

# Mechanické testování kontaktních úchopů robota

Jakub Kuchař

---

Bakalářská práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

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

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Kuchař**  
Osobní číslo: **A20255**  
Studijní program: **B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci**  
Specializace: **Inteligentní systémy s roboty**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Mechanické testování kontaktních úchopů robota**  
Téma práce anglicky: **Mechanical Testing of Robot Contact Grips**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši v oblasti robotických systémů a možných úchopů.
2. Navrhněte kontaktní úchop robota.
3. Navrhněte metodiku testování a proveďte jednotlivé testy.
4. Statisticky vyhodnoťte naměřená data.
5. 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:

**Ing. Aleš Mizera, Ph.D.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **16. prosince 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2023**

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



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

Ve Zlíně dne 12. prosince 2022

### **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

Jakub Kuchař, v.r.  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je zaměřena na mechanické testování kontaktního úchopu robota, který je vymodelován v programu SolidWorks. V teoretické části práce jsou popsány základní typy úchopů, jejich funkce a stručný popis robota, historie robota, druhy pohonu a základní rozdělení robota. V praktické části je navrhnut 3D model úchopu, následně vyroben na dvou 3D tiskárnách z různých materiálů a struktur. V další části se úchop upne do testovacího zařízení a pomocí zkoušky tlakem se vyzkouší jakou sílu daná struktura vydrží, což simuluje náraz do kovového předmětu. Následné výsledky budou vyhodnoceny a naneseny data do grafů. V poslední části práce jsou výsledky zkoušek diskutovány a porovnávány mezi sebou.

Klíčová slova: robot, kontaktní úchop, mechanické vlastnosti, 3D tisk

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis focuses on the mechanical testing of a contact gripper robot modelled in SolidWorks. The theoretical part of the thesis describes the basic gripper types, their functions and a brief description of the robot, the history of robots, types of actuator and the basic classification of the robot. In the practical part, a 3D model of the gripper is designed, then fabricated on two 3D printers from different materials and structures. In the next part, the gripper is clamped in a test rig and undergoes pressure to see how much force the structure can withstand, simulating an impact on a metal object. The subsequent results will be evaluated and the data plotted on graphs. In the last part of the thesis, the test results are discussed and compared with each other.

Keywords: robot, contact grip, mechanical properties, 3D printing

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Aleši Mizerovi, Ph.D. za odbornou pomoc při vypracování bakalářské práce.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 HISTORIE</b> .....	<b>10</b>
1.1 GENERACE ROBOTIKY OD POČÁTKU .....	10
1.1.1 První generace robotiky .....	10
1.1.2 Druhá generace robotiky .....	11
1.1.3 Třetí generace robotiky .....	11
1.1.4 Čtvrtá generace robotiky .....	12
1.1.5 Pátá generace robotiky .....	12
<b>2 ROZDĚLENÍ ROBOTŮ</b> .....	<b>13</b>
2.1 ROZDĚLENÍ PODLE POUŽITÝCH POHONŮ .....	13
2.1.1 Elektrický pohon .....	13
2.1.1.1 Asynchronní motory .....	14
2.1.1.2 Stejnsměrné motory .....	14
2.1.1.3 Krokové motory .....	14
2.1.1.4 Elektrické lineární motory .....	14
2.1.2 Hydraulický pohon.....	15
2.1.3 Pneumatický pohon.....	15
2.2 ROZDĚLENÍ PODLE VYKONÁVÁNÍ ČINNOSTÍ A OBLAST NASAZENÍ.....	15
2.2.1 Průmyslový robot.....	15
2.2.1.1 Svařovací robot.....	16
2.2.1.2 Lakovací robot.....	16
2.2.2 Manipulační robot.....	16
2.2.3 Kolaborativní robot.....	17
2.2.4 Humanoidní robot.....	18
2.3 ROZDĚLENÍ PODLE STUPŇŮ VOLNOSTI ROBOTA .....	18
2.4 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU PROGRAMOVÁNÍ.....	19
2.4.1 On-line programování .....	19
2.4.2 Off-line programování .....	20
<b>3 ÚCHOPY ROBOTŮ</b> .....	<b>22</b>
3.1 PNEUMATICKÝ .....	22
3.2 HYDRAULICKÝ .....	23
3.3 ELEKTRICKÝ .....	23
3.4 MAGNETICKÝ .....	23
3.5 VAKUOVÝ .....	24
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>25</b>
<b>4 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>26</b>
<b>5 3D MODEL ÚCHOPU ROBOTA</b> .....	<b>27</b>
<b>6 VÝROBA ÚCHOPU ADITIVNÍ TECHNOLOGII</b> .....	<b>28</b>

6.1	ÚCHOP S 90% MŘÍŽKOVANOU VÝPLNÍ (Z90).....	29
6.2	ÚCHOP S 20% MŘÍŽKOVANOU VÝPLNÍ. ( Z20X ) .....	30
6.3	ÚCHOP S 20% ŠESTIÚHELNÍKOVOU VÝPLNÍ ( Z20P) .....	31
6.4	ÚCHOP S 20% OSMIÚHELNÍKOVOU VÝPLNÍ ( Z20S ).....	32
6.5	ÚCHOP S MŘÍŽKOVANOU VÝPLNÍ (FN) .....	33
6.6	ÚCHOP S ŘÍDKOU MŘÍŽKOVANOU VÝPLNÍ (FS).....	34
6.7	ÚCHOP S HUSTOU MŘÍŽKOVANOU VÝPLNÍ (F2S) .....	35
<b>7</b>	<b>MECHANICKÉ ZKOUŠKY .....</b>	<b>37</b>
7.1	ZKOUŠKA Z90 .....	38
7.2	ZKOUŠKA Z20X .....	40
7.3	ZKOUŠKA Z20P.....	41
7.4	ZKOUŠKA Z20S.....	43
7.5	ZKOUŠKA FN .....	45
7.6	ZKOUŠKA FS .....	46
7.7	ZKOUŠKA F2S .....	48
<b>8</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>50</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>62</b>



## ÚVOD

Robotické systémy jsou dnes nedílnou součástí průmyslu a dalších oborů, kde je potřeba provádět opakující se činnosti s vysokou přesností a rychlostí. Jedním z nejdůležitějších prvků robotického systému je uchopovací systém, který umožňuje robotovi manipulovat s předměty v různých prostředích.

Kontaktní uchopení je velmi běžný uchopovací systém v robotice, který umožňuje robotům přímo uchopovat předměty a manipulovat s nimi prostřednictvím kontaktu s jejich povrchy. Chování kontaktního uchopení při manipulaci s různými předměty však může být velmi složité a ovlivněné mnoha faktory, jako je tvar a materiál předmětu, síla uchopení a další proměnné.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout úchop robota a provést mechanické testování úchopu. Mechanické testování bude probíhat zkouškou nárazu a následné porovnání struktur a různých sil, při které úchop praskne nebo se zdeformuje. Úchop bude vymodelován v programu SolidWorks a vyroben z dvou 3D tiskáren.

Výsledky budou vyhodnoceny a data z testovacího zařízení budou zobrazeny v grafech a následně popsány průběhy.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 HISTORIE

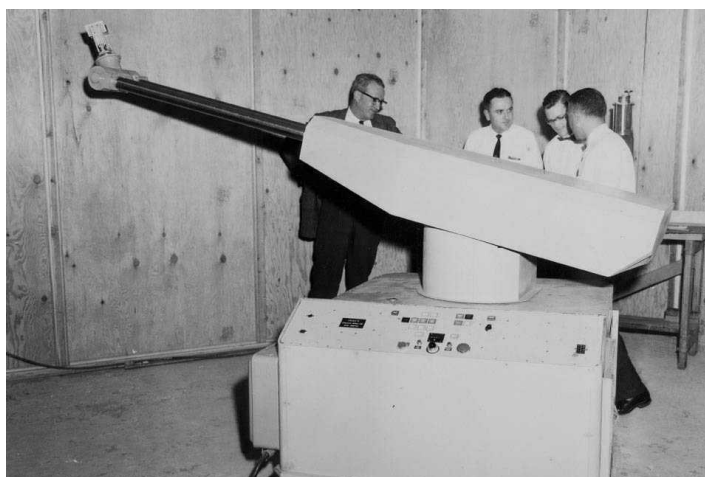
Roboty a robotické úchopy přešly celou řadou vývojů a modernizací až do dnešní doby. Počátek slova „robot“ vznikl českým spisovatelem Josefem Čapkem, který slovo vymyslel ve své hře R.U.R. Následně se slovo dále rozšiřovalo do zahraničí, až se začalo oficiálně používat celosvětově. Robot jako takový se začal vymýšlet a stavět až v druhé polovině 20. století. Inženýři Georg Devol a Joseph Engelberger byli první kteří vyvinuli prvního průmyslového robota, který byl nasazen do továrny General Motors pro přemísťování horkých kusů ze slévárny. [1] [2]

### 1.1 Generace robotiky od počátku

Generace robotiky jsou rozděleny do 5 základních skupin, přesně podle toho, jak se vyvíjely a dle jejich funkčnosti a schopnosti. [3]

#### 1.1.1 První generace robotiky

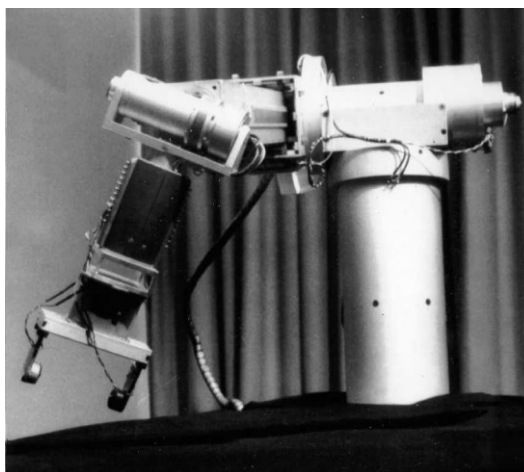
Do první generace robotů zapadají takzvané „manipulační roboty“. To je robot, který provádí pevně dané naprogramované úkony. Nejčastějším úkolem tohoto robota je úkon zdvihni a umísti výrobek. Negativum na této generaci bylo, že neměli prostorové vnímání, tudíž chyba byla častá. Na obrázku 1 lze vidět první robotickou ruku, která byla vytvořena a následně spuštěna do výroby. Ruka nemá senzory ani řízení přes počítač, je řízena mechanicky. [3]



Obrázek 1 Robotická ruka první generace [4]

### 1.1.2 Druhá generace robotiky

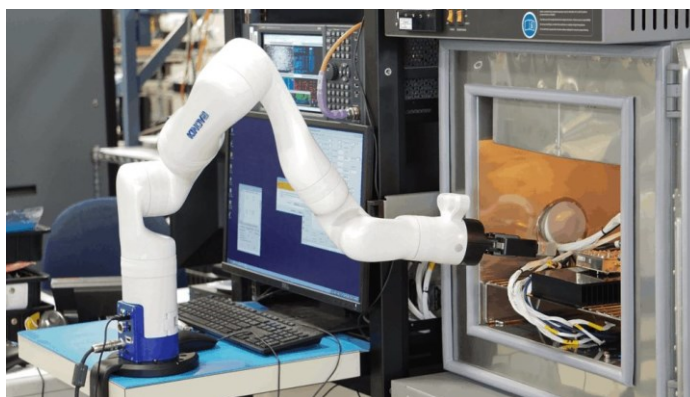
Tahle generace robotů se vyznačuje začátkem učení. Robot byl schopen si zapamatovat určité úkony a vnímat část svého okolí pomocí speciálních senzorů, které dávaly zpětnou vazbu do robotu a ověřovali výsledky, které robot vykonával. Obrázek 2 vyobrazuje robotickou ruku, která má v sobě zabudované senzory, které určují a pamatují si vyznačené polohy a trasy. Tento typ robotu se používá do dnešní doby v jednoduchých úkolech, například přemístění materiálu z místa na místo. [3]



Obrázek 2 Robotická ruka druhé generace [5]

### 1.1.3 Třetí generace robotiky

Průlomová byla třetí generace, ve které počítač dokázal řídit roboty, kteří vykonávaly operace. Je schopen si zapamatovat a upravit pomocí snímačů přesnou polohu, kde se nachází výrobek. Na obrázku 3 lze vidět robotickou ruku, která je řízena programem běžícím na počítači, který na něm běží. Robotická ruka obsahuje velké množství velmi přesných senzorů, které umožňují ruce pracovat přesností na desetiny milimetru. [3] [6]



Obrázek 3 Robotická ruka třetí generace [7]

#### 1.1.4 Čtvrtá generace robotiky

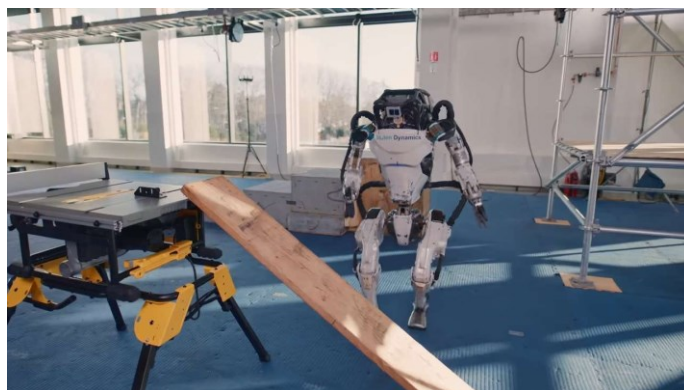
Nazývá se jako generace inteligentních robotů. Roboti jsou schopni se rozhodovat sami, v reálném čase za pomoci propracovanějších optických a laserových senzorů. Tahle generace se vyznačuje podobným chováním ke člověku, robot je sám schopen přemýšlet a rozhodovat se na základě přeprogramovaných programů, které jsou potřeba pro fungování robota. Robot dokáže pracovat v jakémkoliv prostředí včetně vesmíru. [3]



Obrázek 4 Robot čtvrté generace [8]

#### 1.1.5 Pátá generace robotiky

Nejnovější a nejmodernější stupeň robotiky. Vlivem vývoje umělé inteligence se roboti dokážou sami rozhodovat o úkonech, které vykonají. Tato generace robotů se učí rychle a efektivně bez zásahu člověka. Tahle generace se vyznačuje roboty, kteří jsou schopni přemýšlet pomocí umělé inteligence a rozhodovat se na základě různých kritérií, učí se sami pomocí strojového učení a dokážou pracovat v těch nejnáročnějších podmínkách. [3]



Obrázek 5 Robot páté generace [9]

## 2 ROZDĚLENÍ ROBOTŮ

Rozdělení robotů se určuje podle různých druhů kritérií jakož jsou například – generace řízení, způsob programování, počet stupňů volnosti, kinematické struktury, použité pohony, vykonávání činností a oblast nasazení.

