



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů

Tribologické vlastnosti kontaktních a brýlových čoček

Tribological properties of contact and spectacle lenses

Diplomová práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Přístroje a metody pro biomedicínu

Autor diplomové práce: Bc. Alena Škubníková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Písařík, Ph.D.

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

Kladno 2021



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Škubníková** Jméno: **Alena** Osobní číslo: **456568**
 Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
 Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**
 Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
 Studijní obor: **Přístroje a metody pro biomedicínu**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Tribologické vlastnosti kontaktních a brýlových čoček

Název diplomové práce anglicky:

Tribological properties of contact and spectacle lenses

Pokyny pro vypracování:

Jeden z důležitých parametrů kontaktních čoček je jejich komfort při nošení. Pro jeho ohodnocení je potřeba znát tribologické vlastnosti a to konkrétně koeficient tření. Popobně u brýlových čoček při ohodnocení odolnosti proti opotřebení je důležité znát tribologické vlastnosti. Student nastuduje materiály používané na výrobu kontaktních čoček, brýlových čoček a jejich povrchových úprav. Provede rešerši na téma hodnocení tribologických vlastností měkkých materiálů (kontaktních čoček) a tenkých vrstev. Student provede měření tribologických vlastností kontaktních čoček a brýlových čoček s různou povrchovou úpravou. Vyhodnotí naměřené výsledky a porovná je s dostupnou literaturou.

Seznam doporučené literatury:

- [1] STERNER, O., et al., Tribological Classification of Contact Lenses: From Coefficient of Friction to Sliding Work, Tribology Letters, ročník 63, číslo 9, 2016, 13 s., DOI: 10.1007/s11249-016-0696-5
- [2] ROBA, M., et al., Friction Measurements on Contact Lenses in Their Operating Environment, Tribology Letters, ročník 44, číslo 3, 2011, 387-397 s., DOI: 10.1007/s11249-011-9856-9
- [3] EFRON, N., Contact Lens Complications, ed. 4th, Edinburgh: Elsevier-Saunders, 2019, ISBN 978-0-7020-7611-4

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Petr Písařík, Ph.D.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Jan Mikšovský, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **27.05.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2022**

prof. RNDr. MUDr. Petr Maršálek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
podpis děkana(ky)

Název diplomové práce: Tribologické vlastnosti kontaktních a brýlových čoček**Abstrakt:**

Tato práce se zabývá tribologickými vlastnostmi kontaktních a brýlových čoček, zejména koeficientem tření. V případě kontaktních čoček je koeficient tření zjišťován za účelem lepšího, komfortnějšího nošení pro nositele. U brýlových čoček je měření zaměřeno především na zjištění nejodolnějších povrchových úprav. Měření probíhalo u třech typů kontaktních čoček – dvě silikonhydrogelové a jedna hydrogelová. Brýlové čočky byly měřeny od různých výrobců (OMEGA, ZEISS).

Tribologické měření probíhalo na přístroji zvaném Tribometr Pin-on-Disk (TRB³ – Anton Paar) s lineárním posunem 8 mm u brýlových čoček a u kontaktních čoček 3 mm. Během obou měření byla použita zkušební kulička z chromové oceli o průměru 6 mm.

Měření ukázalo, že se zvyšující se rychlostí posuvu a konstantním zatížení dochází ke zvyšování koeficientu tření a při měření s konstantní rychlostí a zvyšujícím se zatížení klesá koeficient tření u kontaktních čoček. U brýlových čoček bylo zjištěno, že čočky s lepší povrchovou úpravou jsou odolnější proti nejmenšímu zatížení 0,25 N oproti čočkám se základní povrchovou vrstvou. Každá brýlová čočka byla po měření zkoumána pod mikroskopem a následně bylo vyhodnocováno její poškození.

Klíčová slova:

Tribologické vlastnosti, tribometr, materiály kontaktních čoček, povrchové úpravy brýlových čoček

Master's Thesis title: Tribological properties of contact and spectacle lenses**Abstract:**

This thesis deals with tribological properties of contact and spectacle lenses, especially the friction coefficient. Friction coefficient in contact lenses is bound with comfortable wear and in spectacle lenses is this coefficient dependant on the durability of teh lens. Three types of contact lenses – 2 siliconhydrogel and 1 hydrogel contact lenses, and two spectacle lenses from different manufacturers (OMEGA and ZEISS) were measured.

Wearability test was performed by Tribometr Pin-on-Disk (TRB³ - Anton Paar) with linear movement – trajectory was 8 mm for spetacle lenses and 3 mm for contact lenses. Chromium steel testing ball (Ball type: Ac 100 Cr6) with a 6 mm diameter was used during both of measurement.

The outcome of our measurement of contact lenses was, that with increasing sliding speed during measurement the friction coefficient increases as well and with constant sliding speed and increasing applied force the friction coefficient decreases. Measurement of spectacel lenses showed that spectacle lenses with enhanced surface are not being scratched for 0,25 N of applied force. The damage of this type of spectacle lenses occurs with bigger applied force (0,5 N; 0,1 N). Each spectacle lens was evaluated under microscope and the scratch width was measured.

Key words:

Tribological properties, tribometer, materials of contact lenses, surface treatment of spectacle lenses

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu Ing. Petru Písaříkovi Ph.D. za zadané téma a veškerou pomoc při zpracování. Tato práce byla podporována Studentskou grantovou soutěží ČVUT v Praze (grant číslo SGS19/134/OHK4/2T/17). V neposlední řadě bych neměla zapomenout na svou rodinu a poděkovat ji za veškerou podporu a pomoc po celou dobu studia.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „*Tribologické vlastnosti kontaktních a brýlových čoček*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové 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
1.1	Kontaktní čočky	2
1.1.1	Materiály a historie	2
1.1.2	Vlastnosti	6
1.1.3	Tribologické měření	8
1.2	Brýlové čočky	13
1.2.1	Historie	13
1.2.2	Materiály	14
1.2.3	Vlastnosti	16
1.2.4	Povrchové úpravy	18
1.3	Cíle práce	22
2	Použité metody	23
2.1	Tribometr	23
2.2	Mikroskop OLYMPUS Bx51	25
3	Experimentální část	26
3.1	Kontaktní čočky	26
3.1.1	Clarity 1 day	27
3.1.2	Air Optix Aqua	29
3.1.3	Dailies AquaComfort Plus	30
3.2	Brýlové čočky	33
3.2.1	OMEGA Optix	33
3.2.2	ZEISS	45
4	Diskuse	53
5	Závěr	58
	Seznam použité literatury	60
	Seznam zkratk	63
	Seznam obrázků	64
	Seznam tabulek	67

1 Úvod

Kontaktní a brýlové čočky jsou v současnosti nezbytnou součástí korekce různých očních vad. Kontaktní čočky nosí přibližně 100 milionů lidí na celém světě. Ne všichni jsou ovšem schopni snést přímo v oku cizí tělísko, což pro oči jsou kontaktní čočky. A tak se většina přiklání spíše ke korekci brýlové. Pro nositele kontaktních čoček je velmi důležitá jejich pohodlnost. Pohodlí souvisí mimo jiné i s tribologickými vlastnostmi. Je důležitá vzájemná interakce zadního povrchu kontaktní čočky s povrchem rohovky, ale také přední povrch čočky s pohybujícím se víčkem během mrkání. Komfort při nošení lze dosáhnout snížením tření, které vzniká mezi kontaktní čočkou a víčkem a minimalizovat tak koeficient tření. Neboli můžeme říct, že čím menší koeficient tření u dané čočky je, tím pohodlnější a komfortnější pro nositele kontaktní čočka bude.[25]

Tribologické vlastnosti jsou měřeny přístrojem zvaným tribometr. Existují i přístroje mikrotribometry a nanotribometry, které jsou schopny vyvinout mnohem menší působící zatížení. Před měřením je možné si nastavit potřebné zatížení i rychlost posuvu sondy, podle toho, u čeho bude měření probíhat.

Předpokladem pro naše měření bylo zjistit, které kontaktní čočky budou nejpohodlnější pro nositele, což znamená, které čočky budou mít nejmenší koeficient tření a doporučení dle našich měření, které kontaktní čočky budou nejlepší. Zkoumány byly silikonhydrogelové a hydrogelové kontaktní čočky. U brýlových čoček jsme vybrali čočky od dvou nejznámějších dodavatelů na český trh (OMEGA a ZEISS). Zde byla zkoumána odolnost povrchových vrstev vůči opotřebení.

V práci naleznete historii a vývoj kontaktních čoček, rozdělení dle materiálů, základní vlastnosti a výzkumy, zabývající se tribologickým měřením kontaktních čoček. U brýlových čoček taktéž historii, vývoj, výčet materiálů na výrobu a možné povrchové úpravy pro zlepšení vlastností brýlových čoček. Je zde uvedeno měření tribologických vlastností, konkrétně koeficientů tření kontaktních i brýlových čoček. Srovnání a výběr nejlepších kontaktních čoček z hlediska pohodlnosti a komfortu pro nositele vzhledem k nejnižšímu koeficientu. A na závěr porovnání odolnosti povrchových vrstev různých brýlových čoček od dvou výrobců. Brýlové čočky jsou často samotnými uživateli namáhány a jsou náchylné k mechanickému poškození, je proto dobré znát, která brýlová čočka a s jakou povrchovou úpravou nejvíce odolá poškrábání a poškození vrstvy čočky.

1.1 Kontaktní čočky

1.1.1 Materiály a historie

První pokusy o výrobu a korekci zraku pomocí kontaktních čoček byly zaznamenány již v 16. století italským umělcem Leonardem da Vinci. Poté se pokoušelo mnoho umělců o další vývoj až se v průběhu 19. století začali objevovat první výrobci kontaktních čoček připomínající tvar dnešních čoček. Roku 1887 jako první vyrobil kontaktní čočku Müller z Wiesbadenu, která sloužila jako ochrana rohovky po operaci víček před osycháním. Pacient ji nosil bez problémů 20 let. [18,20]

Kontaktní čočky s lepšími optickými vlastnostmi vyráběli Müller a Welt ze Stuttgartu. Tyto čočky byly foukané stejně jako od Müllera z Wiesbadenu, ale navíc měly dobrušovanou optickou část. [18,20]

Ve 20. letech 20. století se vědci snažili přejít na jiné materiály, kterými by nahradili skleněné čočky. První pokusem byly čočky z celuloidu, které vyrobila v roce 1919 firma Carl Zeiss v Jeně. Celuloid je jeden z materiálů termoplastů, které se vyznačují postupným křehnutím a vysokou hořlavostí, díky těmto negativním vlastnostem se tento materiál neuchytil a vrátilo se zpět ke sklu. [18,20]

Další pokus byl v Budapešti roku 1919, kde se Maďar Czapody snažil jako první dělat parafínové odlitky živých očí. Tuto metodu rozvinul v roce 1932 lékař Josef Dallos, který snímal otisky očí pomocí hmoty Nagecol. Josefu Dallosi je pokládán za zakladatele vrtání a kanálkování kontaktních čoček. [18,20]

V roce 1936 bylo sklo nahrazeno materiálem polymetylmetakrylát (PMMA), za jehož vznikem stojí Rohm a Haas Company, kteří vyvinuli tento materiál primárně pro letecké a vojenské účely. PMMA má dobré optické a mechanické vlastnosti, čímž se zrodila myšlenka použít tento materiál na výrobu kontaktních čoček. Má také jednu negativní stránku a to malou propustnost pro kyslík. První polymetylmetakrylátové čočky byly vyrobeny v roce 1940 a o rok později vznikl soustruh pro tuto výrobu. [18,20]

Rok 1960 se stal průlomem ve vývoji kontaktních čoček. Český profesor Otto Wichterle s Ing. Drahoslavem Límou vytvořili polymer, který se poté stal základním materiálem měkkých kontaktních čoček. Prof. Wichterle původně pracoval na vývoji síťovaného hydrofilního gelu zejména pro oční implantáty. Hydrogel byl dokonale čirý a měl dobré mechanické vlastnosti hodící se pro kontaktní čočky. Nejprve se čočky vyráběly litím do polystyrenových forem, což nebylo dobré provedení a docházelo k trhání materiálu a nepravidelným okrajům. Poté byl výzkum zastaven a prof. Wichterle si vyrobil doma ze stavebnice Merkur prototyp odstředivého odlévacího stroje tvořícího kontaktní čočky. Kontaktní čočky z „čočkostroje“ měly velký úspěch a díky tomuto vynálezu dostal prof. Wichterle patent. [18,20]

Technika odstředivého lití měla velký úspěch, neboť snížila náklady na výrobu a kontaktní čočky, se tak rozšířily do celého světa. Kontaktní čočky měly hladké okraje, a tak pacienty téměř nedráždily. [18,20]

Anglický optometrista John de Carle vytvořil začátkem 70. let 20. století hydrogelovou kontaktní čočkou, která obsahovala 71 % vody a byla určena na kontinuální nošení až na 30 dnů. Bohužel s delším nošením přicházelo spoustu komplikací, a tak se čočky vrátily pouze k dennímu, resp. prodlouženému nošení tj. 6 po sobě jdoucích nocí. [18,20]

V roce 1975 přichází na trh první kontaktní čočky z plynopropustných materiálů – RGB (rigid gas permeable). A od roku 1991 byly na trh uvedeny gelové čočky pro plánovanou výměnu. Tyto čočky jsou vyráběny z různých kombinací materiálů, aby zlepšily jejich mechanické, tak optické vlastnosti. Na začátku 3. tisíciletí vstupují na trh silikonhydrogely. [18,20]

MATERIÁLY

Materiály kontaktních čoček dělíme na [1,2,20]:

- Tvrdé
 - Tvrdé nepropustné (sklo, PMMA)
 - Tvrdé plynopropustné (RGP materiály)
- Měkké
 - Hydrofobní – měkké silikonové
 - Hydrofilní (hydrogelové)
 - S nízkým obsahem vody 35 – 45%
 - Se středním obsahem vody 45 – 60%
 - S vysokým obsahem vody 65 - 90%
- Hybridní (silikonhydrogelové)

V dnešní době lze čočky rozdělit zjednodušeně do tří kategorií [1,2]:

- RGP
- Hydrogely
- Silikonhydrogely

Měkké kontaktní čočky

Vyrábí se především ze dvou typů materiálů:

- **Hydrogelové**

Hydrogelové kontaktní čočky jsou vyrobené z hydrofilních polymerů uspořádaných do síťované struktury. Jsou propustné pro nízkomolekulární látky a vyznačují se dobrou biokompatibilitou v závislosti na obsahu vody. Index lomu v rovnovážném zbotnalém stavu hydrogelové čočky je podobný indexu lomu rohovky ($n_{rohovky} = 1,376$ a index čočky $n_{HEMA} = 1,438$). Díky většímu obsahu vody oproti silikonhydrogelovým čočkám se vyznačují lepší snášenlivostí a rychlejší adaptací. Měkké čočky s nižším obsahem vody umožňují každodenní použití po dobu 3-16 hodin, délka snášenlivosti je dána různými faktory: typ

čochy, správnost aplikace, individuální snášenlivost... Pro prodloužené nošení jsou vhodnější čochy s vyšším obsahem vody (55-80 %). [3,18,21]

Klasifikace materiálů pro hydrogelové kontaktní čochy [21,27]:

Podle FDA:

1. Neionogenní s botnavostí do 50 % (38-50 %) – náchylná k depozitům (bílkovinná-hydrogely, lipidová-silikonhydrogely) - důležité mechanické čištění
2. Neionogenní s botnavostí nad 50 % (51-80 %) – afinita k lipofilním depozitům – odstranění možné jen za pomoci detergentů
3. Ionogenní s botnavostí do 50 % - obtížně odstranitelná depozita
4. Ionogenní s botnavostí nad 50 % - nedochází k usazování depozit

Podle ACLM (rozdělení do 5 skupin označených Filcon):

- Skupina 1a – prakticky čistý polyHEMA, obsahující méně než 0,2 hmotnostního % ionizovatelných složek (kyseliny methakrylové)
 - Skupina 1b – prakticky čistý polyHEMA, obsahující více než 0,2 hmotnostního % ionizovatelných složek
 - Skupina 2a – kopolymer HEMA a/nebo jiných hydroxyalkylmethakrylátů, dihydroxyalkylmethakrylátů a alkylmethakrylátů, obsahující méně než 0,2 hmotnostního % ionizovatelných složek
 - Skupina 2b – kopolymer HEMA a/nebo jiných hydroxyalkylmethakrylátů, dihydroxyalkylmethakrylátů a alkylmethakrylátů, obsahující více než 0,2 hmotnostního % ionizovatelných složek
 - Skupina 3a – kopolymer HEMA s N-vinylaktamem a/nebo alkylakrylamidem, obsahující méně než 0,2 hmotnostního % ionizovatelných složek
 - Skupina 3b - kopolymer HEMA s N-vinylaktamem a/nebo alkylakrylamidem, obsahující více než 0,2 hmotnostního % ionizovatelných složek
 - Skupina 4a – kopolymer alkylmethakrylátu a N-vinylaktamu a/nebo alkylakrylamidu, obsahující méně než 0,2 hmotnostního % ionizovatelných složek
 - Skupina 4b - kopolymer alkylmethakrylátu a N-vinylaktamu a/nebo alkylakrylamidu, obsahující více než 0,2 hmotnostního % ionizovatelných složek
 - Skupina 5 – polysiloxany
-
- **Silikonhydrogelové**

Silikonhydrogelové kontaktní čochy vznikly z hydrogelových, do materiálu HEMA byly přidány silikonové řetězce, které měly hlavní funkci a to přenos molekul kyslíku. Jsou kombinací výšebotnavých materiálů s materiály plynopropustnými. Vznikají formou materiálových sendvičů, povrchových úprav, nebo spojením různých materiálů v okrajových částech a centrální části. Vyznačují se vysokou propustností pro kyslík. Díky menšímu obsahu vody jsou čochy mechanicky tužší a je tak s nimi snazší manipulovatelnost. Silikonhydrogelové čochy prošly třemi generacemi od svého vzniku. [3,18,20,21,22]

1. generace silikonhydrogelových čoček přišla na trh v roce 1999 firmou Bausch&Lomb s kontaktními čočkami PureVision a firma Ciba Vision (dnes Alcon) s Focus Night and Day. Oba typy čoček byly měsíční pro kontinuální nošení. Čočky od Bausche měly vyšší obsah vody (36 %) a nižší propustnost pro kyslík (110 Dk/t) naopak čočky od Ciby Vision měly sice menší obsah vody (24 %), ale vyšší propustnost pro kyslík (175 Dk/t). Kontaktní čočky 1. generace měly sice oproti hydrogelovým čočkám větší propustnost pro kyslík, ale byly tužší, a tak naaplikovaná čočka byla v oku více cítit a docházelo k markantnějšímu ukládání depozit. [3,18,20,21]

Úpravou 1. generace silikonhydrogelových čoček vznikly a nastoupila v roce 2004 a 2005 2. generace. Čočky obsahovaly menší množství silikonu a větší obsah vody, což mělo za následek menší propustnost pro kyslík oproti 1. generaci, ale čočky se staly měkčími a nebyly zapotřebí speciální technologie pro povrchové úpravy. Čočky 2. generace vyrábí především firmy Johnson&Johnson (Acuvue Advance, Acuvue Oasys) a Alcon (Air Optix). [3,20,21]

S 3. a poslední generací silikonhydrogelových čoček přišla firma CooperVision v roce 2006 a vytvořila nové kontaktní čočky Biofinity. Tyto čočky se liší použitím nového silikonového makromerů a provázáním silikonových a hydrogelových složek. Voda je tak pevně vázána uvnitř materiálu a povrch nemusí být nijak speciálně upravován ani lubrikován. Čočky jsou vyráběny jak pro denní, tak prodloužené i kontinuální nošení. [3,20,21]

Tabulka 1.1.1: Výhody a nevýhody současných materiálů kontaktních čoček (CL). [2]

Materiál CL	Výhody	Nevýhody
PMMA	Levný, snadno zpracovatelný	Nepropustný pro kyslík, nepohodlný pro nositele
RGP	Vysoká propustnost pro kyslík, odolný	Nutný hydrofilní komonomer, může být abrazivní
PHEMA	Levný, biokompatibilní, velká možnost kopolymerů	Nízká propustnost pro kyslík
Silikon hydrogel	Velká propustnost pro kyslík, odolný, pohodlný pro nositele	Drahá výroba, vyžaduje hydrofilní komonomer

1.1.2 Vlastnosti

Mechanické

- PEVNOST

Pro zjištění těchto vlastností je zapotřebí deformovat materiál a zjistit jeho napětí. [18,21]

Tažnost = deformace při přetržení

Pevnost = napětí při přetržení [18,21]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1.1)$$

σ = napětí [MPa]

ε = relativní prodloužení

E = modul pružnosti [MPa]

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (1.2)$$

ε = relativní prodloužení [%]

l = délka po prodloužení

l_0 = původní délka materiálu

- STRUKTURNÍ PEVNOST

Jedná se o vlastnost materiálu, díky které můžeme určit jeho odolnost proti rozšiřování z již vzniklé trhliny. Můžeme ji měřit dvěma způsoby: kalhotkovým testem, nebo testem (psí kost). Kalhotkový test spočívá v nastříhnutí materiálu a následně se táhne od sebe a měří se vývoj trhliny. Test (psí kost) funguje na principu upnutí konců materiálu do svěráku a oddalování těchto konců a výsledkem tohoto testu je pozorování protažení a určení v procentech. [18,21]

- MODUL PRUŽNOSTI

Vlastnost, která definuje pružnost materiálu. U měkkých kontaktních čoček je tento modul vysoký a u tvrdých čoček nízký. [21,26]

Povrchové

- SMÁČIVOST

Vyjádřena úhlem, který je svírá mezi kontaktní čočkou a slzným filmem v místě dotyku. Úhel smáčivosti definuje schopnost rovnoměrného rozložení vlhkosti na povrch čočky. [21,26]

Dobrá smáčivost je pod úhlem 30°. Smáčivost lze ovlivnit přípravky, jako jsou roztoky na kontaktní čočky, nebo kapky. [18,21]

Materiálové

- BOTNAVOST

Molekuly rozpouštědla materiál obklopí, ale nerozpustí, zřed'ovadlo pouze vstupuje do materiálu. Jestliže vložíme k polymeru rozpouštědlo, polymerní síť začne botnat. Mezi polymer se přidá určité procento roztoku. Během botnání dochází k navýšení objemu. HEMA (Hydroxyethylmetakrylát) botná asi na 40%. Koeficient lineárního botnání je rozměr, který vznikne v poměru ku přírodnímu rozměru. [18, 21]

Výpočet rovnovážné botnavosti[18, 21]:

$$\%H_2O = \frac{m_b - m_s}{m_b} \cdot 100 \quad (1.3)$$

m_b = hmotnost kontaktní čočky v hydratovaném stavu

m_s = hmotnost kontaktní čočky v suchém stavu

Tento vzorec nebude platný, jestliže se budeme přibližovat 100 % H₂O, v tomto případě musíme počítat ve vztahu se suchou hmotností. Jestli má materiál zvýšený obsah rovnovážné botnavosti znamená to, že bude mít vyšší propustnost, lepší biokompatibilitu, ale menší mechanické vlastnosti (čím více H₂O, tím menší elasticita a nižší index lomu). [18,21]

Optické

- INDEX LOMU

Základní optická bezrozměrná veličina, která je určena poměrem rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí. Lze vypočítat vztahem [18, 21]:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.4)$$

Čím větší obsah vody, tím je index lomu nižší. Ideální index lomu, aby nedocházelo k velkému lomu a odchylení paprsků vstupujících do oka, by měl být v rozsahu 1,3 až 1,5. Čočka, která obsahuje 60% vody má index lomu $n = 1,378$, kontaktní čočka vyrobená z HEMA má $n = 1,438$ a z PMMA $n = 1,49$. [18,21]

