



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

VLIV ABRAZIVITY ZUBNÍ PASTY NA TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ ZUBNÍCH VÝPLNÍ

EFFECT OF TOOTHPASTE ABRASIVENESS ON FRICTION AND WEAR OF DENTAL FILLINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Pavla Formánková

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

doc. Ing. Martin Vrbka, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Studentka:	Pavla Formánková
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Martin Vrbka, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vliv abrazivity zubní pasty na tření a opotřebení zubních výplní

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Současný výzkum ve stomatologii se zaměřuje na analýzy tribologických procesů, které způsobují úbytek tvrdých zubních tkání a také výplňových materiálů v důsledku čištění zubů pomocí zubního kartáčku. Často je diskutován vliv tvaru zakončení a tvrdosti vláken kartáčku a také složení zubní pasty. Právě abrazivní částice, které jsou přítomny v současných zubních pastách, mohou zásadně přispět k předčasnému opotřebení zubních výplní. Díky experimentálnímu měření tření a opotřebení na tribometru Bruker UMT TriboLab je možné objektivně posoudit, zda je vliv abrazivních částic v dané pastě významný.

Typ práce: výzkumná

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je analýza součinitele tření a opotřebení mezi zubním kartáčkem a vzorkem zubní výplně, za podmínek mazání kontaktu roztokem, který se skládá ze zubní pasty s různou mírou abrazivity a z umělých slin.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- rešerše zásadních tribologických studií se zaměřením na analýzy vlivu abrazivity zubních past na tření a opotřebení zubů a zubních výplní,
- návrh podmínek experimentů pro měření součinitele tření a opotřebení v konfiguraci kartáček–zubní výplň na tribometru Bruker UMT TriboLab,
- analýza topografie třecích povrchů zubních výplní před měřením,
- měření součinitele tření a následné vyhodnocení míry opotřebení pro vybrané zubní pasty s různou mírou abrazivity.

Požadované výstupy: průvodní zpráva.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15–20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukoncení/>

Seznam doporučené literatury:

BIZHANG, M., I. SCHMIDT, Y.-H.P. CHUN, W.H. ARNOLD, S. ZIMMER a L.F.

RODELLA. Toothbrush abrasivity in a long-term simulation on human dentin depends on brushing mode and bristle arrangement. PLOS ONE [online]. 2017, 12(2) [cit. 2021-10-18]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0172060

BAIG, M., R.B. COOK, J. PRATTEN a R. WOOD. Evolution of wear on enamel caused by tooth brushing with abrasive toothpaste slurries. Wear [online]. 2021, 476 [cit. 2021-10-18]. ISSN 00431648. Dostupné z: doi:10.1016/j.wear.2020.203580

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývala výzkumem spojujícím problémy dentální hygieny s tribologií. Cílem práce bylo analyzovat vliv abrazivních částic zubních past na tření a opotřebení zubních výplní. Součinitel tření byl vyhodnocován při simulaci čištění zubů na tribometru UMT TriboLab, které trvalo 260 minut. Tribologickou soustavu tvořil zubní kartáček, vzorek kompozitního materiálu a roztok umělých slin s vybranou zubní pastou. Každou pastu definovala hodnota RDA v rozmezí 0-250, vyjadřující míru abrazivity, tedy schopnost pasty opotřebit materiál. Opotřebení bylo analyzováno na optickém profilometru Contour GT-X Bruker. Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že vliv abrazivních částic je významný z hlediska opotřebení zubních výplní. U součinitele tření i u úbytku materiálu při měření pouze v přítomnosti umělých slin byly výsledné hodnoty obecně nižší. Úbytek materiálu při měření se zubními pastami však nestoupal lineárně s hodnotou RDA dle předpokladu. Studie literárních pramenů i měření prokázaly, že to mohou způsobovat další faktory ovlivňující opotřebení. V budoucnu by výzkum těchto faktorů mohl vést k volbě šetrnějších zubních past ve stomatologii a zabránění zvyšování opotřebení zubních výplní.

KLÍČOVÁ SLOVA

abraze, biotribologie, zubní pasta, zubní výplň, zubní kartáček

ABSTRACT

This bachelor thesis dealt with research, that links dental hygiene issues with tribology. The aim of the thesis was to analyze the effect of abrasive particles of toothpastes on friction and wear of dental fillings. The friction coefficient was evaluated in a tooth brushing simulation on an UMT TriboLab tribometer that lasted 260 minutes. The tribological system consisted of a toothbrush, a sample of composite material and a solution of artificial saliva with a selected toothpaste. Each paste was defined by an RDA value from 0 to 250, expressing the degree of abrasiveness therefore the ability of the toothpastes to wear the material. Wear was analysed on a Bruker Contour GT-X optical profilometer. From the measured values it was found that the influence of abrasive particles is significant in terms of wear of dental fillings. For both the friction coefficient and the material loss when measured only in the presence of artificial saliva, the resulting values were generally lower. However, the material loss in the toothpastes measurements did not increase linearly with the RDA value as expected. Literature studies and measurements have shown that this may be due to other factors affecting wear. Future research on these factors could lead to the selection of more gentle toothpastes in dentistry and thus prevent the increase in wear of dental fillings.

KEYWORDS

abrasion, biotribology, toothpaste, dental filling, toothbrush

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FORMÁNKOVÁ, Pavla. *Vliv abrazivity zubní pasty na tření a opotřebení zubních výplní* [online]. Brno, 2022, 60 s. [cit. 2022-05-17]. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139690>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Vrbka, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Martinu Vrbkovi, Ph.D. za všechny čas a rady při konzultacích. Také děkuji panu Ing. Pavlu Čípkovi, Ph.D., panu Ing. Kryštofovi Dočkalovi a panu Ing. Petru Šperkovi, Ph.D. za pomoc při měřeních a vyhodnocování výsledků. Nakonec panu MDDr. Petru Šikulovi za dodání vzorků potřebných pro experiment a mojí rodině za podporu při studiu.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, pod odborným vedením doc. Ing. Martina Vrbky, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpala, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	2
2.1	Tribologie a biotribologie	2
2.2	Abraze v dutině ústní	2
2.3	Tribologické testování	4
2.3.1	Simulace procesu čištění na tribometru	4
2.3.2	Analýza topografie povrchu na optickém profilometru	5
2.4	Tribologická soustava při čištění zubů	6
2.4.1	Zubní pasta	7
2.4.2	Zubní kartáček	10
2.4.3	Výplňové materiály	12
2.5	Analýza publikací týkajících se měření abrazivních účinků zubních past	13
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	20
3.1	Analýza problému	20
3.2	Cíl práce	20
4	MATERIÁL A METODY	21
4.1	Experimentální zařízení	21
4.1.1	Tribometr Bruker UMT TriboLab	21
4.1.2	Optický profilometr Contour GT-X Bruker	22
4.2	Experimentální podmínky	22
4.3	Použité zubní pasty a jejich abrazivní částice	23
4.4	Příprava vzorků	25
4.5	Postup experimentu	26
4.5.1	Detailní popis měření	27
4.5.2	Vyhodnocení součinitele tření	30
4.5.3	Vyhodnocení úbytku materiálu	30
5	VÝSLEDKY	33
5.1	Součinitel tření	33
5.2	Objemové úbytky výplňových materiálů	36
5.3	Průměrné hloubky opotřebovaných ploch	37

5.4	Mikroskopické měření složení zubních past	38
6	DISKUZE	39
7	ZÁVĚR	41
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	46
10	SEZNAM TABULEK	48

1 ÚVOD

Hlavním důvodem mého zájmu pro tohle téma je možnost být součástí biotribologického výzkumu, který bude mít i nadále nějaký význam. Konkrétně se jedná o zkoumání vlivu abrazivních částic zubních past na úbytek materiálu zubních výplní. Výstupem testování by mohly být přínosné informace zubním lékařům pro volbu šetrnějších zubních past z hlediska opotřebení.

Celé testování navazuje na bakalářskou práci Lukáše Snopka, který sestrojil funkční upínače kartáčku a vzorků a díky tomu je možné provádět tribologické testy se vzorky na tribometru Bruker UMT TriboLab.

Sledování opotřebení je výrazně pozorováno u kloubních náhrad, avšak hraje velmi důležitou roli i ve stomatologii. V současné době je v zájmu výzkum, zda změna stravovacích a hygienických návyků může ovlivnit opotřebení zubních povrchů. Roste zájem veřejnosti o ústní estetiku a za tím účelem jsou do past přidávány nejen povrchově aktivní látky, které lépe odstraňují skvrny, ale především abraziva pro snazší odstranění zubního plaku. Tyto abrazivní částice se však podílí na opotřebení. Vliv na opotřebení mají ale mnohé další faktory. Například je důležitý výběr materiálu zubní výplně s odlišnými mechanickými vlastnostmi, jako je pevnost a odolnost vůči opotřebení. Dále také výběr kartáčku, kde hraje významnou roli tuhost a hustota štětín nebo vlnitost zakončení. Ve své bakalářské práci se však zabývám v první řadě vlivem hodnoty relativní abrazivity dentinu (RDA), která představuje schopnost zubní pasty opotřebit materiál a zahrnuje vliv množství a velikosti abraziv a také dalších složek obsažených v pastě.

Vliv abrazivních částic na opotřebení zubního povrchu je předmětem mnoha studií a je snaha o výrobu zubních past s šetrnými abrazivními účinky, zároveň ale s vysokou účinností čištění. Jedním z postupů, jak dojít k výběru nejlepších zubních past je právě vyhodnocování tribologických vlastností.

Cílem této bakalářské práce je jednak rešerše studií týkajících se analýzy vlivu abrazivity zubních past na tření a opotřebení zubních výplní. Následně pak vyhodnocení součinitele tření a analýza topografie třecích povrchů vzorků výplní před a po měření simulace čištění pro zjištění úbytku materiálu. Díky tomu poté objasnit, zda je hodnota RDA zubních past významná z hlediska opotřebení výplňových materiálů.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Tribologie a biotribologie

Tribologie je vědní obor zabývající se procesy tření, opotřebení a mazání. Obecně se zabývá popisem kontaktů povrchů, které jsou doprovázeny třením [1]. V důsledku toho vzniká opotřebení materiálu a pro zmenšení těchto nežádoucích účinků je využíváno mazání.



obr. 2-1 Části oboru tribologie

V posledních letech je na vzestupu výzkumná oblast zvaná biotribologie. Jde o vědu aplikovanou v živých organismech. Spojuje vztahy mezi tribologií a biologií a zkoumá užití biomateriálů v lékařství [1]. Je důležité pochopit mechanismy opotřebení v živých organismech a najít tak možnost, jak snížit množství opotřebeného materiálu [2]. Součástí biotribologie je výzkum opotřebení zubních povrchů. V dutině ústní jsou zuby vystaveny mechanickému namáhání či změnám chemického prostředí [1]. Mechanismy opotřebení zubů můžeme rozdělit na fyzikální a chemické. Předmětem této práce je především abrazivní opotřebení, tedy jeden z fyzikálních druhů mechanismů opotřebení [3].

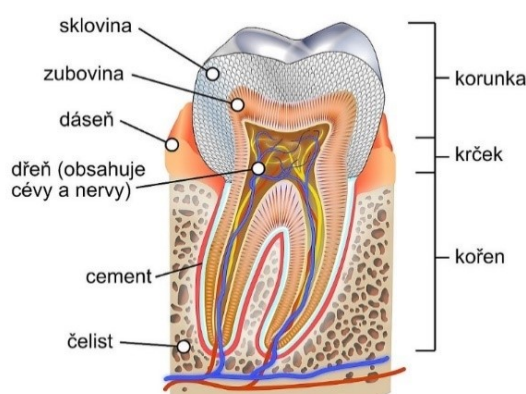
2.2 Abraze v dutině ústní

Abraze je popsána jako ztráta tvrdých zubních tkání, způsobena mechanickým obrousáním. Opotřebení zubů vzniká v důsledku otěru, ten může být dvousložkový nebo tříložkový. Dochází k němu jak při žvýkání, tak při čištění [1][3]. Prvním opotřebeným povrchem v dutině ústní je sklovina, ta je však zhruba 4x tvrdší než dentin a je necitlivá, proto je předmětem mnoha výzkumů právě dentin, nikoliv sklovina [4].

V případě dvousložkového otěru jsou v kontaktu dva povrchy zubů, popř. výplňových materiálů. K tomuto jevu dochází především při mechanickém namáhání v průběhu žvýkání. Může nastat deformace a následný vznik atričních fazetek ve sklovině v důsledku stisku zubů nebo obrušování při skluzu povrchů. Při výzkumech kontaktů výplň-zub jsou nejčastěji využívány kompozitní materiály pro možnost modifikace složení a tvaru, díky čemuž lze snižovat hodnoty opotřebení i součinitele tření [4].

K tříslložkovému otěru (abrazi) dochází při kontaktu dvou povrchů s přítomností abrazivních částic, které při tlaku a otěru způsobují opotřebení. Abrazivní efekty mohou mít části potravin nebo abraziva v zubních pastách [3]. Pokud je předem zub poškozen erozivními procesy, abraze je urychlena. Erozi může totiž dojít ke změkčení skloviny a zuby jsou tak náchylnější k opotřebení [6].

Důsledkem otěru je úbytek materiálu, který při vyšších hodnotách může zacházet až do velmi bolestivých situací. Pokud opotřebení zubů dojde na úroveň dentinu (zuboviny) mohou se skrz dentinové kanálky přenášet podněty jako je chlad, teplo či vzduch. Podněty pokračují až do zubní dřene (obr. 2-2), kde dráždí nervová zakončení, což se projevuje ostrou bolestí. Tuto bolest nazýváme jako citlivost zubů nebo také hypersenzitivita dentinu. Zuby jsou náchylné na změny teploty nebo na jakýkoliv kontakt ať už s potravinou či kartáčkem [7]. Dentin může být obnažen v části korunky nebo pak v okolí krčku a dásně, kde se jedná o krčkový defekt [4].



obr. 2-2 Anatomie zubu [8]

Dalším rizikem obnaženého dentinu může být také jednodušší tvorba zubních kazů. Ty mohou mít stejně bolestivé účinky jako opotřebení, protože se mohou také dostat až na úroveň zubní dřene s nervovými zakončeními [9].

2.3 Tribologické testování

V této kapitole bude popsáno, jakými metodami a zařízeními mohou být měřeny tribologické vlastnosti. Metody měření se mohou lišit podle využívaných zařízení, tato kapitola je však zaměřena především na zařízení, které byly využity v experimentální části práce [1]. Při měření součinitele tření jsou kontakty simulovány zařízeními zvané tribometry, pro měření opotřebení se využívají profilometry.

2.3.1 Simulace procesu čištění na tribometru

Experimenty na tribometrech mohou probíhat podle pin-on-flat nebo ball-on-flat konfigurací. V prvním případě je vzorek plochý ve tvaru disku nebo rovnoběžnostěnu. V případě druhé konfigurace je ve tvaru koule [1].

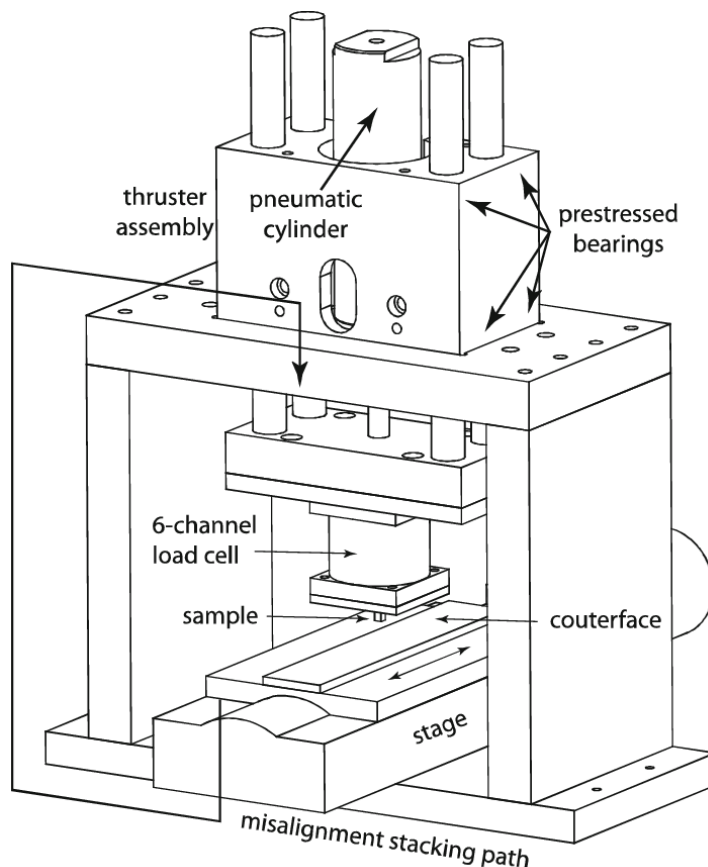
Reciproční tribometr

Jedním ze zařízení pro měření odolnosti zubů a zubních výplní je reciproční tribometr (obr.2-3). V kontaktu je povrch (zub/kulička/zubní kartáček) se vzorkem pod daným zatížením a tím je vyvolán tlak. Modul ve spodní části koná vratný pohyb s předem nastavenou frekvencí a dráhou posuvu. V tabulce 2-1 přikládám typické provozní podmínky tribometru:

Tabulka 2-1: Provozní podmínky recipročního tribometru

Zatížení [N]	Dráha posuvu [mm]	Frekvence [Hz]	Počet tahů kartáčku
2-20	1-2	2	1-15 000

Výstupem měření jsou průběhy součinitele tření a sil působících na vzorek. Kontakt může být v suchých nebo lubrikovaných podmínkách. Jako lubrikant se užívají umělé sliny, do kterých jsou vzorky při měření ponořeny [1]. Během měření je též upravována teplota pro přizpůsobení podmínek jako jsou v dutině ústní, tedy aby byly lubrikanty ohřáty na tělesnou teplotu.