### 2.1 Rozdělení podle použitých pohonů

Pohony robotu jsou důležité pro optimální provoz, přesnost a plynulost. Další požadavky na motor je přesné brzdění, dostatečná polohová tuhost, minimální hmotnost, vysoký výkon, minimální rozměry. Proto máme několik druhů pohonu, které se používají.

Pohony rozdělujeme do několika kategorií – elektrický pohon, hydraulický pohon, pneumatický pohon, kombinovaný pohon. Kombinovaný pohon může obsahovat různé druhy pohonu od elektrického po pneumatický. [10] [11]

#### 2.1.1 Elektrický pohon

Používá se u robotů se střední nosností. Využívají se motory stejnosměrné, ale i střídavé v kombinaci s harmonickými a cykloidními převodovkami.

Výhody elektrického pohonu:

- Všude přítomný zdroj elektrické energie
- Jednoduchost
- Čistota provozu
- Nižší hlučnost než jiné motory
- Pořizovací cena je nižší

Nevýhody:

- Závislost elektrické energie
- Nebezpečí úrazu elektrickým proudem

Elektrické motory dělíme na čtyři základní asynchronní motory (střídavé motory), stejnosměrné motory, krokové motory, elektrické lineární motory. [11]

### **2.1.1.1 Asynchronní motory**

Je to nejběžnější typ motoru. V průmyslu se nejčastěji používají roboty se 3 fázemi, důvodem je jejich nízká cena. Vlastnost tohoto motoru je, že rychlost otáčení nelze měnit, rychlost závisí na frekvenci napájecího zdroje.

Asynchronní motor funguje tak, že střídavý trojfázový proud, který prochází vinutím statoru vytváří točivé magnetické pole. Toto pole indukuje napětí ve vinutí rotoru a vytvořený proud způsobí magnetický tok, který vytvoří sílu. Důsledkem toho se otáčí. [12]

### **2.1.1.2 Stejnosměrné motory**

Je to elektrický motor, který běží na stejnosměrný proud. Je to zařízení, který převádí elektrickou energii na mechanickou energii. Vstup bez komutátorového stejnosměrného motoru je napětí/proud a výstupem toho je kroutící moment. Stejnosměrný motor se skládá ze dvou hlavních částí. Rotor, to je rotující část a stator, který je statický a nehýbá se. Rotor se otáčí vzhledem ke statoru.

Stejnosměrný motor funguje na principu síly mezi magnetickými toky, které vznikají v budícím vinutí a kotvě, které následně způsobí točivý moment. Stejně póly se odpuzují a opačné přitahují. Pro změnu směru otáčení motoru nebo polaritu výstupního napětí dynamo je možné přepólováním kotvy nebo budícího obvodu. [13]

### **2.1.1.3 Krokové motory**

Krokové motory jsou stejnosměrné motory, které se pohybují po krocích. Jsou vybaveny vícero cívkami, které jsou uspořádány do skupin zvaných „fáze“. Postupným připojením každé fáze umožňuje motoru otáčet se jedním krokem za druhým. Díky napojení počítače na motor lze s krokovým motorem dosáhnout velmi přesného polohování a regulace rychlosti. Volí se tam, kde se vyžaduje přesné řízení pohybu. [14]

### **2.1.1.4 Elektrické lineární motory**

Lineární motor je elektrický indukční motor, který vykonává pohyb lineární místo rotačního. Na rozdíl od stejnosměrného motoru, kde se rotor otáčí uvnitř statoru, má stator lineárního motoru plochý tvar a rotor se pohybuje přímočaře po jeho povrchu. Často se používají superovodivé magnety, které se chladí na nízkou teplotu, aby se snížila spotřeba eklektické energie. [15]

### 2.1.2 Hydraulický pohon

Pohon, který se skládá ze soustavy, pístu a ventilů. Ventily a písty řídí pohyb hydraulické kapaliny. Takhle kapalina je nestlačitelná, proto umožňuje vytvořit velkou mechanickou sílu a napolohovat píst, do kterého hydraulická kapalina vtéká do velmi přesných poloh. Hydraulické pohony se využívají, když pohyby musí být přesné a mnohokrát opakované. Tyto pohony jsou známé schopnosti přenášet velké množství síly, proto se používají na zvedání, nebo aplikaci velkého množství tlaku [16]

### 2.1.3 Pneumatický pohon

Pohon, který ke svému fungování využívá stlačený vzduch na rozdíl od hydraulického pohonu. Fungují na principu přeměny energie stlačeného vzduchu na lineární pohyb nebo rotační pohyb. Výhoda pohonu je, že je čistý a nevytváří žádné znečištění. Princip fungování je takový, že kompresory stlačí vzduch do tlakové nádoby a následně je vzduch prohnán do jednotky, který vzduch upraví tak, aby neobsahoval vodu a další nečistoty. Následně je puštěn přes průtokové regulační ventily do pístu, který přemění energii stlačeného vzduchu na mechanickou sílu. [17]

## 2.2 Rozdělení podle vykonávání činností a oblast nasazení

V dnešní době, roboty ulehčují a zjednodušují práci v různých odvětvích. Týká se to průmyslu, zdravotnictví, vědy, zemědělství, výroby, těžby. Proto je dělíme podle použití do skupin. [18] [19]

### 2.2.1 Průmyslový robot

Průmyslové roboty ulehčují práci v mnoha odvětvích, např. v automobilovém, potravinářském, plastikářském. Tyto roboty jsou navrženy tak, aby mohly vypracovat různé úkony pomocí speciálních nástrojů v odlišných prostředích jako jsou vysokotlaké a vakuové komory, prostředí, které není vhodné pro člověka a nebezpečné oblasti. Tyto roboty se dělí ještě na svařovací, lakovací, paletizační. [18]





Obrázek 6 Robotická linka [20]

### **2.2.1.1 Svařovací robot**

Tyto roboty zaručují bezchybné svařovací schopnosti, sváry jsou precizní. Musí být zabezpečeny ochrannou klecí, aby nedošlo k úrazu. Dokážou vysokorychlostní svařování, sváření elektrickým obloukem, laserové svařování a pájení [18]

### **2.2.1.2 Lakovací robot**

Tyto typy robotů se využívají ve stavebnictví a v automobilovém průmyslu. Dochází zde k zvýšení efektivity na rozdíl od člověka. Jsou rychlejší, dokonale přesné. Umožňují lakování karoserií aut a ve stavebnictví lakování nábytku, okenních rámců. [18]

Výhody:

- Efektivnost
- Vysoká kvalita
- Úspora v šetření barvy
- Snížení emisí

### **2.2.2 Manipulační robot**

Manipulační robot vykonává práci jako je například přesunování zboží z pásu na pás. Přenáší různé výrobky ze stroje do krabice, ale může také vyměňovat nástroje ve stroji. Tento typ robotu je nejvíce používán kvůli dostupnosti a různorodosti jeho práce. Na obrázku 7 lze vidět manipulační robot, který svými chapadly dokáže chytit a přenést výrobek do jiné pozice. [18]



Obrázek 7 Manipulační robot [21]

### 2.2.3 Kolaborativní robot

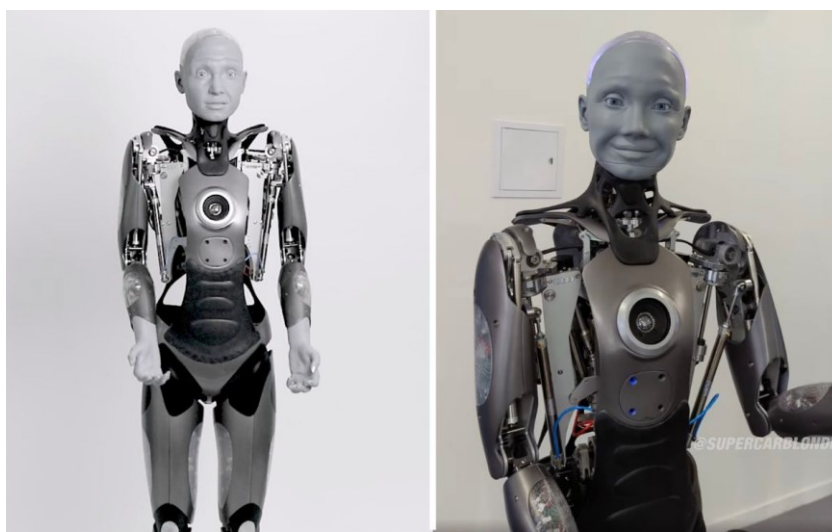
Kolaborativní robot neboli „cobot“ je robot který je navržen tak, aby dokázal spolupracovat s lidmi v průmyslových procesech. Tyto stroje jsou programovány na provádění opakujících se úkolů, kterými jsou kontroly a balení výrobků. Díky tomu, že spolupracují s lidmi jsou schopni pracovat s rychlostí kterou si člověk nastaví a jsou vybaveny senzory, které umožní okamžitě zastavit, když robot přijde do kontaktu s člověkem, což zajišťuje bezpečnost na pracovišti. Tyto roboty se snadno ovládají a jsou schopny dělat cokoliv. Robota lze klidně nasadit na štítkování etiket, pokud jsou vybaveny správnými efekty. [22]



Obrázek 8 Kolaborativní robot [23]

### 2.2.4 Humanoidní robot

Humanoidní roboti jsou postaveni tak, aby se chovali a interagovali jako lidé. Jsou to profesionální servisní roboti. Tito roboti si sami automatizují a z optimalizují úkony, které vede k úspoře nákladů a produktivitě. Používají se nejčastěji k inspekci, reakce na katastrofy, kde pomáhají například určit lokaci zraněného, práce v náročném prostředí, kde by člověk nemohl vykonávat žádnou činnost. Důležití jsou při vykonávání nebezpečných činnosti a v dnešních dobách už tito roboti, pracují ve vesmíru, kde vykonávají rutinní úkoly. [24]

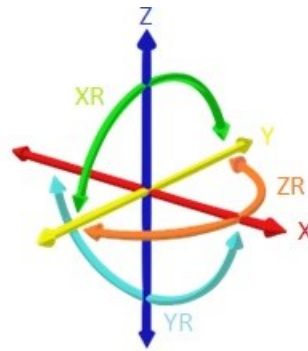


Obrázek 9 Humanoidní robot [9]

### 2.3 Rozdělení podle stupňů volnosti robota

Roboty se dělí i podle rozdělení stupňů volnosti. Jsou definovány jako pohybové schopnosti robotu. Aby se zajistilo otáčení robotické ruky v libovolném směru jsou vytvořeny takzvané klouby, které určují rozsah pohybu a směr pohybu robotické ruky. Můžeme mít 6 základních stupňů volnosti, který běžně mívá univerzální robot, který je schopen vykonat aplikace například přesunu výrobku nebo zabalení do krabice. Humanoidní mobilní roboti mohou mít přes 20 stupňů volnosti, aby se zajistil jejich plnohodnotný pohyb a veškeré potřebné manévry. Běžně jsou tyto klouby řízeny motorem, který pohybuje po předem daných osách ramenem a tím vykonává různé aplikace od svařování po balení do krabic. [25] [26]

Na obrázku 10 lze vidět 3 základní osy a 3 rotace okolo těchto os, po kterých je schopen se robot pohybovat robotickou rukou. X,Y,Z jsou základní osy, XR,ZR,YR jsou rotační osy.



Obrázek 10 Osy robota [27]

## 2.4 Rozdělení podle způsobu programování

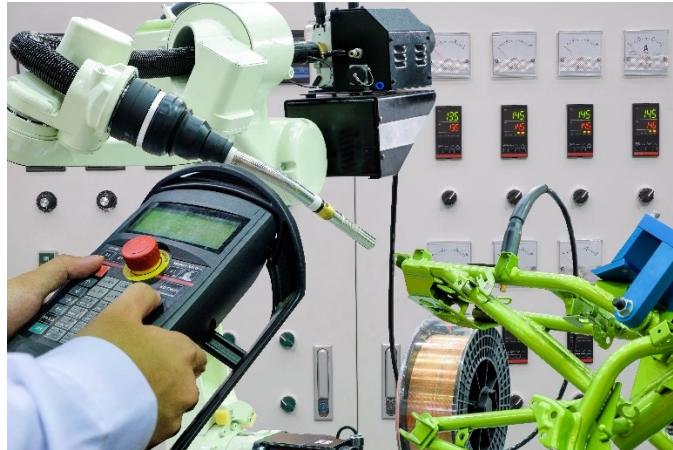
Aby robot vykonal nějakou činnost potřebuje být přesně a spolehlivě naprogramován programátorem. Ten ke své práci může využít různé typy programování. Nejčastěji se používá on-line programování, nebo off-line programování. [28] [26]

### 2.4.1 On-line programování

On-line programování je populární v menších firmách, kde potřebují naprogramovat pár robotů. K tomuto typu programování nemusí být programátor nějak moc zdatný v programování. Dělíme 2 typy on-line programování. Ruční vedení a tzv. „Teach pendant Programming“.