1.1.3 Tribologické měření

Tribologie je věda, která se zabývá třením, opotřebením a mazáním vzájemně se ovlivňujících povrchů v relativním pohybu. Jedná se o obor definovaný v roce 1967 Organizací pro hospodářskou spolupráci a vývoj. Slovo „tribologie“ je odvozeno z řeckého slova „tribos“, což znamená tření nebo opotřebení. [14,15]

Opotřebení je hlavní příčinou plýtvání materiálem a ztrát mechanického výkonu. Tření znamená opotřebení a rozptyl energie. Mazání je účinným prostředkem pro řízení opotřebení a snižování tření. Tribologie se zabývá touto problematikou a snaží se minimalizovat všechny tyto složky. [14]

Měření měkkých kontaktních čoček a zjišťování koeficientu tření se zabývalo několik výzkumů, jedním z nich je výzkum od Antona Paara - „Tribological behavior of soft contact lenses“. Anton Paar je výrobce dodávající přístroje do několika odvětví – např. chemický průmysl, elektronický průmysl, energetika, výrobce dodávající přístroje do několika odvětví – např. chemický průmysl, elektronický průmysl, energetika, nebo materiálový průmysl a spousta dalších. [23]

Kontaktní čočka je ve svém prostředí in vivo vystavena pohybu víček. Pohybem víček je vystavena primární síle, která na ni působí. Kontaktní tlak vyvolaný víčkem během mrkání byl odhadnut na 1 – 7 kPa a průměrná rychlost mrkání na přibližně 12 cm/s. [24]

Výzkum se zabýval studií dvou komerčně dostupných hydrogelových kontaktních čoček. Byl měřen koeficient tření a pozorován jeho vývoj v závislosti na zatížení a rychlosti posuvu. Měření probíhalo na přístroji zvaném Nano Tribometr (NTR³). Toto zařízení je schopné vyvinout nízké kontaktní tlaky a velmi nízké působící zatížení. K měření, které probíhalo na kontaktních čočkách ponořených do solného roztoku nebo slzného média, byla použita rubínová kulička o průměru 2 mm. Kontaktní čočky byly uchyceny do speciálně navrženého držáku, který umožnil mít čočku v lubrikovaném stavu. Držák byl připraven tak, aby odpovídal vnitřnímu zakřivení čočky. Čočka byla poté upevněna v horní části, která ji držela na místě a bránila tak jejímu pohybu během měření. V horní (upínací) části a ve spodní (podpůrné) části držáku byly zabudovány tři magnetické kolíky.[24]

Tribologické měření bylo uskutečněno za dvou experimentálních podmínek. Během prvního měření bylo zatížení zvyšováno postupně v 50 krocích z 0,4 mN na 5 mN, zatímco rychlost posuvu byla konstantní 0,2 cm/s. Při druhém měření bylo konstantní zatížení 1 mN a měnila se rychlost posuvu v 50 krocích z 0,03 cm/s na 1 cm/s. I když byla na začátku uvedena rychlost mrkání 12 cm/s, této rychlosti bylo obtížné dosáhnout a měřit během ní. Vibrace způsobené vyšší rychlostí mohly ovlivnit měření koeficientů, proto byla v tomto případě zvolena maximální rychlost 1 cm/s. [24]

Byl pozorován pokles koeficientu s nárůstem aplikovaného zatížení pro obě testované čočky. Můžeme říct, že s touto tendencí se slučují i jiné výzkumy při porovnání koeficientu tření u silikonhydrogelových a hydrogelových kontaktních čoček a koeficienty tření se pohybovaly přibližně na stejných hodnotách. Tento jev snižování koeficientu při zvyšujícím působícím zatížení je přisuzován síťované povaze hydrogelů s vysokým obsahem vody. S nárůstem normálního tlaku se zesíťování snadněji ztrácí nebo rozpouští.

Při zvyšování zatížení prosakuje více kapaliny na povrch, což má za následek snížení tření. [24,25]

V případě druhého experimentálního měření, kdy se měnila rychlost posuvu, bylo odhaleno zvýšení koeficientu tření s rostoucí rychlostí posuvu. Tuto závislost je možné vysvětlit modelem odpuzování-adsorpcí (pohlčení), který navrhl Gong[40]. Podle tohoto modelu můžeme říct, že když je polymer nebo zesíťovaný gel v kontaktu s pevným protilehlým povrchem, polymerní řetězec může být odpuzován, nebo pohlčen na pevnou protilehlou plochu. V případě odpuzování mezi hydrogelem a pevnou látkou je kontakt mezi pevnou látkou minimalizován a tření dominuje mazání hydratované vrstvy polymerních řetězců. Z tohoto důvodu se očekává, že se tření bude lineárně zvyšovat s normálním tlakem a klouzavou rychlostí (pro malé působící zatížení). [24]

U kontaktních čoček studovaných v tomto článku odhalily třecí testy nízké koeficienty tření – nižší než 0,1, které se snižují se zvyšující se zátěží a zvyšují s rychlostí posuvu. [24]

Další studie “Friction Measurements on Contact Lenses in Their Operating Environment“ se zabývaly měřením koeficientu tření při snaze zachovat přirozené prostředí kontaktních čoček v oku. Což znamená nezapomenout na slzný film, který je za fyziologických podmínek přítomen na povrchu oka a také bílkoviny obsažené v slzách na vnitřní straně víčkové spojivky. [34]

Studie ukazuje, že fyziologické prostředí může ovlivňovat tribologické měření. Měření bylo prováděno na přístroji zvaném mikrotribometr (Basalt[®] Must, Tetra[®], Německo) a byly měřeny komerčně dostupné kontaktní čočky. Kontaktní čočky byly umístěny uvnitř teflonové komory na zaobleném plastovém držáku, odpovídajícímu vnitřnímu zakřivení čočky. Aby nedocházelo k pohybu čočky během měření, byla upevněna silikonovým krytem a kroužkem z PMMA. Kroužek byl přišroubován k teflonové komoře dvěma šroubky. Měření probíhalo pomocí skleněné kuličky o průměru 6 mm, a byla pokryta mucinem. Kontaktní čočka byla během měření pokryta lubrikačním roztokem. [34]

K měření byly použity dva typy materiálů, které jsou obsaženy v několika typech komerčně dostupných kontaktních čočkách a liší se přítomností vody - polyvinylpyrrolidonu (PVP) v hydrogelových čočkách s vyšším obsahem vody a silikonhydrogelové bez přítomnosti PVP s nižším obsahem vody[34]:

Kontaktní čočky	Obsah vody	Modul elasticity
ACUVUE [®]	58 %	0,3 MPa
NIGHT&DAY [®]	24 %	1,5 MPa

Třecí zkoušky byly prováděny s 0,9 % roztokem chloridu sodného s boritanovým pufrům ($pH = 7,4$). Tento roztok byl použit, neboť napodobuje slzu, bylo přidáno ještě sérum a lysozym. Měření zahrnovalo použití tří sad sedmi normálových sil v rozmezí 0,25 – 5 mN. Opotřebením čoček bylo simulováno provedením 50 cyklů pro každé zatížení ze sady sedmi normálových sil. Rychlost posuvu byla 0,1 mm/s. [34]

Cílem tohoto výzkumu je použít údaje in vitro k posouzení výkonnosti in vivo. Pro tření je žádoucí měřit koeficient tření kontaktních čoček, co nejvíce podobný přirozeným podmínkám. Kontaktní čočky jsou ovlivňovány bílkoviny přítomnými v slzách, buňkami rohovky (na zadní straně čočky) a oční spojivkou (na přední straně čočky). Většina dosud dostupných studií tribologie kontaktních čoček nezahrnovala tyto podmínky během měření. Při porovnání výsledků této studie s výsledky z předchozích studií, kdy Rennie a kol. [35] hodnotili Etafilcon A za normálních podmínek a působící síly 3 – 20 mN, uvádějí, že koeficient tření se řídí klouzavým zákonem síly závislým na rychlosti. Jejich koeficient tření pro Etafilcon A byl asi 0,15. Koeficient tření pro tento výzkum ukázal asi 0,02 – 0,09, který byl neměnný s normální silou. Nairn a Jiang hodnotili koeficient tření pro SeeQuence (Polymacon) kontaktní čočky pomocí tribometru typu pin-on-disk. Ti uvádějí koeficient tření 0,05 – 0,3 ve fyziologickém roztoku. Výsledek koeficientu tření pro kontaktní čočky Polymacon vyrobené stejnou společností popisovaného výzkumu byl 0,55. Dalším výzkumem, který měřil koeficienty tření pro Lotrafilcon A a Polymacon A byli Ngai a kol. [36] ti naměřili koeficient 0,27.[34]

Pro určení koeficientu tření, při napodobování očí, byl rovněž zohledněn tlak a rychlost posuvu. Typické hodnoty tlaku a rychlosti in vivo jsou kolem 3 – 5 kPa, respektive 12 cm/s. Bylo vybráno normální zatížení, které umožnilo, aby nastavení bylo v rozsahu kontaktního tlaku popsaného v literatuře. Kontaktní tlaky byly zjištěny v rozmezí 2,6 – 6,5 kPa pro normální zatížení v této studii. [34]

Jak již bylo zmíněno, účelem tohoto výzkumu je vyhodnocení koeficientu tření kontaktních čoček s ohledem na přirozené prostředí oka. Byla zjištěna závislost koeficientu tření na změně rychlosti posuvu. Při srovnání třecích vlastností měřených kontaktních čoček bylo zjištěno, že čočky obsahující PVP vykazovaly nejnižší koeficienty tření, obvykle menší než 0,050, zatímco koeficienty tření pro čočky neobsahující PVP se pohybovaly od 0,1 po 0,6. [34]

Účelem výzkumu “Friction Measurements on Contact Lenses in a Physiologically Relevant Environment: Effect of Testing Conditions on Friction“ bylo charakterizovat vliv složení maziva a stárnutí in vitro na koeficient tření širokého rozsahu komerčně dostupných měkkých kontaktních čoček. Koeficient byl charakterizován pomocí mikrotribometru s mucinem potaženým skleněným diskem. K měření byla použita měsíční silikonhydrogelová čočka (RU SiHy), Senofilcon A, dvě denní hydrogelové čočky (DD), Etafilcon A (hydrogel), Nelfilcon A (hydrogel), pět RU (balafilcon A [SiHy], comfilcon A [SiHy], etafilcon A [hydrogel], lotrafilcon B[SiHy], senofilcon A [SiHy]) a pět DD (delefilcon A [SiHy], etafilcon A [hydrogel, dva typy čoček], čočky narafilcon A [SiHy], nelfilcon A [hydrogel]). Dále byly použity různé druhy roztoků (lubrikantů) včetně slzné tekutiny, obsahující proteiny a lipidy. Proces stárnutí čoček byl navozen nepřetržitým ponořováním čoček do slzného roztoku po dobu 18 hodin.[37]

Koeficient tření měkkých kontaktních čoček měřený Robem a kol. ukázal, že kontaktní čočky souvisí se subjektivním komfortem vzniklým in vivo a že umožňují napodobit pohodlí spojené s předvídatelným materiálem čočky z tribologických údajů in vitro. Měření čoček a naměřené údaje in vitro jsou zásadní pro vývoj a screening nových materiálů

silikonhydrogelových čoček, neboť pokles pohodlí během dne bývá nejčastějším přerušením nositelů kontaktních čoček. [37]

Cílem studie bylo zjistit [37]:

1. ovlivnění koeficientu tření materiálů silikonhydrogelových čoček při nízkých rychlostech posuvu pufrovací složkou maziva
2. srovnání koeficientů tření z více materiálů čoček v slzném roztoku s čočkami, které uvedli Robi a spol.
3. měření koeficientů před a po procesu stárnutí in vitro.

Aby bylo navozeno přirozené prostředí čočky v oku, musel se kontaktní úhel, rychlost posuvu, chemické a biologické složení mazací kapaliny podobat vlastnostem mezi víčkem a rohovkou. Kontaktní tlak, kterým víčko působí na rohovku, byl 1 – 7 kPa s rychlostmi posuvu až do 10 cm/s během mrkání. Tyto podmínky nízkého kontaktního tlaku, vysoké rychlosti a obvykle nízké třecí síly jsou náročné měřit pomocí konvenčních tribometrů. [37]

V oku zvlhčuje kontaktní čočku slzný film během mrkání, což během měření není možno dodržet a splnit. Proto bylo během měření důležité dodávat roztok, nahrazující slzný film, obsahující lipidy, proteiny a rozpustný mucin. Bylo důležité nalézt roztok, který nezměnil fyzikální vlastnosti čoček – modul pružnosti, bobtnání, tvar materiálu. [37]

Použitý slzný film (TLF) byl připraven podle protokolu poskytnutého společností Johnson and Johnson Vision Care. Složení bylo zvoleno velmi podobné přírodním slzám. Obsahoval především hlavní proteiny specifické pro slzy: lysozym, laktoferin, lipokalin a imunoglobulin. [37]

Tribologické měření probíhalo na přístroji zvaném mikro-tribometr. Rychlost posuvu byla nastavena na 0,1 mm/s pro všechny provedené experimenty. Kontaktní čočky byly vyjmuty z obalového roztoku a před instalací na držák byly třikrát opláchnuty fyziologickým roztokem. Držák čoček měl stejný poloměr zakřivení jako čočka. Pro stanovení koeficientu bylo zvoleno sedm samostatných zatížení: 0,25 mN; 0,5 mN; 1 mN; 1,5 mN; 2 mN; 3 mN; 4 mN, což odpovídá rozsahu kontaktního úhlu 1 – 7 kPa, o kterém se uvádí, že představuje tlak vyvinutý horním víčkem na rohovku během mrkání. Do hodnocení byly zahrnuty koeficienty po 0,50 a 100 cyklů posuvu při 2 mN zatížení (simulováno opotřebením). Pro vyhodnocení dat a statistickou analýzu byla zahrnuta data koeficientu po 100 cyklech. [37]

Studie zahrnuje:

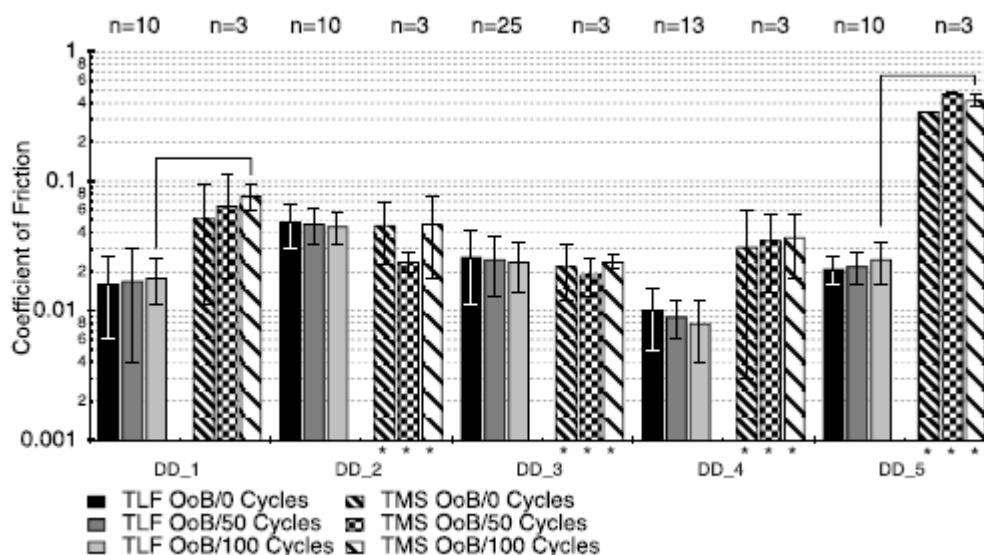
1. Vliv mazacího pufru na koeficient tření

Zde bylo zjištěno, že různé druhy roztoku maziva měly minimální, nebo žádný významný vliv na koeficient tření. Byl zjištěn rozdíl 0,011 mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou koeficientu tření. [37]

2. Srovnání koeficientů tření z více materiálů čoček v slzném roztoku s čočkami, které uvedli Robi a spol.

Výsledky znázorňuje Obrázek 1.1, znázorňuje koeficienty tření měřené v TLF roztoku a srovnává s koeficienty od Roba a spol. měřené v roztoku připraveném z balení kontaktních čoček (TMS-PS). Kromě hydrogelových kontaktních čoček DD_5,

který ukázal velký nárůst koeficientu v TMS-PS, je možné porovnat koeficienty pro čtyři DD a čtyři RU SCL. Pro tři kontaktní čočky DD_1, RU_2 a RU_3 z měřených osmi čoček můžeme říct, že koeficient tření v TLF roztoku byl významně nižší než u TMS-PS ($P < 0,05$), zatímco u ostatních čoček mezi nimi nebyl žádný významný rozdíl. [37]



Obrázek 1.1: Koeficient tření pro různé komerčně dostupné kontaktní čočky (DD) testovány na mucinem potaženém skleněném disku jako proti plocha v TLF (sloupce 1-3) a srovnání s daty naměřenými v roztoku TMS-PS od Roba a spol. (sloupce 4-6) [37]

3. Účinek stárnutí in vitro na koeficient tření

Z 10 typů testovaných kontaktních čoček bylo 6 čoček (DD_1, DD_2, DD_5, RU_1, RU_2 a RU_3), které měly významně vyšší koeficient tření po 18 hodinách stárnutí a 100 cyklech měření. Pro všechny hydrogelové čočky bez poly-vinylpyrrolidonu bylo zaznamenáno zvýšení koeficientu tření po stárnutí a 100 cyklech. Nárůst byl především u kontaktních čoček etafilcon A – DD_2, RU_3, ale ne u DD_3.

Výsledky studie naznačily, že materiály silikonhydrogelových kontaktních čoček mohou mít změny v koeficientech tření v důsledku prodloužené interakce se slzným filmem. Ovlivnění koeficientu tření pufrovacím mazivem u silikonhydrogelových kontaktních čoček, obsahující poly-vinylpyrrolidon, předpokládá vytvoření vrstvy na povrchu čočky. Zdá se, že objemový materiál čočky neovlivňuje, ani nepředpokládá změny vyskytující se v koeficientu tření po stárnutí. Pro udržení nízkého koeficientu tření je zásadní přítomnost roztoku po dlouhodobém vystavení slznému filmu. Kontaktní čočky, které obsahovaly poly-vinylpyrrolidon nevykazovaly zvýšení koeficientu po stárnutí, bez ohledu na to, zda byla čočka vyrobena ze silikonhydrogely nebo hydrogelů.[37]

1.2 Brýlové čočky

1.2.1 Historie

Prvním používaným materiálem pro výrobu brýlových čoček bylo sklo. To se používalo až do začátku 20. století. Existovaly 4 hlavní sklářské oblasti: Benátky, Anglie, Německé a České země. Z počátku sklo, nebylo tak moc kvalitní, a tak optika, která z něj byla vyráběna, nebyla nejlepší. Kolem roku 1670 po dlouholetém vývoji českého vápenatodraselného skla byl vyvinut „český křišťál“. Tento vynález je přičítán panu huťmistrovi Michalu Millerovi. V roce 1886 založil německý optik Carl Friedrich Zeiss továrnu na výrobu optického skla v Jeně. Spolu s ním spolupracovali fyzik prof. Ernst Abbe a chemik Friedrich Otto Schott, kteří pomáhali především s technickými řešeními. [16,28,29,30]

Dalším materiálem na výrobu brýlových čoček se stal polymethylmetakrylát (PMMA). Ten byl původně vyvinut v období 2. světové války do kokpitů letadel a především do vojenského průmyslu. PMMA ovšem nebyl moc odolný vůči mechanickému poškození, což se ukázalo, že není vhodné do brýlí. A tak byla ještě během války vyvinuta nová umělá hmota z allyldiglycolcarbonatů. Z této hmoty se brýlové čočky vyráběly technologií odlévání a polymerování v pružných umělohmotných pouzdrech. Konečné podobě přecházelo 39 pokusných sérií a podle toho také dostal materiál název CR 39, který se používá dodnes. I když se materiál pyšní bezpečností a poloviční hustotou oproti sklům, nemá zdaleka tak dobrou odolnost proti mechanickému poškození jako právě sklo. Tento nedostatek byl vylepšen náročnou technologií povrchového vytvrzování. Optické vlastnosti – index lomu (1,498) a Abbeovo číslo (58), které udává disperzi, jsou vyhovující. [16,28,29,30]

V roce 1957 se na trh dostal nový materiál z kategorie termoplastů – polykarbonát, který byl sice původně vyvinut, a používán v kosmickém průmyslu o 21 let později se z něj vyrobily první brýlové čočky metodou vstřikování do forem. Tento materiál má ještě lepší optické vlastnosti jako CR 39. Index lomu je $n = 1,586$ a Abbeovo číslo (32 – 42) už není tak příznivé jako předchozí materiál. Co se týká bezpečnosti, tak je tento materiál vynikající.

Na počátku 90. let byl objeven ještě další nový materiál NXT[®]. Tento materiál patří do skupiny polyuretanových optických polymerů. Vyznačuje se svou trvanlivostí, vyšší ochranou a spolehlivostí než polykarbonát. [28,16]

Vývoj materiálů jde neustále dopředu a je stále snaha vyvinout, co nejlepší materiály, které by co nejvíce vyhovovaly dnešním náročným požadavkům. [16]

1.2.2 Materiály

Minerální materiály

Zde řadíme čočky vyrobené z přírodních materiálů – ze skla. Sklo dělíme na dvě kategorie [16]:

- korunové – nebo též draselnovápenaté, nízkoindexové (Abbeovo číslo > 55)
- flintové – draselnoolovnaté, vysokoindexové (Abbeovo číslo < 55)

SKLO

Jedná se o tvrdý, křehký a špatně vodivý materiál. Nemá pevný bod tání, a tak se při jeho zahřívání plynule snižuje jeho viskozita. Obsahuje 3 záhladní složky: sklotvorné suroviny, taviva a stabilizátory. Sklotvornou surovinou jsou nejčastěji oxidy křemičité. Surovinou křemičitého skla je nejčastěji písek a rozdrcené valouny křemene. Písek musí být úplně čistý a neobsahovat žádné příměsi, jinak dochází k nežádoucímu zbarvení. Mezi nejběžnější taviva řadíme oxid sodný a oxid draselný. Jejich hlavní úlohou je snižování příliš vysoké a energeticky náročné teploty tavení oxidu křemičitého (cca 1800°C) na minimum. Stabilizátory snižují chemickou a mechanickou odolnost vytaveného skla, proto se do skla přidávají. Mezi nejčastější stabilizátory řadíme oxid vápenatý a oxid olovnatý. [16,28,31,32]

OPTICKÉ SKLO

Optické sklo musí být dokonale čisté, průhledné, izotropní, homogenní a s co nejmenší disperzí, aby splňovalo optické vlastnosti a mohlo být použito. [16,28,31,32]

Optické sklo se vyrábí ze základních a pomocných surovin. Základná suroviny jsou: oxid křemičitý, uhličitán draselný, uhličitán sodný, uhličitán vápenatý a skleněné střepy. Mezi pomocné suroviny řadíme: barviva (nikl – červenofialová, chrom – žlutozelená, kobalt – modrá, selen – červená), čeriva, která pomáhají s odstraňováním plynů ze skloviny (síran sodný, chlodir sodný a ledek) a odbarviva. Odbarviva odstraňují nechtěné železo ze skloviny (oxid manganičitý, oxid niklitý). [16,28,31,32]

VÝHODY MINERÁLNÍCH ČOČEK

Velkou výhodou minerální čoček je jejich velký rozsah indexů (od $n = 1,5$ – $n = 1,9$). Jsou velmi odolné proti poškrábání a s tím spojená delší životnost čočky. Mají dobrou povrchovou tvrdost a nízkou disperzi oproti plastovým čočkám a vyznačují se vysokou tepelnou odolností. Další výhodou je jejich dobrá cenová dostupnost a výrobní proces slučitelný s ekologií. [16]

NEVÝHODY MINERÁLNÍCH ČOČEK

Vysoká hmotnost a křehkost skla je považována za největší nevýhody. Při rozbití skla může dojít k poranění oka ze střípků, vzniklých rozbitím. Oproti minerálním čočkám je zde obtížnější barvitelnost a tyto čočky lze použít pouze do celoobrub. [16]

Organické materiály

Nevýhody, které jsou u minerálních čoček, se pro organické materiály staly přednostmi. Což znamená, že jsou lehčí, dosahují téměř poloviny měrné hmotnosti, jsou nerozbitné a snadněji barvitelné. [16,28,33]

Organické hmoty mají především výborné optické vlastnosti. Spojením s chemickými sloučeninami polymerů se staly tvrdšími a odolnějšími proti vyšším teplotám. Fyzikální vlastnosti uměle vytvořených polymerů jsou ovlivněny především tvarem a strukturou makromolekul. Struktura makromolekulárních řetězců může být: lineární, rozvětvená a prostorově síťovaná. [16,28,33]

Při výrobě plastů jsou ještě přidávány další produkty k dosažení lepších vlastností. Přidávají se změkčovadla, která slouží především ke snazšímu počátečnímu zpracování směsi a lepší manipulaci s ní. Dále jsou přidávány pigmenty na vytvoření nejrůznějších odstínů a barev a nakonec stabilizátory, které zpomalují stárnutí materiálu, díky působení vnějších vlivů (světlo, teplo, chemické vlivy). [16,28,33]

Typy organických materiálů pro výrobu brýlových čoček[16,28,33]:

- Akryláty – polymethylmetakrylát (PMMA)

PMMA je dobře opracovatelný, průhledný s malou hmotností a stálý při delším působení světla. Ovšem díky své nízké otěruvzdornosti a křehkosti se v dnešní době se již nepoužívá a byl nahrazen odolnějšími materiály.