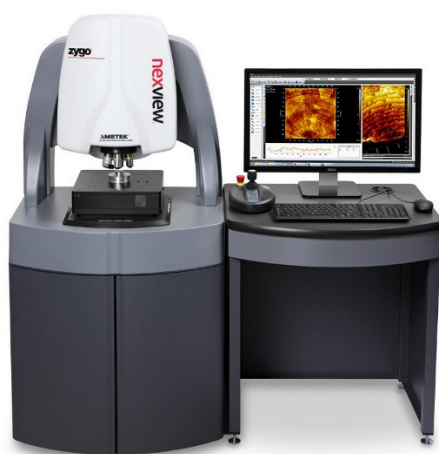


obr. 2-3 Detail recipročního tribometru [10]

Na recipročním pohybu se zakládají také testy Ball-Crater, kde je kulička v pohybu vůči vzorku. Lubrikant je nakapán mezi povrchy a kráter vytvořený kuličkou je dále měřen opticky pro zjištění úbytku materiálu [1].

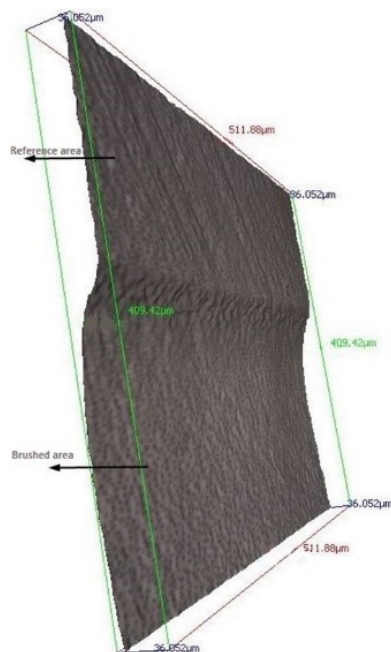
2.3.2 Analýza topografie povrchu na optickém profilometru

Pro měření úbytku a analýzy topografie je možno využít optického profilometru (obr. 2-4). Hlavními součástmi je základová deska, na které je umístěn analyzovaný vzorek. Deska je situována na protivibračním stole, který tlumí vibrace z okolí. Všechna měřená data jdou do počítače, díky čemuž získáme potřebné výstupní parametry. Profilometry umožňují detailně prozkoumat povrchy zubů z hlediska opotřebení po simulaci čištění [1].



obr. 2-4 Optický profilometr Nexview 3D [11]

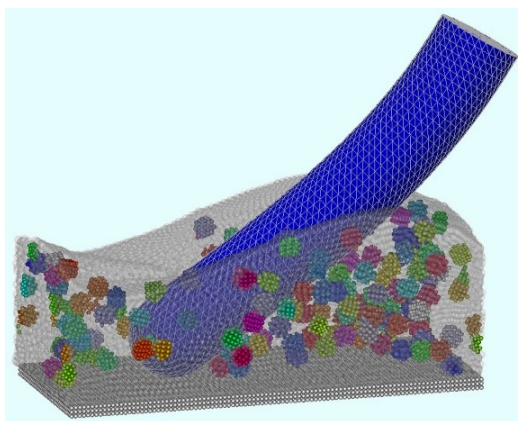
Při tribologických testech jsou využívány principy referenčních hladin. Během simulace jsou vzorky z části kryty pro získání neopotřebovaných ploch a při analýze topografie je pak jasně viditelná opotřebovaná část analyzovaného vzorku [1].



obr. 2-5 Rozdíl referenční a opotřebované plochy [12]

2.4 Tribologická soustava při čištění zubů

V této práci je zkoumán třísložkový otěr. Můžeme tedy říci, že zde existuje určitá tribologická soustava skládající se ze tří hlavních složek. Jednou z nich jsou štětiny zubního kartáčku, druhou výplňový materiál a třetí umělé sliny nebo jejich roztok se zubní pastou.



obr. 2-6 Detail tribologické soustavy [13]

2.4.1 Zubní pasta

Zubní pasta je hlavní složkou pro čištění zubů. Jednou z vlastností past by mělo být kromě čištění a bělení vytvoření prostředí, které zamezuje tvorbě zubního plaku a kamene. S touto vlastností je spojena schopnost leštění, díky které je vytvořen hladký a lesklý povrch, jenž je méně náchylný k tvorbě plaku. Bakterie se totiž snáze tvoří v místech nepravidelných zubních povrchů [9].

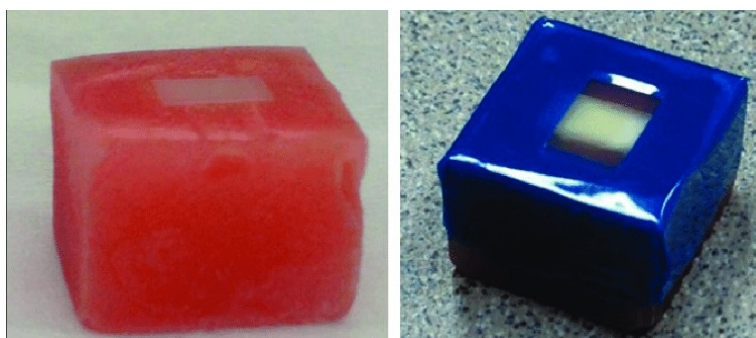
Pro dokonalé čištění je pak nutné určité složení zubní pasty. Klíčový je obsah abrazivních částic, který zajišťuje snazší odstraňování zubního plaku na povrchu zubů. Částice slouží jako brusné materiály a je prokázáno, že jejich přítomnost zvyšuje účinnost čištění. Jsou však také jedním z důvodů abraze. Druhou nezbytnou složkou je zahušťovadlo, díky kterému zůstanou abraziva v suspenzi a plní tak svoji funkci. Každá zubní pasta má také jinou hustotu, která souvisí jak se součinitelem tření, tak s opotřebením [13]. Poslední složka je povrchově aktivní činidlo pro snazší odstranění plaku a skvrn [9].

Abrazivita zubních past

Vlastností každé zubní pasty je hodnota relativní abrazivity dentinu (RDA). Tato hodnota popisuje schopnost pasty opotřebit materiál a zahrnuje množství, povrchové struktury částic, velikost částic a chemické vlivy dalších přísad přítomných v pastě [2].

Měření RDA nyní probíhá podle normy ISO 11609. Původně používaná metoda měření abrazivity byla vytvořena v první polovině 20. století a je nazývána metodou hloubky řezu. Spočívá ve skenování vzorku před a po čištění zubního povrchu [4].

Během metody jsou při čištění části vzorků zubů kryty pro získání referenčních hladin při analýze povrchů. V dalším kroku je vyhodnocena RDA jako množství odstraněného dentinu, kdy úbytek materiálu je brán jako rozdíl objemů skenovaných vzorků. Ze snímků topografie je pak vyhodnocena hloubka opotřebené plochy [4].



obr. 2-7 Ukázka krytí vzorku [14]

Druhou metodou je metoda radiometrická, která byla vytvořena ve 2. polovině 20. století. Spočívá v ozařování vzorku před čištěním a následným měřením přenesené radiace během čištění do směsi se zubní pastou. Hodnota RDA je vyhodnocena jako poměr radioaktivní složky fosforu pro opotřebený a referenční materiál (nyní pyrofosfát vápenatý) ve směsi po čištění. V průběhu let došlo k dalším pokrokům, jako například stanovení referenční hodnoty RDA 100 pro měření úbytku s abrazivem pyrofosfátem vápenatým nebo podmínka, že RDA nesmí být vyšší než 2,5násobek referenční hodnoty, aby nedošlo k opotřebení většímu, než je 1 mm hloubky úbytku při 100 000 tazích kartáčku. Zubní pasty jsou již pro vyšší hodnoty RDA považovány za nebezpečné, přesto je maximální povolená hodnota RDA 250 zhruba 5,7x nižší, než bylo vyhodnoceno jako klinicky přijatelné [4].

Metoda RDA je v dnešní době normalizovaná a probíhá podle výše zmíněné normy. Je simulováno čištění, při kterém je v kontaktu kartáček, vzorek a zubní pasta se slinami. Dráha posuvu kartáčku by neměla přesahovat délku vzorku, aby byly povrchy při čištění stále v kontaktu. Konstrukce vany pro vzorek by měly umožňovat snadný vstup pro dodání roztoku [4]. Rozdělení úrovní abrazivity přikládám v tabulce 2-2.

Tabulka 2-2: Hodnoty RDA a úrovně opotřebení

Hodnota RDA	Úroveň abrazivity
0-70	Nízká abrazivita
70-100	Střední abrazivita
101-150	Vysoká abrazivita
151-250	Považováno za škodlivý limit

Poslední dobou je určována abrazivita zubních past pouze z hodnot RDA, které jsou pro pasty měřeny jen jednou bez ohledu na změnu složení. Zveřejněné hodnoty tak nemusí odpovídat abrazivním účinkům. Výrobci nechtějí RDA uvádět, protože jak bylo zmíněno, vyšší hodnoty RDA jsou brány jako nebezpečné z hlediska opotřebení. To je mimo jiné ovlivněno i tvarem částic, modifikací abraziv, štěpností, tvrdostí, drobivostí částic nebo například schopností shlukování a celkovou uspořádaností, které nejsou v RDA zahrnuty [3][15][16].

Bělící zubní pasty mají obecně vyšší hodnoty RDA, tedy by měly mít lepší schopnost odstranění plaku. Rizikovým faktorem těchto past je vyšší hodnota RDA [15]. Některé publikace ale ukazují, že riziko spojeno s bělícími pastami není tak převratné, protože ne každá bělící pasta působí tak výrazné úbytky materiálu [3].

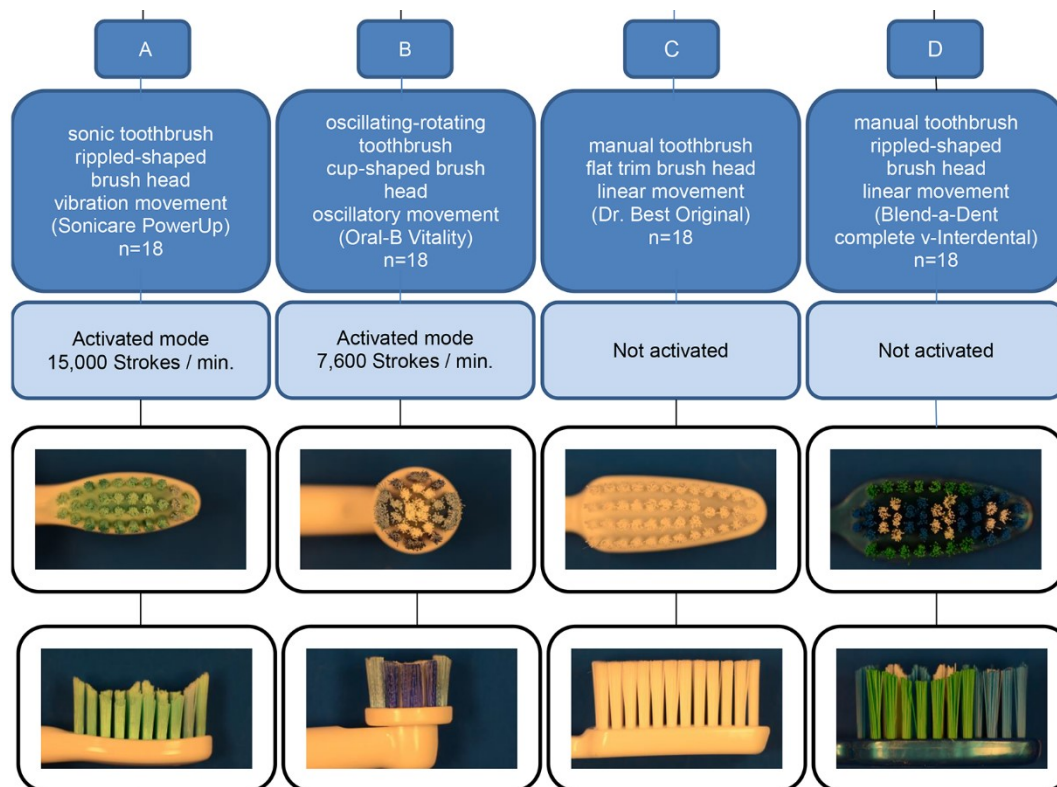
Používaná abraziva a jejich vlivy

Abrazivní částice jsou nerozpustné látky, které svými účinky odstraňují plak a skvrny ze zubních povrchů. Tyto částice jsou posuzovány především z hlediska zdravotní bezpečnosti a účinnosti čištění. Neporušený chrup vykazuje vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení, když je však narušen, vlivem abraziv postupně ubývá materiálu [3]. Dentin jako takový je zhruba 4x měkčí než sklovina a asi 10x rychleji opotřebitelný. Z možných rizik zmíněných výše se dnešní studie zabývají především výzkumem opotřebení dentinu [4].

Obecně mohou být rozděleny abrazivní částice na fosfáty, uhličitany a oxidy křemičité. Fosfáty zajišťují bělost a čistotu zubů. Více využívané jsou ale oxidy křemičité a uhličitany. Oxidy křemičité mají mnoho modifikací a hlavní předností je, že jsou inertní, tedy nereagují s ostatními složkami v pastě. Naopak uhličitan vápenatý může reagovat s dalšími částicemi v pastě a v důsledku toho je pasta schopna naleptat povrch a zvýšit pravděpodobnost vzniku kazu. Proto jsou dodávány do past s těmito částicemi fluoridy bránící tvorbě kazů. Nejužívanější a vyhodnocen jako nejbezpečnější a neúčinnější abrazivum zubních past je hydrogenuhličitan sodný neboli jedlá soda. Vykazuje velmi dobré výsledky mechanického čištění, zároveň však nízké abrazivní účinky [17].

2.4.2 Zubní kartáček

Další složkou tribologické soustavy je zubní kartáček, který má při čištění opět velký vliv na opotřebení povrchu. Existují kartáčky manuální nebo elektrické a mohou se lišit i dále, například podle tvarů, tuhosti, počtu či materiálu štětín, tvaru špičky štětín nebo vlnitosti zakončení. Abrazivní částice pak odlišným způsobem interagují se zubním kartáčkem [12]. Typy kartáčku jsou přiloženy v obrázku 2-8:

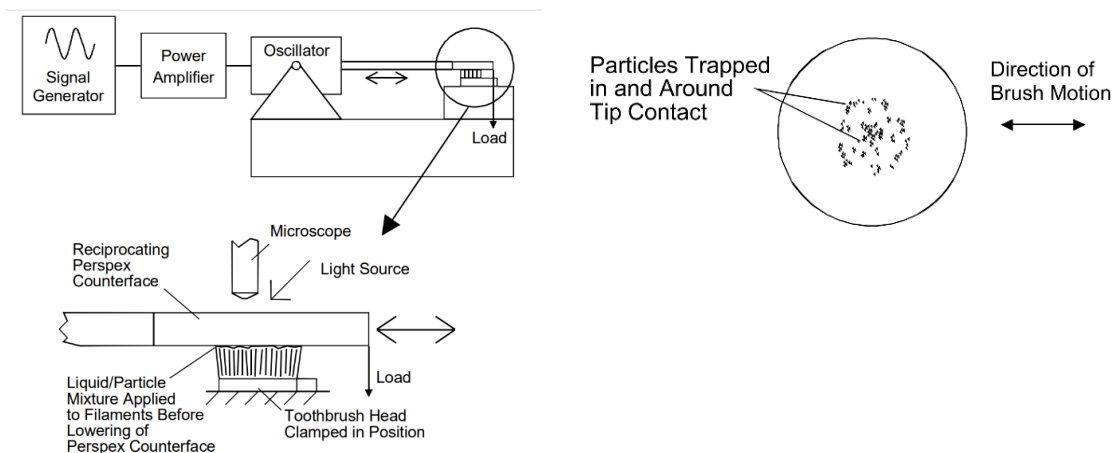


obr. 2-8 Odlišné druhy zubních kartáčků [12]:

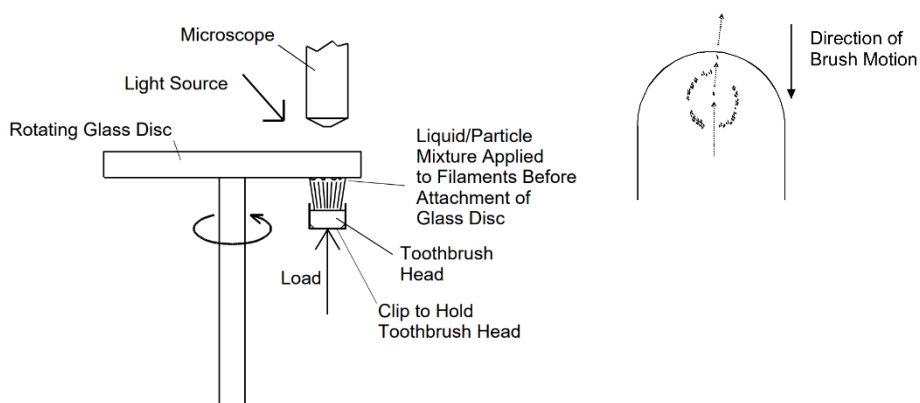
- A - elektrický kartáček s elipsovitou hlavicí a zvlněnými štětínami
- B - elektrický kartáček s kulatou hlavicí a zakřivenými štětínami
- C - manuální kartáček s kopinatou hlavicí a rovnými štětínami
- D - manuální kartáček s kopinatou hlavicí a speciálními štětínami

Během procesu čištění se abrazivní částice přibližují k vláknům kartáčku a může dojít k jejich zachycení. Opotřebení je spojeno s tím, jaké množství částic bude zachyceno a po jakou dobu. To vše je závislé především na zatížení, tedy průhybu vláken a s tím spojenou tuhostí vláken. Při vyšším zatížení dochází k většímu ohybu, v kontaktu je tak větší plocha a je zachyceno více abraziv, což zvyšuje opotřebení povrchu [18].

