



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta Strojní  
Ústav strojírenské technologie**

## **Snižování třecích ztrát ve strojírenství**

Bakalářská práce

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

**Miroslav Bláha**

---

**Praha 2019**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bláha** Jméno: **Miroslav** Osobní číslo: **437295**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Snížování třecích ztrát ve strojírenství**

Název bakalářské práce anglicky:

**Reducing frictional losses in engineering**

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor sledované tribologické problematiky
2. Stanovení metodiky měření
3. Návrh vhodných opatření ke snížení třecích ztrát

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc., ústav strojírenské technologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

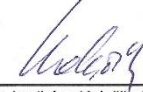
**Ing. Zdeněk Hazdra, ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.08.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2019**

  
doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

2.5.2019

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

**Prohlášení o autorství:**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr bakalářského studia Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Praha dne:

.....

Podpis studenta

### **Poděkování:**

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. za odborné vedení mé bakalářské práce, jeho cenné rady a přínosná doporučení, které mi v průběhu psaní poskytl.

Dále mé poděkování patří Ing. Zdeňku Hazdrovi a Ing. Jiřímu Kuchařovi za řadu odborných konzultací, předání praktických zkušeností a jejich věcné připomínky, které mi byly poskytnuty v rámci zpracovávání a vyhodnocování teoretické a praktické části práce.

V neposlední řadě bych chtěl rovněž poděkovat své rodině a blízkým, kteří mě v průběhu mého studia podporovali.

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ**

Obor: **Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství**

Název bakalářské práce: **Snižování třecích ztrát ve strojírenství**

Autor bakalářské práce: **Miroslav Bláha**

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.**

Konzultant: **Ing. Zdeněk Hazdra**

Rozsah bakalářské práce:	Počet stran:	98
	Počet obrázků:	26
	Počet grafů:	56
	Počet tabulek:	57

**Anotace:**

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi snižování tření ve strojírenství. První část shrnuje teoretické poznatky týkající se tření. V jejím rámci jsou popsány jednotlivé druhy tření a faktory, které je ovlivňují. Dále se práce věnuje mazivům, která jsou jednou ze základních možností snížení velikosti tření a současně také opotřebení třecích povrchů. V rámci experimentální části bylo provedeno měření statického a dynamického koeficientu tření a drsností povrchu funkčních dvojic. Ve všech případech byly jako funkční dvojice použity ocelové tablety a ocelové desky s různou povrchovou úpravou. Měření bylo prováděno, jak bez přítomnosti maziva, tak i s použitím různých maziv. Následně došlo k porovnání jednotlivých výsledků. Experiment potvrdil teoretické poznatky týkající se změn vlastností oleje při jeho používání. Výsledky rovněž ukazují, jaký vliv má struktura povrchu na velikost koeficientů tření.

**Klíčová slova:** tribologie, opotřebení, tření, koeficient tření;

**Abstract:**

This bachelor thesis deals with the possibilities of reducing friction in mechanical engineering. The first part summarizes the theoretical knowledge of friction, which describes the various types of friction and the factors that affect them. Furthermore, the work deals with lubricants, which are one of the basic options how to reduce the level of friction and also wear. In the experimental part the static and dynamic coefficient of friction and surface roughness of functional pairs are measured. In all cases, steel tablets and steel plates with different finishes were used as functional pairs. The measurements were performed both in the absence of lubricant and using various lubricants and the results were compared. The experiment confirmed theoretical knowledge regarding changes in oil properties during its use. Results also show how the surface structure affects the magnitude of the friction coefficients.

**Key words:** tribology, wear, friction, coefficient of friction;

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Tribologie</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Tření</b> .....	<b>10</b>
2.2.1	Kluzné tření .....	10
2.2.2	Valivé tření .....	11
2.2.3	Vnitřní tření .....	12
2.2.4	Koeficient tření .....	13
<b>2.3</b>	<b>Typy tření</b> .....	<b>14</b>
2.3.1	Suché tření.....	14
2.3.2	Mezní tření .....	14
2.3.3	Kapalinné tření.....	14
<b>2.4</b>	<b>Opotřebení</b> .....	<b>15</b>
2.4.1	Adhezivní opotřebení .....	16
2.4.2	Abrazivní opotřebení .....	17
2.4.3	Erozivní opotřebení .....	17
2.4.4	Kavitační opotřebení .....	18
2.4.5	Únavové opotřebení.....	18
2.4.6	Vibrační opotřebení.....	19
<b>2.5</b>	<b>Maziva</b> .....	<b>19</b>
2.5.1	Kapalná maziva .....	20
2.5.2	Plastická maziva .....	24
2.5.3	Tuhá maziva .....	25
2.5.4	Plynná maziva.....	25
2.5.5	Ekologicky odbouratelná maziva.....	25
2.5.6	Aditiva maziv .....	26
2.5.7	Speciální metody mazání.....	26

<b>2.6</b>	<b>PVD povlaky</b> .....	<b>27</b>
2.6.1	DLC povlaky.....	28
2.6.2	TiN povlaky.....	28
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Měření koeficientu tření funkčních dvojic</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Měření drsnosti povrchu</b> .....	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>Tribologická zkouška ocel – teflon</b> .....	<b>33</b>
3.3.1	Suché tření.....	33
<b>3.4</b>	<b>Tribologická zkouška ocel – ocel</b> .....	<b>36</b>
3.4.1	Suché tření.....	37
3.4.2	Mazáno novým olejem.....	49
3.4.3	Mazáno použitým olejem.....	61
<b>3.5</b>	<b>Tribologická zkouška ocel – TiN</b> .....	<b>72</b>
3.5.1	Suché tření.....	73
3.5.2	Mazáno novým olejem.....	76
3.5.3	Mazáno použitým olejem.....	79
3.5.4	Mazáno směsí oleje a grafitu.....	82
<b>4</b>	<b>SROVNÁNÍ TRIBOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ</b> .....	<b>85</b>
<b>4.1</b>	<b>Srovnání koeficientů tření</b> .....	<b>85</b>
<b>4.2</b>	<b>Srovnání drsností povrchů tablet</b> .....	<b>87</b>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>91</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>92</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>94</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>95</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>97</b>



# 1 ÚVOD

Tření je fyzikální jev, který vzniká při pohybu. Setkáváme se s ním téměř pravidelně v každodenním životě. Nutno říci, že tření je v mnoha případech žádané. Na druhou stranu jsou aplikace, kdy se tření snažíme co nejvíce minimalizovat, ať už je to z důvodu snížení energetických ztrát nebo opotřebení.

Teoretická část této práce je zaměřena na rozbor dané problematiky, věnuje se rozdělení a popisu jednotlivých druhů tření a faktorů, které na ně působí. Dále jsou zde shrnuty teoretické poznatky týkající se opotřebení strojních součástí. V poslední řadě se práce věnuje problematice maziv, které jsou jedním ze základních prostředků snižování tření.

Praktická část práce se zabývá tribologickými zkouškami několika typů funkčních dvojic, které se liší nejen materiálově, ale také úhlem broušení vůči směru pohybu při testování. Experiment je prováděn jak s přítomností maziva, tak i v případě suchého tření. Tribologické zkoušky zahrnují měření drsností povrchů třecích dvojic a měření statického a dynamického koeficientu tření. Výsledky jsou dále zpracovány a porovnány.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Tribologie

Tribologie je oblast vědy a technologie, která se zabývá působením povrchů při jejich vzájemném pohybu a s nimi souvisejícími jevy. Rozeznáváme dva druhy tohoto pohybu – smykový a valivý. Tribologie shromažďuje a třídí informace o vlastnostech a chování funkčních dvojic a tyto informace aplikuje. Tribologický proces charakterizují materiální interakce třecích těles, které probíhají v prostoru a čase. Základní tribologický systém charakterizují čtyři prvky (dvě třecí tělesa, mezilátka a prostředí), které mají zásadní vliv na způsob a průběh tribologických procesů. [2]

### 2.2 Tření

Tření představuje odpor proti relativnímu pohybu, který vzniká mezi dvěma tělesy v oblasti dotyku jejich povrchů v tangenciálním směru. Tato definice popisuje podstatu vnějšího tření. Vnější tření je charakterizováno stykem dvou třecích ploch, vnitřní tření probíhá naopak v materiálových vrstvách téhož tělesa. [1,2]

Účinky tření jsou:

- Třecí síly, třecí momenty
- Přeměna mechanické práce na teplo
- Opotřebení

#### 2.2.1 Kluzné tření

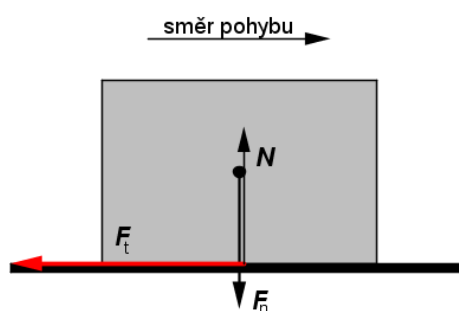
Kluzné, nebo též smykové tření, probíhá mezi dvěma tělesy při posuvném pohybu jednoho po druhém a je chápáno jako odpor proti pohybu vznikající v oblasti styku povrchů. Kluzné tření může probíhat buď jako čisté tření mezi plochami těles, nebo jako tření v tzv. adhezních vrstvách. K čistému tření dochází především ve vakuu. Vyleštěné rovinné povrchy kovových těles k sobě přilnou velkou silou a díky difúzi atomů dojde k vytvoření spojů s pevností svarů. V běžném prostředí dochází na povrchu kovu k oxidaci a k působení dalších látek z okolí. Při vzájemném pohybu povrchů dochází k opotřebení a vytváří se adhezivní vrstvy. Třecí síla je způsobována

difúzí atomů dotýkajících se povrchů, kde vznikají mikrosvary mezi výstupky nerovností. Další možnost vzniku třecí síly je zachytáváním nerovností povrchů, nebo jiných částic které se mezi povrchy dostaly, kde síla působí pružné a plastické deformace.

Velikost třecí síly mezi povrchy těles je závislá na velikosti přítláčné normálové síly a platí:

$$F_t = \mu \cdot F_n$$

Kde  $\mu$  je koeficient tření materiálů a  $F_n$  je normálová přítláčná síla. [1,11]



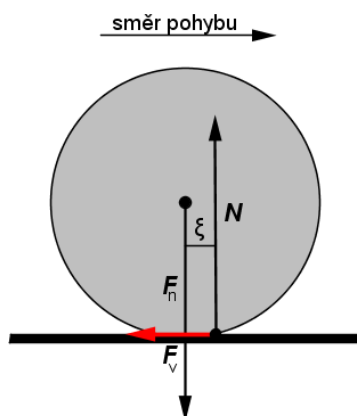
Obr.1: Kluzné tření [11]

### 2.2.2 Valivé tření

Valivé tření vzniká při valení třecího tělesa po podložce. Dochází k rozdílným deformacím podložky a valivé plochy tělesa. Při vzniku těchto deformací a následném zpětném vypružení vznikne rozdíl mezi uběhlou vzdáleností na povrchu tělesa a podložky. Dochází tedy k malým prokluzům. Díky vnitřnímu tření je část přivedené energie při vzniku a zpětném vypružení elastických deformací změněna na teplo. Vzniklé deformace nemusí být jen elastické, ale mohou vznikat též plastické deformace. Energie vynaložená ke vzniku plastických deformací také způsobuje ztráty. Další ztráty vznikají při prokluzu tělesa a podložky, kde dochází ke smykovému tření. K minimalizování valivého tření se na třecí kontakty používají tvrzené povrchy, kde jsou deformace a s nimi spojené ztráty velmi malé. Pro výpočet valivé třecí síly platí:

$$F_v = F_n \cdot \frac{\xi}{R}$$

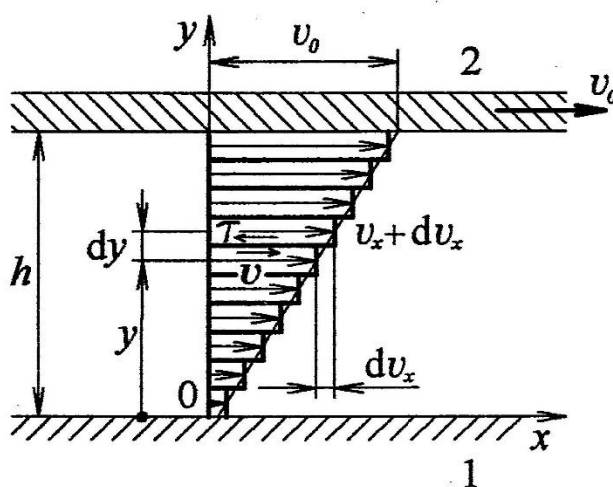
Kde  $F_n$  je normálová síla,  $\xi$  je rameno valivého odporu a  $R$  je poloměr tělesa. [1,13]



Obr.2: Valivé tření [13]

### 2.2.3 Vnitřní tření

Vnitřním třením – viskozitou, je nazýván odpor tekutiny proti změně tvaru. Působením sil mezi molekulami kapalin a plynů vznikají při proudění tekutiny třecí síly mezi sousedními vrstvami, které se pohybují různými rychlostmi. Tyto síly jsou nazývané vnitřním třením, mají tečný směr k povrchu a působí tak, že urychlují pohyb pomalejší vrstvy a zpomalují pohyb rychlejší vrstvy. Vrstva kapaliny, která je v bezprostředním styku s pevným tělesem se díky vnitřnímu tření mezi kapalinou a pevným tělesem nepohybuje.



Obr. 3: Vnitřní tření [20]

Obrázek znázorňuje dvě desky, mezi kterými je vrstva kapaliny. Spodní deska 1 je v klidu a horní deska 2 se pohybuje konstantní rychlostí ve směru roviny desky.

Pokud není rychlost horní desky relativně vysoká, kapalina proudí laminárně, tj. proudí ve vrstvách, které se vzájemně nemísí. Působením vnitřního tření se uvedou do pohybu všechny vrstvy kapaliny s výjimkou vrstvy, která přiléhá ke spodní desce, vůči které je v klidu. Vrstva kapaliny přiléhající k horní desce je vůči této desce také v klidu a spolu se tedy pohybují konstantní rychlostí. Působením vnitřního tření se vrstvy kapaliny pohybují rychleji, čím více jsou vzdáleny od pevné desky. [20]

#### 2.2.4 Koeficient tření

Koeficient smykového tření udává poměr mezi třecí silou  $F_t$  a normálovou přitlačnou silou  $F$ . Třecí síla představuje souhrn více silových účinků. Za základní účinek u kovových materiálů se považuje adheze a abraze. Koeficient tření je dán vztahem:

$$\mu = \frac{F_t}{F}$$

Koeficient tření je nejvyšší za klidu a s rostoucí rychlostí jeho hodnota klesá. Rozlišujeme tedy koeficient statický a dynamický. Statické tření působí při přechodu z klidu do pohybu a je o 20 až 30 % větší než dynamické, které působí za pohybu. Síly vznikající při smykovém tření jsou způsobeny kontakty a následnými deformacemi nerovností třecích ploch. Je tedy patrné, že čím menší je drsnost povrchu tím nižší je koeficient tření. [11]

Tab. 1: Koeficient tření pro různé materiály [12]

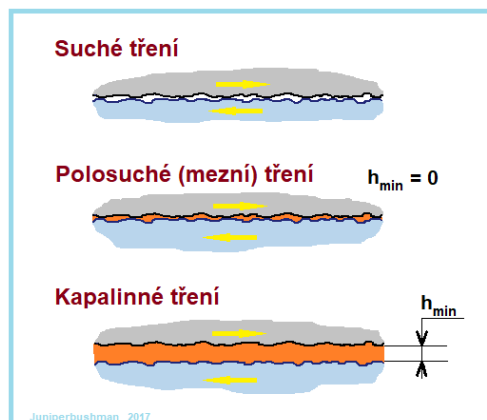
Materiál třecích ploch	Za klidu		Za pohybu	
	suché	mazáno	suché	mazáno
Ocel-ocel	0,15 až 0,20	0,10 až 0,12	0,10 až 0,20	0,03 až 0,09
ocel-litina	0,20 až 0,30	0,13 až 0,27	0,17 až 0,18	0,05 až 0,10
ocel-bronz	0,11 až 0,15	0,10 až 0,20	0,10 až 0,15	0,005 až 0,008
litina-litina	0,25	0,16 až 0,18	0,15	0,07 až 0,15
litina-bronz	0,25	0,08	0,15 až 0,20	0,07 až 0,15
bronz-bronz	0,25	0,10 až 0,11	0,20	0,06 až 0,12
kůže-litina	0,30 až 0,60	0,12 až 0,15	0,40 až 0,60	0,12 až 0,15
pryž-asfalt	0,50 až 0,70	-	0,60 až 0,80	0,10 až 0,15
ferodo-litina	0,60 až 0,70	-	0,20 až 0,40	-
ferodo-ocel	-	-	0,50 až 0,60	0,30 až 0,50
tvrzená litina-ocel	-	-	0,25 až 0,40	0,03 až 0,12
polyamid-ocel	-	-	0,20 až 0,45	0,04 až 0,20
polyvinylchlorid-ocel	-	-	0,60	-

(tabulka ukazuje orientační hodnoty)

## 2.3 Typy tření

### 2.3.1 Suché tření

V případě suchého tření se dostávají do přímého kontaktu nerovnosti a výstupky třecích povrchů. V těchto místech může docházet k abrazi, tedy rytí jednoho povrchu výstupky do druhého povrchu. Mohou vznikat studené spoje a mikrosvary, které jsou typické pro adhezi. Při cyklickém zatěžování povrchu může dojít ke vzniku a šíření trhliny, což je projevem únavy povrchu materiálu. Díky těmto dějům dochází k uvolňování částic povrchu a k jejich přemísťování. Postupem času tak dochází ke změnám rozměrů a tvarů třecích ploch. [1]



Obr.4: Typy tření [14]

### 2.3.2 Mezní tření

Mezné tření nastává v případě kdy je mezi třecími povrchy tenká vrstva kapaliny nebo plynu. K meznímu tření může docházet z důvodu nedostatečného přívodu maziva, snížení rychlosti u hydrodynamicky mazaných součástí nebo velkého zatížení. Za těchto podmínek se třecí plochy přiblíží a dělí je od sebe jen minimální vrstva maziva. Vrstva maziva sice snižuje tření, ale je tak tenká, že nedokáže zabránit styku výstupků nerovností povrchu. Z tohoto důvodu dochází k většímu opotřebení, než v případě kapalinného tření. [9]

### 2.3.3 Kapalinné tření

Mazivo smáčí třecí plochy jako kapalina a disponuje takovou přilnavostí, při níž lze předpokládat absenci skluzu, mezi mazivem a povrchem třecí plochy. Vrstva maziva zabrání vzájemnému styku povrchů a vyrovná drsnost povrchů. Třecí síla

je tedy závislá pouze na velikosti vnitřního tření v mazací vrstvě a lze ji vyjádřit vztahem:

$$F_t = \eta \cdot \frac{S \cdot v}{h}$$

kde  $\eta$  je dynamická viskozita,  $S$  je styčná plocha povrchů,  $v$  je lineární rychlost pohybu povrchů a  $h$  je tloušťka vrstvy maziva.

Aby byla mazací vrstva schopna snášet zatížení, kterým jsou k sobě povrchy stlačovány, musí být v mazivu vytvořen odpovídající protitlak. Tohoto protitlaku lze dosáhnout dvěma způsoby:

#### 1. Hydrostaticky

Mazivo je přiváděno z vnějšího zdroje pod dostatečným tlakem mezi třecí plochy, tím je dosaženo vzájemného oddělení ploch dostatečně silnou vrstvou maziva. Při tomto způsobu není vyžadován vzájemný pohyb ploch.

#### 2. Hydrodynamicky

Tlak v mazací vrstvě je vyvoláván v důsledku vzájemného pohybu třecích ploch. Pokud se spára mezi pevnou a kluznou plochou zmenšuje, je do ní přilnavostí dodáváno stále další mazivo, kterému je výtok ze spáry ztěžován viskozitou. Tímto způsobem dochází ke zvyšování tlaku ve spárách. [10]

## 2.4 Opotřebení

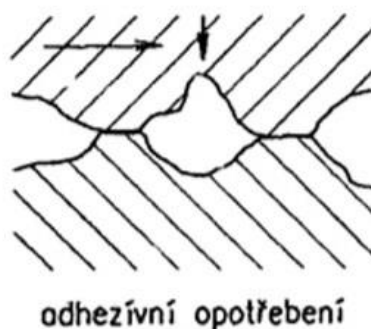
Opotřebení je projev tribologického procesu probíhajícího v tribologickém systému. Je to trvalý úbytek materiálu z povrchu tuhých těles při jejich vzájemném pohybu nebo při pohybu látek účastnících se tribologického procesu. V místě dotyků povrchu dochází k pružné i plastické deformaci nerovností povrchů, porušení oxidické vrstvy a vzniku adhezivních spojů (mikrosvarů, studených spojů). Při vzájemném pohybu jsou tyto spoje usmýkávány, přičemž nastává přenos částic z jednoho materiálu na druhý a nebo dochází k jejich uvolňování. Usmýkávání mikrosvarů je označováno jako adhezivní tření. U drsnějších povrchů dochází k zaklínění nerovností obou povrchů navzájem a odřezávání výčnělků nebo vyrývání rýh do materiálu. Toto tření je označováno jako abrazivní. Třecí síla je součtem adhezivní smykové síly a abrazivní síly. Kromě mechanických účinků, které způsobují opotřebení se tohoto

procesu mohou účastnit např. účinky chemické. Ve skutečných případech je opotřebení kombinací více účinků a vlivů. Opotřebení se rozděluje na základní druhy: [1,6]

- Adhezivní
- Abrazivní
- Erozivní
- Kavitační
- Únavové
- Vibrační

#### 2.4.1 Adhezivní opotřebení

Adhezivní opotřebení je typ opotřebení, při kterém dochází vlivem relativního pohybu k dotyku funkčních povrchů, k porušování povrchových vrstev a k čistému kovovému styku, dále pak ke vzniku a následným porušováním mikrosvarů. Tento jev vede k uvolňování a vytrhávání částic materiálů a přenosu z jednoho tělesa na druhé. Při snižování adhezivního opotřebení hraje důležitou roli kompatibilita materiálů, zejména jejich přilnavost. Použité materiály by se neměly rozpouštět jeden v druhém, neměly by v daném prostředí a za daných podmínek vytvářet slitinu, rovněž by neměly být totožné. Procesy adhezivního opotřebení lze snížit přítomností maziva mezi povrchy. Intenzivní forma adhezivních procesů se nazývá zadírání. [1,8]

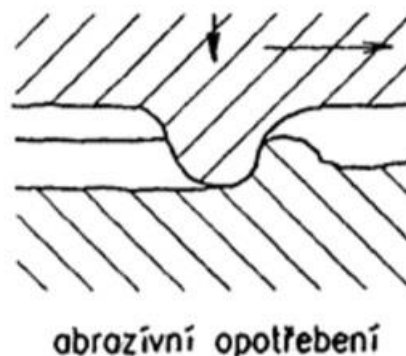


Obr. 5: Adhezivní opotřebení. [1]



### 2.4.2 Abrazivní opotřebení

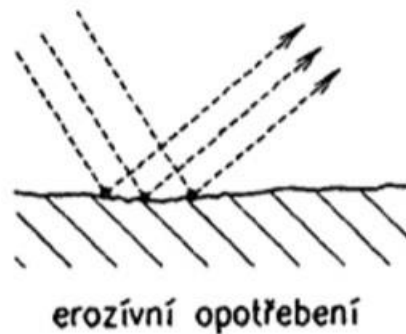
Abrazivní opotřebení způsobuje rozrývání a řezání měkkého povrchu jednoho tělesa drsným povrchem druhého tvrdšího tělesa. Tento účinek může nastat i v případě vnikajících nečistot z okolí nebo částic vzniklých oddělením z funkčních povrchů těles, které zůstanou mezi pohybujícími se povrchy. Volné částice se také mohou zamáčknot do měkkého tělesa a rýhovat tvrdší povrch. Důležitým faktorem je drsnost povrchu. Menší drsnost povrchu omezuje abrazi, zatímco drsnější povrchy zvyšují koeficient tření a jejich výstupky se mohou odlamovat a tím přispívat k množství nečistot souvisejícím s abrazivním opotřebením. [1,2,8]



Obr. 6: Abrazivní opotřebení. [1]

### 2.4.3 Erozivní opotřebení

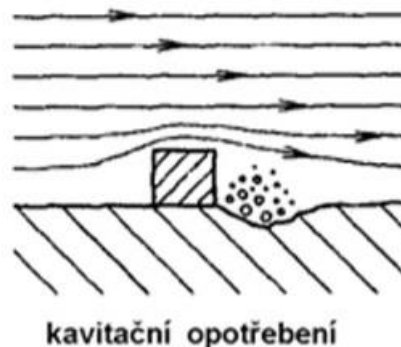
V případě erozivního opotřebení dochází k poškození funkčního povrchu pevnými částicemi nesenými proudem kapaliny nebo plynu, popřípadě samotným působením proudu kapaliny a plynu. K erozivnímu opotřebení může docházet na rozdíl od adhezivního a abrazivního i v nejnižších bodech funkčního povrchu. Na velikost opotřebení mají vliv jak částice, tak i médium, které je přenáší. Mezi důležité faktory patří rychlost, teplota a chemické složení nosného media, stejně tak tvar, velikost a tvrdost částic. Poškození povrchu je nerovnoměrné a zvlněné. [1,5]



Obr. 7: Erozivní opotřebení. [1]

#### 2.4.4 Kavitační opotřebení

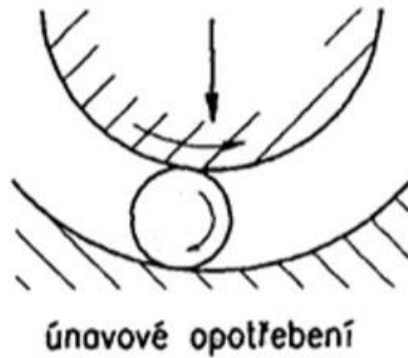
Kavitační opotřebení vzniká v oblasti zanikání kavitačních bublin v kapalině. Dochází k poškozování povrchu a oddělování částic materiálu tělesa. Tento jev nastává např. za výstupkem v potrubí. V tomto místě dochází k velkému podtlaku, což vede ke vzniku malých bublin nasycených par kapaliny. Při zániku bubliny dochází pohybem kapaliny k hydrodynamickým rázům, které ve své blízkosti způsobují namáhání a poškozování povrchu. [1,5]



Obr. 8: Kavitační opotřebení. [1]

#### 2.4.5 Únavové opotřebení

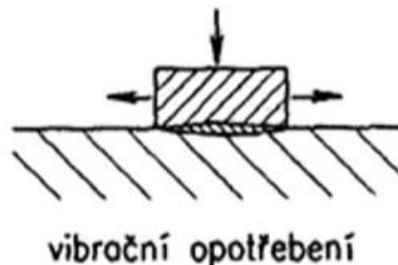
Únavové opotřebení je způsobeno při opakovaném zatěžování povrchu materiálu, při kterém vznikají vlivem únavy materiálu trhliny. Ty se dále šíří a spojují až může docházet k vylamování materiálu nebo celkovým lomům. Pokud je povrch namáhán v oblasti plastické deformace materiálu, pak se jedná o únavu nízkocyklovou, zatímco když se napětí pohybuje pod mezí kluzu, jedná se o vysokocyklovou únavu. Únavové opotřebení se projevuje vylamováním částic a vznikem dolíčků, proto se také používá název dolíčkování nebo pitting. [1]



Obr. 9: Únavové opotřebení [1]

#### 2.4.6 Vibrační opotřebení

S vibračním opotřebením se setkáváme na plochách součástí, kde působí normálové zatížení, ale také dochází k tečným posuvům s malou amplitudou. Toto opotřebení má za následek vznik částic, které svým vzhledem připomínají produkty koroze. Tyto částice způsobují abrazivní opotřebení i u velmi tvrdých povrchových vrstev. K tomuto opotřebení dochází např. při uvolnění ložiska na hřídeli. [1]



Obr. 10: Vibrační opotřebení [1]

### 2.5 Maziva

Maziva snižují tření a opotřebení strojních součástí, zvyšují spolehlivost a snižují náklady na údržbu. Dále chrání zařízení vystavená vysokým nebo nízkým teplotám a zařízení vystavená vysokým tlakům. Jsou dodávána mezi plochy funkčních dvojic a měla by být schopna tvořit mezi povrchy těles souvislou mazací vrstvu s dobrou přilnavostí a nízkým vnitřním třením. Důležitá je také chemická stálost a nízká agresivita maziva, aby nepůsobilo korozivně na třecí plochy a další části systému. Naopak by mělo mít schopnost chránit před agresivitou okolního prostředí. [1]

## 2.5.1 Kapalná maziva

Kapalná maziva jsou nejrozšířenějším druhem maziv. Mimo mazání slouží také k odvádění tepla, které vzniká třením. Jako kapalná maziva se využívají:

- Chemicky jednoznačné látky
- Homogenní směsi – minerální a syntetické mazací oleje
- Kapalně disperze – rozptýlení částic jedné nebo více látek v jiné látce, emulze, suspenze

Mazací oleje se vyznačují dobrou zatékavostí a smáčivostí stykových ploch těles. Odvádějí teplo z třecích míst a mají také čistící účinky, kdy vynášejí nečistoty nebo částice vzniklé opotřebením z třecího místa pryč.