Ruční vedení se až tak moc nevyužívá u velkých robotů. Je to styl vedení robota, kterému se chytne robotické rameno a fyzicky se s ním hýbe a přesunuje na požadované body, které si robot uloží a zpracuje. Následně se body můžou upravit a posunovat v prostředí tomu určenému.

„Teach pendant Programming“ je programování, kde programátor v ruce drží ovládací panel od robotu, jak je vyobrazeno na obrázku 11. Pomocí jeho rozhraní přesune robota do pozic, které potřebuje. Robot si zaznamená každý pohyb, který vykoná a uloží do systému. [26] [28]



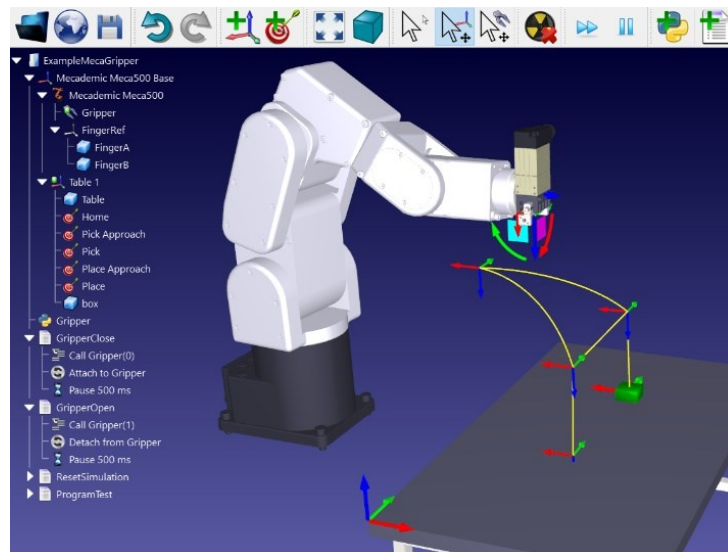
Obrázek 11 Teach pendant Programming [29]

#### 2.4.2 Off-line programování

Tento typ programování je vhodný pro případné další úpravy celého programu, popřípadě použití programu na jiném robotu, na kterém se následně upraví kód. Dělíme je na 2 typy programování. Textové programování a grafické programování.

Textové programování je tradiční metoda programování, kde se kód programu píše do off-line textového editoru, kde se může jakkoliv upravovat a přepisovat. Potom se kód přesune na flash disk, nebo pomocí připojení k internetu se do robotu kód nahraje. Pokud jsou kód a pozice nepřesné, musí se upravit přímo v robotu, tak aby nenastala žádná kolize.

U grafického programování se jedná o simulované programování v grafickém programu vyobrazeném na obrázku 12. Přesný typ robotu je přesunut, na plochu programu, kde můžeme manipulovat, tak až vytvoříme program, který je vyhovující. Do programu následně můžeme přidat nějakou linku, kde bude robot pracovat s výrobky, které bude přesunovat, nebo obrábět. Následně se program odladí a exportuje se do robotu, který může vykonávat činnosti a úkony. [26] [28] [26]



Obrázek 12 Off-line Programování [30]

### 3 ÚCHOPY ROBOTŮ

Úchopy umožňují robotům zvedat a držet těžké předměty. Existuje mnoho různých úchopů, které se volí dle použití a potřeby. Existují chapadla se dvěma a třemi prsty, nebo se dělí na různé způsoby použití, které jsou:

**Pinzetový úchop:** Tento typ má dvě kleštiny, které jsou proti sobě a pohybem k sobě můžou sevknout a uchopit předmět, který je potřeba přenést. Nejčastěji se používá k manipulaci s drobnými a křehkými předměty.

**Kulový úchop:** Tento typ má kulovou část, která se může otáčet a tím umožní uchopit předměty z různých úhlů.

**Paralelní úchop:** Úchop má dvě čelisti, které se pohybují souběžně proti sobě, tím sevrou předmět, který potřebují chytit. Jsou velmi přesné a můžou uchopit různě velké předměty.

**Prstový úchop:** Úchop se používá na tvarově složitější součásti. Úchop má několik prstů, které se můžou samostatně pohybovat a každý prst může jinak sevřít součást, tím se dokážou přizpůsobit tvarově složitějšímu předmětu.

**Hákový úchop:** Tento typ se používá při práci s oky nebo břemeny. Úchop má hák, který se zasune do oka, nebo zapíchne do předmětu a tím lze předmětem manipulovat.

**Pásový úchop:** Úchop vykonává pás, který obepne předmět a drží ho na místě. Používá se při manipulaci s předměty jako jsou plechovky nebo lahve.

Úchopy lze rozdělit do 5 hlavních typů. Každý typ úchopu má své vlastnosti, jiný styl ovládaní. [26] [31]

#### 3.1 Pneumatický

Pneumatický úchop využívá stlačený vzduch a písty k ovládaní čelistí. Nejčastěji se používají v kombinaci se 2 a 3 prsty. Jsou to univerzální nástroje, které lze použít v mnoha druzích operací a práce s výrobkem

Výhody:

- Nízká cena
- Velký rozsah síly uchopení
- Schopnost pracovat ve stísněných prostředích
- Rychlá doba odezvy

Jsou vhodné do sériové výroby, ne do výroby, kde se dělá nízký objem a častá obměna výrobků. Chapadlo poskytuje omezenou kontrolu síly a polohy. Na to, aby fungovalo potřebuje stlačený vzduch. [26] [31]

### 3.2 Hydraulický

Hydraulické úchopy jsou obdobné jako pneumatické, jsou poháněny hydraulickou kapalinou, která umožňuje větší uchopovací sílu než pneumatické úchopy.

Výhody:

- Skvělá uchopovací síla
- Doba odezvy

Nevýhoda u tohoto typu úchopu je neustalá kontrola oleje v systému, manipulace s čerpadlem, které vhání kapalinu do robota. Vyžaduje to větší údržbu než u pneumatických. [26] [31]

### 3.3 Elektrický

Elektrické úchopy neumožňují takovou uchopovací sílu jako jiné druhy úchopu, používá se v aplikaci „zvedni a umísti“. Jsou vhodná na místa, kde je požadovaná celková rychlost, lehká nebo střední uchopovací síla. Typicky se používají v dvoučelistových a tříčelistových konfiguracích. Při manipulaci s kulatými/válcovými předměty se volí tříčelistový.

Výhody:

- Mikroprocesorem řízené chapadlo umožňuje nastavit sílu uchopení
- Snadná manipulace s různými typy dílů

Nevýhodou tohoto úchopu je, že jsou dražší a mají menší uchopovací sílu. [26] [31]

### 3.4 Magnetický

Magnetický úchop se používá při přesunu s tvarově nepravidelnými obrobky. Tyto úchopy používají magnetizovaný povrch k uchopení kovových předmětů. Tento typ úchopu nemá žádné prsty ani čelisti, naopak se využívá hladkých magnetických povrchů. Běžně magnetické úchopy používají v automobilovém průmyslu, kde se plechy a jakékoliv kovové díly přesouvají po lince.



Magneticky uchop využívá buď elektromagnetu, který je napojen stejnosměrným napětím, nebo permanentními magnety, které jsou neustále zapnuté a nevyžadují napájení.

Výhody

- Flexibilní
- Nenáročný na údržbu
- Cenově výhodný
- Udrží předměty, které mají drážku a nepravidelné tvary
- Rychlost uchopení

Nevýhody jsou, že kusy lze snadno uvolnit, i malé nárazy nebo kolize z jiným předmětem nebo pracovníkem jsou nebezpečné, kvůli uvolnění výrobku z magnetických úchopů. Nepatrné množství oleje dokáže ovlivnit uchycení předmětu v chapadlech. Další nevýhodou je, že úchop dokáže zmagnetizovat kusy, které se pak následně může přichytit k jinému kusu. [26] [31]

### 3.5 Vakuový

Vakuové chapadla využívají rozdíl mezi atmosférickým tlakem a vakuem. Nejčastěji se používá při zvedání, držení a přemísťování předmětu. Vakuum je vytvořeno pomocí elektromechanické vývěvy. Vývěva musí neustále vytvářet vakuum, aby se zajistilo, že předmět, který drží v chapadle nespadne a bezpečně uloží na určené místo.

Elektromechanicky pohaněná vývěva je vhodné používat při operacích kdy musí robot provést velké množství pohybů. Naopak chapadla se stlačeným vzduchem jsou vhodné pro využití při práci u těžkých břemen.

Tyto vakuové úchopy se nejčastěji používají u balení a paletizace, kdy je potřeba chytit krabici a přemístit.

Výhody:

- Schopnost manipulace s různými předměty
- Nižší cena vzhledem k jiným chapadlům

Nevýhodou tohoto chapadla je zvýšené náklady na elektřinu, protože vývěva neustále pracuje, aby vytvářela vakuum. Není vhodné mít prašné prostředí, kvůli tomuto typu úchopu. [26] [31]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je navrhnout kontaktního úchopu robota, následně zvolit metodiku testování a provést jednotlivé testy. Dále statisticky vyhodnotit data a v poslední části práce je diskutovat.

Postup při řešení:

- Návrh kontaktního úchopu robota
  - Navrhnout úchop
  - Vymodelovat úchop v prostředí SolidWorks
- Navrhnout metodiku testování a provést jednotlivé testy
  - Navrhnout metodu testování
  - Vybrat příslušný přístroj pro test
  - Vykonat testy pro různé struktury
- Statisticky vyhodnotit data
  - Přenést data z přístroje do počítače
  - Zpracovat data do tabulek
  - Vyhodnotit výsledky a zpracovat grafy
- Diskuse výsledků
  - Porovnání výsledků

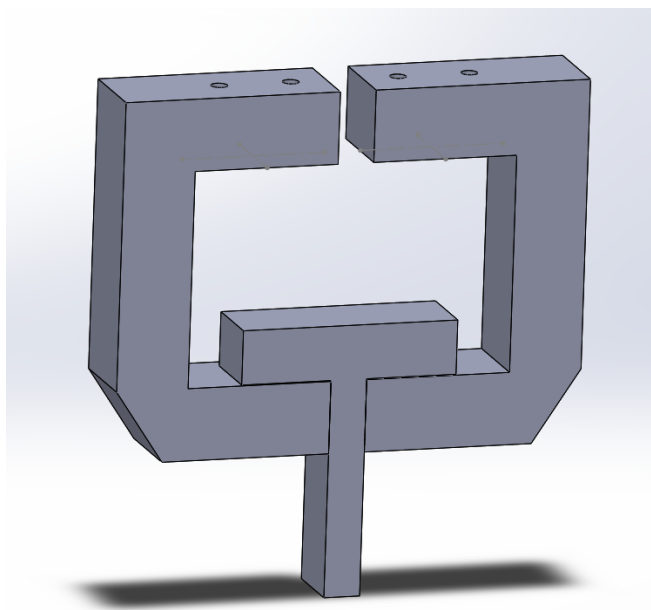
## 5 3D MODEL ÚCHOPU ROBOTA

V programu SolidWorks byl navrhnut 3D model úchopu, který uchopuje součást hranatého tvaru.

Program SolidWorks je CAD systém, který umožňuje kreslit návrhy a výkresy 3D modelu v průmyslových odvětvích. Je to jeden z nejvíce rozšířených CAD systémů. Je zde možnost práce na určitých dílech nebo na celé sestavě. V programu lze simulovat určité situace v pohybové studii a nastavit fyzikální veličiny podle reálné aplikace.

Model úchopu byl navržen pro výrobek tvaru „T“. Zvolen byl tak, aby uchopení proběhlo co nejpevněji a nedošlo k vypadnutí výrobku z úchopu. Úchop je typem paralelního univerzálního dvouprstého chapadla.

Rozměry úchopu jsou zvoleny tak, aby se daly vytisknout na 3D tiskárnách, které byly k dispozici. Rozměry úchopu jsou: Délka 60 mm; Šířka 25 mm; Výška 100 mm.



Obrázek 13 3D model úchopu s výrobkem

## 6 VÝROBA ÚCHOPU ADITIVNÍ TECHNOLOGIÍ

Aditivní výroba je 3D tisk trojrozměrných předmětů pomocí 3D tiskárny. Tento typ výroby znamená, že se materiál přidává na sebe. Postupným nanášením materiálu na sebe po tenkých vrstvách, které se vzájemně spojují vzniká výrobek. Pro výrobu modelů byly využity dvě 3D tiskárny. Zortrax M200 a FORTUS 900mc.

Zortrax M200 je hobby tiskárna s omezenou velikostí tisknutých výrobků, proto se volil i takový úchop s ohledem na vyrobiteľnost na tuto tiskárnu. Velikost prostoru tisku je 200 x 200 x 180 mm.

FORTUS 900mc je profesionální průmyslová 3D tiskárna. Umožňuje tisknout z několika přednastavených struktur, které jsou jinak tvarované. Velikost prostoru tisku je 914,4 x 609,6 x 914,4 mm.