Při vratném pohybu jsou částice mezi hrotem vlákna a povrchem čištění rozptýřeny po celém kontaktním povrchu a opotřebení je vyšší než při posuvném (klouzavém) pohybu, kde částice zůstávají rozmístěna kolem hrotů vláken [18].



obr. 2-9 Vratný pohyb a detail abraziv v kontaktu štětín se zubním povrchem [18]



obr. 2-10 Posuvný pohyb a detail abraziv v kontaktu štětín se zubním povrchem [18]

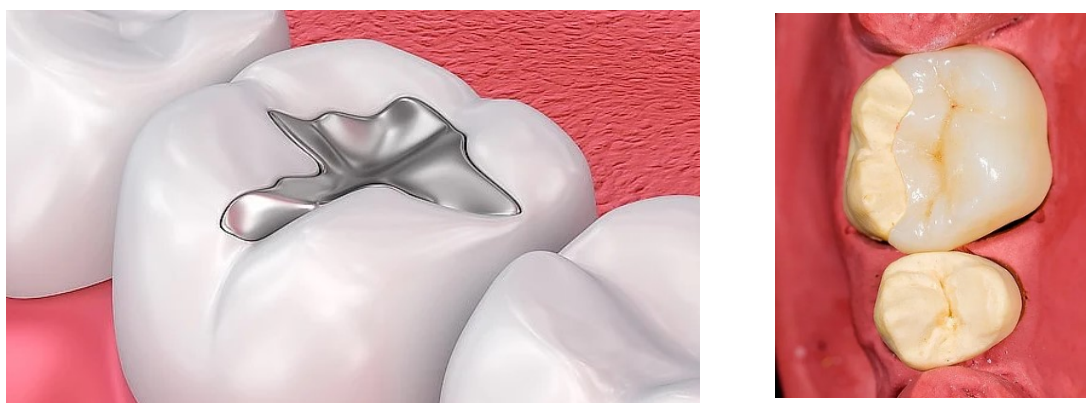
Důležitou roli hraje také počet štětín a vzdálenost mezi svazky. Štětiny kartáčku bývají v tzv. trsech, tužší z nich se při větším zatížení udržují v seskupení a zachycování částic je účinnější, než když jsou pružné a příliš se roztahují. Opotřebení je tedy vyšší u tužších štětinek, z toho důvodů jsou často doporučovány měkké zubní kartáčky. Elektrické kartáčky jsou hodnoceny jako lepší z hlediska odstranění plaku. Pro dosažení stejné účinnosti čištění je u manuálního kartáčku nutná 12x vyšší frekvence čištění. Přesto ale elektrické kartáčky vykazují vyšší opotřebení zubních povrchů [12][18].

2.4.3 Výplňové materiály

V důsledku opotřebení zubů jsou hojně využívány výplňové materiály, které tvoří poslední část naší tribologické soustavy. U výběru zubní výplně hraje roli řada okolností, jako je estetika, dostupnost, mechanické vlastnosti, do kterých spadá pevnost a odolnost vůči opotřebení a dále například cena a biokompatibilita. Stejně jako při kontaktu zubů i při kontaktu výplňového materiálu s jinými povrchy dochází k opotřebení a je tedy důležité zde zkoumat tribologické vlastnosti [19][20]. Obecně výplňové materiály můžeme rozdělit do následujících skupin:

1. Kovy a jejich slitiny
2. Polymerní materiály
3. Kompozitní materiály
4. Keramické materiály

Skupina kovů a jejich slitin není tolik využívána pro častý vznik alergických reakcí nebo barvení. Nevýhodou je též estetika, jelikož ostatní výplně jsou bílé. Polymerní materiály jsou pro vysokou míru opotřebení a špatné zachování lesku často nahrazovány kompozitními materiály. Jedná se o výplně, které dosahují lepších vlastností přidáním anorganických látek, jako je křemen nebo oxid křemičitý. Tyto materiály jsou finančně i časově výhodnější volbou a velkým plusem je estetika a přilnavost k zubním povrchům. Pro lepší mechanické vlastnosti jsou ale využívány keramické výplně například z oxidu zirkoničitého, které mají vysokou odolnost vůči opotřebení [19][20].



obr. 2-9 Estetika kovové (vlevo) a keramické (vpravo) zubní výplně [21]

Z keramiky je pro vysokou pevnost a lomovou houževnatost využívána též sklokeramika a pro vlastnosti vysoké pevnosti, zachování barvy a nižší míry opotřebení jsou používány keramicko-polymerní kompozity. Odolnost vůči opotřebení u těchto materiálů je srovnatelná se sklokeramikou [20].

2.5 Analýza publikací týkajících se měření abrazivních účinků zubních past

V této kapitole bude detailněji popsáno 5 odborných článků a vědeckých studií pro přiblížení problematiky. Publikace se zabývají především abrazivním účinkem zubních past a byly vybrány jako nejkvalitnější a nejvíce se týkající tématu.

Hamza [9] ve své publikaci zkoumal úbytek dentinu a účinnost čištění při použití nových past, do kterých byly za účelem snazšího odstraňování zubního plaku přidány abrazivní částice diamantu, aktivního uhlí, organických olejů nebo mořské soli. Pro měření bylo využito 12 zubních kořenů řezáků hovězího skotu jako vhodná alternativa lidského dentinu. Z každého kořene následně vyfrézováno 6 vzorků, které byly umístěny do silikonové formy a vnější část pokryta akrylovou pryskyřicí. Vrchní vrstva byla vytvořena a broušena pro dosažení hladkého povrchu, jenž byl důležitý pro vyhodnocování úbytku materiálu na profilometru. V tabulce 2-3 uvádím skupiny rozdělené podle past s danými vlastnostmi:

Tabulka 2-3: Zubní pasty s danými abrazivy

Použité zubní pasty	Abraziva	Hodnoty RDA
Elmex	hydratovaný oxid křemičitý	65
Lavera	oxid křemičitý, mořská sůl	nezjištěno
Curaprox	hydratovaný oxid křemičitý, aktivní uhlí, nano-hydroxyapatit	50
Swiss Smile	hydratovaný oxid křemičitý, hydroxyapatit, diamantový prášek, oxid křemičitý	20
Ringana	hydratovaný oxid křemičitý, oxid křemičitý	30
Umělé sliny	[-]	[-]

Před čištěním byly topografie povrchů změřeny na dotykovém profilometru. Měřené povrchy byly z každé strany zakryty lepící páskou po šířce 1 mm pro vznik referenčních plochy při finální analýze topografie povrchu. Tabulka 2-4 definuje podmínky měření:

Tabulka 2-4: Podmínky měření

Doba čištění [min]	Frekvence [Hz]	Zatížení [N]
26	2	1.6

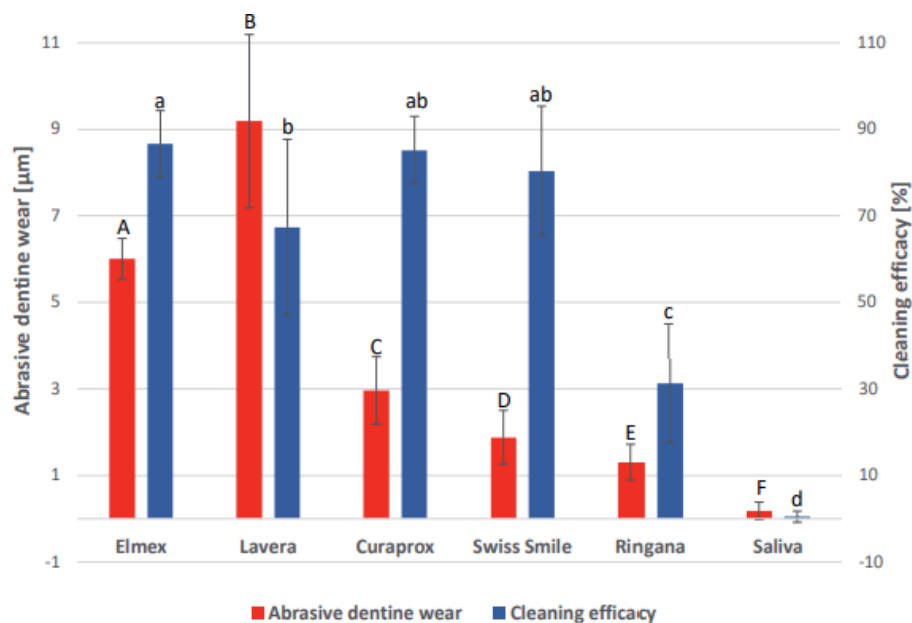
Do nádoby se vzorky byly dodány 2 ml směsi zubní pasty s umělými slinami v poměru 1:2. Každé dvě minuty bylo měření zastaveno a přidána nová směs. Postup byl opakován do uplynutí 26 minut. Následovala analýza topografie povrchů a stanovení opotřebení dentinu.

Pro měření účinnosti čištění bylo využito 60 lidských kořenů zubů, očištěných od zubního kamene. Vzorky byly upraveny stejným způsobem a rozděleny opět do šesti skupin. Dále proběhlo barvení v černém čaji. V tabulce 2-5 jsou zobrazeny podmínky barvení:

Tabulka 2-5: Podmínky barvení a přípravy čaje

Doba vzorků v čaji [hod]	Teplota [°C]	Množství vody [ml]	Doba přípravy čaje [min]	pH čaje
17	37	390	10	4

Dalším krokem bylo opláchnutí a vložení vzorků do silikonové formy. Z každého z nich byl pořízen snímek v tmavé komoře za použití tessovaru. Posledním krokem bylo pořízení snímků a provedení vizuální analýzy pomocí softwaru Planimeter SC. Čištěná plocha byla brána jako plocha bez skvrn. Výsledky byly vypočteny jako poměry čištění a abrazivity. Čím vyšší hodnota vyšla, tím lepší byla účinnost a nižší opotřebení. V grafu přikládám výsledky ze studie:



obr. 2-10 Naměřené hodnoty čištění a opotřebení

Jako nejúspěšnější byla vyhodnocena pasta Curaprox a Swiss Smile. Vykazují vysokou účinnost čištění, zároveň podstatně nižší opotřebení než u pasty Elmex nebo Lavera. Vyhodnocené poměry jsou tedy užitečné k určení, zda je abrazivita dané pasty na místě, pokud totiž pasta vykazuje vysokou schopnost opotřebit materiál a zároveň má nízkou účinnost, není tato pasta ideální. Přidáním nových brusiv do past by do budoucna bylo možné zvýšit účinnost čištění při zachování nízkého abrazivního účinku.

Schemehorn [21] zkoumal vlastnosti čistících, bělicích a leštících zubních past. Byl pozorován vztah mezi abrazivitou a schopností odstraňování skvrn. Šlo o nalezení past s dobrou účinností při minimalizaci opotřebení. Pro testování odstraňování skvrn bylo využito 26 zubních past a 17 hovězích vzorků zubů, zasazených do protéz s odkrytými vyhlazenými povrchy. Následovalo dvojí leptání v chlorovodíku, barvení a vysoušení. Podmínky barvení jsou uvedeny v tabulce 2-6:

Tabulka 2-6: Podmínky barvení vzorků

Doba barvení [dny]	Lázeň	Počet výměn lázně	Teplota [°C]	Množství [ml]
10	instantní káva, čaj, červené víno, sójový bujón s naočkovanou bakterií	10 (1x/den)	37	300

Při výměně byly vzorky očištěny a od 11. dne byl přidáván jako barvivo chlorid železitý. Vzorky byly rozděleny do 16 skupin podle hodnoty zbarvení měřené na spektrofotometru. Čištění probíhalo na čistícím zařízení V-8 s kartáčky vybavenými nylonovými štětinami. Podmínky čištění zobrazuje tabulka 2-7:

Tabulka 2-7: Podmínky experimentu čištění

Zubní kartáček	Složení směsi	Počet tahů kartáčku	Abrazivum
Oral-B 35 Soft	25 g zubní pasty 40 g deionizované vody	800	pyrofosfát vápenatý v poměru 1:5 s 0,5% roztokem karboxymethylcelulózy

Po čištění bylo znovu měřeno obarvení a rozdíly před a po měření udávaly schopnost odstranění skvrn a bělení dané pasty. Testování abrazivity probíhalo na lidských vzorcích dentinu s podmínkami čištění jako v tabulce 2-7. Následně byly vyhodnoceny úbytky materiálů (metoda hloubky řezu). Poslední částí studie bylo měření leštícího účinku pomocí reflektometru. Lesk byl vyhodnocen jako odražené světlo od zubů pod úhlem 60° ve vzdálenosti 5 mm.

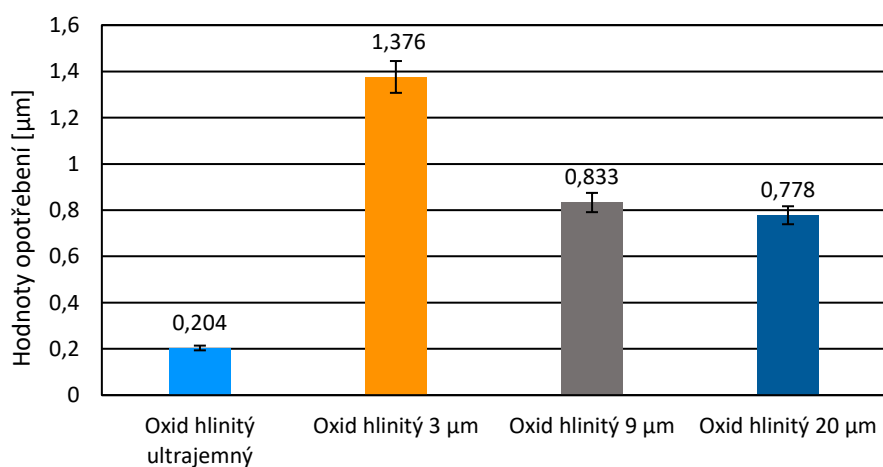
Bylo zjištěno, že abraze dentinu zubních past, schopnost odstraňování skvrn a schopnost leštění nevykazují přímý vztah. Ne všechny bělicí pasty s vyššími hodnotami RDA způsobovaly vyšší abrazi dentinu. Stejně tak některé lešticí pasty neměly vysoké lešticí účinky. Jako nejúčinnější abrazivum byl vyhodnocen kaolínový jíl.