V minulosti byla velká většina používaných mazacích olejů minerálních. Získávají se destilací, rafinací a odparafinováním ropy. Jedná se o homogenní směsi, které jsou upravovány malým množstvím přísad. V dnešní době jsou ale pro spoustu aplikací minerální oleje nevyhovující a nahrazují se oleji syntetickými, které mají lepší mazací vlastnosti a mohou pracovat při vyšších teplotách. [1,3]

Důležitými vlastnostmi mazacích olejů jsou:

- Hustota  $\rho$
- Dynamická viskozita  $\eta$
- Měrná tepelná kapacita  $c_p$
- Tepelná vodivost  $\lambda$
- Teplota tuhnutí

### 2.5.1.1 Hustota

Hustota (měrná hmotnost) je stavová veličina, která udává hmotnost dané látky vztaženou na jednotku objemu a vypočítá se:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

Hustota olejů však závisí také na tlaku a teplotě, je přibližně dána vztahem:

$$\rho = \rho_0 \cdot [1 - A \cdot (T - T_0)] \cdot [1 + B \cdot (p - p_0)]$$

kde konstanty  $A = 65 \cdot 10^{-5} K^{-1}$  a  $B = 0,4589 \cdot 10^{-9} Pa^{-1}$  platí pro běžné podmínky a  $\rho_0$  je hustota oleje při teplotě  $T_0 = 293 K$  a tlaku  $p = 10^5 Pa$ . [1,2]

### 2.5.1.2 Viskozita

Viskozita je jedna z nejdůležitějších veličin, která ovlivňuje vlastnosti oleje. Udává vnitřní odpor mezi částicemi oleje, které se mezi sebou vzájemně pohybují. Viskozita tedy ovlivňuje tokové vlastnosti a má vliv na čerpatelnost, tvorbu a únosnost mazacího filmu a těsnící schopnosti. Oleje s nižší viskozitou jsou tekutější a mají nižší vnitřní odpor proti proudění. Naopak vyšší viskozita znamená větší odpor a také pomalejší tok, tím pádem i vyšší odpor proti vzájemnému pohybu mazaných součástí. Rozlišujeme viskozitu dynamickou a kinematickou. [19]

#### 2.5.1.2.1 Dynamická viskozita

Dynamická viskozita oleje je závislá na teplotě a tlaku a je dána vztahem:

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{-\beta \cdot (T - T_0) + \alpha \cdot (p - p_0)}$$

V tomto vztahu je  $\eta_0$  viskozita při teplotě  $T_0$  a tlaku  $p_0$ , piezokoefficient vazkosti  $\alpha = (1,2 \text{ až } 2,6) \cdot 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$  a součinitel  $\beta$  se určí dosazením dvou známých viskozit pro dvě dané teploty při stejném tlaku. [1]

#### 2.5.1.2.2 Kinematická viskozita

Kinematická viskozita je podíl dynamické viskozity a hustoty. Vypočítá se ze vztahu:

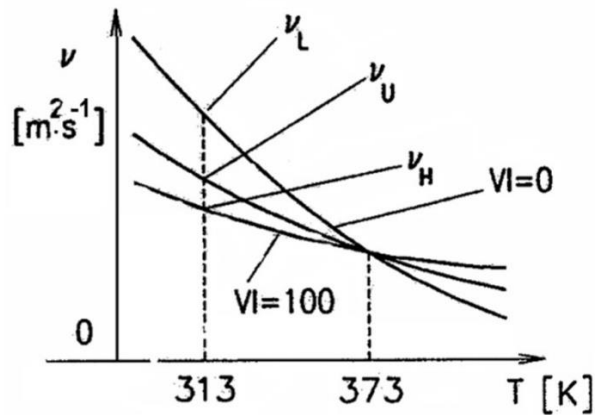
$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

Vliv teploty na viskozitu mazacích olejů bývá udáván viskozitním indexem VI. Je to poměrné číslo, které vyjadřuje vliv teploty na změnu viskozity v porovnání se dvěma standardními oleji, které mají při teplotě 98,9°C stejnou viskozitu jako hodnocený olej. Viskozitní index je dán vztahem:

$$VI = \frac{v_L - v_U}{v_L - v_H} \cdot 100$$

$v_U$  označuje viskozitu hodnoceného oleje při teplotě 313 K,  $v_L$  viskozitu prvního standardního oleje a  $v_H$  viskozitu druhého oleje. Olej s větším viskozitním indexem má

plošší křivku závislosti viskozity na teplotě a dosahuje menší změny viskozity při změnách teploty. [1,2]



Obr. 11: Viskozitní index. [1]

### 2.5.1.3 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost oleje je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti. Součinitel tepelné vodivosti je materiálová konstanta, která udává schopnost vést teplo. U kapalných maziv je jeho hodnota velmi malá, přibližně  $\lambda = 0,12$  až  $0,16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Se vzrůstající teplotou hodnota tepelné vodivosti klesá a s klesající hustotou roste. [2]

### 2.5.1.4 Teplota tuhnutí

Teplota tuhnutí je nejvyšší teplota, při které ztrácí olej tekutost a mění se v polotuhou hmotu. Při ochlazování oleje dochází ke změně kapalně fáze na fázi tuhou ve dvou bodech. Prvním bodem je bod zákalu, kde začíná probíhat vylučování krystalů pevné fáze z oleje. Dalším ochlazováním nastane bod tuhnutí, kde olej přechází do tuhé fáze. [6]

### 2.5.1.5 Značení olejů

Pro značení olejů se využívá výhradně klasifikace SAE. Oleje jsou řazeny do jednotlivých tříd podle jejich dynamické a kinematické viskozity. Označení olejů se skládá ze dvou čísel např. SAE 10W/40. První číslo je tzv. zimní číslo viskozity a je

určeno při nízké teplotě. Druhé, tzv. letní číslo viskozity, je určeno při teplotě 210°F (98,9°C), tedy přibližně při provozní teplotě. Čísla, kterými se značí, jsou bezrozměrná, ale platí, že čím je číslo větší, tím je olej při dané teplotě viskóznější. [19]

Tab. 2: Klasifikace třídy SAE [18]

Viskozitní třída SAE	Vlastnosti za nízkých teplot		Vlastnosti za vysokých teplot	
	Dynamická viskozita [MPa.s] max. při °C		Kinematická viskozita při 100°C min. max. [mm <sup>2</sup> /s]	
0W	6200	-35	3,8	
5W	6600	-30	3,8	
10W	7000	-25	4,1	
15W	7000	-20	5,6	
20W	9500	-15	5,6	
25W	13000	-10	9,3	
20			5,6	< 9,3
30			9,3	< 12,5
40			12,5	< 16,3
50			16,3	< 21,9
60			21,9	< 26,1

#### 2.5.1.6 Změna vlastností mazacího oleje

Degradace oleje je jev, který je způsoben v důsledku reakcí s kyslíkem. Velikost a rychlost změn způsobených oxidací je závislá na chemických vlastnostech maziva, na přítomnosti látek zpomalujících oxidační reakce a na teplotě, která výrazně ovlivňuje průběh oxidačních reakcí. V průběhu používání oleje také dochází ke změně viskozity, která může probíhat dvěma směry, zvyšováním nebo poklesem. Zvyšování viskozity je způsobeno produkty oxidace oleje nebo znečišťováním kondenzačními produkty. Ke snižování viskozity dochází díky tepelné a mechanické degradaci aditiv, případně vniknutím paliva do mazacího systému. Když je viskozita příliš nízká, dochází k meznímu až suchému tření s důsledkem nadměrného opotřebení a možností zadření třecích ploch. Vysoká viskozita způsobuje ztráty energie v důsledku zvýšeného koeficientu tření. Dalším činitelem zhoršujícím kvalitu oleje je voda, která se do mazacího systému dostává jako produkt kondenzace, případně únikem z chladicího systému. Přítomnost vody v oleji podporuje korozi součástí, dále způsobuje pění oleje a tvorbu emulze. Kvalitu oleje zhoršují také mechanické

nečistoty, jejich přítomnost je způsobena opotřebením třecích povrchů, korozí nebo vniknutím z okolí. Pevné částice obsažené v oleji zvyšují abrazivní a erozivní opotřebením třecích povrchů, či mohou způsobit jejich zadíraní z důvodu porušení mazacího filmu. [2]

Mazací oleje v průběhu provozu ztrácejí své vlastnosti a z důvodů prodloužení životnosti zařízení jsou důležité regenerační procesy, jejichž podstatou je obnova původních vlastností maziva. Obnova vlastností probíhá:

- Čištěním olejové náplně
- Doplnováním oleje v průběhu provozu
- Výměna celé olejové náplně

### **2.5.2 Plastická maziva**

Plastická maziva se vyrábí smícháním mazacího oleje, zahušťovadla a aditiva. Olejová složka se skládá z minerálních nebo syntetických olejů a jako zahušťovadla jsou přidávána mýdla, anorganické látky nebo organické polymery. Pro dosažení některých specifických vlastností mohou obsahovat další přísady např. grafit. Použití plastických maziv má výhodu, pokud má aplikované mazivo zůstat na stykových plochách po dlouhou dobu, ale také chrání třecí místo před vnějšími vlivy jako je vlhkost, znečištění koroze atd. Dále jsou plastická maziva používána v případech, kde by použití mazacího oleje značně zkomplikovalo konstrukci nebo prodražilo provoz. Příklady použití:

- U špatně přístupných ložisek, kde je třeba zajistit mazání na dlouhou dobu
- Ve vlhkém a prašném prostředí, kde mazivo utěsňuje ložisko proti látkám z okolí
- Při malých rychlostech, velkých tlacích a teplotách
- Pokud je nutné zabránit odstříkávání oleje

Důležitou vlastností pro typ použití plastického maziva je penetrace. Penetrace udává hloubku vniku kovového kužele působením jeho vlastní hmotnosti do maziva při teplotě 25°C po dobu 5s a souvisí s odporem, který klade plastické mazivo proti vytlačení z daného prostoru. Pro vyjádření penetrace se používá stupeň konzistence.



Další důležité vlastnosti jsou odolnost proti vodě, minimální a maximální pracovní teplota. [1,3]

### **2.5.3 Tuhá maziva**

Tuhá maziva jsou využívána tam, kde není vhodné použití olejů nebo plastických maziv. Takové případy nastávají při velkých zatíženích kluzných kontaktů za vysokých teplot, ve velmi prašném prostředí, či při minimální ochraně proti atmosférickým vlivům. Tuhá maziva mají velkou tvrdost, smykovou pevnost a vysokou afinitu ke kovům. Mezi nejpoužívanější tuhá maziva patří grafit, siřník molybdeničitý a polytetrafluoretylen. Vedle těchto maziv nabírají na významu anorganické fosfáty a oxidy např. pyrofosforečnan zinečnatý, či calciumfosfát. Tato maziva reagují při kluzném kontaktu fyzikálně a působí jako distanční tělíska, takže se povrchy kovů nedotýkají a nevytvářejí žádný film. Tuhá maziva se rovněž používají v suspenzích s kapalným mazivem a jako příměsi v plastických mazivech. [4]

### **2.5.4 Plynná maziva**

Plynná maziva se používají v uložení hřídelů a plynových ložiskách s velmi vysokou rychlostí otáčení a malým zatížením. Pro podobné podmínky se také využívají za vysokých teplot, v podmínkách chemické agresivity nebo nebezpečného záření. Plynná maziva mají malou viskozitu, která se s rostoucí teplotou zvyšuje. Výhoda plynného maziva spočívá v nízkém součiniteli tření a v nepatrném třecím teple a všudypřítomnosti maziva. Použití je však limitováno menší schopností snášet zatížení. Mezi nevýhody těchto maziv patří sklon k nestabilitě a turbulenci, dále pak sklon k vysokému frekvenčnímu chvění nebo k bezprostřednímu styku povrchů. Při použití plynných maziv se klade důraz na těsnost mechanismů, přesnou montáž a hladké třecí plochy. Mezi nejčastěji používané plyny patří vzduch a  $\text{CO}_2$  do  $650^\circ\text{C}$ , helium, dusík  $800^\circ\text{C}$  a více, vodní pára. [6]

### **2.5.5 Ekologicky odbouratelná maziva**

Tato maziva jsou vyráběna na bázi syntetických esterů nebo rostlinných olejů, která jsou biologicky odbouratelná. Ekologicky odbouratelná maziva se používají především v případech, kdy hrozí únik a následná dekontaminace potravního řetězce

nebo přírody. Jedná se především o mazání v případech práce zemních strojů, provádění vrtů, zemědělství a v aplikacích ztrátového mazání např. u motorových pil, ručního náradí apod. Maziva na bázi esterů se používají i při obrábění, kde přispívají k úsporám energie v celém procesu. Dosahují dobrých mazacích vlastností i při nízké koncentraci, omezují kouřivost a mají vysokou tepelnou stabilitu. Vyrobené díly nejsou lepkavé, nástroje jsou čisté a mají delší živostnost. [7]

### **2.5.6 Aditiva maziv**

Aditiva jsou zušlechťující přísady, které přispívají ke zlepšení a dosažení požadovaných vlastností maziv. Jako přísady do maziv jsou nejčastěji používány tyto látky: [2]

- Mastné kyseliny – zvyšují pevnost mazací vrstvy
- Modifikátory viskozity – zvyšují hodnotu viskozitního indexu
- Depresanty – snižují bod tuhnutí
- Oxidační inhibitory – zlepšují chemickou stálost
- Detergenty a disperzanty – uvolňují usazeniny produktů stárnutí
- Antioxidanty – zabraňují korozi kovových povrchů
- Sražeče pěny – odstraňují pění

### **2.5.7 Speciální metody mazání**

#### **2.5.7.1 RVS Master**

RVS je strojírenská technologie, která umí ošetřit třecí dvojice kovových ploch mechanismů jako jsou motory, převodovky a ložiska. Dodává se ve formě oleje, plastického maziva nebo spreje. Při vzájemném pohybu funkčních dvojic dochází ke kontaktu povrchů a výstupky se odírají do mazacího filmu. V místech kontaktu vznikají vysoké lokální teploty, které podporují výměnné reakce mezi základním materiálem a RVS směsí a vznikají nové kovokeramické vrstvy. Vzniklé kovokeramické částice jsou několikanásobně větší než základní materiál. Dochází tedy k rozměrovému nárůstu povrchové vrstvy od desetin až po desítky mikrometrů. Růst tloušťky se zastaví na optimální hodnotě z důvodu snížení koeficientu tření a tím i energie podporující tvorbu vrstvy. Díky vzniklé kovokeramické vrstvě na povrchu materiálu se

podstatně zvýší ochrana proti opotřebení, než při použití běžných mazadel. Tato povrchová vrstva dosahuje tvrdosti až 70 HRC a má nízkou hodnotu koeficientu tření. Stejně tak disponuje vysokou teplotní a korozní odolností. Díky této technologii lze dosáhnout ekonomických a ekologických úspor z důvodů prodloužení životnosti součástí a maziv. [15]

### **2.5.7.2 AEROTEC**

AEROTEC Metal Conditioner je červená syntetická kapalina, která po přidání do provozních kapalin vytváří vysoce účinnou směs obsahující deriváty uhlovodíků. Tyto látky poté reagují s uvolňujícími se oxidy a vzniká ochranný mikrofilm, který vyhlazuje a ošetřuje povrchy kovů. Vazbou na uvolňující se oxidy je zajištěna dlouhodobá stálost této ochranné vrstvy. Tato vrstva chrání kovy před korozí a je odolná proti vysokým teplotám a tlakům. Její účinky přetrvávají i po výměně provozních kapalin. [16]

### **2.5.7.3 MILITEC**

MILITEC je syntetická tekutina, která neobsahuje žádná pevná tělesa. Tato směs působí na bázi syntetických derivátů uhlovodíků a chrání kovy molekulární vazbou s inhibitory koroze. Účinná složka látky působí přímo na kov prostřednictvím chemické reakce. Molekulárně se váže na kov a díky vysokým teplotám a tlakům na povrchu třecích dvojic vytváří tenkou povrchovou vrstvu odlišné struktury. Vzniklá vrstva má velmi hladký a pevný povrch s nízkým koeficientem tření a nedá se mechanicky setřít. [17]

## **2.6 PVD povlaky**

Technologie vytváření povlaků PVD (physical vapour deposition) je založena na odpaření nebo odprašení pevné látky v řízené atmosféře. Povlaky vznikají při tlaku 0,1 až 1 Pa ve vakuové komoře, do které je vpouštěn pracovní plyn např. dusík nebo argon. Při výrobě se používají dvě metody, které se liší podle způsobu získání kovových iontů – obloukové napařování a magnetronové odprašování. Povlaky běžně

dosahují tloušťek od 1 do 15  $\mu\text{m}$ . Teplota při výrobě se pohybuje v rozmezí 200 až 500°C a je závislá na vlastnostech základního materiálu a typu povlaku. [21]

### **2.6.1 DLC povlaky**

DLC je zkratka z anglického diamond like carbon, tedy diamantu podobný uhlík. Tenké vrstvy DLC jsou tvořeny amorfni strukturou tvořenou zejména z grafitického uhlíku, diamantového uhlíku a z vodíku v různých poměrech. Tyto povlaky dosahují velice příznivých tribologických vlastností a tvrdosti více než 70 GPa. Jsou také chemicky inertní a mají velmi nízký koeficient tření proti oceli a proti sobě samým. Oproti tomu, při styku se slitinami mědi, vykazují vyšší hodnoty koeficientu tření a dochází tak k zadírání. Díky dobrým tribologickým vlastnostem jsou povlaky využívány k úspoře energie, či také jako ochrana proti opotřebení a jsou stále více využívány v automobilovém průmyslu. [22]

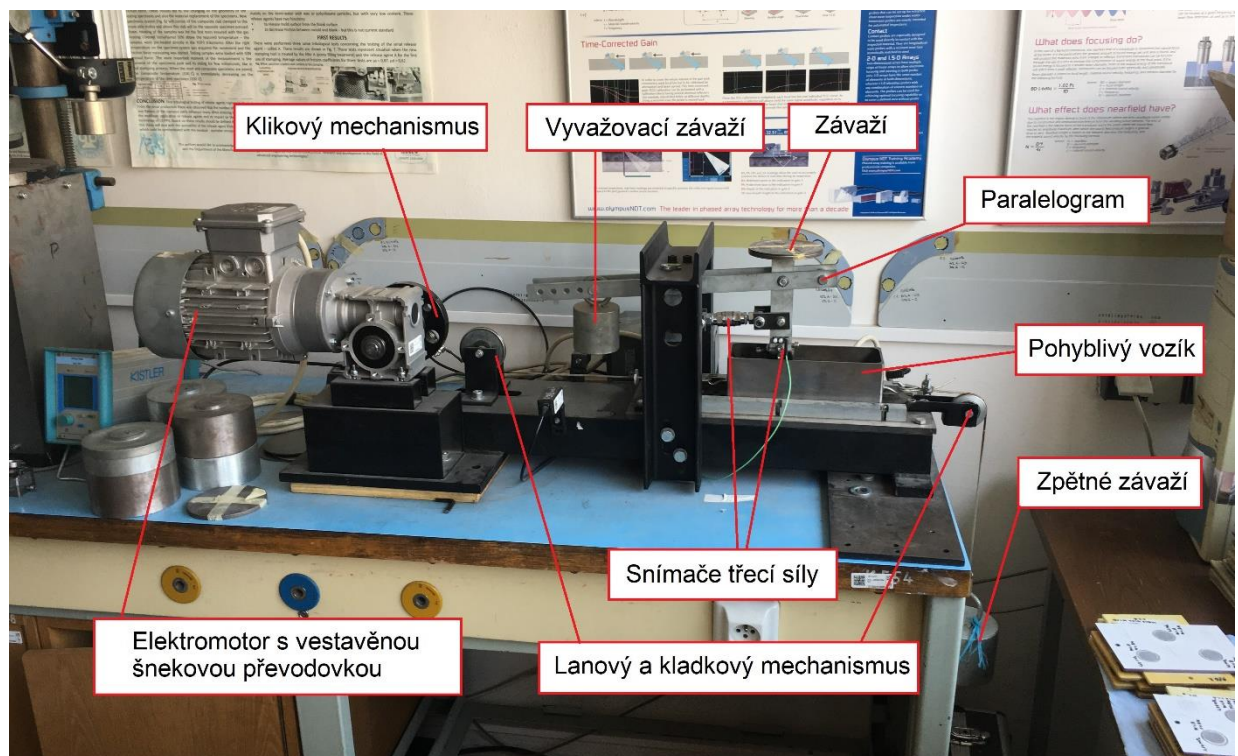
### **2.6.2 TiN povlaky**

Povlaky na bázi nitridu titanu patří díky svým vlastnostem k nejběžněji používaným povlakům. Povlak vykazuje nízkou reakci s kovovými materiály a tím zabraňuje adhezivnímu opotřebení. TiN je jedním z nejpoužívanějších povlaků na řezných nástrojích. Díky atraktivní zlaté barvě a vysoké abrazivní odolnosti je využíván při povlakování střížných nástrojů a je vhodný k dekorativním účelům. Vysoká chemická stabilita TiN povlaku je také vhodná k použití v chemickém a potravinářském průmyslu. Vzhledem ke svým vlastnostem má tento povlak široké uplatnění v průmyslu. [23]

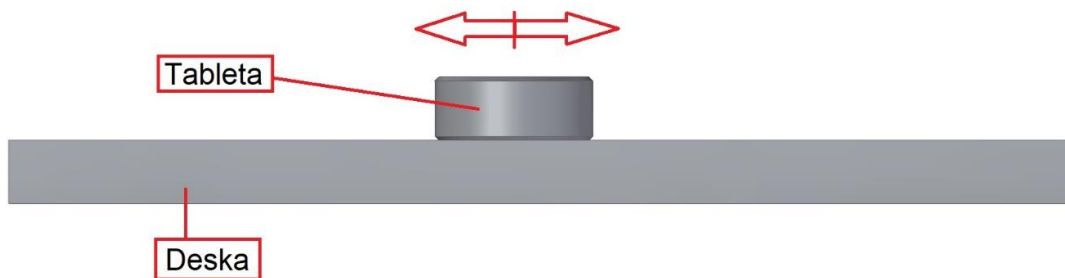
### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

#### 3.1 Měření koeficientu tření funkčních dvojic

K měření tribologických vlastností byl použit tribometr TOP3, který slouží k měření tření a opotřebení funkční dvojice deska – tableta. Tento tribometr pracuje na principu translačně oscilačního pohybu, ke kterému dochází mezi deskou a tabletou. Pohyb je vyvoláván elektromotorem přes vestavěnou šnekovou převodovkou a klikovým mechanismem. Pohyb vykonává vozík s upnutou deskou a tableta je upnuta na paralelogram. Normálové zatížení je možné volit pomocí závaží umístěném na paralelogramu. Naměřené hodnoty ze snímače třecí síly jsou nahrávány do PC. Pomocí softwaru Charge meter 5015 jsou vytvořeny soubory, které slouží k vyhodnocení koeficientu tření programem Matlab.



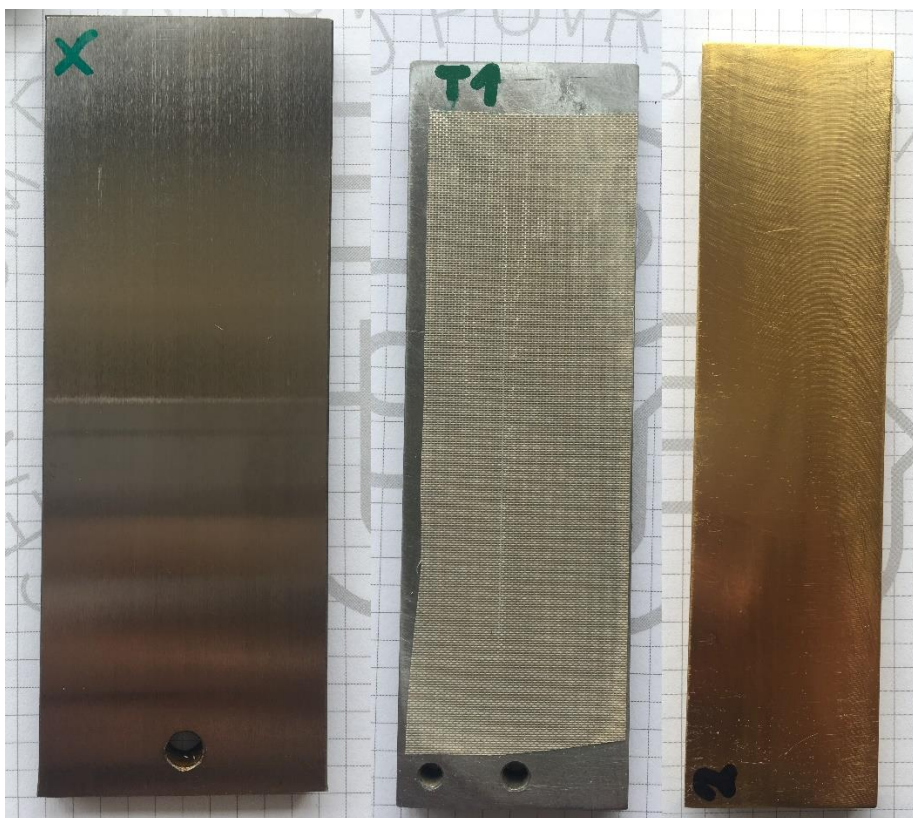
Obr. 12: Tribometr TOP3



Obr. 13: Schéma funkční dvojice

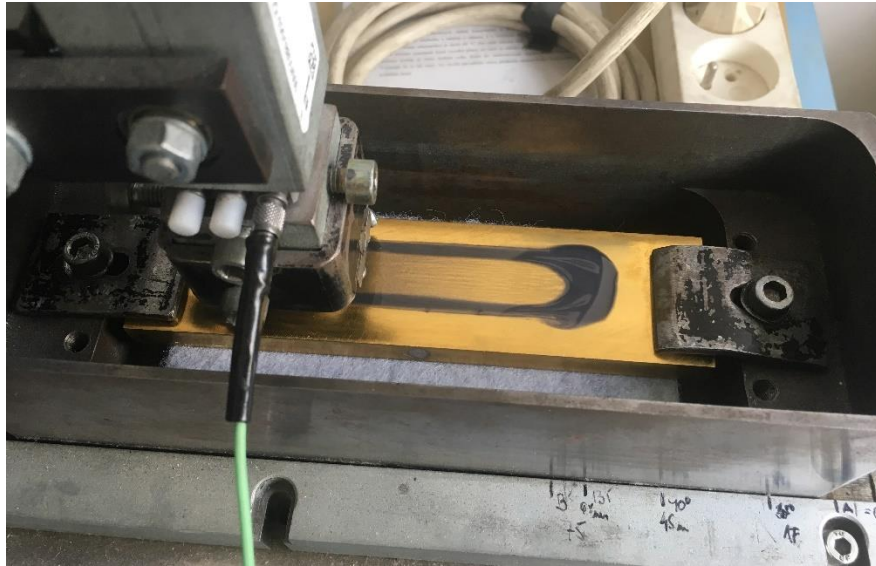
Měření všech vzorků probíhalo při stejném normálovém zatížení po dobu deseti minut rozdělených na 5 intervalů po dvou minutách. Při suchém tření byly funkční plochy vždy po dvou minutách odmaštěny a v případě tření s vrstvou maziva bylo vždy po dvou minutách mazivo doplněno. K výrobě tablet a desek byla zvolena konstrukční ocel ČSN 11523. Měřeny byly tři typy funkčních dvojic:

- Ocelová tableta – ocelová deska s teflonovou páskou
- Ocelová tableta – ocelová deska
- Ocelová tableta – deska s vrstvou TiN (nitrid titanu)



Obr. 14: Testované desky. Zleva: bez povlaku, s teflonovou páskou, s povlakem TiN

Naměřená data byla vyhodnocena pomocí programu Matlab, z kterého byly získány hodnoty statického a dynamického koeficientu tření. Časový úsek pro vyhodnocení dat byl stanoven v každém intervalu mezi 10-30 s a 90-110 s.



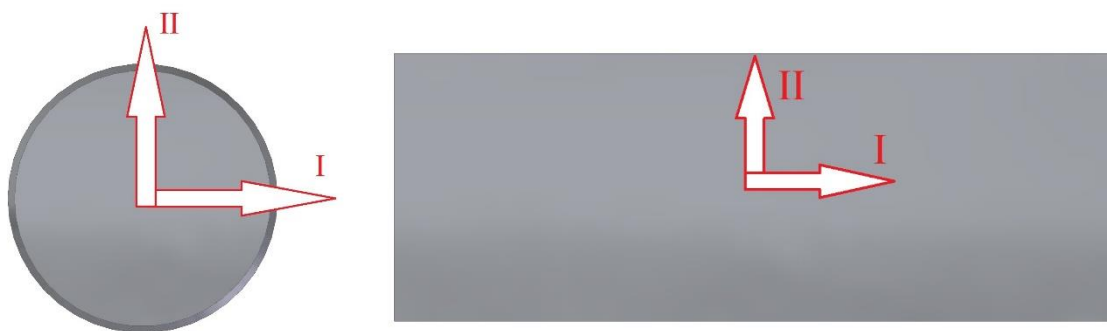
Obr. 15: Snímek funkční dvojice v tribometru TOP3 (deska TiN)

### 3.2 Měření drsnosti povrchu

K měření drsnosti povrchu byl použit drsnoměr Mitutoyo SJ-301. Měřeny byly hodnoty drsnosti Ra a Rz funkčního povrchu tablety a desky.

- Ra (střední aritmetická úchylna profilu) je aritmetický průměr absolutních hodnot výšky a hloubky profilu v rozsahu základní délky. Tato hodnota nevyovídá zcela přesně o dané drsnosti, protože nereaguje citlivě na extrémní hodnoty výšky a hloubky měřeného profilu.
- Rz (největší výška profilu) je součet největší výšky a největší hloubky profilu v rozsahu základní délky

Hodnoty drsnosti byly měřeny ve dvou směrech. První směr je rovnoběžný se směrem pohybu desky vůči tabletě a druhý je na tento směr kolmý. Měření bylo provedeno před i po zkoušce na tribometru TOP3.



Obr. 16: Směry měření drsnosti povrchu tablety a desky



Obr. 17: Drsnoměr Mitutoyo SJ-301



### 3.3 Tribologická zkouška ocel – teflon

#### 3.3.1 Suché tření

Tribologická zkouška byla prováděna na tribometru TOP3 s normálovým zatížením 0,521 kg. Testovaná funkční dvojice byla ve formě ocelové tablety a ocelová desky opatřené teflonovou páskou. Měření bylo rozděleno na pět intervalů po dvou minutách a po každém intervalu byla tableta i deska důkladně odmaštěna pomocí perchlorethylenu.