Obrázek 14 Tiskárna Zortrax M200



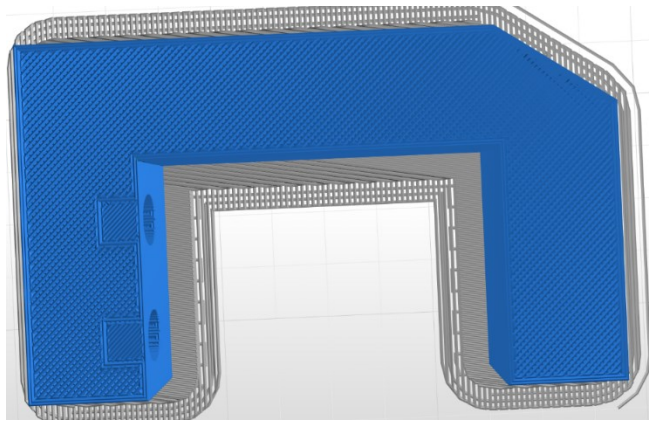
Obrázek 15 Tiskárna  
FORTUS 900mc

Pro testování bylo vyrobeno 7 různých struktur po 3 kusech modelu na 3D tiskárnách. Z tiskárny byly vyrobeny tyto struktury:

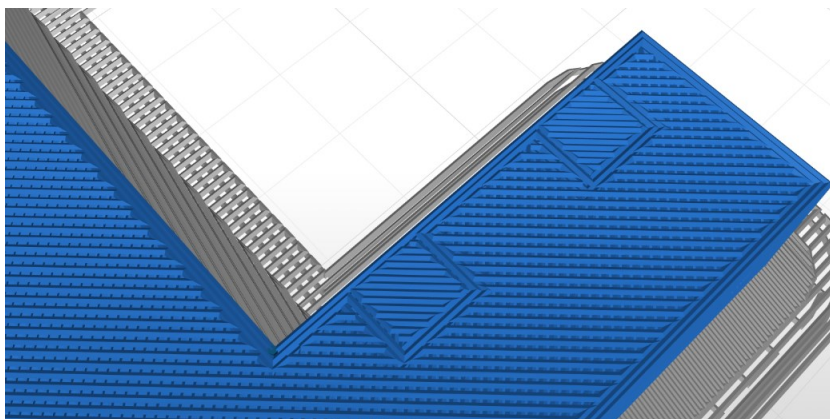
## 6.1 Úchop s 90% mřížkovanou výplní (Z90)

Struktura byla vyrobena na 3D tiskárně zortrax M200. Tento typ struktury nese název „Normal Pattern 0“. Je vyroben z 90% filamentové výplně. Má hustou mřížkovanou strukturu.

- Materiál: Z-ABS 2
- Průměr trysky 0,4 mm
- Nanášecí vrstva 0,29 mm
- Čas tisku 2h. 47min.
- Použitý materiál 28,92m. (70g.)



Obrázek 16 3D model Z90

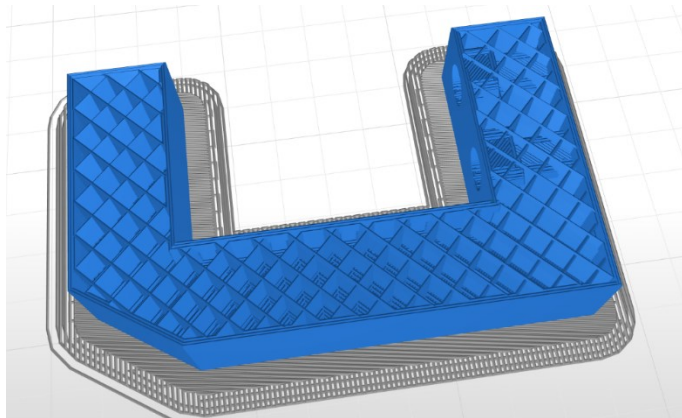


Obrázek 17 3D model Z90

## 6.2 Úchop s 20% mřížkovanou výplní. ( Z20X )

Struktura byla vyrobena na 3D tiskárně zortrax M200. Tento typ struktury nese název „Normal Pattern 0“. Je vyroben z 20% filamentové výplně. Má mřížkovanou strukturu.

- Materiál: Z-ABS 2
- Průměr trysky 0,4 mm
- Nanášecí vrstva 0,29 mm
- Čas tisku 1h. 44min.
- Použitý materiál 12,89m. (31g.)

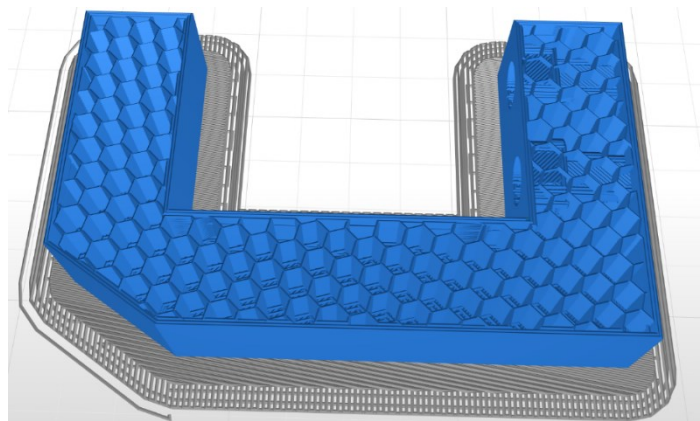


Obrázek 18 3D model Z20X

### 6.3 Úchop s 20% šestiúhelníkovou výplní ( Z20P)

Struktura byla vyrobena na 3D tiskárně zortrax M200. Tento typ struktury nese název „Normal Pattern 2“. Je vyroben z 20% filamentové výplně. Má šestiúhelníkovou strukturu.

- Materiál: Z-ABS 2
- Průměr trysky 0,4 mm
- Nanášecí vrstva 0,29 mm
- Čas tisku 1h. 57min.
- Použitý materiál 13,98m. (34g.)



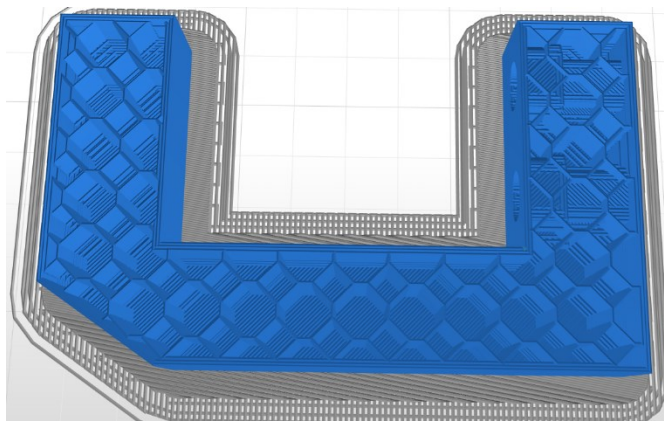
Obrázek 19 3D model Z20P



## 6.4 Úchop s 20% osmiúhelníkovou výplní ( Z20S )

Struktura byla vyrobena na 3D tiskárně zortrax M200. Tento typ struktury nese název „Normal Pattern 3“. Je vyroben z 20% filamentové výplně. Má osmiúhelníkovou strukturu.

- Materiál: Z-ABS 2
- Průměr trysky 0,4 mm
- Nanášecí vrstva 0,29 mm
- Čas tisku 1h. 45min.
- Použitý materiál 12,23m. (29g.)

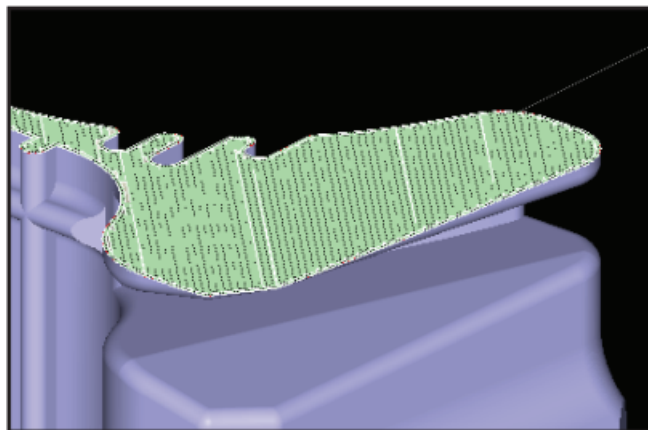


Obrázek 20 3D model Z20S

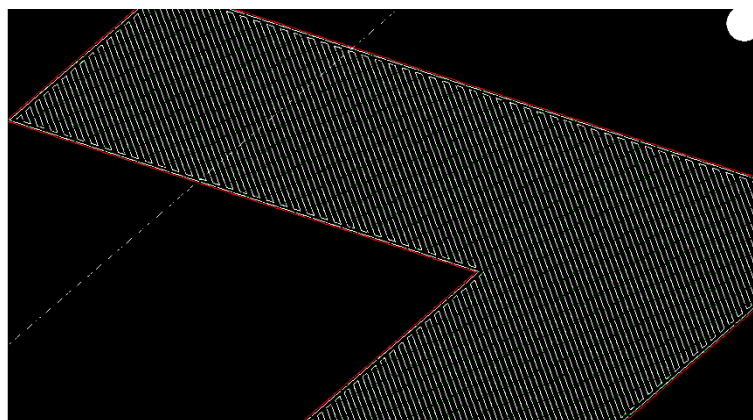
## 6.5 Úchop s mřížkovanou výplní (FN)

Struktura byla vyrobena na 3D tiskárně FORTUS 900mc. Tento typ struktury nese název „Solid - normal“. Tato vrstva má rovné výplňové čáry, které se vzájemně dotýkají a směr vrstvy se střídá o 90 stupňů. Tato vyplň využívá nejvíce materiálu, ale nabízí nejvyšší hustotu bez mezer obrázek 21. Struktura je nejsilnější ze všech ostatních, které jsou vyrobeny na stejné tiskárně, nejtěžší, ale také je zde největší spotřeba materiálu.

- Výška nanášecího filamentu 0,1778 mm.
- Materiál M30\_BLK T12
- Čas tisku 4:00 hodiny
- Spotřeba materiálu 85,05  $cm^3$



Obrázek 21 Struktura vrstvy FN [32]

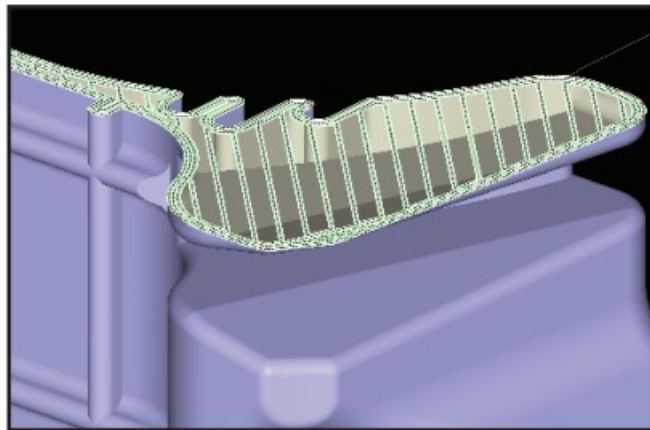


Obrázek 22 Model FN

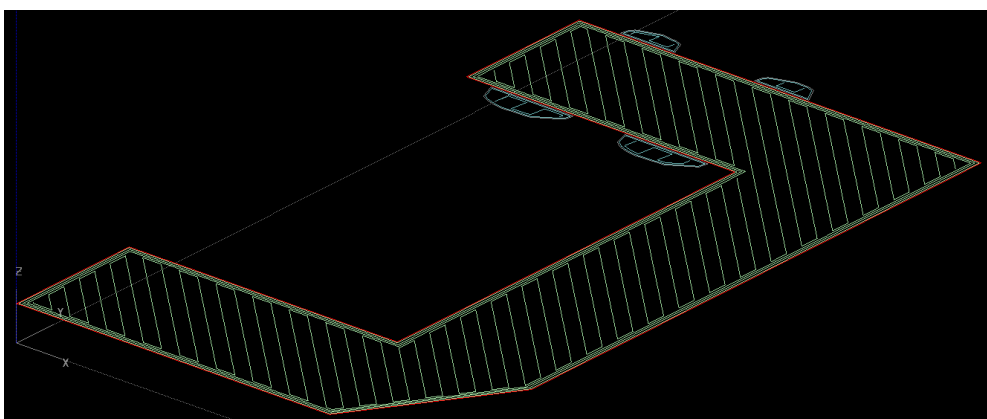
## 6.6 Úchop s řídkou mřížkovanou výplní (FS)

Struktura byla vyrobena na 3D tiskárně FORTUS 900mc. Tento typ struktury nese název „Sparse“. Struktura má řídkou výplň, probíhají v jednom směru na vrstvu, střídají se po vrstvách, ale mají širší rozmístění, jak je vyobrazeno na obrázku 23. Vzdálenost mezi nimi je 2 mm. Tato struktura je nejslabší a má nejnižší spotřebu materiálu.

