



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra přírodovědných oborů

Poškození a trvanlivost ochranných vrstev brýlové čočky

Damage and durability of protective layers of spectacle lenses

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor práce: Jana Valtrová

Vedoucí práce: Mgr. Jakub Král

Kladno 2018

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2017/2018

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

Student: **Jana Valtrová**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Poškození a trvanlivost ochranných vrstev brýlové čočky**
Téma anglicky: Damage and durability of protective lenses of spectacle lenses

Zásady pro vypracování:

Úvodních kapitolách student vypracuje kapitoly o materiálech brýlových čoček a jejich možnosti zušlechtnění a to zejména antireflexní a hydrofóbní úpravy. Dále popíše jednotlivé mechanismy poškození a působení vnějších a vnitřních vlivů na tyto vrstvy a v následující kapitole porovná a nafotí jednotlivé vady vrstev a vytvoří diferenciální přehled nejčastějších poškození vrstev.

Seznam odborné literatury:

- [1] POLÁŠEK, Jaroslav a kol., Technický sborník oční optiky, ed. 1, Praha: Oční optika n. p., 1997, ISBN SIP-41304/03112-301-05-2
- [2] NAJMAN, L., Dílenská praxe oční optika, ed. 2, Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotních oborů, Brno, 2010, ISBN 978-807-0135-297
- [3] Česká oční optika, Praha 4: EXPO DATA spol.s.r.o., číslo 4/2009, ročník 50, ISSN 1211-233X

Zadání platné do: 20.09.2019

Vedoucí: Mgr. Jakub Král

vedoucí katedry / pracoviště

děkan

V Kladně dne 19.02.2018

Název bakalářské práce:

Poškození a trvanlivost ochranných vrstev brýlové čočky

Abstrakt:

Cílem této práce je rozdělit materiály brýlových čoček do základních skupin, které jsou následně popsány. Dále se práce zabývá ochrannými a zušlechťujícími vrstvami, které jsou nanášeny na brýlové čočky. Je zde popsáno, k čemu slouží, z čeho se skládají a způsob nanášení na základní materiál.

Posledním tématem, kterým se práce zabývá, je možnost poškození ochranných vrstev. Jak může poškození vzniknout, za jakých podmínek a co to způsobí.

V experimentální části bylo provedeno několik testů na odolnost čoček proti mechanickým, chemickým a tepelným vlivům a bylo zkoumáno, jaký z vlivů může nejvíce ovlivnit propustnost brýlové čočky.

Klíčová slova:

Ochranné vrstvy brýlových čoček, zušlechťující vrstvy, antireflexní úprava, hydrofobní úprava, poškození ochranných vrstev

Bachelor's Thesis title:

Damage and durability of protective layers of spectacle lenses

Abstract:

The aim of this work is divide the lenses materials into the basic groups, which are described subsequently. Furthermore, the thesis deals with protective and refinement layers, which are applied to glasses. It is described here from which it is composed and the methods of application to the base material.

The last topic, dealing with work, is the possibility of damage to the protective layers. How is it a shame, under what conditions, what causes it.

In the experimental part, several tests were carried out on the resistance of lenses against mechanical, chemical and thermal influences, and tested which of the influences can most affect the permeability of the lenses.

Key words:

Protective layers of spectacle lenses, thin layers, antireflective layer, hydrophobic treatment, damage of protective layers

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Mgr. Jakubu Královi, za cenné rady a připomínky při zpracování. Dále bych chtěla poděkovat svému konzultantovi Ing. Petru Písaříkovi, Ph.D., za jeho čas a podněty při laboratorním měření a zpracování experimentální části.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Poškození a trvanlivost ochranných vrstev brýlové čočky“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V *Kladně* dne

.....

podpis

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Základní vlastnosti brýlových čoček.....	2
2.1	Index lomu	2
2.2	Abbeovo číslo	3
2.3	Propustnost.....	4
2.4	Odrazivost.....	4
3	Materiály brýlových čoček.....	6
3.1	Minerální materiály.....	6
3.2	Organické materiály.....	7
3.2.1	Brýlové čočky se standardním indexem lomu	8
3.2.2	Brýlové čočky se středním indexem lomu.....	9
3.2.3	Brýlové čočky s vysokým indexem lomu	9
3.2.4	Brýlové čočky s velmi vysokým indexem lomu	10
3.2.5	Polymethylmetakrylát (PMMA)	10
3.2.6	Polykarbonát (PC).....	10
3.2.7	Trivex	11
3.2.8	NXT Materiál	11
4	Tenké zušlechťující vrstvy minerálních čoček.....	12
4.1	Tvrzení	12
4.1.1	Tepelné tvrzení.....	12
4.1.2	Chemické tvrzení	12
4.2	Antireflexní úprava	13
4.3	Absorpční vrstva (barvení)	13
4.4	Reflexní (zrcadlová) vrstva.....	13
4.5	Samočisticí vrstva (hydrofilní a hydrofobní).....	13

5	Tenké zušlechťující vrstvy u organických čoček	14
5.1	Barvení brýlových čoček	14
5.2	Tvrzené vrstvy	15
5.2.1	Tvrzení ponořením do tvrdícího laku.....	15
5.2.2	Tvrzení rotačním nanášením tvrdícího laku.....	16
5.2.3	Tvrzení ve formě	16
5.2.4	Vakuové tvrzení	17
5.3	Antireflexní úprava	17
5.4	Nanášení antireflexní vrstvy	20
5.4.1	Tepelné napařování	20
5.4.2	Napaření pomocí plazmy	21
5.4.3	Napaření pomocí svazku iontů.....	21
5.5	Hydrofobní, olejofobní a antistatické vrstvy	22
5.6	Optifog	23
5.7	Reflexní vrstvy.....	24
6	Poškození tenkých zušlechťujících vrstev	25
6.1	Mechanické poškození a testy	25
6.1.1	QUV Test	27
6.1.2	Bayerův test.....	28
6.2	Chemické poškození	29
6.3	Tepelné poškození a testy	30
6.3.1	Varný test	31
6.3.2	Teplotní test.....	31
7	Experimentální část	32
7.1	Metodika práce	33
7.2	Tepelné poškození	34
7.2.1	Varný test	34

7.2.2	Tepelný test	38
7.2.3	Test mrazem	41
7.3	Chemické poškození	42
7.3.1	Poškození lakem na vlasy	42
7.4	Mechanické poškození	43
8	Diskuze	46
9	Závěr	48
	Seznam použité literatury	49
	Seznam obrázků	52
	Seznam tabulek	54

1 Úvod

Téma „Poškození a trvanlivost povrchových vrstev brýlových čoček“ jsem si vybrala, protože mne zaujalo. Považuji rovněž za nezbytné mít v tomto oboru přehled o tom, jaké povrchové a zušlechťující úpravy se v dnešní době používají. Jaký mají význam a na jakém principu jsou založeny. Jakým způsobem probíhá jejich samotné nanášení na brýlovou čočku.

Na začátku své práce stručně popisuji základní vlastnosti brýlových čoček a jejich souvislosti.

V další části uvádím rozdělení brýlových čoček do dvou skupin: minerální a organické. Tyto skupiny následně podrobněji rozvádím a rozděluji na podskupiny (např. podle indexu lomu) a vypisuji jejich základní vlastnosti.

V následujících kapitolách se dále věnuji povrchovým úpravám brýlových čoček. Tato oblast je rozdělena na dvě základní skupiny: Povrchové úpravy minerálních čoček a povrchové úpravy organických čoček. Následně popisuji jejich způsob aplikace na čočku. Největší důraz kladu na antireflexní a hydrofobní úpravu, kde popisuji principy, na kterých se zakládají, jak se nanáší, k čemu přesně slouží a jaké jsou jejich vlastnosti.

Poslední kapitolu v teoretické části jsem zaměřila na testy na poškození tenkých zušlechťujících vrstev. Toto téma je rozděleno na tři podtémata: poškození způsobené mechanickými vlivy, tepelnými a chemickými. U každého z nich jsem uvedla minimálně jeden test, který se běžně na kontrolu kvality povrchových úprav používá.

Experimentální část je rozdělena na tři základní oblasti. Testování odolnosti zušlechťujících vrstev proti tepelným, chemickým a mechanickým vlivům, kdy jsou zároveň porovnávány dva typy brýlových čoček od výrobce Omega Optix. Dále je zkoumáno jak velké změny při těchto testech nastaly (změna transmisibility, degradace povrchových úprav, rozptyl světla atd.).

2 Základní vlastnosti brýlových čoček

V následující kapitole uvádím popis základních vlastností brýlových čoček, mezi které patří index lomu, Abbeovo číslo, disperze, transmisibilita a reflexibilita. Tyto veličiny popisují optické vlastnosti samotné brýlové čočky. [1]

2.1 Index lomu

Index lomu prostředí (n , N) je fyzikální veličina charakterizující dané prostředí. Světlo se šíří v optickém prostředí, což je prostředí, na němž se světlo odráží nebo pohlcuje. Důležitou charakteristikou tohoto prostředí je rychlost v_λ , kterou se jím šíří jednobarevné světlo. [1]

Index lomu je definován vztahem: [1]

$$n = \frac{c}{v_\lambda} \quad (1)$$

Kde $c \approx 300\,000$ m/s je rychlost světla ve vakuu a v_λ je fázová rychlost světla vlnové délky λ v prostředí. Protože rychlost v_λ závisí na vlnové délce světla, tak i index lomu závisí na λ , tj. $n = n_\lambda$. Závislosti indexu lomu prostředí na vlnové délce světla se nazývá disperze prostředí. [2]

Největší význam pro praxi má index lomu n_λ vzhledem ke vzduchu. Je to právě ten index lomu, který se uvádí na brýlových čočkách. Jedná se tedy o poměr rychlosti světla ve vzduchu $v_{0\lambda}$ a rychlosti světla v uvažovaném prostředí v_λ . A lze jej vyjádřit vztahem: [3]

$$n_\lambda = \frac{v_{0\lambda}}{v_\lambda} \quad (2)$$

Rozsah indexů lomu n je od 1,45 do 1,90 a rozsah Abbeova čísla od 20 do 70. [3]

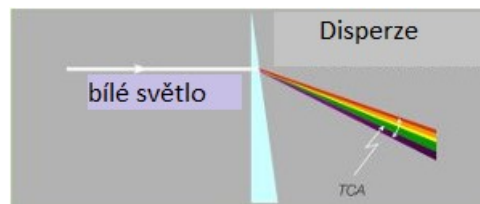
Vztah indexu lomu a dalších vlastností brýlových čoček:

Čím vyšší je index lomu materiálu, tím:

- menší je Abbeovo číslo a tím horší kvalita zobrazení
- větší je disperze
- vyšší odrazivost
- nižší propustnost [4]

2.2 Abbeovo číslo

Abbeovo číslo je bezrozměrné a popisuje disperzní mohutnost optického prostředí. Hodnota tohoto čísla vyjadřuje závislost indexu lomu na vlnové délce světla. Tedy jak silně daný materiál světlo rozkládá. Zároveň platí, že čím vyšší je hodnota Abbeova čísla, tím má daný materiál nižší disperzi. [5, 6]



Obrázek 1: Disperze na prizmatickém klínu [5]

Nízká disperze nastává, pokud je Abbeovo číslo menší než 45. Střední je, když je $V \geq 39$ nebo < 45 . A vysoký rozklad světla nastává, pokud má materiál Abbeovo číslo menší než 39. [5]

Abbeovo číslo se značí V a jeho výpočet lze vyjádřit vzorcem z indexů lomu zvoleného materiálu pro tři přesně definované vlnové délky, které spadají do viditelného světla. [5, 7]

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} \quad (3)$$

Kde n_D , n_F a n_C je index lomu příslušného materiálu na vlnových délkách odpovídajících Fraunhoferovým čárám D , F a C (tj. 589,2 nm, 486,1 nm a 656,3 nm). [7]

Čím je hodnota Abbeova čísla vyšší, tím je disperze materiálu menší a z toho důvodu je tedy vhodnější pro použití. Běžně je Abbeovo číslo V v rozsahu 20 – 70. [7, 8]

2.3 Propustnost

Propustnost pro světlo neboli transmisibilita světla se definuje jako množství světla, které prostoupí optickým prostředím a zároveň při tom není pohlceno. [1]

Vyjádruje se jako podíl intenzity světla lomeného na rozhraní (I') a intenzity světla dopadajícího na rozhraní (I). Propustnost světla (T) se udává v procentech prošlého světla. [1]

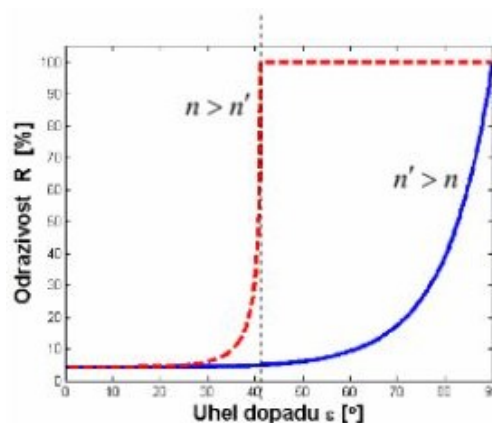
$$T = \frac{I'}{I} \quad (4)$$

2.4 Odrazivost

K odrazivosti světla dochází při dopadu světla na rozhraní dvou optických prostředí. Odrazivost (R) se definuje jako podíl intenzity odraženého světla (I'') a intenzity dopadajícího světla (I). [10]

$$R = \frac{I''}{I} \quad (5)$$

Odrazivost se vyjadřuje v procentech odraženého světla a závisí na indexu lomu optických prostředí, na úhlu dopadu a na vlnové délce světla. Pod úhlem 0° - 30° je odrazivost téměř konstantní a rovná se odrazivosti pro kolmý dopad. Při úhlu větším než 60° se odrazivost výrazně mění. Při úhlu 90° dosahuje odrazivost 100%. [11]



Obrázek 2: Závislost odrazivosti na úhlu dopadu [12]

Tabulka č.1 ukazuje, jak souvisí index lomu brýlové čočky s odrazivostí světla.