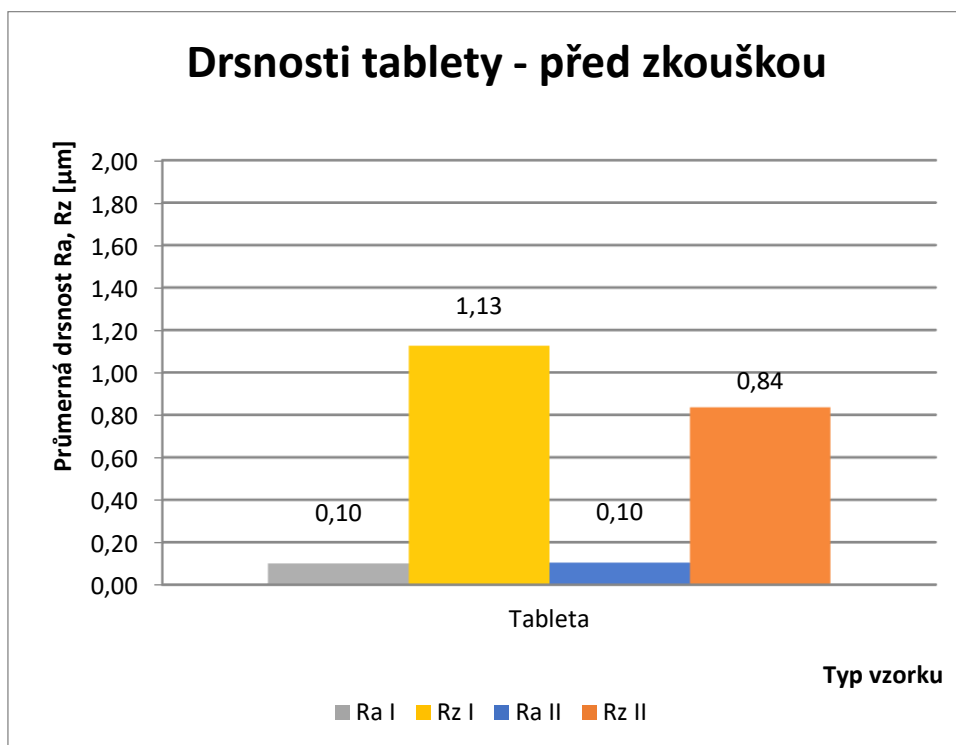
##### 3.3.1.1 Měření č. 1

Tab. 3: Hodnoty drsnosti tablety č. 9 před zkouškou na tribometru

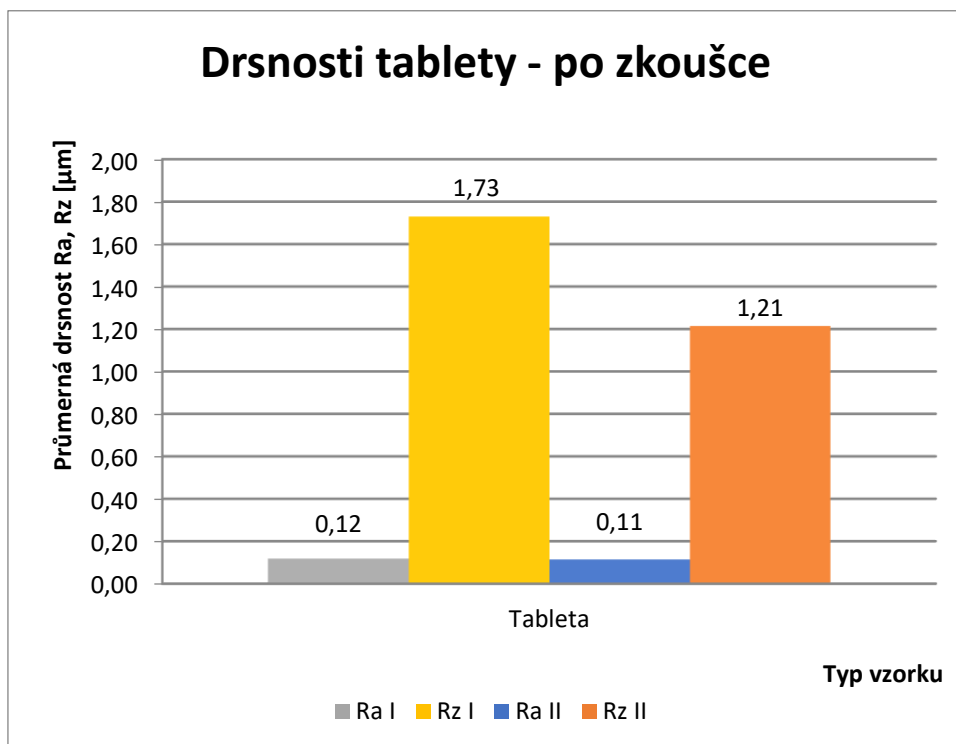
Tableta	9		Tableta	9	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,09	0,75	1	0,11	1,11
2	0,10	0,79	2	0,11	0,81
3	0,09	0,66	3	0,10	0,76
4	0,10	1,56	4	0,10	0,81
5	0,12	1,87	5	0,10	0,69
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,10</u>	<u>1,13</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,10</u>	<u>0,84</u>

Tab. 4: Hodnoty drsnosti tablety č. 9 po zkoušce na tribometru

Tableta	9		Tableta	9	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,10	0,95	1	0,09	0,74
2	0,15	1,39	2	0,12	1,08
3	0,11	2,50	3	0,15	2,58
4	0,12	1,95	4	0,11	0,90
5	0,11	1,86	5	0,10	0,77
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>1,73</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,11</u>	<u>1,21</u>



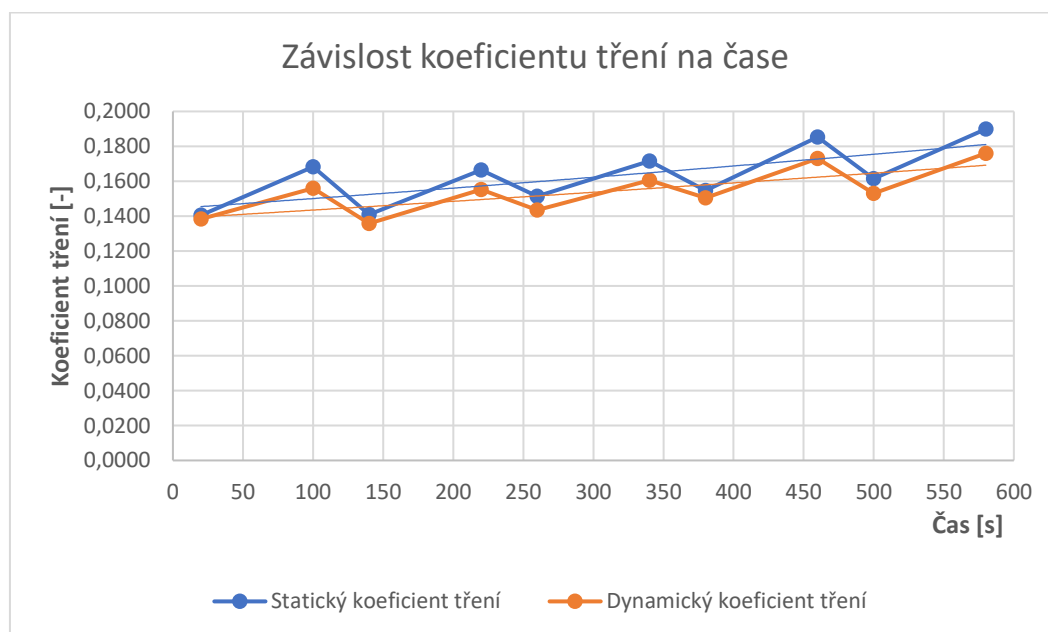
Graf 1: Průměrné hodnoty drsnosti tablety č. 9 před zkouškou na tribometru



Graf 2: Průměrné hodnoty drsnosti tablety č. 9 po zkoušce na tribometru

Tab. 5: Hodnoty koeficientu tření ocel – teflon, měření č. 1

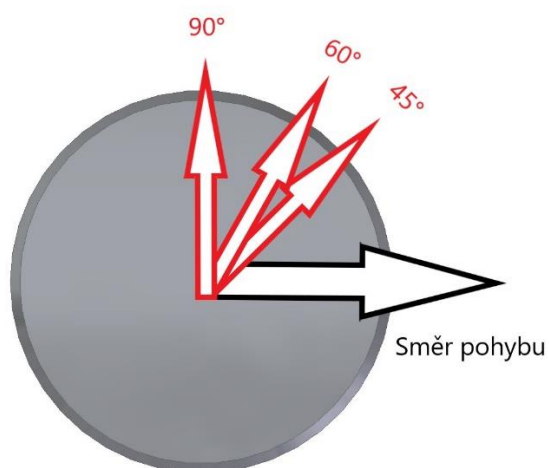
Tableta	9		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska	T1			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,1405	0,1383
90	110	100	0,1683	0,1560
130	150	140	0,1410	0,1358
210	230	220	0,1665	0,1552
250	270	260	0,1514	0,1435
330	350	340	0,1715	0,1606
370	390	380	0,1546	0,1504
450	470	460	0,1853	0,1730
490	510	500	0,1614	0,1530
570	590	580	0,1899	0,1760
Pr. hodnota			<u>0,1630</u>	<u>0,1542</u>



Graf 3: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – teflon, měření č. 1

### 3.4 Tribologická zkouška ocel – ocel

Tribologická zkouška byla provedena na tribometru TOP3 s normálovým zatížením 0,521 kg. Testovaná funkční dvojice byla ve formě ocelové tablety a ocelové desky. Pro měření byly připraveny čtyři typy tablet, které se od sebe lišily různým úhlem broušení vůči směru pohybu – 90°, 45°, 60° a 0°. Všechny typy tablet byly podrobeny zkoušce na tribometru bez a s použitím maziva. Byly použity dva druhy maziva, olej 15W-40 nový a použitý z automobilu po nájedzu 30 000 km.



Obr. 18: Úhly broušení tablety

### 3.4.1 Suché tření

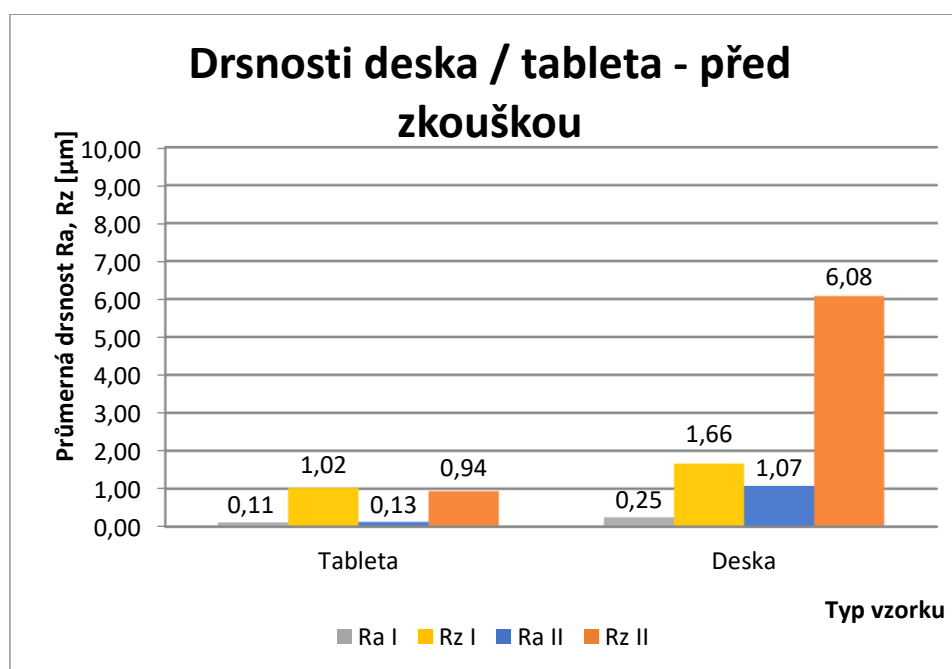
Měření bylo rozděleno na pět intervalů po dvou minutách a po každém intervalu byla tableta i deska důkladně odmaštěna pomocí perchlorethylenu.

#### 3.4.1.1 Tableta broušena pod úhlem 90°

Tab. 6: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – suché tření

Tableta	1		Tableta	1	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	0,97	1	0,13	0,88
2	0,11	0,95	2	0,12	0,98
3	0,11	1,13	3	0,13	0,96
4	0,12	1,00	4	0,13	0,98
5	0,12	1,06	5	0,12	0,88
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,11</u>	<u>1,02</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,13</u>	<u>0,94</u>

Deska	X		Deska	X	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,20	1,21	1	1,10	5,84
2	0,22	1,41	2	1,03	6,16
3	0,29	2,16	3	1,06	5,88
4	0,21	1,26	4	1,08	6,73
5	0,31	2,27	5	1,10	5,77
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,25</u>	<u>1,66</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,07</u>	<u>6,08</u>

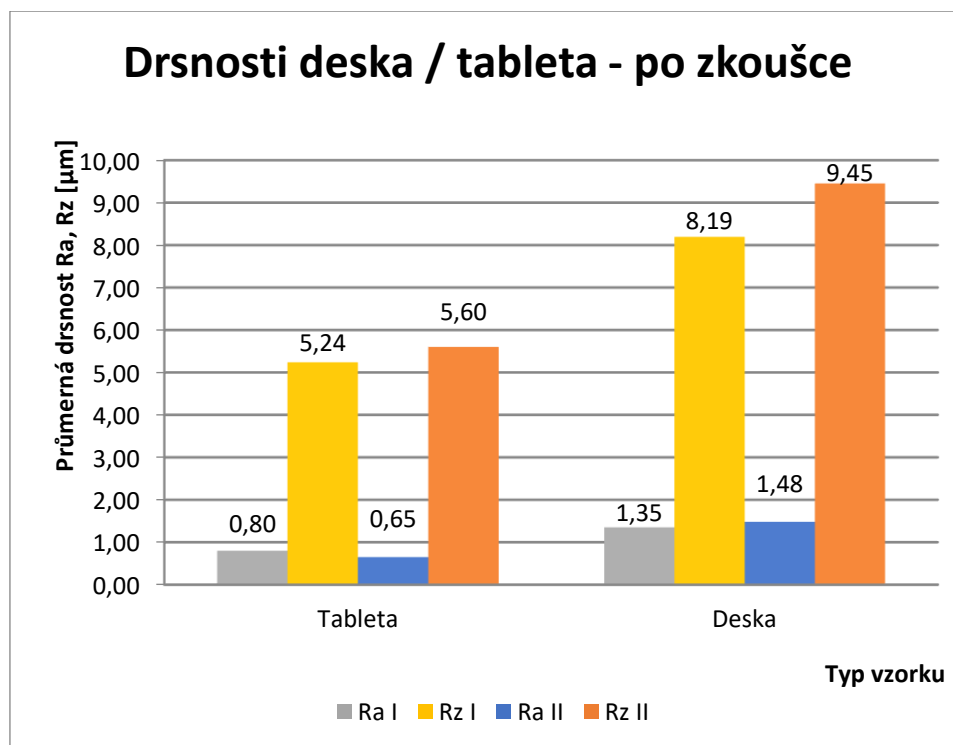


Graf 4: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou na tribometru (90°)

Tab. 7: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – suché tření

Tableta	1		Tableta	1	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,57	4,04	1	0,49	5,75
2	1,86	11,16	2	0,33	3,84
3	1,20	8,52	3	0,45	3,66
4	0,19	1,20	4	1,39	9,71
5	0,17	1,27	5	0,59	5,05
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,80</u>	<u>5,24</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,65</u>	<u>5,60</u>

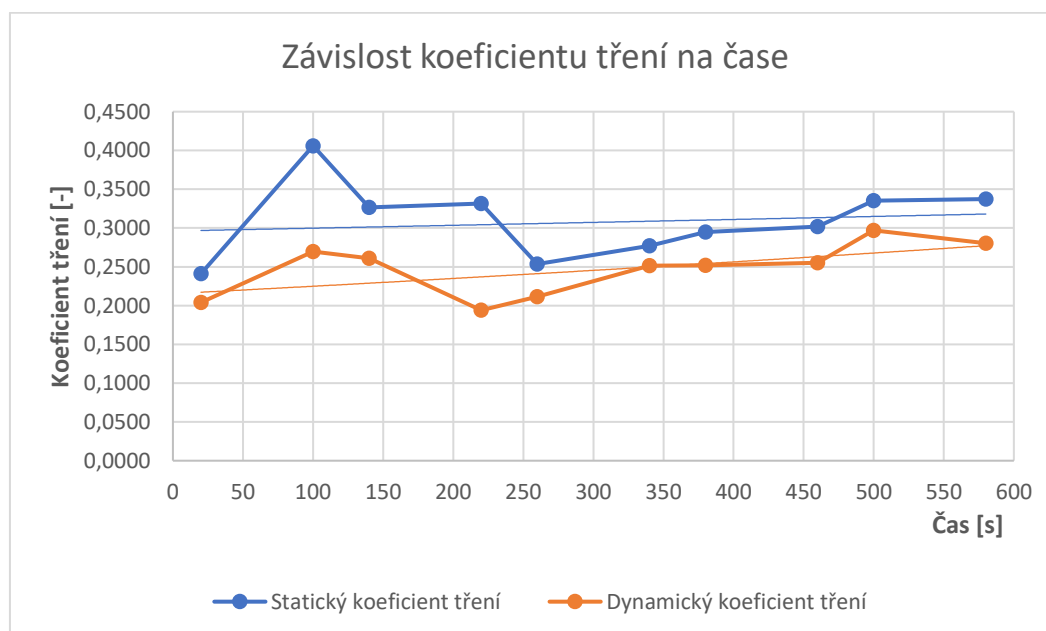
Deska	X		Deska	X	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	1,47	10,34	1	1,16	6,79
2	0,77	4,30	2	1,87	12,91
3	1,26	6,99	3	1,65	11,09
4	1,87	11,43	4	1,17	7,88
5	1,38	7,91	5	1,55	8,59
Pr. hodnota drsnosti	<u>1,35</u>	<u>8,19</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,48</u>	<u>9,45</u>



Graf 5: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce na tribometru (90°)

Tab. 8: Hodnoty koeficientu suchého tření ocel – ocel, tableta 90°

Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,2411	0,2040
90	110	100	0,4060	0,2695
130	150	140	0,3265	0,2611
210	230	220	0,3315	0,1940
250	270	260	0,2537	0,2114
330	350	340	0,2770	0,2515
370	390	380	0,2949	0,2518
450	470	460	0,3018	0,2550
490	510	500	0,3352	0,2970
570	590	580	0,3374	0,2803
Pr. hodnota			<u>0,3105</u>	<u>0,2476</u>



Graf 6: Závislost koeficientu suchého tření na čase, ocel – ocel, tableta 90°

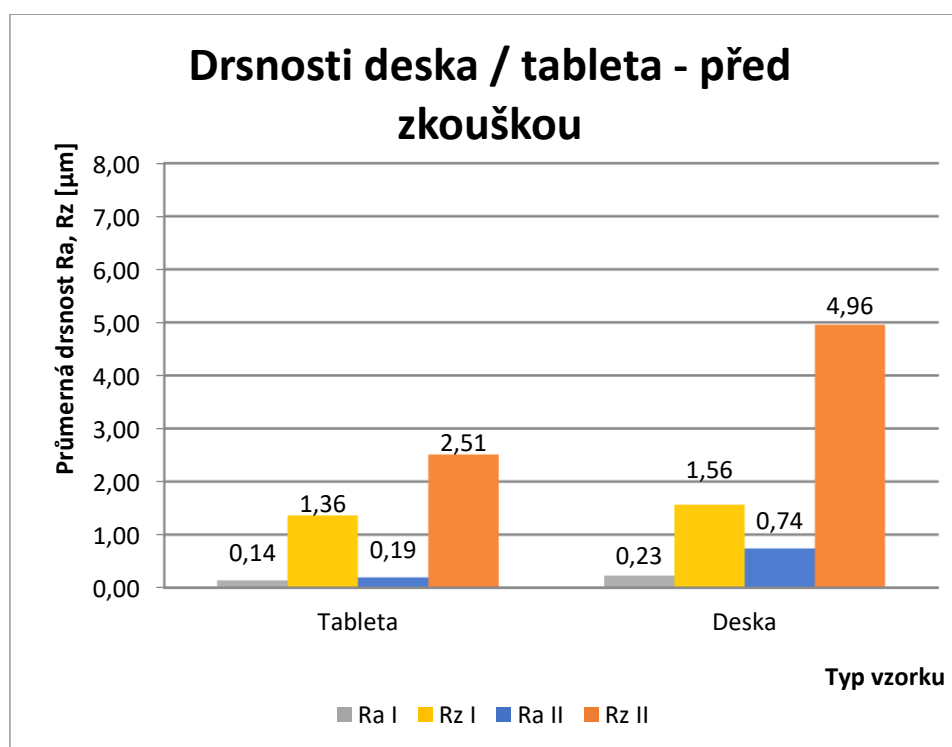
### 3.4.1.2 Tableta broušena pod úhlem 45°

Tab. 9: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – suché tření

Tableta	3		Tableta	3	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,14	1,46	1	0,30	3,84
2	0,20	2,05	2	0,20	3,32
3	0,11	1,10	3	0,17	2,24
4	0,13	1,24	4	0,14	1,19
5	0,11	0,96	5	0,16	1,96
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>1,36</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,19</u>	<u>2,51</u>

Deska	Y		Deska	Y	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,30	1,94	1	0,75	4,89
2	0,20	1,44	2	0,78	5,24
3	0,16	1,14	3	0,69	4,84
4	0,23	1,33	4	0,72	4,73
5	0,25	1,97	5	0,76	5,08
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,23</u>	<u>1,56</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,74</u>	<u>4,96</u>



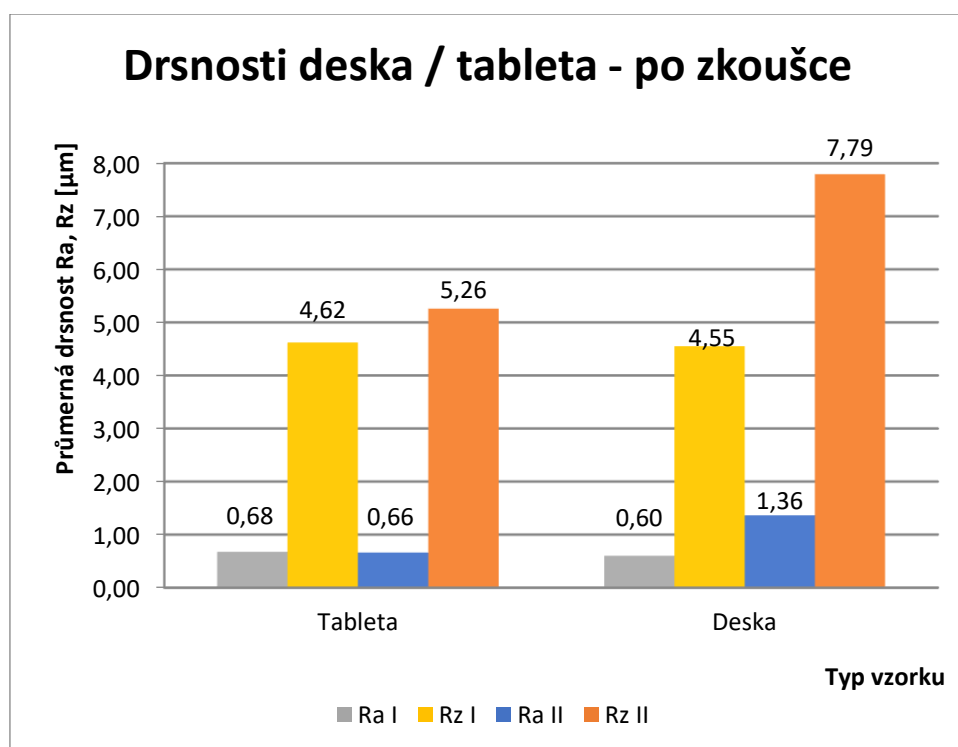
Graf 7: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou na tribometru (45°)



Tab. 10: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – suché tření

Tableta	3		Tableta	3	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,82	5,04	1	0,73	5,33
2	1,16	6,17	2	0,63	5,62
3	0,29	2,10	3	0,56	4,30
4	0,92	8,38	4	0,75	6,38
5	0,19	1,42	5	0,64	4,66
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,68</u>	<u>4,62</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,66</u>	<u>5,26</u>

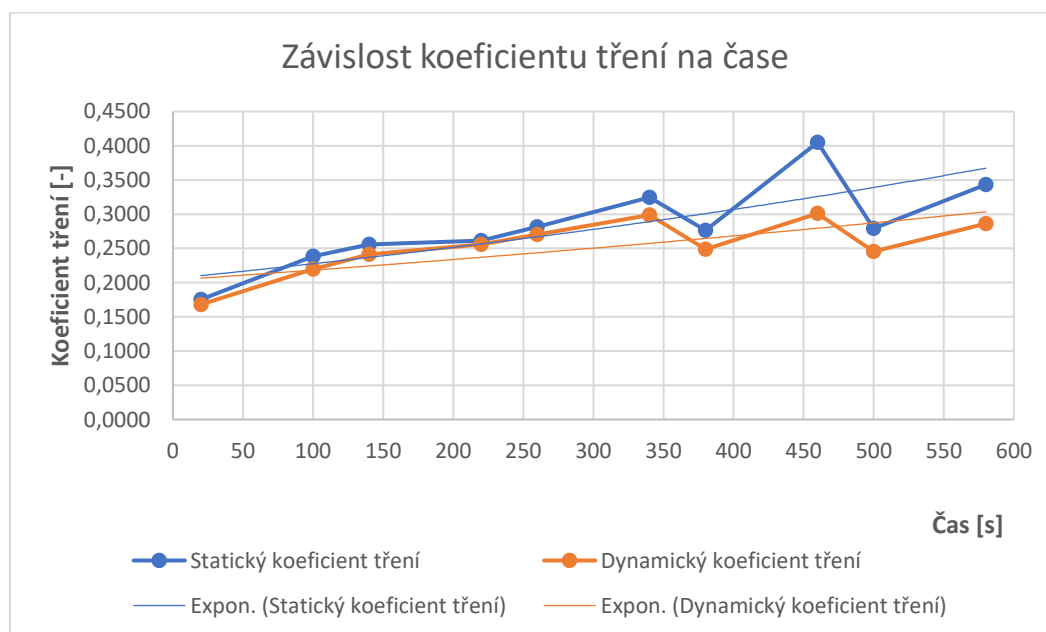
Deska	Y		Deska	Y	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,53	3,74	1	1,25	7,60
2	0,39	3,72	2	1,42	8,11
3	0,70	5,00	3	1,55	8,80
4	0,75	4,94	4	1,35	7,47
5	0,63	5,36	5	1,25	6,98
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,60</u>	<u>4,55</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,36</u>	<u>7,79</u>



Graf 8: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce na tribometru (45°)

Tab. 11: Hodnoty koeficientu suchého tření ocel – ocel, tableta 45°

Tableta	3		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska	Y			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,1754	0,1681
90	110	100	0,2387	0,2196
130	150	140	0,2560	0,2413
210	230	220	0,2612	0,2559
250	270	260	0,2815	0,2701
330	350	340	0,3245	0,2987
370	390	380	0,2764	0,2490
450	470	460	0,4049	0,3010
490	510	500	0,2790	0,2457
570	590	580	0,3432	0,2864
Pr. hodnota			<u>0,2841</u>	<u>0,2536</u>



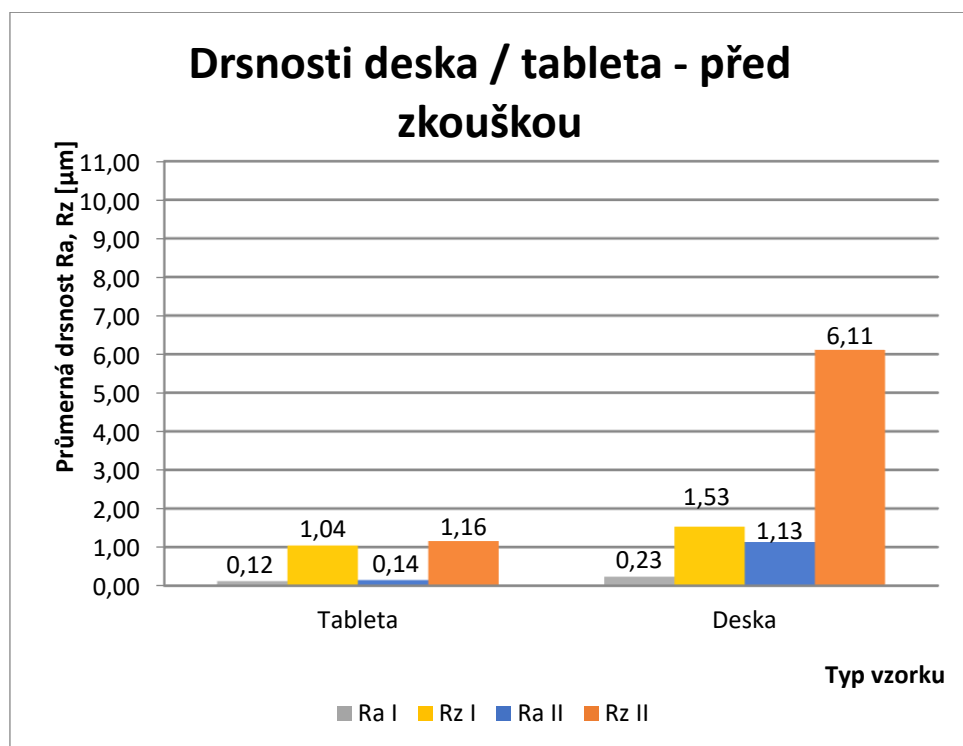
Graf 9: Závislost koeficientu suchého tření na čase, ocel – ocel, tableta 45°

### 3.4.1.3 Tableta broušena pod úhlem 60°

Tab. 12: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – suché tření

Tableta	5		Tableta	5	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	1,00	1	0,15	1,13
2	0,12	0,99	2	0,14	1,22
3	0,12	0,94	3	0,14	1,12
4	0,12	1,13	4	0,14	1,10
5	0,12	1,14	5	0,15	1,21
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>1,04</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>1,16</u>

Deska	Z		Deska	Z	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,28	2,22	1	1,39	7,53
2	0,22	1,46	2	0,98	5,60
3	0,16	0,90	3	0,87	5,29
4	0,32	1,96	4	1,30	6,60
5	0,18	1,11	5	1,12	5,54
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,23</u>	<u>1,53</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,13</u>	<u>6,11</u>

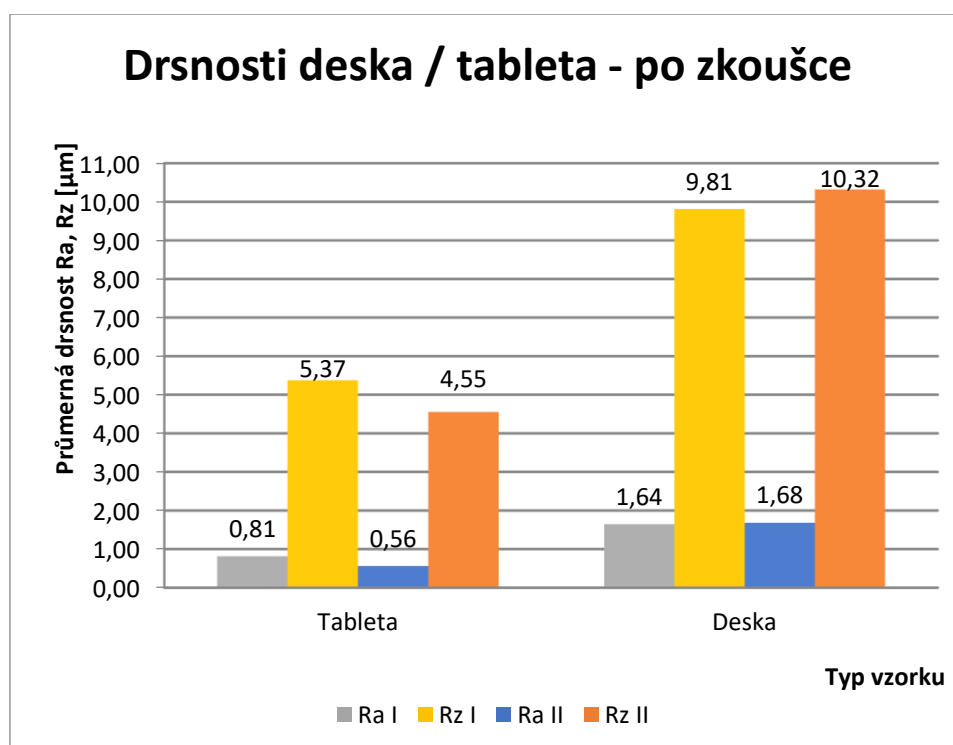


Graf 10: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou na tribometru (60°)

Tab. 13: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – suché tření

Tableta	5		Tableta	5	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,74	5,11	1	0,62	5,14
2	0,92	5,97	2	0,62	4,99
3	0,97	5,09	3	0,58	4,79
4	0,88	5,95	4	0,37	2,93
5	0,56	4,75	5	0,62	4,92
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,81</u>	<u>5,37</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,56</u>	<u>4,55</u>

