

# Studium opotřebení kontaktního úchopu Průmyslového robotu

Kotásek Kryštof

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Kryštof Kotásek  
Osobní číslo: A21037  
Studijní program: B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci  
Specializace: Inteligentní systémy s roboty  
Forma studia: Prezenční  
Téma práce: Studium opotřebení kontaktního úchopu průmyslového robotu  
Téma práce anglicky: Study of contact gripper wear of an industrial robot

### Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši v oblasti robotických systémů a možného opotřebení úchopů.
- Navrhněte experiment testování opotřebení kontaktního úchopu.
- Připravte zkušební tělesa a proveďte jednotlivé experimenty.
- Statisticky vyhodnoťte naměřená data.
- Diskutujte získané výsledky.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. Ian GIBSON, David ROSEN a Brent STUCKER. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2112-6.
2. Andreas GEBHARDT a Jan-Steffen HÖTTER. Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016. ISBN 978-1-56990-582-1.
3. Vishu SHAH. Handbook of Plastics Testing Technology. New York: John Wiley & Sons, 1998. ISBN 0-471-18202-8.
4. John J. CRAIG. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. Edinburgh: Pearson Education, 2014. ISBN 978-1-292-04004-2.
5. Jana KUBANOVÁ. Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi. Bratislava: STATIS, 2004. ISBN 80-85659-37-9.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Aleš Mizera, Ph.D.**  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2024**

**doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

**Jméno, příjmení: Kryštof Kotásek**

**Název bakalářské práce: Studium opotřebení kontaktního úchopu průmyslového robotu**

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Kotásek Kryštof v.r.  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je zaměřena na opotřebování kontaktního úchopu robotu, který je vymodelován v programu SolidWorks. V teoretické části práce jsou popsány základní typy úchopů, jejich funkce a stručný popis robotů, historie robotu, druhy pohonu a základní rozdělení robotů. V praktické části je navrhnut 3D model úchopu, následně vyroben na 3D tiskárně z různých materiálů. V další části je kontaktní úchop testován na tribometru a na robotu. V další části je opotřebení zkoumáno pod mikroskopem společně s daty poškození z tribometru. Výsledky jsou poté diskutovány a porovnány, jak se různé materiály chovají.

Klíčová slova: robot, kontaktní úchop, tribometr, opotřebení

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis focuses on the wear of the robot's contact gripper, which is modeled in SolidWorks. The theoretical part describes the basic types of grippers, their functions, and provides a brief description of the robot, its history, types of drives, and the basic classification of robots. In the practical part, a 3D model of the gripper is designed and subsequently produced on a 3D printer from various materials. In the next section, the contact gripper is tested on a tribometer and on the robot. The wear is then examined under a microscope along with the damage data from the tribometer. The results will be discussed and compared to see how the different materials performed.

Keywords: robot, contact gripper, tribometer, wear

Zde je místo pro případné poděkování, popř. motto, úryvky knih atp.

Rád bych chtěl poděkovat panu Ing. Alešovi Mizerovi, Ph.D. za trpělivost a skvělou spolupráci při vedení této bakalářské práce, jeho odborné rady a ochotu. Také bych chtěl poděkovat rodině za podporu a ochotu během studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>I</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>HISTORIE .....</b>	<b>11</b>
1.1.1	První generace robotiky .....	11
1.1.2	Druhá generace.....	11
1.1.3	Třetí generace.....	12
1.1.4	Čtvrtá generace.....	13
1.1.5	Pátá generace.....	14
<b>2</b>	<b>ROZDĚLENÍ ROBOTŮ.....</b>	<b>15</b>
2.1.1	Podle počtu stupňů volnosti .....	15
2.1.2	Podle kinematické struktury.....	15
2.1.3	Podle druhu pohonu .....	16
2.1.4	Podle vykonávaných činností a oblasti nasazení .....	16
2.1.5	Podle geometrie pracovního prostoru .....	16
2.1.6	Podle kompaktnosti konstrukce a funkční autonomnosti pohybových jednotek robotů.....	17
2.1.7	Podle způsobu programování .....	18
2.1.7.1	Off-line programování .....	18
2.1.7.2	On-line programování .....	18
2.2	ROZDĚLENÍ ROBOTŮ PODLE OBLASTI NASAZENÍ .....	19
2.2.1	Obráběcí robot.....	19
2.2.2	Robot pro tváření.....	19
2.2.2.1	výrobní systémy pro plošné tváření.....	19
2.2.2.2	Robotizace v oblasti objemového tváření.....	19
2.2.3	Robot pro svařování .....	19
<b>3</b>	<b>ÚCHOPY ROBOTŮ .....</b>	<b>21</b>
3.1	GRIPPERY.....	21
3.1.1	Vakuové gripperly .....	21
3.1.2	Pneumatické gripperly.....	22
3.1.3	Hydraulické gripperly .....	23
3.1.4	Elektrické gripperly .....	23
<b>4</b>	<b>OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU .....</b>	<b>24</b>
4.1	ADHEZIVNÍ OPOTŘEBENÍ .....	24
4.2	ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ .....	25
4.3	EROZIVNÍ OPOTŘEBENÍ .....	25
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>PŘÍPRAVA K MĚŘENÍ.....</b>	<b>28</b>
5.1	SOLIDWORKS .....	28



5.2	STÄUBLI ROBOTICS SUITE.....	29
5.3	TRIBOMETR .....	31
5.4	MIKROSKOP .....	32
<b>6</b>	<b>TESTOVÁNÍ .....</b>	<b>34</b>
6.1	VÝROBA GRIPERŮ.....	34
6.2.1	ABS .....	35
6.2.2	HIPS .....	35
6.2.3	PC.....	36
6.2.4	PETG.....	36
6.2.5	PLA .....	36
6.2.6	Kovová slitina .....	36
<b>7</b>	<b>CÍLE .....</b>	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>38</b>
8.1	PC.....	38
8.2	ABS.....	40
8.3	HIPS .....	42
8.4	PETG.....	44
8.5	PLA .....	46
8.6	KOVOVÁ SLITINA .....	47



## ÚVOD

Robotické systémy jsou dnes nezbytnou součástí průmyslu a dalších oblastí, kde je nutné provádět opakující se činnosti s vysokou přesností a rychlostí. Tyto systémy se využívají v různých průmyslových odvětvích, včetně automobilového průmyslu, elektroniky, lékařství a potravinářství. Robotika tak nejen zvyšuje efektivitu výrobních procesů, ale také přispívá k zajištění vyšší kvality výrobků a bezpečnosti pracovníků, kteří by jinak museli vykonávat monotónní či nebezpečné úkoly.

Jedním z klíčových prvků těchto systémů je uchopovací mechanismus, který umožňuje robotům manipulovat s objekty v různých prostředích. Uchopovací mechanismy, neboli grippery, mohou mít různé podoby a fungovat na základě různých principů, jako je například pneumatické, hydraulické nebo elektrické ovládání. Moderní grippery jsou navrhovány tak, aby byly schopné manipulovat s předměty různých tvarů, velikostí a materiálů, což vyžaduje jejich vysokou flexibilitu a adaptabilitu.

Kontaktní uchopení, běžně používané v robotice, umožňuje robotům přímo uchopit a manipulovat s objekty prostřednictvím kontaktu s jejich povrchy. Toto uchopení je kriticky důležité pro operace, kde je třeba přesně kontrolovat polohu a sílu působící na objekt. Chování kontaktního uchopení při manipulaci s různými předměty může být složité a je ovlivněno mnoha faktory, jako jsou tvar a materiál objektu, síla uchopení a další proměnné.

Cílem této bakalářské práce je návrh úchopu robota a jeho následné testování. Testování bude probíhat na tribometru a na robotu, což umožní detailní analýzu. Tribometr je zařízení, které měří tření mezi dvěma povrchy, což je klíčové pro pochopení, jaký vliv má uchopení na povrch objektů a na gripper samotný. Následně budou zkoumány data z tribometru a bude zkoumáno poškození pod mikroskopem, což poskytne hlubší vhled do mechanických interakcí na mikroúrovni.

Gripper bude vymodelován v programu SolidWorks, což je pokročilý software pro 3D modelování, umožňující detailní a přesné návrhy. Po vytvoření digitálního modelu bude gripper vytištěn na 3D tiskárně, což umožní rychlou výrobu a testování fyzického prototypu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

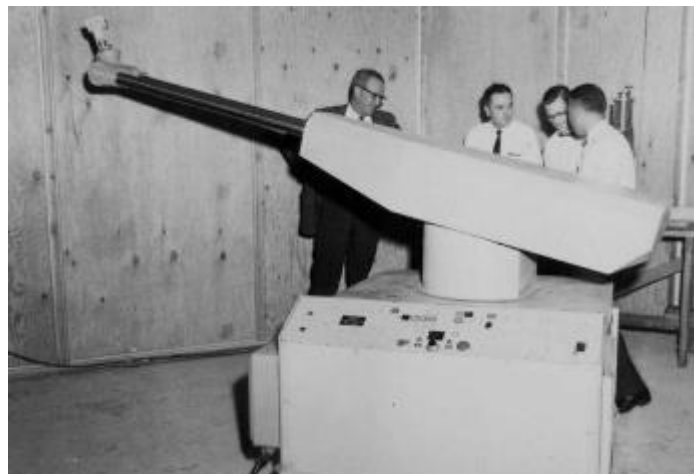
## 1 HISTORIE

Roboti a jejich funkce prošli několika generacemi v průběhu let vývoje. Termín „robot“ byl poprvé použit Karlem Čapkem ve své hře R.U.R. Rozvoji průmyslových robotů napomohla také evoluce číslicové techniky. První průmyslový robot splňující definici ISO byl vyvinut Griffithem P. Taylorem v roce 1937. Jednalo se o jeřábový stroj poháněný elektrickým motorem, disponující 5 osami pro uchopení a otáčení. Automatizace tohoto robota byla dosažena prostřednictvím papírových pásků s úderníkem. [3]

### 1.1 Generace robotiky

#### 1.1.1 První generace robotiky

První generace robotů se začala rozvíjet v druhé polovině 20. století, a především se jedná o manipulační roboty. Jejich pracovní systém spočívá v pohybu mezi dvěma nebo více pevně stanovenými body. Činnosti, které tato generace robotů vykonává, se především zaměřují na "uchop a pusť". Tito roboti nejsou vybaveni žádnými senzory a pracují podle přesně stanovených instrukcí. Na obrázku 1 můžeme vidět první robotickou ruku, která byla integrována do výroby. [1]



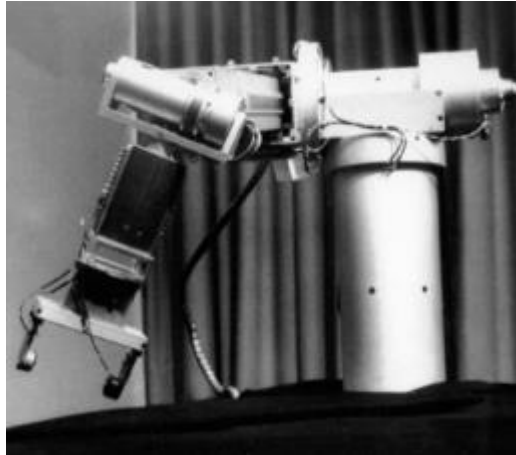
Obrázek 1 První robotická ruka [12]

#### 1.1.2 Druhá generace

Druhá generace robotů, vzniklá kolem roku 1980, přinesla významné inovace ve světě automatizace. Tato generace se odlišuje od svých předchůdců, zejména první generace, tím, že umožňuje operátorům upravovat pozice robotů podle aktuálních potřeb a úkolů. [3]

Automobilový průmysl se stal jedním z hlavních odvětví, kde jsou roboti druhé generace v současnosti využíváni. Jsou nasazováni nejenom k rutinním úkonům, ale i k sofistikovanějším operacím, jako je svařování, montáž a manipulace s těžkými částmi vozidel pomocí ramena, jak můžeme vidět na obrázku číslo 2 (4). Díky nim došlo k významnému zvýšení produktivity a kvality v automobilovém výrobním procesu. [3]

Přestože druhá generace robotů představuje výrazný pokrok, v dalším vývoji se objevují stále novější technologické trendy, jako jsou pokročilé umělé inteligence a robotika spolupracující s lidmi. Tyto trendy naznačují, že automatizace a robotizace budou i nadále hrát klíčovou roli ve formování budoucnosti průmyslu a práce. [3]



Obrázek 2 Robotické rameno druhé generace [12]

### 1.1.3 Třetí generace

Třetí generace robotů znamená průlom tím, že jsou schopni být programováni prostřednictvím počítače. Tato inovace přináší možnost využívat různé senzory, jako jsou kamery a dotykové senzory. Díky těmto sensorům mohou roboti reagovat na okolní prostředí a měnit svou funkci na základě aktuálních dat získaných ze sensorů. Toto rameno můžeme vidět na obrázku číslo 3[1]

Programování pomocí počítače poskytuje flexibilitu v úpravách chování robotů, což je klíčový prvek pro adaptaci na různorodé úkoly. Senzory, jako jsou kamery, umožňují robotům vnímat vizuální informace, zatímco dotykové senzory jim umožňují reagovat na fyzický kontakt s prostředím nebo objekty.[1]

Tato schopnost je zvláště cenná v průmyslových prostředích, kde mohou roboti měnit své polohy a akce v reálném čase na základě potřeb výrobního procesu. To umožňuje například přesné nastavení pro odběr dílů nebo jejich pokládání na specifická místa, což přispívá k efektivitě a přesnosti automatizovaných operací. [1]



