kalibrační křivka benzotriazolu (305 nm)



Graf 5: Kalibrační křivka benzofenonu (330 nm)



Graf 6: Kalibrační křivka benzotriazolu (330 nm)

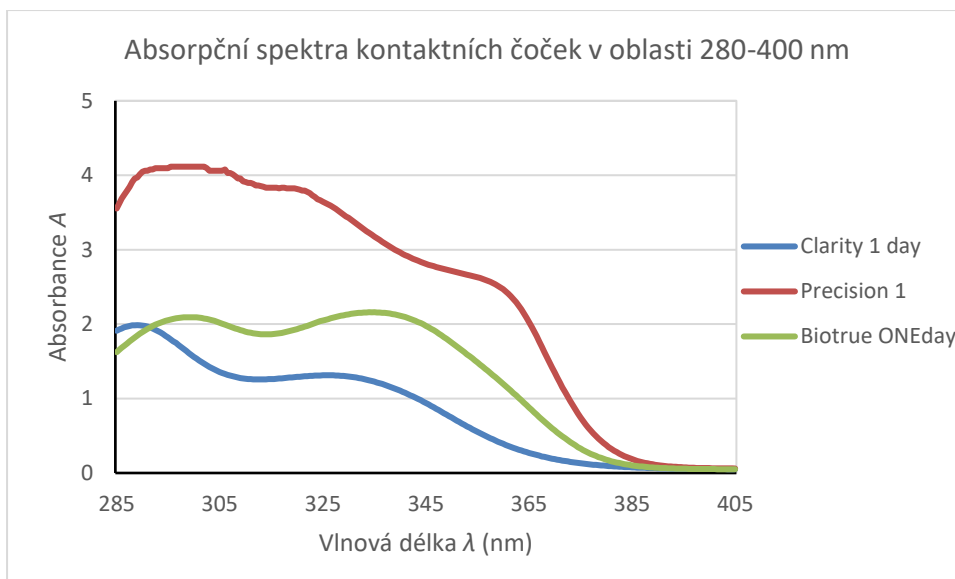
4.3.2. Měření transmittance a absorpance u kontaktních čoček

Pro měření transmittance a absorpance jsem použila kontaktní čočky uvedené v tabulce 2. Před samotným měřením transmittance a absorpance v oblasti od 200 nm do 800 nm jsem kontaktní čočku uchytila do speciálního přípravku skládajícího se z kovových destiček a čelistí z transparentního PMMA (Obrázek 17). Tento přípravek zajistil stálou pozici čočky během měření. Uchycení čočky v přípravku jsem zajistila tak, že jsem v místě jejího středu vysekla pomocí raznice kruh o průměru 8 mm, který přesně korespondoval s otvory kovových destiček, které jsem vkládala mezi transparentní čelisti. Takto složený přípravek jsem následně vložila do kyvety. Otvory přípravku byly přirozeně umístěny tak, aby se shodovaly s místem průchodu světelného paprsku přístroje. Vlastní vzorek byl vždy měřen vzhledem k referenčnímu vzorku, který tvořila kyveta s přípravkem na uchycení čočky.



Obrázek 17: Přípravek pro uchycení kontaktní čočky (vlastní zdroj)

Na začátku jsem provedla měření pro patnáct kusů kontaktních čoček stejného typu, abych ověřila přesnost měření a jeho reprodukovatelnost. U dalších typů kontaktních čoček jsem měření prováděla třikrát pro stejný kus čočky a danou hodnotu jsem zprůměrovala. V grafu 7 jsou znázorněna absorpční spektra kontaktních čoček. Pro lepší přehlednost jsem vybrala spektra v UVA a UVB oblasti pouze tři kontaktních čoček, a to čočky vykazující nejvyšší (Precision 1, Alcon), střední (Biotrue ONEday, Bausch&Lomb) a nejnižší (Clarity 1 day, CooperVision) schopnost UV blokace ze souboru kontaktních čoček vybraných pro toto měření. Grafy absorpance a transmittance jednotlivých čoček jsou uvedeny v příloze 3 této práce.



Graf 7: Absorpční spektra kontaktních čoček v UVA a UVB oblasti

4.4 Výsledky a diskuse

Tato kapitola je rozdělena do 4 částí. V první popisují kalibrační křivky pro benzofenon a benzotriazol, které byly sestaveny pro 3 různé vlnové délky. V druhé zjišťují přesnost měření. Ve třetí se zabývám transmitancí kontaktních čoček v UVA a UVB oblasti. Ve čtvrté části jsem se pokusila z kalibrační křivky odhadnout přibližnou koncentraci UV blokující látky, která byla použita u jednotlivých kontaktních čoček.

Z kalibračních křivek je zřejmé, že benzofenon má lepší schopnost UV blokace než benzotriazol. To je patrné i z grafů transmitance roztoků UV blokujících látek v příloze 1 a 2. Zároveň jsem zjistila, že pro účinnou blokaci UV záření stačí pouze velmi malá koncentrace UV blokující látky. Její přesnou mez jsem na základě svých experimentů v daném uspořádání a časovém limitu nebyla schopna zjistit. U některých kalibračních křivek pro benzotriazol nebylo možné proložit lineární závislost všemi zjištěnými body, což mohlo být způsobeno chybami měření. Kalibrační přímka pak byla proložena jako ideální pro dané uskupení experimentálních bodů.