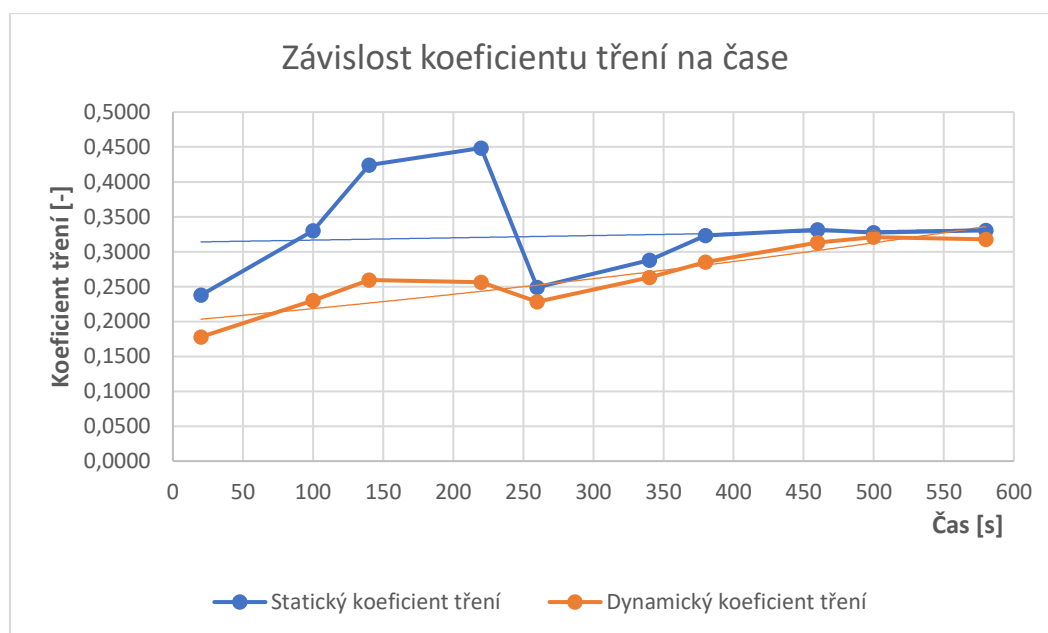
Deska	Z		Deska	Z	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	1,58	9,27	1	1,25	7,27
2	2,18	11,71	2	1,79	12,06
3	1,11	7,90	3	1,73	12,15
4	1,32	8,21	4	1,45	7,82
5	2,03	11,97	5	2,19	12,30
Pr. hodnota drsnosti	<u>1,64</u>	<u>9,81</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,68</u>	<u>10,32</u>



Graf 11: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce na tribometru (60°)

Tab. 14: Hodnoty koeficientu suchého tření ocel – ocel, tableta 60°

Tableta		5	Deska		Z	Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]	Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota						
10	30	20	0,2378	0,1779				
90	110	100	0,3299	0,2303				
130	150	140	0,4242	0,2596				
210	230	220	0,4485	0,2563				
250	270	260	0,2489	0,2281				
330	350	340	0,2879	0,2632				
370	390	380	0,3230	0,2850				
450	470	460	0,3316	0,3131				
490	510	500	0,3275	0,3208				
570	590	580	0,3306	0,3175				
Pr. hodnota			<u>0,3290</u>	<u>0,2652</u>				



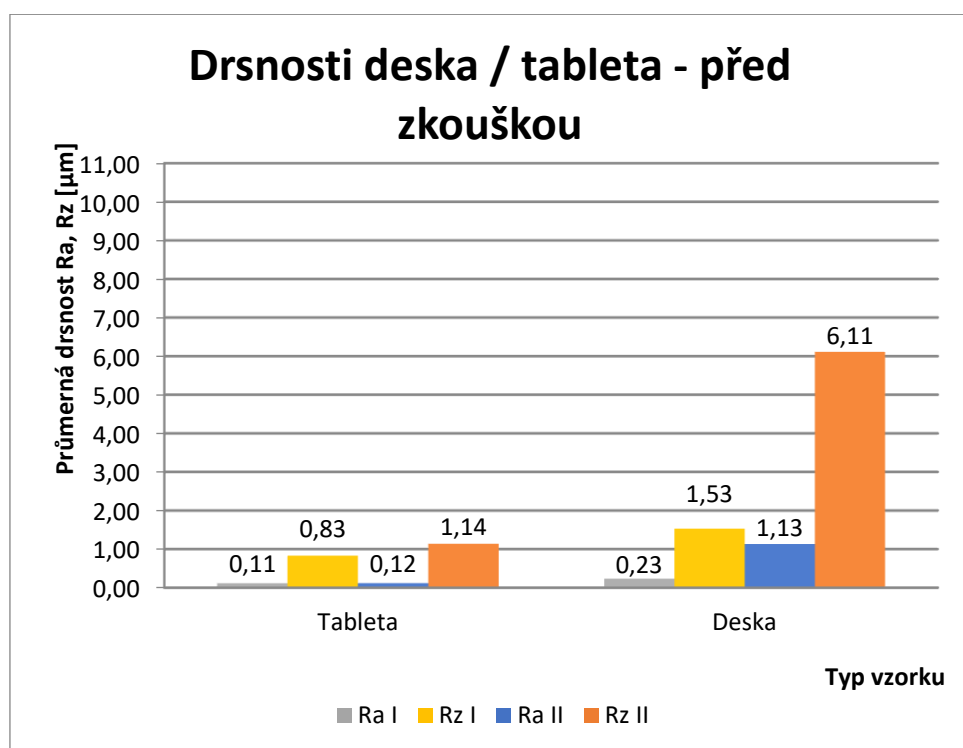
Graf 12: Závislost koeficientu suchého tření na čase, ocel – ocel, tableta 60°

### 3.4.1.4 Tableta broušena ve směru pohybu (úhel 0°)

Tab. 15: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – suché tření

Tableta	7		Tableta	7	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	0,73	1	0,12	1,25
2	0,11	0,88	2	0,12	1,25
3	0,12	0,98	3	0,12	0,99
4	0,11	0,79	4	0,11	0,99
5	0,12	0,77	5	0,12	1,20
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,11</u>	<u>0,83</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>1,14</u>

Deska	Z		Deska	Z	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,28	2,22	1	1,39	7,53
2	0,22	1,46	2	0,98	5,60
3	0,16	0,90	3	0,87	5,29
4	0,32	1,96	4	1,30	6,60
5	0,18	1,11	5	1,12	5,54
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,23</u>	<u>1,53</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,13</u>	<u>6,11</u>

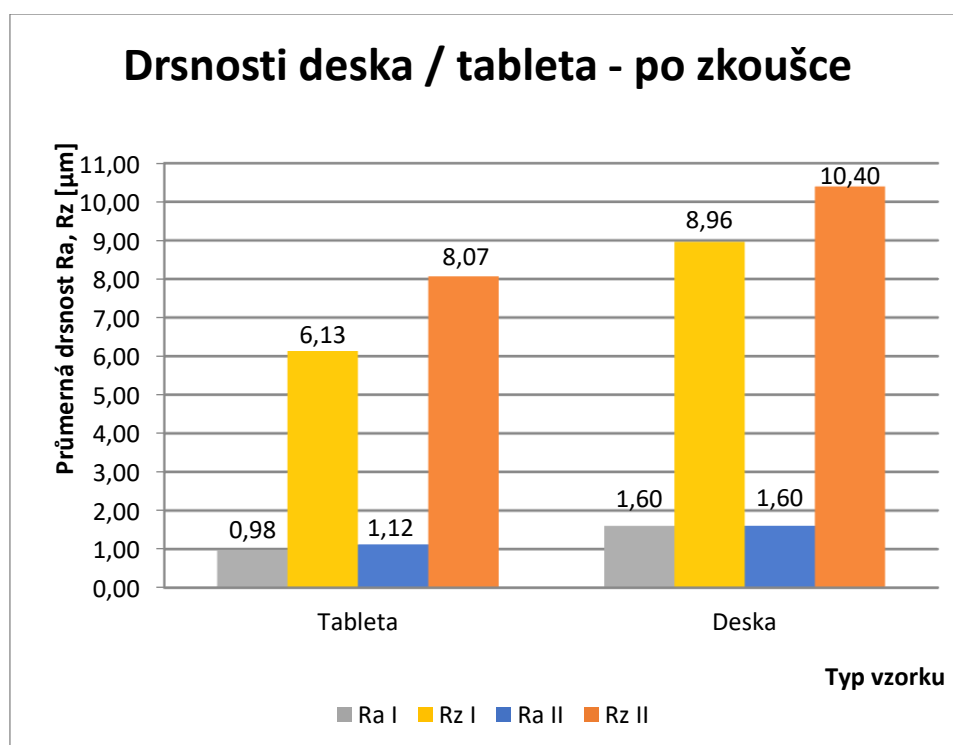


Graf 13: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou na tribometru (0°)

Tab. 16: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – suché tření

Tableta	7		Tableta	7	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	1,03	7,14	1	1,23	8,96
2	1,08	7,21	2	0,93	6,65
3	1,00	5,67	3	1,16	7,71
4	0,59	3,89	4	1,27	9,34
5	1,21	6,75	5	1,02	7,68
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,98</u>	<u>6,13</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,12</u>	<u>8,07</u>

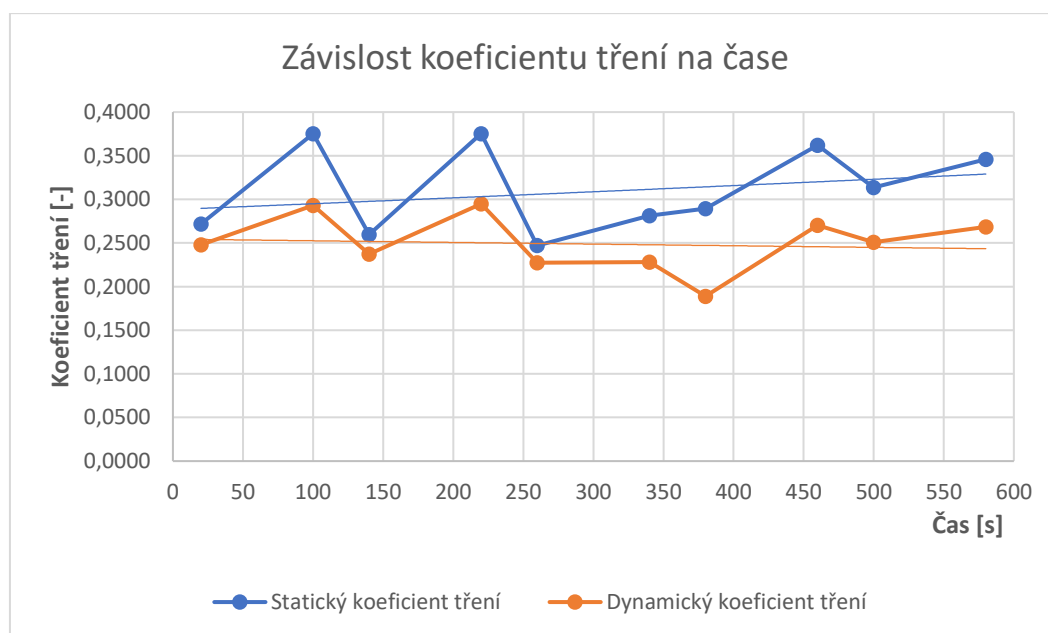
Deska	Z		Deska	Z	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	2,03	10,33	1	0,93	6,63
2	1,31	8,14	2	1,55	10,00
3	1,27	8,43	3	1,62	11,60
4	2,45	12,24	4	2,27	12,37
5	0,95	5,67	5	1,65	11,39
Pr. hodnota drsnosti	<u>1,60</u>	<u>8,96</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,60</u>	<u>10,40</u>



Graf 14: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce na tribometru (0°)

Tab. 17: Hodnoty koeficientu suchého tření ocel – ocel, tableta 0°

Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,2718	0,2480
90	110	100	0,3753	0,2929
130	150	140	0,2596	0,2371
210	230	220	0,3754	0,2948
250	270	260	0,2470	0,2272
330	350	340	0,2813	0,2280
370	390	380	0,2895	0,1890
450	470	460	0,3620	0,2704
490	510	500	0,3135	0,2507
570	590	580	0,3458	0,2686
Pr. hodnota			<u>0,3121</u>	<u>0,2507</u>



Graf 15: Závislost koeficientu suchého tření na čase, ocel – ocel, tableta 0°



### 3.4.2 Mazáno novým olejem

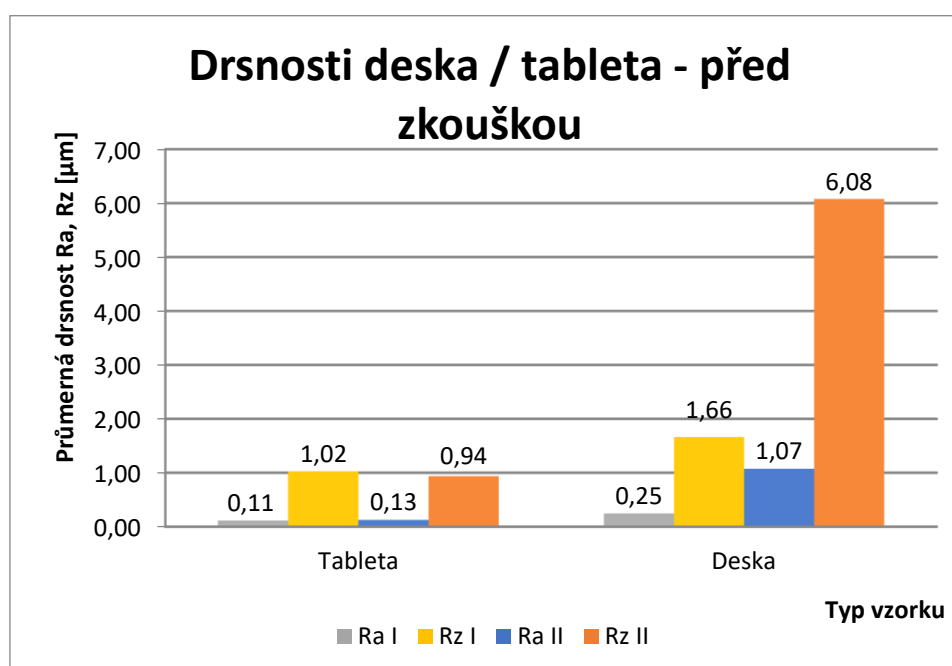
Jako mazivo byl použit motorový olej Mogul Diesel DT 15W-40. Mezi tabletu a desku bylo aplikováno 0,2 ml oleje a po každém dvouminutovém intervalu bylo stejné množství oleje doplněno.

#### 3.4.2.1 Tableta broušena pod úhlem 90°

Tab. 18: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – nový olej

Tableta	1		Tableta	1	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	0,97	1	0,13	0,88
2	0,11	0,95	2	0,12	0,98
3	0,11	1,13	3	0,13	0,96
4	0,12	1,00	4	0,13	0,98
5	0,12	1,06	5	0,12	0,88
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,11</u>	<u>1,02</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,13</u>	<u>0,94</u>

Deska	X		Deska	X	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,20	1,21	1	1,10	5,84
2	0,22	1,41	2	1,03	6,16
3	0,29	2,16	3	1,06	5,88
4	0,21	1,26	4	1,08	6,73
5	0,31	2,27	5	1,10	5,77
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,25</u>	<u>1,66</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,07</u>	<u>6,08</u>

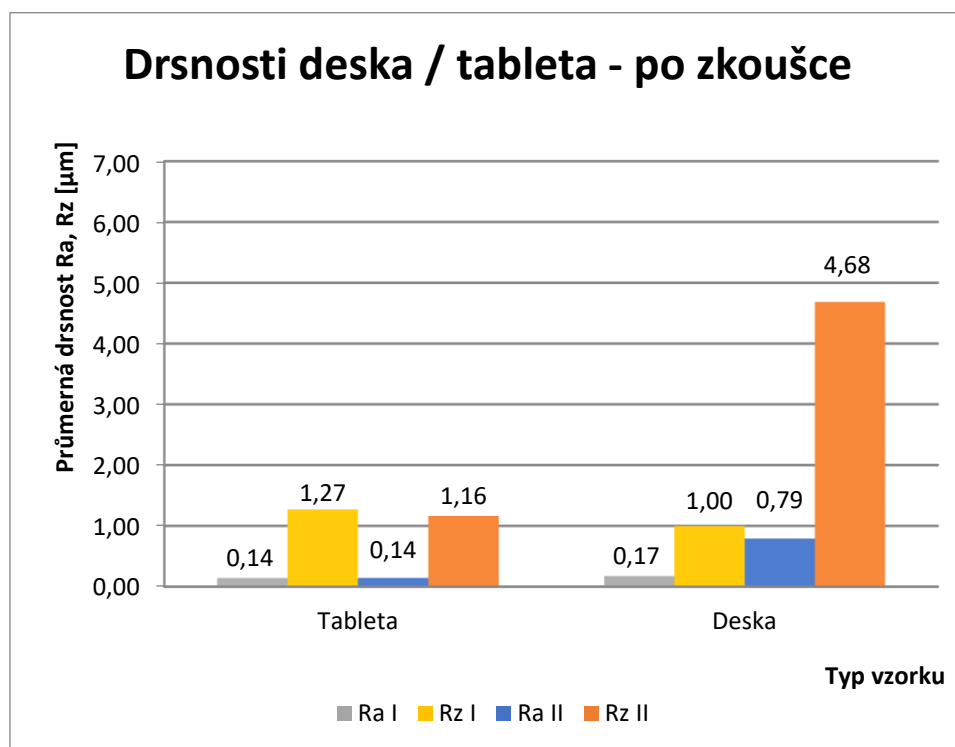


Graf 16: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – nový olej

Tab. 19: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – nový olej

Tableta	1		Tableta	1	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,16	1,29	1	0,13	1,34
2	0,15	1,28	2	0,13	1,06
3	0,13	1,07	3	0,17	1,39
4	0,17	1,84	4	0,16	1,07
5	0,10	0,87	5	0,13	0,96
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>1,27</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>1,16</u>

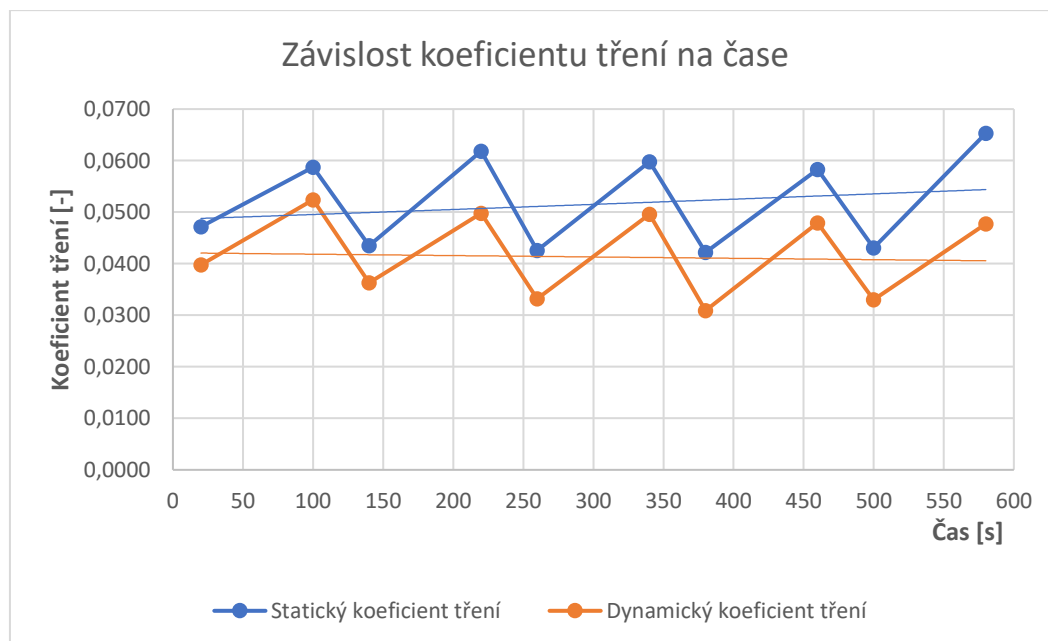
Deska	X		Deska	X	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,15	0,86	1	0,78	4,59
2	0,17	1,09	2	0,67	4,03
3	0,19	1,06	3	0,72	4,54
4	0,15	0,90	4	0,90	5,15
5	0,21	1,08	5	0,89	5,11
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,17</u>	<u>1,00</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,79</u>	<u>4,68</u>



Graf 17: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – nový olej

Tab. 20: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, nový olej, tableta 90°

Tableta	1		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska	X			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,0472	0,0398
90	110	100	0,0587	0,0524
130	150	140	0,0435	0,0363
210	230	220	0,0618	0,0498
250	270	260	0,0426	0,0332
330	350	340	0,0598	0,0496
370	390	380	0,0422	0,0309
450	470	460	0,0583	0,0479
490	510	500	0,0431	0,0330
570	590	580	0,0653	0,0477
Pr. hodnota			<u>0,0523</u>	<u>0,0421</u>



Graf 18: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, nový olej, tableta 90°

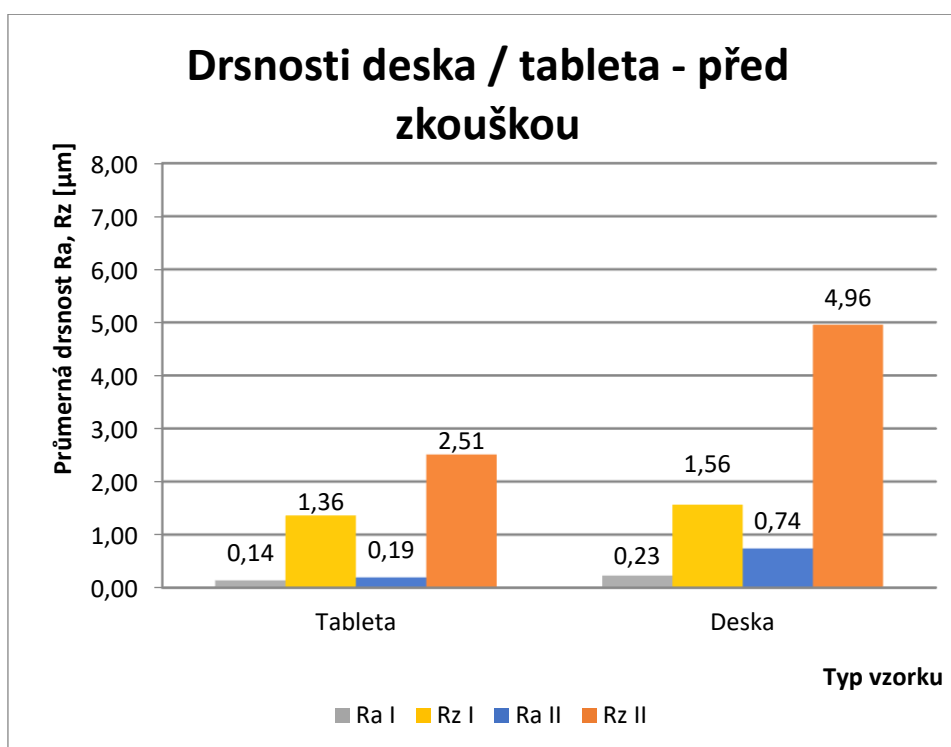
### 3.4.2.2 Tableta broušena pod úhlem 45°

Tab. 21: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – nový olej

Tableta	3		Tableta	3	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,14	1,46	1	0,30	3,84
2	0,20	2,05	2	0,20	3,32
3	0,11	1,10	3	0,17	2,24
4	0,13	1,24	4	0,14	1,19
5	0,11	0,96	5	0,16	1,96
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>1,36</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,19</u>	<u>2,51</u>

Deska	Y		Deska	Y	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,30	1,94	1	0,75	4,89
2	0,20	1,44	2	0,78	5,24
3	0,16	1,14	3	0,69	4,84
4	0,23	1,33	4	0,72	4,73
5	0,25	1,97	5	0,76	5,08
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,23</u>	<u>1,56</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,74</u>	<u>4,96</u>



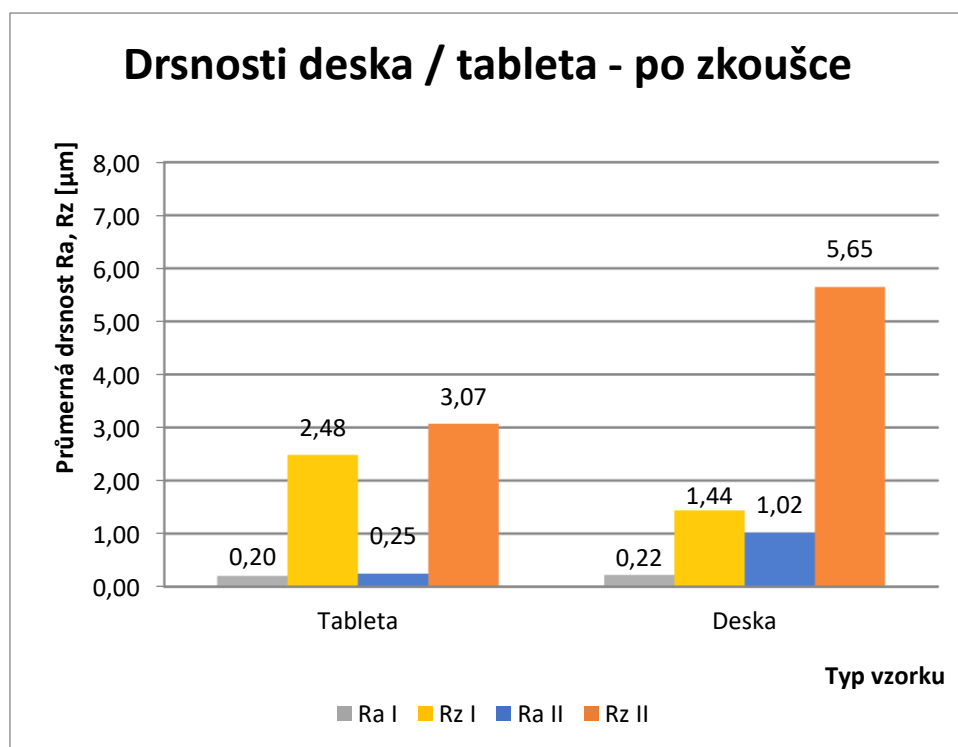
Graf 19: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – nový olej

Tab. 22: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – nový olej

Tableta	3		Tableta	3	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,16	1,70	1	0,24	2,91
2	0,18	2,86	2	0,20	2,47
3	0,27	3,44	3	0,31	3,89
4	0,28	3,37	4	0,29	3,55
5	0,12	1,05	5	0,19	2,54
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,20</u>	<u>2,48</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,25</u>	<u>3,07</u>

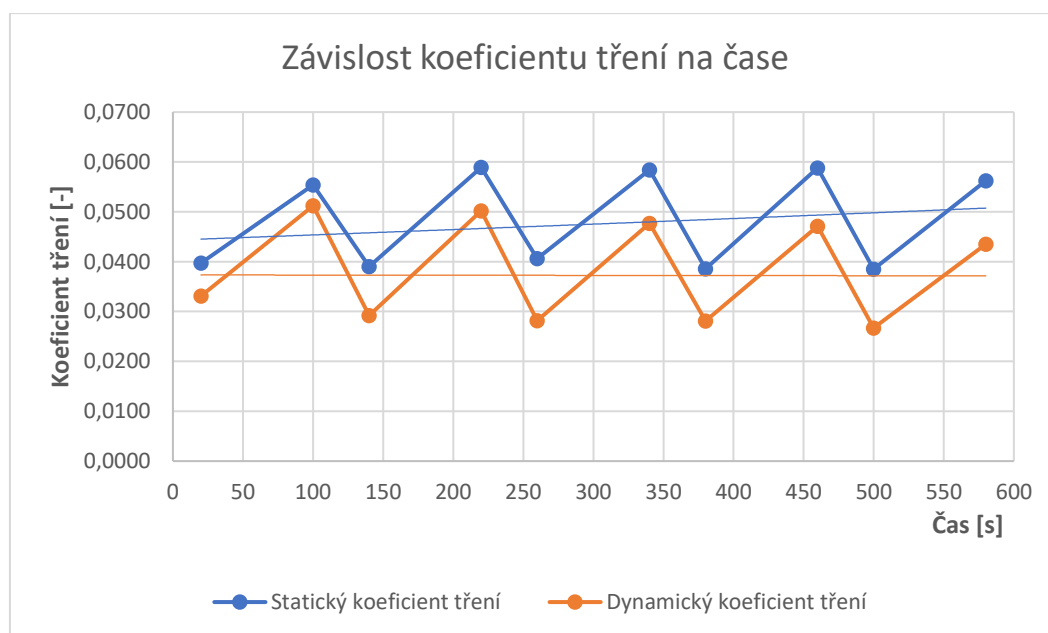
Deska	Y		Deska	Y	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,22	1,41	1	1,04	6,11
2	0,22	1,46	2	1,01	6,16
3	0,26	1,59	3	0,99	5,26
4	0,20	1,37	4	1,00	5,26
5	0,21	1,36	5	1,04	5,45
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,22</u>	<u>1,44</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,02</u>	<u>5,65</u>



Graf 20: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – nový olej

Tab. 23: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, nový olej, tableta 45°

Tableta		3	Deska		Y	Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]	Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota						
10	30	20	0,0397	0,0331				
90	110	100	0,0554	0,0512				
130	150	140	0,0390	0,0292				
210	230	220	0,0589	0,0502				
250	270	260	0,0406	0,0282				
330	350	340	0,0584	0,0477				
370	390	380	0,0386	0,0281				
450	470	460	0,0588	0,0471				
490	510	500	0,0385	0,0267				
570	590	580	0,0562	0,0435				
Pr. hodnota			<u>0,0484</u>	<u>0,0385</u>				



Graf 21: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, nový olej, tableta 45°

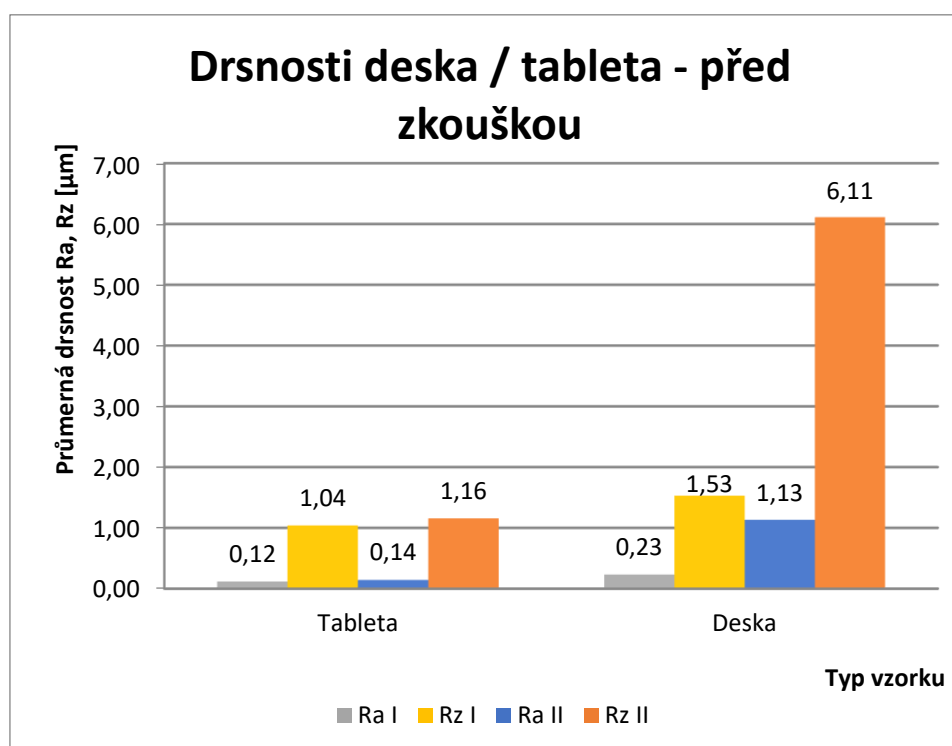
### 3.4.2.3 Tableta broušena pod úhlem 60°

