



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Využití softwarové podpory pro návrh linek

Use of Software Support for Lines Design

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Jakub FALTEJSEK

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 3911T035 VÝROBNÍ A MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí práce: Ing. Jiří KYNCL, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Faltejsek** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **439102**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití softwarové podpory pro návrh linek

Název diplomové práce anglicky:

Use of Software Support for Lines Design

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešerše problematiky navrhování a modelování výrobních a nevýrobních procesů
- 2) Rešerše SW řešení pro návrh výrobních a nevýrobních procesů
- 3) Modelování a validace modelu v konkrétním SW
- 4) Zhodnocení výsledků simulace
- 5) Výběr SW pro implementaci do podnikové kultury

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Kyncl, Ph.D., 12134


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

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____


Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

2.7.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Využití softwarové podpory pro návrh linek“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kyncla, Ph.D., s použitím zdrojů uvedených na konci mé diplomové práce v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne

.....

Bc. Jakub Faltejsek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Jiřímu Kynclovi, Ph.D., za pomoc při zpracování této práce. Můj dík patří také všem kolegům ze společnosti Continental a lidem ze společností Siemens, FactorioSolutions a Visual Components, díky nimž jsem měl možnost tento projekt uskutečnit. V neposlední řadě chci také poděkovat mé rodině a přátelům za soustavnou podporu po dobu mého studia.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Bc. Jakub FALTEJSEK	
Název DP:	Využití softwarové podpory pro návrh linek	
Anglický název:	Use of Software Support for Line Design	
Rok:	2020	
Studijní program:	N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ	
Studijní obor:	3911T035 VÝROBNÍ A MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ	
Ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie	
Vedoucí BP:	Ing. Jiří KYNCL, Ph.D.	
Bibliografické údaje:	počet stran	100
	počet obrázků	75
	počet tabulek	4
Klíčová slova:	Výrobní systém, výrobní linka, projektování, automatizace, simulace, simulační software, digitální dvojče, testování	
Keywords:	Production system, production line, projecting, automatization, simulation, simulation software, digital twin, testing	

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá simulacemi výrobních systémů a jejich použití při procesu jejich projektování. Teoretická část má za úkol vysvětlit nutné prerekvizity pro pochopení projektu, který zpracovává. Jsou zde vysvětleny pojmy z oblasti projektování, automatizace výrobních linek, simulace a simulační softwary a jejich možnosti. V praktické části popisují přípravu simulačního modelu ve dvou softwarech a na základě výstupů ze simulací vybírám vhodný software pro potřeby společnosti Continental.

Abstract:

This diploma thesis is focused on simulations of production systems and their use for process of line designing. The theoretical part of this thesis defines and further explains necessary knowledge for better understanding of project in practical part of this thesis. Explained here are the problematics of line design, production lines and their automatization and of course the concept of simulation and examples of simulation softwares and their possibilities. The practical part focuses on making a simulation model in two of those softwares, compares them and based on this comparison a decision is made about the most suitable software for Continental company.

OBSAH

1. Úvod	1
2. Představení společnosti Continental	4
2.1. Historie společnosti	4
2.2. Současnost	6
2.3. Continental Automotive Czech Republic s.r.o.....	6
2.4. Závod Continental Brandýs nad Labem	7
3. Teorie výrobních a nevýrobních systémů.....	8
3.1. Pojmy z oblasti projektování výrobních systémů.....	8
3.1.1. Technologické projektování.....	8
3.1.2. Výrobní systém	8
3.1.3. Výrobní proces	9
3.1.4. Výrobní postup	10
3.2. Definice a rozdělení linek	11
3.3. Prostorové uspořádání linek.....	12
3.4. Balancování linek.....	15
3.5. Automatizace výrobních procesů.....	16
3.5.1. Důvody nasazení automatizace.....	17
3.5.2. Postup nasazení automatizace do výrobních a nevýrobních procesů.....	17
3.5.3. Výhody a nevýhody automatizace výrobních procesů.....	19
3.6. Testování desek plošných spojů.....	20
3.6.1. Způsoby testování DPS	20
4. Simulace linek	24
4.1. Pojem simulace.....	24
4.2. Další pojmy v problematice simulací.....	25
4.2.1. Simulační systém.....	25
4.2.2. Simulační model.....	25
4.2.3. Digitální dvojče	26
4.2.4. Stavové proměnné	26
4.2.5. Událost	26
4.2.6. Entita.....	26
4.2.7. Aktivita	26
4.3. Implementace simulace do rozhodovacích procesů ve výrobě	27
4.4. Důvody využití simulací při projektování	29
4.5. Nevýhody zavádění simulací do procesu projektování.....	30
4.6. Simulační softwary.....	30
4.6.1. Siemens Tecnomatix	30
4.6.2. Visual Components	Chyba! Záložka není definována.
Visual Components Essentials	35
Visual Components Professional	36
Visual Components Premium	36
4.6.3. Flexsim	37

4.7.	Výběr simulačních softwarů pro porovnání.....	38
5.	Příprava dat a tvorba simulačního modelu	40
5.1.	Analýza současného stavu.....	40
5.2.	Popis simulované linky.....	44
5.3.	Sběr dat pro 3D simulaci	46
5.4.	Tvorba simulačního modelu v softwaru Process Simulate.....	49
5.4.1.	Tvorba 3D modelu.....	49
5.4.2.	Definice parametrů robotických manipulátorů a optimalizace layoutu.....	55
5.4.3.	Tvorba materiálového toku	58
5.4.4.	Propojení s PLC programem a import signálů	62
5.4.5.	Tvorba logiky linky	64
6.	Simulace a jejich výstupy	69
6.1.	Realizace a průběh simulací.....	69
6.1.1.	Process Simulate	70
6.1.2.	Visual Components	Chyba! Záložka není definována.
6.2.	Porovnání softwarů a závěrečné rozhodnutí	90
6.2.1.	Porovnání základních charakteristik softwarů	90
6.2.2.	Porovnání možností softwarů a práce s nimi	91
6.2.3.	Porovnání cenového hlediska	95
6.2.4.	Shrnutí porovnání a výběr softwaru.....	96
6.3.	Výstupy pro další práci s vybraným simulačním softwarem	97
7.	Závěr.....	99
8.	Seznam obrázků	101
9.	Seznam tabulek.....	102
10.	Zdroje.....	103

1. Úvod

Má diplomová práce se zabývá moderním trendem v oblasti průmyslového inženýrství. Jejím cílem je ve dvou vybraných simulačních softwarech vytvořit simulační model výrobní linky ve společnosti Continental a realizovat jeho simulaci. Na základě výstupů z provedených simulací poté hodnotím použitelnost a možnosti obou softwarů pro potřeby tvorby simulačních modelů pro projektování nových a úpravy stávajících linek. Výstupem mé práce je pak výběr vhodného simulačního softwaru a návrh kroků pro jeho implementaci do podnikové kultury společnosti.

V oblasti průmyslové výroby, zvláště pak v sektoru automotive, je dnes kladen velký důraz na zrychlení a zefektivnění všech výrobních i nevýrobních procesů. Velice užitečným nástrojem je digitalizace těchto procesů, která s nástupem éry průmyslu 4.0 stále více zaujímá v oblasti průmyslového inženýrství důležitou úlohu. Digitalizace umožňuje mít v rámci firmy lepší kontrolu nad procesy v rámci firmy a zjednodušuje komunikace mezi všemi týmy, které se podílí na chodu společnosti. Jedním z nástrojů digitalizace je také simulace výrobních a nevýrobních procesů. Ta umožňuje transformovat jak jednotlivé linky, tak i celé výrobní systémy do podoby modelů, ať už 2D, či 3D a vytvořit takzvané digitální dvojče daného systému. Tato digitální forma má za cíl možnost sledování procesů v daných systémech v reálném čase, vizualizaci systémů pro možnost jejich prohlížení v širším kontextu bez nutnosti je procházet osobně nebo například pomocí virtuální reality zaučovat obsluhu jednotlivých výrobních systémů pro práci s nimi. V neposlední řadě také urychluje proces projektování těchto systémů, neboť díky 3D simulaci je možno tyto systémy modelovat na počítači, zkoumat jejich funkčnost efektivitu mimo prostředí výroby a samozřejmě také tyto systémy modifikovat a optimalizovat bez zásahu do systémů reálných. To pak urychluje tvorbu nových systémů, neboť je možné najít a vyladit všechny chyby ještě předtím, než daná linka stojí fyzicky na svém místě. To samozřejmě vede ke zrychlení projektování a výrazné úspoře vynaložených časových a z toho plynoucích finančních prostředků a také zamezuje nutnosti při úpravách chodu systémů omezit, či úplně zastavit, což je samozřejmě nežádoucí jev.

Společnost Continental je jeden z největších dodavatelů automobilových součástí na trhu. Z pozice velkého hráče je proto v rámci této firmy digitalizace interních procesů v podstatě nutným předpokladem pro zefektivnění výroby, šetření nákladů a tím udržení pozice významného a relevantního dodavatele produktů pro automobilky. Jedním z nástrojů digitalizace, pro který se společnost rozhodla, je právě i z výše uvedených důvodů proces simulací.

Díky možnostem moderní výpočetní techniky dnes na trhu figuruje řada poskytovatelů simulačních softwarů různých kvalit s odlišnými cenami. Je proto nutné při výběru vhodného softwaru postupovat pečlivě a důkladně zvážit všechna pro a proti.

Právě z tohoto důvodu vznikl tento projekt, na nějž je navázána i tato diplomová práce. Ta si klade za cíl na výrobní a testovací automatické lince jako pilotním projektu vyzkoušet možnosti dvou největších softwarů, totiž Visual Components a Process



Simulate. Na základě vytvořených simulačních modelů tyto softwary porovnávám a vybírám ten, který je pro potřeby simulací výrobních systémů v rámci společnosti nejvhodnější na základě očekávání, která od těchto softwarů máme.

V úvodu této práce představuji společnost Continental. Stručně shrnuji její historii, hierarchii společnosti a také zde popisuje závod v Brandýse nad Labem, ve kterém je tento projekt realizován.

Kapitola číslo 3 pak shrnuje teorii projektování výrobních a nevýrobních systémů. Dále definuje a popisuje důležité pojmy z problematiky výrobních linek a jejich rozdělení podle různých kritérií. Dále zde popisují proces automatizace linek, základní přístupy k automatizaci vedoucí a výhody a nevýhody, které jí provázejí. V neposlední řadě zde také píšou o způsobech testování desek plošných spojů, neboť právě jejich testování je hlavní náplní simulované linky. Tato kapitola je důležitá pro lepší pochopení simulované linky, především principu její funkce.

Čtvrtá kapitola se pak zabývá teorií kolem simulací. Vysvětlují zde samotný pojem simulace a další pojmy se simulacemi související. Popisují postup při implementaci procesu simulace do podnikové kultury výrobního závodu. Důležitou částí této kapitoly je také popis vybraných simulačních softwarů, jejich funkce a možnosti. Poslední částí této kapitoly je stanovení kritérií, která jsou důležitá pro co nejlepší využití simulačních procesů pro společnost Continental.

Kapitolou číslo 5 začíná praktická část této diplomové práce. Zde popisují současný stav projektování výrobních systémů ve společnosti Continental a vysvětlují, do jaké části tohoto procesu a z jakého důvodu je žádoucí zavést proces simulací. Důležitou částí této kapitoly je potom popis tvorby simulačního modelu v softwaru Process Simulate pro jeho rozpohybování a verifikaci.

Šestá kapitola pak již hovoří o samotném rozpohybování modelu v softwaru Process Simulate a také o tvorbě a rozpohybování simulace v softwaru Visual Components. Z těchto popisů pak vyplývá porovnání softwarů na základě stanovených kritérií a rozhodnutí o tom, který ze softwarů je pro potřeby společnosti Continental nejvhodnější. Uvádím zde také další kroky, které budou následovat bezprostředně po finálním rozhodnutí o použitém softwaru.

2. Představení společnosti Continental

Společnost Continental AG patří k největším dodavatelům dílů pro automobilový průmysl na světě. Působí ve více než 60 zemích světa na všech kontinentech a zaměstnává téměř 250 000 lidí. Mezi zákazníky firmy patří téměř všechny velké automobilky, lze zmínit například Volkswagen AG, Toyota, PSA, Chrysler-Daimler a mnoho dalších.[1]

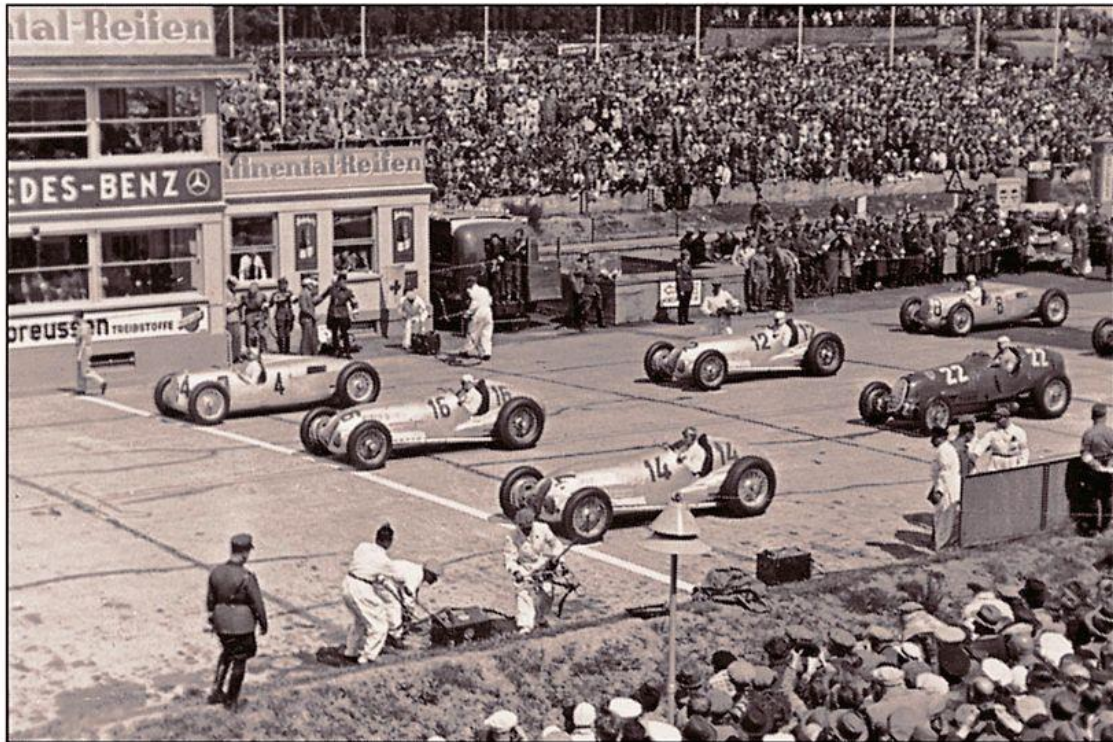
2.1. Historie společnosti

Firma vznikla 8. října 1871 v Hannoveru pod názvem Continental-Caoutchouc-undGutta-PerchaCompagnie a zpočátku se soustředila na výrobu pevných pneumatik pro vozy a jízdní kola, ale i pryžové výrobky obecně. V roce 1882 si společnost nechala zaregistrovat jako ochrannou známku typické logo se vzpínajícím se koněm, viz Obrázek 1.



Obrázek 1: Logo Continental z roku 1882 [1]

Pneumatiky pro automobily začala společnost vyrábět v roce 1892. Již od počátku firma spolupracuje se společností Daimler, která pneumatiky Continental využívá pro téměř všechna svá závodní auta během 20. století.



Obrázek 2: Velká cena Německa 1935 [1]

Dalším důležitým milníkem je rok 1904, kdy Continental představuje vůbec první pneumatiky s dezénem na světě. O čtyři roky později, v roce 1908, se také podílí na vývoji odnímatelných ráfků kol pro automobily, který značně zjednoduší práci při výměně pneumatik. Za zmínku stojí také rok 1921, kdy firma jako první uvádí do prodeje kordové pneumatiky. V roce 1943 si pak Continental nechává patentovat první bezdušové pneumatiky.

V dalších letech společnost rozšiřuje své působení i v dalších oblastech automobilového průmyslu, jako například výrobou pneumatických pružin, gumových rozvodových hadic do automobilů, hydraulických ložisek aj.

V roce 2006 firma Continental získává divizi automobilové elektroniky společnosti Motorola Inc., čímž rozšiřuje své aktivity i do oblasti elektronických součástí a systémů v automobilech. Následně v roce 2007 přidává do svých aktivit i výrobu palivových systémů díky převzetí firmy Siemens VDO Automotive AG a zařazuje se tak do pěti největších dodavatelů automobilového průmyslu na celém světě.[1]

2.2. Současnost

V současné době je společnost Continental AG rozdělena do čtyř divizí. První divizí je skupina **Continental Group**, která má na starost chod celé společnosti. Zřejmě nejznámější divizí je pak část **Rubber Technologies**. Ta sestává jednak z podskupiny **Tires**, která se specializuje na vývoj a výrobu pneumatik pro osobní i nákladní automobily a také na výrobu a vývoj příslušenství zejména pro výměnu pneumatik na nákladních automobilech a autobusech. Druhou podskupinou je pak **Conti Tech**, která se soustředí především na vývoj a výrobu v oblasti gumových součástí motorů, jako například palivových systémů, rozvodů vzduchu, pohlcování vibrací aj. Třetí divizí je část **Powertrain Technologies**, pod níž spadá nyní již samostatná firma **Vitesco Technologies**. Tato skupina má na starost především vývoj a výrobu řídicích jednotek palivových systémů. Společnost Vitesco Technologies bude v nadcházejících letech zcela osamostatněna. Poslední divizí, které se týká i tato diplomová práce, je divize **Automotive Technologies**, která se dělí na podskupiny **AutonomousMobility and Safety**, do jejíž gesce spadají asistenty řízení, pasivní i aktivní bezpečnostní prvky vozidel a v neposlední řadě také autonomní systémy řízení automobilů. Druhou podskupinou, pod níž spadá právě i tato diplomová práce, je část **Vehicle Networking and Information**. Tato část společnosti má na starost výrobu, a především montáž elektronických součástí a systémů pro interiér vozidel. Patří sem například montáž rádií, palubních displejů apod.[2]

2.3. Continental Automotive Czech Republic s.r.o.

V České republice začala společnost zakládat své továrny v roce 1993. Do ČR se firma Continental dostala díky odkupu většinového podílu ve společnosti Barum. Během následujících let na území ČR vznikla řada továren společnosti Continental, které zahrnují všechny divize zmíněné v předchozí podkapitole, včetně vývojových center. V současnosti Continental Automotive Czech Republic zaměstnává téměř 10 000 zaměstnanců a řadí se tak mezi největší zaměstnavatele v ČR.[3]

2.4. Závod Continental Brandýs nad Labem

Továrna v Brandýse nad Labem se zařadila do koncernu Continental v roce 2007. Jedná se o závod z divize Vehicle Networking and Information. Hlavním výrobním programem závodu je kompletní montáž autorádií, centrálních displejů palubních systémů v automobilech, palubních přístrojů obecně a multimediálních systémů. Továrna také disponuje lisovnou a lakovnou plastů na výrobu dílů pro další použití v montáži elektroniky, vzorkovnou sloužící pro vývoj nových dílů a laboratořemi pro kontrolu kvality.[3]



Obrázek 3: Závod Continental BDY I [3]

Od roku 2020 v rámci tohoto závodu vzniklo nové oddělení s názvem Smart Automation, které má na starost implementaci moderních trendů a technologií průmyslového inženýrství do procesu výroby a montáže. V rámci tohoto oddělení také vzniká tato diplomová práce.

3. Teorie výrobních a nevýrobních systémů

V této kapitole se zaměřuji na problematiku projektování výrobních a nevýrobních systémů. Uvádím a vysvětluji zde základní pojmy z této problematiky, definuji pojem linka a tyto rozdělují podle různých kritérií. Zaměřuji se zde také na problematiku automatizace linek, tedy co samotný pojem znamená a jak je v rámci výrobních závodů k automatizaci zpravidla přistupováno. V neposlední řadě také rozebírám možnosti testování desek plošných spojů jako produktu, který je na lince v praktické části zpracováván. Tato kapitola je důležitá pro pochopení principu linky v praktické části a její postavení v rámci závodu Continental v Brandýse nad Labem.

3.1. Pojmy z oblasti projektování výrobních systémů

3.1.1. Technologické projektování

Technologické projektování je obecně soubor činností, které mají za cíl analýzu, plánování a zpracování projektu výroby a montáže daného výrobku. Jedná se o komplexní zpracování projektu, které vyžaduje součinnost všech důležitých týmů a útvarů ve firmě, jako například týmu konstruktérů, technologů, kontroly kvality, marketingu, montážních a výrobních týmů atd. Souhrnně se tedy jedná o soubor činností technickoekonomického charakteru.

Výstupy technologického projektování jsou varianty technologií výroby a montáže strojních součástí a jejich celků, tedy jakými způsoby lze daný výrobek vyrobit, případně smontovat. Z těchto variant následně vzniká technologická dokumentace výrobku. Dále pak varianty technickoorganizačního uspořádání strojů ve výrobě s ohledem na co nejoptimálnějšího využití zdrojů pro tuto výrobu, ať už se jedná o zdroje materiálu, energií, výrobní prostředky (stroje, nástroje), či zdroje pracovních sil. Z variant je následně vybrána ta nejlepší pro dané podmínky a je zpracována do projektové dokumentace.

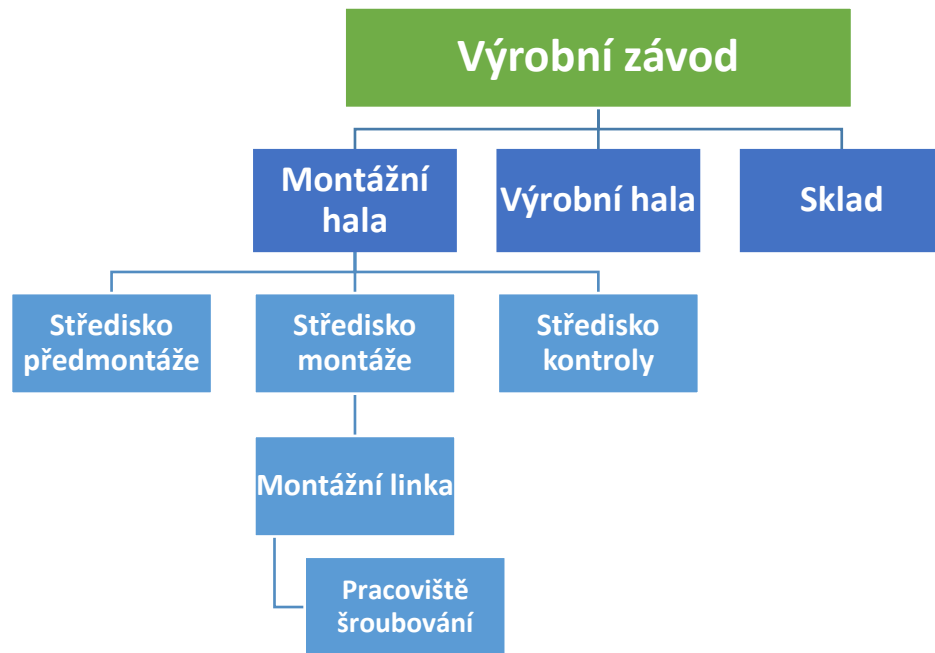
Tyto výstupy jsou vytvářeny s cílem zajistit co největší efektivitu výroby, tzn. co nejnižší náklady na výrobu, krátké časy výroby, efektivní manipulaci s materiálem apod. [4][5]

3.1.2. Výrobní systém

Výrobní systém lze chápat jako uspořádanou množinu prvků a jejich vzájemných vazeb. Pomocí těchto vazeb spolu prvky interagují a působí na systém samotný i jeho okolí. Pomocí výrobních systémů jsou realizovány výrobní procesy. Pod pojmem výrobní systém se myslí všechny systémy, které jsou provázány s výrobou, tedy včetně logistiky, distribuce, kontroly a podobně.

Výrobní systém obecně lze dělit na dílčí podsystémy, z nichž každý může být chápán jako samostatný systém v závislosti na tom, jak obecně celý systém zkoumáme. [4]

Ukázka možné dekompozice výrobního systému na dílčí podsystémy je na Obrázek 4.



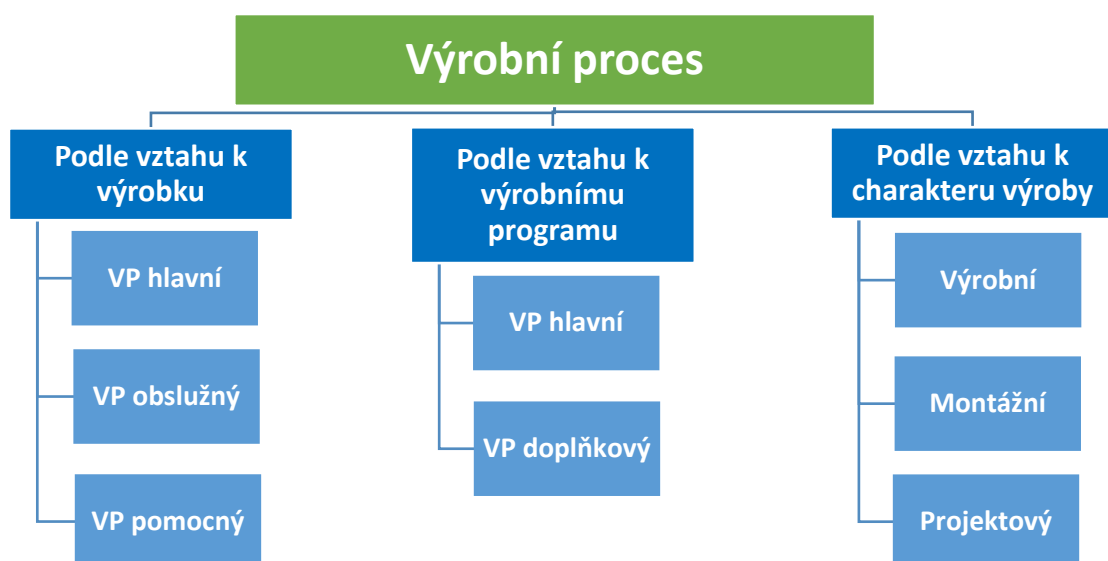
Obrázek 4: Dekompozice výrobního (respektive montážního) systému [4]

3.1.3. Výrobní proces

Výrobní proces je charakterizován jako souhrn všech technologických, kontrolních, řídicích a logistických činností, které vedou ke změně tvaru, rozměrů, složení, jakosti a spojení výchozích materiálů či polotovarů z hlediska požadovaných technicko ekonomických podmínek pro daný výrobek. Zkráceně lze říct, že výrobní proces popisuje všechny činnosti, které vedou ke změně vstupního materiálu na výstup v podobě finálního výrobku. Výrobní proces je uskutečňován pomocí výrobních systémů (viz výše).[4][5]

Rozdělení výrobního procesu

Výrobní proces lze dělit z několika hledisek. Základní dělení výrobního procesu ukazuje Obrázek 5.[4][5]



Obrázek 5: Členění výrobního procesu[4]

Hierarchie výrobního procesu

Výrobní proces lze rozložit na jeho dílčí úseky podle toho, jak velkou částí procesu tyto úseky jsou. V průmyslové výrobě je výrobní proces zpravidla dělen podle sériovosti a pružnosti výroby. Obecně platí, že čím větší série daného výrobku, tím podrobnější je rozklad výrobního procesu.

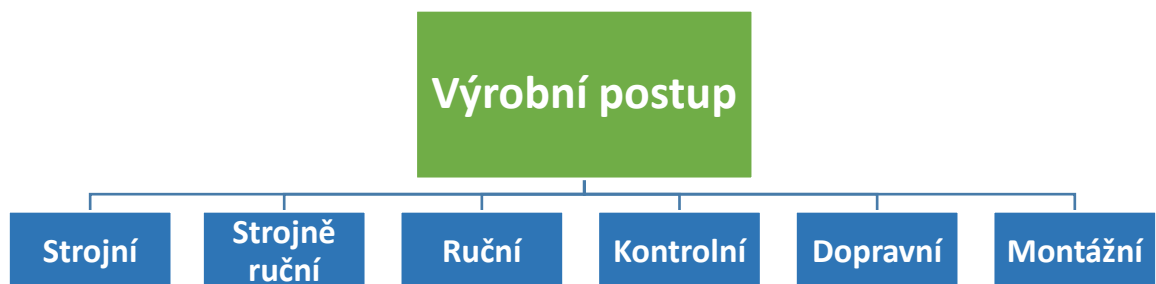
Hierarchie výrobního procesu je následující: [5][6][7]

- **Operace** je podjednotkou výrobního procesu. Pod tímto pojmem se rozumí ukončená část výrobního procesu. Obvykle je prováděna na jednom pracovišti jedním nebo více pracovníky, případně pomocí robotů a manipulátorů. Jako příklad lze uvést operaci soustružení od usazení polotovaru do stroje po vyjmutí hotového obrobku.
- **Úsek** je část operace, který je vykonáván jedním nástrojem na jednom stroji. Například hrubování polotovaru.
- **Úkon** rozděluje úsek na jednotlivé části. Je charakterizován jako ucelená jednoduchá pracovní činnost dělníka, případně stroje, v rámci daného pracoviště. Může se například jednat o výměnu nástroje při obrábění.
- **Pohyb** je základní jednotkou výrobního procesu. Jedná se například o uchopení nástroje pro obrábění před výměnou, zapnutí stroje, přejetí obráběcího nástroje do požadované polohy a podobně. Takto podrobný rozklad výrobního procesu je využíván zejména ve velkosériové výrobě, aby byl zajištěn správný postup, čas a ergonomie celého procesu.

3.1.4. Výrobní postup

Výrobní postup definuje, jak má být správně proveden výrobní proces. Určuje počet a pořadí činností a způsob jejich provedení. Stanovuje také jejich podmínky (například časové) a určuje zařízení, na kterých má být proces prováděn. Lze tedy říci, že výrobní postup je nezbytným dokumentem pro správnou realizaci všech činností, které vedou ke změně vstupního materiálu ve finální výrobek v co nejkratším čase při dodržení technických, organizačních a ekonomických podmínek. [4]**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**[5]

Obrázek 6 ukazuje možné členění výrobního postupu podle použité technologie či pracovní činnosti:



Obrázek 6: Členění výrobního postupu[5]

3.2. Definice a rozdělení linek

Linku lze definovat jako soubor pracovišť, která jsou rozmístěna podle daného technologického postupu. Pracoviště jsou zpravidla spojena mezioperační dopravou, realizovanou nejčastěji pomocí dopravníků. Linka je určena k provádění stanovených operací výroby, montáže, či jiného zpracování výrobku, případně jeho částí. [6][7][8]

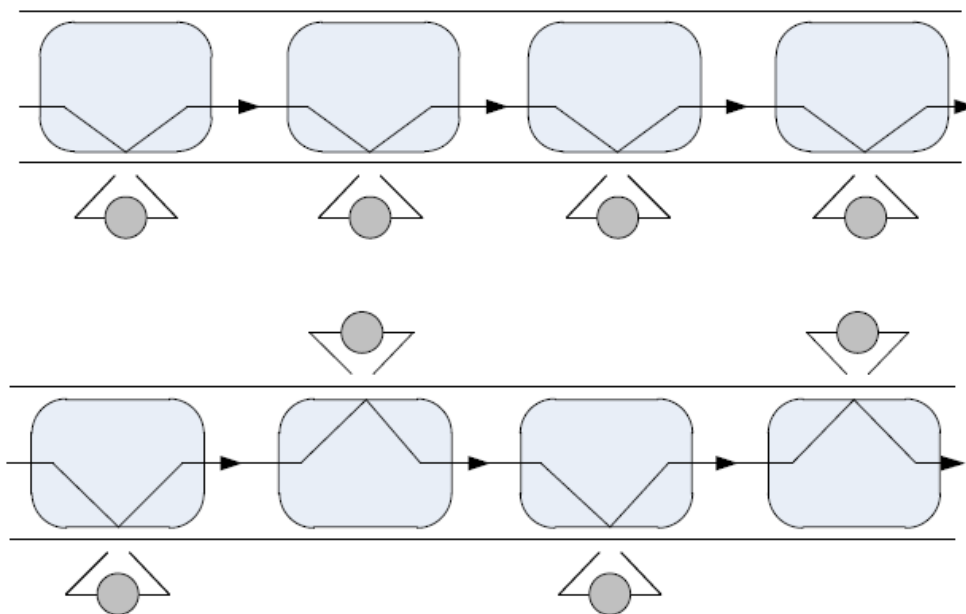
Montážní linky lze dělit dle následujících hledisek: [6][7]

- **Podle zapojení člověka do procesu:**
 - Linky ruční
 - Linky poloautomatické (mechanizované)
 - Linky automatické
- **Podle pohybu výrobku v rámci linky:**
 - Linky stacionární
 - Linky nestacionární
 - Výrobek se pohybuje až po ukončení operace
 - Výrobek se pohybuje soustavně
- **Podle způsobu provádění operací:**
 - Přímo na dopravníku
 - Mimo dopravník
- **Podle stupně synchronizace:**
 - Synchronizované (nepřetržité) linky
 - Nesynchronizované (přerušované) linky
- **Podle taktu linky:**
 - Linky s pevným taktem
 - Linky s volným taktem
- **Podle počtu druhů výrobků na lince:**
 - Jednopředmětové (stálé) linky
 - Vícepředmětové (střídavé) linky

3.3. Prostorové uspořádání linek

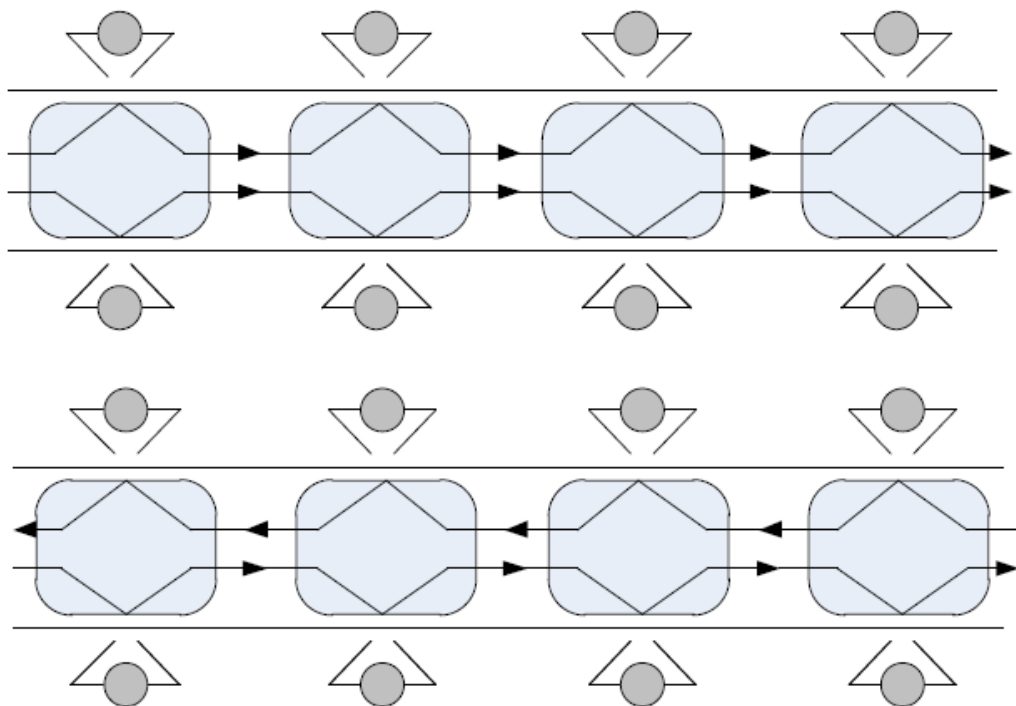
Linky lze, mimo výše uvedené možnosti, dělit také z hlediska jejich prostorového uspořádání, a to následujícími způsoby: [6][7]

- **Podle obecného prostorového uspořádání linky:**
 - Jednoduché linky
 - Rozvětvené linky
- **Podle obsazení stran linky:**
 - Jednostranné linky
 - Oboustranné linky
- **Podle směru pohybu linky:**
 - Jednosměrné linky
 - Obousměrné linky
- **Postavení pracovišť k lince**
 - Boční postavení
 - Čelní postavení



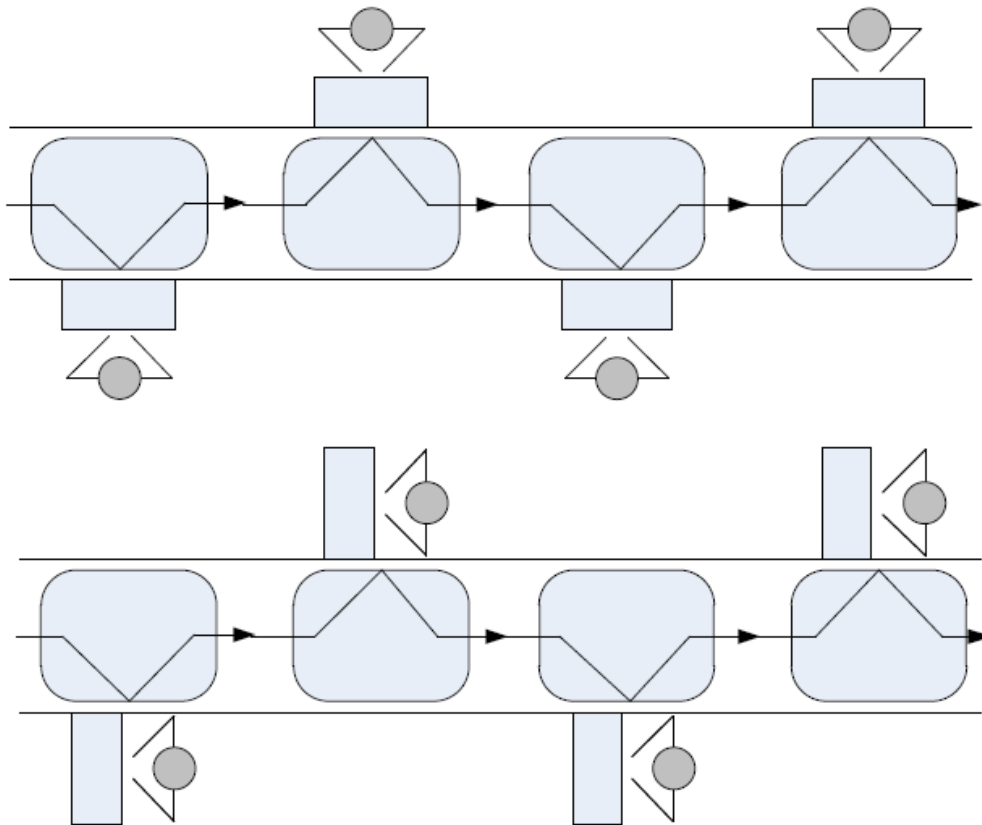
Obrázek 7: Uspořádání linek – jednostranné a oboustranné [6]

Jednostranné a oboustranné uspořádání linky je vidět na Obrázek 7. Vyznačuje se orientací pracovišť v rámci systému, respektive postavením operátorů, případně manipulátorů, obsluhujících tato pracoviště v rámci linky, kdy při jednostranném uspořádání je obsluha vždy z jedné strany linky.