Tabulka 1: Závislost indexu lomu na odrazivosti brýlových čoček [11]

Typ materiálu	Index lomu brýlové čočky	Odrzivost (%)
CR 39	1,498	3,97
Minerál	1,523	4,3
Vysokoindex. materiál	1,560	4,79
Vysokoindex. materiál	1,6	5,33
Vysokoindex. materiál	1,7	6,72

3 Materiály brýlových čoček

Brýlové čočky se obecně dělí do dvou skupin. Čočky vyrobené z anorganických hmot a čočky vyrobené z organických hmot. Mezi tzv. anorganické čočky patří čočky označované jako skleněné, silikátové nebo minerální. Druhá skupina čoček, tzv. organické čočky, označujeme také jako čočky plastové. [8]

Důležitá podmínka, kterou musí všechny čočky bez ohledu na materiál splňovat, je dokonalá čistota těchto materiálů. [8]

3.1 Minerální materiály

Sklo je amorfni materiál. V pevném skupenství jej můžeme pozorovat při běžné teplotě (23 °C) a je možné jej rozbít. Při náhlé změně teploty sklo většinou praská. Zároveň při pozvolném zvýšení teploty můžeme sklo přivést do viskózního stavu. Sklo nemá pevný bod tání, pouze při zahřívání plynule snižuje svou viskozitu [8, 13]

Sklo o standardním indexu lomu 1,5 je složeno převážně z oxidů křemíku (Si) (60-70%). Zbytek tvoří oxidy vápníku (Ca), sodíku (Na) a boru (B). Sklo o indexu lomu 1,6 obsahuje příměs dioxidu titanu [14]

Materiály pro výrobu minerálních brýlových čoček lze rozdělit do dvou skupin: [15]

- a) Křemíko-vápenaté sklo
 - Index lomu - 1,523
 - Abbeovo číslo - okolo 60
- b) Boro-křemičité sklo
 - Index lomu - 1,6
 - Abbeovo číslo – okolo 42

Nebo lze dělit materiály pro výrobu minerálních čoček podle indexu lomu: [15]

- a) Korunové – draselno – vápenaté – nízkoindexové
 - Abbeovo číslo vyšší než 55
- b) Flintové – draselno – olovnaté – vysokoindexové
 - Abbeovo číslo nižší než 55

Vysokoindexové sklo bylo vyrobeno za účelem dosáhnout co nejvyššího indexu lomu a zároveň nízké disperze. Je dáno, že čím vyšší index lomu, tím je umožněno vyrobit tenčí brýlovou čočku, kde i její objem bude nižší. [14]

V dnešní době se ale od výroby brýlových čoček ze skla ustupuje. Nejvyužívanější sklo je dnes korunové a jeho modifikace. [16]

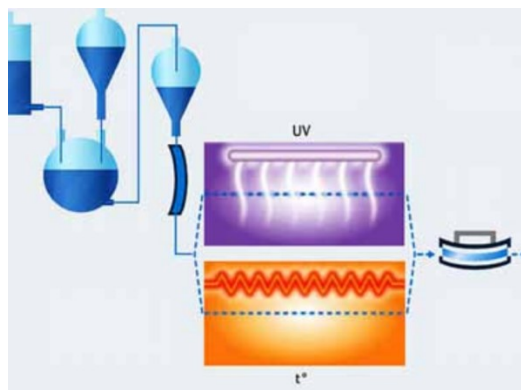
Pro ústup od výroby skleněných čoček existuje hned několik důvodů. Výroba je náročnější stejně jako následné broušení a opracování. Sklo je těžké a křehké, takže při jeho rozbití je zde riziko poranění oka. [4]

3.2 Organické materiály

Organické brýlové čočky lze rozřadit podle typu materiálu do dvou skupin: termosety a termoplasty. [15]

Termosety (reaktoplasty) jsou materiály, které po zahřátí tvrdnou a poté s nimi nelze dál pracovat a měnit jejich tvar. Nejčastěji jsou tyto materiály vyráběny metodou lití neboli casting. Nejpoužívanější termoset je v dnešní době materiál CR-39. [15]

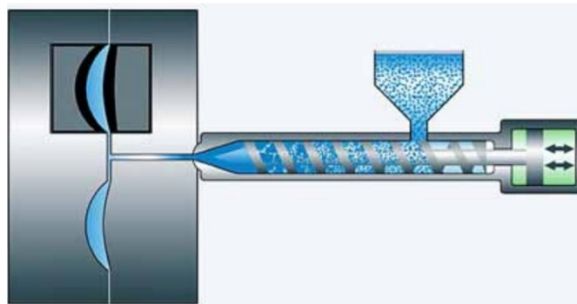
Při výrobě CR-39 se nejprve připraví monomer, který je dále filtrován, odplynován a jsou do něj přidány katalyzátory. Dále jsou sestaveny formy, do kterých je následně monomer odlit. Následuje polymerizace pomocí tepla po dobu několika hodin nebo je možné použít UV záření. Při polymerizaci se materiál smrští přibližně o 14%. Tento způsob výroby může být použit nejen pro výrobu polotovarů, ale i finálních výrobků. [17, 18]



Obrázek 3: Výroba polotovarů nebo finálních výrobků u termosetů [17]

Druhá skupina se nazývá termoplasty. Je to materiál, který naopak působením tepla měkne. Do této skupiny jsou nejčastěji řazeny polymethylmethakrylát (PMMA) a polykarbonát (PC). Čočky vyrobené z tohoto materiálu se nejčastěji vyrábí lisováním (vtlačováním do formy) [15]

Při lisování je materiál tvarován pomocí zvýšeného tlaku a teploty a je vtlačován do formy. Polykarbonát v granulované formě (tzv. granulát) je roztaven při teplotě kolem 300°C a vtlačen do speciální formy. Po vtlačení a vychladnutí je forma rozevřena a výsledkem je polotovar nebo finální výrobek (viz. Obr.5). [17]



Obrázek 4: Výroba termoplastů lisováním [17]

Organické materiály jsou většinou sloučeniny uhlíku. Mají nízkou hustotu, hladký povrch, a dobře se barví. Nepropouští vodu ani plyn a jsou odolné proti chemikáliím. Působí jako izolanty, mají velkou tepelnou roztažnost a dobře se tvarují. [19]

3.2.1 Brýlové čočky se standardním indexem lomu

Do skupiny brýlových čoček se standardním indexem lomu řadíme materiály s indexem lomu 1,48 až 1,54. Nejpoužívanější materiály z této skupiny jsou CR-39 (neboli tvrdá pryskyřice) ($n=1,498$) a Trivex ($n=1,532$). [20]

Název materiálu CR-39 je odvozen od slov Columbia Resin (Columbijská pryskyřice) a číslo 39 je číslo úspěšné výrobní série. Polymerizací monomeru, kterým je CR-39 tvořen, vzniká pevný materiál, který je zároveň odolný proti rozpouštědlům. Zároveň má vysokou propustnost pro světlo a rozsáhlé možnosti na barvení a povrchové úpravy. [14, 20]

Tvrdá pryskyřice je v dnešní době nejvíce používaný materiál pro brýlové čočky. Na druhém místě je minerální sklo. [20]

Materiál CR-39 je velmi výhodný díky své hmotnosti, která je přibližně o polovinu nižší než u minerálního skla. Zároveň je odolný vůči poškrábání a může být použit i bez tvrzení. Také lze velmi dobře barvit. Čočky z tvrdé pryskyřice jsou schopny absorbovat UV záření. Díky tomu chrání zrak proti UV – A a UV – B záření. [20]

3.2.2 Brýlové čočky se středním indexem lomu

Materiály s indexem lomu od 1,55 do 1,63 jsou řazeny do skupiny čoček se středním indexem lomu. Jako základní složka materiálu je uváděna allylová molekula, ke které se za účelem zvýšení indexu lomu a Abbeova čísla, přidávají aromatické benzenové uhlovodíky. Díky tomu vznikají čočky s indexem lomu 1,55 až 1,57 a s Abbeovým číslem 36 až 43. [14]

V případě, že je potřeba index lomu ještě zvýšit, přidává se allythiomocovina (thiosin) a izokyanát, kde následně vzniká materiál o indexu lomu 1,58 až 1,61 s Abbeovým číslem 30 až 40. [14]

Nejnámější materiál patřící do této skupiny je monomer s indexem lomu 1,56 s Abbeovým číslem 38. [14]

Oproti brýlovým čočkám s nízkým indexem lomu jsou tyto materiály více náchylné k poškrábání a celkově mají nižší povrchovou odolnost. Zároveň mají vyšší chromatickou disperzi a vyšší odrazivost (díky vyšší hustotě materiálu). Povrch čočky se proto musí vytvrdit lakem. Tento proces je popsán v kapitole 5.2 Tvrzené vrstvy. [14]

3.2.3 Brýlové čočky s vysokým indexem lomu

Do skupiny organických materiálů s vysokým indexem lomu řadíme materiály s indexem lomu 1,64 až 1,73. A Abbeovo číslo mezi 33 a 42. Vysoký index lomu je dosažen pomocí thiourethanu s velkým obsahem síry. Dalo by se tedy tvrdit, že čím vyšší obsah atomů síry, tím vyšší index lomu organických brýlových čoček. [14, 15, 21]

3.2.4 Brýlové čočky s velmi vysokým indexem lomu

Do této skupiny jsou řazeny organické materiály s indexem rovným nebo vyšším indexu lomu 1,74. Vysokého indexu lomu se v této skupině dosahuje stejným způsobem jako u brýlových čoček s vysokým indexem lomu. Tedy pomocí zvýšeného obsahu atomů síry v materiálu. [14]

Řadíme sem plasty, do kterých byl při výrobě přidán materiál s opticky větším indexem lomu, díky čemuž je následně výsledná čočka (o stejné dioptrické hodnotě jako základní materiál) tenčí. Není zde ale tak patrný hmotnostní rozdíl jako v porovnání se skleněnými čočkami. [20]

Mezi jejich nevýhody ale patří vysoká odrazivost, díky které se tím pádem musí nanášet antireflexní úprava. Dalšími nevýhodami jsou vysoká disperze a nižší mechanická odolnost než u čoček se standardním indexem lomu. [20]

3.2.5 Polymethylmetakrylát (PMMA)

Polymethylmetakrylát neboli plexisklo vzniká polymerizací metylesteru kyseliny metakrylové a jedná se o termoplastickou hmotu. Tento materiál je průhledný a již při 140°C lze tvarovat. Index lomu je 1,49. Jeho velkou nevýhodou je nízká odolnost povrchu proti poškození, proto se dnes pro běžné brýlové čočky nepoužívá. [14, 20]

3.2.6 Polykarbonát (PC)

Polykarbonát je polymer, jehož struktura je tvořena atomy uhlíku, metylovými radikály a fenolem. Index lomu je 1,586. [14, 20]

PC má vysokou odolnost proti nárazu (vydrží dokonce i náraz náboje ze vzduchovky). Nerozbije se, ale po ráně v něm zůstane díra. Často se používá jako ochrana očí při sportu nebo do brýlí pro malé děti. Hodně pohlcuje UV záření. Nevýhodou polykarbonátu je, že se snadno poškrábe a obtížně barví. [20, 21]

3.2.7 Trivex

Trivex je materiál velmi odolný proti nárazu. Byl objeven stejnými vědci, kteří vytvořili CR-39. Název Trivex vznikl z toho, že vědci měli tři „tri“ základní body, které chtěli, aby nový materiál splňoval. Tedy, aby měl velice dobré optické vlastnosti, byl odolný proti nárazu a byl co nejtenčí. Index lomu je 1,53. Abbeovo číslo je mezi 43 až 45, takže je zde střední disperze. Dále je velmi odolný proti působení chemikálií. Díky svým mechanickým vlastnostem a tvrdosti materiálu je často používán do vrtaných brýlových obrub. [21]

3.2.8 NXT Materiál

Existují další nové materiály, které se vyvíjejí a přispívají k rozšíření trhu s optickými čočkami. Mezi nejnovější materiál patří NXT. Čočka vyrobená z tohoto materiálu je velmi lehká, extrémně silná a odolná a zároveň je snadno barvitelná a s polarizací. Dnes je využívána do brýlí proti slunci, sportovních brýlí, do štítů helem na motocykly a jako čelní sklo v letadlech. [21]

NXT má index lomu stejný jako Trivex, tedy 1,53. Abbeovo číslo je 45. [21]

4 Tenké zušlechťující vrstvy minerálních čoček

Tenké zušlechťující vrstvy se na brýlové čočky nanášejí z několika důvodů. Mohou to být funkční, optické, terapeutické, estetické nebo jejich kombinace. Rozdělujeme je na: tvrzení, antireflexní úpravu, absorpční vrstvu, reflexní, hydrofobní a hydrofilní vrstvu. [22]

4.1 Tvrzení

Důvodem tvrzení minerálních čoček je menší náchylnost na rozbití. Vzhledem k tomu, že sklo je křehký materiál, který pokud by se roztránil, mohl by poranit oko. [4]

Existují dva typy tvrzení: tepelné a chemické. [14]

4.1.1 Tepelné tvrzení

Tepelné tvrzení probíhá tak, že se čočka nahřeje na vysokou teplotu (přibližně 650°C) a následně se prudce zchladí vzduchem. Čočka se zahřívá určitou dobu. Liší se ale podle její tloušťky. Ve výsledku se tedy může zahřívát 50 až 200 s. Při použití tohoto druhu tvrzení by čočka měla být odolnější proti nárazům. [14]

4.1.2 Chemické tvrzení

Při tomto druhu tvrzení se brýlová čočka ohřívá při 200°C po dobu 16 hodin v lázni s dusičnanem draselným s nízkým množstvím kyseliny křemičité. Cílem je nahradit sodné ionty ionty draselnými. [14]

Kvůli nižší teplotě toho typu tvrzení, není čočka vystavena takovému napětí jako u tepelného tvrzení. Bohužel je tento proces více časově náročný, takže není tak efektivní. [14]

4.2 Antireflexní úprava

Antireflexní vrstva snižuje, podle fázové a amplitudové podmínky, počet odražených paprsků od přední a zadní plochy brýlové čočky. U minerálních čoček se nanáší antireflexní vrstva stejně jako u plastových, jen se mohou využívat vyšší teploty. U plastových čoček teplota nesmí přesáhnout 200 °C. [14]

4.3 Absorpční vrstva (barvení)

Tenká vrstva kovu, která je nanesena na čočce, aby absorbovala světlo, se nazývá absorpční vrstva. Při napařování vrstvy ve vakuovém prostředí jsou čočky zahřívány na teplotu kolem 200 až 300°C. Absorpce vrstvy závisí na její tloušťce, která je na úrovni mikronů. [14]

Nejčastější látky, které se používají, jsou oxidy chromu, molybdenu nebo titanu smíchaného s křemíkem, oxidem křemičitým nebo fluoridem hořečnatým. [14]

4.4 Reflexní (zrcadlová) vrstva

Za účelem zvýšení odrazivosti se aplikuje na brýlové čočky vakuově nanesení kovové vrstvy různé barvy. Propustnost světla čoček, které mají nanesenou tuto vrstvu, může být např. 25, 50 nebo 75 %. Vrstva musí mít i dobré mechanické vlastnosti, aby nedošlo k jejímu poškození. [14]

4.5 Samočistící vrstva (hydrofilní a hydrofobní)

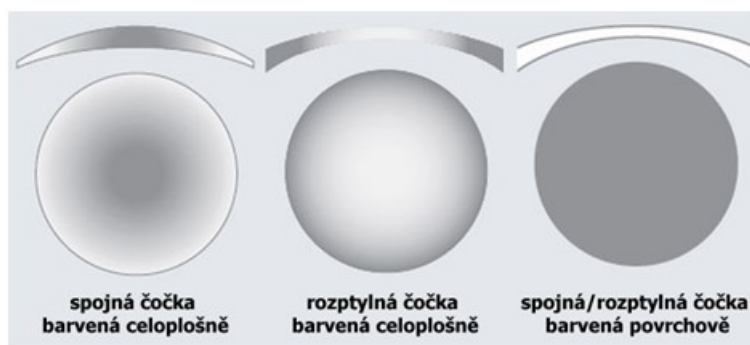
Principy hydrofility i hydrofobity snižují usazování nečistot na povrch čočky. Pro nanesení hydrofobní vrstvy se povrch čočky musí nejprve naleptat a tím rozrušit povrch skla. Poté se na zdrsňený povrch čočky nanese polymer nebo vosk, a tím čočka získá hydrofobní vlastnosti. Pro zajištění hydrofilních vlastností musíme nanést tenkou vrstvu oxidu titanu. Díky tomu pak tekutina na povrchu čočky vytváří tenký film místo kapek. [14]