V dalším kroku jsem ověřila přesnost měření u kontaktních čoček a to tak, že jsem zjistila transmitanci 15 kusů čoček stejného typu (Biotrue ONEday, Bausch&Lomb). Z naměřených hodnot propustnosti jsem vypočítala směrodatnou odchylku. Směrodatná odchylka měření v oblasti 200-372 nm se pohybovala v rozmezí 0-1 %, v oblasti 272,5-714,5 nm dosahovala hodnot od 1 do 2 % a v rozmezí vlnových délek 715-800 nm byla hodnota směrodatné odchylky největší, a to až 2,3 %. Z těchto výsledků lze konstatovat, že měření v UV oblasti, bylo relativně přesné, reprodukovatelnost dobrá. Proto mohla být další měření prováděna sice opakovaně (3x), ale pouze na jednom vzorku každého typu. Na základě měření transmitance u vybraných kontaktních čoček v oblasti vlnových délek 200-800 nm jsem zjistila následující skutečnosti.

Dle FDA kontaktní čočka první třídy by měla propouštět maximálně 10 % UVA a 1 % UVB záření. Kontaktní čočky druhé třídy UV blokace by měly propouštět nejvýše 30 % UVA a 5 % UVB záření. Jak bylo uvedeno v teoretické části, UVA oblast záření je v rozmezí 315-400 nm, FDA ale uvádí UVA záření v rozmezí vlnových délek od 316 nm do 380 nm. Abych mohla porovnat naměřené hodnoty s deklarovanými, omezila jsem svůj rozsah hodnot rovněž na interval vlnových délek 316-380 nm.

K překročení hodnoty transmittance ve zmíněné UVA oblasti došlo, v určitém rozsahu vlnových délek, u všech testovaných čoček. Kontaktní čočky první třídy, konkrétně Acuvue Oasys začínala propouštět více jak 10 % záření v UVA oblasti od vlnové délky 373 nm, čočka Avaira Vitality od vlnové délky 371 nm a kontaktní čočka Precision 1 překročila 10 % transmittanci při vlnové délce 373 nm. Zástupce kontaktních čoček druhé třídy, Acuvue Moist přesahovala 30 % transmittanci od vlnové délky 368,5 nm. Kontaktní čočka Biomedics 55 začala propouštět více jak 30 % záření od vlnové délky 359 nm, Clarity Elite od 357 nm a Clarity 1 day od vlnové délky 356 nm. Propustnost kontaktní čočky MyDay stoupla nad 30 % od vlnové délky 371,5 nm a čočky Biotrue ONeday při 371 nm. K překročení hodnoty transmittance kontaktních čoček v UVB oblasti došlo pouze v jediném případě, a to u kontaktní čočky Clarity 1 day. Transmittance této čočky v UVB oblasti je větší než 5 % od vlnové délky 307,5 nm. Pro větší přehlednost jsou výše uvedené údaje vyobrazeny v tabulce 6 a 7.

Tabulka 6: Vlnové délky, při kterých došlo k překročení stanovené hranice propustnosti kontaktních čoček 1. třídy UV blokace dle FDA

Kontaktní čočka 1. třídy UV blokace	Vlnová délka (nm), při které T přesáhla 10 % v UVA	Vlnová délka (nm), při které T přesáhla 1 % v UVB
Acuvue Oasys	373	-
Avaira Vitality	371	-
Precision 1	373	-

Tabulka 7: Vlnové délky, při kterých došlo k překročení stanovené hranice propustnosti kontaktních čoček 2. třídy UV blokace dle FDA

Kontaktní čočka 2. třídy UV blokace	Vlnová délka (nm), při které T přesáhla 30 % v UVA	Vlnová délka (nm), při které T přesáhla 5 % v UVB
Acuvue Moist	368,5	-
Biomedics 55	359	-
Clarity Elite	357	-
Clarity 1 day	356	307,5 nm
MyDay	371,5	-
Biotrue ONEday	371	-

V poslední části jsem se pokusila určit přibližnou koncentraci UV blokátoru ve vybraných kontaktních čočkách. Koncentraci látky jsem stanovovala pomocí kalibračních křivek sestavených pro vlnové délky 305 nm, 315 nm a 330 nm. Do rovnice spojnice trendu jsem dosazovala hodnoty absorbance naměřené u jednotlivých kontaktních čoček v daných oblastech. U kontaktních čoček, které mají UV blokátor na bázi benfenonu je koncentrace UV blokující látky v řádu tisícín hmotnostních procent. Přesněji zjištěná koncentrace u kontaktní čočky Biomedics 55 byla 0,002 hm.% ± 0,0004. Koncentrace UV blokátoru u kontaktní čočky Clarity Elite byla 0,002 hm. % ± 0,0003 a u čočky Clarity 1 day dosahovala hodnot 0,002 hm.% ± 0,0003. Koncentraci UV blokátoru na bázi benzotriazolu nebylo možné přímo určit v důsledku nepřesností v kalibračních křivkách. Aby se daly koncentrace přesněji určit, bylo by zapotřebí jednotlivé body kalibrační křivky lépe proložit, aby došlo k lepší shodě. Nejpřesnější kalibrační křivka byla sestavena pro hodnotu vlnové délky 305 nm, proto se domnívám, že použité koncentrace UV blokátorů v jednotlivých čočkách se pravděpodobně blíží koncentraci vypočítané z této kalibrační křivky. Tyto hodnoty se pohybují v řádu setin hmotnostních procent. Konkrétní hodnoty vypočítaných koncentrací jsou vyobrazeny v tabulce 8.