Obrázek 8: Uspořádání linek – jednosměrné a obousměrné [6]

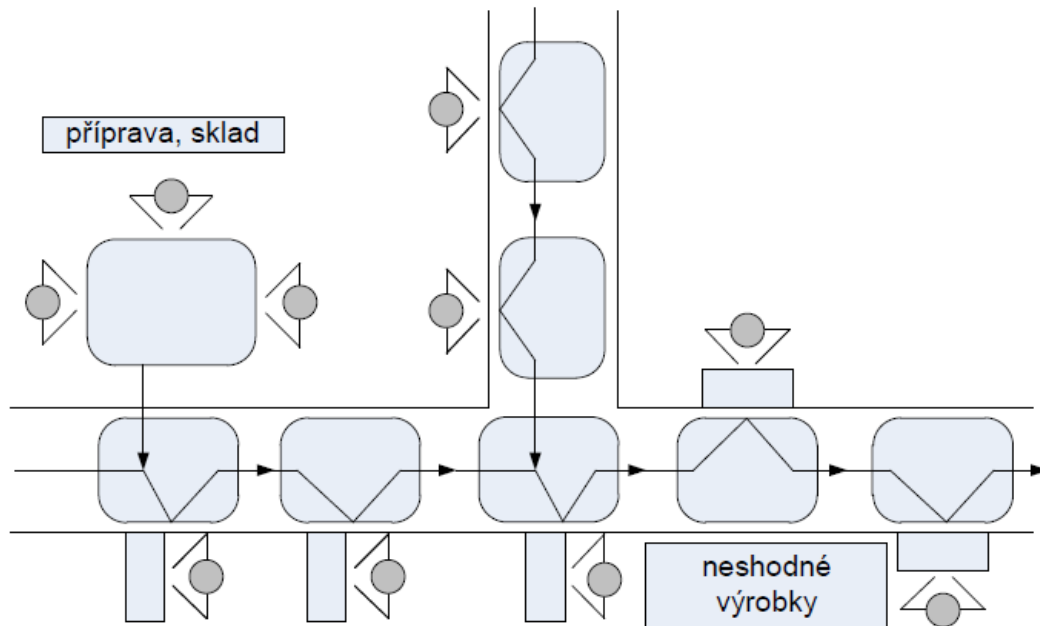
Jednosměrné a obousměrné uspořádání linek pak ukazuje schéma na Obrázek 8, kdy v případě obousměrného uspořádání na konci linky dojde ke změně směru postupu produktu a ten pokračuje v lince směrem zpět. Toto uspořádání není totožné s linkou ve tvaru U, neboť samotný tvar linky do písmene U nutně neznamená, že linka je obousměrná.



Obrázek 9: Uspořádání linek – s čelními a bočními pracovišti[6]

Další rozdělení linek podle uspořádání zobrazuje Obrázek 9. V tomto případě jsou ukázány linky nestacionární, případně stacionární s pohybem výrobku až po ukončení operace.

Speciální případ uspořádání linky je pak vidět na Obrázek 10. Jedná se o rozvětvenou linku. Takové uspořádání linky nespadá do výše popsaných prostorových uspořádání, neboť v rozvětvených linkách jsou často způsoby uspořádání kombinovány, jak si lze povšimnout i na obrázku.



Obrázek 10: Uspořádání linek – rozvětvená linka [6]

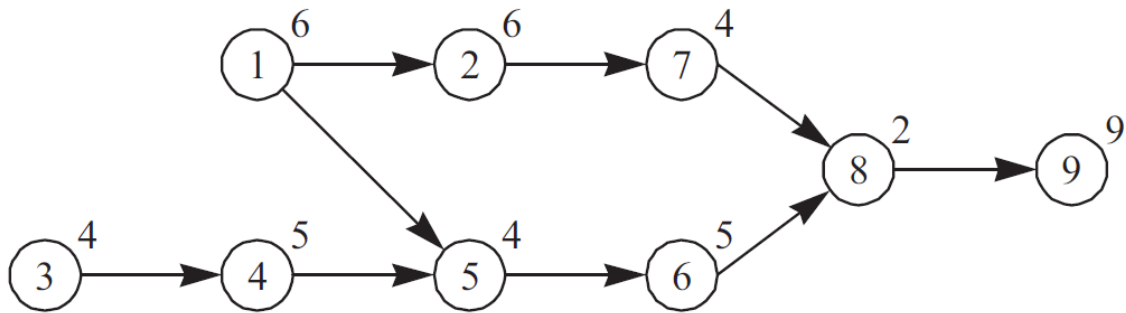
Při návrhu uspořádání linky a jejích pracovišť je nutné vždy zohlednit především hlediska prostorové kapacity montážní haly, logického uspořádání pracovišť pro dosažení nízkých cyklových časů, ergonomii pracovníků a mnoho dalších.

3.4. Balancování linek

Vzhledem k velice obsáhlé nabídce doplňků výbavy automobilů a jejich masové produkci (například automobilka BMW v roce 2004 nabízela, vzhledem k obsáhlému katalogu doplňkové výbavy, teoreticky až 10^{32} různých variant svých automobilů [8]) jsou automobilkami kladeny stále vyšší nároky na variabilitu a rychlost produkce dodavatelů součástí. Z těchto požadavků vyplývá nutnost velmi pečlivě projektovat linky, zejména jejich takt a parametry z něj vyplývající. Z tohoto důvodu byla v průmyslovém inženýrství zavedena problematika balancování linek.

Na každém pracovišti linky je vykonávána specifická operace, která zabere určitý čas. Součtem těchto časů dostáváme takt dané linky, tedy dobu, za kterou je tento systém schopen vyprodukovat jeden hotový výrobek. Je logické, že každá operace zabere různý časový úsek. To znamená nutnost vybalancovat danou linku tak, aby bylo dosaženo co nejhladšího průběhu výroby a zamezilo se uzlům (úzkým místům systému) na lince. Balancování linek je tedy činnost, jejímž výstupem je rozložení operací na lince tak, aby byla všechna pracoviště zatížena rovnoměrně. [8][9]

Při balancování linek se zpravidla vychází z mapy souslednosti operací, jako například na Obrázek 11. Ten zobrazuje výrobní proces sestávající z devíti dílčích operací. Čísla popisují poměry mezi časy pro provedení jednotlivých operací. Tuto mapu je při balancování nutno dodržet. [8]



Obrázek 11: Příklad mapy souslednosti operací [8]

Základním kamenem je takzvaný **Simple Line Balancing Problem** (SLBP). Balancování linky je postaveno na co nejefektivnějším přiřazení operací pracovištím pro dosažení co nejvyšší efektivity systému. Zavádí se zde tyto jednotky:

Sada činností přiřazených jednomu stanovišti se označuje jako S_k , kde k je číslo stanoviště. Čas, po který trvá stanovišti dané činnosti vykonat, se značí jako $t(S_k)$. Součtem těchto časů pro všechna stanoviště dostáváme celkový čas nutný pro kompletaci jednoho výrobku, označení t_{sum} . Další jednotkou je cyklový čas c . Ten může být dán například požadavky zákazníka. Vhodně vybalancovaná linka by měla splňovat podmínku $t(S_k) < c$. Pak je možné spočítat čas prodlevy, při kterém pracoviště nevykonává žádnou činnost, jako $c - t(S_k)$. Důležitým ukazatelem pro posouzení vhodnosti navrženého vybalancování je pak efektivita E , kterou lze vypočítat jako $E = t_{sum} / (cm)$, kde m značí počet stanovišť.

Podle toho, na jakou z popsaných veličin, je kladen největší důraz, lze SLBP rozdělit na čtyři dílčí problémy, a sice **SLBP-E**, který má za cíl dosáhnout co nejvyšší efektivity E , **SLBP-1**, zaměřující se na dosažení co nejmenšího počtu pracovišť m při dosažení cyklového času c . Opačným postupem je charakterizován **SLBP-2**. Poslední je pak **SLBP-F**, který se snaží najít co nejoptimálnější řešení problému při pevně daných veličinách c a m . [8][9]

3.5. Automatizace výrobních procesů

Zvláště v posledních letech je trendem ve výrobě a montáži, zvláště pak v sériové a hromadné, jednotlivé procesy mechanizovat a automatizovat. Mechanizace znamená, že samotná dílčí činnost (například operace šroubování apod.) je prováděna strojně. Tato činnost je řízena operátorem.

Automatizace obecně je pak proces, při kterém je daná činnost navržena tak, aby bylo možné ji vykonávat samostatně bez zásahu člověka. Plně automatizovaný systém je schopen také samoregulace a akčních zásahů do dané činnosti. Slovo automatizace pochází z řeckého slova **automos**, které v překladu znamená samočinný, živelný, fungující dle vlastní vůle. Zejména při větší sériovosti výroby je zaváděna především na jednoúčelové stroje. Těmi mohou být například testovací stroje nebo i celé linky. [10][11]

3.5.1. Důvody nasazení automatizace

Důvodů pro automatizaci dílčích operací, případně celých systémů, je celá řada. Jedná se časově i finančně o poměrně náročnou záležitost, proto je nutné zvážit, zda má v daném případě vůbec smysl danou činnost automatizovat. Případy, kdy je nasazení automatizace vhodné, jsou například tyto: [12]

- **Snížení výrobních časů.** Správně fungující automatický systém provádí dané činnosti ve stále stejném taktu, například při montáži tak nedochází k prodávám při správném navedení spojovacího materiálu do prostoru spoje.
- **Zvyšování produktivity práce.** Automatický výrobní systém je teoreticky schopen pracovat 24 hodin denně. Kromě pravidelné údržby nepotřebuje, na rozdíl od zaměstnanců, přestávky na jídlo, toaletu a podobně.
- **Snížování mzdových nákladů.** Zvláště ve vyspělých státech v posledních letech rostou nároky na mzdu pro zaměstnance provádějící manuální práce. Automatizací pracoviště, kde byla původně daná činnost vykonávána ručně, znamená snížení počtu potřebných pracovníků ve výrobě.
- **Eliminace dopadu nedostatku pracovních sil** úzce souvisí s důvodem předchozím.
- **Zvýšení kvality produktů.** Díky stálosti systémů řízených počítačem je lépe zachována jednotvárnost a požadovaná kvalita výrobků. Počítačově řízenými stroji lze také provádět i velmi přesné a náročné operace, které by byly člověkem jen velmi těžko proveditelné, případně nešly realizovat vůbec.
- **Zlepšení ergonomie a bezpečnosti práce.** Toto je výhodné zejména pro rutinní činnosti, při kterých si pracovník výroby namáhá neúměrně jen určité části těla. Automatizací operace dojde jednak k eliminaci těchto rutinních činností, navíc práce v nevhodné poloze převezme automatizovaná technika, čímž je dosaženo úbytku pracovních úrazů a nemocí z povolání.

3.5.2. Postup nasazení automatizace do výrobních a nevýrobních procesů

Prvním krokem při zavádění automatizace do daného procesu je důkladná analýza výchozího stavu. Je nutné detailně popsat a pochopit vstupy a výstupy procesu nebo jeho části, kterou chceme automatizovat, zjistit veškeré výrobní a testovací časy a jaké činnosti jsou při procesu prováděny. Pro tuto analýzu je využíváno postupových diagramů. Díky nim je možné vytvořit přehled celého procesu a tento analyzovat, určit jeho slabá místa a zhodnotit, zda má smysl přistoupit k samotné automatizaci.[11][12]

V dnešní době je hojně využívaným nástrojem analýzy proces FMEA. Co tento proces obnáší, je rozebráno níže v této části práce.

Po provedení analýzy zpravidla následuje proces zjednodušování daného procesu. Díky analýze je možné určit, které kroky procesu jsou příliš komplikované, případně zcela nadbytečné a tyto dále zjednodušit.

Následuje samotná implementace automatizace do výrobního procesu. Tento proces vyžaduje konstrukční úpravy dané linky, specifikaci požadovaných automatických strojů a manipulátorů, způsoby kontroly daného procesu apod. [12]

Failure Mode and Effects Analysis

Failure Mode and Effects Analysis (zkráceně **FMEA**) je nástroj pro identifikaci potenciálních problémů, vad a slabých míst výrobního procesu, systému, ale i například konstrukce výrobků. Pomocí FMEA je možné tyto problémy eliminovat ještě před tím, než se hotový výrobek dostane k zákazníkovi.

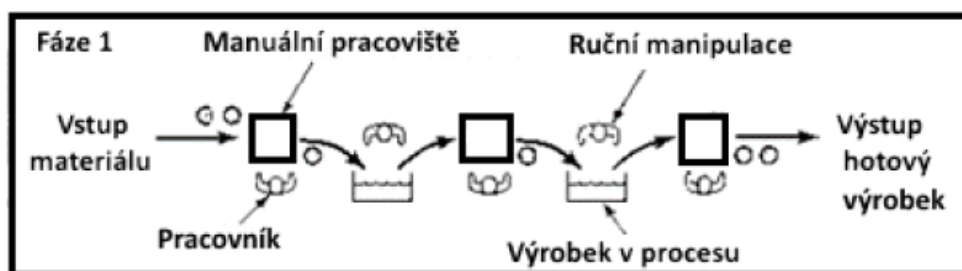
Proces FMEA obvykle provádí tým kvalifikovaných pracovníků a sestává z několika fází. Jako první je určen proces, který bude analyzován. Následně je nutné provést rozbor daného procesu, ze kterého vychází celá analýza. Na základě rozboru se určí možné vady a problémy procesu. Každý z potenciálních problémů je následně rozebrán a tým, který FMEA provádí, stanovuje příčiny a důsledky daného problému. Dalším krokem je přiřazení míry **výskytu**, **významu** a **odhalitelnosti** pro každý problém. Míra těchto tří faktorů je zpravidla hodnocena na stupnici od 1 do 10 podle její závažnosti. Ukazatele mají stejnou důležitost. Na základě tohoto hodnocení je pro každý efekt vypočítáno tzv. **Rizikové číslo (Risk Priority Number, zkráceně RPN)**, kterým je určena důležitost daného důsledku rozebíraného problému. Poté už může proběhnout rozbor možných řešení každého problému. Jako poslední krok je zpravidla proveden nový výpočet RPN, díky kterému je možné zjistit, do jaké míry se povedlo daný problém eliminovat. [15]

Migrační metoda automatizace

Jedná se o metodu postupné automatizace již existujících manuálních, případně částečně automatizovaných pracovišť. Je zde podrobněji rozepsána, neboť právě touto metodou dochází v posledních letech k postupné automatizaci montážních a testovacích linek ve výrobním závodě Brandýs nad Labem společnosti Continental.

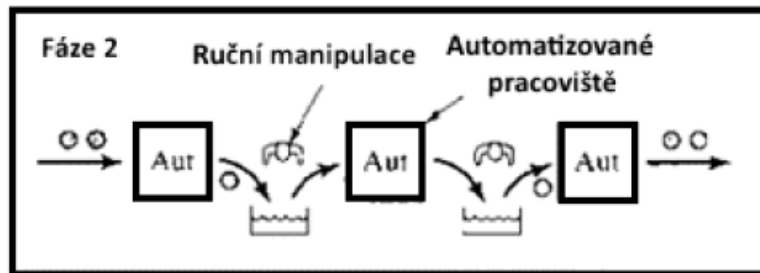
Metoda se využívá, pokud je zjištěno, například z důvodu zvýšení poptávky po daném výrobku, nedostatečné kvality výrobku apod., že stávající pracoviště nevyhovují specifikacím pro zpracování daného celku. Zpravidla je rozčleněna do tří základních fází.

V první fázi je linka v původním stavu. Na základě FMEA je proveden rozbor možností automatizace a je specifikován postup jejího zavedení pro danou linku nebo její část.



Obrázek 12: První fáze migračního způsobu automatizace linky [12]

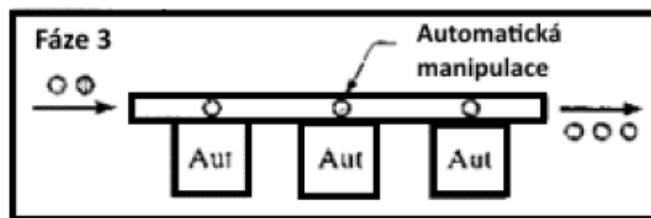
Druhá fáze představuje částečně automatizovanou linku. Automatizace proběhla na jednotlivých pracovištích, která jsou nyní obsluhována počítačem a manuálně probíhá pouze manipulace vyráběného celku mezi jednotlivými pracovišti.



Obrázek 13: Druhá fáze migračního způsobu automatizace linky [12]

V poslední fázi dochází k úplné automatizaci dané linky. Ruční manipulace s vyráběným celkem je nahrazena manipulací pomocí automatických dopravníků, případně jiných manipulátorů, například pomocí průmyslových robotů. K tomuto stupni automatizace se nejčastěji přistupuje ve velkosériové a hromadné výrobě. [12]

Migrační způsob automatizace samozřejmě nemusí být uplatňován pro celou výrobní linku. Nejčastěji je prováděna postupně pro jednotlivé dílčí úseky linky.



Obrázek 14: Třetí fáze migračního způsobu automatizace linky [12]

3.5.3. Výhody a nevýhody automatizace výrobních procesů

Výhody automatizace výrobního systému jsou nastíněny již v části Důvody nasazení automatizace. Jednou z hlavních předností automatizovaného výrobního, či nevýrobního procesu je časová úspora. Té je dosaženo díky efektivnější a přesnější práci automatických strojů a manipulátorů (přesnější a rychlejší navádění nástroje do správné polohy, rychlejší vykonání dané činnosti apod.) a také díky faktu, že na rozdíl od operátora může automatizované pracoviště, mimo přestávky na údržbu, pracovat nepřetržitě. Další výhodou je ekonomického charakteru. Díky automatizaci linky není třeba takový počet zaměstnanců ve výrobě, jako v případě manuálních linek, neboť místo několika operátorů pro každou linku stačí zaměstnat údržbáře, který se může navíc starat o vícelinek najednou. To je výhodné jednak díky ušetřeným mzdovým nákladům na výrobu daného dílu a jednak při nedostatku pracovních sil na trhu práce. V neposlední řadě je výhodou také zlepšení ergonomie pracovního prostředí, neboť automatická pracoviště vykonávají často rutinní práce, při kterých je navíc v případě vykonávání činnosti člověkem

namáhána jen jedna skupina svalů, čímž dojde ke zlepšení fyzického i psychického zdraví zaměstnanců.

Hlavní nevýhody automatizace výrobních a nevýrobních procesů vyplývají z jejího zavádění. Automatizace je časově a finančně náročný projekt, na kterém se zpravidla podílí celý tým kvalifikovaných zaměstnanců. Pro samotnou její realizaci je navíc třeba provést poměrně vysokou jednorázovou investici v podobě nákupu strojů, manipulátorů, softwaru a dalších nezbytných věcí pro její plnou integraci.

3.6. Testování desek plošných spojů

Linka, na které bude zkušební simulace v praktické části probíhat, je součástí výrobního systému autorádií do automobilu. Hlavním úkolem daného systému je především testování funkčnosti desek plošných spojů (zkráceně **DPS**), které celý přístroj řídí a jejich další zpracování, tedy rozdělení dvojice DPS na jednotlivé desky pomocí frézování a nahrání řídicího firmwaru. Z tohoto důvodu považuji za předmětné v této kapitole popsat, jaké jsou způsoby testování DPS a jak tyto testy probíhají.

3.6.1. Způsoby testování DPS

Testování DPS je důležitá činnost, která může odhalit vady produktu, jeho špatnou konstrukci apod. Tyto vady totiž mohou způsobit nefunkčnost DPS, případně zkrátit její životnost.

Metody testování lze rozdělit na dvě základní kategorie. Elektrické a neelektrické.

Neelektrické metody

Jak je zřejmé, neelektrické metody testování pro kontrolu DPS nevyužívají proměrování jejich elektrických obvodů. Jedná se především o vizuální kontrolu produktů. Pro neelektrické testování DPS se využívají například následující metody:[13][14]

Automated Optical Inspection (AOI) je metoda vizuální kontroly správnosti výroby DPS. Pro test je využito 2D, případně 3D kamer, které nasnímají desku. Ta je následně testovacím softwarem porovnána s deskou referenční, případně s výrobní specifikací. Výstupem testu je informace, jestli je reálná deska vyrobena přesně podle schématu, případně jestli odpovídá přibližně v rámci nastavených tolerancí. Test je vhodný do raných fází produkce DPS před jejich dalším zpracováním a testováním. Vhodné je však za tento test zařadit další zkoušky ze skupiny elektrických metod.

- **Automated X-ray Inspection (AXI)** využívá pro testování rentgenového záření. Díky skenu pomocí rentgenu je možné zkoumat správnost provedení spojů a obvodů, které nejsou viditelné při testu AOI, jako například spoje překryté součástkami a podobně. Metodou AXI je možné desku zkoumat mnohem detailněji než při použití AOI. Jejimi nevýhodami jsou však vyšší náklady na pořízení testovacích zařízení a nutnost proškolení techniků. I

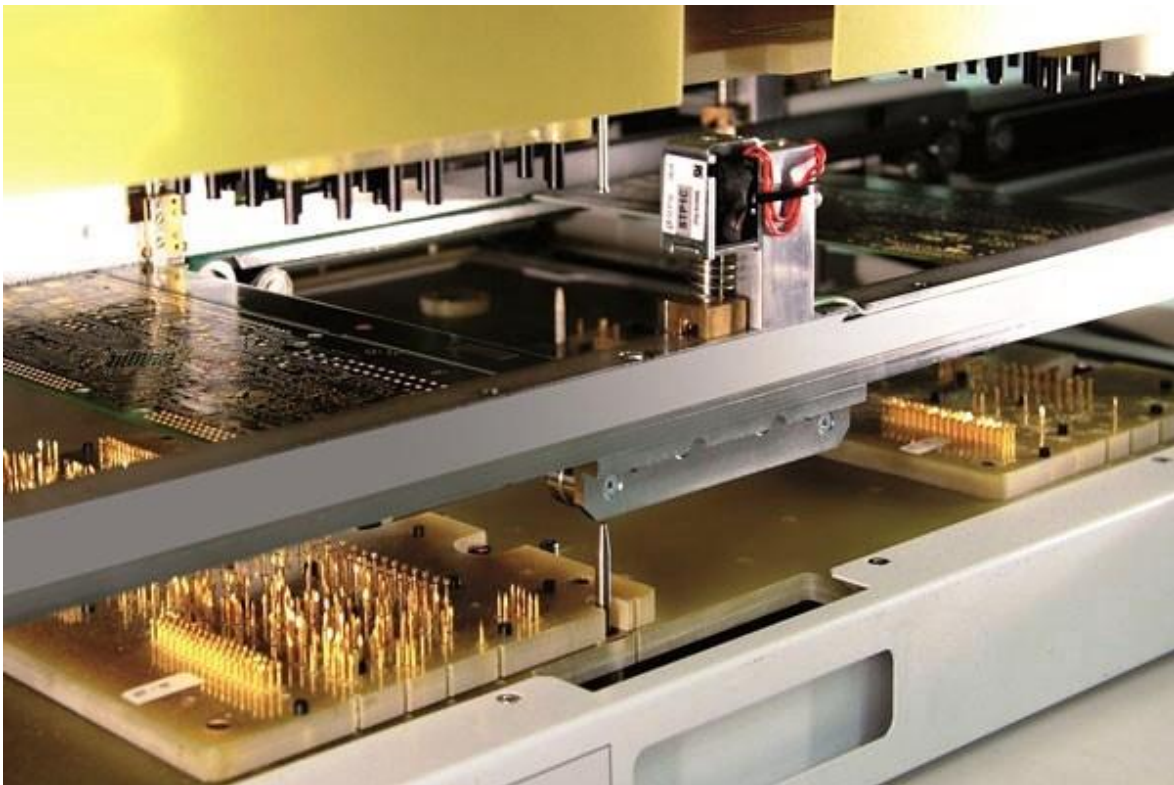


v případě AXI testovací metody je vhodné za tuto zkoušku zařadit další testy ze skupiny elektrických metod.

Elektrické metody

Elektrické metody testování DPS mají za úkol pomocí zapojení obvodů desky, případně jejích částí, simulovat připojení a funkčnost spojů a součástek na této desce. Jedná se zpravidla o závěrečné testy před dalším zpracováním desek, případně před jejich distribucí zákazníkovi. Nejčastěji jsou využívány tyto metody testování: [13][14]

- In Circuit Testing (ICT)** metoda má za úkol otestovat správnost konstrukce DPS pomocí jejího zapojení do obvodu tak, jak bude zapojena v produktu, do kterého je vyráběna. Pomocí ICT je především zkoušeno dosažení požadovaných hodnot veličin DPS a jejích součástek, jako například procházející proud, napětí, odpor a podobně. Test je prováděn v naprosté většině případů dvěma způsoby. Prvním způsobem je ICT pomocí jehlového pole. Deska je vložena do základacího přípravku, aby byla zaručena její správná pozice a během testu se nepohybovala. Následně dojde k vodivému spojení každé z jehel s místy na desce, která jsou testována. Délka samotného testu je kolem 7 sekund.



Obrázek 15: Příklad ICT testeru [14]

Dalším způsobem je tzv. „flyingprobe test“. Testovací jehly jsou v tomto případě na sondě, která se pohybuje v rovině rovnoběžné s deskou a kontaktuje jen některá místa na DPS. Oproti testování pomocí jehlového pole je tato metoda levnější na zprovoznění a je s ní možno testovat více druhů DPS bez přestavby zařízení, na druhou stranu je však pomalejší a méně přesná.

- **Burn-in Testing (Zahořovací test)** je metoda, která má za úkol zjistit především maximální možnou proudovou zátěž DPS. Deska je vodivě spojena a prochází jí maximální proud a napětí podle specifikace. V nejzazších případech může test trvat i 48-168 hodin. Vzhledem k tomu, že je deska vystavena maximální zátěži, může dojít k jejímu zničení a tato zkouška se tak řadí mezi destruktivní.
- **Funkční testy** nejsou přesně popsány. Jejich obecná charakteristika je testování funkcí DPS, jako například wifi a GPS moduly, konektory pro připojení externích zařízení (např. AUX, USB apod.). Testy jsou individuální dle specifikace výrobce a zákazníka.

Existuje řada dalších testů DPS, jako například odtrhová zkouška, kdy se testuje, jakou silou je nutno působit pro odloupení krycí vrstvy z desky a podobně. Výše popsané testy jsou však nejpoužívanější. [13][14]

Tato kapitola popisuje teorii projektování výrobních systémů, definuje charakteristiku výrobních linek, rozděluje je podle základních hledisek a vysvětluje v ní základní pojmy při jejich navrhování a automatizaci. V neposlední řadě se také dotýkám tématu testování desek plošných spojů. Jedná se o důležité prerekvizity, které mají pomoci pochopit simulovanou linku, operace na ní prováděné a její postavení ve výrobním systému závodu.

4. Simulace linek

V posledních letech přistupuje řada průmyslových firem, zejména větších, k použití simulace při projektování jednotlivých linek, ale i celých výrobních prostor. Cílem je pro většinu z nich vytvořit tzv. **digitální dvojče** továrny. Tento pojem znamená vytvoření výrobních prostor 1:1 v digitální podobě, nejčastěji ve formě 3D pohyblivého modelu.

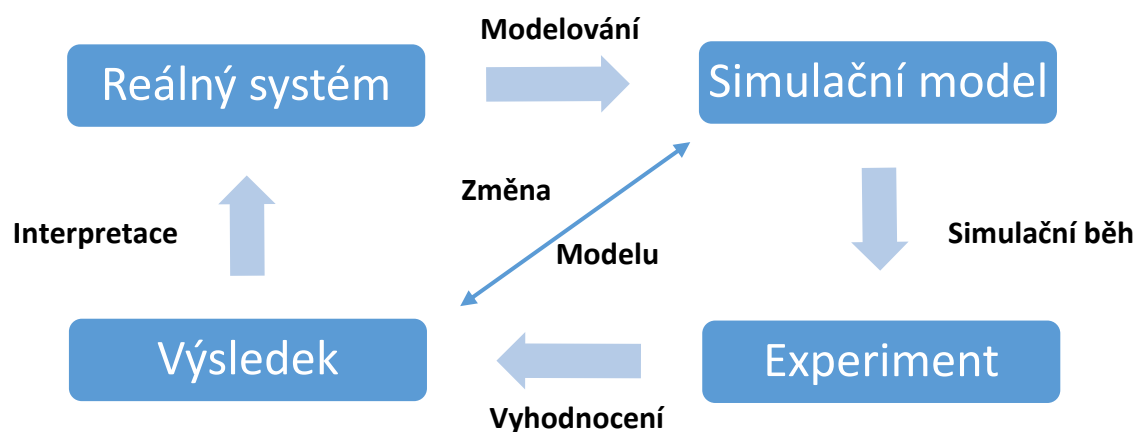
Pojem digitální dvojče však neznámá jen prostou 3D vizualizaci výrobních prostor, případně jejich částí. Spadá sem i simulace celého procesu montáže a výroby, tedy výrobních časů, možných kolizních stavů na lince, funkčnosti PLC v rámci linky i výroby jako celku, simulace pohybu pracovních robotů a cobotů, ergonomie pracovišť, materiálových toků, skladovacích procesů apod. Souhrnně lze tedy říci, že digitální dvojče továrny, respektive její výrobní a logistické části, je komplexní celek, který v ideálním případě funguje stejně, jako jeho skutečná předloha.

4.1. Pojem simulace

Samotné slovo simulace pochází z latinského slova **simulo**, v češtině napodobit.

Pod pojmem simulace rozumíme metodu nahrazení zkoumaného systému simulačním modelem a procesy k tomuto nahrazení vedoucí. S tímto modelem jsou následně prováděny experimenty, které mají za cíl pochopit chování zkoumaného systému a v další fázi také ověření funkčnosti změn v tomto systému provedených.[16][17]

Zjednodušené schéma simulačních procesů ukazuje Zjednodušené schéma procesu simulace



Obrázek 16: Zjednodušené schéma procesu simulace [16]

Simulaci lze tedy chápat jako nástroj pro ověření plánovaných změn současných systémů a zavádění systémů nových s možností zkoumat dopady těchto změn ještě před jejich provedením na reálném systému.

Širší uplatnění začaly simulační procesy nacházet v devadesátých letech minulého století s rozvojem výpočetní techniky, neboť vzrostla potřeba simulační modely zkoumat ve 2D a 3D provedení v reálném čase pro celý proces, tedy tvorbu modelu, experimentu,

jeho sledování a vyhodnocování. Tyto požadavky znamenají práci s velkým množstvím dat a z toho plynoucí potřebu výkonných výpočetních strojů.[17][18]

4.2. Další pojmy v problematice simulací

4.2.1. Simulační systém

Systém obecně je definován jako množina vzájemně propojených prvků s vazbou na své okolí. [14] V případě projektování výrobních a montážních celků pojem simulační systém znamená výrobní (respektive montážní) celek nebo jeho část, kterou chceme zkoumat. Jedná se například o sklad, montážní linku, její pracoviště apod.

Z pohledu času lze simulační systémy dělit na dvě skupiny: [16]

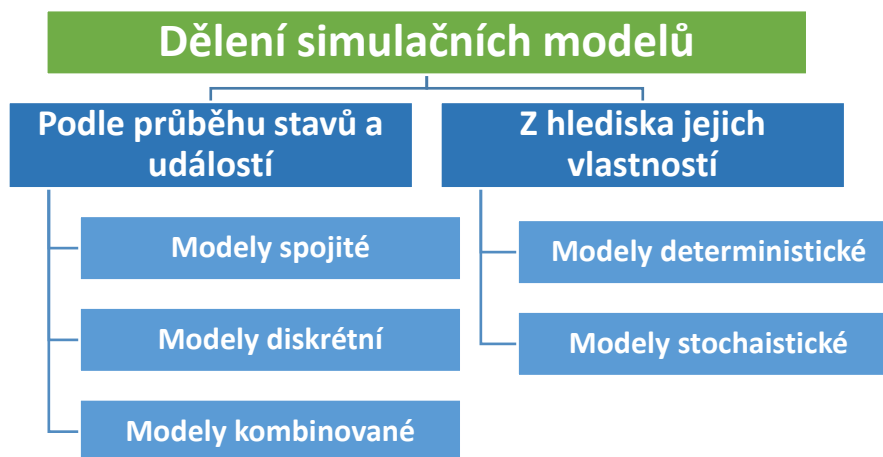
- **Systémy statické.** U statických systémů se časový průběh zanedbává, není k němu přihlíženo
- **Systémy dynamické.** U těchto systémů je přihlíženo k časovému průběhu v systému, například k časové souslednosti událostí.

V případě simulace výrobních a montážních procesů je využíváno systémů dynamických.

4.2.2. Simulační model

Model je chápán jako znázornění reálného objektu, který chceme podrobit dalšímu zkoumání.

Simulační model je pak dynamický simulační systém, který je reprezentací systému skutečného. Události a stavy v něm nastávají ve stejném pořadí jako u skutečného systému. Modely lze dělit následujícím způsobem: [16][17]



Obrázek 17: Dělení simulačních modelů

Z hlediska průběhu stavů a událostí existuje následující dělení modelů:

- **Modely spojitě.** Hodnoty proměnných se v čase mění souvisle.
- **Modely diskrétní.** Změny proměnných nastávají nespojitě, skokově.
- **Modely kombinované.** Kombinují vlastnosti předchozích dvou typů modelů.

Nejčastěji jsou pro potřeby projektování užívány modely diskrétní.

Z hlediska vlastností dělíme modely na:

- **Modely deterministické.** Hodnoty proměnných v těchto modelech jsou přesně definovány, model nezahrnuje náhodné proměnné a při stejných hodnotách vstupních veličin je výsledek simulace vždy stejný.
- **Modely stochastické.** Zahrnují vliv náhodných proměnných. Zkoumaný problém má náhodný průběh, výsledek pro shodné zadání simulace není vždy stejný.

4.2.3. Digitální dvojče

Pojem digitální dvojče byl vysvětlen již v úvodu této kapitoly. Zde je proto pouze stručné shrnutí. Digitální dvojče je simulační model skutečného systému výrobního (respektive montážního) celku, případně jeho dílčích částí, který má – v ideálním případě – tento přesně napodobit.

4.2.4. Stavové proměnné

Stavové proměnné popisují chování systému a jeho změny. Tyto proměnné mohou být dány přesně, například intenzita dávkování materiálu na jednotlivá pracoviště, standardní cyklový čas jedné operace apod. Dalším druhem jsou proměnné náhodné. Ty nejsou přesně definovány, do systému vstupují náhodně na základě určité pravděpodobnosti jejich výskytu a mají za následek různé chování simulačního systému při stejných daných proměnných. Příkladem mohou být náhodné kolizní stavy na pracovišti v procesu montáže.[16]

4.2.5. Událost

Událostí se rozumí změna stavu systému. Jedná se například o dokončení výrobního cyklu, zastavení činnosti pracoviště kvůli chybě při procesu atd.

4.2.6. Entita

Entita je dynamický objekt, který v průběhu času pohybuje systémem. V případě montážní linky se může jednat například o výrobek v jeho jednotlivých časových úsecích a stádiích zpracování.

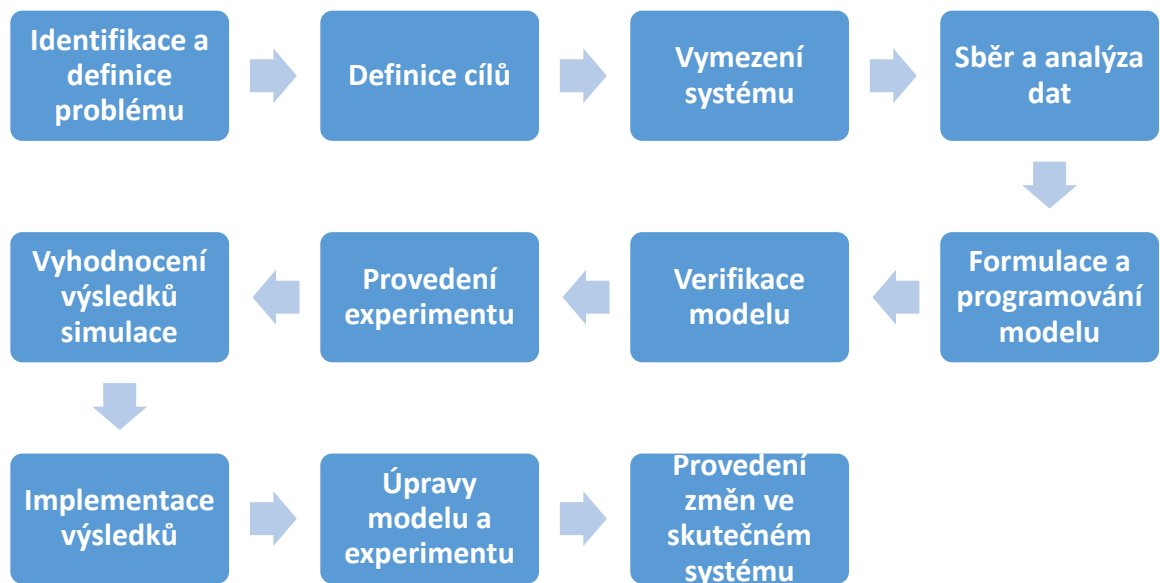
4.2.7. Aktivita

Aktivitu lze chápat jako časový úsek stavu entity, tedy například průchod výrobku jednou pracovní činností, pracovištěm, linkou, případně i celým procesem výroby a montáže. [16]

4.3. Implementace simulace do rozhodovacích procesů ve výrobě

Provádění simulací je stále častějším pomocným prostředkem při rozhodování o provádění změn v procesu výroby. Správně provedená simulace umožňuje pozorovat tyto změny a vyhodnocovat jejich dopady v simulačním systému ještě před tím, než jsou tyto realizovány v systému skutečném.