- Allylové pryskyřice – CR-39, Orma

CR-39 patří k reaktoplastům, a tak jeho tepelné opracování je náročnější.

- Polykarbonát (PC)

Polykarbonáty se řadí k termoplastům, které jsou velmi odolné vůči mechanickým vlivům, dobře nárazuvzdorné a pevné. U tohoto materiálů můžeme docílit výjimečně vysokých indexů lomu ($n = 1,586$), díky nimž jsou čočky až o 26% tenčí a o 37% lehčí než materiál CR-39. Nevýhodou je ovšem Abbeovo číslo (32), malá odolnost proti poškrábání a obtížnější barvitelnost. Vyrábí se nejčastěji metodou vstřikování do forem.

- NXT[®] (Trivex)

Tento materiál je velmi odolný a extrémně pružný. Má výborné optické vlastnosti a je asi o 10% lehčí než polykarbonát. Díky jiné výrobě – metodě lití, vzniká u tohoto materiálu menší vnitřní pnutí, vyšší homogenita a mechanická stabilita. Ve srovnání s polykarbonátem má nižší index lomu, nižší vnitřní pnutí a vyšší Abbeovo číslo (nižší disperzi), což způsobuje mnohem ostřejší a kvalitnější zobrazování. Materiál je také velmi odolný vůči chemikáliím.

Díky svým vynikajícím vlastnostem se tento materiál nejčastěji používá do vrtaných a vázaných obrub, které jsou náchylnější k nárazům.

VÝHODY ORGANICKÝCH MATERIÁLŮ

Mezi výhody řadíme velký rozsah indexů lomu (1,498 – 1,740), nízkou hmotnost, pružnost a vysokou odolností proti rozbití, bezpečnost (vhodné především pro sportovní a dětské brýle), snadné barvení, rozsáhlé možnosti tónování, kvalitní UV ochrana, vysoká odolnost proti jiskrám a vhodnost do všech typů obrub. [16]

NEVÝHODY

Hlavními a jedinými známými nevýhodami jsou nízká odolnost proti poškrábání a nízká tepelná odolnost. Odolnost proti poškrábání je kompenzována tvrzenou vrstvou. [16]

1.2.3 Vlastnosti

Index lomu

Protože rychlost světla (šířící se v daném prostředí) 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. [4,6,9]

Při výrobě brýlových čoček z minerálních materiálů můžeme index lomu měnit přidáním oxidů lanthanu a titanu. U plastových materiálů dostaneme vysoký index lomu do 1,73 přidáním látky thiourethan s velkým obsahem síry. Můžeme je tedy dělit do několika optických tříd: se standartním, středním a vysokým indexem lomu (vysokoindexové). [9]

Vztah indexu lomu a dalších vlastností brýlových čoček:

Čím vyšší je index lomu materiálu, tím [5]:

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

Abbeovo číslo

Abbeovo číslo je bezrozměrná veličina, která popisuje disperzní mohutnost optického prostředí. Hodnota tohoto čísla vyjadřuje závislost indexu lomu na vlnové délce světla. To znamená, jak moc se světlo rozkládá na daném materiálu. Platí, že čím je hodnota Abbeova čísla vyšší, tím má daný materiál nižší disperzi. [7,8]

Nízká disperze nastává, jestliže je Abbeovo číslo menší než 45. Střední, pokud je $V \geq 39$ nebo < 45 . O vysokém rozkladu mluvíme, jestliže má materiál Abbeovo číslo menší než 39. [7]

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

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} \quad (1.5)$$

Kde n_D, n_F, n_C jsou indexy lomu příslušného materiálu na vlnových délkách pro zelené světlo ($\lambda_D = 587,6 \text{ nm}$), modré světlo ($\lambda_F = 486,1 \text{ nm}$) a červené světlo ($\lambda_C = 656,3 \text{ nm}$). [10]

Propustnost

Udává množství světla, které bylo propuštěno materiálem v poměru k množství, které na daný materiál dopadlo. Světlo, které neprošlo daným materiálem, bylo buď odraženo, nebo pohlceno. [9,11]

Propustnost světla závisí na několika faktorech [11]:

- materiálu prostředí (kov, plast, ...)
- chemické složení a strukturu materiálu
- vlnové délce
- směru dopadajícího a propuštěného záření
- polarizaci světla
- stavu materiálu a jeho povrchu (teplota, stupeň oxidace, stupeň zašpinění)

Odrazivost

Optická vlastnost materiálu, která nám udává množství světla, které se odrazilo po dopadu na daný materiál v poměru celkového dopadajícího záření. [11]

Odrazivost stejně jako propustnost závisí na [11]:

- vlnové délce světla
- směru dopadajícího a odraženého světla
- polarizaci světla
- typu naměřeného materiálu, ...

Odraz může být buď přímý, nebo difuzní (rozptýlený). Na typu odrazu záleží podle materiálu, od jakého se světlo odráží, jestli dochází k odrazu na hladkém/vyleštěném povrchu, poté nastane odraz přímý. Tento odraz se řídí zákonem odrazu, což znamená, že úhel odrazu je stejný s úhlem dopadu, obojí od kolmice k povrchu. V případě, že se světlo odráží na drsném povrchu, nastává odraz difuzní (rozptýlený). Světlo se odráží do různých směrů a bývá rozptýleno do všech směrů (i zpět ke zdroji). [11]

Mechanické vlastnosti

Mezi mechanické vlastnosti patří:

- tvrdost
- pružnost

TVRDOST

Mechanická vlastnost definovaná jako odpor, který je kladen při vnikání cizího tělesa do materiálu. Hodnotu odporu lze zjistit pomocí mechanických testů. Podle hodnoty odporu můžeme určit i další vlastnosti materiálu, jako např. křehkost. Hodnoty se uvádějí buď bezrozměrně nebo s jednotkou N/mm². [17,30]

Testy tvrdosti rozdělujeme na [17,30]:

- statické (tvrdost podle Brinella, Knoop, Rockwella, Vickerse)
- dynamické (Shoreho skleroskop, duroskop)
- zkoušky vrypové (Martens)
- vnikací (Rockwell, Vickers)

Čím má brýlová čočka větší tvrdost, tím odolnější by měla být při jejím používání. [17,30]

PRUŽNOST

Můžeme říct i tuhost, či elasticita. Jedná se o část mechaniky, která porovnává vztahy mezi deformacemi těles a vnějšími silami, která na těleso působí. Při testech pružnosti se zkoumá, zda deformace tělesa, nebo konstrukce nepřesáhla dovolenou hodnotu. Pružnost brýlových čoček je důležité znát pro správný výběr čoček do brýlové obruby, např. do vrtaných brýlí je lepší dát pružnější čočku, neboť bude odolnější. [17,30]

1.2.4 Povrchové úpravy

Díky povrchovým úpravám a vrstvám, které můžeme na čočkách mít, zlepšujeme jejich optické a mechanické vlastnosti.

Možnosti úprav závisí na zvoleném materiálu, který bude zvolen na výrobu. [9,16,25]

Tabulka 1.2: Možnosti úprav čoček dle materiálu [9]

Tenká vrstva	Minerální čočky	Plastové čočky
Antireflexní	ano	ano
Reflexní	ano	ano
Hydrofobní	ano	ano
Absorpční	ano	ne
Tvrzení	ne	ano
Fototropní	ne	ano

Tabulka 1.3: Možnosti zušlechťujících úprav [9]

Zušlechťující hmota	Minerální čočky	Plastové čočky
Tvrzení	ano	ne
Barvení	ano	ano
Fototropie	ano	ne
UV filtr	ano	ano
Tenčení	ano	ano

Zušlechťující a povrchové úpravy organických brýlových čoček

• Tvrzení organických čoček

Vrstva, která je nanášena pro lepší odolnost čoček, zejména proti vnějším vlivům. Organické čočky jsou oproti minerálním čočkám měkké, a proto je lepší zlepšit jejich odolnost. Po nanesení vrstvy jsou organické čočky srovnatelné s minerálními. [5,16,17]

Existují tři typy nanášení těchto tvrdících vrstev: nasycením materiálu čočky, nanesením laku na povrch čočky a vakuové nanášení tvrdé vrstvy. [5,16,17]

Nejefektivnější a nejpoužitelnější metodou téměř ve všech velkých výrobních firmách je metoda nanášení laku na povrch. [5,16,17]

Metoda nanášení laku na povrch je dvojího typu – Spin coat a Dip coat. Dip coat je metoda, která se používá k nanesení vrstvy pod antireflexní úpravu. Jedná se o metodu časově i technologicky náročnější. [5,16,17]

Nejprve jsou v obou případech čočky zkontrolovány po procesu výroby a vyřadí se čočky jakkoliv poškozené, nebo vadné. Čočky, které jsou v pořádku, se nechají vyčistit ve speciálních chemických lázních pomocí ultrazvuku. [5,16,17]

U Dip coat metody se omyté a očištěné čočky dále rozdělují dle indexu lomu a provedení (jednoohniskové, bifokální, multifokální, ...) do stojanů, se kterými se poté vkládají do stroje. Poté se nastaví požadovaný druh laku a rychlost vynořování, která ovlivňuje kvalitu vrstvy. Používají se 3 druhy tvrdících laků: barvitelný lak pro čočky s indexem lomu 1,498; 1,501; druhý lak – nebarvitelný pro čočky s indexem lomu 1,498; 1,501; 1,540; 1,560 a posledním lakem je lak nebarvitelný pro čočky s indexem lomu 1,600; 1,660. [16]

Následuje automatické mytí, vysoušení čoček v peci, ponoření čoček ve stojanech do laku a otočení do vodorovné plochy, aby byla vrstva laku rovnoměrně rozmístěna po čočce. Nakonec dochází ve vodorovné poloze k zaschnutí laku v peci. Čočky se potom vkládají do tvrdících pecí, kde po dobu přibližně 3 hodin při teplotě 90°C – 100°C dochází k úplnému vytvrzení. Zvolený čas a teplota jsou závislé na typu čočky a druhu použitého laku. U metody Dip coat je vrstva nanášena na obě strany čočky a výsledná vrstva má tloušťku 2-3 mikrony. Při [5,16,17]

Spin coat metoda je používána pro levnější čočky a čočky s nižší kvalitou. Na upevněnou rotující čočku je nanášeno malé množství laku, které se následně pohybem rozptýlí po celém povrchu čočky. Polymerace laku probíhá pomocí UV záření řádově v několika minutách. Výhodou této metody je nízká finanční i technologická náročnost. Výsledná vrstva má tloušťkou asi jen 1 mikron a není příliš odolná vůči otěru. [16]

- **Antireflexní úprava**

Cílem této úpravy je odstranění nežádoucích odrazů od přední a zadní plochy. Dopadající paprsky na čočky neprocházejí všechny skrz, ale část je jich odražena zpět. Tyto odražené paprsky způsobují pro nositele brýlí diskomfort. Od přední plochy čočky se mohou odrážet zdroje světla z okolí, jako jsou např. lampy, okna, lustry a zakrývají tak oči nositele brýlí. Stejný diskomfort můžou způsobovat i odrazy od zadní plochy čočky a způsobovat tak nižší kontrast vidění. [16]

Intenzita ozáření závisí na indexu lomu materiálu brýlových čoček. Čím vyšší index lomu je, tím jsou odrazy větší. K zamezení těchto odrazů se nanáší velmi tenká antireflexní vrstva z vhodného materiálu. Nejčastěji to jsou fluorid lithný, fluorid vápenatý, fluorid hořečnatý, chiolit, kryolit, fluorid hlinitosodný, oxid zirkonia, oxid hafnia a oxid křemíku. Při zpětném průchodu světelné vlny o určité vlnové délce touto vrstvou dojde k setkání se světlem odraženým od povrchu vrstvy tak, že fáze obou vlnění jsou opačné a amplitudy mají přibližně stejné. Orientace fáze vlny závisí na tloušťce vrstvy a amplituda na indexu lomu materiálu vrstvy. Aby byla amplituda stejná, musí být stejná i odrazivost na rozhraní vzduch a vrstva a vrstva a materiál čočky.[16]

Měly by být splněny dvě podmínky[16]:

1. fázová:

$$d = \frac{\lambda}{4 \cdot n_{vrstvy}} \quad (1.6)$$

d = tloušťka vrstvy

λ = vlnová délka světla

n_{vrstvy} = index lomu vrstvy

2. amplitudová

$$n_{vrstvy} = \sqrt{n_{čočky}} \quad (1.7)$$

První podmínka nám říká, která barva z viditelného světla bude interferencí odraženého světla na rozhraní vzduch a vrstva utlumena. Jednoduché vrstvy mají tloušťku přibližně 0,1 μm . Člověk nejvíc vnímá žlutozelenou barvu (asi 550 nm), proto se snaží eliminovat právě odrazy této barvy. Pro odstranění, co největšího počtu odrazů a vyrušení více vlnových délek se nanáší větší množství antireflexních vrstev. [16]

Vrstvy jsou nanášeny buď klasickým vakuovým napařováním, nebo vakuovým napařováním s podporou iontového plazmatického zdroje. [16]

Zařízení, ve kterém dochází k vakuovému napařování, se nazývá recipient. Jedná se o válcovou komoru, která má v horní části otočný talířovitě prohnutý nosič – kalota. Na nosič se upevňují čočky a v dolní části pod nosičem se nachází vanička z vysoce tavitelného materiálu, nebo grafitu, do níž se vkládá napařovaný materiál. Vanička je umístěna mezi dvě elektrody stejnosměrného proudu. Které jsou po vyčistění čoček přivedeny k proudu, a z vaničky se začne vypařovat materiál a molekuly plynu se usazují na čočkách. Tloušťka nanesené vrstvy se kontroluje buď pomocí interference odražených paprsků, nebo pomocí kmitající křemenné destičky v kalotě, a to na základě snižování kmitočtu nárůstem na ní napařené vrstvy. Za účelem lepší adheze vrstvy se stojan s čočkami vyhřívá na teplotu přibližně 100 °C. Po napaření antireflexní vrstvy z jedné strany se kalota s čočkami vyjme z přístroje, je otočena a vrácena zpět do přístroje, aby byla nanesena vrstva i z druhé strany čoček. Na závěr se dělá ještě vizuální kontrola kvality vrstev a po kontrole jsou čočky uloženy do příslušných obalů. [16]

Jelikož metodou klasického vakuového napaření nelze dosáhnout teploty vyšší jak 100 °C, nanesená vrstva nemá dokonalou adhezi, a tak byla vyvinuta novější metoda s podporou plazmatického zdroje. Při této metodě není potřeba nahřívat čočky, neboť před samotným napařováním na čočky dopadají ionty a elektrony z plazmatického zdroje, čímž se povrch lehce mikroskopicky zdrsňuje. Napařované částice dopadají na povrch čočky po průchodu ionizovaným plynem rychleji a ještě jsou na povrch nanášeny proudem iontů z plazmatického zdroje. Díky tomuto nanášení je antireflexní vrstva ve srovnání s klasickým vakuovým napařováním hustší, méně porézní, hladší, lépe přilne k povrchu a více odolává vůči poškození. [16]

- **Hydrofóbní úprava**

Je nanášena po antireflexní vrstvě. Antireflexní vrstva má po nanesení na čočku nerovnoměrný povrch, což způsobuje snazší ulpívání nečistot. Z toho důvodu je nanášena hydrofóbní vrstva, která povrch vyrovnává a snižuje kontaktní úhel, který je svírán mezi kapkou vody a povrchem čočky. Povrch se tak stává méně smáčivý, což se projeví tím, že kapka, která ulpí na povrchu čočky, samovolně steče dolů. Vrstvu můžeme nanést dvěma způsoby: lakováním a vakuovým napařováním. [16,17]

Při nanášení vrstvy lakováním je čočka ponořena do silikonového laku, který se poté usuší. Tímto způsobem nedochází k rovnoměrnému rozptýlení vrstvy na čočce, a tak musí být následně ještě speciálně vyleštěna, aby vznikla čočka s dokonale hladkým povrchem. [16,17]

Metoda vakuového napařování je běžnější a aplikuje se ihned po antireflexních vrstvách. Na povrch čočky jsou napařovány látky (nejčastěji alkylsilany), které dodávají čočce hydrofobní vlastnosti. [16,17]

- **Antistatická úprava**

Na povrch jsou napařovány nanočástice v hlubokém vakuu, které způsobují ještě hladší povrch. Dochází ještě k menšímu ulpívání částic na povrchu čočky a čočka tak zůstává déle čistá. Což má za následek menší počet čištění a prevenci k poškození čoček mechanickým čištěním. [16,17]

- **Polarizační filtr**

Chrání zrak před nepříjemným oslněním vznikající po odrazech od lesklých ploch. Běžné denní světlo se šíří ve vlnách, které kmitají všemi směry. Polarizované světlo vzniká odrazem např. od vodní hladiny, mokré vozovky, nebo skla, toto světlo kmitá a odráží se pouze ve dvou rovinách – horizontální a vertikální. Paprsky ve vertikálním směru umožňují kontrastní vidění, ovšem paprsky v horizontálním směru způsobují oslnění. Polarizační vrstva se snaží tyto paprsky potlačit. Vidění je poté pohodlnější, kontrastní a bez nežádoucího oslnění. Tato úprava je doporučována především řidičům, rybářům, nebo lyžařům. [16]

- **Zrcadlová úprava**

Tato vrstva se nanáší především na barvené brýlové čočky. Odráží dopadající sluneční paprsky a chrání před oslněním. Nanáší se na přední stranu čoček a ze zadní strany bývá většinou antireflexní vrstva, aby eliminovala nechtěné odrazy. Zrcadlová úprava je doporučována především lidem, kteří čelí většímu oslnění. Vzniká nanášením interferenčním vrstev ve vakuu. Tyto čočky bývají většinou zbarvené do modré, stříbrné a zlaté barvy. [16]

1.3 Cíle práce

Cílem práce je porovnání dostupných materiálů kontaktních čoček z pohledu jejich tribologických vlastností a jejich komfortu pro oko. Zjištění odolnosti povrchových úprav brýlových čoček za pomoci tribologického měření.

2 Použité metody

2.1 Tribometr

Jedná se o přístroj, který je možno vidět na obrázcích 2.1 a 2.2, pomocí kterého se měří tribologické vlastnosti. Zejména zjišťování koeficientu tření, míry opotřebení, či tloušťky mazacího filmu a dalších. My jsme používali na měření koeficientu tření nejprve kontaktních čoček, poté brýlových. Existuje velké množství různých typů tribometrů podle toho v jakých odvětvích jsou používány. Organizace Society of tribologists and lubrication engineers uvádí okolo 243 různých druhů konstrukcí tribometrů. [12]

My se zaměříme na tribometr, pracující na principu pin-on-disc. Naše tribologické měření probíhalo na přístroji zvaném Tribometr Pin-on-Disk (TRB³ – Anton Paar) s lineárním posunem 8 mm u brýlových čoček a u kontaktních čoček 3 mm. Tento typ tribometru se soustředí především na měření vlastností tření a opotřebení v třecím kontaktu mezi povrchy pinu a vzorku, nebo v interakci s mazivou za sledovaných podmínek zatížení, rychlosti a teploty. Tato metoda měření byla známá a používána již v 60. letech 20. století, kdy ji zkonstruovali prof. Duncan Dowson a Dr. Michael Plint. [12]

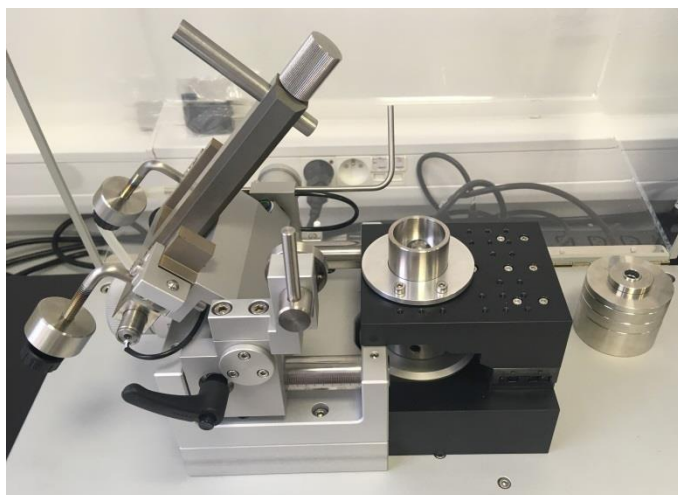
Princip metody spočívá ve vzorku (disk- kontaktní nebo brýlová čočka), který je ve statické poloze a na jeho plochou část, je zatěžující silou tlačěn pin ve tvaru kuličky (ball-on-disc) nebo válečku (váleček se dotýká svou plochou částí) ve směru axiálním. Během obou měření byla použita zkušební kulička z chromové oceli (typ: Ac 100 Cr6) o průměru 6 mm.

Normálová síla je vyvolávána buď tíhou závaží (v našem případě), nebo pružinou, hydraulicky, či jiným způsobem. Při zatěžování v axiálním směru působí tato síla lineárním posunem. Kulička je uchycena v přístroji na rameni. Pomocí snímače, který zaznamenává výchylky ramene během měření, se určuje koeficient tření. [12,13]

Nevýhodou tohoto tribometru je problematická kontrola normálového zatížení pinu. Na začátku měření je povrch disku hladký, ale v průběhu měření dochází k jeho opotřebenosti a zdrsňování, což jsme v případě brýlových čoček pozorovali pod mikroskopem. Tyto změny pak vedou k nežádoucím výchylkám a vibracím pinu, které způsobují negativní změny v normálovém zatížení, čímž klesá vypovídající hodnota testu. [12]



Obrázek 2.1: Tribometr



Obrázek 2.2: Tribometr se speciálním držákem na měření KČ v lubrikovaném stavu.

