

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**Digitální dvojče strojního zařízení**

Vojtěch Kratochvíl

Bakalářská práce

2021

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2020/2021

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vojtěch Kratochvíl**  
Osobní číslo: **I18081**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Řízení procesů**  
Téma práce: **Digitální dvojče strojního zařízení**  
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

## Zásady pro vypracování

Cíl práce: Vytvořit digitální dvojče strojního zařízení, propojit jej nejprve se simulátorem PLC a poté také s PLC použitým v řídicím systému zařízení.

Obsah teoretické části: Student provede řešení v oblastech tvorby počítačových modelů reálných zařízení (digitálních dvojčat), programovatelných logických automatů (PLC) a standardu Open Platform Communications – Unified Architecture (OPC UA).

Obsah praktické části: V praktické části student:

1. Vytvoří počítačový model reálného strojního zařízení (digitální dvojče) v návrhovém softwaru Mechatronic Concept Designer (MCD).
2. Propojí simulátor řídicího systému PLC Siemens S7-1500 prostřednictvím komponenty S7- PLC-SIM Advanced s modelem v MCD a ověří algoritmus řídicího programu.
3. Nakonfiguruje a ověří komunikaci externího řídicího PLC Siemens ET200SP prostřednictvím komunikačního rozhraní OPC UA s fyzikálním modelem v MCD.
4. Vytvoří knihovnu standardních funkčních prvků pro obecné použití v MCD.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

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

Seznam doporučené literatury:

NOSKIEVIČ, Petr. Modelování a identifikace systémů. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-7225-030-2.

ŠMEJKAL, Ladislav. PLC a automatizace. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-087-3.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Daniel Honc, Ph.D.**

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

**27. listopadu 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**14. května 2021**

**Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.** v.r.  
děkan

L.S.

**Ing. Daniel Honc, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. ledna 2021

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnici Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10. 12. 2022

Vojtěch Kratochvíl

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat společnosti K2 Machine a jejím zaměstnancům za zprostředkování potřebného vybavení a odborné rady v průběhu práce. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Danielu Honcovi, Ph.D. za pomoc se zpracováním tématu a své rodině za podporu během studia.

V Pardubicích dne 10. 12. 2022

Vojtěch Kratochvíl

## **ANOTACE**

*Tato práce se věnuje problematice tvorby digitálního dvojčete. V teoretické části je rozebrán princip vytváření, důvod pro tvorbu a využití digitálního dvojčete. V praktické části této práce byl použit 3D model reálného jednoúčelového stroje. Virtuální oživení modelu bylo provedeno pomocí programu NX Mechatronics Concept Designer a pro řízení byl využit program SIMATIC S7-PLCSIM Advanced V3.0. Řídicí algoritmus byl vytvořen v programu Totally Integrated Automation Portal V16.*

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

*digitální dvojče, mechatronics concept designer, plc, simulace.*

## **TITLE**

*DIGITAL TWIN OF MACHINERY*

## **ANNOTATION**

*This thesis is focused on the topic of creating a digital twin. In the theoretical part, the principle, reason for creating and using of a digital twin is described. In the practical part of this thesis, a 3D model of a real single-purpose machine was used. The virtual animation of the machinery was done using the program NX Mechatronics Concept Designer and the model was controlled by the program SIMATIC S7-PLCSIM Advanced V3.0. The control algorithm was created in Totally Integrated Automation Portal V16.*

## **KEYWORDS**

*digital twin of machinery, mechatronics concept designer, plc, simulation.*

## OBSAH

	Seznam zkratk a značek .....	9
	Seznam ilustrací .....	10
	ÚVOD .....	11
1	TEORETICKÁ ČÁST .....	12
1.1	Digitální dvojče .....	12
1.1.1	Simulace .....	12
1.1.2	Sledování .....	13
1.2	Mechatronics Concept Designer .....	13
1.3	OPC UA .....	13
1.4	PLC .....	14
1.5	TIA Portal .....	15
1.6	Software a Hardware in the loop .....	15
2	ŘEŠENÍ .....	17
2.1	Virtuální model .....	17
2.1.1	Zásobník .....	18
2.1.2	Vstupní manipulátor .....	19
2.1.3	Zakládací lůžko .....	20
2.1.4	Podávání .....	21
2.1.5	Lisování .....	21
2.1.6	Řezání .....	22
2.1.7	Výstupní manipulátor .....	22
2.2	Konfigurace modelu .....	23
2.2.1	Basic Physics .....	23
2.2.2	Joints and Constraints .....	24
2.2.3	Sensors and Actuators .....	26
2.2.4	Signals .....	29
2.3	PLC program .....	31
2.3.1	Konfigurace .....	31
2.3.2	Obsluha výstupů .....	33
2.3.3	Algoritmus .....	34
2.3.4	HMI .....	35
2.4	Propojení modelu s řídicí jednotkou .....	36

2.4.1	Propojení S7-PLCSIM Advanced s MCD .....	36
2.4.2	Propojení reálného PLC s MCD pomocí OPC UA.....	37
2.5	Knihovna funkčních prvků.....	38
3	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY .....	40
4	ZHODNOCENÍ.....	41
5	ZÁVĚR .....	42
	POUŽITÁ LITERATURA.....	43
	PŘÍLOHY .....	44



## **SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK**

MCD	Mechatronic Concept Designer
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal
PLC	Programovatelný logický automat
HMI	Human machine interface

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 2.1 – 3D model jednoúčelového stroje .....	17
Obr. 2.2 – Sestava zásobníku.....	18
Obr. 2.3 – Sestava vstupního manipulátoru .....	19
Obr. 2.4 – Sestava základacího lůžka .....	20
Obr. 2.5 – Sestava podávání vláken.....	21
Obr. 2.6 – Sestava lisování .....	21
Obr. 2.7 – Sestava řezání .....	22
Obr. 2.8 – Sestava Výstupního manipulátoru.....	22
Obr. 2.9 – Nastavení Rigid Body.....	23
Obr. 2.10 – Pohyblivé části sestavy .....	24
Obr. 2.11 – Sliding Joint.....	25
Obr. 2.12 – Hinge Joint.....	25
Obr. 2.13 – Position Control, lineární.....	26
Obr. 2.14 – Position Control, rotační.....	27
Obr. 2.15 – Limit Switch, lineární .....	28
Obr. 2.16 – Limit Switch, rotační .....	29
Obr. 2.17 – Signal, aktuátor .....	30
Obr. 2.18 – Signal, snímač.....	30
Obr. 2.19 – Konfigurace řídicího PLC .....	31
Obr. 2.20 – Propojení HMI displeje s řídicím PLC .....	32
Obr. 2.21 – Nastavení vstupů a výstupů PLC pro sestavu vstupního manipulátoru.....	32
Obr. 2.22 – Programové ovládání vstupů a výstupů PLC .....	33
Obr. 2.23 – Ukázka z řídicího algoritmu PLC .....	34
Obr. 2.24 – HMI displej.....	35
Obr. 2.25 – PLCSIM Advanced.....	36
Obr. 2.26 – Signal Mapping, PLCSIM Advanced.....	37
Obr. 2.27 – Reálné PLC.....	38
Obr. 2.28 – Signal Mapping, reálné PLC .....	38
Obr. 2.29 – Nastavení pístu v knihovně.....	39

## ÚVOD

Tato práce je věnována problematice spojené s tvorbou digitálních dvojčat, která se v dnešní době v průmyslu využívají k efektivnějšímu vývoji a přesnějšímu odhadu chování fyzických zařízení.

Cílem této práce je vytvořit počítačový model reálného strojního zařízení a v softwaru Mechatronic Concept Designer nastavit tomuto modelu fyzické vlastnosti potřebné ke zprovoznění. Tento model bude řídit simulované PLC Siemens S7-1500 prostřednictvím programu S7-PLC-SIM Advance, ve kterém bude nahraný řídicí systém fyzického dvojčete vytvořený v programu Siemens TIA Portal. Dále se ověří řídicí algoritmus propojením virtuálního modelu v MCD prostřednictvím komunikačního rozhraní OPC UA s reálným PLC Siemens ET200SP. Součástí práce bude také vytvoření knihovny standardních funkčních prvků pro obecné využití v MCD.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 DIGITÁLNÍ DVOJČE

Digitální dvojče je virtuální reprezentací nějakého reálného fyzického zařízení, která umožňuje simulovat vlastnosti a chování daného modelu ještě před tím, než toto zařízení fyzicky vznikne. Virtuální model lze vytvořit a simulovat do potřebné hloubky přesnosti fyziky. K simulaci se využívají matematické formulace a fyzikální modely daného problému. Obvykle je cílem využít co nejjednodušších formulací a rovnic, které nám poskytnou dostatečně přesný výsledek pro vyhodnocení námi zvoleného kritéria simulace a zároveň jejich sestavení a simulování v dostatečně krátké době. Vzhledem k neustálému a velmi rychlému vyvoji v oblasti tvorby digitálních dvojčat lze v dnešní době napodobit funkci některých zařízení velmi věrně, záleží ovšem na typu stroje, jakou práci vykonává nebo s jakými materiály pracuje.

### 1.1.1 Simulace

Model lze využít již během vývoje stroje a jeho hlavním přínosem je urychlení, zkvalitnění a zlevnění vývoje a výroby výsledného stroje. Urychlení vývoje je možné díky snadné a rychlé změně modelu a možnosti využití široké škály optimalizačních metod pro nalezení ideálního řešení ve velmi krátké době. Také můžeme stanovit dobu výrobního cyklu stroje, což je velice důležité pro odhad a plánování výroby.

Vyšší kvality výsledného produktu lze dosáhnout mimo jiné díky možnosti sledovat i jinak prakticky neměřitelné nebo velmi obtížně měřitelné (ať už z důvodu finanční náročnosti nebo fyzického omezení v případě destruktivních měřicích metod) parametry a tím mít možnost optimalizovat proces pro zkvalitnění i těchto parametrů. Pro takovéto měření je však potřeba dobře znát a správně popsat daný problém, jelikož není možné tento odhad reálně ověřit (ve většině případů).

Zlevnění vývoje se váže především k vyšší rychlosti zhotovení stroje, ale také k možnosti využití levnějších materiálů a metod zpracování daného problému. Toho je možné dosáhnout simulací krajních stavů, ve kterých by se stroj neměl nikdy nacházet, a ověřit tak jeho chování i v nepředpokládaných situacích.

Další výhodou je možnost simulace řízení celého stroje. Příprava řídicího algoritmu nám umožní jeho snadné a rychlé odladění, případné doplnění potřebného hardwaru. I samotný řídicí systém obvykle simulujeme, abychom mohli učinit rozhodnutí, zda námi zvolený typ řídicího systému je dostačující pro naši aplikaci, nebo je třeba využít jiného typu.

### **1.1.2 Sledování**

Při simulaci modelu zároveň s reálným strojem se naměřená data ze senzorů vkládají přímo do modelu. Následně můžeme provádět simulaci v reálném čase nebo simulovat budoucí chování stroje.

Simulaci v reálném čase provádíme pro odhad neměřených veličin a možnosti vzdáleně sledovat chování stroje. Je možné následně vylepšit řízení na základě odhadovaných veličin nebo detekci potenciálně nebezpečných stavů (například poškození stroje) a tím možnost zastavit chod stroje, aby nedošlo k dalšímu poškození nebo újmě na zdraví.

Simulace budoucího chování stroje se využívá pro včasnou detekci možného poškození stroje, jejímž prostřednictvím je možné včas jej předem odstavit a provést servisní zásah ještě v době bezchybného chodu stroje. V případě snižující se kvality vyráběného produktu lze snadno odhalit příčinu a následně tuto chybu odstranit. (BAKER, B., 2021)

## **1.2 MECHATRONICS CONCEPT DESIGNER**

Firma Siemens vyvíjí soubor softwarů NX, jenž poskytují společností zaměřujícím se na automatizační výrobu, velmi vyspělé prostředky v oblasti tvorby počítačových simulací. Výhodou tohoto balíčku je možnost souběžného vývoje, jak mechanické, tak elektronické a automatizační části virtuálního zařízení.

Jedním z těchto softwarů je právě Mechatronics Concept Designer, který se zaměřuje na modelování a simulaci fyzických vlastností vyvíjených zařízení. Jeho předností je kompatibilita s velkou částí běžných 3D modelovacích programů a umožňuje vytvořit a ověřit celkovou funkčnost digitálního dvojčete. Při tomto procesu umožňuje zároveň odhalit případné chyby a problémy, které by se mohly naskytnout při budoucí stavě fyzického dvojčete. (SIEMENS, 2022)

## **1.3 OPC UA**

Jde o průmyslový komunikační standard ve velké míře implementovaný a používaný v PLC a HMI od mnoha významných výrobců. Na rozdíl od starší verze OPC DA, která využívala technologii COM/DCOM od firmy Microsoft, je uživatelsky přívětivá a její zprovoznění je poměrně jednoduché. Standard není vázán na konkrétní software, tudíž lze využít na různých platformách a umožňuje komunikaci M2M (machine to machine). Oproti

staršímu standardu definuje pouze formát předávaných zpráv a tudíž umožňuje přenášení procesních dat, alarmů a historických dat.