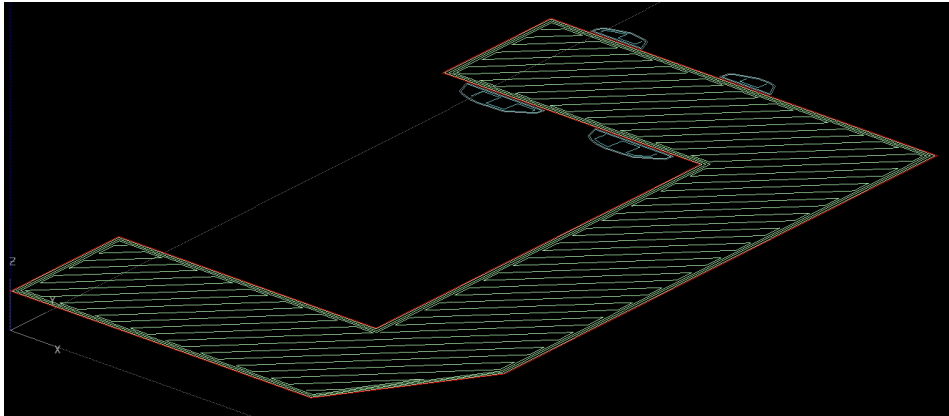
- Výška nanášecího filamentu 0,1778 mm.
- Materiál M30\_BLK T12
- Čas tisku 2:38 hodiny
- Spotřeba materiálu 38,63  $cm^3$



Obrázek 23 Struktura vrstvy FS [32]



Obrázek 24 Model FS

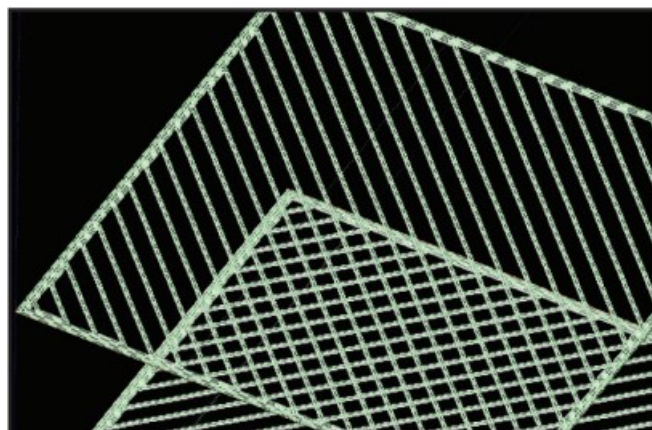


Obrázek 25 Model FS

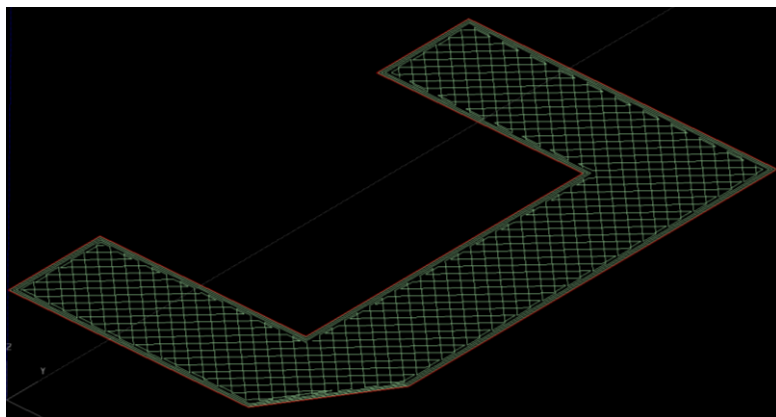
## 6.7 Úchop s hustou mřížkovanou výplní (F2S)

Struktura byla vyrobena na 3D tiskárně FORTUS 900mc. Tento typ struktury nese název „Sparse – double dense“. Struktura dosahuje dvojnásobné hustoty než běžná „Sparse“. Ukládá se ve dvou směrech na vrstvu a vytváří vzor mřížky, jak je na obrázku 26. V porovnání s výplní „Sparse“ je taky o něco pevnější a mírně těžší.

- Výška nanášecího filamentu 0,1778 mm.
- Materiál M30\_BLK T12
- Čas tisku 3:12 hodin
- Spotřeba materiálu 54,09  $cm^3$



Obrázek 26 Struktura vrstvy F2S [32]



Obrázek 27 Model F2S

## 7 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Zkoušky vytvořených úchopů byly udělány na zkušebním stroji LabTest 6.50. Mechanické zkoušky simulovaly náraz úchopu do předmětu. V praxi to znamená, že pokud robot byl špatně naprogramován nebo byla provedena špatná manipulace s robotickou rukou, tak co vše může způsobit náraz do úchopu robotu. Kde se zlomí, na kolik dílů a zdali je bezpečné v tom okamžiku stát v blízkosti robotu. Jestli náraz nezpůsobí nějaké zranění, nebo jestli bude potřebovat pracovní prostor robota pořádně zabezpečit. Dále se zkoumala nejbezpečnější struktura materiálu, ale i nejkvalitnější.

Zkouška tlakem probíhala pomocí přípravků, které se umístily na zkušební přístroj. Do něj se nasunul úchop, což mělo simulovat robotickou ruku, která narazí při manipulaci do tvrdého předmětu.

Zkouška tlakem je mechanická zkouška, která slouží k určení pevnosti materiálu v tlaku. Používá se pro určení síly, při které se materiál deformuje nebo dojde k destrukci. Síla působící na materiál se v čase zvyšuje a vykresluje do grafu. V našem případě byla rychlost posuvu 100 mm/min. Pokud síla je větší, než co vydrží materiál, zkušební materiál praskne.

## 7.1 Zkouška Z90

Zkouška tohoto materiálu se strukturou „Normal Pattern 0“ ukázala, že:

1 Zkušební úchop se deformoval v čase 4,3 s při tlaku 4546,8 N

2 Zkušební úchop se deformoval v čase 4,1 s při tlaku 4633,8 N

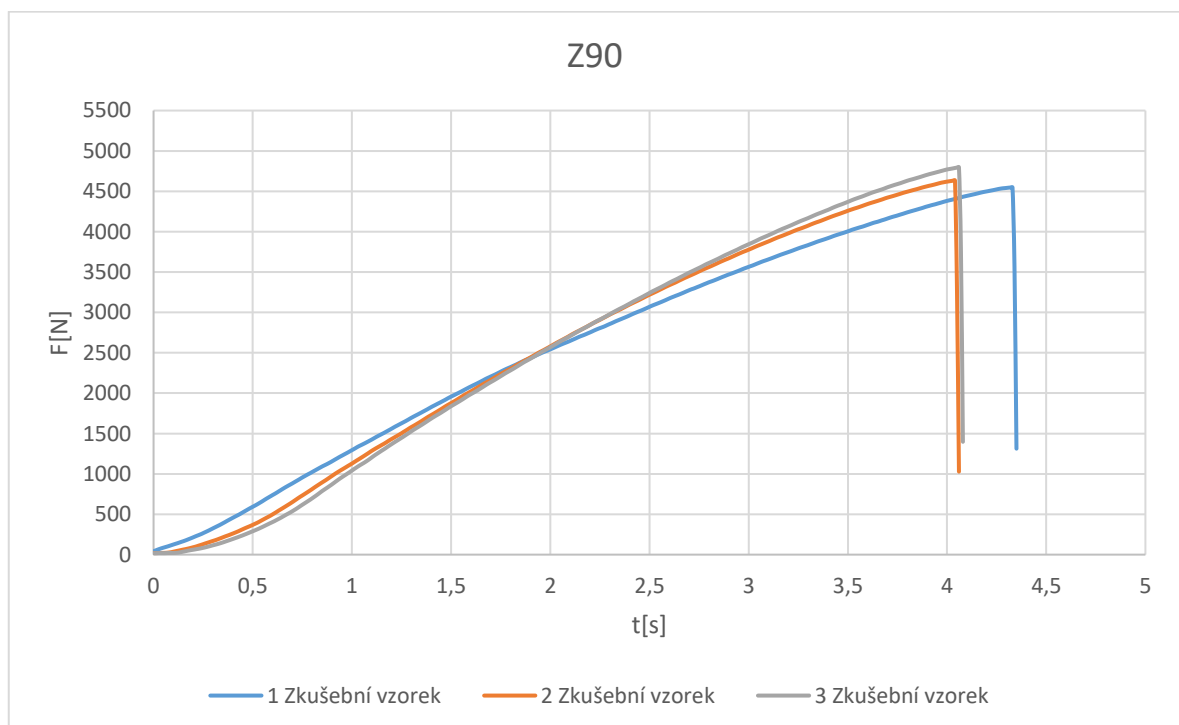
3 Zkušební úchop se deformoval v čase 4,1 s při tlaku 4797,2 N

Vzorek:	t[s]	F[N]
1	4,3	4546,8
2	4,1	4633,8
3	4,1	4797,2

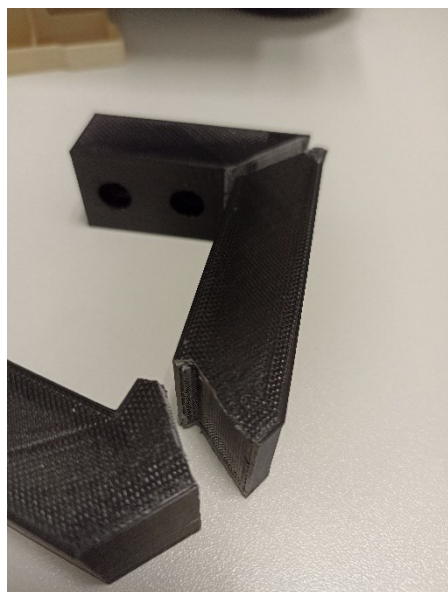
Tabulka 1 Data Z90

Z tabulky je patrné, že zkušební vzorek č. 3 vydržel největší sílu.

Tato zkouška probíhala destruktivně, materiál praskl ve dvou částech úchopu. Je patrný lom. Narušila se a odhalila vnitřní struktura materiálu. Zkušební těleso při testu vystřelilo do ochranných krytů. Tento typ úchopu není vhodný do otevřených prostor, mohl by ohrozit obsluhu či pracovníka.



Graf 1 Data Z90



Obrázek 28 Vzorek Z90



Obrázek 29 Vzorek  
Z90



## 7.2 Zkouška Z20X

Zkouška tohoto materiálu se strukturou „Normal Pattern 0“ ukázala, že:

1 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,2 s při tlaku 969,9 N

2 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,4 s při tlaku 905,5 N

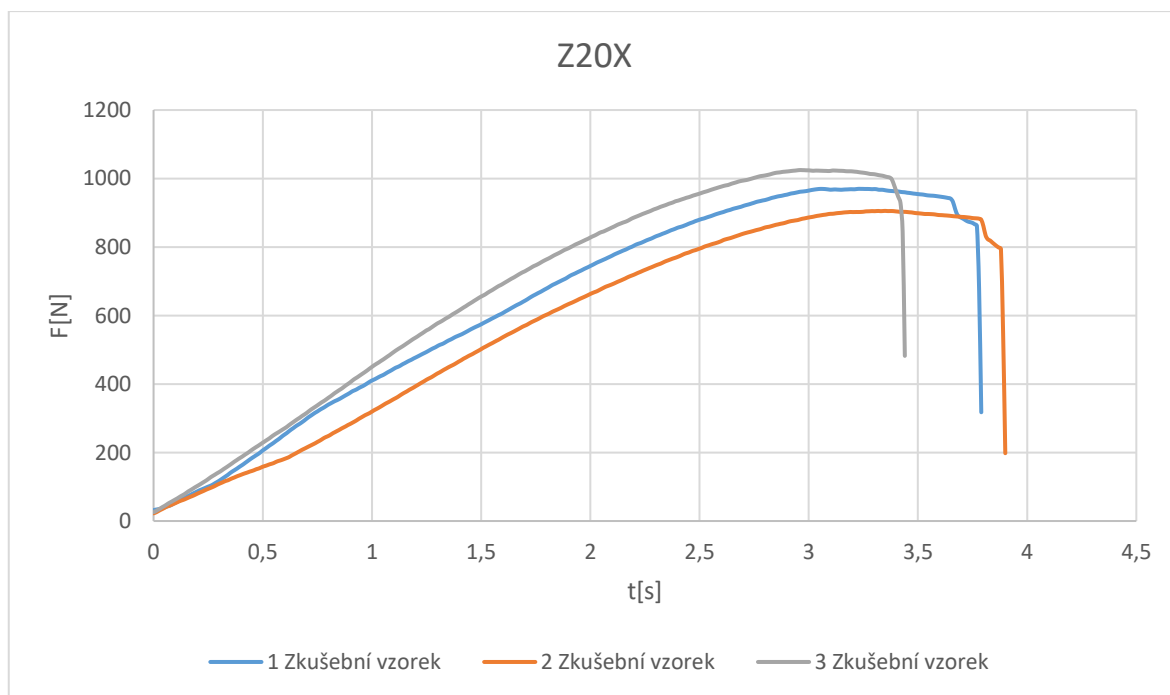
3 Zkušební úchop se deformoval v čase 2,9 s při tlaku 1024,7 N

Vzorek:	t[s]	F[N]
1	3,2	969,9
2	3,4	905,5
3	2,9	1024,7

Tabulka 2 Data Z20X

Z tabulky je patrné, že nejvíce vydrželo zkušební těleso č.3. Měření mohlo ovlivnit pouze upnutí úchopu do simulované robotické ruky.