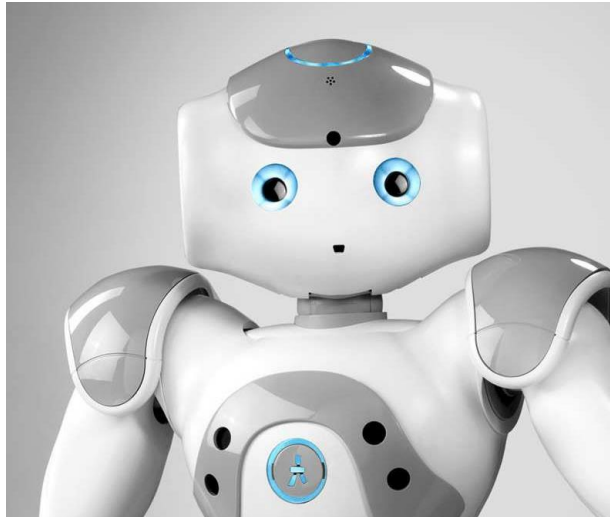
Obrázek 3 Robotické rameno třetí generace [7]

#### 1.1.4 Čtvrtá generace

Ve čtvrté generaci robotů dochází k revolučnímu vývoji, kdy jsou schopni rozhodovat v reálném čase a vykazují větší volnost pohybu při plnění úkolů. Sběr informací dosahuje vyšší rychlosti a přesnosti díky pokročilejším sensorům. Tito roboti se začínají chovat stále více podobně jako lidé, což zvyšuje jejich schopnost přizpůsobit se různorodým situacím.[1]

Pro dosažení této úrovně autonomie a flexibility byla vývojáři využita fuzzy logika a neuronové sítě. Fuzzy logika umožňuje robotům zpracovávat nejisté informace a rozhodovat na základě nejednoznačných vstupů. Neuronové sítě zase umožňují robotům učit se a adaptovat své chování na základě zkušeností.[1]

Tato generace robotů není omezena pouze na konkrétní prostředí; mohou pracovat v jakémkoliv prostoru, včetně extrémních podmínek, například ve vesmíru. Jejich schopnost autonomního rozhodování a pohybu znamená, že mohou úspěšně vykonávat úkoly v dynamických a neznámých prostředích. Tímto směrem se otevírají nové perspektivy v oblasti automatizace a robotiky. [1]



Obrázek 4 Robot Nao čtvrté generace [17]

### 1.1.5 Pátá generace

Aktuální nejpokročilejší generace robotů vyniká zejména díky širokému využití umělé inteligence. Jejich charakteristickými vlastnostmi jsou schopnost operovat bez nepřetržitého vstupu od operátora a samostatné učení z provedených úkonů.[1]

Umělá inteligence, kterou tyto roboty integrují, jim umožňuje adaptovat se na různé situace a prostředí, vyhodnocovat složité informace a rozhodovat v reálném čase. Tato schopnost je posílena algoritmickými modely strojového učení a hlubokým učáním, které umožňují robotům samostatně zlepšovat své dovednosti a přizpůsobovat se novým výzvám.[1]

Důležitou částí této generace je schopnost autonomního učení. Roboti se mohou učit z vlastních chyb a úspěchů, což vede k postupnému zdokonalování jejich výkonu. Tímto způsobem mohou dosahovat vyšší úrovně efektivity a přesnosti v plnění úkolů. [1]



Obrázek 5 Robot páté generace [18]



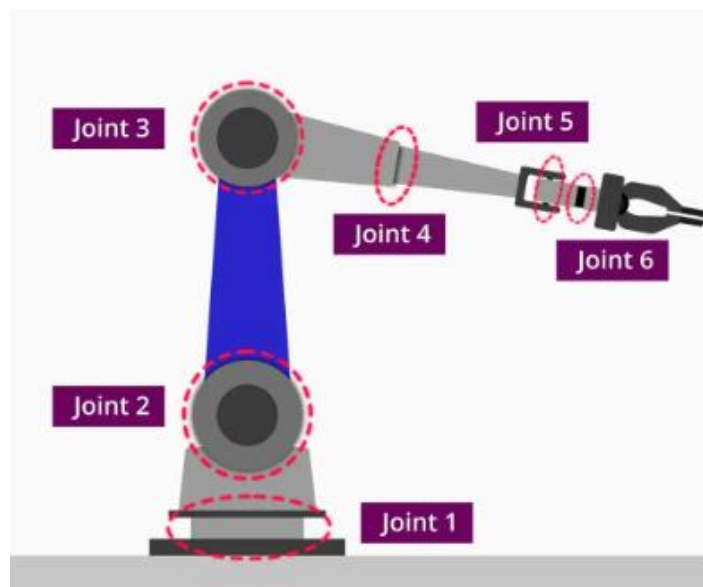
## 2 ROZDĚLENÍ ROBOTŮ

Manipulační zařízení, která patří do kategorie robotů, lze klasifikovat podle několika různých hledisek. Mezi tyto klasifikace patří počet stupňů volnosti, kinematická struktura, použité pohony, geometrie pracovního prostoru, pohybové charakteristiky, způsob řízení, způsob programování a další. Historicky byla první klasifikace zaměřena na odlišnosti mezi manipulátory a roboty v kontextu řízení a programování. Tato klasifikace se vyvinula s cílem lépe definovat a porozumět vlastnostem a charakteristikám robotických manipulátorů. [6]

### 2.1 Klasifikace podle kritérií

#### 2.1.1 Podle počtu stupňů volnosti

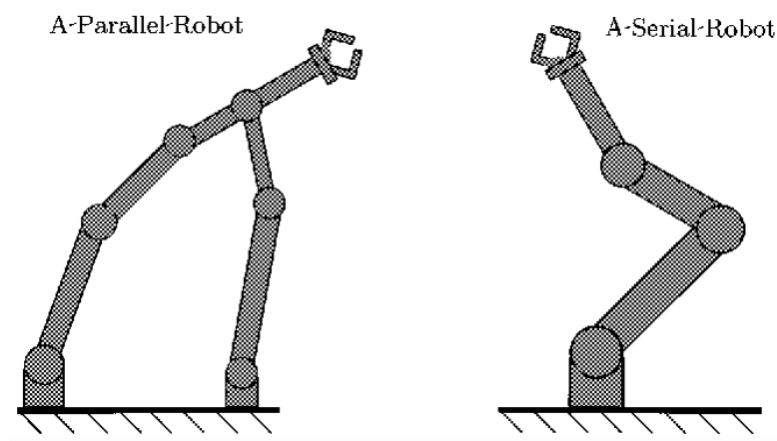
Zde rozdělujeme roboty na: Univerzální robot – se 6 stupni volnosti, které jsou vymezeny v kartézském souřadném systému polohu a orientaci což můžeme vidět na obrázku č. 6. Další možnost je Redundantní robot, který má více jak 6 stupňů volnosti. Tato možnost se používá při speciálních příkladech kde potřebujeme překonat překážku nebo při pohybu ve stísněném prostoru. Posledním typem v těchto kritériích je deficitní robot, který má méně než 6 os volnosti. Tyto roboti se využívají u montáže v rovině. [6]



Obrázek 6 znázornění 6 osého robotu [9]

#### 2.1.2 Podle kinematické struktury

Manipulační zařízení, která spadají do kategorie robotů, lze klasifikovat podle několika kritérií. Tři hlavní typy robotů zahrnují sériové roboty, které mají otevřený kinematický řetězec manipulátoru, paralelní roboty s uzavřeným kinematickým řetězcem, a hybridní roboty, které kombinují oba tyto typy řetězců. Tato klasifikace pomáhá lépe porozumět struktuře a vlastnostem robotických manipulátorů, což může být klíčové při návrhu, vývoji a řízení těchto zařízení. [6]



Obrázek 7 paralelní a sériový robot[8]

### 2.1.3 Podle druhu pohonu

Robot může být vybaven třemi hlavními typy pohonů: elektrickými, hydraulickými a pneumatickými. V současné době je převaha v konstrukcích manipulačních zařízení s elektrickými pohony zřejmá. V případech, kdy jsou kladeny požadavky na vysoké nosnosti, nachází uplatnění hydraulické pohony. Pro dosažení vysokých rychlostí jsou naopak preferovány pneumatické pohony. Tato variabilita ve volbě pohonů umožňuje optimalizovat manipulační zařízení podle specifických požadavků a podmínek, a to s ohledem na potřebu výkonu, nosnosti a rychlosti. [6]

### 2.1.4 Podle vykonávaných činností a oblastí nasazení

Průmyslové roboty jsou využívány při činnostech spojených s výrobou různých produktů. Na druhé straně servisní roboty jsou nasazovány při obslužných činnostech, buď v oblasti lidských služeb, jako je zdravotnictví nebo domácí práce, nebo v průmyslu a službách, například ve stavebnictví, hlídání objektů, údržbě a dalších oblastech. (6)[6]

### 2.1.5 Podle geometrie pracovního prostoru

V souladu s geometrií pracovního prostoru lze roboty klasifikovat podle několika kategorií: Kartézské, cylindrické, sférické, angulární, Scara. [6]



Obrázek 8 robot scara [15]

### 2.1.6 Podle kompaktnosti konstrukce a funkční autonomnosti pohybových jednotek robotů

Univerzální roboty jsou charakterizovány schopností řešit širokou škálu úloh a závislostí mezi pohybovými jednotkami, které jsou vzájemně provázány. Tato konstrukce je složitá a nákladná, avšak nabízí výhodu univerzality, umožňující nasazení v různých oblastech. S touto univerzálností však souvisí i vyšší cena.[6]

Naopak modulární (modulové) roboty využívají konstrukčního přístupu, kde každá polohovací jednotka funguje samostatně a je možné sestavit strukturu přizpůsobenou konkrétní úloze pomocí sad typ rozměrových polohovacích jednotek. Tento přístup vede k výraznému snížení nákladů, jak pořizovacích, tak i provozních. Efektivita spočívá v použití menšího, ale dostatečného počtu polohovacích jednotek pro konkrétní strukturu robota a také v hromadné výrobě těchto jednotek. [6]



Obrázek 9 Robot kuka [16]

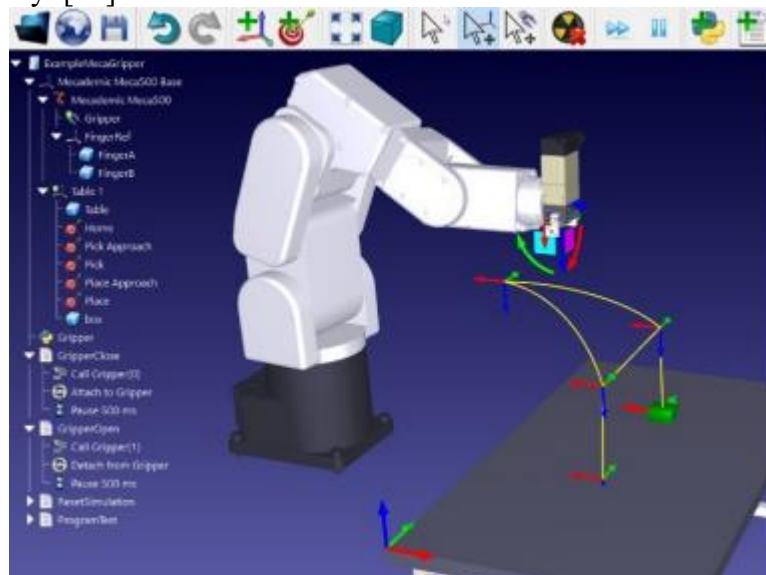
### 2.1.7 Podle způsobu programování

Robot se dá programovat dvěma způsoby, a to online nebo off-line. Obě verze mají své výhody a nevýhody a volí si je programátor podle potřeby a situace[11]

#### 2.1.7.1 Off-line programování

U off-line programování nemusí být robot ještě schopen provozu a programátor tak na může pracovat na programu předem nebo pokud chceme provést úpravy programu, aniž bychom omezili výrobní kapacity. Nejvíce se potkáme se dvěma typy off-line programování:

Prvním typem je textový program, kde píšeme jednotlivé instrukce přímo. Tato metoda má výhody, že jsme schopni dosáhnout více funkcí robota, ale tato forma je náročnější z hlediska „debugingu“ a po napsání programu jej stáhneme do robota. Druhá metoda off-line programování je grafické programování. U této metody můžeme přímo nastavit jak chceme aby se robot pohyboval poté nám z těchto instrukcí bude vygenerován textový program s naplánovanými instrukcemi. Po následném nahrání si robot sám vygeneruje nejvhodnější cesty. [11]



Obrázek 10 off-line grafické programování [11]

#### 2.1.7.2 On-line programování

Tato metoda je programování přímo reálného robota. U této metody musíme buď programovat přímo na místě nebo pomocí vzdáleného přístupu. Nevýhodou je, že zde se musí robot pozastavit a tím se narušuje výroba a je tedy ideální využít tuto metodu před zavedením do výroby a následně používat off-line metodu, pokud nemůžeme pozastavit výrobu. Opět zde máme dvě možnosti, jak programovat. První je „teach pendant programming“ kdy zde pomocí pendantu, který je připojen přímo na robota navedeme ramena na pozici, kterou potřebujeme a zapíšeme pozici. Druhý způsob je navedení ramen manuálně. Zde můžeme zapsat jen konečnou pozici a nechat robota si vybrat ideální cestu nebo můžeme zaznamenat i cestu do bodu, což je výhodné pokud je v cestě překážka. [11]

## 2.2 Rozdělení robotů podle oblasti nasazení

### 2.2.1 Obráběcí robot

Obráběcí automatizovaný stroj je specializovaný na provádění různých obráběcích operací v průmyslu. Tito roboti zvyšují efektivitu a přesnost v průmyslu v úkonech jako obrábění, frézování, soustružení a broušení. U těchto strojů je kladen velký důraz na jejich přesnost a možnost úchopu daného tělesa k obrábění. Nevýhodou je časové rozpětí samotného obrábění které 20x až 50x převyšuje čas k manipulaci materiálu.