Implementace simulace do rozhodovacích procesů ve výrobě sestává z několika fází, jejichž správné a pečlivé provedení je klíčové pro vytvoření racionálního simulačního systému ve formě modelu a relevantních výstupů z provedené simulace. Jednotlivé fáze implementace ukazuje Obrázek 18.



Obrázek 18: Fáze implementace simulace [17]

Podrobněji lze tyto fáze interpretovat následujícím způsobem:

- **Identifikace a definice problému.** Je nutné si stanovit, na co přesně se chceme při simulaci zaměřit a provést důkladnou analýzu dat s tímto definovaným problémem spojených. Tímto problémem může být například stavba nové montážní linky pro zákazníka, úprava linky stávající pro splnění požadavků zákazníka a podobně.
- **Definice cílů.** Po stanovení problému, na který se chceme zaměřit, je možné stanovit cíle, kterých chceme dosáhnout. Hlavním cílem je obvykle snížení nákladů na výrobu (respektive montáž) a zvýšení ziskovosti daného produktu. Tento cíl se pak skládá z dílčích cílů a kroků, kterými jej chceme dosáhnout. Příkladem mohou být například snížení cyklového času, zlepšení zmetkovosti, maximalizace využití výrobního profilu firmy apod. [17]

- **Vymezení systému.** V této fázi je započata konkretizace projektu simulace. Je vymezena konkrétní část linky, na které bude experiment probíhat, v případě stavby linky nové zase prostor, který je možné linkou zaplnit. Dochází ke stanovení zdrojů linky, jako jsou stroje, manipulátory, operátoři, jejich rozmístění v rámci zkoumaného systému apod.
- **Sběr a analýza dat.** Jedná se o nejdůležitější a časově nejnáročnější fázi procesu simulace (může zabrat až 60% celkového času implementace [17]). Čím více přesných dat, týkajících se daného projektu, získáme, tím přesnější simulaci je možné provést a získat tak relevantní výstupy. Potřebných dat je celá řada, můžeme zmínit například strojní časy jednotlivých zařízení, časy manipulace produktu v rámci linky, analýza možných chybových a kolizních stavů v rámci linky i jednotlivých zařízení, materiálové toky atd. Důležitá je v této fázi součinnost týmu, který má projekt na starosti a dodavatelů. Tato fáze je výhodná pro společnost i z pohledu ucelení a seřídění informací o průběhu výroby. [17][18]
- **Formulace a programování modelu.** Na základě stanovených cílů a analyzovaných dat je nyní možné přistoupit k samotné tvorbě simulace pomocí simulačních softwarů. Tato část se skládá z několika podfází. Prvním krokem je rozhodování o požadované kvalitě a detailnosti simulace. Jedná se například o stanovení míry podrobnosti 3D dat v simulaci použitých, stavů, které je pro účely daného projektu vyzkoušet a podobně. Následuje sběr a tvorba 3D dat nestandardních strojů a zařízení v rámci simulačního systému. Poslední přípravnou fází je pak sestavení simulačního modelu (například layoutu montážní linky) podle skutečné předlohy. Model je naplněn reálnými údaji výrobních podmínek, obsahuje vazby mezi částmi výrobního systému. Nemusí se však jednat jen o sestavení 3D modelu. Některé simulační softwary nabízejí i širší možnosti simulace. Součástí programování modelu tak může být i implementace PLC programu, softwaru strojů a zařízení na lince a jejich grafického rozhraní apod.
- **Verifikace modelu.** Vytvořený simulační model je podroben kontrole správnosti provedení. Je důležité zkontrolovat především správný import všech dat (3D, PLC program apod.) do simulačního software, správně vytvořený layout a především kontrola správnosti zadaných vstupních údajů pro daný systém.
- **Provedení experimentu.** Po verifikaci následuje samotné spuštění simulace. Při simulaci probíhá řada experimentů zaměřených na řešení určených problémů a způsoby dosažení stanovených cílů. Provádějí se stanovené scénáře výroby (chybové stavy, zastavení výroby, omezení toku materiálu a další). Je nutné uvažovat stav rozpracované výroby, její náběh a ukončení. Pro dosažení potřebné přesnosti a relevantnosti simulace je potřeba tuto

provádět v dostatečně dlouhém vymezeném časovém úseku, aby došlo ke stabilizaci sledovaných parametrů. Některé nástroje simulace mohou být v krajních časech běhu nepoužitelné. [17]

- **Vyhodnocení a interpretace výsledků simulace.** Po skončení simulace zástupci jednotlivých výrobních oddělení, pracujících na simulovaném projektu, zhodnotí výsledky poskytnuté simulací a poskytnou zpětnou vazbu.
- **Úpravy modelu a experimentu.** Na základě zpětné vazby členů projektového týmu je provedena optimalizace simulačního modelu a experimentu, například konstrukční úpravy linky. Ty jsou následně ověřeny prováděním dalších experimentů.
- **Provedení změn ve skutečném systému.** Po schválení průběhu finální simulace všemi členy týmu je možné v modelu provedené změny přenést do skutečného výrobního systému. [17]

4.4. Důvody využití simulací při projektování

Pro zavedení procesu simulace jako standardu při projektování výroby mluví, zejména pro větší podniky, řada důvodů. Ty vyplývají právě z podstaty simulace samotné a v průběhu kapitoly již byly nepřímě zmíněny. Především je díky existenci digitálního dvojčete výrobních (respektive montážních) prostor ve firmě možné veškeré koncepte nových projektů i úpravy projektů stávajících a jejich dopady na výrobu sledovat a optimalizovat ještě před tím, než jsou tyto zrealizovány ve skutečném systému. To se projevuje v průběhu celé realizace simulovaného projektu. Představení konceptu linky je snazší díky vizuální části simulace. Zkoušení funkčnosti úprav stávajících linek neohrožuje chod výroby, neboť s použitím simulace se změny aplikují do skutečného systému až po jejich plné optimalizaci ve virtuálním prostředí. Toto se týká jak změn mechanických, jako například změny layoutu linky, změna koncepce stroje apod., tak změn softwarových, neboť dnešní simulační softwary nabízejí i tvorbu virtuálního PLC, programů pro roboty a podobně. Podobně při projektování nových linek je možné výrobní cyklus sledovat a optimalizovat ještě před tím, než je linka postavena fyzicky. Díky tomu je možné zkrátit čas od zadání zákazníka po náběh výroby až o 30%. [22] V simulaci je navíc možné provádět v relativně krátkém čase zkoumat chování systému a vzájemné propojení jeho částí v delším časovém horizontu a objevit tak ještě před realizací skutečné linky nedostatky, které by bez provedení simulace mohly vyplynout až například za několik měsíců. Pomocí pokročilých systémů s použitím simulací je také možné proškolení operátory a techniky údržby pro práci na lince bez nutnosti zasahovat do chodu linky skutečné. Některé softwary navíc umožňují také zkoumat ergonomii pracovišť, čímž je možné předejít nemocem z povolání zaměstnanců. I samotný sběr dat potřebných pro simulaci je výhodný, neboť dává přehled o skutečném stavu výroby a možnostech její optimalizace.

4.5. Nevýhody zavádění simulací do procesu projektování

Nevýhody implementace simulací do procesu projektování a rozhodování se projeví především v počátečních fázích jejich zavádění jako standardu pro danou firmu.

Vzhledem ke komplexnosti dnešních simulačních softwarů je potřeba vytvořit tým vyškolených lidí seznámených s problematikou. Je nutné stanovit očekávání, která daný podnik od simulace má a podle toho zvolit vhodný software. Dalším krokem je specifikace konkrétní podoby software, tedy jaké všechny balíčky a knihovny, nabízené pro daný software, jsou pro danou firmu užitečné, a které ne. Po zakoupení software je nutné proškolit zaměstnance, respektive část z nich, pro práci s tímto software. Následuje zkoumání softwaru a jeho zprovoznění pro potřeby dané firmy. Proces vytvoření kompletního digitálního dvojčete výrobních prostor společnosti může zabrat i několik let. Jedná se tedy o časově náročný proces.

Další počáteční překážkou je velká investice do zakoupení softwaru. Kvalitní software se cenově pohybuje v řádu desítek tisíc euro. Další tisíce euro stojí jeho údržba a zákaznický servis.

Před zakoupením simulačního softwaru je nutné všechny přednosti a výhody pečlivě zvážit a stanovit, jestli je pro danou situaci opravdu vhodným nástrojem.

4.6. Simulační softwary

V této kapitole provádím rešerši některých nabízených softwarových řešení pokročilých simulací linek ale i větších výrobních celků od největších softwarových firem na trhu. Popisují především jejich funkcionalitu a možnosti tvorby co nejuvěrnější simulace výrobních a montážních linek. Tato funkcionalita, spolu s dalšími faktory, jako náklady na pořízení a implementaci softwaru a jednoduchost jeho ovládání, jsou důležitá kritéria při výběru vhodného softwaru pro potřeby dané společnosti.

Konkrétní výběr softwaru pro použití ve společnosti Continental popisují v praktické části této práce.

4.6.1. Siemens Tecnomatix

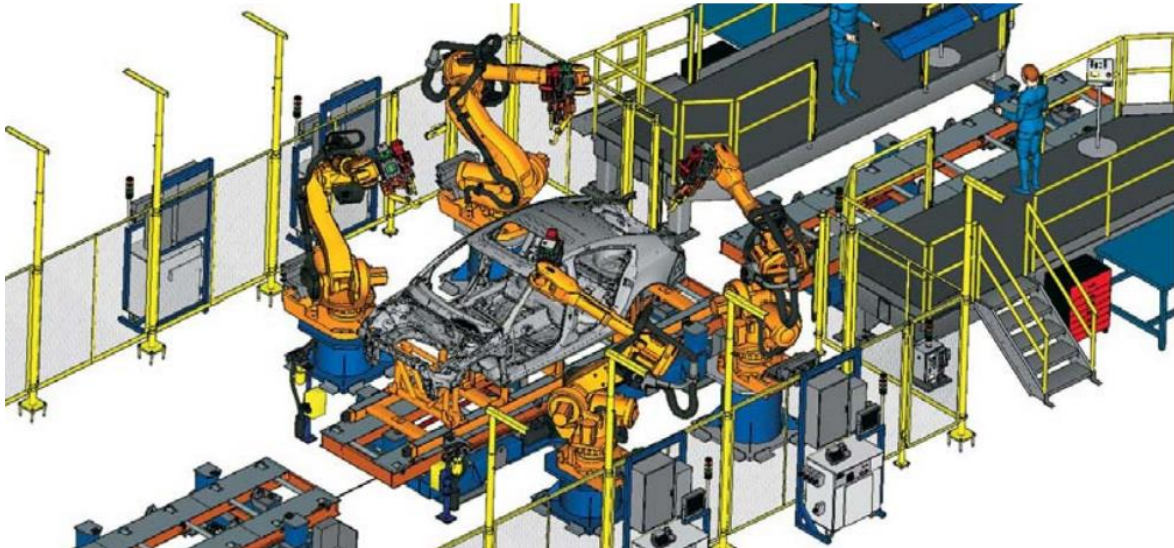
SiemensTecnomatix je software německé firmy Siemens, zajišťující kompletní řešení digitální továrny. Skládá se z řady modulů a programů, které umožňují digitalizaci plánování výroby, její řízení a simulaci. Software vyvíjí divize Siemens PLM. [19]

Celý produkt se skládá z následujících částí:

TecnomatixProcess Simulate

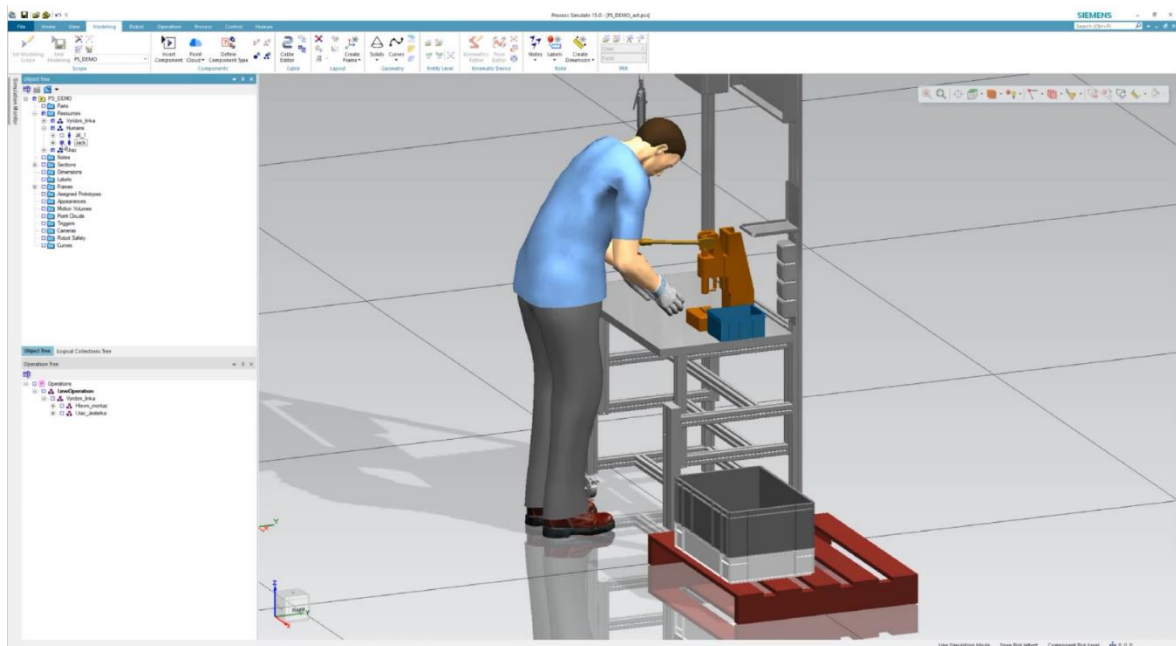
Process Simulate slouží ke konstrukci montážních a výrobních linek, jejich virtuálního zprovoznění a následné simulaci běhu linky za různých podmínek ve 3D prostředí. Skládá se z několika dílčích modulů. Základem je již zmíněné prostředí 3D vizualizace. To umožňuje import 3D modelů z knihoven standardizovaných strojů, dopravníků, robotů apod., ale i strojů vlastní konstrukce a jejich rozpohybování v reálném čase.

Další součástí softwaru je modul **Process SimulateAssembly**. Umožňuje podrobně zkoumat a optimalizovat montážní procesy na jednotlivých pracovištích, jako například optimální pořadí montážních procesů, analýzu možných kolizních stavů při montáži, výběr vhodných nástrojů a vhodného rozmístění jednotlivých částí pracoviště pro zajištění bezkolizní montáže s co nejkratším cyklovým časem.

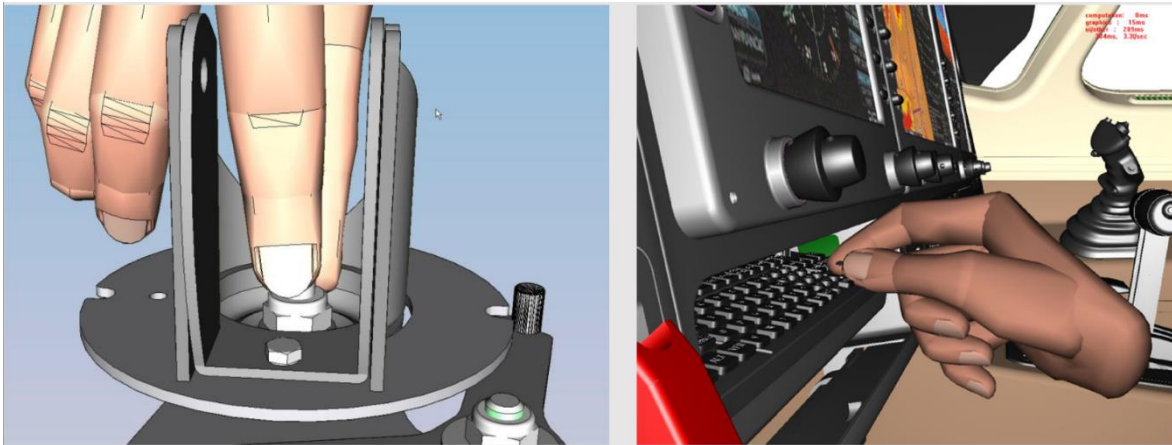


Obrázek 19: Příklad vizualizace výrobní linky v Process Simulate[20]

Process SimulateHuman je modul specializovaný na návrh a optimalizaci manuálních pracovišť z pohledu ergonomie. Sleduje pohyby operátora při práci, zóny dosahu, možné kolize s automatickými částmi pracoviště a namáhání svalů. Lze sledovat proces jako celek, ale i detailně rozdělený na základní pohyby. Umožňuje tak navrhnout vhodné rozložení pracoviště pro splnění ergonomických a bezpečnostních standardů daného podniku.



Obrázek 20: Process SimulateHuman[22]



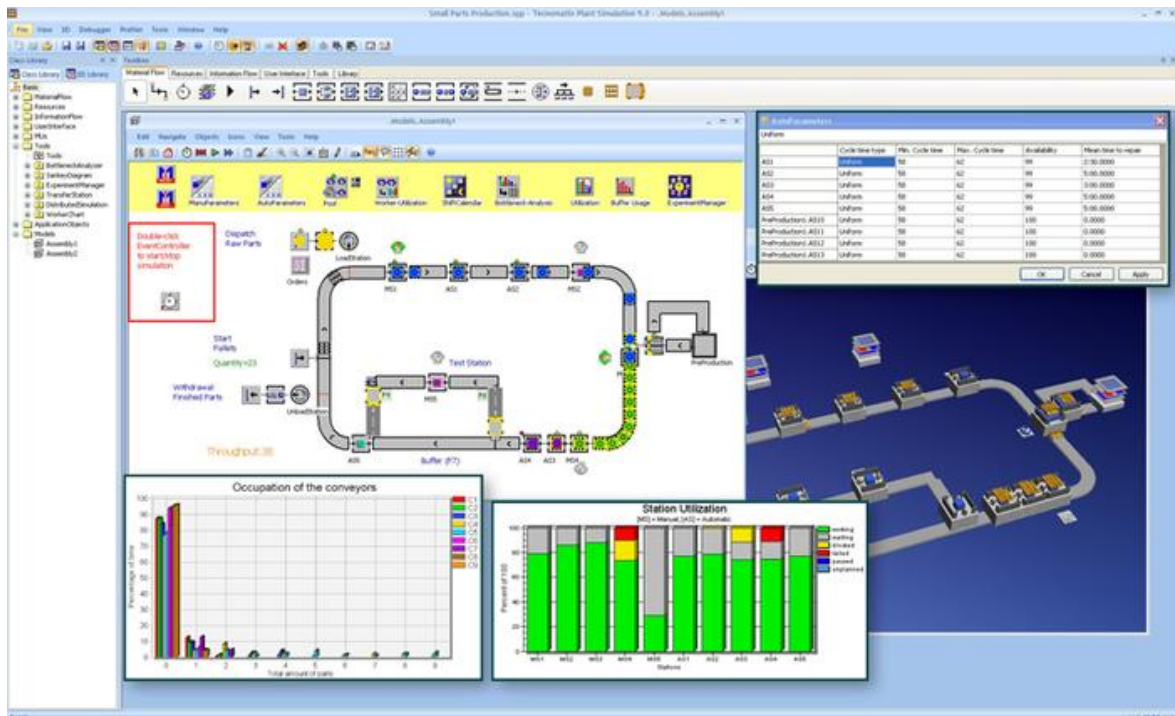
Obrázek 21: Process SimulateHuman – detailní pohled [22]

Důležitou součástí je modul **Process SimulateRobotics**. Je zaměřen na optimalizaci robotických pracovišť. Je možné v něm simulovat pohyby robotů a zjistit tak jejich dosahové a kolizní zóny. Obsahuje také emulátory ovládacích panelů od známých výrobců, jako například Universal Robots, Staubli, Kuka aj., díky nimž lze pohyby robotů zkusit v reálném čase. Díky tomuto modulu je tak možné zjistit optimální umístění robota na pracovišti a optimalizace jejich pohybů, zejména na pracovištích s více roboty, kde může dojít ke vzájemné kolizi. Dalším důležitým doplňkem je pak modul **Process SimulateComissioning**. Obsahuje platformu pro offline programování robotů a PLC linek. Díky tomu je možné v simulačním modelu vytvořit a vyzkoušet programy pro roboty a PLC, testovat vstupní a výstupní signály a tyto procesy optimalizovat ještě před jejich implementací do skutečné výrobní linky. Programy lze navíc pro PLC Siemens převádět do skutečného systému 1:1, není tedy nutné je tvořit zvlášť pro simulaci a zvlášť pro reálnou montážní linku. [20][21][22]

Software Process Simulate je jedním ze dvou simulačních nástrojů, které budou zkoušeny a porovnávány v rámci praktické části této práce.

TecnomatixPlant Simulation

Narozdíl od software Process Simulate, který je zaměřený na optimalizaci jednotlivých montážních a výrobních linek, jejich částí a procesů na nich probíhajících, je Tecnomatix Plant Simulation nástrojem pro simulaci větších výrobních a logistických celků. Řeší především optimální rozmístění jednotlivých částí výroby, jako jsou montážní a výrobní linky, sklady apod. v rámci podniku. Tento simulační model je možné vytvářet ve 2D i 3D prostředí. Umožňuje zkoumat úzká místa výroby (tzv. bottlenecks), materiálové toky, kapacitu výroby, vliv nečekaných situací na výrobu, plánování a dimenzování výroby a usnadňuje tak konání strategických rozhodnutí a zkoumání jejich dopadu ještě před jejich uskutečněním. [21][22]



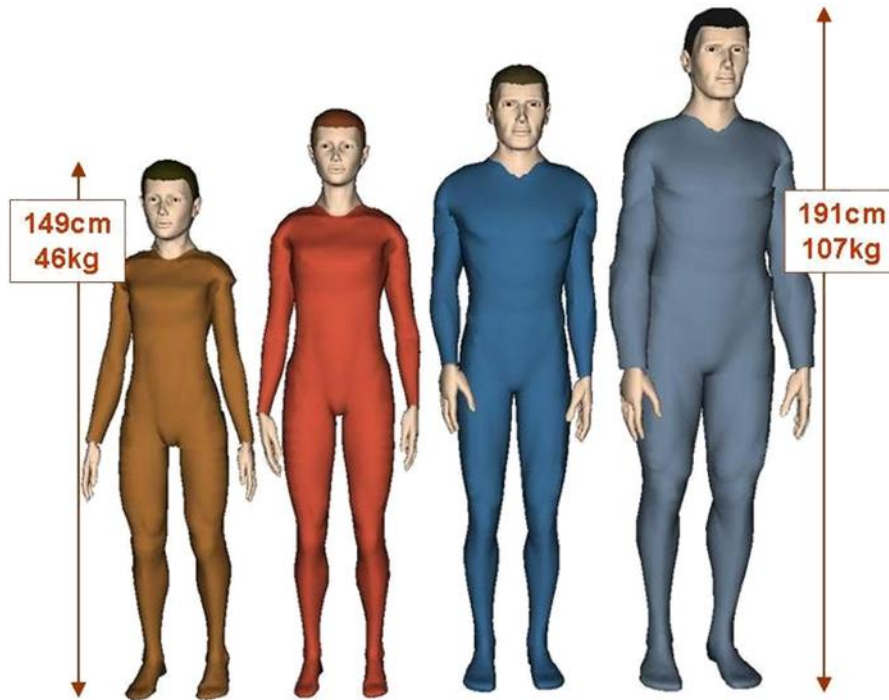
Obrázek 22: Ukázka prostředí Plant Simulation[21]



Obrázek 23: Ukázka možností vizualizace v Plant Simulation[22]

Tecnomatix Jack

Tecnomatix Jack je samostatný komplexní program pro simulaci chování člověka při práci. Základem je biomechanický model člověka v několika verzích, sestavený na základě populačních průzkumů v různých regionech světa, je ale možné definovat vlastní model člověka. Má velice přesné anatomické vlastnosti. Umožňuje sledovat dopady návrhu pracoviště na zdraví operátora, sledovat nesprávné pohyby a analyzovat namáhání jednotlivých částí těla. Díky tomu lze předcházet při návrhu pracoviště poškozování zdraví pracovníka a optimalizovat toto pracoviště pro dosažení optimálního výkonu při dodržení ergonomických standardů podniku. Program navíc obsahuje modul **OccupantToolkit** pro návrh interiérů vozidel a letadel. [21][22]



Obrázek 24: Některé typy postav v Tecnomatix Jack [21]

Důležitou součástí je také modul pro interaktivní virtuální realitu, díky níž program může sloužit také pro zacvičování nových operátorů, techniků údržby a jiných zaměstnanců firmy bez nutnosti provádět toto školení přímo na lince a omezit tak její provoz.

Software je navíc dodáván s obsáhlou knihovnou robotických ramen, dopravníků, CNC strojů a dalších standardních často využívaných součástí linek.

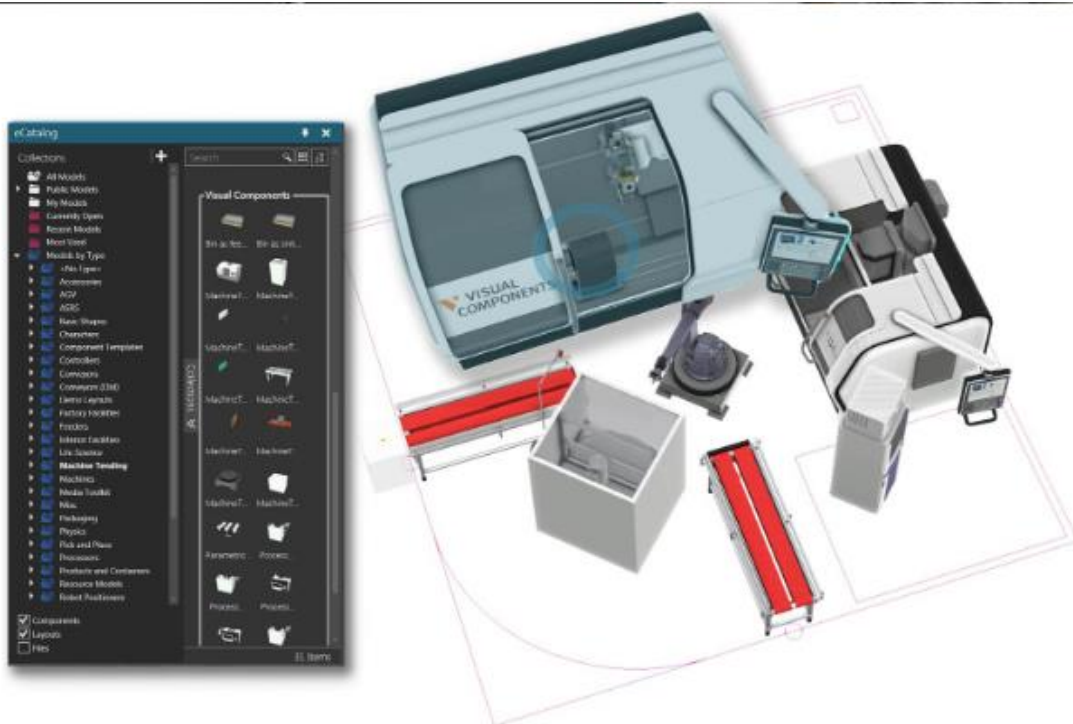
Obecně lze říci, že balíček Siemens Tecnomatix představuje nejkomplexnější řešení pro simulaci výroby, její konstrukci, optimalizaci a virtuální schvalování. To samozřejmě přináší nevýhody ve formě složitějšího ovládání celku, pro zprovoznění softwaru je třeba tým odborníků z dodavatelské firmy a pro práci s ním tým proškolených pracovníků. Z komplexity také vyplývá vysoká pořizovací cena softwaru. Kompletní balíček několikanásobně převyšuje cenu ostatních softwarů, zmíněných v této kapitole. Výhodou ovšem v tomto případě je, že není nutné zakoupit software jako celek, ale pouze jeho části, které jsou pro daný podnik relevantní.

4.6.2. Visual Components

Dalším softwarem pro tvorbu 3D simulací výrobních a montážních linek je finský software Visual Components. Na rozdíl od Siemens Tecnomatix nesestává program z dílčích modulů. Možnosti simulací závisí na zakoupené verzi softwaru, konkrétně lze vybírat mezi verzemi Essentials, Professional a Premium. [23][24]

Visual Components Essentials

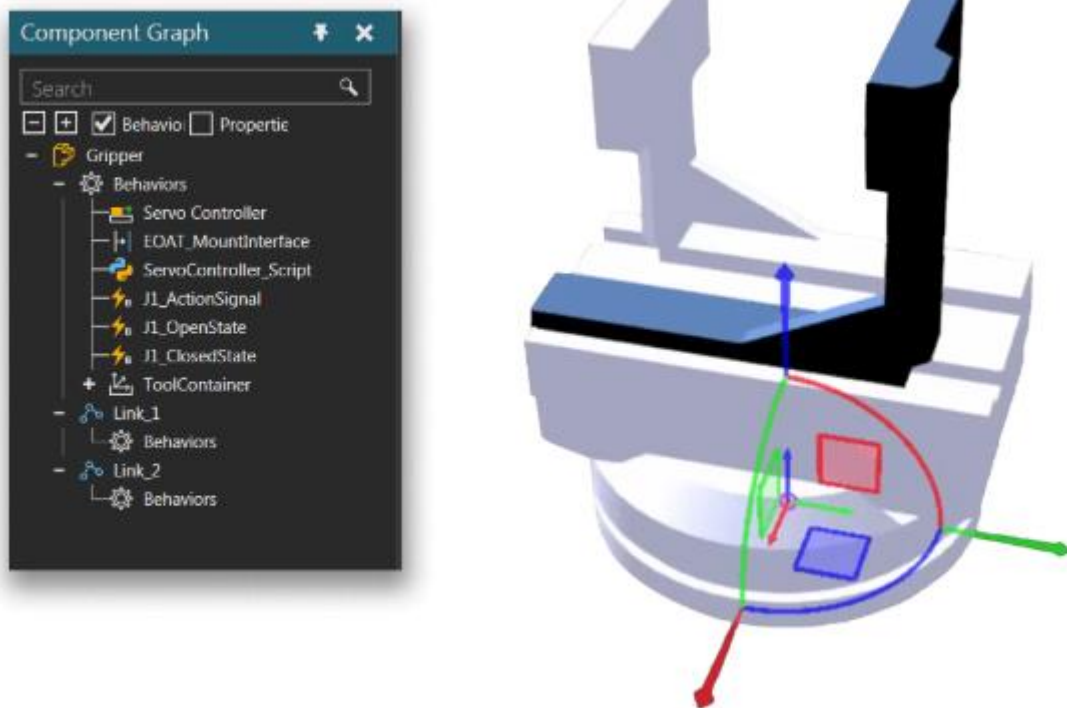
Visual Components Essentials je základním balíčkem. Obsahuje základní funkce, jako je tvorba 3D modelu montážní linky, její rozpohybování a tvorbu simulačních procesů. Dále verze obsahuje poměrně obsáhlou knihovnu součástí linek, jako jsou robotická ramena, regály, dopravníky apod. Dále je možné v rámci základního balíčku zjišťovat optimální polohu robotů na pracovišti, tvorba logiky jejich pohybů a simulace kolizních stavů, vytvářet 2D výkresy rozložení linek a jejich částí a přenos signálů z PLC programu pro danou linku. Logiku PLC linky je možné simulovat pomocí modulu na tvorbu scriptů v jazyce Python. Součástí je také možnost simulace větších výrobních a logistických celků podobně jako v Tecnomatix Plant Simulate. Poslední částí základní verze je program VC Experience, umožňující sledování simulací ve 3D. [23][24]



Obrázek 25: Visual Components Essential [23]

Visual Components Professional

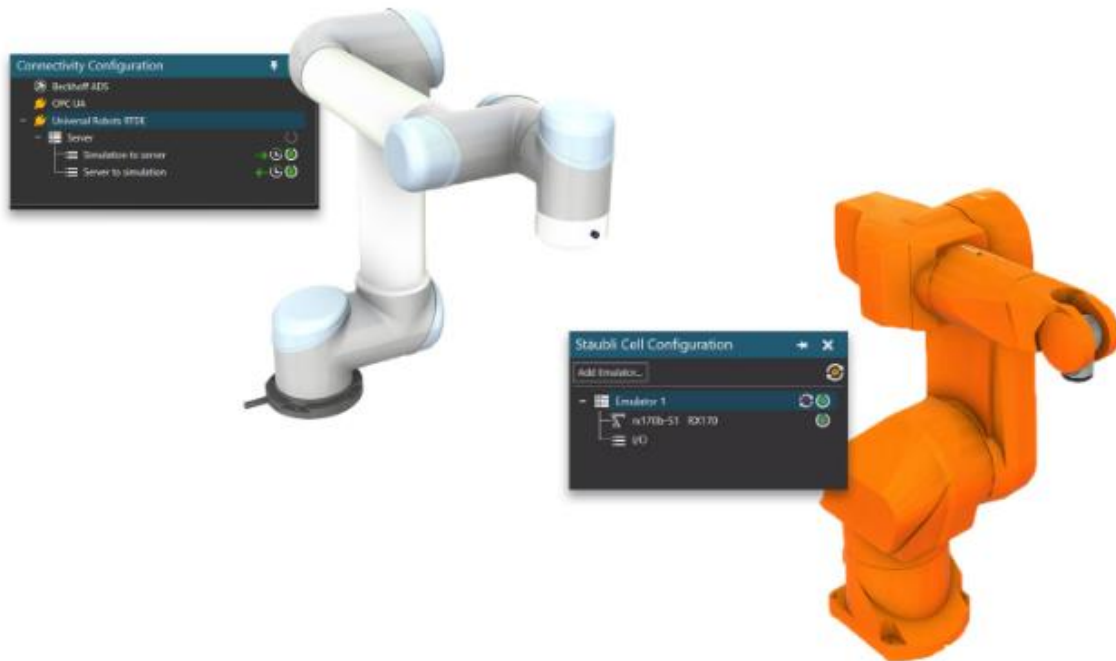
Dalším stupněm je verze Visual Components Professional. Ta obsahuje veškeré funkce verze Essentials. Navíc umožňuje obsáhlejší simulaci pohybu montážních linek. Balíček Professional je totiž schopen rozpoznat sestavy, podsestavy a jednotlivé komponenty 3D modelů strojů a pracovišť a tyto bloky rozpohybovat. Díky tomu umožňuje například zjišťovat možné kolize v rámci pracoviště při pohybech stroje. Práci s rozpohybováním linky usnadňuje také balíček předem definovaných logických bloků pro psaní scriptů v jazyce Python. Verze také obsahuje jednoduchý CAD pro úpravu 3D modelů strojů. [23][24]



Obrázek 26: Visual Components Professional [23]

Visual Components Premium

Jde o nejvybavenější verzi softwaru Visual Components. Kromě funkcí balíčků Essentials a Professional obsahuje modul pro simulaci nanášení laku na povrchy dílů a umožňuje tak optimalizovat pohyby robotů pro nanášení optimální vrstvy laku v co nejkratším čase. Nabízí také funkci analýzy rozměrů a povrchu 3D modelů výrobků, díky čemuž lze vytvářet logiku přesných pohybů robotických ramen a nástrojů v rámci daného dílu. Učení logiky pohybů je navíc usnadněno pomocí nástroje učení pohybů po křivkách. Pro roboty značek Universal Robots a Stäubli navíc verze obsahuje plug-iny pro propojení programu s reálnými kontrolery těchto robotů a díky tomu verifikaci vytvořených programů pro jejich pohyb. Poslední součástí verze Premium je také modul pro interaktivní virtuální realitu. [23][24]

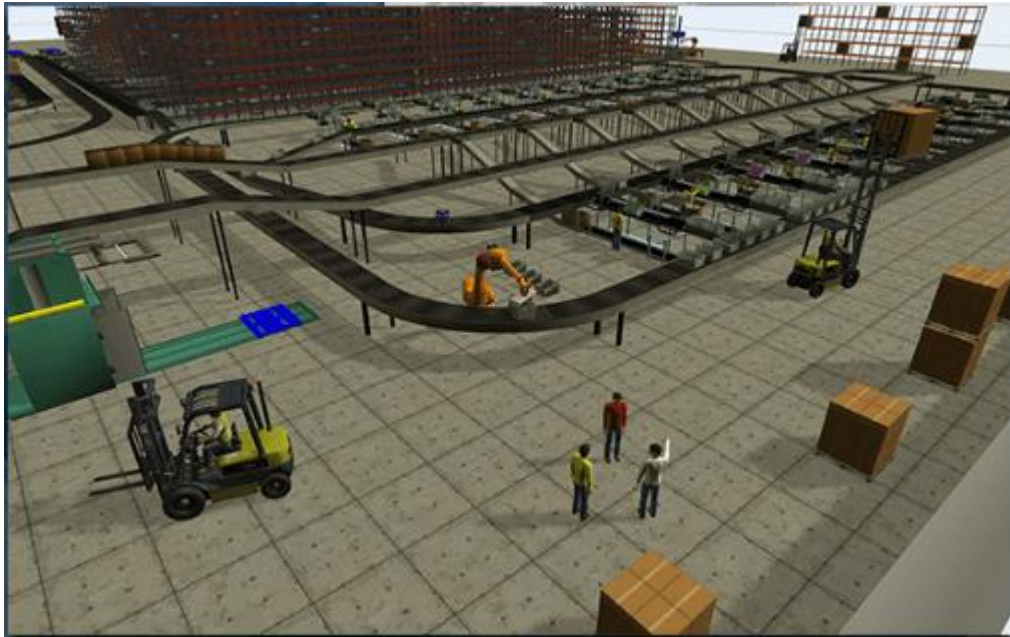


Obrázek 27: Visual Components Essential [23]

Software Visual Components je méně komplexní než Siemens Tecnomatix. Z toho vyplývají některé výhody, jako například nižší pořizovací cena, nižší náročnost na výpočetní výkon počítače, na kterém jsou simulace prováděny a jednodušší a přívětivější prostředí programu a jeho ovládání. Nevýhodami nižší komplexnosti jsou menší možnosti a méně funkcí pro zprovoznění digitálního dvojčete. Ve Visual Components není například možné vytvářet program pro PLC a roboty ze skutečného systému přímo v prostředí programu. To komplikuje verifikaci těchto programů v rámci simulace a nutnost do jisté míry tyto programy vytvářet dvakrát – pro simulaci a skutečný systém zvlášť. Visual Components také oproti Siemens Tecnomatix postrádá některé funkce, jako například simulaci pracoviště z hlediska ergonomie, možnost pokročilé simulace konstrukčních řešení strojů apod.