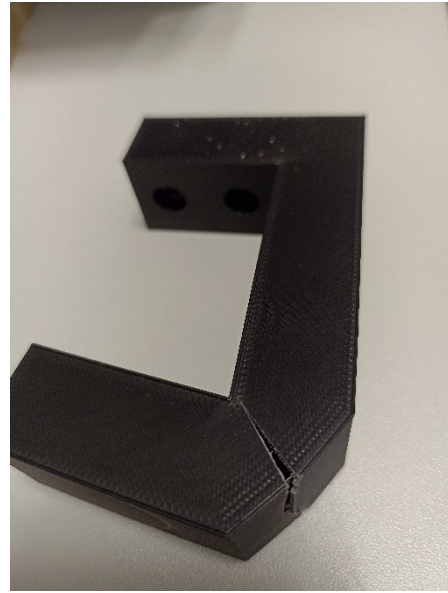
Tato zkouška probíhala destruktivně, materiál pouze napraskl ve spodní části úchopu neoddělil se na části. Narušila se a odhalila vnitřní struktura materiálu. Zkušební úchop při testu zůstal na místě, žádné části nevyletěly do okolí, tudíž nemohou ohrozit pracovníka, či operátora.



Graf 2 Data Z20X



Obrázek 30  
Vzorek Z20X



Obrázek 31 Vzorek  
Z20X

### 7.3 Zkouška Z20P

Zkouška tohoto materiálu se strukturou „Normal Pattern 2“ ukázala, že:

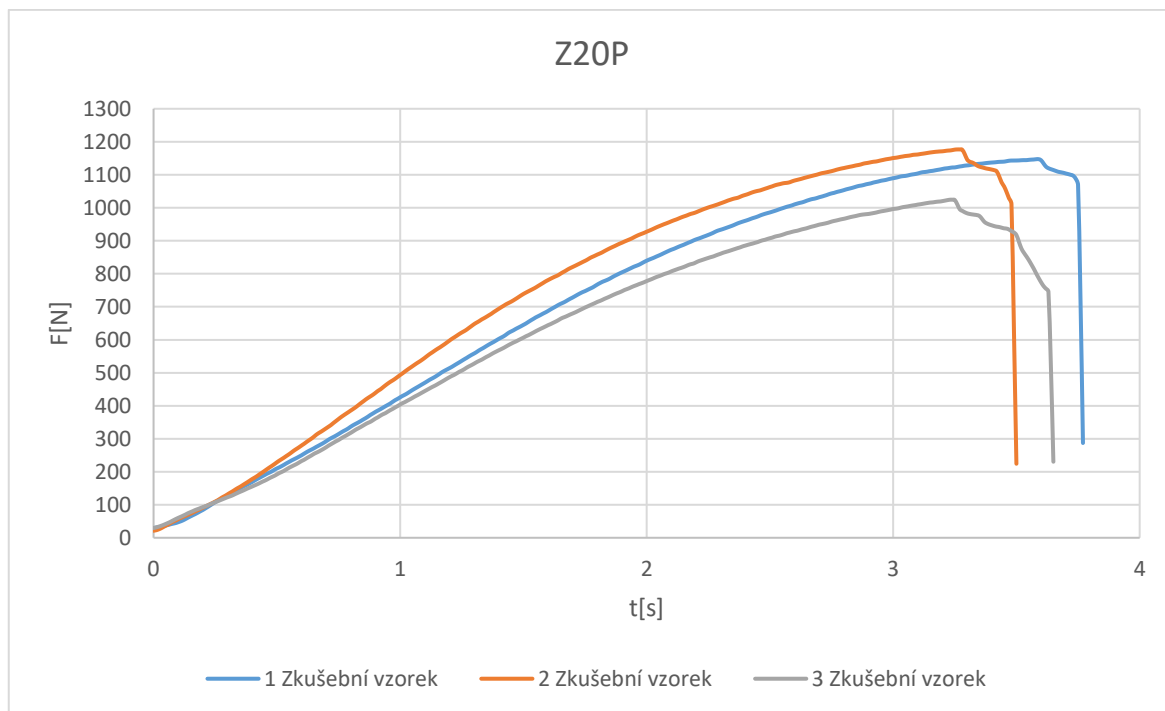
- 1 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,6 s při tlaku 1147,3 N
- 2 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,3 s při tlaku 1176,8 N
- 3 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,2 s při tlaku 1024,5 N

Vzorek:	t[s]	F[N]
1	3,6	1147,3
2	3,3	1176,8
3	3,2	1024,5

Tabulka 3 Data Z20P

Z tabulky je patrné, že výsledky byly podobné, ale zkušební vzorek č. 2 vydržel největší sílu.

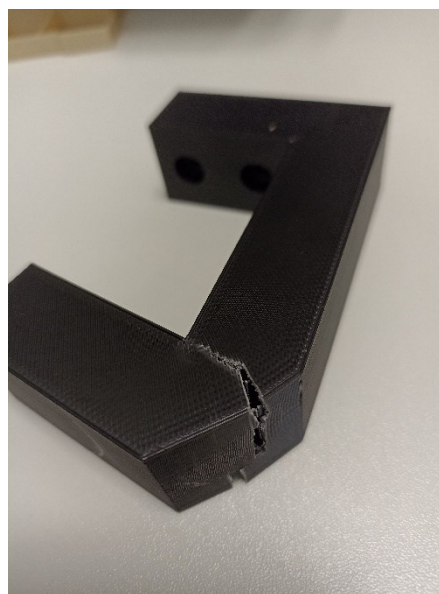
Tato zkouška probíhala destruktivně, materiál praskl ve spodní části úchopu neoddělil se na části. Je patrný větší lom než u předchozí struktury. Narušila se a odhalila vnitřní struktura materiálu. Zkušební těleso při testu zůstalo na místě, žádné části nevyletěly do okolí, tudíž nemohou ohrozit pracovníka, či operátora.



Graf 3 Data Z20P



Obrázek 32  
Vzorek Z20P



Obrázek 33 Vzorek  
Z20P

## 7.4 Zkouška Z20S

Zkouška tohoto materiálu se strukturou „Normal Pattern 3“ ukázala, že:

1 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,1 s při tlaku 978,9 N

2 Zkušební úchop se deformoval v čase 2,9 s při tlaku 919,9 N

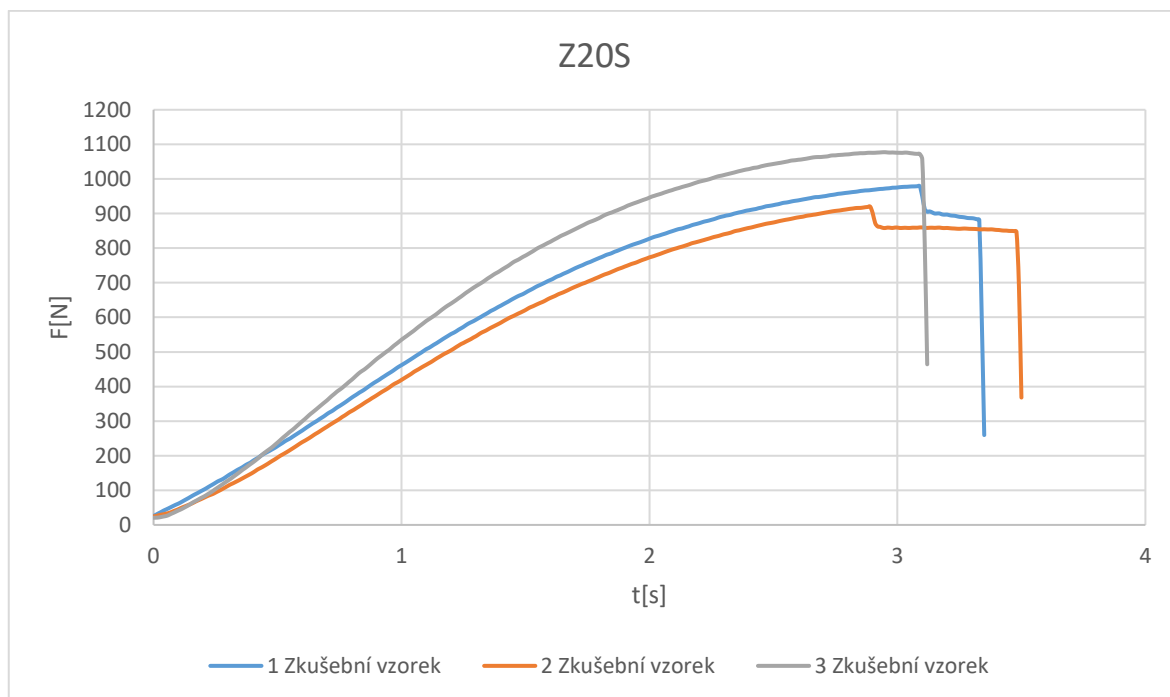
3 Zkušební úchop se deformoval v čase 2,9 s při tlaku 1077,3 N

Vzorek:	t[s]	F[N]
1	3,1	978,9
2	2,9	919,9
3	2,9	1077,3

Tabulka 4 Data Z20S

Z tabulky je patrné, že zkušební vzorek č. 3 vydržel největší sílu.

Tato zkouška probíhala destruktivně, materiál praskl ve spodní části úchopu neoddělil se na části. Je patrný menší lom než u předchozí struktury. Narušila se a odhalila vnitřní struktura materiálu. Zkušební těleso při testu zůstalo na místě, žádné části nevyletěly do okolí, tudíž nemohou ohrozit pracovníka, či operátora.



Graf 4 Data Z20S



Obrázek 34  
Vzorek Z20S



Obrázek 35 Vzorek  
Z20S

## 7.5 Zkouška FN

Zkouška tohoto materiálu se strukturou „Solid - normal“ ukázala, že:

1 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,3 s při tlaku 4023,3 N

2 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,2 s při tlaku 3813,5 N

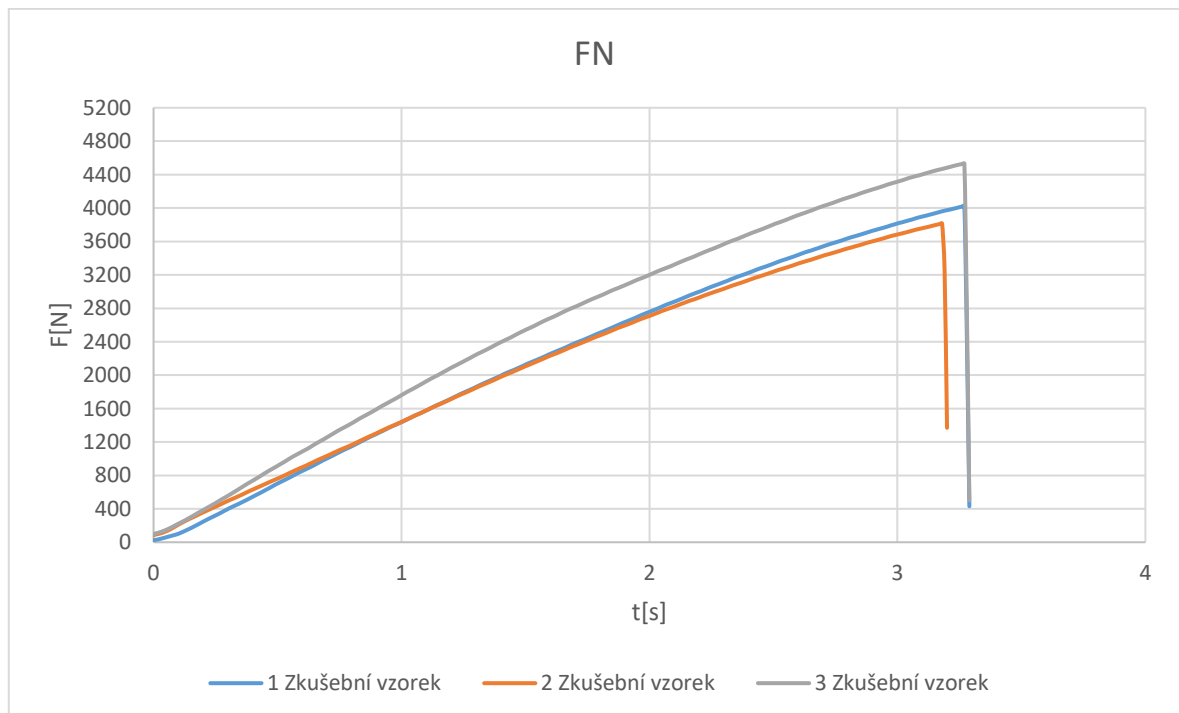
3 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,3 s při tlaku 4530,1 N

Vzorek:	t[s]	F[N]
1	3,3	4023,3
2	3,2	3813,5
3	3,3	4530,1

Tabulka 5 Data FN

Z tabulky je patrné, že zkušební vzorek č. 3 vydržel největší sílu.

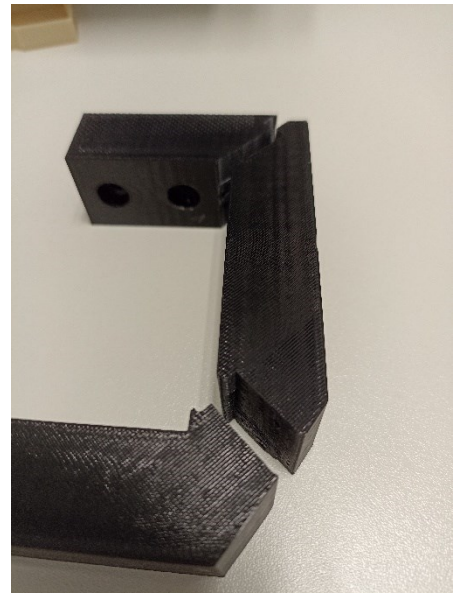
Tato zkouška probíhala destruktivně, materiál praskl ve dvou částech úchopu. Je patrný lom. Narušila se a odhalila vnitřní struktura materiálu. Zkušební těleso při testu vystřelilo do ochranných krytů. Tento typ úchopu není vhodný do otevřených prostor, mohl by ohrozit obsluhu či pracovníka.