Komunikace je založena na klient-server principu. Protokol je specifikován jako služba, což znamená, že server poskytuje služby na které se klient může dotazovat a server reaguje příslušnou odpovědí. Během celé komunikace je potřeba, aby probíhala po zabezpečeném kanálu.

Aby byla komunikace funkční, je potřeba implementovat pouze základní část nutnou pro provoz a další funkce, které protokol umožňuje, lze později doplnit dle potřeby. Server vždy musí být schopen informovat klienta o podporovaných službách a použitém kódování, zabezpečení a další možné specifikace protokolu. (VOJÁČEK, A., 2020)

## 1.4 PLC

Programovatelný logický automat je průmyslový počítač, který slouží k řízení různých procesů, jako je například výrobní linka nebo zabezpečovací technika. Jeho předností je především odolnost vůči vnějším vlivům, jako například změna teploty nebo elektromagnetické rušení, a vysoká spolehlivost, díky čemuž jsou vhodné i do nehostinného prostředí nebo na bezpečnostní aplikace.

PLC se skládá z procesoru, operační a programové paměti, vstupních a výstupních modulů a dalších komunikačních modulů. Tyto počítače jsou vyráběny ve dvou variantách. Kompaktní řešení obsahuje všechny potřebné části, ale obvykle uživatel nemá možnost rozšířit své řešení o další moduly. Druhou variantou je modulární systém, který obsahuje základní jednotku s procesorem a pamětí (někdy i omezené množství vstupů a výstupů) a další moduly lze kdykoliv jednoduše přidat dle potřeby dané aplikace.

Program v automatu je prováděn ve třech krocích. V prvním kroku dojde k načtení všech vstupů a jejich zapamatování. Následně dojde k postupnému vykonání programu, kde se průběžně ukládají požadované výstupy a až nakonec po vykonání celého programu se teprve zapíší požadované hodnoty na výstup. Tento princip nám zajišťuje bezchybnou funkci a udržení konzistence při provádění řídicího algoritmu (nedochází ke změnám vstupů a výstupů při vyhodnocování prováděného algoritmu). Průběh celého provádění tohoto cyklu má pevný garantovaný časový rámec, což znamená, že je zaručeno pravidelné a vždy včasné nastavení výstupů, pomocí kterých je daný proces řízen. (DREAMland, 2021)

## 1.5 TIA PORTAL

Programovací prostředí TIA Portal umožňuje vytvářet a nahrávat programy do PLC od firmy Siemens. Je možné využít několika programovacích jazyků, které lze i kombinovat dle potřeby.

- A) Žebříkový diagram: Jeden z nejpoužívanějších typů kvůli své jednoduchosti, jednoznačnosti a především přehlednosti. Jde o softwarové napodobení původně používané reléové logiky. Standardně signál postupuje zleva doprava skrze kontakty, výstupy a funkční bloky. V případě, že kontakt není sepnutý, tak se signál nedostane dále, funkční bloky obvykle mívají aktivní výstup v případě, že je daný blok aktivován a jejich funkce je realizována pomocí proměnných, které je dále třeba použít například jako kontakt nebo výstup.
- B) Diagram funkčních bloků: Funkční bloky jsou využívány pro pokročilejší funkce. Jedním z hlavních důvodů využití je možnost práce s číselnými a znakovými proměnnými. Funkční bloky jsou často používané díky velké přehlednosti a především vysoké rychlosti vytvoření samotného programu a možnosti snadno řešit složité problémy.
- C) Sekvenční vývojový diagram: Je často používán spíše pro popis problému než pro jeho řešení. Jde o velice přehledný programovací jazyk, který je snadno pochopitelný hlavně pro začínající uživatele. Jeho nevýhodou je především grafická rozsáhlost a zhoršující se přehlednost při řešení složitých problémů.
- D) Strukturovaný text: Jazyk umožňující efektivně řešit nejsložitější problémy. V praxi je méně oblíbený z velké části kvůli menší přehlednosti a potřebě větší znalosti tzv. čistého kódu (jde o pravidla psaní kódu tak, aby byl dobře čitelný) pro možnost spolupráce více lidí na jednom projektu nebo jeho pozdější snadnější úpravu. (FAYLOR, J., 2022)

## 1.6 SOFTWARE A HARDWARE IN THE LOOP

V oblasti testování softwaru se můžeme setkat se dvěma pojmy, hardware in the loop a software in the loop. Základní přístup obou metod je velice podobný. Jde o testování funkce řídicího softwaru pomocí předem definovaných posloupností vstupních signálů a ověřování výstupních signálů, zda odpovídají předpokládaným hodnotám.

- A) Software in the loop: Dnes velmi často využívaná metoda z důvodu především nižší finanční a časové náročnosti testování. Nejprve se ověřují funkce

jednotlivých logických částí nezávisle na použitém hardwaru. V případě úspěšného testování principů algoritmů je dále testováno chování na simulované řídicí jednotce, kde je ověřováno, zda je zvolený hardware schopen zvládnout vyhodnotit vstupy pomocí použitého algoritmu s dostupnou pamětí a výpočetním výkonem.

- B) Hardware in the loop: Takto se nazývá způsob, kdy je prováděno ověřování algoritmu přímo na zvoleném hardwaru, a proto algoritmus není testován jenom principiálně, ale zároveň je ověřována jeho funkčnost v předpokládané finální hardwarové podobě. Na rozdíl od metody software in the loop jsou výsledky testování zcela přesné a odpovídají realitě. (VOJÁČEK, A., 2021)



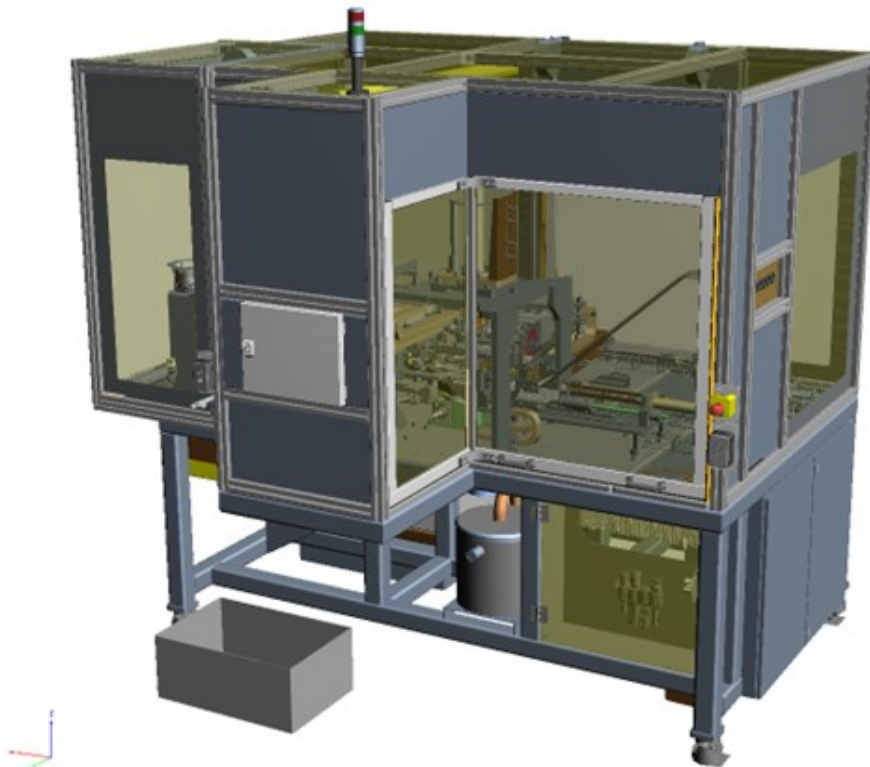
## 2 ŘEŠENÍ

V této práci oproti běžné praxi bylo digitální dvojčte vytvořeno k fyzickému dvojčeti, které již bylo reálně vyrobeno. Tento postup zpětné tvorby digitálního dvojčete k již hotovému stroji, byl zvolen z důvodu otestování používaného softwaru a hardwaru a ověření jeho funkčnosti.

### 2.1 VIRTUÁLNÍ MODEL

Jedná se o automatický výrobní stroj sloužící ke kompletaci mopových hlav, navržený na míru pro zákazníka společností K2 Machine, která se zabývá touto problematikou.

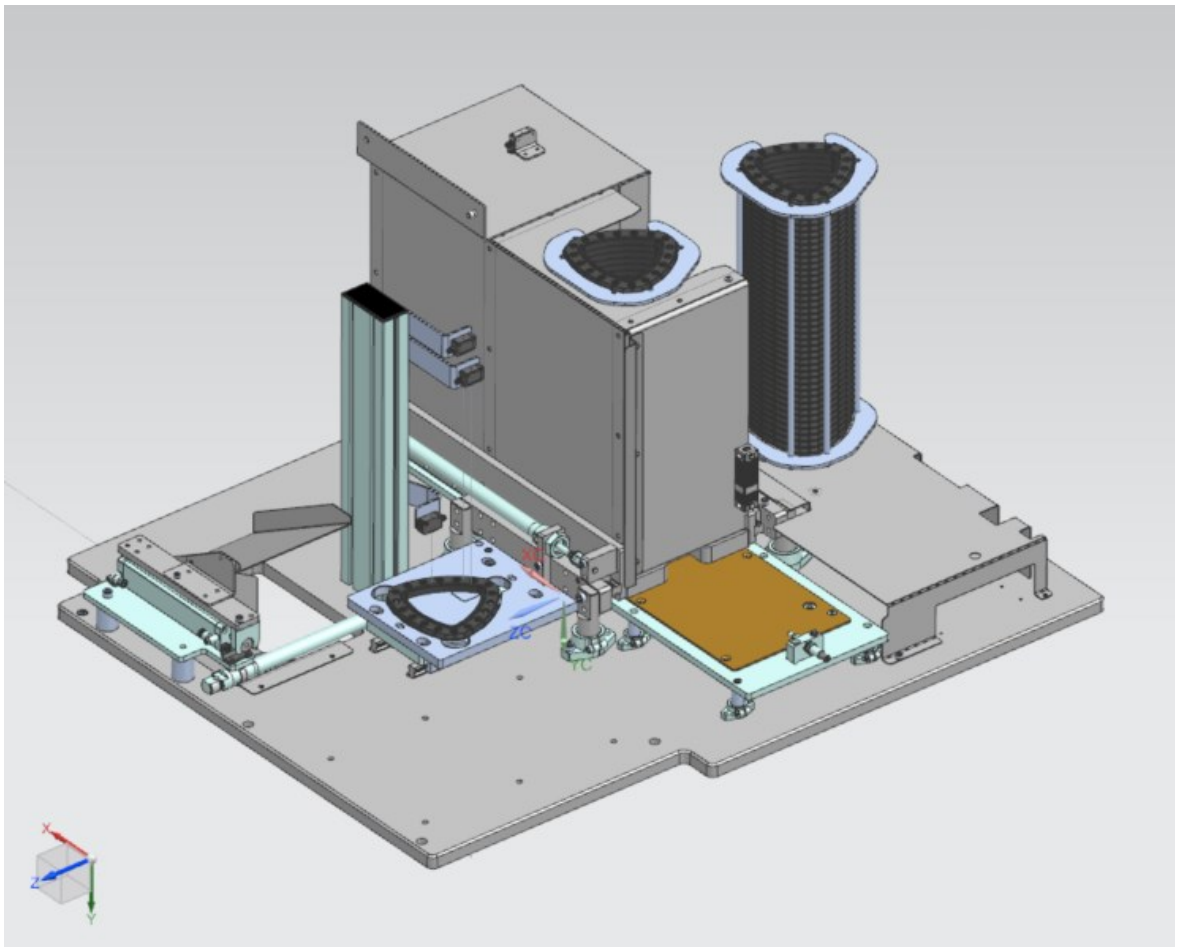
Hlavní částí tohoto stroje je karuselové zakládací lůžko, do kterého je automaticky umístěn rámeček mopové hlavy. Do tohoto rámečku jsou následně podávána a zalisována vlákna mopy, která lze uříznout v libovolné délce. Po tomto procesu je hotový díl automaticky odebrán manipulátorem a je připraven k dalšímu zpracování.