2.2 Mikroskop OLYMPUS Bx51

Jedná se o optický přístroj (Obr. 2.3) určený k pozorování malých objektů, které nejsme schopni spatřit pouhým okem. Jedná se o předměty, které mají velikost menší než 0,2 mm. Rozlišovací schopnost mikroskopu je 0,2 mm – 0,2 μm . Využívá se k zobrazení objektů viditelného světla. Mikroskop se skládá z optické soustavy, osvětlovací soustavy, mechanického zařízení. Optickou soustavu tvoří: objektiv, okulár a kondenzor, který je součástí osvětlovací soustavy. [19]

Mikroskop, který využívá zobrazení procházejícím světlem. Umožňuje pozorovat objekty ve zvětšení od 40x – 1000x. Na mikroskop je trvale nainstalován digitální fotoaparát, který přes rozhraní plochého panelu a s pomocí programu grafické analýzy AnalySIS na vedlejším počítači umožňuje udělat a na pevný disk uložit fotografie. Tak byly pořizovány fotky brýlových čoček a kuliček před a po měření. Šířku vrypu bylo možné změřit na uložených fotkách a poté určit hloubku vrypu. Hloubka vrypu byla určena pomocí výseče kuličky, jak moc se ponořila během měření do vrypu (vzoreček odvozen od Pythagorovy věty 2.1). [19]

$$h = \frac{2 \cdot r - \sqrt{r^2 - 4 \cdot a}}{2} \quad (2.1)$$

r = poloměr kuličky

a = šířka vrypu



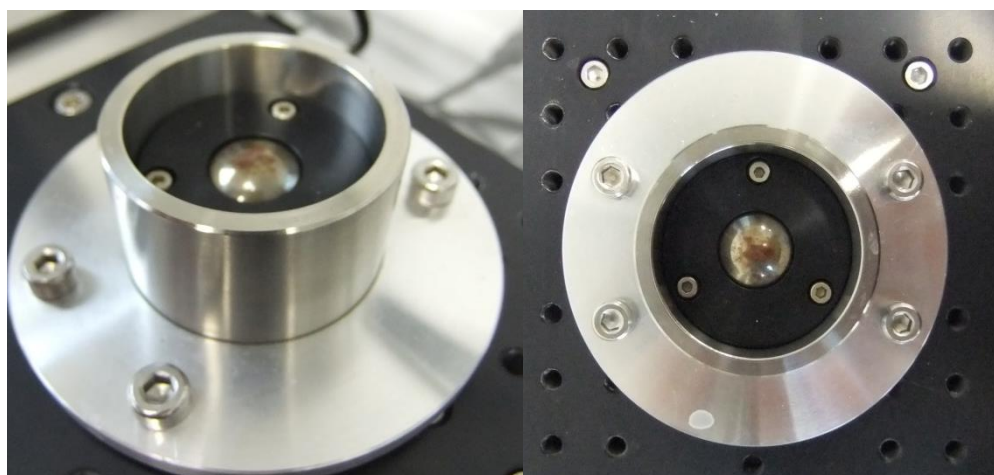
Obrázek 2.3: Mikroskop používaný na měření BČ připojený k digitálnímu zařízení a PC. [19]

3 Experimentální část

3.1 Kontaktní čočky

K měření byly vybrány 2 typy silikonhydrogelových – Clarity 1 day, Air Optix Aqua a jeden typ hydrogelových kontaktních čoček - Dailies Aqua Comfort. V tabulce 2 jsou uvedeny základní údaje o KČ. K měření byl použitý přístroj zvaný Tribometr. K tomuto přístroji musel být vyroben speciální držák na KČ, neboť KČ musely být měřeny v lubrikované stavu, aby nedocházelo během měření k jejich vysychání. Při měření byla nejprve měněna rychlost - 0,2 cm/s; 0,25 cm/s; 0,3 cm/s a 0,4 cm/s se stabilním zatížením 0,25 N a následně bylo měněno zatížení 0,25 N a 0,5 N při stabilní rychlosti 0,2 cm/s. Lineární posun ramene s kuličkou o průměru 6 mm byl nastaven na 3 mm. Koeficienty tření získány z tribometru byly dále použity na zpracování grafů a byla srovnávána závislost koeficientů tření při měnící se rychlosti a stabilním zatížení na čase, a také koeficienty tření u měnících se zatížení a stabilní rychlosti.

Během měření byly kontaktní čočky umístěny na speciální držák navržený tak, aby odpovídal vnitřnímu zakřivení čoček (Obrázek 3.1). V horní části byla upnuta, tak aby nedocházelo během měření k jejímu posunu. V držáku byly vyvrtány tři dírky, díky kterým mohl být držák přišroubován. Po upevnění kontaktní čočky byl ještě přidán fyziologický roztok, aby měření probíhalo za správných fyziologických podmínek a byly navozeny podmínky in vivo měření.



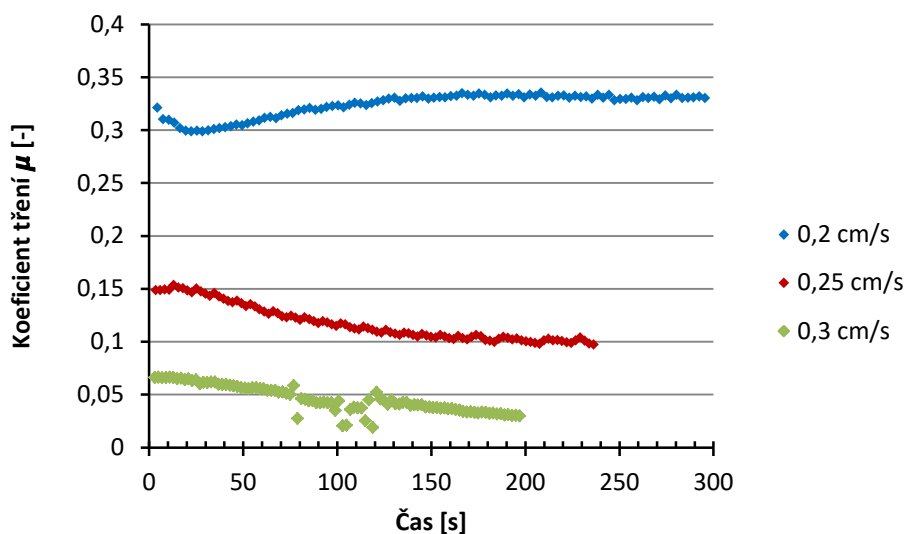
Obrázek 3.1: Držák na kontaktní čočky

Tabulka 3.1: Základní informace o měřených kontaktních čočkách. [38]

Typ KČ	Obsah vody	Propustnost pro kyslík	Modul elasticity
Clarity 1 day	56%	86 Dk/t	0,5 MPa
Air Optix Aqua	33%	138 Dk/t	1,0 MPa
Dailies AquaComfort Plus	69%	26 Dk/t	0,89 MPa

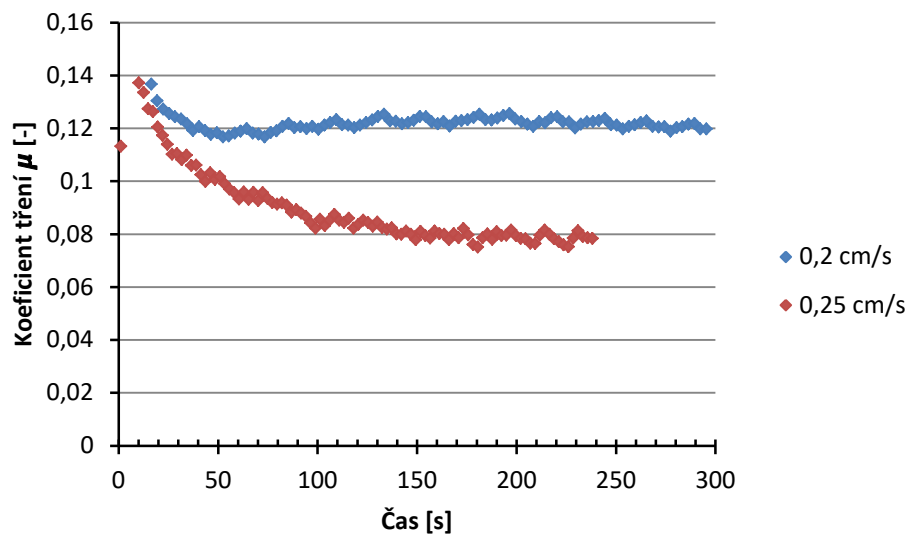
3.1.1 Clarity 1 day

Na obrázku 3.2 můžeme pozorovat vývoj koeficientu tření při stabilním zatížení 0,25 N a měnící se rychlosti. Je patrné, že se zvyšující se rychlostí klesá koeficient tření. U rychlosti 0,25 cm/s a 0,3 cm/s došlo v protržení KČ po 240 s a 200 s, proto nepokračuje křivka s daty do konce měření jako u menší rychlosti. V případě rychlosti 0,2 cm/s se koeficient tření pohyboval v rozmezí 0,3 – 0,35. Se stoupající rychlostí posuvu 0,25 cm/s koeficient klesl na hodnotu 0,1 a u rychlosti 0,3 cm/s klesal koeficient z hodnoty 0,07 až na hodnotu kolem 0,04.



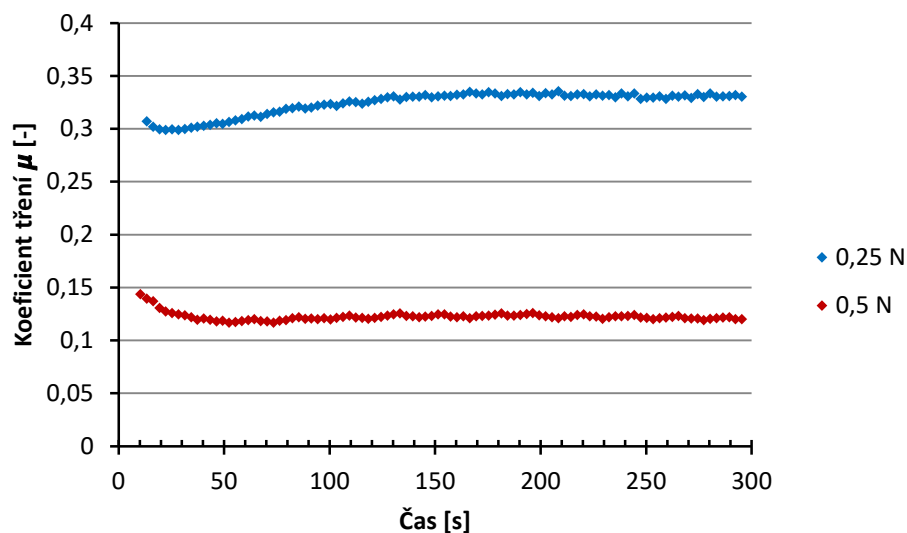
Obrázek 3.2: Graf závislosti koeficientu tření na čase u Clarity 1 day KČ při konstantním zatížení 0,25 N a měnící se rychlosti posuvu.

Obrázek 3.3 znázorňuje závislost koeficientu tření při větším konstantním zatížení 0,5 N, i zde je patrné, že se zvyšující se rychlostí klesá koeficient tření. Při rychlosti 0,2 cm/s koeficient tření klesl na hodnotu 0,12 a při vyšší rychlosti 0,25 cm/s na 0,08. Měření koeficientů tření bylo ukončeno pro vyšší rychlost dříve, neboť došlo k protržení KČ, proto bylo k dispozici méně hodnot do grafu. Pro větší rychlost kontaktní čočka již nebyla měřena, neboť docházelo již po krátkém časovém úseku po několika opakovaných pokusech k jejímu roztržení.



Obrázek 3.3: Graf závislosti koeficientu tření na čase u Clarity 1 day KČ při konstantním zatížení 0,5 N a měnící se rychlosti posuvu.

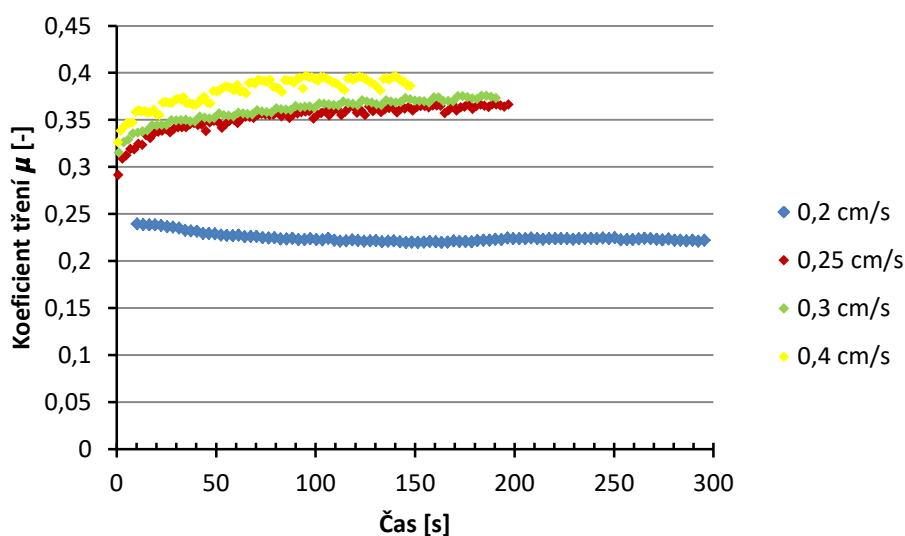
Na obrázku 3.4 je vidět vývoj koeficientu tření při změně zatížení a konstantní rychlosti 0,2 cm/s. V tomto případě můžeme vidět, že se zvyšujícím se zatížením klesá koeficient tření, což je v souladu s dostupnou literaturou zabývající se podobnou tematikou. Při zatížení 0,25 N koeficient tření kolísá mezi hodnotou 0,3 – 0,35 a pro zatížení 0,5 N je koeficient nižší a pohybuje se v rozmezí od 0,1 – 0,15.



Obrázek 3.4: Graf závislosti koeficientu tření na čase u Clarity 1 day KČ při konstantní rychlosti 0,2 cm/s a zatížením 0,25 N a 0,5 N.

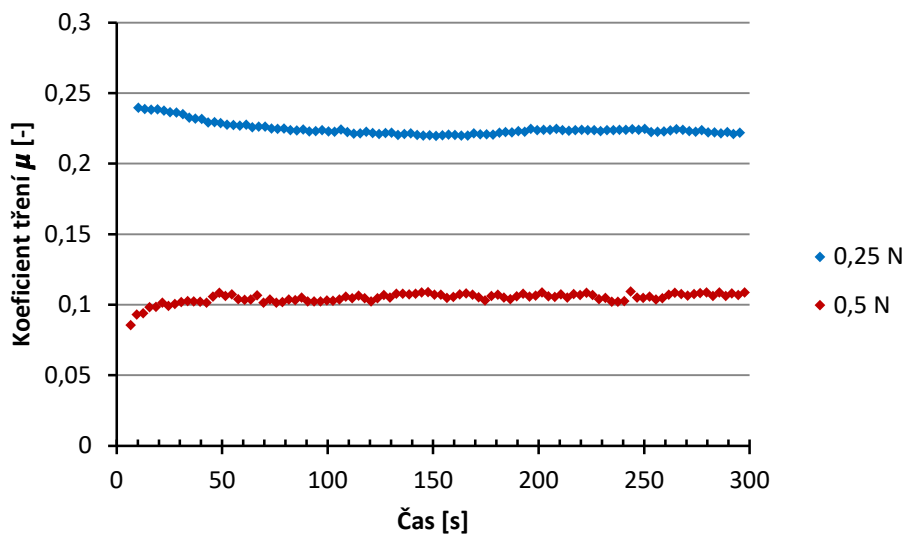
3.1.2 Air Optix Aqua

Další měřenou silikonhydrogelovou kontaktní čočkou byla Air Optix Aqua. Na obrázku 3.5 je vidět vývoj koeficientu tření při konstantním zatížení 0,25 N a měnící se rychlosti. Při nejmenší rychlosti 0,2 cm/s koeficient tření se pohybuje kolem hodnoty 0,23. Se zvyšující se rychlostí posuvu dochází ke zvyšování koeficientu, při rychlosti 0,25 cm/s stoupl koeficient na hodnotu kolem 0,35. Kolem hodnoty 0,35 se pohyboval koeficient tření i při rychlosti 0,3 cm/s, ale na grafu je viditelné, že dochází k dřívějšímu poškození KČ a data koeficientů již nejsou zaznamenávána. Při naší nejvyšší zvolené rychlosti 0,4 cm/s dochází nejdříve k poškození čočky a to v časovém úseku kolem 150 s a hodnota koeficientu se pohybuje mezi 0,35 – 0,4.



Obrázek 3.5: Graf závislosti koeficientu tření na čase u KČ Air Optix Aqua při konstantním zatížení 0,25 N a měnící se rychlosti posuvu.

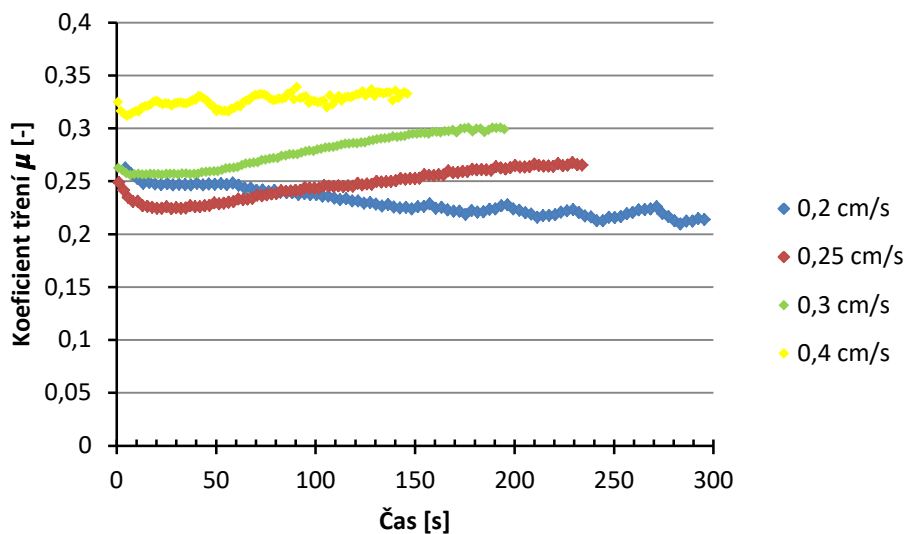
Obrázek 3.6 znázorňuje vývoj koeficientu tření při měnícím se zatížení 0,25 N a 0,5 N při konstantní rychlosti posuvu 0,2 cm/s. Je vidět, že se zvyšující se rychlostí posuvu dochází ke snižování koeficientu tření. Při zatížení 0,25 N koeficient kolísá kolem hodnoty 0,23 a při zatížení 0,5 je koeficient tření kolem 0,1.



Obrázek 3.6: Graf závislosti koeficientu tření na čase u KČ Air Optix Aqua při konstantní rychlosti 0,2 cm/s a zatížením 0,25 N a 0,5 N.

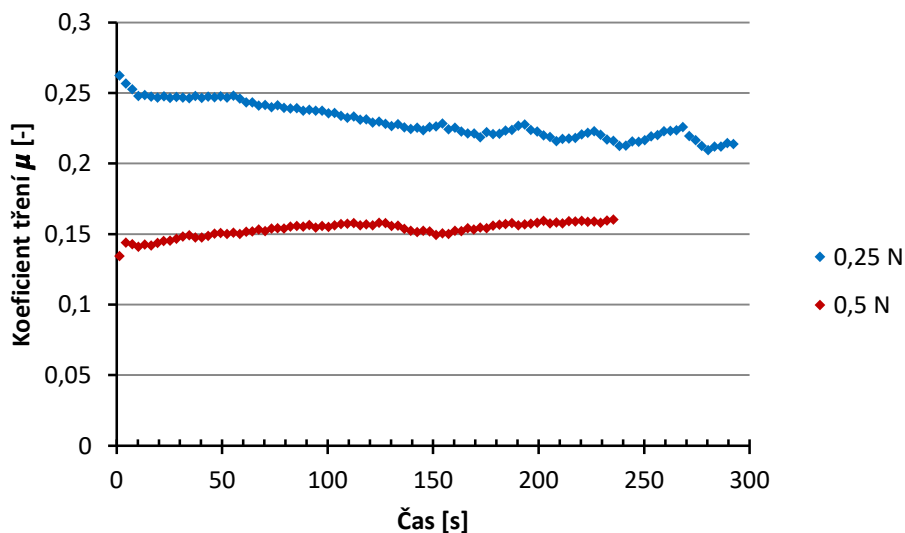
3.1.3 Dailies AquaComfort Plus

Posledními zkoumanými čočkami jsou hydrogelové KČ. Tyto čočky obsahují větší množství vody oproti silikonhydrogelovým. Na obrázku 3.7 je vidět průběh koeficientu tření v závislosti na čase. Můžeme vidět, že se zvyšující se rychlostí roste koeficient tření, ale také dochází při vyšší rychlosti k dřívějšímu poškození KČ a ukončení měření koeficientu tření. Při rychlosti 0,2 cm/s se koeficient tření mírně snižuje a pohybuje se v rozmezí od 0,2 – 0,23. U vyšší rychlosti dochází po 230 s k protržení KČ a koeficient tření vzrostl na 0,26. Při rychlosti 0,3 cm/s koeficient tření vystoupal na hodnotu 0,3 a při největší rychlosti 0,4 cm/s byl koeficient největší a kolísal přibližně kolem hodnoty 0,33.



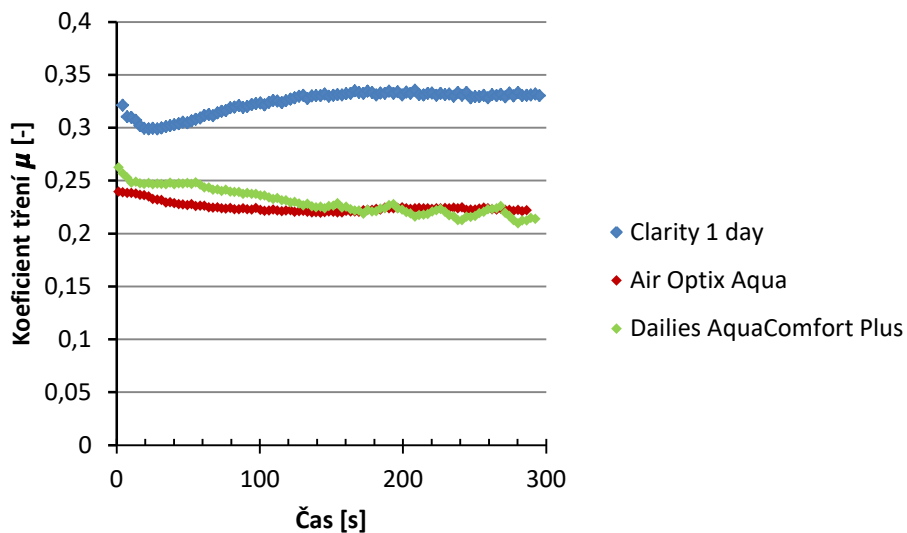
Obrázek 3.7: Graf závislosti koeficientu tření na čase u KČ Dailies AquaComfort Plus při konstantním zatížení 0,25 N a měnící se rychlostí posuvu.

Na následujícím obrázku (Obrázek 3.8) je vidět závislost koeficientu na čase při konstantní rychlosti posuvu 0,2 cm/s a měnícím se zatížením 0,25 N a 0,5 N. Z grafu je patrné, že při zvyšujícím se zatížení 0,5 N klesá koeficient tření a kolísá kolem hodnoty 0,15. Při 0,25 N se koeficient pohybuje od 0,25 po přibližné hodnotě 0,23.



Obrázek 3.8: Graf závislosti koeficientu tření na čase u KČ Dailies AquaComfort Plus při konstantní rychlosti 0,2 cm/s a zatížením 0,25 N a 0,5 N.