Tabulka 8: Transmittance kontaktních čoček při vlnových délkách 305 nm, 315 nm, 330 nm a vypočítané přibližné koncentrace UV blokátorů ve vybraných čočkách

Typ kontaktní čočky	Transmittance T (%) při λ 305 nm	Koncentrace c (hm. %) látky vypočítaná pro λ 305 nm	Transmittance T (%) při λ 315 nm	Koncentrace c (hm. %) látky vypočítaná pro λ 305 nm	Transmittance T (%) při λ 330 nm	Koncentrace c (hm. %) látky vypočítaná pro λ 305 nm
Acuvue Moist	1,59	0,006	2,28	0,132	1,59	0,371
Acuvue Oasys	0,01	0,014	0,02	0,307	0,03	0,757
Avaira Vitality	0,03	0,012	0,05	0,268	0,02	0,801
MyDay	1,12	0,007	1,64	0,144	0,72	0,452
Biotrue ONEday	0,96	0,007	1,37	0,150	0,74	0,450
Precision 1	0,01	0,014	0,02	0,309	0,04	0,724
Biomedics 55	1,92	0,002	2,85	0,003	3,03	0,002
Clarity Elite	3,60	0,002	4,56	0,002	4,24	0,002
Clarity 1 day	4,39	0,001	5,48	0,002	5,05	0,002

 = UV blokátor na bázi benzotriazolu

 = UV blokátor na bázi benzofenonu

Podle výsledků svého průzkumu situace na českém trhu mohu konstatovat, že nabídka kontaktních čoček s UV blokátory je na něm rozsáhlá (tabulka 4). Nejčastěji používanými typy UV blokátorů, inkorporovaných do struktury řetězců čoček jsou benzotriazol, který je používán většinou výrobci, a benzofenon, který uvádí pouze firma CooperVision u čoček Biomedics a Clarity. Na základě výsledků mých měření se domnívám, že UV blokátory benzofenonového typu jsou účinnější.

Pomocí kalibračních křivek a naměřených absorbancí jednotlivých kontaktních čoček jsem zjistila přibližnou použitou koncentraci UV blokátoru ve vybraných čočkách. Na základě měření předpokládám, že u čoček Biomedics 55, Clarity Elite a Clarity 1 day od CooperVision byla při výrobě pravděpodobně použita stejná koncentrace UV blokující látky, a to 0,002 hm. %. U kontaktních čoček s UV blokátorem na bázi benzotriazolu předpokládám koncentraci této látky v rozmezí 0,006-0,014 hm. % v závislosti na typu čočky (tabulka 8).

Kontaktní čočky 1. třídy UV blokace splňují kritérium propustnosti UVB záření podle FDA a v této oblasti propouštějí méně než 1 % záření. V UVA oblasti transmittance těchto čoček překračuje deklarovanou hodnotu 10 %, a to při vlnových délkách, které se blíží k viditelnému spektru elektromagnetického záření (tabulka 6). Kontaktní čočky 2. třídy UV blokace také splňují stanovenou hodnotu transmittance v UVB oblasti dle FDA a nepropouštějí více než 5 % záření

s výjimkou kontaktní čočky Clarity 1 day, která přesahuje tuto hranici propustnosti v rozmezí vlnových délek 307,5-315 nm. Všechny čočky 2. třídy přesahují stanovenou hranici propustnosti 30 % v UVA oblasti. K přesahu této hodnoty došlo při nejkratší vlnové délce 356 nm u kontaktní čočky Clarity 1 day a při nejdelší 371,5 nm u kontaktní čočky MyDay. Naměřené hodnoty a hodnoty udávané výrobcí kontaktních čoček se neshodují v UVA oblasti záření a u čočky Clarity 1 day i v oblasti UVB. Zjištěné rozdíly mezi deklarovanými hodnotami a mými výsledky mohou mít několik příčin. Mohlo k nim dojít v důsledku běžné chyby měření, rozdílnými metodami měření či odlišným vyhodnocením dat. Vzhledem k mé maximální snaze o pečlivost a preciznost v provedení experimentů i reprodukovatelnosti většiny získaných výsledků však lze předpokládat, že nalezené rozdíly mezi reálnými a deklarovanými hodnotami opravdu existují, nejsou však velké a týkají se převážně hraničních oblastí vlnových délek, a to v nepříliš širokém intervalu. Zároveň z naměřených hodnot vyplývá, že kontaktní čočky 1. třídy skutečně pohlcují více záření než kontaktní čočky 2. třídy, proto nulovou hypotézu nezamítám.

Naměřené hodnoty jsem dále porovnávala s bakalářskou prací z roku 2014 (59). Hodnoty bohužel nešlo náležitě porovnat, protože v této práci nebyly uvedeny konkrétní naměřené hodnoty, ale údaje byly vyobrazeny v grafech. Zároveň tato bakalářská práce byla vypracována před několika lety, proto jsou zde převážně naměřeny transmitance kontaktních čoček, které již nejsou na našem trhu dostupné. Avšak součástí vybrané práce byla absorpční spektra kontaktních čoček Acuvue Oasys, Acuvue Moist a MyDay stejně jako v mé práci. Na základě mého subjektivního zhodnocení jsou absorpční spektra téměř totožná. Liší se zde pouze rozsah hodnot absorpce. Rozdíl je pravděpodobně zapříčiněn použitím odlišných spektrofotometrů.