Wang [23] zkoumal 4 různé velikosti abraziv a jejich vliv na opotřebení, leštění povrchu a odstraňování skvrn. Jako abrazivum byl použit oxid hlinitý – ultrajemný a dále o velikostech 3 μ m, 6 μ m a 9 μ m. Velikost částic byla měřena pomocí laserového zařízení Malvern Mastersizer 2000. Morfologie se měřila skenovacím elektronovým mikroskopem SEM, EVO M110. Bylo využito 8 vzorků hovězích řezáků o velikosti 12x18 mm, zasazených do bloků epoxidových pryskyřic, leštěných a broušených pro hladký povrch. Barvení proběhlo v barvicí směsi v deseti vrstvách. Před nánosem každé další vrstvy probíhalo sušení předchozí vrstvy při 40 °C po dobu 10 minut. Čištění zprostředkoval simulátor s kartáčkem Oral-B P35 medium a do každého bloku se vzorkem byla nalita směs brusiva (1%), glycerolu (10%) a kyrboxymethylcelulózy (0,5%) – 150 g. V tabulce 2-8 přikládám experimentální podmínky čištění:

Tabulka 2-8: Experimentální podmínky čištění

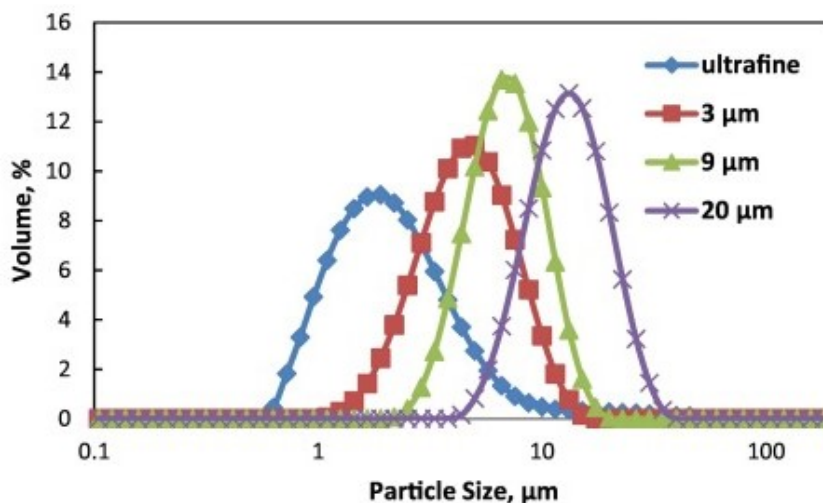
Frekvence [Hz]	Počet tahů kartáčku	Teplota [°C]
2	10 000	20

Topografie povrchů byly měřeny profilometrem Talysurf Series 2 a lesk povrchu leskoměrem Novo-Curve. Schopnost odstraňování skvrn vyhodnotil spektrofotometr před a po barvení a po simulaci čištění. U všech testovaných vzorků se hloubka opotřebení zvyšovala s počtem tahů kartáčku. Výsledky opotřebení pro daná abraziva jsou zobrazeny na obr. 2-13:



obr. 2-11 Graf znázorňující hodnoty opotřebení pro dané velikosti vzorků

Na základě výsledků byla potvrzena existence kritické velikosti částic, při které je maximální úbytek materiálu. Částice oxidu hlinitého o velikosti 3 μm prokázaly nejvyšší schopnost abraze a nejlépe odstraňovaly skvrny. Při vysoké účinnosti čištění není ale vždy vysoká abrazivita. Rozdílné výsledky může způsobovat typ abraziva nebo povrch a velikost částic. Pro abrazivní účinky, leštění a odstraňování skvrn byla nalezena závislost na velikosti částic a potvrzena kritická velikost částic, pro které jsou zmíněné vlastnosti past maximální. Závislosti opotřebení na kritické velikosti přikládám v obr. 2-14:



obr. 2-12 Závislost opotřebení na kritické velikosti částic

Johannsen [6] vyhodnocoval abrazivitu odlišných zubních past za použití stejných metod kvalitativně i kvantitativně. Z hlediska kvantitativního zjistit, zda pasty s vyšší hodnotou RDA způsobují větší úbytek materiálu a z hlediska kvalitativního popsat konečnou drsnost povrchu. Byly použity vzorky hovězích zubů o velikosti 115x25x3 mm, zasazené do akrylových dlah, 16 zubních past a 4 z toho leštící. Hodnoty RDA byly zjištěny od výrobců. Podmínky měření jsou zobrazeny v tabulce 2-9:

Tabulka 2-9: Experimentální podmínky měření

Zatížení [N]	Frekvence [tahy/hod]	Doba působení kartáčku [min]	Dráha posuvu [mm]	Složení roztoku
2,35	4000	360	85	25 g zubní pasty, 50 ml vody

Po hodině byly vzorky opláchnuty a směs vyměněna. Měření odpovídá čištění zubů po dobu 2 let 2x denně. Po 1 hodině a 6 hodinách proběhla analýza vzorků na profilometru P15, KLA Tencor Corp pro vyhodnocení drsnosti povrchu a úbytku objemu.

Níže přikládám tabulku 2-10 s výsledky pro dvě pasty se stejnými abrazivy (pumica powder).

Tabulka 2-10: Výsledky měření pro pasty s RDA 170 a 250:

Hodnota RDA	Ra, μm (1 h)	Ra, μm (6 h)	Vol mm^3 (1 h)	Vol mm^3 (6 h)
170	1.01 \pm 0.22	8.99 \pm 1.55	3.71 \pm 0.17	20.20 \pm 2.41
250	0.63 \pm 0.26	7.83 \pm 5.89	2.15 \pm 1.41	14.79 \pm 11.76

Pro pastu s hodnotou RDA 170 byla vyhodnocena vyšší drsnost povrchu i objemový úbytek v porovnání s pastou o hodnotě RDA 250. U pasty s RDA 124 byl též pozorován nižší úbytek i drsnost než u pasty s RDA 120. Možné vysvětlení je použití silikonového oleje v této pastě, který snižuje míru opotřebení. Výsledky úbytku v závislosti na čase nebyly lineární – pasty po 1 a 6 hodinách měly jiné pořadí objemového úbytku. Nebyl nalezen konkrétní vztah mezi hodnotami RDA, drsností povrchu a úbytkem materiálu. Pro bělicí pasty nebyly zjištěny výrazné úbytky materiálu či vysoké hodnoty drsností, nemusí být tedy tak škodlivé, jak některé zdroje uvádí.

Camargo [16] se ve své studii zabýval výzkumem abrazivních účinků oxidu křemičitého a uhličitanu vápenatého. Abrazivita byla zkoumána radiometrickou metodou, která spočívala v čištění zubů směsí s referenčním materiálem (pyrofosfát vápenatý), abrazivními částicemi nebo zahušťovadlem, které obsahovalo menší množství abraziv.

Referenční materiál byl použit pro redukci nepravidelných profilů nově modelovaných vzorků a každý vzorek jím byl čištěn 6000 tahů. Měřeny byly vzorky lidského dentinu předem čištěny ve 4% roztoku formaldehydu, ve kterém byly hodinu ozařovány jaderným výzkumným reaktorem IEA-R1 při teplotě nižší než 40 °C. Aby vzorky nebyly poškozeny gama zářením, byly po ozáření odebrány z aktivní zóny a následně omyty vodou. Dalším krokem bylo čištění zubů směsí abraziv nebo zahušťovadlem 1000 tahů, vzorky byly vloženy do formy a akrylové pryskyřice, upevněné v držáku čistícího přístroje. Zařízení bylo vybaveno kartáčky s nylonovými štětinami střední tvrdosti. Čištění proběhlo s frekvencí 125 tahů/min a tlak na kartáček korespondoval s hmotností 150 g. Vzorky byly nejprve čištěny směsí s referenčním materiálem, kterou tvořilo 10 g referenčního materiálu (při dalším měření 10 g abraziv) a 50 ml ředidla. V případě zahušťovadla to bylo pouze 5 g vzhledem k většímu objemu. Díky ozáření se stal fosfor v dentinu radioaktivní složkou a přenášel radioaktivitu během čištění do suspenze. Z každé směsi byly odebrány 3 ml a sušeny v peci při teplotě 60 °C. Beta radiace suspenzí byla měřena scilintačním detektorem. Hodnota RDA pro referenční materiál byla 100 dle normy ISO 11609. Velikosti částic oxidu křemičitého a uhličitanu vápenatého byly měřeny serigrafickou metodou a tvar částic pomocí elektronového mikroskopu.

V tabulce 2-11 jsou přiloženy výsledky studie:

Tabulka 2-11: Výsledky studie

Vzorky	Oxid křemičitý (abrazivní směs)			Oxid křemičitý v zahušťovadle			Uhličitan vápenatý		
	hodnoty RDA	136 ± 8	94 ± 6	85 ± 10	7 ± 1	6,6 ± 1	5,5 ± 2,1	54 ± 4	24 ± 2
velikost částic [µm]	4,26	3,21	2,54	1,20	0,31	0,32	3,13	1,77	1,49

RDA bylo vyhodnoceno jako poměr radioaktivní složky fosforu pro opotřebený a referenční materiál ve směsi po čištění. Byl nalezen vztah, kde s rostoucí velikostí částic roste i hodnota RDA. Různé druhy abraziv s podobnou velikostí ale vykazovaly jiné hodnoty RDA. Oxid křemičitý projevil vyšší opotřebením. Proto byly zkoumány také tvary, což odhalilo větší seskupování částic oxidu křemičitého. To by mohlo mít vliv na vyšší míru opotřebením. Podle některých studií dokonce vyšší nepravidelnost uspořádání zvyšuje abrazi. Zjištěn byl i nárůst RDA s množstvím částic. Hodnoty RDA tedy stoupají s velikostí a množstvím částic, nicméně je důležité brát v úvahu též tvar a rozložení abraziv.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Z rešeršní části vyplývá současný trend výzkumu tribologických vlastností v dutině ústní. Každá z částí tribologické soustavy, kterou v našem případě tvoří zubní kartáček, zubní pasta a vzorek zubní výplně, hraje důležitou roli při měření tření a opotřebení. Modifikací složek soustavy lze dosáhnout odlišných výsledků. Pro testy na tribometrech jsou stanoveny podmínky měření, které lze též modifikovat. Pro vyhodnocení opotřebení se využívá metoda hloubky řezu nebo metoda radiometrická.

Na základě analýzy vědeckých publikací je možno potvrdit významnost abrazivních částic v pastách z hlediska opotřebení. Nebyl konkretizován vztah mezi mírou abrazivity zubních past a opotřebením. Dvě z vybraných publikací potvrzují existenci vztahu mezi opotřebením a velikostí částic, jedna z nich i vliv množství částic na opotřebením. Tyto faktory jsou obecně zahrnuty do měřených hodnot RDA. Výsledky opotřebení se však liší pro různé druhy abrazivních částic a byly zjištěny další ovlivňující faktory, jako například tvar, míra seskupování a uspořádanost částic nebo přítomnost olejů v pastách. V původní rešeršní části dokonce některé zdroje uvádí, že opotřebením je ovlivněno také štěpností, tvrdostí a drobivostí částic nebo i hustotou zubní pasty. Důležitým faktorem při zkoumání abrazivity je dále účinnost pasty při srovnání s mírou opotřebení. V současné době je snaha o nalezení účinně čistících past při zachování nízkého abrazivního účinku. Publikace byly vybrány za účelem inspirace pro navržení podmínek experimentu a také pro přiblížení existence významnosti hodnoty RDA v souvislosti s opotřebením.

3.2 Cíl práce

Hlavním cíle této práce byla analýza součinitele tření a opotřebení mezi kartáčkem, vzorkem kompozitního materiálu zubní výplně a roztokem tvořeným umělými slinami a zubní pastou s různou mírou abrazivity. V návaznosti na hlavní cíl byl jako dílčí cíl návrh podmínek pro měření na tribometru Bruker UMT TriboLab, vlastní realizace experimentu a následné vyhodnocení součinitele tření a úbytku materiálu výplně. Na základě naměřených výsledků poté objasnit, zda má hodnota abrazivity vliv na opotřebením zubních výplní a dále v souladu s publikacemi potvrdit či vyvrátit existenci vztahu mezi hodnotou RDA a opotřebením, popřípadě uvést možné další ovlivňující faktory.

4 MATERIÁL A METODY

4.1 Experimentální zařízení

4.1.1 Tribometr Bruker UMT TriboLab

Proces čištění byl měřen na zařízení tribometr Bruker UMT Tribolab (obr.4-1) v tribologické laboratoři na ÚK. Zařízení je velmi přesné v porovnání s jinými tribometry, a to především díky vyšším rychlostem, přesnějšímu měření sil a většímu točivému momentu. Pracuje na platformě Universal Mechanical Tester (UMT) a je používán v odvětvích jako je např. automobilový průmysl, letectví, výroba motorů nebo biomedicína. V této práci sloužil pro měření tribologických a mechanických vlastností [24][25].



obr. 4-1 Tribometr Bruker UMT TriboLab s moduly [26]

Důležitou součástí jsou výměnné moduly v horní a dolní části tribometru, díky kterým jsme nastavili potřebné podmínky pro experiment. Horní moduly jsou testovací sondy vybaveny citlivými senzory pro záznam kroutícího momentu a působících sil. V dolní části je při mém experimentu využit reciproční modul, zobrazen na obr. 4-1 v dolní části, který zajistí lineární oscilační pohyb. Tento modul je vhodný pro testování abrazivního opotřebení [24][27].

4.1.2 Optický profilometr Contour GT-X Bruker

Analýza topografie povrchu byla měřena na optickém profilometru Contour GT-X Bruker v laboratoři tribologie na ÚK (obr. 4-2). Při analýze jsme využili software Bruker Vision64. Zařízení slouží pro bezkontaktní měření povrchu a funguje na principu skenovací interferometrie. Součástí profilometru je velký naklápěcí stůl, vzduchový izolační stolek a naklápěcí hlava. V horní části je otočný adaptér, na kterém jsou upevněny interferometrické objektivy. Díky schopnosti naklápění hlavy, samokalibrační laserové referenci a rozpoznávání vzorku umožňuje profilometr velmi přesnou analýzu povrchu [27][28].



obr. 4-2 Optický profilometr Contour GT-X Bruker [27]

4.2 Experimentální podmínky

Podmínky experimentu částečně vycházely z publikací a současných výzkumů. Během experimentu byla provedena simulace čištění na tribometru s podmínkami jako jsou v tabulce 4-1:

Tabulka 4-1: Podmínky experimentu

Zatížení [N]	Frekvence [Hz]	Doba působení kartáčku [min]	Dráha posuvu [mm]
4	2	260	10

Doba působení kartáčku odpovídá čištění jedné plošky zubu po dobu 8,5 let při zubní hygieně 2x denně. Zároveň to odpovídá čištění 28 zubů po dobu 45 dní, což je bráno jako doba pro doporučenou výměnu kartáčku [19].

Vždy byl použit stejný druh kartáčku, výplňového materiálu a 3 zubní pasty s různou mírou abrazivity od odlišných výrobců. Tabulka 4-2 zobrazuje komponenty s vlastnostmi využití při měření:

Tabulka 4-2: Využití komponenty při experimentu

Druh kartáčku	Výplňový materiál	Zubní pasta	Počet opakování	Hodnoty RDA
		Colgate Total Whitening		142
Curaprox 5460	Nanohybridní kompozitní materiál Tetric EvoCeram	Sensodyne Herbal Fresh	3	61
		Elmex Sensitive		30
		Umělé sliny		[-]

4.3 Použité zubní pasty a jejich abrazivní částice

Měření probíhalo ve čtyřech sériích, každá obsahovala 3 experimentální měření. Tři série byly měřeny v přítomnosti umělých slin smíchaných se zubními pastami s různou mírou abrazivity a čtvrtá série pouze v přítomnosti umělých slin. Měření se slinami sloužilo především po porovnání, zda je hodnota RDA past významná z hlediska opotřebení. Každá z past obsahovala abrazivní částice, které přikládám v tabulce 4-3:

Tabulka 4-3 Abrazivní částice použitých zubních past

Zubní pasta	Typ abrazivních částic
Colgate Total Whitening	hydratovaný oxid křemičitý, pyrofosfát vápenatý
Sensodyne Herbal Fresh	hydratovaný oxid křemičitý
Elmex Sensitive	hydratovaný oxid křemičitý

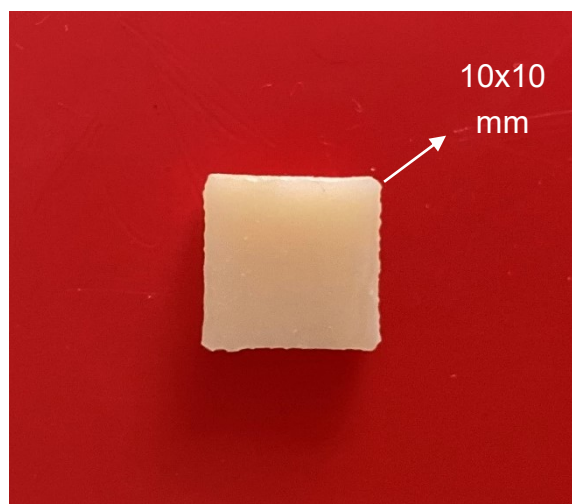
Jak již bylo zmíněno výše, při experimentu byly využity 3 pasty s odlišnou hodnotou RDA. Zubní pasty využitě při měřeních můžeme vidět na obr. 4-3:



obr. 4-3 Zubní pasty využitě při experimentu [28] [29] [30]

4.4 Příprava vzorků

V rámci práce byl testován vzorek kompozitního nanohybridního materiálu Tetric EvoCeram. Všechny vzorky využitě při měření poskytl pan MDDr. Petr Šikula a byly připraveny na Stomatologické klinice Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně. Zubní výplně byly zhotoveny pomocí silikonové formy a každý z nich měl tvar kvádrů o rozměrech 10x10x3 mm.



obr. 4-4 Detail vzorku s rozměry

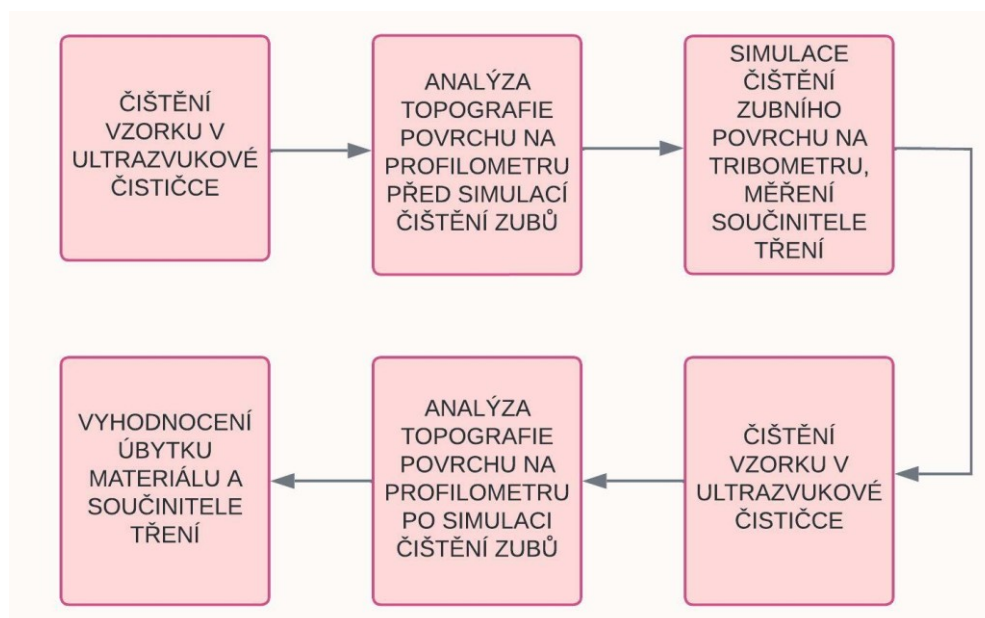
V rámci přípravy každého vzorku proběhla polymerace po dobu 20 s ve dvou vrstvách. Druhá polymerace musela být provedena přes krycí sklíčko pro dosažení hladkého povrchu a následně lepší zisk snímků při skenování topografie povrchu na optickém profilometru. Nebyly tak nutné další povrchové úpravy. K polymeraci byla použita VALO LED lampa o výkonu 1000 mW/cm^2 a spektru vlnových délek 390–480 nm.