5 Tenké zušlechťující vrstvy u organických čoček

Tenké zušlechťující vrstvy u organických čoček mají stejnou funkci jako u minerálních. Tedy optickou, funkční, terapeutickou, estetickou nebo jejich kombinaci. [22]

5.1 Barvení brýlových čoček

Brýlové čočky lze barvit dvěma způsoby. Barvením, kdy je barva přidána k monomeru před samotnou polymerizací. Do směsi je také možné ještě přimíchat látku, která pohlcuje UV záření. Druhá možnost barvení se provádí až po proběhnutí polymerizace, kdy se barva nanáší na povrch hotové čočky. Čočky se ponořují do speciální barvy, která je zahřátá přibližně na 90 °C. Platí, že čím je roztok teplejší, tím lépe barva proniká do materiálu (např. u CR-39 proniká přibližně 6-10 mikronů). Naopak vyšší teploty barvu znehodnocují. Aplikace vrstvy se provádí buď před nebo po tvrzení dané čočky. Záleží na typu tvrzení. [14, 15]



Obrázek 5: Barvení pevné nebo povrchové [14]

Sytost a intenzita barvy je dána dobou máčení a koncentrací barvy. Modrá, žlutá a červená jsou základní pigmenty, které při smíchání o určitém poměru dají vzniknout velkému množství barevných odstínů. [14, 15]

Čočky mohou být barveny nejen celoplošně, ale i gradálně, tj. kdy nejtmavší odstín se nachází na horním okraji a nejsvětější na spodním okraji čočky. [14]

Brýlové čočky se barví kvůli terapeutickým účelům, kdy je potřeba zamezit oslnění vlivem nadměrného množství světla a zajistit, aby brýlovou čočkou prošlo pouze světlo o určité vlnové délce. Například při okulární degeneraci, před operací katarakty, achromatopsii, albinismu atd. [15]

5.2 Tvrzené vrstvy

Existují tři generace možností, jak nanést tvrzenou vrstvu na povrch plastové čočky. První generace tvrzení byla nanášena v roce 1970 a šlo o metodu vakuového napaření, kde se používaly molekuly oxidu křemičitého. Problém byl s různou teplotní roztažností obou materiálů, který pak vedl k porušení vrstev vlivem teplotních změn. [14]

Druhá generace tvrzené vrstvy se aplikovala dvěma způsoby: „ponožování“ (dip coating) a „rotační roztírání“ (spin coating), kdy byl použit speciální tekutý lak z polysiloxanů nebo akrylu. Díky tomu, že po spojení organického a anorganického materiálu byly nahrazeny některé atomy uhlíku křemíkem, je vrstva nejen tvrdá ale i elastická. Tím je zajištěna správná adheze na povrchu čočky. [14, 15]

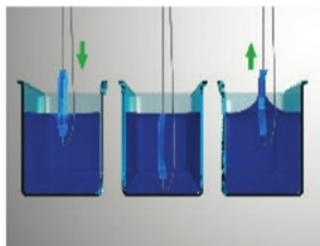
Třetí generace se objevila na konci 20. století. V té době bylo nutné vyvinout vrstvu, která by mohla fungovat spolu s antireflexními vrstvami. Tvrzená vrstva byla na bázi křemíku a byla nanášena ve vakuu, kde po nanesení následovala polymerizace při teplotě kolem 100°C. Hlavní výhodou třetí generace je vysoká odolnost proti poškrábání, nízký koeficient tření a relativně vysoká pružnost vrstvy. [14, 23]

5.2.1 Tvrzení ponořením do tvrdícího laku

Index lomu laků by měl být při výrobě podobný indexu lomu materiálů brýlových čoček. Většinou obsahuje oxid titaničitý nebo křemičitý. [14]

Po výstupní kontrole z výrobního procesu se čočka vyčistí ultrazvukem ve speciálních chemických lázních. Poté se ponoří do lakové lázně (viz. Obr. 7) a dále se přesune do polymerizační pece, kde polymerizace trvá přibližně 190 minut při teplotě 120°C. [4]

tloušťka lakové vrstvy je přibližně 2 až 3 mikrony. A zároveň tvoří výborný podklad pod antireflexní vrstvu. [4]

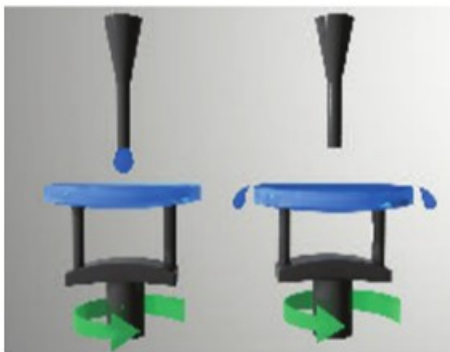


Obrázek 6: Nanášení tvrzené vrstvy ponořením do roztoku laku [15]

5.2.2 Tvrzení rotačním nanášením tvrdícího laku

Do středu čočky se aplikuje proud laku, který je díky rotaci na rotujícím zařízení rozprostřen na celou plochu čočky. Tato technologie se využívá pro výrobu v malých sériích. Celkové zalakování jedné strany je poměrně rychlé, trvá 5 minut a tloušťka vrstvy je přibližně 3 – 5 mikronů. [15]

Čočka je po této metodě nanesení méně odolná proti poškrábání na rozdíl od jiných metod. Výhodou je, že má tato vrstva poměrně vysokou savost, takže lze čočky barvit i po samotném tvrzení. [14]



Obrázek 7: Princip nanášení laku centrifugací [15]

5.2.3 Tvrzení ve formě

Tvrzení je prováděno přímo ve formě při výrobě čočky. Nejdříve musí být forma nahřátá na požadovanou teplotu a poté je do ní vložen silikonový vak, který obsahuje tvrdící lak. Poté se maximálně na 5 minut zvýší tlak uvnitř vaku (30-130 kPa) a vytvoří se tenká vrstva laku, která naléhá na vnitřní stranu formy. Následně je vstříknut termoplast, který zformuje výslednou brýlovou čočku. Tato metoda je výhodná, protože tvrdící vrstva dostatečně přilne k materiálu. Nevýhodou je, že čočku již nelze dodatečně barvit. [14]

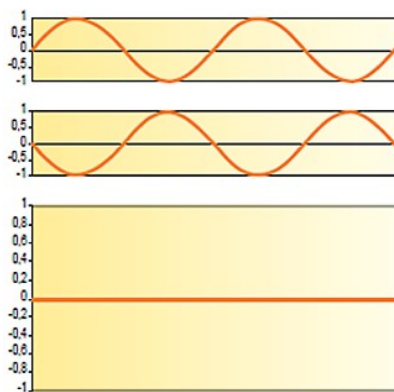
5.2.4 Vakuové tvrzení

Nejčastější metodou tvrzení je vakuové nanášení tenké vrstvy (většinou molekul oxidu křemičitého) na povrch brýlové čočky. Existuje několik typů, jak je tenká vrstva nanášena. Mezi základní metody lze zařadit PVD (physical vapor deposition), LP – CVD (low pressure chemici vapor deposition) nebo PECVD (plasma – enhanced CVD). [5, 14]

Při PVD jsou nanesené atomy odpařovány z pevného povrchu zdrojového materiálu. U metody CVD je základní materiál chemicky nebo tepelně rozkládán. A u poslední vybrané technologie, PECVD, je při využití plazmy možné snížit teplotu k nanášení a zároveň s tvrzením nanášet i antireflexní vrstvu. [14]

5.3 Antireflexní úprava

Antireflexní vrstvy snižují vznik parazitních paprsků na přední i zadní ploše čočky díky využití tzv. destruktivní interference. A zároveň zvyšují kontrastní citlivost oka. [14]



Obrázek 8: Destruktivní interference [14]

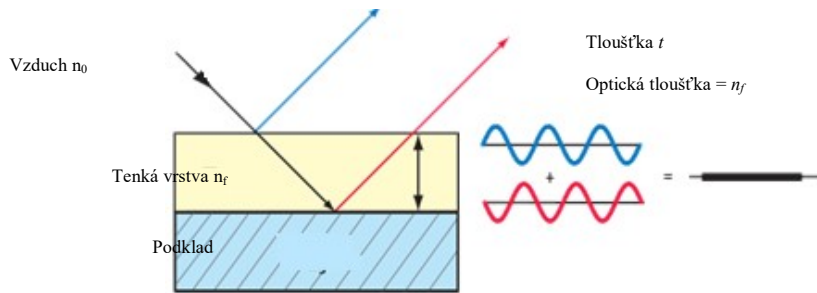
Vlastnosti antireflexní vrstvy závisí na vlnové délce použitého světla, indexu lomu vrstvy, indexu lomu brýlové čočky, tloušťce vrstvy a úhlu dopadajícího světla. Antireflexní vrstva je navržena tak, aby fázový posun mezi paprskem odraženým na horním a spodním okraji byl 180° . Dochází k destruktivní interferenci mezi dvěma odraženými paprsky, které zruší oba paprsky před tím, než opustí povrch. [19]

Tenká vrstva antireflexní úpravy má přesně definovanou tloušťku: [19]

$$d = \frac{\lambda}{4n} \quad (6)$$

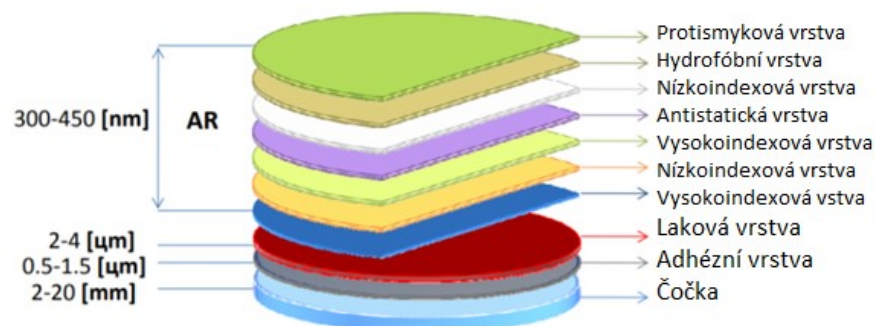
Kde λ je konstrukční vlnová délka nebo vlnová délka optimalizovaná pro špičkový výkon. Dvě světelné vlny pak splňují fázovou podmínku, tedy jsou posunuty o $\frac{1}{2} \lambda$, aby se mohly eliminovat. Zároveň, ale musí být obě amplitudy světelných vln stejné. [19]

Většina antireflexních vrstev jsou velmi trvanlivé a rezistentní proti poškrábání a poškození. [14]

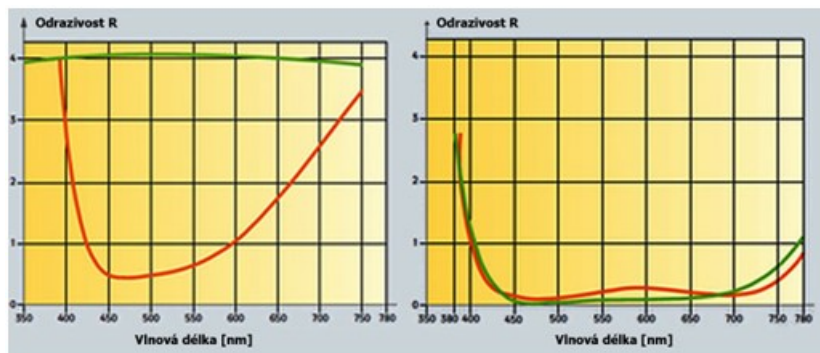


Obrázek 9: Interakce světla s tenkou vrstvou antireflexu [19]

První AR vrstvy byly jednovrstvé, ale nebyly schopny eliminovat parazitní paprsky absolutně, proto se dnes používají antireflexní vrstvy vícevrstvé (většinou 7 až 8), které jsou schopny snížit odraz světla pro větší rozsah vlnových délek, přičemž poslední vrstva bývá hydrofobní nebo olejořobní, kvůli lepšímu čištění. Případně se aplikuje ještě protismyková vrstva, která je nanesena kvůli broušení čoček a následně je po zabroušení do obruby odstraněna. [14, 24]



Obrázek 10: Složení čočky s antireflexní úpravou [24]



Obrázek 11: Účinek jednovrstvené a vícevrstvené antireflexní vrstvy [14]

V dnešní době lze AR nanášet několika způsoby. Nejčastější je technologie napařování ve vakuu. Materiály (anorganické oxidy kovů) s různým indexem lomu jsou napařovány elektronovým paprskem na povrch brýlových čoček. Nejčastěji používané anorganické oxidy kovů jsou: ZrO_2 , SiO_2 , Ti_3O_5 , $TiAlO$, SiO , Ta_2O_5 [24]

Hlavní úlohou AR vrstvy je eliminace odlesků. Každý materiál má v závislosti na indexu lomu určité procento propustnosti. Zařízení, které se používá právě na měření propustnosti brýlových čoček, se nazývá spektrofotometr. [24]

Antireflexní vrstvy lze dělit podle účinnosti a parametrů zahrnutých v tabulce:

Tabulka 2: Efektivita antireflexních vrstev [24]

Efektivita AR vrstvy	Reflexivita od jedné vrstvy	Celková propustnost
standardní	1,6 – 2,5 %	95 – 97 %
střední	1,0 – 1,8 %	96 – 98 %
vysoká	0,3 – 0,8 %	98 – 99 %

Dnes se většina moderních AR úprav řadí do skupiny tzv. vysoké efektivity. Zároveň žádná z vrstev není schopna poskytnout 100 % propustnost světla. [24]

Jako další z optických parametrů je kontrolována barva reflexu. Kontrola je vykonávána pomocí spektrofotometru stejně jako světelná propustnost. Každá naměřená křivka má svůj barevný odstín v CIE diagramu. Aby se barva mezi různými indexy lomu nelišila, je nutné použít takzvané indexové párování. Při návrhu designu antireflexní vrstvy se kromě propustnosti stanovuje také barevný odstín (nejčastěji se jedná o zelenou barvu). V jednoduchosti lze říci, že pokud nebude použito indexové párování mezi materiálem čočky a procesem výroby, bude místo zelené barvy reflexu barva např. žluto-zelená. [24]

5.4 Nanášení antireflexní vrstvy

Aby byla antireflexní vrstva nanášena rovnoměrně, měla konstantní a specifickou hodnotu indexu lomu, výborně přilnula k čočce, byla transparentní a zároveň byly optické vlastnosti podobné podkladu, musí se tato vrstva nanést pomocí vakuového nanášení. Díky tomu je možno zaručit přesné množství a bezprašnou čistotu a chemické složení. [14]