Obrázek 11 manipulační robot u cnc stroje [6]

### 2.2.2 Robot pro tváření

Rozdělujeme na dva základní typy

#### 2.2.2.1 výrobní systémy pro plošné tváření

v tomto typu se klade důraz na krátký výrobní cyklus a tedy se využívá větší množství strojů. Tyto stroje pracují na jednoduchých manipulačních úlohách často s rovinným charakterem. Mají malé nároky na přesnost (0,5 až 1 mm je v míře přesnosti). Většinu těchto úkonů zvládnou robotická ramena s dvěma stupni volnosti [6]

#### 2.2.2.2 Robotizace v oblasti objemového tváření

V těžkém průmyslu jako jsou slévárny a kovárny. Zde se klade důraz na tepelnou odolnost, nosnost stroje a celkovou odolnost. Jsou zde velké rozdíly ve specifických požadavcích pro jednotlivé aplikace. Užívají se zde roboti s 3 až 6 stupni volnosti. [6]

### 2.2.3 Robot pro svařování

Svařovací roboti jsou specializované na provádění svařovacích operací v průmyslovém prostředí. Tyto roboty jsou navrženy tak, aby zautomatizovaly proces svařování, což vede ke zvýšení efektivity, přesnosti a bezpečnosti výroby. Jejich implantace se hojně využívá v automobilovém průmyslu.[6]



Obrázek 12 svařovací robot [6]

## 3 ÚCHOPY ROBOTŮ

### 3.1 grippery

Grippers představují klíčový prvek koncových částí robota, umožňující mu manipulovat s předměty, jako je zdvihání, pokládání a rotace. Tyto grippers mohou být efektivně kombinovány se senzory, což umožňuje precizní kontrolu nad manipulovaným objektem. Existuje široká škála druhů gripperů, přičemž některé jsou vyvinuty specificky pro určité úkoly, zatímco jiné jsou obecnější a mohou být použity v různých situacích.[13]

V praxi se setkáváme s různými typy gripperů, každý optimalizovaný pro konkrétní činnosti. Výroba specializovaných gripperů pro specifické úkoly může být náročnější a finančně nákladnější, ale zároveň poskytuje větší účinnost při konkrétních operacích.[13]

Naopak, využívání generických gripperů, kde máme k dispozici 5 až 6 základních druhů, může být ekonomičtější a efektivnější v širokém spektru aplikací. Tato univerzální variabilita umožňuje robotům pracovat s různorodými objekty a zefektivňuje procesy manipulace, což je klíčový faktor v průmyslových a výrobních prostředích. [13]

#### 3.1.1 Vakuové grippery

Vakuové grippers využívají rozdíl mezi atmosférickým tlakem a vakuem ke zvedání předmětů. Standardně je vakuum vytvořeno pomocí elektromechanické pumpy. Vakuum nesmí být během provozu narušeno, aby bylo jisté, že gripper předmět neupustí. Tyto grippers produkují 4 – 10 krát více síly než elektromechanické typy a tedy se hodí ke zvedání těžkých předmětů, ale nejvíce vyniknou v úkonech, které potřebují vysokou rychlost. Nejvíce využívaný proces ve výrobě je balení a skládání na palety kdy může robot pokládat výrobky přímo vedle sebe, jelikož je drží z vrchní strany. Nevýhodou těchto gripperů je cena elektřiny spojená s vakuovou pumpou.[13]



Obrázek 13 využití vakuového robota ve výrobě [19]

### 3.1.2 Pneumatické gripper

Pneumatické gripper používají stlačený vzduch a jsou schopny manipulovat s velkým množstvím předmětů kdy jsme omezeni tvarem gripperů, ale jejich výroba je snazší a k jejich výrobě můžeme využít od 3D tisku až po kovy opracované CNC strojem na potřebný tvar. K výhodě těchto gripperů patří cena, která je nízká. Další výhodou je velká síla gripperů, rychlost a možnost operovat ve stísněných prostorech. Nevýhodou bývá možnost pracovat jen se shodnými součástkami pokud je gripper složitější. Dále potřebujeme k jejich používání stlačený vzduch s čím se při výběru robota musí počítat.[13]



Obrázek 14 pneumatický gripper [20]



### 3.1.3 Hydraulické gripper

Hydraulické gripperly používají kapalinu k jejich fungování. Na rozdíl od pneumatických gripperů nabízí větší sílu a jsou tedy ideální pokud potřebujeme manipulovat s těžkými tělesy. Nevýhodou je samotná kapalina, která je náročnější na využívání než stlačený vzduch u pneumatických gripperů. Dále musíme počítat, že kapalina potřebuje vlastní reservoár a jejich údržba je náročnější. Hydraulické gripperly se nehodí do sterilních prostředí.[13]



Obrázek 15 Hydraulický gripper[21]

### 3.1.4 Elektrické gripper

Elektrické gripperly nenabízejí stejnou sílu úchopu jako předchozí gripperly, ale dají se programovat díky čemuž mohou zvedat i křehká a lehká tělesa, aniž by je poškodili. V průmyslu se používají pro aplikace „vezmu a polož“. Dále se dají spojit se senzory díky kterým jsou schopny zvednout více různých těles rozdílnou silou. Nevýhodou je větší cena než u pneumatických gripperů, ale jejich výhodou je, že nepotřebují být připojeny k stlačenému vzduchu anebo k potrubí s kapalinou.[13]



Obrázek 16 Elektrický gripper[21]

## 4 OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU

Opotřebení představuje trvalou nežádoucí změnu povrchu nebo rozměrů tuhých těles, která vzniká v důsledku vzájemného působení funkčních povrchů nebo funkčního povrchu a prostředí, které opotřebení způsobuje.[5]

Tento proces opotřebení manifestuje odstraněním nebo přemístováním částic hmoty z povrchu dané součásti. Tato změna je způsobena mechanickými silami, které působí na povrch a jsou často provázány dalšími vlivy, jako jsou chemické nebo elektrochemické interakce. Opotřebení tak může být komplexním jevem spojujícím fyzikální a chemické aspekty, který má významný dopad na životnost a funkčnost materiálů ve strojírenství, průmyslu a dalších odvětvích. [5]

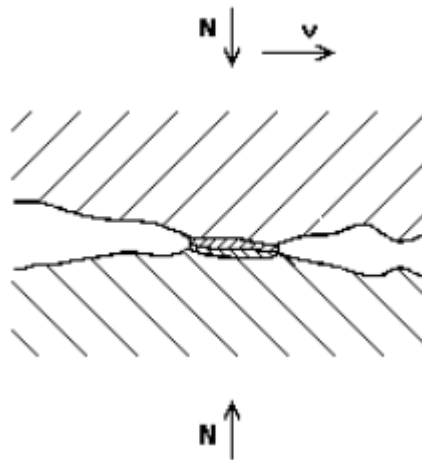
Opotřebení materiálů se dělí na 3 hlavních kategorií:

- adhezivní
- abrazivní
- erozivní

### 4.1 Adhezivní opotřebení

Tento typ opotřebení se typicky vyskytuje při smýkání dvou tuhých těles, která jsou přitlačována k sobě normálovou silou. V důsledku tohoto kontaktu dochází k porušování povrchových adsorpčních a oxidových vrstev a vytváření adhezivních mikrospojů, které jsou následně rozrušovány. Vznik a průběh adhezivního opotřebení jsou ovlivněny několika klíčovými faktory: [5]

- Hloubka vnikání a poloměr zakřivení povrchových mikronerovností
- Velikost zatížení a rychlost relativního pohybu
- Schopnost materiálu vytvářet adhezivní spoje



Obrázek 17 Schéma mechanismu adhezivního opotřebení[5]

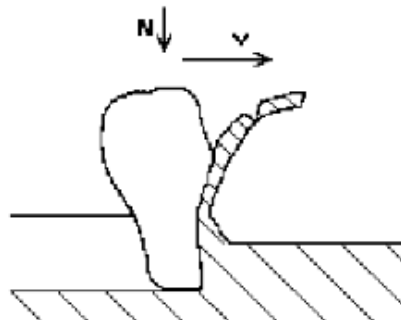
V případě mírného opotřebení, kdy je zajištěna vhodná kombinace materiálů součástí, dostatečné množství kvalitního maziva a příznivá kombinace faktorů ovlivňujících průběh opotřebení, dochází k mikrodeformaci adhezivních mikrospojů na původním rozhraní povrchů. Tímto procesem se povrchy vyhlazují, avšak k jejich závažnému poškození nedochází. [5]

V případě intenzivního opotřebení dochází k porušování adhezivních mikrospojů mimo původní rozhraní povrchů. To vede k přenosu materiálu nebo vzniku volných otěrových částic, což následně zvyšuje intenzitu opotřebení a může vést k závažnému poškození povrchů nebo zadření. Nevhodná volba materiálů, nedostatečné mazání a nepříznivá kombinace faktorů dále zvyšují intenzitu tohoto opotřebení. [5]

## 4.2 Abrazivní opotřebení

Tento typ opotřebení je charakteristický pro situace, kdy se setkávají dva povrchy, z nichž jeden nebo oba jsou drsné a tvrdé, nebo kdy mezi těmito povrchy existují volné tvrdé částice. Tento proces je také běžný při zpracovávání materiálů obsahujících tvrdé částice. [5]

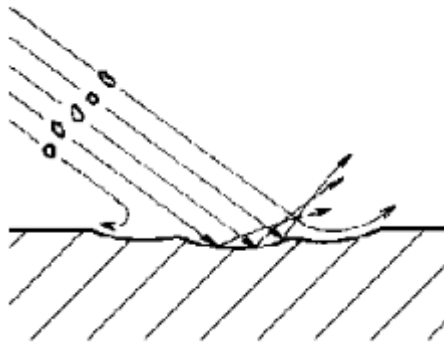
V důsledku těchto interakcí dochází k oddělování částic materiálů z opotřebovávaného povrchu prostřednictvím rýhování a seřezávání. Charakteristickým znakem je vznik rýh na povrchu, přičemž při intenzivním opotřebení jsou tyto rýhy hluboké a snadno viditelné pouhým okem. V případě mírnějšího opotřebení jsou povrchy na začátku spíše vyleštěné, a rýhy jsou patrné až při detailním zkoumání zvětšením. [5]



Obrázek 18 Schéma abrazivního opotřebení [5]

## 4.3 Erozivní opotřebení

Erozivní opotřebení se objevuje, když materiál odstraňují částice nesené tekutinou nebo plynem, či samotná tekutina, pára či plyn. Typické je pro situace s čerpadly pro znečištěné kapaliny, ventilátory, v potrubích pro dopravu nebo v turbínách. Stejně tak u letadel nebo motorových ventilů. Poškození se podobá abrazivnímu opotřebení s rýhami a ztrátou materiálu, avšak erozivní opotřebení se vyznačuje náhodně poškozeným povrchem, který je nerovný a poškozený hlouběji než jen na povrchu. [5]



Obrázek 19 schéma erozivního opotřebení [5]

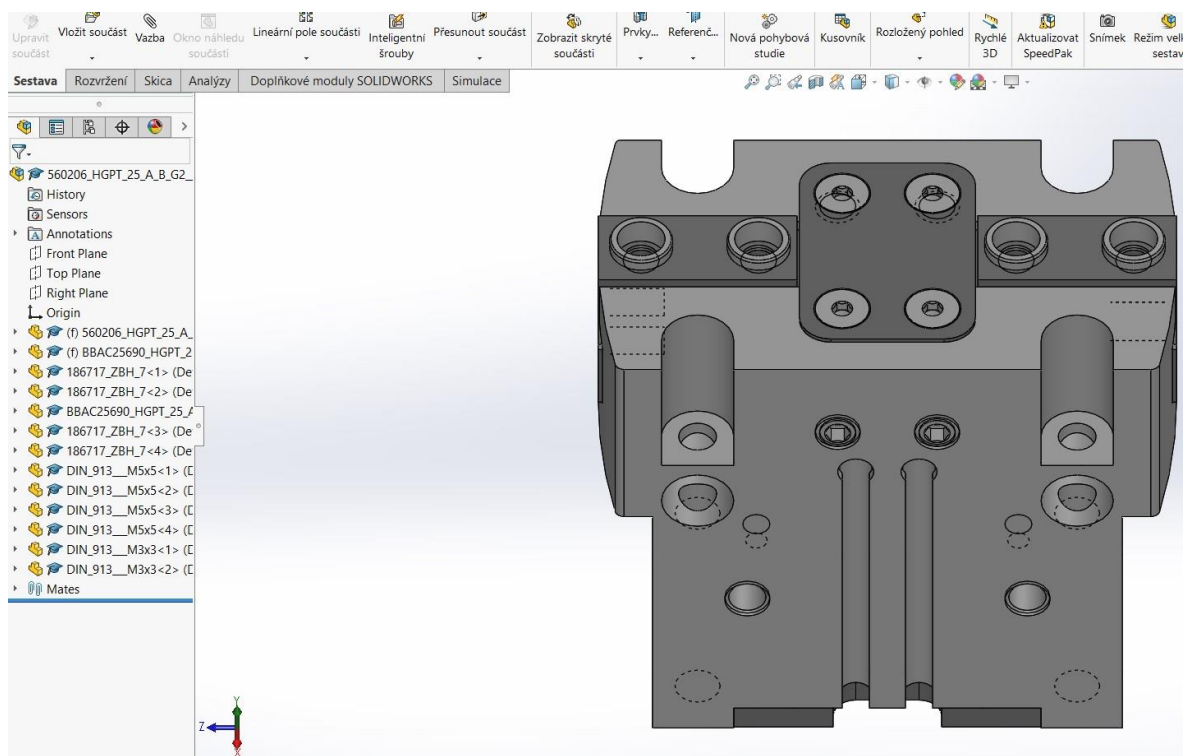
Intenzita erozivního opotřebení závisí na kombinaci různých faktorů. Patří mezi ně zejména rychlost, s jakou se opotřebovávající částice pohybují, teplota a chemické složení média, které částice přenáší. Dále je důležitý typ, velikost a tvar těchto částic, stejně jako kinetická energie a úhel, pod kterým do opotřebovávaného materiálu dopadají. Samozřejmě, významnou roli hraje i samotný materiál, který je vystaven erozivnímu opotřebení. [5]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 PŘÍPRAVA K MĚŘENÍ