Vzorky byly skladovány 31 dní v roztoku umělé sliny (natrii chloridum 0,843 g, kalii chloridum 1,2 g, magnesii chloridum $\times 6\text{H}_2\text{O}$ 0,051 g, calcii chloridum $\times 2\text{H}_2\text{O}$ 0,146 g, natrii fluoridum 0,22 g, dinatrii phosphas $\times 12 \text{H}_2\text{O}$ 0,703 g, sorbitolum 30 g, carmellosum natrium 10 g, aqua conservans ad 1000 g) při teplotě 37 °C.

4.5 Postup experimentu

Celé měření proběhlo v postupných krocích, které byly opakovány pro každý vzorek. Postup měření uvádím v následujících bodech:

1. Čištění vzorku v ultrazvukové čističce v isopropylalkoholu
2. Analýza topografie povrchu na optickém profilometru Controur GT-X Bruker před měřením simulace čištění zubů
3. Příprava tribometru UMT TriboLab
 - a. Upnutí testovací sondy s rozsahem zatížení do 50 N
 - b. Upnutí recipročního modulu s upínací deskou
 - c. Aktivace zařízení
 - d. Nastavení dráhy posuvu 10 mm
4. Připnutí upínače s kartáčkem k testovací sondě
5. Upnutí vnější a vnitřní vany k upínací desce
6. Vložení podkladové destičky, vzorku a krytí do vnitřní vany
7. Vsunutí topných patron (37 °C) do vnější vany, přiložení krytu na vnitřní vanu
8. Dodání směsi zubní pasty a umělých slin
9. Aktivace skriptu v softwaru UMT
10. Průběh simulace čištění na tribometru Bruker UMT TriboLab po dobu 260 minut, získání dat pro vyhodnocení průběhu součinitelů tření
11. Čištění vzorku v ultrazvukové čističce v isopropylalkoholu
12. Analýza topografie po simulaci čištění zubů
13. Odečtení snímků, vyhodnocení úbytku materiálu vzorku zubní výplně

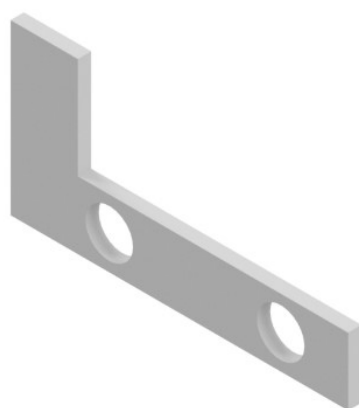


obr. 4-5 Schématické zobrazení hlavních částí experimentu

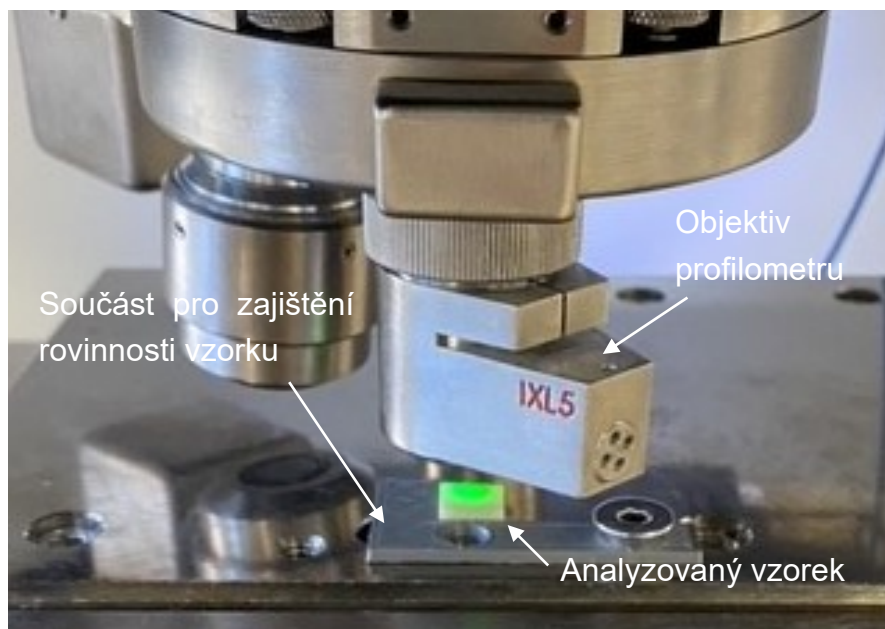
4.5.1 Detailní popis měření

Prvním krokem každého experimentu bylo očištění vzorku v ultrazvukové čističce ve 20 ml roztoku isopropylalkoholu po dobu 10 minut. Před měřením simulace čištění bylo nutno udělat analýzu topografie povrchu vzorku na optickém profilometru pro získání snímku, který byl následně použit při vyhodnocování úbytku materiálu. Pro zajištění rovinnosti při pořizování snímku na profilometru byla vymodelována plastová součást (obr. 4-6) v programu Inventor, vytištěna na 3D tiskárně.

Pomocí šroubů s válcovou hranou a vnitřním šestihranem jsme ji připevnili k profilometru (obr. 4-7) a zajistili tak nehybnost a rovinnost vzorku při analýze, která byla důležitá při vyhodnocování.

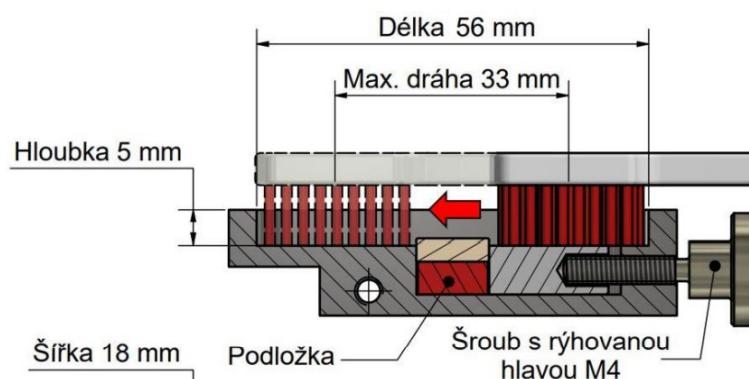


obr. 4-6 Součást pro zajištění rovinnosti vzorku na profilometru



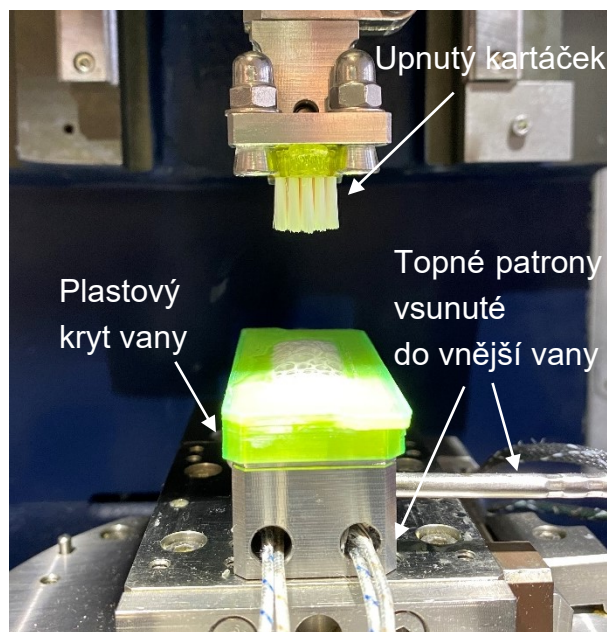
obr. 4-7 Umístění součásti se vzorkem pod objektivem profilometru

Následovala příprava zařízení tribometru. Pro naše měření byla upnuta v horní části sonda se zatížením do 50 N. Při simulaci čištění byl kartáček v horní část tribometru v nehybné poloze a lineárně vratný pohyb konal reciproční modul s upevněnou vanou a vzorkem zubní výplně (obr. 4-8), kdy dráha posuvu byla 10 mm. Abychom nastavili tuto dráhu, tribometr musel být v aktivovaném stavu. Pomocí platformy Universal Mechanical Tester jsme byli schopni se zařízením manipulovat, nastavit reciproční modul do maximální výchylky a naměřit tak přesnou dráhu posuvu 10 mm.



obr. 4-8 Zobrazení nehybné polohy modulu a pohybu kartáčku [24]

Dále bylo nutno dostat kartáček do polohy nad vzorek výplně (obr. 4-9), aby netřel štětinami o vnitřní plochy vany. Manipulace opět probíhala přes platformu UMT, která umožňovala horizontální a vertikální pohyb sondy, na níž byl připevněn upínač kartáčku.



obr. 4-9 Upnutí kartáčku do upínače nad vanu se vzorkem

Do upínače byla přiložena hlavice kartáčku tak, že krček sedá mezi dva šrouby se zkosením (obr. 4-9). Při měření byla odříznuta rukojeť kartáčku, abychom zabránili kontaktu se spodní částí vany a vzniku nechtěného tření. Senzory sondy pro záznam sil a součinitele tření jsou totiž velmi citlivé.

Upínání vnější vany k desce bylo zhotoveno pomocí 2 šroubů se zbrúšenou hlavou. Do vnitřní vany pod každý vzorek byla vložena podložka (obr. 4-7) pro zajištění pozice vzorku tak, aby byl vyvýšen vůči spodní ploše vnitřní vany. Na vzorek byla přiložena vymodelovaná kovová součást (obr. 4-10), která sloužila jako krytí pro získání referenčních hladin při pozdější analýze topografie povrchu. Z každé strany vzorku při čištění jsou tak zakryty 2 mm, na kterých nedochází k opotřebení a od kterých později měříme úbytek materiálu vůči neopotřeбенému povrchu vzorku. Posledním krokem bylo přiložení plastového krytu vany, aby nám směs při experimentu nevytékala z vany (obr. 4-9).



obr. 4-10 Detail krytí vzorku

Pro přiblížení podmínkám jako jsou v dutině ústní byl nastaven regulátor teploty Hotset na teplotu 37 °C. Regulátor je zakončen topnými patronami, které jsou vsunuty do vnější vany (obr. 4-9). Následovalo nalití roztoku slin s pastou do vnitřní vany, který tvořilo 5 ml umělých slin a 1 g zubní pasty. Gramáž pasty byla měřena v laboratoři na váze s přesností 0,01 g. Po 130 minutách měření jsme vanu doplnili stejným množstvím roztoku, aby nedošlo k vyschnutí. Poté už proběhla aktivace skriptu v softwaru UMT a měření bylo spouštěno.

Po ukončení měření jsme získali potřebná data na vyhodnocení a vzorek byl opět čištěn v isopropylalkoholu před závěrečnou analýzou topografie, po níž následovalo vyhodnocování úbytku materiálu.

4.5.2 Vyhodnocení součinitele tření

V programu Viewer jsme po simulaci čištění získali časové průběhy součinitele tření, které bylo možné vyexportovat do formátu .csv a pracovat s nimi dále v programu Excel. Měření trvalo 260 minut, vyšlo tedy velké množství dat, jež bylo nutné několikanásobně filtrovat.

Součinitel tření jsme vyhodnocovali graficky nejdříve jako časové průběhy pro měření s vybranými pastami a umělými slinami a následně jako průměrné hodnoty pro porovnání.

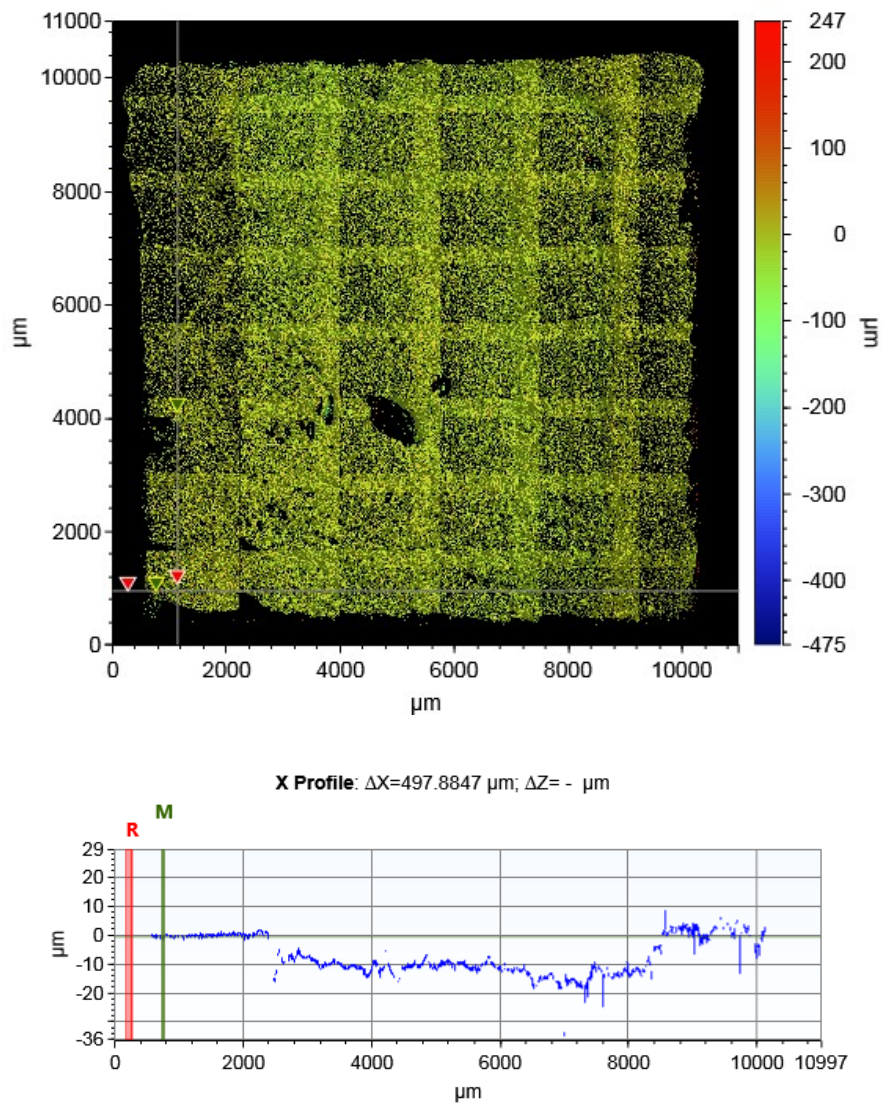
4.5.3 Vyhodnocení úbytku materiálu

Při analýze topografie byly naskenovány vzorky před a po měření simulace čištění na tribometru. Z profilometru jsme prvotně získali extrahovaný profil (abstrakce skutečnosti), který byl vzorkován podle šířky pásma přístroje [32]. Naše vzorkování je vidět ve tvarech čtverečků na přiložených snímcích (obr. 4-11 a 4-12). Profil byl proložen rovinou pro vyrovnání a poté byly použity vyhlazovací filtry textury povrchu, které jsou důležité pro oddělení vlnitosti od drsnosti povrchů.

Pro zjištění úbytku byla zvolena metoda odečtení povrchů a metoda hloubky řezu. Díky krytí vzorku (obr. 4-10) při čištění bylo možné získat referenční plochy. Snímky získané před a po simulaci čištění byly v programu přiloženy na sebe. Následovalo odečtení povrchů, po kterém byl snímek znovu proložen rovinou pro zarovnání textury referenčních hladin, jež byly po odečtení maskovány. Objemový úbytek se bral jako rozdíl neopotřebeného objemu snímku před simulací čištění a opotřebeného objemu po čištění. Poté jsme mohli určovat v programu Bruker Vision 64 různé parametry včetně pro nás podstatného objemového úbytku. Pro přehled uvádím hlavní body vyhodnocování na optickém profilometru Contour GT-X Bruker.