Technologie vakuového napařování má 3 fáze:

- Sublimace materiálu
- Atomy a molekuly materiálu se dostávají k čočce
- Usazení materiálu na povrch čočky [14]

Existuje několik druhů vakuového napařování: tepelné (Thermal Evaporation Deposition), plazmatické (Plasma Sputtering Deposition), iontovým svazkem (Ion Beam Assisted Deposition). [14]

5.4.1 Tepelné napařování

Antireflexní vrstvu můžeme tepelně napařovat pomocí elektrického odporu nebo proudem elektronů. [14]

Při napařování pomocí elektrického odporu je materiál uveden do plynného stavu a brýlové čočky jsou upnuty na tzv. kalotu. Poblíž je umístěna nádoba s plynným antireflexem. Tato nádoba je napojena na zdroj a je zahřívána elektrickým odporem. Je nutné kontrolovat teplotu uvnitř nádoby, protože oxidy, které se na čočku nanášejí (oxid křemičitý, železa, lanthanu,...) mají odlišný koeficient roztažnosti oproti základnímu materiálu. Nanesená tloušťka vrstvy je kontrolována pomocí interference nebo piezo-elektrickým

krystalem. Nevýhodou této metody je pomalé napařování, možnost znehodnocení brýlové čočky vlivem vysoké teploty. Zároveň je tato vrstva málo odolná a tvrdá. [14]

U technologie napařování proudem elektronů se používá tzv. elektronové dělo, které obsahuje několik kelímků, ve kterých je umístěn napařovaný materiál ve formě granulí. Kelímky jsou ochlazovány vodou. Materiál v kelímku se vlivem elektrického pole a vysoké teploty rychle vypaří a změnou intenzity elektronového paprsku lze regulovat kvalitu vrstvy. Tato technologie je výhodná, protože chlazením nádoby není nanášený materiál kontaminovaný a lze dosáhnout vyšší čistoty. Můžeme nanášet dielektrické materiály. Svazkem elektronů je možné dosáhnout větší pevnosti vrstvy. Na tuto metodu je potřeba značné množství energie a zároveň není možné elektronový paprsek plně kontrolovat. Proto může dojít k poškození povrchu čoček. [14]

5.4.2 Napaření pomocí plazmy

Při této technologii se antireflexní vrstva aplikuje na čočku, která již obsahuje tvrzenou vrstvu. Plazma se generuje pomocí elektromagnetického pole. Tato technologie lze použít na minerální i plastové čočky. [14]

Ionty s AR materiálem a proud iontů z plazmatického zdroje vedou k tomu, že nanesená vrstva je pevnější, hustší a méně porézní. Kolem celé soustavy se nachází magnetické pole, které usměřňuje proud elektronů směrem k plynu, který ionizují. Jako antireflexní materiál se používá oxid křemičitý ($n=1,432$). [14] [25]

Velkou výhodou je, že kalota s čočkami se před samotným nanášením nemusí nahřívat, protože např. CR-39 nesnese teplotu vyšší než 100°C. [27]

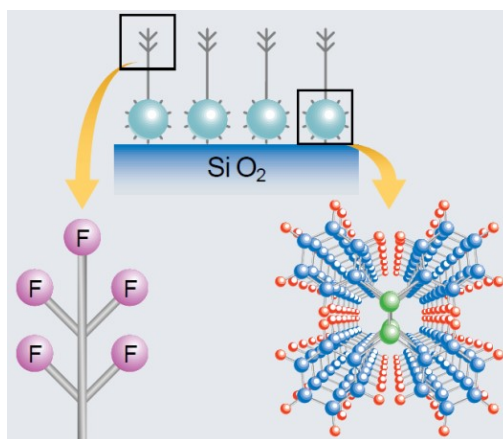
5.4.3 Napaření pomocí svazku iontů

Tato technologie je považována za nejefektivnější. Iontový zdroj je umístěn vedle nanášeného materiálu a směřuje proud iontů přímo na povrch čočky. Tyto částice následně zajišťují vysokou adhezi nanášeného materiálu. Výhodou je, že iontové dělo je nezávislé zařízení, a z toho důvodu je možné měnit a upravovat proud iontů, úhel rozptylu, napětí apod. [14]

5.5 Hydrofobní, olejofobní a antistatické vrstvy

Vzhledem k tomu, že antireflexní vrstva je poměrně pórovitá (proto se na ni usazuje hodně nečistot a prach), nanáší se na ni ještě další vrstva, která má hydrofobní a olejofobní účinek. Vrstva je tlustá několik nanometrů a díky tomu nemá vliv na funkci antireflexní vrstvy. Přípravuje se z fluoridů a hydrouhlíkových řetězců. [15]

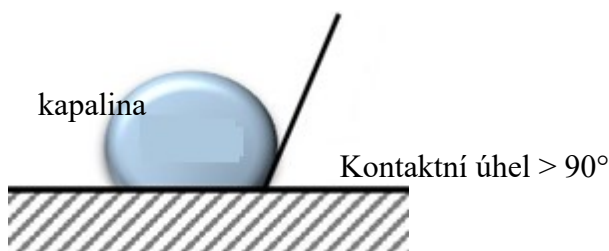
Tyto látky obsahují molekulární spojky, které je pomáhají udržet na povrchu brýlové čočky. Koncové části molekul jsou většinou neutrální nebo nepolární. Druhá strana molekul naopak velmi odpuzuje vodu a nečistoty. [15]



Obrázek 12: Struktura hydrofobní vrstvy [11]

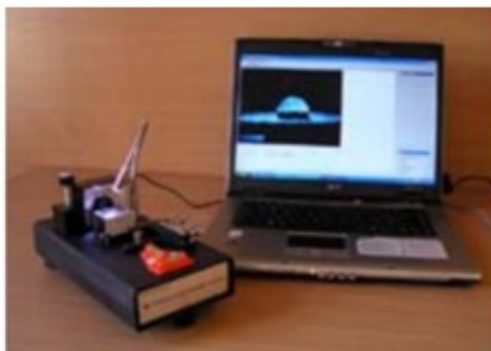
Tato vrstva je nejčastěji nanášena pomocí metody dip coating (ponořením do tvrdícího laku), vakuově nebo plazmatickou polymerizací. [14]

Tekutina nalitá na povrch čočky vytváří kapičky (mají velký kontaktní úhel), které vlivem povrchových vlastností vrstvy snadno stékají pryč. Většina hydrofobních vrstev je zároveň i antistatická, takže zabraňuje usazování prachových částic na čočce. [14]



Obrázek 13: Velký kontaktní úhel (čočka s hydrofobní úpravou) [15]

Měření kvality hydrofobní úpravy se provádí měřením kontaktního úhlu. Slouží na otestování hydrofobních vlastností čoček a je vykonávaný pomocí kapky vody, která je nanesená na přední stranu čočky. Měření se provádí zařízením na obr. č. 15. [24]



Obrázek 14: Zařízení na měření kontaktního úhlu [24]

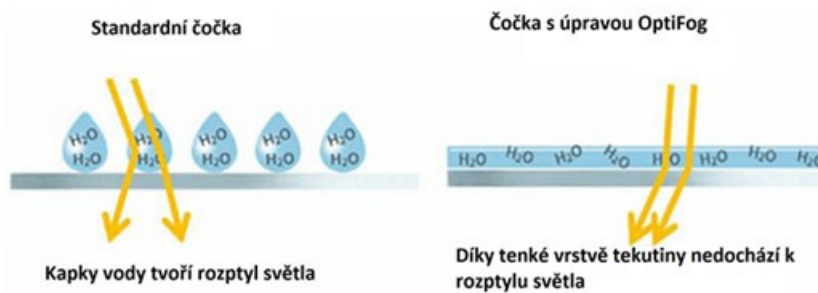
Moderní hydrofobní úpravy mají kontaktní úhel větší než 100° . Čím je kontaktní úhel větší, tím víc vodu odpuzuje. [24]

5.6 Optifog

Optifog je vrstva, která má za úkol rychleji odmlžít brýlovou čočku. Plastové čočky mají menší tepelnou vodivost, a tedy déle se tekutina odpařuje na rozdíl od minerálních čoček. [14]

Brýlové čočky Optifog chrání oči před UV zářením a zároveň eliminují odlesky, škrábance a prach. [28]

Na povrch čoček je nanesen PE (polyetylen), který zvyšuje povrchové napětí usazované tekutiny a díky tomu snižuje její kontaktní úhel. Dále se pro zlepšení účinnosti reakce používá tzv. Optifog aktivátor. Voda, která na čočce zkondenzovala, se díky této technologii spojí do několik mikronů silné jednolité vrstvy, která se rychle odpaří. Čočka zůstává stále průhledná. Největší nevýhodou této úpravy je, že se velmi rychle zašpiní kvůli postupnému zasychání tekutiny. [14]



Obrázek 15: Ukázka čočky bez a s úpravou Optifog [10]

5.7 Reflexní vrstvy

Reflexní vrstvy (neboli zrcadlové) snižují transparentnost brýlové čočky (ve viditelné oblasti světla) díky tomu, že zvýší odrazivost povrchu (přední strany) čočky. Tím mohou dosáhnout reflexivity 25 – 35 %. Vrstvy jsou většinou vyráběny z materiálu, který má větší index lomu než základní materiál. Čím lepší má vrstva elektrickou vodivost, tím větší část světla dokáže odrazit. Reflexivita je závislá na indexu lomu, absorpci nanášeného kovu a intenzitě zabarvení čočky. [8, 14]

Vrstva se nanáší pomocí vakuového napaření iontů nebo plazmy. [14]

Zrcadlová vrstva se nejčastěji používá do sportovních brýlí. Její velikou výhodou je, že reflexní vrstva je schopna pohltit velké množství UV a infrazářením. [8, 14]

6 Poškození tenkých zušlechťujících vrstev

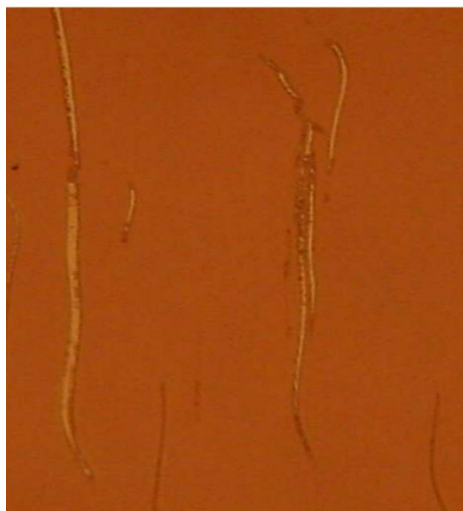
V následující kapitole jsou popsány mechanické, chemické a tepelné příčiny poškození ochranných vrstev brýlových čoček v běžném životě při nesprávné péči. Dále jsou popsány i některé testy, které testují trvanlivost a vlastnosti těchto tenkých vrstev.

Poškození může vzniknout nedodržením správných podmínek při výrobě, nesprávnou manipulací oční optika při zábrusu do obruby nebo tím, že zákazník s brýlemi nesprávně manipuluje a nestará se o ně, tak, jak byl při vyzvednutí hotových brýlí poučen. [29]

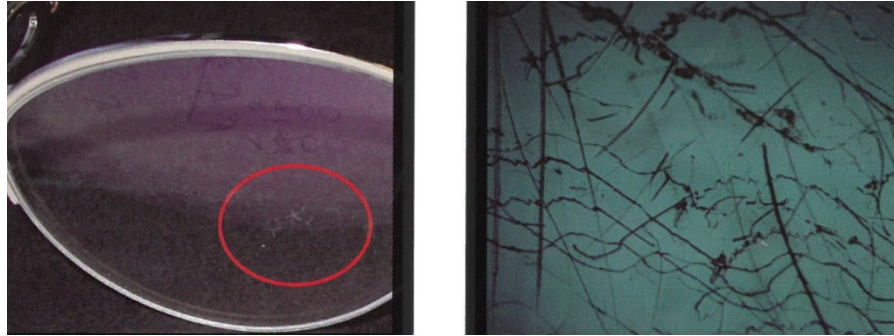
Pokud je na minerální čočce nanesena antireflexní nebo absorpční vrstva, je součinitel teplotní roztažnosti podobný s roztažností základní minerální čočky. Díky tomu je vazba vrstvy relativně pevná. Naopak čočky z plastu mají vazbu na povrchu relativně malou, a díky tomu tenká vrstva přilne podstatně méně. Proto, pokud se plastová čočka ohřeje, vznikají na antireflexní vrstvě trhliny a posléze se snadno odlupuje z podkladu. [22]

6.1 Mechanické poškození a testy

Nejčastější příčina mechanického poškození je poškrábání nebo deformace tlakem. Čočky se snadno poškrábají, pokud se dostanou do styku s nějakou abrazivní složkou (prach, písek), položí se čočkami přímo na podložku, nenesí se v pouzdru na brýle, čistí se špinavou utěrkou nebo spadnou na zem. [29] [30]



Obrázek 16: Poškrábaná vrstva prachovými částicemi [29]



Obrázek 17: Poškození brýlových čoček pokládáním na nevhodnou plochu (vpravo detail) [29]

Dalším důvodem mechanického poškození může být nedodržení bezprašných podmínek při výrobě. Například při lakování čočky může na ní, při nedokonalém očištění, zůstat prachová částice, která je následně zalita lakem. Tato vada je poté vidět proti světlému pozadí jako tmavá tečka. Tato vada může vzniknout pouze při výrobě. Všechny čočky následně prochází výrobní kontrolou, proto je velmi nepravděpodobné, aby se čočka s takovým poškozením dostala až k cílovému zákazníkovi. [29]

Výrobní vada může nastat i před vakuovým napařováním zušlechťujících vrstev, kdy je základní čočka znečištěna např. prachem nebo otiskem prstu. Když je znečištění překryto, vrstva se téměř okamžitě odlupuje, protože není na tento povrch schopna kvalitně přilnout. [29]



Obrázek 18: Olupování antireflexní vrstvy [29]

Vzácným případem olupování vrstev je postupné oddělování jednotlivých vrstev antireflexu. V tomto případě byla nějakým způsobem snížena adheze jednotlivých vrstev. [29]

Vlivem olupování a praskání ochranných vrstev mají tato postižená místa při odrazu světla jinou barvu (většinou bílou) než je kompletní vrstva. [30]

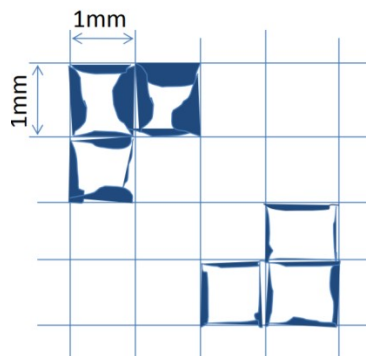


Obrázek 19: Odlupování jednotlivých vrstev antireflexu [29]