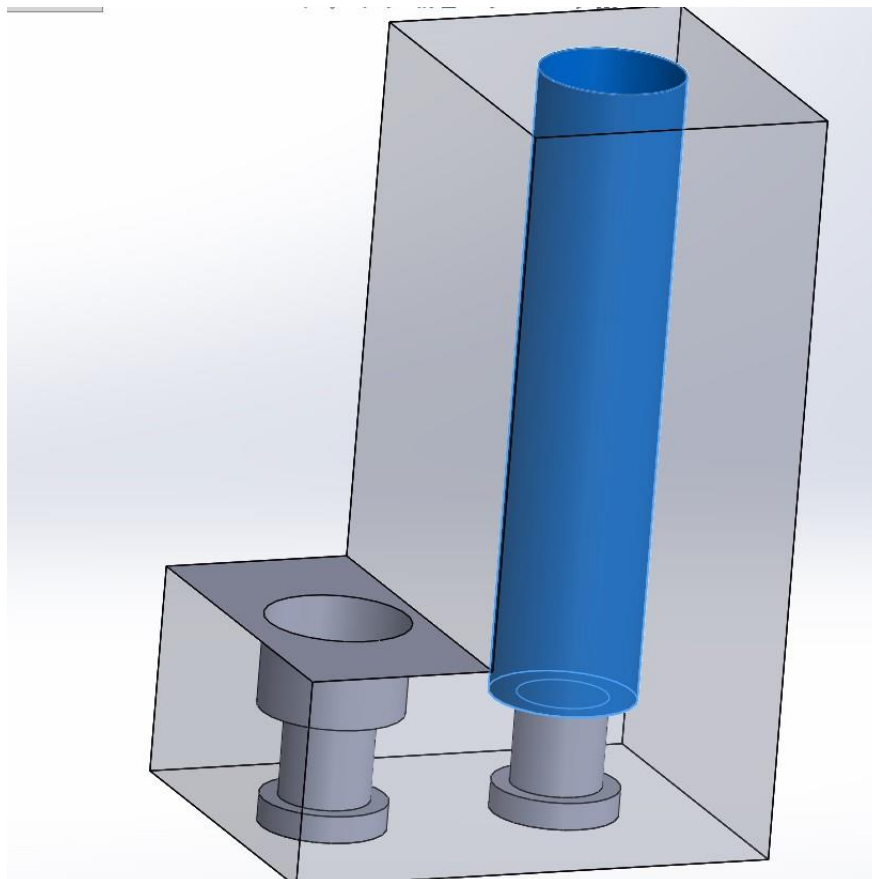
### 5.1 SolidWorks

SolidWorks je 3D CAD (Computer-Aided Design) software vyvinutý společností Dassault Systèmes. Jeho hlavním účelem je umožnit uživatelům vytvářet a navrhovat 3D modely, technické výkresy a simulace různých produktů a součástí. Program nabízí širokou škálu nástrojů a funkcí, které umožňují uživatelům vytvářet komplexní a přesné 3D modely. [14]



Obrázek 20 Rozhraní SolidWorks a 3D model gripperu

SolidWorks je známý svým uživatelsky přívětivým rozhraním, které usnadňuje proces návrhu a modelování. Uživatelé mohou využívat různé techniky, jako je parametrické modelování, aby rychle vytvořili a upravili své návrhy. Program také poskytuje širokou škálu nástrojů pro simulaci a analýzu, což umožňuje uživatelům testovat své návrhy a zjistit jejich funkčnost a pevnost před jejich fyzickou výrobou. [14]



Obrázek 21 Gripper s zvýrazněnými úpravami

SolidWorks je často využíván v průmyslovém designu, strojírenství, vývoji produktů a dalších oborech, kde je potřeba vytvářet složité 3D modely a technické výkresy. Díky své široké škále funkcí a intuitivnímu rozhraní je SolidWorks oblíbeným nástrojem mezi inženýry a designéry po celém světě. [14]

## 5.2 Stäubli Robotics Suite

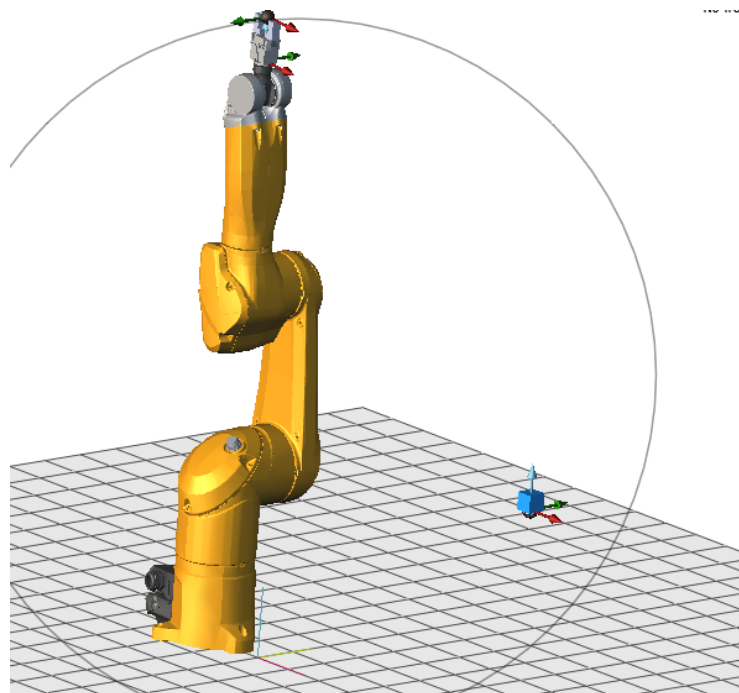
Stäubli Robotics Suite je komplexní softwarový balík vyvinutý společností Stäubli Robotics, který slouží k programování, simulaci a řízení průmyslových robotů. Tato softwarová platforma je navržena tak, aby poskytovala inženýrům a výrobcům efektivní nástroje pro automatizaci výrobních procesů a manipulaci s materiály.[2]

Jednou z hlavních funkcí Stäubli Robotics Suite je prostředí pro programování robotů, které umožňuje uživatelům vytvářet a upravovat pohybové trajektorie, definovat úkoly a sekvence operací pro roboty v průmyslových prostředích. Tento software podporuje různé programovací jazyky a techniky, včetně symbolického programování a offline programování, což umožňuje vývojářům flexibilně programovat a ladit chování robotů bez nutnosti fyzické přítomnosti robotu na pracovišti.[2]

```
1 begin
2   movej(jVychoziPozice, tTool, mNomSpeed)
3   for i = 1 to 100
4     movej(appro(pbody[0], {0,0,60,0,0,0}), tTool, mNomSpeed)
5     waitEndMove()
6     move1(pbody[0], tTool, mNomSpeed)
7     waitEndMove()
8     open(tTool)
9     waitEndMove()
10    movej(appro(pbody[0], {0,0,60,0,0,0}), tTool, mNomSpeed)
11    waitEndMove()
12    movej(appro(pbody[1], {0,0,60,0,0,0}), tTool, mNomSpeed)
13    waitEndMove()
14    movej(pbody[1], tTool, mNomSpeed)
15    waitEndMove()
16    close(tTool)
17    waitEndMove()
18    movej(appro(pbody[1], {0,0,60,0,0,0}), tTool, mNomSpeed)
19    waitEndMove()
20    movej(appro(pbody[1], {0,0,60,0,0,0}), tTool, mNomSpeed)
21    waitEndMove()
22    movej(pbody[1], tTool, mNomSpeed)
23    waitEndMove()
24    open(tTool)
25    waitEndMove()
26    movej(appro(pbody[1], {0,0,60,0,0,0}), tTool, mNomSpeed)
27    waitEndMove()
28    movej(appro(pbody[0], {0,0,60,0,0,0}), tTool, mNomSpeed)
29    waitEndMove()
30    move1(pbody[0], tTool, mNomSpeed)
31    waitEndMove()
32    close(tTool)
33    waitEndMove()
34    movej(appro(pbody[0], {0,0,60,0,0,0}), tTool, mNomSpeed)
35    waitEndMove()
36  endFor
37 end
```

Obrázek 22 Syntaxe programu ve Stäubli Robotics Suite

Další klíčovou součástí Stäubli Robotics Suite je možnost simulace a optimalizace robotických operací před jejich nasazením v reálném provozu. Uživatelé mohou vytvářet virtuální modely svých výrobních linek a testovat různé scénáře a strategie, což jim umožňuje identifikovat a odstranit potenciální problémy a optimalizovat výkon svých robotů a výrobních procesů.[2]



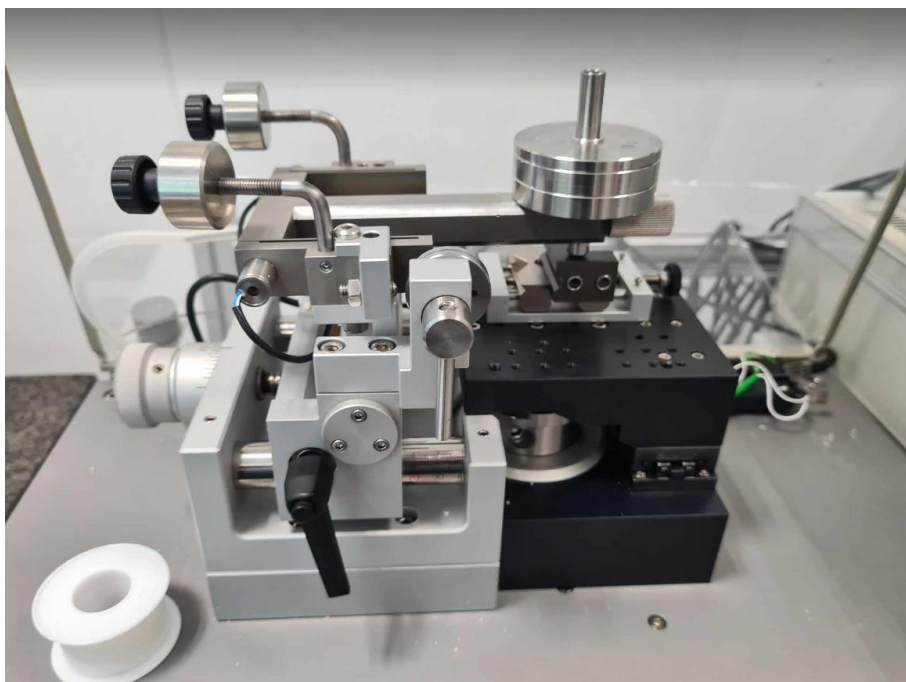
Obrázek 23 Simulace ve Stäubli Robotics Suite



Díky integrovaným funkcím pro monitorování a řízení v reálném čase umožňuje Stäubli Robotics Suite uživatelům efektivně spravovat své robotické systémy a sledovat jejich provozní výkonnost. Tento softwareový balík je navržen tak, aby poskytoval uživatelům kompletní řešení pro plánování, programování a správu jejich robotických aplikací a pomáhal jim dosáhnout vyšší produktivity a efektivity ve svých výrobních procesech. [2]

### 5.3 Tribometr

Tribometr je zařízení používané k měření tření mezi dvěma povrchy a jejich opotřebením. Princip jeho fungování spočívá v aplikaci určité síly na testované povrchy a sledování jejich pohybu a interakce[4]



Obrázek 24 Tribometr

Základními částmi tribometru jsou:

**Zkušební nárazník:** Tento prvek aplikuje sílu na povrchy, které mají být testovány. Síla může být konstantní nebo proměnná v průběhu testu.[4]

**Měřicí senzory:** Tribometr je vybaven senzory, které monitorují sílu tření a pohyb povrchů během testu. Tyto senzory mohou být konstruovány různými způsoby, včetně elektromagnetických, piezoelektrických nebo optických senzorů.[4]

**Řídící jednotka:** Tento modul tribometru řídí aplikaci síly a sbírá data ze senzorů. Umožňuje nastavení různých parametrů testu, jako je síla tření, rychlost pohybu povrchů nebo délka testu.[4]

**Softwarový systém:** Většina tribometrů je propojena s počítačovým softwarovým systémem, který umožňuje vizualizaci a analýzu naměřených dat. Tento software může poskytovat grafy, tabulky a další informace o chování testovaných povrchů.[4]

Tribometrie má široké využití v různých oblastech, včetně průmyslu, výzkumu materiálů, biomedicíny a mnoha dalších. Pomáhá inženýrům a vědcům porozumět mechanismům tření a opotřebení materiálů a vytvářet lepší a odolnější produkty. [4]

## 5.4 Mikroskop

K vyhodnocování se používal Keyence Laser Microscope což je sofistikované zařízení pro mikroskopickou analýzu, které přináší revoluční přístup k prohlížení a zkoumání mikroskopických struktur a povrchů různých materiálů. Jeho vyspělá technologie využívá laserového paprsku k osvětlení vzorku a sbírá informace o odraženém nebo rozptýleném světle, čímž umožňuje získat podrobné obrazy s vysokým rozlišením.

Tento laserový mikroskop je vybaven řadou funkcí, které umožňují uživatelům provádět širokou škálu analýz a měření. Mezi jeho klíčové vlastnosti patří:

**Vysoké rozlišení a detailní obrazy:** Díky použití laserového paprsku a pokročilých optických soustav poskytuje Keyence Laser Microscope obrazy s vysokým rozlišením, které umožňují detailní zkoumání mikroskopických struktur.