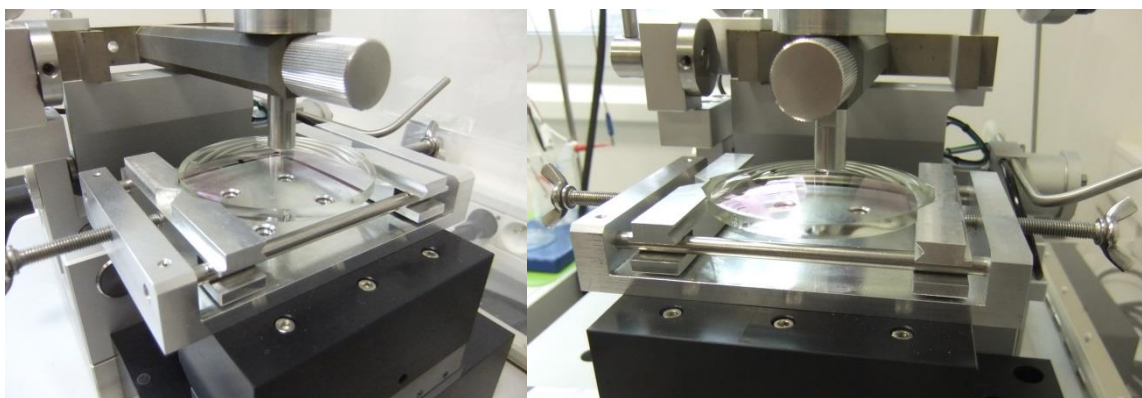
Obrázek 3.9 znázorňuje srovnání průběhu koeficientu tření u třech typů zkoumaných čoček. Čočky byly měřeny při stejné rychlosti 0,2 cm/s a při stejném zatížení 0,25 N. Můžeme vidět, že u KČ Air Optix Aqua a Dailies AquaComfort Plus nám vycházel podobný koeficient tření a měl přibližně hodnotu 0,23 u Clarity 1 day čoček byl koeficient naměřen nejvyšší 0,33.



Obrázek 3.9: Graf závislosti koeficientu tření na čase u všech měřených typů KČ při stejné rychlosti posuvu a zatížení.

3.2 Brýlové čočky

Koeficienty tření byly měřeny stejně jako kontaktní čočky na Tribometru. I v tomto případě musel být vyroben speciální držák (Obr. 3.10), aby mohla být brýlová čočka správně uchycena a mohlo probíhat bezproblémové měření. K měření byla používána nerezová kulička o průměru 6 mm, která byla vložena a upevněna do pohyblivého ramena, jehož lineární posun byl nastaven na 8 mm. Rameno, které neslo kuličku, snímalo velikost třecí síly. Kulička byla pozorována vždy před a po měření na mikroskopu, abychom mohly určit její změny. Zkoumána byla především pro zjištění, zda na ní neulpěla porušená povrchová vrstva z brýlové čočky a zda nebyla poškozena.

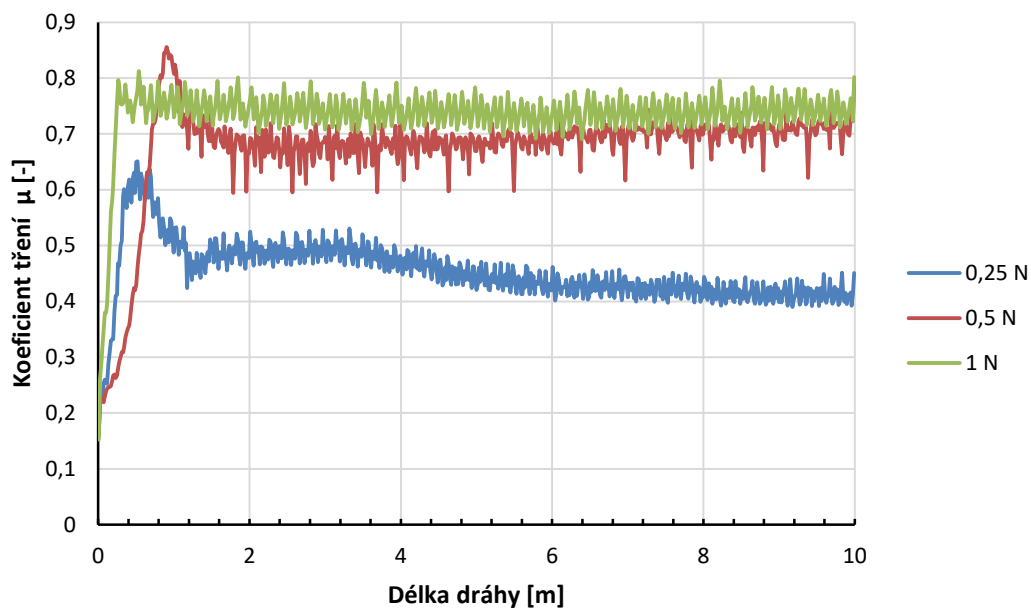


Obrázek 3.10: Speciální držák tribometru na brýlové čočky

Tribometr byl nastaven na vzdálenost 10 m, při které byly měřeny koeficienty tření. Zatížení kuličky bylo nastaveno nejprve na 0,25 N, poté 0,5 N a nakonec 1 N. Maximální rychlost pojezdu kuličky po čočkách byla stanovena na 5 cm/s. Koeficienty tření byly určeny jako poměr třecí síly vyvinuté ramenem a zatížení kuličky. Následně byla naměřená data použita pro vytvoření grafů. Grafy znázorňují závislost naměřených koeficientů tření na nastavené vzdálenosti 10 metrů. Byly srovnávány brýlové čočky od dvou výrobců – ZEISS, OMEGA Optix, které se liší povrchovými úpravami, především typem antireflexní vrstvy.

3.2.1 OMEGA Optix

Na obrázku 3.11 níže můžeme vidět vývoj koeficientu tření v závislosti na vzdálenosti, kterou kulička urazila na povrchu vrstvy. Brýlová čočka Hard coated (HC) obsahuje základní antireflexní úpravu. Je vidět, že povrchová úprava není příliš odolná a k jejímu porušení dochází již při nejmenším působícím zatížení 0,25 N a vystoupení koeficientu tření přibližně na hodnotu 0,6 až dojde k jeho ustálení a koeficient tření je kolem 0,4. U zatížení 0,5 N je patrné, že koeficient se zvýší na hodnotu vyšší než u nižšího zatížení na 0,8, ale poté dochází k jeho ustálení a pohybuje se kolem hodnoty 0,7. U největšího zatížení pozorujeme největší koeficient tření 0,8, který se následně pohybuje v rozmezí 0,7-0,8.

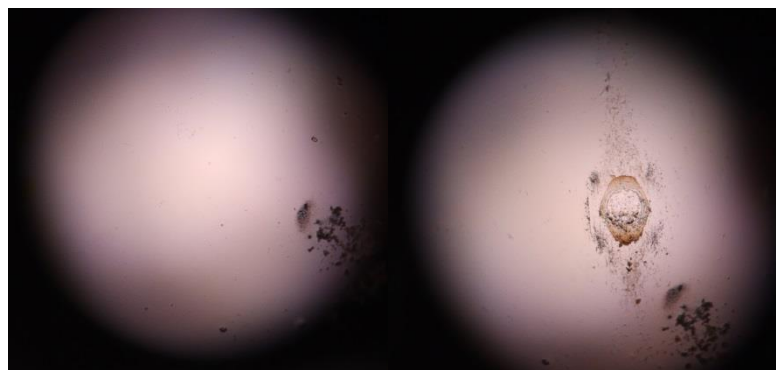


Obrázek 3.11: Graf závislosti koeficientu tření na ujeté vzdálenosti u BČ OMEGA Optix – HC.

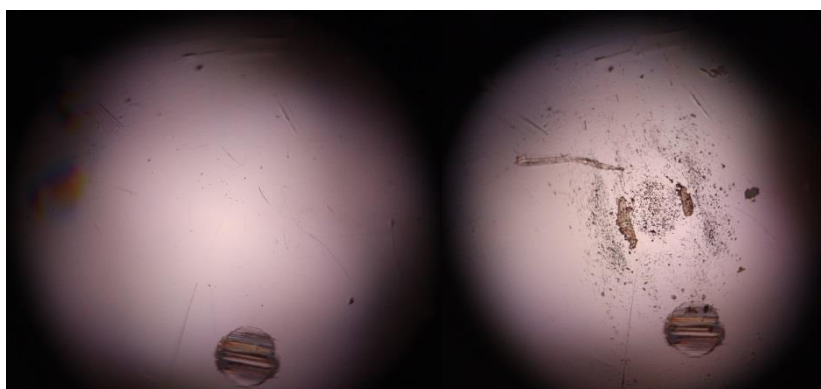
Na obrázcích níže (Obrázek 3.12, 3.13-3.15) můžeme vidět vrypy na brýlových čočkách, které byly způsobeny působícím zatížením a mírou opotřebení kuliček po měření. Šířka vrypu při působení 0,25 N je přibližně 211,1 μm , a jestliže zanedbáme opotřebení kuličky, můžeme určit hloubku vrypu, která je 35,3 μm . Při 0,5 N dochází k širšímu poškození 318 μm a také hlubšímu vrypu 53,5 μm . Při největším zatížení 1 N je tento vryp ještě širší – 354,5 μm a hloubka přibližně 59,7 μm .



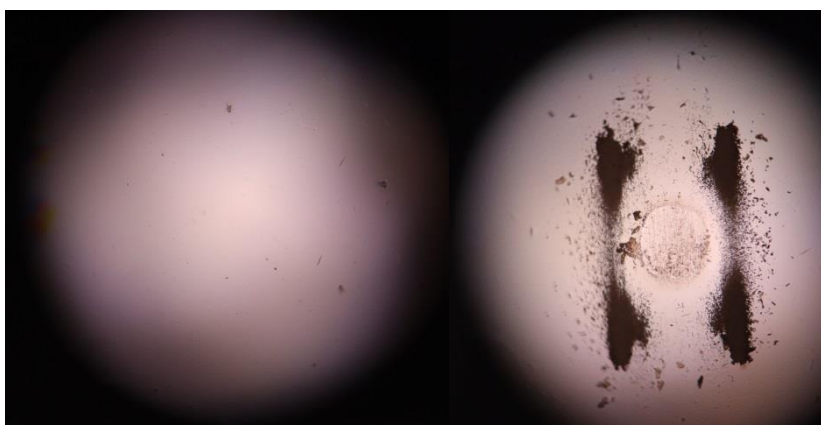
Obrázek 3.12: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N, 1 N (zleva) u BČ OMEGA Optix HC, zvětšení 10x.



Obrázek 3.13: Kulička před měřením (vlevo), po měření (vpravo) BČ OMEGA Optix HC při zatížení 0,25 N; zvětšení 10x.

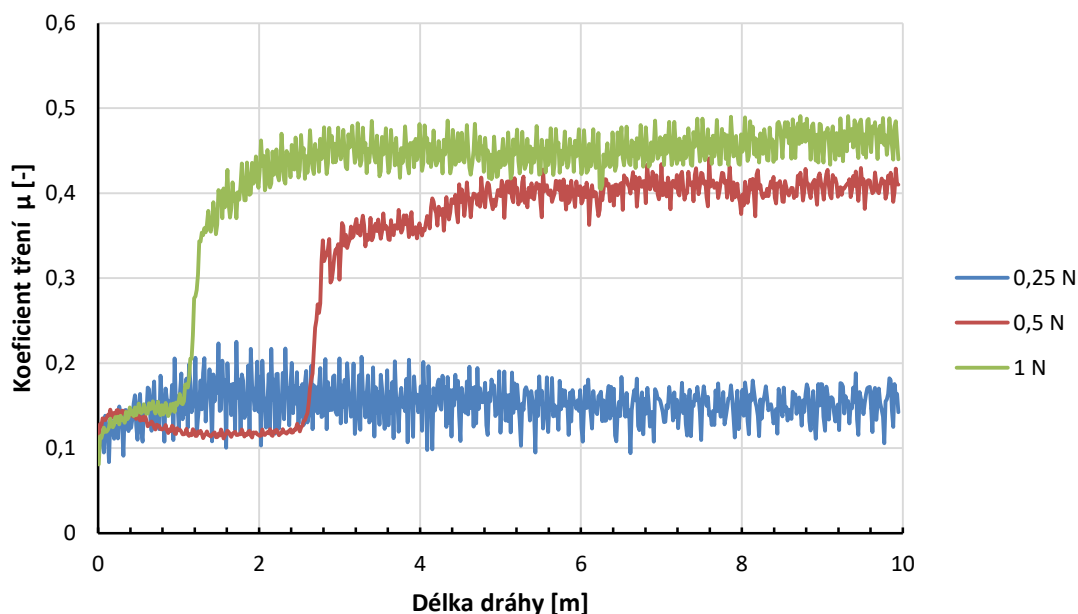


Obrázek 3.14: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HC při zatížení 0,5 N; zvětšení 10x.



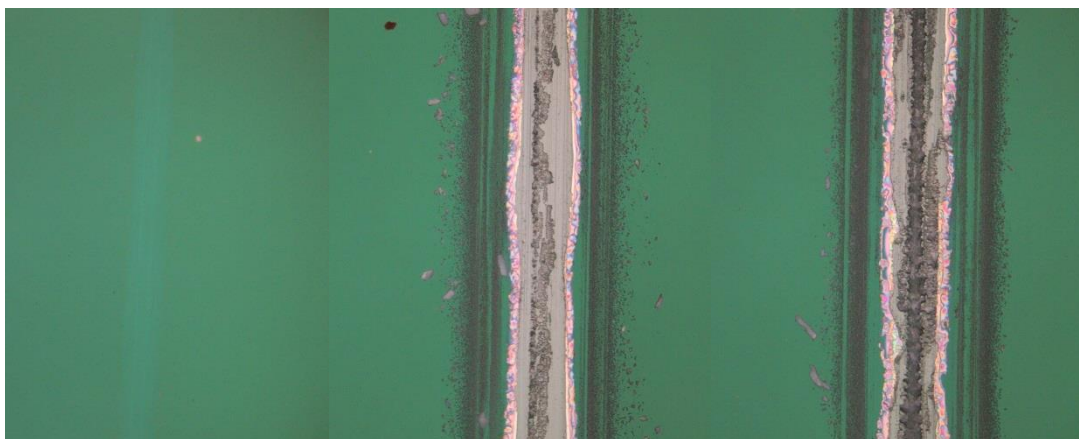
Obrázek 3.15: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HC při zatížení 1 N; zvětšení 10x.

Na obrázku 3.16 můžeme vidět vývoj koeficientu tření při narůstající vzdálenosti u brýlové čočky s povrchovou úpravou Super AR. Při nejmenším zatížení 0,25 N došlo k minimálnímu poškození vrstvy a koeficient tření měl hodnotu přibližně kolem 0,15. Při zatížení 0,5 N došlo k poškození po ujeté vzdálenosti 2,5 m a koeficient tření vystoupal na hodnotu 0,4. Již po 1 metru došlo k poškození vrstvy při působení největšího zatížení 1 N, kdy koeficient tření vystoupal a poté zůstal kolem hodnoty 0,45.

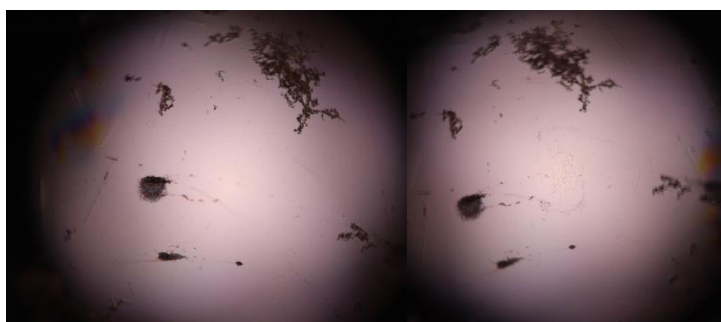


Obrázek 3.16: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti u BČ OMEGA Optix - Super AR.

Na následujících obrázcích můžeme vidět poškození vrstev a také změny na kuličce po měřeních, které byly pozorovány pod mikroskopem při zvětšení 10x. Obrázek 3.17 znázorňuje poškození při všech působících zatížení. Při 0,25 N je šířka poškození 127 μm a hloubka 21,24 μm . Další obrázek ukazuje srovnání kuliček před a po měření 0,25 N, v tomto případě nedocházelo k nějakému výraznému poškození kuličky. Při větším zatížení 0,5 N je nejmenší šířka vrypu přibližně 155,14 μm , hloubka 25,9 μm a při největším zatížení je i největší průměrná šířka 222,67 μm a hloubka 37,3 μm . V závislosti na větším zatížení roste i šířka vrypu.



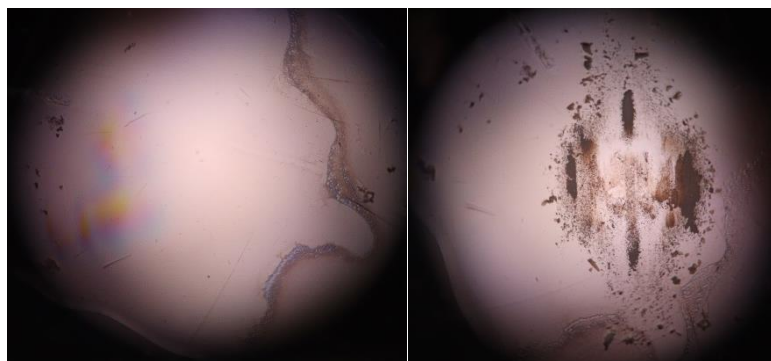
Obrázek 3.17: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ OMEGA Optix Super AR, zvětšení 10x.



Obrázek 3.18: Poškození kuličky před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix Super AR při zatížení 0,25; zvětšení 10x.

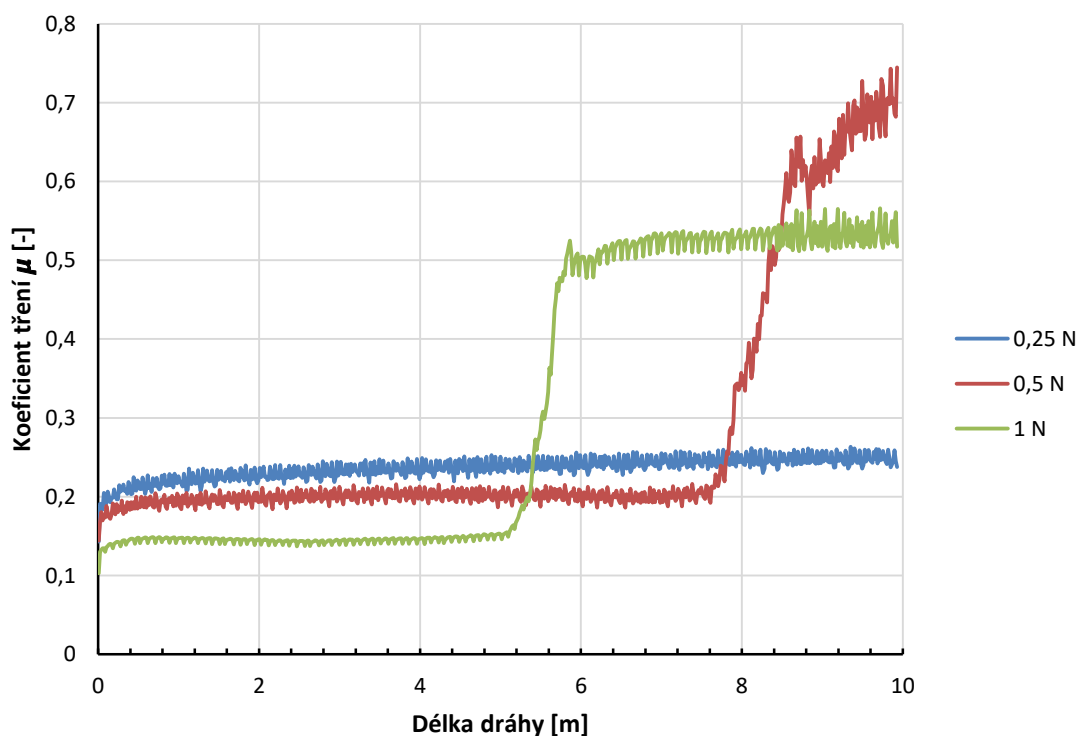


Obrázek 3.19: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix Super AR při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.



Obrázek 3.20: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix Super AR při zatížení 1 N, zvětšení 10x.

Další měřenou brýlovou čočkou byla čočka s vícevrstevnou antireflexní úpravou, s nejlepší antireflexní úpravou. Na obrázku 3.21 je patrné, že při působení nejnižšího zatížení 0,25 N nedochází k poškození vrstvy a koeficient tření se pohybuje kolem 0,2. Poškození vrstvy nebylo patrné ani během pozorování pod mikroskopem. K poškození vrstvy došlo při působení větších sil. U většího zatížení – 1 N došlo k poškození vrstvy dříve a to po ujeté vzdálenosti 5 m, kdy došlo ke zvyšování koeficientu tření a následně jeho ustálení kolem hodnoty 0,5. Při působení zatížení 0,5 N došlo k poškození vrstvy po 7,5 m a koeficient tření se zvyšoval až na hodnotu 0,7.



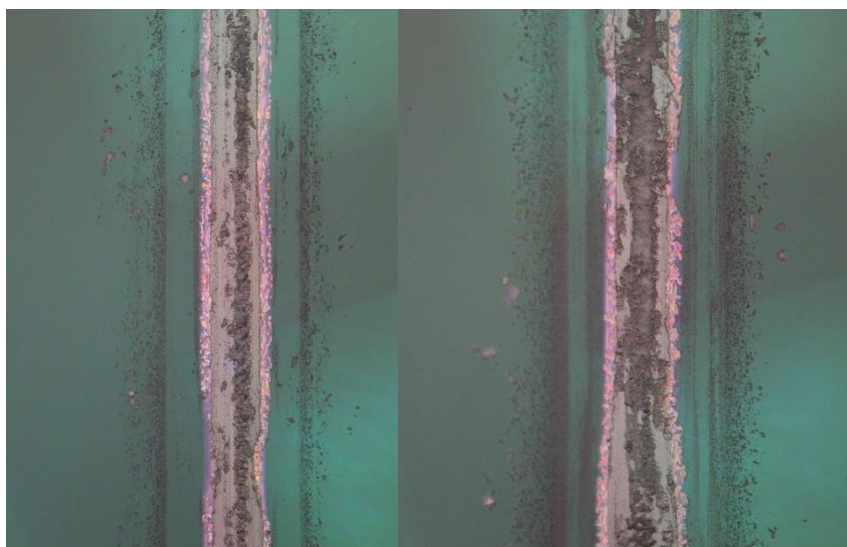
Obrázek 3.21: Graf závislosti koeficientu tření na ujeté vzdálenosti u BČ OMEGA Optix – HMC.

Na obrázku 3.22 můžeme vidět kuličku před a po měření při zatížení 0,25 N, že během měření nedošlo k žádným změnám. Stejně tomu bylo i při pozorování pod mikroskopem, kde nebylo viditelné vůbec žádné poškození.

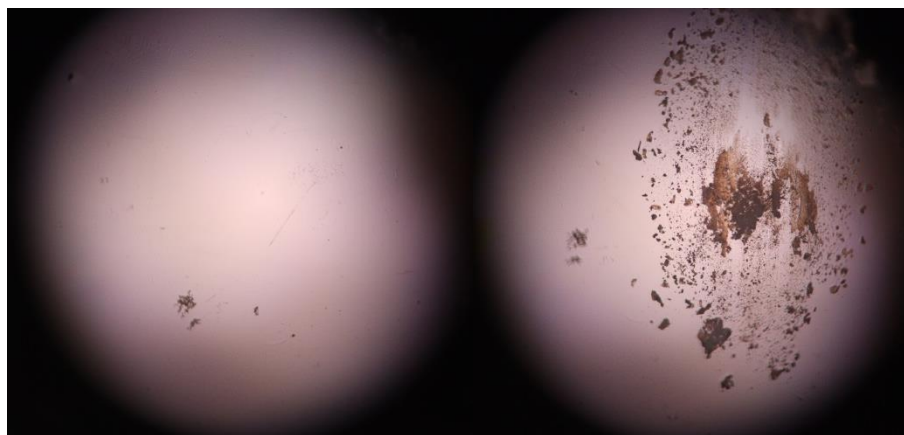


Obrázek 3.22: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HMC při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.