Obr. 2.1 – 3D model jednoúčelového stroje

### 2.1.1 Zásobník

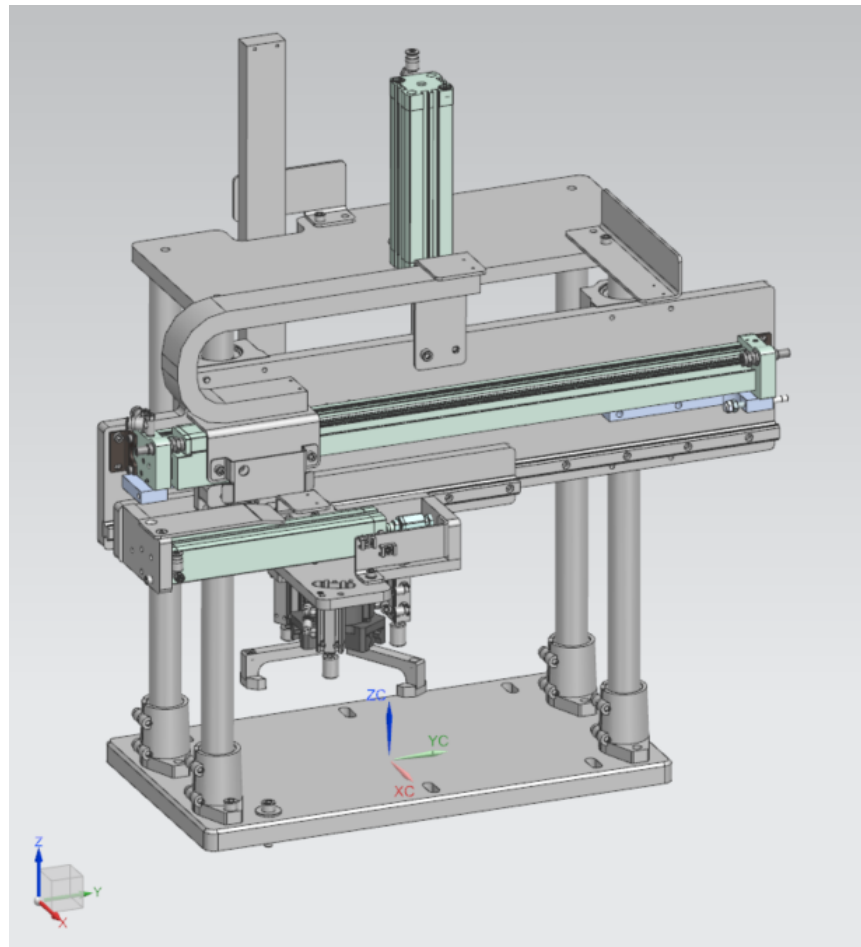
Výrobní proces mopové hlavy začíná v sestavě zásobníku, kde se nachází z pohledu řízení 3 pohybové osy. První je zásobník jako takový, kde jsou dva sloupce s díly a po vyprázdnění jednoho sloupce píst přesune stanici k odebrání dílů z druhého sloupce. Druhou pohybovou osou je zakládací lůžko, které se pohybuje pod zásobníkem a odebírání z něj jednotlivé díly. Poslední pohyblivou osou je zde odhazovací rampa, pomocí které se vyřazují díly detekované jako vadné.



Obr. 2.2 – Sestava zásobníku

## 2.1.2 Vstupní manipulátor

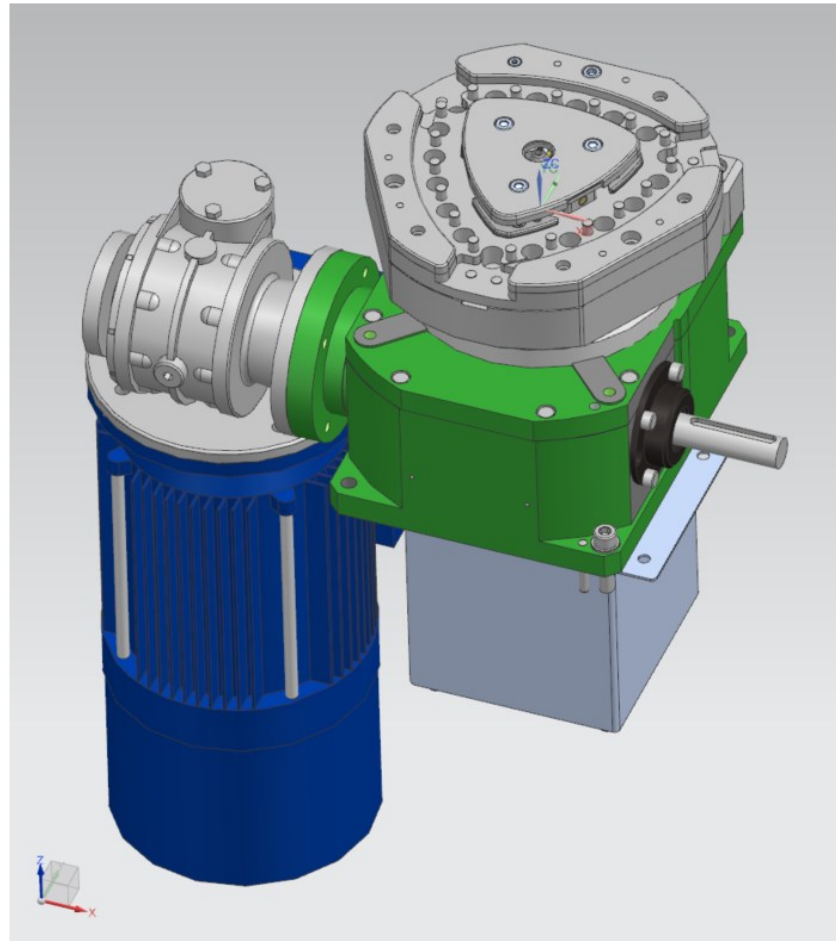
Ze základního lůžka je díl odebrán vstupním manipulátorem, který se skládá ze šesti pohyblivých os. Základem je uchopovací čelist s přítlačným válcem, která odebírá, nese a pokládá díl. Čelist se pohybuje pomocí jednoho válce po vertikální ose a pomocí dvou válců po horizontální ose. Jeden pohyb slouží k odhození vadného dílu a druhým pohybem se pokládá díl na základní lůžko.



Obr. 2.3 – Sestava vstupního manipulátoru

### 2.1.3 Zakládací lůžko

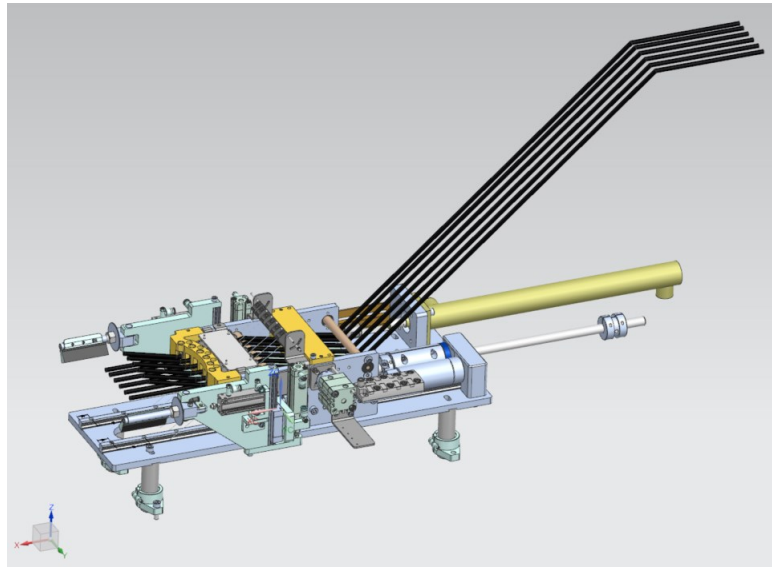
Hlavní částí stroje je zakládací karuselové lůžko, na který je položen plastový rámeček podavačem. Lůžko se otáčí o 120° tak, aby byla zalisována každá strana jeho trojúhelníku. Druhou osou je válec sloužící k zajištění dílu na lůžku.



Obr. 2.4 – Sestava zakládacího lůžka

### 2.1.4 Podávání

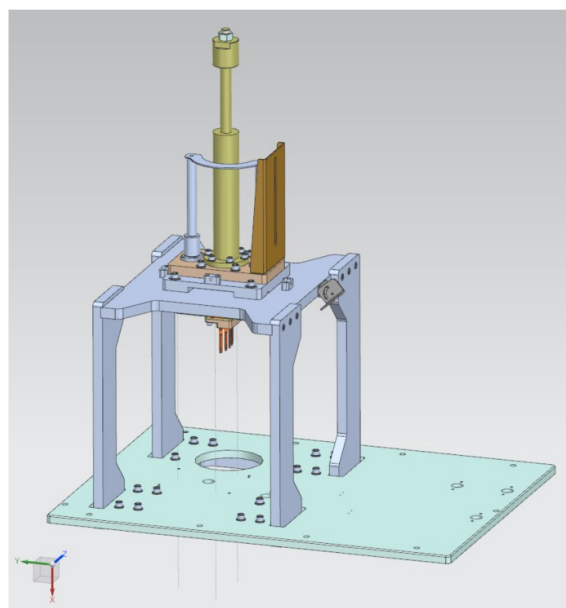
V sestavě podávání se nachází jeden hlavní válec, který celým zařízením pohybuje. Dále tato sestava obsahuje píst pro zajištění vláken při lisování a soustavu válců se zařízením pro lepší umístění vláken na plastový rámeček.



Obr. 2.5 – Sestava podávání vláken

### 2.1.5 Lisování

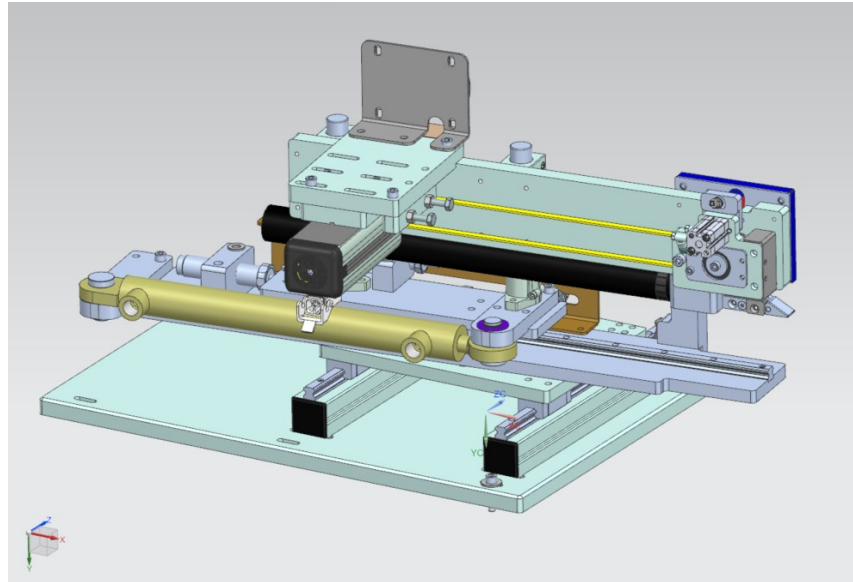
Sestava lisování pracuje pouze s jedním vertikálním pístem. Na této ose se vykonává zalisování vláken do rámečku.



Obr. 2.6 – Sestava lisování

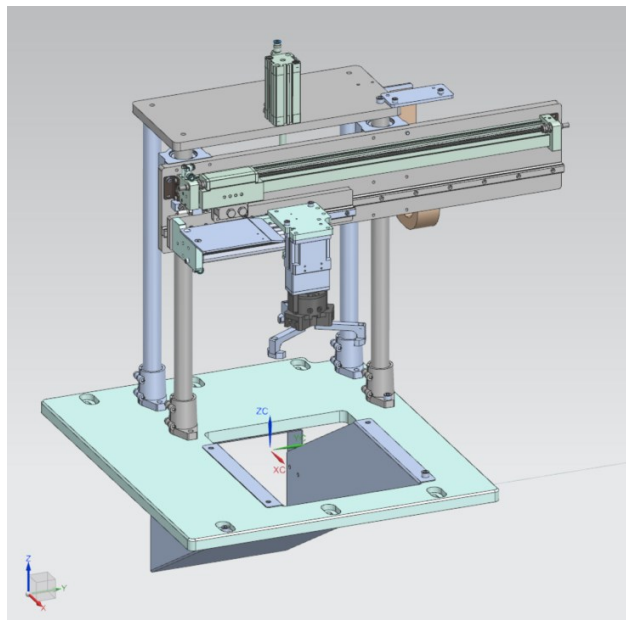
## 2.1.6 Řezání

Sestava řezání má jeden hlavní píst pro pohyb a dále je zde připojen řezací kotouč, který obsahuje samobrusné zařízení s osou ovládanou jedním pístem.