6. Závěr

Ultrafialové záření je krátkovlnné elektromagnetické záření, které působí na člověka každý den. UV záření může mít na lidský organismus pozitivní účinky jako je tvorba vitamínu D v kožních buňkách nebo negativní v podobě patologických změn očí a kůže. U očních tkání při nadměrné expozici tomuto záření může docházet k progresi či vzniku patologických stavů, mezi které řadíme baziliom, pterygium, pingueculu, fotokeratitidu, kataraktu a VPMD. Těmto patologickým změnám můžeme zabránit pomocí vhodné ochranné pomůcky. Komplexní ochranu nám poskytne kombinace pokrývky hlavy se širokou krempou, slunečních brýlí a kontaktních čoček s UV blokátory. Sluneční brýle poskytují ochranu oka a očního okolí před přímými paprsky, nikoliv periferními. Zamezit průniku těchto paprsků k oku můžeme dosáhnout přizpůsobením obruby tak, aby prohnutí brýle kopírovalo povrch obličeje či přidáním bočních krytů. K eliminaci periferních paprsků nám dobře poslouží i kontaktní čočky s UV blokátory.

Samotný polymer kontaktní čočky dokáže pohltit určité spektrum UV záření. V tomto případě není absorpce dostatečná v důsledku malé tloušťky čočky, která se pohybuje v řádu setin až desetin milimetru, v závislosti na dioptrické hodnotě kontaktní čočky. Pro získání účinnější UV ochrany u kontaktních čoček je zapotřebí do materiálu začlenit UV blokátor. UV blokátor je biokompatibilní látka mající absorpční vlastnosti a zpravidla je vázána na polymerním řetězci, který je schopen se začlenit do struktury polymerní sítě materiálu kontaktní čočky pomocí kopolymerizace. V produkci kontaktních čoček jsou používány UV blokátory na bázi benzotriazolu (ten je součástí většího počtu produktů) a benzofenonu. Oba tyto UV blokátory převádějí dopadající UV záření a jeho energii na energii chemickou, která mění okamžitou konfiguraci konjugovaných dvojných vazeb na konfiguraci opačnou. K tomuto procesu dochází opakovaně při dopadu dalšího energetického kvanta.

Na základě kalibračních křivek, které jsem proměřila a uvedla v experimentální části své práce usuzuji, že benzofenon pohlcuje UV záření lépe než benzotriazol. Začleněním těchto látek vznikají kontaktní čočky schopné blokovat UV záření. Ovšem, podle koncentrace citlivě nastavené tak, aby jejich přítomnost negativně neovlivnila jiné důležité vlastnosti čoček, zejména optické, botnací, mechanické a transportní, a podle složení vlastního materiálu čočky, je schopnost UV blokace proměnná, a to i v různém rozsahu vlnových délek. Americký úřad pro potraviny a léčiva, FDA, rozděluje kontaktní čočky podle absorpčních schopností do dvou tříd. První třída čoček blokujících

UV záření pohlcuje minimálně 90 % UVA a 99 % UVB záření. Kontaktní čočky druhé třídy by měly blokovat alespoň 70 % UVA a 95 % UVB záření.

Pro lepší představu o nabídce a dostupnosti kontaktních čoček se schopností UV blokace na českém trhu jsem v rámci této práce vytvořila jejich aktuální přehled zpracovaný do souhrnné tabulky. U vybraných čoček jsem následně provedla měření transmittance/absorbance pomocí UV-VIS spektrofotometru Shimadzu UV-2600. Na vybraném vzorku komerčně dostupných kontaktních čoček s UV blokátory jsem prokázala oprávněnost jejich zařazení do 1., respektive 2. třídy UV blokace, našla interval vlnových délek, kdy jejich účinnost UV blokace klesla pod deklarovanou mez a stanovila přibližné koncentrace UV blokátorů v materiálu čočky. V porovnání s již dříve dosaženými výsledky v této problematice jsem našla jak prvky dobré shody, tak určitý posun v poznání, daný zejména aktualizací dat. Na základě zpracovaných výsledků jsem potvrdila platnost základní hypotézy, že kontaktní čočky, které řadíme do 1. třídy UV blokace pohlcují více záření v UV oblasti než kontaktní čočky 2. třídy.

Mohu konstatovat, že vytčené cíle práce jsem splnila, a doufám, že má bakalářská práce přispěla k současnému poznání v oboru kontaktologie.

Seznam použité literatury

1. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. VÍDEŇSKÁ ÚMLUVA NA OCHRANU OZONOVÉ VRSTVY A MONTREALSKÝ PROTOKOL O LÁTKÁCH, KTERÉ POŠKOZUJÍ OZONOVOU VRSTVU [online]. nedatováno. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/informacni_brozury_chemicke_latky/\\$FILE/OZV-videnska_umluva_montrealcky_protokol-20120327.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/informacni_brozury_chemicke_latky/$FILE/OZV-videnska_umluva_montrealcky_protokol-20120327.pdf)
2. Kefíja. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kef%C3%ADja>
3. Haik (garment). In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Haik_\(garment\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Haik_(garment))
4. BENEŠ, Jiří, Daniel JIRÁK a František VÍTEK. *Základy lékařské fyziky*. 2015. ISBN 978-80-246-2645-1.
5. BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-4712-5.
6. ROSINA, Jozef. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4237-3.
7. *UV záření a oko* [online]. Dostupné z: https://www.jnjvisioncare.cz/sites/default/files/public/cz/tvci/knihovna/design-materialy-a-technologie/05_uv_zareni_a_oko-clanek.pdf
8. *Radiation: Ultraviolet (UV) radiation* [online]. 2016. Dostupné z: [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-ultraviolet-\(uv\)](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-ultraviolet-(uv))
9. FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana et. al. *Radiobiologie* [online]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/index.html>
10. DALE WILSON, Brummitte, Summer MOON a Frank ARMSTRONG. Comprehensive review of ultraviolet radiation and the current status on sunscreens. *The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*. 2012, 5(9), 18–23. ISSN 2689-9175.
11. Fototerapie. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fototerapie>
12. KAMARI, Farzin, Shahin HALLAJ, Fatemeh DOROSTI, Farbod ALINEZHAD, Negar TALESCHIAN-TABRIZI, Fereshteh FARHADI a Hassan ASLANI. Phototoxicity of environmental radiations in human lens: revisiting the pathogenesis of UV-induced cataract. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* [online]. 2019, 257(10), 2065–2077. ISSN 0721-832X, 1435-702X. Dostupné z: doi:10.1007/s00417-019-04390-3
13. WIKIPEDIE. *Ultrafialové záření* [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1r%C5%99en%C3%AD#UVC
14. KUČHYŇKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.

15. VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
16. *Víčka* [online]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/V%C3%AD%C4%8Dka>
17. DYLEVSKÝ, Ivan. *Funkční anatomie*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3240-4.
18. *Nemelanomové kožní nádory* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2020/05/07.pdf>
19. NAPOLI, Pietro Emanuele, Raffaele SANNA, Claudio IOVINO a Maurizio FOSSARELLO. Resolution of pinguecula-related dry eye disease after argon laser photocoagulation. *International Medical Case Reports Journal* [online]. 2017, **Volume 10**, 247–250. ISSN 1179-142X. Dostupné z: doi:10.2147/IMCRJ.S138786
20. MAJDI, Mercede, Behrad MILANI, Asadolah MOVAHEDAN, Lisa WASIELEWSKI a Ali DJALILIAN. The Role of Ultraviolet Radiation in the Ocular System of Mammals. *Photonics* [online]. 2014, **1**(4), 347–368. ISSN 2304-6732. Dostupné z: doi:10.3390/photonics1040347
21. VAN KUIJK, F J. Effects of ultraviolet light on the eye: role of protective glasses. *Environmental Health Perspectives* [online]. 1991, **96**, 177–184. ISSN 0091-6765, 1552-9924. Dostupné z: doi:10.1289/ehp.9196177
22. JUNGOVÁ, Irena. *Ochrana oka před škodlivými účinky vybraných složek elektromagnetického vlnění blízkých viditelné oblasti spektra*. Brno, 2016. b.n.
23. DI CARLO, Emiliano a Albert J. AUGUSTIN. Prevention of the Onset of Age-Related Macular Degeneration. *Journal of Clinical Medicine* [online]. 2021, **10**(15), 3297. ISSN 2077-0383. Dostupné z: doi:10.3390/jcm10153297
24. *Oční optika*. Praha: Český normalizační institut. 2000.
25. YAM, Jason C. S. a Alvin K. H. KWOK. Ultraviolet light and ocular diseases. *International Ophthalmology* [online]. 2014, **34**(2), 383–400. ISSN 0165-5701, 1573-2630. Dostupné z: doi:10.1007/s10792-013-9791-x
26. *Materials & Treatment* [online]. 2010. Dostupné z: <https://www.essiloracademy.fr/sites/default/files/2018-07/Cahier-Materials-and-Treatments-USA.pdf>
27. NAJMAN, Ladislav. *Dílenská praxe očního optika*. 2010. ISBN 978-80-7013-529-7.
28. *Ne všechny sluneční brýle jsou stejné* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/vision-care/lepsi-videni/sport-volny-cas/ne-vsechny-slunecni-bryle-jsou-stejne.html#7>
29. LOUREIRO, A D, L M GOMES a L VENTURA. Transmittance Variations Analysis in Sunglasses Lenses Post Sun Exposure. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2016, **733**, 012028. ISSN 1742-6588, 1742-6596. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/733/1/012028
30. *UV protection and filter categories, what exactly is that?* [online]. Dostupné z: <https://www.visionet.co.uk/services/buying-sunglasses-online/uv-protection>