Tab. 24: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – nový olej

Tableta	5		Tableta	5	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	1,00	1	0,15	1,13
2	0,12	0,99	2	0,14	1,22
3	0,12	0,94	3	0,14	1,12
4	0,12	1,13	4	0,14	1,10
5	0,12	1,14	5	0,15	1,21
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>1,04</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>1,16</u>

Deska	Z		Deska	Z	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,28	2,22	1	1,39	7,53
2	0,22	1,46	2	0,98	5,60
3	0,16	0,90	3	0,87	5,29
4	0,32	1,96	4	1,30	6,60
5	0,18	1,11	5	1,12	5,54
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,23</u>	<u>1,53</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,13</u>	<u>6,11</u>

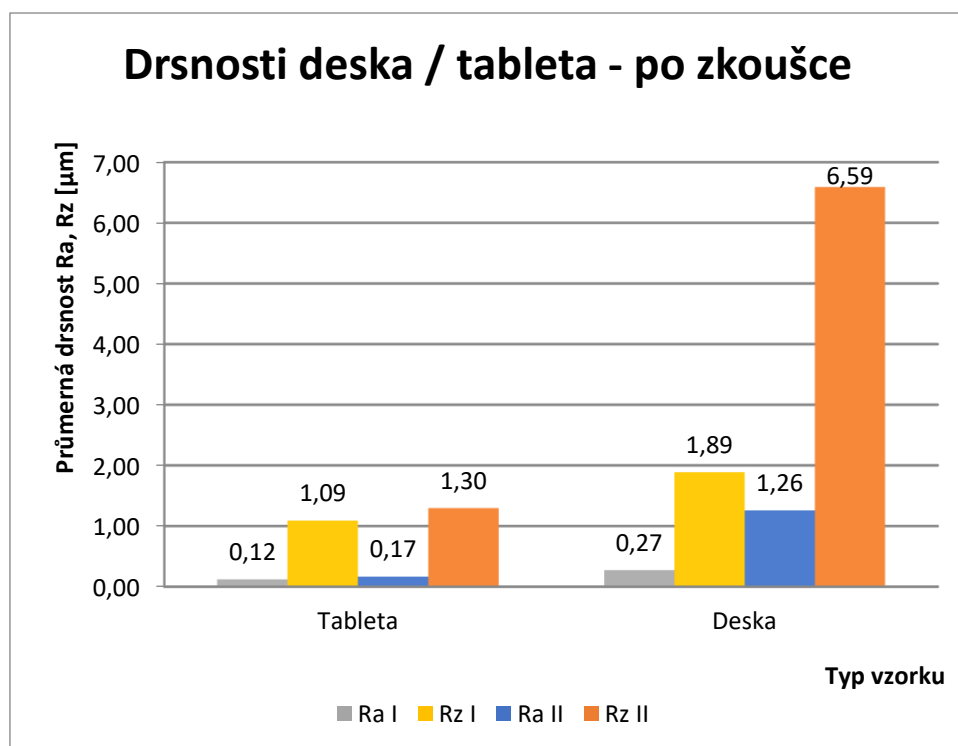


Graf 22: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – nový olej

Tab. 25: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – nový olej

Tableta	5		Tableta	5	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,12	1,15	1	0,17	1,41
2	0,13	1,01	2	0,18	1,43
3	0,11	0,91	3	0,15	1,19
4	0,12	1,16	4	0,17	1,30
5	0,12	1,22	5	0,16	1,15
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>1,09</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,17</u>	<u>1,30</u>

Deska	Z		Deska	Z	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,26	2,04	1	1,18	6,17
2	0,26	1,66	2	1,26	6,57
3	0,30	2,52	3	1,13	6,25
4	0,23	1,47	4	1,45	7,46
5	0,31	1,75	5	1,27	6,51
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,27</u>	<u>1,89</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,26</u>	<u>6,59</u>

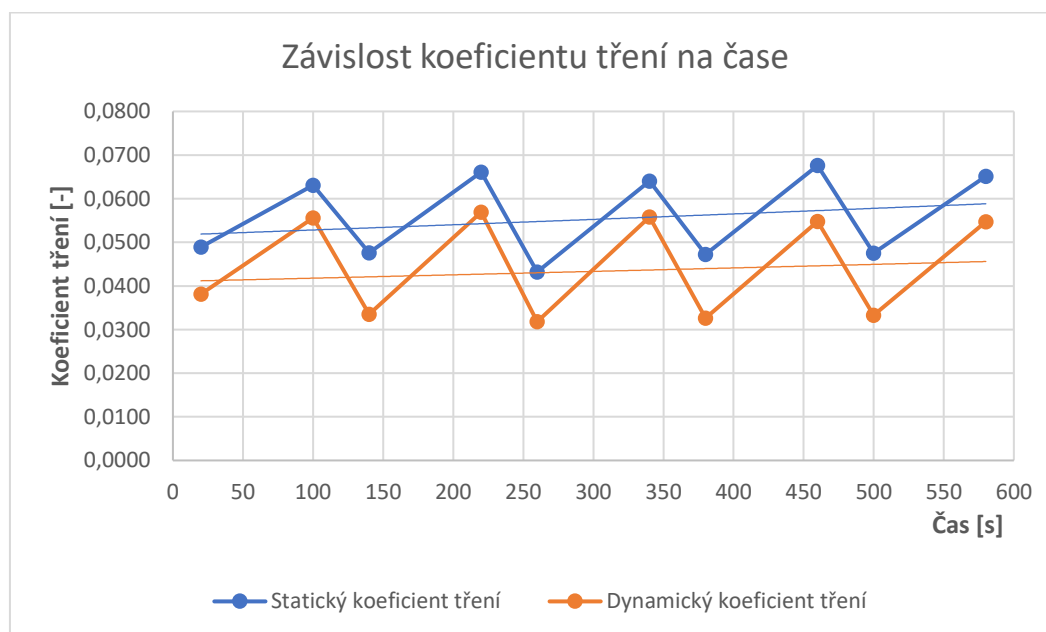


Graf 23: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – nový olej



Tab. 26: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, nový olej, tableta 60°

Tableta		5		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska		Z			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Pr. hodnota		
Od	Do				
10	30	20		0,0489	0,0381
90	110	100		0,0631	0,0556
130	150	140		0,0476	0,0335
210	230	220		0,0661	0,0569
250	270	260		0,0432	0,0318
330	350	340		0,0640	0,0558
370	390	380		0,0472	0,0326
450	470	460		0,0676	0,0548
490	510	500		0,0475	0,0333
570	590	580		0,0651	0,0547
Pr. hodnota				<u>0,0560</u>	<u>0,0447</u>



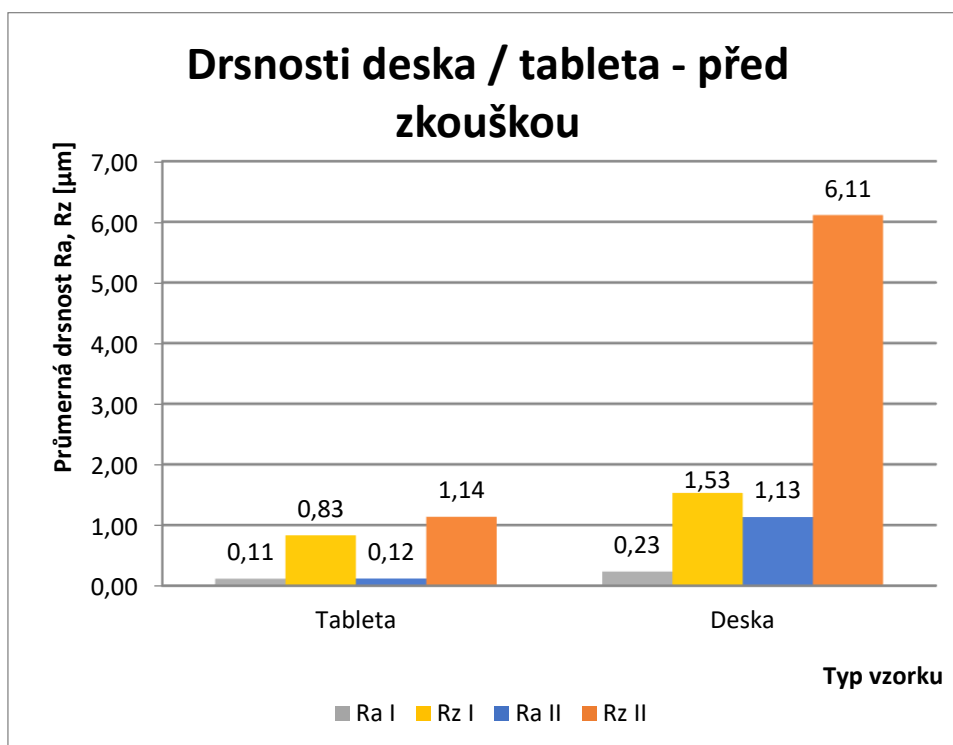
Graf 24: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, nový olej, tableta 60°

### 3.4.2.4 Tableta broušena ve směru pohybu (0°)

Tab. 27: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – nový olej

Tableta	7		Tableta	7	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	0,73	1	0,12	1,25
2	0,11	0,88	2	0,12	1,25
3	0,12	0,98	3	0,12	0,99
4	0,11	0,79	4	0,11	0,99
5	0,12	0,77	5	0,12	1,20
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,11</u>	<u>0,83</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>1,14</u>

Deska	Z		Deska	Z	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,28	2,22	1	1,39	7,53
2	0,22	1,46	2	0,98	5,60
3	0,16	0,90	3	0,87	5,29
4	0,32	1,96	4	1,30	6,60
5	0,18	1,11	5	1,12	5,54
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,23</u>	<u>1,53</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,13</u>	<u>6,11</u>

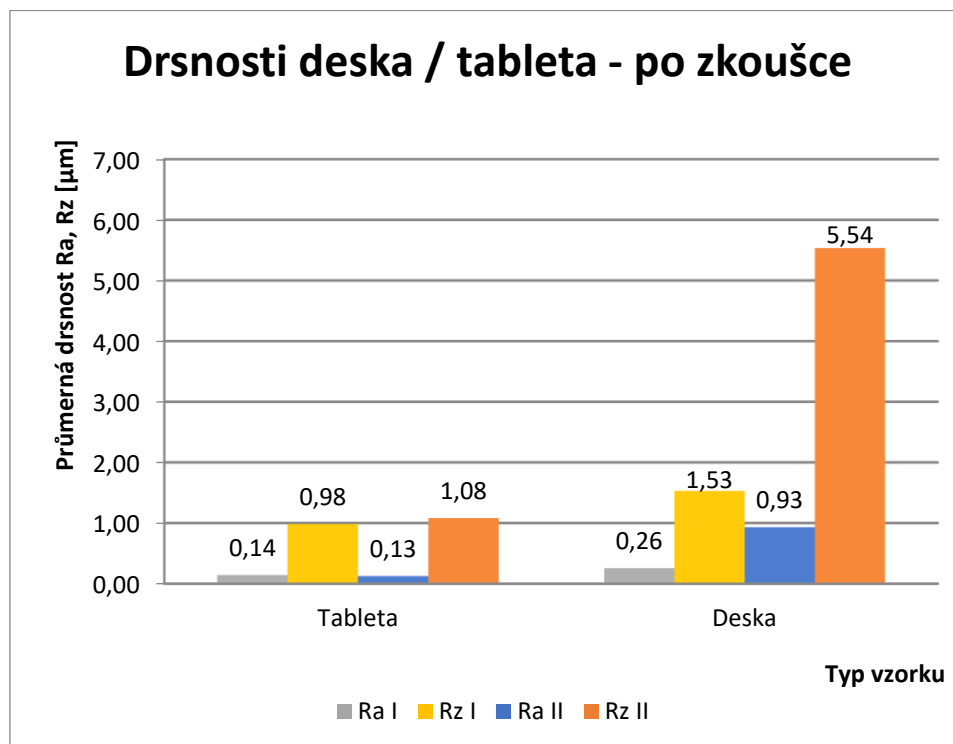


Graf 25: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – nový olej

Tab. 28: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – nový olej

Tableta	7		Tableta	7	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,15	1,06	1	0,13	1,05
2	0,14	1,01	2	0,12	1,12
3	0,16	1,00	3	0,14	1,17
4	0,13	0,91	4	0,12	1,03
5	0,13	0,93	5	0,12	1,04
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>0,98</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,13</u>	<u>1,08</u>

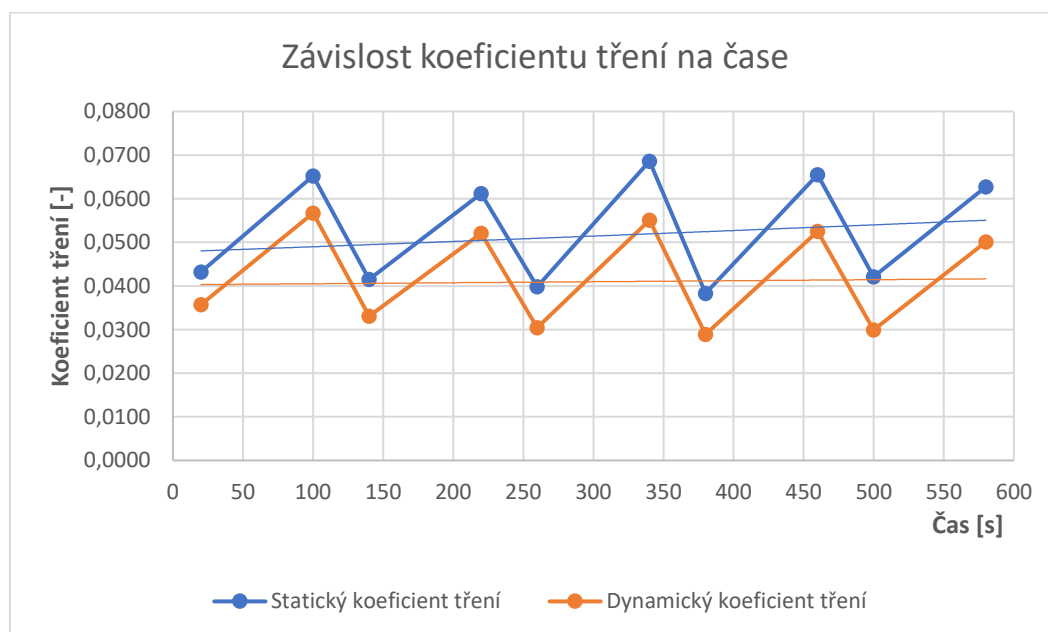
Deska	Z		Deska	Z	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,21	1,24	1	0,97	5,93
2	0,22	1,31	2	0,92	5,68
3	0,21	1,10	3	0,86	5,06
4	0,41	2,55	4	0,96	5,69
5	0,23	1,45	5	0,95	5,32
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,26</u>	<u>1,53</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,93</u>	<u>5,54</u>



Graf 26: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – nový olej

Tab. 29: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, nový olej, tableta 0°

Tableta		7		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska		Z			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Pr. hodnota		
Od	Do	Pr. hodnota			
10	30	20	0,0432	0,0357	
90	110	100	0,0652	0,0567	
130	150	140	0,0415	0,0331	
210	230	220	0,0612	0,0521	
250	270	260	0,0398	0,0304	
330	350	340	0,0686	0,0551	
370	390	380	0,0383	0,0289	
450	470	460	0,0655	0,0525	
490	510	500	0,0421	0,0299	
570	590	580	0,0627	0,0501	
Pr. hodnota			<u>0,0528</u>	<u>0,0425</u>	



Graf 27: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, nový olej, tableta 0°

### 3.4.3 Mazáno použitým olejem

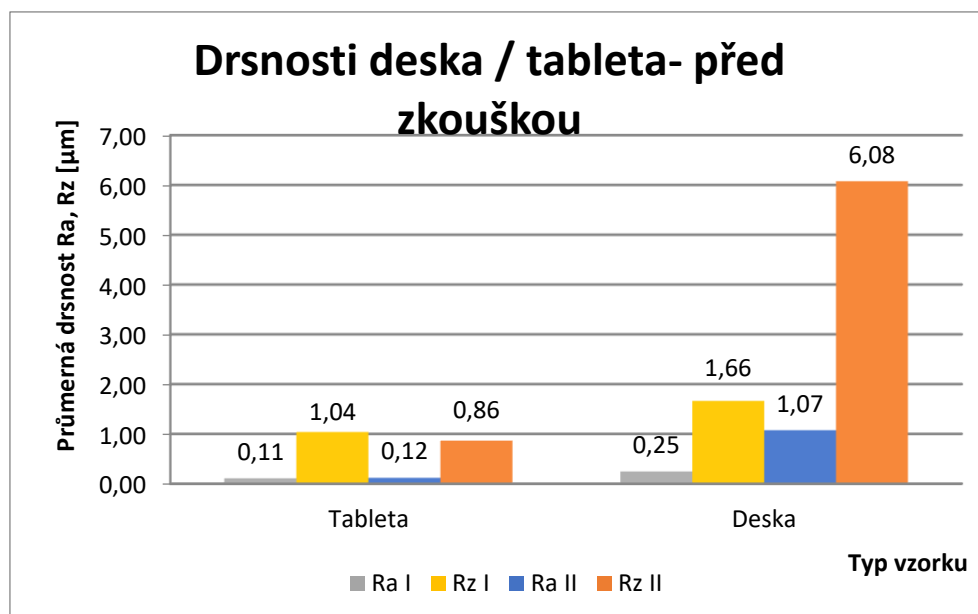
Jako mazivo byl použit motorový olej Mogul Diesel DT 15W-40, který byl používán v automobilu po dobu ujetých 30 000 km. Mezi tabletu a desku bylo aplikováno 0,2 ml oleje a po každém dvouminutovém intervalu bylo stejné množství oleje doplněno.

#### 3.4.3.1 Tableta broušena pod úhlem 90°

Tab. 30: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – použitý olej

Tableta	2		Tableta	2	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	1,03	1	0,10	0,64
2	0,11	1,01	2	0,12	1,03
3	0,11	1,09	3	0,13	0,99
4	0,11	1,11	4	0,13	0,85
5	0,10	0,95	5	0,11	0,81
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,11</u>	<u>1,04</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>0,86</u>

Deska	X		Deska	X	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,20	1,21	1	1,10	5,84
2	0,22	1,41	2	1,03	6,16
3	0,29	2,16	3	1,06	5,88
4	0,21	1,26	4	1,08	6,73
5	0,31	2,27	5	1,10	5,77
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,25</u>	<u>1,66</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,07</u>	<u>6,08</u>

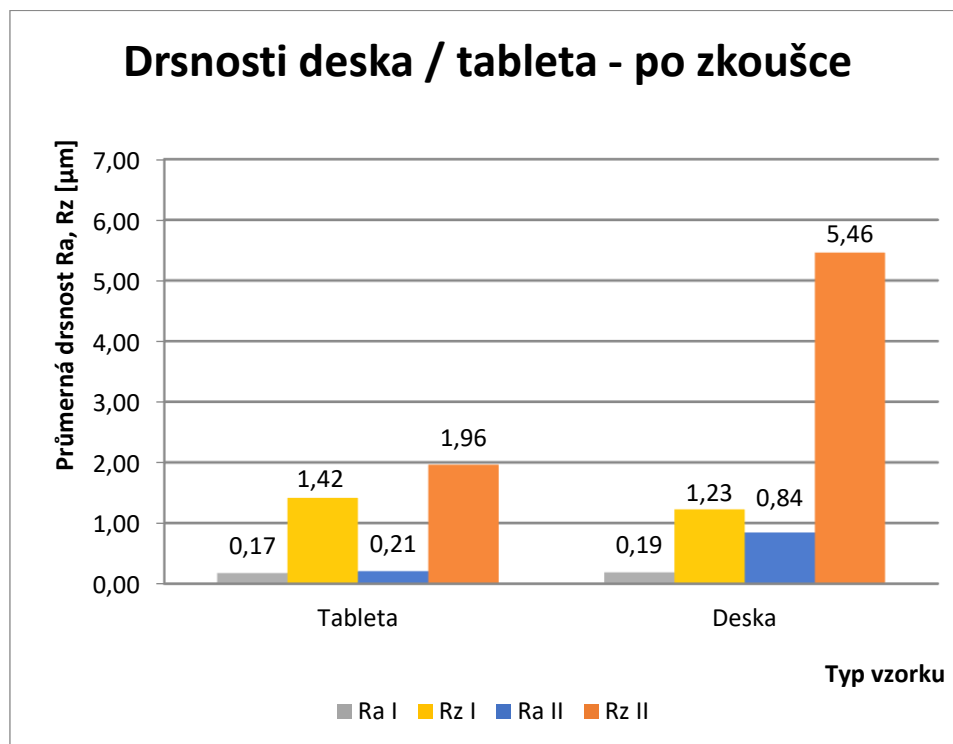


Graf 28: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – použitý olej

Tab. 31: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – použitý olej

Tableta	2		Tableta	2	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,20	1,66	1	0,19	1,67
2	0,13	1,09	2	0,23	2,67
3	0,14	1,15	3	0,21	2,21
4	0,25	1,72	4	0,20	1,64
5	0,15	1,46	5	0,20	1,62
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,17</u>	<u>1,42</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,21</u>	<u>1,96</u>

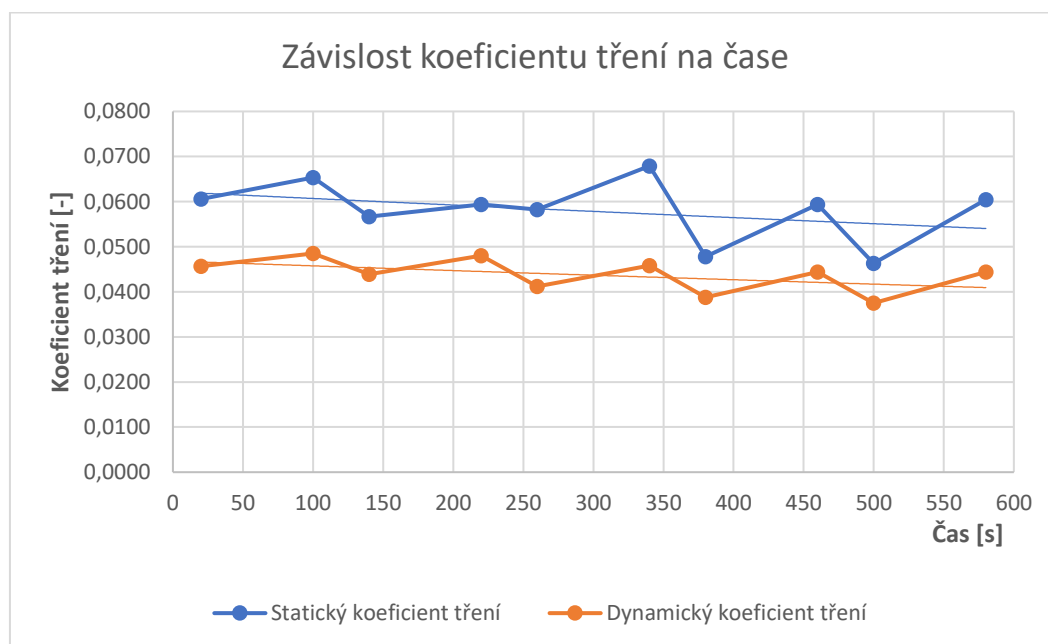
Deska	X		Deska	X	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,19	1,26	1	0,93	5,73
2	0,17	1,20	2	0,86	5,71
3	0,15	0,98	3	0,85	5,44
4	0,19	1,27	4	0,82	5,22
5	0,23	1,42	5	0,76	5,20
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,19</u>	<u>1,23</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,84</u>	<u>5,46</u>



Graf 29: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – použitý olej

Tab. 32: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, použitý olej, tableta 90°

Tableta		2		
Deska		X		
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,0606	0,0457
90	110	100	0,0653	0,0485
130	150	140	0,0567	0,0439
210	230	220	0,0594	0,0480
250	270	260	0,0582	0,0412
330	350	340	0,0679	0,0458
370	390	380	0,0478	0,0388
450	470	460	0,0594	0,0444
490	510	500	0,0463	0,0375
570	590	580	0,0604	0,0444
Pr. hodnota			<u>0,0582</u>	<u>0,0438</u>



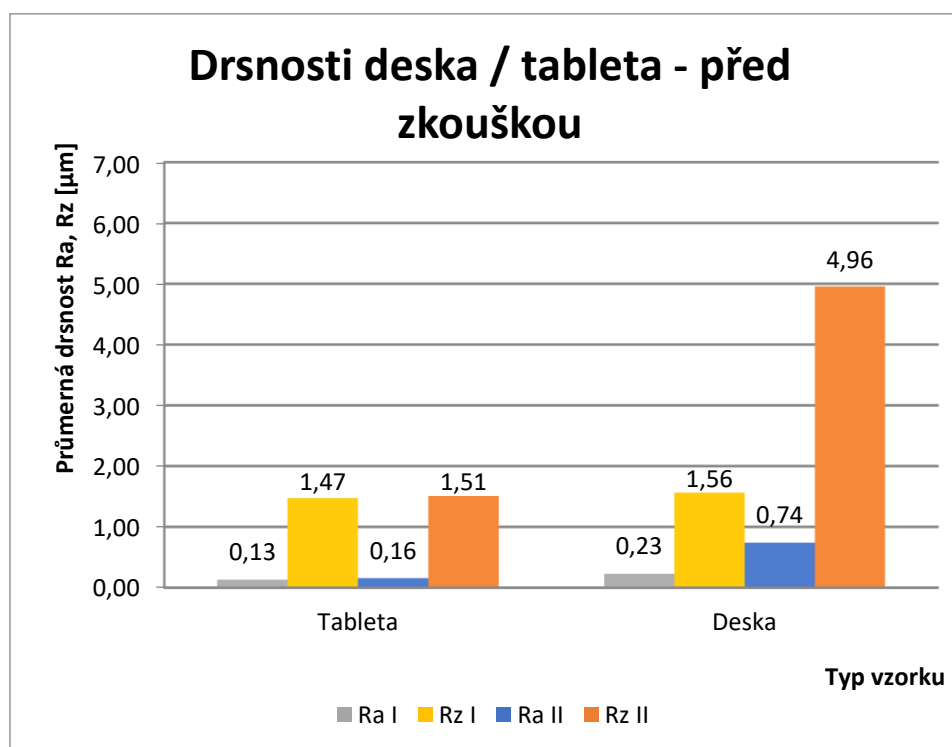
Graf 30: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, použitý olej, tableta 90°

### 3.4.3.2 Tableta broušena pod úhlem 45°

Tab. 33: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – použitý olej

Tableta	4		Tableta	4	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,14	1,22	1	0,16	1,48
2	0,15	1,47	2	0,16	1,63
3	0,13	1,26	3	0,16	1,57
4	0,13	1,33	4	0,17	1,57
5	0,11	2,08	5	0,14	1,29
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,13</u>	<u>1,47</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,16</u>	<u>1,51</u>

Deska	Y		Deska	Y	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,30	1,94	1	0,75	4,89
2	0,20	1,44	2	0,78	5,24
3	0,16	1,14	3	0,69	4,84
4	0,23	1,33	4	0,72	4,73
5	0,25	1,97	5	0,76	5,08
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,23</u>	<u>1,56</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,74</u>	<u>4,96</u>



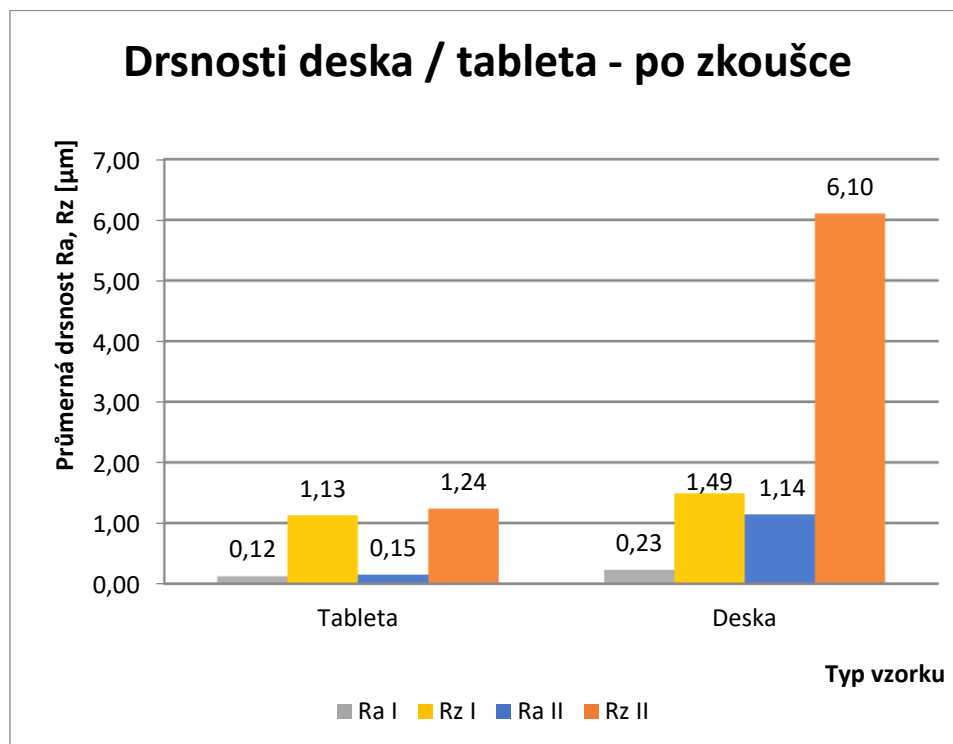
Graf 31: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – použitý olej



Tab. 34: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – použitý olej

Tableta	4		Tableta	4	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,12	0,84	1	0,14	1,22
2	0,13	1,15	2	0,17	1,39
3	0,12	1,10	3	0,14	1,17
4	0,12	1,06	4	0,15	1,14
5	0,12	1,48	5	0,15	1,27
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>1,13</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,15</u>	<u>1,24</u>