Obr. 2.7 – Sestava řezání

## 2.1.7 Výstupní manipulátor



Obr. 2.8 – Sestava Výstupního manipulátoru

Hotový díl je ze základního lůžka odebrán výstupním manipulátorem. Oproti originálnímu modelu fyzického dvojčete musela být uchopovací čelist upravena z důvodu

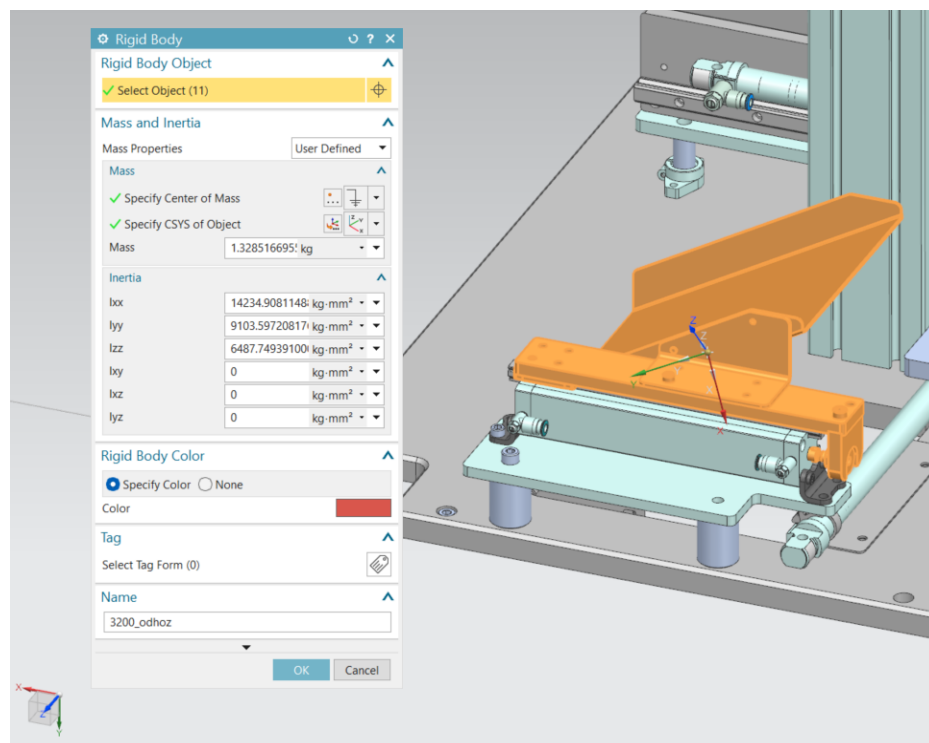
nemožné softwarové simulace měkkých vláken v programu MCD. Místo původní čelisti, která uchopovala hotový díl za vlákna, byla čelisti vyměněna za stejnou jako u vstupního manipulátoru. Všechny ostatní osy fungují velice podobně jako vstupní manipulátor.

## 2.2 KONFIGURACE MODELU

Proto, aby 3D model získal vlastnosti napodobující skutečné chování fyzického stroje, byl použit návrhový software Siemens NX Mechatronics Concept Designer. Již vytvořený 3D model byl v tomto softwaru nakonfigurován pro následné rozpořádání a propojení s řídicím systémem.

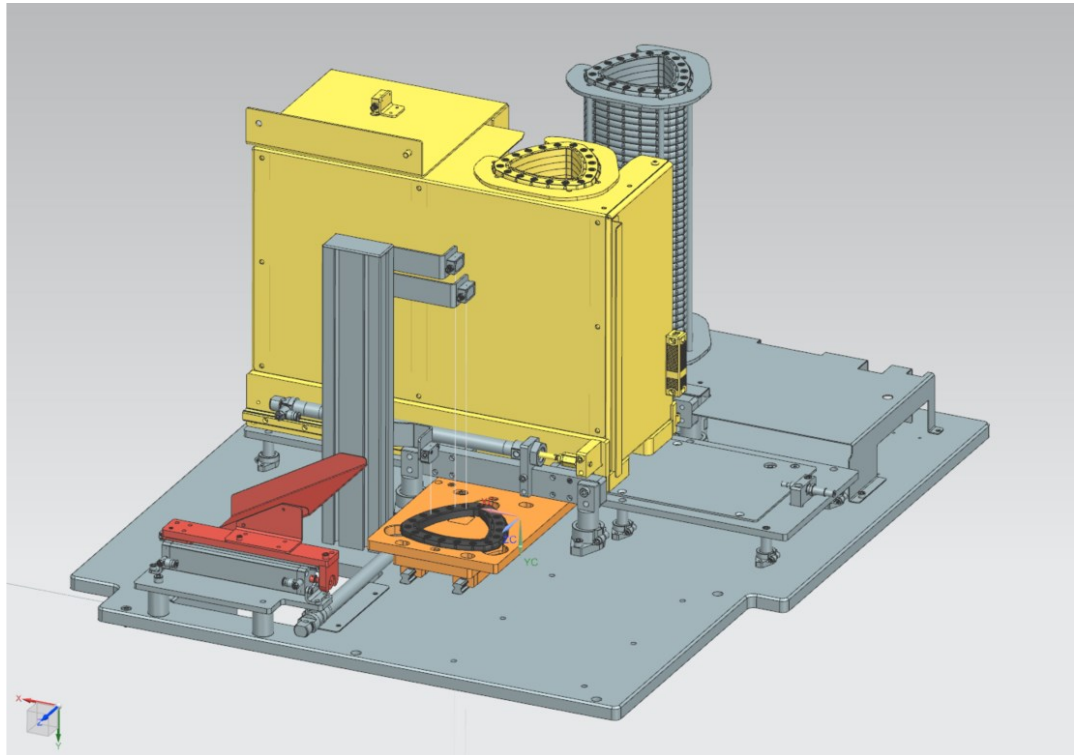
### 2.2.1 Basic Physics

Prvním krokem při konfiguraci modelu v softwaru NX MCD je nastavení Basic Physics neboli nastavení základní fyziky. Každý jednotlivý díl, ze kterých se model skládá (např. plášť pístu, pístnice, podložka, matka) je v programu jako samostatná část nahraná z knihovny a pomocí funkce Rigid Body je potřeba pro simulaci určit, které díly mají mezi sebou pevný spoj. Zde je možné nastavit fyzikální vlastnosti částí modelu, jako je hmotnost a těžiště. Pro účely této práce byl použit automatický výpočet, který je pro simulaci pohybu válců dostačující.



Obr. 2.9 – Nastavení Rigid Body

Na obrázku č. 2.9 je znázorněna odhazovací rampa, která se skládá z jedenácti dílů, její odhadovaná hmotnost je 1,3 kilogramů a poloha těžiště je vyznačena bodem.



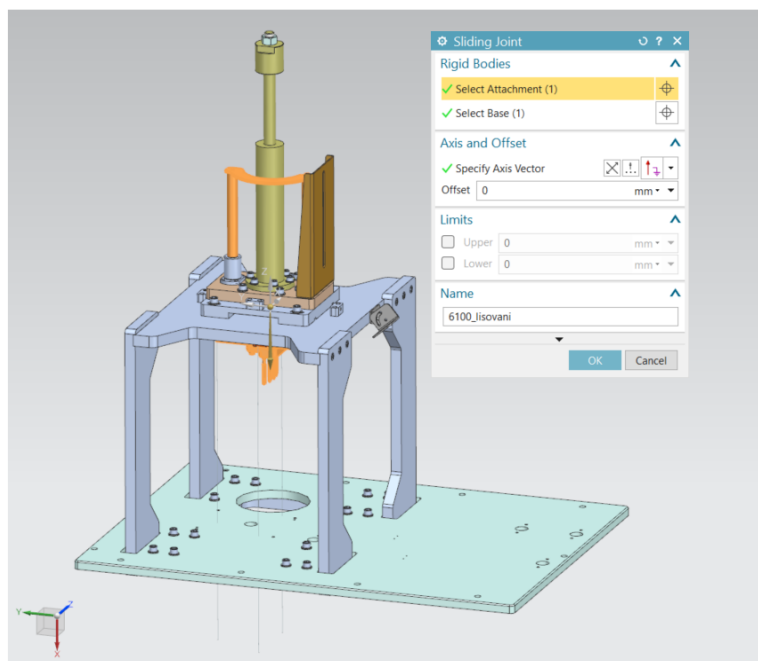
Obr. 2.10 – Pohyblivé části sestavy

Na obrázku č. 2.10 jsou barevně odděleny části sestavy zásobníku, které mají mezi sebou pevný spoj a pohybují se po vlastní ose.

## 2.2.2 Joints and Constraints

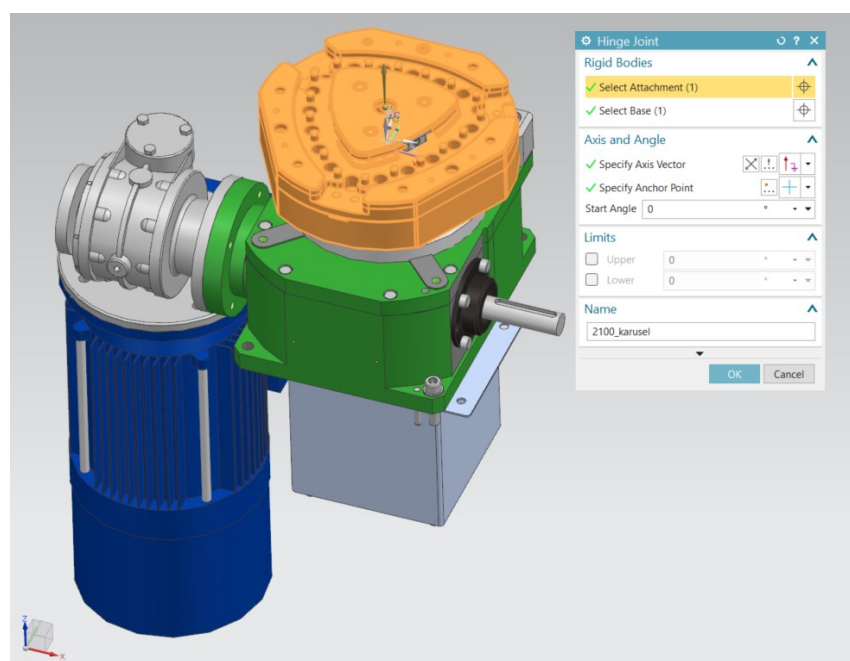
Následným krokem je nastavení Joints and Constraints (spoje a omezení), kterými určujeme způsob pohybu částí stroje a jejich omezení. Základní možností je pevná vazba Fixed Joint, která spojuje objekty, jenž se oproti sobě navzájem nepohybují, toho je využito pro základnu stroje. Velká část pohyblivých prvků modelu jsou písty, u nichž je využita vazba Sliding Joint spojující objekty pohybující se podél pevné lineární osy vzhledem k základně. Tento styl pohybu lze nastavit po hlavních osách a v případě neobvyklého směru pohybu také pomocí vektoru, nebo pomocí dvou vyznačených bodů.





Obr. 2.11 – Sliding Joint

Vazba Hinge Joint spojuje objekty pohybující se podél osy otáčení vůči základně. Toho je využito například u karuselového lůžka a u sestavy podávání pro lopatky sloužící k lepšímu umístění vláken. Střed osy otáčení lze nastavit pomocí vektoru nebo exstujících bodů v modelu a dále má program také možnost nastavení pohybu po křivce. U nastavení všech os lze dále nastavit limit rozsahu pohybů, které mohou sloužit jako zajištění v případě chyby v programu, špatného nastavení nebo mechanického omezení konkrétních zařízení.

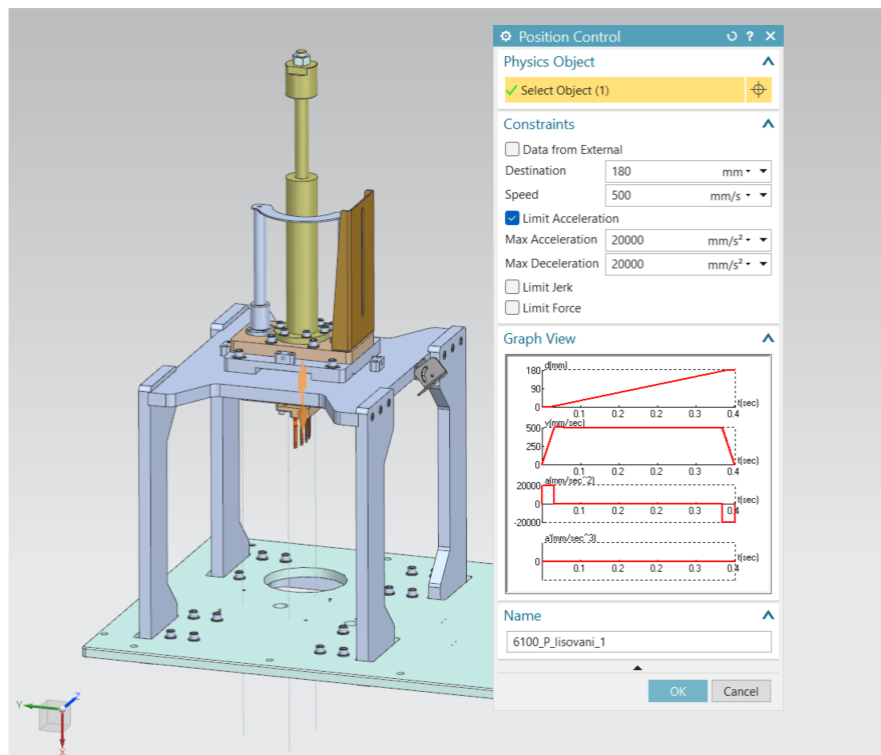


Obr. 2.12 – Hinge Joint

### 2.2.3 Sensors and Actuators

Nastavení senzorů a akčních členů, v záložce Sensors and Actuators, udává jak kvalitní a přesné bude celé napodobení funkce reálného stroje, z tohoto důvodu je pro simulaci tento bod stěžejní. V návaznosti na určení směru a způsobu pohybu jednotlivých částí z předchozího bodu se zde již nastavují vlastnosti požadovaného pohybu.