6.1.1 QUV Test

Na měření odolnosti proti UV záření se používá QUV Test. Je to přístroj, který stimuluje životní cyklus čočky (přibližně 2 roky). Na čočku se ostrým předmětem vyryje mřížka a následně se čočka vloží do přístroje, kde setrvá 10 dní při určitém nastavení vlhkosti a teploty. Po uplynutí doby, je na čočky aplikována lepicí páska, která je následně rychle strhnuta. Po určitém cyklu strhávání pásek jsou čočky pozorované pod mikroskopem. [24]

Na obrázku č. 21 je v levém horním rohu znázorněné špatné odloupení AR vrstvy. V pravém dolním rohu je znázorněn výborný výsledek, tedy že vrstva není téměř vůbec odloupena. [24]



Obrázek 20: Výsledky QUV Testu [24]

Defekty AR vrstev lze rozdělit do tří kategorií: [24]

- Odloupnuté části AR vrstvy
- Popraskání AR vrstvy
- Deformace v AR vrstvě

Tento test může být vykonaný pro téměř každou brýlovou čočku s antireflexní úpravou. Testované čočky mohou mít také hydrofobní úpravu. Je pouze požadavek, aby čočka měla méně než + 8 dpt. Tento test je časově nejnáročnějším testem pro antireflexní úpravy. [24]

6.1.2 Bayerův test

Bayerův test se používá k určení odolnosti čoček proti poškrábání. Tímto testem se nekontroluje jen tvrdost nejvyšší vrstvy, ale tvrdost celého systému (čočka, lak, AR úprava). [24]

Nejdříve se zkontroluje čočka na mikroskopu, jestli nemá nějaké vnější poškození a je opticky čistá. Poté jsou čočky vystaveny kontaktu s abrazivní složkou (většinou se jedná o Al_2ZrO_5) po dobu 300–600 cyklů. Následně jsou porovnávány optickým přístrojem proti čočce (která byla rovněž v procesu) z materiálu CR – 39 bez žádné povrchové úpravy. [24]



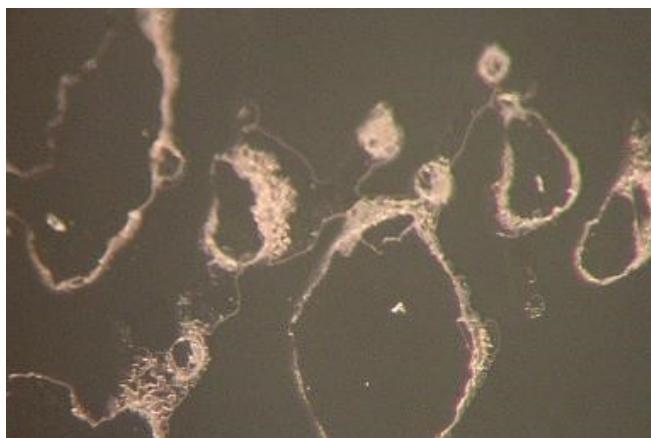
Obrázek 21: Testování čočky přicházející do kontaktu s abrazivní složkou [24]

Bayerovo číslo je poměr, kolikrát méně je poškrábaná testovaná čočka proti čočce z materiálu CR – 39 bez povrchových úprav. Výsledek 1 znamená, že odolnost obou čoček je stejná. Výsledek 5 znamená, že testovací čočka je 5x odolnější proti poškrábání než čočka bez úprav. Většina moderních úprav s AR úpravou má Bayerovo číslo 5 a více. Testovaná čočka musí být plan (0 dpt). [24]

Bayerovy testy (i výsledky) se mohou lišit v počtu cyklů působení abraziva na čočky a v jeho druhu. [24]

6.2 Chemické poškození

Chemické poškození může vzniknout působením kyseliny nebo zásady. Poškození ochranné vrstvy může vzniknout i zaschnutím laku na vlasy na čočce, kdy jeho zasychání může povrchovou vrstvu rozleptat a narušit tak její vlastnosti. [[26]]



Obrázek 22: Poškození chemickým působením (poleptání) [26]]

Poškození může vzniknout i zaschnutím tekutiny (např. kapek vody). Když na povrchu čočky není hydrofobní úprava, ale pouze hrubší antireflexní, může i po otření zůstat znatelný okraj kapky. Zbytek nečistoty lze omýt vodou nebo v ultrazvukové lázni. Při snaze odstranit skvrnu mechanicky, může být vrstva poškozena. Zároveň při delším ponechání zaschlé kapky (zvláště v případě „tvrdé“ vody), může se vytvořit tenká vrstva vodního kamene, který při nešetrném otření může čočku také poškodit. [29]



Obrázek 23: Zaschlá kapka vody [29]

6.3 Tepelné poškození a testy

Plastové čočky mají výrazně větší koeficient tepelné roztažnosti než materiál, ze kterých se vyrábí napařované vrstvy. Vrstvy se na čočku nanáší při pokojové teplotě a zároveň jsou pro tuto teplotu i přizpůsobeny. Pokud se plastová čočka výrazně zahřeje, rozpíná se. Oproti tomu se antireflexní vrstvy rozpínají mnohem méně. Když pnutí přesáhne určitou hranici, vrstva se roztrhá a vzniknou praskliny. [29]

Častý důvod přehřátí může být příliš horký vzduch z fény či ponechání brýlí na černé palubní desce v autě na přímém světle, ... [29]



Obrázek 24: Popraskání antireflexní vrstvy vlivem přehřátí [29]

6.3.1 Varný test

Testované čočky jsou ponořené do vodného roztoku se solí přivedeného k bodu varu po dobu dvou minut a potom ponořené do vodného roztoku o teplotě 10 – 20°C po dobu jedné minuty. Po uplynutí času se na čočkách zkontroluje: popraskání, změna barvy a odloupnuté části. Celá tato procedura je opakována ještě několikrát (většinou 9x). [24]

Po varném testu může být ještě vykonaný test, kde se na povrch čoček vyryje mřížka a lepicí páskou se bude strhávat. Pro varný test je vhodná libovolná čočka. [24]



Obrázek 25: Výsledky varného testu (vlevo: čočka bez poškození, prostřední: nadměrné popraskání, vpravo: efekt "pomerančové kůry") [24]

6.3.2 Teplotní test

Při teplotním testu jsou čočky vloženy do trouby na 30 minut. Počáteční teplota je 60°C. Po uplynutí 30 minut se čočky zkontrolují a v případě, že na čočkách není žádné popraskání, zvlnění atd., jsou čočky vloženy zpět do pece a teplota se zvýší o 10°C. Testování se opakuje až do té doby, než bude popraskání vrstvy viditelné po 15 minutách při pokojové teplotě. Maximální teplota při tomto testu je 100°C. Výsledky testu mohou být podobné jako při varném testu. [24]

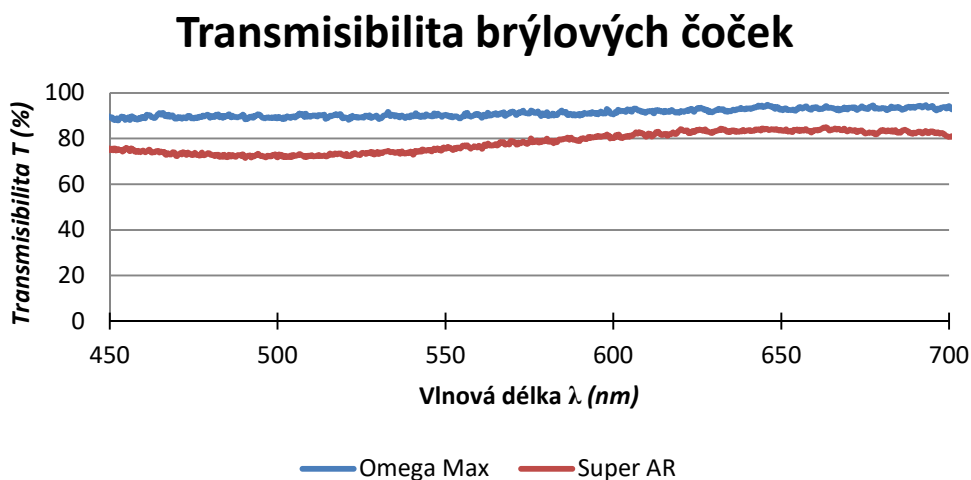
7 Experimentální část

V praktické části bakalářské práce byl zaměřen výzkum na odolnost a trvanlivost antireflexní úpravy na brýlových čočkách. Tyto čočky byly poskytnuty firmou Omega Optix. Při měřeních byly používány čočky typu: Plast 1.5 Super AR o průměru 70 mm a dioptrické hodnotě -1,75 dpt. Druhý typ brýlové čočky byl: Plast 1.67 AS OMEGA MAX o průměru 70 mm a dioptrické hodnotě -8,50 dpt nebo -8,25 cyl -2,00.

Tabulka 3: Základní vlastnosti testovacích brýlových čoček (podle výrobce Omega Optix)

	OMEGA MAX	Super AR
Zbytková barva	Zelená	Fialová
Adhezní vrstva	Ano	Ano
Tvrzení	Ano	Ano
Superhydrofobní vrstva	Ano	Ne
Hydrofobní vrstva	Ne	Ne
Nanovrstva	Ano	Ne
Propustnost	99,60 %	91%
Dostupnost	Všechny plastové čočky	Všechny plastové čočky

V grafu (obr.č.27) je znázorněna transmisibilita testovacích čoček bez poškození. U obou typů brýlových čoček lze pozorovat, že jejich propustnost je nižší než 100%.



Obrázek 26: Transmisibilita testovacích čoček bez poškození

7.1 Metodika práce

V praktické části byl zjišťován vliv poškození zušlechťující vrstvy na propustnost světla skrz brylovou čočku. Toto měření bylo prováděno pomocí spektrofotometru na fakultě Biomedicínského inženýrství v Kladně.

Při měření na spektrofotometru byly všechny čočky měřeny přímo v jejich středu. Toho bylo docíleno pomocí šablony s otvorem uprostřed, která přesně nasedala na stojan spektrofotometru, a díky tomu bylo měření všech čoček prováděno ve stejném místě a za stejných podmínek. Bylo to z toho důvodu, že měřené čočky měly určitou dioptrickou hodnotu, a tím pádem byly procházející paprsky rozptylovány nebo naopak více fokusovaly do jednoho místa. Proto bylo důležité zachovat stejný postup při měření čoček.

Měřicí jednotka se skládá ze zdroje světla (halogenové nebo deuteriové světlo). (Deuteriová lampa se používá ve spektroskopii, když je potřeba kontinuální spektrum v ultrafialové oblasti. Ve výzkumu jsme používali světlo halogenové.) Dále se skládá ze dvou optických vláken (QP400 – 2 – vis/nir – BX), z nichž jedno má intenzitu světla I_0 , druhé snímá a přenáší intenzitu světla, které v měření procházelo skrz testovací čočky. Výsledky pro změnu intenzity světla a změnu transmisibility čočky byly zaznamenány v programu OOIBase 32.



Obrázek 27: Konstrukce spektrometru (vlevo: konstrukce s měřenou čočkou a optickými vlákny, vpravo: světelný zdroj)

Při měření byla spektrofotometrem změřena intenzita procházejícího světla a následně vypočtena transmisibilita T (%).

Následně byly čočky prohlédnuty pod mikroskopem (OLYMPUS BX51 model BX51TRF), zdali čočky nejsou poškozeny a poté byly snímky zaznamenány pomocí fotoaparátu (OLYMPUS Camedia C-7070 Wide Zoom 7.1 MP) nasedajícího na jeden z okuláru. Po tomto úvodním procesu následovaly samotné testy na odolnost zušlechťujících vrstev. Po každém testu byly čočky znovu změřeny na spektrometru a zkontrolovány pod LED světlem a na mikroskopu.

Testy byly rozděleny na tři základní skupiny podle možnosti poškození. Tepelné, mechanické a chemické.

Transmisibilita světla byla následně vypočtena dle vzorce 4:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (4)$$

Kde T značí transmisibilitu (%), I značí intenzitu světla procházející skrz čočku, I_0 je označení pro počáteční intenzitu světla (bez předsazené čočky).

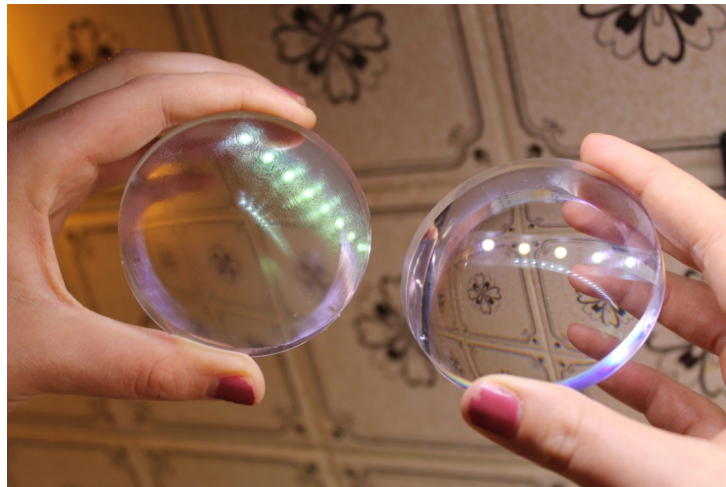
7.2 Tepelné poškození

U brýlových čoček s tenkými zušlechťujícími vrstvami byly prováděny tři testy na odolnost proti různým typům tepelných podmínek. Byl prováděn varný test, tepelný test a test mrazem.

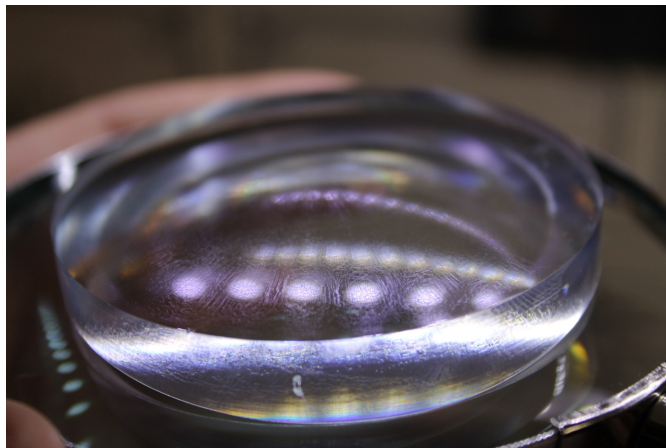
7.2.1 Varný test

Bylo připraveno 30 brýlových čoček Plast 1.5 Super AR -1,75 a 30 brýlových čoček Plast 1.67 as OMEGA MAX. Tyto čočky byly vloženy do vroucí vody o teplotě $t_1=100^\circ\text{C}$ a nechaly se zde dvě minuty vařit. Po uplynutých dvou minutách byly přeneseny na jednu minutu do vody o počáteční teplotě $t_2=10^\circ\text{C}$, kde se pak teplota zvýšila na $t_3=14^\circ\text{C}$ (z důvodu vložení zahřátých čoček). Teplota okolí byla při tomto testu $21,5^\circ\text{C}$.