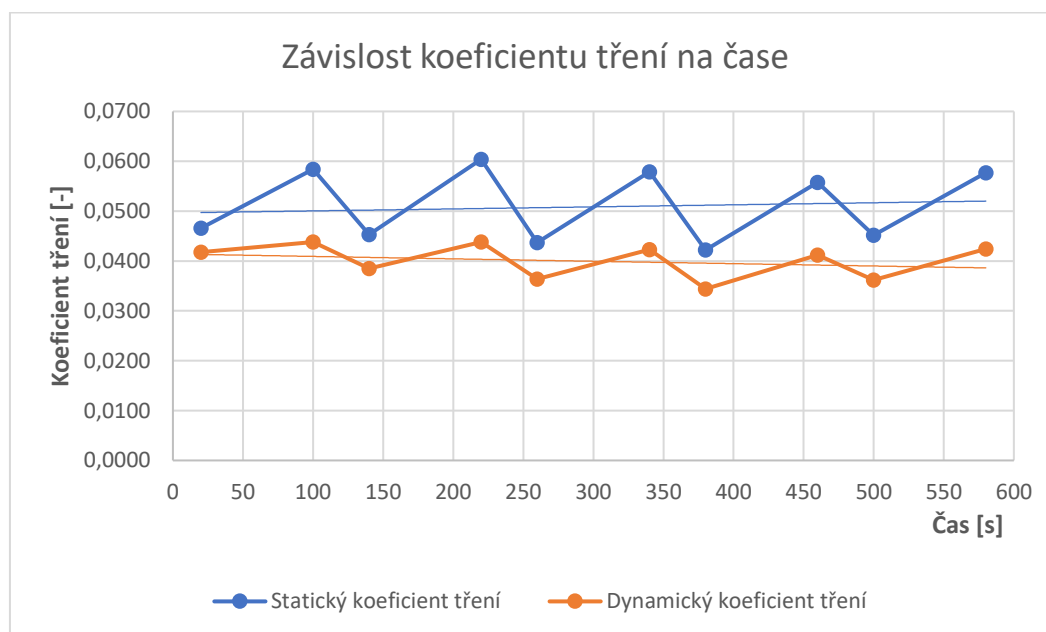
Deska	Y		Deska	Y	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,14	0,97	1	1,17	6,31
2	0,24	1,52	2	1,16	6,24
3	0,21	1,55	3	1,11	5,92
4	0,30	2,04	4	1,17	5,97
5	0,25	1,37	5	1,10	6,08
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,23</u>	<u>1,49</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,14</u>	<u>6,10</u>



Graf 32: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – použitý olej

Tab. 35: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, použitý olej, tableta 45°

Tableta		4		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska		Y			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Pr. hodnota		
Od	Do				
10	30	20	0,0466	0,0418	
90	110	100	0,0584	0,0438	
130	150	140	0,0453	0,0385	
210	230	220	0,0604	0,0438	
250	270	260	0,0437	0,0364	
330	350	340	0,0579	0,0423	
370	390	380	0,0422	0,0344	
450	470	460	0,0558	0,0412	
490	510	500	0,0452	0,0362	
570	590	580	0,0577	0,0424	
Pr. hodnota			<u>0,0513</u>	<u>0,0401</u>	



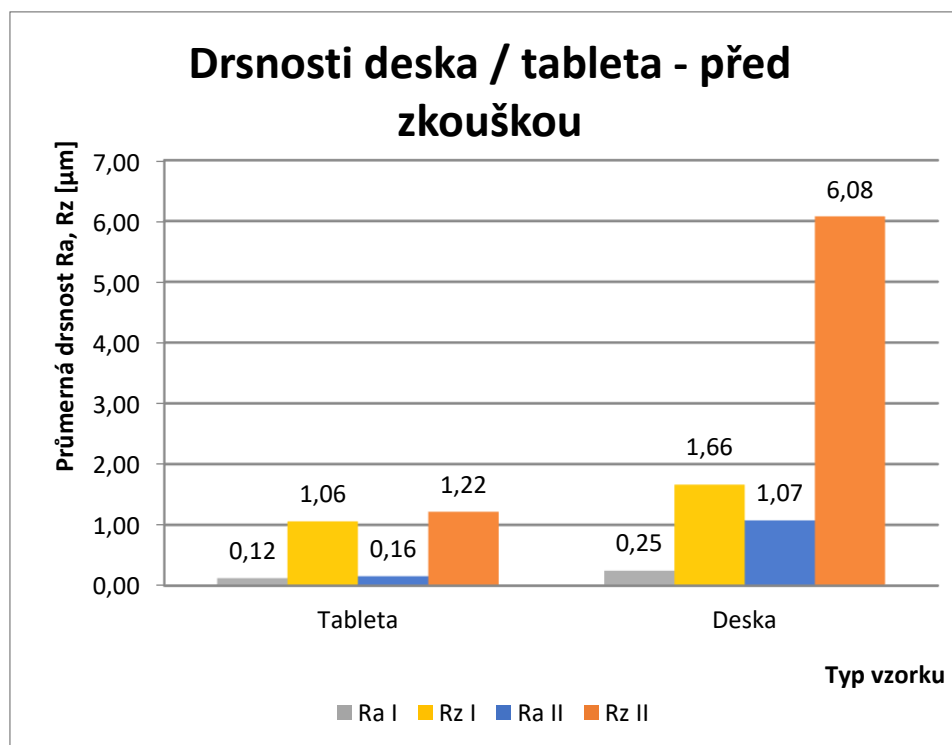
Graf 33: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, použitý olej, tableta 45°

### 3.4.3.3 Tableta broušena pod úhlem 60°

Tab. 36: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – použitý olej

Tableta	6		Tableta	6	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,13	1,23	1	0,15	1,15
2	0,12	1,00	2	0,16	1,30
3	0,12	1,07	3	0,16	1,19
4	0,12	0,98	4	0,15	1,32
5	0,13	1,01	5	0,16	1,12
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>1,06</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,16</u>	<u>1,22</u>

Deska	X		Deska	X	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,20	1,21	1	1,10	5,84
2	0,22	1,41	2	1,03	6,16
3	0,29	2,16	3	1,06	5,88
4	0,21	1,26	4	1,08	6,73
5	0,31	2,27	5	1,10	5,77
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,25</u>	<u>1,66</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>1,07</u>	<u>6,08</u>

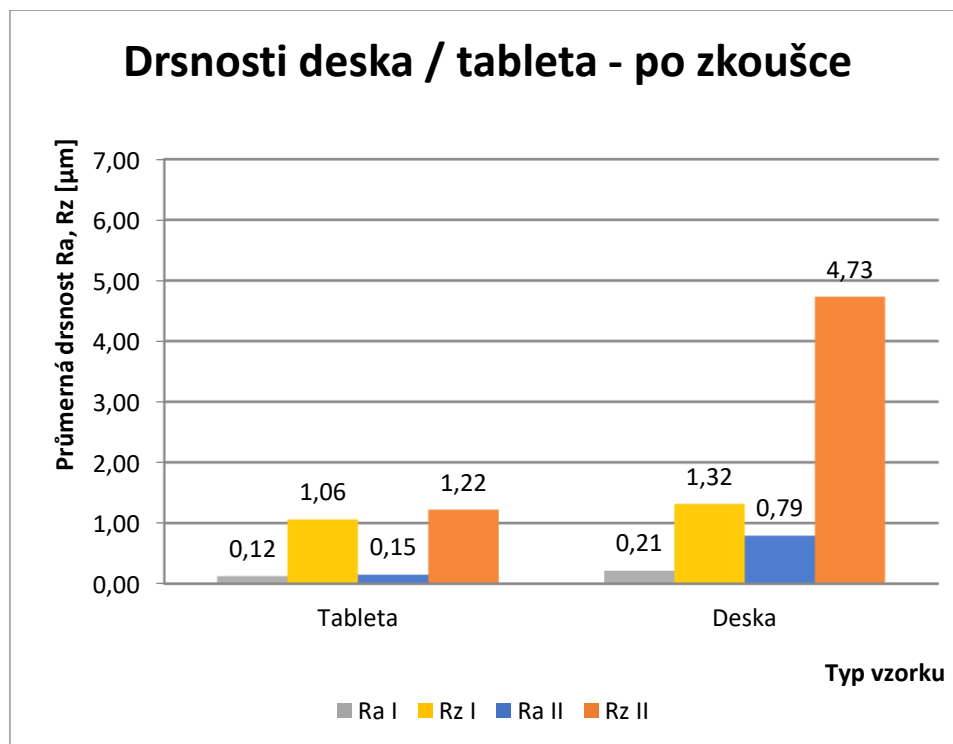


Graf 34: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – použitý olej

Tab. 37: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – použitý olej

Tableta	6		Tableta	6	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,12	1,03	1	0,16	1,44
2	0,13	1,07	2	0,16	1,36
3	0,13	1,21	3	0,13	0,89
4	0,11	0,87	4	0,14	1,20
5	0,13	1,11	5	0,15	1,21
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,12</u>	<u>1,06</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,15</u>	<u>1,22</u>

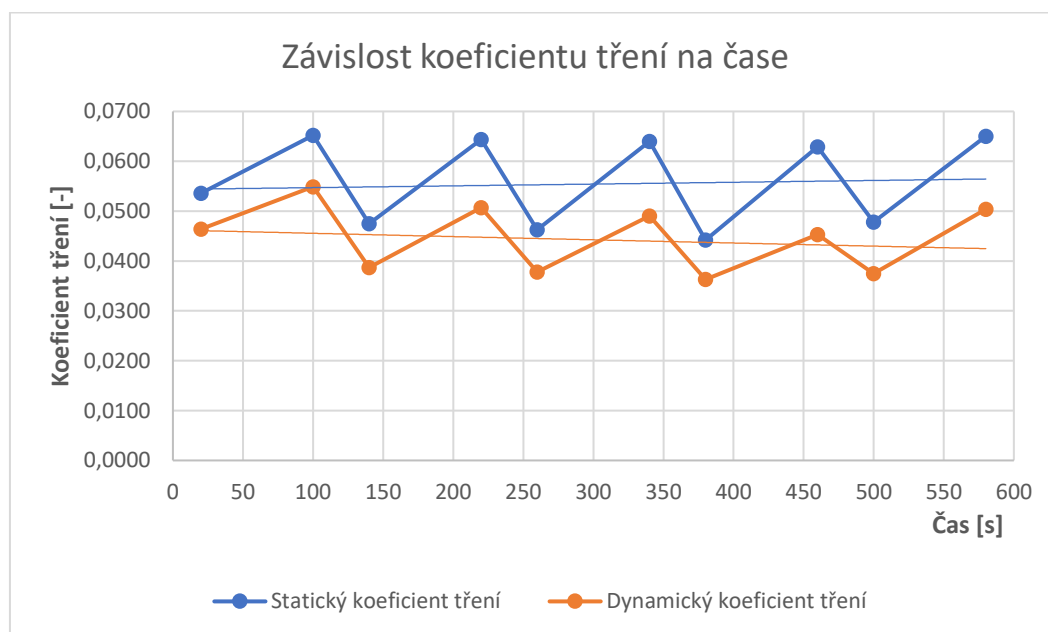
Deska	X		Deska	X	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,20	1,18	1	0,70	4,39
2	0,19	1,25	2	0,76	4,52
3	0,21	1,13	3	0,80	4,89
4	0,24	1,67	4	0,89	4,81
5	0,23	1,35	5	0,81	5,05
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,21</u>	<u>1,32</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,79</u>	<u>4,73</u>



Graf 35: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – použitý olej

Tab. 38: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, použitý olej, tableta 60°

Tableta	6		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska	X			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,0536	0,0464
90	110	100	0,0652	0,0549
130	150	140	0,0475	0,0387
210	230	220	0,0644	0,0507
250	270	260	0,0463	0,0378
330	350	340	0,0640	0,0490
370	390	380	0,0442	0,0363
450	470	460	0,0629	0,0453
490	510	500	0,0478	0,0375
570	590	580	0,0650	0,0504
Pr. hodnota			<u>0,0561</u>	<u>0,0447</u>



Graf 36: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, použitý olej, tableta 60°

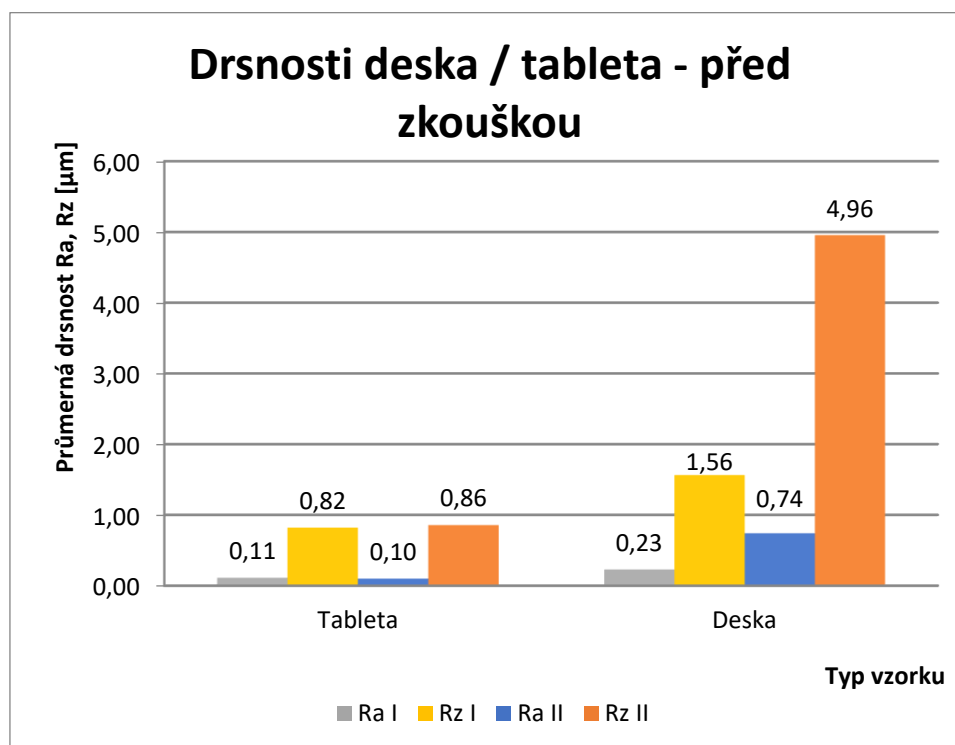
### 3.4.3.4 Tableta broušena ve směru pohybu (0°)

Tab. 39: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – použitý olej

Tableta	8		Tableta	8	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	0,84	1	0,10	0,86
2	0,11	0,82	2	0,10	0,83
3	0,11	0,86	3	0,10	0,87
4	0,11	0,80	4	0,10	0,84
5	0,12	0,78	5	0,10	0,88
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,11</u>	<u>0,82</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,10</u>	<u>0,86</u>

Deska	Y		Deska	Y	
Poloha měření	Směr I		poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,30	1,94	1	0,75	4,89
2	0,20	1,44	2	0,78	5,24
3	0,16	1,14	3	0,69	4,84
4	0,23	1,33	4	0,72	4,73
5	0,25	1,97	5	0,76	5,08
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,23</u>	<u>1,56</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,74</u>	<u>4,96</u>

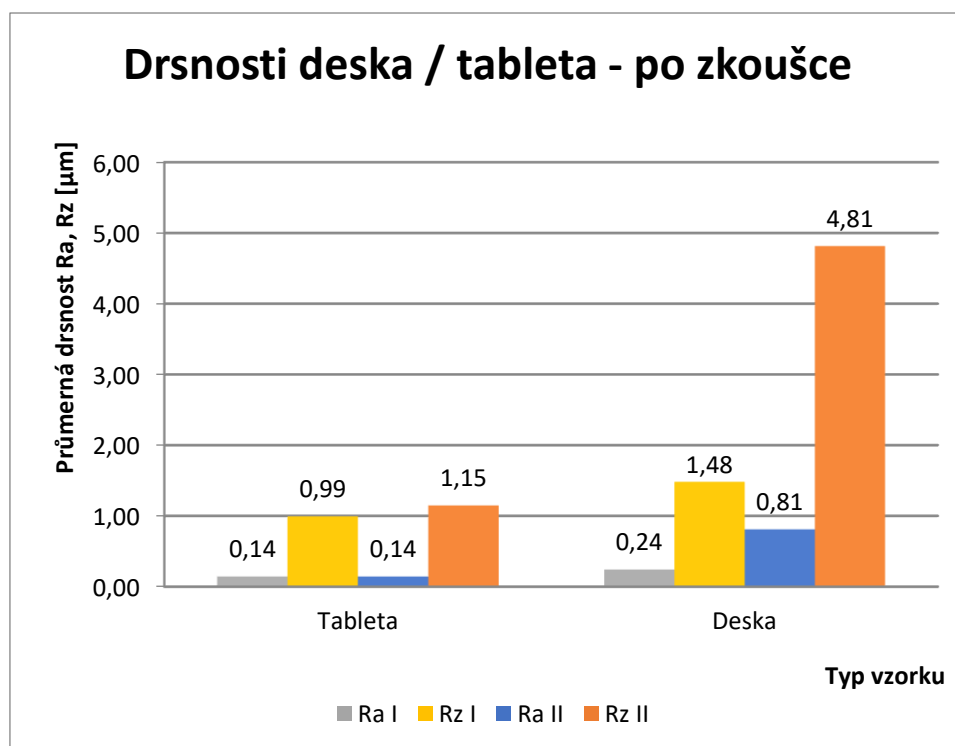


Graf 37: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – použitý olej

Tab. 40: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – použitý olej

Tableta	8		Tableta	8	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,13	0,78	1	0,17	1,32
2	0,20	1,40	2	0,16	1,27
3	0,14	0,99	3	0,12	0,90
4	0,13	0,91	4	0,12	1,01
5	0,12	0,89	5	0,15	1,24
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>0,99</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>1,15</u>

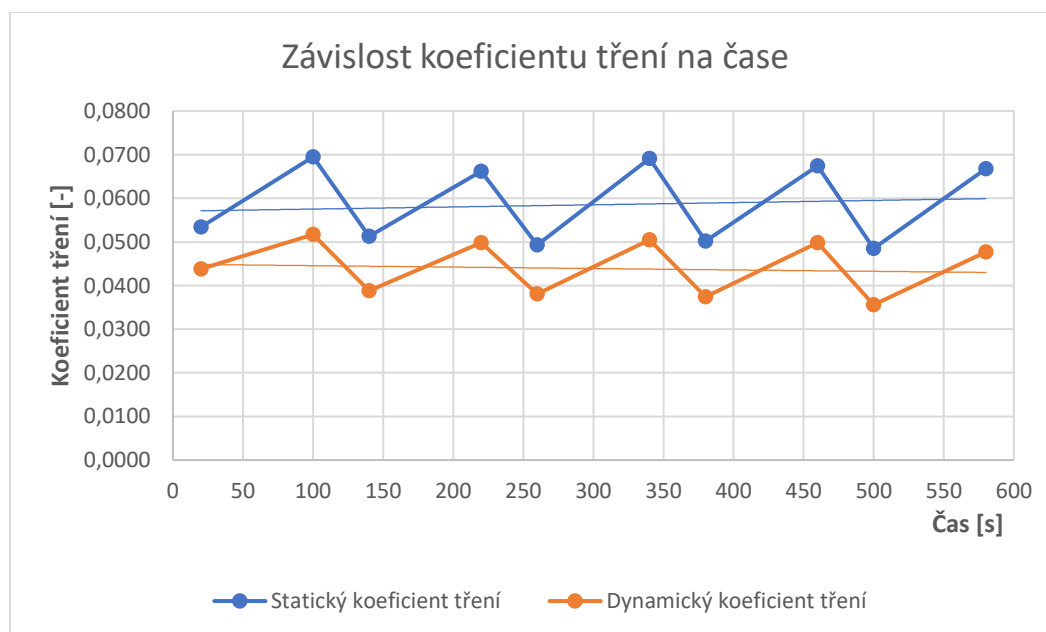
Deska	Y		Deska	Y	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,21	1,17	1	0,62	3,77
2	0,25	1,43	2	0,87	5,35
3	0,22	1,31	3	0,89	5,15
4	0,31	2,15	4	0,89	5,03
5	0,22	1,35	5	0,78	4,77
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,24</u>	<u>1,48</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,81</u>	<u>4,81</u>



Graf 38: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – použitý olej

Tab. 41: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, použitý olej, tableta 0°

Tableta	8		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska	Y			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,0534	0,0438
90	110	100	0,0695	0,0517
130	150	140	0,0513	0,0388
210	230	220	0,0662	0,0498
250	270	260	0,0493	0,0381
330	350	340	0,0691	0,0505
370	390	380	0,0502	0,0374
450	470	460	0,0674	0,0498
490	510	500	0,0485	0,0356
570	590	580	0,0668	0,0477
Pr. hodnota			<u>0,0592</u>	<u>0,0443</u>



Graf 39: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, použitý olej, tableta 0°

### 3.5 Tribologická zkouška ocel – TiN

Tribologická zkouška byla provedena na tribometru TOP3 s normálovým zatížením 0,521 kg. Testovaná funkční dvojice byla ve formě ocelové tablety a ocelové desky s povlakem TiN – nitrid titanu. Zkouška byla provedena bez i s přítomností maziva. Byly použity tři druhy maziva – nový olej 15W-40, směs oleje a grafitu a olej použitý v automobilu po nájedzu 30 000 km.



### 3.5.1 Suché tření

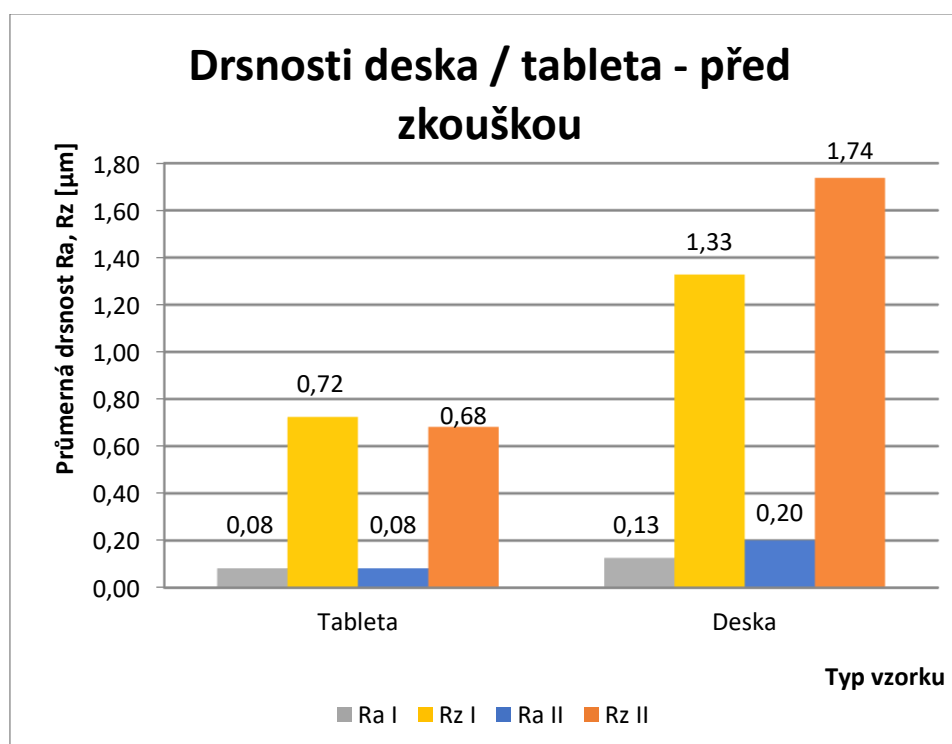
Měření bylo rozděleno na pět intervalů po dvou minutách a po každém intervalu byla tableta i deska důkladně odmaštěna pomocí perchlorethylenu.

Tab. 42: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou – suché tření

Tableta	11b		Tableta	11b	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,09	0,80	1	0,08	0,66
2	0,08	0,83	2	0,07	0,63
3	0,09	0,75	3	0,08	0,63
4	0,07	0,63	4	0,09	0,72
5	0,08	0,61	5	0,09	0,77
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,08</u>	<u>0,72</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,08</u>	<u>0,68</u>

Deska	1		Deska	1	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	1,12	1	0,18	1,51
2	0,11	1,05	2	0,23	2,20
3	0,14	1,42	3	0,17	1,50
4	0,14	1,61	4	0,25	1,78
5	0,13	1,44	5	0,17	1,70
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,13</u>	<u>1,33</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,20</u>	<u>1,74</u>

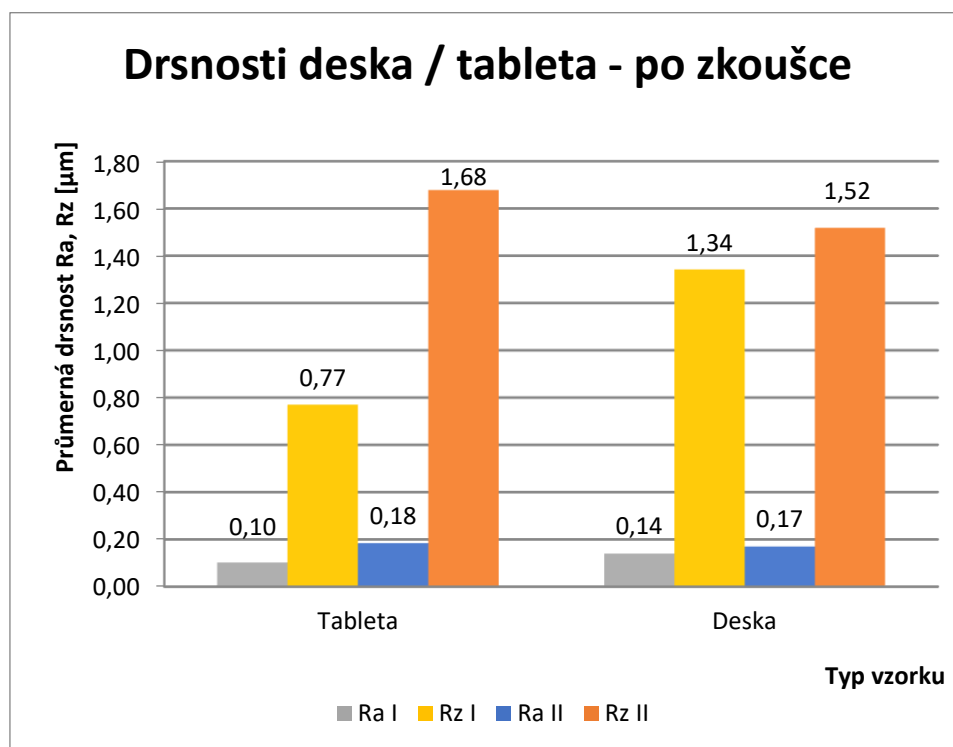


Graf 40: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou – suché tření

Tab. 43: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce – suché tření

Tableta	11b		Tableta	11b	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,11	0,73	1	0,19	1,59
2	0,11	0,86	2	0,23	2,04
3	0,10	0,78	3	0,16	1,64
4	0,09	0,59	4	0,23	2,23
5	0,10	0,89	5	0,11	0,89
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,10</u>	<u>0,77</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,18</u>	<u>1,68</u>

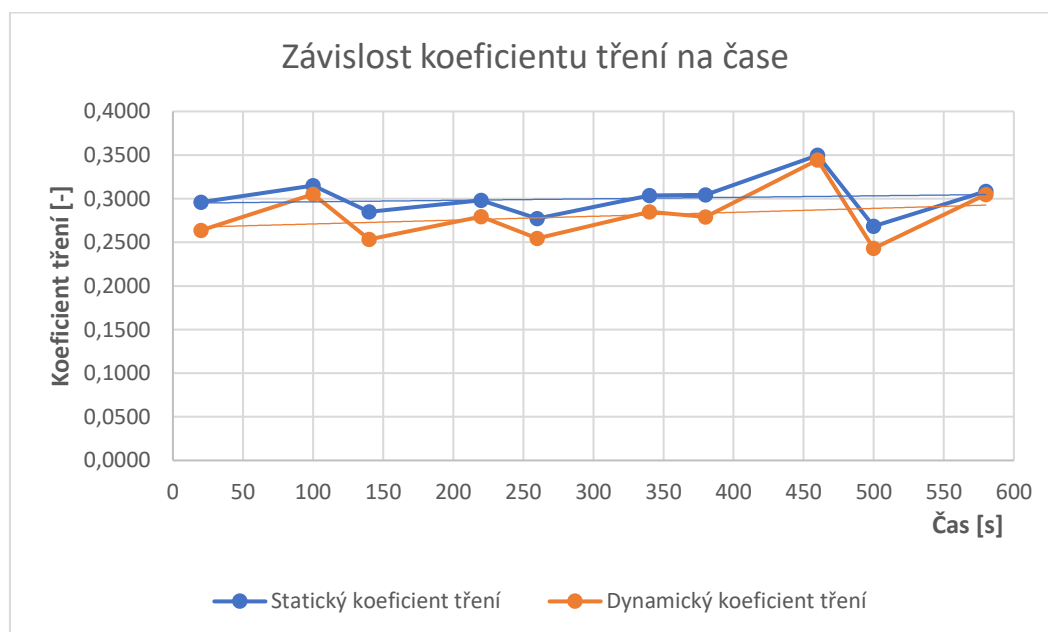
Deska	1		Deska	1	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,10	0,80	1	0,15	1,21
2	0,13	1,14	2	0,15	1,48
3	0,17	1,84	3	0,21	1,65
4	0,16	1,60	4	0,18	1,68
5	0,14	1,33	5	0,16	1,57
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,14</u>	<u>1,34</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,17</u>	<u>1,52</u>



Graf 41: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce – suché tření

Tab. 44: Hodnoty koeficientu tření ocel – TiN, suché tření

Tableta	11		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska	1			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,2960	0,2636
90	110	100	0,3152	0,3052
130	150	140	0,2848	0,2534
210	230	220	0,2980	0,2794
250	270	260	0,2772	0,2546
330	350	340	0,3037	0,2850
370	390	380	0,3042	0,2791
450	470	460	0,3497	0,3444
490	510	500	0,2684	0,2430
570	590	580	0,3083	0,3047
Pr. hodnota			<u>0,3006</u>	<u>0,2812</u>



Graf 42: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – TiN, suché tření

### 3.5.2 Mazáno novým olejem

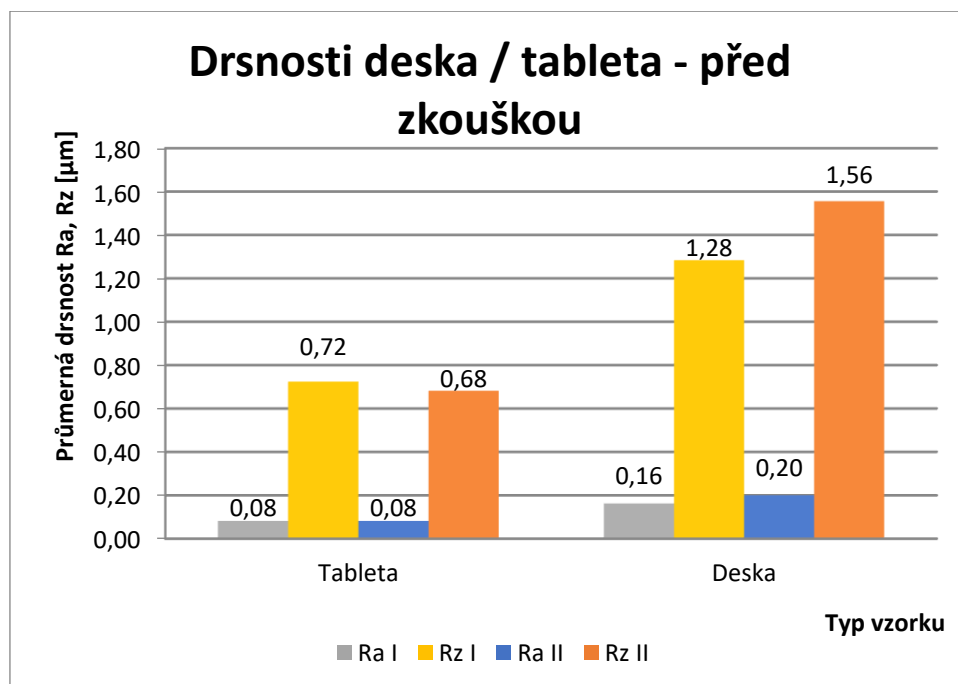
Jako mazivo byl použit motorový olej Mogul Diesel DT 15W-40. Mezi tabletu a desku bylo aplikováno 0,2 ml oleje a po každém dvouminutovém intervalu bylo stejné množství oleje doplněno.