1. **Široké možnosti aplikací:** Toto zařízení je vhodné pro mnoho různých aplikací, včetně zkoumání povrchových vlastností materiálů, analýzy mikrostruktur, měření tloušťek vrstev a dalších mikroskopických studií.
2. **Jednoduché ovládání a uživatelská přívětivost:** Keyence Laser Microscope je navržen s důrazem na jednoduché ovládání a uživatelskou přívětivost, což umožňuje snadnou obsluhu i pro uživatele bez rozsáhlé zkušenosti s mikroskopickými technikami.
3. **Automatické měření a analýza:** Tento mikroskop je vybaven funkcemi pro automatické měření a analýzu dat, což umožňuje rychlou a efektivní zpracování výsledků a snižuje riziko lidských chyb.

Díky své vysoké přesnosti, spolehlivosti a širokému spektru aplikací je Keyence Laser Microscope nedocenitelným nástrojem pro vědce, inženýry a odborníky v průmyslu, kteří potřebují provádět detailní mikroskopická měření a analýzy.



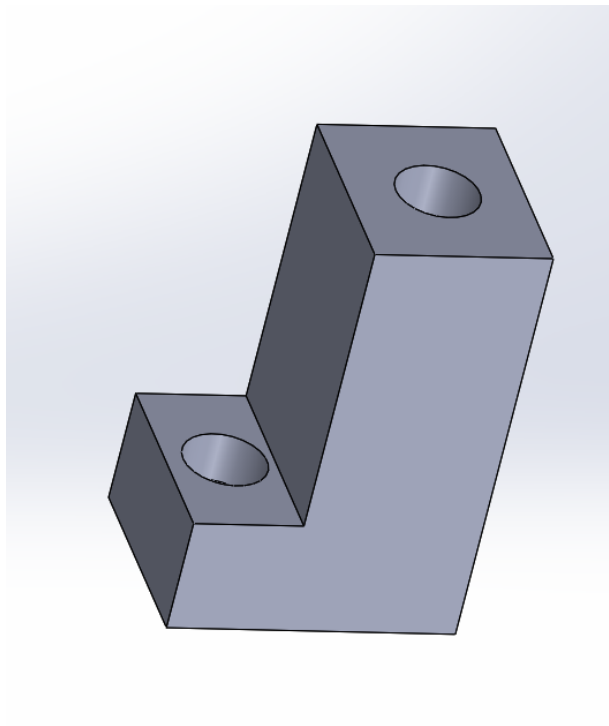
Obrázek 25 Keyence Laser Microscope

## 6 TESTOVÁNÍ

### 6.1 Výroba griperů

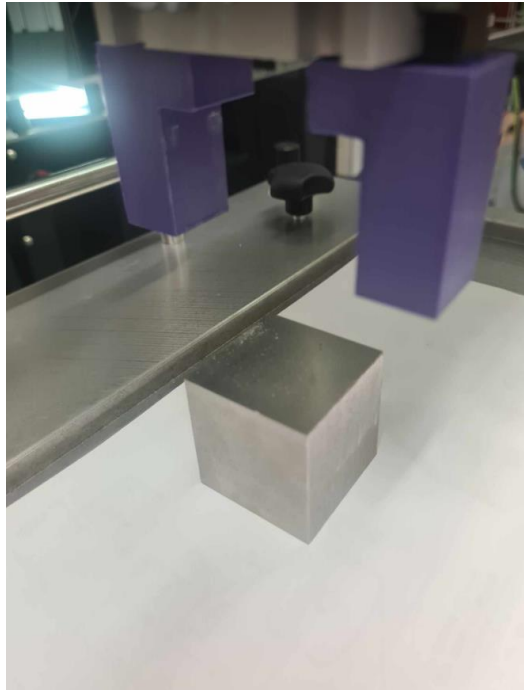
K testování bylo potřeba vyrobit gripperu stejného tvaru, ale různých materiálů abychom mohli testovat. K navrhnutí gripperů byl využit program Solidworks a následně byly gripperu vytisknuty na 3D tiskárně z různých materiálů jako jsou: ABS, polykarbonát ...

Po vytisknutí je bylo možno začít testovat



Obrázek 26 Gripper vyodelován v Solidworks

V průběhu měření bylo provedeno testování šesti různých materiálů určených k výrobě gripperů. Mezi tyto materiály patřily ABS, polykarbonát, Hips, PLA, PETG a kovový gripper. Cílem tohoto výzkumu bylo zhodnotit jejich vhodnost pro použití v robotických gripperech z hlediska jejich opotřebení, životnosti atd.



Obrázek 27 grippery a testovací těleso

Testování mělo dvojí podobu. Jedno probíhalo na reálném robotu, kdy se pomocí robotické paže přemísťovalo testovací těleso, zatímco druhé se odehrávalo na tribometru. Díky této rozmanitosti měření jsme získali bohatší soubor výsledků a dat, která byla následně zpracována. Tato variabilita experimentů umožnila hlubší porozumění chování testovaných materiálů a zlepšila přesnost našich analýz.

## 6.2 Testované materiály

### 6.2.1 ABS

ABS (Akrylonitril-Butadién-Styren) je termoplastický polymer díky svým vlastnostem, které ho činí vynikajícím pro mnoho aplikací. Jeho základní vlastností je vysoká pevnost a odolnost vůči nárazům, což ho činí ideálním materiálem pro výrobu produktů, které musí odolávat mechanickému zatížení. Kromě toho je ABS materiálem s vynikající chemickou odolností, což znamená, že je schopný odolávat korozi a chemickým látkám, což je výhodné zejména pro aplikace v automobilovém průmyslu. Další významnou vlastností je jeho tepelná stabilita, která umožňuje zpracování ABS materiálu různými technologiemi, jako je vstřikování nebo 3D tisk. Tyto vlastnosti spolu s možností barevného ladění činí z ABS materiálu oblíbený výběr pro výrobu různých výrobků od automobilových dílů po spotřební zboží.

### 6.2.2 HIPS

HIPS (High Impact Polystyrene) je termoplastický polymer známý svou vysokou odolností vůči nárazům a pevností, což ho činí vhodným materiálem pro výrobu široké škály výrobků. HIPS se často používá v oblastech, kde je potřeba kombinace pevnosti a estetiky, jako jsou obaly, reklamní panely, a modely. Tento materiál je také snadno recyklovatelný, což přispívá k jeho udržitelnosti a ekologickému přístupu v průmyslu. Díky svým vlastnostem je HIPS

často preferovanou volbou pro výrobu komponentů, které vyžadují odolnost a zároveň dobrou zpracovatelnost.

### 6.2.3 PC

PC (Polycarbonate) je termoplastický polymer známý svou vysokou pevností a odolností vůči nárazům, což ho činí ideálním materiálem pro aplikace, které vyžadují odolnost a bezpečnost. PC má vynikající optické vlastnosti a odolnost vůči UV záření, což ho činí populární volbou pro výrobu průhledných nebo prosklených výrobků, jako jsou skleněné náhrady, ochranné brýle nebo díly elektroniky. Tento materiál je také odolný vůči teplu a hořlavosti, což z něj činí vhodný materiál pro výrobu součástí, které musí odolávat vysokým teplotám, jako jsou například díly automobilových motorů. Díky svým vlastnostem je PC široce využíván v průmyslu, výrobě spotřebního zboží a technických aplikacích, kde je vyžadována kombinace pevnosti, odolnosti a estetiky.

### 6.2.4 PETG

PETG (Polyethylenterephthalatglykol) je termoplastický polymer známý svou vysokou průhledností, pevností a odolností proti chemikáliím, což ho činí vynikajícím materiálem pro širokou škálu aplikací. Jedná se o variantu PET (polyethylentereftalát), která je modifikována za účelem zlepšení zpracovatelnosti a pružnosti. PETG se často používá pro výrobu průhledných obalů, nádob, lahví, ale i reklamních tabulí, díky své odolnosti proti nárazům a průhlednosti. Tento materiál je také snadno recyklovatelný, což přispívá k jeho udržitelnosti a ekologickému přístupu v průmyslu. Díky svým vlastnostem je PETG preferovaným materiálem pro výrobu produktů, které vyžadují odolnost, průhlednost a estetiku.

### 6.2.5 PLA

PLA (Polyactic Acid) je biodegradabilní termoplastický polymer, který je získáván z obnovitelných zdrojů, jako je kukuřice nebo cukrová třtina. Tento materiál je známý svou vysokou biokompatibilitou a nízkou emisí škodlivých látek při zpracování, což ho činí ekologickou volbou pro mnoho aplikací. PLA je snadno zpracovatelný pomocí techniky 3D tisku, což umožňuje výrobu složitých a přesných modelů nebo prototypů. Tento materiál je také odolný vůči UV záření a má vynikající optické vlastnosti, což ho činí vhodným pro výrobu průhledných nebo barevných výrobků. Díky svým ekologickým vlastnostem a široké škále použití je PLA často preferovanou volbou pro výrobu obalů, potravinářských a lékařských produktů, a také pro kreativní a umělecké projekty.

### 6.2.6 Kovová slitina

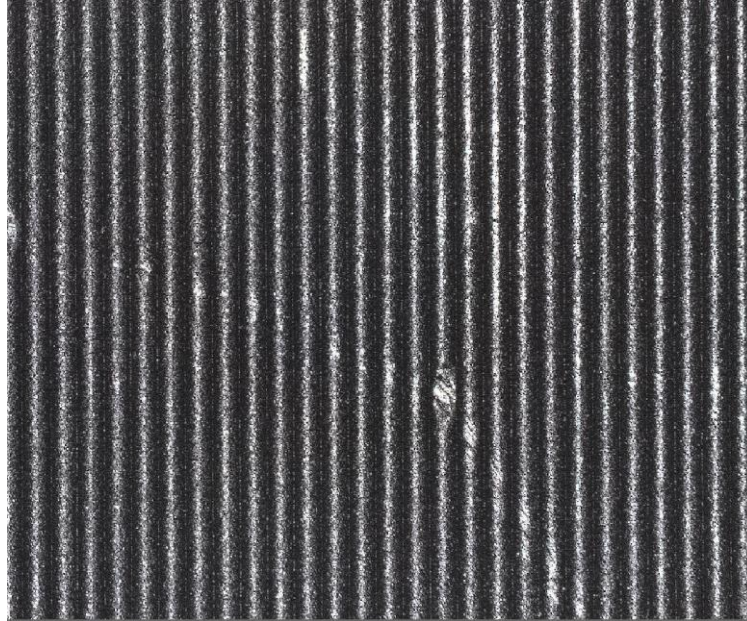
vysoké pevnosti, odolnosti vůči opotřebení a korozivzdornosti. Tento materiál je často zvolen pro svoji schopnost udržet tvar a pevnost i při opakovaném používání a manipulaci s těžkými nebo nepravidelnými předměty. Díky své odolnosti vůči korozivním prostředím je kovová slitina často preferovanou volbou pro grippery používané v průmyslových prostředích, kde jsou vystaveny různým chemikáliím a povětrnostním vlivům. Navíc je kovová slitina relativně cenově dostupná a snadno dostupná, což ho činí praktickým materiálem pro výrobu široké škály gripperů v průmyslovém prostředí.

## 7 CÍLE

Cílem této práce je zjistit, jak různé materiály reagují při vystavení provozu a stanovit jejich vlastnosti při testování na tribometru. V reálném provozu byly gripperly vystaveny 200 cyklům, po kterých bude pod mikroskopem zkoumáno povrchové poškození těchto gripperů. Na tribometru bylo provedeno 1000 cyklů, po nichž budou analyzována data přímo z tribometru a následně budou výsledky rovněž zkoumány pod mikroskopem. V závěrečném kroku bude provedeno srovnání opotřebení z reálného provozu a výsledků získaných z testování na tribometru. Toto srovnání nám poskytne komplexní obraz o odolnosti a trvanlivosti materiálů v různých podmínkách a pomůže při výběru optimálního materiálu pro konkrétní aplikace.

## 8 VÝSLEDKY

Nejprve byly analyzovány jednotlivé materiály před testováním pro srovnání výsledků před a po. Následně byly grippery vystaveny testování, a tedy poškození které můžeme dále analyzovat. Testování probíhalo na cykly, kde na tribometru mělo 1000 cyklů a na reálném robotu bylo cyklů 200. Tento počet cyklů byl zvolen z důvodu časového a jelikož již bylo poškození pozorovatelné tak nebylo třeba dělat cyklů více.



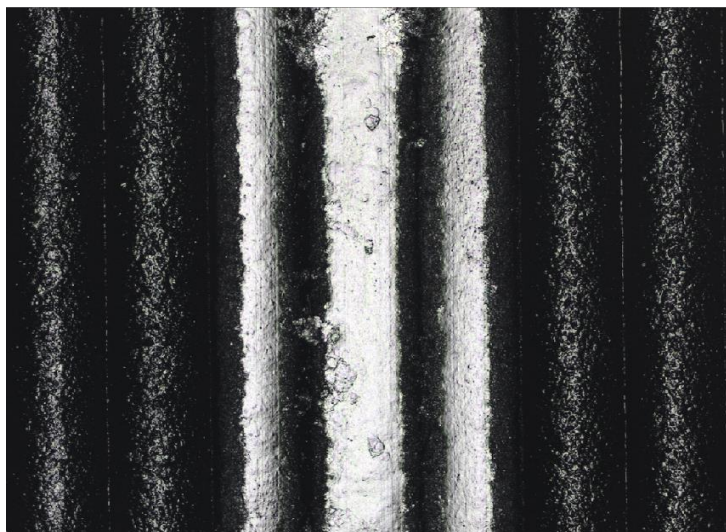
Obrázek 28 HIPS pod mikroskopem

Na obrázku č. 26 můžeme vidět materiál HIPS před testováním a jelikož byl využit 3D tisk tak zde můžeme vidět vrstvy po tisku. Všechny materiály před poškozením vypadají podobně.