4.6.3. Flexsim

Flexsim je nejjednodušší z uvedených softwarů. Jeho hlavní funkce je tvorba 3D modelů pracovišť, celých linek i větších výrobních a montážních celků. V programu je možné následně provést vizualizaci výrobních cyklů i delších časových úseků výroby. Obsahuje knihovnu základních součástí linek, jako robotická ramena, dopravníky apod. Pomocí předem definovaných logických bloků umožňuje snadné přiřazení chování jednotlivým částem simulovaného celku, skripty pro toto chování je navíc možné také psát v prostředí jazyka FlexScript. [25]



Obrázek 28: Vizualizace v programu FlexSim[25]

Ze zmíněných softwarů je FlexSim zdaleka nejlevnější a nejsnazší na ovládání. To je ale bohužel dáno především velmi omezenou funkcionalitou. Program neumožňuje pokročilejší simulace robotů a PLC programů, neobsahuje simulaci ergonomie pracoviště, prostředí virtuální reality aj. Je tak vhodný spíše pro menší podniky.

4.7. Výběr simulačních softwarů pro porovnání

Z hlediska funkcí a možností simulací jsem pro porovnání vybral dva softwary, a to **TecnomatixProcess Simulate** a **Visual Components**, konkrétně verzi Preimum. V obou programech je možné vytváření a sestavování 3D modelů linek a jejich rozpohybování na základě logických signálů, které mohou do vizualizace být vytvořeny přímo v prostředí softwaru, nebo propojením s řídicím PLC skutečné linky. Oba softwary také umožňují simulaci pohybu robotů Universal Robots a Staubli pomocí propojení jejich skutečného ovladače s programem, Process Simulate navíc umožňuje tuto simulaci provádět s roboty od více značek, tento model je však nutné pro každou značku zvlášť dokoupit. Potenciálním argumentem pro používání SW Process Simulate je dále možnost přímo v prostředí simulace vytvářet PLC programy a programy pro pohyby robotů a jejich přímé překlápění do reálných zařízení bez nutnosti větších zásahů a úprav, zkoumání ergonomie manuálních pracovišť a podobně.

Na druhou stranu vyšší funkcionalita Process Simulate je vykoupena daleko vyššími pořizovacími náklady. Visual Components ve verzi Premium obsahuje všechny moduly, jako simulace robotů, propojení s PLC, import modelů z CAD softwarů a podobně, kdežto Process Simulate vyžaduje pro všechny moduly jejich zakoupení zvlášť, čímž se dostává na mnohem vyšší pořizovací cenu oproti Visual Components.

Jak je tedy vidět, oba programy mají velké množství argumentů, které hovoří pro jejich použití na úkor konkurenčních softwarů. Je proto vhodné si práci s oběma softwary

vyzkoušet, abychom reálně viděli, do jaké míry oba programy proklamovaná kritéria splňují a na základě porovnání poté definitivně určit, který z nich je pro potřeby závodu Continental v Brandýse nad Labem vhodnější.

Na základě našich očekávání jsem vytvořil následující důležitá kritéria, jejichž naplnění daným softwarem budu zkoušet:

- **Jednoduchost ovládání softwaru.** Vzhledem k tomu, že je plánováno po provedení implementace simulace linek do procesu jejich projektování zaškolit osoby zodpovědné za tuto činnost pro práci s vybraným softwarem, je důležité, aby bylo jeho ovládání v rámci možností pochopitelné pro všechny strojní inženýry, kteří budou mít simulace na starost.
- **Možnosti provedení co nejvěrnější simulace daného systému.** Velmi důležitým kritériem, které bylo také tím hlavním pro podnět v podobě otestování dvou simulačních softwarů, bylo vyzkoušení možnosti vytvoření co nejvěrnějšího simulovaného systému 1:1 vůči systému skutečnému. Díky tomu bude možné dosáhnout stavu, kdy lze do velké míry spoléhat na věrnost simulace a tím dosažení možnosti provést verifikaci a přejímku daného systému ve virtuálním světě ještě před tím, než bude daná linka postavena ve skutečnosti.
- **Zjednodušení provádění dílčích úkolů pro zprovoznění linky.** Kromě virtuální přejímky linky, která byla zmíněna v předchozím bodě, je pro nás důležitým parametrem možnost co nejvíce práce při jejím zprovoznění provést v digitálním prostředí, aby nedocházelo k prostojům kvůli plnění dílčích úkolů až při existenci linky skutečné. Především se jedná o možnost vytvářet, testovat a ověřovat programy pro PLC daného systému a robotické manipulátory, ale také úpravy a ověřování správnosti konstrukce linky a jejích pracovišť.
- **Poskytnutá zákaznická podpora ze strany dodavatele.** Pro každou firmu, která se specializuje na velkosériovou výrobu, kde klíčovou roli hraje čas strávený každým úkolem, je vždy důležitá zákaznická podpora dodavatelů. Toto pravidlo platí samozřejmě všeobecně. V tomto konkrétním případě chceme především ověřit možnosti školení pro práci s daným softwarem a ochotu a pružnost dodavatele při řešení dílčích problémů, nyní zejména ve fázi implementace simulačního softwaru do podnikové kultury společnosti Continental.
- **Cenové hledisko.** Podstatné jsou samozřejmě také náklady na pořízení a zprovoznění daného softwaru v rámci závodu. Nejedná se však pouze o absolutní hodnotu pořizovací ceny. Je důležité zhodnotit cenu především na základě splnění předchozích kritérií, tedy ověřit poměr cena/výkon pro každý software.

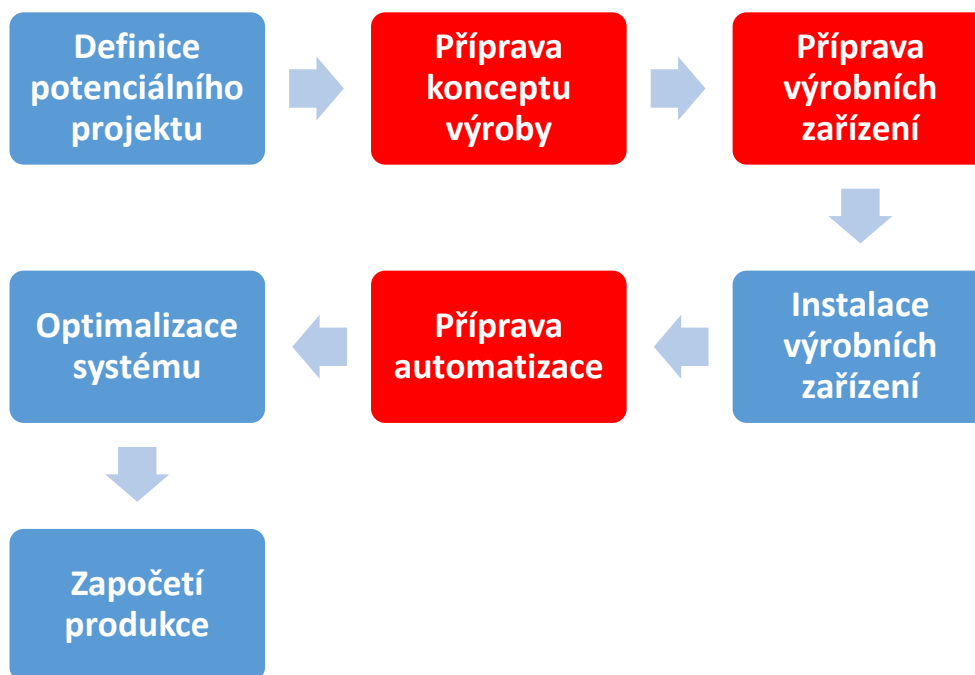
5. Příprava dat a tvorba simulačního modelu

V této kapitole se zabývám fázemi implementace simulace ze schématu na Obrázek 18 v části 4.3, a to od fází počátečních, tedy definice problému a cílů – ty jsou obsaženy v části o současném stavu projektování linek a zadání projektu, přes fázi vymezení systému, kterým je linka popsána v části 0, dále fázi sběr a analýza dat, jimž je věnována část 5.3, až po programování simulačního modelu v části 5.4.

5.1. Analýza současného stavu

Simulace jako standardní proces při projektování nových a úpravě stávajících linek ve výrobním závodě, ale i ve společnosti Continental jako celku, má samozřejmě své opodstatnění a nahradí, případně doplní, konkrétní kroky v rámci projektování. V této části proto popíšu současnou podobu procesu návrhu a zprovoznění linek ve společnosti Continental a vysvětlím, do jaké fáze chceme zařadit proces 3D simulací.

Schéma jednotlivých fází ukazuje Obrázek 29. Každá fáze řadu dílčích úkolů, které je nutno vyřešit před přesunem do fáze následující. Jejich vyřešení představují splněné výstupy z těchto úkolů, které budou popsány v následujícím textu. Fáze, kterých se dotkne implementace simulačního softwaru, jsou na obrázku vyznačeny červeně.



Obrázek 29: Fáze procesu projektování nových linek v Continental

- **Definice potenciálního projektu** je část ještě před nastartováním samotného procesu tvorby nového výrobního systému. Zákazník poptá výrobu a montáž nového produktu. K ní dodá podklady, jako jeho podobu a funkci, důležité části procesu jeho výroby a montáže, poptávané množství a podobně. Tyto podklady jsou následně analyzovány. Dojde k vytvoření přibližného konceptu výroby, výpočtu přibližných nákladů na výrobu a času pro implementaci. Na základě těchto výpočtů je spočítána potenciální návratnost a výdělečnost projektu a management následně rozhodne o jeho akceptování. V případě schválení projektu managementem je pak zákazníkovi odeslána nabídka s cenou produktu a přibližným časem nasazení projektu do výroby. Po konzultaci a optimalizaci nabídky se zákazníkem je finálním výstupem této fáze finální dohoda a potvrzení přijetí nabídky ze strany zákazníka.
- **Příprava konceptu výroby** dále rozpracovává část předchozí. Je ustaven tým, který bude mít projektování na starosti a osoba, jíž se tým zodpovídá. V rámci schůzí dojde ke stanovení časového plánu tvorby projektu a je provedena analýza FMEA (popis analýzy viz část 3.5.2). Tým vytvoří detailní koncept výroby, tedy jednotlivé operace, jejich pořadí, cyklové časy, způsob balení produktů a podobně. Dále se členové týmu dohodnou na konceptu bezpečnosti nové linky a nutných krocích pro její finální validaci. Tyto podklady pak slouží pro specifikaci strojů a zařízení na lince, tedy jejich funkci, počet zařízení na lince, jejich maximální velikost a základní charakteristiku. Na základě specifikací je pak započata tvorba přibližného layoutu linky. Výstupem této fáze je schválení konceptu zodpovědnými osobami a zákazníkem. Již v této fázi je možno využít simulačního softwaru. Tvorba layoutu proběhne ve 3D prostředí, kde bude možno jednoduše zkusit vhodné prostorové uspořádání, ověřit velikost prostoru, který linka zabere, dosah robotických manipulátorů k jednotlivým pracovištím a podobně.
- **Příprava výrobních zařízení** pracuje s vytvořeným konceptem výroby a dále jej konkretizuje. Začne komunikace s dodavatelem zařízení a balení produktů. Na základě požadavků pro danou linku dodavatelé pošlou cenové nabídky pro návrh a stavbu daného systému. Z nich je vybrán dodavatel nejvhodnější a s ním je započata komunikace a konkretizace projektu. To znamená především vytvoření konkrétních specifikací strojů, jako například princip činnosti stroje, jeho tvar, velikost, umístění rozvodových skříní, přístup do stroje pro jeho údržbu, bezpečnostní koncept stroje, takt, přesný způsob provedení operace, která má být v rámci pracoviště vykonávána a tak dále. Dochází také k definici obsluhy celé linky, tedy míra její automatizace, ergonomie a bezpečnosti pracovníků linky (operátorů, skladníků, kteří zajišťují její materiálový tok, pracovníků údržby atd.). Následuje série schůzí

s dodavatelem, v jejichž rámci probíhá schvalování technologické konstrukce linky a její další optimalizace. Tyto podklady pak poslouží pro úpravu layoutu a tvorbu konceptu PLC a robotických programů na lince. Výstupem z této fáze je ze strany Continental schválení celého konceptu a ze strany dodavatele dodání zařízení do výrobního závodu. Úpravy layoutu a tvorba koncepce PLC a robotických programů by měla probíhat v prostředí simulačního softwaru. Ten umožňuje konkretizovat již vytvořený koncept na základě dat od dodavatelů, například detailnější tvorbou PLC a robotických programů, vytvořit finální rozmístění pracovišť na lince, testovat ergonomii pracovišť obsluhovaných operátory, zkoumat potenciální rizikové stavy a události a podobně.

- **Instalace výrobních zařízení** započne po jejich dodání do prostor výrobního závodu. Je připravena plocha pro instalaci linky, tedy místo a vyústění všech rozvodů. Stroje a zařízení se poté umístí na své pozice. Je vyzkoušena dosažitelnost pracovišť robotickými manipulátory. Následně jsou stroje umístěny na pevně. Na linku jsou pak instalovány další potřebné prvky vybavení, jako robotické grippery, základní přípravky, dopravníky, rozvody vzduchu a elektřiny, PLC zařízení a software a podobně. Výstupem je instalace všech částí linky a jejich připojení do sítě. Této fázi se přímo proces simulace nedotkne. Záměrem je však tuto fázi posunout co nejvíce na konec procesu projektování, aby po instalaci výrobních zařízení bylo nutných co nejméně optimalizačních zásahů do linky.
- **Příprava automatizace.** V této části dochází k rozpočítání systému PLC programátorem a programátorem robotů. Na základě definované logiky jsou tyto programy vytvářeny, optimalizovány a verifikovány. Po otestování je provedena řada auditů, které mají zajistit provedení instalace zařízení a zprovoznění linky podle standardů. Jedná se například o IT audit, 5S audit, ergonomické audity a podobně. Dále také zodpovědní členové týmu sepíší návody pro obsluhu strojů, způsoby provádění operací, údržbu linky a podobně. Právě v této fázi by se měl simulační software uplatnit nejvíce. Na sestaveném 3D layoutu totiž bude možné v prostředí softwaru vytvářet, zkoušet a následně optimalizovat a validovat robotické a PLC programy. Díky tomu se nesprávné logické chování linky odhalí ještě před postavením linky. Tím se zamezí nežádoucím událostem, zejména v případě, že bude nesprávně naprogramována bezpečnost linky a nebude tak docházet ke zbytečným škodám na zařízeních při testovacím provozu. Tato fáze se tedy po implementaci simulačního softwaru přesune ještě před fází instalaci zařízení na lince.

- **Optimalizace systému** je poslední fází před započítáním výroby. Na základě výsledků auditů dochází k optimalizaci linky, jako například její ergonomie, IT systémů, 5S a podobně. Je připraven veškerý vstupní materiál pro produkci. Probíhá také zaškolení pracovníků linky a její testovací provoz v podobě zkušebního cyklu pro malou sérii výrobků. Výstupem z této fáze je pak úspěšné provedení testovacího cyklu. To znamená výroba malé série produktů, které projdou všemi testy kvality v závodě Continental a u zákazníka.
- **Započetí produkce.** V této fázi již dochází k zapojení systému do ostrého provozu. Dochází k postupnému navýšení sériovosti výroby na požadovanou hodnotu. Na lince se konají každodenní schůze zodpovědného týmu, kde jsou probírány události na lince a správnost jejího chodu. Výstupem by měla být plně funkční linka, která je schopná vyrábět dané produkty v požadovaném množství.

Simulace má tedy za úkol nahradit, doplnit a usnadnit dílčí úkoly v rámci jednotlivých fází projektování. Jedná se především o zkoušení vhodnosti a optimalizaci navrženého layoutu, schvalování a optimalizaci strojů z hlediska jejich velikosti, přístupnosti a logiky jejich práce. Další částí této fáze je také tvorba a verifikace robotických a PLC programů pro řízení chodu linky a dosažitelnosti robotů do jednotlivých jimi obsluhovaných pracovišť. Poslední částí je pak takzvaná **virtuální přejímka**. Jedná se o vyzkoušení, verifikaci a validaci celé linky v prostředí simulačního softwaru ještě předtím, než je tato instalována ve výrobní hale. Možnost virtuální přejímky tak zkracuje a usnadňuje procesy, které by jinak musely probíhat až po instalaci linky a tím šetří náklady na tvorbu systému.

5.2. Popis simulované linky

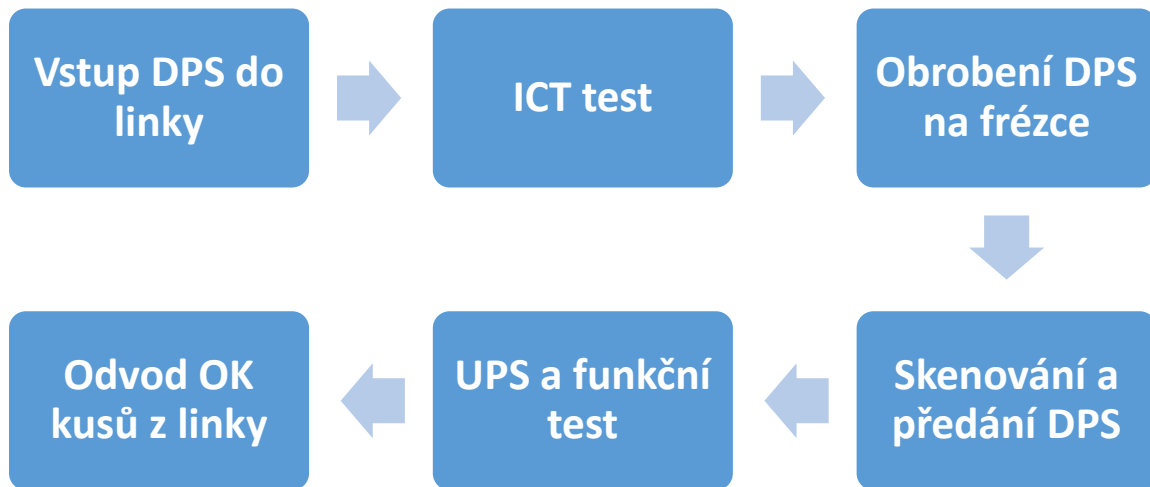
Simulovaná linka je linkou ze systému předmontáže. Její úlohou je příprava a testování desek plošných spojů (zkráceně **DPS**) pro jejich další využití. Desky jsou zde otestovány pomocí ICT a funkčních testů. Linka je téměř plně automatická, obsluhována pěti robotickými manipulátory

Činnost člověka na lince je omezena pouze na doplňování vstupního materiálu, doplňování balení pro další transport otestovaných produktů a odebrání výstupních dílů a NOK kusů. Simulace se zaměřuje jen na samotný automatický testovací cyklus a práce obsluhy tedy není její součástí. Předpokládám, že tok materiálu, který je zajišťován operátory, bude probíhat bez problémů, a tedy nezasahuje do cyklového času linky. Na Obrázek 30 je vidět layout simulované linky s označenými pracovišti a roboty.



Obrázek 30: 2D layout simulované linky [26]

Pro lepší pochopení průběhu cyklu linky je zde také přiložen Obrázek 31, na kterém je schematicky znázorněno pořadí operací. Tyto operace pak v dalším textu uvádím do kontextu výše zmíněného layoutu.



Obrázek 31: Schéma průběhu cyklu na simulované lince

První částí cyklu je vstup DPS na linku. Produkt je přiveden pomocí vstupního dopravníku. Desky jsou do dopravníku dodávány z vnější strany linky operátorem v zásobnících. Na linku vstupují po dvojicích spojených rámečkem. Pracoviště vstupu produktu na linku je v layoutu označeno číslem 1.

Z dopravníku přebírá DPS robot A, který je umísťuje do jednoho z ICT testerů, v layoutů označených číslem 2. Zde je proveden ICT test podle konkrétní specifikace. Z ICT testeru desky odebírá opět robot A, který je následně předá robotu B.

Robot B postupuje k pracovišti frézování, na layoutu číslo 3. Po odjetí robota do bezpečné vzdálenosti jsou DPS pomocí otočného stolu přesunuty do vnitřního prostoru frézky, kde je frézováním z dvojice DPS odstraněn spojovací rámeček, a tím se z ní stávají dva samostatné produkty.

Po dokončení operace frézování robot B odebírá produkty z frézky. Rámeček odloží na gravitační dopravník pro odvod odpadu z prostoru linky. Dopravník je označen v layoutu římskou číslicí I.

Následně robot B desky přesouvá na překlápěcí stůl, v layoutu pracoviště číslo 4. Zde založí desky a ty jsou naskenovány a následně dojde k otočení stolku o 180°, aby byly DPS ve správné poloze pro další operace.

Po otočení stolku produkty přebírá robot C. Ten je umísťuje do jedné ze zakládacích pozic na pracovišti číslo 5. Toto pracoviště sestává ze dvou věží, ve kterých jsou prováděny operace UPS a funkční testy podle dané specifikace.

Po provedení funkčních testů DPS robot C odebere ze zakládací pozice a skládá je do balení, která jsou určena pro další manipulaci s produkty, tzv. blistry. Toto zakládání probíhá na stolku vedle dopravníků II a III.

Dopravníky II a III jsou obsluhovány robotem D. První z dopravníků zajišťuje přívod blisterů do prostoru linky. Odtud jsou blistery po jednom odebírány robotem D a umisťovány na stůl pro zakládání DPS robotem C. Zásobování dopravníku je zajišťováno obsluhou linky mimo její prostor.

Dopravník III slouží pro odvod balení s OK kusy z prostoru linky. Po naplnění blisteru je tento robotem odložen na dopravník. Ve chvíli, kdy se na dopravníku vytvoří komínek deseti blisterů, je tento komínek odveden ven z prostoru linky.

Obsluha materiálového toku NOK kusů probíhá dvěma způsoby. První možností je, že správně neproběhne ICT test nebo operace frézování. V takovém případě je po obrobení vadný produkt vyjmut z prostoru frézky robotem B, který dojedie do NOK polohy a čeká, dokud na linku nepřijde obsluha a vadný kus neodstraní.

V případě, že některá DPS neprojde funkčním testem, je robotem C vyjmuta ze zakládacího přípravku a umístěna na dopravník IV, který slouží pro odvod NOK kusů z linky.

V pravé horní části si lze také povšimnout dalšího, dosud nezmíněného pracoviště, totiž stanoviště pro re-testy. To je obsluhováno robotem E. Toto pracoviště však nyní není v provozu ani v reálném systému, tudíž neproběhne ani jeho simulace. Do modelu je toto pracoviště vloženo pro zachování podobnosti s reálným systémem.

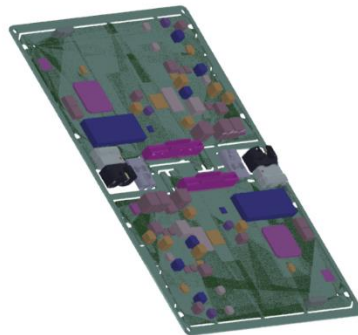
5.3. Sběr dat pro 3D simulaci

První fází, která je společná pro práci v obou simulačních softwarech a důležitým krokem při tvorbě simulačního modelu je sběr dat potřebných pro provedení simulace. Očekávání spolčenosti od vybraného softwaru je především možnost provedení kompletní virtuální přejímky dané linky. V praxi toto očekávání znamená přiblížit simulovaný systém co nejlépe systému reálnému, tedy vytvoření 3D layoutu se všemi stroji, manipulátory a dalšími částmi nezbytnými pro správnou funkčnost linky. Dalšími důležitými daty jsou cyklové časy pro vykonání jednotlivých operací v rámci systému. V případě této diplomové práce slouží zjištěné cyklové časy pro porovnání se skutečnou linkou a tím pro ověření přesnosti modelu. Dalším podstatnou informací je průběh materiálového toku linky. Tedy přísun materiálu do linky, jeho pohyb v rámci systému, způsoby odvodu odpadních produktů z výrobku v rámci výrobního procesu, zpracování NOK kusů a odvod hotových výrobků z linky. V neposlední řadě je také nutno zajistit softwarovou část řízení celé linky. Jedná se o PLC program, který udává chování celého systému a programy robotů tuto linku obsluhujících. Samozřejmě je také důležité pro provedení simulace mít k dispozici 3D model samotného produktu ve všech jeho výrobních fázích.

Na základě analýzy potřebných dat a informací bylo zajištěno následující:

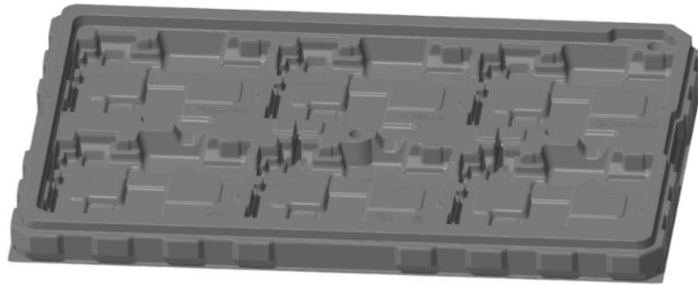
3D modely produktu, všech strojů na lince, dopravníků, robotických manipulátorů a dalších zařízení, která na lince figurují. Vzhledem k tomu, že linka byla stavěna podle starých standardů, kdy ze strany společnosti Continental nebylo požadováno poskytnutí kompletních 3D dat pro daný systém, bylo nutné velkou část těchto dat vytvořit

vlastnoručně v CAD softwaru Autodesk Inventor. Část těchto dat, především těch, kde je nutné znát přesné rozměry, byla dodavateli poskytnuta. Výrobci robotů také již standardně poskytují kompletní data pro jednotlivé roboty, včetně parametrů pro možnost jejich použití v simulačních softwarech. Nutné tedy bylo především domodelovat především kryty strojů, dopravníky a zařízení, která byla vytvářena v rámci linky svépomocí. Vzhledem k tomu, že měření takto dotvářených částí linky byla provedena pomocí měření jejich rozměrů přímo na lince, nebudou tyto modely stoprocentně přesné a v průběhu simulace bude nutná jejich optimalizace. Příklady 3D dat jsou vidět na obrázcích níže.



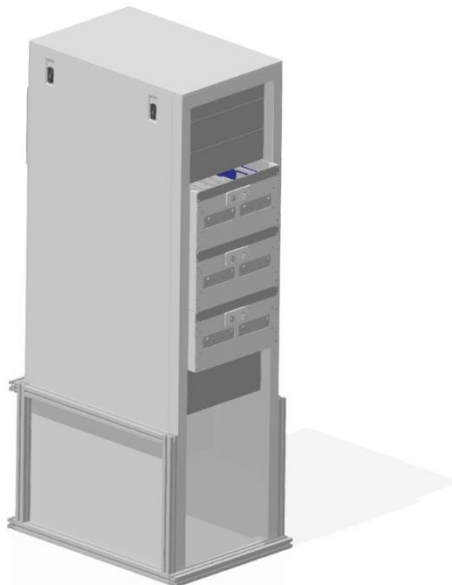
Obrázek 32: Zjednodušený 3D model DPS před operací frézování

Na Obrázek 32: Zjednodušený 3D model DPS před operací frézování je zobrazen zjednodušený model produktu při vstupu do simulované linky, tedy dvojice DPS spojená rámečkem. Tento model byl poskytnut zákazníkem již při projektování této linky podle standardů společnosti Continental. Mým úkolem bylo především zjednodušit jeho geometrii, což se týkalo především odstranění části (zejména menších) součástí z modelu, aby neobsahoval příliš velké množství prvků. To by zbytečně zpomalovalo výkon simulace. Dále jsem také tuto sestavu v CAD softwaru rozdělil na dvě samostatné DPS a vnější rámeček, aby bylo možné simulovat změnu modelu během jeho výrobního a testovacího cyklu v simulačním systému.



Obrázek 33: Modelblisteru pro balení a manipulaci s DPS

Obrázek 33 pak ukazuje model blisteru, tedy balení DPS, do kterého jsou zakládány na konci linky pro účely další manipulace s nimi. I tento model byl poskytnut kompletní a jeho geometrie je důležitá pro správné pozicování DPS v jeho vnitřku, proto jsem do modelu dále nezasahoval.



Obrázek 34: Věž UPS a FCT

Posledním příkladem je pak na Obrázek 34 model věže s několika zakládacími pozicemi pro provedení UPS a Funkčního testu. Samotný tester (tedy „krabice“, v níž jsou umístěny dvě zakládací pozice testeru v podobě samočinně výsuvných šuplíků) byl poskytnut dodavatelem zařízení. Moje práce spočívala ve vymodelování zbytku věže, tedy stěn, výplní a podpěrných profilů ve spodní polovině věže.

Cyklové časy jednotlivých operací jsou dány specifikací linky. Časy pro robotické operace není nutno zjišťovat, neboť ty jsou dány předepsanou kinematikou, která je obsažena v robotických programech. Do cyklových časů je kromě samotného provedení

operací nutno započítat také časy pohybů částí strojů. Ty byly určeny pomocí měření přímo na lince. Tyto časy byly následně přepočítány na rychlosti pohybů při určování kinematiky. Časy dopravníků nebyly zjišťovány, neboť tyto neovlivňují cyklový čas zpracování produktu na lince. Některé cyklové časy ukazuje tabulka níže.

Softwarové řízení linky je dáno především PLC programem linky, hardwarovou specifikací počítače, na kterém je program spuštěn a také robotickými programy pro coboty, které linku obsluhují. Zajistit tato data bylo snadné, neboť vzhledem k okolnostem jsou pro tuto linku všechna kompletně k dispozici. Vzhledem k tomu, že jedním z požadavků, který bude testován v rámci tvorby a verifikace simulačního modelu, je také možnost využití všech programů 1:1 vzhledem k jejich podobě v rámci skutečného systému, nebyla provedena žádná konverze těchto dat. Kvůli nutnosti zbytečně tato data nešířit a k obsáhlosti všech programů považuji za bezpředmětné zde ukazovat příklady formou obrázků a textů.

5.4. Tvorba simulačního modelu v softwaru Process Simulate

Ze sesbíraných dat následně proběhla tvorba samotného simulačního modelu. Jakým postupem tato tvorba probíhala, se budu zabývat v této části diplomové práce. Protože jsem tento model já osobně tvořil pouze v softwaru Process Simulate – simulace v SW Visual Components byla vytvářena kolegou – budu se věnovat pouze tomuto softwaru. Část postupu při tvorbě simulačního modelu v programu Visual Components navíc vyplyne z kapitoly 6 v rámci porovnání obou softwarů.

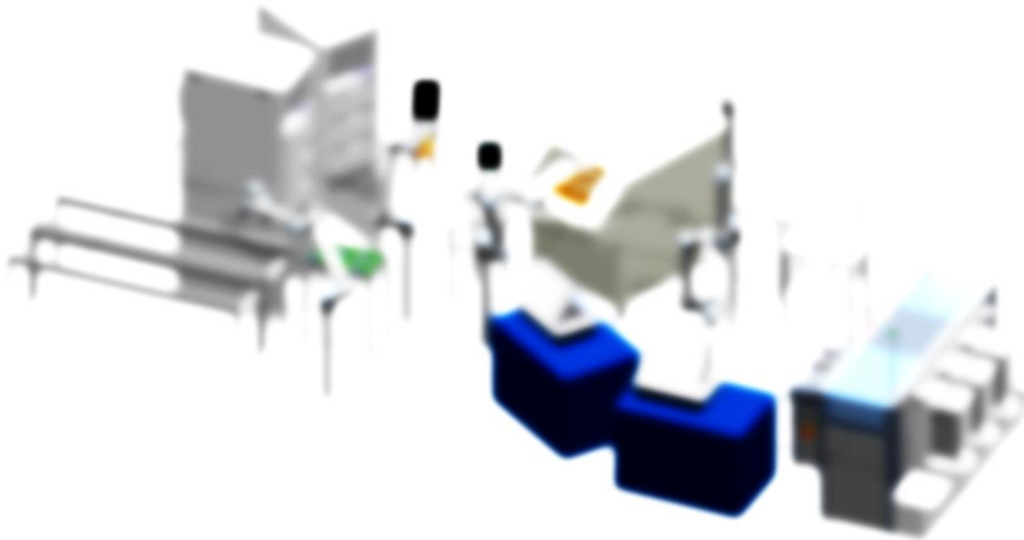
5.4.1. Tvorba 3D modelu

Ze získaných 3D modelů jednotlivých částí byl sestaven její 3D layout. Ten je vidět na obrázku níže.



Obrázek 35: 3D layout simulované linky I

Polohování modelů v rámci grafického prostředí softwaru je možné pomocí funkce Relocate. V tomto případě je vybrán libovolný souřadný systém geometrie, kterou chceme přesouvat (ať už počátek modelu, jeho geometrický střed, případně zcela vlastní souřadný systém v rámci modelu) a systém referenční, vzhledem k němuž proběhne pozicování přesouvaného prvku. Tento systém může být zvolen například na referenčním objektu, ale i zcela libovolně kdekoliv v prostoru grafického prostředí projektu.



Obrázek 36: 3D layout simulované linky II

Jako referenční prvek pro tvorbu layoutu jsem použil vstupní dopravník na lince. Pomocí interaktivního 2D layoutu jsem následně provedl měření vzdáleností dalších strojů v osách X a Y. Měření v ose Z probíhala přímo na lince.

V rámci tvorby 3D modelu jsem také provedl určení kinematiky pohyblivých částí linky mimo robotické manipulátory. Nejprve jsem zvolil pevnou část každého stroje. Ta v softwaru slouží jako referenční pro určení kinematiky pohyblivých částí. Dalším krokem je pak určení všech částí, které se pohybují. Následně jsem je provázal s pevnou částí, určil druh pohybu, nastavil vektor, podle kterého bude pohyb vykonán, stanovil meze, v rámci kterých bude k pohybu docházet a nastavil rychlosti těchto pohybů. Meze jsem následně určil jako výchozí polohy pro tvorbu logiky strojů.

ICT testery

Jako pevný prvek stroje jsem použil základní pozici testeru. Pohyblivou částí je pak víko testeru. Vazba těchto prvků je rotační. Jako vektor rotace jsem zvolil rotační osu, která prochází panty víka testeru. Horní limit otevření víka je 55° . Čas otevírání pak 2,4 sekundy. Následně jsem v testeru upravil HOME pozici, tedy pozici, ve které se standardně nachází, pokud neprovádí testování. Ta je totožná s pozicí OPEN, tedy v úhlu 55° vzhledem k uzavřenému stavu. Tomu byla přiřazena pozice CLOSED. Určení kinematiky je vidět na Obrázek 37. Oranžově je vyznačena pevná a zeleně pohyblivá část stroje.



Obrázek 37: Tvorba kinematiky strojů – ICT tester

Frézka

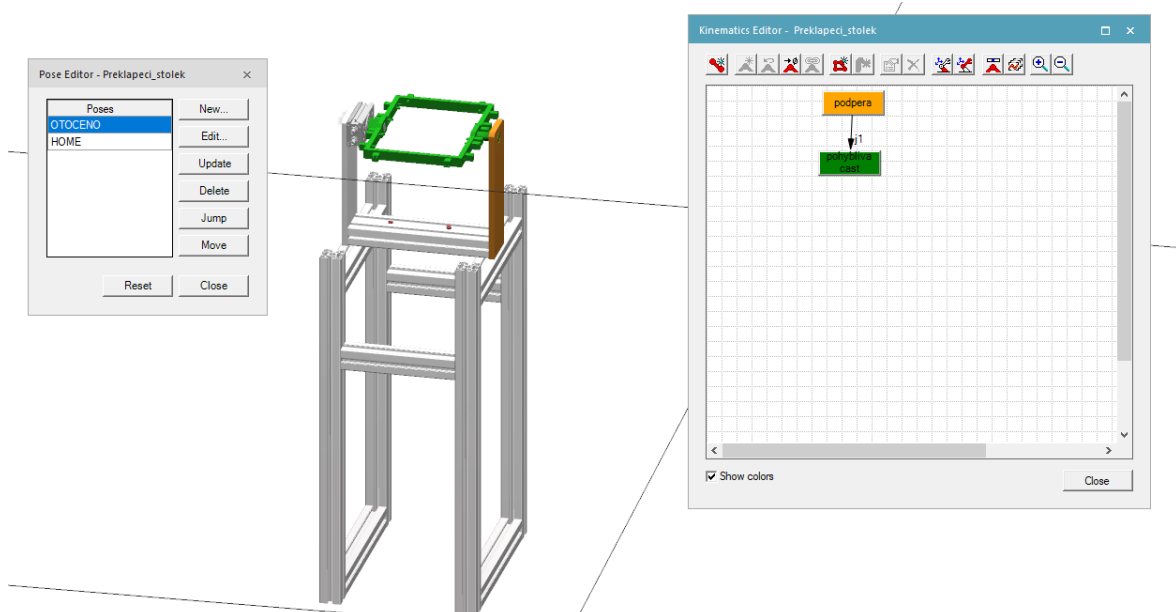
Pevným prvkem je čelo krytu frézky. Pohyblivou částí je pak rotační stůl ve stroji včetně zakládacích přípravků. Rotace probíhá v rozmezí od 0° do 180° podél osy procházející středem stolu. Pozice, kterých stůl může dosáhnout, jsou nazvány HOME a OTOCENO. Schéma tvorby kinematiky pro frézku je vidět na Obrázek 38. Pohyblivá část, tedy stůl, je vyznačena oranžově.