31. *Česká oční optika, ročník 54* [online]. 2013. Dostupné z: https://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2013_03.pdf
32. *Polarizované sluneční brýlové čočky* [online]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/vision-care/zeiss-vyrobky/slunecni-brylove-cocky/polarizovane-slunecni-brylove-cocky.html#how>
33. MICHÁLEK, JIŘÍ, DANA CHMELÍKOVÁ, EVA CHYLÍKOVÁ KRUMBHOLCOVÁ, JIŘÍ PODEŠVA a MIROSLAVA DUŠKOVÁ SMRČKOVÁ. Historie měkkých kontaktních čoček aneb jak to bylo doopravdy. *Chemické listy*. 122, 3, 143-147. 2018.
34. *Kontaktní čočky* [online]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Kontaktn%C3%AD_%C4%8Do%C4%8Dky
35. WICHTERLE, O. a D. LÍM. Hydrophilic Gels for Biological Use. *Nature* [online]. 1960, **185**(4706), 117–118. ISSN 0028-0836, 1476-4687. Dostupné z: doi:10.1038/185117a0
36. EFRON, Nathan. *Contact lens practice*. New York, NY: Elsevier., 2010. ISBN 978-0-7506-8869-7.
37. EFRON, Nathan, ed. *Contact Lens Practice*. third edition. Edinburgh London New York: Elsevier, 2018. ISBN 978-0-7020-6660-3.
38. *Sborník přednášek - Kurz kontaktologů: 2. teoretická část*. Praha, 1997. b.n.
39. BRUCE, Adrian S, Milton M HOM a Carlos Luis SAONA SANTOS. *Manual of contact lens prescribing and fitting with CD-ROM*. Amsterdam: Elsevier-Masson, 2007. ISBN 978-84-458-1760-5.
40. Contact Lenses in the Correction Of Childhood Aphakia. *CLAO Journal*. 2002, **28**(1), 28–30.
41. WICHTERLE, Otto. *Vzpomínky*. Praha: Academia, 2007. ISBN 978-80-200-1495-5.
42. TRAN, Nguyen-Phuong-Dung, Ming-Chien YANG a Phuong Lan TRAN-NGUYEN. Evaluation of silicone hydrogel contact lenses based on poly(dimethylsiloxane) dialkanol and hydrophilic polymers. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* [online]. 2021, **206**, 111957. ISSN 09277765. Dostupné z: doi:10.1016/j.colsurfb.2021.111957
43. MUSGRAVE, Christopher Stephen Andrew a Fengzhou FANG. Contact Lens Materials: A Materials Science Perspective. *Materials* [online]. 2019, **12**(2), 261. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma12020261
44. MÉIJOME, José M. González -, Javier GONZÁLEZ - PÉREZ, Paulo R.B. FERNANDES, Daniela P. Lopes-FERREIRA, Sergio MOLLÁ a Vicente COMPAÑ. Silicone Hydrogels Materials for Contact Lens Applications. In: Atul TIWARI a Mark D. SOUCEK, ed. *Concise Encyclopedia of High Performance Silicones* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2014 [vid. 2021-12-27], s. 293–308. ISBN 978-1-118-93847-8. Dostupné z: doi:10.1002/9781118938478.ch19
45. Seznámení s prvními jednodenními jednorázovými silikon-hydrogelovými kontaktními čočkami na světě. *Česká oční optika*. 2009, 1.
46. CULLEN, Anthony P. Ozone Depletion and Solar Ultraviolet Radiation: Ocular Effects, a United Nations Environment Programme Perspective. *Eye & Contact Lens: Science & Clinical Practice* [online]. 2011, **37**(4), 185–190. ISSN 1542-2321. Dostupné z: doi:10.1097/ICL.0b013e318223392e

47. CORONEO, Minas. Ultraviolet Radiation and the Anterior Eye. *Eye & Contact Lens: Science & Clinical Practice* [online]. 2011, **37**(4), 214–224. ISSN 1542-2321. Dostupné z: doi:10.1097/ICL.0b013e318223394e
48. CHANDLER, Heather. Ultraviolet Absorption by Contact Lenses and the Significance on the Ocular Anterior Segment. *Eye & Contact Lens: Science & Clinical Practice* [online]. 2011, **37**(4), 259–266. ISSN 1542-2321. Dostupné z: doi:10.1097/ICL.0b013e3182240945
49. FAUBL, Hermann. UV blocking lenses and material containing benzotriazoles and benzophenones.
50. Absorption spectroscopy. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_spectroscopy
51. Spektrofotometrie. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Spektrofotometrie>
52. Spectrophotometry. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrophotometry#UV-visible_spectrophotometry
53. SUBHANOVÁ, Iva. *Spektrofotometrie* [online]. ÚSTAV LÉKAŘSKÉ BIOCHEMIE A LABORATORNÍ DIAGNOSTIKY 1. LF UK, 2018. b.n. Dostupné z: <https://ulbld.lf1.cuni.cz/file/4941/spektrofotometrie-teorie-201819.pdf>
54. Spektrofotometrie (2. LF UK). *WikiSkripta* [online]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie_\(2._LF_UK\)](https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie_(2._LF_UK))
55. *Využití spektrofotometrie pro stanovení reziduí léčiv ve vodách*. Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí, 2007. b.n.
56. JIRÁK, Daniel a František VÍTEK. *Basics of medical physics* [online]. 2018 [vid. 2022-04-29]. ISBN 978-80-246-3884-3. Dostupné z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1799208>
57. Transmittance. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Transmittance>
58. Beer–Lambert law. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Beer%E2%80%93Lambert_law
59. SUCHÁ, Iveta. *Materiály pro kontaktní čočky z hlediska jejich absorpce v UV-VIS oblasti a význam UV blockerů*. Kladno, 2014. b.n.
60. *Michálek, J.* 2022. ústní informace.

Seznam symbolů a zkratek

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
<i>Dk</i>	barrer	Permeabilita

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
ANSI	American National Standards Institute
CAB	Acetobutyrate celulózy
DMA	N,N-dimethylacrylamide
FDA	U.S Food and Drug Administration
FM0411M	Methacryloyloxyethyl-iminocarboxyethoxypropyl-poly(dimethylsiloxo)butyldimethylsilan
GMMA	Glycerolmethakrylát
H0B	2-hydroxybutylmethakrylát
HEMA	Hydroxyethylmethakrylát
IBM	Isobornyl methakrylát
M3U	Bis(methacryloyloxyethyl iminocarboxy ethoxypropyl)-poly(dimethylsiloxane)-poly(trifluoropropylmethylsiloxane)-poly(methoxy-poly[ethyleneglycol] propylmethylsiloxane)
MA	Kyselina methakrylová
MMA	Methylmethakrylát
MPDMS	Monofunctional polydimethylsiloxane
NCVE	N-carboxyvinyl ester
NVP	N-vinyl pyrrolidone
PBVC	Poly(dimethylsiloxo)di(silylbutanol)bis(vinylcarbamate)
PMMA	Poly(methylmethakrylát)
PVP	Polyvinyl pyrrolidone
RGP	Rigid gas permeable
SIA	Siloxanyl acrylát
SIMA	Siloxanyl methakrylát
TAIC	1,3,5-triallyl-1,3,5-triazine-2,4,6(1H,3H,5H)-trione
TEGDMA	Tetraethyleneglycoldimethakrylát
TPVC	Tris-(trimethyl siloxysilyl) propylvinyl carbamate
TRIS	Trimethyl siloxysilyl
VMA	N-vinyl-N-methylacetamide
VPMD	Věkem podmíněná makulární degenerace