Obrázek 3.23 znázorňuje poškození brýlové čočky při zatížení 0,5 N a 1N. Je patrné, že docházelo k poškození více vrstev. Maximální šířka vrypu byla 348,25 μm s hloubkou 58,6 μm a minimální šířka 128,13 μm s hloubkou 21,4 μm při působení 0,5 N. Poškození povrchové vrstvy při zatížení 1 N bylo výraznější a hlubší. I zde docházelo k poškození více vrstev - maximální šířka poškození byla 401,67 μm s hloubkou větší než u menšího zatížení 67,7 μm a minimální šířka vrypu byla 159,86 μm a hloubka 26,7 μm . Na dalším obrázku (Obrázek 3.23,3.24) jsou patrné změny na kuličce, kterou jsme působili na čočku 0,5 N a 1N.



Obrázek 3.23: Vryp po zatížení 0,5 N, 1 N (zleva) u BČ OMEGA Optix HMC, zvětšení 10x.

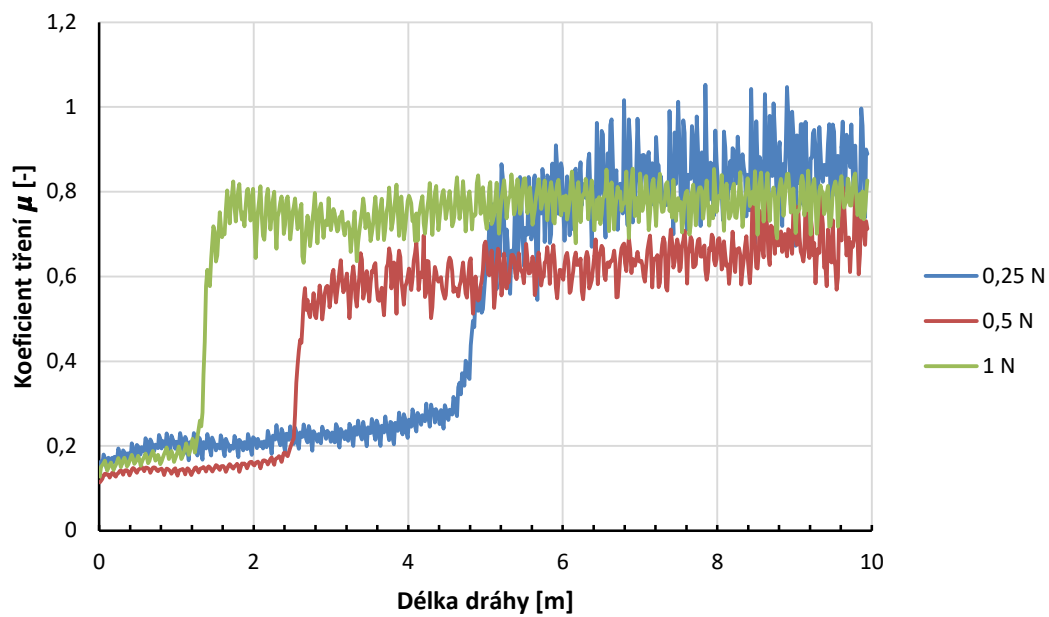


Obrázek 3.24: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HMC při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.



Obrázek 3.25: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HMC při zatížení 1 N, zvětšení 10x.

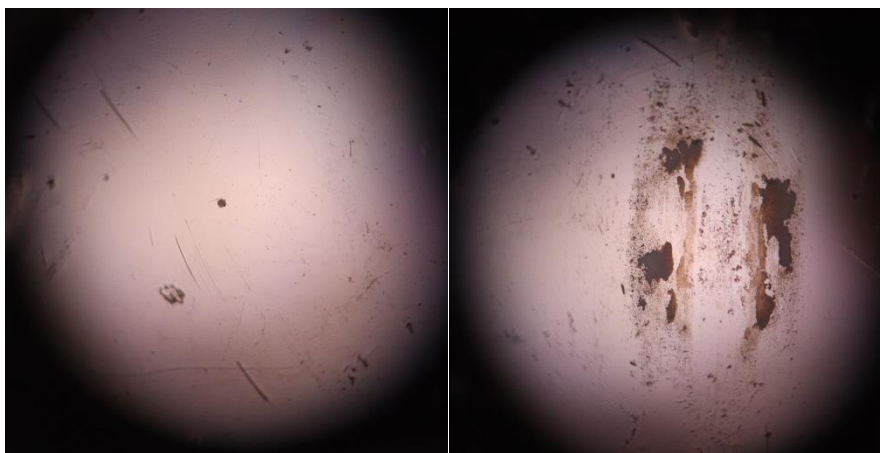
Obrázek 3.26 popisuje další brýlovou čočku od výrobce OMEGA – Eye Drive. K poškození vrstvy dochází i v případě nejnižšího zatížení 0,25 N, i když až po 4,5 m, koeficient tření po této vzdálenosti stoupl na hodnotu 0,8, šířka vrypu byla 141,63 μm a hloubka 23,7 μm . Při větším zatížení došlo k poškození, již po 2,5 m a koeficient tření se pohyboval kolem hodnoty 0,6. Šířka vrypu při tomto zatížení byla 166,78 μm a hloubka 27,9 μm . Po 1,2 m došlo k poškození při zatížení 1 N a koeficient stoupl na hodnotu 0,8 s šířkou vrypu 199,56 μm a s největší hloubkou 33,4 μm . Poškození vrstvy a kuliček je patrné na následujících obrázcích (Obr. 3.27, 3.28, 3.29, 3.30)



Obrázek 3.26: Graf závislosti koeficientu tření u BČ OMEGA Optix - Eye Drive.



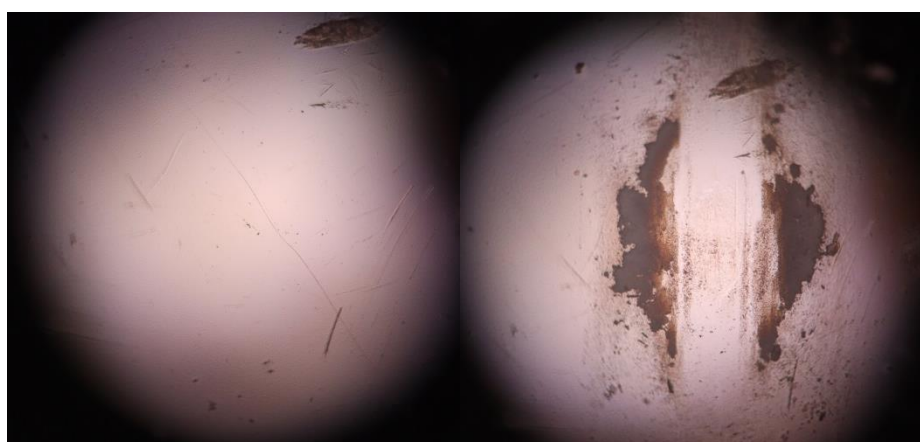
Obrázek 3.27: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ OMEGA Optix Eye Drive, zvětšení 10x.



Obrázek 3.28: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix EyeDrive při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.



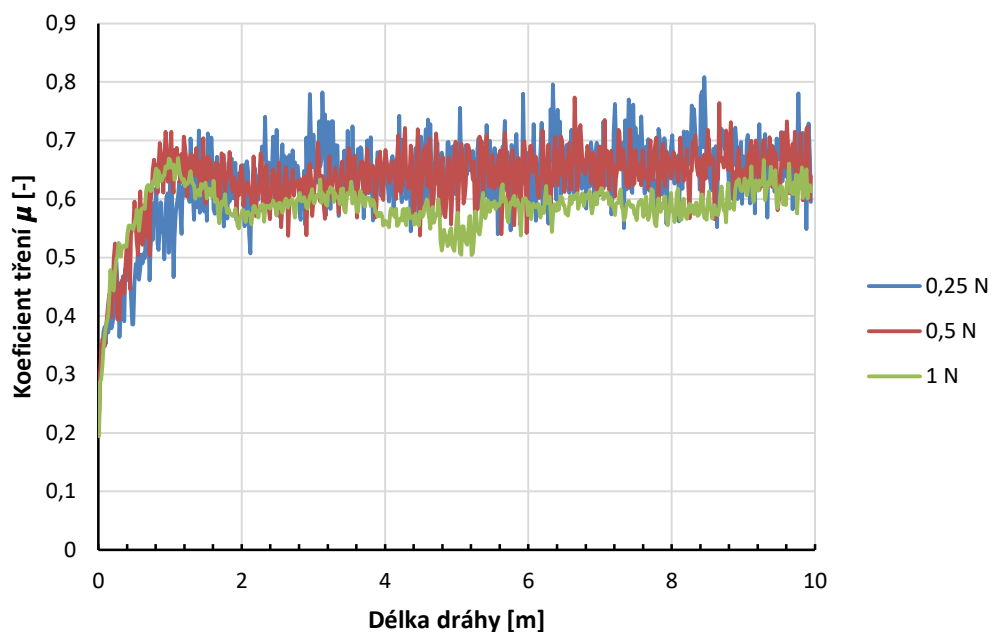
Obrázek 3.29: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix EyeDrive při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.



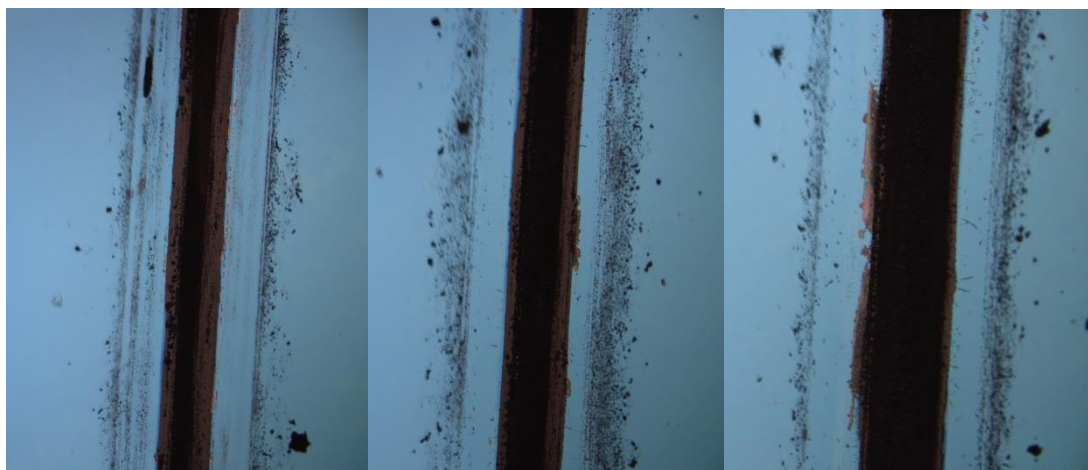
Obrázek 3.30: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix EyeDrive při zatížení 1 N, zvětšení 10x.

Poslední měřenou brylovou čočkou od tohoto výrobce je barevná čočka se zrcadlovou úpravou a zbarvením do modra. Na obrázku 3.31 je patrné, že k poškození vrstvy dochází při všech zatíženích a koeficient tření vystoupal a kolísal kolem hodnoty 0,6. Na následujícím obrázku (3.32) je zobrazen vryp poškození čočky. Při nejmenším zatížení – 0,25 N byla šířka vrypu 166 μm , hloubka 27,8 μm , při 0,5 N maximální vryp 347,33 μm s hloubkou 58,5 μm a minimální 172 μm s hloubkou vrypu 28,8 μm . Pro největší zatížení 1N byla maximální šířka vrypu 406,43 μm s hloubkou 68,5 μm a minimální šířka 183,17 μm s hloubkou 30,6 μm .

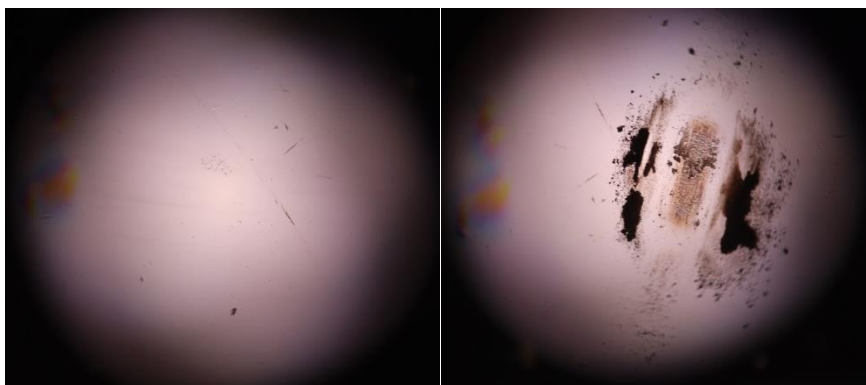
Na obrázku 3.32 můžeme vidět vývoj poškození při působení zatížení od 0,25 N po 1 N. Následující obrázky (3.33, 3.34, 3.35) znázorňují kuličky před a po měření při všech zatíženích.



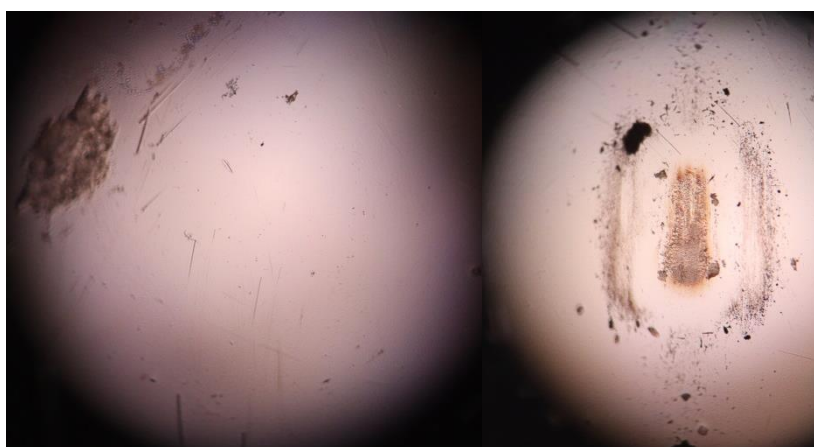
Obrázek 3.31: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti u BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue, zvětšení 10x.



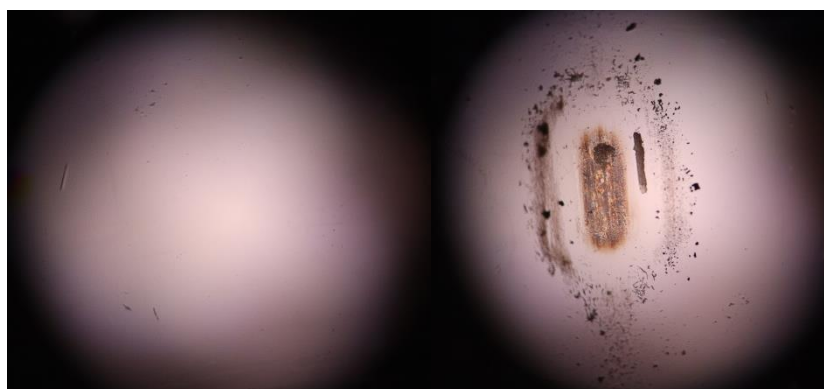
Obrázek 3.32: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue, zvětšení 10x.



Obrázek 3.33: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.



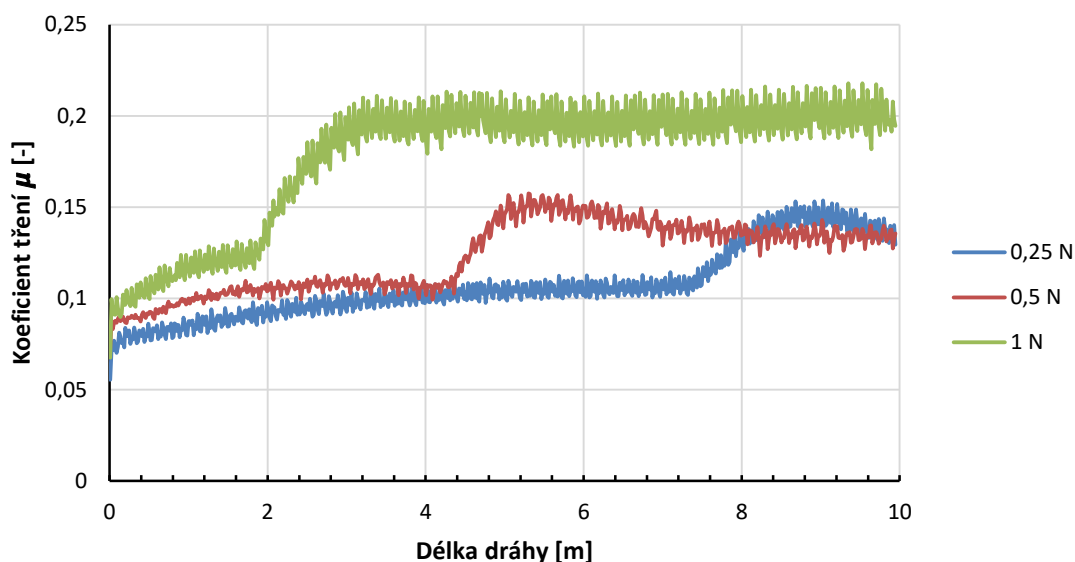
Obrázek 3.34: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue při zatížení 0,5 N, 10x zvětšení.



Obrázek 3.35: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue při zatížení 1 N, zvětšení 10x.

3.2.2 ZEISS

První měřenou brýlovou čočkou od druhého výrobce byla brýlová čočka s barevnou povrchovou úpravou šedé barvy. Vzhledem ke zbarvení čočky nebylo možné pozorovat změny a vrypy způsobené čočkou měřením. Byla by zapotřebí změna vln. délky mikroskopu, ale filtr u mikroskopu v našem případě nebylo možné změnit. Díky tomu nebylo možné změřit šířku vrypu a z té poté vypočítat hloubku. Z obrázku 3.36 je patrné, že dochází k poškození vrstvy již při nejmenším působení 0,25 N a to po přibližně 7,5 m, kdy se koeficient tření z hodnoty kolem 0,05 zvyšuje na hodnotu 0,15. Při působení 0,5 N dochází k poškození dřívě, po 4,5 m a koeficient tření se zvyšuje na podobnou hodnotu 0,15, jako na konci při působení 0,25 N. Se zatížením 1 N dochází k poškození vrstvy již po 2 metrech a koeficient tření dosahuje nejvyšších hodnot 0,2 oproti menším působícím zatížením. Na obrázcích níže můžeme vidět změny na kuličkách způsobené měřením při zatížení 0,25 N a 1 N.



Obrázek 3.36: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti u BČ ZEISS - SUN Grey.



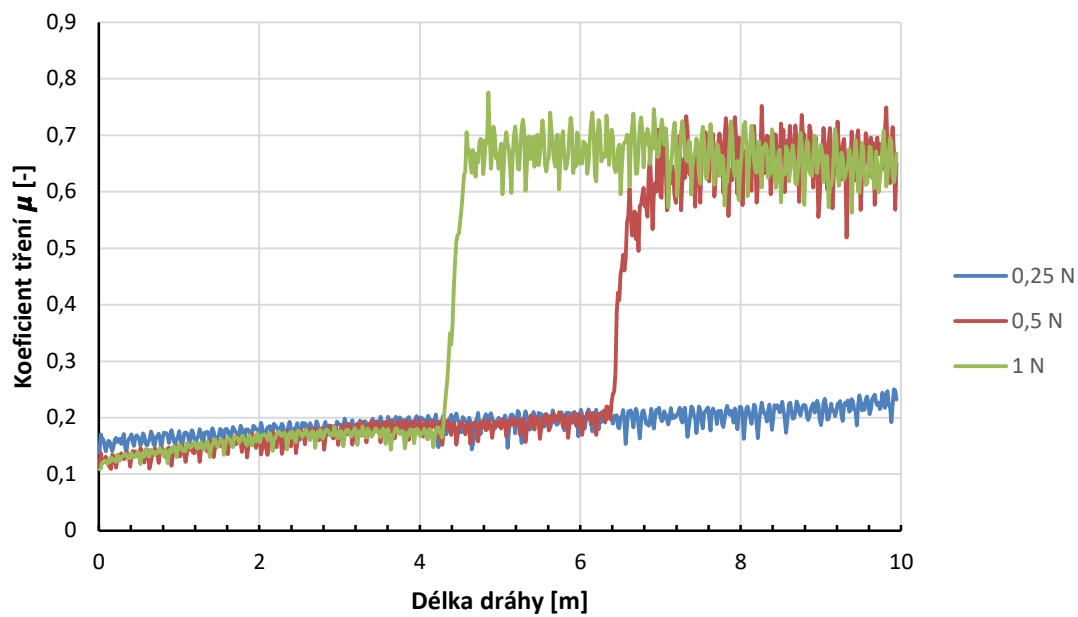
Obrázek 3.37: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS - SUN Grey při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.



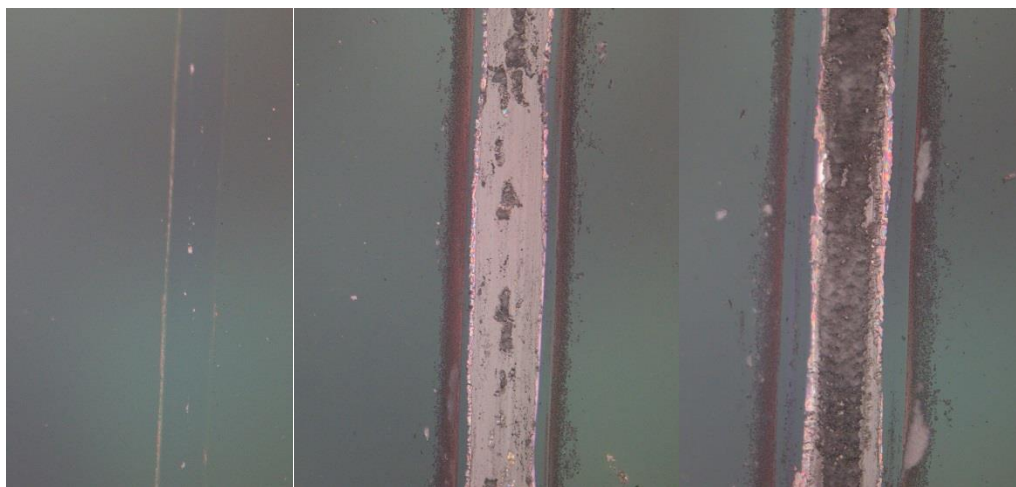
Obrázek 3.38: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS - SUN Grey při zatížení 1 N, zvětšení 10x.

Další měřenou brýlovou čočkou od firmy ZEISS byla čočka s povrchovou úpravou LotuTec. Na obrázku 3.39 můžeme pozorovat vývoj koeficientu během měření. I když má tato brýlová čočka jen základní povrchové úpravy je patrné, že při působení nejmenším zatížením 0,25 N nedochází k poškození čočky a koeficient tření zůstává kolem hodnoty 0,2. Při větších zatížení už dochází k poškození vrstvy. Po 6 m dochází k poškození při působení 0,5 N a koeficient tření vystoupal a kolísá kolem hodnoty 0,6 – 0,7. Při působení největšího zatížení 1 N dochází k poškození již po 4 m a koeficient tření kolísá kolem stejných hodnot, jako při působení 0,5 N.

Na obrázku 3.40 jsou vidět změny způsobené na brýlové čočce po měření. A na dalších obrázcích jsou vidět změny na kuličce po měření (Obr. 3.41, 3.42, 3.43). Při působení 0,25 N byla šířka vrypu 143,63 μm a hloubka 24,03 μm . Po zatížení 0,5 N byla naměřena šířka vrypu 209,88 μm s hloubkou 35,18 μm . Maximální vryp po působení 1 N byl 387,29 μm s hloubkou 65,26 μm a minimální 223,63 μm s hloubkou 37,5 μm .