Na obrázcích č. 29 a č. 30 je výrazně vidět rozptyl světla u čočky Omega Max po varném testu. Rozptyl světla nastává z důvodu popraskání zušlechťujících vrstev. Toto popraskání je velmi výrazné, protože popraskala nejen antireflexní úprava, ale i další zušlechťující vrstvy (např. superhydrofóbní úprava). Tento úkaz je pozorovatelný na obrázku č. 31, kdy jsou defekty zvětšeny pod mikroskopem. Na tomto obrázku je zaostřeno pouze na jednu popraskanou vrstvu, druhá popraskaná vrstva ji překrývá a je nezaostřená.



Obrázek 28: Výsledek varného testu (vlevo čočka OMEGA MAX po varném testu, vpravo čočka OMEGA MAX bez poškození)

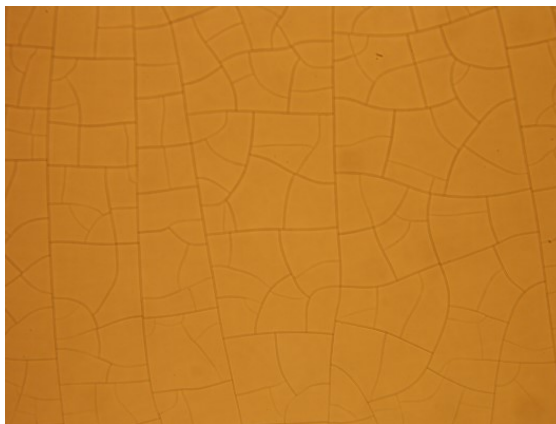


Obrázek 29: Brýlová čočka OMEGA MAX po varném testu



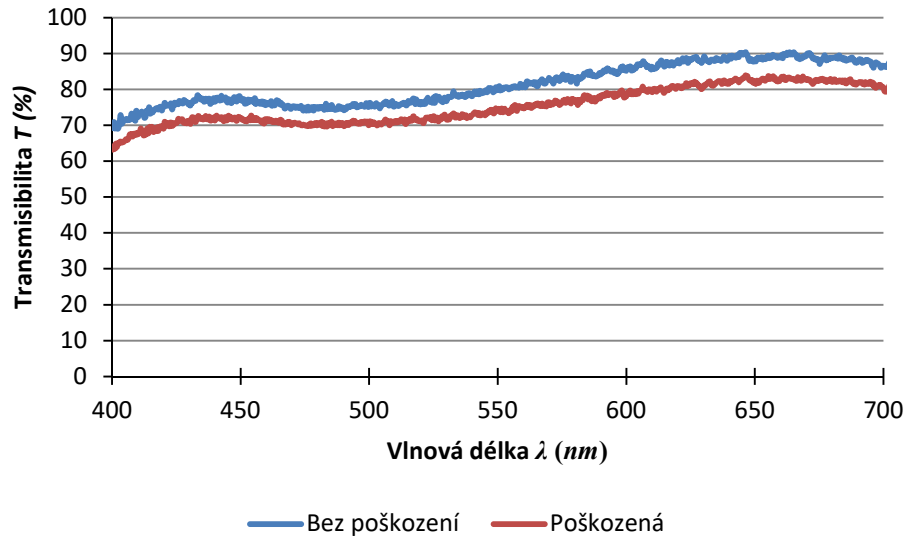
Obrázek 30: Popraskaná povrchová úprava na brýlové čočce „Omega Max“. (zvětšení 10x)

Na obrázku č. 32 je snímek z mikroskopu při zvětšení 10x, na kterém je patrná popraskaná antireflexní úprava na brýlové čočce „Super AR“. Povrchové úpravy této brýlové čočky popraskaly mnohem méně než u čočky Omega Max. Její defekty byly znatelné až po předsazení pod LED lampu.



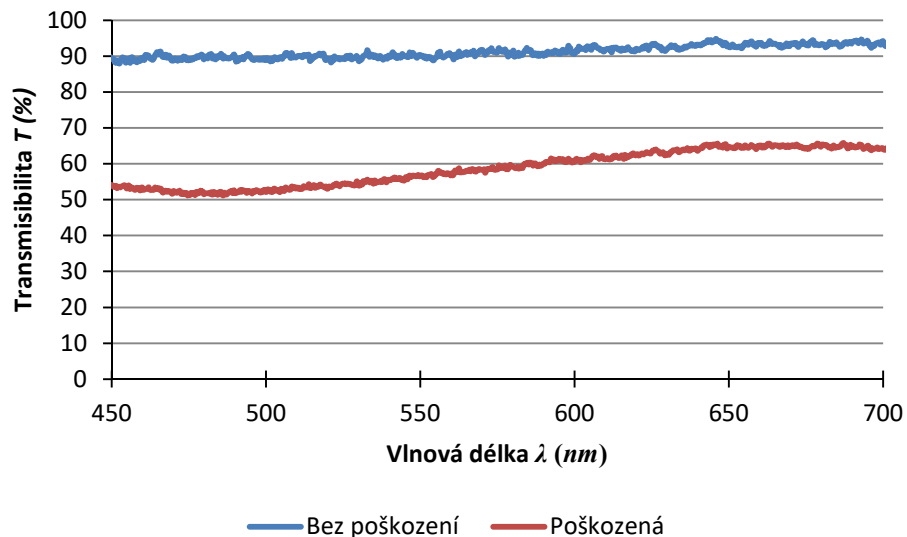
Obrázek 31: Popraskaná antireflexní úprava na brýlové čočce "Super AR" (zvětšení 10x)

Z grafu (obr. č. 33) vyplývá, že transmisibilita procházejícího světla u brýlové čočky Super AR bez poškození a s poškozením zůstává téměř stejná. Zušlechťující tenká vrstva byla sice popraskaná po celé ploše čočky, ale mezi prasklinami byly poměrně velké mezery. A díky tomu, že světelné vlákno vyzařuje pouze tenký paprsek světla, mělo světlo nižší pravděpodobnost toho, že by se rozptýlilo o prasklinu na tenké vrstvě.



Obrázek 32: Transmisibilita světla pro čočku Super AR bez poškození a po varném testu

Při varném testu byly také testovány čočky typu Omega Max. Poté, co test proběhl, bylo pozorovatelné výraznější popraskání zušlechťujících vrstev než u druhého typu čočky. Díky tomu také při měření na spektrometru byl výrazný rozdíl propustnosti světla pro tento typ čočky před a po varném testu. (obr. č. 34)



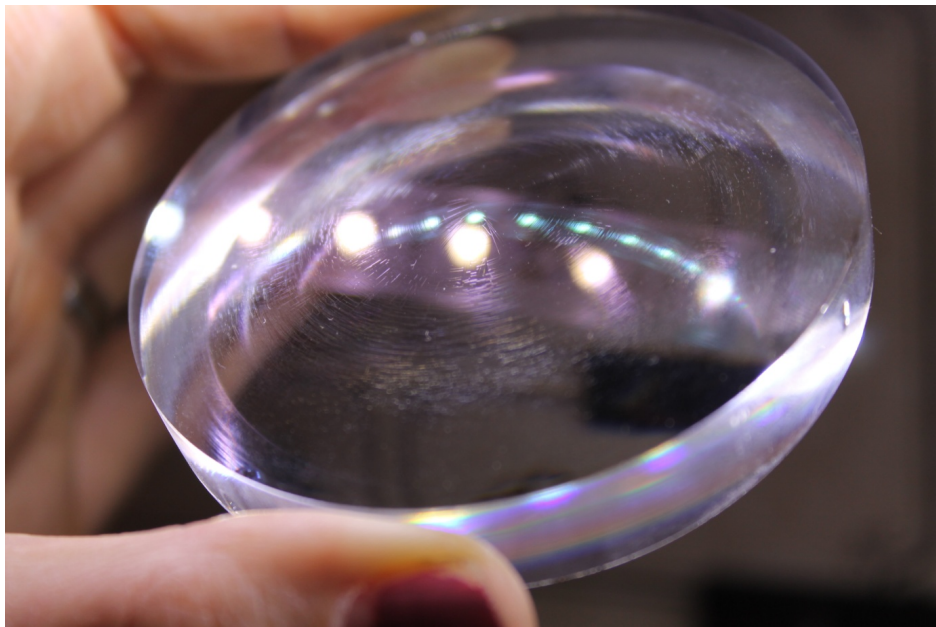
Obrázek 33: Transmisibilita světla pro čočku Omega Max bez poškození a po varném testu

Při tomto testu bylo zjištěno, že větší propustnost světla po varném testu má čočka Super AR z důvodu, že její zušlechťující vrstva je tvořena pouze antireflexní úpravou. U druhého typu testovací čočky (Omega Max), která se skládá z více typů tenkých vrstev, každá úpravná vrstva popraskala jiným způsobem. Praskliny byly obdobně velké jako u čočky Super AR, ale ve vrstvách se překrývaly, a díky tomu bylo jejich popraskání a pokles intenzity světla výraznější.

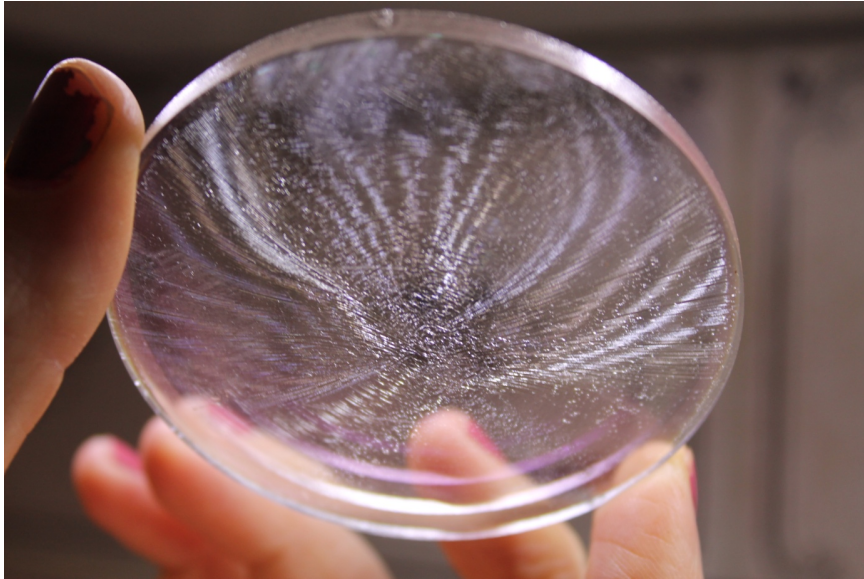
7.2.2 Tepelný test

Při tepelném testu bylo opět použito šedesát brýlových čoček. (30x Plast 1.5 Super AR a 30x 1.67 Omega Max). Tyto brýlové čočky byly položeny na rošt, aby jejich prohřátí bylo co nejvíce rovnoměrné. Následně byly vloženy do trouby předehřáté na 60°C na 30 minut.

Po tepelném testu bylo znatelné popraskání tenkých vrstev u obou typů brýlových čoček.



Obrázek 34: Brýlová čočka 1.67 Omega Max po tepelném testu



Obrázek 35: Brýlová čočka Plast 1.5 Super AR po tepelném testu

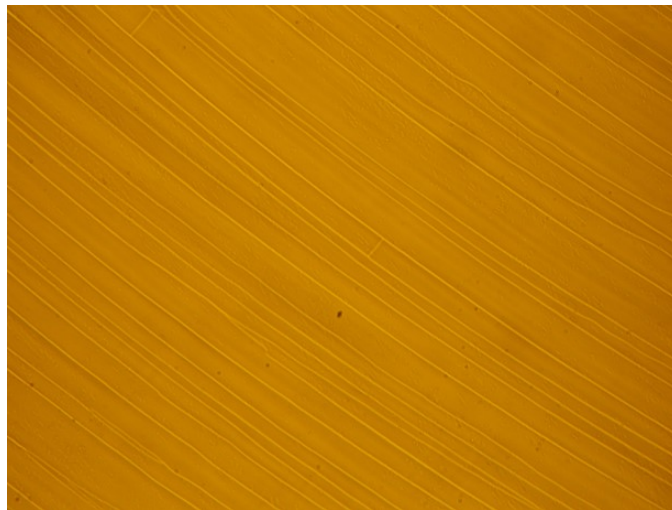
Po tepelném testu se u testujících čoček lišila struktura popraskání tenké vrstvy. Na obrázku č. 37 lze pozorovat, že praskliny u čočky typu „Super AR“ jsou stejně strukturované jako u varných testů.



Obrázek 36: Výsledky Tepelného testu (čočka Super AR) (zvětšení 10x)

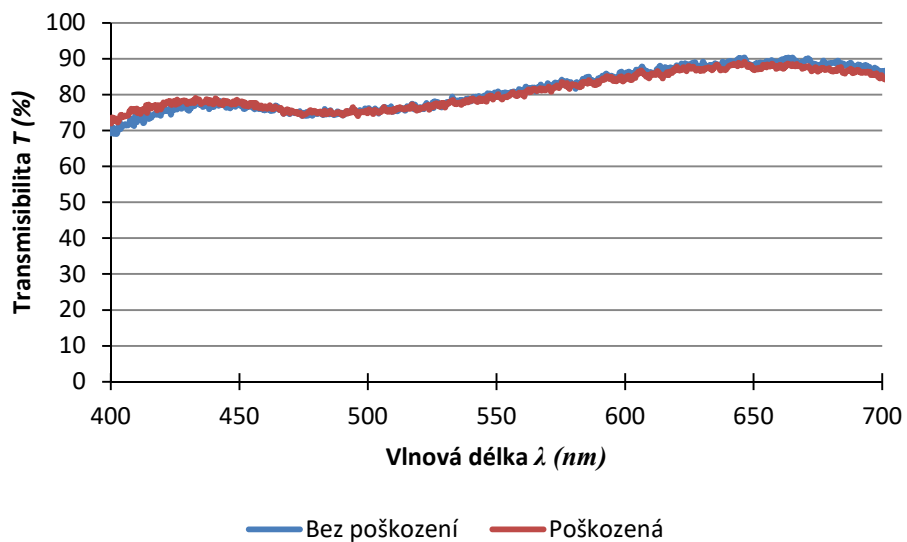
U čočky „Omega Max“ se kolem středu čočky vytvořily také praskliny podobné jako u varného testu, ale na periferii se vytvořily praskliny podlouhlé. (viz.Obr.č.38) Rozdíl popraskání nastal, protože má čočka již výrazně znatelný rozdíl mezi středovou a okrajovou tloušťkou. Tato čočka má zápornou dioptrickou hodnotu -8 dpt (tvar rozptylky). Vrstvy ve

středu čočky popraskaly rychleji, protože se čočka rychleji prohřála. Na rozdíl od periferie, kde díky tloušťce trvalo prohřátí čočky déle, a struktura prasklin se změnila.