Obrázek 38: Tvorba kinematiky strojů-frézka

Překlápěcí stolek

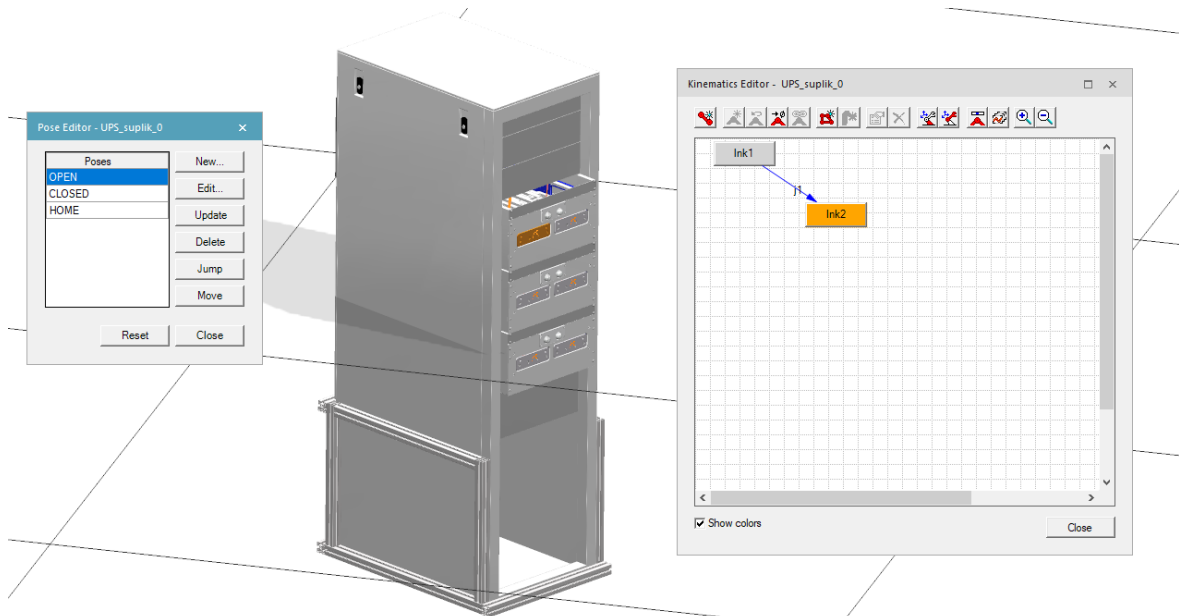
Pevnou částí je stojna, která drží otočnou část stolku. Tato část je pak pohyblivou částí. Zbýlý postup je totožný s postupem u frézky, otočná osa je však horizontální a prochází prostředkem stolku. Z Obrázek 39 je patrné určení kinematiky stolku, kdy pohyblivá část je opět označena zeleně a pevná oranžově.



Obrázek 39: Tvorba kinematiky strojů – překlápěcí stolek

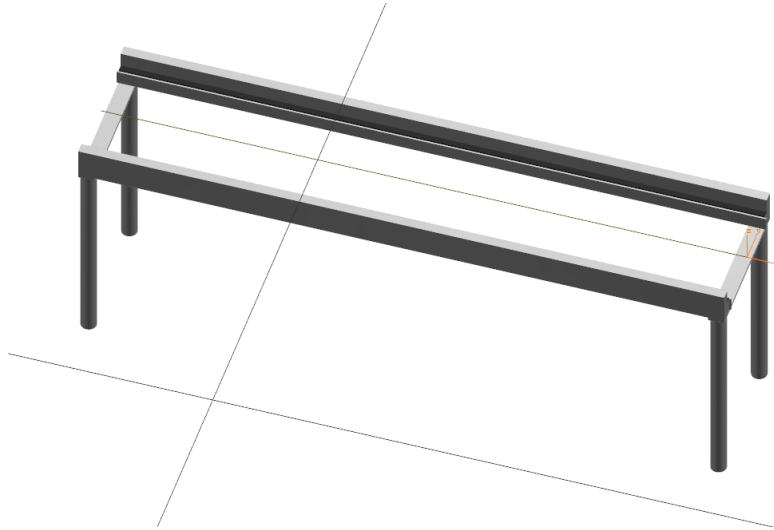
UPS testery

V tomto případě se jedná o lineární pohyb šuplíků s testovacími přípravky v rozmezí od 0 do 246 mm. Pevný prvek je tentokrát bez grafické reprezentace, pohyblivý pak tělo šuplíku. Vektor pohybu jsem určil na části šuplíku, která je vodorovná se směrem pohybu. Pozice šuplíku byly nazvány HOME, která je totožná s pozicí CLOSED a pro otevření byla vytvořena pozice OPEN.



Obrázek 40: Tvorba kinematiky strojů – UPS testery

Poslední částí bylo určení trajektorií dopravníků, po kterých se budou pohybovat předměty. To proběhlo pomocí vytvoření souřadných systémů pro počátek a konec pohybů a jejich následného spojení vektorem. V rozhraní pro definici dopravníku jsem následně určil počáteční a koncovou polohu trajektorie, které omezuje pohyb produktu na dopravníku. Další částí pak je definice dopravovaného objektu. Tu jsem provedl výběrem objektu v grafickém prostředí simulace, v tomto případě jsou produktem blistry a výběrem dopravníku, na kterém se budou pohybovat. Dráha pohybu je pak objektu přiřazena automaticky podle vybraného dopravníku.



Obrázek 41: Tvorba kinematiky pro dopravník blisterů na linku

5.4.2. Definice parametrů robotických manipulátorů a optimalizace layoutu

Další částí v přípravě simulačního modelu bylo oživení robotů obsluhujících linku. Pro názornost zde uvedu postup pro zprovoznění robota UR10 A.

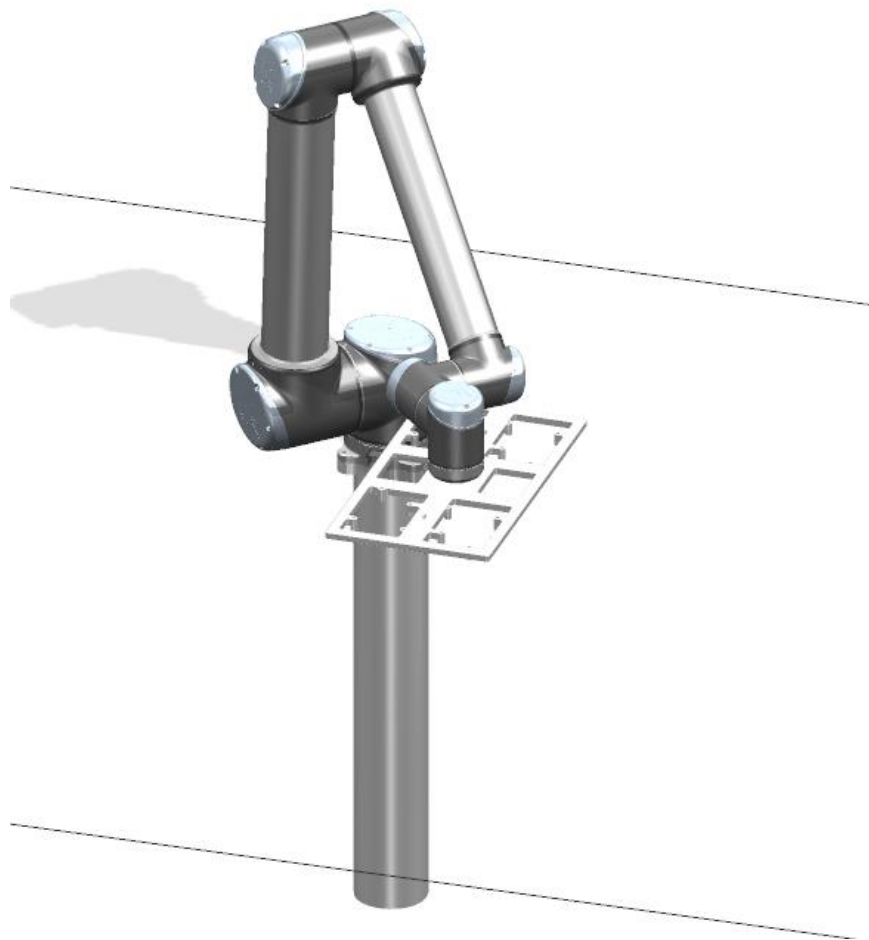
Definice nástroje robota

Prvním krokem je import 3D modelu gripperu, tedy nástroje robotického manipulátoru, do prostředí simulačního softwaru.



Obrázek 42: 3D model dvojitého vakuového gripperu pro robota UR10 A

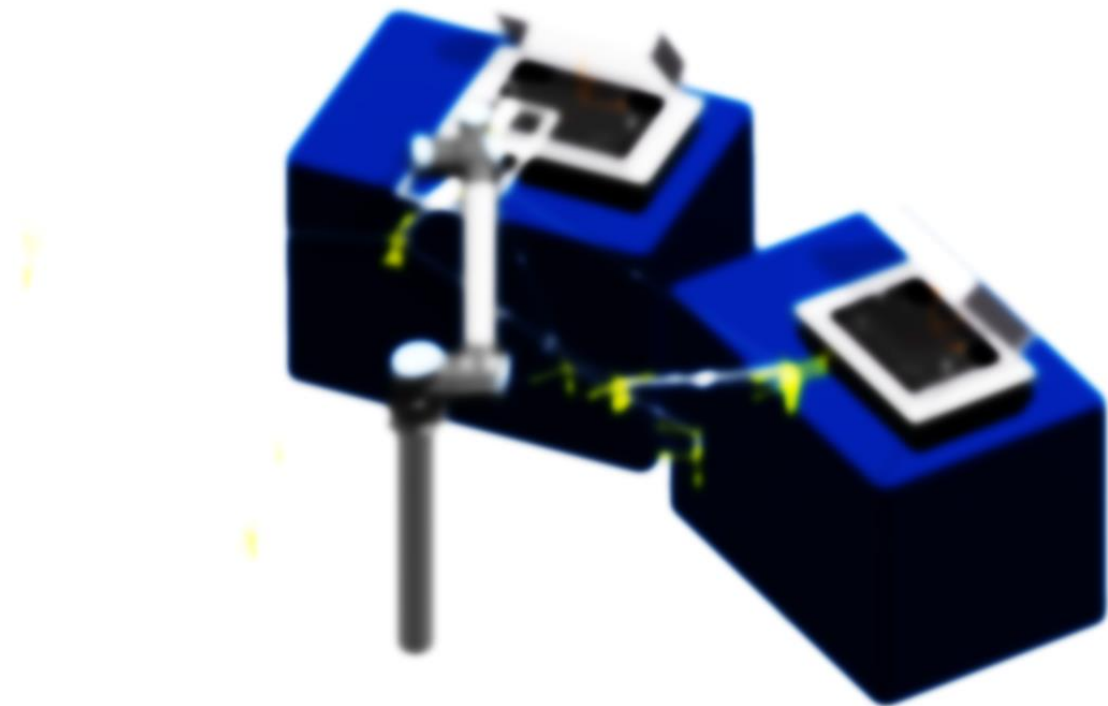
Ty jsem následně definoval jako nástroje, přiřadil jim nástrojové souřadné systémy, určil produkty, které mají tyto gripperu uchopovat a odkládat a připojil je k nástrojové hlavě robota. Vzhledem k tomu, že v případě robota UR10 A se jedná o dvojitý gripper, kdy každá polovina může nabrat jednu dvojici DPS, bylo nutné tento gripper duplikovat a každé jeho polovině nastavit samotný nástrojový souřadný systém. Tak se předejde nechtěným odkládáním a zakládáním špatnou stranou gripperu.



Obrázek 43: Robot UR10 A s připojeným gripperem

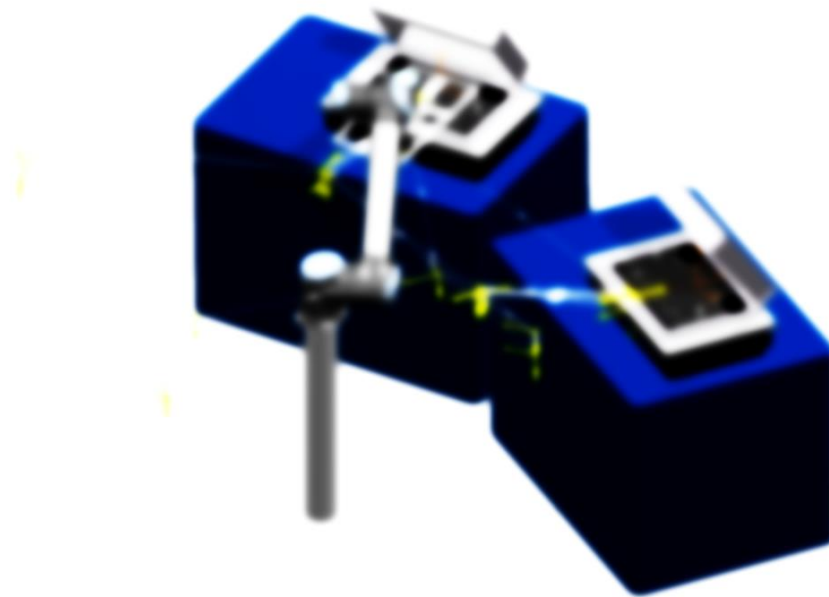
Další fází je nahrání robotického programu ze skutečné linky do prostředí simulace. Díky možnosti softwaru Process Simulate číst formáty robotických programů od všech větších výrobců, jako Universal Robots, Kuka, Staubli a podobně a pracovat s nimi, mohl jsem jeho program nahrát do softwaru napřímo bez nutnosti dalších úprav.

Obrázek 44 ukazuje pozice robota v grafickém prostředí simulace. Jak lze na tomto obrázku vidět, například pozice pro zakládání DPS do ICT testeru není ve shodě s pozicí stroje na lince.



Obrázek 44: Dráhy a pozice robota před kalibrační linky

Tento problém lze však vyřešit díky funkci kalibrace. Obvykle je využívána pro kalibraci robotických drah vzhledem k layoutu linky. V našem případě však tato probíhala obráceně, neboť souřadnice pozic robotů jsou dány již hotovým programem, a tak jsem na jejich základě provedl kalibraci polohy strojů. Jako referenční geometrie posloužila DPS, kterou jsem umístil do základní pozice daného stroje, například ICT testeru a také na gripper robota. Poté jsem na třech místech na každé desce vytvořil souřadné systémy a propojil je vektory. Takto vzniklé dráhy posloužily jako kalibrační programy. Následně jsem pomocí funkce kalibrace přemístil kalibrační program z DPS v ICT testeru včetně jeho kompletní geometrie do kalibračního programu v DPS na nástroji robota. Výsledek kalibrace ukazuje Obrázek 45.

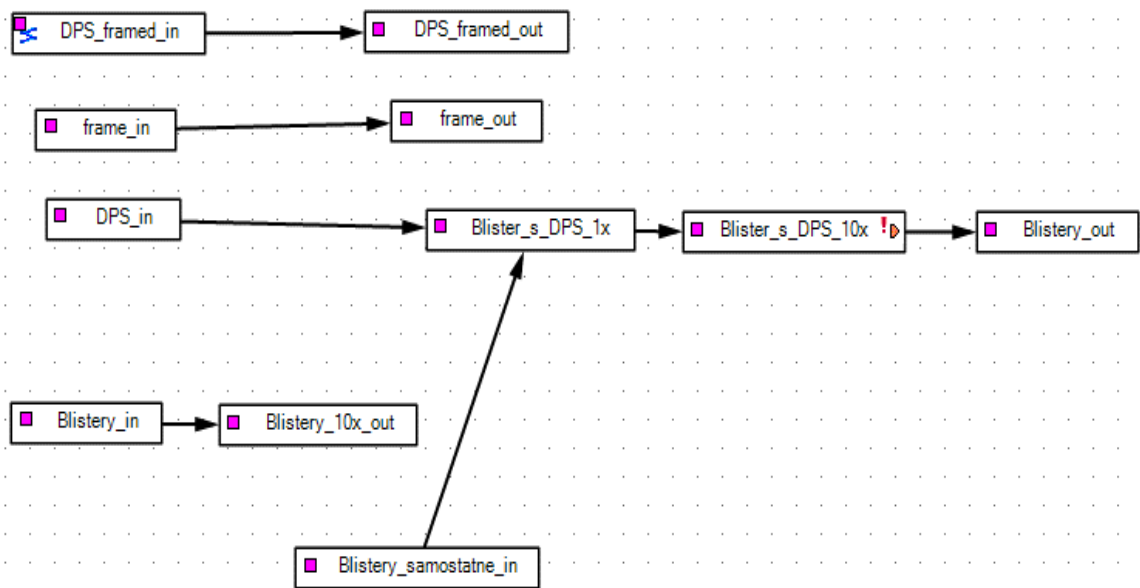


Obrázek 45: Dráhy a pozice robota po kalibraci

Obdobně jsem postupoval při zprovoznění robotů UR10 B až D a kalibraci jejich drah. Robot UR10 E nemá funkční program, proto prozatím zůstane v simulačním systému jen jako nepohyblivý model.

5.4.3. Tvorba materiálového toku

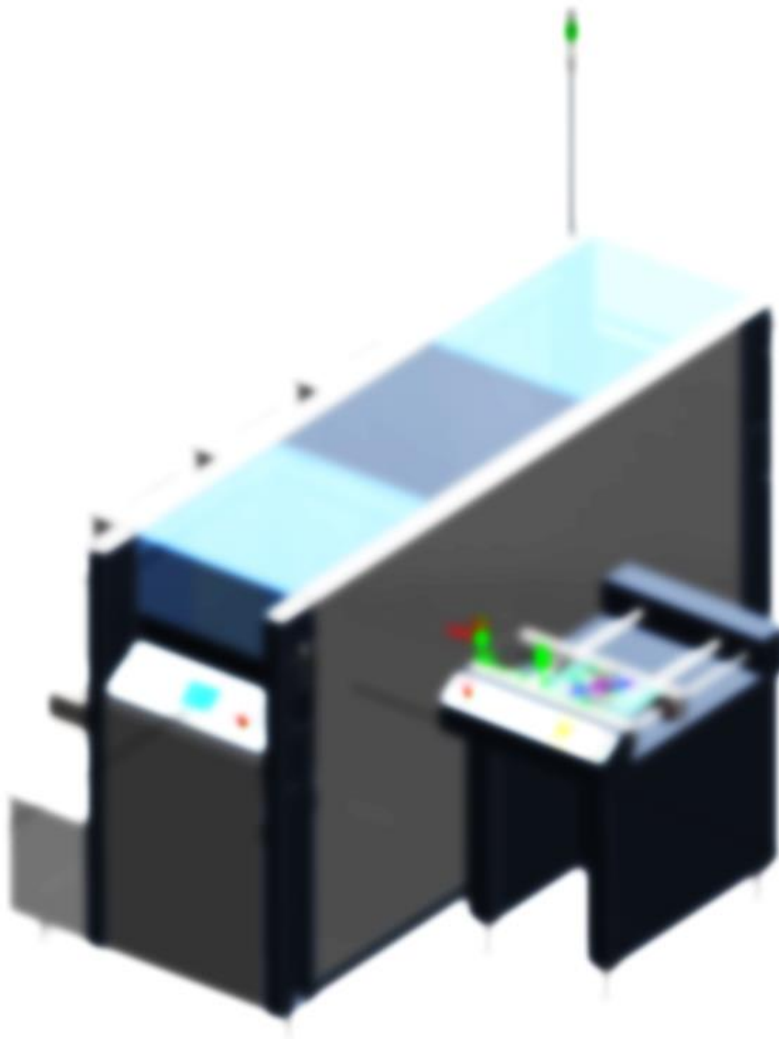
Materiálový tok v případě simulace určuje pohyb výrobku, balení a dalších produktů v rámci systému a také jejich změny tak, jak se dějí v systému skutečném. Jedná se o poslední fázi tvorby simulačního modelu před jeho propojením s PLC programem a vytvářením jeho logiky. Průběh materiálového toku DPS a balení je patrný z Obrázek 46.



Obrázek 46: Schéma materiálového toku linky

Pro každou operaci v rámci materiálového toku je určena lokace, ve které tato operace proběhne a produkt, který je na ni navázán. Základní dvě operace, které jsem pro vytvoření materiálového toku použil, jsou **flow operace** a **non sim operace**. Non sim operace probíhá okamžitě, není dynamická. Lze pomocí ní pouze zajistit objevení a zmizení výrobku v dané lokaci. Flow operace umožňuje proti non sim operaci udat výrobku po objevení a před zmizením také pohyb, který bude vykonávat. Nyní se zaměřím na funkci jednotlivých operací z Obrázek 46 a jejich postavení v rámci materiálového toku na simulované lince.

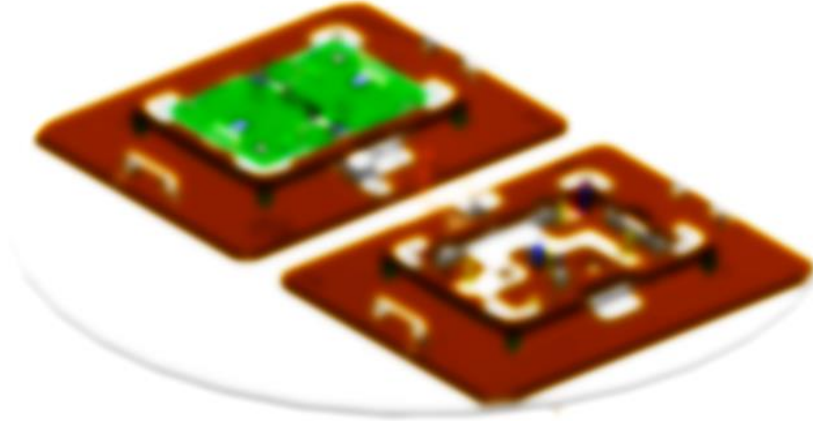
První částí je operace **DPS_framed_in**, jedná se o flow operaci, která zajistí přísun zarámované dvojice DPS na linku a její pohyb po vstupním dopravníku na místo, kde bude odebrána robotem.



Obrázek 47: Materiálový tok – operace *DPS_framed_in*

Její následující pohyb po lince je dán logikou robotických programů a strojů, díky čemuž není nutné jej zařazovat do schématu materiálového toku. Druhou operací je **DPS_framed_out**. Je to non sim operace, která se nachází v základním přípravku frézky v pozici OTOCENO (viz část 5.4.1). Zde během frézovacího cyklu dojde ke zmizení zarámované dvojice DPS. Na tuto operaci jsou přímo navázány dvě non sim operace, totiž

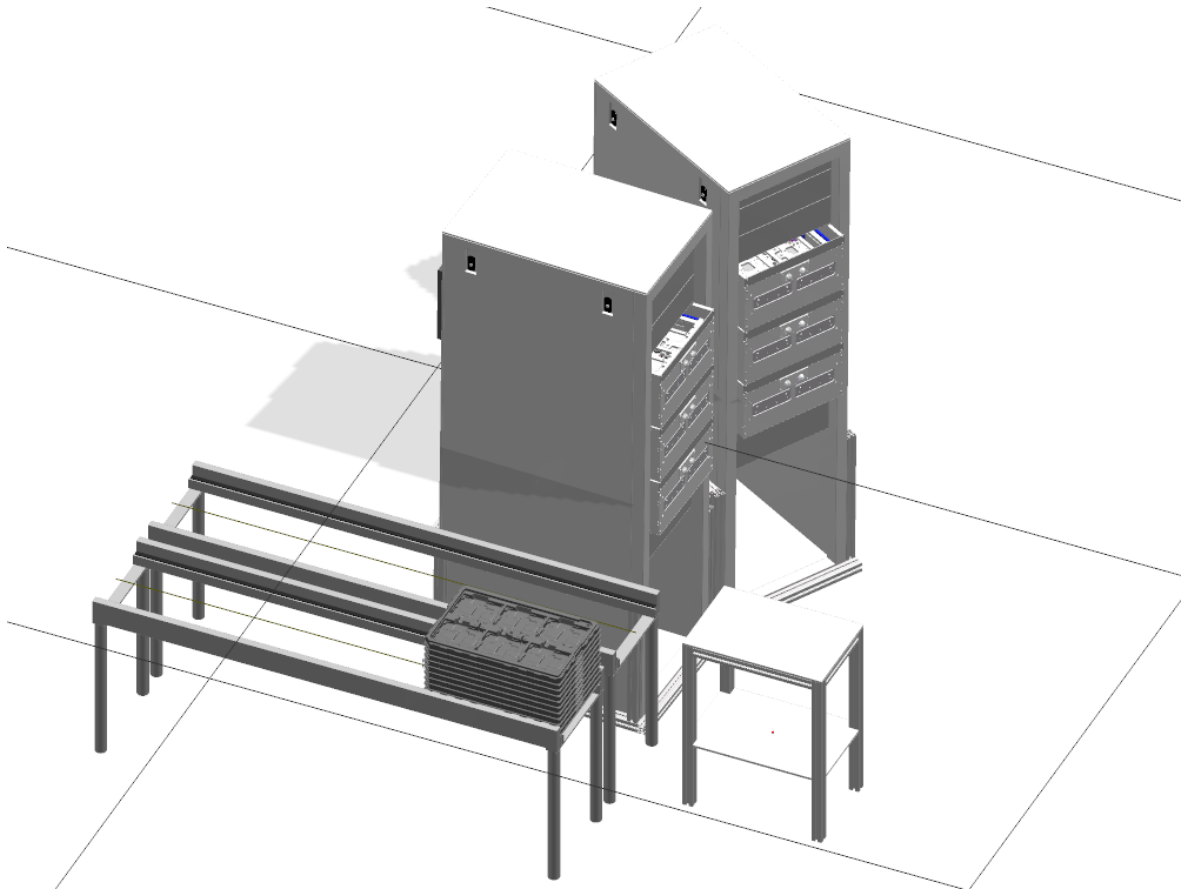
frame_ina DPS_in. Ty na stejném místě vytvoří po skončení operace předchozí oddělenou dvojici DPS a samostatný rámeček, čímž je simulováno frézování reálného produktu.



Obrázek 48: Materiálový tok – operace DPS_framed_out, DPS_in a frame_in

Po vyjmutí těchto tří nových dílů robotem UR10 B z frézky dojde k odložení rámečku robotem na gravitační dopravník, po jehož dráze rámeček dojde do konečné pozice, kde poté proběhne non sim operace **frame_out**. Tím je zajištěn odvod odpadního produktu výroby z linky.

V této části cyklu vstupuje do systému také materiálový tok blisterů, tedy balení, do kterých jsou OK kusy DPS ukládány a odváděny z linky. Blistery vstupují do systému po dopravníku v komínkách po deseti kusech pomocí non sim operace **Blistery_in**. Po dojetí do koncové polohy dopravníku dojde rozdělení celku deseti blisterů na jednotlivé kusy pomocí dvou non sim operací. V prvním kroku dojde pomocí operace **Blistery_10x_out** ke zmizení tohoto celku. Ve stejnou chvíli proběhne také operace **Blistery_samostatne_in**, pomocí níž dojde na stejném místě k vytvoření deseti samostatných blisterů, aby s nimi bylo možno manipulovat po jednom.



Obrázek 49: Materiálový tok – operace Blistry_10x_out a Blistry_samostatne_in

Z tohoto komínku jsou blistry po jednom robotem UR10 D pokládány na stolek. Robot UR10 C do nich poté zakládá OK kusy DPS pro odvod z linky. Ve chvíli, kdy je blister na stolku naplněn, proběhne non sim operace **Blister_s_DPS_1x**, díky které dojde ke spojení blisteru a založených DPS do jednoho celku. Tento celek je poté robotem UR10 D přemístěn na dopravník pro odvod produktů z linky. Ve chvíli, kdy je těchto celků na sobě naskládáno deset, proběhne operace **Blister_s_DPS_10x**, čímž dojde ke spojení blisterů do jedné skupiny. Ta je následně odvedena do koncového bodu dopravníku, kde z linky zmizí pomocí non sim operace **Blistry_out**. Lokace operací materiálového toku ukazují obrázky v této části práce.

5.4.4. Propojení s PLC programem a import signálů

Ve fázi po dokončení tvorby materiálového toku je již možné s pomocí manuálního nastavování vlastnoručně vytvořených signálů pro spouštění událostí možno simulační model rozpohybovat. To je výhodné, neboť tento způsob rozpohybování umožňuje zkoušení konceptu nových v simulaci vytvořených linek a úprav linek stávajících. Je však zřejmé, že tento stav neodpovídá reálnému systému, kde řízení signálů a stavů pro správný běh událostí v rámci výrobního cyklu linky probíhá automaticky pomocí **PLC – Programmable Logic Controller**– tedy řídicího počítače celé linky a jeho programu. Aby bylo dosaženo co nejvěrnější simulace skutečného systému, je nutné mít možnost propojit simulační model právě s PLC programem z reálné linky. Od této chvíle je již pro zprovoznění modelu potřeba součinnost alespoň dvou lidí. Zaprvé člověka, který se orientuje v prostředí Process Simulate a umí obstarat vizualizační stránku simulace a PLC programátora, který je obeznámen s prací s PLC programem a také zná logiku chování reálné linky, tedy nazákladěkterých signálů a parametrů se dějí požadované události.

Process Simulate umožňuje propojení simulace s PLC linky pomocí klienta **PLC Sim Advanced**. Tento klient zajišťuje jak spojení, tak i simulaci chování reálného programu, a to včetně možnosti simulovat hardware fyzického PLC na lince v případě, že se jedná o PLC od společnosti Siemens. Díky tomu lze například u nových linek vyzkoušet, jaký počítač je nejvhodnější pro její plynulý chod. Díky softwaru TIA Portal je pak možné daný program sledovat živě a díky tomu sledovat, jak se chová, jestli bylo správně provedeno propojení signálů v rámci linky a správně vytvořená logika linky. Vzhledem k tomu, že propojení simulace s PLC programem zajišťoval kolega PLC programátor, nepovažuji se za dostatečného odborníka na to, abych mohl toto propojení blíže popsat.

Před samotným rozpohybováním linky v koordinaci s PLC programátorem je také nutné připojit potřebné signály ke vstupům a výstupům ve strojích a dalších částech linky, které jsou přes PLC program ovládány. Nejprve se signály vyexportují z PLC programu do tabulky v programu Microsoft Excel. V této tabulce jsou zaneseny důležité atributy signálů. Je to název signálu, jeho typ a formát (vstup či výstup). Příklad takové tabulky pro ICT tester 1 lze vidět níže.

Tabulka 1: Podoba tabulky pro import signálů pro ICT tester 1

Název signálu	Typ signálu	Formát signálu
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

Tato tabulka je poté naimportována do softwaru Process Simulate pomocí funkce Import signals. V případě úspěšného importu následuje fáze připojování signálů ke vstupům a výstupům ve strojích v simulačním modelu. Pro možnost napojení signálů na stroje a všechny ostatní části linky, které jsou řízeny PLC programem, je nutné pro každou tuto instanci vytvořit logický blok. O vytváření logických bloků a jejich funkci blíže pojednává část 0. V každém logickém bloku je vytvořena série vstupů a výstupů, ideálně pojmenovaných podle příslušných signálů, ke kterým jsou signály pomocí funkce ConnectSignals připojeny. Příklad propojení signálů s ICT testerem ukazuje Obrázek 50.



Obrázek 50: Propojení PLC signálů s ICT testerem.

Posledním krokem pro správné propojení signálů je následně v okně pro správu signálů zaškrtnout políčko, že signál je propojen s externím zdrojem a vybrat správnou instanci z těch, které jsou připojeny k simulačnímu softwaru. Tím je zajištěno, že PLC program registruje signály v simulaci a může tak probíhat komunikace mezi programem a simulovaným systémem.

5.4.5. Tvorba logiky linky

Pouze propojení signálů se vstupy a výstupy však pro správné rozpohybování simulačního modelu nestačí. Je potřeba pro každou entitu, která se signály řídí, také vytvořit logický blok. Logický blok udává, jakým způsobem bude daná část linky zpracovávat vstupy a za jakých podmínek bude spínat a vypínat výstupní signály. Na tyto parametry je také navázána logika pohybů strojů, které byly definovány v části tvorby jejich kinematiky. Také materiálový tok se musí řídit určitou logikou, aby bylo dáno, na základě kterých signálů se budou provádět jeho jednotlivé operace. Každý logický blok sestává z několika částí:

Vstupy transformují vstupní signály na hodnoty, se kterými je možno dále v logickém bloku pracovat. Lze nastavit jejich jméno, typ a propojení se signálem.

Parametry je možno kombinovat vstupy a jejich hodnoty pro dosažení určitého stavu, při kterém má být poslán výstupní signál do PLC. Je to výhodné například v okamžiku, kdy je možnost poslání výstupního signálu o uvolnění zakládací pozice stroje dána několika stavy, jako například, že čidlo přítomnosti nesnímá díl v zakládacím příspěvku a že jsou otevřeny dveře stroje, a tím pádem je zakládací přípravek volně přístupný. Parametry jsou vyjadřovány pomocí určité hodnoty. Té lze dosáhnout pomocí jednoduchých logických proměnných jako AND, OR, NOT a podobně. Dále pomocí logických operací sčítání a násobení a v neposlední řadě pomocí jednoduchých funkcí jako SET-RESET, TIME-PULSE a tak dále. Parametry mohou sloužit jako výchozí hodnoty pro definici výstupů, ale i dalších parametrů.

Výstupy jsou, podobně jako parametry, určeny na základě jednoduchých logických operací. Zpravidla bývá jejich hodnota vyjádřena kombinací parametrů. Výstupy jsou spojeny se signály, které tím zapínají a vypínají.

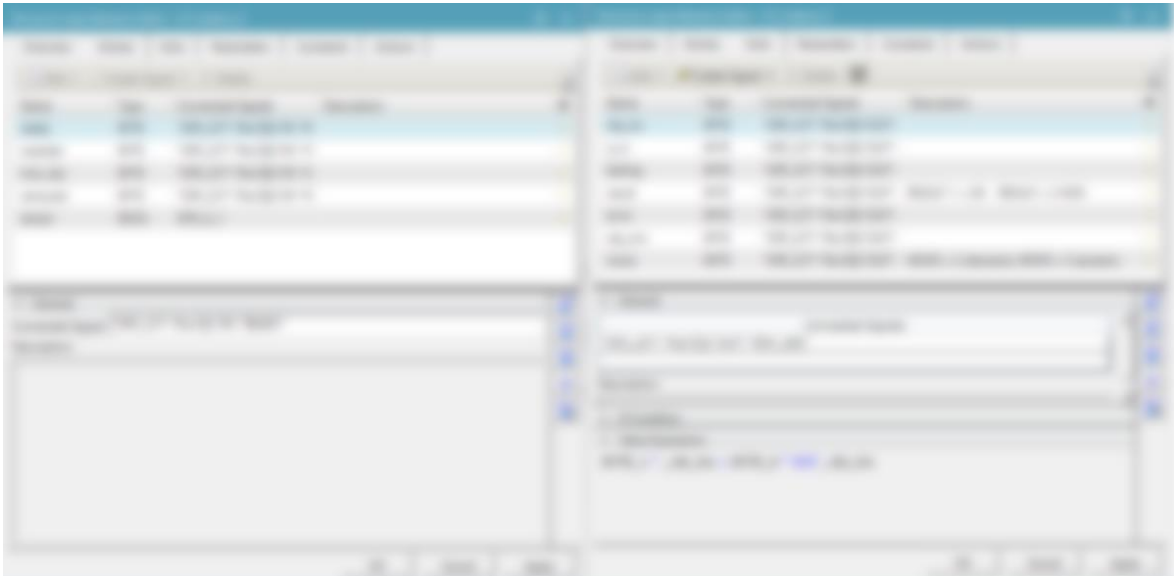
Akce jsou také navázány na parametry obdobně jako výstupy. V tomto případě ale nejsou propojeny se signály. Akce totiž udávají konkrétní pohyby v grafickém prostředí simulace, jako například pohyby částí strojů.

Konstanty slouží jako pevně nastavené číselné hodnoty, které dále mohou být použity jako hodnoty pro vyjádření parametrů, výstupů a akcí.

V případě simulované linky T8 lze rozdělit typy logických bloků podle toho, k jaké části simulace se váží.

Logické bloky strojů

V tomto případě blok reprezentuje chování stroje a jeho komunikaci s PLC programem a tím i dalšími částmi linky, jako například robotickými manipulátory. Příkladem komunikace je například zjišťování, zda je stroj připraven pro založení dílu, jestli probíhá operace, kterou má stroj vykonávat a podobně. Dále určuje kinematiku pohyblivých částí strojů, tedy například otevírání a zavírání zakládacích přípravků nebo pohybu otočných stolů. Na Obrázek 51 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je příklad logického bloku pro ICT tester.