1. Analýza vzorku před měřením simulace čištění
2. Analýza vzorku po měření simulace čištění
3. Odečtení povrchů

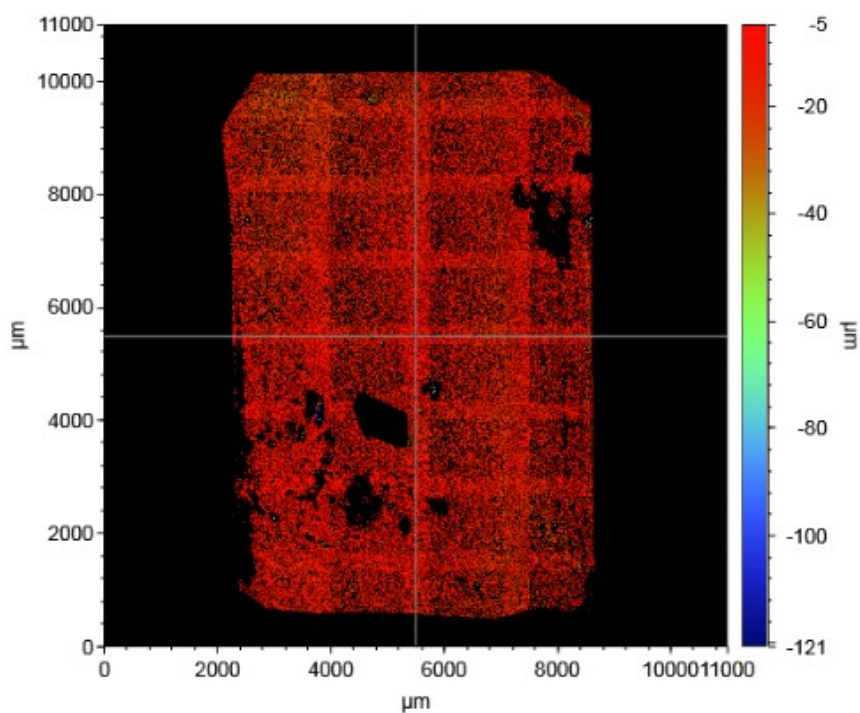
V tomto případě přikládám na obr. 4-12 snímky vzorku ze 3. měření s pastou Colgate Total Whitening, RDA 142, kde bylo abrazivní opotřebenění na vzorcích nejlépe viditelné z důvodů vysoké míry abrazivity. V obrázku je též zobrazen řez vzorkem v x-ovém směru, kde je viditelný úbytek materiálu a také referenční hladiny 2 mm z každé strany vzorku.




obr. 4-11 Snímek po odečtení povrchů a řez vzorkem s nulovými referenčními hladinami

4. Maskování neopotřebené plochy
5. Vyhodnocení objemového úbytku

Zde je důležitá hodnota Net Missing Volume (obr. 4-12), která představuje objemový úbytek vzorku po odečtení povrchů a maskování neopotřebených ploch.



Analytical Results 		
Label	Value	Units
Natural Volume	284437872.64	μm^3
Negative Volume	511463227.392	μm^3
Net Missing Volume	511463227.392	μm^3
Normal Volume	3.849	μm^3
Positive Volume	0	μm^3
Total Displaced Volume	511463227.392	μm^3

obr. 4-12 Maskování neopotřeбенých ploch a vyhodnocení objemového úbytku

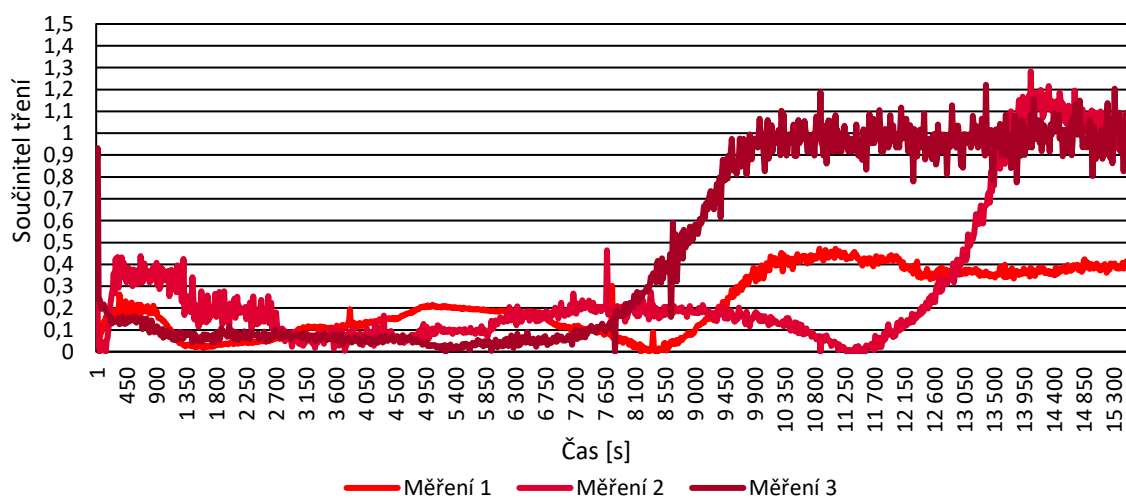
Z programu Bruker Vision 64 jsme získali hodnoty v jednotkách mikrometrů krychlových, výsledky objemového úbytku jsou uvedeny v milimetrech krychlových pro přehlednost v grafickém zobrazení. Dále byly vyhodnoceny průměrné hloubky opotřeбенých ploch, které byly vypočteny jako podíl objemového úbytku a opotřeбенé plochy vzorku.

5 VÝSLEDKY

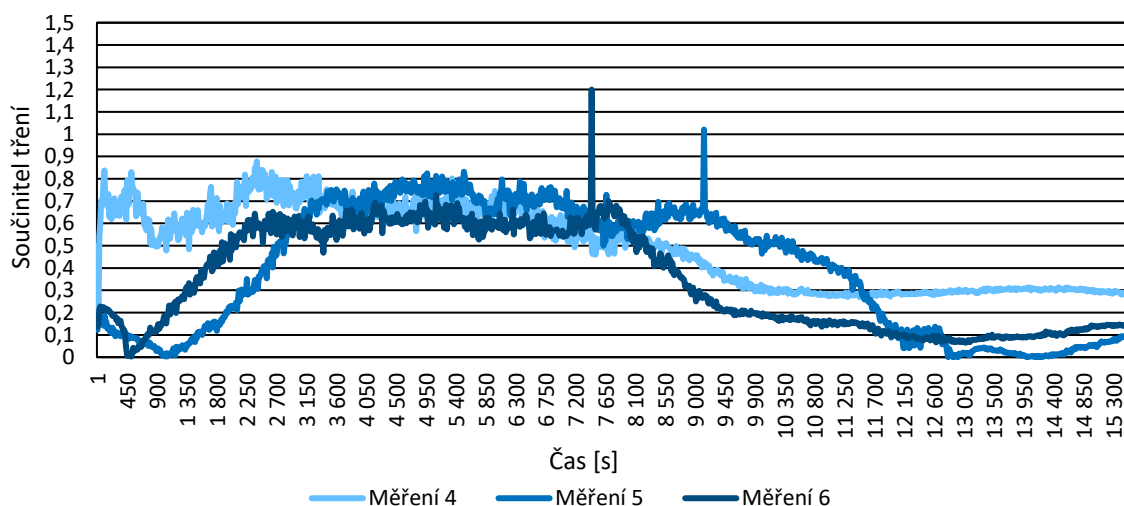
V následující kapitole budou uvedeny výsledné hodnoty a grafické zobrazení získané ze všech proběhlých měření.

5.1 Součinitel tření

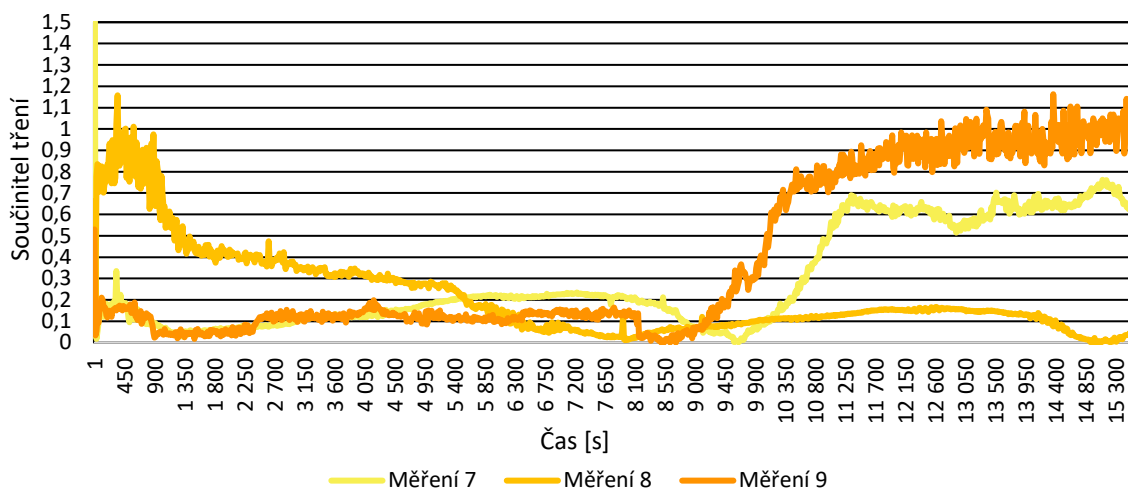
Grafy níže zobrazují průběhy součinitelů tření pro jednotlivé pasty a umělé sliny s trojnásobnou opakovatelností:



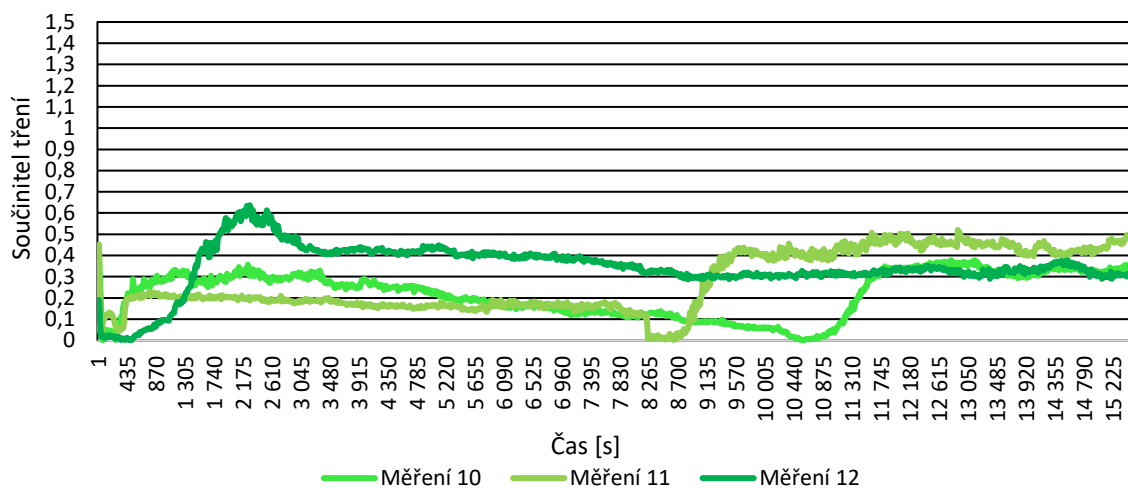
obr. 5-1 Časové průběhy součinitelů tření pro pastu Colgate RDA 142



obr. 5-2 Časové průběhy součinitelů tření pro pastu Sensodyne RDA 61



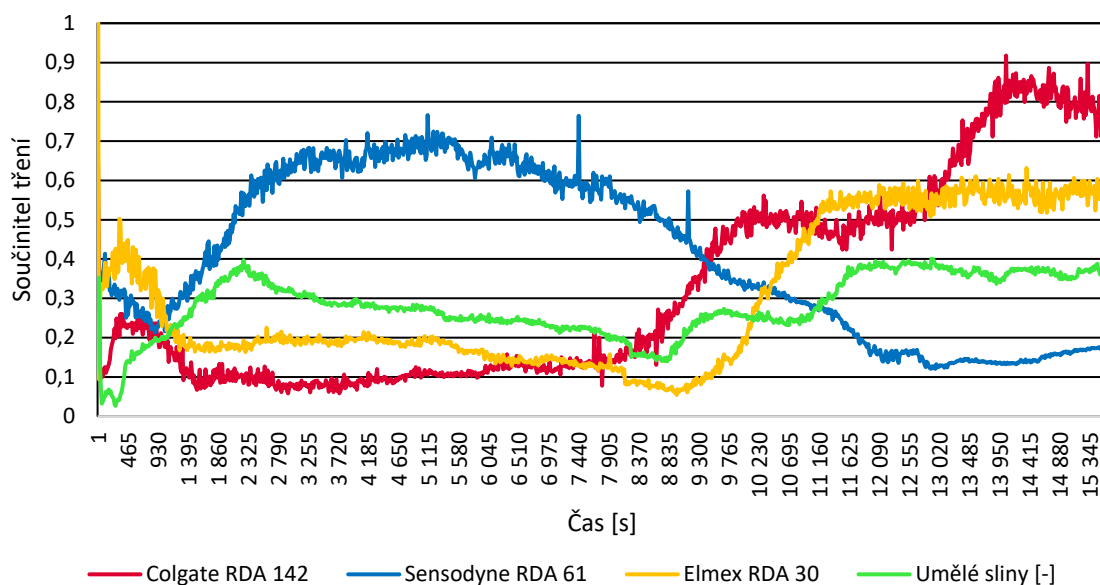
obr. 5-3 Časové průběhy součinitelů tření pro pastu Elmex RDA 30



obr. 5-4 Časové průběhy součinitelů tření pro měření pouze v přítomnosti umělých slin

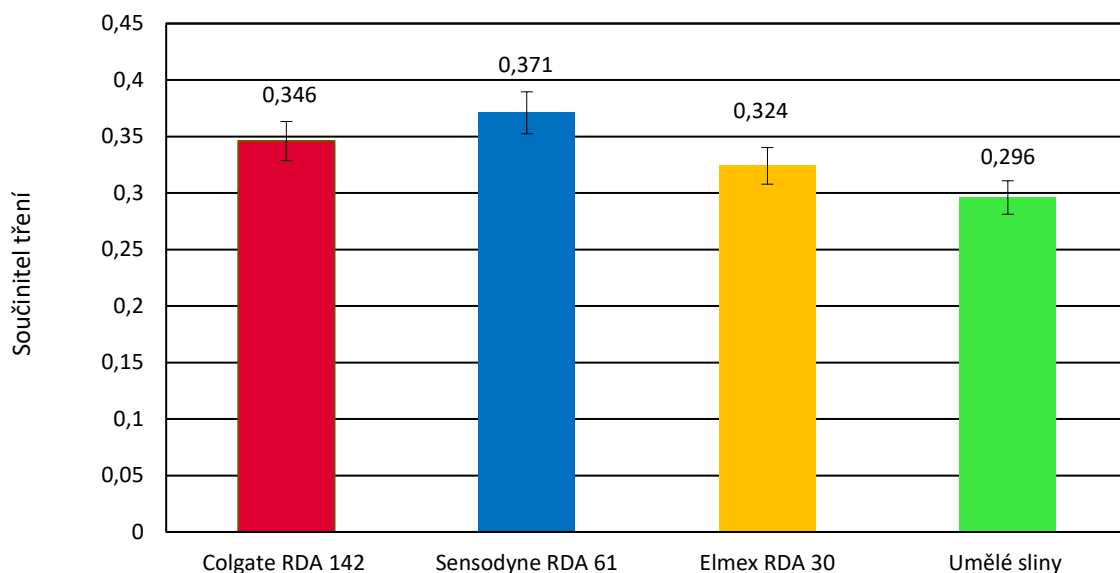
V obr. 5-5 můžeme vidět průměrné časové průběhy výše zobrazených součinitelů tření. Časové průběhy pro pasty Elmex Sensitive, Colgate Total Whitening a pro umělé sliny jsou na pohled podobné, můžeme pozorovat pokles součinitele na počátku, který souvisí s obroušením částic a následný růst do ustálené hodnoty. Tento růst se nazývá doba záběhu a pro kompozitní materiály je to zhruba 10 hodin [33]. V případě umělých slin jsou výchytky v průběhu součinitele menší než u zmíněných past, což je ovlivněno nepřítomností zubní pasty s abrazivními částicemi. Pasta Sensodyne vykazuje již na první pohled velmi odlišný průběh, na což se více zaměříme v dalších kapitolách a diskuzi.