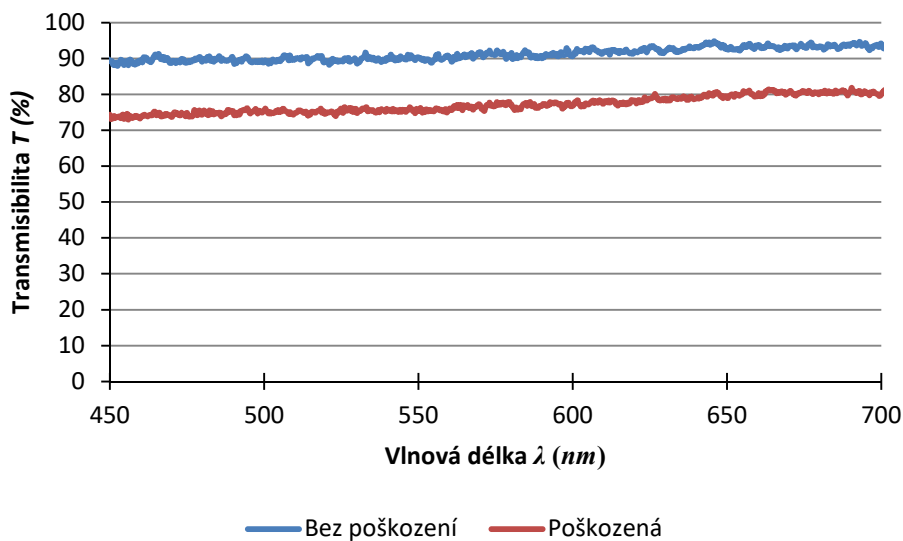
Obrázek 37: Výsledky Tepelného testu (čočka 1.67 Omega Max) (zvětšení 10x)

Při měření propustnosti procházejícího světla u brýlové čočky „Super AR“ po tepelném testu, nebyl, jak vyplývá z grafu, výrazně znatelný rozdíl mezi čočkou bez a s poškozením.



Obrázek 38: Transmisibilita čočky Super AR bez poškození a po tepelném testu

Při testování čočky 1.67 Omega Max u tepelného testu již nebyl tak výrazný pokles intenzity světla procházejícího čočkou oproti varnému testu. Přesto při porovnání výsledků tepelného testu u obou typů testovacích čoček byla intenzita světla zaznamenaného detektorem nižší právě u čočky 1.67 Omega Max.



Obrázek 39: Transmisibilita čočky 1.67 Omega Max bez poškození a po tepelném testu

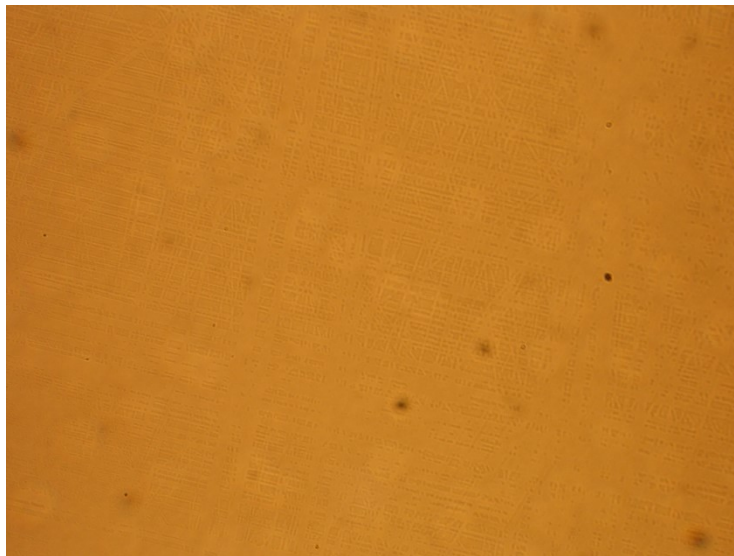
Z tohoto testu vyplývá, že horší transmisibilita světla nastala u čočky 1.67 Omega Max.

7.2.3 Test mrazem

Testovací brýlové Super AR (10 ks) a 1.67 Omega Max (10 ks) čočky byly vystaveny mrazu -18°C po dobu 12 hodin. Poté byly přesunuty do místnosti o teplotě $+20^{\circ}\text{C}$, kde se jejich teplota postupně změnila na okolní teplotu. Následně byla provedena kontrola poškození pod LED světlem i pod mikroskopem.

Po kontrole bylo zjištěno, že u čočky Super AR žádná čočka ani zušlechťující úprava nebyla poškozena. Jejich stav se nezměnil. Lze tvrdit, že mrazivé teploty kvalitu zušlechťujících vrstev neovlivňují.

U čočky 1.67 Omega Max při kontrole poškození pod světelným zdrojem nebyly žádné známky degradace zřejmé. Při mikroskopické kontrole bylo zjištěno u tří čoček z 10 popraskání jedné z vnitřních tenkých vrstev. Bohužel se nepodařilo zjistit, o kterou vrstvu se přesně jedná.



Obrázek 40: Popraskání jedné z vnitřních vrstev čočky 1.67 Omega Max (zvětšení 10x)

7.3 Chemické poškození

Při testování chemické odolnosti zušlechťujících vrstev byl použit lak na vlasy. Domnívali jsme se, že zaschnutí laku a následné vyčištění by mohlo kvalitu tenkých vrstev čočky ovlivnit.

7.3.1 Poškození lakem na vlasy

Při tomto pokusu byl zjišťován vliv zaschlého laku na vlasy na zušlechťující vrstvy na deseti čočkách Super AR a deseti čočkách 1.67 Omega Max. Nejprve byl lak nanesen ze vzdálenosti 15 cm na čočku a poté jsme jej nechali působit po dobu 12 hodin. Následně byly čočky umyty pod tekoucí vodou a zkontrolováno možné poškození.

Na obrázku č. 42 lze pozorovat rozdíl mezi antireflexní a superhydrofobní úpravou. Zatímco na čočkách „Super AR“ se ještě tekutý lak roztekl, vytvořil tenký nepravidelný film a zaschl rychleji, na čočkách „Omega Max“ se z laku vytvořily malé kapky, které schnuly mnohem pomaleji.



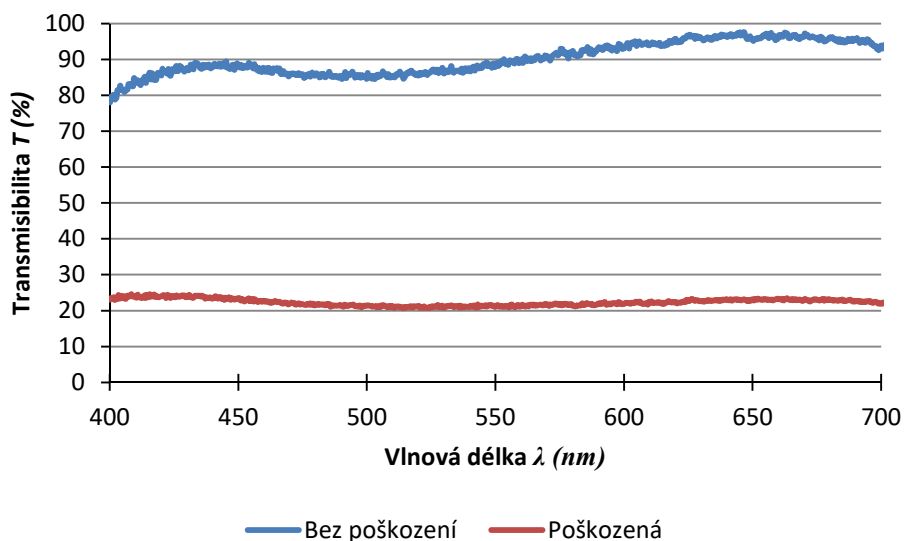
Obrázek 41: Zaschlý lak na vlasy (vlevo: "Super AR"; vpravo: "1.67 Omega Max")

Při testu zušlechťující vrstvy poškozeny nebyly. Nebyly zde žádné známky odchlípnuté nebo poškozené vrstvy.

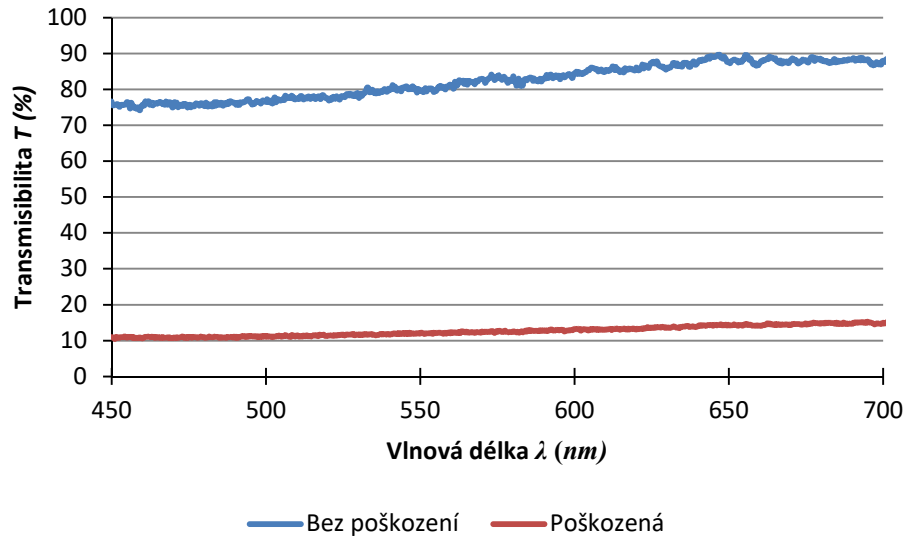
7.4 Mechanické poškození

Mechanické poškození bylo prováděno pomocí nože, kterým byly do čočky vytvořeny rýhy. Následně se měřila propustnost světla a při kontrole na mikroskopu bylo pozorováno, jestli se kolem vytvořených rýh zušlechťující vrstvy dále neodlupují.

Z grafů (obr. 43 a 44) je zřejmé, že intenzita světla po mechanickém testu výrazně klesla u obou typů testovacích čoček.

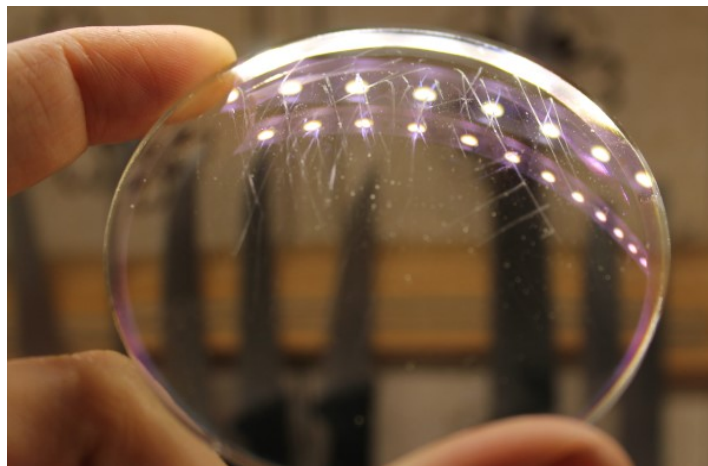


Obrázek 42: Transmisibilita čočky Super AR bez poškození a po mechanickém testu

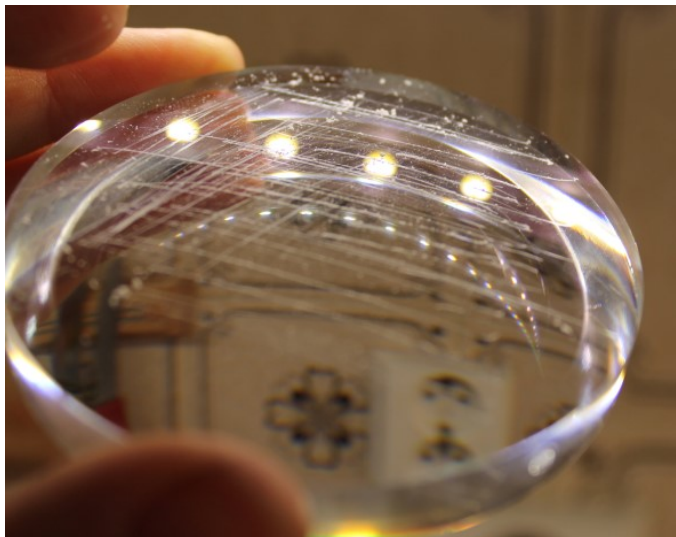


Obrázek 43: Transmisibilita čočky 1.67 Omega Max bez poškození a po mechanickém testu

Na obrázcích (č. 45 a 46) je možné pozorovat rozptyl světla na rýhách vytvořených nožem. Rozptyl světla je u obou typů čoček srovnatelný.

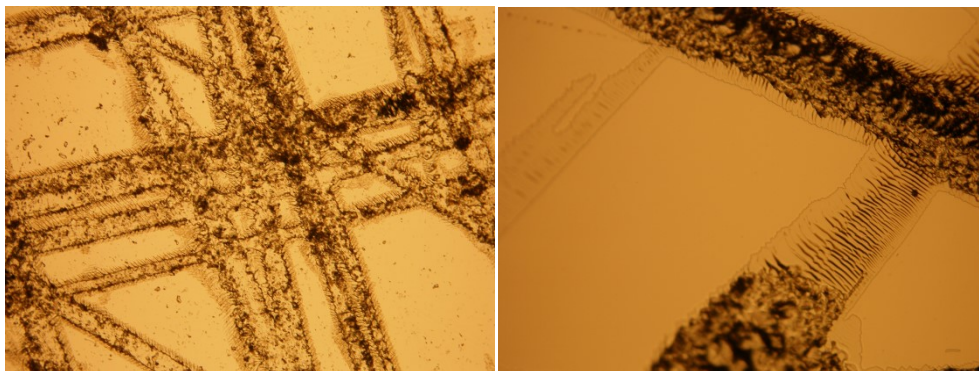


Obrázek 44: Ukázka mechanického poškození u čočky "Super AR"



Obrázek 45: Ukázka mechanického poškození u čočky "1.67 Omega Max"

Na obrázku č. 47 jsou snímky brýlových čoček zvětšených na mikroskopu, které byly testovány mechanickým testem. Kolem vrypů lze pozorovat, že se okolní tenké vrstvy mírně odlouply. U obou typů čoček jsou tenké vrstvy velmi dobře nanесeny, proto další progresse odlupování již nenastala.



Obrázek 46: Brýlové čočky po mechanickém testu (zvětšení 10x) (vlevo: Omega Max; vpravo: Super AR)

8 Diskuze

V bakalářské práci byla testována odolnost tenkých zušlechťujících vrstev proti různým druhům vlivů. Zároveň byly porovnávány dva typy brýlových čoček od výrobce Omega Optix. Jednalo se o čočky „1.5 Super AR“ a „1.67 Omega Max“. V tabulce č. 4 jsou shrnuty výsledky poškození tenkých zušlechťujících vrstev a porovnání stavů obou typů brýlových čoček.