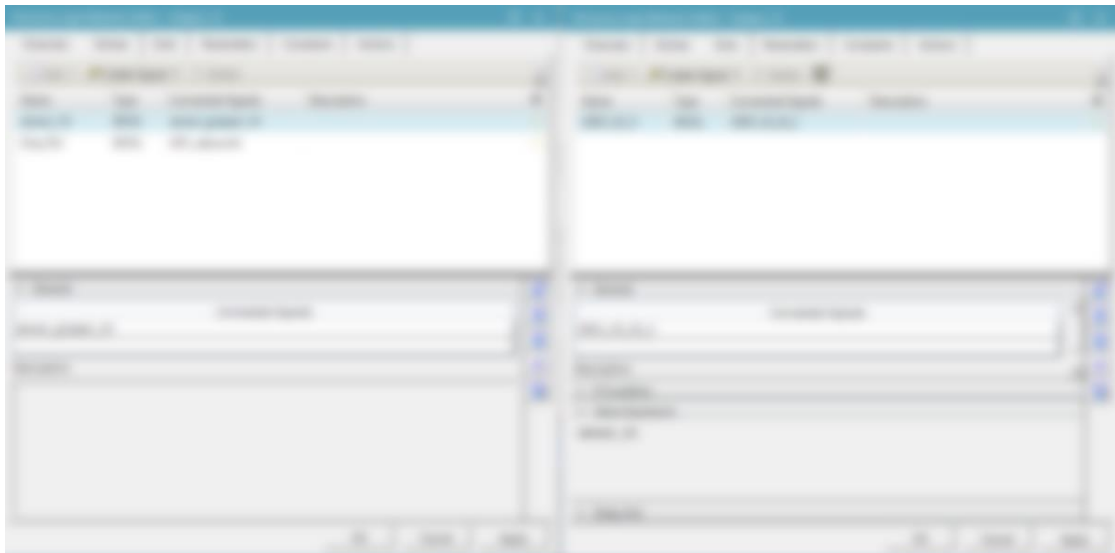


Obrázek 51: Logický blok ICT testeru

Logické bloky gripperů

Logické bloky gripperů slouží ke komunikaci mezi nástrojem, robotem a PLC programem. Gripperly samozřejmě nemají žádný řídicí systém, který by mohl komunikovat přímo. Vstupy a výstupy, které jsou na gripper navázány, jsou do PLC programu posílány prostřednictvím robota. Logika má v tomto případě zajistit správné fungování činností nástroje, tedy kdy má gripper přichytit díl a kdy jej má pustit. Tyto akce jsou vyvolávány robotickými signály. V reálném systému je roboty spínáno a vypínáno vytváření podtlaku v přísavkách, čímž dojde k uchopení, případně puštění výrobku. Vzhledem k časovým omezením pro vytvoření simulace bylo nereálné zkusit simulovat vytváření vakua, proto jsme pro gripperly vytvořili logiku náhradní, kdy spínání a vypínání vakua je simulováno zapínáním a vypínáním signálu robotem v pozici, kde má dojít k nějaké akci.

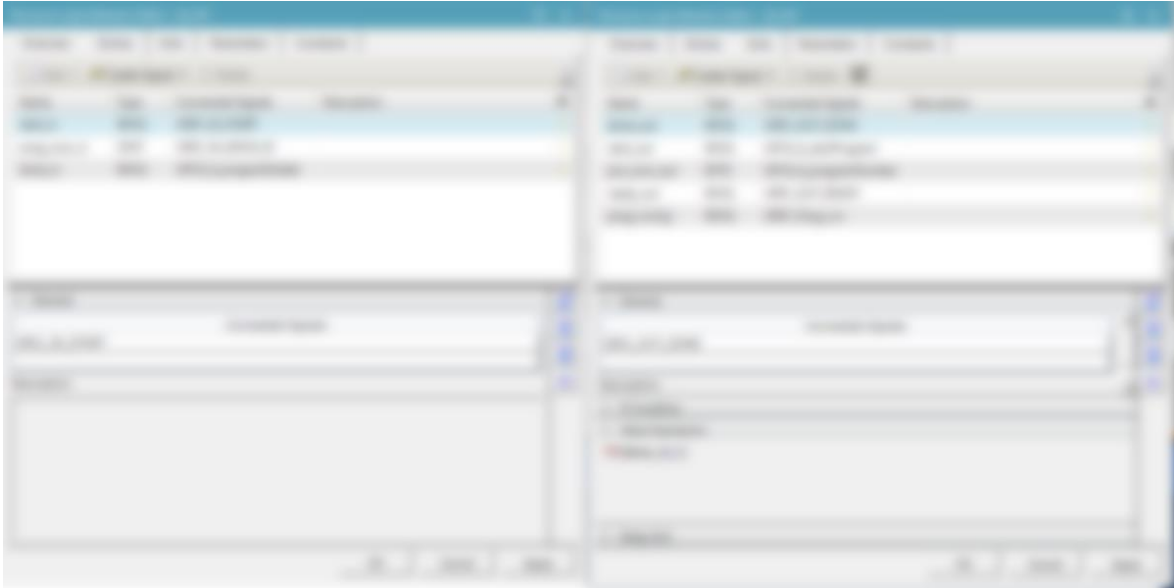
Místo senzoru pro zapnutí a vypnutí vakua jsem na každý gripper umístil čidlo přítomnosti výrobku. Tím je zaručená možnost kontroly založení či odebrání výrobku robotem. Příklad logického bloku pro gripper robota UR10 A, respektive jedné jeho poloviny, ukazuje Obrázek 52.



Obrázek 52: Logický blok Gripperu na robotu UR10 A

Logické bloky robotů

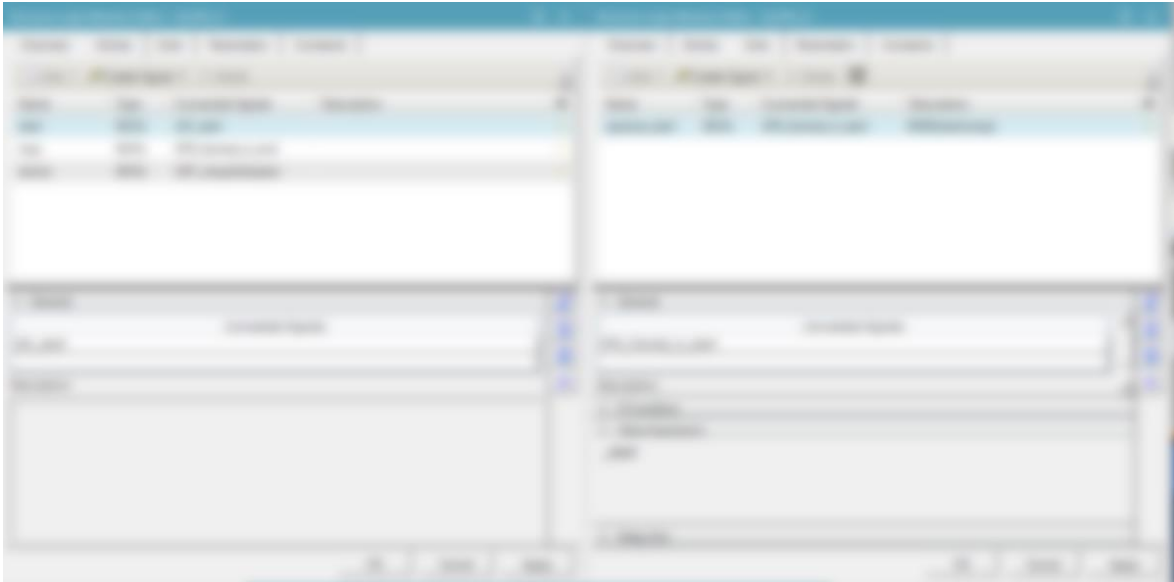
Naprostá většina akcí robotů je dána jejich robotickým programem. Logický blok je v tomto případě potřeba především pro možnost komunikace mezi robotem a PLC, kdy PLC na základě přijatých vstupů ze strojů posílá robotu číslo programu, který má vykonat. Každé číslo programu znamená sekvenci pohybů, kterou má robot vykonat a činnosti, které má v rámci této sekvence provést. Naopak robot prostřednictvím bloku odesílá do PLC údaje o tom, jestli vykonává pohyb, jestli již dokončil danou sekvencí a čeká na další číslo programu a podobně. Jako příklad je na Obrázek 53 ukázán logický blok robota A.



Obrázek 53: Logický blok robota UR10 A

Logické bloky materiálového toku

Aby i operace materiálového toku mohly být automatizovány, je nutné pro každou vytvořit samostatný logický blok, který udává, za jakých podmínek se daná operace provede. Naopak výstupem logického bloku operace je signál, že tato již byla provedena, na což mohou být navázány další činnosti v rámci linky. Příklad ukazuje O.



Obrázek 54: Logický blok pro materiálový tok – operace *DPS_framed_in*

V této fázi je, po přiřazení logiky všem částem modelu, tento již připravený pro započítání jeho rozpohybování tak, jak by měl fungovat reálný systém. Průběh rozpohybování je mimo jiné popsán v kapitole 6.

6. Simulace a jejich výstupy

Projekt se v této fázi blíží ke svému finále. V této závěrečné kapitole popíšu, jak probíhalo rozpohybování simulované linky v softwaru Process Simulate. Nastíním také, na jakých principech probíhalo rozpohybování modelu v programu Visual Components, aby bylo zřejmé, na základě jakých výstupů bude provedeno porovnání softwarů. Toto srovnání provedu v následující části. Z té vyplyne také finální výběr simulačního softwaru pro výrobní závod Continental v Brandýse nad Labem. V neposlední řadě také popíšu, jaké další kroky a plány se ohledně procesu simulace ve firmě chystají do budoucna.

Tato kapitola v podstatě popisuje další fáze implementace simulace z části 4.3. Nejprve se zabývám verifikací modelu, která probíhá pomocí jeho rozpohybování podle logiky skutečné linky. V části o verifikaci modelu v SW Visual Components zde části programování a verifikace modelu shrnuji dohromady. Samotné rozpohybování a s tím související verifikace modelu jsou zároveň v našem případě také fází provedení experimentu. Vyhodnocení výsledků pak přináší část o porovnání obou softwarů. Na základě porovnání je pak provedena implementace výsledků, tedy finální výběr softwaru pro potřeby společnosti Continental. Jako poslední je zde nastíněna fáze implementace do skutečného systému, kdy popíšu budoucí plány s procesy simulací a provedu úvahu o možných krocích pro implementaci procesu simulací do podnikové kultury společnosti.

6.1. Realizace a průběh simulací

V kapitole 5 jsem podrobně vysvětlil postup při přípravě simulačního modelu pro software Process Simulate. Na to navážu v této části, kde se budu podrobně zabývat další fází, tedy rozpohybováním tohoto modelu a na základě jaké logiky funguje. Dále zde také popíšu proces rozpohybování linky v programu Visual Components. Vzhledem k tomu, že, jak již bylo řečeno, na simulaci ve druhém ze zmiňovaných programů pracoval kolega, bude popis stručnější. Přesto z něj vyplyne vše důležité pro provedení porovnání obou softwarů v části následující. Postupy při přípravě a rozpohybování modelů v každém softwaru zde popisuji objektivně bez hodnocení jejich praktičnosti a funkčnosti. Na jejich hodnocení se zaměřím v části 6.2, kde porovnávám oba programy na základě určených kritérií.

6.1.1. Process Simulate

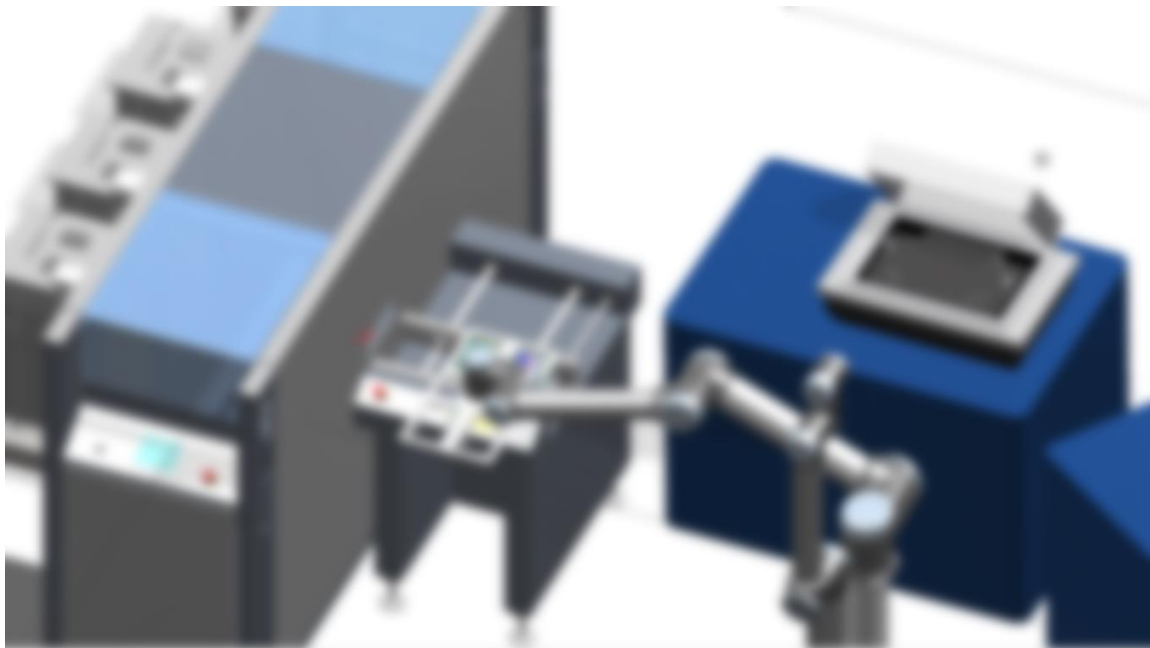
Rozpohybování simulačního modelu probíhalo v tomto softwaru ve čtyřech fázích. Každá fáze znamenala „oživení“ jednoho z robotů na lince a strojů, které daný robot obsluhuje. Proto bude rozpohybování podle jednotlivých fází popsáno i v této části diplomové práce.

UR10 A

Robot UR10 A má v systému tři hlavní úlohy. Zprvė odebírá produkt, zarámovanou dvojici DPS, ze vstupního dopravníku. Dále zajiřtuje obsluhu ICT testerů, tedy zakládání výrobku do prostoru testeru a odebírání otestovaných kusů. Třetí úlohou je předání otestovaných DPS robotu UR10 B, který jej dále zpracovává.

V počátku cyklu se robot nachází ve výchozí pozici. V této pozici následně dostává od PLC údaj o čísle programu, který má vykonat v závislosti na stavu strojů, které obsluhuje.

Po spuštění simulace je pomocí operace DPS_framed_in na linku dodána první dvojice DPS. Ta je zaznamenána čidlem přítomnosti na konci tohoto dopravníku a na základě výstupu z čidla robot dostává signál, aby vykonal sekvenci pohybů pro nabrání produktu ze vstupního dopravníku. Při najetí do polohy pro odebrání DPS z dopravníku robot zapne signál, který simuluje vakuum. Zároveň se aktivuje čidlo přítomnosti produktu na gripperu robota, respektive jeho části B, která slouží pro odebírání desek z dopravníku a zakládání do ICT testerů. Tím se v gripperu provede akce *Grip a desky jsou tak k nástroji připojeny. Robot poté odjede do bezpečné polohy, kde kontroluje, zda je deska připojena a čeká na další číslo programu, který má vykonat. Tímto způsobem funguje veřkeré odebírání produktů roboty na celé lince.



Obrázek 55: Odebrání produktu ze vstupního dopravníku

Mezitím v důsledku odebrání DPS z dopravníku přestane jeho čidlo přítomnosti detekovat produkt. Tím se spustí signál, který říká, že po pěti sekundách od ztráty detekce produktu proběhne znovu operace DPS_framed_in. Tak je zajištěna automatizace přísunu dílů ke zpracování do linky.

V této fázi PLC program zkontroluje, který z ICT testerů je volný pro založení desky. Na základě toho udá robotu číslo programu, který znamená obsluhu příslušného testeru. V poloze pro založení desky robot deaktivuje signál pro přichycení produktu ke gripperu, čímž dojde k provedení akce *Release a jeho uvolnění a založení do zakládacího přípravku. Zároveň PLC vydá robotu UR10 B pokyn, aby vykonal sekvenci, při níž se pohybuje do polohy pro přijmutí otestovaných DPS od robota UR10 A.



Obrázek 56: Založení do prvního ICT testeru

Robot poté odjede do bezpečné pozice, kde pomocí senzoru přítomnosti produktu na gripperu proběhne kontrola, že byl díl skutečně založen. Po odjetí robota do bezpečné vzdálenosti zároveň proběhne uzavření ICT testeru pomocí akce *Close a je spuštěna sekvence testování. Simulovat celý průběh tohoto testu by nebylo účelné, neboť smyslem simulace není zkoušet funkčnost testovací sekvence a její věrná simulace by zabrala příliš mnoho času. Proto je zde testování nahrazeno vygenerováním časového pulsu, který trvá stejnou dobu, jako testovací sekvence v reálném systému.

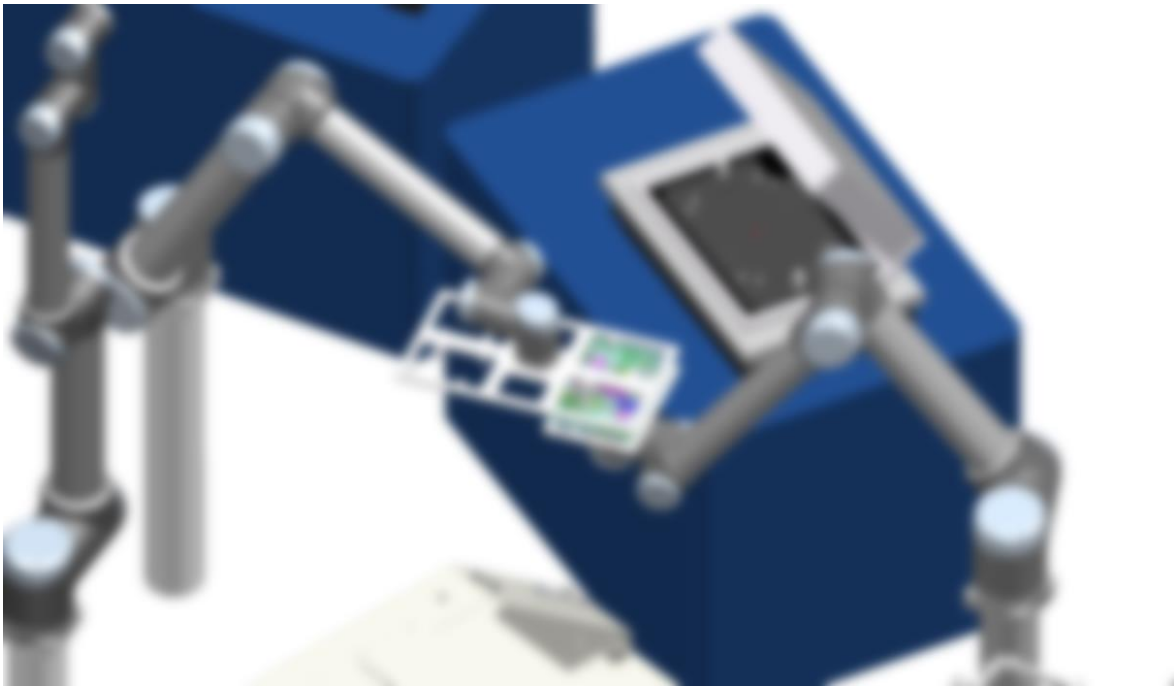
Mezitím robot odebere další dvojici DPS ze vstupního dopravníku. Protože ICT tester 1 stále testuje, vykoná sekvenci pohybů pro založení do testeru číslo 2. Logika tohoto procesu je analogická jako u prvního testeru.



Obrázek 57: Založení do druhého ICT testeru a příprava robota UR10 B

Při dalším odebírání produktu ze vstupního dopravníku je již dokončena testovací sekvence prvního testeru a otevře se jeho víko pomocí akce *Open. Protože nyní není volná žádná pozice testeru pro založení desky, dostane robot UR10 A pokyn pro odebrání DPS z prvního testeru a následného založení desky z dopravníku do tohoto testeru.

V této fázi probíhá kontrola, zda je robot UR10 B připraven v pozici pro předání otestované DPS. Pokud ne, robot UR10 A se zastaví v bezpečné pozici. Pokud ano, přejeďe i UR10 A do předávací pozice. Desky odloží na gripper UR10 B, který je přisaje a dále s nimi manipuluje v rámci simulovaného systému. Operaci předání DPS ukazuje Obrázek 58. Odebrání dílu probíhá se stejnou logikou, jako v případě odebírání DPS robotem UR10 A.



Obrázek 58: Předání DPS mezi roboty UR10 A a UR10 B

Tím je obsažena kompletní sekvence pohybů robota UR10 A. V této chvíli však již nevykonává operace podle výše popsaného pořadí, ale na základě příkazů z PLC programu, který automaticky vyhodnocuje, kterou sekvenci pohybů je nejlepší provést, aby byl chod linky plynulý.

UR10 B

Úlohy robota UR10 B jsou následující. Prvním úkolem je přebírání otestovaných DPS od robota UR10 A. To bylo popsáno v předchozí části rozpořívování. Následně produkt zakládá do frézky, kde dojde k oddělení rámečku z dvojice DPS, čímž jsou rozděleny na samostatné produkty pro další zpracování. Po odebrání hotových produktů z frézky robot odkládá rámeček na gravitační dopravník, který zajistí jeho odvod z desky. Dvě již samostatné DPS následně založí do překlápěcího stolku, kde jsou tyto připraveny pro odběr robotem UR10 C k dalšímu zpracování.

Po přebrání otestovaných DPS PLC zkontroluje, že je volná pozice ve frézce. To je dáno několika podmínkami, především tím, že stůl se neotáčí a že čidlo přítomnosti produktu v základacím přípravku frézky nedetekuje produkt a pozice je tak volná. Následně vydá robotu pokyn, že může založit. Logika zakládání je analogická s logikou pro robota UR10 A.

Tato operace je vidět na Obrázek 59.



Obrázek 59: Založení DPS do frézky

Po založení produktu do frézky dojde, v případě, že neprobíhá obrábění, k otočení stolu prostřednictvím akce *Turn_180 (respektive *Turn_0 v závislosti na pozici otočného stolu) a pomocí časového pulzu je spuštěna simulace operace frézování. Začátkem této simulace je spuštěna sekvence operací materiálového toku, a to operace DPS_framed_out, DPS_in a frame_in. Tím je simulována změna produktu během frézování. Pokud ve frézce není rozfrézovaný produkt z předchozího cyklu, a tudíž je po otočení stolu a započetí frézování volná základací pozice, robot UR10 B najede do pozice předání DPS, kde čeká na robota UR10 A. Pokud tomu tak není, robot UR10 B dostane signál pro odebrání obrobeneho produktu ze základací pozice frézky.

Následuje operace odkládání rámečku jako odpadního produktu. Aby bylo zajištěno, že robot na dopravník založí rámeček, ale DPS na gripperu ponechá, je jeho nástroj rozdělen na dva okruhy pomocí duplikace geometrie gripperu. První gripper má za úkol manipulaci s DPS a druhý s rámečkem. Po najetí robota do polohy pro odložení rámečku tedy proběhne akce *Release pouze na nástroji pro manipulaci s rámečkem. Rámeček poté po dráze dopravníku sjede do jeho horní polohy, kde jej detekuje čidlo přítomnosti rámečku. Tím je zajištěna kontrola, že robot skutečně rámeček odložil. Zároveň je detekcí rámečku spuštěna operace frame_out, čímž dojde k jeho odstranění z prostoru linky. Odložení rámečku na dopravník robotem je vidět na Obrázek 60.



Obrázek 60: Odkládání rámečku DPS na dopravník

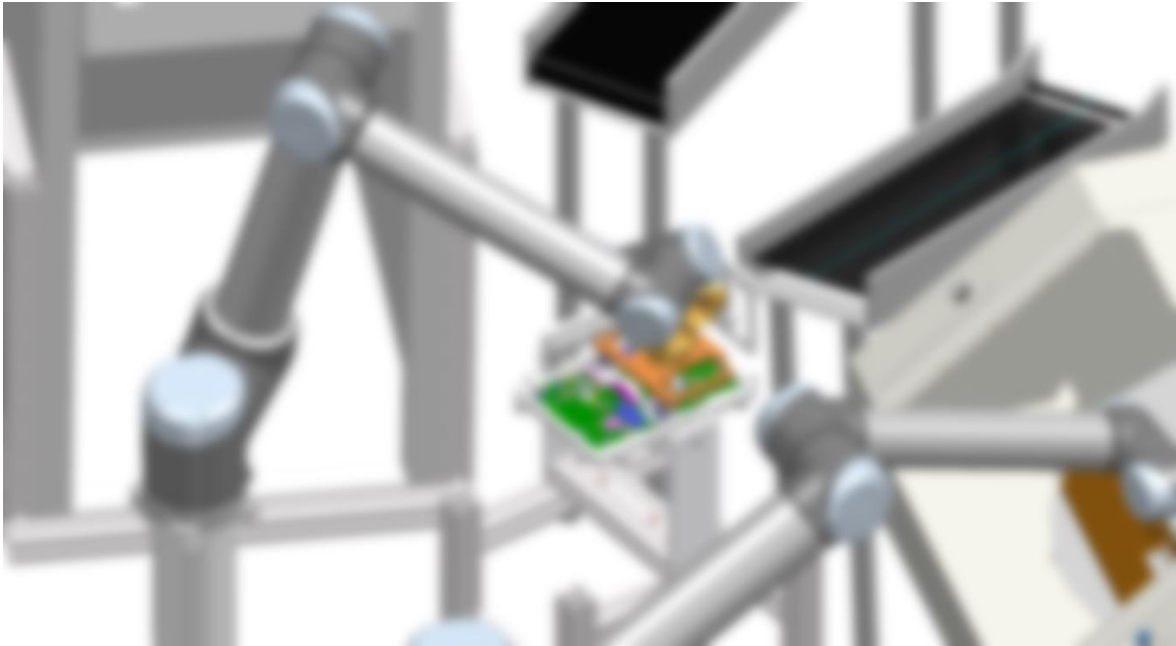
Po úspěšném odložení rámečku robot UR10 B pokračuje do pozice pro odložení DPS do základacího přípravku v otočném stolku.

Po odložení DPS robot pokračuje podle pokynu z PLC programu buď pro odebrání dalšího dílu z frézky, nebo do pozice pro přebrání DPS od robota UR10 A.

UR10 C

Robot UR10 C obsluhuje překlápěcí stolek od chvíle, kdy je do něj založen produkt robotem UR10 B a je připraven k odebrání. Dále se stará o zakládání desek do UPS/Funkčního testeru a jejich odebrání z něj. Otestované desky poté zakládá do blisteru připraveného robotem UR10 D, případně je odkládá na NOK dopravník.

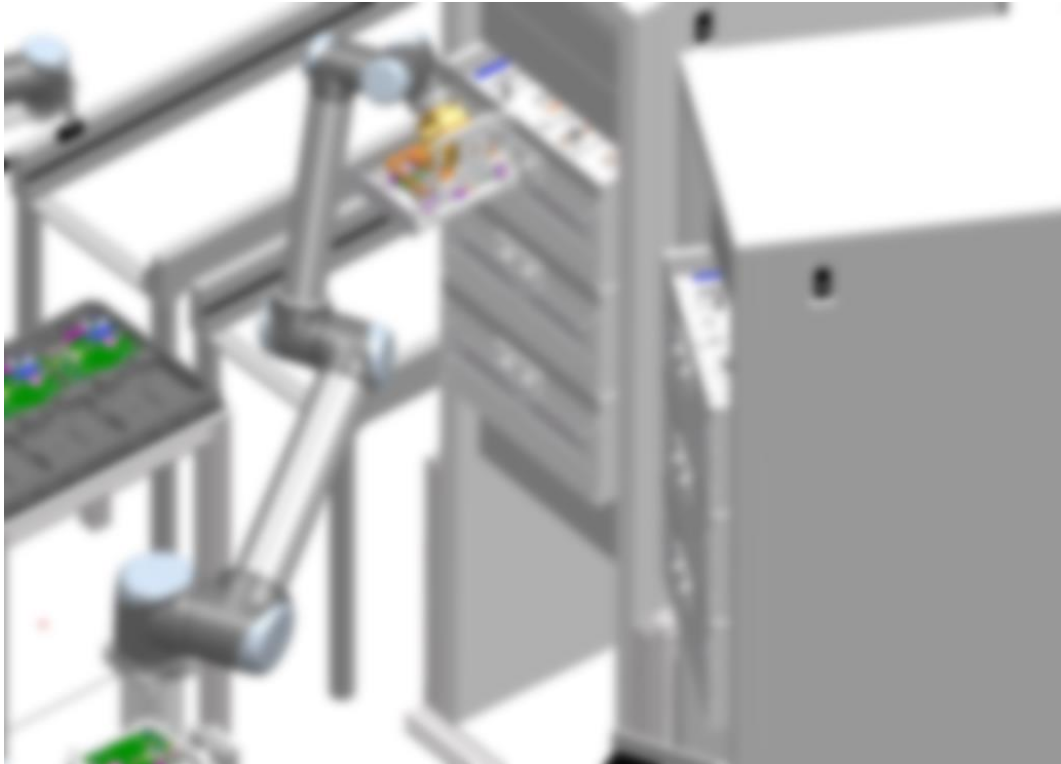
V první části této fáze dojde po založení DPS do překlápěcího stolku k jeho otočení a naskenování produktu. Po tomto procesu vydá v reálném systému PLC pokyn robotu UR10 C, že může odebrat DPS z prostoru stolku. Protože simulace skenování produktu a generování jeho číselného označení je složitá a pro účely simulace nepotřebná, je tato fáze přeskočena a signál, že jsou DPS připraveny k odebrání, je sepnut již po otočení stolku a časové prodlevě, kterou v reálném systému způsobuje proces skenování. Robot UR10 C poté najede do pozice pro odebrání první DPS ze stolku a odebere jí, viz Obrázek 61.



Obrázek 61: Odebírání DPS ze stolku robotem UR10 C

Následně dojede do výchozí pozice. PLC program určí zjišťuje, která z dvanácti testovacích pozic v UPS testeru je volná a vydá pokyn robotu, aby do ní založil DPS.

Po založení DPS a odjetí robota do bezpečné vzdálenosti dojde pomocí akce *Close k uzavření testovací pozice a pomocí časového pulzu proběhne simulace testování a nahrávání firmwaru do DPS. Mezitím robot UR10 C odebere i druhou desku z překlápěcího stolku a je zopakován celý proces zakládání do UPS testeru. Zakládání DPS do UPS testeru zobrazuje Obrázek 62.



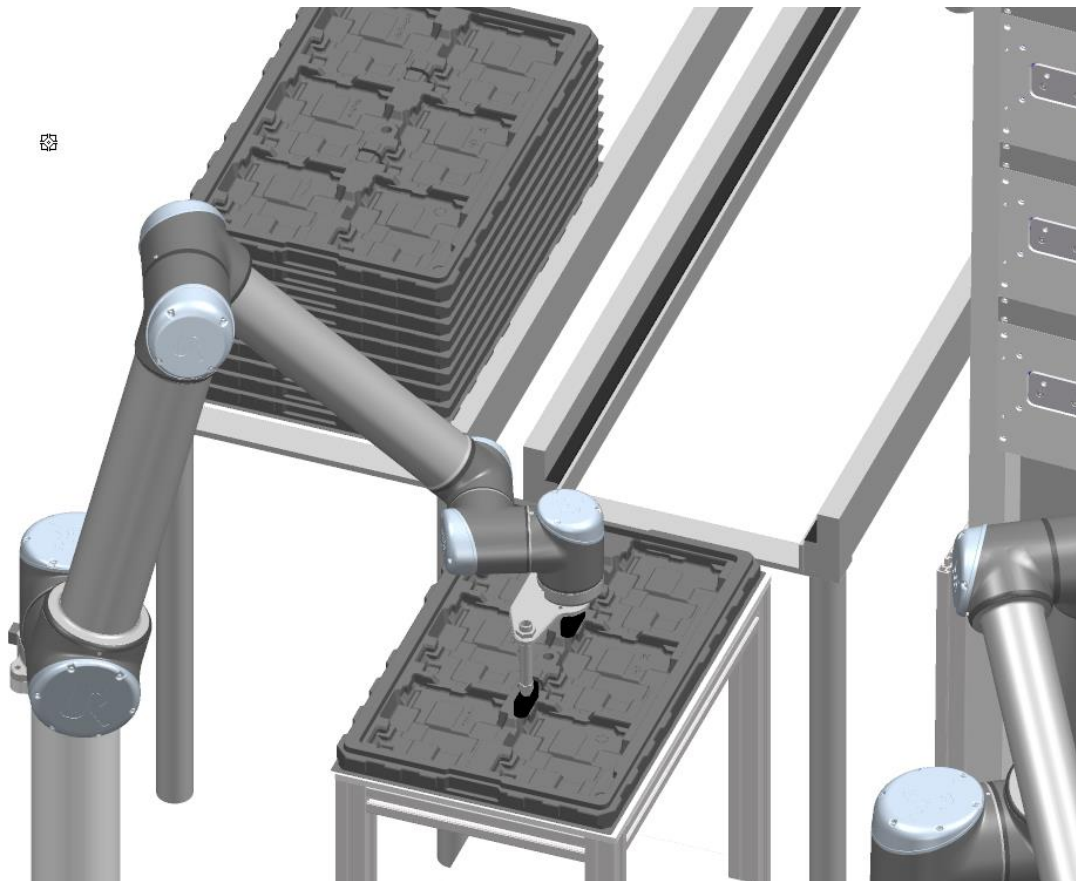
Obrázek 62: Zakládání DPS do volné pozice UPS testeru

Následně robot UR10 C čeká na vydání pokynu od PLC programu ve formě čísla případu, který může nastat. Tím je, v případě opětovného splnění podmínek pro odebrání produktů ze stolku analogický scénář, popsany v předchozím odstavci.

Druhou možností je dokončení funkčního testu a uvolnění testovací pozice pro odebrání DPS. V případě, že operace v UPS testeru proběhla úspěšně, robot vyjme desku a zakládá jí do blisteru na stolku, který předtím připravil robot UR10 D.

UR10 D

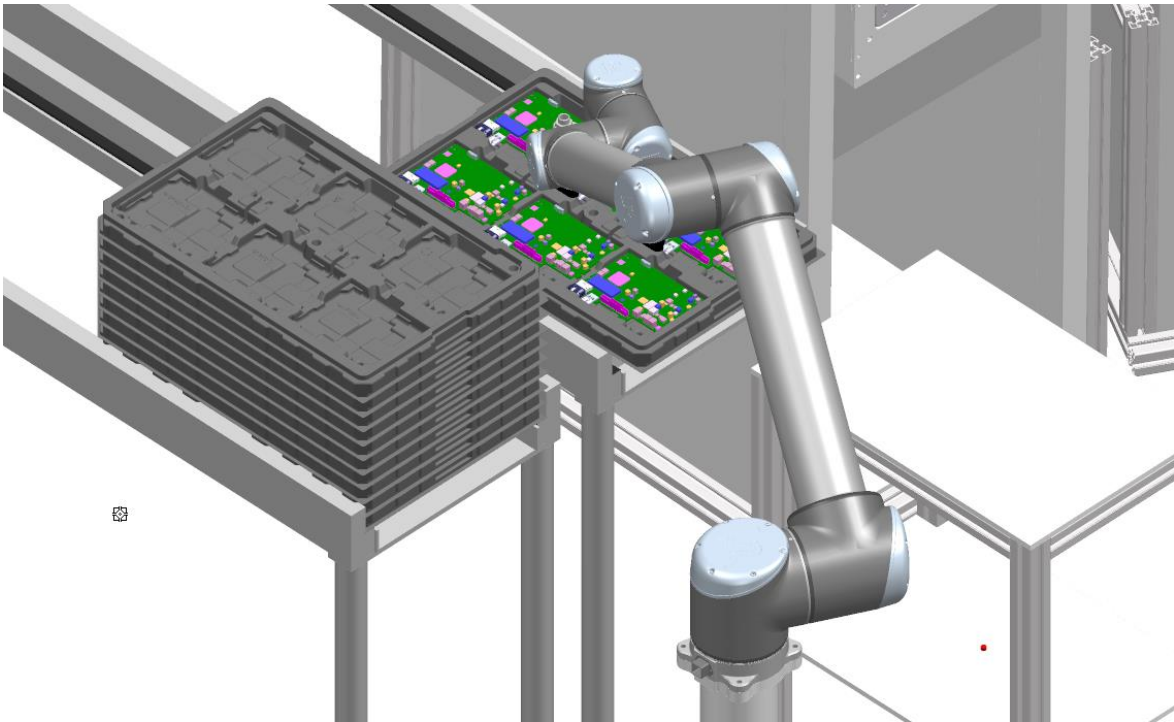
Robot UR10 D má na lince za úkol obsluhu materiálového toku blisterů. Tedy ve chvíli, kdy přijede po dopravníku komínek deseti blisterů, robot jeden z nich odeber a položí na stolec, kde jsou do blisteru robotem UR10 C zakládány OK kusy DPS pro další použití. Ve chvíli, kdy je blister na stolku naplněn, robot UR10 D blister položí na dopravník a na stolec založí další prázdný blister. Takto je celý proces opakován do chvíle, než je na dopravníku všech deset naplněných blisterů. Poté se celý proces opakuje. Pokládání blisteru na stolec je vidět na Obrázek 63.



Obrázek 63: Operace pokládání blisteru na stolek

Robot UR10 D je aktivován ve chvíli, kdy senzor přítomnosti na konci vstupního dopravníku detekuje přijetí komínku blisterů do prostoru linky. V tu chvíli proběhnou dvě non sim operace materiálového toku, totiž *Blistery_10x_out* a *Blistery_samostatne_in*, aby bylo možné s každým blisterem manipulovat samostatně.

Po provedení těchto operací odebere první blister a připraví jej pro zakládání DPS robotem UR10 C. Následně čeká na naplnění takto připraveného blisteru. To, že je blister naplněn, je řešeno pomocí counteru v PLC programu. Ve chvíli, kdy tento counter napočítá, že robot UR10 C provedl šestkrát operaci zakládání DPS do blisteru, nastane operace materiálového toku *Blister_s_DPS_1X*, čímž dojde ke spojení blisteru a založených DPS do jednoho dílu tak, aby s těmito díly mohlo být manipulováno jako s jedním celkem. Po provedení operace robot UR10 D uchopí blister a založí jej na dopravník pro odvod OK kusů z linky, viz Obrázek 64.