Graf 5 Data FN



Obrázek 36 Vzorek FN



Obrázek 37 Vzorek FN

## 7.6 Zkouška FS

Zkouška tohoto materiálu se strukturou „Sparse“ ukázala, že:

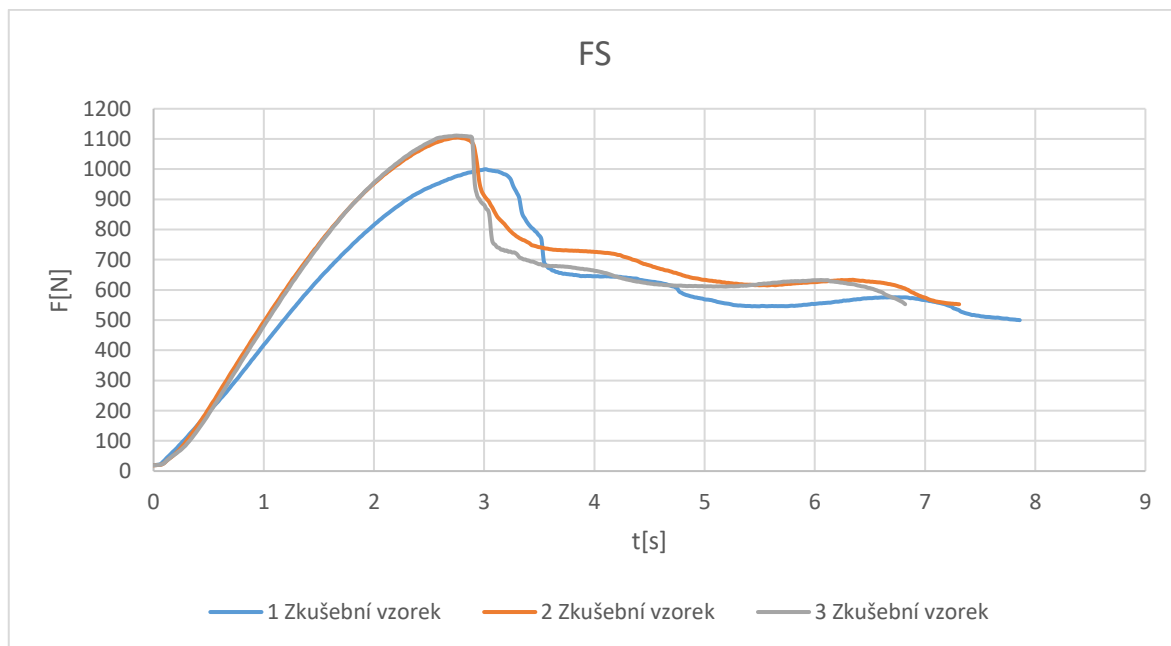
- 1 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,1 s při tlaku 999,7 N
- 2 Zkušební úchop se deformoval v čase 2,8 s při tlaku 1105,1 N
- 3 Zkušební úchop se deformoval v čase 2,8 s při tlaku 1111,4 N

Vzorek:	t[s]	F[N]
1	3,1	999,7
2	2,8	1105,1
3	2,8	1111,4

Tabulka 6 Data FS

Z tabulky je patrné, že zkušební vzorek č. 3 vydržel největší sílu.

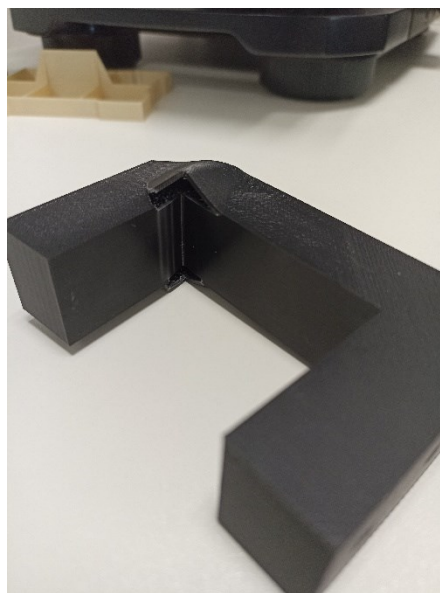
Tato zkouška probíhala destruktivně, materiál se narušil. Narušila se a odhalila vnitřní struktura materiálu. Narušení proběhlo na boku kusu, otevřela se pravá i levá spodní část. Zkušební těleso se pouze zdeformovalo nikoliv vystřelilo.



Graf 6 Data FS



Obrázek 38  
Vzorek FS



Obrázek 39 Vzorek FS



## 7.7 Zkouška F2S

Zkouška tohoto materiálu se strukturou „Sparse – double dense“ ukázala, že:

1 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,9 s při tlaku 1915,0 N

2 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,8 s při tlaku 2014,5 N

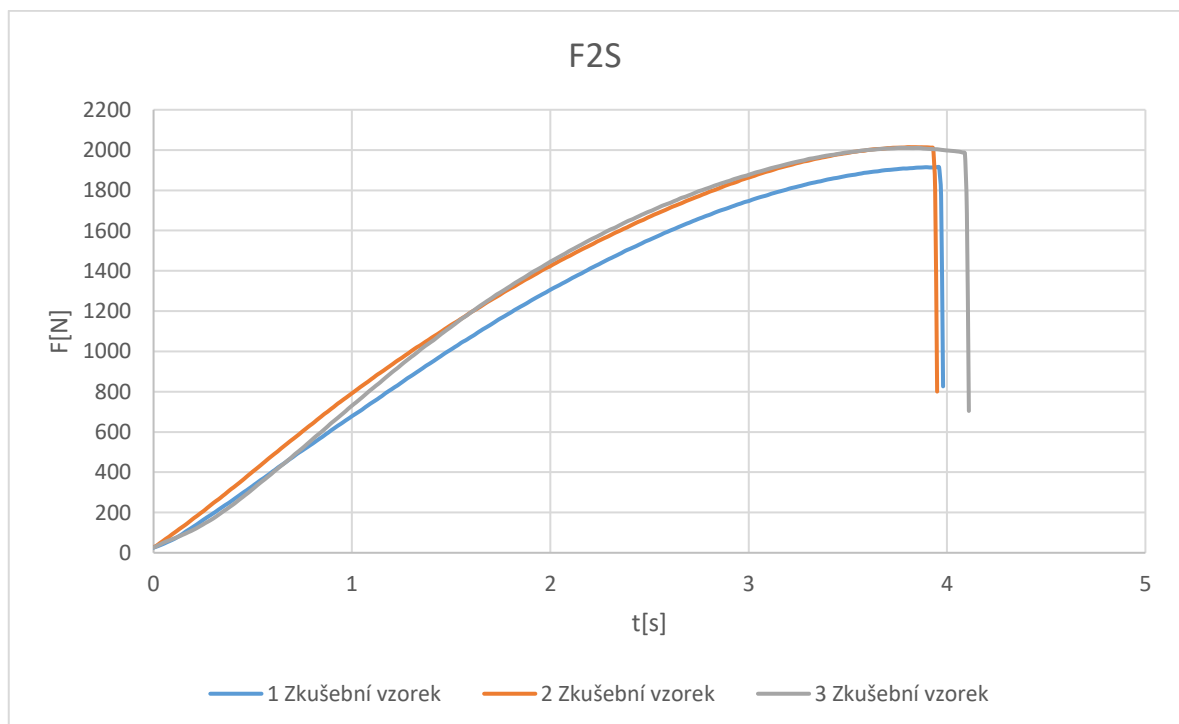
3 Zkušební úchop se deformoval v čase 3,8 s při tlaku 2010,8 N

Vzorek:	t[s]	F[N]
1	3,9	1915,0
2	3,8	2014,5
3	3,8	2010,8

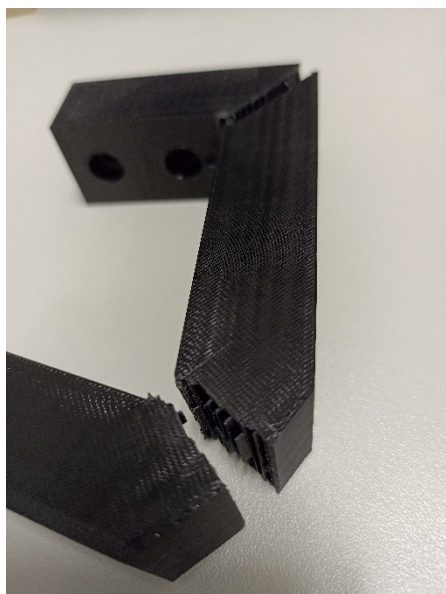
Tabulka 7 Data F2S

Z tabulky je patrné, že zkušební vzorek č. 2 vydržel největší sílu.

Tato zkouška probíhala destruktivně, materiál praskl ve dvou částech úchopu. Je patrný lom. Narušila se a odhalila vnitřní struktura materiálu. Zkušební těleso při testu vystřelilo do ochranných krytů. Tento typ úchopu není vhodný do otevřených prostor, mohl by ohrozit obsluhu či pracovníka.



Graf 7 Data F2S



Obrázek 40 Vzorek F2S



Obrázek 41 Vzorek  
F2S

## 8 DISKUZE

Z dat, které byly získány z testů, kde byly provedeny vždy 3 zkoušky byly zprůměrovány a zaznamenány do tabulky, která slouží pro porovnání výdrže materiálů. Tabulka zahrnuje informace o tom, kolik síly průměrně tento úchop s danou strukturou vydrží a který naopak nejméně.

Z dat je patrné že z tiskárny Zortrax M200:

<b>Tiskárna Zortrax M200</b>				
Model:	Z20X	Z20P	Z20S	Z90
Průměr [N]:	966,7	1116,2	992,1	4659,3
Směrodatná odchylka [N]:	48,7	65,9	64,9	103,8

Tabulka 8 Srovnávací data

Z průměrované hodnoty nejmenší zátěž vydržel materiál s označením Z20S, naopak největší sílu zatížení vydržel materiál Z90. Výsledky jsou dané odlišnými strukturami materiálu a výplní, která se volila. Úchop Z90 byl vyroben z 90% výplně proto má lepší výdrž než ostatní. Úchop Z20S byl vyroben z 20% výplně s řídkou strukturou, proto nevydržel tak velké zatížení. Úchopy Z20X a Z20P byly takové průměry, kdy vydržely velkou silovou zátěž, ale ne největší.

Z dat z tiskárny FORTUS 900mc je patrné že:

<b>Tiskárna FORTUS 900mc</b>			
Model:	F2S	FN	FS
Průměr [N]:	1980,1	4122,3	1072,1
Směrodatná odchylka [N]:	46,1	300,8	51,2

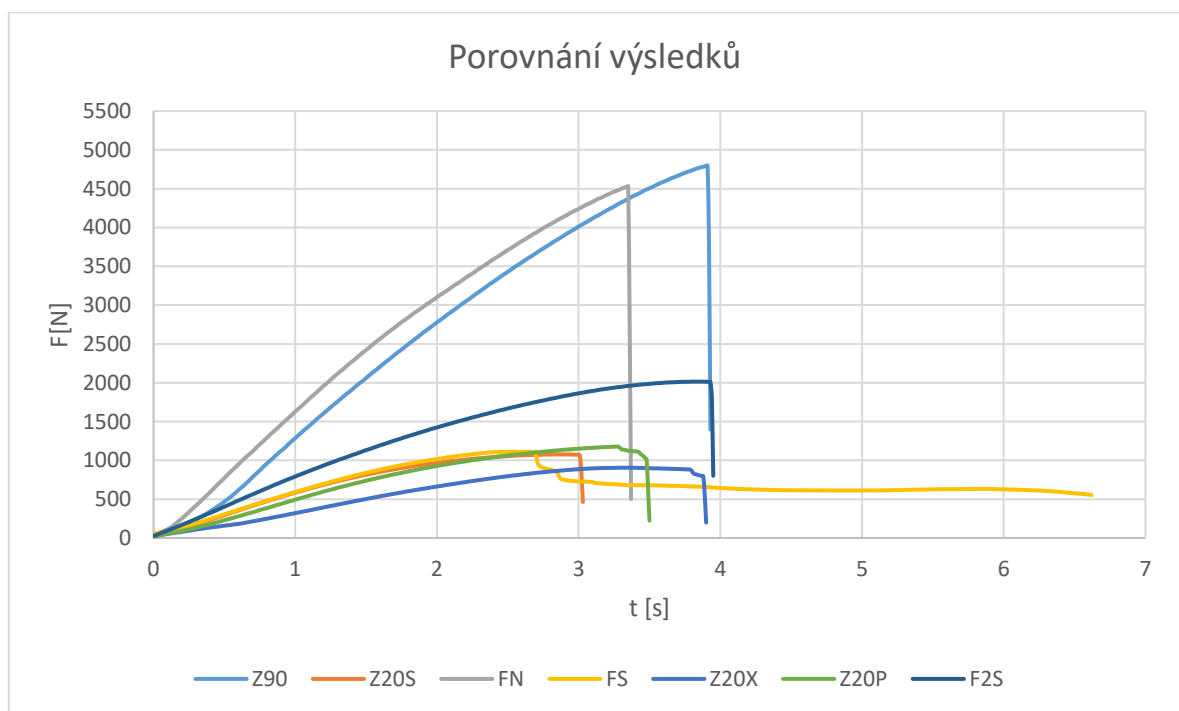
Tabulka 9 Srovnávací data

Z průměrované hodnoty nejmenší zátěž vydržel materiál s označením FS, naopak největší sílu zatížení vydržel materiál FN. Výsledky jsou dány odlišností struktur úchopu.