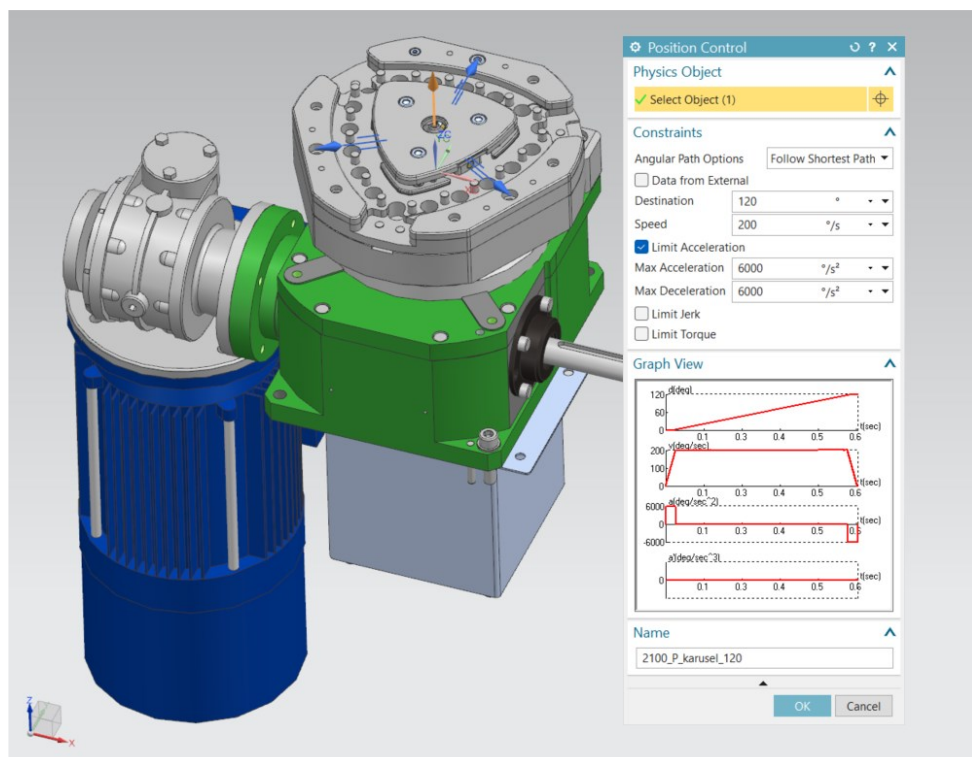
Ve funkci Position Control, neboli ovládání polohy, jsou nastaveny tři parametry: cíl pohybu, rychlost pohybu a limit akcelerace. Cíl pohybu určuje u funkčních prvků, jako jsou válce nebo karuselové lůžko, pozici, na kterou se má tento prvek po obdržení signálu přesunout. Rozsah pohybů těchto zařízení byl zjištěn z technického popisu a je zde nastaven v milimetrech. V praxi je velká část pístů poháněna pneumatikou a jejich rychlost je tedy nastavena pomocí hardwarových prvků a nebo se může při nezměněném nastavení lišit například z důvodu velké zátěže při pohybu po vertikální ose. Kvůli tomu, že se mohou rychlosti pístu při vysouvání a zasouvání lišit, je kontrolování pozice zařízení nastaveno pro každý pohyb jednotlivě. Tímto způsobem lze dosáhnout potřebného doladění času přesunů. Rychlost pohybu v kombinaci s nastavením akcelerace a decelerace určuje, jaký čas zabere, než se prvek přesune z počátečního do koncového bodu na své ose. Tento parametr je ztěžejní pro simulaci celého výrobního cyklu. Co nejpřesnější odhad byl proveden pomocí sledování funkce reálného dvojčete a měření doby trvání pohybů. Rychlost se u každého prvku může lišit z důvodu rozdílů



Obr. 2.13 – Position Control, lineární

ve velikostech pístů, odlišnosti zátěže na zařízení nebo na směru osy, po které se zařízení pohybuje. Nastavení zrychlení a zpomalení bylo provedeno na základě předpokladu fyzikálních zákonů a jedná se pouze o vizuální úpravu simulace pro přirozenější chování připomínající realitu. Přibližná doba přesunu pístů na celém stroji z jedné koncové polohy na druhou se pohybuje v rozmezí od jedné desetiny vteřiny do jedné vteřiny a vzhledem k účelům simulace jsou tyto hodnoty tedy zanedbatelné.

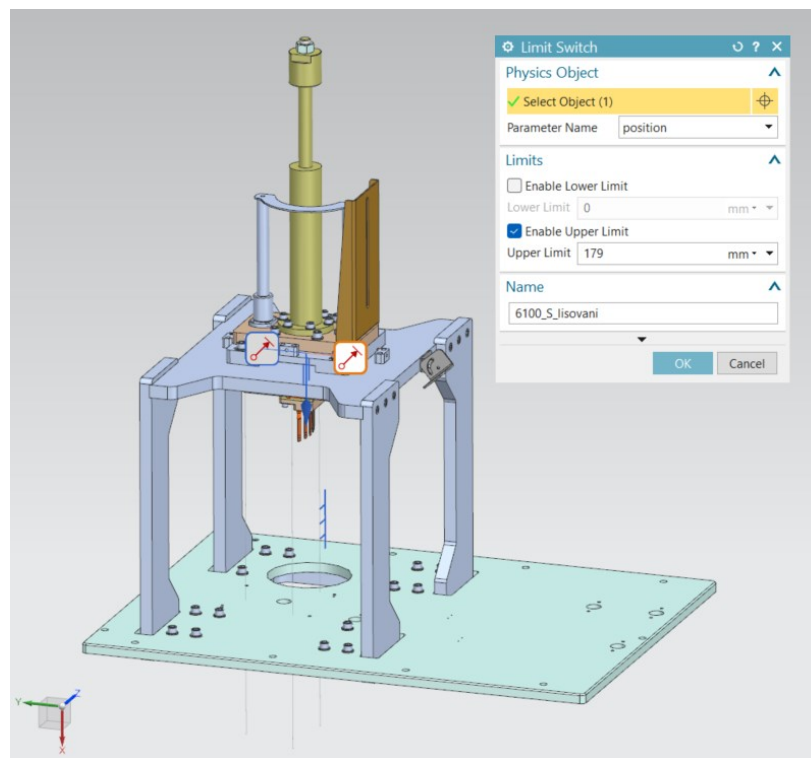
Na obr. 2.13 je znázorněno nastavení kontroly pozice pístu lisování, který se pohybuje po lineární ose. Automaticky generovaný graf vykresluje hodnoty délky času pohybu (0,4 s) a změnu rychlosti pohybu závislé na čase, podle kterých lze lépe nastavit chování digitálního dvojčete. Pro detailnější a přesnější simulace je v tomto softwaru dále možné nastavovat i další parametry jako například sílu tahu a tlaku v jednotkách Newton, která by mohla být využita při nastavení reálné fyziky pro otestování zátěže na válci. Pro účely této práce bylo ovšem dostačující nastavení pouze výše popisovaných parametrů.



Obr. 2.14 – Position Control, rotační

Na obr. 2.14 je znázorněno nastavení kontroly pozice karuselového lůžka, které se pohybuje podél osy otáčení, je zde nastavena úhlová rychlost ve stupních za vteřinu.

Pro získání zpětné vazby potřebné k řízení modelu byly nastaveny parametry Limit Switch neboli koncové spínače. Každá požadovaná poloha zařízení nastavená pomocí Position Control má k sobě přiřazen svůj snímač. Pro tyto účely byla vybrána možnost koncového spínače kontrolujícího polohu a do parametrů se zapisuje v milimetrech. Různým využitím této funkce lze pozici zařízení detekovat třemi způsoby. Lower Limit se sepne na požadovanou hodnotu, pokud je pozice válce menší než byla nastavena. Upper Limit se naopak sepne na požadovanou hodnotu v případě, pokud je pozice válce větší než byla nastavena. Pokud využijeme nastavení obou těchto parametrů naráz, lze detekovat pozici válce v určeném rozmezí. Dále je možné funkci Limit Switch využít i pro kontrolu jiných veličin, jako je například rychlost, akcelerace nebo točivý moment.

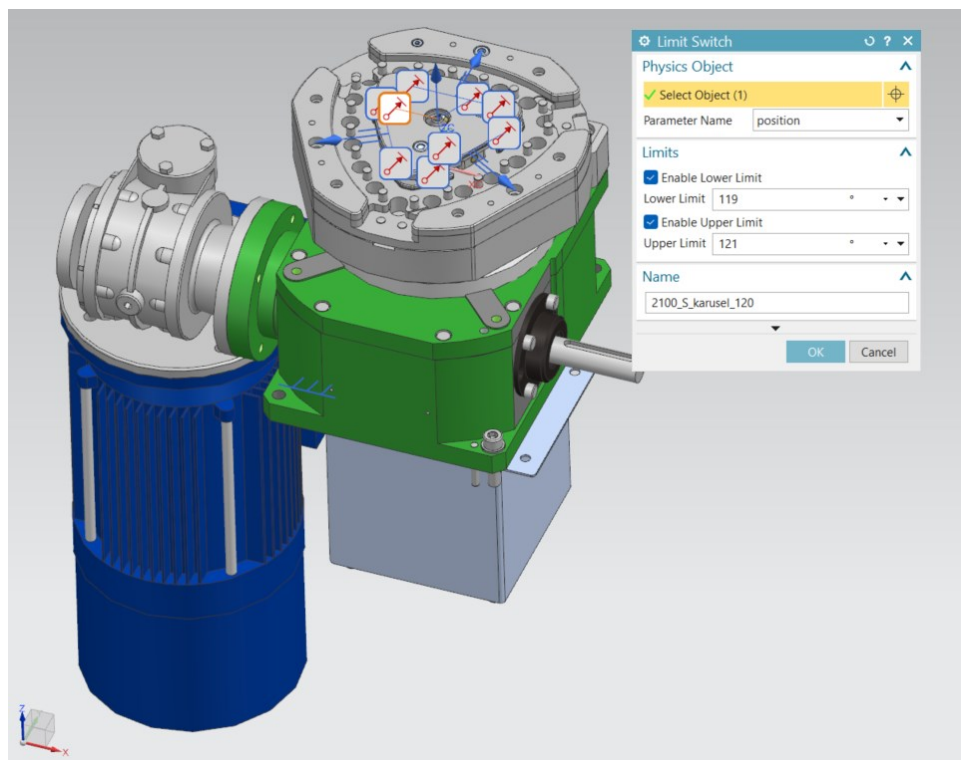


Obr. 2.15 – Limit Switch, lineární

Na obrázku 2.15 je znázorněn koncový spínač lisovacího válce pro detekci koncové polohy při vysunutí. U všech snímačů na zařízení byla nastavena rezerva jednoho milimetru pro maximální jistotu detekce, ovšem i při testování rezervy pouze 0,1 milimetru byla funkce simulace ve všech případech vždy bezchybná.

Pro detekci polohy karuselového lůžka byla využita výše popsaná možnost kombinace funkcí Lower Limit a Upper Limit. Zakládací lůžko se otáčí okolo své osy a vzhledem ke svému trojúhelníkovému tvaru má nadefinovány tři požadované přesuny na o 120° vzájemně

posunuté pozice. Z tohoto důvodu je nutné kontrolovat horní i spodní hodnotu zároveň. Na obrázku 2.16 je názorně ukázáno, že se funkce Limit Switch přepne na požadovanou hodnotu, pokud se senzor lůžka nachází mezi 119° a 121°. Díky softwarově přesnému ovládání pohybů bez vnějších vlivů, jako může být například tření, porucha pohonu či nepřesnost funkce a opotřebení zařízení, je zde zajištěno, že se pohyb vykoná pokaždé s naprostou přesností. Z tohoto důvodu by mohlo být rozmezí limitů pro sepnutí nastaveno i v řádech desetin stupňů. Pro správnou funkci simulace je ovšem naprosto dostačující i nastavení rozmezí jednoho stupně na každou stranu.