Obrázek 64: Odkládání naplněného blisteru na dopravník

Tyto operace jsou prováděny do chvíle, kdy je na výstupním dopravníku naskládáno 10 kusů blisterů s DPS. Ty jsou poté pomocí operace Blister_s_DPS_10x spojeny do jedné sestavy. Tuto sestavu detekuje senzor přítomnosti na dopravníku a na základě této detekce dojde k odjetí sestavy na konec dopravníku, kde je opět detekována čidlem přítomnosti, na základě čehož se provede operace Blistry_out, čímž dojde k odstranění balení z linky. Tím je ukončen jeden cyklus systému.

Aby nedocházelo k nadměrné kumulaci blisterů v rámci vstupního dopravníku, je tento rozdělen na tři zóny pomocí dvou tzv. **stopperů**. Ty jsou obsluhovány pomocí senzorů přítomnosti. V případě, že čidlo na konci dopravníku detekuje přítomnost blisterů, znamená to, že je první zóna zaplněná. Tím se aktivuje první stopper, který další blistry zastaví ve druhé zóně. V té je další čidlo přítomnosti a detekcí blisterů vydá signál, že i tato zóna je plná. Tento krok aktivuje druhý stopper, který zastaví blistry ve třetí zóně, která je na počátku dopravníku. Ve chvíli, kdy čidlo v první zóně nedetekuje přítomnost blisterů, tato se uvolní a dojde k přesunu blisterů ze zóny dvě do zóny jedna, respektive ze zóny tři do zóny dvě. Tím je zabezpečeno, že se blistry nebudou kumulovat na dopravníku v případě, že zde pro ně není místo.

Simulace NOK scénářů

Výše popsané rozpohybování simulačního modelu, výrobní proces a logika chování linky se dějí za předpokladu, že všechny operace proběhnou tak, jak mají. V rámci simulace ovšem chceme vyzkoušet i scénáře, kdy DPS neprojde správně některým z pracovišť, tedy stane se z ní NOK kus.

NOK stavy je možno vytvářet náhodně pomocí generátoru náhodných událostí. S kolegou PLC programátorem jsme ale pro účely prezentace této konkrétní linky zvolili

jako lepší možnost nastavovat NOK stavy ručně, jak potřebujeme. Ruční vyvolání NOK stavů se děje pomocí signálů pro komunikaci s PLC programem linky.

Každé pracoviště linky má pomocí logického bloku danou kombinaci parametrů, při jejichž splnění pracoviště vyše signál, že je produkt připraven k odebrání. U pracovišť, kde může NOK stav nastat, tedy ICT testery, frézka a UPS testery, je splnění parametru mimo jiné dáno signálem o statusu produktu, tedy OK a NOK. Při standardním automatickém cyklu simulačního modelu jsou tyto signály vždy nastaveny jako OK. Ten může být přepnutím změněn na hodnotu pro NOK status. Podle toho, kde v rámci systému je NOK stav zjištěn, mohou nastat tři scénáře.

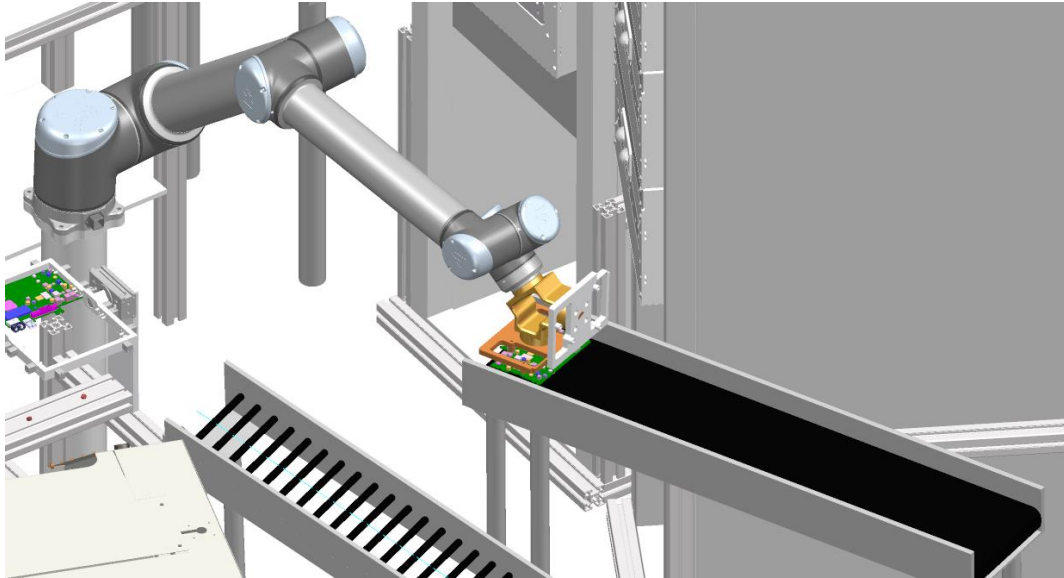
Pokud NOK status nastane v jednom z ICT testerů, produkt dále pokračuje k operaci frézování. Po obrobění dílu jej robot odebere z frézky a od PLC programu dostane signál o vykonání NOK sekvence, tedy odjetí do pozice pro odebrání dílu z gripperu.

Při vyvolání NOK statusu při operaci frézování nastává stejný scénář, jako v případě NOK stavu při operaci ICT testování. Podobu prvního NOK scénáře lze vidět na Obrázek 65.



Obrázek 65: NOK stav po operaci ICT testu a frézování

V případě, že je NOK stav vyvolán při operaci UPS/Funkčního testu, odebere po skončení testování produkt robot UR10 C a umístí jej na dopravník, kterým se odvádí NOK kusy DPS z prostoru linky. Tento stav ukazuje Obrázek 66.



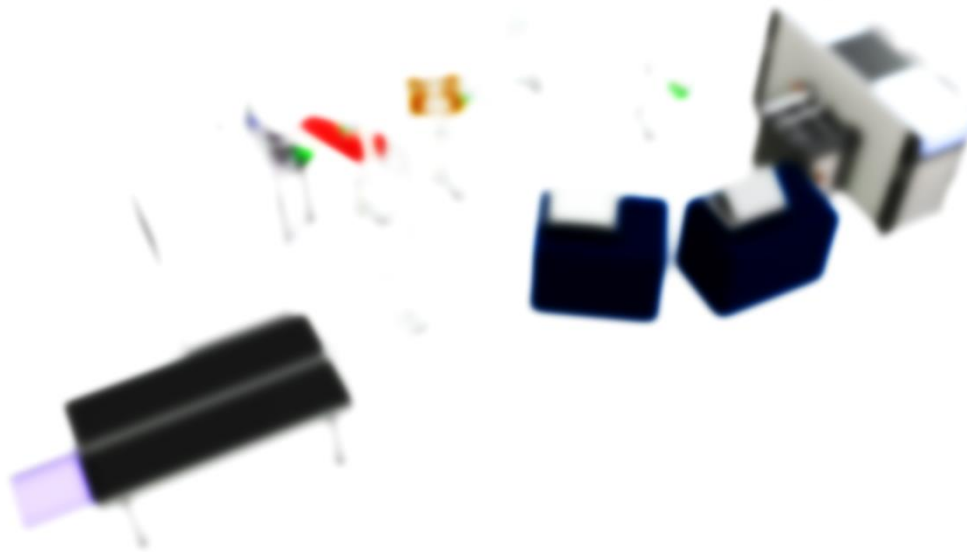
Obrázek 66: NOK stav po operaci UPS/Funkčního testu

Verifikace a validace modelu proběhla v tom smyslu, že po spuštění simulace bylo kontrolováno, zda se tato chová jako reálný systém. Samozřejmě je nutné předpokládat drobné deviace, neboť zatím není technicky možné napodobit reálný systém se stoprocentní přesností.

6.1.2. Visual Components

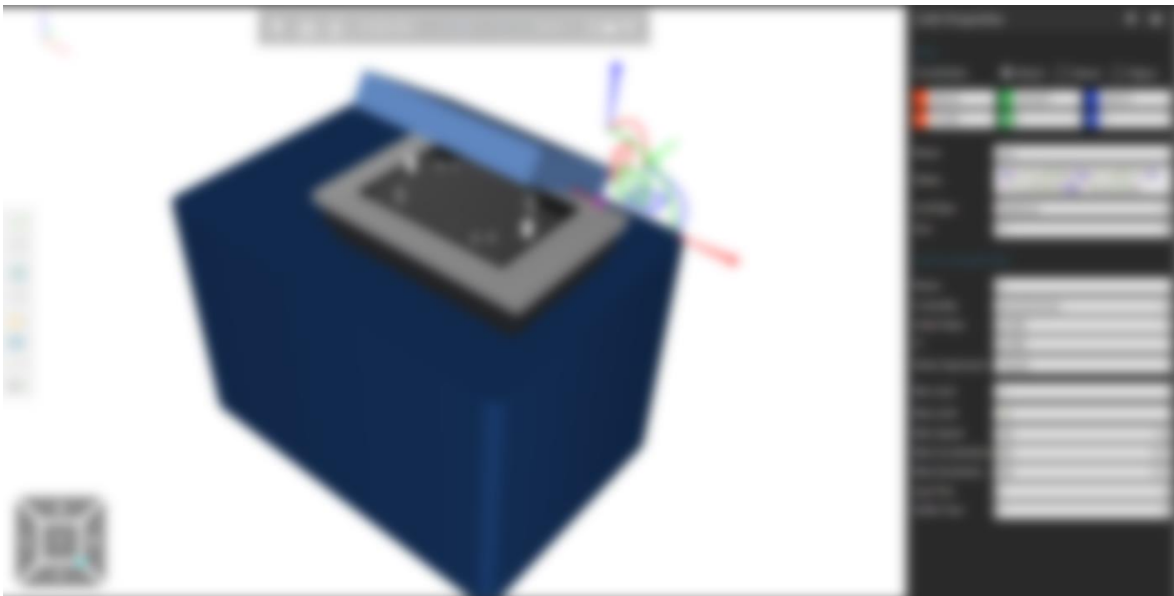
Rozpohybování simulačního modelu v softwaru Visual Components pojmu poněkud jinak. Popis bude stručnější a zahrnu sem i hlavní atributy, které se týkají přípravy simulačního modelu. Ten jsem nevytvářel, a tak jeho přípravu nemohu do této práce popsat tak rozsáhle, jako přípravu modelu v SW Process Simulate. V prostředí programu Visual Components jsem však již pracoval, a tak zde mohu díky zpětné vazby kolegy, který se věnoval právě vytváření simulačního modelu ve Visual Components, uvést některé postupy a způsoby práce s programem, které budou následně použity jako kritéria pro finální porovnání obou softwarů.

Sestavování 3D layoutu je prováděno pomocí importu modelů do grafického prostředí softwaru. Modely je možno importovat napřímo ve velkém množství formátů tzv. metodou „drag and drop“, tedy přetažením souboru s modelem do grafického okna simulace. Import pak proběhne automaticky. Samotné umístění částí linky je nutno provádět přesouváním pomocí souřadného systému v geometrickém středu stroje, neexistuje pro něj zvláštní funkce. Provádí se například odměřením vzdálenosti prvku stroje k prvku referenčnímu a následnou změnou hodnoty dané souřadnice v rámci souřadného systému přesouvaného modelu. Sestavený 3D layout linky v softwaru Visual Components je vidět na Obrázek 67.



Obrázek 67: 3D layout simulované linky v SW Visual Components

Při tvorbě kinematiky částí linky je potřeba ve stromě součástí daného modelu vybrat všechny prvky, které se mají pohybovat. Ty se poté extrahují z modelu jako pohyblivý prvek. Tomu je následně v grafickém okně přiřazen druh pohybu, osa, případně vektor směru pohybu/otáčení a vlastnosti, jako limity pohybu, rychlosti, zrychlení a podobně, jak je patrné z Obrázek 68



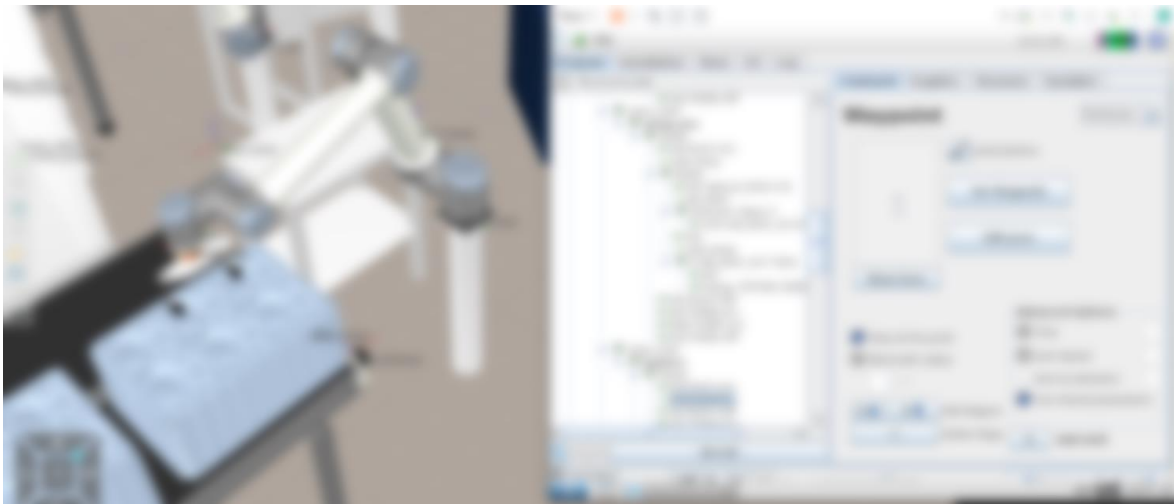
Obrázek 68: Určení kinematiky víka ICT testeru

Velkou výhodou při sestavování 3D layoutu linky v softwaru Visual Components jsou rozsáhlé knihovny robotů, standardních strojů a podobně. Například při tvorbě dopravníků tak není nutno disponovat vlastními modely, neboť knihovny obsahují poměrně velké množství jejich parametrických modelů, kterým lze po přidání do modelu

metodou dragand drop přiřadit jejich základní vlastnosti, jako například rozměry, dráhu, rychlost a podobně.

Jak bylo řečeno v předchozím odstavci, software disponuje knihovny modelů standardních součástí linek. Toho lze s výhodou využít i při tvorbě robotických manipulátorů, neboť součástí knihoven jsou i roboty velké části větších výrobců, mezi nimi i Universal Robots. Tyto roboty se nachází i v naší simulované lince. Z knihoven již mají předdefinované pohyblivé části a jejich vzájemné vazby. Dalším krokem je nahrání modelů gripperu, tedy nástroje každého robota. Ten je pomocí zvláštní funkce následně definován jako robotický nástroj a je mu výběrem v rámci geometrie gripperu přiřazen nástrojový souřadný systém. Poté je model uložen, čímž dojde k vytvoření nástroje. Ten je poté přetažením na nástrojovou hlavu robota k němu přichycen. Gripperu nelze přímo definovat, které díly má chytat. V případě, že dostane příkaz grip pro přichycení dílu, nabere všechny produkty, které má ve svém okolí daném nastavením jeho rozsahu.

Jejich rozpořádání podle skutečných programů neprobíhá přímo v simulaci. Přes emulátor virtuálních kontrolerů VMware Workstation se tyto připojí přes vytvořené servery k simulačnímu softwaru a k jednotlivým robotům. Pomocí nich je poté lze ovládat jako roboty skutečné, tedy včetně zkoušení programů těchto robotů.

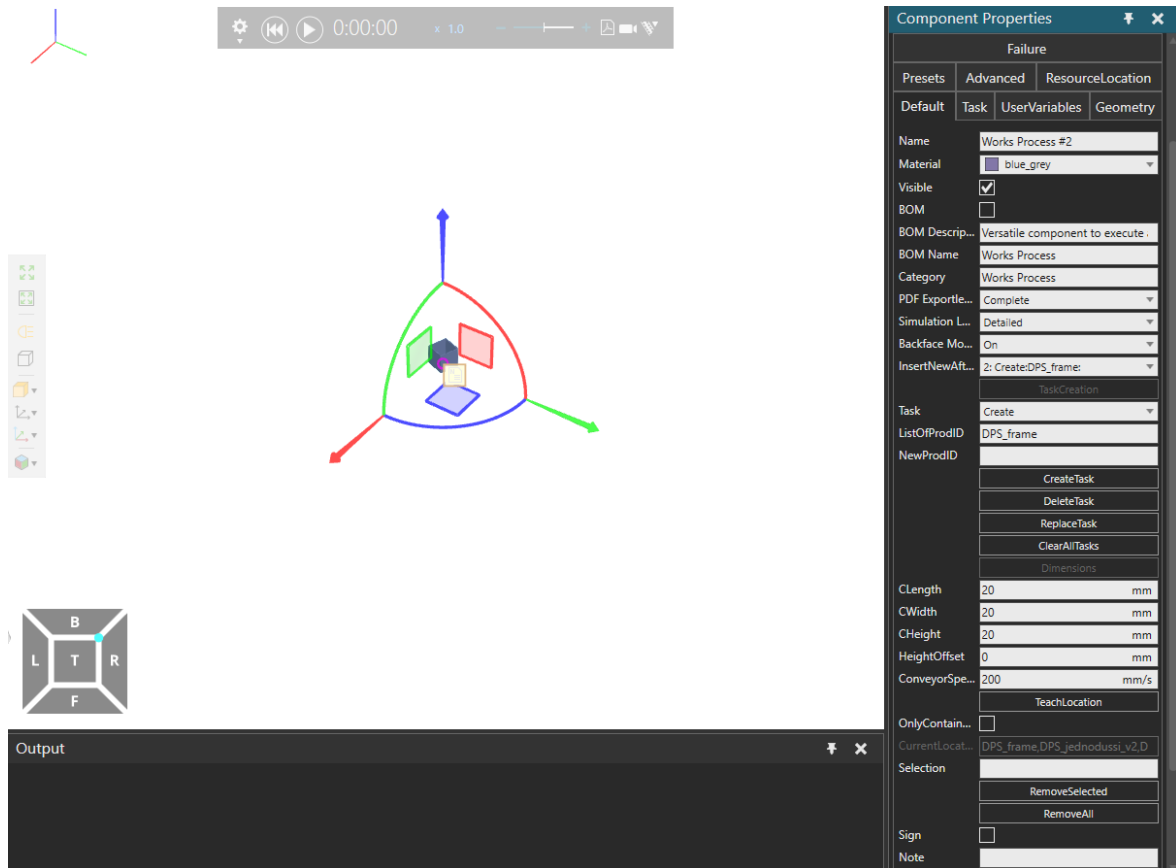


Obrázek 69: Řízení robotických programů pomocí emulátoru kontrolerů

Obrázek 69 ukazuje tento způsob ovládání robotů. Přes kontrolery pak roboty reagují i na pokyny z připojeného PLC programu z linky.

Software Visual Components používá k rozpořádání simulačního modelu, tedy pro určení logiky pohybů, přenosu signálů mezi PLC a linkou a určení materiálového toku, programovací jazyk Python. Hodnoty signálů a za jakých podmínek jich tyto signály nabývají, jsou dány zápisem do jednoduchých skriptů. V podstatě se jedná o podobný princip, jako v případě logických bloků softwaru Process Simulate s tím rozdílem, že v případě skriptů je nutno také hlídat správné strukturování programu a zápis logiky tohoto programu.

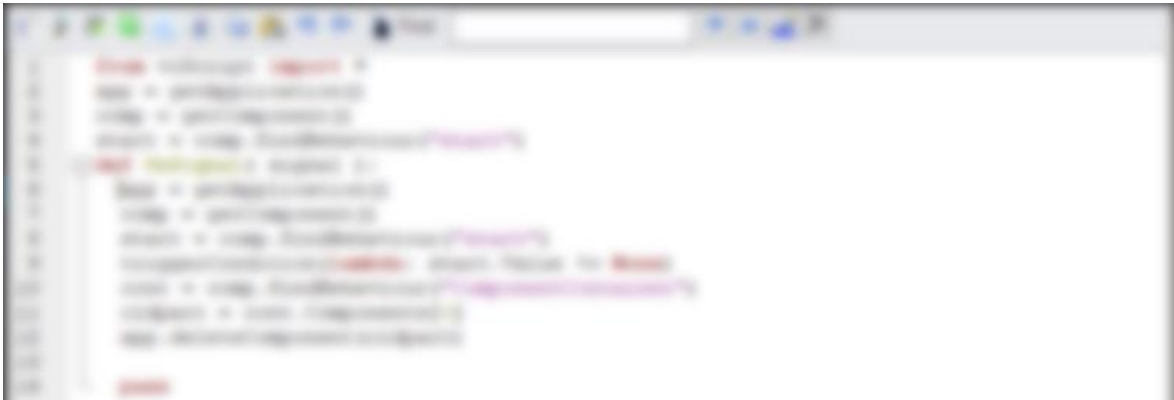
Materiálový tok je tvořen pomocí kombinace speciálních 3D bloků z knihoven a Python skriptů. Skript určuje podmínky, za kterých se má provést akce, daná nastavením funkčního 3D bloku. Jako příklad uvedu změnu zarámované dvojice DPS na jednotlivé DPS a rámeček při operaci frézování. Funkční blok a jeho nastavení je vidět na Obrázek 70.



Obrázek 70: Funkční blok Works Process a jeho nastavení

Jedná se o blok Works Process, což je obecný blok, který vytváří vizuální stránku materiálového toku. V bloku je nastavená operace, která se má provést, jako vytvoření dílu, jeho zmizení, záměna a podobně. Dále lze také nastavit, jakého produktu se daná operace týká. V neposlední řadě lze také upravovat rozměry a barvu bloku, tudíž při prezentaci simulačního modelu jej lze zcela skrýt.

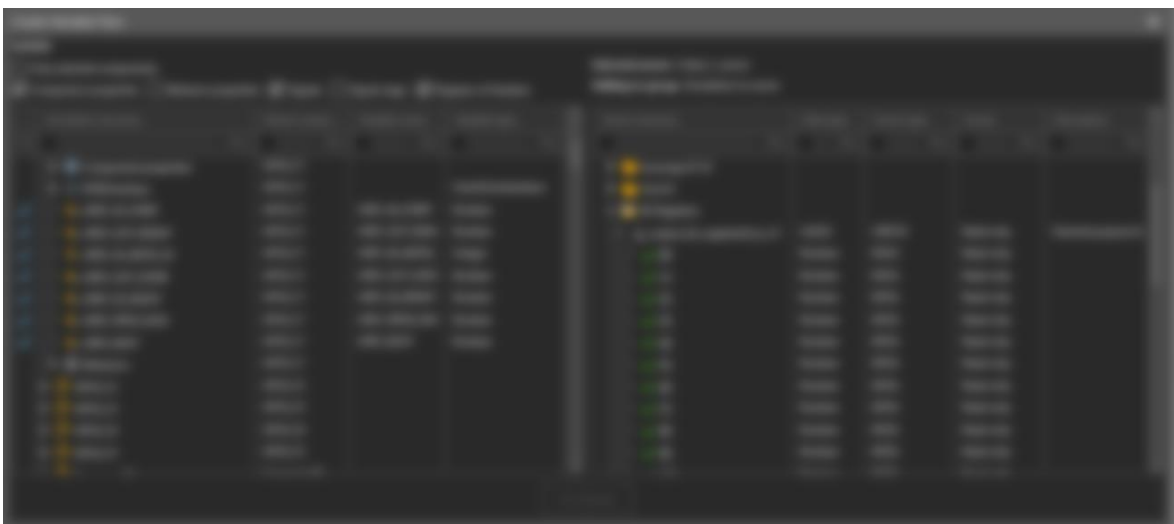
Logiku, podle které daná operace ve funkčním bloku bude probíhat, pak určuje python skript.



Obrázek 71: Python skript pro operaci záměny produktů v rámci operace frézování

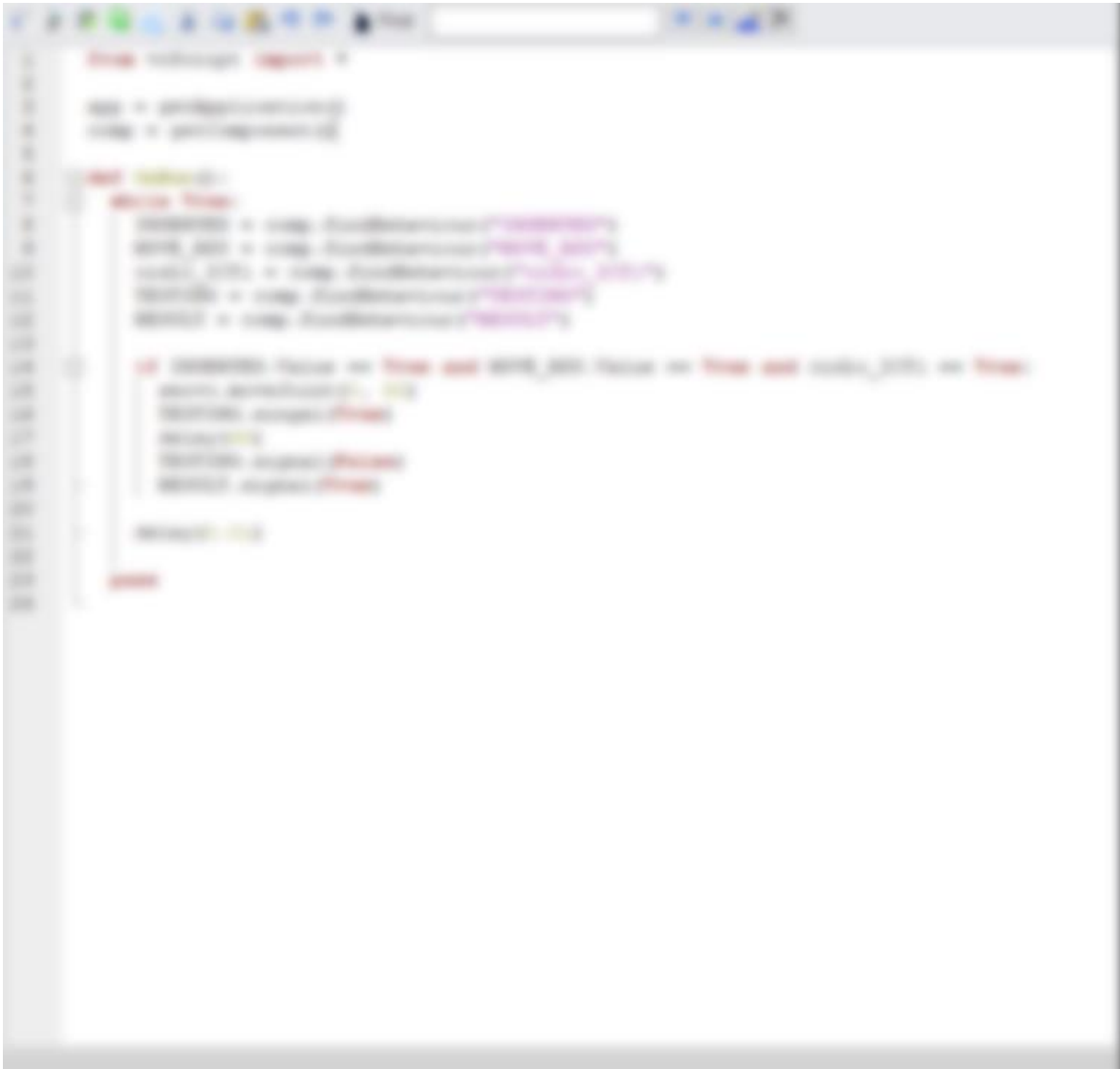
Příklad skriptu pro materiálový tok v rámci operace frézování zobrazuje Obrázek 71. Tento blok vyhledává aktivaci proměnné „start“, která je definována v samostatném bloku. Ve chvíli, kdy je tato proměnná aktivována, dojde ke zneviditelnění a odstranění zarámované dvojice DPS z prostoru frézky. Obdobně je pak provedena operace vzniku produktu po frézování, ale i další operace materiálového toku.

Připojení PLC programu do prostředí simulace je v nejnovější verzi Visual Components, dostupné od června, možné přes klient PLC Sim Advanced, podobně jako v případě Process Simulate. Po úspěšném propojení PLC a simulace proběhne automatický import všech signálů, které software v PLC programu najde. Tyto signály je pak možno propojit s vytvořenými vstupy a výstupy v simulaci. Ukázka rozhraní pro připojení signálů k proměnným je na Obrázek 72.



Obrázek 72: Propojení signálů mezi PLC a simulací

Po propojení signálů je nutno vytvořit v simulaci logiku, podle které tyto signály aktivují připojené proměnné a naopak. I v tomto případě je tato logika dána skripty v jazyce Python, viz například Obrázek 73, na kterém je část skriptu, který určuje logiku ICT testeru.



Obrázek 73: Python skript pro určení chování logických proměnných ICT testeru

První část skriptu vyhledává jednotlivé proměnné, které budou v daném skriptu použity. Druhá část určuje samotné chování. V tomto případě je chování dáno podmínkou if, která říká, že pro provedení skriptu je nutné, aby některé proměnné nabývaly určité hodnoty, v tomto případě TRUE. Pokud je podmínka splněna, provedou se akce v dalších řádcích, jako například akce servo.moveJoint, což je akce pro pohyb otevření víka ICT testeru. Obdobně probíhá tvorba logiky pro všechny části linky.

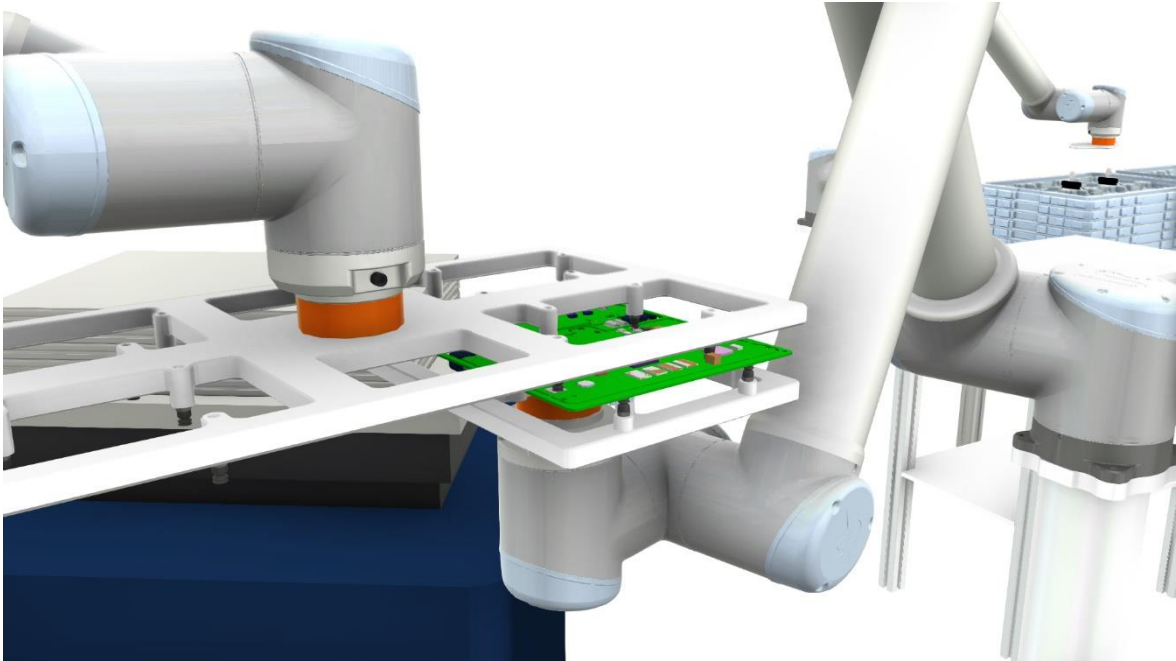
Po provedení všech výše popsaných kroků pro celý model je možno přistoupit k testovacímu rozpohybování modelu a jeho případné optimalizaci.

Vzhledem k tomu, že logika, kterou se simulační model řídí, by v ideálním případě měla být stejná jako u reálného systému, a tedy i shodná s chováním v softwaru Process Simulate, nepovažuji za nutné zde fungování linky popisovat tak obsáhlým způsobem, jako v případě popisu rozpočítání modelu v Process Simulate.



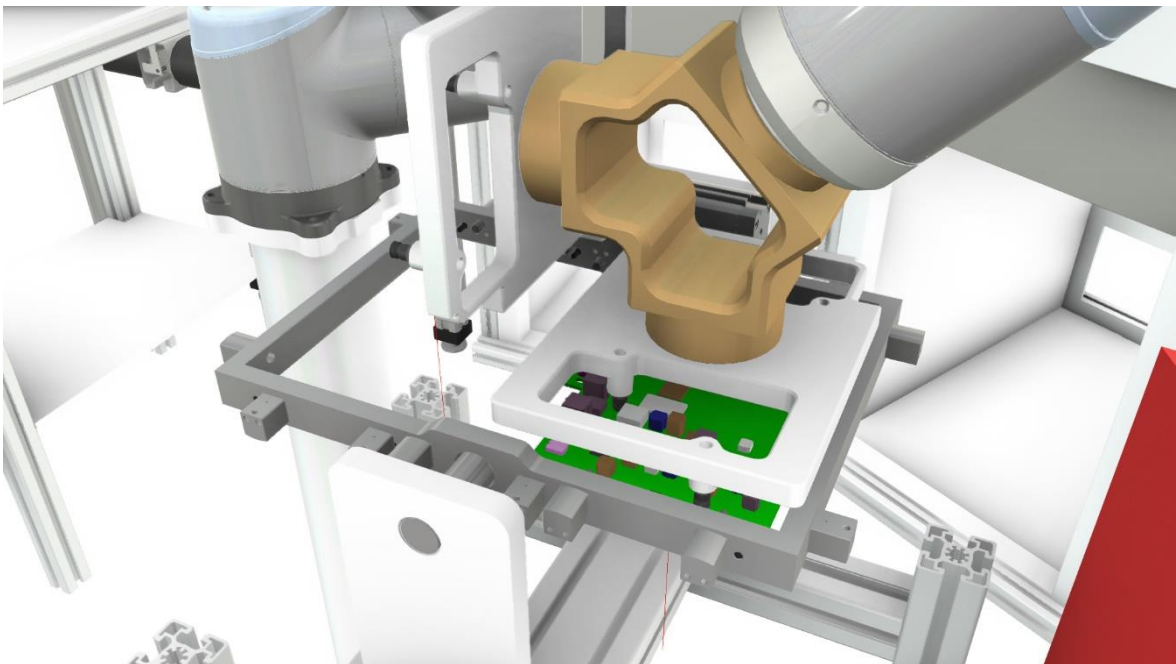
Obrázek74: Zakládání produktu do ICT testeru

Na Obrázek74 je vidět zakládání produktu do ICT testeru. To proběhne v případě, že je víko otevřené a čidlo přítomnosti nesnímá v zakládací pozici žádný produkt. Na pravé polovině gripperu je vidět DPS po dokončení ICT testování. Tuto DPS robot vyjmul předtím, než do ICT testeru založil druhou DPS. Právě tato část procesu je vyobrazena na obrázku. Otestovanou DPS pak robot UR10 A předá robotu UR10 B, který s ní pracuje dále.



Obrázek 75: Předání produktů mezi roboty

Operaci předávání produktu mezi roboty zachycuje Obrázek 75. Ta proběhne ve chvíli, kdy robot UR10 A vydá signál, že dokončil operaci výměny DPS v jednom z testerů a začne vykonávat program předání mezi roboty. V návaznosti na to se robot UR10 B přesune do předávací pozice, kde produkt převezme a dále s ním manipuluje.



Obrázek 76: Odebírání produktu z překlápěcího stolku

Po dokončení operací, které obsluhuje robot UR10 B, tento odloží desky na překlápěcí stůl. Zde desky odebírá robot UR10 C na základě signálu, že DPS jsou založeny ve stolku a ten je otočen v pozici pro odebírání, jak je vidět na Obrázek 76. Robot UR10 C postupně odebrané desky zakládá do UPS a funkčního testeru. Po odebrání obou

desek se stolek přetočí zpět do pozice pro zakládání, aby mohl být naplněn dalšími produkty.

Je tedy zřejmé, že simulační modely v obou softwarech se pohybují podle stejné logiky. Rozpohybování obou modelů je tedy nyní dokončeno. Nyní následuje závěrečná část práce, tedy porovnání práce s oběma softwary a jejich možnosti. Srovnání je popsáno v části 6.2.

6.2. Porovnání softwarů a závěrečné rozhodnutí

V této části se zabývám porovnáním obou simulačních softwarů na základě výstupů z obou simulací. Ty uvádím do kontextu kritérií, která jsme stanovili jako zásadní pro výběr vhodného softwaru. V části 6.2.4 je pak zachycena tabulka, která jednotlivá kritéria srovnává v bodech. Na základě této tabulky pak proběhlo finální rozhodnutí o volbě simulačního softwaru. Porovnání práce s oběma softwary probíhalo tak, že na schůzi s kolegou, který tvořil simulaci ve Visual Components a kolegou PLC programátorem, který se podílel na obou simulacích. Na této schůzi jsme si ukázali postupy, které vedly k vytvoření každého simulačního modelu a jejich rozpohybování a verifikaci. Následně jsme shrnuli, jak obtížné nám přišlo danými postupy linku vytvořit, vzájemně jsme popsali, jaké dojmy máme z provádění postupů v softwarech konkurenčních. Na základě důkladného zvážení všech pro a proti obou programů jsme pak vyplnili výše zmíněnou porovnávací tabulku. Pomocí této tabulky jsme pak provedli finální rozhodnutí o tom, který ze dvou zkušných softwarů je pro naše potřeby vhodnější.

Zde jen musím doplnit, že v této práci je porovnání poněkud zobecněno a jsou zde uvedena jenněkterá kritéria, která jsme hodnotili, neboť některé informace zde nemohu uveřejnit kvůli utajení citlivých firemních dat.

6.2.1. Porovnání základních charakteristik softwarů

V této části se zaměřuji především na první dojmy po spuštění softwaru, tedy jak působí jejich rozhraní, grafická stránka simulací a zatížení hardwaru počítačů, na kterých jsou softwary nainstalovány.