Pro porovnání byl vytvořen graf, který srovnává všechny vyrobené struktury, které jsou rozděleny do osmi kategorií typu Z90, Z20X, Z20P, Z20S, FN, FS a F2S. Na ose x je čas v sekundách a na ose y je síla v Newtonech.

Z grafu lze vyčíst, že největší silovou zátěž vydržela struktura Z90, která byla tisknuta na profesionální tiskárně. Tato struktura měla největší pevnost a odolnost vůči zatížení než jiné struktury. Naopak nejmenší zátěž vydržela struktura Z20S. Tento úchop vydržel nejmenší silovou zátěž a nebyl tak odolný vůči zatížení.

V porovnání s profesionální tiskárnou si vedla struktura FN velice obdobně jako u Z90. Lze konstatovat, že je možno použít i hobby tiskárnu pro výrobu úchopu. Vydrží podobné síly jako u profesionální.



Graf 8 Porovnání výsledků

## ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce byla vypracována literární rešerše v oblasti robotických systémů a možných úchopů. Jako první byla do teorie zahrnuta historie robotiky a generace robotů podle toho, jak se vyvíjela až do teď. Následně bylo zmíněno rozdělení robotů podle použitých pohonů, vykonávané činnosti, stupňů volnosti robota a způsobu programování. V další části práce byly vyhledány v publikacích úchopy robotů, jak se dělí, jaké způsoby uchycení jsou.

Následovalo vypracování praktické části, kde bylo potřeba vyhledat a namodelovat úchop robota a vyhodnotit. Existuje řada úchopů, v mé bakalářské práci, bylo vybráno paralelní chapadlo celým názvem „PGL-plus\_P“, které bylo zvoleno na základě nejlepšího uchopení předmětu ve tvaru „T“. Toto chapadlo je vyrobeno v kovové verzi. V důsledku toho jsme chtěli otestovat co se stane, když bude vyrobený pomocí 3D tisku a jestli je pokaždé nutné kupovat kovový, zdali by nebylo jednodušší si vyrobit na vlastní hobby tiskárně, protože tu může mít každý k dispozici.

Pro další postup bylo nezbytné vytisknout požadované struktury na určených 3D tiskárnách, aby bylo možné porovnání jednotlivých struktur a materiálu. Konkrétně se jednalo o srovnání struktur vytisknuté na profesionální tiskárně a srovnání na hobby tiskárně. Tyto kroky bylo nezbytné provést pro následné vyhodnocení dat. Následující část práce byla věnována popisu mechanické zkoušky, která byla prováděna pro získání dat. Bylo popsáno, jak zkouška probíhá, jak probíhá upnutí úchopu. Je tam také popsáno, proč jsem zvolil tuto konkrétní zkoušku.

Po úspěšném vyrobení úchopu z několika struktur, bylo potřeba připravit testovací zařízení, ve kterém se mělo testovat. Po spuštění testování došlo k postupnému zatížení úchopu tlakem, než došlo k destrukci úchopu. Důsledkem toho byly získány data, které byly zpracovány. Po provedení zkoušky bylo získáno velké množství dat, které byly potřeba analyzovat. Po zpracování do úhledné formy jsem vytvořil pro každou strukturu graf, kde data a vyhodnocení jsou přehlednější. Grafy poskytly vizualizaci dat, kde je vidět čas a síla při které se úchop deformoval a došlo k destrukci.

V závěrečné části bakalářské práce jsem se věnoval diskusi, která zahrnovala srovnání a porovnání sil, které jsem zprůměroval z testovacího zařízení. Zprůměrované data byly vloženy do tabulek pro lepší přehlednost a rozděleny podle tiskáren. Diskuse umožnila diskutovat výsledky a zhodnotit, která struktura byla nejlepší a která naopak nejhorší. V poslední části byl vložený graf, kde jsou vyneseny všechny data z různých struktur pro srovnání.

Výsledky struktur úchopů zjistily že nejlepší silovou výdrž měla struktura s označením Z90 z profesionální tiskárny, je to způsobené nejhustším nanášením materiálu na sebe s 90 % výplní. Podobné hodnoty dosahovala i tiskárna hobby se strukturou FN. Naopak nejmenších hodnot silové výdrže dosahoval materiál s označením Z20S s 20 % výplní, který byl vyroben na profesionální tiskárně.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *Historie robotů? Sáhá až do řecké mytologie!* [online]. factoryautomation, 2014 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/historie-robotu-saha-az-do-recke-mytologie/>
- [2] *Historie a současnost robotiky* [online]. oblohanadlani [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.oblohanadlani.eu/odborne-clanky/historie-a-soucasnost-robotiky.html>
- [3] *The 5 Generations of Robotics* [online]. automatismosmundo, 2022 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://automatismosmundo.com/en/the-5-generations-of-robotics/>
- [4] *History-of-robotics* [online]. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: [https://www.aventine.org/static/b6bb9b8b4c4e3aa27ce53213aa3ce7e3/a6352/robotics\\_timeline\\_tortus\\_unimate.jpg](https://www.aventine.org/static/b6bb9b8b4c4e3aa27ce53213aa3ce7e3/a6352/robotics_timeline_tortus_unimate.jpg)
- [5] *History of robotics* [online]. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: [https://www.aventine.org/static/18f8b4de3641b1d4e1de85492d4292e1/2245c/robotics\\_timeline\\_stanfordarm.jpg](https://www.aventine.org/static/18f8b4de3641b1d4e1de85492d4292e1/2245c/robotics_timeline_stanfordarm.jpg)
- [6] *Lifelong absolute accuracy for industrial robots* [online]. hexagon [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://hexagon.com/resources/resource-library/lifelong-absolute-accuracy-industrial-robots>
- [7] *Kinova raises \$48M for robotic arms* [online]. 2022 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/wp-content/uploads/2022/02/kinova-gen3-robotic-arm.jpg>
- [8] *Iran Unveils 4th Generation of Surena Humanoid Robot* [online]. farsnews, 2019 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: [https://media.farsnews.ir/Uploaded/Files/Images/1398/09/24/13980924000567\\_PhotoJ.jpg](https://media.farsnews.ir/Uploaded/Files/Images/1398/09/24/13980924000567_PhotoJ.jpg)
- [9] *The world's most advanced humanoid robot admits she gets 'tired of showing humans what I can do'* [online]. supercarblondie, 2023 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://supercarblondie.com/wp-content/uploads/Ameca-humanoid-robot-hero.jpg>

- [10] *AUTOMATIZACE roboty a manipulátory* [online]. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2022 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm\\_mechanizace\\_a\\_automatizace\\_roboty\\_rumisek.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf)
- [11] *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: [http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta\\_PRaM.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf)
- [12] *Induction Motor | Asynchronous Motor* [online]. electricalfundablog [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://electricalfundablog.com/induction-motor-asynchronous-motor/>
- [13] *What is a DC MOTOR : Basics, Types & Its Working* [online]. elprocus [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/dc-motor-basics-types-application/>
- [14] *How a Stepper Motor Works* [online]. howtomechatronics [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/stepper-motor/>
- [15] *Linear motors* [online]. explainthatstuff, 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/linearmotor.html>
- [16] *HYDRAULIC DRIVE* [online]. robotpark, 2013 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.robotpark.com/academy/hydraulic-drive-21066/>
- [17] *INDUSTRIAL PNEUMATIC DRIVES* [online]. tme, 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/en/news/library-articles/page/43313/industrial-pneumatic-drives/>
- [18] *Průmyslové roboty: jaké jsou jejich druhy?* [online]. factoryautomation, 2018 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-2/>
- [19] *What are Industrial Robots* [online]. education [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://education.vex.com/stemlabs/workcell/stemlab/industrial-robotics/what-are-industrial-robots>



- [20] *Top 21 Industrial Robotics Companies in the World 2019* [online]. 2019 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: [https://d1af89beukha9h.cloudfront.net/wp-content/uploads/2018/07/12\\_Industrial-Automation-min-1024x672.jpg](https://d1af89beukha9h.cloudfront.net/wp-content/uploads/2018/07/12_Industrial-Automation-min-1024x672.jpg)
- [21] *On the Other Hand: Robotic Manipulation* [online]. 2019 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: [https://inviarobotics.com/wp-content/uploads/2019/02/iStock-671737400\\_Gross-vs-Fine-Manipulation.jpg](https://inviarobotics.com/wp-content/uploads/2019/02/iStock-671737400_Gross-vs-Fine-Manipulation.jpg)
- [22] *A Word from Cobot Manufacturers: On Cobot Functions and Applications* [online]. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.tm-robot.com/en/collaborative-robots-functions-applications/>
- [23] *Collaboration #1: Universal Robots* [online]. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: [https://www.estic-global.com/products/cobot01\\_01.jpg](https://www.estic-global.com/products/cobot01_01.jpg)
- [24] *Humanoid Robots* [online]. automate [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.automate.org/a3-content/service-robots-humanoid-robots>
- [25] *DEGREES OF FREEDOM* [online]. reachrobotics, 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://reachrobotics.com/blog/degrees-of-freedom-vs-functions-of-a-robotic-arm/>
- [26] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně: VUTIUUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [27] *Six degrees of freedom* [online]. 2023 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Six\\_degrees\\_of\\_freedom#/media/File:6DOF.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom#/media/File:6DOF.svg)
- [28] *What Is the Best Way to Program a Robot* [online]. robodk, 2018 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://robodk.com/blog/program-robot-tips/>
- [29] *Teach Pendant Online Programming* [online]. 2018 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://robodk.com/blog/wp-content/uploads/2018/10/Teach-Pendant-Online-Programming.jpeg>
- [30] *Offline Programming* [online]. 2018 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://robodk.com/blog/wp-content/uploads/2018/10/Offline-Programming-Mecademic.png>

- [31] *TYPES OF GRIPPERS USED IN MANUFACTURING* [online]. universal-robots, 2022 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/blog/types-of-grippers-used-in-manufacturing/>
- [32] *FDM FOR END-USE PARTS* [online]. stratasy [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: [https://www.stratasy.com/siteassets/3dlc/high-school/tag\\_fdm\\_enduseparts\\_en\\_1015\\_web.pdf?v=48f5f3](https://www.stratasy.com/siteassets/3dlc/high-school/tag_fdm_enduseparts_en_1015_web.pdf?v=48f5f3)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

- Z90 Úchop s 90 % mřížkovanou výplní
- Z20X Úchop s 20 % mřížkovanou výplní
- Z20P Úchop s 20 % šestiúhelníkovou výplní
- Z20S Úchop s 20 % osmiúhelníkovou výplní
- FN Úchop s mřížkovanou výplní
- FS Úchop s řídkou mřížkovanou výplní
- F2S Úchop s hustou mřížkovanou výplní

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Robotická ruka první generace [4] .....	10
Obrázek 2 Robotická ruka druhé generace [5] .....	11
Obrázek 3 Robotická ruka třetí generace [7] .....	11
Obrázek 4 Robot čtvrté generace [8] .....	12
Obrázek 5 Robot páté generace [9].....	12
Obrázek 6 Robotická linka [20].....	16
Obrázek 7 Manipulační robot [21].....	17
Obrázek 8 Kolaborativní robot [23].....	17
Obrázek 9 Humanoidní robot [9].....	18
Obrázek 10 Osy robota [27].....	19
Obrázek 11 Teach pendant Programming [29].....	20
Obrázek 12 Off-line Programování [30].....	21
Obrázek 13 3D model úchopu s výrobkem .....	27
Obrázek 14 Tiskárna Zortrax M200 .....	28
Obrázek 15 Tiskárna FORTUS 900mc.....	28
Obrázek 16 3D model Z90.....	29
Obrázek 17 3D model Z90.....	29
Obrázek 18 3D model Z20X.....	30
Obrázek 19 3D model Z20P .....	31
Obrázek 20 3D model Z20S .....	32
Obrázek 21 Struktura vrstvy FN [32] .....	33
Obrázek 22 Model FN .....	33
Obrázek 23 Struktura vrstvy FS [32].....	34
Obrázek 24 Model FS .....	34
Obrázek 25 Model FS .....	35
Obrázek 26 Struktura vrstvy F2S [32].....	35
Obrázek 27 Model F2S .....	36
Obrázek 28 Vzorek Z90.....	39
Obrázek 29 Vzorek Z90.....	39
Obrázek 30 Vzorek Z20X.....	41
Obrázek 31 Vzorek Z20X.....	41
Obrázek 32 Vzorek Z20P .....	42

---

Obrázek 33 Vzorek Z20P .....	42
Obrázek 34 Vzorek Z20S .....	44
Obrázek 35 Vzorek Z20S .....	44
Obrázek 36 Vzorek FN .....	46
Obrázek 37 Vzorek FN .....	46
Obrázek 38 Vzorek FS.....	47
Obrázek 39 Vzorek FS.....	47
Obrázek 40 Vzorek F2S.....	49
Obrázek 41 Vzorek F2S.....	49

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Data Z90 .....	38
Tabulka 2 Data Z20X .....	40
Tabulka 3 Data Z20P .....	41
Tabulka 4 Data Z20S .....	43
Tabulka 5 Data FN.....	45
Tabulka 6 Data FS .....	46
Tabulka 7 Data F2S .....	48
Tabulka 8 Srovnávací data.....	50
Tabulka 9 Srovnávací data.....	50

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 Data Z90 .....	38
Graf 2 Data Z20X .....	40
Graf 3 Data Z20P .....	42
Graf 4 Data Z20S .....	43
Graf 5 Data FN .....	45
Graf 6 Data FS .....	47
Graf 7 Data F2S .....	48
Graf 8 Porovnání výsledků .....	51