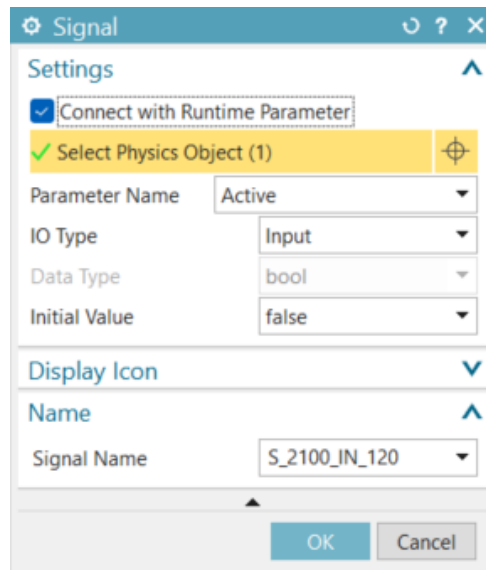


Obr. 2.16 – Limit Switch, rotační

## 2.2.4 Signals

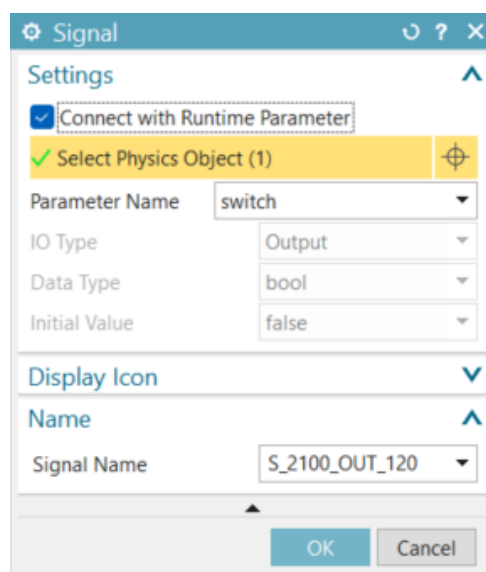
Na vytvořené senzory a akční členy jsou již připojeny signály sloužící pro propojení 3D modelu s řídicím algoritmem. Pojmenování těchto signálů se musí shodovat s pojmenováním proměnných v softwaru pro tvorbu řídicího algoritmu, aby bylo možné softwaru správně propojit. Pro každý válec v tomto modelu jsou nastaveny dva vstupní signály, které byly připojeny na akční členy Position Control. Jeden zajišťuje pohyb pístu pro vysunutí a druhý pro zasunutí. Při ovládání polohy karuselového lůžka jsou nastaveny tři pozice, proto má tento člen vlastní signál pro přesun na každou z těchto poloh. Na obrázku 2.17 lze vidět nastavení

signálu jako vstup a výchozí stav false. Po obdržení signálu (přepnutí do stavu true) od řídicího algoritmu se daný píst dostane do pohybu, až do chvíle, kdy dorazí na požadovanou pozici. Poté řídicí algoritmus opět přepne signál do stavu false a píst se zastaví.



Obr. 2.17 – Signal, aktuátor

Signály nastavené jako výstupy jsou připojeny na parametr Limit Switch. Na reálném zařízení je u válců zpětná vazba z velké části zajišťována indukčními či magnetickými čidly, která detekují pístnici, pokud se přiblíží do určitého bodu. Stejně je tomu u těchto simulovaných snímačů, které jsou vždy nastaveny pro detekci, zda je válec vysunutý, nebo zasunutý, a pro každý píst jsou zde tedy dva výstupní signály. Snímače na karuselovém zakládacím lůžku zde byly řešeny stejným způsobem a parametr byl nastaven jako switch.



Obr. 2.18 – Signal, snímač

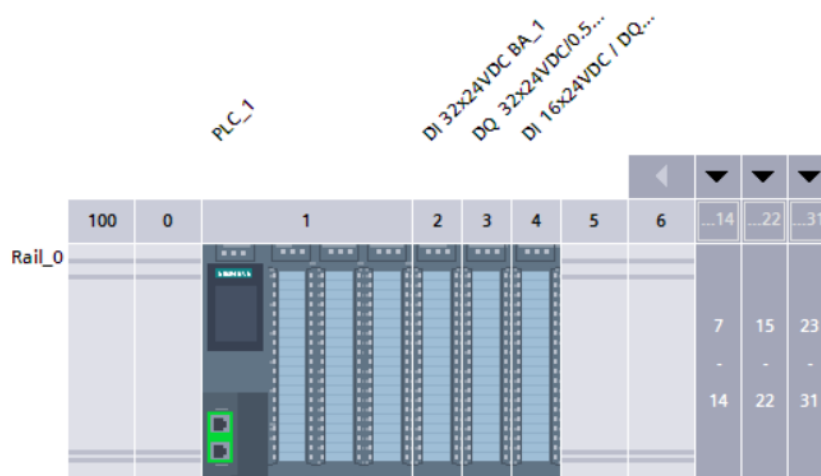
U některých zařízení se digitální dvojčte od svého fyzického dvojčete liší v počtu řídicích signálů. V případě uchopovací čelisti vstupního a výstupního manipulátoru je typ válce, který jedním pohybem rozevírá čelist do všech tří stran. Z důvodu zjednodušení nastavení mechanických pohybů byl tento úkon rozdělen do třech různých signálů. Dohromady je tedy finální verze simulace celého stroje řízena pomocí 128 vstupů a výstupů. V řídicím algoritmu jsou ovšem tyto signály opět řízeny pouze jednou proměnnou a simulace tím není nijak ovlivněna.

## 2.3 PLC PROGRAM

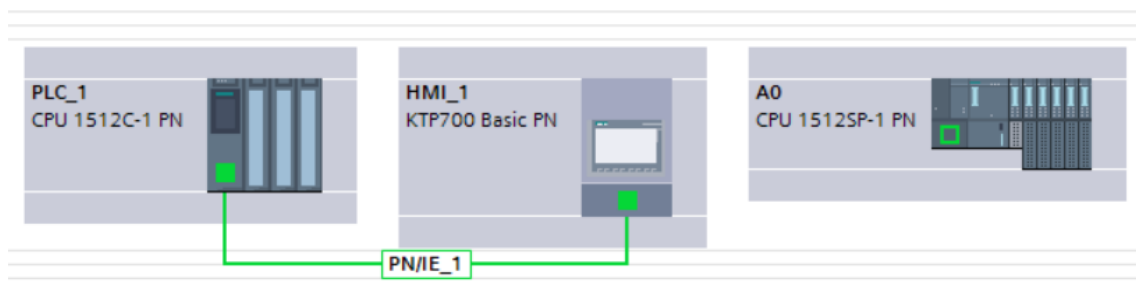
Pro vytvoření programu byl vybrán žebříčkový diagram s využitím funkčních bloků, jelikož řešený problém je rozsáhlejší a tímto způsobem lze dosáhnout dobré čitelnosti programu. Dalším důvodem k volbě tohoto programovacího jazyku je jeho velice časté využití v praxi. Celý program je rozdělen na 2 části. V první části je obsluha výstupů a druhá část obsahuje samotný řídicí algoritmus.

### 2.3.1 Konfigurace

K řízení bylo zvoleno PLC Siemens S7-1500. Vzhledem k rozsáhlosti množství potřebných vstupů a výstupů bylo přidáno k základní jednotce několik dalších vstupních a výstupních modulů. Následně bylo zapojení doplněno o HMI displej KTP700 Basic PN, který byl softwarově propojen s řídicím PLC. Pro spojení modelu v MCD s reálnou řídicí jednotkou bylo využito PLC jiného typu ze stejné řady, než bylo využito pro simulaci, z důvodu dostupnosti daného PLC.



Obr. 2.19 – Konfigurace řídicího PLC



Obr. 2.20 – Propojení HMI displeje s řídicím PLC

Aby bylo možné ovládat model v programu MCD, musely být nastaveny konkrétní vstupy a výstupy, které byly následně provázány i s MCD. K řízení bylo využito pouze digitálních vstupů a výstupů, vzhledem k charakteristice stroje, kde se vyskytují z velké části pouze dvupolohové písty a diskrétní snímače polohy, nebylo u žádného prvku třeba využívat analogových signálů.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
22	S_4100_IN_0	Bool	%Q5.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	S_4100_IN_1	Bool	%Q5.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	S_4100_OUT_0	Bool	%I11.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	S_4100_OUT_1	Bool	%I11.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	S_4200_IN_0	Bool	%Q5.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	S_4200_IN_1	Bool	%Q5.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	S_4200_OUT_0	Bool	%I11.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	S_4200_OUT_1	Bool	%I11.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	S_4300_IN_0	Bool	%Q5.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	S_4300_IN_1	Bool	%Q5.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	S_4300_OUT_0	Bool	%I11.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	S_4300_OUT_1	Bool	%I11.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	S_4410_IN_0	Bool	%Q5.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
35	S_4410_IN_1	Bool	%Q6.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
36	S_4410_OUT_0	Bool	%I11.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
37	S_4410_OUT_1	Bool	%I12.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
38	S_4420_IN_0	Bool	%Q6.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
39	S_4420_IN_1	Bool	%Q6.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
40	S_4420_OUT_0	Bool	%I12.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
41	S_4420_OUT_1	Bool	%I12.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
42	S_4430_IN_0	Bool	%Q6.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
43	S_4430_IN_1	Bool	%Q6.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
44	S_4430_OUT_0	Bool	%I12.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
45	S_4430_OUT_1	Bool	%I12.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

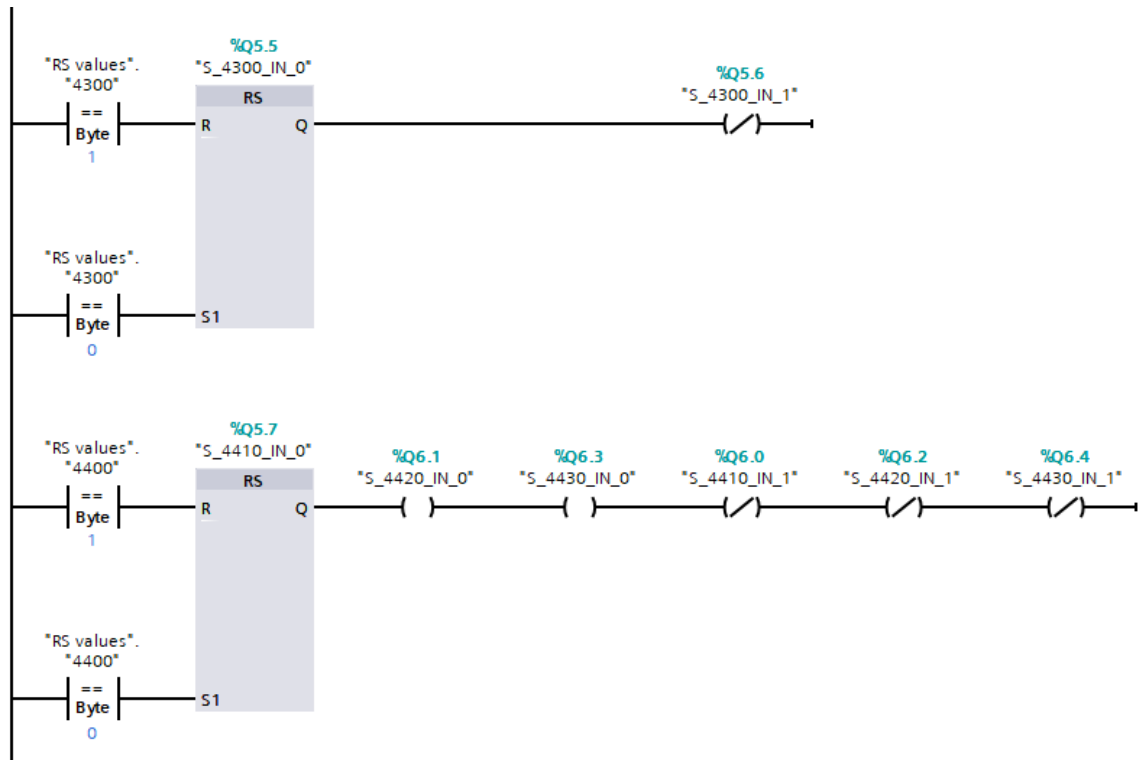
Obr. 2.21 - Nastavení vstupů a výstupů PLC pro sestavu vstupního manipulátoru



### 2.3.2 Obsluha výstupů

Pro správnou funkci prostředí MCD je třeba zajistit, aby každý akční člen měl trvale nastaven jeden z jeho řídicích signálů. Pro zjednodušení obsluhy v programu jsou využity RS klopné obvody, které jsou ovládány příslušnou programovou proměnnou a ovládají v případě pneumatických pístů 2 výstupy, v případě karuselu až 3 výstupy.

V prostředí TIA portálu nelze jednorázově nastavovat hodnoty Boolean proměnných, z tohoto důvodu jsou řídicí proměnné typu byte. Ty je možné pomocí příkazu MOVE jednorázově nastavit od hodnoty 0 až do 255. Takovýto rozsah je využit při řízení pístů pouze od 0 do 1, ale v případě karuselu je využito hned tři hodnot, což by datový typ Boolean neumožňoval.