Tabulka 4: Shrnutí výsledků poškození tenkých zušlechťujících vrstev

		1.5 Super AR	1.67 Omega Max
TEPELNÁ ODOLNOST			
Varný test	Viditelné poškození:	Ano, viditelné popraskání AR vrstvy	Ano, výrazné a viditelné popraskání tenkých vrstev
	Pokles transmisibility o:	8,1 %	33,2 %
Tepelný test	Viditelné poškození:	Ano, viditelné popraskání AR vrstvy	Ano, výrazné a viditelné popraskání tenkých vrstev
	Pokles transmisibility o:	1,1 %	21,2 %
Test mrazem	Viditelné poškození:	Ne	Ne
	Mikroskopické poškození	Ne	Ano, popraskání jedné z tenkých vnitřních zušlechťujících vrstev (u 3 čoček z 10)
	Pokles transmisibility o:	0,12 %	0,1 %
CHEMICKÁ ODOLNOST			
Test s lakem na vlasy	Viditelné poškození	Ne	Ne
	Mikroskopické poškození	Ne	Ne
	Pokles transmisibility o:	0 %	0 %
MECHANICKÁ ODOLNOST			
Mechanický test	Viditelné poškození	Ano, vrypy v čočce	Ano, vrypy v čočce
	Pokles transmisibility o:	75,8 %	83,9 %

Z tabulky č. 4 vyplývá, že největší pokles propustnosti čočky nastal u mechanického testu. U obou typů čoček poklesla hodnota transmisibility průměrně téměř o 70%. Můžeme tvrdit, že výsledky z tohoto testu jsou u obou typů čoček srovnatelné.

Nulové změny nastaly po testu na chemickou odolnost, kdy vlastnosti tenkých vrstev zůstaly u obou typů čoček nezměněny. Nedošlo k žádné degradaci materiálu, poklesu propustnosti ani nežádoucímu rozptylu světla.

Při testech na tepelnou odolnost proti vysokým teplotám (varný a tepelný test) byl na první pohled viditelný rozdíl v kvantitě popraskání čočky Super AR a Omega Max. Zatímco u čočky Super AR je nanášena pouze antireflexní vrstva, která následkem vysokých teplot popraskala, čočka Omega Max má zušlechťujících vrstev více, tyto však rovněž popraskaly. Jelikož v každém typu vrstev byly praskliny, díky tomu byl na první pohled znatelný rozdíl v propustnosti brýlové čočky. Větší četnost prasklin je důvodem, proč se propustnost čoček Omega Max snížila při varném testu až o 33,2% a tepelném testu až o 21,2%. Zatímco druhý typ čoček (Super AR) měl pokles transmisibility u varného testu pouze o 8,1% a u tepelného testu o 1,1%. Popraskání povrchových úprav čočky Super AR po varném a tepelném testu byl na první pohled srovnatelný. Rozdíl poklesu propustnosti mohl být způsoben tím, že se praskliny vytvořily nepravidelně v různých místech čočky. A při měření na spektrometru tenkým světelným paprskem se při tepelném testu nevytvořila prasklina přímo ve středu čočky (v místě měření).

Další z teplotních testů byl test mrazem. Při tomto experimentu jsme zjistili, že u čoček typu Super AR tenké nanášené vrstvy při dlouhodobých mrazivých podmínkách vlastnosti nezmění. Běžným okem ani mikroskopem nebyly zjištěny žádné degradující procesy. Rozdíl nastal u čočky Omega Max, kdy při kontrole na mikroskopu byly objeveny jemné praskliny u jedné z vnitřních tenkých vrstev. Toto popraskání změnu propustnosti světla nezpůsobilo. Na první pohled lze tvrdit, že mráz znatelně propustnost čočky Omega Max neovlivní. Přesto způsobí degradaci materiálu a zhoršení optických vlastností tohoto typu brýlové čočky.

Při celkovém porovnání brýlové čočky Super AR a Omega Max ve všech testech, při kterých byla patrná degradace nebo poškození zušlechťujících vrstev, měla čočka Omega Max výraznější pokles kvality zobrazení (rozptyl světla) a propustnosti.

9 Závěr

V bakalářské práci byly popsány základní vlastnosti různých materiálů brýlových čoček a jejich povrchových úprav. Nejvíce bylo zaměřeno na antireflexní a hydrofobní úpravu.

Dále byly popsány možnosti poškození tenkých zušlechťujících vrstev, které byly rozděleny do skupin: mechanické, chemické a tepelné. V této kapitole byly popsány postupy oficiálních testů, které zkouší odolnost brýlových čoček a jejich úprav.

Experimentální část byla rozdělena na tři základní oblasti. Zkoušela se odolnost zušlechťujících vrstev proti tepelným, chemickým a mechanickým vlivům. Zároveň byly porovnávány dva typy brýlových čoček od výrobce Omega Optix: Super AR a Omega Max.

Při testování tepelné odolnosti proti vysokým teplotám klesla propustnost u obou typů čoček. U čočky Omega Max byl tento pokles asi dvakrát výraznější než u druhého typu testovací brýlové čočky. U testů na chemickou odolnost zůstaly vlastnosti obou typů čoček nezměněny. Největší pokles propustnosti světla nastal u mechanického testu, kdy propustnost obou typů čoček klesla v průměru téměř o 70%.

Můžeme tedy tvrdit, že tyto typy brýlových čoček jsou nejméně odolné proti mechanickému poškození, které je ale bohužel nejčastější možností poškození brýlových čoček u nositelů brýlové korekce.

Seznam použité literatury

- [1] POLÁŠEK, J. a kol., Technický sborník oční optiky, ed. 1, Oční optika n. p., Praha, 1997, ISBN SIP-41304/03112-301-05-2
- [2] MIKŠ, A. , Aplikovaná optika, ed. 1, Praha : Nakladatelství ČVUT, 2009, 230 s., ISBN 978-80-01-04254-0
- [3] FUKA, Josef a Bedřich HAVELKA. Optika a atomová fyzika: fyzikální kompendium pro vysoké školy. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961.
- [4] VRUBEL, Martin. Technologie výroby brýlových čoček. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Mgr. Sylvie Petrová.
- [5] JALIE, Mohammed. Ophthalmic lenses and dispensing. 3rd ed. Edinburgh: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2008. ISBN 978-0-7506-8894-9.
- [6] NAJMAN, Ladislav. Základy brýlové optiky. Česká oční optika 2010, 44(2), 4. ISSN 1211-233X
- [7] BAŠTECKÝ, Richard. Praktická brýlová optika. Praha: R H Optik, 1997
- [8] MOJŽIŠOVÁ, M.; RICHTER, J. Brýlové čočky. Bakalářská práce. Brno, 2008. 52 s.
- [9] Abbe diagram. In: Wikimedia Commons [online]. německo: Wikimedia Foundation, 2004, 2005 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abbe-diagram.png>
- [10] VRUBEL, MARTIN. Metody měření kvality parametrů brýlových čoček – současné technické možnosti a skutečnost. Brno, 2011. Diplomová práce. Masarykova univerzita lékařská fakulta. Vedoucí práce Sylvie Petrová
- [11] SCHWENDTOVÁ, Valéria a Róbert BRUNNER. Geometrická a prístrojová optika. [1. vyd.]. Martin: Osveta, 1998. Edícia učebníc pre stredné zdravotnícke školy. ISBN 80-217-0523-X.
- [12] Geometrická optika - odraz, lom a dělení. In: [Http://lasery.kvalitne.cz](http://lasery.kvalitne.cz) [online]. 2009 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://lasery.kvalitne.cz/index.php?text=25-geometricka-optika-odraz-lom-a-deleni>

- [13] WOLFFSOHN, James. The need for ocular UV protection. *Optician UV & THE EYE*. 2012, 5 (7), 5 s.
- [14] VESELÝ, Petr, Peter ŠIMOVIČ a Sylvie PETROVÁ. Konvenční a free-form technologie výroby brýlových čoček. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2014. ISBN 978-80-7013-566-2.
- [15] MESLIN, Dominique. *Ophthalmics optics files: Materials and treatments*. Paris, France: Essilor Academy Europe, 2010. ISBN 979-10-90678-11-8.
- [16] NAJMAN, L. Historie, Plasty v oční optice, Tenké vrstvy na čočkách, Tvrzení, Sklo. Výukové materiály pro SZŠ a VZŠ Merhautova, Brno
- [17] VESELÝ, Petr. Technologie výroby brýlových čoček, Základní rozdělení výroby brýlových čoček. *Česká oční optika* 2013, 54(4), 6. ISSN 1211-233X
- [18] VESELÝ, Petr. Technologie výroby brýlových čoček 2.část: Organické polotovary pro výrobu brýlových čoček. *Česká oční optika*. 2013, 54(2), 4. ISSN 1211-233X
- [19] Anti-Reflection (AR) Coatings. Edmund Optics [online]. USA: Edmund Scientific Corporation, 2005 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/optics/anti-reflection-coatings/>
- [20] JANČÍK, Petr. Optické materiály pro výrobu brýlových čoček. Brno, 2006. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Zdeňka Mašková.
- [21] BROOKS, Clifford W. a Irvin M. BORISH. *System for ophthalmic dispensing*. 3rd ed. St. Louis, MO: Butterworth Heinemann, c2007. ISBN 978-0-7506-7480-5.
- [22] KŘÍŽEK, M. Vlastnosti tenkých vrstev na čočkách z plastů. *Česká oční optika*. 1998, 39(1), 3. ISSN 1211-233X
- [23] VESELÝ, Petr. Technologie výroby brýlových čoček, Materiálový tok výroby. *Česká oční optika* 2014, 55(2), 2. ISSN 1211-233X
- [24] ŠIMOVIČ, Peter. Antireflexné úpravy: a kontrola kvality. *Česká oční optika*. 2012, 53(4), 4. ISSN 1211-233X.
- [25] Naprašování tenkých vrstev. In: *Odborné časopisy* [online]. Brno: Advanced Automation, 2003 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/naprasovani-tenkych-vrstev--14441>

[26] VYMYSLICKÝ, Ivan. Reklamace v praxi. Česká oční optika. 2012, 53(1), 2. ISSN 1211-233X

[27] Plazmové technologie. In: Aldebaran Bulletin [online]. Štefánikova hvězdárna v Praze: AGA, 2004 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.php

[28] Optifog [online]. Praha: Essilor [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: http://www.essilor.cz/CS/brylove_cocky/povrchove_upravu/optifog/Stranky/default.aspx

[29] SYNEK, Jaromír. Vady a poškození povrchových vrstev brýlových čoček. Česká oční optika 2003, 44(3), 4. ISSN 1211-233X

[30] NAJMAN, Ladislav. Vzhledové a funkční tolerance korekčních brýlí. Česká oční optika 2009, 44(4), 6. ISSN 1211-233X

Seznam obrázků

Obrázek 1: Disperze na prizmatickém klínu [5].....	3
Obrázek 3: Závislost odrazivosti na úhlu dopadu [12].....	4
Obrázek 4: Výroba polotovarů nebo finálních výrobků u termosetů [17].....	7
Obrázek 5: Výroba termoplastů lisováním [17].....	8
Obrázek 6: Barvení pevné nebo povrchové [14].....	14
Obrázek 7: Nanášení tvrzené vrstvy ponořením do roztoku laku [15].....	16
Obrázek 8: Princip nanášení laku centrifugací [15].....	16
Obrázek 9: Destruktivní interference [14].....	17
Obrázek 10: Interakce světla s tenkou vrstvou antireflexu [19].....	18
Obrázek 11: Složení čočky s antireflexní úpravou [24].....	18
Obrázek 12: Účinek jednovrstevné a vícevrstevné antireflexní vrstvy [14].....	19
Obrázek 13: Struktura hydrofobní vrstvy [11].....	22
Obrázek 14: Velký kontaktní úhel (čočka s hydrofobní úpravou) [15].....	22
Obrázek 15: Zařízení na měření kontaktního úhlu [24].....	23
Obrázek 16: Ukázka čočky bez a s úpravou Optifog [10].....	24
Obrázek 17: Poškrábaná vrstva prachovými částicemi [29].....	25
Obrázek 18: Poškození brýlových čoček pokládáním na nevhodnou plochu (vpravo detail) [29].....	26
Obrázek 19: Olupování antireflexní vrstvy [29].....	26
Obrázek 20: Odlupečování jednotlivých vrstev antireflexu [29].....	27
Obrázek 21: Výsledky QUV Testu [24].....	27
Obrázek 22: Testování čočky přicházející do kontaktu s abrazivní složkou [24].....	28
Obrázek 23: Poškození chemickým působením (poleptání) [26].....	29
Obrázek 24: Zaschlá kapka vody [29].....	30
Obrázek 25: Popraskání antireflexní vrstvy vlivem přehřátí [29].....	30
Obrázek 26: Výsledky varného testu (vlevo: čočka bez poškození, střední: nadměrné popraskání, vpravo: efekt "pomerančové kůry") [24].....	31
Obrázek 27: Transmisibilita testovacích čoček bez poškození.....	32
Obrázek 28: Konstrukce spektrometru (vlevo: konstrukce s měřenou čočkou a optickými vlákny, vpravo: světelný zdroj).....	33
Obrázek 29: Výsledek varného testu (vlevo čočka OMEGA MAX po varném testu, vpravo čočka OMEGA MAX bez poškození).....	35

Obrázek 30: Brýlová čočka OMEGA MAX po varném testu.....	35
Obrázek 31: Popraskaná povrchová úprava na brýlové čočce „Omega Max“. (zvětšení 10x).....	36
Obrázek 32: Popraskaná antireflexní úprava na brýlové čočce "Super AR" (zvětšení 10x)	36
Obrázek 33: Transmisibilita světla pro čočku Super AR bez poškození a po varném testu.....	37
Obrázek 34: Transmisibilita světla pro čočku Omega Max bez poškození a po varném testu.....	37
Obrázek 35: Brýlová čočka 1.67 Omega Max po tepelném testu	38
Obrázek 36: Brýlová čočka Plast 1.5 Super AR po tepelném testu.....	39
Obrázek 37: Výsledky Tepelného testu (čočka Super AR) (zvětšení 10x)	39
Obrázek 38: Výsledky Tepelného testu (čočka 1.67 Omega Max) (zvětšení 10x)	40
Obrázek 39: Transmisibilita čočky Super AR bez poškození a po tepelném testu	40
Obrázek 40: Transmisibilita čočky 1.67 Omega Max bez poškození a po tepelném testu.....	41
Obrázek 41: Popraskání jedné z vnitřních vrstev čočky 1.67 Omega Max (zvětšení 10x).....	42
Obrázek 42: Zaschlý lak na vlasy (vlevo: "Super AR"; vpravo: "1.67 Omega Max").	43
Obrázek 43: Transmisibilita čočky Super AR bez poškození a po mechanickém testu	43
Obrázek 44: Transmisibilita čočky 1.67 Omega Max bez poškození a po mechanickém testu.....	44
Obrázek 45: Ukázka mechanického poškození u čočky "Super AR"	44
Obrázek 46: Ukázka mechanického poškození u čočky "1.67 Omega Max"	45
Obrázek 47: Brýlové čočky po mechanickém testu (zvětšení 10x) (vlevo: Omega Max; vpravo: Super AR).....	45

Seznam tabulek

Tabulka 1: Závislost indexu lomu na odrazivosti brýlových čoček [11].....	5
Tabulka 2: Efektivita antireflexních vrstev [24].....	19
Tabulka 3: Základní vlastnosti testovacích brýlových čoček (podle výrobce Omega Optix).....	32
Tabulka 4: Shrnutí výsledků poškození tenkých zušlechťujících vrstev.....	46