



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

## 3D TISKÁRNA TYPU SCARA

SCARA 3D PRINTER

### SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Batelka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

BRNO 2024





# Semestrální práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

**Student:** Tomáš Batelka

**ID:** 243511

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2024/25

**NÁZEV TÉMATU:**

## 3D tiskárna typu SCARA

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se a nastudujte kinematiku 3D tiskáren typu SCARA. Proveďte srovnání jednotlivých typů kinematik. Navrhněte konstrukční řešení SCARA mechanismu a proveďte výběr komponentů, pro budoucí stavbu.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího semestrální práce.

**Termín zadání:** 16.9.2024

**Termín odevzdání:** 7.1.2025

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

**doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.



## **ABSTRAKT**

Cílem práce je navrhnout kompletní 3D tiskárnu s kinematikou SCARA a implementovat kinematiku pro Klipper firmware.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Klíčová slova v originálním jazyce

## **ABSTRACT**

Překlad abstraktu (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

## **KEYWORDS**

Překlad klíčových slov (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)



BATELKA, Tomáš. *3D tiskárna typu SCARA*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, 2025. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.





# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Tomáš Batelka  
**VUT ID autora:** 243511  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2024/25  
**Téma závěrečné práce:** 3D tiskárna typu SCARA

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....  
.....  
podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.



## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské/diplomové/disertační práce panu doc. Ing. Petru Vyroubalovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.



# Obsah

Úvod	21
<b>1 Kinematika</b>	<b>23</b>
1.1 Souřadný systém . . . . .	23
1.2 Kinematická transformace . . . . .	23
1.2.1 Přímá transformace . . . . .	23
1.2.2 Nepřímá transformace . . . . .	23
1.3 Kinematiky používané v aditivní výrobě . . . . .	23
1.3.1 Kártézská . . . . .	23
1.3.2 Portálová (gantry) . . . . .	23
1.3.3 CoreXY . . . . .	23
1.3.4 CoreXZ . . . . .	23
1.3.5 SCARA . . . . .	23
1.3.6 Delta . . . . .	23
<b>2 Implementace kinematiky scara do Klippy</b>	<b>25</b>
2.1 Inverzní kinematika . . . . .	25
<b>Závěr</b>	<b>27</b>
<b>Literatura</b>	<b>29</b>
<b>Seznam symbolů a zkratk</b>	<b>31</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>33</b>



## Seznam obrázků





# Seznam tabulek



## Seznam výpisů



# Úvod

Tato práce se zabývá konstrukcí a řízením 3D tiskárny s kinematikou SCARA. Základní model vychází z open-source projektu x-scara

Test cilu

# **1 Kinematika**

## **1.1 Souřadný systém**

## **1.2 Kinematická transformace**

### **1.2.1 Přímá transformace**

### **1.2.2 Nepřímá transformace**

[1]

## **1.3 Kinematiky používané v aditivní výrobě**

### **1.3.1 Kártézská**

### **1.3.2 Portálová (gantry)**

Portálová kinematika je v současné době nejrozšířenější kinematika a to díky jednoduchosti konstrukce a jednoduchosti kinematické transformace. Tato kinematika vyžaduje nejméně tři krokové motory. Tedy jeden pro každou z os. Nejpopulárnější je však tiskárna Prusa i3 navržena Josefem Průšou. Tento typ tiskáren využívá krokové motory čtyři, tím se eliminuje prověšení ramene osy x. Ačkoliv jsou tyto tiskárny kompaktní, tak při tisku vyžadují v ose y větší prostor pro pohyb podložky.

### **1.3.3 CoreXY**

### **1.3.4 CoreXZ**

### **1.3.5 SCARA**

### **1.3.6 Delta**





## 2 Implementace kinematiky scara do Klippy

### 2.1 Inverzní kinematika

Pro další výpočty je potřebné znát Elbow Crosstalk Ratio (převodový poměr ozubených řemenic v ose ramene vůči řemenici v ose kloubu).

$$ECR = \frac{n_S}{n_E} \quad (2.1)$$

Nejprve je třeba kompenzovat offset polohy TCP v osách x a y.

Dalším krokem je výpočet vzdálenosti od počátku.

$$hypot = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2.2)$$

Dále se vypočítají úhly ramen  $\phi_S$  (shoulder) a  $\phi_E$  (elbow).

$$\phi_S = \arctan2(x, y) - \arccos\left(\frac{x^2 + y^2 + L_1^2 - L_2^2}{2 \cdot L_1 \cdot hypot}\right) [\text{rad}] \quad (2.3)$$

kde  $L_1$  a  $L_2$  jsou délky ramen.

$$\phi_E = \frac{\phi_S}{ECR} + \arccos\left(\frac{x^2 + y^2 + L_1^2 + L_2^2}{2 \cdot L_1 \cdot L_2}\right) [\text{rad}] \quad (2.4)$$

kde  $ECR$  je Elbow Crosstalk Ratio,  $L_1$  a  $L_2$  jsou délky ramen.

Následně stačí převést úhel v radiánech na stupně.

$$\Phi_S = \phi_S \cdot \frac{180}{\pi} [^\circ] \quad (2.5)$$

$$\Phi_E = \phi_E \cdot \frac{180}{\pi} [^\circ] \quad (2.6)$$



# **Závěr**

Shrnutí studentské práce.



# Literatura

- [1] Kolíbal, Z.: *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, první vydání. vydání, 2016, ISBN 978-80-214-4828-5.



# Seznam symbolů a zkratek

**KolikMista** pouze ukázka vyhrazeného místa

**TCP** poloho koncového bodu – Tool Center Point

$f_{vz}$  vzorkovací kmitočet





## Seznam příloh