Jako první se zaměřím na první dojmy z prostředí softwarů po jejich spuštění. Software Visual Components na první dojem působí uhlazenějším dojmem. Jeho rozhraní vypadá uspořádaněji a je jednodušší se v něm vyznat. Process Simulate na první pohled vypadá chaotičtější, jeho rozhraní obsahuje velké množství různých oken a ikon s velkým výběrem možností, což může zpočátku působit zmatky. Na druhou stranu působí profesionálněji a vyvolává dojem, že obsahuje větší množství funkcí oproti Visual Components.

Dalším bodem v této části srovnání je grafická stránka simulací, tedy jak simulační modely působí z vizuálního hlediska. Při nastavení na maximální grafický výkon obě simulace dávají velmi pěkně zpracovaný 3D model linky, jak je možno se přesvědčit na obrázcích v této diplomové práci. Je možno zapnout vyhlazování hran, kvalitnější textury, stíny, odlesky a podobně. To vše pak dodává simulačnímu modelu reprezentativní dojem, což je výhodné při jejich prezentaci.

S předchozím bodem souvisí i to, jak je každý software náročný na hardware počítače při spuštění simulace v nastavení grafiky pro prezentaci. Software Visual Components je sice po změnách nastavení grafiky na maximální kvalitu poměrně náročný na hardware, přesto na silnějších počítačích simulace běží relativně plynule. V tomto ohledu poráží SW Process Simulate, který při nastavení grafiky pro prezentaci velmi

zatěžuje hardware, a i silnější počítače mohou mít problém simulaci rozpohybovat při zachování snesitelné plynulosti přehrávání.

Jednotlivé aspekty této stránky porovnání shrnuje v bodech Tabulka 2.

Tabulka 2: Výsledek porovnání základních charakteristik softwarů

Parametr	Visual Components	Process Simulate	Poznámka
První dojmy	Velmi dobré	Dobré	
Grafická reprezentace	Velmi dobrá	Velmi dobrá	
Nutný výpočetní výkon	Střední až vysoký	Velmi vysoký	VC má velmi dobrou reprezentaci při nižším potřebném výpočetním výkonu

6.2.2. Porovnání možností softwarů a práce s nimi

Porovnání možností softwarů a jejich práce s nimi provedu postupně podle jednotlivých částí vytvoření a rozpohybování simulačního modelu tak, jak jsou popsány výše v této kapitole. U každé části srovnám, do jaké míry je možno každý krok provést tak, aby byl v simulačním modelu co nejvíce podobný skutečnému systému, tedy do jaké míry je možno model simulovat 1:1 s reálným systémem. U každého kroku také popíšu, jak složité je v každém ze softwarů vytvořit a následně dojde k porovnání. Tato část je pro porovnání nejdůležitější, neboť hlavním smyslem implementace simulací do procesu projektování výrobních systémů je právě možnost co nejvěrnějšího a nejjednoduššího vytvoření a rozpohybování simulačního modelu.

Import a práce s 3D daty

Prvním krokem při rozpohybování byl import modelů a tvorba 3D layoutu. V softwaru Process Simulate probíhá import pomocí zvláštního okna. Import je možný buď ve formátu .jt, případně pomocí překladačů i v jiných formátech, ať už v univerzálním přenosovém formátu .step nebo i v nativních formátech všech větších CAD softwarů. Při importu se vždy vytvoří složka s příponou .cojt, která obsahuje model ve formátu .jt a informace o provedených změnách v modelu v prostředí simulace. Výhodu tohoto způsobu demonstruji na příkladu vytváření kinematiky a logických bloků pro UPS testery. Každý šuplík má svůj vlastní kinematiku a logický blok. Za normálních okolností by to znamenalo vytvořit celkem dvanáct kinematických soustav a dvanáct bloků, kde každý má velké množství vstupů, výstupů a parametrů, které ovlivňují chování strojů. Avšak díky tomu, že se všechny šuplíky odkazují na stejnou složku .cojt, jsou všechna tato data v modelu zachována, a proto stačí parametry nastavit pouze u jednoho šuplíku, ostatní je pak už přeberou ve stejné podobě. Šuplíky je tak nutno pouze po jednom připojit ke vstupním a výstupním signálům.

Samotný import dat ve Visual Components je oproti Process Simulate jednodušší. Funguje na principu metody drag n drop, tedy tak, že z cílové složky stačí model myší přetáhnout do grafického okna simulace a tím se provede import. Při importu se pak model konvertuje do souboru formátu .vcmx, tedy nativního formátu Visual Components. Díky tomu lze u více strojů, které využívají stejný model, zachovat nastavení jeho kinematiky. Ovšem logické vstupy, výstupy a skripty se v rámci modelu nezachovávají, tudíž je nutno pro každý model tyto parametry tvořit znovu, což výrazně zvýší čas práce na simulaci. Z hlediska možností importu modelů se tedy jako vhodnější jeví software Process Simulate, ačkoliv samotný import je jednodušší v programu Visual Components.

Manipulace s modely v Process Simulate je možná dvěma způsoby. Jedním je funkce placement manipulator, který umožňuje volný pohyb modelu podle souřadných os systému, který chceme použít. Je možno využít geometrického středu modelu, jeho počátku z CAD softwaru, případně zcela vlastního systému. Další možností je pohyb přes funkci relocate, kdy souřadný systém, zvolený obdobně jako v případě placement manipulator, přemístíme na jiný souřadný systém v rámci simulace, opět s možností volby. V softwaru Visual Components je možné s modelem hýbat pouze funkcí obdobnou s funkcí placement manipulator v Process Simulate, navíc není možné volit souřadný systém, ke kterému chceme pohyb vztáhnout. I v tomto případě se proto pro práci jeví jako vhodnější Process Simulate.

Určování kinematiky funguje v obou softwarech podobně, ovšem Process Simulate navíc nabízí možnost tvorby poloh, ve kterých se má pohybující se model vyskytovat. Ty poté slouží jako polohová čidla na reálném stroji, což usnadňuje tvorbu logiky jeho chování.

Robotika

Import robotických manipulátorů do simulace ve Visual Components je velice snadný, neboť součástí softwaru jsou obsáhlé knihovny standardních součástí linky, jako právě robotů, dopravníků, AGV a podobně. V případě Process Simulate je nutno roboty v požadovaném formátu a s určenou kinematikou stahovat přímo ze stránek výrobce, případně vymodelovat roboty vlastní. V tomto případě tedy vítězí software Visual Components.

Vytváření a zkoušení reálných robotických programů je v obou softwarech vyřešeno možností připojit k simulaci kontrolery těchto robotů a programy vytvářet na nich. Tyto kontrolery lze pak přes simulační software propojit i s PLC programem a roboty díky nim dosahují nejvyšší přesnosti, až 99% ve srovnání s reálnými roboty. Tato možnost ovšem skýtá i problém, o kterém budu psát níže. Process Simulate navíc nabízí možnost přímého importu robotických programů do prostředí simulace bez nutnosti připojit kontroler. Mělo by tak být možné program zkoušet a upravovat přímo v prostředí simulace a hotový program pak exportovat do formátu podporovaného daným výrobcem robotů. Zde jsme ovšem narazili na několik problémů. První byl ve výpočtu rychlostí a zrychlení robotů UR

na simulované lince. Roboty se hýbaly násobně pomaleji, než měly definováno v programu. Tento problém vyžadoval přejít na novější verzi softwaru a úpravu zdrojového kódu pro ovládání robotů. Dalším problémem je, že Process Simulate má, alespoň v případě Universal Robots, jen poměrně malé množství podporovaných robotických příkazů. Ostatní příkazy není program schopen zpracovat a je nutné vytvořit soubor, který dává softwaru informaci o způsobu převodu těchto nepodporovaných příkazů na příkazy pro simulaci standardní. Z těchto důvodů jsme proto funkci offline programování robotů a možnosti přímého importu a exportu robotických programů nemohli vyzkoušet naplno. Z těchto důvodů je proto zatím z našeho pohledu pro práci s roboty bez připojeného PLC programu lepší software Visual Components.

Materiálový tok

Samotné definování materiálového toku probíhá v Process Simulate pomocí vytváření operací, které mají zajistit požadovanou změnu produktu. Ve Visual Components se tyto změny dějí pomocí funkčních 3D bloků, jako například Works Process, Feeder a podobně, které mají analogickou funkci operacím v Process Simulate. V obou případech je proto definice materiálového toku poměrně jednoduchá činnost.

Některé složitější změny produktů, balení a podobně je však v softwaru Process Simulate rozdělit na několik dílčích operací, v opačném případě se totiž může stát, že tok neprobíhá tak, jak by měl. V tomto případě se tedy také jako vhodnější jeví software Visual Components, kde je jeden funkční blok zastat hned několik operací a celý proces je tak jednodušší.

Propojení s PLC programem a tvorba logiky

Při propojení s PLC programem a importu signálů jsme v softwaru Visual Components objevili dva poměrně zásadní problémy, které velmi výrazně promluví do finálního rozhodnutí o tom, který ze softwarů se rozhodneme využít pro naše potřeby. Prvním problémem je, že software Visual Components nepodporuje logické proměnné typu Byte. Vzhledem k tomu, že PLC program (nejen této) simulované linky do značné míry těchto signálů využívá, je toto poměrně velký nedostatek. Ze strany dodavatele nám bylo řečeno, že tento problém lze vyřešit transformací proměnných na typ Integer. Toto řešení však náš problém řeší jen částečně, neboť proměnná Integer se skládá ze dvou Bytů. To znamená, že proměnná bude číst dvě pozice signálů Byte místo jedné, což může způsobit chaos při jejich transferu a komunikaci simulace s PLC programem. Do uzávěrky diplomové práce nebylo časově možné toto řešení vyzkoušet. Avšak i v případě, že by tento způsob transformace přinesl správný výsledek, znamená to zásah do způsobu komunikace linky s PLC programem, čímž se vzdalujeme od očekávání vytvořit digitální dvojče výrobního systému, nehledě na fakt, že tato transformace znamená práci navíc a z toho plynoucí prodloužení tvorby simulačního modelu.

Dalším problémem, který dokonce potenciálně může způsobit úplné vyřazení softwaru Visual Components z výběru, je komunikace mezi PLC programem, simulací a

robotickými kontrolery. Čas přenosu signálů mezi kontrolerem a simulací je totiž v řádu desítek až stovek milisekund. Naproti tomu čas komunikace mezi simulací a PLC je v řádu jednotek milisekund. To v praxi znamená, že pokud robot čeká na signál z PLC, dostane ho se značným zpožděním. Během této doby tento signál může být již deaktivován a PLC program bude o několik kroků napřed, tudíž se ztrácí možnost simulovat robotické programy, neboť ty kvůli pomalé komunikaci správně nepracují. Ze strany dodavatele softwaru nám bylo řečeno, že tato zpoždění jsou běžná a je nutno s nimi při simulaci počítat. Zkusili jsme tedy uměle zpozdřit komunikaci PLC a simulace, od té doby však nelze PLC program se simulací správně propojit a do doby uzávěrky této práce se nám nepovedlo nalézt náhradní řešení. I v případě, že se propojení podaří s umělým zpožděním komunikace, jedná se stále o velký problém, protože reálný systém s takovým zpožděním nepracuje. To prakticky vylučuje možnost v softwaru Visual Components tvořit digitální dvojče systému, protože kvůli zpožděním v komunikaci není možné dosáhnout cyklového času reálného systému. Může se sice zdát, že zpoždění v řádu stovek milisekund není nijak zásadní. Ovšem uvědomíme-li si, kolik přenosů během několika sekund mezi PLC, simulací a kontrolery proběhne, dostáváme, že tato zpoždění se budou kumulovat, čímž cyklový čas simulačního modelu prodlouží oproti reálnému systému o několik sekund. Vzhledem k tomu, že při velkosériové výrobě je důležité ušetřit každou možnou sekundu, představuje tento problém velké znevýhodnění softwaru Visual Components v rámci srovnávání.

V programu Process Simulate jsme se ani s jedním z výše zmíněných problémů nesetkali. Je to dáno především tím, že ve firmě Continental je standardem užití PLC od společnosti Siemens, simulátor PLC je také od společnosti Siemens, stejně jako samotný software Process Simulate. Díky tomu probíhá vzájemná komunikace mezi PLC, simulací a roboty v podstatě bezchybně, což nám dává mnohem lepší možnost dostat simulační model do stavu virtuální přejímky, jak požadujeme.

Rozdíl při tvorbě logiky strojů a procesů v rámci linky je ten, že Visual Components pro tyto účely využívá skriptů v jazyce Python. Přes tyto skripty je řečeno, jakých hodnot nabývají a za jakých podmínek se aktivují logické vstupy a výstupy v simulaci. Process Simulate k tomuto kroku využívá logických bloků. I zde je nutno určit parametry, na jejichž základě se vstupy transformují ve výstupy. Není však nutno hlídat syntaxi a strukturování programu, neboť hodnoty parametrů stačí pouze popsat pomocí logických operátorů, jako například AND, OR, NOT a operací jako logický součet, násobení a podobně. Tvorba logiky tak nevyžaduje znalost programování v jazyce Python, což je velké plus a znamená zjednodušení práce.

Process Simulate navíc také umožňuje tvorbu PLC programu přímo v simulaci a jeho export v požadovaném formátu pro reálné PLC, což software Visual Components neumí.

Mezi další funkce softwaru Process Simulate, kterými disponuje navíc oproti Visual Components, patří také simulace operátora linky. Samotná možnost přidat na linku operátora je samozřejmě i ve Visual Components, Process Simulate ovšem umožňuje také

simulaci namáhání jednotlivých částí těla pracovníka a kontrolovat a optimalizovat tak pracoviště i z pohledu ergonomie. Další funkcí navíc je také v Process Simulate možnost simulovat kabelové svazky. To je výhodné například při testování pohybů robotů, jimž z gripperů vedou hadice pro přívod a odvod stlačeného vzduchu, kabely senzorů a podobně a zjistit, jestli se tyto svazky nebudou při pohybech robotů lámat a překrucovat.

Z tohoto bodu, který je možná nejzásadnější v rámci celého porovnání, tak vychází jednoznačně vítězně software Process Simulate.

Hlavní aspekty této části porovnání shrnuje Tabulka 3.

Tabulka 3: Shrnutí splnění požadavků možností programů

Parametr	Visual Components	Process Simulate	Poznámka
Import vlastních 3D dat	Je možný	Je možný	
Práce s 3D daty	Velmi dobrá	Velmi dobrá	Usnadnění tvorby logiky modelů v PS
Připojení robotických kontrolerů	Je možné	Je možné	Pomalá komunikace mezi kontrolery a simulací ve VC
Offline programování robotů	Částečně možné	Je možné	Ve VC možno tvořit program, nemožné jej použít v reálném systému
Materiálový tok	Snadná tvorba	Obtížnější tvorba	
Propojení s PLC	Omezené	Je možné	VC nepodporuje všechny typy proměnných
Programování PLC	Není možné	Je možné	

6.2.3. Porovnání cenového hlediska

V neposlední řadě je nutné oba softwary porovnat z hlediska jejich pořizovací ceny. Toto hledisko navazuje na všechna porovnání, která byla dosud popsána. Nestačí totiž pouze zhodnotit cenu jako absolutní číslo. Je nutné se na toto hledisko zaměřit spíše z pohledu poměru cena:výkon, tedy co za danou pořizovací cenu každý software nabízí a zda nám připadá předmětné za poskytnuté možnosti tuto částku zaplatit.

Z pochopitelných důvodů zde nemohu uvést konkrétní cenové nabídky poskytnuté dodavateli jednotlivých softwarů. Omezím se proto na zobecněnou úvahu o nabízených funkcích a modulech, které obě firmy předložily. Cena základní verze Process Simulate je velice podobná ceně Visual Components Premium. Obě společnosti pak také účtují roční poplatky za aktualizace a údržbu licencí. Visual Components však již v základní ceně nabízí všechny moduly, kterými software disponuje, jako je například překladač formátů 3D modelů, propojení s PLC programem, robotický modul a podobně. Za všechny tyto funkce je nutno v případě Process Simulate připlatit. Tyto příplatky jsou prakticky nutností, neboť

v základní verzi softwaru není možné využívat téměř žádnou z jeho funkcí. Tím cena softwaru Process Simulate značně převyšuje cenu programu Visual Components. Nutno však říci, že veškeré příplatkové balíčky jsou profesionálně zpracované a funkcionality modulů ve Visual Components se zdá oproti Process Simulate omezená. Vzhledem k prioritě našeho požadavku na možnost vytvoření simulačního modelu co nejvíce podobnému skutečnému systému jsme tak dospěli k závěru, že i přes výrazně vyšší cenu je pro nás výhodnější investovat do softwaru Process Simulate, neboť i přes faktor ceny je návratnost investice kratší.

6.2.4. Shrnutí porovnání a výběr softwaru

Na základě mnou vytvořených kritérií a srovnání jsem vytvořil tabulku, která tato kritéria shrnuje stručně a v bodech. Zestručněnou verzi této finální tabulky, kterou bylo možno použít pro účely diplomové práce, ukazuje Tabulka 4.

Tabulka 4: Finální zestručněný seznam srovnávacích kritérií a jejich vyhodnocení

Parametr	Visual Components	Process Simulate	Poznámka
Import vlastních 3D dat	Je možný	Je možný	Usnadnění tvorby logiky modelů v PS
Připojení robotických kontrolerů	Je možné	Je možné	Pomalá komunikace mezi kontrolery a simulací ve VC
Offline programování robotů	Možné jen omezeně	Je možné	Ve VC možno tvořit program, nemožné jej použít v reálném systému
Propojení s PLC	Omezené	Je možné	VC nepodporuje všechny typy proměnných
Offline programování PLC	Není možné	Je možné	
Simulace hardwaru PLC	Není možná	Je možná	
Export statistik	Je možný	Je možný	
Simulace ergonomie	Není možná	Je možná	
Virtuální přejímka	Omezená	Je možná	Viz část 6.2.2.

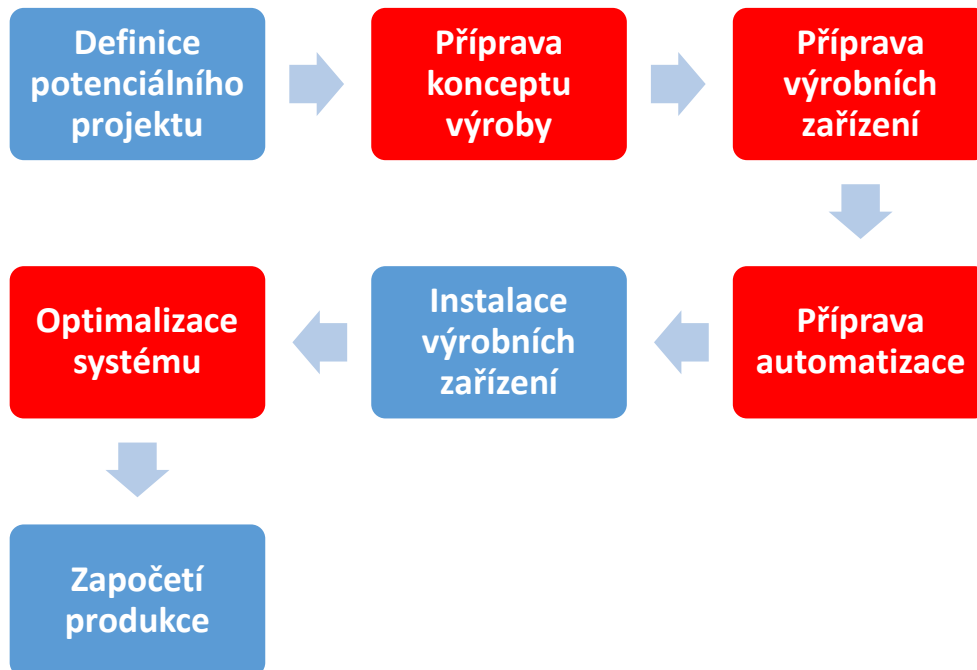
Po doplnění všech kritérií do tabulky a přiřazení váhy každému z kritérií pak z této vyplývá výběr softwaru, který jsem vyhodnotil jako vhodnější pro účely simulací linek ve společnosti Continental.

Na základě pečlivého srovnání všech kritérií (nejen) v porovnávací tabulce výše jsem dospěl k finálnímu rozhodnutí, že vhodnější pro účely simulací ve společnosti Continental

je software **Tecnomatix Process Simulate**. Úplné finální rozhodnutí samozřejmě spadá do gesce managementu společnosti. Věřím však, že mnou vytvořené podklady a zjištěné závěry jsou dostatečné pro to, aby se management při rozhodnutí ztotožnil s mým rozhodnutím.

6.3. Výstupy pro další práci s vybraným simulačním softwarem

To, jakým způsobem zasáhne implementace simulačního softwaru do podnikové kultury ve společnosti Continental, bylo nastíněno již v části 5.1. Zde přidávám upravené schéma pořadí jednotlivých fází projektování, viz Obrázek 77.



Obrázek 77: Fáze projektování výrobních systémů po implementaci simulačního softwaru

Fáze, které jsou nahrazeny, případně doplněny simulací, jsou opět zvýrazněny červeně. Je také vidět, že fáze Instalace výrobních zařízení se přesunula až před optimalizaci systému. Velká část optimalizace bude probíhat ještě před instalací zařízení. Nelze ji však přesunout před instalaci zařízení jako celek, neboť potřebné audity není možné převést do simulačního prostředí, z čehož vyplývá, že určité kroky optimalizace bude stále nutno provádět až na postavené lince.

Projekt zavádění procesu simulace jako standardu při projektování výrobních systémů v rámci společnosti Continental samozřejmě výběrem softwaru nekončí. I v softwaru Process Simulate stále zbývá vyzkoušet některé jeho funkce, jako modul Human a simulaci kabelových svazků. Naším cílem je také správně zprovoznit robotické programy pro roboty Universal Robots a vyzkoušet možnost exportu robotických programů a PLC programu do reálného systému. Další věcí, na kterou se zaměřím, je také prozkoumání možnosti zjednodušení tvorby materiálového toku, neboť ta se mi v této fázi stále zdá poněkud kostrbatá a složitá. Poslední věcí, kterou je záhodno vyzkoušet pro možnost tvorby digitálního dvojčete, je simulace vakua. Jedná se především o správné zprovoznění vakuových gripperů a jejich čidel, která v reálném systému, na rozdíl od

simulace, nejsou čidla přítomnosti produktu na gripperu, ale čidla zapnutého a vypnutého vakua. Po provedení všech těchto kroků bychom pak měli být schopni skutečně vytvořit simulační model, který bude téměř totožný s reálným systémem.

Další fází je nyní vyzkoušet software v ostrém provozu. To znamená vytvořit a rozpohybovat simulační model linky, která ještě není v závodě postavena a provést virtuální přejímku ještě předtím, než se tato linka začne stavět.

Z procesu vytváření modelu také vyplývají nové standardy, které bude nutno požadovat po každém dodavateli zařízení na linku. Jedná se především o poskytnutí veškerých 3D dat k lince, robotických programů a PLC programu tak, aby bylo možné postavit model shodný s reálným systémem, vyzkoušet jej a případně optimalizovat ještě v prostředí simulace.

Posledním bodem projektu pro tento rok je pak na základě našich znalostí práce s programem vytvořit soubor školící dokumentace a uspořádat školení pro pracovníky, kteří budou nadále za simulace zodpovědní, aby se náš tým mohl věnovat dalším výzvám v oblasti chytrých technologií a průmyslu 4.0.

7. Závěr

Simulační software je velice užitečný a všestranný nástroj pro možnost převedení existujících systémů existujících do digitální podoby, ale také pro vymyšlení a zprovoznění systémů nových, v reálném světě ještě neexistujících. Umožňuje vyzkoušet funkčnost navrženého konceptu a ten nadále konkretizovat až do podoby virtuální přejímky, kdy simulační model prakticky kopíruje chování reálného systému. Díky tomu lze toto chování sledovat a optimalizovat dříve, než je systém realizován a tím předejít nadbytečným nákladům při jeho opravách v reálném světě. Je samozřejmě jasné, že ještě nějakou dobu potrvá, než bude možné simulace provádět se stoprocentní přesností, už nyní lze ale systémy napodobovat téměř identicky.

Vybraný simulační software ovšem nemusí zdaleka sloužit jen jako nástroj pro zkoušení a optimalizaci nových i stávajících výrobních systémů. Jeho potenciál jde využít i v dalších oblastech v propojení s dalšími moderními nástroji digitalizace. Využití může najít také v oblasti interaktivní virtuální reality. Díky jejímu nasazení lze například zaučovat pracovníky obsluhy linky, ať už operátory, či techniky údržby, pro práci na dané lince v bezpečí virtuálního světa bez nutnosti kvůli zaškolení omezit nebo dokonce zastavit výrobu na dané lince. Simulace lze také propojit s dalšími nástroji, jako například condition monitoring, který umožňuje v reálném čase sledovat a analyzovat dění na lince, chybové stavy a podobně a tím získat ucelený přehled o všem, co se děje ve výrobním závodě, tedy mít veškeré dění na dosah ruky.

V této diplomové práci jsem realizoval projekt porovnání a výběru vhodného simulačního softwaru pro potřeby společnosti Continental. Tento projekt je součástí širšího projektu Digital Production Line Planning, který zahrnuje také realizaci vizí popsaných v předchozích odstavcích.

V kapitole 2 v teoretické části jsem popsal historii a strukturu společnosti Continental. Rozepsal jsem se o závodě v Brandýse nad Labem, v jehož rámci vznikl tento projekt a usadil jej do kontextu struktury celé společnosti.

Třetí kapitola této práce definuje a vysvětluje pojmy z oblasti projektování výrobních systémů. Tyto pojmy také rozděluje podle různých kritérií. Další částí této kapitoly je také definice výrobních linek, jejich rozdělení a prostorové uspořádání. Zabýval jsem se v ní také automatizací těchto linek. V neposlední řadě jsem zde také uvedl a vysvětlil základní způsoby testování desek plošných spojů. Všechny tyto prerekvizity slouží jako rešerše pro pochopení způsobu zpracování, rozestavení a způsobu automatizace simulované linky. Část o testování DPS pak pomáhá vysvětlit princip hlavní činnosti této linky.

Ve čtvrté kapitole jsem se zabýval problematikou simulací. Vysvětlil jsem zde samotný pojem simulace a také další pojmy, které jsou se simulacemi svázány. Popsal jsem implementaci simulačních procesů do podnikové kultury a její jednotlivé fáze. Provedl jsem úvahu nad důvody a nevýhodami využití simulací při projektování výrobních

systémů. Popsal jsem možná softwarová řešení pro tvorbu simulačních modelů a jejich možnosti. V poslední části jsem pak uvedl některá kritéria pro výběr vhodného softwaru.

V páté kapitole jsem analyzoval současný stav projektování výrobních systémů ve společnosti Continental a uvedl důvody implementace simulačního softwaru do podnikové kultury společnosti. Popsal jsem, jaké potenciální změny způsobu projektování očekáváme po implementaci procesu simulací. V další části jsem provedl popis simulované linky, její rozestavění a průběh jednoho cyklu na této lince, aby bylo možno lépe pochopit, jak probíhala tvorba simulačního modelu a jeho validace. Důležitou částí této kapitoly je podrobný popis všech kroků, které vedly k vytvoření simulačního modelu, jako je shánění a analýza dat a procesy, které je potřeba před provedením simulace provést v softwaru Process Simulate.

V šesté kapitole jsem pak popsal, jak proběhla samotná realizace a průběh simulace a způsob validace simulačního modelu. Stručně jsem zde popsal také princip funkce mechanismů pro tvorbu simulačního modelu v softwaru Visual Components. Následně jsem na základě provedených simulací a výstupů z nich provedl vyhodnocení stanovených kritérií, která jsou pro nás zásadní při výběru vhodného simulačního softwaru. Na základě srovnání dosažení těchto kritérií v každém softwaru jsem provedl finální výběr softwaru, který bude používán pro tvorbu simulačních modelů ve společnosti Continental. Na základě vybraného softwaru jsem také popsal další plány s procesy simulací a nastínil první kroky pro správnou implementaci simulačního softwaru do podnikové kultury společnosti Continental.

Provedením simulací, srovnáním možností obou porovnávaných softwarů, výběrem vhodného simulačního softwaru pro potřeby společnosti Continental a návrhem kroků pro jeho správnou implementaci do podnikové kultury firmy jsem splnil cíle této diplomové práce.

8. Seznam obrázků

Obrázek 1: Logo Continental z roku 1882 [1]	4
Obrázek 2: Velká cena Německa 1935 [1]	5
Obrázek 3: Závod Continental BDY I [3].....	7
Obrázek 4: Dekompozice výrobního (respektive montážního) systému [4]	9
Obrázek 5: Členění výrobního procesu [4]	9
Obrázek 6: Členění výrobního postupu [5]	10
Obrázek 7: Uspořádání linek – jednostranné a oboustranné [6].....	12
Obrázek 8: Uspořádání linek – jednosměrné a obousměrné [6]	13
Obrázek 9: Uspořádání linek – s čelními a bočními pracovišti [6]	14
Obrázek 10: Uspořádání linek – rozvětvená linka [6]	15
Obrázek 11: Příklad mapy souslednosti operací [8]	16
Obrázek 12: První fáze migračního způsobu automatizace linky [12]	18
Obrázek 13: Druhá fáze migračního způsobu automatizace linky [12]	19
Obrázek 14: Třetí fáze migračního způsobu automatizace linky [12].....	19
Obrázek 15: Příklad ICT testeru [14]	22
Obrázek 16: Zjednodušené schéma procesu simulace [16]	24
Obrázek 17: Dělení simulačních modelů	25
Obrázek 18: Fáze implementace simulace [17]	27
Obrázek 19: Příklad vizualizace výrobní linky v Process Simulate [20].....	31
Obrázek 20: Process Simulate Human [22]	31
Obrázek 21: Process Simulate Human – detailní pohled [22]	32
Obrázek 22: Ukázka prostředí Plant Simulation [21].....	33
Obrázek 23: Ukázka možností vizualizace v Plant Simulation [22]	33
Obrázek 24: Některé typy postav v Tecnomatix Jack [21]	34
Obrázek 25: Visual Components Essential [23]	35
Obrázek 26: Visual Components Professional [23].....	36
Obrázek 27: Visual Components Essential [23]	37
Obrázek 28: Vizualizace v programu FlexSim [25].....	38
Obrázek 29: Fáze procesu projektování nových linek v Continental	40
Obrázek 30: 2D layout simulované linky [26]	44
Obrázek 31: Schéma průběhu cyklu na simulované lince	45
Obrázek 32: Zjednodušený 3D model DPS před operací frézování	47
Obrázek 33: Model blisteru pro balení a manipulaci s DPS.....	48
Obrázek 34: Věž UPS a FCT	48
Obrázek 35: 3D layout simulované linky I.....	49
Obrázek 36: 3D layout simulované linky II.....	50
Obrázek 37: Tvorba kinematiky strojů – ICT tester	51
Obrázek 38: Tvorba kinematiky strojů-frézka.....	52
Obrázek 39: Tvorba kinematiky strojů – překlápěcí stolek.....	52
Obrázek 40: Tvorba kinematiky strojů – UPS testery	53
Obrázek 41: Tvorba kinematiky pro dopravník blisterů na linku	54
Obrázek 42: 3D model dvojitého vakuového gripperu pro robota UR10 A.....	55
Obrázek 43: Robot UR10 A s připojeným gripperem	56
Obrázek 44: Dráhy a pozice robota před kalibrací linky	57
Obrázek 45: Dráhy a pozice robota po kalibraci.....	58
Obrázek 46: Schéma materiálového toku linky	58
Obrázek 47: Materiálový tok – operace DPS_framed_in	59
Obrázek 48: Materiálový tok – operace DPS_framed_out, DPS_in a frame_in	60
Obrázek 49: Materiálový tok – operace Blistery_10x_out a Blistery_samostatne_in.....	61
Obrázek 50: Propojení PLC signálů s ICT testerem	63
Obrázek 51: Logický blok ICT testeru.....	65
Obrázek 52: Logický blok Gripperu na robotu UR10 A	66



Obrázek 53: Logický blok robota UR10 A	67
Obrázek 54: Logický blok pro materiálový tok – operace DPS_framed_in.....	68
Obrázek 55: Odebrání produktu ze vstupního dopravníku	70
Obrázek 56: Založení do prvního ICT testeru	71
Obrázek 57: Založení do druhého ICT testeru a příprava robota UR10 B.....	72
Obrázek 58: Předání DPS mezi roboty UR10 A a UR10 B.....	73
Obrázek 59: Založení DPS do frézky	74
Obrázek 60: Odkládání rámečku DPS na dopravník	75
Obrázek 61: Odebírání DPS ze stolku robotem UR10 C.....	76
Obrázek 62: Zakládání DPS do volné pozice UPS testeru	77
Obrázek 63: Operace pokládání blisteru na stolek.....	78
Obrázek 64: Odkládání naplněného blisteru na dopravník.....	79
Obrázek 65: NOK stav po operaci ICT testu a frézování	80
Obrázek 66: NOK stav po operaci UPS/Funkčního testu	81
Obrázek 67: 3D layout simulované linky v SW Visual Components.....	82
Obrázek 68: Určení kinematiky víka ICT testeru.....	82
Obrázek 69: Řízení robotických programů pomocí emulátoru kontrolerů.....	83
Obrázek 70: Funkční blok Works Process a jeho nastavení.....	84
Obrázek 71: Python skript pro operaci záměny produktů v rámci operace frézování	85
Obrázek 72: Propojení signálů mezi PLC a simulací.....	85
Obrázek 73: Python skript pro určení chování logických proměnných ICT testeru	86
Obrázek 74: Zakládání produktu do ICT testeru	87
Obrázek 75: Předání produktů mezi roboty	88
Obrázek 76: Odebírání produktu z překlápěcího stolku.....	88
Obrázek 77: Fáze projektování výrobních systémů po implementaci simulačního softwaru	97

9. Seznam tabulek

Tabulka 1: Podoba tabulky pro import signálů pro ICT tester 1	62
Tabulka 2: Výsledek porovnání základních charakteristik softwarů	91
Tabulka 3: Shrnutí splnění požadavků možností programů	95
Tabulka 4: Finální zestručněný seznam srovnávacích kritérií a jejich vyhodnocení	96

10.Zdroje

- [1] Historie společnosti Continental AG. Continental Automotive Czech Republic [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.continental.com/cs-cz/spolecnost/history>
- [2] Korporátní struktura společnosti Continental AG. Continental Automotive Czech Republic [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.continental.com/cs-cz/spolecnost/struktura-spole%C4%8Dnosti>
- [3] Pobočky Continental v České republice. Continental Automotive Czech Republic [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.continental.com/cs-cz/spolecnost/pobocky-v-ceske-republice>
- [4] ZELENKA, Antonín. Projektování výrobních procesů a systémů. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03912-0.
- [5] HLAVENKA, Bohumil. Projektování výrobních systémů: technologické projekty I. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2871-6.
- [6] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. Základy montáže: učební text. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [7] Základy montáže [online]. Západočeská univerzita, Katedra technologie obrábění [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.old.fst.zcu.cz/files./2%20ZAKLADY%20MONTAZE%20FOL.pdf>
- [8] BOYSEN, Nils, Malte FLIEDNER a Armin SCHOLL. A classification of assembly line balancing problems. European Journal of Operational Research [online]. 2007, 183(2), 674-693 [cit. 2020-02-26]. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.10.010. ISSN 03772217. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221706010435>
- [9] KHOO, L.P. a D. ALISANTOSO. Line balancing of PCB assembly line using immune algorithms. Engineering with Computers [online]. 2003, 19(2-3), 92-100 [cit. 2020-02-26]. DOI: 10.1007/s00366-003-0256-0. ISSN 0177-0667. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00366-003-0256-0>
- [10] DUŠÁK, Karel. Technologie montáže: základy. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-708-3906-6.
- [11] Y. NOF, Shimon. Handbook of automation with DVD-ROM and 149 tables. Berlin: Springer, 2009. ISBN 9783540788317.
- [12] GROOVER, Mikell P. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. 3rd edition. Prentice Hall: Upper Saddle River NJ, 2008. ISBN 0132393212.
- [13] CLYDE F. a COOMBS, J.: Printed Circuits Handbook. The McGraw-Hill Companies, 2008.
- [14] KINGATUA, Amos. PCB Inspection and Testing Techniques. In: Supply Frame Hardware [online]. 31.10.2019 [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: <https://medium.com/supplyframe-hardware/pcb-inspection-and-testing-techniques-30631a885109>
- [15] BEN-DAYA, Mohamed. Failure Mode and Effect Analysis. Handbook of Maintenance Management and Engineering [online]. London: Springer London, 2009, 2009, , 75-90 [cit. 2020-02-24]. DOI: 10.1007/978-1-84882-472-0_4. ISBN 978-1-84882-471-3. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-1-84882-472-0_4



- [16] DLOUHÝ, M., J. FÁBRY, M. KUNCOVÁ a T. HLADÍK. Simulace podnikových procesů. Brno: ComputerPress, c2007. ISBN 978-802-5116-494.
- [17] VOLF, Luděk, Libor BERÁNEK a Petr MIKEŠ. POČÍTAČOVÁ SIMULACE VE STROJÍRENSKÉ VÝROBĚ [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/16403/1/Volf.pdf>
- [18] VOLF, Luděk. Počítačová simulace v oblasti navrhování a optimalizace výrobních systémů [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://stc.fs.cvut.cz/history/2010/sbornik/papers/pdf/VolfLudek-301296.pdf>
- [19] Tecnomatix. *Siemens PLM* [online]. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/>
- [20] Process Simulate. Siemens PLM [online]. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/en_gb/Images/7457_tcm642-80351.pdf
- [21] Tecnomatix. Axiom Tech [online]. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/24751-digitalni-tovarna-tecnomatix>
- [22] Firemní prezentace společnosti FactorioSolutions, dodavatele SW Siemens PLM. [cit. 2020-04-24]
- [23] Visual Components 4.2. Visual Components [online]. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.VisualComponents.com/products/visual-components/>
- [24] Firemní prezentace společnosti Solid CAD, dodavatele SW Visual Components. [cit. 2020-04-24]
- [25] FlexSim3DSimulation Modeling. FlexSim [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.flexsim.com/flexsim/>
- [26] Interní dokumenty společnosti Continental.