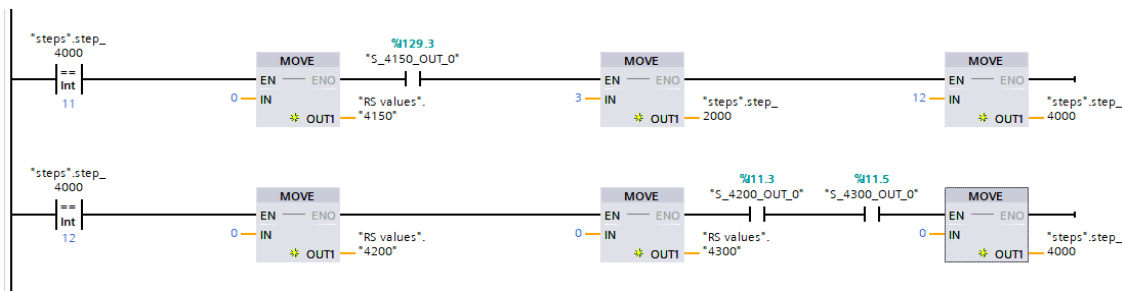
Obr. 2.22 – Programové ovládání vstupů a výstupů PLC

Výstupy jsou nastavovány na základě stavu RS klopného obvodu, jeden výstup je přímo navázán na konkrétní blok klopného obvodu a zbytek výstupů je nastavován pomocí Assignment funkce, pokud jde o stejný píst, je třeba využít negovaného Assignment příkazu. Některé RS klopné obvody ovládají více výstupů naráz, jelikož se jedná například o úchop dílu manipulátoru, kde je třeba ovládat vždy 3 ramena naráz a nikdy není třeba je ovládat samostatně.

### 2.3.3 Algoritmus

Program je rozdělen na jednotlivé bloky, které odpovídají konkrétní části stroje. Například vstupní manipulátor dílu je v samostatném bloku network. V jednotlivých network částech je vždy spínací kontakt, který aktivuje daný řádek na základě řídicí proměnné.

Každý blok se aktivuje změnou příslušné proměnné (step\_x000) do hodnoty 1. Následně se provádí zvolený úkon, například pohyb pístem do koncové polohy. K tomu je využit blok MOVE, kterým je nastavována hodnota řídicí proměnné, patřící k danému pístu do stavu 0 nebo 1. Následně je blokována aktivní linka snímačem koncové polohy, aby bylo zajištěno vyčkání na dosažení prvku koncové polohy. Po vysunutí pístu a sepnutí senzoru je provedena v bloku MOVE změna hodnoty step\_x000 jenž způsobuje přesun na další řádek, kde je vykonáván další pohyb dle zvolené sekvence.



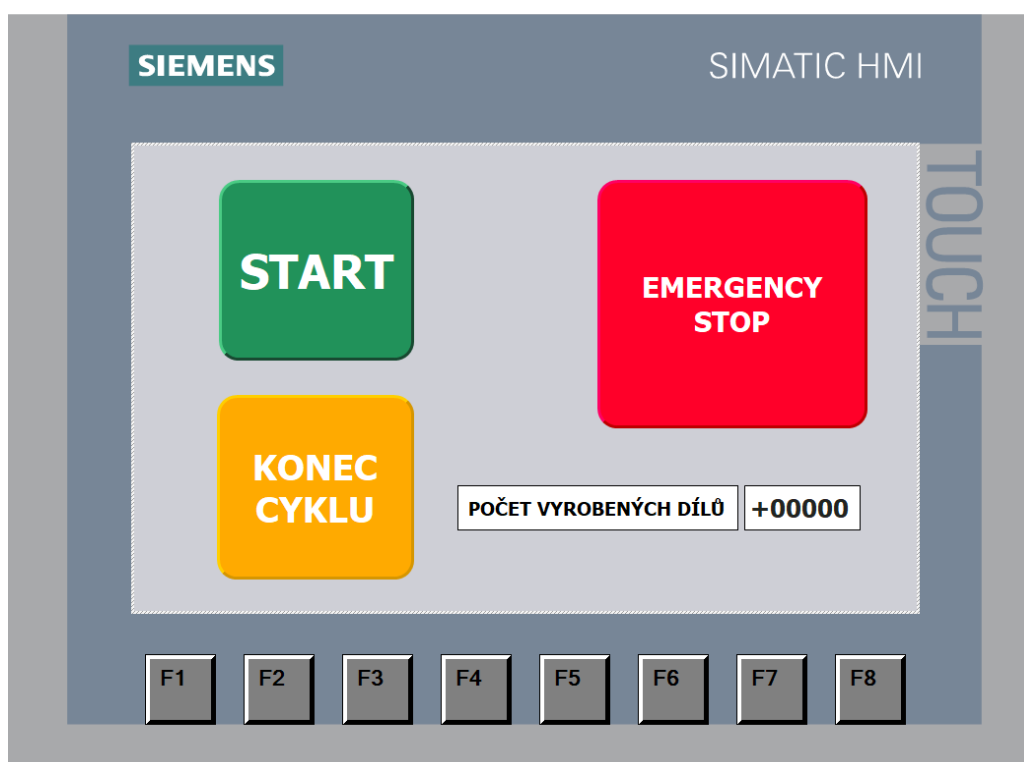
Obr. 2.23 - Ukázka z řídicího algoritmu PLC

Jednotlivé části programu se také spouští mezi sebou pomocí příkazu MOVE. V některých případech se čeká na dokončení sekvence jiné části a následně se pokračuje v předešlé sekvenci kroků. Pokud program spouští z jednoho bloku jiný network blok, je třeba okamžitě přejít na další řádek. Pokud je potřebná sekvence dané network části dokončena, řídicí proměnná step se nastaví na hodnotu 0. V opačném případě, pokud program čeká na vykonání jiného network bloku a je třeba později dále pokračovat, je následné číslo řádku čekající network části přeskočeno. Například v bloku network 2000 na řádku číslo 5 je spuštěn network blok 6000 a proměnná step\_2000 je nastavena na hodnotu 6, avšak v bloku network 2000 se nevyskytuje řádek, který by byl spuštěn hodnotou 6, ale až hodnotou 7. Na konci bloku network 6000 se přičte hodnota 1 do proměnné step\_2000 a ukončí se chod bloku network 6000. Tímto krokem se změní proměnná step\_2000 na hodnotu 7 a začne se vykonávat řádek odpovídající této hodnotě v bloku network 2000.

### 2.3.4 HMI

Program interaguje s uživatelem pomocí dotykového displeje HMI. Pro ovládání lze využít ovládacích tlačítek. START spouští chod celého stroje. KONEC CYKLU po dokončení aktuálního výrobního procesu jednoho dílu zastaví chod stroje. Dále byl ovládací panel doplněn o tlačítko EMERGENCY STOP, které okamžitě zastaví chod programu v poloze, v jaké se právě nachází.

Displej také umožňuje zobrazit vybrané procesní hodnoty přímo obsluze u stroje. V tomto případě jde o zobrazení počtu vyrobených dílů od počátku spuštění programu. Při restartu PLC dojde ke ztrátě hodnoty, jelikož při simulaci nemá smysl dlouhodobě ukládat tuto informaci.



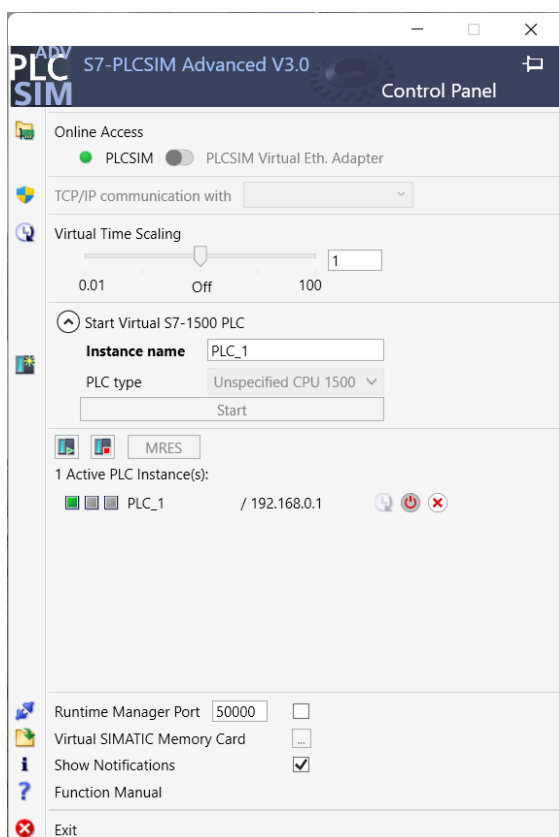
Obr. 2.24 – HMI displej

Displej není součástí PLC, ale je připojen pomocí ethernet sběrnice. Aby bylo možné pomocí displeje ovládat nebo zobrazovat hodnoty proměnných v PLC, je třeba v displeji vytvořit procesní tagy (fyzicky neexistující výstupy) a propojit je s proměnnými v PLC. Je třeba dodržovat správné typy proměnných. Dále je třeba tyto tagy v displeji provázat i s tlačítky a zobrazovačem, aby vše fungovalo, a vhodně nastavit obnovovací periodu každému prvku tak, aby řídicí PLC nebylo příliš zatíženo a zároveň byla poskytována aktuální informace nebo byla zajištěna rychlá odezva na stisk tlačítka.

## 2.4 PROPOJENÍ MODELU S ŘÍDICÍ JEDNOTKOU

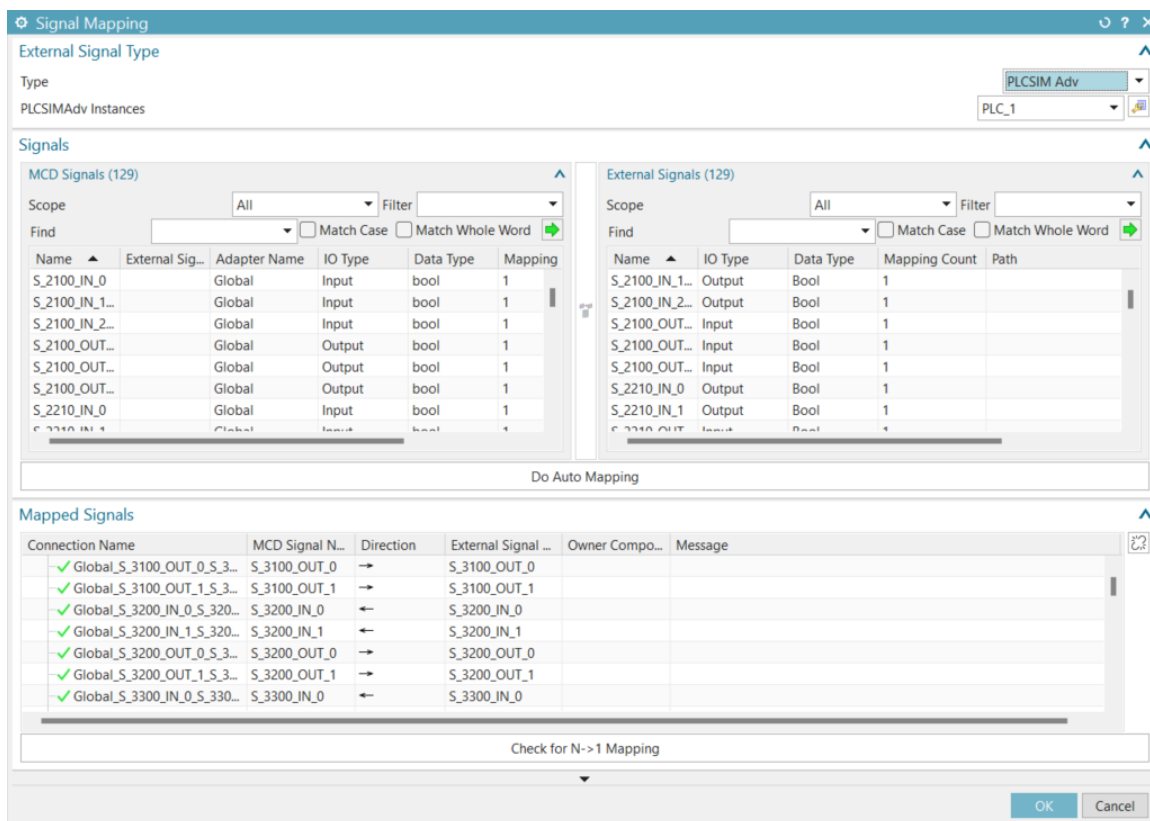
### 2.4.1 Propojení S7-PLCSIM Advanced s MCD

Aby bylo možné 3D model stroje řídit, je třeba zajistit propojení signálů z NX MCD s řídicím PLC. Z tohoto důvodu byly již dříve v programu TIA Portal vytvořeny PLC tags (pojmenování vstupů a výstupů v PLC), které musí mít shodné názvy jako signály v NX MCD. Po spuštění simulovaného PLC S7-PLCSIM Advanced byl pomocí TIA Portal nahrán řídicí algoritmus do simulovaného PLC.



Obr. 2.25 – PLCSIM Advanced

V programu MCD v záložce Signal Connection byla otevřena z nabídky volba Signal Mapping. Vzhledem k simulovanému PLC bylo zvoleno v parametru Type možnost PLCSIM Adv a v parametru PLCSIMAdv Instances bylo otevřeno pomocí tlačítka vedle rozbalovací nabídky okno s výběrem aktivních instancí, kde bylo vybráno právě běžící simulované PLC a byly načteny všechny PLC tags. Nakonec v okně Signal Mapping byla aktivována funkce Do Auto Mapping (automatické propojení signálů ze simulovaného PLC se signály v MCD). Pokud některé signály nebyly propojeny, je třeba zkontrolovat nastavení PLC tags v programu TIA Portál a signálů v MCD tak, aby správně seděly datové typy a druh signálu (vstup nebo výstup), a zopakovat celý postup mapování.