Seznam obrázků

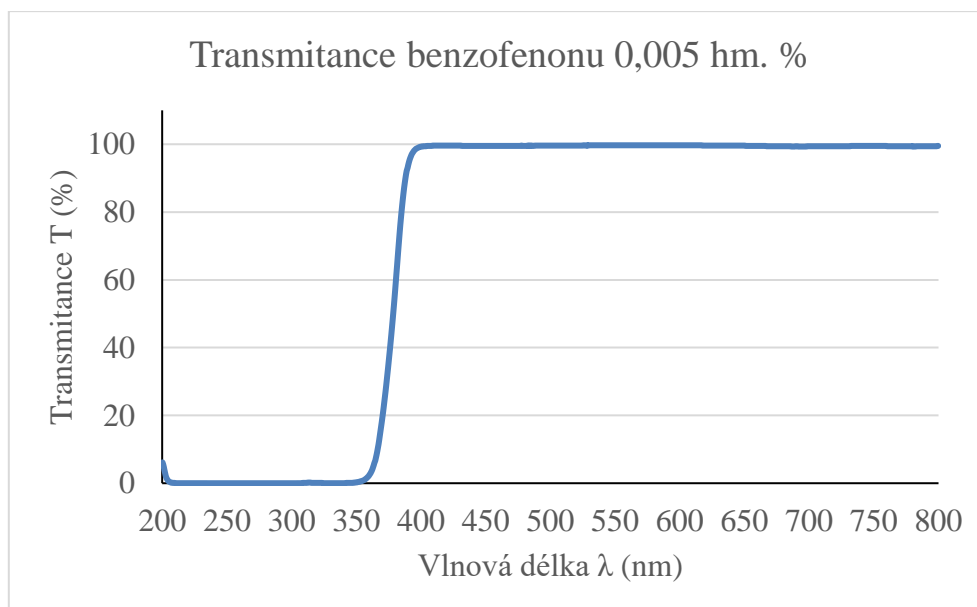
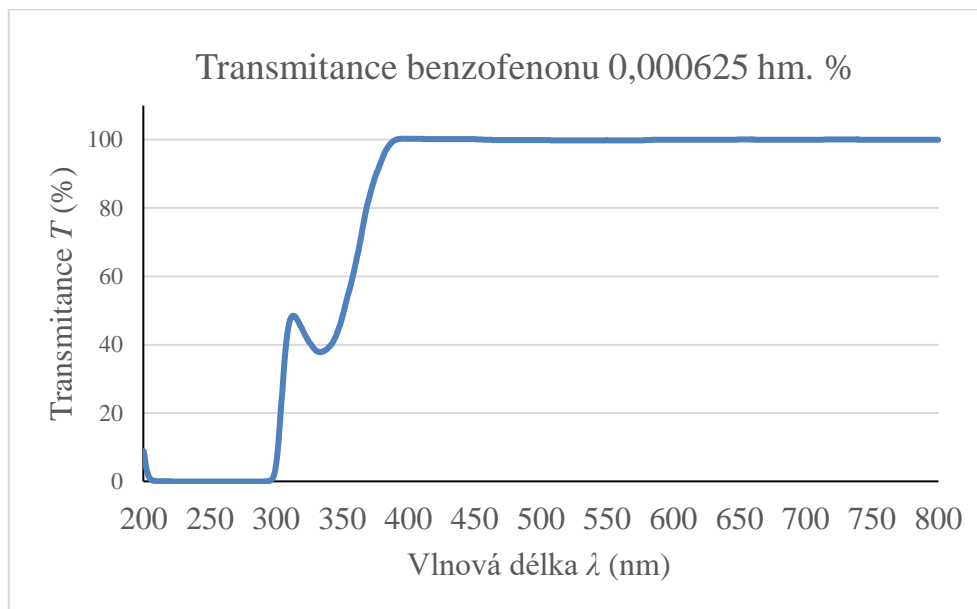
Obrázek 1: Spektrum elektromagnetického záření.....	12
Obrázek 2: Nitrooční filtrace UV záření očními tkáněmi.	14
Obrázek 3: Exulcerovaný bazocelulární karcinom dolního víčka.....	15
Obrázek 4: Bazaliom očního víčka.....	15
Obrázek 5: Pinguecula.....	16
Obrázek 6: Pterygium.....	17
Obrázek 7: Kortikální katarakta.	19
Obrázek 8: Vrstvy sítnice.	20
Obrázek 9: Ochrana oka pomocí slunečních brýlí.	22
Obrázek 10: Ochrana oka pomocí slunečních brýlí a kontaktní čočky s UV blokátorem.....	22
Obrázek 11: Ochranné brýle proti UVC s bočními kryty (34).....	26
Obrázek 12: Vzorec hydroxyethylmethakrylátu.	31
Obrázek 13: Strukturní vzorec benzofenonu (52)	36
Obrázek 14: Strukturní vzorec benzotriazolu (53)	36
Obrázek 15: UV-VIS spektrofotometr Shimadzu UV-2600 (vlastní zdroj).....	43
Obrázek 16: Váha RADWAG PS 1000.R2. (vlastní zdroj)	44
Obrázek 17: Přípravek pro uchycení kontaktní čočky (vlastní zdroj)	49