Výsledky průměrných hodnot průběhů součinitelů tření jsou zobrazeny v obr. 5-5:



obr. 5-5 Graf znázorňující časové průběhy součinitelů tření

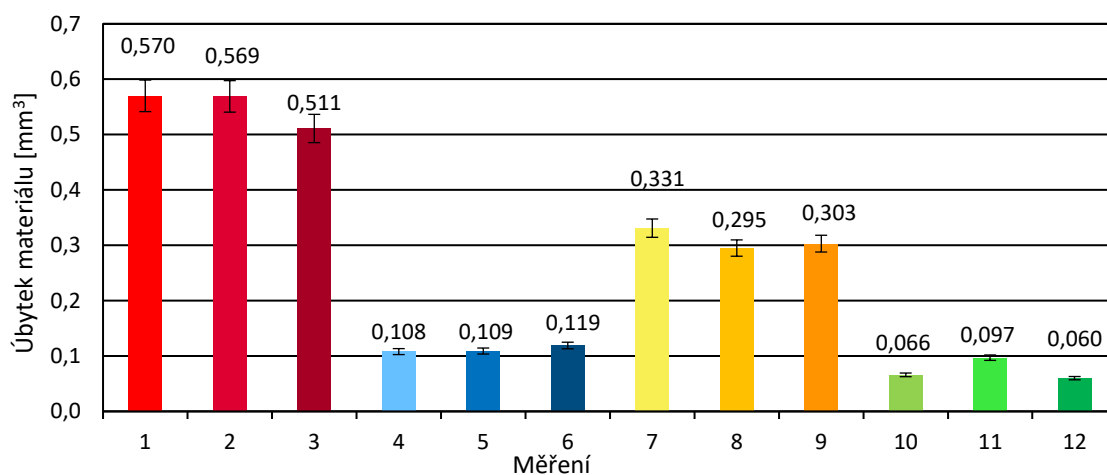
Z průměrných časových průběhů byly dále vyhodnoceny průměrné hodnoty součinitelů tření (obr. 5-6). V případě pasty Colgate Total Whitening vyšla průměrná hodnota součinitele tření 0,346. Pro pastu Elmex Sensitive s RDA 30 vyšla hodnota 0,324 a pro pastu Sensodyne Herbal Fresh pak 0,371. Pro měření tření při čištění pouze v přítomnosti umělých slin vyšel průměrný součinitel tření 0,296. Můžeme tak obecně pozorovat nižší tření bez přítomnosti zubních past s abrazivními částicemi.



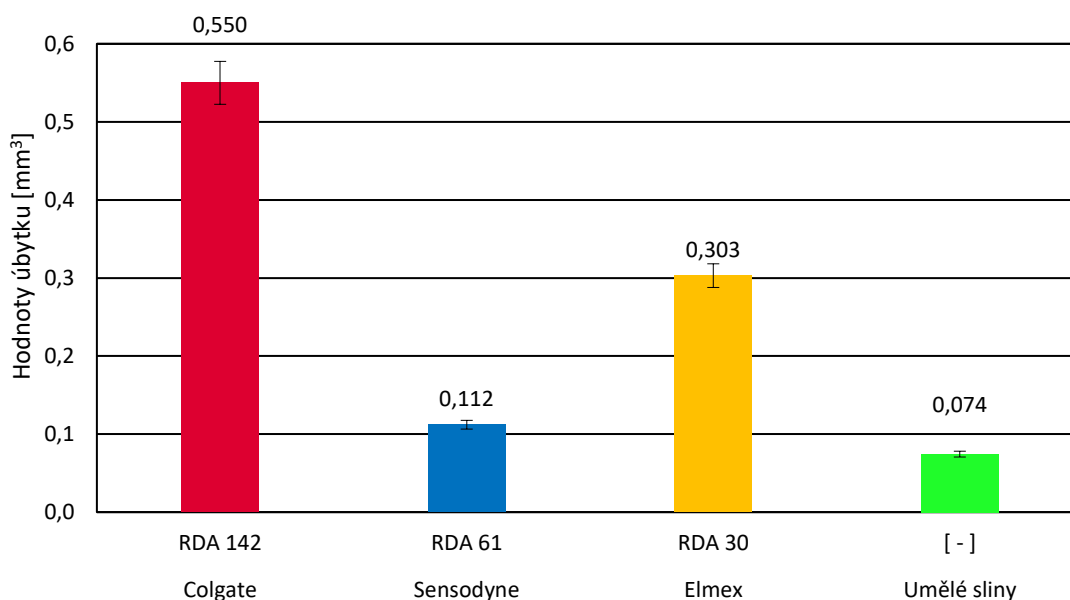
obr. 5-6 Graf znázorňující průměrné hodnoty součinitelů tření

5.2 Objemové úbytky výplňových materiálů

V obr. 5-7 jsou zobrazeny výsledky jednotlivých objemových úbytků pro všechna měření, které jsou následně v obr. 5-8 zprůměrované. Objemový úbytek pro pastu Colgate s nejvyšší mírou abrazivity vykazuje i nejvyšší hodnoty. Průměrná hodnota úbytku pro tuto pastu činí $0,55 \text{ mm}^3$, pro pastu Sensodyne $0,112 \text{ mm}^3$ a pro pastu Elmex $0,303 \text{ mm}^3$. Nejnižší hodnota opotřebení vyšla pro měření pouze s umělými slinami bez zubní pasty, a to $0,074 \text{ mm}^3$.



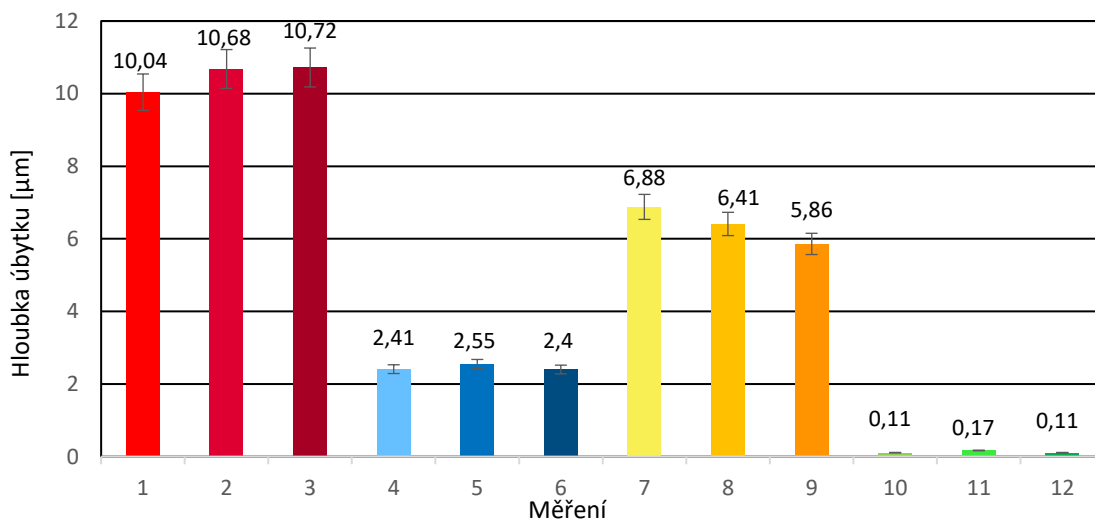
obr. 5-7 Objemové úbytky vzorků výplní pro každé měření



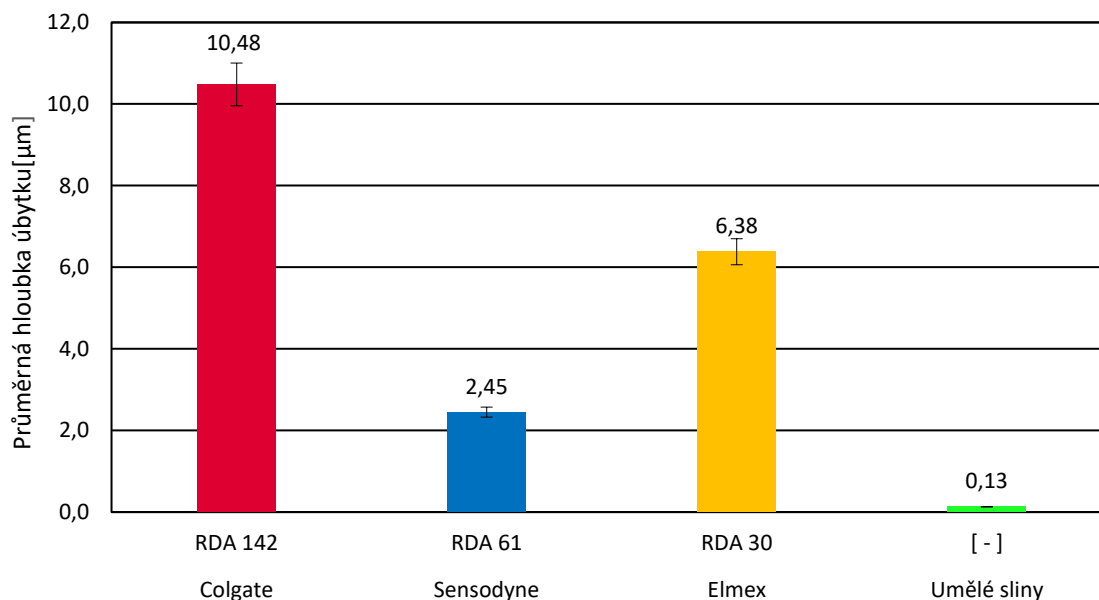
obr. 5-8 Graf znázorňující průměrné objemové úbytky vzorků zubních výplní

5.3 Průměrné hloubky opotřebených ploch

Pro porovnání výsledků s rešeršní částí přikládám na obr. 5-9 i hodnoty hloubky opotřebené plochy, jež jsou zprůměrované na obr. 5-10. V porovnání s předchozími grafy tyto výsledky korespondují s objemovým úbytkem materiálu. Nejvyšší hodnota vyšla pro pastu Colgate 10,48 μm , pro pastu Sensodyne 2,45 μm a pro pastu Elmex 6,38 μm . Nejnižší hodnota hloubky opotřebené plochy vyšla opět pro měření s umělými slinami bez zubní pasty, a to 0,13 μm .



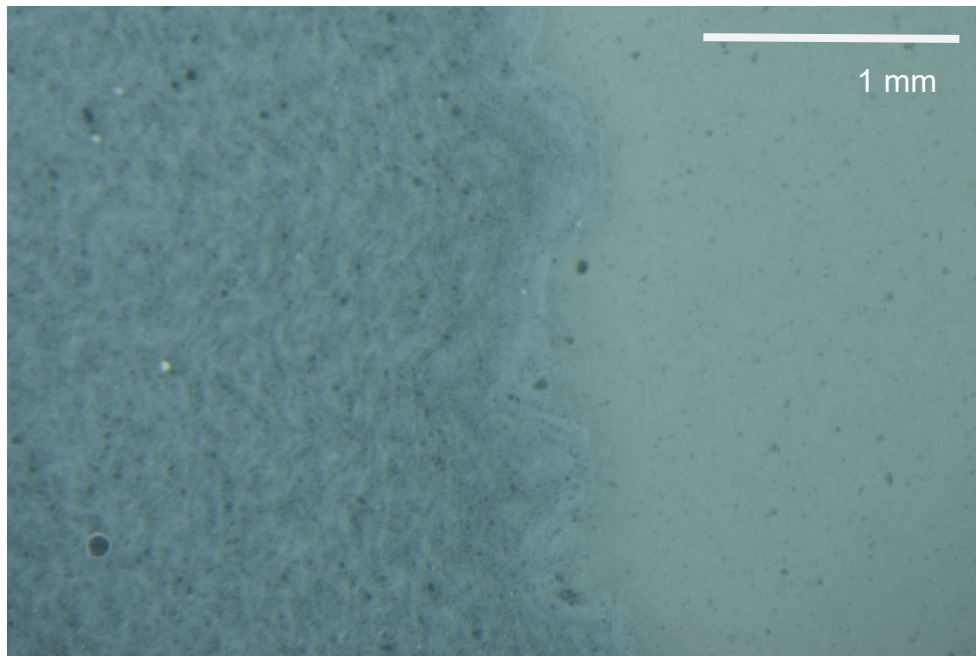
obr. 5-9 Hodnoty průměrných hloubek opotřebených ploch vzorků



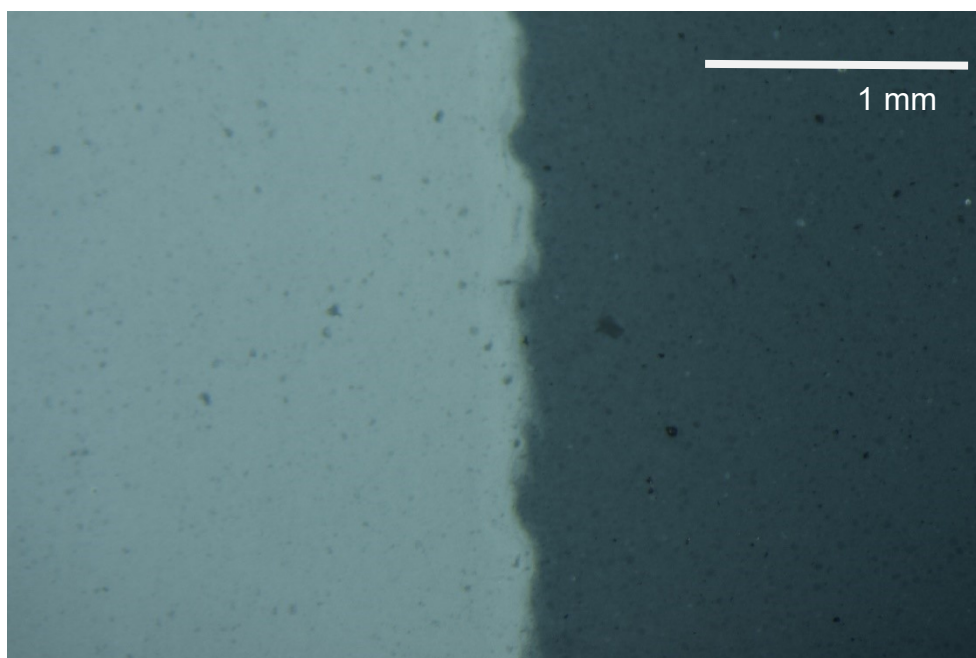
obr. 5-10 Průměrné hodnoty hloubek opotřebených ploch

5.4 Mikroskopické měření složení zubních past

Pro přiblížení složení a možného vysvětlení odlišných výsledků u pasty Sensodyne byly pasty ještě mikroskopovány nad rámec bakalářské práce. Mikroskopické snímky past s měřítkem jsou zobrazeny na obr. 5-11 a obr. 5-12:



obr. 5-11 Snímek past Sensodyne - RDA 61 (vlevo) a Elmex - RDA 30 (vpravo)



obr. 5-12 Snímek past Elmex - RDA 30 (vlevo) a Colgate - RDA 142 (vpravo)

6 DISKUZE

Po uvedení výsledků měření bylo prokázáno, že zde není konkrétní vztah mezi hodnotou abrazivity zubních past a mírou opotřebení vzorků zubních výplní kompozitních materiálů. Tento fakt vyvrátila zubní pasta Sensodyne Herbal Fresh, která prokázala i přes střední hodnoty RDA nejvyšší průměrnou hodnotu součinitele tření a nejnižší úbytek materiálů v porovnání s ostatními pastami. Můžeme ale potvrdit, že RDA zubních past je významná jak z hlediska součinitele tření, tak i z hlediska opotřebení. U součinitele tření přítomnost zubních past s abrazivy mírně zvyšovala průměrné hodnoty v porovnání s měřením pouze s umělými slinami a u opotřebení jsme mohli pozorovat výrazně vyšší hodnoty.

Všechny pasty obsahovaly jako abrazivum hydratovaný oxid křemičitý, jediná pasta Colgate Total Whitening obsahovala navíc pyrofosfát vápenatý. Pro tuto pastu vyšly nejvyšší hodnoty objemového úbytku i hloubky opotřebené plochy. Pozorované jevy vyšly nejnižší pro měření pouze s umělými slinami bez přítomnosti zubních past. Jak již bylo zmíněno výše, pasta vykazující poněkud odlišné výsledky byla Sensodyne Herbal Fresh. Jako jediná obsahuje dva druhy olejů pro esenci a zábranu vzniku zubního kazu. Přítomnost olejů by mohla korespondovat s nižším abrazivním účinkem, a tedy nižším úbytkem materiálu [6]. Časové průběhy součinitelů vykazují na počátku měření vychýlení a následný pokles, což popisuje obroušení abrazivních částic. Pro kompozitní materiály pak probíhá doba záběhu, tedy průběh součinitele mírně stoupá až do doby 10 hodin [33].

Pro bližší výzkum složení a vysvětlení výsledků proběhlo ještě mikroskopování nad rámec bakalářské práce. Pasta Sensodyne, jak můžeme vidět z mikroskopických snímků, vykazuje vyšší hustotu i viskozitu. Průměrná hodnota součinitele tření by tedy mohla být ovlivněna viskóznějším složením a vyšší hustotou [18]. V případě časového průběhu součinitele a odlišnosti u pasty Sensodyne je do budoucna nezbytný výzkum dalších vlastností abrazivních částic, které by mohly ovlivnit vychýlení v grafu.