Tab. 45: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – nový olej

Tableta	11b		Tableta	11b	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,09	0,80	1	0,08	0,66
2	0,08	0,83	2	0,07	0,63
3	0,09	0,75	3	0,08	0,63
4	0,07	0,63	4	0,09	0,72
5	0,08	0,61	5	0,09	0,77
Pr. hodnota drsnosti	<b>0,08</b>	<b>0,72</b>	Pr. hodnota drsnosti	<b>0,08</b>	<b>0,68</b>

Deska	2		Deska	2	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,13	1,31	1	0,18	1,41
2	0,19	1,24	2	0,23	1,68
3	0,19	1,57	3	0,17	1,63
4	0,14	1,00	4	0,24	1,82
5	0,16	1,30	5	0,18	1,24
Pr. hodnota drsnosti	<b>0,16</b>	<b>1,28</b>	Pr. hodnota drsnosti	<b>0,20</b>	<b>1,56</b>

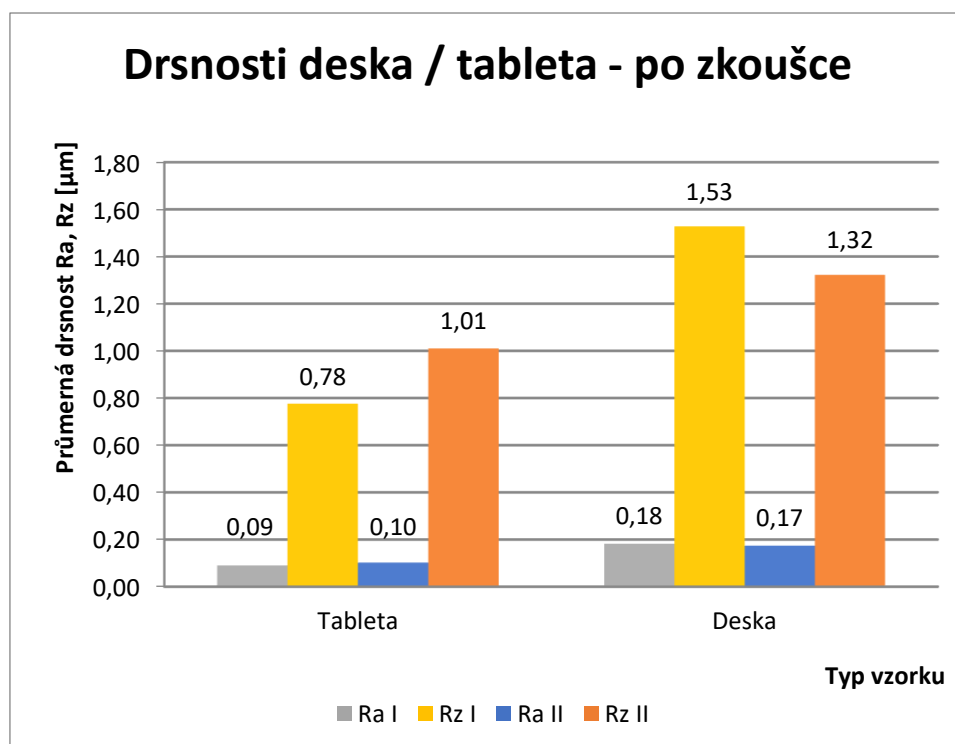


Graf 43: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – nový olej

Tab. 46: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – nový olej

Tableta	11b		Tableta	11b	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,08	0,71	1	0,08	0,74
2	0,09	0,81	2	0,15	1,84
3	0,09	0,74	3	0,13	1,23
4	0,10	0,77	4	0,08	0,65
5	0,09	0,85	5	0,07	0,59
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,09</u>	<u>0,78</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,10</u>	<u>1,01</u>

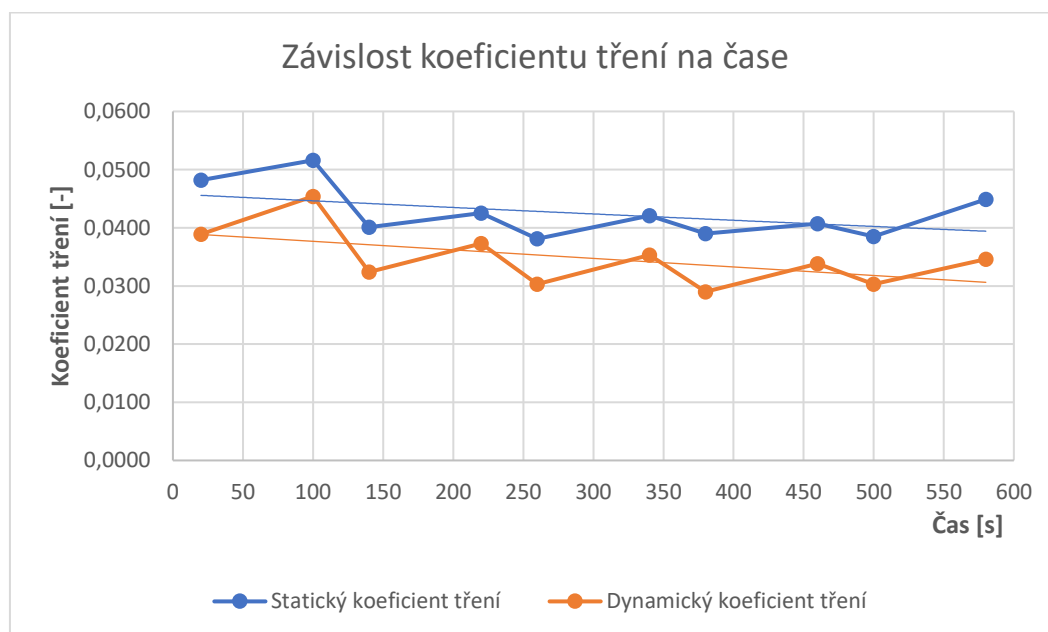
Deska	2		Deska	2	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,13	1,17	1	0,17	1,15
2	0,20	1,71	2	0,16	1,48
3	0,15	1,34	3	0,19	1,50
4	0,23	1,99	4	0,18	1,32
5	0,20	1,43	5	0,17	1,16
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,18</u>	<u>1,53</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,17</u>	<u>1,32</u>



Graf 44: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – nový olej

Tab. 47: Hodnoty koeficientu tření ocel – TiN, nový olej

Tableta	11		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska	2			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,0482	0,0389
90	110	100	0,0516	0,0454
130	150	140	0,0401	0,0324
210	230	220	0,0425	0,0373
250	270	260	0,0381	0,0303
330	350	340	0,0421	0,0353
370	390	380	0,0390	0,0290
450	470	460	0,0407	0,0338
490	510	500	0,0385	0,0303
570	590	580	0,0449	0,0346
Pr. hodnota			<u>0,0426</u>	<u>0,0347</u>



Graf 45: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – TiN, nový olej

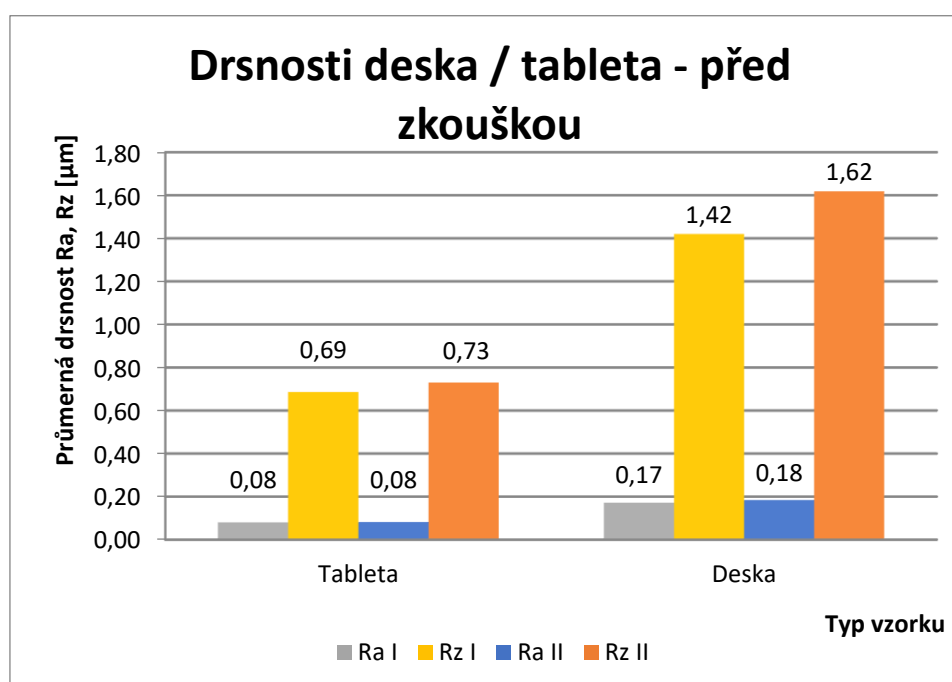
### 3.5.3 Mazáno použitým olejem

Jako mazivo byl použit motorový olej Mogul Diesel DT 15W-40, který byl používán v automobilu po dobu ujetých 30 000 km. Mezi tabletu a desku bylo aplikováno 0,2 ml oleje a po každém dvouminutovém intervalu bylo stejné množství oleje doplněno.

Tab. 48: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – použitý olej

Tableta	12b		Tableta	12b	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,09	0,72	1	0,09	0,72
2	0,08	0,72	2	0,09	0,78
3	0,08	0,67	3	0,08	0,68
4	0,07	0,56	4	0,07	0,72
5	0,08	0,76	5	0,08	0,75
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,08</u>	<u>0,69</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,08</u>	<u>0,73</u>

Deska	3		Deska	3	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,16	1,29	1	0,21	1,89
2	0,19	1,39	2	0,17	1,55
3	0,17	1,70	3	0,18	1,64
4	0,18	1,44	4	0,15	1,48
5	0,16	1,28	5	0,21	1,53
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,17</u>	<u>1,42</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,18</u>	<u>1,62</u>

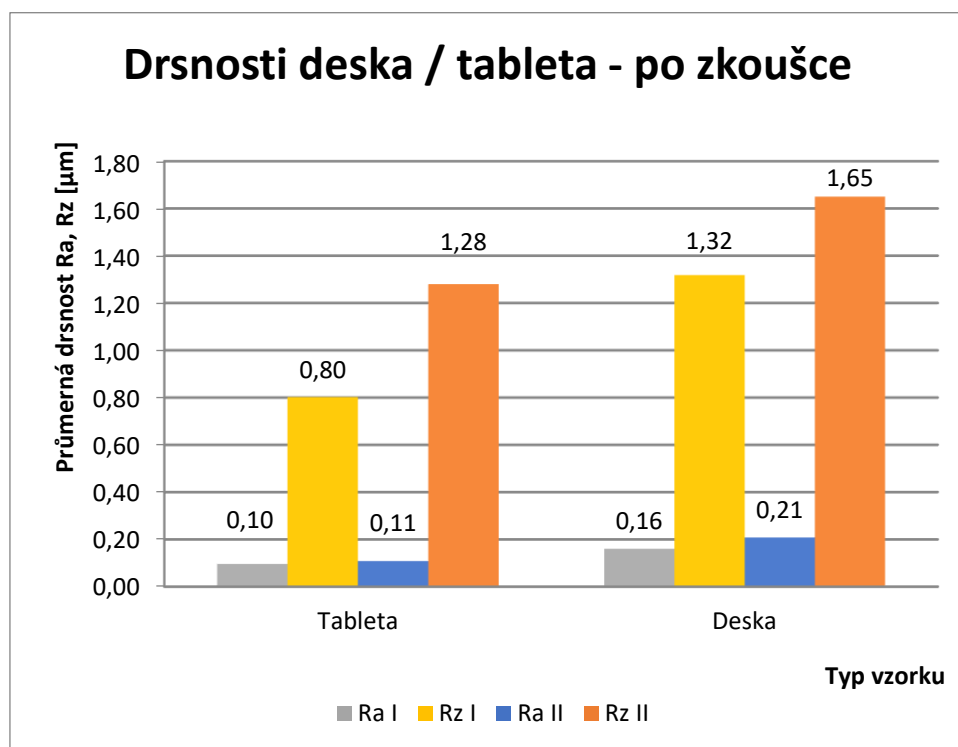


Graf 46: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – použitý olej

Tab. 49: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – použitý olej

Tableta	12b		Tableta	12b	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,10	0,83	1	0,09	0,87
2	0,09	0,86	2	0,11	1,02
3	0,08	0,70	3	0,12	1,53
4	0,12	0,86	4	0,10	1,25
5	0,09	0,76	5	0,12	1,73
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,10</u>	<u>0,80</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,11</u>	<u>1,28</u>

Deska	3		Deska	3	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,13	0,95	1	0,19	1,71
2	0,17	1,28	2	0,21	1,67
3	0,16	1,22	3	0,19	1,26
4	0,15	1,75	4	0,22	1,63
5	0,19	1,39	5	0,23	1,98
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,16</u>	<u>1,32</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,21</u>	<u>1,65</u>

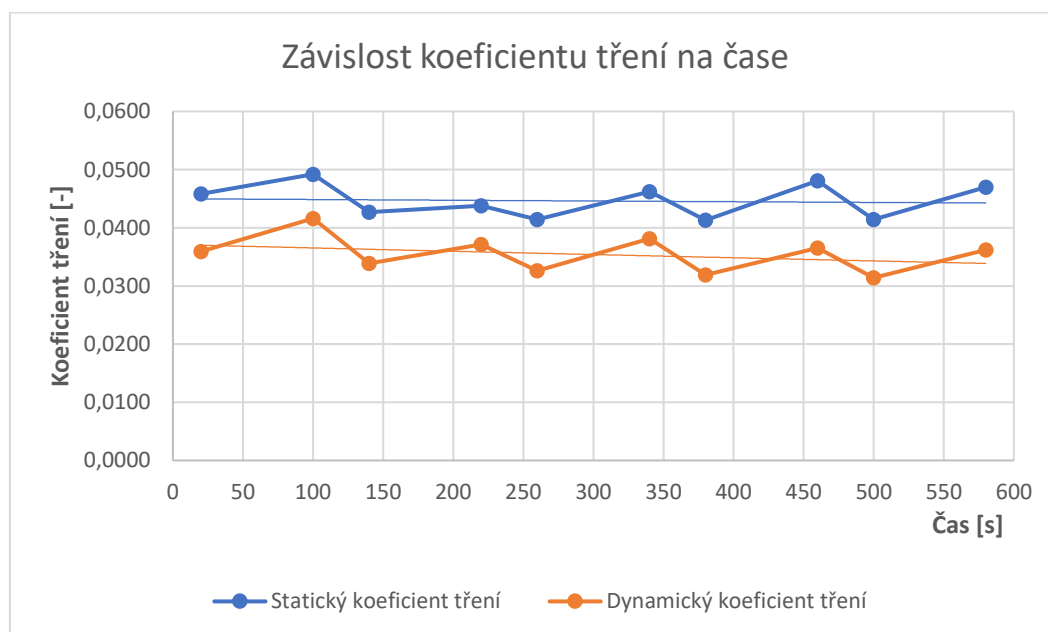


Graf 47: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – použitý olej



Tab. 50: Hodnoty koeficientu tření ocel – TiN, použitý olej

Tableta	12		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska	3			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,0458	0,0359
90	110	100	0,0492	0,0416
130	150	140	0,0427	0,0339
210	230	220	0,0438	0,0371
250	270	260	0,0414	0,0326
330	350	340	0,0462	0,0381
370	390	380	0,0413	0,0319
450	470	460	0,0481	0,0365
490	510	500	0,0414	0,0314
570	590	580	0,0470	0,0362
Pr. hodnota			<u>0,0447</u>	<u>0,0355</u>



Graf 48: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – TiN, použitý olej

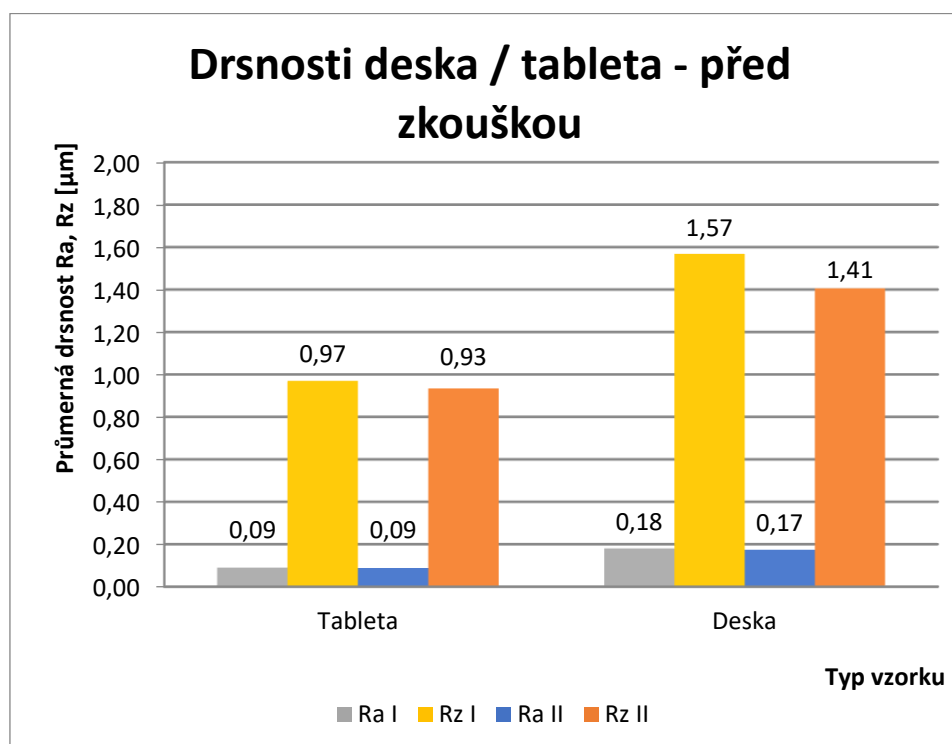
### 3.5.4 Mazáno směsí oleje a grafitu

Jako mazivo byla použita směs motorového oleje Mogul Diesel DT 15W-40 a grafitového prášku v poměru 5ml/1g. Mezi tabletu a desku bylo aplikováno 0,2 ml směsi a po každém dvouminutovém intervalu bylo stejné množství směsi doplněno.

Tab. 51: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – olej + grafit

Tableta	11a		Tableta	11a	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,10	1,15	1	0,09	0,96
2	0,08	0,82	2	0,09	1,01
3	0,09	0,91	3	0,09	0,87
4	0,10	1,08	4	0,09	0,94
5	0,08	0,89	5	0,08	0,89
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,09</u>	<u>0,97</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,09</u>	<u>0,93</u>

Deska	2		Deska	2	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,15	1,29	1	0,16	1,23
2	0,17	1,10	2	0,16	1,18
3	0,19	1,76	3	0,20	2,00
4	0,18	1,66	4	0,18	1,20
5	0,21	2,03	5	0,17	1,42
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,18</u>	<u>1,57</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,17</u>	<u>1,41</u>

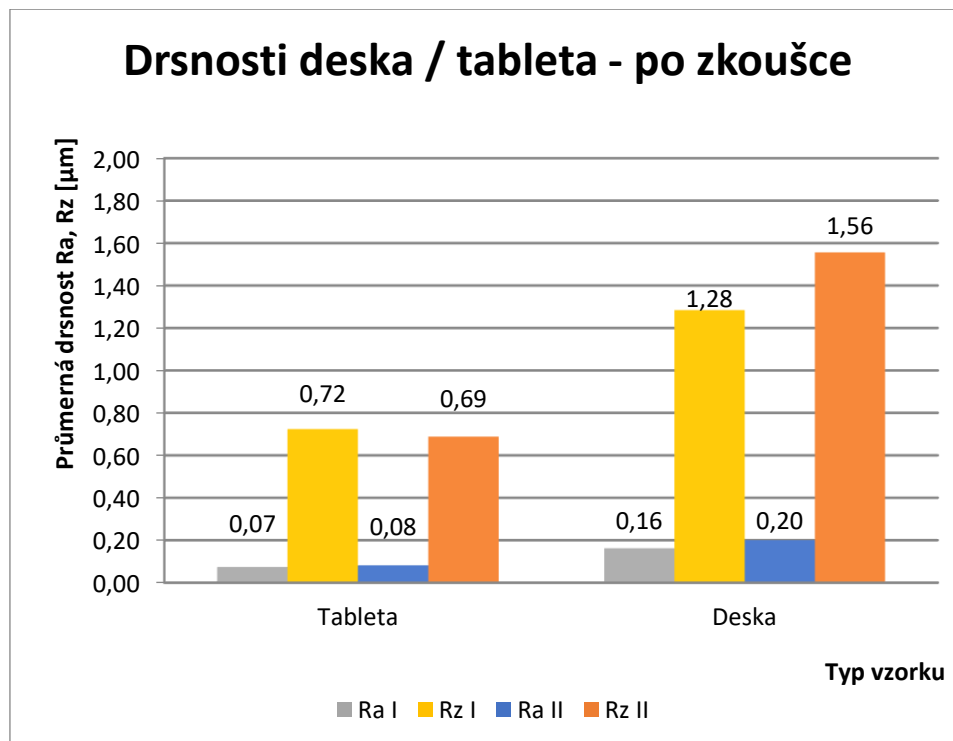


Graf 49: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – olej + grafit

Tab. 52: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – olej + grafit

Tableta	11a		Tableta	11a	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,08	0,76	1	0,09	0,66
2	0,07	0,72	2	0,10	0,89
3	0,07	0,65	3	0,08	0,65
4	0,07	0,71	4	0,08	0,64
5	0,08	0,78	5	0,06	0,60
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,07</u>	<u>0,72</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,08</u>	<u>0,69</u>

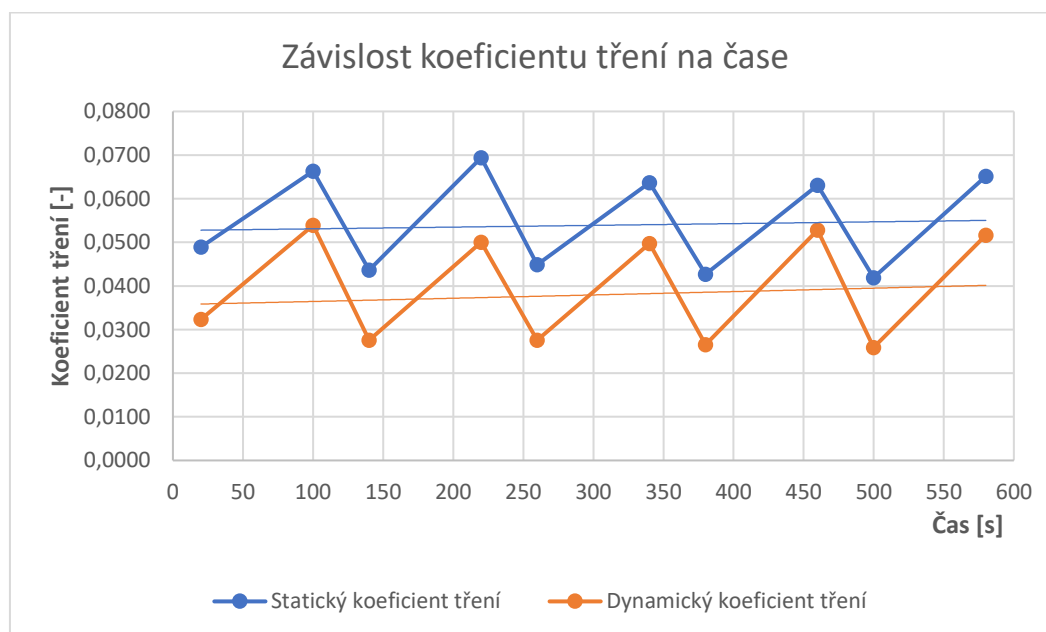
Deska	2		Deska	2	
Poloha měření	Směr I		Poloha měření	Směr II	
Číslo měření	Ra I	Rz I	Číslo měření	Ra II	Rz II
1	0,13	1,31	1	0,18	1,41
2	0,19	1,24	2	0,23	1,68
3	0,19	1,57	3	0,17	1,63
4	0,14	1,00	4	0,24	1,82
5	0,16	1,30	5	0,18	1,24
Pr. hodnota drsnosti	<u>0,16</u>	<u>1,28</u>	Pr. hodnota drsnosti	<u>0,20</u>	<u>1,56</u>



Graf 50: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – olej + grafit

Tab. 53: Hodnoty koeficientu tření ocel – TiN, olej + grafit

Tableta	11		Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Deska	2			
Čas vyhodnocení koeficientu tření [s]			Statický koeficient tření [-]	Dynamický koeficient tření [-]
Od	Do	Pr. hodnota		
10	30	20	0,0489	0,0323
90	110	100	0,0663	0,0539
130	150	140	0,0436	0,0276
210	230	220	0,0694	0,0500
250	270	260	0,0449	0,0276
330	350	340	0,0637	0,0497
370	390	380	0,0427	0,0265
450	470	460	0,0631	0,0528
490	510	500	0,0419	0,0259
570	590	580	0,0651	0,0516
Pr. hodnota			<u>0,0550</u>	<u>0,0398</u>



Graf 51: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – TiN, olej + grafit

## 4 SROVNÁNÍ TRIBOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ

### 4.1 Srovnání koeficientů tření

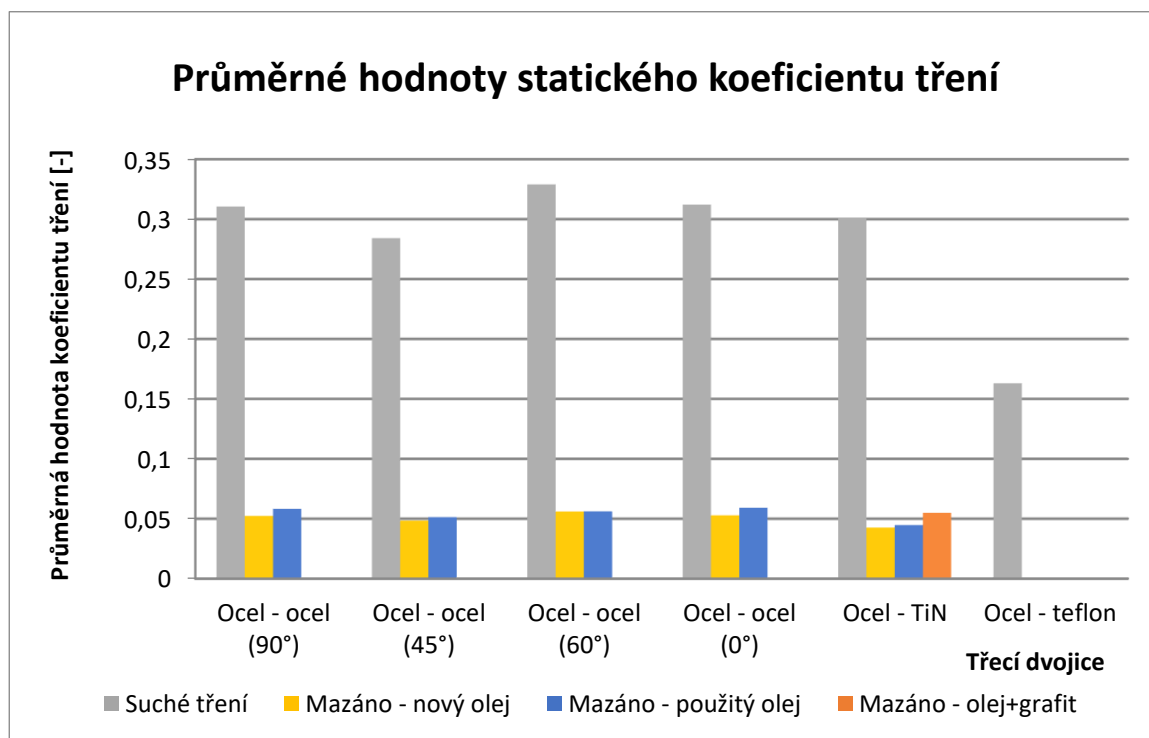
Výsledky měření lze mezi sebou vzájemně porovnat, protože ve všech případech byly použity stejné pracovní podmínky, liší se pouze přítomností maziva. Průměrné hodnoty statického a dynamického koeficientu tření byly porovnány po desetiminutovém intervalu měření na tribometru TOP3.