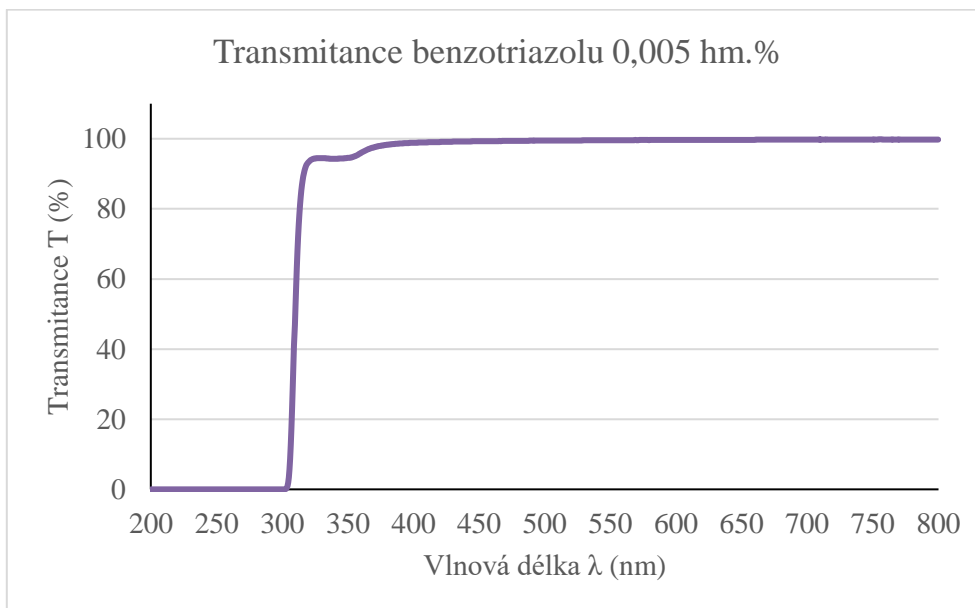
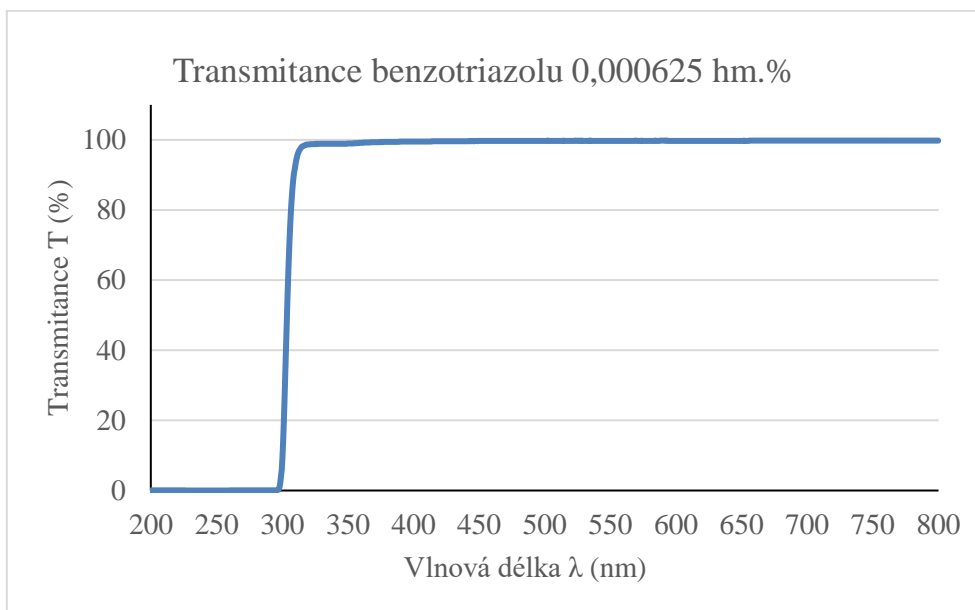
Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1: Kategorie filtrů podle propustnosti viditelné oblasti světla (23).....	23
Tabulka 2: RGP čočky firmy Bausch + Lomb a jejich permeabilita (39).....	29
Tabulka 3: Silikonhydrogely 3. generace a jejich vlastnosti.....	34
Tabulka 4: Kontaktní čočky s UV blokátory.....	42
Tabulka 5: Kontaktní čočky použité v experimentální části.....	44
Tabulka 6: Vlnové délky, při kterých došlo k překročení stanovené hranice propustnosti kontaktních čoček 1. třídy UV blokace dle FDA.....	52
Tabulka 7: Vlnové délky, při kterých došlo k překročení stanovené hranice propustnosti kontaktních čoček 2. třídy UV blokace dle FDA.....	53
Tabulka 8: Transmittance kontaktních čoček při vlnových délkách 305 nm, 315 nm, 330 nm a vypočítané přibližné koncentrace UV blokátorů ve vybraných čočkách.....	54
Graf 1: Kalibrační křivka benzofenonu (315 nm).....	46
Graf 2: Kalibrační křivka benzotriazolu (315 nm).....	46
Graf 3: Kalibrační křivka benzofenonu (305 nm).....	47
Graf 4: Kalibrační křivka benzotriazolu (305 nm).....	47
Graf 5: Kalibrační křivka benzofenonu (330 nm).....	48
Graf 6: Kalibrační křivka benzotriazolu (330 nm).....	48
Graf 7: Absorpční spektra kontaktních čoček v UVA a UVB oblasti.....	50

Přílohy

Příloha 1: Transmittance benzofenonu



Příloha 2: Transmittance benzotriazolu

Příloha 3: Absorbance a transmittance vybraných kontaktních čoček