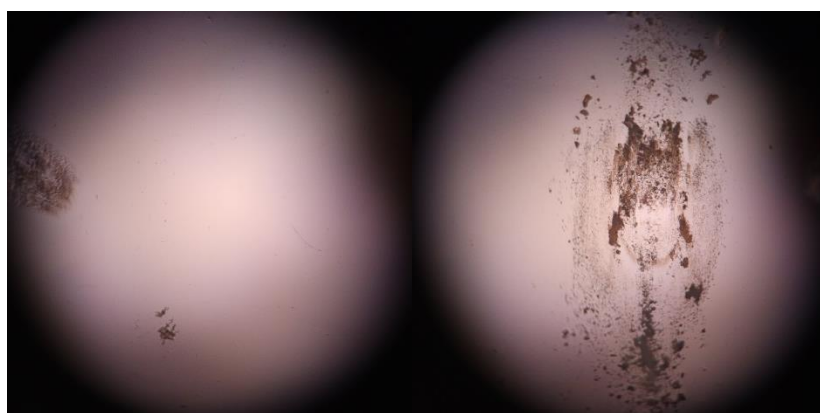
Obrázek 3.39: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti u BČ ZEISS-LotuTec.



Obrázek 3.40: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ ZEISS LotuTec, zvětšení 10x.



Obrázek 3.41: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS LotuTec při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.

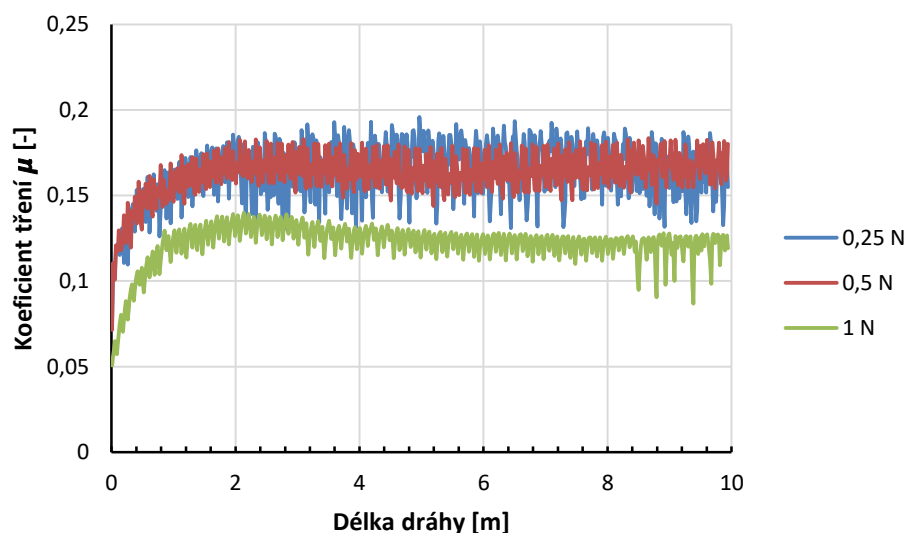


Obrázek 3.42: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS LotuTec při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.

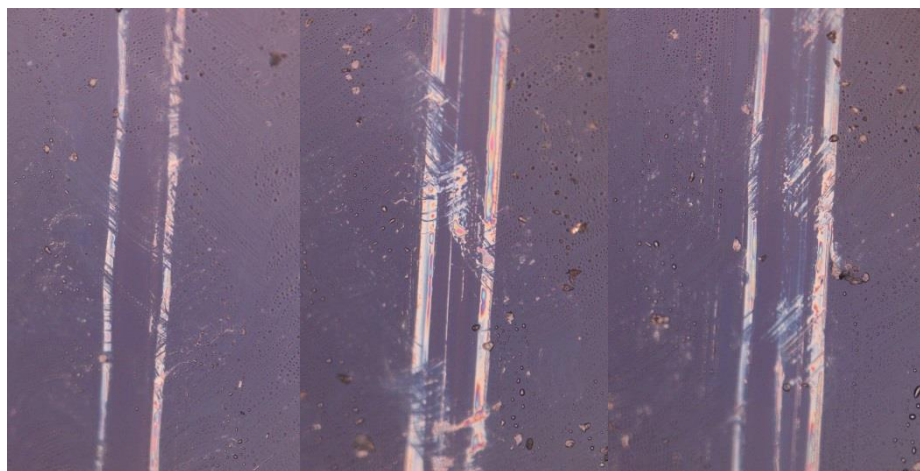


Obrázek 3.43: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS LotuTec při zatížení 1 N, zvětšení 10x.

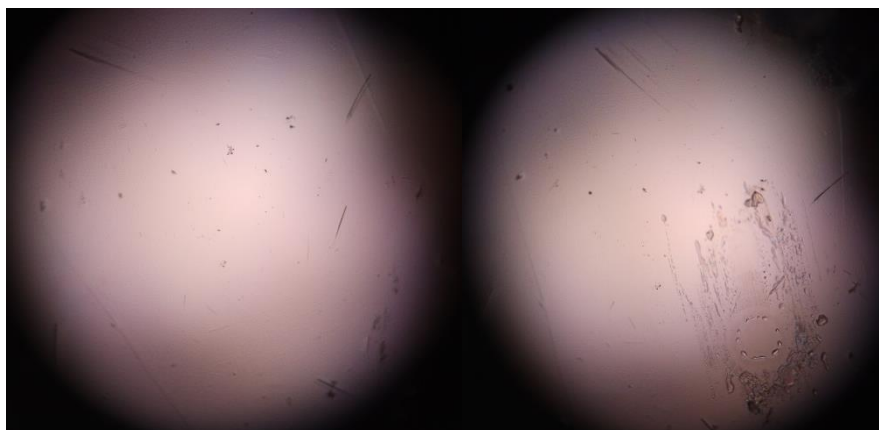
Obrázek 3.44 znázorňuje vývoj koeficientu u BČ DuraVision Platinum, kde můžeme vidět poškození při všech působících zatížení. Při působení 0,25 N a 0,5 N dochází k poškození a průběhu koeficientu kolem hodnoty 0,15 – 0,18. Při působení největšího zatížení je tento koeficient nejmenší s hodnotou kolem 0,13. Obrázek 3.45 a 3.46-3.48 ukazuje šířky vrypu a poškození čoček a poškození kuliček po měření. Při působení 0,25 N byla šířka vrypu 148,75 μm s hloubkou 24,9 μm , při 0,5 N 149 μm hloubka 24,93 μm a při největším zatížení 1 N jsme naměřili šířku 192,86 μm a hloubku 32,3 μm .



Obrázek 3.44: Graf závislosti koeficientu tření na ujeté vzdálenosti u BČ ZEISS- DuraVision Platinum.



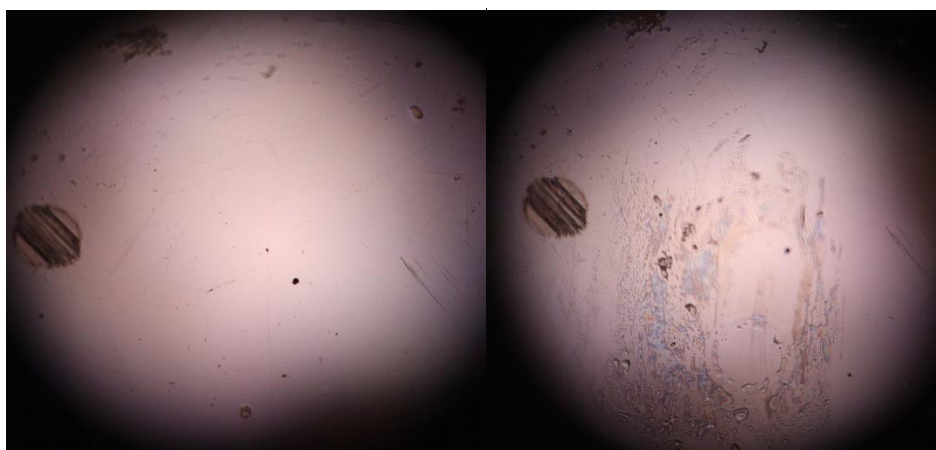
Obrázek 3.45: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ ZEISS DuraVision Platinum, zvětšení 10x.



Obrázek 3.46: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS DuraVision Platinum při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.

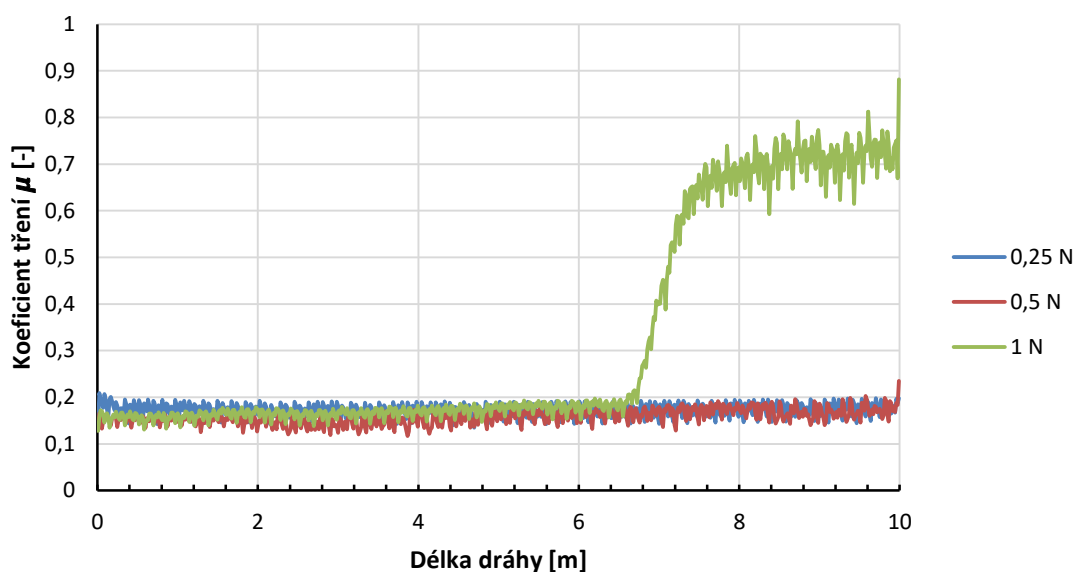


Obrázek 3.47: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS DuraVision Platinum při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.

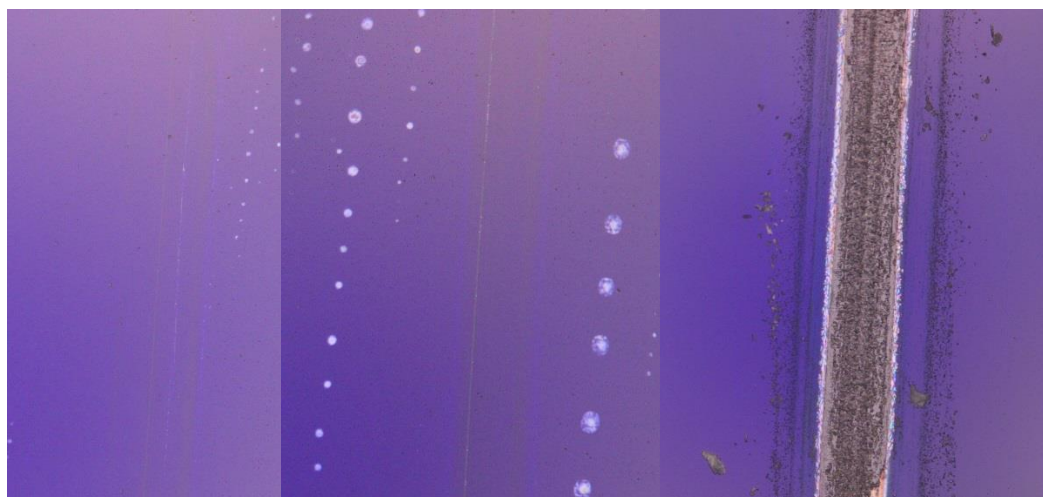


Obrázek 3.48: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS DuraVision Platinum při zatížení 1 N, zvětšení 10x.

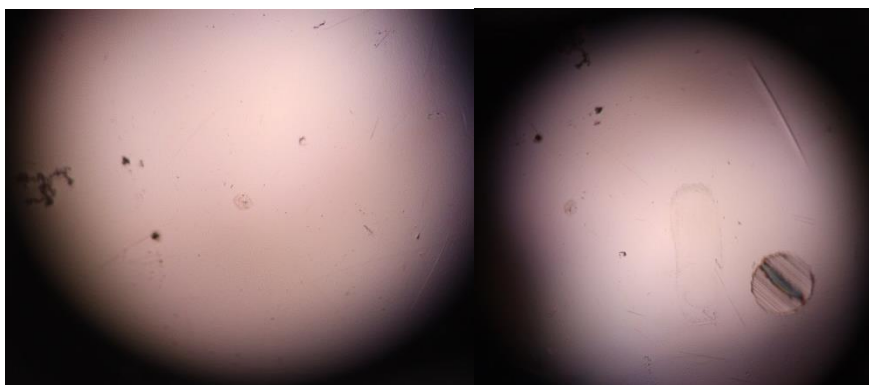
Poslední měřenou čočkou byla čočka BlueProtect. Na obrázku 3.49 můžeme vidět, že k poškození vrstvy dochází až při největším zatížení 1 N. Ačkoliv graf neukázal poškození čočky při působení 0,25 N a koeficient tření se pohyboval stále kolem hodnoty 0,18, pod mikroskopem jsme viděli menší poškození a naměřili jsme šířku vrypu 76,29 μm s hloubkou 12,7 μm . Při působení 0,5 N koeficient taktéž kolísal kolem hodnoty 0,18 a šířka vrypu byla 93 μm s hloubkou 15,54 μm . Po 6,5 m ujeté dráhy dochází k poškození vrstvy při působení 1 N, koeficient vystoupal na hodnotu kolem 0,7 a šířka vrypu byla 208,14 μm s hloubkou 34,89 μm . Změny na čočce a kuličce po měření jsou vidět na obrázcích 3.50 a 3.51-3.53.



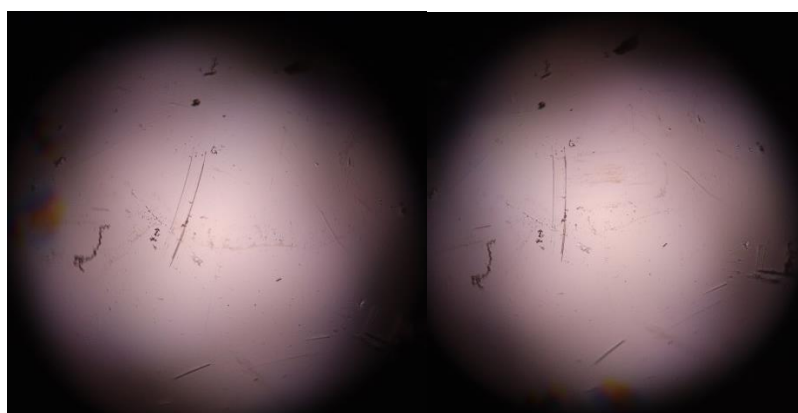
Obrázek 3.49: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti 10m u BČ ZEISS- BlueProtect.



Obrázek 3.50: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ ZEISS BlueProtect, zvětšení 10x.



Obrázek 3.51: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS BlueProtect při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.



Obrázek 3.52: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS BlueProtect při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.



Obrázek 3.53: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS BlueProtect při zatížení 1 N, zvětšení 10x.

4 Diskuse

Koeficient tření, respektive tření kontaktních čoček o víčko je spojeno s pohodlím pro jejich nositele. Proto je zapotřebí dosáhnout při zkouškách kontaktních čoček co nejmenších koeficientů. Koeficienty tření byly měřeny na přístroji zvaném tribometr, kde byl vyroben speciální držák na kontaktní čočky, aby mohly být měřeny v lubrikovaném stavu, nedocházelo k jejich vysychání a bylo dodrženo jejich přirozené prostředí. Byla měněna rychlost posuvu a působící zatížení. K měření jsme podobně jako předchozí studie použili dva materiály kontaktních čoček – silikonhydrogelové (dva typy) a hydrogelové. Silikonhydrogelové čočky – Clarity 1 day jsou vyrobeny z materiálu Somofilcon A. Tento typ kontaktních čoček obsahuje 56 % H₂O a má propustnost 86 Dk/t. Druhým typem silikonhydrogelové kontaktní čočky byla Air Optix Aqua z materiálu Lotrafilcon B. Propustnost pro kyslík má 138 Dk/t a obsahuje 33 % H₂O. Jedinou měřenou hydrogelovou čočkou byla – Dailies AquaComfort Plus s 69 % H₂O a propustností pro kyslík 26 Dk/t. [38]

Měření probíhalo za dvou experimentálních podmínek – nejprve se měnila rychlost posuvu sondy (0,2 cm/s, 0,3 cm/s, 0,4 cm/s) a zůstalo konstantní zatížení 0,25 N, poté bylo konstantní zatížení 0,5 N a měnila se rychlost (0,2 cm/s, 0,25 cm/s) pouze u jedné kontaktní čočky – Clarity 1 day. Během druhého měření docházelo ke změně zatížení (0,25 N, 0,5 N) a rychlost posuvu byla konstantní 0,2 cm/s. Při měnícím se zatížení se měřilo pouze při jedné rychlosti, neboť při zvýšení rychlosti posuvu docházelo často k přetržení kontaktních čoček a nebyl dostatek hodnot pro vyhodnocení a srovnání čoček. I když byly hodnoty zatížení zvolené nejmenší, co jsme mohli použít vzhledem k použitému přístroji, byly hodnoty pro měření i tak příliš velké a způsobovaly protržení čoček.

Během měření bylo zjištěno, že při zvyšující se rychlosti posuvu došlo ke zvýšení koeficientu tření u kontaktních čoček Air Optix Aqua, kdy se koeficient zvýšil z 0,23 (při rychlosti 0,2 cm/s) na 0,4 (při rychlosti 0,4 cm/s). Z grafu (Obrázek 3.5) je možné odhadnout, že při zvyšující se rychlosti docházelo také k dřívějšímu poškození čočky, pravděpodobně k roztržení, neboť nebyly zaznamenávány další hodnoty. Obdobně probíhalo zkrácení naměřených hodnot i u dalších čoček. Stejný průběh byl i u KČ Dailies AquaComfort Plus, zde se hodnota koeficientu zvýšila z 0,2 (při rychlosti 0,2 cm/s) na hodnotu 0,33 (při 0,4 cm/s). Zvýšení koeficientu s rostoucí rychlostí posuvu je v souladu s dostupnou literaturou. Jestliže je v kontaktu polymer (který je součástí materiálů kontaktních čoček) s pevným protilehlým povrchem, dochází k odpuzování nebo pohlcení

materiálu na pevnou protilehlou plochu, což následně vede ke zvýšení tření. Vzhledem k odlišným zvoleným hodnotám, nelze porovnat hodnoty s literaturou. Ke stejnému měření byly při jiných výzkumech používány mikrotribometry, které jsou schopné naměřit zatížení v mN, což odpovídá kontaktnímu tlaku, kterým působí víčko na aplikovanou kontaktní čočku a je tak dodrženo přirozené prostředí v oku. V případě Silikonhydrogelové čočky Clarity 1 day vyšla jiná závislost. Zde docházelo se zvyšující se hodnotou posuvu ke snižování koeficientu tření. Koeficient klesl z hodnoty 0,3 (při 0,2 cm/s) na hodnotu 0,04 (při rychlosti 0,3 cm/s). Zde nebylo možné naměřit větší rychlost posuvu, neboť při ní docházelo k protržení. K dřívějšímu a častějšímu protržení mohlo docházet pravděpodobně z důvodu nízké elasticity čočky 0,5 MPa v porovnání s ostatními. Tato skutečnost mohla mít také vliv na zvolené vyšší zatížení a větší náchylnost na jeho působení. Jiná závislost, než která je v souladu s dostupnou literaturou mohla být také způsobena špatným uchycením kontaktní čočky, což vyvolalo špatné měřicí podmínky a výsledné naměřené hodnoty. Při větším konstantním zatížení 0,5 N a měnící se rychlosti (0,2 cm/s a 0,25 cm/s) vyšla závislost odpovídající literatuře. Měření bylo možné uskutečnit jen pro dvě rychlosti, neboť při větším zatížení, již docházelo po velmi krátké době k poškození a roztržení kontaktní čočky. [24]

Druhé měření kontaktních čoček probíhalo při konstantní zvolené rychlosti 0,2 cm/s a měnícím se zatížení – 0,25 N a 0,5 N. U všech třech měřených kontaktních čoček vyšla stejná závislost – se zvyšujícím se zatížení docházelo ke snižování koeficientu tření. U Silikonhydrogelové kontaktní čočky Clarity 1 day se koeficient tření snížil z hodnoty 0,35 (při zatížení 0,25 N) na 0,1 (při 0,5 N). Snížení nastalo i u druhé silikonhydrogelové čočky – Air Optix Aqua z hodnoty 0,23 (při zatížení 0,25 N) se koeficient snížil na 0,1 (při zatížení 0,5 N). A u poslední měření hydrogelové čočky – Dailies AquaComfort Plus došlo k velmi podobnému snížení jako u předchozí čočky z hodnoty 0,23 (při 0,25 N) na 0,15 (při 0,5 N). Tato závislost je v souladu s dostupnou literaturou a bývá přisuzována síťované povaze hydrogelů. Hydrogely obsahují velký obsah vody. S nárůstem normálního tlaku (v našem případě zvyšující se zatížení) dochází k snazší ztrátě zesíťování nebo jejímu rozpuštění. Při zvyšování zatížení prosakuje více kapaliny na povrch, což má za následek snižování tření. [24,25]

Při srovnání koeficientu tření všech typů kontaktních čoček (Obr. 3.9) – silikonhydrogelových a hydrogelových byl předpoklad, vzhledem k dostupné literatuře, že koeficienty tření by se neměly výrazně lišit a měly by být podobné pro oba typy materiálů.

Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, při měření silikonhydrogelové kontaktní čočky – Clarity 1 day došlo pravděpodobně k chybě v měření, neboť závislost vývoje koeficientu tření nebyla taková, jak se dalo předpokládat. Chyba se tedy projevila i zde při srovnání všech čoček. Kontaktní čočky Air Optix Aqua a Dailies AquaComfort Plus měly při rychlosti 0,2 cm/s a zatížení 0,25 N koeficient, který se pohyboval kolem hodnoty 0,23 a druhý typ silikonhydrogelové čočky – Clarity 1 day měl koeficient kolem hodnoty 0,33.

V druhé části experimentálního měření, bylo měřeno tření u brýlových čoček. Měření probíhalo stejně jako u kontaktních čoček na tribometru. I zde musel být vyroben speciální držák, aby mohly být brýlové čočky správně uchyceny a nedocházelo k posunu během měření. Byly použity brýlové čočky od dvou výrobců – OMEGA, ZEISS. Jedná se o nejznámější a nejrozšířenější výrobce brýlových čoček, dodávajících na český trh. Byly vybrány čočky s různými povrchovými úpravami. Především se lišily v antireflexních vrstvách. Byla zkoumána odolnost vrstev proti působícímu zatížení 0,25 N, 0,5 N a 1 N při ujeté dráze 10 m. Po každém měření byla brýlová čočka pozorována pod mikroskopem, vyfocena a zkoumáno její poškození. V programu, do kterého se přenášely snímky čoček pořízené fotoaparátem připojeným na mikroskop, se měřila šířka vrypu, z které byla následně dopočtena hloubka vrypu.