Při měření, které trvalo 260 minut při frekvenci 2 Hz byl počet tahů kartáčku 31 200. V porovnání s publikací od pana Hamzy [9] při stejné frekvenci a době měření 26 min vyšly hodnoty opotřebení vyšší, ale dané pasty obsahovaly přidaná abraziva a díky analýze problému můžeme konstatovat, že množství částic v pastách a hodnoty úbytku korespondují, což by mohlo být vysvětlením vyšších hodnot hloubek opotřebených ploch. V publikaci pana Wanga [23] vyšly hodnoty hloubek nižší. Měření probíhala při stejné frekvenci, ale počet tahů kartáčku byl 10 000, tedy zhruba 3x méně tahů v porovnání s našimi experimenty. S rostoucím počtem tahů kartáčku se zvyšují i hodnoty úbytku [23].

Poslední publikace zabývající se vyhodnocením objemového úbytku byla od pana Johannsena [6], která po šesti hodinách měření čištění vykazovala mírně vyšší hodnoty opotřebení, počet tahů kartáčku byl 24 000. Měření bylo ale provedeno pro pasty s vyššími hodnotami RDA, než měly použité pasty v této práci.

Souhrnně opotřebení ve zmíněných publikacích řádově odpovídají výsledkům práce a zvolené experimentální podmínky mohou být považovány za optimální. Do budoucna by však bylo vhodné upravit některé části experimentu. Například přidávat směs pasty se slinami do vany během měření častěji, protože při simulaci čištění s pastou Sensodyne docházelo k rychlejšímu vysychání a část směsi musela být dodána dříve než po 130 minutách.

Hodnota RDA zahrnuje množství, velikost abraziv a chemických složek přítomných v pastách, ale jak již bylo zmíněno v rešeršní části, tak pro pasty měření hodnoty RDA neprobíhá opakovaně při změnách složení. Důležitou informací tedy také je, zda měřená hodnota RDA odpovídá současnému složení zubních past. Z výsledků měření a souhrnu rešerše může být dodáno, že existuje spousta faktorů, které ovlivňují opotřebení výplní, jako je tvar, tvrdost, štěpnost, drobnost částic nebo i hustota zubní pasty, dále schopnost shlukování a uspořádání částic, viskozita past či vliv přítomnosti olejů v zubních pastách. Všechny tyto faktory by mohly být předmětem budoucích výzkumů.

7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na výzkum vlivu abrazivních částic na tření a opotřebení zubních výplní. Hlavní přínos celé práce je objasnění, zda hodnota RDA zubních past je významná z hlediska opotřebení výplňových materiálů využívaných ve stomatologii.

Rešeršní část byla zaměřena na přiblížení problematiky tribologické soustavy a analýzu publikací, které ukázaly, že důležitým předmětem pro výzkum zubních past je nejen abrazivita, ale také účinnost čištění nebo i další faktory, které mají vliv na opotřebení. Z teoretické části se následně vycházelo pro volbu podmínek měření simulace čištění zubů na tribometru Bruker UMT TriboLab. Cílem experimentální části práce bylo vyhodnotit součinitel tření a míru opotřebení. Měření součinitele tření při čištění, kde tribologickou soustavu tvořil kartáček, vzorek zubní výplně a roztok umělých slin se zubními pastami, proběhlo na již zmíněném tribometru a pro vyhodnocení opotřebení byl využit optický profilometr Contour GT-X Bruker. Po měření a uvedení výsledků může být potvrzeno, že míra abrazivity zubních past je významná z hlediska opotřebení zubních výplní, protože výsledky úbytku materiálu pro měření s pastami vykazovaly obecně vyšší hodnoty. Není zde však konkrétní vztah mezi hodnotami RDA a opotřebením, což potvrdila zubní pasta Sensodyne, která měla střední hodnotu RDA a výsledky ukázaly minimální úbytek materiálu v porovnání s ostatními pastami.

Z výše zmíněných publikací a po uvedení mikroskopických snímků je zřejmé, že existují i jiné ovlivňující faktory spojené s mírou opotřebení zubních povrchů. Abraze tedy nezávisí pouze na hodnotě RDA zubních past. Pro další vývoj považuji za nezbytné více prozkoumat i další faktory spojené s opotřebením zubních výplní, jako je tvar a tvrdost částic, schopnost shlukování a uspořádání částic, hustota a viskozita past či vliv přítomnosti olejů v zubních pastách. Pokud by se odhalily vlivy těchto faktorů, mohly by to být přínosné informace pro zubní lékaře z hlediska dlouhodobé prevence proti opotřebení zubních povrchů a zvýšení životnosti výplňových materiálů.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LANZA, Antonio, Alessandro RUGGIERO a Ludovico SBORDONE. Tribology and Dentistry: A Commentary. *Lubricants*. 2019, 7(52), 15. ISSN 2075-4442. Dostupné z: doi:10.3390/lubricants7060052
- [2] AMARAL, M., ed. Biotribology and biological behaviour of nanocrystalline diamond (NCD) coatings for medical applications. NARAYAN, R. *Diamond-Based Materials for Biomedical Applications*. Woodhead: Woodhead Publishing, 2013, s. 23. ISBN 9780857093400.
- [3] HOLÍK, P. a Y. MOROZOVA. Opotřebení tvrdých zubních tkání a metody jeho hodnocení. *Česká stomatologie a praktické zubní lékařství*. Česká stomatologická komora Slavojova 22, 128 00 Praha 2, 2018, 118(4), 7. ISSN ISSN 1805-4471.
- [4] JOHN PHD, Samuel St. a Donald J. WHITE PHD. History of the Development of Abrasivity Limitsfor Dentifrices. *The Journal of clinical dentistry*. 2015, 26(2), 5. ISSN 0895-8831. Dostupné z: doi:0895-8831
- [5] WOJDA, SYLWIA, BOGUSLAWA SZOKA a EUGENIUSZ SAJEWICZ. Tribological characteristics of enamel–dental material contacts investigated in vitro. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. Faculty of Mechanical Engineering, Białystok University of Technology, Białystok, Poland., 2015, 17(1), 9. Dostupné z: doi:10.5277/ABB-00083-2014-03
- [6] JOHANNSEN, Gunnar, Georg TELLEFSEN, Annsofi JAHONNSEN a Anders LILJEBORG. The importance of measuring toothpaste abrasivity in both a quantitative and qualitative way. *Informa Healthcare*. 2013, (71), 10. ISSN 0001-6357 print/ISSN 1502-3850. Dostupné z: doi:10.3109/00016357.2012.696693
- [7] Citlivé zuby. *Profimed.cz* [online]. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.profimed.cz/slovník-pojmu/citlive-zuby-sp28>
- [8] Od mléčných zubů až k zubům moudrosti. *NZIP* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/648-od-mlecnych-zubu-az-k-zubum-moudrosti>
- [9] HAMZA, Blend, Moritz TANNER, Thomas ATTIN a Florian J WEGEHAUPT. *Dentin Abrasivity and Cleaning Efficacy of Novel/Alternative Toothpastes*. Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich, 2020, 7. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3290/j.ohpd.a45074>
- [10] BURRIS, D.L. a W. G. SAWYER. Addressing Practical Challenges of Low Friction Coefficient Measurements. *Tribology Letters*. 2009, 35(1), 7. Dostupné z: doi:10.1007/s11249-009-9438-2

- [11] FEDKIN, Mark a John A. DUTTON. Welcome to Optical Profilometer Training. *Optical Profilometer Training* [online]. e-Education Institute, College of Earth and Mineral Sciences, Penn State University, 2020 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.e-education.psu.edu/mcl-optpro/node/826>
- [12] BIZHANG, M., I. SCHMIDT, Y.-H.P. CHUN, W.H. ARNOLD, S. ZIMMER a L.F. RODELLA. Toothbrush abrasivity in a long-term simulation on human dentin depends on brushing mode and bristle arrangement. *PLOS ONE* [online]. 2017, 12(2) [cit. 2021-10-18]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0172060
- [13] Improving dental hygiene products through virtual brushing. *Fraunhofer.de* [online]. Hansastraße 27c 80686 München German [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2016/march/improving-dental-hygiene-products-through-virtual-brushing.html>
- [14] WHITE, Donald J, Eva SCHNEIDERMAN, Ellen COLON a Samuel St. JOHN. A profilometry-based dentifrice abrasion Method for V8 brushing machines. Part I: Introduction to RDA-PE. *The Journal of Clinical Dentistry*. 2015, **26**(6), 16.
- [15] RDA. *Profimed.cz* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.profimed.cz/>
- [16] CAMARGO, M, M SAIKI, MB VASCONCELLOS a DM AVILA. Abrasiveness evaluation of silica and calcium carbonate used in the production of dentifrices. *Journal of Cosmetic Science*. 2001, **52**(3), 6. Dostupné z: doi: <https://www.researchgate.net/publication/11925703>
- [17] HEFFERREN, Dr. John a Dr. Na LI. *Dentifrice Abrasives: Heroes or Villains?* [online]. 8 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://dentalacademyofce.com/courses/1431/PDF/DentifriceAbrasives.pdf>
- [18] LEWIS, R., R.S. DWYER-JOYCE a M.J. PICKLES. Interaction between toothbrushes and toothpaste abrasive particles in simulated tooth cleaning. *Wear*. 2004, **257**, 9. Dostupné z: doi:doi:10.1016/j.wear.2004.01.015
- [19] SVOBODA, P., P. ŠIKULA, M. VRBKA, D. NEČAS a L. ROUBALÍKOVÁ. VYUŽITÍ TRIBOLOGICKÝCH METOD PRO PREDIKCI OPOTŘEBENÍ DENTÁLNÍCH VÝPLŇOVÝCH MATERIÁLŮ. *ČESKÁ STOMATOLOGIE A PRAKTICKÉ ZUBNÍ LÉKAŘSTVÍ – CZECH DENTAL JOURNAL*. 2021, **121**(4), 8. Dostupné z: doi: 10.51479/cspzl.2021.012
- [20] CARVALHO, Amanda, Paulo PINTO, Sara MADEIRA, Filipe S. SILVA, Oscar CARVALHO a José R. GOMES. Tribological Characterization of Dental Restorative Materials. *Biotribology*. 2020, **23**, 9. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.biotri.2020.100140>

- [21] *Zubní výplně* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/666-zubni-vyplne>
- [22] SCHEMEHORN, Bruce R, Michael H MOORE a Mark S PUTT. Abrasion, polishing, and stain removal characteristics of various commercial dentifrices in vitro. *The Journal of Clinical Dentistry*. Dental Products Testing, Therametric Technologies, Inc., Noblesville, IN, USA., 2011, **22**(1), 9. ISSN 0895-8831.
- [23] WANG, Changxiang, Robert LUCAS, Michael MILWARD a Paul R. COOPER. Particle Size Effects on Abrasion, Surface Polishing and Stain Removal Efficacy in a Tooth Model System. *Biotribology*. 2021, **28**, 8. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.biotri.2021.100196>
- [24] SNOPEK, Lukáš. *Konstrukce modulu simulátoru pro analýzu tření a opotřebení zubů při čištění*. Fakulta strojního inženýrství, 2021. Vývojová - konstrukční. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Vrbka, Ph.D.
- [25] Bruker UMT TriboLab Tribometer. *Blue Scientific* [online]. Cambridge: Velká Británie, 2015 [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://blue-scientific.com/bruker-umt-tribolab/>
- [26] UMT Tribolab. *Bruker* [online]. 2020 [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/test-and-measurement/tribometers-and-mechanical-testers/umt-tribolab.html>
- [27] Contour GT-X Bruker. *Bruker* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: [bruker.com/en/products-and-solutions/test-and-measurement/3d-optical-profilers/contourgt-x.html](https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/test-and-measurement/3d-optical-profilers/contourgt-x.html)
- [28] VRÁNA, Jakub. *Hodnocení topografie povrchu strojních součástí pomocí optického profilometru*. Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně / Technická 2896/2 / 616 69 / Brno, 2017. Rešeršně syntetická. Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Šperka, Ph.D.
- [29] Colgate Total 12 Whitening 75 ml. *Heureka.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://zubni-pasty.heureka.cz/colgate-total-12-whitening-75-ml/#prehled/>
- [30] Sensodyne Herbal Fresh 75 ml. *Heureka.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://zubni-pasty.heureka.cz/sensodyne-herbal-fresh-75-ml/#prehled/>
- [31] Elmex Sensitive zubní pasta 75 ml. *Nazuby.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.nazuby.cz/Elmex-Sensitive-zubni-pasta-75ml?gclid=Cj0KCQjw1ZeUBhDyARIsAOzAqQIg_CnS3mXo2QOdvdoVuFFmokt6-SEs2suEibP5JDrZzSWEMxQkj4UaAu53EALw_wcB

- [32] Filtration Techniques for Surface Texture. *Surface Metrology Guide - Digital Surf* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://guide.digitalsurf.com/en/guide-filtration-techniques.html>
- [33] BIKRAM JYOTI, Sahariah, Vashishtha NITESH a S G SAPATE. Effect of abrasive particle size on friction and wear behaviour of HVOF sprayed WC-10Co-4Cr coating. *Materials Research Express*. 2018, **5**(6), 19. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1088/2053-1591/aacd39>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

obr. 2-1	Části oboru tribologie	2
obr. 2-2	Anatomie zubu [8].....	3
obr. 2-3	Detail recipročního tribometru [10]	5
obr. 2-4	Optický profilometr Nexview 3D [11]	6
obr. 2-5	Rozdíl referenční a opotřebené plochy [12]	6
obr. 2-6	Detail tribologické soustavy [13].....	7
obr. 2-7	Ukázka krytí vzorku [14].....	8
obr. 2-8	Odlišné druhy zubních kartáčků [12]: A - elektrický kartáček s elipsovitou hlavicí a zvlněnými štětinami B - elektrický kartáček s kulatou hlavicí a zakřivenými štětinami C - manuální kartáček s kopinatou hlavicí a rovnými štětinami D - manuální kartáček s kopinatou hlavicí a speciálními štětinami	10
obr. 2-9	Vratný pohyb a detail abraziv v kontaktu štětin se zubním povrchem [18].	11
obr. 2-10	Posuvný pohyb a detail abraziv v kontaktu štětin se zubním povrchem [18]...	11
obr. 2-11	Estetika kovové (vlevo) a keramické (vpravo) zubní výplně [21].....	12
obr. 2-12	Naměřené hodnoty čištění a opotřebení	14
obr. 2-13	Graf znázorňující hodnoty opotřebení pro dané velikosti vzorků	16
obr. 2-14	Závislost opotřebení na kritické velikosti částic	17
obr. 4-1	Tribometr Bruker UMT TriboLab s moduly [26]	21
obr. 4-2	Optický profilometr Contour GT-X Bruker [27]	22
obr. 4-3	Zubní pasty využitě při experimentu [28] [29] [30]	24
obr. 4-4	Detail vzorku s rozměry	25
obr. 4-5	Schématické zobrazení hlavních částí experimentu	26
obr. 4-6	Součást pro zajištění rovinnosti vzorku na profilometru	27
obr. 4-7	Umístění součásti se vzorkem pod objektivem profilometru.....	27
obr. 4-8	Zobrazení nehybné polohy modulu a pohybu kartáčku [24].....	28
obr. 4-9	Upnutí kartáčku do upínače nad vanu se vzorkem	28
obr. 4-10	Detail krytí vzorku kovovým krytím	29

obr. 4-11	Snímek po odečtení povrchů a řez vzorkem s nulovými referenčními hladinami.....	31
obr. 4-12	Maskování neopotřeбенých ploch a vyhodnocení objemového úbytku.....	32
obr. 5-1	Průběhy součinitelů tření pro pastu Colgate RDA 142	33
obr. 5-2	Průběhy součinitelů tření pro pastu Sensodyne RDA 61	33
obr. 5-3	Průběhy součinitelů tření pro pastu Elmex RDA 30	34
obr. 5-4	Průběhy součinitelů tření pro měření pouze v přítomnosti umělých slin	34
obr. 5-5	Graf znázorňující průběhy součinitelů tření	35
obr. 5-6	Graf znázorňující průměrné hodnoty součinitelů tření	35
obr. 5-7	Objemové úbytky vzorků výplní pro každé měření	36
obr. 5-8	Graf znázorňující průměrné objemové úbytky vzorků zubních výplní	36
obr. 5-9	Hodnoty průměrné hloubky opotřeбенých ploch vzorků	37
obr. 5-10	Průměrné hodnoty hloubek opotřeбенých ploch	37
obr. 5-11	Snímek past Sensodyne - RDA 61 (vlevo) a Elmex - RDA 30 (vpravo)	38
obr. 5-12	Snímek past Elmex - RDA 30 (vlevo) a Colgate - RDA 142 (vpravo).....	38

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1: Provozní podmínky recipročního tribometru	4
Tabulka 2-2: Hodnoty RDA a úrovně opotřebení	8
Tabulka 2-3: Zubní pasty s danými abrazivy	13
Tabulka 2-4: Podmínky měření	13
Tabulka 2-5: Podmínky barvení a přípravy čaje	14
Tabulka 2-6: Podmínky barvení vzorků	15
Tabulka 2-7: Podmínky experimentu čištění	15
Tabulka 2-8: Experimentální podmínky čištění	16
Tabulka 2-9: Experimentální podmínky měření	17
Tabulka 2-10: Výsledky měření pro pasty s RDA 170 a 250:	18
Tabulka 2-11: Výsledky studie	19
Tabulka 4-1: Podmínky experimentu	22
Tabulka 4-2: Využité komponenty při experimentu	23
Tabulka 4-3 Abrazivní částice použitých zubních past	23