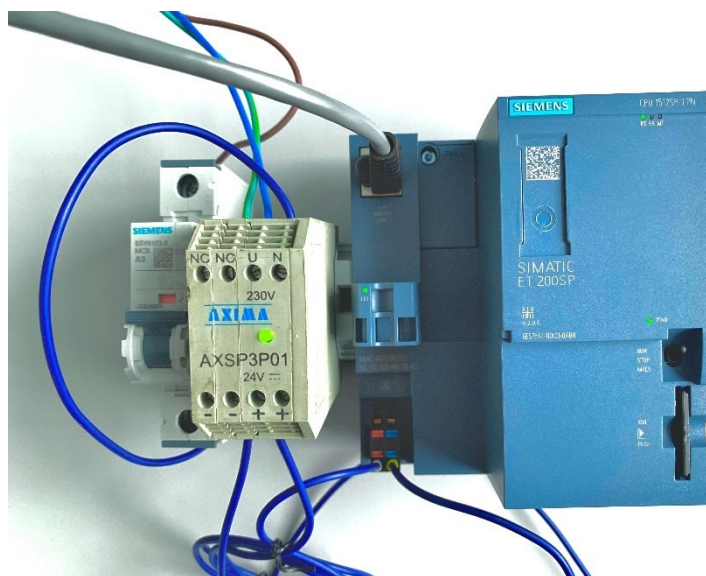


Obr. 2.26 – Signal Mapping, PLCSIM Advanced

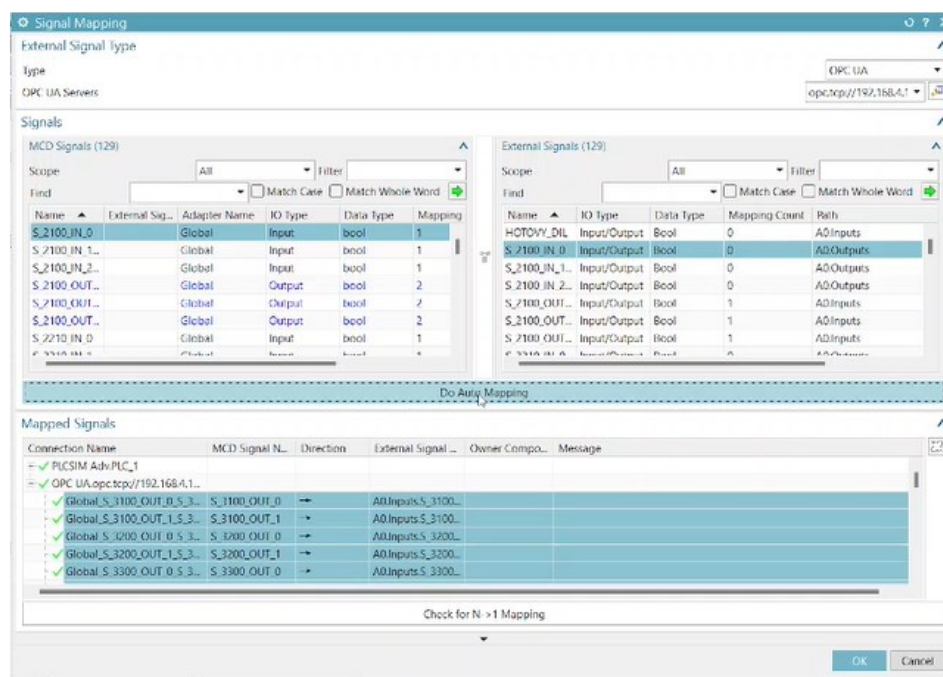
## 2.4.2 Propojení reálného PLC s MCD pomocí OPC UA

Nejprve bylo reálné PLC spuštěno a připojeno pomocí ethernet sběrnice do stejné sítě jako je připojen PC s programy TIA portal a MCD. V programu TIA Portal bylo nalezeno reálné PLC a jeho adresa včetně portu byla později použita v MCD. Celý řídicí algoritmus byl následně nahrán do PLC.

V programu MCD byla nyní vybrána v Signal Mapping v parametru Type možnost OPC UA a v parametru OPC UA Servers byla vložena získaná adresa reálného PLC z programu TIA Portal včetně portu. Stejně jako v bodě 2.4.1 bylo provedeno načtení všech signálů z PLC a bylo provedeno automatické zmapování (propojení) všech signálů.



Obr. 2.27 – Reálné PLC



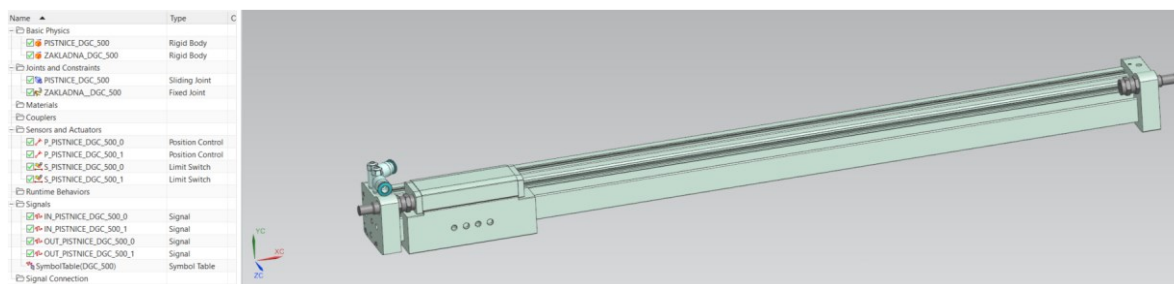
Obr. 2.28 – Signal Mapping, reálné PLC

## 2.5 KNIHOVNA FUNKČNÍCH PRVKŮ

Pro praktické využití při budoucí tvorbě digitálních dvojčat byla vytvořena knihovna funkčních prvků. Jedná se o jednotlivé válce různých typů a rozměrů nacházejících se v tomto 3D modelu. Každý válec byl vyjmut z 3D modelu a následně byl vložen do nového souboru, kde mu byly nastaveny všechny parametry potřebné k budoucímu rozpořívání v novém

projektu. Pojmenování bylo vytvořeno dle technického popisu každého pístu a lze z něj vyčíst typ zařízení a rozmezí v milimetrech, ve kterém válec pracuje.

Každý soubor obsahuje nastavení Basic Physics, Joints and Constraints, kde je navíc nastaveno i fyzické omezení rozmezí, ve kterém se pístnice může pohybovat. V záložce Sensors and Actuators má každý válec připraven parametry pohybu pro zasunutí a vysunutí. Při budoucí práci bude nutné upravit nastavení parametrů rychlosti, akcelerace a decelerace z důvodu, že se na každém stroji tato rychlost může v různých případech lišit podle typu využití a zatížení daného válce. Dále jsou zde připraveny snímače polohy válců pro detekci počáteční a koncové polohy pístnice. Tyto senzory a akční členy mají vytvořeny signály pro budoucí propojení se softwarem TIA Portal.



Obr. 2.29 – Nastavení pístu v knihovně

Knihovna obsahuje 11 válců různých typů. Nacházejí se zde pneumatické pístnicové a bezpístnicové válce, hydraulické válce s kloubovou hlavou, o délkách 30 až 500 milimetrů. Na obrázku je znázorněno nastavení bezpístnicového pneumatického válce pracujícího v rozsahu 500 milimetrů.

### **3 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY**

Prvním krokem pro zhotovení digitálního dvojčete byla konfigurace 3D modelu v softwaru NX Mechatronics Concept Designer. Následně byl vytvořen řídicí algoritmus v prostředí TIA Portal V16. Tyto dva softwary byly vzájemně propojeny prostřednictvím S7-PLC-SIM Advance a bylo zde zvoleno simulované PLC Siemens S7-1500. Dále byla ověřena funkčnost propojení skrze komunikační sběrnici OPC UA a pro řízení bylo využito reálného PLC Siemens ET200SP. Závěrem byla také vytvořena knihovna standardních funkčních prvků pro obecné využití v NX MCD.



## 4 ZHODNOCENÍ

Digitální dvojče vytvořené v této práci má v porovnání s reálným protějškem několik odlišností. Hlavním důvodem pro tyto změny byla omezení dostupného softwaru a hardwaru.

Úkolem reálného zařízení je zalisování tkaných vláken do hlavy mopu, což bylo s použitím obyčejného notebooku a softwaru NX Mechatronics Concept Designer nereálné a software se bude muset v této oblasti dále zdokonalovat. Z tohoto důvodu bylo nutné provést změnu uchopovací hlavy na výstupním manipulátoru, která v původní verzi odebírala hotové díly z lůžka uchopením dílu za vyčnívající vlákna. Verze modelu po úpravě v této práci odebírá hotový díl opět za plastový rámeček, stejně jako je tomu u vstupního manipulátoru. Dále byly provedeny pokusy o modelově správné odebrání dílů ze zásobíku, kde byla ovšem velkým omezením funkce softwaru, použitý hardware a příliš složitá konstrukce jednotlivých vyráběných dílů. Spuštěná simulace měla obrovské požadavky na výpočetní výkon, zkracovala časový průběh výrobního procesu a prokázala se nepravidelnost v chování stroje a příliš časté chyby. Z tohoto důvodu je simulace s fyzickými vlastnostmi nastavena pouze na jeden výrobní cyklus. Bez nastavení reálné fyziky bylo ovšem z vizuálního a časového hlediska napodobení výrobního procesu úspěšné. Řídicí algoritmus z důvodu simulace není opatřen řešením bezpečnostních prvků stroje a samotný výrobní proces je řízen bezchybně.

## 5 ZÁVĚR

Tato práce se oproti původnímu zadání liší ve dvou hlavních bodech. 3D model zařízení použitý pro tvorbu digitálního dvojčete byl vytvořen pro účely návrhu a konstrukce reálného stroje společností K2 Machine. Tento 3D model byl nakonfigurován v prostředí NX Mechatronics Concept Designer. Využití 3D modelu se ukázalo jako problematické z důvodu velkého počtu proměnných, které by bylo v simulačním softwaru NX Mechatronics Concept Designer nutné simulovat, jako například snímače tlaku nebo teploty, se kterými reálný stroj pracuje. Z tohoto důvodu byl vytvořen jednodušší řídicí algoritmus pouze se vstupy a výstupy pro ovládání pohybu válců a snímačů pozice.

Praktickým přínosem této práce bylo ověření funkčnosti použitých softwarů NX Mechatronics Concept Designer, TIA Portal V16 a S7- PLC-SIM Advance 3.0. Následně také ověření možnosti propojení simulovaného 3D modelu s reálným PLC Siemens ET200SP pomocí komunikační sběrnice OPC UA. S dostupným softwarem a hardwarem bylo dosaženo nejlepších možných výsledků a časový průběh byl napodoben s dostatečnou přesností. Dalším přínosem je také vytvoření knihovny standardních funkčních prvků pro obecné využití v MCD, která obsahuje různé typy válců s přednastavenými vlastnostmi pro budoucí tvorbu digitálních dvojčat.

## POUŽITÁ LITERATURA

- BAKER, B., 2021, *The Digital Twin Concept and How It Works* [on line]. New York: Digi-Key Electronics [cit. 23. 11. 2022]. Dostupné z: <https://www.digikey.cz/en/articles/the-digital-twin-concept-and-how-it-works>
- DREAMland, 2021, *CO JE PLC NEBOLI PROGRAMOVATELNÝ LOGICKÝ AUTOMAT* [on line]. Praha: DREAMland, spol. s r.o. [cit. 23. 11. 2022]. Dostupné z: <https://dreamland-plc.cz/plc-programovatelný-logický-automat/>
- FAYLOR, J., 2022, *PLC Programming Languages: Go Beyond Ladder Logic* [on line]. Folsom: Inductive automation [cit. 23. 11. 2022]. Dostupné z: <https://www.inductiveautomation.com/blog/plc-programming-languages-go-beyond-ladder-logic>
- SIEMENS, 2022, *Mechatronic Concept Design* [on line]. Berlín: Siemens Digital Industries Software [cit. 23. 11. 2022]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/mechanical-design/mechatronic-concept-design.html>
- VOJÁČEK, A., 2020, *Průmyslová komunikace OPC UA - 1.díl - popis protokolu* [on line]. Praha: Automatizace HW [cit. 23. 11. 2022]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prumyslova-komunikace-opc-ua-1dil-popis-protokolu.html>
- VOJÁČEK, A., 2021, *HiL vs. SiL aneb testování softwaru* [on line]. Praha: Vývoj HW [cit. 23. 11. 2022]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/hil-vs-sil-aneb-testovani-softwaru.html>

# **PŘÍLOHY**

**A-CD**

**Příloha k bakalářské práci**  
Digitální dvojče strojního zařízení  
Vojtěch Kratochvíl

**CD**

## **Obsah**

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF
- 2 Řídicí algoritmus pro PLC