Prvními měřeními brýlovými čočkami byly čočky od výrobce – OMEGA. Bylo měřeno 5 brýlových čoček s různými povrchovými úpravami. Nejprve byla měřená čočka s nejzákladnější povrchovou úpravou HARD COATED (HC). V případě této čočky, došlo k poškození při všech působících zatížení. Při nejmenším zatížení 0,25 N koeficient nejprve vystoupal na hodnotu 0,6 a poté se ustálil a kolísal kolem hodnoty 0,4. U zatížení 0,5 N byl koeficient tření větší a pohyboval se kolem hodnoty 0,7. U největšího zatížení 1 N dosahoval koeficient podobných hodnot, jako u zatížení 0,5 N. Vzhledem k poškození vrstvy i při nejnižším zatížení lze říci, že tato povrchová úprava není příliš odolná mechanickému poškození. Druhá měřená brýlová čočka měla již lepší povrchovou úpravu, což je patrné i v grafu (Obr. 3.15). Při nejmenším zatížení 0,25 N nedošlo vůbec k hloubkovému porušení vrstvy. Na obrázku 3.16, kde jsou vyfocené vrstvy, můžeme vidět, že velmi nepatrné poškození na brýlové čočce je, ale jedná se jen o povrchové poškození. Při větším zatížení (0,5 N) již můžeme pozorovat změny, jak ve vývoji koeficientu, tak na samotné brýlové čočce. K poškození dochází po 2,5 m a koeficient se pohybuje kolem hodnoty 0,4. Ještě dříve nastává poškození při největším zatížení 1 N a koeficient kolísá kolem hodnoty 0,45. Další měřená čočka se s povrchovou úpravou HMC řadí i dle výsledků měření, k čočkám s nejlepší

povrchovou antireflexní úpravou. Při nejmenším zatížení nedochází k žádnému poškození. Na čočce a ani na kuličce nebyly pozorovány vůbec žádné změny po měření. Při větším zatížení 0,5 N došlo k poškození, ale až po vzdálenosti 7,5 m, kdy docházelo neustále ke zvyšování koeficientu až na konec měření. Při zatížení 1 N nastalo poškození po 5 m a koeficient tření se pohyboval kolem hodnoty 0,5. Předposlední měřená čočka byla čočka se speciální povrchovou úpravou, zvaná EyeDrive. Tyto povrchové úpravy se doporučují, jak již sám název napovídá především pro řidiče. Vrstva „EyeDrive“ kompenzuje rušivý vliv různých zdrojů světla a významně zlepšuje kontrast i ve špatných světelných podmínkách. Ačkoliv by tato antireflexní vrstva měla mít více vrstev, než předchozí čočky, měření ukázalo, že vrstva není odolná vůči našemu tribologickému měření. K poškození docházelo postupně při všech zatížení. Při 0,25 N nastalo poškození nejpozději a to po 4,5 m a koeficient kolísal kolem hodnoty 0,8, stejně jako při působení 1 N, jen s rozdílem, že poškození bylo již po 1,2 m. Po 2,5 m nastalo poškození a koeficient se pohyboval kolem hodnoty 0,6. Poslední čočkou od tohoto výrobce byla brýlová čočka s barevnou povrchovou úpravou – Sun Mirror Blue. Zde došlo taktéž k poškození u všech zatížení a koeficient byl pro všechny podobný, neboť kolísal kolem hodnoty 0,6.

K porovnání brýlových čoček od OMEGY byly měřeny brýlové čočky firmy ZEISS s podobnými úpravami. První měřenou brýlovou čočkou byla čočka s barevnou vrstvou – Sun Grey. Zde na rozdíl od barevné čočky od druhého výrobce nebylo možné čočku pozorovat pod mikroskopem. Pravděpodobně byl zapotřebí jiný druh osvětlení o jiné vlnové délce a změna náklonu čočky, což náš mikroskop neumožňoval. Ale dle vývoje koeficientu a změn na kuličkách je patrné, že k nějakému poškození docházelo. Při 0,25 N došlo k poškození po 7,5 m a koeficient vystoupal na hodnotu 0,15. Při větších zatížení docházelo k poškození dříve, při 0,5 N po 4,5 m a 1 N po 2 m. Koeficient tření se pohyboval kolem hodnoty 0,15 při 0,5 N a kolem 0,2 u 1 N. Další čočka byla s povrchovou úpravou LotuTec. Tato povrchová úprava je nejzákladnější, kterou firma nabízí. Brýlová čočka obsahuje pouze tvrzení a antistatickou úpravu bez antireflexní úpravy. Vzhledem k průběhu grafu, který můžeme vidět na Obr. 3.38 je patrné, že při působení 0,25 N nedochází k hloubkovému poškození vrstvy a koeficient tření kolísal kolem hodnoty 0,2. Při srovnání s brýlovou čočkou HC od druhého výrobce je patrné, že nanesené vrstvy na tuto čočku jsou odolnější, neboť k poškození dochází při větším zatížení 0,5 N po 6 m a koeficient kolísá kolem hodnoty 0,6 – 0,7 stejně jako při největším zatížení. Brýlová čočka s povrchovou úpravou DuraVision Platinum patří mezi brýlové čočky s nejlepší antireflexní úpravou od výrobce. Naše měření

i po několika přeměřeních vycházelo stále stejně. Zde došlo k poškození při všech zatížení. Při zatížení 0,25 N a 0,5 N se koeficient tření pohyboval mezi hodnoty 0,15 – 0,18 a při 1 N kolem hodnoty 0,13. Díky našemu tribologickému měření můžeme říct, že mohlo dojít k chybě během nanášení vrstvy, nebo mohlo dojít z naší strany ke špatné kalibraci přístroje.

Poslední měřenou čočkou od toho výrobce byla individualizovaná čočka BlueProtect. Tato vrstva je nanášena na brýlové čočky především jako ochrana před modrým světlem, které vyzařují všechna digitální zařízení. V dnešní době se již téměř nikdo neobejde bez mobilu, nebo počítače, a tak jsou tyto povrchové úpravy stále žádanější a objednávány nositeli brýlí. Tribologické měření ukázalo, že tato vrstva jako jediná odolává ne jenom nejmenšímu zatížení 0,25 N, ale i zatížení 0,5 N, kdy byl koeficient tření 0,2. Ke změně došlo až při největším působícím zatížení 1 N po 6,5, kdy se koeficient tření vyšplhal a kolísal kolem hodnoty 0,7.

5 Závěr

Diplomová práce se zabývá, dá se říci stejnými, ale rozdílnými věcmi. Mluvíme o kontaktní a brýlové čočce, obě pomáhají lidem se zrakovými problémy, ale i tak jsou zcela odlišné. Ovšem u obou byl měřen koeficient tření pomocí tribometru. Kontaktní čočka je optická pomůcka umístěná přímo na rohovku a brýlové čočky jsou v brýlích, nasazených na obličej, buď ke korekci zraku, nebo můžou být jen jako designový doplněk.

V první teoretické části byla popsána historie, vývoj kontaktních čoček, jejich materiály na výrobu a základní vlastnosti. U brýlových čoček naleznete historii, materiály, ze kterých je možné brýlové čočky vyrobit a povrchové úpravy (vrstvy), které můžou obsahovat pro zlepšení jejich vlastností. A na závěr tribologické měření kontaktních čoček, zabývající se podobnou tematikou, jako jsme se zabývali my.

V druhé experimentální části probíhalo tribologické měření kontaktních a brýlových čoček. Kontaktní čočky byly měřeny silikonhydrogelové (dva typy) a hydrogelové. Tyto čočky se liší především obsahem vody, hydrogelové čočky obsahují větší procento vody a měly by tak být příjemnější pro nositele během nošení. Abychom zjistili koeficient tření, s čímž souvisí jejich pohodlnost, měřili jsme čočky na přístroji zvaném tribometr. Měření probíhalo pro různé rychlosti a zatížení. Byla dokázána závislost na měnící se rychlosti posuvu a zatížení. V případě měnící se rychlosti posuvu při konstantním zatížení nám vyšlo, že se zvyšující se rychlostí posuvu roste koeficient tření u dvou ze třech měřených kontaktních čoček. Předpokládáme, že chyba nastala díky většímu zatížení u kontaktní čočky s nejnižším modulem elasticity a možným větším ovlivněním během měření. Zatížení bylo sice zvoleno nejmenší možné vzhledem k použitému přístroji, ale i tak by mělo být zatížení nižší, aby odpovídalo reálným hodnotám kontaktního tlaku mezi víčkem a okem. Dále bylo zjištěno, že se zvyšujícím zatížením při konstantní rychlosti dochází ke snižování koeficientu tření. Naše měření potvrdilo výsledky s výzkumy zabývající se podobnou tematikou. Silikonhydrogelové a hydrogelové kontaktní čočky mají podobné koeficienty tření, což znamená, že nelze říci, že by byl některý materiál lepší nebo horší. Komfort a pohodlí si musí posoudit každý nositel kontaktních čoček sám.

U brýlových čoček byl měřen také koeficient tření, ale zde nikoliv za účelem pohodlnosti, ale za účelem naleznutí a porovnání odolnosti povrchových úprav od dvou nejprodávanějších výrobců na českém trhu. Po změření koeficientů byly vytvořeny grafy, kde jsme pozorovali, zda docházelo nebo ne k poškození povrchových vrstev. Závěrem

našeho výzkumu bylo, že povrchové úpravy brýlových čoček od firmy ZEISS jsou v porovnání s brýlovými čočkami s podobnými povrchovými úpravami od firmy OMEGA Optix odolnější vůči našemu tribologickému měření.

Tato práce byla prezentována na konferencích Biomateriály a jejich povrchy 2020 v Herbertově, Instruments and Methods for Biology and Medicine 2020 a 2021 v Kladně. Dále z ní byly sepsány dva články, jeden již vyšel v roce 2020 [39] a druhý je v recenzním řízení [41].

Seznam použité literatury

- [1] P. KUCHYŇKA, a kol.: *Oční lékařství*. Vyd. 1, Grada Publishing, Praha, 2007, 812 s., ISBN: 978-80-247-1163-8.
- [2] MUSGRAVE, Christopher Stephen Andrew a Fengzhou FANG. *Contact Lens Materials: A Materials Science Perspective* [online]. 2019,35s. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: https://www.mdpi.com/1996-1944/12/2/261#framed_div_cited_count
- [3] ČESKÁ KONTAKTOLOGICKÁ SPOLEČNOST: Základní kurz školení kontaktologů. Vyd. 1., Praha: Česká kontaktologická společnost, 2004, 72 s.
- [4] POLÁŠEK, J. a kol., Technický sborník oční optiky, ed. 1, Oční optika n. p., Praha, 1997, ISBN SIP-41304/03112-301-05-2
- [5] VRUBEL, Martin. Technologie výroby brýlových čoček. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Mgr. Sylvie Petrová
- [6] FUKA, Josef a Bedřich HAVELKA. Optika a atomová fyzika: fyzikální kompendium pro vysoké školy. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961.
- [7] JALIE, Mohammed. *Ophthalmic lenses and dispensing*. 3rd ed. Edinburgh: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2008. ISBN 978-0-7506-8894-9
- [8] NAJMAN, Ladislav. Základy brýlové optiky: 7.část. Česká oční optika 2010, 44(2), 4. ISSN 1211-233X
- [9] FIALOVÁ, Ladislava. *Členění brýlových čoček podle parametrů ovlivňujících jejich vlastnosti* [online]. Brno, 2014 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/capo1/BP__Cleneni_brylovyh_cocek_podle_parametru_ovlivnujicich_j_ejih_vlastnosti_-_finalni_verze.pdf. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta.
- [10] SCHAUB, Michael P. *Design of Plastic Optical Systems* [online]. In: [cit. 2021-02-23]. ISBN 9780819472403. Dostupné z <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDPOS0002/design-plastic-optical/designplastic-optical>
- [11] PROPUSTNOST. *NOVÉ TECHNOLOGIE VÝZKUMNÉ CENTRUM ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI* [online]. [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://tp.zcu.cz/cz/laboratore/opticke-vlastnosti/opticke-vlastnosti/propustnost>
- [12] NEŠPOR, Vít. *Přehled současných metod a zařízení pro měření koeficientu tření v mazaném kontaktu třecích povrchů*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Ing. Daniel Koutný, Ph.D.
- [13] Tribological behavior of soft contact lenses. *Anton Paar* [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <https://www.anton-paar.com/cz-cs/>

- [14] STACHOWIAK, G. W. (GWIDON W.). *Engineering tribology*. 4. Elsevier Science & Technology, 2013. ISBN 978-0-12-810031-8.
- [15] RENDL, Mikoláš. *Tribologie pro letecké aplikace*. Praha, 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Petr Drašnar, Ph.D.
- [16] RANDULOVÁ, Jana. *SKLO A PLASTY JAKO MATERIÁLY BRÝLOVÝCH ČOČEK, POVRCHOVÉ ÚPRAVY BRÝLOVÝCH ČOČEK* [online]. Brno, 2010 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/hza1e/diplomka.pdf>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta.
- [17] NOVÁKOVÁ KNOLLOVÁ, Libuš. *Srovnání parametrů a materiálových vlastností brýlových čoček na českém trhu* [online]. Brno, 2012 [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/mvgrc/Moje_bakalarka_-_finale.pdf. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta.
- [18] EFRON, Nathan, ed. *Contact lens practice*. 2nd ed. Oxford: Elsevier, 2010. ISBN 978- 0-7506-8869-7.
- [19] Mikroskopy BX53M. *OLYMPUS* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.olympus-ims.com/cs/microscope/bx53m/>
- [20] HUBÁČKOVÁ, Vendula. *Současné materiály kontaktních čoček*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Mgr. Dana Trávníková.
- [21] KYLAROVÁ, Helena. *Vliv dehydratace na parametry kontaktních čoček*. Kladno, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství.
- [22] Silikon-hydrogel versus hydrogel. Kontaktní čočky - 99 % zboží skladem, 1800 výdejních míst [online]. Copyright © 2019 Čočky [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.cockykontakti.cz/informace/silikon-hydrogel-versus-hydrogel.html>
- [23] Produkty od Anton Paar. *Anton Paar* [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://www.anton-paar.com/cz-cs/>
- [24] *Tribological behavior of soft contact lenses* [online]. , 4 [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: https://www.devicemed.fr/wp-content/uploads/2019/06/G73IA059EN-A_Tribological-behavior-of-soft-contact-lenses.pdf
- [25] Friction of Contact Lenses: Silicone Hydrogel versus Conventional Hydrogel. *Life Cycle Tribology*. 2005, , 9.
- [26] DANIELS, Ken. *Contact lenses*. Thorofare, NJ: Slack, c1999. ISBN 1-55642-345-4
- [27] EFRON, Nathan, ed. *Contact lens practice*. Third edition. Edinburgh: Elsevier, 2018. ISBN 9780702066603
- [28] NAJMAN, Ladislav. *Historie, Plasty v oční optice, Tenké vrstvy na čočkách, Tvrzení, Výroba brýlových čoček*. Výukové materiály pro SZŠ a VZŠ Merhautova, Brno

- [29] RUTRLE, Miloš. Brýlová technika, estetika a přizpůsobování brýlí. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2001. 144s. ISBN 57-873-01
- [30] BAŠTECKÝ, Richard, NAJMAN, Ladislav. Brýlová optika (4). Česká oční optika, ročník 37, 1996, č. 4, s. 92-97
- [31] RUTRLE, Miloš. Brýlová technika, estetika a přizpůsobování brýlí. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2001. 144s. ISBN 57-873-01
- [32] POLÁŠEK, Jaroslav. Technický sborník oční optiky. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury ve středisku interních publikací, 1975. 579s. ISBN 06-004-75
- [33] TOMAN, Miloslav. Zpracování plastů v brýlové optice I. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků, 1987. 136s. ISBN 57- 857-87
- [34] M. Roba, E. G. Duncan, G. A. Hill, N. D. Spencer, S. G. P. Tosatti. Friction Measurements on Contact Lenses in Their Operating Environment. *Tribol Lett* [online]. 2011,12 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: doi:10.1007/s11249-011-9856-9
- [35] Rennie, A.C., Dickrell, P.L., Sawyer, W.G.: Friction Coefficient of soft contact lenses: measurements and modeling. *Tribol. Lett.*18(4), 499–504 (2005)
- [36] Nairn, J.A., Jiang, T.: Measurement of the friction and lubricity properties of contact lenses. Proceedings of ANTEC'95, Boston (1995)
- [37] Sterner O, Aeschlimann R, Zürcher S, et al. Friction measurements on contact lenses in a physiologically relevant environment: effect of testing conditions on friction. *Invest Ophthalmol Vis Sci.*2016;57:5383–5392. DOI:10.1167/iovs.16-19713
- [38] Čočky-kontaktní.cz [online]. 2005 [cit. 2021-5-22]. Dostupné z: <https://www.cocky-kontaktni.cz/>
- [39] ŠKUBNÍKOVÁ, A. - PÍSAŘÍK, P.: Tribological properties of contact lenses. In: *Instruments and Methods for Biology and Medicine 2020*. Praha: Czech Technical University in Prague, 2020. p. 61-64. ISBN 9788001067963
- [40] GONG, Jian Ping. *Soft Matter*. 20 June 2006. Vol. 2, no. 7, p. 544–552.
- [41] ŠKUBNÍKOVÁ, A. - PÍSAŘÍK, P.: Tribological properties of contact and spectacle lenses. In: *Instruments and Methods for Biology and Medicine 2021*. Praha: Czech Technical University in Prague, 2021. Submitted

Seznam zkratk

Seznam zkratk

Zkratka	Význam
FDA	Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (<i>Food and Drug Administration</i>)
ACLM	Americká asociace výrobců kontaktních čoček (<i>The American College of Lifestyle Medicine</i>)

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Koeficient tření pro různé komerčně dostupné kontaktní čočky (DD) testovány na mucinem potaženém skleněném disku jako proti plocha v TLF (sloupce 1-3) a srovnání s daty naměřenými v roztoku TMS-PS od Roba a spol. (sloupce 4-6) [37]	12
Obrázek 2.1: Tribometr	24
Obrázek 2.2: Tribometr se speciálním držákem na měření KČ v lubrikovaném stavu.....	24
Obrázek 2.3: Mikroskop používaný na měření BČ připojený k digitálnímu zařízení a PC. [19]	25
Obrázek 3.1: Držák na kontaktní čočky	26
Obrázek 3.2: Graf závislosti koeficientu tření na čase u Clarity 1 day KČ při konstantním zatížení 0,25 N a měnící se rychlosti posuvu.	27
Obrázek 3.3: Graf závislosti koeficientu tření na čase u Clarity 1 day KČ při konstantním zatížení 0,5 N a měnící se rychlosti posuvu.	28
Obrázek 3.4: Graf závislosti koeficientu tření na čase u Clarity 1 day KČ při konstantní rychlosti 0,2 cm/s a zatížením 0,25 N a 0,5 N.....	28
Obrázek 3.5: Graf závislosti koeficientu tření na čase u KČ Air Optix Aqua při konstantním zatížení 0,25 N a měnící se rychlostí posuvu.	29
Obrázek 3.6: Graf závislosti koeficientu tření na čase u KČ Air Optix Aqua při konstantní rychlosti 0,2 cm/s a zatížením 0,25 N a 0,5 N.....	30
Obrázek 3.7: Graf závislosti koeficientu tření na čase u KČ Dailies AquaComfort Plus při konstantním zatížení 0,25 N a měnící se rychlostí posuvu.....	31
Obrázek 3.8: Graf závislosti koeficientu tření na čase u KČ Dailies AquaComfort Plus při konstantní rychlosti 0,2 cm/s a zatížením 0,25 N a 0,5 N.	31
Obrázek 3.9: Graf závislosti koeficientu tření na čase u všech měřených typů KČ při stejné rychlosti posuvu a zatížení.	32
Obrázek 3.10: Speciální držák tribometru na brýlové čočky	33
Obrázek 3.11: Graf závislosti koeficientu tření na ujeté vzdálenosti u BČ OMEGA Optix – HC.....	34
Obrázek 3.12: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N, 1 N (zleva) u BČ OMEGA Optix HC, zvětšení 10x.	34
Obrázek 3.13: Kulička před měřením (vlevo), po měření (vpravo) BČ OMEGA Optix HC při zatížení 0,25 N; zvětšení 10x.....	35
Obrázek 3.14: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HC při zatížení 0,5 N; zvětšení 10x.	35
Obrázek 3.15: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HC při zatížení 1 N; zvětšení 10x.	35
Obrázek 3.16: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti u BČ OMEGA Optix - Super AR.....	36
Obrázek 3.17: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ OMEGA Optix Super AR, zvětšení 10x.	37
Obrázek 3.18: Poškození kuličky před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix Super AR při zatížení 0,25; zvětšení 10x.	37

Obrázek 3.19: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix Super AR při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.....	37
Obrázek 3.20: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix Super AR při zatížení 1 N, zvětšení 10x.....	38
Obrázek 3.21: Graf závislosti koeficientu tření na ujeté vzdálenosti u BČ OMEGA Optix – HMC.....	38
Obrázek 3.22: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HMC při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.....	39
Obrázek 3.23: Vryp po zatížení 0,5 N, 1 N (zleva) u BČ OMEGA Optix HMC, zvětšení 10x.	39
Obrázek 3.24: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HMC při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.....	40
Obrázek 3.25: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix HMC při zatížení 1 N, zvětšení 10x.....	40
Obrázek 3.26: Graf závislosti koeficientu tření u BČ OMEGA Optix - Eye Drive.....	41
Obrázek 3.27: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ OMEGA Optix Eye Drive, zvětšení 10x.	41
Obrázek 3.28: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix EyeDrive při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.....	42
Obrázek 3.29: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix EyeDrive při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.....	42
Obrázek 3.30: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix EyeDrive při zatížení 1 N, zvětšení 10x.....	42
Obrázek 3.31: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti u BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue, zvětšení 10x.....	43
Obrázek 3.32: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue, zvětšení 10x.	43
Obrázek 3.33: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.....	44
Obrázek 3.34: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue při zatížení 0,5 N, 10x zvětšení.....	44
Obrázek 3.35: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ OMEGA Optix SUN Mirror Blue při zatížení 1 N, zvětšení 10x.....	44
Obrázek 3.36: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti u BČ ZEISS - SUN Grey.	45
Obrázek 3.37: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS - SUN Grey při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.	45
Obrázek 3.38: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS - SUN Grey při zatížení 1 N, zvětšení 10x.	46
Obrázek 3.39: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti u BČ ZEISS-LotuTec.....	47
Obrázek 3.40: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ ZEISS LotuTec, zvětšení 10x.	47
Obrázek 3.41: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS LotuTec při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.	48

Obrázek 3.42: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS LotuTec při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.	48
Obrázek 3.43: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS LotuTec při zatížení 1 N, zvětšení 10x.	48
Obrázek 3.44: Graf závislosti koeficientu tření na ujeté vzdálenosti u BČ ZEISS- DuraVision Platinum.	49
Obrázek 3.45: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ ZEISS DuraVision Platinum, zvětšení 10x.	49
Obrázek 3.46: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS DuraVision Platinum při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.	50
Obrázek 3.47: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS DuraVision Platinum při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.	50
Obrázek 3.48: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS DuraVision Platinum při zatížení 1 N, zvětšení 10x.	50
Obrázek 3.49: Graf závislosti koeficientu tření na vzdálenosti 10m u BČ ZEISS- BlueProtect.	51
Obrázek 3.50: Vryp po zatížení 0,25 N; 0,5 N; 1N (zleva) u BČ ZEISS BlueProtect, zvětšení 10x.	51
Obrázek 3.51: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS BlueProtect při zatížení 0,25 N, zvětšení 10x.	52
Obrázek 3.52: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS BlueProtect při zatížení 0,5 N, zvětšení 10x.	52
Obrázek 3.53: Kulička před (vlevo) a po (vpravo) měření BČ ZEISS BlueProtect při zatížení 1 N, zvětšení 10x.	52

Seznam tabulek

Tabulka 1.1.1: Výhody a nevýhody současných materiálů kontaktních čoček (CL). [2]	5
Tabulka 1.2: Možnosti úprav čoček dle materiálu [9].....	18
Tabulka 1.3: Možnosti zušlechťujících úprav [9]	19
Tabulka 3.1: Základní informace o měřených kontaktních čočkách. [38]	26