Tab. 54: Srovnání koeficientů tření funkčních dvojic

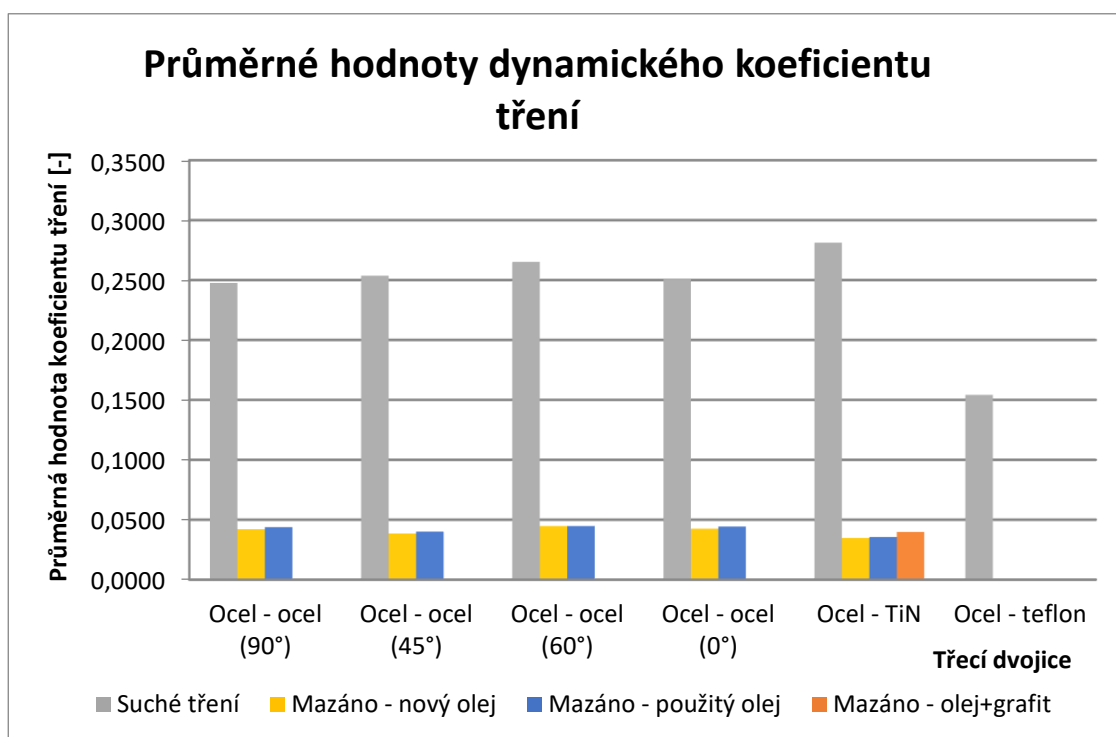
Průměrné hodnoty statického a dynamického koeficientu tření									
Funkční dvojice	Úhel broušení	Suché tření		Mazáno – nový olej		Mazáno – použitý olej		Mazáno – olej + grafit	
		$\mu_s$	$\mu_d$	$\mu_s$	$\mu_d$	$\mu_s$	$\mu_d$	$\mu_s$	$\mu_d$
Ocel – ocel	90°	0,3105	0,2476	0,0523	0,0421	0,0582	0,0438	x	x
	45°	0,2841	0,2536	0,0484	0,0385	0,0513	0,0401	x	x
	60°	0,3290	0,2652	0,0560	0,0447	0,0561	0,0447	x	x
	0°	0,3121	0,2507	0,0528	0,0425	0,0592	0,0443	x	x
Ocel – TiN	x	0,3006	0,2812	0,0426	0,0347	0,0447	0,0355	0,0550	0,0398
Ocel – teflon	x	0,1630	0,1542	x	x	x	x	x	x

Ve výše uvedené tabulce jsou shrnuty průměrné hodnoty statického a dynamického koeficientu tření všech třecích dvojic. V případě suchého tření má nejlepší kluzné vlastnosti deska opatřena teflonovou páskou s výrazně nižšími hodnotami koeficientů tření oproti ostatním dvojicím. Při tření s přítomností maziva dosahuje nejlepších hodnot funkční dvojice skládající se z ocelové tablety a desky s povlakem nitridu titanu. Z tabulky je také patrné, že úhel broušení tablety má vliv na velikost koeficientu tření a nejlepších kluzných vlastností je dosaženo v případě broušení pod úhlem 45° vůči směru pohybu. Naměřené hodnoty dokazují, že mazáním již používaným olejem je dosahováno vyššího tření, než v případě oleje nového. Z tohoto důvodu je důležité dodržování intervalů výměny oleje, čímž lze prodloužit životnost strojních součástí a snížit energetické ztráty. Směs oleje a grafitu se ukázala z hlediska tření jako nevýhodná, byly naměřeny vyšší hodnoty koeficientu tření, než v případě nového i používaného oleje. Lze ale předpokládat, že výrazným zvýšením normálového zatížení, by mohlo docházet k meznímu, až suchému tření, a

v tomto případě by díky částicím grafitu bylo dosaženo nižších hodnot koeficientu tření, než v případě použití čistého oleje.



Graf 52: Srovnání hodnot statického koeficientu tření



Graf 53: Srovnání hodnot dynamického koeficientu tření

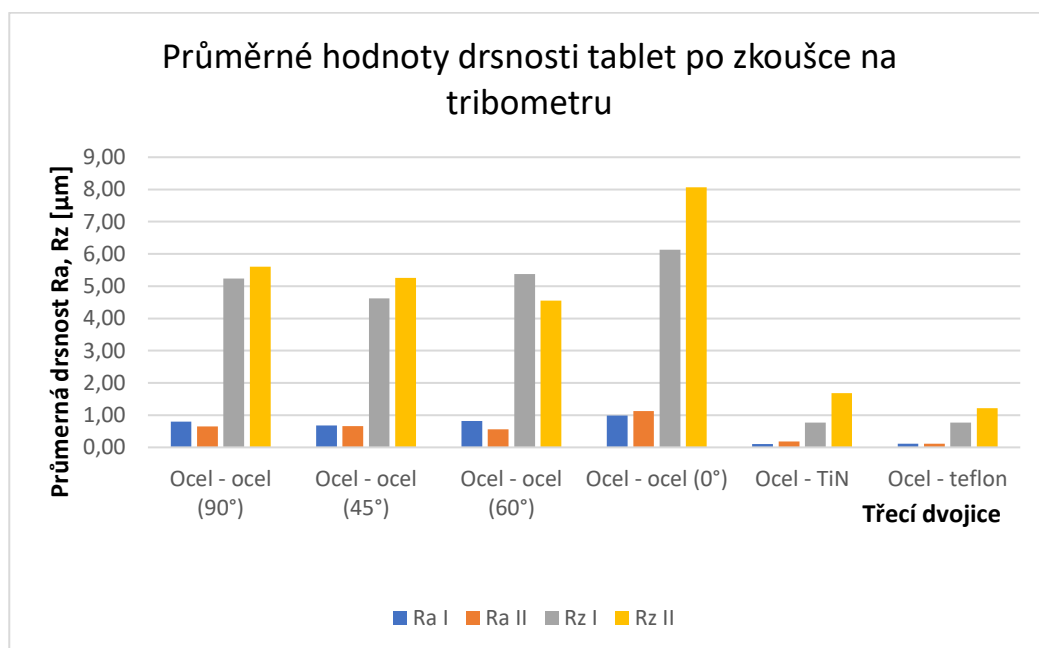
## 4.2 Srovnání drsností povrchů tablet

Měření drsnosti povrchu jednotlivých ocelových tablet bylo provedeno před i po zkouškách na tribometru TOP3. Zkoušky probíhaly za stejných podmínek lišících se pouze přítomností maziva. Také původní hodnoty drsností měřených tablet se od sebe lišily pouze minimálně, díky čemuž mohou být výsledné hodnoty mezi sebou snadno porovnány.

Tab. 55: Průměrné hodnoty drsnosti povrchu tablet po zkoušce na tribometru – suché tření

Průměrné hodnoty drsnosti povrchu tablety					
Funkční dvojice	Úhel broušení	Suché tření			
		Ra I	Ra II	Rz I	Rz II
Ocel – ocel	90°	0,80	0,65	5,24	5,60
	45°	0,68	0,66	4,62	5,26
	60°	0,81	0,56	5,37	4,55
	0°	0,98	1,12	6,13	8,07
Ocel – TiN	x	0,10	0,18	0,77	1,68
Ocel – teflon	x	0,12	0,11	0,77	1,21

Z výše uvedené tabulky je patrné, že nejmenšího opotřebení tablety při suchém tření je dosaženo v případě použití desky opatřené teflonovou páskou. Jen nepatrně vyšší hodnoty drsností byly naměřeny při použití desky s povlakem nitridu titanu. Při styku ocel – ocel vyšla jako nejméně vhodná varianta tablety s broušením rovnoběžným se směrem pohybu desky.



Graf 54: Průměrné hodnoty drsnosti tablet po zkoušce na tribometru – suché tření



Obr. 19, 20 a 21: Snímky tablet po suchém tření, v pořadí ocel – ocel, ocel – TiN a ocel – teflon

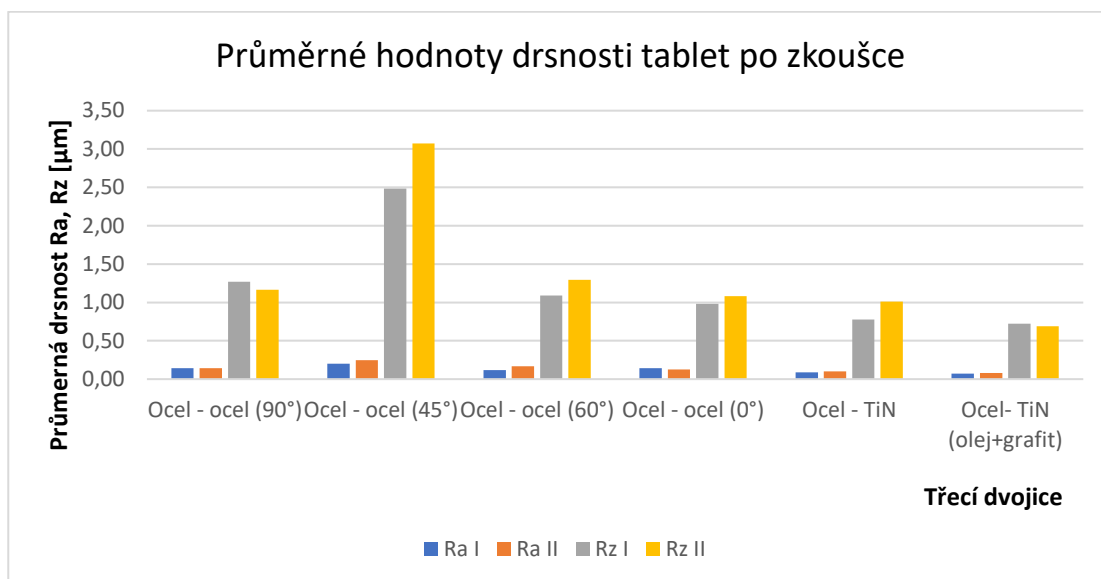
Tab. 56: Průměrné hodnoty drsnosti povrchu tablet po zkoušce na tribometru – mazáno olejem

Průměrné hodnoty drsnosti povrchu tablety									
Funkční dvojice	Úhel broušení	Mazáno – nový olej				Mazáno – olej + grafit			
		Ra I	Ra II	Rz I	Rz II	Ra I	Ra II	Rz I	Rz II
Ocel – ocel	90°	0,14	0,14	1,27	1,16	x	x	x	x
	45°	0,20	0,25	2,48	3,07	x	x	x	x
	60°	0,12	0,17	1,09	1,30	x	x	x	x
	0°	0,14	0,13	0,98	1,08	x	x	x	x
Ocel – TiN	x	0,09	0,10	0,78	1,01	0,07	0,08	0,72	0,69

Naměřené hodnoty drsností z tabulky ukazují, že nejmenších změn ve struktuře povrchu tablety při tření s přítomností oleje je dosaženo v případě desky s povlakem nitridu titanu. Ještě lepších výsledku bylo docíleno při mazání směsí oleje a grafitového prášku, ale tato varianta vykazovala vyšší hodnoty koeficientu tření.



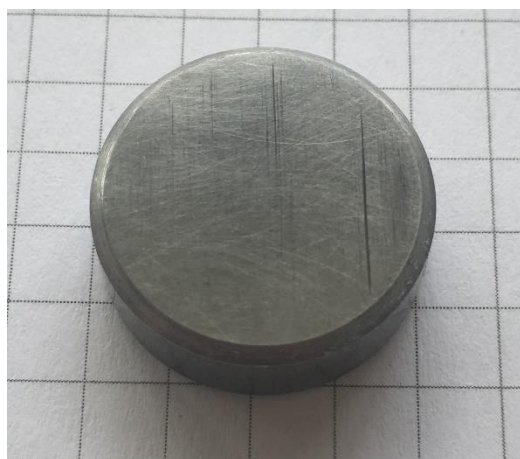
Naopak nejvyšší hodnoty drsnosti povrchu byly naměřeny u tablety broušené pod úhlem 45° vůči směru pohybu desky.



Graf 55: Průměrné hodnoty drsnosti tablet po zkoušce na tribometru – mazáno olejem



Obr. 22 a 23: Snímky tablet po tření s olejem, v pořadí ocel – ocel, ocel – TiN

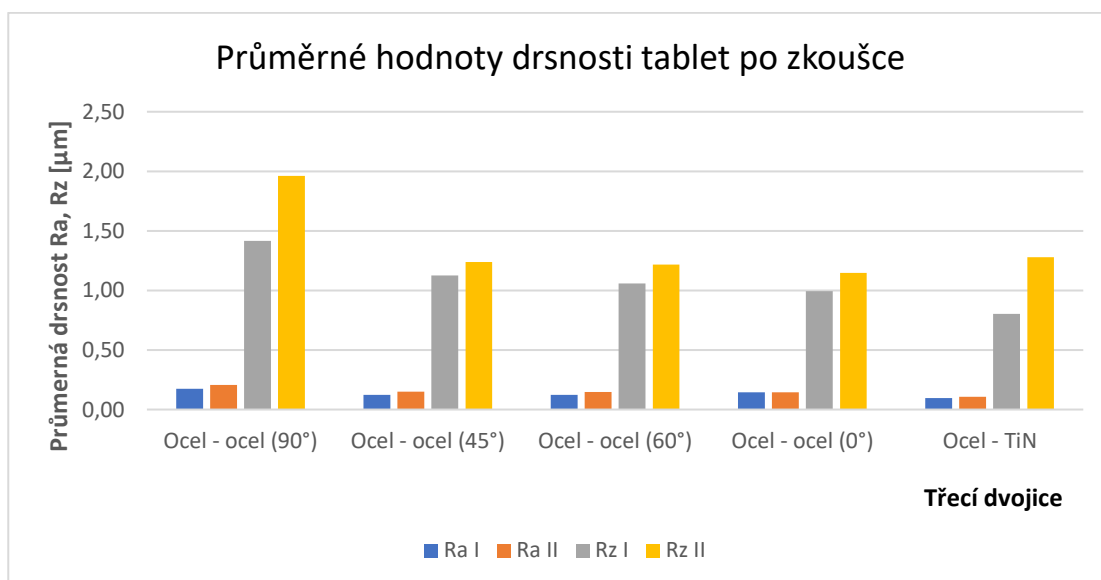


Obr. 24: Snímek tablety po tření se směsí oleje a grafitu, ocel – TiN

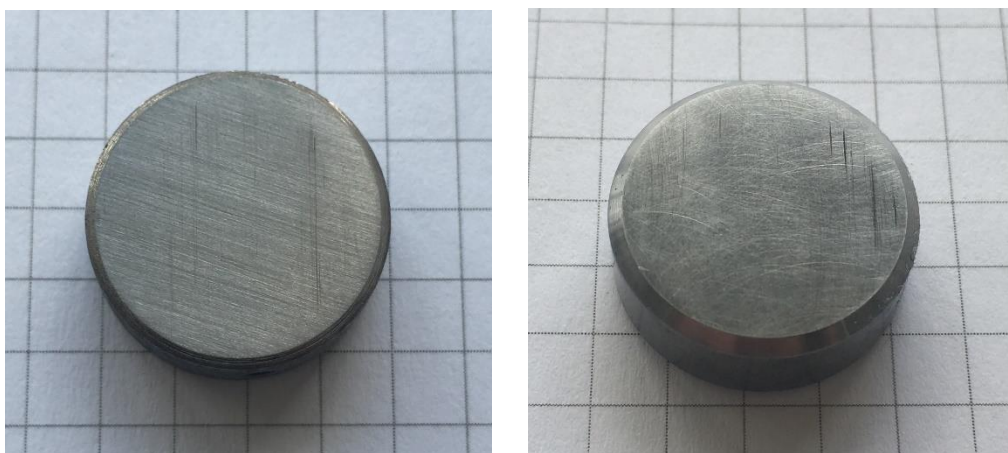
Tab. 57: Průměrné hodnoty drsnosti povrchu tablet po zkoušce na tribometru – mazáno použitým olejem

Průměrné hodnoty drsnosti povrchu tablety					
Funkční dvojice	Úhel broušení	Mazáno – použitý olej			
		Ra I	Ra II	Rz I	Rz II
Ocel – ocel	90°	0,17	0,21	1,42	1,96
	45°	0,12	0,15	1,13	1,24
	60°	0,12	0,15	1,06	1,22
	0°	0,14	0,14	0,99	1,15
Ocel – TiN	x	0,10	0,11	0,80	1,28

Z tabulky je patrné, že při tření s využitím již používaného oleje se naměřené hodnoty drsnosti jednotlivých třecích dvojic liší jen minimálně. Mírně vyšší hodnoty byly naměřeny jen u tablety broušené pod úhlem 90° vůči směru pohybu desky.



Graf 56: Průměrné hodnoty drsnosti tablet po zkoušce na tribometru – mazáno použitým olejem



Obr. 25 a 26: Snímky tablet po tření s použitým olejem, v pořadí ocel – ocel, ocel – TiN

## 5 ZÁVĚR

Teoretická část této práce se zabývá shrnutím poznatků týkajících se tribologie obecně, tření, opotřebení, teorie mazání a mazacích médií. Dále jsou zde shrnuty technologie úpravy povrchů pro lepší kluzné vlastnosti, včetně technologie vybraných způsobů povlakování.

V následné praktické části byla popsána navržená metodika měření koeficientu tření a drsnosti povrchu testovaných funkčních dvojic. Měření probíhalo vždy za stejných zkušebních podmínek, z důvodu porovnatelnosti výsledků a opakovatelnosti měření. Při tribologických zkouškách byla použita různá maziva, která byla aplikována do oblasti kontaktu funkční dvojice – tableta/deska a to v intervalu každých 2 minut testu, v množství 0,2[ml]. Funkční dvojice se skládá z ocelové tablety a tří typů ocelových desek, které mají rozdílnou úpravu povrchu, konkrétně povlak TiN, teflonová páska a ocel bez povlaku. V případě funkční dvojice ocel – ocel byly používány čtyři typy tablet lišící se pouze v úhlu broušení vůči směru pohybu. Díky tomu lze porovnat vliv úpravy geometrie povrchu (rozdílné úhly) na velikost koeficientu tření. Tato úprava povrchu byla zvolena na základě požadavku vyšší trvanlivosti mazacího filmu v kontaktní ploše třecí dvojice.

Jak je již na první pohled z výsledků patrné, značný vliv na velikost hodnoty koeficientu tření má použití maziva. Funkční dvojice ocel – ocel bez maziva vykazuje hodnoty koeficientu tření přibližně 6krát vyšší. V případě suchého tření bylo nejlepšího výsledku dosaženo použitím desky s teflonovou páskou a naopak nejvyšší koeficient tření vykazuje kombinace ocelové tablety s deskou s aplikovaným povlakem TiN. Avšak to i za zcela minimálně odlišných hodnot parametrů drsnosti v porovnání s funkční dvojicí ocel/teflon. Důvodem je nejspíše velký rozdíl v hodnotách tvrdosti povrchu tablety a povlaku TiN. Při použití maziva ve formě nového oleje 15W – 40 bylo nejlepšího výsledku dosaženo při tření s deskou s povlakem TiN. V porovnání funkčních dvojic ocel – ocel má nejnižší součinitel tření tableta broušená pod úhlem 45°. Při testu s mazáním funkční dvojice opotřebovaným olejem, jsou hodnoty koeficientů tření vyšší. Tento fakt potvrzuje nutnost dodržovat pravidelné intervaly výměny olejových náplní. Vývoj koeficientu tření při aplikaci mazivy je skokový, což je patrné z grafických závislostí. Pro další testování by bylo nutné upravit metodiku měření a to tak, že by bylo nutné nepřerušovat testování v časových intervalech dvou minut a mazivo aplikovat za neustálého pohybu funkční dvojice.

## 6 SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BEČKA, Jan. *Tribologie*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 8001016218.
- [2] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN 8070788836.
- [3] Jak mazat ložisko, převodovku nebo jiný strojní díl. *Mm spektrum: Průmyslové kapaliny* [online]. 2014,25.06.2014[cit.26.12.2018]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/potrebuje-namazat-lozisko-prevodovku-ci-jiny-strojni-dil.html>
- [4] Bílá tuhá maziva. *Tribotechnika: Mazanie* [online]. [cit.26.12.2018]. Dostupné z: <https://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12010/bila-tuha-maziva-spravny-krok-v-tribologii.html>
- [5] Tribology 101 – introduction to the basic of tribology. *Bruker*: [online]. [cit.26.12.2018]. Dostupné z: [https://www.bruker.com/fileadmin/user\\_upload/8-PDF-Docs/SurfaceAnalysis/TMT/Webinars/Tribology\\_101\\_Webinar-1\\_Intro\\_and\\_Basics\\_29-Jan-2013.pdf](https://www.bruker.com/fileadmin/user_upload/8-PDF-Docs/SurfaceAnalysis/TMT/Webinars/Tribology_101_Webinar-1_Intro_and_Basics_29-Jan-2013.pdf)
- [6] HELEBRANT, František, Ladislav HRABEC a Jan BLATA. *Provoz diagnostika a údržba strojů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3028-5
- [7] Syntetické estery a jejich použití nejen při obrábění. *Mm spektrum: Průmyslové kapaliny* [online]. 2016,8.6.2016[cit.30.12.2018]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/synteticke-estery-a-jejich-pouziti-nejen-pri-obrabeni.html>
- [8] What's the Difference Between Types of Wear?. *Machine design*. [online]. 2014,14.1.2014[cit.2.1.2019]. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/materials/what-s-difference-between-types-wear>
- [9] SVOBODOVÁ, Magdalena. Druhy tření, mazání ložisek. [online]. Spss Brno, 2012[cit.5.1.2019]. Dostupné z: [http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY\\_32\\_INOVACE\\_14-02.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_14-02.pdf)
- [10] Types of lubrication – boundary, hydrostatic and hydrodynamic. *Bright hub engineering*. [online]. [cit.5.1.2019]. Dostupné z: <https://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/73568-hydrostatic-lubrication/>
- [11] KRÁLOVÁ, Magda. *Smykové tření*. [online]. Techmania [cit.7.1.2019]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/sila/odporove-sily/smykove-treni>
- [12] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [13] KRÁLOVÁ, Magda. *Valivé tření*. [online]. Techmania [cit.26.1.2019]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/sila/odporove-sily/valive-treni>

- [14] Tření. [online]. *Wikipedia* [cit.18.2.2019] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tření>
- [15] VÁLOVÁ, Marie, KREIBICH, Viktor a SOVJAK Sergej. Povrchové úpravy a renovace technologiemi RVS. *Mm Spektrum* [online]. 13.4.2005 [cit. 10.3.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-a-renovace-technologie-mi-rvs.html>
- [16] Technologie mazání. *AEROTEC*. [online]. [cit. 18.3.2019]. Dostupné z: <https://www.aerotec.cz/cs/technologie>
- [17] Podstata a funkce MILITECU. *MILITEC*. [online]. [cit.18.3.2019]. Dostupné z: <http://www.militec.cz/podstata/>
- [18] Specifikace motorových olejů. *Petroleum.cz* [online]. [cit. 20.3.2019]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyroby/oleje-motorove-specifikace.aspx>
- [19] ČERNÝ, Jaroslav. Vlastnosti motorových olejů. *Oleje.cz* [online]. [cit. 20.3.2019]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Viskozita>
- [20] ČERNÝ, František, Ladislav SAMEK a Bruno SOPKO. *Fyzika I*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2002. ISBN 978-80-01-03650-1.
- [21] Současnost a trendy v povlakování technologií PVD. *MM spektrum* [online]. [cit.14.5.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-a-trendy-povlakovani-technologie-pvd.html>
- [22] GERSTENBERGER, Jan. Tenké povlaky pro snížení ztrát třením: Tribologie povlaků typu DLC. *Tribotechnika* [online]. [cit. 14.5.2019]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22011/tenke-povlaky-pro-snizeni-ztrat-trenim-tribologie-povlaku-typu-dlc.html>
- [23] Povlak TiN. *Commerc service* [online]. 2008 [cit.16.5.2019]. Dostupné z: <https://www.commercservice.sk/--36-102-tin>

## 7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Kluzné tření. [11]

Obr. 2: Valivé tření. [13]

Obr. 3: Vnitřní tření [20]

Obr. 4: Typy tření. [14]

Obr. 5: Adhezivní opotřebení. [1]

Obr. 6: Abrazivní opotřebení. [1]

Obr. 7: Erozivní opotřebení. [1]

Obr. 8: Kavitační opotřebení. [1]

Obr. 9: Únavové opotřebení [1]

Obr. 10: Vibrační opotřebení [1]

Obr. 11: Viskozitní index. [1]

Obr. 12: Tribometr TOP3

Obr. 13: Funkční dvojice

Obr. 14: Testované desky. Zleva: bez povlaku, s teflonovou páskou, s povlakem TiN

Obr. 15: Snímek funkční dvojice v tribometru TOP3 (deska TiN)

Obr. 16: Směry měření drsnosti povrchu tablety a desky

Obr. 17: Drsnoměr Mitutoyo SJ-301

Obr. 18: Úhly broušení tablety

Obr. 19, 20 a 21: Snímky tablet po suchém tření, v pořadí ocel – ocel, ocel – TiN a ocel – teflon

Obr. 22 a 23: Snímky tablet po tření s olejem, v pořadí ocel – ocel, ocel – TiN

Obr. 24: Snímek tablety po tření se směsí oleje a grafitu, ocel – TiN

Obr. 25 a 26: Snímky tablet po tření s použitým olejem, pořadí ocel – ocel, ocel – TiN

## 8 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Koeficient tření různých materiálů [12]

Tab. 2: Klasifikace třídy SAE [18]

Tab. 3: Hodnoty drsnosti tablety č. 9 před zkouškou na tribometru

Tab. 4: Hodnoty drsnosti tablety č. 9 po zkoušce na tribometru

Tab. 5: Hodnoty koeficientu tření ocel – teflon, měření č. 1

Tab. 6: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – suché tření

Tab. 7: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – suché tření

Tab. 8: Hodnoty koeficientu suchého tření ocel – ocel, tableta 90°

Tab. 9: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – suché tření

Tab. 10: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – suché tření

Tab. 11: Hodnoty koeficientu suchého tření ocel – ocel, tableta 45°

Tab. 12: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – suché tření

Tab. 13: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – suché tření

Tab. 14: Hodnoty koeficientu suchého tření ocel – ocel, tableta 60°

Tab. 15: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – suché tření

Tab. 16: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – suché tření

Tab. 17: Hodnoty koeficientu suchého tření ocel – ocel, tableta 0°

Tab. 18: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – nový olej

Tab. 19: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – nový olej

Tab. 20: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, nový olej, tableta 90°

Tab. 21: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – nový olej

Tab. 22: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – nový olej

Tab. 23: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, nový olej, tableta 45°

Tab. 24: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – nový olej

Tab. 25: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – nový olej

Tab. 26: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, nový olej, tableta 60°

Tab. 27: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – nový olej

Tab. 28: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – nový olej

Tab. 29: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, nový olej, tableta 0°

Tab. 30: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – použitý olej

Tab. 31: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – použitý olej

Tab. 32: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, použitý olej, tableta 90°

Tab. 33: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – použitý olej

- Tab. 34: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – použitý olej
- Tab. 35: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, použitý olej, tableta 45°
- Tab. 36: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – použitý olej
- Tab. 37: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – použitý olej
- Tab. 38: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, použitý olej, tableta 60°
- Tab. 39: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – použitý olej
- Tab. 40: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – použitý olej
- Tab. 41: Hodnoty koeficientu tření ocel – ocel, použitý olej, tableta 0°
- Tab. 42: Hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou – suché tření
- Tab. 43: Hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce – suché tření
- Tab. 44: Hodnoty koeficientu tření ocel – TiN, suché tření
- Tab. 45: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – nový olej
- Tab. 46: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – nový olej
- Tab. 47: Hodnoty koeficientu tření ocel – TiN, nový olej
- Tab. 48: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – použitý olej
- Tab. 49: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – použitý olej
- Tab. 50: Hodnoty koeficientu tření ocel – TiN, použitý olej
- Tab. 51: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – olej + grafit
- Tab. 52: Hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – olej + grafit
- Tab. 53: Hodnoty koeficientu tření ocel – TiN, olej + grafit
- Tab. 54: Srovnání koeficientů tření funkčních dvojic
- Tab. 55: Průměrné hodnoty drsnosti povrchu tablet po zkoušce na tribometru – suché tření*
- Tab. 56: Průměrné hodnoty drsnosti povrchu tablet po zkoušce na tribometru – mazáno olejem
- Tab. 57: Průměrné hodnoty drsnosti povrchu tablet po zkoušce na tribometru – mazáno použitým olejem*



## 9 SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1: Průměrné hodnoty drsnosti tablety č. 9 před zkouškou na tribometru
- Graf 2: Průměrné hodnoty drsnosti tablety č. 9 po zkoušce na tribometru
- Graf 3: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – teflon, měření č. 1
- Graf 4: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou na tribometru (90°)
- Graf 5: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce na tribometru (90°)
- Graf 6: Závislost koeficientu suchého tření na čase, ocel – ocel, tableta 90°
- Graf 7: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou na tribometru (45°)
- Graf 8: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce na tribometru (45°)
- Graf 9: Závislost koeficientu suchého tření na čase, ocel – ocel, tableta 45°
- Graf 10: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou na tribometru (60°)
- Graf 11: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce na tribometru (60°)
- Graf 12: Závislost koeficientu suchého tření na čase, ocel – ocel, tableta 60°
- Graf 13: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou na tribometru (0°)
- Graf 14: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce na tribometru (0°)
- Graf 15: Závislost koeficientu suchého tření na čase, ocel – ocel, tableta 0°
- Graf 16: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – nový olej
- Graf 17: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – nový olej
- Graf 18: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, nový olej, tableta 90°
- Graf 19: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – nový olej
- Graf 20: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – nový olej
- Graf 21: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, nový olej, tableta 45°
- Graf 22: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – nový olej
- Graf 23: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – nový olej
- Graf 24: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, nový olej, tableta 60°
- Graf 25: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – nový olej
- Graf 26: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – nový olej
- Graf 27: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, nový olej, tableta 0°
- Graf 28: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (90°) – použitý olej
- Graf 29: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (90°) – použitý olej
- Graf 30: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, použitý olej, tableta 90°
- Graf 31: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (45°) – použitý olej
- Graf 32: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (45°) – použitý olej

Graf 33: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, použitý olej, tableta 45°  
Graf 34: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (60°) – použitý olej  
Graf 35: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (60°) – použitý olej  
Graf 36: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, použitý olej, tableta 60°  
Graf 37: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou (0°) – použitý olej  
Graf 38: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce (0°) – použitý olej  
Graf 39: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – ocel, použitý olej, tableta 0°  
Graf 40: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky před zkouškou – suché tření  
Graf 41: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky po zkoušce – suché tření  
Graf 42: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – TiN, suché tření  
Graf 43: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – nový olej  
Graf 44: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – nový olej  
Graf 45: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – TiN, nový olej  
Graf 46: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – použitý olej  
Graf 47: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – použitý olej  
Graf 48: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – TiN, použitý olej  
Graf 49: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) před zkouškou – olej + grafit  
Graf 50: Průměrné hodnoty drsnosti tablety a desky (TiN) po zkoušce – olej + grafit  
Graf 51: Závislost koeficientu tření na čase, ocel – TiN, olej + grafit  
Graf 52: Srovnání hodnot statického koeficientu tření  
Graf 53: Srovnání hodnot dynamického koeficientu tření  
Graf 54: Průměrné hodnoty drsnosti tablet po zkoušce na tribometru – suché tření  
Graf 55: Průměrné hodnoty drsnosti tablet po zkoušce na tribometru – mazáno olejem  
Graf 56: Průměrné hodnoty drsnosti tablet po zkoušce na tribometru – mazáno  
použitým olejem