### 8.1 PC

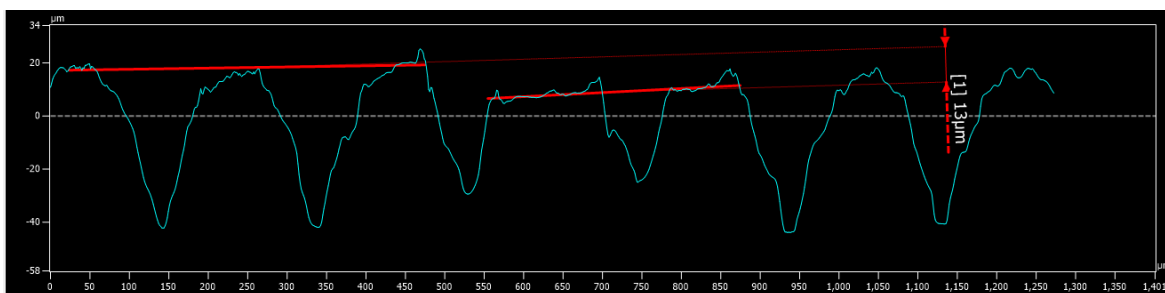
Test PC proběhl, podle již výše zmíněných kritérií, a tedy pomocí obou metod (reálný provoz a tribometr)





Obrázek 29 HIPS poškození tribometrem

na obrázku 27. můžeme vidět poškození, které způsobil tribometr kde je vidět jak jsou vrstvy poškozeny.



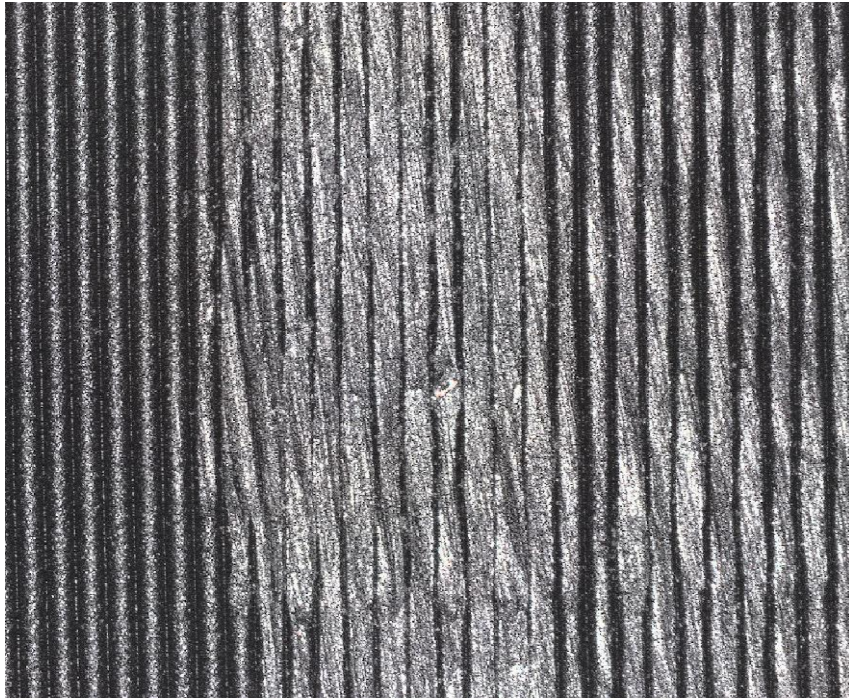
Obrázek 30 profil poškození PC

Na obrázku č. 28 je vidět, že poškození po 1000 cyklech bylo na úrovni 13  $\mu\text{m}$

tam	stddev	zpět	stddev
0,019	0,011	0,024	0,007
0,046	0,029	0,060	0,017
0,031	0,011	0,032	0,013
0,037	0,018	0,036	0,016
0,035	0,021	0,038	0,020

Tabulka 1 PC statistika

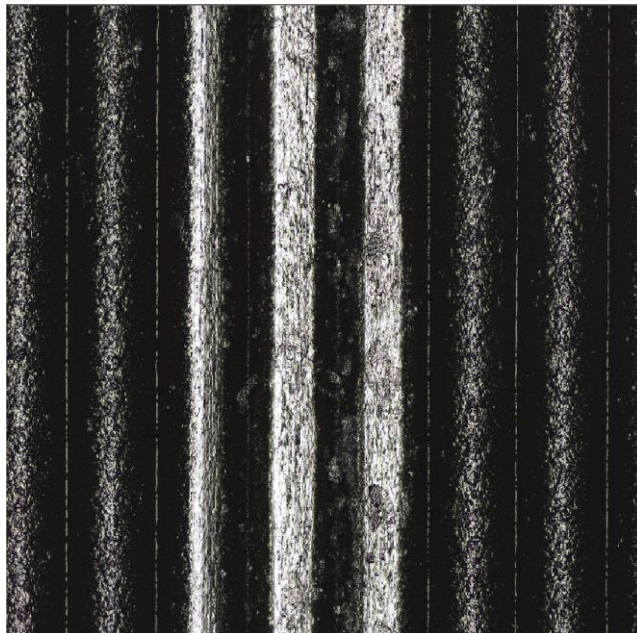
Z tabulky vidíme že hodnoty dosahovaly hodnot od 0,019 – 0,046 při pohybu jedním směrem se směrodatnou odchylkou od 0,011 – 0,029 a hodnot 0,024 – 0,060 při pohybu druhým směrem se směrodatnou odchylkou od 0,007 – 0,020. Tyto čísla jsou v našich měřeních nízká než jiné materiály. Z těchto čísel můžeme vidět, že se materiál moc nepoškozuje což je vhodné a dlouhodobější používání, ale musíme počítat s tím že materiál nebude mít velký mechanický grip a těleso by nám mohlo vypadnout pokud bude mít vyhlazený povrch a dostatečnou hmotnost.



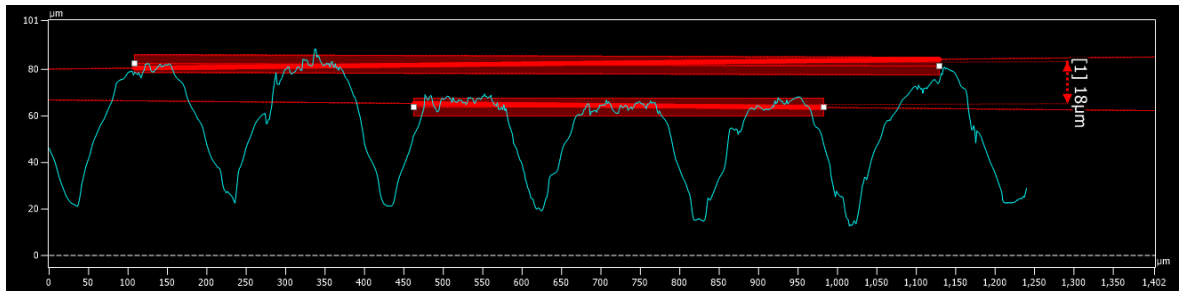
Obrázek 31 PC po reálném provozu

Na obrázku č. 29 vidíme gripper po skutečném testování a výsledky z testů na tribometru se potvrdili s tím, že viditelné poškození není nějak velké a stále můžeme vidět jednotlivé vrstvy.

## 8.2 ABS



Obrázek 32 ABS poškození tribometrem



Obrázek 33 profil poškození ABS

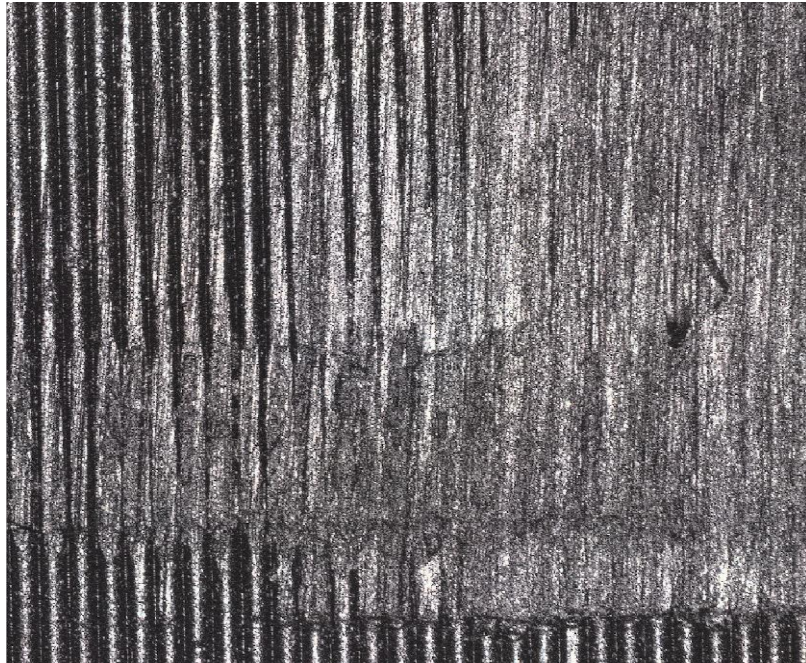
Z obrázku č. 31 je možno vidět, že poškození zde dosahuje hodnot  $18 \mu\text{m}$  což je o  $5 \mu\text{m}$  větší než u PC a tedy můžeme očekávat větší opotřebení i z dalších testů

## ABS

tam	stddev	zpět	stddev
0,072	0,033	0,068	0,039
0,084	0,037	0,088	0,036
0,073	0,042	0,081	0,035
0,085	0,052	0,095	0,045
0,108	0,037	0,089	0,055

Tabulka 2 ABS statistika

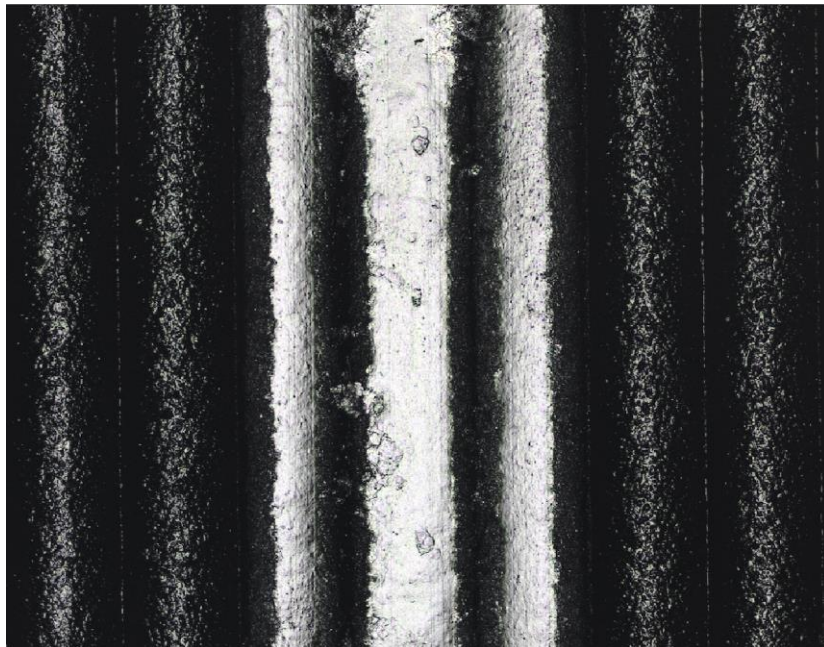
Z tabulky lze vidět, že hodnoty dosahovaly rozmezí  $0,072 - 0,108$  při pohybu jedním směrem, se směrodatnou odchylkou mezi  $0,033 - 0,057$ . Při pohybu druhým směrem se hodnoty pohybovaly v rozmezí  $0,068 - 0,095$ , se směrodatnou odchylkou mezi  $0,039 - 0,055$ . Tyto hodnoty jsou v našich měřeních větší než u většiny materiálů. Z těchto výsledků vyplývá že materiál je náchylnější k poškození než PC, ale mechanický grip tohoto materiálu bude větší, a tedy je zde menší riziko, že se nám těleso uvolní.



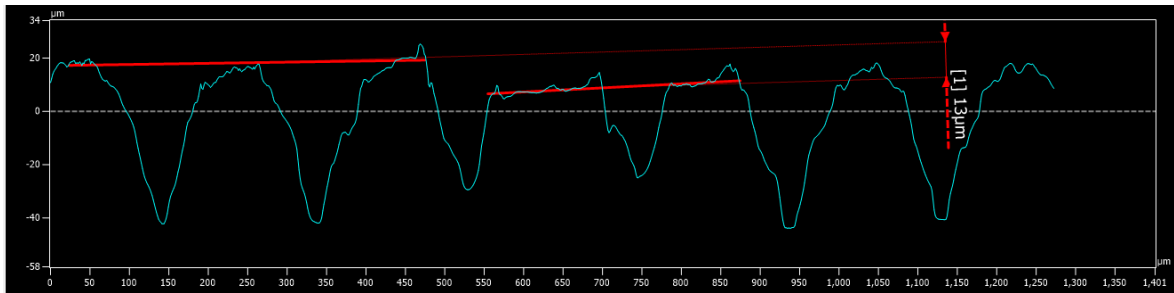
Obrázek 34 ABS po reálném provozu

Na obrázku č. 32 můžeme vidět poškození gripperů z ABS a vidíme, že poškození je větší než u PC, kdy zde jsou jednotlivé vrstvy plně zahlazeny. Tato fotka potvrzuje naše měření z tribometru, dále můžeme říci, že materiál nebude tak odolný proti poškození a tedy by se v provozu muset častěji vyměnit.

### 8.3 HIPS



Obrázek 35 HIPS poškození tribometrem



Obrázek 36 profil poškození HIPS

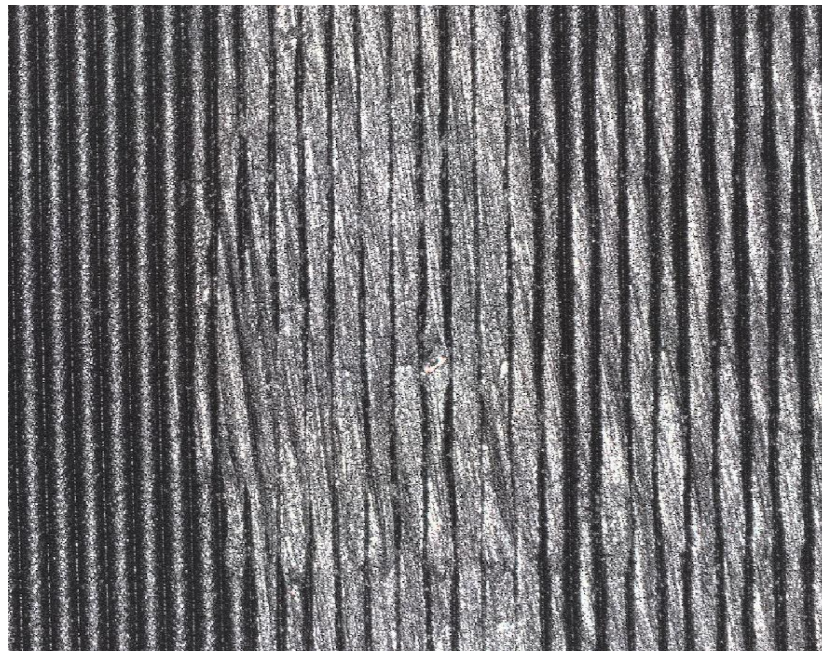
Z obrázků č. 33 a 34 výše vidíme poškození způsobené tribometrem je 13 µm což je na úrovni materiálu PC a tedy by se mělo jednat o odolnější materiál než ABS.

## HIPS

tam	stddev	zpět	stddev
0,221	0,054	0,188	0,076
0,192	0,101	0,240	0,063
0,203	0,097	0,229	0,084
0,180	0,070	0,161	0,082
0,205	0,068	0,165	0,092

Tabulka 3 HIPS statistika

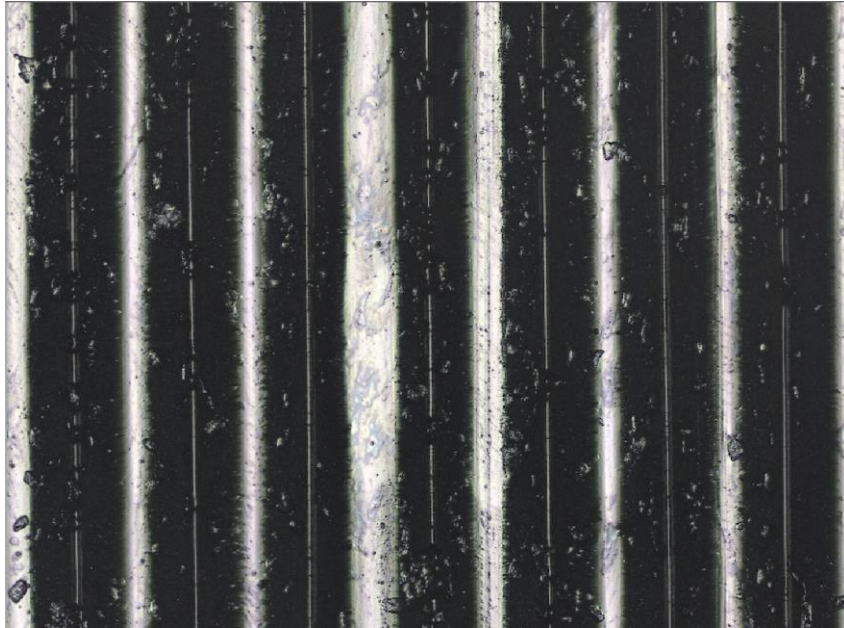
Z tabulky je možno vidět, že hodnoty směrem tam jsou v rozmezí 0,192 – 0,221 se směrodatnou odchylkou 0,054 – 0,101 a druhým směrem se dosáhlo hodnot 0,161 – 0,240 se směrodatnou odchylkou 0,063 – 0,092. Tyto hodnoty jsou na úrovni ABS, ale poškození je menší než u ABS. Tyto 2 vlastnosti z něj dělají dobrý materiál pro provoz, protože má materiál dobrý grip, ale zároveň malé poškození.



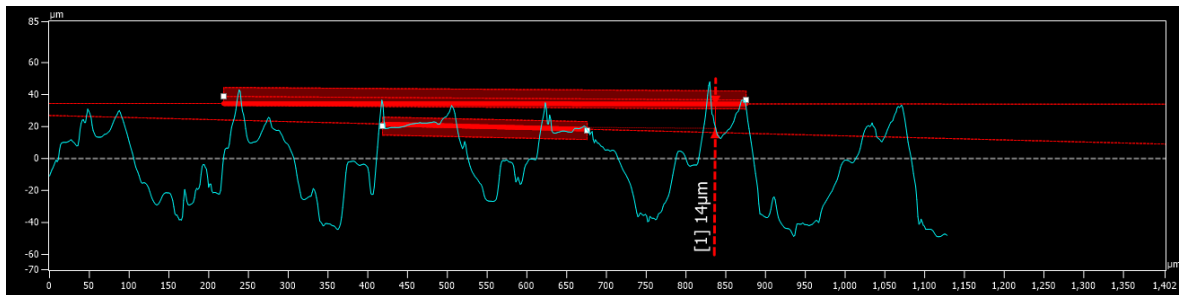
Obrázek 37 HIPS po reálném provozu

A na obrázku č. 35 vidíme reálné poškození je menší než u ABS kdy jsou stále vidět jednotlivé vrstvy z tisku a poškození není nijak veliké. Díky nízkému poškození a vysokému mechanickému odporu jak je vidět z tabulek by byl materiál vhodný k použití na reálném stroji.

## 8.4 PETG



Obrázek 38 PETG poškození tribometrem



Obrázek 39 profil poškození PETG

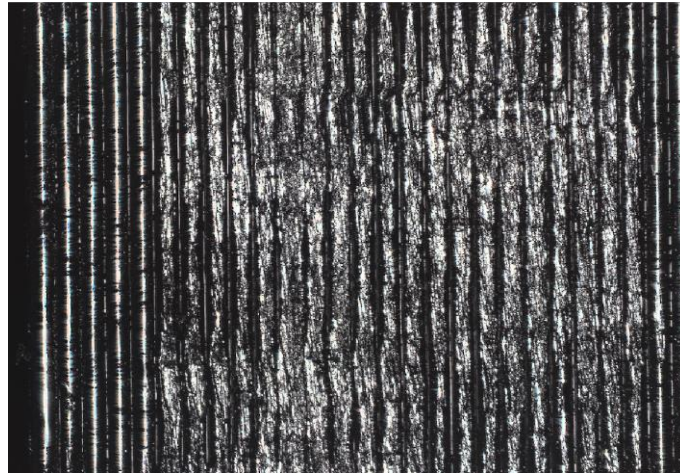
Z obrázků č. 36 a 37 vidíme, že poškození dosáhlo hodnot 14 µm což je hodnota v průměru našich předchozích měření. Můžeme očekávat větší poškození než u PC, který měl malé poškození z provozu, ale menší poškození než ABS u kterého jsme viděli největší poškození z našich testovaných těles.

PETG

tam	stddev	zpět	stddev
0,042	0,021	0,049	0,018
0,054	0,015	0,050	0,019
0,040	0,014	0,037	0,016
0,033	0,014	0,034	0,014
0,029	0,015	0,034	0,010

Tabulka 4 PETG statistika

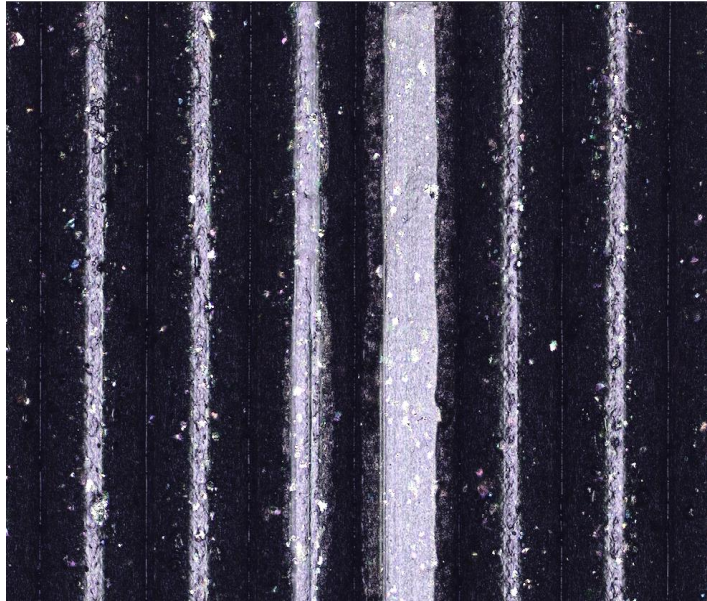
Data z tabulky jsou v rozmezí 0,029 – 0,054 se směrodatnou odchylkou 0,014 – 0,021 a směrem zpět jsou hodnoty v rozmezí 0,034 – 0,050 se směrodatnou odchylkou 0,010 – 0,019. Tyto hodnoty korelují s měřením povrchu mikroskopem a díky malé směrodatné odchylce je materiál celistvý po celou dobu měření, a tedy bude vykonávat svoji funkci po celou dobu provozu bez velkých změn.



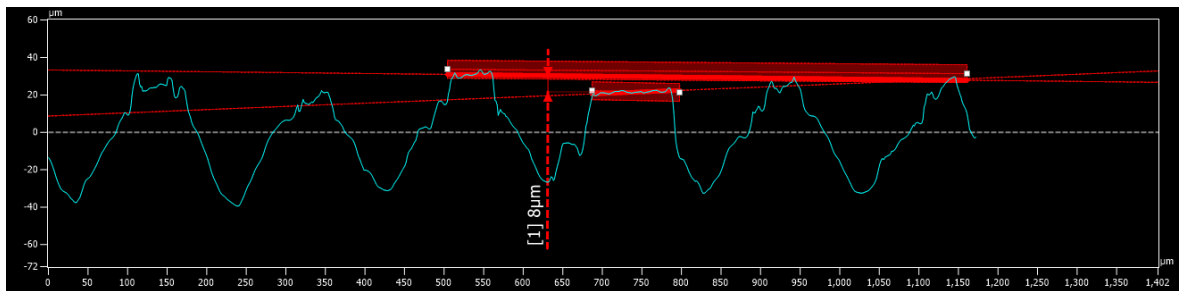
Obrázek 40 PETG po reálném provozu

Na obrázku č. 38 z reálného provozu je poškození menší než u ABS ale větší než u PC. Díky dobrým testům z tribometru a solidním testům z reálného provozu se opět jedná o použitelný materiál do provozu.

## 8.5 PLA



Obrázek 41 PLA poškození tribometrem



Obrázek 42 profil poškození PLA

Z obrázků č. 39 a 40 můžeme vidět, že PLA dosáhlo nejmenšího poškození, z čehož můžeme usoudit že by měl mít menší poškození než PC a dosáhnout nejmenšího poškození.

tam	stddev	zpět	Stddev
0,044	0,016	0,040	0,022
0,030	0,011	0,031	0,013
0,046	0,022	0,046	0,021
0,059	0,029	0,061	0,026
0,032	0,016	0,037	0,012

Tabulka 5 PLA statistika



Výsledky jsou při směru tam mezi 0,030 a 0,046 se směrodatnou odchylkou 0,011 – 0,029 a směrem zpět mělo měření hodnoty mezi 0,031 – 0,061 což jsou hodnoty větší než u PC ale podle hloubky opotřebení je tento materiál pevnější a tedy i s většími hodnotami z tribometru by měl být tento materiál méně poškozen než PC.

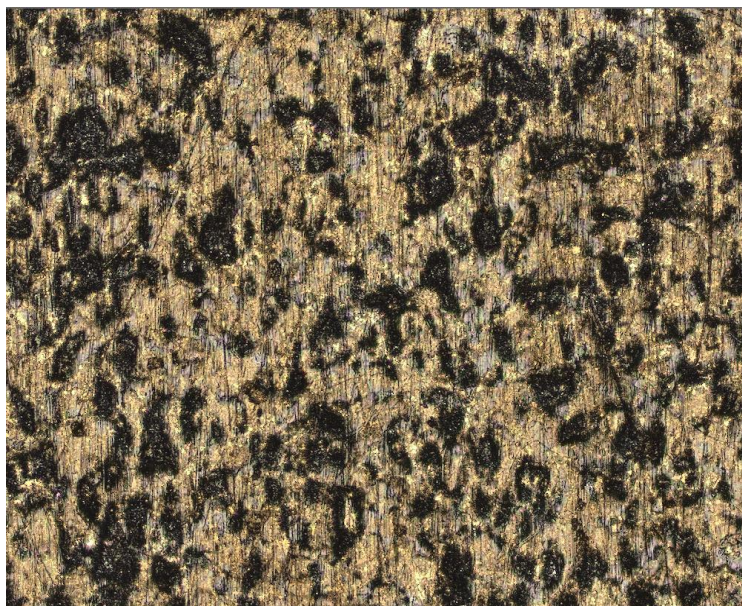


Obrázek 43 PLA po reálném provozu

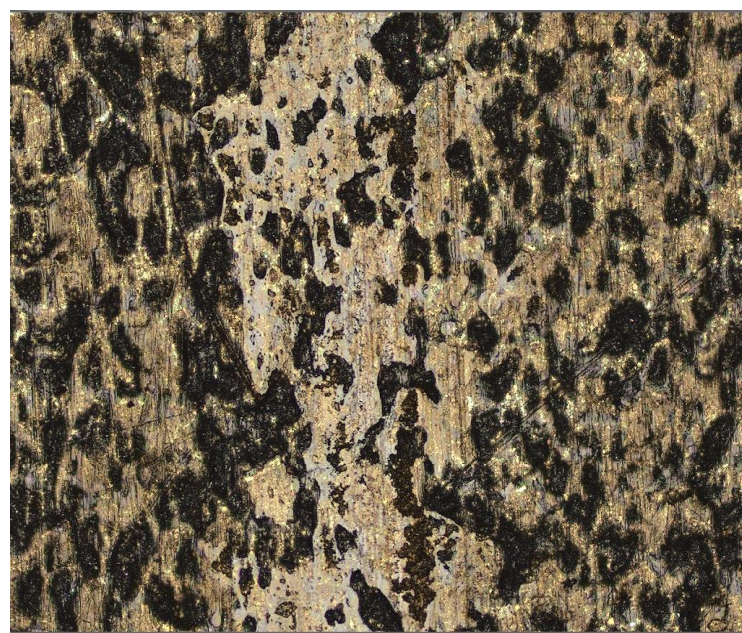
Z obrázku č. 41 vidíme, že je poškození menší než u PC a je zde dobrá kombinace většího odporu z tribometru a malého poškození na reálném tělese. Tuto kombinaci chceme dosáhnout z důvodu aby těleso v gripperu mělo malou šanci vypadnout a aby se gripper nepoškozoval moc rychle.

## 8.6 Kovová slitina

Gripper z kovové slitiny byl zvolen jako kontrolní kus k testovaným plastům.



Obrázek 44 Slitina před testování na tribometrem



Obrázek 45 Slitina po testování na tribometru

Z obrázku č. 43 vidíme že poškození je minimální, což se u kovové slitiny očekávalo. Dále vidíme že po testování na tribometru je zde vidět lehké opotřebení, ale po dalším zkoumání se jednalo jen o vrchní vrstvu, a tedy bylo poškození zanedbatelné.

tam	stddev	zpět	stddev
0,096	0,029	0,081	0,043
0,097	0,031	0,088	0,034
0,075	0,046	0,109	0,015
0,093	0,046	0,096	0,042
0,086	0,047	0,105	0,034

Tabulka 6 kovová Slitina statistika

Hodnoty z tribometru jsou v rozmezí 0,075 – 0,097 se směrodatnou odchylkou 0,029 – 0,046 a směrem zpět dosahuje hodnot 0,081 – 0,109 se směrodatnou odchylkou 0,015 – 0,043.



Obrázek 46 Slitina po reálném testování

Z obrázku č. 44 poškození z provozu můžeme vidět poškození, které je zanedbatelné, jelikož se jedná o lehké povrchové poškození, které bez mikroskopu nejsou vidět. U tohoto materiálu to bylo očekávané jelikož je vyráběn sériově a jeho odolnost je mnohonásobně vyšší než plastové gripper. Nevýhodou je, že tyto gripper již mají daný tvar z prodeje a tedy si je nemůžeme navrhnout podle vlastních představ pokud potřebujeme nějaký sofistikovaný gripper

## ZÁVĚR

V teoretické části práce byla zpracována literární rešerše v oblasti robotických systémů, typů gripperů a možných opotřebení materiálů. V první části byly generace robotů popsány podle vývoje od roku 1937 až po současnost. Následně bylo rozdělení robotů popsáno podle kritérií jako jsou stupně volnosti, typy pohonů a vykonávané činnosti. V dalším bodě bylo Off-line a online programování popsáno. Následoval popis jednotlivých typů úchopů jako jsou vakuové, elektrické atd. V poslední teoretické části byly popsány typy opotřebení jako jsou abrazivní, adhesivní atd.

Následovala praktická část, kde bylo nejprve potřeba vymodelovat a vytisknout gripper. K modelování byl využit program Solidworks a následný tisk byl vykonán na 3D tiskárně značky Prusa. K testování bylo využito 5 materiálů (ABS, PC, PETG, HIPS, PLA). Po vytisknutí všech gripperů se přešlo k testování, které proběhlo na tribometru a na robotu. Na tribometru bylo testování prováděno po dobu 1000 cyklů a bylo nastaveno zatížení 5 N a materiál byl testován pětkrát. Na robotu probíhalo testování 200 cyklů. Následně byla data z tribometru vyhodnocena a zaznamenána do tabulek pro přehlednost a grippery byly poté nafoceny pod mikroskopem, kde bylo možné analyzovat poškození.

Z dat a z fotek poškození bylo zjištěno, že bylo možné pozorovat několik různých reakcí materiálů na vystavení poškození. Materiály byly rozděleny do 3 skupin: 1. skupina jsou materiály s velkým koeficientem tření a velkým poškozením. Tyto materiály nejsou vhodné pro uvedení do provozu, jelikož se budou rychle opotřebovávat, ale na krátkodobé využití jsou použitelné z důvodu vysokého koeficientu tření a není zde velké riziko, že by materiál mohl z gripperů vypadnout. Do této skupiny patří ABS. 2. skupina jsou materiály s malým koeficientem tření a s malým poškozením, v našich měřeních se jedná o PC. Tyto materiály jsou vhodné na grippery a roboty, které budou manipulovat s lehkými tělesy, která ideálně nejsou leštěná, protože kvůli malému koeficientu tření by mohla nastat situace, kdy by těleso vypadlo z gripperů. Poslední 3. skupinou jsou materiály, které mají větší koeficient tření než PC a zároveň jsou málo poškozené po testování. V našich testech se jednalo o materiály HIPS, PETG a PLA. Z těchto materiálů byl nejlepší HIPS, který má vysoký koeficient tření a dobrou odolnost, a je to tedy ideální materiál k výrobě gripperů. Další 2 materiály (PETG a PLA) dosáhly podobných výsledků, kdy mají vyšší koeficient tření než PC a jejich poškození je malé.

Z těchto výsledků bylo zjištěno, že pro výrobu plastových gripperů z našich 5 testovaných materiálů se nejvíce hodí materiál HIPS.

## 9 POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 5 generací robotiky [online]. 2022 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://automatismosmundo.com/en/the-5-generations-of-robotics/>
- [2] STÄUBLI. STÄUBLI ROBOTICS SUITE [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/tr/en/robotics/products/robot-software/staubli-robotics-suite.html>
- [3] *Stručná historie průmyslových robotů* [online]. 2017 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/strucna-historie-prumyslovych-robotu>
- [4] ANTON PAAR. *Tribometr* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.anton-paar.com/cz-cs/produkty/skupina/tribometr/>
- [5] POŠTA, Josef, Petr VESELÍ a Milan DVOŘÁK. ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE, TECHNICKÁ FAKULTA. *Degradace strojních součástí* [online]. Praha, 2002 [cit. 2024-05-21]. 80-213-0967-9. Dostupné z: [https://degradace.tf.czu.cz/Dgrd\\_txt/Mngr\\_ram\\_txt1.htm](https://degradace.tf.czu.cz/Dgrd_txt/Mngr_ram_txt1.htm)
- [6] RUMÍŠEK, CSC, doc. Ing. Pavel. *Automatizace*. Brno, 2003. Výzkum. Vysoké učení technické v Brně fakulta strojího inženýrství.
- [7] *Nahradí coboty lidi ve výrobě* [online]. 2021 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.vseoprmyslu.cz/robotizace/kooperativni-roboty/nahradi-coboty-lidi-ve-vyrobe.html>
- [8] GHORBEL, Fathi H. a Olivier CHETELAT. SEMATIC SCHOLAR. *Modeling and set point control of closed-chain mechanisms: theory and experiment* [online]. 2000 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Modeling-and-set-point-control-of-closed-chain-and-Ghorbel-Ch%C3%A9telat/3b2cf7c51c2f4a133240a12d8294da8183f7057d>
- [9] GREEAR, Adam. REALPARS. *What is a 6-axis Robot* [online]. 2021 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.realpars.com/blog/6-axis-robot>
- [10] GIBSON, Ian a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies*. 2. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2112-6.
- [11] OWEN-HILL, Alex. ROBODK. *What Is the Best Way to Program a Robot? RoboDK* [online]. 2018, 9. 10. 2018 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://robodk.com/blog/program-robot-tips/>
- [12] MEDIUM. *The 7 Robots That Shaped The Industry, And The Engineers Who Created Them* [online]. 2018 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://medium.com/@ReachRobotics/the-7-robots-that-shaped-the-industry-and-the-engineers-who-created-them-4f5bd42b0681>
- [13] SP-AUTOMATION & ROBOTICS. *Top Types of Grippers Used With Collaborative Robots* [online]. 2022 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://sp-automation.co.uk/top-types-of-grippers-used-with-collaborative-robots-cobots/>
- [14] MIDTGÅRD ROKSTAD, Kai Inge. TECHNIA. *What is SOLIDWORKS?* [online]. 2022 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.technia.com/blog/what-is-solidworks/>

- [15] Fanuc: SCARA Robot SR-3iA. In: FANUC. *Fanuc* [online]. 2024 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/scara-series/scara-sr-3ia>
- [16] KR SCARA. In: *Kuka* [online]. 2024 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-hu/company/press/news/2020/07/kr-scara>
- [17] BLACK, Lucy. Fourth generation robot Nao. In: *I-programmer* [online]. 2011 [cit. 2024-05-27]. Dostupné z: <https://www.i-programmer.info/news/169-robotics/2761-new-hardware-and-software-for-fourth-generation-robot.html>
- [18] BOSTON DYNAMICS. *Atlas* [online]. 2023 [cit. 2024-05-27]. Dostupné z: <https://bostondynamics.com/atlas/>
- [19] JANČAŘÍKOVÁ, Ester, Petr KOLÁŘ a Ondřej NOVÁK. *Inteligentní podtlaková úchopná hlavice manipulačního robota*. Praha, 2021. Výzkum. České vysoké učení technické v Praze.
- [20] HYCLAMAVIN. *Pneumatiký Chapač Se 3 Čelistmi, Vícezubý, Dutý THB* [online]. 2024 [cit. 2024-05-27]. Dostupné z: <http://cz.hyclamavin.com/3-fingers-centering-gripper/3-jaw-pneumatic-gripper-multi-tooth-hollow.html>
- [21] *Robot Gripper: Co to je a jak se používá pro roboty* [online]. 2024 [cit. 2024-05-27]. Dostupné z: <https://www.evsint.com/cs/what-is-a-robot-gripper/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PC Polykarbonát

ABS AkrylonitrilButadienStyren

HIPS Polystyren s vysokou rázovou houževnatostí (High Impact PolyStyren)

PETG Glykolem modifikovaný Polyethylene Terephthalate

PLA Kyselina polymléčná (PolyLactic Acid)

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 První robotická ruka [12] .....	11
Obrázek 2 Robotické rameno druhé generace [12].....	12
Obrázek 3 Robotické rameno třetí generace [7] .....	13
Obrázek 4 Robot Nao čtvrté generace [17] .....	14
Obrázek 5 Robot páté generace [18].....	14
Obrázek 6 znázornění 6 osého robotu [9].....	15
Obrázek 7 paralelní a sériový robot[8] .....	16
Obrázek 8 robot scara [15].....	17
Obrázek 9 Robot kuka [16].....	17
Obrázek 10 off-line grafické programování [11].....	18
Obrázek 11 manipulační robot u cnc stroje [6].....	19
Obrázek 12 svařovací robot [6] .....	20
Obrázek 13 využití vakuového robota ve výrobě [19] .....	22
Obrázek 14 pneumatický gripper [20] .....	22
Obrázek 15 Hydraulický gripper[21].....	23
Obrázek 16 Elektrický gripper[21] .....	23
Obrázek 17 Schéma mechanismu adhezivního opotřebení[5].....	24
Obrázek 18 Schéma abrazivního opotřebení[5].....	25
Obrázek 19 schéma erozivního opotřebení [5] .....	26
Obrázek 20 Rozhraní SolidWorks a 3D model gripperu .....	28
Obrázek 21 Gripper s zvýrazněnými úpravami .....	29
Obrázek 22 Syntaxe programu ve Staubli Robotics Suite .....	30
Obrázek 23 Simulace ve Staubli Robotics Suite .....	30
Obrázek 24 Tribometr.....	31
Obrázek 25 Keyence Laser Microscope .....	33
Obrázek 26 Gripper vyodelován v Solidworks.....	34
Obrázek 27 gripper a testovací těleso .....	35
Obrázek 28 HIPS pod mikroskopem .....	38
Obrázek 29 HIPS poškození tribometrem .....	39
Obrázek 30 profil poškození PC .....	39
Obrázek 31 PC po reálném provozu .....	40
Obrázek 32 ABS poškození tribometrem .....	40
Obrázek 33 profil poškození ABS .....	41



---

Obrázek 34 ABS po reálném provozu .....	42
Obrázek 35 HIPS poškození tribometrem .....	42
Obrázek 36 profil poškození HIPS .....	43
Obrázek 37 HIPS po reálném provozu .....	43
Obrázek 38 PETG poškození tribometrem .....	44
Obrázek 39 profil poškození PETG .....	44
Obrázek 40 PETG po reálném provozu .....	45
Obrázek 41 PLA poškození tribometrem .....	46
Obrázek 42 profil poškození PLA .....	46
Obrázek 43 PLA po reálném provozu .....	47
Obrázek 44 Slitina před testování na tribometrem .....	48
Obrázek 45 Slitina po testování na tribometru .....	48
Obrázek 46 Slitina po reálném testování .....	49

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 PC statistika .....	39
Tabulka 2 ABS statistika .....	41
Tabulka 3 HIPS statistika .....	43
Tabulka 4 PETG statistika .....	45
Tabulka 5 PLA statistika.....	46
Tabulka 6 kovová Slitina statistika .....	49

